

알갱이 형태의 유색첨가제를 이용한 칼라 아스팔트 혼합물의 공용성 평가 연구

Study on the Performance Evaluation of Colored Asphalt Hot Mixtures through the Usage of Grain-typed Color Additive

이 상 염 Lee, Sangyum

안 용 주 Ahn, Yongju

문 성 호 Mun, Sungho

김 영 민 Kim, Yeongmin

정희원 · 서울시청 도시안전본부 도로관리과 주무관 · 주저자 (E-mail : slee11@seoul.go.kr)

서울과학기술대학교 건설공학부 석사과정 (E-mail : conan84@empas.com)

정희원 · 서울과학기술대학교 건설공학부 조교수 · 교신저자 (E-mail : smun@seoultech.ac.kr)

정희원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 전임연구원 (E-mail : choozang@kict.re.kr)

ABSTRACT

Asphalt concrete pavement can be widely seen on urban streets, highways, parking lots, and bike trails. Asphalt concrete pavement is relatively temperature sensitive materials due to the viscoelastic behavior, which can be defined as flexible performance in summer and rigid performance in winter. In terms of maintenance, it can be fixed quite easily if damaged. In addition, asphalt concrete pavement is generally found to be black and grey in color. However, several colors can be adopted to change the appearance of plain old boring, black and grey. Generally, there are two types of color systems in hot mix asphalt concrete materials. One system uses colored cementitious material that is applied to pavement surface through coating the surface of the asphalt pavement. The major disadvantage to this system requires a careful skill set to be used on the construction site in order to prevent taking off the cementitious material. The other coloring system colors the asphalt hot mixtures through using color additives. The main advantage to this system is that the asphalt pavement layer is colored using the same techniques that are already used in paving. The disadvantage is that the colors are limited to mainly reds and browns. In this study, a suggested color additive was evaluated, based on rutting, moisture sensitivity, and fatigue cracking performance.

KEYWORDS

asphalt hot mixtures, grain-typed color additive, performance evaluation

요지

아스팔트 콘크리트 포장은 많은 곳에서 쓰여지는 것을 볼 수 있다. 도심지 도로, 고속도로, 주차장, 그리고 자전거 도로에 이용되고 있다. 사용재료의 성질을 보면 비교적 온도에 민감한 재료로 분류될 수 있다. 여름철에는 유연한 성질을 보여주고 있고 겨울철에는 강성의 성질을 보여주고 있다. 포장관리의 측면에서는 손상된 부분에 대해서는 비교적 쉽게 보수할 수 있는 점을 들 수 있다. 그리고 일반적인 아스팔트 포장의 색깔은 검정과 회색으로 구성되어 있음을 알 수 있는데 이들 아스팔트 포장은 다양한 칼라로 표현할 수 있는데 크게 두 가지의 방법으로 칼라포장을 시공할 수 있다. 첫 번째로 시멘트 형태의 칼라도료를 아스팔트 포장에 칠하는 방법으로 도로가 벗겨지는 것을 방지하기 위해서는 주위를 요하는 시공이 요구된다. 두 번째의 방법은 칼라 첨가제를 이용한 칼라 아스팔트 시공을 들 수 있다. 본 방법은 원하는 아스팔트 층에 대해 전체적으로 색을 입히는 방법으로 장점으로는 일반적으로 쓰고 있는 혼합물 배합설계를 이용할 수 있다는 점이다. 단점으로는 주로 빨간색 그리고 갈색으로만 색깔을 표현할 수 있는 것이다. 본 연구에서는 제시된 첨가제를 이용하여 영구변형, 수분민감도 및 피로균열에 대한 공용성을 평가하고자 한다.

