

아스팔트 포장의 재활용

김 광 우* · 박 태 순**

1. 머리말

가. 배경 및 현황

아스팔트 포장의 설계 수명은 약 20년으로 본다. 하지만 실제 도로에서 부단한 유지관리노력이 없으면 그 수명은 반도 유지하기가 곤란하고 심한 경우 5년도 채 못되어 재포장을 해야 한다. 포장의 수명은 유지관리도 중요하지만 구조설계, 재료의 품질, 시공의 견실도, 교통 하중, 기후조건 등 다양한 요소에 지배를 받는다. 그래서 이 모든 조건을 만족하였을 때 20년의 수명은 얻어질 수 있다고 본다.

그러나 국내 아스팔트 포장의 경우는 대부분 그렇지 못하고 선진국에서도 마찬가지인 경우가 많다. 하지만 다행히도 아스팔트 포장은 재활용될 수 있다는 장점이 있다. 따라서 제 수명을 다하지 못한 포장이라도 적절히 철거되어 다시 그 자리에 (또는 다른 곳에) 사용되어 공용될 수 있다 (비교적 어렵지 않은 방법으로).

아스팔트 포장은 반데르 바알스력 (van der Waals force)에 의해 물리적으로 결합되어있는 복합체이다. 이것은 각각의 재료를 사용되기 전 상태로 모두 분리할 수 있고 따라서 재활용시에는 각각의 용도로 다시 이용되는 특성이 있다. 따라

서 선진국에서는 이러한 아스팔트 포장재료의 재활용이 다각도로 이루어져 기존의 제품보다도 더 우수한 품질의 포장을 얻기도 한다고 보고되고 있다. 따라서 아스팔트 포장의 재활용은 방법상의 문제이지 재활용 제품(포장) 자체는 문제가 되지 않는 것으로 인식하고 있다.

하지만 국내의 경우는 아직 좀 다르다. 재활용 제품 자체에 의심을 품고있고 여전히 보수적인 관점에서 이를 보고있어 도로 하부재료 정도로만 재활용하는 것으로 생각하고 있다. 좀더 진보적인 지역별로는 재생혼합물을 기층재료에 사용하기도 하지만 그것을 한계로 보고 있는 시각이 많아 아직 재활용이 활성화되지 못하고 있다. 만일 우리가 선진국처럼 아스팔트 포장을 재활용했다면 경부고속도로의 포장재료는 70년대부터 지금까지 적어도 몇 번은 재활용되었을 것이다. 그러나 우리는 그 많은 그리고 비싼 자원을 어디엔가 모두 버렸다.

하지만 폐아스팔트 콘크리트는 에너지가 많이 투입된 고품질의 재활용 가능 자원이다. 원유 값이 폭등하는 요즘에는 특히 그것의 중요성을 인식해야 한다. 또한 석유자원이 고갈되어갈 다음 세대에는 대체 재료가 개발되지 못하면 버려서는 안되는 고귀한 도로 건설 재료가 바로 폐아스콘이다. 따라서 지금 재활용이 되지 못한다면 이를 특정지역에 별도로 매립하여 두었다가 그때 채굴하여 쓰는 방안도 제시하여 봄직한 대안이다.

* 강원대학교 농공학과 부교수

** 서울산업대학교 토목공학과 조교수

나. 재활용의 장점

도로 시스템을 유지 관리하고 보수하는데는 비용 및 시간이 많이 소요될 뿐만 아니라 근래에는 지역에 따라 적정품질의 재료 확보도 문제로 대두되고 있다. 그러므로 유지 및 보수를 위한 기존 포장재료의 재사용(re-use) 또는 재활용(recycling)은 일반 보수 공법에 비해 여러 가지 이점이 있다. 즉, 재활용을 통해 골재, 결합재(binder) 등의 재료 절약과 에너지를 절약할 수 있을 뿐만 아니라 환경 보호도 할 수 있으며, 기존 도로의 층상 구조를 그대로 유지할 수 있다.

즉, 재활용에 따른 이점은,

- 확포장으로 철거되는 포장 폐재나 표면 질삭 등으로 발생하는 폐재를 다시 포장에 사용하게 되면 국내의 경우 우선 이를 폐기 처분하는 고가의 비용 절감과 함께 새로운 재료 구입 비용의 절감 등 경제적 효과가 가장 클 것이다.
 - 또한 이로부터 수반되는 자원 및 에너지의 절약, 폐재의 매립 및 투기에 따른 환경보호 등 일거 양득의 효과를 얻을 수 있다.
- 그 외에 도로 공학적 측면에서 현저히 많은 이점들이 있으며 그것은 다음과 같다.
- 거의 층두께의 변화(증가) 없이 크게 구조 성능을 향상시킬 수 있다.
 - 공사 중에 대체 도로 시설이 없어도 된다.
 - 동상 취약성이 감소될 수 있다.
 - 표층과 기층의 교란 문제가 고쳐질 수 있다.
 - 기존 혼합물의 결합이 고쳐질 수 있다.
 - 수반되는 문제가 별로 없다.

