

건축물내 자체발광식 피난유도선 설치에 따른 피난성능 평가 The Evaluation of the Egress Performance in the Buildings Installed with Luminous Egress Guide-lines

박용환[†] · 김범규 · 임채현*

Yong-Hwan Park[†] · Beom-Gyu Kim · Chae-Hyun Lim*

호서대학교 소방방재학과, *서울시청
(2011. 9. 19. 접수/2011. 11. 18. 수정/2011. 12. 9. 채택)

요 약

고시원 등 다중이용업소의 경우 밀집화된 공간구조로 인해 화재 시의 인명위험도가 크게 부각됨에 따라 해당 건축물에 발광식 피난유도선의 설치를 도입함으로써 거주자의 피난안전성 확보를 꾀하고 있다. 그러나 자체발광식 피난유도선의 설치에 따른 피난성능 향상의 정량적, 정성적 평가에 대한 국내의 연구는 거의 없는 실정인바, 본 연구에서는 기존의 피난유도등과 새로운 자체발광식 피난유도선에 대하여 다양한 피난시나리오에 따른 피난성능을 실험적으로 평가하였다. 실험결과 피난유도선 및 유도등 모두 법적 기본 성능기준을 만족하였으나, 7%의 낮은 연기투과율에서는 피난유도선의 식별거리가 유도등에 비해 약 3배 정도 뛰어난 식별성능을 나타내었다. 또한 연기투과율이 낮을수록 피난유도선쪽이 피난유도등에 비해 피난시간이 훨씬 짧은 것을 볼 때 성능 측면에서 피난유도선이 훨씬 효과적인 것으로 관측되었다. 피난유도선 미설치 시에는 피난시간 증가율이 피난밀도나 연기투과율에 크게 영향을 받았으나 피난유도선 설치 시에는 별 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

ABSTRACT

Recently luminous egress guide-lines are introduced for the fire safety of residents in the multi-use buildings such as Gosiwon. Little literature, however, on the quantitative and qualitative estimation for the egress performance of the luminous egress guide-lines can be found. This study carried out experimental investigations to evaluate the egress performance of the existing egress guide-lights and new luminous egress guide-lines. The results showed that both luminous egress guide-lines and egress guide-light satisfied the basic performance of KFI requirements. Under the 7% smoke transmittance, however, luminous egress guide-lines showed 3 times longer visibility and less evacuation time than egress guide-lights. The evacuation density and smoke transmittance have significant effect on the evacuation time increase without the luminous egress guide-lines, however little effect with the installation.

Key words : Luminous egress guide-lines, Egress performance, Gosiwon, Evacuation time, Evacuation density

1. 서 론

최근 경제발전 및 건축기술의 발전으로 도시의 건축물은 점차 초고층화, 심층화, 복합화, 대규모화 되어 가고 있으며, 또 한편으로는 급변하는 사회적 현상으로 인해 1~2인 주거형태의 원룸이나 고시원, 도시형생활주택과 같은 매우 다양한 형태의 건축물도

나타나고 있다. 고시원과 같은 고밀도 주거공간은 좁고 밀폐된 공간에서 불특정 다수인이 많이 이용한다는 점에서 화재발생 가능성이 높고, 피난로가 제한적이어서 화재시 대형 인명피해의 위험성을 내포하고 있다.¹⁾

이에 관련 부처에서는 해당 건축물에 대해 자체발광식(일명 광원점등식) 피난유도선을 설치 의무화 하는 등 피난설비에 관한 기준을 강화함으로써 피난안전성 확보를 요구하기에 이르렀다.¹⁾ 그럼에도 불구하고 현

[†]E-mail: yhpark@hoseo.edu

재 자체발광식 피난유도선의 설치에 따른 정량적, 정성적 성능평가에 대한 국내의 연구사례는 전무한 것으로 조사되어 이에 대한 검토가 시급한 실정이다.^{2,5)}

본 연구에서는 피난유도등과 피난유도선에 있어 성능적으로 가장 중요하다고 판단되는 항목을 시험 평가한 후, 피난 모의실험을 통하여 각 설비의 피난유도성능을 비교 평가하였다.