핵심용어

아스팔트 가열혼합물, 알갱이 형태의 칼라첨가제, 공용성 평가

1. 서론

차도용 칼라 아스팔트 콘크리트의 기본 특성 연구(오성균 외, 1999)에서 언급한 것처럼 일반적으로 칼라 아스팔트는 유색골재 혹은 혼합물에 안료를 첨가하여 색채를 띤 아스팔트 혼합물을 일컫으며 이러한 칼라 아스팔트는 미관을 목적으로 보도, 산책로, 운동경기장, 주차장, 자전거 도로에 주로 이용되고 있으며 또한 교통안전의 목적으로 횡단보도, 교차로, 학교 앞 등에 사용되며 특히 국내에서는 BRT(Bus Rapid Transit)용 포장에도 이용되고 있다. 이렇게 많은 곳에 사용됨에 따라 영구변형(Rutting) 혹은 피로균열(Fatigue Cracking)에 대한 공용성 평가의 연구가 진행되고 있다. 그 예로 칼라 아스팔트 혼합물의 저온균열에 의한 파손사례 연구(이석홍 외, 2003)에서는 2001년 4월경에 시공한 칼라 아스팔트 혼합물 포장이 날씨가 추워지기 시작한 가을부터 겨울동안 집중적인 균열이 발생하여 역학조사가 이루어졌으며 그 원인으로는 간접인장강도시험 및 회복탄성계수시험 결과에 근거로 해당 현장에서 사용되었던 시료가 취성이 큰 것으로 나타난 것으로 판명되었다. 이와 같이 도로 기술자들이 알 수 있듯이 기존에 사용되었던 방법으로 충분히 칼라 아스팔트 특성을 평가 및 공용성을 예측할 수 있음을 알 수 있다. 일반적으로 아스팔트 포장에서 주로 관심이 있게 보는 것으로 특히 영구변형 및 피로균열에 대해 본 연구에서는 살펴보고자 한다.

따라서 본 연구에서는 표 1과 같이 영구변형(Rutting)과 관련된 실험은 휠 트래킹 시험(Wheel Tracking Test) 및 균열 저항성을 판단하기 위해 간접인장강도를 실시하였으며, 수분민감도에 따른 박리 저항성을 위해 수분민감도 그리고 온도 변화에 따른 감온성을 알아보기 위해 회복탄성계수 실험을 하였다. 게다가 수분에 대한 민감도를 평가하기 위해 인장 강도비를 측정하였다.

표 1. 실험의 종류 및 Set 횟수

시험항목	시험목적	시험 Set
간접인장강도	균열 저항성	2
수분민감도	박리 저항성	2
휠 트래킹	영구변형 저항성	2
회복탄성계수	감온성	2

사용된 첨가제는 그림 1에서 보는 바와 같이 알갱이 형태의 유색 첨가제를 이용하였다. 본 첨가제의 주된 원료는 붉은색 산화철(Red Iron Oxide)과 EVA(Ethylene-vinyl acetate) 혼합수지로 구성되어 있다.



그림 1. 알갱이 형태의 유색 첨가제

2. 공용성 평가를 위해 사용된 시험

알갱이 형태의 유색 첨가제를 이용하여 제작된 칼라 아스팔트 시편에 대해 공용성 성능을 비교 및 평가하기 위하여 AC 60-80(AP-5) 바인더를 이용한 일반 혼합물과 SBS 개질아스팔트인 PG 76-22 바인더의 혼합물을 비교 및 평가하였다. 본 연구에서 평가하고자 하는 공용성 실험은 다음과 같다.

표 1에서와 같이 첫 번째로 간접인장강도 시험을 실시하였고 그림 2와 그림 3과 같이 수직인 직경 면을 따라 평행하게 작용하는 1개 또는 반복 압축하중을 원통형 공시체에 작용시킴으로서 수행된다(KS F 2376). 이러한 하중형태는 작용된 하중방향에 수직하며, 수직 직경 면을 따라 비교적 균등한 인장응력을 발생시키며, 결국에는 수직 직경 면에 따라 분할되므로 시료가 파괴에 이르게 된다(그림 3 참조). 거의 균일한 응력분포가 되도록 100mm 직경을 가진 공시체에 12.7mm 폭의 곡률을 가진 재하대가 사용된다. 파괴시의 인장 응력과 인장 변형률을 구하는 방정식이 개발된 후 단순화 과정을 통해 가열 아스팔트 혼합물이 균질하며 등방성이고 탄성적인 거동을 한다고 가정한다. 파괴시 간접인장 응력과 변형률에 관한 방정식은 아래와 같다.

$$\sigma_x = \frac{2p}{\pi dt} \cdot \sigma_y = \frac{6p}{\pi dt}, \epsilon_t = 0.52 X_t$$

여기서, σ_x : 공시체 중앙에서의 수평 인장응력, σ_y : 공시체 중앙에서의 수직 압축응력, ϵ_t : 파괴시 인장 변형률, p : 작용 하중, d : 공시체의 직경, t : 공시체 두께, 그리고 X_t : 공시체의 수평변형(inch).

