

# 예방적 유지보수를 위한 초박층 가열 아스팔트의 현장적용성 평가



김 영 익 | (주)한수나텍 기술연구소 소장  
 성 기 영 | (주)한수나텍 기술연구소 부장  
 이 종 율 | (주)한수나텍 기술연구소 과장  
 박 정 호 | (주)한수도로산업 대표이사  
 김 영 상 | (주)한수도로산업 전무

## 1. 서론

우리나라의 아스팔트 포장은 1970년대 경부고속도로 건설 이후로 급격히 증가하였으며, 국토교통부 '도로 및 보수현황시스템'의 통계자료(2016년 기준)에 따르면 도로포장 총연장이 약 108,780km에 이르고 있다. 이때 간선도로에 해당하는 고속도로 및 일반국도가 18,141km로 전체의 16.9%에 해당된다.

한편 도로연장 및 도로포장 재량이 증가함에 따라 20년 이상 노후도로 연장도 비례적으로 증가하고 있으며, 이에 따른 도로의 유지보수 비용(2016년: 2조 8,830억 원)도 급격하게 증가하고 있다.

도로의 유지비용 중 포장 관련 보수비용은 전체 공종의 26.9%로 2016년 7,772억 원에 달하며 매년 증가하는 추세에 있다. 그림 1은 보수공법별 포장 유지보수비용을 보여준다.

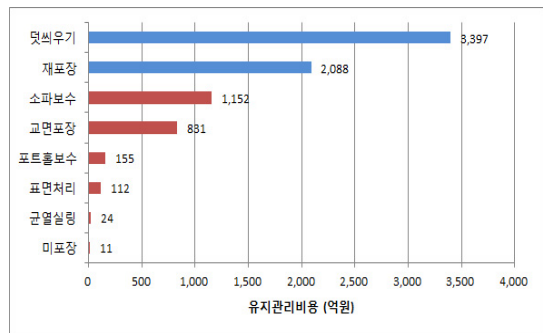


그림 1. 보수공법별 도로보수비용(2016년)

도로포장의 유지보수는 기능이 저하된 포장을 시공 당시의 상태로 회복시키기 위하여 실시하는 작업을 의미한다. 포장도로의 유지보수는 직접적인 보수비용도 크지만 간접적인 비용까지 고려하면 매년 많은 금액이 도로 유지보수를 위해 사용되고 있다.

이와 같이 많은 예산이 투입되는 도로 유지보수

비용을 줄이기 위해서는 공용성이 높은 도로를 건설해야 하며, 최초 설계 연한까지 공용성능을 유지하는 것이 필요하다.

또한 유지보수 시 적절한 보수시기 및 보수공법을 선정하여 보수 후에도 추가적인 보수사항이 발생되지 않고 내구 연한을 유지할 수 있도록 하는 것이 중요하다.

## 2. 예방적 유지보수

도로포장의 유지관리는 전통적 유지관리와 예방적 유지관리로 구분할 수 있다. 전통적 유지관리는 사후 보수공법으로 덧씌우기, 소파보수, 재포장 등이 있으며, 일반국도에 적용되는 공법의 95~96%를 차지하고 있다.

이러한 전통적 유지관리는 대부분 기존 표층을 약 5cm 절삭 후 표층의 성능을 회복하도록 재시공하는 방법을 주로 사용하고 있다.

이와 비교하여 예방적 유지관리는 현재 구조적인 성능을 일부 유지하고 있는 도로 포장에서 향후 파손될 수 있는 가능성을 상당히 지연시키고, 도로의 기능과 서비스 수준을 향상할 수 있도록 시행하는 공법을 말한다. 그림 2는 예방적 유지보수공법의 개념을 보여주며, 국내에 적용되고 있는 아스팔트 포장의 예방적 유지보수 공법들은 표 1과 같다.

