한국화재소방학회 논문지, 제21권 제4호, 2007년
[논 문]

J. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng.
Vol. 21, No. 4, 2007

유비쿼터스 기법을 적용한 실시간 피난유도 시스템: RFID를 이용한 효율적 피난유도시스템

Real-time Fire Evacuation Guidance System Employing Ubiquitous Techniques: Efficient Exiting System Using RFID

윤명오† · 송철호 · 김태운 · 최윤수* · 최연이**

Myung-O Yoon† · Cheol-Ho Song · Tae-Woon Kim · Yun-Soo Choi* · Yeon-Lee Choi**

서울시립대학교 도시방재안전연구소, *서울시립대학교 공간정보공학과, **신성대학교 소방안전관리과
(2007. 11. 10. 접수/2007. 12. 14. 채택)

요 약

화재와 같은 재난상황에서 피난행동을 돕는 피난유도시스템의 역할은 중요하다. 그러나 기존의 고정식 유도장치는 다양한 상황에 유연하게 대처하지 못한다. 본 연구에서는 피난유도시스템의 역할이 더욱 중요시되는 지하공간에서 실시간으로 화재 및 피난자의 위치를 파악하고 가변식 유도장치를 이용하여 신속하고 효율적인 피난을 가능하게 하는 실시간피난유도시스템을 구상, 설계하고 이를 제작, 설치하여 시험하였다. 또한 점차 대중화되고 있는 유비쿼터스의 기법을 센서간의 연결과 실시간 위치감지에 도입하여 저렴하고 확장성 있는 시스템의 구현을 시도하였다.

ABSTRACT

Exiting systems are essential to prevent casualties in case of fire. However, existing guidance systems are lack of flexibility because their functionalities are fixed when they are planned. In this paper, a system is introduced which guides evacuees in realtime by processing data it gathers throughout various sensors in realtime. It is planned and designed to aid quick and efficient evacuation, and produced, installed and tested in an underground space to show its feasibility. In building the system, ubiquitous techniques are employed for its sensor network and evacuee positioning in an attempt to make it cheap and extendable.

Keywords : Ubiquitous, Evacuation, Guidance system

1. 서 론

지하공간의 화재에서는 정전시 시야확보가 어려울 뿐 아니라 연기의 이동방향과 피난방향이 동일하여 혼란을 가중시키고 이용자가 해당 공간인식이 부족한 불특정 다수일 경우가 많으며 지하공간이란 사실 자체도 불안감을 주는 요인으로 작용하기 때문에[1] 신속하고 안전한 피난에 기여하는 유도시스템의 중요성은 더욱 크다. 그러나 기존 유도등은 그 위치와 기능이 설계단계에서 이미 결정되기 때문에 각 화재의 특수성과 피난시 발생할 수 있는 돌발상황에 유연하게 대처하지 못한다. 예를 들어, 화재상황에서 설계시 예상치 못했던 어떤 요인이 작용하여 특정 출구에만 피난자가 몰리는 경우에도 해당 유도등은 계속 혼잡한 출구로 더 많은 피난자를 유도할 것이다.

만약 피난자의 위치와 화재의 상태를 실시간으로 파악하여 가장 신속하게 대피 가능한 출구로 개개인을 유도할 수 있다면 이것은 주어진 조건하에서 가장 이상적인 유도 시스템이 될 수 있을 것이다. 각기 다른 화재의 상태와 양상에 따른 실시간 정보를 이용하여 최선의 방법으로 대처하기 때문이다.

2. 시스템 구상

실시간피난유도시스템을 구축하기 위해서는 크게 세 가지의 기술적/이론적인 요소가 마련되어야 한다. 첫

†E-mail: yoonmo@empal.com

째, 정보를 수집하는 센서가 있어야 한다. 각종 센서를 적절하게 배치하여 피난자의 위치, 화재의 분포상태, 출구의 상태 등 피난유도에 필요한 정보를 실시간으로 탐지하고 이는 화재 경보나 유도에 사용된다. 둘째, 수집된 정보를 바탕으로 유도방향을 결정하는 소프트웨어 또는 피난유도알고리즘이 필요하다. 피난유도알고리즘은 가장 효율적 대피를 위해서 현 상황을 센서를 통해 감시하고 유도장치를 통해 통제한다. 셋째, 피난자를 실제로 유도하는 유도장치가 필요하다. 유도등과 안내방송장비를 포함한다.

