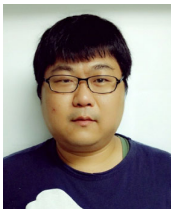
현장사례 중심의 상온 아스팔트 재생 공법의 소개



최 준 성 | 인덕대학교 토목환경설계과 교수
백 종 은 | 세종대학교 건설환경공학과 연구교수
김 민 성 | 인덕대학교 토목환경설계과

1. 서 론

포장 분야에서 재활용의 가장 중요한 목적은 기존의 도로에 사용된 재료를 도로 공사에 다시 사용하는 것이다. 재활용의 가장 큰 장점은 자원의 보존과 더불어 경제성이다. 상온 재생(Cold-mix recycling)은 현재 활용되는 다양한 종류의 재활용 방법 중 하나로 일반적인 포장 건설에 비해서 40~50%의 비용으로 안정적인 포장을 할 수 있는 것으로 알려져 있다. 상온 아스팔트 재생이란 상온 기층용 혼합물을 생산하기 위하여 회수 아스팔트 포장재료(Reclaimed asphalt pavement, RAP)가 신규 아스팔트나 재생첨가제와 섞이는 과정으로 정의된다.

아스팔트 포장의 재활용 방법은 여러 가지가 있다. 아스팔트 재생 방법들은 사용된 장비의 종류와 작업 깊이, 작업이 수행된 장소, 그리고 혼합과정에서의 가열여부 등에 따라서도 구분된다. 대표적으로 재생 작업의 형태에 따라 가열 재생(Hot-mix recycling) 공법과 상온 재생(Cold-mix recycling) 공법, 그리고 표면 재생(Surface recycling) 공법 등으로 분류할 수 있다. 또한 작업 장소에 따라서 분류하면 표면 재생 공법, 중앙 플랜트 재생(Central plant recycling) 공법, 그리고 현장 표면 및 기층 재생(In-place surface and base recycling) 공법으로 분류할 수도 있다. 하지만 가열 재생 방법은 중앙 플랜트 방식과 거의 유사하고, 상온 재생 방법은 현장 표면 및 기층 재생과 거의 비슷하므로 어떠한 방식으로 분류하여도 크게 문제는 없다고 할 수 있다.

일반적으로 상온 아스팔트 재생 공법이라 하면 중앙 플랜트 재생(Central plant recycling) 공법과 현장 상온 재생 (Cold-in-place recycling, CIR) 공법을 말한다. 중앙 플랜트 재생 공법은 생산의 높은 효율과 배합설계의 조절이 용이하도록 요구될 때 사용된다. 또한 RAP을 이용할 수 있을 때 또는 기존의 도로 포장이 어떤 이유 때문에 제거되어 현장 상온 아스팔트 재생이 불가피할 때 중앙 플랜트 재생 공법이 사용된다. 현장 상온 아스팔트 재생 공법은 기존의 도로 포장 재료를 현장에서 바로 재이용하는 기술이다. 이 공법에 사용되는 재료는 열을 가하지 않고 현장에서 혼합된다. 기존의 포장을 절삭, 파쇄,

평삭하여 얻어진 RAP에 신규 골재나 재생 첨가제 또는 두 가지 모두 첨가하고 포설 후 다진다.

상온 아스팔트 재생 공법은 대부분 기층에 적용되었지만, 표면과 기층을 포함한 포장의 파손 보정에도 사용되어 왔다. 가장 인기가 있는 방법 중의 하나는 유화 아스팔트와 상온 재생 혼합물의 안정화이다. 폼드, 유화, 컷백 아스팔트와 같은 아스팔트 재료에 더하여, 다른 타입의 첨가제는 플라이 애쉬와 포틀랜드 시멘트를 포함한다. 유화 아스팔트는 수화석회와 포틀랜드 시멘트와도 배합하여 사용되었다. 상온 아스팔트 재생 공법에 의해 개선된 표면 결함들은 반사균열 진행과 주행성에 영향을 미친다. 이 과정의 이점은 중요한 구조상의 개선이 포장도로의 수평이나 수직의 기하구조를 바꾸지 않고 이뤄질 수 있다는 것이다. 또한 도로의 기하구조와 구조적인 부분 등이 개선될 수 있고 모든 균열은 없어진다. 비록 적절한 공용성이 표층의 상온 중앙 플랜트 재생 혼합물로 얻어졌지만, 일반적으로 표면처리나 표층의 가열 아스팔트 혼합물 덧씌우기에 의해서도 적절한 공용성은 요구된다. 이러한 표층은 수분손상과 교통에 의한 손상으로부터 재생 기층을 보호한다.

