

초고층 건물 화재에서 USN 메쉬 라우팅을 이용한 피난유도 시스템 설계

Design of Fire Evacuation Guidance System using USN Mesh Routing in High-Rise Buildings

최연이[†] · 조인휘*

Yeonyi Choi[†] · Inwhhee Joe*

신성대학 소방안전관리과, *한양대학교 정보통신대학
(2008. 7. 23. 접수/2008. 9. 11. 채택)

요 약

최근 대규모 및 초고층 복합 건물 화재에서 실시간 현장상황 파악 및 신속한 인명 구조와 구조대원의 안전한 생명 보장을 위하여 유비쿼터스 기반 첨단 방재시스템의 필요성이 증대되었다. 본 논문에서 초고층 건물 화재의 특성과 위험성을 분석하고 단순성과 확장성을 제공하는 효율적인 메쉬 라우팅을 이용한 피난유도 알고리즘을 제안하였다. 우리의 연구는 센서네트워크를 구축하여 초고층 건물의 화재 및 재난 발생시 실시간으로 화재 및 생존자 위치정보와 화재상황 정보를 감지하고 유도등과 연계한 메쉬 라우팅 알고리즘 기법을 이용하여 신속하고 안전한 피난경로를 제시한다.

ABSTRACT

When big fire in high rise building and multiplex happens, the needs for high prevention system of disaster are being increased for getting the real-time scene state, quick lifesaver, and safe life security. In this paper the proposed evacuation guidance algorithm which analyzed the feature and danger of fire in high rise buildings, gave simplicity and scalability. Our research shows as fire and disaster occur in high rise buildings we construct sensor networks and sense realtime location information on fire alive people, and the situation information for fire instructed quick and safe escaping route by using mesh routing algorithm scheme relative to exit sign.

Keywords : High Rise Buildings, Evacuation, Ubiquitous, Mesh routing, Emergency Network

1. 서 론

최근 들어 국내외적으로 활발한 초고층 건축물의 건설에 비하여 그 중요성에 비추어, 테러, 화재, 폭발, 자연 재해 등 방재적 측면은 심각하게 고려되지 않고 있다. 9.11 테러에 의한 화재와 건물의 붕괴 등 일련의 사건에서, 앞으로의 국내 방재체계에 시사하는 바는 다음과 같다. 대규모 사상자의 발생 가능성과 초고층 건축물에서의 계단을 이용한 피난의 한계점, 엘리베이터의 정지, 화염 및 연기로 인한 일시적 혼란인 패닉현상의 초래이다. 만약 9.11 테러와 같은 긴급한 상황이 국내에서 일어난다면, 국가적 재앙 사태를 피할 수 없다. 또한 긴급한 재난 상황에의 대처 능력은 열악하다.

여기에 현실적으로 중요 요소인 안전한 피난을 사양위주(Prescriptive Based)의 국내의 법 규정 만을 만족하는지에 대한 최소한의 검토는 안타까운 일이다. 이는 초고층 건축물의 시설과 방재 설비적 대안은 미흡하고 사회적 관심은 급증 하였지만, 안전에 대한 인식이 부족하다. 본 연구에서 초고층 건축물의 화재나 재난은 대책미리 예방하고 방지가 최선의 노력이지만 완전한 예방은 불가능하므로 예견치 못한 대형 참사와 대량의 인명피해 및 막대한 재산상 손실을 줄이고자 미래적인 첨단기술의 복합체인 초고층 건물에 적용 가능한 IT 첨단 기술을 융합하여 긴급한 상황에서 재산과 생명의 피해를 최소화하는 시스템의 구축이 절실히 필요하다. 따라서 현대적 건축물의 대표적 형태인 초고층 건물에 대한 화재 위험성분석과 방화 안전설계에 대한 대안으로 첨단 시스템인 USN 기반의 피난유도

[†]E-mail: yychoi@shinsung.ac.kr

시스템을 구축하여 조기감지 및 실시간 피난유도 방향의 대피 동선 제시로 화재시 인명의 안전성을 확보하고 재산적 손실을 최소화 하고자 하였다.

1.1 USN (Ubiquitous Sensor Network) 시스템

USN은 “필요한 사물 또는 장소에 식별태그와 센서를 부착하고 이를 통하여 사물의 식별 정보는 물론 주변의 환경정보(온도, 습도, 오염정보)까지 감지하여 이를 실시간으로 관리 함”을 의미한다.¹⁾ USN은 U-IT839 전략의 핵심 인프라로서 그 중요성이 날로 증가하고 있고 공공 성격의 교통, 기후, 환경, 행정정보는 물론 개인의 각종 위치, 상황, 사무환경 등의 정보를 실시간으로 제공하는 감시시설로 활용 가능성이 크다. 이러한 유비쿼터스 컴퓨팅을 실현하는 핵심요소 기술인 센서 네트워크는 임의의 형태로 필요시에 형성되는 애드혹(Ad-hoc) 네트워크로, 네트워크의 형성이나 유지 관리가 사람의 관여 없이 자동으로 구성되는 자가 구성(Self-organizing) 네트워크이다.²⁾ 초고층 건물 방재 응용 시스템에 적용위한 무선 센서 네트워크간 센서 노드들 간의 자가 구성 능력, 제한된 전력, 데이터 중심적인 특성을 고려한 네트워크의 구성과 라우팅 프로토콜이 필요하다.