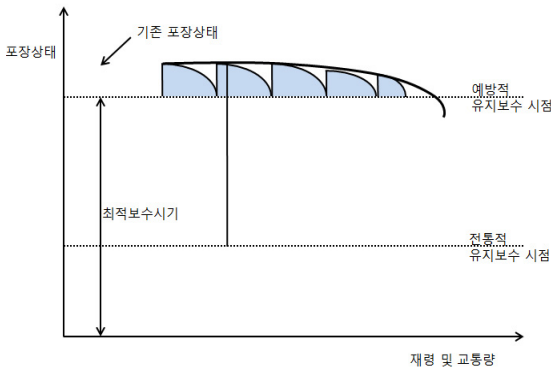


그림 2. 예방적 유지보수 공법 개념도

표 1. 예방적 유지보수 방법 및 종류

공종	종류
균열 처리	균열 실링(Crack Sealing) 균열 필링(Crack Filling)
표면 처리	포그/샌드셀(Fog/Sand Seal) 칩셀(Chip Seal) 슬러리셀(Slurry Seal) 마이크로 서페이싱(Micro Surfacing)

## 3. 초박층 가열 아스팔트 포장 공법

### 3.1 초박층 가열 아스팔트 포장

일반적으로 초기 초박층 가열 아스팔트 포장을 대표할 수 있는 것은 1986년에 프랑스 SCREG Routes사에서 개발한 예방적 유지보수 공법을 말하며, 일종의 슬러리셀 공법으로 슬러리셀에 사용하는 재료와 골재의 입도를 변형한 공법을 말한다. 보통 초박층 포장은 최대 10mm 쇄석골재, 고분자 개질 아스팔트(PG 76-22), EVA(Ethylene Vinyl Acetate)가 첨가된 섬유 첨가제를 사용하여 아스팔트 혼합물을 사용한 것이다.

최근에 국내에서는 골재의 최대크기 5mm, 8mm, 10mm 및 섬유 보강된 아스팔트 개질재를 적용하여 포장두께 2cm 내외로 시공하는 공법이 적용되기 시작했다. 국내의 초박층 가열 아스팔트 포장공법은 반사균열이 발생한 기존 포장의 공용수명 연장, 포장재의 노화로 주행성이 저하된 노면 보수, 노면 기능 회복 및 도로내 발생하는 소음저감 등을 목적으로 절삭 공정없이 기존 포장면 위에 2cm 이내로 시공하는 예방적 보수공법이다.

국내의 초박층 가열 아스팔트 포장공법은 기존 노후 포장면과 신규로 시공되는 초박층 가열 아스팔트 혼합물과의 부착력을 향상시키기 위해 양이온 라텍스 개질 유화아스팔트가 택코트 재료로 사용되었다.

또한 포장두께 2cm 내외로 시공하기 위해서 골재의 최대크기를 5mm 이하로 사용함으로써 포장 후

소성변형과 균열에 대한 저항성을 확보하도록 하였고, 초박층으로 시공할 때 발생하는 포장 포설온도 저하를 고려하여 중온화 성능을 포함한 아스팔트 개질재를 사용하였다.

초박층 가열 아스팔트 포장공법의 시공방법과 사용장비는 일반 아스팔트 포장과 동일하며, 초박층 시공 특성상 다짐장비의 경우 일반적으로 타이어 롤러와 탠덤 롤러의 조합으로 구성되었다. 그림 3은 예방적 유지보수를 위한 초박층 가열 아스팔트 포장의 시공모습을 보여준다.



(a) 초박층 포장 시공(포장두께 2cm)



(b) 초박층 포장 표면

그림 3. 초박층 가열 아스팔트 포장 모습

### 3.2 사용재료 및 입도

#### 3.2.1 아스팔트 바인더

국내의 초박층 가열 아스팔트 포장공법을 시공하기 위한 가열 아스팔트 바인더는 일반 아스팔트 바

인더에 비해 높은 수준의 점착력과 중온화 특성을 가지며, 낮은 포장 두께에도 높은 공용성을 확보할 수 있도록 개질화가 요구된다. 따라서 별도의 섬유 보강된 펠렛형 아스팔트 개질재가 첨가되며 개질 아스팔트의 공용성 등급은 PG 76-22 이상이어야 한다.

#### 3.2.2 골재

포장 두께 2cm 내외의 초박층 시공으로 골재 최대 크기는 5mm, 8mm, 10mm의 단입도 골재가 사용되며, 골재 형상 및 크기는 포장 후 표면조직에 따른 평탄성, 소음저감 및 미끄럼저항성 등의 특성에 영향을 주기 때문에 양질의 골재를 사용해야 한다.

#### 3.2.3 입도

초박층 가열 아스팔트 포장을 위한 입도분포는 골재의 최대크기 5mm, 8mm 또는 10mm를 사용함으로써 밀입도 아스팔트 포장과는 다른 입도 곡선을 나타낸다. 그림 4는 골재의 최대크기 5mm 골재에 대한 초박층 가열 아스팔트 혼합물의 골재합성 입도를 보여준다.

