가열 아스팔트 혼합물의 역학적 시험법에 의한 강도특성분석

Evaluation of Strength Characteristics of HMA using Mechanical Testing Method

[1]유진명* · 진정훈** · 최한길*** · 조규태**** · 남영국*****
Yoo, Jin Myoung · Jin, Jung Hoon · Choi, Han Kil · Cho, Gyu Tae · Nam, Young Kug

1. 서 론

1970년대 이후 급격한 교통량의 증가와 도로의 연장 증가율을 초과하는 차량 증가비율, 양질의 골재원 감소, 원유의 수입선 다변화로 인한 품질의 변동 등으로 인하여 아스팔트 포장의 내구성이 점차 감소하여 현행 마샬배합설계법에 의해 건설된 아스팔트 콘크리트 포장파손이 심각한 문제점으로 제기되고 있다. 이에 아스팔트 포장업계 및 연구기관에서는 아스팔트 혼합물의 성능향상을 위한 새로운 시험체계의 도입 및 포장재료에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 이러한 노력에도 불구하고 여전히 국내실정에 맞는 시험법과 배합설계법의 개발 및 적용은 실용화되지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 새로운 배합설계법과 그 기준 마련을 위한 기초단계 연구로서 아스팔트 포장체내 발생 응력을 고려한 압축, 인장, 전단시험법에 의한 아스팔트 혼합물의 강도특성 및 역학적 상관성을 비교분석함과 동시에 현행 마샬시험체계의 문제점과 조합시험법(압축, 인장, 전단시험)을 혼합물 특성분석의 한 방법으로서 살펴보고자 한다.

2. 포장체의 거동특성 분석

아스팔트 콘크리트 포장 상부에 차량의 윤하중이 작용하면 포장체의 거동은 상부에는 압축력이 작용하고, 하부에는 인장력이 작용하며 동시에 상부, 하부, 내부에는 전단력이 작용한다. 즉, 포장체는 압축, 인장, 전단의 복합적인 응력작용에 의해서 거동한다.

차량 윤하중에 의해 발생된 압축, 인장, 온도 응력이 포장 각 층에 미치는 영향은 표층에서 가장 크고 압축응력을 제외하고는 표층 하부 층에서 영향이 작으며, 윤하중의 대부분은 포장 상부(표층)에서 지지한다.

아스팔트 콘크리트 포장의 복합적인 응력은 상부층(표층)에 발생되며, 표층재와 덧씌우기층재로 많이 사용되는 아스팔트혼합물에 대한 강도특성 분석시에는 복합적인 응력들(압축, 인장, 전단응력)을 고려한 분석적이고 역학적인 방법이 현재까지 사용되어 온 마샬시험법보다 효과적일 것이다. 본 연구에서는 복합응력과 마샬안정도간의 상관관계를 분석하고자 한다.

3. 시험방법 및 결과

3.1 압축강도시험

본 연구에서는 실제 차량하중이 포장체에 수직으로 작용하는 점에 착안하여 ASTM D 1074를 응용한 $CBR_{2.5}$ 관입시험을 통해 아스팔트 혼합물의 압축변형에 대한 저항성을 살펴보았고, 시험온도는 KS F 2349 마샬기준에 준

1) * 정 회 원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 석사 · 용마엔지니어링 · 3400-6785(E-mail:jllion@ymeng.co.kr)
** 정 회 원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 박사과정 · 공학석사 · 032-770-8915(E-mail:jinrino@kornet.net)
*** 정 회 원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 박사과정 · 공학석사 · 3400-5709(E-mail:oneway1950@hanmail.net)
**** 정 회 원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 박사과정 · 공학석사 · 032-770-8915(E-mail:cgt@yahoo.co.kr)
***** 특별회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 교수 · 공학박사 · 032-770-8461(E-mail:yknam@incheon.ac.kr)

하여 무더운 여름철의 온도를 고려하여 60℃에서 실시하였으며 재하속도는 50.8mm/분으로 시험을 실시하였다.

