

아스팔트 및 아스팔트 개질재

- 국내 사용현황을 중심으로 -

류명찬* · 차순만** · 박석주***

1. 머리말

역사적으로 아스팔트는 도로건설시 가장 경제적이고 널리 사용되어온 도로의 표층용 재료이다. 이러한 아스팔트는 현재까지도 도로기술자들에게 있어 재료의 물리적·화학적 특성 뿐만 아니라, 이러한 제반 특성이 실제 도로포장의 공용성에 미치는 영향 등을 정량적으로 규명할 수 있는 방법을 가지지 못한 채 사용되어 오고 있는 형편이며, 이러한 문제점이 가까운 장래에 해결될 것을 기대하는 것이 모든 포장기술자들의 바램일 것이다. 이번 호 특집기사에서 다루고 있는 아스팔트포장의 소성변형도 이러한 문제점에서 비롯되었다고 할 수 있다. 본고에서는 아스팔트포장에서 발생하는 소성변형과 직접적인 관계가 있는 아스팔트와 이에 대한 해결방법으로 현재 국내에서도 많이 적용되고 있는 아스팔트 개질재에 대해 도로관련 기술자들의 이해를 돕는 내용을 다루고자 한다.

2. 아스팔트

2.1 아스팔트의 등급 분류

아스팔트는 다양한 증류방식을 통해 원유를

정제하여 얻는다. 상온에서 아스팔트는 흑색을 띠며, 끈끈한 반고체 상태의 매우 점성이 높은 재료이다. 또한 아스팔트는 점착력과 방수력이 매우 강하고 내구성이 있는 재료이며, 산이나 알칼리 또는 염에도 매우 강한 저항성을 가지고 있다. 가열하면 쉽게 액화되어 골재와 잘 혼합되며, 그 자체가 매우 끈끈하기 때문에 골재와 잘 부착되어 아스팔트 혼합물을 형성하게 된다. 이 혼합물이 상온으로 냉각되면 단단해져 고속도로나 공항의 빈번한 이용 중교통을 견딜 수 있을 정도로 강해진다.

아스팔트는 단단한 정도를 기준으로 하여 여러 등급으로 나뉘는데, 이러한 등급분류 기준으로는 침입도, 점도 및 공용성 등급이 있다. 아스팔트의 침입도 등급은 KS M 2201에 규정되어 있는데, 이는 아스팔트의 침입도 시험결과를 이용하여 아스팔트를 분류하는 방법이다. 이 등급에는 5종의 표준 침입도 등급범위가 있는데, 40-50, 60-70, 85-100, 120-150 및 200-300이 도로포장용 아스팔트의 기준등급이다. 우리나라의 경우는 침입도 등급 85-100(AP-3) 및 60-70(AP-5) 만이 생산되어 사용되고 있다. AP-3는 국내 대부분의 가열 아스팔트 혼합물에 사용되며, AP-5는 추풍령 이남의 도로포장에만 사용되고 있으나, 최근 들어 소성변형을 방지하기 위한 노력의 일환으로 추풍령 이북지방에 대해서도 AP-5를 사용하는 추세가 늘고 있다.

* 명지전문대학 교수 mcroo@mail.mjc.ac.kr

** SK(주) 대덕기술원 책임연구원 Smcha@SKcorp.com

*** 삼보기술단 전무이사 Samboeng@chollian.net

아스팔트를 규격화하는 두번째 방법은 아스팔트의 점도를 이용하는 방법으로 이는 KS M 2208에 규정되어 있다. 이 규정은 노화 이전의 아스팔트 점도를 기준으로 하거나 회전박막가열오븐(RTFO)시험후의 노화된 아스팔트의 점도를 기준으로 하여 아스팔트의 규격을 나눈다. 점도는 60°C에서의 값을 기준으로 하며 포아스(poise) 단위로 읽는다. 노화전의 아스팔트 점도를 기준으로 한 점도 등급으로는 AC-2.5, AC-5, AC-10, AC-20, AC-30 및 AC-40이 있는데, 이 등급상의 숫자는 60°C 아스팔트 점도(poise)의 100단위 수치이다. 회전박막가열오븐(RTFO)시험후의 노화된 아스팔트의 점도를 기준으로 한 점도등급으로는 AR-1000, AR-2000, AR-4000, AR-8000 및 AR-16000이 있는데, 이 등급상의 숫자는 60°C에서의 아스팔트 점도를 포아스로 나타낸 것이다.

