

# 아스팔트 포장의 재활용 기술 현황

정 규 동\* · 황 성 도\*\* · 노성열\*\*\*

## 1. 아스팔트 포장의 유지보수 방법

아스팔트 포장은 시공된 후 공용중에 계속되는 교통하중과 대기온도, 강우와 같은 자연조건, 혼합물의 노후화 등으로 인하여 소성변형, 균열 등이 발생하게 되며, 이에 따라 안전한 교통에 지장을 초래하게 되어 유지보수를 수행하게 된다. 이 때 포장의 노후정도와 필요한 공용성능 등을 고려하여 효율적이고 경제적으로 보수하기 위한 최적의 유지보수 방법을 선택한다.

일반적으로 유지보수 방법은 균열실링, 패칭, 표면처리, 상온절삭, 가열 혼합물의 덧씌우기, 재포장 등이 사용된다. 균열실링, 패칭 등은 부분 유지보수 방법으로서 덧씌우기나 재포장을 수행하기 전에 일부 구간의 노후된 부분을 보수하여 경제적으로 소요의 공용성능을 얻는 방법이며, 덧씌우기나 재포장은 공용기간(performance period)이 다하여 설계수명 동안의 공용성을 유지하기 위하여 수행하는 유지보수 방법이다.

기존에는 일반적으로 덧씌우기가 심각하게 노후된 포장의 유지보수 방법으로 사용되었으나, 현재는 도심지에서 연도, 육교 등으로 인하여 기존 도로의 구조를 유지하기 위하여 덧씌우기 보다는 상온절삭 후 덧씌우기가 주요 유지보수 방법으로 이용되고 있

으며, 이에 따라 전국의 유지보수 기관에서 상온절삭하여 발생하는 페아스팔트 콘크리트가 크게 늘어나고 있다.

발생된 페아스팔트 콘크리트는 「건설폐채배출사업자의 재활용지침」에 따라 보수공사용, 도로기층용, 보조기층용, 아스팔트 혼합물, 건축·토목공사의 성토용, 복구용 및 폐기물매립시설의 복토용 등으로 재활용할 수 있으며, 현재 대부분 아스팔트 혼합물 보다는 파쇄하여 성토용, 복토용 등으로 재활용하거나 매립되고 있다.

그러나, 최근에 입법예고된 「폐기물관리법의 시행규칙 및 시행령의 개정령안」에서는 페아스팔트 콘크리트를 재생아스팔트 콘크리트 생산원료로 재활용하여야 한다고 규정하였으며, 「폐기물관리법시행규칙」 제2조의 별표1에서 기름성분을 중량비로 5% 이상 함유할 경우 지정폐기물로 규정하고 있다. 따라서 항상 수분에 포화될 수 있는 포장층이나 매립 등에 사용하는 것을 지양하고, 도로의 표층, 중간층, 아스팔트 안정처리 기층 등의 부가가치 높은 자원으로 재활용하는 것이 바람직하다고 판단된다.

현재까지 기존 노후 포장 재료를 아스팔트 혼합물로 재활용하기 위하여 국내에 도입된 방법은 플랜트 가열 아스팔트 재활용 공법, 현장 가열 아스팔트 재활용 공법, 플랜트 상온 아스팔트 재활용 공법 등이

\* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 연구원  
\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 선임연구원  
\*\*\* 정회원 · 건설교통부 도로국 사무관

있다. 또한 미국 등에서 사용되는 현장 상온 아스팔트 재활용 공법은 경제성은 높지만 국내의 도로 특성상 소요의 내구성을 얻기 어려워 국내에는 도입이 이루어지지 않고 있으며, 현장 인근에서 재활용 할 수 있는 이동식 아스팔트 재활용 공법이 부분 유지 보수 방법으로 적용되고 있다.

## 2. 국내·외 아스팔트 포장의 재활용 연구 현황

외국에서 아스팔트 포장의 재활용은 1915년부터 시도되었으나, 실질적인 재활용 연구의 시작은 1950년대부터 시작되었다. 초기에는 노후된 아스팔트 포장의 품질 회복을 위한 첨가제가 없이 단순히 가열하여 재활용하는 방법이 도입되었으나, 재생아스팔트 혼합물의 품질을 향상시키기 위한 재생첨가제의 개발 및 페아스콘 노화의 분석 및 재생첨가제의 배합방법의 연구가 수행되면서 재활용 포장의 내구성 및 공용성을 확보할 수 있는 기반을 세웠다. 그 후 1970년대 중반에 재활용 중에 아스팔트의 산화 및 노화를 줄이기 위하여 간접가열 방식의 재활용 장비가 개발되고 이에 따른 공법이 도입되면서 재활용 포장의 현장적용성을 확보할 수 있었다.

1980년대 이후에는 재활용 혼합물의 마찰특성치 뿐만 아니라 회복탄성계수 시험 등 다각적인 분석이 이루어졌다. 미국에서는 표준화를 위하여 1981년에 「가열혼합재생방법」 등의 지침을 발간하였으며, 재활용 포장 구간의 장기공용성 분석 등을 통해 신아스팔트 포장과 비교하여 차이가 없다는 연구성과를 발표하였다. 일본에서도 1983년에 시험포장한 구간을 추적조사한 결과, 7년 이상 경과하여도 포장표면에 균열이 발생하지 않는 양호한 상태였다고 보고하였다.

국내에서는 1990년대 중반부터 재활용에 관한 연구를 수행하였으며, 재생혼합물이 신규혼합물과 비슷한 수준으로 재활용될 수 있고, 재생개질혼합물은 신규혼합물보다 우수한 성능을 갖는 것으로 보고되

었다. 현재 페아스콘을 재활용하여 재생골재로 제조하는 KS 규격이 제정되어 있으며, 2003년에는 「건설폐자재의 재활용 잠정지침」이 건설교통부에서 발간되어 아스팔트 콘크리트의 재활용 표준화가 점진적으로 이루어지고 있다. 현재 아스팔트 포장은 대부분 소요입경으로 파쇄하여 성토용 등으로 사용되고 있으며, 일부는 건설교통부에서 인정받은 신기술을 바탕으로 도로포장 재료로 재활용하고 있다.

## 3. 플랜트 가열 아스팔트 재활용 공법

플랜트 가열 아스팔트 재활용 공법은 아스콘 발생재를 파쇄장비가 있는 곳으로 운반하여 아스콘 재생골재를 제조한 후, <그림 1>과 같은 재생설비가 있는 아스팔트 플랜트에서 아스콘 재생골재를 신골재 및 첨가재료와 혼합하여 재생아스팔트 혼합물을 제조하는 공법으로, 아스팔트콘크리트 도로의 표층, 중간층, 아스팔트 안정처리기층의 재생아스팔트 혼합물에 적용한다. 국내의 관련 기술은 건설교통부 신기술 117호(1998)가 있다.

현재 국내에 도입되거나 개발된 재생 플랜트는 일반적으로 아스콘 재생골재를 간접가열할 수 있는 재생드라이어와 저장사일로가 기존 신규 배치플랜트에 추가된 구조로 되어 있으며, 상온의 아스콘 재생골

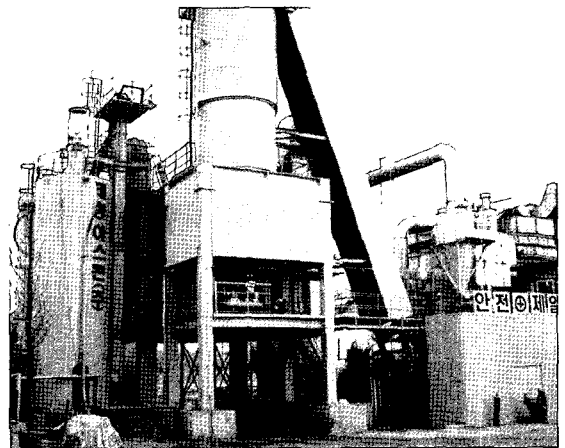


그림 1. 재생가열아스팔트 플랜트

재를 믹서에서 혼합하는 구조의 아스팔트 플랜트가 최근에 도입되었다.

