

선회다짐기 다짐곡선을 이용한 아스팔트 혼합물의 소성변형 특성 평가

Evaluation of Rutting Performance of Hot Mix Asphalt with Compaction Curve of Gyratory Compactor

박태성* / 이관호** / 이병식*** / 현성철****
Park, Tae-Seong / Lee, Kwan-Ho / Lee, Byung-Sik / Hyun, Seong-Cheol

Abstract

For the time being, HMA test specimen were prepared by Marshall Compaction Method for hot mix asphalt design and evaluated the mechanical properties of HMA at the specified air voids. Gyratory Compaction can simulate the field compaction process and measure the degree of compaction just after field compaction in laboratory. Superpave mix design with Gyratory compactor has been used for characterization of performance. The curve of gyratory compaction can be used to evaluate the permanent deformation potential of hot mix asphalt. In this paper, couple of indices for hot mix asphalt have been showed for hot mix asphalt in Korea. The major properties from gyratory compaction curve are compaction energy index and traffic compaction index. The specific guide line for the potential of hot mix asphalt has been proposed.

key words : hot mix asphalt, mix design, gyratory compactor, superpave, compaction energy index, permanent deformation

요 지

지금까지 이용된 아스팔트 혼합물 배합설계는 주로 마샬다짐방법을 이용하여 시편을 제작하였고, 정해진 공극률에 맞추어 제작된 시편의 간단한 역학적 특성치를 이용하였다. 선회다짐기를 이용한 다짐방법은 아스팔트 포장의 시공과정 및 시공 후 발생하는 아스팔트 표층의 다짐정도를 실내에서 구현할 수 있는 다짐방법이다. 선회다짐기를 이용하는 슈퍼페이브 배합설계는 주로 아스팔트 포장의 공용성 측면에 맞추어 이용되고 있다. 그러나, 선회다짐기는 아스팔트 혼합물의 다짐특성을 평가할 수 있는 좋은 다짐방법임에도 불구하고, 주로 시편제작용으로만 이용되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 슈퍼페이브 선회다짐기의 중요 특징중의 하나인 아스팔트 혼합물의 다짐특성을 평가할 수 있는 지표를 개발하고, 이를 국내 아스팔트 혼합물 다짐곡선에 적용해 보는 것이다. 선회다짐기의 다짐곡선으로부터 얻을 수 있는 다짐특성지표는 크게 다짐에너지지수와 교통다짐에너지지수가 대표적인 값이다. 이러한 다짐에너지 곡선을 이용하여 아스팔트 혼합물의 소성변형 가능성을 평가하였고, 이를 적용할 수 있는 기준안을 제시하였다.

핵심어 : 아스팔트혼합물, 배합설계, 선회다짐기, 슈퍼페이브, 다짐에너지지수, 소성변형

* 한국도로교통기술원 도로연구부 연구원 (e-mail: aquatic82@hotmail.com)
** 정희원 · 교신저자 · 공주대학교 건설환경공학부 부교수
*** 정희원 · 공주대학교 건설환경공학부 부교수
**** 공주대학교 건설환경공학부 석사과정

1. 서 론

현재 일반적으로 아스팔트 혼합물의 역학적 특성은 사용되는 골재의 입도와 아스팔트 바인더의 특징에 따라 크게 달라진다. 기존의 마살다짐방법을 이용한 배합설계에서는 충격다짐에너지를 이용하여 다짐을 시행하고, 제작된 시편의 강도특성인 안정도와 흐름특성을 평가하여 배합설계에 적용하였다. 1990년대 미국에서 개발된 슈퍼페이브 배합설계는 기존의 마살다짐방법을 이용한 배합설계의 단점을 보완하기 위하여, 현장다짐조건을 모사할 수 있는 선회다짐기의 이용 및 교통하중조건을 고려한 배합설계법을 개발하였다. 슈퍼페이브 배합설계에서 이용되는 선회다짐기의 선회다짐회수(Nini, Ndeg, 및 Nmax)는 시공되는 도로의 교통량 조건을 감안하여 결정되며, 이를 이용하여 아스팔트 혼합물의 다짐곡선을 결정하게 된다. 다짐곡선으로부터 다짐중에 변하는 아스팔트 혼합물의 밀도특성을 이론최대밀도를 이용하여 상대평가한 값으로 표시할 수 있고, 이중 89%, 96% 및 98% 값이 중요한 지표로 이용된다. 이러한 값들은 아스팔트 혼합물의 배합설계시 아스팔트 바인더의 함량 및 골재의 입도등의 적정성을 평가하는 중요한 요소로 활용되고 있다. 설계기준 값으로는 아스팔트 포장체의 시공 및 교통개방 후 4% 공극율에서의 Ndeg이 있다(Bahia et al., 1998). 슈퍼페이브 선회다짐기를 이용한 배합설계는 기존의 마살배합설계에서의 아스팔트 혼합물의 강도특성을 이용하기 보다는 다짐비율(densification rate)을 아스팔트 혼합물의 역학적 특성을 평가할 수 있는 대체 방법으로 활용하고 있다. 내구성 또는 골재 입자의 맞물림 현상이 강한 아스팔트 혼합물은 선회다짐기를 이용한 다짐시 다짐에너지가 많이 필요하다. 즉, 다짐비율이 적은 아스팔트 혼합물이 내구성 또는 역학적 특성이 좋을 수 있음을 의미한다.

