발 간 등 록 번 호
11-1741050-000064-01

연구완료보고서

자체연구 결과보고서

2020년 국가기록관리 · 활용기술 연구개발(R&D) 사업

행정안전부
국가기록원

목 차

01 특수지 기록물의 과학적 분석 및 보존성 진단 연구 ····· 1

복원관리과 **허인영**

02 인공지능 기반의 시청각 동영상 기록물의 업스케일링 연구 ····· 83

복원관리과 **최근창**

03 블록체인 활용 지능형 기록관리 방안 연구 ····· 171

디지털기록혁신과 **왕호성**

2020년 국가기록관리 · 활용기술 연구개발(R&D) 사업 자체연구 결과보고서

01 특수지 기록물의 과학적 분석 및 보존성 진단 연구

Research On Scientific Analysis and Preservation Properties of Specialty paper in Archives

복원관리과 **허인영**

〔별지 제15호서식〕

자체연구과제 최종보고서

<table>
<tr><td>연구사업명</td><td colspan="7">2020년 국가기록관리·활용기술 연구개발(R&D) 사업</td></tr>
<tr><td>연구과제명</td><td colspan="7">특수지 기록물의 과학적 분석 및 보존성 진단 연구
(Research On Scientific Analysis and Preservation Properties of Specialty paper in Archives.)</td></tr>
<tr><td>책 임 자</td><td>소 속</td><td colspan="2">복원관리과</td><td>성 명</td><td colspan="2">허 인 영</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구자
및 참여율</td><td>책임자</td><td>허인영</td><td>35%</td><td>연구자</td><td>양소은</td><td>10%</td></tr>
<tr><td>연구자</td><td>두예슬</td><td>25%</td><td>연구자</td><td>현혜경</td><td>30%</td></tr>
<tr><td rowspan="3">연
구
결
과</td><td>필요성
및
목 표</td><td colspan="6">◆ 특수지 기록물은 재질에 따라 보존특성이 상이하여 각각의 보존특성에 따른 적절한 보존·복원방법 적용 필요
◆ 특수지 보존특성 및 영향 평가를 통해 보존방법 개선 방안 제안</td></tr>
<tr><td>방 법
및
결 과</td><td colspan="6">◆ 국내·외 관련 분야 연구 및 관리현황을 조사 및 가속노화실험과 과학적 분석을 통해 특수지의 보존특성 및 영향 파악
◆ 기록물의 편철개선, 탈산 방법, 매체수록과 같은 보존방법에 대한 개선방안을 제안
⇒ 상호간 영향으로 인해 물리적·화학적 열화 심화, 탈산제가 특수지의 변색 및 물리적 강도의 저하 유발
매체수록, 편철 개선 및 탈산 처리 등의 보존처리 개선 제안</td></tr>
<tr><td>기대성과</td><td colspan="6">◆ 특수지 유형별 보존특성 및 영향을 파악하고 이를 통해 보존처리 개선 방안 제안</td></tr>
<tr><td colspan="2">활용계획</td><td colspan="6">◆ 보존처리 개선 제안을 통한 특수지 기록물의 보존성 증대
◆ 특수지 기록물 보존관련 업무의 체계화를 위한 가이드라인 작성 및 보존환경 관리를 위한 기초자료로 활용</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구비(천원)</td><td>책정액</td><td colspan="2">40.000</td><td>사용액</td><td>38,724</td></tr>
<tr><td colspan="2">발표(게재)계획</td><td>연보</td><td></td><td>학술지명</td><td></td><td>학술대회명</td><td>한국펄프종이공학회,
한국문화재보존과학회</td></tr>
<tr><td colspan="2">비 고</td><td colspan="6">보안성 유( ) 무(○)</td></tr>
</table>

이상과 같이 보고합니다.

첨부 : 보고서 1부.

2020년 12월 18일

(부서명) 국가기록원 복원관리과 성명 : 허 인 영

210㎜×297㎜(일반용지60g/㎡(재활용품))

※ 주 의 내 용

주 의

1. 이 보고서는 국가기록원에서 시행한 자체연구개발사업의 연구결과보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 국가기록원에서 시행한 자체연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.

제 출 문

국가기록원장 귀 하

이 보고서를 “특수지 기록물의 과학적 분석 및 보존성 진단 연구(국가기록원 복원관리과/허인영)” 과제의 연구결과보고서로 제출합니다.

2020 . 12. 18.

주관연구기관명 : 국가기록원 복원관리과

연 구 책 임 자 : 허 인 영(전문임기제)
연 구 참 여 자 : 양 소 은(학예연구관)
두 예 슬(인턴연구원)
현 혜 경(인턴연구원)

목 차

Ⅰ. 연구개발결과 요약문

Ⅱ. 총괄연구개발과제 연구결과

제 1장 총괄연구개발과제의 최종 연구개발 목표 ····· 14

제 1절 총괄연구개발과제의 목표 ····· 14

1. 연구 배경 ····· 14

2. 최종 연구 목표 ····· 15

제 2절 총괄연구개발과제의 목표달성도 ····· 16

제 3절 국내·외 기술개발 현황 ····· 17

제 2장 총괄연구개발과제의 최종 연구개발 내용 및 방법 ····· 18

제 1절 연구내용 ····· 18

1. 연구 및 관리 현황 ····· 18

2. 보존성 평가 ····· 18

제 2절 연구방법 ····· 19

1. 연구 및 관리 현황 ····· 19

2. 보존성 평가 ····· 20

제 3장 총괄연구개발과제의 최종 연구개발 결과 ····· 27

제 1절 연구 및 관리현황 ····· 27

1. 연구 현황 ····· 27

2. 기록원 및 국내·외 기관 관리 현황 ····· 30

제 2절 보존성 평가 ····· 33

1. 종이별 기초 물성 분석 ····· 34

2. 종이 상호간 영향 평가 ····· 40

3. 보존 방법 개선 평가 ····· 51

4. 탈산 영향 평가 ····· 66

제 4장 총괄연구개발과제의 연구결과 고찰 및 결론 ····· 68

제 5장 총괄연구개발과제의 연구성과 ····· 71

제 1절 활용성과 ····· 71

제 2절 활용계획 ····· 72

제 6장 기타 중요변경사항 ····· 73
제 7장 참고문헌 ····· 74
제 8장 첨부서류 ····· 77

표 목 차

Table 1. Sample list ····· 20
Table 2. Evaluation standard according to ΔE ····· 22
Table 3. Aging time by experiment ····· 26
Table 4. The result of main research ····· 27
Table 5. Expression distribution of samples ····· 33
Table 6. L*, a*, b* value of samples ····· 39

그림 목차

Fig. 1. Micrometer (Lorentzen & Wettre, Sweden) ····· 21
Fig. 2. Color meter (Konica Minolta, Japan) ····· 22
Fig. 3. Folding strength tester (MIT-SA, Toyoseiki, Japan) ····· 23
Fig. 4. Tensile tester (Lorentzen & Wettre, Sweden) ····· 24
Fig. 5. pH meter (A211, Thermo Scientific, USA) ····· 24
Fig. 6. Humidity chamber (TH-ME/PE-025, JEIO TECH, Korea) ····· 25
Fig. 7. Xenon test chamber (Q-SUN ZE-2, Q-LAB CO., USA) ····· 26
Fig. 8. Physical properties of samples
(a) Basis weight (b) Thickness ····· 35
Fig. 9. Folding endurance of samples ····· 36
Fig. 10. Tensile index of samples ····· 37
Fig. 11. pH of samples ····· 38
Fig. 12. Comparison of Folding endurance by wet aging
(a) Writing paper (b) drafting paper ····· 41
Fig. 13. Comparison of Tensile index by wet aging
(a) Writing paper (b) drafting paper ····· 42
Fig. 14. Comparison of pH by wet aging
(a) Writing paper (b) drafting paper ····· 43
Fig. 15. Comparison of ΔE by wet aging
(a) Writing paper (b) drafting paper ····· 44
Fig. 16. Comparison of Folding endurance by UV aging
(a) Writing paper (b) drafting paper. ····· 46
Fig. 17. Comparison of Tensile index by UV aging
(a) Writing paper (b) drafting paper ····· 47
Fig. 18. Comparison of pH by UV aging
(a) Writing paper (b) drafting paper ····· 49
Fig. 19. Comparison of ΔE by UV aging
(a) Writing paper (b) drafting paper ····· 50
Fig. 20. Comparison of Folding endurance with 2layer and 3layer by wet aging
(a) writing paper (b) drafting paper ····· 51
Fig. 21. Comparison of Tensile index with 2layer and 3layer by wet aging
(a) writing paper (b) drafting paper ····· 52
Fig. 22. Comparison of pH with 2layer and 3layer by wet aging
(a) writing paper (b) drafting paper ····· 53

Fig. 23. Comparison of ΔE with 2layer and 3layer by wet aging
(a) writing paper (b) drafting paper ····· 54
Fig. 24. Comparison of folding endurance with 2layer and 3layer in writing
paper by UV aging (a) TH and E, (b) TH and B, (c) B and E ····· 56
Fig. 25. Comparison of folding endurance with 2layer and 3layer in drafting
paper by UV aging (a) C and T, (b) C and B, (c) T and B ····· 57
Fig. 26. Comparison of tensile index with 2layer and 3layer in writing paper by
UV aging (a) TH and E, (b) TH and B, (c) B and E ····· 58
Fig. 27. Comparison of tensile index with 2layer and 3layer in drafting paper
by UV aging (a) C and T, (b) C and B, (c) T and B ····· 59
Fig. 28. Comparison of pH with 2layer and 3layer in writing paper by UV aging
(a) TH and E, (b) TH and B, (c) E and B ····· 61
Fig. 29. Comparison of pH with 2layer and 3layer in drafting paper by UV aging
(a) TH and E, (b) TH and B (c) E and B ····· 62
Fig. 30. Comparison of ΔE with 2 layer and 3 layer in writing paper by UV aging
(a) TH and E, (b) TH and B (c) E and B ····· 64
Fig. 31. Comparison of ΔE with 2layer and 3layer in drafting paper by UV aging
(a) C and T, (b) C and B, (c) T and B. ····· 65
Fig. 32. Comparison of UV aging and wet aging in deoxidized paper
(a) Tensil index, (b) Folding endurance, (c) pH, (d) ΔE ····· 67

연구결과보고서 요약문

연구과제명	특수지 기록물의 과학적 분석 및 보존성 진단 연구		
중심단어	특수지, 감열지. 감광지, 청사진, 트레싱지, 보존특성		
주관연구기관	국가기록원 복원관리과	주관연구책임자	허인영
연구기간	2020. 3. 25. - 2020. 12. 18.		

특수지는 제조사나 사용 시기 등에 따라 다양한 재료를 사용하여 표면이 가공처리 되었고 이로 인해 나타나는 보존특성이 상이하며 상호간에 영향을 주어 보존성의 저하가 올 수 있어 각각의 보존특성에 따른 적절한 보존·복원방법의 연구 및 적용이 필요하다. 이에 본 연구에서는 특수지 보존특성 및 영향 평가와 보존방법 개선 방안을 제안하고자 하였다. 연구결과는 다음과 같다.

첫째, 각 특수지 상호간 어떠한 영향을 미치는가에 대한 연구를 진행하였다. 특수지는 각각의 보존특성이 상이하여 상호간에 서로 영향을 미칠 수 있기 때문에 특수지가 서로 중첩되어 보관되었을 때 나타날 수 있는 훼손 양상이나 서로에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

둘째, 특수지가 상호간 영향을 줄일 수 있는 방법에 대한 연구를 진행하였다. 특수지가 중첩 되어 보관될 시 산성물질의 전이나 강도 저하 등의 문제를 야기 할 수 있기 때문에 분리 보존하는 것이 바람직하나 이는 문서의 관리 및 보관 등에서 또 다른 문제를 가져 올수 있다. 이에 문서를 분리 보존하지 않고도 상호간의 영향을 줄일 수 있는 방법으로 특수지 사이에 보존용 중성 간지를 삽입하여 그 차단 효과를 확인해 보고자 하였다.

셋째, 현재 사용 중인 탈산제가 특수지에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 기 연구 된 연구 결과에서 특수지 중 일부에서 알칼리성 물질에 의해 훼손이 심화 될 수 있음이 확인되었다. 탈산제는 산성화된 종이를 알카리화시키기 위해 용제에 희석된 알칼리 물질을 기록물에 침투시킨다. 이때 사용되는 알칼리 물질이 특수지에 미치는 영향을 파악하여 탈산 시 있을지 모르는 추가 훼손을 방지하고자 하였다.

연구를 통해 특수지는 중첩 시 상호간의 영향으로 인해 물리적 강도가 저하될 뿐만 아니라 화학적인 측면에서도 열화가 가속화되는 것으로 확인되었다. 중첩 되었을 때 상호간의 영향을 받아 열화 되는 것을 방지하기 위해 중성지를 삽입하여 그 효과를 확인 한 결과, 기록용 특수지에서는 pH 및 물리적 강도가 증가하고 색차 값이 감소하여 그 효과가 확인되었고 도면용 특수지에도 역시 미미하지만 pH 및 물리적 강도가 증가하고 색차 값이 감소하였다. 각 특수지 사이에 중성지를 삽입하면 상호간의 영향을 감소시킬 수 있을 것이라 추정된다. 또한 특수지에 대한 탈산제의 영향을 파악하기 위한 실험 결과 탈산제의 영향으로 종이의 pH는 증가하였지만 물리적 강도의 저하가 발생하였으며 색차 값이 증가하여 탈산제가 기록물의 변·퇴색 및 휘발·탈색에 영향을 미칠 것으로 추정하였다.

본 연구를 통해 특수지의 보존특성을 파악하고 보존방법에 대한 개선 방안을 제안하고자 하였다. 연구 결과를 통해 특수지 기록물의 보존성 증대시키고 특수지 기록물 보존관련 업무의 체계화를 위한 가이드라인 작성 및 보존환경 관리를 위한 기초자료로 활용 할 수 있을 것이라 판단된다.

총괄연구개발과제 연구결과

제 1장 총괄연구개발과제의 최종 연구개발 목표

제 1절 총괄연구개발과제의 목표

1. 연구 배경

국가기록원에 소장 된 기록물은 1800년대 후반부터 현재까지 다양한 생산기관에서 오랜 기간에 걸쳐 수집되었다. 그 중 종이기록물로 분류된 기록물에는 문서, 도면, 간행물 등 다양한 형태의 기록물이 포함되어있다. 기록물에 사용된 재료 또한 생산된 시대와 기록방법에 따라 다양하게 나타난다. 특히 기록물에 사용된 종이는 시기별 종이의 수급 상황 변화와 제지기술 산업 및 인쇄·복사기술이 발전하면서 시기에 따라 단일 종이보다는 여러 종이가 혼용되어진 형태로 사용되었다. 기록용지로는 백상지, 중질지, 갱지 등의 일반용지 뿐만 아니라 감열지(팩스용지), 정전식복사지, 디아조복사지 등 복사를 위해 특수 제작된 종이가 사용되었고, 철도·건축물 등의 도면을 그리고 복사하기 위해 크로스지, 트레싱지, 청사진 등의 종이가 사용되었다.

기록 및 도면용으로 제작되어진 특수지 중 크로스지와 트레싱지는 원본도면을 그리기 위한 용도로 사용되었고, 감열지는 대부분 팩스의 송·수신용으로, 정전식복사지, 디아조복사지, 청사진은 기록의 사본을 제작하기 위해 사용된 복사용지이다. 이러한 특수지는 사용목적에 맞는 특수한 성질을 부여하기 위해 표면을 가공 처리하여 만들어진다. 특수지 제작에 사용되는 원지 및 표면 가공처리 물질은 특수지의 특성에 따라 다르며 여러 물질들이 혼합되어 사용되는 경우가 많다. 또한 같은 목적의 특수지라도 제조사나 사용 시기 등에 따라 다른 재료를 사용하기도 했기 때문에 각각의 특수지들이 가지는 물리적 특성이 다양하게 나타나게 된다.

국가기록원에는 기록물 상태검사를 통해 기록물의 재질 및 훼손 상태 등을 주기적으로 조사·관리한다. 이를 바탕으로 적절한 보존·복원 방법을 적용하여 기록물의 보존성을 향상시키고 향후에 있을 수 있는 기록물의 훼손을 방지하고 있다. 그 동안의 상태검사 결과를 검토한 결과 휘발·탈색된 기록물 중 감열지, 감광지 등의 특수지 사용 비율이 높은 것으로 나타나 특수지의 재질적 약화로 인해 훼손이 심화되고 있음을 추정할 수 있었다.

이러한 이유로 국가기록원에서는 재질적 차이 및 특수지 별 특성을 확인하고 기록물

의 재질 판별 및 제작방법, 재질별 보존특성을 파악하기위해 2019년도에 ‘특수지 기록물의 과학적 분석 및 보존성 진단 연구’에 대한 1차년도 연구를 진행하였다. 연구에 따르면 특수지는 표면가공처리에 사용되는 물질 및 재질에 따라 각각의 보존특성이 상이하며 상호간에 영향을 주어 보존성의 저하가 올 수 있어 각각의 보존특성에 따른 적절한 보존·복원방법의 연구 및 적용이 필요함을 주장하였다. 또한 일부 특수지에서 산성화된 종이를 알칼리화 시키기 위해 사용하는 탈산제가 기록의 휘발·탈색 및 보존성의 약화를 초래 할 수 있음을 확인하였다.

이제까지의 연구는 단순히 종이기록물의 보존성이라는 광범위한 주제 또는 개별 종이특성에 한정된 것 들이 대부분으로 특수지가 사용·보관되었을 때 상호간 어떠한 영향을 미치는 지에 대한 연구는 미미한 실정이다. 또한 탈산제가 백상지, 중질지, 갱지 등의 일반용지에 미치는 영향을 대한 연구는 있지만 특수지의 보존성에 미치는 영향에 대한 연구는 거의 없는 것이 현실이다.

그러므로 이번 연구에서는 특수지에 대한 국내·외 관련 분야 연구 및 관리현황을 조사하고 가속노화실험과 과학적 분석을 통해 특수지의 보존특성 및 그 영향을 파악하고자 하였다. 또한 연구 결과를 통해 기록물의 편철개선, 탈산 방법, 매체수록과 같은 보존방법에 대한 개선방안을 제안해보고자 한다.

2. 최종 연구 목표

연구의 최종 목표는 크게 특수지 보존특성 및 영향 파악과 보존방법 개선 방안 제안이다.

1. 각 특수지 별 특수지 보존특성 및 영향 확인을 하고자한다. 특수지 관련 관리현황을 파악하고 각 특수지 별 상호간 미치는 영향 파악하기 위한 실험을 진행하여 결과를 도출하고자 한다.

2. 보존특성 및 영향을 확인하고 이를 바탕으로 특수지 기록물의 보존방법 개선 방안 제안 하고자 한다. 이를 위해 국내·외 관련분야 연구 동향 및 규정 자료를 파악하였다. 또한 기존 사용하고 있는 탈산제가 특수지에 미치는 영향을 파악하고, 각 지종별 서로 영향을 줄일 수 있는 방법을 연구하여 편철개선, 탈산, 매체수록과 같은 보존방법에 대한 개선을 위한 기초 자료를 확보하고자 한다.

제 2절 총괄연구개발과제의 목표달성도

특수지 보존특성 및 영향 파악과 보존방법 개선 방안 제안하고자 지료 수집 및 현황을 파악하고 다양한 실험을 통해 결과분석을 분석하였으며 진행일정 및 목표달성도는 다음과 같다.

연구개발 추진 내용		월 별 연 구 추 진 계 획													
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	달성도
자료수집 및 현황파악	국내·외 문헌자료 수집	계획													100%
		완료													100%
	국내·외 관련 기관 현황조사	계획													100%
		완료													100%
실험 진행	예비실험 및 결과분석	계획													100%
		완료													100%
	보존성 평가	계획													100%
		완료													100%
	탈산제 영향 평가	계획													100%
		완료													100%
	보존방법 개선	계획													100%
		완료													100%
자문회의 및 관련학회참석*		계획													100%
		완료													100%
연구결과 정리 및 분석		계획													100%
		완료													100%
중간 및 완료보고서 제출		계획													100%
		완료													100%

* 코로나19로 상반기 참가예정 학회 취소 및 자문 회의 불가, 하반기 관련 학회 추가 참석 및 구두·서면을 통한 자문 활용

제 3절 국내·외 기술개발 현황

이제까지의 기록용 특수지에 관한연구는 종이 제지 시 필요한 원료 또는 다양한 첨가제에 대한 연구와 종이의 기본적인 물성 분석을 위주로 한 연구가 대부분이었다. 또한 현재 사용되는 감열지, 청사진, 트레싱지에 대한 연구는 있긴 하지만 디아조복사지나 정전식복사지, 크로스지 등 현재는 거의 사용이 되지 않고 있는 특수지에 대한 연구는 거의 수행되지 않았다. 이는 이들 종이가 현재에는 사용되지 않는 종이이기도 하지만 디아조복사지나 정전식복사지, 크로스지 등의 종이를 보존하고 있는 곳 또한 많지 않아 그 필요성이 많지 않았기 때문일 것이다.

연구대상으로 선정된 기록용 특수지의 경우 복사용지로 사용된 종이이다. 국내에서 사용 된 복사용지는 일본의 기술에 바탕을 두고 있는 경우가 대부분이다. 일본의 경우 개발 초기 기술 및 재료 등에 대한 연구는 많지만 그 이외의 보존적인 측면의 연구는 부족하다. 이는 복사용지로 사용된 특수지의 경우에는 대부분 영구 보존용 종이로 사용된 것이 아니기 때문일 것이라 생각되어진다. 또한 국내에서 복사용 특수지를 제작한 제지 회사에서 제작 방법이나 재료 등에 대한 자료는 가지고 있을 것이라 생각되지만 기술과 관련된 부분으로 자료를 제공 받기가 여의치 않은 게 현실이다.

도면용 특수지의 경우 유럽이나 미국에서는 개별 종이에 대한 연구가 활발하다. 특히 청사진은 제작시기별 구별 방법이나 재료 등이 이미 밝혀진 상태이고 보존·관리 방법 또한 정립이 된 상태이다. 크로스지에 대한 연구도 전반적인 제작시기 및 제작 방법 등에 대한 연구가 진행된 상태이지만 그 보존성에 대한 연구는 그리 많지 않다. 이는 크로스지가 일정시기에만 사용되다가 제지기술의 발달로 사용이 중단되어 더 이상의 생산되지 않을 뿐만 아니라 보존 중인 곳 또한 많지 않기 때문으로 생각된다.

결국 대부분의 특수지에 대한 그 동안의 연구는 제작 방법이나 사용재료에 대한 연구에 국한 되어있으며 이는 보존적 측면에서의 연구에 대한 필요성이 많지 않기 때문이라고 추측되어진다. 하지만 2019년 추진 한 본 연구의 1차년도 연구에서 각 특수지별 재질 분석 및 문헌을 통해 특수지에서 야기 될 수 있는 훼손 유형 및 보존성에 대한 문제를 제기 하였다.

이에 본 연구에서는 보존성에 문제가 제기되어진 기록 및 도면용 특수지에 대한 보존특성 및 상호간 영향 파악과 보존방법 개선 방안 제안을 위한 실험을 진행하였으며 이를 통해 기록물의 편철개선, 탈산의 방법, 매체수록과 같은 보존방법에 대한 개선방안을 제안하여 특수지 기록물의 보존성 증대시키고자 하였다. 또한 특수지 기록물 보존관련 업무의 체계화를 위한 가이드라인 작성 및 보존환경 관리를 위한 기초자료를 확보 할 수 있었다.

제 2장 총괄연구개발과제의 최종 연구개발 내용 및 방법

제 1절 연구내용

1. 연구 및 관리 현황

기 연구된 특수지 특성을 바탕으로 국내·외 기록물 관련 기관에서 수행하였던 연구 등을 조사하고 기관별 관리 규정 자료를 파악하였다. 또한 국가기록원 및 국내·외 기록물 관리기관에서 특수지를 어떻게 관리·보존하고 있는지에 대한 조사를 하였다. 이를 통해 특수지 관리를 위한 보존성 평가 및 가이드라인 작성을 위한 기초 자료로 삼고자하였다.

2. 보존성 평가

보존성 평가는 3가지 목표를 가지고 진행하였으며 이를 위해 기록 및 도면용 특수지 중 가속노화 및 파괴실험이 가능하며 그 당시의 종이와 비슷한 5종의 특수지(감열지, 정전식복사지, 청사진(감광지), 크로스지, 트레싱지)와 보존용 중성지를 연구대상으로 선정하여 가속노화실험을 하였다.

첫째, 각 특수지가 상호간 어떠한 영향을 미치는가에 대한 연구를 진행하였다. 특수지는 각각의 보존특성이 상이하여 상호간에 서로 영향을 미칠 수 있기 때문에 서로 중첩 되어 보관되었을 때 나타날 수 있는 훼손 양상이나 서로에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

둘째, 특수지 상호간 영향을 줄일 수 있는 방법에 대한 연구를 진행하였다. 특수지가 중첩 되어 보관될 시 산성물질의 전이나 강도 저하에 문제를 야기 할 수 있기 때문에 분리 보존하는 것이 바람직하나 이는 문서의 관리 및 보관 등에서 또 다른 문제를 가져 올수 있다. 이에 문서를 분리 보존하지 않고도 상호간의 영향을 줄일 수 있는 방법으로 특수지 사이에 중성의 간지를 삽입하여 그 차단 효과를 확인해 보고자 하였다.

셋째, 현재 사용 중인 탈산제가 특수지에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 기 연구된 연구 결과에서 특수지 중 일부에서 알칼리성 물질에 의해 훼손이 심화 될 수 있음이 확인되었다. 탈산제는 산성화된 종이를 알카리화시키기 위해 용제에 희석된 알칼리 물질을 기록물에 침투시킨다. 이때 사용되는 알칼리 물질이 특수지에 미치는 영향을 파악하여 탈산 시 있을지 모르는 추가 훼손을 방지하고자 하였다.

제 2절 연구방법

1. 연구 및 관리 현황

1.1. 연구 현황

국 내·외 관련 기관에서 특수지 및 기록물 보존 관련 선행 연구와 기관별 기록물 관리 지침 및 규정을 조사하여 특수지 기록물 관리 방법 제안을 위한 기초자료를 확보한다. 각 기관별 지침 및 규정은 기관 홈페이지에 게제 된 자료를 활용하였다.

1.2. 관리 현황

국가기록원 및 국내·외 기록물 관리기관에서 특수지를 어떻게 관리·보존하고 있는지에 대하여 조사한다. 국가기록원은 나라·역사·행정기록관의 서고에 기록물을 분산하여 보존·관리 하고 있다. 삼관 중 도면용 특수지를 보존하고 있는 역사기록관에 직접방문하여 관리현황을 조사하였다. 또한 나라기록관에서 서고에서 보존 중인 있는 도면 및 기록용 특수지의 관리 현황을 파악하였다.

국내 기록물관리기관의 경우 기관 방문을 통해 기록물 관리 시설을 확인 및 인터뷰를 계획하였으나 사회적 상황으로 인해 유선으로 비대면 인터뷰를 진행하였다. 인터뷰를 통해 특수지 기록물 관리 현황 및 시설, 보존처리 등의 현황을 조사하고 향후 관리를 위해 필요하거나 부족한 점 등에 대한 의견을 청취하였다.

국외 기록물관리기관의 경우 서면을 통해 기록물 관리 현황 및 시설, 보존처리 등의 현황을 조사하고 특수지 관련 규정의 유무 및 관련 정보의 공유방법 등에 대한 의견을 청취하였다.

2. 보존성 평가

2.1. 공시재료

2.1.1. 연구 대상

본 연구에서는 기록용지 3종, 도면용지 3종, 보존용지 1종을 공시재료로 사용하였다. 용도 및 지종별 분류는 Table 1과 같고 시료 명은 각 지종의 영문자 앞 철자로 표기하였다.

(Table 1. Sample list)

용도	지종	시료 명
기록용지	감열지	TH
	정전식복사지	E
	청사진	B
도면용지	크로스지	C
	트레싱지	T
	청사진	B
보존용지	중성지	A

2.1.2. 탈산제

기록원에서 기록물 탈산을 위해 사용 중인 불소계 화합물의 혼합액과 산화마그네슘(MgO)을 혼합하여 제조된 탈산제(농도 0.25~0.5 %, 입도 0.1~0.95 ㎛)를 사용하였다.

2.2. 실험 방법

2.2.1. 시편 제작

특수지 상호간의 영향성을 판단하기 위해 기록용지의 각 종류끼리, 도면용지의 각 종류끼리 중복되지 않도록 두 겹씩 중첩하였다. 습식열화를 위하여 시편의 좌우 테두리를 OHP필름으로 눌러 고정시켜 분리를 방지하였다. 광열화의 경우 중첩된 시료의 순서에 따라 윗면(TOP)과 아랫면(BOTTOM)의 열화차이가 발생하기 때문에 윗면과 아랫면을 바꾼 시편을 추가로 제작하였다.

특수지의 보존성 개선 평가를 판단하기 위해 위의 두 겹씩 중첩한 시편의 중간에 중성지를 간지로 넣어 세 겹으로 된 시편을 제작하였다. 습식열화를 위하여 시편의 좌우 테두리를 OHP필름으로 눌러 고정시켜 분리를 방지하였다. 광열화의 경우 중첩된 시료

의 순서에 따라 윗면(Top)과 아랫면(Bottom)의 열화차이가 발생하기 때문에 가장 윗면과 가장 아랫면을 바꾼 시편을 추가로 제작하였다.

탈산 후 특수지의 열화 특성 판단을 위해 각 시료를 재단 후 낱장으로 30초씩 완전히 수침시킨 후 실온 건조하였다. 건조된 시료의 과잉 탈산 분말을 붓으로 털어 제거하였다.

2.2.2. 특성 분석 방법

2.2.2.1. 평량

종이의 단위면적당 질량으로 KS M ISO 536에 따라 시료를 일정한 크기로 재단하여 저울로 무게를 측정한 후 아래와 같은 식으로 계산하였다.

$$g = \frac{m}{A} \times 10000$$

g : basis wight (g/m2)

m : wight of sample (g)

A : area of sample (cm2)

2.2.2.2. 두께

KS M ISO 534에 따라 Micrometer (Lorentzen & Wettre, Sweden)를 이용하여 지종별 시료 5매를 재단하여 시료 당 3회 측정한 후 평균값을 계산하였다.

(Fig. 1. Micrometer (Lorentzen & Wettre, Sweden).)

2.2.2.3. 색차

종이의 열화에 따른 시료의 색 변화를 확인하기 위하여 색차계(Konica Minolta, Japan)를 이용하여 CIE L*a*b* 색 공간에 따른 L* (lightness:명도), a* (redness:적색도), b* (yellowness:황색도) 값을 측정하고 다음의 식에 의하여 색차(ΔE*ab)를 구하였다.

$$\triangle E^{*}ab = \sqrt{(\triangle L^{*})^{2} + (\triangle a^{*})^{2} + (\triangle b^{*})^{2}}$$

(△L*=L1*-L2*, △a*=a1*-a2*, △b*=b1*-b2*)

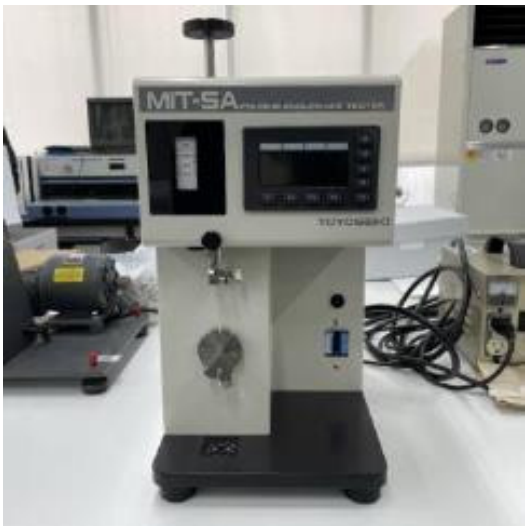
(Table 2. Evaluation standard according to ΔE)

ΔE	평가
0 ~ 0.5미만	색차가 미약
0.5 ~ 1.5 미만	근소한 정도
1.5 ~ 3.0 미만	눈에 띄는 정도
3.0 ~ 6.0 미만	감지할 정도
6.0 ~ 12.0 미만	많음

(Fig. 2. Color meter (Konica Minolta, Japan).)

2.2.2.4. 내절도

종이의 접힘 횟수를 통해 섬유 유연성과 강도를 측정하는 방법으로 KS M ISO 5626에 의거하여 내절도 측정기 (MIT-SA, Toyoseiki, Japan) 를 이용하여 지종 별 5회 시행 하였다. 내절도 값은 접힘 횟수에 상용로그를 취하여 계산하였다.



(Fig. 3. Folding strength tester (MIT-SA, Toyoseiki, Japan).)

2.2.2.5. 인장강도

인장강도는 종이를 정속 신장으로 잡아 당겼을 때 저항하는 응력을 의미하여 종이의 내구성을 나타내는 지표이다. KS M ISO 1924-2에 따라 인장강도기 (Tensile tester, Lorentzen & Wettre, Sweden)에 실험 조건을 설정하여 지종 별 5회씩 측정하였다.

본 연구에서는 평량과 인장강도 값을 활용하여 아래와 같은 식으로 인장지수를 계산한 뒤 분석하였다.

$$TI = \frac{T}{W}$$

TI : Tensile index (kN·m/kg)

T : Tensile strength (kN/m)

W : basis wight (g/m2)

(Fig. 4. Tensile tester (Lorentzen & Wettre, Sweden).)

2.2.2.6. 산성도 특정 (pH)

pH는 산성이나 알칼리성의 정도를 나타내는 수치이다. 지종별 열화 기간 및 조건에 따른 pH 변화를 분석하고자 측정하였다. KS M ISO 287에 따라 pH 측정기 (ORION STAR A211, Thermo scientific, USA) 와 일반전극을 이용하여 실험하였다. 0.2 g 의 시편을 1 ㎠ 이하로 조각내어 10ml 증류수로 추출하여 측정값을 비교 분석하였다.

(Fig. 5. pH meter (A211, Thermo Scientific, USA).)

2.2.3. 가속 열화 조건

2.2.3.1 습식열화

습식열화는 항온항습기(TH-ME/PE-025, JEIO TECH, Korea)를 이용하여 KS M ISO 5630-3에 의거해 온도 80℃, 65% RH 조건에서 열화를 시행하였다.

(Fig. 6. Humidity chamber (TH-ME/PE-025, JEIO TECH, Korea).)

2.2.3.2 광열화

광열화는 가속광열화기(Q-SUN ZE-2, Q-LAB CO., USA)를 사용하여 ISO 5630-7에 의거하여 UV 0.77 W/㎡ 340㎚, 60℃, 50% RH 조건에서 열화를 진행하였다.

(Fig. 7. Xenon test chamber (Q-SUN ZE-2, Q-LAB CO., USA).)

2.2.3.3. 실험 별 가속열화시간

(Table 3. Aging time by experiment)

실험 구분	가속열화시간	
	습식열화	광열화
종이 상호간 영향 평가	168, 336	24, 48, 72
탈산 영향 평가	168, 336	24, 48, 72
보존방법 개선	336	72

제 3장 총괄연구개발과제의 최종 연구개발 결과

제 1절 연구 및 관리현황

1. 연구 현황

국외 기록물 관리기관의 문서 및 도면 관련 연구에 대한 주요 조사 결과는 다음과 같다.

(Table 4. The result of main research)

국가	기관명	주제 및 내용
캐나다	CCI (Canadian Conservation Institute)	주제 : The Stability of Photocopied and Lase-printed Documents and Images : General Guidelines[1)] 내용 - 복사와 레이져 프린트 된 문서와 이미지의 안정성 및 보존에 관한 연구 - 종이의 영구성 및 영구 복사용지의 제작 조건 제시 - 토너 사용하여 제작한 이미지 유지력 테스트 방법 제시 - 복사된 문서의 취급 및 보존 방법 제시
미국	NEDCC (Northeast Document Conservation Center)	주제 : Storage Solutions for Oversized Paper Artifacts[2)] 내용 - 지도, 포스터 등의 사이즈가 큰 종이 소장품을 보존하기 위한 방법을 제시 - 크기 및 목적별로 사용가능 한 보관용 케이스와 서가에 대한 재질 및 형태 등에 대한 정보 정공 - 잘라져 분리되어 보관되어지고 있는 소장품의 향후 보존 처리 방향에 대한 문제 제기
		주제 : Storage Enclosures for Book and Artifacts on Paper[3)] 내용 - 종이로 된 소장품의 보관함의 조건 제시 - 화학적 안정성, 알카리화, pH, 유해물질흡착체, 내구성 등 보관함 사용 시 고려되어야 하는 조건 제시

	PSAP (Preservation Self-Assessment Program / University of Illinois)	주제 : Office Printing and Reprography[4] 내용 - 초기부터 현재에 이르기까지의 프린트와 복사기술에 대한 예시 및 상세 설명을 종류 별로 사진과 함께 제시 - 프린트와 복사 기술(잉크복사. 건조잉크복사, 사진복사, 전자식복사 등)에 따라 시기별로 구분 - 비슷한 명칭의 문서, 사용시기, 지지체의 종류 및색, 글씨(이미지)색, 사용잉크, 쇠퇴이유, 위험요소, 제작 과정, 역사 등에 대해 설명 - 보관환경, 보관함(문서고), 전시환경 등에 보존적 측면에서의 관리 방법 제시
		주제 : Architectural Drawing Reproduction[5] 내용 - 건축도면 중 사진-복사기술, 사진제판기술로 제작된 도면에 대한 예시 및 상세 설명 - 사진복사기술과 사진제판기술 변화를 연대순으로 정리 - 종류 별 사진과 함께 설명 - 비슷한 명칭의 도면, 사용 시기, 지지체의 종류 및 색, 글씨(이미지)색, 사용잉크, 쇠퇴이유, 위험요소, 제작 과정, 역사 등에 대해 설명 - 보관환경, 보관함(문서고), 전시환경 등에 보존적 측면에서의 관리 방법 제시
영국	Quakers Library	주제 : Preservation and storage of records and archives[6] 내용 - 기록물과 아카이브에 대한 보존 및 보관 환경에 대한 지침 - 종이를 열화 시킬 수 있는 환경요인과 이상적인 서고 환경 제시 - 기록물을 안정적으로 보존 할 수 있는 재료 및 보관함 조건 제시

네덜란드	Amsterdam City Archives	주제 : A Survey of material deterioration of office copies[7)] 내용 : - 아카이브에 소장중인 복사용지의 손상요인 파악 및 보존처리 방향 결정을 위한 연구 - 복사용지의 역사, 손상유형, 보존현황, 종류 파악 - 아카이브에 있는 19~20세기 종이의 종류와 제작재료, 특성 조사 - 종이와 잉크를 안정성에 대한 화학적 분석 연구 - 복사용지와 다른 일반용지를 같은 보존 방법으로 보존 가능 한가에 대한 연구 - 같은 방식으로 제작된 도면을 보존하는데 사용가능한 보존 방법 연구 - 연구 결과를 바탕으로 보존처리 방향 제시
호주	NAA (National Archives of Australia)	주제 : Managing records on thermal papers[8)] 내용 - 생산 시기 별 감열지의 특성 설명 - 감열지 보존의 문제점과 보존 시 필요사항, 보존 기간에 따른 보존방법 제시
		주제 : Preserving electrostatic copies(photocopies and lase prints)[9)] 내용 - 전자식복사지의 종류와 특성 설명 - 토너에 의한 이미지 유지력의 변화 및 보존 방법 제시
		주제 : Preserving maps and plans[10)] 내용 : 도면 등에 대한 취급 및 보존방법제시
ICA-SAR (International council on Archives / Section on Architectural Records)		주제 : A Guide to the archival care of architectural records[11)] 내용 : 건축 아카이브의 종류와 범위, 정리 및 조사 방법, 보존 환경과 보관용기, 서고, 보존 처리 방법 등 전반적인 방법을 제시

2. 기록원 및 국내·외 기관 관리 현황

국가기록원 및 국내·외 기록물 관리기관에서 특수지를 어떻게 관리·보존하고 있는지에 대하여 조사하였다.

국가기록원의 나라·역사·행정기록관 3관의 소장 기록물은 18년말 기준 524만권으로 그 중 특수지가 포함된 기록물은 약4만권(약 17%)이었으며, 주로 1960~70년대 생산 기록물(약 64%)이었다. 문서들은 문서 별로 수십장에서 수백장씩 한 번에 편철 되어 있었으며 철의 두께에 따라 보존용 박스에 하나 혹은 여러 개가 넣어져 보관되어 있었다. 편철 시 재질을 분류 하지 않고 탈산시에도 특수지 등을 분류하여 처리하지는 않고 있다. 일부 문서 중에는 도면이 포함된 것들이 있으며 문서 크기에 맞게 접혀진 도면들은 따로 분리하지 않고 문서와 같이 편철되어 있다.

도면류는 나라기록관 역사기록관에 분산되어 보관되고 있다. 역사기록관에 보관된 도면류는 대부분 백상지에 그려진 도면으로 보존상자나 폴더에 편철되어 도면용 서가에 보존중이었다. 일부 보존 상자는 철제를 종이로 감싸 보강하여 제작한 특수 상자였으며 성분 조사결과 사용된 철제는 알루미늄으로 확인되었다. 도면 역시 여러 관리번호의 도면을 하나의 보존 상자나 폴더에 상적하여 보관하고 있었으며 많은 양의 도면 상적되어 있어서 무게로 인해 컨트롤이 힘들고 박스 아래쪽 기록물을 보기위해서는 위쪽 기록물을 들어내야 하기 때문에 2차 손상 위험이 있었다. 복원처리 후 철별로 폴더를 제작하여 기 사용하던 박스에 넣을 시 기록물이 두꺼워져 뚜껑이 덮이지 않는 경우도 있었다. 또한 복원처리 된 도면 중에는 한장씩 폴더를 제작하여 보관하기도 하는데 이는 기록물은 안정적이나 보관할 수 있으나 많은 서고 공간을 차지하는 문제점을 야기 시킬 수 있었다. 나라기록관에 있는 도면의 대부분 크로스지, 트레싱지, 청사진 등의 특수재질 도면이다. 평탄화 및 복원이 완료된 도면은 폴더 또는 보존 상자에 넣어 도면 서가에 보관 중이었다. 평탄화 되지 않은 도면은 보존 용기에 담겨 일반 문

---

1) https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/conservation-preservation-publications/technical-bulletins.html
2) https://www.nedcc.org/free-resources/preservation-leaflets/4.-storage-and-handling/4.9-storage-solutions-for-oversized-paper-artifacts
3) https://www.nedcc.org/free-resources/preservation-leaflets/4.-storage-and-handling/4.4-storage-enclosures-for-books-and-artifacts-on-paper
4) https://psap.library.illinois.edu/collection-id-guide/officeprintcopy
5) https://psap.library.illinois.edu/collection-id-guide/archdrawingrepro
6) https://quaker-prod.s3-eu-west-1.amazonaws.com/store/c173996dca8348c59be1ecb9b207fa29a265aef8ed7ddfe667621f83d7e4
7) https://www.academia.edu/38108566/A_survey_of_the_material_deterioration_of_office_copies_research_report
8) ttps://www.naa.gov.au/information-management/store-and-preserve-information/preserving-information/managing-records-thermal-papers
9) https://www.naa.gov.au/information-management/store-and-preserve-information/preserving-information/preserving-electrostatic-copies-photocopies-and-laser-prints
10) https://www.naa.gov.au/information-management/store-and-preserve-information/preserving-information/preserving-maps-and-plans
11) https://www.ica.org/en/guide-archival-care-architectural-records-19th-20th-centuries

서고에 보관 되어 있기도 하였다. 나라기록관에 보관 중인 도면의 경우 철에 구성된 도면의 크기나 재질에 상관없이 한 관리번호 당 하나의 폴더를 사용하여 보관되어있었다.

국내·외 기록물 관리기관에서 특수지를 어떻게 관리·보존하고 있는지에 대하여 조사하였다. 조사 시 여러 기관에서 관리 현황을 공개적으로 밝히는 것을 원하지 않아 부득이하게 알파벳으로 기관을 명명하여 연구 결과를 밝히고자 한다.

국내기관에 대한 주요 조사 결과이다.

A기관의의 경우 기록물의 환경을 관리할 수 있는 수장고와 도면전용 서가 등이 잘 구비되어 있었다. 특수지 도면을 여러 장 소장하고 있었지만 인력 및 처리 공간 등이 부족하고 처리 방법을 몰라 평탄화나 편철 등은 하지 못하고 있었으며 문서에 있는 도면은 어떻게 관리해야 하는지에 대한 기준이 명확히 없어 관리에 어려움이 있다고 하였다.

B기관의 경우 대량의 문서와 적은 양의 도면을 가지고 있었다. 도면의 경우 평탄화는 되어 있었으며 대형 보존 상자를 만들어 보관하고 있었다. 관리번호 순으로 수 십 장의 도면이 대형 보존 상자에 보관되어 있어 열람이나 기록물 이동시 핸들링에 어려움이 격고 있었다. 문서의 경우 특수지의 존재 여부를 파악하고 있지는 않았다.

C와 D기관의 경우 보존처리 전문 인력이 있어 기록물의 보존처리 및 환경관리 등을 하고 있었다. 대부분 고문서를 보존처리하는 방식을 기본으로 하여 보존처리를 하고 있었으며 기록물의 보존·복원처리에 대한 새로운 기술이나 재료등에 관심을 가지고는 있지만 사용 재료나 제작 방식 등에 대한 특별한 연구를 진행 하고 있지는 않았다. 보존 처리 인력이 있긴 하지만 그 수가 적어 전반적인 기록물의 보존 관리를 하기에는 어려움이 있다고 하였다.

E기관의 경우 문서에 사용된 특수지가 사용된 것은 알고 있었으며 기록관리 공공표준[12]에 몇몇 특수지에 대해 명시되어 있어서 확인 가능하지만 기록물의 형태 대한 이미지 등의 예시가 없어서 구분이 쉽지 않다고 하였다.

국외기관에 대한 주요 조사 결과이다.

F기관은 지역 아카이브로 보존처리 전문 인력이나 연구 인력이 있지는 않았다. 그렇기 때문에 별도의 가이드라인을 가지고 있지는 않았지만 국립이나 주립 아카이브에서 제공해주는 가이드라인 바탕으로 기록물을 관리하고 있었다. 또한 필요 시 타 기관과 협력하여 연구를 진행하거나 공공 아카이브의 컨설팅을 통해 보존처리를 진행 하고 있었다.

G기관은 전문 연구 인력이 있는 공공아카이브기관이었다. 보존처리 및 기록물 관리

12) NAK 12:2018(V3.00 기록매체 요건 및 관리기준

시 발견되는 문제를 해결 하기 위해 꾸준한 연구를 바탕으로 가이드 라인을 만들어 배포하고 민간 및 규무가 크지 않은 지역아카브 등에 컨설팅을 제공 하고 있었다. 또한 현재 아카이브에 소장된 기록물에 사용 된 재질 분석으로 통해 데이터베이스를 구축하고 있었으며 이를 통해 특성에 맞는 보존·복원처리를 하기위한 방법을 연구 중에 있었다.

H기관은 건축전문 아카이브였으며 다양한 유형의 건축아카이브가 소장되어있었다. 이 기관의 경우 보존·기록·과학자가 한 팀을 이루어 다양한 기록물의 보존·복원을 위해 협력하고 있었다. 보존 처리를 위한 재료 개발 및 보관상자 제작, 편철 방법 등에 대해 서로 의견을 구하고 각 기록물 유형에 최적화된 보존방법을 찾기 위해 노력 하고 있었다.

제 2절 보존성 평가

선정된 공시재료의 실험 및 결과 분석 결과를 아래 Table 5와 같이 표기하였다. 지종 별 시료 명은 각 지종의 영문자 앞 철자로 표기하였고 청사진의 경우 반응이 일어난 부분을 Bs로 반응이 일어나지 않은 부분을 Bd로 구분하였다. 또한 지종 별로 시료 번호를 부여하여 실험 및 결과를 정리하였다. 그래프 작성 시 지종 별 구분 및 시인성을 확보하기 위하여 시료 별 열화 전·후 값에 대하여 고유 색상을 지정하여 표시하였다. 또한 실험에 사용된 광열화기의 경우 광원의 위치가 고정되어 있기 때문에 빛에 노출되는 면을 TOP, 비노출면을 BOTTOM으로 나눠 실험을 진행하였다.

(Table 5. Expression distribution of samples)

용도	지종	시료 명	시료 번호	시료 색상	
				열화 전	열화 후
기록용지	감열지	TH	1		
	정전식복사지	E	2		
	청사진	B	3	Bs / Bd	Bs / Bd
도면용지	크로스지	C	4		
	트레싱지	T	5		
	청사진	B	3	Bs / Bd	Bs / Bd
보존용지	중성지	A	6		

1. 종이별 기초 물성 분석

선정된 공시재료의 물리적, 화학적, 광학적 특성을 분석하여 열화 기간, 방법에 따른 변화를 비교하기 위한 기준 값으로 활용하였다.

1.1.. 물리적 특성

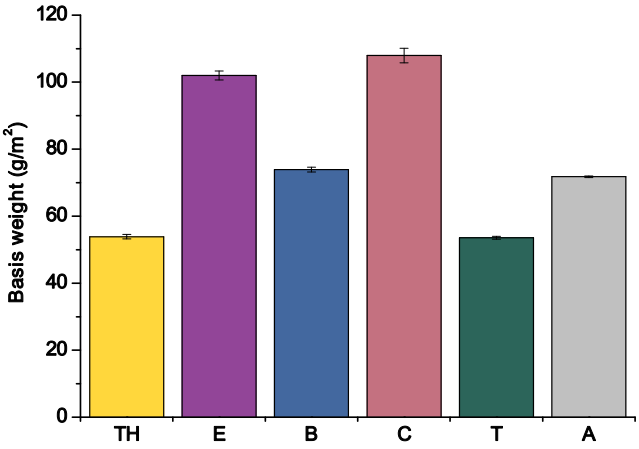
1.1.1. 평량 및 두께

본 연구에서는 기록용지 3종과 도면용지 3종을 선정하였고 각 재질별 평량과 두께를 측정하였다.

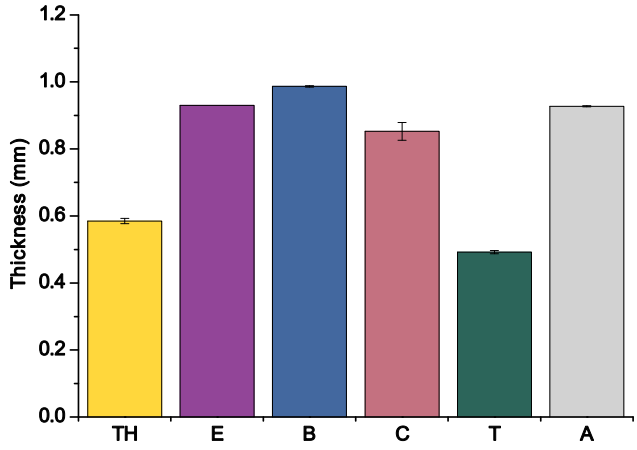
평량은 53.5~107.9g/m2 범위로 나타났으며, C가 평량이 가장 높고 T가 가장 낮은 것으로 나타났다. C의 경우 직조된 면이나 마 위에 전분, 카오린 등의 물질과 표면 사이징제를 고착시켜 만든 종이로 다른 재질에 비해 평량이 높은 편이다. T의 경우 화학펄프를 매우 고운 형태로 고해하여 얇고 투명하게 제작한 종이로 평량이 가장 낮다.

두께는 0.5~1mm 범위 내에 분포해있으며 B가 가장 두껍고 T가 가장 얇은 것으로 나타났다. B는 빛에 반응하는 감광물질이 종이 외부에 도포되어 있고 T의 경우 원본 도면을 옮겨 그리기 위해 투명하게 제작된 종이로 사용 용도에 따라서 두께 차이가 있다.

(a)



(b)

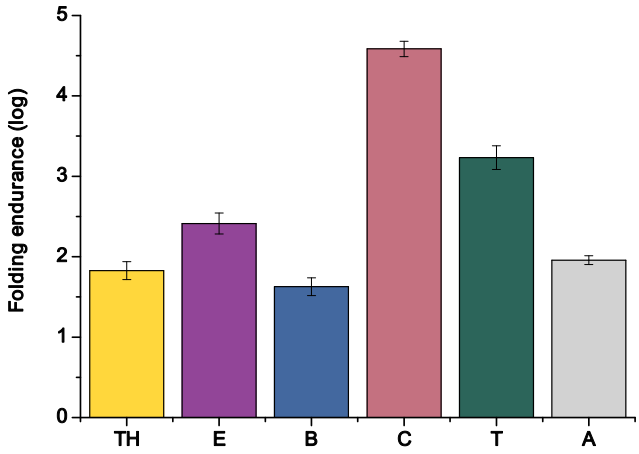


(Fig. 8. Physical properties of samples
(a) Basis weight (b) Thickness.)

1.1.2. 내절도

내절도는 펄프의 배합과 수종에 따라 영향을 받는 특성으로 값이 높을수록 내절강도가 높다. 열화를 평가하는 기준으로 활용 가능하기 때문에 각 시료의 고유 값이 필요하다. 본 연구에서는 접힘 횟수를 상용로그로 계산하여 비교 분석하였다.

내절도는 1.6~4.6의 범위 내에 분포하고 있으며 C가 내절도가 가장 높고 B가 가장 낮다. C는 직조된 종이로 일반 펄프로 제작된 시료보다 큰 내절도를 갖는다. 동일한 조건에서 재질별 시료의 내절도를 비교 분석한 결과이며 필요시 C의 경우 직물 내절강도 측정법을 활용하여 추가적인 측정이 필요할 것으로 사료된다.

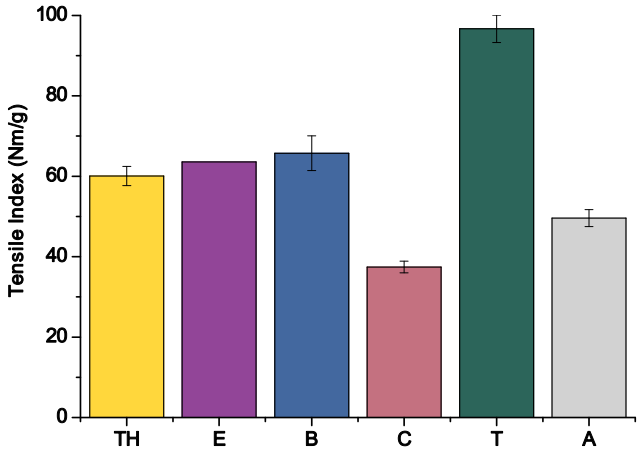


(Fig. 9. Folding endurance of samples.)

1.2.3 인장강도

인장강도는 종이의 내구성과 섬유 배향성, 충전제의 유무에 따라 영향을 받는 특성으로 값이 높을수록 인장강도가 높다. 본 연구에서는 각 재질별 평량으로 보정된 인장지수 결과를 활용하여 비교 분석하였다.

재질별 인장지수의 범위는 37.4~96.7Nm/g이며 T가 가장 높고 C가 가장 낮은 것으로 나타났다. T는 펄프를 매우 고운 상태로 고해하여 제작하는 종이로 고해가 지속되면 단섬유화 및 미세섬유가 생성된다. 미세섬유는 섬유 사이를 연결하는 역할을 하기 때문에 높은 인장강도를 갖는 것으로 판단된다.



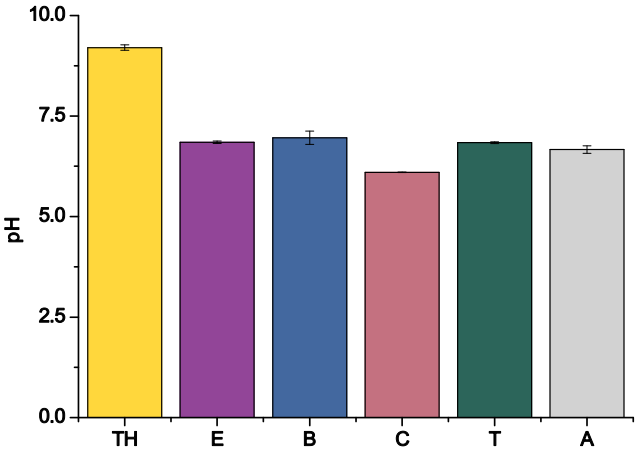
(Fig. 10. Tensile index of samples.)

1.2. 화학적 특성

1.2.1. 산성도 측정(pH)

종이의 안정성을 나타내는 인자로 산성도를 활용하는 경우가 많다. 종이가 열화 시 발생되는 산 분해산물들로 종이의 산도가 증가한다. 따라서 pH의 변화는 종이의 열화 정도를 알 수 있는 민감한 척도로 본 연구에서 열화 정도를 비교하기 위하여 시료의 고유 값이 요구된다.

본 연구에서 시료의 pH는 6.1~9.2 범위 내에 존재하며 TH가 가장 pH가 높고 C가 가장 낮은 것으로 나타났다. TH를 제외한 5종의 종이는 pH 6~7 사이에 분포하고 있으며 약산성을 띠고 있다. TH의 경우 표면 백색도를 향상시키기 위해 다량의 탄산칼슘이 충전되어 있기 때문에 상대적으로 높은 pH를 보인다.



(Fig. 11. pH of samples.)

1.3. 광학적 특성

1.3.1. 색차(ΔE)

CIE Lab에 의거하여 측정한 각 지종의 L*, a*, b*값이다. L*은 명도를 의미하여 0~100까지 표현가능하고 0에 가까울수록 어둡고 100에 가까울수록 밝다. a*, b*는 0을 흰색으로 상정하고 +a*는 빨강, -a*는 초록을 나타내며, +b*는 노랑, -b*는 파랑을 의미한다. 육안으로 관찰 시 TH, A는 흰색이며, E는 미색, Bs는 하늘색, Bd는 파랑색, C는 옅은 하늘색으로 판단되며 T는 투명한 하얀색이다.

Table 6. L^*, a^*, b^* value of samples

	L^*	a^*	b^*
TH	95.14	1.18	-0.17
E	87.91	-0.64	4.50
Bs	77.86	-11.64	-17.48
Bd	48.78	-11.60	-28.31
C	83.97	-3.75	-5.16
T	95.32	0.12	4.85
A	96.55	0.09	3.80

2. 종이 상호간 영향 평가

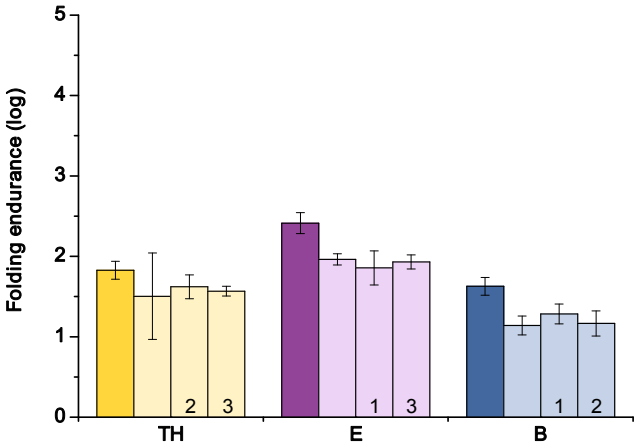
2.1. 습식열화

2.1.1. 기계적 강도

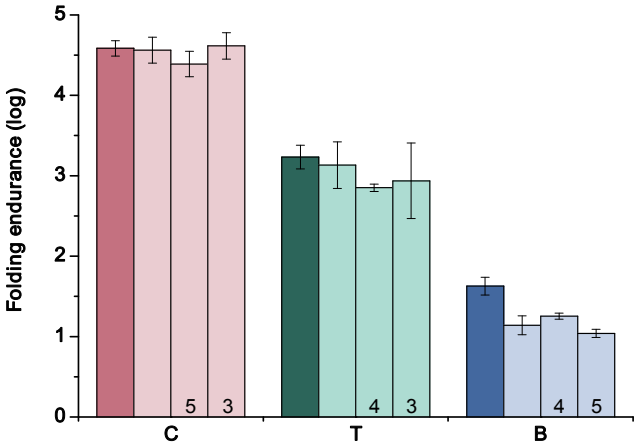
특수지의 열화 특성과 재질별 상호작용을 확인하기 위해 홑겹 시료와 중첩 시료를 제작하여 습식열화를 14일간 진행하였다. Fig. 12은 기준 값 대비 습식열화 된 홑겹 시료, 중첩 시료의 내절도를 비교한 그래프이고 Fig. 13는 인장강도 그래프이다.

기록용지는 열화 된 시료 대부분에서 내절도와 인장강도가 감소하였다. 반면 도면용지 중 C는 열화가 진행됨에 따라 기계적 강도의 변화가 없거나 소폭 증가하는 경우가 있다. 이는 C 표면의 광택제에 열이 가해져 상대적으로 기계적 강도가 증가한 것으로 판단된다. 기계적 강도 측면에서 홑겹 시료와 중첩 시료 사이의 뚜렷한 차이를 확인할 수 없었고 오차범위 내에 결과 값을 포함한다.

(a)

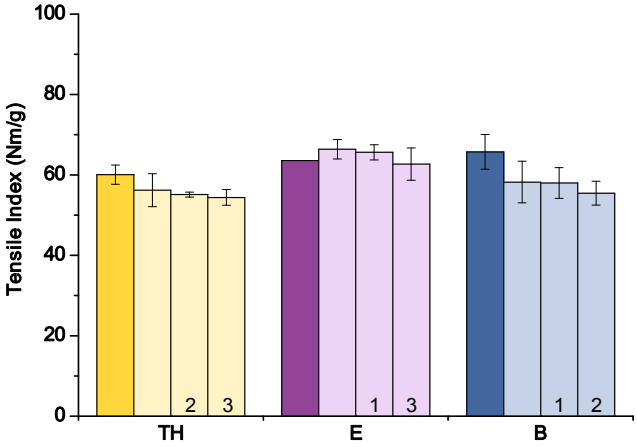


(b)

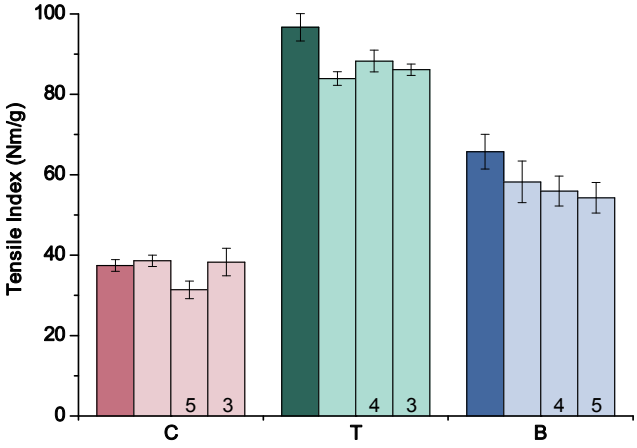


(Fig. 12. Comparison of Folding endurance by wet aging (a) Writing paper (b) drafting paper.)

(a)



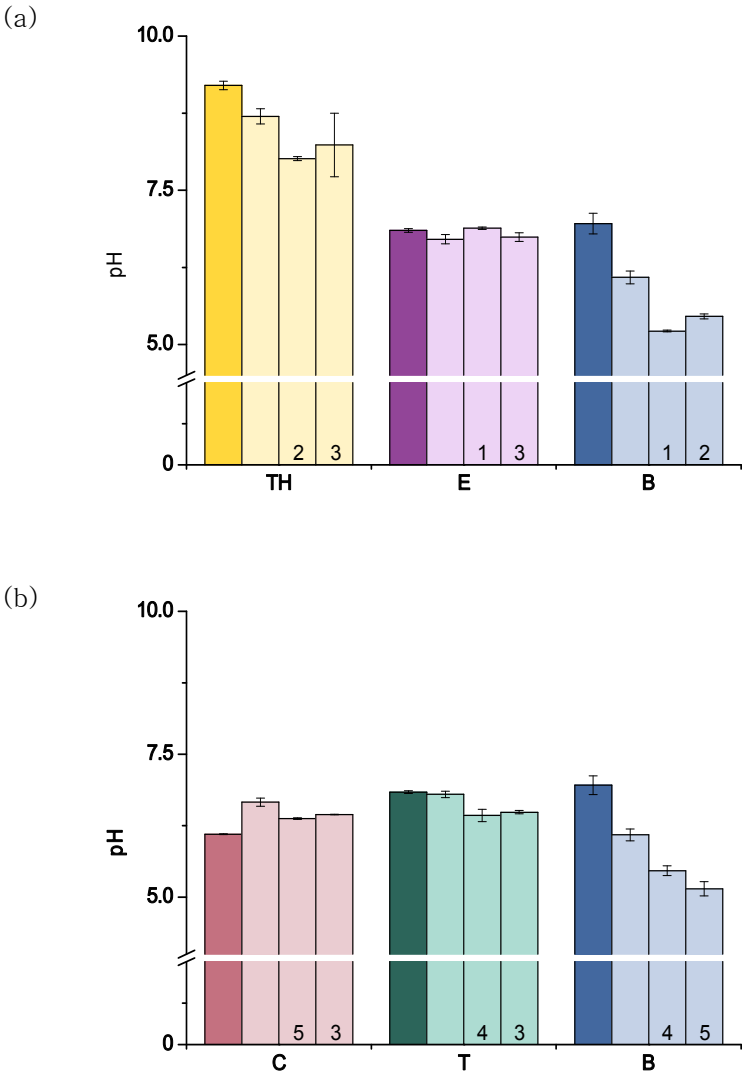
(b)



(Fig. 13. Comparison of Tensile index by wet aging
(a) Writing paper (b) drafting paper.)

2.1.2. 산성도 측정(pH)

열화가 진행됨에 따라 셀룰로오스의 분해로 pH가 감소하는 경향을 보인다. Fig. 14은 기록용지와 도면용지의 pH의 결과로 습식열화 시 pH의 변화와 홑겹과 중첩 시료의 pH 값을 비교 분석한 그래프이다. 습식열화 시 pH는 기록용지인 TH와 B에서 뚜렷한 감소를 보였다. B는 중첩 시료에서 pH 5.2까지 감소되었고 다른 재질의 특수지와 비교하였을 때 pH 감소폭이 가장 큰 것으로 나타났다. 대부분 시료에서 감소하였으나 기록용지 E와 도면용지 C는 변화가 미미하거나 소폭 증가하는 것으로 나타났다. 특히 C는 기준값인 pH 6.1에서 습식열화 후 홑겹 시료에서 pH가 6.6으로 증가하였다. C의 경우 다른 특수지와 다르게 직물로 제작된 종이로 충전제, 표면 사이징 등 첨가물에 의한 영향이 있는 것으로 사료된다.

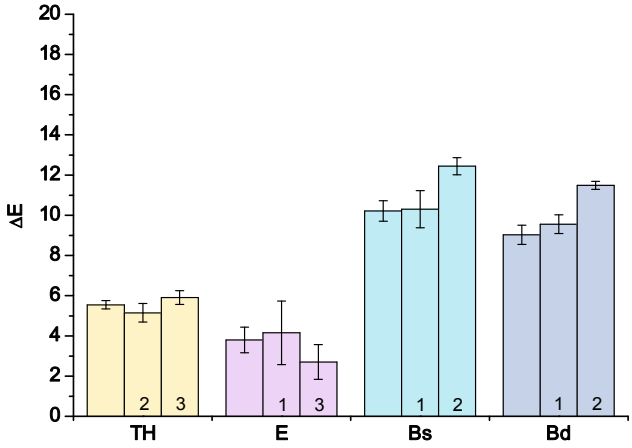


(Fig. 14. Comparison of pH by wet aging
(a) Writing paper (b) drafting paper.)

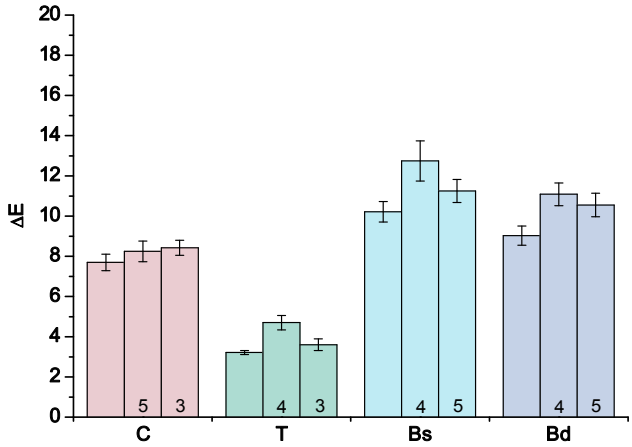
2.1.3. 색차(ΔE)

습식열화 시 수분에 장시간 노출되어 종이 표면의 색이 변화할 것으로 예상하였고 모든 시료에서 ΔE값 2 이상으로 눈에 띄는 색차 값 변화를 보였다. Fig. 15는 습식열화 시 홑겹 시료와 중첩 시료의 ΔE 비교 그래프이다. 습식열화 시 기록용지의 경우 B는 TH보다 E와 중첩된 경우 색차값이 더 높게 나타났다. 도면용지의 경우 B는 T보다 C와 중첩되어 있을 때 색변화가 더 컸다.

(a)



(b)



(Fig. 15. Comparison of ΔE by wet aging
(a) Writing paper (b) drafting paper.)

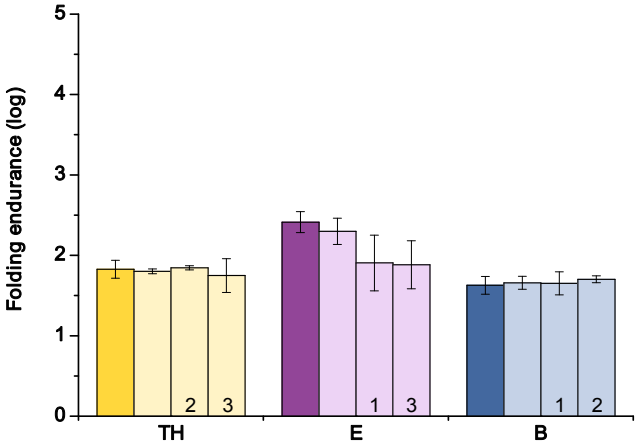
2.2. 광열화

2.2.1 기계적 강도

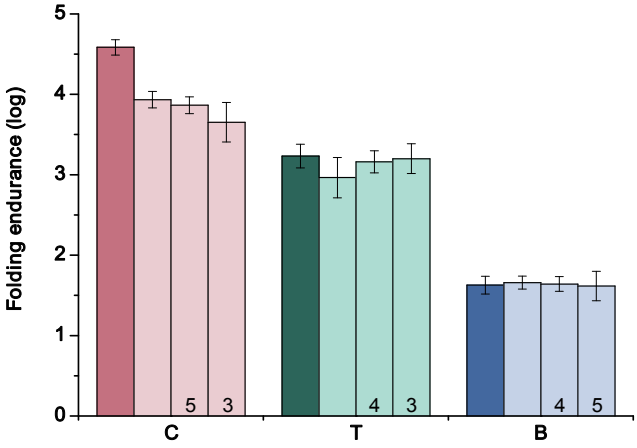
본 연구에서는 340nm 파장의 자외선을 시료에 72시간동안 노출시켜 광열화를 진행하였다. 광열화도 습식열화와 동일하게 홑겹과 중첩 시료를 제작하였다. Fig. 16는 기준 값 대비 광열화 된 홑겹 시료, 중첩 시료의 내절도를 비교한 그래프이고 Fig. 17은 인장강도 그래프이다. 습식열화와 달리 기록용지 중 TH와 B의 기계적 강도는 거의 변화가 미미하였고 E의 경우 중첩된 시료에서 더 큰 감소를 보이나 본 연구에 사용된 E의 제작시기가 상이하여 기계적 강도의 재현성이 매우 낮다. 도면용지의 경우 기준 값과 비교하였을 때 열화 된 시료에서 기계적 강도가 감소한다. 반면에 T는 다른 시료와 달리 중첩 시료가 홑겹 시료보다 상대적으로 높은 기계적 강도를 갖는다.

빛에 의한 열화 시 종이의 기계적 강도에 대한 영향은 비교적 적지만 종이의 색상이나 기록 등의 변·탈색에 큰 영향을 끼치는 것을 확인할 수 있었다.

(a)

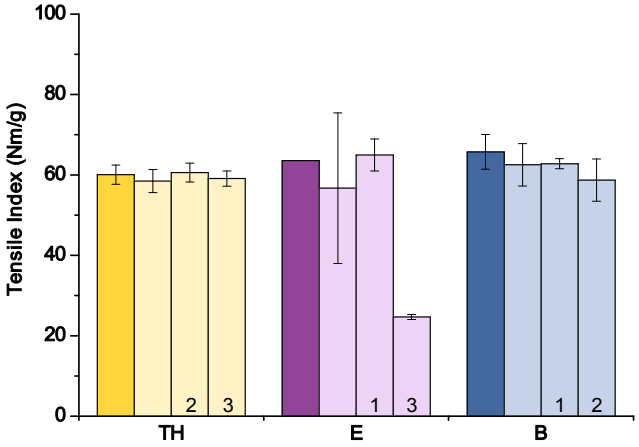


(b)

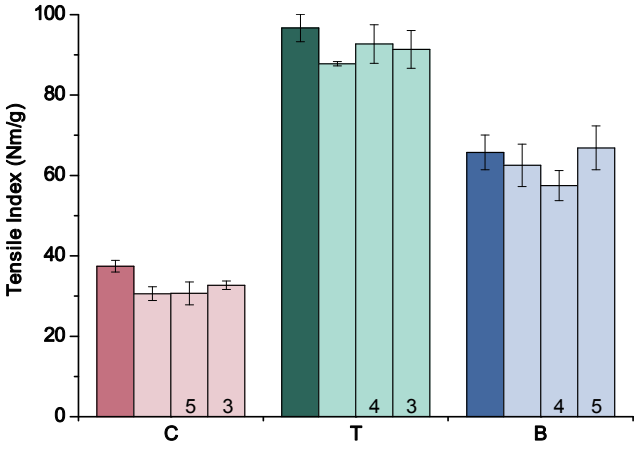


(Fig. 16. Comparison of Folding endurance by UV aging
(a) Writing paper (b) drafting paper.)

(a)



(b)



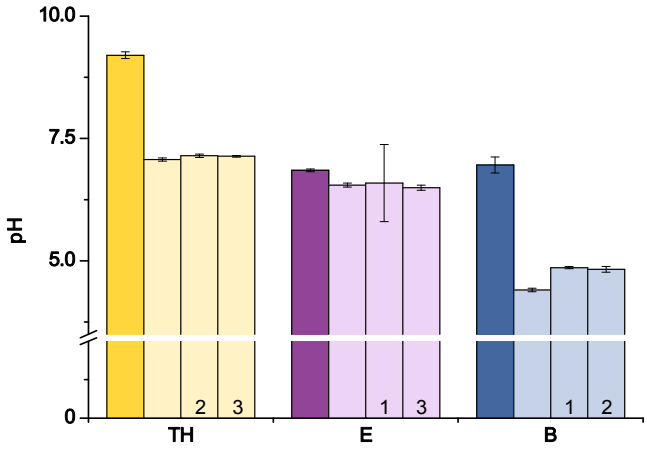
(Fig. 17. Comparison of Tensile index by UV aging
(a) Writing paper (b) drafting paper.)

2.2.2. 산성도 측정(pH)

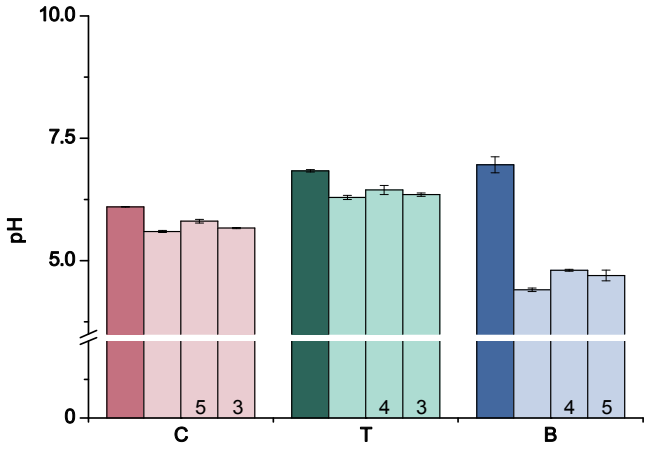
광열화 시 pH의 변화는 습식열화에 비해 뚜렷한 감소를 보인다. 특히 기록용지 중 TH와 B에서 큰 폭으로 감소하였다. 기록용지의 경우 TH는 pH 9.2에서 7.1로 감소하였고 빛에 노출되었을 때 표면의 색 변화가 크고 TH 내 잉크가 휘발되는 현상이 발생하였다. B의 경우 pH가 7.0에서 4.4로 약 2.6 감소하고 표면의 색이 빛에 의해 바래는 현상을 보였다. 재질 표면의 색 변화와 산도 증가의 상관관계에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다. 도면용지인 C, T는 광열화 시 pH가 각각 0.5, 0.6 정도 감소하였다.

광열화 된 대부분의 시료에서 다른 시료와 중첩하였을 때와 홑겹으로 열화하였을때 pH 감소 차이는 미미하였으나 기록용지와 도면용지의 B는 홑겹으로 열화하였을때 더 큰 감소를 보였다.

(a)



(b)

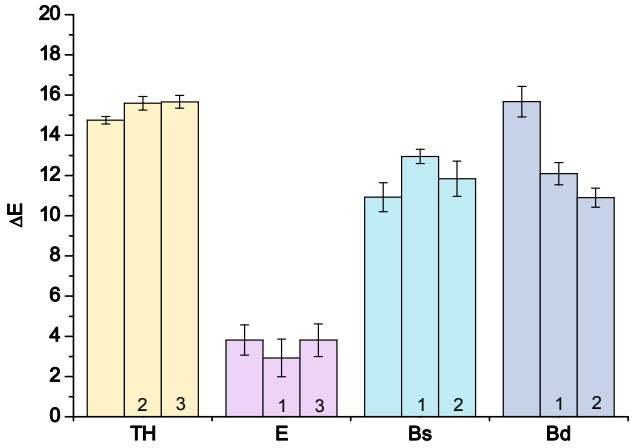


(Fig. 18. Comparison of pH by UV aging
(a) Writing paper (b) drafting paper.)

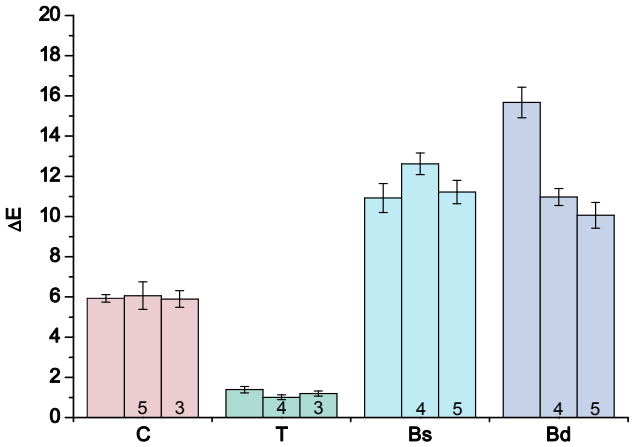
2.2.3. 색차(ΔE)

광열화 시 기록용지와 도면용지 모두 홑겹시료와 이중첩의 TOP에 위치한 시료의 색차값 차이는 미미하였으며 BOTTOM에 위치한 시료는 색차 값이 홑겹보다 적게 나타났다. 이는 중첩으로 인해 빛이 차단되어 나타나는 차이로 판단된다. 기록용지에서 TH는 B와 E사이에 거의 차이가 없었지만 B는 E보다 TH와 중첩된 경우 약간 더 큰 색차값을 보였다. 도면용지에서 T는 홑겹 시료와 중첩 시료 모두 열화 시 위치에 상관없이 의미있는 차이를 보이지 않았다. 이는 T가 빛에 대한 안정성이 비교적 높은 것으로 판단된다.

