

## 축광재료를 부착한 계단의 피난유도에 관한 연구 A Study about the Evacuation Guidance that Used Phosphorescent Material for Stairs

허만성<sup>†</sup> · 藤田晃弘\* · 尾藤翔\*

Man-Sung Hur<sup>†</sup> · Akihiro Fujita\* · Bitosho\*

우송정보대학 소방안전관리과, \*名城大學 理工學部 建設시스템工學科  
(2008. 2. 1. 접수/2008. 3. 7. 채택)

### 요 약

본 연구는 화재시 연기발생 또는 정전이 발생한 경우 계단을 통해 안전하게 피난할 수 있도록 축광재료를 부착한 계단의 피난유도에 관하여 조사하였다. 실험조사는 실제 제작된 계단에 35명(1차 20명, 2차 15명)의 학생이 참여하여 계단의 시인성(visibility), 오르내림의 편리성과 안심감에 대하여 실험을 실시하였다. 실험 조사결과 축광재료를 사용한 계단코는 정전시에도 계단의 단 높이가 확인이 가능하여 계단 오르내릴 때 편리하고 안심할 수 있기 때문에 어두운 곳에서 사람이 피난 행동할 때에 매우 효과적이었다. 따라서 계단코와 계단참에 축광재료를 설치하면 정전이 되더라도 평소와 다름없이 피난을 할 수 있을 것으로 판단된다.

### ABSTRACT

This study is intended to examine the effect of the evacuation guidance that used phosphorescent material for stairs in the event of smoke and failure of both the power to the lighting and illuminated sign. To achieve the purpose, the test stairs was established and 35 students (1st 20, 2nd 15) were examined the visibility, the convenience and the comfort of going up and down of stairs. The results of this study are as follows; The evacuation from stairs showed that the stair nosing and landing used phosphorescent material for was very effective in dark conditions (0 lux) because of the high visibility of stair nosing and the convenience and the comfort of going up and down of stairs. The phosphorescent material located on the stair nosing and stair landing will aid in evacuation from stairs in the event of failure of both the power to the lightings and illuminated sign.

**Keywords :** Evacuation guidance, Phosphorescent material, Stair nosing, Stair landing

## 1. 서 론

보통 우리들은 위, 아래로 이동할 때의 수단으로 주로 계단, 에스컬레이터, 엘리베이터를 이용한다. 그런데 계단이나 에스컬레이터는 미끄럼, 헛디딤, 넘어짐 등에 의해 사고가 많이 발생하고 있다.

국내에서는 장애인, 노인, 임산부 등의 편의증진보장에 관한 법률이 제정되어 고령자, 신체장애자 등을 배려한 생활환경을 위해 공공공간의 설비가 갖추어져 있다.<sup>1)</sup> 그러나 현재 지하철역이나 다중이용시설의 계단은 엘리베이터나 계단의 계단코가 설치되어 있지 않은

곳이 많아 고령자나 신체장애자에게 있어 위, 아래로 이동이 매우 곤란한 곳을 볼 수 있다. 따라서 대구지하철 화재사고를 교훈삼아 화재시나 정전이 될 경우 어둠 속에서 1시간 정도 빛을 낼 수 있는 축광피난유도시스템이 제안되었고,<sup>2)</sup> 축광표지의 시인성(visibility) 등 피난에 미치는 영향에 대한 연구가 진행되어 왔으나 설치규정이 아직 없는 관계로 일부의 지하철역에만 계단과 바닥에 설치되어 있는 실정이다.<sup>3-5)</sup>

일본에서는 지하철역사에 대한 소방용 설비와 방화관리 체제가 강화되었고,<sup>6)</sup> 축광안료나 축광유도표지에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다.<sup>7,8)</sup> 일본 후생성 인구동태통계조사에 의하면 계단의 미끄럼, 헛디딤, 넘어짐 등에 의한 사고가 1997년 이후 5년간 매년 653명

<sup>†</sup>E-mail: mshur@wst.ac.kr

~703명의 사망자수가 보고되고 있다.<sup>9)</sup> 따라서 고령자나 신체장애자가 증가함에 따라 그들이 스스로 일상생활은 물론 사회생활을 영위해 나가는 사회를 실현하기 위해서 공공기관을 이용한 이동의 편리성과 안전성 향상을 촉진하기 위해서 2000년 5월에 교통 바리아프리(barrier free)법이 법률로 정해져서 안전한 도시조성이 요구되고 있다.<sup>10)</sup> 교통 바리아프리(barrier free)법 이외에도 하트빌(heart building)법, 유니버설 디자인(universal design) 등에 의해 고령자나 신체장애자를 배려한 공공공간의 설비가 갖추어져 있다.<sup>11)</sup> 그 중에 위, 아래로 이동이나 바닥면의 고, 저차가 있는 경우에도 휠체어 사용자를 배려한 경사로 또는 엘리베이터 설치와 동시에 고령자, 신체장애자를 배려한 계단에 관한 기준이 만들어져 있다. 이러한 고령자, 신체장애자 등을 배려한 생활환경을 위해 공공공간의 계단의 안전보행은 매우 중요한 과제이다.