본 연구에서는 슈퍼페이브 배합설계시 선회다짐기를 이용한 다짐곡선을 좀더 세밀히 분석하여, 아스팔트 혼합물의 소성변형특성 평가의 하나의 대안으로 활용할 수 있는 방안을 제시하고자 한다. 즉, 아스팔트 포장체의 시공 및 공용중에 발생하는 다짐밀도의 변화특성을 선회다짐기를 이용한 배합설계에서 얻어진 다짐곡선을 이용하여 하중특성에 따른 아스팔트 혼합물의 밀도변화 특성을 평가하는 것이 주 목적이다. 이를 위해 표층용 밀입도 혼합물 13mm 및 19mm, SMA 13mm 및 기층용 25mm 아스팔트 혼합물을 이용하였다.

2. 선회다짐기

일반적으로 기존의 충격다짐과는 다른 로울러 다짐방법을 모사한 최초의 선회다짐기가 1939년 미국 텍사스주 교통국에서 개발되었다. 텍사스주 교통국에서 개발된 선회다짐기는 많은 연구기관에서 여러 차례 개량되었고, 현재와 유사한 형태의 모델이 미 육군 공병단에 의해 개발되었다(Ortolani & Sandberh, 1952). 개발된 장비는 1957년 AAPT(Association of Asphalt Paving Technologist) 학술발표회에서 소개되었다. 선회다짐기는 수직압력과 회전각, 그리고 현장 다짐장비와 장래의 교통량을 재현하기 위한 회전수를 조절 할 수 있는 장비이다. 선회다짐기를 개발한 주요 이유는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- ① 연속된 교통하중 및 차량하중에 의한 밀도가 큰 시편의 제작
- ② 실제포장체가 경험하는 응력-변형조건을 실내 실험에서 구현
- ③ 아스팔트 포장의 파손에 필요한 차량주행반복횟수의 결정
- ④ 기존의 충격다짐방법의 한계를 극복할 수 있는 새로운 다짐방법의 필요

그림 1은 미육군공병단에서 개발된 선회다짐기를 보여준다. 이 다짐기는 시편의 제작 중에 하중 및 다짐횟수에 따른 시편의 변형량을 측정할 수 있고, 이를 기초로 각종 지표를 제시하였다.

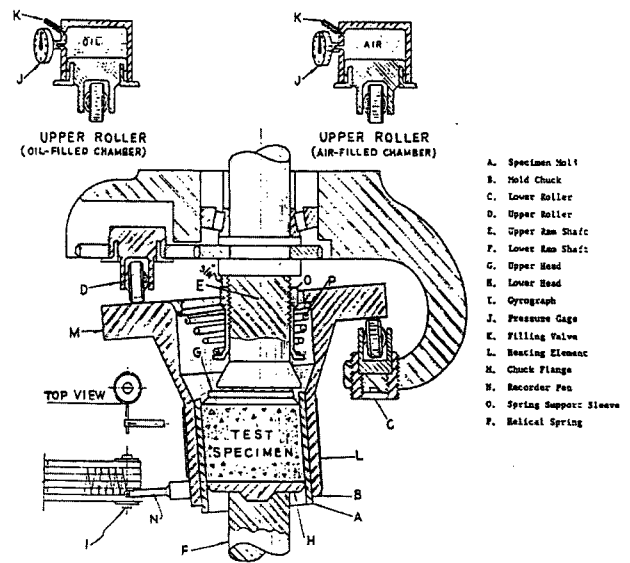


그림 1. 미육군공병단의 선회다짐기 (NAVFAC DM-7)

