재해 대응을 위한 건물 진단 3D 가시화 솔루션 개발

Development of Building Diagnosis 3D Visualization Solution for Disaster

박민수* · 이동환** · 차기춘*** · 임정현**** · 박승희*****

Park, Minsoo*, Lee, Donghwan**, Cha, Gichun***, Im, Junghyun****, and Park, Seunghee*****

Abstract

In recent years, increase in global temperature had led to climate change. Owing to the change, the frequency of occurrence of unexpected disasters has increased. Therefore, the susceptibility of people to the risk of disaster consequently aggravated. So disaster management measures are unquestionably required. Precedent study of disaster management have been conducted using a data from geographic information system gathered by satellite. But researches done on disaster management at buildings level are few number. In order to mitigate the damage of the disaster, it is necessary to develop a disaster management system for the buildings where many people reside. In this study, we built up 3D shape model of building and developed building diagnosis visualization solution which can be applied to disaster management system. For verification purpose, we validated the solution using UX-based evaluation methods.

Key words : Building Diagnosis, 3D Visualization, Disaster Management, Verification of Visualization Solution, User Experience

요 지

최근 급격한 기후변화로 인해 예상치 못한 자연재해가 발생하여 피해가 커지고 재해의 빈도수가 증가하고 있다. 따라서 재해 위험의 증가에 따른 재해 관리 대책이 요구되고 있다. 기존 연구사례를 보면 재해 관리 연구들은 위성데이터를 이용한 지리정보를 통해 진행되었지만, 건물 및 구조물 대상의 재난관리에 대한 연구는 부족한 상황이다. 재해의 피해를 경감시키기 위해 인간이 주로 활동하는 건물을 대상으로 재해 관리 시스템을 구축할 필요성이 요구된다. 본 연구에서는 도면이나 3D 모델링 정보가 없는 건물을 대상으로 CRP기법을 활용하여 단기간에 정확하고 건물 3D 형상 모델을 구축하였다. 이를 정보가시화 기술을 활용하고 재난 정보를 건물 공간과 연동하여 정보를 직관적으로 제공할 수 있는 Web기반 3D 가시화 솔루션을 개발하였다. 또한 솔루션의 검증 목적으로, User Experience기반 Web Usability Index 기법으로 해당 솔루션을 평가하였다.

핵심어 : 건물 진단, 3D 가시화, 재해 관리, 가시화 솔루션 검증, 사용자 경험

1. 서 론

2016년 세계평균 기온은 14.84℃를 기록하여 1880년 이후

가장 높은 수치를 기록하였다. 또한 2014부터 계속해서 연간 평균온도 최고기록을 갱신하고 있다(NOAA National Centers for Environmental Information, 2016). 이러한 지구 온난화는

*정회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 석박사통합과정(E-mail: pmskku@naver.com)

Member, MS & Ph.D. Combined Student, Department of Civil & Environmental System Engineering, Sungkyunkwan University

**성균관대학교 미래도시융합공학과 박사과정

Ph.D. Candidate, Department of Convergence Engineering for Future City, Sungkyunkwan University

***성균관대학교 미래도시융합공학과 박사과정

Ph.D. Student, Department of Convergence Engineering for Future City, Sungkyunkwan University

****성균관대학교 미래도시융합공학과 석사과정

MS Student, Department of Convergence Engineering for Future City, Sungkyunkwan University

*****교신저자, 정회원, 성균관대학교 건설환경공학부 교수(Tel: +82-31-290-7643, Fax: +82-31-290-7649, E-mail: shparkpc@gmail.com)

Corresponding Author, Member, Professor, School of Civil, Architectural Engineering and Landscape Architecture Sungkyunkwan University

엘리뇨·라니냐와 같은 이상기후현상을 유발하며, 예상치 못한 급격한 기후변화는 해당지역의 자연재해 취약성(Natural Disaster Vulnerability)을 높인다. Peduzzi(2005)은 재해발생 데이터 조사를 통해, 지구온난화가 진행됨에 따라 지진의 빈도수는 일정하지만 홍수나 폭풍우와 같은 기상학적 재해의 수는 온난화 이전 단계보다 증가하는 것을 확인하였다. Thomas and López(2015)는 지구온난화 유발물질인 이산화탄소 농도 증가와 수문기상학적 재해의 상관성 연구를 통해 17년 안에 수문기상학적 재해의 빈도수는 현재의 두 배가 될 것이라고 예측하였다. 기후변화와 자연재해의 연관성과 기후변화 추세를 보았을 때, 자연재해 위험성 증가가 예상되어 재해 관리 솔루션이 요구된다.