아스팔트를 규격화하는 세번째 방법은 아스팔트의 포장 공용성을 기준으로 하는 방법인데, 이는 기존 아스팔트 품질 등급 체계들의 단점을 보완하기 위하여 미국의 신도로연구사업(SHRP)의 결과로 개발된 방법으로 아스팔트를 포장이 건설될 지역의 예상되는 최고·최저 포장온도 범위, 공용기간 동안 겪게되는 아스팔트 노화단계 등을 고려하여 해당 시험에서 측정된 물성이 공학적 원리에 의해 현장 공용성과 직접적인 관련이 있도록 아스팔트를 분류하는 방법이라는 개념이다. 즉, 이 방법에 의하여 PG 58-34로 분류된 아스팔트는 포장재료로서 공용 가능한 최고온도는 58°C이며, 최저온도는 -34°C 임을 나타내는 것이다. 공용성 등급(PG Grade) 체계에서 바인더 재료로 사용될 아스팔트의 등급 결정은 적용될 지역의 기상자료와 포장 설계온도를 기준으로 일차적으로 결정되며, 차량속도와 교통량의 영향을 고려하여 최종적으로 결정된다.

2.2 아스팔트 개질재

아스팔트 개질재(改質材)는 아스팔트 혼합물의 내구성 및 내유동성을 향상시킬 목적으로 스트레이트 아스팔트에 일정량을 첨가하여 아스팔트의 물성을 향상시키는데 이용되는 첨가재로서 이미 매우 다양한 종류가 상품화되어 있다. 아스팔트 개질재가 사용된지 50여 년이 넘었지만 최근 십여 년간 새롭게 관심을 끌고 있다. 이렇게 새로운 관심을 끌게 된 데에는 다음과 같은 요인이 있다.

- ① 아스팔트포장에 소성변형을 일으키는 원인이 되고 있는 교통량, 교통하중 및 타이어 압력이 현저히 증대되고 있다.
- ② 최근에 미국에서 수행된 SHRP에 의해 개발되어 1993년에 건의된 새로운 아스팔트 바인더 기준은 저온에서의 포장 공용과 함께 고온에서 아스팔트 바인더의 굳기(stiffness)기준도 규정하고 있다. 현재 사용되고 있는 일반 아스팔트는 가혹한 공용조건(기후 및 교통조건 등)에서는 이러한 요구조건을 만족시킬 수 없어서 개질재의 사용이 필요하게 되었다.
- ③ 아스팔트 혼합물 생산에 첨가재로서 각종 폐기물이나 산업부산물을 넣어 처분해야 한다는 사회로부터의 환경적, 경제적 압력이 증대되고 있다.
- ④ 공공분야에서 포장 초기공사비를 높여서라도 서비스수명을 연장하여 유지보수에 따른 직접 및 사회적 비용을 절감하려는 인식이 확산되고 있다.

아스팔트에 섞어서 사용하는 개질재 및 첨가제는 여러 가지 방법으로 분류할 수 있으나, 매우 좋은 일반적인 분류체계가 Terrel과 Walter에 의해 표 1과 같이 제안되었다. 물론 이 분류표의 내용은 계속 변하는 변동적인 것이다. 이러

한 개질재들은 시공성 및 품질관리 측면에서 다음과 같은 특성을 만족하여야 한다.

- ① 저장, 포장 및 공용시 우수한 특성 유지 (물리·화학적 안정성 확보)

표 1. 아스팔트 첨가제 및 개질재의 일반적인 분류

종 류	일 반 적 인 예
1. 채움재	· 광물성 채움재 : 크리셔의 분말, 석회(lime) 포틀랜드 시멘트, 플라이애쉬 · 카본블랙
2. 증량재 (extender)	· 황(sulfur) · 리그닌(lignin)
폴 리 머	
3. 고무 ① 천연라텍스 ② 인조라텍스 ③ 공중합체 ④ 재생고무	· 천연고무 · 스티렌 부타디엔(styrene-butadiene) 또는 SBR · 폴리크로프렌 라텍스(polychroprene latex) · 스티렌 부타디엔 스티렌(styrene-butadiene-styrene, SBS), 스티렌 이소프렌 스티렌(styrene-isoprene-styrene, SIS) · 분쇄고무 개질제(crumb rubber modifier)
4. 플라스틱	· 폴리에틸렌(polyethylene)/폴리프로필렌(polypropylene) · 에틸렌 아크릴 공중합체(ethylene acrylate copolymer) · 에틸 비닐 아세테이트(ethyl-vinyl-acetate, EVA) · 염화 폴리비닐(polyvinyl chloride, PVC) · 에틸렌 프로필렌(ethylene propylene) 또는 EPDM · 폴리올레핀(polyolefins)
5. 화합물	· 3항 및 4항에 폴리머의 혼합물
6. 섬유	· 천연재료 : 석면(asbestos), 암면(rock wool) · 인공재료 : 폴리프로필렌(polypropylene) 폴리에스터(polyester), 유리섬유(fiberglass) 광물질 섬유(mineral cellulose)
7. 산화제 (oxidant)	· 망간염(manganese salts)
8. 산화방지제	· 납 합성물(lead compounds) · 카본(carbon) · 칼슘 염(calcium salts)
9. 탄화수소 (hydrocarbon)	· 재생 오일 · 단단한 천연 아스팔트
10. 박리방지제	· 아민(amines) · 석회(lime)
11. 폐기물	· 지붕재(roofing shingles) · 폐 타이어 · 유리
12. 기타	· 실리콘 · 용염염화칼슘

