

노면표시 반사성능 향상을 위한 최적 조건 개발

Development of the Optimum Condition for Improving Retroreflection of Road Markings

여운웅 (도로교통안전협회 선임연구원) 이대원 (도로교통안전협회 연구원) 배광수 (도로교통안전협회 연구원)

목차

- | | |
|-----------------|---------------|
| I. 서론 | 3. 실험절차 |
| II. 현황 및 문제점 | IV. 실험결과 및 분석 |
| 1. 노면표시 반사성능 현황 | 1. 반사성능 |
| 2. 노면표시 색상 | 2. 내구성 |
| 3. 노면표시 설치기준 | 3. 평가 및 논의 |
| III. 실험방법론 정립 | V. 결론 및 건의 |
| 1. 영향인자의 선정 | ※ 참고문헌 |
| 2. 실험계획의 설계 | |

ABSTRACT

노면표시는 운전자에게 시선유도와 각종 규제 및 지시에 대한 정보를 제공함으로써 교통안전 및 소통에 도움을 주는 시설로서 주야간의 시인성 확보가 중요하며 이를 위해서는 반사화가 필요하다. 노면표시의 반사성능은 유리알 (Glass Bead)의 함량 및 종류, 용융온도, 도료의 색도등 각 영향인자에 의해 결정되지만 현재는 시공법 및 관련 연구의 미흡으로 현행기준의 최하수준을 상회하는 정도로 제공되고 있다. 따라서 본 연구에서는 노면표시의 시공에 관계되는 각 요인중 반사성능과 내구성에 영향을 미치는 주요인자 및 반사성능을 최적화하기 위한 인자별 최적조합을 도출하였다.

연구결과 유리알 살포량이 중량비로 25% - 30%, 용융시 온도가 $188^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 일 때 노면표시의 반사성능이 최적화됨을 밝혀내었다. 또한 유리알의 품질개선과 함께 황색 노면표시의 재귀반사 휘도계수 기준을 현재 기준보다 상향조정할 필요성이 있음을 제안하였다.

1. 서론

1. 연구배경 및 목적

노면표시는 운전자에게 시선유도와 각종 규제 및 지시에 대한 다양한 정보를 제공함으로써 교통안전 및 소통에 도움을 주는 중요한 시설이다. 한 연구에 따르면 중앙선과 길가장자리선의 유무에 따라 40%의 교통사고가 증감한다고 한다. 이것은 노면표시의 중요성을 한마디로 설명해 주고 있는 것이나, 노면표시가 제기능을 발휘할 때 만이 그 가치가 있다. 인간의 시각은 주행성(晝行性)이며 오랜기간동안 보행속도에만 적응되어 왔다. 따라서 노면표시가 야간에 자동차의 속도에 적응하기 위해서는 주간과 유사한 환경이 제공될 필요가 있다. 주간과 유사한 환경의 제공을 위해 모든 안전시설물은 반사화 혹은 직접 조명시설을 하도록 정하고 있다. 그러나 야간 교통사고의 심각성을 고려할 때 더욱 질높은 운전환경의 제공이 요구된다. 노면표시는 1차적으로 운전자에게 도로의 선형에 대한 정보를 전달하며 안전주행을 유도하기 때문에 특히 양호한 야간 시인성이 요구된다. 우리나라의 노면표시는 관련정보의 부재와 시공기술의 낙후로 설치후 기준 미달 사례가 많아 노면표시 관리에 어려움이 많은 실정이다. 그 원인으로는 재료의 함량, 온도, 색상등 여러 가지가 있을 수 있으나 원인별 효과의 크기에 대해서는 알려진 바 없다. 현시점에서 노면표시의 반사성능 향상을 위해 원인인자들의 최적 적용방법과 인자간의 최적조합 등의 제시가 요망된다. 따라서 본 연구의 목적은 노면표시의 반사성능과 관련되는 인자들을 중심으로 실험분석을 통해 상호 관련성을 규명하는데 있다.

2. 연구내용 및 방법

본 연구는 황색 움착식 노면표시를 중심으로 유리알 종류, 유리알 함량, 색도, 용융온도 등의 인자들에 대하여 실험분석한후 최적배합조건을 도출하기위한 연구이다. 실험을 통해 인자들의 배합조건에 따른 반사성능의 변화를 분석하였으며, 동일한 방법으로 내구성 실험을 병행하였다. 실험분석은 실험계획법을 적용하여 관련 인자별 3수준으로 한 직교표를 작성하여 실험을 수행하고, 그 결과를 분산분석에 의해 판정하였다. 이를 통해 노면표시 재귀반사휘도 및 내마모성에 영향을 미치는 인자기여율과 주효과 및 상호작용을 검토하여 내구성과 반사성능이 최적조건을 형성할 수 있는 관련인자간 조합을 알아 보았다.