재해 관리를 위해서는 공간 정보에 대한 이해가 선행되어야 하며, 이에 따라 공간에 대한 정확하고 직관적인 정보제공이 요구된다. 기존의 재난관리 시스템은 (Oosterom et al., 2005; Westen, 2013; Chang, 2006) GPS, GIS 등의 지리정보를 활용하여 진행되었으나 건물공간에 초점을 맞춰, 구조물 건전성을 대상으로 하는 재난 관리 연구는 미흡한 실정이다. 하지만 활동인구의 대부분은 건물에 존재하므로 건물의 공간정보 제공 및 재해정보 제공은 재해관리에 있어서 중요하다. 에너지 소비의 주체가 인간임을 감안했을 때 선행된 연구들은 해당 주장을 뒷받침 할 수 있다. U.S. Energy Information Administration(2016)에 따르면 전 세계에서 소비되는 총 에너지 중 20.1%는 건물에서 소비되며 미국의 경우 사용하는 전체 에너지 중 40%가 건물에서 소비되고 있다. 또한 Doukas, H et al.(2007)에 따르면 유럽의 경우 40~45%에 해당하는 에너지가 건물에서 소비되고 있다. 따라서 많은 인구들이 건물에서 활동하므로 재해 피해 절감을 위해서는 건물을 대상으로 재해 관리를 수행할 필요성이 있다.

본 연구에서는 재해 대응을 위하여 건물 공간별로 재해 대응에 효과적인 정보를 제공하기 위한 건물 3D가시화 솔루션을 개발하였다. 해당 솔루션으로 화재나 지진발생 시 목적을 달성하기 위한 세부 과정은 다음과 같다: 1. 기존 3차원 모델링정보가 없는 건물을 대상으로 Close-Range Photogrammetry (CRP)기법을 활용하여 단기간에 정확한 3D 형상 모델을 구축한다. 2. 재해 정보를 건물 공간과 연동시키는 프로그램을 개발한다. 3. 솔루션 개발 이후, 사용자경험(UX)을 기반으로 해당 솔루션의 유용성 및 사용성 등을 평가하고 실제로 재난 관리 시스템에 적용 가능 여부를 검증하기 위한 목적으로 진행되었다.

2. 연구 방법

2.1 Close-Range Photogrammetry(CRP) 기법

도면이나 3D모델링 정보가 있는 건물에 대해서는 BIM 활용 기술을 통해 재난 예측, 화재 피난 관리 등의 관리를

할 수 있다. 하지만 이러한 정보가 없는 건물은 재난 정보관리의 사각지대에 놓여있다. 이러한 건물을 대상으로 빠르고 정확하게 3D 모델을 구축하는 기술로 Photomodeler 소프트웨어를 사용한 CRP 기법이 있다. PhotoModeler는 캐나다의 EOS System에서 개발된 CRP가 가능한 소프트웨어로서, 카메라를 이용하여 촬영한 사진을 바탕으로 해당 물체의 3D 모형을 생성하는 프로그램 중 하나이다(Lee et al., 2016). 각각 다른 각도에서 촬영된 여러 사진을 통해 촬영대상의 동일한 지점을 매칭하고 해당 사진의 촬영 위치와 촬영 각도를 파악하여 3D 모델을 구축한다. 해당기술은 도면정보가 없는 건물을 대상으로 3D 모델을 구축할 수 있다는 장점이 있다.