그러나 국내외에서 건축물 내에서 장애인이나 노령자를 위한 촉광재료가 설치된 계단의 실험 조사에 관한 연구는 없었다. 따라서 본 연구는 계단의 미끄럼, 헛디딤 등의 사고를 예방하고, 화재가 발생하였을 때 계단으로 안전하게 피난할 수 있도록 형광시트, 촉광시트를 사용해 계단의 단 높이를 확인할 수 있는지를 확인하기 위하여 모의 계단을 이용하여 피난에 미치는 영향을 실험 조사하였다.

## 2. 실험장치 및 개요

### 2.1 시인성 실험

계단에는 미끄럼 방지를 위해 계단코 부분에 눈 슬

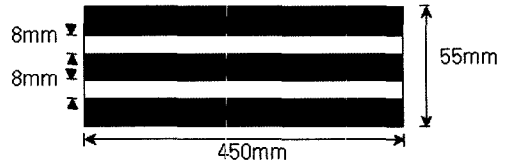


Figure 1. Dimensions of stair nosing (pattern ①).

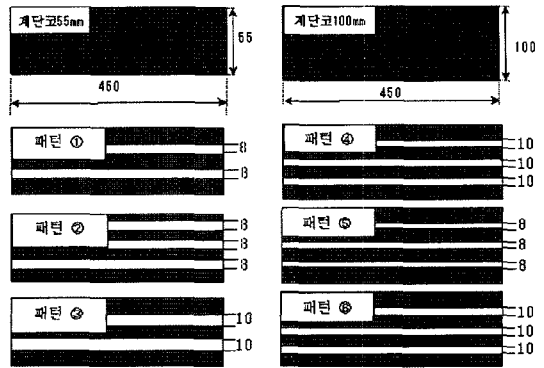


Figure 2. Dimensions and patterns of stair nosing.

Table 1. Dimensions and colors of specimen sample patterns

공시체 패턴	계단코 시트폭	촉광시트		색
		폭	개수	
1	55	8	2	촉광 : 녹색 형광 : 녹색
2	55	8	3	촉광 : 녹색
3	55	10	2	촉광 : 녹색
4	100	10	3	촉광 : 녹색
5	100	8	2	촉광 : 녹색
6	100	10	3	형광 : 황색

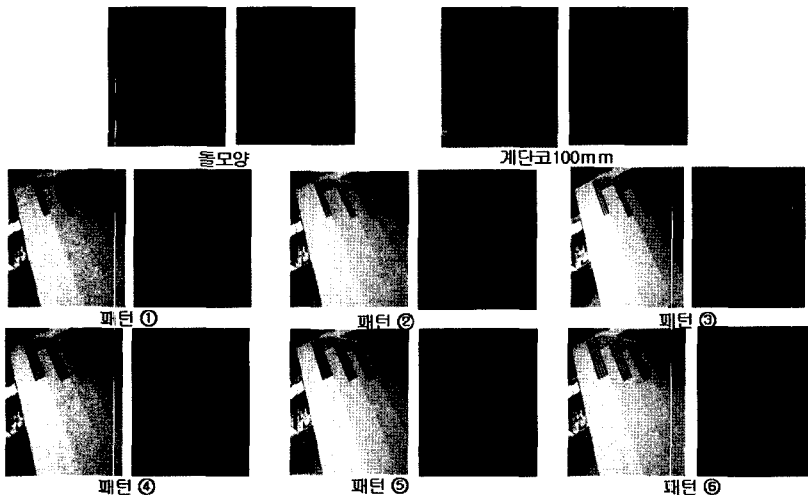


Figure 3. Pattern pictures of specimen stair nosing.

립 재료나 흠이 시공되어 있지만 미정비된 곳이 많다. 계단코 재료는 안전성, 시인성(visibility)면에서 불충분한 것도 있어 보다 좋은 계단코 재료가 요구된다. 그래서 이번에 형광시트와 축광시트를 사용한 계단코를 설치하여, 정전시 또는 화재 발생 시 예상되는 연기발생 상황에서도 쉽고 안전하게 계단을 확인하여 피난이 가능하도록 계단의 시인성(visibility) 면에서의 검토를 하였다.

