

준고온 첨가제를 사용한 각종 아스팔트 혼합물의 다짐도 변화 연구

Compactability of various asphalt mixtures using warm mix additive

박 태 순 Park, Tae Soon | 정희원 · 서울산업대학교 건설공학부 교수 (E-mail : tpark@snut.ac.kr)

ABSTRACT

This study presents the test results on the compaction characteristics of warm mix asphalt mixtures that include the additive in 3 different mixtures(hot mix asphalt, SBS and SMA). The tests were conducted to find out the compaction characteristics on the compactability with varying compaction time, different amount of the warm mix additive and lowering the compaction temperature. The Superpave gyratory compactor was used to find out the variation of the density when the number of the gyration is varied. A dense mixture and 3 different warm mix additives were employed to find the relationship between compactability and compaction time. The comparison of the compactability with lowering the temperature was conducted using dense mixture, SBS polymer modified mixture and stone matrix asphalt mixture(SMA). The difference of the density of warm mix asphalt mixtures was not found due to the lowering of compaction temperature when it was compared with the standard mixture and the warm mix showed the stable condition in density. In the mean time, depending upon the different warm mix additive and mixture, the difference of density and the variation trend of compaction is found to be existed and shows the relationship between these two variables.

KEYWORDS

warm mix additive, compactability, compaction density, Asphalt mixture

요지

본 논문은 준고온 첨가제가 혼합된 3 종류(일반아스팔트, SBS 및 SMA)의 아스팔트 혼합물 다짐도 변화에 대한 시험 결과이다. 다짐 특성을 조사 분석하기 위하여 다짐 시간 변화와 준고온 첨가제 함량 변화에 의한 다짐도 측정을 실시하였으며, 다짐 온도를 일반시료에 비하여 30℃ 및 50℃를 낮추어 밀도를 비교하였다. 선회 다짐 장비를 사용하여 다짐 횟수 변화에 따른 다짐밀도의 변화를 측정하였다. 다짐시간 경과와 다짐도의 관계는 3 종류의 준고온 첨가제를 일반 아스팔트에 첨가하여 다짐시간 변화와 첨가제 함량 변화에 따른 다짐도를 측정하였다. 온도 저감에 따른 다짐도 비교는 일반 아스팔트 혼합물, 고분자 개질 아스팔트 및 SMA 혼합물 3 종류의 혼합물을 사용하여 시험을 실시하였다. 준고온 아스팔트 혼합물은 다짐온도 저감으로 인하여 일반시료 아스팔트 혼합물과 밀도의 차이가 발생하지 않아서 다짐도가 안정된 상태를 나타냈다. 한편, 혼합물의 종류 및 준고온 첨가제의 종류에 따라 밀도의 차이, 다짐도 변화의 추이 변화가 발견되어 이들 두 인자 사이에 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

핵심용어

준고온 첨가제, 다짐도, 다짐밀도, 아스팔트 혼합물

1. 서론

준고온 아스팔트는 제조, 다짐 및 교통 개방 온도를 약 30℃를 저감한 기술이다(NCHRP 09-43). 온도 저감을 이용하여 아스팔트 혼합물 제조와 다짐 등 일련의 과정에서 발생하는 이산화탄소의 저감이 가능해 짐으로써 저탄소 친환경

기술로써 기대되고 있다. 준고온 아스팔트는 유럽 및 일본을 중심으로 약 10여 년 전부터 연구와 시험 시공을 거쳐 현재는 한랭지의 시공과 도심지 교통 혼잡지역의 조기 개방을 위하여 점차적으로 시공이 확대되어 지고 있는 실정이다. 온도가 저감 되더라도 준고온 아스팔트 내부의 기포와 점도저하

