공간정보 및 센서정보 기반의 실시간 시설물 재난관리시스템 프레임워크

A Framework of Realtime Infrastructure Disaster Management System based on the Integration of the Building Information Model and the Sensor Information Model

오은호* · 이성기** · 신은영* · 강태경*** · 이유섭****

Oh, Eun-Ho · Lee, Seongki · Shin, Eun-Young · Kang, Tae-Kyung · Lee, Yoo-Sub

Abstract

The research is aiming to propose a framework of real-time infrastructure disaster management system by combining the building information model (BIM) and the sensor information model. Open BIM such as IFC (Industry Foundation Classes) has been widely adapted as a data exchange standard in AEC/FM domains and its application to the broader purpose has been explored as in facility management. The final goal is to establish an integration system of spatial information of the infrastructure disaster management system and real-time data of the monitoring systems of infrastructures. To reach the goal, a computing platform that interoperates from interfaces of tiny end nodal sensors to varied purposeful visualizers is necessary. Theoretical aspects in BIM and its relevant ICT are thus discussed first. And then the real-time Infrastructure Disaster Management System is suggested and the detailed explanation on the components of the system, such as extended BIM model, database management, sensors, operation process, and visualization method, is followed. To validate the system, a scenario based approach using a building fire accident is substantiated. The result of this research can contribute to the field of disaster research area by establishing the framework that can provide a novel method of integration of spatial information and real sensor data in order to understand holistic system configuration.

Key words : Infrastructure disaster management system, Building information model, Real-time sensor information

요 지

본 연구의 목적은 BIM과 센서정보모델을 연동함으로써 실시간 시설물재난관리시스템의 개념적 프레임워크를 제시하는데 있다. IFC와 같은 개방형 BIM은 이미 데이터 교환표준으로 건설업계에서 폭넓게 적용되고 있으며, 시설물관리와 같이 다양한 분야의 응용모델들이 개발되고 있다. 본 연구의 최종적인 목표는 시설물재난관리시스템의 공간정보와 시설물 모니터링시스템의 실시간정보의 통합에 있으며, 이를 위해 소형단말 센서 인터페이스로부터 목적지향적인 가시화 모듈까지 상호연결이 가능한 플랫폼이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 BIM의 이론적 배경 및 이와 관련된 ICT 방법론을 주로 논의하였으며, 이에 근거하여 개념적 프레임워크를 제안하였다. BIM 확장 모델, 데이터베이스 관리, 센서, 운용절차, 가시화 방법 등 프레임워크 구성 체계에 대한 자세한 설명과 더불어 건물화재 시나리오에 근거하여 제안된 시스템을 증명하였다.

핵심용어 : 시설물재난관리시스템, 건물정보모델, 실시간 센서정보

1. 서 론

시설물의 대형화 · 초고층화로 인해 실외 공간정보뿐만 아니라 실내 공간정보에 대해서도 데이터베이스를 구축 · 활용

해야 할 필요성이 높아지고 있으며, 이를 위해 BIM과 공간 정보 간의 연계를 통해 시설물정보를 효과적으로 관리하고자 하는 다양한 연구가 추진되고 있다. 특히, 건물단위의 세부정보를 표현하는 BIM과 공간 및 지리정보를 가지는 GIS를 통

*정회원. 한국건설기술연구원 건설관리경제연구실 수석연구원(E-mail: uno1988@kict.re.kr)

Member, Senior Researcher, Construction Management & Economy Research Division, Korea Institute of Construction Technology

**교신저자. 정회원. 스위스연방공과대학 건축학과 박사과정(Tel: +82-31-910-0021, Fax: +82-31-910-0411, E-mail: romekorea@gmail.com)

Corresponding Author. Member, Ph.D. Candidate, Architecture, ETH Zurich

***한국건설기술연구원 건설관리경제연구실 연구위원

Research Fellow, Construction Management & Economy Research Division, Korea Institute of Construction Technology

****한국건설기술연구원 건설관리경제연구실 수석연구원

Senior Research Fellow, Construction Management & Economy Research Division, Korea Institute of Construction Technology

