

선회다짐기의 전단강도를 이용한 아스팔트 혼합물의 평가

Evaluation of Asphalt Mixtures Using Gyrotory Shear Strength

황성도* · 이문섭** · 양성린** · 전성일***

Hwang, Sung Do · Lee, Moon Sup · Yang Sung Lyn

1. 서론

실내에서 아스팔트 혼합물을 다지는 방법을 선택함에 있어서, SHRP 연구원들은 몇 가지 목표를 두고 선회다짐기를 개발하였다. 가장 중요하게 생각한것은 실제 포장에서 발생하는 온도 및 하중작용 조건하에서 아스팔트 혼합물 시료를 현실에 가깝게 다지는 것이었다. 다짐량이 낮으면 소성변형, 박리 그리고 라벨링같은 문제점이 발생하고, 다짐량이 많으면 소성변형, 블리딩이 발생하기 때문이다.

현재 "Shear compaction" 원리로 조작되는 수퍼패브 선회다짐기는 단지 수직압력 뿐만아니라 전단 변형도 발생한다는 것을 나타낸다. 이 두가지 요소로 인하여 현장 다짐을 유사하게 모사하고 있다. 수퍼패브 선회다짐기는 개발 당시 단지 밀도를 높이기 위하여 개발되었으며, 다짐량이나 다짐 동안의 선회 전단 강도의 측정은 시도하지 않았다.

다짐량과 아스팔트 혼합물의 강도 사이의 관계 때문에, 혼합물의 강도를 평가와 관련하여 다짐 변수의 개발이 여러방면으로 시도되었다. 선회다짐기는 다짐하는 동안에 높이의 변화를 측정하는 것뿐만 아니라 "Gyrotory Shear Strength"로 불리는 변수를 통해 다짐 저항성에 대한연구가 이루어지고 있다. 이 같은 선회다짐기는 시험을 단순하게 하는 장점과 다짐하는 동안 공극 범위에 따라서 선회 전단 강도 변수를 얻는 능력을 가지고 있다. 그러나 선회 전단 강도의 의미와 강도와 민감성과 같은 혼합물 특성과의 관계가 논점으로 남아 있다.

혼합물의 민감도와 강도의 지표로써 선회 전단강도 변수가 사용 가능한지에 대하여 확인하고, 선회 전단 강도, 밀도 그리고 공극사이의 관계에 대하여 연구하였다. 수퍼패브 다짐 특성이 공용성과 관련된 시험과 관련이 있는지 파악하기 위해서 인장강도, Failure Strain, Fracture Energy와 같은 파괴 한계들은 수퍼패브 IDT 시험과 APA 시험을 수행하였다.

2. 재료

2.1 아스팔트 및 골재

아스팔트의 분류는 침입도, 연화점 및 점도를 기준으로 하고 있으며, 우리나라에서는 KS M 2252 (침입도 분류에 의한 도로포장용 아스팔트) 및 KS M 2208 (점도 분류에 의한 도로포장용 아스팔트)에 따라 아스팔트를 분류하고 있다. 본 연구에 사용된 아스팔트는 국내에서 생산되고 우리나라에서 널리 사용되고 있는 AC 80-100, AC 60-80 등급의 아스팔트를 선정하였다.<표 1>.

본 연구에서는 전국적으로 분포가 많고 성능이 좋은 편마암(Gneiss)과 화강암(Granite)을 선정하였다. 이들을 각기 KS F에 규정된 방법에 따라 품질 시험한 결과는 <표 2>와 같다. 또한 굵은골재 최대치수를 19mm로 하여 잔골재, 채움재와 혼합하여 건설교통부 19mm 밀입도 규격을 사용하였다.

* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 선임연구원 · 공학석박사 · 031-910-0180 (E-mail : sdhwang@kict.re.kr)
** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 연구원 · 공학석사 · 031-910-0690 (E-mail : truepath@kict.re.kr)
*** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 연구원 · 공학사 · 031-910-0614 (E-mail : siyang@kict.re.kr)
**** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 연구원 · 공학석사 · 031-910-0542 (E-mail : jeonsi@kict.re.kr)



<표 1> 아스팔트의 물리적 특성

분 류	AC 80-100	AC 60-80
침입도 (0.1mm)	94	60
절대점도 (poise)	1,111	2,464
동점도 (cP)	285	425
연화점 (cm)	150	138
인화점 (°C)	317	334
비중	1.030	1.024

