

Mastic asphalt 포장 공법의 재료 개발 및 현장 적용에 관한 연구

A Study on Field Application and Materials Development for Mastic Asphalt pavement

박은용^{*} · 한상기^{**} · 김형배^{***} · 장영두^{****} · 차순만^{*****} · 황인동^{*****}

Park, Eun yong · Han, Sang Ky · Kim, Hyung Bae · Jang, Young Doo · Cha, Soon Man · Hwang, In Dong

1. 서 론

국토해양부 통계에 따르면 국내 도로 보수비용은 해마다 증가하고 있는 추세이며 2008년 기준으로 2007년 보다 35% 증가한 2조 5천억에 달하며 이중 포장도 보수비용은 3,415억원으로 전체 보수비 중 10% 이상을 차지하고 있다. 이러한 예산의 증가는 기존 국내 유지보수에 대한 인식에 전환이 필요한 시점이 다가왔음을 의미하는 것이다. 또한 해마다 이상 기후 현상으로 인한 폭설 및 폭우로 인하여 도로 포장에 막대한 피해를 입히고 있으며 해마다 중차량의 증가로 인하여 도로의 장기 공용성을 저하시키고 있는 현실이다. 그러나 해마다 노후 및 파손된 도로 포장은 증가하는데 반면 유지보수에 대한 기술은 정체되어 있는게 국내 실정이다. 파손 및 노후된 도로는 해마다 유지보수를 수행하고는 있으나 장기적인 공용성에 한계를 보임으로써 5년 이내에 재포장하고 있는게 일반적으로 도로 유지보수 비용 증가에 한몫을 담당하고 있다. 이러한 실정으로 국내도 유지보수공법에 따른 장기적인 공용성을 증진시키는 포장 재료 및 공법의 개발 및 적용이 필요하다.

이와 관련하여 본 연구는 고속도로 상에 존재하는 콘크리트 포장의 유지보수 공법으로 1997년 광양항 배후도로 건설공사 정산 1교를 시작으로 국내 31개 강상판 교량에 방수 포장층으로 적용된 Guss asphalt 혼합물의 재료 계량을 통한 콘크리트 덧씌우기 공법으로 적용하고자 한다. Guss란 용어는 독일어로 ‘흘러 들어간다’라는 뜻의 동사에서 유래된 단어로써 유동성을 이용하여 유입해서 포설하는 아스팔트 혼합물이다. 독일의 경우 자동차 전용 고속도로인 라이히스 아우토반(Reichs Autobahn)에 1950년대 시멘트 콘크리트 도로 파손으로 인한 보수공법으로 채택한 공법이 Guss asphalt 포장 공법이었다. 그러나 현대에 들어서면서 화학 산업의 발전으로 Guss asphalt 공법과 동일하거나 성능이 우수한 개질 Mastic asphalt 공법을 개발 및 도입하여 토목현장뿐만 아니라 건축현장 등 다양한 개소에 적용되어지고 있다.

현재 국내의 고속도로 환경은 서해안 고속도로, 중부 고속도로, 영동 고속도로 등 콘크리트 포장 구간의 파손이 심각한 상태이며, 사용자로 하여금 승차감 및 안전성을 저해하고 있는 실정이다. 특히 이러한 구간의 파손 형태는 동결융해 및 동결이 폭설로 인한 제설 작업 또는 기타 여러 가지 원인으로 콘크리트 상부를 비롯한 하부구조의 내구성능에 큰 영향을 미치고 있다. 국내의 경우 일반적인 콘크리트 보수 공법으로 일정 두께 절삭 후 아스팔트 덧씌우기 공법이나 콘크리트 계열의 급속 보수 재료를 이용한 시공이 일반적인 추세이다. 그러나 이러한 보수공법은 기존 재료와의 부착 및 보수 재료의 내구성능의 저하로 인하여 장기적인 공용성을 확보하기 쉽지 않은 상태이다. 본 연구는 상기와 같은 문제점을 해결하고자 기존 Guss asphalt 공법의 장점을 활용한 재료의 개발을 통하여 일반 토공부 보수 구간에 적용이 가능한 혼합물의 개발 및 현장 적용성을 검증하고자 한다.

