

도로 포장 시료의 종류와 마모에 따른 반사특성의 변화

(A Sort of Road Packing Samples and The Variation of reflectance Properties by Grinding)

김 기훈* 강원대학교 전기공학과 대학원
박 정일 동신 전기·소방
김 훈 강원대학교 전기전자공학부 교수

요 약

도로 조명에 있어서 질적인 평가 기준으로서 중요한 위치를 차지하고 있는 휘도 개념은 노면의 반사 특성에 따라 크게 좌우된다. 또한 노면의 반사 특성은 도로가 설치된 이후로부터의 시간, 날씨의 변화, 주어진 구간 내에서의 교통량 등에 의한 노면 재질의 마모 상태에 따라서 복합적으로 변화한다. 그러므로 도로 조명의 설치에 있어서 노면 반사 특성의 측정은 매우 중요할 뿐만 아니라 국내 도로 조명 설비의 휘도 기준을 상정하는데 있어서도 매우 중요하다. 이에 따라서 일반적으로 국내에서 사용되는 4가지의 도로 포장 시료인 콘크리트 도로 샘플, SMA(Stone Matrix Asphalt), 투수성, 밀입도 도로 샘플을 취하여 그 특성을 파악하고 반사 특성에 대한 초기값을 측정하였으며 각 샘플들에 대한 재질의 마모 상태에 대하여 반사 특성의 변화를 각각 측정하였다. 또한 그 측정된 값들을 각각 분석하고 재질의 마모에 따른 평균 휘도 계수 Q0, 정반사 인자 S1, S2값의 변화를 그래프로 제시하였다.

1. 서론

도로조명의 요건을 만족하는 양질의 조명을 위해서는 휘도 개념에 기반을 둔 조명기준 설정이 요구된다. 현재 대부분의 유럽지역은 CIE(국제 조명위원회)의 권유안을 받아들여서 휘도 기준을 기반으로 설계하는 것을 표준으로 삼되, 올바른 판단에 의해 설계가 이루어지는 경우는 조도 기준을 적용할 수 있다는 입장을 취하고 있다. 우리 나라에서는 KS 규격에 휘도 기준이 설정되어 있으나, 실제 조명계산을 할 때에는 조도 개념에 기반한 광속법을 사용하고 있다.[1]

도로조명에 있어서 질적인 평가 기준으로서 중요한 위치를 차지하고 있는 휘도 개념은 노면의 반사특성에 따라서 크게 좌우되며, 노면의 반사특성은 도로가 설치된 이후로부터의 시간, 날씨의 변화, 주어진 구간 내

에서의 교통량 등에 의한 노면 재질의 마모상태에 따라서 복합적으로 변화한다. 그러므로 도로 조명의 설치에 있어서 노면 반사특성의 측정은 매우 중요할 뿐만 아니라 국내 도로조명설비의 휘도 기준을 상정하는데 있어서도 매우 중요하다.

이에 따라서 일반적으로 국내에서 사용되는 4 가지의 도로 포장 시료인 콘크리트 도로샘플, SMA(Stone Matrix Asphalt), 투수성, 밀입도 도로샘플을 취하여 그 특성을 파악하고 반사특성에 대한 초기값을 측정하였으며, 샘플들의 재질의 마모상태에 대하여 반사특성의 변화를 각각 측정하였다. 또한 그 측정된 값들을 각각 분석하고 마모에 따른 평균 휘도 계수 Q0, 정반사 인자 S1, S2 값의 변화를 그래프로 제시하였다.

2. 측정 한 도로 샘플의 특성

2.1 콘크리트 도로 표면

콘크리트 도로 표면에는 일반 콘크리트 도로 표면과 석탄 폐석 콘리트 도로 표면으로 나누어 질 수 있다. 이것들은 잔 골재와 굵은 골재에 들어있는 석탄 폐석과 천연 골재의 배합 비율에 의해서 결정된다. 여기서 잔 골재란 0.182mm이하의 크기를 가진 골재를 말하며, 굵은 골재란 4.70mm이상 크기의 것을 말한다.

