

개질 샌드 아스팔트 혼합물의 인장강도 연구

Evaluation of Tensile Strength of PMA Sand Asphalt Concretes

김광우* · 이성훈** · 서영상*** · 이문섭**** · 도영수*****

Kim, Kang Woo · Lee, Sung Hun · Seo, Young Sang · Lee, Moon Sup · Doh, Young Soo

1. 서 론

아스팔트 개질의 목적은 다양하지만 결합재의 물성 변화를 통해 혼합물의 균열 및 변형을 제어하고자 하는 것이다. 따라서 물성변화를 통해 혼합물의 균열과 직접적인 관련이 있는 인장강도 및 영구변형과 관계가 있는 회복탄성계수의 향상여부를 파악하는 것은 아스팔트 포장의 성능을 추정하는 좋은 척도가 될 것이다.

따라서 본 연구에서는 폴리머 개질이 아스팔트 혼합물에 어떠한 영향을 미치는지 규명하기 위하여 두 가지의 폴리머를 사용하여 4 종류의 아스팔트를 개질하여 12가지 개질 아스팔트 혼합물을 제조하였다. 그리고 직접인장강도, 간접인장강도 시험을 통해 폴리머 개질에 따른 혼합물의 특성 변화를 분석하는데 연구 목적이 있다.

특히, 아스팔트 혼합물의 인장강도를 직접인장강도(Direct tensile strength : DTS)로 측정하기 위해 특수 인장 그립(Grip)을 제작하여 시험에 사용하였다. 흔히 쓰이는 간접인장강도(Indirect tensile strength : ITS)는 아스팔트 혼합물과 같이 비교적 무른 재료를 직접인장으로 시험하기에 어려움이 있어 수행되는 우회적 시험방법이다. 또한 굵은골재를 포함하는 일반혼합물은 굵은골재 자체에 내재해 있는 입형(Shape), 입도, 비중, 표면 조직(Texture) 등의 변동성(Variation) 때문에 결합재의 물성 변화가 혼합물 인장강도에 미치는 영향을 판단하는데 있어서 Noise가 커진다. 따라서 본 연구에서는 결과에서의 불확실성(Uncertainty)을 줄이기 위한 노력의 일환으로 샌드아스팔트 혼합물과 직접인장시험기법을 이용하여 개질이 혼합물의 인장강도 특성에 미치는 효과를 분석하고자 하였다. 샌드아스팔트 혼합물은 아스팔트 몰탈이라 하기도 하는데 이는 아스팔트 콘크리트의 Matrix를 형성하므로 이것의 강도가 아스팔트 콘크리트 강도에 결정적인 역할을 한다. 따라서 이를 통해 개질효과를 분석하는 것은 매우 의미있는 일이며 향후 이를 통해 아스팔트 콘크리트의 특성 변화를 규명하는 연구로 발전시키는 기초가 될 것이다.

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

** 정희원 · 대상엔지니어링 (E-mail: kongddug@hanmail.net)

*** 정희원 · 강원대학교 농업토목공학과 석사과정 · 033-250-7284 (E-mail: dudki38@hanmail.net)

**** 정희원 · 강원대학교 농업토목공학과 석사과정 · 033-250-7284 (E-mail: truepath@korea.com)

***** 정희원 · 한국고속도로관리공단 기술연구소 연구원 · 031-639-0535 (E-mail: ysdoh@kangwon.ac.kr)



2. 재료 및 방법

2.1 사용 재료

본 연구에서는 국내 3개 정유사(S, L, H)에서 생산되는 AP3(침입도 등급 85~100)와 국내 1개 정유사(S)에서 생산되는 AP5(침입도 등급 60~70)를 사용하였으며 각각 아스팔트의 물리적 특성은 표 1과 같다.

아스팔트 개질재로 국내에서 생산되는 LDPE(P)와 SBS(S)를 사용하였다. 이중 P는 입자가 고와 50번 체를 거의 다 통과하고(통과량 99.5%), S는 이보다 입자가 조금 커서 50번 체에 거의 다 남고(통과량 1%) 8번 체를 거의 다 통과하는(통과량 99.5%) 가루 형태의 분말이다. 이들의 물리적 특성은 문헌 4(김광우 등 2000)에 제시되었다.

골재의 품질이나 입도는 아스팔트 콘크리트 혼합물의 특성에 막대한 영향을 미치며, 생산지별로 그 조건이 각각 다르기 때문에 사용 전에 그 품질을 점검하여야 한다.

