

아스팔트 혼합물의 양생시간에 따른 이론최대밀도 연구

Study on a Theoretical Maximum Specific Gravity of Asphalt Mixtures over Short Term Aging Period

정규동^{*} · 양성린^{**} · 김용주^{***} · 황성도^{****}

Jeong, Kyu-Dong · Yang, Seong-Lin, Kim, Yong-Joo, Hwang, Sung-Do

1. 서론

아스팔트 콘크리트 포장은 높은 온도에서 가열된 골재와 아스팔트를 혼합하여 생산한 아스팔트 혼합물로 시공하며, 계속적으로 높은 온도에 있는 과정에 아스팔트는 노화되며, 골재에 스며들게 된다. 이러한 현상은 아스팔트 혼합물의 체적특성에 많은 영향을 미치게 된다. 이에 따라 국내·외에서는 가열 아스팔트 혼합물의 생산, 운반, 포설과정에서 아스팔트의 노화와 골재에 흡수되는 과정을 모사하기 위하여 배합설계 시 아스팔트 혼합물을 오븐에서 단기노화(양생)하도록 규정하고 있다.

미국의 경우, 1993년 SHRP에서 개발된 슈퍼페이브 배합설계 절차에는 현장에서 아스팔트 혼합물을 포설한 직후에 상태를 실험실에서 모사하기 위하여 아스팔트 혼합물을 135℃ 오븐에서 4시간 동안 단기노화하도록 규정하였다. 그런데, 1999년에 연구한 결과에 따르면, 미국의 플랜트에서 생산된 아스팔트 혼합물은 실험실에서 135℃ 오븐에서 2시간 동안 단기노화를 실시한 아스팔트 혼합물과 더 유사하다는 결론을 내렸으며, 슈퍼페이브 배합설계에서는 실험실에서 생산한 아스팔트 혼합물은 135℃ 오븐에서 2시간 동안 단기노화 후 다짐 공시체를 제작하고 이론최대밀도를 측정하도록 규정을 변경하였다.

국내의 경우 국토해양부에서 발간한 ‘아스팔트 혼합물 생산 및 시공 지침’에서는 아스팔트 혼합물 저장 사일로를 사용하지 않고 플랜트에서 아스팔트 혼합물 생산 후 현장까지의 소요시간 등을 고려하여 실내에서 배합설계를 실시할 경우 아스팔트 혼합물을 제작 후에 1시간 동안 다짐온도에서 단기노화를 하도록 규정하고 있다. 그러나, 이론최대밀도 시험을 할 경우에는 2시간 동안 단기노화를 하도록 규정하고 있어, 단기노화에 시간의 차이를 보이고 있다.

이에 따라 본 연구에서는 단기노화 시간에 따른 이론최대밀도 값을 비교평가하고, 아스팔트 혼합물의 공극률의 변화 정도와 함께 적합한 단기노화 시간에 대한 연구를 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 사용재료

골재는 화강암 채석을 단립도로 체가름하여 총 9가지 골재를 사용하였으며, 석회석분을 채움제로 사용하였다. 아스팔트는 침입도 60-80 등급의 스트레이트 아스팔트를 사용하였다.

2.2 연구방법

이론최대밀도는 아스팔트 혼합물에 공극이 전혀 없을 때의 밀도로 정의할 수 있다. 이론최대밀도는 골재의

* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 전임연구원 · 공학박사수료(E-mail:kdjeong@kict.re.kr) - 발표자
** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 연구원 · 공학석사(E-mail:siyang@kict.re.kr)
*** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 수석연구원 · 공학박사(E-mail:yongjook@kict.re.kr)
**** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 연구위원 · 공학박사(E-mail:sdhwang@kict.re.kr)

비중과 입도, 아스팔트 비중과 함량, 골재에 흡수되는 아스팔트 등에 따라 차이가 발생하며, 공극율, 골재간 공극(VMA), 포화도(VFA) 등과 같은 체적특성과 관계가 있으며 아스팔트 혼합물의 내구성과 상관성이 높은 시험이다.

이론최대밀도 시험시 골재에 수분이 침투하면 결과값의 차이가 발생하기 때문에 너무 낮지 않은 아스팔트 함량으로 시험하여야 하며, 아스팔트 혼합물 내부의 공극을 물로 포화시킬 수 있어야 한다.

본 연구에서는 국내에서 일반적으로 사용하는 WC-3 규격에 20mm 및 WC-1 규격에 따른 13mm 밀립도 아스팔트 혼합물을 사용하여 배합설계를 수행하였으며, 배합설계 결과에서 결정된 최적 아스팔트 함량 및 골재 배합비율로 아스팔트 혼합물을 제작하였다. 그리고, KS F 2366의 '역청 포장 혼합물의 이론적 최대 비중 및 밀도 시험 방법'에 따라 시험을 수행하였다.