주요 항목으로는 조도 및 휘도, 식별도 성능을 화재 평상시와 화재로 인한 정전시로 구분하여 측정하였으며, 피난설비의 설치 유무, 복도의 구조, 피난밀도(피난자수), 연기투과율 등 다양한 화재피난 시나리오에 따라 각 피난설비의 피난유도성능을 평가하였다. 가시도 변화에 따른 피난시간을 측정하기 위해서는 연기농도를 모사하기 위하여 연기투과율 조절이 가능하도록 특수 제작된 안대를 피난자에게 착용하여 실험을 수행하였다.

2. 관련 기준

2.1 설치기준

a) 피난유도등: 복도에 설치하며 구부러진 복도에 설치하며 구부러진 모퉁이 및 보행거리 20m마다 설치하되 바닥으로부터 높이는 1m 이하로 하며, 바닥에 설치하는 통로유도등은 하중에 따라 파괴되지 아니하는 강도의 것으로 설치하도록 규정하고 있다. 설치체의 장소는 구부러지지 않은 복도 또는 통로로서 길이가 30m 미만인 장소 또는 이에 해당하지 않는 보행거리 20m 미만의 장소로 제한하고 있다.⁶⁾

b) 발광식 피난유도선: 숙박형 다중이용업소인 고시원 또는 산후 조리원업의 내부 통로·복도에 설치하되, 벽체에 설치하는 경우 바닥으로부터 1m 이하의 위치에 50~70cm 간격으로 설치하고, 바닥에 설치하는 경우 피난방향이 표시된 객석유도등 형태 또는 띠형태로 50~70cm 이내 간격으로 설치하며, 폭은 최소 20mm 이상으로 한다. 비상전원은 20분 이상 유지할 수 있어야 하며, 상시점등 또는 소방시설등과 연동되어 점등되는 구조로 한다.¹⁾

2.2 성능기술기준

본 연구에서 수행된 피난유도선 및 피난유도등에 대한 KFI 기술기준은 발광식 피난유도선의 경우 KFI 인정기준, 피난유도등은 검정기술기준에서 각각 규정하고 있다. 이 중 피난성능과 관련한 주요 시험항목과 시험기준을 요약하면 Table 1과 같은데, 식별도 시험은 공통이지만 피난유도선의 경우 휘도시험 항목이 있는

Table 1. The Test Provisions for Luminous Egress Guidelines and Egress Guide-light

구분 항목	피난유도선 <KOFEIS 060>	피난유도등 <KOFEIS 0401>
휘도시험	- 상용전원 및 비상전원 점등상태에서 20 cd/m ² 이상 - 주위조도 0 lx, 휘도계 측정각 1°, 표시부 전면 1m 거리 조건에서 측정	규정없음.
조도시험	규정없음.	유도등의 중앙으로부터 0.5m 떨어진 위치의 바닥면 조도와 유도등의 전면 중앙으로부터 0.5미터 떨어진 위치의 조도는 1 lx 이상
식별도 시험	상용전원은 직선거리 20m, 비상전원은 직선거리 15m의 위치에서 보통시력에 의해 피난 방향 및 피난유도선 쉽게 식별	상용전원은 직선거리 20m, 비상전원은 직선거리 15m의 위치에서 보통시력에 의해 표시면의 화살표가 쉽게 식별

반면 피난유도등의 경우는 조도시험을 하도록 제시하고 있다.^{7,8)}

3. 시험방법

3.1 실험조건 및 시나리오 설정

Table 1에 명시된 시험기준에 의거하여 휘도시험(피난유도선), 조도시험(피난유도등), 식별도시험을 수행하였다. 그리고 화재시 연기확산에 의한 가시도 변화에 따른 피난성능을 분석하기 위하여 연기투과율을 27%, 17%, 7%의 세 가지 시나리오에 대하여 피난유도성능 모의실험을 수행하였다. 이 때, 각 투과율은 식(1)로 산출된 감광계수와 Table 2에 나타난 가시거리의 상관관계를 통해 산정하였다.^{9,10)}

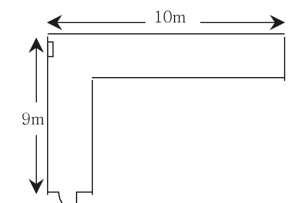
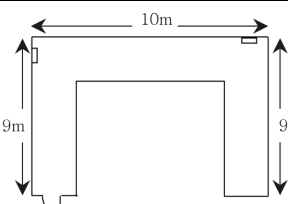
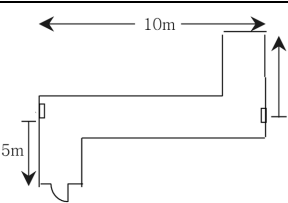
$$Cs = \frac{1}{L} \cdot \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) \tag{1}$$

