

소성변형 제어를 위한 아스팔트 혼합물 및 포장기술

- 국내 사용현황을 중심으로 -

조 윤 호* · 이 관 호**

1. 머리말

국내 아스팔트 포장의 파손 형태중 대표적인 것은 차량하중에 의해 발생한 변형량의 일부가 회복되지 못하여 발생하는 영구변형(Permanent deformation)의 일종인 소성변형¹⁾(Rutting)이다. 최근 연구보고에 따르면 일반국도의 아스팔트 포장 파손 중에서 대략 74% 정도가 소성변형이라고 한다. 소성변형은 주로 공용초기, 즉 포장의 완성후 차량을 개방한 시점(공극률 8~12%)부터 차량에 의한 다짐(traffic densification)으로 최적의 공극률(4~5%)로 될 때까지 주로 발생한다고 알려져 있고, 그 발생원인은 크게 교통량 및 환경 조건, 부적절한 설계, 시공 부실 등으로 나눌 수 있다. 적정량 이상의 교통량과 과적차량, 그리고 교통량 증가에 따른 정체 심화 등으로 인해 고속도로나 국도의 속도저하 구간 및 도심부 교차로 구간은 많은 양의 소성변형이 목격되고 있다. 특히, 엘리노 등에 의한 여름철의 이상고온 역시 이 파손의 증가에 일조를 하

고 있는데 기본적으로 아스팔트 바인더의 성질이 고온에서 낮은 점착력과 비교적 유체에 가까운 성질을 가지기 때문이다.

이러한 소성변형문제의 해결을 위해 과거에는 주로 부적절한 두께에서 원인을 찾으려 했으나 현재는 포장체의 부적절한 단면구성, 표층 혼합물의 부적절한 배합설계 및 노상층의 부적절한 다짐 등이 문제점으로 자주 등장하고 있다. 예를 들어 일반국도의 경우 AP-3를 사용하는 등의 바인더 선정문제나, 골재의 종류와 형상을 고려치 않고 마모시험이나 입도 분포만으로 시방 기준을 작성하는 점, 소성변형과는 상관성이 적은 것으로 판명된 마찰설계 기준만이 사용되고 있는 점 등이 소성변형 발생원인으로 거론되고 있다. 전국에 걸쳐 소성변형이 심하게 나타남에도 불구하고, 불행히도 현재의 골재 및 아스팔트 배합은 모두 공사 담당기관의 시방기준을 통과한 것들이다. 그러므로 소성변형문제의 해결을 위해서는 기존의 시방기준에 대한 객관적이고 공학적인 검증이 필요한 것으로 판단된다.

1) '소성변형' 용어에 관한 유감: 하중에 따른 변형은 '탄성 변형'과 '소성변형' 두가지로 나눌 수 있다. 하중이 제거되었을 때 회복되는 변형을 '탄성변형'이라 하고 회복되지 않는 변형을 '소성변형'이라 한다. 따라서 엄밀한 의미에서 포장에 나타나는 모든 파손, 즉 균열이나 변형 또는 골재 분리 및 마모 등은 모두 '소성변형'의 범주에 속한다. Rutting이란 포장 표면에 차량의 바퀴방향을 따라 종방향으로 움푹 들어가는 형태로 나타나는데 국내에서는 이외에도 Shoving 및 corrugation등을 모두 '소성변형'이라는 말로 통칭하고 있어 의미 전달에 문제가 있을 수 있다.

* 중앙대학교 건설환경공학과 조교수 yhcho@cau.ac.kr

** 경성대학교 건설환경공학부 조교수 khlee@star.kyungshu.ac.kr

일반적으로 공용 초기에 발생하는 것으로 알려진 소성변형은 막대한 투자손실 및 잦은 보수, 수막현상(Hydroplaning)으로 인한 사고발생, 조향성, 주행성, 승차감의 저하 등 다양한 문제점을 불러오고 있다. 따라서 다양한 신공법과 재료가 도입되어 이 파손을 억제하고자 하는 노력들이 여러 방향에서 추진되고 있는데, 본 글에서는 골재와 바인더가 혼합된 가열아스팔트 혼합물(HMA)의 파손 방지용으로 최근 도입되고 있는 신재료 및 관련공법에 대해 간략하게 다루기로 한다.

2. 가열 아스팔트 혼합물(HMA)과 소성변형 억제책

아스팔트 혼합물에서 골재는 맞물림 작용을 통하여 하중을 지탱하는 역할을 하고, 아스팔트 바인더는 골재를 결합하는 접착제로써의 역할을 한다. 아스팔트 혼합물로 구성된 포장 표면에 교통 하중이 반복 재하되고, 이로 인해 각각의 반복하중으로 인한 미세한 변형이 발생한다. 이러한 미세한 양의 변형은 크게 두가지 요소, 즉 회복되는 변형량과 회복되지 않는 변형량으로 나누어진다. 회복되는 변형량에는 아스팔트 혼합물의 재료적 성질에 의해 완전탄성변형과 하중지속시간과 관련된 점탄성변형으로 나누어진다. 완전탄성변형은 하중제하 및 제거와 동시에 변형이 생기거나 제거되는 것을 의미하고, 점탄성변형은 하중이 가해진 후, 하중지속시간에 따라 하중이 제거되기 전까지 지속적으로 발생하는 변형을 의미하고, 이러한 점탄성변형은 하중 제거 즉시 회복되는 변형이 아니라 시간이 지나면서 회복되는 특성이 있다. 회복되지 않는 변형에는 소성변형 즉 영구변형(Permanent Deformation)이 있다. 영구변형의 크기는 차량 하중의 크기와 접촉시간에 따라 변하게 된다. 아

스팔트 혼합물의 이러한 변형특성은 기존의 Van der Poel 모델과 Burges 모델을 이용하여 해석할 수 있다.(Huang, 1993)

아스팔트 포장체에서의 소성변형은 재료적인 관점에서 차량하중과 이를 지지하는 혼합물의 전단강도 특성과 매우 밀접한 관계가 있다. 지반공학에서 흙의 전단강도를 설명하는 데 자주 이용되는 Mohr-Coulomb의 이론을 적용해서 혼합물의 전단강도를 추정한다고 가정할 때, 다음 식에서 알 수 있듯이 혼합물의 전단강도는 c , ϕ 에 영향을 받는다.

$$\tau = c + \sigma \times \tan \phi \quad (1)$$

여기서, τ : 아스팔트혼합물의 전단강도

c : 아스팔트 바인더의 점착력

σ : 아스팔트 혼합물이 받는 수직응력

ϕ : 골재의 내부마찰각

구체적으로는 아스팔트의 바인더의 점착력, 즉 점도가 클수록, 골재의 마찰각이 클수록 전체 아스팔트 혼합물의 전단강도는 커지며, 따라서 소성변형에 대한 저항성이 향상된다. 따라서 소성변형을 감소시키기 위해서는 아스팔트 포장에 포설되는 지역의 환경조건에서 기준 점착력을 발휘할 수 있을 정도의 아스팔트 바인더가 선정되어야 하고, 골재는 맞물림 작용이 크게 일어날 수 있는 입도, 형태, 표면 거칠기를 지녀야 한다. 국내에서 기존의 밀입도 혼합물이 소성변형에 취약하다면 출발점은 아스팔트 혼합물에 이용되는 아스팔트 바인더의 점착력과 골재의 상호간 맞물림 현상을 크게 할 수 있는 내부마찰각을 키우려는 시도에서 출발해야 한다. 즉 고온의 현장조건에서도 점착력을 발휘할 수 있는 재료가 아스팔트 바인더로 채택되어야 하고, 내부마찰각이 큰 골재가 배합에 사용될 수 있도

록 석산골재 및 인공골재의 생산과 품질관리에 많은 노력을 기울여야 한다.

만일 기존의 밀입도 골재 혼합물이 소성변형 억제에 효과적이지 않다고 판단될 때 도로 기술자가 취할 수 있는 방법은 두 가지이다. 첫째는 하중조건을 변경시키는 것이다. 환경조건이야 도로가 위치한 곳이므로 조절이 불가능하다지만 교통 하중은 법적인 구속조건이나, 교통 흐름을 원활하게 함으로서 변경이 가능하다. 현재 단축의 경우 10톤, 복축의 경우 20톤으로 되어있는 축하중 법적조건이 타당한가를 진지하게 검토해 봐야 한다. 더불어 타이어 공기압 및 타이어 조건에 관한 기준이 없는 국내 도로법에 대한 검토 역시 필요하다. 교통 관점에서 교통량이 많아 정체가 발생하고, 특히 중차량이 많이 다니는 도로의 경우에는 교통 관리시스템을 활성화하여 빠른 소통을 가능케 함으로서 하중조건을 변경시킬 필요 역시 있다고 보여진다.