3.2 간접인장강도시험

간접인장강도시험(KS F 2376 ; 25℃, 재하속도 50.8mm/분)은 교통하중 작용시 또는 표층의 온도 변화가 심한 지역에서 아스팔트 콘크리트층의 아래 부분 즉, 인장영역의 응력상태를 모사한 시험으로 피로균열과 저온균열에 대한 저항성을 평가 할 수 있다.

3.3 수직전단강도시험

포장면에 차량 윤하중이 작용할 때 포장체의 내부응력은 압축력과 인장력이 작용한다. 이러한 반복 윤하중의 작용으로 전단력이 발생하며, 노후화 되면서 전단력 부족으로 균열이 발생하게 된다. 이러한 내부응력에 저항하고 내구성이 보장되려면 압축, 전단, 인장응력이 소요되는 강도 수준이상 되어야 한다.

본 연구에서 전단시험은 일반 마샬공시체에 수직 전단하중을 가하는 방법은 60℃ 조건에서 재하속도 50.8mm/분으로 시험을 실시하였다.

3.4 시험결과

본 연구의 시험조합은 바인더 종류별로 각각의 강도시험을 실시하였다. 바인더의 종류로는 AP-3, AP-5의 일반 아스팔트와 SBS, Gillsonite계열의 상용화된 개질아스팔트 제품군을 사용하였으며, 골재 입도는 19mm 밀입도를 채택하였다. 이와 같은 시험조건을 통해 포장체 거동 특성을 고려한 역학적 특성 즉, 압축, 인장, 전단특성을 아스팔트 함량에 따른 강도특성 및 응력과의 관계, 또한 상호 역학적 상관성을 비교·분석하였다. 마샬시험체계에 의한 시험결과는 그림 1과 같다.

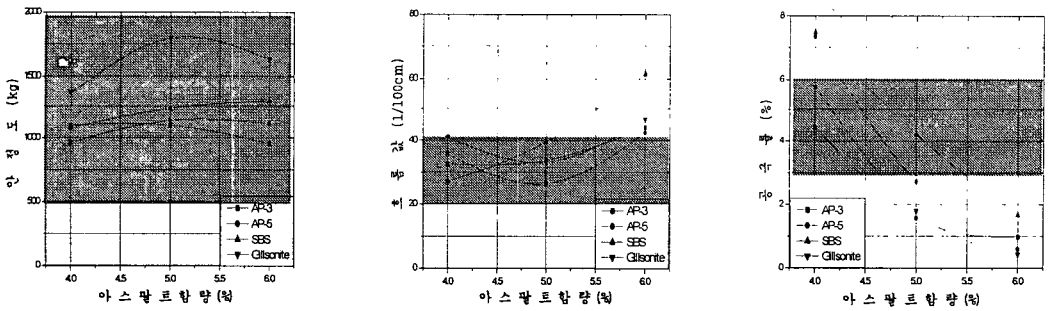
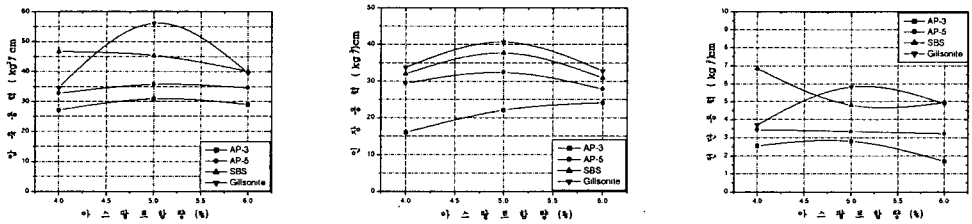


그림 1. 마샬시험 결과(60℃)

그림 2는 바인더 종류별 아스팔트함량에 따른 각각의 응력들의 거동특성을 나타낸 것이다.



