

Ontology-based Recommendation System for Maintenance of Korean Architectural Heritage

Jongwook Lee*

*Student, Graduate School of Culture Technology, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Daejeon, Korea

[Abstract]

In this paper, we propose ontology-based recommendation system for supporting maintenance of Korean architectural heritage. This study includes the following: 1) design of ontology expressing repair information of architectural heritage, 2) creation of repair case DB, 3) creation of a recommendation system of repair method. For this study, we designed the ontology that expresses the information of Korean wooden building cultural heritage by referring to the existing heritage ontologies. Second, we created the repair information database based on the repair contents and the expert interview data provided by the National Institute of Cultural Heritage and the Cultural Heritage Administration. Third, we developed a system that recommends the repair method of Korean wooden architectural heritage with the most similar phenomena and causes. This study contributes to sharing repair knowledge and determining repair methods for architectural heritage repair.

▶ **Key words:** Ontology, Recommendation system, Case-based reasoning, Architectural heritage, Digital heritage

[요 약]

본 논문에서는 한국 건축 유산 유지 보수를 지원하기 위한 온톨로지 기반의 추천 시스템을 제안한다. 본 연구는 다음을 포함한다: 1) 건축 유산의 수리 정보를 표현하는 온톨로지 디자인, 2) 수리 사례 DB 구축, 3) 수리 방법 추천 시스템 개발. 본 연구에서는 기존 문화유산 온톨로지를 참조하여 한국 목조 건축문화유산의 정보를 표현하는 온톨로지를 디자인 하였다. 둘째, 국립 문화재 연구소와 문화재청에서 제공하는 수리 내용 및 전문가 인터뷰 데이터를 바탕으로 수리 정보 데이터베이스를 구축하였다. 셋째, 우리는 가장 유사한 현상과 원인을 가진 한국 목조 건축문화유산의 수리 방법을 추천하는 시스템을 개발하였다. 이 연구는 수리 지식을 공유하고 건축문화유산 수리를 위한 방법을 결정하는데 기여한다.

▶ **주제어:** 온톨로지, 추천 시스템, 사례 기반 추론, 건축문화유산, 디지털 문화유산

-
- First Author: Jongwook Lee, Corresponding Author: Jongwook Lee
 - *Jongwook Lee (bellee85@gmail.com), Graduate School of Culture Technology, Korea Advanced Institute of Science and Technology
 - Received: 2019. 09. 02, Revised: 2019. 10. 14, Accepted: 2019. 10. 15.

I. Introduction

이 연구는 전통목조건축물의 유지관리를 지원하기 위한 사례 기반 추천시스템을 제안한다. 전통산업의 활성화와 대중화를 위해 한옥마을, 한옥호텔 등 전통목조건축물의 건축이 활발히 진행되고 있다. 2007년부터 2010년 한옥 신축 및 증·개축 인·허가 면적으로 추정된 한옥 시장규모는 총 4,852억원이다[1]. 이러한 수요에 맞추어 전통목조건축물의 설계 및 디자인 프로그램 개발과 연구가 활발히 이루어지고 있다. 하지만 전통목조건축물의 재료적, 구조적 특수성을 반영하는 유지관리 시스템에 관한 연구는 미진하다.

전통목조건축물은 목재료와 조립식 구조의 특수성으로 인해 부식, 병충해, 구조적 문제 등에 쉽게 노출되어 있어 지속적인 유지관리가 중요하다. 구체적으로 한국전통목조건축물의 기움임, 갈라짐, 비틀림, 침하, 부식, 변위, 파손과 같은 손상은 건축물의 하중, 부재의 상태, 주변 환경 등 복합적인 원인으로 인해 발생한다. 이것의 유지관리를 위해서는 복합적인 원인을 고려하여 그 원인들을 제거하거나 지속적으로 모니터링해야 함에도 불구하고 현재는 표면적인 원인에 대응하는데 그치고 있다.

이것을 해결하기 위하여 이 연구는 유지관리 사례 데이터를 활용한 온톨로지(ontology) 기반의 사례 기반(case-based) 수리방법 추천시스템을 제안하고자 한다. 온톨로지는 어떤 도메인의 사유를 구성하는 개념과 사물의 분류체계와 각 개념 및 사물들간의 관계를 컴퓨터 프로그램이 익고 처리할 수 있는 기술체계로 구성한 것을 말한다[2]. 온톨로지는 주로 정보 간의 관계를 시스템에 적용시키는데 활용되어 왔다. 특히 이러한 관계를 활용하여 의사 결정 시스템이나 추천시스템에 활용되어 왔다. 건축물 유지관리 분야에 있어서 손상과 원인과의 관계를 표현하거나 유지관리 방법을 추천하는데 활용되어 왔다[3][4].

