

RTLS 시스템을 활용한 화재시 행동분석 연구 The Research of the Analysis of Movement from a Fire using RTLS System

임경범[†] · 김하영* · 이동호**

Kyung-Bum Lim[†] · Ha-Young Kim* · Dong-Ho Rie**

해천대학 소방안전관리과, *인천대학교 안전공학과 대학원, **인천대학교 안전공학과
(2010. 5. 24. 접수/2010. 8. 16. 채택)

요 약

건물 안에 있는 사람의 보호는 재해방지 설계 시 우선적인 고려사항이다. 그러나 실제 상황에서 연기에 대한 가시도, 상호간의 거리, 사고방식 및 교통정체에 대한 인지정도 등을 계획하는 것은 어렵다. 본 연구의 목적은 변수에 대한 패턴 변화의 모듈화를 분석해 피난 시뮬레이션의 기초 자료를 활용하기 위함으로 이를 위해 태그로 부터 전파를 감지하고 실시간으로 위치를 파악하는데 RTLS(실시간 위치 시스템) 시스템을 활용하였다. RTLS 시스템을 활용하여 피난 패턴에 대해 도수안경을 착용하여 가시도에 따른 이동속도, 건축 시 문의 최적 크기를 추정하기 위한 문의 크기에 따른 흐름 분석 및 병목상황 시 사람들의 움직임에 대한 3가지 패턴에 대해 분석하고 가시화 하였다. 이 결과 실제 사람들의 피난 시 다양한 상황에서 수치해석 적용에 기대할 것으로 판단된다.

ABSTRACT

The design disaster prevention of first consideration is security for the people in the buildings. However, it is difficult to make a project for considering variable cases, declined visibility of smoke, distance from another person, mentality, knowledge of clearway etc. This study purpose is, analysis variable cases and modularization of pattern movement to practice basic information for evacuation of simulation which is used RTLS (Real Time Location System) system. It is useful to sense the electric waves from the Tag and grasp the real-time position. The pattern movement of evacuation were analyzed prescription eyeglasses which is used RTLS system to consider following 3 actions; analysis of relations that declined visibility effect the decline of movement velocity, analysis rate of flow with the size of door to estimate the optimum size of door in building and analysis the pattern movement that a bottleneck situation with abundant of people passed together to these exit. The confirmed of propriety of the interpretation about the actual people to evacuate is expected applying the numerical formula in various situation.

Key words : RTLS, Real-time, Visibility, Evacuate

1. 서 론

건축물의 설계 시 화재에 대한 피난예측은 매우 중요한 필수 설계요소이다. 그러나 실제 피난 시에 발생하는 연기에 의한 질식효과, 가시도의 하락으로 인해 발생하는 패닉현상 및 이동속도 저하, 대피자의 공간 인식 정도 감소 등과 같은 다양한 고려사항은 대피자

의 피난을 정확히 예측하는데 중요한 변수가 될 수 있다.¹⁻⁴⁾

이러한 변수들을 피난 예측에 고려하기 위해서는 다수 대피자의 피난을 다양한 변수로 실험하여 이를 모델화 시키는 과정이 필요하다. 그러나 다수 대피자의 행동패턴이나 군집 이동시 개인별 행동을 파악하기 위해서는 개인별 실시간 위치추적을 통한 분석이 필요하지만 이를 추적하는데에 어려움이 많아 분석이 용이하지 않고 있다.⁵⁻⁷⁾

[†] E-mail: kblim@hu.ac.kr

따라서 본 연구에서는 RFID(Radio-Frequency Identification) 기술을 응용한 RTLS(Real Time Location System)를 사용하여 실시간 위치추적을 하였으며, 이를 다양한 상황에서의 군집 이동 시 개인별 속도를 측정하여 행동패턴을 분석하였으며 이를 토대로 RTLS의 대피 해석 시 적용성에 대하여 분석하였다.

