

종합병원에서의 피난 평가 알고리즘 개발

김응식*, 이정수**, 박성민*, 유희권*

호서대학교 환경안전공학부 안전공학과*, 충남대학교 건축공학과**

Development of Evacuation Assessment Algorithm in General Hospitals

Eung-sik Kim*, Jeong-su Lee**, Seong-min Park*, Hee-kwon You*

Dept. of Safety System Engineering, Hoseo University, Korea*

Dept. of Architectural Engineering, Chungnam National University, Korea**

1. 서론

병원 피난 평가를 위하여 필요한 기초 작업으로는 다양한 피난 데이터의 수집 및 변수의 설정 등이 있다. 가장 큰 영향을 미치는 변수의 설정을 통하여 병원 위험성 평가의 일반화된 도식화가 이루어질 수 있다. 이를 위하여서는 여러 병원을 대상으로 피난 실험을 수행함으로써 피난 시 영향을 미치는 변수들이 무엇인지, 전체 피난시간에 어떠한 영향을 미치는지 측정, 분석해야 한다. 이에 따라 측정해야하는 피난 변수는 크게 두 부류로 나뉘게 된다. 첫째는 개인 보행 속도, 문을 통한 유출계수 등 피난자인 환자에 관련된 부분이다. 대부분의 환자들은 일반인들과는 달리 거동이 자유롭지 못하거나, 보조기구를 사용하거나, 보호자의 부축을 통해 이동하기 때문이다. 따라서 환자의 장애 유형별로 이동 속도 및 문 통과 형태 등을 분석하는 과정이 필요하다. 둘째는 건축 구조에 관한 변수로서 입원실의 위치, 복도의 구조, 입원실에서 비상 탈출구까지의 거리, 문폭, 층 별 비상계단의 수, 위치 등이 이에 해당된다. 본 연구는 4개의 종합병원의 협조를 구하여 피난 실험을 함으로써 병원이라는 특수한 환경 하에서 피난에 영향을 미치는 변수를 산정하고 이를 통해 전체 피난시간을 유추함으로써 타 병원에서도 전체 피난시간도 예측 가능하도록 하였다.

2. 피난시간 평가방법

2.1 전체 피난시간 계산

병원에서 모든 환자들을 대상으로 한 피난 실험은 환자의 안전을 위해서 할 수가 없기 때문에, 거동이 가능한 환자들은 대상으로 피난 실험을 하였으며 실험 데이터 분석 결과

및 피난시간 계산법에 의해 전체 피난 예상시간에 유추한다. 병원의 구조는 양 측의 탈출구를 가진 'X·T'자형 구조, 'T'자형 구조, '-'자형 구조로 구성되어 있으며 국내의 거의 모든 종합병원의 구조를 포함하고 있다. 본 연구에서 전체 피난시간 예측은 다음과 같이 한다.

(1) 전체 인원 입력

전체 인원을 정상 인원과 이동능력이 떨어지는 환자 군으로 나뉘되 이동 능력이 떨어지지 않는 환자는 정상인으로 간주한다. 그리고 유출계수의 산정을 위해 전체 인원 중 정상인원 즉 아무런 도움이나 기구 없이 스스로 이동 가능한 인원의 비율을 구한다.

(2) 건물 데이터 입력

각 병실 끝에서 병실문까지의 길이, 병실문에서 비상출구까지의 길이 및 각 비상출구의 문폭을 입력한다.