둘째는 하중 조건의 변경이 불가능한 경우에 사용하는 재료의 품질 및 성능을 개선시킨 합리적 가격의 재료를 이용하는 것이다. 하중조건에 대한 고려가 쉽지 않은 국내에서 비교적 손쉽게 많이 채택되는 방법이다. 소성변형에 대한 저항성이 크다고 판단되는 골재 배합과 개질아스팔트 등과 같은 신재료 및 신공법들이 속속 개발되고 있다. 이러한 신재료의 사용에 있어서 공학적, 경제적, 환경적인 요소를 고려하여 합리적으로 포장에 적용된다면 문제가 없으나, 일부 재료는 기술적인 철저한 검증 없이 도입 또는 이용되고 있는 실정이다.

3. 소성변형 억제용 아스팔트 혼합물

국내에서 소성변형의 대처방안으로 거론되는 방법은 혼합물의 구성을 변경시키는 것으로 다음의 세가지로 구분될 수 있다. 첫째로 기존 아스팔트에 여러 가지의 개질재(Modifier)를 섞어

아스팔트 바인더의 성능을 향상시키는 방법, 둘째로 골재의 파쇄면을 증가시키고, 또한 골재의 입도를 조정하여 혼합물의 성능을 향상시키는 방법, 셋째로 입도와 개질재를 동시에 개량시키는 방법 등이다. 국내 현황은 이러한 방법을 이용한 다양한 신기술이 개발 또는 도입되어 현장 적용성 시험이 활발하게 진행중인 상태이다. 그러나 이들 혼합물 채택의 기준이 마련되어 있지 않은 상태에서 시험 포장은 각 회사의 로비에 따라 일부 기관에 편중되게 진행됨으로서 객관적인 검증이 어려운 실정이다. 또한, 비용 효과 분석에 따른 경제성 검증 없이 각종 개질재들이 무분별하게 사용되고 있어 많은 국가 예산을 낭비시킬 수 있는 요인이 되기도 하다. 따라서 본 글에서는 현재 도입되고 있는 다양한 신재료 중에서 일부 재료들, 즉 SMA, 수퍼페이브 1단계 +SBS 혼합물, 다공성 개립도 아스팔트 포장, 고무아스팔트 및 대입경 아스팔트 포장의 간략한 특징, 제조공법, 포장재료로서의 특성에 대해 간략하게 살펴보고자 한다.

3.1 SMA(Stone Matrix Asphalt, 쇠석 매트릭 아스팔트)

3.1.1 기술개요

1968년 독일에서 골재 입도를 기존의 밀입도에서 개립도로 바꾸고 아스팔트 바인더의 흐름을 막기 위해 섬유질 안정화 첨가제(Viotop)를 투입한 포장 형식을 SMA라고 한다. 이 포장은 골재 맞물림 효과를 증대시킴으로써 동적안정도를 향상시켜 소성변형에 강한 포장으로 알려져 있고, 미끄럼저항성이 우수하며 타이어와 개립도 골재간의 생성된 공극에 의해 주행시 소음의 감소 등이 보고되고 있다.

SMA 혼합물의 기본 개념은 아스팔트 바인더의 접착력은 골재의 탈리를 방지하는 역할만하

고 압축력과 전단력에 저항하는 힘은 전부 골재의 맞물림에 의해서 발생한다는 것이다. 골재의 접촉에 의한 마찰력은 골재의 고유한 파쇄 특성이기 때문에 이것을 증가시키는 것은 쉽지 않은 일이다. 그러므로 SMA 혼합물에 사용되는 골재는 맞물림 특성을 최대 발휘하게 하기 위하여 골재의 파쇄면이 많게 하고 입형이 좋은 골재를 사용토록 하고 있다. 또한, 굵은골재를 다량으로 사용하여 가장 양호한 전단저항 특성을 확보토

물의 응력전달 개념을 보여준다. 그림 1(a)는 밀입도 혼합물의 전단저항 특성은 골재의 맞물림보다는 골재 사이의 마찰력과 아스팔트 바인더의 점성에 의존한다는 개념을 보여준다. 이러한 개념으로 아스팔트 바인더의 점성을 증가시켜서 소성변형 저항성을 개선한다는 개념이 개질 아스팔트 혼합물이다. 그림 1(b)는 SMA 혼합물의 거동 특성을 나타낸 것으로 소성변형에 대한 저항성은 다량 함유된 굵은 골재 사이의 맞물림에 의해서 발생하는 것을 보여주고 있다.

3.1.2 제조 기술 및 배합설계

SMA 혼합물의 구성은 크게 골재, 아스팔트, 섬유첨가제(fiber)의 3종류로 나눌 수 있다. 일반 밀입도 아스팔트 혼합물과 가장 대별되는 차이점으로는 골재의 사용 측면에서는 굵은골재가 상대적으로 다량으로 사용되고, 다량의 굵은골재 사용에 따른 탈리 및 균열에 대한 저항성을 향상시키기 위하여 상대적으로 많은 양의 아스팔트가 사용된다는 것이다. 많은 양의 아스팔트가 흘러내리는 것과 이에 따른 블리딩을 방지하기 위해 섬유첨가제(cellulose fiber)가 추가되며 다량의 채움재가 사용된다는 것이 SMA 혼합물의 구성상 특징이다.

그림 2는 SMA 혼합물에 사용되는 재료의 구성을 보여준다. 그림에서와 같이 다량의 굵은골재와 그 사이를 채워줄 수 있는 결합재로서 매스틱(mastic)이 사용된다. 이러한 매스틱은 아스팔트, 부순모래, 채움재 및 셀룰로오스 화이버로 구성되는데 골재와 골재 사이의 공극을 채워주고, 결합시켜 주는 페이스트(paste)로서 작용한다.

SMA 포장의 입도는 굵은골재, 잔골재 및 채움재를 혼합한 혼합골재 입도로 표 1을 표준으로 한다. 표 1에서 주로 사용되는 입도는 13mm, 10mm, 8mm이며, 일반 토공부에는 주로 13mm

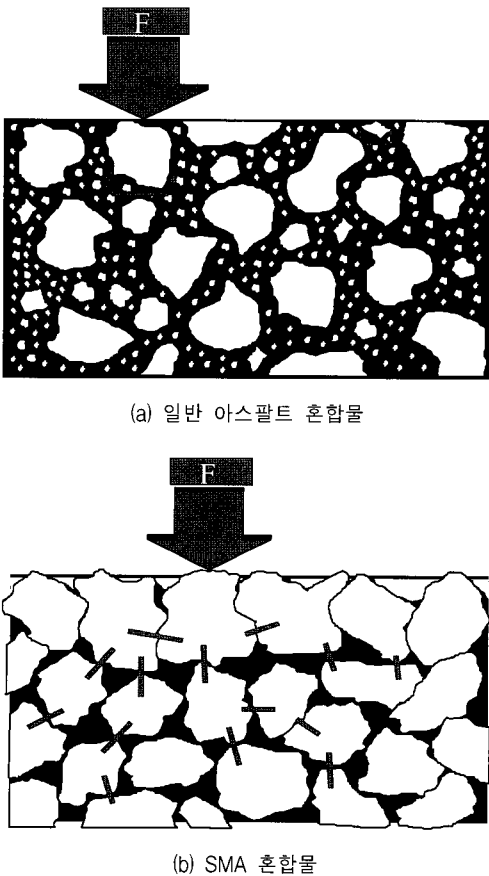


그림 1. 일반 밀입도와 SMA 혼합물의 응력전달 개념 비교

를 하는 것이다. 그림 1은 밀입도와 SMA 혼합물에 수직력이 작용하였을 때의 아스팔트 혼합

SMA 혼합물이 채택되고, 교면포장에는 주로 10mm와 8mm SMA 혼합물이 사용된다.