(아스팔트 포장공학원론)

- ② 일반적인 아스팔트포장 장비 사용 가능
- ③ 일반적인 포장 적용 온도범위에서 골재 코팅 및 포설 점도 확보 가능

2.3 이상적인 아스팔트포장 바인더

이상적인 아스팔트포장 바인더에 요구되는 특성은 그림 1과 같으며, 이것을 얻기 위하여 아스팔트의 물성 향상을 위한 다음과 같은 개질이 필요하다.

- ① 액상 아스팔트 바인더의 펌핑, 혼합물 혼합 및 다짐을 쉽게 하기 위하여 높은 시공온도에서 더 낮은 굳기(또는 점도)를 가져야 한다.
- ② 소성변형, 밀림과 같은 포장의 변형을 줄이기 위해 고온에서 더 큰 굳기를 가져야 한다.
- ③ 온도균열을 줄이기 위하여 저온에서 더 낮은 굳기와 더 높은 이완성(弛緩性)을 가져야 한다.
- ④ 박리를 줄이기 위하여 수분이 있는 곳에서도 아스팔트와 골재의 부착성이 증가되어야 한다.

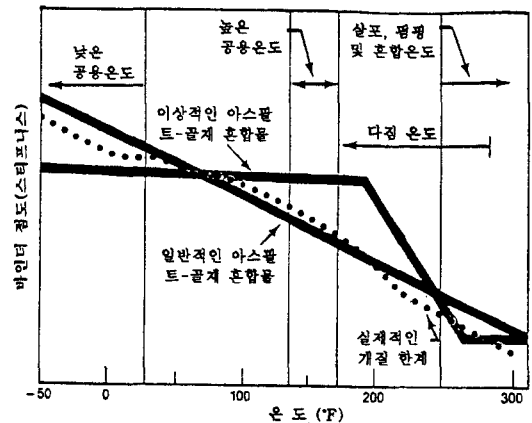


그림 1. 일반아스팔트와 이상적인 개질아스팔트의 점도 특성비교

과거에는 배합설계와 아스팔트의 등급 변경을 통하여 아스팔트 혼합물의 물성을 일부 향상시킬 수 있었으나, 오늘날에는 개질재의 사용으로 보다 나은 가능성이 열렸다. 그러나 아스팔트 개질재의 사용에 있어서는 아래와 같은 몇 가지 주요한 의문사항들을 고려하여야 한다.

- ① 어떠한 향상이 필요한가? 개선이 요구되는 특정한 성질을 결정하여야 한다.
- ② 어떠한 개질재가 가장 적합할 것인가? 모든 개질재가 모든 경우에 맞는 것은 아니다. 때로는 아스팔트 혼합물의 어느 한 가지 성질이 향상되는 반면 다른 성질이 나빠지기도 한다.
- ③ 아스팔트나 아스팔트 혼합물에 개질재를 어떻게 혼합시킬 것인가? 이 혼합문제는 해당 개질재의 실용화를 결정하는 중요한 사항이 될 것이다.
- ④ 장기간 동안 그 특성이 유지되도록 어떻게 저장할 것인가?
- ⑤ 개질된 특성을 어떻게 시방상에 규정할 것인가?
- ⑥ 개질재 사용이 일반적인 시험 결과에 어떠한 영향을 미칠 것인가? 예를 들면 아스팔트 혼합물에 어떤 개질재가 첨가될 때 정확한 아스팔트량의 결정이 어려워진다.
- ⑦ 개질된 아스팔트 혼합물을 재생할 수 있는가? 예컨대 고무분말(crumb rubber) 개질재를 함유한 아스팔트 혼합물에 대해서 이러한 문제가 제기되었다.
- ⑧ 라이프사이클 비용(life cycle cost)에 어떠한 영향을 미칠 것인가? 초기비용의 상승은 라이프사이클 비용 분석에서 볼 때 적정할 것인가?
- ⑨ 작업자의 건강이나 안전에 어떠한 영향을 미칠 것인가?