1.2 실시간 피난유도 시스템

소방방재시설에서 자동 화재탐지설비의 특성은 화재를 조기 발견하여 경보를 발하는 소방시설이다. 화재의 조기 발견은 전체 화재 규모를 결정하는 중요한 요소로서 소방 설비 기능은 화재 예방, 감시, 경보 기능과 대피, 진화를 돕는 기능으로 구분한다.³⁾ 이중 화재를 감시하고 경보하는 기술은 인명과 재산을 보호하는 소방 설비 중 중요성이 매우 높지만 IT 기술의 발전 속도보다 화재의 감지 및 경보 기술의 발전 속도가 매우 늦어 한계가 있다. 또한 기존의 소방 방재 시스템은 다른 설비와 화재 신호 자체만의 공유로 화재의 다양한 위험 상황에 대한 유기적인 제어가 불가능하다. 실내 화재 현상이해를 위한 가장 명료한 표현은 시간에 따른 실내온도의 변화이다.⁴⁾ Figure 1은 건물의 한 실내에서 출화한 화재의 전형적인 성장과정을 그림으로 나타내었다.

화재 성장 곡선은 제1성장기, 제2성장기를 거쳐 화재는 성기화재(盛期火災) 또는 최성기(最盛期)에 도달하고 이어 가연물이 점차 연소하여 화세가 약해지는 감쇄하는 시기로 옮겨간다. 플래시오버(Flashover) 현상은 실내화재의 성장 과정 중 가장 중요한 현상이다. 플래시오버는 초기화원의 연소가 갑자기 구획 전체의 화

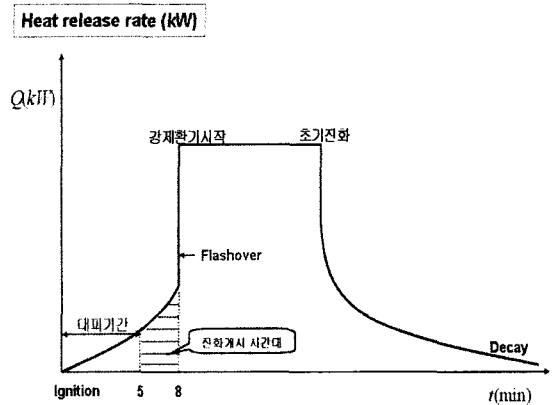


Figure 1. Heat Release Rate History.

재로 확대되는 현상으로 구획내의 가연물 전체가 불에 휩싸인 이후에는 연소가 맹렬하게 계속되고 높은 온도가 유지된다. 또한 환기조건에 따라 산소농도도 낮아지므로 유독가스인 일산화탄소(CO)도 발생하기 쉽다. 해당 실내와 같은 층 내부 사람의 생명의 위협과, 층간의 계단 등을 통해서 건물 전체로 화재가 확산된다. 따라서 화재시 플래시오버까지의 시점은 인명의 대피에 필요한 피난 한계 허용시간을 정하는 중요한 기준이다. 본 연구에서는 화재 발생 후 플래시오버 현상으로 진행되기 전의 초기 상태의 화재에 대한 조기 감지와 실시간 피난 유도를 하는 USN기반 피난유도시스템을 설계 하였다. 즉 화재 발생 시 초기상태의 화재상황을 사전에 감지하고 긴급 피난 대응을 위한 화재 예측 모델에 필요한 기초자료를 제공하는 실시간 피난유도시스템에 대한 연구이다.

2. 기존연구 현황

최근 생활수준 향상에 따른 편리성 추구하고 고급화로 건축물은 대규모화, 지하화, 복합화하는 경향이다. 도시인구 집중과 건축물 과밀화로 화재는 매해 급격히 증가하고 대형화하고 있다. 매해 증가하는 대형화재는 많은 생명과 재산이 손실되는 사회적 문제로서 가장 시급히 해결해야 한다. 이러한 대형화재의 피해를 최소화 하기위해 화재의 조기 감지와 대응을 위한 시스템의 개발 등 많은 연구가 이루어지고 있다.^{5,6,7,8)} 기존 유선망을 이용한 화재감지와 경보 시설의 문제점인 착화위치의 식별 장애, 유선 선로망의 망실 등을 해결하고자 유비쿼터스 센서 네트워크기반 화재예방감지체계는 실시간으로 언제, 어디서나 환경 상황 정보의 감지와 실시간으로 즉각 대응에 관한 새로운 연구이다.^{9,10,11)}

하지만 현재의 국내 연구는, 제안 시스템과 같이 화재 발생 즉시 감지된 구조대상자 정보를 DB화하여 실시간 화재 상황 정보를 확인·활용하는 지능형 실시간 피난유도 시스템은 아직 없다. 또한 국외 연구 중 미국의 「Enhanced 911」 서비스는 내용이 매우 제한적이어서, 인간 피난 행동 특성과 연기이동 특성을 함께 고려하여 피난예측프로그램을 연동한 USN 기반 적응형 피난경로 유도시스템 서비스는 아직 아니다. 일본은 비체계적인 시스템으로 일부 유사한 서비스로서 119 상황실 통역요원 배치, 독거노인 등 긴급통보 시스템, 휴대전화 문자메시지 신고시스템 등이 있다. 우리의 연구는 유관 분야와의 연계 측면에서 인명구조 및 병원 전 응급의료 서비스의 경우, 자치단체(보건소)·군·경찰·응급환자 이송업체에도 활용이 가능하다.