압축강도시험결과(60℃) 인장강도시험결과(25℃) 전단강도시험결과(60℃)

그림 2. 압축강도, 인장강도, 전단강도와 아스팔트함량과의 관계

아스팔트 바인더 함량에 따른 각각의 응력시험 결과는 위와 같이 마샬안정도와 마찬가지로 대부분 아스팔트함량이 5%일 때 최대응력값을 보였는데, 특이할만한 점은 SBS 바인더 혼합물의 경우 고온(60℃)에 대한 저항성 평가결과 압축강도시험과 전단강도시험 결과 모두 바인더 함량 4%에서 최대응력값을 나타냄으로써 마샬안정도와는 다른 거동특성을 나타낸다. 이것은 그림 2에서 60℃ 고온조건에 대한 압축, 전단응력의 거동이 비슷한 경향을 보이는 것으로 보아 바인더 함량에 따른 응력거동특성을 마샬안정도보다 더 명확하게 분석할 수 있는 시험체계로 사료된다.

4. 역학적 상관성 분석

위와 같은 역학시험 결과 아스팔트 바인더 종류별 마샬안정도와 압축, 인장, 전단강도에 대한 역학적 상관성을 효과적으로 분석하기 위해서 각 시험에 의한 결과 값들을 그림 3과 같이 하나의 도표에 종합적으로 표현하는 방법을 활용하였다.

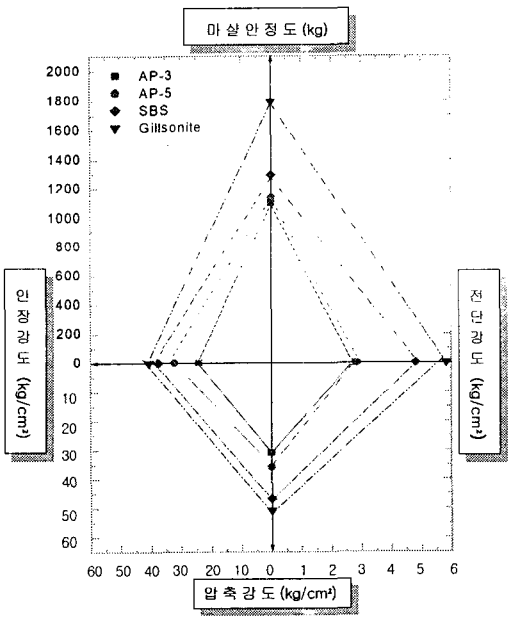


그림 3. 마샬안정도와 압축, 인장, 전단강도 특성과의 상관관계 (바인더 종류별 OAC상태 일때)

표 1. OAC상태의 강성값 비교

혼합물 종류 / 강성 종류	OAC상태에서 강성값 大 ← → 小			
마샬안정도	Gillsonite	SBS	AP-5	AP-3
압축강도	Gillsonite	SBS	AP-5	AP-3
인장강도	Gillsonite	SBS	AP-5	AP-3
전단강도	Gillsonite	SBS	AP-5	AP-3

표 2. 최대 강성값을 나타내는 아스팔트 함량(%) 비교

혼합물 종류 / 강성 종류	최대 강성값을 나타내는 아스팔트 바인더 함량 (%)			
	AP-3	AP-5	SBS	Gillsonite
마샬안정도	4%	5%	6%	5%
압축강도	5%	5%	4%	5%
인장강도	6%	5%	5%	5%
전단강도	5%	5~6%	4%	5%

