

수퍼페이브 방법과 마샬 방법에 의한 배합설계 결과 차이점 분석

Evaluation of Mix Design Result Difference between Superpave and Marshall Method

김광우* · 김중열** · 김번창** · 이순제*** · 정규동****
Kim, K. W. Kim, J. Y. Kim, B. C. Lee, S. J. Jeong, K. D.

1. 서론

현재 국내에서 사용되고 있는 아스팔트 혼합물의 배합설계는 교통량이 적고 차량의 중량이 낮아 차륜의 접지압이 비교적 낮던 50여년 전에 개발된 마샬 방법이다. 이 방법은 전 세계적으로 가장 널리 사용되고 있는 간편한 방법으로 많은 사람들에게 익숙해져 있고 활용도도 크다. 하지만, 마샬 방법에 사용되는 변수 중 안정도는 공용성과는 상관성이 낮은 것으로 국내외적으로 인식되고 있다. 국내의 경우 특히 소성변형 저항성과의 상관성에 많은 문제가 제기되고 있으며 이에 따라 미국의 수퍼페이브 설계방법 등의 적용이 거론되고 있다.

본 연구는 아스팔트 포장의 공용성과 상관성이 보다 높은 혼합물을 제조할 수 있는 배합설계 기준을 정립하기 위한 기초자료이다. 따라서, 현재 사용되고 있는 기존 마샬 방법과 수퍼페이브 방법으로 배합설계를 각각 실시하여 차이점 및 문제점 등을 확인하는 것이 본 연구의 목표이다.

2. 재료 및 실험방법

2.1. 재료

본 연구에서는 총 3가지 골재를 사용하였다(충청북도 음성군 A사(화강암), 강원도 춘천시 B사(편마암), 강원도 횡성군 C사(화강암)). 각각의 골재는 KS 규정에 따라 품질시험을 실시하였으며, Table 1은 본 연구에 사용된 골재의 특성을 보여준다.

바인더는 국내에서 가장 널리 사용되고 있는 AC 60-80 아스팔트를 사용하였다.

Table 1. Properties of aggregates

Test items	Coarse aggregates			Fine aggregates			Mineral filler		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Specific gravity	2.72	2.72	2.72	2.71	2.72	2.74	2.83	2.83	2.83
Abrasion (%)	19.8	18.1	19.6	-	-	-			
Absorption (%)	0.82	0.70	0.55	1.63	0.26	1.41			

2.2. 마샬 배합설계

혼합물의 입도는 건설교통부 19mm, 13mm 밀입도 규격에 적합한 입도를 사용하였다.

*정회원 · 강원대학교 농업공학부 교수 · 공학박사 (033-250-6467, kwkim@kangwon.ac.kr)
**정회원 · 강원대학교 대학원 지역기반공학과 석사과정 (033-250-7284)
***정회원 · 강원대학교 석재신소재센터 연구원 · 공학석사 (033-250-7284, genius93@korea.com)
****정회원 · 한국건설기술연구원 연구원 · 공학석사 (031-9100-183, kdjeong@kict.re.kr)



아스팔트 함량을 4.0 ~ 6.0%까지 0.5%씩 변화시켜 가면서 배합설계를 실시하였다. 공시체 제작은 KS F 2337과 ASTM D 1559의 마찰식 아스팔트 혼합물 제조방법에 따라 마찰다짐기를 이용하여 공시체 상하 양면을 각각 75회씩 다짐하여 직경 100mm의 공시체를 제작하였다. 다짐횟수는 1일 1방향 통행량을 1,000대 이상으로 간주하여 계산한 것으로 주로 고속도로나 산업도로의 설계에 적용된다. 또한 슈퍼페이브 방법에서 계산된 교통량(기상조건과 온도조건 포함)과 외부조건을 유사하게 하여 배합설계 결과를 비교하기 위함이다.

각 혼합물의 최적아스팔트함량(OAC)은 시방규정(안정도, 흐름치, 포화도)을 만족하는 범위내에서 공극이 4%일 때의 아스팔트 함량으로 결정하였다. 총 6가지(3골재×2입도) 혼합물에 대한 배합설계를 수행하였다.