2.2 정보가시화 기법

구축된 정보 모델에 재난 관련 정보 제공하기 위해서 정보가시화 기법을 사용하였다. 정보가시화란 사용자에게 더 효율적으로 정보를 전달하기 위하여 그래픽 요소를 활용하여 데이터를 유의미한 정보로 형상화하는 것을 뜻한다(Oh and Kang, 2008). 또한, 시각화의 요소는 명도, 색상, 질감, 형태, 위치, 방향, 크기의 7가지 요소가 있다(Cha and Park, 2015). 본 연구에서는 진단정보를 3D 모델링된 정보에 연동하고, 최종적으로 구현된 모델에 재난 정보를 표시하고 구별하기 위해 “색상”을 이용하여 정보가시화를 구현하였다.

2.3 Usability Index 기법

사용자 경험(User Experience, UX)이란 사용자가 제품 또는 서비스와 상호작용하여 얻는 모든 직·간접적인 경험을 말한다(Desmet and Hekkert, 2007). 사용자의 특정 행동을 이끌어내기 위해 다양한 분야에서 중요성이 대두되며 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 각각 다양한 목적에 따라 적절한 UX평가 기법을 사용한다. UX를 활용한 여러 가지 검증 방법 중 Usability Index기법은 Keevil(1998)에 의해 고안된 UX 평가 기법으로, Website 및 GUI 검증 방법이다. 이 기법은 크게 5가지 항목을 대상으로 Website의 유용성을 검증한다. 해당 항목의 자세한 사항은 Table 1에 소개하였다. 총 181개의 질문을 포함하고 있는 평가표이며, 각 질문에 해당하는 것을 Yes, NO, N/A으로 답할 수 있다. N/A 값을 제외한 전체 value값에서 yes 값의 비율인 (Total Yes Answers) / (Total Yes + Total No) × 100 값을 Usability Index라 칭하며 Website의 효율성 지표로 사용할 수 있다. 본 연구에서는 해당 기법을 통해 가시화 솔루션을 검증하였다.

3. 건물 3D형상모델 구축

3.1 연구 대상 Test bed 선정

실험을 진행에 앞서 적절한 Test bed 선정이 필요하다. 실험 건물의 기후변화로 인한 수문 기상학적 재해의 위험성

Table 1. Detail of Questions

Index	Contents
1. Finding the Information	It is index related to user's information search as It is question about the accuracy of website information, all processes that help users to find information easily and speediness of providing information. Details include 'Contents', 'Site Map', 'Heading (choose one page at random)', 'Search', 'Up-to-date information', 'Finding an answer' and 'Glossary'.
2. Understanding the Information	It is question of whether figure or example is utilized appropriately for the user's information comprehension ability. Details include 'Overview Page' and 'About this Site Topic (for 50-page sites)'.
3. Supporting user tasks	It is question whether the website can efficiently support each task according to the purpose of the user. Details include 'User-Oriented Tasks', 'Task', 'Interactive Tasks', 'Information Updates' and 'User Questions'
4. Evaluating the Technical Accuracy	It is question of whether the technology used to build the website applies appropriately. Details include 'Technical content'
5. Presenting the Information	It is question that assesses the usefulness and speed of visual data uploading to help users understand the website. Details include 'Display Speed (Choose Three pages at random)', 'Links', 'HTML format (Choose one page at random)'.

이 높은 해안 주변의 건물을 대상으로 하였다. Crossland (2005)의 해안 지역의 인구를 2000년 km^2 당 87명의 인구가 거주한다고 추정한 것을 근거로, 해안 건물에 대한 재난안전 관리가 인구밀도와 재해 위험도 등을 고려할 때 가장 우선시 되어야 한다고 판단하였다. 또한 건물 공간정보가 없는 건물에도 적용 가능한 진단 솔루션을 개발하기 위하여 해당 데이터가 없는 건물을 대상으로 선정할 필요성이 있었다. 본 연구에서는 다음과 같은 조건을 통해 최종적으로 해안 주변의 공장 및 사무 시설로 사용되고 있는 건물을 Test bed로 선택하였다. 해당 Test bed의 정보는 Table 2와 같다.