합할 때, 건물단위로부터 도시단위에 이르기까지 정보통합관리, 설계 및 시공관리, 유지관리, 방재관리 등 다양하고 광범위한 응용모델을 구축·활용할 수 있다. 그러나 아직까지 BIM과 GIS 관련 정보모델은 시설물 부재와 내·외부 공간의 상태정보에 기반을 두고 있어 시설물 또는 공간에 발생할 수 있는 유동적 상황 또는 실시간 정보를 표현하는데 미흡하다. 따라서 시설물의 완공 후에 생애주기 전반에 걸쳐 재난관제와 관련된 모든 시설물 정보 및 공간정보, 그리고 센서로부터 취득한 정보를 효과적으로 연결하고 이상신호에 신속하게 대응할 수 있는 의사결정도구 및 대응방안 모델링이 필수적이다. 이에 본 논문은 재난관리에 초점을 두어 확장된 IFC 공간정보 모델과 시설물 부재 및 공간에서 발생할 수 있는 실시간 정보를 센서를 통해 수집하고 연계·관리할 수 있는 통합시스템 구축방안을 제시하고 그 가능성을 모색하였다.

2. 국내외 동향 조사·분석 결과

IFC(Industry Foundation Classes)는 IAI(International Alliance for Interoperability)가 설계·건설·유지관리 분야의 데이터 교환을 위해 개발한 BIM 객체 라이브러리 국제표준이며, 2007년에 개발된 IFC2x3의 검증 및 보완이 끝나고 현재 센서, 콘트롤러, 액추에이터 디바이스와 그것들의 유선화에 대해 명시할 수 있는 기본 요소들을 포함한 IFC2x4¹⁾ 버전이 완료 단계에 있다. IFC모델은 건물 내·외부 부재인 기둥, 벽, 문 등을 3D 공간모델 객체로 표현하고 있으며, 부피, 비용 등 다양한 속성과 관계정보를 포함하고 있어 계획·설계·시공·유지관리 등 시설물 전생애주기에 걸쳐 활용될 수 있다.

전생애주기에 필요한 다양한 정보를 운용할 수 있고, 가장 잘 체계화된 개방형 BIM 스키마(ISO16739)의 활용성을 보장하는 IFC모델은 개발목적에 따라 다양하게 확장될 수 있다. 예를 들면, 일반적인 공간정보체계 구성요소에서 재난 시 활용가능한 공간정보로 특성화가 가능한데, 재해의 특성에 따라 유해성이 높아지는 내부공간, 특정 재난에 쉽게 취약해지는 내부 부재의 상태파악, 유해공기의 흐름에 대한 안전한 경로 확보 등과 관련된 클래스(Class)들과 연결시킬 수 있다. IFC의 확장을 위해서는 먼저 BIM 공간정보의 구성체계를 이해할 필요가 있다. BIM 공간정보는 건물의 기본 데이터를 기술하는 최하위 레이어(Basic Building Data Layer), 관계형 정보를 담은 중간 레이어(Rich Information Layer), 그리고 최상위 스마트정보 레이어(Smart Information Layer)로 구성된다(염정호 등, 2009)(그림 1). 스마트 정보레이어는 스마트 환경 속성에 대한 정보레이어로, 유비쿼터스 기술(Sensor, RFID Sensor, Telematics 등)에 의해 실시간으로 입력되는 사용자의 환경(user context), 건물의 환경(environment context)에 의해 구성되며, 사용자의 위치, 공간의 사용가능 여부, 접근 허용성, 비장애성 등과 같은 정보를 포함한다. 본 논문에서 사용하고자 하는 센서정보, 화재로 인한 공간 상태정보

Fig. 1. BIM Hierarchy (Yeom et al, 2009)

등 재난관리 관련 정보는 상위위계인 스마트 정보레이어 단계에서 다룰 수 있다.

최근의 정보기술 발전에 힘입어 과거 건설 효율성 향상 위주의 연구에서 현재는 시설물관리 및 안전관리와 같은 관심 분야로 연구 분야가 확장추세에 있으며, 다양한 효율적인 표현방법 및 대용량 정보의 사용을 가능하게 하는 지능적인 IT 솔루션들이 제안되고 있다. 특히 시설물관리(FM)적 측면에서 물리적 시설 정보와 가상의 정보를 통합하여 실시간 모니터링 및 분석을 가능하게 하기 위해서 건물생애주기(Building Life Cycle Management, BLM)에 걸쳐 커미셔닝을 지원하는 지식정보 환경 구축 관련 연구가 진행 중이다(Stack et al., 2011).

BIM 데이터베이스에는 BIMserver가 대표적으로 사용되고 있으며(Beetz 2010), 건설 사업에서는 정보의 중앙 집중처리를 가능하게 하는 BIMserver 오픈소스 도구가 개발되었다(Van Berlo et al., 2011). BIMserver는 코어-오브젝트에 의해 해석되고 그에 대응되는 데이터베이스에 IFC 데이터를 저장하도록 지원하는 모델지향 아키텍처²⁾를 채택하고 있다. 그래서 사용하는 이 도구를 통해서 건물정보를 질의, 통합, 필터링 할 수 있다.