2. RFID and RTLS

2.1 RFID(Radio-Frequency Identification)

RFID 기술이란 전파를 이용해 먼 거리에서 정보를 인식하는 기술을 말한다. 이 장치는 RFID 태그(이하 태그)와, RFID 판독기(이하 판독기)로 구성된다. 태그는 안테나와 집적회로로 이루어지는데, 집적회로의 정보를 기록하고 안테나를 통해 판독기 내의 정보를 송신한다. 이 정보는 태그가 부착된 대상을 식별하는 데 이용된다. RFID가 바코드 시스템과 다른 점은 빛을 이용해 판독하는 대신 전파를 이용한다는 것이다. 따라서 바코드 판독기처럼 짧은 거리에서만 작동하지 않고 먼 거리에서도 태그를 읽을 수 있으며, 물체 사이에 있는 물체를 통과해서 정보를 수신할 수도 있다.⁸⁻¹¹⁾

2.2 RTLS(Real Time Location System)

RTLS는 무선통신을 사용한 건물 내부, 항만, 주차장, 공원, 공장, 연구소 등 제한된 공간에서의 실시간 위치추적 시스템을 말한다. 제한된 공간에서의 위치추적이라는 것이 넓고 개방된 공간의 위치추적에 비해 상대적으로 단순하다고 생각할 수도 있다. 그렇지만, 건물 벽체와 같이 전파 전달에 있어서의 방해물, 반사파에 의한 전파의 간섭, 수십 센티미터까지 요구되는 위치계산의 정밀도, 이동 위치의 정확도, 위치추적의 대상이 되는 다양한 이동체 등, 환경적·기술적·비용적 요소가 고려되어야 하기 때문에 유비쿼터스 컴퓨팅 기술이 발달된 2000년대에 들어서 활발히 연구되고 있다.^{12,13)}

3. 실험방법

3.1 실험조건

본 연구에서는 RTLS를 사용하여 3가지의 상황에 대해 분석하였다. 첫째, 일정한 공간내에서 문의 폭에 따른 대피자의 문 통과 흐름을 분석은 Figure 1과 같이 10.0m × 10.0 m 공간에서의 대피 시 문의 폭에 따른 대피 흐름을 분석하였으며 또한 재실인원에 따른 통과 흐름을 분석하였다.

문의 폭은 0.8m에서 1.7m까지 0.1m 간격으로 총 10

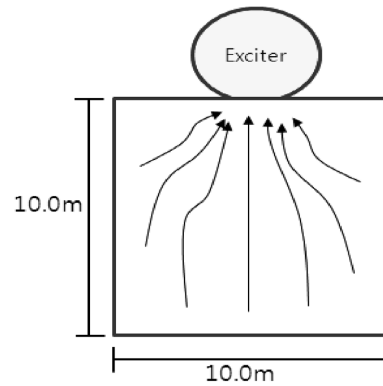


Figure 1. The outline about the experiment.



Figure 2. Outline of the analysis of walking speed change in hallway.

조건, 대피자는 5, 10, 20, 30인 총 4조건으로 하였으며 일반적인 결과를 얻기 위해 각각 조건에 대해 5회씩 실험을 진행하였다. 둘째, 복도에서 투과율 및 주변 밝기에 따른 이동속도 변화를 조사하기 위해 폭 1.96m 길이 27.6m인 복도에서의 개인 및 군중 이동시 연기에 의한 투과율 및 밝기에 따른 이동속도 변화를 분석한 결과를 Figure 2에 나타내었다.

투과율의 조건은 기존의 연구자들이 제시한 200lux에서의 최소 가시거리를 환산하여 총 5개 조건으로 선정하였으며 밝기는 NFPA에서 제시하는 최소 밝기 200lux를 기준으로 순차적으로 제약조건을 변화시켜 0, 50, 100, 200lux로 선정하여 실험하였다. 셋째, 계단 폭 1.28m, 길이 0.19m, 높이 0.14m인 계단에서 투과율 및 주변 밝기에 따른 개인 및 군중 이동 시 연기에 의한 투과율 및 밝기에 따른 이동속도 변화를 분석하였다.

투과율 및 가시도, 인원의 선정 조건은 복도의 경우와 동일하게 실험하였으며 대피자의 이동 분석은 Figure 3에 도식된 바와 같이 Exciter 두개를 사용하여 Exciter1에서 벗어난 시간과 Exciter2에 도착한 시간을 개인별로 측정하여 평균속도를 산정하였다.

Table 1은 본 연구에서 고려된 실험조건이다.