II. 현황 및 문제점

1. 노면표시 반사성능 현황

도로교통안전협회 경기지부 및 경남지부의 협조로 3개 지역의 노면표시 반사성능을 측정된 결과 다음의 <표 1>과 같았다. <표 1>에서 보면 재귀반사 휘도계수의 평균치는 황색, 백색 모두 기준치를 상회하고 있으나 재귀반사 휘도계수의 표준편차를 고려하면 6개 도로 중 기준을 상회하는 것은 1/2에 못 미친다. 또한 백색의 경우는 기준치(80)에 비해 높은 값을 보이고 있으나, 황색은 백색과 대비하여 다소 낮은 값을 나타내었다. 표준편차의 변화폭이 큰것은 그만큼 균제도가 나쁘다는 것으로 일률적인 밝기의 제공이 필요한 노면표시의 기능에 반하는 결과이다. 황색노면표시의 중요성을 볼 때 시인성 면에서 황색이 백색에 비해 반사성능이 떨어지는 것은 다소 문제가 있다. 특히 중앙선의 경우, 침범시에는 대형사고로 이어질 우려가 있어 황색 노면표시의 시인성 확보는 중요한 과제라 할 수 있다. 황색의 야간 시인성이 떨어지는 것은 같은 재료를 사용할 때 황색이 백색의 56% 정도의 재귀반사 휘도계수를 가지기

<표 1> 노면표시 반사성능 측정결과

구 분		측정수	평균	표준편차	최소값	최고값	비고	
경기 지역	A	백색	51	194.94	108.29	48	551	○ 기준(mcd/m ² Lux) 백색 : 80 황색 : 45
		황색	32	56.5	7.52	41	74	
	B	백색	77	145.92	82.66	21	397	
		황색	52	51.73	8.8	31	71	
	C	백색	118	135.33	53.03	29	393	
		황색	78	53.42	7.47	42	84	
경남 지역	D	백색	19	110	26.22	78	182	○ Retro-Lux 값
		황색	21	62	19.81	39	130	
	E	백색	20	89.35	19.55	62	160	
		황색	19	48.05	6.35	33	62	
	F	백색	20	130.8	35.72	59	168	
		황색	20	58.65	11.88	40	93	

때문인데 그것은 백색과 황색의 명도차에 기인한다. 앞으로 황색의 경우 백색 노면표시와는 사용재료나 배합을 달리하는 방법으로 유리알 함량과 질을 높이거나, 테이프식으로 처리하는 등으로 개선되어야 할 것으로 판단된다.

2. 색상

현재 노면표시의 색상은 KS M에서 색번호로 정하고 있으나 이 경우 색에 대한 Communication이 전혀 불가능한 상태이다. 비록 한국표준협회에서 색조견표를 가지고 있다고 해도 색조견표는 과학적 측정방법에 의해 측정하여 정기적으로 교체되어야 실제 규정된 색(색상, 명도, 채도)을 유지할 수 있다. 또한 현장적용을 위해서는 이 조견표에 규정한 색견본을 필요한 경우 휴대하여 수시로 조견해야 하나, 색견본도 KS에서 제공해 주지 못하고 있는 실정으로 육안식별 방법에 의한 KS의 색기준 적용방식은 수정·보완되어야 한다. 한편 CIE(국제조명협회)는 반사성능, 가로등, 신호등 밝기 등에 관한 국제규격을 제정하고 협의하는 기구인데 우리나라의 경우 미가입 상태에 있어 기술개발에 따른 정보확보를 위해 교통 전문기관에서 CIE회원의 등록을 서둘러야 할 것이다.

3. 노면표시 설치기준

노면표시 반사성능은 차량 전조등에서 노면표시 방향으로 입사된 광선에 의하여 노면표시 단위면적당 되반사되는 밝기의 크기를 말하며, 재귀반사 휘도계수라고 한다. 재귀반사 휘도계수에 관한 기준은 교통 안전시설실무편람에서 정하고 있으며, 내용은 다음 <표 2>와 같다. 여기서 정하고 있는 재귀반사 휘도계수는 최소값이며, 노면표시의 품질개선과 시공방법의 개선 등을 통하여 더 높여 나갈 필요가 있다.

<표 2> 노면표시 재귀반사 휘도계수 (단위: mcd/m² · Lux)

입사각	관찰각	구분	반사성능		
			백색	황색 (백색의 60%)	청색 (백색의 8%)
86.5°	1.0°	도색후 3개월 이내	150	90	12
		재도색 시기	70	40	5
86.5°	1.5°	도색후 3개월 이내	120	70	9
		재도색 시기	55	30	4
88.76°	1.05°	도색후 3개월 이내	80	45	6
		재도색 시기	35	20	2

주) '재도색시기'는 재귀반사 휘도계수가 기준치 이하일 때 재도색시기로 본다.