본 연구에서는 영서지방에서 생산되는 편마암(Gneiss)을 사용하였으며 굵은골재 사용시 골재의 다양성으로 인해 결합재의 특성이 불분명해지는 것을 최소화하기 위하여 잔골재만을 사용하여 입도는 샌드 아스팔트 입도(ASTM D 3515)로 조정하였으며 KS 규정에 따라서 품질 시험을 수행하여 그 결과를 표 2에 나타내었다. 그림 1은 사용된 골재의 입도이다.

Table 1. Physical properties of asphalts

Property Binder	Penetration at 25°C (0.1mm)	Absolute viscosity at 60°C (Poise)	Kinematic viscosity at 135°C (cs)	Softening point (°C)
S3 (S-AP3)	95	1,111	285	44.0
L3 (L-AP3)	94	823	278	46.5
H3 (H-AP3)	99	1,387	296	47.0
S5 (S-AP5)	60	2,464	425	50.0

Table 2. Physical properties of aggregate

Test items	Spec. limit	Measured value
Specific gravity	> 2.45	2.8
Absorption (%)	< 3.0	0.3
F. M.	2.3 ~ 3.1	2.96

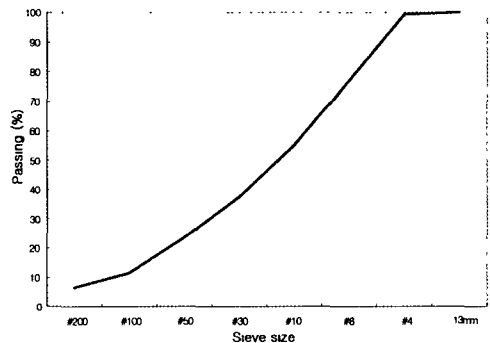


Fig. 1. Gradation of fine aggregate for sand asphalt mixture

2.2 실험방법

아스팔트를 개질하기 위한 개질재의 양은 문헌(정일권, 2000)을 통하여 작업성을 고려하여 개질 효과가 뛰



어난 폴리머 첨가량을 결정하여 AP3에는 P 6%, S 5%를 첨가하였고 AP5에는 P와 S를 각각 5%씩 첨가하였다. 이와 같이 함량에 차이를 둔 것은 S가 같은 함량에서 점도가 더 높아져 작업성에 영향을 주므로 S3 아스팔트를 기준으로 혼합물의 다짐온도(약 135℃) 수준에서 측정하는 동점도가 대등하게 얻어지는 함량으로 조절한 것이다. 첨가 방법은 아스팔트를 180℃ 오븐에 넣고 아스팔트가 충분한 유동성을 가질 때까지 가열을 한 후 히팅 맨틀로 동일 온도로 유지시키면서 폴리머를 조금씩 넣으면서 6000rpm의 고속전단믹서(Homogenizer)로 개질시켰다.

침입도 시험(KS M 2252), 연화점 시험(KS M 2250), 절대점도 시험(KS M 2247), 동점도 시험(KS M 2248), DSR 시험(AASHTO TP5)을 수행하여 아스팔트 바인더 별로 물리적 특성과 미국 SHRP에서 제시한 PG 고온등급을 측정하였다.

본 실험은 목이 잘록한 직접인장강도 공시체를 만들어 시험을 하므로 안정도를 측정하지 않고 간접인장강도를 이용하여 배합설계를 수행하였다. 아스팔트 혼합물의 배합설계는 아스팔트 함량을 7~9% 까지 0.5%씩 증가시키면서 수행하였으며 공시체의 제작은 마샬 다짐기를 이용하여 상하 양면에 50회씩 다짐하여 공극률 4%를 기준으로 가장 높은 ITS에서 OAC를 구하였다.

간접인장강도 시험은 마샬 공시체를 제작하여 마샬 가압 장비에 Lottman loading head를 이용해 50mm/min 재하속도로 하중을 가하여 수행하였다. 제작한 공시체는 탈형 후 25℃ 온도에서 24시간 양생시킨 후 동일 온도에서 시험하였다.

본 연구에서는 개질효과를 보다 분명히 확인하기 위하여 직접인장강도시험(Direct tensile strength : DTS)을 수행하였다. 이를 위하여 그림 2와 같이 가운데 부분이 오목한 공시체(Slender specimen)를 제작하여 노치(Notch)를 만들지 않고도 가운데 부분에서 파괴가 일어나도록 하였으며 공시체에 하중 재하시 단면 변화의 충격을 줄이기 위해서 단면 변화 부분에 곡률(Round)을 주었다. 그리고 직접인장강도를 측정하기 위하여 특수한 그림을 제작하였으며 Instron 만능 재료 시험기를 사용하여 하중을 재하였다.