두 번째로 수분민감도 시험은 아스팔트 혼합물의 수분민감성(Moisture Sensibility)을 판단하기 위해 실시하였다. 본 실험은 KS F 2398인 아스팔트 혼합물의

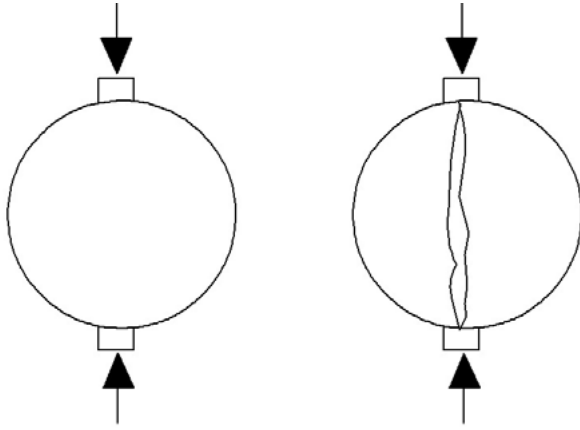


그림 2. 재하시의 간접인장 시험 그림 3. 파괴시의 간접인장 시험

수분 저항성 시험 방법에 근거하여 실시하였다. 본 규정에 의거 시험조건에 따라 최소 6개의 공시체를 제작하여 3개는 건조 상태, 나머지 3개는 각각 진공 처리 및 수분 처리한 후 시험을 실시하였다. 수분 처리를 위해서는 $60 \pm 1^\circ\text{C}$ 의 온도에서 24 ± 1 시간 동안 항온 수조에 방치하여 실시하였다. 따라서 본 실험에서는 다음의 식을 이용하여 인장강도비(TSR; Tensile Strength Ratio)를 계산하였다.

$$\text{인장강도비(TSR)} = \frac{\text{수분처리공시체의인장강도평균(N/mm}^2\text{)}}{\text{건조공시체의인장강도평균(N/mm}^2\text{)}}$$

세 번째로 휠 트래킹 시험은 영국의 도로교통운수연구소(TRRL)에서 개발된 것으로 실제도로에서 고온 시중차량에 의해 생기는 영구변형이나 니딩(Kneading) 작용의 영향을 실내에서 모사 및 재현하여 아스팔트 혼합물의 유동성을 평가하는 시험이다. 그림 4는 휠 트래킹의 방법을 보여주고 있으며 하중을 가하는 차륜이 $30 \times 30 \times 5\text{cm}$ 의 사각형 공시체 위를 반복적으로 왕복운동을 하게 된다. 시험온도는 영국에서 45°C 가 표준이지만, 우리나라에서는 포장의 노면 최고 온도를 고려하여 60°C 에서 실시하고 있다.

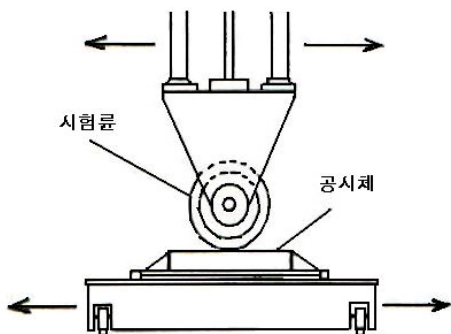


그림 4. 휠 트래킹 시험의 방법

휠 트래킹 시험 결과는 변형률(Rate of Deformation)과 동적안정도(Dynamic Stability)로 나타내는데 변형률은 변형량의 증가율이 거의 일정하게 되는 45분에서 60분까지의 15분간 주행의 변형률을 말한다. 동적안정도는 1mm 변형하는데 소요되는 차륜의 통과회수를 나타낸 것이다. 일반적으로 동적안정도가 큰 혼합물이 소성변형에 대한 저항성이 좋은 혼합물로 간주한다.

회복탄성계수 M_R (Resilient Modulus) 시험은 아스팔트 혼합물의 탄성계수를 측정하기 위한 가장 일반적인 실험이다. 간접인장 시험과 다소 유사한 시험장치가 M_R 값을 측정하는데 사용된다. 가장 큰 차이점은, 회복탄성계수 시험장치는 반복하중을 가하여 실시한다. 이러한 시험을 수행하기 위한 방법은 KS F 2376에 규정되어 있으며, 측정데이터는 그림 5에 나타난 것처럼 표현할 수 있다.