한편, 시설물의 안전관리를 위한 정보획득은 초기 육안식별 단계에서 발전하여 효율적이고 진보된 형태인 센서기반의 실시간 감지기능 뿐만 아니라 논리제어, 메모리, 통신기능이 부여된 지능형 센서로 진화하고 있다. 화재를 예로 들면, 차동식·정온식감지기, 반도체 열센서 등 열감지센서, 광전식감지기 등 빛(광)감지 센서, 이온화식감지기 등 연기 감지 센서들이 사용되고 있으며, 최근 무선통신 기반 연기감지센서 등 ICT 기반의 데이터송신이 가능한 센서가 개발·활용되고 있다. 이러한 센서기술은 USN(Ubiquitous Sensor Network) 및 정보네트워크, GIS(Geographic Information System) 기반 모니터링시스템 등을 구현하는 중요한 요소기술로 활용되고 있다.

시설물 안전관리 또는 재난관리를 위하여 GIS와 시설물 상태모니터링을 위한 실시간 센서정보를 활용하는 통합적인 시스템들이 개발되고 있으나, 아직까지 GIS와 건물 공간을 시설물 정보 및 센서 네트워크 기반의 실시간 재난 정보 관리 시스템에 관한 연구는 보고된 바가 없다. 다만, 센서로부터 획득된 다양한 실시간 정보와 BIM 공간정보와의 연계를 위

1) ISO16739로 인증단계에 있으며 공식명칭을 IFC4로 결정함.

2) http://en.wikipedia.org/wiki/Model-driven_architecture 참조.

하여 SensorML(Sensor Markup Language), EEML(Extended Environments Markup Language) 등 센서 데이터 교환 표준의 사용이 가능한 것으로 판단된다.

3. 시설물 재난관리 통합시스템 구축 방향

건물 내부공간의 실시간 재난 정보와 BIM 정보모델을 연계한 재난관리 통합시스템의 이상적인 구조는 중앙에 재난 관계 시스템을 두고 이를 기반으로 건물 및 도시 영역에서 다층적인 정보관리 및 활용서비스를 제공하는 것이다. 여기에는 건축물 안전관련 정보 및 건축물 상태정보를 모니터링하는 기능과 더불어 여러 주체들이 공간적 한계에 구애받지 않고 적절한 정보를 제공 받을 수 있는 표출 기능도 필요하다. 이를 위해 건축물 및 도시의 물리적 정보를 가공하여 관리하는 BIM과 GIS 데이터베이스, 건축물의 상태를 끊임없이 모니터링 할 수 있는 센서 네트워크, 그리고 취득한 정보를 관리하고 의사 결정을 내릴 수 있도록 하는 전문가 시스템(Expert System)이 필요하다(그림 2).

본 연구는 전체 통합시스템 중에서 BIM 공간정보와 실시간 센서 데이터의 연계, 그리고 이를 가시화할 수 있는 데이터 통합모듈에 중점을 두어 Framework을 제시하였다. 건물 정보 모델을 위하여 건축물 부재 정보, 부재와 부재의 연결 정보, 공간과 공간의 연결 정보, 통로 정보 등의 재난, 피난, 대응에 필수적인 정보를 주로 다루었다. 범용성과 안정성을 고려했을 때, 가장 용이하고 효율적인 방법인 Revit C# API를 이용하여 Revit 모델러에서 건물정보 DB에 바로 정보를 업로드 하도록 시스템을 구성하였다. 이러한 건물정보 모델을 반영하기 위한 데이터베이스 설계는 대용량의 BIM 정보모델의 객체 및 속성을 효율적으로 처리할 수 있는 ORDB(Object Relational Database)나 RDB(Relational Database)로 구현해야 한다. 그림 3은 건물객체, 공간 연결관계 구성, 센서, 컨트롤러의 IFC 엔티티 관계를 제시하기 위해서 건물구성요소

중에서 벽체, 벽체에 부착된 센서, 벽체에 삽입된 실내문, 그리고 센서와 연결된 컨트롤러를 관계를 표현하는 엔티티로 연결하고 있는 것을 표현한 다이어그램이다. 이 관계를 기반으로 데이터베이스의 각 테이블의 스키마를 구성하면 이중의 프로젝트를 통해서 생성되는 정보들을 효율적으로 통합시킬 수 있다.

