

# 대형 지하시설물에서 화재발생 시 USN정보를 이용한 피난 유도 방안

Guidance Methods Using Ubiquitous Sensor Network Information  
in Large-Sized Underground Facilities Conflagration in Fire

서 용 희

(서울시정개발연구원  
도시교통부 연구원 )

이 창 주

(서울대학교  
환경계획학과 석사과정)

신 성 일

(서울시정개발연구원  
도시교통부 연구위원)

## 목 차

I. 서론

II. 이론적 고찰

III. Safe Guidance System

IV. 사례연구

V. 결론 및 향후 연구과제

참고문헌

### I. 서론

지하공간의 활용에 있어서 과거에는 도시기반 공급시설 및 보관시설 등 사람이 이용하지 않는 공간으로서 이용되어져 왔다. 하지만 지난 수 십년간 지가의 상승으로 인한 토지이용의 과밀화로 국내에서도 건축물의 고층화와 더불어 편의시설을 포함한 다양한 용도의 시설들이 지하로 들어가면서 도시에서 또 하나의 지하세계를 형성해가고 있다. 그러나 이러한 시설의 대부분은 복잡한 구조를 가지고 있으며, 지하공간은 방향성을 잃기 쉽기 때문에 일반적으로 느끼는 복잡성은 지상의 건축물내부의 공간보다 훨씬 높다. 또한 다수의 이용자가 장시간 체류하기 때문에 안전성, 쾌적성을 유지하기 위해서 조명, 냉난방, 환기, 배수 등 설비시스템을 필요로 하고 화재, 수해, 테러 등 재해 시에 취약한 구조를 가지고 있기 때문에 이에 맞는 방재시스템 및 대피시스템을 갖추고 있어야 한다. 최근에는 이용자의 생활수준 향상, 지하공간에서의 사건·사고로 지하철 역사 및 지하상가의 리모델링, 기본적인 설비시스템 개선 등 지하공간의 고급화가 이루어지고 있지만 지하공간의 특징상 일단 시설이 건설되면 철거나 증축이 어렵기 때문에 재난에 있어서 지하시설물의 구조적인 문제점은 해결이 어려운 실정이다. 최근

에 우후죽순 새롭게 건설되는 지하 복합쇼핑몰을 비롯한 편의시설들과 기존의 각 지역에서 개별적으로 건설되었던 지하공간이 연결과 확장을 통해 제 2의 도시로 성장하기 위해서는 기본적인 안전문제가 지상수준에 근접하는 수준이 되어야 한다.

본 연구에서는 지하공간 방재에 있어서 인명 안전을 위한 지하공간에서의 대피에 초점을 두어, 최근 각광을 받고 있는 USN(Ubiquitous Sensor Network)기술을 활용한 피난자 유도시스템을 제시하였다. 기존에 피난자가 대피를 위해서 얻는 화재에 대한 정보는 자신의 감각기관에 의존하거나 사이렌, 방송등을 이용한 단순 화재발생여부에 불과했으나 최근에는 기술의 발달로 건축물의 각 부분에서 현재 상태정보를 받는 것이 가능해졌다. 이러한 기술은 무선센서 노드의 성능향상과 센서의 수집정보 다양화, 소형화, 가격하락으로 환경, 빌딩, 병원, 물류, 보안 등 다양한 분야에서 점차 적용되어져가고 있으며, 정부는 유비쿼터스 사회를 앞두고 빠르게 변화하는 시대적 요구에 걸맞게 RFID/USN 시스템을 구축해 u-Korea를 실현한다는 비전을 수립하였다. 또한 건축물 설계에 있어서 성능위주 소방설계(PBD: Performance Based Design)의 도입에 따라 건축물의 소방능력 척도가 화재방호를 위한 최소한도가 아닌 실질적인 안전

성 및 대처능력에 따라 평가되어질 것이므로 무엇보다 인명안전을 위한 피난유도방안이 필요할 것으로 예상된다.

따라서 본 연구에서는 현재 적용 가능한 기술들과 앞으로 향상될 기술들을 살펴보고, 유도시스템의 구성 및 프로세스를 설계한 뒤 각 센서로부터 수신되는 화재정보를 이용하여 피난자들에 대한 피난경로 유도를 통해 피난시간의 최소화 및 피난자의 안전을 이끌어낼 수 있는 모형을 만들어서 이를 실제 복잡한 지하 복합쇼핑몰에 적용한 사례연구를 통해 피난유도시스템의 효율성 및 적합성을 평가해 보았다.

## II. 이론적 고찰

### 1. USN 센서정보를 이용한 방재

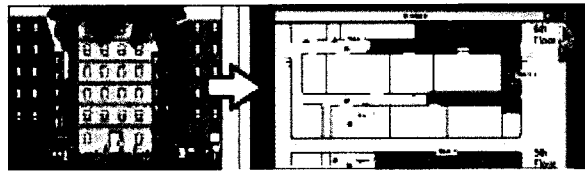
최근에 무선통신과 micro-electro-mechanical systems(MEMS) 기술의 발전으로 USN 또는 WSN을 위한 상대적으로 값싼 하드웨어의 개발이 가능해졌다. USN은 일명 Specknets라고도 불리며 초소형의 센서노드(Specks)를 대상구역에 전개하여 광범위한 지역에 센서정보를 수집하고 이를 활용하는 기술이다. 센서노드는 전형적으로 배터리, 초소형 컨트롤러, 저전력 통신기, 소형 메모리와 값싼 센서들로 구성되며 거의 모든 분야에서 최적화를 위한 기술로서 각광을 받고 있다. 아직까지 센서노드 혹은 RFID태그의 가격문제와 기술적 한계로 인해 실용화 단계에는 미치지 못하고 있으나 주로 군사용, 과학 공공 분야 활용에 주로 연구와 시범사업 위주로 진행되고 있다.