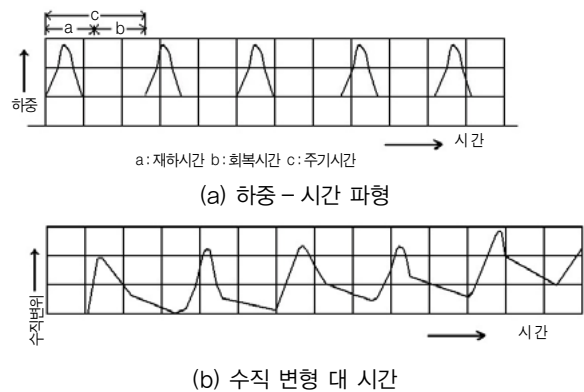


그림 5. 시간에 따른 하중과 변형의 형태

간접인장 시험에서 파괴인장 응력과 변형률을 계산하는 방정식은 회복탄성계수 시험에서 응력과 변형률을 계산하는 데에도 사용될 수 있다. 작용된 응력은 인장강도에서와 같은 방법으로 계산된다. 그러나 회복탄성계수를 측정할 때 하중은 공시체가 파괴될 정도로 가해지지 않는다. 회복탄성계수 시험에서 공시체는 간접인장강도의 5~20% 사이의 응력으로 보통 하중을 가한다. 따라서 회복탄성계수 시험을 수행하기에 앞서, 인장강도가 측정되며 하중은 보통 0.1초 동안 가해지며, 0.9초의 휴지시간을 두어 측정한다.

3. 배합설계

3.1. 사용입도 산정

사용한 골재는 최대입경 10mm의 골재를 사용하였다. 일반아스팔트 혼합물, SBS 아스팔트 혼합물 및 갈라 아

표 2. Superpave Mix Design Control Point

체크기	시 방 입 도									
	37.5mm		25mm		19mm		13mm		10mm	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
50.0mm	100									
37.5mm	90	100	100							
25.0mm		90	90	100	100					
19.0mm				90	90	100	100			
12.5mm						90	90	100	100	
9.5mm								90	90	100
4.75mm										90
2.36mm	15	41	19	45	23	49	28	58	32	67
0.075mm	0	6	1	7	2	8	2	10	2	10

표 3. Superpave Mix Design Restricted Zone

체크기	시 방 입 도									
	37.5mm		25mm		19mm		13mm		10mm	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
4.75mm	34.7	34.7	39.5	39.5	-	-	-	-	-	-
2.36mm	23.3	27.3	26.8	30.8	34.6	34.6	39.1	39.1	47.2	47.2
1.18mm	15.5	21.5	18.1	24.1	22.3	28.3	25.6	31.6	31.6	31.6
0.6mm	11.7	15.7	13.6	17.6	16.7	20.7	19.1	23.1	23.5	27.5
0.3mm	10.0	10.0	11.4	11.4	13.7	13.7	15.5	15.5	18.7	18.7

표 4. 시방입도 범위 및 사용입도

체크기	시 방 입 도		사용입도(%)
	상한치(%)	하한치(%)	
13mm	100	100	100
10mm	100	90	100
No. 4	90	-	90
No. 8	67	32	62
No. 30	-	-	30
No. 50	-	-	20
No. 100	-	-	12
No. 200	10	2	6

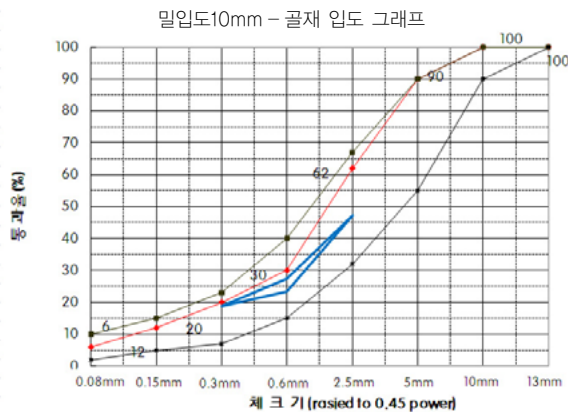


그림 6. 입도분포 곡선

스팔트 혼합물에 사용한 골재의 입도는 Superpave Mix Design에서 제안하는 Control Point 사이에서 산정하였으며 또한 Restricted Zone을 피하여 산정하였다. 사용입도에 산정한 Superpave Mix Design의 Control Point 와 Restricted Zone은 표 2 및 표 3과 같고, 사용한 혼합물의 입도는 표 4 및 그림 6과 같다.

