

## 재생포장용 아스팔트 혼합물의 배합설계 방법에 관한 고찰



김 주 원 | 참여회원 · 전 학회 회장  
 노 성 환 | 정회원 · (사)한국재생아스콘협회 이사

### 1. 머리말

아스팔트포장에서 신설할 때 사용한 아스팔트 콘크리트는 세월과 함께 노후되어 파손에 이르고, 파손된 포장은 보수할 때, 포장폐재가 발생한다. 이 폐재에는 골재와 아스팔트가 혼합되어 있으나, 골재는 신설 때와 거의 같은 성상을 갖고 있어, 재활용할 수 있으며, 아스팔트는 노화된 상태를 신재 아스팔트나 재생첨가제를 첨가하여 어느 정도 재생할 수 있는 것이 오래전부터 알려져 있다.

노후된 포장을 재생하여 포장하는 공법에는 포장폐재를 아스팔트 재생플랜트에서 신재 아스팔트 혼합물과 동등하게 재생하는 플랜트 재생공법과 도로 현장에서 특수한 장비를 이용하여 재생하는 제자리 재생공법(Repave방식, Remix방식)이 있다.

현재 우리나라에서 주로 활용되는 플랜트 재생공법에서 노후된 포장폐재를 재생할 때 적용하는 배합설계방법에 대하여 고찰해본다.

우리나라에서 생산되는 아스팔트 혼합물은 연간 약 3천만 톤에 이르며, 도로공사 등으로 발생하는 아스팔트 콘크리트 폐재는 연간 1,200만 톤(2009년)

이나, 그중 재생하여 혼합물에 재활용되는 비율은 약 2%에 이르고, 나머지는 성토나 복토용으로 쓰였다. (건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률의 개정에 따라 2009년 이후는 도로공사 및 재생아스콘으로만 사용 가능)

일본에서는 1992년의 8천만 톤의 아스콘 생산을 정점으로 해마다 줄어들어 2009년에는 약 4,935만 톤의 생산실적을 나타내었으며, 이 중 순환골재를 혼합한 재생아스콘이 73.4%를 차지하고 있다.

현재의 배합설계방법으로는 폐재에 들어있는 구재 아스팔트를 추출하여 그의 침입도를 측정하고, 그 침입도를 신재 아스팔트나 재생용 첨가제를 첨가하여 회복시키는 이른바 설계 침입도로 조정하는 방법에 따르고 있다<sup>1), 2)</sup>.

이 방법에서는, ① 구재 아스팔트를 추출하여 그의 침입도를 측정하는 방법이 번잡스럽고, ② 재생용 첨가제로 침입도를 조정할 때, 아스팔트가 연해져 소성변형이 크게 되는 일이 있다는 점으로, 2010년 11월에 발간된 일본 “포장재생편람”(개정판, 일본도로협회)에서는 위의 설계침입도로의 조정방법 외에 아스팔트 혼합물의 간접인장강도를 시험하여 설계 간접

인장계수로 조정하는 방법을 제시하고, 어느 방법을 활용하여도 좋도록 하고 있다.<sup>6)</sup>

여기에서는, 아스팔트 혼합물의 간접인장계수를 활용하여 재생가열 아스팔트 혼합물의 배합설계 방법을 소개하고, 이 방법을 이용하는데 있어 유의할 사항에 대하여 고찰해본다.

## 2. 아스팔트의 침입도와 포장의 수명

아스팔트포장의 신설에 사용하는 아스팔트 시멘트는 KS M 2201(스트레이트 아스팔트)에 의한 종류 중 침입도 80~100과 60~80의 것이 우리나라에서 주로 사용된다.

침입도시험은 포장용 아스팔트의 컨시스턴스를 측정하는 시험으로, 주어진 하중(100g), 주어진 시간(5초) 및 온도(25℃) 조건에서 표준침이 아스팔트 시료에 수직으로 침입한 거리를 0.1mm단위로 나타낸다.

이 침입도는 그림 1과 같이 아스팔트포장이 시공되고나서 시간이 경과함에 따라 노화로 인하여 점점 감소된다.

