

불투수성 아스팔트 포장재료의 방수기능과 역학적 특성에 관한 연구

A Study on the Mechanical Characteristics and Waterproof Performance of Impermeable Asphalt Pavement Materials

Injoong Kim^{a,1}, Kyeongjin Kim^{b,*}, Seungyong Lee^{c,2}

^a Doctorial student, Department of Civil Engineering, Korea National University of Transportation, 50 Daehak-ro, Chungju-si, Chungbuk, Republic of Korea

^b Professor, Department of Civil Engineering, Korea National University of Transportation, 50 Daehak-ro, Chungju-si, Chungbuk, Republic of Korea

^c Professor, Department of Civil Engineering, Korea National University of Transportation, 50 Daehak-ro, Chungju-si, Chungbuk, Republic of Korea

ABSTRACT

This paper presents features of impermeable asphalt pavement material that uses thermoplastic GMA-based polymer(SIS, Styrene Isoprene Styrene) to improve the waterproof performance. Furthermore, as part of this study, the aerodynamic characteristics of the asphalt paving materials, using the newly suggested thermoplastic polymer, are identified through experiments. In the experiment, the aerodynamic characteristics were analyzed by testing on stability, flow values, porosity, dynamic stability, tensile strength ratio and skid resistance in accordance with KS standard and ASTM standard.

KEYWORDS

SIS (Styrene Isoprene Styrene)
Waterproof asphalt
Bridge deck -
pavement
Pot holes
Waterproof -
performance

본 논문은 GMA(SIS, Styrene Isoprene Styrene) 고분자계 수지를 기반으로 제조된 아스팔트 바인더를 사용하여 플랜트에서 제조하는 혼합물로 방수기능을 갖도록 성능을 개선한 신개념의 불투수성 아스팔트 포장의 연구를 위해 수행하였다. GMA 고분자 수지 기반의 아스팔트는 유연성과 탄성을 바탕으로 중차량의 충격에 의한 영향을 받지 않으며, 우수 시에 포트 홀의 발생과 소성변형 등 여름철 온도 변화에도 안정적이다. 새롭게 제안된 열가소성 폴리머를 사용한 아스팔트 포장재료는 방수기능은 물론 역학적 특성을 검증하기 위해 KS기준과 ASTM기준에 맞게 안정도, 흐름값, 공극률, 동적 안정도, 인장강도비, 미끄럼 저항성 실험을 하여 역학적 특성을 분석 하였다.

고분자계 수지
불투수성 아스팔트
교면포장
포트 홀
방수성능

© 2016 Korea Society of Disaster Information All rights reserved

* Corresponding author. Tel. 82-43-841-5188. Fax. 82-43-841-5180.
Email. kkjman@ut.ac.kr

1 Tel. 82-31-555-2263. Email. ceogk@naver.com

2 Tel. 82-43-841-5189. Email. sylee@ut.ac.kr

ARTICLE HISTORY

Received Aug. 31, 2016

Revised Sep. 02, 2016

Accepted Sep. 21, 2016

1. 서론

일반적인 아스팔트포장은 골재와 골재간의 맞물림과 부착 그리고 다짐을 통해 도로 또는 교량의 포장면을 시공하는데 이용되었고 안전성을 갖도록 사용되었다. 그런데 교량의 경우 교통하중의 충격과 반복하중으로 인해 상판 슬라브에 균열이 발생할 수 있으므로 교면의 배수가 신속히 이루어져야 하는데 장기적으로 교면 누수의 원인은 포장면의 균열, 신축이음부의 배수불량, 콘크리트 상판의 균열 등으로 인해 철근의 부식을 물론 단면의 결손을 일으켜 구조적으로 내구성이 현저히 떨어지게 된다.(1)

또한 발생된 균열에 우수가 그대로 교량에 침투되면 이로 인해 반복된 동결융해가 진행되어 결국에는 더욱 심각한 상태로 균열이 진전되어 구조물에 치명적인 손상을 입힐 수 있다. 게다가 동절기에는 노면의 결빙방지를 위해 살포하는 염화칼슘으로 인해 콘크리트의 중성화 진행과 철근의 부식을 가속화 시킨다. 따라서 교량의 상판은 포장면의 신속한 배수는 물론 투수를 억제해야 하므로 방수처리가 필수적이다.