3.2. 최적 아스팔트량 산정

선정한 사용입도를 사용하여 Superpave Mix Design에 따라 목표공극률을 4.0%로 두고 최적 아스팔트량을 산정하였다. 그 결과 일반아스팔트 혼합물과 SBS 아스팔트 혼합물의 최적 아스팔트량은 7%로 나타났으며, 칼라 아스팔트는 6%로 나타났다. 일반아스팔트 혼합물과 칼라 아스팔트의 이론최대밀도, 실측밀도 및 공극률을 측정한 결과는 표 5와 같다. SBS 아스팔트 혼합물은 일반아스팔트 혼합물과 비슷한 거동을 보일 것으로 판단하여 최적 아스팔트량을 7%로 산정하였다.

표 5. 각 아스팔트 혼합물의 공극률 변화

바인더량(%)	5.5	6.0	6.5	7.0	
이론최대밀도 (g/cm³)	일반	2.454	2.457	2.404	2.400
	칼라	2.463	2.451	2.416	
실측밀도 (g/cm³)	일반	2.236	2.240	2.249	2.318
	칼라	2.316	2.361	2.374	
공극률 (%)	일반	8.87	8.84	6.41	3.41
	칼라	5.98	3.69	1.75	

4. 역학적 성능시험 결과

칼라 아스팔트와 기존 아스팔트혼합물과의 성능을 비교하기 위하여 간접인장강도, 수분민감도, 휠 트래킹 및 회복탄성계수 실험을 실시하였으며 실험결과는 다음과 같다. 간접인장강도 시험을 통하여 얻은 데이터는 표 6과 같다. 각 각의 실험에서 3회에 걸쳐 실시한 평균값에 대한 결과를 보여주고 있다. 결과를 살펴보면 가장 우수

표 6. 각 아스팔트의 간접인장강도 비교

종 류	간접인장강도(N/mm²)	
칼라 아스팔트	1차	1.07
	2차	1.08
일반아스팔트	1차	1.12
	2차	1.15
SBS 아스팔트	1차	1.22
	2차	1.24

한 순서로 표현하면 다음과 같이 SBS, 일반아스팔트, 칼라 아스팔트의 순으로 나타낼 수 있다.

수분민감도의 수분처리조건은 KS F 2398에서 제안하는 조건의 60±1℃의 온도에서 24±1시간 동안 방치하는 방법을 택하였다. 수분민감도 시험을 통하여 얻은 데이터는 표 7과 같다. 본 시험에서 간접인장강도비가 높은 순으로 나열한다면 SBS 개질아스팔트, 칼라 아스팔트, 그리고 마지막으로 일반아스팔트로 나타낼 수 있으며 칼라 아스팔트가 어느 정도 수분에 대한 저항성이 일반아스팔트보다 높다고 판단될 수 있다.

표 7. 각 아스팔트의 수분민감도 및 간접인장강도비의 비교

종 류		수분민감도(N/mm ²)		간접인장강도비(%)
칼라 아스팔트	1차	0.70	0.83 (평균)	77.4 (평균)
	2차	0.96		
일반아스팔트	1차	0.64	0.84 (평균)	73.7 (평균)
	2차	1.03		
SBS 아스팔트	1차	1.04	1.13 (평균)	91.9 (평균)
	2차	1.21		

휠 트래킹 실험을 통하여 구한 동적안정도는 표 8과 같으며 본 실험은 각각의 차가 일회의 실험으로서 공용성 평가실험에 있어 영구변형(Rutting)에 대한 저항성을 측정할 수 있는 도구로 활용되고 있다. 본 실험에서 알 수 있듯이 영구변형에 대한 저항이 높은 순으로 표시한다면 SBS 개질아스팔트, 칼라 아스팔트, 그리고 일반아스팔트의 순서로서 나타낼 수 있고 여기서 특이한 점으로는 칼라 아스팔트의 영구변형에 대한 저항성이 아주 우수하다고 판단된다. 즉 SBS 개질아스팔트와의 차이가 없을 정도로 우수하다.

