

초고층 공동주택의 USN기반 피난시스템 도입을 위한 수직적 피난위계 설정에 관한 연구

A Study on Setting the Grade of Vertical Evacuation Rank to Introduce an USN-based Evacuation System into Super High-rise Apartment Housing's

홍원화*
Hong, Won-Hwa

최준호**
Choi, Jun-Ho

전규엽***
Jeon, Gyu-Yeob

Abstract

The purpose of this study is to secure an evacuation time and to ensure safety by using an Ubiquitous Sensor Network computing when a fire breaks out at a super high-rise apartment housing. A super high-rise apartment housing that is a type of building to solve the problem of separation of the urban function and the phenomenon of hollowing out downtown has been on the increase, high-rise apartment housings occupying 52.7% of whole housings in 2005. However, if a fire breaks out, there would be serious damage since it accommodates many people and facilities as existence of vertical gigantism in the city. The architectural law in force has no clause on it which is universally applicable to general building, it is difficult to be applicable to a densely super high-rise apartment housing and there would be in danger of a resident's evacuation in the fire. Therefore, as a previous study to introduce an USN-based fire-warning facility and evacuation equipment, this study shows the improvement way after analyzing factors that are barriers to evacuee's behavior of a super high-rise apartment housing and also shows establishment of the grade of vertical evacuation rank by SimuleX, one of the best computer simulation program.

Keywords : Super High-rise Apartment Housing, Fire, Grade of Evacuation Rank, Ubiquitous Sensor Network, Simulation

주요어 : 초고층 공동주택, 화재, 피난 위계, 유비쿼터스 센서 네트워크(USN), 시뮬레이션

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

정보화의 시대적 패러다임은 IT기술의 급속한 성장과 맞물려 '유비쿼터스'라는 사회적 요구를 탄생시켰고 이에 따라 유비쿼터스의 구현기술들이 급속하게 발전하면서 보다 나은 생활환경을 제공하고 있다. 우리나라는 IT839정책에 힘입어 유비쿼터스를 이용한 관련 산업의 경쟁력 확보를 위한 노력을 경주하고 있다. 이러한 유비쿼터스 구현기술은 사용자의 요구에 따라 활용될 범위가 무궁무진하여, 유비쿼터스 기반의 방재 및 안전기술의 개발에도 R&D투자가 더욱 활발해지고 있는 추세이다.

한편, 2005년을 기준으로 우리나라의 공동주택은 전체 주택 유형의 52.7%를 차지하고 있으며, 2000년의 47.8%에 비해 증가하고 있다.¹⁾ 최근에는 건축물의 대규모화, 고

층화, 복합화 등에 따라 요구 성능이 다양하게 변화하면서 도심기능분리 해결 및 토지의 효율적 이용을 위해 상업시설과 복합된 유형의 초고층 공동주택이 등장하였다. 이에 건축물의 고층·고밀도화에 따른 연소 확대의 위험성은 예전에 비해 더욱 커졌다. 최근 10년간 발생한 화재의 40%는 아파트 등의 주거지에서 발생하였으며, 이로 인해 연평균 2,300여명의 사상자와 1,500억원의 재산피해를 입혔다.²⁾

다수의 주거민들이 거주하는 초고층 공동주택에서는 화재발생시 피난동선을 체계적으로 고려하여 전문적이고 객관적인 안전대책 마련이 필요하나, <표 1>³⁾과 같이 미국 NFPA 101과 비교해 보았을 때 현행 건축법상의 기준만으로는 합리적이지 못한 현실이다. 따라서 이에 수반되는 피난안전에 관한 대책이 현실에 맞게 수립되어야 한다.

본 연구에서는 초고층 공동주택의 피난안전을 확보하기 위한 방안으로 최근 부각되고 있는 USN(Ubiquitous

*정회원(주저자), 경북대학교 건축학부 부교수, 공학박사
**정회원(교신저자), 경북대학교 대학원 건축공학과 석사과정
***정회원, 경북대 BK21 방재인력양성사업단 Post.Doc 연구원

이 연구는 2단계 BK21 「미래지향 글로벌 방재인력 양성 사업」과 건설교통부 「지하공간 환경개선 및 방재기술연구사업」의 연구비 지원에 의한 결과의 일부임(과제번호: 03san C03-01).

1) 2005년 대한민국 인구·주택 총조사, 통계청

2) 2005년 전국화재통계자료, 소방방재청

3) 최준호, 전규엽, 홍원화, 고층 주상복합 건축물의 피난 안전을 위한 국내외 법규사례 분석 및 개선방향에 관한 연구, 한국화재소방학회 춘계학술발표대회 논문집, 2006

표 1. 초고층 공동주택의 피난관련 규정 비교

구분	NFPA 101 Life Safety Code	국내 건축법
수용인원	18.6 m ² /인 또는 최대 수용가능 인원	-
내화구조	타입별로 내화시간 규정	부위별 내화시간 규정
수직개구부	원칙적으로 수직개구부는 구획을 요함.	층별구획
피난로	스프링클러 설치, 피난경로는 1시간 내화로 구획	-
복합용도 (주거와 상업)	주거시설은 상업용도를 경유하여 피난해서는 안됨. 상업시설 위로 다수의 주거시설이 위치해서는 안되나, 주거용도와 상업시설이 방화구획된 경우와 스프링클러가 전층에 설치된 경우에는 가능함.	-
고층건물	자동스프링클러 설치, 연결송수관설비 설치, 자동화재탐지설비, 비상조명, 예비전원 설치, 방재센터 설치	소방시설 관련 법규에 준함
대피장소	대피장소의 요구사항	-
복도폭	최소 91 cm 이상	-
막다른 복도	스프링클러 설치시 15 m 이내	-
공용이동통로	스프링클러 설치시 15 m 이내	-
보행거리	스프링클러 설치시 83 m 이내	16층 이상인 공동주택의 경우 40 m 이하
출입문수	층당 2개 이상	3세대 이상일 경우 2개 이상
외부로부터의출구	모든 출입문은 공공도로나 외부로부터 연결될 것	-
출입문의 폭	81 cm 이상	90 cm 이상
비상조명	13세대 이상인 모든 건축물이나 4층 이상인 모든 건축물에 설치	5층 이상인 건축물로 연면적이 3,000 m ² 이상
특별피난계단	방연계단실	11층 이상의 층으로부터 피난층 또는 지상으로 통하는 직통계단은 특별피난계단으로 설치
비상용승강기	피난로의 구성요소로 간주될 수 없으나, 접근 가능한 피난로의 구성요소로 허용	높이 41 m 넘는 각 층의 최대 바닥면적이 1,500 m ² 이하인 경우는 1대 이상, 1,500 m ² 넘는 경우는 1,500 m ² 넘는 3,000 m ² 이내마다 1대씩 가산한 대수 이상
헬리포트	-	11층 이상인 건축물로 11층 이상의 층 연면적이 10,000 m ² 이상인 건축물의 옥상에 설치