2.3. 슈퍼페이브 배합설계

골재의 입도는 제한구역을 통과하는 입도가 혼합물의 모래함량을 과다하게 만들거나 전체 모래함량 중 잔모래의 함량이 지나치게 많게 되어 시공 중 다짐에 문제가 발생할 수 있고 공용도중 소성변형을 발생할 우려가 있다하여 조정한계(Control limit)와 제한구역(Restricted zone)을 두고 관리하였으나, 개정된 슈퍼페이브에서는 배합입도의 제한구역 통과를 허용하고 있다. 따라서, 입도는 제한구역을 통과하는 입도를 포함하여 3가지의 예비입도를 가지고 예비배합 및 본배합을 실시하였다.

혼합물의 다짐횟수는 포장 현장의 고온설계온도 및 교통량을 기초로 결정한다. 따라서, 교통량을 천만대 이상으로 간주하고, 설계포장온도는 지난 10년 동안 전국에서 가장 평균기온이 높게 나타난 대구를 모델로 하여 39℃ 미만으로 결정하여 이에 따른 다짐횟수를 152회(N_{max})로 정하였다. 다짐 전에 현장상태를 모사하기 위해 135℃ 오븐에서 4시간 동안 양생하였으며, 혼합물의 다짐은 미국 Pine사의 SGC(Superpave gyratory compactor)를 사용하여 실시하였다. 설계아스팔트함량은 N_{des} 에서 결정하였으며, 결정된 아스팔트 함량이 배합규정에 만족하는지의 여부를 확인하였다. 총 18가지(3골재×6입도) 혼합물에 대한 예비배합을 거쳐 결정된 6가지(3골재×2입도) 혼합물에 대하여 본 배합을 실시하여 각각의 설계아스팔트함량을 구하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 마찰 배합설계

배합설계 결과로부터 결정된 각 혼합물의 최적아스팔트함량으로 공시체를 제조한 혼합물들의 물성 및 강도특성치는 Table 2, 3과 같다. 최적아스팔트함량은 19mm의 경우 편마암이 5.1%로 가장 높았고, 화강암은 비슷한 값(4.6 ~ 4.7%)을 나타냈다. 이에 비해, 13mm는 골재별로 최적아스팔트함량의 차이를 보이지 않았다. 골재별로 살펴보면, 2가지 화강암 모두 19mm가 13mm에 비해 0.7% 정도 낮은 최적아스팔트함량을 나타냈고, 편마암은 0.3%로 상대적으로 적은 차이를 보였다. 최적아스팔트함량이 높게 결정된 13mm 혼합물이 높은 VMA와 VFA 값을 나타냈고, 19mm에 비해 안정도 값은 낮았고, 흐름값은 높았다.

Table 2. Properties of asphalt mixture by Marshall mix design (19mm)

Properties Type	OAC (%)	Air Void (%)	Density (g/cm ³)	VMA (%)	VFA (%)	Stability (kgf)	Flow (0.1mm)
A (Granite 1)	4.6	3.76	2.406	14.36	73.79	1,526	29
B (Gneiss)	5.1	4.24	2.336	16.13	73.69	1,213	20
C (Granite 2)	4.7	4.03	2.403	15.32	73.7	1,452	22



Table 3. Properties of asphalt mixture by Marshall mix design (13mm)

Properties Type	OAC (%)	Air Void (%)	Density (g/cm ³)	VMA (%)	VFA (%)	Stability (kgf)	Flow (0.1mm)
A (Granite 1)	5.3	4.23	2.374	16.31	74.08	1,211	30
B (Gneiss)	5.4	3.97	2.337	16.31	76.59	1,052	29
C (Granite 2)	5.4	3.96	2.338	16.58	76.11	1,275	27

3.2. 슈퍼페이브 배합설계

설계아스팔트함량은 예비입도 3가지를 가지고 사전배합을 실시한 후 다짐결과를 통해 각 입도에 대한 공극이 4%일 때의 추정아스팔트함량을 구하였다. 결정된 추정아스팔트함량으로 ±0.5%, +1%의 4가지로 아스팔트 함량을 변화시켜 가면서 본 배합설계를 실시하였다. 본 배합에서 공극이 4%일 때를 설계아스팔트함량으로 정하고, 그때의 체적 특성이 배합규정에 적합한지를 판단하였다. Table 4, 5는 슈퍼페이브 방법의 본배합 다짐결과에 따라 결정된 설계아스팔트함량과 체적특성을 보여준다.