2. 현장 상온 아스팔트 재생 (Cold-in-place recycling, CIR) 공법

아스팔트 포장 재료를 노면에서 재생하기 위하여 다양한 종류의 장비와 건설 기술이 사용되어 왔는데, 이러한 방법 중 가장 일반적인 형태가 현장 상온 아스팔트 재생 공법이다. 현장 상온 아스팔트 재생 공법은 기존의 도로포장 재료를 분쇄한 후 열을 가하지 않고 현장에서 바로 재이용하는 기술이다. 이 과정에서는 필요하다면 새로운 골재나 결합재를 첨가할 수도 있다. 일반적으로 새로운 아스팔트 재료로 덧씌우기를 하거나 아스팔트 표면을 보수했을 경우에는 재생된 포장의 구조적 강도를 증가시키기 위하여 물의 침입을 막고 교통량을 통제해야 한다. 그러나 이 방법은 노면에서 직접 수행되고 열을 가하지 않기 때문에 교통소통에 지장을 주지 않는다. 또한 현장 상온 재생 방법은 기존의 도로건설 장비를 이용하여 수행할 수 있으며, 아스팔트 재료가 노반 위의 제자리에서 재생되기 때문에 운반비용이 필요 없으므로 다른 재생 방법보다 에너지 소모가 적기 때문에 비용이 상당히 절약된다. 또한 현장 상온 아스팔트 재생 공법은 노후된 도로포장을 원하는 단면으로 되돌릴 수 있고, 기존의 바퀴 자국을 제거할 수 있으며, 노면에 솟아오른 부분과 횡단구배를 원상태로 되돌릴 수 있다. 또한 포트홀, 요철, 포장면의 거친 지점을 제거할 수 있으며 횡방향균열과 반사균열, 종방향균열들을 제거할 수 있다.

2.1 현장 상온 재생 과정

아스팔트 포장을 노면에서 재생하기 위해서 가장 먼저 해야 할 일은 기존 포장을 제거하는 것이며 그 다음이 회수된 포장 재료를 파쇄하고 분쇄하는 과정이다. 그리고 그 다음 공정은 필요한 경우에 재료를 추가하여 회수된 재료와 혼합하는 것이고 마지막으로 이것을 포설하고 다지는 것이다. 이러한 과정을 수행하는데 있어 단순한 장비로부터 상대적으로 복잡한 장비에 이르기까지 사용 장비는 매우 다양하다. 그러므로 재활용된 혼합물에 첨가할 새로운 결합재의 종류는 혼합의 형태와 포설과 다짐에 사용된 장비에 따라 조절해서 사용해야 한다. 기존 포장의 양과 품질은 포장의 제거와 파쇄과정에서 적절한 장비를 선택했는가에 좌우된다. 즉, 선택된 장비의 종류는 재활용량을 조절할 뿐만 아니라 재활용 과정에 관련된 비용에 커다란 영향을 끼친다.

현장 상온 아스팔트 재생 공법은 2가지 방법으로 수행할 수 있다. 전단면 재생공법과 부분 단면 재생공법이다. 전단면 재생은 아스팔트와 보조기층을 모두 분쇄하고, 바인더를 혼합한 후 안정화 기층으로 사용한다. 부분 단면 재생공법은 보통 50~100mm의 아스팔트 층을 대상으로 일반적으로 교통량이 적

거나 중간 정도인 도로의 기층 공사에 사용한다. 상온절삭 기술의 향상으로 전단면 재생공법은 하부 입상재료의 상당 부분에도 적용할 수 있게 되었다. 결과적으로 미국의 아스팔트 재생 및 재활용 협회에서는 현장 상온 아스팔트 재생공법을 부분 단면 재생공법(75~100mm)으로 정의하고 전단면 재생공법은 다른 절차를 갖는 전단면 보수공법으로 정의한다.

현장 상온 아스팔트 재생 공법의 단계는 건설지역의 준비, 기존도로의 절삭, 재생 첨가제와 신규재료의 첨가, 포설, 다짐, 표층의 포설이다. 현재 두 가지의 다른 방법이 현장 상온 아스팔트 재생 공법에 사용된다. 그 방법은 단일 장비 또는 일괄공정 장비조합을 사용하는 방법이다.

2.1.1 단일 장비

단일 장비나 일괄공정 장비는 일괄공정 동안 깨고, 파쇄하고, 재생 첨가제를 첨가하는 작업을 수행한다. 그림 1은 현장 상온 재생 공법을 위한 단일 장비의 일례를 나타낸다. 그림에 나타난 바와 같이 먼저 유화제를 주입하고, 이를 파쇄된 아스팔트 콘크리트와 혼합한 후 스크리드(screed)로 포설한다. 이 종류의 장비는 단일 장비에 재생 첨가제를 공급하는 탱크와 함께 사용된다. 이 장비에서 재생 첨가제나 유화제는 절삭된 재료와 혼합되고, 마지막으로 스크리드로 1차 다짐을 한다.

그림 1. 단일 장비를 이용한 현장 상온 아스팔트 재생 공법 과정

2.1.2 일괄공정 장비 조합

일괄공정 장비 조합은 각각의 작동이 가능한 장비의 시리즈로 구성되어 있다. 주로 사용하는 구성요소는 상온 절삭기와 이동식 파쇄기, 이동식 플랜트 믹서와 포설장비이다. 그림 2는 이 장비 조합의 개요도를 보여준다. 파쇄기와 체가름기는 절삭장비로부터 나온 큰 재료를 파쇄하고 거른다. 그리고 처리된 재료는 재생 첨가제가 첨가된 퍼그밀에 투입된다. 혼합한 후 재료는 자주식 포설기기의 호퍼에 쌓이거나 고랑에 쌓인다. 만약 혼합된 재료가 고랑에 놓이면 포설을 위해 페이버가 끌어 올리게 된다.