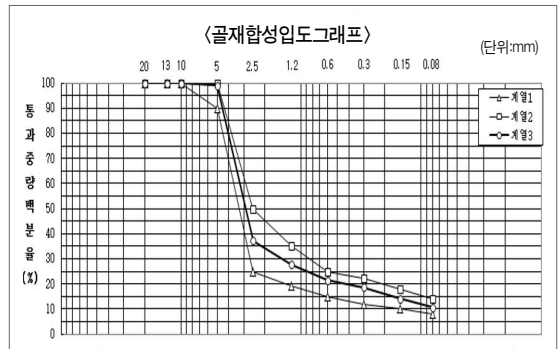


그림 4. 초박층 가열 아스팔트의 골재합성입도

### 3.3 실내시험 평가

#### 3.3.1 배합설계

국내 초박층 가열 아스팔트 혼합물의 배합설계는 국토교통부(2015) 아스팔트 혼합물 생산 및 시공지침에서 제시하고 있는 마샬 배합설계법에 준한다.

공시체 제작은 KS F 2337의 마샬 아스팔트 혼합물 제조 방법에 따라 양면 75회 다짐을 통하여 혼합물의 배합설계를 실시하였다. 표 2는 초박층 가열 아스팔트의 합성입도를 나타낸 것이다.

표 2. 초박층 가열 아스팔트의 합성입도

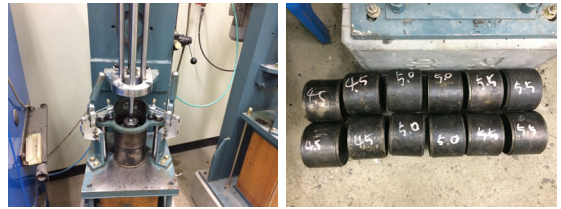
구분	각골재입도(%)									
	20 mm	13 mm	10 mm	5 mm	2.5 mm	1.2 mm	0.6 mm	0.3 mm	0.15 mm	0.08 mm
입도범위 (상한)	100.0	100.0	100.0	100.0	50.0	35.0	25.0	22.0	18.0	14.0
입도범위 (하한)	100.0	100.0	100.0	100.0	25.0	19.0	15.0	12.0	10.0	8.0
합성입도	100.0	100.0	100.0	99.1	37.1	27.7	21.5	18.6	14.1	10.6

초박층 가열 아스팔트 혼합물 제작을 위한 혼합온도는 180±5℃, 다짐온도는 155±5℃로 하였으며, 마샬 배합설계법에 의한 시험체 제작 및 시험 순서는 그림 5와 같다.

초박층 가열 아스팔트 혼합물에 대한 마샬 배합설계법에 의한 시험결과를 표 3과 같다.

표 3. 초박층 가열 아스팔트 혼합물 마샬 배합설계 시험결과

아스팔트 함량	두께 (mm)	공기중 중량 (g)	수중 중량 (g)	표면건조 중량 (g)	실측밀도 (g/cm³)	이론밀도 (g/cm³)	아스팔트 용적 (%)	공극률 (%)	포화도 (%)
4.5	61.5	1178.6	691.4	1181.0	2.402	2.503	10.45	4.02	77.25
4.5	61.5	1177.8	691.6	1180.6	2.403	2.503	10.46	3.98	72.45
4.5	62.1	1185.4	695.0	1187.9	2.400	2.503	10.44	4.10	71.83
평균	61.7	1180.6	692.7	1183.2	2.402	2.503	10.45	4.03	72.18
5.0	62.0	1184.5	696.1	1188.1	2.402	2.479	11.62	3.11	78.90
5.0	61.5	1178.0	694.4	1180.4	2.419	2.479	11.70	2.42	82.86
5.0	61.6	1182.1	696.8	1184.8	2.417	2.479	11.69	2.50	82.37
평균	61.7	1181.5	695.8	1184.4	2.413	2.479	11.67	2.68	81.38
5.5	61.2	1183.8	697.4	1185.6	2.420	2.472	12.87	2.20	85.95
5.5	60.8	1177.4	694.5	1178.0	2.430	2.472	12.93	1.70	88.38
5.5	60.8	1178.1	694.5	1179.7	2.423	2.472	12.89	1.98	86.67
평균	60.9	1179.8	695.5	1181.1	2.424	2.472	12.90	1.93	87.00



(a) 다짐(마샬 다짐) (b) 바인더 함량별 제작 시편



(c) 이론최대밀도 시험 (d) 마샬안정도 시험

그림 5. 마샬배합 설계법에 의한 시험체 제작 및 시험

### 3.3.2 실내시험

초박층 가열 아스팔트 혼합물에 대한 실내시험으로 품질검증 및 성능평가를 실시하였으며, 표 4는 시험 결과를 보여준다. 초박층 가열 아스팔트 혼합물에 대한 실내시험결과 안정도, 동적안정도, 수분저항성 및 공용성 시험 항목에서 우수한 특성을 나타내었다.