Figure 1은 계단코 공시체 패턴 ①의 치수를 나타낸다. Figure 2는 계단코 공시체의 치수와 패턴을 나타낸다. 계단코시트의 바탕색은 흑색으로 패턴 ①~⑤에는 축광시트, 패턴 ⑥은 형광시트를 사용한다. 계단코시트의 폭은 55 mm와 100 mm의 2종류로 축광시트를 붙이지 않은 바탕만의 계단코 시트를 계단코 55 mm, 계단코 100 mm라 한다. Table 1은 공시체 패턴별 치수와 색상을 나타낸다. Figure 3은 계단코 공시체 패턴별 사진을 나타낸다.

2.2 이동성 실험

시인성 실험에서 하지 못한 계단의 계단코 부분에 2

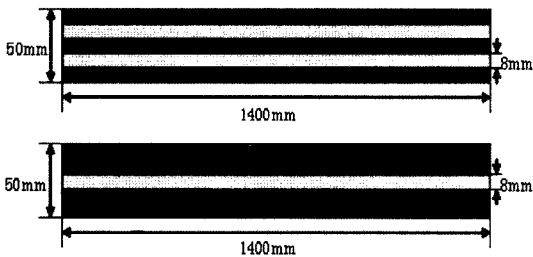


Figure 4. Dimensions and patterns of stair nosing (line-1, line-2).

종류의 축광라인 설치 패턴을 바꾼 계단코를 설치해서 육안평가 실험을 행하였다. 또 계단참에도 피난구와 계단까지의 축광 라인을 설치하여 그 결과를 평가하였다. 시인성 실험에서는 계단코의 축광부분의 라인수, 라인폭도 평가결과에 큰 차이를 보이지 않았기 때문에 계단코 단 높이의 시인성, 계단 오르내릴 때의 편리성과 안심감에 대한 평가도 행하였다.

Figure 4는 계단코 공시체의 형상 및 치수를 나타내는 것으로 폭 50 mm, 축광라인 폭 8 mm로 축광라인 1개인 경우와 축광라인 2개인 경우를 나타낸다. Figure 5는 계단코 공시체의 인광전후의 상태를 나타낸다.

3. 실험방법

3.1 시인성 실험

실험 참가자 20명은 모의계단의 상부 및 하부에서 계단코 축광시트를 조사조도 200 lx의 표준광원 D75로 20분간 조사해 조사정지 후 5분 후에 시인성(visibility) 실험을 행하였다. 실험시의 환경조도는 200 lx와 0 lx의 2종류로 하였다. 즉 환경조도 200 lx는 실제의 지하철역사내의 실측치를 근거로 하고, 환경조도 0 lx는 정전시를 예상한 것이다. 시인성(visibility) 평가는 나안(교정포함)에 의한 평가, 화재에 의한 연기발생시를 예상한 광투과율이 22%, 12%의 모의안대를 착용해서 평가를 행하였다.

Figure 6은 실험에 사용된 계단의 형태로 계단의 색채는 실제의 지하철역사 내에 최근에 많이 사용되는 석재를 예상한 돌 모양을 한 시트를 계단 전면에 붙였다. Table 2는 계단코 단 높이가 시인성(visibility)의 평가 점수와 평가항목을 나타낸다.

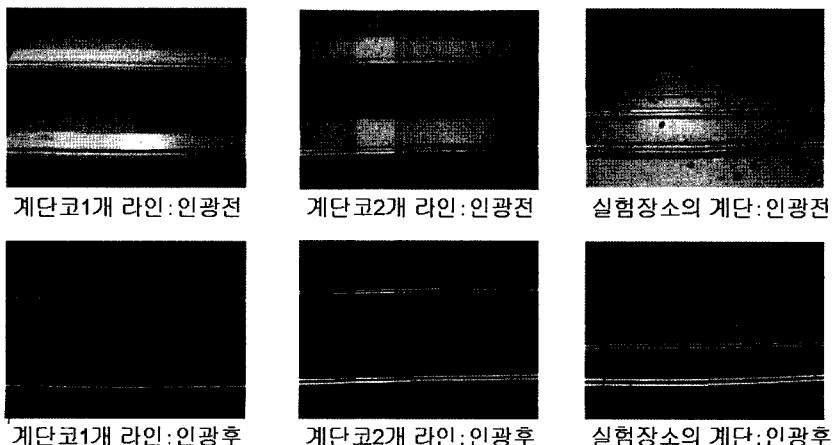


Figure 5. Pictures before and after illumination of stair nosing.