2.2 SMA (Stone Matrix Asphalt)

도로 표면

SMA의 시초는 독일에서의 스파이크 타이어의 사용(1960~1968년)과 함께 차륜 통과부가 패이고 보수의 필요성이 있어 매스틱(Mastic; 40~50%의 모래 + 30~35%의 채움재 + 25%의 아스팔트)을 이용하여 패인 부분을 채우고 골재를 칩핑(chipping) 하는 공법에서 시작하였다. 그러나 작업이 수작업이며, 비용이 많이 드는 단점이 있어서, 보다 경제적이며 일반 아스팔트 생산 방식으로 생산과 시공이 가능한 현재의 SMA를 개발하게 된 것이다. 이와 같은 개념의 SMA는 초창기 골재 최대치수를 8mm로 하여 2cm 두께의 포장 덩어리의 보수용으로 주로 이용되었다. 그 후 그 성능이 인정되어 보수용 뿐 아니라 신설 포장용으로도 사용되었다.

2.3 밀입도 도로 표면

아스팔트 혼합물의 종류는 굵은 골재의 비율과 입도 분포에 따라 조립도, 밀입도, 세립도, 개립도, 아스팔트 콘크리트로 구분되며, 입도 분포가 불연속인 것을 갭(gap) 아스팔트 콘크리트라 부른다. 표층으로는 일반적으로 대형차 교통량이 많은 도로에는 내구성성을 갖는 혼합물을, 교통량이 적은 도로에는 가요성과 내구성이 있는 혼합물을 선정하며, 적설지역의 도로에는 내마모성을 중시한 혼합물을 선정한다.

2.4 투수성 도로 표면

투수성포장이란 포장체를 통하여 빗물을 노상에 침투시켜 흙 속으로 환원시키는 기능을 갖는 포장을 말한다. 이 포장은 보도와 경교통이 통과하는 차도 및 주차장, 구내포장 등에 이용된다. 투수성포장은 10-2 cm/sec 정도의 높은 투수 계수를 갖는 아스팔트 혼합물로서 일반적으로 공극률을 높이기 위하여 잔골재를 거의 포함하지 않는, 비교적 단립도를 주체로 하는 개립도 혼합물이다. 그림 1은 투수성 보도 포장 단면 구조의 일례이다.

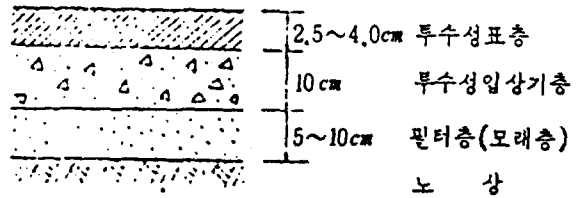


그림 1. 투수성 도로표면의 단면도

Fig. 1. A cross-section of permeable road surface

3. 도로 포장시료의

반사특성 측정기구

사진 1에서 보는 바와 같이 개발한 측정 기구는 광원이 β 와 γ 각에 대하여 움직이는 부분으로 이루어져 있다. β 각에 대한 이동은 반원의 아치가 원형의 받침을 따라 시계 반대 방향으로 360도 회전하도록 하였다. 그 간격은 r-table에서 제시한 β 각의 범위를 충분히 만족시키기 위해 처음에 0도에서 2도를 먼저 이동하게 하고 그 나머지는 5도 간격으로 이동하게 하였다. γ 각의 이동은 반원의 아치에서 램프를 상하로 움직임으로서 달성된다. γ 각이 0도라 함은 램프가 도로 표면과 수직일 때를 말하며 이 위치에서 휘도계의 위치와 반대 방향으로 램프가 내려갈수록 γ 각은 증가한다. 본 실험 장치에서 사용한 휘도계는 미놀타 LS-110, 조도계는 미놀타 T-1M이고 광원은 편구 금형 할로겐 램프를 사용하였으며 휘도계의 시준 영역에서 조도값이 균일하도록 하는 조명 기구를 선택하였다. 또한 CIE (국제 조명위원회)에서 규정한 통합 휘도 계수 r의 측정범위는[2][3] 다음과 같다.