일반적으로 아스팔트 콘크리트의 직접인장 시험은 과정이 번거로우며 사용이 제한적이다. 따라서 본 연구에서는 특수인장 그림을 그림 2와 같이 제작하고 본드 접착 없이 공

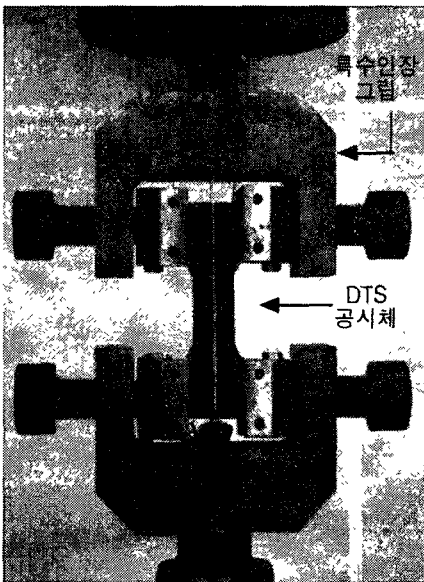


Fig. 2 Direct tensile strength test setup

시체 측면을 고정하여 실험하는 방법을 개발하였다.

수 차례의 예비 시험을 거쳐 공시체와 그림 사이에서 일어나는 미끄럼 현상을 방지하기 위해 특수한 패드를 사용하였다. 상하 그림 간격을 일정(80mm)하게 설정한 후 파괴시 변위와 파괴하중을 측정하였으며 재하속도는 간접인장강도와 같이 빠른 속도인 50mm/min와 아주 저속인 0.5mm/min 두 가지로 하였다.



이와 같이 두 가지 속도로 실험을 한 이유는, 우선 50mm/min는 간접인장강도와 같은 속도로서 실험 후 그 값을 비교하기 위한 것이다. 0.5mm/min인 초 저속을 사용한 이유는 혼합물의 속도에 의한 충격이 최소화된 상태에서 결합재의 결합력(Binding force)만으로 인장응력에 저항하도록 하기 위해서이다. 그리고 이 두가지를 각각 DTS1(고속), DTS2(저속)라 명명하였다. 모든 공시체는 3개씩 제작하여 1조로 하였으며 탈형 후 24시간 동안 25℃에서 양생시킨 후 동일 온도에서 직접인장강도 실험을 수행하였다. 공시체 제조 방법 등에 대한 상세한 사항은 기존 문헌(김광우 등 1997)에 상세히 제시되어 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1 아스팔트의 물리적 특성

개질 아스팔트는 일반아스팔트에 비해 절대점도(AV), 동점도(KV), 연화점(SP)은 상승하였고 침입도(PN)는 감소하였으며 PG 고온등급도 한 두 단계 높아졌다. 그림 3은 바인더의 두 가지 점도의 변화를, 그림 4는 침입도와 연화점 및 PG 고온등급 변화를 보여준다.

3.2 직접인장강도

두 가지 직접인장강도(DTS1 : 고속, DTS2 : 저속) 시험 결과를 표 3에, 각 아스팔트별 개질에 따른 직접인장강도 향상 비를 그림 5, 6에 나타내었다. 혼합물의 OAC는 7.8~8.5%, 공극은 3.86~5.23%선에서 결정되었으며, 전반적으로 DTS1은 DTS2에 비해 1.9~3.4배 가량 컸는데 이는 재하속도의 차이에 기인한 것이다.

그림 5에서 보면 개질 아스팔트 혼합물의 직접인장강도가 비개질 아스팔트(N)보다 약 10~50% 높았다. 이는 같은 재하속도로 측정된 ITS 보다 그 비율이 다소 높은 것이다(그림 7). 아스

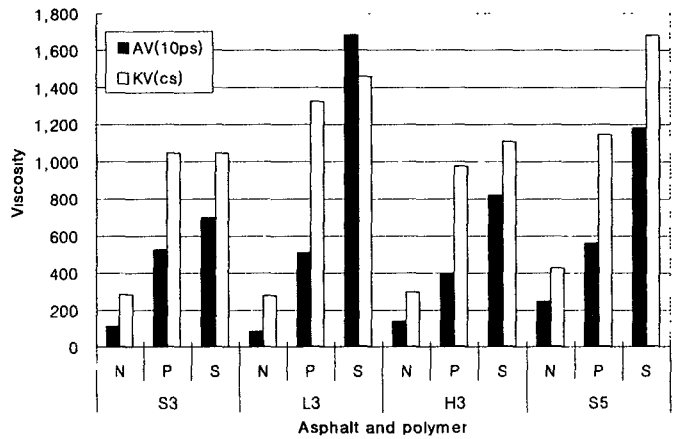


Fig. 3. Change of absolute viscosity(AV) and kinematic viscosity(KV)