표 8. 각 아스팔트의 동적안정도 비교

혼합물종류		동적안정도(회/mm)	
일반아스팔트 혼합물	1차	887	759
	2차	630	
칼라 아스팔트	1차	5,380	6,006
	2차	6,632	
SBS 아스팔트 혼합물	1차	6,923	6,325
	2차	5,727	

회복탄성계수 실험을 통하여 구한 결과는 표 9와 같다. 본 실험은 감온성에 대해 판단하기 위해 실시하였으며 표에서 보는 바와 같이 칼라 아스팔트가 일반 아스팔트 및 SBS 개질아스팔트보다 회복탄성계수(Resilient

Modulus)가 크게 나옴에 따라 온도 변화에 따른 저항성이 크다고 판단할 수 있다. 또한 상대적으로 고온인 40℃에서 회복탄성계수의 값이 크게 나옴에 따라 위의 휠 트래킹 실험에서 상대적으로 영구변형의 저항성이 크게 나온 결과와 비교했을 때 본 회복탄성계수의 결과 값은 설득력이 있다.

표 9. 각 아스팔트의 회복탄성계수 비교

종 류	회복탄성계수(MPa)			
	1 차	2 차	평균값	
칼라 아스팔트	5℃	11,734	11,394	11,564
	25℃	4,431	5,037	4,734
	40℃	1,855	1,763	1,809
일반 아스팔트	5℃	6,691	7,727	7,209
	25℃	1,680	1,799	1,739
	40℃	447	435	441
SBS 아스팔트	5℃	10,023	10,802	10,413
	25℃	3,024	2,846	2,935
	40℃	709	570	639

5. 결론

칼라 아스팔트의 간접인장강도는 SBS 아스팔트에 비해 상대적으로 적은 값인 1.07N/mm²를 보여준다. 그러나 칼라 아스팔트에서 요구되는 기준 이상으로 만족하고 일반 아스팔트와 큰 차이를 보여주어 주고 있지 않고 있다. 칼라 아스팔트의 수분민감도 시험 결과, 0.7N/mm², 0.96N/mm²의 값이 도출되었다. 평균값은 0.83N/mm²이고, 간접인장강도비는 77.4%로 일반 아스팔트에 비해 높은 값을 보인다. 두 차례의 시험 결과가 차이를 보이는 것은 아스팔트 바인더와 유색 첨가제의 교반 정도에 따라 약간 달라짐을 알 수 있었다. 따라서 아스팔트 바인더와 유색 첨가제를 충분히 교반해야 좋은 결과를 도출할 수 있다고 볼 수 있다. 칼라 아스팔트의 휠 트래킹 시험 결과, 일반 아스팔트의 동적 안정도인 759회/mm에 비해 약 8배 우수한 6,006회/mm의 동적안정도를 보였다. 이는 SBS 아스팔트의 동적 안정도 값인 6,325회/mm과 비교할 때도 손색이 없고, 소성변형에 대하여 높은 저항성을 나타냄을 알 수 있다. 40℃에서 칼라 아스팔트의 회복탄성계수 시험에서는 일반 아스팔트 및 SBS 아스팔트보다 월등한 회복탄성계수값을 보여줌에 따라 소성변형에 대한 저항성이 크다는 점을 알 수 있다. 칼라 아스팔트의 경우, 5℃에서의 회복탄성계수값에 있어서도 다른 아스팔트보다 큰 값을 보여 주고 있다.

참고 문헌

오성균, 김광우, 도영수, 정일권, 이성훈(1999). “차도용 칼라
아스팔트 콘크리트의 기본 특성.” *한국도로포장공학회
창립기념 학술발표논문집*, 한국도로학회, p89-96.
이석홍, 김완상, 이병건, 지완구, 최준호(2003). “칼라 아스팔

트 혼합물의 저온균열에 의한 파손사례.” *한국도로학회
학술발표논문집*, 한국도로학회, p205-211.

접 수 일 : 2011. 10. 25
심 사 일 : 2011. 10. 28
심사완료일 : 2011. 11. 11