(a)



(b)



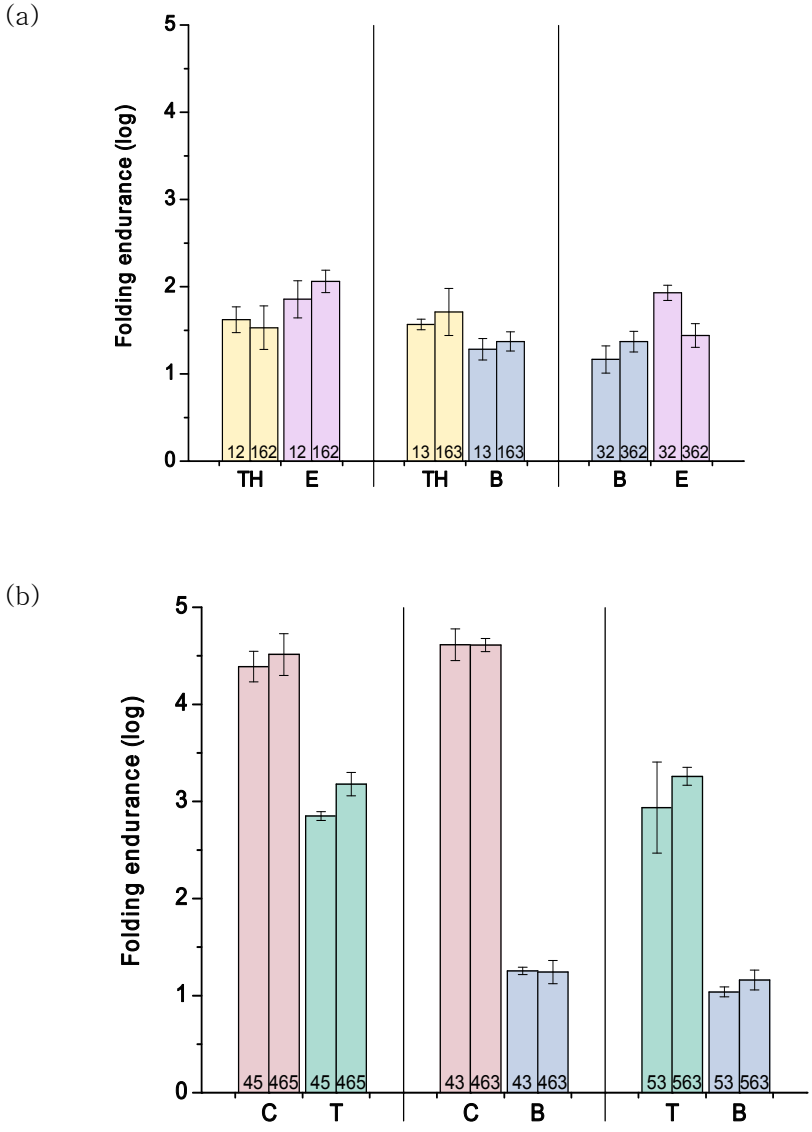
(Fig. 19. Comparison of ΔE by UV aging
(a) Writing paper (b) drafting paper.)

3. 보존 방법 개선 평가

3.1. 습식열화

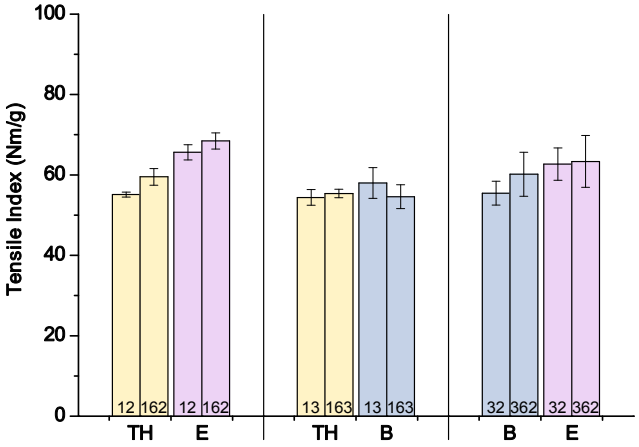
3.1.1. 기계적 강도

편철 시 보존 방법을 개선하기 위하여 특수지 사이에 중성지를 삽입하여 그 효과를 확인하였다. Fig. 20, 21은 습식열화 시 중성지 삽입에 따른 내절도와 인장강도를 비교 분석한 결과이다. 기록용지의 경우 중성지를 삽입한 삼중첩 시료에서 이중첩 시료보다 대부분 높은 내절도 값을 갖는다. 도면용지도 동일하게 삼중첩 시료에서 더 높은 내절도를 보인다. 인장강도 또한 내절도와 비슷한 양상으로 뚜렷한 차이는 아니지만 중성지를 삽입하였을 때 더 높은 기계적 강도 값이 나타났다.

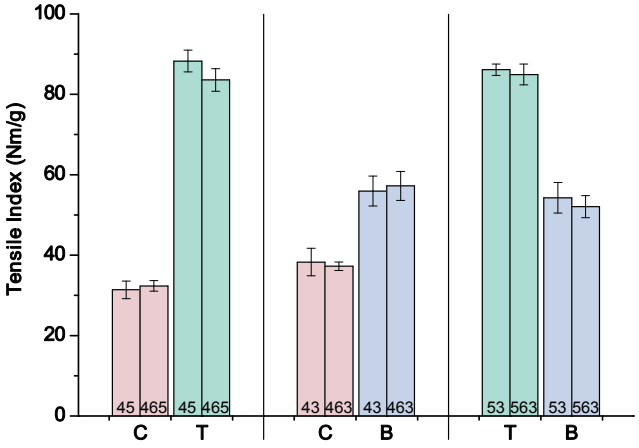


(Fig. 20. Comparison of Folding endurance with 2layer and 3layer by wet aging (a) writing paper (b) drafting paper.)

(a)



(b)

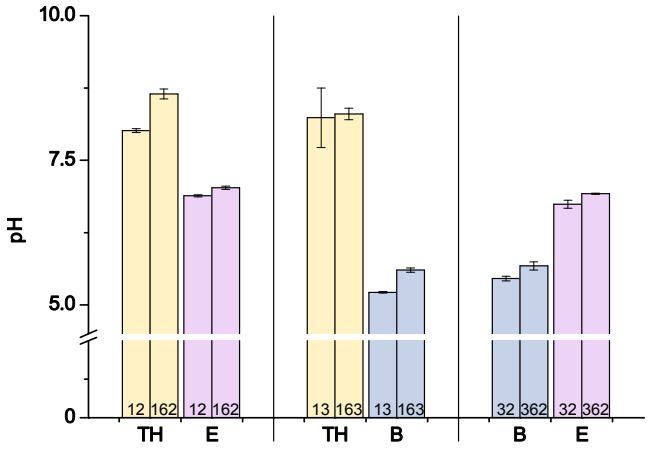


(Fig. 21. Comparison of Tensile index with 2layer and 3layer by wet aging (a) writing paper (b) drafting paper.)

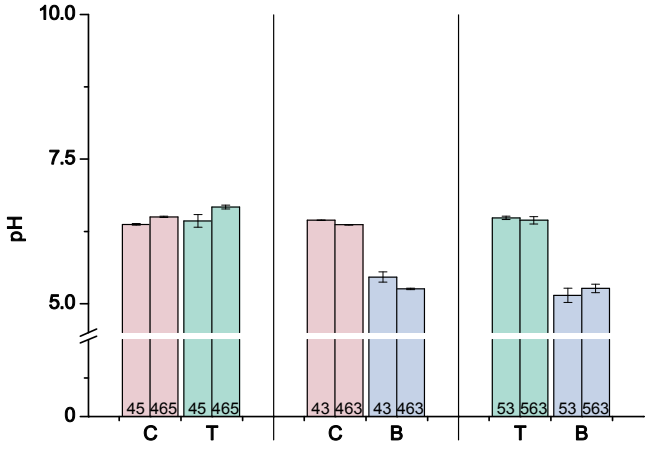
3.1.2. 산성도 측정(pH)

중성지 유무에 따른 이중첩 시료와 삼중첩 시료의 pH 값은 Fig. 22에 나타냈다. 기록용지 중 TH와 B는 중성지를 삽입하였을 때 pH 변화가 적은 것으로 나타났다. 특히 TH와 E가 중첩된 시료 중 TH는 삼중첩 시료와 이중첩 시료에서 pH가 0.7 정도의 차이를 보였다. 이 결과를 통해 중성지를 삽입하였을 때 재질이 산성화되는 속도를 완화시킬 수 있는 것으로 확인된다. 반면에 도면용지의 경우 이중첩, 삼중첩 시료 모두 pH 변화가 미미하며 C와 B가 중첩된 시료는 중성지가 삽입된 삼중첩 시료에서 더 큰 pH 감소가 나타났다.

(a)



(b)

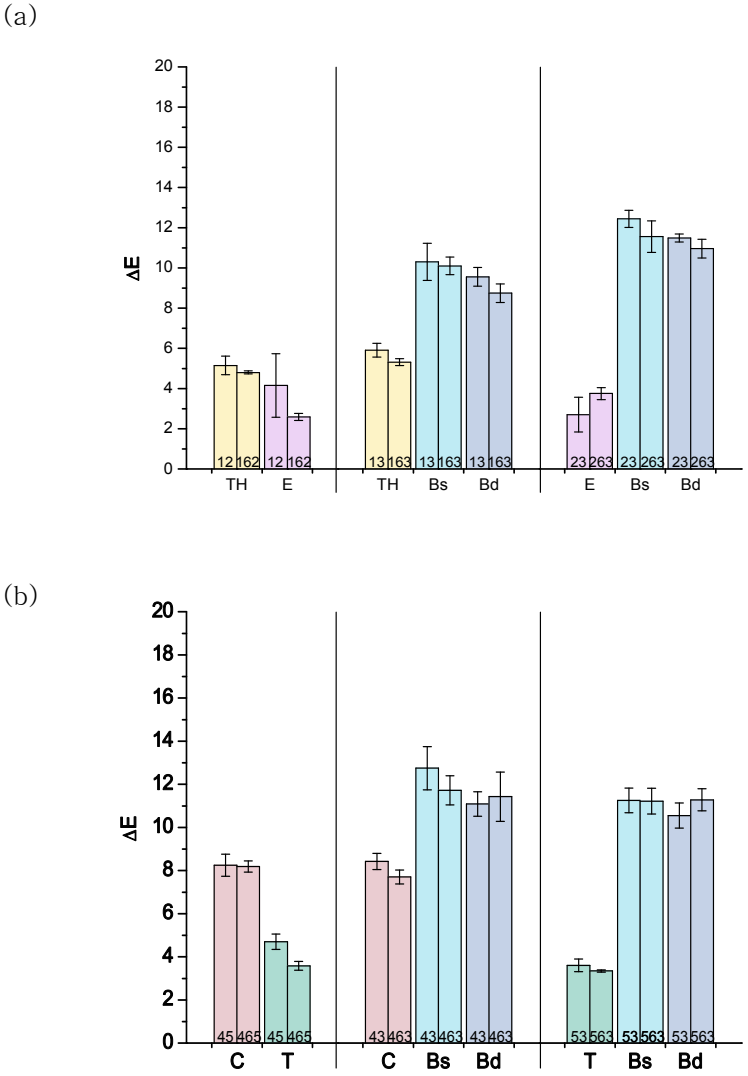


(Fig. 22. Comparison of pH with 2layer and 3layer by wet aging
(a) writing paper (b) drafting paper.)

3.1.3. 색차(ΔE)

Fig. 23는 특수지 보존방법 개선 평가를 위한 습식열화를 수행한 후 ΔE를 계산한 결과이다.

기록용지 중 E와 B 사이에 중성지가 삽입된 삼중첩 시료 중 E, 도면용지 중 C와 B 사이에 중성지가 삽입된 삼중첩 시료 중 B, T와 B 사이에 중성지가 삽입된 삼중첩 시료 중 B를 제외하고 중성지가 삽입된 삼중첩의 경우에 색차값이 감소되는 것을 확인하였다. 이를 통해 중성지의 삽입이 특수지의 보존성 개선에 효과가 있음을 판단하였다. 하지만 도면용지와 중첩된 B의 파랑색 부분인 Bd는 중성간지가 있을 경우 색차값이 더 크게 나타나 중성지의 사용에 주의가 필요하다.



(Fig. 23. Comparison of ΔE with 2layer and 3layer by wet aging (a) writing paper (b) drafting paper.)

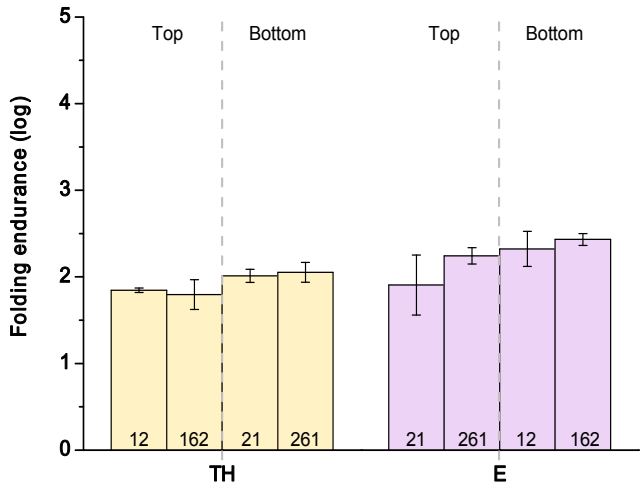
3.2. 광열화

3.2.1. 기계적 강도

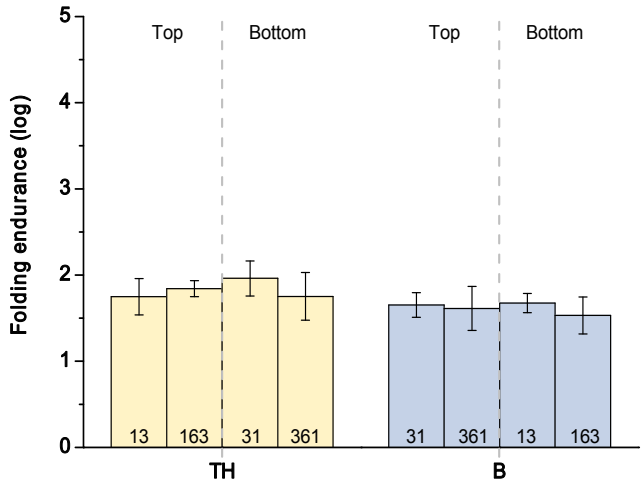
Fig. 24, 25는 광열화 시 중성지 삽입에 따른 기록용지와 도면용지의 내절도 결과이고, Fig. 26, 27은 인장강도를 비교 분석한 결과이다. 기록용지 TH와 E가 중첩된 시료만 BOTTOM에 위치한 시료에서 내절도가 더 크고, TH와 B, B와 E가 중첩된 시료는 TOP, BOTTOM에 따른 차이가 미미하며 BOTTOM에서 더 낮은 내절도를 갖는다. 도면용지도 기록용지와 유사하게 C와 B가 중첩된 시료의 C를 제외하고 TOP, BOTTOM에 따른 차이가 없다. 또한 인장강도에서도 기록용지와 도면용지 모두 중첩하였을 때 빛에 노출된 면에 상관없이 강도 값이 비슷한 양상을 보였다. 이는 내절도와 인장강도 변화에 빛에 의한 열화보다 온도에 의한 열화가 더 큰 영향을 주는 것으로 사료된다. 기록용지인 E의 경우 인장강도 측정 시 큰 오차범위를 갖는데 이는 제작시기가 다른 E를 사용하여 발생한 오차로 추가적인 검토가 필요하다.

광열화 시 기록용지와 도면용지 대부분의 시료에서 중성지 삽입에 따른 내절도, 인장강도의 뚜렷한 변화가 보이지 않았다. 기계적 강도 측면에서 중성지 삽입이 보존성 개선에 긍정적인 효과를 확인할 수 없었다.

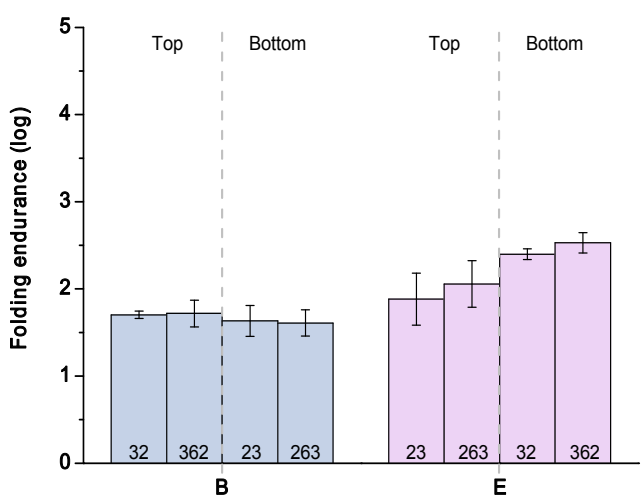
(a)



(b)

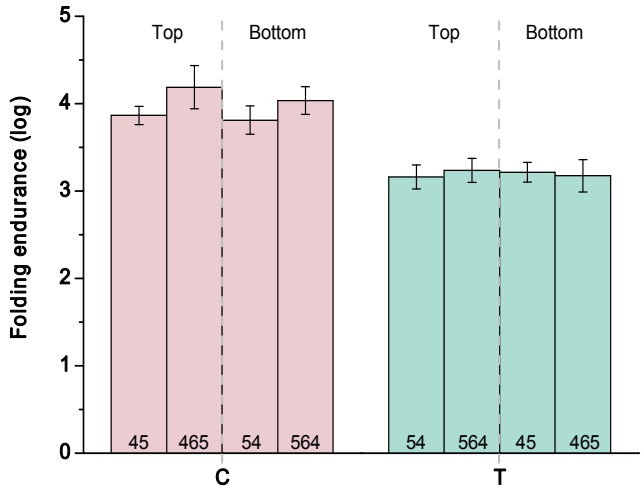


(c)

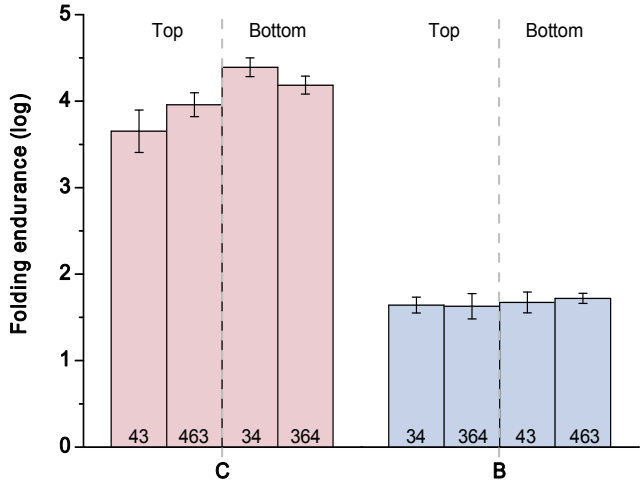


(Fig. 24. Comparison of folding endurance with 2layer and 3layer in writing paper by UV aging (a) TH and E, (b) TH and B, (c) B and E.)

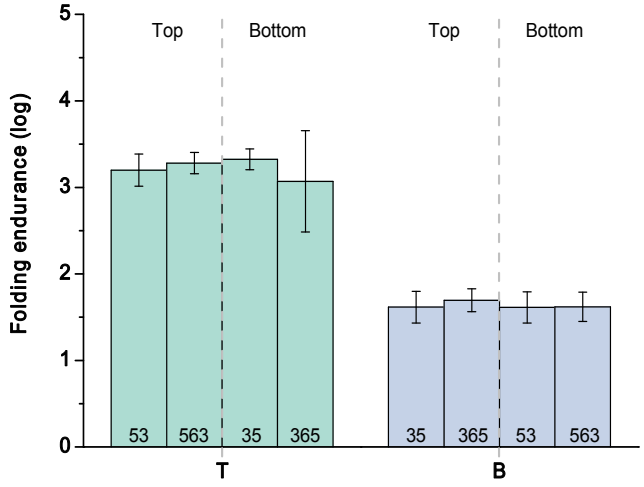
(a)



(b)

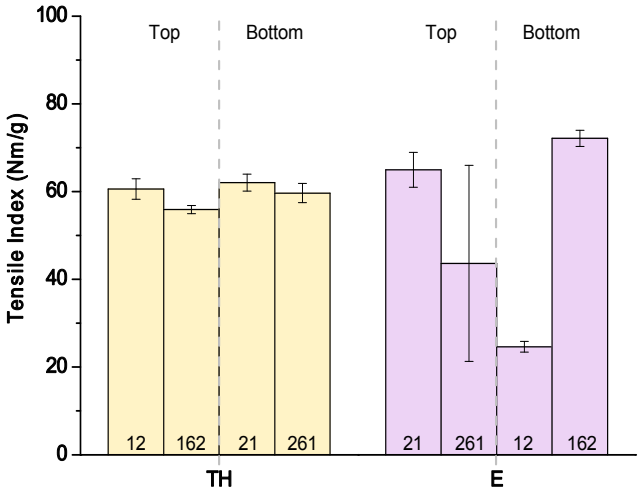


(c)

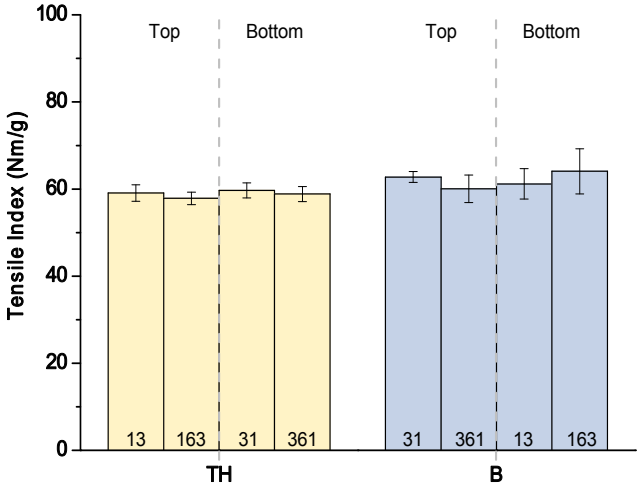


(Fig. 25. Comparison of folding endurance with 2layer and 3layer in drafting paper by UV aging (a) C and T, (b) C and B, (c) T and B.)

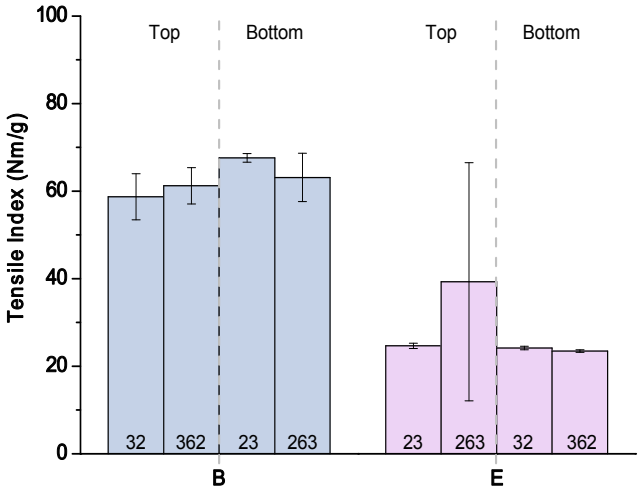
(a)



(b)

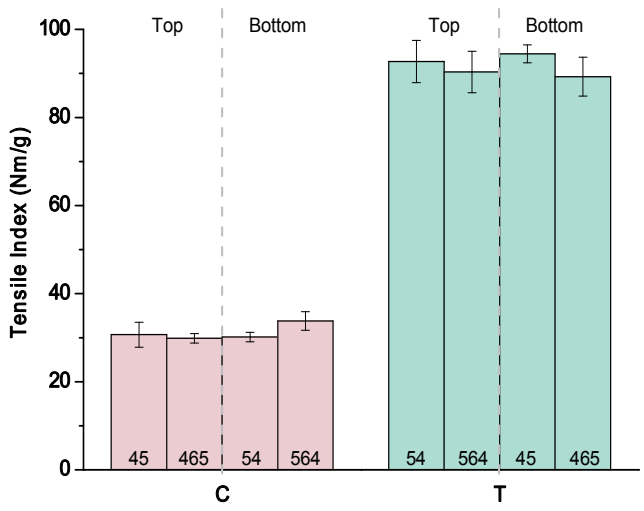


(c)

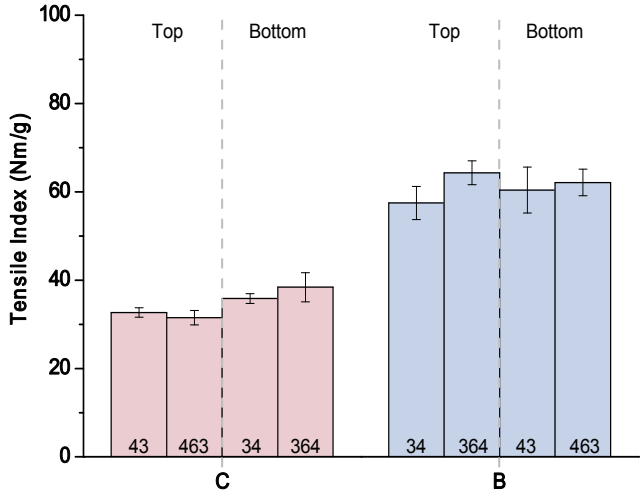


(Fig. 26. Comparison of tensile index with 2layer and 3layer in writing paper by UV aging (a) TH and E, (b) TH and B, (c) B and E.)

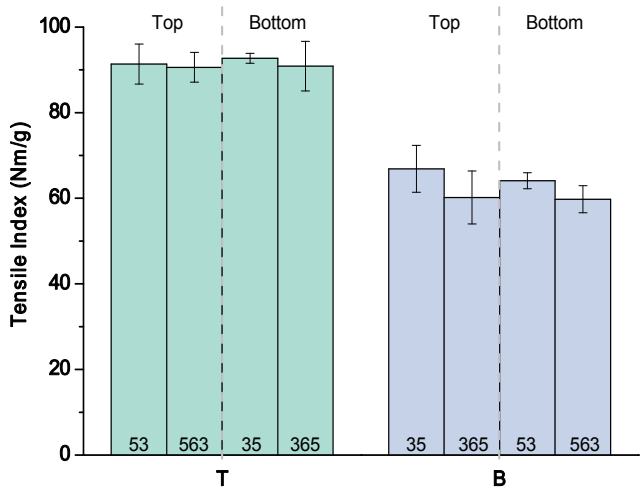
(a)



(b)



(c)



(Fig. 27. Comparison of tensile index with 2layer and 3layer in drafting paper by UV aging (a) C and T, (b) C and B, (c) T and B.)

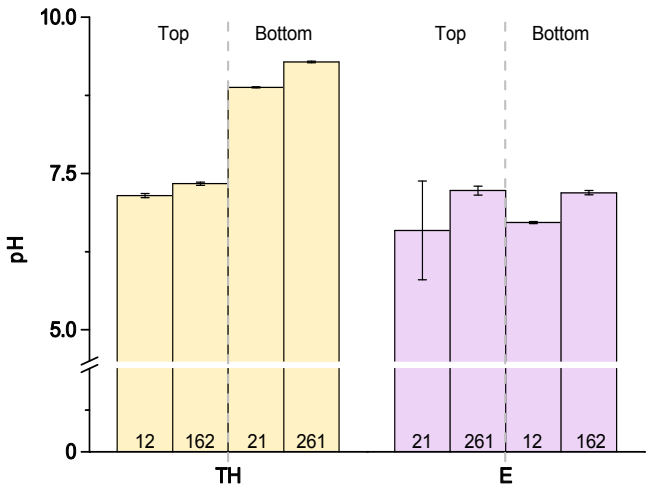
3.2.2. 산성도 측정(pH)

Fig. 28은 광열화 시 중성지 삽입에 따른 기록용지의 pH를 비교한 그래프이다. 기록용지 TH와 E는 중성지를 삽입하였을 때 pH가 중성과 약알칼리성을 유지하는 것을 확인 할 수 있었으며, TOP보다 BOTTOM에서 더 높은 pH를 보였다. 이는 위에서 언급하였듯 빛에 노출되어 표면이 변색되었을 때 산도가 증가하는 것과 관계가 있을 것으로 사료된다.

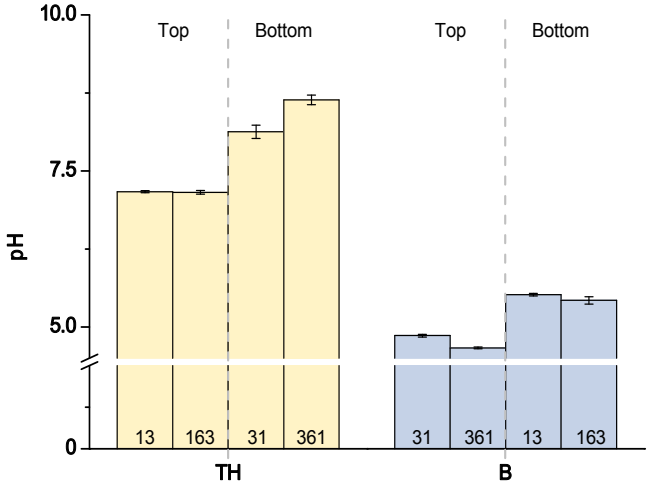
Fig. 29은 광열화 시 중성지 삽입에 따른 도면용지의 pH를 비교한 그래프이다. 도면용지 중 C와 T의 중첩에서 중성지를 삽입한 경우 pH가 약간 더 높게 나타나 보존성 개선가능성을 확인했으나 C와 T모두 B와 중첩했을 시 뚜렷한 개선효과를 확인할 수 없었다.

Fig. 28과 29의 결과를 통해 B 보관 시 중성지의 사용에 대한 추가적인 연구가 필요함을 확인하였다.

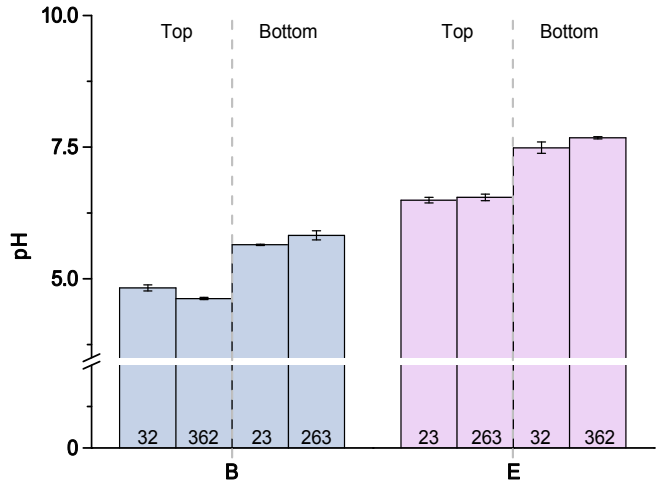
(a)



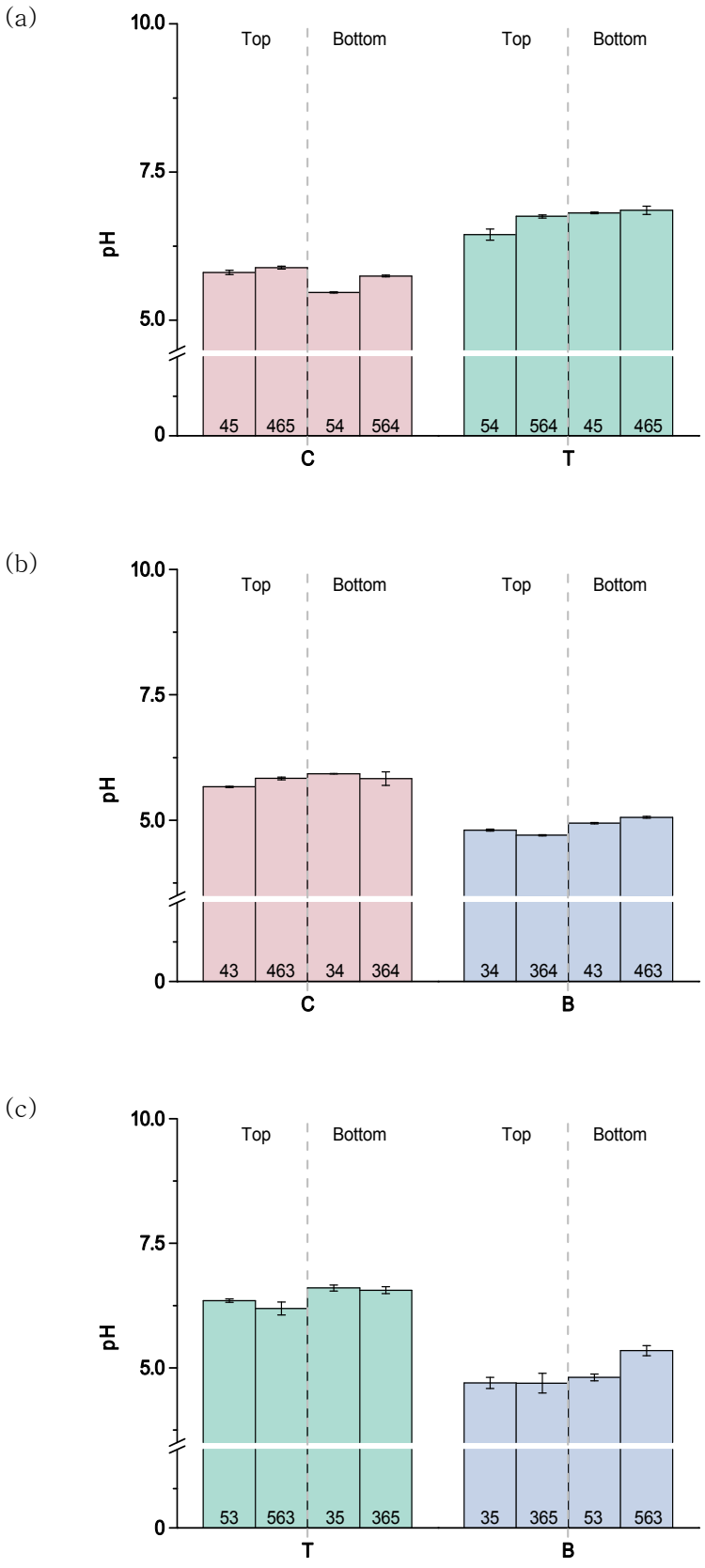
(b)



(c)



(Fig. 28. Comparison of pH with 2layer and 3layer in writing paper by UV aging (a) TH and E, (b) TH and B, (c) E and B.)



(Fig. 29. Comparison of pH with 2layer and 3layer in drafting paper by UV aging (a) TH and E, (b) TH and B (c) E and B.)

3.2.3. 색차(ΔE)

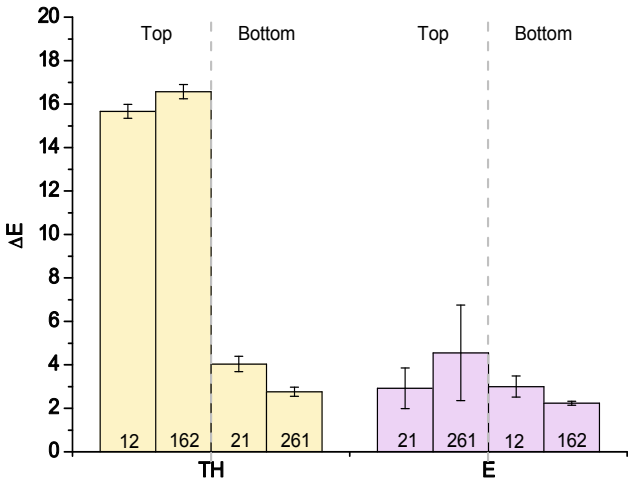
Fig. 30, 31은 광열화 시 특수지의 보존성 개선 평가를 위한 기록용지와 도면용지의 ΔE 변화 값을 나타낸 그래프이다.

기록용지 및 도면용지 모두 중성지를 삽입한 삼중첩 시료에서 BOTTOM에 위치한 경우 특수지의 ΔE값이 대부분 감소하는 경향을 나타냈다. 하지만 기록용지와 열화한 BOTTOM인 Bd의 경우, TOP에 위치한 Bd와 마찬가지로 중성지로 인해 Bd의 색차값이 감소되는 효과를 확인할 수 없었다. 또한 삼중첩에서 TOP에 위치한 경우 TH, E, Bs, Bd, C는 중성지에 삽입으로 보존성이 개선되는 경향을 확인하지 못했으며 오히려 ΔE값이 더 높게 나타났다.

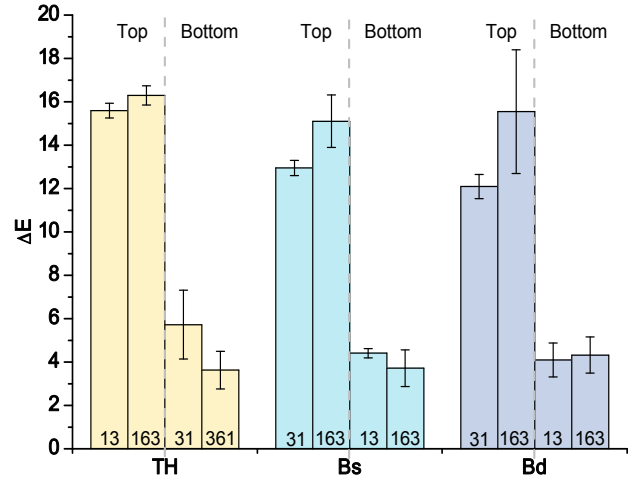
기록용지 E는 그룹의 종류와 위치에 상관없이 ΔE값 변화에 대한 경향성을 확인하지 못하였다. 이는 본 연구에 사용된 E의 제작시기가 상이하여 나타나는 결과로 판단된다.

도면용지 T는 그룹에 상관없이 중성지와 함께 열화 시 ΔE값이 모두 감소하여 T에 대한 중성지의 색차값 안정효과를 확인하였다. (Fig. 30. (a), (c))

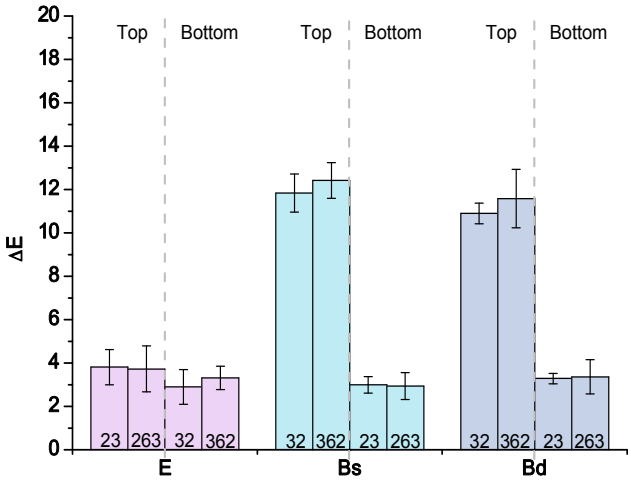
(a)



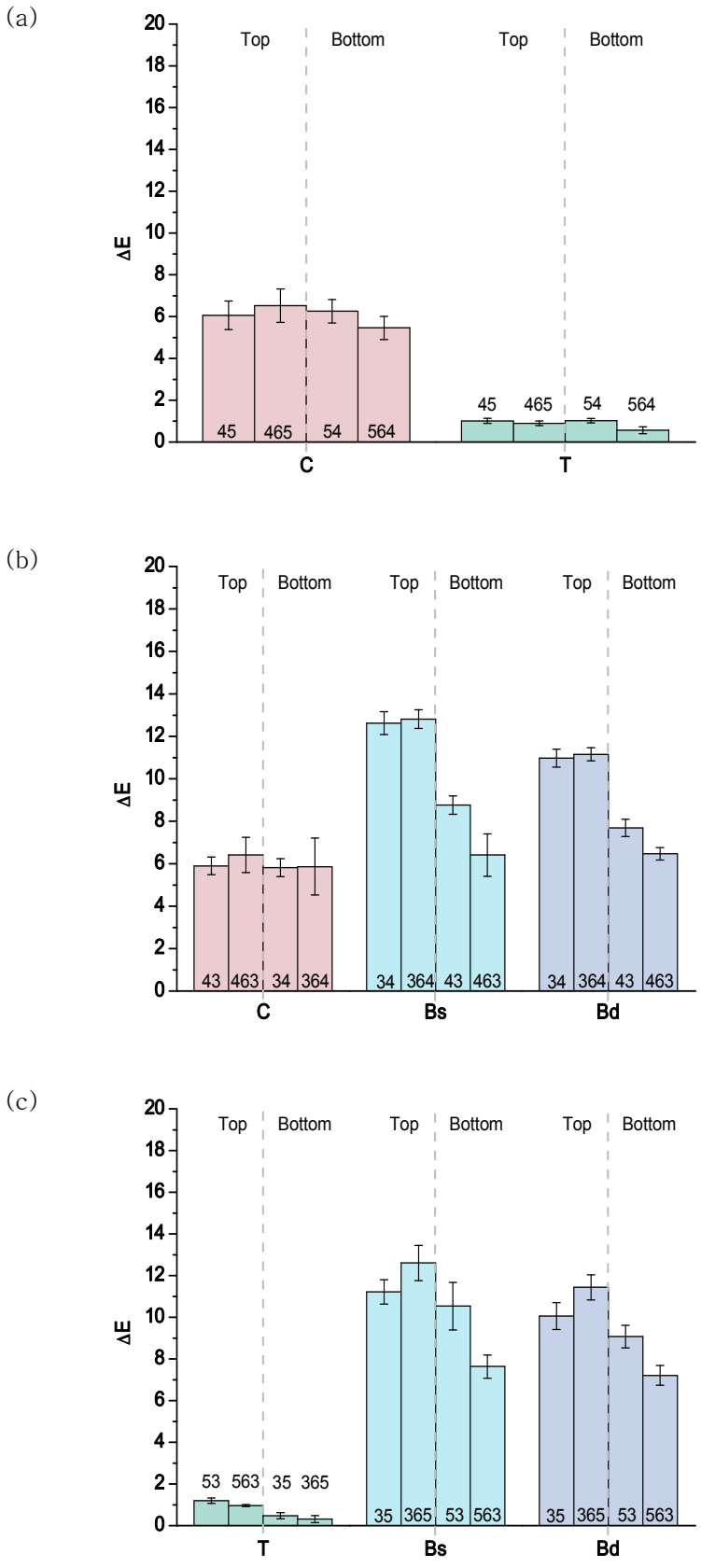
(b)



(c)



(Fig. 30. Comparison of ΔE with 2 layer and 3 layer in writing paper by UV aging (a) TH and E, (b) TH and B (c) E and B.)



(Fig. 31. Comparison of ΔE with 2layer and 3layer in drafting paper by UV aging (a) C and T, (b) C and B, (c) T and B.)

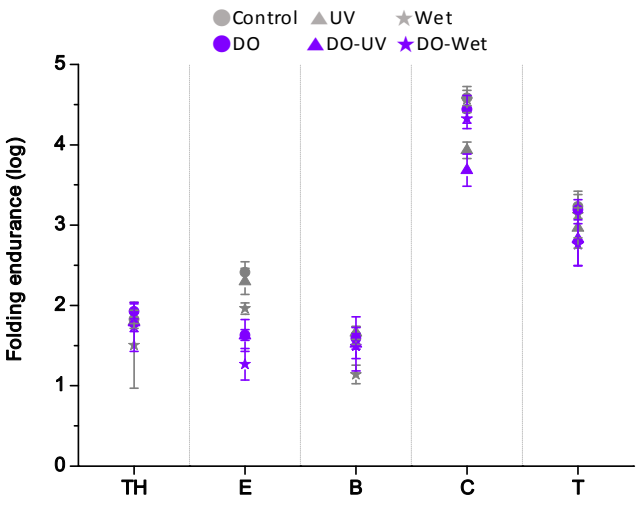
4. 탈산 영향 평가

우선 기록용지와 도면용지에 관계없이 모든 탈산시료에서 pH가 열화 시 소폭 감소하였지만 평균 pH 10대를 유지하였다. 기록용지인 TH는 열화 후 탈산시료와 비 탈산시료의 강도차이가 미미하였으며 습식열화의 경우 탈산시료가 비탈산시료보다 더 안정적인 강도를 나타냈다. 탈산된 E는 열화 후에도 알칼리를 유지하였으나 인장지수와 내절도가 비탈산시료보다 낮은 경향을 보였다.

도면용지인 B는 탈산 후 pH 9를 유지했으며 열화 후에도 비교적 안정적인 강도를 유지했다. C는 광열화 된 탈산시료에서 가장 낮은 강도를 나타냈다. T의 pH가 A를 제외한 5종의 특수지 시료 중 가장 높은 pH를 보였다. T는 열화 종류에 상관없이 탈산처리 한 시료가 인장강도가 크게 떨어졌으며 내절도 또한 근소한 차이로 낮아졌다. 이는 탈산제가 종이에 침투하면서 MgO가 종이의 공극을 채워 유연성이 떨어진 것으로 판단되며, 휘발성 용제가 종이의 건조화에 영향을 미쳐 강도에 영향을 미친 것으로 판단된다.[13)]

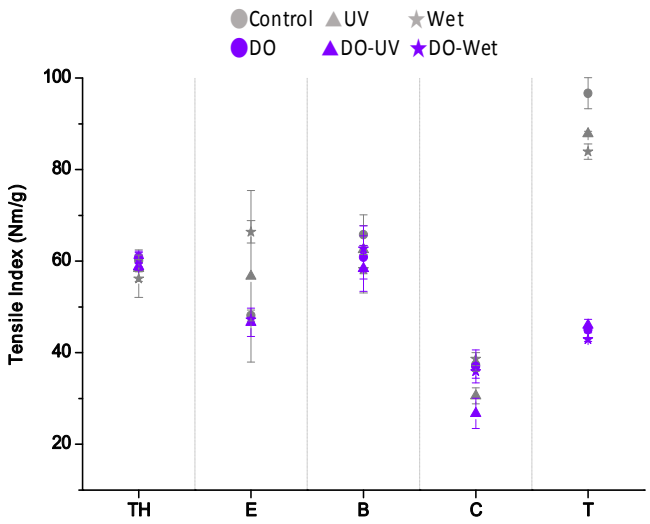
탈산 후 열화 시 ΔE값이 높게 나타났는데 특히 TH, B, C가 컸으며 탈산제가 강도뿐만이 아니라 특수지의 색변화에도 영향을 미치는 것으로 판단된다.

(a)

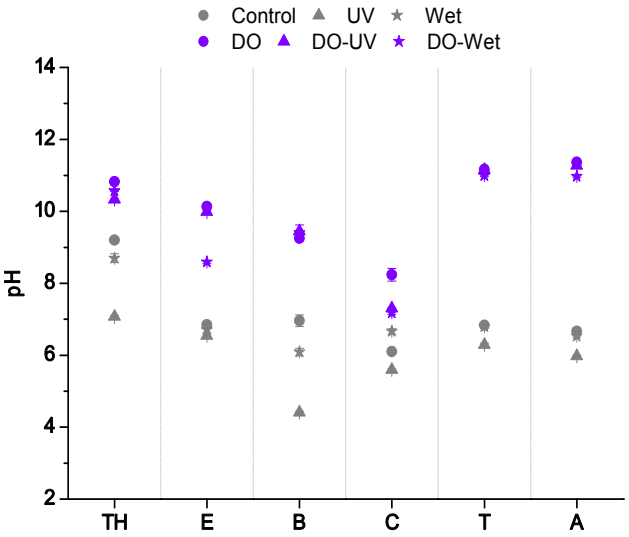


13) 한국산업기술대학교, 백화현상 저감 기술이 적용된 종이 기록물 탈산처리제 개발, 2015년 기록보존기술 연구개발사업 연구결과보고서, 2015, 국가기록원

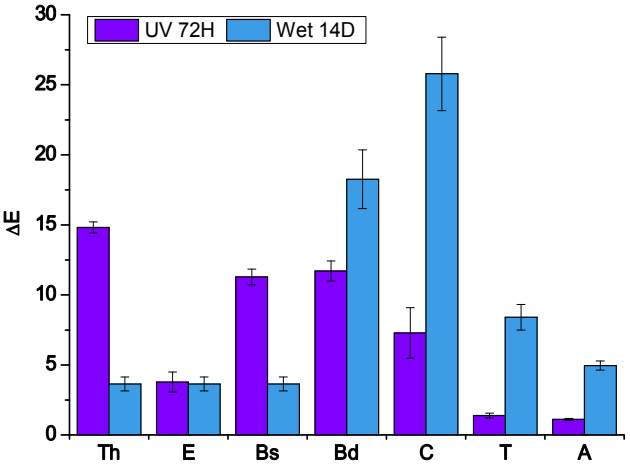
(b)



(c)



(d)



(Fig. 32. Comparison of UV aging and wet aging in deoxidized paper (a) Tensil index, (b) Folding endurance, (c) pH, (d) ΔE.)

제 4장 총괄연구개발과제의 연구결과 고찰 및 결론

관련 연구 조사결과 연구대상 특수지가 대부분 영구 보존용 종이가 아닌 복사용지로 사용되었기 때문에 종이의 보존성 등에 대한 연구는 미미하였다. 물론 도면용지는 전 세계적으로 사용되었기 때문에 이에 대한 보존성이나 관리방법 등에 대한 다양한 연구가 있긴 하지만 기록용지의 경우 복사용지로 사용된 경우가 많아 이에 대한 연구는 부족하였다. 국내에서 사용된 대부분의 복사용 특수지들은 일본의 기술에 바탕을 두고 있지만 일본 또한 사용 초기 재질에 대한 연구는 있으나 보존적인 측면의 연구는 많지 않다. 하지만 PSAP(미국), NAA(호주), ACA(네덜란드) 등의 일부 기관에서 연구를 통해 재질 또는 용도 등에 따른 관리 및 보존 방법에 대한 기준을 제시하고 있다.

국내·외 관련 현황 조사 결과 국내의 경우 영구기록물 관리 기관이 많지 않은 이유로 특수지 소장 기관은 많지 않은 것으로 파악되었으며 특수지 소장 여부를 모르는 경우도 있었다. 이는 기록물 내에 다양한 종이 중 특수지가 있다는 인식이 부족하거나 특수지가 있는 것은 알지만 어떠한 것이 특수지인지 구분하기 어려운 면이 있기 때문으로 생각된다. 그 소장 여부를 인식 한다고 하더라고 어떻게 관리하고 보존해야 되는지에 대해서는 알지 못하는 경우가 대부분이었다. 또한 담당인력 또는 전문 보존처리 인력의 부재로 인해 관리에 어려움을 격고 있었다.

국외 기록물 관리기관의 경우 각 기관별로 특수지에 대한 별도의 가이드라인이나 관리규정 등이 있지는 않지만 종이 기록물의 보존·복원이라는 큰 틀에서 기록물이 관리되고 있었다. 특히 도면의 경우 연구가 다양하게 진행되었기 때문에 그 관리기준이 기록용 특수지 보다 명확하였다. 또한 대부분 전문 기록물관리 인력이 있으며 보존처리 인력이 없는 곳도 민간 및 공공 아카이브가 연계한 보존 처리 지원 및 컨설팅 등으로 보존처리를 진행하고 있었다.

보존성을 평가하기위한 연구의 결과는 다음과 같다.

첫째, 상호간 영향 평가결과 기록용 특수지 중 감열지는 정전식복사지와 청사진에 상호간 영향을 받아 열화가 가속되며, 정전식복사지는 청사진의 영향으로 물리적 강도가 약해지는 것으로 확인되었다. 청사진은 감열지와 정전식복사지의 영향을 받아 pH 및 색변화, 물리적 강도의 저하 생겨 훼손이 심화 될 수 있을 것으로 판단된다.

도면용 특수지의 경우 크로스지는 습식열화 보다 광열화에 의해 물리화학적 변화가 컸으며, 이는 직물이기 때문에 수분 침투에 의해 표면 코팅제나 충전제에 따라 강도가 높아져 나타난 결과로 추정된다. 청사진은 크로스지와 중첩 시 그 영향으로 색차값이 크게 변하고 물리적 강도 또한 저하되었고 트레싱지는 크로스지와 청사진의 영향으로 산성화가 심화되었지만 물리적 강도는 큰 차이를 보이지 않았다.

둘째, 특수지가 상호간 영향을 줄이기 위한 방법으로 중성지를 삽입하여 그 효과를 확

인한 결과 기록용 특수지의 결우 감열지와 정전식복사지, 청사진 모두 중성지와 중첩하였을때 pH가 높아졌으며 종이의 물리적 강도 또한 증가하였다. 열화 시 중성지를 삽입한 경우 색차값이 줄어든 것으로 보아 종이의 변색을 방지할 수 있을 것으로 판단 할 수 있다. 하지만 광열화 시 TOP에 위치한 샘플의 색차값이 더 높게 나타나 중성지가 TOP의 종이에 영향을 미친 것으로 판단 되며 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

도면용 특수지의 경우 크로스지는 중성지 삽입 시 차이는 미미하지만 인장지수와 내절도 증가하였다. 청사진은 크로스지와 중첩 시에는 인장지수가 증가하였지만 트레싱지와 중첩 시에는 인장지수가 낮게 나타났으며, 트레싱지는 다른 종이와 중첩 시 인장지수가 낮게 측정되었다. 열화 시 대부분의 색차값이 낮게 나타났지만 일부 청사진의 경우 위치에 따라 색차값이 다르게 나타나 중성지가 TOP의 종이에 영향을 미친 것으로 추정된다. 트레싱지는 중성지 삽입 후 크로스지, 청사진과 중첩되었을 때 그렇지 않을 때 보다 물리적 강도가 저하되는 것으로 보아 중성지의 영향을 받는 것으로 추정된다.

셋째, 탈산제가 특수지에 미치는 영향을 파악하고자 진행한 실험 결과 탈산제의 영향으로 모든 종이에서 열화 시 pH의 값은 원지 대비 높게 나타났다. 하지만 비탈산시료에 비해 탈산하였을때 인장지수와 내절도의 감소를 보였으며 특히 정전식복사지의 경우 그 폭이 다른 종이에 비해 크게 나타났다. 또한 모든 종이에서 색차값이 증가하고 그 차이가 확연히 나타났다. 탈산제가 특수지에 사용 되었을 때 산성화는 늦출 수 있으나 종이의 강도 및 색변화에 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다.

연구대상 특수지에서 다른 종이와 중첩 시 상호간의 영향으로 인해 물리적 강도가 저하될 뿐만 아니라 화학적인 측면에서도 열화가 가속화되는 것으로 확인되어 각 용지들의 영향을 차단하여 보존 할 수 있는 방안 마련 필요 할 것으로 판단된다.

특수지가 중첩 되었을 때 상호간의 영향을 받아 열화되는 것을 방지하기 위해 중성지를 삽입하여 그 효과를 확인 한 결과, 기록용 특수지에서는 pH 및 물리적 강도가 증가하고 색차 값이 감소하여 그 효과가 확인되었고 도면용 특수지에도 역시 미미하지만 pH 및 물리적 강도가 증가하고 색차 값이 감소하였으며 종이 별로 그 효과는 상이하였다. 각 특수지 사이에 중성지를 삽입하면 상호간의 영향을 감소시킬 수 있을 것이라 추정 된다. 단, 트레싱지의 경우 크로스지나 청사진뿐만 아니라 중성지와 함께 중첩되어도 열화가 지속되는 것으로 보아 트레싱지 자체의 재질적 한계인 것으로 판단되며 이에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

특수지에 대한 탈산제의 영향을 파악하기 위한 실험 결과 탈산제의 영향으로 종이의 pH는 증가하였지만 물리적 강도의 저하가 발생하였으며 색차값이 증가하여 변색과도 연관이 있을 것으로 추정된다. 탈산 시 특수지를 제외 할 수 있는 방안 마련과 함께 특수지를 탈산 할 수 있는 방법에 대한 추가 연구 필요할 것이다. 그리고 탈산이 산성화 된

종이의 알카리도를 높여 산성화를 방지하는데 목적이 있긴 하지만 종이의 물리적 강도의 저하를 유발시킨다면 추가 연구를 통해 안전성을 확인해야 할 필요가 있을 것으로 판단된다.

종이 간 상호 영향 및 탈산제 평가 결과 대부분의 샘플에서 색차값이 증가하는 경향 확인하였다. 색차값의 증가는 종이 표면의 색상이 변화하였음을 의미하며 이를 통해 기록물의 변·퇴색 및 휘발·탈색을 추정 할 수 있을 것으로 판단된다. 기록물의 휘발·탈색에 대비한 매체수록 및 이미 휘발·탈색 된 기록물 복원에 대한 방안 마련 필요 할 것이다.

본 연구를 통해 특수지의 보존특성을 규명하고 보존방법에 대한 개선 방안을 제안하고자 하였다. 일부 결과에서 결과 값이 표준편차 내의 차이를 보여 유의미한 결과를 도출하는데 부족함이 있지만, 어느 정도 상관관계의 파악은 가능하였으며 추후 지속적인 연구가 진행되어야 할 것이다. 연구 결과를 통해 특수지 기록물의 보존성 증대시키고 특수지 기록물 보존관련 업무의 체계화를 위한 가이드라인 작성 및 보존환경 관리를 위한 기초자료로 활용 할 수 있을 것이라 판단된다.

제 5장 총괄연구개발과제의 연구성과

제 1절 활용성과

총괄과제명	
총괄과제책임자	허인영 / 국가기록원 복원관리과 / 문화재보존관리학

가. 연구논문

번호	논문제목	저자명	저널명	집(권)	페이지	Impact factor	국내/국외	SCI여부
1								
2								

나. 학술발표

번호	발표제목	발표형태	발표자	학회명	연월일	발표지	국내/국제
1	특수지 기록물의 열화 특성에 따른 보존성 연구	포스터	두예슬, 현혜경, 허인영, 양소은	한국문화재보존과학회	'20.10.16.~17.	-	국내
2	특수지 지종에 따른 열화 특성 연구	포스터	현혜경, 두예슬, 허인영, 양소은	한국펄프·종이공학회	'20. 10.22	-	국내

다. 지적재산권

번호	출원/등록	특허명	출원(등록)인	출원(등록)국	출원(등록)번호	IPC분류
1						
2						

라. 정책활용

특수지 기록물 편철 개선 및 탈산 처리, 매체수록 등의 보존 방법개선을 위한 정책 수립에 근거 자료 제공

마. 타연구/차기연구에 활용

※ 타연구 및 차기연구에 활용된 예를 구체적으로 기술함.

바. 언론홍보 및 대국민교육

※ 언론홍보 및 대국민교육 내용, 일자 등을 간략히 기술함.

사. 기타

※ 임상시험 , 관련 DB구축, 워크샵 또는 심포지움 개최 등의 경우 구체적으로 기술함.

제 2절 활용계획

- 기록물 보존 처리 시 적용가능 한 방법에 대한 시범 적용 추진

- 연구 결과 및 시범 적용을 통해 활용가능 방안 마련 및 특수지 기록물 보존관리 관련 가이드라인 마련

제 6장 기타 중요변경사항

해당사항 없음

제 7장 참고문헌

D. Hunter, 『Papermaking : The history and technique of an ancient craft』, Dover Publications, INC, 1978.

Eleonore Kissel, Erin Virneag, 『Architectural Photoreproductions A Manual for Identification and Care』, Oak Knoll Press, New castle. 2009.

Lois Olcott price, 『Lines, Shade and Shadow; The fabrication and preservation of architectural drawings』, Oak Knoll Press, New castle, 2010.

ドキュメンテーション実用講座,「二つの新しい静電式複写機」,『情報管理 Vol.9 No.3』,ドキュメンテーション実用講座, 1966.

高橋吉次郎, 『特殊機能紙』, 紙業タイムス社, 2001.

고연석,「감열지의 특성과 보존방안」,『기록물보존복원 제7호』, 국가기록원, 2014.

木下晃男,「情報産業と新しい印刷方式」,『色材 48』, 色材協会誌, 1975.

元興寺文化財研究所,「 国立公文書館所蔵資料保存対策マニュアル」, 財団法人 元興寺文化財研究所, 2002.

이명구,「감열지」『제지기술 18호』, 청강제지기술연구소, 2003.

情報科學用有機材料第142委員會, 『記錄用材料と感光性樹脂』, 日本學術振興會, 1984.

조현정, 윤변호, 전양, 이학래, 『펄프·제지공학』, 선진문화사, 1995.

佐藤裕,「感圧,感熱記録紙用色素」, 『色材 61』, 色材協会誌, 1988.

中川靖夫, 「最近のジアゾ感光紙」, 『日本写真学会会誌 26巻2号』, 日本写真学会, 1963.

최경화, 이재훈, 류정용, 「위조문서 감별을 위한 현대 문서용지 특성분석(I) -충전제 분석」, 『Journal of Korea TAPPI. vol.50』, 한국펄프종이공학회, 2018.

최경화, 이재훈, 류정용,「위조문서 감별을 위한 현대 문서용지 특성분석(II) -섬유원료 분석」,『Journal of Korea TAPPI. vol.50』, 한국펄프종이공학회, 2018.

土居宜三, 「文献複製法」,『情報管理 Vol.19 No.5』, ドキュメンテーション実用講座, 1976.

土居宜三,「複写による提供」,『情報管理 Vol.7 No.11』, ドキュメンテーション実用講座, 1964.

허인영,「특수지 기록물의 과학적 분석 및 보존성 진단연구」,『2019년 국가기록관리 ·활용기술연구 개발(R&D)사업 자체연구 결과보고서』, 국가기록원, 2020.

Canadian Conservation Institute, The Stability of Photocopied and Lase-printed Documents and Images : General Guidelines, Canada.
(https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/conservation-preservation-publications/technical-bulletins.html)

Northeast Document Conservation Center, Storage Solutions for Oversized Paper Artifacts, USA.
(https://www.nedcc.org/free-resources/preservation-leaflets/4.-storage-and-handling/4.9-storage-solutions-for-oversized-paper-artifacts)

Northeast Document Conservation Center, Storage Enclosures for Book and Artifacts on Paper, USA.
(https://www.nedcc.org/free-resources/preservation-leaflets/4.-storage-and-handling/4.4-storage-enclosures-for-books-and-artifacts-on-paper)

Preservation Self-Assessment Program, University of Illinois, Office Printing and Reprography, USA.
(https://psap.library.illinois.edu/collection-id-guide/officeprintcopy)

Preservation Self-Assessment Program, University of Illinois, Architectural Drawing Reproduction, USA.
(https://psap.library.illinois.edu/collection-id-guide/archdrawingrepro)

Quakers Library, Preservation and storage of records and archives, UK.

(https://quaker-prod.s3-eu-west-1.amazonaws.com/store/c173996dca8348c59be1ecb9b207fa29a265aef8ed7ddfe667621f83d7e4)

Amsterdam City Archives, A Survey of material deterioration of office copies, Nederand.
(https://www.academia.edu/38108566/A_survey_of_the_material_deterioration_of_office_copies_research_report)

National Archives of Australia, Managing records on thermal papers, Australia.
(https://www.naa.gov.au/information-management/store-and-preserve-information/preserving-information/managing-records-thermal-papers)

National Archives of Australia, Preserving electrostatic copies(photocopies and lase prints), Australia.
(https://www.naa.gov.au/information-management/store-and-preserve-information/preserving-information/preserving-electrostatic-copies-photocopies-and-laser-prints)

National Archives of Australia, Preserving maps and plans, Australia.
(https://www.naa.gov.au/information-management/store-and-preserve-information/preserving-information/preserving-maps-and-plans)

International council on Archives / Section on Architectural Records, A Guide to the archival care of architectural records.
(https://www.ica.org/en/guide-archival-care-architectural-records-19th-20th-centuries)

제 8장 첨부서류

1. 연구성과 - 한국문화재보존과학회('20.10.16~17) 포스터 발표(포스터)

특수지 기록물의 열화특성에 따른 보존성 연구

A study on the preservation property of deterioration characteristics on speciality paper

두예슬, 현혜경, 허인영, 양소은
국가기록원 복원관리과

Ⅰ. 서 론

국가기록원 내 특수지 포함 기록물은 전체 종이 기록물 중 약 17%를 차지하고 있으며 대부분 1960~70년대에 생산된 기록물이다. 특수지는 종이의 기본 기능에 특수한 기능을 부과한 종이로 감열지, 감광지, 트레싱지, 크로스지 등 인쇄방식과 사용목적에 따라 다양하게 사용되어 왔다. 특수지 기록물은 습기와 빛에 약해 기록 휘발, 황변, 건조화 등 여러 훼손이 발생한다. 이에 특수지 기록물의 보존방식 개선 및 가이드라인을 마련하고 특수지에 대한 기초 데이터를 확보하기 위하여 본 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 기록 및 도면용지로 사용되었던 특수지 중 감열지, 감광지, 트레싱지를 연구대상으로 선정하여 광열화와 습식열화를 각각 진행하였고 열화방법에 따른 특성을 확인하였다. 또한 보존용 박스에 편철하였을 때 겹쳐지는 기록물 상호간 영향을 확인하기 위하여 종이를 중첩하여 동일하게 열화를 진행하였고 추가적으로 보존성 향상을 위하여 보존용 중성지를 종이 사이에 삽입하여 효과를 확인하였다.

Ⅱ. 공시재료 및 연구방법

공시재료

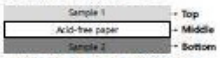
- 감열지(Thermosensitive paper), 감광지(Blue print)
  트레싱지(Tracing paper), 중성지(Acid-free paper)

연구방법

- 가속 노화 조건
  - 습식열화 : 80℃, 65% RH (7, 14days)
  - 광열화 : UV 0.77W/㎡, 60℃, 50% RH (24, 48, 72hours)
- 분석 항목
  - 기계적 특성 : 인장강도, 내절도
  - 화학적 특성 : pH
  - 광학적 특성 : 색차(ΔE)
- 가속 노화 방법
  - 종이 상호간 영향성 평가

: 샘플을 중첩하여 열화

  - 보존용 중성지 영향 확인



: 샘플 사이에 중성지를 삽입하여 열화

Ⅲ. 분석결과

열화 방법 및 시간에 따른 재질별 특성

- 인장강도 및 내절도 변화

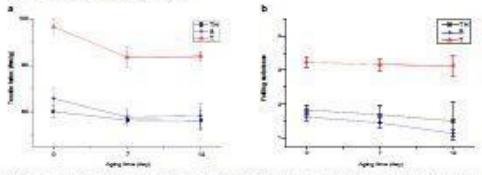


Fig. 1. The changes in physical properties of samples by Wet aging. (a : tensile index, b : folding endurance)

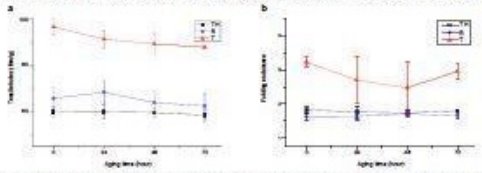


Fig. 2. The changes in physical properties of samples by UV aging. (a : tensile index, b : folding endurance)

➡ 감열지(TH), 감광지(B), 트레싱지(T) 모두 열화 시간에 따라 기계적 강도가 감소하는 경향
트레싱지는 기계적 강도가 가장 높지만 큰 오차범위를 갖는 것으로 확인

- pH 및 ΔE 변화

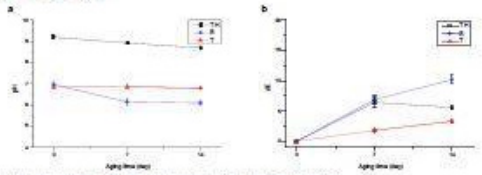


Fig. 3. The changes in pH and ΔE of samples by Wet aging. (a : pH, b : ΔE)

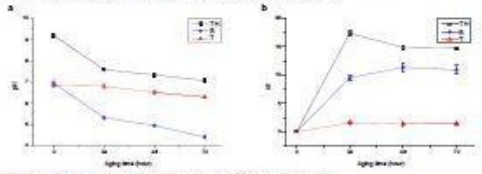


Fig. 4. The changes in pH and ΔE of samples by UV aging. (a : pH, b : ΔE)

➡ 열화시간에 따라 감열지와 감광지에서 pH와 색변화가 두드러지게 나타남.

종이 상호간 영향 분석

- 중첩된 시료의 pH값 변화(습식열화)

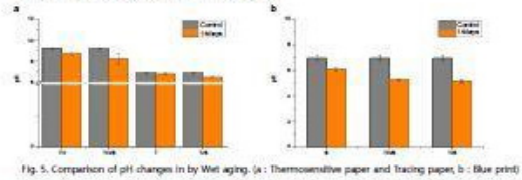


Fig. 5. Comparison of pH changes in by Wet aging. (a : Thermosensitive paper and Tracing paper, b : Blue print)

➡ 샘플을 중첩한 뒤 습식열화를 진행하여 확인한 결과 모든 시료에서 pH 감소폭이 2~4배 증가하는 것으로 확인됨.

- 광열화 시간에 따른 중첩 조건별 pH 변화

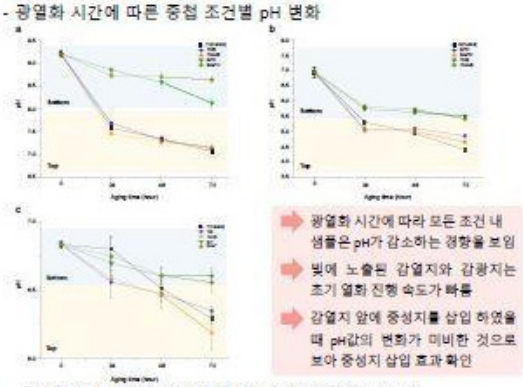


Fig. 6. The changes in pH of samples with different overlapping conditions by UV aging.
(a : Thermosensitive paper, b : Blue print, c: Tracing paper)

➡ 광열화 시간에 따라 모든 조건 내 샘플은 pH가 감소하는 경향을 보임

➡ 빛에 노출된 감열지와 감광지는 초기 열화 진행 속도가 빠름

➡ 감열지 앞에 중성지를 삽입 하였을 때 pH값의 변화가 미비한 것으로 보아 중성지 삽입 효과 확인

결 론

동일한 가속 노화 조건에서 감열지가 기계적 강도, pH 저하 등 가장 큰 변화를 보였으며 트레싱지는 열화 시간에 따른 변화가 미비한 것으로 나타났다. 감열지와 감광지의 경우 습식열화보다 광열화에서 표면 색 변화가 큰 것으로 확인되었고 특히 감열지는 짧은 시간 빛 노출만으로 기록이 탈색되는 것을 확인할 수 있었다.

기록물 보존 시 재질별 상호 영향성을 확인하고자 중첩하여 열화를 진행한 결과 습한 환경에 노출되었을 때 중첩된 시료에서 더 큰 pH 변화를 보였고 그 외 샘플에서는 큰 변화가 나타나지 않았다. 추가적으로 중성지를 삽입하였을 때 감열지에서 pH 변화 폭이 좁은 것을 확인할 수 있었고 하단에 중첩된 모든 샘플에서 ΔE이 낮게 나타났다.

국가기록원

2. 연구성과 - 한국펄프종이공학회 ('20.10.22) 포스터 발표(포스터)

특수지 지종에 따른 열화 특성 비교

Comparison of Accelerated Aging Properties for Specialty Papers

현혜경, 두예슬, 허인영, 양소은
국가기록원 복원관리과

Ⅰ. 서 론

국가기록원 내 소장중인 종이기록물 약 524만권에서 상태검사를 완료한 기록물 중 특수지 포함 기록물은 약 4만권을 차지하며, 이중 64% 가량이 1960~70년대 생산된 기록물이다. 현재 기록물은 재질 구분 없이 문서별로 수십장에서 수백장씩 한 꺼 번에 편철 한 후 여러 개의 철을 하나의 보존용 박스에 넣어 보관하고 있는 실정이며, 도면 역시 재질 구분없이 하나의 관리번호에 해당되는 여러장의 도면을 한 개의 보존폴더에 넣어 관리하고 있다.

특수지는 특정용도만을 위해 제작된 종이로 각각의 용도에 따라 적합한 성질을 부여한 종이를 의미하며 각 특수지의 재질 별 특성에 따른 보존·복원 관리 대책 마련이 필요하다.

본 연구에서는 국가기록원 소장 기록물에 사용된 기록 및 도면용 특수지 중 감열지(Th), 정전식습식복사지(E), 청사진(B), 크로스지(C), 트레싱지(T)와 재질이 유사한 샘플을 선정하고, 특수지의 보존성 및 열화특성 비교를 위한 용도로 중성지(A)를 선정하여 광열화를 진행하였다. 그 후 CIE L*a*b*와 pH를 측정하고 내절도와 인장강도를 측정하여 종이 간의 물리적 특성을 비교하였다.

Ⅱ. 공시재료 및 연구방법

◆ 공시재료

국가기록원 소장 특수지 기록물과 흡사한 재질의 특수지 5종, 중성지 1종

Table 1. List of samples

◆ 가속 노화 조건

- 광열화 : UV 0.77W/m², 60℃, 50% RH (24, 48, 72hours)
- 습식열화 : 80℃, 65% RH (7, 14days)

◆ 분석 항목

- 강도적 특성 : 인장강도, 내절도
- 화학적 특성 : pH
- 광학적 특성 : 색차값(ΔE)

Ⅲ. 결과

◆ 구조적 특성

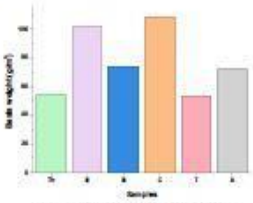


Fig. 1. Basis weight of samples.

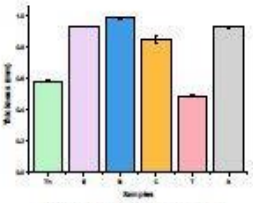


Fig. 2. Thickness of samples.

◆ 광학적 특성

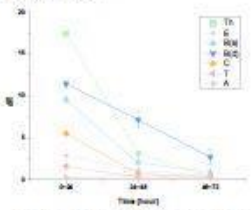


Fig. 3. Comparison of ΔE in samples by UV aging.

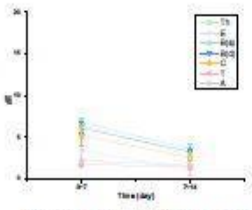


Fig. 4. Comparison of ΔE in samples by Wet aging.

◆ 강도적 및 화학적 특성

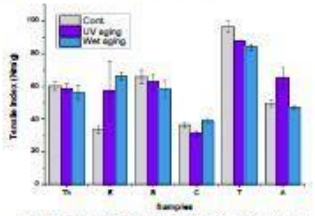


Fig. 5. Comparison in tensile index of samples.

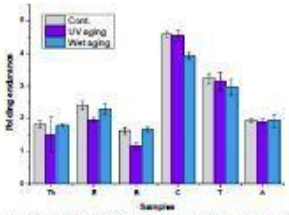


Fig. 6. Comparison in folding endurance of samples.

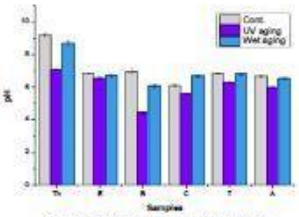


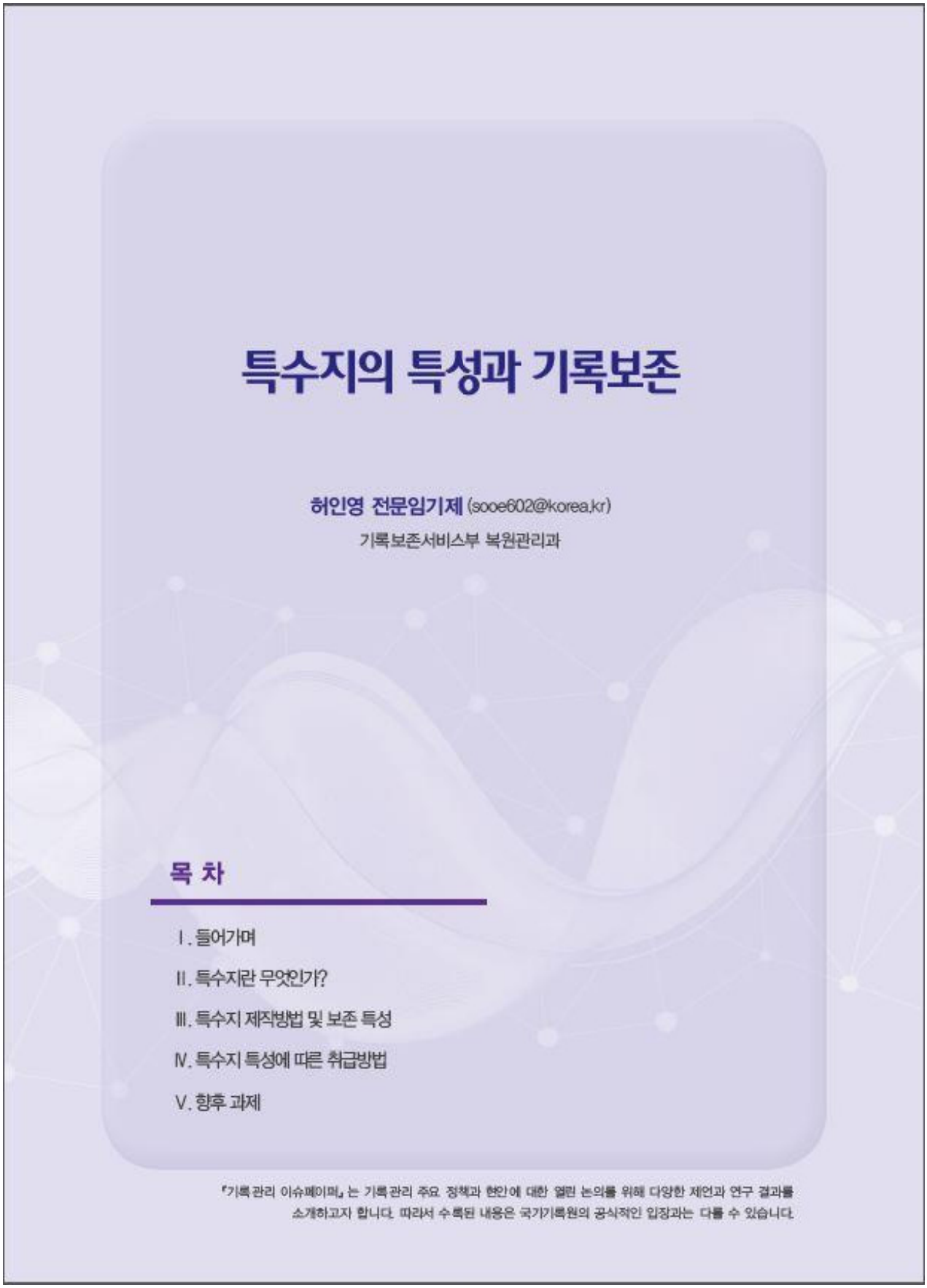
Fig. 7. Comparison in pH of samples.

Ⅲ. 결론

실험 결과 정전식 습식복사지와 크로스지가 평량이 높았으며, 감열지와 트레싱지가 가장 낮은 평량을 나타냈다. ΔE값은 중성지를 제외한 모든 종이에서 24시간 열화 후에 가장 높게 나타났으며 열화가 진행될수록 ΔE가 감소하는 경향을 나타내었다. 특히 감열지와 청사진이 열화 초기에 색변화가 큰 것을 확인하였다. 5종의 특수지는 열화 시 내절도가 감소하는 경향을 나타냈으며 기록용지는 광열화, 도면용지인 크로스지 및 트레싱지는 습식열화에 더 큰 감소폭을 나타냈다.

특수지의 재질 별 열화 특성을 파악하고자 수행한 열화 실험 결과 감열지와 청사진은 광노화에 특히 취약한 것을 확인하였으며, 감열지, 정전식 습식복사지, 청사진, 트레싱지, 중성지가 열화 시 산성화가 진행됨을 확인하였다.

3. 연구성과 - 기록관리 이슈페이퍼 vol.24 특수지의 특성과 기록보존



특수지의 특성과 기록보존

허인영 전문임기제 (sooe602@korea.kr)
기록보존서비스부 복원관리과

목 차

Ⅰ. 들어가며
Ⅱ. 특수지란 무엇인가?
Ⅲ. 특수지 제작방법 및 보존 특성
Ⅳ. 특수지 특성에 따른 취급방법
Ⅴ. 향후 과제

『기록관리 이슈페이퍼』는 기록관리 주요 정책과 현안에 대한 열린 논의를 위해 다양한 제언과 연구 결과를 소개하고자 합니다. 따라서 수록된 내용은 국가기록원의 공식적인 입장과는 다를 수 있습니다.

총괄 연구과제 요약

과제 고유번호	자동부여		공개가능여부	
사업명	2020년 국가기록관리·활용기술 연구개발(R&D) 사업			
과제명	특수지 기록물의 과학적 분석 및 보존성 진단 연구			
연구책임자	성 명	허인영		
	소속 기관명	국가기록원		
	전자우편	sooe602@korea.kr	전화번호	031-750-2064

○ 연구목표 (400~600자)

특수지는 제조사나 사용 시기 등에 따라 다양한 재료를 사용하여 표면이 가공처리되었고 이로 인해 나타나는 보존특성이 상이하며 상호간에 영향을 주어 보존성의 저하가 올 수 있어 각각의 보존특성에 따른 적절한 보존·복원방법의 연구 및 적용이 필요하다, 또한 일부 특수지에서 산성화된 종이를 알칼리화 시키기 위해 사용하는 탈산제가 기록의 휘발·탈색 및 보존성의 약화를 초래 할 수 있음이 확인되었다. 이에 본 연구에서는 특수지 보존특성 및 영향 평가와 보존방법 개선 방안을 제안하고자 하였다.
각 특수지 별 특수지 보존특성 및 영향을 파악하고자 한다. 이를 위해 국내·외 관련분야 연구 동향 및 규정 자료를 파악하고 특수지 관련 관리 현황을 조사한다. 또한 각 특수지 별 상호간 미치는 영향 파악하기 위한 실험을 진행하여 결과를 도출하고자 한다. 보존특성 및 영향 규명을 바탕으로 특수지 기록물의 보존방법 개선방안 제안 하고자 한다. 기존 사용하고 있는 탈산제가 특수지에 미치는 영향을 파악하고, 각 지종별 서로 영향을 줄일 수 있는 방법을 연구하여 편철개선, 탈산, 매체수록과 같은 보존방법에 대한 개선을 위한 기초 자료를 확보하고자 한다.