실시간 기반의 센서정보 모델과 BIM 공간정보 모델에 관해서는 IFC4 버전의 IfcSensor 엔티티가 실시간 센서 정보와 직접적으로 연계하는 스키마가 구성되어 있으나 아직 구체적인 연결방식은 제공하지 못하고 있으므로, 실제 데이터에 의한 운용을 위해서는 센서 표준 정보 모델과 통합하여 사용하는 방법이 대안으로 제시되고 있다. 따라서 건물정보 모델과의 호환을 위해 센서에 대한 정보 모델은 건물정보 모델에 통합하고, 센서 데이터 교환에 관한 역할은 SensorML이나 EEML 과 같은 교환 표준을 확장하여 적용하는 것이 바람직하다. EEML은 디바이스, 건물, 시스템, 공간으로부터 수집된 센서데이터를 구조화된 문서로 기술하는 방법으로서 XML 기반으로 되어 있으며, 다자간의 커뮤니케이션을 위해서 물리적 혹은 가상의 디바이스, 건물, 시스템, 공간에 적용될 수 있는 프로토콜을 제공한다.³⁾ 또한 디바이스, 건물, 웹사이트, 가상 환경에 동등하게 적용될 수 있는데, 동일한 프로토콜을 사용해서 특정 시점에서 건물, 숲, 가상공간(Second Life) 등의 환경을 기술하는 것이 가능하고 IFC와 병행 사용이 가능하다. 특히, 실시간으로 디바이스, 건물, 시스템, 공간 사이에서 일종의 구조화된 커뮤니케이션이 가능하다. SensorML은 물리적인 센서의 재원과 데이터 타입 등의 센서 시스템과 프로세스를 표현하는 OGC 컨소시엄이 제정한 표준 XML 스키마로서 센서 정보의 검색, 센서 네트워크 및 노드의 위치 감지, low-level 정보의 감지 등의 기능을 한다. 본 연구에서는 EEML이 IFC와의 호환성을 보장할 수 있도록 개발·표준화되고 있으므로 EEML 데이터 교환표준에 기반하여 시스템을 구축하였으며, 동시에 SensorML과의 확장성도 고려하였다.

Fig. 2. A Proposed facility disaster management system.

3) <http://www.eeml.org> 참조

Fig. 3. Relation of building entities, connectivity, and sensor network.

4. 시설물 재난관리를 위한 IFC 정보모델

시설물 관리 또는 재난관리를 위한 통합관리시스템을 구축할 때, 디지털 소프트웨어로 만든 대용량의 BIM 정보를 전부 운용하기 보다는 관련된 정보만을 추출하여 활용하는 것이 효율적이다. 예를 들어 화재와 같이 건물 내에서 빈번하게 발생하는 재난 사고에 대응하기 위한 체계를 구축한다면, 건물을 구성하는 BIM 정보 중에서 화재 및 건물 안전 관리 정보만을 선택적으로 처리 및 관리해야 한다. 따라서 IFC 표준 시설물 객체모델에 관해 정의된 모든 클래스에서 본 연구

에 필요한 객체들을 추출하여 정보관리의 효율성을 향상시켜야 한다. 또한 표준 모델에서 추출하는 정보와는 별도로 추가적인 객체들을 구성할 필요가 있는데, 이는 IFC 표준 모델이 재난관리에 필요한 정보객체들을 모두 포함하지 않을 뿐만 아니라 정보관리의 효율성 향상을 위해서 필요하기 때문이다. 그림 4는 IFC4의 객체들 중에서 추출한 건물과 공간, 센서 관련 객체들 및 연관관계를 보여주고 있다.

예를 들어 센서가 이상 신호 데이터를 송출하면 해당 장소의 물리적 정보와 더불어 인접공간과의 위상정보를 제공하여 신속한 대응이 가능하도록 시스템을 구성해야 한다. 따라서

Fig. 4. IFC Entities for disaster management (Benner et al. 2005 Reconstruction).