(3) 병실문 통과시간

병실문 통과시간은 화재 인지 후 해당 병실문을 나서는데 까지 걸리는 시간으로, 화재 인지 후 행동을 시작하기까지의 반응시간(response time)과 방문까지의 이동 시간을 더한 값이다. 본 실험에서는 전체 35개의 입원실에서 병실문 통과를 측정하여 얻은 결과에서 전체 분포의 4/3에 해당하는 값인 75분위수로 하였다(52.25 sec : 평균 38.39 sec). 그 이유는 이 수치에는 피난 실험 중 이동이 불가능한 환자의 데이터는 빠져있어 좀 더 가혹한 수치를 적용해야 할 것으로 사료되기 때문이다

$$\text{병실문 통과시간} = \text{반응시간} + \text{방 이동시간}$$

(4) 복도 피난시간 계산

가장 먼 길이를 이동하는 환자가 비상출구에 도달하는 시간을 계산한다. 이때 환자의 이동 속도는 기존의 환자 유형별 이동 속도 실험 결과에서 전체 분포의 1/4에 해당하는 값인 25분위수로 하였다(0.625 m/sec : 평균 0.833 m/sec). 이는 이동속도가 느린 환자의 피난 여부가 전체 피난에 미치는 영향이 매우 크기 때문이다.

(5) 정체구간 통과시간 계산

유출계수를 산정한 후 이를 사용하여 환자의 정체가 예상되는 곳의 탈출시간과 최소 복도 보행 시간을 더하여 비상출구 통과시간을 구한다.

(1)

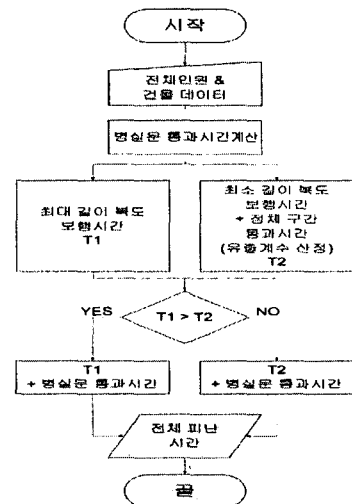


Fig. 1. Diagram of total egress time estimation algorithm

(6)전체 피난시간 계산

(4) 와 (5)에서 얻어진 값 중에서 큰 값에 실험에서 얻어진 평균 병실문 통과시간을 더 하여 전체 피난시간을 계산한다. 이것은 가장 긴 탈출로와 탈출구의 병목현상 중 어느 것이 피난 시간에 더 큰 영향을 주는지 알 수 있게 해준다.

위의 내용을 바탕으로 본 연구에서 개발한 전체 피난 계산 알고리즘은 Fig. 1. 과 같다.

2.2 유출계수

유출계수란 문폭이 결정되어 있을 때 단위 시간 당 이 문을 통과할 수 있는 인원수를 예측하는데 쓰이는 계수로서 피난시간 평가를 위해서는 매우 유용한 변수이다. 일반인의 경우와는 달리 환자들의 경우는 Fig. 2. 에서와 같이 서로 다른 이동속도와 면적을 갖고 있기 때문에 병원에서의 유출계수를 구하기 위해서 병원 측과 환자의 협조를 얻어 실험을 실시하였다. 이를 위하여 4개 병원의 6개 비상 탈출구에서 환자들의 정제 상황을 만든 후 피난을 실시하였고 정상인과 환자의 구성 비율을 변수로 하여 유출계수를 도출해 낼 수 있었다. Fig. 3. 은 실험 사진으로 병원별로 실험이 가능한 환자를 비상구 앞쪽에 모두 위치시킨 후 이들이 비상구를 통과하는 시간을 측정하였다.

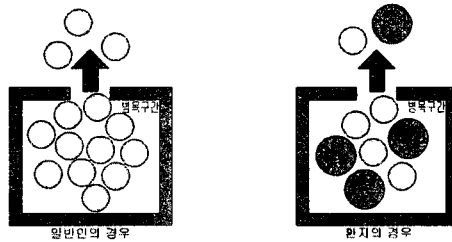


Fig. 2. Outflow figures of general people and patients

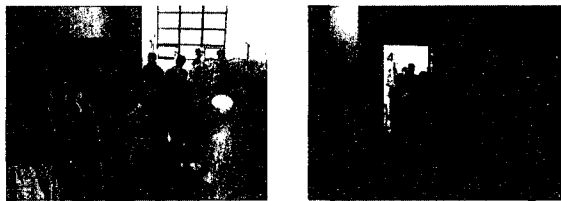


Fig. 3. Outflow coefficient measurement experiment

유출계수는 일반적으로 정상인의 경우 1.3~1.6 명/(m*sec)의 값을 갖고 실험을 통하여 구할 경우 식 2. 를 이용한다.