그림 2. 일괄공정 장비 조합을 이용한 현장 상온 아스팔트 재생 공법 과정

2.2 현장 상온 재생 아스팔트 배합설계

일반적인 가열 아스팔트 혼합물과 같이 상온 재생 아스팔트 혼합물도 안정적인 공용성을 확보하기 위해서는 반드시 적절한 설계 방법으로 만들어져야 한다. 상온 재생 아스팔트 혼합물의 경우 공정과정에서 발생하는 물 또는 휘발성 물질과 느린 바인더 연화율 때문에 특별히 양생과정에서 시간과 온도의 영향을 받게 된다. 그래서 배합설계 시 노화된 바인더의 경도(Consistency)의 감소량과 시간과 같은 혼합물의 물성 변화를 적절하게 고려하여야 한다. 현재까지 제대로 된 상온 재생 아스팔트 혼합물에 대한 표준 설계방법은 없지만 일반적으로 그림 3과 같은 단계로 배합설계를 실시하고 있다. 이러한 배합설계의 첫 번째 단계는 재료평가이다. 재료평가 단계는 현장 샘플링, 노화된 혼합물 구성, 그리고 노화된 아스팔트 바인더와 골재 성질의 결정을 포함한다. 이 단계의 중요한 목적들 중 하나는 노화된 혼합물의 부족분을 확인하고 신규재료의 필요분을 결정하는 것이다.

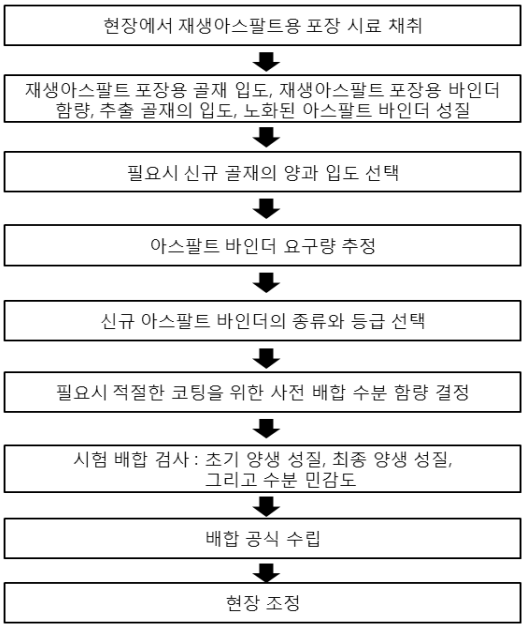


그림 3. 상온 재생 아스팔트 혼합물의 배합설계 흐름도

3. 대표적인 상온 아스팔트 재생 공법의 시공사례

3.1 미국 뉴멕시코

1984년 뉴멕시코주의 64번 국도에 현장 상온 재생 아스팔트 공법이 적용되었다. 기존의 포장은 150mm 두께의 모래와 자갈 기층 위에 75mm 두께의 가열 아스팔트 콘크리트로 구성되어 있다. 기존 포장의 표면에는 중~상위 수준의 심각한 횡방향균열, 수축균열, 피로균열(그림 4.a)과 소성변형, 패칭이 광범위하게 발생되었다. 현장 상온 재생 아스팔트 공법은 100mm 깊이까지 적용되었다. 폴리머 고유동 유화제가 1-3%의 함량으로 사용되었다. 재생첨가제의 함량은 실내 배합설계에 근거하여 결정되었으나 현장조건에 맞게 조정되었다. 표층에는

(a) 기존 도로의 상태

(b) 초기다짐용 공기압축 타이어 롤러

그림 4. 뉴멕시코주 64번 국도에 적용된 상온 아스팔트 재생 공법

100mm 두께의 가열 아스팔트 콘크리트가 기층위에 사용되었다. 재생 아스팔트 공법에 사용되는 장비는 절삭장비, 파쇄기, 믹서, 페이버로 구성이 되었다.

절삭장비는 기존의 도로를 절삭하여 파쇄기로 운반되었다. 이 장치에서 절삭된 폐아스콘은 크기별로 분류되었다. 절삭된 폐아스콘의 최대 크기는 32mm 이었다. 크기별로 분류된 폐아스콘은 믹서에서 유화제와 혼합되었는데, 이때 유화제는 트럭을 통해 공급되었다. 그 다음 믹서는 재생 아스팔트 혼합물을 고랑에 포설하였고 페이버로 고랑에 놓인 혼합물을 끌어올려 스크리드로 포장을 실시하였다. 초기 다짐에는 그림 4.b와 같이 30톤의 타이어 롤러가 사용되었고, 최종 다짐에는 철륜 롤러가 사용되었다. 공용 후 12년이 지난 1996년에 표면 상태를 조사한 결과 양호한 것으로 나타났다.

3.2 미국 펜실베니아주

1985년 5월 미국 펜실베니아주의 머서 카운티의 I-79 고속도로 서쪽에 위치한 208번 지방도에 현장 상온 재생 아스팔트 공법이 적용되었다.

여기에 사용된 장비는 그림 5와 같이 유화제 탱크, 절삭기, 파쇄기, 믹서, 페이버로 구성되었다. 기존의 도로를 75mm 절삭하여 얻어진 폐아스콘 중 38mm 크기의 입도조정용 스크린을 통과하지 못한 것은 크기를 줄이기 위해서 컨베이어를 통해 파쇄기로 투입되었다. 현장에서 발생한 폐아스콘에 CSS-1h 유화제를 적절한 분산효과를 얻기 위해서 50 대 50의 비율로 물과 희석시킨 후 혼합되었다. 여기서 사용된 유화제의 함량은 재생 아스팔트 혼합물 중량 대비 약 3% 정도이다. 이 사업에서 사용된 현장 상온 재생 아스팔트 혼합물의 입도는 실내에서 생산된 재생 아스팔트 혼합물보다 더 조밀한 것을 나타났다. 다짐작업에는 진동롤러와 타이어롤러가 사용되었다. 이 도로의 일평균교통량이 2000~3000대이기 때문에 현장 재생 아스팔트 기층위에 90mm 두께의 가열 아스팔트 표층이 덧씌워졌다.