시스템의 입력은 센서, 즉 연기감지기와 열감지기를 통한 화재의 위치와 피난자 실시간 위치이다. 중앙통제서버는 이들 정보를 종합하여 피난자를 유도할 출구를 결정하고 이에 따라 가변유도등과 안내방송시스템을 동작시키며, 감시카메라를 화재의 방향으로 향하게 한다.

이를 위하여 먼저 실험계획과 실험 시나리오가 개발되었다. 그리고 이를 바탕으로 컴퓨터 피난 시뮬레이션을 실시하여 최적의 피난유도알고리즘을 결정한 후에 실제로 시스템을 설치하여 시험 가동하였다.

2.1 유비쿼터스 기법

본 실험은 화재와 피난자의 위치를 감지하는 센서의 비중이 크므로 어떠한 종류의 센서를 어떻게 연결할 것인가를 결정하는 것이 실험 계획에 큰 영향을 미친다. 이에 크게 두가지 유비쿼터스 기법을 적용하였다.

2.1.1 유비쿼터스 센서 네트워크

유비쿼터스 센서 네트워크란 유선과 무선을 포함한 다양한 네트워크에 연결된 센서들로 태그가 부착된 사물의 인식정보와 주변 환경정보를 탐지하여 이 정보를 실시간으로 네트워크에 전송하여 관리하는 것을 의미한다. 센서 관리의 유연성과 확장성의 측면에서 이것은 화재의 위치나 피난자의 위치 등 다양한 실시간 정보를 필요로 하는 피난유도시스템의 기본 구조로서 적합하다. 따라서 본 실시간피난유도시스템은 센서를 포함한 각종 기기가 네트워크를 통하여 통제서버에 연결이 되는 형태가 되었다.

2.1.2 RFID 시스템

RFID(Radio-Frequency Identification)란 마이크로칩을 내장한 태그(tag)에 저장된 데이터를 무선 주파수를 이용하여 안테나(antenna)가 장착된 리더(reader)기에서 자동인식하는 기술을 말한다. 바코드, 자기코드, IC카드 등 타 매체에 비해서 비접촉식으로 동시인식가능하고, 인식거리, 속도, 보안, 기록데이터용량과 재기록성능면에서 우수하며 패시브 태그의 경우 가격도 저렴한 편이다.[2] 피난자의 실시간 위치 감지를 위하여 RFID 태그를 피난자가 소지하고 RFID 리더로 이를 감지하는

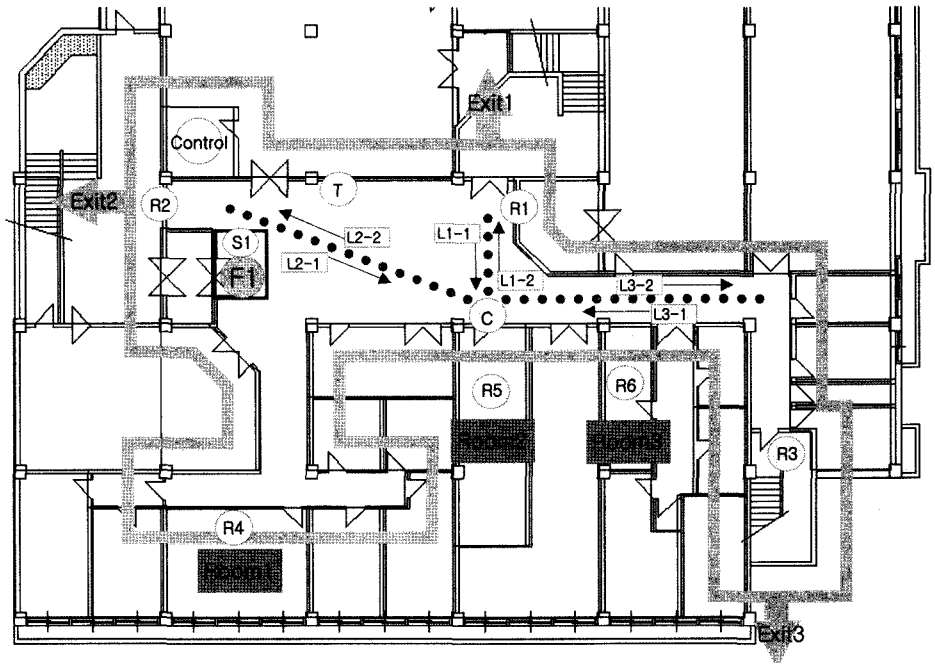

Figure 1. Basement plan of the student center for test (University of Seoul).