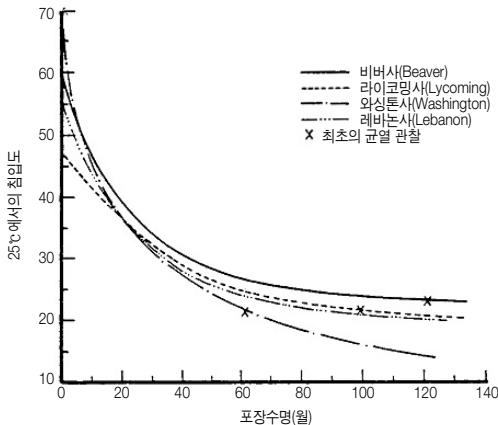


그림 1. 시간 경과에 따른 침입도의 변화<sup>7)</sup>

참고문헌 7)에서는 다음과 같이 결론을 내고 있다.

- ① 25℃에서의 침입도가 20 이하로 떨어지면, 매우 심한 포장 균열이 발생할 수 있다.

- ② 침입도가 20~30 사이에 있을 때는 약간의 균열이 발생할 수 있다.

- ③ 혼합물이 배합설계가 잘 되고, 적절한 다짐이 이루어지고, 아스팔트 침입도가 30을 훨씬 넘으면, 균열 발생에 대한 높은 저항성을 갖는다.

## 3. 설계침입도로 조정하는 방법에 의한 배합설계 방법

현재 주로 사용하고 있는 이 방법을 간략하게 그 흐름을 나타낸다.

### 1) 시료의 채취

적치장 또는 저장빈에서 대표적인 아스팔트 콘크리트 순환골재와 신규골재의 시료를 채취한다.

- 주) 도로포장 발생재로부터 얻어지는 폐 아스팔트 콘크리트를 파쇄, 체가름한 골재를 순환골재(循骨)라 한다. 여기에는 구재 아스팔트를 포함한다.<sup>3)</sup>

### 2) 순환골재의 재료시험

각 입도로 나누어진 순환골재에 대해 추출시험을 실시하고, 골재입도 및 구재 아스팔트 량을 측정하고, 순환골재의 품질을 확인한다(표 1).

표 1. 순환골재의 품질

구재 아스팔트 함량 (%)	구재 아스팔트 침입도 (25℃, 1/10mm)	0.08mm체 씻기시험 손실량 (%)	이물질 함유량 (%)	
			유기이물질	무기이물질
3.8 이상	20 이상	5 이하	1.0 이하	1.0 이하

### 3) 골재 배합비 및 합성입도의 결정

일반 아스팔트 혼합물의 배합설계와 같이 규정 입도와 적절한 입도곡선이 얻어지도록 순환골재와 신규골재의 배합비를 결정한다.

4) 회수 아스팔트의 침입도 측정  
순환골재에서 추출한 아스팔트로부터 침입도를 측정한다.

5) 설계 침입도로의 조정  
아스팔트 침입도를 조정하는 방법으로는 재생용 첨가제를 사용하는 방법과 신재 아스팔트만을 보충하는 방법이 있다.

- ① 재생용 첨가제를 사용하는 경우는, 회수한 아스팔트에 재생용 첨가제를 첨가하고, 설계 침입도가 되도록 첨가제량을 결정한다.
- ② 신재 아스팔트만을 보충하는 경우는, 예측되는 적합한 아스팔트량을 소정의 배합비율로 구제 아스팔트와 신재 아스팔트를 혼합하고, 설계 침입도에 적합하도록 신재 아스팔트의 양과 종류를 결정한다.

6) 마찰안정도시험의 실시  
마찰시험은 재생용 첨가제를 사용하는 경우와 사용하지 않는 경우로 나뉜다.

- ① 재생용 첨가제를 사용하는 경우, 소정량의 재생용 첨가제를 가하여 0.5% 간격으로 아스팔트량을 변화시킨 혼합물로 마찰시험용 공시체를 만들고, 밀도, 안정도(S) 및 흐름 값(F)을 측정하며 S/F를 구한다.
- ② 재생용 첨가제를 사용하지 않는 경우는 신재 아스팔트를 가하여 0.5% 간격으로 아스팔트량을 변화시킨 혼합물에 대하여 마찰시험을 실시한다.

7) 이론 최대밀도의 산출  
아스팔트량이 다른 각각의 공시체에 대하여 KS F 2366(역청 포장 혼합물의 이론적 최대비중 시험방법)에 따라 구하고, 이를 이론 최대밀도로 한다.

8) 최적 아스팔트량의 결정  
공극률 4%(표층)에 해당하는 아스팔트 함량을 선

정하고, 선정된 아스팔트 함량에 해당하는 마찰시험 결과가 설계 기준값에 합격하는지를 확인한 후 최적 아스팔트 함량을 결정한다. 최적 아스팔트 함량으로부터 구제 아스팔트량을 뺀 것이 신재 아스팔트량으로 된다.