Table 1. Extended IFC for Disaster Management

건물 부재 정보	
객체	설명
IfcBeam	Beam
IfcColumn	Column
IfcWall	Wall
IfcRamp	Ramp
IfcStair	Stair
IfcFooting	Foundation
IfcSlab	Slab
IfcWindow	Window
IfcDoor	Door
IfcCovering	Cushion layer, Leveling layer, etc.
IfcCurtainWall	Curtain wall
공간 정보	
객체	설명
IfcBuilding	Building
IfcBuildingStorey	Storey
IfcSite	Site
IfcSpace	Space
IfcRelAdjacency*	Adjacency between IfcSpace
IfcRelConnectivity*	Connectivity between IfcSpace
센서 정보	
객체	설명
IfcSensor	Measuring a physical quantity
IfcActuator	Moving/controlling a system
IfcController	Monitoring/Controlling inputs/outputs
IfcRelSensor*	Incident relation between IfcSensor

*새로 추가된 객체

이전의 연구결과(Kim et al. 2008)를 바탕으로 BIM 정보의 공간과 공간 인접관계(Adjacency Relation)와 연결관계(Connectivity Relation) 정보를 추론하고 이 결과를 데이터베이스로 구성할 수 있다. 이 데이터베이스 구조 위에 인접관계와 연결관계를 정의하는 새로운 객체들로 IfcRelAdjacency와 IfcRelConnectivity를 추가하고, 이 객체들에 공간 및 건물부재 정보를 참조시키면 특정 장소에 안전하게 접근하고 대응할 수 있는 그래프 데이터 구조(Graph Data Structure) 정보로 활용 가능하다. 표 1에서 건물부재 정보, 공간정보, 센서정보 등 IFC 표준모델에서 추출한 객체들과 본 시스템 구축에 필요한 추가적인 클래스들을 정의하고 있다.

5. BIM과 재난정보 실시간 데이터 통합

모든 BIM 데이터베이스 서버와 센서 데이터베이스 서버와의 통신은 서비스 인터페이스를 통해 이루어진다. 서비스 인터페이스는 기본적으로 원격으로 실행되는 자바 인터페이스로 수많은 메소드의 집합이다. 원격 컴퓨터에서 BIM DB서버와의 커뮤니케이션은 언어에 관계없이 모든 종류의 언어로 구현이 가능해야 하므로, SOAP(Simple Object Access Protocol), REST(Representational State Transfer), 프로토콜 버퍼와 같

Fig. 5. Disaster management process based on BIM and sensor data model.

은 언어 독립 네트워크 기반 프로토콜을 사용해야 한다. BIM의 시설물 정보와 센서정보를 매핑하기 위해서는 먼저 건물부재와 공간관계를 추출하여 연계해야 하며, EEML의 정보 연계를 인위적으로 코딩해 주어야 한다.

시설물 재난관리시스템 구축 후 화재나 지진발생에 의해 빈번하게 일어날 수 있는 물리적 변화에 대응하기 위해서는 센서가 감지한 데이터를 가공하고 신속하게 처리할 수 있는 체계적인 대응 프로세스가 필요하다. 그림 5는 본 논문에서 시설물 정보모델과 센서 정보모델을 재난관리 시스템에서 처리하도록 도식화해 놓은 기본적인 정보처리 프로세스 및 대응 규칙이다. 대응 규칙 적용은 센서데이터를 취득하는 단계로부터 시작해서 단계 11까지 일련의 순서를 따른다.

- 단계 1. 센서네트워크에서 센서 데이터 취득
- 단계 2. 이상치를 점검
- 단계 3. 센서종류에 따른 의사결정모델 재분배
- 단계 4. 이상치 발견시 건물정보 질의 및 처리
- 단계 5. 이상센서 주변 센서들의 정보 취득
- 단계 6. 현장대응 매뉴얼 적용
- 단계 7. 실시간 위험도 판단 및 지원
- 단계 8. 위험도별 지원규칙 적용
- 단계 9. 처리완료여부 판단
- 단계 10. 기존 정보 모델 개선
- 단계 11. 재난대응 결과보고서

정보의 유기적 가시화는 재난관리 데이터를 효율적으로 활용할 때 중요한 이슈 중 하나이며, 목적에 맞게 2D·3D 및 시뮬레이션 결과를 신속하게 표현할 수 있어야 한다. 전체적인 운영 역할을 하는 중앙관제센터는 센서 네트워크를 통해 입수되는 센서데이터를 실시간으로 모니터링하고 센서 데이터베이스에 저장한다. 유사시에는 데이터베이스에 구축해 놓

Fig. 6. Visualization framework of disaster data.