* 정회원 · (주)세일건영 · 공학석사 · 02-548-3191(E-mail: seilcsp@yahoo.co.kr)

** 정회원 · SK에너지(주) · 공학석사 · 02-2121-6493(E-mail: sk3258@skenergy.com)

*** 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원 · 공학박사 · 031-371-3478(E-mail: kimhyun3@ex.co.kr)

**** 비회원 · (주)세일건영 · 대표이사 · 02-548-3191(E-mail: seilcsp@hanmail.net)

***** 정회원 · SK에너지(주) · 공학박사 · 02-2121-6493(E-mail: smcha@sk.com.cn)

***** 정회원 · (주)세일건영 · 공학박사 · 02-548-3191(E-mail: icedam@naver.com)

2. Mastic asphalt의 특징 및 배합설계

2.1 Mastic asphalt의 특징

(1) 불투수성

일반 아스팔트를 개질하여 내구성능을 증대시킨 아스팔트 바인더 7~10%를 사용하고, 유동성 확보를 위한 첨가제와 채움재를 총 골재중량의 20~30%로 첨가하여 공극이 거의 없는 혼합물을 생산한다. 이와 같이 생산한 Mastic asphalt 혼합물은 수분에 의한 침투가 없는 불투수성 재료로써, 내식성 및 내방수성이 매우 우수하다.

(2) 다짐이 불필요

220~240℃의 고온에서 재료를 생산/시공하고 혼합물 특성을 제어함으로써, 혼합물의 흐름성이 우수하여 일반적인 아스팔트 재료와 달리 시공시 다짐이 필요 없는 특징을 가지고 있다.

(3) 내구성

혼합물의 내부에 공극이 존재하지 않기 때문에 혼합물 내부 및 하부 층으로 수분 침투를 막아주고, 아스팔트 바인더의 높은 공용성능을 통하여, Mastic asphalt 혼합물뿐만 아니라 기존 포장체의 내구성능을 향상시켜주는 역할을 한다. 외국의 경우 20~30년 이상의 공용실적을 보유하고 있으며, 국내에서도 유사한 공법으로 10년 이상의 장기적인 공용실적을 다수 확보하고 있다.

(4) 휨 추종성 및 내충격성

Mastic Asphalt의 우수한 물리적 특성으로 인하여 차량 하중에 따른 구조물 거동이 매우 큰 강상판교의 특성에도 부합하는 우수한 휨추종성과 내충격성 등을 가지고 있다.

(5) 접착성

교량 강상판, 콘크리트 포장을 비롯한 다른 재료와의 접착력이 매우 우수하여 접착불량으로 인한 포장파손의 우려가 거의 없다(부착강도 20kg/cm²이상).