### 3.1 포장 설계

가열아스팔트 혼합물을 이용한 포장의 설계는 일반적으로 「아스팔트포장 설계·시공요령」과 「도로공사표준시방서」에 따라 신재료를 사용한 경우와 동등한 방법과 순서에 따라 시행하며, 일반적으로 도로의 표층, 기층 등의 적용층에 따른 상대강도계수는 <표 1>과 같다.

표 1. 가열아스팔트 혼합물의 상대강도 계수

적용층	범 위	평균값	기 준
표 층	0.37~0.59	0.48	0.44
기 층	0.37~0.49	0.42	0.35

### 3.2 사용재료

재생아스팔트 혼합물의 제조에는 아스콘 발생재를 크러셔로 파쇄한 아스콘 재생골재와 함께 신골재, 신아스팔트, 재생첨가제 등이 사용된다.

신골재는 신아스팔트 혼합물 제조시 사용하는 굵은 골재와 잔골재가 사용되며, 신아스팔트는 일반적으로 사용하는 침입도 60~80인 AP-5 아스팔트 보다 좀 더 무른 침입도 80~100인 AP-3 아스팔트를 사용하는 것이 좋다. 만일 신아스팔트의 추가만으로 요구되는 아스팔트의 침입도를 얻을 수 없을 때에는 재생첨가제를 추가하여야 한다. 재생첨가제는 매우 점도가 낮은 아스팔트 성질의 첨가제로써 아스콘 재생골재에 포함되어 있는 저하된 아스팔트의 품질을 향상시킬 목적으로 혼합물의 제조시 소량이 첨가된다.

### 3.3 배합설계

폐아스콘을 재활용하기 위한 배합설계에서 가장

중요하게 고려하는 요소는 재생아스팔트의 아스팔트 물성, 골재입도, 아스팔트 함량 등이다. 이중 골재입도 및 아스팔트 함량 등은 신아스팔트 혼합물을 생산할 때 일반적으로 사용하는 마샬배합설계 등의 방법과 동일한 방법을 사용하므로 적용시 어려운 점은 없으나, 아스팔트의 물성을 요구되는 품질로 맞추는 과정은 매우 주의가 요구된다.

배합설계 방법은 일본에서 주로 사용하는 침입도를 이용하는 방법과 미국 등에서 사용하는 점도를 이용하는 방법, 그리고 최근에 개발된 슈퍼페이브의 PG 등급을 이용하는 방법 등이 있다.

이중 침입도 또는 점도를 이용하는 방법은 마샬방법이나 빔배합설계방법을 적용하고 있으며, 슈퍼페이브에 따른 배합설계방법은 선회다짐기를 이용하여

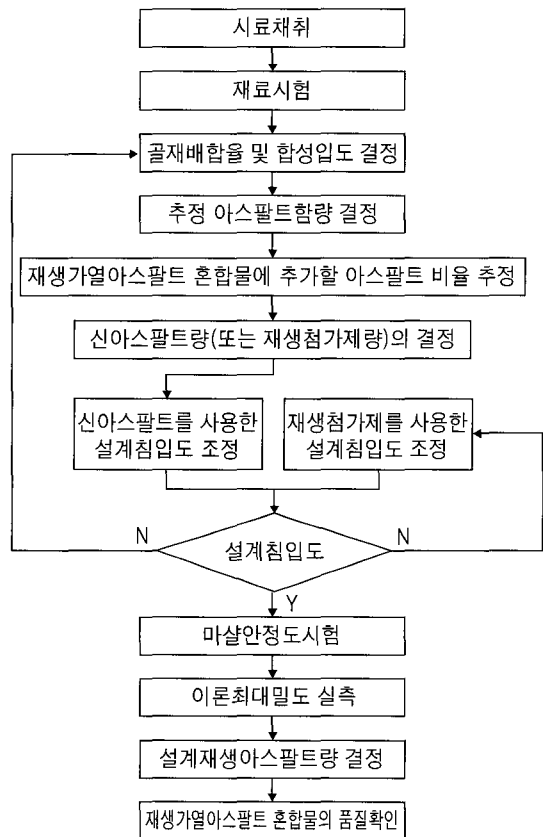


그림 2. 재생가열아스팔트 혼합물의 배합설계 흐름

혼합물의 체적 개념을 이용하여 수행하는 배합설계 방법이다.

「건설폐자재 재활용 잠정지침」에서 사용하는 방법은 침입도를 이용하여 마살다짐기로 배합설계하는 방법으로, 배합설계 흐름은 <그림 2>와 같고 배합설계는 아래와 같이 수행한다.

- 1) 아스콘 재생골재 및 신골재, 신아스팔트, 재생첨가제 등의 추가재료에 대한 시험을 하여 품질을 확인하고, 아스콘 재생골재의 아스팔트 함량, 추출골재 입도, 구아스팔트 침입도를 구하며, 다음으로 신골재의 입도를 구한다.
- 2) 혼합물의 골재 합성입도가 기준에 적합하도록 아스콘 재생골재, 추가되는 신골재, 채움재 등의 비율을 결정한다
- 3) 재생가열아스팔트 혼합물에 필요한 추정 아스팔트의 소요량을 경험 또는 합성한 골재의 입도로부터 계산식을 이용하여 구한다.
- 4) 아스콘 재생골재에 포함된 아스팔트 함량비율 및 재생가열아스팔트 혼합물의 목표 아스팔트 함량비율을 이용하여 추가할 아스팔트의 비율을 구한다.
- 5) 혼합물에 포함되는 재생아스팔트의 침입도를 목표 침입도에 적합하도록 조정하기 위하여 신아스팔트를 사용한 설계침입도의 조정 또는 재생첨가제를 사용한 설계침입도의 조정을 수행한다
- 6) 추정아스팔트 함량을 기준으로 재생가열아스팔트 혼합물의 재생아스팔트량을 변화시켜서 0, ±0.5%, ±1.0% 등 5배치의 마살안정도 시험용 공시체를 제조하여 밀도, 안정도 및 흐름치 등의 마살특성치를 측정한다.
- 7) 이론최대밀도를 KS F 2366의 '역청 포장 혼합물의 이론적 최대 비중 및 밀도 시험 방법'에 따라 구한다.
- 8) 재생가열아스팔트 혼합물로 사용되는 포장층에 따른 기준치를 만족하는 설계재생아스팔트량을 결정한다.
- 9) 설계재생아스팔트량을 근거로 아스콘 재생골재

및 보충재의 각 배합율을 설정하고, 마살안정도 시험을 실시하여 기준을 만족시키는가 확인한다.

### 3.4 생산 공정

플랜트 가열재생 공법 중 국내에서 주로 사용되는 재생아스팔트 혼합물 생산 공정은 <그림 3>과 같으며, 노후된 아스팔트 포장에서 걷어낸 아스팔트 발생재를 운반한 후 파쇄하여 아스콘 재생골재를 생산하고, 이를 이용하여 신규재료와 혼합하여 재생아스팔트 혼합물을 생산하도록 되어 있다.

