

GOVP1200101764

1) 628.746
L293L
2) 625.7

농촌도로 포장재료로 농업용 폐비닐의 재활용 연구

2000. 12.

강원대학교

농 립 부



목 차

요 약 문	1
제 1 장 서론	5
제 1 절 연구배경 및 목적	5
제 2 장 국내외 기술 개발 현황 및 문제점	15
제1절 국내외 기술 개발 현황	15
제2절 현 기술상태의 취약성	19
제3절 앞으로의 전망	20
제 3 장 경제성 분석	23
제1절 경제성	23
1. 활용성 분석	24
2. 경제성 분석	24
제 4 장 사용재료 및 실험방법	29
제1절 사용재료	29
1. 페비닐	29
2. 아스팔트	34

3. 골재	34
제2절 실험방법	36
1. 아스팔트 특성 분석시험	36
가. 침입도 시험(KS M 2201)	38
나. 점도 시험	39
다. GPC 시험	42
라. DSR(Dynamic Shear Rheometer) 시험	44
마. 공용성 등급	50
2. 페비닐 혼합물 예비시험	52
가. 혼합방법	52
나. 배합설계	55
가. 마찰안정도 시험 및 간접인장강도 시험	56
나. 동결-융해 시험	59
다. 반복주행시험	62
라. 피로 시험(Fatigue test)	65
4. 시험포장	68
가. 배합설계	68
나. 플랜트 예비배합	69
다. 시험포장	70
라. 시험포장의 품질확인 및 성능 추적	74
마. 투수시험과 미끄럼 저항 시험	79
제 5 장 결과 및 고찰	83

1. 페비닐 성분분석	83
2. 바인더의 유변학적 특성	83
3. 예비시험 혼합물의 강도 특성	87
4. 예비시험 결과	90
5. 마찰안정도 및 간접인장강도	91
6. 동결-융해시험	98
7. 반복주행시험	99
8. 피로시험	101
9. 시험포장 품질평가	103
10. 미끄럼 저항성 및 투수성	109
제 6 장 결론	111
참고문헌	113
부록-A	121
부록-B	131
부록-C	143

표 차례

Table 1-1. 농업용 페비닐의 발생량 및 수거량 (단위 : 톤, %)	10
Table 3-2. 4제품의 경제적 타당성 비교 (단위 : 원)	27
Table 4-1. Physical properties of binders	34
Table 4-2. Properties of aggregates	36
Table 4-3. DSR test mode	46
Table 4-4. 예비시험결과	54
Table 5-1. AP-5 변화적 특성	84
Table 5-2. 시험포장으로부터 재생한 아스팔트의 특성	84
Table 5-3. 페비닐 아스팔트 특성	86
Table 5-4. 혼합물별 마찰안정도 시험성과표	87
Table 5-5. HDPE 종류 및 함량에 따른 마찰시험결과	90
Table 5-6. 최적 아스팔트 함량에서의 혼합물의 마찰특성치	92
Table 5-7. 최적 아스팔트 함량에서의 혼합물의 간접인장강도	93
Table 5-8. 시험포장 혼합물의 입도분포	103
Table 5-9. 시험포장 코어 공시체의 물성	106

그림차례

Fig. 1-1. 저밀도 폴리에틸렌(LDPE)	6
Fig. 1-2. 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)를 사용한 직사광선막이 덮개	6
Fig. 1-3. 고추밭에 HDPE 필름을 이용한 잡초성장 방지용 덮개모습	7
Fig. 1-4. 농토주변에 폐비닐을 모아 방치한 광경	7
Fig. 1-5. 작물재배 후 잡초억제용으로 사용된 비닐을 방치한 광경	8
Fig. 1-6. 도로변에 폐비닐들을 쌓아 놓은 광경	8
Fig. 1-7. 서인천지역의 자원재생공사 야적장에 쌓여있는 폐비닐	9
Fig. 4-1. 국내외 고분자 재생의 분류와 명칭	30
Fig. 4-2. 단순재생의 처리공정	31
Fig. 4-3. 복합재생의 처리공정	32
Fig. 4-4. 폐비닐(LDPE) 조각	32
Fig. 4-5. 폐비닐(HDPE-1) 조각	33
Fig. 4-6. 폐비닐(HDPE-2) 조각	33
Fig. 4-7. Gradation of combined aggregates	35
Fig. 4-8. Rolling thin film oven (RTFO)	37
Fig. 4-9. Pressure aging vessel (PAV)	37
Fig. 4-10. The Penetration Equipment	38
Fig. 4-11. The Absolute Viscometer Equipment	40
Fig. 4-12. Kinematic Viscometer Brookfield Viscometer	42