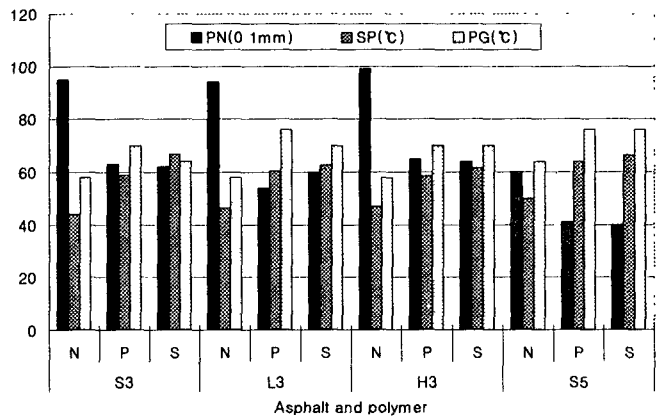


Fig. 4. Change of penetration(PN), softening point(SP) and PG high grade



팔트별로는 P3 아스팔트의 개질에 따른 인장강도 향상이 가장 높은 것으로 나타났고, H3은 두 번째였다. 개질제 별로는 전반적으로 S보다는 P의 개질에 따른 인장강도 향상이 더 큰 것으로 나타났다.

그림 6에서는 저속으로 측정한 직접인장강도인 DTS2의 변화를 보여준다. 개질 아스팔트 혼합물의 DTS2 비는 비개질 아스팔트보다 약 20~80% 이상 높아 DTS1보다 그 비율이 월등히 컸다.

Table 3. Direct tensile strength test results

Asphalt	Modifier and content	OAC (%)	Air void (%)	VMA (%)	VFA (%)	DTS1 (kgf/cm ²)	DTS2 (kgf/cm ²)
S3	N	8.0	4.66	22.05	78.87	7.69	2.26
	P 6%	7.8	4.95	21.92	77.43	9.37	3.31
	S 5%	8.5	5.01	23.66	78.83	8.48	3.12
L3	N	7.8	5.05	22.09	77.19	6.21	2.70
	P 6%	7.8	4.59	21.57	78.74	9.29	4.00
	S 5%	8.2	4.46	22.32	80.04	8.21	3.91
H3	N	8.0	5.23	22.65	76.93	6.20	2.29
	P 6%	8.2	3.89	22.02	82.33	8.00	4.20
	S 5%	8.0	3.86	21.45	81.99	7.60	3.99
S5	N	8.0	4.66	22.28	79.16	8.07	2.85
	P 5%	7.8	4.78	21.78	78.05	9.02	3.89
	S 5%	7.9	4.89	22.04	77.81	9.01	4.06

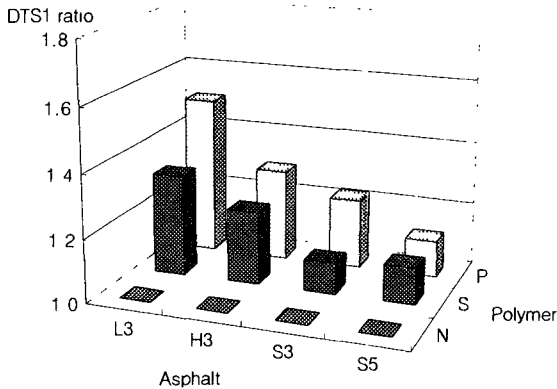


Fig. 5. DTS1 change due to polymer modification

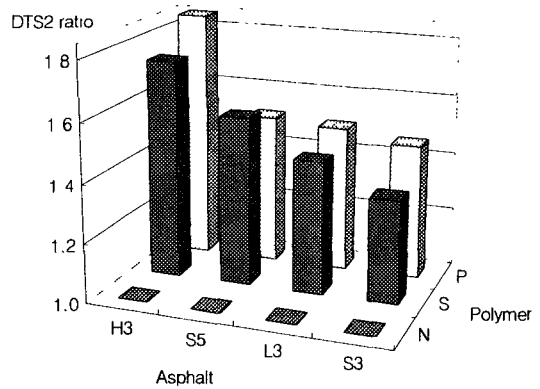


Fig. 6. DTS2 change due to polymer modification

이는 점도 및 연화점 등이 높은 개질 결합재를 사용한 혼합물의 인장강도가 비개질 결합재 혼합물에 비해 크게 향상된 것을 보여준 것이다. 다시 말해 이 시험에서는 혼합물에 인장력이 매우 저속으로 가해져 혼합물의 인장강도가 골재의 영향보다는 결합재의 결합력에 좌우된 것이라 판단된다. 이는