<그림 1>  
ProtoType  
Speck

해외의 연구사례 중에 USN을 이용한 방재에 대한 연구를 살펴보면, Jinli Deepak Shastri(2006)는 건물 내부의 센서네트워크로부터 수신되는 화재정보를 이용하여 피난자들에게 휴대단말기를 이용하여 경로정보를 제공해주는 방안에 대해 서술했으며, N. Markatos(2007)는 산에 센서노드를 전개하여 센서정보를 이용한 산불예방·관리시스템을 구축하는 방안에 관해 연구했으며 Steingart D(2005)는 센서네트워크

로부터 획득한 정보를 센터가 화재 진화를 위해 건물내부에 진입한 소방관의 view-마스크를 통해 화재정보를 제공함으로써 화재진화 및 인명구조/대피에 이용하는 방안에 대해 연구하였다. 그리고 미국 NIST(National Institute of Standard and Technology)는 비상사태에 대비한 지능형 빌딩에 관한 프로젝트로서 "Intelligent Building Response(iBR)"에 관한 연구보고서인 "Building Tactical Information System for Public Safety Officials"를 진행 중이며 이것은 빌딩 내 비상상황 발생 시 각 대응기관에 WSN으로부터 획득한 센서정보를 실시간으로 제공하고, 빌딩 자체적으로 초기대응을 이행하는 방법에 관한 연구이다.



<그림 2> USN정보를 이용한 방재

이처럼 실시간 대량의 정보수집체계를 구축함으로써 과거에는 불가능했던 실시간 재난예방 및 대응이 가능해짐에 따라 재난도 통제할 수 있는 시대가 되었다.

### 2. 피난 유도 필요성

김현주(2003)는 우리나라 지하도시공간의 방재상의 문제점을 다음과 같이 열거했다.

#### 1) 구조 설계상의 문제점

- 채광 환기를 위한 천장 전부
- 피난 및 소방활동을 위한 지하광장 설치 미비
- 천정고가 낮고 통로폭 협소
- 지하보행공간의 방향성이 없음

#### 2) 관리 및 이용상의 문제점

- 가연성물질로 된 상품이 집적
- 보행동선과 쇼핑동선의 혼합으로 혼잡
- 비상통로의 상점들에 의한 무단점유
- 소방시설의 관리상태 불량

#### 3) 제도상의 문제점

- 지하도로, 지하보도, 지하도상가 등 지하공간시설에 대한 기준이 마련되지 못한 실정
- 지하공간관련제도가 여러 법규에 산재



<그림 3> 영등포 지하상가

이러한 안전상의 문제점에도 불구하고 이미 건설된 지하공간은 안전상 문제점이 있어도 철거나 증축이 어렵기 때문에 개선이 어려운 실정이다. 따라서 제도개선 및 관리를 통해서 문제를 해결해야 하며, 재난의 위험이 높은 지하공간을 위한 별도의 방재센터의 설치가 필요하다. 또한 본 연구의 주제인 USN을 이용하여 실시간 모니터링으로 재난을 예방하고, 상황 발생 시 이를 이용한 효과적인 대응방안을 마련해야 할 것이다.

센서네트워크로부터 제공되는 방대한 양의 화재정보가 있지만 급박한 상황에서 객관적으로 제공되는 정보를 가공하여, 피난자들이 본능적으로 받아들일 수 있도록 하는 매개체가 필요하다. 일반적인 화재상황에서 건물에 익숙한 사람이 이러한 역할을 수행하게 된다. 박재성(2004)는 재실자들의 피난경로선택의 특성이 기본적으로 연기에 오염되지 않은 경로를 선택하고, 건물에 익숙한 특징인은 근거리 및 일상동선에 위치한 피난계단 등 안전한 경로를 선택하게 되며, 건물에 익숙하지 않은 불특정인은 자신이 들어왔던 경로나 다른 사람들을 무조건 따라가는 추종성에 의해서 경로를 선택하게 되는 비율이 높아서 주출입구 등 극히 일부 피난 경로에 피난자가 몰리는 현상이 발생하게 된다고 말했다. 또한 일본의 비슷한 두 호텔 화재사건을 예로 들면서 종업원에 의한 피난유도를 한 경우엔 사상자가 발생하지 않았지만, 하지 않은 경우엔 많은 사상자가 발생하였다면서 조속한 피난개시와 피난유도가 무엇보다 중요하다고 하였다.

이러한 이유로 적절한 화재정보를 바탕으로 기존 연구에서는 방송에 의한 유도, 휴대단말기를 이용한 유도 등에 대해 연구했지만 본 연구에서는 시각적 효과를 고려한 방향성 유도등을

이용한 유도방안에 대해 연구했다.

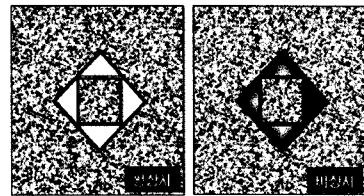
### 3. 유도 매개체

기존의 많은 연구에서는 주로 개인용 휴대단말기, 방송을 이용한 음성정보 또는 정보를 이용할 수 있는 소방관에 의한 유도에 초점을 맞추었고 유도등의 효용성을 높이 보지 않았다. 기존의 유도등은 제공되는 정보의 양이 제한적이고, 실시간으로 유동적인 경로변경이 불가능하며, 연기에 의해 시인성이 떨어져 유도효과가 거의 없었기 때문이다. 하지만 최근에 실시간 유도를 위한 방향성 유도등을 출시하는 회사(인텔아이)도 있으며 성능실험을 통해 화재상황에서 식별도 및 시스템을 유지할 수 있다는 결과가 나왔다.