3. 초고층 건축물 화재 특성 및 위험성 분석

3.1 초고층 건축물 화재의 특성

초고층 건축물의 화재 및 폭발 등의 재난에 대한 예방과 대응책을 위하여 화재의 특성과 피난 및 소화 활동의 문제점 파악은 중요하다. 초고층건축물의 화재 특성은 아래와 같다.¹²⁾

3.1.1 연돌효과에 의한 화재 열 및 연기의 상승

초고층건축물 화재시 직통계단 승강기 및 각종설비의 핏트(Pit)등의 수직 개구 공간이 연돌 효과(Stack Effect)로 화재열과 농연은 층간 설비 연결 통로인 샤프트 등의 틈새와 방화구획의 홈을 타고 열기와 농연은 물론, 연소의 이동 속도는 건물의 높이에 비례하여 급속히 증가한다. 또한 연돌 효과에 의한 연기가 중성대 아래에 위치한 층, 지하층을 포함한 층에서는 거실에서 특별피난계단 방향으로 흐르고, 중성대 상부층은 특별피난계단에서 거실 방향으로 연기의 흐름이 형성된다. 이로 인해 연소범위의 수직 확산이 가속화 된다. 따라서 전실에 40~60 pa의 정압은 연돌 효과에 의한 압력 때문에 의미가 없어진다. 연돌 효과 압력식은 다음식(1)과 같다.

$$P = 9.8(h - h_{np})h_i(T_i - T_0)/T_0 \quad (1)$$

여기서, h : 높이(m)

h_{np} : 중성대까지 높이(m)

h_i : 공기밀도(1,183)

T_i : 거실온도(절대온도)

T_0 : 외부온도(절대온도)

3.1.2 통신거리의 제한

통신거리의 제한으로 인한 무선지휘통신의 장애는 외부와 고밀도 구조물에 의한 차폐로 전파의 장애요소가 많아 무선지휘통신이 어렵고, 또한 화재층이 지하 3층 이하의 심층 구간 화재는 지상과 다중 통신이 불가능하고 전파 장애로 소방대원 상호간의 통신이 어렵다. 이는 빌딩에서의 화재 발생시 진압 및 인명 구조 활동을 수행하는 소방대원 들간의 통신 불능은 심각한 위험 요소이다. 현재 국내의 소방대원용 무선통신보조설비용 안테나와 누설동축케이블의 통신거리는 지상에서 약 30층 이상부터는 소방대원간의 통신이 원활하지 않다. 이는 무선통신보조설비의 설치 대상이 지하층으로 국한되어, 지상 고층부에 대한 기술개발에 대한 관심과 연구가 부족한 결과이기도 하다.

3.1.3 너무 긴 피난거리

지상 출입구까지 도달하는 시간이 일반 건축물에 비해 몇 배씩 소요되므로 피난동선, 특히 수직피난 동선이 길어 수직피난이 어렵다.

3.1.4 패닉(panic) 현상의 발생

지상으로부터 원거리에 위치함에서 오는 불안감 또는 한정된 피난경로에서 오는 폐쇄감, 압박감 등은 저층건물에서보다 잠재적으로 큰 심리 부담이 있어 패닉 현상에 빠진다. 여기에 초고층 건물의 특성인 많은 에너지원으로 2차 폭발 및 예상치 못한 장소의 화재역류(back draft) 현상과 일반 건축물에 비하여 고급 내장재, 실내장식품, 바닥재 등 기타 편의시설 및 많은 건축설비의 설치로 구획된 공간별 자체 화재하중이 높고 화재 발생시 연기 등 화재가스의 다량 발생으로 패닉 현상의 위험이 가중된다.

3.1.5 제한된 건물 화재안전 정보 획득의 부재

초고층 건축물 화재에서 소방대가 원활한 소방전술 전개와 인명을 구조하고 화재를 초기에 제압하기 위해 건물에 대한 소방 활동상 필요한 제반 화재안전 정보(building fire information)의 사전 획득과 대비가 중요한데, 현실적으로 제도적 보완도 미흡하다.

3.1.6 소방대의 접근성 및 현장 활동 장애요소 산재

수직 또는 수평 근접 동선이 매우 길고 복잡하여 신속한 접근이 어렵고, 외부에서의 진입과 구조, 창 쪽의 연소 확대 방지 및 소화 작업에 많은 제약이 있다.

3.1.7 연기 및 열기의 층만

초고층 건축물의 경우 외부 유리창이 외기와 밀폐되어 화열과 연기의 배출이 어렵다.¹³⁾

3.1.8 인명 구조 활동용 굴절 및 고가 사다리차의 효용성의 한계

대기압의 유입을 차단하기 위한 방풍 및 강화유리 구조 특징과 내·외부의 압력 차로 인해 비상시의 필요에 의한 파괴도 어려워 2차 재해가 발생한다.

3.2 초고층 건물 화재위험성 분석

초고층 건축물은 위험특성은 화재시 급속한 화재의 확산과 상층부의 화재시 피난동선, 특히 수직피난 동선이 길어 수직피난이 어렵다. 이는 피난시간의 지연과 어려움 등으로 상당한 혼란의 야기와 잠재적 위험요소가 많다. 고층건물에서의 피난은 많은 시간과 체력을 요하며, 2차적 재해 발생과 소방관의 진입도 어려워 막대한 손실이 예견된다. 또한, 연돌 현상으로 연기의 흐름이 하부 층에서는 거실에서 피난계단 쪽으로 상부 층에서는 피난계단에서 거실 쪽으로 연기 유동방향이 형성된다.¹⁴⁾ 피난동선의 단순화와 다양한 피난로 표시는 필수적 요소이고, 특히 초고층 건물의 층 피난은 피난 동선에의해 많은 영향을 받는다. 전체건물의 피난은 피난의 원활성과 밀접한 연관이 있다. 그러나, 층에서 단순한 피난동선도, 지상출입구까지 도달하는 시간이 일반 건축물에 비해 몇 배씩 소요되어 피난계단을 통한 지상층으로의 피난은 현실적으로 불가능하다. 또한 인명구조 및 진압상, 소방 활동상에도 한계가 있다.¹⁵⁾ 이에대한 대비가 필요하며 초고층건축물의 안전성 확보를 위해 보다 신뢰성 있는 소방시스템과 정보관리시스템의 구축이 절실하다.