단, 아스팔트 혼합물의 단기노화 시간은 국내와 외국 등에서 사용하는 시간을 기준으로 0, 1, 2, 4시간으로 변화시켰으며, 그림 1과 같은 시험장비를 이용하여 이론최대밀도 시험을 하였다.

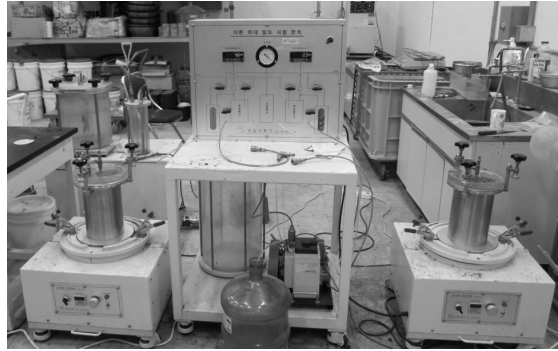


그림 1. 이론최대밀도 시험기

3. 연구결과 및 고찰

3.1 아스팔트 혼합물의 배합설계 입도 및 아스팔트 함량

WC-3 및 WC-1 아스팔트 혼합물에 배합설계 결과 그림 2와 같은 합성입도를 얻을 수 있었으며, 아스팔트 함량은 WC-3 아스팔트 혼합물은 4.9%, WC-1 아스팔트 혼합물은 4.8%로 결정되었다.

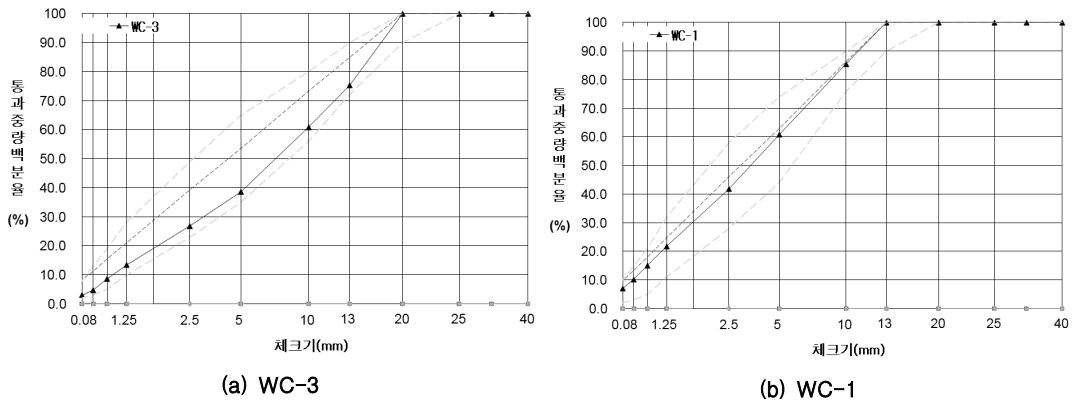


그림 2. WC-3와 WC-1 아스팔트 혼합물의 합성입도

3.2 이론최대밀도 시험 결과

이론최대밀도 시험을 수행한 시험결과는 그림 3과 표 1에 정리하였다. 그림 3과 같이 단기노화 시간에 따른 이론최대밀도(Gmm)는 1시간까지 크게 변화하였으며, 그 이후에는 큰 변동이 없는 것으로 나타났다. 국내 기준이 1시간 동안 오븐에서 단기노화시킨 아스팔트 혼합물의 이론최대밀도값을 비교한 결과 WC-3 혼합물은 단기노화하지 않았을 경우와 비교하여 -0.63%가 감소되었으며, WC-1 혼합물은 -0.79%가 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 아스팔트가 골재 내부로 흡수되어 이론최대밀도가 증가한 것으로 판단되었다. 또한, 1시간을 초과하여 단기노화했을 경우에는 그림 3과 같이 이론최대밀도가 일정한 경향없이 증가 또는 감소하였는데, 이는 1시간 동안 단기노화했을 경우처럼 이론최대밀도의 차이가 크지 않았고, 실험오차로

인해 편차가 더욱 크게 발생한 것으로 판단되었다.

표 1. 단기노화 시간에 따른 이론최대밀도 시험 결과

단기노화 시간(h)	WC-3 (20mm 밀립도)		WC-1 (13mm 밀립도)	
	Gmm(g/cm ³)	증가비율(%)	Gmm(g/cm ³)	증가비율(%)
0	2.517	-0.63	2.509	-0.79
1	2.533	0	2.529	0
2	2.529	-0.16	2.533	0.16
4	2.533	0	2.531	0.08

3.3 이론최대밀도에 따른 아스팔트 혼합물의 체적특성

이론최대밀도의 변화가 공극률 등의 체적특성에 어느 정도 영향을 주는 지 이론최대밀도를 표 1에 1시간 단기노화한 아스팔트 혼합물의 이론최대밀도인 2.533g/cm³를 기준으로 단기노화하지 않았을 때의 이론최대밀도인 2.517g/cm³와 표 1에서 최대 변화율 0.16%를 기준으로 최대 0.2%까지 증가시킨 경우의 체적특성 민감도를 분석하였다.