<그림 4> 인텔아이의 방향성유도등

본 연구에서는 연기에 의한 시거제한이 비교적 적은 바닥에 적절한 거리마다 사례연구를 위해 본 연구에서 제안한 방향성 유도등<그림 4>을 설치하여 다양한 조건을 고려한 알고리즘을 이용하여 피난자들을 분산유도하는 방안을 제안하였다.



<그림 5> 바닥 유도등 설치 예

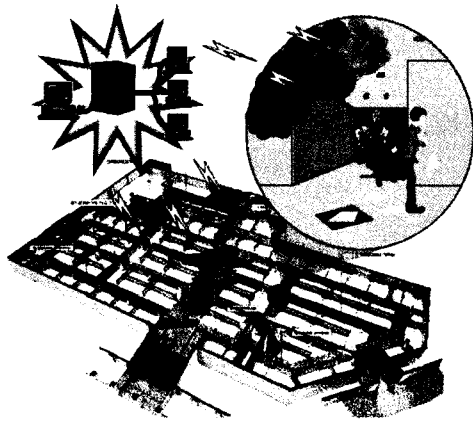
## III. Safe Guidance System

### 1. 시스템 및 고려조건

피난경로를 유도하기 위해서는 지하공간 내 실시간 화재영향 파악이 가능한 USN을 전제했었다. <그림 5>에서 보면 무선통신이 가능한 열, 연기 감지 센서가 빌딩 내에 곳곳에 전개되

어 중앙서버에 수집된 정보를 전송하고 전송된 자료를 바탕으로 각 노드에서 동적으로 유도방향이 변경되어야 한다. 센서로부터 수신된 객관적인 화재정보를 피난자들이 생각할 필요없이 받아들일 수 있는 방향정보로 가공하기 위해서 화재 및 연기의 확산 등을 고려할 수 있는 최단경로를 기반으로 하는 알고리즘이 필요하다.

알고리즘 계획 시 고려해야 하는 주요 결정요소로는 직접적인 화재, 연기의 농도, 경로의 단절, 경로의 용량 등이 있으며, 목적요소는 피난시간의 최소화 및 안정성이다. 따라서 피난자의 안전을 보장하는 범위에서 최소시간경로를 찾기 위해 각 링크의 용량을 고려하여 전체 피난자의 피난시간을 최소화시키고 화재의 직접적인 영향이나 진한 농도의 연기에 의해 영향을 받을 경우에는 우회경로를 실시간으로 탐색해야 한다.

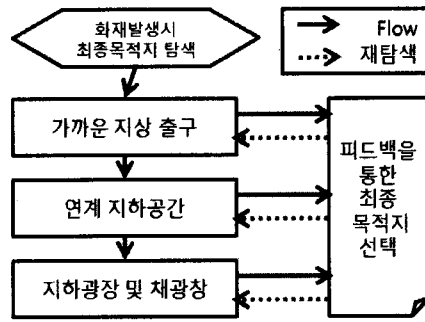


<그림 6> 피난경로 유도 시스템

## 2. 피난경로 유도 프로세스

화재 시 경로가 선택되기 위해서는 시점과 종점이 존재해야 한다. 시점은 건물 내 방향을 유도할 수 있는 각 유도등이 되고 종점은 일차적으로 지상출구가 되어야 하며 그것이 불가능해졌을 때를 대비해 차 순위의 목적지가 계획되어야 한다. 일반적으로 지하 도시공간은 지하철 역사, 지하쇼핑몰, 백화점 지하 등과 연결되어 있는 경우가 많다. 또한 지상으로 향하는 모든 출구가 봉쇄되었을 경우엔 임시 대피공간인 지하광장이나 채광창을 이용한 구조가 가능한 지점으로 유도할 수 있다. 따라서 <그림 6>에서 보듯이 지속적인 피드백을 통해 최종 목적지 탐색 프로세스가 진행되고 실시간으로 알고

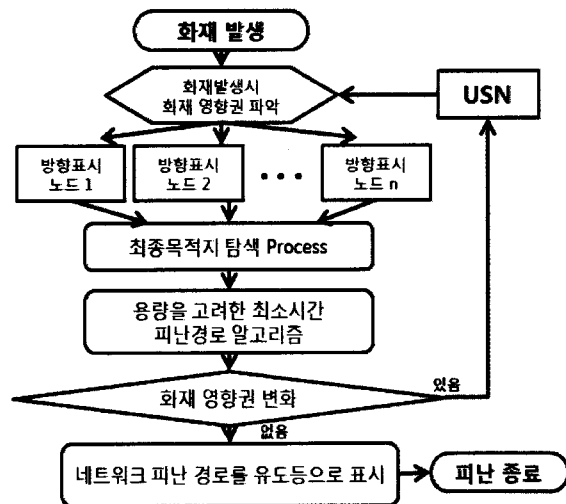
리즘에 적용되어야 한다.



<그림 7> 화재시 최종목적지 탐색

화재 발생 시 첫 5분이 급속한 피해확산의 향방을 결정짓는다. 따라서 피난상황을 빠르게 인식시켜 피난개시시간을 단축시키고, 이모든 프로세스가 빌딩 관리자나 소방관계가에 의해 통제되기 전에 시스템에 의해 자동적으로 이루어져야 한다. 따라서 피난 유도 시스템이 소방관계자에 의한 컨트롤이 이루어지기 전에 화재경보 발생과 동시에 시스템이 작동하면서 유도방향이 표시된다면 사이렌에 의한 음향효과와 더불어 유도등에 의한 시각적 효과로 인하여 피난개시 시간이 단축되어 최종적으로 피난시간을 단축할 수 있을 것이다.