3.2.1 인명구조 문제점

건축물의 높이가 198m가 넘는 등 고가차의 도달 가능한 범위(고가차 높이 61.5m) 보다 높아 고가차에 의한 인명 구조가 불가능하다. 또한, 화재발생층 상층의 거주자가 옥상으로 대피하는 경우 헬기를 이용한 구조 이외에는 특별한 구조 방법이 없다.

3.2.2 진압상 문제점

초고층 건축물은 불박이창으로 된 Tower 형태로 공간적으로 폐쇄된 구역이 형성되어 화점, 연소범위, 피난상황 등의 파악이 곤란하며, 소방대의 화염 접근에 공간적 시간적 제한을 받고, 또한 초고층 특유의 빌딩풍으로 Draft 효과의 영향이 대단히 커지는 위험이 상

존한다. 또한 상층부에서의 연소는 소방대의 신속한 접근이 곤란하여 화재진압상 어려움과 방화문의 개방으로 계단실에 연기가 가득 차게 되면 진입과 배연의 효과적인 작전이 불가능하므로 계단을 이용한 인명대피와 원활한 활동이 불가능하다.

4. 초고층 건축물 화재시 USN 기반 피난유도 시스템

본 연구는 초고층 건물의 지진이나 테러 등 인위재난과 자연재해 등을 대비하여 화재 발생시 건물 내에 발화 및 화재지점의 위치를 자동으로 인식하여 가장 안전한 대피경로로 사람을 피난시키는 첨단 시스템으로 USN 기반의 안전한 피난경로를 유도하는 최적 경로탐색에 메쉬 라우팅을 이용한 지능형 피난유도시스템에 대한 연구이다. 본 논문에서 제안하는 피난유도 시스템은 초고층 건물 첨단 방재 시스템 구축에 무선 센서 네트워크의 클러스터 트리 구조 네트워크를 구성하고 메쉬 라우팅 프로토콜을 피난유도 알고리즘에 적용하여 최적경로를 제시하는 효율적이고 안전한 재난 방재 네트워크를 설계 하였다.

4.1 초고층건물 화재 USN 기반의 피난 유도 시스템 구조

초고층 건물 화재특성과 화재 유형별 대응방안 및 USN 기반의 실시간 피난유도를 위하여, 실시간 재난 상황파악 위한 센서망 구조 및 유도등과 탈출구와 연결된 센서노드들의 메쉬 라우팅을 실시간의 안전한 최적 경로를 찾는 피난경로 탐색에 접목하여 신속한 인명구조와 재산 피해를 최소화하는 시스템을 구축하고자 하였다. 구조적 시나리오는 화재 등 재난 상황에서 기존의 통신 기반구조 파괴시, 계층적 클러스터 트리 구조에서 피난유도와 인명구조를 위해 센서 노드를 유도등과 탈출구 등과 연계하여 실시간 피난을 유도하는 임시 긴급의 재난용 메쉬 라우팅 형태의 센서망 구조로 변환한다. 먼저, 재난용 클러스터 트리 센서 네트워크를 구축하여 화재 및 발생장소와 위치등의 실시간 상황 정보의 획득과 사람의 움직임과 체온 등을 감지하고 파악한다. 화재 발생 확인 후, 초고층 건물에 구축한 재난용 센서 네트워크를 자동적으로 메쉬 라우팅 구조로 재구성 하도록 한다. 전체망 구조는 빌딩 각각의 층내에서 별도 클러스터 센서 네트워크로 CH(클러스터 헤드)로부터 정보를 받는 싱크(Sink)를 구성하여 전체 건물은 방재센터와 연결된 단일 싱크로 구성된, 층별로 독립된 센서 네트워크 구조로 설계하였다. 제

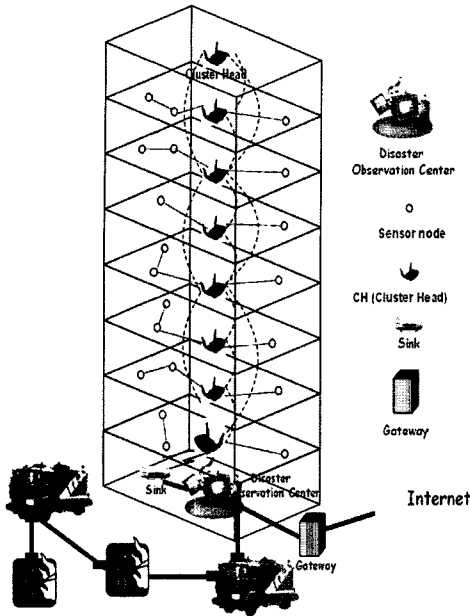


Figure 2. High rise robust emergency network.

안하는 피난유도 시스템의 전체 구성도는 Figure 2와 같다.