로 인하여 다짐 성능을 유지함은 물론 다짐도가 향상되어 성능이 우수한 아스팔트 포장을 실현할 수 있는 큰 장점을 지니고 있다(NCHRP 09-47). 최근 미국의 경우 교통국 연구소를 통하여 수차례 연구와 검증 사례가 보고되고 있다(WSDOT, 2008). 준고온화 기술의 개발은 미국 및 유럽의 경우에는 점도를 낮추어 시공성과 다짐도를 향상시키는 기술을 주로 활용하고 있으며(FHWA, 2008) 일본의 경우에는 기포를 발생시켜 혼합물 내부의 베어링 작용을 이용한 기포 첨가제를 중심으로 준고온 아스팔트 공법을 개발해 가고 있다(海老澤秀治, 2000). 준고온 아스팔트는 혼합물의 온도 저하가 급격한 한랭지에서도 적용을 시도하여 성공적인 사례가 보고되고 있다(Kristjansdottir, 2006). 본 연구에서는 유럽의 점도 저하 기술, 일본의 기포 첨가제 및 자체 개발된 발포형 첨가제 3 종류의 준고온 첨가제를 사용하여 다짐도를 평가하였다. 다짐도는 시간 경과와 다짐도 관계, 온도 저감과 다짐도 관계 및 밀도 변화에 대하여 시험 분석 비교하였다. 다짐도 평가에 사용한 혼합물은 일반 아스팔트 혼합물, SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물 및 SMA를 사용하였다.

2. 사용재료 및 시험방법

2.1. 사용재료

2.1.1. 첨가제

3 종류의 첨가제를 사용하였다. 첨가제 I 은 일본에서 생산된 제품으로 발포제 및 발포 강화제와 수종의 특정 첨가제를 혼합하여 제조되었으며 아스팔트 바인더에 특정한 미세포를 발생토록 한 특징을 가지고 있다. 혼합물의 제조 시에는 발포 효과 보다는 혼합성을 더욱 향상시켜 포설 시 다짐도를 더욱 향상시킨다. 이 첨가제는 한랭지나 박층포장의 시공 시에 혼합물의 기존 제조온도 보다 10℃에서 4℃ 정도 낮아진 상태에서 시공성 및 다짐성을 확보토록 제조되었으며 포설 시 감온에 의한 이산화탄소의 배출량 및 교통규제시간을 줄이는 효과를 얻을 수 있다. 표 1은 첨가제 I 에 대한 특징을 요약한 표이고 사진 1은 첨가제 I 을 보인 것이다.

표 1. 첨가제 I 의 특징

항 목	상 태
외 관	담황색 미분말
수 분	1.0 wt(%) 이하
부피비중	0.5 이하
표준 첨가량(바인더에 대함)	2.5%
적용 가능한 아스팔트 혼합물	일반, SBS, SMA 아스팔트 혼합물

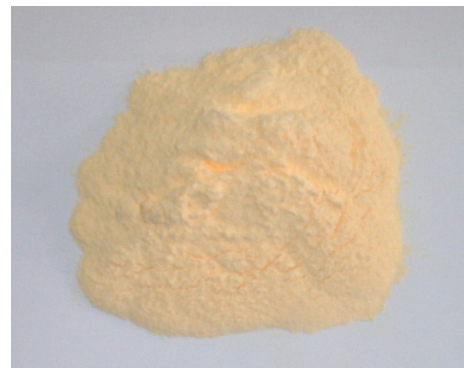


사진 1. 첨가제 I

첨가제 II (사진 2 참조)는 독일에서 생산된 제품으로 1997년 유럽과 아시아에 판매되기 시작하여 알려지게 된 준고온 첨가제이다. 첨가제 II 는 Fischer-Tropsch 과정을 거쳐 석탄가스로부터 생성되는 긴 탄화수소 사슬의 혼합체를 사용하는 첨가제이며 FT paraffin Wax라고도 한다. 첨가제 II 의 녹는점은 100℃이며 바인더 온도가 120℃일 때 완전히 용해된다.

첨가제 II 는 아스팔트 혼합물의 제조과정 중에 바인더의 점성(viscosity)을 낮추어 혼합물 제조 시 작업성을 향상시키며 작업온도 및 혼합온도를 낮추는 기능을 발휘하는 것이다(NCAT Report 05-06).



사진 2. 첨가제 II



사진 3. 첨가제 III

첨가제 III (사진 3 참조)은 국내에서 생산된 발포제에 강화

제를 혼합한 것으로 백색 분말형태이며 고무의 발포 및 분산에 사용되며 발포 시 미세 발포 구조를 형성함으로써 혼합을 쉽게 이룰 수 있다.

2.1.2. 아스팔트 혼합물

시험에 사용한 아스팔트 혼합물은 3 종류를 사용하였다. 13mm 일반 밀입도 아스팔트 혼합물(AP-5), 13mm SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물 및 10mm SMA 혼합물을 사용하였다. 혼합물 제조에 사용된 입도분포곡선은 그림 1과 같다. 배합시험 결과 일반 밀입도 아스팔트 혼합물의 최적 아스팔트 비는 5.0%, SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물은 5.8%로 SMA 혼합물은 6.8%로 결정되었다.