화재에 의한 센서노드 및 방향표시노드의 손상이 있을 수 있다. 개개의 손상 및 고장이 네트워크 전체의 고장으로 이어지지 않도록 시스템 운용이 중앙서버와 각 센서노드 및 유도등의 무선통신을 개별적으로 운영되어야 하며 이에 대한 연구는 미국 NIST에서 이루어진 바 있다.



<그림 8> 유도방향표시 Process

### 3. 통합 유도경로탐색 알고리즘

1) 화재시 피난자 안전을 위한 경로탐색조건

- 모든 노드의 수요는 guide되어야 함
- 수요는 한방향으로 움직여야 함
- 화재위험지역 내부에도 대피경로가 guide되어야 함

2) quickest path algorithm

최속경로(Quickest path)문제는 경로의 시간과 용량, 두개의 목적함수를 갖는 최단경로(Shortest path)문제의 변형으로 주어진 교통량(volume)을 기점에서 종점으로 보내는 최소시간을 갖는 경로를 찾는다. 몇 가지 기호를 정리하면 기점 O, 종점 D, 링크(i, j)의 이동시간  $t_{ij}$ , 링크(i, j)의 용량상한  $u_{ij}$ ,  $v$ 를 목적지로 보내려는 교통량으로 정의하고  $P$ 를 O와 D사이 가능한 모든 경로의 집합,  $p$ 를 집합  $P$ 에 속하는 하나의 경로,  $t(p)$ 를 경로  $p$ 를 지날 때 걸리는 시간,  $u(p)$ 를 경로  $p$ 의 용량을 나타낸 것이라 할 때 최속경로의 목적함수는 다음과 같다.

$$\min_{p \in P} t(p) + \frac{v}{u(p)}$$

일반적으로 두 목적함수를 동시에 만족시키는 최적해는 존재하지 않는다 따라서 지배경로(dominated path)와 비지배경로(nondominated path)라는 개념을 사용하게 되는데 비지배경로란 두개의 경로  $p, q \in P$ 가 주어졌을 때,  $t(p) \leq t(q)$ 이고  $u(p) > u(q)$ 이거나, 또는  $t(p) \geq t(q)$ 이고  $u(p) < u(q)$ 일때의 경로  $p$ 를 말하며, 경로  $p$ 가 경로  $q$ 를 지배한다(dominate)고 한다. 기호로는  $pDq$ 를 사용한다. 지배경로란  $P$ 를  $P_N = P - P_D$ 와  $P_D = \{p \in P \mid \exists q \in P, qDp\}$ 로 나누었을 때  $P_D$ 에 속하는 경로를 말한다.  $P_N$ 에 속하는 경로는 비지배경로가 된다. 결국, 주어진 데이터의 양에 대한 최속경로란 지체시간은 작고 용량은 최대인 경로를 찾는 것이므로, 최속경로는 이러한 비지배경로 집합 중에서 존재하게 되며, 특정 교통량(volume)의 양에 대한 최속경로가 비지배경로가 됨은 Martines와 Santos (1997)가 증명하였다. 이상욱 외 2명(2000)

(정리)

$$(1) \quad v \in ]0, \frac{t(p_2) - t(p_1)}{u(p_2) - u(p_1)} \times u(p_1) \times u(p_2)$$

에 대하여  $p_1$ 은 최속경로이다.

$$(2) \quad v \in \left[ \frac{t(p_i) - t(p_{i-1})}{u(p_i) - u(p_{i-1})} \times u(p_{i-1}) \times u(p_i), \frac{t(p_{i+1}) - t(p_i)}{u(p_{i+1}) - u(p_i)} \times u(p_i) \times u(p_{i+1}) \right]$$

$i \in \{2, \dots, r-1\}$ 에 대하여  $p_i$ 는 최속경로이다.

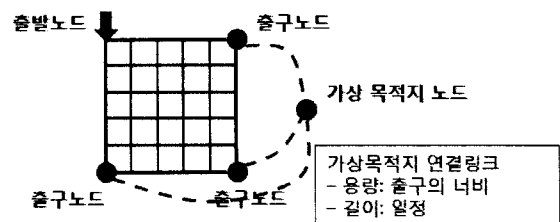
$$(3) \quad v \in ]0, \frac{t(p_2) - t(p_1)}{u(p_2) - u(p_1)} \times u(p_1) \times u(p_2)$$

에 대하여  $p_r$ 은 최속경로이다.

구성된 네트워크에서 유도방향이 표시되는 노드는 해당노드로 향하는 대피인원의 잠재수요( $v_n$ )가 필요하고, 통로의 역할을 하는 링크는 링크지체시간( $t_{ij}$ )과 통로 크기에 따른 통과용량( $u_{ij}$ )의 data가 구축되어야 한다. 링크의 지체시간( $t_{ij}$ )은 링크 길이와 평균피난보행속도로부터 산정되며, 거리와 실시간으로 화재의 영향으로부터 측정된 위험조건에 따른 평균피난보행속도가 적용되어 계산된다.