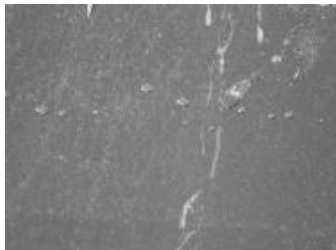


그림 1. Mastic asphalt 방수특성



그림 2. Mastic asphalt의 흐름성

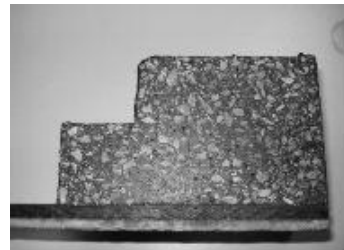


그림 3. Mastic asphalt의 단면

2.2 사용재료

본 공법은 크게 두 가지 종류로 분류되며 사용되는 아스팔트와 첨가제에 사용에 따라 명칭을 구분하고 있다. 하나는 1997년 처음 도입된 이래 현재까지 국내에 강상판 교량에 적용되어지고 있으며 경질 석유계 Asphalt와 천연 Asphalt(Trinidad Lake Asphalt)를 혼합한 Guss asphalt 포장 공법이 있으며 다른 하나는 국외에서는 콘크리트 포장 덧씌우기, 강상판 교량, 일반 토공부 구간에 적용되고 있는 일반 asphalt를 개질한 Mastic asphalt 공법으로 나눌 수 있다. 두 공법의 물성 차이는 존재하지만 모두 동일한 혼합물 배합설계 기준을 가지고 있으며, 시공 또한 동일한 공정으로 이루어진다.

(1) 아스팔트

본 연구에서는 기존 Guss asphalt 공법에 사용되는 경질 석유 Asphalt와 천연 Asphalt(Trinidad Lake Asphalt)를 대체할 수 있는 개질 아스팔트를 개발하여 적용하였다. 개발된 아스팔트는 S사에서 개발한 Mastic asphalt 전용 바인더로 개발하였으며 기존 Guss asphalt의 품질기준에 의거하여 본 연구에서 개발한 Mastic asphalt의 물성을 비교 검토하였다. 본 연구에서는 간략하게 아스팔트 물성은 침입도, 연화점, 신도, 탄성회복에 대한 물성시험을 수행하였으며 수행한 결과 표 2와 같다. 또한 기존 Guss asphalt 포장 공법의 AP 품질 기준과는 약간 상이한 결과를 보여주었으며 별도의 품질 기준치를 설정하여 AP를 규격에 맞도록 생산하였다.

표 1. 기존 Guss asphalt 공법의 AP 품질 기준

항 목	규 격 치	
	석유아스팔트	천연아스팔트
침입도(25℃), 1/10mm	20~40	1~4
연화점, ℃	55.0~65.0	93~98
신장도(25℃), cm	50 이상	-
증발질량변화율(%)	0.3 이하	-
톨루엔가용분(%)	99.0 이상	52.5~55.5
인화점(C.O.C), ℃	260 이상	240 이상
비중(25℃/25℃)	1.0 이상	1.38~1.42

표 2. 개질 아스팔트의 물성

항목	개질 Mastic AP	설정 기준값
침입도(25℃), 1/10mm	37	10~40
연화점, ℃	100	≥70
신장도(25℃), cm	31	≥30
탄성회복(25℃), %	98	≥90

(2) 골재

골재의 입도는 기본적으로 일본 Guss asphalt 포장 규격을 참조하여 체가름 시험을 실시한 후 시방기준에 맞도록 골재 배합량을 최종적으로 조정하였다. 최종적으로 입도 규격에 맞도록 굵은 골재(13mm)는 24%, 부순 모래(4mm 이하)는 46.1%, filler는 22.1를 사용하여 시방기준에 맞도록 입도 설계하였다.

표 3. 골재 입도 규격

체 크기 (mm)	통과 중량백분율 (%)
19	100
13	95 ~ 100
5	65 ~ 85
2.5	45 ~ 62
0.6	35 ~ 50
0.3	28 ~ 42
0.15	25 ~ 34
0.074	20 ~ 27



그림 4. 체가름 시험

2.3 배합설계

Mastic asphalt 공법의 최종 배합 설계 목표인 아스팔트 함량을 결정하기 위하여 본 공법을 다수 생산/시공한 경험이 있는 중국의 공정기술연구원의 공동 연구를 통하여 최종 배합설계를 도출하였다. 최종 배합비는 아래 표 4와 같으며 최종 확정된 아스팔트 함량과 골재 입도를 기준으로 내구성 및 시공성을 검증하기 위하여 시편 제작 및 배합을 수행하였다. 수행한 결과 육안으로 판단할 때 기존 Guss asphalt 혼합물과는 별차이는 없었으며 시공성을 좌우하는 유동성도 확보할 수 있었다.