그러나 좀더 세심한 관점에서 본다면 제기될 수 있는 문제점으로는 다음과 같은 것들이 있을 수 있다.

- 적절한 장비가 사용되지 않거나 회수 아스팔트 포장(reclaimed asphalt pavement: RAP) 재료가 너무 많이 사용되면 플랜트에서의 공

기 오염 문제가 제기될 수 있다.

품질 좋은 재생 제품을 생산하기 위하여 새 재료로 시작하는 것보다 더 많은 주의를 필요로 할 것이다.

하지만 전반적으로 아스팔트 포장의 재활용은 문제점보다는 장점이 훨씬 많으며 이 글에서는 도로포장을 전공하는 주체들의 시각에서 재활용의 활성화를 위하여 아스팔트 포장의 재활용을 체계적으로 짚어보기로 한다.

2. 재활용 방법의 분류

아스팔트 포장의 재활용 방법은 여러 가지가 있다. 이들 중 한 방법을 선택하기 위해서는 기존 포장체의 구조와 형태, 노화 및 파손 정도를 정확히 파악하여야 한다. 아스팔트 재활용의 방법들은 사용된 장비의 종류와 작업 깊이, 작업의 수행 장소, 그리고 혼합 과정에서의 가열 여부 등에 따라 구분된다.

미국 Asphalt Institute와 NAPA¹⁰⁾는 재활용의 방법을 작업형태(온도)에 따라 가열혼합 재활용(hot mix recycling) 방법과 상온 혼합 재활용(cold mix recycling) 방법, 그리고 표면 재활용(surface recycling) 방법 등으로 분류하였고, Epps⁹⁾와 NCHRP에서는 작업 장소에 따라 표층 재활용(surface recycling) 방법과 현장 표층 및 기층 재활용(in-place surface and base recycling) 방법, 그리고 (중앙) 플랜트 재활용(central plant recycling) 방법 등으로 분류하였다. 그러나 본질적으로 두 분류는 모두 같다. 즉 가열 혼합 재활용은 플랜트 재활용과 거의 유사하고, 상온 혼합 재활용은 현장 표층 및 기층 재활용과 거의 비슷하다.

더 나아가 근래에는 온도에 따라 고온(hot-mix)과 상온(cold-mix) 외에 중온에서 작업을 하는 거품 혼합(foamed-mix) 방식도 개발되었다. 이 방식은 약 90°C 정도에서 재생 혼합물을 혼합

하여 상온에서 장기간에 걸쳐 사용할 수 있는 방식으로 활용 면에서는 상온 방식과 유사한 점이 있다. 따라서 본 기사에서는

- ① 가열혼합 방식,
- ② 상온과 중온 방식

으로 구분하기로 한다. 그러면 플랜트 재생 혼합과 가열에 의한 현장 표면 재생은 가열혼합으로, 중온 및 상온 혼합에는 중온 플랜트 재생 혼합과 현장 상온 재생혼합 등이 포함되는 것으로 구분할 수 있다.

본 절에서는 가열혼합 공법의 일반적인 특징과 문제점을 점검해본다.

가. 가열혼합 재활용 공법

(1) 플랜트 재활용 공법 (Central Plant Re-cycling)

포장 기술자들과 아스팔트 생산자들에게 가장 많은 관심의 대상이 되는 재활용 방법은 바로 플랜트 재활용 방법이다. 이 방법은 아스팔트 포장 재료를 제거후 고정 플랜트로 운반하여 회수된 재료(RAP)를 가열 혼합하는 과정에서 신규 재료들을 일부 첨가하는 방법이다. 이렇게 재생된 혼합물은 기존의 포설 장비를 이용하여 보조기층이나 기층 위에 다시 포설된다. 이러한 재활용 과정을 거치는 동안 기존 포장의 구조적 성능을 상당히 개선시킬 수 있는 것으로 입증됐다. 그리고 기층과 보조기층을 표층 재료들이 제거된 후에 다시 건설할 수도 있기 때문에 기존 포장의 근본적인 결함도 해결할 수 있다.

일반적으로 RAP은 그것이 비록 제거되는 과정에서 파쇄되었다 할지라도 고정 플랜트에서 골재 파쇄(해쇄) 장비를 이용하여 다시 한번 파쇄해야 한다. 이렇게 파쇄된 골재들은 입경 별로 분리되어 중앙 플랜트에 공급·혼합되는데, 이 과정에서 기존의 노후한 아스팔트와 혼합물의 품질이 개선되게 된다.