단, Cs는 감광계수(m⁻¹), 은 광원과 수광체 간의 거리(m), I₀는 연기가 없을 때의 빛의 세기(Lux), I는 연기가 있을 때의 빛의 세기(Lux)를 나타낸다. 이 때 투과율(T)은 (I/I₀)*100으로 표현된다. 시험에 사용한 특수안대는 Table 2와 같이 빛 투과율(T) 측정과 가시거

Table 2. Visibility and Depreciation Sensitivity According to the Smoke Transmittance

투과율[27%] (Case 1)		투과율[17%] (Case 2)		투과율[7%] (Case 3)	
가시거리 (m)	감광계수 [l/m]	가시거리 (m)	감광계수 [l/m]	가시거리 (m)	감광계수 [l/m]
1	1.309	1	1.833	1	2.659
5	0.262	5	0.366	5	0.532
10	0.131	10	0.183	10	0.266
15	0.087	15	0.122	15	0.177
20	0.065	20	0.092	20	0.133

Table 3. Egress Scenarios for Experimental Simulation

피난설비 유, 무	① 평상시(주위조명 점등 + 투과율 100%) ② 정전시(주위조명 소등 + 투과율 100%) ③ 피난유도등만 점등시 ④ 피난유도선만 점등시 ⑤ 피난유도등과 피난유도선 동시 점등시
가시도 (투과율)	① 27% 특수안대 착용시 ② 17% 특수안대 착용시 ③ 7% 특수안대 착용시
피난자 수	① 1인의 경우 ② 5인의 경우 ③ 10인의 경우
복도 구조	'ㄱ' type 
	'ㄷ' type 
	'ㄹ' type 

단, □는 피난유도등 설치위치 임.

리(L) 측정을 통해 감광계수(Cs)를 구하여 제작하였다.

피난유도선 및 피난유도등의 피난효용성 평가를 위한 모의실험에서는 Table 3과 같이 피난통로(복도)의 구조('ㄱ', 'ㄷ', 'ㄹ' 형태의 세가지 기본 구조로 하였으며 복도 폭은 관련법에 따라 1.5m로 동일하게 설정) 및 피난밀도에 따른 영향을 고찰하기 위하여 직접 실험 현장에서 각 투과율 별로 해당 층 출입문까지의 총 피난시간을 측정하였다.

3.2 휘도시험(피난유도선) 및 조도시험(피난유도등)

피난유도선의 휘도시험에는 삼각대, 휘도계, 조도계, 줄자, 특수안대가 사용되었으며 다음과 같이 수행하였다. 피난유도등 및 피난유도선을 상용전원에 의해 점등되도록 한 뒤 조도계를 사용하여 주위조도가 0 Lux 가 되도록 설정하고, 측정각 1°인 휘도계를 삼각대에 설치 후 표시부 전면 1m 거리에서 각 투과율 별로 5회 이상 측정하여 평균값을 산출하였다.

피난유도등 조도시험의 경우도 상용전원 시 주위조도가 0 Lux인 상태로 설정하여, 각 Case 별 조도를 5회 이상 반복측정하고 평균값을 도출하였다. Figure 1은 실험장치 설치 시 조도 및 휘도측정 모습을 나타낸 사진이다.



a) A testing of egress guide-light's illuminance b) A testing of egress guide-line's luminance

Figure 1. Experimental setup for illuminance test and luminance test.



a) Egress guide-light b) Egress guide-line

Figure 2. Distinguishability test.

3.3 식별도시험

식별도 시험의 경우 각 설비의 KFI 기준에 근거하여 Figure 2와 같이 수행하였으며, 피난유도선과 피난유도등 모두 상용전원으로 점등되도록 설정한 후 주위조도를 10 Lux에서 30 Lux의 범위에 포함되도록 조절하였다.

각 시나리오별로 보통시력의 실험자 10인을 각 피난유도설비로부터 20 m 이격 배치한 뒤 정전과 동시에 식별 여부를 확인하고, 연기로 인한 식별거리 감소 시에는 실험자별로 최소 식별거리를 측정하여 평균값을 산정하였다.