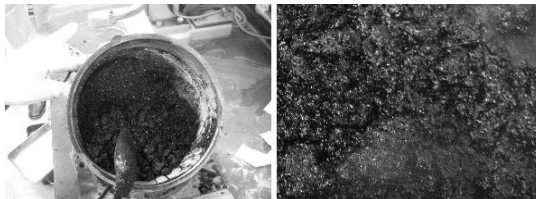


그림 5. 믹싱 및 유동성 확인

표 4. Mastic asphalt 최종 배합비

종류	함량(%)
굵은 골재 (13mm)	24.0
부순 모래(4mm이하)	46.1
채움재 (filler)	22.0
아스팔트 함량	7.7
첨가제	0.2

3. Mastic asphalt의 내구성능 검증

3.1 개요

Mastic asphalt 혼합물의 물리적 특성을 파악하기 위하여 기존의 Guss asphalt 혼합물의 시방 기준에 따라 표 5와 같은 항목의 시험을 수행하였다. 혼합물 시험은 자체 실험과 공인인증기관에 의뢰 실험을 하였으며

시공시의 흐름의 정도를 나타내는 척도로 시공성을 파악하기 위한 시험인 류엘유동성 시험과 안정성을 측정하는 시험인 관입량 시험을 자체적으로 실시하였다. 이와는 별도로 소성변형을 평가하는 휠트래킹 시험과 저온에서의 처짐정도를 측정하는 시험인 휨 파단변형 시험은 공인인증기관에 의뢰 실험을 실시하여 구스아스팔트 혼합물 기준을 만족하는지 최종적으로 판별한다.

표 5. 기존 Guss asphalt 혼합물의 시방 기준

항 목	기 준 치
유동성시험, 뉴엘유동성(240℃). sec	20 이하
관입량시험, 관입량(40℃, 52.5kg/cm ² , 30분). mm	1 ~ 4
Wheel-Tracking시험, 동적안정도(60℃, 6.4kg/cm ²). 회/mm	300 이상
휨시험, 파단변형(-10℃, 50mm/min)	8.0×10 ⁻³ 이상

3.2 공시체 제작

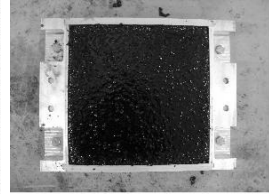
각 시험항목 기준에 맞도록 시험시편을 제작하였으며 제작된 시편은 아래 그림 7과 같다. 이와는 별도로 유동성 시험은 시편을 별도로 제작하지 않았으며 혼합물 배합 후 바로 시험을 실시하여 결과를 도출하였다.



그림 6. 유동성 시험



그림 7. 제작된 시편



3.3 내구성능 검증 결과

Mastic asphalt 혼합물의 시방기준에 따른 시험을 수행한 결과 관입량은 시방기준에 충분히 들어오는데 비해 유동성은 시방기준에 못미치는 결과를 얻었다. 시공성을 판단하는 척도인 유동성 시험결과 시방기준에 미달하는 결과를 보였으며 내구성을 판단하는 척도인 관입량 시험결과 시방기준에 만족하는 우수한 결과를 보였다. 추가적으로 설계아스팔트 함량에 대한 기준시험으로 일본 본주사국연락고공단 교면포장 기준안에서 제시한 휠트래킹 시험과 저온 휨 시험용 시편을 제작하여 공인 인증시험기관인 한국 전자제시험연구원에 의뢰하였다. 시험 의뢰한 결과 모두 기준치 이상의 결과를 보여주었으며 특히 동적안정도가 설계기준치인 300보다 10배 이상 높은 3,155를 기록하였다.