○ 연구내용 (1000~1200자)

기 연구된 특수지 특성을 바탕으로 국내·외 기록물 관련 기관에서 수행하였던 연구 등을 조사하고 기관별 관리 규정 자료를 파악하였다. 또한 국가기록원 및 국내·외 기록물 관리기관에서 특수지를 어떻게 관리·보존하고 있는지에 대한 조사를 하였다. 이를 통해 특수지 관리를 위한 보존성 평가 및 가이드라인 작성을 위한 기초 자료로 삼고자하였다.
보존성 평가는 크게 3가지 목표를 가지고 진행하였다. 연구를 위해 기록 및 도면용 특수지 중 가속노화 및 파괴실험이 가능하며 그 당시의 종이와 비슷한 5종의

특수지(감열지, 정전식복사지, 청사진(감광지), 크로스지, 트레싱지)와 보존용지인 중성지를 연구대상으로 선정하여 가속노화실험을 진행하였다. 연구 대상 시료의 열화전후 물성 분석을 위해 평량, 두께, 색차, 내절도, 인잔강도, 산성도분석(pH)을 진행하였다.
연구의 목표는 다음과 같다.
첫째, 각 특수지가 상호간 어떠한 영향을 미치는가에 대한 연구를 진행 하였다. 특수지는 각각의 보존특성이 상이하여 상호간에 서로 영향을 미칠 수 있기 때문에 특수지가 서로 중첩되어 보관되었을 때 나타날 수 있는 훼손 양상이나 서로에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.
둘째, 특수지 상호간 영향을 줄일 수 있는 방법에 대한 연구를 진행하였다. 특수지가 중첩되어 보관될 시 산성물질의 전이나 강도 저하에 문제를 야기 할 수 있기 때문에 분리 보존하는 것이 바람직하나 이는 문서의 관리 및 보관 등에서 또 다른 문제를 가져 올수 있다. 이에 문서를 분리 보존하지 않고도 상호간의 영향을 줄일 수 있는 방법으로 특수지 사이에 중성의 간지를 삽입하여 그 차단 효과를 확인해 보고자 하였다.
셋째, 현재 사용 중인 탈산제가 특수지에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 기 연구된 연구 결과에서 특수지 중 일부에서 알칼리성 물질에 의해 훼손이 심화 될 수 있음이 확인되었다. 탈산제는 산성화된 종이를 알카리화시키기 위해 용제에 희석된 알칼리 물질을 기록물에 침투시킨다. 이때 사용되는 알칼리 물질이 특수지에 미치는 영향을 파악하여 탈산 시 있을지 모르는 추가 훼손을 방지하고자 하였다.

○ 연구성과(응용분야 및 활용범위포함) (400~600자)

연구를 통해 특수지가 다른 종이와 중첩 시 상호간의 영향으로 인해 물리적 강도가 저하될 뿐만 아니라 화학적인 측면에서도 열화가 가속화되는 것으로 확인되었다. 중첩 되었을 때 상호간의 영향을 받아 열화 되는 것을 방지하기 위해 중성지를 삽입하여 그 효과를 확인 한 결과, 기록용 특수지에서는 pH 및 물리적 강도가 증가하고 색차 값이 감소하여 그 효과가 확인되었고 도면용 특수지에도 역시 미미하지만 pH 및 물리적 강도가 증가하고 색차 값이 감소하였다. 각 특수지 사이에 중성지를 삽입하면 상호간의 영향을 감소시킬 수 있을 것이라 추정된다. 또한 특수지에 대한 탈산제의 영향을 파악하기 위한 실험 결과 탈산제의 영향으로 종이의 pH는 증가하였지만 물리적 강도의 저하가 발생하였으며 색차값이 증가하여 기록물의 변·퇴색 및 휘발·탈색에 영향을 미칠 것으로 추정 하였다.
본 연구를 통해 특수지의 보존특성을 파악하고 보존방법에 대한 개선 방안을 제안하고자 하였다. 일부 결과에서 결과 값이 표준편차 내의 차이를 보여 유의미한 결과를 도출하는데 부족함이 있지만, 어느 정도 상관관계의 파악은 가능하였으며

추후 지속적인 연구가 진행되어야 할 것이다. 연구 결과를 통해 특수지 기록물의 보존성 증대시키고 특수지 기록물 보존관련 업무의 체계화를 위한 가이드라인 작성 및 보존환경 관리를 위한 기초자료로 활용 할 수 있을 것이라 판단된다.

○ 총괄 참여연구원

성 명	소속/직위	성 명	소속/직위
허인영	국가기록원 복원관리과 / 전문임기제		
양소은	국가기록원 복원관리과 / 학예연구관		
두예슬	국가기록원 복원관리과 / 인턴연구원		
현혜경	국가기록원 복원관리과 / 인턴연구원		

Keywords (5개 내외)	***한글***	특수지, 감열지. 감광지, 청사진, 트레싱지, 보존특성
	영문	*Specialty paper, Thermal paper, Xerographic paper, Blue print, Tracing Cloth, Tracing paper, Preservation properties*

주1) 연구목표, 연구내용, 연구성과를 서술형으로 기재

2) 국가연구개발사업 DB를 통한 공개를 희망하지 않는 경우 공개가능여부란에 “공개불가"로 표시

3) 연구성과는 그간의 연구결과 및 기대성과를 서술

2020년 국가기록관리 · 활용기술 연구개발(R&D) 사업 자체연구 결과보고서

02 인공지능 기반의 시청각 동영상 기록물의 업스케일링 연구

The Study of AI Based Video Record Up-Scaling

복원관리과 **최근창**

〔별지 제15호서식〕

자체연구과제 최종보고서

<table>
<tr><td>연구사업명</td><td colspan="8">2020년 국가기록관리·활용기술 연구개발(R&D) 사업</td></tr>
<tr><td>연구과제명</td><td colspan="8">인공지능 기반의 시청각 동영상 기록물의 업스케일링 연구
(The Study of AI Based Video Record Up-Scaling)</td></tr>
<tr><td>책 임 자</td><td>소 속</td><td colspan="3">복원관리과</td><td>성 명</td><td colspan="3">최근창</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구자
및 참여율</td><td>책임자</td><td>최근창</td><td>34%</td><td>연구자</td><td>김상국</td><td>33%</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>연구자</td><td>허재욱</td><td>33%</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="3">연
구
결
과</td><td>필요성
및
목표</td><td colspan="8">고해상도로 디지털화가 어려운 시청각 동영상 기록물의 고품질 변환기술 확보가 필요하다. 본 연구는 저해상도의 동영상 기록물을 인공지능 기술을 통해 업스케일링하여 고해상도로 제공이 가능한지 판단하는 것을 목표로 한다.</td></tr>
<tr><td>방 법
및
결 과</td><td colspan="8">인공지능 프로토타입을 설계하고 테스트베드를 구축하여 업스케일링을 수행한다. 업스케일링된 결과를 평가 및 분석하여 국가기록원에 적용이 가능한지 판단한다. 최종 연구 결과, 인공지능 기반의 업스케일링을 통해 동영상 기록물을 효과적으로 업스케일링 할 수 있음을 확인하였다.</td></tr>
<tr><td>기대성과</td><td colspan="8">해당 연구를 통해서 향후 인공지능 기반의 업스케일링 기술과 인공지능 기반의 다양한 기술 적용이 국가기록원에 도입될 수 있는지 확인하는 것이다.</td></tr>
<tr><td colspan="2">활용계획</td><td colspan="8">본 연구로 얻은 결과를 토대로 국가기록원의 시청각 동영상 기록물을 인공지능 기반의 업스케일링을 수행하려 한다. 또한 향후 다양한 인공지능 기술 적용 여부 확인에 기초연구로써 적극적으로 활용한다.</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구비(천원)</td><td>책정액</td><td colspan="2">25,000,000원</td><td>사용액</td><td colspan="3">24,702,910원</td></tr>
<tr><td colspan="2">발표(게재)계획</td><td>연보</td><td></td><td>학술지명</td><td></td><td>학술대회명</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">비 고</td><td colspan="8">보안성 유( ) 무(✓)</td></tr>
</table>

이상과 같이 보고합니다.

첨부 : 보고서 1부.

2020년 12월 18일

(부서명) 복원관리과 성명 : 최근창

주 의

1. 이 보고서는 국가기록원에서 시행한 연구개발사업의 연구결과보고서 입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 국가기록원에서 시행한 연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.

제 출 문

국가기록원장 귀 하

이 보고서를 “인공지능 기반의 시청각 동영상 기록물의 업스케일링 연구(복원관리과/최근창)” 과제의 연구결과보고서로 제출합니다.

2020. 12. 18

수행부서명 : 복원관리과

연구책임자 : 최근창

<차 례>

제1장 총괄연구개발과제의 최종 연구개발 목표 ····· 96
1절 총괄연구개발과제의 목표 ····· 96
2절 총괄연구개발과제의 목표달성도 ····· 97
3절 총괄연구개발과제 필요성 ····· 98
4절 국내·외 기술개발 현황 ····· 100
1. 산업 동향 ····· 100
2. 기술 동향 ····· 101

제2장 총괄연구개발과제의 최종 연구개발 내용 및 방법 ····· 103
1절 인공지능 업스케일링 분석 ····· 103
2절 데이터세트 분석 ····· 107
3절 프로토타입 A 개발 ····· 109
1. 개발 개요 ····· 109
2. 주요 알고리즘 ····· 110
3. 옵티컬 플로우(Optical Flow) ····· 110
4. 프로젝션 모듈(Projection Module) ····· 111
4절 프로토타입 B 개발 ····· 113
1. 개발 개요 ····· 113
2. 주요 알고리즘 ····· 113
3. 핑퐁 손실(Ping-Pong Loss) ····· 114
5절 테스트베드 적용 ····· 116
1. 테스트베드 환경 ····· 116
2. 테스트베드 구축 ····· 117

제3장 총괄연구개발과제의 최종 연구개발 결과 ····· 120
1절 업스케일링 결과 ····· 120
2절 정량적 평가 ····· 144
1. PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio) ····· 144
2. SSIM(Structural Similarity Index Map) ····· 148
3절 정량적 수치에 대한 보완평가 ····· 151

제4장 총괄연구개발과제의 연구결과 고찰 및 결론 ····· 153
1절 총괄연구개발과제의 연구 결론 ····· 153
1. 학습데이터의 개선 필요 ····· 153

2. 알고리즘의 개선 필요 ····· 155
3. 하드웨어의 개선 필요 ····· 158
2절 총괄연구개발과제의 연구 결론 고찰 ····· 160
1. 시사점 도출 ····· 160
2. 한계점 및 향후 방향 ····· 160
제5장 총괄연구개발과제의 연구성과 ····· 162
1절 활용성과 ····· 162
2절 활용계획 ····· 163
제6장 참고문헌 ····· 164

<표 차례>

[표 1] National Archive of Korea Record Count[2] ····· 98
[표 2] AudioVisual Training Dataset ····· 108
[표 3] AI Function and Feature ····· 118
[표 4] Source Code of PSNR Check Function ····· 146
[표 5] Source Code of SSIM Check Function ····· 149
[표 6] Score Chart ····· 151
[표 7] Average Score ····· 152
[표 8] Type by Tensor ····· 159

<그림 차례>

(그림 1) Annual of Resolution Change[3] ····· 99
(그림 2) Anticipate of Super Resolution Display[6] ····· 100
(그림 3) Compare of Mechanism to PSNR Score[8] ····· 102
(그림 4) SRCNN Architecture[9] ····· 103
(그림 5) SRGAN Architecture[10] ····· 104
(그림 6) Differ of Frame based Timecode ····· 105
(그림 7) EDVR Architecture[11] ····· 105
(그림 8) FRVSR Architecture[12] ····· 106
(그림 9) DBPN Architecture[13] ····· 106
(그림 10) PSNR, SSIM Score of SOTA[14] ····· 107
(그림 11) VID4 Dataset ····· 108
(그림 12) Example of Vimeo-90k Dataset ····· 108
(그림 13) National Archive of Korea Dataset ····· 109
(그림 14) Prototype ‘A’ Architecture ····· 110
(그림 15) Prototype ‘A’ Algorithm ····· 110
(그림 16) Apply of Optical Flow ····· 111
(그림 17) Projection Module Structure ····· 111
(그림 18) Encoder ····· 112
(그림 19) Decoder ····· 112
(그림 20) Flow of Prototype ‘B’ Algorithm ····· 113
(그림 21) Generator Network Architecture ····· 113
(그림 22) Compare Network Architecture ····· 114
(그림 23) Drifting Artifact ····· 115
(그림 24) Ping-Pong Loss Sequence Flow ····· 115
(그림 25) Prototype Test-bad(Software) ····· 116
(그림 26) Prototype Test-bad(Hardware) ····· 116
(그림 27) Training Flow of AI ····· 117
(그림 28) Training Result Screen ····· 120
(그림 29) PSNR & Quality ····· 145
(그림 30) PSNR Error Image ····· 148
(그림 31) Check of SSIM ····· 149
(그림 32) Simility of Vimeo-90k & VID4 Dataset ····· 153
(그림 33) Compare of Dataset ‘A’ & ‘B’ Upscailing Result ····· 154
(그림 34) Upscaling Result Applying the Professional Company Technology 1 (L-Original,

R-Result) ····· 154
(그림 35) Upscaling Result Applying the Professional Company Technology 2 ····· 155
(그림 36) Sharpness Difference of CNN & GAN ····· 156
(그림 37) Example of CNN & GAN Fusion Algorithm[18] ····· 156
(그림 38) Lack of Upscaling Result ····· 157
(그림 39) Noise of Upscaling ····· 157
(그림 40) Examle of Upscaling Time Required for Each Frame ····· 159
(그림 41) Use Plan ····· 163

연구결과보고서 요약문

연구과제명	인공지능 기반의 시청각 동영상 기록물의 업스케일링 연구		
중심단어	시청각기록물, 인공지능, 업스케일링, 동영상		
수행부서	복원관리과	연구책임자	최근창
연구기간	2020. 03. 25 - 2020. 12. 18		

국가기록원은 공공기관에서 생산된 영구보존 기록물과 국가적으로 중요한 민간 및 해외 소재 기록물을 수집·보존·관리하는 기관이다. 보존되는 다양한 유형의 기록물 중에서 시청각기록물의 경우, 매체의 특성상 고화질로 디지털화가 불가능한 대상, 구장비를 통한 디지털화로 화질이 떨어지는 등의 기록물들이 존재하고 있다. 본 연구는 저해상도 상태의 디지털화 시청각동영상 기록물을 대상으로 인공지능 기반의 업스케일링을 수행함으로서 고해상도의 시청각동영상 기록물로 제공·관리하는 것을 목표로 한다. 세부목표는 아래와 같다.

① 시청각 동영상기록물을 대상으로 업스케일링 기술을 통해 저해상도 동영상을 고해상도 동영상 으로 개선하고 화질의 향상을 확인한다.
② 위의 결과를 통해 인공지능 기반 업스케일링 기술 적용 여부를 판단한다.
③ 인공지능 업스케일링 프로토타입의 결과를 정성적, 정량적으로 평가한다.
④ 마지막으로 향후 본 연구를 활용해 인공지능 기반의 자동복원, 음성인식, 객체·사물 인식 등의 인공지능 기술의 적용 가능성을 검토한다.

연구 목표 달성을 위해서 기존의 업스케일링에 관련된 산학계의 정보를 조사하고 이를 기반으로 다양한 알고리즘을 활용하였다. 연구 결과를 확인하기 위해 인공지능 기반의 업스케일링 프로토타입을 구현해 테스트베드 구축을 진행하였다. 테스트베드를 활용한 업스케일링을 수행하고 그 결과를 평가하기 위해서 정성적 및 정량적 평가 방법을 사용하였다. 정성적 평가는 결과의 점수측정을 통해 평가를 수행하였고, 정량적 평가는 영상을 평가할 때 주로 사용되는 측정방법인 PSNR, SSIM을 이용해서 평가를 수행하였다. 최종적으로 연구를 통해서 다음과 같은 연구성과를 얻었다.

① 리마스터링 정도의 결과는 아니지만, 품질저하 등의 문제없이 수행됨을 확인되었다.
② 업스케일링이 실제로 기록원의 시청각 동영상 기록물에 적용되기 위해서는 기록물 특성에 적합한 고도화된 업스케일링 알고리즘과 특성과 유사한 형태의 고해상도 학습데이터 세트가 필요함을 확인했다.
③ 결과에 대한 정량적 평가부분에서는 원본과 유사성이 높은 점수치가 도출되었고, 정성적 평가부분은 정밀한 기준의 평가안이 필요함을 확인했다.
④ 본 연구를 통해 객체인식 프로토타입 개발 등으로 다양한 인공지능 적용 가능성을 확인했으며, 향후 시각적 인공지능 기술 도입을 위해서는 본 연구가 반드시 필요함을 확인했다.

본 연구결과를 기반으로 자동복원, 음성인식, 객체·사물 인식 등의 기술과 융합한 인공지능 기반 기록관리방안을 연구하고자 한다.

총괄연구개발과제 연구결과

제1장 총괄연구개발과제의 최종 연구개발 목표

1절 총괄연구개발과제의 목표

국가기록원은 공공기관의 보존 가치를 지닌 기록물과 국가적으로 중요한 민간 및 해외 소재 기록물을 수집하고, 과학적인 방법으로 보존·관리하는 중앙기록물관리기관이다. 국가기록원의 주요 목표는 국가 주요기록물 수집 및 체계적 보존·관리 수행, 대국민 기록정보 제공으로 지식정보사회를 선도, 기록문화 확산 등의 다양한 활동을 진행하는 것이다[1].

본 연구는 국가기록원이 소장한 다양한 기록물 유형중, 저해상도를 가지는 시청각 동영상 기록물에 대해서 인공지능 기반의 업스케일링을 수행하고, 고해상도의 결과물을 현시대의 흐름에 맞게 제공할 수 있는지 여부를 판단하는 것이 핵심 목표이다.

○ 국가기록원 시청각 동영상 기록물 적용

국가기록원이 소장한 시청각 동영상 기록물을 대상으로 인공지능 기반의 업스케일링 기술을 통해 저해상도 동영상 기록물을 고해상도 동영상 기록물로 개선하고, 화질의 향상을 확인한다. 해당 결과를 통해 시청각 동영상 기록물 보존관리방안에 적용가능 여부를 판단한다.

○ 인공지능 기반 업스케일링 개발 및 평가

오픈소스 기반의 업스케일링 인공지능 알고리즘을 이용해 프로토타입을 개발하고 테스트한다. 결과물에 대하여 정성적, 정량적으로 평가한다.

○ 시청각기록물 관련 인공지능 적용 가능성 검토

향후 본 연구를 활용해서 인공지능 기반의 자동복원, 음성인식, 객체·사물 인식 등의 인공지능 기술과 기존 MAM 시스템이 보유한 품질 검사, 장면 추출, 맥락정보 자동생성 등의 적용 가능성을 검토한다.

2절 총괄연구개발과제의 목표달성도

○ 인공지능 기반 업스케일링 프로토타입 개발

- 인공지능 기반 업스케일링 산업·기술 동향 확인 (100%)

  현재 업스케일링에 관련된 다양한 산업·기술과 동향을 파악하고 이를 인공지능 업스케일링 연구에 적용한다.

- 국가기록원 데이터세트 전처리 및 구축 (100%)

  국가기록원이 보유한 시청각 동영상 기록물의 상태와 현황을 확인하고 전처리를 통해 학습에 사용 가능한 학습데이터 세트로 구축한다.

- 업스케일링 프로토타입 개발 및 적용 (100%)

  인공지능을 기반으로 하는 업스케일링 프로토타입을 개발하고 이를 시청각 동영상 업스케일링에 적용해 결과를 출력한다.

○ 인공지능 기반 업스케일링 결과 평가

- 인공지능 업스케일링 결과 확인 (100%)

  업스케일링의 결과물을 다양하게 출력하여 화질 향상 여부를 비교 및 확인한다.

- 점수측정을 통한 정성적 평가 완료 (100%)

  정성적 평가를 위해서 측정유형을 작성하고 대상별로 점수를 매겨 평가한다.

- 수식을 통한 정량적 평가 완료 (100%)

  정량적 평가를 위해 업스케일링 결과물과 원본의 다른 점을 수식을 통해서 측정한다.

○ 향후 인공지능 기반 기술 적용 가능성 검토

- 적용 가능한 관련 인공지능 기반 기술 조사 (100%)

  향후에 국가기록원이 소장한 기록물 보존·복원에 적용이 가능한 인공지능 기반 기술을 조사한다.

- 인공지능 객체·사물 인식 가능성 확인 (100%)

  인공지능을 통한 객체·사물 인식 알고리즘 구현을 통해서 향후 인공지능 기반의 인식 기술 적용 가능성을 확인한다.

- 맥락 정보 자동생성 적용 가능성 확인 (100%)

  다양한 인공지능 기반 연구를 수행할 경우, 향후 국가기록원이 보유한 기록물에 적용할 수 있는지 여부를 확인한다.

3절 총괄연구개발과제 필요성

현재 국가기록원이 소장하고 있는 기록물은 일반문서류, 시청각류, 행정박물류, 간행물류 등 다양한 형태의 기록물이 있다. 이 중에서 시청각 기록물의 경우, 전체 기록물 중 두 번째로 많은 기록물 형태이고, 가장 많은 용량을 차지하고 있다. 시청각기록물은 비디오, 오디오, 사진 등의 다양한 형태의 기록물을 가진다. [표 1]은 국가기록원이 보유하고 있는 기록물의 형태와 보유량을 보여준다.

[표 1] National Archive of Korea Record Count[2]

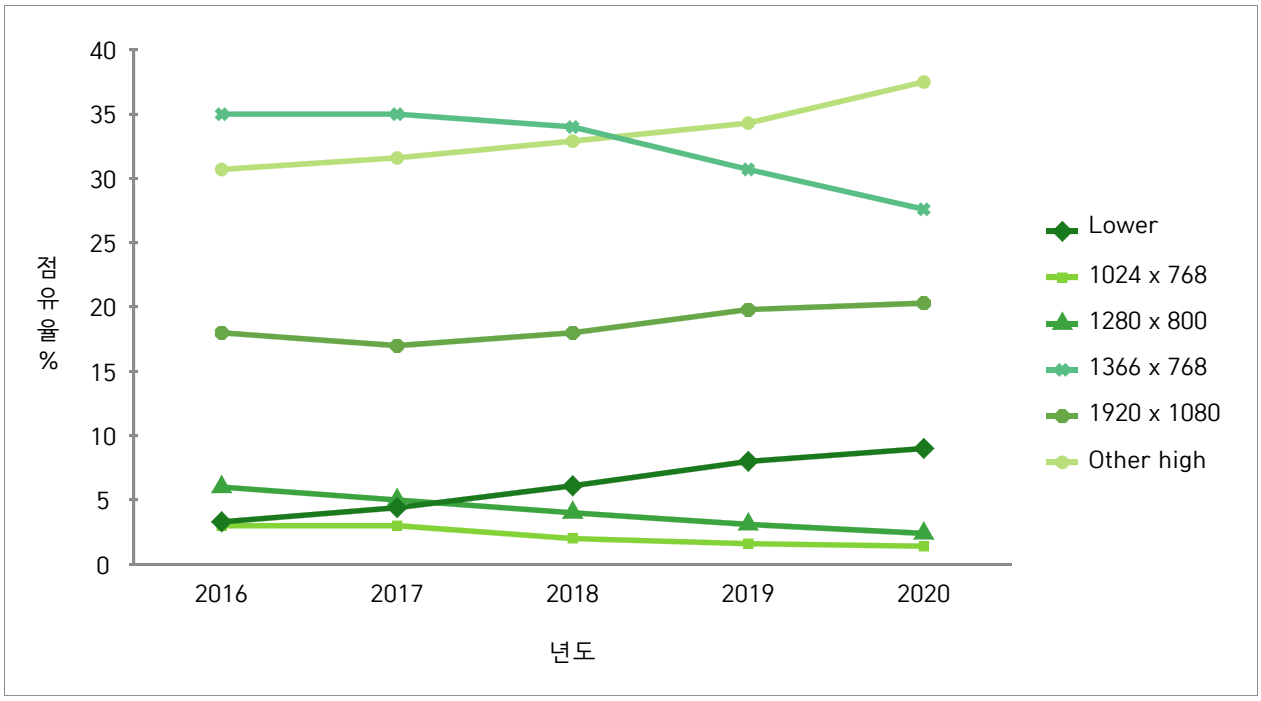
종류	보유량	단위	주요내용
문서	3,657,270	권, 매	조선왕조실록, 구황실문서, 조선총독부문서, 각 기관 이관기록물 등
도면	226,613	권, 매	기상관측도, 지적원도, 국유림경계도, 삼각원도, 광구도, 청사설계도, 각종공사설계도 등
카드	422.715	권, 매	인사기록, 병적카드, 공무원연금카드 등
시청각	2,908,342	점	대한뉴스 및 기록영화, 대통령해외순방, 대통령 신년사 ·기자회견, 대통령 주재 주요 회의, 역대 3부 요인 및 역대 장관, 국가 주요 행사 등
관인류	18004	점	국새, 직인, 청인
상징물, 기념물	43208	점	화폐, 우표, 훈장·포장, 포스터, 팜플릿, 기념품, 등록카드, 상장, 상패, 메달, 트로피
사무집기류	61	점	사무집기
기타	1600	점	영구기록물관리기관의 장이 지정한 그 밖의 유형
행정간행물	561,352	종, 권	기관별 수집 간행물, 일반출판사 발행도서

2016년 1월 1일 기준

국가기록원에서 디지털 시청각 기록물에 대한 보존·복원 관련 업무수행과 연구개발을 통한 보존·복원 기술 향상, 기록물 관리시스템 운영·고도화 등의 매우 핵심적인 업무를 수행하고 있다. 영구기록물관리기관의 특성상 오래된 기록물이 많고, 특히 시청각 동영상 기록물은 필름, 비디오 등의 다양한 아날로그 형태의 기록물이 많다. 이에 따라 오래된 기록물의 재생장비가 별도로 필요하지만, 현재는 이용되지 않는 아날로그 매체로서 장비확보 및 환경구축에 많은 어려움이 발생한다. 이러한 문제로 국가기록원의 시청각기록물 보존 정책은 많은 재생장비 및 환경 확보와 더불어 오래된 매체를 우선적으로 디지털화하는 방향으로 수립되었다. 오래된 아날로그 매체의 특성 때문에 본 연구를 수행하게 되었다.

첫 번째로 고해상도 디스플레이의 보급으로 인해 (그림 1)과 같이 고해상도 점유율의

상승이다. 국가기록원의 보존정책은 빠른 디지털화로 이용이 불가능하게 될 위험성을 우선적으로 고려하고 있다. 기술력이 발전한다면, 현재보다 고해상도로 디지털화가 수행될 수 있겠지만, 디지털화에 소요되는 시간이 중장기적으로 수행해야하는 문제로 기술력 향상을 기다리고 있을 수 없다. 때문에 현재의 환경에서 가장 좋은 품질로 디지털화를 한다고 하더라도, 대다수의 기록물은 현재 사용되는 동향보다 저품질인 상황이다. 이런 환경에서 외부제공 등의 서비스가 불만족스러운 결과를 나타내고 있다. 저품질의 시청각기록물을 현재의 고해상도 디스플레이에서 재생할 경우, 픽셀처럼 깨지는 현상, 작은 사이즈로 재생 등의 시각적으로 불만족스러운 결과를 보여진다. 새로운 고해상도 규격에 맞추기 위해서는 근 20년간 디지털화해왔던 시청각 기록물을 다시 현재의 고해상도 포맷으로 재 디지털화하는 심각한 자원 낭비가 발생하게 된다. 또한, 현재의 고해상도 규격이 가까운 미래에는 8K, 16K 및 그 이상의 새로운 고해상도 규격으로 변경될지 예측하기 어렵다. 계속해서 재 디지털화를 수행하는 자원 낭비를 반복하지 않기 위해서 근본적인 개선 대책이 필요한 시점이다.



(그림 1) Annual of Resolution Change[3]

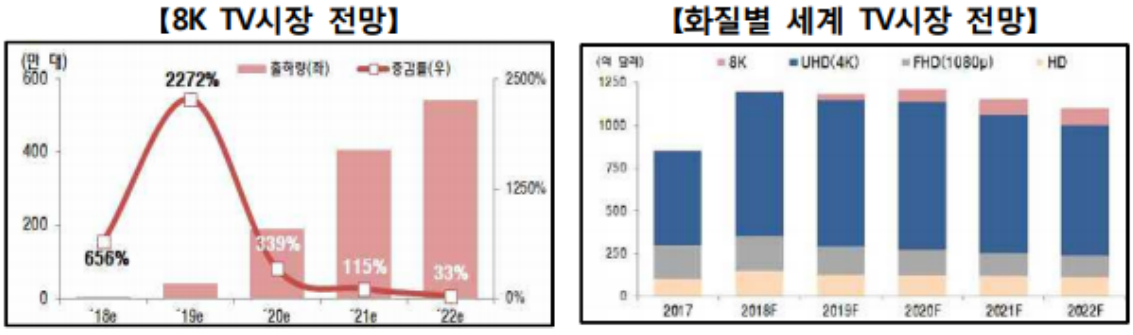
두 번째로 행정안전부는 「공공데이터의 제공 및 이용활성화에 관한 법률」에 따라서 중앙정부·지방자치단체 및 공공기관이 보유·관리하는 공공데이터를 일반 국민이 자유롭게 이용할 수 있도록 다양한 형태로 개방·제공하고 새로운 데이터 가치를 창출하도록 지원하고 있다. 현재 범정부 차원의 공공데이터 중장기('19~'21) 개방계획 마련과 제

3차('20~'22) 공공데이터 기본계획 수립 등 다양한 공공데이터 활용 방안을 통해 공공기관들이 가지고 있는 데이터를 유의미하게 활용할 수 있도록 적극적으로 정책을 추진하고 있다[4]. 국가기록원도 이러한 범정부 차원의 공공데이터 활용 방안 개선 흐름에 동참해야한다. 국가기록원이 보유한 시청각기록물은 일반적인 기록물이 아닌, 당시 시대상과 상황 등을 반영한 일반적으로 접하기 힘든 기록물들이 대다수이다. 4차 산업혁명에 이용될 수 있는 인공지능과 빅데이터 등의 산업분야에서도 기록원의 특수성을 지닌 학습데이터를 확보하거나 이용하기에 매우 어려움이 있는 상황이다. 국가기록원이 소장하고 있는 많은 시청각 동영상 기록물은 이러한 인공지능 학습데이터로 우수하게 사용될 여지가 있다. 국가적 기술력 향상을 위해서는 시청각기록물의 공공데이터화를 수행하고, 제공할 수 있는 역량을 갖추어야 한다.

4절 국내·외 기술개발 현황

1. 산업 동향

해상도는 디스플레이 산업의 현황과 매우 밀접한 관계에 있다. 디스플레이 산업의 지속적인 발전에 따라 고해상도 디스플레이의 표준화가 이루어지고 있다. 이에 따라 기존 저품질 및 저해상도 동영상을 고해상도 디스플레이 출력할 수 있는 연구도 활발히 이루어질 전망이다[5]. 현재 전방산업의 수요부진에 대해서 패널 제조업체들의 대응 방안은 기술력 우위를 바탕으로 한 디스플레이 크기의 확대와 4K·8K 등 고화질 TV, 장비 등의 출시로 프리미엄화 전략을 추구하고 있다. 2020년 국제전자제품박람회(CES, The International Consumer Electronics Show)의 TV 분야에 주요 기업들이 앞다투어 새로운 8K TV를 공개하는 등, 지속적인 화질·크기 경쟁을 통해 기술력 홍보와 프리미엄 시장의 공략 의지를 보이고 있다[6]. (그림 2)는 8K TV 시장의 전망과 화질별 세계 TV 시장의 전망을 보여준다.



(그림 2) Anticipate of Super Resolution Display[6]

고해상도 디스플레이를 가지는 장비는 지속해서 증가하고 있으나, 고해상도로 이용할 수 있는 콘텐츠는 많이 부족한 실정이다. 고해상도의 TV나 디스플레이 장비를 제대로 이용하기 위해선 고해상도로 제작된 동영상 콘텐츠가 함께 제공되어야 한다[6]. 예시로 동영상 공유 플랫폼인 유튜브(Youtube)에서는 고해상도의 동영상 기능을 지원하고 있으나, 실제로 고해상도 동영상은 거의 업로드 되어 있지 않다. 다수의 이용자가 있는 콘텐츠 서비스 플랫폼인 넷플릭스(Netflix)에서도 현재 UHD 해상도의 동영상이 지원되나 그 수가 많지 않다. 많은 고해상도 동영상 구축에도 다소 시간이 필요할 전망이다. 고해상도 동영상의 특징상 기존의 저해상도 동영상에 비해서 많은 전송 데이터로 인해 촬영, 편집, 송출 등 대부분 영역에 걸쳐 기존의 장비와 규격으로는 감당하기 어렵다는 점도 문제가 되고 있다. 다양한 부분에서 고해상도의 동영상이 계속해서 출시되고 있으나, 전송 데이터의 대역폭으로 인해 실시간으로 수신하여 재생하는 것이 감당하기 버거운 시점이다. 이러한 문제점들을 효과적으로 해결하기 위한 대안으로 많은 기업이 업스케일링 기술을 사용하는 추세이다. 업스케일링 기술은 저해상도 동영상에서 고해상도 동영상을 생성하므로 전송 데이터 대역폭 문제를 해결할 수 있는 대안으로서 시장의 주목을 받고 있다[5, 6].

현재 여러 산업계는 인공지능 업스케일링 기술을 형성하고 동영상 및 콘텐츠 제작을 연구하고 있다. 국내외 기업들은 4K보다 4배 많은 픽셀을 가지는 8K 고해상도 TV를 선보이고 있지만, 그에 따른 고해상도 콘텐츠 제작기술이 부족하므로 업스케일링 연구 수요는 점점 더 늘어날 전망으로 보인다[5].

현재 산업계에서는 인공지능 기반의 8K 업스케일링 기술을 TV에 도입함으로서 자체적으로 8K 콘텐츠를 확보하고 있는 상황이다.

2. 기술 동향

인공지능에 대한 많은 고도화가 이루어지고 연구된 이후로, 인공지능을 굉장히 다양한 분야에 적용하고자 하는 시도가 있었다. 이러한 연구는 업스케일링 분야에도 적용되기 시작하였다. 인공지능 기술을 이용하는 업스케일링 연구가 활발하게 진행되기 이전에도 다양한 업스케일링 기술이 존재하였다. 과거에는 기울기 영역 처리, 신호 에너지 증가, 보간(Bicubic), 선형 맵핑(Linear Mapping) 등의 다양한 기술 적용, 여러 가지 수학적 함수나 복합 연산 수행, 비트레이트(Bitrate)나 코덱(Codec), 필터(Filter) 등의 개선을 통해 저해상도 동영상의 업스케일링이 이루어졌다.

선형 맵핑을 이용한 업스케일링의 경우, 상대적으로 적은 복잡도와 연산량으로 업스케일링이 가능하였다. 이 중에서 저해상도와 고해상도 딕셔너리(Dictionary)로부터 선

형 맵핑을 학습시켜 고해상도 패치를 생성하는 고정 이웃 회기법(ANR, Anchored Neighborhood Regression), 이웃 회기법(A+ ANR) 등은 과거에 우수한 성능을 보여주었다[7]. (그림 3)은 원본과 기존의 보간을 이용한 업스케일링, 그 이외의 다양한 회기법 등의 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio) 점수를 비교한다. PSNR 점수는 높을수록 원본과 유사하다는 의미이다.

(그림 3) Compare of Mechanism to PSNR Score[8]

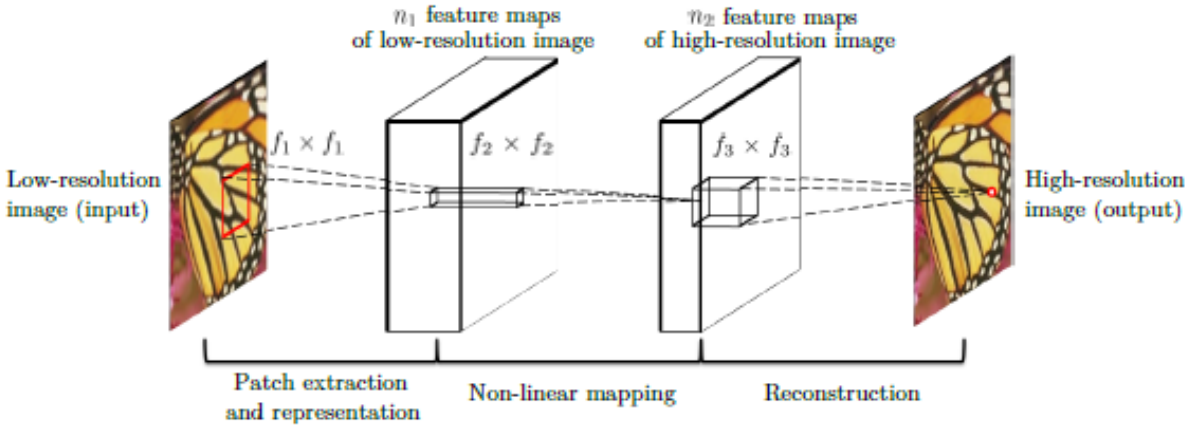
위의 업스케일링 기술의 경우, 선형 맵핑을 사용하기 때문에 비선형적인 업스케일링 시 성능이 낮아진다는 단점이 존재한다. 이처럼 인공지능 기술이 도입되기 이전의 업스케일링의 경우, 현재 인공지능 기반의 업스케일링 기술보다 비교적 낮은 업스케일링 결과를 보여주었다. 인공지능을 이용한 업스케일링 연구는 현재 활발하게 연구되고 있으며, 지금 시점에 객체인식을 위한 CNN(Convolutional Neural Network)과, 이미지를 생성하는 기술에 적용이 가능한 GAN(Generative Adversarial Network) 등을 이용하고 있다. 현재는 영상처리 기술 및 하드웨어 장비가 고도화됨에 따라서 새로운 구조의 인공지능을 이용하는 업스케일링 연구가 활발하게 이루어질 전망이다[5].

제2장 총괄연구개발과제의 최종 연구개발 내용 및 방법

1절 인공지능 업스케일링 분석

인공지능 기술 중 하나인 CNN(Convolutional Neural Network)은 사람의 시각 피질 메커니즘에 영감을 받아 설계된 것으로, 사람이 물체를 볼 때 특징적인 부분을 나누어 인식하고 이를 고수준의 계층으로 합쳐서 어떤 물체인지 파악하는 원리에서 착안한 것이다. CNN은 필터라는 것이 존재하고, 이를 통해 물체의 특징을 추출하고 이미지의 특성을 계층적으로 파악할 수 있게 된다. 먼저 동영상 업스케일링 연구를 설명하기 전에 기초가 되는 이미지 업스케일링 연구에 대해서 분석한다.

이미지 업스케일링 연구는 2014년에 개발된 SRCNN(Super-Resolution Convolutional Neural Network)으로 시작되었다[9]. SRCNN의 전체적인 구조는 (그림 4)와 같다. SRCNN은 저해상도의 이미지를 입력으로 받아 패치(Patch)라고 불리는 일부분을 추출하고 고차원의 벡터(Vector)로 만든다. 이를 다른 고차원의 벡터로 비선형 맵핑(Non-linear Mapping)하게 된다. 각 맵핑된 벡터는 고해상도의 패치를 표현하게 된다. 마지막으로 패치를 통해서 고해상도 이미지를 생성한다. 각기 과정은 CNN 계층으로 이루어져 있다.



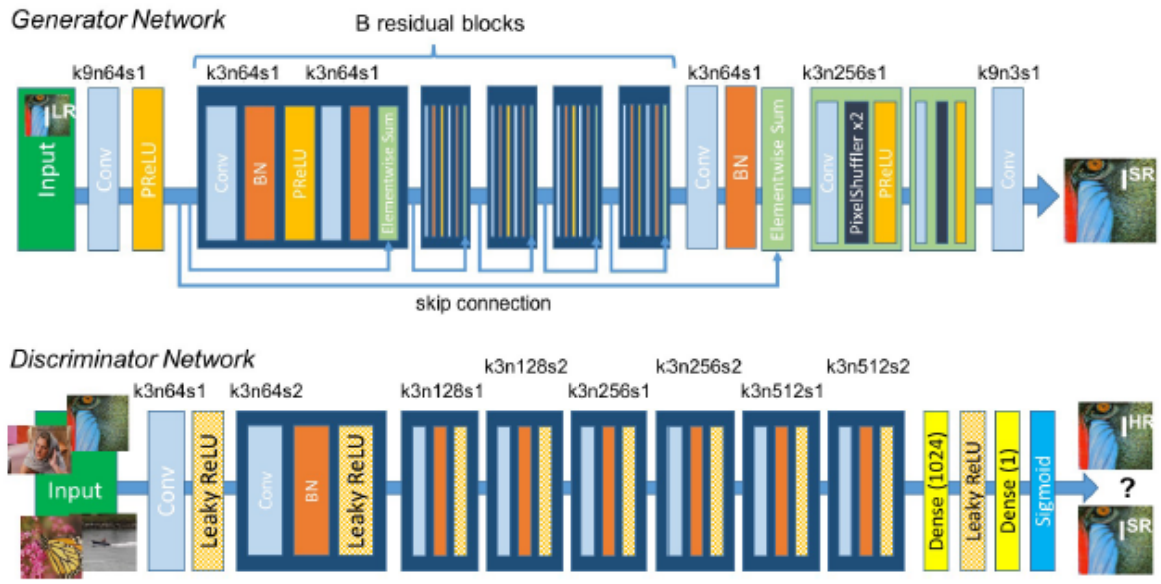
(그림 4) SRCNN Architecture[9]

SRCNN 이후로 개선하거나 더 발전된 형태의 업스케일링 연구가 활발하게 진행되었다. 계속해서 CNN을 기반으로 하는 다양한 형태의 업스케일링 기술이 진행되고 있으며, 현재 CNN과 다양한 기술들을 융합하는 응용단계의 연구가 진행중이다.

이와 더불어 업스케일링에 주로 사용되는 GAN(Generative Adversarial Network)은 CNN 핵심 알고리즘을 이용한 새로운 기술이다. 생성자(Generator)와 판별자(Discriminator)로 이루어진 두 개의 네트워크가 서로 대립관계로 구성되어 원본과 유사한 영상을

새롭게 생성한다. 생성자 네트워크는 판별자 네트워크를 속이는 가짜 이미지를 만드는 것을 목적으로 하고, 판별자 네트워크는 생성자 네트워크의 결과물을 확인하고 해당 이미지가 진짜인지 가짜인지 판별한다. 두 네트워크가 경쟁 구도로 학습하게 되면, 결과적으로 판별자 네트워크가 구분할 수 없는 진짜와 같은 가짜 이미지를 만들어내게 된다.

이미지 업스케일링에 사용되는 대표적인 GAN은 SRGAN(Super-Resolution Generative Adversarial Network)가 있다[10]. (그림 5)와 같이 SRGAN은 업스케일링된 이미지를 생성자 네트워크에서 생성하고, 생성된 이미지와 원본 고해상도 이미지를 판별자 네트워크에서 비교한다. 이 과정을 반복적으로 학습해 최종적으로 우수한 업스케일링 이미지를 생성해내는 방식으로 업스케일링을 진행한다.



(그림 5) SRGAN Architecture[10]

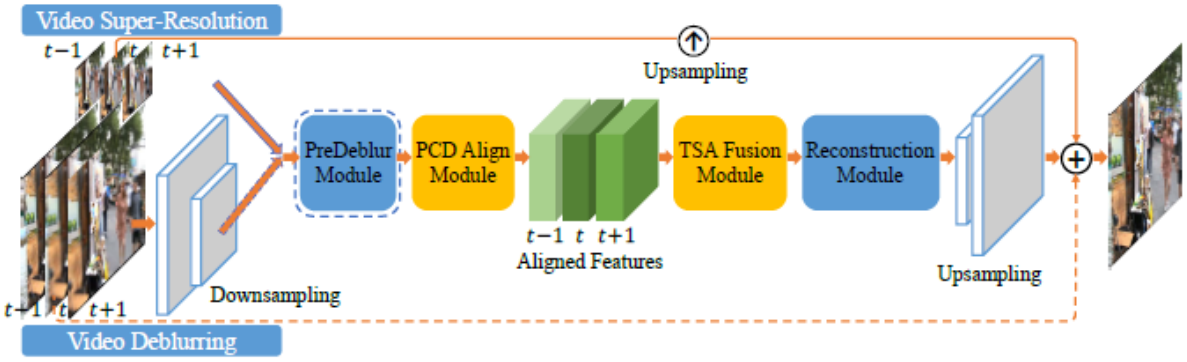
CNN 기반과 마찬가지로 SRGAN 이후 GAN을 기반으로 한 많은 개선사항이 이루어졌다. 다양한 기술과의 융합을 통해서 시각적으로 원본과 구분이 어려울 정도의 GAN 기반 이미지 업스케일링은 고도화되고 있다.

인공지능을 이용한 스틸이미지 업스케일링 연구는 높은 성과를 보이고 있는 반면, 동영상 업스케일링 연구는 결과물에 편차가 큰 상황이다. 단일 이미지와는 다르게 시간적 프레임의 연속으로 이루어지기 때문에 학습데이터 유형부터, 학습방법, 하드웨어 환경 등의 다양한 어려움이 존재한다. 동영상 업스케일링 연구에서는 많은 연구가 기본적으로 업스케일링 하려는 동영상을 프레임 단위로 나눈다. (그림 6)의 t는 시간을 나타내며 시간 축으로 나열된 5장의 프레임을 보여준다.

(그림 6) Differ of Frame based Timecode

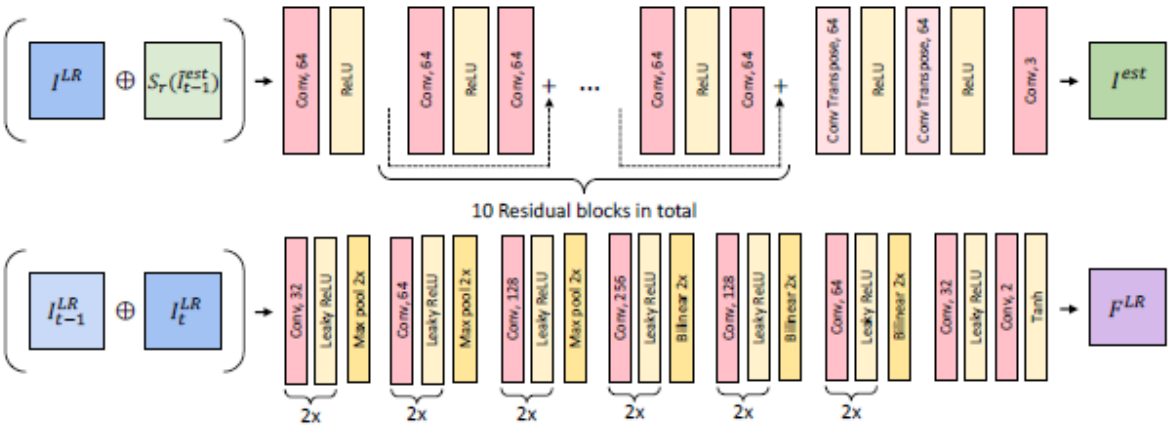
대부분 연구에서 업스케일링 결과를 평가할 때는 영상 손실 압축의 화질 손실 정보를 평가할 때 사용되는 PSNR과, 영상 간의 인식 품질 유사성을 측정하는 방법인 SSIM(Structural Similarity Index Map)을 사용한다.

업스케일링 분야에서 우수한 연구로 선출된 EDVR(Video Restoration with Enhanced Deformable Convolutional Networks) 연구는 (그림 7)과 같이 업스케일링에 적용될 수 있는 통합 프레임워크로써 고해상도를 다운샘플링(Down-sampling)하여 계산량을 감소시키고, 저해상도 입력이 주어지면 독자적인 융합 모듈을 통해서 업샘플링(Up-sampling)하는 형태로 이루어진다.[11] 획기적인 구조의 독자적 융합 모듈을 통해서 더 우수한 결과를 나타내었다.



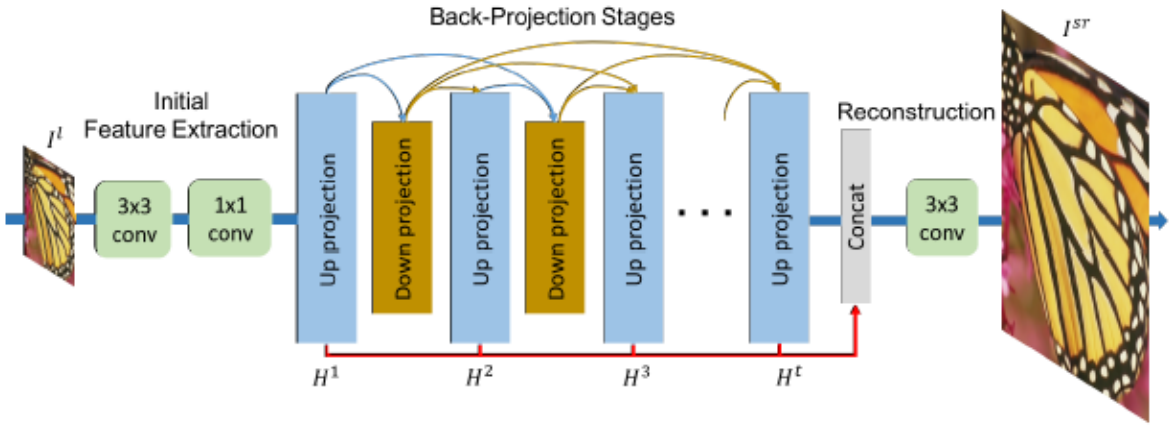
(그림 7) EDVR Architecture[11]

FRVSR(Frame-Recurrent Video Super-Resolution) 연구는 기존 업스케일링 방식이 저해상도 프레임의 배치를 처리해서 단일 고해상도 프레임을 생성하는 방식이었다면, 이를 개선하여 (그림 8)과 같이 이전에 추정된 고해상도 추정치를 통해 후속 프레임을 업스케일링하는 재귀적인 프레임워크를 제안한다[12]. 이 방식은 전 단계의 결과를 가지고 업스케일링을 수행하여 시간상으로 일관성 있고 계산 비용이 낮은 결과를 나타내었다.



(그림 8) FRVSR Architecture[12]

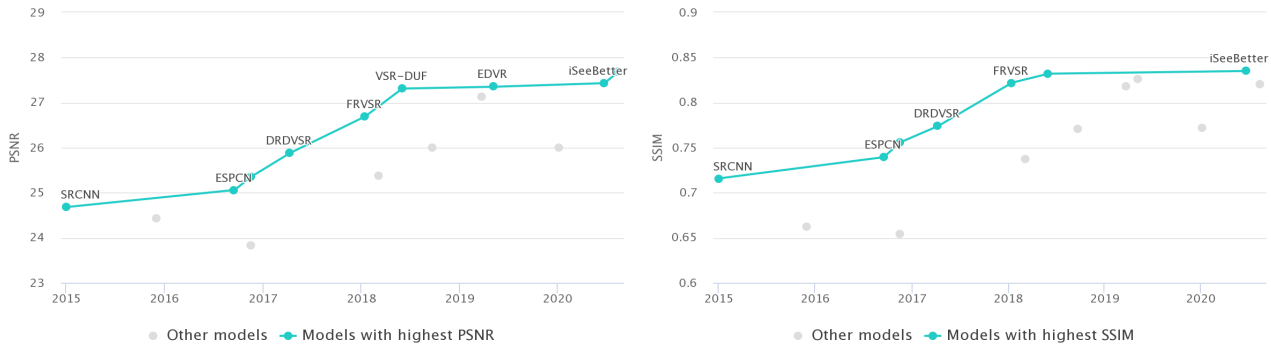
마지막으로 DBPN(Deep Back-Projection Networks For Super-Resolution) 연구가 있다[13]. 해당 연구는 (그림 9)와 같이 기존의 업스케일링 연구와 달리, 업다운 샘플링을 반복적으로 수행하여 각기 다른 네트워크 깊이에서 고해상도 결과를 얻고 이를 결합해 우수한 고해상도 프레임을 얻는다. 또한 백프로젝션(Back-Projection)이라고 하는 기법을 이용해 업스케일링 시 재구성 오류를 최소화하고 화질향상 효과를 얻었다.



(그림 9) DBPN Architecture[13]

위에서 소개한 동영상 업스케일링 연구 이외에도 계속해서 다양한 인공지능 기반의 동영상 업스케일링 연구가 진행되고 있다. 각 연구는 서로 다른 기술적 관점에서 접근하여 다양한 기술의 융합을 통해 높은 성능을 내도록 계속해서 고도화되고 있다.
앞서 소개한 것과 같은 다양한 인공지능 기반의 동영상 업스케일링 연구에 대해서 PSNR과 SSIM 수치를 측정한 결과, 현재 최고 수준의 결과를 의미하는 SOTA(State-of-the-art) 연구는 (그림 10)과 같다. 이를 통해 2018년까지는 큰 성능향상을 얻었으나,

2019년부터는 알고리즘이 고도화됨에 따라 알고리즘의 연구보다는 학습데이터 보강, 계산량 감소 등의 실시간처리 및 응용연구로 활성화됨을 확인할 수 있다.



(그림 10) PSNR, SSIM Score of SOTA[14]

2절 데이터세트 분석

인공지능 알고리즘을 학습시키고 원하는 결과를 출력하기 위해서는 많은 양의 데이터세트가 필요하다. 인공지능 학습에 사용되는 학습데이터는 지도학습을 토대로 정답을 알려주고 인공지능 알고리즘이 정답을 맞히는 과정을 학습하여 테스트 시 올바른 정답을 도출하는 것이 핵심 목적이다. 동영상 업스케일링 연구에서도 마찬가지로 고화질, 고해상도의 동영상 프레임을 정답으로 제공하면 이를 저해상도 변환, 잡음 추가 등으로 문제를 만들고 다시 고해상도로 업스케일링하는 과정을 수행하게 된다. 이후 업스케일링된 결과를 고해상도의 동영상 프레임과 비교해 미흡한 부분을 개선하고 반복하면서 학습해 나간다.

위의 절차로 인해 알고리즘보다 데이터세트의 품질과 특징, 개수 등 학습데이터 세트가 최종 결과에 큰 영향을 미친다. 일반적으로 데이터세트는 인공지능을 학습하기 위한 학습 데이터세트와 학습 중 성능을 검증하기 위한 검증 데이터세트, 최종적으로 성능의 평가를 위한 시험 데이터세트로 나뉜다. 본 연구에서 사용된 데이터세트는 학습데이터세트와 결과 평가를 위한 시험 데이터세트로 나누어 사용하였고, 방향성 수립 및 다양한 결과 비교를 위해 4개의 데이터세트를 사용하였다. 동영상 업스케일링 결과를 확인하기 위해 자주 사용되는 VID4 데이터세트와 동영상 업스케일링 학습을 위한 Vimeo-90k를 사용하였고, 국가기록원 소장 시청각 동영상 기록물을 정제한 데이터세트를 구축하여 사용하였다. [표 2]는 사용된 데이터세트의 이름과 개수, 해상도를 보여준다.

[표 2] AudioVisual Training Dataset

이름	개수(장)	해상도
VID4	171	704 x 576, 720 x 576, 720 x 480
Vimeo-90k	507,052	448 x 256
국가기록원 데이터세트 A	511,500	640 x 480
국가기록원 데이터세트 B	720,000	1920 x 1080

VID4 데이터세트는 4개의 비디오를 프레임별 이미지로 나누어 둔 데이터세트로 시험 용도로 많이 사용되기 때문에 총 개수가 적지만 (그림 11)과 같이 다양한 유형의 이미지가 있어 업스케일링 성능을 평가하기 좋은 특성을 가진다. 해당 데이터세트는 주로 Vimeo-90k 데이터세트로 학습된 결과를 테스트하는 시험 데이터세트로 사용하였다.

(그림 11) VID4 Dataset

Vimeo-90k 데이터세트는 동영상 공유 웹사이트인 Vimeo에서 동영상을 다운로드해 생성한 약 91,000여 개의 연속된 7프레임 이미지로 이루어져 있다. (그림 12)와 같이 종류가 매우 다양하여 인공지능 업스케일링 알고리즘을 효과적으로 학습시키기에 좋다.

(그림 12) Example of Vimeo-90k Dataset

국가기록원 소장 시청각 동영상 기록물들은 매우 종류가 다양하다. 그러나 과거 기록

물의 특성상 잡음이 심하거나 화질이 매우 낮은 시청각 기록물도 있으므로 데이터세트를 생성할 때 구체적인 선별 작업이 중요하다.

국가기록원 데이터세트 A의 경우, 전처리를 통해서 잡음과 다른 영상 문제가 적고 흑백을 제외한 컬러로 녹화된 640 x 480 해상도를 기준으로 하였다. 이때 시청각 기록물 내용의 경우, (그림 13)과 같이 동영상 내용의 구체적 구분 없이 각종 다큐멘터리, 방송녹화, 뉴스 자료, 공공기관 관련 기록물 등 다양하게 사용하였다. 최종적으로 시청각 기록물 341건을 추출하여 이를 1,500여 개의 프레임 단위로 나눈 데이터세트로 생성하였다.

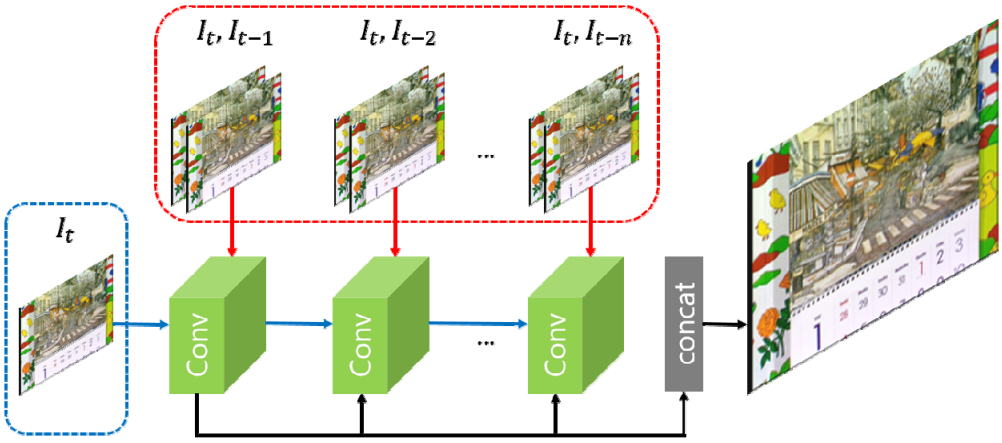
(그림 13) National Archive of Korea Dataset

국가기록원 데이터세트 B의 경우, 학습데이터 프레임의 해상도에 따른 학습 결과를 확인하기 위해 A와 최대한 같은 기록물 내용의 프레임을 추출하여 1920 x 1080의 비교적 고해상도를 사용하였다. 최종적으로 120건의 기록물을 추출하여 6,000개의 프레임으로 나누어 생성하였다.

3절 프로토타입 A 개발

1. 개발 개요

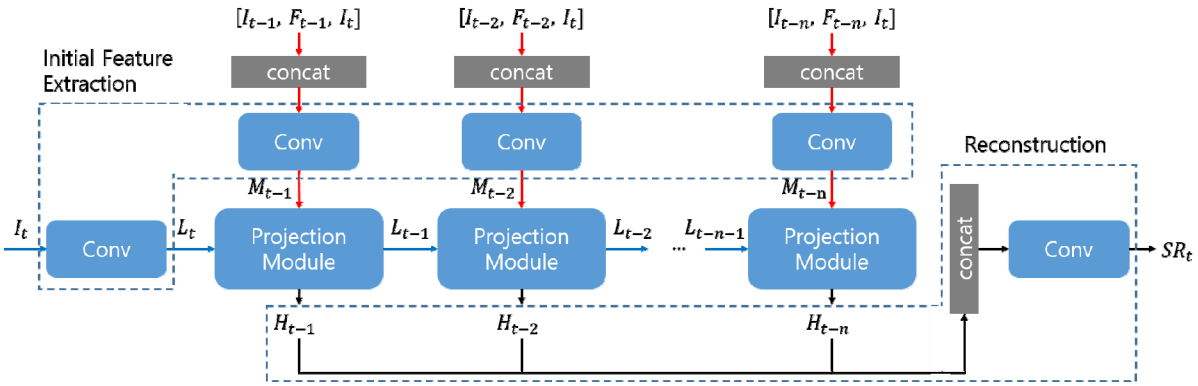
프로토타입 A는 'Recurrent Back-Projection Network for Video Super-Resolution' 연구의 알고리즘을 활용하였다[15]. 본 알고리즘은 MIT 라이센스로서 무상으로 제한없이 사용할 수 있다. 프로토타입 A는 (그림 14)와 같이 CNN을 기반으로 하여 재귀적인 반복 연산을 통해서 업스케일링의 효율을 증가시켰다. 또한, 전후 프레임을 복합적으로 응용해 사용하였다.



(그림 14) Prototype 'A' Architecture

2. 주요 알고리즘

프로토타입 개발에 앞서 핵심적 알고리즘은 (그림 15)와 같이 진행된다. 저해상도의 현재 프레임 I_t를 합성곱 연산한다. 그다음 별도로 현재 프레임 I_t와 이전 프레임 I_{t-1}, 이전 프레임의 특징점 F_{t-1}을 결합하여 합성곱 연산한다. 각 연산의 결과물인 L_t와 M_{t-1}을 프로젝션 모듈(Projection Module)을 통해 연산한다. 연산 결과는 재귀적으로 다음 모듈로 보내져 L_{t-1}로 재활용되며, 연산 결과로써 고화질의 H_{t-1}프레임을 얻는다. 재귀적인 연산을 L_{t-2}, L_{t-n-1}과 같이 전후 프레임 시간 동안 계속해서 반복한다. 이 과정을 통해 얻은 고화질 프레임 H_{t-1}, H_{t-2}, H_{t-n}을 모두 결합한다. 결합한 결과는 합성곱을 통해 연산 되며 최종적으로 업스케일링된 프레임을 얻는다.



(그림 15) Prototype 'A' Algorithm

3. 옵티컬 플로우(Optical Flow)

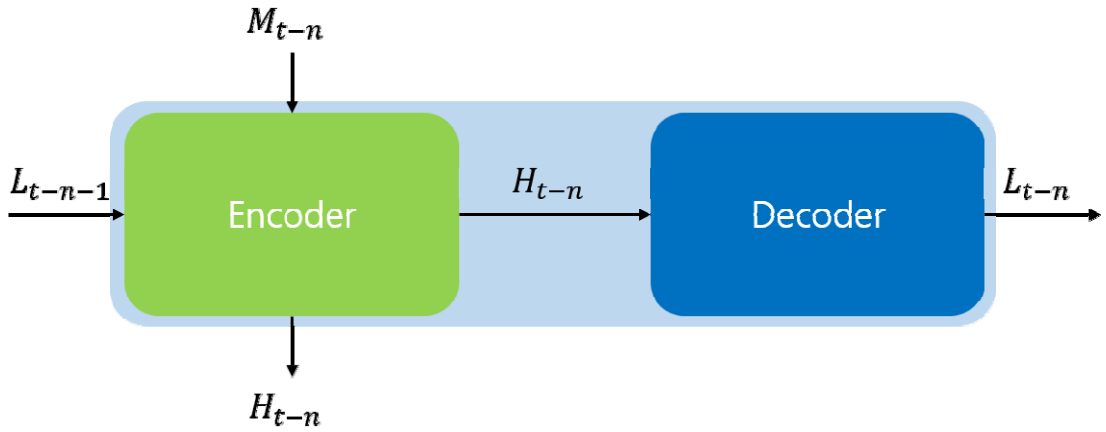
위에서 언급한 특징점은 옵티컬 플로우(Optical Flow)라고 한다. 옵티컬 플로우란 물체나 카메라의 움직임에 의해 발생하는 두 개의 연속되는 프레임 사이에서 객체의 외

관상 움직임의 패턴이라 할 수 있다. 옵티컬 플로우는 물체 감지 및 추적, 이미지 우위 평면 추출, 움직임 감지, 시각적 주행 거리 측정과 같은 많은 부분에서 사용된다. 이를 가시화하면 (그림 16)에서 빠르게 움직이는 자동차 부분에 특정점이 나타난다. 해당 연구에서 옵티컬 플로우는 동영상 업스케일링 시 전후 프레임에서 특징점을 얻어 빠진 세부 정보를 추출할 수 있도록 보조하여 업스케일링 시 보다 우수한 결과를 나타낼 수 있도록 도와준다.

(그림 16) Apply of Optical Flow

4. 프로젝션 모듈(Projection Module)

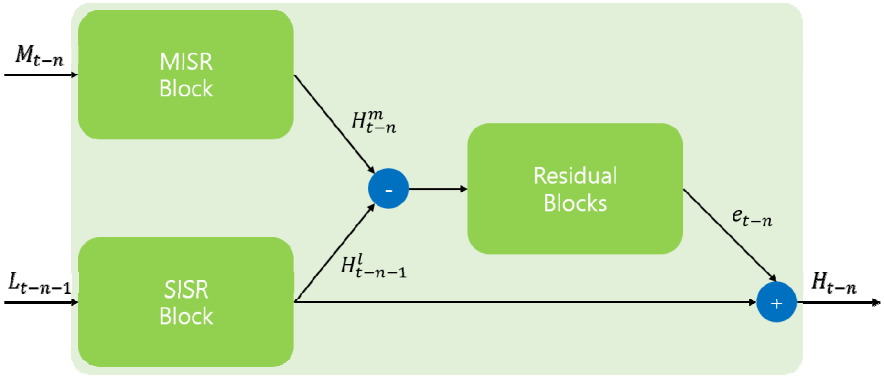
앞서 언급한 프로젝션 모듈(Projection Module)은 크게 엔코더(Encoder)와 디코더(Decoder)의 개념을 가지는 두 개의 모듈로 설계되어 있다. 엔코더는 저해상도의 프레임을 고해상도로 변환하는 기능을 가지며, 디코더는 고해상도의 프레임을 저해상도로 변환하는 기능을 가진다. (그림 17)은 엔코더와 디코더로 이루어진 프로젝션 모듈을 보여준다.



(그림 17) Projection Module Structure

엔코더에 대한 상세 설계는 (그림 18)과 같다. 앞서 각 연산의 결과물이었던 L_{t-n-1}과

M_{t-n}을 각기 MISR(Multi Image Super Resolution) 블록과 SISR(Single Image Super Resolution) 블록으로 불리는 세부 모듈로 연산한다. 먼저 MISR 모듈은 다수의 저해상도 이미지를 가지고 고해상도 이미지를 만들어 내는 방법을 사용하는 모듈이다. 이 방법은 한 번에 다수의 저해상도 이미지를 입력으로 받기 때문에 정확한 고해상도 생성이 가능해진다. 이 모듈을 통해 M_{t-n}의 입력값은 $H^{m_{t-n}}$으로 업스케일링 된다. 다음으로 SISR 모듈은 MISR 모듈과 다르게 한 장의 저해상도 이미지를 가지고 고해상도 이미지를 만들어 내는 방법을 사용한다. 다수의 저해상도 이미지를 얻기 힘든 경우에 흔하게 사용되며, 매우 많은 연구가 진행되고 있는 대표적인 방법이다. 본 모듈을 통해서 L_{t-n-1}의 입력값은 H^{l}_{t-n-1}로 업스케일링 된다. 각 MISR과 SISR 모듈로 연산된 값은 잔차 블록(Residual Block) 모듈을 통해서 누락된 세부 정보를 다시 융합해 재반영하여 우수한 업스케일링 결과를 내도록 한다. 최종적으로 이와 같은 연산을 통해 H_{t-n}의 고해상도 업스케일링 프레임을 얻는다.



(그림 18) Encoder

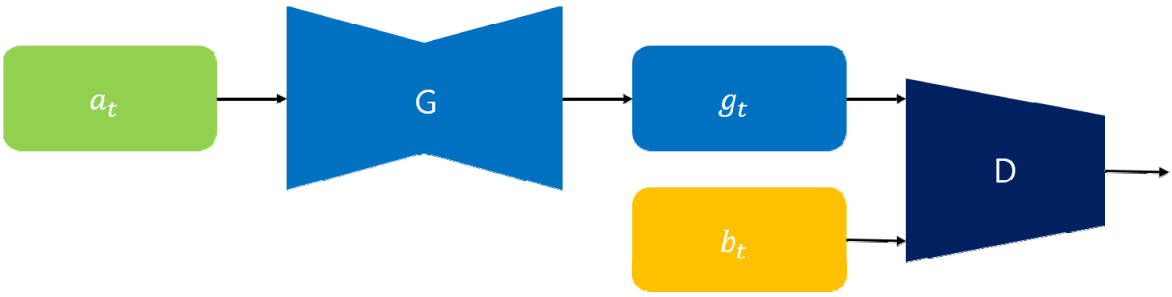
엔코더가 저해상도를 고해상도로 업스케일링 하였다면 디코더는 (그림 19)와 같이 고해상도를 저해상도로 변환하는 역할을 한다. 이러한 변환을 하는 이유는 고해상도로 업스케일링 된 정보가 다음 프로젝션 모듈로 들어가기 전 저해상도로 변환하여 넘겨줘야 하기 때문이다. 디코더에서 H_{t-n}의 고해상도 입력값은 잔차 블록 모듈과 다운샘플링을 거쳐서 저해상도의 프레임인 L_{t-n}로 변환된다.

(그림 19) Decoder

4절 프로토타입 B 개발

1. 개발 개요

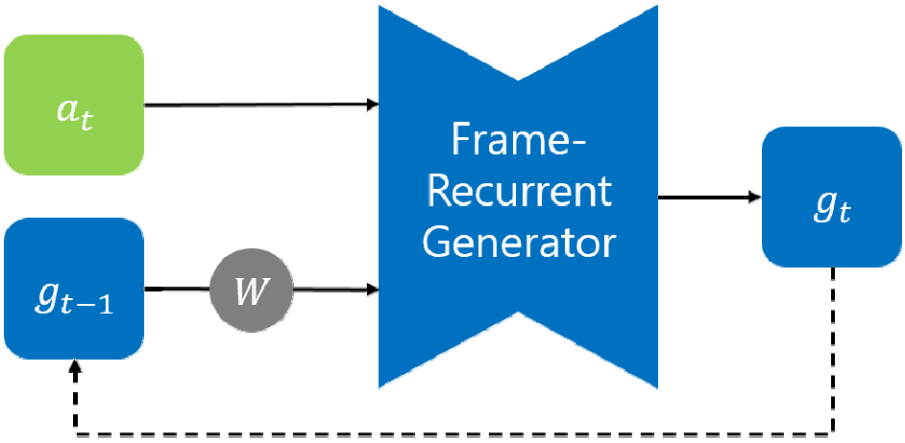
프로토타입 B는 'Learning Temporal Coherence via Self-Supervision for GAN-based Video Generation' 연구의 알고리즘을 활용하였다[16]. 해당 알고리즘은 Apach 2.0 라이센스로써 부분 혹은 전체를 개인적 혹은 상업적 목적으로 이용할 수 있다. 프로토타입 B는 (그림 20)과 같이 기본적으로 GAN 알고리즘을 기반으로 한다. a_t입력을 받아 G 생성자 네트워크에서 고해상도 프레임을 생성하고, 결괏값인 g_t와 실제 고해상도 프레임인 b_t를 D 판별자 네트워크를 통해서 판별한다.



(그림 20) Flow of Prototype 'B' Algorithm

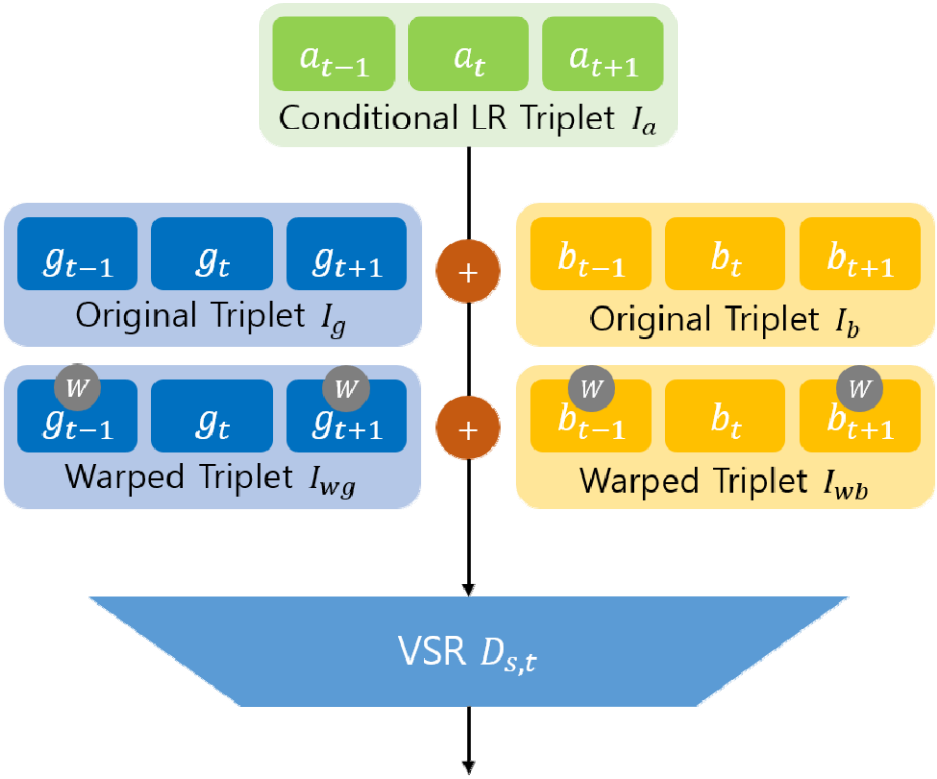
2. 주요 알고리즘

먼저 (그림 21)과 같은 생성자 네트워크를 이용해 고해상도 프레임을 생성한다. 재귀적인 형태로 알고리즘을 설계하여 고해상도 프레임 g_t를 생성할 때, g_{t-1}을 이용해서 생성하게 된다. 이 과정에서 워프(Warp)라고 불리는 왜곡 기법을 사용해 g_{t-1} 프레임 정보를 g_t와 유사하게 적용한다. 이를 통해 네트워크는 이전에 생성된 세부 정보를 쉽게 재사용할 수 있다.



(그림 21) Generator Network Architecture

저해상도와 고해상도 프레임을 판별하는 판별자 네트워크의 구조는 (그림 22)와 같다. 별도의 입력으로 저해상도의 현재 프레임과 전후 프레임을 결합한 결과를 받는다. 이는 생성된 프레임 I_g가 실제 I_a나 I_b에 비해서 생성된 결과가 미흡할 경우, 생성자 네트워크에 반영하기 위함이다. 생성자 네트워크에서 생성된 프레임들과 워프된 프레임들, 실제 고화질 프레임들과 워프한 프레임들을 결합 및 연산하여 판별자 네트워크에 입력받게 된다. 결과적으로 해당 판별을 통해 진짜 고해상도 프레임과 같이 우수한 결과를 가지는 가짜 고해상도 프레임을 선별하는 방식으로 업스케일링을 수행하게 된다.



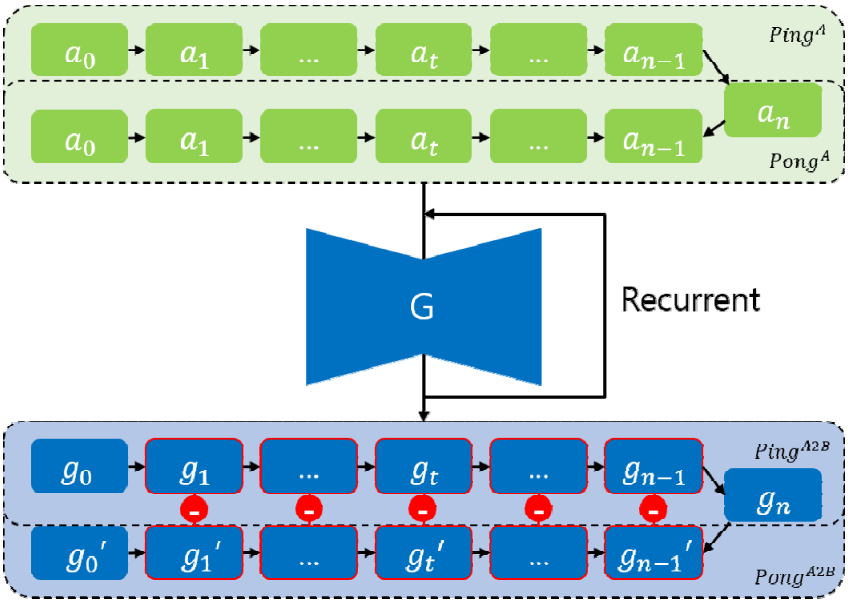
(그림 22) Compare Network Architecture

3. 핑퐁 손실(Ping-Pong Loss)

이전의 출력을 재귀적으로 입력으로 사용할 때, 특정 구조는 프레임별로 쉽게 누적된다. 계속해서 누적되어 학습하면 같은 형태로 수렴되기 때문에 (그림 23)의 좌측과 같은 드리프팅 아티펙트(Drifting Artifact) 현상이 발생하게 된다.

(그림 23) Drifting Artifact

해당 문제를 완화하기 위해서 프레임별 장면전환이 커질 수 있도록 더 긴 시퀀스(Sequence)로 구성하면 완화될 수 있으나, 계산 비용이 커지고 다른 문제점이 발생할 수 있다. 본 연구에서는 이를 해결하기 위해서 (그림 24)와 같이 핑퐁 손실(Ping-Pong Loss)이라는 방법을 사용하였다. 동영상의 경우 순방향 순서와 반대 순서가 있는 시퀀스는 시간 연속적으로 유효한 정보를 제공하므로 길이 n의 입력으로부터 a_0, a_1, ...,a_{n-1}, a_n, a_{n-1}, ..., a_1, a_0까지 대칭적인 시퀀스를 구성한다. 해당 구조로 인해 g_t와 g_t'의 관계에 L2 노름(Norm)을 적용할 수 있다. 여기서 L2 노름은 학습 시에 지나치게 데이터세트에 피팅(Fitting)되는 과적합을 막기 위해서 큰 가중치에 대해 L2 노름 수식을 적용하여 가중치 업데이트 시 페널티를 부여하는 것을 말한다. 결과적으로 L2 노름을 적용해서, 생성된 결과가 과도하게 과적합 되는 것을 방지하고 결과가 같게끔 제한시킬 수 있다. 이는 드리프팅 아티펙트를 감소시키고 시간 일관성을 향상할 수 있다.



(그림 24) Ping-Pong Loss Sequence Flow

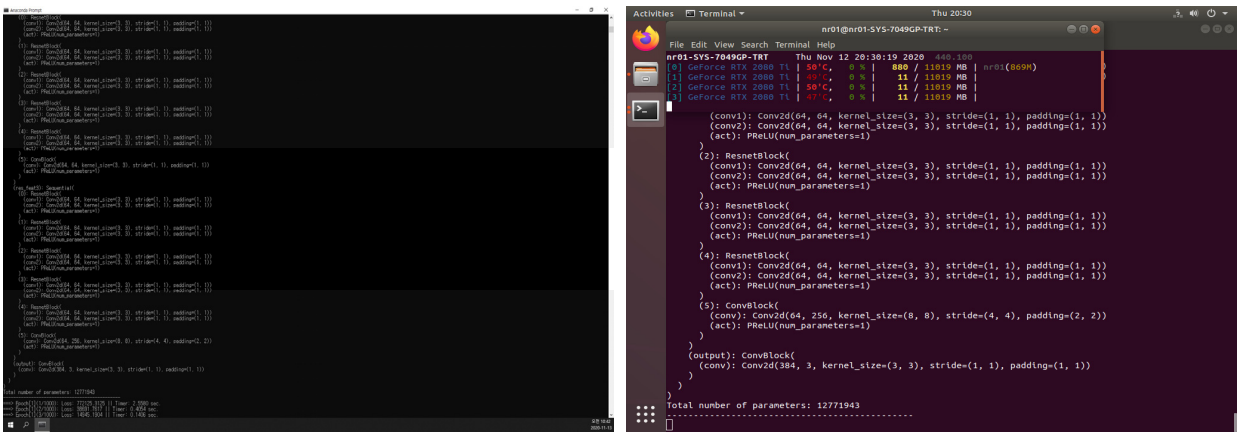
5절 테스트베드 적용

1. 테스트베드 환경

앞서 언급한 프로토타입 A, B의 테스트베드 적용을 위해서 다음과 같은 환경을 사용하였다.