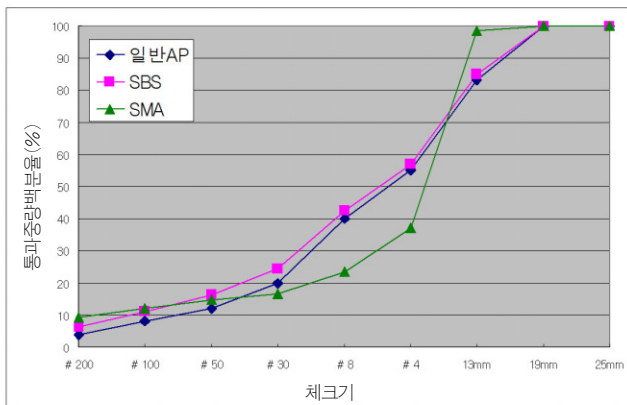


그림 1. 각 시료의 입도분포곡선

2.2. 시험방법

각 첨가제 및 혼합물의 다짐 특성을 조사하기 위하여 ① 시간 경과에 따른 다짐도 ② 온도 저감과 다짐도의 관계 ③ 다짐 방법 및 횡수 변화에 따른 밀도 변화에 대하여 시험을 실시하였다. 각 시험에 대한 방법은 다음과 같이 수행하였다. 다짐 방법으로는 현재 국내 아스팔트 배합설계 기준으로 되어 있는 마샬 다짐방법을 사용하여 시료를 양면 75회 다짐으로 제작하였다.

2.2.1. 시간 경과에 따른 다짐도

시간 경과에 따른 다짐도 변화는 밀입도 아스팔트 혼합물에 대하여 다음과 같이 실시하였다. 첨가제 I의 경우 아스팔트 바인더 중량의 1.5%, 2.5%, 3.5%, 4.5%를 130℃에서 혼합하였으며 첨가제 II의 경우 바인더 중량의 1.5%, 2.5%, 3.5%, 4.5%를 130℃에서 혼합하였다. 첨가제 III은 3.0%, 5.0%, 8.0% 및 10%를 혼합하였다. 첨가제의 량을 서로 다르게 한 이유는 첨가제의 종류 및 특성에 따라 사용되는 첨가제 량이 서로 다르기 때문이다. 다짐 방법은 첨가제를 혼입하지 않은 일반 아스팔트 혼합물을 표준다짐온도 130℃에서 마

샬 다짐을 실시하고 실측밀도를 측정하여 이때의 밀도를 100%로 하였다. 각 준고온 혼합물은 온도를 30℃ 저감하여 100℃의 건조오븐에서 60분, 90분, 120분, 150분 동안 양생 후 마샬 다짐을 실시하였다. 다짐도는 첨가제가 혼입된 혼합물의 실측밀도와 첨가제가 혼입되지 않은 혼합물의 실측밀도로 나누어 산정하였다.

2.2.2. 온도 저감과 다짐도의 관계

온도저감에 따른 다짐도 관계는 일반 아스팔트 혼합물, SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물, SMA 혼합물에 대하여 실시하였다. 혼합물 시험으로부터 결정된 최적 첨가제 함량을 각 아스팔트 혼합물에 혼입하여 표 2에 나타낸 온도별로 온도를 저감하여 온도 저감에 따른 다짐 효과를 비교 분석하였다. 감온은 2차에 걸쳐 실시하였다. 1차 감온 다짐은 표준 다짐온도 보다 30℃ 낮게 실시하였으며 2차 감온은 표준 다짐온도에 비하여 50℃를 낮게 하여 다짐도를 비교하였다. 다짐도 산정은 각 혼합물의 표준온도에서 무첨가 혼합물의 실측밀도와 준고온 혼합물의 실측밀도를 비교하여 다짐도를 산정하였다.

표 2. 온도 저감에 따른 다짐온도

종 류	구 분	온도(℃)			비 고
		표준온도	1차 감온	2차 감온	
일반 아스팔트 혼합물		130	100	80	
SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물		150	120	100	
SMA 혼합물		150	120	100	

2.2.3. 다짐 방법 및 횡수 변화에 따른 밀도 변화

다짐 방법 및 횡수 변화에 따른 밀도 변화시험은 선회다짐 시험기를 사용하여 실시하였다. 시험에 사용한 선회다짐기의 사양은 표 3과 같다. 온도 저감은 각 시료의 표준 다짐온도에 비하여 30℃를 낮추어 실시하였다.