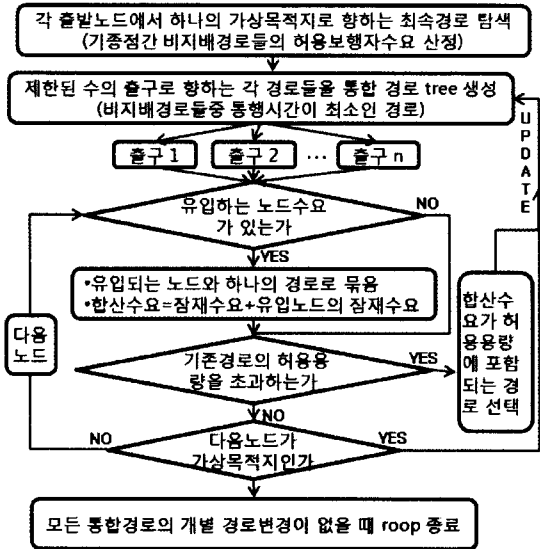
3) 다중 출발지에서 다중 목적지로의 경로탐색

통행시간과 용량을 고려한 경로탐색을 위해 quickest path algorithm을 사용한다. 하지만 기본적인 경로탐색 알고리즘은 단일 출발지/목적지 기반으로 이루어진다. 하지만 본 연구의 목적상 시설 내부에 넓게 분포한 재실자들이 각각의 위치에서 적절한 출구를 이용해 대피하기 위해서는 다수의 기점과 종점 사이의 경로를 통합하고, 경로의 중첩으로 특정링크에 많은 수요가 배정되지 않도록 경로를 조정할 방법이 필요하다.



<그림 9> 가상 목적지 노드 설정

따라서 본 연구에서는 먼저 최종목적지를 지상으로 가정하고, 알고리즘 상에 하나의 목적지로 나타내기 위해 가상의 목적지 노드를 추가하였다. <그림 8>과 같이 여러 개의 출구에서 지상으로 향하는 가상의 노드를 설정하여 출구의 용량에 따른 경로선택에 영향을 주도록 하였다.



<그림 10> 통합 경로탐색 방법

그리고 재실자들을 유도할 각각의 방향성 유도등 노드로부터 가상목적지로의 quickest path를 찾아 지배경로(dominated path)와 비지배경로(nondominated path)가 포함된 <표 1>과 같은 Path table을 만들어 <그림 9>의 프로세스를 통해 통합 피난유도경로를 산출하도록 한다.

<표 1> O/D간 Path Table (예)

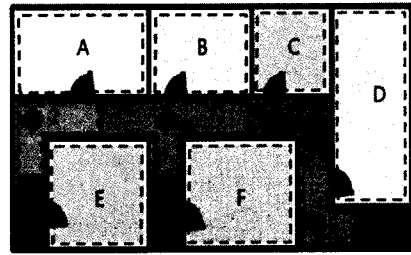
[O D]	Path n	Route	$TT_{\alpha}$	$C_{\alpha}$	허용용량
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
[8 1]	Path 1	8-2-26-1	12	30	
[9 1]	Path 1	9-4-5-25-1	20	10	~30
	Path 2	9-8-2-26-1	22	30	30~
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

#### 4. 기초자료 산정방법

##### (1) 노드 잠재수요 산정방법

노드 잠재수요는 피난자들이 유도등을 확인하기까지의 과정이기 때문에 행태적 측면에서

접근해야 한다. 따라서 잠재수요를 재실자들이 피난 개시 후 최초로 발견하고 접근하는 유도등의 접근수요로 정의하면 가시권 안에 위치한 재실자의 수로서 추정할 수 있다.



<그림 11>노드 수요 영향권(예)

<그림 11>과 같은 유도등(1~6)이 설치되고 6개의 방(A~F)이 있는 층이 있을 때 각 유도등의 잠재수요를 산정할 영향권은 통로상 가시권이 확보되고 거리가 가까운 노드의 범위안에 포함되도록 하며 방 내부인원은 출입구의 위치가 포함되는 영향권의 노드의 잠재수요가 되도록 한다. 영향권이 산정되면 각 노드의 영향권의 용도별 면적을 계산하고, 미국의 건축법에서 규정하고 있는 인명안전기준에 있는 용도별 재실자 밀도설정치와 같은 통계자료를 이용하여 노드 영향권의 잠재수요를 추정한다. <표 2>

<표 2> 각 용도별 재실자 밀도의 설정치

용도	시설							
	교목	교실	0.54	기타	0.22	유치원	0.31	
의료	병동부분	0.09		진료부분	0.045			
숙박	호텔, 방				0.054			
공동주택	거실 등				0.054			
상업	매장	지상층	지하층	복수의지상층	기타층	몰	창고,발송	주방
		0.36'	0.36'	0.27	0.18'	0.2~0.35'	0.036'	0.11'
사무실	사무실				0.11			
집합	극장,회의장 등		고정석	고밀도부분(고정석층)	저밀도부분(고정석층)			
			n	1.54	0.72			
	회의실	교회	리운지	대학실	전시실	댄스홀	체육관	
	0.72	1.54	0.72	3.59	0.72	1.54	0.72	
	도서관	열람실	서가	테스트탕	Pool 수면			
		0.22	0.11'	0.72	0.22'			

##### (2) 링크구간 지체시간 및 용량 산정방법

아직까지 피난목적통행의 보행자용량 산정방법에 대한 연구가 되어 있지 않아 직접적인 용량산정 모형을 제시하지는 않으나 이에 대한 연구방향을 언급하고자 한다. 링크구간의 용량 및 지체시간은 실질적으로 거주자의 신체적 능력, 시설물 현황 등에 따라 달라지기 때문에 알고리즘의 기초자료로서 건물의 용도와 거주자의 신체적 특징 등과 직접적으로 영향을 미치는 경로의 폭, 형태를 고려해야 한다. 따라서 먼저 NEPA (National Fire Protection

Association)의 인명안전 기준의 용도분류<표 2>와 같이 각 건축물을 용도별로 분류하여 거주자의 신체적 특징과 환경적 특징을 적용하고 피난경로상의 링크구간의 형태를 복도, 계단, 출입구 등과 같이 분류하여 링크구간의 폭에 따른 용량과 지체시간을 산정해야 한다.