β 는 0-2-5-10-25-30-40-45-60-75-90-105-120-135-150-165-180도 순서로 측정되고, γ 는 $\tan \gamma$ 값이 0-0.25-0.5-0.75-1-1.25-1.5-1.75-2-2.5-3-3.5-4-4.5-5-5.5-6-6.5-7-7.5-8-8.5-9-9.5-10-10.5-11-11.5-12의 순서로 측정된다.

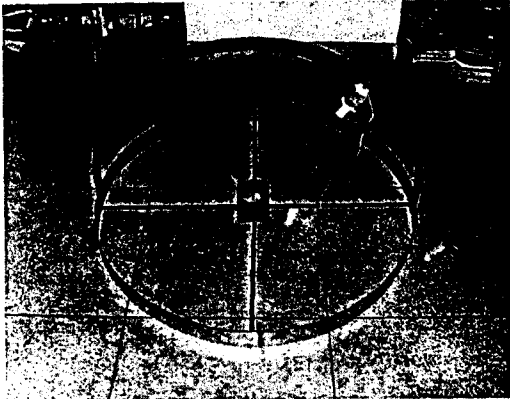


사진 1. 노면 반사특성 측정 기구
Photo 1. Measuring instrument for reflection property of road surface

4. 반사특성의 측정과 분석

4.1 통합 휘도계수(r)의 측정 결과

사진 1의 측정기구를 사용해서 각 샘플의 반사특성을 측정하여 r-table[3]을 만들었다. 표 1은 콘크리트 포장 시료의 r값으로서 나머지 3가지의 도로 포장 시료의 r-table도 표 1과 동일한 형식으로 작성하였으며, 그것들은 지면상 생략하기로 한다. 실제 측정된 β 와 γ 각의 범위는 그 수가 매우 많으므로 몇 개의 각들을 임의로 선정하여 표로 나타내었다.

표 1. 마모전의 콘크리트포장시료의 r 값
Table 1. r-table for concrete sample before grinding

$\gamma \backslash \beta$	0	45	63.4	76	80.5	82.9	84.3	85.2
0	715	583	510	376	173	79	46	16
5	715	580	306	96	38	15	9	5
10	715	571	341	110	42	15	9	4
20	715	472	150	38	14	6	3	2
30	715	394	102	25	10	4	2	1
40	715	327	88	19	8	3	2	1
60	715	279	66	16	6	2	1	0
75	715	237	59	14	5	1	1	1
90	715	253	68	18	7	2	1	1
105	715	270	77	23	9	4	2	1
135	715	325	103	33	14	6	4	2
150	715	347	133	46	21	10	7	4
180	715	399	175	73	34	17	12	7

이 r-table을 이용하여 CIE에서 제시한 표준 노면의 분류에서 사용한 Q0, S1, S2 인자들을 각각 구하여 CIE에서 제시한 표준 노면과 비교하여 보면 그 값은 표준 노면과 차이가 있었다. 이것은 CIE에서 제시한 표준 노면은 오랜 시간에 걸쳐서 마모된 도로 표면이었으나 측정 대상으로 삼은 도로 표면 샘플은 전혀 마모되지 않은 상태에서 측정하였기 때문이다. 그렇기 때문에 도로표면의 마모상태에 따른 r-table 값의 변화를 측정하는 것이 필요하다고 판단하고 그에 따라 도로 표면을 마모시킬 수 있는 방법을 고안하였다.

즉, 주속도가 4300 m/min 이고 분당 회전수 1200 rpm, 입력 570W, 출력 350W, 슛돌 100×6×15.88 mm 인 연삭기를 사용하여 각각의 도로 표면에 대하여 0초, 20초, 40초, 60초 동안 마모시켜 노면의 경년 변화를 구현하였으며, 이에 따른 통합 휘도 계수 (r) 값을 각각 측정하였다. 이와 같이 측정된 통합 휘도 계수 (r) 값들로 각각의 시료마다 마모 시간별로 분류하여 Q0, S1, S2[4][5]를 계산하여 나타내면 표 2와 같다.