III. 실험방법론 정립

본 연구의 주목적은 노면표시의 반사성능에 영향을 미치는 인자를 찾아 영향을 알아보고, 반사성능을 최대화할 수 있는 인자들의 최적조합을 구하는 것이다. 부수적으로 내구성을 고려한 최적조합의 도출도 포함한다. 실험계획법은 어떤 조건하에서 실험을 계획, 실시하고 적은 실험횟수에도 요구되는 가장 좋은 조건을 산출하는 통계적 방법이다. 따라서 노면표시와 같은 화합물의 최적조합을 구하거나 교통상황에서의 어떤 사안에 대한 원인을 규명할 때 연구자가 의사결정을 할 수는 없지만 의심이 가는 부분을 정량적으로 해석하고자 할 때 실험계획법은 유용한 분석방법이 된다.

1. 영향인자의 선정

1) 인자 (Factor)의 선정

노면표시가 질 높은 반사성능을 유지하기 위해서는 반사성능이 좋은 유리알과 함량, 유리알(Glass Bead)의 적정위치 그리고 명도가 높은 도료가 사용되어야 한다. 인자별 구체적인 내용은 다음과 같다. 이외에도 용착식도료의 종류, 노면의 온도등 여러 가지가 영향을 미칠 수 있으나 상기 인자들에 비해 중요하지 않다고 판단되어 본 실험에서는 동일조건으로 통제하였다.

- ① 온도 (가열식, 용착식) : 온도는 유리알 살포시 (국내는 주로 Drop-on방식) 재료의 질기정도를 결정하는 것으로 가열식이나 용착식의 경우 유리알을 중력에 의해 침하시킬 때 질기 정도에 따라 반사성능에 영향을 준다. 즉 질기정도가 낮으면 유리알은 모두 밑으로 침전되어 표면에 유리알이 없기 때문에 반사성능이 떨어지고, 또 온도가 낮아 굳어있는 상태면 유리알이 침투되지 않아 반사성능이 낮아질 것이다. 따라서 G/B가 적당히 고착될 수 있는 적정온도를 유지해야 한다.
- ② 유리알 제품의 종류 : 유리알 제품의 품질은 반사성능에 직접적으로 영향을 주는 것으로 형태 (구형), 투명도 등이 KS에서 정한 기준 이상이어야 한다.
- ③ 유리알 함량 : 유리알이 너무 많을 때에는 난반사가 발생되어 반사성능이 떨어지게 되며, 너무 적을 때에는 반사량이 적어 역시 반사성능이 떨어지기 때문에 적절한 양의 함유가 필요하다.
- ④ 색도 : 색도의 경우 현재 사용되고 있는 노면표시 황색은 특히 문제가 되는데 그것은 기준과 다른 황색을 사용하는 경우가 많고 이러한 황색의 경우 명도가 낮을수록 반사성능이 저하되기 때문이다.

2) 인자별 수준

인자별 수준은 3수준으로 한다. 수준이 4개 이상이면 실험량이 승수로 늘어나기 때문에 시간과 예산의 제약이 따르고, 2개일 경우 수준간의 변화정도를 파악하기에 부족하다. 각 인자별 수준은 다음과 같다.

① 온도

용착식 노면표시 황색 2호 (무기안료)의 용융온도는 KSM 5333에서 180℃ 정도에서 10~20분 가열하는 것으로 정해져 있으나, 예비 실험결과 160℃ 이하에서는 도료의 용융이 잘 이루어지지 않았고, 220℃ 이상의 온도 상태에서는 재료의 색상등에 변질이 오는 것이 발견되었기 때문에 170℃와 210℃ 범위내에서 실험하는 것으로 하였다. 용융시간은 15분으로 고정하였으며 온도수준은 20℃ 등간격으로 170℃, 190℃, 210℃의 3개 수준으로 하였다.

② 색도

현재 사용중인 황색의 색도는 KS M 5701의 33538과 현장에서 자주 사용하는 색, 그리고 실험실에서 배합한 짙은 황색의 3종류로 하였다. 시험에 사용된 색도는 채도측정기 (CR-300)를 사용하여 측정하였으며, 시험 초기에 설정된 양에 따라 안료를 배합하였다. Yxy 색좌표상의 위치는 다음과 같다.

- A 형 (KS M 5701의 33538) ; $Y = 38.52, x = 0.4860, y = 0.4453$
- B 형 (현장에서 자주 사용하는 색) ; $Y = 31.71, x = 0.4959, y = 0.4247$
- C 형 (실험실 배합) ; $Y = 32.90, x = 0.5165, y = 0.4181$

③ 유리알 품질

유리알 품질은 KS L 2521에 규정한 유리알 1호에 해당되는 것으로 미국의 Potter사 제품과 일본의 도시바사 제품, 그리고 국산 KS 규격품의 3개 제품으로 한다.