<표 3> 인명안전기준의 용도분류

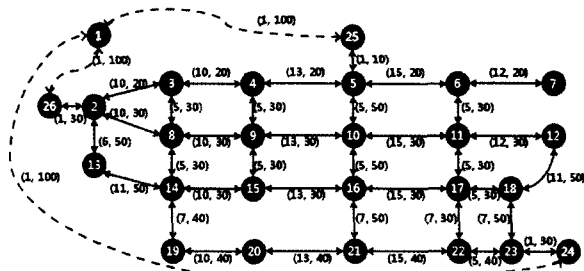
내 용		
집합시설	상업시설	학교시설
교육시설	사업장	주거시설
보호시설	공업시설	복합용도

또한 화재상황에서 실시간으로 측정되는 화재에 의한 열기 및 연기가 미치는 영향을 고려하여 통행이 가능한 경우엔 안전도를 산정하여 지체시간과 용량을 실시간 재산정하고 통행이 불가능한 경우 용량을 '0'으로 설정하여 통행을 제한한다.

#### IV. 사례연구

##### 1. 지하상가 네트워크 적용

먼저 지하상가라는 가정을 두고 가상목적지 노드를 포함한 26개의 노드와 이를 양방향으로 연결하는 78개의 링크로 구성된 임의의 네트워크<그림 11>를 구성하였다. 이중 1번 노드는 목적지를 통합해주는 가상목적지 노드이고, 24, 25, 26번 노드는 지하공간을 지상과 연결해주는 출구노드이고 출구노드와 가상목적지 사이의 링크는 실질적으로 존재하지 않는 가상의 링크이기 때문에 통행시간을 1로 하고 용량은 제약을 주지 않을 정도의 높은값을 설정하였다. 지하공간 내부의 노드사이의 링크속성은 [통행시간(초), 통과용량(인/분)]이고, 각 노드의 잠재수요는 균일하게 분포되어 있다는 가정하에 1, 24, 25, 26번 노드를 제외하고 50인/node가 발생하는 것으로 설정하였다.



<그림 14> 네트워크

구축된 네트워크에서 화재에 의한 용량의 감소, 통행시간의 증가 등이 없는 상태에 대하여 Quickest Path에 의한 O/D간 Path Table<표 2>을 산출해 보았다. O/D의 path가 하나로 결정된 path는 지배경로이고, 2개 이상으로 구성되어 허용용량을 가진 path들은 각 O/D의 지배 경로들이다.

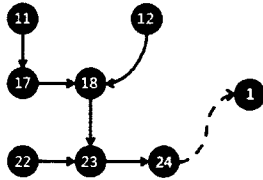
본 연구에서는 계산과정의 편의를 위해 Quickest Path를 구할 수 있는 Netsolver 1.0 (서울대 산업공학과 박순달 교수 개발)을 이용하여 Path Table을 구축하였다.

<표 4> O/D Path Table

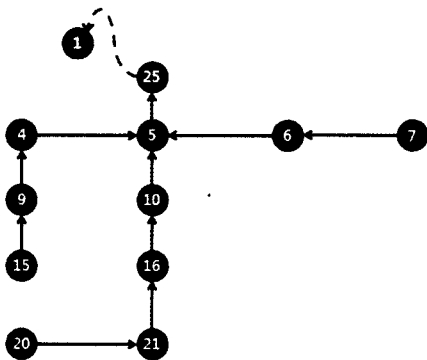
[O D]	Path k	Route	$TT_{O^k}$	$C_{O^k}$	허용용량
[2 1]	Path 1	2-26-1	2	30	-
[3 1]	Path 1	3-2-26-1	12	20	~300
	Path 2	3-8-2-26-1	17	30	300~
[4 1]	Path 1	4-5-25-1	15	10	~140
	Path 2	4-3-2-26-1	22	20	140~300
	Path 3	4-9-8-2-26-1	27	30	300~
[5 1]	Path 1	5-25-1	2	10	~555
	Path 2	5-4-3-2-26-1	35	20	
	Path 3	5-10-16-17-18-23-24-1	39	30	555~
[6 1]	Path 1	6-5-25-1	17	10	~105
	Path 2	6-11-17-18-23-24-1	24	30	105~
[7 1]	Path 1	7-6-5-25-1	29	10	~140
	Path 2	7-6-11-17-18-23-24-1	36	20	140~
[8 1]	Path 1	8-2-26-1	12	30	
[9 1]	Path 1	9-4-5-25-1	20	10	~30
	Path 2	9-8-2-26-1	22	30	30~
[10 1]	Path 1	10-5-25-1	7	10	~405
	Path 2	10-16-17-18-23-24-1	34	30	405~
[11 1]	Path 1	11-17-18-23-24-1	19	30	
[12 1]	Path 1	12-18-23-24-1	20	30	
[13 1]	Path 1	13-2-26-1	8	30	
[14 1]	Path 1	14-8-2-26-1	17	30	
[15 1]	Path 1	15-9-4-5-25-1	25	10	~30
	Path 2	15-9-8-2-26-1	27	30	30~
[16 1]	Path 1	16-10-5-25-1	12	10	~255
	Path 2	16-17-18-23-24-1	29	30	255~
[17 1]	Path 1	17-18-23-24-1	14	30	
[18 1]	Path 1	18-23-24-1	9	30	
[19 1]	Path 1	19-14-8-2-26-1	24	30	
	Path 2	19-14-8-2-26-1	34	30	30~
[21 1]	Path 1	21-16-10-5-25-1	19	10	~45
	Path 2	21-22-23-24-1	22	30	45~
[22 1]	Path 1	22-23-24-1	7	30	
[23 1]	Path 1	23-24-1	2	30	
[24 1]	Path 1	24-1	1	100	
[25 1]	Path 1	25-1	1	100	
[26 1]	Path 1	26-1	1	100	

비지배경로들의 path number는 허용용량의 범위수준에 순서에 따라 설정하였고, O/D path table에서 지배경로로 선택된 'path 1'은 유입되는 수요에 관계없이 결정된 경로들이다.