이 고정 플랜트 재활용의 가장 큰 문제점은 RAP 결합재가 건조 열에 의해 연소되면서 산화되는 것이다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 골재의 가열을 2중 공급 장치를 이용한 열전도 방식에 의하여 가열한다.

이 열전도 방법에 따라 플랜트 재활용 방법은 크게 두 가지로 구분된다.

첫 번째 방법은 배치 플랜트 방식이다. 이 방법은 신규 골재를 건조로 안에서 고온으로 가열 시킴과 동시에 RAP을 건조로의 측면을 통하여 직접 공급한다. 이렇게 하여 RAP이 배치플랜트의 계량 호퍼와 퍼그밀(pugmill)에서 고온으로 가열되어 있는 신규 골재에 의하여 가열되게 함으로써 아스팔트의 산화가 방지된다.

두 번째 방법은 드럼 믹서 방식으로 이것의 열전도 과정은 다음과 같은 세 가지 방법이 사용된다. ① 배기가스에 의해 간접적으로 가열하는 방법, ② 드럼 내의 온도 분포를 조절하여 거친 공기 혼합 작용을 발생시켜 생기는 대류 열을 이용하는 방법, ③ 드럼 앞쪽에 있는 새로운 골재를 높은 온도로 가열하여 이것을 드럼 중앙으로 접근시켜 환류나 열전도에 의하여 드럼 중앙에 있는 RAP을 가열하는 방법 등이다. 이렇게 배치플랜트나 드럼 믹서 플랜트에서 소정의 온도로 혼합된 혼합물들은 서지빈(surge bin)이나 트럭에 적재되어 기존의 포장 기계와 다짐 기계를 이용하여 다시 포설된다. 두 가지 혼합 방식 모두 기존의 장비를 사용해도 되지만 개조를 하거나 재활용 킷트를 추가하면 더욱 능률적이다.

(2) 현장 재활용 공법 (In-place Surface and Base Recycling)

이 방법은 기존 아스팔트 포장의 표면 또는 상당 깊이를 현장에서 깎아 내거나(평삭: planing) 분쇄(milling)하고 가열하며 잘게 부수어(scarify) 재혼합하여 다시 포설하고 다지는 방법이다. 이

과정에서 기존 재료를 필요로 하는 혼합물로 만들기 위하여 새로운 아스팔트나 새로운 골재 등을 첨가할 수도 있다. 이렇게 하여 생산된 최종 혼합물은 아스팔트 포장의 표층이나 아스팔트 덧씌우기에 사용된다.

이 방법은 1970년대를 전후로 해서 가장 광범위하게 사용되었던 재활용 방법으로 포장을 재건(rehabilitation)하기 전에 수행되는 처리 방법으로 특히 유용하게 사용되었으며, 또한 피로 하중에 의한 결함을 바로잡는 방법으로 쓰이기도 하였다. 이 방법은 기존의 덧씌우기 방법으로 쉽게 고칠 수 없는 도로의 구조적 결함(curb, manhole, catch basin 등)이나 도로의 기하학적 결함(overlay buildup, vertical clearance, road-way cross-slope 등)을 바로잡는데 가장 적합한 방법으로 알려져 있다.

포장의 두께를 얼마나 깊이 재생하느냐에 따라 표면 재활용과 전층 재활용으로 분류되는데 가열 혼합의 경우는 대개 표면 재활용의 경우가 많다. 이는 1인치 두께 전·후 포장 구조의 결함을 바로잡는데 사용되는데, 이들 중 몇몇 방법들은 결함이 있는 표면 재료를 제거한 후 이들을 다른 장소에 재사용하거나 재활용하기도 한다.

표면 결함의 주된 원인은 포장의 노화로 인하여 발생하는 산화 작용에 기인한 것이다. 이 문제를 해결하기 위한 대부분의 기존 유지보수나 재건 방법들은 이 결함을 제거할 수 있는 충분한 두께의 덧씌우기를 포설하는 방법들이었다. 그러나 Coons와 Wright⁶⁾의 연구에 의하면 포장의 노화나 산화는 포장 표면의 1/2인치 이내에서 발생한다고 하였다. 따라서 표면재활용 방법은 노화(aged)나 아스팔트의 산화와 관련된 표면 결함의 처리에 가장 적합하다고 할 수 있다. 즉 포장의 표면 부분을 제거하거나 회복시킴으로서 거의 원래의 결합재의 특성을 복원시킬 수 있다는 것이다.