표 2. 마모 시간에 대한 각 샘플의 S1, S2, Q0의 값
Table 2. S1, S2, Q0 values of each sample for grinding time

도로 샘플 명	마모 시간 (sec)	Q0	S1,	S2,
콘크리트 도로표면	0	0.142819	0.713396	1.998162
	20	0.1057151	1.9528979	3.2732134
	40	0.0951154	2.4966623	3.0555528
	60	0.0911345	2.0069941	3.6686252
SMA 도로표면	0	0.042479	1.4356852	2.8545419
	20	0.0677565	0.7466474	2.30884
	40	0.0576921	0.6583447	1.9256123
	60	0.0631735	0.6868272	1.8989651
투수성 도로표면	0	0.0507553	1.2318423	2.745733
	20	0.0806118	1.9786294	2.5603122
	40	0.074756	2.144367	2.201266
	60	0.0563342	0.4847271	1.7708529
밀입도 도로표면	0	0.032395	1.0654338	4.4698018
	20	0.0803709	2.5457859	3.669731
	40	0.0715975	4.0671942	3.0641295
	60	0.0917027	4.2904209	3.5123161

4.2 측정 결과의 분석

4.2.1 CIE 계산법에 의한 분석

그림 2에서 9[6][7]까지는 CIE에서 선정된 표준 노면들과 비교하여 측정된 도로의 표면이 어느 부류에 속하는지를 S1, S2, Q0 값에 따라 나타내고 있다. × 표시한 곳이 0초, △ 표시한 곳이 20초, □ 표시한 곳이 40초, ○ 표시한 곳이 60초에 대한 위치이다. CIE에서 추천한 N1~N4, R1~R4[8][9]까지 등급의 도로 표면 또한 함께 나타나 있으며, 마모에 따라서 측정된 도로 표면의 좌표가 비교적 근접하지 않은 경우도 있었다. 이것은 세계의 각 국가가 도로 포장 시료를 제조하는 방법을 달리하고 또한 도로 표면을 구성하고 있는 물질이 다르기 때문에 발생한 것이다. 그리고 Q0, S1, S2의 값이 어느 순간 마모가 되었을 때 갑자기 변화하여 그 이후로는 거의 변화하지 않고 근접하여 위치하는 것을 볼 수 있는데 이것은 연마 초기에 도로 표면이 마모되면서 새로운 성질의 재질이 나타났고 그 이후 계속하여 유지된다는 것을 의미한다.

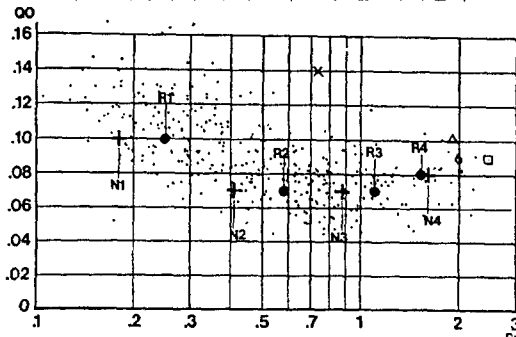


그림 2 콘크리트 표면의 마모에 의한 Q0-Q1의 변화
Fig. 2. Variation of the Q0-S1 characteristics of concrete surface by grinding

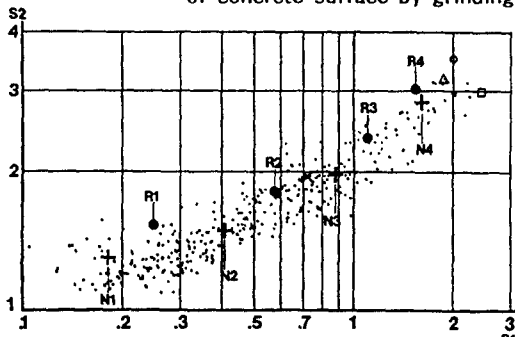


그림 3 콘크리트 표면의 마모에 의한 S2-S1의 변화
Fig. 3. Variation of the S2-S1 characteristics of concrete surface by grinding

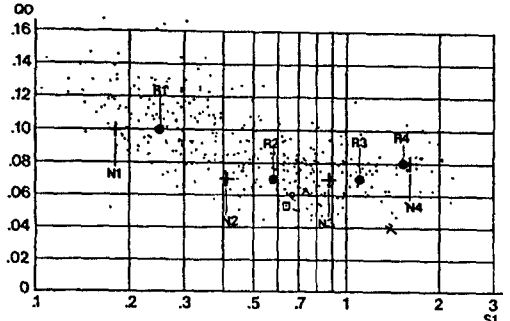


그림 4 SMA 표면의 마모에 의한 Q0-S1의 변화
Fig. 4. Variation of the Q0-S1 characteristics of SMA surface by grinding