표 3. 선회다짐기의 사양

구 분	니딩 다짐각	다짐압력	직 경	속 도
조 건	1.25°	600 kPa	10cm	30rpm

3. 시험결과 및 분석

3.1. 시간 경과에 따른 다짐도 변화 측정

그림 2, 그림 3 및 그림 4는 밀입도 혼합물에 첨가제 I, II 및 III 이 혼입된 경우 시간 경과에 따른 다짐도의 변화를 도시한 것이다. 첨가제 I의 경우 2.5%가 혼입된 혼합물이 우수한 다짐도를 나타냈으며 경과시간이 120분에서 가장 높은 다

집도를 나타냈으며 2.5% 이외의 함유량에서도 동일한 결과를 보였다. 첨가제 II가 혼입된 경우에도 2.5%가 혼입된 혼합물의 다짐도가 크게 나타났다. 2.5%에서는 다른 혼입량에 비하여 시간 경과에 크게 영향을 받지 않고 120분까지 100% 이상의 다짐도를 나타냈다. 첨가제 III은 다른 첨가제에 비하여 높은 비율의 첨가제가 혼입되었다. 8%를 혼입 할 경우 시간의 경과에 상관없이 100% 이상의 다짐도를 나타냈으나 8%를 기준으로 첨가제의 함유량이 증감할 경우 다짐도는 100% 미만을 나타냈다.

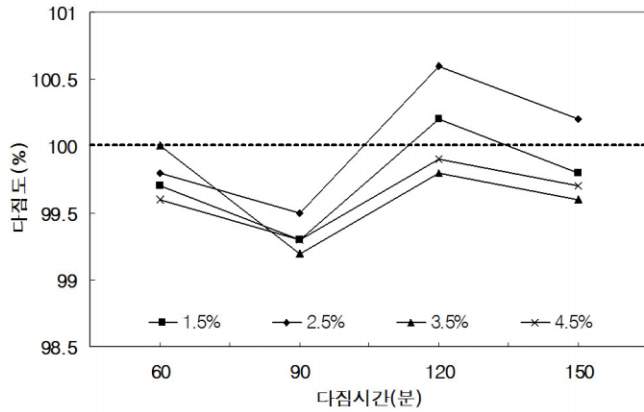


그림 2. 첨가제 함량에 따른 다짐도 변화곡선(첨가제 I)

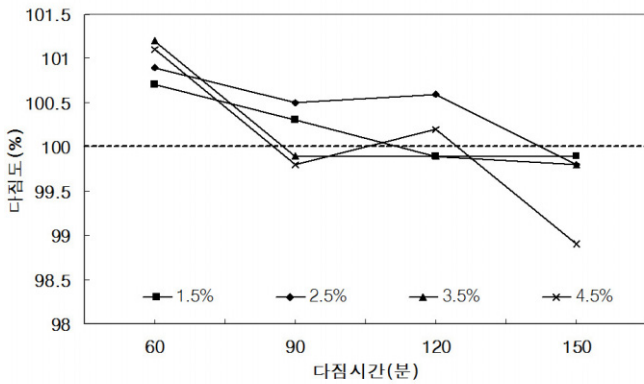


그림 3. 첨가제 함량에 따른 다짐도 변화곡선(첨가제 II)

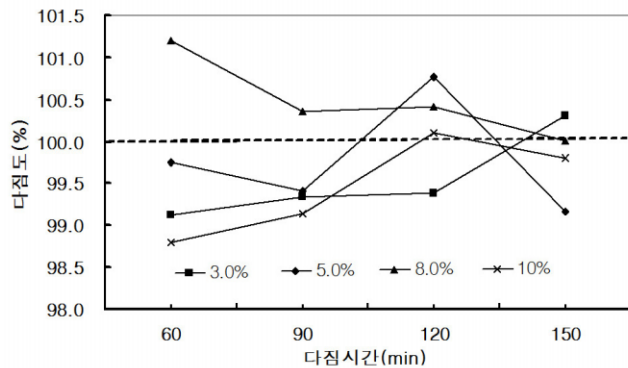


그림 4. 첨가제 함량에 따른 다짐도 변화곡선(첨가제 III)

시간 경과에 따른 다짐도 변화를 측정된 결과 준고온 첨가제의 종류에 따라 서로 다른 경향을 보이는 것으로 발견되었다. 첨가제 I의 경우가 다른 첨가제에 비하여 경과시간 변화와 첨가량 변화에 따라 다짐도의 일정한 변화를 보였으나 다른 첨가제로부터는 일정한 변화가 관찰되지 않았다. 첨가제의 공통적인 특징으로는 첨가량과 다짐을 위한 방치시간은 밀접한 관계가 있으며 120분에서 가장 다짐도가 크게 나타나서 준고온 첨가제 혼입 후 시가의 경과가 주요한 변수로 나타났다.