또한 사례 기반 추천(case-based recommendation) 방법은 이전의 경험을 바탕으로 하는 사례 메모리(case memory)를 구성하고 새로운 문제를 마주했을 때 적합한 솔루션을 리콜(recall)하고 그에 맞게 적용하는 추론방법이다. 사례기반 추론 및 추천 방법은 사례의 축적이 새로운 문제를 해결하는데 유리한 분야를 중심으로 활발히 활용되었다. 특히 건축물 관리 분야에 있어서 손상의 원인을 찾는데 활용되어 왔다[5][6].

연구의 대상은 전통건축문화유산으로 하였다. 전통건축문화유산은 문화재청 및 국립문화재연구소에서 지속적으로 관리하고 있으며 유지관리 시스템에 반영할 수 있는 사

례 데이터들이 풍부하다. 따라서 본 연구는 이러한 사례 데이터를 기반으로 온톨로지 기반 수리방법 추천시스템을 제안할 것이다.

이 연구는 다음과 같은 연구 목표를 가진다. 첫째, 건축문화유산의 수리정보를 표현하는 온톨로지를 디자인한다. 둘째, 문화재청에서 발간한 수리 보고서 기반의 수리사례 데이터베이스를 구축한다. 셋째, 수리사례 데이터를 활용한 온톨로지 기반 추천시스템을 제안한다.

이 연구는 지금까지 전통건축문화유산의 데이터 관리에 활발하게 활용되지 않았던 온톨로지를 활용하여 정보 간의 관계를 설정하고 이를 활용하여 추천시스템을 구축한다는 의의를 갖는다. 이 연구에서 제안한 온톨로지 기반 추천시스템은 향후 건축문화유산의 뿐 아니라 한옥의 유지관리를 설계할 때에도 기여할 수 있을 것이다.

II. Preliminaries

1. Related works

1.1 Digital management of architectural heritage

건축문화유산은 건축물로서 역사상 가치를 갖는 것들을 말한다. 또는 특별한 가치를 지닌 건축물과 그 주변 경관 뿐 아니라 역사문화 가치가 있는 도시와 농촌의 전 지역을 포함하는 넓은 의미로 정의되기도 한다. 건축문화유산은 구조상 전체 또는 부분으로 변이가 많으며, 건축형태와 양식과 응용 방법들은 건축 당시의 문화를 이해하는데 중요한 실물자료가 되고 있다 [7]. 하지만 건축문화유산의 중요성에 비해 이를 유지관리 하는데 ICT 기술이 적용되는 것에 대해서는 기술 적용의 어려움이 존재하고 있다.

건축문화유산 디지털 관리를 위해 가장 어려운 점은 관리에 활용할 수 있는 다양한 포맷과 소스의 데이터를 통합하는 것이다. 이를 위해 많은 연구자들은 건축문화재 데이터를 표준화된 형태로 기록, 관리하기 위한 메타데이터를 제안하였다. 이를 위하여 Dublin Core, CIDOC CRM, CARARE 2.0과 같은 metadata가 제안되었다[8]. 하지만 기존의 연구들은 목조건축문화유산의 특성을 반영하지 못해 한국의 건축문화유산의 주류를 이루는 목조건축물 관리정보의 통합에 활용하는데 한계가 있다.

지금까지 건축문화유산 정보를 관리하기 위해 데이터베이스와 연동하여 건축물 정보를 시각적으로 확인할 수 있는 통합 시스템인 BIM(Building Information Modeling)이 주로 활용되었다. Zhang(2016)은 BIM을 활용하여 목조건축문화재의 과학적인 유지관리 기록의 저장과 관리를

가능하도록 하였다[9]. 또한 Han(2017)은 BIM 기반 어플리케이션을 활용하여 유지관리에 적용하는 워크플로우를 제안하였다[10]. 하지만 기존의 시스템들은 관리정보를 저장, 관리, 시각화할 뿐 적합한 수리방법을 추천하는 시스템으로 발전하지 못하였다. 이는 적합한 수리방법을 결정하는데 필요한 유지관리 지식을 시스템에 적용하기 어려웠기 때문으로 생각된다.

기존에는 렌더링된 3D 모델을 유지관리에서 참고하기 위해 활용하였다. 하지만 최근에는 게임 엔진 및 저작툴과 데이터베이스를 연동하여 가상건축물과 유지관리 정보를 시각화하는 연구가 활발히 이루어지고 있다[11][12]. 더 나아가 문화유산 사이트 현장에서 증강현실과 혼합현실 기반으로 유지관리 정보를 시각화하는 연구들이 제안되고 있다[13][14].

이처럼 건축문화유산의 유지관리 정보를 저장, 관리, 시각화 하기 위한 방법론들은 데이터 관리 및 체험 기술의 발전과 함께 지속적으로 발전하고 있다. 하지만 유지관리 및 수리방법을 추천하는 시스템과 이를 실감콘텐츠 기술과 융합한 연구는 아직 제안 되지 않았다.