기존의 개질아스팔트는 혼합물의 사용 수명이 7~8년으로 유지관리비용의 증가와 철거 등의 폐기물이 발생되고 플랜트에서 생산 후 현장까지 운반거리에 따른 이동으로 균질한 시공이 어려운 단점을 갖고 있다. 외국의 경우에는 새로운 유화제에 대한 개발이 활발하게 진행되고 있으나, 국내에서 사용되는 유화제의 성능은 외국의 기술에 비해 낮고, 일반 개질 아스팔트 공법의 성능이 저하되는 문제를 갖고 있어, 교면포장 시 반드시 방수층을 설치하여야 포장이 가능하였으며, 경제적으로도 부담이 된다. 또한 방수층의 기능이 100% 방수기능을 실현하지 못하는 사례와 장기적인 유지관리 부분에서 방수재의 하자과 포장재의 균열, 포트 홀 등의 재료 분리 현상 등으로 인한 주기적 재시공 등의 유지관리 비용 등이 발생하며, 기존의 가열식 일반아스팔트 공법은 단수명으로 인하여 조기에 포장재의 수명이 짧아져 잦은 유지보수가 필요하다.

현재까지의 교면방수를 위해 대부분의 공법은 별도의 방수층을 시공하는 공정을 수행해야 하는데 본 연구에서는 방수성능을 향상시키기 위하여 고분자계 수지를 기반으로 제조된 불투수성 아스팔트 포장재료를 이용하여 방수기능을 추구하였다. 기존의 개념과는 달리 포장층에 GMA(SIS, Styrene Isoprene Styrene) 고분자계 수지를 기반으로 제조된 아스팔트 바인더 수지로 골재와 골재 간의 부착력과 탄성력을 발휘할 수 있도록 포장층 아스팔트의 공극을 메워 필름막을 형성하게 하였다.

따라서 기존의 아스팔트 공법에 방수성을 개선한 불투수성 포장 공법으로의 전환을 도모함으로써 친환경적이고, 내구성이 우수한 고성능 불투수성 아스팔트 시공특성을 연구하고자 한다.

2. 실험 계획

2.1 실험 재료

(1) 골재

골재의 품질이나 입도는 포장의 성상에 큰 영향을 주지만, 골재는 산지에 따라 성상이 다르므로, 그 사용에 있어서 특히 신중해야 한다.

본 연구에서는 충북 OO지역에서 생산된 최대치수 13mm 편마암 쇄석 굵은 골재와 5mm 이하 잔골재로 사용하였다.

(2) 바인더

연구에 사용된 바인더는 자체 개발한 GMA 고분자 수지를 기반으로 제조된 아스팔트 바인더 수지를 합성한 아스팔트를 사용하였다.

2.2 불투수성 아스팔트

(1) 기존 기술 현황 및 불투수성 아스팔트의 필요성

현재까지 국내·외 아스팔트 포장의 연구는 대부분 아스팔트의 개질, 골재의 입도분포 변화, 공용성 등급(performance grade) 등 아스팔트 혼합물의 물성 증진을 목적으로 수행되었다. 다만 일반아스팔트 혼합물을 대상으로 이루어졌으며, 불투수성 아스팔트 혼합물에 대한 연구 노력은 미진하다.

또한, 기존의 개질 아스팔트 혼합물은 짧은 사용 수명으로 유지관리비용의 증가와 철거등의 폐기물이 발생되고 플랜트에서 생산 후 현장까지 이동으로 균질한 시공이 어려운 단점을 갖고 있다. Fig. 1은 아스팔트도로에 흔히 발생되는 포트 홀의 예를 보여준 것이다.



Fig 1. Asphalt road with generated potholes

본 논문의 불투수성 아스팔트는 고분자계 수지인 GMA 수지(SIS 계열수지)를 기반으로 제조된 아스팔트이다. 이 GMA 고분자 수지 기반의 아스팔트의 장점은 유연성과 탄성력을 바탕으로 불투수성인 아스팔트 혼합물로 시공되는 것으로 기존의 일반 아스팔트 혼합물에 비하여, 중차량의 충격에 의한 영향을 받지 않는다.