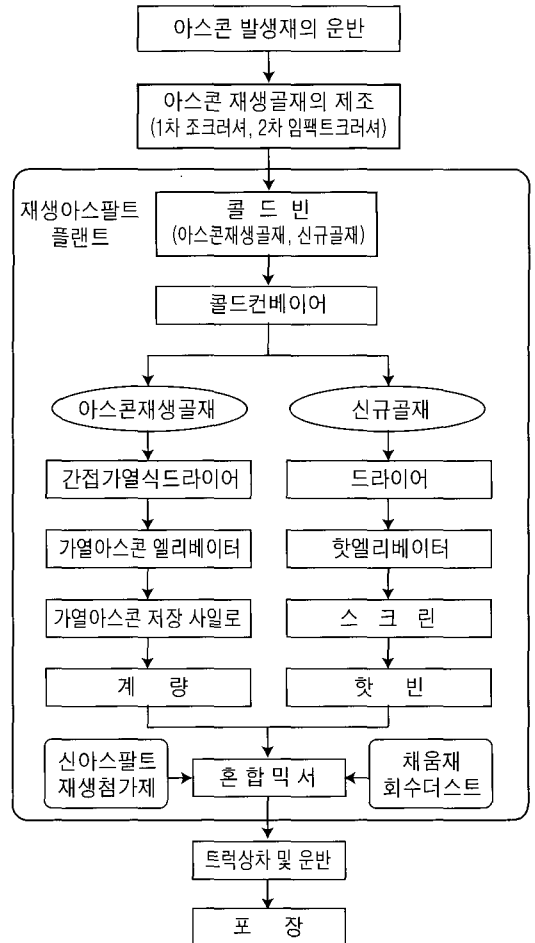


그림 3. 가열 재생플랜트의 생산공정

가. 아스콘 발생재의 운반

아스콘 발생재는 일반적으로 노후된 도로포장을 절삭하거나 굴착하는 과정에서 발생하며, 덤프트럭과 같은 운반차를 이용하여 중간처리장 또는 재활용 장소로 이동하게 된다. 운반시에는 다른 골재나 흙, 나무 조각, 금속편, 블록 등 이물질이 섞이지 않도록 주의하여 정리한 후 덤프트럭 등으로 운반한다.

나. 아스콘 재생골재의 제조

아스콘 발생재를 2차 파쇄에 의해 아스콘 재생골재를 생산하며, 골재 입도별로 분급하게 된다. 일반적으로 1차 파쇄에는 조크러셔, 2차 파쇄에는 <그림 4>와 같은 구조의 임팩트 크러셔 또는 아스팔트 포장의 파쇄용으로 포장을 찢는 방식으로 개발된 특수한 크러셔가 사용된다.

아스콘 재생골재의 품질규정은 <표 2>와 같으며, 별도의 압밀방지 시설이 되지 않았을 경우, 최대 아적높이는 5m로 제한하는 것이 좋다.

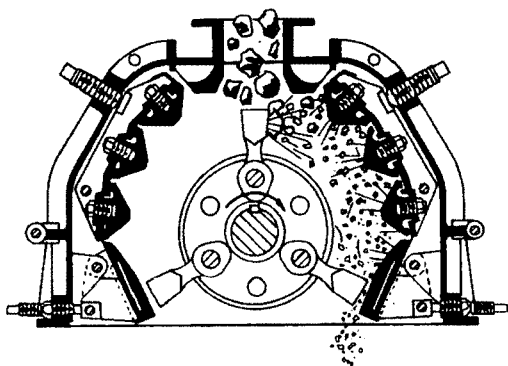


그림 4. 임팩트 크러셔의 구조

표 2. 아스콘 재생골재의 품질

구 분	구아스팔트량 (%)	구아스팔트 침입도 (25℃, 1/10mm)	씻기 시험에서 손실되는 양(%)
아스콘 재생골재	2.8 이상	20 이상	5 이하

다. 재생아스팔트 혼합물 제조 및 시공

재생아스팔트 혼합물을 제조하는 재생아스팔트 플랜트는 계량·가열·혼합 등의 공정에 여러 가지 방법이 있으므로, 그 제조 방법도 재생 아스팔트 플랜트마다 다르다. 대표적으로 ①드럼 드라이어 혼합식, ②병설 가열 혼합식, ③간접 가열 혼합식 등이 있다.

재생플랜트는 아스콘 재생골재에 포함된 아스팔트의 열화를 방지할 수 있는 구조의 드라이어 또는 혼합방식을 사용하여야 하고, 신아스팔트, 재생첨가제 등의 저장, 계량, 혼합설비를 갖추어야 하며, 소량의 혼합물을 공급할 때는 별도의 저장시설을 설치하는 것이 좋다.

1) 드럼 드라이어 혼합식

단일 드라이어에서 신규골재와 아스콘 재생골재를 가열하는 방법으로, <그림 5>와 같다. 연속적으로 투입되는 재료의 비율대로 가열하여 재생아스팔트 혼합물을 생산하므로 아스콘 재생골재의 열화 방지 및 신규골재의 입도 등의 관리에 주의하여 혼합물 품질의 편차를 최소화하여야 한다. 국내에서는 품질 관리의 어려움 등으로 도입되어 있지 않다.

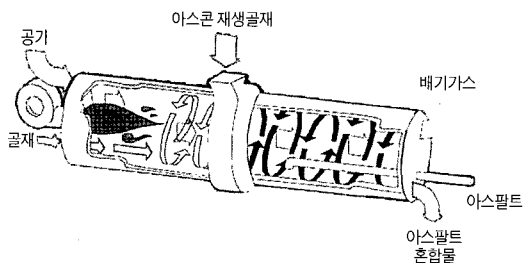


그림 6. 간접 가열 혼합식 플랜트 구조

2) 병설 가열 혼합식

병설 가열 혼합식은 현재 국내에서 일반적으로 사용하는 방법으로 별도의 간접가열식 드럼을 사용하여 아스콘 재생골재를 가열하고 믹서에서 가열된 신규골재와 함께 혼합하는 방법이다.

3) 간접 가열 혼합식

상온의 아스콘 재생골재를 고온으로 가열한 신규 골재와 혼합하는 방법으로 <그림 6>과 같으며, 재활용율은 보통 20% 이하이다. 이 방법은 아스콘 재생골재의 수분함량, 혼합 시간, 신규골재의 가열온도 등에 주의를 하여 생산하여야 한다.

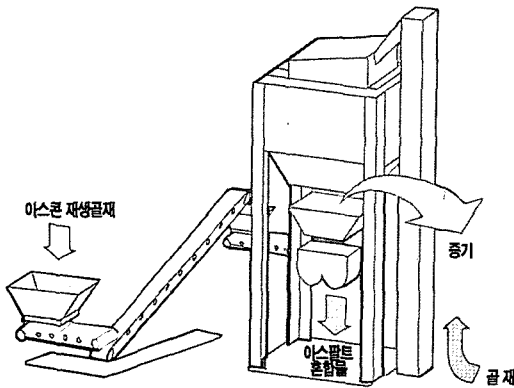


그림 6. 간접 가열 혼합식 플랜트 구조

혼합물의 생산준비는 플랜트 점검 및 조정, 현장 배합 설정, 시험배합을 통한 현장배합 결정 등으로 이루어지며, 실내시험에서 얻은 각 재료의 비율을 조정하여 배치당 각 재료의 중량을 결정한다. 시공 시에는 재생아스팔트 혼합물은 다짐 전후의 밀도차가 약간 큰 경향이 있으므로 시공에 앞서 전압감소량을 확인해 두면 좋고, 적정온도를 확보하기 위하여 포설 후 즉시 다짐을 실시해야 한다.