1.2 Ontology for building maintenance

온톨로지는 각 개념 및 사물들 간의 관계를 컴퓨터 프로그램이 익고 처리할 수 있는 기술체계로 구성한 것을 의미한다[2]. 온톨로지 이러한 기능은 건물과 건물의 특징, 재료, 용도, 건축가 등을 표현하는데 유용하다[15]. 온톨로지는 다양한 관련 분야의 내용을 연결시키며 특히 건축물 수리에 있어서 event, mechanism, agent, damage 관계를 표현하는데 용이하다. Cacciotti(2015)은 건축문화유산의 손상, 파괴 기록과 파괴와 이유의 논리 분석과 이를 예방하기 위한 온톨로지 기반 지식 기반 시스템을 제안하였다. 이 연구는 손상과 그에 따른 변형정보를 property change, structural change, functional change로 구분하고 손상에 대한 대책을 추천하는 시스템을 개발하였다[3]. 하지만 이 방법은 원인과 손상 간의 관계를 정의하고 룰에 따른 수리방법을 추천하지만 사례 데이터 기반의 수리방법 추천에 이르지 못하였다.

Cursi(2015)는 CIDOC Conceptual Reference Model을 기반으로 문화유산의 지식, 역사적 맥락, 문화유산 관리 프로세스 정보와 지식을 공유하는 온톨로지 구조를 제안하였다. 이 온톨로지는 건축문화유산 관련 정보를 저장하는데는 유용하지만 건물 관리를 위한 진단이나 유용한 데이터를 검색하는데는 적합하지 않다[4].

Acierno(2016)는 건축문화유산 보존 과정에서 건축 유산의 관리 계획을 지원하는 건축 유산 지식 모델을 제안했다[16]. 그는 이러한 건축 유산 지식 모델을 BIM과 연동하여 3D 건축 모델과 보존 관리 정보를 시각화 하고 확인할 수 있도록 하였다. 그러나 이 연구는 지식 모델 기반으로 유지관리정보를 시각화하였을 뿐 그것을 기반으로 하는 추천을 하고 있지 못하다.

Hellmund(2018)는 건축문화유산 정보 관리를 위한 지식을 통합하고 이용 가능한 정보의 조합하고 문화유산 관리 프로젝트에서 다양한 정보를 활용하기 위해 온톨로지를 활용하였다. 그는 또한 온톨로지가 의미를 구성하고 표현함으로써 데이터의 재사용과 통합을 촉진한다고 주장하였다[17]. 그러나 이러한 온톨로지는 HBIM 시스템과 같은 3D 모델 기반 관리 시스템에는 적용되지 않는다.

1.3 Knowledge-based system for building maintenance

사례 기반 추론(Case Based Recommendation, CBR) 방법은 다른 지식 기반 기술과 비교하여 다음과 같은 이점을 가진다. 추론을 위한 질문을 만들 필요 없이 빠르게 솔루션을 제안할 수 있다. 지식 획득(Knowledge acquisition) 과정에 있어서 도메인 전문가들로부터 사례를 모으고 기록하면 되기 때문에 개발이 용이하다. 사례 기반 추론 방법은 인간과 컴퓨터가 문제를 해결하기 위해 상호작용 하는 자연스러운 방법으로 사례 수집과 사례 메모리로의 사례 입력의 반복을 통한 학습이 가능하다는 장점이 있다[18].

현재 건축물 유지관리를 위한 사례기반 추천시스템 연구는 건축물 유지관리를 위한 BIM(Building Information Modeling)분야에서 주로 이루어지고 있다. Abdullah(1997)은 건축물의 수리방법 추천을 위한 PAKAR 시스템을 제안하였다. 이 시스템은 Case Base, Case Base Manager, Case Retriever, Service Manager and Customer Data Base로 이루어진다. 이 중 사례를 저장하는 Case Base는 knowledge acquisition and knowledge organization으로 이루어진다. 이를 바탕으로 한 데이터베이스의 속성(attribute)은 CASE NO., ELEMENT/CODE, TITLE, SYMPTOMS, CAUSES, REMEDIES, QUESTIONS로 구성된다.

Ibrahim Motawa(2012)는 건물 관리 정보를 법적인 내용, 기술적인 내용, 관리상의 내용으로 분류하였다. 그는 건물 관리에 관한 정보를 기록 관리할 수 있는 시스템을 제안하였다. 이 시스템은 관리를 위한 기존의 정보와 지식

을 불러올 수 있도록 하는 지식 기반 시스템이다. 이 시스템은 정보관리를 위한 BIM과 지식 기록을 위한 CBR 모듈로 이루어졌다. 이 시스템은 축적된 건물 관리 정보를 통해서 현재의 건물 관리가 가능하도록 한다[4].

C. GRAMA(2011)는 사례 기반 추론 기반의 문화유산 진단 및 대책 결정 시스템을 제안하였다. 기존의 문화유산 수리 사례를 기반으로 현상에 따른 수리 대책을 추론해 주는 시스템이다 [13]. 하지만 이 방법은 건축물의 구조적, 재료적 특성을 고려하지 않고 손상 현상에 대한 단편적인 수리 방법을 추천하기 때문에 정확한 방법을 추천한다고 보기 어렵다.