우수 시에는 Fig. 1과 같이 발생된 포트 홀과 소성변형 등에 대응하고, 여름철 온도에 대한 안정성을 증진시킨다. 특히 우천시 빗물 등이 포장체 속으로 스며들지 못하도록 공극율을 저하시켜 강도와 내마모성 및 내구성을 향상시키고, 기존 재료와의 접착성이 우수한 장점을 갖고 있다. 또한, 아스팔트를 유화시키는 과정 대신 플랜트 첨가로 수지와 AP를 합성하여, 유연성과 강성, 내후성 및 유연성 등을 향상시키며, 현장여건에 따라 조절이 가능하다.

(2) 불투수성 아스팔트의 특성

(가) 가열 아스팔트 혼합물 기술

가열 아스팔트 혼합물은 플랜트에서 현장까지 운반한 후 포설 다짐 등을 통해 차량이나 교통수단의 등급에 따라 적용되고 있는 기술이다.

가열 아스팔트 혼합물은 밀입도 기준의 골재합성과 이에 적절한 아스팔트량 결정방법, 침입도 위주의 아스팔트 품질관리 등의 문제점이 있다. 또한, 아스팔트 바인더를 중·저등급의 아스팔트만을 사용하여 도로의 파손과 단수명의 원인을 발생시키며, 이를 원천적으로 해결할 방법이 없다.

위에 언급한 소성변형과 온도제어 문제를 보완하고자 미국의 페타이어 재생고무를 사용한 포장기술 CRM을 도입하였다. 하지만 이 방법은 현장에서 배합을 하여 물성의 문제를 극복한 것은 우수하나, 도로의 장기 사용이 어려운 점은 해결해야 할 문제이다.

(나) 방수기능을 갖는 아스팔트 공법

본 논문의 방수 기능을 갖는 아스팔트는 고분자계 수지인 GMA 고분자 수지를 기반으로 제조된 아스팔트 바인더 수지를 사용하여 플랜트에서 제조하는 혼합물로 시공하는 포장 공법이다. 이 공법은 기존 아스팔트의 공극율(4~7%)이 소성변형에 따른 내구성 향상을 위해 유지되는 공극율의 배합설계였으나 새롭게 개발된 방수 기능을 갖는 아스팔트의 수지 함량(기존 5.7~6.0%)은 7.8~9.4%로 추가 되었다. 혼합물 생산시 고분자계 수지인 GMA 수지를 기반으로 제조된 아스팔트 바인더 첨가제가 투입되어 골재와 AP5가 혼합되어 방수 기능을 갖는 아스팔트를 생산한다.

배합설계 시 방수기능을 갖는 혼합물을 생산하기 위하여 바인더의 함량과 골재 입도표(Fig. 2)에 따라 방수기능을 갖도록 배합설계를 완료하여 생산된 혼합물의 공극율이 0.5% 이하(Fig. 3, Table 1)로 형성됨으로써 별도의 방수층이 불필요하며 기존 아스팔트 대비 2~4배의 성능 향상과 일반 아스콘 플랜트에서 생산이 가능한 방수 기능을 갖는 아스팔트 공법이다.

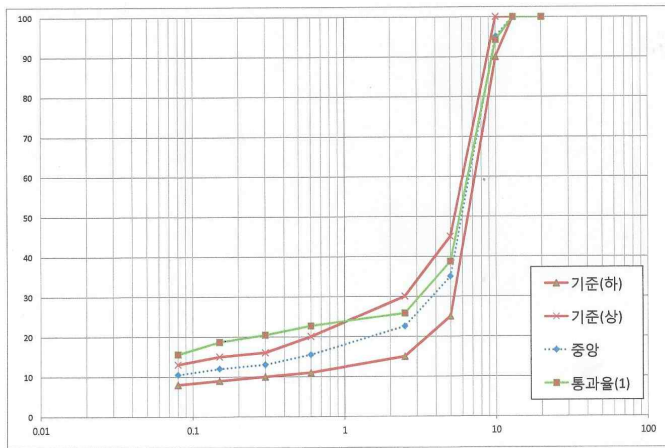


Fig 2. Particle size distribution mix design



Fig 3. Porosity measurement

Table 1. The test result of porosity

NO.	밀도(g/cm ³)			공극률
	실측	이론		
1	2.373			0.25
2	2.361	2.379		0.74
3	2.374			0.23
평균	2.369	2.379		0.41