3.2. 온도저감에 따른 다짐도 변화

그림 5는 첨가제 I을 혼입한 경우 각 혼합물의 다짐도 변화를 도시한 것이다. 일반 아스팔트 혼합물의 경우 SBS 고분자

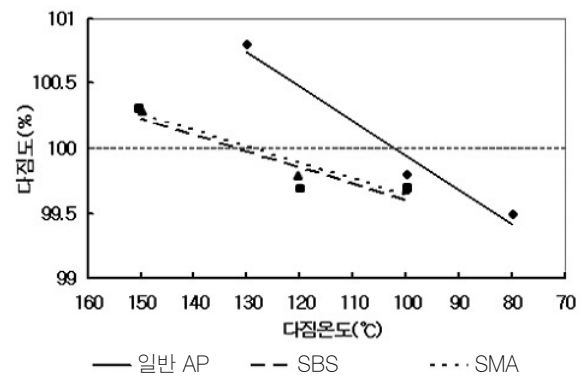


그림 5. 온도저감에 따른 다짐도 변화곡선(첨가제 I)

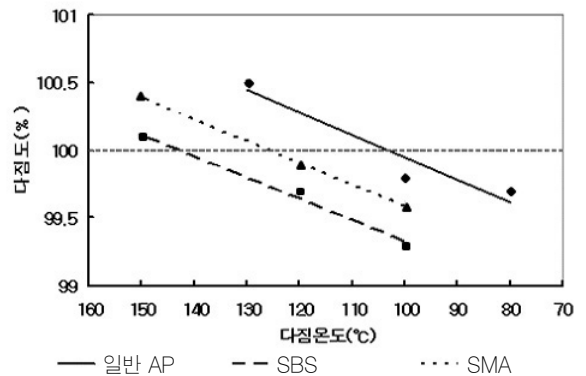


그림 6. 온도저감에 따른 다짐도 변화곡선(첨가제 II)

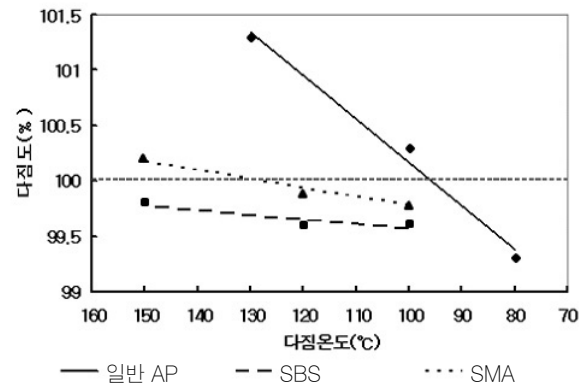


그림 7. 온도저감에 따른 다짐도 변화곡선(첨가제 III)

및 SMA에 비하여 다짐온도 변화에 따른 다짐도의 변화가 심하게 나타났다. 1차 감온 시 SBS 및 SMA에 비하여 다짐도는 높게 나타났으나 2차 감온된 다짐도는 낮게 나타났다. 첨가제 II가 혼입된 경우 다짐도와 다짐온도의 관계를 그림 6에 보였다. 첨가제 I이 혼입된 경우와 유사한 경향을 보이고 있으나 일반 아스팔트의 다짐도 변화가 다짐온도의 변화에 크게 영향을 받고 있는 것으로 나타났다. 특히 SBS 고분자 개질 아스팔트의 경우 감온으로 인한 다짐도의 저하가 뚜렷하게 나타났다. 그림 7은 첨가제 II가 혼입된 시험 결과이다. 일반 아스팔트 혼합물과 유사한 다짐도 저하 경향을 보이고 있으나 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물이 가장 낮은 다짐도를 보였으나 큰 차이는 발생하지 않았다. 온도 저감을 실시하여 다짐도의 변화를 측정된 결과 첨가제의 종류에 따라 서로 다른 다짐 특성을 보이고 있으며 혼합물의 종류에 따라 서로 영향을 받는 것으로 나타났다.