지금까지 살펴본 관련 연구들을 종합하면, 사례 기반 추론 방법은 건축물의 유지관리 및 수리방법을 결정하는데 매우 유용한 방법이다. 특히 건축문화유산과 같이 손상의 원인과 요인을 예측하기 어려운 경우에 효과적으로 활용될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 건축문화유산을 효과적으로 관리하기 위하여 온톨로지와 사례기반 추천시스템을 기반으로 유지관리 방법을 제안하고자 한다.

III. Method

1.1 Creation of repair case database

본 연구에서는 수리정보 데이터베이스 구축을 위하여 문화재청에서 발간한 건축문화재 수리보고서 자료를 수집하고 전문가 피드백을 통해 데이터베이스를 구축하였다. 우리는 국보 및 보물로 지정된 건축문화유산 중 단층 건물 30동을 선정하여 건축특성 및 수리내역을 정리하여 데이터베이스에 저장하였다.

우리는 건축물 속성(attribute)을 정의하기 위해 문화재청 건축문화재 수리보고서의 속성(건축물 이름, 지정번호, 지역, 유형, 창건시기, 공포양식, 출목, 평면유형, 칸수, 지붕가구, 지붕유형)을 참고하였다. 각 속성은 전문가 인터뷰를 통하여 수리사례 유사도를 측정 하는데 활용하기 위해 지정여부, 지역, 유형, 창건시기, 공포양식, 출목양식, 평면유형, 칸수, 지붕가구 유형, 지붕 유형에 중요도에 따른 가중치(weight)를 부여 하였다.

우리는 부재 수리정보 속성(attribute)으로 부재이름, 현상, 요인, 원인, 원인관계, 수리방법, 세부 수리내용, 재질, 부재내력으로 정의하였다. 그리고 그에 따른 수리정보를 입력하였다.

번호	건축물	지명	지역	유형	창건시기	공포양식	종류	평면유형	칸수	지붕가구	지붕유형
1	봉정사 극락전	국보 19호	경북 안동	사찰	고려중기	주심포	외3중목내4중목	후회형	3X4	9량가	맞배
2	유문사 대웅전	보물 835호	경북 청도	사찰	조선중기	다포	외3중목내4중목	불명	3X3	5량가	맞배
3	북지장사 대웅전	보물 805호	경북 대구	사찰	조선중기	다포	외4중목내4중목	장방형	1X2	불명	맞배
4	화암사 우회주	보물 662호	전북 완주	사찰	조선중기	다포	외3중목내3중목	불명	3X3	2고주	맞배
5	봉정사 대웅전	국보 311호	경북 안동	사찰	조선전기	다포	외2중목내2중목	후회형	3X3	9량가	맞배
6	논산 정개사 대웅전	보물 408호	충남 논산	사찰	조선중기	다포	외4중목내5중목	불명	5X3	2고주	맞배
7	개암사 대웅전	보물 143호	충남 서산	사찰	조선중기	다포	외2중목내3중목	불명	3X3	불명	맞배
8	부석사 조사당	국보 19호	경북 영주	사찰	조선조기	주심포	외1중목	불명	3X1	5량가	맞배
9	무위사 극락보전	국보 13호	전남 강진	사찰	조선조기	주심포	외2중목내2중목	불명	3X3	7량가	맞배
10	범주사 불상전	국보 55호	충북 보은	사찰	조선중기	혼합식	외2중목내2중목	불명	5X5	불명	사오
11	봉정사 동진전	보물 730호	경북 봉선	사찰	조선중기	다포	외3중목내3중목	불명	3X2	불명	맞배
12	신원사 대웅전	보물 1120호	강원 신원	사찰	조선중기	다포	외3중목내4중목	불명	3X3	불명	맞배
13	공암사 대웅전	국보 62호	전북 김제	사찰	조선중기	다포	외2중목내2중목	불명	5X4	불명	맞배
14	기림사 대적광전	보물 833호	경북 경주	사찰	조선중기	다포	외3중목내4중목	불명	5X3	불명	맞배
15	미황사 동진당	보물 1183호	전남 해남	사찰	조선중기	다포	외3중목내4중목	불명	3X2	불명	맞배
16	정혜사 대웅전	보물 804호	전남 순천	사찰	조선중기	다포	외3중목내4중목	불명	3X2	1고2우등	맞배
17	유암사 극락전	국보 316호	전북 완주	사찰	조선중기	다포	외2중목내3중목	불명	3X3	5량가	맞배
18	선암사 대웅전	보물 1311호	전남 순천	사찰	조선중기	다포	외3중목내4중목	불명	3X3	불명	맞배
19	유문사 대웅전	보물 145호	경북 영주	사찰	조선중기	다포	외3중목내4중목	불명	3X2	1고2우등	맞배
20	송광사 대웅전	보물 1243호	전남 순천	사찰	조선후기	다포	외3중목내4중목	불명	5X3	4고주	맞배
21	관음사 대웅전	보물 212호	경남 창원	사찰	조선중기	다포	외2중목내2중목	불명	3X3	2고주	맞배
22	불국사 대웅전	보물 374호	경남 산청	사찰	조선중기	다포	외3중목내3중목	불명	3X3	불명	맞배
23	불암사 대웅전	보물 830호	전남 영암	사찰	조선중기	다포	외2중목내3중목	불명	3X3	불명	맞배
24	선운사 칠암당 대웅전	보물 803호	전북 고창	사찰	조선중기	다포	외3중목내3중목	불명	3X3	불명	맞배
25	정주사 법당	보물 161호	경기 강화	사찰	조선조기	주심포	외2중목	불명	3X4	불명	맞배
26	범어사 대웅전	보물 434호	경남 부산	사찰	조선중기	다포	외3중목내4중목	불명	3X3	불명	맞배
27	석남사 영산전	보물 823호	경기 안성	사찰	조선중기	다포	외2중목내2중목	불명	3X2	불명	맞배
28	흥취사 대웅전	3주원문화재	경북 대구	사찰	조선중기	다포	외3중목내4중목	불명	3X3	불명	맞배
29	대적사 극락전	보물 836호	경북 청도	사찰	조선중기	다포	내2중목외2중목	불명	3X2	5량가	맞배
30	정계사 대웅전	보물 500호	경남 하동	사찰	조선중기	다포	내3중목외3중목	불명	5X3	불명	맞배