④ 유리알 함량

유리알 고착율은 살포할 때의 온도와 관련되지만 Premix된 유리알은 크게 영향이 없기 때문에 KS규격에서 정한 유리알 함량을 20% (1호)로 고정시키고 중력식으로 살포량을 증감하는 방식으로 수준을 정하였다. 중력식에 사용된 유리알은 중량비 5% 간격으로 4.5%, 9.5%, 14.5%의 수준을 채택하였다. 따라서 전체 유리알 함량은 Premix된 유리알의 중량비 21%를 합할 때 수준별로 25.5%, 30.5%, 35.5%가 된다.

2. 실험계획의 설계

인자별 수준이 각각 3수준인 4개의 인자에 대해서 주효과 (Main Effect)와 상호작용을 검출한다. 단, 3차 이상의 상호작용은 무시한다. 이를 위해 실험계획법의 직교표 $L_{27}(3^{13})$ 을 채용하였다. 종속변인은 재귀반사 휘도계수로 단위는 $\text{mcd/m}^2 \cdot \text{Lux}$ 이다. 내구성실험은 실제 현장실험을 필요로 하나 1년 이상의 기간이 필요하기 때문에 실험실에서의 테버형 내마모시험을 통해 마모감량을 산출하는 방식을 적용하였다. 시료제작 및 결과치 분석은 반사성능 실험계획과 동일하게 $L_{27}(3^{13})$ 의 직교표를 적용한다. 반사성능 측정은 측정장비중 하나인 Miro-Lux를 사용하여 각 시편당 3회 측정후 재귀반사휘도계수 ($\text{mcd/m}^2 \cdot \text{Lux}$)의 평균값으로 정하였다. 분석방법으로는 직교표에 의한 실험 결과치를 1차적으로 분산분석을 통해 영향인자를 추출하고, 인자별 기여도, 주효과 및 상호작용, 최적조합 등을 도출하였다. 실험결과치의 분석을 통하여 다음의 각 항목에 대한 최적조합이 도출된다.

- 각 도료종류별 반사성능의 최적치 $\rightarrow A_p B_q C_r D_s$ 조합
- 각 도료종류별 내마모성 최적치 $\rightarrow A_p B_q C_r D_s$ 조합
- 각 도료종류별 반사성능과 내구성 최적치 (반사성능과 내구성의 최적조합) $\rightarrow A_{op} B_{oq} C_{or} D_{os}$ 조합

3. 실험 절차

실내실험용 형틀은 알미늄 및 철판을 가공하여 제작하였으며 테버형 형틀은 KS 규격에 따라 철판가공 금형으로 제작하였다. 본 연구의 실험절차는 다음과 같다.

- ① 직교표의 각 셀당 배합비율에 따라 재료 배합
- ② 용융 \rightarrow 시료별 배합물의 무게는 1mg까지 계측
- ③ 반사성능 측정용 Sample 제작
- ④ 테버형 (마모시험) 시험용 Sample 제작
- ⑤ 건조 후 재귀반사휘도계수 측정 (Miro-Lux값)
- ⑥ 테버형 Sample (마모시험)은 수거 후 화학연구소에 시험 의뢰
- ⑦ 분석

실험의 정확도를 높이고 오차를 최대한 줄이기 위해 다음과 같이 실험통제를 하였다.

- 용융시간은 15분으로 고정하며 용융후 유리알 살포시간은 0.5초로 고정
- 중요한 인자이면서 제외된 것은 용착식 페인트 재료이지만 본 연구에서는 KS제품이면서 가장 많이 사용되고 있는 페인트재료로 (KS M 5333, KS 표시 허가 제1773호, 노란색, 대화페인트) 통일하였다.
- 노면 (알미늄 플레이트로 대응)의 온도는 30℃를 유지하였다.
- 휨방지를 위해 알미늄 플레이트의 두께를 T = 3mm를 사용하였다.
- 동일한 조건을 유지하기 위해 실험공정상 동일 공정은 동일인에 의해 실험하였다.
- 조합별 실험순서는 임의 추출하여 무순위로 하였다.