- 소프트웨어

(그림 25)와 같이 우측의 Linux 기반의 Ubuntu 18.04 운영체제와 좌측의 Windows 10 운영체제를 사용하였다. 주요 플랫폼은 원활한 프로토타입 관리를 위해서 Anaconda 4.8.3를 이용하였고, 사용된 언어는 Python 3.5.6을 기반으로 오픈소스 머신러닝 프레임워크인 Pytorch 1.0.0과 Tensorflow 1.13.1을 사용하였다.



(그림 25) Prototype Test-bad(Software)

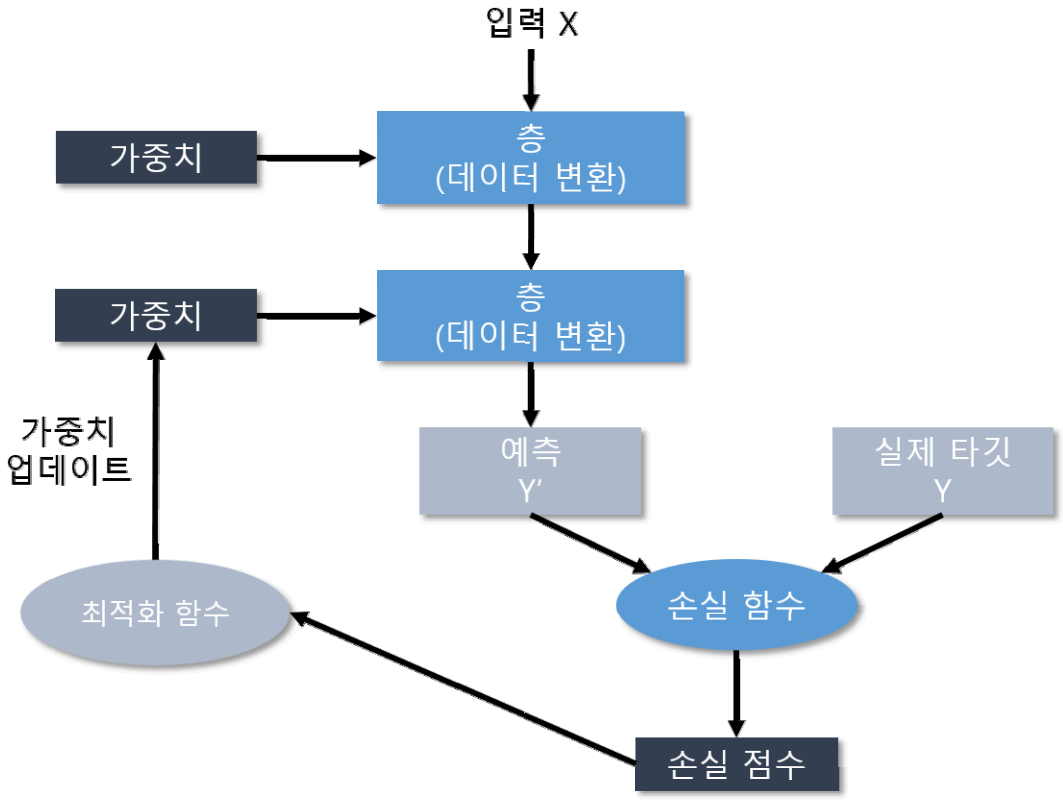
- 하드웨어

사용된 하드웨어 장비는 (그림 26)과 같다. 우측 장비인 Linux 기반에서는 Intel(R) Xeon(R) Silver 4210 CPU x 2, DDR4 RAM 128GB, Nvidia(R) GeForce(R) RTX 2080ti x 4가 사용되었다. 좌측 장비는 예비용으로 Windows 10 기반으로 Intel(R) CoreTM i7-9700 CPU, DDR4 RAM 64GB, Nvidia(R) GeForce(R) RTX 2080ti x 1을 사용하였다.

(그림 26) Prototype Test-bad(Hardware)

2. 테스트베드 구축

테스트베드 환경을 기반으로 프로토타입 A와 B의 테스트베드를 구축하였다. 구축된 테스트베드의 학습 과정은 일반적인 인공지능 기반의 작동 흐름인 (그림 27)과 같다. 먼저 프로토타입 A의 경우 다음과 같이 구축된다. 고해상도 학습 프레임을 저해상도 프레임으로 변환해 입력받는다. 앞서 설계된 알고리즘을 통해 업스케일링을 수행하고 나온 결과인 업스케일링 프레임과 원본 고해상도 프레임을 손실 함수를 통해 연산한다. 원본 고해상도 프레임과 업스케일링된 프레임의 픽셀 단위 오차를 측정하기 위해서 사용된 손실 함수는 MAE(Mean Absolute Error)를 사용하였다. 손실 함수를 통해 손실점수를 얻게 되는데 오차를 줄이고자 점수를 최소화하는 방향으로 가중치 업데이트에 사용되는 최적화 함수는 다른 최적화 함수들의 장점을 가진 Adam(Adaptive Moment Estimation)을 사용하였다. 마지막으로 활성화 함수는 PReLU(Parametric Rectified Linear Unit)를 사용하였다. [표 3]은 사용된 함수와 다양한 다른 인공지능 함수를 보여준다.



(그림 27) Training Flow of AI

[표 3] AI Function and Feature

	함수명	특징
손실함수	MSE(Mean Squared Error)	예측값과 정답값의 차이값을 제곱하여 값들을 전부 더하고 개수로 나누어 평균을 낸 것
	MAE(Mean Absolute Error)	예측결과와 정답 결과가 떨어진 정도의 절댓값을 평균 낸 것
	CEE(Cross Entropy Error)	다른 사건의 확률을 곱해서 엔트로피를 계산한 것
최적화함수	Gradient Descent	목적함수를 최소화시키는 것
	SGD(Stochastic Gradient Descent)	한 번의 업데이트를 위해서 하나의 훈련 데이터를 사용해서 목적함수를 최소화시키는 것
	Momentum	이전 그레디언트의 영향력을 업데이트마다 감소시켜 관성 개념을 적용한 것
	Adagrad(Adaptive Gradient)	파라미터의 업데이트 빈도수에 따라서 업데이트 크기를 변경하는 것
	RMSprop	Adagrad에서 발생한 학습률 감소 문제를 개선한 것
	Adam(Adaptive Moment Estimation)	학습률을 줄여나가고 속도를 계산하여 학습의 갱신 강도를 적응적으로 조정해나가는 것
활성화함수	Sigmoid	항상 0과 1 사이의 값만 가질 수 있도록 하는 것
	Tanh(Hyperbolic Tangent)	Sigmoid와 유사하나 출력의 중심이 0에 있어 일부 문제점을 보완한 것
	ReLU(Rectified Linear Unit)	기울기 소멸 문제를 해결한 것으로 0보다 크면 그대로, 작으면 0으로 출력하는 것
	LReLU(Leaky Rectified Linear Unit)	음수일 경우 기울기가 0이 아닌 0.01 값을 갖게 되는 것
	PReLU(Parametric Rectified Linear Unit)	Leaky ReLU를 개선하여 고정된 상숫값을 학습이 가능한 파라미터로 설정한 것

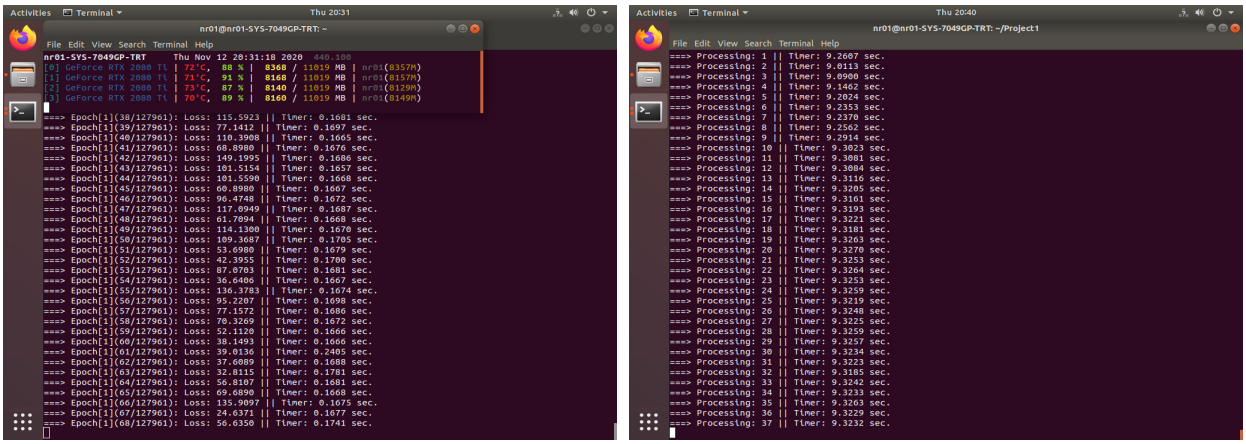
다음으로 프로토타입 B의 경우 다음과 같이 구축된다. 고해상도 학습 프레임을 저해상도 프레임으로 변환해 입력받는다. 앞서 설계된 알고리즘을 통해 업스케일링된 프레임과 원본 고해상도 프레임을 손실 함수를 통해 비교한다. 사용된 손실 함수는 GAN 알고리즘 특성상 생성자 네트워크와 판별자 네트워크가 각기 다르다. 생성자 네트워크는 생성한 가짜 데이터를 판별자가 예측하도록 하는 것을 목표로 하고, 판별자 네트워크는 진짜 데이터와 생성자 네트워크로부터 받은 가짜 데이터를 판별하도록 하는 것을

목표로 하는 자체 함수를 사용한다. 가중치 업데이트에 사용되는 최적화 함수는 Adam을 사용하였다. 마지막으로 활성화 함수는 LReLU를 사용하였다. GAN 구조에서 대표적으로 결과가 우수하여 자주 사용되는 Sigmoid와 Tanh(Hyperbolic Tangent), ReLU (Rectified Linear Unit)도 복합적으로 사용하였다.

제3장 총괄연구개발과제의 최종 연구개발 결과

1절 업스케일링 결과

구축된 테스트베드를 바탕으로 프로토타입 A와 B의 업스케일링 결과를 생성하였다. 설계된 프로토타입 A, B를 Vimeo-90k, 구축한 데이터세트인 국가기록원 데이터세트 A, 국가기록원 데이터세트 B를 이용해서 복합적으로 학습하였다. 학습 완료 후, 학습 결과를 기반으로 업스케일링 테스트를 진행하여 결과물을 출력하였다. Linux 환경에서 학습 및 테스트 결과 도출 과정은 (그림 28)과 같다.



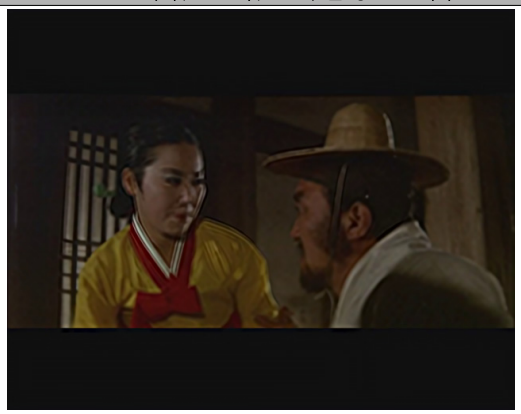
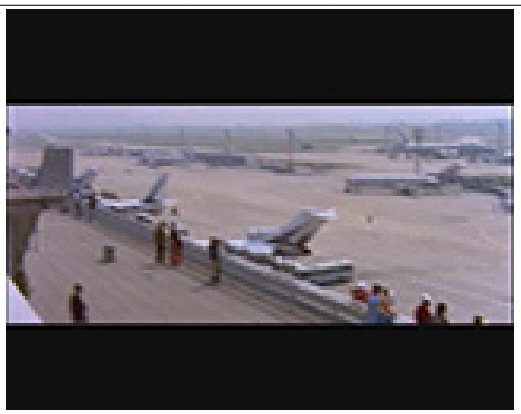
(그림 28) Training Result Screen

먼저 인공지능 기반 업스케일링 관련 학회 및 대회에서 자주 사용되는 Vimeo-90k를 이용해 학습하였다. 결과를 확인하기 위해서 VID4와 국가기록원이 보유한 임의의 시청각 동영상 기록물로 출력한 결과는 다음과 같다. 이때, 추후 평가를 위해 다양한 시청각 동영상 기록물을 해상도별로 다르게 출력하였다.

-프로토타입 A VID4 업스케일링 결과

VID4 원본 프레임	프로토타입 A 업스케일링 프레임
(180 x 144)	(720 x 576)
(176 x 144)	(704 x 576)
(180 x 120)	(720 x 480)
(180 x 120)	(720 x 480)

-프로토타입 A 시청각 기록물 업스케일링 결과 1

시청각 기록물 원본 프레임	프로토타입 A 업스케일링 프레임
	
(160 x 120)	(640 x 480)
	
(160 x 120)	(640 x 480)
(160 x 90)	(640 x 360)
(160 x 90)	(640 x 360)

-프로토타입 A 시청각 기록물 업스케일링 결과 2

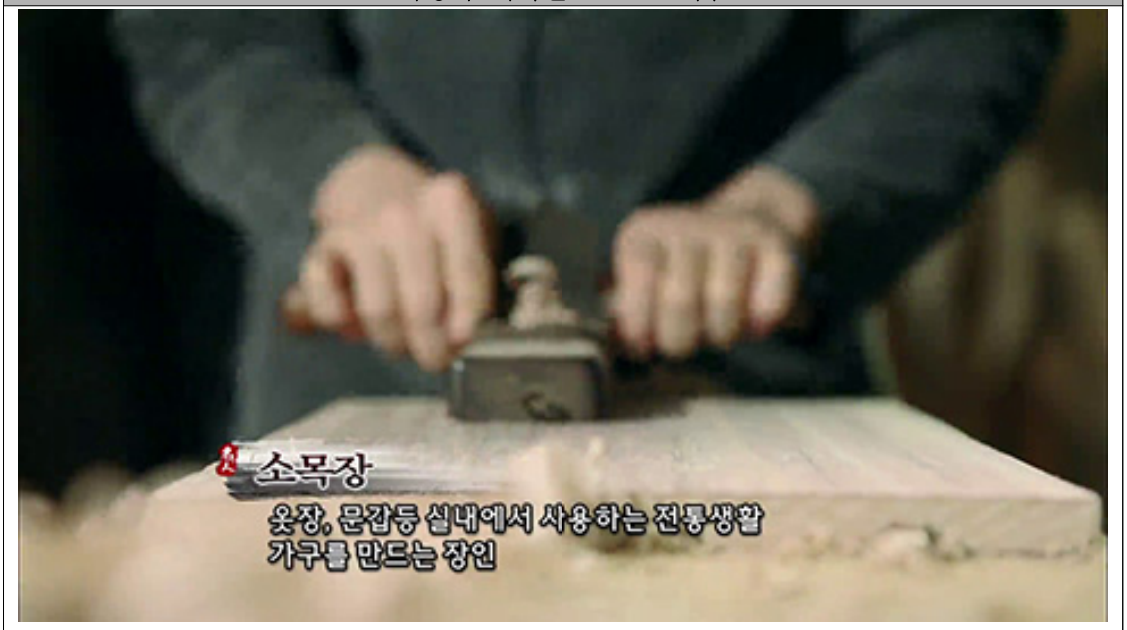
시청각 기록물 원본 프레임

(480 x 270)

프로토타입 A 업스케일링 프레임

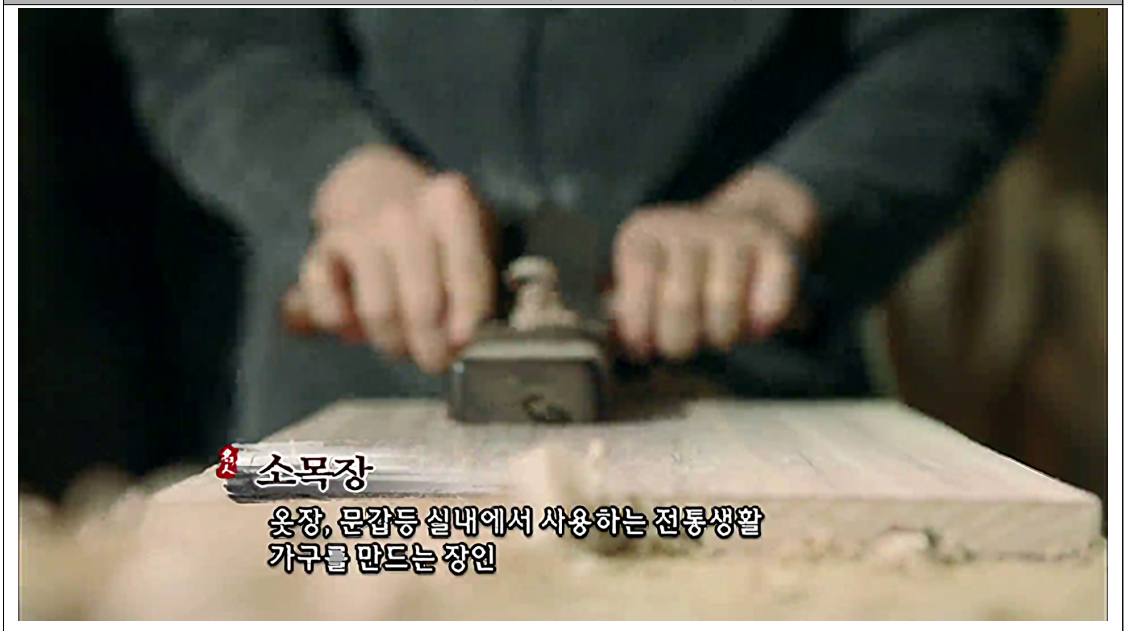
(1920 x 1080)

시청각 기록물 원본 프레임



(480 x 270)

프로토타입 A 업스케일링 프레임



(1920 x 1080)

시청각 기록물 원본 프레임

(480 x 270)

프로토타입 A 업스케일링 프레임

(1920 x 1080)

시청각 기록물 원본 프레임

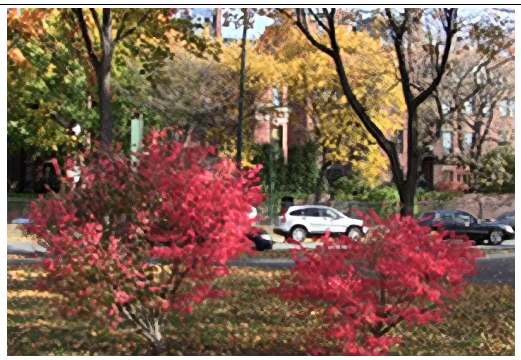
(480 x 270)

프로토타입 A 업스케일링 프레임

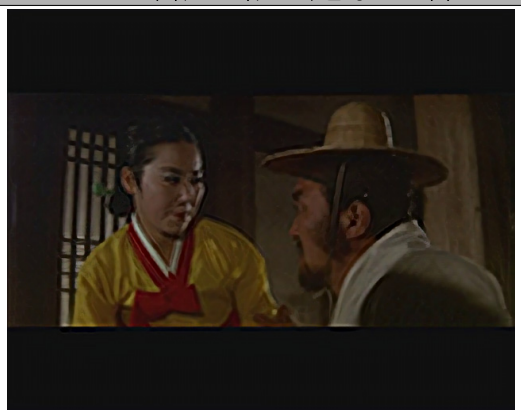
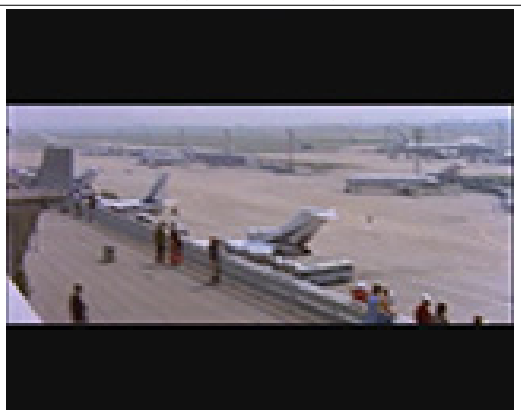
(1920 x 1080)

프로토타입 A와 프로토타입 B를 비교하기 위해 프로토타입 B의 VID4 업스케일링 결과를 도출하였다.

-프로토타입 B VID4 업스케일링 결과

VID4 원본 프레임	프로토타입 B 업스케일링 프레임
(180 x 144)	(720 x 576)
(176 x 144)	(704 x 576)
	
(180 x 120)	(720 x 480)
(180 x 120)	(720 x 480)

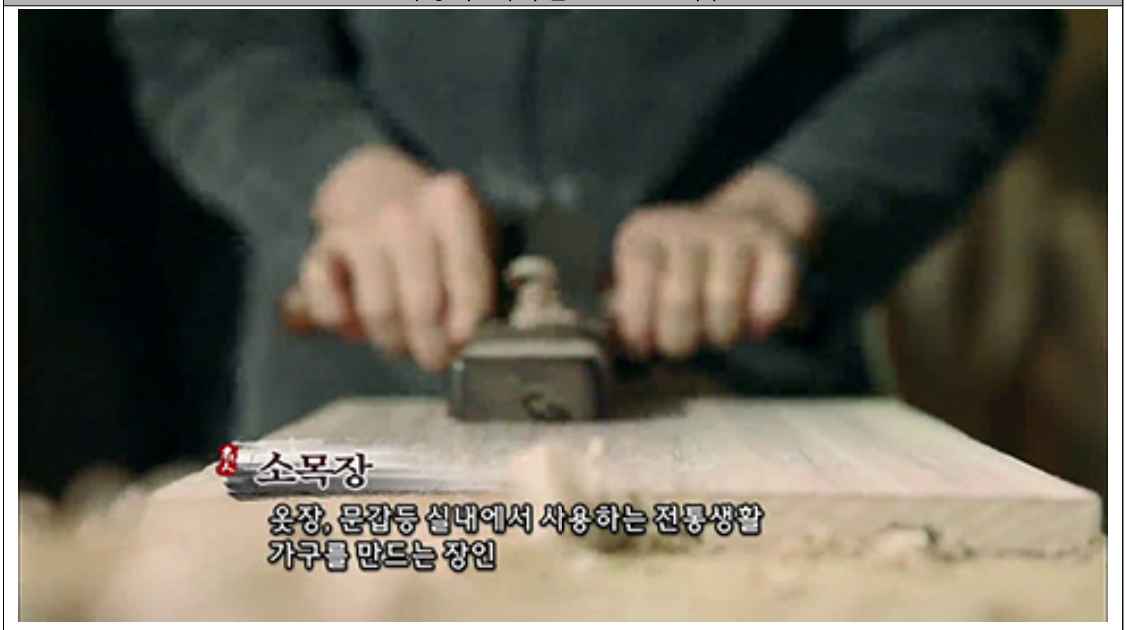
-프로토타입 B 시청각 기록물 업스케일링 결과 1

시청각 기록물 원본 프레임	프로토타입 B 업스케일링 프레임
(160 x 120)	 (640 x 480)
 (160 x 120)	(640 x 480)
(160 x 90)	(640 x 360)
(160 x 90)	(640 x 360)

-프로토타입 B 시청각 기록물 업스케일링 결과 2

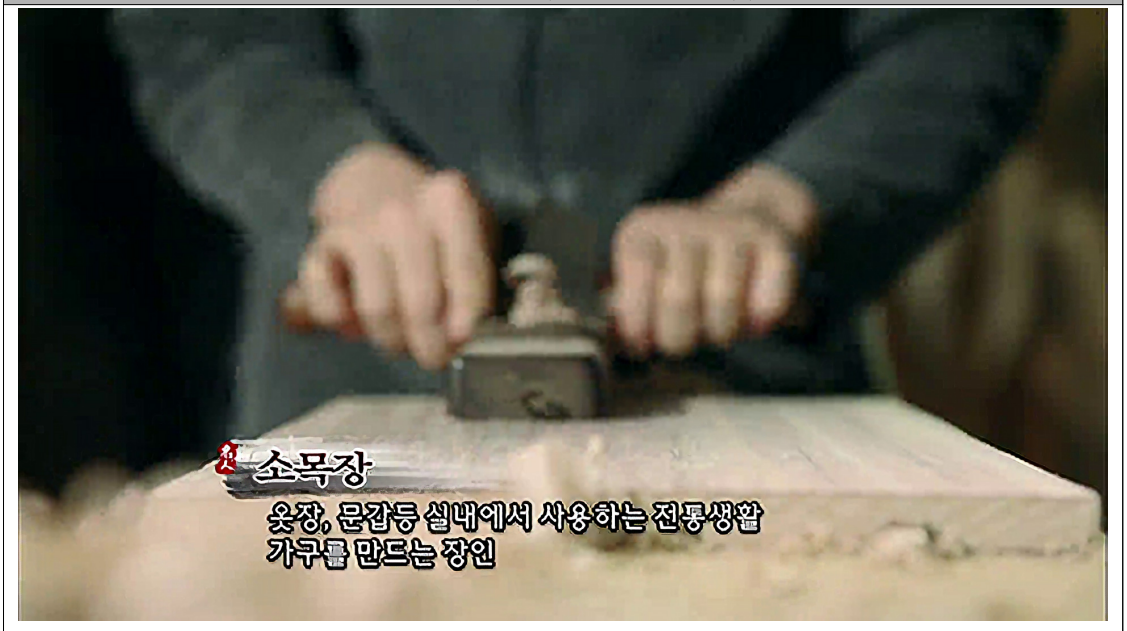
시청각 기록물 원본 프레임
(480 x 270)
프로토타입 B 업스케일링 프레임
(1920 x 1080)

시청각 기록물 원본 프레임



(480 x 270)

프로토타입 B 업스케일링 프레임



(1920 x 1080)

시청각 기록물 원본 프레임

(480 x 270)

프로토타입 B 업스케일링 프레임

(1920 x 1080)

시청각 기록물 원본 프레임

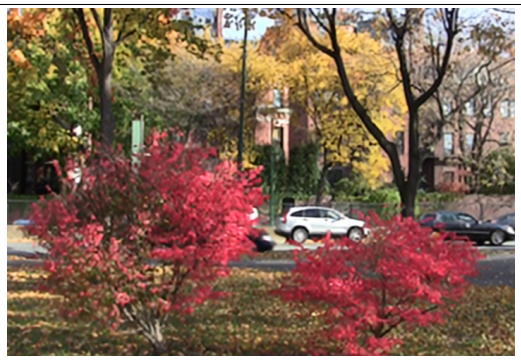
(480 x 270)

프로토타입 B 업스케일링 프레임

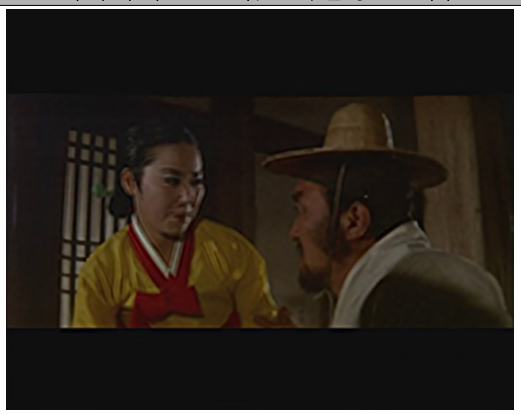
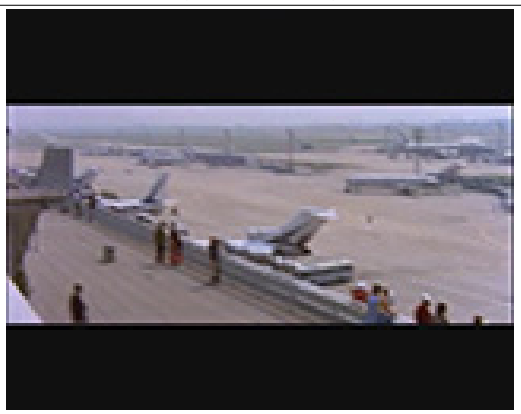
(1920 x 1080)

추가 결과를 얻기 위해 국가기록원의 시청각 동영상 기록물을 이용한 데이터세트를 사용해 학습한 결과를 도출하였다. 먼저 640 x 480 해상도로 이루어진 데이터로 학습한 데이터세트 A의 결과는 다음과 같다.

-VID4 데이터세트 A 업스케일링 결과

VID4 원본 프레임	데이터세트 A 업스케일링 프레임
(180 x 144)	(720 x 576)
(176 x 144)	(704 x 576)
	
(180 x 120)	(720 x 480)
(180 x 120)	(720 x 480)

-시청각 기록물 데이터세트 A 업스케일링 결과 1

시청각 기록물 원본 프레임	데이터세트 A 업스케일링 프레임
	
(160 x 120)	(640 x 480)
	
(160 x 120)	(640 x 480)
(160 x 90)	(640 x 360)
(160 x 90)	(640 x 360)

-시청각 기록물 데이터세트 A 업스케일링 결과 2

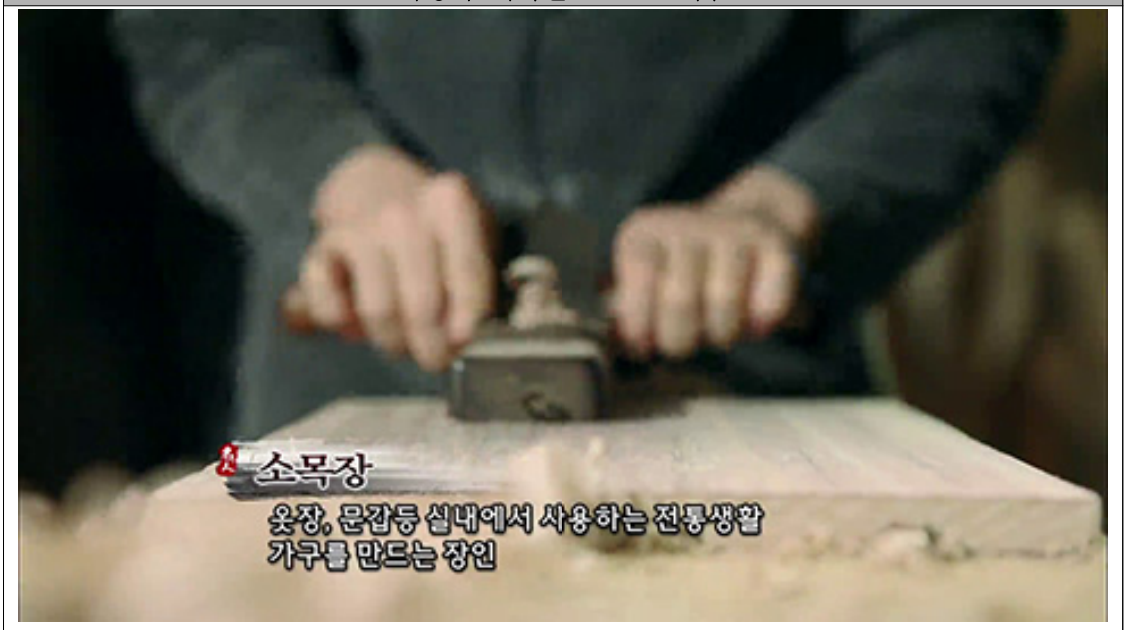
시청각 기록물 원본 프레임

(480 x 270)

데이터세트 A 업스케일링 프레임

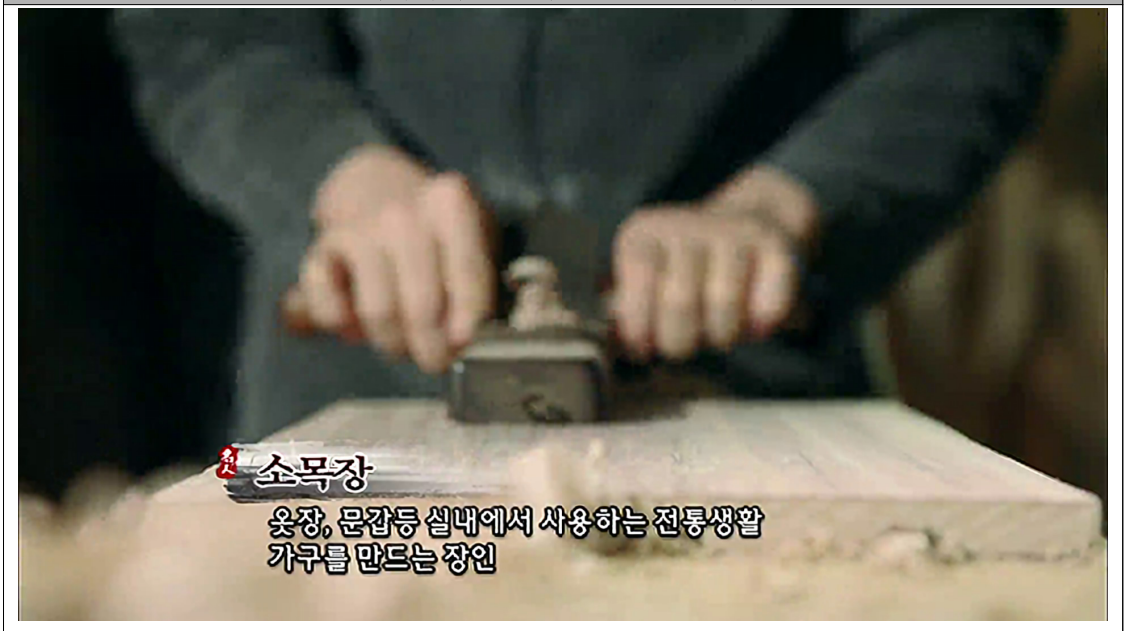
(1920 x 1080)

시청각 기록물 원본 프레임



(480 x 270)

데이터세트 A 업스케일링 프레임



(1920 x 1080)

시청각 기록물 원본 프레임

(480 x 270)

데이터세트 A 업스케일링 프레임

(1920 x 1080)

시청각 기록물 원본 프레임

(480 x 270)

데이터세트 A 업스케일링 프레임

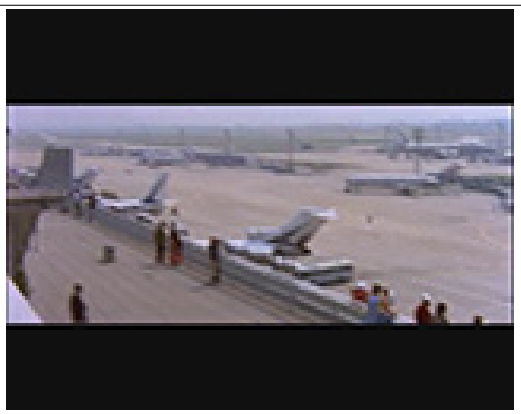
(1920 x 1080)

다음으로 1920 x 1080 해상도로 이루어진 데이터로 학습한 데이터세트 B의 결과는 다음과 같다.

-VID4 데이터세트 B 업스케일링 결과

VID4 원본 프레임	데이터세트 B 업스케일링 프레임
(180 x 144)	(720 x 576)
(176 x 144)	(704 x 576)
(180 x 120)	(720 x 480)
(180 x 120)	(720 x 480)

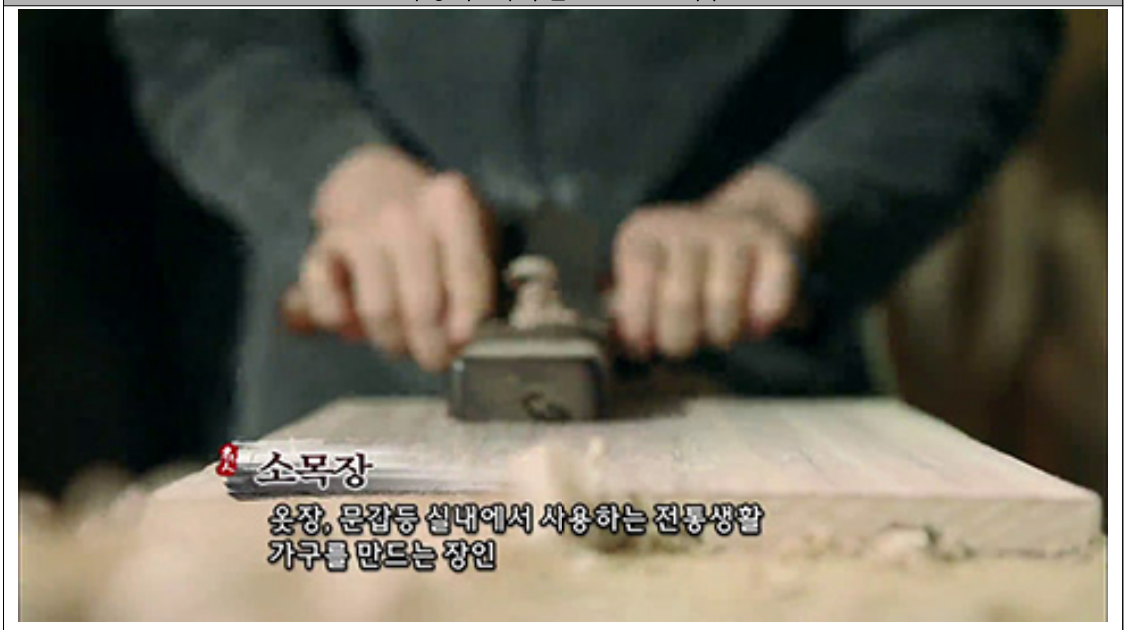
-시청각 기록물 데이터세트 B 업스케일링 결과 1

시청각 기록물 원본 프레임	데이터세트 B 업스케일링 프레임
(160 x 120)	(640 x 480)
	
(160 x 120)	(640 x 480)
(160 x 90)	(640 x 360)
(160 x 90)	(640 x 360)

-시청각 기록물 데이터세트 B 업스케일링 결과 2

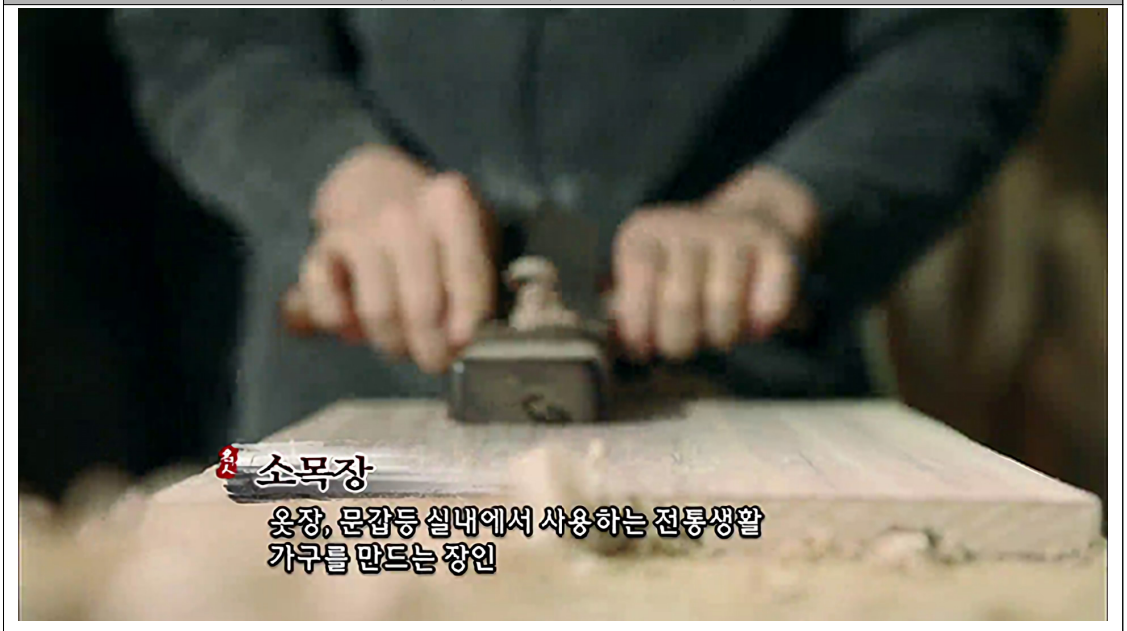
시청각 기록물 원본 프레임
(480 x 270)
데이터세트 B 업스케일링 프레임
(1920 x 1080)

시청각 기록물 원본 프레임



(480 x 270)

데이터세트 B 업스케일링 프레임



(1920 x 1080)

시청각 기록물 원본 프레임

(480 x 270)

데이터세트 B 업스케일링 프레임

(1920 x 1080)

시청각 기록물 원본 프레임

(480 x 270)

데이터세트 B 업스케일링 프레임

(1920 x 1080)

2절 정량적 평가

1. PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio)

먼저 업스케일링된 동영상을 정량적으로 분석하기 위해서 PSNR을 사용하였다. PSNR은 최대신호대잡음비로 신호가 가질 수 있는 최대 전력에 대한 잡음의 전력을 나타내는 것이다. 주로 이미지나 동영상 손실 압축에서 화질 손실 정보를 평가할 때 사용된다. PSNR은 다음 수식 1과 같이 계산한다.

$$PSNR = 10\log_{10}\left(\frac{MAX_I^2}{MSE}\right)$$
$$= 20\log_{10}\left(\frac{MAX_I}{\sqrt{MSE}}\right)$$
$$= 20\log_{10}(MAX_I) - 10\log_{10}(MSE)$$

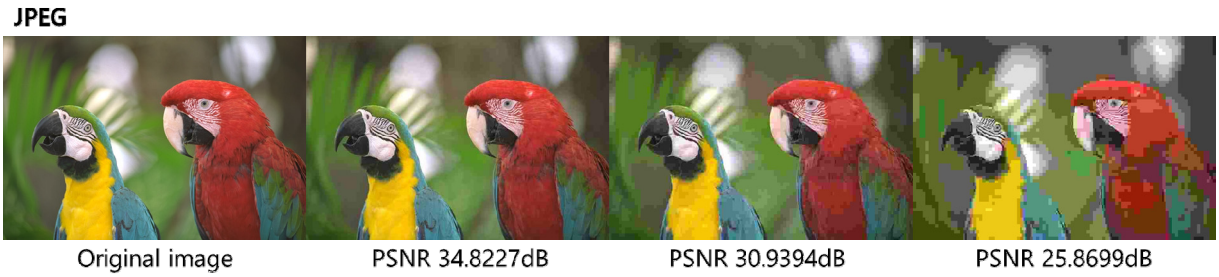
(수식 1) PSNR

위 수식의 MAX_I는 해당 영상의 최댓값으로서, 해당 채널의 최댓값에서 최솟값을 빼서 구할 수 있다. 예시로 8bit를 가지는 그레이스케일(Greyscale) 영상의 경우에는 255(255-0)가 된다. MSE는 평균제곱오차로 다음 수식 2와 같이 계산한다.

$$MSE = \frac{1}{mn}\sum_{i=0}^{m-1}\sum_{j=0}^{n-1}[I(i,j) - K(i,j)]^2$$

(수식 2) MSE

수식에서 I는 m x n 사이즈의 그레이스케일 영상이고, K는 I에 잡음이 포함된 영상으로 왜곡된 영상을 의미한다. PSNR 수식에 분모로 MSE를 가지므로, MSE가 작을수록 더 큰 PSNR을 가지게 된다. 따라서 (그림 29)와 같이 품질이 좋은 영상은 높은 PSNR 수치를 가지게 되고, 품질이 비교적 낮은 영상은 낮은 PSNR 수치를 가지게 된다.



(그림 29) PSNR & Quality

위에서 소개된 업스케일링 프레임을 같은 해상도의 원본 고해상도 프레임과 정량적 평가를 위해서 [표 6]과 같은 Python 소스코드를 통해 PSNR을 측정하였다.

[표 4] Source Code of PSNR Check Function

```
1. import numpy
2. import argparse
3. import math
4. import cv2
5.
6. ap = argparse.ArgumentParser()
7. ap.add_argument("-f", "--first", required=True)
8. ap.add_argument("-s", "--second", required=True)
9. args = vars(ap.parse_args())
10.
11. original = cv2.imread(args["first"])
12. contrast = cv2.imread(args["second"])
13.
14. def psnr(img1, img2):
15.     mse = numpy.mean( (img1 - img2) ** 2 )
16.     if (mse == 0):
17.             return 100
18.
19.     PIXEL_MAX = 255.0
20.     return ( 20 * math.log10(PIXEL_MAX / math.sqrt(mse)) )
21.
22. score = psnr(original,contrast)
23.
24. print("PSNR: {}".format(score))
25.
```

-프로토타입별 PSNR 측정결과

	프레임	PSNR	
		프로토타입 A	프로토타입 B
VID4		30.339542274029082	29.431742733557037
		30.574749544726924	29.194565083246818
		29.927506138648717	28.69214593831152
		32.92789833663241	30.527942020048226
시청각 기록물 1		38.34482172686072	35.922414162919466
		33.68804244496196	32.9845943531862
		33.18065618185999	31.446066501126563
		34.701733717059305	31.927534712757783
시청각 기록물 2		30.984605582314877	29.528769260471638
		40.17034712563561	37.325372635989154
		34.84255106452959	33.355818454739975
		38.58907745881615	35.91703874155944

2. SSIM(Structural Similarity Index Map)

PSNR은 단순하게 원본 영상과 왜곡된 영상 사이의 수치적 차이로 품질을 평가한다. 때문에 (그림 30)과 같이 종종 사람이 느끼는 실제적 품질과 일치되지 않는 품질 점수를 산출하기도 한다.

(그림 30) PSNR Error Image

이러한 단점을 개선하고자 다른 접근법인 SSIM을 사용한다. 이는 구조적유사성지수로써 사람의 시각 시스템과 유사하게 설계되었다. 사람의 시각 시스템은 영상에서 구조 정보를 도출하는 것에 특화되어 있으므로 구조 정보의 왜곡 정도가 지각 품질에 가장 큰 영향을 미친다. SSIM은 다음 수식 3과 같이 계산된다.

$$SSIM(x,y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)}{(2\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)}$$

(수식 3) SSIM

위의 수식을 통해 두 영상의 평균 밝기를 비교한다. 그리고 영상의 표준편차값을 이미지의 대비로 정의하고 비교한다. 구조는 영상에서 평균 밝기를 빼고 표준편차로 나눈다. 최종적으로 x와 y의 상관계수를 구함으로써 원본 영상과 왜곡 영상의 구조를 비교한다. (그림 31)과 같이 PSNR과 다르게 더욱 명확한 점수를 얻을 수 있다.

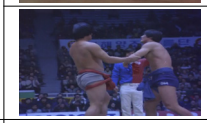
(그림 31) Check of SSIM

결과적으로 SSIM은 PSNR과 달리 보다 사람이 느끼는 지각 품질에 가까운 결과를 낼 수 있다. 위에서 소개된 업스케일링 프레임을 같은 해상도의 원본 고해상도 프레임과 [표 7]의 Python 소스코드를 이용해 SSIM을 측정하였다.

[표 5] Source Code of SSIM Check Function

```
1. from skimage.measure import compare_ssim
2. import argparse
3. import imutils
4. import cv2
5.
6. ap = argparse.ArgumentParser()
7. ap.add_argument("-f", "--first", required=True)
8. ap.add_argument("-s", "--second", required=True)
9. args = vars(ap.parse_args())
10.
11. original = cv2.imread(args["first"])
12. contrast = cv2.imread(args["second"])
13.
14. img1 = cv2.cvtColor(original, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
15. img2 = cv2.cvtColor(contrast, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
16.
17. (score, diff) = compare_ssim(img1, img2, full=True)
18. diff = (diff * 255).astype("uint8")
19.
20. print("SSIM: {}".format(score))
21.
```

-프로토타입별 SSIM 측정 결과

	프레임	SSIM	
		프토로타입 A	프로토타입 B
VID4		0.7759053196062001	0.4731932962679628
		0.7105738629709312	0.3955075721169253
		0.7754885168073962	0.43281342007193097
		0.8891309529799513	0.6268518033197604
시청각 기록물 1		0.9519969163518976	0.898273808260585
		0.8443780160254842	0.7672752148608506
		0.858711844250911	0.7083001846182357
		0.9302595336270064	0.7948085169262752
시청각 기록물 2		0.8620854012624944	0.6227096971234738
		0.9773420514339393	0.9401146750027577
		0.9082459165803315	0.8275711882316259
		0.9532818560469876	0.9001243325421009

3절 정량적 수치에 대한 보완평가

업스케일링된 동영상은 사람의 시각적인 부분이 더욱 둥요하다. 정량적 평가를 통해 원본과의 유사성을 1차적으로 판단할 수 있지만, 실제 영상을 보는 사람이 체감할 수 있는지 여부까지는 정확한 판단이 어렵다. 때문에 정량적 수치에 대하여 보완할 수 있는 별도의 지표가 필요하다. [표 6]은 시각적인 결과를 평가해보고자 수립한 정성적 평가 지표의 초안이며, 향후 해당 지표는 별도의 기준을 통해 수립할 필요가 있다.

[표 6] Score Chart

1. 프로토타입 A VID4 업스케일링 화질의 개선도
점수 :
2. 프로토타입 A 시청각 기록물 1 업스케일링 화질의 개선도
점수 :
3. 프로토타입 A 시청각 기록물 2 업스케일링 화질의 개선도
점수 :
4. 프로토타입 B VID4 업스케일링 화질의 개선도
점수 :
5. 프로토타입 B 시청각 기록물 1 업스케일링 화질의 개선도
점수 :
6. 프로토타입 B 시청각 기록물 2 업스케일링 화질의 개선도
점수 :

1번 항목을 통해 VID4의 결과를 보고 업스케일링 화질이 얼마나 개선되었는지를 측정하였다. 2, 3번 항목을 통해서는 시청각 기록물의 업스케일링 결과에 대해서 화질이 얼마나 개선되었는지를 측정하였다. 4번부터 6번까지는 프로토타입 B로써 수행한 결과에 대한 화질의 개선도를 측정하였다. 다수의 표본을 통해서 최종적으로 얻은 결과의 평균은 다음 [표 7]와 같다.

[표 7] Average Score

1. 프로토타입 A VID4 업스케일링 화질의 개선도

점수 :	8

2. 프로토타입 A 시청각 기록물 1 업스케일링 화질의 개선도

점수 :	6

3. 프로토타입 A 시청각 기록물 2 업스케일링 화질의 개선도

점수 :	5

4. 프로토타입 B VID4 업스케일링 화질의 개선도

점수 :	9

5. 프로토타입 B 시청각 기록물 1 업스케일링 화질의 개선도

점수 :	7

6. 프로토타입 B 시청각 기록물 2 업스케일링 화질의 개선도

점수 :	5

제4장 총괄연구개발과제의 연구결과 고찰 및 결론

1절 총괄연구개발과제의 연구 결론

1. 학습데이터의 개선 필요

앞서 업스케일링 기술 적용을 통해 다양한 결과물을 확인한 결과, 국가기록원의 시청각 동영상 기록물을 이용한 데이터세트 A, B는 Vimeo-90k 데이터세트보다 VID4에 대한 정량적 평가 결과값은 대체로 낮았다. 그 이유는 VID4 결과에서 Vimeo-90k가 시청각 동영상 기록물로 학습된 결과보다 우수한 건 Vimeo-90k의 학습데이터가 (그림 32)와 같이 VID4의 유형과 비슷한 프레임으로 학습되었기 때문으로 판단된다.

(그림 32) Simility of Vimeo-90k & VID4 Dataset

그 이외의 시청각 동영상 기록물을 이용한 결과는 보다 우수한 수치를 보였다. 시청각 기록물로 결과를 출력 시 데이터세트 A, B의 결과가 Vimeo-90k 데이터세트 보다 우수함이 이를 뒷받침한다.

다음으로 해상도 1920 x 1080으로 이루어진 데이터세트 B는 전체적으로 해상도 640 x 480으로 이루어진 데이터세트 A보다 우수한 수치를 나타냈다. 그 이유는 학습데이터의 해상도가 증가하면 인공지능이 학습 시 얻을 수 있는 세부적인 정보량이 증가하고, 비교적 저해상도의 학습데이터보다 고해상도의 학습데이터가 우수한 화질을 가지기 때문으로 판단된다. 하지만 이는 정량적 측정 차이로 (그림 33)과 같이 시각적으로 확인이 어렵다는 문제점이 존재한다.

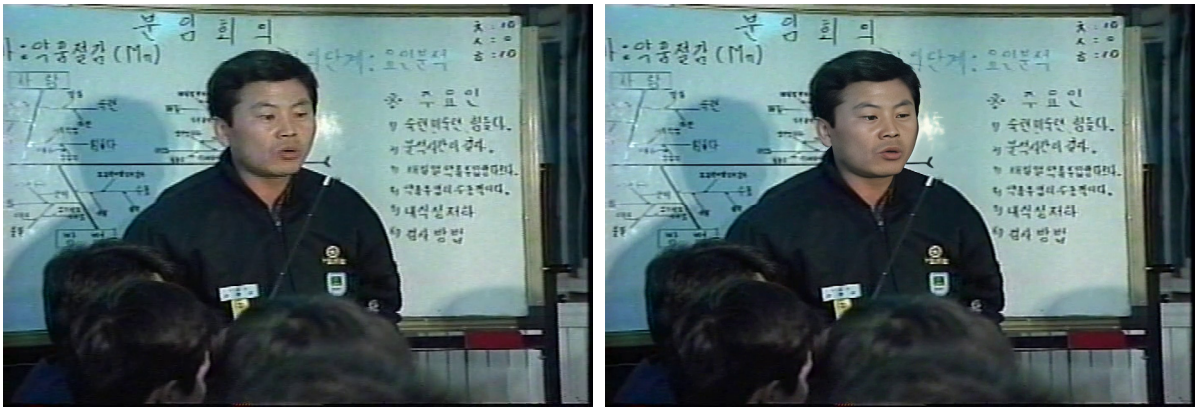
(그림 33) Compare of Dataset ‘A’ & ‘B’ Upscailing Result

또한, 본 연구를 수행하면서 나온 결과에 대해 고찰하고자 동영상 업스케일링 연구를 수행하는 전문업체에 자문을 구하였다. 업체 측의 결과물은 시각적으로만 확인할 수 있었지만 상당히 시각적으로 우수한 업스케일링 결과를 보였다. 업체 측의 결과물과 같이 국가기록원이 보유한 시청각 동영상 기록물의 유형에서도 우수한 결과를 얻을 수 있는지 샘플 동영상을 이용해 업스케일링을 의뢰하였다. 하지만 국가기록원이 보유한 시청각 기록물로 업체 측 업스케일링 기술을 사용하여 얻은 결과는 다소 미흡하였다. (그림 34)의 좌측은 720 x 480의 원본 프레임이고, 우측은 1440 x 960으로 업스케일링 및 밝기를 조정한 결과를 나타낸다. 프레임의 윤곽은 뚜렷해졌다는 느낌은 받으나, 전체적인 화질 향상이 미미하였다. 그 이유는 국가기록원이 보유한 오래된 시청각 동영상 기록물의 유형과 비슷한 고해상도 학습데이터가 부족하기 때문으로 판단된다.

(그림 34) Upscaling Result Applying the Professional Company Technology 1
(L-Original, R-Result)

다만 전체적 업스케일링이 아닌 얼굴 위주로 학습된 업체 측 업스케일링 기술을 적용한 프레임의 경우, 704 x 480 좌측 원본 프레임을 우측 1408 x 960 프레임으로 업스케일링한 (그림 35)와 같이, 얼굴 부분에서 우수한 업스케일링 효과를 보여준다는 것을 확인할 수 있었다. 업체 측에서는 업스케일링을 수행할 때, 전체적인 업스케일링 보다는 부분별로 강화한 형태를 중점적으로 연구하는 것을 알 수 있었다. 이러한 우수한

결과를 얻기 위해서는 특정 부분을 중심으로 고해상도로 선명하게 편집한 학습데이터를 구축하여 사용하였다고 판단하였다.



(그림 35) Upscaling Result Applying the Professional Company Technology 2

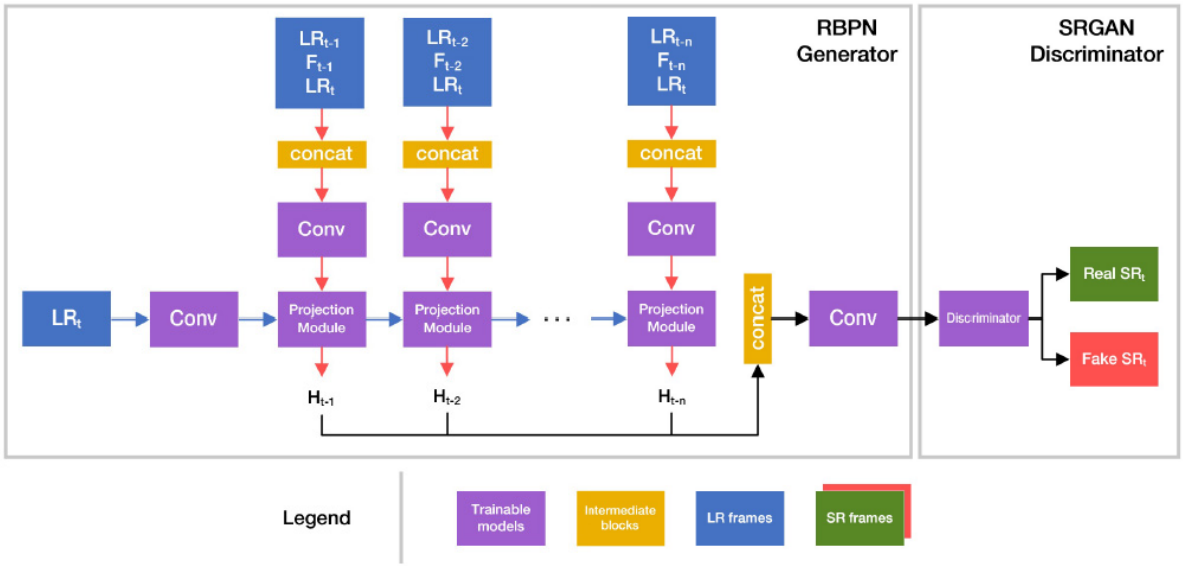
앞서 업체와의 자문을 통해서 얻은 결과는 학습데이터의 유형과 특징이 결과물의 성능에 크게 영향을 미친다는 것을 뒷받침한다. 최종적으로 위의 결과들을 통해 업스케일링 결과로 얻고자 하는 프레임과 비슷한 유형을 가지면서 2K, 4K 등의 고화질 프레임으로 데이터세트를 정제하여 구성하면 더욱 우수한 결과를 얻을 수 있음을 판단할 수 있었다.

2. 알고리즘의 개선 필요

앞서 도출한 정량적 평가 결과에서 프로토타입 A가 전체적으로 프로토타입 B보다 평가 결과가 우수하였다. 하지만 정성적 평가에서는 프로토타입 B 알고리즘이 프로토타입 A 알고리즘보다 우수하게 나타났다. 정량적 평가와 정성적 평가의 결과가 다른 이유는 프로토타입 B의 세부 알고리즘인 GAN의 특징 때문으로 판단된다. GAN 기반 업스케일링 기술의 특징으로 위에서 언급한 드리프팅 아티펙트 현상이 나타나게 되는데 이는 정량적인 PSNR과 SSIM을 평가할 때, 많은 감점요소가 된다. 하지만 (그림 36)와 같이 시각적으로 평가하게 되는 정성적 평가에서는 CNN 기반의 업스케일링 기술의 흐릿함보다 선명하게 생성된 느낌을 줄 수 있기 때문으로 보인다.

(그림 36) Sharpness Difference of CNN & GAN

이를 토대로 볼 때, 각 알고리즘별로 특징이 뚜렷하여 어느 것이 더 우수하다고 정의하기 어렵다고 판단된다. 무엇이 더 우수한 알고리즘이라고 정의하기 어려운 만큼 현재 각기 다른 알고리즘의 장점을 모두 얻기 위해서 CNN과 GAN을 융합하여 사용하는 인공지능 기반 업스케일링 연구도 (그림 37)과 같이 활발하게 진행되고 있다. 해당 연구는 현재 SOTA 연구로써 각 장점을 모두 취해 우수한 결과를 보여주고 있다.



(그림 37) Example of CNN & GAN Fusion Algorithm[18]

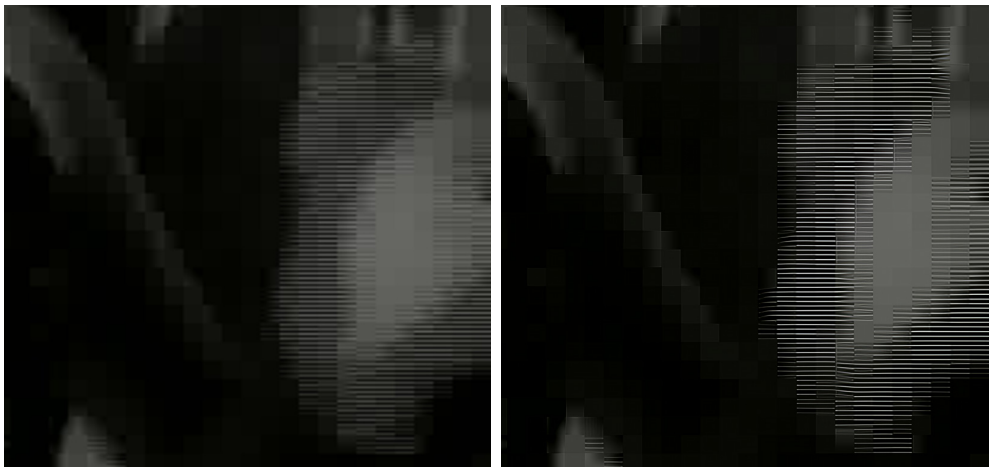
그러나 반드시 CNN과 GAN을 융합하여 각기 장점을 얻는다고 해서 보다 우수한 성능을 낸다고 보장할 순 없다. 계속해서 새로운 방식의 접근을 통해 정성적 및 정량적 평가의 결과가 높은 업스케일링 연구 수행이 필요하다.

다음으로 앞서 수행한 정성적 평가의 경우, VID4에 대한 업스케일링 결과는 우수했지만, 국가기록원의 시청각 동영상 기록물을 이용한 업스케일링 결과가 미흡한 부분도

존재했다. 그 이유는 위에 언급한 학습데이터에 따른 이유가 가장 크다. 또한, 사용된 프로토타입 알고리즘 특성상 전후 프레임의 영향을 많이 받게 되는데, 전후 프레임의 움직임이 적거나 프레임별 화면전환이 많은 동영상에서는 우수하지 못한 결과가 나올 수 있다고 판단된다. 극단적인 경우, 일부 국가기록원의 시청각 동영상 기록물을 이용한 업스케일링 결과는 (그림 38)과 같이 정성적으로 평가하기 어려울 정도로 미흡하였다. 학습데이터에 따른 이유라고 명확하게 정의할 수 없는 만큼, 해결 방안으로 업스케일링 알고리즘의 개선 및 고도화 연구 수행도 필요하다고 판단된다.

(그림 38) Lack of Upscaling Result

마지막으로 기존의 업스케일링 알고리즘은 아래 (그림 39)과 같이 잡음이 존재하는 부분도 다른 부분과 마찬가지로 선명하게 만드는 결과를 보였다. 국가기록원이 보유한 시청각 동영상 기록물은 오래된 기록물이 상대적으로 대다수이기 때문에 이런 결과는 업스케일링 결과를 평가하면서 악영향을 미치게 된다. 실질적인 국가기록원의 업스케일링 적용을 위해서는 이와 같은 문제에 대해서도 프로토타입에 대한 고도화를 통해서 개선이 필요하다고 볼 수 있다. 최종적으로 앞서 살펴본 결과를 통해 프로토타입 A와 B를 모두 근본적으로 개선할 수 있는 새로운 알고리즘에 관한 연구가 필요하다고 판단된다.



(그림 39) Noise of Upscaling

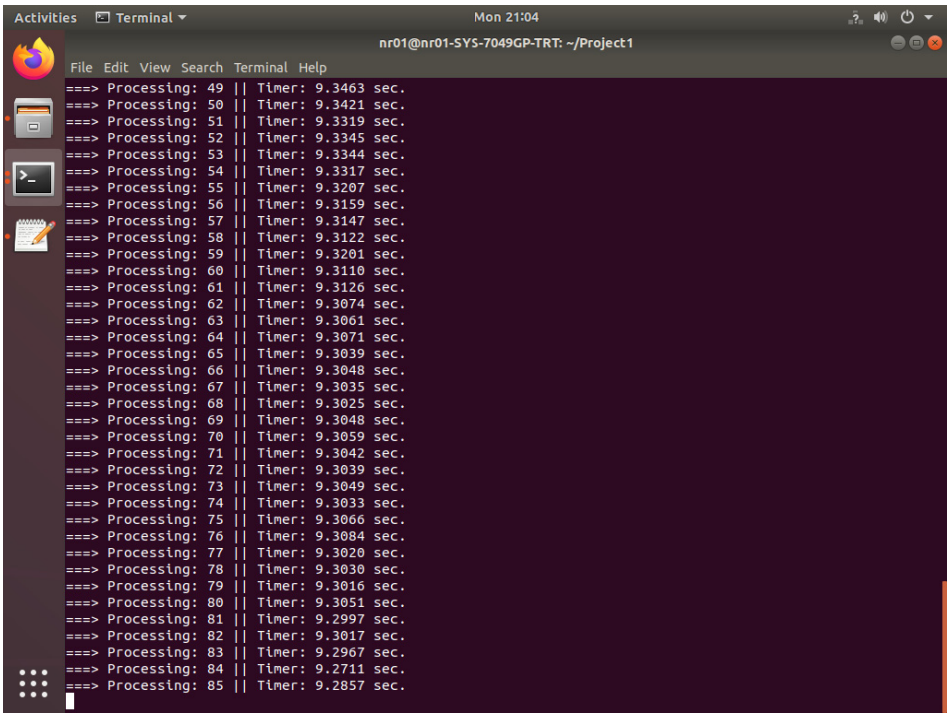
3. 하드웨어의 개선 필요

학습 완료 후 업스케일링 결과물 도출에는 160 x 120 해상도를 가지는 3분 길이의 30프레임 동영상을 640 x 480으로 업스케일링 시 1프레임당 약 0.7초로 63분 정도 소요되었고, 640 x 480 해상도를 가지는 3분 길이의 30프레임 동영상을 2560 x 1920으로 업스케일링 시 1프레임당 약 0.9초 정도로 81분 정도가 소요되었다. 1920 x 1080 해상도의 경우에는 3분 길이의 30프레임 동영상을 7680 x 4320으로 업스케일링 시 1프레임당 약 85초로 127.5시간이 소요되었다. (그림 40)에서 업스케일링 시 걸리는 시간의 예시를 보여준다.

많은 시간이 업스케일링에 걸리는 이유는 대표적으로 동영상을 다루는 인공지능의 특성상 매우 많은 텐서(Tensor)를 연산해야 하기 때문으로 판단된다. 일반적으로 이미지 분류, 객체 인식 등의 인공지능 기반 컴퓨터비전 연구에서는 이미지의 높이와 넓이, 컬러 채널 등의 복합 연산으로 많은 연산량이 요구된다. 동영상은 프레임의 연속으로 이미지보다 많은 텐서를 가지기 때문에 큰 자원을 필요로 한다. [표 8]에서 예시를 통해 720 x 480 크기의 흑백 이미지 100장, RGB 컬러 이미지 100장, 30프레임의 30초 RGB 컬러 동영상 10개의 총 텐서량을 보여준다.

실제로 시청각 동영상 기록물에 업스케일링 기술을 적용하기 위해서는 위의 결과보다 더 짧은 시간에 업스케일링을 수행할 수 있어야 한다. 시간적 단점을 개선하려는 방법으로는 첫 번째로 업스케일링 알고리즘의 고도화를 통해서 시간을 감소시킬 수 있다. 이러한 방법은 프로토타입을 개선하며 적용할 부분이다.

두 번째로는 현재 사용된 테스트베드의 환경보다 우수한 성능을 가지는 하드웨어 장비를 도입하여 적용하면 시간을 효과적으로 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다. 코어가 많은 GPU 장비의 특성상 인공지능을 연산할 때 CPU보다 GPU를 통해 연산하면 더욱 빠른 속도를 얻을 수 있으므로 많은 인공지능 연구에서 GPU 장비를 사용한다. 사용된 테스트베드 환경은 Nvidia(R) GeForce(R) RTX 2080ti 4장으로 사용된 GPU 장비보다 더 많고 우수한 GPU 장비를 사용한다면, 더 빠른 시간에 업스케일링을 수행할 수 있을 것으로 본다.



(그림 40) Examle of Upscaling Time Required for Each Frame

[표 8] Type by Tensor

종류	텐서	형태	예시
Greyscale Image	3D Tensor	Samples, Height, Width	100 x 720 x 480 = 34,560,000
Color Image	4D Tensor	Samples, Height, Width, Channels	100 x 720 x 480 x 3 = 103,680,000
Video	5D Tensor	Samples, Frames, Height, Width, Channels	100 x 900 x 720 x 480 x 3 = 103,680,000

2절 총괄연구개발과제의 연구 결론 고찰

1. 시사점 도출

오늘날의 국가기록원은 4차 산업혁명을 맞이하여 기존 아날로그 방식의 보존·복원에서 더 나아가 아날로그 매체를 현시대의 포맷에 맞게 디지털화하고 이를 활용하려 한다. 기존에 디지털화된 시청각 동영상 기록물의 경우, 낮은 해상도와 화질을 가지는 경우가 많아 기록물의 활용에 문제가 발생하고 있다. 이를 개선하기 위해서 인공지능 기반의 업스케일링 연구를 수행하였다. 먼저 해당 연구를 토대로 향후 국가기록원이 인공지능 업스케일링 기술을 적용하였을 때, 기록물을 효과적으로 개선할 수 있는지를 판단하였다. 연구 결론을 토대로 얻은 시사점을 도출하면 다음과 같다.

업스케일링이 실제로 국가기록원의 시청각 동영상 기록물에 적용되기 위해서는 인공지능 기반의 고도화된 업스케일링 알고리즘이 필요하다. 해당 알고리즘은 높은 정성적 및 정량적 수치를 가지는 결과를 얻을 수 있어야 한다. 알고리즘과 더불어 업스케일링 하려는 국가기록원의 기록물 특성과 유사한 형태의 고해상도 학습데이터 세트가 있어야 한다. 마지막으로 고성능의 하드웨어를 통해서 이러한 인공지능을 학습시키고, 결과물을 출력하면 시청각 동영상 기록물의 업스케일링 적용이 가능할 것으로 판단된다.

2. 한계점 및 향후 방향

마지막으로 본 연구의 한계점과 향후 방향을 살펴보면 다음과 같다.

첫 번째로 본 연구는 기존에 존재하는 다양한 업스케일링 알고리즘 중에서 대표적으로 CNN과 GAN을 기반으로 하는 알고리즘을 프로토타입으로 사용하였다. 그렇기에 얻은 결과는 알고리즘에 따라 다른 결과를 얻을 수도 있다.

두 번째로 본 연구의 정성적 평가는 모든 표본을 대표하지 않는다. 따라서 결과의 평균점수가 변경될 수 있으므로 정성적 평가 결과에 대한 신뢰성은 크지 않다.

세 번째로 해당 연구는 극히 제한적으로 가공된 데이터세트가 사용되었다. 국가기록원 소장 시청각 동영상 기록물은 흑백, 컬러 등의 색정보 차이와 비디오, 영화필름 등의 매체 차이, 뉴스, 방송자료 등의 컨텐츠 차이 등의 다양한 특성의 기록물이 있는 반면, 이를 분류, 가공, 정제하는 등의 절차를 통한 고품질의 학습데이터 확보 시간이 매우 부족했다.

향후에는 본 연구를 기반으로 인공지능을 활용할 수 있는 다양한 연구와 기술을 적용할 예정이다. 먼저 국가기록원이 보유한 시청각 동영상 기록물 중에서 대한뉴스와 같은 음성정보가 중요한 기록물이 다수 존재한다. 인공지능 음성인식 기술이 고도화됨에 따라서 해당 기록물의 음성을 별도로 추출해서 활용하는 연구가 필요해 보인다. 업스

케일링과 마찬가지로 음성의 잡음을 제거하고 명료성과 같은 특징을 개선할 수 있을 것이다. 추가로 인공지능을 이용한 객체·사물인식 기술을 통해서 보유한 시청각 영상 기록물의 정보를 추출하는 연구가 수행되어야 한다. 이를 통해서 영상 기록물의 유의미한 메타데이터를 추출하고 기록하여 기록물의 활용성을 높이는데 크게 기여할 수 있을 것으로 예상한다. 최종적으로는 이와 같은 다양한 연구를 진행해서 국가기록원의 MAM 시스템이 보유한 품질검사, 장면추출 등의 기능을 효과적으로 개선하고 자동으로 수행할 수 있는 시스템의 구현이 목표라 할 수 있을 것이다.

제5장 총괄연구개발과제의 연구성과

1절 활용성과

총괄과제명	인공지능 기반의 시청각 동영상 기록물 업스케일링 연구
총괄과제책임자	최근창 / 복원관리과 / 컴퓨터공학

가. 연구논문

번호	논문제목	저자명	저널명	집(권)	페이지	Impact factor	국내/국외	SCI 여부
1								
2								

나. 학술발표

번호	발표제목	발표형태	발표자	학회명	연월일	발표지	국내/국제
1							
2							

다. 지적재산권

번호	출원/등록	특허명	출원(등록)인	출원(등록)국	출원(등록)번호	IPC분류
1						
2						

라. 정책활용

마. 타연구/차기연구에 활용

빅데이터 관련 객체인식 연구에 선행연구로써 적극 활용되었고, 추후 진행될 인공지능 기반 연구의 다양한 접근방법에 활용됨.

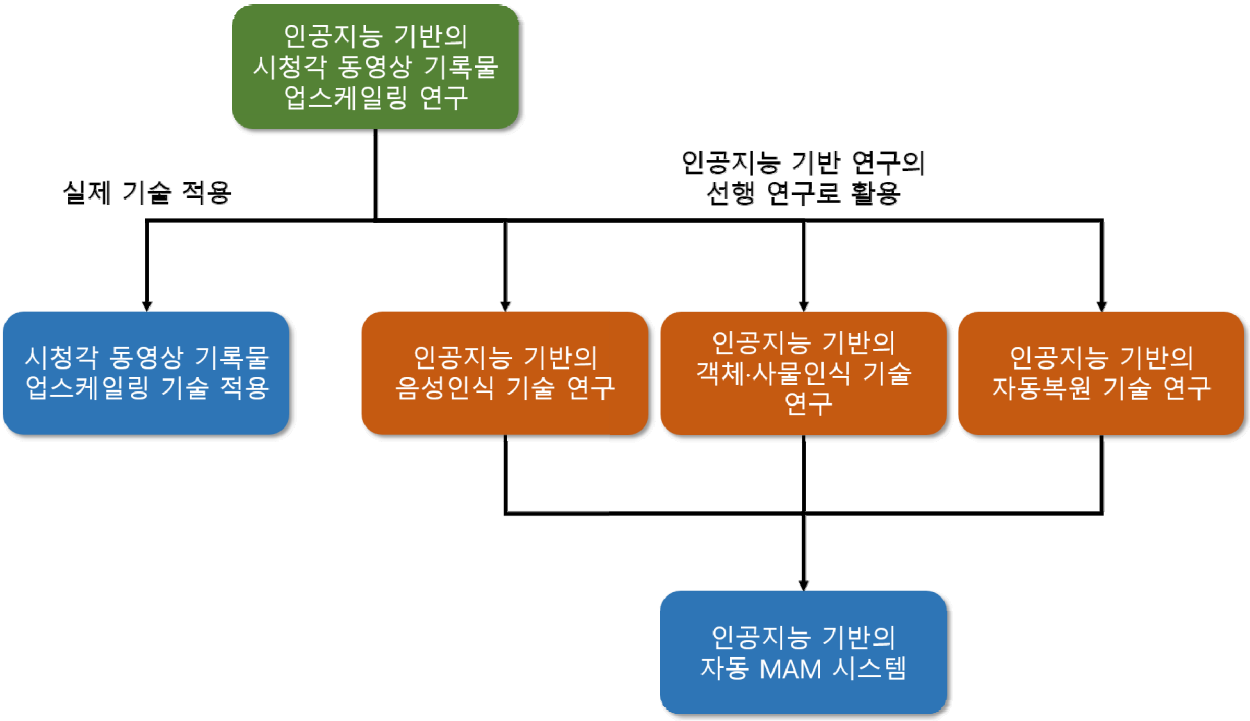
바. 언론홍보 및 대국민교육

사. 기타

국가기록원이 보유한 시청각 동영상 기록물을 정제한 데이터세트를 구축하고, 향후 인공지능 기반 업스케일링 연구의 실제 기술도입 적용 여부와 활용 방법을 결론지음.

2절 활용계획

해당 연구는 국가기록원에서 수행된 인공지능 기반 기술의 적용 관련 연구이다. 해당 연구 결과를 통해서 인공지능 기반의 업스케일링 기술의 도입 여부를 판단하고, 연구를 통해 발견한 시사점을 바탕으로 개선하여 적합한 업스케일링 기술을 시청각 동영상 기록물에 적용하려 한다. 향후에는 (그림 41)와 같이 본 연구를 기반으로 인공지능을 다양한 보존·복원 분야에 활용하여 적용할 예정이다. 추후에 국가기록원이 인공지능 기반의 다양한 기술을 시청각 동영상 기록물 보존·복원에 적용하려 할 때, 본 연구가 인공지능 기반의 시청각기록물 관리방안 수립에 선행 연구가 될 수 있다.



(그림 41) Use Plan

제6장 참고문헌

[1] 행정안전부 국가기록원, “목표및임무”, https://www.archives.go.kr/next/organ/vision.do, (2020-11-02 방문).

[2] 행정안전부 국가기록원, “전체보유현황”, https://www.archives.go.kr/next/data/possessionConditionOfRecode.do, (2020-11-13 방문).

[3] w3schools.com, “Browser Display Statistics”, https://www.w3schools.com/browsers/browsers_display.asp, (2020-11-17 방문).

[4] 행정안전부, “공공데이터 개방”, https://www.mois.go.kr/frt/sub/a06/b02/openData/screen.do, (2020-11-09 방문).

[5] 이승훈 (2020), “4K-8K 비디오를 위한 고효율 실시간 딥러닝 기반 super resolution 시스템”, 정보통신기획평가원 ICT R&D 동향.

[6] 한국무역보험공사 (2019), “디스플레이산업 기술·시장동향 - 폼팩터 혁신과 OLED 경쟁”, 산업동향보고서.

[7] 서유림, 강석주 (2020), “딥러닝 기반 Super Resolution 기술의 현황 및 최신 동향”, 방송과 미디어.

[8] Timofte, R., De Smet, V., & Van Gool, L. (2014), “A+ Adjusted Anchored Neighborhood Regression for Fast Super-Resolution”, Asian Conference on Computer Vision.

[9] Dong, C., Loy, C. C., He, K., & Tang, X. (2015), “Image Super-Resolution Using Deep Convolutional Networks”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence.

[10] Ledig, C., Theis, L., Huszar, F., Caballero, J., Cunningham, A., Acosta, A., ... & Shi, W. (2017), “Photo-Realistic Single Image Super-Resolution Using a Generative Adversarial Network”, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.

[11] Wang, X., Chan, K. C., Yu, K., Dong, C., & Change Loy, C. (2019), “EDVR: Video Restoration with Enhanced Deformable Convolutional Networks”, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops.

[12] Sajjadi, M. S., Vemulapalli, R., & Brown, M. (2018), “Frame-Recurrent Video Super-Resolution”, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.

[13] Haris, M., Shakhnarovich, G., & Ukita, N. (2018), “Deep Back-Projection Networks For Super-Resolution”, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recog

nition.
[14] Browse State-of-the-Art, “Video Super-Resolution on Vid4 - 4x upscaling”, https://paperswithcode.com/sota/video-super-resolution-on-vid4-4x-upscaling, (2020-11-10 방문).
[15] Haris, M., Shakhnarovich, G., & Ukita, N. (2019), “Recurrent Back-Projection Network for Video Super-Resolution”, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.
[16] Chu, M., Xie, Y., Mayer, J., Leal-Taixé, L., & Thuerey, N. (2020), “Learning Temporal Coherence via Self-Supervision for GAN-based Video Generation”, ACM Transactions on Graphics (TOG).
[17] Francois Chollet (2017), “Deep Learning with Python”, Manning Publications.
[18] Chadha, A., Britto, J., & Roja, M. M. (2020), “iSeeBetter Spatio-temporal video super-resolution using recurrent generative back-projection networks”, Computational Visual Media.