번호	건축물	부재	현상	요인	원인	원인관계	수리방법	세부 수리내용	재질	부재내력
1	봉정사 극락전	처마	직접	핵중과중	시간변화	없음	교체	육송으로 교체	불명	불명
		기둥	부식	노후	시간변화	없음	교체	육송으로 교체	불명	불명
		보머리	파손	노후	시간변화	없음	유물보강	7자 자쇠사용	불명	23년
		대량	직접	핵중과중	시간변화	없음	육송으로 연립	심자형 띠이음	불명	불명
		대량	직접	핵중과중	시간변화	없음	육송으로 연립	심자형 띠이음	불명	불명
		연목	부식	불명	불명	없음	교체	같은 모양부재 교체	불명	불명
2	운문사 대웅전	연목	일출	습기	누수	기와의 파괴	교체	없음	참나무	20년
		후대	직접	습기	누수	기와의 파괴	교체	없음	불명	불명
		대량	직접	노후	시간변화	없음	교체	신식 기와로 교체	불명	불명
		직접	파손	불명	불명	없음	보강	구부재를 활용	불명	불명
		직접	파손	불명	불명	없음	보강	보토 증진	불명	불명
		서까래	변위	불명	불명	없음	편지조정	없음	불명	불명
		서까래	변위	불명	불명	없음	편지조정	없음	불명	불명
3	북지장사 대웅전	처마	직접	핵중과중	상부하중	없음	교체	없음	불명	불명
		조식	파괴	습기	불명	없음	교체	없음	불명	불명
		기둥	부식	습기	불명	없음	교체	없음	불명	불명
		기둥	부식	습기	불명	없음	교체	없음	불명	불명
		기둥	부식	핵중과중	상부하중	없음	교체	없음	불명	불명
		기둥	불이감	습기	불명	없음	교체	없음	불명	불명
		기둥	불이감	습기	불명	없음	교체	없음	불명	불명

Fig. 1. List of architectural heritage repair

1.2 Design of ontology for architectural heritage maintenance

이 연구는 온톨로지를 기반으로 수리 방법 추천 시스템을 제안한다. 우리는 손상의 연쇄적이고 복합적인 원인, 영향 관계를 정의하기 위해 온톨로지를 사용하였다. 예를 들어 처마의 부식(영향)이 주로 기와의 파손(원인)으로 인한 습기(요인)에 의한 것이면 이를 온톨로지 구축에 반영하여 수리 방법 추천 시스템에서 이를 추천할 수 있도록 하였다.

우리는 온톨로지의 구축을 위해 다음과 같은 과정을 거쳤다. 첫째, 국보, 보물로 지정된 50여 개의 건축문화유산 수리보고서를 수집하고 내용을 분석하였다. 둘째, 수리 내용을 현상, 요인, 원인으로 구분하였다. 셋째, 온톨로지 클래스의 계층을 정의하였다. 건축물은 하위 클래스로 style, location, bracket style, usage type, layout type, roof type, roof structure type, component를 가진다. 이 중에서 component 클래스는 component group, component, diagnosis result, cause와 response를 하위 클래스로 가진다. 넷째, 클래스의 속성값을 정의하였다.

다섯째, 각각의 클래스에 개체(instance)를 생성하였다.

