

마샬특성치의 측정 및 적용상의 문제점

Problems in Measurement and Implementation of Marshall Stability of Asphalt Mixture

김광우* · 이순제** · 오홍락*** · 이영관**** · 김종렬****

Kim, Kwang Woo · Lee, Soon Jae · Oh, Heng Rack · Lee, Young Gwan · Kim, Joong Yul

1. 서론

아스팔트 혼합물 특성치 측정방법의 하나로 마샬시험이 많이 사용된다. 이 방법은 비교적 간단하고 측정치에 대한 이해도 쉬워서 50년 이상 국내는 물론 많은 나라에서 혼합물의 안정도 등과 같은 단순한 값을 혼합물 선별 기준은 물론 배합설계 방법으로도 채택하고 있다. 하지만 이렇게 혼합물의 강도 특성중 하나라고 사용하는 안정도 측정치는 혼합물을 양생하는 과정에서의 온도와 수침 처리하는 시간 등과도 많은 관계를 가지고 있다. 특히 국내에서와 같이 실험실의 온도가 외기 온도에 따라 크게 차이가 나는 경우에 온도와 민감한 아스팔트 혼합물 공시체의 양생온도와 60℃에서 수침처리를 통한 정확한 측정온도의 확보는 매우 중요한 의미를 가진다. 또한 안정도 측정상의 오류보다도 이것이 도로포장에서 혼합물의 성능과 무관하다는 지적이 많다. 따라서 본 연구의 목적은 흔히 발생할 수 있는 마샬안정도 측정상의 오류를 평가하여 흔히 범할 수 있는 오류를 구명하고 또한 마샬안정도 값이 현장 성능에 어떤 의미를 가지는지를 구명하는 것이다.

2. 재료 및 방법

2.1. 재 료

본 연구에서는 마샬안정도 측정상의 오류를 구명하기 위하여 한가지 골재(편마암: Gneiss)와 3가지 바인더(AP5, LDPE 6%, SBS 5%)로 제조한 3 종류의 밀입도 혼합물을 사용하였다. 각 혼합물은 Gneiss + AP-5 Original (G50), Gneiss + LDPE 6%(G3L6), Gneiss + SBS 5%(G3S5)로 표기하였다. 또한 소성 변형과 피로 수명에 따른 안정도와 상관성 구명에 사용된 재료의 성질은 기존 문헌(김광우 등 1999, 이상범 2001)에 제시되었다.

* 정회원 · 강원대학교 농업공학부 교수 · 033-250-6467 (E-mail: kwkim@kangwon.ac.kr)

** 정회원 · 강원대학교 석재복합신소재제품연구센터 연구원 · 033-250-7284 (E-mail: genius93@korea.com)

*** 정회원 · 다성엔지니어링 · 033-262-7430

**** 정회원 · 강원대학교 농업공학부 농업토목공학과 석사과정 · 033-250-7284



2.2. 배합설계

배합설계는 마샬식으로 양면 50회 다짐하였고, 제작된 공시체의 물성 및 마샬 특성치를 이용하여 건설 교통부 배합설계 규정에 근거하여 최적 아스팔트 함량(OAC)을 결정하였다. 결정된 OAC는 표 1과 같으며 이 OAC로 제조한 공시체의 공극, 안정도, 흐름 등도 표 1에 제시하였다.

Table 1. Marshall properties at OAC

	OAC (%)	Air void (%)	VFA (%)	Stability (kgf)	Flow (0.1mm)
Criteria	5~7	3~6	75~85	>500	20~40
G50	5.1	4.14	75.48	1,001	29
G3L6	5.2	3.91	76.24	1,039	33
G3S5	5.4	4.05	75.08	1,137	35