총괄 연구과제 요약

과제 고유번호	자동부여		공개가능 여부	공개
사업명	2020년 국가기록관리·활용기술 연구개발(R&D) 사업			
과제명	인공지능 기반의 시청각 동영상 기록물 업스케일링 연구			
연구책임자	성 명	최근창		
	소속 기관명	행정안전부 국가기록원		
	전자우편	ckc88@korea.kr	전화번호	031-750-2258

○ 연구목표 (400 ~600자)

본 연구는 국가기록원이 소장한 다양한 기록물 중, 저해상도를 가지는 기존 시청각 동영상 기록물에 대해서, 인공지능 기반의 업스케일링을 통해 현시대의 흐름에 맞게 고해상도의 시청각 동영상 기록물로 제공할 수 있는지를 판단하는 것이 핵심 목표이다.

- 국가기록원 시청각 동영상 기록물 적용
국가기록원이 소장한 시청각 동영상 기록물을 대상으로 인공지능 기반의 업스케일링 기술을 통해서 저해상도 동영상 기록물을 고해상도 동영상 기록물로 개선하고 화질의 향상을 확인한다. 해당 결과를 통해 시청각 동영상 기록물의 인공지능 기반 업스케일링 기술 적용 여부를 판단한다.

- 인공지능 기반 업스케일링 개발 및 평가
업스케일링에 최적화된 인공지능 알고리즘을 이용해 업스케일링이 가능한 프로토타입을 오픈소스 기반으로 개발하여 테스트한다. 인공지능 업스케일링 프로토타입의 결과를 정성적, 정량적으로 평가한다.

- 향후 인공지능 적용 가능성 검토
향후 본 연구를 활용해서 인공지능 기반의 자동복원, 음성인식, 객체·사물 인식 등의 인공지능 기술과 기존 MAM 시스템이 보유한 품질검사, 장면 추출 등의 맥락정보 자동생성 등의 적용 가능성을 검토한다.

○ 연구내용 (1000~1200자)

국가기록원에서 디지털 시청각 기록물에 대한 보존·복원 관련 업무수행과 연구개발을 통한 보존·복원 향상, 관련 시스템 운영·고도화는 매우 핵심적인 업무로 수행되고 있다. 시청각 동영상 기록물에 대한 업스케일링 연구를 본격적으로 수행하기에 앞서 산업과 기술 동향을 조사하였다. 산업에서 전방산업의 수요부진을 타파하기 위해서 기존의 저해상도 위주의 디스플레이 시장이 고해상도 디스플레이 위주로 개편되고 있다. 현재 고해상도 디스플레이 시장은 해를 갈수록 성장하고 있다. 기술 측면에서는 인공지능에 관한 많은 연구가 이루어진 이후로 굉장히 다양한 분야에 인공지능을 적용하려는 연구가 활발하게 이루어졌다. 업스케일링 분야에서도 마찬가지로 기존의 비 인공지능 기반의 업스케일링 방법이 존재하였으나, 인공지능을 적용한 결과가 훨씬 더 우수하게 도출된 이후로 인공지능을 활용한 업스케일링 연구가 활발하게 진행되었다.

본 연구에서는 인공지능 기반의 업스케일링을 수행하기 위해서 다양한 기존의 인공지능 기반 업스케일링 알고리즘을 분석하였다. 이미지 적용에 자주 사용되는 CNN과 적대적 형태로 이미지를 생성하는 용도로 사용이 가능한 GAN이 주로 사용된다. 그중에서 높은 성능을 보인 CNN 기반의 알고리즘과 GAN 기반의 알고리즘을 선택하여 오픈소스 기반으로 프로토타입을 설계하였다. 프로토타입 학습에 사용되는 데이터세트는 기존에 많은 인공지능 기반 컴퓨터비전 학회와 대회에서 사용되는 VID4, Vimeo-90k를 포함하여, 국가기록원이 보유한 시청각 동영상 기록물로 정제해서 만든 국가기록원 데이터세트를 생성하였다. 테스트베드를 구축하여 해당 프로토타입을 다양한 방법으로 학습을 수행하였다.

최종적으로 업스케일링 결과를 다양하게 도출해서 각기 정량적 및 정성적 평가를 진행하였다. 여기서 정량적 평가는 점수측정을 통해서 평가를 진행하였고, 정성적 평가는 영상의 품질을 평가할 때 주로 사용되는 PSNR과 SSIM을 사용해서 평가하였다. 평가를 통해서 어느 점이 개선 가능성이 있는지 판단하고 분석을 수행하였다. 또한, 다양한 연구 자문을 통해서 미흡한 부분을 개선하고 향후 국가기록원이 인공지능을 도입하여 시청각 기록물을 개선함에 여러 연구의 초석이 되는 분석을 진행하였다.

○ 연구성과(응용분야 및 활용범위포함) (400 ~600자)

인공지능을 활용한 업스케일링을 수행하기 위해서 다양한 국내외 산업 및 기술의 동향을 알아보았다. 이를 토대로 인공지능 업스케일링 기술을 분석하고 프로토타입을 개발하였다. 개발된 프로토타입을 활용해서 국가기록원이 소장한 시청각 동영상 기록물을 업스케일링 하였다. 더 우수한 결과를 얻기 위해서 시청각 동영상 기록물을 정제하여 데이터세트를 생성하고 이를 학습에 사용하였다. 최종적으로 얻은 업스케일링 결과를 점수측정의 정성적 평가, PSNR, SSIM의 수치를 측정하는 정량적 평가를 통해서 평가하였다.

최종적으로 인공지능 기반의 시청각 동영상 기록물의 업스케일링 연구를 통해서 다음과 같은 연구성과를 얻었다. 업스케일링이 실제로 국가기록원의 시청각 동영상 기록물에 적용되기 위해서는 인공지능 기반의 고도화된 업스케일링 알고리즘이 필요하다. 구체적으로는 높은 정량적 및 정성적 수치를 가지는 결과를 얻을 수 있어야 한다. 알고리즘과 더불어서 국가기록원의 기록물 특성과 유사한 형태의 고해상도 학습데이터 세트가 있어야 한다. 마지막으로 고성능의 하드웨어를 통해서 이러한 인공지능을 학습시키면, 실제로 기록물의 업스케일링에 충분히 적용할 수 있음을 보았다.

○ 총괄 참여연구원

성 명	소속/직위	성 명	소속/직위
최근창	국가기록원/주무관		
김상국	국가기록원/전산사무관		
허재욱	국가기록원/인턴연구원		

Keywords (5개 내외)	*한글*	인공지능, 업스케일링, 동영상
	영문	AI, Upscaling, Super-Resolution, Video

2020년 국가기록관리 · 활용기술 연구개발(R&D) 사업 자체연구 결과보고서

03 블록체인 활용 지능형 기록관리 방안 연구

A Study on the Intelligent RecordKeeping Methodolgy using Blockchain

디지털기록혁신과 **왕호성**

〔별지 제15호서식〕

자체연구과제 최종보고서

<table>
<tr><td>연구사업명</td><td colspan="8">2020 국가기록관리·활용기술 연구개발(R&D) 사업</td></tr>
<tr><td>연구과제명</td><td colspan="8">블록체인 활용 지능형 기록관리 방안 연구
(A Study on the Intelligent RecordKeeping Methodolgy using Blockchain)</td></tr>
<tr><td>책 임 자</td><td>소 속</td><td colspan="3">디지털기록혁신과</td><td>성 명</td><td colspan="3">왕호성</td></tr>
<tr><td rowspan="5">연구자
및 참여율</td><td>책임자</td><td>왕호성</td><td>60%</td><td>연구자</td><td></td><td>%</td></tr>
<tr><td>연구자</td><td>문신혜</td><td>35%</td><td>연구자</td><td></td><td>%</td></tr>
<tr><td>연구자</td><td>한능우</td><td>5%</td><td>연구자</td><td></td><td>%</td></tr>
<tr><td>연구자</td><td></td><td></td><td>연구자</td><td></td><td>%</td></tr>
<tr><td>연구자</td><td></td><td></td><td>연구자</td><td></td><td>%</td></tr>
<tr><td rowspan="3">연
구
결
과</td><td>필요성
및
목표</td><td colspan="7">• 블록체인 활용 분야의 확산과 비대면 서비스 선호 향상에 따른 연구 및 적용 필요성 증대
• 블록체인 자동화 적용 가능 기록관리 업무 분석 및 식별
• 스마트 컨트랙트 자동화 설계 및 블록체인 플랫폼 활용 검증</td></tr>
<tr><td>방 법
및
결 과</td><td colspan="7">• 문헌연구, 사례조사 등을 통한 기술수준 및 동향 파악
• 법률 및 표준 등의 분석과 담당자 면담을 통한 업무 분석
• 스마트 컨트랙트 적용 열람, 공개재분류, 보존기간 재평가 업무 자동화 모형 제안</td></tr>
<tr><td>기대성과</td><td colspan="7">• 향후 실제 환경에 블록체인 적용 시 기초 연구로 활용 가능
• 기록관 등 다양한 노드 참여 시 업무 적용 방안에 활용 가능</td></tr>
<tr><td colspan="2">활용계획</td><td colspan="7">‘21년 개발 예정인 차세대 AMS 요소 기술로 활용 예정</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구비(천원)</td><td colspan="2">책정액</td><td>15,000</td><td>사용액</td><td colspan="3">15,000</td></tr>
<tr><td colspan="2">발표(게재)계획</td><td>연보</td><td>-</td><td>학술지명</td><td colspan="2">한국기록관리학회지</td><td>학술대회명</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">비 고</td><td colspan="7">보안성 유( ) 무(○)</td></tr>
</table>

이상과 같이 보고합니다.

첨부 : 보고서 1부.

2020년 12 월 18 일

(부서명) 디지털기록혁신과 성명 : 왕 호 성

※ 주 의 내 용

주 의

1. 이 보고서는 국가기록원에서 시행한 연구개발사업의 연구결과보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 국가기록원에서 시행한 연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.

제 출 문

국가기록원장 귀 하

이 보고서를 “스마트 컨트랙트를 활용한 기록관리 자동화 방안 연구(국가기록원 디지털기록혁신과)” 과제의 연구결과보고서로 제출합니다.

2020. 12. 18

주관연구기관명 : 국가기록원 디지털기록혁신과

연 구 책 임 자 : 왕 호 성
연 구 참 여 자 : 문 신 혜

<차 례>

제1장 자체연구과제의 목표 ····· 181

제1절 연구의 배경 및 필요성 ····· 181

제2절 연구의 방법 및 범위 ····· 182

제2장 블록체인 연구 동향 ····· 183

제1절 블록체인 연구 분석 ····· 185

제2절 스마트 컨트랙트 연구 분석 ····· 188

제3장 주요 개념 및 사례 ····· 190

제1절 주요 개념 ····· 190

제2절 주요 사례 ····· 192

제4장 스마트 컨트랙트를 활용한 기록관리 자동화 방안 ····· 203

제1절 자동화 업무 선별 ····· 203

제2절 대법원 열람 업무 ····· 206

제3절 비공개 기록물의 제한적 열람 ····· 209

제4절 공개재분류와 보존기간 재평가 ····· 211

제5장 자체연구과제의 연구결과 고찰 및 결론 ····· 215

제6장 자체연구과제의 연구성과 ····· 217

제7장 기타 중요변경사항 ····· 218

제8장 참고문헌 ····· 218

제9장 첨부서류 ····· 223

연구결과보고서 요약문

연구과제명	블록체인 활용 지능형 기록관리 방안 연구		
중심단어	블록체인, 스마트 컨트랙트, 업무자동화, 감사증적		
수행부서	디지털기록혁신과	연구책임자	왕호성
연구기간	2020 . 04 . 22 - 2020 . 12 . 18		

□ 연구배경

- 블록체인, 클라우드, 빅데이터 등 신기술을 적용한 공공 행정 환경의 급격한 변화
- 블록체인 활용 분야의 확산과 비대면 서비스 선호 향상에 따른 연구 및 적용 필요성 증대

□ 연구목표

- 블록체인 자동화 적용 가능 기록관리 업무 분석 및 식별
- 스마트 컨트랙트 자동화 설계 및 블록체인 플랫폼 활용 검증
- 향후 기록관리 지능화를 위한 기반 기술 마련 및 연계 방안 제안

□ 연구내용

- '19년 국가기록원의 블록체인 플랫폼 구축 연구의 블록체인 플랫폼 분석을 통해 기록의 진본성 검증 방안과 다기관 참여 가능성 확인
- 국내·외 기록관리 분야 블록체인 연구 분석을 통해 타당성과 필요성 도출
- ITrust 프로젝트의 산출물과 국내 4차산업혁명위원회가 발표한 블록체인 확산 자료 등을 통해 블록체인의 적용 필요성과 의의 확인
- 스마트 컨트랙트의 타 분야 연구 분석을 통해 스마트 컨트랙트의 적용 요건 분석, 기록관리 분야의 스마트 컨트랙트 정의 제시
- 「공공기록물법」등의 기록관리 업무 관련 법률 분석, 국가기록원 업무 담당자 의견과 스마트 컨트랙트 적용 요건 등 기술적 측면을 고려하여 스마트 컨트랙트 적용 업무 선별
- 대상 업무에 대하여 스마트 컨트랙트 적용 모형 설계, 블록체인을 활용한 기록관리 업무 자동화 방안 제시

□ 연구결과

- '19년 연구를 통해 블록체인의 기록 진본성 검증 가능성 증명 및 실제 구현
- 블록체인 기록관리 플랫폼을 활용하여 모든 트랜잭션 자동 포착 가능
- 스마트 컨트랙트의 구체적 적용 방안 제시, 그 외의 업무에도 확장 가능성 파악
- 스마트 컨트랙트의 DApp 활용 시스템 자동화를 실현, 지능화 연계 가능성 제시

연구비 집행내역

내 역	당초 연구개발비	사용액	집행 잔액
일용임금 [A]	12,000,000	12,692,900	-692,900
- 인턴연구원 보수	12,000,000	12,692,000	-692,900
일반수용비 [B=①+②+③]	1,900,000	2,150,000	-250,000
- 논문게재비 ①	500,000	550,000	-50,000
- 자문회의 및 자료조사②	500,000	0	500,000
- 소모품 구매(번역료 포함)③	900,000	1,600,000	-700,000
여비 [C]	1,000,000	157,100	842,900
-국내여비	1,000,000	157,100	842,900
연구비 총액 [A+B+C]	15,000,000	15,000,000	0

자체연구개발과제 연구결과

제1장 자체연구과제의 목표

제1절 연구의 배경 및 필요성

2020년 4월 기획재정부는 정부의 블록체인 확산전략에 따라 2021년 블록체인 관련 예산 반영을 발표하였다(기획재정부, 2020). 같은 해 6월에는 대통령 직속 4차산업혁명위원회(이하 4차산업위)에서 초연결·비대면 신뢰 사회를 위한 블록체인 기술 확산 전략이 의결되었다(4차산업위, 2020). 코로나 19에 따른 디지털 비대면 문화의 확산과 온라인에서의 연결성 강화 대책을 블록체인에서 찾으려는 정부 차원의 정책적 노력이 진행되고 있다. 정부는 블록체인 적용 파급력이 높은 분야를 집중 지원하기 위해 18년부터 시작된 블록체인 공공선도 시범사업들을 대상으로 공공업무에 본격적인 확대를 추진하고 있다(4차산업위, 2020, p.19).

국가기록원은 2019년 블록체인 공공선도 시범사업의 12개 과제 중 하나로 선정되어 과기정통부가 지원하는 10억 원의 외부 예산을 유치하였다. 이 사업을 통해 다양한 블록체인 개발 프로젝트 중 상대적으로 규모가 큰 하이퍼레저 패브릭[1] 플랫폼을 선택하여 블록체인 기록관리 시스템을 구축·확보하였다. 기록관리 유관 기관 4곳이 함께 참여한 네트워크 노드시스템을 구축하여 합의모형을 시험하였고 정부업무관리시스템인 온-나라의 전자문서를 대상으로 대표적 전자기록 유형인 전자문서 생애주기 전반의 무결성을 검증하였다(국가기록원, 2020a).

미국 국가기록청(National Archives and Records Administration, NARA)은 전자서명을 문서에 삽입하는 기존의 진본성 보장 방식이 인증서 만료 시의 유효성 문제가 있고 또한 모든 문서를 변환해야 하는 비효율성으로 인해 이를 극복하기 위한 블록체인의 필요성을 제기한 바 있다(NARA, 2019). 영국의 국가기록관리청(The National Archives, 이하 TNA)는 2017년부터 블록체인을 활용한 전자기록의 무결성 보장 방안인 'ARCHANGEL' 프로젝트를 수행하였다. 전자문서의 진본성 보장을 위해 전자서명

1) 리눅스재단에서 기업용 블록체인 개발을 위해 시작한 하이퍼레저 프로젝트 중 하나의 플랫폼으로, 하이퍼레저 패브릭은 모듈형 구조를 사용하여 상호운용성을 높이고 광범위한 산업 분야에 활용될 수 있도록 개발되었다(Hyperledger, n. d.).

을 포함한 장기보존포맷 변환 방식을 채택하고 있는 한국 역시 미국처럼 모든 문서를 변환해야 하는 비효율성 문제를 동일하게 안고 있다(한국. 행정안전부, 2020). 19년 시범사업을 통해 국가기록원은 개별 전자문서에 전자서명을 삽입·변환하는 방식이 아니더라도 블록체인의 트랜잭션 추적 기능을 활용하여 기록의 진본성이 보장될 수 있음을 확인하였다. 또한 국가기록원이 확보한 하이퍼레저 패브릭 기반 블록체인 기록관리 플랫폼이 지원하는 스마트 컨트랙트 기능을 통해 다양한 업무 자동화에 응용할 수 있음을 알게 되었다.

이 연구는 국가기록원이 확보한 블록체인 기록관리 플랫폼을 활용하여 다양한 기록관리 업무 개선방안을 연구하기 위해 추진된 2020년 국가기록관리 활용기술 연구개발 사업의 최종 결과를 정리한 것이다. 공공업무 환경의 급격한 디지털화에 따라 업무행위를 기록으로 포착해야 하는 전통적인 기록관리 방식은 변화의 속도를 따라가지 못하고 있다. 블록체인을 포함한 4차 산업혁명 기술을 공공부문에 우선 적용하여 국가경쟁력 우위를 확보하려는 정부는 막대한 예산 투입으로 정책 시행을 예고하고 있다. 이러한 시점에 국가기록원이 공공기록관리 업무를 실험할 수 있는 블록체인 기록관리 플랫폼을 확보하여 새로운 기록관리 방식을 연구할 수 있는 기반을 마련하였다는 것은 중요한 의미를 가진다.

제2절 연구의 방법 및 범위

이 연구는 블록체인을 활용하여 기록관리 업무 수행의 최소 단위인 트랜잭션을 추적하고 스마트 컨트랙트를 이용하여 기록관리 업무 자동화 방안을 설계, 제시하고자 하였다. 블록체인의 핵심기술인 트랜잭션 추적기능과 스마트 컨트랙트와 관련된 최신 기술 현황 및 실제 연구사례들을 분석하기 위해 다양한 문헌연구를 수행하였다. 국내외의 학술논문, 컨퍼런스 발표 자료, 영국 국가기록관리청(The National Archives, 이하 TNA)이 수행한 블록체인 프로젝트의 최종보고서, 미국 NARA의 블록체인 백서 등을 확보하여 검토하였다. 특히 2019년 국가기록원 블록체인 기록관리 플랫폼 구축사업의 최종보고서 및 연구보고서는 이 연구 전반의 출발점이자 실질적 토대를 제공하였다.

실제 기록관리 업무에 적용하는 모형을 설계하기 위하여 국가기록원 업무담당 부서의 기록관리전문가들과 인터뷰를 수행하였고 업무경험을 청취하였다. 그들이 원하는 현행 업무의 개선 요구사항을 블록체인으로 구현할 수 있는지를 분석하며 설계한 모형을 함께 확인하고 일부는 블록체인 플랫폼과 기존 운영 시스템을 연계하여 구현하였다.

블록체인과 스마트 컨트랙트 등 주요 개념에 대한 기록학적 관점의 정의를 제시하고 해외 기록관리 분야의 블록체인 연구와 현행 기록관리 업무의 개선을 위해 적용할 수 있는 기술을 논의하는 연구를 분석하였다. 그리고 시스템 분석을 통해 기존 시스템과 2019년 국가기록원이 기 구축한 블록체인 기록관리 플랫폼의 연계 지점을 도출하고 우편으로 송부되는 기존 열람 업무의 블록체인 연계 및 자동화, 스마트 컨트랙트를 활용하여 공개재분류 등의 프로세스 일부 자동화를 설계, 제시하였다. 이 연구는 블록체인을 활용하여 기록물의 진본성, 무결성과 기록관리 업무의 투명성을 보장하는 방안을 설계, 제시하고자 하였다.

제2장 블록체인 연구 동향

블록체인과 스마트 컨트랙트, 블록체인 적용 기록관리 연구의 현황을 분석하기 위하여 이 장에서는 다음의 <표 1>과 같은 연구 및 사례를 연구하였다. 다만 블록체인 적용 기록관리 연구 사례인 ARCHANGEL 프로젝트 및 주요 연구들은 다음의 제3장 제2절 주요 사례에서 분석한다.

<표 1> 선행연구 분석 대상

구분	조사 목록
문헌	• 블록체인 프로젝트(2019, 정보문화사) • 하이퍼레저 프로젝트 완전정복(2020, 홍릉과학출판사) • Trusting Records in the Cloud(2019, Facet Publishing)
연구 사례	• 국가기록원 블록체인을 적용한 신뢰기반 기록관리 연구보고서(국가기록원) • ARCHANGEL 프로젝트(TNA 등 3개 기관 수행) - ARCHANGEL: guaranteeing the integrity of digital archives(프로젝트 최종보고서) - ARCHANGEL pilot - User Research Report - ARCHANGEL: Tamper-proofing Video Archives using Temporal Content Hashes on the Blockchain
논문	• ArchContract: using smart contracts for disposition • 블록체인 기술을 활용한 진본인증 모형 연구 • 기록관리시스템 블록체인 기술 적용 방안 연구 • 블록체인기술을 적용한 기록관리 모델 구축 방법 연구 • Trusting Records: Is Blockchain Technology the Answer? • Blockchain and Distributed Ledgers as Trusted Recordkeeping Systems: An Archival Theoretic Evaluation Framework • In Blockchain We Trust? Blockchain Technology for Identity Management and Privacy Protection • A Typology of Blockchain Recordkeeping Solutions and Some Reflections on Their Implication of the Future Archival • Preserving the Archival Bond in Distributed Ledgers - A Data Model and Syntax • Blockchain in Global Health - An appraisal of current and future application • Having our 'omic' cake and eating it too: Evaluation User Response to using Blockchain Technology for Private & Secure Health Data Management and Sharing • Smart Contract-Based Long-Term Auction for Mobile Blockchain Computation Offloading • The Role of Blockchain in Documenting Land Users' Rights: The Canonical Case of Farmers in the Vernacular Land Market • 스마트 컨트랙트를 적용한 역할 기반 접근제어 메커니즘 • 자금 세탁 방지를 위한 블록체인 기반 스마트 컨트랙트 메커니즘 설계 • 자동차보험용 스마트 컨트랙트를 위한 사고정보 기반 신뢰도 산정 모델

제1절 블록체인 연구 분석

블록체인에 대한 기본 개념 등을 정립하기 위하여 블록체인에 관하여 출판된 단행본을 다음과 같이 분석하였다. 박정태(2019)는 「블록체인 프로젝트」에서 비트코인, 이더리움, 하이퍼레저 패브릭 기반 시스템 구축을 위한 방법을 소개하며 각 플랫폼의 구성 요소, 트랜잭션 처리 과정, 특징을 정리하였다. Xun 등(2020)은 하이퍼레저 프로젝트에서 개발된 다양한 플랫폼의 기본적인 구조와 구성 요소를 제시하고 실제로 구현할 수 있도록 예제들을 제공하였다. 그 중 이 연구의 블록체인 플랫폼으로 사용된 하이퍼레저 패브릭에서 스마트 컨트랙트 구현 방법 등을 참조하였다.

국내 기록관리 분야에서 수행한 블록체인의 적용에 대한 논의는 다음과 같다. 이경남(2019)은 블록체인 기술 적용을 통해 처리과에서 기록관, 영구기록물관리기관으로 이어지는 현재의 분절적 관리단계에서 벗어나 기록관리 거버넌스의 토대를 이룰 수 있을 것이라 주장하였다. 이기영, 김익한(2019)은 보안, 보존포맷 관리, 이관, 생산현황 통보 등의 기록관리 프로세스를 개선하기 위해 클라우드 기록관리시스템 연계형 블록체인 모형을 구상하였다. 홍덕용(2019)은 공공기관의 효율적인 비전자기록물 관리 및 행정 손실 비용 방지 등의 효과를 얻고자 전자기록생산시스템에 블록체인 기술을 접목시킨 ‘아카이브체인(Archivechain)’이라는 모형을 제안하였다.

블록체인의 기록관리 적용에 대한 연구는 해외에서 먼저 진행되었으며 더 활발하게 수행되고 있다. Lemieux(2016a)는 블록체인에 대한 가능한 넓은 범위의 지식을 조사하고 기술의 유용성과 그 정도를 파악하는 것을 목표로 연구를 수행하였다. 당시 수행되고 있는 블록체인에 대한 연구, 기록관리에 대한 블록체인 혁신가들의 인식, 블록체인 적용에 기록학적 관점의 필요성 등을 분석하였다. 결론적으로 블록체인이 가진 확장성으로 인해 기록관리를 대체할 수 있다고 말하여 기록관리 전문가와 블록체인 혁신가들이 협력하여 지식을 공유하고 연구하여야 한다고 주장하였다.

Lemieux(2016b)는 신뢰 가능한 디지털 기록의 생산과 보존에 대한 해결책으로써 블록체인 기술의 가치를 탐색하고 한계, 위험, 기회를 제시하였다. 기록관리의 신뢰성(Reliability)와 진실성(Trustworthiness), 진본성(Authenticity)의 개념을 정의하고 국제 기록관리 표준과 디지털 보존 표준에서 언급하는 각 개념을 정리하여 기록학적 관점을 충분히 제시하고, 온두라스의 토지 등록시스템 블록체인 적용 사례에서 보여주는 한계들을 소개하며 기록관리 적용 시 해결해야 할 문제들을 지적하였다. 국제 기록관리 표준과 디지털 보존 표준을 바탕으로 블록체인 기술의 한계와 위험, 기회를 논의하고 기

록관리에 블록체인을 적용하기 위하여 개선해야 할 사항들을 제시하였다.

Lemieux(2017a)는 기록학적 관점에서 블록체인 솔루션의 한계를 파악하고자 하였다. 기록의 진실성(Trustworthiness)을 위해 정확성, 신뢰성, 진본성이 확립되어야 하는데 진본성 확립에 어려움이 있음을 파악하였다. 시스템 상에서 발생하는 부정확성으로 인해 수정이 필요한 경우가 발생하는데 블록체인 기록관리시스템이 가진 수정 불가능하다는 특성으로 기록 자체를 무효화할 가능성이 있다고 보았다. 또한 블록체인 기록관리시스템의 장기보존은 불확실하며 블록체인에 해시값만 등록하고 원본 기록은 외부 저장소에서 관리하여야 하는 이중 관리에 대한 우려를 표하였다.

Lemieux(2017b)는 블록체인을 활용한 개인정보보호 개발 사례를 제시하고 사례에서 발생하였던 위험들에 대하여 분석하였다. 지정학적, 정치적 상황에 따른 법적 신원 부여와 개인정보보호를 위한 디지털 신원 생성, 사물인터넷이 적용된 장치들의 신원 부여 등 사례를 제시하고 블록체인의 신뢰성에 대한 의문을 제기하였다.

Lemieux(2017c)는 블록체인의 기록관리 적용 방안으로 미러타입(Mirror), 디지털기록타입(Digital Record), 토큰타입(Tokenized)을 제시하였다. 미러 타입은 기 구축 업무시스템의 기록을 블록체인이 추적할 수 있는 암호학적 미러시스템을 별도로 구축하고 기록 무결성 보호를 목적으로 원래 기록의 해시와 블록체인 해시를 비교하였다. 디지털 기록 타입은 새로 구축되는 업무시스템 자체를 블록체인 플랫폼으로 구축, 한 대의 시스템 내에서 업무와 기록관리가 함께 수행되도록 하였다. 토큰 타입은 비전자기록에 토큰을 발급하여 무결성을 관리하는 방안으로 브라질에서 토지소유권 등록관리 시스템에서 시범 연구한 사례가 있음을 제시하였다. 이 연구는 다양한 블록체인 적용 방법을 알아보고 각각 방법에 대한 사례를 제시하여 블록체인이 가진 잠재력과 기록관리에 적용 시의 특징을 제공하였다.

Lemieux와 Sporny(2017)는 블록체인의 기록의 결합관계(Archival bond) 표현 가능성을 분석하고 방안을 제시하였다. 기록의 결합관계는 기록의 진본성을 보장하는 데에 필수적인 요소이며 기록이 생산되는 절차의 인과 관계 및 방향 그 자체를 포함하는데 기록의 내용을 참조하거나 비트 구조를 일치시키는 것만으로는 관계를 보여주는 데에 충분하지 않음을 밝혔다. 거래기록이 시간에 따라 저장되는 블록체인은 같은 업무와 연관된 다른 기록과의 관계를 명시적으로 표현할 수 없다고 주장하였다. 기록의 결합관계를 위해 프로토콜-상호운용[2] 데이터 모델[3]을 설계하고 동일한 행위에 연관된 기

2) Agnostic은 IT 맥락에서 다양한 시스템 간에 상호 운용 가능하도록 일반화된 것을 의미한다. 프로토콜-상호운용 소프트웨어는 프로토콜이 정해져 있지 않고 통신 시에 피어 간에 프로토콜을 합의한 후 통신한다. Retrieved from

록들 사이의 맥락을 연결하기 위해 온톨로지를 활용하였다. 개별 항목들 사이의 결합 관계를 확립할 뿐만 아니라 다른 원장의 항목들까지도 연결할 수 있도록 하며 기존의 블록체인 기반 기록관리시스템이 제공할 수 없었던 기록의 결합관계 표현 문제를 해결하는 방안을 제시하였다.

Galiev 등(2018)은 타타르스탄 공화국의 국가기록관리위원회를 위한 블록체인 기록보존시스템을 제안하였다. 이 연구는 필수적으로 보존해야 하는 과학·기술 문서를 기록관리기관으로 이관하는 소프트웨어인 'ARCHAIN'을 개발하기 위해 위험 요인들을 분석하고 시스템에서 사용하는 알고리즘을 제시하였다.

Rajalakshmi 등(2018)은 연구 기록의 관리에 블록체인, 스마트 컨트랙트, 분산형 파일시스템(Interplanetary File System, IPFS)을 활용하여 중앙 통제 시스템 없이 관리하여 안전하고 위·변조가 불가능한 분산형 저장소 모형을 제안하였다. 분산형 파일시스템에서 검색된 증명 메타데이터 정보를 블록체인에 저장하기 위하여 이더리움(Ethereum) 스마트 컨트랙트를 활용하고 추가적인 감사를 위하여 변조 방지 기록을 생성하는 시스템을 제안하였다.

Daniel, Speranze(2020)는 블록체인과 연계한 토지 관리 시스템(land administration system)을 활용하여 토지 사용자의 권리를 보장하는 방식과 토지 사용권 문제를 해결할 수 있는 방안을 제시하였다. 사용 권한에 대한 공식적인 문서를 작성하지 않는 비공식 토지 시장의 특성을 해결하기 위하여 중개인 없이 인터넷을 활용하여 사용자의 권리를 보장하는 방안을 제시하였다. 스마트 컨트랙트의 활용을 통해 사용 권한에 대한 접근 권한을 토큰화하여 전자적으로 흔적을 남기도록 하는 방식을 채택하였다.

Permatasari 등(2020)은 인도네시아 찔레곤 시(Cilegon City)의 디지털 아카이브(Cilegon E-Archives: CEA)에 블록체인과 분산형 파일 시스템인 IPFS(Interplanetary File System)를 적용하여 기록의 위·변조를 막기 위한 시스템을 제안하였다. 기록의 해시 생성과 검색을 위하여 DApp과 스마트 컨트랙트를 활용하고 기록의 기밀성, 무결성, 이용가능성을 위하여 블록체인을 적용할 것을 제안하였다.

---

https://whatis.techtarget.com/definition/agnostic

3) 데이터 모델은 데이터, 데이터 관계, 데이터 의미 및 데이터 제약 조건을 기술하기 위한 개념적 도구들의 집단이다.

제2절 스마트 컨트랙트 연구 분석

김진수, 박남제(2019)는 접근권한을 블록체인에서 관리하여 접근권한의 무결성을 강화하하기 위하여 연구를 수행하였다. 이 연구에서는 관리자에 의해 블록체인에 접근권한을 기록하고, 사용자가 데이터에 접근을 요청하는 경우, 블록체인의 접근권한 기록을 공개키로 암호화하여 데이터베이스로 전송하는 메커니즘을 제안하였다. 스마트 컨트랙트는 사용자의 파일 요청이 있을 시 해당 사용자의 권한을 자동으로 확인하는 데에 활용된다. 파일에 대한 접근 권한을 블록에 기록하고, 블록에 기록된 사용자의 역할에 기반한 접근 허가를 진행하며, 자료에 대한 접근 기록을 관리하여 유출 경로를 추적할 수 있는 하나의 방안이 될 수 있는 메커니즘을 제안하였다.

강희정, 김혜리, 홍승필(2018)은 스마트 컨트랙트를 활용하여 자금세탁 문제를 해결하고 사용자와 거래소의 편리성을 확보하며 더 신뢰성 있는 자금세탁 메커니즘을 구현하고자 하였다. 스마트 컨트랙트는 사용자가 송금을 원할 시 고객 확인 여부를 확인하고 자금세탁 여부를 판단하도록 설계되었고 스마트 컨트랙트를 통한 KYC과정은 재사용이 가능하며 사용자도 각 서비스마다 다시 인증과정을 거치지 않아도 된다는 편의성을 제공한다. 최대금액 이상의 송금 여부, 일정기간 동안 수행한 분할거래 횟수 등을 확인하도록 스마트 컨트랙트를 사용하였다. 또한 스마트 컨트랙트를 활용하여 가상화폐 악용 문제를 해결하고 자금 세탁을 방지하기 위한 모델을 제안하였다.

이수진, 김애영, 서승현(2020)은 자동차보험용 스마트 컨트랙트를 위한 사고정보 기반 신뢰도 산정 모델을 제안하였다. 제안 모델에서 참여자는 보험계약자인 운전자, 목격자, 보험관계자, 교통경찰, 자동차정비사 및 스마트 컨트랙트를 운용하는 앱, 교통제어용 IoT 기기와 센서, 자동차 탑재 IoT 기기와 센서, 드라이버 또는 목격자의 웨어러블 기기와 센서를 포함하였다. 스마트 컨트랙트 앱은 사진 제보용 모듈, 보험금 지불용 모듈로 구성하도록 설계되었다. 이 연구는 교통사고 발생 시 운전자가 스마트 컨트랙트를 운용하는 앱을 실행하여 교통사고 발생을 알림과 동시에 데이터 수집을 시작하고, 수집된 데이터를 근거로 스마트 컨트랙트에 의한 보험청구가 신청되어 수분 내에 보험료가 지급되는 방식을 제안하였다.

Liu 등(2020)은 제3자 신뢰 경매 플랫폼(trusted third auction platform)의 개입을 없애고 스마트 컨트랙트와 모바일 기기를 기반으로 하여 다중 에지 서버(multiple edge servers)[4]를 구현한 이중 경매 메커니즘(double auction mechanism)을 제안하였다. 경

4) Edge computing이란 중앙 서버가 아니라 이용자의 단말기 주변(edge)이나 단말기 자체에서 데이터를 처리하는 기술이다.

매인, 판매자와 구매자로부터 경매 데이터를 받고 저장함. 알고리즘 LAMB을 가동하고 판매자와 구매자가 일치하는 결과를 제공하도록 스마트 컨트랙트를 구축하였다.

Daniel과 Speranze(2020)는 비공식 토지 시장(Vernacular Land Market, VLM)[5]에 블록체인이 적용되는 방식을 설명하고 블록체인을 통해 토지 관리 시스템의 범위 안에서 토지 사용자의 권리를 보장하는 방식 및 비공식적 접근과 토지 사용권 문제의 해결 방식을 제안하였다. 비공식 토지 시장에서 일어나는 거래는 사용 권한에 대한 공식적인 문서를 작성하지 않는 것이 일반적인데 스마트 컨트랙트를 통한 사용 권한의 이관 등에 대한 접근 권한을 토큰화하여 전자적으로 흔적을 남기도록 하였다. 이를 통해 거래 투명성을 높이고 모든 노드에 걸쳐 안전하게 거래할 수 있도록 하는 모델을 제안하였다.

위의 기록관리 분야의 블록체인 적용 연구들은 블록체인을 기록관리에 적용 가능성을 평가하고 사례 분석을 통해 한계, 위험 등을 분석하였다. 그리고 기록관리 업무와 시스템에 블록체인을 적용하는 다양한 방안과 모형을 제안하였으나, 제안한 모형들은 실제 업무 환경이나 시스템에 적용되지 못하고 제안에 그쳤다는 한계를 가지고 있다. 기록관리 외의 분야에서 스마트 컨트랙트를 적용하여 모형을 제안한 연구는 스마트 컨트랙트를 적용하기 위하여 필수적인 요건을 파악하기 위하여 분석하였으며 위의 연구를 바탕으로 분석한 스마트 컨트랙트의 적용 요건은 제4장의 제1절에서 설명한다. 이 연구는 2019년 블록체인 기록관리 시범사업에서 기 구축한 블록체인 기록관리 플랫폼을 실제 시스템 및 업무 환경에 적용하는 모형을 설계하고 국가기록원의 '20년 용역연구인 '블록체인 트랜잭션과 스마트 컨트랙트 활용 기록관리 적용방안 연구'와 연계하여 해당 적용 방안에 대하여 개념 증명(Proof of Concept, PoC)을 수행하고 검증하였다는 점에서 선행연구와의 차이점을 가진다.

5) 원문: Vernacular Land Market (VLM) are informal markets through which land is allocated outside of statutory regulations, rendering their access informal.

제3장 주요 개념 및 사례

제1절 주요 개념

블록체인은 네트워크의 모든 참여자에게 거래 기록을 분산 저장하여 비가역성(非可逆性)과 투명성을 보장하는 기술의 집합체이다. 블록체인의 비가역성은 변경 불가능한 블록에 진본 데이터를 저장함으로써 그 데이터의 무결한 상태를 보장한다는 것을 의미한다. 이는 블록 생성 시에 이전 블록의 해시값을 포함하도록 하며 모든 참여자가 같은 거래 기록을 나눠가짐으로써 성립한다. 한 개의 블록 내용을 변조하고자 하는 경우 해당 블록 이후에 생성된 모든 블록까지도 변조해야 하며 더불어 모든 참여자의 컴퓨터에 저장된 블록까지도 변조된 블록들과 동일하게 모두 변경하여야 가능하기 때문에 사실상 불가능하다. 블록체인의 투명성은 블록체인에 저장된 이관, 열람 등 모든 트랜잭션을 저장하고 참여자들이 공유하여 충족되며 트랜잭션 발생 이후 언제든 블록에 저장된 내용을 추적할 수 있다. 여기서 트랜잭션이란 ISO 15489-1:2016에서 제시한 의미인 업무 과정에서 발생하는 업무 처리 행위의 최소 단위를 동일하게 적용하였다(ISO 15489, 2016).

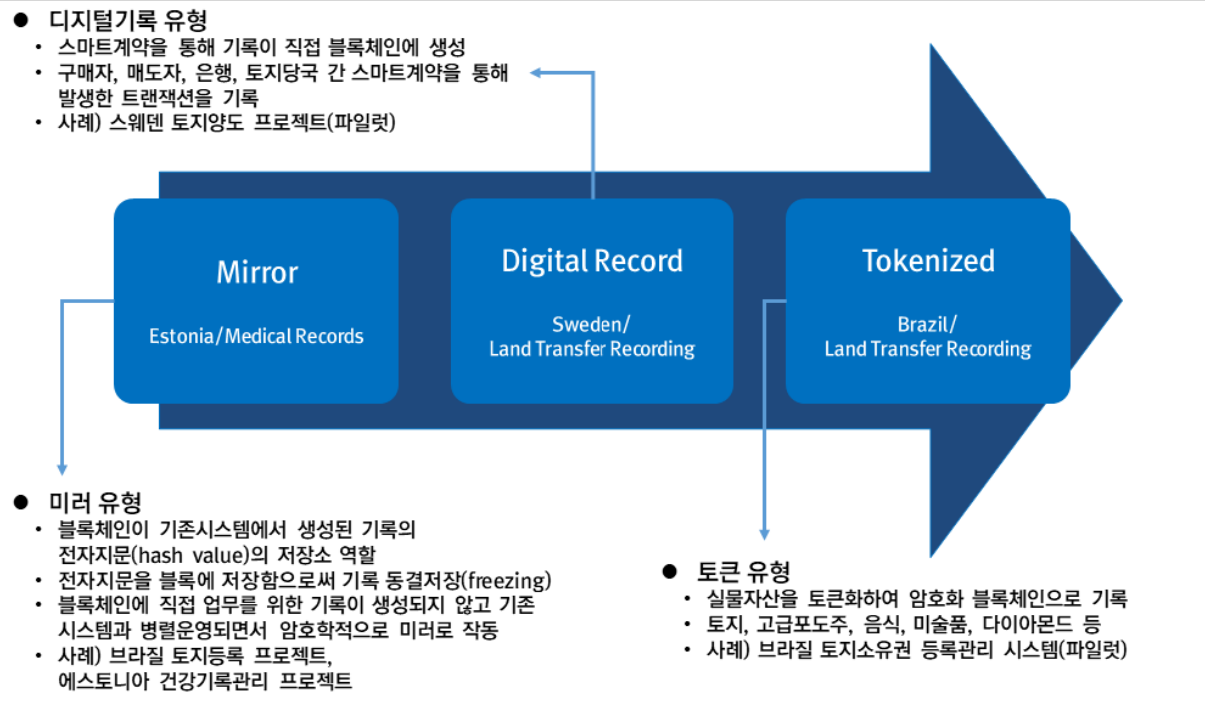
스마트 컨트랙트(Smart Contract)는 1990년대에 닉 재보(Nick Szabo)에 의해 등장한 개념으로, 그는 “당사자들이 특정한 약속에 대해 수행하는 프로토콜을 포함하여 디지털 형태로 지정된 일련의 약속”이라고 정의하였다(Szabo, 1996). 개념 등장 이후 적극적으로 활용되기 시작한 것은 블록체인 2세대로 불리는 이더리움(Ethereum) 기반으로 활용되면서부터이다. 이더리움에서 통용되는 스마트 컨트랙트의 개념은 서면으로 이루어지던 계약을 코드로 구현하고, 코드로 구현된 계약에 명시된 사전 조건이 충족되었을 때 해당 계약이 자동으로 이행되도록 하는 것이다. 스마트 컨트랙트를 통해 계약 중개인 없이 신뢰가 담보되지 않은 계약 당사자 간의 거래를 가능하게 하며 상호검증을 통해 거래의 신뢰성과 무결성을 보장할 수 있다(Zaghloul et al., 2019). 이더리움에서 사용하는 프로그래밍 언어인 솔리디티(Solidity), 서펜트(Serpent) 등을 통해 스마트 컨트랙트를 활용하고 다양한 형태의 분산 어플리케이션(Decentralized Application, 이하 DApp)[6]을 구축하여 스마트 컨트랙트를 실행할 수 있다(과학기술정보통신부, 한국과학기술기획평가원, 2019, p.27). 이더리움과 같이 2세대 블록체인으로 불리는 하이퍼레저 프로젝트에서는 블록체인에서 가상화폐 개념을 배제하여 기업 등 다양한 분야에

6) 블록체인에서 실행되는 탈중앙화된 애플리케이션이다. DApp은 참여자 간의 계약 이외에도 다양한 응용서비스를 제공하며 블록체인에서 분산되어 실행되므로 DApp 자체와 DApp이 처리하는 정보의 위변조 방지가 가능하다(국가기록원, 2020).

서 활용할 수 있도록 개념을 발전시켰다. 하이퍼레저 패브릭 플랫폼에서는 스마트 컨트랙트를 체인코드(Chaincode)로 지칭하는데 이 연구에서는 체인코드 대신 일반적으로 통용되는 스마트 컨트랙트를 사용하였다.

공공기록물의 관리 업무는 「공공기록물 관리에 관한 법률」(이하 공공기록물법)에 따른 규정을 준수하여 시행된다. 이러한 규정은 업무를 수행하기 위한 근거이자 시작점(trigger)이며 이 규정이 명시한 여러 조건이 충족되거나 시기가 도래하면 명시된 기록관리 업무가 수행되어야 한다. 이 연구에서는 스마트 컨트랙트가 자동 실행되는 사전 조건을 「공공기록물법」과 기록관리 업무 수행에 관련된 모든 법률 및 규칙으로 상정하고 이러한 사전 조건들이 충족되는 경우 자동으로 업무를 수행하도록 하는 것을 스마트 컨트랙트로 정의하여 서술하였다.

한편 Lemieux(2017)는 블록체인 기록관리 개념의 발전 단계를 3단계로 구분하여 제시하였다. 1단계인 미러 타입(Mirror)은 기 구축된 업무시스템이 보유한 기록을 암호학적 미러시스템인 블록체인 플랫폼을 별도로 구축하여 진본 기록의 무결성을 보장하는 방식을 의미한다(Lemieux, 2017). 2단계의 디지털기록 타입(Digital Record)은 새롭게 구축되는 업무시스템 자체를 블록체인 플랫폼으로 구축하여 한 대의 시스템 내에서 업무와 기록관리가 함께 수행되도록 한다는 것이다(Lemieux, 2017). 마지막 단계인 토큰타입(tokenized)은 전자기록이 아닌 비전자기록물도 블록체인 플랫폼이 인식할 수 있는 특정 기록물을 토큰화하여 추적하면 무결성이 보장될 수 있음을 제시한 것이며 가장 혁신적인 블록체인 기록관리 방안으로 소개되고 있다(Lemieux, 2017, p.7). 다음의 <그림 2>는 Lemieux(2017)가 설명하는 단계를 그림으로 표현한 것이다.



<그림 3> 블록체인 기록관리 솔루션 유형

Lemieux(2017)는 이러한 발전 단계를 통해 블록체인 기록관리가 고도화될 수 있음을 보여준다. '19년 국가기록원이 수행한 연구개발 사업인 '블록체인을 적용한 신뢰기반 기록관리 연구'에서 구축한 블록체인 기록관리 플랫폼은 첫 번째 단계인 미러 유형으로 중앙영구기록물관리시스템(Central Archival Management System, 이하 CAMS)와 연계된 방식을 택하고 있다. 이 연구에서는 '19년 개발 플랫폼을 활용한 모형을 제시하였다.

제2절 주요 사례

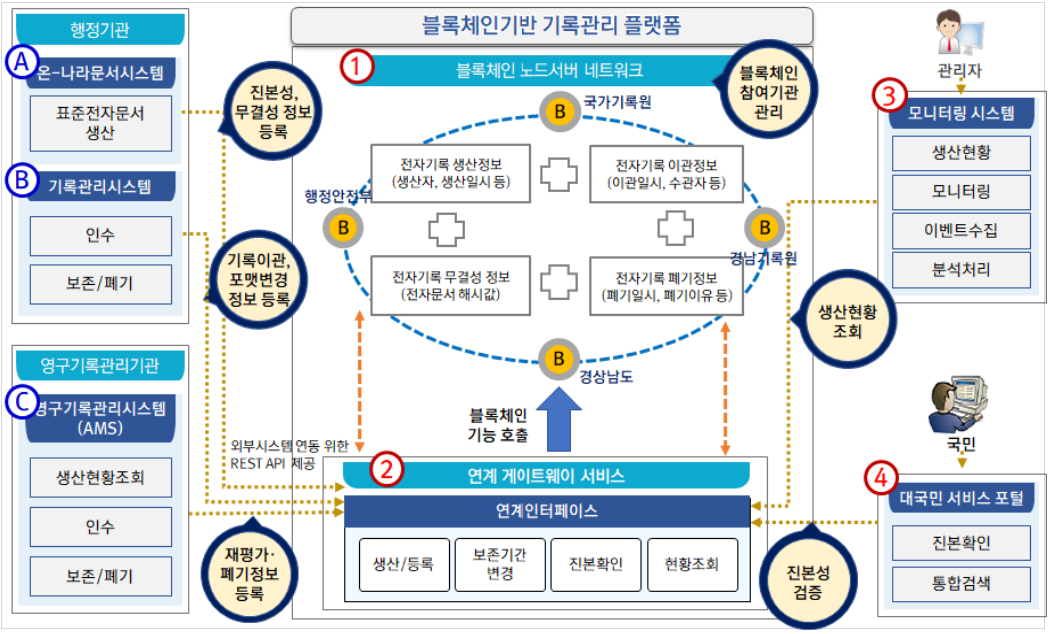
1. 2019년 국가기록원 블록체인 기록관리 플랫폼 구축 사업[7)]

디지털 정부로 변화는 자연스럽게 기록관리 패러다임의 변화를 요구하였고 4차 산업혁명의 기반 기술인 블록체인을 적용한 기록관리 방안 연구를 촉진하였다. 국가기록원(2020)은 블록체인 기록관리 플랫폼을 개발하여 블록체인을 이용한 전자문서의 생산부터 폐기까지 전단계의 투명한 관리와 무결성 보장이 가능함을 검증하였다.

국가기록원은 이 사업에서 기록관리체계에 블록체인을 연계하고자 기록관리 절차, 기록 메타데이터, 정부업무관리시스템(온-나라), 클라우드 기록관리시스템(CRMS), 영구기록관리시스템(AMS)을 분석하여 블록체인과 기존 시스템들의 연계 지점을 정하고 기존

7) 국가기록원에서 2019년 수행하여 2020년 발표한 블록체인을 적용한 신뢰기반 기록관리 연구보고서를 바탕으로 작성하였다.

의 시스템에서 보완 요구가 있었던 모니터링 기능을 파악하였다. 더불어 대국민 진본검증 서비스 제공을 위해 국가기록원 포털, 정보공개포털, 특허청포털을 분석하였다. 분석한 내용을 바탕으로 행정안전부, 경상남도, 국가기록원, 경남기록원이 노드기관으로 참여하는 블록체인 기록관리 플랫폼을 구축하였다. 다음의 <그림 3>은 구축한 시스템의 구성을 보여준다.



<그림 3> 구축시스템 구성도(국가기록원, 2020a)

이 시스템은 Lemieux(2017)가 제시한 블록체인 기록관리의 모형 중 하나인 암호학적 미러시스템을 적용하여 블록체인 기록관리 플랫폼을 기존의 정부업무관리시스템, 기록관리시스템, 영구기록관리시스템과 연계한 것이다. 이를 통해 전자문서 생애주기 전 과정을 투명하게 추적하고 무결성을 보장하게 하고 기록관리자가 이를 모니터링할 수 있도록 스마트 컨트랙트와 DApp을 적용하여 이를 시각화하였다. 또한 블록체인과 대국민 서비스 포털을 연계한 열람서비스 화면을 구현하여 전자적으로 제공받은 전자문서에 대해 진본여부를 확인할 수 있는 대국민 진본검증서비스를 시범 구축하였다.

이 사업에서 개발한 블록체인 플랫폼은 기존의 기록시스템들과의 기록관리 업무와 기능을 유지하고 장기보존포맷인 NEO(NAK's Encapsulated Object)로 보장했던 기록물의 진본성과 무결성을 블록체인과 연계를 통해 보장하는 방안으로 대체할 수 있음을 검증하였다. 또한 기록의 생산시점부터 이관, 보존, 열람서비스 등 기록관리 전 과정의 모든 처리 이력을 실시간으로 추적할 수 있음을 검증하였다. 이때 전자문서 자체가 블록에 저장되는 온체인(On-chain)[8] 방식이 아닌 처리이력 메타데이터만을 해시와 함께

8) 온체인이란 블록체인 상에서 이루어진 프로세스 혹은 블록체인 내의 데이터 등을 수식할 때 사용한다(국가기록원, 2020a). 온

블록에 저장하는 오프체인(Off-chain)[9] 방식으로 구현하여 블록체인 네트워크의 부하를 줄이고 효율성을 향상시킬 수 있는 장점도 함께 확인하였다.

다만, 19년 사업은 시범사업으로 추진된 까닭에 소량의 전자문서와 소수의 기관만이 노드로 참여하여 진행되었으며 전 공공기관으로 확대를 위한 시스템과 네트워크 부하 등과 이에 따른 블록체인의 장단점을 완전히 확인하기 어려웠다는 한계를 가진다. 그럼에도 불구하고 블록체인 기록관리 연구의 기반이 될 수 있는 플랫폼을 확보하였고, 전자문서에 대한 블록체인 무결성 보장 기능을 적용, 검증하였다는 점 등이 이 사업의 성과이다. 사업 최종보고서는 사업결과와 더불어 시청각기록과 같은 대용량 기록의 장기보존에 따른 용량 한계, 포맷 적용에 대한 기술적 해결 방안을 블록체인 플랫폼으로 연구할 필요성을 시사점으로 제시하였다.

2. 영국 ARCHANGEL 프로젝트[10]

ARCHANGEL은 디지털 기록의 무결성을 보장하기 위해 영국에서 진행되었으며 영국의 국가기록관리청(The National Archives, TNA)를 중심으로 3개 기관이 참여한 연구 프로젝트이다. 2017년 7월에 시작하여 2019년 8월 최종 보고서를 발간하고 분산원장기술과 인공지능 기술인 기계학습을 활용하여 전자적으로 생산된 기록물의 무결성, 진본성, 신뢰성을 보장하고자 하였다.

<표 2> ARCHANGEL 프로젝트 개요

개요	산출물
• 영국 TNA의 블록체인 기록관리 연구 프로젝트 • 2017.7 ~ 2019. 8(26개월) / 7억 예산 • TNA, ODI, Surrey univ. 3개 기관 공동 참여	1. Guaranteeing the integrity of digital archives 2. User-Research Report 3. Tamper-proofing Video Archives using Temporal Content Hashes on the Blockchain

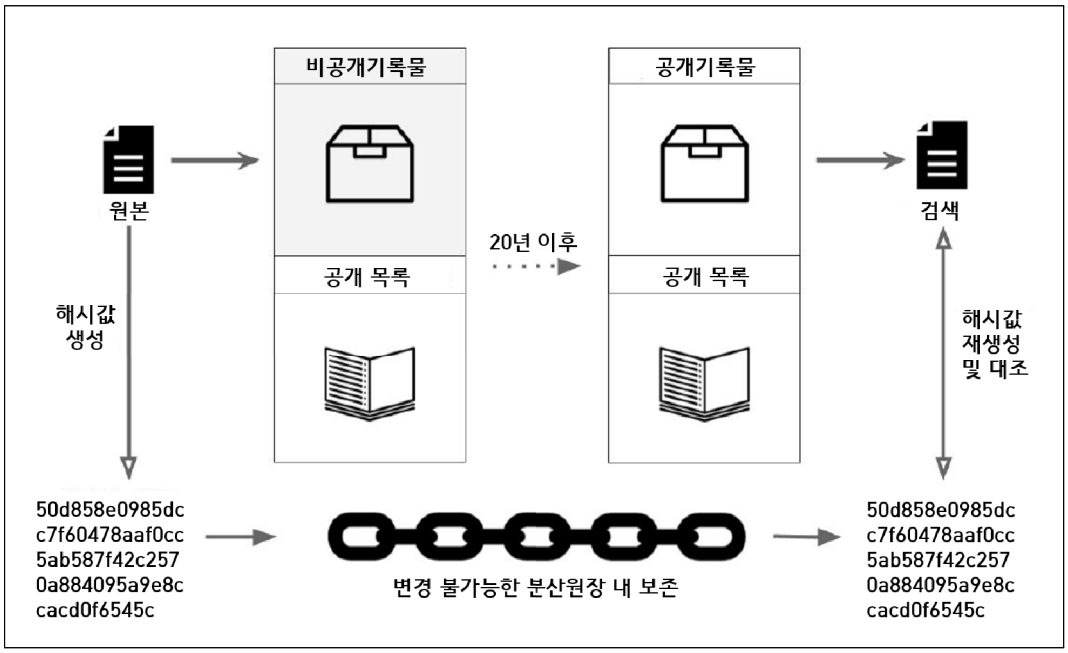
이 프로젝트의 배경으로 Green 등(2019)은 기술의 발전에 따라 전자기록의 위·변조

체인 방식은 기록을 블록에 저장하는 것을 의미하며 이러한 방식은 용량의 과대화와 그로 인한 시스템 과부화로 인해 사실상 적용이 불가능하다.

9) 오프체인이란 블록체인 외에서 이루어진 프로세스 혹은 블록체인 외부에 저장된 데이터 등을 수식할 때 사용한다(국가기록원, 2020a). 이 연구에서는 오프체인 방식을 기록물을 블록체인에 저장하지 않고 메타데이터와 해시값 등을 저장하는 방식으로 사용하였다.

10) 이 절은 Open Data Institute(이하 ODI), 영국의 TNA, 서리대학교(University of Surrey, 이하 Surrey)가 2019년 발표한 ARCHANGEL: guaranteeing the integrity of digital archives를 중심으로 분석, 기술하였다.

가 쉬워지고, 수많은 합성 콘텐츠(synthetic contents)들이 생산되어 아카이브와 문화유산기관(Archives and Memory Institutions: 이하 AMI)에 대한 공공의 신뢰가 떨어지는 상황을 제시하였다. AMI에 대한 공공의 신뢰를 회복하고 기록의 무결성을 보장하기 위하여 기존의 데이터베이스를 활용하는 방안과 머클트리[11] 또는 사기업에서 제공하는 지속 가능한 저장소(durable storage)를 활용하는 방안을 고려하였으나, 단일한 방안으로는 기록의 진본성 등을 보장할 수 없다는 등의 여러 가지 한계로 인해 적용하기 어렵다는 결론을 제시하였다. 이에 반해 블록체인은 분산원장에 글을 쓸 수 있는 자격은 허용된 기관에만 주어지지만, 분산원장에 접근하여 블록체인에 기록된 내용을 열람하는 것은 블록체인에 참여하는 모든 노드들에 허용된다. 또한 오픈 소스로 제공되는 다양한 도구를 활용할 수 있는 확장성을 가지며, 합의 메커니즘을 통해 중앙집중적 단일 기관에서 보장하던 기록의 무결성을 여러 기관이 다중으로 보장하도록 한다. ARCHANGEL 프로젝트에서 블록체인을 통해 기록의 무결성을 보장하는 방안을 도식화한 것은 다음의 <그림 4>와 같다.

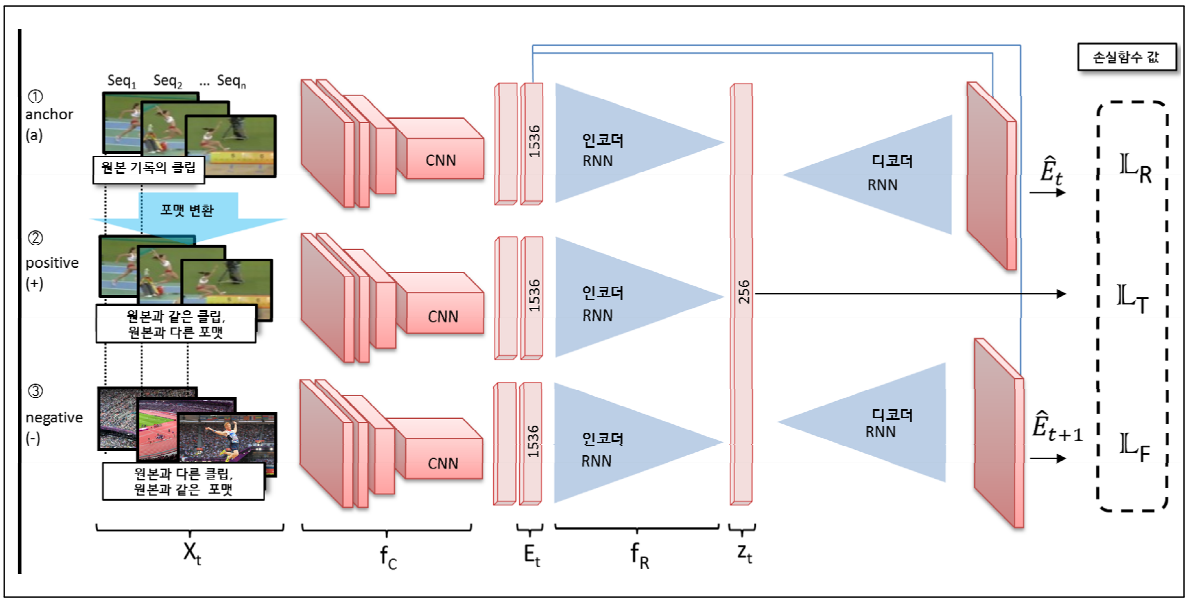


<그림 4> 분산원장 내 비공개 기록의 보존 방안(Green et al., 2019)

<그림 4>에서 보여주는 방안은 TNA에 이관된 비공개기록의 무결성을 검증할 수 있도록 블록체인에 기록이 아닌 기록을 특정할 수 있는 지문값인 해시값을 저장하고, 20년 후 이 해시값을 대조하여 기록물이 위·변조되지 않았음을 검증하는 방식이다.

11) 머클트리(Merkle tree)는 새로운 항목이 이전 항목에 연결되고 계속해서 차례로 연결되도록 하는 기법이다. 연결되어 있는 항목의 내용을 변조하기 위해서는 변조하고자 하는 항목의 다음 항목에도 영향이 미치기 때문에 그 무결성이 보장된다. 또한 항목들은 암호로 서명할 수 있어 공개키와 대조하여 해당 출처를 확인할 수 있다.

ARCHANGEL 프로젝트에서는 시청각기록의 무결성 보장을 위해 블록체인과 인공지능(Artificial Intellectual, AI)의 접목을 시도하였다. 시청각기록은 활용을 위해 지속적으로 포맷 변환이 필요하며, 변환된 기록은 원본 기록과 동일한 내용일지라도 포맷이 달라지면 전혀 다른 해시값을 갖게 된다. ARCHANGEL 프로젝트는 이러한 문제를 해결하기 위해 인공지능 기법인 심층신경망(Deep Neural Network)을 적용하여 Temporal Content Hash(이하 TCH)를 개발하였다(Bui et al., 2019, p.1). 연구에서는 시청각기록을 대상으로 하여 포맷변환에도 변함없이 시청각기록의 내용적 특징을 추출하는 기계학습을 수행하였다. TCH는 시청각기록의 내용 특징을 포착하여 추출한 특징값으로, 기계학습을 통해 시청각기록의 포맷 변환에도 내용(content)을 인지하여 추출된 동일하거나, 거의 동일한 고윳값(near-identical TCH)이다(Bui et al., 2019, p.3). 이 연구에서는 시청각기록에서 이 값을 기존에 기록의 무결성을 검증하기 위해 이용하였던 SHA 256 등의 암호학적 해시값을 대체하는 용도로 사용할 것을 제안하였다. 아래의 <그림 5>는 TCH 추출을 위해 수행한 기계학습 방법을 도식화한 것이다.



<그림 5> TCH 추출을 위한 기계학습 방법(Bui, T. et al., 2019, p.3)

TCH 추출을 위해 컨볼루션 신경망(Convolutional Neural Network, CNN),[12] 순환신경망(Recurrent Neural Network, RNN)[13]를 활용하여 영상에 대해 기계학습을 수행하였다. 학습 대상 자료는 영상 내 대상의 움직임이 많지 않은 영국의 법원 기록물과 움직임이 많은 올림픽 영상이며 원본 기록, 원본 기록과 포맷만 다른 영상, 원본 기록

12) 컨볼루션(합성곱)이란 두 함수로부터 적분을 이용하여 다른 함수를 만들어내는 연산으로 이미지, 영상 등을 분류하는 기계학습에 가장 많이 사용되는 알고리즘이다(대한수학회, 2015; MathWorks, n. d.).

13) 순환신경망이란 시청각기록과 같이 시간의 흐름에 따라 변화하는 데이터를 학습하기 위한 딥러닝 모델이다(한국정보통신기술협회, n. d.).

과 포맷만 같은 영상을 학습하도록 하여 기록의 영상, 음성 등 내용적 측면으로 해시를 추출할 수 있도록 설계하였다(Bui, T. et al., 2019, p.5). 기계학습을 통해 추출한 TCH는 기록의 고유 식별자(Unique Identifier, UID) 등과 함께 블록체인에 저장되고, 원본 기록과 고유 식별자, TCH 추출에 사용된 인코더, 기계학습 모형은 제출정보패키지(Submission Information Package, SIP)로 묶어 기록관리시스템에 저장한다(Bui et al., 2019, p.2).

영국의 TNA, 호주의 NAA, 미국의 NARA, 노르웨이 국립 아카이브, 에스토니아 국립 아카이브가 참여하여 연구 결과물인 이더리움 기반의 ARCHANGEL 시제품을 사용하는 이용자 연구를 수행하였다(ODI, 2019, p.7). 이용자 연구를 통해 블록체인 시제품을 기록관리에 적용하였을 때의 실행가능성, 타당성, 유용성과 보완 사항 등을 파악하였다. 이용자 연구 결과, 대부분의 참여자는 ARCHANGEL이 기록물의 진본성과 무결성을 보장할 수 있다면 기관 차원의 시스템 채택을 긍정적으로 고려한다고 응답하였다. 또한 블록체인 기술 자체에 대한 사용상 어려움이 발생한다는 의견 등을 수렴하였다(ODI, 2019).

ARCHANGEL은 인공지능과 블록체인을 결합시켜 공공기록관리 업무에 적용 가능한 시제품을 개발하였고 시제품의 품질을 보완하기 위한 이용자 연구를 진행하였다. 또한 심층신경망을 활용하여 포맷 변환에도 변하지 않는 해시를 추출하여 전자기록의 장기보존에 해답을 제시하고자 하였다. 또한 기록관리에 블록체인을 활용하기 위해서는 다양한 기관들의 참여가 필요하며 블록체인의 신뢰구조 활용을 위해서는 여러 AMI의 협업이 필요함을 강조하였다.

현재 국가기록원은 MAM 시스템을 통해 시청각 기록의 원본/보존본/활용본의 3가지 포맷으로 생성·관리하고 있다. 향후 각 포맷의 특징을 구분하여 진본 시청각기록을 식별할 필요가 있을 때, ARCHANGEL TCH 연구가 참조될 수 있을 것으로 판단된다.

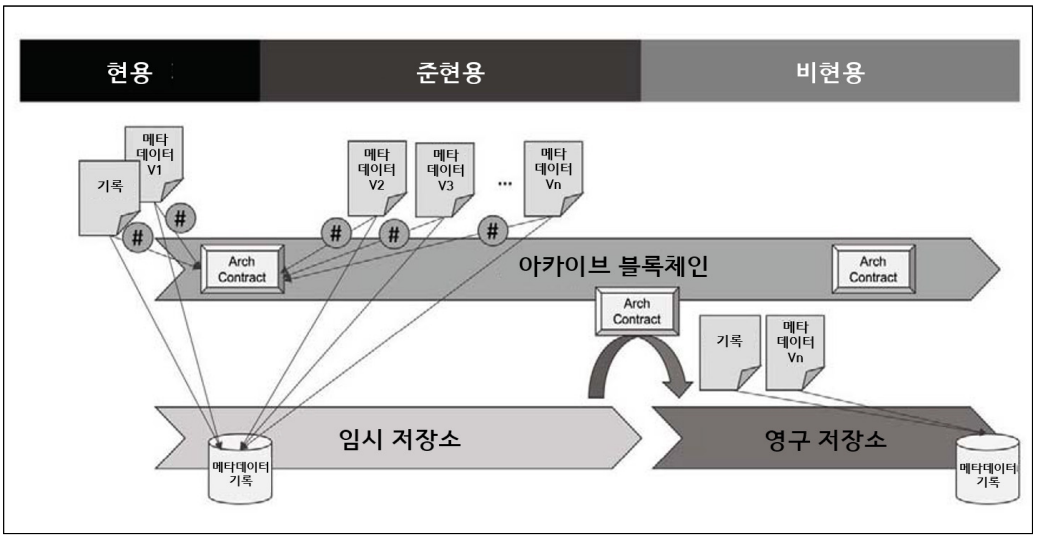
3. ArchContract

ArchContract는 Batista, D.와 Weingaertner, T.가 전자기록생산관리시스템(Electronic Document and Records Management System: 이하 EDRMS) 내 기록의 처분을 통제하기 위하여 블록체인 플랫폼과 스마트 컨트랙트를 활용한 모형을 연구한 사례이다. 다음은 2019년 IEEE International Conference on Big Data에서 “ArchContract: using smart contracts for disposition”라는 이름으로 발표한 자료를 중

심으로 분석, 기술하였다.

이 연구에서는 기록의 무결성 검증을 위해서 블록체인을 기반으로 한 스마트 컨트랙트를 채택한다고 밝혔다. ArchContract 모형은 기록의 생애주기인 현용, 준현용, 비현용 단계에 따라 블록체인 기술을 차등적으로 적용하기 위한 임시 저장소와 영구 저장소로 구성된다. 임시 저장소는 현용, 준현용 단계에서 사용되며 데이터의 불변성을 보증함과 동시에 데이터 항목들의 삭제를 허용한다. 역사적 가치가 인정된 영구 기록은 영구 저장소로 이관하여 보존될 수 있도록 하고 그 내용은 변경할 수 없도록 하였다.

ArchContract의 이해관계자는 생산기관과 기록관리기관으로 구성되며, 기록관리기관은 기록 인수를 담당하는 신뢰 가능한 저장소 역할을 수행한다. ArchContract 적용하기 위한 전제 조건은 기록의 맥락과 의미를 온전히 보존하기 위하여 분류 체계와 메타데이터 요건을 준수한 전자기록생산관리시스템을 갖추고 있어야 한다. 또한 보존기록관으로 이관된 기록에 대중의 접근과 이용이 가능하도록 해야 한다. 기록 생애주기에 따른 ArchContract의 프로세스는 다음의 <그림 6>과 같다.



<그림 6> ArchContract의 프로세스(Batista, Weingaertner, 2019)

<그림 6>은 다음과 같은 ArchContract의 프로세스를 보여준다. 기록의 생애주기에 따라 저장 공간을 임시 저장소와 영구 저장소로 구분하고 아카이브 블록체인으로 기록 자체와 메타데이터의 해시값을 저장하고 추가적인 업데이트 될 수 있도록 하였다. 기록의 생애주기에 따라 관리 단계가 변화하는 경우 기록과 메타데이터의 주소는 ArchContract에 제공되도록 설계하였다.

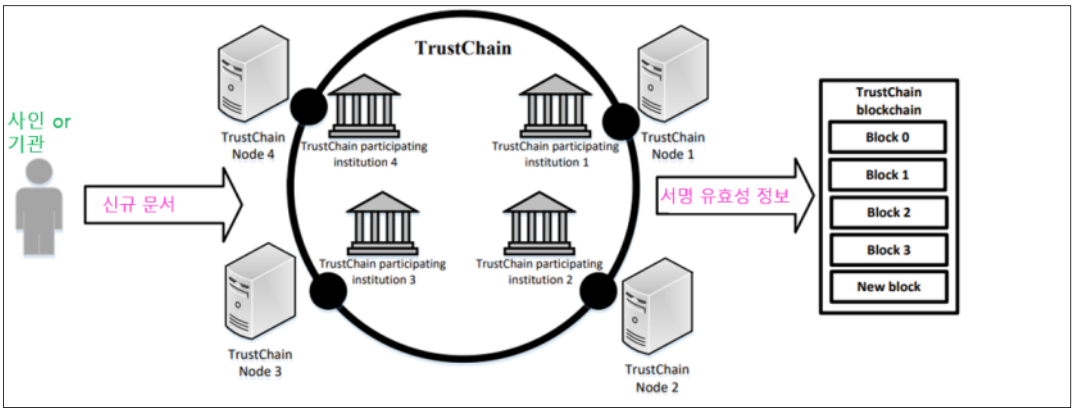
연구에서 제시한 블록체인 기록관리 모형은 저장소의 구분을 통해 처리과, 기록관, 영구기록물관리기관으로 전반에 적용할 수 있도록 하였다. 또한 기록물의 생산부터 폐

기 및 영구 보존까지 기록의 생애주기 전체에 걸쳐 분절 없이 관리할 수 있는 방안을 제시하였다는 점에서 의미를 찾을 수 있다.

다만 이 연구는 위와 같은 모형을 설계하여 제안하였을 뿐 세부적인 구축 내용 등을 소략하게 작성하여 적용가능성과 타당성 등을 파악하기 어렵다는 한계를 가진다. 또한 모형의 구축 방안 혹은 연계 방안 등을 구체적으로 설명하지 않아 아이디어 제안에 그치고 있어 실제 시스템 구축 등의 추가적인 연구가 필요한 것으로 보인다.

4. 그 외 연구 동향

ITrust는 InterPARES 프로젝트의 4번째 프로젝트로 2013년부터 2018년까지 클라우드 환경에서 전자기록의 진실성(trustworthiness) 보장 방안을 연구하기 위하여 수행되었다. 그 중 감사를 위한 기록의 장기 보존 문제의 해결책으로 블록체인을 제시하였다(Duranti, Rogers, 2019, p.9). 클라우드 내 기록의 장기 보존을 위해서는 진본성과 이용가능성이 보장되어야 함을 강조하고, 오프체인 방식의 관리 방안을 적용할 것을 제안하였다(Duranti, Rogers, 2019, p.146). 전자 서명된 디지털 기록의 진본성 인증과 장기 보존을 위하여 블록체인에 참여하는 기관이 기록의 전자 서명의 유효성을 검증한 후 해시값을 블록에 업로드하는 모형인 '트러스트체인(TrustChain)'을 제안하였다(Duranti, Rogers, 2019, p.150). 다음의 <그림 7>은 '트러스트체인'의 개념도이다.



<그림 8> 트러스트체인 모형의 개념도

전자서명이 포함된 기록을 장기보존하기 위하여 요청을 하면 블록체인에 참여한 노드들이 서명의 유효성에 대하여 검증한다. 서명 유효성을 확인하면 해당 정보에 대해 블록에 저장하는 과정을 거친다(Bralić, V., Kuleš, M., Stančić, H., 2017). 블록체인이 지속적으로 제기되었던 전자기록 장기보존에 대한 문제인 인증서에 의존하던 디지털

기록의 관리에 해답이 될 것이며 세 가지로 한정되어 있던 장기보존전략에 위와 같은 모형을 블록체인을 적용한 장기보존전략으로 제시하였다(Duranti, Rogers, 2019, p.135). ITrust 연구의 결과로 제시한 '트러스트체인'은 기록에 유효한 전자서명이 포함되어 있어야 한다는 단점이 있으며 실제 구축까지는 이어지지 않았지만 디지털 기록의 진본성 보장과 장기보존을 위해 오랜 기간 의존하였던 전자서명에서 탈피하여 새로운 패러다임을 적용하고자 하였다는 의의를 강조할 필요가 있다.

이 외의 블록체인 적용 연구는 블록체인을 활용한 정보 공유 시의 개인정보보호에 대하여 다루고 있다. 개인정보보호를 위한 블록체인 기술 적용의 필요성은 지속적으로 제기되었으며 비대면 경제로의 변화로 인해 블록체인을 활용한 분산신원증명(Decentralized Identifier, 이하 DID)[14] 서비스 산업이 확대되고 있다(4차산업위, 2020, p.20). DID가 적극적으로 연구, 활용되고 있는 기록관리 분야는 의료기록 관리와 공유다. 다음의 연구들은 의료기록의 공유에 DID의 활용 방안을 다룬다.

Unnithan, Houghton, Anema, Lemieux(2020)는 의료기록(Electronic Health Record)의 관리와 공유에 블록체인이 활용된 사례들에 대해 연구하였다. 의료기록은 개인정보가 담긴 기록이기 때문에 타 기관과의 공유 혹은 연구 활용을 위해서는 개인에게 동의를 받아야하며, 반드시 해당 기록과 개인이 일치하는 지 확인해야 한다(Unnithan et al., 2020). 더불어 블록체인을 보건 분야에 적용함으로써 의사, 연구자, 병원, 환자 등 다양한 이해관계자의 데이터를 실시간으로 공유할 수 있고 이력 추적이 가능하다. 블록체인을 활용한 의료기록의 공유는 환자의 치료 지연을 최소화할 수 있고 수수료 등의 기타 간접비용을 줄일 수 있다는 장점을 제시하고 적용 필요성을 주장하였다. 또한 블록체인 기반의 DID를 활용하면 개인정보의 유출을 최소화하며, 자기주권신원[15]을 기반으로 신원을 확인할 수 있어 이에 대한 연구가 활발하게 이뤄지고 있음을 정리하였다(Unnithan et al., 2020). 아래의 <표 3>은 이 연구에서 제시하는 연구 사례를 정리한 표이다.

14) DID는 디지털 신원을 증명할 수 있고 분산할 수 있게 하는 새로운 유형의 식별자이다. 중앙집중식 등록 기관, 신원 제공자, 인증 기관과 분리될 수 있도록 설계되었다(Reed et al., 2020).

15) 자기주권(Self-Sovereign)이란 개인정보에 대한 결정 권한을 개인이 갖는다는 것으로, 자기주권신원이란 자신의 정보에 대한 통제 권한을 가지고 신원을 행사할 수 있도록 하는 새로운 기술이다(Lemieux et al., 2020).

<표 3> 보건 분야의 기록 공유를 위한 블록체인 연구 개발 사례

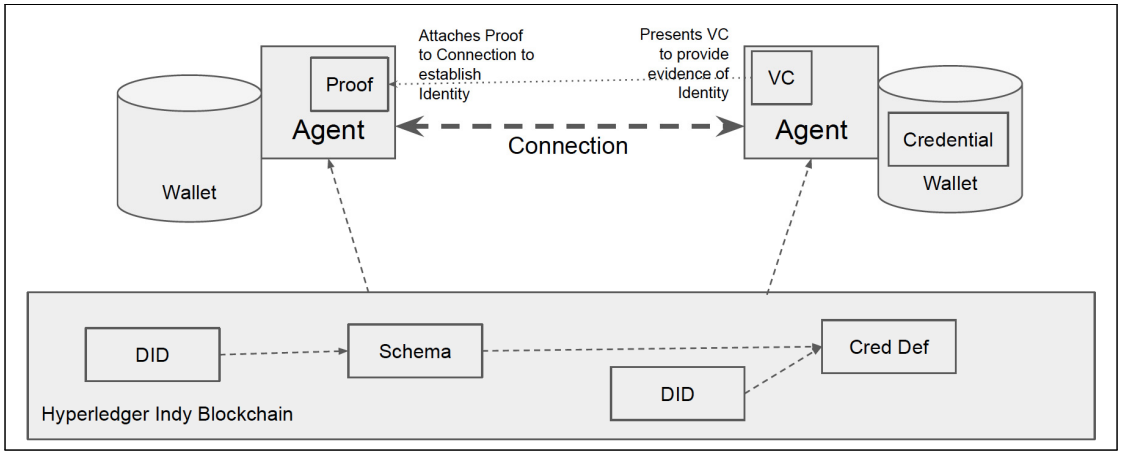
기관	내용	부문
Deloitte Consulting	• 건강 정보 교환의 일환으로 블록체인을 사용한 프레임워크와 비즈니스 사례를 제안	상호운용성
Gem Health Network	• 이더리움 기반 이해당사자들이 동일한 정보에 접근할 수 있도록 하는 시스템 • 환자 중심의 진료와 운영 효율성을 향상시키고 기관, 개인, 전문가 통합 의료 환경을 구축함 • 최신 정보에 대한 투명하고 명확한 접근을 제공하여 여러 가지 문제를 예방하고 비용을 절감하도록 함	상호운용성
Groves Medical Group	• 환자-의사 간 의료 기록 공유를 위한 플랫폼 개발 예정 • 암호화폐를 사용하여 진료비용을 지불할 수 있도록 함	
Delaware Blockchain Pilot	• 미국의 의료보장체계인 메디케이드(medicaid) 사전 승인을 간소화하는 것을 목표로 하는 블록체인 기반 시스템 개발 시범 사업을 진행.	
My Health Record	• 호주의 국립전자의료기관(Australian Digital Health Agency)는 전 국민을 대상으로 개인의 의료기록을 직접 등록하고 접근 권한을 통제하는 시스템을 운영함 • 정보 제공 여부는 개인이 선택할 수 있도록 하고 의료기록 중의 일부만을 공개할 수도 있도록 시스템을 설계함	
Nokia Healthcare Blockchain Pilot	• 웨어러블 스마트워치를 통한 개인 의료 기록의 공유 플랫폼의 시범 연구를 수행	상호운용성, IoT 융합
Accenture LLP	• 안전한 기록의 생산과 신원의 연계 등을 포함한 블록체인 시스템을 제안함	보안
Illinois Blockchain Initiative, Hashed Health	• 의료 신분 확인의 정확성과 효율성 향상을 위해 블록체인을 적용하고자 함	
메사추세츠 공과대학	• EHR(Electronic Health Record) 인증, 기밀성, 책임성, 데이터 공유를 위한 공동 저장 및 데이터 분석을 포함한 분산형 기록관리 시스템을 제안함	보안 및 상호운용성
DNAtix	• 예방의학의 발전을 위한 익명의 유전자 검사 블록체인 환경을 구축	의료 부문

<표 3>과 같이 다양한 기관에서 블록체인을 적용하여 기록관리를 수행하고자 하는 연구가 진행되고 있음을 확인할 수 있다. 이 연구에서는 의료기관의 기록의 관리에 블록체인을 적용하고자 하는 연구를 중점적으로 분석하였다.