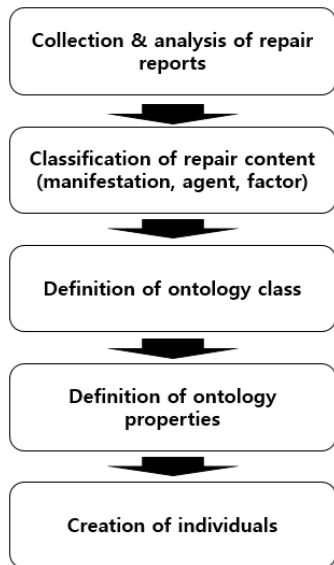


Fig. 2. Workflow of ontology design

아래는 봉정사 극락전 수리정보 온톨로지의 예시이다. 봉정사 극락전 건물은 고려 중기 style, 경북 location, 주심포 bracket type, 사찰 usage type, 3X3 layout type, 맞배 roof type, 1고주 5량가 roof structure type, component 를 속성으로 가진다. 이 중 component는 하위 클래스로 지붕부, 공포부, 몸통부, 기단부를 가지고 그 아래 하위 클래스로 부재들을 가진다. 그리고 각각의 부재들은 손상 및 수리 정보를 가진다. 기와는 파손 손상 정보를 가지고 이는 시간 변화를 원인으로 가지고 습기를 발생시킨다. 이는 교체 수리 정보를 가진다. 처마는 부식 손상 정보를 가지고 이는 습기를 발생시킨다. 이는 보강 작업으로 수리된다.

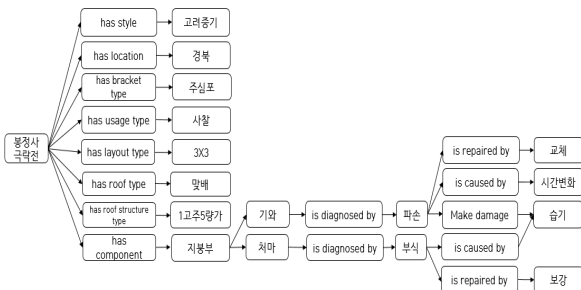


Fig. 3. Ontology of Korean architectural heritage

1.3 Creation of case-based recommendation system

우리는 문화유산 수리 데이터를 활용하여 사례 기반 추론을 활용한 문화유산 관리방법 추천시스템을 개발하였다. 추천시스템은 자바(JAVA) 플랫폼을 위한 프로그래밍 언어인 Jess를 사용하여 개발되었다. Jess는 주로 expert

system 개발을 위해 사용되는 rule engine으로 if-then rule을 data에 지속적으로 적용한다. 우리는 이러한 rule을 유사한 건축물 case를 찾아내고 건축물의 수리정보 중 유사한 case를 찾아내며 weight를 고려하여 랭킹을 매기는데 지속적으로 적용하였다.

우리는 위에서 설명한 rule을 활용하여 전체적인 system workflow를 제안하였다. 사용자가 건물을 수리하기 위하여 손상 정보와 건축물 정보를 입력하면 시스템은 정의된 rule에 따라 먼저 일치하는 손상 수리 정보를 불러온다. 그리고 건축물 정보의 weight를 고려하여 건축물 정보의 유사도가 높은 순서대로 손상 수리 정보를 배열한다. 시스템은 추가적인 rule을 통하여 가장 유사 정도가 높은 case 정보를 수정하여 사용자에게 제공된다. 수정된 case 정보는 case library에 저장되어 향후 수리정보를 추천받을 때 활용된다.

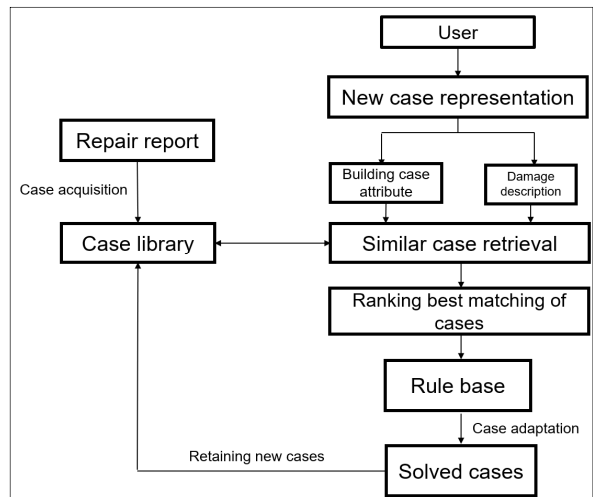


Fig. 4. System workflow of case-based recommendation system

추천시스템의 인터페이스는 손상 부재 입력창, 손상 입력창, 건축물 정보 입력창, 수리사례 시각화 창, 추천 결과창으로 구분 된다 (Fig. 5).



Fig. 5. Interface of the proposed system

case-based recommendation system의 사용자 시나리오는 다음과 같다. 문화재 관리자는 경북 안동의 사찰 건물의 수리 방법을 결정하고자 한다. 그가 확인한 건물은 기둥의 돌아감과 부식, 기와의 탈락과 파손, 처마의 처짐 등의 손상을 가지고 있어 이를 시스템에 입력한다(Fig. 6). 문화재 관리자는 건축물의 지역, 유형, 창건시기, 공포양식, 출목양식, 평면유형, 칸수, 지붕 가구 정보를 시스템에 입력한다. 시스템은 수리데이터베이스에 저장된 수리 데이터 중 입력한 손상 정보를 가지는 데이터들을 모두 불러온다(Fig. 6). 시스템은 불러온 수리 데이터를 건축 정보의 weight를 고려하여 건축물 정보가 유사한 순서대로 랭킹을 주어 시각화한다(Fig. 7). 마지막으로 시스템은 건축물의 수리방법 추천한다. 시스템은 경북 안동의 사찰 건물의 기둥의 돌아감과 처마 부식과 처짐에는 부재의 교체를 추천하였다. 또한 시스템은 자세한 수리내용을 참고할 수 있도록 복지장사 대응전의 수리보고서 link를 제공한다(Fig. 9).