<표 2> 골재 특성

분 류	골재 형태	19mm	Fine	Filler
비 중	편마암	2.67	2.67	2.75
	화강암	2.72	2.74	2.83
흡수율 (%)	편마암	1.25	1.19	-
	화강암	0.55	1.41	-
마모율 (%)	편마암	17.76	-	-
	화강암	19.60	-	-

3. 결과 및 고찰

3.1 수정 수퍼페이브 배합설계

기존의 공극률이 아닌 전단 응력을 기준으로 아스팔트 함량을 결정한다. 전단 응력을 이용하여 아스팔트 함량에 따른 최적의 다짐 횟수를 구하고, 이를 이용하여 다짐 횟수-아스팔트 함량 그래프로 나타내어 설계 다짐 횟수와 일치되는 아스팔트 함량을 구하게 된다. 전단 응력으로 최종 결정된 아스팔트 함량에 따른 혼합물의 공극률이 절대적이지 않기 때문이다.

수정 수퍼페이브 배합설계 방법은 다음과 같은 기본 개념을 바탕으로 하고 있다.

- 물리적 성질을 설명하기 위한 공용성에 근거한 아스팔트 바인더 규격은 현장성능과 포장은도에 직접적인 연관이 있다.
- 체계적인 방법에 따른 포장재료 선택과 배합설계 방법은 현장 환경과 교통량에 따른다.
- 아스팔트 혼합물 규격은 성능과 역학에 기초해야만 하며, 현장 성능과 직접적인 관련이 될 수 있는 기본적인 물리적 성질로 표현되어야 한다.
- 경제적인 방법에 따라야 한다.

위와 같은 기본개념을 바탕으로 Roque 등이 전단응력을 고려하여 여러 가지 방법으로 평가를 하였으며, 본 연구에서 적용한 배합설계 방법은 다음과 같다.

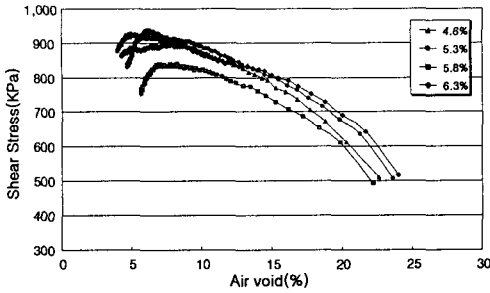
- N_{max} 선회다짐 횟수로 선회다짐기를 이용하여 각각의 혼합물을 다짐한다. 다짐 횟수(N_{ini} , N_{des} , N_{max})는 수퍼페이브 배합설계 방법과 동일하다.
- 다짐 중 시료 높이와 선회 다짐 횟수에 따른 전단응력을 측정한다.
- 공극률을 계산하고 공극률 vs 선회다짐횟수를 그래프에 도식한다.
- 각각의 아스팔트 함량에서 최대전단응력에서의 공극률과 대응하는 선회다짐 횟수를 결정한다..
- 선회다짐 횟수(N_{Smax}) vs 아스팔트 함량을 그래프에 도식한다.
- 설계 아스팔트 함량은 N_{des} 에서 결정한다.
- 설계 아스팔트 함량에서 다음의 혼합물 기준을 만족해야 한다.

<그림 1>과 <그림 2>는 전단응력을 고려하여 아스팔트 함량 결정의 예를 보여 주고 있다. 사전배합에서 결정된 추정 아스팔트 함량으로 $\pm 0.5\%$, $+1\%$ 의 4가지의 아스팔트 함량과 전단응력과의 관계를 <그림 1>에서 보여주고 있다. <그림 1>에서 공극 vs 다짐횟수 관계를 구하고, 각각의 아스팔트 함량별로 최대 전단 응력에서 얻어진 공극에 해당하는 선회다짐 횟수와 함량과의 관계의 한 예를 <그림 2>에서 보여주고 있다.