3.4 피난유도성능 모의실험

피난유도성능에 대한 모의실험은 복도구조, 피난유도선 및 피난유도등의 설치 여부 및 투과율별로 피난자수에 따라 실험조건을 설정하고 초시계를 사용하여 피난완료시간을 측정하였다. 또한, 복도구조 별 보행거리의 상이성을 고려하여 피난시간 측정결과를 복도 전체 길이로 나눈 뒤 단위거리당 피난시간을 비교함으로써 구조별 피난시간을 평가하였다. 단, 이 경우 복도 피난유도등 및 피난유도선은 화재 시 작동되어 있는 조건으로 계획하여 화재 시 예상되는 피난시간을 측정하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 조도 및 휘도 시험

피난유도등의 조도시험 및 피난유도선의 휘도시험에서는 각각 5회 측정 후 평균값을 도출하였으며, Table 4는 조도 및 휘도 측정 결과를 나타낸 표이다.

피난유도등의 조도측정 결과 평상시에는 KFI 인정기준 값의 약 68배 정도였고, 화재 연기로 인한 투과율 7% 시에도 약 3배 정도 높게 나타났다. 투과율이 낮아짐에 따라 조도가 급격하게 감소됨을 보였다. 피난유도선의 휘도측정 결과는 평상시에는 인정기준의 약 24배 정도였고, 화재 연기로 인한 투과율 27%까지

Table 4. The Results of Illuminance Test and Luminance Test

	평상시	Case 1	Case 2	Case 3	KFI 기준
유도등조도 (Lux)	68.6	17.08	8.29	3.3	1
유도선휘도 (Cd/)	241.4	25.29	7.97	2.59	20

는 인정기준을 상회하였으나, 그 미만에서는 인정기준을 하회하는 것으로 나타나 피난유도성능에 대한 불확실성이 크게 증가하였다.

4.2 식별도 시험

식별도 시험 결과는 Figure 3(a)에서 보는 바와 같이 연기투과율이 낮아짐에 따라 피난유도선보다는 피난유도등의 식별거리가 훨씬 짧아졌으며, 투과율 7%에서는 식별거리가 5 m 이하로 크게 떨어졌다. 이는 피난유도선의 식별성능이 피난유도등보다 훨씬 우수함을 보여 준다.

Figure 3(b)는 피난유도등 및 피난유도선에 표시된 방향표시부의 식별거리를 측정한 결과로서 정전 초기에는 피난유도등 및 피난유도선의 식별거리가 기준값인 15 m 이상으로 비슷하였으나 투과율이 낮아짐에 따라 피난유도선의 식별거리 측정값이 다소 낮게 나타났다. 이는 방향표시부의 크기가 피난유도등의 경우가 더 크기 때문에 표시부 식별이 더 용이하기 때문으로 분석되었다. 단, 현장 건물에 설치된 피난유도선은 발생 연기로 인해 개별 방향표시부의 식별거리는 다소 짧아

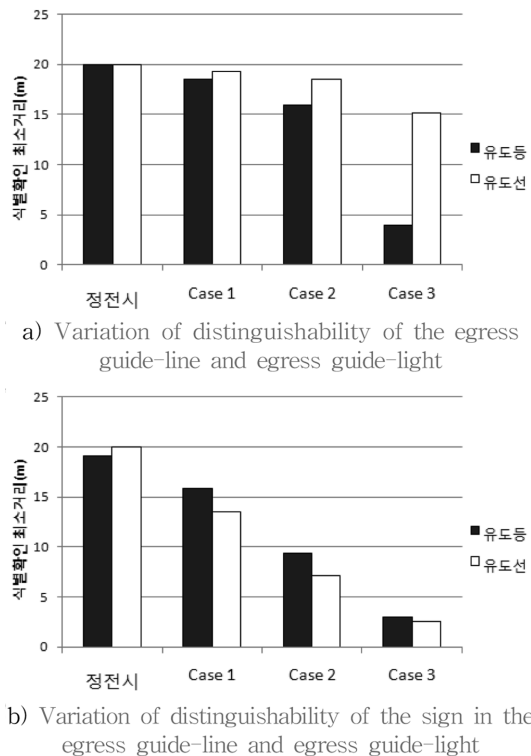


Figure 3. The results of distinguish-ability tests.

지더라도 복도에 연속된 띠의 형태로 설치되므로 피난 유도등에 비해 오히려 표시부 식별이 용이할 것으로 추정된다.