Table 1. Symbols Used

Symbol	Description
F	화심
Exit	출구
Room	방
Control	통제센터
S	연기감지기
T	온도감지기
C	감시카메라
R	RFID 안테나
L1-1	유도등 1, Exit1 반대방향 점등
L1-2	유도등 1, Exit1 방향 점등
L2-1	유도등 2, Exit2 반대방향 점등
L2-2	유도등 2, Exit2 방향 점등
L3-1	유도등 3, Exit3 반대방향 점등
L3-2	유도등 3, Exit3 방향 점등

방식을 택하였다. 불특정 다수가 이용하는 장소에서 모두가 RFID 태그를 소지한다는 것이 그리 현실적이지 만은 않으나 특정 상황, 즉 극장이나 공연장의 경우 입장권에, 지하철의 경우 탑승권에 RFID 태그를 장착한다면 피난의 상황이 발생할 경우 위치감지에 이를 활용할 수 있다.

2.2 실험 계획

서울시립대학교 학생회관 지하1층을 대상으로 실험을 계획하였다. Figure 1은 실험을 위한 센서 및 유도등, 화원, 출구, 그리고 초기 피난자가 위치할 방들을 보여준다. 사용된 기호가 Table 1에 간략하게 설명되었다.

연기감지기(S1, S2, S3)가 각 화원(F1, F2, F3)에 하나씩 설치되어 화재의 발생과 위치를 화재수신기에 알려준다. RFID 안테나(R1부터 R6)는 피난자의 위치를 감지하기 위한 것으로 출구(Exit1, Exit2, Exit3)와 방(Room1, Room2, Room3)에 하나씩, 모두 6개가 설치되었다. 화원중 하나에서 화재가 발생하면 시스템이 연감지기(S1, S2, S3)와 온도감지기(T)로 이를 감지한다. 동시에, 방과 통로에 분산되어있는 피난자의 위치를 RFID 안테나로 감지하여 화원의 위치와 출구의 혼잡정도 등을 고려해서 유도등(L1, L2, L3)을 사용하여 적절한 출구로 피난유도를 실시한다.

2.3 실험 시나리오

실험에서 의도하는 바에 따라 건물구조상 인원의 배치와 화심의 위치를 어느 한 출구에 대피인원이 몰려 혼잡이 일어나도록 하였다. 피난자는 주위를 둘러보아 시각적으로 인지되는 경로를 직감적으로 선택하여 이동하므로[3] 넓은 곳에 위치하여 시각적 판별이 용이한 [Exit 1]에 몰리게 된다. 최초로 경로선택을 대피인원은 모두 30명이고 모두 RFID 태그를 소지하고 있다. Room1, Room2, Room3에 5명씩, 그리고 나머지 15명은 통로에 분산 배치하였다. 세 출구의 *실제유출속도*(출구의 단위시간당 통과하는 인원수)는 5초당 한명으로 모두 같다고 설정하였다.

세 개의 화심을 고려하여 모두 세 개의 시나리오가 개발되었지만 본 실험에서는 그 중 화재는 Exit2근처의 F1에서 시작하고 인원은 Exit1에 집중되며 Exit3로 실시간 유도가 일어나는 시나리오를 선택하였다. 화재 초기에는 유도시스템이 피난자를 Exit1과 Exit3로 동시에 유도하나 피난이 이루어지면서 Exit1이 Exit3보다

Table 2. Test Scenario

Step	Action
1	[F1] 점화. [S1] 이 연기를 감지하여 [Control]에 통보.
2	[L2-1], [L1-2], [L3-2] 점등.
3	[C] 적절한 방향으로 회전
4	[T] 온도감지하여 [Control]에 전송.
5	[Room1], [Room2], [Room3]에 있는 사람들과 분포인원이 [Exit1]과 [Exit3]로 대피. 화재의 위치로 인하여 [Exit2]로는 대피하지 않음.
6	만약 [Exit1]이 [Exit3]보다 크게 혼잡하게 되면 각 출구에 설치된 RFID 리더로 이를 감지하여 [L2-1]과 [L3-2]를 점등함으로써 피난자를 [Exit3]로 유도.
7	만약 [Exit3]이 [Exit1]보다 크게 혼잡하게 되면 각 출구에 설치된 RFID 리더로 이를 감지하여 [L2-1], [L3-1], [L1-2]를 점등함으로써 피난자를 [Exit1]으로 유도.
8	각 방에 설치된 RFID 리더가 대피하지 못하고 방에 남아있는 사람들을 감지하여 [Control]에 통보. [Control]은 구조대를 보내는 등의 필요한 조치 취함.