완공 1년 후인 1986년에 도로 상태를 조사한 결과 양호한 것으로 나타났다.

그림 5. 펜실베니아주 208번 국도에 적용된 현장 아스팔트 재생 공법 시공 현장

3.3 미국 메릴랜드주

미국 메릴랜드주 볼티모어 카운티의 파손된 도로를 보수하기 위해 현장 상온 재생 아스팔트 공법이 시행되었다.

기존 도로에는 그림 6.a와 같이 온도균열, 소성변형, 종단 평탄성 불량 및 거북등균열과 패칭이 발생하였다. 기존 아스팔트 도로는 하나의 공정으로 절삭되고 신규 아스팔트와 혼합되었다. 그 후 바로 페이버에 적재되고 요구된 깊이로 다시 포설되었다. 그림 6.b와 같이 재생된 아스팔트 혼합물은 큰 문제없이 이동되었으며 차량들은 제한된 차선과 속도로 건설장비 주변을 통행하였다. 재생 아스파트 혼합물은 7일간 양생되었다. 차량은 새로 이 구간을 제한없이 통행하도록 허용되었다. 이상적인 다짐을 하기

위해, 30톤의 공기압축 타이어 롤러와 12톤의 철륜 진동식 롤러가 사용되었다.

(a) 기존 도로의 상태

(b) 재생 장비 구성

그림 6. 메릴랜드주에 적용된 상온 아스팔트 재생 공법

4. 미국 각 주의 시방서와 품질관리/품질보증 사례

현장 상온 아스팔트 재생 공법에는 두 가지 유형의 주요한 시방서가 있다. 공법에 관한 시방서는 사용되는 장비와 모든 작업과정에 대해 규정하고 있다. 결과에 관한 시방서는 완성된 포장에 대한 몇몇 실험 결과에 과한 관리 한계를 정해 놓고 있지만, 다른 재생 과정과 마찬가지로 상온 재생공법에서도 시공방법과 최종결과를 규정한 시방서로 작업하는 것이 좋다. 이는 합리적인 비용으로 좋은 품질의 포장을 얻을 수 있도록 사용 기관, 도급자, 장비 생산자의 경험과 전문지식을 효과적으로 이용할 수 있게 해준다. 보통 상온 재생에서 재료의 성질들에는 큰 변동이 있기 때문에 상온 재생에 관련된 시방서는 공법보다는 결과에 초점을 맞추고 있다. 예를 들면, 재생 혼합물이 시방서 기준에 만족한다면 현장 배합 혹은 플랜트 배합이 가능하며 절삭 깊이와 재생아스팔트용 포장재의 입도가 시방서의 요구 허용치만 충족한다면 어떤 유형의 절삭장비나 파쇄장비를 사용해도 될 것이다.

재생아스팔트용 포장재의 최대 입경은 보통 대부분의 기관들에 의해 규정되어 있다. 절삭되거나 파쇄된 재료의 최대 입경은 기존 포장의 최대 입경, 그리고 절삭 깊이의 함수이므로 이러한 요구조건은 재생 공정을 느리게 할 수 있다고 알려졌다. 그럼에도 불구하고 이러한 요구조건은 평탄하고 균일한 포설작업에 필수적이다. 기존 포장 재료의 입도는 골재의 입도에 관련된 시방서를 작성할 때 반드시 고려되어야 한다. 상온 재생 혼합물 고유의 변동 때문에 모든 크기의 체를 이용하여 골재 입도를 결정하는 것은 좋지 않다. 하지만 상온 재생에 사용되는 장비는 정해진 깊이까지 포장을 절삭할 수 있는 능력이 있어야 한다.

상온 재생에서 다음으로 중요한 점은 아스팔트 재생 첨가제에 대한 시방서이다. 재생 첨가제는 유화아스팔트와 같은 여러 유형의 아스팔트 바인더를 규정하고 있는 AASHTO, ASTM이나 주 정부의 시방서를 만족시켜야 한다. 또한, 재생첨가제를 주입하는 장비는 재생혼합물의 총 바인더 함량이 허용 오차범위 내에서 현장 배합식에서 얻은 양과 동일하도록 정확한 양을 첨가할 수 있어야 한다. 시방서는 사전 혼합수의 정확한 양에 대해서도 명료한 지침을 포함하여야 한다. 일반적으로 사용되는 재생아스팔트용 포장재의 양에 관한 한계는 정해져 있지 않지만 사용되는 모든 새로운 재료는 모두 시방서의 내용을 충족하는지 확인하기 위한 실험이 필요하다. 현장 배합식의 수립에 대한 책임과 요구되는 샘플링 절차, 실험방법, 혼합물 설계에 필요한 설계기준들은 시방서에 명료하게 기술되어 있어야 한다.

재생혼합물의 입도나 아스팔트 함량에 대한 조정은 재생 혼합물을 대상으로 수행하는 추출 시험의 결과를 바탕으로 이뤄진다. 용매를 사용하는 일반적인 기법(환류, 원심분리, 진공)은 많은 도로 기관에 의해서 점차 사용되지 않고 있다. 재생 혼합물의 아스팔트 함량과 골재의 입도는 최근에 개발된 연소법에 의해 결정할 수 있다. 다져진 층의 밀도는 시방서에 또 다른 하나의 중요한 시험 물성이다. 밀도는 이론 최대밀도에 대한 백분율이나 실내 밀도 혹은 목표 밀도로서 규정될 수 있다. 실내 밀도의 사용보다는 이론 최대밀도의 사용이 권장되는데, 그 이유는 실내에서의 다짐과 현장에서의 다짐 사이에는 온도, 액체의 함량 등 여러 조건에서 상당한 차이가 있기 때문이다. 기존 포장 재료의 변화로 발생하는 문제점에 대한 방안으로 다짐 유형에 따른 목표 밀도에 대한 시방이 제안되었다. 밀도 규정에 관한 시방서를 결정할 때 유사한 재생 유형이나 환경적인 조건에 대한 사전 경험이 반드시 고려되어야 한다.