$$\text{유출계수} = \text{피난 인원} / (\text{문폭} * \text{피난시간}) \text{ 명}/(\text{m} * \text{sec}) \quad (2)$$

예를 들어 유출계수를 1.5 명/(m*sec) 로 가정하면 정상인 90명이 1m 문폭의 정체구간을 통과하는데 걸리는 시간은 60 sec 로 계산된다.

Table 1. Measurement of outflow coefficient at 6 ward

	45병동-A	45병동-B	51병동-A	51병동-B	81병동-좌	81병동-우
유출계수	0.68	0.55	0.23	0.24	0.6	0.53
시간	28	32	25	56	46	38
문폭	1.2	1.2	1.2	1.2	0.9	0.9
인원	23	21	7	16	25	18
정상인 구성 비율	0.65	0.71	0.14	0.38	0.60	0.67

본 실험에서는 6개의 비상탈출구에서 Table 1. 과 같은 측정 결과를 얻을 수 있었으며 이를 이용하여 식 3. 과 같은 유출계수 산정식을 도출해 냈다. Fig. 4. 는 이의 그래프이다. 병동 내에 스스로 이동이 가능한 정상인의 구성 비율을 알 수 있으면 바로 적용이 가능하다.

$$y = 0.145 \exp^{0.0211x} \quad (3)$$

y : 유출계수, x : 전체 환자중 정상이동이 가능한 환자의 비율

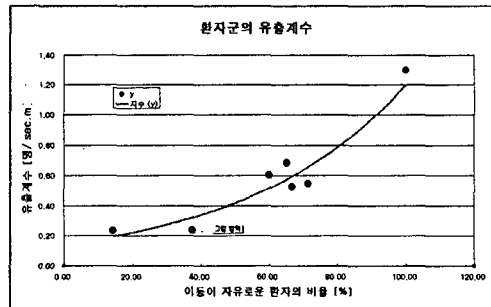


Fig. 4. The graph of outflow coefficient

3. 병원 피난 시간 측정

3.1 실험 대상 선정 및 방법

피난에 관한 실험을 수행하기 위해 총 4군데 종합병원의 협조를 구하였으며 앞으로 이들 병원을 A병원, B병원, C병원, D병원이라고 부르기로 한다. 이들 병원에서 협조가 가능한 병동을 선택하여 계단실이 있는 안전 구획 안으로 피난하는 층별 피난 실험을 실시한다. 여기서 각 개인의 동선별 이동속도, 입원실 탈출시간, 비상구 탈출시간 및 최종 탈출구에서의 유출계수를 각각 측정하였으며 실험 시작 시부터 모든 환자가 최종 탈출구를 탈출하는 총 피난시간을 측정한다.

Table 2. Estimation of total egress time at hospitals

병동	정체가 있는 경우				정체가 없는 경우			최대 이동속도 (m/sec)	최소 이동속도 (m/sec)	평균 방 탈출시간 (sec)	참가 인원 (인)
	유출계수 (인/m·sec)	최소복도 보행거리 (m)	복도 피난 시간 (sec)	전체 피난 예상 시간 (sec)	최대 복도 보행거리 (m)	복도 피난시간 (sec)	전체피난 예상시간 (sec)				
45A	0.64	5.10	38.39	66.66	9.00	10.98	66.54	1.13	0.81	30.71	17
45B	0.45	5.10	34.22	72.61	9.00	10.98	66.54	0.69	0.46	36.73	15
51A	0.28	5.60	45.89	84.28	9.00	10.98	66.54	0.79	0.21	56.93	14
51B	0.45	5.60	34.83	73.22	9.00	10.98	66.54	0.77	0.26	23.72	18
43	0.36	2.28	35.38	73.77	28.08	34.24	96.82	0.84	0.68	30.14	21
81좌	0.39	18.55	64.96	103.35	37.05	45.18	111.06	1.64	1.36	35.68	19
81우	0.34	17.50	48.32	86.71	37.50	45.73	111.77	1.07	0.44	60.93	19
서	0.25	39.58	84.01	122.40	46.18	56.32	125.55	1.61	0.38	57.07	15

