

아스팔트 혼합물의 전단강도 특성 분석 평가

An Evaluation of Shear Strength Characteristics Analysis for Asphalt Mixtures

한종민* · 진정훈** · 조규태*** · 남영국****

Han, Jong Min · Jin, Jung Hoon · Cho, Gyu Tae · Nam, Young Kug

1. 서 론

아스팔트 포장체는 반복 교통하중의 압축하중에 의해서 전단 파괴가 일어나고, 전단 응력은 피로 거동에 미치는 영향이 크기때문에 아스팔트 포장의 피로 수명에는 혼합물의 전단 특성이 중요한 요소로 작용한다. 본 연구는 실험실에서의 가열 아스팔트 혼합물(Hot Mix Asphalt, 이하, HMA)의 전단특성과 그 활용성을 분석하기 위해 전단 시험기를 이용하여 수직 전단 시험과 수평 전단 시험을 실시하였다.

아스팔트 혼합물의 전단특성을 이해하기 위해서 포장 구조층을 구성하는 재료들의 특성을 인지하고, 실내 시험을 수행하여 아스팔트 혼합물의 역학적 거동 및 포장설계에 필요한 재료특성과 하중-변형률과의 관계, 응력 분포의 분석에 기초를 두고 있다. 가열 아스팔트 혼합물의 역학적 거동은 다양한 하중변화와 온도, 환경에 대하여 복잡적으로 발생한다.

본 연구는 실제 포장거동 특성을 모사하기 위하여 교통하중에 의해 작용하는 전단응력 분포를 분석하고, 이러한 특성을 정확히 모사할 수 있는 장비를 제작하고 시험법을 제시하여 전단특성에 대한 활용에 기여하고자 하는데 그 목적이 있다.

시험장비의 특성 분석 및 하중에 의한 아스팔트 콘크리트 포장체의 전단 거동 특성을 분석하였고, 혼합물의 전단특성을 어떻게 활용할 수 있는지에 대한 방안을 제시하도록 하고, 그와 동시에 시행되고 있는 다른 아스팔트 혼합물 시험들과의 상관성 및 타당성을 평가하여 그 활용 가능성을 진단하였다. 이를 바탕으로 전단 거동 특성을 현실적이고 체계적으로 규명하기 위한 새로운 전단시험법 및 전단시험장비를 만들었으며 수평전단과 수직전단의 상관성 관계를 분석하고자 한다.

2. 국내 · 외 전단 연구 현황

국내에서 아스팔트 혼합물 전단 시험에 대한 연구는 많지는 않으나 “한국도로공사”에서 제 18회 도로기술 성과발표회 논문집에서 “교면 포장재료 및 모사시험기 개발 연구”라는 논문에서 아스팔트 혼합물의 전단강도에 대한 직접적인 시험은 아니지만 방수층이 교면 포장에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 상판, 방수층 및 포장 층이 일체로 구성되어 역학적으로 안정된 역할을 할 수 있도록 방수재료 자체의 물리적 성상을 제외한 포장과 상판과의 부착과 전단에 대한 시험방법, 시험기 및 시험기준의 검토를 위하여 실내시험을 실시한 바 있다.

* 정희원 · 한국건설자재시험 연구원 · 032-472-9001 · (E-mail: han-jong-min@hanmail.net)