상당히 더 혼잡해지면 유도방향을 전환하여 Exit1으로는 더 이상 유도를 하지 않고 Exit3로 만 피난유도를 한다. Exit2로는 화원의 위치 때문에 피난유도를 하지 않는다. 화재의 진행으로 대피하지 못하고 방에 남아 있는 피난자는 RFID가 감지하여 구조대에 통보하는 등의 조치를 취한다. 단계별 내용을 Table 2에 나타내었다.

2.4 피난유도알고리즘

화재와 같은 상황에서 어느 한 출구로 피난인원이 집중되는 현상이 발생한다. 이것은 피난의 효율을 감소시키고 총 피난시간을 증가시킨다. 특정 출구로 피난인원이 집중되는 원인은 초기 인원분포와 건물 구조상 특성에 있는 것으로 추정되며 이 불균형을 보정해 준다면 결과적으로 전체 피난시간을 단축시킬 수 있을 것이다. 이에, 각 출구에 대피를 위하여 대기중인 피난인원의 수를 감지하여 그 불균형의 정도에 따라 균등하게 각 출구로 유도를 하는 것을 *실시간피난유도*라 하고, 그것을 위한 구체적인 전략을 *피난유도알고리즘*이라 부르기로 한다.

이 실시간피난유도개시 기준, 즉 기준이 되는 불균형의 정도는 각 건축물과 상황에 따라 다르며, 너무 작게 설정하면 유도하는 출구가 필요이상으로 자주 바뀌어 오히려 혼란을 유발할 위험이 있고 반대로 너무 크게 설정하면 효율적인 피난유도가 불가능하다. 따라서 본 실험에서는 해당 시나리오를 대상으로 실시간피난유도 개시 기준을 결정하기 위하여 실시간피난유도가 없는 경우(이하 일반대피)와 있는 경우의 두 경우에 대하여 본 연구소가 보유하고 있는 Nagayo 피난시뮬레이터로 민감도분석(sensitivity analysis)을 실시하였다. Nagayo는 피난자의 시야, 유도등여부, 효율적 피난경로를 고려한 시뮬레이션이 가능하므로 실험 대상 상황에 적합하다.

시뮬레이션 결과, 예상대로 [Exit1]으로 대피자가 집중되는 것이 관찰되었는데, [Exit1]과 [Exit3]의 대기 인원수 차가 5명 이상일 때 인원이 적은 쪽으로 피난유도를 하는 것이 가장 효율적이었다.

같은 초기설정(Figure 2)에서 시작하여, 일반대피의 경우 한동안 [Exit1]에만 피난인원이 몰려 있는 상황(Figure 3)이 지속되다가 모두 대피하는데 105.8초가 걸린 반면, 양 출구의 대기인원수 차가 5명 이상일 때 실시간피난유도를 개시한 경우, 양 출구로 균등한 대피가 이루어져(Figure 4) 총 대피시간은 80.3초로 약 24%의 대피시간이 감소하였으며, 이때가 가장 효율적이었다. 따라서 실시간피난유도 개시 기준을 양 출구 인원수 차가 5명 이상일 때로 결정하였다.