2.3 불투수성 아스팔트의 역학적 성능 비교

Table 2는 첨가혼합물인 고분자계 수지의 역학적 성능을 비교 한 표다. Table 2의 신장율은 ASTM D 2196의 규정에 따라 실험한 결과로 GMA 고분자수지가 S, P계열 고분자수지보다 4~4.96배 높아 유연성과 강력한 부착 결합력에 유리하다. 경도는 ASTM D2240의 기준에 따라 실험한 결과로 GMA 고분자수지가 S, P계열 고분자수지보다 2.33~2.58배 낮게 나타났다. 비중은 ASTM D792의 기준에 따라 실험한 결과로 GMA 고분자수지가 S, P계열 고분자수지보다 1.02~1.03배 낮게 나타났다.

Table 2. Comparison of mechanical admixture performances

구분	S계열 고분자수지(S)	P계열 고분자수지(P)	GMA 고분자수지(G)	비율(G/S, G/P)
신장율 (ASTM D 2196)	310	250	1,240	4~4.96
경도 (ASTM D 2240)	77	85	33	2.33~2.58
비중 (ASTM D 792)	0.94	0.95	0.92	1.02~1.03

2.4 바인더의 공용성 등급 시험

바인더 공용성 등급시험 결과는 Table 3에 나타내었다. Table 3의 $G^*\sin\delta$ (Original), $G^*\sin\delta$ (after RTFO), $G^*\sin\delta$ (after PAV)는 KS F 2393 기준에 따라 시험한 결과이다.

Table 3. The test result of binder performance service

시험항목	시험 규정	KS 기준(S)	실험결과(R)	비율(R/S)
공용성 등급	KS F 2389	PG 76-22	PG 82-34	-
G* $\sin\delta$ at 82 $^{\circ}$ C (Original)	KS F 2393	1.00 kPa 이상	4.08 kPa	4.08
G* $\sin\delta$ at 82 $^{\circ}$ C (after RTFO)	KS F 2393	2.20 kPa 이상	2.74 kPa	1.25
G* $\sin\delta$ at 28 $^{\circ}$ C (after PAV)	KS F 2393	5000 kPa 이하	48 kPa	104.17
Stiffness at -24 $^{\circ}$ C	KS F 2390	300 MPa 이하	23 MPa	13.04
m-value at -24 $^{\circ}$ C	KS F 2390	0.3 이상	0.45	1.50
인화점	KS M ISO 2592	-	342 $^{\circ}$ C	-
점도(135 $^{\circ}$ C)	KS F 2392	-	5.23 Pa·s	-

G* $\sin\delta$ (Original)는 기준값보다 4.08배 높게 나타났으며, G* $\sin\delta$ (after RTFO)는 1.25배 높게 나타났고, G* $\sin\delta$ (after PAV)는 104.17배 낮게 나타났다.

Stiffness, m-value는 KS F 2390 기준에 따라 시험한 결과로, Stiffness는 기준값보다 13.04배 낮게 나타났으며, m-value는 기준값보다 1.50배 높게 나타났다.

인화점은 KS M ISO 2592 기준에 따라 시험한 결과이며, 점도는 KS F 2392 기준에 따라 시험한 결과이다.

G* $\sin\delta$ at 82 $^{\circ}$ C (Original)과 G* $\sin\delta$ at 82 $^{\circ}$ C (after RTFO) 시험결과로 PG 고온 등급은 82로 결정되었고, G* $\sin\delta$ at 28 $^{\circ}$ C (after PAV), Stiffness at -24 $^{\circ}$ C, m-value at -24 $^{\circ}$ C, m-value at -24 $^{\circ}$ C 시험결과로 PG 저온 등급은 34로 결정되었다.(K. C. L., Test Report(2015. 9, CT14-016937))