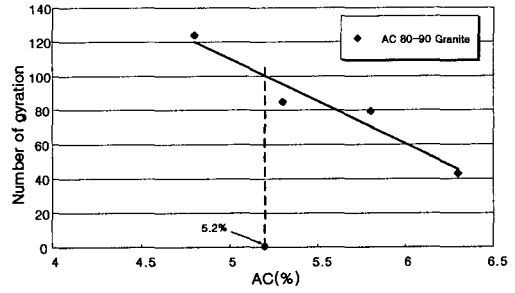
3.2 아스팔트 혼합물의 기본 특성

<표 3>은 Superapve, Marshall, 수정 수퍼페이브 배합설계 방법으로 얻어진 결과를 보여주고 있다. 1차년도 의 결과에서는 Marshall 배합설계가 수퍼페이브 배합설계보다 모두 아스팔트 함량이 높게 나타났다. 이것은 각각의 배합설계방법에 따라 결정되는 입도가 다르기 때문이다. 하지만 본 연구에서는 수퍼페이브 배합설계에서 얻어진 입도를 가지로 Marshall 배합설계를 수행하였다. 이 결과 전체적으로 Marshall 방법이 수퍼페이브 보다 높게 나타나는 경우가 발생하였다. 이것은 입도 변화에 따른 원인으로 판단된다.

<표 3>은 Marshall 방법에 따른 골재, 아스팔트 별 마찰안정도 값을 보여주고 있다.



<그림 1> 공극률과 전단응력과의 관계



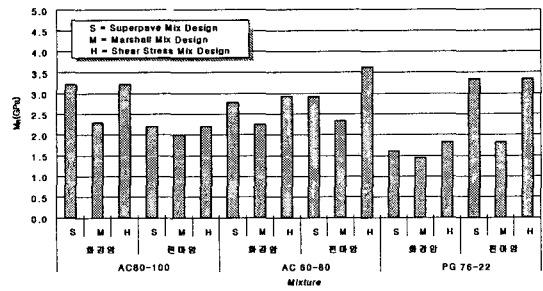
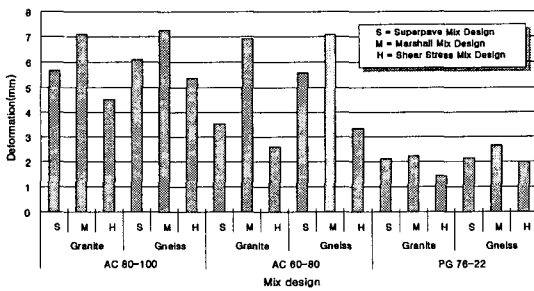
<그림 2> 설계아스팔트 함량 결정의 예

<표 3> 배합설계 별 아스팔트 함량

분류		OAC(%)			Marshall (kgf)	Flow (0.01cm)
		Superpave	Marshall	Shear stress		
AC 80-100	Granite	5.0	5.2	4.2	1,098	34
	Gneiss	5.1	5.3	5.3	1,062	37
AC 60-80	Granite	5.0	4.5	5.3	1,106	35
	Gneiss	5.1	5.0	4.8	1,139	36
PG76-22	Granite	5.0	5.7	4.7	1,157	35
	Gneiss	5.2	5.5	4.9	1,190	36

3.3 APA 시험

<그림 3>은 각각의 배합설계 방법에 따라 APA test 결과값을 보여주고 있다. 강도값과 마찬가지로 일반아스팔트보다 개질 아스팔트가 더 높은 소성변형 저항성을 보여주고 있다. Marshall 배합설계 방법으로 설계한 것이 소성변형에 가장 취약하게 나타났다. 또한, Shear stress 방법이 수퍼페이브 방법보다 큰 차이는 아니지만 소성변형 저항성이 더 높게 나타났다.



<그림 3> 각각의 배합설계 방법에 따른 APA 특성 비교 <그림 4> 각각의 배합설계 방법에 따른 회복탄성계수 비교

3.4 회복탄성계수 시험

포장에서 차량의 이동에 의한 반복적인 하중 조건 하에서 아스팔트 혼합물의 탄성 거동 특성을 파악하기 위해 회복탄성계수(Resilient Modulus, M_R)를 측정하였다.