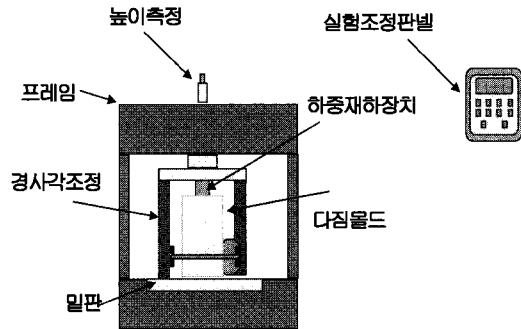
미국의 전략적 도로연구사업(SHRP, Strategic Highway Research Program) 연구사업 중의 하나인 다짐방법의 개선연구에서는 기존의 미육군공병단에서 개발된 선회다짐기를 개량하여 시험시편만을 제작하는 용도의 선회다짐기를 개발하였다(SHRP, 1994, Lee, 1996, Butcher, 1997, Hinrichsen, 2000, Mallick, 2000).

본 연구에 이용된 선회다짐기는 SHRP의 Super-pave 다짐기준을 만족하는 장비로서, 국내에 도입되어 사용되고 있는 선회다짐기의 종류로 Servopac 선

회다짐기를 이용하였다. 본 연구에 이용된 Servopac 선회다짐기는 그림 2(a)에 나타내었고, 선회다짐기의 구성요소는 그림 2(b)에 나타내었다. 중요 제원은 표 1과 같다. 다짐방법은 현장에서 다짐 로울러에 의해 다짐되는 현상과 같이 그림 3에서처럼 몰드안의 시료에 압축력과 다짐몰드의 회전에 의해 발생하는 전단력을 작용시켜 다짐을 수행한다. 다짐과정은 컴퓨터와 연결되어 제어되며, 다짐중의 시편의 높이, 다짐횟수, 다짐압력, 다짐밀도 등이 실시간으로 표시된다.



(a) Servopac 선회다짐기



(b) 선회다짐기의 구성요소

그림 2. 선회다짐기

표 1. 선회다짐기의 중요제원

구 분	주요 항목	주요 내용
외형	크기	197cm × 76cm × 45cm (높이×가로×세로)
	총중량	240 kg
다짐몰드	직경	100mm, 150mm
	높이	270mm
	두께	10mm
	마감상태	≤ 0.4μm
	표면경도	48 Rockwell C
다짐관련	하중	20kN ± 100N
	응력	최대 999kPa
	다짐속도	3 ~ 60 ± 0.1 회/분
	회전각도	0.02 ~ 3 ± 0.02 도
시편	최소높이	50mm
다짐압	공기이용	건조공기, 800 ~ 1000kPa, 최소공기량 5L/sec

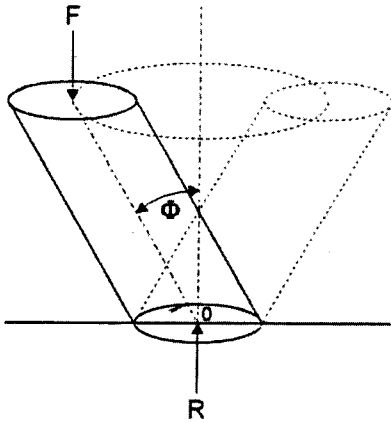


그림 3. 선회다짐기의 다짐원리

3. 선회다짐기 다짐곡선을 이용한 아스팔트 혼합물 특성평가법

본 NCHRP 9-16 보고서, 선회다짐기의 다짐특성과 아스팔트 혼합물의 공용기간중의 소성변형특성과의 상관관계에 의하면 배합설계 및 시험용 시편 제작시 이용하는 선회다짐기의 다짐특성곡선으로부터 아스팔트 혼합물의 소성변형특성을 예측할 수 있는 것으로 나타났다. 일반적으로 선회다짐동안 나타나는 다짐곡선은 주어진 아스팔트 혼합물의 다짐특성을 잘 대변한다. 특히, 공극률 8%를 전후하여 8%보다 큰 초기 다짐은 현장에서의 다짐 장비를 이용한 시공과정을 모사한다. 8%이하의 공극률에서의 다짐특성은 도로포장이 교통하중에 의해 다져지는 효과를 모사한다고 할 수 있다. 따라서 선회다짐기로부터 얻어지는 다짐특성곡선은 각각의 아스팔트 혼합물의 소성변형과 관련된 매우 중요한 정보를 제공한다고 볼 수 있다.

선회다짐기기의 다짐곡선을 이용한 소성변형특성 평가는 크게 3가지 분류로 나누어 볼 수 있다 (Faheem et al, 2005).