4. 다짐방법에 따른 밀도변화

준고온 첨가제가 아스팔트 혼합물에 혼입될 경우 다짐도가 향상되는 것을 일련의 시험으로부터 확인할 수 있었다. 다짐도의 향상과 유지는 준고온 첨가제 화학작용으로 아스팔트 내에서 발생한 미세 기포가 혼합물 내에서 베어링으로 작용하기 때문이다. 이러한 메커니즘을 고려하여 다짐 시 골재의 이동이 용이한 니딩(kneading) 다짐을 사용하여 준고온 아스팔트 혼합물의 밀도 변화를 관측하였다.

4.1. 일반 아스팔트 혼합물

표준 공시체는 준고온 첨가제가 혼입되지 않은 혼합물로 130℃에서 다짐을 실시하였다. 준고온 혼합물은 100℃에서 다짐을 실시하고 선회 다짐 횟수 변화에 따른 밀도 변화를 측정하였다. 그림 8은 밀도 변화를 선회 다짐 횟수에 따라 도시한 것이다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 표준 공시체에 비하여 첨가제 II가 혼입된 혼합물의 밀도가 다짐 횟수 증가에 따

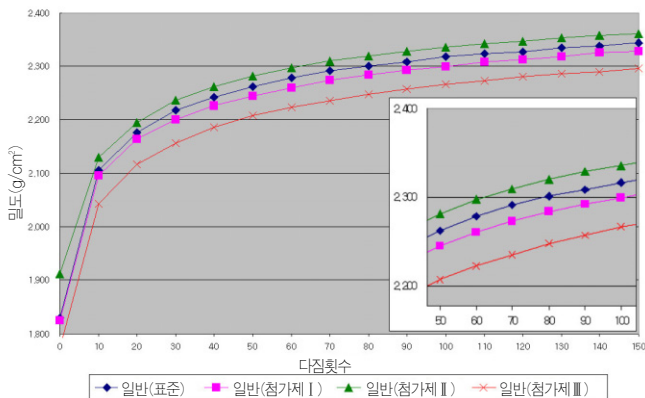


그림 8. 일반 아스팔트 혼합물의 다짐시험 결과

라 크게 나타났으며 첨가제 I과 III이 혼입된 혼합물의 경우 표준 공시체에 비하여 밀도가 낮게 나타났다.

4.2. SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물

SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물 표준 공시체는 150℃에서 준고온 혼합물은 120℃에서 다짐을 실시하였다. 그림 9는 다짐 시험 결과이다. 첨가제 II와 첨가제 III이 혼입된 혼합물의 밀도가 표준 공시체에 비하여 크게 나타났으며 첨가제 I이 혼입된 경우는 낮게 나타났다.

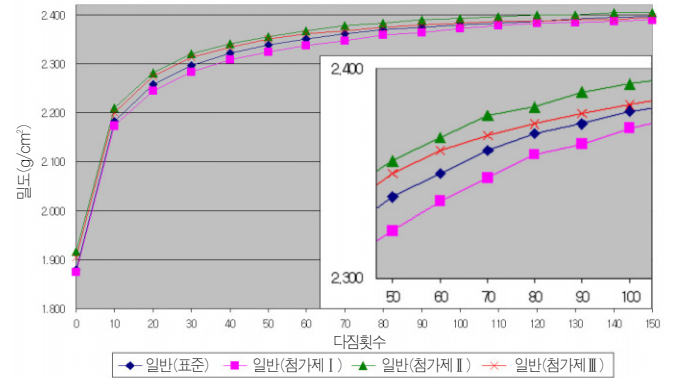


그림 9. SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물의 다짐시험 결과

4.3. SMA 혼합물

SMA 혼합물은 표준 공시체를 150℃에서, 준고온 SMA 혼합물은 120℃에서 다짐을 실시하여 밀도 변화를 비교하였다. 그림 10은 SMA 혼합물의 다짐 시험 결과이다. SMA 혼합물의 경우 모든 준고온 SMA 혼합물에서 밀도가 증가하는 것으로 나타났다.