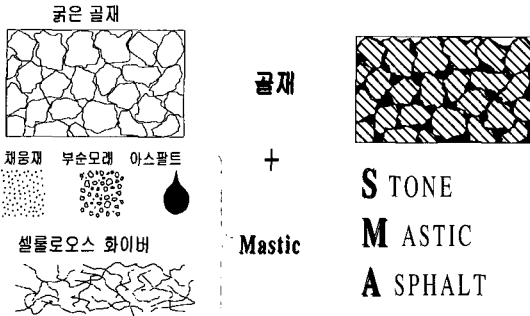


그림 2. SMA 혼합물의 조성

표 1. SMA 포장의 입도기준

공칭입경	19mm	13mm	10mm	8mm	5mm	
통과	25 mm	100	-	-	-	
과	19 mm	93~100	100	-	-	
	13 mm	30~50	93~100	100	-	
중	10 mm	20~35	40~55	93~100	100	
	5 mm	15~25	16~30	25~45	30~60	95~100
백	2.5mm	12~22	12~23	15~30	15~30	25~45
	0.6mm	10~18	10~18	11~20	12~20	13~21
울	0.3mm	8~15	8~15	10~16	10~16	11~17
	(%) 0.15mm	7~13	7~13	9~15	9~15	10~16
	0.08mm	6~12	7~12	8~13	8~13	9~14

표 2는 각 입도의 SMA 혼합물의 배합설계 기준을 나타냈다. 고속도로 구간에 적용하는 SMA 혼합물의 배합설계시 다짐횟수는 75회이며, 골재 최대치수별로 최소 아스팔트 함량을 규정함으로써 SMA 혼합물의 탈리와 균열 저항성 저하를 방지하고 있는 것이 특징이다.

SMA 혼합물의 배합설계는 물리적인 조절에 의존함으로써 투입량이 정확히 조절되지 않는 콜드빈 골재를 기준으로 하지 않고 정확한 계량에 의해서 생산되는 핫빈 골재를 채취하여 배합설계를 하는 것이 일반 밀입도 혼합물과 다른 점이다. SMA 혼합물의 개략적인 배합설계 순서는 콜드빈 골재를 대상으로 예비배합설계를 실

시하여 콜드빈의 투입비를 결정하고 이 투입비대로 골재를 투입하여 핫빈에 저장되는 골재를 채취하여 최종적인 배합설계를 통하여 합성 입도와 아스팔트 함량을 결정하는 순으로 이루어진다. 그런 다음 실제 사용될 플랜트에서의 시험혼합을 통하여 현장배합 입도와 현장포설 아스팔트량을 최종적으로 결정한다.

표 2. SMA 혼합물의 배합설계 기준

항 목	기 준				
	19 mm	13 mm	10 mm	8 mm	5 mm
아스팔트함량(%)	6.0이상	6.4이상	6.8이상	7.2이상	7.8이상
안 정 도(%)	300이상	500 이상			
공 극 률(%)	2.0~4.0				
골재간극률(%)	17이상	18이상	19이상	20이상	21이상
포 화 도(%)	75 이상				
드레인다운(%)	0.3 이하				
다 짐 도(%)	97 이상				

3.1.3 성능 평가

휠트래킹 시험은 실제 포장체가 받는 교통 하중을 모사하는 시험으로 아스팔트 혼합물의 소성변형에 대한 저항성을 가장 잘 나타내는 값으로 알려져 있다. 시험은 60°C에서 수행되며 차륜의 접지압은 6.4kg/cm²이고 분당 차륜의 왕복횟수는 21회이다. 휠트래킹 시험결과는 동적안정도로 표현되는데 동적안정도 값이 클수록 소성변형에 대한 저항성이 우수한 것으로 판정된다.

SMA 혼합물은 동일한 골재 최대치수의 일반 밀입도 혼합물에 비하여 동적안정도 값이 크다. 이러한 결과는 SMA 혼합물의 소성변형에 대한 저항성이 우수하다는 것을 보여주는 것이다. 표 3은 SMA 혼합물에 대한 휠트래킹 시험결과를 나타낸 것이다.²⁾

2) 한국도로공사 아스팔트 포장 연구실, SMA 포장의 소개

표 3. SMA 휠트랙킹 시험 결과

구 분	아스팔트 함량(%)	실측 밀도 (ρ/cm^3)	공극률 (%)	포화도 (%)	골재간극률(%)	동적 안정도 (회/mm)
13mm SMA	6.3	2.346	3.8	79.0	18.1	7875
	6.7	2.368	3.0	83.8	18.3	7000
	7.1	2.364	2.6	86.4	18.8	5727
10mm SMA	6.5	2.377	2.8	84.4	17.7	5400
	6.9	2.377	2.2	88.0	18.1	3223
	7.3	2.375	1.7	90.9	18.5	3063
8mm SMA	6.7	2.360	3.1	83.1	18.4	4350
	7.1	2.358	2.7	85.9	18.9	3150
	7.5	2.355	2.2	88.6	19.3	1977

3.1.4 SMA 혼합물 생산 및 시공 기술

SMA 포장의 경우 공사가 진행되는 동안 현장 장비에서 결정된 입도 유지가 가장 중요한 요소이므로 콜드빈과 핫트빈 골재에 대하여 지속적인 입도 검사가 필요하다. 또한 낱알 형태의 셀룰로오스 화이버 첨가시 투입장치의 이상으로 소정의 섬유가 투입되지 않거나 결정된 투입량보다 적게 들어가는 경우가 종종 발생되므로 품질관리책임자는 셀룰로오스 화이버의 정상적인 투입에 주의를 기울여야 한다. 낱알 형태의 셀룰로오스 화이버는 혼합물 생산시 잘 녹아서 분산되도록 SMA는 일반 혼합물보다 높은 온도에서 혼합하여야 한다. 일반적으로 170°C 정도가 적합한 것으로 판명되었으며, 기온과 운반거리에 따라 증감하여야 한다. SMA 혼합물의 플랜트 혼합시간은 마른 비빔(Dry mixing) 5초, 젖은 비빔(Wet mixing) 40초가 적당하다.

현장 시공시 SMA 포장은 굵은골재의 함유량이 대부분이어서 일반 혼합물에 비하여 다짐밀도가 잘 나오지 않는 특성이 있다. 따라서 일반 혼합물과는 달리 SMA 포장에서는 탄뎀롤러가

가장 중요한 다짐 장비가 되며 다짐에너지가 최대한 높은 롤러를 확보하여야 한다. 롤러는 시방서에 규정되어 있는 것보다 가능한 한 큰 용량의 롤러가 바람직하며 탄뎀롤러의 경우 진동이 가능하여야 한다. SMA 혼합물의 다짐시 일반적인 롤러의 투입 순서는 머캐덤(1차), 머캐덤(2차), 탄뎀(마무리)의 순서가 바람직하다. 다짐 작업시 시방서에 규정된 롤러별 다짐온도는 최소규정이며 170°C 이하로 하되 가능한 높은 온도에서 다짐이 이루어지는 것이 유리하다. 다짐기가 가장 용이한 SMA 혼합물의 온도는 일반적으로 145~165°C 정도이다. 다짐시의 혼합물의 온도가 170°C를 초과할 때는 플래싱 현상이 발생하는 경우가 있으므로 피니셔로 포설후 혼합물 온도가 170°C 이하로 떨어지기를 기다려 롤러로 다진다. SMA 포장시 콜드 조인트 부분이 있을 때에는 포설시 특별한 주의를 기울여야 한다. 기존의 일반 혼합물 공사시에도 이음부분의 외형과 평탄한 마무리에 과도한 주의를 기울인 나머지 이음부분의 다짐밀도 부족으로 이음부 종방향 균열이 발생한 사례가 있다.

3.1.5 포장 사례 및 경제성 분석

기존 아스팔트 포장의 문제점인 소성변형문제를 해결하는 SMA 포장은 승차감과 저소음 효과 면에서도 탁월하여 신설 고속도로 뿐 아니라 유지보수가 필요한 고속도로 절삭 재포장에 널리 사용되고 있으며, 국도 등에도 그 사용이 확산될 것으로 보인다. 고속도로의 경우 99년까지 약 266km/1차로 분량이 포설되었으며 그 양은 지속적으로 증가할 것으로 보인다. 일반 국도의 경우는 '97년 3.4km에서 '98년 123.5km 그리고 99년의 18.7km로 총 145km가 포설되어 있다.