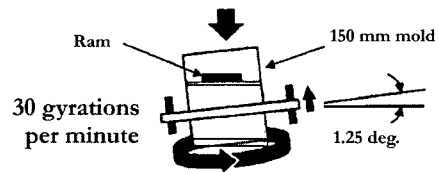
첫째는, 선회다짐기기의 다짐곡선의 기울기(SGC Compaction Slope)를 이용하는 방법으로, 주로 Anderson, Langlois, Tarn 등에 의해 제시된 방법이다. 선회다짐기의 다짐곡선은 아스팔트 바인더의 특성에는 거의 영향을 받지 않고, 주로 골재의 종류 및 입도에 의해 크게 영향을 받는 것으로 나타났다.

이 방법은 다짐곡선을 로그축의 선회다짐횟수와 일 반대수축의 이론최대밀도(%) 상에서 각각의 다짐곡선의 기울기(kSGC)를 평가하는 것이다. 각각의 다짐곡선의 기울기는 선회다짐기에서 다짐이 되는 동안 다짐에 대한 저항능력을 나타내는 것이다. 이는 현장에서 다짐롤러를 이용하여 다짐을 하는 과정을 잘 모

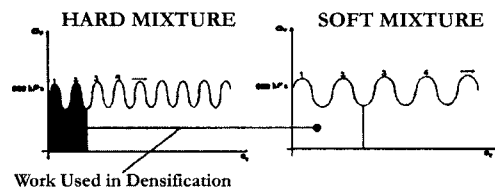
사한다고 볼 수 있다. 일반적으로 골재의 형상이 각이 지고, 표면조각이 거친 골재일수록 원형 잔골재에 비해 다짐에 대한 저항능력이 커진다.

둘째는, 선회다짐기의 다짐횟수와 다짐곡선과의 상관관계를 이용하는 방법이다. 이 방법은 주로 선회다짐비(Gyratory Ratio), N98/N95 등을 이용하는 것이다. 특히, Bahia는 다짐곡선을 이용한 에너지 해석법을 제시하였다. 선회다짐시 다짐에너지는 아스팔트 혼합물의 파괴변화를 만들고, 이러한 다짐에너지는 다짐시의 온도에 의해 영향을 받기는 하지만, 주로 골재의 형상 및 입도에 큰 영향을 받는다. 선회다짐시 두 가지의 다른 응력이 아스팔트 혼합물에 적용된다. 하나는 600kPa(87psi)의 연직응력이 시편에 작용하고, 다짐동안 전단응력의 크기는 다짐정도에 따라 변화한다. 다짐동안의 전단응력은 다짐되는 아스팔트 혼합물 골재의 마찰특성과 밀접한 관계를 나타낸다. 마찰저항이 클수록 다짐에너지는 증가하고, 다짐이 어려워진다고 볼 수 있다.

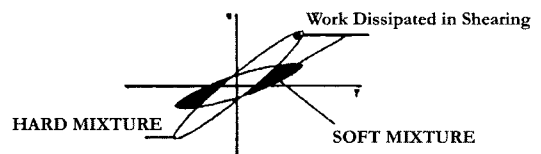
다짐에너지를 이용하는 해석법에서는 그림 4에서 처럼 다짐시 이론최대밀도 대비 공극률이 8%를 기준으로 이보다 큰 경우는 현장에서 포설 후 다짐을 하는 과정이고, 8%보다 작은 영역은 포장이 완공된 후, 교통하중에 의해 다짐이 되는 과정을 모사한 것이다. 다짐에너지는 크게 N_{ini} 에서 92% Gmm, 92% Gmm에



(a) Gyration Kinematics



(b) Vertical Stress and Vertical Deflection



(c) Dissipation of Work in Shearing

그림 4. 다짐에너지 해석법(Bahia 등, 1998)

서 96% Gmm, 92% Gmm에서 98% Gmm에서의 에너지로 구분하여 적용할 수 있다. 일반적으로 4% 공극율은 아스팔트 도로포장이 안정화된 상태에서 최상의 공용조건을 나타내는 것이고, 2% 공극율은 교통하중에 의해 다짐되어 피로균열이 발생할 수 있는 조건을 의미한다.

셋째는, 선회다짐기기의 다짐시 전단응력을 측정하여 아스팔트 혼합물의 소성변형특성을 평가하는 방법이다. 이 방법은 미육군공병단에서 개발된 선회다짐기의 전단응력 측정자료를 적극 활용하는 것으로, 최근에 개발되어 사용되는 Servopac 선회다짐기에서도 측정이 가능하다.