** 정희원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 박사과정 · 032-770-8915 · (E-mail: jinrino@kornet.net)

*** 정희원 · 인천대학교 ITS 연구센터 선임연구원 · 032-770-8915 · (E-mail: chogt@yahoo.co.kr)

**** 정희원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 교수 · 032-770-8461 · (E-mail: yknam@incheon.ac.kr)

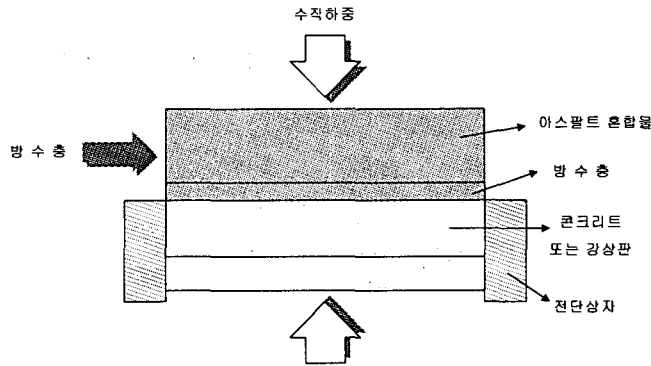


그림 1 한국도로공사 방수층 전단시험기 개요도

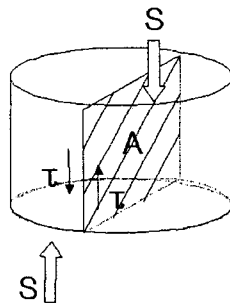
국외에는 두 가지 유형의 시험방법이 있다. 하나는 중공원통형 시편에 대한 비틀 전단시험(Torsion Shear Tests on Hollow Cylindrical Specimens)으로 축과 비틀 전단하중 하에서 아스팔트 혼합물의 동적 물성을 결정하기 위해 Sousa(1986)에 의해 사용된 것이다.

다른 하나는 단순전단시험(Simple Shear Test)으로 주로 흙의 물성을 측정하는데 주로 사용되는 것으로 아스팔트 혼합물에는 니딩 다짐기에 의한 다짐 공시체와 현장에서 채취한 코어 공시체의 반응을 비교하기 위해 Monismith and Tayebali(1988)에 의해 사용되었다.

3. 전단 시험

3.1 수직 전단 시험

포장면에 차량 윤하중이 작용할 때 포장체의 내부 응력은 압축력과 인장력이 작용한다. 이러한 반복 윤하중의 작용으로 전단력이 발생하며, 노후화되면서 전단력 부족으로 균열이 발생하게 된다. 내부 응력에 저항하고 내구성을 갖기 위해서는 보강되려면 압축, 전단, 인장 응력이 소요되는 강도 수준이상 되어야 한다.



$$\tau = \frac{S}{A}$$

τ : 전단응력

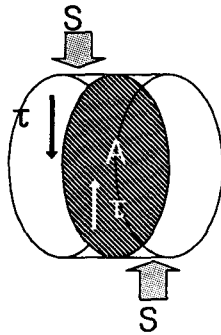
S_{ult} : 극한하중

A : 공시체 파괴단면적

그림 2 시험공시체에 작용하는 수직 전단 응력

3.2 수평전단 시험

수직전단 시험기를 모체로 공시체 파괴형태를 바꾸어서 수평 전단 시험기를 제작하였다. 수평 전단 시험 몰드는 수직 전단 시험 몰드에서 골재의 맞물림 효과에 의해 전단면이 파괴시 벌어지는 현상을 제어하기 위해 구속력을 두었다.



$$\tau = \frac{S}{A}$$

τ : 전단응력

S_{ult} : 극한하중

A : 공시체 파괴단면적

그림 3 시험공시체에 작용하는 수평 전단 응력

4. 시험결과 및 분석

본 연구는 2가지 유형의 아스팔트 바인더를 시험에 적용하였다. 현재 침입도 등급에 의해 우리 나라에서 사용되고 있는 AP-3 (침입도 등급 85~100) · AP-5 (침입도 등급 60~70)와 아스팔트 바인더에 천연 개질재인 길소나이트 (Gilsonite)를 8% 첨가시킨 것을 바인더로 사용하여 개질재 유무에 따른 아스팔트 콘크리트 혼합물의 전단 거동 특성에 대해 평가하였다.

4.1 골재 및 입도

골재의 함성입도는 도로공사 시방서의 밀입도 19mm 입도와 BB-2 입도를 적용하였으며, 채움재(filler)는 석회석분을 사용하였다.

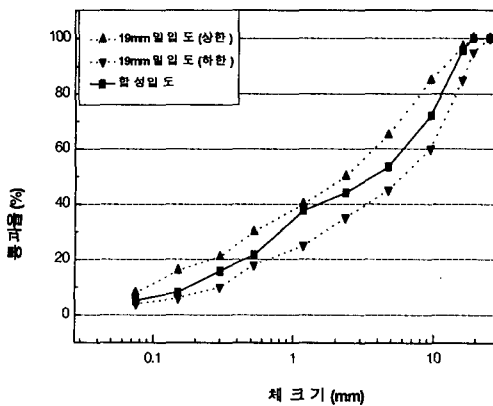


그림 4 19mm 밀입도

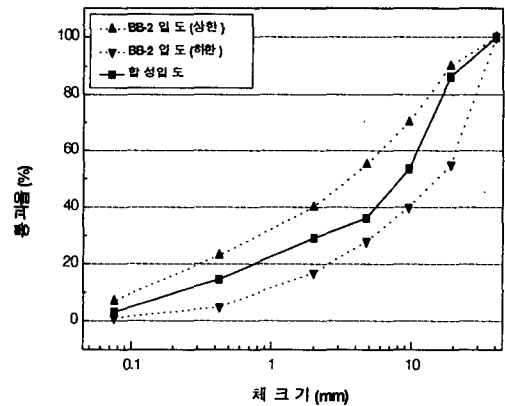


그림 5 25mm (BB-2입도)