Sensor Network) 기술을 도입하기 위한 필요성을 검증하고, 이를 위한 선행연구로서 초고층 공동주택의 수직적 피난 동선의 위계를 설정하여, 추후 화재예방 및 피난안전을 도모하기 위한 유비쿼터스 센서 네트워크(USN) 기술의 도입을 위한 기초 자료를 제시하고자 한다.

2. 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 우선 초고층 공동주택에서의 화재통계 분석과 함께 유비쿼터스 구현기술 중의 하나인 USN에 대한 이론적 고찰을 토대로 건축 및 방재분야에 활용한 사례를 분석하여 초고층 공동주택에 적용 필요성 및 가능성을 확인하였다. 이미 USN기반의 화재모니터링 및 경보 시스템은 건축적 요구에 따라 작동 알고리즘 등을 설계하여 하드웨어적 성능을 충분히 구현해낼 수 있으므로, 이를 위해 거주자들의 피난행태 분석을 통한 건축적 데이터 및 가이드라인을 제시하는데 초점을 맞추었다.

본 연구의 검증을 위한 대상으로 대구광역시에 위치한 A 초고층 공동주택을 선정하였으며, 화재의 특성상 실제 실험 등의 연구방법에 어려움이 있으므로, 화재의 성상 및 연기유동 등을 예측할 수 있는 FDS와 거주자의 피난 행동양상을 예측할 수 있는 SimuleX를 이용하여 화재의 성장과 연기유동 등에 따른 거주자들의 피난완료시간을 측정하였다.

II. 초고층 공동주택의 화재 위험성 고찰

1. 공동주택의 화재 위험요인

공동주택의 급격한 수적 증가와 함께 전체 화재사고 중에서 공동주택이 차지하는 비중 또한 증가하고 있다. <표 2>⁴⁾에서 보는 바와 같이 최근 10년간 전체 화재의 발생

표 2. 국내 공동주택의 연도별 화재발생 및 인명피해 현황

구분	화재발생 총계			공동주택 발생 화재		
	화재건수	인명피해(명)		화재건수	인명피해(명)	
		부상	사망		부상	사망
1996년	28,665	1,634	589	1,132	110	13
1997년	29,472	1,631	564	1,242	114	36
1998년	32,664	1,779	505	1,925	143	37
1999년	33,856	1,825	545	1,953	155	37
2000년	34,844	1,853	531	1,874	140	27
2001년	36,169	1,860	516	1,900	141	40
2002년	32,966	1,744	491	1,673	161	35
2003년	31,372	2,089	744	1,775	191	45
2004년	32,737	1,820	484	1,748	182	34
2005년	32,340	1,837	505	1,746	154	38
10년간의 증가율(%)	12.8	12.4	-14.3	54.2	40.0	192.3

4) 2005년 화재통계연보, 소방방재청

건수는 12.8% 증가하였으나, 공동주택의 화재발생 건수의 증가율은 54.2%에 이르고 있다. 인명피해도 전체 화재건수에 의한 사망자 수는 감소하고 있으나, 공동주택 화재에 의한 사망자 수는 오히려 192.3%나 증가하여 공동주택 화재의 위험성에 대한 심각성을 보여주고 있다.

한편 건축설계자 및 소방공무원 697명을 대상으로 초고층 건축물의 법규정 적용에 따른 화재안전성에 관한 조사에서도 초고층 건축물의 화재 위험성은 우려할 만한 수준으로 나타났다.⁵⁾

표 3. 초고층 건축물의 현행 법규정 적용시 화재안전성의 정도

구분	충분히 안전	어느정도 안전	다소 불충분	매우 부족	판단 불가	합계
건축설계자 (%)	30 (9.1)	61 (18.5)	79 (23.9)	58 (17.6)	102 (30.1)	330
소방공무원 (%)	38 (10.4)	81 (22.1)	149 (40.6)	75 (20.4)	24 (6.5)	367
합계 (%)	68 (9.8)	142 (20.3)	228 (32.3)	133 (19.0)	126 (18.3)	667

공동주택은 주거시설이므로 화원의 사용을 피할 수 없어 발화위험이 높은 건축물이며, 가연물이 대량으로 존재한다. 하지만 세대마다 칸막이된 평면으로 구성되므로 방재계획상의 경계벽을 구성하기 쉬워 연소확대를 방지하는데 유리한 조건을 갖지만, 계단이나 복도가 화염 및 연기에 오염되었을 경우 각 세대에서 복도 쪽으로 피난하는데 지장을 줄 우려가 있다. 여기에 더해 초고층인 경우 폐쇄된 형태를 취하는 경우가 대부분이므로, 소화활동에 있어 공간적·시간적인 제약을 받게 되며, 저층 건축물과는 다르게 수직성으로 인한 피난의 어려움과 함께 가장 큰 위험요소가 되는 드래프트 효과 및 연돌효과의 발생, 상층으로의 연소확대 위험성, 소방활동의 어려움 등이 더욱 더 가중되어 나타난다.

지상층만을 피난층으로 규정하고 있는 현행 건축법에서는 공동주택의 고층화가 진행됨에 따라 피난로의 길이도 그만큼 길어지고 피난계단에서 발생하는 병목현상의 발생으로 인해 소요되는 피난시간은 더욱더 길어질 수 밖에 없다. 따라서 초고층 공동주택 거주자들의 합리적이고 안전한 피난활동을 위한 수직적 피난체계의 위계 설정이 필요하다.