4. 아스팔트 혼합물 배합설계 및 분석

4.1 실험재료특성

본 연구에 사용된 아스팔트 혼합물 종류는 밀입도 표층용 13mm 및 19mm, 기층용 25mm, SMA 13mm, 개질아스팔트 혼합물 19mm 등이다. 실험에

이용된 골재는 우리나라에서 보편적으로 이용하는 화강암골재를 이용하였고, 각각의 혼합물별로 사용된 골재의 입도는 아래의 표 2와 같다. 사용된 아스팔트 바인더는 국내에서 보편적으로 이용되는 AP-3와 AP-5를 이용하였다.

4.2 아스팔트 혼합물의 부피특성

표 3은 각각의 아스팔트 혼합물의 배합설계시 얻어진 자료를 정리한 것이다. 각각의 아스팔트 혼합물의 최적아스팔트 함량, N_{ini} , N_{deg} , 및 N_{max} 에서의 % G_{mm} , VMA 및 VFA를 나타내고 있다. 측정된 모든 값은 슈퍼패브 배합설계 기준을 만족시키는 것으로 나타났다.

4.3 아스팔트 혼합물의 다짐특성

표 4는 각각의 아스팔트 혼합물의 배합설계시 얻어진 다짐곡선으로부터 다짐관련 특성지수만을 정리한 것이다. 다짐관련 특성지수는 크게 3가지로 구분된다.

표 2. 골재의 입도

체크기 (mm)	아스팔트 혼합물 종류 (통과 %)			
	표층용 13mm	표층용 19mm	기층용 25mm	SMA
40	-	-	100	-
25	100	100	-	-
19	97.5	97.5	87	100
13	82.5	82.5	-	96.5
10	-	-	65	47.5
5	55	55	49	23
2.5	39.5	39.5	37	17.5
1.2	-	-	-	14
0.6	23	23	-	11.5
0.3	15.5	15.5	14	10
0.15	10	10	-	-
0.08	6	6	4	9.5

표 3. 배합설계자료를 이용한 아스팔트 혼합물의 부피특성

혼합물 종류			AC Cont.	% G_{mm} at N_{ini}	% G_{mm} at N_{des}	% G_{mm} at N_{max}	% Air Voids	% VMA	% VFA
혼합물	입경	바인더							
표층용	13mm	AP-3	5.2	88.2	96.0	97.1	4.0	15.4	74.0
		AP-5	5.3	89.4	96.0	97.2	4.0	15.8	75.1
표층용	19mm	AP-3	5.1	85.9	96.0	97.5	4.0	15.1	73.5
		AP-5	5.1	86.3	96.0	97.3	4.0	15.5	74.6
기층용	25mm	AP-3	4.3	87.6	96.0	96.9	4.0	13.6	70.6
		AP-5	4.5	88.2	96.0	97.0	4.0	13.9	71.1
SMA	13mm	AP-3	5.7	82.6	96.0	97.7	4.0	16.9	76.3
		AP-5	5.7	83.3	96.0	97.7	4.0	16.3	75.5

표 4. 아스팔트 혼합물의 다짐특성 평가

혼합물구분			N _{ini} -N _{des} 기울기 (semi-log scale)	지수함수상의 기울기		N _{des} -N _{max} 기울기 (semi-log scale)
혼합물	입경	바인더		@N _{ini}	@N _{des}	
표층용	13mm	AP-3	7.6	0.439	0.044	0.028
		AP-5	6.4	0.381	0.038	0.030
표층용	19mm	AP-3	9.8	0.562	0.058	0.038
		AP-5	9.4	0.538	0.056	0.033
기층용	25mm	AP-3	7.0	0.392	0.039	0.009
		AP-5	6.5	0.370	0.037	0.010
SMA	13mm	AP-3	11.2	0.607	0.064	0.016
		AP-5	10.6	0.581	0.061	0.016

첫 번째로는, 그림 5와 같이 세미로그 스케일상의 각각의 아스팔트 혼합물의 다짐곡선에서 결정되는 N_{ini}-N_{des} 기울기가 있다. 선화다짐기를 이용한 시편의 제작시 아스팔트 혼합물은 일정한 600kPa(87psi)의 연직응력이 시편에 작용하고, 다짐동안 전단응력의 크기는 다짐정도에 따라 변화한다. N_{ini}-N_{des} 기울기가 작을수록 아스팔트 혼합물의 다짐이 어려움을 의미하고, 이는 공학적으로 아스팔트 혼합물내의 골재의 맞물림 현상에 의한 전단저항력이 크게 발생하는 것을 의미한다. 이러한 관점에서 볼 때, SMA 아스팔트 혼합물의 초기 다짐이 다른 혼합물에 비해 양호함을 간접적으로 설명하는 것으로 볼 수 있다. 두 번째 다짐관련 특성지수로는 N_{ini} 및 N_{des}에서의 지수함수상의 기울기가 있다. 여기서 결정되는 기울기 역시 N_{ini}-N_{des} 기울기와 동일한 공학적 의미를 가지고, 표 4에 제시된 다짐곡선 분석결과에서 볼 수 있듯이, SMA 혼합물의 다짐저항 특성이 작은 것을 알 수 있다. 세 번째 지표로는 N_{des}-N_{max} 기울기가 있다. 이 구간에서의 기울기는 일반적으로 도로포장체의 시공이 완료된 이후, 교통개방시 발생하는 아스팔트 포장체의 다짐특성을 의미한다. 이는, 측정된 기울기가 작