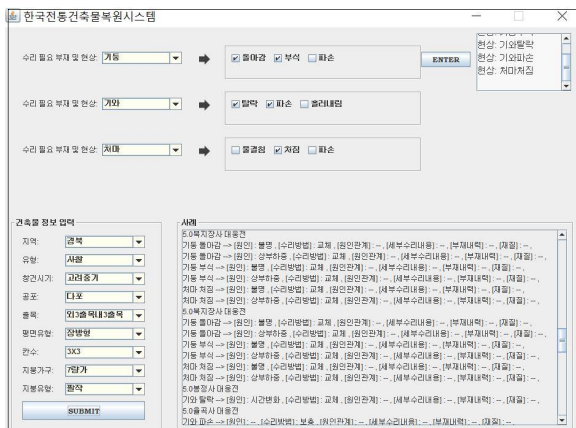


Fig. 6. Insert of building characteristics and retrieval of similar cases

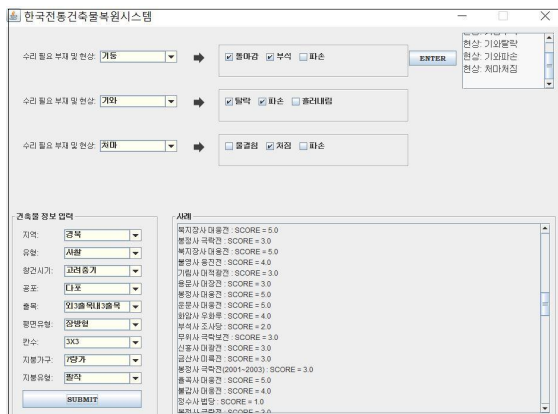


Fig. 7. Similarity score

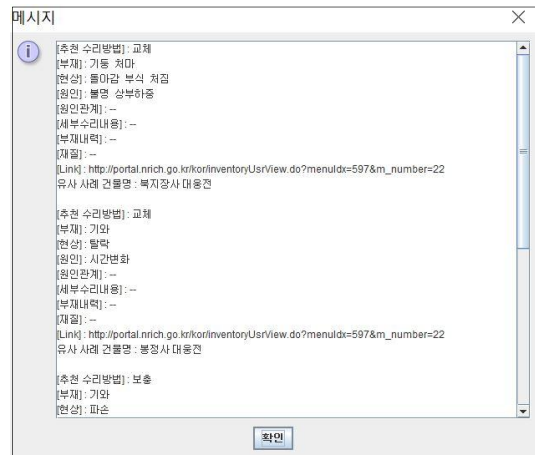


Fig. 8. Result of recommendation

IV. Conclusions

본 연구에서는 온톨로지와 사례기반 추천 시스템을 기반으로 유지관리 방법을 제안하였다. 이것을 위하여 유지관리 사례에 대한 데이터베이스를 구축하고, 건축물 손상의 연쇄적이고 복합적인 원인, 영향 관계를 정의하기 위해 온톨로지를 사용하였다. 그리고 이것을 기반으로 CBR 기반의 문화유산 관리방법 추천시스템을 개발하였다.

본 연구에서는 유사 정도가 높은 순서대로 case를 배열하는 단계까지 연구가 진행되었고 case 정보의 수정과 저장단계는 향후 연구로 남겨두었다. 이를 위해 건축문화재 수리시방서와 문화재보호법의 문장을 분석하여 시스템에 적용, 건축 수리의 결정 정확도를 높이고자 한다. 또한 해결된 방법이 case library에 저장되도록 case retaining 기능을 추가하여 다음 수리 방법 추천에 활용되도록 할 것이다.

또한 우리는 건축문화유산 관리자를 대상으로 시스템의 효과성과 사용성을 평가할 계획이다. 그리고 그들에게 피드백을 받아 시스템 및 인터페이스를 개선하고자 한다. 우리는 문화재보호법, 문화재수리표준 등 국가기관에서 정하고 있는 표준들을 통합하여 시스템에 반영하고자 한다. 마지막으로 수리 정보를 시각화하고 활용성을 높이기 위해 각 수리 사례 부재의 3D 모델과 수리 정보를 동시에 제공하고 있다.