4.2 라우팅 프로토콜

네트워크에서 라우팅의 기능은 내부적으로 노드간 최적경로를 찾는 데 있다. 우리의 연구는 최적경로를 찾는 라우팅 기술을 센서노드들을 유도등과 탈출구에 연동하여 실시간의 재난상황정보(화재 위치, 피난자 위치, 피난 소요시간, 출구별 피난 인원, 체류상황, 화재로 인한 출구의 망실 등)를 활용하여 시스템 자체내에서 안전한 최적의 피난경로를 확보하고 전체 네트워크와의 연동으로 피난 가능한 방향으로 실시간 유도로 피난자가 안전한 대피경로를 통해 안전구획으로 탈출할 수 있도록 돕는다. 이에 초고층 건물 환경의 대규모 재난망에 적합한 신속한 피난을 제시하는 효율적인 라우팅 프로토콜 기술이 중요하다. 다음은 실시간으로 건물상황정보, 화재 및 피난자의 위치파악과 지능형 유도등 장치를 이용하여 신속하고 효율적인 피난을 유도하는 라우팅 알고리즘에 대한 설명이다.¹⁶⁾

4.2.1 클러스터 트리 라우팅 프로토콜

클러스터 기반의 계층적 트리 구조는 네트워크를 클러스터링을 기반으로 한 다수의 영역으로 분할하여 각각의 영역내의 특정 노드에 헤드의 역할을 부여하여 클러스터 내에서 멀티 홉 통신과 클러스터 헤더에서의

데이터 모음과 통합으로 싱크와의 통신 메시지 수를 줄여 센서 노드의 전력 소모를 최소화 하는 효율적인 구조이다.¹⁷⁾ 또한 대규모 네트워크로의 확대가 용이하고 라우팅 프로토콜이 단순하여 초고층 건물 환경에 적합하다. 일반적으로 트리 라우팅은 트리 토폴로지에 조인한 장비(FFD)들이 별도의 라우팅 테이블이나 경로 검색과정 없이, 단지 목적지 주소만을 이용하여 자신의 부모 및 데이터의 전달 경로를 판단하여 전달하는 라우팅 방식이다.

4.2.2 메시 라우팅 프로토콜

일반적으로 메시 라우팅방식은 애드혹 라우팅 방식과 많은 연관이 있다. 메시 라우팅은 트리 구조를 무시하고 RREQ/RREP를 이용하여 최적의 경로 탐색이 메시 라우팅의 핵심이다. 각 노드는 통신가능거리 내의 모든 노드들을 자식으로 설정하고 트리 라우팅을 한다.^{18,19)}

4.3 초고층 건물의 USN 기반 피난유도 알고리즘

4.3.1 피난계획의 전제사항

4.3.1.1 일반 피난계획

1) 피난계획의 일반원칙

일반적인 원칙은 단순하고 명료한 피난동선 확보의 원칙과 한 방향 편중 피난을 방지하기 위한 피난계단의 분산 배치의 원칙 즉, 상호 반대방향으로 대칭인 위치가 이상적인 2방향 이상 피난로 계획의 원칙이 있다. 또한, 피난로 및 안전구획의 불연화에 의한 구분의 원칙¹⁷⁾이 있다.

2) 피난유도의 계획

화재에 의한 사망자의 발생 원인을 보면, 「도피지연」과 「경로의 상실」에 있다. 도피지연은 피난개시 시간의 지연의 원인이 대부분으로, 숙면 중 또는, 화재경보의 적절한 전달의 불능으로 화재를 인지하지 못하여 늦게 도피한 경우이다. 감지기와 비상방송설비의 설치 등 경보전달시스템의 재정보를 통해서 오작동 점검 및 실시간 연동을 통해서 위험요소를 해소해야 한다. 또한, 경로의 상실은 안전한 경로 자체를 잃은 경우와 안전한 경로가 활용되지 않는 경우이다. 후자의 경우는 복잡한 내부 구조의 건물과 연기 등으로 시야의 제약을 받은 경우, 패닉상태로 정상적인 판단이 어려운 경우 등이다. 이에 대해서는 유도등의 재배치 및 첨단 기술접목 등 충실한 유도 대책으로 음성과 발광등, 지능형 실시간 유도방향 제시 등 안전한 경로를 알리는 유도시스템의 개발이 절실하다.

3) 피난방법

일반적으로 피난층은 지상1층 또는 건물에서 지면으로 바로 피난가능 한 층으로 설정하고, 피난계단은 피난 층까지의 직통계단으로 하며, 각 거실에서의 보행 거리는 50m 이내로 한다. 지상층 및 지하층에서 피난 층으로의 피난시설의 설계는 아래와 같다.

- [거실(화재실) - 출구 - 복도 - 특별피난계 단 - 피난층 - 출구 - 지상]
- [거실(화재실) - 출구 - 복도 - 특별피난 계단 - 옥상광 장 - 구조 - 지상]

수평방향의 피난로에서의 피난을 위해 피난경로상의 중복거리, 소위 막다른 복도를 줄이고, 몰리는 경우에 혼잡과 치명적인 인명피해의 위험 대책으로 비상전 원에 의한 계단실의 비상조명설비와 비상구임을 표시 하는 유도등을 설치한다.

수직방향의 피난로에서의 피난을 위해 피난계단은 피난 층까지 대피 가능한 직통계단으로 원활한 피난을 유도한다. 이 모든 사항을 고려하여 피난시간이 최소 인 최적 경로를 선택한다.

4.3.1.2 USN 기반 피난계획

USN에 기반한 피난계획의 전제사항은 다음과 같다.

- 1) 실내 건물 CAD도면을 제시한다.
- 2) 실내 표준 레이아웃(layout)을 고려하여 경 로 결 정, 장애물(예, 벽, 화재 지점.) 발생 시 우회하여 방 향 을 제시한다.
- 3) 각층마다 별도로 자동화 자동화탐지설비를 모두 센서노드 화하고 방향성이 있는 유도 등 을 연결하여 피난유도 시스템이 최적방 향 으 로 피난을 유도한다.

4.3.2 USN Mesh Routing을 이용한 피난유도 알고리즘

화재 발생시 유도등과 비상구를 연결하여 실시간 피 난경로를 제시하는 계층적 Mesh Routing 알고리즘은 기존의 방식보다 효율적이고, 실시간으로 최적 경로를 제시하여 신속한 피난을 유도하는 알고리즘이다. USN 기반의 피난 유도 라우팅 알고리즘은 다음과 같이 3단 계로 구성된다. Figure 3은 피난유도 라우팅 알고리즘 의 흐름도를 나타내었다.