을수록, 교통하중에 의한 다짐효과에 대한 저항성이 큰 것을 의미한다.

4.4 아스팔트 혼합물의 다짐에너지 평가

표 5는 각각의 아스팔트 혼합물의 배합설계시 얻어진 다짐곡선으로부터 다짐에너지 특성치를 나타내고 있다. 아스팔트 혼합물의 다짐에너지 특성치는 크게 두 가지로 구분되는데, 첫 번째는 도로포장체의 시공을 위한 다짐과정에서 특정한 다짐밀도를 맞추기 위해 필요한 다짐에너지(Compaction Energy Index, CEI), 두 번째로는 도로포장체의 시공완료 후 교통개방으로 인한 교통하중유발 다짐에너지(Traffic Densification Index, TDI)가 있다. 그림 5에 제시된 것과 같이 CEI 및 TDI는 선화다짐기를 이용할 경우 얻을 수 있는 다짐에너지 평가 지수로서, 아스팔트 포장의 시공 및 교통개방후 발생하는 다짐특성을 보여주는 매우 유용한 지표라 할 수 있다.

CEI의 결정은 y축선상의 이론최대밀도의 88%에서 92%사이의 다짐곡선의 면적을 계산하여 결정한다. 이는 도로포장체의 시공을 위해 아스팔트 플랜트로부터 현장에 운송된 아스콘의 적절한 다짐을 위한 다짐

표 5. 아스팔트 혼합물의 다짐에너지특성 평가

혼합물 구분			다짐에너지 88% to 92% G _{mm}	다짐에너지 92% to 96% G _{mm}	다짐에너지 92% to 98% G _{mm}
혼합물	입경	바인더	CEI	TDI ₉₆	TDI ₉₈
표층용	13mm	AP-3	29.0	136.2	321.3
		AP-5	10.4	141.2	389.2
표층용	19mm	AP-3	76.8	102.4	230.9
		AP-5	68.7	115.7	258.8
기층용	25mm	AP-3	86.4	315.0	937.1
		AP-5	85.9	316.0	867.0
SMA	13mm	AP-3	472.7	218.2	407.5
		AP-5	411.9	225.8	446.6

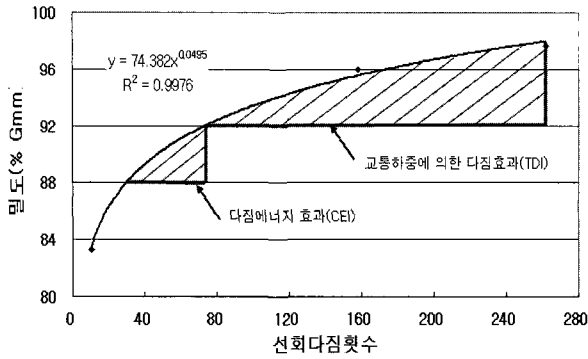


그림 5. 다짐에너지 결정방법

로울러의 다짐전압 또는 다짐횟수와 상관관계를 결정할 수 있다. 일반적으로 다짐밀도는 이론최대밀도의 92%수준으로 맞추는 것을 의미한다. 따라서, CEI는 도로포장체의 시공시 사용되는 아스팔트 혼합물의 다짐저항특성을 보여주는 지표라 할 수 있다. 다만, CEI 지표속에 내제된 상반된 의미중의 하나는 이론최대밀도를 88%수준에서부터 시작하므로, 선회다짐기의 연직하중 적용시 초기에 발생하는 다짐의 과다정도가 CEI값에 매우 큰 영향을 줄 수 있다. 즉, 선회다짐 전 단순한 연직하중의 적용시 과다하게 다짐이 발생하는 시편의 경우 CEI값이 비교적 적게 나타나고, 이를 내구성이 있는 아스팔트 혼합물로 선정하는 오류가 발생할 수 있다. 따라서, CEI값의 이러한 내제된 오류를 제거하기 위해서는 시편의 선회다짐 1회시부터 이론최대밀도 92%까지의 곡선상의 면적을 이용하는 것이 오히려 바람직할 것으로 판단된다.