4.1 뉴멕시코주

뉴멕시코주의 현장 상온 아스팔트 재생공법에 관한 시방서는 재료, 장비, 시공 상의 요구조건들을 기술하고 있으며 유화제의 종류와 재생 재료의 입도가 규정되어 있다. 회전날과 믹서에 아스팔트를 공급하는 펌프에 대한 설명이 제시되어 있으며, 페이버와 다짐장비의 운영에 요구되는 기준도 언급되어 있다. 시공 요구조건에 맞는 최소 기온과 유화아스팔트의 첨가비율 또한 규정되어 있다.

4.2 오레곤주

오레곤주의 시방서는 재상아스팔트용 포장재의 최대크기, 시공 장비와 방법에 대한 요구사항을 기술하고 있고 평삭 장비, 파쇄기, 믹서를 포함한 재생장비 조합의 구성에 대한 요구사항이 기술되어 있다. 재생을 하기 적합한 기상조건을 비롯하여 유화아스팔트 시멘트의 온도, 혼합, 다짐에 대한 요구사항 또한 명시되어 있다. 현장 상온 아스팔트 재생 포장의 초기 다짐과 재다짐의 공법 시방서도 제공된다.

4.3 펜실베니아주

펜실베니아주 교통국은 현장 상온 아스팔트 재생의 결과 시방서를 제공한다. 장비의 유형에 관한 일반적인 지침들이 제공되며, 혼합작업과 상온 재생 혼합물(플랜트)의 운반과 관련된 요구사항이 주어진다. 혼합플랜트에 대한 요구 기준을 비롯하여 다짐 작업 시 다져진 층의 최소 두께와 최대 두께가 명시된다. 다짐 작업과 다짐 유형을 수립하기 위한 관리선도의 사용에 관한 지침도 제공된다. 펜실베니아주에서는 상온 재생 공법에 관하여 다음과 같은 지침들이 권장된다.

(1) 양생 시 문제가 있을 수 있기 때문에 현장 상온 아스팔트 재생 혼합물은 75~100mm 깊이 이상으로 포설하면 안되고, 시공 동안 분리되는 문제가 생길 수 있으므로 50mm 깊이보다 얕아서는 안된다. 하지만 포틀랜드 시멘트나 C급 플라이 애쉬를 아스팔트 유화제와 함께 사용할 때는 150mm 깊이까지 가능하다.
(2) 처음 이틀 혹은 삼일 내에 재생 혼합물의 연화(softening)가 발생할 수 있다. 몇몇 기관에서는 이때 밀도를 증가시키기 위해 재다짐을 실시한다.
(3) 초기의 과도한 다짐은 문제를 일으킬 수 있다. 하지만 뉴멕시코주와 펜실베니아주를 포함한 여러 주는 시공 후에 재다짐을 하지 않는다.
(4) 다짐 후 최소 두 시간 동안 차량의 통행은 허가되지 않는다.
(5) 만약 차량의 통행으로 인해 표면에 파손이 발생하면 포그실을 바로 시공해야 한다.
(6) 시공 후 24시간 이내에 내린 비는 사용된 유화아스팔트의 종류에 따라 공용성에 문제를 일으

킬 수 있다.

(7) 수분함량을 1~1.5% 내로 줄이기 위해 표층을 포설하기 전에 양생을 해야 한다. 여름에는 보통 7~14일 동안 양생한다. 추운 계절의 시공은 공용성 문제를 야기할 수 있다.

(8) 밀도 관리와 관련된 문제는 일반적으로 발생하며 방사능 밀도 측정기는 상대적인 수치를 제공한다. 코어는 적절한 양생(약 1년)없이는 얻지 못할 수도 있다. 결과적으로 혼합물 설계에 대한 마지막 조정은 시공 동안에 이루어져야 한다고 언급되어야 한다. 기관의 60%가 경험과 작업성의 조합에 근거하여 조정하였다고 최근 조사에서 가리키고 있다.

5. 현장 상온 아스팔트 재생 공법의 현주소

위에 소개된 사례 외에 미국 연방도로국에서 3개주(뉴욕, 네바다, 캔사스)에서 실시한 사례로부터 현장 상온 아스팔트 재생 공법에 대한 주요 요점 및 현장 적용성, 문제점, 그리고 향후 주목해야 할 사항들은 다음과 같다.

5.1 주요 요점

5.1.1 뉴욕

- CIR 공법은 지난 30여 년간 주로 상태가 양호한 기존 도로의 유지보수를 위해서 사용되었다.
- 40mm 두께의 덧씌우기 층을 가지는 100mm 재생기층의 수명은 약간의 유지보수가 이루어질 경우 약 10~15년 정도로 나타났다.
- CIR 공법은 1991년 이후로 약 300여 건의 프로젝트에 적용되었고, 1999년 이후로는 연평균 일교통량(AADT)/8,000대 수준의 도로에 연간 평균 2백만m^2가 적용되었다.
- 또한 시방서 개발, 정보 교환, 교육을 위한 많은 지원을 받을 수 있었다.