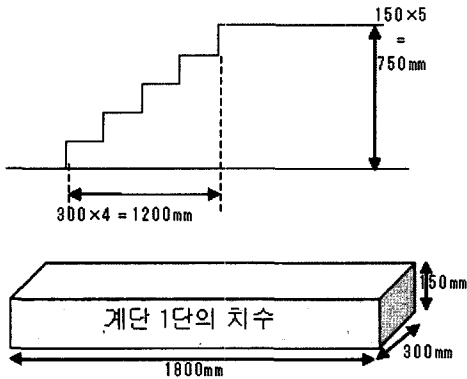


Figure 6. Configuration of experimental stair dimensions.

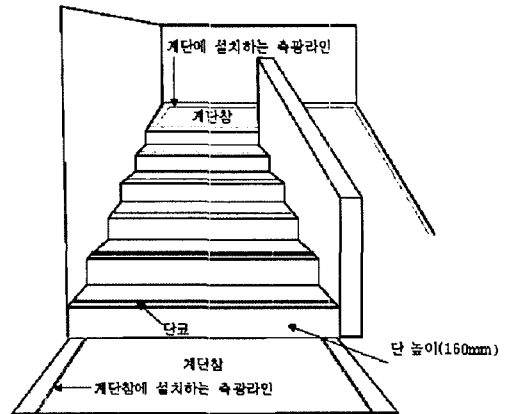


Figure 7. Installation positions of experimental stair nosing.

Table 2. The evaluation points and items on the visibility

평가점	평가 항목
5	5단까지 단 높이 확인 가능
4	4단까지 단 높이 확인 가능
3	3단까지 단 높이 확인 가능
2	2단까지 단 높이 확인 가능
1	1단까지 단 높이 확인 가능
0	단 높이가 확인 불가능

3.2 이동성 실험

실험 참가자 15명은 환경조도 0lx일 때 계단을 아래에서 위로 실제로 오르면서 평가하였다. 이 때 계단수는 15단이었다. 실험시의 계단은 환경조도 0lx로 하고, 공시체는 여기조도 200lx로 조사시간 20분 후의 공시체를 사용하였다. 계단 이동시 실험은 조사 정지 후 5분, 20분, 40분, 60분으로 하였다. 계단코 설치패턴은 계단코 측광라인 없음, 계단코 측광라인 1개, 계단코 측광라인 2개의 3종류로 하고 계단의 하부에서 7단까지는 계단코 측광라인 1개, 계단의 상부에서 7단까지는 계단코 측광라인 2개를 설치한다. 아울러 치수가 3m×4m인 계단참 측광라인의 평가도 수행하였다. 이 때 계단참의 치수는 3m×4m이었다.

Figure 7은 측광라인을 이용한 계단코의 설치위치를 나타낸다.

Table 3은 계단코 단의 시인성(visibility)에 대한 평가점 및 평가항목을 나타낸다. 계단코 자체의 확인은 계단의 상부, 하부에서 계단을 보았을 때, 계단코가 어디까지 보이는지를 평가하였다.

Table 4는 계단코 단 높이와 계단참의 시인성(visibility)에 대한 평가점 및 평가항목을 나타낸다. 계단 단 높이의 확인은 계단을 오르내릴 때 계단의 단

Table 3. The evaluation points and items on the visibility of stair nosing

평가점	평가 항목
6	6단 이상 시인 가능
5	5단 이상 시인 가능
4	4단 이상 시인 가능
3	3단 이상 시인 가능
2	2단 이상 시인 가능
1	1단 이상 시인 가능
0	전혀 시인 불가능

Table 4. The evaluation points on the visibility of going up and down

평가점	평가 항목
2	확실히 단 높이 등 확인 가능
1	단 높이 등 확인 어려움
0	전혀 단 높이 또는 시인 불가능

Table 5. The evaluation points on the convenience of going up and down

평가점	평가 항목
2	계단 오름 또는 보행이 매우 쉬움
1	계단 오름 또는 보행 어려움
0	계단 오름 또는 보행이 매우 어려움

높이가 1단, 1단 확인 가능한지를 시각적인 면에서 평가하였고, 계단참 측광라인의 확인은 계단 또는 피난구까지 유도하는 측광라인이 시각적으로 확인 가능한가를 평가하였다. Table 5는 계단코 오르내림과 계단