4.2 수직 및 수평 전단 강도 결과

수직 및 수평전단강도 시험결과는 그림 6 ~그림 16의 결과를 얻었다.

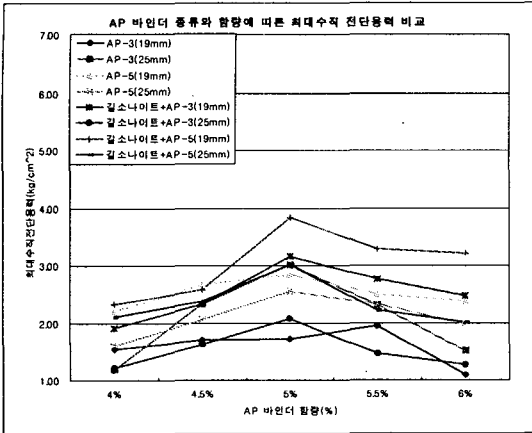


그림 6 AP 바인더 종류와 함량에 따른 최대 수직 전단응력 비교

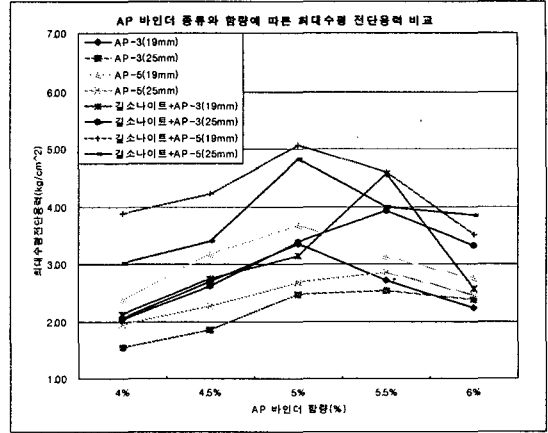


그림 7 AP 바인더 종류와 함량에 따른 최대 수평 전단응력 비교

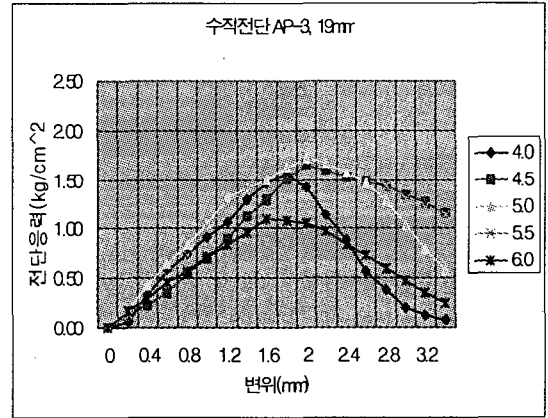
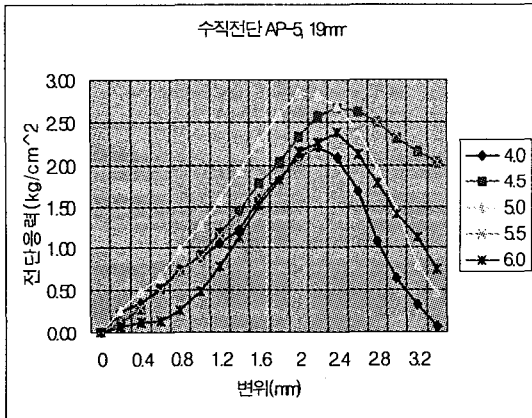


그림 8 19mm 밀입도 수직전단응력(일반)