이 연구는 수리 관련 지식의 통합, 공유, 확장을 가져오고 궁극적으로 건물 수리를 위한 수리방법을 결정하는데 효율적이고 경제적인 툴로 활용될 수 있다. 또한 수리사례 데이터베이스는 건축문화유산의 수리사례를 제공하여 수

리 기술자가 수리방법을 선택 하는데 도움을 줄 것이다. 거주자, 문화재관리 공무원과 같은 비전문가의 경우 수리, 관리 대책을 결정하는데 도움을 줄 것이다.

향후에는 문화재청, 국립문화재연구소 등 문화재 연구 기관과 공동연구를 통해 데이터의 수집과 전문가 의견을 추가하고 결과물 평가 및 피드백을 받고자 한다. 이 연구는 문화유산 뿐 아니라 최근 사회적으로 각광 받고 있는 신한옥 등의 주거 건축물 관리에 적용할 수 있다. 이 연구에 활용된 방법론은 한옥 등 전통건축물 뿐 아니라 현대 건축물의 유지관리에도 활용될 수 있다.

REFERENCES

- [1] S. Hong, and S. Hong, "Plan to introduce construction industry registration system to revitalize Hanok." *Construction policy review*, pp. 46-47, November, 2016.
- [2] S. Kim, "An Ontology based Learning System for Architectural Heritage Cases." *Journal of Korean Architecture Study*, The Architectural Institute of Korea, vol. 21, no.10, pp. 97-104, 2005.
- [3] Cacciotti R, Blaško M, Valach J., "A diagnostic ontological model for damages to historical constructions." *Journal of Cultural Heritage*, January, 2015.
- [4] Cursi, Stefano, Davide Simeone, and Ilaria Toldo, "A semantic web approach for built heritage representation." *International Conference on Computer-Aided Architectural Design Futures*, pp. 383-401, July, 2015.
- [5] Abdullah, S., "The fundamentals of case-based reasoning: application to a building defect problem." *Malaysian Journal of Computer Science*, 10(1), pp.10-26, June, 1997.
- [6] Motawa, I. and Almarshad, A., "A knowledge-based BIM system for building maintenance." *Automation in construction*, 29, pp.173-182, January, 2013
- [7] H. Jang, "Introduction to Cultural Heritage." Baeksan Publishing, 2002
- [8] Ronzino P, Amico N, Niccolucci F, "Assessment and comparison of metadata schemas for architectural heritage." *Proc. of CIPA*, September, 2011.
- [9] Zhang, Yunan, Zhiying Zhu, Chuangang Li, and Lei Chang. "Integration application system of Chinese wooden architecture heritages based on BIM." in *International Conference on Logistics, Informatics and Service Sciences*, IEEE, pp. 1-8, July, 2016.
- [10] Han, S., et al., "Workflows for Condition Inspection Documentation of Architectural Heritage Based on Hbim: Taking Three Duty Rooms in Forbidden City of Beijing as an Example," *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. pp. 123-129, 2017.
- [11] Lee, Jongwook, JiHyung Lee, and JiHyun Lee. "An Digital Architectural Heritage Content Authoring Tool Using XML." In *Proceedings of the Korean Society of Computer Information Conference*, pp. 40-43. Korean Society of Computer Information, 2016.
- [12] Boeykens, Stefan, "Using 3D Design software, BIM and game engines for architectural historical reconstruction." *Designing Together-CAADfutures*, pp 493-509, 2011
- [13] Wallgrün, J.O., et al., "Immersive Technologies and Experiences for Archaeological Site Exploration and Analysis." in *Proceedings of Workshops and Posters at the 13th International Conference on Spatial Information Theory (COSIT 2017)*, pp. 307-314, September, 2018.
- [14] Adrien Fomnet, et al., "Heritage BIM integration with mixed reality for building preventive maintenance." in *24° Encontro Português de Computação Gráfica e Interação (EPCGI)*, October, 2017.
- [15] Eliseo, Maria Amelia, José M. Parente de Oliveira, and S. Pellegrino, "Domain ontology with temporal descriptions for architectural buildings as a support for learning history of architecture." *IEEE Multidisciplinary Engineering Education Magazine* 6.2, pp 24-31, June, 2011.
- [16] Acierno, M., et al., "Architectural heritage knowledge modelling: An ontology-based framework for conservation process." *Journal of Cultural Heritage*, vol. 24, pp. 124-133, March, 2017.
- [17] Hellmund, T., et al., "Introducing the HERACLES Ontology—Semantics for Cultural Heritage Management. *Heritage*." vol. 1, no. 2, pp. 377-391, November, 2018.
- [18] Grama, Cristina, Ljubiša Urošević, and Matthias Wuerthele, "CBR based problem diagnostics application as a decision support system in the cultural heritage objects restoration." *Proceedings of the 15th WSEAS Intern. Conf. on Recent Researches in System Science*, July, 2011

Authors



Jongwook Lee received the B.S. degree in Dept. of Cultural Properties Management from Korea National University of Cultural Heritage. And he received M.S. and Ph.D. degrees in Graduate School of Culture Technology from Korea Advanced Institute of Science and Technology, Korea, in 2012 and 2019, respectively. Dr. Lee is interested in digital heritage, heritage management, virtual reality, and augmented reality.