슈퍼페이브 방법은 마샬방법보다 입도규정의 폭이 넓기 때문에 다양한 입도를 선택할 수 있지만, 마샬방법처럼 혼합물의 특성을 구별해 낼 수 있는 역학적인 시험방법이 없어서, 3가지 예비입도 가운데 사전배합을 통해 2개 이상의 예비입도가 규정을 만족할 경우, 본 배합에 사용할 1개의 입도를 결정하는 것이 어려웠다. 따라서, 본 연구에서는 예비입도가 2개 이상 규정을 만족하는 경우 추정아스팔트함량이 낮게 결정된 입도를 본배합의 입도로 사용하였다.

설계아스팔트함량은 19mm의 경우 편마암이 4.9%로 가장 높았고, 화강암은 큰 차이가 없었다. 13mm는 3가지 골재의 설계아스팔트함량이 5.1 ~ 5.2% 내에서 결정되었다. 편마암은 19mm와 13mm간의 설계아스팔트함량 차이가 0.2%를 보인 반면, 화강암은 0.7 ~ 0.8%의 차이를 나타냈다. 상대적으로 낮은 설계아스팔트함량을 보인 19mm 혼합물이 낮은 VMA와 VFA 값을 보여주었다.

Table 4. Volumetric properties of asphalt mixture by Superpave mix design (19mm)

Properties Type	AC (%)	Air Void (%)	VMA (%)	VFA (%)	G _{mm} (ini)	G _{mm} (max)	Remark
Specification	-	4	above 13	65 - 75	below 89	below 98	
A (Granite 1)	4.5	4	13.23	69.50	86.10	97.60	Pass
B (Gneiss)	4.9	4	15.58	74.10	85.90	97.70	Pass
C (Granite 2)	4.4	4	13.19	69.60	85.80	97.60	Pass

Table 5. Volumetric properties of asphalt mixture by Superpave mix design (13mm)

Properties Type	AC (%)	Air Void (%)	VMA (%)	VFA (%)	G _{mm} (ini)	G _{mm} (max)	Remark
Specification	-	4	above 14	65 - 75	below 89	below 98	
A (Granite 1)	5.2	4	15.56	74.20	85.10	97.50	Pass
B (Gneiss)	5.1	4	15.77	74.90	84.90	97.80	Pass
C (Granite 2)	5.2	4	14.59	72.40	84.80	97.70	Pass

3.3. 마살 방법과 수퍼페이브 방법의 배합설계 결과 차이점 분석

3가지 골재(화강암 2종류, 편마암 1종류)를 사용하여 19mm, 13mm의 2가지 입도로 정해진 방법에 따라 각각 6가지 배합설계를 수행한 결과, 마살 방법과 수퍼페이브 방법은 사용한 골재와 입도에 상관없이 배합설계 방법에 따라 각각의 일관된 특성을 보여주었다. Figure 1, 2, 3은 배합설계 방법에 따라 결정된 아스팔트 함량과 이에 따른 혼합물의 체적특성 변화를 보여준다.

마살 방법을 통해 결정된 아스팔트 함량이 수퍼페이브 방법보다 6가지 혼합물 모두에서 높다는 것을 Figure 1에서 알 수 있다. 혼합물 별로 약간의 차이는 있으나, 마살 방법이 0.1 ~ 0.3% 정도 높은 아스팔트 함량을 보여주었다. 이것은 현재 국내에서 사용되는 있는 마살 방법에 의한 결정된 아스팔트 함량으로 만들어지고 있는 혼합물이 수퍼페이브 방법보다 높은 아스팔트 함량을 사용하게 되어, 소성변형에 상대적으로 취약할 가능성을 보여주는 것이라고 판단된다.