현장 가열 표면 재활용 방법은 포장 표면을 처리할 때 가열 여부에 따라서 상온 표면 재활용 방법과 가열 표면 재활용 방법으로 구분된다. 가열하여 표면을 재활용하는 방법은 포장 제거 과정을 수월하게 하기 위한 방법으로 열에너지를 이용하는 과정과 혼합 다짐을 위해 가열시키는 두 가지 과정을 거의 연속적으로 수행한다. 이 작업을 수행하는데는 heater-planer, heater-scarifier, hot miller 등의 기계가 사용된다. 이 방법을 이용하는데 가장 큰 문제점은 열에너지의 적정한 수준을 정하는 것이다. 너무 높은 온도는 포장재료의 손상 뿐만 아니라 대기오염도 발생시키게 되며, 온도가 너무 낮게 되면 포장의 제거 과정이 지연되거나 표면 재활용 공정이 방해를 받기 때문이다.

최근에 국내에서 개발된 소형 현장 가열 재활용 믹서는 상기의 방법과는 달리 도로의 굴착 등으로 발생하는 폐아스콘 덩이를 현장에서 단 기간 내에 녹여 다시 사용하는데 사용된다. 이는 상하수도, 전기, 전화선 등의 매설 및 보수를 위하여 도로를 굴착할 때 발생하는 전층의 아스팔트 포장 덩어리를 매설 작업이 끝난 후 약 20cm 이내의 덩이로 부수어 넣고 가스 버너로 20~30분 간접 가열하여 1~2톤씩의 재생아스콘을 제조해 그 자리에 다시 기층용으로 덮는 방법을 쓰고 있다. 이때 품질 제어를 위하여 표준 배합표를 제시하여 포장의 수명, 층별 두께, 기존 아스팔트 함량 등의 자료를 통해 첨가해야 할 골재의 양, 신규 아스팔트(유제) 량, 필요시 재생 첨가제의 량 등을 결정할 수 있게 하였다. 이 장비는 현재 전 세계 수십 개 국에 수출되어 사용되고 있다.

3. 가열혼합 재활용

가. 역사적 배경

아스팔트 포장이 건설된 것은 고대 바빌로니아 시대까지로 거슬러 올라간다. 하지만 근대의 아스

팔트 포장은 차량의 보급이 시작된 19세기 말부터 20세기 초로 보아야 한다. 그리고 아스팔트 포장의 재활용은 이와 때를 같이하여 이미 시작되었다. 미국 NAPA¹⁰⁾에 따르면 재활용에 관한 최초의 문헌은 1915년에 Warren Brothers에 의하여 쓰여진 것으로 보도되었다. 그들은 아스팔트 플랜트 판매 책자에서 “가열하여 재 포설된 기존의 시이트(sheet) 아스팔트 포장의 상태는 상당히 우수하였으며 그 결과 비용이 상당히 절약되었다”고 기술하였다. 이런 형태의 연구는 1930년대 초반까지 지속되었으며 기록에 의하면 이 기간 동안 미국 동부의 도시 지역에서 많은 양의 아스팔트 포장이 재활용되었다. 그러나 새로운 정유소가 여러 곳 설립되면서 아스팔트의 가격이 기존 아스팔트를 재활용하는 것보다 낮아졌기 때문에 이러한 연구는 별로 각광을 받지 못했다.

Scott이 1953년 노화 아스팔트 포장 입자를 고풍향족 석유 추출 오일로 처리하여 재생(revivifying) 시키는 방법을 특허로 신청하였을 때 심사 위원들은 1931년부터 1940년 사이에 허가된 17개의 특허를 이 특허 신청에 대항하는 문헌으로 인용하였다. 1955년 Neville이 취득한 특허는 아스팔트 표층 재료에 액상의 hydrocarbon을 첨가하여 혼합하는 방법이다. 이 특허의 심사에 1900년도부터 1943년도까지 허가된 5개의 특허가 참고문헌으로 인용되었다.

Scott¹³⁾과, Neville¹¹⁾은 파쇄된 아스팔트 도로의 재생에 관한 방법과 아스팔트 포장의 재활용에 관한 공정이라는 특허 신청에서 아스팔트 포장의 재활용 공정을 다음과 같이 분류하였다. ① 도로에서 재료의 제거 과정, ② 재료의 크기별 분류 과정, ③ boiling point가 약 250°C에서 399°C까지인 방향족(aromatic)이 약 40% 함유된 산화회복제의 첨가 과정, ④ 이 첨가제와 아스팔트 재료의 완전한 혼합 과정, ⑤ 혼합물의 양생 과정 등이다. 그러나 그들은 어떠한 설계 기준이나 측정 결

과들을 제시하지 않고 단지 더 나은 혼합물을 제공하기 위한 방법만을 제시하였다. 즉, 혼합물을 기계적으로 만들기 위하여 혼합물의 물리적 특성을 복원시키려는 방향으로만 연구가 수행된 것이다.