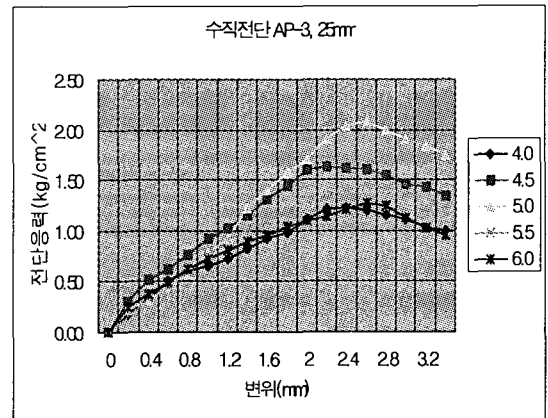
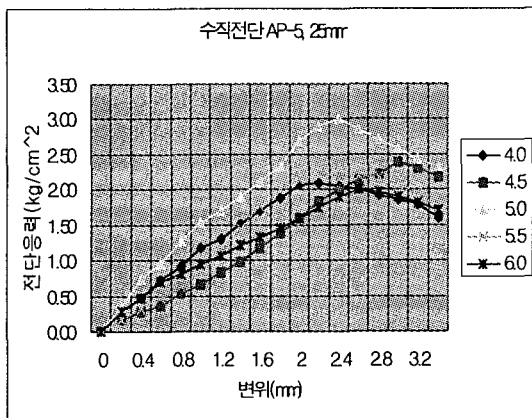


그림 9 25mm 입도 수직전단응력(일반)

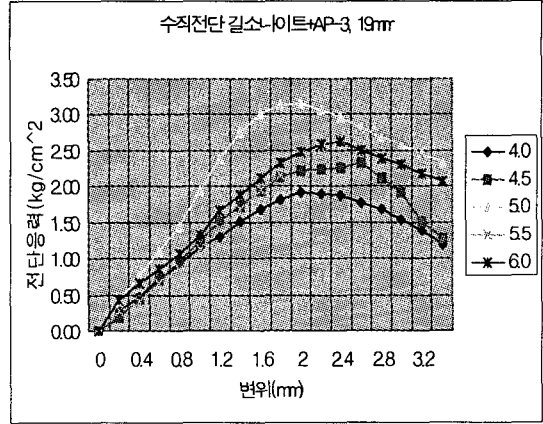
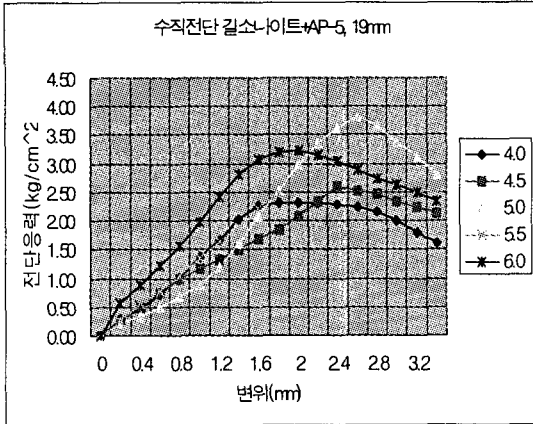


그림 10 19mm 밀입도 수직전단응력(길소나이트)

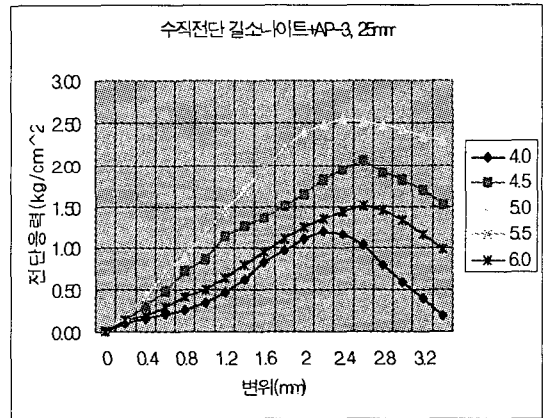
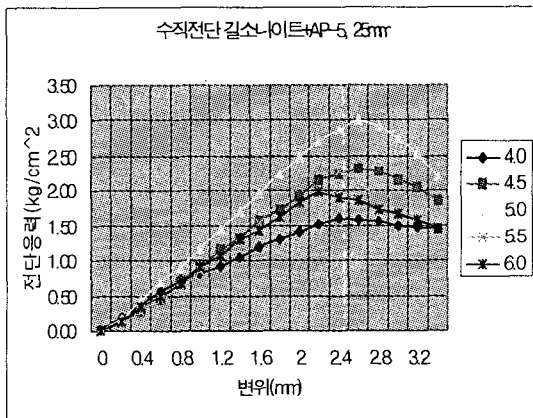