2.3. 마샬시험의 변동성 측정

일반적으로 국내의 많은 실험실의 실내온도는 계절에 따라 크게 변하여 연간 일정한 실내온도(25℃)를 유지하는 선진국과 차이가 많다. 겨울철에는 매우 낮고 여름철에는 매우 높아 본 연구에서는 약 5℃부터 35℃까지 변하는 것으로 가정하였다. 따라서 이렇게 다양한 온도에서 양생을 시킬 경우 혼합물 특성에 차이가 많이 날 수 있다. 아스팔트 혼합물의 양생(Curing)이란 시간이 경과하면서 혼합물내의 재료간에 van der Waals력에 의해 결합력이 발현되는 과정이다. 양생시 적정온도를 유지하는 것이 매우 중요한데 국내 실험실은 온도가 일정치 못해 양생된 혼합물에 차이가 생긴다. 그러므로 본 연구에서는 양생온도에 따른 마샬특성 변화를 보기 위하여 공시체 탈형 후 4가지(5, 15, 25, 35℃) 온도에서 16시간동안 양생시킨 후 안정도를 측정하였다. 또한 60℃에서의 수침시간에 따른 안정도 변화를 보기 위하여 수침시간을 5가지(30분, 45분, 60분, 90분, 120분)로 하여 시험하였다. 공시체의 목표 공극률은 4%로 하여 혼합물 별로 100개씩 (4 curing-time × 5 submersing-time × 5 replicates) 공시체를 제작하여 양생온도와 수침시간별로 5개씩 안정도 값을 구하였다. 얻어진 5개 값 중 목표 공극률에서 많이 벗어나는 것 2개를 제외한 나머지 3개 값의 평균치를 안정도 및 흐름값으로 취하였다.

2.4. 현장성능과의 상관성 분석

마샬안정도시험은 60℃에서 혼합물을 평가하는 실험이므로 소성변형과 같은 온도에서 측정되는 특성치이다. 따라서 안정도와 소성변형 관계를 보기 위해 단순 안정도 대신 안정도-흐름 곡선에서 최대 하중시의 흐름값과 이루어지는 사선의 기울기 Stability/flow(S/F) 지수로 설정하여 상관성을 구하였다. 또한 피로 균열과의 관계를 보기 위하여 25℃에서 수행된 피로 수명과 안정도의 상관성도 규명하였다. 이에 대한 자세한 방법은 문헌(1, 2)에 상세히 제시되었다.



3. 결과 및 고찰

3.1. 마샬시험의 변동성

그림 1, 2, 3은 공시체 양생온도와 수침시간 변화에 따른 안정도를 혼합물별로 보여준다. 그림에서 보듯이 각 혼합물별 안정도는 25℃에서 양생 후 60℃에서 30분 수침한 값들이 배합설계 때와 가장 유사하게 나타났으며 거의 제일 높은 값이었다. 하지만 양생온도가 더 낮거나 높으면 수침시간과 관계없이 그보다 대부분 낮게 나타나서 양생온도가 매우 중요함을 알 수 있다. 45분간 수침한 경우에서 양생온도 변화에 따른 마샬 안정도 변화가 상대적으로 가장 적게 나타났다. 이는 수침 후 약 45분이 지나면서 모든 혼합물의 온도가 양생온도에 관계없이 모두 일정 온도에 도달해 양생온도차에 따른 변수를 줄일 수 있음을 보여주는 것이다.

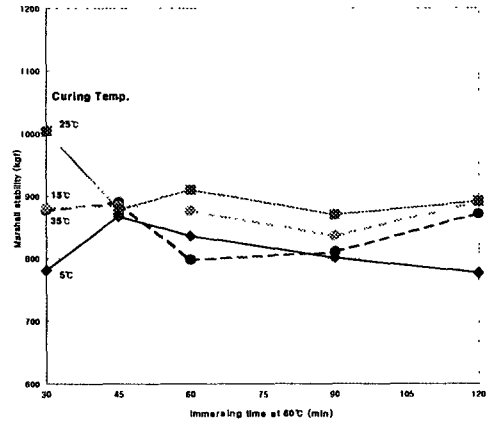


Fig. 1 Variation of Marshall stability by curing temperature and immersing time (G50)

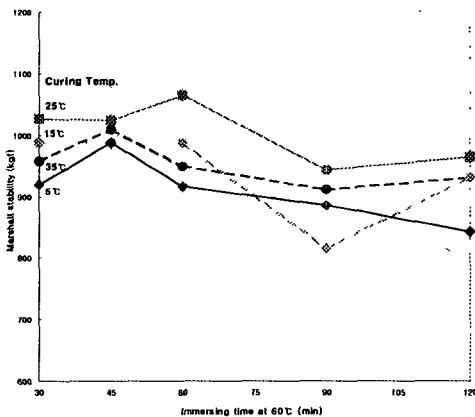


Fig. 2 Variation of Marshall stability by curing temperature and immersing time (G3L6)