표 4. 초박층 가열 아스팔트 혼합물 마샬 배합설계 시험결과

항 목		시험기관	시험방법	단 위	목표값(기준)	시험결과
품질검증 항목	밀도	KCL	KS F 2446	g/cm <sup>3</sup>	2.34 이상	2.370
	공극율		SPS-KA10002-F2349-5687	%	3-6	4
	안정도		SPS-KA10002-F2349-5687	N	10,000	12,387
	흐름값		SPS-KA10002-F2349-5687	1/100cm	20-40	38
	동적안정도		KS F 2374	회/mm	3,000	3,459
	TSR		AASHTO T 283	-	0.75 이상	1.03
	도로교통소음		CPB	dB	8 이상 저감	11.8
	미끄럼저항성		BPT 시험	BPN	60 이상	17.26
성능평가 항목	동적수침	(주)KRM	EN 12697-11	%	60 이상	70
	함부르크시험		AASHTO T 324	mm/20,000회	20mm 이하	17.26
	MMLS-3		소형포장가속시험	mm/30만회	5mm 이하	4.613
	습윤마모시험		ISSA TB 100	g/cm <sup>2</sup>	0.0807 이하	0.0107
	점착력시험		ISSA TB 139	kg · cm	20 이상	21.4
	도로교통소음		CPX	dB	8 이상 저감	8.5

## 4. 현장적용성 평가

### 4.1 현장 위치 및 제원

초박층 가열 아스팔트 포장 공법의 현장 적용성을 평가하기 위하여 국도 25호선 순창군 건곡리 지내에 포장을 실시하였다. 전체 포장면적은 2,447m<sup>2</sup>로, 그림 6은 포장 구간 위치도를 나타낸 것이다.

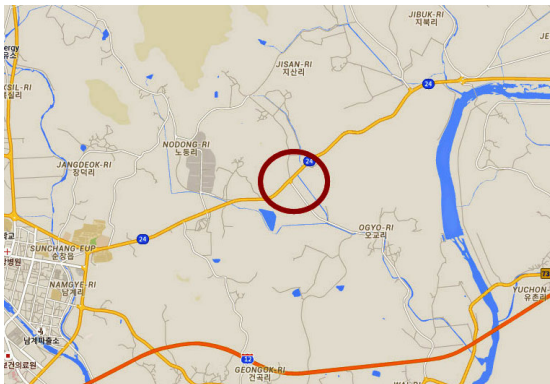


그림 6. 포장구간 위치도

### 4.2 아스팔트 혼합물 생산

초박층 가열 아스팔트 혼합물의 생산은 실내 물성 시험과 배합설계 시험을 통해 결정된 자료를 기초로 유출량 시험을 실시하고, 핫 빈(hot bin) 골재배합을 도출하였다.

초박층 가열 아스팔트 혼합물의 핫 빈별 혼합입도 분석을 통하여 합성입도를 작성하였으며, 핫 빈에서의 합성입도를 기준으로 혼합물에 대한 생산을 하였다.

생산온도 및 다짐온도는 각각 180±5℃ 및 155±5℃로 하였으며, 생산 배합표는 표 5와 같다.

표 5. 초박층 가열 아스팔트 혼합물 생산 배합표

구 분	골재배합비 (100%)			바인더량 (%)	첨가제량 (%)
	1 BIN	2 BIN	채움재	StAs	아스팔트 개질제 (CSM)
시험생산	65	25	10	4.9	0.7

### 4.3 포장 시공

예방적 유지보수를 위한 초박층 가열 아스팔트 포장은 기존 노후 포장면에 절삭없이 시공하는 것을 특징으로 하고 있기 때문에, 기존 포장면과의 부착성을 향상시키기 위하여 개질 유화아스팔트(HS-Coat)를 그림 7과 같이 도포하였다.