그림 8. 류엘유동성 시험(좌)과 관입량 시험(우)

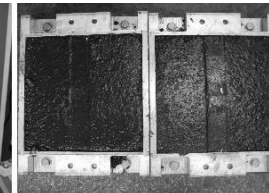


그림 9. 시험 전경 및 시험 후 시편

표 6. 시험 결과

구분	유동성(s)	관입량(mm)	동적안정도(회/mm)	저온 휨시험
결과	42	1.27	3,155	1.45×10 ⁻²
시방기준	≤ 20	1~4	300 이상	8.0×10 ⁻³ 이상

4. 시공성 검증을 위한 현장 적용

4.1 개요

개질 아스팔트를 이용한 Mastic asphalt 포장 공법의 내구성 및 현장 시공성을 검증하기 위하여 한국도로공사 도로 교통연구원에 포장가속시험동에 시험시공을 실시 한 후 실제 현장인 영동고속도로 신갈-호법 확장 포장 구간 적용하였다. 포장가속시험동 시험 시공은 일반 린 콘크리트 기층 20cm 위에 방수층 개념으로 본 재료를 적용하였으며 표층으로는 배수성 아스팔트를 적용하였다. 영동고속도로 신갈-호법 현장은 원주 방향 29k820지점에 폭이 8.2m, 길이는 78m로 기존 포장면과의 높이를 맞추기 위하여 기존 콘크리트 슬래브(30cm)를 10cm 절삭한 후 하부에 50mm 두께의 Mastic asphalt 공법을 시공하였으며 표층에는 PSMA를 50mm 두께로 시공하였다. 각각 현장에 따라 적용된 포장 단면은 아래와 같다.

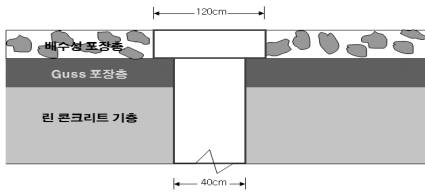


그림 10. 포장가속시험동 적용 단면

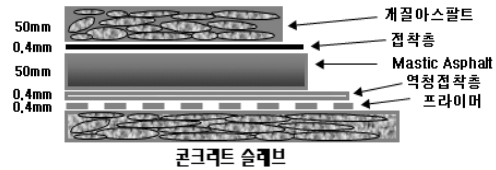


그림 11. 신갈-호법 현장 적용 단면

4.2 혼합물 생산

Mastic asphalt 혼합물 생산은 두 현장 모두 시공 현장과 인접한 아스팔트 플랜트에서 생산하였으며, 생산된 혼합물은 Mastic asphalt 전용 운반 및 쿠커 장비를 이용하여 시공 현장까지 운반하였다. Mastic asphalt 공법에서 쿠킹은 혼합물을 포설하기 위하여 적정온도인 220~240℃의 온도로 가열하고 항온시키기 위한 일련의 과정을 의미하며, 유입을 할 수 있는 유동성은 쿠커 장비의 사용 시간 및 온도에 따라 달라진다. 통상적으로 시공시 필요한 쿠킹 시간은 90~120분 정도이나 실제 현장에서의 쿠킹 시간은 120~150분 정도로 쿠킹한 후 시공하였다.

4.3 시공

(1) 도로교통연구원 포장가속시험동 시험적용 구간

혼합물을 포설하기 전에 린 콘크리트 기층 표면에 접착층을 2회에 걸쳐 시공하였으며 성형줄눈재를 이용하여 기존 접속부에 포설 전에 부착하였다. 혼합물 포설시 시공성은 실내 배합에서 도출된 유동성 결과와는 달리 포설하는데는 큰 어려움이 없었다.



그림 12. 접착층 포설



그림 13. 성형줄눈 시공 및 혼합물 포설

(2) 영동고속도로 신갈-호법 확장 구간

절삭된 콘크리트 표면을 다시 한번 평삭기를 이용하여 먼마무리를 수행한 후, 먼지나 이물질을 컴프레셔와 빗자루 등으로 제거하였다. 표면에 수분, 유지류의 부착이 발생하였을 경우에는 완전히 제거한 후 건조하였다. 콘크리트 표면에 균열부위 및 줄눈부위에 아스팔트 실런트를 주입하여 보수하였다. 콘크리트 표면 처리 후 기존 포장체와의 접착성을 증가시키기 위하여 1차적으로 MMA 계열의 프라이머를 0.4ℓ/㎡ 기준으로 도포하였으며, 도포작업은 로울러 붓 등을 사용하여 고임이 생기지 않도록 균일하게 마무리하였다. 프라이머