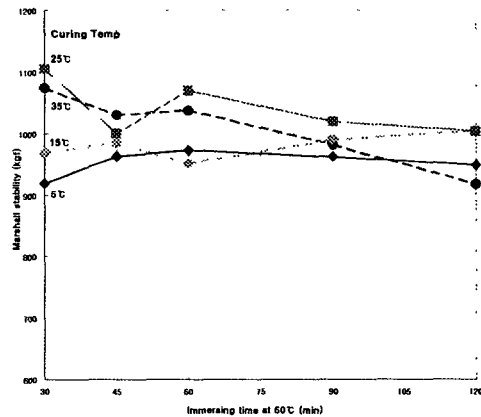


Fig. 3 Variation of Marshall stability by curing temperature and immersing time (G3S5)

그림 4~6에서는 각 수침시간별 안정도 값을 25℃ 양생을 기준으로 하여 편차가 얼마나 나는지 보여주고 있다. 60℃에서 30분 수침한 경우 G50, G3L6, G3S5 세 가지 혼합물 모두 5℃에서 양생한 공

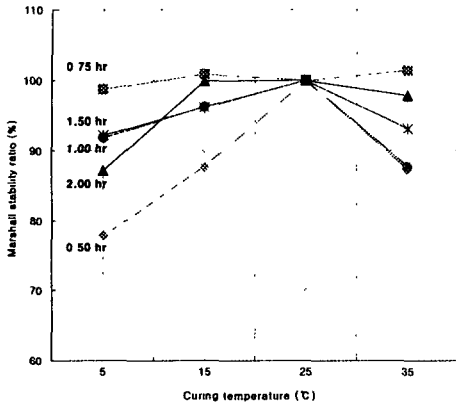


Fig. 4 Variation of Marshall stability ratio by submersing time and curing temperature (G50)

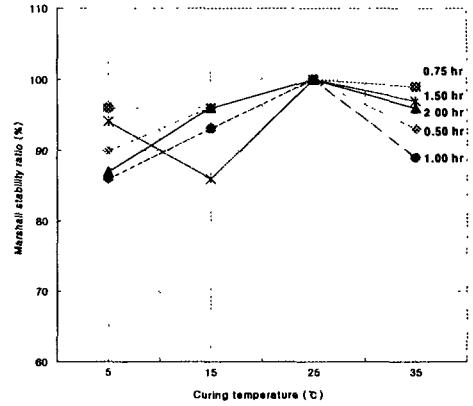


Fig. 5 Variation of Marshall stability ratio by immersing time and curing temperature (G3L6)

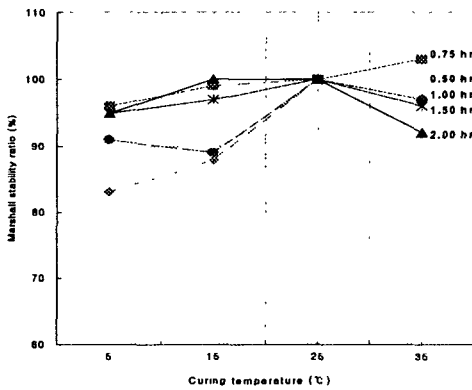


Fig. 6 Variation of Marshall stability ratio by immersing time and curing temperature (G3S5)

시체의 마샬안정도가 가장 낮게 나왔고, 25°C에서 양생한 공시체의 안정도가 가장 높게 나왔다. 따라서 이 결과에 의한다면 25°C 이외의 온도에서 양생한 것은 마샬 안정도가 상당히 낮게 나타나며, 어떤 온도에서 양생하든 그 오차를 줄이려면 45분 수침하는 것이 가장 좋을 것으로 판단되었다. 60분, 90분, 120분 수침한 경우에는 양생온도 변화에 따른 뚜렷한 안정도 변화를 찾기가 어려웠다. 이는