대피자의 조건은 총 30명의 대학생으로 실험하였으며 남성 19명, 여성 11명으로 평균연령 22.4세, 평균신장 168.1cm, 평균시력은 0.93Dptr이다.

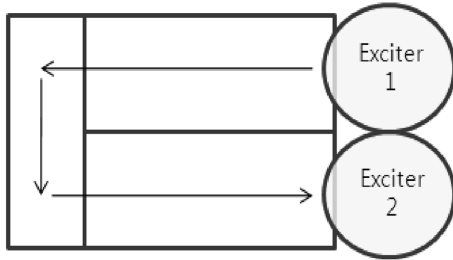


Figure 3. Outlines of the analysis change of walking speed according to visibility at stair.

Table 1. The Conditions of the Experiments Using RTLS

CASE 1	Analysis passing flow rate according to the widths of doors				
Doors' widths	0.8~1.7 m (Interval: 0.1 m)				
Escape people	5	10	20	30	
Frequency	5				
CASE 2	Change of walking speed at the hallway				
Brightness [lux]	0	50	100	200	
Permeation rate [%]	1.73	6.1	8.42	13.6	18.6
Escape people	1	10	20	30	
Frequency	5				
CASE 3	Change of walking speed at the stairs				
Brightness [lux]	0	50	100	200	
Permeation rate [%]	1.73	6.1	8.42	13.6	18.6
Escape people	1	10	20	30	
Frequency	5				

4. 결과 및 고찰

4.1 문의 폭에 따른 통과흐름을 분석

대피자는 10.0m × 10.0m 공간에 등 간격으로 분포하도록 설정하였으며 RTLS의 Exciter기능을 이용하여 대피자가 문을 통과할 시 통과시간을 Logging하는 방법을 사용하여 분석하였다.

Figure 4에 문폭에 따른 인원조건별 최대 통과 흐름율에 나타난 바와 같이 5인의 경우 최대 통과 흐름율이 1.0persons/sec 내외로 일정한 반면 30인의 경우 문의 폭이 커짐으로 인해 통과 흐름율이 지속적으로 상승하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 해당공간에서

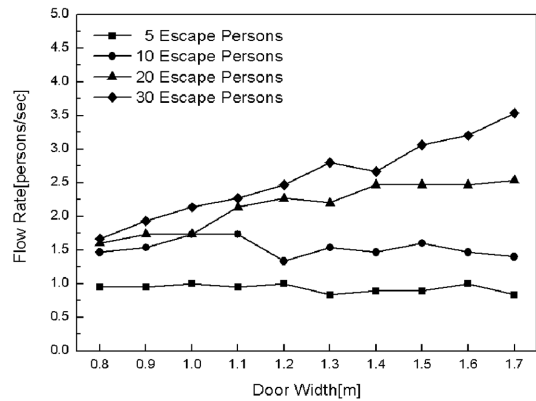


Figure 4. The maximum passing flow rate according to the door's width in each condition of people.

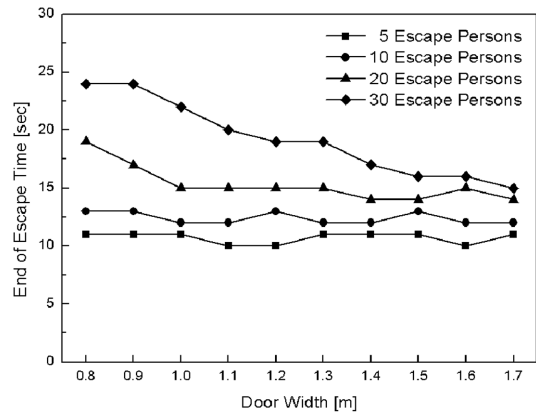


Figure 5. The final escape time according to the door's width in each condition of people.

의 대피 시 30인의 경우 문의 폭이 1.7m가 되어도 출구에서의 정체현상이 나타남을 알 수 있으며 적정 문간격 산정시 이러한 점을 고려할 수 있는 것으로 분석된다.

또한 Figure 5의 경우 20인의 결과에서 1.0m의 문크기 이후 거의 일정한 최종 대피시간이 나타남에 따라 해당 공간에서의 재실자가 20인일 경우 적정 문의 폭이 1.0m로 나타남을 알 수 있다.