IV. 실험결과 및 분석

1. 반사성능 (제귀반사 휘도계수)

1) 실험결과

4개인자 (온도, 유리알 함량, 색도, 유리알 종류)를 3수준으로 구분하고, 실험계획법의 직교표 $L_{27}(3^{13})$ 을 채용하여 실험하여 <표 3>의 분산분석표를 얻었다

<표 3> 분산분석표 (반사성능 측정치)

구분	S	∅	V	F0	F(0.1)	F(0.05)	비고
A(온도)	223.89	2	111.95	0.40	3.46	5.14	
B(유리알 함량)	715.82	2	357.92	1.27	3.46	5.14	
C(색도)	181.12	2	90.56	0.32	3.46	5.14	
D(유리알 종류)	1662.49	2	831.25	2.95	3.46	5.14	
A×B	2285.66	4	571.42	2.02	3.18	10.9	
A×C	827.12	4	206.78	0.73	3.18	10.9	
B×C	1167.36	4	291.84	1.04	3.18	10.9	
e	1690.37	6	281.73				
T	8753.72	26					

<표 3>에서 D인자와 A×B 상호작용이외의 인자는 F값이 적기 때문에 이를 제외한 나머지 인자들을 오차항에 풀링 (Pooling)시켜 다음의 <표 4>와 같은 분산분석표를 구하였다.

<표 4> 오차항에 풀링한 분산분석표

구분	S	∅	V	F0	F(0.1)	F(0.05)	기여율
D(유리알 종류)	1662.49	2	831.25	3.46	2.97*	4.35	19.0%
A×B	2285.66	4	571.42	2.38	2.25*	2.87	26.1%
e	4805.67	20	240.28				54.9%
T	8753.72	26					100%

위 <표 4>에서 보듯이 유리알의 종류와 A×B 상호작용이 $\alpha = 0.1$ 수준에서 유의하여 노면표시 반사성능에 영향을 미치는 인자로 나타났다. 유의한 인자인 온도와 유리알 함량의 상호작용이 26.1%의 기여율로 가장 큰 영향을 미치고 있으며, 유리알 종류는 19%의 기여율을 나타내었다.

2) 결과분석

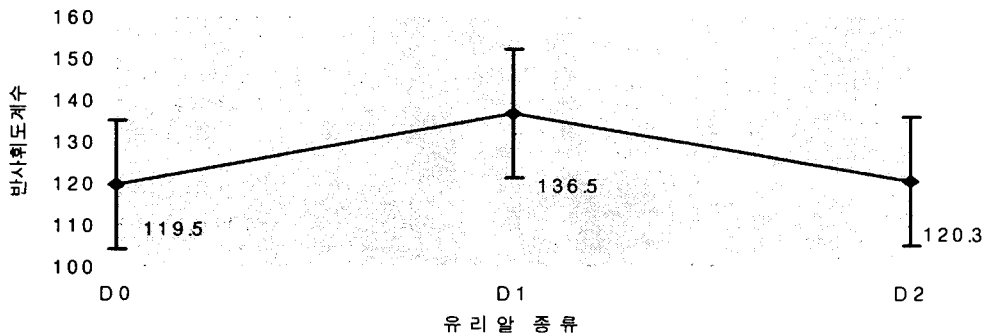
본 절에서는 분산분석 결과 유의수준 $\alpha = 10\%$ 에서 유의한 인자와 상호작용에 대한 모평균 추정과 신뢰

한계를 구하였다. 유의한 D인자의 수준별 모평균과 신뢰한계는 다음의 <표 5>와 <그림 1>과 같다. 여기서, 신뢰한계는 유효반복수 k 값 (총실험횟수를 무시하지 않는 요인의 자유도의 합에 1을 더한 값으로 나눈값)을 이용하여 다음의 식 (1)과 같이 구하였다.

$$t(\alpha/2; \nu) \sqrt{V_E / k} = t(0.05; 20) \sqrt{240.28/3.86} = \pm 13.610 \dots\dots\dots (1)$$

<표 5> D인자의 모평균과 신뢰한계

유리알 종류	모평균 ($\mu(D)$)	신뢰한계	비고
한국제품 (D0)	119.5	± 13.610	0 수준
미국제품 (D1)	136.5	± 13.610	1 수준
일본제품 (D2)	120.3	± 13.610	2 수준

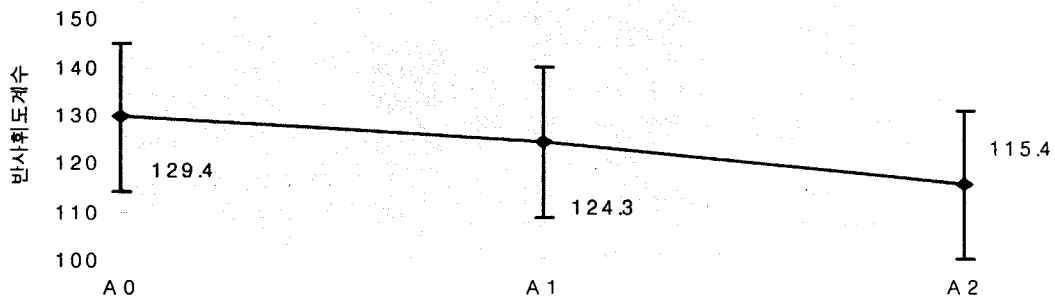


<그림 1> D인자의 수준별 효과

A와 B인자의 상호작용 효과가 인정되므로 A와 B인자의 수준변화에 따라 상승 및 상감관계 여부를 알아볼 필요가 있다. A와 B인자의 모평균과 신뢰한계는 <표 6 ~ 7>, <그림 2 ~ 3>과 같다.