3.5 품질시험

사용재료 및 재생 아스팔트 혼합물의 기준은 일반적으로 신규 아스팔트 혼합물과 동일하게 적용하고, 추가되는 아스콘 재생골재와 재생첨가제의 품질시험 항목과 빈도는 <표 3>과 같다. 또한, 정기시험은 연 2회 빈도로 수행하며, 항목은 아스콘 재생골재의 품질시험, 신아스팔트 품질시험, 재생첨가제의 품질시험, 재생아스팔트의 품질시험, 재생가열아스팔트 혼

표 3. 재료의 품질관리 항목과 빈도

종 별	시 험 항 목	빈 도
아 스 콘 재 생 골 재	추출골재입도	아스콘 재생골재 사용량 500t 마다 1회
	구아스팔트 함량 (%)	아스콘 재생골재 사용량 500t 마다 1회
	구아스팔트 침입도 (1/10mm)	1) 재생 혼합물 제조일 마다 1회 2) 1일 아스콘 재생골재 사용량이 500t을 넘는 경우 2회
	셋기시험 손실양	아스콘 재생골재 사용량 500t 마다 1회
재 생 첨 가 제	점도, 인화점, 세추레이트함량	1) 2,000톤마다 2) 장기 저장으로 재질의 변화가 있다고 판단될 때

표 4. 플랜트 가열 아스팔트 재활용 공법의 장단점

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 품질관리가 용이하며, 고품질의 재생아스콘을 생산할 수 있음</li> <li>■ 대량의 재생아스콘을 빠르게 공급할 수 있음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 아스콘 발생재를 플랜트 설치장소로 운반하여야 함</li> <li>■ 아스콘 재생골재 보관장소 등 설치 부지를 확보하여야 함.</li> <li>■ 혼합물 온도 및 운반비용 등으로 공급가능 지역이 한정됨</li> <li>■ 초기 투자비용이 많이 소요됨</li> </ul>

합물의 배합시험, 시험배합, 재생가열아스팔트 혼합물의 품질시험 등이다.

### 3.6 플랜트 가열 아스팔트 재활용 공법의 장단점

플랜트 가열 아스팔트 재활용 공법은 <표 4>와 같이 사용 재료의 배합비율 및 온도관리 등 품질관리가 용이하여 고품질의 재생아스콘을 생산할 수 있는 장점이 있다. 그러나 현장에서 발생된 아스콘 발생재를 플랜트가 설치된 장소로 운반하여야 하고, 플랜트 설치지역 인근 이외의 장소에서는 온도의 저하 및 운반비용으로 사용이 힘든 단점이 있다.

## 4. 현장 가열 아스팔트 재활용 공법

현장 가열 아스팔트 재활용 공법은 도로의 소성변형이나 균열로 인해 유지보수가 필요한 현장으로 재생장비를 이동시켜서 도로의 위에서 주행차선 방향으로 전진하며 노후된 도로 표층 가열하여 절삭한 후 재포설, 다짐하는 작업을 연속적으로 시행하는 공법으로 <그림 6>과 같다.

### 4.1 설계 및 적용

현장 가열 아스팔트 재활용 공법은 포장 위에서

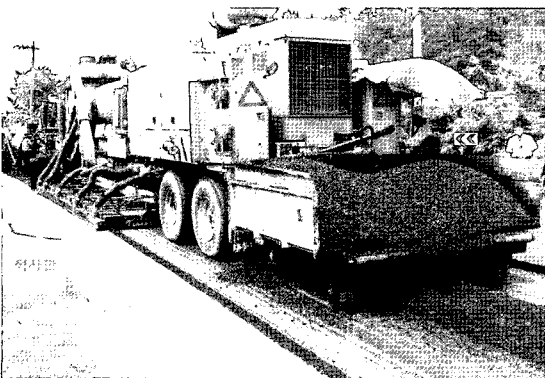


그림 7. 현장가열포층재생장비

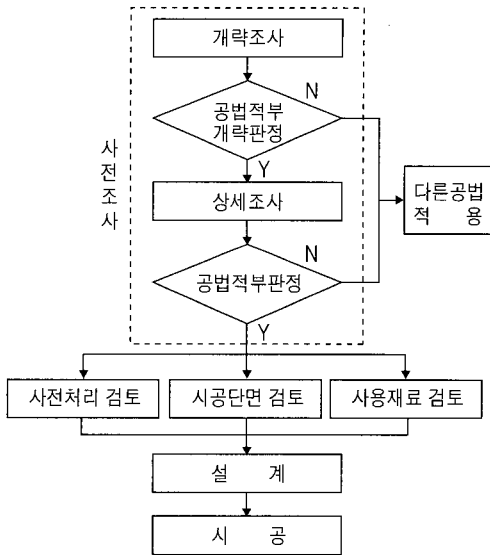


그림 8. 기본적인 조사설계작업 흐름

노후된 아스팔트 포장재료를 재생하여 재포설하므로 도로의 노면상황과 구조 등에 의해 적용상의 제약이 있다. 따라서 <그림 7>과 같은 작업 흐름에 따라 현장조건과 기존 표층혼합물의 상태 및 포장의 파손원인 등을 사전에 조사하고, 공법의 적용성을 확인하여야 한다.

이 공법은 리믹스 방식과 리페이브 방식으로 나눌 수 있으며, 사전조사 및 상세조사를 통하여 공법의 적용여부 및 방법을 결정한다.

리믹스 방식은 기존 표층 혼합물의 골재입도, 아스팔트량, 구아스팔트 침입도 등을 종합적으로 개선하는 경우에 사용하는 시공방법으로 노면에서 절삭한 아스콘 재생골재를 골재입도 및 아스팔트 함량을 조정한 신아스팔트 혼합물과 혼합한 후 포설하고 다지게 된다.

리페이브 방식은 기존 표층 혼합물의 품질을 특별히 개선할 필요가 없거나 품질의 경미한 개선으로 충분하여 노면의 주행성을 위주로 개선할 경우에 사용하는 시공방법으로 노면에서 절삭한 아스콘 재생골재와 필요에 따라 재생첨가제를 혼합하여 1차 포

설한 후, 곧바로 신아스팔트 혼합물을 상부에 덧씌우고 동시에 다지게 된다.

공법의 적용시 고려사항은 아래와 같다.

- 1) 현장 가열 아스팔트 재활용 공법은 파손이 기층 이하에까지 미치지 않은 아스팔트 포장의 표층만을 대상으로 하는 유지보수에 사용하는 것으로 하며, 기존 표층 혼합물이 소정의 품질로 재생될 수 있는 경우에 적용한다.
- 2) 기온이 낮을 때 시공하면 소정의 품질을 기대하기 어려우므로 시공을 하지 않는 것이 바람직하다.
- 3) 현장 가열 아스팔트 재활용 공법은 전용장비를 사용하고, 시공시 장비 편성 연장도 50~100m로 길게 되므로 적용현장의 시공성에 대한 검토를 실시하여야 한다.
- 4) 경제성, 시공성을 충족시킬 수 있는 공사규모가 있어야 한다.

#### 4.2 재료의 기준 및 배합설계 방법

현장 가열 아스팔트 재활용 공법에서 사용하는 아스콘 재생골재는 노후된 도로의 표면을 가열방법으로 절삭하여 발생되며, 별도의 파쇄공정을 거치지 않고, 즉시 가열아스팔트 혼합물 플랜트에서 생산한 신아스팔트 혼합물 또는 재생첨가제와 혼합하여 사용한다.

리페이브 방식의 경우에는 기존 포장을 걷어내며 재생첨가제를 혼합하고, 포장상부에 신규 혼합물을 덧씌우는 것이므로 추가되는 신규혼합물은 표층용 혼합물 기준에 적합하여야 한다. 배합설계는 노후된 포장의 침입도를 측정하여 침입도 기준에 맞는 재생첨가제의 적합한 추가 여부와 사용비율을 결정한다.

일반적으로 사용되는 리믹스 방식은 플랜트 재생 가열아스팔트 혼합물 공법의 배합설계법과 거의 동일한 방법으로 결정한 각 재료의 배합비율을 이용하여 생산되어야 한다.

#### 4.3 시공장비 및 시공방법

현장 가열 아스팔트 재활용 공법은 1930년대에 Heater planer를 이용하여 처음 시도되었으며, 1950~1960년대에는 리페이브 방법이 도입되고, 1980년대부터 리믹스 방법이 사용되고 있다. 그 후에는 가열절삭 깊이의 증가와 시공품질의 개선을 위한 장비의 개발이 있어왔다.