(a) 기존 노후 포장면



(b) 개질 유화아스팔트 도포 모습

그림 7. 포장전 노후 포장면 및 개질 유화아스팔트 도포 모습

개질 유화아스팔트 도포 후 사전 배합설계로  $180 \pm 5^\circ\text{C}$ 에서 생산된 초박층 가열 아스팔트 혼합물을 포설하였다. 포설 온도는  $155 \pm 5^\circ\text{C}$ 를 유지할 수 있도록 하였으며 포설 후 타이어 롤러로 1차 다짐을 실시하고 탠덤 롤러로 2차 다짐을 하였다.

일반 아스팔트 포장과 달리 포장 두께 2cm 내외의 초박층으로 시공되기 때문에 포설 후 온도 저하가 상대적으로 빠르게 진행된다. 따라서 포설 후 1차 다짐 및 2차 다짐이 연속적으로 진행될 수 있도록 시공 시 철저히 관리하였다. 그림 8은 초박층 가열

아스팔트 포장 시공 순서를 보여준다.



(a) 아스팔트 혼합물 포설 (b) 1차 다짐 (타이어 롤러)



(c) 2차 다짐 (탠덤 롤러) (d) 교통 개방

그림 8. 초박층 가열 아스팔트 포장 시공 순서

## 5. 도로노면 소음저감 특성 평가

초박층 가열 아스팔트 포장은 예방적 유지보수 차원에서 실시하였으나, 골재입도에 따른 노면 소음저감 효과도 기대할 수 있었다. 따라서 소음저감 특성을 분석하기 위해 CPX(Close-proximity method) 방법으로 시험을 실시하였다.

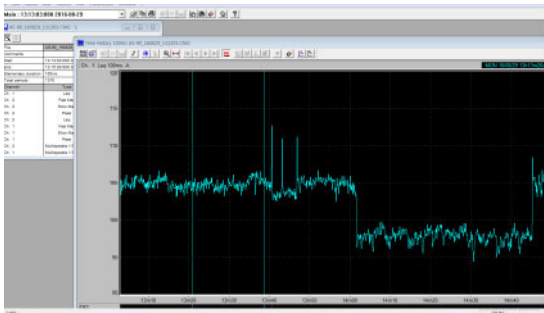
CPX 측정방법은 서로 다른 포장에 대하여 주변환경 및 통행량의 변화에 영향을 받지 않는 도로포장 노면의 소음도를 측정하는 방법으로, 측정 소음도의 차이로 도로포장 종류에 따른 소음저감 성능을 직접적으로 비교할 수 있는 방법이다.

그림 9는 CPX 소음측정 시험과 결과를 보여주는 것으로, 마이크로폰 위치는 차량의 뒷바퀴에서 지면 위 130mm, 타이어에서 200mm 이격된 위치에 부착하였다.

시험차량의 운행속도는 80km/h이고, 시험차종은 승합차(12인승)로 하였으며, 소음 측정장비는 01dB Harmonie(독일)로 환경소음과 진동을 정밀하게 측정하는 장비이다.



(a) 소음 측정 장비 설치 모습



(b) 소음 측정 분석 소프트웨어

그림 9. CPX 소음측정 장비 설치 모습 및 분석 모습

표 6과 그림 10에서 보는 바와 같이 도로노면 소음 측정 결과, 초박층 가열 아스팔트의 도로소음은 90dB로, 밀입도 아스팔트 및 노후된 아스팔트 도로소음 98.4dB과 98.5dB에 비해 약 8.5dB의 소음 저감효과가 있는 것으로 나타났다.

이러한 결과는 그림 11의 초박층 가열 아스팔트 포장의 표면 조직 분석결과에서 보는 바와 같이 표면의 미세공극이 71% 수준으로 일반 아스팔트(약 50%)에 비해 높고, 골재의 최대크기가 5mm로 작기 때문에 일반 아스팔트 포장보다 평탄성이 상대적으로 좋아진 것이라고 판단되었다.