2.5 시스템 구성

시스템은 크게 입력부, 출력부, 그리고 통제부로 나뉜다(Figure 6). 데이터베이스, 중앙통제서버, 웹클라이

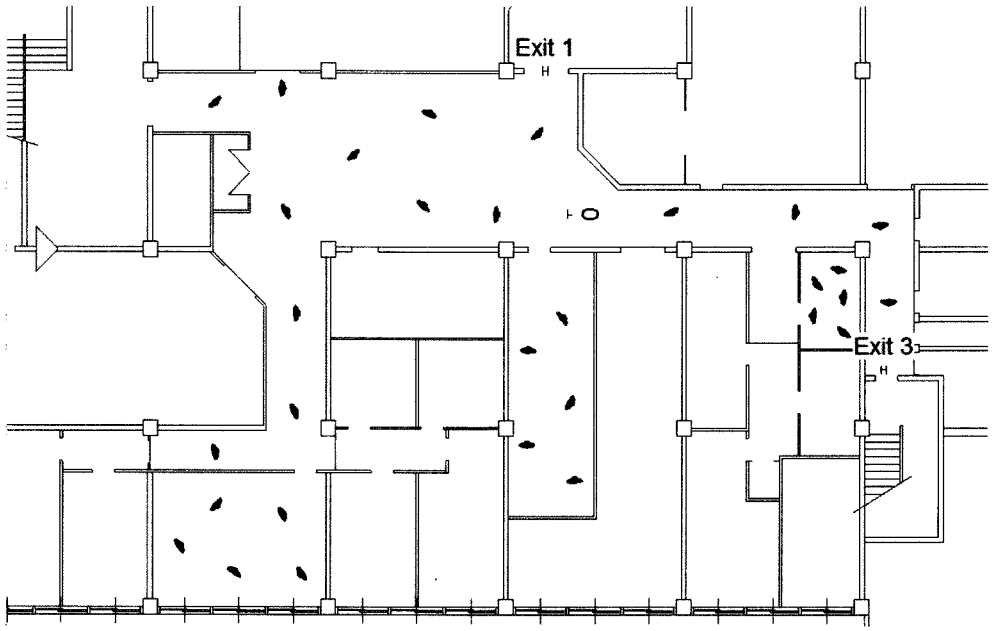

Figure 2. Evacuation simulation (Initial state. Common for both normal and real-time guided evacuation).

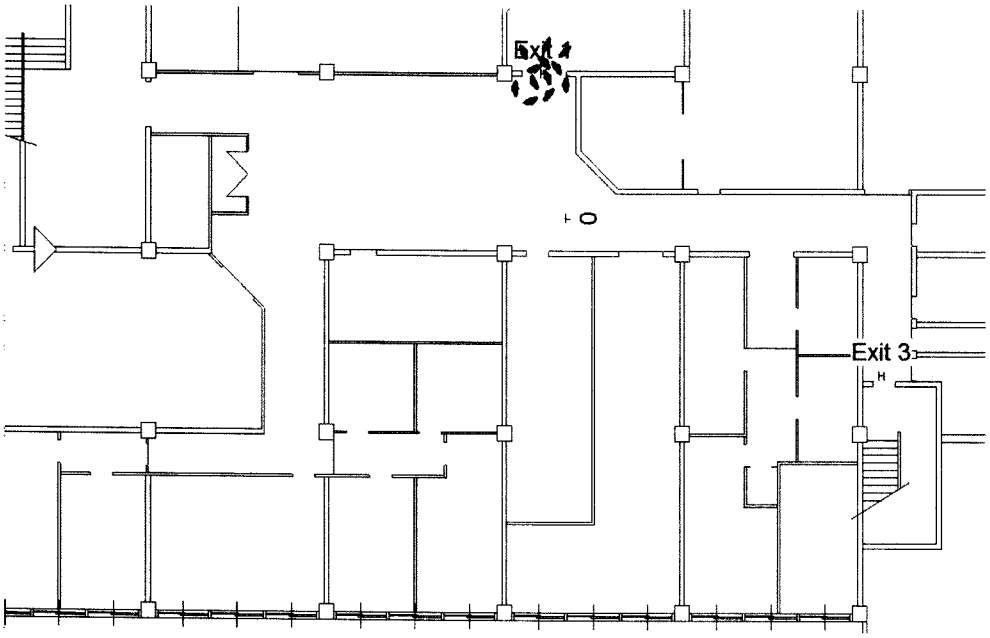

Figure 3. Normal evacuation simulation (50 seconds passed).