2차 대전 후 아스팔트 포장의 재활용은 저급(low-type) 도로의 등급을 향상시키기 위한 개념으로까지 구체화되었다. 기존의 포장 구조물을 재사용하고 개량시키는 이 방법은 포장 구조물을 단계적으로 강화시키는 과정으로서 이것이 바로 진정한 의미의 재활용의 시작이라 할 수 있다.

1956년부터 미국에서는 고속도로(Interstate Highway) 시스템 건설이 시작되면서부터 재활용보다는 품질이 좋은 역청 재료를 사용한 신도로의 건설에 더 역점을 두기 시작하였다. 그러나 원유 값이 폭등하면서, 그리고 고속도로 건설 사업이 어느 정도 종료됨에 따라 경제성과 에너지 절약이라는 차원에서 재활용의 필요성이 다시 한번 부각되게 되었다. 재활용 아스팔트 포장재료의 성능과 노화 정도의 측정에 최초로 화학적·물리적 특성을 함께 고찰한 연구는 Rostler¹²⁾와 Vallerga¹⁴⁾에 의해서였으며, 이 이후의 연구들은 재활용 현장에 기존 장비를 이용할 수 있을지 여부와 재활용의 경제적 이점과 타당성 등에 초점을 맞추어 진행되었다.

아스팔트 포장의 재활용 방법에 관한 두 가지 과정들이 1975년에 발표되었다. 이 두 과정은 모두 노후 포장의 파쇄와 아스팔트 개질재의 첨가를 포함하는데, 그 첫 번째는 “on-grade”라 불리는 것으로 현장에서 수행되는 방법이다. 즉, 이 방법은 현장에서 그대로 적절히 혼합하여 다시 포장에 사용하는 방법이다. 이런 형태의 대표적인 실험이 수행된 것이 1975년에 Texas도로국에 의해 수행된 프로젝트이다⁹⁾.

또 다른 방법은 “off-grade”라 불리는 것으로 이것은 포장체를 제거하고 파·분쇄하여 가열 플

랜트(hot plant)로 옮겨 그곳에서 가공·혼합하여 다시 현장에 재포설하는 방법이다. 이 가열 플랜트로는 기존의 pugmill과 drum mixer 또는 Mendenhall-type의 장치를 이용할 수 있었다. 또한 Dunning 등⁷⁾은 열 대류 방식을 이용하는 드럼 믹서 혼합 기계를 발명하여 노후한 아스팔트 콘크리트를 재활용하는데 이용하기도 하였는데 이것이 오늘날의 가열혼합 플랜트 재활용의 시초라 할 수 있다.

나. 재활용 혼합물의 재료

(1) 회수 아스팔트 포장재료

소위 페아스콘이라고 하는 회수아스팔트 포장재료(RAP)는 도로굴착, 평삭 등으로 얻어진 아스팔트 포장 폐재를 플랜트로 가져와 일정한 크기 이하로 파쇄 또는 해쇄한 것이다. 이를 20% 이상 포함하는 재생 아스팔트 혼합물의 배합설계는 일상적인 마샬 방법 외에 추가 시험을 필요로 한다.

첫째 아스팔트 혼합물의 구성 성분이 분석·결정되어야 한다. RAP내의 골재와 아스팔트는 별도로 품질 특성을 검사해야 한다. 그러므로 RAP 샘플로부터 노화된 아스팔트를 추출해야 한다. 추출의 목적은 아스팔트와 골재를 분리하는 것이다. RAP의 아스팔트 함량은 추출된 아스팔트와 골재의 중량 비로부터 결정된다. 추출된 아스팔트는 Abson 방법(ASTM D1856)에 의해 용액으로부터 재생될 수 있다. 이 재생 아스팔트의 유동성(consistency)은 60°C에서의 점도로써 결정될 수 있다. 이것의 결정은 재활용 혼합물 배합설계에 사용될 신규 아스팔트의 등급과 양을 추정하기 위하여 필요하다.

(2) 신규 아스팔트

RAP과 새로운 골재를 섞은 재생 혼합물(recycled mixture)에 첨가될 새로운 저 점도 아

스팔트는 두 가지 역할을 한다. 첫째는 혼합물의 전체 아스팔트 함량을 증가시킨다. 둘째는 RAP의 노화된 아스팔트와 섞여 이를 회생(rejuvenating)시켜 규격에 적합한 아스팔트를 형성한다. 일반적으로 침입도 등급 85-100, 120-150이 사용되는데 이는 국내의 AP-3, AP-1 및 미국의 AC-10, AC-5 등에 해당되며 심하게 노화된 아스팔트의 경우 침입도 200-300(AC-2.5) 등도 사용된다.