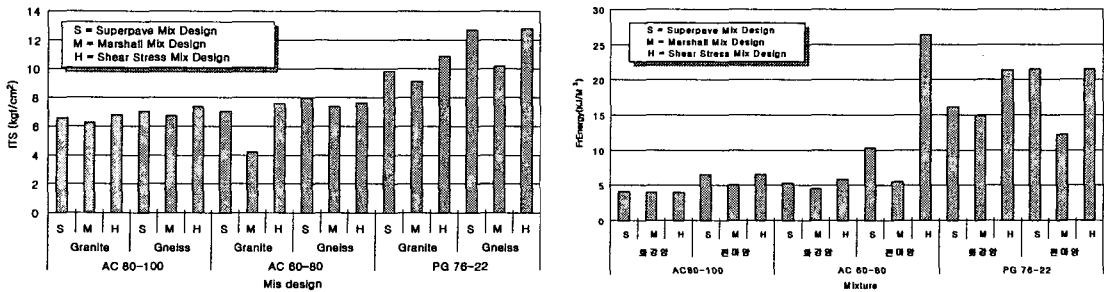
본 시험에서는 25°C에서 회복탄성계수를 측정하였으며, 시험에 사용된 하중 형태는 정현파 하중을 사용하고, 이때 하중 재하는 0.1초의 재하 기간>Loading Time)과 0.9초의 휴지 기간>Rest Time)을 1사이클로 하였다. 또한 하중의 크기는 공시체의 거동이 선형 탄성 범위 안에 들게 하기 위하여, 수평 변위가 350 micro-strain 이하에 들 수 있는 크기로 선정하였다



3.5 강도 시험

인장강도, Failure Strain, Fracture Energy와 같은 파괴 한계들은 수퍼페이브 IDT를 사용한 강도 시험으로부터 결정된다. 이 특성치들은 아스팔트 혼합물의 균열 저항성을 평가하는데 사용된다. 강도 시험은 공시체가 파괴될 때까지 일정 변위량 비(50mm/min)를 적용하는 변위 조절로 수행된다. 수평과 수직 변형, 그리고 적용되는 하중이 시험동안 20Hz의 비율로 기록된다.

위의 배합설계 결과로부터 결정된 각 혼합물의 최적아스팔트 함량 (OAC)으로 공시체를 제조한 혼합물들의 강도 특성은 <그림 5>와 같다. 일반아스팔트보다 개질 아스팔트가 더 높은 강도 값을 나타내고 있다. Marshall 방법이 수퍼페이브, Shear stress 방법보다 낮은 강도값을 나타내고 있다. 수퍼페이브와 Shear stress는 유사한 강도값을 나타내었다.



<그림 5> 각각의 배합설계 방법에 따른 ITS 비교 <그림 6> 각각의 배합설계 방법에 따른 파괴에너지 비교

4. 결론

본 연구의 결론을 요약하면 다음과 같다.

- Marshall 배합설계는 수퍼페이브, Shear stress보다 높은 아스팔트 함량을 나타내었다. 이것은 소성변형을 발생시키는 요인 중에 한가지가 된다. 또한, ITS, MR시험에서도 Marshall 배합설계가 피로균열 저항성에 약하다는 것을 알 수가 있었으며, 공용성을 평가하는 APA 시험에서도 Marshall 배합설계 방법이 취약하다는 것을 알 수 있다.
- 수퍼페이브와 Shear stress 배합설계 방법은 강도 및 소성, 피로 균열에 대한 저항성이 유사하게 나왔다. 수퍼페이브 배합설계는 역학적 근거를 가지고 나타내지 못한다. 하지만 Shear stress는 전단응력에 기초하여, 현장 성능과 직접적인 관련이 될 수 있는 기본적인 물리적 성질로 표현되어 배합설계에 적용 가능할 것이다.
- 아스팔트 혼합물에서 N_{Smax} 값을 사용하기 위해서는 Shear stress를 측정하여 이용할 수 있는 수퍼페이브 선회 다짐기가 필요하다. 하지만 현재 사용되고 있는 선회 다짐기에서 측정할 수 있는 장비가 몇 제품이 없다는 문제점을 가지고 있다.

감사의 글

본 연구는 건교부 수탁과제인 “한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구”의 일부 성과물로 이에 감사를 표합니다.

참고문헌

1. Transportation Research Board, (2002), "Relationship of Superpave Gyratory Compaction Properties to HMA Rutting Behavior", NCHRP Report 478.
2. R. Michael Anderson., (2002), "Relationship Between Superpave Gyratory Compaction Properties and the Rutting Potential of Asphalt Mixtures," Presented at the Annual Meeting of the Association of Asphalt Paving Technologists, Journal Volume 72.
3. Bjorn Birgisson, Daniel D. Darku, Reynaldo Roque, Byron E. Ruth, (2001), "Evaluation of mixtures Using Gyratory Shear Strength Parameters with Superpave Gyratory Compactors," Presented at the Annual Meeting of the Association of Asphalt Paving Technologists, Journal Volume 72.