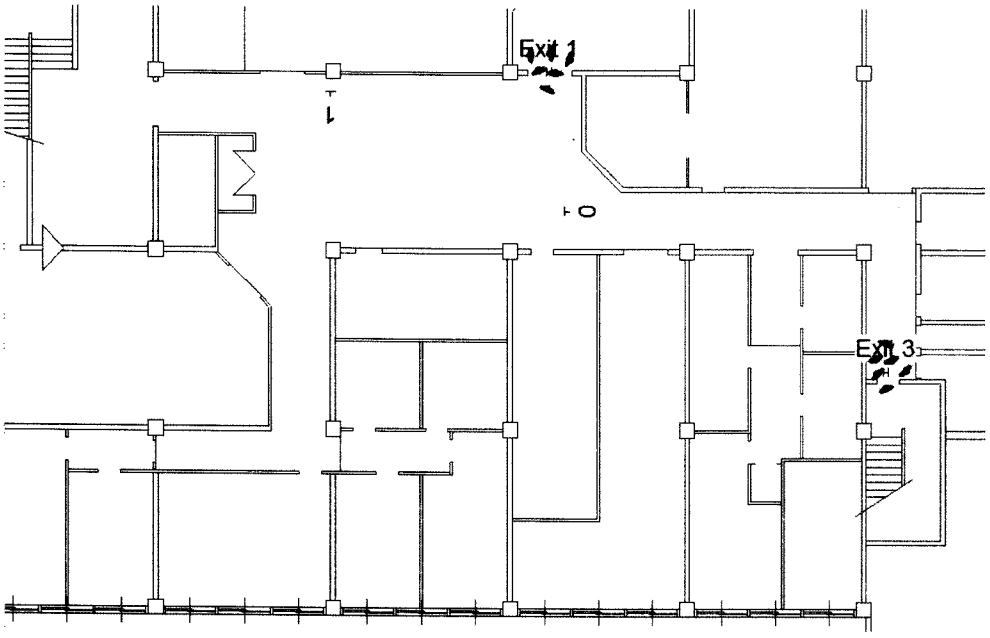

Figure 4. Real-time guided evacuation simulation (50 seconds passed).

언트가 통제부를 구성하고, 입력부는 화재감지시스템과 RFID 시스템으로, 그리고 출력부는 가변유도시스템으로 이루어져 있다. 통제부는 입력부로부터 전달받은 정보를 토대로 출력부의 유도등을 조작하여 실시간 유도를 수행한다.

시스템요소간의 연결은 다음과 같다(Figure 5). 중앙에 시스템 감시와 통제를 총괄하는 중앙통제서버(control server)가 있고, PLC(Programmable Logic Controller), RFID 리더(RFID reader), 감시카메라(Surveillance camera), 웹서버(Web server)와 클라이언트(Web client)에 TCP/

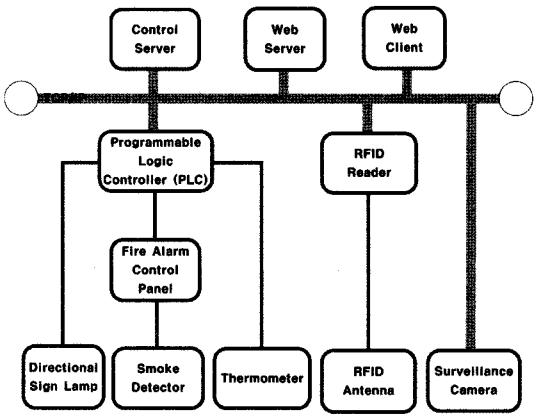

Figure 5. System interconnection.

IP 네트워크로 연결되어 있다. PLC는 다시 가변유도등(directional sign lamp), 연감지기(smoke detector)를 감시하는 화재수신기(fire alarm control panel), 그리고 온도감지기(thermometer)과 연결되어 이들이 보내는 신호를 처리하여 중앙통제서버에 중계하고 또 중앙통제서버로부터 명령을 받아 이들의 작동을 통제한다. 시스템의 작동 상황 감시나 조작은 일반 웹브라우저로 웹서버에 접속하여 할 수 있다.

Table 3. Equipment Used for the Test

Name	Count
R형 화재수신기	1
연기감지기	3
RFID 리더	3
RFID 안테나	6
RFID 태그	30
온도센서	1
PLC(Programmable Logic Controller)	1 set
IP 카메라	1
피난유도장치(점멸형)	3 set
통제센터용 PC	1 set
통제 소프트웨어 (서버/클라이언트)	1 set each
연기발생기	1