3. 국내 아스팔트 개질재 및 개질아스팔트 소개

본 절에서는 현재 국내에서 일반 도로포장에 적용되고 있는 개질재들에 대하여 특성, 시공요령, 시공사례 등을 간단히 소개하여 소성변형 방지를 위해 아스팔트 개질재 사용을 고려하는 도로기술자들의 이해를 돕고자 한다.

3.1 SBS (Styrene Butadiene Styrene)

아스팔트 개질재로 쓰이는 스티렌 부타디엔 스티렌은 공중합체(共重合體: copolymer)로서 열가소성 수지 계통이다. SBS를 가열된 아스팔트에 첨가하면 그림 2에서와 같이 수지계는 팽창하며, 혼합시 전단력을 가하여 팽창한 폴리머를 유동화시켜 아스팔트에 분산되도록 한다. 폴리머 입자의 아스팔트내 분산속도는 입자의 크기, 전단력, 온도에 의하여 영향을 받는다.

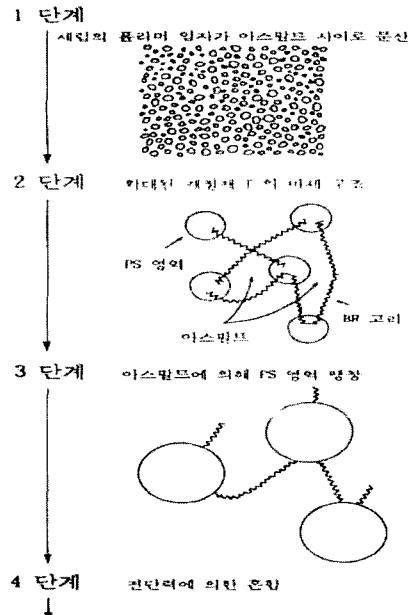


그림 2. 아스팔트 내에서 SBS의 분산과정

SBS 첨가시 아스팔트의 유연성이 증가하므로 저온에서의 신도는 향상되나 고온에서는 신도 향상 효과를 나타내지 않는다. 이것은 SBS의 구성이 고온에서 아스팔트의 유동을 억제하기 때문인 것으로 알려져 있다. 일반 아스팔트에 고무계열의 고분자 개질재인 SBS를 물리·화학적으로 혼합하여 생산되는 개질아스팔트는 국내에서의 여러 적용결과 소성변형과 균열발생 억제에 효과가 있음이 입증되어 국내에서도 최근에 중차량 통행이 많은 도로구간, 장대교량의 교면포장, 공항 등에서의 적용이 늘어나고 있는 추세이다.

SBS 개질아스팔트를 사용한 아스팔트 혼합물 포장에서는 온도관리에 주의하여야 한다. 플랜트 혼합온도, 운반 및 포설시 전압온도를 일반 아스팔트 혼합물보다 10~20°C 높여 시공해야 한다. 특히 전압시에는 온도를 수시로 체크하여 적정 온도에서 전압이 되도록 하여야 한다. 이때 고무성분의 함유로 타이어롤라에 심하게 달라붙으므로 미리 예열 등의 조치를 취해야 한다. 온도관리가 안된 개질 아스팔트혼합물은 절대 사용하여서는 안된다.

3.2 SBR(Styrene Butadiene Rubber)

SBR은 폴리머 계통의 액상 아스팔트 개질재로 폴리머화하여 생산한 것이며, 아스팔트의 감온성을 감소시켜 저온에서의 경도(硬度) 저하로 아스팔트 혼합물의 온도균열 발생을 경감한다. 또한 연화점을 높이는 효과로 고온에서 아스팔트의 강도를 증진시켜 소성변형과 밀림현상을 감소시키며, 노면 마모저항성을 증진시키고 침핑골재의 부착력을 증진시키는 것으로 알려져 있다.

국내에서는 1980년대 초부터 한강상의 교량(한강대교, 반포대교, 동작대교, 성수대교 등)을 시작으로 서울시 내부순환 고속도로 전구간, 남

산터널 차도 등에 적용된 실적이 있다. SBR라텍스(latex)는 스타이렌과 부타디엔을 유화 중합하여 제조한 수분산 합성고무이므로 아스팔트 혼합물 제조시 심한 거품의 발생으로 인하여 부피가 1/2~2/3배 정도 증가하는데 이러한 현상이 발생하는 원인은 SBR라텍스의 성분중 물성분이 뜨거운 아스팔트 혼합물과 교반시 기화하기 때문에 발생하는 것으로 알려져 있다. SBR라텍스는 67%의 고형분(solids)과 33%의 물, 혹은 50%의 고형분과 50%의 물로 구성되어 있으며, 고형분 무게 기준으로 아스팔트 무게의 3~3.5%를 첨가하는 것이 가장 효율적인 것으로 알려져 있다.