은 해당 시설물 BIM 정보 또는 타 주체에 의해 구성해 놓은 정보를 BIM Parser를 통해서 필요 정보를 추출하고, 상태정보를 획득하여 신속한 현장대응을 위해 웹서비스를 기반으로 배포한다. 현장에서는 수신된 정보를 Web 3D를 이용하여 LoDs (Level of Details)에 따라 실시간으로 가시화 하는데, 목적에 맞게 모델과 센서 그리고 GIS 데이터와의 중첩을 지원해야 한다. 예를 들어 2.5D의 수치지형모델을 재현하는 TIN(Triangulated Irregular Network)을 표현할 때, LoD0 수준으로부터 슬라브, 천정, 내부벽체, 실내공간의 건축적 구성요소를 재현하여 현장 대응을 가능하게 하는 LoD4까지 표현할 수 있다. 또한 중앙관제센터의 의사결정도구인 재난 전문가 시스템(Disaster Expert System)은 논리규칙에 따라 상황별 대응 매뉴얼을 배포하고, 이 과정을 추후 사태에 재 활용 할 수 있는 지식베이스로 재구성한다(그림 6).

6. 방재시나리오 기반 모델링

IFC 확장모델과 센서 실시간 정보 연계 구조의 시설물 재관리 통합시스템의 기능성을 증명하기 위해 가상 화재시나리오를 통해 개념적 시뮬레이션을 실시하였다. 가상 시나리오는 빌딩 또는 쇼핑몰 전체가 아닌 특정 층의 복도 및 근처 내부공간(Room)에 적용하기 위한 테스트베드용으로 작성되었다.

6.1 시나리오 구성 요소

가상 시나리오를 구성하는 목적, 빌딩정보, 일시 및 기상 등은 다음과 같다.

6.2 가상 시나리오

가상 화재시나리오는 대상 건물 내부에서 화재가 발생하여, 화재성장 5단계인 발화단계(제1성장기), 성장단계(제2성장기), 전실화재단계(플레시오버), 성숙화재단계(최성기), 소멸단계(감쇠기)의 각 단계(권인규 2007)를 거쳐 진행되도록 작성하였다.

① 25층 커튼월외벽에 접해 있는 다용도실(스프링클러 없음)에서 전자렌지 오작용으로 인한 화재 발생(제1성장기)

Table 2. Fire scenario conditions

구분	내용
가상 시나리오 배경	- 초고층 오피스 빌딩, 초고층아파트 등 소방용 고가사다리가 달기 어려운 15층 이상의 건물에 대한 화재모니터링
건물 정보	- 오피스빌딩(지하5층 지상50층) - 코어 및 커튼월 타입의 건물 구조 - 코어 내 엘리베이터와 계단실 구성 - 코어 둘레에 튜브 형태로 오피스 공간 - 외벽은 가연성 알루미늄 커튼월(알루미늄 판넬 사이에 가연성 수지)
일시	- 퇴근 후 저녁 9시
기상 조건	- 비는 오지 않으나 바람이 부는 조건 (초고층 상층부에는 바람의 세기가 거셉)

(a) 건물 내 공간 및 부위 명칭

(b) 화재 진행 시나리오

Fig. 7. Fire progression in a building based on proposed scenario.

② 다용도실 내 가연성 물질(커튼, 목재 캐비닛, 플라스틱 용기 등)로 인해 연기발생 및 화재규모가 커짐(제2성장기)

③ 창문/벽 등이 연소되며 플레시오버 상태에 이름. 폭발과 함께 내부로부터 불꽃과 연기가 방출. 폭발로 인해 깨진 커튼월 창문 외부로 연기와 불꽃이 나감

④ 25층 오피스공간 내부에 연기가 차오르며 불꽃이 번짐. 스프링클러 작동으로 25층 오피스공간의 화재는 진압되나 다용도실에는 화재가 지속

⑤ 외부 거센 바람으로 인해 26층 커튼월 외벽에 화재가 계속 진행, 상층부로 화재가 번졌으나 화재모니터링시스템을 통한 빠른 대응으로, 26층, 27층 화재 진압 성공