수퍼페이브 방법을 통해 결정된 아스팔트 함량이 낮으므로, 이에 따라 VMA도 낮은 값을 보여주었다 (Figure 2). 마살 방법에는 VMA에 관한 규정이 없는 반면에 수퍼페이브 방법에는 이에 대한 규정(19mm 골재 : 13% 이상, 13mm 골재 : 14% 이상)이 있다. 본 연구에서 사용된 6가지 혼합물에 대한 실험값만을 가지고 비교해보면, 마살 방법이 높은 VMA 값을 나타낸다. 이러한 경향은 수퍼페이브 방법에서 정하고 있는 VMA 규정값을 모두 만족하는 것이다. 따라서, 수퍼페이브에서 규정하고 있는 VMA의 하한값이 마살 방법에서는 큰 의미가 없는 것이다.

Figure 3은 VFA 값의 변화를 보여주고 있는데, 두 방법의 VFA 규정이 다른점(수퍼페이브 방법 : 65 ~ 75%, 마살 방법 : 70 ~ 85%)을 고려하면, 단순히 VFA값만을 가지고 특성을 비교하는데에는 무리가 따른다. VFA 값은 수퍼페이브 방법이 전반적으로 낮은 결과를 보여주었다. 일반적으로 아스팔트 함량이 높아지면 VFA 값도 높아지므로, 국내의 VFA 규정이 다소 높게 설정되어 있어, 아스팔트 함량이 높게 결정되는 데 한 부분을 차지하고 있다.

마살 방법과 수퍼페이브 방법은 혼합물을 다지는 방법이 다르다. 하지만, 수퍼페이브 방법이 실제 현장에서 포설되는 혼합물의 상태를 마살 방법보다는 잘 모사한다. 다짐방법과 적용하는 규정이 다르므로 각각의 결과값을 정확하게 비교할 수는 없지만, 아스팔트 혼합물의 성능만을 가지고 판단한다면 적정아스팔트 함량이 낮게 결정되는 수퍼페이브 방법이 마살 방법보다는 효과적일 것이다.

하지만, 수퍼페이브 방법은 미국실정에 맞게 개발된 것이므로, 이것을 그대로 한국에 적용하는 것은 문제가 있을 것이다. 또한, 마살방법은 혼합물의 체적특성뿐만 아니라, 강도특성을 함께 평가하는 것에 비하여, 수퍼페이브 방법은 체적특성만을 알 수 있으므로, 향후 이에 대한 보완이 필요할 것이다.