- 1) 1단계 화재 발생 전(Tree 기본구조) : 기존 Tree routing 알고리즘 동작으로 한다. 평상시 각종 재 난 · 재해 환경 감지 즉, 화재 포함, 온도, 불꽃, 연기 정보를 감시한다. 화재 발생 전 : 화재 예측 → 경보발생
- 2) 2단계 화재 발생(Mesh 구조 전환) : 화재 발생 확 인 후 근원지와 목적지가 정해지고 트리구조에서

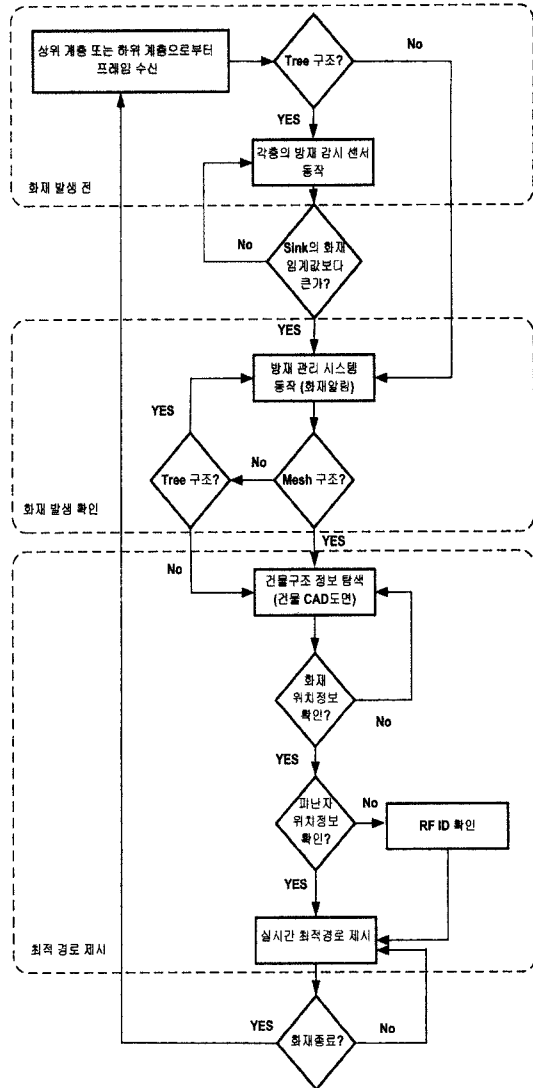


Figure 3. Flow diagram of Egress guidance algorithm.

메쉬 형태 알고리즘으로 변환 한다(센서 노드 : 유도등, 비상조명등, 출구 등).

- 3) 3 단계 최적 피난 경로 제시(Mesh Routing) : 근 원지는 화재 발생지점에서 피난 구조 대상자가 위치한 가장 가까운 위치의 유도등 센서를 근원 지로 하고, 목적지는 트리 구조에서 불이 난 곳 을 제외한 즉, 화재가 발생하지 않은 방향의 가 장 가까운 피난층의 출구(비상구)를 목적지로 하 여 건물의 도면 정보와 화재 위치정보와 구조대 상자 위치 정보 등의 실시간 화재 정보를 적용하 여 피난 유도등 방향으로 경로 탐색 후 최적경로

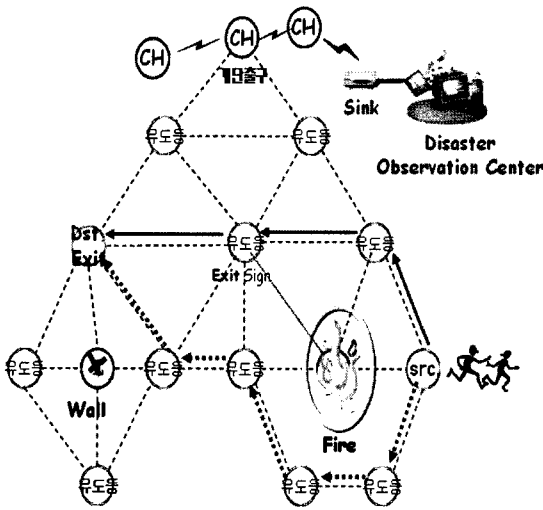


Figure 4. Cluster structure in each floor.

를 지시하여 안전한 피난경로를 실시간으로 제시한다. 각 층별 클러스터 구성도는 Figure 4에 나타나있다.

5. 평가 및 분석

5.1 시스템적 특성 평가

기존의 연구는 재난 상황의 인식 및 실종자의 위치 추적이 어렵고, 재난 재해환경에서 배치된 센서 노드의 생존성을 고려한 재난용 저전력 프로토콜 및 재난용 애드혹 네트워크 기술 등의 취약성으로 복잡하고 첨단화된 초고층 건물의 실시간 재난 환경에 직접 적용은 현실적으로 어렵다. 본 연구에서 표 1은 기존 방재시스템과 제안하는 방식의 시스템적 특성을 비교 평가하였다.