<표 6> A인자의 모평균과 신뢰한계

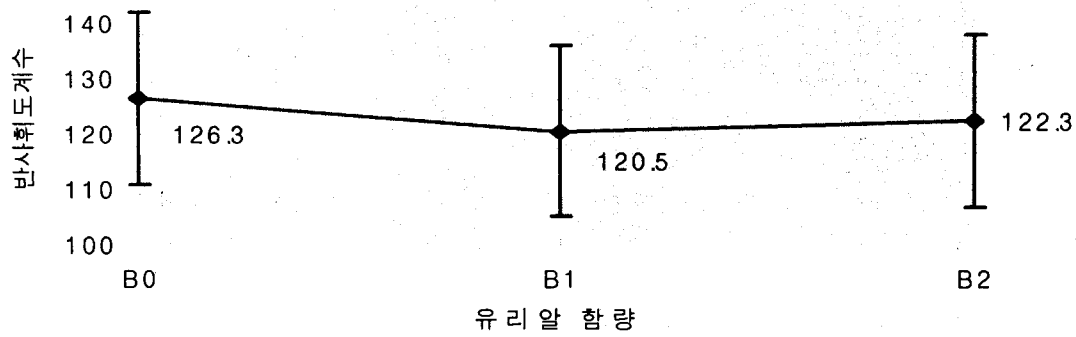
온도 조건	모평균 ($\mu(A)$)	신뢰한계	비고
170°C (A0)	129.4	± 13.610	0 수준
190°C (A1)	124.3	± 13.610	1 수준
210°C (A2)	115.4	± 13.610	2 수준



<그림 2> A인자의 수준별 효과

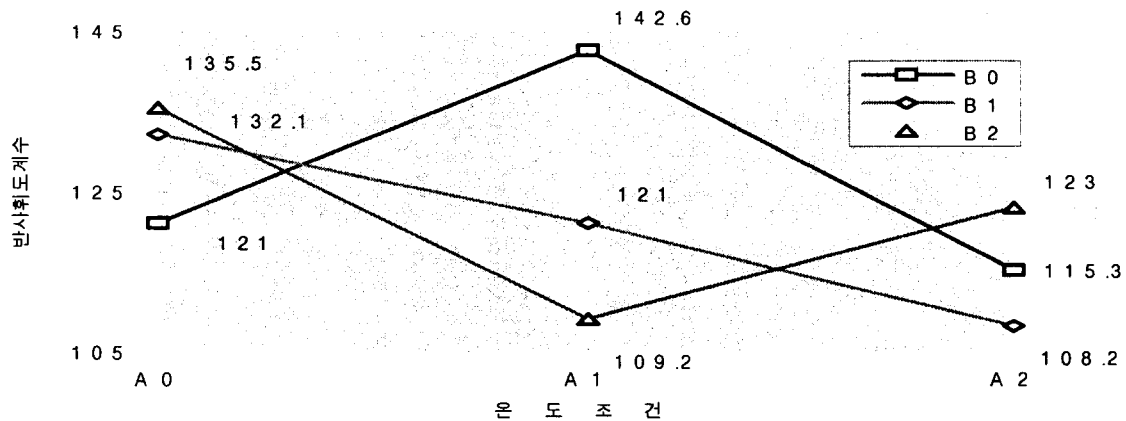
<표 7> B인자의 모평균과 신뢰한계

유리알 함량	모평균 ($\mu(B)$)	신뢰한계	비고
9.6g (B0)	126.3 \pm 15.243	± 13.610	0 수준
19.6g (B1)	120.5 \pm 15.243	± 13.610	1 수준
29.6g (B2)	122.3 \pm 15.243	± 13.610	2 수준



<그림 3> B인자의 수준별 효과

B인자에 대한 A의 상호작용을 보면 다음의 <그림 4>와 같다.