저속으로 측정된 직접인장강도가 결합재의 결합력에 기인한 인장강도차이를 판단하는데 더 효과적임을 나타내는 것이라 볼 수 있다.

아스팔트별로는 H3 아스팔트의 개질 효과가 가장 좋은 것으로 나타났고, 전반적으로 AP5를 제외하고는 P의 개질 효과가 S보다 더 우수했으나 그 차이는 DTS1에서보다 평균적으로 적었다.

3.3 간접인장강도

혼합물 종류별 간접인장강도 측정결과를 표 4에 제시하였으며, 개질에 따른 각 아스팔트별 ITS 향상 비율을 비개질 아스팔트(N)를 기준(1.0)으로 하여 그림 7에 나타내었다.

Table 4. Indirect tensile strength and MR test results

Asphalt	Modifier and content	OAC (%)	Air void (%)	VMA (%)	VFA (%)	MR (MPa)	ITS (kgf/cm ²)
S3	N	8.0	3.94	21.46	81.66	1,049	5.4
	P 6%	7.8	4.44	21.51	79.38	1,116	6.4
	S 5%	8.5	4.49	23.24	80.66	1,080	5.9
L3	N	7.8	3.86	21.16	81.70	1,106	4.9
	P 6%	7.8	4.16	20.99	80.25	1,239	5.3
	S 5%	8.2	4.54	22.39	79.82	1,196	5.3
H3	N	8.0	3.95	21.61	81.70	963	5.3
	P 6%	8.2	4.14	22.24	81.83	1,236	7.2
	S 5%	8.0	3.98	21.54	81.52	1,083	6.5
S5	N	8.0	4.12	21.38	80.23	1,100	5.6
	P 5%	7.8	3.74	20.70	82.19	1,413	7.3
	S 5%	7.9	3.99	21.30	81.36	1,339	5.9

그림 7에서 개질 아스팔트 혼합물의 간접인장강도가 비개질 아스팔트(N)보다 약 5~36% 높게 나타났다. 하지만 이 비율은 DTS1 보다 다소 낮고 DTS2 보다는 매우 낮은 것이다(최고 50% 포인트). 이는 결합재의 특성 차이에 따른 혼합물의 인장강도 변화를 비교하는데 ITS가 DTS에 비해 변별력이 떨어진다는 의미이다. 아스팔트별로는 H3 아스팔트의 개질 효과가 가장 좋은 것으로 나타났고 전반적으로 S보다는 P의 개질 효과가 더 우수한 것으로 나타났다.

그림 8은 같은 재하속도로 측정된 직접인장강도(DTS1)와 간접인장강도(ITS)의 비율을 보여준다.

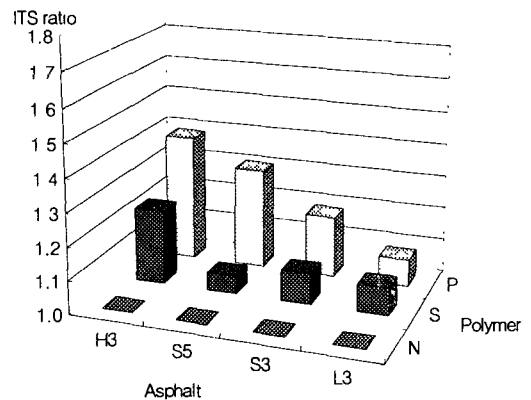


Fig. 7. ITS change due to polymer modification



전체적으로 직접인장강도 값이 ITS에 비해 더 크며 그 평균이 1.38 정도임을 보여준다. 따라서 같은 혼합물의 인장강도를 같은 속도로 측정시 직접인장강도가 간접인장강도보다 약 38% 크게 나타난 것임을 알 수 있었다.