TDI는 도로포장체의 시공후 교통개방으로 인해 교통하중에 의해서 도로포장의 공용 기간중에 발생

하는 다짐효과를 의미한다. TDI는 그림 5에서 보는 것과 같이 이론최대밀도의 92% 수준에서부터 96% 또는 98%수준에서의 다짐에너지를 결정할 수 있다. 96%수준은 통상적인 아스팔트 포장체의 시공후 공용성이 좋은 조건인 4% 공극율을 의미하는 것이다. 단, 4% 공극율에서 도로포장체의 공용성이 좋다는 것은 지금까지 축적된 경험자료에 의해 도출된 결론이다. 98% 수준은 공극율 2% 수준을 의미하는 것으로, 이는 도로포장체의 공용수명을 거의 다 채운 도로포장체를 의미한다. 즉, 공용성지수(Present Serviceability Index, PSI)가 최저 기준값에 도달한 것을 의미한다.

5. 새로운 배합설계기준의 제안

본 연구의 결과를 이용하여 현행 배합설계방법을 수정한 대안을 제시하고자 한다. 제안된 수정배합설계법은 실내실험 결과만을 가지고 정의된 것이므로, 추후 현장실험 및 보완자료가 필요할 것으로 판단된다. 좋은 도로포장체를 만들기 위한 아스팔트 혼합물의 최적배합설계를 위해서 크게 두가지 요소가 균형을 이루어야 한다. 즉, 시공(construction)과정과 공용중의 도로성능이 중요한 요소가 된다. 시공과정과 관련된 기준은 표 6에 나타난 것과 같다. 교통하중 개방이후 발생하는 공용기간동안의 공용성능과 관련된 기준은 표 7에 제시된 것과 같다. 표 6 및 7에 제시된 기준을 적용한다면, 현재 우리가 사용하고 있는 골재의 입도, 골재의 입경, 굵은골재와 잔골재의 비 등을 굳이 시방 기준 값으로 이용하지 않아도 될 것이다.

표 6. 시공과정상 기준안

선회다짐조건	N_{im} 에서 이론최대밀도의 89% 수준
기준	연한 아스팔트혼합물(Tender Mix)이 되는 것을 방지하여야 한다. 아스팔트 혼합물의 다짐정도는 하나의 특정 포인트에서 평가할 수 없다. 또한, N_{deg} 의 결정과 달리 N_{im} 는 현실을 충분히 반영한 것이라 할 수 없다. 따라서, 92%수준의 이론최대밀도에 맞추기 위한 현장다짐에너지는 선회다짐기의 초기에서 이루어진다. 경험적으로 볼 때 약 5-6회정도 범위에서 결정된다. 이러한 초기 선회다짐회수를 이용한 기준보다는 CEI를 이용한 기준값을 적용하는 것이 좀더 공학적인 의미를 가진다 할 수 있다.
최적의 시공	연한아스팔트혼합물이 되지 않고, 충분한 시공성을 확보할 수 있는 범위의 CEI값
최적의 공용	선정된 아스팔트 혼합물은 교통하중에 의한 다짐에 충분한 저항성을 가져야 함
제안된 기준	최적아스팔트 함량에서의 CEI는 연한아스팔트 혼합물을 피하기 위한 최소 CEI과 충분한 시공성을 확보할 수 있는 최대 CEI값 사이의 값을 적용함

표 7. 공용성에 근거한 기준안

선회다짐조건	N_{deg} 에서 이론최대밀도의 96% 수준과 N_{max} 에서 이론최대밀도의 98%
기준	일반적으로 교통하중에 의해 발생하는 다짐을 어느 정도 고려하여야 하는지는 불분명하다. 또한 슈퍼페이브에서 제시한 N_{deg} 과 N_{max} 의 의미역시 명확하지 않다. 따라서, 교통하중에 의한 도로포장체의 다짐효과는 도로설계시 적용되는 ESAL과 밀접한 상관관계가 있다. 이러한 ESAL값과 선회다짐시 얻어지는 다짐회수-밀도 관계를 적용하여 이용할 수 있을 것이다. 즉, ESAL 교통조건을 만족시킬 수 있는 선회다짐횟수는 92%수준에서의 밀도와 98% 수준에서의 밀도값을 구현할 수 있으면 될 것이다. 따라서, 적용되는 기준값은 이론최대밀도의 92%수준에서부터 98% 수준을 만족시킬 수 있는 최소 TDI을 정의할 수 있을 것이다.
최적의 시공	아스팔트 혼합물은 표 6에 제안된 CEI값을 만족시켜야 함
최적의 공용	주어진 교통하중조건을 만족시키기 위해 필요한 최소 TDI는 교통하중에 대한 충분한 저항성을 가질 수 있을 정도가 되어야 함
제안된 기준	최적 아스팔트 함량에서의 TDI는 도로설계의 중요 입력변수중의 하나인 ESAL값에 근거한 교통하중조건을 충분히 지지할 수 있는 최소 TDI 이상의 값을 이용하여야 함