Lemieux 외 10인(2020)은 DID를 활용한 개인의 데이터 공유와 통제, 자격 검증에 대하여 설계안을 제시하고 이용자 연구를 수행하였다. 이 연구는 DID와 하이퍼레저 인디(Hyperledger Indy)[16]를 활용하여 개인의 신원 확인 및 자격 검증과 개인정보의 접근

16) 하이퍼레저 인디는 DID를 위해 개발된 플랫폼으로 다른 블록체인과의 상호 운용이 가능하게 설계되었다(Jones, 2020).

통제, 제공에 대한 설계안을 제시하였다. 아래의 <그림 8>은 이 연구에서 제안한 설계안을 도식화한 것이다.



<그림 8> 하이퍼레저 인디 기반 개인 의료정보 공유 플랫폼

<그림 8>에서 보여주는 제안 모형은 하이퍼레저 인디에서 사용하는 영지식 증명(zero-knowledge proof)[17] 방식을 활용하고, 데이터 소유자의 신원을 공개하지 않으며, 개인정보를 저장하지 않고 자격 증명 및 신원 확인, 정보 공유할 수 있음을 주장하였다(Lemieux et al., 2020, p.13). 이러한 방식은 개인이 자신의 의료기록에 대한 통제 권한을 가지고 공개 범위를 조정할 수 있다는 장점을 가진다고 밝혔다. 이에 대한 이용자 연구를 수행한 결과 개인정보에 대한 주권을 개인이 가지고 통제할 수 있다는 점에 만족한다고 밝혔고 정보 무단 사용을 막고 목적에 해당하는 정보만을 제공할 수 있다는 것에 긍정적인 반응을 보였다.

이 연구에서 블록체인 적용 개인정보 공유에서 제시한 한계점은 블록체인 기술과 관련된 암호화, 네트워크 기술에 대중이 가지는 낮은 이해도, 개인의 의료기록관리에 대한 부담 등을 제시하였고 이러한 한계들에 대해 추가적인 연구를 통한 보완이 필요하며 한 가지 기술로 모든 문제를 해결하는 것은 부족함을 지적하였다(Lemieux et al., 2020, pp.19-20).

이처럼 전자기록의 진본성을 연구한 InterPARES의 최신 프로젝트와 자기주권신원 등의 다양한 주제를 적용한 블록체인 기록관리 연구가 이루어지고 있다. 특히 Lemieux(2016a)는 블록체인 기술은 기록관리 기술임을 명시하며 적용 사례와 한계점에 대한 연구를 지속해가고 있다. 다음 장은 블록체인을 공공기록관리 업무에 적용하

17) 비밀번호 등을 공개하지 않고 알고 있다는 사실만으로 증명하는 암호학적 기법(Lemieux et al., 2020, p.11). 영지식 기법을 이용한 인증에서는 주장자 A의 키에 대한 정보를 전혀 유출하지 않으면서, 주장자 A가 키를 알고 있다는 사실만을 증명함으로써 인증이 이루어짐. (한국정보통신기술협회, n. d.)

는 방안을 설계하고 PoC를 통해 적용 타당성 등을 검증한 모형을 제시한다.

제4장 스마트 컨트랙트를 활용한 기록관리 자동화 방안

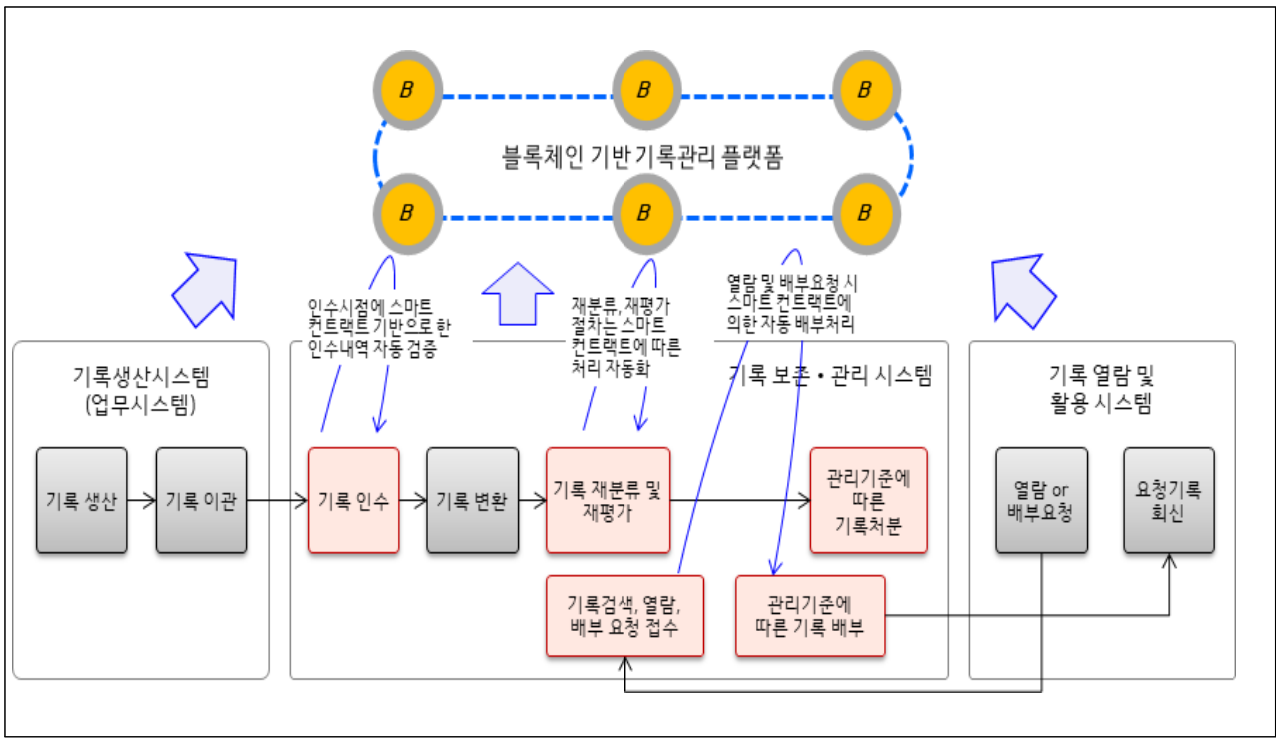
제1절 자동화 업무 선별

이 절은 스마트 컨트랙트와 DApp을 활용한 기록관리 자동화 방안을 제안하였다. 먼저 스마트 컨트랙트를 활용한 자동화 업무를 선정하기 위하여 국가기록원(2019)이 「지능형 전자기록관리 기술 연구 개발 연구」에서 제시한 실무담당자의 의견 청취 내용을 고려하였다. 국가기록원(2019)은 대량의 전자기록관리 업무의 부담을 경감하고 효율적으로 처리하기 위해 지능화, 자동화 필요 업무를 선별하고 기술 개발을 위한 전략을 수립하였다. 업무를 선별하기 위하여 전자기록관리 실무담당자 다수를 대상으로 수요를 조사하고 업무에 대한 요구사항을 정리하였다. 수요조사의 결과로 제시된 자동화 요구 업무 기능은 인수, 공개재분류, 보존기간 재평가, 열람 및 활용, 기준 및 공통관리이다.

국가기록원(2019)의 연구를 통해 도출한 자동화 요구 업무 중 스마트 컨트랙트의 적용이 가능한 업무를 선별하기 위해 스마트 컨트랙트의 적용 요건을 분석하였다. 스마트 컨트랙트는 다음의 두 가지 조건을 만족하면 적용할 수 있다. ① 업무 과정을 처리하기 위해 다수의 독립적인 이해관계자가 참여하여야 하며, ② 자동화를 위한 업무 과정이 선후관계가 명확하고 여러 단계를 거쳐야 한다. 이러한 조건을 만족하는 기록관리 업무를 다음의 <그림 9>와 같이 고려하여 선별하였다.

<그림 9> 자동화 대상 업무 선정 기준

기술적인 측면으로 스마트 컨트랙트의 적용 요건을 고려하였으며 기록관리 자동화 및 지능화 요구가 있는 업무를 선정하였다. 향후 인공지능과의 연계 가능성을 위하여 지능화 요구가 있는 업무까지도 고려 대상에 포함하였다. 법률적 측면으로 스마트 컨트랙트의 자동 수행 조건이 될 수 있는 기록관리 업무 관련 법률을 포함하였다. 종합적으로 위의 기준들을 평가한 결과 공개재분류, 보존기간 재평가, 열람이라는 세 가지 업무를 도출하였다. 다음의 <그림 10>은 기록관리에 블록체인을 적용하는 방안을 개괄적으로 보여주는 그림이다.



<그림 10> 블록체인 적용방안 설계 절차도

위의 <그림 9>와 같이 기록관리의 전 단계에 걸쳐 블록체인을 적용할 수 있는 것을 확인할 수 있다. 그러나 이 연구에서는 기술적 측면인 스마트 컨트랙트 적용 요건과 기록관리 측면, 법률적 측면을 다각적으로 고려하여 적용 대상 기록관리 업무를 열람, 공개재분류 및 보존기간 재평가로 선별하였다. 업무의 분석과 설계 방안 논의를 위해 국가기록원 및 대법원 차세대전자소송추진단과의 면담을 수행하였다. 다음의 <표 4>는 면담 수행에 대한 내용을 정리한 것이다.

<표 4> 업무 담당자 면담 개요

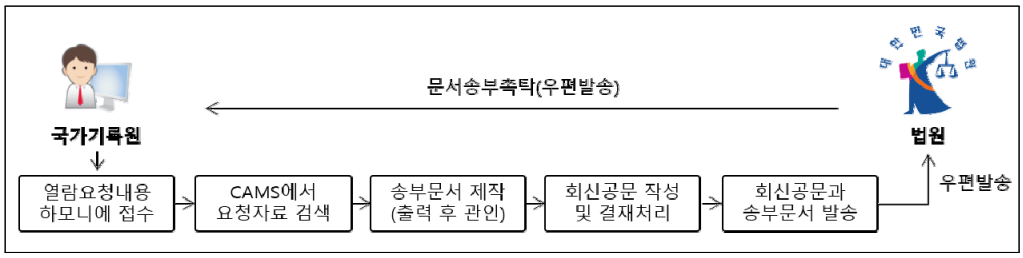
담당자	소속	일시	장소	시간	면담 내용
담당자 A	대법원 차세대 전자소송추진단	2020.05.15	대법원	1시간	• 법원 문서송부촉탁 업무 시스템 연계 방안 논의
담당자 B	국가기록원 공개서비스과	2020.05.19.	국가기록원 대전 본원	1시간	• 대법원 열람 업무 프로세스 파악 • 블록체인 연계방안 논의
담당자 C	국가기록원 기록정보기반과	2020.06.18.	국가기록원 대전 본원	1시간	• CAMS 시스템 파악

담당자 면담은 업무 프로세스를 파악하고 블록체인과 연계 방안을 상세하게 논의하기 위하여 진행되었으며, 모형 설계 후 담당자 의견이 수렴될 필요가 있는 안에 대하여 논의하였다. 면담을 바탕으로 현행 업무를 보완, 개선하기 위하여 블록체인과 연계

하는 방안을 다음과 같이 설계, 제시하였다. 설계한 방안은 다음의 절에서 설명한다.

제2절 대법원 열람 업무

대법원 열람 업무(이하 문서송부촉탁 업무)는 법원에서 재판 진행 등을 위해 국가기록원에 기록 열람 및 송부를 요청하는 업무이다. 현행 국가기록원과 법원 간의 문서송부촉탁 업무의 과정은 다음의 <그림 11>과 같다.



<그림 11> 현행 국가기록원-법원 간 문서송부촉탁 과정

문서송부촉탁 과정은 먼저 법원에서 재판 과정에서 필요한 공공기록을 요청하기 위해 우편으로 공문을 발송하며, 국가기록원에서는 우편으로 받은 열람요청내용을 하모니에 접수한다. 이후 CAMS에서 요청받은 자료가 존재하는 지 검색하고 존재하는 경우 CAMS에서 반출을 기록하고 문서송부촉탁에 대한 회신 공문을 작성하여 내부 결재 절차를 수행한다. 요청받은 자료는 출력하거나 복사하고 결재가 완료되면 회신 공문과 함께 출력 및 복사한 자료를 워터마크와 함께 관인을 찍고 회신하는 절차를 거친다.

대법원의 차세대전자소송추진단 담당자와 열람을 통해 진본기록을 전자적으로 전달받기 위한 단계를 다음과 같이 파악하였다. 1) 법원에서 국가기록원에 문서송부촉탁을 요청, 2) 국가기록원에서 문서송부촉탁 요청을 수신할 후 해당 기록을 찾아 이를 요청했던 법원으로 송부, 3) 법원에서 수신 및 활용 과정에서 수신한 전자기록의 진본성을 검증한다(담당자 A, 면담, 20년 5월 15일).

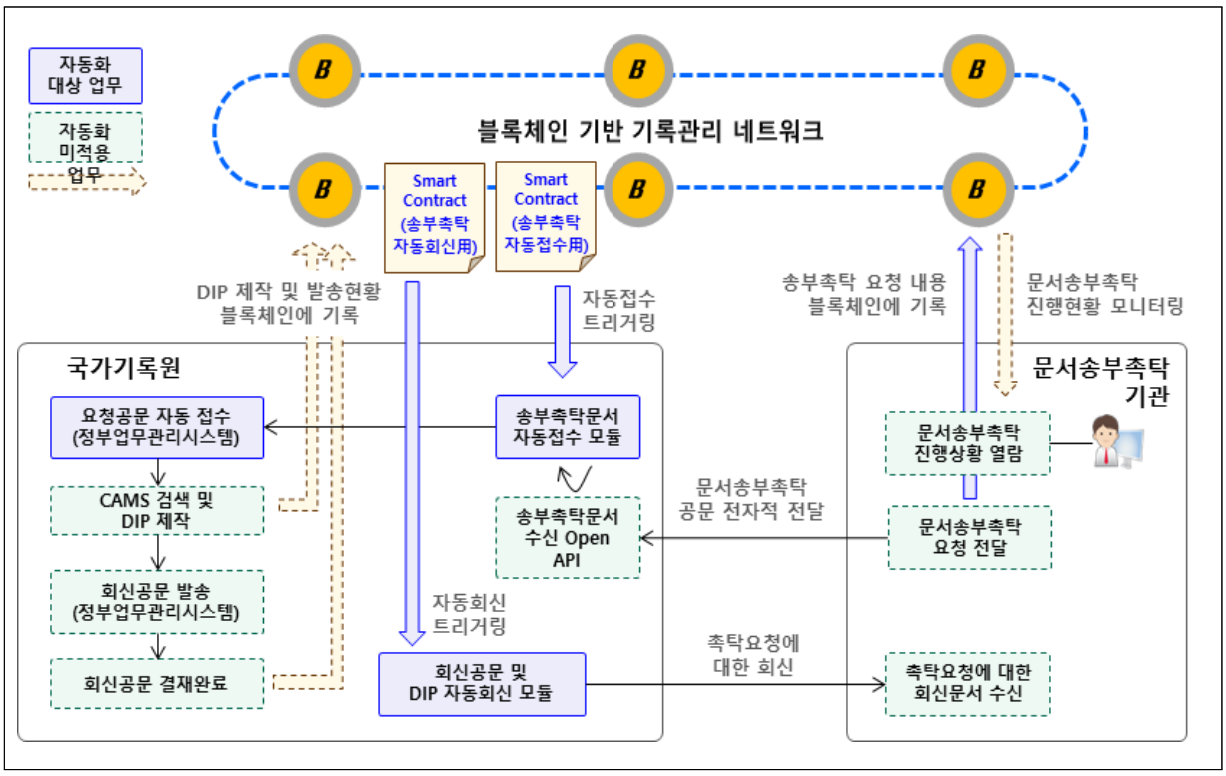
현재 국가기록원과 법원 간 열람이나 송부촉탁 건수는 평균 350여 건으로 문서 1건이 최소 2~30장부터 최대 500~1,000여 장으로 구성되어 연간 약 13만 6천여 장이 법원으로 송부되고 있다. 이를 우편으로 요청 및 회신하는 데에 소요되는 시간은 평균 1~3주이다. 일반적으로 법원이 문서송부촉탁을 통해 요청하는 종이기록물의 매수가 상대적으로 많아 모두 출력하여 우편으로 송부하는 방식은 비효율적이다. 우편을 통해 송수신하는 과정에서 통상적으로 4~6일의 시간이 소요되며 업무 처리시간과 대국민 서비스 제공시간이 지연되는 것은 열람담당자가 지적하는 주요 문제점 중 하나이다. 이는

근본적으로 기록물의 증거적 가치를 판단하는 법원에서 종이문서만의 증거적 가치를 인정하기 때문에 발생하는 것이다. 그런데 최근 법원에서 이러한 관행에 대한 전환적 입장을 담은 계획이 발표되었다. 2024년까지 지능형 법원을 도입하여 소송기록을 전면 디지털화하여 종이문서의 부담을 해소하겠다는 것이다. 다음 <그림 12>은 법원행정처가 발표한 지능형 법원 도입 계획을 발췌한 것이다.

<그림 12> 지능형 법원 도입 개요

국가기록원 블록체인 연구팀은 2020년 5월 지능형 법원을 추진하는 대법원 법원행정처 차세대전자소송추진단을 면담하고 국가기록원의 문서송부촉탁 기록물의 제공방식을 블록체인 기술을 이용한 전자적 제공 방안을 협의하였다. 이 업무에는 국가기록원과 법원이라는 독립적인 기관이 존재하며 사용하는 시스템이 다양하다. 또한 업무의 선후관계가 명확하며 처리해야 하는 업무들이 정해져 있어 스마트 컨트랙트의 적용이 가능하다. 위와 같은 업무 중 우편을 통해 요청을 송수신하고 관련 문서를 발송하는 과정을 스마트 컨트랙트를 통해 자동화할 수 있을 것으로 판단하였다. 이에 따라 설계된 것이 블록체인을 활용한 문서송부촉탁 모형이다. 이는 종이문서를 완전히 전자적으로 대체하는 방안으로 블록체인 기반 국가기록관리 네트워크와 대법원 차세대시스템의 전자문서 접수 Open API[18]의 연계를 통해 전자적으로 기록을 제공하는 방식이다. 설계된 문서송부촉탁 업무 과정은 다음의 <그림 13>과 같다.

18) 대법원은 차세대 전자소송시스템 구축사업을 통해 행정안전부 등과 우편으로 주고받는 문서송부촉탁 업무를 시스템 연계로 제공하고자 한다. 2024년 8월 개발 완료를 목표로 하며 전자적 연계를 위해 전자접수 Open API를 개발하여 제공할 예정이다.



<그림 13> 국가기록원-법원 간 문서송부촉탁 제안 모형

위의 <그림 13>은 문서송부촉탁 업무의 전 과정을 전자적으로 처리하고, 스마트 컨트랙트를 활용하여 자동화하는 방안이다. 제안한 업무 절차는 다음과 같다. ① 현행 우편으로 받는 열람요청내용 등을 업무관리시스템에 자동으로 수신 및 접수한다. ② 업무 담당자는 CAMS에서 해당 기록물을 검색하고, ③ 대상 기록물을 선정하면 ④ 기록물 배부 패키지(Dissemination Information Package) 제작을 위해 자동으로 해당 시스템으로 전달하고 ⑤ 회신결재공문을 스마트 컨트랙트를 통해 자동으로 생성하고, ⑥ 대법원 시스템의 문서수신 Open API를 통해 배부 패키지를 송신한다. 위와 같은 과정 중에 배부 패키지 생성과 전송에 대한 이력을 블록체인에 기록하여 감사증적을 남긴다.

스마트 컨트랙트가 자동으로 수행될 수 있도록 하는 조건을 다음과 같이 설정하였다. 먼저 업무 수행과 관련한 기록물 열람 관련 협조 요청을 받은 경우에는 「국가기록원 소장기록물 공개 및 열람 운영규정(훈령 제113호)」의 제18조 1항에 따라 수행될 수 있도록 한다. 비공개 기록물 또는 부분공개 기록물의 요청 시 ① 훈령 제113호 제18조 3항 1호에 따라 기관의 업무수행과 관련된 개별법에 자료제공의 협조에 관한 사항이 명시되어 있는 경우, ② 훈령 제113호 제18조 3항 2호에 따라 요청 기관에서 생산하여 이관한 기록물 중 사전에 기록물 생산기관의 이용허락을 득한 경우, ③ 훈령 제113호 제18조 3항 2호에 따라 타 기관에서 생산하여 이관한 기록물 중 사전에 기록물 생산기

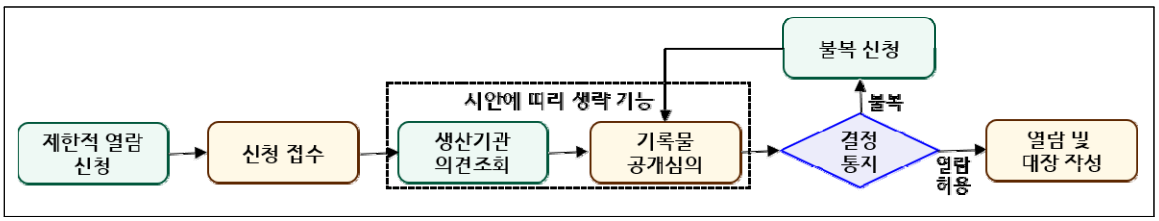
관의 이용허락을 득한 경우에 자동으로 업무 수행이 되도록 설정하였다.

현재 문서송부촉탁 요청을 받고 요청 내용을 송신하는 과정에서 지연되는 시간을 전자적으로 송수신하면 실시간으로 요청을 접수하고 해당 기록물의 배부 패키지를 제작하여 송신까지 효과적으로 처리 시간을 단축할 수 있다. 정량적인 효과를 계산하여 보면 열람 요청 혹은 기록물 배부 패키지를 우편으로 송부하고 수신, 처리하는 데에 소요되는 시간을 송부, 배송, 수신 각 1일로 계산하여 3일이라고 가정한다. 그렇다면 1건의 문서송부촉탁을 송수신하는 데에만 6일(144시간)이 소요되는데 이를 블록체인을 통해 송수신하면 실시간으로 확인할 수 있어 사실상 시간 지연이 발생하지 않는다(국가기록원, 2020b). 이는 단순히 업무 처리시간을 단축하는 것에 그치지 않고 국민에 기록물을 제공하는 시간이 획기적으로 절감되는 것으로 볼 수 있다. 더불어 개인이 법원에서 요구받은 기록물을 열람하기 위해 국가기록원에 요청하는 별도의 과정이 생략되어 더욱 빠른 열람 서비스를 제공할 수 있다.

요청 문서의 자동 접수, 회신 처리 자동 연계 등으로 국가기록원 열람 담당자의 업무 효율성을 향상할 수 있다. CAMS와 연계를 통해 배부 패키지 작성대상 기록의 자동 등록, 전자기록 배부 패키지 작성(페이지 편집, 워터마크 및 관인 삽입)과 외부 기관 송부를 위한 시스템을 구축하여 요청 기록물을 모두 종이로 출력하여 관인을 찍는 과정을 효율화할 수 있다. 또한 송부한 기록물에 대한 진본성, 송부 이력을 블록에 등록하여 전자적 전송 과정에서 일어날 수 있는 위·변조 가능성을 차단하고 진본성을 보장한다. 법원과 시스템 연계를 통해 타 기관과 블록체인을 통한 전자적 문서송부 체계를 확보하여 향후 다양한 공공기관과 연계 토대를 마련할 수 있으며, 스마트 컨트랙트를 활용하여 전자적 문서송부 자동화를 실현할 수 있다.

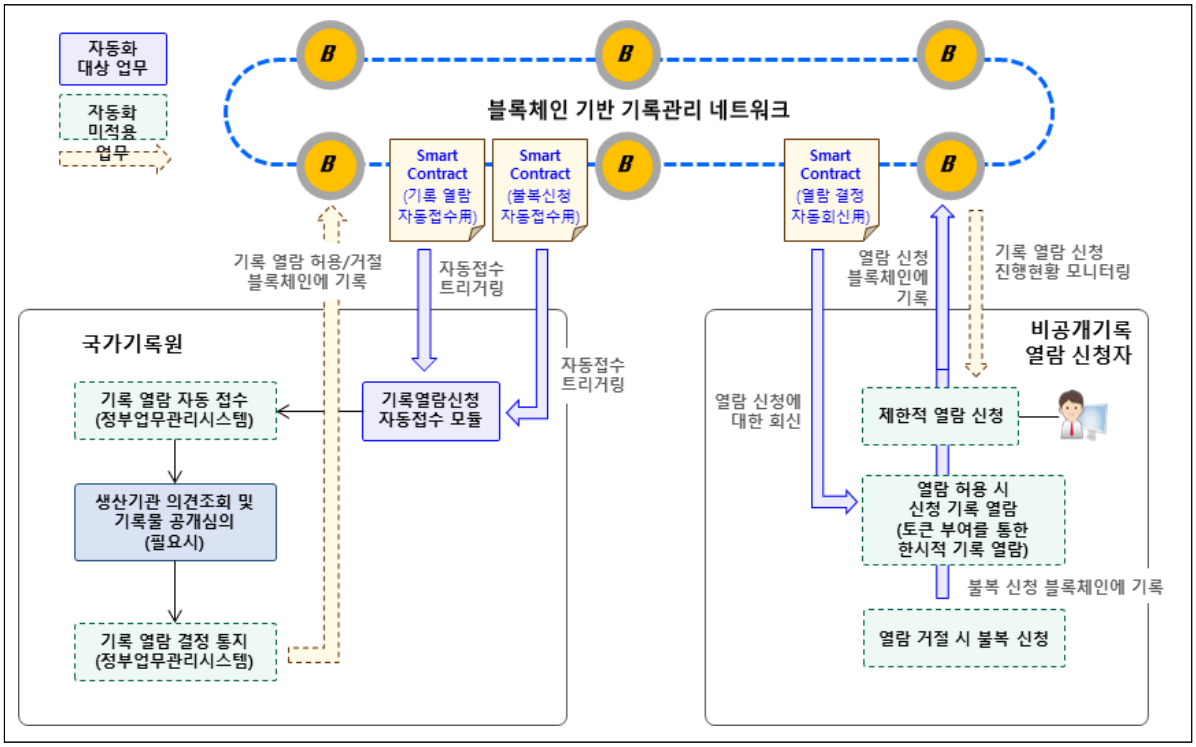
제3절 비공개 기록물의 제한적 열람

비공개 기록물의 제한적 열람은 본인의 개인정보가 포함되어 있거나, 해당 기록물이 아니면 관련 정보의 확인이 불가능한 경우에 한하여 제한적으로 열람할 수 있도록 하는 것이다. 이는 청구인의 신원을 엄격하게 확인하며 지정된 일시와 장소에서 청구인만이 열람할 수 있도록 하며 열람을 위해서는 열람실에 직접 방문하여야 한다. 현행 비공개 기록물의 제한적 열람 처리 프로세스는 다음의 <그림 14>와 같다.



<그림 14> 비공개 기록물의 제한적 열람 업무 프로세스

위의 <그림 14>가 보여주는 제한적 열람은 별도의 열람 신청 이후 접수, 생산기관 의견조회, 공개심의를 거쳐 결정하게 된다. 열람이 거부될 시에 청구인은 불복 신청을 통해 재심의를 요구할 수 있고 열람 시에는 직접 열람실을 방문하여 신원 확인 후 열람할 수 있도록 하는 절차를 보여준다. 제한적 열람의 핵심은 엄격한 신원 확인과 청구 관련 기록물만을 제공하는 것이다. 현재 청구인의 신원을 확인하고 관련 비공개 기록물을 제공하기 위한 대면 열람 방식이 블록체인 기반 DID의 확산과 대면 서비스 기피라는 환경의 변화로 인해 비대면, 온라인 서비스로 제공될 필요가 있다. 다음의 <그림 15>는 스마트 컨트랙트와 DID를 활용한 자동화 모형을 도식화하여 나타낸 것이다.



<그림 15> 스마트 컨트랙트를 활용한 제한적 열람 자동화 제안 모형

위의 <그림 15>는 제한적 열람의 자동화 방안을 보여주며, 업무 처리 과정은 다음과 같다. 비공개 기록물을 열람하기 위하여 청구인은 DID를 통해 신분을 증명하고 별도의

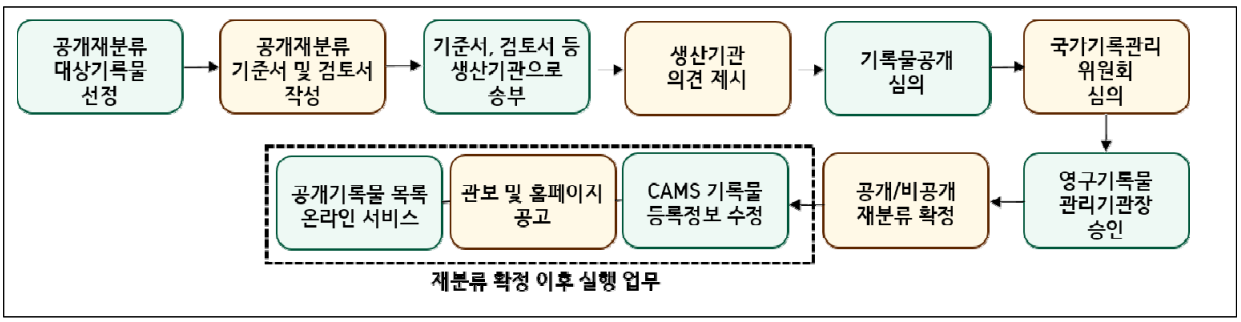
양식을 통해 열람을 신청하고 열람이 신청된 사실을 블록체인에 기록하고 스마트 컨트랙트를 통해 자동적으로 업무 담당자에 알려지도록 한다. 담당자는 필요시 생산기관 의견조회와 공개심의를 진행하고 제한적 열람 결정을 블록체인에 기록하고 이것을 청구인이 실시간으로 확인할 수 있다. 제한적 열람을 허용하는 경우 신청 기록물을 열람할 수 있도록 하는 접근 토큰을 부여하고 청구인은 DID와 접근 토큰으로 신원을 증명한 후 기록물을 제한된 시간동안 열람할 수 있다. 접근 토큰은 정해진 기록물에 대해 한시적으로 접근 권한을 부여하는 것으로, 이를 통해 기록물을 열람하기 위해서는 신청 시 제공한 신원이 확인되어야 한다.

블록체인 스마트 컨트랙트와 DID를 적용하는 방안은 「공공기록물법」 제37조 1항에 따라 수행될 수 있도록 조건을 설정한다. 다만, 청구인의 개인정보가 포함되어 있는 기록물을 열람하고자 하는 경우와 권리구제를 위해 기록물을 제공하여야 하는 경우에 한정한다. 연구 등의 정보 확인 목적의 제한적 열람은 복사, 사진 촬영 등 보안상 위험으로 인해 제공할 수 없다.

공인인증서나 주민등록증 등 개인 신분증명서들과 달리 DID는 개인 자체에 대한 정보와 가족 관계, 졸업증명서 등 다양하게 개인을 식별할 수 있는 정보들을 담을 수 있다. 신원 증명을 위해 DID를 활용하면 증명을 위한 사항에 요구되는 정보만을 제공할 수 있다. 예를 들어 직계가족의 개인정보가 포함되어 있는 기록물을 열람하기 위해서는 가족관계증명서 등을 발급받아 제출하는 별도의 절차를 거쳐야 하지만 제안한 방안의 경우 DID에 포함되어 있는 가족관계 정보를 열람 신청 시에 본인 신원 증명과 함께 제공하여 한층 간편하게 서비스를 이용할 수 있다. 업무 처리 자동화와 업무 처리 과정을 실시간으로 저장하여 청구인에 투명한 공공업무의 처리 과정의 공유가 가능하다. 또한 DID를 적용하여 신원확인의 절차를 간편화하고 비대면 공공서비스를 확대할 수 있다는 의의를 가진다.

제4절 공개재분류와 보존기간 재평가

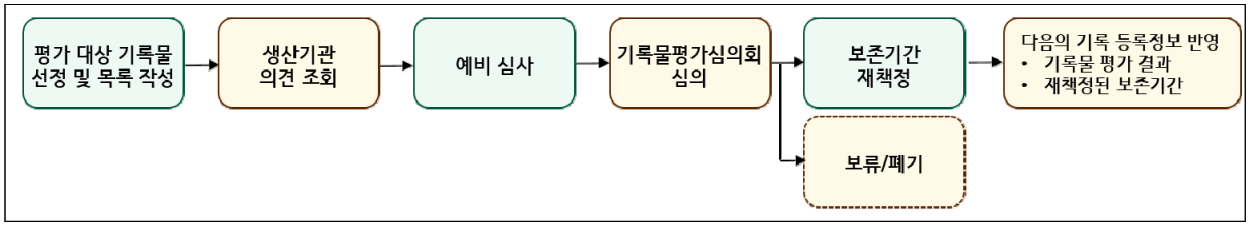
공개재분류는 비공개 기록물을 일정 시간이 지난 후 공개하기 위하여 심의, 결정하는 절차로 현행 공개재분류 업무 처리 과정은 다음의 <그림 16>과 같다.



<그림 16> 공개재분류 과정(NAK 16-2, 2020)

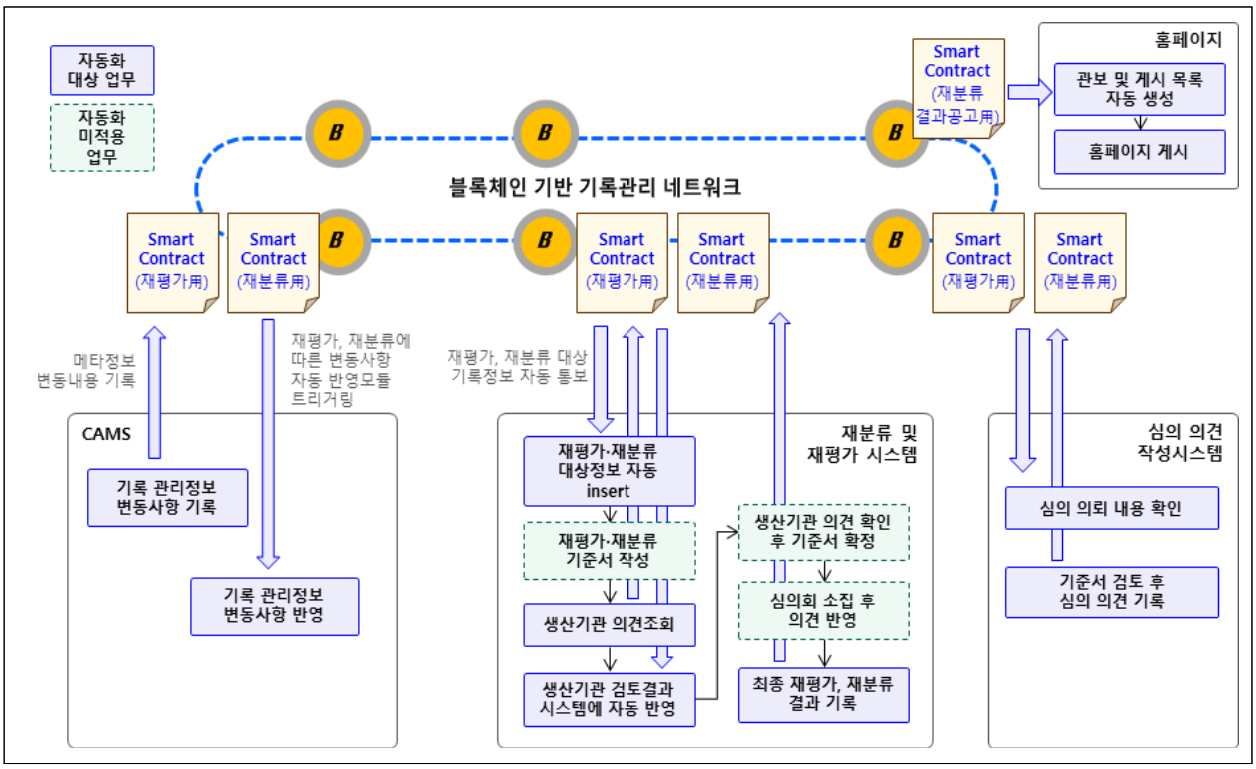
대상기록물의 선정부터 재분류 결과의 확정 이후 실행 업무까지 생산기관, 기록물공개심의회, 국가기록관리위원회 등 다양한 이해관계자가 참여하여 업무를 수행하며 위의 <그림 16>의 절차와 같이 업무를 수행하여 스마트 컨트랙트를 활용한 자동화 적용이 가능하다고 판단하였다.

보존기간 재평가는 보존기간이 도래한 기록물의 평가를 통해 폐기하거나, 보존기간을 재책정하여 해당 기록물을 보존하는 것이며 현행 업무는 다음의 <그림 17>과 같다.



<그림 17> 기록물 평가 과정(NAK 5-2, 2012)

보존기간 재평가를 위해 평가 대상 기록물의 선정과 목록 작성부터 시작하여 평가 결과 반영까지의 절차를 거치게 된다. 이 절차에는 다양한 생산기관, 기록물평가심의회와 같은 다양한 이해관계자가 존재하고 순차적인 업무 수행이 가능하여 스마트 컨트랙트를 활용한 자동화 적용이 가능하다. 공개재분류와 보존기관 재평가의 일련의 업무 절차가 상이하지 않다고 판단하여 한 개의 모형으로 표현하였으며, 위의 업무들 중 자동화할 요소를 포착하여 설계한 그림은 다음의 <그림 18>과 같다.



<그림 18> 공개재분류 및 보존기간 재평가 제안 모형

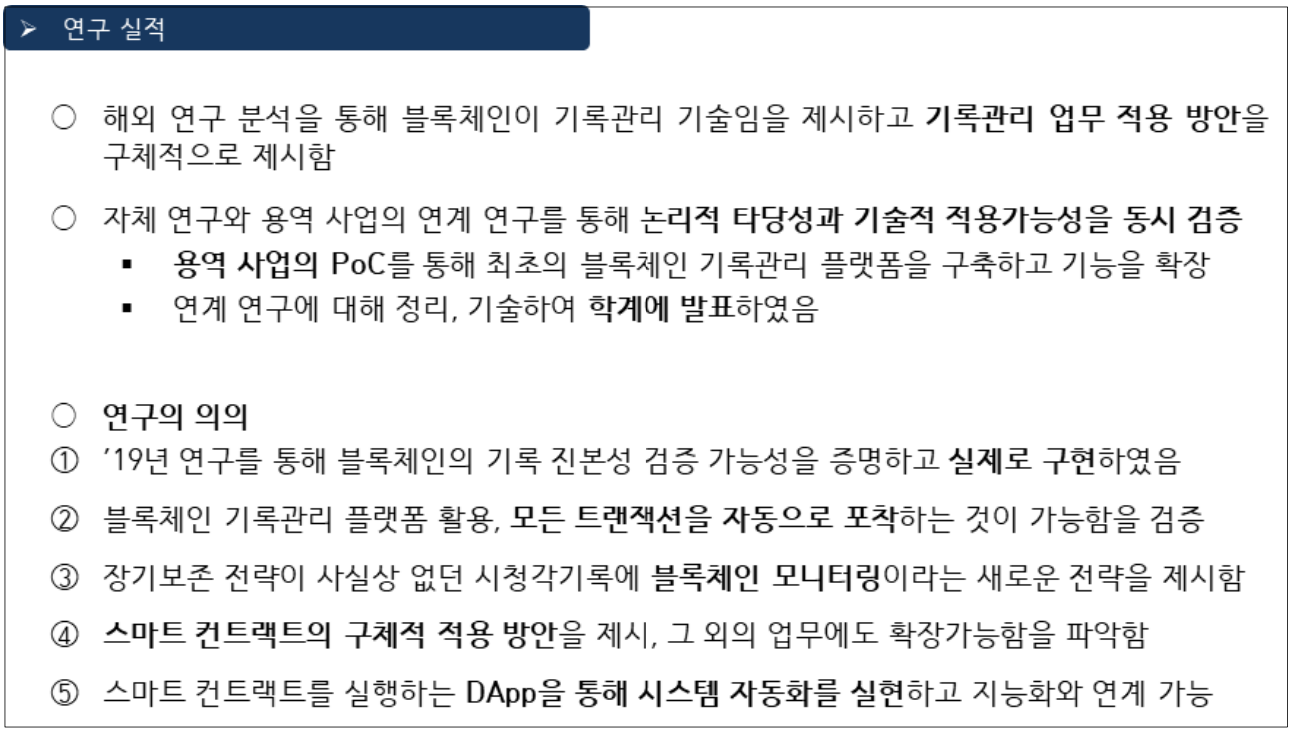
<그림 18>의 모형 처리 절차는 다음과 같다. 공개재분류와 보존기간 재평가를 위해 대상 기록물에 대한 정보를 스마트 컨트랙트를 통해 자동으로 불러오고, 생산기관 검토의 의뢰와 검토 결과 반영을 자동으로 처리하도록 설계하였다. 기록물 심의에 따른 의견을 기록하여 블록체인에 저장하여 실시간으로 의견 조회가 가능하며 향후 심의에도 참고할 수 있도록 하고 최종 결과를 자동으로 기록한다. 공개재분류인해 변동된 사항은 스마트 컨트랙트를 통해 변동 시 자동으로 시스템에 반영되고 관보 및 홈페이지에 게시된다.

공개재분류 업무가 스마트 컨트랙트를 통해 자동 실행되도록 하는 조건을 다음과 같이 설정하였다. 먼저 비공개기록물로 분류된 기록물은 5년마다 재분류하도록 「공공기록물법」 제35조의 1항에 따른다. 그리고 개인정보를 포함한 기록물은 「공공기록물법」 시행령 제72조의 3항과 「공공기관의 정보공개에 관한 법률」 제9조 1항 6호에서 정하는 바에 따라 자동으로 수행할 수 있도록 한다. 공개하기로 결정된 기록물에 대한 자동 수행 조건은 「공공기록물법」 제35조 4항, 「공공기록물법」 시행령 제72조 5항으로 정할 수 있다. 보존기간 재평가의 자동 수행 조건을 관련 법률 조항으로 설정한다. 보류로 구분된 기록물의 경우 「공공기록물법」 시행령 제53조 1항에 따라 5년마다 재평가될 수 있도록 하고, 보존기간이 준영구인 기록물은 「공공기록물법」 시행령 제53조 2항에 따라 70년이 경과 시 평가 대상이 될 수 있도록 한다. 보존기간이 준영

구인 기록물 중 동종·대량 기록물이며 보존가치가 낮은 기록물은 「공공기록물법」 시행령 제53조 2항에 따라 50년이 경과하였을 시 평가 대상이 될 수 있도록 한다. 그리고 준영구기록물 중 보류로 구분된 기록물은 「공공기록물법」 시행령 제53조 3항에 따라 보류 책정 이후 10년 경과 시 재평가될 수 있도록 한다.

국가기록원(2019)의 연구에서 당해 연도 재분류 및 재평가 대상 기록물의 선정에 대한 시스템 상의 기능 부재로 인해 어려움이 지적되었고 기록물 이력관리 기능을 통한 업무 처리 스케줄링과 모니터링 기능이 요구되었다. 이 연구에서 제안한 모형은 스마트 컨트랙트를 통해 대상 기록물 정보를 자동으로 가져오도록 하여 업무 처리 부담을 줄이고 모든 트랜잭션의 저장을 통해 이력 관리와 모니터링 기능을 제공한다. 또한 해당 기록물에 대한 생산기관 의견 조회 절차를 블록체인 기반으로 처리하여 업무 처리 과정의 지연을 없애고 공개재분류와 보존기간 재평가에 대한 생산기관의 의견을 변조할 수 없도록 기록하여 동종 기록물에 대한 차후의 동일 업무에서 참고할 수 있도록 한다. 기록물 공개심의 또는 기록물평가심의를 블록체인 기반으로 실행하여 비대면 심의, 실시간 의견 제시가 가능하도록 하고 제시된 의견을 블록체인에 기록하여 선행 예시로 누적, 활용할 수 있도록 한다. 스마트 컨트랙트를 통해 업무 담당자의 자의적인 해석이 개입되지 않고 정해진 법률과 규칙에 따라 업무를 수행할 수 있도록 하며, 자동화를 통해 연구사의 업무 부담을 경감하고 재분류 및 재평가 대상 기록물의 누락을 줄일 수 있다.

스마트 컨트랙트를 적용한 자동화 방안 연구에서 비공개 기록물의 제한적 열람과 공개재분류 및 보존기간 재평가에 제안한 블록체인 모형은 프로세스 분석과 담당자 면담을 통해 개념연구를 수행한 것으로 블록체인 기록관리 플랫폼에서 실제 구현한 산출물은 아니다. 이러한 모형을 실제 업무에 반영하기 위해서는 정책결정의 과정이 전제되어야 하며 제안한 모형은 이러한 결정에 참조할 수 있는 기초 연구로서의 의미를 가진다. 아래의 <그림 19>는 연구 실적을 요약한 그림이다.



<그림 20> 연구 실적 요약

제5장 자체연구과제의 연구결과 고찰 및 결론

2020년 현재 블록체인, 클라우드, 빅데이터 등 신기술을 적용하여 공공 행정 환경이 급격하게 변화하고 있으며, 이를 공공기록으로 포착해야 하는 기록관리 분야도 새로운 관리 방식을 요구받고 있다. 이 연구는 새로운 행정 환경에 대응하고자 블록체인을 활용한 기록관리 방안을 제시하였다. 이를 위해 블록체인과 스마트 컨트랙트에 대한 선행연구를 분석하고 면밀하게 검토하였다. 특히 '19년 국가기록원의 블록체인 플랫폼 구축 연구의 블록체인 플랫폼을 통한 기록의 진본성 검증 방안과 다기관 참여 가능성을 확인하였다. 또한 ITrust와 국내 4차산업혁명위원회가 발표한 블록체인 확산 자료 등을 통해 블록체인의 적용 필요성과 의의를 확인하였다. 스마트 컨트랙트의 타 분야 연구 분석을 통해 스마트 컨트랙트의 적용 요건을 분석하고 기록관리 분야의 스마트 컨트랙트를 정의하였다. 이에 더불어 「공공기록물법」 등의 기록관리 업무 관련 법률 분석, 국가기록원 업무 담당자 의견과 스마트 컨트랙트 적용 요건 등 기술적 측면을 고려하여 적용 업무인 공개재분류, 보존기간 재평가, 열람 업무를 선별하였다. 대상 업무에 대하여 스마트 컨트랙트 적용 모형을 설계하고 기술적으로 적용 가능함을 용역 연

구와 병행하여 확증하여 블록체인을 활용한 기록관리 업무 자동화 방안을 제시하였다.

블록체인을 활용한 기록관리 업무의 수행은 모든 트랜잭션을 자동으로 블록에 저장하여 변경할 수 없도록 관리할 수 있으며 실시간으로 참여 기관에서 공유할 수 있다는 의의를 가진다. 또한 업무 자동 수행을 위한 조건 설정을 통해 법률에 근거하여 업무를 수행하고 자동화를 지원하여 업무 효율성을 높이고 인적 오류를 줄이는 지능형 기록관리의 기반이 될 수 있다. 블록체인의 트랜잭션 추적 기능은 공공업무의 처리행위를 기록관리 메타데이터로 포착하여 진본성을 보장하게 하는 전통적 방식을 기술적으로 보완할 수 있다.

개별 전자문서마다 전자서명을 넣어 변환하는 장기보존포맷은 전자기록의 장기보존을 위한 법정 기록관리 방식이다. 본문에서 지적한 바와 같이 이 방식은 개별 문서마다 변환을 전제한다는 점에서 비용 대비 효과가 낮고 비효율적이다. 또한 시청각기록과 같은 대용량 파일에는 적용될 수 없다는 한계를 가진다. 국가기록원이 2년간 연구하고 검증한 결과, 블록체인 기록관리 플랫폼은 이러한 한계를 해소하는 기술적 대안이 될 수 있음이 확인되었다. 이는 전자기록의 진본성 보장방안을 블록체인에서 찾을 수 있다는 ITrust 연구팀과 미국 NARA의 블록체인 연구팀의 결론과도 동일하다.

이러한 경향에도 불구하고 법제도의 문제와 신뢰부족은 블록체인을 기록관리와 연계시키는데 여전히 제약이 되고 있다. 2019년 발의된 「블록체인 진흥 및 육성 등에 관한 법률안」은 여전히 통과되지 못한 채 계류 중이며, 정부업무관리시스템의 전자문서에 적용 가능함을 검증하였음에도 불구하고 본격적인 확산을 결정하지 못하고 있는 상황은 이를 반증한다. 이는 블록체인에 대한 사회적 관심과 기대에 비해 블록체인 기술의 성숙도가 충분하다고 보기 어려운 것으로 평가되기 때문이기도 하다. 그러나 이러한 기술적 문제와 한계는 2023년까지 해결되어 산업과 사회를 혁신하는 기반기술이 될 것이라는 것이 4차 산업혁명위원회와 정부의 전망이다. 정책적 제약은 허가형 블록체인 관련 원천 기술의 개발로 극복되고 있으며 규제 샌드박스를 통한 블록체인 허용 등 정부의 정책 역시 전향적으로 검토되고 있다. 4차 산업혁명위원회의 권고를 받은 정부는 투명하고 신뢰도가 높은 사회의 구축을 위해 공공분야에서부터 블록체인을 적극 도입해야 한다고 제시하면서 ‘블록체인을 활용한 공공문서 관리체계의 확립’을 주요 과제로 발표하였다. 이러한 정책의 변화에 대해 공공 기록관리의 책무를 지는 국가기록원과 기록관리 전문가들은 관심을 가지고 대비하여야 할 것이다. 부족한 인식에도 불구하고 정부의 정책방향을 살펴볼 때, 공공분야의 블록체인은 향후 빠르게 확산될 것이다. 이 연구가 새롭게 시작하는 기록관리 방안에 영감을 주고 미래 기록관리 연구를 촉진하여 할 수 있기를 기대한다.

제6장 자체연구과제의 연구성과

제1절 활용성과

총괄과제명	블록체인 활용 지능형 기록관리 적용 방안
총괄과제책임자	성명 왕호성 / 소속 디지털기록혁신과 / 전공

가. 연구논문

번호	논문제목	저자명	저널명	권(호)	페이지	Impact factor	국내/국외	SCI여부
1	블록체인 트랜잭션과 스마트 컨트랙트를 활용한 기록관리 적용 방안 연구	왕호성, 문신혜, 한능우	한국기록관리학회지	20 (4)	81-105		국내	KCI

나. 학술발표

번호	발표제목	발표형태	발표자	학회명	연월일	발표지	국내/국제
1							

다. 지적재산권

번호	출원/등록	특허명	출원(등록)인	출원(등록)국	출원(등록)번호	IPC분류
1						

라. 정책활용

※ 기타 관련정책에 활용 예를 구체적으로 기술함.

마. 타연구/차기연구에 활용

※ 타연구 및 차기연구에 활용된 예를 구체적으로 기술함.

바. 언론홍보 및 대국민교육

※ 언론홍보 및 대국민교육 내용, 일자 등을 간략히 기술함.

사. 기타

※ 임상시험 , 관련 DB구축, 워크샵 또는 심포지움 개최 등의 경우 구체적으로 기술함.

제2절 활용계획

차세대 기록관리시스템 개발사업의 지능형 기록관리 기반연구로 활용할 계획이며, 21년 시청각기록관리시스템(MAM)이 관리하는 200만건의 블록체인 모니터링 전략 적용에 직접 활용 예정임.

제7장 기타 중요변경사항

해당 없음

제8장 참고문헌

1. 강희정, 김혜리, 홍승필 (2018). 자금 세탁 방지를 위한 블록체인 기반 스마트 컨트랙트 메커니즘 설계. 인터넷정보학회논문지, 19(5), 1-11.

2. 개념 증명 (n. d.). 우리말샘. 검색일자: 2020.10.19. https://opendict.korean.go.kr/dictionary/view?sense_no=816007

3. 김진수, 박남제 (2019). 스마트 컨트랙트를 적용한 역할 기반 접근 제어 기반 파일 접근제어 메커니즘. 한국정보기술학회논문지, 17(9), 113-121.

4. 순환 신경망 (n. d.). IT용어사전. 검색일자: 2020. 10.06. http://terms.tta.or.kr/dictionary/dictionaryView.do?word_seq=138911-9

5. 영지식 증명 (n. d.) 정보통신용어사전. 검색일자: 2020. 09. 16. http://terms.tta.or.kr/dictionaryView.do?word_seq=060549-3

6. 박정태 (2019). 블록체인 프로젝트 - 비트코인, 이더리움, BlockChain Project, 하이퍼레저 패브릭 기반 시스템 구축. 서울: 정보문화사.

7. 블록체인 관련 용어 (2018). 시사상식사전. 검색일자: 2020.10.19. https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=5569380&cid=43667&categoryId=43667

8. 이경남 (2019). 블록체인 기술을 활용한 진본인증 모형 연구. 기록학연구, (59), 47-78. https://doi.org/10.20923/kjas.2019.59.047

9. 이기영, 김익한 (2019). 기록관리시스템 블록체인 기술 적용 방안 연구. 기록학연구, (60), 317-358. https://doi.org/10.20923/kjas.2019.60.317

10. 이수진, 김애영, 서승현 (2020). 자동차보험용 스마트 컨트랙트를 위한 사고정보 기반 신뢰도 산정 모델. 정보처리학회논문지, 컴퓨터 및 통신시스템, 9(4), 89-100.

11. 한국. 「공공기록물 관리에 관한 법률」.

12. 한국. 과학기술정보통신부, 한국과학기술기획평가원 (2019). 블록체인의 미래 - 2018년 기술영향평가 결과보고. 검색일자: 2020. 10. 12. https://www.kistep.re.kr/c5/sub2.jsp?brdType=R&bbldx=12717

13. 한국. 국가기록원 (2019). 지능형 전자기록관리 기술연구 개발 기획연구. 대전: 국가기록원.

14. 한국. 국가기록원 (2020a). 블록체인을 적용한 신뢰기반 기록관리 연구보고서. 블록체인을 적용한 신뢰기반 기록관리 플랫폼 구축 시범사업. 대전: 국가기록원.

15. 한국. 국가기록원 (2020b). 국가기록원-대법원 기관협의 결과보고서. 대전: 국가기록원.

16. 한국. 4차산업혁명위원회 (2020). 블록체인 기술 확산 전략. 서울: 4차산업혁명위원회. 검색일자: 2020. 10. 13. http://www.korea.kr/common/download.do?tbIKey=GMN&fileld=191393783

17. 합성곱 (2015). 수학백과. 검색일자:2020.10.12. https://terms.naver.com/entry.nhn?docld=5669287&cid=60207&categoryld=60207

18. 홍덕용 (2019). 블록체인기술을 적용한 기록관리 모델 구축 방법 연구. 한국기록관리학회지, 19(3), 223-245. http://dx.doi.org/10.14404/JKSARM.2019.19.3.223

19. Bralić, V., Kuleš, M., Stančić, H. (2017). A model for long-term preservation of digital signature validity: TrustChain. INFuture2017: Integrating ICT in Society.

20. Batista, D., Weingaertner, T. (2019). ArchContract: using smart contracts for disposition. 2019 IEEE International Conference on Big Data(Big Data), 3060-3065. https://doi.org/10.1109/BigData47090.2019.9006221

21. Bui, T. Cooper, D. Collomosse, J. Bell, M. Green, A. Sheridan, J. ... Brown, A. (2019). ARCHANGEL: Tamper-proofing Video Archives using Temporal Content Hashes on the Blockchain. In Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, arXiv:1904.12059v1.

22. Daniel, D. & Ifejika Speranze, C. (2020). The Role of Blockchain in Documenting Land Users' Rights: The Canonical Case of Farmers in the Vernacular Land Market. Frontiers in blockchain. 3, 19. https://doi.org/10.3389/fbloc.2020.00019

23. Duranti, L., Rogers, C. (2019). Trusting Records in the Cloud. UK: Facet Publishing.

24. Galiev, A., Prokopyev, N., Ishmukhametov, S., Stolov, E., Latypov, R. & Vlasov, I. (2019). Archain: a novel blockchain based archival system. IEEE, 2018 Second World Conference on Smart Trends in Systems, Security and Sustainability (WorldS4), 84-89. https://doi.org/10.1109/WorldS4.2018.8611607

25. Green, A., Das, A., Cooper, D., Fawcett, J., Keller, J., Higgins, J., ... Bui, T. (2019). ARCHANGEL: guaranteeing the integrity of digital archives. Open Data Institute, The National Archives, University of Surrey.

26. Hyperledger (n. d.). Hyperledger Fabric. Retrieved October 7, 2020, from https://www.hyperledger.org/use/fabric

27. Jones, R. (2020). Hyperledger Indy. Retrieved October 7, 2020, from https://wiki.hyperledger.org/display/indy/Hyperledger+Indy

28. Lemieux, V. (2016a). Blockchain for Recordkeeping – Help or Hype? https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28447.56488

29. Lemieux, V. (2016b). Trusting records: Is blockchain technology the answer? Records Management Journal, 26(2), 110-119.

30. Lemieux, V. (2017a) Blockchain and Distributed Ledgers as Trusted Recordkeeping

Systems: An Archival Theoretic Evaluation Framework. In Future Technologies Conference (FTC). Vancouver, BC.

31. Lemieux, V. (2017b). In blockchain we trust? Blockchain technology for identity management and privacy protection. In Conference for E-Democracy and Open Government.

32. Lemieux, V. (2017c). A typology of blockchain recordkeeping solutions and some reflections on their implication of the future archival preservation. In 2017 IEEE International Conference on Big Data (Big Data), 2271-2278. Boston, MA. https://doi.org/10.1109/BigData.2017.8258180

33. Lemieux, V., Hofman, D., Hamouda, H., Batista, D., Kaur, R., Pan, W., ... Fraser, R. (2020). Having our omic cake and eating it too: Evaluating User Response to using Blockchain Technology for Private & Secure Health Data Management and Sharing. arXiv preprint arXiv:2004. 11502.

34. Lemieux, V. Sporny, M. (2017). Preserving the archival bond in distribured ledgers: a data model and syntax. In Proceedings of the 26th International Conference on World Wide Web Companion, 1473-1443.

35. Liu, T., Wu, J., Chen, L., Wu, Y., Li, Y. (2020). Smart Contract-based long-term auction for mobile blockchain computation offloading. IEEE Access, 8,36029-36042.

36. Major, W., Buchanan, W. & Ahmad, J. (2020). An authentication protocol based on chas and zero knowledge proof. Nonlinear Dyn, 99, 3065-3087. https://doi.org/10.1007/s11091-020-05463-3

37. MathWorks (n. d.) 컨벌루션 뉴럴 네트워크란? 검색일자: 2020.10.14. https://kr.mathworks.com/solutions/deep-learning/convolutional-neural-network.html

38. National Archives and Records Administration (2019). Blockchain White Paper.

39. Open Data Institute (2019). ARCHANGEL pilot - User Research.

40. Permatasari, I., Essaid, M., Kim, H. & Ju, H. (2020). Blockchain Implementation to Verify Archives Integrity on Cilegon E-Archive. Applied Science, 10(7), 2621-2639.

41. Rajalakshmi, A., Lakshmy, K. V., Sindu, M. & Amritha, P. P. (2018). A Blockchain and IPFS based framework for secure research record keeping. International Journal of Pure and Applied Mathematics, 119(15), 1437-1442.

42. Reed, D., Sporny, M., Longley, D., Allen, C., Grant, R., Sabadello, M. & Holt, J. (2020). Decentralized Identifiers (DIDs) v1.0, W3C Working Draft. Retrieved October 7, 2020, from https://www.w3.org/TR/did-core/

43. Szabo, N. (1996). Smart Contracts: Building Blocks for Digital Markets. http://www.fon.hum.uva.nl/rob/Courses/Information-InSpeech/CDROM/Literature/LOTwinterschool2006/szabo.best.vwh.net/smart_contracts_2.html

44. Unnithan, C., Houghton, A., Anema, A. & Lemieux, V. (2020). Blockchain in Global health - An appraisal of current and future applications. In Li, K., Chen, X., Jiang, H. (Eds.), Essentials of Blockchain Technology. pp.189-202. Boca Raton, FL: CRC Press.

45. Wager, S. (2005). Digital asset management, media asset management, and content management: From confusion to clarity. Journal of Digital Asset Management, 1(1), 40-45.

46. Wang, S., Ouyang, L., Yuan, Y., Ni, X., Han, X. & Wang, F. (2019). Blockchain Enabled Smart Contracts: architecture, applications, and future trends. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 49(11), 2266-2277.

47. Wu, X. B. (2020). 하이퍼레저 프로젝트 완전정복 (김승현 역). 서울: 홍릉과학출판사.

48. Zaghloul, E., Li, T. & Ren, J. (2019). Security and Privacy of Electronic Health Records: Decentralized and Hierarchical Data Sharing using Smart Contracts. 2019 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC), 375-379.

제9장 첨부서류

제1절 한국기록관리학회지 게재 논문

한국기록관리학회지
20(4), 81-105, 2020.11
http://dx.doi.org/10.14404/JKSARM.2020.20.4.081
pISSN 1598-1487 eISSN 2671-7247

JKSARM
Journal of Korean Society of Archives and Records Management

블록체인 트랜잭션과 스마트 컨트랙트를 활용한 기록관리 적용 방안 연구

A Study on the Applications of Blockchain Transactions and Smart Contracts in Recordkeeping

왕호성(Hosung Wang)[1], 문신혜(Shinhye Moon)[2], 한능우(Nungwoo Han)[3]

E-mail: wwang@korea.kr, munsinhyei@naver.com, nwhan2@korea.kr

[1] 제1저자 국가기록원 기록연구사
[2] 국가기록원 인턴연구원
[3] 국가기록원 디지털기록혁신과장

OPEN ACCESS

논문접수 2020-10-19
최초심사 2020-10-26
게재확정 2020-11-06

ORCID
Hosung Wang https://orcid.org/0000-0002-1955-7998
Shinhye Moon https://orcid.org/0000-0001-9483-0328
Nungwoo Han https://orcid.org/0000-0002-0183-5312

© 한국기록관리학회
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0) which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided that the article is properly cited, the use is non-commercial and no modifications or adaptations are made.

초 록

2019년 10월 대통령 직속 4차산업혁명위원회는 투명하고 신뢰도가 높은 사회의 구축을 위해 공공문서의 원본, 수정본 및 변경 이력을 추적하고, 무결성과 진본 증명을 위해 블록체인을 활용한 공공문서 관리체계를 확립하여야 한다는 대정부 권고안을 발표하였다. 이후 기획재정부 등 정부는 공공분야의 블록체인 예산을 확대하여 공문서를 포함한 다양한 공공기록에 블록체인 기술을 적용한다는 확산전략을 수립하였다. 국가기록원은 2019년 블록체인 기록관리 플랫폼을 구축하고 2020년 현재 이를 활용한 다양한 기록관리 적용 가능성을 연구하고 있다. 이 논문은 1년간 진행된 블록체인 기록관리 연구 결과 중 일부로 블록체인의 트랜잭션 추적과 스마트 컨트렉트 기능이 기록관리에 이렇게 응용될 수 있는지를 정리한 것이다. 블록체인 기록관리의 주요 개념, 다양한 연구 및 사례를 통해 기본이해를 공유하고, 기록관리에 적용 가능한 업무기능을 발굴하여 설계하고 검증한 여러 모형을 제시하였다. 전통적 기록관리 방식을 대체하는 지능형 기술들이 공공업무의 투명성을 보다 효율적으로 보장 가능하다는 인식은 기록관리 전문가들에겐 위기이자 기회일 수 있다. 이 연구가 기록관리의 미래를 대비한 제도개선과 연구 활동에 도움이 될 수 있기를 기대한다.

ABSTRACT

This study examines the possibility of applying various recordkeeping methods through a platform built in 2019 by the National Archives of Korea. In particular, it aims to develop a way to track and store transactions using blockchain and to design and present the method of records management automation using smart contracts. In this regard, a literature review, a system analysis of CAMS and MAM, interviews with the experts, designing, implementation, and the development of the system's proof of concept were performed. These efforts resulted in the proposal of an archives and records management strategy utilizing blockchain, which guarantees transparency and accountability by preserving an audit trail on recordkeeping activities.

Keywords: 블록체인, 기록관리, 블록체인 기록관리 플랫폼, 트랜잭션, 스마트 컨트랙트, 분산신원증명, 감사 증적
Blockchain, Recordkeeping, Blockchain recordkeeping platform, Smart contract, Transaction, Decentralized identifier (DID), Audit trail

https://jksarm.koar.kr

www.kci.go.kr

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 필요성

2020년 4월 기획재정부는 정부의 블록체인 확산전략에 따라 2021년 블록체인 관련 예산을 반영하겠다고 발표하였다(기획재정부, 2020). 같은 해 6월에는 대통령 직속 4차산업혁명위원회(이하 4차산업위)에서 초연결·비대면 신뢰 사회를 위한 블록체인 기술 확산 전략이 의결되었다(4차산업위, 2020). '코로나19'에 따른 디지털 비대면 문화의 확산과 온라인에서의 연결성 강화 대책을 블록체인에서 찾으려는 정부 차원의 정책적 노력이 진행되고 있다. 정부는 블록체인 적용 파급력이 높은 분야를 집중 지원하기 위해 18년부터 시작된 블록체인 공공선도 시범사업들을 대상으로 공공업무에 본격적인 확대를 추진하고 있다(4차산업위, 2020, p. 19).

국가기록원은 2019년 블록체인 공공선도 시범사업의 12개 과제 중 하나로 선정되어 과학기술정보통신부가 지원하는 10억 원의 외부 예산을 유치하였다. 이 사업을 통해 다양한 블록체인 개발 프로젝트 중 상대적으로 규모가 큰 하이퍼레저 패브릭[1] 플랫폼을 선택하여 블록체인 기록관리 시스템을 구축·확보하였다. 기록관리 유관 기관 4곳이 함께 참여한 네트워크 노드시스템을 구축하여 합의모형을 시험하였고 정부업무관리시스템인 온-나라의 전자문서를 대상으로 생애주기 전반의 무결성을 검증하였다(국가기록원, 2020a).

미국 국가기록청(National Archives and Records Administration, NARA)은 전자서명을 문서에 삽입하는 기존의 진본성 보장 방식에는 인증서 만료시의 재인증 문제와 모든 문서를 변환해야 하는 비효율 문제가 있으므로 대안으로 블록체인의 활용을 제기한 바 있다(NARA, 2019). 전자문서의 진본성 보장을 위해 전자서명을 포함하는 장기보존포맷 방식을 채택하고 있는 한국 역시 미국처럼 모든 문서를 변환해야 하는 비효율 문제를 동일하게 안고 있다(행정안전부, 2020). 19년 시범사업을 통해 국가기록원은 개별 전자문서에 전자서명을 삽입·변환하는 방식이 아니더라도 블록체인의 트랜잭션 추적 기능을 활용하면 기록의 진본성이 보장될 수 있음을 확인하였다. 또한 국가기록원이 확보한 블록체인 기록관리 플랫폼이 지원하는 스마트 컨트랙트 기능을 통해 다양한 기록관리 업무 자동화에 응용할 수 있음을 알게 되었다.

이 연구는 국가기록원이 확보한 블록체인 기록관리 플랫폼을 활용하여 다양한 기록관리 업무 개선방안을 연구하기 위해 추진된 2020년 연구개발 사업의 최종 결과 중 일부를 정리한 것이다. 공공업무 환경의 급격한 디지털화에 따라 전통적인 기록관리 방식은 변화의 속도를 따라가지 못하고 있다. 블록체인을 포함한 4차 산업혁명 기술을 공공부문에 우선 적용하여 국가경쟁력 우위를 확보하려는 정부는 막대한 예산 투입으로 정책 시행을 예고하고 있다. 이러한 시점에 국가기록원이 공공기록관리 업무를 실험할 수 있는 블록체인 기록관리 플랫폼을 확보하여 새로운 기록관리 방식을 연구할 수 있는 기반을 마련하였다는 것은 중요한 의미를 가진다. 이 연구는 블록체인을 활용한 기록관리 연구의 1단계적 성격을 가지며, 블록체인 기록관리 플랫폼은 정부와 기록관리 환경의 변화에 따라 다음 단계의 심화된 연구와 검증을 지원하는 도구가 될 수 있을 것이다.

1.2 선행연구

블록체인의 기록관리 적용에 관한 연구는 국외에서 먼저 진행되었다. Lemieux(2016a)는 블록체인의 기록관리 적용 사례와 연구 현황을 분석하고 블록체인의 적용가능성과 유용성을 파악하였다. Lemieux(2016b)는 신뢰 가능한 디지털 기록의 생산과 보존에 대한 해결책으로 블록체인을 분석하고 적용 사례를 바탕으로 한계, 위험, 기회를

1) 리눅스재단에서 기업용 블록체인 개발을 위해 시작한 하이퍼레저 프로젝트 중 하나의 플랫폼으로, 하이퍼레저 패브릭은 모듈형 구조를 사용하여 상호운용성을 높이고 광범위한 산업 분야에 활용될 수 있도록 개발되었다(Hyperledger, n. d.).

http://dx.doi.org/10.14404/JKSARM.2020.20.4.081
www.kci.go.kr

제시하였다. Lemieux(2017)는 블록체인을 활용한 기록관리에서 발생하는 기록의 진본성 확립에 대한 한계점을 도출하고 기록학적 관점에서 블록체인 솔루션을 언급하였다. Galiev 등(2018)은 기록관리기관에 제출해야 하는 연구 및 기술 문서를 이관하는 소프트웨어인 'ARCHAIN'을 개발하기 위해 위협 요인들을 분석하고 시스템에서 사용하는 알고리즘을 제시하였다. Rajalakshmi 등(2018)은 연구 기록의 관리에 블록체인, 스마트 컨트랙트, 분산형 파일시스템(Interplanetary File System, IPFS)을 활용하여 중앙 통제 시스템 없이 관리하여 안전하고 위·변조가 불가능한 분산형 저장소 모형을 제안하였다. Daniel, Speranze(2020)는 블록체인과 연계한 토지 관리 시스템(land administration system)과 토지 관련 기록의 무결성을 보장하는 방안을 통해 토지 사용자의 권리를 보장하는 방식과 토지 사용권 문제를 해결할 수 있는 방안을 제시하였다. Permatasari 등(2020)은 인도네시아 찔레곤 시(Cilegon City)의 디지털 아카이브(Cilegon E-Archives: CEA)에 블록체인과 IPFS(Interplanetary File System)를 적용하여 기록의 위·변조를 막는 시스템을 제안하였다.

블록체인 기록관리를 위한 국제표준화 동향도 포착된다. 캐나다 UBC의 Lemiux와 한국, 독일 등이 공동 참여하 중인 ISO/WD TR 24332에서는 기록관리에 블록체인 기술을 적용하는 분야를 다루며 주요 이슈와 고려사항, 개념 정의 등을 준비하고 있다. 다만 아직 초기 단계의 논의가 이루어지고 있으며, 해당 표준화 구성원을 통해 2019년 국가기록원의 블록체인 플랫폼 구축 및 올해 연구개발 결과를 모범사례로 활용하고자하는 접촉이 진행되고 있는 상태이다.

국내 기록관리 분야에서도 블록체인의 적용에 대한 논의가 이루어지고 있다. 이경남(2019)은 블록체인 기술 적용을 통해 처리과에서 기록관, 영구기록물관리기관으로 이어지는 현재의 분절적 관리단계에서 벗어나 기록관리 거버넌스의 토대를 이룰 수 있을 것이라 주장하였다. 이기영, 김익한(2019)은 보안, 보존포맷 관리, 이관, 생산현황 통보 등의 기록관리 프로세스를 개선하기 위해 클라우드 기록관리시스템 연계형 블록체인 모형을 구상하였다. 홍덕용(2019)은 공공기관의 효율적인 비전자기록물 관리 및 행정 손실 비용 방지 등의 효과를 얻고자 전자기록생산시스템에 블록체인 기술을 접목시킨 '아카이브체인(Archivechain)'이라는 모형을 제안하였다.

위의 연구들은 블록체인의 기록관리 적용 가능성을 평가하고 사례 분석을 통해 한계, 위협 등을 분석하였다. 기록관리 업무와 이를 지원하는 시스템에 블록체인을 적용하는 다양한 방안과 모형을 제안하였으나, 제안한 모형들은 실제 업무 환경이나 시스템에 적용되지 못하고 이론적 제안에 그쳤다는 한계를 가진다. 이 연구는 2019년 블록체인 기록관리 시범사업에서 기 구축한 블록체인 기록관리 플랫폼을 실제 시스템 및 업무 환경에 적용하는 모형을 설계, 구현하고 개념 증명(Proof of Concept, PoC)[2]을 통해 검증하였다는 점에서 선행연구와의 차이점을 가진다.

1.3 연구의 방법 및 범위

이 연구는 블록체인을 활용하여 기록관리 업무 수행의 최소 단위인 트랜잭션을 추적하고 스마트 컨트랙트를 이용하여 기록관리 업무 자동화 방안을 설계, 제시하고자 하였다. 블록체인의 핵심기술인 트랜잭션 추적기능과 스마트 컨트랙트와 관련된 최신 기술 현황 및 실제 연구사례들을 분석하기 위해 다양한 문헌연구를 수행하였다. 국내외 학술논문, 컨퍼런스 발표 자료, 영국 국가기록관리청(The National Archives, 이하 TNA)이 수행한 블록체인 프로젝트의 최종보고서, 미국 NARA의 블록체인 백서 등을 확보하여 검토하였다. 특히 2019년 국가기록원 블록체인 기록관리 플랫폼 구축사업의 최종보고서 및 연구보고서는 이 연구 전반의 출발점이자 연구 수행에 실질적 토대를 제공하였다.

2) 개념증명(Proof of Concept)은 실현 가능성 등을 입증하기 위하여 특정 방법에 대한 실현성을 보여주는 일이다(우리말샘, n. d.). 이 연구에서는 기 구축한 블록체인 기록관리 플랫폼을 실제 업무에 적용하기 위하여 설계한 모형을 검증하기 위하여 적용하였다.

http://dx.doi.org/10.14404/JKSARM.2020.20.4.081
www.kci.go.kr

실제 기록관리 업무에 적용하는 모형을 설계하기 위하여 국가기록원 업무담당 부서의 여러 기록관리 전문가들과 다양한 인터뷰를 수행하였고 업무경험을 청취하였다. 그들이 원하는 현행 업무의 개선 요구사항을 블록체인으로 구현할 수 있는지를 분석하며 설계한 모형을 함께 확인하고 일부는 블록체인 플랫폼과 기존 운영 시스템을 연계하여 구현하였다.

국가기록원이 운영 중인 현행 중앙영구기록관리시스템(Central Archives Management System, 이하 CAMS)의 트랜잭션을 추적하고 시각화하기 위해 현재의 기능 현황을 분석하였다. 전자문서에 적용되는 기존의 장기보존 방식을 적용되기 어려운 대용량 시청각 기록의 진본성 보장을 위해, 국가기록원의 시청각기록관리시스템(Media Asset Management, 이하 MAM)[3]을 분석하고 블록체인 플랫폼과 연계하는 등 연구된 설계안을 여러 시스템에 적용하여 검증하였다. 또한 블록체인 스마트 컨트랙트의 자동화를 구현하기 위한 조건을 도출하기 위하여 현행 업무수행의 근거가 되는 법률, 표준, 훈령을 분석하고 필요한 경우 해당 업무 담당자들의 요구사항도 스마트 컨트랙트 자동화 조건에 반영하였다. 블록체인의 기록관리 적용 방안을 모색, 설계하고 일부 방안에 대하여 개념 증명을 수행하여 실제 시스템에 적용 가능성 및 타당성을 검증하였다.

블록체인과 스마트 컨트랙트 등 주요 개념에 대한 기록학적 관점의 정의를 제시하고 해외 기록관리 분야의 블록체인 연구와 현행 기록관리 업무의 개선을 위해 적용할 수 있는 기술을 논의하였다. 그리고 시스템 분석을 통해 기존 시스템과 2019년 국가기록원이 기 구축한 블록체인 기록관리 플랫폼의 연계 지점을 도출하고, 1) 우편으로 송부되는 기존 열람 업무의 블록체인 연계 및 자동화, 2) 시청각 기록물의 진본성 보장을 위한 블록체인 적용 방안, 3) 스마트 컨트랙트를 활용하여 공개재분류 등의 프로세스 일부 자동화, 4) 비전자기록물에 블록체인을 적용하여 추적성을 부여하는 방안과 5) 업무 수행 내역의 시각화를 통해 투명성을 보장하는 연구 결과를 요약하여 제시하였다. 연구개발 사업의 결과를 담은 최종보고서는 사업 완료 후 2021년 초에 공개될 예정이므로 보다 자세한 내용은 이것을 추가로 참조하는 것이 가능하다.

2. 주요 개념 및 사례

2.1 주요 개념

블록체인은 네트워크의 모든 참여자에게 거래 기록을 분산 저장하여 비가역성(非可逆性)과 투명성을 보장하는 기술의 집합체이다. 블록체인의 비가역성은 변경 불가능한 블록에 진본 데이터를 저장하고 체인으로 결박하여 그 데이터의 무결한 상태를 보장한다는 것을 의미한다. 이는 블록 생성 시에 이전 블록의 해시값을 포함하도록 하며 모든 참여자가 같은 거래 기록을 나눠가짐으로써 성립한다. 한 개의 블록 내용을 변조하고자 하는 경우 해당 블록 이후에 생성된 모든 블록까지도 변조해야 하며 더불어 모든 참여자의 컴퓨터에 저장된 블록까지도 변조된 블록들과 동일하게 모두 변경하여야 가능하기 때문에 사실상 불가능하다. 블록체인의 투명성은 블록체인에 저장된 이관, 열람 등 모든 트랜잭션을 저장하고 참여자들이 공유하여 충족되며 트랜잭션 발생 이후 언제든 블록에 저장된 내용을 추적할 수 있다. 여기서 트랜잭션이란 ISO 15489-1:2016에서 제시한 의미인 업무 과정에서 발생하는 업무 처리 행위의 최소 단위(ISO 15489, 2016)로 이 연구에서는 동일한 개념으로 트랜잭션이라는 용어를 사용하였다.

3) MAM은 「공공기록물법」 시행령 제19조에 따라 시청각 기록물을 전자기록생산시스템으로 관리하기 위하여 별도로 구축한 국가기록원의 시스템이다. 기존 개념은 많은 양의 대용량 시청각 기록물을 체계적으로 수집, 보존, 처리, 저장, 활용하기 위한 시스템이다(Wagar, 2005, p. 40).

http://dx.doi.org/10.14404/JKSARM.2020.20.4.081
www.kci.go.kr

스마트 컨트랙트(Smart Contract)는 1990년대에 닉 재보(Nick Szabo)에 의해 등장한 개념으로, 그는 "당사자들이 특정한 약속에 대해 수행하는 프로토콜을 포함하여 디지털 형태로 지정된 일련의 약속"이라고 정의하였다(Szabo, 1996). 개념 등장 이후 적극적으로 활용되기 시작한 것은 2세대 블록체인으로 불리는 이더리움(Ethereum) 기반으로 활용되면서부터이다. 이더리움에서 통용되는 스마트 컨트랙트의 개념은 서면으로 이루어지던 계약을 코드로 구현하고, 코드로 구현된 계약에 명시된 사전 조건이 충족되었을 때 해당 계약이 자동으로 이행되도록 하는 것이다. 스마트 컨트랙트를 통해 계약 중개인 없이 신뢰가 담보되지 않은 계약 당사자 간의 거래를 가능하게 하며 상호검증을 통해 거래의 신뢰성과 무결성을 보장할 수 있다(Zaghloul et al., 2019). 이더리움에서 사용하는 프로그래밍 언어인 솔리디티(Solidity), 서펜트(Serpent) 등을 통해 스마트 컨트랙트를 활용하고 다양한 형태의 분산 어플리케이션(Decentralized Application, 이하 DApp)[4]을 구축하여 스마트 컨트랙트를 실행할 수 있다(과학기술정보통신부, 한국과학기술기획평가원, 2019, p. 27). 이더리움과 같이 2세대 블록체인으로 불리는 하이퍼레저 프로젝트에서는 블록체인에서 가상화폐 개념을 배제하여 기업 등 다양한 분야에서 활용할 수 있도록 개념을 발전시켰다. 하이퍼레저 패브릭 플랫폼에서는 스마트 컨트랙트를 체인코드(Chaincode)로 지칭하는데 이 연구에서는 체인코드 대신 일반적으로 통용되는 스마트 컨트랙트를 사용하였다.

