실내배합설계시 오일을 이용한 최적의 골재합성입도 결정 방법

A selection method for aggregate gradation in asphalt mix design using oil

정규동* · 양성린** · 김영민*** · 황성도****
Jeong, Kyu-Dong · Yang, Seong-Lin · Kim, Yeong-Min · Hwang, Sung-Do

1. 서 론

아스팔트 혼합물 배합설계 과정은 실내 배합설계, 골재 유출량 시험, 현장 배합설계로 나눌 수 있다. 이중 실내 배합설계의 목표는 아스팔트 혼합물의 종류에 적합한 골재합성입도와 대략적인 아스팔트 함량을 결정하는 것이다.

같은 종류의 아스팔트 혼합물이라도 사용하는 골재의 입도 분포, 골재의 입형 특성인 편장석률 등에 따라 최적의 골재합성입도가 변하기 때문에 수퍼페이브에서 3종의 골재합성입도로 배합설계 하듯이 다양한 입도를 이용하여 골재간극률, 포화도, 공극률 등의 체적 특성 시험을 수행하는 것이 좋다. 그런데, 일반적으로 아스팔트 혼합물은 골재와 아스팔트를 가열하고, 적정한 혼합온도와 다짐온도를 유지하여 혼합 및 다짐을 하여야 하므로 골재를 약 170℃ 정도로 가열하는 시간만 5시간 이상 소요될 정도로 많은 시간이 필요하고, 온도의 편차에 따른 시험오차가 발생할 확률도 높다. 또한 아스팔트를 혼합하기 1시간 전에 오븐에서 가열하는 과정과 같이 온도 및 이에 따른 산화 등을 고려하여 시험하여야 한다.

본 연구는 이러한 사항을 개선하기 위해 상온에서 아스팔트 혼합물 혼합시에 필요한 점도를 유지할 수 있는 오일을 아스팔트 대신 사용하여 신속하게 최적의 골재합성입도를 결정하고, 예상 최적아스팔트 함량을 결정할 수 있도록하기 위해 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 사용재료

상온에서 동점도가 280cSt이고, 노란색의 냄새가 없는 오일을 제작하여 사용하였으며, 비교를 위해 아스팔트 및 첨가제는 국내에서 생산하는 침입도 60-80 아스팔트, SBS 개질아스팔트, 왁스계열의 저탄소 첨가제가 사용되었다.

채움재는 석회석분을 사용하였으며, 골재는 화강암 쇄석을 단립도로 체가름하여 총 9가지 골재를 사용하였다. 골재의 종류는 19mm, 13mm, 10mm, #4, #8, #16, #30, #50, #100 등 이었다.

2.2 연구방법

본 연구는 현재의 배합설계 방법이 주로 체적개념으로 밀도, 골재 간극률, 공극률 등을 주로 고려하고 있으며, 아스팔트 혼합물의 다짐시에 필요한 점도를 얻을 수 있는 온도에서는 아스팔트가 고온이기 때문에 탄성적인 성질은 거의 없다는 것에 착안하였다. 따라서, 아스팔트가 아닌 오일을 사용하여도 해당 온도에서의 점도만 같다면 혼합물의 체적특성은 아스팔트 종류와 상관없이 거의 동일할 것으로 예상한 것이었다. 이에 따라 배합설계시 마샬안정도나 변형강도 등의 시험 전에 예비시험과정으로 오일을 이용한 체적특성시험을 통해 최적의 골재합성입도를 결정하고,

* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 연구원 · 공학박사수료 · 031-910-0183(E-mail : kdjeong@kict.re.kr)
** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 연구원 · 공학석사 · 031-910-0614(E-mail : siyang@kict.re.kr)
*** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 연구원 · 공학석사 · 031-910-0148(E-mail : choozang@kict.re.kr)
**** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 책임연구원 · 공학박사 · 031-910-0180(E-mail : sdhwang@kict.re.kr)

예상 아스팔트 함량을 결정하고자 연구하였다.

기존에 오일을 배합설계에 이용하는 방법은 AASHTO T 270의 "원심 케로신 당량 시험(centrifuge kerosene equivalent : CKE)에 의해 예상 아스팔트 함량을 결정하는 방법이 대표적이다. 그러나, 이 방법은 굵은골재만을 이용하여, 오일에 담갔다가 배수하여 골재함유비(POR)과 골재 표면상수를 구한 후 아스팔트 함량을 결정하는 방법이로써, 잔골재에 의한 영향은 고려하지 못하고, 전체적인 체적특성은 얻지 못하는 단점이 있었다.