2. 초고층 공동주택의 주거환경과 위험요인

‘초고층’의 정의에 대해 건축법에서 규정하고 있지는 않지만, 일반적으로 10층 이상을 고층, 20층 이상을 초고층으로 인식하고 있다.⁶⁾ 초고층 공동주택은 조망권과 각종 편의시설, 사생활 보호 등의 주거환경을 제공하면서 최근

10년간 도심에 많이 건설되고 있는데, 2006년을 기준으로 국내의 20층 이상 초고층 공동주택의 호수는 2만여 세대가 넘는다.⁷⁾

표 4. 층수에 따른 국내 초고층 공동주택 현황

구분	합계	20~25층	26~30층	31~35층	36층 이상
세대수	20,095	16,314	3,709	37	35

그러나, 이러한 초고층 공동주택은 수직적 대형 건축물로서 도시에 존재하면서 많은 거주자들을 수용하므로 화재발생시 큰 피해가 우려되고 있어 16층 이상 공동주택은 특수건물로 규정하고 있으나,⁸⁾ 현행 건축법에서는 초고층 공동주택에 대한 정의조차 없는 실정이다. 따라서 일반적인 건축물에 통용될 수 있는 기준을 중심으로 적용하다보니, 초고층 공동주택의 고도·고밀성에는 적용하기 어렵고, 성능위주가 아닌 법규중심의 소방설계에 의해 화재발생시 최소의 안전성을 확보할 수 있다고는 하지만 중간피난층이나 피난전용 엘리베이터의 부재 등과 같이 거주자의 피난안전을 위협하는 부분이 있다.

또한, 지난 2005년 12월 발코니의 개조를 전면 허용하는 개정된 건축법 시행령으로 인해 화재발생시 거주자의 피난에 대한 위험성이 더욱더 커졌다. 실제로 2007년 1/4분기동안 공동주택의 화재로 인한 인명피해가 전년 동기간에 비해 33.3% 증가했는데, 발코니가 거실로 확장되어 별도의 피난공간이 없어진 점과도 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났다.⁹⁾

초고층 공동주택은 창문의 개폐가 불가능한 커튼월 구조의 비율이 높아져 상층으로의 연소 위험이 높아지고, 대부분 고정창으로 설계되어 건물 내부가 외기와 단절된 밀폐구조가 되는 경향이 크다. 따라서 화재가 발생할 경우 건물 내의 다양한 가연성 재료에서 발생한 유해한 연기 및 유독가스의 확산에 의해 건물 내부 전체가 연기로 충만하게 되어 재실자의 생명을 위협에 빠뜨리는 결과를 초래하는 요인으로 작용하기도 한다.

3. 현 화재설비의 작동방식과 한계

공동주택에서 화재를 자동 또는 수동으로 감지하고, 거주자들에게 알려서 피난 및 소화활동을 할 수 있도록 하는 경보설비는 비상경보설비, 자동화재탐지설비, 비상방송설비, 자동화재속보설비 등이 있다.

비상경보설비는 화재발견시 사람이 수동으로 화재사실을 알리는 설비이고, 자동 화재탐지설비는 열 또는 연기를 감지하여 자동으로 경보를 발함으로써 화재의 조기발견, 관계자 통보, 조기진화, 조기대피를 가능하게 하기 위

5) 손봉세, 이용재, 초고층 건축물의 화재시 방재·피난계획, The 4th International Symposium of KSTBF, 2004
 6) 건축도시연구정보센터(AURIC) 용어사전의 ‘초고층’에 관한 정의. (<http://www.auric.or.kr>).

7) 2006년 예방소방행정 통계자료, 소방방재청
 8) 화재로 인한 재해보상과 보험가입에 관한 법률시행령 제2조 1항. (2003.11.29 개정)
 9) 2007년 1/4분기 화재구조 및 구급발생현황 통계분석 발표, 서울특별시 소방방재본부

하여 설치되는 설비이다.

자동화재탐지설비는 감지기, 수신기, 중계기, 발신기, 표시등, 음향장치배선 등으로 구성된 설비로서 감지기가 화재를 감지하거나 발신기를 사람이 조작하여 수신기에 화재신호를 직접 또는 중계기를 통하여 송신하고, 자동적으로 수신기의 주 음향장치의 벨이 울리고 표시등이 점등되며, 화재 발생 장소를 표시한다.

비상방송설비는 화재시 육성으로 건물 내의 사람들에게 화재발생 사실을 알리어 대피를 유도하는 설비로 일반적으로 자동 화재탐지설비와 연동되고, 또한 신속한 소방활동을 위해 자동화재속보설비를 설치하여 화재신고 전화 이외에 소방대상물과 소방서간의 전용회선으로 연결하고 있다.

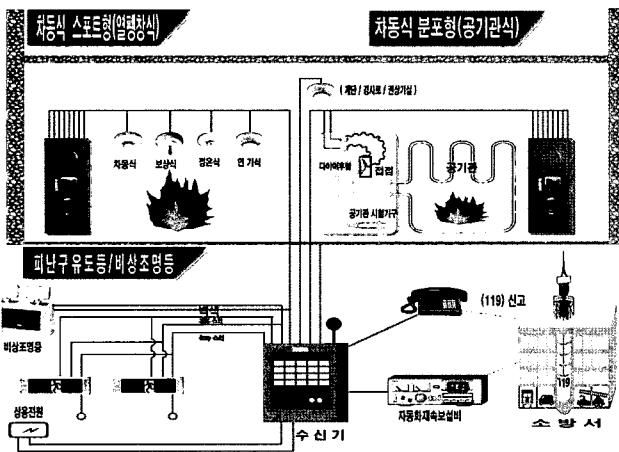


그림 1. 현행 화재경보 및 피난유도설비 계통도

초고층 공동주택의 경우 선진국에서는 주거전용 스프링클러를 일반화하고 있으나 국내에는 스프링클러의 밸브가 일정 온도 이상이 될 경우 작동하는 방식을 사용하여 초기 원인점에서 감지하지 못하거나 순간적인 오감지시 재난대응에 미흡한 점을 보인다. 또 화재감지센서나 경보시스템, 피난유도등 등이 자체의 이상 유무를 파악하지 못하여 화재가 발생하여도 이들 설비들의 결함으로 큰 피해를 입을 가능성도 크다. 즉, 이들 화재설비들은 모두 객체지향적이지 못하여 중앙의 수신기를 거쳐 정보를 교환하고 있고, 각 설비단위별로 상황판단 및 거주자에게 정보제공을 할 수 없을 뿐만 아니라 화재로 인한 노드의 손실에 노출되어 있다는 한계점을 가지고 있다.