#### 4. 설계 간접인장계수로 조정하는 방법에 의한 배합설계 방법

KS F 2382(아스팔트 혼합물의 간접 인장강도 시험방법)에 따라 마찰시험용 공시체를 양면 각 75회로 다져 만든 공시체를 20±1℃에서 5시간 양생한 후 지름방향으로 압축하여 파괴될 때의 하중(N) 및 변위량(mm)을 측정하고, 다음 식으로 간접인장강도와 간접인장계수를 구한다.

간접인장강도

$$\sigma_r(MPa) = \frac{2 \times P}{\pi \times d \times L}$$

여기에서, P: 파괴 시의 최대하중 (N)

d: 공시체의 두께(mm)

L: 공시체의 지름(mm)

간접인장계수

$$\text{간접인장계수 (MPa/mm)} = \frac{\sigma_r}{x}$$

여기에서, σ<sub>r</sub>: 간접인장강도 (MPa)

x: 최대하중까지의 변위량(mm)

이 방법은, 폴리머 개질 아스팔트를 사용한 경우나 순환골재를 사용한 재생 아스팔트 콘크리트를 다시 재생하는 경우의 배합설계에서 표 1의 순환골재의 품질에 벗어나는 경우에도 활용할 수 있다는 것이 일본 토목연구소와 일본아스팔트합제( )협회의 공동연구로 밝혀져 재생가열 아스팔트 혼합물의 배합설계방법으로 제안된 것이다.

설계 간접인장계수로 조정하는 방법에서는, 다음 사항에 유의한다.

- ① 일반지역에서는 재생가열 아스팔트 혼합물의 설계 간접인장계수가 0.60~0.90MPa/mm로 되도록 신재 아스팔트, 재생용 첨가제로 조정한다. 또한, 적설한냉지역에는 0.40~0.60MPa/mm로 한다.
- ② 부득이, 순환골재의 배합비를 10% 이하로 하는 경우는, 설계 간접인장계수로의 조정을 생략하여도 좋다.

1) 설계 간접인장계수로의 조정을 재생용 첨가제로 하는 경우

먼저 골재배합비를 결정하고, 재생가열 아스팔트 혼합물의 간접인장계수가 설계 간접인장계수에 적합하도록 재생용 첨가제량을 구한 후, 마찰안정도시험에 의해 기준치를 만족하도록 설계 재생아스팔트량을 결정한다. 또, 재생용 첨가제와 신재 아스팔트를 함께 사용하여 설계 간접인장계수로 조정하는 경우는 다음 방법에 따른다.

- ① 시료의 채취는 3.에 준하여 시행한다.
- ② 재료시험

각 입도로 나는 순환골재에 대해 추출시험과 간접인장강도시험을 실시하고, 골재의 입도, 구재 아스팔트 함유량 및 간접인장계수를 측정하는 동시에, 순환골재의 품질이 표 2에 적합한가를 확인한다.

또한, 신재 아스팔트, 재생용 첨가제 및 신규골재에 대해서도 품질을 확인한다.

표 2. 순환골재의 품질

구재 아스팔트 함유량(%)	구재아스팔트 침입도 (25℃, 1/10mm)	간접 인장계수 (MPa/mm)	0.08mm체 씻기시험 손실량(%)	이물질 함유량 (%)	
				유기물	무기물
3.8이상	20이상	1.70이하	5이하	1.0이하	1.0이하

- ③ 골재 배합비 및 합성입도의 결정은 3.에 준하여 시행한다.

- ④ 잠정 재생아스팔트량의 결정  
과거의 실적이나 신규 아스팔트 혼합물의 최적 아스팔트량 등을 참고하여 결정한다.
- ⑤ 설계 간접인장계수로의 조정  
그림 2와 같이, ③에서 결정한 배합비로 배합한 혼합물에 대하여, ④에서 정해진 잠정 재생아스팔트량의 구재 아스팔트량에 대한 재생용 첨가제량을 바꾸어 간접인장시험을 실시하고, 재생용 첨가제량과 간접인장계수의 관계를 구한다. 이 곡선과 설계 간접인장계수와의 만난 점의 가로축 위의 값이 재생용 첨가제의 첨가량으로 된다.