표 6. CPX 측정방법에 의한 소음 측정 결과

구분	초박층 가열 아스팔트 포장	밀입도 아스팔트 포장	노후된 아스팔트 포장
측정 소음 (dB)	90	98.4	98.5
소음 저감 (dB)	-8.5dB	-	+0.1

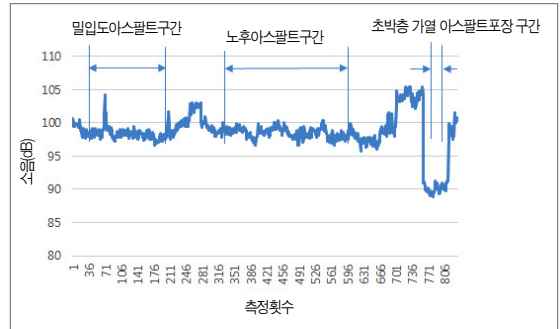


그림 10. 소음측정 결과

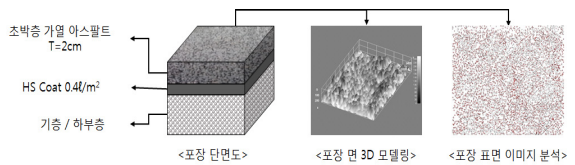


그림 11. 초박층 가열 아스팔트 포장 표면미세조직의 3D 모델링 분석

## 6. 공용성 평가

포장 전 균열이 발생한 노면 위에 절삭없이 포장 두께 2cm 내외로 시공한 초박층 가열 아스팔트 포장에 대하여 공용성을 평가하기 위해서 시공 후 16개월이 지난 시점에 추적조사를 실시하였다.

추적조사 결과는 그림 12에서 같이 소성변형과 균열 등이 발생되지 않았고, 포장 전구간에 걸쳐 양호한 상태로 확인되었다. 향후 지속적인 추적조사를 통해 장기적인 검증을 추진할 것이다.



(a) 포장 직후 모습



(b) 추적조사 결과(포장 후 16개월 경과 시점)

그림 12. 초박층 가열 아스팔트 포장에 대한 모니터링

## 7. 결론

국내의 경우 도로포장의 공용성 및 서비스 지수를 개선하기 위한 예방적 유지보수 공법으로 상온 아스팔트 바인더를 사용하는 슬러리실 및 마이크로서페이싱 공법이 보편적으로 적용되고 있다.

이에 상온 아스팔트를 활용한 예방적 유지보수 공법뿐만 아니라 포장의 가열 아스팔트를 사용한 예방적 유지 보수공법 등도 다양하게 개발이 요구된다.

이에 골재의 최대크기 5mm, 8mm, 10mm 등을 사용한 초박층 가열 아스팔트 혼합물을 2cm 내외로 시공한 공법을 현장에 적용하면서 추적조사를 실시하였고, 조사결과 양호한 상태를 유지하였다. 또한 아스팔트 포장 표면의 미세공극과 골재의 입도가 작기 때문에 평탄성 확보가 상대적으로 유리하여 소음저감 효과도 확인할 수 있었다.

따라서 향후 예방적 유지보수, 도로포장의 평탄성 확보, 소음저감 및 미끄럼저항성 향상 등을 위해 초박층 가열 아스팔트 포장에 대한 지속적인 연구와 현장적용 및 추적조사를 통해 점진적으로 활용성이

확대되기를 기대한다.

## 참고문헌

1. 국토교통부, 도로 및 보수현황시스템(www.rsis.kr), 2018 현재자료 기준.
2. 최준성 (2006). “예방적 유지관리의 필요성 및 예방적 유지보수 공법 소개”, 한국도로학회학회지, 8(1), pp.13-21.
3. 배성호, 이상엽, 최연우 (2014). “아스팔트 예방적 유지보수 도입 및 국내 적용사례 소개”, 한국도로학회학회지, 16(2), pp.37-45.
4. Charles Jahren and Cliff Plymesser (2007). “The Maintenance surface handbook”, CTRE Project 03-161, Iowa State University.
5. 박태순 (2006). “예방적 유지보수를 위한 새로운 아스팔트 포장공법(초박층 폴리머 슬러리실 공법)”, 한국도로학회학회지, 8(3), pp.17-24
6. 국토교통부 (2015). 아스팔트 포장 혼합물 생산 및 시공지침.
7. AASHTO T324 (2014). “Method of Test For Hamburg Wheel-Track Testing of Compacted Hot Mix Asphalt(HMA)”.
8. ISSA Technical B No. 100 (2005). “Test Method for Wet Track Abrasion of Slurry Surfaces”.
9. ISSA Technical B No. 147 (2005). “Test Method for Measurement of Stability and Resistance to Compaction, Vertical and Lateral Displacement of Multilayered Fine Aggregate Cold Mixes”.
10. Robert Bernhard and Roger L. Wayson, (2004). “An Introduction to Tire/pavement Noise of Asphalt Pavement,” Tyre/Road Reference Book, pp.1-26.