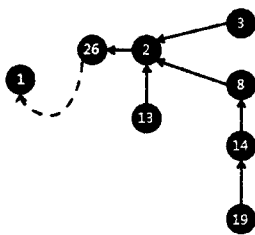
따라서 화재영향의 변화가 없는 동일한 환경에서 단순히 수요에 의해 바뀔 수 있는 변화는 비지배경로들 사이에서 일어난다.



<그림 15> 24번 출구로의 Path Tree



<그림 16> 25번 출구로의 Path Tree

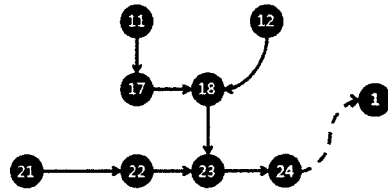


<그림 17> 26번 출구로의 Path Tree

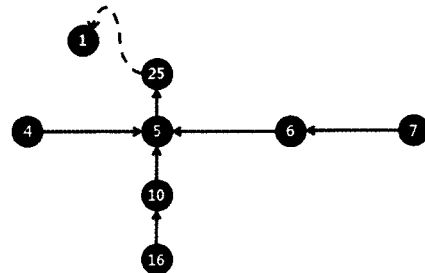
<그림 15, 16, 17>은 3개의 출구로 향하는 통합경로를 Path Tree로 분류한 것이다. 각각의 Tree에서 가장 먼 노드부터 유입수요와 잠재수요의 합인 합산수요로부터 경로가 유지되는지, 아니면 비지배경로의 다른 경로가 선택되는지 판별하고 경로가 유지된다면 유입하는 노드와 같은 경로로 묶여서 유입하는 노드의 판별을 따르며 유입하는 수요는 다음노드의 합산수요로 더해진다. 만약에 다른 경로가 선택된다면 해당 출구의 Path Tree에서 제외되며 두 번째

Iteration에서 업데이트된 Path Tree로 다시 경로 선택과정을 거친다.

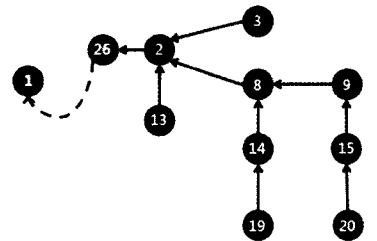
첫 번째 Iteration에서 24, 26번 출구를 향하는 Path Tree에서는 비지배경로가 나타나지 않았다. 25번 출구를 향하는 Path Tree에서는 9, 15, 20, 21번 노드가 O/D Path Table의 비지배 경로에서 Path 2가 선택되어 경로가 변경되었다. 업데이트 된 Path Tree는 다음과 같다.



<그림 18> Iteration 2, 24 PT

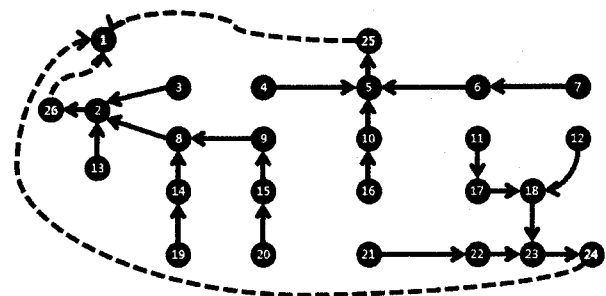


<그림 19> Iteration 2, 25 PT



<그림 20> Iteration 2, 26 PT

이와 같은 Iteration을 거쳐서 최종적으로 수요에 따른 용량을 고려한 유도방향표시를 나타내면 다음과 같다.



<그림 21> 최종 방향 표시



## 2. 사례연구 분석

본 연구의 유도 시스템은 공공장소의 다양한 위치의 가시권 일정 영역의 재실자들에게 정보를 제공한다는 전제를 두고 있기 때문에, 공통적으로 제공할 수 있고, 간접적으로 통제할 수 있는 정보를 제공하기 위해 경로상 수요에 따른 용량을 고려해서 경로를 분배해야 할 필요성이 있다.

경로 탐색 알고리즘은 기본적으로 단일 O/D 기반으로 Path를 탐색하기 때문에 주로 개별 통행자 정보제공에 이용된다. 따라서 각 위치의 방향성 유도등과 목적지 사이의 목적에 맞는 Path를 통합하여 수요에 맞게 Path를 수정하는 과정을 거치게 하였다. 사례연구에서는 두 번의 Iteration을 거쳐 목적에 맞는 경로를 산출하였고 <그림 21>을 보면 비교적 합리적인 유도방향성이 나타났음을 알 수 있다.