도포 후 2차적으로 아스팔트 계열의 접착제를 동일한 작업공정으로 포설하였다. 거푸집은 50mm 사각봉을 이용하여 포설면을 따라 설치하였으며, 혼합물 포설은 중앙 분리대를 기준으로 2차선을 먼저 포설완료 한 후 피니셔 이동 후 1차선을 포설 완료함으로써 시공을 마무리하였다.



그림 14. 표면처리 및 균열 보수

그림 15. 접착층 및 혼합물 포설

5. 결 론

Guss asphalt 공법의 장점을 최대한 활용하여 도로의 장기적인 공용성을 확보하고자 재료의 계량을 통한 Mastic asphalt 혼합물의 생산/시공을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 국내에서 콘크리트 덧씌우기 공법으로 최초 시공되었으며 기존 Guss asphalt 혼합물에 비하여 내구성이 월등히 좋아지는 결과를 얻을 수 있었다. 국내에서 현재까지 Guss asphalt 혼합물의 내구성, 불투수성, 내마모성은 우수하나 동적안정도가 떨어지는 결과를 보임으로써 상대적으로 소성변형 등에 취약한 단점이 있었다. 그러나 일반 SMA 혼합물 동적안정도 기준인 2,000 이상을 만족하였다.

2. 기존 공법과 시공성을 비교한 결과 Mastic asphalt 시공은 기존 Guss asphalt 시공 대비 우수한 유동성과 접착성을 보여주었다. 기존의 Guss asphalt 공법 시공시 쿠키 장비의 용량은 12~15ton이나, 혼합물의 유동성 저하로 인하여 4~6ton의 적재량이 한계였다. 그러나 물성이 개량된 Mastic asphalt 공법은 8~9ton 이상을 적재할 수 있었다. 이로 인하여 기존 공법에 비하여 시공성이 월등히 향상되는 결과를 얻을 수 있었다.

3. 류엘 유동성 시험을 실시한 결과 시방 기준에 미달하는 결과를 보였으나 시공시 기존 Guss asphalt 공법과 비교한 결과 별다른 차이점은 없었다. 현장 적용에서는 시공성에 문제는 없었지만 추후 별도의 문제가 발생할 우려가 있으므로 배합 설계나 AP 성능을 개선할 필요가 있는 것으로 사료된다.

4. 현재 콘크리트 포장 보수시 통상적으로 적용되는 덧씌우기 공법은 중장기적으로 공용성 저하 등으로 인한 추가적인 문제를 안고 있는 것이 사실이다. 본 Mastic asphalt 포장 공법은 구조물의 근본적인 파손 원인 중 하나인 수분 침투를 막아줌으로써, 장기적인 공용성을 확보할 수 있는 새로운 공법이 될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부에서 지원하는 “장수명·친환경 도로포장 재료 및 설계 시공기술 개발”의 세세부과 제입니다. 본 연구를 지원하여 준 장수명·친환경 연구단에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 이경하(1999), “구스아스팔트 포장의 배합설계 및 시공”, 한국도로학회 논문집, 한국도로학회, 제1권 제2호, pp 52-65.
2. 김태훈(2000), “영종대교 구스아스팔트포장 시공보고서”, 한국도로학회 논문집, 한국도로학회 제2권 제4호, pp 57-67.
3. 이완훈, 이명재(2002), “영종대교 상로도로 강상관의 구스아스팔트 열영향”, 한국도로학회 논문집, 한국도로학회, 제4권 제1호, pp 171-181.
4. 일본도로협회(2000), 아스팔트 포장요강, 원기술
5. 국토해양부(2008), “도로보수현황, 2009”, 국토해양부