SBR개질재를 이용하여 아스팔트 혼합물 제조는 전용 라텍스 투입펌프를 이용하여 아스팔트가 골재에 충분히 피복된 후 투입한다. 믹싱타임은 일반적으로 골재 마른비빔 5초, 아스팔트 투입 젖은비빔 10초, SBR라텍스 투입 젖은비빔 30초, 배출 5초로 구성된다. 혼합온도는 SBR라텍스의 수분을 완전히 증발시키는데 필요한 열량손실을 고려하여 일반 아스팔트 사용시보다 10~20°C 높게 하되, 아스팔트의 산화가 일어나는 185°C를 넘지 않아야 한다. 일반적으로 165~185°C이다.

SBR 개질아스팔트 혼합물의 포설방법은 일반 아스팔트혼합물 포설방법과 유사하나, 개질 아스팔트 혼합물은 점성이 높기 때문에 포설시 온도관리에 유의하여야 하며, 특히 외기 온도가 10°C 이하에서는 시공하는 것이 바람직하지 않다. 또한 SBR 개질아스팔트 혼합물은 일단 식으면 시공성이 저하되어 소정의 밀도를 얻기 어려우므로 정해진 포설 온도범위에서 포설하여야만 좋은 결과를 얻을 수 있다.

3.3 켄크리트

아스팔트에 미량의 중금속을 첨가하면 아스팔

트 혼합물의 성질이 개선되는 점에 착안하여 개발된 제품으로, 이 개질재는 근본적으로 연화유에 녹아 있는 유기-금속(망간, 코발트, 구리 등) 원소로 구성되어 있다. 캬크리트는 일반 고분자 첨가제와는 달리 촉매제로서 아스팔트와 반응하고 온도와 산소의 영향하에서 아스팔트 분자의 화학적 구조를 변화시키는 것을 기본 개념으로 하고 있다. 캬크리트는 아스팔트 혼합물의 혼합 및 포설 이후의 기간동안 진행되는 아스팔트의 산화반응을 촉진시켜 경화시키는 역할을 한다. 경화된 아스팔트는 소성변형에 효과적으로 저항하는 것으로 알려져 있다.

캬크리트를 사용하는 경우에 주의할 사항으로는 개질재의 첨가로 아스팔트에는 경화현상이 초래되고, 이로 인해 표층 부분 아스팔트 혼합물의 취성이 커져 조기에 균열이 발생될 수 있다는 것이다. 실제로 국내에서도 이러한 경우가 보고된 바 있다. 이러한 초기 시험시공 결과로 하여 현재는 경인고속도로 확장시 부터 기층용 아스팔트 혼합물에만 적용이 되고 있다. 캬크리트는 아스팔트에 직접 혼합하여 사용된다.

3.4 길소나이트

길소나이트(Gilsonite)는 흑갈색을 띤 고체상태의 천연재료이며 미국 유타주 동부에서만 채굴되고 상당히 많은 양이 매장되어 있다. 이 재료는 외형적으로는 석탄이나 굳은 아스팔트와 비슷하나 화학적으로는 특성이 다르다. 즉 이 개질재는 아스팔트 성분 중 분자량이 큰 아스팔텐(Asphaltene)이 대략 60~70% 정도 포함되어 있으며, 나머지는 주로 말텐(Maltene)으로 기름과 수지 성분이다. 일반적으로 2.5~3.5% 정도의 질소와 이온화한 질소기를 20% 이상 함유하고 있는 것이 특징이다.

길소나이트는 오일이나 레진 등의 아스팔트 성분을 화학적으로 변화시키지 않고 아스팔텐의

함량을 증가시킴으로서 아스팔트의 재료 특성을 개선시킨다. 이러한 원리로 아스팔트 혼합물의 안정성을 증대시키고, 질소의 고농축으로 골재와 아스팔트 사이의 강한 부착력을 얻음으로서 박리현상에 저항성을 가지게 된다. 길소나이트는 천연아스팔트의 일종으로서 석유 아스팔트와 밀접한 관계를 가지고 있어서 아스팔트와의 혼합에 별 문제없이 솔벤트 및 탄화수소 등에 쉽게 용해되며, 첨가량은 아스팔트량의 5~15%를 일반적으로 적용한다.