III. USN기술의 개요 및 도입 필요성

상용화 단계를 곧 앞두고 있는 USN의 구현기술은 사용자의 요구에 따라 설계가 가능하다. 본 연구에서는 USN 기술을 초고층 공동주택의 피난시스템에 적용하기 위해 먼저 초고층 공동주택의 화재성능에 따른 거주자들의 피난특성 및 문제점을 분석하였다. 본 장에서는 발견된 문

제점에 대한 해결책으로 USN기반 피난시스템의 도입 필요성을 논하고자 하며, 나아가 초고층 공동주택의 USN기반 피난시스템 설계를 위한 기초자료의 제공을 위해 피난시간의 단축을 위한 거주자들의 수직적 피난위계 설정 및 검증을 수행하고자 한다.

1. USN기술의 개요

USN은 모든 사물에 전자태그를 부착해 사물과 환경을 인식하고, 네트워크를 통해 실시간 정보를 구축, 활용토록 하는 기술이다.

표 5. 인체와 유비쿼터스 환경의 비교

구분	인체	유비쿼터스 환경
주위환경감지	신경세포	센서노드
데이터 전달	신경망	센서네트워크
정보의 가공/처리/저장	두뇌	정보시스템

즉, 기존 인간과 컴퓨터 간의 커뮤니케이션에 일상생활에 산재된 사물과 물리적 대상을 추가시켜 협력 네트워크를 구성하는 것으로, 필요로 하는 모든 곳에 수많은 센서 노드들을 부착해 자율적으로 정보를 수집·관리·제어하는 시스템으로, 물리 공간에 센서 노드를 설치해 빛, 소리, 온도, 움직임 같은 환경 정보를 감지해 정보시스템으로 전달하는 구조를 가진 네트워크이다.¹⁰⁾ USN은 현재 세계와 디지털 세계를 연결해 주는 유비쿼터스 사회의 디지털 신경망이라고 할 수 있다.

USN 구현기술은 교통, 물류, 홈네트워크, 재난관리 등 다양한 분야에서 활용될 수 있는데, 특히 최근에는 산업의 고도화에 따른 대형재난의 동시다발 사고가 빈번해지고 있어 신속한 출동, 효과적인 초동대응, 현장정보 제공 등 재난에 과학적이고 체계적으로 대응하는 정보화 지원요구에 따라 초고층 공동주택에서도 체계적인 화재감지 및 피난안전 확보에 있어 USN기술이 활용될 수 있다.

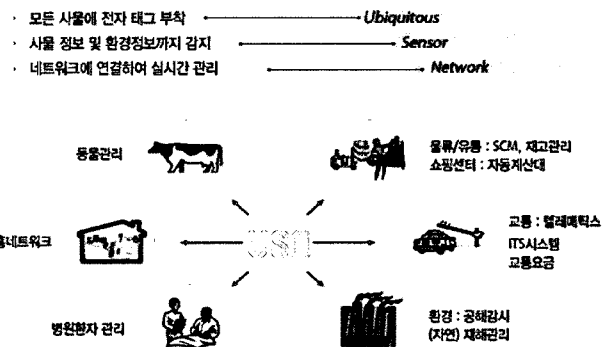


그림 2. USN기술의 개요와 활용분야

10) 안철현, USN강좌 ① - 인간, 컴퓨터, 사물의 유기적 연계 마법사, 월간 온더넷 2006년 5월호

2. USN기술의 도입 필요성

이미 사용되고 있는 화재설비는 단위 간의 정보처리방식의 이질성으로 인하여 정보 공유가 용이하지 않고, 각 단위의 DB에 맞도록 변환하여 활용하므로, 활용에 장애가 있을 뿐만 아니라 변환에 따른 시간상의 문제로 인하여 적시성이 떨어져 사용상의 한계를 노출하기도 한다. 이로 인해 최근에는 거주자와 관리자, 그리고 소방관 및 상황실에서 정보를 적극 활용하여 합리적인 소방활동과 안전한 피난활동을 보장하기 위한 USN기반의 화재안전 관리시스템 도입이 필요하다.

USN기반의 화재감지 및 경보시스템은 무선노드를 센싱에 사용함으로써 설치장소가 자유로우며, 센서 노드의 적합한 배치를 통해 공동주택의 전 지역에 대한 화재 조기 감지 및 상황에 대한 모니터링이 가능하고, 센서 자체의 작동 오류에 대한 신속한 인지와 조치가 가능하며, 센서의 장애로 인한 화재 감지 미비를 사전에 방지할 수 있다. 웹 기반 센서 네트워크 상태 감시로 원격 모니터링이 가능하고 소방본부 등 재난 관련 기관과 상태 연계가 가능하여 화재발생시 빠른 초동대응을 실시할 수 있어, 급변하는 재난발생의 환경변화를 수용하고, 공동주택의 고층화에 따른 화재의 대형화 우려에 따라 인명 및 재산피해예방에 큰 기여를 할 것으로 예상된다.¹¹⁾

특히, USN기술은 재실자의 위치나 세대 출입문을 통과하는 재실자의 수, 계단실의 피난자 밀도 등을 파악하거나 이에 따른 거주자들의 피난활동을 융통성 있게 조절할 수 있어 수직적 피난 우선순위에 따른 합리적인 피난 활동을 가능하게 한다.¹²⁾ 즉, USN기반의 피난시스템은 화재발생의 인지, 화재경보, 피난유도, 재실자 위치파악 등을 통하여 거주자들의 피난개시 순서 및 피난유도방식을 자유롭게 설정할 수 있으므로 상황에 따른 대처능력또한 뛰어나다.