(3) 재생 첨가제 (Recycling Agent)

재생 첨가제는 물리·화학적 특성이 노화된 아스팔트를 본래 규격의 아스팔트로 회복시키기 위하여 사용되는 유기 재료이다. 재생 첨가제를 선정함에 있어 첨가제와 섞인 최종 아스팔트의 점도 특성이 가장 중요한 요소이다. 따라서 많은 재생 첨가제가 재생 혼합물의 배합설계에 사용되고 있다.

(4) 신규 골재

신규 골재의 혼합은 사용코자 하는 해당 규격에 적합해야 한다. 이에 대한 규격은 미국 아스팔트 연구원(The Asphalt Institute)의 "Model construction specification for asphalt concrete and other plant-mix types(SS-1)"에 제시되어 있다.

이에 더하여 혼합 골재의 박리 저항성을 검사하여야 한다. 사용될 아스팔트와 공인된 수분 민감성 시험 방법을 사용하여 특정 광물 채움재나 박리 방지용 첨가제가 필요한지를 결정해야 한다. 아스팔트 시멘트를 사용한 아스팔트 혼합물의 시험에는 ASTM D 1075의 "Effect of water on cohesion of compacted bituminous mixtures"에 의한 수침 압축 시험 방법을 추천한다. 이때 강도 유지율은 75% 이상이어야 한다. 또한 아스팔트 연구원의 "Cause and prevention of stripping in asphalt pavements(ES-10)"도 참조할 수 있다.

다. 배합설계

앞 절의 재료에 대한 각종 자료를 가지고 폐아스콘 재활용을 위한 재생 가열-혼합 배합설계가 수행되어야 한다. 미국 아스팔트 연구원의 방법으로는 60°C에서의 점도(절대 점도)를 RAP과 재활용 혼합물 아스팔트의 특성으로 취급한다. 하지만 국내의 경우 침입도를 사용하므로 25°C에서의 침입도를 사용할 수 있다.

그림 1에서는 이 배합설계 방법을 단계적으로 보여주고 있다.

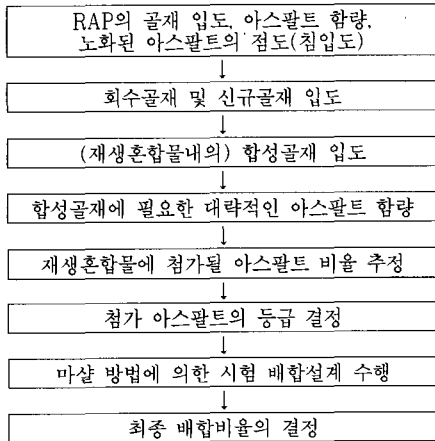


그림 1. 배합설계 과정의 흐름도

(1) 재활용 혼합물에서 혼합 골재

RAP의 골재 및 새로운 골재의 입도를 사용하여 혼합골재의 입도 분포가 해당 규격에 적합한지를 계산한다.

(2) 혼합 골재의 아스팔트 배합량(%)

혼합 골재의 아스팔트 소요량은 캘리포니아 등식(CKE)이나 다음의 실험 공식으로 계산할 수 있다.

$$P_c = 0.35a + 0.045b + Xc + F \dots\dots\dots (1)$$

여기서

P_c = 전체 혼합물 중량에서 아스팔트의 비율(%)

a = Na8 체에 남은 골재의 중량비(%)

b = Na8 체에 통과하고 Na200체에 남은 비율(%)

c = Na200체를 통과한 골재(채움재)의 중량(%)

X = c 값이 11~15% 일 경우 0.15 사용

c 값이 6~10% 일 경우 0.18 사용

c 값이 5% 이하인 경우 0.20 사용

F = 0~2%로서 자료가 없을 경우 0.7~1% 사용. 이는 비중이 2.6~2.7인 보통 골재 경우에 근거한 값임.

* 상기에 사용되는 %는 모두 정수를 사용함.