Table 2. Description of Test Bed

Building name	Gwangmyeong SG
Location	Danwon-gu, Ansan-si, Gyeonggi-do
Completion year	2015
Total floor area	2,760.56 m^2
Building area	2,517.54 m^2
Number of floors	2 floors
uses	plant equipment

Test-bed의 재난 정보를 시각하기 위해서 제공되어야할 정보를 선정하였다. 구조 건전성 모니터링 목적으로 가속도계, 변형률계 등이 설치된다. 또한 건물 내부 환경 모니터링 목적으로 온습도계 등이 설치된다. 본 연구에서는 Table 3에서 설명된 것과 같이 건물을 대상으로 구조적 건전성과

환경 모니터링 센서를 설치하였다.

Table 3. Sensors for Building Diagnosis

Purpose	Sensor	Measured data
Structural health monitoring sensor	Accelerometers	Constant vibration of structure
	Stran gauge	Dynamic displacement estimation
Enviromental monitoring sensor	Thermo-Hygrometers	Temperature and humidity
	CO2 sensors	Carbon dioxide concentration

3.2 3D 형상모델 구축

Test bed의 1동을 대상으로 여러 각도로 사진촬영을 진행한 후, 2.1에서 언급한 CRP를 활용하여 3D 형상모델을 구축하였다. 포토모델러를 활용하기 위해 대상 건물을 중심으로 동서남북 방향 및 남동 북동 방향으로 사진을 촬영하였다. 해당건물의 서쪽은 인접한 다른 건물로 인하여 적절한 사진을 촬영하는데 어려움이 있었다. 사진 62장중 18장을 사용하여 3D 모델을 구축하였다. 포토모델러를 이용한 3D 형상모델 구축을 위해 서로 다른 위치에서 촬영한 사진이 같은 것이라고 인식 시켜줄 수 있는 접합점이 필요하다. 대상 건물의 접합부를 건물의 모서리 부분으로 지정하고, 건물 최상단의 모서리부분과 최하단 부분을 접합부로 인식시켜 하나의 선으로 연결하여 최종적으로 Table 4와 같은 형상모델을 구축하였다.

Table 4. 3D Shape Model from Photomodeler

4. 가시화 솔루션 개발 및 검증

4.1 가시화 솔루션 개발

건물 모니터링 정보를 3D형상정보와 연동하기 위하여 모델 객체화, 정보의 정량적 표현 기능을 하는 **Textbox** 등의 요소 기능을 구현하였다. 이러한 기능을 구현하기 위하여 모델 동작영역은 3D엔진 중 하나인 Unity3D를 사용하여 개발하였으며, 정보표현영역은 **Script**로 개발하였다. 또한 최종적으로 완성된 솔루션을 홈페이지에 적용 가능하도록 구현하여 재난안전 관리자와 거주자들이 건물에 대한 정보를 실시간으로 제공 받을 수 있도록 하였다. Fig. 1은 최종 개발 완성된 시각화 솔루션 GUI에 대한 그림이다. 좌측 상단의 **Text**로 건물 환경 모니터링 정보를 표시되도록 구현하였으며, 공간 색상변화를 통해 건전성 모니터링 정보를

직관적으로 보여줄 수 있도록 개발하였다.

Fig. 1. Developed Visualization Solution

모델 동작 영역에서는 구축된 3D형상정보를 로드하여 구역별로 공간을 구분하고 재해 정보를 해당 공간에서 시각화 하도록 설정하였다. 정보 표현 영역은 **Data Server Layer**, **System Layer**, **Web Layer**로 구분하여 개발하였다. Fig. 2에서 빌딩 정보 가시화 솔루션 시스템에 대한 구성도를 나타내며 각 **Layer**는 **Script**를 통해 단계별로 개발하였다.