3. USN 기술의 적용사례¹³⁾

국내 노후 재래시장에서는 재난의 조기 발견 및 경보, 초기 재난 대응의 주력을 열 센서와 결합한 스프링클러 시스템에 의존하고 있으며 이 경우 센서의 고장 유무를 판별하기가 어렵고 적재물이 많이 쌓인 경우 초기에 화재 상황을 감지하기가 곤란한 취약점이 있다.

이를 해결하기 위해 대구광역시 서문시장 동산상가에 화재를 조기에 감지할 수 있는 센서 기술과 무선 네트워크 기술을 적용한 USN기반의 화재 감시 시스템 및 재난 신고 에이전트 시스템인 U-FPMS를 시범적으로 구축하였다. U-FPMS는 불꽃, 온도, 연기 등의 감지센서를 이용하

11) 대구광역시, USN기반 화재예방 관리시스템구축, 2006
 12) 수직적 피난의 위계는 층을 조닝하여 병목현상으로 인한 피난지연을 줄이는 것을 목표로 함.
 13) 최준호, 전규엽 & 홍원화, The Introduction of a USN-based Fire Protection Model - Regarding the Seomun Traditional Market in Daegu, Korea, WIT Transactions on The Built Environment, vol. 94, 2007

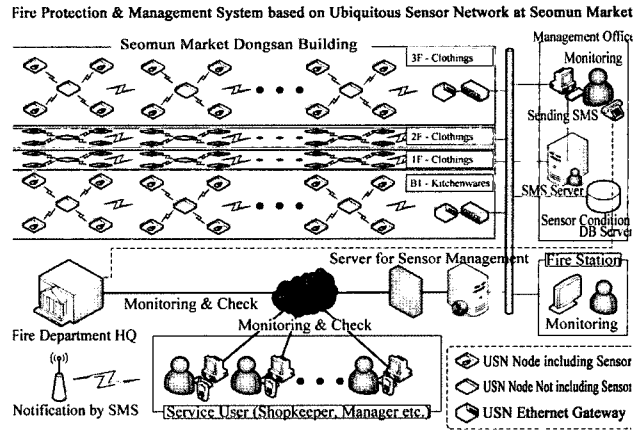


그림 3. 대구 동산상가 U-FPMS의 시스템 개요도

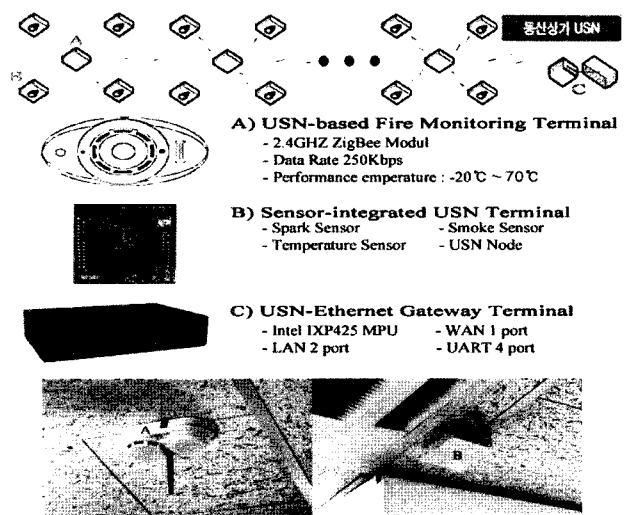


그림 4. U-FPMS의 주요 구성

여 화재의 발생을 모니터링할 뿐만 아니라 시스템의 자체 감시기능을 갖추고 있다. 또한 화재발생시 SMS 메시지를 인근 재실자 및 관리자에게 발송 우선순위에 따라 전송할 수 있다.

또한 한국전자통신연구원이 개발한 유비쿼터스 환경 구축기반을 위한 초소형 운영체제(OS)인 Nano Qplus는 무선 센서 네트워크를 이용해 실시간 모니터링으로 방재시스템을 즉각 가동시킬 수 있으며 언제 어디서나 각종 재난예방, 모니터링 등에 바로 적용할 수 있다.

표 6. U-FPMS 설치 후 개선사항

구분	내용
개선점	- 다양한 센서 확충으로 초기 재난 감지성능 제고 - USN 등 무선 센서 기반 감지 시스템 구축으로 선로의 손실에 의한 동작 장애 요인 제거 - 웹 기반 모니터링 소프트웨어 개발 등을 통해 이해 관계자가 시간/장소의 구애 없이 센서동작상태 감시 가능하도록 구성 - 유사시 SMS 메시지를 주요 관련자에게 발송함으로써 24시간 재난대응이 가능한 재난 대응 시스템 구축 - 관련 기관에 상시 확인이 가능한 모니터링 장비를 제공하여 유사시 신속한 대응이 가능한 시스템 구성

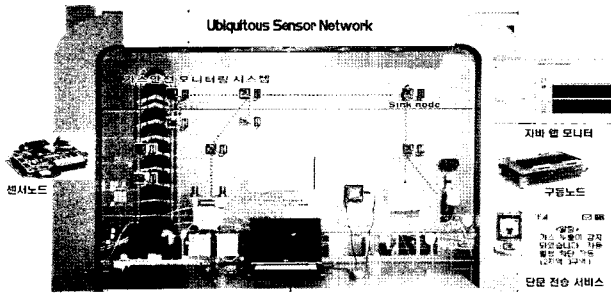


그림 5. 나노OS 활용의 예: 가스안전 모니터링 시스템

IV. 초고층 공동주택의 수직적 피난 위계 설정

1. 시뮬레이션의 개요

건축물의 화재발생 상황은 발생장소, 크기 및 영향을 예상하기가 무척 어렵기 때문에 법규에 의한 대책마련이 일반적이거나, 이는 실제 화재 상황에서 어떠한 성능을 발휘할지 알기 어려우므로 최선의 대책으로 보기는 어렵다. 그래서 학계에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 화재 발생시의 상황을 실제와 거의 유사하게 구현하여, 화재로 인한 연소특성 및 피난 등을 예측하고 있다.