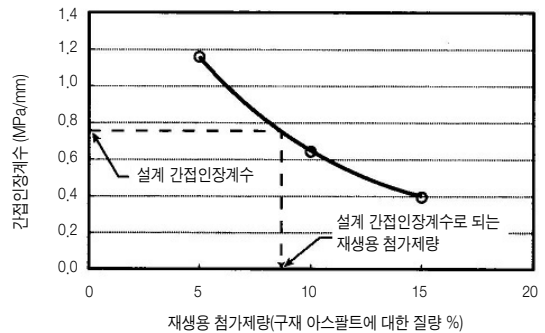


그림 2. 재생용 첨가제에 의한 간접인장계수의 조정 예

- ⑥ 마찰안정도시험  
③에서 결정된 배합비로 배합한 혼합물에 대하여 ⑤에서 정해진 소요량의 재생용 첨가제를 가하고, 예상되는 재생아스팔트량의 범위 내에서 0.5% 간격으로 신재 아스팔트량을 변화시킨 마찰시험용 공시체를 제작하고, 마찰시험을 실시한다.
- ⑦ 이론 최대밀도의 산출, ⑧ 설계 재생아스팔트량의 결정은 3.에 준하여 시행한다.
- ⑨ 재생가열 아스팔트 혼합물의 품질 확인  
⑧에서 구한 설계 재생아스팔트량으로 마찰 시험을 시행하여 기준치를 만족하는가를 확인한다.

2) 설계 간접인장계수로의 조정을 신재 아스팔트로 하는 경우

재생가열 아스팔트 혼합물의 간접인장계수가 설계 간접인장계수에 적합하도록 순환골재 배합비를 결정 한 후, 마찰시험으로 아스팔트 혼합물의 기준치에 만족하도록 설계 재생아스팔트량을 결정한다.

배합설계는 다음 순서로 시행한다.

① 시료의 채취, ② 재료시험, ③ 잠정 재생아스팔트량의 결정은 4.에 준하여 시행한다.

④ 설계 간접인장계수로의 조정

그림 3과 같이, 순환골재 배합비를 바꾼 재생가열 아스팔트 혼합물에 대하여, ③에서 정해진 잠정 재생아스팔트량으로 간접인장강도시험을 시행하고, 순환골재 배합비와 간접 인장계수의 관계를 구한다. 이 곡선과 설계 간접인장계수와의 만난점의 가로축 위의 값이 순환골재 배합비이다.

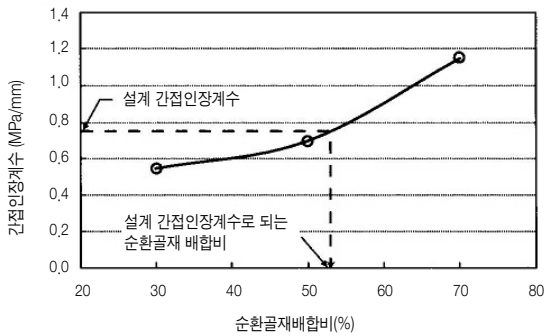


그림 3. 신재 아스팔트에 의한 간접인장계수의 조정 예

⑤ 골재 배합비 및 합성입도는 ④에서 얻어진 순환골재 배합비를 근거로, 4.에 준하여 결정한다.

⑥ 마찰안정도시험

⑤에서 결정된 배합비로 배합한 혼합물에 대하여, 예상되는 재생아스팔트량의 범위 내에서 0.5% 간격으로 신재 아스팔트량을 바꾸어 마찰시험용 공시체를 제작하고, 마찰시험을 실시한다.

이후, ⑦이론 최대밀도의 산출, ⑧최적 재생아

스팔트량의 결정, ⑨재생가열 아스팔트 혼합물의 품질 확인은 4.에 준하여 시행한다.

5. 간접인장강도시험

1) 시험 개요

아스팔트 혼합물에 대한 간접인장강도의 측정방법의 모형을 그림 4에 나타낸다.

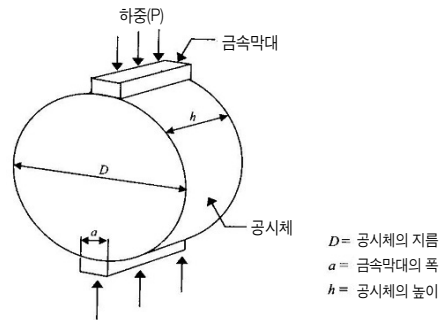


그림 4. 간접인장강도의 측정방법<sup>5)</sup>

그림 4는 KS F 2382(역청 혼합물의 간접인장강도 시험방법)에 규정되어 있는 방법이다. 그림에서 공시체의 아래, 위에는 금속 막대를 놓게 되어 있으며, 금속 막대는 공시체의 반지름과 동일한 곡률을 갖는 오목한 표면을 가진 것으로 이 금속 막대를 사용하여 공시체에 하중을 가한다. 지름 100mm의 공시체에 대해서는 13mm 폭의 금속 막대를 사용한다.