4.2 복도에서 가시도에 따른 이동속도 변화

대피자 조건은 1, 10, 20, 30인의 행동을 평가하였으며 각각 실험자에게 투과율에 맞는 안경을 착용하여 이동하도록 하였다.

복도에서의 가시도에 따른 이동속도 변화 분석결과

Table 2. The Results of Analysis of Walking Speed Change at Hallway According to Visibility

0 lux	1.73%	6.1%	8.42%	13.6%	18.6%
1 persons	0.93m/s	-	-	-	-
10 persons	0.69m/s	-	-	-	-
20 persons	0.67m/s	-	-	-	-
30 persons	0.55m/s	-	-	-	-
50 lux	1.73%	6.1%	8.42%	13.6%	18.6%
1 persons	1.07m/s	1.09m/s	1.11m/s	1.15m/s	1.14m/s
10 persons	0.95m/s	0.97m/s	1.00m/s	1.02m/s	1.08m/s
20 persons	0.95m/s	0.97m/s	0.99m/s	1.01m/s	1.03m/s
30 persons	0.89m/s	0.92m/s	0.93m/s	0.94m/s	0.96m/s
100 lux	1.73%	6.1%	8.42%	13.6%	18.6%
1 persons	1.09m/s	1.13m/s	1.13m/s	1.14m/s	1.15m/s
10 persons	0.97m/s	1.02m/s	1.02m/s	1.04m/s	1.09m/s
20 persons	0.97m/s	1.01m/s	1.01m/s	1.02m/s	1.06m/s
30 persons	0.93m/s	0.95m/s	0.95m/s	0.96m/s	0.98m/s
200 lux	1.73%	6.1%	8.42%	13.6%	18.6%
1 persons	1.10m/s	1.13m/s	1.14m/s	1.14m/s	1.14m/s
10 persons	0.98m/s	0.99m/s	1.05m/s	1.06m/s	1.10m/s
20 persons	0.98m/s	0.99m/s	1.01m/s	1.02m/s	1.07m/s
30 persons	0.93m/s	0.95m/s	0.95m/s	0.96m/s	0.98m/s

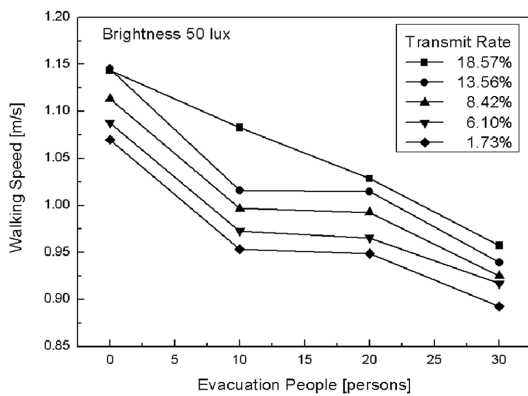


Figure 6. Average walking speed each person according to visibility (50 lux).

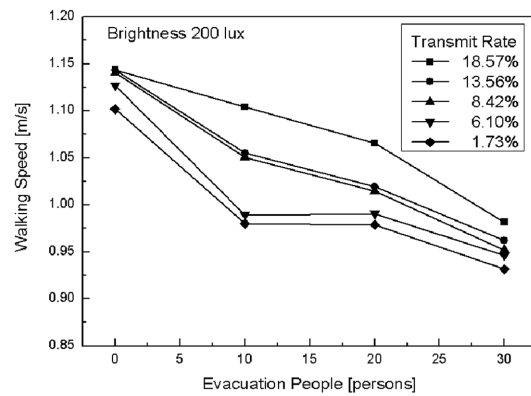


Figure 7. Average walking speed each person according to visibility (200 lux).

Table 2의 결과를 얻었다. Table 2에 나타난 바와 같이 밝기 100lux와 200lux에서의 속도차는 거의 발생하지 않았다. 또한 투과율 1.73%에서 밝기에 따른 인원별 이동속도차가 0~200lux에서 각각 0.38, 0.18, 0.16, 0.15m/s로 나타나 밝기가 어두워질수록 인원의 군집에 따른 이동속도차가 크게 발생하는 것으로 분석되었다.