아스팔트 바인더의 등급은 최근까지 침입도가 사용되었으나 침입도의 시험조건 등이 바인더의 실제 시공 성능과는 별다른 관계가 없었다. 따라서 공용성 등급은 실제 포장온도를 고려하고 차량 하중의 조건과 노화 단계를 고려하여 바인더 등급을 결정함으로써 침입도 및 점도등급보다 보다 과학적이며 합리적인 등급 시험이며 등급뿐만 아니라 각 시험단계별로 조건을 변화하여 시험하는 경우 정확한 아스팔트 바인더의 성능 분석 가능하다. 이러한 PG등급은 아스팔트가 시공시부터 공용기간까지의 전체 공용성능을 분석할 수 있다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 GMA 수지를 첨가한 아스팔트 혼합물의 물성 분석

본 연구에서는 GMA 고분자 수지를 기반으로 제조된 아스팔트 바인더와 AP-5를 합성한 아스팔트 바인더를 사용하여 KS F 2349, ASTM D 6931 기준에 맞게 안정도, 흐름값, 공극률, 동적 안정도, 인장강도비, 미끄럼 저항성 실험을 실시하였다.

3.2 마샬 안정도 시험 및 결과

안정도는 마샬 시험 공시체(아스팔트 혼합물)를 세로로 세우고, 1분간 50mm의 속도로 가압하여 공시체가 파괴될 때의 하중이고, 흐름값은 안정도 시험시 최대 하중(안정도)까지의 변형값이며, 공극률은 다져진 아스팔트 혼합물의 용적 중 공극이 차지하는 용적을 백분율로 나타낸 것이다. 위의 안정도, 흐름값, 공극률 시험은 KS F 2337 기준에 따라 시험을 실시하였다.

Table 4는 마샬 안정도 시험과 흐름값, 공극률의 시험 결과를 나타내는 표로써, 공극률은 KS의 기준값인 5000N보다 1.70배 높은 8488N으로 측정되었고, 흐름값은 35로, KS의 기준값 범위 안에 들어갔으며, 공극률은 KS의 최소 기준값 3%보다 10배 낮은 0.3%가 나왔다.

Table 4. The result of Stability, Flow Values, Porosity

시험항목	시험 규정	KS 기준(S)	실험결과(R)	비율(R/S)
안정도 (N)	KS F 2349	5000	8488	1.70
흐름값 (1/10mm)	KS F 2349	20 ~ 40	35	-
공극률 (%)	KS F 2349	3 ~ 6	0.3	10.00

3.3 동적 안정도의 시험 및 결과

동적 안정도는 휠-트래킹 시험으로 아스팔트 혼합물의 압밀, 유동에 대한 저항성을 평가하는 시험으로, 아스팔트 혼합물 표면으로부터 1mm 침하하는데 소요되는 시험 차륜 통과 회수이다. 휠-트래킹 시험은 KS F 2374 기준에 따라 시험을 실시하였다.

Table 5는 동적 안정도의 시험 결과를 나타내는 표로써, 동적 안정도는 KS의 최대 기준값인 2000회/mm와 도로공사 최대 기준(2500회/mm)보다 높은 3052회/mm로 나타났다.

Table 5. The result of wheel tracking test

시험항목	시험 규정	KS 기준	도로공사 기준	실험결과
동적 안정도 (회/mm)	KS F 2349	750 ~ 2000	2500 이상	3052

3.4 인장강도비(TSR) 시험 및 결과

인장강도비는 수분에 대한 아스팔트 혼합물의 내구성을 측정하는 시험으로써, 건조 시험용 공시체와 동결융해 시험용 공시체를 수직 파괴가 발생할 때까지 하중을 가하여 건조상태에서의 아스팔트 혼합물의 간접 인장강도와 수분 포화 후의 간접 인장강도 비를 나타낸다. 인장강도비 시험은 ASTM D 6931 기준에 따라 시험을 실시하였다.

Table 6은 인장강도비의 시험 결과를 나타내는 표로써, KS의 기준값 0.80보다 1.13배 높은 0.90으로 나타났다.

Table 6. The result of tensile strength ratio

시험항목	시험 규정	기준 (KS)	실험결과	비율
인장강도비 (TSR)	ASTM D 6931	0.80 이상	0.90	1.13

3.5 미끄럼 저항성 시험 및 결과

미끄럼 저항성은 아스팔트포장 노면의 미끄럼 정도를 측정하는 시험으로, 시험기기의 진자가 공시체를 통과하는 저항성 정도를 통해 측정할 수 있다. 미끄럼 저항성 시험은 KS F 2375 기준에 따라 시험을 실시하였다.