본 연구에서는 주거지 내에서 발생할 수 있는 화재에 대비하여 설계관계자료 검토 및 화재위험성을 분석하기 위한 화재시뮬레이션 프로그램으로 Fire Dynamics Simulator (FDS)을 사용하였다. 미국 NFPA의 화재통계자료에 따르면 고층 공동주택의 화재발생은 부엌에서 가장 빈번하게 일어나나, 인명손실이 가장 많이 일어나는 화재는 침실에서 일어나는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 가장 위험하다고 판단되는 침실화재를 가정하였으며, 침실화재를 설계하기 위하여 방 내부에 배치된 침대에서 화재가 발생한 것으로 가정하였다. 초기 열방출(HRR)의 화재성장은 NIST의 실물화재 실험에 의한 값인 화재크기 HRR이 최대 760 kW까지 성장하는 화재와 같다고 설정하였다.

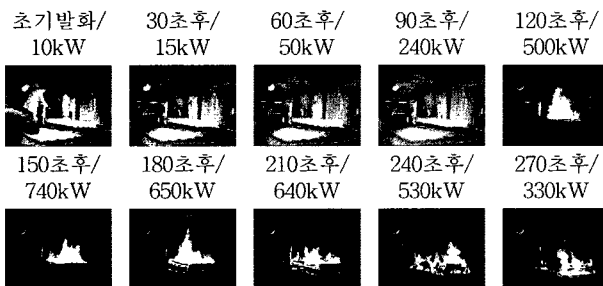


그림 6. NIST 실물화재 시간에 따른 화재 성장

한편, 피난검증에 있어서는 영국 IES사에서 개발한 피난전용 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램인 SimuleX를 사용하였다. SimuleX는 거주자의 위치 및 신체적 속성을 따로 입력할 수 있고, 피난도중 혼잡에 의한 지연을 가정한다.

또한 다층 건축물의 분석이 가능하며, 피난과정을 보여줌으로써 피난시 발생할 수 있는 문제점을 시각적으로 검토할 수 있는 장점이 있으나, 화재의 성장이나 연기의 유독가스에 대한 피난자의 노출 정도(FED)¹⁴⁾ 등의 요소들이 피난에 미치는 영향을 반영하지 못하는 한계가 있다.



그림 7. 피난 시뮬레이션의 프로세스 (SimuleX)

2. 화재 시나리오의 가정¹⁵⁾

본 시뮬레이션은 대구광역시 A 초고층 공동주택의 21층에서 화재가 발생한 것으로 가정하였다. 그 이후 화재가 발생한 층을 기준으로 인접층에서부터 모든 층에 이르기까지의 조닝설정에 따른 피난개시 간격에 따라 최후의 피난자가 지상층으로 피난하는 시간을 측정하였다.

표 7. 실험 대상지의 개요

구분	면적	층수	평면도
A형×1세대	171m ²	30층	
B형×2세대	204m ²		

화재의 발화지점은 침실의 침대에서 발생한 것으로 하였으며, 피난 안전성을 알아보기 위해 21층의 현관과 피난계단 입구부의 1.8 m 지점¹⁶⁾에 연기와 가시거리 측정 포인트를 설정하여 시뮬레이션을 구동하였다.

14) Fractional Effective Dose

15) 일본 건설성 고시 1442호 「건물 피난 안전 검증법에 관한 산출방법」에 의하면 204.07 m² 면적의 세대에서 거주자가 피난을 개시하기까지 걸리는 시간은 31.3초, 피난출입문까지 도달하는데 걸리는 시간은 20초, 피난출입문을 통과하는데 필요한 시간은 10.9초로 $t_{start} + t_{travel} + t_{queue} = 62.2$ 초로 나타났으며 연기의 1.8 M 강하시간인 T_s 는 114.72초로 나타남.

16) 사람의 호흡선을 고려하여 연기가 바닥으로부터 1.8M까지 도달하는 시간을 연층강하시간이라 하는데 피난행동에 있어 한계가 되는 시간임.

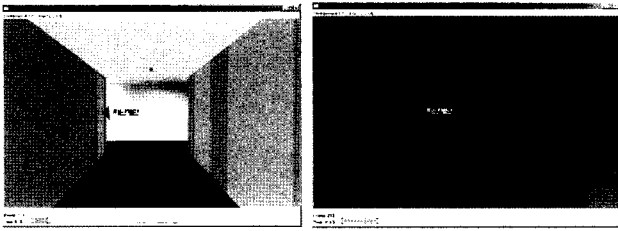


그림 8. 최초 연층형성(51초) 그림 9. 피난한계시간(106초)

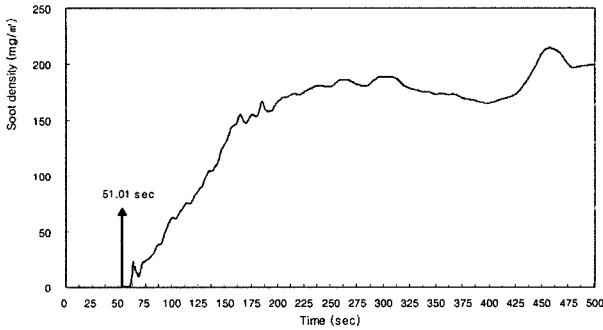


그림 10. 화재발생에 따른 연층강하 시간(1.8 M 기준)

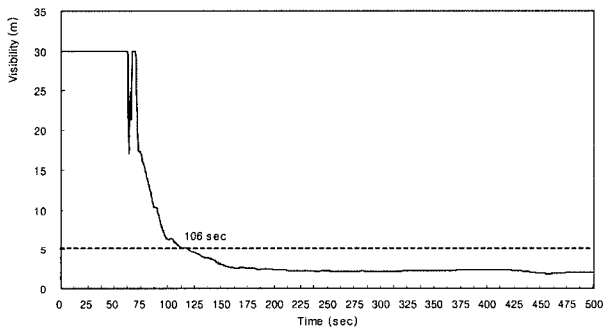


그림 11. 화재발생에 따른 가시거리 변화(1.8 M 높이기준)

일본 피난안전검증법과 화재 시뮬레이션을 통한 검증결과 피난에 큰 영향을 미치기 시작하는 연층강하 시간은 106초로 나타났다. 즉, 거주자들은 화재가 발생한 층에서 106초 이내에 벗어나면 적어도 최소한의 피난안전은 확보할 수 있다.

3. 피난 시뮬레이션

대상지의 피난 시뮬레이션에서 SimuleX 프로그램에서 전제된 내용과 대상지에서 피난 시뮬레이션의 실행을 위해 설정한 사항은 아래와 같다.