또한 Figure 6, 7에 나타난 바와 같이 일정 밝기에서 투과율이 일정수준 이하 일 경우 10인과 20인의 속도차가 매우 낮은 것으로 분석되었다.

4.3 계단에서 가시도에 따른 이동속도 변화

계단에서의 가시도에 따른 이동속도 변화 분석결과

Table 3. The Results of Analysis of Walking Speed Change at Stair According to Visibility

0 lux	1.73%	6.1%	8.42%	13.6%	18.6%
1 persons	0.57m/s	-	-	-	-
10 persons	0.37m/s	-	-	-	-
20 persons	0.21m/s	-	-	-	-
30 persons	0.18m/s	-	-	-	-
50lux	1.73%	6.1%	8.42%	13.6%	18.6%
1 persons	0.81m/s	0.83m/s	0.86m/s	0.88m/s	0.91m/s
10 persons	0.61m/s	0.64m/s	0.67m/s	0.68m/s	0.73m/s
20 persons	0.55m/s	0.57m/s	0.58m/s	0.59m/s	0.60m/s
30 persons	0.45m/s	0.47m/s	0.47m/s	0.47m/s	0.48m/s
100lux	1.73%	6.1%	8.42%	13.6%	18.6%
1 persons	0.84m/s	0.86m/s	0.88m/s	0.90m/s	0.92m/s
10 persons	0.62m/s	0.66m/s	0.69m/s	0.70m/s	0.76m/s
20 persons	0.58m/s	0.59m/s	0.60m/s	0.60m/s	0.61m/s
30 persons	0.46m/s	0.47m/s	0.48m/s	0.48m/s	0.48m/s
200lux	1.73%	6.1%	8.42%	13.6%	18.6%
1 persons	0.85m/s	0.89m/s	0.90m/s	0.92m/s	0.92m/s
10 persons	0.63m/s	0.67m/s	0.70m/s	0.72m/s	0.78m/s
20 persons	0.59m/s	0.60m/s	0.61m/s	0.61m/s	0.62m/s
30 persons	0.46m/s	0.48m/s	0.48m/s	0.48m/s	0.49m/s

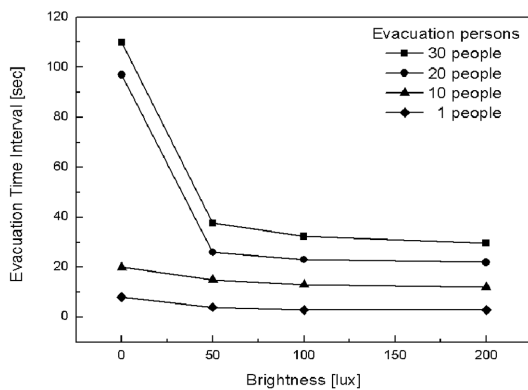
**Figure 8.** The results of escape time gap each person between people (transmit rate 1.73%).

Table 3과 Figure 8의 결과를 얻었다.

Table 3에 나타난 바와 같이 0~200lux에서의 10명 이상 군집 이동 시 가장 밝은 경우인 밝기 200lux, 투과율 18.6%의 경우와 가장 어두운 경우인 밝기 50lux, 투과율 1.73%의 이동속도 차가 10인, 20인, 30인 각각 0.17m/s, 0.07m/s, 0.04m/s로 나타났다. 이는 인원의 밀

집도가 높을수록 주변 밝기나 연기에 의한 투과율에 대한 이동속도 변화가 낮아지는 것으로 분석된다.

또한 Figure 8에서의 투과율 1.73%로 탈출 시 최초로 대피한 인원과 최후로대피한 인원의 탈출 시간차를 분석한 결과 인원별 시간차가 1인의 경우 4.1, 3.2, 3.0 초로 나타났으며, 30인의 경우 37.7, 32.3, 29.7초로 나타났다. 이는 인원이 군집일 경우 개인별 시간차가 크게 발생하게 됨에 따라 대피자가 정체되어 이동하는 것이 아닌 분산되어 이동하는 것으로 분석되었다.

5. 결 론

RTLS를 사용하여 실시간 위치추적을 통해 이를 다양한 상황에서의 군집 이동 시 개인별 속도를 측정하여 행동패턴을 분석한 결과 다음의 결론을 얻었다.