그림 11 25mm 입도 수직전단응력(길소나이트)

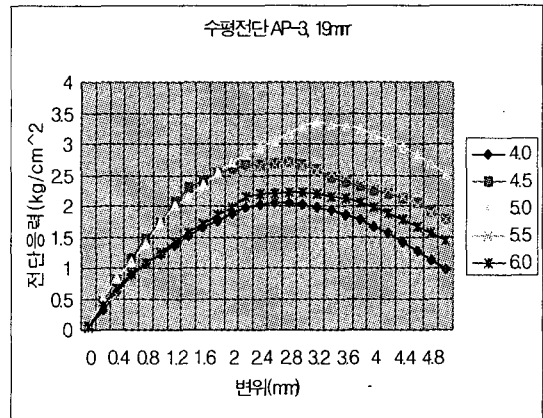
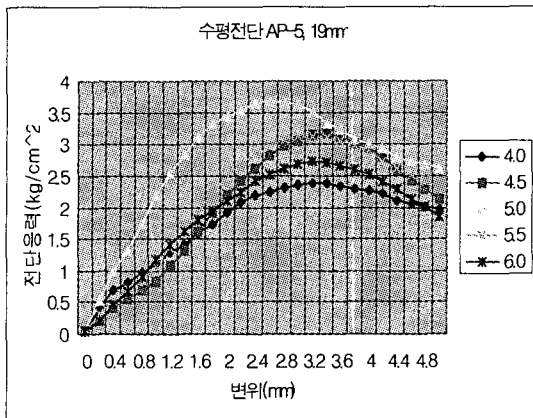


그림 12 19mm 밀입도 수평전단응력(일반)

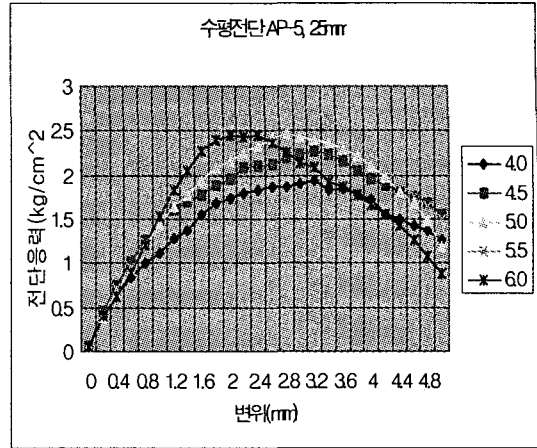
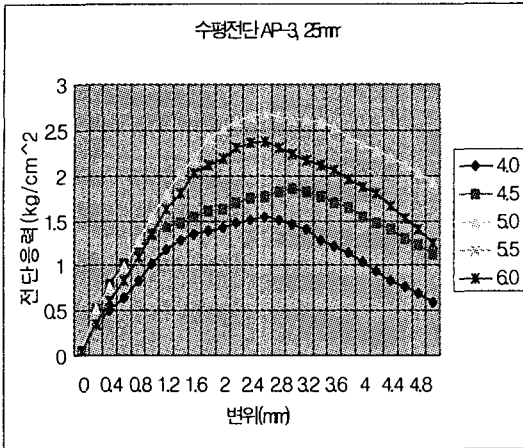


그림 13 25mm 입도 수평전단응력(일반)

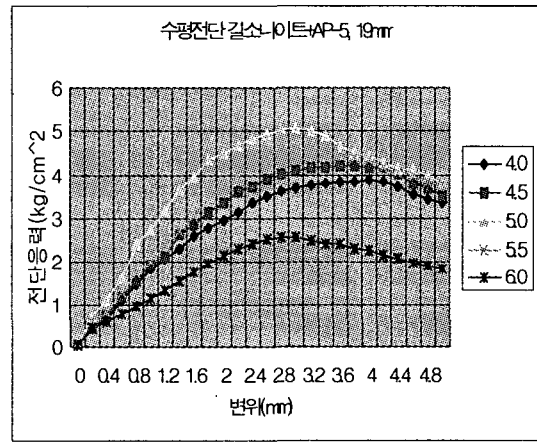
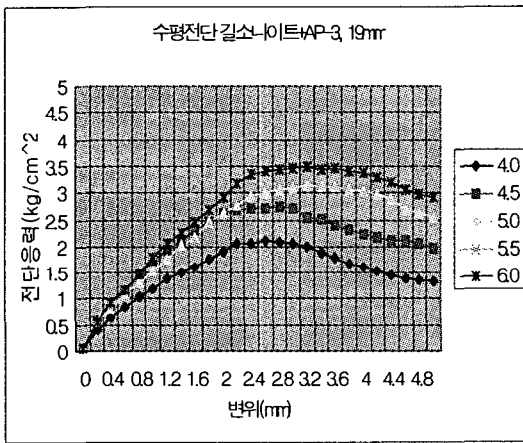