본 연구에서는 20mm 및 13mm 밀립도 아스팔트 혼합물, 13mm 및 10mm 배수성 아스팔트 혼합물 등을 제작하였으며, 이에 따른 골재합성입도를 이용하여 아스팔트를 오일로 대체하여 사용하였다. 상온에서 아스팔트의 다짐온도에 해당하는 점도특성을 갖는 오일을 이용하여 공시체를 제작한 후 밀도 시험을 하였으며, 같은 골재입도에 대하여 침입도 60-80 아스팔트, 개질아스팔트, 저탄소 첨가제를 포함한 아스팔트 등으로 아스팔트 혼합물을 제작하여 밀도시험을 하였다. 혼합물의 제작은 손비빔으로 오일이나 아스팔트가 100% 피막될 때까지 혼합하였으며 목표 다짐온도에서 선회다짐기로 다짐하였다. 오일을 사용한 혼합물은 상온에서 다짐하였고, 침입도 60-80 아스팔트를 사용한 혼합물은 145℃, 저탄소 중온 아스팔트 혼합물은 115℃, 개질아스팔트는 155℃에서 다짐하였다. 그리고, 밀도는 공시체 다짐 높이와 공시체 중량을 이용하여 계산하였으며, 선회다짐시에 얻어지는 전단응력을 상호 비교하였다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 골재와의 혼합성

오일을 사용한 혼합물은 믹싱에 문제점이 없었으며 아스팔트를 이용한 혼합물과 비슷한 시간이 소요되었다. 그리고, 그림 2처럼 성형한 후에는 겉표면이 아스팔트 혼합물과 비슷한 모양을 유지하였으며, 밀립도 혼합물은 탈형하여도 큰 힘을 가하지 않을 경우 원래의 모양을 그대로 유지하였지만 배수성 혼합물은 탈형시에 바로 부서졌다.

그림 1. 골재에 오일추가

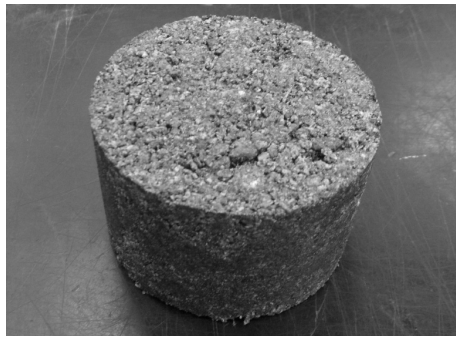

그림 2. 오일을 사용한 혼합물

3.2 다짐밀도와 전단응력

다짐밀도는 20mm 밀립도 아스팔트 혼합물 WC-3(그림 3)와 13mm 밀립도 아스팔트 혼합물 WC-1(그림4)의 경우 개질 아스팔트 혼합물과 일반 아스팔트 혼합물의 밀도 차이는 WC-3는 약 0.01g/㎤, WC-1은 0으로 거의 차이가 거의 없었으며, 일반 아스팔트 혼합물과 오일 아스팔트 혼합물은 WC-3는 0.02g/㎤, WC-1은 0.01g/㎤ 정도 차이가 발생하였다. 그러나, 저탄소 중온 아스팔트 혼합물과의 밀도 차이는 매우 크게 발생하였으며, 모든 아스팔트 혼합물이 선회다짐횟수가 증가하며 밀도차이가 줄어드는 것으로 나타났다.

전단응력은 오일 혼합물이 가장 크게 나타났으며, 오일은 전단응력이 다짐횟수에 따라 점증하는 경향을 보이는데 비하여, 일반 아스팔트나 개질 아스팔트, 중온 아스팔트는 일정한 다짐 횟수 이후 전단응력이 낮아지거나, 비슷하게 작용하는 것으로 나타났다.

13mm 배수성 아스팔트 혼합물 PA-13(그림 5)와 10mm 배수성 아스팔트 혼합물 PA-10(그림 6)의 경우 0.01g/㎤~0.02g/㎤의 밀도차이가 발생하였으며, 이 경우에도 오일은 다짐횟수가 증가함에 따라 전단응력이 점증하는데 비하여 일반 아스팔트는 전단응력이 일정시점 이후 감소하거나 비슷한 것으로 나타났다.