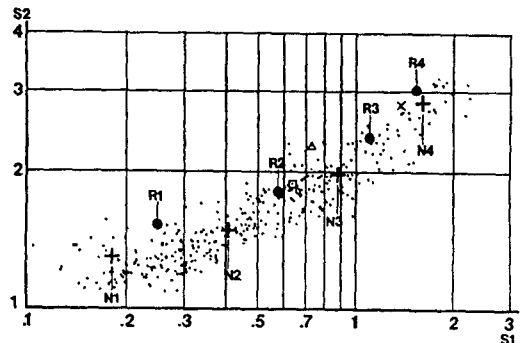


그림 5 SMA 표면의 마모에 의한 S2-S1의 변화
Fig. 5. Variation of the S2-S1 characteristics of SMA surface by grinding

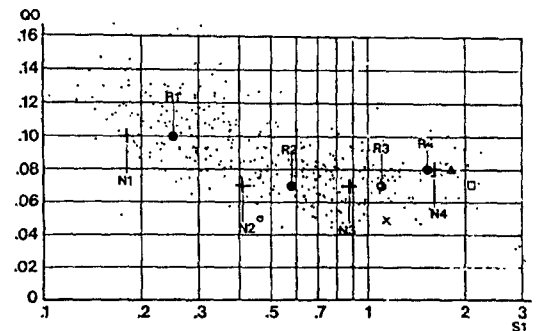


그림 6 투수성 표면의 마모에 의한 Q0-S1의 변화
Fig. 6. Variation of the Q0-S1 characteristics of permeable surface by grinding

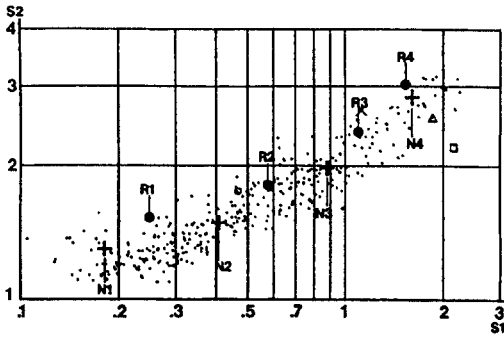


그림 7. 투수성 표면의 마모에 의한 S2-S1의 변화
Fig. 7. Variation of the S2-S1 characteristics of permeable surface by grinding

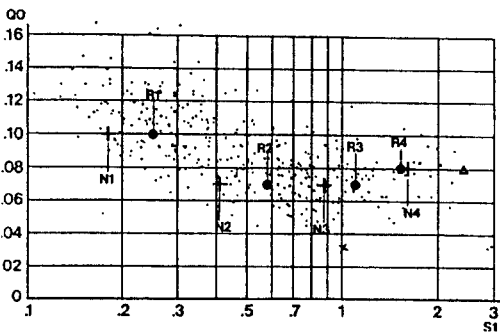


그림 8. 밀입도 표면의 마모에 의한 Q0-S1의 변화
Fig. 8 Variation of the Q0-S1 characteristics of dense surface by grinding

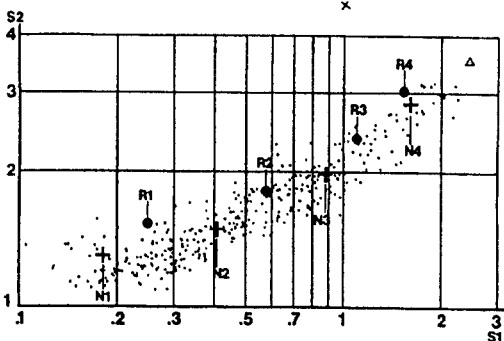


그림 9 밀입도 표면의 마모에 의한 S2-S1의 변화
Fig 9. Variation of the S2-S1 characteristics of dense surface by grinding