그림 14 19mm 밀입도 수평전단응력(길소나이트)

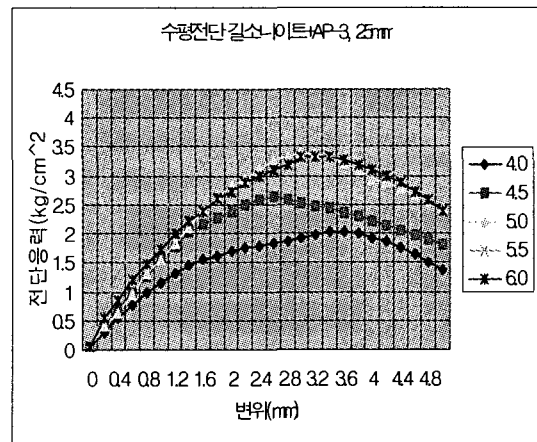
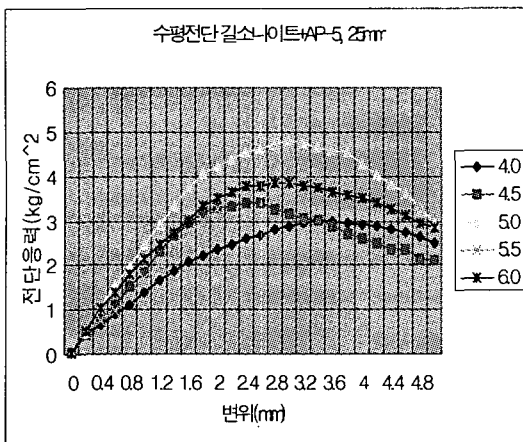


그림 15 25mm 입도 수평전단응력(길소나이트)



표 1 수직전단강도와 수평전단강도 비교표

		19mm 뒹입도				25mm 입도			
		AP-3	AP-5	길소나이트 +AP-3	길소나이트 +AP-5	AP-3	AP-5	길소나이트 +AP-3	길소나이트 +AP-5
최대 수직 전단 강도	4%	1.55	2.20	1.92	2.32	1.22	1.20	1.20	1.61
	4.5%	1.70	2.66	2.32	2.59	1.63	2.06	2.06	2.33
	5%	1.73	2.84	3.15	3.83	2.08	2.54	2.54	3.02
	5.5%	1.94	2.50	2.75	3.29	1.46	2.32	2.32	2.32
	6%	1.09	2.38	2.48	3.21	1.27	1.51	1.51	1.98
최대 수평 전단 강도	4%	2.06	2.38	2.12	3.88	1.55	2.02	2.02	3.02
	4.5%	2.70	3.17	2.74	4.22	1.85	2.62	2.62	3.40
	5%	3.36	3.68	3.15	5.07	2.47	3.38	3.38	4.83
	5.5%	2.72	3.13	4.56	4.60	2.53	3.92	3.92	4.00
	6%	2.23	2.74	2.57	3.51	2.38	3.32	3.32	3.85