Data Server Layer는 실제 **Sensor**로부터 재난 안전관리에 등의 실시간 데이터가 저장되어 있는 외부데이터에서 데이터를 불러오는 **Layer**로 **API URL** 인터페이스를 통해 **DB** 데이터를 로드하는 단계이다. **System Layer**는 **Func.Start()**,

Fig. 2. Building Diagnosis Information Visualization System Configuration Diagram

Func.Update(), Info.Manager, Object의 4가지 Component로 구성하였다. Fun.Start()는 해당 솔루션의 GUI가 시작될 때 단 한번 실행되는 기능이며, 해당 부분에서는 Data Server Layer에서 로드한 진단정보를 건물 각 구역별로 분할 한 후 저장하는 기능을 구현하였다. Func.Update()에서는 Free rotation 기능을 추가하여 공간정보의 접근성을 개선하여 재해 발생 시 건물정보를 이해하기 쉽도록 개발하였다. Fig. 3은 사용자 편의성을 위해 회전기능과 각 층별, 구역별로 정보제공을 할 수 있도록 개발한 솔루션에 기능에 대한 그림이다.

Fig. 3. Provide Information for Each Zone

Info.Manager는 건물상태정보와 재난 Factor, 공간정보 관리 변수를 적용하였다. Web Layer는 개발된 가시화 솔루션을 Web에 로드하는 기능을 담당한다. 사용자가 특정 공간에 마우스 커서를 클릭할 시 해당 구역의 재해 진단 정보가 나타나도록 구현하였다. Fig. 4는 해당 솔루션의 전체적인 과정을 나타낸다.

Fig. 4. System of Visualizing Real Time Sensor Data

4.2 가시화 솔루션 검증

완성된 3D 가시화 솔루션이 재해 관리 효율 향상에 도움이 되는지를 검증할 수 있는 방안이 필요하다. 하지만 재해는 예상치 못하는 상황에 발생하며 주기적으로 발생하지 않기 때문에 가상으로 재해 상황을 적용하여 검증하였다. 따라서 본 연구에서 가상으로 재해가 발생한 것으로 건전성 및 환경 모니터링 정보를 입력하고, 가상 재해 발생시 3D 가시화 솔루션의 유용성을 검증하였다.

Denjamin Keevil의 Usability Index 평가표는 Website에 대한 평가표이다. 따라서 해당솔루션인 GUI를 검증하는 질문으로 한정할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 181개의 질문 중 116개로 한정하였다. 제외된 질문은 “User Questions”과 같은 본 연구에서 개발하여 적용한 Website와 관련이 적은 내용이다. 해당 솔루션 검증 결과 Usability Index 값으로 82점을 얻었다. 각 세부값은 Finding the information 63%, Understanding the information 87%, Supporting user task 73%, Evaluating the technical accuracy 75%, Presenting the information 95%로 평가되었다. 이 중 특히 취약했던 항목은 정보를 찾는 항목이다. 하지만 정보 이해도 지수가 높게 나온 것은 정보를 시각화 하고 층별, 구역별로 나누어 정보를 제공하는 것의 장점을 나타내는 지표라고 볼 수 있다. 재해 정보를 3D 건물모델을 통해 시각화하는 솔루션을 검증함으로써, 재해 정보 시각화로 제공하는 것의 유용성을 대변하는 지표로 사용될 수 있다.

5. 결 론

본 연구는 건물재해에 대응하기 위한 정보를 효과적으로 진단정보를 제공하기 위하여 3D 도면이나 정보가 없는 건물을 대상으로 간단하고 정확도 높은 CRP 기법을 활용하여 3D형상모델을 구축하였다. 이후, 건전성 및 환경 모니터링 센서를 통해 측득된 정보를 3형상모델을 이용하여 가시화하는 솔루션을 개발하였다. 해당 솔루션을 검증하기 위하여 UX 평가방법 중 Usability Index 기법을 이용하여 평가하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 3D 도면이나 정보가 없는 건물을 대상으로 CRP기법을 사용하여 빠르게 형상정보를 구축하는 것은 해당 솔루션의 정확성과 시간적 경제성을 고려하였을 때, 노후화된 건물 관리나 재해 관리 등 건물 3D 정보가 필요한 다양한 곳에 적용하면 효율적일 것이라고 사료된다.
- (2) UX평가를 통해 해당 솔루션을 검증한 결과, 건물을 대상으로 재해 정보를 시각화하여 제공하는 것은 재해 대응에 효율적인 방안으로 평가되었다. 따라서 기존 지리적 정보 기반 재해관리 기술에 건물의 건전성 및 환경적 정보를 포함하여 제공하는 것은 재해관리 발전에 기여할 것으로 사료된다.