SMA 포장을 적용할 경우 아스팔트 포장의 수명연장으로 유지보수비용이 상당히 절감될 것으로 기대되며 잦은 포장 보수공사로 인한 교통

지·정체를 감소시킬 수 있다. 또한 우천시 미끄럼 저항성이 우수한 SMA 포장의 적용으로 교통사고를 상당히 감소시킬 수 있을 것으로 평가되고 있다. SMA 업체에서 자체 집계한 자료에 의하면 '97~'99년까지 고속도로에 총 559km를 적용하여 약 246억원의 예산절감 효과를 거두었다고 보고하였으나, 공식적인 자료와 현재까지 장기적인 수명 추정에 있어서는 객관적인 자료가 부족한 형편으로 장기적인 추적조사가 필요한 실정이다.

3.2 수퍼페이브 1단계 + SBS 혼합물

3.2.1 기술개요

본 혼합물은 원유를 생산하는 업체에서 개발한 SBS(Styrene-Butadiene-Styrene Block Copolymer) 고분자와 아스팔트간의 분자결합으로 생성되는 개질재 제조기술, 그리고 미국의 최근 골재 연구결과와 혼합물에 대한 배합설계 기술을 바탕으로 개발된 혼합물로서 현재 일반국도 및 고속도로에 다양하게 시험 포설되고 있다. 본 개질재 제조의 핵심은 성능 및 장기 저장안정성을 개선하기 위한 품질관리를 위해 미국 수퍼페이브(Superpave)포장의 공용성등급(PG : PerformanceGrade) 바인더 평가기준에 따라 생산한다는 것이다. 또한 혼합물에 대한 배합설계 기술로는 기존의 마샬 배합설계법 및 미국의 수퍼페이브 배합설계 1단계를 적용토록 개량되었다. 이 혼합물 생산 및 시공기술의 특징은 사전배합(Pre-mix) 방식으로 생산된 개질재가 기존의 일반 아스팔트 혼합물 생산과정과 동일하게 별도의 시설이 없이 기존 설비만으로 아스콘을 생산한다는 점이다.

3.2.2 제조기술 및 배합설계

본 개질결합제(Modified Binder)는 현재 미국,

일본, 유럽 등 선진국에서 가장 많이 사용하고 있는 SBS(Styrene-Butadiene-Styrene block copolymer) 탄성중합체를 기존 아스팔트에 첨가하여 제조한 분자결합 방식의 개질아스팔트이다. SBS개질아스팔트는 크게 두 종류로 구분할 수 있는데, 하나는 물리적 배합 SBS개질아스팔트로 국내에서도 일부 제조하여 시험포장에 사용된 것으로, SBS 재료분리 등에 의해 장기 저장이 불가능한 문제점을 안고 있어 사용상에 많은 제약을 갖고 있다. 반면에, 분자결합 방식의 SBS개질아스팔트의 경우 SBS고분자와 아스팔트 사이에 안정적이고 강력한 분자결합이 형성되어 개질아스팔트의 성능개선효과 외에도 장기 저장이 가능한 제품이라 하겠다. 이런 분자결합의 SBS개질아스팔트를 생산하기 위해서는 별도의 첨가제 기술이 접목되어야 하며, 현재 전세계적으로 몇 개의 주요 전문 아스팔트 생산업체만이 갖고 있는 기술이다. SBS개질아스팔트의 경우 아스콘 플랜트에서 아스콘 생산시에 개질재를 직접 투입하는 현장배합(Plant-mix) 방식과, 정유사 아스팔트 생산공장에서 이미 아스팔트와 개질재의 배합을 완료한 후에 아스콘사에 공급되는 사전배합(Pre-mix) 방식이 있다. 후자방식을 택하고 있는데 이는 사전 품질관리가 용이하고 아스콘 플랜트에서 별도의 주입시설이 필요 없이 기존 아스팔트와 동일한 방법으로 사용이 가능하다는 장점을 가지고 있다.

본 혼합물의 배합설계는 기존의 마샬 배합설계법을 적용하거나 수퍼페이브 배합설계 1단계를 적용할 수 있다. 특히 배합설계시에 사용하는 혼합물의 최대이론밀도를 계산에 의한 방식이 아닌 실측 최대밀도를 사용함으로써 보다 정확한 공극률과 최적 아스팔트함량을 얻을 수 있다. 핵심으로는 혼합물의 소성변형 및 균열 저항성을 극대화하기 위해 수퍼페이브 골재함성입도를 적용하는 것과 또한 교면, 도로 등 포장

용처별 특성을 고려한 별도의 용도별 골재합성 입도와 배합설계 기준이 수립되어 있다. 이 혼합물의 골재합성입도 및 배합설계 기준은 마살 시험에 의한 물성확보 용이성과 소성변형 및 균열저항성 시험결과들을 종합적으로 분석하여 선정되었다. 배합설계 단계를 구분해 보면 먼저 사용재료 선정 ⇒ 골재배합 결정 ⇒ 마살공시체 제작용 골재배합 ⇒ 설계 아스팔트함량 설정 ⇒ 최종 배합비 결정의 순서로 진행한다. 먼저 사용재료의 선정은 특별시방서에 규정된 품질규격을 만족하는 아스팔트 등급과 골재 및 채움재를 선정하며, 골재배합 결정은 도로포장용과 교면포장용으로 구별되고, 각각의 골재합성입도를 만족하도록 콜드빈 배합비를 결정한다.

표 4. 배합설계에 사용하는 골재의 입도 기준

공칭입경(mm)	도로포장용 시방기준	교면포장용 시방기준
19	95~100	100
13	88~95	95~100
10	65~85	80~95
5	38~50	55~67
2.5	26~36	35~47
1.2	19~25	25~34
0.6	14~19	17~24
0.3	8~15	10~17
0.15	5~11	6~12
0.075	4~8	4~8

표 5. 배합설계 품질기준

항 목	도로포장 규정	교면포장 규정
공극률 (%)	2.8~4.5	3~5
골재간극율(VMA,%)	13% 이상	13% 이상
포화도(VFA, %)	65~85	70~85
아스팔트 함량 (%)	4.5~6.5	5~7
마살안정도 (kg)	1200kg 이상	1200kg 이상

본 혼합물에 대한 배합설계 기준은 기존실험을 통하여 여러 가지 입도별 물성 및 성능평가 결과와 해외 사례 및 전문가 자문 등을 토대로 표 5와 같이 배합설계 품질기준을 정하였다.

3.2.3 성능평가

본 혼합물에 대한 성능평가 결과는 실내에서 실시하는 휠트래킹 시험결과가 사용되었다. 휠트래킹 시험은 60°C에서의 혼합물의 동적안정도(Dynamic Stability), 즉 혼합물에 1mm 소성변형 깊이 발생시까지의 바퀴 통과횟수로 나타내는데, 소성변형에 대한 저항은 동적안정도가 클수록 우수하다고 판단한다. 밀입도를 적용하는 일반아스팔트 혼합물과 수퍼페이브입도를 적용하는 본 혼합물과의 동적안정도 시험결과는 본 혼합물이 일반아스팔트 혼합물 대비 약 30배나 높은 동적안정도 결과를 보여 소성변형에 매우 강한 것으로 나타났다.³⁾

국내 아스팔트 포장에 두 번째로 심각한 파손 유형은 피로균열(일명, 거북등균열)이라고 하겠다. 피로균열 저항성은 일반적으로 혼합물의 간접인장 시험을 통해 평가할 수 있는데, 시험방법은 마살공시체를 제작한 후 25°C에서 공시체 측면을 통해 하중을 가한 후에 혼합물의 터프니스(Toughness), 극한인장강도, 그리고 파괴시 변위량 등을 측정한다. 특히 터프니스 값은 변형에 대한 저항성, 즉 변형에너지를 흡수할 수 있는 정도를 나타내는 척도로서 혼합물 균열 저항성을 평가하는 대표적인 측정값이다. 피로균열 저항성을 평가한 결과, 본 혼합물이 일반아스팔트(AP-5) 혼합물 보다 터프니스 값이 높게 나와 피로균열에 대한 저항성이 1.6배 더 크게 나타났다. 본 혼합물의 저온균열 저항성을 평가하기 위하여 수퍼페이브 2단계 시험법에 의거하여

3) 차순만, SK아스팔트 포장 연구실, '슈퍼팔트(SUPER-PHALT) 포장기술'

혼합물을 단기 노화시킨 후에 마샬시편을 제작하고 다시 이를 장기 노화를 시킨 후에 실험 온도 10°C에서 간접인장강도와 파괴시의 변위량을 측정하였다. 밀입도를 적용한 일반아스팔트 혼합물과 슈퍼페이브 입도를 적용한 본 혼합물과의 10°C에서의 저온균열 저항성을 비교 평가한 결과 본 혼합물이 일반아스팔트 혼합물 보다 저온균열에 대한 저항성이 약 28% 더 우수한 것으로 보고하고 있다.