1) 인원배치: 가급적 현실적 상황을 반영하기 위해 침실의 수를 고려하여 층별로 평균 15명씩 총 436명을 평면상으로 고른 분포로 설정하였다.¹⁷⁾

2) 보행속도: 보행속도는 평균 보속인 1.0 m/s로 설정되

17) NFPA 101 Life Safety Code의 고층 공동주택 최대 수용인원 기준은 18.6 m²/인이며, 2005년 인구주택 총조사에서 공동주택의 세대별 거주자는 평균 3.2명으로 나타났다.

어 있으며 피난자가 밀집되는 상황에서 줄어드는 경향이 있다. 또한 내려가는 계단에서의 속도는 평지속도의 0.5 배이며, 올라가는 계단에서의 속도는 평지속도는 0.35배로 결정된다.

3) 반응시간: 피난자의 피난개시시간은 일본 건설성 고시 1442호 「건물 피난 안전 검증법에 관한 산출방법」에 의해 30초로 설정하였다.¹⁸⁾ 다만, 개인차를 고려하여 ±30초의 편차를 주었다.

4) 피난경로: 모든 피난경로는 안전하며, 피난인원은 가장 가까운 피난장소로 최단거리로 이동하며, 이동 중 인원밀집으로 인한 병목지체는 고려되나, 사고로 인한 지체는 고려되지 않는다.

4. 피난 위계의 설정

각 세대로부터 층별 피난계단까지의 피난 소요시간은 평균 79초로, 연층강하시간인 106초에 비해 27초의 여유 밖에 가지지 않아 즉시 피난하지 않을 경우 시야를 확보 및 호흡장애로 피난안전을 위협한다. 그러므로 화재발생 층 및 직상하층은 피난의 최우선 대상이 되어야 한다.¹⁹⁾ 이에 따라 화재층인 21층과 직상하층인 20층, 22층을 최우선 피난 개시층으로 설정하고 이에 따른 피난 완료시간의 변화를 파악하기 위해 <표 8>과 같은 조건²⁰⁾으로 피난 시뮬레이션을 실시하였다.²¹⁾

표 8. 피난 시뮬레이션의 CASE별 조건

화재발생층		CASE별 조건	
21층	(A) 동시 피난개시	(B) 조닝에 따른 피난개시	
CASE (B): 검은 부분은 30초 피난지연으로 설정된 층임			
21층	22층	23층	24층
25층	26층	27층	28층
29층	30층	11층	12층
13층	14층	15층	16층
17층	18층	19층	20층
EXIT	2층	3층	4층
5층	6층	7층	8층
9층	10층		

피난 시뮬레이션의 결과 모든 거주자들이 피난을 완료하는 시점은 CASE(A)는 15분 14초, CASE(B)는 13분 42초로 나타났다. 조닝을 통한 CASE(B)가 일괄적인 동시

$$18) T_{test} = \frac{\sum A_{area}}{30}$$

A_{area}: 당해 층의 각 실 등의 각 부분의 바닥 면적, m²

19) “5층 이상의 소방대상물 또는 그 부분에 있어서는 2층 이상의 층에서 발화한 때에는 발화층 및 그 직상층에 우선적으로 경보를 발할 수 있도록 할 것”, 소방방재청 비상방송설비의 화재안전기준(NFSC 202), 제4조 7항, 2006. 12

20) 수직적 조닝을 통한 피난의 우선순위 설정은 조닝의 방법, 건축물의 성능, 피난자의 수와 특성, 시뮬레이션 방법에 따라 달라짐. 또한 SimuleX 프로그램이 각 층별로 옵션을 달리하여, 예를 들어 3층 거주자들이 대피한 다음 2층 거주자들이 대피하도록 하는 기능은 지원을 하지 않아, 임의의 구역 별로 거주자들의 피난개시시간을 다르게 입력하였음.

21) 본 연구에서 제시한 CASE(B)는 CASE(A)의 시간에 따른 피난자수 및 피난자의 층별 분포 등의 결과분석에 의해 임의로 제시된 하나의 사례임.

표 9. 시간경과에 따른 피난자 수

경과시간(초)	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	
피난자수(명)	(A)	1	28	27	29	26	32	38	33	30	30	23
	(B)	1	34	30	33	43	34	37	36	30	33	36
	(B)-(A)	0	6	3	4	17	2	-1	3	0	3	7
경과시간(초)	720	780	840	900	960							
	(A)	39	26	34	33	9						
	(B)	33	31	25	-	-						
(B)-(A)	-6	5	-9	-	-							

※(A) 일괄피난시, (B) 조닝을 통한 피난시

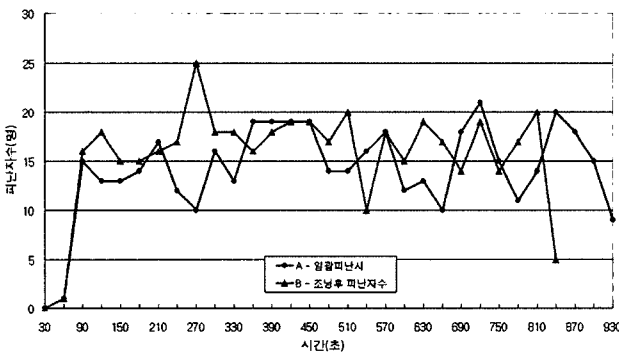


그림 12. 시간경과에 따른 피난자 수

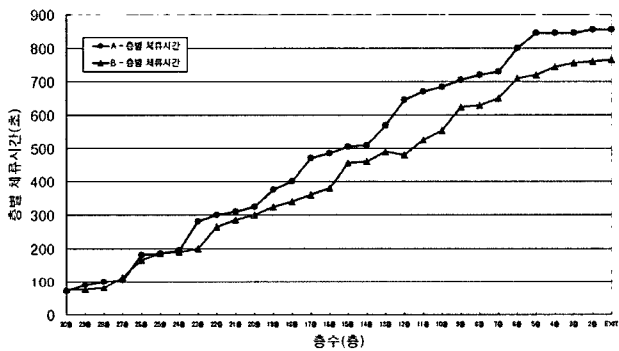


그림 13. 피난자들의 층별 체류시간(최초도착부터 최후통과까지)