공공기록물의 관리 업무는 「공공기록물 관리에 관한 법률」(이하 공공기록물법)에 따른 규정을 준수하여 시행된다. 이러한 규정은 업무를 수행하기 위한 근거이자 시작점(trigger)이며 이 규정이 명시한 여러 조건이 충족되거나 시기가 도래하면 명시된 기록관리 업무가 수행되어야 한다. 이 연구에서는 스마트 컨트랙트가 자동 실행되는 사전 조건을 「공공기록물법」과 기록관리 업무 수행에 관련된 모든 법률 및 규칙으로 상정하고 이러한 사전 조건들이 충족되는 경우 자동으로 업무를 수행하도록 하는 것을 스마트 컨트랙트로 정의하여 서술하였다.

한편 Lemieux(2017)는 블록체인 기록관리 개념의 발전 단계를 3단계로 구분하여 제시하였다. 1단계인 미러 타입(Mirror)은 기 구축된 업무시스템이 보유한 기록을 암호학적 미러시스템인 블록체인 플랫폼을 별도로 구축하여 진본 기록의 무결성을 보장하는 방식을 의미한다(Lemieux, 2017). 2단계의 디지털기록 타입(Digital Record)은 새롭게 구축되는 업무시스템 자체를 블록체인 플랫폼으로 구축하여 한 대의 시스템 내에서 업무와 기록관리가 함께 수행되도록 한다는 것이다(Lemieux, 2017). 마지막 단계인 토큰 타입(tokenized)은 전자기록이 아닌 비전자기록물도 블록체인 플랫폼이 인식할 수 있는 특정 토큰을 기록물에 부착하여 추적하면 무결성이 보장될 수 있음을 제시한 것으로 가장 혁신적인 블록체인 기록관리 방안으로 소개되고 있다(Lemieux, 2017, p. 7). Lemieux(2017)의 발전 단계를 통해 블록체인 기록관리의 향후 진화될 방향을 전망할 수 있다.

2.2 주요 사례

2.2.1 2019년 국가기록원 블록체인 기록관리 플랫폼 구축 사업[5]

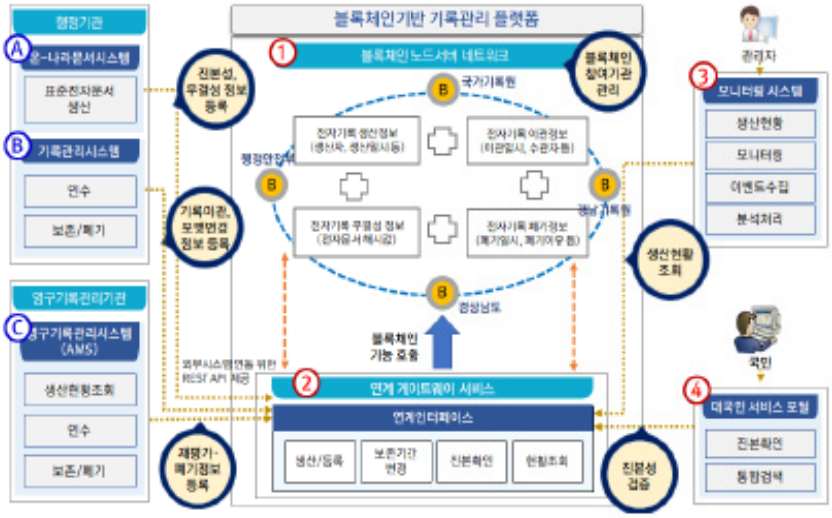
디지털 정부의 고도화는 자연스럽게 기술을 적용한 기록관리 방식의 변화 가능성을 모색하게 하였고 국가기록원의 블록체인 사업도 그 일환으로 정부 예산을 지원받아 추진되었다. 국가기록원(2020)은 블록체인 기록관리 플랫폼을 개발하여 블록체인을 이용한 전자문서의 생산부터 폐기까지 전단계의 투명한 관리와 무결성 보장이 가능함을 검증하였다.

국가기록원은 이 사업에서 기록관리체계에 블록체인을 연계하고자 기록관리 절차, 기록 메타데이터, 정부업무관리시스템(온-나라), 클라우드 기록관리시스템(CRMS), 영구기록관리시스템(AMS)을 분석하여 블록체인과 기존 시스템들의 연계 지점을 정하고 기존의 시스템에서 보완 요구가 있었던 모니터링 기능을 파악하였다. 더불어

4) 블록체인에서 실행되는 탈중앙화된 애플리케이션이다. DApp은 참여자 간의 계약 이외에도 다양한 응용서비스를 제공하며 블록체인에서 분산되어 실행되므로 DApp 자체와 DApp이 처리하는 정보의 위변조 방지가 가능하다(국가기록원, 2020).
5) 국가기록원에서 2019년 수행하여 2020년 발표한 블록체인을 적용한 신뢰기반 기록관리 연구보고서를 바탕으로 작성하였다.

http://dx.doi.org/10.14404/JKSARM.2020.20.4.081
www.kci.go.kr

대국민 진본검증 서비스 제공을 위해 국가기록원 포털, 정보공개포털, 특허청포털을 분석하였다. 분석한 내용을 바탕으로 행정안전부, 경상남도, 국가기록원, 경남기록원이 노드기관으로 참여하는 블록체인 기록관리 플랫폼을 구축하였다. 다음의 <그림 1>은 구축한 시스템의 구성을 보여준다.



〈그림 1〉 구축시스템 구성도(국가기록원, 2020a)

이 시스템은 Lemieux(2017)가 제시한 블록체인 기록관리의 단계 중 하나인 암호학적 미러시스템을 적용하여 블록체인 기록관리 플랫폼을 기존의 정부업무관리시스템, 기록관리시스템, 영구기록관리시스템과 연계한 것이다. 이를 통해 전자문서 생애주기 전 과정을 투명하게 추적하고 무결성을 보장하게 하고 기록관리자가 이를 모니터링 할 수 있도록 스마트 컨트랙트와 DApp을 적용하여 이를 시각화하였다. 또한 블록체인과 대국민 서비스 포털을 연계한 열람서비스 화면을 구현하여 전자적으로 제공받은 전자문서에 대해 진본여부를 확인할 수 있는 대국민 진본검증서비스를 시범 구축하였다.

이 사업에서 개발한 블록체인 플랫폼은 기존의 기록시스템들과의 기록관리 업무와 기능을 유지하고 장기보존 포맷인 NEO(NAK's Encapsulated Object)로 보장하던 기록물의 진본성과 무결성을 블록체인과 연계를 통해 대체할 수 있음을 검증하였다. 또한 기록의 생산시점부터 이관, 보존, 열람서비스 등 기록관리 전 과정의 모든 처리이력을 실시간으로 추적할 수 있음을 검증하였다. 이때 전자문서 자체가 블록에 저장되는 온체인(On-chain)[6] 방식이 아닌 처리이력 메타데이터만을 해시와 함께 블록에 저장하는 오프체인(Off-chain)[7] 방식으로 구현하여 블록체인 네트워크의 부하를 줄이고 효율성을 향상시킬 수 있는 장점도 함께 확인하였다.

다만, 19년 사업은 시범사업으로 추진된 까닭에 소량의 전자문서와 소수의 기관만이 노드로 참여하여 진행되었다는 한계를 가진다. 하지만 검증결과를 토대로 중앙·지방 행정기관에 확대, 적용하면 연간 평균 15억4천4백만 건의 트랜잭션을 처리해야 하며, 표준전자문서만을 대상으로 했을 때 매년 쌓이는 블록의 데이터가 17TB임을 제시하여 향후 본격 확산에 필요한 참조근거를 제시하였다(국가기록원, 2020a, p. 127).

6) 온체인이란 블록체인 네트워크에서 발생하는 모든 전송 내역(i.e. 기록 자체)을 블록체인에 저장하는 방식이다(시사상식사전, 2018).
7) 오프체인이란 블록체인 밖에서 거래 내역(i.e. 메타데이터, 해시값 등)을 기록하는 방식이다(시사상식사전, 2018).
이 연구에서는 기록 자체를 블록에 저장하는 온체인* 방식이 아닌 오프체인** 방식을 권고하며 그 관점에서 기술하였다.

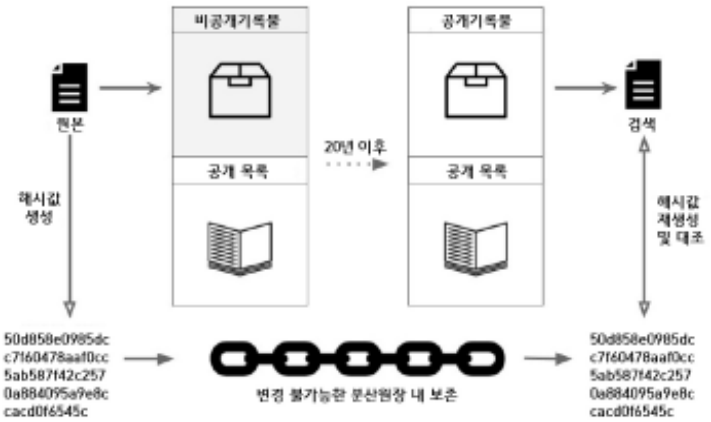
http://dx.doi.org/10.14404/JKSARM.2020.20.4.081
www.kci.go.kr

그럼에도 불구하고 큰 예산을 투입하여 블록체인 기록관리 플랫폼을 확보하고, 이를 활용하여 전자문서에 대한 블록체인 무결성 보장 기능을 실제로 검증하였다는 점은 보통의 연구와 구별되는 이 사업의 성과이다. 이외에도 19년 사업의 결과는 시청각 기록과 같은 대용량 기록의 장기보존에 따른 용량 한계, 포맷 적용에 대한 기술적 해결 방안을 블록체인 플랫폼으로 연구할 필요성을 제시하여 이 연구의 주요과업 추진에 기여하였다.

2.2.2 영국 ARCHANGEL 프로젝트[8]

ARCHANGEL은 디지털 기록의 무결성을 보장하기 위해 영국에서 진행되었으며 영국의 국가기록관리청(The National Archives, TNA)를 중심으로 3개 기관이 참여한 연구 프로젝트이다. 2017년 7월에 시작하여 2019년 8월 최종 보고서를 발간하고, 분산원장기술과 인공지능 기술인 기계학습을 활용하여 전자적으로 생산된 기록물의 무결성, 진본성, 신뢰성을 보장하고자 하였다.

이 연구의 배경으로 Green 등(2019)은 기술의 발전에 따라 전자기록의 위·변조가 쉬워지고, 수많은 합성된 콘텐츠들이 생산되어 아카이브와 문화유산기관(Archives and Memory Institutions: 이하 AMI)에 대한 공공의 신뢰가 떨어지는 상황을 제시하였다. AMI에 대한 공공의 신뢰를 회복하고 기록의 무결성을 보장하기 위하여 기존의 데이터베이스를 활용하는 방안과 머클트리[9] 또는 사기업에서 제공하는 지속 가능한 저장소(durable storage)를 활용하는 방안을 고려하였으나, 여러 가지 한계로 인해 적용하기 어렵다는 결론을 내렸다. 이에 반해 블록체인은 허용된 기관에 한해 분산원장에 쓸 수 있는 자격을 주지만, 분산원장에 접근하여 기록된 내용을 열람하는 것은 블록체인에 참여하는 모든 노드들에게 허용한다. 또한 오픈 소스로 제공되는 다양한 도구를 활용할 수 있는 확장성을 가지며, 합의 메커니즘을 통해 중앙집중적 단일 기관에서 보장하던 기록의 무결성을 여러 기관이 다중으로 보장하도록 한다. ARCHANGEL 프로젝트에서 블록체인을 통해 기록의 무결성을 보장하는 방안을 도식화한 것은 다음의 <그림 2>와 같다.



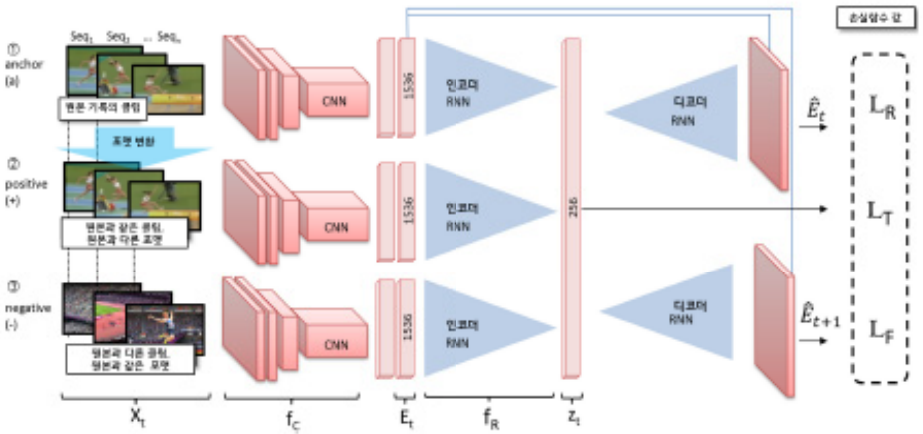
〈그림 2〉 분산원장 내 비공개 기록의 메타데이터 저장소(Green et al., 2019)

8) 이 절은 Open Data Institute(이하 ODI), 영국의 TNA, 서리대학교(University of Surrey, 이하 Surrey)가 2019년 발표한 ARCHANGEL: guaranteeing the integrity of digital archives를 중심으로 분석, 기술하였다.

9) 머클트리(Merkle tree)는 새로운 항목이 이전 항목에 연결되고 계속해서 차례로 연결되도록 하는 기법이다. 연결되어 있는 항목의 내용을 변조하기 위해서는 변조하고자 하는 항목의 다음 항목에도 영향이 미치기 때문에 그 무결성이 보장된다. 또한 항목들은 암호로 서명할 수 있어 공개키와 대조하여 해당 출처를 확인할 수 있다.

http://dx.doi.org/10.14404/JKSARM.2020.20.4.081
www.kci.go.kr

<그림 2>가 보여주는 방안은 TNA에 이관된 비공개기록의 무결성을 검증할 수 있도록 블록체인에 해시값을 저장하고, 20년 후 이 해시값을 대조하여 기록물이 위·변조되지 않았음을 검증하는 방식이다. ARCHANGEL 프로젝트에서는 시청각 기록의 무결성 보장을 위해 블록체인과 인공지능(Artificial Intellectual, AI)의 접목을 시도하였다. 시청각기록은 활용을 위해 지속적으로 포맷 변환이 필요하며, 변환된 기록은 원본 기록과 동일한 내용일지라도 포맷이 달라지면 전혀 다른 해시값을 갖게 된다. ARCHANGEL 프로젝트는 이러한 문제를 해결하기 위해 인공지능 기법인 심층신경망(Deep Neural Network)을 적용하여 Temporal Content Hash(이하 TCH)를 개발하였다(Bui et al., 2019, p. 1). 이 연구에서는 시청각기록을 대상으로 하여 포맷변환에도 변함없이 기록의 내용적 특징을 추출하는 기계학습을 수행하였다. TCH란 시청각기록의 포맷 변환에도 불구하고 내용 특징을 포착하여 추출한 특징값으로 ARCHANGEL에서 최초로 제시한 개념이다(Bui et al., 2019, p. 3). 이 연구에서는 TCH를 일반적으로 사용하는 SHA 256 해시값을 대체하는 용도로 시청각기록의 무결성을 보장하기 위해 TCH를 적용하는 것을 제안하였다. <그림 3>은 TCH 추출을 위해 수행한 기계학습 방법을 도식화한 것이다.



〈그림 3〉 TCH 추출을 위한 기계학습 방법(Bui, T. et al., 2019, p. 3)

TCH 추출을 위해 합성곱신경망(Convolutional Neural Network, CNN),[10] 순환신경망(Recurrent Neural Network, RNN)[11]를 활용하여 영상에 대해 기계학습을 수행하였다. 학습 대상 자료는 영상 내 대상의 움직임이 많지 않은 영국의 법원 기록물과 움직임이 많은 움림픽 영상임을 밝혔다(Bui et al., 2019, pp. 5-6.). 기계학습은 <그림 3>과 같이 원본 기록의 클립, 원본과 같은 클립이며 다른 포맷, 원본과 다른 클립이며 같은 포맷, 세 가지를 학습하여 기록의 내용적 특징 확인을 통해 해시를 추출할 수 있도록 설계하였다(Bui, T. et al., 2019, p. 5). 기계학습을 통해 추출한 TCH는 기록의 고유식별자 등과 함께 블록체인에 저장되고, 원본 기록과 고유 식별자(Unique Identifier, UID), TCH 추출에 사용된 인코더, 기계학습 모형은 제출정보패키지(Submission Information Package, SIP)로 묶어 기록관리시스템에 저장한다(Bui et al., 2019, p. 2).

영국의 TNA, 호주의 NAA, 미국의 NARA, 노르웨이 국립 아카이브, 에스토니아 국립 아카이브가 참여하여 연구 결과물인 이더리움 기반의 ARCHANGEL 시제품을 사용하는 이용자 연구를 수행하였다(ODI, 2019, p. 7).

10) 합성곱이란 두 함수로부터 적분을 이용하여 다른 함수를 만들어내는 연산으로 합성곱신경망은 이것을 활용하며 이미지, 영상 등을 분류하며 기계학습에 가장 많이 사용되는 알고리즘이다(대한수학회, 2015; MathWorks, n. d.).

11) 순환신경망이란 시청각 기록과 같이 시간의 흐름에 따라 변화하는 데이터를 학습하기 위한 딥러닝 모델임(한국정보통신기술협회, n. d.).

http://dx.doi.org/10.14404/JKSARM.2020.20.4.081
www.kci.go.kr

이용자 연구 결과, 대부분의 참여자는 ARCHANGEL이 기록물의 진본성과 무결성을 보장할 수 있다면 기관 차원의 시스템 채택을 긍정적으로 고려한다고 응답하였다. 또한 블록체인 기술에 대한 이해가 쉽지 않아 사용상 어려움이 발생한다는 의견 등을 수렴하였다(ODI, 2019).

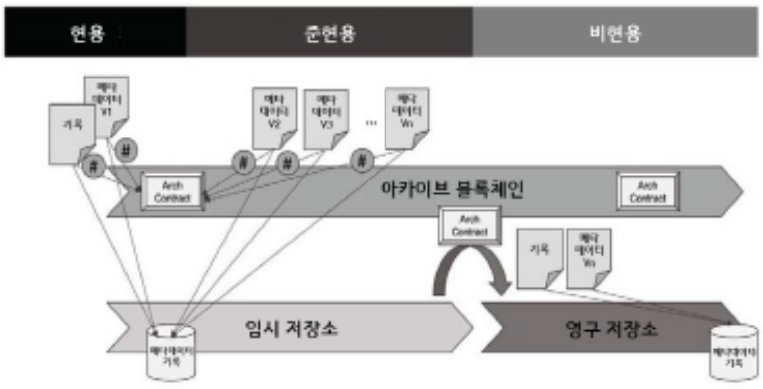
ARCHANGEL은 인공지능과 블록체인을 결합시켜 공공기록관리 업무에 적용 가능한 시제품을 개발하였고 시제품의 품질을 보완하기 위한 이용자 연구를 진행하였다. 또한 심층신경망을 활용하여 포맷 변환에도 변하지 않는 해시를 추출하여 전자기록의 장기보존에 해답을 제시하고자 하였다. 또한 기록관리에 블록체인을 활용하기 위해서는 다양한 기관들의 참여가 필요하며 블록체인의 신뢰구조 활용을 위해서는 여러 AMI의 협업이 필요함을 강조하였다.

현재 국가기록원은 MAM 시스템을 통해 시청각 기록의 원본/보존본/활용본의 3가지 포맷으로 생성·관리하고 있다. 향후 각 포맷의 특징을 구분하여 진본 시청각기록을 식별할 필요가 있을 때, ARCHANGEL TCH 연구가 참조될 수 있을 것으로 판단된다.

2.2.3 ArchContract[12)]

ArchContract는 전자기록생산관리시스템(Electronic Document and Records Management System: 이하 EDRMS) 내 기록의 처분을 통제하기 위하여 블록체인 플랫폼과 스마트 컨트랙트를 활용한 모형을 연구한 사례이다. 연구에서는 무결성 검증을 위해서 블록체인을 기반으로 한 스마트 컨트랙트를 채택한다고 밝혔다.

ArchContract 모형은 기록의 생애주기인 현용, 준현용, 비현용 단계에 따라 블록체인 기술을 차등적으로 적용하기 위한 임시 저장소와 영구 저장소로 구성된다. 임시 저장소는 현용, 준현용 단계에서 사용되며 데이터의 불변성을 보증함과 동시에 데이터 항목들의 삭제를 허용한다. 역사적 가치가 인정된 영구 기록은 영구 저장소로 이관하여 보존될 수 있도록 하고 그 내용은 변경할 수 없도록 하였다. ArchContract의 이해관계자는 생산기관과 기록관리기관으로 구성되며, 기록관리기관은 기록 인수를 담당하는 신뢰 가능한 저장소 역할을 수행한다. ArchContract를 적용하기 위한 전제 조건은 기록의 맥락과 의미를 온전히 보존하기 위하여 분류 체계와 메타데이터 요건을 준수한 전자기록생산관리시스템을 갖추고 있어야 한다. 또한 보존기록관으로 이관된 기록에 대중의 접근과 이용이 가능하도록 해야 한다. 기록 생애주기에 따른 ArchContract의 프로세스는 다음의 <그림 4>와 같다.



〈그림 4〉 ArchContract의 프로세스(Batista, Weingaertner, 2019)

12) 이 절은 Batista, D.와 Weingaertner, T.가 2019년 IEEE International Conference on Big Data에서 발표한 ArchContract: using smart contracts for disposition를 중심으로 분석, 기술하였다.

http://dx.doi.org/10.14404/JKSARM.2020.20.4.081
www.kci.go.kr

<그림 4>는 기록의 생애주기에 따라 저장 공간을 임시 저장소와 영구 저장소로 구분하고 아카이브 블록체인으로 기록 자체와 메타데이터의 해시값을 저장하고 추가적인 업데이트가 될 수 있도록 하는 ArchContract의 프로세스를 보여준다. 기록의 생애주기에 따라 관리 단계가 변화하는 경우 기록과 메타데이터의 주소는 ArchContract에 제공되도록 설계하였다.

연구에서 제시한 블록체인 기록관리 모형은 저장소의 구분을 통해 처리과, 기록관, 영구기록물관리기관으로 전반에 걸쳐 적용할 수 있도록 하였다. 또한 기록물의 생산부터 폐기 및 영구 보존까지 기록의 생애주기 전체에 걸쳐 분절 없이 관리할 수 있는 방안을 제시하였다는 점에서 의미를 찾을 수 있다.

다만 이 연구는 위와 같은 모형을 설계하여 제안하였을 뿐 실제로 구축한 것이 아니기 때문에 적용가능성과 타당성 등을 파악하기 어렵다는 한계를 가진다. 또한 모형의 구축 방안 혹은 연계 방안 등을 구체적으로 설명하지 않아 아이디어 제안에 그치고 있어 실제 시스템 구축 등의 추가적인 연구가 필요한 것으로 보인다.

2.2.4 그 외 연구 동향

ITrust는 InterPARES 프로젝트의 4번째 프로젝트로 2013년부터 2018년까지 클라우드 환경에서 전자기록의 진실성(trustworthiness) 보장 방안을 연구하기 위하여 수행되었다. 그 중 감사를 위한 기록의 장기 보존 문제의 해결책으로 블록체인을 제시하였다(Duranti, Rogers, 2019, p. 9). 클라우드 내 기록의 장기 보존을 위해서는 진본성과 이용가능성이 보장되어야 함을 강조하고, 오프 체인 방식의 관리 방안을 적용할 것을 제안하였다(Duranti, Rogers, 2019, p. 146). 전자 서명된 디지털 기록의 진본성 인증과 장기 보존을 위하여 블록체인에 참여하는 기관이 기록의 전자 서명의 유효성을 검증한 후 해시값을 블록에 업로드하는 모형인 '트러스트 체인(TrustChain)'을 제안하였다(Duranti, Rogers, 2019, p. 150). 이 연구에서는 블록체인이 지속적으로 제기되었던 전자기록 장기보존에 대한 문제인 인증서에 의존하던 디지털 기록의 관리에 해답이 될 것이라 주장하였다(Duranti, Rogers, 2019, p. 135).

이 외의 블록체인 적용 연구는 다음과 같다. 개인정보보호를 위한 블록체인 기술 적용의 필요성은 지속적으로 제기되었으며 비대면 경제로의 변화로 인해 블록체인을 활용한 분산신원증명(Decentralized Identifier, 이하 DID)[13] 서비스 산업이 확대되고 있다(4차산업위, 2020, p. 20). 전자서명법 개정에 따라 병무청과 행안부 등에서 각각 DID를 활용한 서비스를 제공하기 위한 연구·개발을 활발하게 진행하고 있다. DID가 적극적으로 연구, 활용되고 있는 기록관리 분야는 의료 분야의 건강기록 관리와 공유다. 다음의 연구들은 건강기록의 공유에 DID의 활용 방안을 다룬다.

Unnithan, Houghton, Anema, Lemieux(2020)는 건강기록(Electronic Health Record)의 관리와 공유에 블록체인이 활용된 사례들에 대해 연구하였다. 건강기록은 개인정보가 담긴 기록이기 때문에 타 기관과의 공유 혹은 연구 활용을 위해서는 개인에 동의를 받아야하며, 반드시 해당 기록과 개인이 일치하는 지 확인해야 한다(Unnithan et al., 2020). 블록체인 기반의 DID를 활용하면 개인정보의 유출을 최소화하며, 자기주권신원[14]을 기반으로 신원을 확인할 수 있는 등의 장점이 있음을 제시하며 이에 대한 연구가 활발하게 이뤄지고 있음을 정리하였다(Unnithan et al., 2020).

Lemieux 외 10인(2020)은 DID를 활용한 개인의 데이터 공유와 통제, 자격 검증에 대하여 설계안을 제시하고 이용자 연구를 수행하였다. 이 연구는 DID와 하이퍼레저 인디(Hyperledger Indy)[15]를 활용하여 개인의 신원 확인 및 자격 검증과 개인정보의 접근 통제, 제공에 대한 설계안을 제시하였다. 이 연구에서 제안한 모형은 하이퍼레저

13) DID는 디지털 신원을 증명할 수 있고 분산할 수 있게 하는 새로운 유형의 식별자이다. 중앙집중식 등록 기관, 신원 제공자, 인증 기관과 분리될 수 있도록 설계되었다(Reed et al., 2020).
14) 자기주권(Self-Sovereign)이란 개인정보에 대한 결정 권한을 개인이 갖는다는 것으로, 자기주권신원이란 자신의 정보에 대한 통제 권한을 가지고 신원을 행사할 수 있도록 하는 새로운 기술이다(Lemieux et al., 2020).
15) 하이퍼레저 인디는 DID를 위해 개발된 플랫폼으로 다른 블록체인과의 상호 운용이 가능하게 설계되었다(Jones, 2020).

http://dx.doi.org/10.14404/JKSARM.2020.20.4.081
www.kci.go.kr

인디에서 사용하는 영지식 증명(zero-knowledge proof)[16] 방식을 활용하고, 데이터 소유자의 신원을 공개하지 않으며, 개인정보를 저장하지 않고 자격 증명 및 신원 확인과 정보공유가 가능함을 주장하였다(Lemieux et al., 2020, p. 13). 이 연구에서 블록체인 적용 개인정보 공유에서 제시한 한계점은 블록체인 기술과 관련된 암호화, 네트워크 기술에 대중이 가지는 낮은 이해도, 개인의 건강기록관리에 대한 부담 등을 제시하였고 이러한 한계들에 대해 추가적인 연구를 통한 보완이 필요하며 한 가지 기술로 모든 문제를 해결하는 것은 부족하다고 밝혔다 (Lemieux et al., 2020, pp. 19-20).

이처럼 블록체인 적용한 기록 또는 기록관리 연구가 다양한 목적에서 이루어지고 있다. 특히 Lemieux(2016a)는 블록체인 기술은 기록관리 기술임을 명시하며 적용 사례와 한계점에 대한 연구를 현재까지 지속하고 있다는 점에서 지속적인 관심과 추적이 필요할 것으로 판단된다.

3. 블록체인 적용 기록관리 연구

이 장은 2019년 구축한 블록체인 기록관리 플랫폼을 이용하여 다양한 업무 융합 모형들을 연구하고 기술적 타당성을 검증한 내용을 작성하였다. 현행 업무 혹은 시스템의 개선 사항에 대해 파악하기 위하여 국가기록원 및 대법원 차세대전자소송추진단 각 업무별 담당자와 면담을 총 7차례 진행하였다. 면담 수행에 대한 내용은 다음의 <표 1>과 같다.

〈표 1〉 업무 담당자 면담 개요

담당자	소속	일시	장소	시간	면담 내용
담당자 A	국가기록원 복원관리과	2020.05.08.	국가기록원 나라기록관	1시간 30분	• 시청각 기록물과 블록체인 연계방안 논의
		2020.06.09.		1시간 30분	• 시청각 기록물 실계 모형 설명 • 블록체인 연계 인터페이스 논의
담당자 B	대법원 차세대 전자소송추진단	2020.05.15.	대법원	1시간	• 시청각 기록물 관리와 블록체인 연계방안 논의
담당자 C	국가기록원 공개서비스과	2020.05.19.	국가기록원 대전 본원	1시간	• 대법원 열람 업무 프로세스 파악 • 블록체인 연계방안 논의
담당자 D	국가기록원 보존인수과	2020.05.20.	국가기록원 나라기록관	1시간	• 비전자기록물 관리 프로세스 현황 파악 • 블록체인 연계 방안 논의
담당자 E	국가기록원 기록정보기반과	2020.06.18.	국가기록원 대전 본원	1시간	• CAMS 시스템 파악 • 요청 통계 대상 항목 파악
담당자 F	국가기록원 서비스정책과	2020.09.25.	국가기록원 나라기록관	30분	• 공개제분류 시각화 실계 설명 • 담당자 의견 수렴

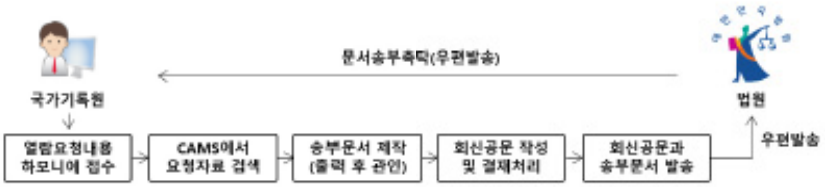
담당자 면담은 업무 프로세스를 파악하고 블록체인과 연계 방안을 상세하게 논의하기 위하여 진행되었으며, 모형 설계 후 담당자 의견이 수렴될 필요가 있는 안에 대하여 논의하였다. 면담을 바탕으로 현행 업무를 보완, 개선하기 위하여 블록체인과 연계하는 방안을 다음과 같이 설계, 제시하였다.

16) 비밀번호 등을 공개하지 않고 알고 있다는 사실만으로 증명하는 암호학적 기법(Lemieux et al., 2020, p. 11). 영지식 기법을 이용한 인증에서는 주장자 A의 키에 대한 정보를 전혀 유출하지 않으면서, 주장자 A가 키를 알고 있다는 사실만을 증명함으로써 인증이 이루어짐(한국정보통신기술협회, n. d.).

http://dx.doi.org/10.14404/JKSARM.2020.20.4.081
www.kci.go.kr

3.1 블록체인을 적용한 기록물 열람서비스 개선 연구

국가기록원의 기록물 열람서비스는 일반 국민을 대상으로 하는 정보공개청구 외에도 공공기관에 기록을 제공하는 기관 간 협조 및 법원에 기록물을 제공하는 문서송부촉탁 업무 등이 있다. 법원 문서송부촉탁 업무는 법원에서 재판 진행을 위해 국가기록원의 기록물을 열람하고 필요한 문서를 요청하는 업무이다. 다음의 <그림 5>는 국가기록원 열람담당자와의 면담을 통해 파악한 현행 문서송부촉탁 업무의 과정을 도식화한 것이다.



〈그림 5〉 현행 국가기록원-법원 간 문서송부촉탁 과정

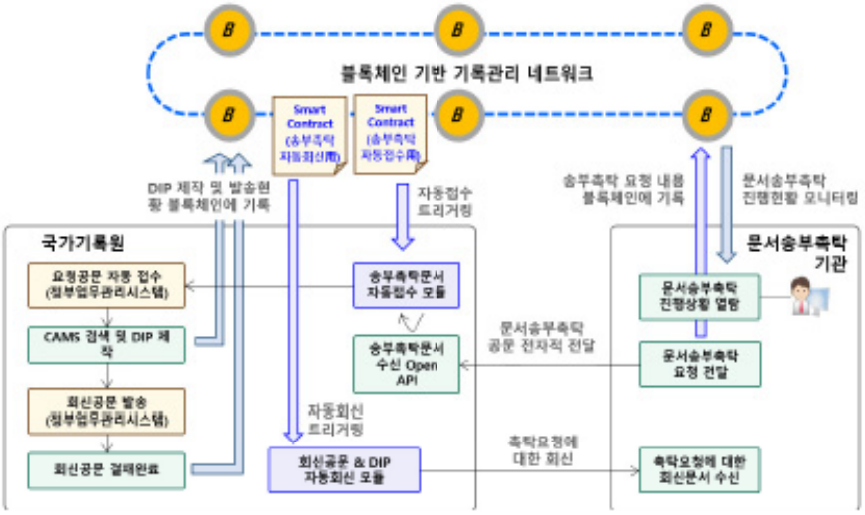
문서송부촉탁은 먼저 법원이 재판 과정에서 필요한 공공기록물을 우편으로 요청하고, 국가기록원에서는 이 우편 문서송부촉탁 요청내용을 업무관리시스템에 접수하는 과정으로 시작된다. 이후 CAMS에서 요청받은 기록물을 검색하고 존재하는 경우, 해당 기록물을 제공하기 위한 문서송부촉탁 회신 공문을 작성하는 등 결재 절차를 수행한다. 요청받은 자료는 출력하거나 복사하고 결재가 완료되면 회신 공문과 함께 출력 및 복사한 자료를 워터마크와 함께 관인을 찍고 우편으로 회신하게 된다.

일반적으로 법원이 문서송부촉탁을 통해 요청하는 종이기록물의 매수가 많아 모두 출력하여 우편으로 송부하는 시간과 노력 등 자원 소모가 크다. 열람담당자와의 면담을 통해 우편 송수신하는 절차에 통상적으로 4-6일의 시간이 소요되고 처리시간과 대국민 제공시간이 지연되는 것은 주요 문제점 중 하나로 확인되었다. 이는 근본적으로 법원에서 종이문서만을 증거적 가치를 인정하기 때문에 발생하는 문제이다. 그런데 최근 법원에서 이러한 관행에 대한 전환적 입장을 담은 계획이 발표되었다. 2024년까지 지능형 법원을 도입하여 소송기록을 전면 디지털화하여 종이문서의 부담을 해소하겠다는 것이다. 다음 <그림 6>은 법원행정처가 발표한 지능형 법원 도입 계획을 발췌한 것이다.

〈그림 6〉 지능형 법원 도입 개요

http://dx.doi.org/10.14404/JKSARM.2020.20.4.081
www.kci.go.kr

국가기록원 블록체인 연구팀은 2020년 5월 지능형 법원을 추진하는 대법원 법원행정처 차세대전자소송추진단을 면담하고 국가기록원의 문서송부촉탁 기록물의 제공방식을 블록체인 기술을 이용한 전자적 제공 방안을 협의하였다(담당자 B, 면담, 20년 05월 15일). 이에 따라 설계된 것이 블록체인을 활용한 문서송부촉탁 모형이다. 이는 종이문서를 완전히 전자적으로 대체하는 방안으로 블록체인 기반 국가기록관리 네트워크와 대법원 차세대 시스템의 전자문서 접수 Open API[17]의 연계를 통해 전자적으로 기록을 제공하는 방식이다. 설계된 문서송부촉탁 업무 과정은 다음의 <그림 7>과 같다.



〈그림 7〉 국가기록원-법원 간 문서송부촉탁 제안 모형

<그림 7>은 문서송부촉탁 업무의 전 과정을 전자적으로 처리하고, 블록체인 스마트 컨트랙트를 활용하여 자동화하는 방안이다. 제안한 업무 절차는 다음과 같다. ① 현행 우편으로 받는 열람요청내용 등을 업무관리시스템에 자동으로 수신 및 접수한다. ② 업무 담당자는 CAMS에서 해당 기록물을 검색하고, ③ 대상 기록물을 선정하면, ④ 기록물 배부 패키지(Dissemination Information Package) 제작을 위해 자동으로 해당 시스템으로 전달하게 된다. ⑥ 회신결재공문을 스마트 컨트랙트를 통해 자동으로 생성하고, ⑦ 대법원 시스템의 문서수신 Open API를 통해 배부 패키지를 송신한다. 과정 중에 배부 패키지 생성과 전송에 대한 이력을 블록체인에 기록하여 감사증적을 남긴다.

현재 문서송부촉탁 요청을 받고 요청 내용을 송신하는 과정에서 지연되는 시간을 전자적으로 송수신하면 실시간으로 요청을 접수하고 해당 기록물의 배부 패키지를 제작하여 송신까지 효과적으로 처리 시간을 단축할 수 있다. 정량적인 효과를 계산하여 보면 열람 요청 혹은 기록물 배부 패키지를 우편으로 송부하고 수신, 처리하는 데에 소요되는 시간을 송부, 배송, 수신 각 1일로 계산하여 3일이라고 가정한다. 그렇다면 1건의 문서송부촉탁을 송수신하는 데에만 6일(144시간)이 소요되는데 이를 블록체인을 통해 송수신하면 실시간으로 확인할 수 있어 사실상 시간 지연이 발생하지 않는다(국가기록원, 2020b). 이는 단순히 업무 처리시간을 단축할 뿐만 아니라 우편 소요시간이 제외되어 대국민 기록물 제공 시간도 함께 줄일 수 있다.

17) 대법원은 차세대 전자소송시스템 구축사업을 통해 행정안전부 등과 우편으로 주고받는 문서송부촉탁 업무를 시스템 연계로 제공하고자 한다. 2024년 8월 개발 완료를 목표로 하며 전자적 연계를 위해 전자접수 Open API를 개발하여 제공할 예정이다.

http://dx.doi.org/10.14404/JKSARM.2020.20.4.081
www.kci.go.kr

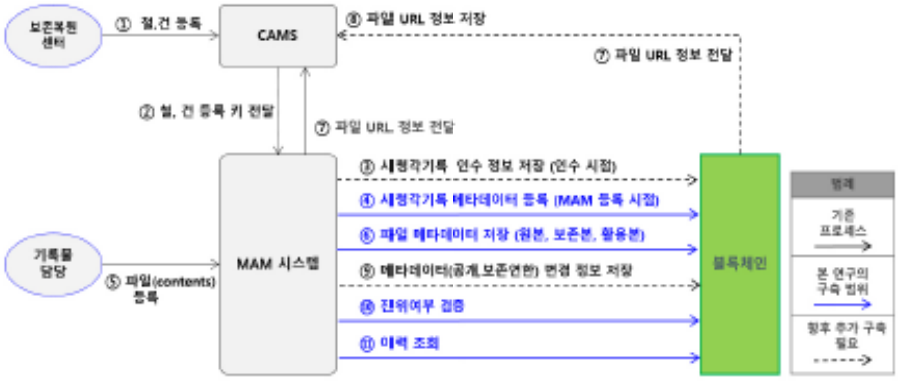
블록체인을 적용한 모형은 시스템 간 연계를 통해 요청 문서의 자동접수, 회신처리를 자동화하여 국가기록원 열람 담당자의 업무 효율성을 향상할 수 있는 가능성을 제시한다. CAMS와 연계를 통해 배부 패키지 작성대상 기록의 자동 등록, 전자기록 배부 패키지 작성(페이지 편집, 워터마크 및 관인 삽입)과 외부 기관 송부를 위한 시스템을 구축하여 요청 기록물을 모두 종이로 출력하여 관인을 찍는 과정을 효율화할 수 있다. 또한 송부한 기록물에 대한 진본성, 송부 이력을 블록에 등록하여 전자적 전송 과정에서 일어날 수 있는 위·변조 가능성을 차단하고 진본성을 보장한다.

2024년 지능형 법원이 본격 가동될 시점에 이 연구모형을 기반으로 법원과 국가기록원이 연계된다면 블록체인 스마트 컨트랙트를 활용한 전자적 문서송부 자동화 및 지능형 기록관리도 함께 실현될 수 있을 것으로 기대된다.

3.2 시청각기록의 진본성을 위한 방안

전자기록의 장기 보존을 위해 국가기록원은 장기보존포맷 기술규격을 정의하고 장기보존 포맷인 NEO로 변환하여 관리하고 있다. NEO는 기록물철, 메타데이터, 전자서명을 하나의 패키지로 구성하여 진본성의 장기보존과 검증을 보장할 수 있도록 한다. 그러나 현재 표준전자문서 기준 장기보존포맷 변환 대상이 연간 4천만 건이 생산되고 있으며, NEO 필수 메타데이터 항목 누락 등의 변환 오류 발생 빈도가 높고 주기적인 재변환이 필요하다는 문제점이 대두되고 있다(담당자 A, 면담, 20년 5월 8일). 또한 대용량 시청각기록은 시스템 과부하 및 긴 처리 시간이 소요된다는 단점으로 인해 NEO로 변환·관리하는 것이 사실상 어려운 실정이다(담당자 A, 면담, 20년 5월 8일). 이 연구는 시청각기록의 관리와 진본성 보장을 위하여 MAM 시스템과 블록체인 시스템을 연계하는 방안을 설계하였다.

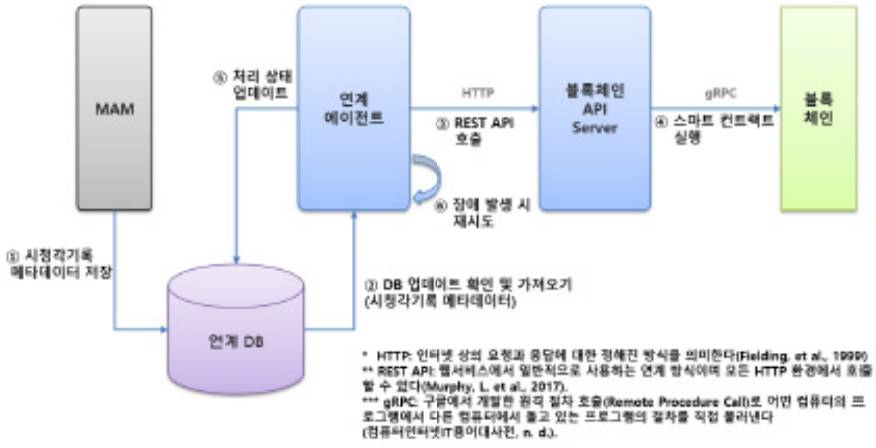
현행 시청각기록은 CAMS와 MAM에 분산하여 관리, 보존하고 있으며 CAMS에는 기록의 관리를 위한 정보인 제목, 보존기간, 공개여부 등을 관리하고, MAM에는 시청각기록의 원본을 포함한 보존 및 활용을 위한 포맷 변환본과 파일에 대한 시스템적 속성정보를 저장하여 관리하고 있다(담당자 A, 면담, 20년 5월 8일). 처리 방식은 CAMS에 먼저 기록의 관리를 위한 정보를 등록하면 일정 시간 단위로 MAM에 정보를 전달하는 방식이다. 이와 같은 이중 구조에 따른 관리의 어려움과 기록의 진본성 확인에 대한 절차의 생략으로 개선이 필요하다. 이 연구는 시청각기록의 진본성 보장 및 장기보존을 위하여 블록체인을 적용한 방안을 다음과 같이 제안하였다. <그림 8>은 CAMS, MAM, 블록체인의 연계를 통해 각 시스템을 통해 수행하는 업무들을 나타낸 그림이다.



〈그림 8〉 MAM 시스템과 블록체인 연계 방안 제안 모형

http://dx.doi.org/10.14404/JKSARM.2020.20.4.081
www.kci.go.kr

CAMS에는 현행 기록관리 구조인 철, 건 구조로 기록의 메타데이터를 등록하고 MAM 시스템으로 그에 대한 키를 전달한다. 그리고 MAM 시스템과 연계된 블록체인에 시청각기록의 메타데이터 등을 저장하며 시청각기록 관리 담당자가 기록을 MAM 시스템에 올리고 일정 시간 간격으로 해당 정보를 블록체인에 업데이트 한다. 이후 기록의 진본 확인이 필요한 경우 블록체인에 저장된 메타데이터와 해시값의 검증을 통해 확인하고 기록관리 이력을 확인하도록 설계하였다. 다음의 <그림 9>는 MAM과 블록체인 연계의 처리 프로세스를 보여준다.



<그림 9> MAM-블록체인 간 연계 방안 모형

<그림 9>는 MAM 시스템과 블록체인의 연계 방안을 보여주는 모형이다. MAM 시스템은 CAMS로부터 기록물의 등록키를 전달받는 시점과 파일의 원본 등이 저장소에 저장되는 시점에 MAM 시스템과 연계한 데이터베이스, 연계 에이전트[18]를 활용하여 블록체인과 연계되도록 설계하였다. MAM 시스템을 통해 시청각 기록의 메타데이터와 원본, 보존본, 활용본으로 구분되어 있는 파일 메타데이터를 연계 데이터베이스에 저장하면 데이터베이스와 블록체인을 연계하는 연계 에이전트와 스마트 컨트랙트를 통해 저장한 메타데이터를 블록체인에 기록한다. 이 과정에서 장애 발생 시 연계 에이전트 상에서 재시도할 수 있도록 설계하였다. 블록체인에 메타데이터가 기록되면 처리 상태를 데이터베이스로 전송하여 블록체인과 데이터베이스 간의 상태를 일치시킨다. 연계 에이전트 시스템은 일정 주기마다 데이터베이스에 있는 정보가 새로 업데이트되었는지 확인하여 블록체인과 MAM 시스템의 상태를 맞춘다. 이러한 방안으로 MAM 시스템과 블록체인을 연계한 시청각기록 관리 모형을 구축, 검증하였다.

시청각기록의 메타데이터를 위·변조할 수 없는 블록에 저장하여 무결성을 보장할 수 있으며 블록체인, CAMS, MAM의 동기화를 통해 분절적으로 나뉘어 관리되던 두 개의 시스템을 유기적으로 연동할 수 있으며 그를 통해 시청각 기록물의 관리를 더욱 용이하게 한다. 그리고 블록체인에 저장되어 있는 기록물 메타데이터의 해시값 검증을 통해 기록물 진본 여부를 보장할 수 있어 시청각기록 이용 시에 진본성 검증이 가능하다. 또한 블록에 저장되어 있는 기록물 메타데이터의 업데이트 이력은 모두 블록체인의 특성에 의해 변경 불가하게 관리되므로 업무 과정 추적과 기록 이력 추적이 가능하다. 향후 MAM 시스템 고도화에 따라 추가적으로 구축해야 할 부분들의 인터페이스를 미리 구축하여 시스템 고도화 이후 해당 기능을 구축하여 연계하는 데에 어려움이 없도록

18) 에이전트란 사용자를 대신하여 어떤 네트워크 등의 환경의 일부이거나 그 안에서 특정 목적에 대해 작업을 수행하는 자율적 프로세스를 의미한다(컴퓨터인터넷IT용어대사전, 2011).

http://dx.doi.org/10.14404/JKSARM.2020.20.4.081
www.kci.go.kr

하였다. 블록체인과 MAM 시스템 연계를 통해 MAM 시스템을 중심으로 하는 시청각기록 관리 체계를 확립하여 이중 관리 구조를 해소하고 업무 수행의 부담을 경감하였다. 향후 이러한 기반시스템과 인공지능의 결합으로 시청각기록의 고유값 생성과 장기보존을 위한 다양한 방안을 창출할 수 있을 것이며 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

3.3 스마트 컨트랙트를 활용한 기록관리 법정업무 자동화 연구

이 절은 스마트 컨트랙트와 DApp을 활용한 기록관리 자동화 방안을 제안하였다. 먼저 스마트 컨트랙트를 활용한 자동화 업무를 선정하기 위하여 국가기록원(2019)이 제시한 실무담당자의 의견 청취 내용을 고려하였다. 국가기록원(2019)은 대량의 전자기록관리 업무의 부담을 경감하고 효율적으로 처리하기 위해 지능화, 자동화 필요 업무를 선별하고 기술 개발을 위한 전략을 수립하였다. 업무를 선별하기 위하여 전자기록관리 실무담당자 다수를 대상으로 수요를 조사하고 업무에 대한 요구사항을 정리하였다. 수요조사에서 자동화 요구 업무 기능은 인수, 공개재분류, 보존기간 재평가, 열람 및 활용, 기준 및 공통관리이다.

국가기록원(2019)의 연구를 통해 도출한 자동화 요구 업무 중 스마트 컨트랙트의 적용이 가능한 업무를 선별하기 위해 스마트 컨트랙트의 적용 요건을 분석하였다. 스마트 컨트랙트는 다음의 두 가지 조건을 만족하면 적용할 수 있다. ① 업무 과정을 처리하기 위해 다수의 독립적인 이해관계자가 참여하여야 하며, ② 자동화를 위한 업무 과정의 선후관계가 명확하고 여러 단계를 거쳐야 한다. 이러한 조건을 만족하는 기록관리 업무를 다음과 같이 선별하였다.

3.3.1 비공개 기록물의 제한적 열람

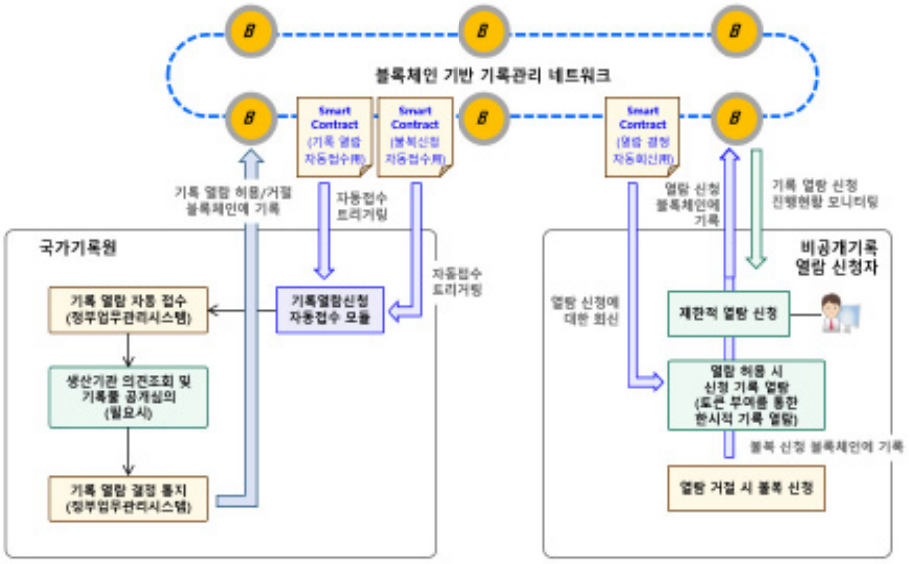
비공개 기록물의 제한적 열람은 본인의 개인정보가 포함되어 있거나, 해당 기록물이 아니면 관련 정보의 확인이 불가능한 경우에 한하여 제한적으로 열람할 수 있도록 하는 것이다. 이는 청구인의 신원을 엄격하게 확인하며 지정된 일시와 장소에서 청구인만이 열람할 수 있도록 하며 열람을 위해서는 열람실에 직접 방문하여야 한다. 현행 비공개 기록물의 제한적 열람 처리 프로세스는 다음의 <그림 10>과 같다.

〈그림 10〉 비공개 기록물의 제한적 열람 업무 프로세스

<그림 10>이 보여주는 제한적 열람은 별도의 열람 신청 이후 접수, 생산기관 의견조회, 공개심의를 거쳐 결정하게 된다. 열람이 거부될 시에 청구인은 불복 신청을 통해 재심의를 요구할 수 있고 열람 시에는 직접 열람실을 방문하여 신원 확인 후 열람할 수 있도록 하는 절차를 보여준다.

제한적 열람의 핵심은 엄격한 신원 확인과 청구 관련 기록물만을 제공하는 것이다. 현재 청구인의 신원을 확인하고 관련 비공개 기록물을 제공하기 위한 대면 열람 방식이 블록체인 기반 DID의 확산과 대면 서비스 기피라는 환경의 변화로 인해 비대면, 온라인 서비스로 제공될 필요가 있다. 다음의 <그림 11>은 스마트 컨트랙트와 DID를 활용한 자동화 모형을 도식화하여 나타낸 것이다.

http://dx.doi.org/10.14404/JKSARM.2020.20.4.081
www.kci.go.kr



〈그림 11〉 스마트 컨트랙트를 활용한 제한적 열람 자동화 제안 모형

<그림 11>은 제한적 열람의 자동화 방안을 보여준다. 각각의 스마트 컨트랙트는 「공공기록물법」 제37조의 1항과 「국가기록원 소장기록물 공개 및 열람 규정(훈령 제113호)」 제4장에 따라 비공개 기록물의 열람 결정을 자동으로 접수 및 회신할 수 있도록 하며, 업무 처리 과정은 다음과 같다. 비공개 기록물을 열람하기 위하여 청구인은 DID를 통해 신분을 증명하고 별도의 양식을 통해 열람을 신청하고 열람이 신청된 사실을 블록체인에 기록하고 스마트 컨트랙트를 통해 자동적으로 업무 담당자에 알려지도록 한다. 담당자는 필요시 생산기관 의견조회와 공개심의를 진행하고 제한적 열람 결정을 블록체인에 기록하고 이것을 청구인이 실시간으로 확인할 수 있다. 제한적 열람을 허용하는 경우 신청 기록물을 열람할 수 있도록 하는 접근 토큰을 부여하고 청구인은 DID와 접근 토큰으로 신원을 증명한 후 기록물을 제한된 시간동안 열람할 수 있다. 접근 토큰은 정해진 기록물에 대해 한시적으로 접근 권한을 부여하는 것으로, 이를 통해 기록물을 열람하기 위해서는 신청 시 제공한 신원이 확인되어야 한다.

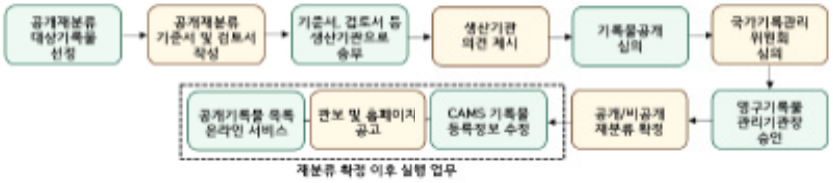
다만, 위와 같이 블록체인과 DID를 적용하는 방안은 청구인의 개인정보가 포함되어 있는 기록물을 열람하고자 하는 경우와 권리구제를 위해 기록물을 제공하여야 하는 경우에 한정한다. 연구 등의 정보 확인 목적의 제한적 열람은 복사, 사진 촬영 등 보안상 위험으로 인해 제공할 수 없다.

공인인증서나 주민등록증 등 개인 신분증명서들과 달리 DID는 개인 자체에 대한 정보와 가족 관계, 졸업증명서 등 다양하게 개인을 식별할 수 있는 정보들을 담을 수 있다. 신원 증명을 위해 DID를 활용하면 증명을 위한 사항에 요구되는 정보만을 제공할 수 있다. 예를 들어 직계가족의 개인정보가 포함되어 있는 기록물을 열람하기 위해서는 가족관계증명서 등을 발급받아 제출하는 별도의 절차를 거쳐야 하지만 제안한 방안의 경우 DID에 포함되어 있는 가족관계 정보를 열람 신청 시에 본인 신원 증명과 함께 제공하여 한층 간편하게 서비스를 이용할 수 있다. 업무 처리 자동화와 업무 처리 과정을 실시간으로 저장하여 청구인에 투명한 공공업무의 처리 과정의 공유가 가능하다. 또한 DID를 적용하여 신원확인의 절차를 간편화하고 비대면 공공서비스를 확대할 수 있다는 의의를 가진다.

http://dx.doi.org/10.14404/JKSARM.2020.20.4.081
www.kci.go.kr

3.3.2 공개재분류와 보존기간 재평가

공개재분류는 비공개 기록물을 일정 시간이 지난 후 공개하기 위하여 심의, 결정하는 절차로 현행 공개재분류 업무 처리 과정은 다음의 <그림 12>와 같다.



〈그림 12〉 공개재분류 과정(NAK 16-2, 2020)

대상기록물의 선정부터 재분류 결과의 확정 이후 실행 업무까지 생산기관, 기록물공개심의회, 국가기록관리위원회 등 다양한 이해관계자가 참여하여 업무를 수행하며 위의 <그림 12>의 절차와 같이 업무를 수행하여 스마트 컨트랙트를 활용한 자동화 적용이 가능하다고 판단하였다.

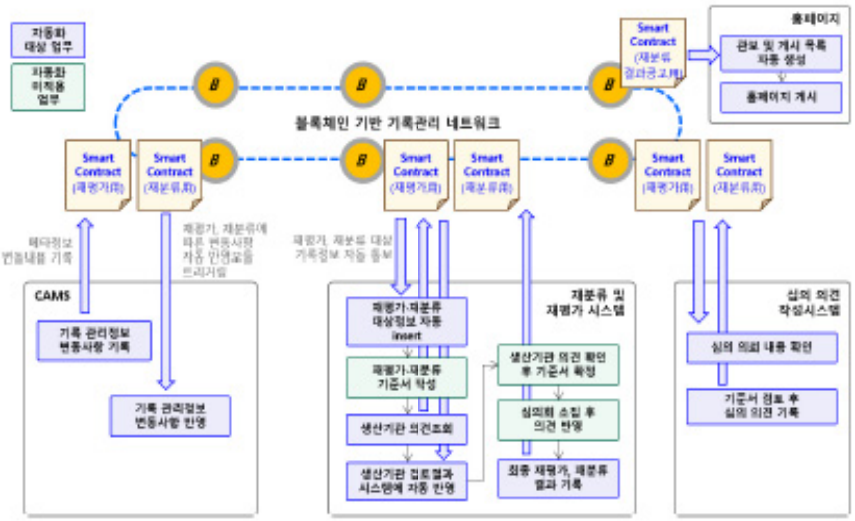
보존기간 재평가는 보존기간이 도래한 기록물의 평가를 통해 폐기하거나, 보존기간을 재책정하여 해당 기록물을 보존하는 것이며 현행 업무는 다음의 <그림 13>과 같다.

〈그림 13〉 기록물 평가 과정(NAK 5-2, 2012)

보존기간 재평가를 위해 평가 대상 기록물의 선정과 목록 작성부터 시작하여 평가 결과 반영까지의 절차를 거치게 된다. 이 절차에는 다양한 생산기관, 기록물평가심의회와 같은 다양한 이해관계자가 존재하고 순차적인 업무 수행이 가능하여 스마트 컨트랙트를 활용한 자동화 적용이 가능하다. 공개재분류와 보존기관 재평가의 일련의 업무 절차가 상이하지 않다고 판단하여 한 개의 모형으로 표현하였으며, 위의 업무들 중 자동화할 요소를 포착하여 설계한 그림은 다음의 <그림 14>와 같다.

기록의 공개재분류 및 보존기간 재평가 업무를 자동으로 수행하는 조건은 「공공기록물법」과 제35조, 동법 시행령 제53조, 제72조와 관련 표준, 규칙 등으로 하여 법규 준수가 기초가 되도록 하였다. 공개재분류와 보존기간 재평가를 위해 대상 기록물에 대한 정보를 스마트 컨트랙트를 통해 자동으로 불러오고, 생산기관 검토의 의뢰와 검토 결과 반영을 자동으로 처리하도록 설계하였다. 기록물 심의에 따른 의견을 기록하여 블록체인에 저장하여 실시간으로 의견 조회가 가능하며 향후 심의에도 참고할 수 있도록 하고 최종 결과를 자동으로 기록한다. 공개재분류의 결과로 변동된 사항은 스마트 컨트랙트를 통해 변동 시 자동으로 시스템에 반영되고 관보 및 홈페이지에 게시된다.

http://dx.doi.org/10.14404/JKSARM.2020.20.4.081
www.kci.go.kr



〈그림 14〉 공개재분류 및 보존기간 재평가 제안 모형

국가기록원(2019)의 연구에서 당해 연도 재분류 및 재평가 대상 기록물의 선정에 대한 시스템 상의 기능 부재로 인해 어려움이 지적되었고 기록물 이력관리 기능을 통한 업무 처리 스케줄링과 모니터링 기능이 요구되었다. 이 연구에서 제안한 모형은 스마트 컨트랙트를 통해 대상 기록물 정보를 자동으로 가져오도록 하여 업무 처리 부담을 줄이고 모든 트랜잭션의 저장을 통해 이력 관리와 모니터링 기능을 제공한다. 또한 해당 기록물에 대한 생산기관 의견 조회 절차를 블록체인 기반으로 처리하여 업무 처리 과정의 지연을 없애고 공개재분류와 보존기간 재평가에 대한 생산기관의 의견을 변조할 수 없도록 기록하여 동종 기록물에 대한 차후의 동일 업무에서 참고할 수 있도록 한다. 기록물 공개심의 또는 기록물평가심의를 블록체인 기반으로 실행하여 비대면 심의, 실시간 의견 제시가 가능하도록 하고 제시된 의견을 블록체인에 기록하여 선행 예시로 누적, 활용할 수 있도록 한다. 스마트 컨트랙트를 통해 업무 담당자의 자의적인 해석이 개입되지 않고 정해진 법률과 규칙에 따라 업무를 수행할 수 있도록 하며, 그를 통해 업무의 독립성을 높일 수 있다. 또한 기록물관리담당자의 업무 부담을 경감하고 재분류 및 재평가 대상 기록물의 누락을 줄일 수 있다.

스마트 컨트랙트를 적용한 자동화 방안 연구에서 비공개 기록물의 제한적 열람과 공개재분류 및 보존기간 재평가에 제안한 블록체인 모형은 프로세스 분석과 담당자 면담을 통해 개념연구를 수행한 것으로 블록체인 기록관리 플랫폼에서 실제 구현한 산출물은 아니다. 이 모형을 실제 업무에 반영하기 위해서는 정책결정의 과정이 전제되어야 하며 제안한 모형은 이러한 결정에 참조할 수 있는 기초 연구로서의 의미를 가진다.

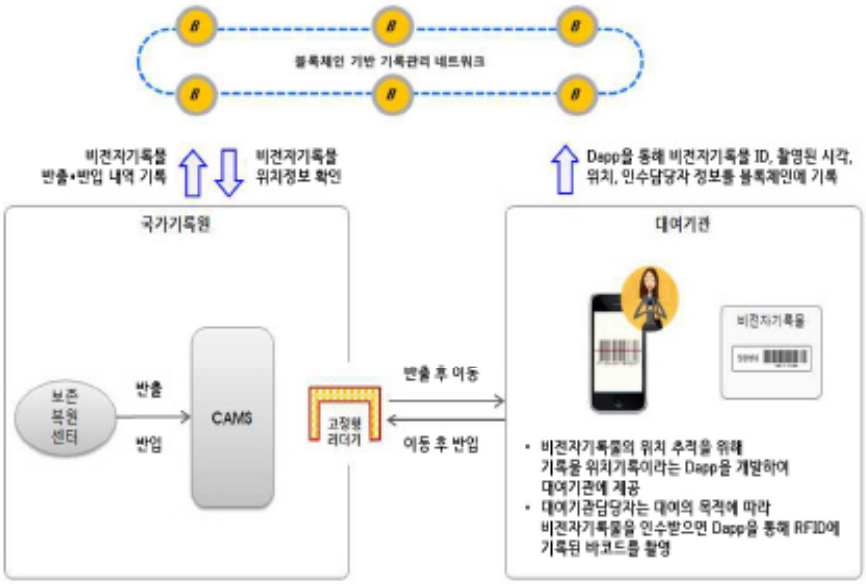
3.4 기록관리 트랜잭션 추적과 모니터링 방안 연구

블록체인에 기록의 모든 처리 상태에 대한 정보가 기록되면 이를 통해 기록의 처리현황 추적 및 비전자기록물의 위치정보 추적까지 가능하다. 현재 국가기록원에서 운영 중인 RFID 시스템의 주요 기능은 비전자기록물 관리를 위해 필요한 태그 발행, 반입·출, 기록물 조회, 서고 배치, 정수 점검, 무단 반출 관리, 통계 관리 등의 업무 기능을 포함하고 있다. 이러한 업무 중 기록물 조회 및 반입·출을 확인하는 방식은 부착된 RFID 태그를 개인용 정보 단말기(Personal Digital Assistant, PDA)나 RFID 고정형 리더기에 의해 탐지하는 것이다.

http://dx.doi.org/10.14404/JKSARM.2020.20.4.081
www.kci.go.kr

블록체인과 RFID를 활용하여 물리적 자산을 관리하는 방식들이 활발하게 연구되고 있다. 국내·외 연구를 통해 도출한 블록체인과 RFID을 활용한 실물 자산 관리는 자산의 이동 경로와 처리 절차를 확인하고 현재 위치를 파악하는 등의 투명한 처리 프로세스 공유를 중점으로 두고 있다. 이 연구에서는 Lemieux(2017)가 말한 가장 혁신적인 기록관리 적용 방안인 비전자기록물에 토큰 발급 방식을 적용하여 전자적으로 기록물의 위치를 추적할 수 있도록 하는 방안을 마련하였다.

국가기록원 내부에서 비전자기록물의 위치를 추적해야 하는 경우 CAMS에 탐지정보 이력이 기록될 때 마다 블록체인 연계 API를 통해 블록에 기록하여 탐지정보의 추적성을 관리한다. 그리고 비전자기록물이 국가기록원 외부로 반출된 경우에 해당 기록물을 추적하는 방안은 다음의 <그림 15>와 같다.



〈그림 15〉 비전자기록물 기관 외 반출 시 추적 방식

국가기록원 외부로 기록물이 반출되는 경우 고정형 리더기를 통해 반출된 사실을 기록하고 대여기관으로 이동 후 DApp을 이용하여 기록물의 도착 여부와 위치 정보, 인수 담당자 정보 등을 블록체인으로 전송한다. 반출된 기록물을 반납할 시에 반출 시에 사용하였던 고정형 리더기를 통해 반입 사실을 파악하여 블록체인에 전송하게 된다. 이러한 방법을 통해 기록물 대여 시 목적 외 이동을 방지하고 기록물의 이력 정보를 남길 수 있다. 블록체인과 RFID를 연계한 비전자기록물의 관리는 변경할 수 없는 블록에 위치 정보를 저장하여 투명성을 보장하고 감사 증적을 남겨 추적할 수 있도록 한다. 또한 DApp으로 기관 외에서 블록체인에 위치 정보를 전송할 수 있도록 하여 사용자 편의성을 높이고 위치 정보의 누락을 막을 수 있다.

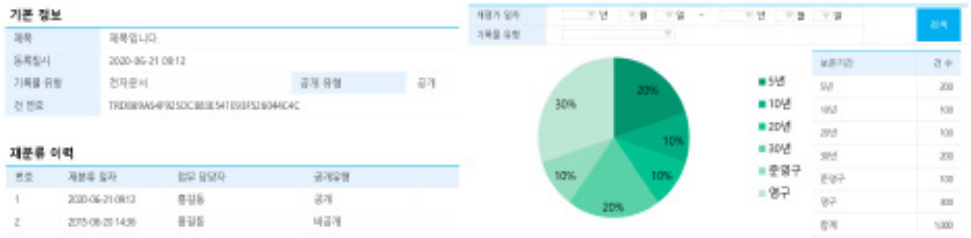
블록체인을 통해 기록관리 업무 추적성을 확보할 수 있는 추가적인 방안으로 업무 과정 시각화 방안을 설계하였다. 현행 CAMS는 기록물의 이관, 등록, 검수 등의 처리 행위에 대한 모니터링 기능이 제공되지 않다는 것을 시스템 분석을 통해 확인하였다. 또한 업무 담당자 면담을 통해 업무 시각화에 대한 요구 사항을 다음의 <표 2>와 같이 도출하였다.

www.kci.go.kr

〈표 2〉 기록관리 담당자의 업무 시각화 요청 관련 면담 내용

구분	내용
담당자 E	- 통계 정보는 CAMS 화면에서 볼 수 있도록 하는 설계를 요구함
담당자 F	- 공개재분류 처리 이력 조회 화면에서 검색 조건으로 '회차' 항목 추가를 요구함 - 검색 결과에 처리 전 후 상태값을 같이 보여주었으면 함

면담을 통해 수렴한 의견을 반영하여 업무 수행의 투명성을 보장하고 감사 증적을 위한 추적성을 제공하기 위하여 블록체인을 활용한 업무 과정 시각화 방안을 설계하였다. 다음의 <그림 16>은 시각화 방안 구현 화면의 예시이다.



〈그림 16〉 시각화 화면의 기록물 공개재분류 및 통계 내역

<그림 16>은 비공개 기록물의 공개재분류 이후 공개 유형이 변화한 이력을 보여주는 화면과 기록물 보존기간에 따라 건수를 보여주는 통계 그림으로 이와 같은 형식으로 기록 유형별 통계, 보존기간별 통계, 기록물 보존기간 재평가 통계 그래프 시각화를 구축하였다. 이외에도 기록물 보존기간, 공개 내역 변경 현황 조회, 시청각 기록물의 유형별 현황 통계를 제공하고 통계와 이력 내역을 엑셀 파일 및 PDF 파일로 생성, 다운로드할 수 있도록 구축하였다.

실시간으로 기록관리 업무를 블록체인에 저장하고 이것을 시각화함으로써 효율적인 업무 수행을 돕고 업무의 투명성을 제공한다. 업무의 실시간 반영과 시각화를 통해 업무를 즉각적으로 추적할 수 있고 업무 수행 이후에도 해당 내역에 대한 위·변조 없이 확인할 수 있다. 더불어 시각적인 통계 자료를 제공하여 공개재분류, 보존기간 재평가와 같이 많은 양의 기록물을 대상으로 하는 업무에서 대상 기록물의 누락을 막고, 별도의 데이터 작업 없이 다양한 통계를 제공할 수 있어 유관 기관의 통계 요청이나 대국민 서비스 시 담당자의 업무 부담을 경감할 수 있다.

기록관리 중심 표준인 ISO 15489-1에서는 기록의 4가지 속성을 보장받기 위해서는 업무 처리행위를 담고 있는 기록관리 메타데이터를 기록시스템으로 생산·유지해야 한다고 설명한다(ISO 15489-1, 2016). 기록의 생산 시점부터 이관, 평가, 보존, 폐기까지의 전 단계에 걸쳐 트랜잭션을 자동으로 블록에 저장하고 추적할 수 있다. 블록체인을 ISO 15489-1:2016이 제시하는 4가지 속성의 보장을 트랜잭션 추적과 모니터링 기능을 통해 새로운 방식으로 접근 가능하게 한다. 이는 시스템 비전문가인 기록관리 전문가에게 기록의 처리 행위를 감사 추적할 수 있게 하는 기술적 대안이라는 점에서 의미를 가진다.

http://dx.doi.org/10.14404/JKSARM.2020.20.4.081
www.kci.go.kr

4. 결 론

2020년 현재 블록체인, 클라우드, 빅데이터 등 신기술로 인하여 공공 행정 환경이 급격하게 변화하고 있으며, 이를 공공기록으로 포착해야 하는 기록관리 분야도 새로운 관리 방식을 요구받고 있다. 또한 최근 행정정보 데이터세트에 대한 관리 방안이 발표되어 새로운 기술이 적용된 시스템뿐만 아니라 기존의 모든 행정정보시스템의 관리를 지원할 기술적 방안이 필요하게 되었다. 자체 관리를 허용한 행정정보시스템의 모니터링을 가능하게 하는 실질적인 기술적 대안으로 블록체인을 고려할 수 있다. 블록체인 기록관리 플랫폼은 별도의 기록관리 기능이 없는 행정정보시스템들의 암호학적 미러시스템으로 기능하여 데이터세트의 트랜잭션을 추적하고 진본 데이터세트의 무결성을 보장하는 새로운 전략이 될 수 있다.

개별 전자문서마다 전자서명을 넣어 변환하는 장기보존포맷은 전자기록의 장기보존을 위한 법정 기록관리 방식이다. 본문에서 언급한 바와 같이 이 방식은 개별 문서의 변환을 전제한다는 점에서 비용 대비 효과가 낮고, 변환오류 및 비효율성을 지적하는 현장의 지적 또한 증가하고 있다. 뿐만 아니라 전통적인 장기보존전략은 시청각 기록과 같은 대용량 파일에는 적용되기 어렵다는 현실적 한계를 가진다. 2년간의 연구와 검증 결과를 통해 블록체인 기록관리는 전통적인 진본성 보장 및 장기보존 전략이 갖는 한계를 해소하는 기술적 대안이 될 수 있음이 확인되었다. 이는 전자기록의 진본성 보장방안을 향후 블록체인에서 모색해야 한다는 InterPARES Trust 및 미국 국가기록청의 2019년 블록체인 백서의 연구결과와도 일치한다.

이러한 경향에도 불구하고 법제도의 문제와 신뢰부족은 블록체인을 기록관리와 연계시키는데 여전히 제약이 되고 있다. 2019년 발의된 「블록체인 진흥 및 육성 등에 관한 법률안」은 여전히 통과되지 못한 채 계류 중이며, 정부업무관리시스템의 전자문서에 적용 가능함을 검증하였음에도 불구하고 본격적인 확산을 결정하지 못하고 있는 상황은 이를 반증한다. 이는 블록체인에 대한 사회적 관심과 기대에 비해 블록체인 기술의 성숙도가 충분하다고 보기 어려운 것으로 평가되기 때문이기도 하다. 그러나 이러한 기술적 문제와 한계는 2023년까지 해결되어 산업과 사회를 혁신하는 기반기술이 될 것이라는 것이 4차 산업혁명위원회와 정부의 전망이다. 블록체인 합의모형 체계를 노드 확산을 가로막는 정책적 제약은 허가형 블록체인 관련 원천 기술의 개발로 극복되고 있으며 규제 샌드박스를 통한 블록체인 허용 등 정부의 정책 역시 전향적으로 검토되고 있다. 4차 산업혁명위원회의 권고를 받은 정부는 투명하고 신뢰도가 높은 사회의 구축을 위해 공공분야에서부터 블록체인을 적극 도입해야 한다고 제시하면서 '블록체인을 활용한 공공문서 관리체계의 확립'을 주요 과제로 발표하였다. 이러한 정책의 변화에 대해 공공 기록관리의 책무를 지는 국가기록원과 기록관리 전문가들은 관심을 가지고 대비하여야 할 것이다. 부족한 인식에도 불구하고 정부의 정책방향을 살펴볼 때, 공공분야의 블록체인은 향후 빠르게 확산될 것이다. 이 연구가 새롭게 시작하는 기록관리 방안에 영감을 주고 미래 기록관리 연구를 촉진하여 할 수 있기를 기대한다.

참고문헌

개념 증명 (n. d.). 우리말샘. 검색일자: 2020.10.19. https://opendict.korean.go.kr/dictionary/view?sense_no=816007

블록체인 관련 용어 (2018). 시사상식사전. 검색일자: 2020.10.19.
https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=5569380&cid=43667&categoryId=43667

순환 신경망 (n. d.). IT용어사전. 검색일자: 2020. 10.06. http://terms.tta.or.kr/dictionary/dictionaryView.do?word_seq=138911-9

영지식 증명 (n. d.) 정보통신용어사전. 검색일자: 2020. 09. 16. http://terms.tta.or.kr/dictionaryView.do?word_seq=060549-3

이경남 (2019). 블록체인 기술을 활용한 진본인증 모형 연구. 기록학연구, (59), 47-78. https://doi.org/10.20923/kjas.2019.59.047

이기영, 김익한 (2019). 기록관리시스템 블록체인 기술 적용 방안 연구. 기록학연구, (60), 317-358.

http://dx.doi.org/10.14404/JKSARM.2020.20.4.081
www.kci.go.kr

https://doi.org/10.20923/kjas.2019.60.317

한국. 4차산업혁명위원회 (2020). 블록체인 기술 확산 전략. 서울: 4차산업혁명위원회. 검색일자: 2020. 10. 13. http://www.korea.kr/common/download.do?tblKey=GMN&fileId=191393783

한국. 과학기술정보통신부, 한국과학기술기획평가원 (2019). 블록체인의 미래 – 2018년 기술영향평가 결과보고. 검색일자: 2020. 10. 12. https://www.kistep.re.kr/c5/sub2.jsp?ordType=R&bbldx-12717

한국. 국가기록원 (2019). 지능형 전자기록관리 기술 연구개발 기획연구. 대전: 국가기록원.

한국. 국가기록원 (2020a). 블록체인을 적용한 신뢰기반 기록관리 연구보고서. 블록체인을 적용한 신뢰기반 기록관리 플랫폼 구축 시범사업. 대전: 국가기록원.

한국. 국가기록원 (2020b). 「블록체인 기반 대국민 기록서비스 관련」 대법원 기관협의 및 후속조치 결과보고. 대전: 국가기록원.

한국. 행정안전부 (2020). 「공공기록물 관리에 관한 법률」. 서울: 행정안전부.

함성곰 (2015). 수학백과. 검색일자: 2020.10.12. https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=5669287&cid=60207&categoryId=60207

홍미용 (2019). 블록체인기술을 적용한 기록관리 모델 구축 방법 연구. 한국기록관리학회지, 19(3), 223-245. http://dx.doi.org/10.14404/JKSARM.2019.19.3.223

Batista, D. & Weingaertner, T. (2019). ArchContract: using smart contracts for disposition. 2019 IEEE International Conference on Big Data(Big Data), 3060-3065. https://doi.org/10.1109/BigData47090.2019.9006221

Bui, T. Cooper, D. Collomosse, J. Bell, M. Green, A. Sheridan, J. ... Brown, A. (2019). ARCHANGEL: Tamper-proofing Video Archives using Temporal Content Hashes on the Blockchain. In Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, arXiv:1904.12059v1.

Daniel, D. & Ifejika Speranze, C. (2020). The Role of Blockchain in Documenting Land Users' Rights: The Canonical Case of Farmers in the Vernacular Land Market. Frontiers in blockchain. 3, 19. https://doi.org/10.3389/fbloc.2020.00019

Duranti, L., Rogers, C. (2019). Trusting Records in the Cloud. UK: Facet Publishing.

Galiev, A., Prokopyev, N., Ishmukhametov, S., Stolov, E., Latypov, R., & Vlasov, I. (2019). Archain: a novel blockchain based archival system. IEEE, 2018 Second World Conference on Smart Trends in Systems, Security and Sustainability (WorldS4), 84-89. https://doi.org/10.1109/WorldS4.2018.8611607

Green, A., Das, A., Cooper, D., Fawcett, J., Keller, J., Higgins, J., ... Bui, T. (2019). ARCHANGEL: guaranteeing the integrity of digital archives. Open Data Institute, The National Archives, University of Surrey.

Hyperledger (n. d.). Hyperledger Fabric. Retrieved October 7, 2020, from https://www.hyperledger.org/use/fabric

ISO 15489-1:2016 Information and documentation – Records management – Part 1: Concepts and principles.

ISO/WD TR 24332: Information and documentation - Application of blockchain technology to records management - Issues and considerations

Jones, R. (2020). Hyperledger Indy. Retrieved October 7, 2020, from https://wiki.hyperledger.org/display/indy/Hyperledger+Indy

Lemieux, V. (2016a). Blockchain for Recordkeeping – Help or Hype? https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28447.56488

Lemieux, V. (2016b). Trusting records: Is blockchain technology the answer? Records Management Journal, 26(2), 110-119.

Lemieux, V. (2017a). Blockchain and Distributed Ledgers as Trusted Recordkeeping Systems: An Archival Theoretic Evaluation Framework. In Future Technologies Conference (FTC). Vancouver, BC.

Lemieux, V. (2017b). A typology of blockchain recordkeeping solutions and some reflections on their implication of the future archival preservation. In 2017 IEEE International Conference on Big Data (Big Data), 2271-2278. Boston, MA. https://doi.org/10.1109/BigData.2017.8258180

Lemieux, V., Hofman, D., Hamouda, H., Batista, D., Kaur, R., Pan, W., ... Fraser, R. (2020). Having our omic cake and eating it too: Evaluating User Response to using Blockchain Technology for Private & Secure Health Data Management and Sharing. arXiv preprint arXiv:2004. 11502.