3.2.4 혼합물 생산 및 시공기술

혼합물 생산 및 시공기술과 관련해서는 앞서 설명한 사전배합 방식으로 생산된 개질 아스팔트를 사용하여 생산하는 아스콘의 경우, 현장 배합설계를 통한 정확한 하트빈(Hot Bin) 배합비 산정과 아스콘 생산온도 관리, 그리고 균일한 배합을 위한 플랜트 배합시간 조정 등이 일반혼합물 생산과 차이가 있다. 특히, 시공의 경우 대부분의 개질아스팔트와 유사하게 고온에서 충분한 다짐이 이루어지므로, 시방기준의 현장 다짐밀도를 얻기 위해 다짐온도 관리가 중요하다.

표 6에서 사용 재료인 PG 76-22의 슈퍼팔트 특성과 배합설계 기준을 고려하여 아스콘 플랜트에서의 생산시 온도관리 기준과 플랜트 믹서에서의 혼합시간을 나타내었다. 또한 시공 현장에서의 다짐작업 기준을 정립하였으며, 본 혼합물의 생산을 위한 SBS개질아스팔트의 가열온도

는 155°C 이상, 혼합시 골재온도는 175~190°C, 생산시 혼합물온도는 약 170~180°C이다. 혼합시간은 건식방법의 경우 4~7초, 습식방법의 경우 40~45초 정도를 이용한다.

3.2.5 포장사례 및 경제성

본 혼합물은 1996년 10월과 11월에 각각 경부 고속도로 및 김포국제공항에서 최초 시험포장을 실시한 이후 지금까지 1차로 도로를 기준으로 800km 이상의 도로에 시공되었다. 초기 포장시에는 미국의 슈퍼페이브 배합설계 기술을 적용하여 포장하였고, 근래에는 국내 여건에 맞게 마샬 배합설계 기준을 특별시방으로 정하여 사용하고 있다. 현재 고속도로, 주요 국도, 서울특별시 및 주요 광역시, 공항 및 주요 교량 등에 다방면으로 포장이 되고 있으며, 대표적인 포장 지역으로는 동광양 정산1교, 서강대교, 한남대교, 양화대교 등 주요 교량과 경부 및 호남 고속도로 구간, 그리고 서울시 올림픽대로 및 주요 사거리 등이 있다. 특히 1999년부터는 국산 제품으로는 최초로 해외 수출을 개시하였으며, 특히 중국 하북성 내 당산에서 선양간 고속도로 등 여러 해외 포장사례가 있다. 마지막으로 본 혼합물 포장의 경제성을 평가하기 위해 비용효과 관련자료 분석을 실시하였는데, 결합제 가격은 약 두 배 이상 차이가 나고 혼합물 가격은 35~50% 비싼 것으로 조사되었다. 그러나 포장수명 개선효과는 휠트래킹 시험결과나 현장 시험결과를 볼 때 분명한 것으로 판단되는데, 혼합물 생산업체에서는 두 배 이상의 포장수명 개선효과가 있다고 보고하고 있으나 보다 체계적인 추적조사를 통하여 검증되어야 할 것이다.

표 6. 다짐작업 순서 및 다짐시 온도 범위

다짐구분	다짐 장비	중 량	다짐횟수	다짐속도	다짐온도
1차 다짐	머캐덤	12톤 이상	왕복 3회 이상	2~3km/h	140~160°C
2차 다짐	타이어	15톤 이상	왕복 4회 이상	6~10km/h	125~150°C
3차 다짐	탄뎀	8톤 이상	왕복 2회 이상	2~3km/h	110~130°C

3.3 다공성 개립도 아스팔트 포장

3.3.1 기술개요

다공성 개립도 아스팔트 포장은 아스팔트 결

합제에 개질재를 첨가하여 제조한 약 20%의 공극을 갖는 포장으로서 외국에서는 Porous Asphalt, Drain Asphalt, Silent Asphalt, Whispering Asphalt, Cool Asphalt, OGFC (open-graded friction course) 등으로 부르고 있다. 다공성포장은 현재 일부 시가지 보도 및 공원포장 등에서 지하생태계 보호를 목적으로 시공하고 있으나, 결합력 부족 등의 문제로 차도에는 적용이 불가능한 실정이었다. 그러나 아스팔트의 결합력 및 여러 가지 물성을 획기적으로 개선시킬 수 있는 장점을 가진 특수첨가제를 개발함으로써 차도에도 적용이 가능하게 되었다.

기존의 밀입도 아스팔트 혼합물의 문제점은 소성변형 및 균열파손, 차량의 주행소음, 빗길교통사고빈발(수막현상, 물보라, 난반사 등) 및 유지보수 비용의 증가 등이 있다. 본 혼합물은 이러한 문제점을 해결하기 위해 개발된 것으로, 주요 특징 및 효과는 다음과 같다. 라벨링 실험 결과 변형에 대한 저항성이 비교적 크게 나타났고, 마찰안정도 실험결과 안정도와 흐름치가 증가하였다. 이는 같은 파괴상태에서 변형량이 크게 생기는 것으로 취성(脆性)파괴를 억제할 수 있는 특성을 보이는 것이다. 본 포장체에는 약 20%의 공극을 가지고 있어 차량주행시 발생하는 타이어의 에어 펌핑작용을 해소시킴으로서 차량주행 소음을 감소시킬 수 있다. 또한 우천시 빗물이 포장체 내부로 흡수되어 방수층표면을 통해 배수가 이루어지므로 수막현상 및 물보라 발생이 없어 노면미끄럼저항을 증대시키므로 빗길 교통사고를 현저히 감소시킨다.

3.3.2 배합설계 및 시공

본 혼합물의 아스팔트는 골재와 더불어 내구적이며 내수성, 내후성, 내유동성의 혼합물을 생산하는데 적합하여야 한다. 골재의 품질은 KS F 2357 및 KS F 2358에 준하며 표준입도는 표

7과 같다. 개질첨가제의 품질은 제조회사 품질 규격에 따른다.

표 7. 혼합물용 골재 표준입도

체크기(mm)	통과중량 백분율(%)
19	100
13	95 ~ 100
5(#4)	10 ~ 31
2.5(#8)	10 ~ 21
0.074(#200)	2 ~ 7
아스팔트량(%)	4.5 ~ 5.5

표 8. 혼합물의 품질기준

종 목	기 준	비 고
마찰안정도 (kg)	500 이상	
흐름치 (1/100cm)	20~40	
잔류안정도 (%)	75 이상	
투수계수 (cm/sec)	1×10 ⁻² 이상	
다짐횟수 (회)	50	1면당

본 개립도 혼합물에서 마찰배합설계 방법의 적용은 타당하지 않으나, 국내에는 사용할 만한 자세한 배합설계 지침이 마련되어 있지 않아 마찰배합설계 방법을 준용한다. 개발과정에서는 이 밖에도 휠트래킹, 라벨링 시험 등 추가적인 물성을 파악한 후 현장에 적용, 만족할 만한 성과를 얻을 수 있었다. 최적 아스팔트량의 결정은 본 혼합물이 다공성으로 물과 공기에 노출되는 시간이 많은 점을 감안하여 피복두께가 충분한 쪽으로 정하는 것이 좋으며 경험에 의하면 4.5~5.0%가 적당한 것으로 판단된다. 본 개립도 혼합물의 품질기준은 표 8과 같다.

본 혼합물의 생산시 기존의 가열혼합식 플랜

트에 별도의 추가 시설 없이 생산이 가능하다. 개질첨가제의 투입은 반드시 아스팔트 분사후 믹서내에 투입한다. 본 혼합물은 다공성이므로 온도 저하가 빠르다. 따라서 운반시 온도관리에 유의해야 한다. 시공관련 온도는 표 9와 같다.