<그림 4> A×B인자의 수준별 상호작용 효과

<그림 4>에서 상호작용의 관계를 볼 때 A_0 수준 (170℃)에서는 유리알의 혼입량 B_0, B_1, B_2 수준의 순으로 재귀반사 휘도계수가 높아지고, A_1 수준 (190℃)에서는 반대로 B_2, B_1, B_0 수준의 순으로 재귀 반사 휘도계수가 변화하였다. 따라서 온도 상승에 따라 B_1 수준에서 B_2 수준으로의 유리알 함량 증가는 상감작용, B_0 수준은 상승작용이 있음을 알 수 있다. 다시 A_2 수준 (210℃)에서는 전반적으로 하향하면서 B_2 의 상향을 볼 수 있다. 이부분에 대해서는 해석에 다소 어려움이 있으나 와 A_0, A_2 수준내에서 B_0, B_1, B_2 수준의 상호간 상승 및 상감작용이 있다는 것은 분명하다. 분산분석 결과 A와 B인자의 상호작용은 26%의 기여율을 나타내고 있음을 유의해 볼 필요가 있다.

2. 내구성 (내마모성)

내구성 (내마모성) 실험은 반사성능 실험과 동일하게 $L_{27}(3^{13})$ 의 직교표를 적용하였으며, 한국화학시험 연구소에 의뢰하여 내마모성 (마모감량) 측정 결과 다음 <표 8>의 분산분석표를 얻었다. <표 8>에서 보면 B인자 (유리알 함량)가 $\alpha = 0.1$ 수준에서 유의하였으며, B인자의 기여율은 34%로 가장 많이 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다.

분산분석 결과 유의수준 $\alpha = 10\%$ 에서 유의한 인자에 대한 모평균 추정과 신뢰한계를 구하였다. 유의한 B인자의 수준별 모평균과 신뢰한계는 다음의 <표 9>과 <그림 5>와 같다. 여기서, 신뢰한계는 유효반

복수 k 값을 이용하여 다음의 식 (2)과 같이 구하였다.

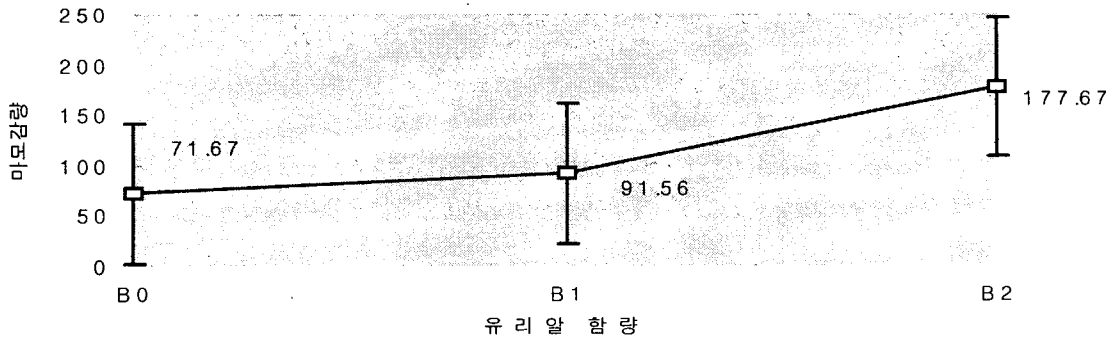
$$t(\sigma_E; \alpha/2) \sqrt{V_E / k} = t(6; 0.05) \sqrt{7183.83/9} = \pm 69.134 \dots\dots\dots (2)$$

<표 8> 분산분석표 (내마모성 측정치)

구분	S	∅	V	F0	F(0.1)	F(0.05)	기여율
A(온도)	4959.19	2	2479.59	0.35	3.46	5.14	-
B(유리알 함량)	57140.07	2	28575.04	3.98*	3.46	5.14	34%
C(색도)	12718.74	2	6359.37	0.89	3.46	5.14	-
D(유리알 종류)	9340.74	2	4670.37	0.65	3.46	5.14	-
A×B	5143.70	4	1285.93	0.18	3.18	10.9	-
A×C	6649.70	4	1662.43	0.23	3.18	10.9	-
B×C	29140.81	4	7285.20	1.01	3.18	10.9	-
e	43102.96	6	7183.83				26%
T	168195.93	26					100%

<표 9> B인자의 모평균과 신뢰한계

유리알 함량	모평균 (μ(B))	신뢰한계	비고
9.6g (25.5%)	71.67	± 69.134	0 수준
19.6g (30.5%)	91.56	± 69.134	1 수준
29.6g (35.3%)	177.67	± 69.134	2 수준