##### 4.3.1 리믹스 방법

시공공정은 사전가열, 가열 및 절삭, 가열 및 혼합, 신규재료 추가 및 포설과 다짐 등 5단계로 나눌 수 있다. 시공장비는 <그림 9>의 공정에 따라 노면예열기, 리믹서 현장표층재생기, 재생첨가제 살포기, 다짐장비 등으로 구성되어 있다.

포장의 시공전에 노면사전처리, 재생장비 점검 및 조정, 재료 및 부대시설 준비 등의 시공준비를 마친 후, 가열, 절삭, 혼합, 포설, 다짐 등의 과정을 통하여 시공하게 된다. 현장 가열 아스팔트 재활용 공법에 의한 아스팔트 포장의 시공은 현장 작업여건에 따라 재생아스팔트 포장의 품질이 영향을 크게 받을 수 있다. 따라서 균질한 포장이 이루어질 수 있도록 현장에서 시공하며 임의로 재료의 혼합비율을 변경하지 않도록 하고, 혼합물의 온도, 다짐 등의 시공관리를 철저히 하여야 한다.

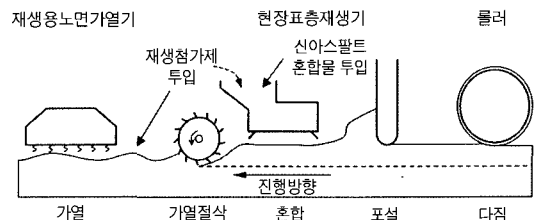


그림 9. 리믹스 방식의 공정 흐름



### 4.3.2 리페이브 방법

시공장비는 <그림 10>과 같이 노면예열기, 리페이브 현장표층재생기 및 다짐장비 등으로 구성되어 있다. 시공방식은 기존 포장을 가열한 후 절삭하여 교반하고, 포설장비로 정해진 폭, 두께로 균일하게 포설함과 동시에 상부에 신아스팔트 혼합물을 포설한다. 그 밖의 사항은 리믹스 방식과 동일하다.

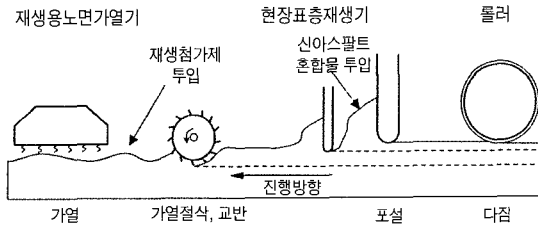


그림 10. 리페이브 방식의 공정 흐름

### 4.4 품질시험

사용재료 및 재생 아스팔트 포장의 기준은 신규 아스팔트 포장과 같고, 기존 표층 혼합물 및 재생첨가제의 품질시험 항목과 빈도는 <표 5>와 같다.

표 5. 재료의 품질관리 항목과 빈도

종별	시험항목	빈도
기존 표층 혼합물	추출골재입도	단위공사구간 당 1회
	구아스팔트 함량 (%)	단위공사구간 당 1회
	구아스팔트 침입도 (1/10mm)	단위공사구간 당 1회
재생 첨가제	점도, 인화점, 세츄레이트 함량	1) 2,000톤마다 2) 장기저장으로 재질 변화가 있다고 판단될 때

### 4.5 현장 가열 아스팔트 재활용 공법의 장단점

현장 가열 아스팔트 재활용 공법은 <표 6>과 같이 현장에서 가열판을 이용하여 절삭한 후 신규재료와 혼합하고 바로 페이퍼로 포설하므로 공사기간이 단축될 수 있으며, 절삭한 아스콘 발생재를 현장에서 즉시 재활용하므로 운반에 따른 비용이 절감되며, 작업 흐름상 이물질이 혼합되지 않는 장점이 있다.

그러나 도로포장 위에서 모든 공사가 이루어지는 공법이므로, 사전조사를 통하여 적용가능성 여부를 평가한 후 적용하여야 한다. 또한, 반드시 기존 포장의 코어를 채취하여 품질 상태를 파악하여 적합한 배합설계를 수행하여야 하며, 시공관리에도 주의하여야 한다.

표 6. 현장 가열 아스팔트 재활용 공법의 장단점

장점	단점
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 절삭후 바로 포설하므로 공사기간이 단축됨</li> <li>• 아스콘 발생재를 현장에서 바로 재활용하므로 운반에 따른 소요경비와 시간이 절감됨</li> <li>• 가열절삭기, 페이퍼 등의 기계화 장비를 사용하여 대규모 시공 가능</li> <li>• 공사 후 포장 두께의 증가가 없으므로 도로의 구조적 문제가 발생하지 않음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 장비가 대형이므로 운반이 어려움</li> <li>• 도로폭이 7m 이상이어야 하며, 곡률이 심한 도로는 사용이 어려움.</li> <li>• 맨홀 등이 많은 도로는 시공시 주의가 필요함.</li> <li>• 대기 온도가 낮을 경우에 사용이 어려움.</li> <li>• 지하매설물의 굴착복구공사에서는 사용이 불가능함</li> <li>• 신규골재의 배합비율의 일관성 유지, 적정 다짐 온도 확보 등 현장 시공관리에 주의를 요함.</li> </ul>

## 5. 플랜트 상온 아스팔트 재활용 공법

재활용에 따른 환경적 영향을 최소화할 수 있는 공법으로, 플랜트는 <그림 11>과 같으며 아스콘 재생골재를 상온혼합용 유화아스팔트를 이용하여 신규 골재와 함께 상온에서 혼합하여 재생아스팔트 혼합물을 생산하는 공법이다. 본 공법과 관련한 국내의 기술은 건설교통부 신기술 제192호(1999)가 있으며, 주로 포장의 아스팔트 안정처리 기층으로 사용된다.

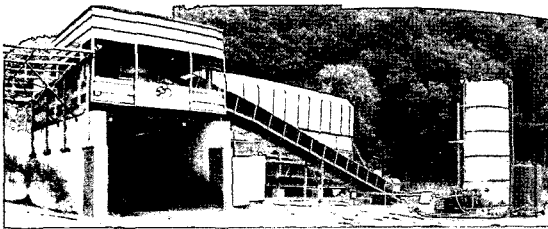


그림 11. 상온재생플랜트

### 5.1 사용재료

상온 재생아스팔트 혼합물의 생산에는 아스콘 재생골재, 유화아스팔트, 신골재와 함께 경우에 따라 플라이애쉬, 소석회 등의 첨가제가 사용된다. 아스콘 재생골재, 신골재는 가열 재생아스팔트 혼합물과 동일한 재료를 사용하며, 유화아스팔트가 이들 골재를 결합해주는 역할을 한다.

따라서, 상온 재활용 포장의 혼합, 다짐, 시공 후의 공용성은 유화아스팔트의 종류에 따라 민감한 영향을 받는다. 따라서 사용되는 아스콘 재생골재, 신규골재의 특성, 포장지역의 온도, 사용장비, 교통통제시간 등에 따라 적절한 유화아스팔트를 선택하는 것은 매우 중요하다.

가열된 아스팔트를 미세하게 분쇄하여 유화제 및 첨가제와 함께 물에 분산시킨 것을 유화 아스팔트라 한다. 유화 아스팔트에 포함된 미세 아스팔트입자는

시공되어 골재와 혼합되기 전까지 물에 고르게 분산되어 존재하게 된다. 그리고 유화아스팔트와 골재가 혼합될 경우 포함된 수분이 증발하면서 아스팔트의 접착력이 회복된다.