표 9. 혼합물의 생산온도

구 분	기준온도(°C)
골재가열	190 ± 5
아스팔트가열	170 ± 5
혼합물배출	180 ± 5
현장도착온도	165 이상

본 재료 시공시 유의사항은 다음과 같다. 시공전 방수층 및 배수처리시설이 설계대로 시공되었는지 확인한다(배수처리지침 적용). 또한 시공전 유화 아스팔트 등으로 텍코팅을 실시하고 충분히 양생하여야 한다. 본 혼합물은 다짐 감소율이 적으므로, 1층 포설두께는 시험시공에 의해 결정하여야 하며 소규모 공사일 때는 경험값을 적용한다. 다짐시 진동은 주지 않으며 다짐시 롤러 바퀴에 혼합물이 부착하는 것을 방지하기 위하여 절삭유 혹은 식물성 기름을 분무 또는 도포한다. 다짐시 온도는 표 10을 기준으로 한다.

표 10. 혼합물의 다짐 온도

구 분	온도(°C)	다짐장비
1차다짐	140 이상	머캐덤 롤러 (5~8톤)
2차다짐	110 이상	타이어 롤러 (8~15톤)
마무리다짐	80 이상	탄뎀 롤러 (5~8톤)
교통개방	50 이상	차량통과

3.3.4 유지관리 및 시공현황

본 포장의 특성인 배수 및 소음감소 기능은 공극이 막히지 않은 상태에서 완전한 효과를 기

대할 수 있다. 따라서 공극을 유지하기 위한 사후노력이 계속되어야 한다. 동절기 제설작업시에는 모래의 살포를 금하며 염화칼슘 등의 약품을 이용하고, 먼지, 오물 등으로 인해 막힌 공극은 적절한 방법을 통해 정기적으로 청소를 실시하여 그 기능을 회복시켜 주어야 한다. 포장의 배수기능 회복방법으로는 물 또는 약품살포, 또는 고압공기와 고압수를 이용한 청소 등이 있다. 본 포장의 시공사례⁴⁾는 건교부 보은국도 관내 재포장(충북 영동), 건교부 예산국도 관내 재포장(성환), 서울특별시 남부도로관리사업소 관내(시흥대로, 경인로/영등포역사, 상계/방학 지하차도, 증가로, 남부순환도로 6개소), 경기도 건설안전본부 관내(백암-매곡간, 가남리, 비봉지구 외 3개소, 안성시지역 3개소, 신갈지역 4개소), 경기도 수원시관내(동수원 사거리), 전라북도 익산시관내 포장 등이 있다. 비용효과 분석 자료는 아직까지 보고된 적이 없어 아쉬움이 남는다.

3.4 고무아스팔트(Crumb Rubber Modified Asphalt, CRM)

3.4.1 기술개요

ASTM D 8-88에 제시된 고무아스팔트의 정의는 “아스팔트 시멘트, 재활용 고무 그리고 일정 첨가물의 혼합체로서 고무 성분이 전체 성분의 중량비로 최소 15%로 구성되어 있고 고무 입자가 아스팔트 시멘트 속에서 팽창하도록 충분히 반응이 되어 있는 것”이다.

고무(CRM)아스팔트 바인더는 고온으로 가열한 아스팔트 시멘트와 No.10체 이하의 페타이어 고무분말(CRM)을 중량비로 15~25% 혼합, 고무분말이 팽창(swelling)하여 아스팔트와 상호

4) 김현준, 아스팔트 개질첨가제(DAMA)를 이용한 환경친화적인 다공성포장(ECOPHALT) 기술

물리적 반응이 일어날 때까지 숙성기에서 일정 온도로 약 1시간 동안 숙성시켜 제조된다. 반응 과정에서 페타이어 고무는 아스팔트 시멘트의 성분중 Aromatic Oil을 흡수하여 고점도가 되며, 반응 결과 고무아스팔트는 겔(Gel) 상태가 된다. 고무아스팔트의 주요 특성으로는 내구성과 방수성이 뛰어나며 타이어의 화학성분 및 뛰어난 신축성으로 균열 및 깨짐 방지, 탁월한 미끄럼 저항성 및 수막현상 방지로 안전성 증대, 소성변형 및 마모 저항성 증대 등의 장점을 주장하고 있다.

3.4.2 사용재료

고무아스팔트에 이용되는 주요 재료는 페타이어 분말, 아스팔트, 골재 및 탈리방지제 등이 있다. 고무아스팔트 바인더의 표준규격은 ASTM D 6144-97, GR M 6009-1999에 규정되어 있고, 사용되는 페타이어 고무분말 입도 및 기본 특성은 표 11, 표 12와 같다. 적절한 방수력을 만들어 내기 위해 현장 배합 입도 공식에서 요구될 경우 탈리방지제를 고무분말 혼합전 아스팔트에 첨가한다.

골재는 단단하고 내구성이 있는 분쇄된 돌조각으로 구성되어야 한다. 골재에는 유기질이나 부패한 재료, 진흙 덩어리, 먼지, 유독한 재료가 들어 있지 않아야 한다. 미세한 골재 부분으로 천연 또는 부순모래가 사용될 수 있다. 둥근 천

연모래는 사용될 수 없다. 골재의 입도는 표 13과 같다.

표 11. 페타이어 고무분말(CRM)입도 및 기본 특성 1

구 분		유형 1	유형 2	유형 3	
절대점도	cps(ASTM 2196) 175°C, 3 spindle, 20 RPM	최소	1,500	1,500	1,500
		최대	5,000	5,000	5,000
침입도	1/10mm (KS M 2252) 25°C, 100g 5초	최소	25	25	50
		최대	75	75	100
침입도	1/10mm (KS M 2252) 4°C, 250g 60초	최소	10	15	25
		최소	57	55	52
연화점	°C (KS M 2250)	최소	57	55	52
탄성회복력	% (ASTM D 3407)	최소	20	10	10

- ※ 유형 1 : 더운지역 최고 43°C 이상(7월평균), 최저 -1°C 이상 (1월평균)
- 유형 2 : 보통지역 최고 43°C 이하(7월평균), 최저 -9°C 이상 (1월평균)
- 유형 3 : 추운지역 최고 27°C 이상(7월평균), 최저 -9°C 이하 (1월평균)

표 13. 골재의 허용 입도

규 격	개립도(Open)		갭입도(Gap Grade)		
	9.5mm	13mm	9.5mm	13mm	19mm
최대 입경 체크기					
25mm	100	100	100	100	100
19mm	100	100	100	100	95~100
13mm	100	95~100	100	95~100	70~90
9.5mm	85~100	75~95	78~92	75~95	50~70
5mm	25~55	25~55	28~42	25~45	25~45
2.5mm	5~15	5~15	15~25	15~25	15~25
0.6mm	0~10	0~10	5~15	5~15	5~15
0.074mm	0~5	0~5	3~7	3~7	2~6

표 12. 페타이어 고무분말(CRM)입도 및 기본 특성 2

구 분	기 준						
허용입도	입경	2.36mm	2.0mm	1.19mm	0.6mm	0.3mm	75 μ m
	A형	100	95~100	40~60	0~20	0~10	-
	B형	-	100	70~100	25~60	0~20	0~5
섬유질함유량	A등급 : 0.1% 미만, B등급 : 0.5% 미만						
함 수 량	0.75% 미만						
광물성함유량	0.25% 미만						
금속성함유량	포함되지 않아야 함						

3.4.3 배합설계 및 혼합물 성능평가

배합설계는 고무(CRM)아스팔트 공급업체, 인가 받은 연구소에서 수행해야 하고 현장배합 기준을 결정하는 기초로 사용되어야 한다. 사용된 설계방법은 표 14의 기준을 따라야 한다. 배합설계는 현장배합을 위한 기초로 사용된다. 갭입도 아스팔트 혼합물은 마샬 배합설계 방법으로 설계될 수 있으나 평가 기준은 일반 아스팔트 혼합물의 기준과 다르다. 일반적으로 고무아스팔트 혼합물은 일반아스팔트 혼합물보다 아스팔트 함량이 높게 결정된다.

표 14. 마샬 기준

마 샬 물 성 치	갭 입 도	개 립 도
공극률(%)	3 ~ 6	12 이상
VMA(%)	18 이상	22 이상

영구변형 저항성을 평가하기 위해서 휠트래킹 시험이, 혼합물의 감온성을 평가하기 위해서는 회복탄성 계수시험이 수행되었는데 일반 혼합물에 비해 개선되었다고 보고하고 있다. 또한 5°C에서 간접인장강도 시험을 수행하면 일반혼합물은 저온에서 강성이 매우 큰 관계로 완전히 파괴되었지만 CRM아스팔트 혼합물은 모두 약간의 균열만 나타나 CRM아스팔트 혼합물이 저온 균열에 대한 저항성이 크다고 보고하고 있다. 그러나 이에 대한 객관적인 검증은 아직까지 이루어지지 않은 편이므로 현장 공용성에 대한 신뢰는 확신하기 어렵다.