참고문헌 6)의 편람에서는 이와 같은 막대가 없고 평평한 상, 하의 평면을 갖는 금속제의 재하판을 평

표 3. 간접인장시험의 비교

	KS F 2382 방법	일본 편람의 방법
공시체 지름(mm)	100	100
공시체 높이(mm)	50 이상	63.5
다짐횟수(회)	50	75
시험온도(℃)	-	20±1
시험 전 양생	시험온도에서 6시간	시험온도에서 5시간
재하속도(mm/분)	50	50

행하게 유지하도록 되어 있다.

여기에서, KS F 2382방법과 참고문헌 6)의 방법을 비교한 것이 표 3이다.

### 2) 시험의 실시

아스팔트 플랜트에서 혼합한 아스팔트 혼합물로 양면 각 75회로 다져 만든 마찰시험 공시체를 20±1℃에서 5시간 양생한 후 20±1℃에서 간접인장강도 시험을 실시하였다. 시험은 최대치수 13mm의 표층용 밀입도 혼합물(78호 아스콘)과 최대치수 20mm의 중간층용 밀입도 혼합물(67호 아스콘)로 KS와 같이 금속 막대를 사용한 경우와 일본편람과 같이 평면으로 한 경우로 시험하였다.

### 3) 시험 결과

시험결과를 표 4와 같다. 시험은 한국화학융합시험연구원에 의뢰하여 실시하고 표 4의 값은 각각 5개 시료의 평균치이다.

표 4. 간접인장강도 시험결과 (단위 : MPa)

표층용 (78호 아스콘)		중간층용 (67호 아스콘)	
금속막대 사용	평면	금속막대 사용	평면
1.59	1.62	1.62	1.63
차이 1.9%		차이 0.6%	

### 4) 고찰

표 4에 의하면 시험할 때 공시체의 아래, 위에 금속 막대를 놓는 경우와 평면 그대로 압축하는 것과의 차이는 표층용 혼합물에서 1.9%, 중간층용 혼합물에서 0.6%의 차이를 나타내어, KS방법과 일본편람의 방법 사이에 차이가 매우 작은 것을 알 수 있어, 현장에서는 어느 방법을 사용하여도 좋을 것으로 판단된다.

## 6. 맺음말

1) 재생가열 아스팔트 혼합물의 배합설계방법은, 설계 침입도와 설계 간접인장계수의 어느 지표를 사용하는가, 또한 재생첨가제와 신재 아스팔트의 어느 것으로 재생하는가에 따라 다음과 같이 분류된다.

- 설계 침입도로 조정하는 방법
  - 설계 침입도로의 조정을 재생첨가제로 하는 경우
  - 설계 침입도로의 조정을 신재 아스팔트로 하는 경우
- 설계 간접인장계수로 조정하는 방법
  - 설계 간접인장계수로의 조정을 재생첨가제로 하는 경우
  - 설계 간접인장계수로의 조정을 신재 아스팔트로 하는 경우

2) 설계 간접인장계수로 조정하는 방법에서는 KS F 2382에 따라 마찰시험용 공시체로 시험하여 구할 수 있다.

3) 실제 시험에 의하면 KS F 2382에 나와 있는 금속 막대를 사용하는 경우와 평면으로 하는 경우와의 차이는 미미하여 어느 방법을 사용하여도 좋을 것 같다.

### 참고 문헌

- 1) 한국도로교통협회 : 아스팔트포장 설계·시공요령, 1997, pp.287~291
- 2) 건설교통부 : 건설폐자재 재활용 도로포장지침, 2005, (Ⅱ) pp.22~35
- 3) 기술표준원 : KS F 2349 가열 아스팔트 혼합물, 2010
- 4) 기술표준원 : KS F 2572 아스팔트 콘크리트용 순환 골재, 2010
- 5) 기술표준원 : KS F 2382 아스팔트 혼합물의 간접인장강도 시험방법, 2008
- 6) 일본도로협회 : 포장재생편람, 2010, pp.25~39
- 7) Freddy L. Roberts 외 4인 : Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction, 1996, NAPA Education Foundation, pp.46~48