**Table 6.** The evaluation points on the comfort of going up and down

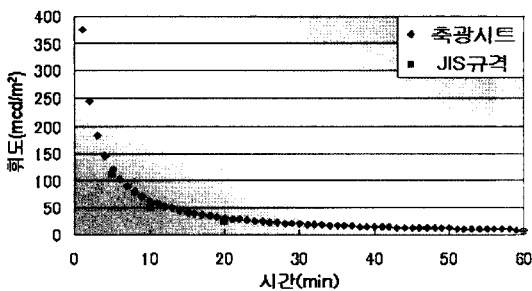
평가점	평가 항목
2	안심하고 승강 또는 보행 가능
1	불안을 느끼면서 승강 또는 보행 가능
0	무서워서 승강 또는 보행 불가능

참 보행의 편리성에 대한 평가점과 평가항목을 나타내는 것으로 계단 오르내릴 때 계단의 계단코 부분에 축광시트를 설치한 경우가 설치하지 않은 경우에 비하여 물리적으로 오르내림이 쉬운지를 평가하였고, 계단참에 축광라인을 설치한 경우도 그렇지 않은 경우와 보행의 편리성에 대해서 평가하였다. Table 6은 계단 오르내림과 계단참 보행의 안심감에 대한 평가점과 평가항목을 나타내는 것으로 안심, 공포의 평가는 계단 오르내릴 때 계단코 부분에 축광시트를 설치한 경우가 그렇지 않은 경우에 비하여 안심하고 계단을 오르내릴 수 있는지를 평가하였고, 계단참의 경우도 축광라인을 설치한 경우와 그렇지 않은 경우에 대하여 평가하였다.

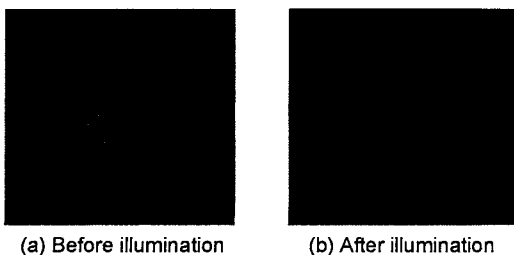
### 4. 실험 결과

#### 4.1 시인성 실험

Figure 8은 계단코 부분에 사용한 축광시트의 인광



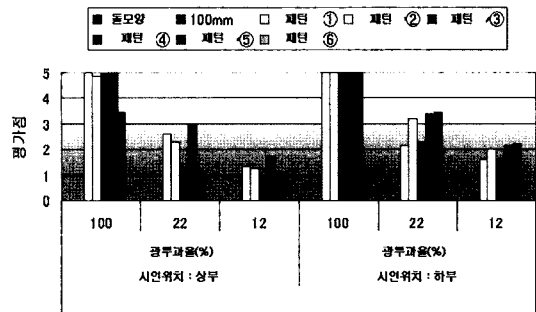
**Figure 8.** Luminance of phosphorescent material.



**Figure 9.** Pictures before and after illumination.

**Table 7.** Luminance of phosphorescent material and JIS Standard (Z 9107)

잔광시간(분)		5	10	20	60
인광휘도 (mcd/m <sup>2</sup> )	JIS규격	110.0	50.0	24.0	7.0
	축광시트	119.6	63.0	30.0	9.0



**Figure 10.** The evaluation results of stair nosing (0 lx).

휘도 측정 결과를 나타낸다. Figure 9는 공시체의 인광 전과 인광후의 사진을 나타낸다. Table 7은 JIS Z 9107 안전표지판의 규격치와 계단코 부분에 사용한 축광시트의 인광휘도 측정결과를 나타내는 것으로 실험에 사용한 축광시트의 인광휘도 값은 잔광시간 5분 후에 119.6 mcd/m<sup>2</sup>로 120 mcd/m<sup>2</sup> 이하의 저인광휘도이지만 시간의 변화에 따른 인광휘도값은 JIS규격치보다 모두 높은 값을 나타냈다.