그림 3은 최적아스팔트함량(Optimum Asphalt Content: 이하 OAC) 상태의 바인더 종류별 역학시험 결과들이다. 동일 아스팔트 바인더 혼합물에 대해 각각의 강도시험결과 값을 하나의 선으로 연결함으로서 바인더 특성에 따라 일정한 역학적 상관성이 있는지를 파악할 수 있다. 본 연구의 결과에 의하면 각각의 아스팔트 바인더별 혼합물을 연결한 선들이 서로 교차하는 경우가 발생하지 않는데 이것은 본 연구에 이용된 네 가지 역학시험들이 OAC상태에서는 어느 정도의 상관성이 있는 것으로 보인다.(표 1참조) 각각 역학시험들에 대해 아스팔트 바인더 함량과 강도 값들의 관계를 보다 구체적으로 분석해 보면 다소 다른 분석결과를 도출해낼 수 있다.(표 2참조) 연구에서 채택한 조합시험(압축강도시험, 간접인장강도시험, 전단강도시험)의 경우 대부분 OAC가 5%일 때 최대 강성을 나타내는 일정한 상관성을 보인 반면 현행 마샬배합설계 체계에 의한 마샬안정도시험 결과는 바인더 종류별로 서로 다른 OAC(AP-3는 4%, AP-5와 Gillsonite는 5%, SBS는 6%)에서 최대 강성을 나

타내는 등 서로 다른 경향을 보일 뿐만 아니라 마샬안정도시험 자체적으로도 신뢰할만한 일관성이 없는 것으로 판단된다. 즉 현행 마샬배합설계 체계 하에서 강도특성을 규정하는 마샬안정도시험은 개발 근거가 명확하지 못한 경험에 의존한 시험법이라는 점과 다양한 온도조건과 하중조건을 고려하지 못한 점등의 한계성 이외에도 혼합물의 역학적 특성을 파악하는데도 신뢰성이 떨어짐이 본 연구결과 입증되었다.

5. 결 론

1) 본 연구결과 주요 도로포장 파손형태인 소성변형 및 균열에 대해서도 개질아스팔트 혼합물이 일반 아스팔트 혼합물에 비하여 우수한 저항성을 가진 혼합물임을 확인할 수 있었다.
2) 역학 시험을 통한 강도특성의 상관성 분석결과 마샬안정도 시험에 비해 본 연구에서 채택한 조합시험체계는 시험결과 값의 일관성 및 상관성 측면에서 HMA의 강도특성을 평가하는데 보다 적합한 시험체계로 판단된다.
3) 향후 연구 과제로는 실제 아스팔트 도로포장의 거동 및 파손형태와 상관관계가 적은 현행 마샬안정도에 대한 의존도를 줄이고 본 연구에서 활용한 압축강도·간접인장강도·전단강도시험과 같은 대체 시험법들의 개발과 그에 따른 국내 실정을 고려한 배합설계법 개발에 대한 연구가 필요하다. 그러기 위해서는 본 연구를 보다 다양한 조건별(온도, 골재입도, 골재 및 아스팔트 바인더 재료 등)로 많은 실험을 수행하여 충분한 데이터를 확보하고, 이것을 토대로 국내 실정에 맞는 배합설계법과 그 기준마련에 대한 연구가 연계되어야 할 것이다.

참고문헌

1. David Whiteoak, 1994, The Shell Bitumen HandBook, pp242~288
2. Hudson, W. R and Kennedy, W. W, 1968, An Indirect Tensile Test for Stabilized Materials, SHRP-A/IR-90-001, pp34~62
3. Strategic Highway Research Program National Research Council Washington, DC, 1994, Permanent Deformation Response of Asphalt Aggregate Mixes, SHRP-A-415, pp41~46
4. RALPH HAAS & W. RONALD HUDSON, 1978, Pavement Management Systems, ROBERT E. KRIEGER PUBLISHING COMPANY, MALABAR, FLORIDA
5. 아스팔트포장연구회, 1999, 아스팔트 포장공학 원론, 경성문화사, pp271~296
6. 안만홍, 1998, 가열 아스팔트 혼하물의 역학적 특성 분석, 석사학위, 인천대학교
7. 이석홍, 2001, 21세기 아스팔트 혼합물의 전망과 그 이후, 도로포장공학회지, 3권 1호, pp72~77
8. 박태순 외 2인, 2000, 국내 아스팔트포장의 배합설계 방법 및 기준 변경을 위한 타당성 조사연구, 2000 학술발표회 논문집, 한국도로포장공학회, pp125~132
9. 황효섭, 2000, 폐아스팔트 혼합물의 품질특성, 석사학위, 인천대학교