3.4.4 시공 및 유지관리 기술

택코팅 등의 보수작업에 이 재료를 사용할 때는 재료와 타입, 등급 또는 특별용도에서의 적정 비율 등은 공급업체와 협의 결정하여야 하며 충분히 양생된 다음에 포설한다. 택코팅 재료를

AP-3 또는 RS(C)-4를 사용할 경우 1㎡당 0.4 l를 살포하며, RS(C)-4를 사용한 장비를 사용시는 고온의 AP-3 투입시 탱크 속에 물이 없도록 조치한다.

시공재료의 운반시 주의사항은 공사량을 감안하여 시공 중단이 없어야 하며, 장거리 운송이나 낮은 기온으로 인한 혼합물의 급격한 열손실을 방지하기 위해 운반차에는 보온덮개를 사용하고 운반차량의 바닥에는 이물질이 없어야 하며, 운반차 바닥에 들어붙는 것을 방지하기 위해 바닥에 세정액이나 실리콘 유제를 가볍게 도포한다.

포설 및 다짐관리시 주의 사항은 포장 두께가 얇아 시공속도가 빠르고 다짐온도 기준에 맞추어야 하므로 최초 1차 다짐 장비는 피니셔 바로 뒤에 붙여서 시공, 다짐 장비는 10톤 이상 자주식 철륵 탄뎀 롤러 2대와 머캐덤 롤러 1대를 투입한다. 타이어 롤러는 사용을 금한다. 갭입도 포장은 진동 탄뎀을, 개립도 포장은 무진동 탄뎀을 사용하며 1회 및 2회 다짐은 최소한 온도 기준을 지켜 신속히 하여야 하며, 예정밀도 96% 이상 되도록 3회 이상 충분히 다진다. 다짐이 끝나면 석회수(물 6,000 l에 석회석 25kg 희

표 15. 시공시 온도관리

구 분	기 준 온 도 (°C)	
골재가열온도	162~190	
아스팔트가열온도	190~230	
바인더 숙성온도	162~190	
혼합물 생산온도	개립도 : 131~149	갭입도 : 142~176
현장 포설온도	개립도 : 131~149	갭입도 : 142~162
다짐온도	1회	개립도 : 131 이상 갭입도 : 142 이상
	2회	개립도 : 121 이상 갭입도 : 132 이상
교통개방온도	60 이하	
동절기 특기사항	혼합물의 생산온도와 포설온도를 +10°C 높인다	

석)를 충분히 살포하면서 양생하여야 하며 60°C 이하일 때 교통을 개방한다. 시공시 온도관리는 표 15에 나와 있다. 공사시 최저 대기온도는 10°C이며 만일 10°C에서 공사를 시작했는데 예기치 않게 0°C 이하로 내려간다면 혼합물 온도를 143°C가 유지한 경우에 한해 마무리 공사를 할 수 있다. 비가 오거나 비가 와서 물이 고이거나 노면이 젖은 상태에서 포설해서는 안된다.

3.4.5 시공현황

고무아스팔트의 시공사례로는 1997년도의 홍성 지방도 619호선, 남해고속도로 하행선, 통일로 구과발 박석고개 등이 있고, 1998년도에는 서울의 노들길, 시흥대로, 배재중고등학교 단지, 경수국도 등이 있고, 1999년 시공실적으로는 서울남부순환도로, 지방도 622호 및 40호선, 충청북도 국도 38호선, 경인고속도로 목동지하차도 등이 있다.

3.5 대입경 아스팔트 포장

3.5.1 기술개요

“대입경(大粒徑, large stone)”이라는 용어는 상대적인 것이다. 여기에서는 표준적인 100mm 직경의 마살 몰드를 사용할 수 없는 최대치수가 25mm 보다 큰 골재를 대입경 골재라고 정의한다. 최대치수에 대한 용어를 분명히 하여야 할 필요가 있는데 일반적으로 포장에서 골재의 최대치수는 중량으로 95%(미국에서는 90%)를 통과시키는 체의 공칭치수로 나타낸 골재의 치수를 말한다. 1903년 와렌회사(Warren Brothers Co.)는 최대골재크기를 75mm로 정한 혼합물의 특허를 제출하였다. 그 당시의 대부분의 포장회사들은 특허침해를 피하기 위하여 작은 쇄석의 혼합물을 사용하게 되었으며, 특허기간이 끝난 이후 오늘날에도 널리 사용되고 있다. 또한 배

합설제에 사용되는 마살방법에 규정된(ASTM D 1559) 시험기구는 100mm 직경의 몰드로 되어 있어 이것은 최대치수 25mm 이하의 골재를 포함하는 혼합물에 적용된다. 25mm보다 큰 골재를 포함하는 아스팔트 혼합물은 표준 마살방법으로는 시험할 수 없으므로 이 보다 큰 골재의 사용을 억제해왔다.

표준 마살방법은 ASTM D 1559로 규격화 된 것으로서 우리나라에서도 표준(KS F 2337)으로 활용하고 있다. 마살방법은 1943년부터 미국 육군공병대에서 쓰여 오던 것을 ASTM(미국시험재료협회)에서 1958년에 잠정규격으로 채용하고, 1965년에 표준규격으로 정하여 오늘에 이르는 시험방법이다. 최근 미국에서는 여러 연구자들의 제안에 따라 최대치수가 큰 골재를 포함하는 혼합물의 배합설계를 위하여 몰드의 크기를 직경 150mm로 크게 한 수정 마살시험방법을 ASTM D 5581-96으로 규격화하여 활용하고 있다.

3.6.2 배합설계

최대치수 40mm의 것을 LS-40으로, 25mm의 것을 LS-25로 호칭하기로 하고, 수퍼페이버 입도를 참고하여 표 16과 같이 입도범위를 정하였다.

표 16. 혼합물의 골재 입도 범위

체크기	구 분	기 충 용	
		LS - 40	표 충 용 LS - 25
통 과 중 량 백 분 율 (%)	50mm	100	—
	40mm	90~100	100
	25mm	70~90	90~100
	19mm	—	70~90
	12.7mm	45~70	56~80
	No. 4	23~50	30~59
	No. 8	15~40	19~45
	No.30	7~23	8~25
	No.50	5~16	5~17
	No.200	1~6	1~7

국내 고속도로에서 아스팔트 혼합물의 배합설계에 적용하고 있는 기준과 미국 아스팔트협회의 배합설계방법(MS-2, Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot Mix Types)에 의한 마샬방법 기준을 참고로 하여 대입경 혼합물 연구에 적용한 기준을 표 17과 같이 선정하였다.

표 17. 대입경 혼합물에 대한 마샬시험 기준

항 목	구 분	표 층 용	
		LS - 25	LS - 40
다짐횟수 (회)		75	75
안정도 (kg)		750 이상	1,125 이상
흐름치(1/100cm)		20~35	15~60
공극률 (%)		3~5	3~10
포화도 (%)		65~75	—

3.6.3 현장 시공

국내에서는 대입경 혼합물에 대한 시험시공이 경인고속도로확장공사구간 종점부근(인천 남구 용현5동 294번지 앞) 180m에서 시공되었다. 시공단면은 그림 3과 같다.

3.6.4 추적조사성과

시험시공 실시후 5.5개월간 교통에 개방한 상태로 FWD(Falling Weight Deflectometer) 처짐량과 소성변형을 측정하였다. 조사당시의 교통량 현황은 대형차교통량이 1일 3,000대가 통과하는 정도였으며, 육안조사로는 아무런 이상이 없었다.