유화 아스팔트의 분류 방법은 사용된 유화제의 이온에 따라 양이온(C; Cationic)계, 음이온(A; Anionic)계, 비이온(N; Nonionic)계로 분류할 수 있고, 응결속도에 따라 급속응결(RS, Rapid Setting) 계열, 중속응결(MS, Medium Setting) 계열, 완속응결(SS, Slow Setting) 계열로 나눌 수 있다.

현재 국내에서는 RS계열의 양이온계 유화 아스팔트가 사용되며, 증발된 후의 침입도가 100~300인 RS(C)-3은 프라이م 코트용, 침입도가 60~150인 RS(C)-4은 택 코트용으로 사용된다. 아스팔트 혼합물 혼합용으로 사용되는 유화 아스팔트는 MS 또는 SS 계열이며, 일부의 국내 업체에서 생산하고 있으나, 현재 많이 사용되지는 않는다.

### 5.2 배합설계

상온 재생 아스팔트 혼합물의 배합설계는 표준화된 방법은 없으나 일반적으로 수정범시험방법과 수정마찰시험 방법 등 2가지 시험방법으로 수행되어 왔으며, 최근에 슈퍼페이브 방법을 적용하는 연구가 이루어지며 다양한 방법이 제시되고 있다.

가열아스팔트 혼합물의 목표로서는 아스팔트의 피막비율이 95% 이상이고 대부분 100% 피막되지만, 일반적으로 상온 혼합물은 표층용일 경우 70% 이상, 기층용이면 50% 이상이다. 100% 피막을 위해 유화아스팔트 함량을 조절할 수 있지만 이 경우 과다한 아스팔트 함량으로 양생후에 너무 무르게 되어 소성변형 등에 취약하게 된다. 본 기사에서는 국내에서 주로 사용하는 마찰 다짐기를 이용한 수정마찰배합설계 방법을 자세히 살펴보고 수정범배합설계 방법 등은 주요 사항을 정리하겠다.

5.2.1. 수정마살배합설계 방법

국내에서 가열배합설계에서 대부분 사용하는 마살다짐기를 사용하여 배합설계하는 방법으로 미국 일리노이 대학에서 개발한 방법으로 미국 아스팔트 협회의 “아스팔트 상온 혼합”의 부록 F에 신규재료를 이용한 배합설계 방법이 수록되어 있다. 본 배합설계법은 저교통량 도로의 기층에 사용하는 상온혼합물에 적용하며 <그림 12>와 같은 공정으로 수행된다.

- 1) 골재 및 유화아스팔트의 품질 시험  
아스콘 재생골재, 신규골재 및 유화아스팔트의 품질 기준에 따른 시험을 수행한다.
- 2) 추정아스팔트 함량 시험  
원심석유당량(C.K.E.) 시험 또는 골재의 입도 분포에 따른 계산식에 의하여 추정아스팔트 함량을 결정한다.
- 3) 골재 피막시험  
대기중에서 건조시킨 골재에 수분을 1~3%의 수분을 추가하며, 육안으로 관찰했을 때 골재가 아스팔트에 50% 이상 피막되는 비율을 결정하고, 선정된 유화 아스팔트의 사용가능성을

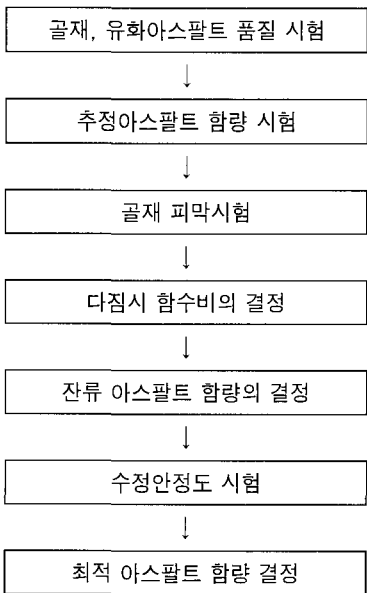


그림 12. 수정마살배합 공정

판단한다.

- 4) 다짐시 최적함수비의 결정  
함수비율을 변화시킨 상온 혼합물을 마살다짐기를 이용하여 다진 후 가장 높은 밀도를 얻었을 때의 함수비율이 최적 함수비이다. 이 때 다짐시의 수분 손실량을 감안하여 계산하여야 한다. 시험방법은 아래와 같다.
  - ① 골재에 수분의 추가
  - ② 유화아스팔트를 골재와 혼합함
  - ③ 소요 함수량에 도달할 때까지 혼합물을 넓은 팬에서 통풍시킴.
  - ④ 공시체를 양면 50회 다짐
  - ⑤ 실온에서 1일간 양생한 후 몰드를 탈형함
  - ⑥ 공시체 겉보기 밀도를 측정함.
  - ⑦ 다짐 밀도와 함수비율을 도표로 그려 최적 함수비를 결정함
- 5) 잔류 아스팔트 함량의 결정  
추정아스팔트 함량의 0%, ±1%, ±2%의 잔류 아스팔트를 함유한 혼합물을 각각 6개씩 상온에서 제조하여 수정마살안정도 시험 등을 수행하여 잔류 아스팔트 함량을 최종적으로 결정한다. 시험 방법은 아래와 같고, 혼합물의 기준은 <표 7>과 같다.
  - ① 각 배치당 6개씩의 공시체를 「다짐시 최적 함수비의 결정」과 동일한 방법으로 제조 (추정 아스팔트 함량의 0%, ±1%, ±2%)
  - ② 1일간 몰드에서 상온에서 양생
  - ③ 몰드를 탈형 후 1일간 38℃의 건조로에서 양생

시 험 항 목	기 준
수정마살안정도(22℃)	2,224N(227kg) 이상
안정도 손실률(%) (진공후와 수침후)	50 이하
골재 피막비율(%)	50 이상

표 7. 수정마살배합설계시 유화 아스팔트 혼합물 품질 기준

- ④ 3개의 공시체를 수침시키지 않은 상태에서 22℃에서 수정마살안정도 시험을 수행하여, 마살안정도와 함수비를 측정함.
- ⑤ 3개의 공시체를 수침시켜 22℃에서 수정마살안정도 시험을 수행하여 혼합물 밀도, 수침안정도, 공극율을 구함.
- ⑥ 수침안정도와 건조안정도를 비교 평가하고, 수침안정도가 최고점일 때를 기준으로 최적아스팔트 함량을 결정함.

### 5.2.2 수정비배합설계법

수정비배합설계법은 미국 캘리포니아 교통국에서 개발한 방법을 미국 아스팔트 협회에서 일부 수정한 방법으로 미국 아스팔트 협회의 “아스팔트 상온 혼합”의 부록 E에 신규재료를 이용한 배합설계 방법이 수록되어 있다. 본 배합설계법은 기층 및 표층에 사용되는 상온혼합물에 적용하며 <그림 13>과 같은 공정으로 수행된다.

혼합물 혼합시험에서는 골재에 물과 첨가제를 추가하고 유화아스팔트와 혼합한 후 피막두께를 관찰하고 혼합성을 판단하며, 건조밀도를 이용하여 최적

유화 아스팔트 함량과 수분함량 결정한다.

그리고, 공시체를 니딩다짐기를 이용하여 제조하고, 72시간동안 23℃에서 양생한 후  $M_R$ 을 측정한다.

#### 5.2.3 기타

수정마살배합설계 방법의 일부를 개선하거나, 슈퍼페이브 배합설계를 도입한 방법은 아래와 같다.

미국의 펜실베이니아 주에서는 위에 서술한 수정마살배합설계 방법으로 공시체의 양생이 모두 이루어지지 않기 때문에 ① 40.6℃에서 시료팬에서 45분 동안 양생, ② 22.7℃에서 몰드에 넣고 75회 마살다짐기로 다지고, ③ 22.7℃에서 15~24시간동안 몰드 상태로 양생, ④ 몰드를 탈형한 다음 40℃에서 3일간 양생한 후 마살 안정도 시험 등을 수행하는 방법을 개발하였다.