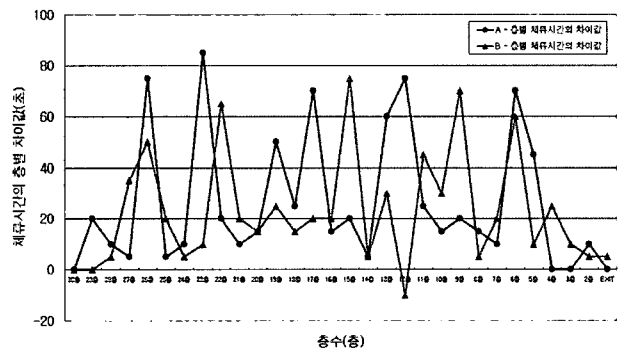


그림 14. 피난자 체류시간의 층별 차이값

피난인 CASE(A)에 비해 1분 32초(10.1%)가 빨랐다.

피난자의 층별 체류시간은 대부분의 층에서 CASE(B)가 CASE(A)에 비해 짧게 나타나고 있으며 상층의 체류시간에서 하층의 체류시간을 뺀 층별 체류시간의 차이값

또한 CASE(B)가 대부분 작게 나타나고 있다. 특히, 그림 14에서 CASE(A)의 26층, 23층, 19층, 17층, 13층, 12층, 6층의 값이 상대적으로 크게 나오는데, 이는 피난자들의 층별 체류시간이 갑자기 증가하였다는 뜻으로 이는 곧 병목현상의 발생으로 해석할 수 있다. CASE(B)에서 병목현상을 줄이기 위한 방법의 일환으로 조닝을 실시한 결과 층별 체류시간 및 최종 피난완료시간이 단축되었다.

V. 결론 및 발전방향

본 연구는 초고층 공동주택의 피난안전을 확보하고 합리적인 피난활동을 도모하기 위한 방법으로 USN기반 피난시스템 도입의 필요성을 논하였다. 초고층 공동주택에서 USN기술은 화재예방과 모니터링에 있어 무선노드를 이용한 센싱으로 설치장소가 비교적 자유로우며 센서 장애 및 작동오류의 자가복구, 현장정보 및 상황에 대한 쌍방향 정보전송, 센서노드의 적절한 조합과 배치로 인한 사각지역 해소 등으로 화재예방 및 초기대응에 합리적이다. 특히 USN기술은 주거민들의 피난행동에 있어 화재의 신속한 인지와 화재경보의 발생, 거주자들의 수와 위치의 파악, 피난계단에서의 피난자 밀도 파악 등으로 초고층에서의 수직적 피난에 있어 합리성을 부여할 수 있다.

USN의 구현기술은 이미 개발되어 있으며 상용화단계에 들어선바, 본 연구에서는 우선적으로 USN기반의 피난시스템 설계에 필요한 건축적 데이터 제공의 일환으로 초고층 공동주택의 피난특성을 분석하고 이에 따른 문제점의 해결방안을 조닝을 통한 피난완료시간의 단축으로 제시하였다. 즉, 초고층 공동주택 주거민들의 동시 피난개시로 인한 병목현상을 줄이기 위해 피난자들의 층별 체류시간의 패턴을 분석하고, 이를 바탕으로 피난개시의 층별 조닝을 실시하였다. 피난활동의 층별 조닝을 바탕으로 살펴본 피난시뮬레이션 결과는 일괄피난의 경우보다 약 92초(10.1%)나 단축되는 것으로 나타났다. 이러한 실험결과를 바탕으로 피난그룹의 우선순위에 따라 USN기반의 피난시스템을 설계한다면 피난성능향상에 큰 도움이 되리라 판단된다.

그러나 피난 시뮬레이션은 실제 상황과 다를 수 있으며, 화재의 성장과 연기의 유동, 연돌효과 등이 피난자에게 미치는 영향을 고려하지 않는다는 한계가 있다. 추후에는 이러한 화재공학적 피난장애 요소들이 주거민들의 피난행동에 미치는 영향에 관한 연구가 뒤따라야 하며, 또한 초고층 공동주택의 피난활동에 있어 영향을 미치는 건축물 자체의 성능, 피난계단 및 피난문의 폭, 계단의 길이, 평면유형 등과 같은 건축적 요소가 거주자들의 피난활동과 어떻게 상관되는지에 관한 연구도 요구된다.

참 고 문 헌

1. 최준호 · 전규엽 · 홍원화(2006), 고층 주상복합 건축물의 피

- 난 안전을 위한 국내외 법규사례 분석 및 개선방향에 관한 연구, 한국화재소방학회 춘계학술발표대회논문집.
2. 이강훈(1997), 인간행동패턴에 대한 고찰과 피난로 설계에의 적용방법에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 13(7).
 3. 최재필 외 3인(2005), 초고층 건축물의 대피층 및 대피공간 개념 도입 방안, 대한건축학회 논문집, 21(11).
 4. 손봉세 · 이용재(2004), 초고층 건축물의 화재시 방재 · 피난계획, The 4th International Symposium of KSTBF.
 5. 대구광역시(2006), USN기반 화재예방 관리시스템(U-FPMS) 구축, 전자정부지원사업 제안요청서.
 6. 홍천화 · 박진우 · 박선호(2002), 초고층 건물의 피난 시뮬레이션, 대림기술정보 보호.
 7. 최준호 · 전규엽 · 홍원화(2007), The Introduction of a USN-based Fire Protection Model - Regarding the Seomun Traditional Market in Daegu, Korea, WIT Transactions on The Built Environment, vol. 94.
 8. 최준호 · 전규엽 · 홍원화(2006), A Study on the Analysis of the Evacuation Safety at a High-rise Apt. on Fire, 4th International Symposium on Architectural Interchanges in Asia.
 9. N.S. Lee (2006), An Application for Tracking the Location of Material using RFID and Wireless Network Technology. KICEM.
 10. Peter Thompson (2004), Simulex: simulated people have needs too, NIST Building and Fire Research Laboratory Publication.
 11. NFPA 101: Life Safety Code, 2006 Edition.

(接受: 2007. 9. 7)