(1) 문의 크기에 따른 통과 흐름을 분석 결과 5인의 경우 최대 통과 흐름율이 1.0persons/sec 내외로 일정한 반면 30인의 경우 문의 폭이 커짐으로 인해 통과 흐름율이 지속적으로 상승하는 것으로 나타남에 따라 30인의 경우 문의 폭이 1.7m가 되어도 출구에서의 정체현상이 나타남을 알 수 있었다. 따라서 문 적정 간

격 산정 시 이러한 점을 고려해야 할 필요성이 있다.

(2) 복도에서 가시도에 따른 이동속도 변화 분석 결과 밝기 100lux와 200lux에서의 속도차는 거의 발생하지 않는 것으로 나타났으며 밝기가 어두워질수록 인원의 군집에 따른 이동속도차가 크게 발생하는 것으로 분석되었다.

(3) 계단에서 가시도에 따른 이동속도 변화 분석 결과 밀집도가 높을수록 주변 밝기나 연기에 의한 투과율에 대한 이동속도 변화가 낮아지는 것으로 분석되었다. 또한 인원이 군집일 경우 개인별 시간차가 크게 발생하게 됨에 따라 대피자가 뭉쳐져서 가는 것이 아닌 퍼져서 이동하는 것으로 분석되었다.

본 연구를 통해 RTLS를 통한 화재 발생시 대피자의 실시간 위치 추정을 통해 개인별 이동특성 분석이 가능한 것으로 나타났으며, 추후 실시간 경로 추적을 통한 인간의 행동패턴 특성 구축시 시뮬레이션을 통한 대피해석 프로그램의 실 적용에 대한 기초자료로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2008년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. KRF-2008-313-D01244).

참고문헌

1. T. Jin, "Visibility through Fire Smoke", J. of Fire & Flammability, Vol.9, pp.135-157(1978).
2. SFPE, "The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering", pp.2-42-53(2002).
3. K.E. Boyce, T.J. Shields, and G.W.H Silcock, "Toward the Characterization of Building Occupancies for Fire Safety Engineering", Fire Technology, Vol.24, No.1, pp.66-67(1999).
4. 김학중, 박용환, "엘리베이터 피난계산 고려인자에 관한 연구", 한국화재소방학회 논문지, Vol.24, No.1, pp.8-14(2010).
5. 서용희, 이창주, 정점래, 신성일, "대형 지하시설물에서 화재발생시 USN정보를 이용한 피난 유도 방안", 대한토목학회논문집, Vol.28, No.4D, pp.459-467(2008).
6. T.J. Shields, "Fire and Disabled People in Buildings", J. of the Royal Society of Health, Vol.56, No.6, pp.304-308(1994).
7. Z. Fang, J.P. Yuan, Y.C. Wang, and S.M. Lo, "Survey of Pedestrian Movement and Development of a Crowd Dynamics Model", Fire Safety Journal, Vol.43, pp.459-465(2008).
8. 표철식, "RFID 개요 및 기술·발전 동향: 소재에서부터 공정까지, RFID 기술 혁신 이뤄낸다", 부품소재(Materials & components networks), 부품. 소재통합연구단, Vol.20, pp.8-9(2007).
9. 손해원, 모희숙, 성낙선, "UHF RFID 기술", 전자통신동향분석, Vol.20, No.3(2005).
10. 정동호, 김정효, 지동환, 백윤주, "능동형 RFID를 이용한 RTLS의 설계 및 구현", 한국통신학회논문지, 06-12, 31, 12A, pp.1238-1245(2006).
11. 이종문, "RFID 기술의 도서관 적용 방안 연구", 한국도서관정보학회지, Vol.38, No.1, pp.157-171(2007).
12. 김정준, 김판규, 김동오, 이기영, 한기준, "공간 DSMS 기반 RTLS의 설계 및 구현", 한국공간정보시스템학회 논문지, Vol.10, No.4, pp.47-58(2008).
13. ISO/IEC 24730-1, Real Time Locating Systems (RTLS) - Part 1: Application Programming Interface (API)(2003).
14. Guylene Proulx, "Movement of People: The Evacuation Timing", the SFPE Handbook of Fire Protection Eng., SFPE(2003).