Table 2. 는 Fig. 1. 의 피난 계산 알고리즘을 적용하여 피난 시간을 예측하기 위한 변수들의 값을 정리한 표이다. Table 2. 에서 정체가 있는 경우와 없는 경우의 전체 피난 시간을 비교하여 피난 시간을 평가 한다. 그 결과 45A, 45B, 51A, 51B 병동의 경우 정체가 있을 것으로 판단되어 각각 66.66sec, 72.61sec, 84.28sec, 73.22sec의 전체 피난 시간이 예측된다. 하지만 43, 81좌, 81우, 서 병동의 경우에는 정체가 없을 것으로 판단되어 각각 96.82sec, 111.06sec, 111.77sec, 125.55sec의 전체 피난 시간이 예측된다. 이 중 81좌, 81우, 서 병동의 경우에는 정체가 없을 것으로 판단되었지만 최종 탈출구 까지 긴 복도(각각 37.05m, 37.50m, 46.18m)로 인해 다른 병동에 비하여 전체 피난 시간이 매우 오래 걸림을 알 수 있다. Fig. 5. 는 각 병동 별 피난 입원실, 피난 경로 및 최종 출구를 나타낸다.

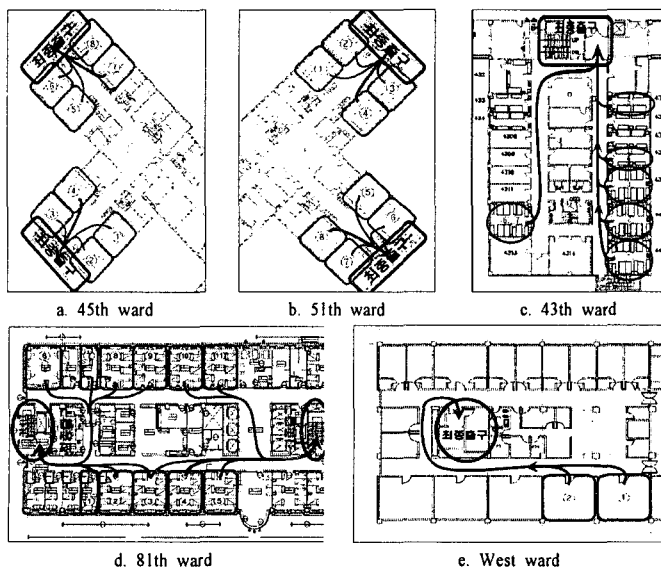


Fig. 5. The ground plan of hospitals

3.2 실제 피난시간 및 전체 피난 예상 시간의 비교

각 병원의 출구 별 실제 측정된 피난시간 및 본 논문에서 개발한 알고리즘을 적용한 예측 피난시간에 관한 비교가 Table 3. 과 Fig. 7. 에 나타났다. 아래와 같이 두 결과가 비슷한 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 따라서 다른 종합병원의 피난 평가에도 적용 가능하리라 사료된다.