4.2.2 연마 시간에 따른

Q0, S1, S2의 변화

4.2.2.1 Q0의 변화

콘크리트 도로 표면은 처음에는 평균 휘도 계수 Q0가 상당히 높았지만 노면을 연마함에 따라서 점점 작아졌다. 이는 처음에는 콘크리트 도로 표면이 밝은 노면이었지만, 도로 표면을 마모시킴에 따라서 점점 어두운 색의 재질이 나타나기 때문이다. 이로 인해 Q0값이 점차로 작아지는 현상을 보인다. SMA와 밀입도 도로 표면은 거의 같은 경향으로 나타났는데 이것은 도로 표면을 구성하고 있는 성분들이 비슷한 물질로 이루어 졌기 때문이다. 즉, 처음에는 휘도가 낮은 아스팔트 물질에서 점차로 밝은 색의 골재가 나타나며, 이에 따라 Q0값이 증가하였다. 투수성 도로 표면은 20초 이후 밝은 골재가 나타날 때까지 어느 정도 증가하였다가 공극 부분이 많아지면서 감소하였다.

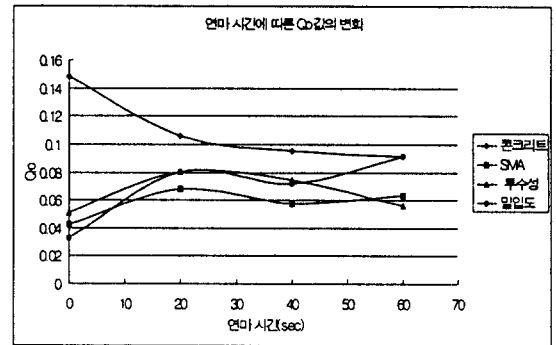


그림 10. 마모 시간에 따른 Q0 특성의 변화
Fig. 10. Variation of the Q0 characteristics for grinding time

4.2.2.2 S1의 변화

노면의 매끄러움을 나타내는 S1은 밀입도 도로 표면과 콘크리트 도로 표면 그리고 투수성 도로 표면에서 점차적으로 증가하다 40 초 이후에 다시 감소하였는데 이것은 도로 표면을 마모시킴에 따라 노면이 매끄러워 졌다가 다시 거칠어 졌음을 뜻한다. 40 초까지는 굵은 골재가 나타났으나 날카로운 연삭기로 마모시켰기 때문에 그 표면이 매우 매끄러워 지고 이에 따라 S1이 점차 증가하였다. 40 초 이후에는 각 샘플마다 새로운 물질이 나타나서 그 값이 변동하였다. SMA 도로 표면은 처음에는 매끄러운 표면이었다가 거친 골재가 나타남으로서 그 값이 점차로 감소하였다. 즉 표면이 거칠어졌음을 뜻한다.

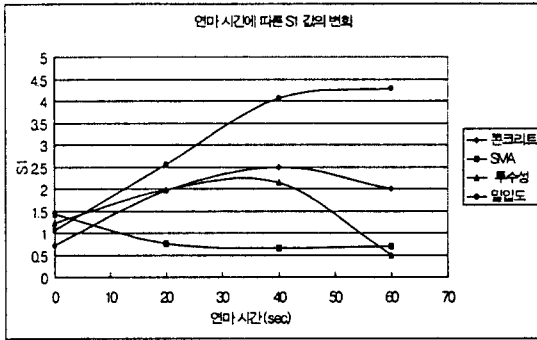


그림 11. 마모 시간에 따른 S1의 변화
Fig. 11. Variation of the S1 characteristics for grinding time

4.2.2.3 S2의 변화

확산의 정도를 나타내는 S2는 확산이 잘되면 감소하고 확산이 안되면 증가한다. 확산이 잘 된다는 것은 굵은 골재를 많이 포함하고 있다는 뜻이고 확산이 안 된다는 것은 굵은 골재를 포함하고 있지 않다는 것을 뜻한다. 콘크리트를 제외한 모든 샘플이 40 초까지 감소하였는데 이것은 40 초까지 굵은 골재가 있어서 확산이 점차 증가하였음을 뜻한다. 표면의 매끄러움을 나타내는 S1에 대한 그래프와 비교하면 40 초까지의 성분이 굵은 골재임을 알 수 있다. 그 이후는 각 샘플마다 다른 재질이 나타남으로써 그 값이 변동하였다.