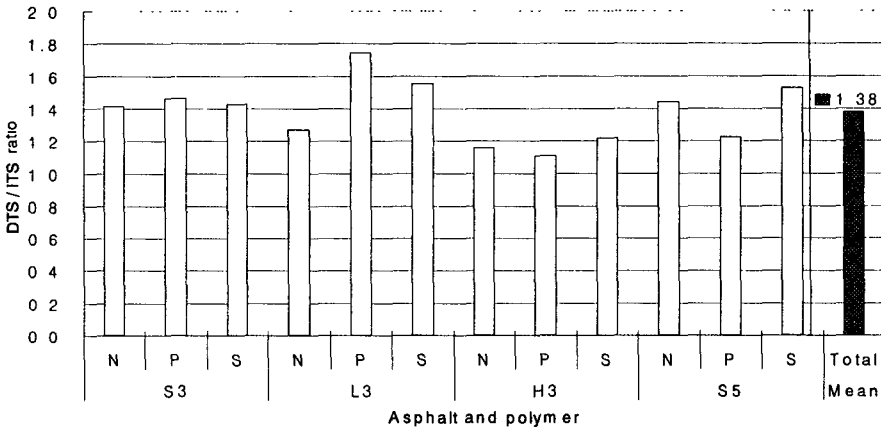


그림 8. Comparison of the ratio of DTS1 over ITS

4. 결 론

본 연구에서는 4종류 아스팔트 결합재를 개질하여 점도, 침입도, 연화점, PG 등급 등을 측정하고 또한 각 결합재로 제조한 혼합물의 특성으로 간접인장강도, 직접인장강도와 회복탄성계수를 측정하여 특정 폴리머의 개질 효과를 혼합물을 통해 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 샌드아스팔트 혼합물을 이용하여 직접인장강도, 간접인장강도 및 회복탄성계수 시험을 통해 폴리머 개질에 따른 특성 향상 효과를 분석한 결과, 본 연구에서 개발한 직접인장시험기법으로 저속(0.5mm/min)에서 측정한 직접인장강도(DTS2)가 이를 가장 잘 나타내는 것을 알 수 있었다.
- 2) 간접인장강도와 같이 50mm/min의 재하속도로 측정한 직접인장강도(DTS1)와 간접인장강도(ITS) 시험 결과도 바인더의 개질에 따른 효과를 비교적 잘 나타내었으나 ITS보다는 직접인장강도 시험이 결합재의 결합력 차이를 더 잘 나타내는 시험법임을 확인하였다.
- 3) ITS와 같은 재하속도로 측정한 DTS1은 ITS 보다 평균 약 38% 더 값이 크게 나타났고, 같은 직접인장강도간에서는 재하속도가 큰 DTS1이 DTS2보다 1.9~3.4배 더 큰 값을 보여 재하속도의 중요함을 알 수 있었다.
- 4) 아스팔트는 종류별로 개질효과에 다소 차이는 있었으나 강도특성에 따라 다르게 나타나 일관성을 찾기가 어려웠다. 반면 개질재 간에는 P가 S보다 인장강도가 전반적으로 크게 나타나 개질제간의 차이를 확인할 수 있었다.



5) 본 연구에서는 결합재의 차이를 분명히 보기 위해 굽은골재가 없는 샌드아스팔트를 이용했다. 이는 아스팔트 콘크리트의 Matrix를 형성하고 이것의 강도가 아스팔트 콘크리트 강도에 직결되므로 이를 통해 개질효과를 분석하는 것은 향후 아스팔트 콘크리트의 특성 변화를 물성으로 직접 추정하는 연구의 기초가 될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단지정 강원대학교 석재복합신소재제품연구센터의 지원에 의하여 이루어진 연구입니다.

참고문헌

1. Akazawa, T., (1953), "Tension test method for concrete," International Association of Testing and Research Laboratory for Materials and Structures, Bulletin No. 16, Paris.
2. Anagnos N, and Kennedy W., (1983), "Procedures for the static and repeated load indirect tensile test," Tensile Characterization of highway Pavement materials, Research Project 3-9-72-183, Report No. 183-14.
3. 김광우, 이성훈, 도영수, 이순제, (2000), "아스팔트 콘크리트의 역학적 특성과 결합재 성능과의 관계 구명," 석재연 논문집 5권.
4. 정일권, (2000), "국내 아스팔트의 폴리머 개질 및 노화에 따른 물성 변화 연구," 석사학위논문, 강원대학교 대학원.
5. 이성훈, (2001), "샌드 아스팔트 혼합물의 역학적 특성을 통한 폴리머의 개질효과 분석", 석사학위논문, 강원대학교 대학원