Table 3. Practical egress time and estimated egress time

	A 병원 45-A	A 병원 45-B	A 병원 51-A	A 병원 51-B	B 병원 43	C 병원 좌	C 병원 우	D 병원 서
실제피난시간(sec)	85	75	108	100	79	83	128	165.67
예측피난시간(sec)	66.66	72.6	84.28	73.22	96.82	111.06	111.77	125.55

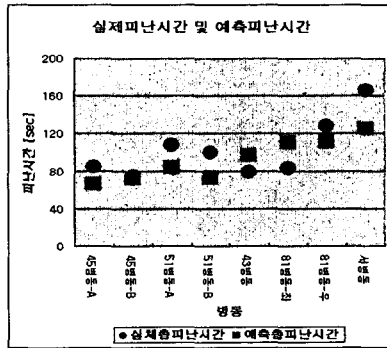


Fig. 7. Comparison between practical egress time and estimated egress time

4. 결론

- (1) 4개 병원의 35개 병실을 대상으로 입원실 문통과시간을 측정한 결과 평균 38.39 sec, 최대값 209 sec, 최소값 2 sec, 표준편차 30.33 sec로 나타났다. 이 수치는 반응시간이 포함되어있는 값으로 큰 편차와 최대값을 갖고 있어 위급 상황 시 피난 자체가 불가능해 질 수도 있음을 보여주고 있다. 따라서 병원의 경우 초기진화가 매우 강조되어야 한다고 사료된다.
- (2) 전체 피난시간에 있어서는 환자의 구성 비율이 피난에 큰 변수로 작용하게 된다. 따라서 환자의 구성 비율을 변수로 하여 유출계수 산정식을 구하였다.
- (3) 실험을 통해 구해진 유출계수와 방 탈출시간을 이용하여 평가한 피난시간과 실제 병원별 피난시간을 비교하여 누구나 쉽게 사용할 수 있는 피난시간 평가 알고리즘을 개발하였다. 이 알고리즘은 다른 종합병원의 피난시간 평가에도 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

- (4) 가장 일반적인 ‘-’자형 복도의 구조를 갖는 C, D병원의 경우 각각 이동거리, 37.5m, 46m로 피난로를 설정하여 대피실험을 하였다. 전체 피난시간 유추 시 병목현상은 기대되지 않았지만 두 병원 모두 100초 이상의 피난시간이 소요된다.(C병원: 111.77sec, D병원: 125.55sec) 따라서 ‘-’자형 복도의 병원에서는 피난계획 수립 시 짧은 피난로의 선택이 필수적이다.

참고문헌

1. "SFPE Handbook of Fire Protection Engineering" 3rd Edition Chap. 3-12.
2. 윤승진, “재실자의 피난형태 모델링에 관한 연구”, 호서대학교 산업안전공학과 석사논문, 1999. 2.
3. 김응식, 백상현, “대피시뮬레이션 프로그램에 대한 고찰”, pp. 33-38, 99 한국산업안전학회 춘계학술 논문발표회 논문집, 1999. 6.
4. 김응식, 이정수, “초등학교 공간구성형식에 따른 피난행태 특성분석”, 건축학회 논문집, 1999
5. 김응식, 이정수, “영·유아 이용시설 피난행태 특성분석”, 건축학회 논문집, 2001
6. 김응식, 이정수, 김수영, “초등학교 현장실험을 통한 피난특성 분석”, pp185, 한국화재·소방학회 춘계학술 논문발표회 논문집, 2003
7. 김응식, 이정수, 김수영, 이필호, 유희권, “한국 노인의 보행속도 연구”, pp407, 한국화재·소방학회 춘계학술 논문발표회 논문집, 2003
8. 김응식, 이정수, 김수영, “초등학생의 피난 훈련 상황하에서의 이동속도 측정 및 분석에 관한 연구”, 한국화재·소방학회 논문집 제17권 제4호, 2003
9. 호서대학교·보건복지부, 대피 시뮬레이션 시스템 개발을 위한 조사연구, -유치원 및 어린이집을 대상으로-, 2001
10. 호서대학교·보건복지부, 대피 시뮬레이션 시스템 개발을 위한 조사연구, -노인복지 시설을 대상으로-, 2003
11. 충남대학교·보건복지부, 대피 시뮬레이션 시스템 개발을 위한 조사연구, -종합병원을 대상으로-, 2005
12. 이수경, 정용기, 고한목, “최신 건축방화” p200, 도서출판 義穉, 1998.