5.1.2 네바다

- 네바다 교통국(Nevada Department of Transportation, NDOT)은 CIR 공법을 지난 20여 년간 성공적으로 사용하였다.
- CIR 공법과 전단면 재생공법은 기존의 방법과 비교해서 장수명 포장 공법으로 NDOT는 6억 달러의 비용을 절감할 수 있었다.
- NDOT는 CIR 공법을 1997년 이후에 전체 시스템의 11%인 약 1,200km 연장의 도로에 적용하였다.
- CIR 공법은 기존 도로가 구조적으로 건전한 상태라면 하중과 상관없이 발생한 기능적 결함이 발생한 도로의 보수 공사에 적합한 공법이라고 추천한다.
- NDOT에서 실시하는 일반적인 CIR 공법은 75mm 두께를 가진다. 여기에 만일 교통량이 300,000 ESALs 보다 클 경우 추가적으로 구조적인 덧씌우기가 요구된다. 교통량이 500,000 ESALs 보다 큰 도로에는 Open graded friction coarse(OGFC)가 사용된다. 또한 일일 교통량(ADT)이 최대 400대 까지는 Double-chip seal 공법이 사용된다.
- NDOT는 배합설계를 위한 실내 시험을 실시하지 않는 대신에 네바다 대학교의 연구결과를 이용한다.
- 일반적으로 CMS-2S의 현장 적용률은 1.0~1.5% 사이에서 결정되고 필요 시 시공사의 경험에 의하여 현장 조정이 이루어진다.
- NDOT는 현장 공용성 시험 결과를 바탕으로 CIR 공법으로 시공된 층의 표준구조층계수를 0.28로 사용한다.

5.1.3 캔사스

- 캔사스 교통국(Kansas Department of Transportation, KDOT)은 1977년 이후 거의 30여 년간 CIR 공법을 성공적으로 사용하였다.
- 이러한 공법을 사용한 도로에서 주로 발견된 포장 파손은 조기 전단면 균열, 노상 강도 저하, 횡방향 균열로 인한 승차감 불량 등이다.
- 캔사스에서는 우수한 품질의 골재 수급 문제와 아

스팔트 스트리핑 문제로 인하여 CIR 공법이 매우 중요하게 적용되었다.
- CIR 공법은 포장의 평탄성을 비약적으로 향상시켜서 전국에서 승차감 측면에서 5위 안에 들어갈 만큼 우수한 도로포장을 건설할 수 있었다.
- 캔사스는 활용할 수 있는 신규 골재가 매우 부족하기 때문에 기존의 아스팔트 포장을 CIR 공법을 이용하여 재사용하는 것을 적극적으로 사용하였다.
- 캔사스는 1992년 10월 이후에 이러한 프로젝트의 철저한 관리를 위하여 Bid Tab 시스템을 구축하였다.
- KDOT는 현장 시험을 실시하고, SemMaterials 사는 배합설계, 현장 시공 조정 및 기술적인 조언을 제공하였다.
- 3%의 PG 58-28 등급의 유화아스팔트와 1.5% 석회석을 사용한 100㎜ 두께의 CIR 층에 38㎜ 두께의 덧씌우기 층을 가지는 도로의 기대 수명은 약 7년이다.
- CIR 공법은 100㎜ 두께의 HMA 덧씌우기에 비하여 약 45% 저렴한 것으로 나타났다.
- 이러한 CIR 공법의 성공은 KDOT의 관리와 유화 아스팔트 공급회사 및 시공회사와의 원활한 유대관계가 있어서 가능하였다.
- CIR 공법을 전문으로 하는 시공사는 많은 자본을 장비구축에 사용하였고 이를 통하여 높은 수준의 시공기술을 확보하였다.
- CIR 층의 구조계수는 0.25~0.28로 가정하였다.

5.2 주요 현장 경험

5.2.1 뉴욕
- 유화 아스팔트 공급회사와 주정부와의 긴밀한 관계가 중요하다.
- 모든 종류의 책임소재를 명확하게 할 수 있는 시공 및 감리에 기준이 필요하다.
- 시험포장을 위한 회의뿐만이 아니라 실제 현장에 공사를 하기 전에 지속적인 주간회의가 필요하다.
- 뉴욕주 교통국이 배합설계를 개발하였는데, 여기에서는 최대 20%의 골재 추가량을 결정하거나 시공사 또는 관리자가 최소 3%의 유화 아스팔트 함량을 포함할 수 있게 되었다.
- CIR을 실시하고 덧씌우기를 실시하기 전에 7일간 교통개방이 필요하다.
- 가능하다면 CIR 장비를 교통 흐름 방향에 반대로 작동한다. CIR 공법이 표준 포장 공법으로 간주된다.