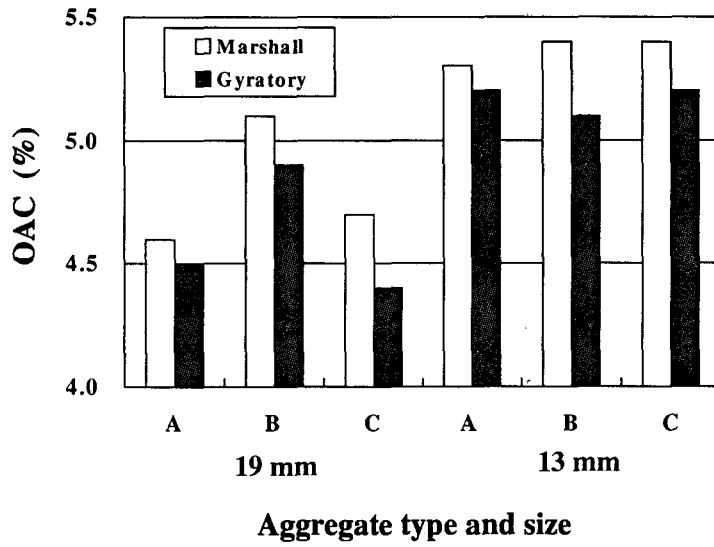


Figure 1. AC difference by Marshall and Superpave mix design

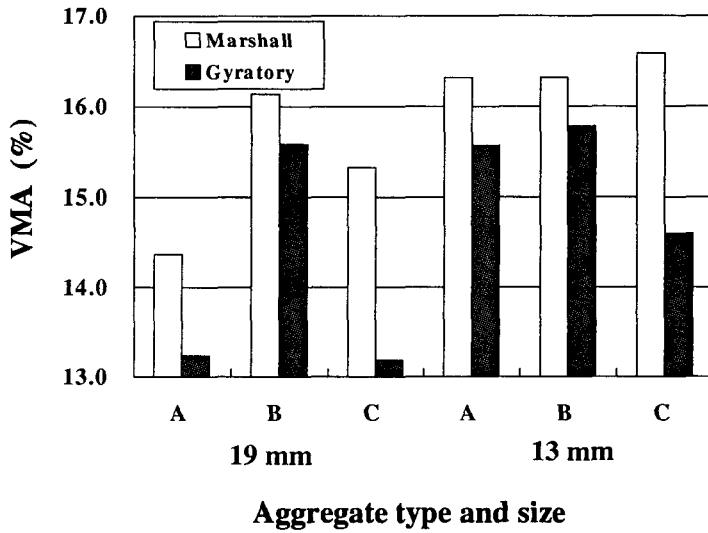


Figure 2. VMA difference by Marshall and Superpave mix design

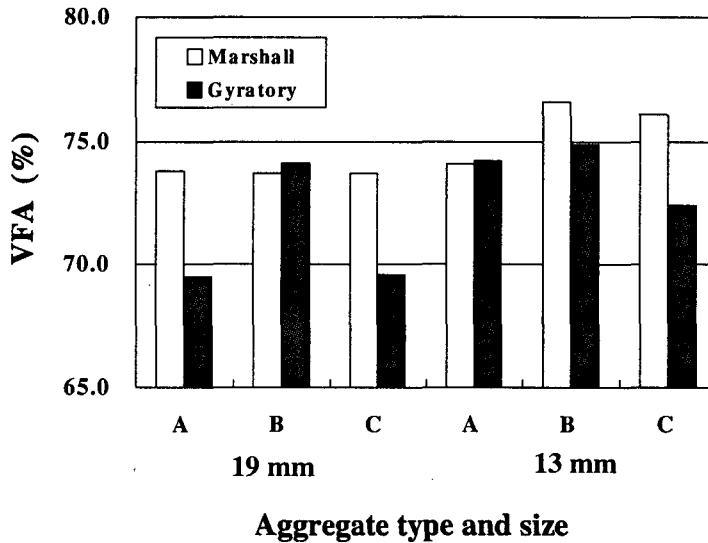


Figure 3. VFA difference by Marshall and Superpave mix design

4. 결론

- (1) 마샬 배합설계에서 결정된 최적아스팔트함량은 19mm 혼합물이 13mm 혼합물보다 골재에 따라 0.3 ~ 0.7% 낮게 나타났다. 최적아스팔트함량이 높게 결정된 13mm 혼합물이 높은 VMA와 VFA 값을 보였고, 19mm에 비해 안정도 값은 낮았고 흐름값은 높았다.
- (2) 수퍼페이브 방법도 마샬 방법과 마찬가지로 19mm 혼합물이 13mm 혼합물보다 0.2 ~ 0.8% 낮은 아스팔트 함량을 나타냈다. 상대적으로 낮은 아스팔트함량을 보인 19mm 혼합물이 낮은 VMA와 VFA 값을 보여주었다.
- (3) 마샬 방법을 통해 결정된 아스팔트 함량이 수퍼페이브 방법보다 골재에 따라 0.1 ~ 0.3% 높게 나타났다. 이것은 마샬 방법을 사용하면 상대적으로 아스팔트 함량이 높게 결정되어 소성변형에 취약해질 수 있음을 나타내는 것이다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부의 지원에 의하여 이루어진 연구입니다.

참고문헌

1. 건설교통부, (1996), "도로표준설계 시공지침"
2. 이상범, (2001), "아스팔트 혼합물의 공극 및 강도 특성을 이용한 소성변형 추정 연구," 박사학위논문, 강원대학교
3. "Superpave Level 1 Mix Design : SP-2," Asphalt Institute, 1995.