⑥ 25층 다용도실 화재 진압

Table 3 Fire Scenario and Its Relevant Information

No	Time	Element/Space	Scenario	화재성상	센서종류	센서 데이터
1	21:00:00	S-A (다용도 공간)	발화(전자렌지 오작동)	공간 A 발화단계	N/A	N/A
1-1	21:01:00	S-A(다용도실 공간)	연기 발생	공간 A 발화단계	연기감지센서	연기 감지 - 소량
2	21:01:30	S-A(다용도실 공간)	화재 진행(마감재에 불꽃이 튀며 화재 진행)	공간 A 발화단계	불꽃/연기 감지 센서	연기 감지 - 다량 불꽃 감지 - 소량
3	21:04:00	S-A-W-1 S-A-W-2 S-A-W-3 S-A-W-4	S-A-W-1~4 화재 진행(벽재 마감에 화재 후 경량칸막이 벽에 화재 진행)	공간 A 발화단계	열/불꽃/연기 감지센서	연기 감지 - 다량 불꽃 감지 - 다량 열 감지 - 200도 내외
4-1	21:05:00	S-A-D	S-A-D 파괴/연기와 화재불꽃이 공간 S-C로 전파 (외부 공기 유입으로 왕성한 연소작용 발생. 실내 온도 급격히 상승. 외부로 검은 연기와 불꽃이 분출)	공간 A 성장단계	열/불꽃/연기 감지센서	연기 감지 - 다량 불꽃 감지 - 다량 열 감지 - 500도 내외
4-2	21:05:00	S-A-CW	S-A-CW 파괴 / 연기와 화재불꽃이 건물 외부로 전파 (커튼월 알루미늄 판넬 사이의 가연성 수지로 인해 화재 전파/확장)	공간 A 성장단계	열/불꽃/연기 감지센서	연기 감지 - 다량 불꽃 감지 - 다량 열 감지 - 500도 내외
4-3	21:06:00	S-A-W-2 S-A-W-3	S-A-W-2~3 파괴 (유리로 된 벽체 완전 연소)	공간 A 성장단계	열/불꽃/연기 감지센서	연기 감지 - 다량 불꽃 감지 - 다량 열 감지 - 500도 내외
4-4	21:06:00	S-A-W-1 S-A-W-4	S-A-W-1, 4 파괴 (플래쉬 오버 단계. 천장 온도가 600도 이상. 천장에서 방출하는 복사열에 의해 실내 모든 가연물질이 열분해 되어 가연성 증기를 발생. 경량칸막 완전 연소)	공간 A 플래쉬 오버	열/불꽃/연기감 지센서	연기 감지 - 다량 불꽃 감지 - 다량 열 감지 - 600~800도
4-1-1	21:08:00	S-C	S-C에 연기와 불꽃 전파 (S-A에서 분출된 불꽃이 S-C 공간에 화재를 발생)	공간 C 발화단계	연기감지 센서	연기 감지 - 소량
4-1-2	21:10:00	S-C	S-C에 화재 진행	공간 C 발화단계	불꽃/연기감지 센서	연기 감지 - 다량 불꽃 감지 - 소량
4-1-2-1	21:15:00	S-C	S-C에 스프링클러 작동 (연기 및 불꽃에 의해 스프링클러 작동)	공간 C 발화단계	불꽃/연기감지 센서	연기 감지 - 다량 불꽃 감지 - 다량
5	21:08:00	S-B S-D	S-B와 S-D에 연기와 불꽃 전파(S-A에서 분출된 불꽃이 S-B와 S-D 공간에 화재를 발생)	공간 B, D 발화단계	불꽃/연기감지 센서	연기 감지 - 다량 불꽃 감지 - 소량
5-1	21:10:00	S-B S-D	S-B와 S-D에 화재 진행	공간 B, D 발화단계	불꽃/연기감지 센서	연기 감지 - 다량 불꽃 감지 - 다량
5-1-1	21:15:00	S-B S-D	S-B와 S-D에 스프링클러 작동(연기 및 불꽃에 의해 스프링클러 작동)	공간 B, D 발화단계	불꽃/연기감지 센서	연기 감지 - 다량 불꽃 감지 - 다량

본 가상 시나리오에 적용된 센서 정보는 열감지센서(열반도 체식), 연기감지센서(이온화식), 불꽃감지센서이며, 열·연기·불꽃센서는 공간 A, B, C, D의 천장(C와 D는 중앙, A와 B는 일정간격) 부위와 벽, 문, 커튼월의 중앙부위에 장착된 것으로 가정하였다. 그림 7에서 가상 시나리오의 건물 내부 공간 및 부위 명칭과 화재 발생 후 진행 시나리오를 보여주고 있다.