Figure 10은 환경조도 0lx일 때 축광시트를 이용한 계단코 확인의 시인성(visibility) 평가실험 결과를 나타낸다. 세로축에 평가점수, 가로축에 나안일 때, 실험에 사용된 안대의 광투과율 22%와 광투과율 12%일 때를 표시한다. 그림의 좌측은 시인 위치가 계단 상부에서 내려다 본 결과이고, 우측은 계단 하부에서 올라다 본 결과이다. 5분 후 인광휘도가 119.6 mcd/m<sup>2</sup>로 120 mcd/m<sup>2</sup> 이하의 저인광휘도임에도 불구하고 나안(교정포함)에서는 축광시트를 사용한 패턴 ①~⑤는 시인위치 상부, 하부에 관계없이 모두 최고단인 5단까지 시인되었다. 따라서, 정전시(0 lx)에는 축광재료를 사용한 계단코가 필요하다고 사료된다. 한편 연기 발생 시를 예상한 광투과율 22%와 12%의 안대를 각각 착용한 평가 결과는 광투과율이 높은 22%쪽이 약 1단 높은 계단코를 시인 할 수 있었다. 시인위치의 변화에 의한 평가는 하부에서 본 경우가 상부에서 내려다 본 경우보다 다소 높은 평가점수를 받았다. 이 원인은 계단 최상단의 높이가 바닥보다 75 cm가 높은 관계로 내려다보는 눈높이에서 계단코까지의 거리가 멀어졌기 때문으로 사료된다.

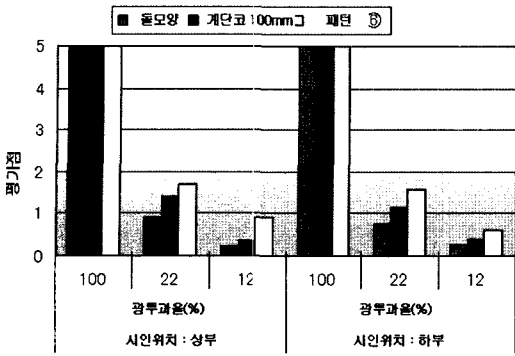


Figure 11. The evaluation results of stair nosing (200 lx).

Figure 11은 환경조도 200 lx일 때 축광시트를 이용한 계단코 확인의 시인성(visibility) 평가실험 결과를 나타낸다. 시인성(visibility) 평가실험은 돌 모양, 계단코 100 mm, 패턴⑥만 평가를 행하였고, 축광시트는 사용하지 않았다. 나안(교정포함)에서는 모두 최고의 5단계까지 확인이 되었지만 안대 장착 시에 의한 시인 평가에서는 확인 위치에 관계없이 시인성(visibility)이 저하되었다. 광투과율 22% 안대 착용 시에는 1단계까지 확인되었으나 광투과율 12% 안대 착용 시에는 거의 확인할 수 없었다. 안대 착용에 의한 평가는 모두 낮게 나왔지만 그 중에서도 형광시트가 조금 높은 평가를 얻을 수 있었던 원인은 형광시트의 채도가 높은 것에 기인된 것으로 사료된다.

4.2 이동성 실험

Figure 12는 계단코 실험에 사용한 축광시트의 인광휘도 측정결과를 나타낸다. Table 8은 축광안전표지 JIS Z 9107 규격치와 소방청의 규격, 실험에 사용한 계단코 축광시트의 인광휘도 측정 결과를 나타낸 것으로 실험에 사용된 축광시트의 인광휘도는 5분 후 746 mcd/m<sup>2</sup>, 10분 후 425 mcd/m<sup>2</sup>, 20분 후 221 mcd/m<sup>2</sup>, 60분 후 68 mcd/m<sup>2</sup>로 고휘도를 나타내었다.

Figure 13은 계단코의 평가결과로 단 높이의 시인성

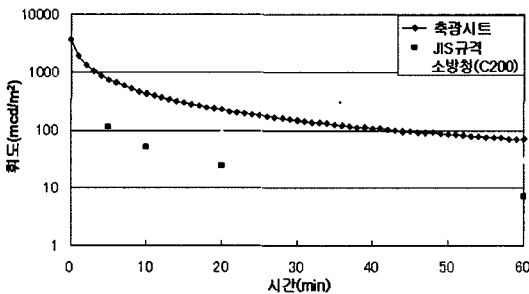


Figure 12. Luminance of phosphorescent material.

Table 8. Luminance of phosphorescent material, JIS Standard and Fire Department

잔광시간(분)		5	10	20	60
인광휘도 (mcd/m <sup>2</sup> )	JIS규격	110.0	50.0	24.0	7.0
	소방청규격			100.0	30.0
	축광시트	746.0	425.0	221.0	68.0

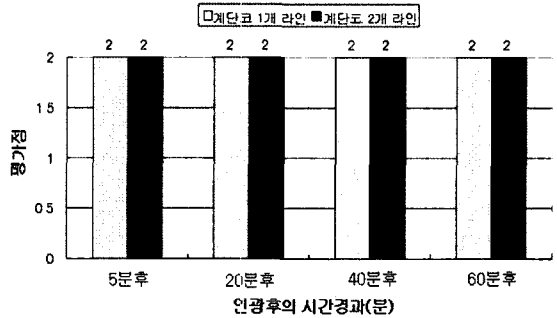


Figure 13. The evaluation results on the visibility of going up and down.