Major, W., Buchanan, W., & Ahmad, J. (2020). An authentication protocol based on chas and zero knowledge proof. Nonlinear

www.kci.go.kr

Dyn, 99, 3065-3087. https://doi.org/10.1007/s11091-020-05463-3

MathWorks (n. d.) 컨벌루션 뉴럴 네트워크란? 검색일자: 2020.10.14. https://kr.mathworks.com/solutions/deep-learning/convolutional-neural-network.html

National Archives and Records Administration (2019). Blockchain White Paper.

Open Data Institute (2019). ARCHANGEL pilot – User Research.

Permatasari, I., Essaid, M., Kim, H., & Ju, H. (2020). Blockchain Implementation to Verify Archives Integrity on Cilegon E-Archive. Applied Science, 10(7), 2621-2639.

Rajalakshmi, A., Lakshmy, K. V., Sindu, M., & Amritha, P. P. (2018). A Blockchain and IPFS based framework for secure research record keeping. International Journal of Pure and Applied Mathematics, 119(15), 1437-1442.

Reed, D., Sporny, M., Longley, D., Allen, C., Grant, R., Sabadello, M., & Holt, J. (2020). Decentralized Identifiers (DIDs) v1.0, W3C Working Draft. Retrieved October 7, 2020, from https://www.w3.org/TR/did-core/

Szabo, N. (1996). Smart Contracts: Building Blocks for Digital Markets. http://www.fon.hum.uva.nl/rob/Courses/Information-InSpeech/CDROM/Literature/LOTwinterschool2006/szabo.best.vwh.net/smart_contracts_2.html

Unnithan, C., Houghton, A., Anema, A., & Lemieux, V. (2020). Blockchain in Global health – An appraisal of current and future applications. In Li, K., Chen, X., Jiang, H. (Eds.), Essentials of Blockchain Technology. pp.189-202. Boca Raton, FL: CRC Press.

Wager, S. (2005). Digital asset management, media asset management, and content management: From confusion to clarity. Journal of Digital Asset Management, 1(1), 40-45.

Wang, S., Ouyang, L., Yuan, Y., Ni, X., Han, X., & Wang, F. (2019). Blockchain Enabled Smart Contracts: architecture, applications, and future trends. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 49(11), 2266-2277.

Zaghloul, E., Li, T., & Ren, J. (2019). Security and Privacy of Electronic Health Records: Decentralized and Hierarchical Data Sharing using Smart Contracts. 2019 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC), 375-379.

• 국문 참고자료의 영어 표기
(English translation / romanization of references originally written in Korean)

Convolution (2015). Mathmatics encyclopedia. 12, October 2020, from https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=5669287&cid=60207&categoryId=60207

Convolutional Neural Network (n. d.). MathWorks. Retrieved 12, October 2020 from https://kr.mathworks.com/solutions/deep-learning/convolutional-neural-network.html

Hong, Deok-Yong (2019). A Study on the Application of Blockchain Technology to the Record Management Model. Journal of Korean Society of Archives and Records Management, 19(3), 223-245. http://dx.doi.org/10.14404/JKSARM.2019.19.3.223

Lee, Gi-yeong & Kim, Ik-han (2019). A Study on Application of Record Management System Block Chain Technology. The Korean Journal of Archival Studies, 60, 317-358. https://doi.org/10/20923/kjas.2019.60.317

Lee, Kyung-nam (2019). A Study on Authentication Model using Blockchain. The Korean Journal of Archival Studies, 59, 47-78. https://doi.org/10.20923/kjas.2019.59.047

National Archives of Korea (2019). Intelligent Electronic Records Management Development Planning. Daejeon: National Archives of Korea.

National Archives of Korea (2020a). A study on the trust-based records management using blockchain. A pilot project for estabilishing a trust-based records management platform with blockchain in 2019. Daejeon: National Archives of Korea.

http://dx.doi.org/10.14404/JKSARM.2020.20.4.081
www.kci.go.kr

National Archives of Korea (2020b). Discussion results report of NAK-Supreme Court of Korea. Daejeon: NAK.

Proof of Concept (n. d.). Woorimalsaem. Retrieved 19, October 2020, from https://opendict.korean.go.kr/dictionary/view?sense_no-816007

Recurrent Neural Network (n. d.). IT Vocabulary Dictionary. Retrieved 6, October 2020 from http://terms.tta.or.kr/dictionary/dictionaryView.do?word_seq=138911-9

Republic of Korea. Ministry of Science and ICT, Korea Institute of S&T Evaluation and Planning (2019). The future of blockchain – Technical impact assessment report. Retrieved 12, October 2020. from https://www.kistep.re.kr/c5/sub2.jsp?brdType=R&bbldx-12717

Republic of Korea. President Committee on the Fourth Industrial Revolution (2020). The strategies on proliferation of blockchain . Seoul: President Committee on the Fourth Industrial Revolution. Retrieved 13, October 2020. from http://www.korea.kr/common/download.do?tblKey=GMN&fileId=191393783

Vocabularies related to Blockchain (2018). Dictionary of Current affairs and common sense. Retrieved 19, October 2020, from https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=5569380&cid=43667&categoryId=43667

Zero knowledge proof (n. d.) Telecommunication dictionary by Telecommunications Technology Association. Retrieved 16, September 2020. from http://terms.tta.or.kr/dictionaryView.do?word_seq=060549-3.

http://dx.doi.org/10.14404/JKSARM.2020.20.4.081
www.kci.go.kr

제2절 연구결과 영문본

The Case for Development and Research of the Blockchain RecordKeeping Platform at National Archives of Korea

초록

2019년 10월 대한민국 정부는 투명하고 신뢰도 높은 사회의 구축을 위해 블록체인을 활용하여 공공문서의 변경이력을 추적하고, 진본성과 무결성을 증명하는 공공문서 관리체계를 확립한다는 계획을 발표하였다. 국가기록원은 2019년 과기정통부 예산을 지원받아 블록체인 기록관리 플랫폼을 구축하고 2020년 12월 이 플랫폼을 활용한 연구개발 사업을 완료하였다. 이 논문은 지난 2년간 진행된 국가기록원의 블록체인 기록관리 플랫폼 구축 및 연구사례를 정리한 것이다. 논문에서는 하이퍼레저 패브릭을 적용한 블록체인 기록관리 플랫폼의 개발, 공공 전자문서 진본성 보장을 위한 기록시스템의 블록체인 기록관리 플랫폼 연계, 전자문서 의 진본성을 확인할 수 있는 대국민 블록체인 검증서비스 기능의 개발, 스마트 컨트랙트를 활용한 기록관리 실무적용 모델 설계, 대용량 시청각기록의 진본성 보장을 위한 블록체인 기록관리 플랫폼 연계 등 블록체인과 기록관리가 융합된 다양한 사례를 소개한다.

ABSTRACT

In October 2019, the government of the Republic of Korea announced the plan to establish the management system of the public documents to allow the tracing of the change history of the public documents as well as the certification of the authenticity and integrity of the documents by utilizing the blockchain in a bid to create the transparent and highly trustworthy society. After developing the blockchain recordkeeping platform in 2019 under the support of budget from the Ministry of Science and ICT, the National Archives of Korea(NAK) completed the research and development project by utilizing the same platform in December 2020. This thesis summarizes the case for development and research of the blockchain recordkeeping platform which has been implemented at the National Archives for the past 2 years. The blockchain recordkeeping platform has been developed using Hyperledger fabric which is an open source blockchain platform. NAK connected their record managemet & archives system with the blockchain recordkeeping platform to assure the authenticity of the public electronic documents and developed the verification services for general public to enable the confirmation of the authenticity of the electronic documents. They also designed the model for practical application of archives tasks using blockchain smart contracts and verified the model in terms of the assurance of the authenticity of the large-scale audiovisual records.

Keywords: Blockchain, Record Management, Blockchain Record Keeping Platform, Transactions, Smart Contracts, Decentralized Certification of Identity, Audit Trails

1. Introduction

1.1 Background and Necessity of Research

In April 2020, the Ministry of Strategy and Finance announced they would incorporate the budget related to the blockchain in 2021 in accordance with the strategy of the government for propagation of the blockchain (Ministry of Strategy and Finance, 2020). In June of the same year, the 4th Industrial Revolution Committee under the direct control of the President (referred to as "the 4th Industry Committee" hereinafter) passed the resolution in favor of the strategy for diffusion of the blockchain technology for creation of the hyperconnected and non-face-to-face trust society (The 4th Industry Committee, 2020). The policy efforts on the level of the government are being progressed to look for the measures in blockchain for diffusion of the digital non-face-to-face culture and for reinforcement of connectivity in the online spaces relative to the prevalence of COVID-19 virus infection. With the aim to focus the support on the areas with high potential for propagation of the blockchain, the government is attempting the full-fledged diffusion of the pilot projects of the blockchain public initiatives which commenced from 2018 to the public work areas (The 4th Industry Committee, 2020, p.19).

The project of National Archives was selected as one of the 12 pilot projects of the blockchain public initiatives and was awarded the external budget of KRW 1 billion supported from the Ministry of Science and ICT. By way of this project, the blockchain record keeping system was developed and established in place by adopting the Hyperledger fabric[1)] platform which was relatively larger in scale among the diverse blockchain development projects. The consensus model was tested by creating the network node system where the 4 institutions related to record management participated and the integrity over the whole life cycle was verified with the electronic documents from On-nara which is the work management system of the government (National Archives, 2020a).

The National Archives and Records Administration (NARA) in the U.S. has suggested the use of blockchain as an alternative since the existing method to assure the authenticity by inserting the digital signature within the document itself entails the recertification problem at expiry of the certificates and the inefficiency problem associated with the requirement for conversion of all documents (NARA, 2019). Korea adopting the method of long-term retention format to require the inclusion of the digital signature to assure the authenticity of electronic documents also faces the same inefficiency problem related to the requirement for conversion of all documents (Ministry of Public Administration and Security, 2020). In 2019, National Archives confirmed by way of the pilot project that the authenticity of records could be assured if the transaction tracing function of the blockchain could be utilized albeit without applying the method to insert and convert the digital signature within individual electronic documents. In addition, it was also learned that the smart contract functions supported at the blockchain record keeping platform developed by

1) As one of the platforms among the Hyperledger projects initiated by Linux Foundation for development of the blockchains for use by the corporates, the Hyperledger fabric was so purposefully developed as to enhance the interoperability as well as to allow the application across the broad industrial sectors by employing the modular structure (Hyperledger, n. d.)

National Archives could be applied for automation of a diversity of record management tasks.

This study summarizes a part of the final result from the research and development project progressed in 2020 with the aim to explore the measures of improvement for the varied record management tasks by utilizing the blockchain record keeping platform developed by National Archives. Due to the rapid migration of the public service tasks into the digital environment, the traditional record management methods can no longer keep abreast with the speed of changes. With the purport to secure the national competitive advantage by applying the 4th industrial revolution technology including the blockchain with priority to the public sector, the government heralds the enforcement of the related policies in the future with the disbursement of a huge amount of budget. At this time, it bears the significant implication that National Archives has established the foundation to enable the research of the novel methods of record management by developing the blockchain record keeping platform for use in experimentation of the public record management tasks. This study has the characteristics as the first stage of research on record management issues based on the utilization of the blockchain and the blockchain record keeping platform may serve as the tool to support the in-depth research and verification in the following stages depending on the change in the government and the record management environment.

1.2 Precedent Researches

The research on the application of the blockchain in record management was first progressed in the overseas countries. After analyzing the application cases of the blockchain in the area of record management and the status of research thereof, Lemieux (2016a) examined the applicability and usability of the blockchain. Lemieux (2016b) analyzed the blockchain as the resolution for creation and preservation of the trustworthy digital records and suggested the limitations, risks and opportunities on the basis of the application cases. After deriving the limitations related to the establishment of authenticity of records inherent in the record management systems based on the blockchain, Lemieux (2017) discussed the blockchain solutions in the perspectives of the archival science. With the aim to develop the software 'ARCHAIN' to transfer the research and technology documents for submission to the record management institutions, Galiev et al. (2018) suggested the algorithm to be used in the system after analyzing the risk factors. Rajalakshmi et al. (2018) proposed the model of safe distributed repository to prevent the forgery and unauthorized modifications while allowing the management without the centralized control system by utilizing the blockchain, smart contracts and the distributed file system (Interplanetary File System, IPFS) for management of the research records. Daniel and Speranze (2020) proposed the methods to warrant the rights of the land users and to resolve the problems related to the right of land use by way of the land administration system linked to the blockchain and the measures to assure the integrity of records related to land. Permatasari et al. (2020) proposed the system to prevent the forgery of and authorized modifications to the records by applying the blockchain and IPFS (Interplanetary File System) to the digital archive (Cilegon E-Archives: CEA) of Cilegon City in Indonesia.

The trend for establishment of the international standards can also be recognized in relation to the record management based on the blockchain. With respect to ISO/WD TR 24332 under development with the joint participation of Lemiux from UBC in Canada as well as the delegates from Korea, Germany and others, the areas for application of the blockchain technology to record management is being dealt with and the major related issues, considerations, definition of concepts and others are under preparation. However, it is yet in the initial stage of discussions and the contacts with the corresponding members of standardization are under way to utilize the project to have developed the blockchain platform at National Archives in 2019 and the result of related research and development this year as the exemplary case.

In the field of domestic record management as well, the discussions are being progressed in respect of the application of the blockchain. Gyeong-Nam Lee (2019) has argued it would be possible to establish the foundation of record management governance by the application of blockchain technology well away from the current discrete stages of administration flowing from the processing part to the record repository and then to the perpetual record archival institution. Gi-Yeong Lee and Ik-Han Kim (2019) contrived the blockchain model linked to the cloud record management system for improvement of record management process such as in terms of the security, administration of the retention format, transfer, notification of creation status and others. Deok-Yong Hong (2019) proposed the model known as 'Archivechain' coming with the blockchain technology grafted onto the electronic record creation system to achieve the efficient administration of nonelectronic records at the public institutions and the prevention of losses caused by the administration expenses.

The above studies analyzed the limitations, risks and others of the blockchain applications through the case analyses after evaluating the applicability of blockchain to record management matters. Different methods and models were proposed for application of blockchain technology to the record management tasks and the systems to support the tasks but the models proposed have the limitation that they remained at the level of the theoretical proposal only and could not be applied to the practical work environment or the systems. This study is distinguished from the preceding studies in that not only did it design and implement the model for application of the blockchain record keeping platform already developed in 2019 by the pilot project for management of records based on the blockchain but it also verified the model by applying the proof of concept[2] (PoC).

1.3 Method and Scope of Research

This study aimed to trace the transactions as the minimum unit for execution of record management tasks by utilizing the blockchain and to design and propose the methods for automation of record management tasks by using the smart contracts. The research was conducted on a diversity of literature to analyze the status of recent technology and the practical

2) The proof of concept (PoC) refers to the proving of feasibility of a certain specific method as a means to demonstrate the realizability of the same method (Fountain of Korean Words, n. d.). In this study, the concept was applied to verify the model designed to apply the blockchain record keeping platform developed already to the practical tasks.

research cases related to the tracing function of transactions and the smart contracts as the essential technology of the blockchain. The domestic and overseas academic theses, the presentation materials at conferences, the final report from the blockchain project implemented by the National Archives in U.K., the blockchain white paper published by NARA in the U.S. and others were obtained and reviewed. Particularly, the final report and research report from the project for development of the blockchain record keeping platform at National Archives in 2019 served as the overall start point for this study and they provided the practical foundation for conduct of research as well.

In order to design the model for practical application to the record management tasks, we conducted diverse interviews with varied record management experts from the practical work departments at National Archives and listened to their work experiences. We checked together with them the model designed based on the analysis regarding whether the work improvement points desired by them could be implemented by applying the blockchain system and a part of them were developed by linking the existing operation system with the blockchain platform.

With the aim to trace and visualize the transactions within the Central Archives Management System (CAMS) currently under operation at National Archives, the current status of functionality was analyzed. In order to assure the authenticity of the large-scale audiovisual records to which the existing long-term retention methods applied to the electronic documents are hard to be applied, the design proposal obtained by way of the research activities such as the analysis of the Media Asset Management[3] (MAM) system at National Archives and its linkage with the blockchain platform and others was verified by applying to a variety of systems. In addition, the statutes, standards and directives as the basis of conduct of the current tasks were analyzed to derive the conditions for automation of blockchain smart contracts and, as appropriate, the requirements raised by the current incumbent staffs were also incorporated into the automation conditions of the smart contracts. By searching and designing the methods for application of the blockchain to record management tasks and by performing the proof of concept for a part of the methods, the applicability to the practical systems as well as the feasibility were verified.

With presentation of the definitions of key concepts such as the smart contracts and others in the perspectives of the archival science, the technology was discussed which can be applied for improvement of the overseas research on the blockchain in the field of record management and the current record management tasks. And after delineating the linkage points between the existing systems and the blockchain record keeping platform developed already by National Archives in 2019 through the analysis of systems, the result of research was summarized and presented regarding 1) the measures for interface with the blockchain and for automation of the existing service to enable view of data delivered by mail, 2) the measure for application of blockchain to assure the authenticity of audiovisual records, 3) the measure for partial automation of the processes such as the review/reclassification of access permissions for view and others

3) MAM is a separate system developed and implemented at National Archives in order to administrate the audiovisual records by way of the system for creation of electronic records in accordance with Article 19 of the Enforcement Decree of the 「Act on Management of Public Records」. As per the existing concept, it refers to the system used to collect, preserve, process, store and utilize a massive quantity of large-scale audiovisual records in a systematic way. (Wager, 2005, p.40).

by utilizing the smart contracts, 4) the measure to allow the traceability of nonelectronic records by applying the blockchain and 5) the measure to warrant the transparency of the details of works conducted by visualization. Since the final report including the result from the implementation of the research and development project is planed to be published at the beginning of 2021 after completion of the project, the corresponding document may be referenced in addition for further details.

2. Major Concepts and Cases

2.1 Major Concepts

The blockchain is the collection of technology to warrant the irreversibility as well as transparency by storing the transaction records at all the participants of the network in a distributed way. The irreversibility of the blockchain signifies that it warrants the integrity condition of the data by binding the data with the chain after saving the authentic data in the blocks which cannot be changed. This is accomplished by having the blocks include the hash value of the preceding block at the time when each block is created and having all participants share a copy of the same transaction record. If anybody wishes to modify the contents of a single block, all the blocks created after the same block should be modified as well and the blocks stored at the computer of each of all other participants should also be modified to be the same as the blocks modified initially and therefore this is impossible in substance. The transparency of the blockchain is accomplished by saving all transactions related to the records at the blockchain such as transfer, reading or others and by having the details to be shared by the participants and this allows the tracing of contents stored at the blockchain anytime after occurrence of the transactions. Here the term 'transaction' refers to the minimum unit for processing of tasks in the course of business process as suggested by ISO 15489-1:2016 (ISO 15489, 2016) and it was used for the same meaning in this study.

As the concept first proposed by Nick Szabo in 1990s, the smart contract was defined by him as "a series of promises designated in a digital form including the protocol for fulfillment in regard of the specific promises made by the parties" (Szabo, 1996). It was from the time when it began to be used as the implementation basis of Ethereum which is referred to as the second generation blockchain that it began to be actively utilized after it had emerged initially. The concept of smart contract passed within Ethereum includes the implementation in code of the contract which used to be executed in writing and it causes the contract to be fulfilled automatically when the prerequisite conditions specified in the contract implemented in code have been satisfied. By way of the smart contracts, the transactions between the parties without the trust guaranteed can be executed without the aid of mediators and the trustfulness and integrity of the transactions can be warranted by way of the mutual verification (Zaghloul et al., 2019). By using Solidity, Serpent and others as the programming language of Ethereum, not only can it be allowed to utilize the smart contracts but diverse types of decentralized applications (referred to as "DApp" hereinafter)[4] can also be developed to execute the smart contracts

4) This is the decentralized applications executed on top of the blockchain. DApps provide a diversity of

(Ministry of Science and ICT, Korea Institute of S&T Evaluation and Planning, 2019, p.27). As per the Hyperledger project referred to as the second generation blockchain as in the case of Ethereum, the concept of virtual currency was precluded from the blockchain and the concept of the blockchain was enhanced to enable its use in diverse fields such as the corporates and others. Within the Hyperledger fabric platform, the smart contracts are referred to as the chaincode but this study used the term 'smart contract' as is generally passed instead of chaincode.

The tasks for management of public records are carried out in accordance with the provisions from the 「Act on Management of Public Records」. These provisions are the basis as well as the trigger conditions for conduct of related tasks and when the different conditions specified in these provisions are satisfied or when the time specified in these provisions arrives, the related tasks specified for management of records should be carried out. In this research, the provisions from the 「Act on Management of Public Records」 and any of the other statutes and rules related to the conduct of record management tasks were assumed as the prerequisite conditions for automatic execution of the smart contracts and the smart contract was defined and described as the mechanism to have the related tasks to be carried out automatically if these prerequisite conditions were satisfied.

Meanwhile, Lemieux (2017) distinguished 3 distinct stages in the development process of the blockchain record keeping concept. As the first stage, the mirror type signifies the method to warrant the integrity of authentic records by separately establishing a blockchain platform as a cryptographic mirror system relative to the records retained within the existing work system developed already and under operation (Lemieux, 2017). The digital record type in the second stage enables the tasks to be carried out together with the management of records within a single system by developing and implementing the new work system itself as a blockchain platform (Lemieux, 2017). The tokenized type in the last stage even warrants the integrity of the nonelectronic records - which are not the electronic records - by attaching to the records and tracing the specific tokens which can be recognized by the blockchain platform and this type is introduced as the most innovative method for management of records based on the blockchain (Lemieux, 2017, p.7). With reference to these development stages suggested by Lemieux (Lemieux, 2017), the direction in which the blockchain data management will evolve in the future can be projected.

2.2 Major Cases

2.2.1 Project for Development of Blockchain Record Keeping Platform at National Archives in 2019[5)]

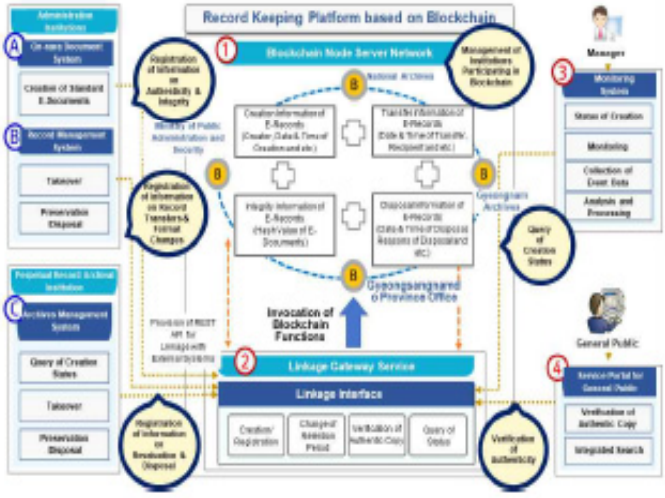
The advance of digital government systems naturally led to the possibility of change being sought in terms of the record management methods based on the application of technology and

application services in addition to the contracts among the participants and since they can be executed in a distributed way in the blockchain, it is possible to prevent the forgery of and unauthorized modifications to the DApps themselves as well as the information processed by DApps (National Archives, 2020).

5) This was prepared with reference to the research report on the record management based on trust for which the blockchain published in 2020 on the basis of the project implemented in 2019 was applied.

as part of these initiatives the blockchain project at National Archives came to be implemented under the support of budget from the government. The National Archives (2020) has confirmed that the transparent management and assurance of integrity were possible across all the stages from the creation to the destruction of the electronic documents based on the blockchain by developing the blockchain record keeping platform.

By way of this project, in order to link the blockchain to the existing record management systems, the National Archives determined the interface points between the blockchain and the existing systems based on the analysis of the record management procedures, record metadata, government work management systems, cloud record management systems and Archives Management System (AMS) and surveyed the monitoring functions for which the reinforcement was requested in the existing systems. In addition, in order to provide the verification service of the authentic copies to the general public, the National Archives portal, the information disclosure portal and the portal of the Korean Intellectual Property Office were analyzed. Based on the result of analysis, the blockchain record keeping platform was developed with the participation of the Ministry of Public Administration and Security, Gyeongsangnamdo Province Office, National Archives and Gyeongnam Archives as the node institutions. The <Figure 1> below depicts the composition of the system developed.



<Figure 1> Composition Block Diagram of the System Established (National Archives, 2020a)

1)

This system was developed by linking the blockchain record keeping system with the existing government work management system, the record management system and the perpetual record management system by applying the concept of cryptographic mirror system as one of the stages for record management based on the blockchain suggested by Lemieux (2017). In this process, the smart contracts and DApps were applied to enable the transparent tracing of electronic documents, the assurance of their integrity and the monitoring by the record management personnel across their entire life cycle with the visualization of the relevant processes. In addition,

the verification service of the authentic copies was developed for the general public on a pilot basis to enable the confirmation of the authenticity of the electronic documents received electronically by implementing the on-screen view service by linking the blockchain with the service portal for the general public.

While the blockchain platform developed by way of this project was deployed for maintenance of the record management tasks and functions together with the existing record systems, it was verified that the long-term preservation format NEO (NAK's Encapsulated Object) which used to be utilized to warrant the authenticity and integrity of records could be replaced by the linkage functionality with the blockchain. Moreover, it was also verified that the history of all processing could be traced on a real-time basis across the whole process of record management from the time of creation to the time of transfer and preservation of records, view services and others. At this time, instead of the on-chain[6] method to save the electronic documents themselves in the blocks, the advantages of the off-chain[7] method were also confirmed as well in terms of the processing and storage burden offloaded from the blockchain network and the improved efficiency since only the metadata of the processing history was saved in the blocks together with the hash value.

However, the project in 2019 has the limitation that it included only a limited quantity of electronic documents with only several institutions participating as nodes since it was progressed as a pilot project. But if the project should be expanded for application to the central and provincial administration institutions, the system has to process 1,544 million transactions annually on average on the basis of the result of verification and if only the standard electronic documents are targeted, this leads to 17 TB of block data accumulated each year, which offers the basis of reference in the case of the propagation in substance in the future (National Archives, 2020a, p.127).

Nevertheless, the fact that the blockchain record keeping platform was established by disbursing a great amount of budget and then the function of the blockchain to warrant the integrity of the electronic documents was verified in substance by utilizing the platform is the distinctive outcome to distinguish the project from the other ordinary projects. Besides, the result of project in 2019 suggests the need to research the technological resolutions, based on the blockchain platform, for the limitations in capacity due to the long-term preservation of large-scale records such as the audiovisual records and for the application of formats and, in this respect, the contribution was made to the progress of the major tasks for this study.

2.2.2 ARCHANGEL Project in U.K.[8]

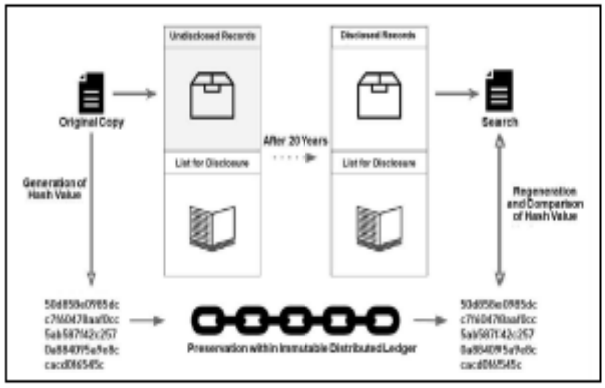
6) The on-chain method refers to the method to save all of the transmission details (i.e., the records themselves) occurring in the blockchain network within the blockchain (Dictionary of Contemporary Affairs, 2018).

7) The off-chain method refers to the method to save the transaction details (i.e., metadata, hash values and others) at locations outside of the blockchain (Dictionary of Contemporary Affairs, 2018). In this study, the off-chain** method is recommended rather than the on-chain* method which saves the records themselves within the block and the discussions were described in that perspective.

8) The contents of this section were analyzed and described by focusing on "ARCHANGEL: guaranteeing the integrity of digital archives" published by Open Data Institute (referred to as "ODI" hereinafter), TNA in U.K. and the University of Surrey (referred to as "Surrey" hereinafter) in 2019.

The ARCHANGEL project was the research project progressed in U.K. to warrant the integrity of digital records with the participation of 3 institutions under the initiatives of the National Archives (TNA) in U.K. This project commenced in July 2017 and the final report was published in August 2018 and this project aimed to assure the integrity, authenticity and trustworthiness of the records created electronically by utilizing the distributed ledger technology and machine learning as the artificial intelligence technology.

As the backdrop of this research, Green et al. (2019) suggested the circumstances whereby the trust laid by the general public on the Archives and Memory Institutions (referred to as "AMI" hereinafter) has eroded as the forgery of and unauthorized modifications to the electronic records became easier due to the advance in technology and partly because of the generation of



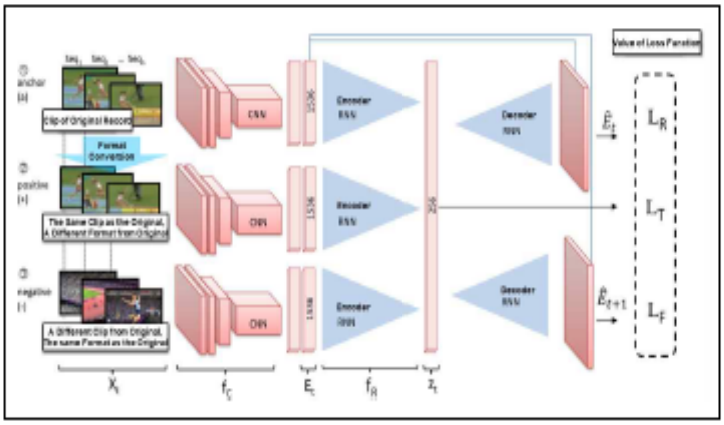
<Figure 2> Repository of the Metadata of Undisclosed Records within the Distributed Ledger (Green et al., 2019)

numerous composite contents. As the means for recovery of the trust on AMI by the general public and for guarantee of the integrity of records, the method utilizing the existing databases as well as the method to utilize the Merkle tree[9] or the durable storage provided by the private corporates were taken into consideration but it was concluded that it was difficult to apply them due to different limitations. Contrary to these, the blockchain awards the permission to write the records in the distributed ledger only to the authorized institutions but the permission for view of the recorded contents after accessing the distributed ledger is granted to every node participating in the blockchain. Moreover, it comes with the scalability to allow the utilization of varied tools provided by way of the open-source codes and enables the integrity of records to be assured by multiple parties by way of the consensus mechanism rather than by a single centralized institution. The scheme to warrant the integrity of records on the basis of the blockchain in the ARCHANGEL project is depicted in <Figure 2> below.

The scheme shown in <Figure 2> saves the hash value within the blockchain which can be used to verify the integrity of undisclosed records transferred to TNA and, after 20 years, to verify that the record was not forged or modified in

9) The Merkle tree is the technique to connect the new item to the preceding item and to repeat this process to establish the connection chain in an orderly way. This warrants the integrity of records since the modification to any of the items included in the connection chain gives the influence to the items following in the chain. In addition, since the items can be cryptographically signed, the sources can be verified by comparison with the public key.

an unauthorized manner by comparing the hash values. Within the ARCHANGEL



<Figure 3> Method of Machine Learning for Extraction of TCH (Bui, T. et al., 2019, p.3)

project, the combination of the blockchain with the artificial intelligence (AI) was attempted in a bid to warrant the integrity of audiovisual records. The audiovisual records require the continuous conversion of the formats for utilization and the converted record has a different hash value even with the same contents as the original copy if the format was changed. In order to resolve this problem, the ARCHANGEL project developed the temporal content hash (referred to as "TCH" hereinafter) by applying the deep neural network as a kind of artificial intelligence technique (Bui et al., 2019, p.1). In this research, the machine learning algorithm was executed with the target of audiovisual records to extract the contents characteristics of the records irrespective of whether the format was converted or not. As the characteristics value extracted by capturing the contents characteristics irrespective of the fact of conversion of formats, TCH was the concept suggested for the first time by the ARCHANGEL project (Bui et al., 2019, p.3). This research proposed the application of TCH for replacement of SHA 256 hash values as the means to warrant the integrity of audiovisual records. The <Figure 3> below depicts the method of machine learning executed for extraction of TCH.

In order to extract TCH, the machine learning algorithm was executed with the target of video data by utilizing the convolutional neural network (CNN)[10] and recurrent neural network (RNN)[11]. It was clarified that the materials used for learning included the records of the courts in U.K. with only limited motions included and the Olympic videos with lots of motions included (Bui et al., 2019,

10) The convolution refers to the operation to create another function from two different functions by utilizing the integration and the convolutional neural network (CNN) uses this feature to categorize the images, videos and others and is the algorithm most widely used in machine learning (Korean Mathematical Society, 2015; MathWorks, n. d.).

11) The recurrent neural network (RNN) is the deep learning model utilized for learning of the data which is subject to change over time such as the audiovisual records (Telecommunications Technology Association, n. d.).

pp.5-6.). The machine learning algorithm was so purposefully designed as to enable the extraction of the hash values by checking the contents characteristics of the records by learning the three targets including the clip of the original record, the same clip as the original but in a different format and the clip not the same as the original but in the same format as in <Figure 3> above (Bui, T. et al., 2019, p.5). The TCH extracted through machine learning was stored in the blockchain together with the unique identifier of the record while the original record, the unique identifier (UID), the encoder used in extraction of TCH and the machine learning model were stored in the record management system after being bundled into the submission information package (SIP) (Bui et al., 2019, p.2).

The user research was conducted for use of the ARCHANGEL prototype predicated on Ethereum which was the outcome of the research participated by TNA in U.K., NAA in Australia, NARA in the U.S., the National Archive in Norway and the National Archive in Estonia (ODI, 2019, p.7). As a result of the user survey, most participants responded they would affirmatively consider the adoption of the system at the level of the institution if the authenticity and integrity of the record could be warranted. Besides, there was the common opinion raised that there were difficulties in use as the blockchain technology was not easy to understand (ODI, 2019).

The ARCHANGEL project developed the prototype which could be applied for the tasks for management of the public records by combining the artificial intelligence with the blockchain and also conducted the user research to enhance the quality of the prototype. Moreover, it aimed to provide the resolution for long-term preservation of the electronic records by extracting the hash values which did not change despite the conversion of formats by utilizing the deep neural network. In addition, it also stressed the fact that the participation of diverse institutions was necessary in order to utilize the blockchain for management of records and that the collaboration of different AMIs was necessary for utilization of the trust structure of the blockchain.

At present, the National Archives in Korea is creating and managing the audiovisual records in 3 separate formats including the original copy, the preservation copy and the utilization copy by way of the MAM system. When it is necessary to identify the authentic audiovisual records by distinguishing the characteristics of each format in the future, the TCH study as per the ARCHANGEL project is expected to be useful for reference.

2.2.3 ArchContract[12)]

ArchContract is the case which conducted the research on the model which utilized the blockchain platform and smart contracts to control the disposition of records within the electronic document and records management system (EDRMS). The research clarified it adopted the smart contracts predicated on the blockchain for verification of integrity.

The ArchContract model is composed of the temporary and permanent repositories to enable

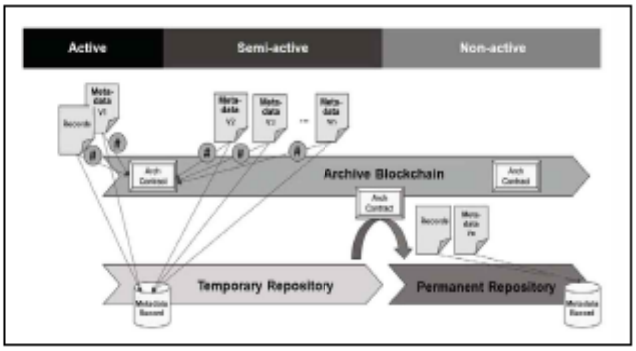
12) The contents of this section were analyzed and described by focusing on "ArchContract: using smart contracts for disposition" presented at IEEE International Conference on Big Data by Batista, D. and Weingaertner, T. in 2019.

the application of the blockchain technology differentially in accordance with life cycle stages of the records including the active, semi-active and non-active stages. The temporary repository is used in the active and semi-active stages with the guarantee of record immutability as well as permission of deletion of data items. The permanent records with the historic value recognized are transferred to the permanent repository for preservation with the modifications to the contents prevented. The parties to the ArchContract model comprise the creator institutions and the record management institutions with the latter assuming the role of the trusted repository with the responsibility for takeover of the records. As the prerequisite for application of the ArchContract model, the creation and management system of the electronic records should be furnished in place in compliance with the requirements related to the classification scheme and metadata for preservation of the context and meaning of the records intact. Moreover, the access to and use of the records transferred to the archives should be allowed to the general public. The processes of the ArchContract model over the life cycle of records are as depicted in <Figure 4>.

The <Figure 4> shows the processes of the ArchContract model to save the records themselves and the hash values of the metadata within the archive blockchain with the additional updates enabled after distinguishing the storage space into the temporary and permanent repositories depending on the stages in the life cycle of the records. The ArchContract model was designed to provide the addresses of the records and metadata in case the management stage undergoes the changes across the life cycle of the records.

The blockchain record keeping model proposed in this research was so deliberately organized as to allow the overall application to the processing part, record repository and the perpetual record archival institution by distinguishing the repositories. Moreover, it has the meaning that it suggested the method to enable the management without interruption across the entire life cycle of records from creation to disposal and even to permanent preservation.

However, since this research did not build the model in practice with only the above concept of the model designed and proposed, it has the limitation that the applicability, feasibility and



<Figure 4> Processes of ArchContract (Batista, Weingaertner, 2019)

others cannot be evaluated. In addition, as the methods for development of the model and for linkage with the other systems were not explained specifically, the project is no more than the

suggestion of ideas and therefore the additional research is considered necessary in terms of the development of system in practice and others.

2)

2.2.4 Trends of the Other Research Activities

Being the 4th project of the InterPARES project, ITrust was implemented to research the methods to warrant the trustworthiness of electronic records in the cloud environment from 2013 through 2018. As a part of the efforts, it presented the blockchain as the resolution to the problem of the long-term preservation of records for the purpose of audits (Duranti, Rogers, 2019, p.9). Along with the stress of the requirement to assure the authenticity and usability of records for the long-term preservation within the cloud system, the project also proposed the application of the scheme of management based on the off-chain method (Duranti, Rogers, 2019, p.146). As the model whereby the institutions participating in the blockchain upload the hash value to the block after verification of the validity of the digital signature of the records for certification of the authenticity of digital records with the digital signature attached and for long-term preservation, the 'TrustChain' was proposed as well (Duranti, Rogers, 2019, p.150). The research asserted that the blockchain might serve as the resolution for the problem to rely on the certificates for management of digital records which had been continuously raised as it related to the long-term preservation of the electronic records (Duranti, Rogers, 2019, p.135).

Otherwise, the research activities on the application of the blockchain can be summarized as follows. The need to apply the blockchain technology for protection of personal information has been continuously raised and due to the migration to the non-face-to-face economy, the industry for decentralized authentication service of identity or the decentralized identifier (referred to "DID" hereinafter)[13] service based on the utilization of the blockchain is being expanded (the 4th Industry Committee, 2020, p.20). In line with the amendment of the Act on Digital Signatures, the research and development activities for provision of the services based on DID are actively progressed at Military Manpower Administration, the Ministry of Public Administration and Security and others. The fields of record management where DID is actively studied and utilized are those related to the medical services and the management and sharing of health records. The following studies address the measures for utilization of DID in relation to the sharing of health records.

Unnithan, Houghton, Anema and Lemieux (2020) conducted the research on the cases where the blockchain was utilized for management and sharing of electronic health records. Since the health records include the personal information, the agreement of the individuals is indispensable for use of the records for sharing with other institutions and for the research activities and the matching between the record and individual should be confirmed without exception (Unnithan et al., 2020). While suggesting the advantages deriving from the utilization of DID which is based on the blockchain such as the minimization of leakage of personal information, the possibility of identification with self-sovereign identity[14] and others, they summarized the research activities

13) DID is a new type of identity to enable the certification and distribution of digital identity. It was designed to allow the separation from the centralized registration institution, the provider of identity and the authentication institution (Reed et al., 2020).

14) Self-sovereign refers to the scheme whereby the individuals retain the authority of decision in regard of the

which were being briskly progressed in relation to DID (Unnithan et al., 2020).

Lemieux and the other 10 persons (2020) presented the design scheme related to the sharing and control of the personal data and the verification of qualification based on DID and conducted the user research. This research presented the design scheme related to the identification of individuals, the verification of qualification and the control of access to and provision of personal information with the utilization of DID and Hyperledger Indy[15]. It was asserted that the model proposed in this research utilized the zero-knowledge proof[16] method as in Hyperledger Indy, did not disclose the identity of the data owner, did not store the personal information and allowed the proof of qualification, identification and sharing of information (Lemieux et al., 2020, p.13). The limitations indicated in this research in relation to the sharing of personal information based on the application of blockchain included the low-level understanding by the general public in regard of the encryption and network technologies related to the blockchain technology, the burden for the proper management of the health record of individuals and others and it was also commented that the supplementation was necessary by way of the additional studies in relation to these limitations and that it would not be enough to resolve all the problems by the application of a single technology (Lemieux et al., 2020, pp.19-20).

As can be noted above, the studies in regard of the records with the blockchain applied and the management of such records are being progressed under a variety of objectives. Particularly, the continuous payment of attention and the continued tracing efforts are considered necessary in view of the fact that Lemieux (2016a) is continuing the research to date regarding the application cases and limitations while highlighting the blockchain technology as the technology for management of records.

3. Study on Management of Records Based on the Application of Blockchain

This chapter addresses the details of research conducted in regard of the diverse models for integration of business tasks on the basis of the blockchain record keeping platform developed in 2019 and the details of verification conducted in regard of the technological feasibility. In order to survey the improvement points anticipated from the current tasks or the systems, the interviews were progressed over 7 times with the incumbent staff for each task area at National Archives and with the Next Generation E-Proceedings Task Force at the Supreme Court. The outlines of the interviews conducted are summarized in <Table 1> below.

---

personal information and the self-sovereign identity is a new technology to enable the individuals to prove one's identity with the right to control the information about themselves (Lemieux et al., 2020).

15) Hyperledger Indy is a platform developed specifically for DID and was designed to allow the interoperation with other blockchains (Jones, 2020).

16) This is a cryptographic technique to enable the accomplishment of proof only based on the fact that the knowledge is retained without disclosing the password itself or others (Lemieux et al., 2020, p.11). In the authentication based on the use of the zero-knowledge proof, the authentication is accomplished only by proving the fact that the asserting person A knows the key without revealing anything about the key of the asserting person A (Telecommunications Technology Association, n. d.)

<Table 1> Outlines of Interviews Conducted with Incumbent Staff

Staff in Charge	Affiliation	Date and Time	Venue	Time	Details of Interview
Staff A	Restoration Management Section at National Archives	May 8, 2020	Nara Repository at Nat'l Archives	1 Hr & 30 Min.	• Discussion of measures for linkage of the blockchain with audiovisual records
		Jun. 9, 2020		1 Hr & 30 Min.	• Explanation on design model of audiovisual records • Discussion on interfaces for linkage with blockchain
Staff B	Next Generation E-Proceedings Task Force at the Supreme Court	May 15, 2020	Supreme Court	1 Hr	• Discussion of measures for linkage between the management tasks of audiovisual records and blockchain
Staff C	Disclosure Service Section at National Archives	May 19, 2020	Main Office of Nat'l Archives at Daejeon	1 Hr	• Understanding of business process for view services at the Supreme Court • Discussion of measures for linkage with blockchain
Staff D	Preservation & Takeover Section at National Archives	May 20, 2020	Nara Repository at Nat'l Archives	1 Hr	• Understanding of current status of management processes of non-electronic records • Discussion of measures for linkage with blockchain
Staff E	Record/Information Foundation Section at National Archives	Jun. 18, 2020	Main Office of Nat'l Archives at Daejeon	1 Hr	• Understanding of CAMS system • Understanding of the items pertaining to the statistics requested
Staff F	Service Policy Section at National Archives	Sep. 25, 2020	Nara Repository at Nat'l Archives	30 Min.	• Explanation on visualization design of review/reclassification of access permissions for view • Convergence of opinions of the staff

The interviews with the incumbent staff were progressed with the aim for understanding of the related business processes and for detailed discussions on the measures for linkage with the blockchain and the discussion was also included about the measures for which the opinions of the staff need to be collected and consolidated after design of the model. On the basis of the result of interviews, the measures for linkage with the blockchain for the purpose to complement and improve the current business processes and tasks were designed and presented as follows.

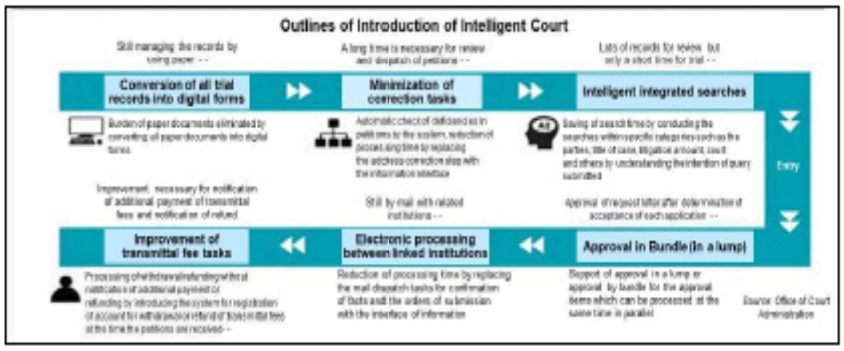
3.1 Study on Improvement of View Service of Records with Application of Blockchain

The view service of records at National Archives includes the cooperation tasks between the institutions for provision of records to the public institutions and the commission tasks for delivery of documents to the courts in addition to the service tasks related to the request for disclosure of information rendered for the benefit of the general public. The commission tasks for delivery of documents to the courts enable the courts to view the records at National Archives and to request the documents necessary for progress of the trials. The <Figure 5> below depicts in a diagram the current processes of the commission tasks for delivery of documents to the courts based on the understanding obtained by way of the interviews with the staff in charge of view services at National Archives.

<Figure 5> Current Process of Commission Tasks for Delivery of Documents between Natioanl Archives and Courts

of trials, the commission tasks for delivery of documents to the courts are first initiated by the reception of the request by mail into the work management system at National Archives. Then after searching the requested records in CAMS, if the records are available, the approval procedure is progressed including the preparation of reply letter for the request and others in order to provide the requested records. The requested records are either printed or copied and when the procedure to obtain the approval has been completed, the data printed or copied is transmitted after imprinting the watermark and the official seal together with the reply letter.

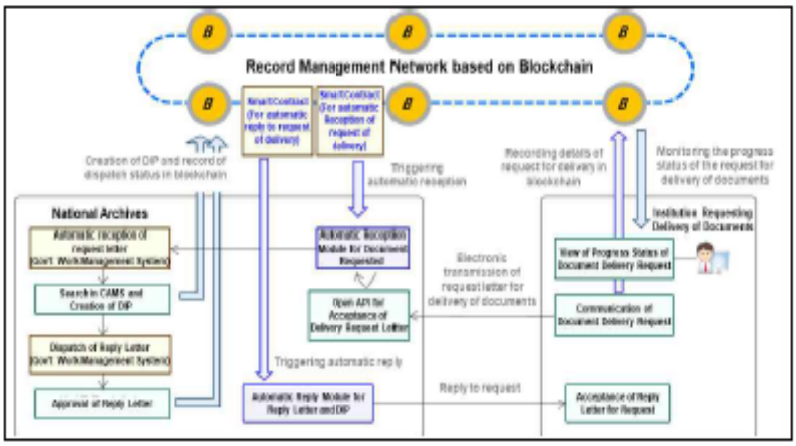
In general, since the paper records requested by the courts include a great many number of paper sheets, it entails lots of resources exhausted in terms of time and labor to print and send them all by mail. By way of the interview with the staff in charge of the view services, it was confirmed that about 4 to 6 days was necessary for the procedure to send them by mail and it was also confirmed that the response time for rendering the services to the general public was prolonged due to the burden of processing time in this respect. Basically, this is a problem deriving from the fact that the courts recognize the value as evidence only for the paper documents. However, the plan conveying the transitional position of the court with respect to this practice was recently announced by the court. The purport is to eliminate the burden of paper documents by converting the records of trials into the digital forms after introducing the intelligent court by 2024. The following <Figure 6> shows the outlines extracted from the plan for introduction of intelligent court announced by the Office of Court Administration.



<Figure 6> Outlines of the Introduction of Intelligent Court

By way of the interview progressed with the Next Generation E-Proceedings Task Force from the Office of Court Administration within the Supreme Court, the blockchain research team at National Archives discussed the method to electronically provide the records requested from the courts by utilizing the blockchain technology (Staff B, Interview, May 15, 2020). In this wake,

the design was obtained for the commission model for transmission of documents based on the utilization of the blockchain. As the initiative to completely replace the paper documents by the electronic means, this method provides the records electronically by way of the linkage between the national record management network predicated on the blockchain and the open API[17] for acceptance of electronic documents within the Next Generation System at the Supreme Court. The business process designed for the commission tasks for delivery of documents to courts is as shown in <Figure 7> below.



<Figure 7> Model Proposed for Processing of the Commissioned Tasks for Delivery of Documents between National Archives and Courts

The above <Figure 7> depicts the scheme to electronically process the entire procedure of the commission tasks for delivery of documents to courts and to automate the process by utilizing the blockchain smart contracts. The proposed work procedure is as follows. ① The request for view and others which are currently received by mail is automatically received and accepted to the work management system. ② The staff in charge searches for the requested records in CAMS. ③ The requested records are selected if available in the system. ④ The selected records are automatically transmitted to the system for creation of Dissemination Information Package. ⑥ The reply letter is generated automatically to obtain the approval based on the corresponding smart contract. ⑦ The dissemination package is transmitted through the Open API for exchange of documents at the system within the Supreme Court. In this process, the history data for creation and transmission of the dissemination package is recorded in the blockchain as the audit trail.

The length of time currently taken in the process up to the transmission of the requested contents after receipt of the request for delivery of records can be significantly reduced by the electronic receipt and transmission on a real-time basis. For calculation of the quantitative effect, the time taken for receipt of the request for view, processing of records and transmission of

17) On the basis of the project for development of the Next-generation Electronic Lawsuit System, the Supreme Court intends to implement the commission tasks for delivery of documents exchanged by mail with the Ministry of Public Administration and Security and others by way of the system linkage. With the completion targeted in August 2024, the Open API for electronic reception will be developed and provided for electronic linkage.

dissemination package of the records is assumed to be 3 days with the transmission, delivery and receipt presumed to take 1 day each. Then a total of 6 days (144 hours) is needed for only the receipt and transmission of the request and reply for a single case of commission task for delivery of documents to the court but if the receipt and transmission are processed through the blockchain, the results can be immediately confirmed on a real-time basis leading to the elimination of delays in substance (National Archives, 2020b). This does not only reduce the processing time of the tasks but the time taken for delivery of mail is also removed leading to the reduction in time for provision of records to the general public as well.

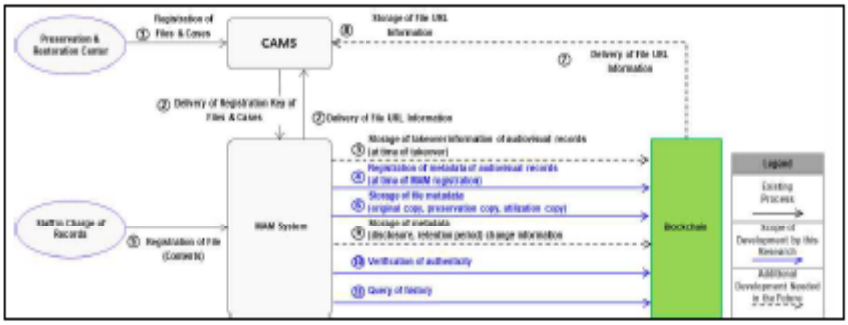
The model with the blockchain applied presents the possibility to improve the work efficiency of the staff in charge of the view services at National Archives by automating the receipt of requests and the transmission of replies based on the linkage and interface of information among the systems. The process for imprinting the official seal after printing the requested records in hardcopy forms can be streamlined and made more efficient by automatically registering the records identified for creation of the dissemination package via the linkage with CAMS and by developing the system for creation and transmission to external institutions of the dissemination package of electronic records (editing of pages and imprinting of watermark and the official seal). Moreover, the possibility of forgery or unauthorized modifications, which can occur in the process of electronic transmission, can be prevented with the authenticity warranted as the authenticity of the records transmitted and the history of transmission are registered in the block.

If the systems of the court and National Archives can be linked with each other on the basis of this research model in 2024 when the intelligent court is implemented in a full-fledged manner, it is anticipated that the automated transmission of electronic documents and the intelligent type record management will also be realized by utilizing the blockchain smart contracts.

3.2 Method for Authenticity of Audiovisual Records

For the long-term preservation of the electronic records, the National Archives has defined the technological specifications for the long-term preservation format and manages the records by converting to NEO which is the format for long-term preservation. NEO allows the long-term preservation and verification of the authenticity of records by implementing the requirements related to the file of records, metadata and the digital signature in a single package. However, at present, the target records for conversion into the format for long-term preservation are created by more than 40 million cases annually in terms of the standard electronic documents and the related problems are being raised such as the high incidence of conversion errors including the omission of the essential items of NEO metadata and others and the requirement of periodic reconversion (Staff A, Interview, May 8, 2020). Moreover, due to the drawbacks of the system overloading as well as the long processing time, it is substantially difficult to convert and manage the large-scale audiovisual records in NEO format under the current circumstances (Staff A, Interview, May 8, 2020). This study designed the scheme to link the MAM system with the blockchain system to enable the proper management of the audiovisual records and to warrant the authenticity.

At present, the audiovisual records are being managed and preserved in a distributed manner by using CAMS and MAM with the information for management of records such as the title, retention period, permission status for disclosure and others being managed by way of CAMS and MAM is used for storage and management of the copies converted to the format for preservation and utilization including the original copies of the audiovisual records and the system attribute information related to the files (Staff A, Interview, May 8, 2020). With respect to the method of processing, if the information for management of records is first registered in CAMS, the related information is delivered to MAM at the interval of a fixed time. Because of the difficulty in management due to the structure of duplicate layers and the omission of procedures for confirmation of record authenticity, the improvement is needed. This study proposed the method to apply the blockchain as the means for warrant of authenticity and long-term preservation of the audiovisual records as follows. The <Figure 8> below depicts the business tasks carried out at each system based on the linkage among the CAMS, MAM and blockchain systems.

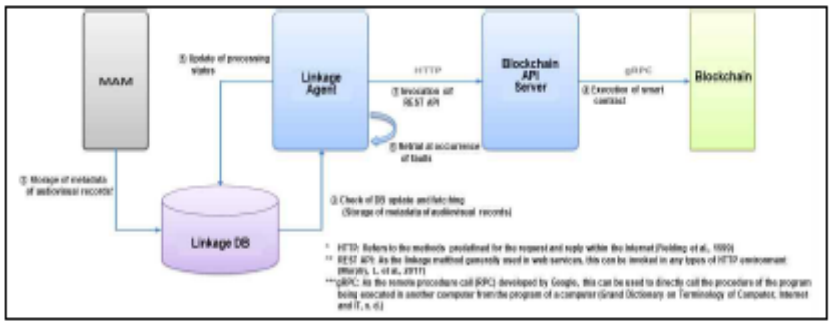


<Figure 8> Model Proposed for Linkage between the MAM and Blockchain Systems

Within CAMS is registered the metadata of records in a hierarchical way in terms of the files and cases as the current basic structure for management of records and the keys related to them are delivered to the MAM system. The metadata and others of the audiovisual records are stored in the blockchain linked with the MAM system and after uploading the records to the MAM system, the staff in charge of the management of audiovisual records updates the corresponding information to the blockchain at the interval of a fixed time. Then subsequently, if the authenticity of the record needs to be confirmed, the verification can be carried out with reference to the metadata and hash value stored in the blockchain along with the confirmation of history of record management as per the current design. The <Figure 9> below shows the process for implementation of the linkage between the MAM and blockchain systems.

The <Figure 9> above depicts the model illustrating the scheme for linking the blockchain with the MAM system. The MAM system was designed to be interfaced with the blockchain by way of the database linked with the MAM system as well as the linkage agent[18] at the time when

18) The agent refers to the autonomous processes which carry out the tasks under certain objectives on behalf of the users as a part of the environment of a certain network or others or within such environment (Grand Dictionary on Terminology of Computer, Internet and IT, 2011)



<Figure 9> Model of the Scheme for Linkage between the MAM and Blockchain Systems

the registration key is delivered from CAMS and when the original copy of the file and others are stored at the repository. If the metadata of the audiovisual record and the metadata of the file which is distinguished into the original copy, preservation copy and utilization copy are stored in the linked database by way of the MAM system, the metadata stored is recorded in the blockchain through the linkage agent linking the database with the blockchain and the smart contract. If any errors occur in this process, the linkage agent can be invoked to attempt the recording again as per the design. If the metadata has been recorded in the blockchain, the status of processing is transferred back to the database to synchronize the status between the blockchain and database. The linkage agent system keeps the blockchain and MAM system synchronized by checking periodically whether the data in the database has been updated or not. In this way, the model for management of the audiovisual record was established and verified on the basis of the linkage between the MAM system and the blockchain.

The integrity of records can be warranted by storing the metadata of the audiovisual records in the block which cannot be forged or modified and the two systems which used to be managed in a discrete fashion can be interfaced organically by synchronizing the blockchain, CAMS and MAM and therefore the management of the audiovisual records can be much facilitated. And since the authenticity of the record can be warranted by the verification of the hash values of the record metadata stored in the blockchain, the authenticity of the record can be easily confirmed at the time when the audiovisual records are utilized. It is also possible to trace the process of task performance as well as the history of records because the update history of the record metadata stored in the blocks is immutable given the characteristics of the blockchain. By developing the interfaces in advance for the parts which need to be incorporated in addition in the future as the MAM system is enhanced, it was made easy to develop and link the corresponding functions after the enhancement of the system. On the basis of the linkage between the blockchain and the MAM system, the scheme for management of audiovisual records was established with the pivotal role assumed by the MAM system thereby eliminating the duplicate management structure as well as the burden of redundant tasks. By combining these fundamental systems with the artificial intelligence in the future, it will be possible to devise a diversity of methods for creation of the unique values for identification of the audiovisual records and for the long-term preservation, which may warrant additional research efforts.

3.3 Study on Automation of Statutory Tasks for Record Management with the Utilization

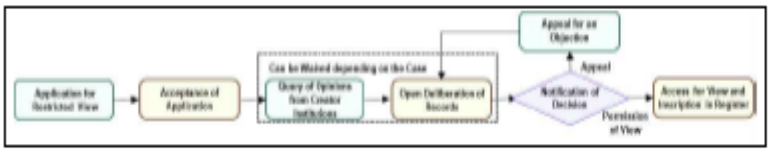
of Smart Contracts

This section proposes the scheme for automation of record management tasks based on the utilization of the smart contracts and DApps. First, in order to select the tasks to be automated by utilizing the smart contracts, we considered the opinions received from the staff in charge referred to by National Archives (2019). With the aim to alleviate the burden of tasks for management of the massive volume of electronic records and to efficiently process the tasks, the National Archives (2019) screened the tasks that need to be automated and established strategies for development of technology. In order to select the tasks, the demand was surveyed with a number of staff in charge of the management of electronic records and consolidated the requirements related to the tasks. The task functions determined by way of the demand survey to require the automation included takeover, review & reclassification of the access permissions for view, revaluation of the retention period, view and utilization, standards and joint management.

In order to select the tasks to which the smart contracts can be applied out of the tasks determined to require the automation derived by way of the research of the National Archives (2019), the requirements related to the application of smart contracts were analyzed. The smart contracts can be applied if the following two conditions are satisfied. ① A multitude of independent parties should be involved for progress of the task process and ② The prior and posterior relationship should be clear with a multitude of sequential stages included in the process of tasks for automation. The record management tasks satisfying these conditions were selected as follows.

3.3.1 Restricted View of Undisclosed Records

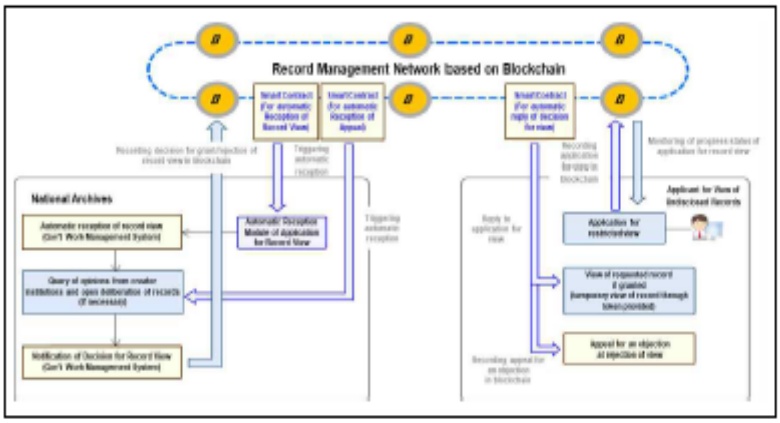
The restricted view of undisclosed records refers to the view allowed on a restricted basis only in the cases where the personal information of the principal is included or where the confirmation of the related information is impossible without the corresponding record. This is allowed only to the applicant at the designated date and time and at the designated place after strict verification of the identity of the applicant and the applicant has to visit the reading room in person for view of the record. At present, the process for processing of the restricted view of undisclosed records is as shown in <Figure 10> below.



<Figure 10> Business Process for Restricted View of Undisclosed Records

The decision to allow the restricted view illustrated in <Figure 10> above is made by way of the open deliberation after query of the opinions from the creator institutions after a separate application is received. If the view is rejected, the applicant can demand the redeliberation by way of the appeal for an objection and the figure above shows the procedure by which the view can be allowed after verification of the identity when the applicant visits the reading room in person for the view.

The key point with the restricted view is the strict verification of identity and permission of the access only to the records for which the application was made. The current face-to-face view method to grant the physical access to the relevant undisclosed records after verification of the identity of the applicant needs to be changed to the non-face-to-face online services due to the propagation of DID predicated on the blockchain and the change in environment to avoid the face-to-face services. The <Figure 11> below depicts the automation model utilizing the smart contracts and DID in a diagram.



<Figure 11> Model Proposed for Automation of Restricted View based on the Utilization of Smart Contracts

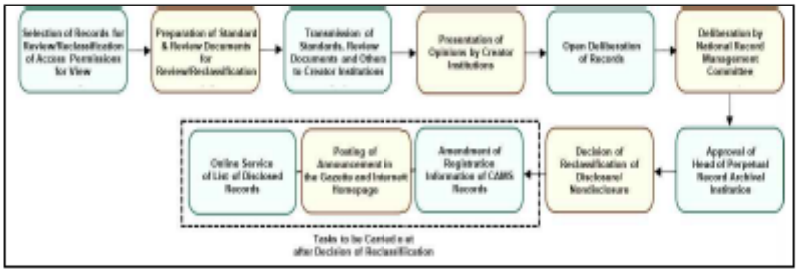
The <Figure 11> above shows the scheme for automation of restricted view. Each of the smart contracts will be implemented to automatically receive and reply the decision related to the view of undisclosed records in accordance with the provisions from Paragraph 1 of Article 37 of the 「Act on Public Records」 and Chapter 4 of the 「Regulations on Disclosure and View of Records under Custody by National Archives」 and the procedure for processing of the task is as follows. In order to view the undisclosed record, the applicant proves one's identity based on DID, applies for the view by way of a separate application form, records the fact of application in the blockchain and causes the fact to be automatically communicated to the staff in charge through the smart contract. After querying the opinions from the creator institutions and conducting the open deliberation, as appropriate, the staff in charge records the decision about the restricted view in the blockchain and the applicant can query the result on a real-time basis. If the restricted view is granted, the access token to enable the reading of the record requested is provided and the applicant can view the record only during the restricted span of time allowed after proving one's identity with DID and the access token. The access token grants the temporary access permission in regard of the designated records and in order to view the records with the token, the identity presented at the time of application should be successfully verified.

However, the method utilizing the blockchain and DID as above is restricted only to the cases where the records including the personal information of the applicant are viewed and where the records should be provided for a remedy of right. The restricted view for the purpose of information verification such as research and others cannot be allowed due to the security risk such as duplicating, photographing and others.

Unlike the personal certificates of identity such as the public key infrastructure (PKI) certificates or the certificate of resident registration, DIDs can include the information about the individual oneself as well as the information which can be used to identify the individual in diverse ways such as the family relationship, diplomas and others. If DID is utilized for proving the identity, only the information required for the item needed for proving can be provided. For instance, in order to view the records including the personal information of the lineal family members, a separate procedure should be followed such as the request, receipt and submission of the certificate of family relationship but, in the case of the proposed method, the service can be used far more conveniently by providing the information about the family relationship with the certificate of one's own identity when the application is submitted for view. Not only the automation of task processing but the transparent sharing of the processing procedure of the public tasks with the applicant is also possible by storing the information about the processing procedure of the task on a real-time basis. Moreover, the application of DID has the implications that the procedure for verification of identity can be made more convenient and that the non-face-to-face public services can be expanded with ease.

3.3.2 Review/Reclassification of Access Permissions for View and Revaluation of Retention Period

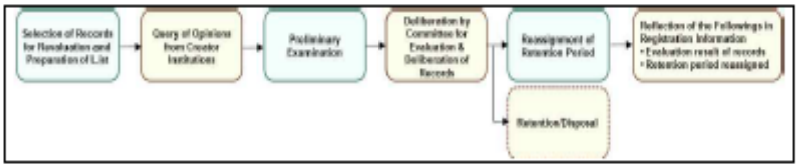
As the procedure to conduct the deliberation to make a decision regarding the disclosure of undisclosed records after a certain period of time, the current procedure for processing of the tasks related to the review/reclassification of access permissions for view is as shown in <Figure 12> below.



<Figure 12> Process of Review/Reclassification of Access Permissions for View (NAK 16-2, 2020)

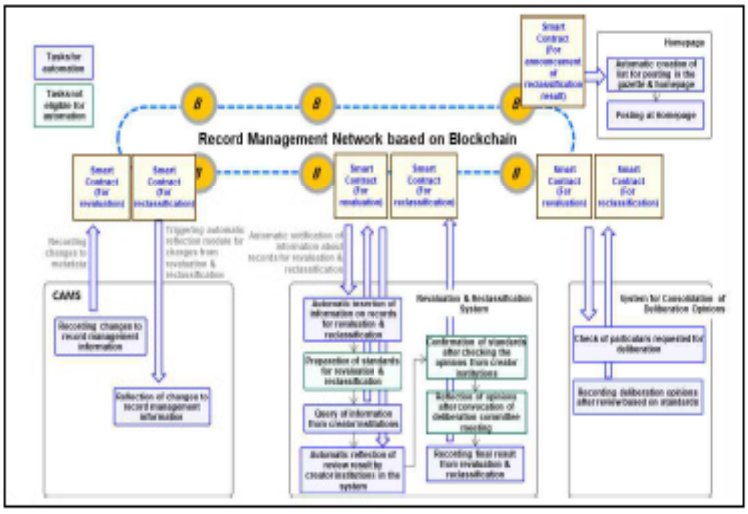
From the selection of the candidate records to the practical tasks to be carried out after confirmation of the reclassification result, a diversity of related parties are engaged to conduct the tasks such as the creator institution, deliberation committee for disclosure of records, management committee of national records and others and since the tasks are carried out by following the procedure shown in <Figure 12> above, it was considered possible to automate the tasks by utilizing the smart contracts.

The revaluation of retention period is carried out to take care of the records for which the retention period has expired either by disposal after assessment of the records or by preservation of the records after reassignment of the retention period and the current procedure of the task is as shown in <Figure 13> below.



<Figure 13> Process for Evaluation of Records (NAK 5-2, 2012)

In order to conduct the revaluation of retention periods, a series of procedures are followed from the selection of candidate records for evaluation and preparation of the list to the execution and reflection of the result of evaluation. A diversity of related parties are associated with this procedure such as the creator institutions, the deliberation committee for evaluation of records and others and since the related tasks can be progressed in a sequential way, it is possible to automate them by utilizing the smart contracts. As it was considered possible to apply a series of common work procedures to both the review/reclassification of access permissions for view and revaluation of retention periods, a single model was used to represent both of the two work procedures. The design obtained by capturing the elements to be automated out of the tasks shown above is depicted in a diagram in <Figure 14> below.



<Figure 14> Model Proposed for Review/Revaluation of Access Permissions for View and Revaluation of Retention Periods

The conditions for automatic execution of the tasks for review/reclassification of access permissions for view and revaluation of retention periods were established with reference to the statutory provisions for compliance such as Article 35 of the 「Act on Public Records」, Articles 53 and 72 of the accompanying enforcement decree, related standards & rules and others. The design features include the automatic fetch of the information about the candidate records by way of the smart contract and the automatic processing of the request to the creator institutions for review and the automatic reflection of the result of review. As the opinions from the deliberation of records are recorded and stored in the blockchain, it is not only possible to query the opinions on a real-time basis but the opinions can also be referenced in future deliberations with the final results thereof recorded automatically. The changes determined as a result of

review/reclassification of access permissions for view are automatically reflected in the system by the smart contracts and the same information is also posted in the gazette and the Internet homepage.

By way of the research conducted by National Archives (2019), the difficulty caused by the lack of the system functions for screening the candidate records for conduct of reclassification and revaluation each year was pointed out and the scheduling and monitoring functions for processing of the tasks were requested based on the utilization of the function for management of record history. The model proposed in this research alleviates the burden of processing tasks by automatically fetching the information about the candidate records by way of the smart contracts and also provides the functions for management and monitoring of history by storing the information about all transactions. Moreover, by conducting the procedure for query of opinions from the creator institutions on the basis of the blockchain, the delays in the procedure for processing of tasks can be eliminated. Since the opinions from the creator institutions in regard of the review/reclassification of access permissions for view and revaluation of retention periods are recorded in a way to prevent any modifications, they can be allowed to serve as the reference for the similar tasks related to the similar records in the future. By conducting the open deliberation of records or the deliberation for evaluation of records on the basis of the blockchain, the non-face-to-face deliberation and the presentation of opinions on a real-time basis can be allowed and the opinions presented and recorded in the blockchain can be accumulated and utilized as the precedent examples. The use of smart contracts enables the tasks to be conducted in accordance with the established statutes and rules with the intervention of the discretionary interpretation by the staff in charge precluded, which can enhance the independence of the task performance. In addition, not only can the workload of the staff in charge of record management be lessened but the omissions in the candidate records for reclassification and revaluation can also be reduced.

The blockchain model proposed for processing of the restricted view of undisclosed records, the review/reclassification of access permissions for view and the revaluation of retention periods was derived as a result of the conceptual research conducted by the process analysis and the interviews with the staff in charge but not the output actually implemented on top of the blockchain record keeping platform. In order to reflect this model in the practical tasks, the procedure for policy decision is a prerequisite and the proposed model has the significance as the basic research which can be referenced in this kind of decisions.

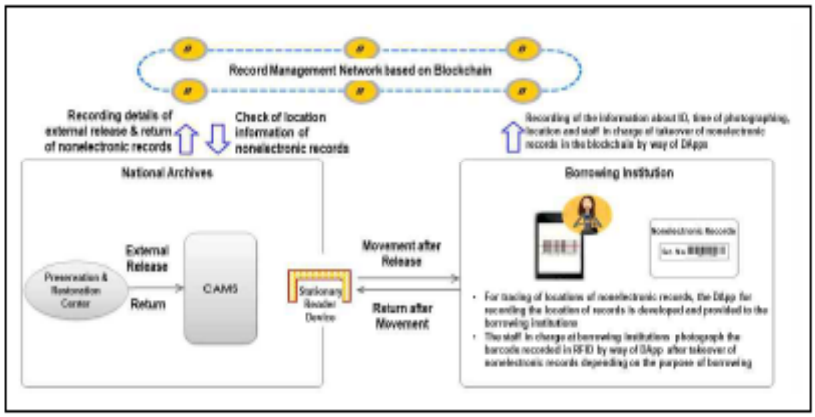
3.4 Research on the Methods for Tracing and Monitoring of Record Management Transactions

If the information on all processing statuses of records is recorded in the blockchain, the information can not only allow the tracing of the processing status of the records but even the location information of nonelectronic records can also be traced. The major functions of the RFID system under operation by National Archives at present include such task functions as the issuance of tags, external release and return, query of records, library shelf placement, inventory taking of records, control of unauthorized releases, management of statistics and others. Among these tasks, the methods for query of records and for verification of external releases and returns

rely on the detection of the RFID tags by personal digital assistants (PDA) or the stationary RFID reader devices.

The methods to manage the physical assets by utilizing the blockchain and RFID are being actively researched. According to the result of analysis of the domestic and overseas researches, the methods for management of physical assets based on the utilization of blockchain and RFID focus on the transparent sharing of the processing procedures such as the confirmation of the movement routes of the assets and the processing procedures, identification of the current location and others. In this study, the method to enable the electronic tracing of the location of records by applying the method to issue tokens to nonelectronic records, which is the most innovational method for application to the topic of record management according to Lemieux (2017), was conceived and elaborated.

When the location of nonelectronic records should be traced within National Archives, the traceability of detected information is managed by recording the detected information in the block by way of the linkage API of the blockchain whenever the history of detected information is recorded in CAMS. And when the nonelectronic records have been released out of National Archives, the method for tracing the corresponding records is as shown in <Figure 15> below.



<figure 15> Method of Tracing When Nonelectronic Records are Released out of the Institution

When the records are released out of National Archives, the fact of external release is recorded by way of the stationary reader device and after the records have been moved to the borrowing institution, the fact of record arrival, the location information, the information about

the staff who takes the custody of the record and others are transmitted to the blockchain by using DApps. When the records released are returned, the fact of return is recognized by way of the same stationary reader device as was used at the time of release and transmitted to the blockchain. In this way, the movement of the records for any other purposes than the one for which they were lent can be prevented and the history information of the records can be retained as well. The management of nonelectronic records based on the linkage between the blockchain and RFID warrants the transparency by storing the location information in the block featured by the immutability of records and enables the tracing by leaving the audit trails. Moreover, since the location information can be transmitted to the blockchain from the outside by using DApps, the user convenience is enhanced along with the prevention of omission of the location information.

As an additional method to assure the traceability of the tasks related to record management based on the blockchain, the method to visualize the task procedure was designed. It was confirmed based on the system analysis that CAMS does not currently provide the monitoring function in relation to the transfer, registration, inspection or the other processing activities of the records. In addition, the requirements related to the visualization of task procedures were also derived as shown in <Table 2> below by way of the interviews with the staff in charge.

<Table 2> Requirements Surveyed by way of the Interviews with the Staff in Charge of Record Management with Respect to the Visualization of Task Procedures

Staff	Requirements
Staff E	- The design to enable the view of statistics information on the screen of CAMS
Staff F	- Addition of 'sequential order number' as a part of the search conditions on the screen for query of the history of processing related to review/reclassification of access permissions for view - Display of the status values before and after the processing as part of the result of query

By incorporating the opinions gathered through the interviews, the scheme to visualize the task procedures based on the utilization of the blockchain was designed with the aim to guarantee the transparency in conduct of tasks and to provide the traceability by way of the audit trails. The <Figure 16> below shows an example of the screen as a part of the implementation of the visualization scheme.

The <Figure 16> above shows the screen displaying the change history of the disclosure type after conduct of the review/reclassification of access permissions for view in relation to the undisclosed records and the statistics diagram displaying the number of cases depending on the retention period of records. In this way, the graphical visualization scheme was developed in regard of the statistics for each record type, the statistics for each retention period and the statistics related to the revaluation of retention periods for the records. Besides, the functions were also established to enable the query of the retention period of records and the change status of the display types, to provide the status of statistics depending on the type of audiovisual records and to create in the format of an Excel file and PDF file and download the statistics

<Figure 16> Details related to the Review/Reclassification of Access Permissions for View and the Statistics shown in the Visualization Screen

and history information.

By storing the task procedure details of the record management in the blockchain on a real-time basis and visualizing them, a more efficient conduct of tasks can be allowed with the transparency of the task performance warranted. On the basis of the reflection on a real-time basis and visualization of the task procedures, the performance of tasks can be immediately traced and, even after the completion of tasks, the details of the tasks carried out can be confirmed intact without any forgery or unauthorized modifications. In addition, by providing the visual statistics data, the omission of candidate records can be prevented in relation to the tasks dealing with a great volume of records such as the review/revaluation of access permissions for view and the revaluation of retention periods with a diversity of statistics provided without additional processing of data thereby alleviating the workload of the staff in charge at the time when the statistics data is requested from the other related institutions or when the services are rendered for the general public.

It was explained in ISO 15489-1, as the primary standard on the subject of record management, that the record management metadata containing the data about the task processing activities should be created and maintained by the record system in order to have the 4 attributes of records guaranteed (ISO 15489-1, 2016). All of the related transactions can be automatically stored in the block and traced across the entire stages right from the time of record creation, to transfer and evaluation of records as well as to their preservation and disposition. The blockchain suggests a novel method to approach the guarantee of 4 attributes presented by ISO 15489-1:2016 by way of the tracing and monitoring functions about the transactions. This has the implication that it serves as the technological alternative to enable the record management experts, who are not the experts on systems, to audit and trace the processing activities of the records.

4. Conclusion

At present as of 2020, the environment of public administration is facing rapid changes due to the new technologies such as the blockchain, cloud, big data and others, which naturally

causes the unconventional methods of management to be required in the field of record management which has to capture the corresponding changes in the public records. Furthermore, since the management scheme for the dataset of administration information has recently been announced anew, the alternative technological methods are necessary now for support of the management of all existing administration information systems as well as in regard of the systems coming with the new technology applied. As the practical technological alternative to enable the monitoring of the administration information systems for which the internal autonomous management by the institutions has been permitted, the blockchain can be taken into consideration. By functioning as the cryptographic mirror system for the administration information systems which are devoid of a separate record management function, the blockchain record keeping platform may serve as a new strategy to allow the tracing of transactions pertaining to datasets and to warrant the integrity of datasets.

The long-term preservation format to insert the digital signature into and convert each of the individual documents is the statutory method of record management as it comes to the long-term preservation of electronic records. As was mentioned in this thesis, this method has an inferior cost to benefit ratio in that it requires the conversion of every individual document and the complaints are also increasing on the work sites to point out the conversion errors and inefficiency. As well, the traditional strategy for long-term preservation has the practical limitation that it cannot be applied to the large-scale files such as the audiovisual records. By way of the research and the result of verification carried out for the past 2 years, it was confirmed that the record management method based on the blockchain can serve as the technological alternative to eliminate the limitations of the traditional strategies to warrant authenticity and long-term preservation. This is in line with the result presented by InterPARES Trust as well as the 2019 Blockchain Whitepaper published by National Archives and Records Administration (NARA) in the U.S.

Despite these trends, the problem of statutory systems and the lack of trust are still posing the barriers to the linkage of the blockchain with the record management systems. The facts that the 「Act on Promotion and Fosterage of the Blockchain」 proposed in 2019 is still pending without passing the resolution and that the full-fledged propagation has not been determined yet despite the successful verification of the applicability to the electronic documents of the government work management system prove this. This is partly because the maturity level of the blockchain technology is evaluated not sufficient relative to the social interest and anticipation towards the blockchain. However, it is the expectation of the 4th Industrial Revolution Committee that these technological problems and limitations will be resolved by 2023 to allow the blockchain to serve as the fundamental technology for innovation of the industry as well as society. The policy restrictions to prevent the expansion of nodes with the consensus model of the blockchain is being surmounted by the development of the original technology related to the permission-type blockchain and the policy of the government is also being reviewed in a transitional point of view such as the permission of blockchain through the sandbox and others. At the recommendation of the 4th Industrial Revolution Committee, the government announced the subject 'Establishment of the Management System of Public Records based on the Utilization of the Blockchain' as one of the main themes to pursue suggesting the blockchain should be

actively introduced from the public sector for creation of the transparent society with high trustworthiness. In accordance with this change in policy, the National Archives and the record management experts with the responsibility for management of public records may need to prepare themselves with the appropriate attention paid. Despite the insufficient awareness, the blockchain is expected to propagate rapidly in the public sector in view of the policy direction of the government. I hope this research may give the inspiration to the initiatives for record management being commenced anew and accelerate the research on the management of records in the future.

2020년 국가기록관리 · 활용기술 연구개발(R&D) 사업
자체연구 결과보고서

발행일 : 2020년 12월
발행처 : 국가기록원 기록정책부 연구협력과
주 소 : 대전광역시 서구 청사로 189(둔산동, 정부대전청사)
연락처 : Tel. 042) 481-6353 / Fax 042) 481-6234
http://www.archives.go.kr
인쇄처 : E-WORK 042) 256-4833
대전광역시 동구 선화로 193-3(삼성동)

※ 저작권자의 사전 허가 없이 무단으로 복제 · 변형 · 배포할 수 없습니다.〈비매품〉