Table 7은 미끄럼 저항성 시험 결과를 나타내는 표로써, KS의 기준값 60BPN보다 1.12배 높은 67.33BPN으로 나타났다.

Table 7. The result of skid resistance

시험항목	시험 규정	KS 기준(S)	실험결과(R)	비율(R/S)
미끄럼 저항성 (BPN)	KS F 2375	60	67.33	1.12

4. 결론

본 논문은 불투수성 아스팔트 포장재료의 방수기능과 역학적 특성을 규명한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 안정도는 KS의 기준값인 5000N보다 1.70배 높은 8488N이 나왔다.
2. 흐름값은 35로, KS의 기준값 범위 안에 들어갔다.
3. 공극률은 KS의 최소 기준값 3%보다 10배 낮은 0.3%가 나왔다.
4. 동적 안정도는 KS의 최대 기준값인 2000 회/mm보다 1.53배 높은 3052 회/mm로 기준치 이상의 결과를 보였다.
5. 인장강도비는 KS의 기준값 0.80보다 1.13배 높은 0.90으로 나타났다.
6. 미끄럼 저항성은 KS의 기준값 60보다 1.12배 높은 67.33으로 나타났다.
7. GMA 고분자 수지를 첨가한 아스팔트를 통해 기존 아스팔트의 공용성 등급인 76-22보다 넓은 범위의 82-34의 수치를 얻을 수 있었다.

이와같이 GMA 방수톤은 고분자계 열경화성 수지인 열가소성 폴리머(SIS, Styrene Isoprene Styrene)가 혼합되어 고온에서도 충분한 내유동성을 확보할 수 있었으며, SIS(Styrene Isoprene Styrene) 수지의 첨가로 바인더의 점도 증가와 신축성이 향상되어 저온균열과 피로균열에 대한 저항성이 뛰어난을 알았다. 생산시 충분한 교반을 통해 분산성을 높여 균일한 품질확보가 가능한 것도 장점이다. 또한 바인더 성능의 극대화로 불투수성 아스팔트 포장이 가능하여 콘크리트 포장도로나 교면포장 적용시 별도의 방수공정 없이 본 포장만으로도 충분한 방수효과와 교량 보호 기능을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

도로 포장의 전통적 개념은 우수의 침투를 막아 포장 하부의 연약화를 막는 것으로 이는 포장의 내구수명과 직결되어 있는 중요한 요소이다. 특히 교량의 경우 우수가 침투할 경우 교량 구조물의 열화로 연결되어 대형 재해의 원인이 될 수 있는 만큼 아스팔트포장의 방수 기능은 매우 중요하다.

References

- Cha, S. M(2000), Journal of the Korean Society of Pavement Engineers, 2000, V.2, pp.72-78
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2014.1) , 11-1613000-000218-0
- Korean Agency for technology and standards, 2014, KS F 2389 Performance grade for a asphalt binder.
- Korean Agency for technology and standards, 2014, KS F 2393 Standard test method for rheological properties of asphalt binder using dynamic shear rheometer.
- Korean Agency for technology and standards, 2014, KS F 2390 Standard test method for flexural creep stiffness of asphalt binder using bending beam rheometer.
- Korean Agency for technology and standards, 2014, KS F 2392 Standard test method for viscosity determination of asphalt binder using rotational viscometer.
- Korean Agency for technology and standards, 2007, KS M ISO 2592 Determination of flash and fire points-Cleveland open cup method.
- Korean Agency for technology and standards, 2014, KS F 2349 Hot mix asphalt mixture.
- Korean Agency for technology and standards, 2001, KS F 2375 Testing method for measuring surface frictional properties using the British Pendulum Tester.
- American Society for Testing and Materials, 2007, ASTM D 6931 Test Method for Indirect Tensile (IDT) Strength of Bituminous Mixtures.
- Lee Soo Hyung, Yoo In Kyoon, Kim Je Won, 2011, "A Study on the Structural Design of Permeable Asphalt Pavement", Journal of Korean Society of Road Engineers, Vol.13 No. 3, Korean Society of Road Engineers.
- Korea Conformity Laboratories(K. C. L.), Test Report(2015. 9, CT14-016937)