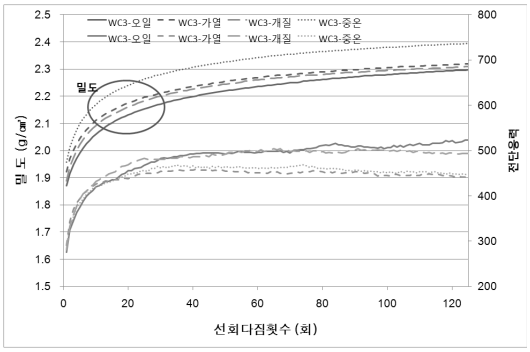

그림 3. WC-3 혼합물 밀도 및 전단강도 비교

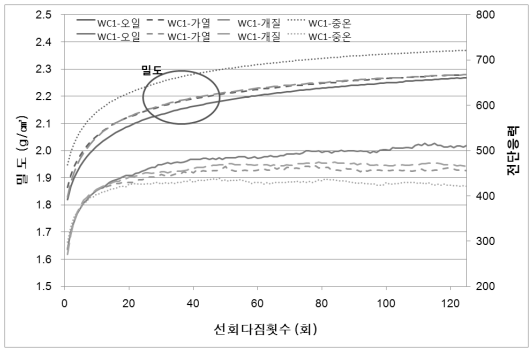

그림 4. WC-1 혼합물 밀도 및 전단강도 비교

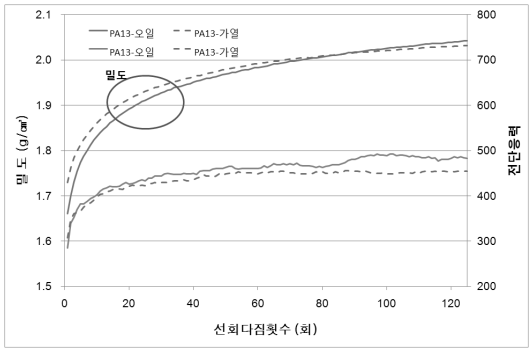

그림 5. PA-13 혼합물 밀도 및 전단강도 비교

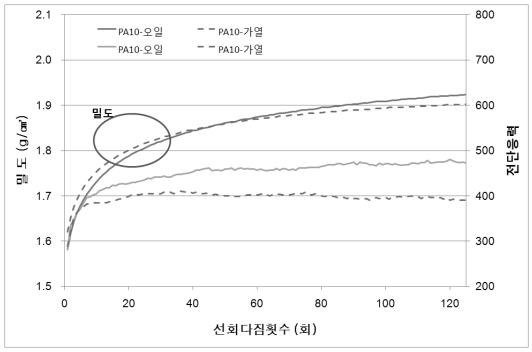

그림 6. PA-10 혼합물 밀도 및 전단강도 비교

현재까지의 시험결과 오일을 사용한 혼합물이 기존 아스팔트 혼합물과 비교하여 동일하지는 않지만 매우 유사한 밀도 특성을 갖는 것으로 나타났다. 또한, 오일 혼합물을 탈형하고, 재혼합 후 다짐을 하여도 비슷한 다짐특성을 얻을 수 있었으며, 오일 혼합물을 탈형한 후 오일을 0.5%정도 씩 추가하고 재다짐할 경우 서로 다른 아스팔트 함량에 따른 다짐밀도 특성을 모사할 수 있음을 알 수 있었다.

3.3 배합설계시 적용 방법

현재까지의 실험결과 오일을 이용한 배합설계 방법은 빠른 시간에 다양한 골재합성입도를 이용하여 배합설계를 수행할 수 있으므로 다양한 골재합성입도의 변화에 따른 골재간극률 등의 체적특성을 검토할 수 있을 것으로

판단되었다. 오일을 이용한 배합설계 적용방법은 다음과 같다.

(1) 2가지 점도의 오일을 이용하여 실내 온도 범위에서 280cSt 점도를 나타낼 수 있는 오일 배합비율을 결정한다.
(2) 대기온도를 측정하고, 해당 대기온도에서의 오일 배합비율에 따라 오일을 배합하여 준비한다.
(3) 3종이상의 골재합성입도에 따라 골재를 계량하고, 준비된 오일을 예상되는 최하의 비율로 혼합하여 선회다짐기로 공시체를 제작하며 높이를 측정한다.
(4) 공시체를 탈형하고, 오일을 일정한 비율로 추가하고 혼합한 후 공시체를 제작한다.
(5) 공시체 두께, 직경, 질량을 이용하여 다짐밀도를 구하고, 골재 및 오일 밀도를 이용하여 이론최대밀도를 구한다.
(6) 골재합성입도에 따른 다짐밀도와 이론최대밀도 등을 이용하여 공극률 등의 체적특성값을 구한다.
(7) 최적의 골재합성입도와 예상 아스팔트 함량을 결정한다.
(8) 최적의 골재합성입도를 이용하여 아스팔트를 사용한 배합설계를 수행한다. 이 경우 아스팔트 함량을 4종 정도로 변화시켜서 배합설계할 수 있다.

그러나, 오일을 이용한 배합설계는 현재까지 다음과 같은 문제점이 있다.
(1) 공시체의 높이를 이용하여 밀도를 계산하기 때문에 배수성 포장의 경우 적합하지만 일반적인 아스팔트 혼합물은 보정값을 적용하더라도 실제 밀도측정값과는 차이가 발생한다.
(2) 이론최대밀도를 골재 및 오일의 비중값과 비율을 이용하여 계산식으로 구하므로, 오일이 골재에 흡수된 량이 고려되지 않는다.
(3) 혼합물의 다짐 후 공시체 두께가 아스팔트를 사용할 때와 유사하지만 정확하게 동일하지 않으며, 골재의 입도에 따라 차이가 발생한다.

4. 결 론

본 연구는 오일을 사용한 혼합물의 제작 가능성을 평가하는 기초 단계였으며, 이를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 아스팔트 혼합물의 다짐에 필요한 점도인 280cSt 점도의 오일을 이용하여 혼합물을 제작하고 다짐밀도 등을 평가한 결과 아스팔트를 사용하였을 때와 유사한 다짐높이를 얻을 수 있음을 알 수 있었다.
2. 오일을 사용할 경우 장기간이 소요되는 배합설계를 보다 신속히 수행할 수 있을 것으로 판단되었다.
3. 향후에는 저탄소 중온 아스팔트 혼합물을 포함한 밀립도 아스팔트 혼합물에 필요한 계수결정 방법과 골재의 흡유비 등을 이용한 이론최대밀도 시험 방법 등을 연구할 예정이다.