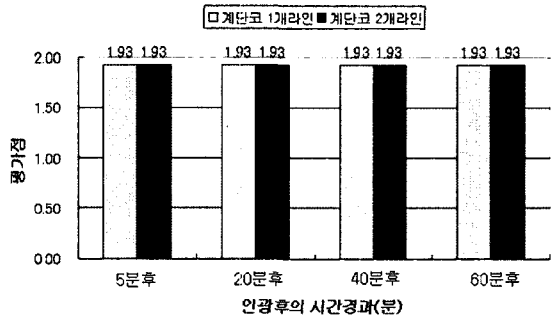


Figure 14. The evaluation results on the convenience of going up and down.

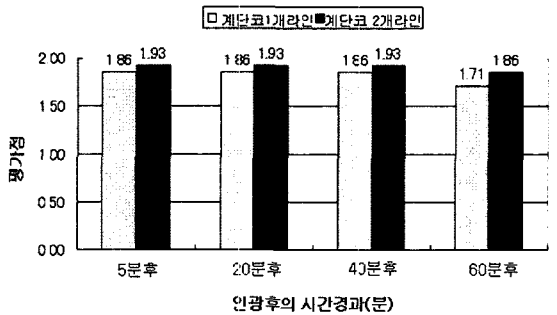


Figure 15. The evaluation results on the comfort of going up and down.

(visibility), Figure 14는 계단 오르내릴 때 편리성, Figure 15는 계단 오르내릴 때 안심감을 나타내는 것으로 가

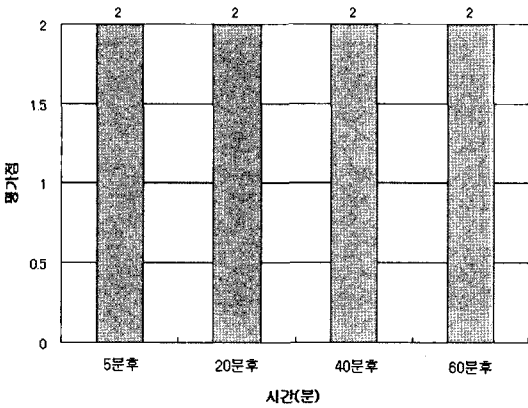


Figure 16. The evaluation results on the visibility of phosphorescent line.

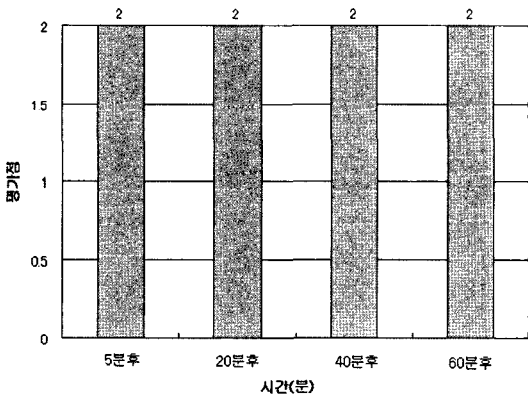


Figure 17. The evaluation results on the convenience of phosphorescent line.

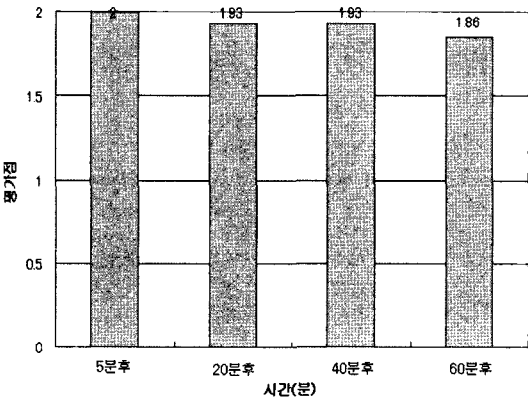


Figure 18. The evaluation results on the comfort of phosphorescent line.

로축이 평가점수, 세로축이 경과시간을 나타낸다. 계단의 하부에서 축광라인을 보았을 때 축광 계단코는 1개 라인, 2개 라인 모두 확실히 보였고, 소등후 60분경과 후에도 계단코 1개 라인에서도 충분히 시인 가능한 것이 확인되었다. 이는 축광시트의 인광휘도가 Table 8에서 나타난 것처럼 5분 후 746 mcd/m<sup>2</sup>로 고인광휘도이고 60분 후에도 68 mcd/m<sup>2</sup>를 나타내는 것에 기인한 것으로 사료된다. 피험자의 계단 오르내림은 계단코 1개 라인으로도 충분히 단 높이가 확인이 가능해서 매우 오르내림이 편리하며, 안심하고 계단을 오르내릴 수 있어 공포감이 없었던 것이 확인되었다.