4.3 피난유도성능 실험

4.3.1 복도구조에 따른 피난시간

Figure 4~6은 각각 ‘ㄱ’형, ‘ㄷ’형, ‘ㄹ’형 복도구조에서 피난자수 10인이 피난을 하였을 경우 피난유도설비 설치조건별 피난시간 변화를 나타낸 그래프이다.

그림에서 보는 바와 같이 복도 구조에 관계없이 모두 피난유도설비가 설치되어 있는 경우가 피난유도설비가 없을 경우보다 피난시간이 훨씬 단축되었으며, 연기발생 증가로 투과율이 점점 낮아질 경우 피난시간 단축 효과는 더욱 뚜렷하게 나타났다. 또한, 피난유도등보다는 피난유도선을 설치한 경우가 피난시간이 훨씬 짧은 것을 볼 때 피난유도선이 피난유도등보다 피난성능 측면에서 훨씬 효과적인 것으로 평가할 수 있다.

동일 피난거리를 갖는 ‘ㄹ’형 복도의 경우 ‘ㄱ’형 복

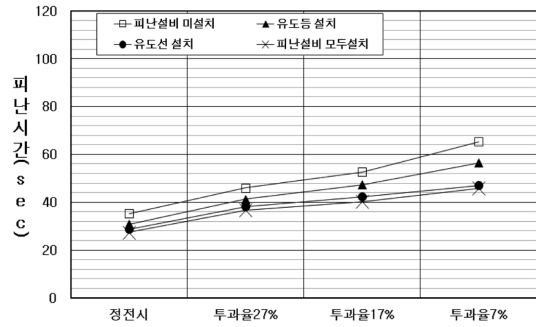


Figure 6. Egress time installed with the different type of egress-guide equipment (‘ㄱ’ type, 10 refugee).

Table 5. Egress Time Per Unit Distance at Smoke Transmittance of 7 Percent

	피난유도선 미설치시			피난유도선 설치시		
	‘ㄱ’형	‘ㄷ’형	‘ㄹ’형	‘ㄱ’형	‘ㄷ’형	‘ㄹ’형
피난시간 (sec/m)	3.1	3.6	3.4	2.3	2.4	2.3

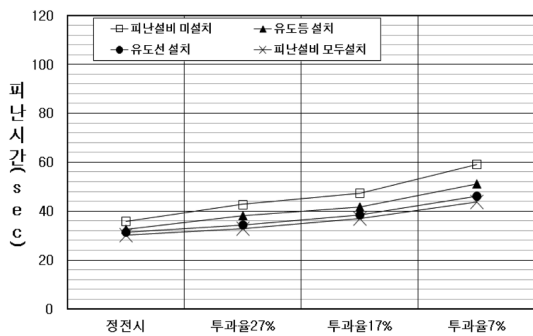


Figure 4. Egress time installed with the different type of egress-guide equipment (‘ㄱ’ type, 10 refugee).

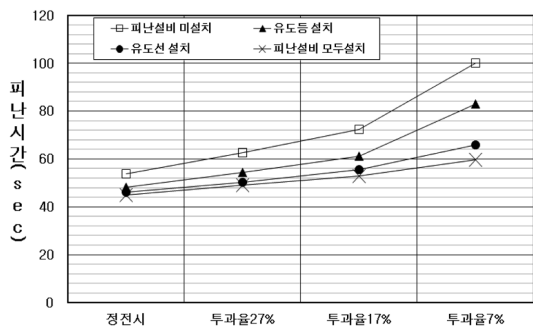


Figure 5. Egress time installed with the different type of egress-guide equipment (‘ㄷ’ type, 10 refugee).

도에 피해 전반적으로 피난시간이 조금씩 길게 나타났는데, 이는 복도 내 코너가 많아질수록 보행방향 변경 횟수가 증가하고 코너부근에서의 정체시간이 길어져 피난시간이 조금씩 길어지는 것으로 추정되었다.

‘ㄷ’형 복도구조의 피난시간이 ‘ㄱ’형이나 ‘ㄹ’형에 비해 절대적으로 길었던 것은 복도의 총피난거리가 길었던 탓으로 보이며, 이를 감안하여 피난시간을 총피난거리로 나눈 단위거리당 피난시간 분석을 실시하였다. Table 5는 연기투과율 7% 조건에서 복도구조별 단위거리당 피난시간을 나타낸 것으로, 피난설비 미설치 ‘ㄷ’형이 약 3.6 sec/m로 ‘ㄱ’형의 3.2 sec/m이나 ‘ㄹ’형의 3.4 sec/m에 비해 훨씬 큰 것으로 나타났다.