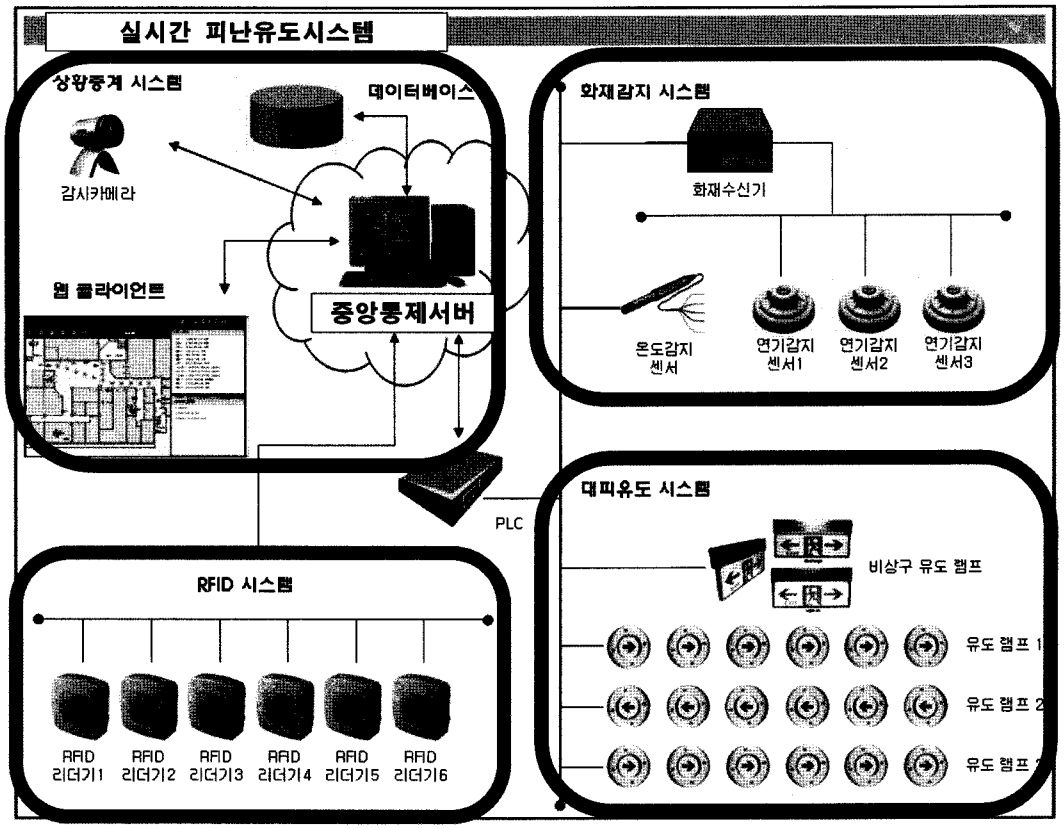

Figure 6. System configuration.

Table 3에 실험에 사용된 주요장비를 간단히 정리하였다. 서버와 클라이언트 소프트웨어는 물리적 장비는 아니지만 실험을 위해 따로 개발되었고 시스템을 가능하게 하는 중요 요소이므로 표에 포함하였다.

2.6 가정과 한계

본 실험은 출구인원정체를 실시간피난유도를 통하여 완화시키는 것을 보여 주는데 주 목적이 있으므로 대피자의 유동특성만을 고려하였고 개인적/심리적 행동특성은 고려하지 않았다. 한정된 인원으로 출구에서 정체를 발생시키기 위하여 단위시간당 출구통과인원을 5초당 1명으로 설정하였는데 이는 실제상황과는 다소 차이가 있는 수치이다.

또한, 실시간 위치감지에 사용한 RFID 위치감지시스템의 감지율을 100%로 가정하였고 RFID 태그는 실험자 모두가 소지하고 있다고 설정하였지만 실제 감지율은 이보다 낮고 감지에러도 발생할 수 있다. 그러므로 향후 RFID 기술이 발전하여 신뢰도가 충분히 높아진다는 가정 하에 실험을 실시하였다. 다른 방법으로는, 얼마간 부정확한 위치정보로도 효과적인 피난유도가 가능한 새로운 감지형태와 알고리즘을 개발하는 것을 생각해 볼 수 있다.

3. 실험 장소와 방법

서울시립대학교 학생회관 지하1층에 시스템을 설치하였다. 피난유도를 위하여 점멸형 가변유도등이 사용되었다. Figure 1의 바닥에 일련의 원형 도트로 표시된 부분이다. 각 도트가 하나의 램프로서 진행방향을 따라 순차적으로 점멸하도록 되어 있다. 낮은 위치에 설치된 발광형의 유도표지가 화재의 상황에서 더 잘 보인다는[4] 점을 고려하였다.