이 결과 표 2와 같이 단기노화 전과 1시간 단기노화 후의 이론최대밀도 변화에 따라 WC-3 혼합물에 공극률과 VMA는 0.6%, 포화도는 3% 변화하는 것으로 나타났다. WC-1 혼합물은 공극률과 VMA가 0.8%, 포화도는 3.9% 변화하였다.

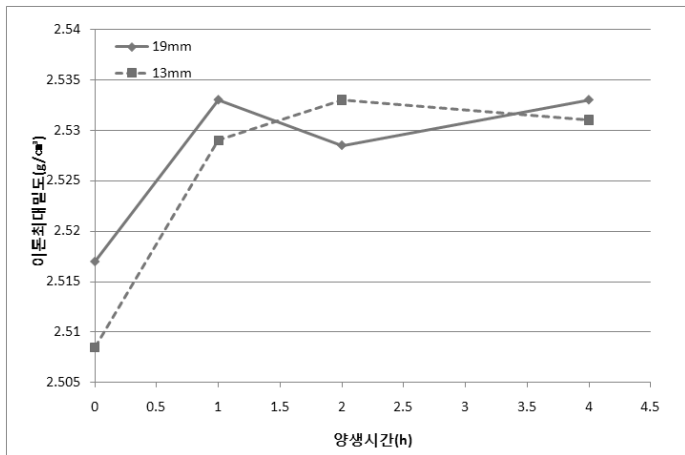


그림 3. 단기노화 시간에 따른 이론최대밀도

표 2. 이론최대밀도에 따른 체적특성 민감도

WC-3 (20mm 밀립도)					WC-1 (13mm 밀립도)				
Gmm변화율 (%)	Gmm (g/cm ³)	공극률 (%)	VMA (%)	포화도 (%)	Gmm변화율 (%)	Gmm (g/cm ³)	공극률 (%)	VMA (%)	포화도 (%)
-0.63	2.517	3.4	14.87	77.29	-0.79	2.509	3.2	14.47	77.68
0	2.533	4.0	15.48	74.24	0	2.529	4.0	15.23	73.78
0.1	2.536	4.1	15.59	73.70	0.1	2.532	4.1	15.35	73.23
0.2	2.538	4.2	15.67	73.34	0.2	2.534	4.2	15.42	72.88
민감도(0.2%)	0.005	0.2	0.19	0.9	0.2	0.005	0.2	0.19	0.9

이에 따라 아스팔트 혼합물을 단기노화하지 않았을 경우에는 공극률이 0.5% 이상 감소하는 것으로 나타나 배합설계시 아스팔트 혼합물을 1시간동안 단기노화하는 것이 매우 중요한 것으로 판단되었다. 그러나, 2시간 이상 단기노화한 경우는 이론최대밀도가 최대 0.2% 변화되며, 공극률의 차이가 0.2%, 포화도가 0.9% 발생하여 체적 특성의 변화는 크지 않은 것으로 나타났다.



4. 결 론

20mm와 13mm 밀립도 아스팔트 혼합물의 단기노화 시간에 따라 이론최대밀도에 미치는 영향에 대한 연구로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 단기노화하지 않은 아스팔트 혼합물과 1시간 단기노화한 이후의 아스팔트 혼합물은 골재에 아스팔트가 흡수됨에 따라 이론최대밀도가 약 0.6%~0.8% 정도 변화되었으며, 이에 따라 공극률과 VMA도 0.6~0.8% 변화되어 아스팔트 혼합물의 체적특성에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다.
2. 2시간~4시간 단기노화한 아스팔트 혼합물은 1시간 단기노화한 아스팔트 혼합물에 대하여 이론최대밀도가 최대 0.2% 정도 변화되었으며, 이는 1시간 단기노화한 경우에 비교하여 체적 특성에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.
3. 따라서, 본 연구의 결과와 공시체 제작시의 단기노화조건 등을 고려할 때 이론최대밀도 시험을 위한 단기노화시간은 1시간으로 결정하는 것이 타당한 것으로 사료된다.

향후 더욱 많은 골재 종류와 이론최대밀도 시험을 통해 현 시험 결과를 검증할 예정이며, 이를 통해 적합한 단기노화시간을 제시할 예정이다.

참고 문헌

1. Harman, T., D'Angelo, J., and Bukowski, J. "Superpave Asphalt Mixture Design Workshop.", Federal Highway Administration, 1999. 7.
2. Bukowski, J., and McGennis, B. "Update on Superpave Short Term Aging Protocol." Superpave Asphalt Technology Program, The University of Texas at Austin. <http://www.utexas.edu/research/superpave/articles/aging.html>
3. 국토해양부, "아스팔트 혼합물 생산 및 시공 지침", 2009. 11.