6. 결 론

선회다짐기를 이용한 배합설계 자료로부터 아스팔트 혼합물의 공용성 평가를 위한 분석을 실시하였고, 제한한 종류의 아스팔트 혼합물을 대상으로 하였지만 의미있는 결과를 다음과 같이 도출하였다.

슈퍼페이브 배합설계를 적용하여 사용된 아스팔트 혼합물의 최적아스팔트 함량을 결정하였다. 표층용 13mm 밀입도 혼합물의 최적아스팔트 함량은 5.2%, 표층용 19mm 밀입도 혼합물은 5.1%, 표층용 SMA13mm는 5.7%를 이용하였다.

선회다짐곡선의 $N_{ini}-N_{deg}$ 구간의 기울기는 초기다짐효과를 의미하면 기울기가 클수록 다짐에 대한 저항성이 큰 것을 의미한다. 19mm 표층용 아스팔트 혼합물의 초기다짐저항 효과가 큰 것으로 나타났다.

$N_{deg}-N_{max}$ 구간의 기울기는 도로포장 완성후 차량개방으로 인한 공용성 평가를 의미한다. 이구간의 기울기는 적을수록 소성변형에 대한 저항성이 큰 것을 의미한다. 사용된 혼합물중 SAM 아스팔트 혼합물의 구간 기울기가 평균 0.016으로 나타났고, 이는 다른 혼합물에 비해 소성변형에 대한 저항성이 큼을 의미한다.

다짐장비에 의한 다짐에너지(CEI) 및 교통하중으로 인한 다짐에너지(TDI)는 아스팔트 포장 시공 및 교통개방 후 발생하는 다짐특성을 보여주는 매우 유용한 지표이다. 시공과정중의 다짐에너지는 SMA 혼합물이 가장 크게 나타났고, 교통개방후 다짐에너지는 25mm 기층용 혼합물과 SAM 13mm 혼합물이 가장

크게 나타났다.

선회다짐기를 이용한 배합설계 자료 분석을 통해 시공과정상에서 현재 사용중인 다짐장비의 전압횟수 대신 CEI를 이용하고, 공용중인 도로포장체의 관리기준은 TDI를 적용하는 것이 더욱 효율적인 관리방안이 될 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 공주대학교 STAR PROJECT 지원사업의 지원을 받아 연구되었고, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Bahia, H. U., Frimel, T. P., Peterson, P. A., Russel J. S., and Poehnel, B. (1998). "Optimization of Constructivity and Resistance to Traffic : A New Design Approach for HMA Using the Superpave Compactor", AAPT, Vol. 67, pp. 189-232
- Butcher, M. (1997). "Determining Gyratory Compaction Characteristics using the Servopac Gyratory Compactor", TRB Annual Conference
- Faheem, A. F., Bahia, H. U., and Ajideh, H. (2005). "Estimating Results of a Proposed Simple Performance Test for Hot-Mix Asphalt from Superpave Gyratory Compactor Results", TRR 1929, pp. 104-113
- Hinrichsen, J. (2000). "A Comparison of Four

- Brands Superpave Gyrotory Compactor", TRB Annual Conference
- Lee, K. (1996). "The use of waste materials in hot mix asphalt", Ph.D Thesis, Dept. of Civil Engineering, Purdue Univ., W. Lafayette, IN, USA
- Mallick, R. B. (2000). "Use of Superpave Gyrotory Compactor to Characterize Hot Mix Asphalt (HMA)", TRB Annual Conference
- Ortolani, L. and Sandberh, H. A. (1952). "The Gyrotory Shear Method of Modeling Asphaltic Concrete Test Specimens ; Its Development and Correlation with Field Compaction Methods", Proceeding, AAPT, Vol. 21, pp. 280-297.
- SHRP (1994). "The SUPERPAVE Mix Design System Manual of Specifications, Test Methods and Practices", Strategic Highway Research Program, SHRP-A-379, National Research Council, Washington, D.C., pp 125.

© 논문접수일 : 2007년 04월 27일

© 심사의뢰일 : 2007년 05월 03일

© 심사완료일 : 2007년 06월 12일