연기투과율 7% 조건에서 피난설비 설치 시에는 단위거리당 피난시간이 약 2.3 sec/m 내외로 비슷하게 나타나 피난속도가 크게 빨라졌으며, 복도 구조에 관계없이 피난속도가 일정하게 유지될 수 있음을 나타낸다. 이는 피난유도선 설치에 따른 피난유도 성능이 복도의 구조가 복잡할수록, 복도길이가 길수록 더욱 효과적임을 의미한다.

4.3.2 피난밀도에 따른 피난시간

4.3.2.1 ‘ㄱ’, ‘ㄹ’형 복도

동일 피난거리를 갖고 있는 ‘ㄱ’형과 ‘ㄹ’형 복도 구조에 있어서 피난밀도별 피난시간 측정시험 결과는 Figure 7~8에서 보는 바와 같이 매우 비슷한 양상을 보

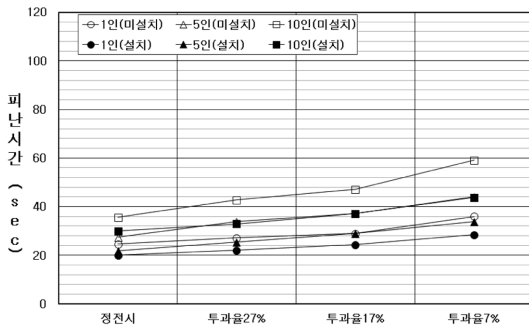


Figure 7. Egress time with the different evacuation density ('ㄱ' type).

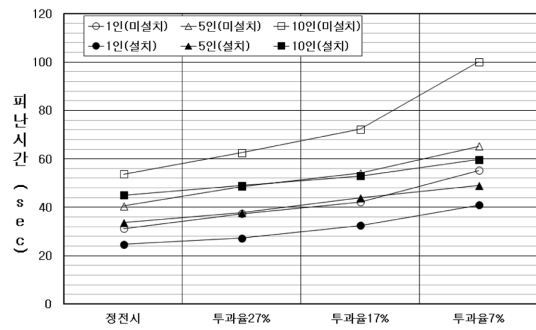


Figure 9. Egress time with the different evacuation density ('ㄷ' type).

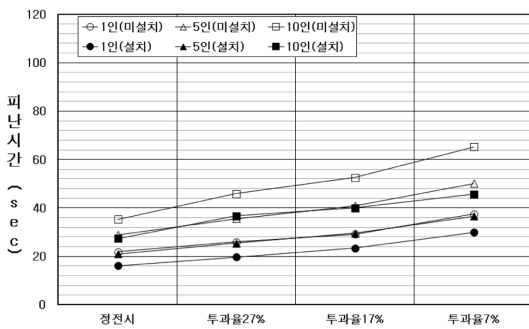


Figure 8. Egress time with the different evacuation density ('ㄷ' type).

이고 있다.

두 복도 모두 피난설비가 미설치된 경우 피난밀도가 높아질수록, 그리고 연기투과율이 낮아질수록 피난시간이 훨씬 긴 것으로 나타났으며, 이러한 변화는 특히 연기투과율이 낮아질수록 그 격차가 더욱 크게 나타났다. 피난유도선이 설치된 경우에는 피난밀도 증가나 연기투과율 감소에 따라 피난시간은 증가하였으나, 그 증가율은 피난밀도나 연기투과율에 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

4.3.2.2 'ㄷ'형 복도

'ㄷ'형 복도 피난에 있어서 피난유도선 설치 유·무 및 연기투과율에 따른 피난밀도(피난자수)의 영향은 Figure 9에서 보는 바와 같이 피난유도선 미설치의 경우 피난자수가 1인~5인 피난의 경우 연기투과율 7% 까지 지속적으로 완만한 피난시간 증가율을 나타냈으나 10인 피난 시에는 연기투과율 7%에서 피난시간이 급격하게 증가하는 것으로 나타나 일정 투과율 이하에서는 피난자수(피난밀도)에 따른 영향이 커짐을 알 수

있다.