5.2.2 네바다
- 네바다에서 CIR 공법을 표준으로 채택한 이상 CIR 공법의 성능 향상을 위해서 지속적으로 노력하였다.
- NDOT는 CIR 기층을 가열 아스팔트 층 보다는 아스팔트 처리 기층으로 취급한다.
- NDOT는 승차감에 대한 규정을 캘리포니아 프로파일러를 이용하여 측정하고, 덧씌우기가 있는 경우에는 8㎝/km, 덧씌우기가 없는 경우에는 16㎝/km로 규정하고 있다.
- NDOT는 지속적인 대화를 통화를 통하여 CIR과 관련된 모든 기관과 매우 좋은 유대관계를 맺고 있다.
- NDOT는 CIR 과제와 관련된 모든 사람에 대하여 2시간의 교육을 필수 사항으로 하고 있다.
- Lime slurry를 추가하는 것이 CIR 공법의 성능 개선에 도움이 되었다.
- NDOT는 최종 규정을 가지고 있고, 이에 맞추어 시공사는 품질관리와 현장 조정을 실시한다.
- NDOT는 시공사가 최소 10일에서 최대 45일의 양생과정 후에 CIR 층에 덧씌우기를 실시하도록 규정하고 있다.
- NDOT는 최적 다짐을 결정하기 위하여 생산 첫 날에 300m 구간에 대하여 상대 밀도를 측정한다.
- CIR 공법에 사용되는 장비들이 정상적으로 작동하는지-예를 들어 유화 아스팔트 살포량, 골재 운반량 등-를 확인하기 위하여 과제 실시 이전에 장

비에 대한 Calibration을 실시한다.
- NDOT는 지속적으로 모든 CIR 과제를 모니터링하고 모든 데이터를 네바다 대학과 NDOT 재료과에 보고한다.
- NDOT는 CIR과 관련된 연간 과제 목록을 매월 확인할 수 있게 게시한다. 이러한 것을 통하여 시공사는 향후 CIR 공사를 예측하기 쉽게 할 수 있다.

5.2.3 캔사스
- 유화 아스팔트 공급사, CIR 시공사, 그리고 KDOT의 유대관계가 중요하다.
- KDOT는 주로 기존의 HMA 포장에 대하여 100mm 두께의 CIR 층 위에 PG 64-28에서 PG 76-28 등급의 아스팔트 바인더를 사용한 38mm 두께의 표층을 덧씌운다.
- Lime slurry를 포함한 유화 아스팔트를 사용하면 전체적인 성능을 개선할 수 있었다. 여기서 Lime slurry는 초기 강도 및 박리방지제로 작용하고, 유화 아스팔트는 부착력을 제공한다.
- 적절한 과제를 선택하는 것이 우수한 CIR 장비사용과 시공성에 좋은 결과를 나타내었다.
- KDOT는 뉴멕시코주로부터 양호한 골재와 불량한 지반에 대한 지질학적 조건에 대한 규정을 습득하였다.
- CIR 공법에 대한 KDOT의 승차감과 관련된 규정으로 인하여 전체적으로 우수한 품질의 도로를 건설할 수 있었다.
- KDOT는 기준 밀도를 설정하기 위하여 시험포장을 이용한다.

5.3 극복해야 할 장애요소

5.3.1 뉴욕
- 지식의 부족, 성능에 대한 우려, 시공 과정과 같은 불안 요소들을 시공사와 뉴욕주 교통국 관계자들에 대한 교육을 통하여 극복하였다.
- 물량, 가격, 조건 등에 대한 개별 조항에 대한 계약, Office of General Services (OGS)를 이용한 혁신적인 계약

5.3.2 네바다
- NDOT의 경우 현재 CIR 공법 이전에 연약한 노상에 관한 문제
- 일교통량이 400대 이상인 경우 칩씰보다는 구조적인 덧씌우기가 고려된다.
- NDOT 기존 포장의 두께가 일정하지 않은 것에 대한 문제가 발생하여 포장 폭 전체에 대하여 코어를 채취하여 두께를 정확하게 파악하는 것이 성공적인 절삭에 중요하다.
- 지식의 부족, 성능에 대한 우려, 시공 과정과 같은 불안 요소들을 시공사와의 교육을 통하여 극복하였다.

5.3.3 캔사스
- 초기에 시도하였던 다양한 노력들-예를 들어 다양한 유화 아스팔트 종류, 건조 석회석, 다양한 조유의 아스팔트 바인더 등급-이 전체적인 CIR 공법 과정과 주어진 포장, 토질, 기후환경에 대하여 어떤 것을 사용해야하는 지를 이해하는데 많은 도움이 되었다.
- 플라이 애쉬의 성능이 바람직하지 않은 것으로 나타났다. KDOT는 이 문제를 lime slurry와 유화 아스팔트를 사용함으로서 극복하였다. 따라서 플라이 애쉬는 2001년 11월부터 사용되지 않고 있다.
- KDOT는 연약한 노상이 위치한 지역을 구별함으로서 과제 선택 방법을 개선하였다.
- 조기에 setting되는 유화 아스팔트를 사용함으로서 조기 ravelling과 러팅 문제를 해결하였다.
- KDOT는 조기에 setting되는 유화 아스팔트를 사용하여 습기가 많은 기후 조건에서 발생하는 문제들을 개선하였다. 빠른 양생속도가 비로 인한 문제를 줄여준다.

5.4 현재의 쟁점 사항

5.4.1 뉴욕

- 국가차원에서 공식적으로 인정받는 배합설계 방법이 없다.
- 공사의 관리 감독을 할 수 있는 시험 방법이 없다.
- 교통량이 8,000 AADT 보다 적은 저교통량 도로에 사용이 제한되어있다.
- 시공사의 기술과 전문지식에 의존성이 높다.
- CIR 공법은 대학 교육과정과 같은 전통적인 교육과정에서 다루어지지 않는다.
- 밀도에 대한 규정이 없다.
- 시공사 입장에서는 장비에 들어가는 자본이 많고 충분한 공사 물량이 부족하다.