실험은 서울시립대학교 학생회관 지하1층에서 약 2시간에 걸쳐 실시되었다. 피난자로 참가한 인원 모두에게 RFID태그를 나누어 주고 두 그룹으로 나누어 실시간피난유도로 한번, 일반대피로 한번, 그리고 마지막으로 실시간피난유도가 있는 상황에서 다 같이 한번, 총 3번의 실험을 실시하였다. 각 출구에 통제인원을 배치하여 5초당 1명이라는 실제유출속도가 실험에 반영되게 하였다.

4. 실험결과

실험과 시뮬레이션은 동일한 시나리오를 바탕으로 진행되었는데도 불구하고 초기 설정과 진행상의 변수들이 서로 다르게 적용된 부분이 있기에 정확히 일치하는 결과를 볼 수는 없었으나 실시간 유도의 이점과 가능성을 공통적으로 제시한다. 상황에 따라 화점에서 멀리, 그리고 덜 혼잡한 출구로 피난유도를 하는 가변유도등의 가능성을 실험에서 관찰하였고, 시뮬레이션에서는 그 효용성을 가늠하였다.

실험을 구성하는 장비와 시나리오의 문제점, 그리고 설치의 용이성에서 다수의 개선점이 발견되었다. 가장 문제가 되었던것은 역시 실시간 위치감지였으며, 이것은 이미 언급한 바와 같이 RFID의 성능 개선 또는 이를 고려한 시스템과 알고리즘의 개발로 해결될 수 있다고 보인다. 더하여, 감지된 데이터를 바탕으로 정확한 위치를 산출하는 알고리즘과 시뮬레이션 부분에서 고찰한 실시간 유도알고리즘의 개발과 개선에도 더욱 심도 있는 연구가 진행되어야 한다.

유도등은 유도 진행방향으로 램프가 차례로 점등하는 방식으로 바닥에 설치되었다. 현재 유도등과 관련된 법규에 비추어 볼 때 정의되지 않은 형태이나 이것은 단지 피난자에게 피난 정보를 전달하는 하나의 방편에 불과하므로 이와는 다른, 예를 들어 개인 휴대용 방향지시기 등과 같은 더욱 발전된 형태로 대체 가능하다.

5. 결 론

본 실험은 유비쿼터스 센서 네트워크와 RFID의 기술을 화재피난유도에 적용하여 실시간피난유도시스템을 현재 일반화되어 있는 장비와 기기를 사용하여 실제로 구현해 본 것에 의의가 있다. 주어진 장비가 시스템 구축에 적합한가, 아니라면 그에 대한 대안과 개선점을 도출하려 시도하였다. RFID로 피난자의 위치를 감지하고 이 정보를 바탕으로 안전한 출구로 피난자를 균등하게 분배하는 알고리즘을 제시하였다. 통제용 소프트웨어와 가변유도등을 개발하여 실제 실험에서 사용되었다. 더욱 대규모화되고 일반화된 장소와 상황에 시스템을 적용하기 위하여 센서 네트워크의 지능화, RFID 위치감지기법의 개선, 유도알고리즘의 일반화, 그리고 해당 시뮬레이션과 실험의 지속적인 수행이 이루어져야 할 것이며, 본 실험을 기초 자료로 활용할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 2005년 서울형 미래도시 산업육성지원사업의 일환으로 이루어진 것으로 본 연구를 가능하게 한 당국에 감사드립니다.

참고문헌

1. 전규엽, "대구지하철 화재 조사 분석(3)-피난행동패턴에 대한 고찰과 피난로 설계시 적용방법", 대한건축학회 학술발표대회 논문집, Vol.23, No.2, pp.885-888(2003).
2. 문성호, "유비쿼터스 공간의 소방대상물 관리모델에 관한 연구", pp.12-13, 서울시립대학교 대학원 석사학위논문(2004).
3. 박재성, "건축물 화재시 피난행동 등을 고려한 피난예측모델에 관한 연구: 대규모 다중이용건축물을 중심으로", pp.157, 서울시립대학교 대학원 박사학위논문(2004).
4. Kobes, M., Oberije, N., Rosmuller, N., Helsloot, I. and de Vries, B., "Fire Response Performance. Behavioural Research in Virtual Reality", pp.5, 7th Asia-Oceania Symposium on Fire Science & Technology(2007).
5. 장세이, 우운택, "유니쿼터스 컴퓨팅 환경을 위한 센싱 기술과 컨텍스트-인식기술의 연구 동향", 정보과학회지, Vol.21, No.5, pp.18-28(2003).