FWD시험장비로는 한국도로공사 보유의 Dynatest FWD 8000을 사용하여 SMA구간, 일반 혼합물구간, 대입경 혼합물구간에 대하여 각각 3개소씩 측정하였다. 그림 3의 3차로의 표층 및 기층에 대한 측정결과는 표 18과 같고, 노상의

표 층	1 차 로	2 차 로	3 차 로	표 층 두께
	일반 WC-3	일반 WC-3	일반 WC-3	
기층2층	대입경 혼합물	대입경 혼합물	일반 혼합물	10cm
기층1층	LS-40	LS-40	BB-4 (C 개질 혼합물)	10cm

표 층	1 차 로	2 차 로	3 차 로	표 층 두께
	SMA혼합물	대입경 LS-25	대입경 LS-25	
기층2층	대입경 혼합물	대입경 혼합물	일반 혼합물	10cm
기층1층	LS-40	LS-40	BB-4 (C 개질 혼합물)	10cm

(주) 시험시공 연장 180m 중 표층은 위 그림과 같이 절반씩 혼합물을 변경하여 시공하고 추적조사중임.

WC-3: 밀입도 아스팔트 혼합물(최대골재 크기 19mm)

SMA: 쇄석 매스틱 아스팔트 혼합물(최대골재 크기 19mm)

LS-25: 대입경 혼합물(최대골재 크기 25mm)

BB-4: 아스팔트 안정처리 기층 혼합물(최대골재 크기 30mm)

그림 3. 시험시공 단면

탄성계수는 약 250MPa, 보조기층의 탄성계수는 약 400MPa 정도로 나타났다.

표 18에서 기층은 모두 동일한 아스팔트층으로 시공된 것으로 결국 측정치의 차이는 SMA, 일반 및 대입경의 상부 표층의 물성의 차이에서 기인된 것으로 판단할 수 있다. 측정결과로는 일반 혼합물이 가장 양호한 것으로 평가되고, 대입경, SMA순으로 탄성계수가 평가되었다. 이것은 일반적으로 탄성계수는 치밀한 조건에서 크게 나타나기 때문인 것으로 판단되며, 고속도

표 18. FWD측정성과(단위: MPa)

지 점	1	2	3
SMA	9,833	7,293	8,284
일 반	11,096	12,944	9,820
대입경	8,922	7,398	9,726

로에 일반적으로 적용하고 있는 SMA 경우와 비교할 때 탄성계수가 약간 상회하는 것을 보여 주고 있다.

FWD시험 장소에 대하여 횡방향의 소성변형량을 측정한 결과 SMA와 대입경 혼합물 구간에는 변형이 전혀 발생치 않고 있으나, 일반 혼합물 구간에서 1mm 정도의 변형이 발생하고 있어, 탄성계수와는 무관하게 대입경 혼합물의 공용성이 높게 유지되고 있음을 알 수 있다.

4. 맺음말

국내도로포장의 주요 파손원인중의 하나인 소성변형의 발생원인과 소성변형 발생을 억제하기 위해 개발 및 사용중인 혼합물의 특성과 관련 시공법에 대해 살펴보았다. 서론에서 언급된 것과 같이 소성변형은 크게 두 가지 원인에 의해 발생한다. 첫째, 도로 포장에 사용된 재료, 설계 및 시공상의 문제로 발생하는 것이고, 둘째는 포장체의 파손에 직접적인 원인인 차량하중 즉 하중의 크기, 반복횟수 및 차량재하 지속시간 등이 최초 설계시 보다 과도할 경우 소성변형이 심하게 발생한다. 본 글에서는 주로 재료적인 측면에서 변형을 억제하는 방안에 대해 고찰하였는데 방법은 크게 두 가지로 나누어 볼 수 있다. 첫째, 사용되는 골재의 입도, 크기, 형상 등과 관련된 골재의 특성치를 변화시키는 방법으로, 본 글에서는 SMA에 대한 소개를 하였다. 둘째로는 사용되는 아스팔트의 성능을 개량하는 방법으로 주로 폴리머계통의 개질재를 이용하여 아스팔트의 성능을 향상시키는 방법인데, 본 글에서는 수퍼페이브 1단계+SBS혼합물, 다공성 개립도 아스팔트 포장, 고무아스팔트(CRM), 대입경 아스팔트 포장 등에 대해 소개하였다.

소성변형의 주요 발생원인에 대한 많은 연구 결과는 앞에서 언급한 것과 거의 유사하다. 그러나, 이에 대한 해결방안에 대한 내용은 아직

은 많은 논의 및 실험이 진행중인 단계라 할 수 있다. 소성변형문제 해결을 위한 보편적인 순서로는 먼저 도로포장의 성능에 상대적으로 많은 영향을 미치는 골재의 평가를 보다 공학적, 과학적으로 수행하여 국내에서 생산되는 골재의 각종 품질에 대한 정확한 검증이 필요하다. 또한, 기존에 사용되고 있는 골재 관련 시방기준 역시 재검토해야 할 필요가 있다. 현재 국내에서 사용되는 밀입도 아스팔트 혼합물은 1920년도까지 이용되던 대입경 혼합물(Large Stone Mix)의 특허 출원으로 개발되어 이용되고 있는 것이다. 그러나, 중차량의 등장 및 가속화, 이로 인한 타이어 압력의 증가는 기존의 밀입도 혼합물의 파손현상을 가속시키고 있다. 따라서, 기존에 사용되고 있는 시방기준에 대한 검토가 필요하다. 두 번째로는, 골재의 성능과 품질관리로 포장재료의 성능향상이 어려울 경우, 사용되는 아스팔트의 성능개선을 위해 다양한 개질재를 이용하는 것이다. 그러나 개질재의 이용은 공용성과 관련된 모든 성질을 개선하는 것이 아니므로, 사용할 도로포장재료의 취약점에 대한 정확한 분석 후 용도에 맞는 개질재의 선정이 매우 중요하다. 경우에 따라서는 개질재의 사용이 오히려 포장의 성능을 저하시키는 경우도 있는 것으로 종종 보고되고 있다.

끝으로 본 고에서 소개된 각각의 혼합물의 특성을 실내실험을 이용하여 검증한 자료를 주로 소개하였다. 그러나 포장의 공용성은 차량하중과 시간과의 관계이므로, 기존에 시공된 도로포장의 상태를 지속적으로 관찰하고, 필요하면 시료를 채취하여 시간에 따른 혼합물의 특성을 검증하는 과정이 필요하다고 판단된다.

5. 감사의 글

본 글의 작성을 위해 귀중한 자료를 제공해주신 분들께 진심으로 감사 드립니다. 대입경

포장에 관한 자료를 준비해주신 김주원 학회장과 SMA 자료의 이광호 박사, 슈퍼팔트 관련 (주)SK의 차순만 박사, 다공성 혼합물의 김현준 사장, 고무아스팔트의 유닉스라바 관계자 등 여러분들의 노력 없이는 작성이 불가능한 원고였음을 밝힙니다. 다시 한번 감사 드립니다.

2. 이광호, "SMA 포장의 소개", (2000), 한국도로공사 자료.
3. 차순만, "슈퍼팔트 포장기술", (2000), SK아스팔트 포장연구실.
4. 김현준, "아스팔트 개질 첨가제를 이용한 환경친화적인 다공성 포장(ECOPHALT) 기술", (2000).
5. 이석홍, "고무아스팔트(CRM) 포장기술", (2000).

참고문헌

1. Huang, "Pavement Analysis and Design", (1993), Prentice Hall, pp.805.

**한국도로포장공학회
회원가입안내**

(1) 회원의 종류

- 정 회원 : 포장공학과 관련된 학문의 학식 또는 경험이 있는 자
- 학생회원 : 포장공학과 관련이 있는 학과의 대학, 전문대학에 재학중인 학생
- 특별회원 : 본 학회의 목적사업에 찬동하는 개인이나 단체

(2) 회 비

- 입 회 비 : 20,000원(정회원에 한함)
- 연 회 비 : ① 정 회원 : 20,000원 (종신회비 400,000원)
 ② 학생회원 : 10,000원 (대학 및 전문대학생에 한함)
 ③ 특별회원 : 특급 : 100만원 이상, 1급 : 50만원 이상
 2 급 : 30만원 이상, 도서관회원 : 5만원

(3) 입회신청

회원이 되고자 하는 개인이나 단체는 소정의 입회원서와 입회비 및 연회비를 납부하시기 바라며, 자세한 사항은 학회사무국에 문의하시기 바랍니다.

(4) 회비납부 (가입회원명으로 입금)

한빛은행(역삼동지점) : 122-169621-02-101 한국도로포장공학회

사무국 : 서울특별시 강남구 역삼동 776-13 (성원빌딩 7층)

전화 : 02-564-5642 팩스 : 02-569-4707

사단법인 한국도로포장공학회