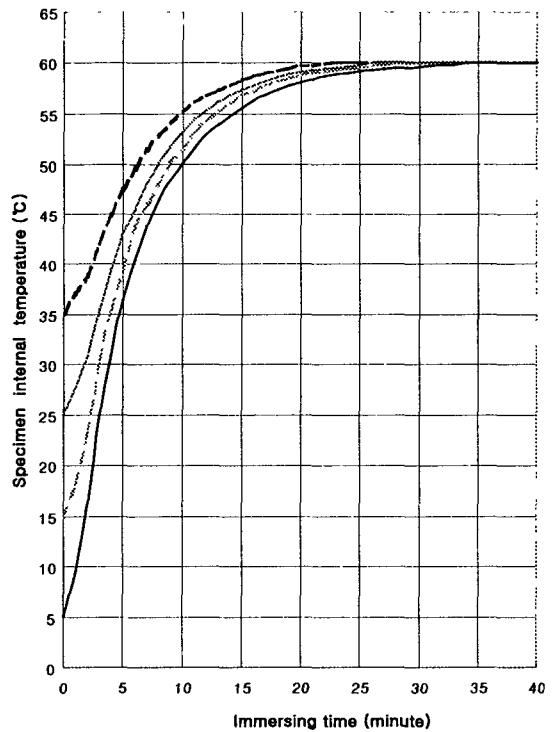


Fig. 7 Variation of specimen internal temperature by immersing time



수침시간이 길어짐에 따라 혼합물이 너무 물러졌기 때문인 것으로 판단된다.

그림 7은 마찰시험전 60℃에 수침시 시간에 따른 공시체의 내부 온도변화를 보여준다. 이 결과에 의하면 공시체가 5, 15℃에서 양생되면 모든 공시체의 내부 중앙이 완전히 60℃에 도달하는 데는 34분 정도가 걸렸다. 따라서 30분의 시간은 다양한 온도에서 양생된 공시체가 완전히 60℃에 달하는 데 충분치 못한 시간이다. 그러므로 그림 1~6에서 보여준 30분 수침에 따른 안정도의 다양한 차이는 수침시간을 증가시킴으로써 줄일 수 있다는 것을 알 수 있었다.

3.2. 현장 성능관련 특성치와의 상관성

그림 8에서 보듯이 S/F 지수와 소성변형 깊이간의 추세와 상관계수를 구한 결과 결정계수(R^2)가 0.2 이하로 나타나 상관성이 아주 낮았다. 이로부터 마찰안정도 및 흐름치로 소성변형과의 관련성을 파악할 수 없는 것으로 사료된다. 참고적으로, 각각의 안정도나 흐름치만을 가지고 이와 같은 상관분석을 한 결과 R^2 가 더 낮게 나타났다(이상범, 2001). 그림 9는 피로수명과 안정도와의 상관계수를 보여주는 데 이 역시 매우 낮은 값을 보이고 있다. 따라서 비록 마찰안정도는 국내외적으로 많이 쓰이는 특성치이기는 하지만 포장의 손상 중 가장 중요한 소성변형이나 피로 수명과 거의 상관성이 없는 지수임을 알 수 있다.

참고로 근래에 와서 많이 활용되고 있는 간접인장강도와 간접인장강도 측정시 구할 수 있는 강성지수의 경우, 그림 10, 11에서 볼 수 있듯이 소성변형이나 피로수명과의 상관관계가 상대적으로 훨씬 높다는 것을 알 수 있다.