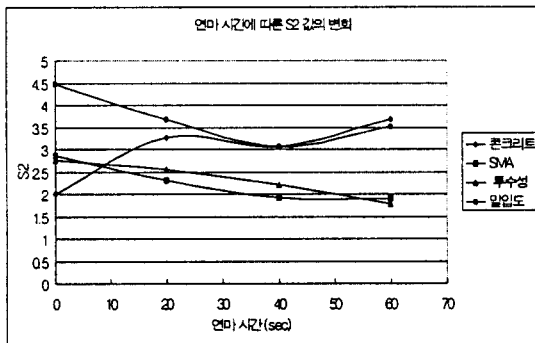


그림 12. 마모 시간에 따른 S2 특성의 변화
Fig. 16 Variation of the S2 characteristics for grinding time

5. 결론

β 각과 γ 각에 대하여 노면의 반사 특성을 측정할 수 있는 측정장치를 개발하고 국내에서 가장 많이 사

용되는 4 가지의 도로 샘플 즉, 콘크리트, SMA(Stone Matrix Asphalt), 투수성, 밀입도 도로 표면을 취하여 각각의 샘플에 대해 그 반사 특성을 측정하였다. 그리고 경년 변화를 구현하기 위해 20초, 40초, 60초 동안 연삭기로 도로 샘플을 연마 시켜 반사 특성의 변화를 CIE에서 제시한 표준 등급의 도로 표면과 비교하여 분석하였다. 또한 연마 시간에 따른 Q0, S1, S2 변화를 측정하였으며, 그 변화를 요약하면, 평균 휘도 계수 Q0는 콘크리트 도로 표면에서 상당히 높았지만 노면을 마모시킴에 따라서 점차로 작아졌고, 노면의 매끄러움을 나타내는 S1은 밀입도 도로 표면과 콘크리트 도로 표면 그리고 투수성 도로 표면에서 40초까지 점차적으로 증가하였다. 그리고 확산의 정도를 나타내는 S2는 모든 샘플에 대해서 40초까지 감소하였다. 이와 같이 경년 변화에 따른 Q0, S1, S2는 노면의 구성 물질에 따라 크게 좌우되며, 마모 시간에 따른 변화를 경년의 변화로 확장하면, 노면의 마모 특성을 예측할 수 있고 도로 포장 재질의 선정에 있어서도 기준이 될 수 있다. 하지만 실제로 오랜 시간에 걸친 노면의 경년 변화와 연삭기에 의한 노면의 연마 시간을 연결시키고자 한다면 더욱 많은 연구가 필요하다. 또한 노면의 반사 특성은 우천 시에도 크게 변화하므로 우천 시의 특성 변화를 측정하는 것이 필요하다. 그리고 측정 기구에 있어서도 수동식에 의해서 많은 오차와 많은 노력을 필요로 하는 것보다는 자동화된 측정 장치의 개발이 필요하다.

참 고 문 헌

- (1) 여 인선, " 도로 조명의 설계 ", 조명·전기설비 학회지, 12권, 1호, 1998, p13~27
- (2) 전 관섭, 정 중철 "도로 조명의 요건과 기준", 조명·전기설비학회지, 12 권, 1호, 1998, p3~p12
- (3) IESNA LM-69, IESNA Approved Guide for the Interpretation of Roadway Luminaire Photometric Report, 1995
- (4) CIE, "Calculation and Measurement of Luminance and Illuminance in Road Lighting ", Technical Report , Pub 30-2, 1982, 2/e
- (5) J.R Coaton et al, Lamps and Lighting, 4/e, Arnold, 1997
- (6) ANSI/IES RP-8-1983, American National Standard Practice for Roadway Lighting, 1983
- (7) CIE Technical Report, Pub. No. 115-1995, Recommendations for the Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic, 1995
- (8) JIS 道路照明 基準, JIS Z 9111-1988 (1993 確認).
- (9) CIE Technical Report, Pub. No. 34-1997, Road Lighting Lantern and Installation Data-Photometrics, Classification and Performance, 1977