길소나이트를 아스팔트 혼합물에 사용하면 다음과 같은 개질효과를 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다.

- ① 혼합물의 강도 증진
- ② 소성변형 및 밀림현상 감소
- ③ 골재와의 부착력 증대
- ④ 감온성 감소
- ⑤ 포장수면 연장

길소나이트는 자연상태에서 고체상태의 입자로 생산되고 있으며, 아스팔트 혼합물에 첨가하는 방법으로는 बै치플랜트 퍼그밀(pugmill)에 아스팔트가 분사되기 전에 가열된 골재와 동시에 투입한 후 15초 동안 180°C 온도하에서 섞어주면 된다. 이 때 퍼그밀에 연결된 사일로(silo)를 설치하여 길소나이트를 투입하거나, 아스팔트 혼합물에 영향을 주지 않고 녹을 수 있는 봉지(melttable bag)에 일정량의 길소나이트를 넣어서 골재와 동시에 퍼그밀 내로 투입하는 방법이 주로 사용되고 있다.

길소나이트가 혼합된 아스콘의 포설방법은 일반 아스콘과 동일한 방법으로 시공이 가능하므로 일반 아스팔트 포장장비의 사용이 가능하다. 길소나이트로 개질된 아스팔트 혼합물은 많은 응력을 받는 틀게이트 부근, 버스 정류장 및 주행차로 등에 적용되고 있다. 길소나이트는 생산지인 미국을 비롯하여 프랑스, 동남아 여러 나

라에서 적용된 사례가 있으며, 국내에서는 1995년 9월 강원도 홍천군 56번 국도, 10월 제2 경인고속도로 박달육교에 시험적용을 시작으로 국도, 고속도로, 공항 등지에 현재까지 적용이 되고 있는 실정이다.

3.5 CRM (Crumb Rubber Modifier)

환경오염의 증가에 따라 대두되고 있는 산업 폐재 재활용 문제는 사회적인 관심사로 떠오르고 있으며, 특히 차량의 증가로 인한 페타이어의 발생량 증가는 심각성이 점점 증대되고 있다. 따라서 페타이어를 재활용하려는 연구가 여러 분야에서 이루어지고 있으며, 이 중 페타이어 고무분말을 사용하여 아스팔트포장에 적용하는 방안은 이러한 노력의 결과물이다.

CRM아스팔트는 페타이어를 분쇄하여 약 200°C의 온도에서 아스팔트와 혼합하여 만들어진다. 고무분말의 크기는 혼합반응시간을 줄이기 위하여 2mm 이하의 것이 사용된다. 아스팔트와 고무분말의 혼합비율은 고무의 높은 점성 때문에 고무분말의 사용비율을 25% 이내로 제한하고 있다.

CRM아스팔트는 일반아스팔트에 비해 고온에서 높은 점도와 저온에서 낮은 강성을 갖게 되는데, 고온에서 높은 점도 유지는 교통하중의 의해 발생하는 높은 응력과 변형에 대해 저항하는 힘이 커서 소성변형의 발생을 억제하며, 저온에서의 낮은 강성은 온도균열에 대한 저항성이 크게 된다. 또한 CRM아스팔트의 높은 신축성으로 인하여 반사균열에 좋은 효과를 주고 있으며, 페타이어 내에 존재하는 카본블랙은 아스팔트의 산화를 방지하는 효과를 주고 있어서 아스팔트포장의 노화를 방지하는 효과가 있다.

사용골재의 입도는 표 2와 같이 개립도와 겹입도가 사용된다. 배합설계는 CRM아스팔트 공급업체나 인가 받은 연구소에서 수행하여야 하

고, 현장배합 기준을 결정하는 기초로 사용되어야 한다. 갭입도 아스팔트 혼합물은 마살 배합 설계방법으로 설계될 수 있으나 평가 기준은 일반아스팔트 혼합물의 기준과 다르다. 일반적으로 고무(CRM)아스팔트 혼합물은 일반아스팔트 혼합물보다 아스팔트 함량이 높게 결정되어야 한다.