Rajib B. Mallick이 2001년도 AAPT에 발표한 논문에서는 수침을 하지 않고 밀도를 측정할 수 있는 코어락 장비와 슈퍼페이브 선회다짐기를 사용하여 ① 45분간 40℃ 양생, ② 선회다짐기를 이용하여 25℃에서 600kPa로 75회 다짐, ③ 밀도시험장비(코어락)를 이용하여 밀도 측정, ④ 공시체 탈형 후 40℃에서 24시간 양생 등의 순서로 공시체 제작 및 양생하는 방법을 제시하였다.

K. Wayne Lee가 2000년, 2003년에 발표한 TRB 논문에서는 슈퍼페이브의 체적배합설계법을 도입한 상온 현장 재활용의 배합설계를 연구하였다. 이 방법으로 2000년도에 아리조나주에 포장하였으며, 2003년 현재 눈에 보이는 균열이나 포장의 손상은 발생하지 않았다고 하였다. 배합설계 방법은 ① 혼합시 수분 함량이 골재중량의 3% 되도록 물 추가 후 1분 혼합(사용되는 유화아스팔트의 비율에 따른 수분 고려), ② 유화아스팔트 추가하고 2분이하로 고르게 혼합, ③ 1시간동안 25℃ 양생, ④ 선회다짐기를 이용하여 25℃에서 600kPa로 52회 다짐, ⑤ 공시체 탈형 후 60℃에서 6시간 양생, ⑥ 하룻밤동안 상온 양생, ⑦ 밀도 시험 순서로 수행된다.

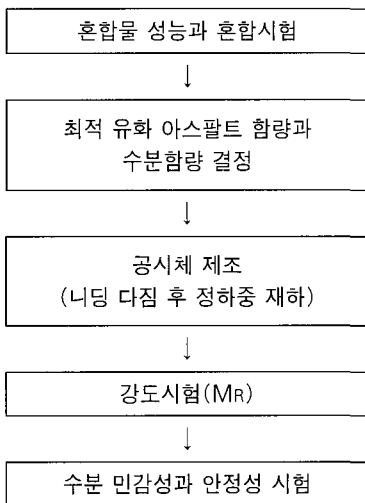


그림 13. 수정마살배합시험 공정

### 5.3 생산 공정

상온 재생아스팔트 생산 공법은 드라이어, 집진시설 등이 필요 없어, 가열 재생아스팔트보다 경제적으로 생산할 수 있다. 국내에서 주로 사용되는 배치식 플랜트의 생산 공정은 <그림 14>와 같다.

이 방법은 플랜트 가열 아스팔트 재활용 공법과

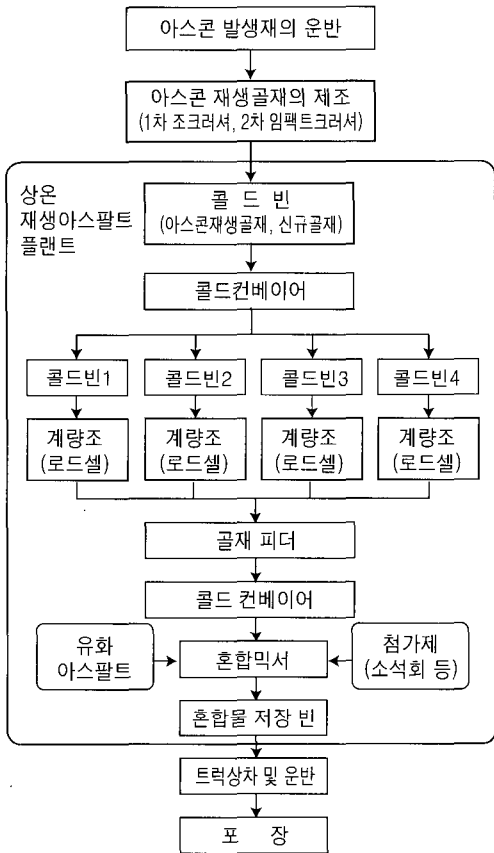


그림 14. 상온 재생 플랜트의 생산공정

같은 방법으로 아스콘 재생골재를 제조한 후 각각의 콜드빈에 따른 계량조에서 아스콘 재생골재와 신규 골재를 계량한다. 그리고, 골재 피더와 컨베이어 벨트를 이용하여 혼합믹서로 이동시키고, 믹서에서 골재, 유화아스팔트, 첨가제 등을 혼합하여 트럭으로 배출하고, 이를 저장 빈에 보관하거나 현장으로 운반하여 포설 및 다짐하게 된다.

아스팔트 유제는 일반적으로 아스콘 재생골재에 대하여 1~3% 정도 사용되고, 시멘트나 석회석을 추가할 경우에는 1~3%, 플라이애쉬는 5~12% 사용된다. 또한 재활용 재료의 수분함량은 1.5% 미만인 것이 좋다.

### 5.4 포장의 시공

일반적인 상온재생포장은 7.5~10cm의 두께로 시공된다. 시공 두께는 양생과 다짐 조건에 영향을 받으며, 상온 재생포장 두께가 깊을수록 다짐효과가 높은 다짐장비가 필요하고, 아스팔트 유제에 포함된 수분을 증발시키기 위하여 재활용 포장의 통기성을 높여주는 입도를 적용하는 것이 필요하다.

야간에 포장할 경우에는 아스팔트 유제의 온도에 따른 혼합능력 및 양생시간 등을 고려하여야 하고, 대기온도는 15℃ 이상이 좋다.

혼합시에 추가골재를 100% 피복할 수 없으므로 시공 후의 포장표면은 검은색이 아닌 회색을 띠며, 포장한 당일에 포장표면에 포그실링을 수행하여 표면을 검게 도포하는 경우도 있다.

포설 후 다짐이 끝날때까지 교통을 개방하면 안되며, 가열과정이 없으므로 포장체의 온도가 떨어진

표 8. 플랜트 상온 아스팔트 재활용 공법의 장단점

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 경제성이 높음</li> <li>■ 화석연료 사용의 최소화로 친환경적임</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 혼합물의 내구성이 낮음</li> <li>■ 포설 전 · 후의 기상요건에 포장의 품질이 큰 영향을 받음</li> <li>■ 중교통 도로의 포장에 적용이 어려움</li> </ul>

후까지 기다릴 필요가 없으나 일반적으로 재활용 포장 1시간 후 교통을 개방하는 것이 좋다.

### 5.5 플랜트 상온 아스팔트 재활용 공법의 장단점

상온재생은 제조과정 중에 가열과정이 없으므로 화석연료의 사용과 이로 인한 공해를 줄일 수 있고, 신골재와 아스팔트의 사용량을 줄일 수 있다. 이에 따른 경제성으로는 가열 재활용 포장에 비하여 총 40~50%의 에너지 절감 효과를 얻을 수 있고, 일반 포장에 비하여 약 25~33%의 시공 비용을 절감할 수 있다.

그러나 현재까지는 골재간의 접착력이 가열혼합 방법보다 저하되어 중교통의 포장에는 적용이 어렵고, 포설전·후의 기상요인에 품질이 크게 영향을 받는 단점이 있다. 장단점은 <표 7>과 같다.

## 6. 기 타

위에서 소개한 공법 외에 외국에서 교통량이 적은 도로에서 사용하고 있는 현장 상온 아스팔트 재활용 공법과 국내에서 개발된 이동식 아스팔트 재활용 공법 등이 있다.

### 6.1 현장 상온 아스팔트 재활용 공법

현장 상온 아스팔트 재활용 공법은 <그림 15>, <그림 16>과 같은 1개의 장비 또는 여러 장비의 조합으로된 노면파쇄장비를 이용하여 파쇄한 후 기층 등으로 시공하는 방법이다.