반면 피난유도선 설치의 경우는 피난자수의 증가에도 불구하고 연기투과율 감소에 따라 피난시간이 급격하게 증가하지 않는 것으로 나타났다. 피난유도선 설치에 따른 피난밀도별 피난시간 감소율은 미설치 시에 비해 화재초기 정전시에는 약 16~27%, 투과율 27%의 경우 약 22~28%, 투과율 17%의 경우 약 20~28%, 투과율 7%의 경우 약 16~40% 정도 감소하는 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 피난유도선 및 피난유도등의 중요성에 대한 시험평가 및 피난유도성능에 대한 모의실험을 수행하였으며, 여러 가지 변수가 피난성능에 미칠 수 있는 영향을 분석하였다. 성능시험 및 피난유도성능 실험결과는 다음과 같이 요약된다.

첫째, 피난유도선 및 피난유도등의 주요 성능인 휘도 및 조도 측정값은 KFI 성능기준을 크게 상회하여 정상제품으로 판정되었다. 다만, 피난유도선의 휘도 측정 시험결과 화재로 인한 연기투과율 27%까지는 인정기준을 상회하였으나, 17% 이하에서는 기준값을 하회하여 피난유도성능에 대한 불확실성이 존재하는 것으로 나타났다. 피난유도등의 조도측정 시험결과는 화재로 인한 연기투과율 7%까지도 기준값을 크게 상회하는 것으로 나타났다.

둘째, 식별거리 측정결과 유도등 및 유도선 모두 최소인정기준 20m의 거리에서도 식별이 용이하였다. 특히, 연기투과율이 낮은 7%에서는 피난유도선이 피난유도등 보다 식별거리가 약 3배 정도 높은 것으로 나타났다. 방향지시부의 식별거리는 유도선과 유도등이 거의 비슷한 결과를 나타내었다.

세제, 피난모의실험 결과 복도 구조와 상관없이 피난유도설비가 없을 경우보다는 피난유도설비가 설치되어 있는 경우가 피난시간이 훨씬 짧았으며, 연기투과율이 낮을수록 피난유도등보다는 피난유도선을 설치한 경우가 휘도가 떨어짐에도 불구하고 피난시간이 훨씬 짧은 것을 볼 때 피난유도선이 피난유도등보다 성능 측면에서 훨씬 효과적인 것으로 추정되었다. 이는 피난유도선이 띠 형태로 설치되어 연속적인 피난유도가 가능하기 때문으로 추정된다. 단위거리당 피난시간을 고려할 때, 피난유도선 설치에 따른 피난유도 성능이 복도의 구조가 복잡할수록, 복도길이가 길수록 더욱 효과적인 것으로 나타났다.

피난유도설비 미설치 시에는 피난시간 증가율이 피난밀도나 연기투과율에 크게 영향을 받았으나 피난유도선 설치 시에는 큰 영향을 받지 않아 안정적인 피난이 가능한 것으로 나타났다.

감사의 글

“이 논문은 2010년도 호서대학교의 재원으로 학술연구비 지원을 받아 수행된 연구임”(과제번호 20100041).

참고문헌

1. 행정안전부, “다중이용업소의 안전관리에 관한 특별법”(2010).
2. 나옥정, 전규엽, 홍원화, “모의피난실험을 통한 건축물 LED 피난설비의 피난유도성능에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집, Vol.24, No.8, pp.251-259(2008).
3. 김유식, 석동섭, “지능형 피난유도 시스템 개발에 관한 연구”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.20, No.4, pp.131-134(2006).
4. 전규엽, 홍원화, “모의실험을 통한 지하공간에서의 연령별 피난 행동 특성에 관한 연구”, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, Vol.25, No.1, pp.383-386(2005).
5. 허만성, 등전황홍, 미등상, “축광재료를 이용한 피난유도에 관한 연구”, 한국화재소방학회 추계학술대회 논문집, pp.259-264(2007).
6. 국토해양부, “건축물의 피난방화구조 등의 기준에 관한 규칙”(2009).
7. 한국소방산업기술원, 피난유도선의 성능시험기술기준, 제 2009-48호(2011).
8. 국가화재안전기준(NFSC 303), 유도등 및 유도표지의 화재안전기준.
9. J.H. Klote and J.A. Mike, “Principles of Smoke Management”, ASHRAE(2002).
10. NFPA 101, “Life Safety Code”(2009).