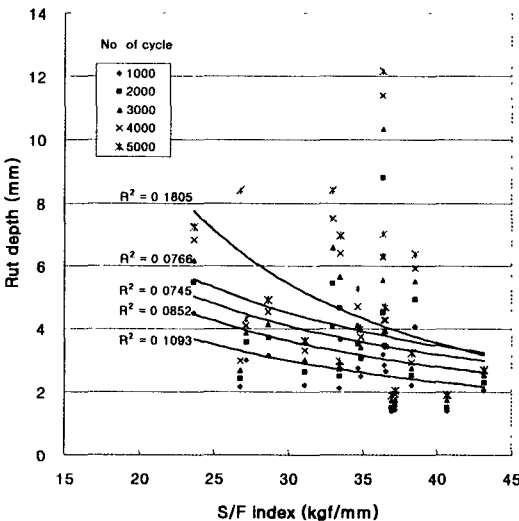


Fig. 8 Rut depth and S/F index relation²⁾

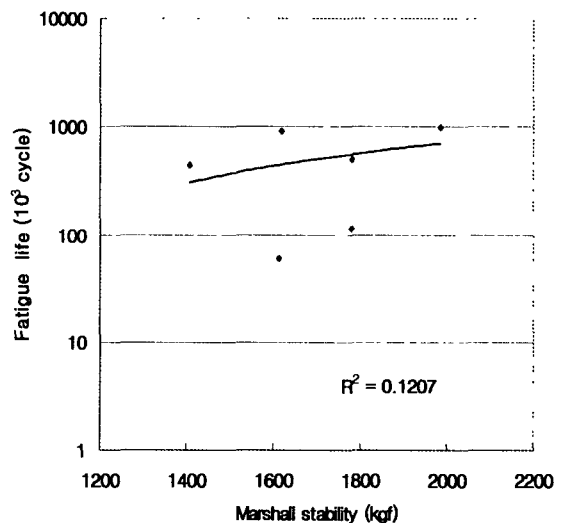


Fig. 9 Fatigue life and Marshall stability relation¹⁾

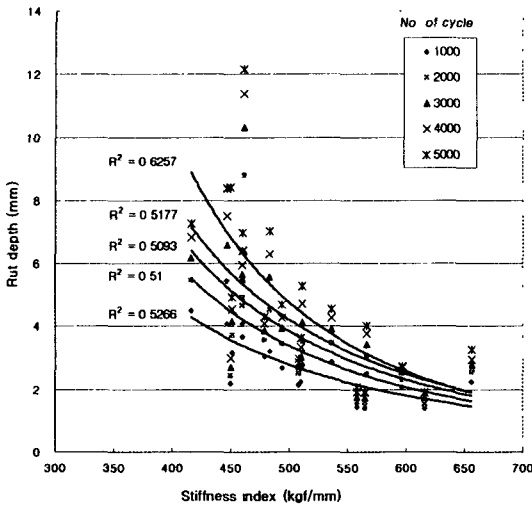


Fig. 10 Rut depth and Stiffness index relation²⁾

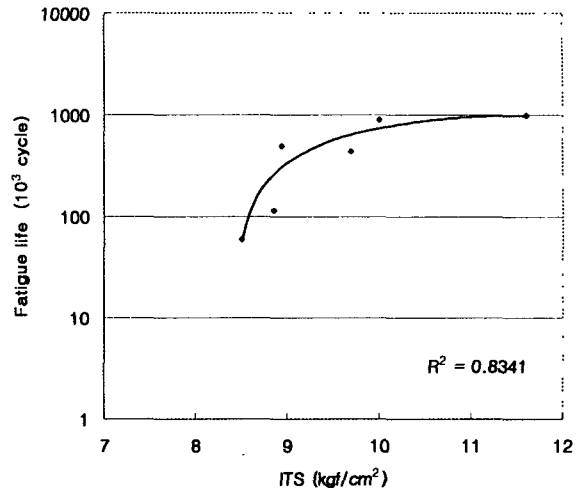


Fig. 11 Fatigue life and ITS relation¹⁾

4. 결론

- (1) 마살 공시체는 반드시 25℃에서 양생해서 안정도 시험을 해야하며 이 온도를 지키지 못할 경우 바인더의 결합력이 제대로 발현되지 못해 측정되는 안정도 값은 낮아지고 오차가 많아 신뢰성이 떨어진다.
- (2) 45분 수침 후 안정도를 측정했을 때 양생온도 변화에 따른 안정도 값 차이가 가장 적게 나타났다. 양생온도 차이에 따른 안정도 값의 변화를 줄이기 위해서는 30분 보다 길게 45분 수침 시킨후 측정하는 것이 타당할 것으로 판단된다.
- (2) 마살안정도는 국내외적으로 많이 쓰이는 대표적인 아스팔트 혼합물의 특성치이기는 하지만 중요한 포장손상인 소성변형이나 피로수명과는 거의 상관성이 없는 지수로 나타났다.
- (3) 반면에 간접인장강도와 강성지수는 소성변형이나 피로수명과의 상관관계가 상대적으로 훨씬 높아 앞으로 마살안정도에 대한 의존도를 줄이고 대체 시험법 등을 개발해 나아가야 할 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단지정 강원대학교 석재복합신소재연구센터의 지원에 의하여 이루어진 연구입니다.



참고문헌

1. 김광우, 도영수, 임성빈, 이석근, 엄주용, (1999) "개질 보강재를 이용한 덧씌우기 아스팔트포장의 반사균열 지연효과," 한국도로포장공학회 논문집, 제 1권, 1호.
2. 이상범 (2001), "아스팔트 혼합물의 공극 및 강도특성을 이용한 소성변형 추정 연구," 강원대학교 대학원 박사학위 논문.
3. 오홍락, (2001) "양생온도 및 시간이 아스팔트혼합물의 기초특성 측정에 미치는 영향," 강원대학교 대학원 석사학위 논문.