5.4.2 네바다

- 미국 서부에서 CIR 공법을 수행할 수 있는 시공사가 제한되어 있어서 많은 주에서 시공계획을 잡기가 어렵다.
- 시공사는 숙련된 기술자를 유지하기가 어렵다.
- 20여 년간의 경험에도 불구하고 일부 NDOT와 시공사 관계자들은 CIR 공법의 사용을 꺼려한다.
- 야간공사가 예상되는 과제에서는 온도 조절에 어려움이 있어서 사용할 수 없다.
- 도심지에서는 CIR 공법에서 필요한 양생 시간을 확보하기 어렵다.

5.4.3 캔사스

- CIR 공법을 적용할 수 있는 공사가 부족하다.
- KDOT는 50mm 두께의 CIR과 전통적인 100mm 두께의 포장에 대하여 비용과 성능에 대한 비교 연구를 하고 있다.
- KDOT의 승차감에 대한 규정이 우수한 품질의 CIR 공법을 유도하고 있다.

5.5 미래를 위한 요구사항

각 주에 CIR 공법의 보다 많은 사용 또는 CIR 공법을 사용하지 않는 다른 주나 사용하더라도 제한이 많은 주에게 필요한 것이 무엇인지에 대하여 물어본 결과, 다음과 같이 대답하였다.

5.5.1 뉴욕

- 과거 연구, 특히 장기 공용성에 대한 종합 보고서가 필요하다.
- 교통량이 많은 곳에 적용한 CIR 공법에 대한 결과가 필요하다.
- CIR 공법은 포장 예방과 유지관리 기술로 사용되어야 한다.
- CIR 공법위에 실시한 칩씰 공법에 관한 기술이 필요하다.
- 플라이 애쉬 또는 시멘트와 같은 미립분의 사용과 공용성에 미치는 영향에 대한 분석이 필요하다.
- CIR 공법 과정에 필요한 변수, 예를 들어 유화 아스팔트 살포량과 같은 적절한 변수에 대한 정보가 필요하다.
- 포장구조계수

5.5.2 네바다

- NDOT는 모든 과제에서 요구되는 CMS-2S 바인더를 대체할 수 있는 제품, 예를 들어 Reflecx 또는 PASS에 대한 평가를 마칠 것이다.
- NDOT는 다른 종류의 바인더 사용에 관한 경험이 있는 다른 주의 경험을 배우고 싶다.
- NDOT는 최근에 I-80 고속도로 중 약 1개 차선 19km 연장에 대하여 CIR 공법을 적용하였고, 이 구간의 교통량은 7,000 ADT와 6%의 증가율, 40%의 트럭교통량을 가지고 있다. 현재 공용성 평가가 진행중에 있다.

5.5.3 캔사스

- 포장 기술자와 컨설턴트, 정부 관계자에 대한 더 좋은 교육과 뒷받침이 필요하다.
- 과제 연구에 대한 국가적인 종합 보고서가 필요하다.

- CIR 공정의 개선을 위하여 쇄석이나 RAP을 추가한 방법에 대한 연구가 필요하다.
- 장기 공용성에 대한 연구 결과가 필요하다.
- 교통량이 많은 곳에 적용한 CIR 공법에 대한 결과가 필요하다.
- CIR 공법에 적용할 수 있는 칩씰 또는 유사한 종류의 표면 처리 공법의 성능에 관한 연구결과가 필요하다.
- 양생과정
- 산업체, 시공사, DOT간의 서로의 경험을 공유할 수 있는 파트너쉽이 필요하다.
- 수분함량에 대한 규정, 덧씌우기 규정이 필요하다.
- 미립분의 사용과 효과에 관한 연구가 필요하다.
- 자본이 많이 투자된 시공사와 숙련된 기술자를 유지하기 위하여 충분한 물량의 공사가 확보되어야 한다.
- CIR 공법을 위한 AASHTO 규정이 필요하다.

참고 문헌

1. 친환경 재생아스팔트 포장기술, 도로기술시리즈 3, 한국도로학회, 구미서관, 2011.
2. L. E. Santaucci and M.T. Hayashida. Design and Testing of Cold-Recycled Asphalt Mixes, Proceedings of AAPT, Vol. 52, 1983.
3. Asphalt Cold-Mix Recycling, The Asphalt Institute Manual Series No. 20 (MS-20), Second Edition, 1986.
4. Asphalt Cold-Mix Recycling, The Asphalt Institute Manual Series No. 21 (MS-21), Second Edition, 1986.
5. Cold In-place Recycling (CIR), Executive Summary and Purpose of Review.
6. Cold Recycling of Asphalt Pavement-Mix in Plant, Swedish National Road and Transport Research Institute, 2002.
7. Guidelines for Cold In-Place Recycling, Asphalt Recycling and Reclaiming Association, Annapolis, MD, 1991.
8. Pavement Recycling Guidelines for Local Governments - Reference Manual, Report No. FHWA-TS-87-230, FHA, U.S. Department of Transportation, Washington DC, 1987.
9. Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments Participant's Reference Book, Publication No. FHWA-SA-98-042, 1997.

학회지 광고접수 안내

본 학회지에 게재할 광고를 모집합니다. 우리 학회지는 계간으로 매회 2,100부를 발간하여 회원과 건설관련 기관에 배포하고 있습니다. 회사 영업신장과 이미지 제고를 원하시는 업체는 우리 학회지를 이용하시기 바랍니다.

광고료 : 표2 · 표3 · 표4(300만원) · 간 지(200만원)
※ 상기금액은 연간(4회)광고료임.

사단법인 **한국도로학회**

전화 (02) 3272-1992 전송 (02) 3272-1994