Figure 16은 계단참에 설치된 유도축광라인의 시인성(visibility) 평가결과를 나타낸다. Figure 17은 계단참 보행의 편리성, Figure 18은 계단참 보행시 편안하고 공포가 없는 안심감의 평가결과를 나타내주고 있다. 계단참에 유도축광라인을 설치하므로써 소등 60분 후에도 매우 안심하고 편안하게 유도에 의한 피난보행을 할 수 있는 것으로 나타났다.

## 6. 결 론

축광재료를 이용한 계단의 피난유도에 관한 시인성과 이동성 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 시인성 실험에서 환경조도 0 lx, 200 lx에서의 육안평가결과는 축광시트의 인광휘도가 5분 후 약 120 mcd/m<sup>2</sup>로 저인광휘도의 재료에서도 축광시트 발광면적의 차이에 의한 차는 크게 나타나지 않았지만 충분히 계단의 단 높이가 확인되었다. 따라서 정전시(0 lx)에는 축광재료를 사용한 계단코가 필요하다고 판단된다.

둘째, 연기 발생시를 예상한 광투과율 22%와 12% 모의 안대 착용에 의한 시인성 실험의 육안평가결과는 시인성(visibility)이 급격히 저하되었다. 이 경우 환경조도 0 lx시의 쪽이 200 lx시보다 시인성(visibility)이 다소 높게 나타났고, 폭이 넓은 계단코가 유효하였다.

셋째, 이동성 실험은 인광후 5분, 20분, 60분 경과되어도 계단코 공시체는 인광하고 있어 평가가 낮아지지 않았고, 20분 후의 인광휘도가 약 220 mcd/m<sup>2</sup>로 고인광 축광재료를 사용함으로써 실험개시 60분 후의 육안평가결과는 축광라인 8 mm의 계단코에서도 단차 확인이 가능하여 계단 오르내림이 매우 편리하고 안심되게 계단을 오르내릴 수 있다는 것을 알 수 있었다.

## 참고문헌

1. “장애인·노인·임산부 등의 편의증진 보장에 관한

- 법률”(2007).
2. (주)오빌테크, “화재로 인한 연기발생 상황에서 축광 피난유도시스템 제안”, 대구 Fire EXPO '05 기술세미나, pp.5-20(2005).
  3. 허만성, “피난을 돕는 축광표지의 설치기준 구축”, 한국화재소방학회 추계학술대회, pp.52-57(2006).
  4. 허만성, 藤田晃弘, 鏡味伸也, Mark I Jones, “축광세라믹스를 이용한 피난유도표지의 시인성에 관한 연구”, 한국화재소방학회 춘계학술대회, pp.134-138(2006).
  5. 허만성, “건물화재의 정전시 축광유도표지가 피난에 미치는 영향”, 한국화재소방학회논문지, Vol.19. No.4, pp.69-74(2005).
  6. 東京消防廳, “東京消防廳における地下驛舎に對する安全對策の推進”, 豫防時報221, pp.47-48(2005).
  7. 東京消防廳, “地下驛舎における避難口 明示物及び避難方向明示物の基準の方検討委員會 報告書”, pp.9-12(2005).
  8. 木全正憲, 中村健一, 藤田晃弘, “發光避難誘導標式に關する 基礎的研究”, 土木學會中部 支部, pp.401-402(2004).
  9. 厚生省人口動態統計調査, “W10 段及びビステップからの轉落及びその上での轉倒”(2003).
  10. “高齢者, 身体障害者等の公共交通機關を利用した移動の円滑化の促進に關する法律. 通称交通バリアフリー法”(2000).
  11. “ハートビル法”(1994).
  12. “Japanese Industrial Standard-Safety Sign Boards, JIS Z 9107”(1998).
  13. 尾藤翔, 堀部潤, 藤田晃弘, “階段の安全昇降に關する研究”, 土木學會中部支部平成17年度研究發表會講演概要集, IV-24, pp.325-326(2006).
  14. 尾藤翔, 藤田晃弘, “階段の安全昇降に關する基礎研究”, 土木學會平成18年度土木學會全國大會第61回年次學術講演會講演概要集, IV-4-121, pp.239-240(2006).
  15. 山中俊夫, “色彩學의 基礎”, 文化書房博文社(2004).