CRM아스팔트 혼합물 시공방법으로는 운반차량은 운반거리, 공사량을 감안하여 시공중단이 없도록 하며, 장거리 운송이나 낮은 기온으로 인한 혼합물의 급격한 열손실을 방지하기 위해 운반차에는 보온덮개를 덮는다. 포장두께가 얇아 시공속도가 빠르고 다짐온도 기준에 맞추어야 하므로 최초 1차 다짐 장비는 피니tu 바로 뒤에 붙여야 한다. 다짐장비는 10톤 이상 자중식 탄뎀 롤러 2대와 머캐덤 롤러 1대를 투입하며 타이어 롤러는 사용을 금한다. 갭입도 포장은 진동 탄뎀을, 개립도 포장은 무진동 탄뎀을 사용한다. 1, 2차 다짐은 최소 온도기준을 지켜 신속히 하여야 하며 예정밀도 96% 이상이 되도록 3회 이상 충분히 다진다. 다짐이 끝나면 석회수(물 6,000 l에 석회석 25kg 희석)를 충분히 살포하면서 양생하여야 하며 60°C 이하일 때 교통을 개방한다.

표 2. CRM혼합물용 골재입도

규격 최대입경 체크기	개립도		겹입도		
	3/8"	1/2"	3/8"	1/2"	3/4"
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
No 4	25-55	25-55	28-42	25-45	25-45
No 8	5-15	5-15	15-25	15-25	15-25
No 30	0-10	0-10	5-15	5-15	5-15
No 200	0-5	0-5	3-7	3-7	2-6

CRM아스팔트 혼합물 시공실적은 '97년 국도 및 고속도로에서 시험시공을 거쳐 '98년부터 서울 시가지도로, 경수 국도구간에 시공되었으며, '99년에는 서울시 남부순환도로구간 및 다수의 국도구간에 시행한 실적이 있다.

3.6 기타 개질재

위의 다섯 가지 개질재는 현재 국내에서 시험 적용 단계를 거쳐 실제 포장현장에서 적용이 되고 있는 개질재들이다. 이들 외에도 다수의 개질재들이 현재 시험단계에 있거나 과거의 국내 적용사례들이 있다. 저밀도 폴리에틸렌(low-density polyethylene, LDPE), 카본 블랙, 폴리에스터 섬유, 유리섬유 그리드(glass fiber grid, GG) 등이 이에 속한다.

폴리에틸렌(PE)은 크게 저밀도 폴리에틸렌(low-density polyethylene: LDPE)과 고밀도 폴리에틸렌(high-density polyethylene: HDPE), 그리고 선형 저밀도 폴리에틸렌(linear low-density polyethylene: LLDPE)으로 구분된다. 이중 LLDPE는 도장용, 코팅용 재료로 많이 쓰이며, LDPE는 긴 선형 구조에 그림 3과 같이 곁가지로 공간을 만들어 밀도가 0.91-0.94mg/m³로서 HDPE의 밀도 0.95-0.98mg/m³보다 다소 낮다. 이중 LDPE는 석유부산물로 많이 생산되며 HDPE에 비해 인장강도가 낮으나 열팽창계수가 낮고 가격이 저렴해 공업용 재료의 원료로 많이 쓰이며 아스팔트의 개질에도 많이 쓰인다.

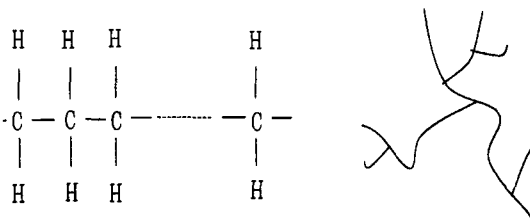


그림 3. LDPE의 분자 구조

PE의 대표적인 용도는 비닐하우스용 비닐, 튜빙, 필름, 병, 절연체 등이다.

LDPE는 아스팔트와 결합이 되지 않는다. 단지 아스팔트 내에 작은 입자로 분산되어 있을 뿐이다. 따라서 특별한 처리가 없이 사용시는 불안정(unstable) 개질아스팔트로 사용하여야 한다. 고전단 믹서로 170°C 정도에서 LDPE를 아스팔트와 혼합하고 나면 고온에서 수분내에 상분리가 일어난다. 따라서 혼합장치에서 LDPE 개질 아스팔트를 지속적으로 제조후 바로 혼합물에 사용하여야 한다. 반면에 안정화 기법(예, steric stabilizer)을 사용하면 상분리가 일어나지 않는 안정된 개질 아스팔트를 사용할 수 있다.