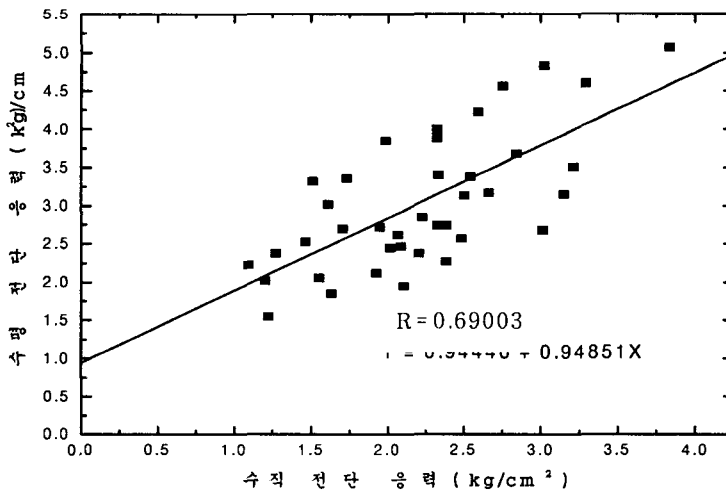


그림 16 같은 구속 조건일 때 순 전단응력에 대한 수평과 수직 전단 응력 상관성

5. 결론

전단 시험기를 이용한 수직 및 수평 전단 강도 시험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 가열 아스팔트 혼합물의 전단 강도는 공극율 약 4%의 범위와 아스팔트 함량 약 5%에서 우수하였다.
- 2) 최대 변위는 2.0~3.6mm 사이를 나타내었다. 개질재 길소나이트를 이용한 개질 아스팔트가 전단특성에 있어서도 우수한 개질 성능을 나타냄을 알 수 있었다.
- 3) 길소나이트를 섞은 개질 아스팔트 혼합물의 경우 강도 지속성이 길어서, 혼합물의 파괴가 발생하는 변위



가 일반 아스팔트 혼합물은 2.5mm 근방에서 나타난 것에 비해서 약간 뒤에 나타났다.

- 4) 25mm (BB-2) 입도의 경우 전단에 의한 영향을 비교적 적게 받았으며, 19mm 밀입도 혼합물의 경우가 전단특성에 민감하게 반응함을 보여, 그 영향 효과가 크게 나타났다.
- 5) 수직 전단 응력이 최대일 때 변위는 2~2.8mm 이었으나, 수평 전단 변위는 2.4~3.6mm 사이에서 나타났으며, 동일한 조건에서 수직 전단 응력보다 수평 전단 응력이 더 크게 나타났다. 이러한 현상은 다짐시 수직 하중으로 골재의 맞물림이 수직 단면보다 수평 단면이 양호하기 때문이다. 실제 포장체에서도 다짐 방향에 비하여 다짐 방향의 수직하는 방향, 즉 수평 전단응력 값이 다짐에 의한 영향을 받아 골재의 맞물림 효과에 의해 크게 나타나기 때문이다.
- 6) 본 연구결과 가열 아스팔트 혼합물에서의 전단 강도 특성이 포장체에 매우 중요한 특성 인자임을 알 수 있었고, 이는 소성변형, 피로균열 등의 원인을 파악하는데 있어서 그 영향 정도를 규명하는데 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 김광우, 연석규, 최중대, “노화에 의한 아스팔트 시멘트의 형질변화의 HG-GPC 분석” 대한토목학회 논문집 제 12권 4호, 1992. 12
2. 김광우, 이명호, 안경애, 최영규, “개질 아스팔트 결합재의 특성 연구,” 연구보고서, 강원대학교 석재복합신소재제품 연구센터, 1996.3
3. 아스팔트 포장연구회, 가열 아스팔트 혼합물의 배합설계지침, 1998
4. 한국도로교통협회, 아스팔트포장 설계·시공요령, 1997
5. Barksdale, R. D. and J. H. Miller II (1977). Development of equipment and techniques for evaluating fatigue and rutting characteristics of asphalt concrete mixes. School of Civil Engineering, Georgia Institute of Technology, SCEGIT, 77-149.
6. Battiato, G., F. Ronco, and C. Verga (1977). Moving loads on a viscoelastic double layer; predictions of recoverable and permanent deformations. Proceedings, Fourth International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, Vol. I, Ann Arbor, 459-466.
7. Bell C. A., Y. AbWahab, M. E. Cristi, and D. Sosnovske. Selection of Laboratory Aging Procedures for Asphalt-Aggregate Mixtures. Report No. SHRP-A-383. Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, DC. 1994.
8. Bonnot, I. (1986). Asphalt aggregate mixtures. Transportation Research Record 1096, Transportation Research Board, 42-51.
9. Brown, S. F. and C. A. Bell (1977). The validity of design procedures for the permanent deformation of asphalt pavements. Proceedings, Fourth International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, Vol. I, Ann Arbor, 467-482.