5.2 피난 시간에 따른 안전성 평가

방호공간에서 화재가 발생하면 피난행동은 인간행동의 일련의 흐름이다. 즉, 화재인지, 초기대응, 피난개시, 피난행동, 구출대기와 같은 일련의 행동의 연속이다. 따라서 피난설계는 안전에 필요한 최소시간(Required safe escape time)에 적절한 여유시간(Margin of safety)을 포함한 거주가능시간(Available safe escape time)의 확보에 있다. 따라서, 피난의 성공여부의 결정 요소는 피난개시 타이밍과 피난경로의 적절한 선택에 달려있

Table 1. Comparison between fire protection system and USN based fire evacuation guidance system

평가 항목	현행 초고층건물 방재 시스템	USN 기반 초고층건물 피난유도 시스템	비고
초고층 건축물 비상대응 매뉴얼	없음 (무선페이징만 가능)	비상대응계획 IT와 융합하여 화재 비상대응 매뉴얼 시스템 구축	건물 구조와 구조대상자 및 소방대원 실시간 사전 DB 구축·관리
인지 과정	경보 및 신고자 진술 의존	응답자에 대한 실시간 상황정보 자동인지	
재난·재해접근	전화 제한	방송, 인터넷, 휴대 전화, 문자, 지능형 유도등과 연계 지능형 피난 유도시스템	다양한 Ubiquitous 기기 활용
화재 안전 상황정보 획득	확인전화 또는 현장보고로 화재발생위치에 대한 정확정보 부재	건물에 대한 소방 활동에 필요한 화재 안전 정보 사전 및 실시간 자동 파악 확보	실시간 D/B 위험정보 및 위치인식기반 감지 정보
정보의 안전성	현재 모든 시스템 on/off, 자동 화재 속도오류, 방화관리자 행태적 오류와 오작동으로 대응차질	실시간 상황정보인 화재위치, 피난자 및 소방관 위치정보와 상황정보 획득으로 오류오작동 최소화	
정확성	화재위치 정확파악 불가 관리 오류 오작동	건물 구조와 구조대상자 및 소방대원 실시간 사전 DB 구축·관리로 오류 발생률 최소화	
신뢰성	경보 및 신고자 진술 의존	실시간 화재안전정보 획득 신뢰성 大	센서 또는 RFID
대응의 신속성	현시된 위험 또는 피해대응	잠재적 위험범위까지 신속 지능화 초기 대응 및 실시간 적응적 대응 (발견 동시에 즉각 대응 - 신속성 大)	D/B사전 등록 정보 및 실시간 상황정보 활용
피난경로 (피난대응)	해당 유도등 방향 화재발생시 화재발생지역으로의 대피로 인명피해	신속한 피난, 안전한 실시간 지능형 피난경로 제시	
비용	설비유지 및 설비 추가 교체, 보수 비용 및 관리 비용 막대	해당 센서노드만 교체 추가로 비용 절약	

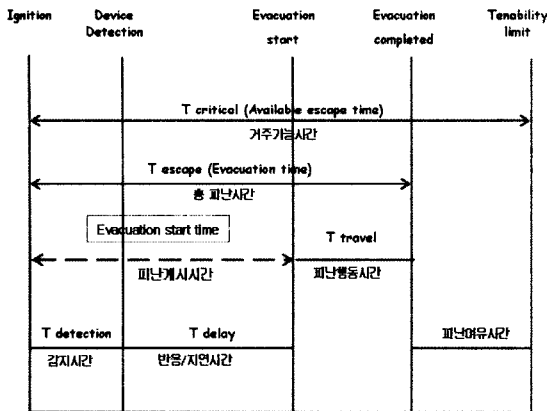


Figure 5. Schematic of Time Line.

다. 피난시간 안전성 평가를 위한 피난시간의 계산 방법은, 수 계산에 의한 Hand Calculation 방법과 시뮬레이션 하는 방법으로 두 가지 방식이 있다. 아래 식 (2)는 SFPE 핸드북에 의한 안전한 피난소요 시간(RSET : Required Safe Egress Time)의 산출식이다.²⁰⁾

$$RSET = t_d + t_a + t_i + t_o + t_e \quad (2)$$

우리는 유비쿼터스 센서네트워크를 적용하여 지연시간 즉, $t_a + t_i + t_o$ 을 줄이고, 실시간 위치정보를 정확히 감지하여 t_d 를 최소화 했다.

Figure 5는 Time Line 분석 방법의 개념도이다.

이 개념도를 통해, 건물 화재시 필요한 소요시간 즉, 총 피난 시간은 다음 식 (3)과 같이 표현한다. 건물 화재시 필요한 소요시간, T_{evac} 는 다음과 같다.²¹⁾

$$T_{evac} = T_{alert} + T_{reac} + T_{walk} \quad (3)$$

건물용도, 건물규모 및 공간 활용 특성에 따라 화재 및 피난 위협의 차이로 동일한 피난한계시간의 정의는 상당히 위험하다. 또한 피난 시간의 계산은 화재에 반응하고 대응하는 다양한 인간의 행동 특성과 거주자의 구성에 따라 천차만별 이어서 각 대상물에 맞는 신뢰성 있는 정량적 평가가 요구된다. 플래시오버와 같이 중요한 사고까지의 도달시간의 측정이 가능한 화재성장 속도곡선과 타임라인(Time line) 분석 개념도에서 도출한 건물 화재 시 필요한 소요시간 즉, 총 피난 시간에서 반응시간은 초기화재의 빠른 성장특성으로 인해 실제 피난시간 계산에서 중요한 요소이다.²²⁾ 피난 설계에 의한 결과 값을 타임라인 분석으로 평가하여 보면 피난개시시간 단축 즉, 감지시간과, 반응/지연시간을 단축하여 기존 재난 시스템보다 인명구조 활동 측면에서 USN 피난유도시스템의 신속성이 최대임을 알

Table 2. RSET of Notation

기호	정의
t_d	불이 감지되는데 걸리는 감지시간
t_a	불의 감지부터 거주자 들의 인지까지 걸리는 인지시간
t_o	불의 인지부터 거주자들이 행동시작까지 소요되는 행동시간
t_i	행동을 결정할 때부터 피난 시작까지 걸리는 시간
t_e	피난 시작부터 피난이 끝날 때까지 걸리는 시간