첫 번째 Iteration은 모든 비지배경로에서 Path 1으로 이루어진 만큼 용량을 고려하지 않은 최단경로로 Path Tree를 형성한 것이라고 볼 수 있다. 비교적 판단하기 쉽고 가장 혼잡하기 쉬운 출구에서 출구의 용량에 비교해서 유입되는 수요를 살펴보면 각 노드의 수요를 50인으로 가정했고 24번과 26번 출구의 용량이 30인/분임에 반해 25번 출구가 10인/분인데 24번 출구의 총 유입수요는 7개 노드로부터 350인, 25번 출구의 총 유입수요는 11개 노드로부터 550인, 26번 출구의 총 유입수요는 7개 노드로부터 350인으로 나타남으로서 용량이 가장 작은 25번 출구로 가장 많이 몰리게 나타났다.

반면, Iteration 2에서 Path 용량에 따른 통합 과정을 거쳐 Path를 재분배한 결과는 24번 출구의 총 유입수요는 8개의 노드로부터 400인, 25번 출구의 총 유입수요는 7개의 노드로부터 350인, 26번 출구의 총 유입수요는 10개의 노드로부터 500인으로 나타남으로서 수요에 맞게 경로가 재분배됨을 알 수 있다.

## V. 결론 및 향후 연구과제

### 1. 결론

본 연구에서는 첨단 무선통신 및 센서기술을 이용한 USN, 화재정보를 수신하고 정보를 가공

하여 유도 매개체로 송신할 중앙서버, 실질적으로 유도를 할 수 있는 매개체로서 방향성 유도 표시등 등 3개의 요소로 피난유도시스템을 구성하고 실시간으로 화재상황에 의해 변동되는 프로세스와 중앙서버에서 링크구간의 통행시간과 용량을 고려한 알고리즘을 통해 다수의 피난자들을 효율적으로 유도할 수 있는 경로를 표시해 줄 수 있는 방안을 찾아보았다.

사실상 본 연구의 주제는 다수의 출발지에서 단일 목적지로의 용량을 고려한 최적경로탐색 알고리즘의 개발이라고 볼 수 있다. 개별 통행에 대한 경로탐색이 아닌 다수에게 정보를 주고 그 정보가 제공되었을 때 가장 효과적으로 유출이 일어나기 위해서는 병목구간의 혼잡을 최소화해야 한다. 따라서 다수의 O/D간 경로를 통합하는 과정에서 용량에 따른 경로를 재분배함으로써 혼잡을 최소화하는 방안에 대해 연구했다.

실질적으로 용량을 고려하여 경로상 피난수요를 유도를 통해 분배하는 방안을 연구했지만, 화재의 영향을 피해 지상으로 탈출할 수 있는 방안을 마련하였다는 점에서 의미있는 일이 아닐 수 없다. 이러한 유도시스템은 복잡한 지하상가나 지하철 역사와 같은 지하시설물뿐만 아니라 고층 건물과 같은 화재를 인지하기 어려운 건축물, 많은 사람이 모이는 시설, 대형 매장과 같이 통로가 미로같아서 길을 잃기 쉬운 공간에서도 매우 유용할 것으로 기대된다.

### 2. 향후 연구과제

지금까지 몇몇 연구 및 사업에서 화재 시 피난자 유도시스템에 대한 참고문헌과 시범사업이 있었다. 하지만 유도경로에 대한 알고리즘, 유도매개체, 또는 USN정보의 이용여부 등에서 차이를 드러내고 있다. 본 연구에서는 지하시설물에 USN과 방향성 유도표시등이 설치되어 있다는 가정 하에 적절한 유도경로 표시방안에 초점을 맞추고 있으나 3가지 구성요소가 적절한 프로세스를 가지고 맞물려 움직일 때 효과를 발휘할 수 있을 것이다.

본 연구는 기초단계에 불과하기 때문에, 연구가 발전된다면 화재 시 시거 및 심리적 영향에 따른 노드 즉, 방향성 유도표시등의 적정 설치거리와 화재 영향에 따른 용량 감소 등 무수히

많은 향후 연구과제가 존재한다. 또한 본 연구에서는 하나의 기점에서 하나의 종점으로 향하는 최소시간경로를 결정하는 기법으로서, 이것을 활용하는 방안을 제시하였으나 보다 구체적으로 네트워크 상 다수의 출발지와 다수의 목적지사이에 선택된 경로간의 수요 및 용량을 고려한 알고리즘의 개발이 이루어져야 할 것으로 보인다.

the quickest path problem", *Operations Research Letters* 20(1997), 195-198

## 참고문헌

1. 김현주, 지하도시공간 방재계획의 가이드라인, 방재연구지 제6권 제1호 (통권21호), 2004
2. Steingart D, Wilson J, Romero R, Lim L, Redfern A, Patton C, Wright P "Augmented Cognition for Fire Emergency Response: An Iterative User Study" presented on 7/27/05 at HCI International, to be published in proceedings
3. 손봉세, 이용재, "초고층 건축물의 화재시 방재 · 피난계획", 한국초고층건축포럼, 2004
4. Jinali Deepak Shastri, "Safe Navigation during Fire Hazards using Specknets", The University of Edinburgh, August 2006
5. 김정훈, "대형 건물에서의 지능형 소방제어 시스템 구현에 관한 연구" 홍익대 대학원, 2006. 8
6. David G. Holmberg, William D. Davis, Stephen J. Treado, Kent A. Reed, "Building Tactical Information System for Public Safety Officials", National Institute of Standards and Technology, jan. 2006
7. 이상욱, 박찬규, 박순달, "수정된 최속경로 알고리즘(The revised quickest path algorithm)", 한국국방경영분석학회지 제26권 2호, 1~7쪽, 2000
8. Shi Pu and Sisi Zlatannova, "Evacuation Route Calculation of Inner Buildings", Delft University of Technology, OTB research Institute for Housing, Urban and Mobility Studies, may. 2005
9. Ernesto de Queiros Vieira Martins, Jose Luis esteves dos santos, "An algorithm for