(3) 재생 혼합물에 필요한 신규 아스팔트 소요량(%)

재활용 혼합물에 첨가할 새로운 아스팔트 량은 앞에서 결정된 아스팔트 량에서 RAP에 포함된 아스팔트량을 제외한 것으로 그 식은 다음과 같다.

$$P_r = P_c - (P_a \times P_p) \dots\dots\dots (2)$$

여기서

P_r = 재활용 혼합물 내에 새 아스팔트의 비율(%)

P_c = 전체 혼합물 중량에서 아스팔트의 비율(%)

P_a = RAP 중량에서 아스팔트의 비율(%)

P_p = 재활용 혼합물 내에 들어간 RAP의 중량비(소수)

(4) 새 아스팔트의 등급 선정

혼합 아스팔트의 목표점도(침입도)를 결정한 후 RAP으로부터 추출·회생된 아스팔트의 점도(침입도)를 근거로 첨가될 아스팔트의 등급을 결정한다.¹⁾²⁾⁵⁾ 일반적인 목표점도(침입도)는 해당 범위의 중간 값으로 한다. 예를 들어 AP-5 경우 점도의 중간 값인 2,000poise를 취한다. 국내의 경우 만일 결정된 아스팔트의 점도등급(침입도)이 AP-1 (점도 500 또는 침입도 120-150) 이하로 내려가면 국내에서 생산되는 아스팔트가 없으므로 재활용 첨가제가 필요하거나, RAP의 재활용 비율을 낮추어야 한다.

새로운 아스팔트의 량은 신규 아스팔트 함량 (%)를 전체 결합재량으로 나누어 100을 곱하여 나타낸다. 즉, $(Pr/Pc \times 100)$.

(5) 시험 배합설계

시험 배합설계를 마샬 방법에 의하여 수행한다. 아스팔트 함량은 사용되는 배합설계 방법이 정하는 규격에 맞도록 신규 아스팔트량을 조절하여 바꿀 수 있다. 그리고 이 시험배합이 성공적으로 수행되면 이 결과와 현장 재료를 토대로 현장 배합비(job-mix formula: JMF)를 결정한다.

라. 시공성, 성능 및 경제성

상기의 배합 설계를 통하여 공히 배치 플랜트나 드럼믹스 플랜트에서 생산되는 혼합물은 일반 혼합물의 온도와 같은 온도로 서어지 빈이나 운반 트럭에 출하된다. 그리고 이렇게 얻어진 재활용 재료들은 일반 아스팔트 포장 장비를 사용하여 도로에 포설되며 대부분 별도의 지침은 없다. 이는 일단 재생 혼합물도 적절한 배합설계를 통하여 플랜트에서 출하되면 일반 혼합물과 시공성에서 차이가 없다는 의미라고 볼 수 있다.

미국 텍사스 교통연구소에서는 1995년 가열 현장 재생 포장(HIPR)을 할 때의 시공성, 공용성, 비용 등의 연구에서 재생 포장의 공용성은 8~12년간 유지되었음을 보고하였다. 그리고 비교용 도로와 비교하였을 때 표면을 재생 포장한 도로의 공용성 지수(PSI: present serviceability index)가 0.5정도 낮았으나 대체적으로 좋은 공용성을 유지하는 것으로 보고하였다. 1995년 미국 조지아주 교통국(GDOT)에서의 가열혼합 재생은 RAP 비율을 연속 플랜트에서는 최대 40%를 사용할 수 있고 배치 플랜트에서는 25%까지 사용할 수 있게 규정하고 있다. 그리고 보통의 아스팔트 포장에서는 AC-30을 사용함에 반하여 재활용 도로포장일 경우에는 AC-20을 사용하였다. GDOT에서

는 일반 아스팔트 포장(비교용)과 비교하여 재활용 도로포장의 성능을 평가하기 위하여 약 4년간 반복하여 재활용 포장을 시공하였다. 포장 후 18~27개월에 걸친 통계분석 결과 두 도로 사이에 특별한 품질상의 차이점이 없음을 확인하였다. 그리고 10개의 비교용과 13개의 재활용 혼합물의 아스팔트 성질을 분석한 결과 점도와 침입도 또한 특이한 차이가 없음을 확인하였다.

국내의 경우도 일부 연구²⁾³⁾⁴⁾에서도 재생 아스팔트 콘크리트의 성능이 기층재료로는 물론 표층 재료로서도 일반 아스팔트콘크리트와 비교하여 전혀 손색이 없음을 보여주고 있다. 더 나아가 재생 혼합물을 개질하면 신규 개질 아스팔트 혼합물과 같이 월등히 우수한 혼합물을 재활용을 통해 얻을 수 있음을 보여주었다.

일본에서의 아스콘 재생 관한 연구는 1976년부터 연구가 이루어져 재포장과 절삭 덧씌우기에서 발생하는 포장폐재를 플랜트에서 가열 아스팔트 혼합물로 재생하는 공법이 1977년부터 실용화 단계에 들어갔다. 1990년에 폐아스콘이 1757만 톤이 발생되어 그중 50.6%가 재 이용되었으며 일본 전역에 산재되어 있는 291개소의 처리 시설에서 재생 아스팔트 생산량도 652만톤에 이르고 있다. 특히 노후된 간이 포장을 노상에서 기층 재료 재생하는 '노상 재생 기층 공법'이 최초로 1977년에 개발되어 시행하고 있다.