표 3은 가상시나리오의 시간의 흐름에 따라 발생하는 각종 정보를 재구성한 것으로, 화재성상 5단계에 따라 화재가 발생하는 공간과 건물부위 정보, 연기·불꽃·열 감지센서가 생성하는 센서 데이터를 설명하고 있다. 예를 들어, 성장단계(4-1, 21시 5분)에서 A공간의 문(S-A-D)가 완전 파괴되고 연기와 불꽃이 C공간으로 전파되고 있다. 이때, 위험수치 이상의 연기와 불꽃이 검출되고 열센서는 350도 수준의 온도를

감지하여 데이터를 송출한다. 성장단계의 온도는 500도까지 상승하나 열센서가 온도를 측정할 수 있는 범위는 사실상 350이내이다.

6.3 Conceptual 시뮬레이션 결과

가상 화재시나리오에 따라 영향을 받는 공간 및 건물부위와 발생정보는 EEML을 통해 상호매핑될 수 있다(그림 8). 이미 구축되어 있는 상태정보인 IFC 공간정보는 EEML의 코딩모듈에서 실시간으로 생성·송출되는 센서정보와 연계된다.

그림 내 공간 및 부위 하단 왼쪽에 IFC 공간정보모델이, 오른쪽에 센서데이터가 실시간으로 연계되는 것을 보여주고 있다. EEML에서 최종적으로 발생하는 데이터는 프레임워크의 가시화 엔진을 통해 재난관리자가 이해할 수 있는 정보로 변환되어 웹기반 서비스 또는 3D 모바일 뷰어 등을 통해 전

Fig. 8. Links between building entities and EEML.

달된다. 이 과정에서는 XML기반의 EEML 데이터의 크기를 획기적으로 줄일 수 있도록 JSON(JavaScript Object Notation) 기반으로 교환하는 것도 고려할 필요가 있다.

7. 결 론

본 논문은 통합적인 시설물 재난관리시스템의 개념적인 프레임워크를 구축하여 건물 내외부 공간정보와 실시간 센서 데이터를 통합적으로 연계할 수 있는 가능성을 제시하는데 목적이 있다. 이는 최근 활발해지고 있는 BIM 및 GIS 정보의 통합과 이를 기반으로 하는 다양한 응용프로그램 개발 측면에서 볼 때, 확장된 IFC 정보모델이 GIS 기반의 다양한 상태정보들뿐만 아니라 실시간 업데이트되는 센서데이터까지 연동할 수 있는 가능성을 확인시켜주고 있다. 그러나 본 논문에서는 아직 개념적인 시뮬레이션을 통해 통합적인 프레임워

크의 기본적인 체계를 제시하는 수준이다. 따라서 향후 본 논문에서 다루지 못한 IFC 공간모델의 세부공간 모델 정의, 외부공간정보와의 연계, 화재 시 센서가 수집하는 정보의 안정적인 송출시스템, 가시화 엔진의 디테일한 Rule Sets 정의, 3D 모바일 뷰어의 표출 기능, 정보 가시화 및 지휘를 위한 실시간 사용자 인터페이스 등에 대한 실증적인 연구 수행이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원 ‘BIM/ GIS 플랫폼 기반 건설 프로젝트 관리기술 개발’에 의해 지원된 것으로, 본 연구비를 지원해 주신 한국건설기술연구원에 감사드립니다.

References

- Beetz, J., Van Berlo, L., de Latt, R. and van den Helm, P. (2010) BIMserver.org - An open source IFC model server, *Proc. of the CIB-W78 Conference*, Cairo, pp. 1-8.
- Benner, J., Geiger, A. and Leinemann, K. (2005) Flexible Generation of Semantic 3D Building Models, *Next Generation 3D City Models*, Bonn.
- ISO/PAS 16739:2005.
- Kim, S.A., Lee, S.K. and Yeom, J.H. (2008) Spatial Information Acquisition from IFC Data Model for Ubiquitous Indoor GIS Service, *3rd International Workshop on 3D Geo-Information*, Seoul.
- Kwan, I.K. (2007) *Building Disaster Reduction*, Donghwa Tech.
- Stack, P., Ryan, J., Walsh, B., Quinlan, J. and Menzel, K., Context-Sensitive Maintenance Management using Mobile Tools, *AET2011*, pp. 374-381.
- Van Berlo, L., About, (<http://bimserver.org>, Access: Oct 2, 2012).
- Yeom, J.H., Lee, S.K. and Kim, S.A. (2009) An IFC Model-based Spatial Reasoning Platform for Indoor Spatial Awareness, *Journal of AIK*, Vol. 25, No. 4, pp. 73-80 (in Korean).

◎ 논문접수일 : 2012년 10월 09일
 ◎ 심사의뢰일 : 2012년 10월 11일
 ◎ 심사완료일 : 2012년 10월 30일