Table 3. Evacuation time of Notation

기호	정의
T_{alert}	피난개시 이전의 대응시간(alert time)으로 발화 또는 위험 상황 발생에서 경보까지의 경과시간
T_{reac}	피난행동 결정시간(reaction time)으로 경보발생 이후 체류자가 화재 위험을 인식하고 피난을 개시하기 전까지의 경과시간
T_{walk}	피난통로로의 이동(travel time)및 통과시간(flow time)으로 화재 발생 위치에서 가장 가까운 안전 구역까지 이동에 소요되는 시간

수 있다. 위험 경감 대책으로는 체류가능 시간의 연장 혹은 피난 시간 단축이 있다. 즉, 피난시간의 절감과 체류가능 시간의 확보측면에서도 훨씬 개선되어 대응 효과성도 높음을 알 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 초고층 건물에 적합한 유비쿼터스 센서네트워크 구조와 메쉬 라우팅기술을 적용하여 재난·방재 시스템에 실시간으로 화재와 구조자의 위치를 감지하고 화재 발생시 메쉬 라우팅 구조로 전환하여 안전하고 신속한 피난 알고리즘 제시에 의의가 있다. 재난재해 화재예방과 인명피해의 최소화 하고자 본 논문에서 USN의 메쉬 라우팅의 단순성과 신뢰성을 이용하여 화재발생 즉시 감지된 구조대상자 정보를 DB화하여 실시간 화재 상황 정보를 활용하는 지능형 실시간 피난유도 시스템의 설계로 소방대원의 출동과 대응을 실시간으로 연계하여 대응 신뢰성을 높이고 화재상황의 실시간 모니터링과 동시에 지능적으로 피난유도를 대응하여 안전한 피난을 확보한다. 이러한 특징은 향후 소방서 화재진압 및 인명구조 부서에서 초고층건물 이용자의 인명피해의 최소화를 위한 과학적 피난유도에 활용이 가능하다. 향후 제안한 실시간 피난유도 알고리즘 개발 연구가 USN기반의 첨단 IT와 소방분야를

접목한 학제간 연구를 통하여 유비쿼터스 환경에서 향후 재난관리 연구에 기초자료로 활용되기를 기대한다.

참고문헌

1. Akyildiz I., Su W., Sankarasubramaniam Y. and Cayirci S., "A survey on sensor networks", *IEEE Communications Magazine*, Vol.40, No.8, August pp. 102-114(2002).
2. K. Sohrabi, *et al.*, "Protocols for self-organization of a wireless sensor network," *IEEE Personal Communication*, Vol.7, No.5, pp.16-27, Oct.(2000).
3. 전중합, 김일중, "자동화재탐지설비에 연동되는 단독 화재경보기 관한 연구", *한국화재소방학회 논문집*, pp. 107-112(2002).
4. 이현호, "화재의 성장과정", *소방안전협회, 소방기술 자료집*(4), pp.23-28(2003).
5. Thuiliard. M., "New Methods for reducing the Number of False Alarms in Fire Detection Systems", *Fire Technology*, Second Quarter, Vol.30, No.2, pp. 250-268(1994).
6. 이복영, 정창기, 권오승, 박상태, 조성수, "적외선 불꽃감지기 개발연구", *화재·소방학회지*, Vol.14, No.2, pp. 1-6(2000).
7. 윤명오, 고재선, 박형주, 박성은, "지하공동구화재 및 시뮬레이션에 의한 화재 실험 예측평가", Vol.15, No.1, pp.23-33(2001).
8. 윤동열, 김성호, "무인헬기 및 센서네트워크 기반 화재 감시 시스템 설계", *퍼지 및 지능 시스템학회*, Vol.17, No.2, pp.173-178(2007).
9. Okino, C. M.; Corr M. G., "Statistically-Accurate Sensor Networking", *Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC '02)*, Vol.1, pp.363-368(2002).
10. 김진택, 제10회 자치정보화 혁신경진대회, 행정자치부, pp.27-37(2007).
11. Fighting Hige Rise Building Fires-Tactics and Logistics NPPA.
12. George. T. Tamura, "Smoke Movement and Control in High-rise Buildings", *National Fire Protection Association*, pp.1-14(1995).
13. "SFPE, Engineering Guide to Performance Based Fire Protection Analysis and Design of Building", *NFPA*(2000).
14. *Fire Technology*. 1974 - Fire "Spread and Smoke Control in High-Rise Fires"(1974).
15. Kevin L. Mills, "A brief survey of self-organization in wireless sensor networks", *Wireless Communications and Mobile Computing*(2007).
16. Ed Callaway, "Cluster Tree Network", *IEEE P802.15 Working Group for WPANs*, April(2001).
17. I.F. Akyildiz and X. Wang, "A Survey on Wireless Mesh Networks", *IEEE Communications Magazine*, Vol.43, No.9, pp.S23-S30(2005).
18. K. Akkaya and M. Younis, "A Survey of Routing Protocols in Wireless Sensor Networks," in the *Elsevier Ad Hoc Network Journal*(to appear).
19. NFPA, "Life Safety Code Handbook", 2000 edition, *NFPA, USA*(2000).
20. "SFPE Hand book of Fire Protection Engineering", *SFPE*(1990.4).
21. Thompson, P.A. and Marchant, E.W. Testing and Application of the Computer Model "Simulex", *Fire Safety Journal* 24, pp.149-166(1995).
22. NFPA 555, "Guide on Method for Evaluating Potential for Room Flashover", *National Fire Code* 555(1996).