유럽에서는 1970년에 처음으로 현장 표층 재활용 방식에 의한 시공이 이루어진 것으로 보고되어 있으며 1977년에는 서독, 프랑스 등에서 본격적인 시험 시공이 이루어진 이래 현재는 표면 재활용 공법이 주류를 이루어 연간 200만㎡정도가 시공되고 있다.

이와 같이 전 세계적으로 아스팔트 포장의 재활용은 상당한 연구와 경험을 통해 실용화되고 있으며, 건설비용과 비용절감은 지역적 특성에 따른 변수에 많은 영향을 받아 다소 차이가 있다.

즉 첨가될 첨가제, 새로운 골재 등의 양과 각 지역 골재 등의 재료 가격과 연료비 등에 따라 변동이 심하다고 하였다. 미국의 경우 25mm를 깎아 내고 다시 그 위에 25mm로 재생 포장한 가격은 보통의 포장과 비교했을 경우 25% 정도의 비용 절감 효과를 얻을 수 있었다. 그리고 이와 같은 재활용은 일반적으로 노후 아스팔트를 깎아 내고 그 위에 신규 아스팔트 혼합물로 포장을 덧씌우는 것 보다 5~50%의 비용을 절감할 수 있다고 알려져 있다.

4. 맺음말

우리나라 아스팔트 포장 재활용 공법의 수준은 매우 초보적인 단계에 있다. 따라서 이의 발전을 위해서 주로 많은 실적이 축적된 외국의 사례를 중심으로 개괄적으로 아스팔트 포장의 재활용을 살펴보았다.

국토가 협소하고 자원이 부족한 국내에서 아스팔트 포장의 재활용은 점점 더 심각해지고 있는 자원 부족난을 해결할 수 있고, 기존 포장체의 폐기물을 이용함으로써 환경문제도 해소할 수 있으며, 자원을 재활용할 수 있다는 장점이 있다. 또한 체계적인 재활용이 이루어진다면 경제성도 충분히 있는 것으로 보도되고 있으므로 이와 같은 효율적인 방법을 우리나라에서도 더욱 활용해야 할 것이다. 그러기 위해서는 많은 실험이 뒤받침된 기본 연구가 체계적으로 수행되어야 할 것이며 정부기관을 통한 재활용 의지가 지속적으로 추진되어야 할 것이다.

참고문헌

1. "가열 아스팔트 혼합물의 배합설계 지침," 아스팔트 포장연구회, 도서출판 정보나라, 1998, pp. 161-179.
2. 김광우, 정규동, 도영수, "기층재료로 재활용 아스팔트 혼합물의 적용성 연구," 대한토목학회 논문집, 제 18권 III-1호, 1998, pp. 61-68.

3. 김광우, 정규동, 이순제, 정일권, 이지용, "평삭 재생 아스팔트 콘크리트의 피로저항 특성," '98 아스팔트 포장공학의 첨단기술 논문집, 강원대학교 석재복합 신소재 연구센터, 1998.
4. 김광우, 이순제, 이상범, 이지용, "개질·재생 아스팔트 혼합물의 피로저항 특성," 대한토목학회 논문집 제20권 2-D호, 2000, pp. 149-157.
5. "아스팔트 포장공학 원론," 미국아스팔트 기술센터 원저, 아스팔트 포장연구회 역, 한국도로포장공학회, 1999, pp. 432-439.
6. Coons, R. F. and Wright, P. H. (1968), "An Investigation of the Hardening of Asphalt Recovered from Pavements of Various Ages," Proc. AAPT, Vol. 37, pp. 510~528.
7. Dunning, R. L. , Mendenhall, R. L. and Tischer, K. K. (1975), "Recycling of Asphalt Concrete Description of Process and Test Sections," Proc. AAPT, Vol. 44, pp. 537~563.
8. Epps, J. A. (1990), "Cold-Recycled Bituminous Concrete using Bituminous Materials," NCHRP Synthesis 160.
9. Lindley, B. R. (1975), Report No. 613-1, State Department of Highways and Public Transportation, State of Texas, October.
10. NAPA, (1979), "Recycling," Construction Digest, Vol. 51, No. 27, pp. 20~38.
11. Neville, C. A. (1955), U. S. Patent 2,701,213, Feb. 26.
12. Rostler, F. S. (1959), U. S. Air Force Pavement Conference, Berkeley, California, 27-31 July, pp. 333~354.
13. Scott, F. S. (1953), U. S. Patent 2,639,651, May. 26.
14. Vallerga, B. A. (1963), Highway Research Board Record 24, pp. 62~105.