LDPE 개질아스팔트는 크게 두 가지로 사용할 수 있다. 한 가지는 미리 일정 비율의 LDPE를 아스팔트에 섞어 안정화상태로 유지해 놓거나, 혼합에 이어 바로 사용하는 Pre-mix 타입이다. 또 하나는 파우더 형태의 LDPE를 소정량 배치마다 믹서에서 바로 투입하는 건식혼합 방법이다. 프리믹스 타입은 습식혼합이라고도 하며 다소 우수한 성능을 나타낸다는 연구 결과도 있으나 그 차이는 미미하며 건식혼합법에 의해서도 많은 성능향상이 얻어진다. 따라서 프리믹스 타입이 플랜트의 보조시설의 설치를 필요로 한다는 점을 감안한다면 건식 혼합법의 사용이 출하물량이 고정적으로 많지 않은 경우에는 더 유리하다.

상품화된 LDPE 개질 아스콘으로 국내에서의 시공실적은 거의 없다. 다만, 시험포장용으로 짧은 구간에 포장한 실적은 표 3과 같다. 시공시의 다짐 기술에 대해서는 아직 정립된 것이 없으며, 플랜트에서 출하시 온도를 일반 아스콘보다 평균 15°C 더 높이고 있다. 시험 포장지역의 포장들은 현재까지 매우 양호한 상태이며 지속적인 관찰을 통해 문제점을 파악할 필요가 있다.

표 3. LDPE 개질 아스팔트에 의한 시험포장 실적

장소	도로 종류	혼합물 종류	LDPE 함량 (%)	길이 (m)	시공일	시공자	비고
경북 구미시	시가지 도로	재생 아스콘	5	100	1998. 9.	강원대	
대전 광역시	고속도로	밀입도 아스콘	6	수백미터	1998. 6.	도로공사	
강원도 춘천시	농촌도로	밀입도, 갭입도 아스콘	12	120	1999. 9.	강원대	

카본블랙(carbon black)은 입자가 대단히 미세하며 고무타이어에 대한 강화제와 같이 다른 산업분야에 널리 쓰이고 있으며 여러 등급이나 형태가 사용되고 있다. 아스팔트 혼합물에 사용되는 등급은 중간 마이크론 크기의 입자(g당 약 1014개 입자)이다. 이 재료는 매우 미세하여 공기중에 비산되므로 공해문제를 일으킬 수 있다. 그래서 카본블랙은 아스팔트 플랜트에서 용이하게 취급할 수 있도록 비등점이 높은 말텐오일(maltene oil)과 혼합하여 작은 덩어리로 만든다. 카본블랙은 폴리에틸렌 백이나 벌크용기에 넣어 공급될 수도 있으며, 정유공장이나 아스팔트 플랜트에서 아스팔트와 사전에 혼합하여 사용할 수 있다. 카본블랙으로 강화된 아스팔트는 소성변형에 대한 혼합물의 저항성을 향상시키고 노면의 마모저항성을 향상시키며, 산화작용에 의한 경화와 취성화(脆性化)를 줄여준다고 알려져 있다.

이 외에도 폴리에스터 섬유, 유리섬유 그리드 등이 아스팔트 포장에서 발생하는 소성변형이나 반사균열의 발생을 억제하기 위해 사용이 검토중이거나 시험적인 시도가 있었으나 현재까지는 만족할 만한 결과를 얻지 못하여 일반적으로 사용되는 단계에까지는 이르지 못하고 있다. 계속적인 연구·검토를 통하여 더욱 다양하고 경제적인 소성변형 방지 혹은 저감 수단이 실용화 되었으면 하는 바램이다.

4. 맺음말

본고에서는 하절기에 아스팔트포장에 많이 발생하는 소성변형의 발생을 저감시키고자 아스팔트혼합물 주요 구성요소인 아스팔트와 아스팔트의 물성 개선에 사용되는 개질재에 대하여 살펴 보았다. 도로기술자들의 궁금증을 다 풀어줄 만큼 자세하고 전문적인 내용까지는 다루지 못하였으나, 필자는 아직까지도 대다수의 도로기술자들이 아스팔트와 아스팔트 개질재에 대한 기본적인 개념이 부족하다고 생각하여 입문서 정도로서 본고를 작성하였으며 본 내용보다 자세한 내용은 본문중에도 언급한대로 기 발표된 논문이나 보고서를 참조하기 바란다. 국내외 아스팔트포장 기술자들은 현재 아스팔트포장에 발생하고 있는 소성변형의 저감방법으로 골재와 아스팔트의 개선이라는 두 갈래로 방향을 잡고 새로운 방법을 추구하고 있다. 골재 측면에서는 SMA(stone matrix asphalt), 개립도포장, 배수성포장 등이 있으며, 아스팔트 측면에서는 본고에서 논한 바와 같다. 이와 같은 노력의 목표는 물론 경제적이고 쾌적한 아스팔트포장을 도로 이용자들에게 제공하고자 하는 것이다.