UX기반 검증 방법 중 더욱 사용자와 친숙한 방법으로 Eyetracking을 통한 검증 방안이 있다. 이 방안은 사용자의 행동을 정량적으로 측정할 수 있을 뿐 아니라 정성적으로도 측정할 수 있다. 또한 실시간으로 변화하는 기능에 대한 변화값을 파악할 수 있어 해당 솔루션을 더욱 유의미하고 효율적인 솔루션으로 개선할 수 있다. 따라서 추후 연구를 통해 Eyetracking을 활용한 해당 솔루션 검증을 실행할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 2015년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원 (No. 20152000000130) 및 한국연구재단의 지원 (NO. NRF-2017R1A2B3007607) 및 국토교통부의 스마트시티 석·박사과정 지원사업으로 지원되었습니다.

References

- Cha, G.C., and Park, S.H. (2015) A Study on Information Visualization Using Building Information Modeling. *Journal of the Korea Academia-industrial Cooperation Society*, Vol. 16, No. 6, pp. 4170-4175.
- Chang, E.M. (2006) GIS-based Disaster Management System for a Private Insurance Company, in Case of Typhoons(I). *Journal of the Korean Geographical Society*, Vol. 41, No. 1, pp. 106-120.
- Crossland, C.J., Kremer, H.H., Lindeboom, H.J., Crossland, J.M., and Le Tissier, M.A. (2005) *Coastal Fluxes in the Anthropocene*. Springer Science & Business Media.
- Desmet, P., and Hekkert, P. (2007) Framework for Product Experience. *International Journal of Design*, Vol. 1, No. 1, pp. 57-66.
- Keevil, B. (1998) Measuring the Usability Index of Your Web Site. *Proceedings of the 16th Annual International Conference on Computer Documentation*, SIGDOC '98, pp. 271-277.
- Lee, D.H., Cha, G.C., and Park, S.H. (2016) Development of Visualization Solution using a 3D Shape Information by a Nonmetric Camera. *Proceedings of Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea 2016 Winter Annual Conference*, pp. 180-183.
- NOAA (2017) *State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2016*.
- Oh, B.K., and Kang, S.J. (2008) *Information Design Textbook*. Ahn Graphics, pp. 99-100.
- Oosterom, P.V., Zlatanova, S., and Fendel, E.M. (2005) *Geo-information for Disaster Management*. Springer Science & Business Media.
- Park, H.J., and Kim, G.H. (2012) The Accuracy Verification of 3D Modeling using Digital Camera. *Journal of the Construction and Environment Research Institute*, Vol. 7, No. 1, pp. 134-140.
- Peduzzi, P. (2005) Is Climate Change Increasing the Frequency of Hazardous Events? *Environment and Poverty times*, No. 3, p. 7.
- Randles, B., Jones, B., Welcher, J., Szabo, T., Elliott, D., and MacAdams, C. (2010) *The Accuracy of Photogrammetry vs. Hands-on Measurement Techniques used in Accident Reconstruction*. SAE Technical Paper 2010-01-0065, SAE International.
- Thomas, V., and López, R. (2015) *Global Increase in Climate-Related Disasters*. ADB Economics Working Paper Series, No. 466.
- U.S. Energy Information Administration (2016) *International Energy Outlook 2016 with Projection to 2040*. Government Publication Office.
- Van Westen, C.J. (2013) Remote Sensing and GIS for Natural Hazards Assessment and Disaster Risk Management. *Treatise on Geomorphology*, Vol. 3, pp. 259-298.

Received	November 15, 2017
Revised	November 16, 2017
Accepted	November 20, 2017