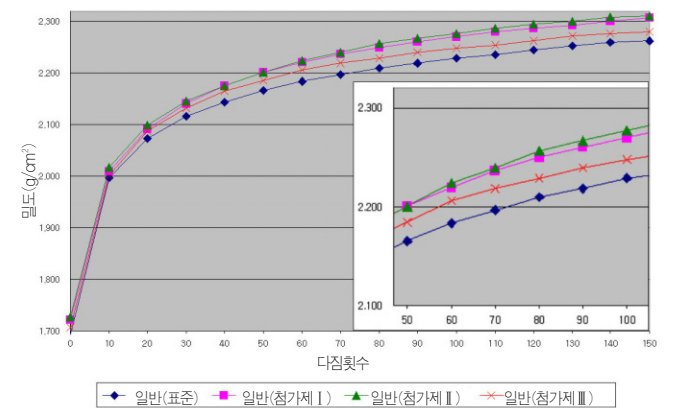


그림 10. SMA 혼합물의 다짐시험 결과

5. 비교 분석 및 고찰

일반 아스팔트 혼합물의 경우 준고온 첨가제 II가 SBS고분

자 개질 아스팔트 혼합물의 경우에는 준고온 첨가제 II와 III 이 SMA의 경우에는 모든 준고온 첨가제가 밀도를 향상시키는 것으로 발견되었다. 다짐온도 저하와 다짐도의 관계에서는 1차 저감온도(표준 온도에 비하여 30℃ 저감)에서는 약 99.8%의 다짐도를 2차 저감온도(표준 온도에 비하여 50℃)를 저감한 경우에는 다짐도가 99.5%로 나타나서 온도 저감에 따른 다짐도는 크게 변화하지 않아서 준고온 첨가제의 혼입은 다짐 온도가 저하하더라도 다짐도에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 발견 사항으로는 준고온 첨가제가 각종 아스팔트 혼합물에 혼입될 경우 첨가제에 따라 다짐도와 밀도 변화가 다르게 나타나기 때문에 이러한 상관관계를 고려하여 첨가제 선정 시 고려되어야 할 사항으로 나타났다.

6. 결론

준고온 첨가제의 종류 및 함량을 변화시키고 다짐 온도 변화에 따른 준고온 아스팔트 혼합물의 다짐도를 시험 분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 1차에서 온도를 30℃, 2차에서 저감 온도를 50℃로 저감하여 시험한 결과 1차 저감에서는 평균 99.8%의 다짐도를 나타냈으며 2차 저감에서는 99.5%를 나타내서 다짐 온도 저하로 인한 준고온 아스팔트 혼합물의 다짐도 변화가 현저하게 발견되지 않았다.
- 2) 준고온 첨가제의 혼입과 시간 경과의 관계를 분석한 결과 준고온 첨가제가 혼입된 시간으로부터 120분 경과 후에 밀도가 가장 크게 증가하였다. 이는 준고온 첨가제의 혼입 후 방치 시간도 다짐도에 영향을 미치는 중요한 변수라는 것을 나타내는 결과이다.

- 3) 다짐 방법을 선회 다짐으로 실시한 결과 혼합물의 종류에 따라 밀도의 변화가 첨가제의 종류에 따라 서로 다르게 나타났다. 혼합물 중에서는 SMA 혼합물이 표준 공시체에 비하여 밀도가 모두 증가하여 준고온 첨가제의 혼입이 SMA의 다짐도에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.
- 4) 혼합물과 준고온 첨가제는 종류에 따라 밀도의 변화와 다짐곡선의 변화가 서로 다르게 나타나서 혼합물의 종류와 준고온 첨가제의 종류는 서로 영향을 주는 것으로 발견되었다.

참고 문헌

- National Cooperative Highway Research Program (Project 09-43) "Mix Design Practices for Warm Mix Asphalt Technologies", 2007
- National Cooperative Highway Research Program (Project 09-47) "Engineering Properties, Emissions, and Field Performance of Warm Mix Asphalt Technologies", 2008
- The Washington state Department of Transportation(WSDOT), *I-90 west of George paving-warm mix asphalt*, 2008
- The U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration(FHWA), *Warm mix asphalt: European practice*, Feb. 2008
- Olof Kristjansdottir, Warm mix asphalt for cold weather paving, University of Washington, *Master of Science in civil engineering*, 2006.
- 海老澤秀治, 五傳本 一, 케미칼포-모드아스팔트お用いだ 中温化技術, 포장 35-10, pp.19-24, 2000.

접 수 일 : 2009. 11. 20
 심 사 일 : 2009. 11. 20
 심사완료일 : 2009. 11. 24