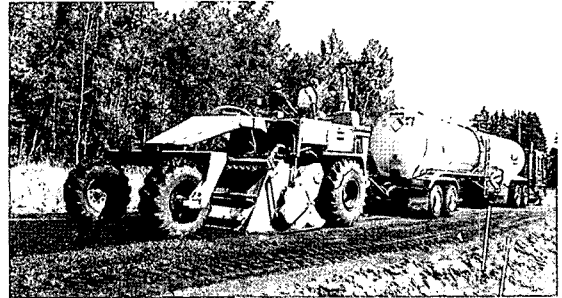


그림 15. 노면 파쇄 장비

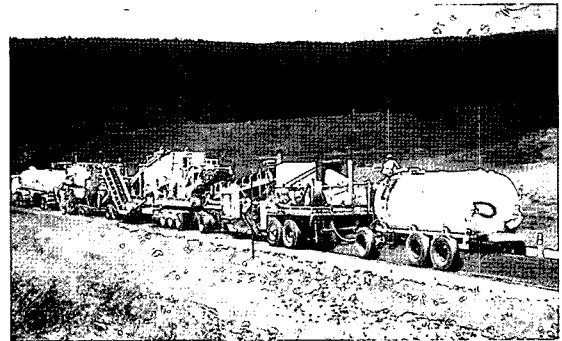


그림 16. 연속식 노면 파쇄 장비

표 9. 현장 상온 아스팔트 재활용 공법의 장단점

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 경제성이 높음.</li> <li>■ 화석연료 사용의 최소화로 친환경적임.</li> <li>■ 상온 절삭 장비로 신속하게 파쇄한 후 바로 포설하므로 공사기간이 단축됨.</li> <li>■ 아스콘 발생재를 현장에서 바로 재활용하므로 운반에 따른 소요경비와 시간이 절감됨.</li> <li>■ 기계화 장비를 사용하여 대규모 시공 가능</li> <li>■ 공사 후 포장 두께의 증가가 없으므로 도로의 구조적 문제가 발생하지 않음.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 재료 혼합의 일관성 유지가 어려움.</li> <li>■ 혼합물의 내구성이 낮음.</li> <li>■ 현장에서 적정 밀도를 얻는데 주의가 요함.</li> <li>■ 장비가 대형이므로 운반이 어려움</li> <li>■ 맨홀 등이 많은 도로는 시공이 어려움</li> <li>■ 대기 온도가 낮을 경우에 사용이 어려움.</li> <li>■ 포설 전·후의 기상요인에 포장의 품질이 큰 영향을 받음.</li> <li>■ 중교통 도로의 포장에 적용이 어려움.</li> </ul>

일반적으로 시공하는 방법은 ① 노후된 노면 파쇄, ② 신규골재, 유화아스팔트, 첨가제의 추가 및 혼합, ③ 노면고르기, ④ 다짐전 양생, ⑤ 다짐, ⑤ 양생 ⑥ 택코팅, ⑥ 표층 시공 등의 순서로 진행된다.

이 공법의 배합설계는 플랜트 상온 아스팔트 재활용 공법과 같다. 다만, 현장 가열 아스팔트 재활용 공법과 같이 시공전에 현장에서 코어를 채취하여 시험실에서 배합설계하고, 실제 포장시에는 시험실 배합비율에 따라 현장 여건에 맞게 조정하여 시공하게 된다. 이 방법의 장단점은 <표 9>와 같다.

### 6.2 이동식 아스팔트 재활용 공법

이동식 아스팔트 재활용 공법은 <그림 17>과 같은 장비를 사용하여 도로 현장 인근에서 아스콘 발생재를 가열 방법으로 재생하여 주로 아스팔트 안정처리 기층으로 활용하는 공법으로서 관련 기술은 건



그림 17. 이동식 아스팔트 재생 장비

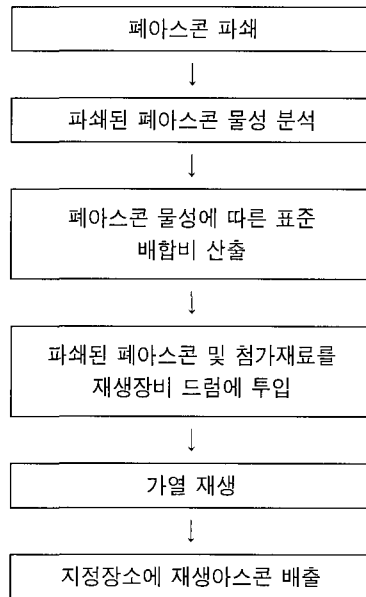


그림 18. 이동식 아스팔트 재활용 공정

설교통부 신기술 제21호(1995)가 있다.

이 공법은 공사현장에 빠르게 투입하여 소규모의 재생아스콘을 손쉽게 제조할 수 있는 공법으로, 일반적으로 적은량의 페아스콘이 발생하고, 소규모의 포장이 이루어지는 도로 굴착복구 현장에 투입시 공사의 효율성을 높일 수 있는 공법이다. 그러나, 현장 여건에 따라 품질의 변동이 쉬우므로 주의깊게 품질 관리가 이루어져야 한다.

이 공법의 작업 흐름은 <그림 18>과 같고, 배합설계는 페아스콘의 표층, 기층의 두께 비율로 표준 배합비를 이용하여 신규재료와 아스콘 재생골재의 사용 배합비를 산출하고, 이에 따라 재생장비의 드럼

표 10. 이동식 아스팔트 재활용 공법의 장단점

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 소량 생산 가능</li> <li>■ 도로굴착복구현장에서 즉시 사용</li> <li>■ 현장에서 생산하므로 지역에 관계없이 사용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 품질관리가 어려움</li> <li>■ 대량생산이 어려움</li> <li>■ 가열과정에서 아스팔트의 산화가 발생할 수 있음</li> </ul>

에 투입하여 재생하게 된다.  
이 공법의 장단점은 <표 10>와 같다.

## 7. 맺음말

노후된 아스팔트 포장재료를 다시 아스팔트 포장의 표층 및 기층 재료로 재활용하는 방법은 국·내외에서 많은 연구가 수행되어 실용화되어 있으며, 재활용 공법 또한 현장 조건에 맞게 적용할 수 있도록 여러 방법이 개발되어 있다. 또한 최근에는 건설

교통부에서 「건설폐자재 재활용 잠정지침」을 발간하여 기존에 건설신기술 등을 이용하여 재활용하던 것을 안정된 품질로 재활용할 수 있는 표준화된 규정을 제정한 바 있다.

따라서, 현재까지 대부분 발생된 아스팔트 포장재료를 도로의 성토재로 활용하거나 매립하던 것에서 벗어나 좀더 부가가치 높은 재활용 방법을 적용하는 것이 필요한 것으로 판단되며, 이로서 환경보호와 더불어 골재자원화에 따른 경제적 효과를 얻을 수 있을 것으로 사려된다.

본 특집기사는 건설교통부에서 발주한 "한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구"의 연구성과물인 "건설폐자재 재활용 잠정 지침"을 요약한 것으로, 잠정 지침 원문은 인터넷의 『www.pavementinfo.com』을 참조하기 바랍니다.

### 학회지 광고모집 안내

본 학회지에 게재할 광고를 모집합니다. 우리 학회지는 계간으로 매회 1,800부를 발간하여 회원과 건설관련 기관에 배포하고 있습니다. 회사 영업신장과 이미지 제고를 원하시는 업체는 우리 학회지를 이용하시기 바랍니다.

광고료 : 표 2, 표 4(300만원)

표 3, 간지(200만원)

※ 상기금액은 연간(4회)광고료임.

사단법인 **한국도로포장공학회**

전화 (02) 558-7147 전송 (02)558-7149