<그림 5> B인자의 수준별 효과

3. 평가 및 논의

1) 반사성능

실험결과 온도와 유리알 함량의 상호작용은 26%, 유리알 종류는 19%의 기여율을 나타내었다. 유리알 함량이 적은 것은 온도 170℃에서는 낮고 190℃에서 가장 좋은 고착율을 나타내었다. 또 온도 170℃에서는 유리알의 살포량이 낮을수록 재귀반사 휘도계수가 높기 때문에 유리알 살포관리가 용이하다고 판단된다. 그러나 190℃에서는 유리알 함량이 높을수록 재귀반사 휘도계수가 떨어지는데 이것은 묽은 상태에서 유리알이 침전하거나 뭉쳐져서 고착되기 때문인 것으로 판단된다. 예비실험 결과 220℃ 근방에서 용융시 재료의 변질이 나타나 고온에 의한 도료손상의 우려와 210℃ 근방에서는 전반적으로 재귀반사 휘도계수가 낮게 분포되어 고려대상에서 제외함이 타당하다. 따라서 온도 170℃ 근방에서는 유리알 살포량을 늘려주고, 190℃ 근방에서는 오히려 유리알 살포량을 줄이는 것이 유리하다. 현장적용에 있어서는 온도를 정확하게 유지하기 어렵기 때문에 노면표시 재귀반사 휘도계수의 균제도를 높이기 위해 KS 규격에서 정하고 있는 온도인 180℃ 근방에서 용융하여 설치한다면 유리알 함량과 무관하게 125 $mcd/m^2 \cdot Lux$ 를 유지할 수 있을 것으로 사료된다. 재귀반사 휘도계수 125 $mcd/m^2 \cdot Lux$ 는 현행 기준

70 $mcd/m^2 \cdot Lux$ 보다 1.8배나 높은 값이므로 현장에서 설치시 안전을 20%를 적용하여 황색 노면표시의 재귀반사 휘도계수의 기준을 100 $mcd/m^2 \cdot Lux$ 으로 상향하여도 무방한 것으로 사료된다. 또한 유리알 종류별로는 국산, 일본산, 미국산의 순으로 재귀반사 휘도계수가 큰 것으로 나타나 국산제품을 사용해도 100 $mcd/m^2 \cdot Lux$ 를 상회할 수 있기 때문에 기준 상향에는 큰 무리가 없다.

<표 10> 황색 노면표시 재귀반사 휘도계수 조정 (안) (단위: $mcd/m^2 \cdot Lux$)

입사각	관찰각	구분	반사성능	
			기준	조정
86.5°	1.0°	도색후 3개월 이내	90	125
		재도색 시기	40	55
86.5°	1.5°	도색후 3개월 이내	70	100
		재도색 시기	30	40
88.76°	1.05°	도색후 3개월 이내	45	60
		재도색 시기	20	25

2) 내구성 (내마모성)

내마모성 실험의 실험계획은 반사성능 실험과 동일하게 $L_{27}(3^{13})$ 의 직교표를 적용하였으며, 한국화학시험연구소에 의뢰하여 측정하였다. 분석결과 통계적으로 유의한 것은 유리알 함량으로 유리알의 함량이 많을수록 마모감량이 많았다. 이는 도료의 체결재와 유리알의 박리에 의한 결과라고 사료된다.

V. 결론 및 건의

노면표시는 야간 시인성 확보를 위해 반사화가 필요하나 시공관련 정보의 미흡으로 좋은 재료를 가지고도 현행 반사성능은 최하 기준을 상회하는 정도로 제공되고 있다. 본 연구에서는 시공조건을 최적화하기 위해 용융온도, 유리알 함량 (살포량), 색도, 유리알 종류를 중요인자로 보고 반사성능과 내구성에 영향을 미치는 인자와 최적조건을 도출하였다. 그 결과 황색 노면표시의 재귀반사 휘도계수는 유리알 살포량을 증량비 25~30%, 용융온도 $188^{\circ}C \pm 10^{\circ}C$ 의 조건이 최적 조건임을 밝혔다. 또한 유리알의 품질개선과 함께 황색 노면표시의 재귀반사 휘도계수의 기준을 현재 광학구조 입사각 86.5°, 관찰각 1.5° 조건에서 70 $mcd/m^2 \cdot Lux$ 것을 100 $mcd/m^2 \cdot Lux$ 으로 하는등 기준을 상향 조정할 것을 건의하였다. 추후 연구과제는 노면표시의 색도 통일화에 관한 연구로 인간공학적으로 적절한 황색의 선정이 필요하다.

※ 참고문헌

1. 日本 工業標準協會(1992), 路面標示用塗料, JIS K 5665, 日本.
2. 全日本 道路標識標示業協會(1983), 路面標示 핸드ブック, 日本.
3. 횡단보도 보행자의 횡단특성에 관한 연구, 도로교통안전협회 (장덕명, 박종규), 1992.
4. Institute of Transportation Engineers (1992), Traffic Engineering Handbook, U.S.A.
5. Highway Research Board (1973), Pavement Traffic Marking, U.S.A.
6. Mary J 외 2명, The Use of Hot Melts For Highway Marking In The U.S., U.S.A.
7. National Technical Information Service (1982), Epoxy Thermoplastic Marking Material : Revised Specification, U.S.A.
8. Werner Adrian(1993), "The Physiological Basis of the Visibility Concept", U.S.A..