Fig. 4-14. Asphalt stiffness measure at different temperature range	45
Fig. 4-15. Principal of DSR for asphalt stiffness behavior measure	48
Fig. 4-16. Complex shear modulus(G^*) definition	50
Fig. 4-17. 개질 아스팔트 믹서과정	53
Fig. 4-18. Apparatus for Marshall stability test	57
Fig. 4-19. Setup of indirect tensile strength (ITS) test in Marshall apparatus	58
Fig. 4-20. Illustration of Stiffness index in load-deformation curve	59
Fig. 4-21. Freezing-and-thawing cycle	60
Fig. 4-23. Roller compactor	63
Fig. 4-24. Wheel tracking test system	64
Fig. 4-25. Accumulative deformation rate and dynamic stability	65
Fig. 4-26. Load curve of fatigue test	67
Fig. 4-29. 현장 개략도	73
Fig. 4-30. Absorption recovery 시험장치	75
Fig. 4-31. Absorption recovery 시험과정 흐름도	76
Fig. 4-32. 코어 채취	77
Fig. 4-33. 채취한 코어(a) 6개월 후 (b) 1년 후	78
Fig. 4-34. 미끄럼 시험	79
Fig. 4-35. 투수시험기	80
Fig. 5-1. 페비닐의 첨가비율에 따른 간접인장강도	88
Fig. 5-2. 페비닐 첨가비율에 따른 강성지수	89
Fig. 5-3. 혼합물의 마찰안정도 비교	94

Fig. 5-4. 혼합물의 간접인장강도	94
Fig. 5-5. 혼합물의 강성계수	95
Fig. 5-6. 혼합물의 마찰안정도 비교	96
Fig. 5-7. 혼합물의 간접인장강도 비교	97
Fig. 5-8. 혼합물의 강성계수 비교	97
Fig. 5-9. 동결 용해 시간에 따른 잔류 간접인장강도 비	98
Fig. 5-10. 혼합물의 동적안정도 비교	99
Fig. 5-11. 혼합물의 반복주행시험 결과 (a) 실험실 (b) 현장	100
Fig. 5-12. 반복주행시험 후 공시체 절단면	101
Fig. 3-13. 혼합물 종류에 따른 피로 수평변형	102
Fig. 3-14. 혼합물 종류에 따른 피로 수직변형	102
Fig. 5-15. 19mm 밀입도 Control 혼합물 입도 비교	104
Fig. 5-16. 19mm DL12 혼합물 입도 비교	104
Fig. 5-17. 13mm GL12 혼합물 입도 비교	105
Fig. 5-18. 13mm GH10 혼합물 입도 비교	105
Fig. 5-19. 재생 아스팔트의 침입도	108
Fig. 5-20. 재생 아스팔트의 절대점도	108
Fig. 5-21. 재생 아스팔트의 동점도	109
Fig. 5-22. 미끄럼 저항성	110

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “농촌도로 포장재료로 농업용 폐비닐의 재활용 연구
과제의 최종보고서로 제출합니다.

2000. 10 . 27 .

주관연구기관명 : 강원대학교

총괄연구책임자 : 김 광 우

세부연구책임자 : 신 해 식

연 구 원 : 김 주 인

연 구 원 : 최 동 섭

연 구 원 : 안 경 애

연 구 원 : 이 상 범

연 구 원 : 정 승 호

연 구 원 : 이 정 현

요 약 문

I. 제 목

농촌도로 포장재료로 농업용 폐비닐의 재활용 연구

II. 연구개발의 목적 및 중요성

본 연구의 최종 목표는 농업에 사용 후 회수·처리가 문제가 되고 있는 폐비닐을 아스팔트 포장재료로 재활용하는 기법을 개발하여 폐비닐을 첨가한 아스팔트 혼합물을 농촌도로 포장에 적용하기 위한 기초자료를 제시하는 것이다. 이를 위해서는 그간의 연구경험을 바탕으로 한 다양한 실험실에서의 시험 연구와 농촌도로에 폐비닐 아스팔트 포장을 시험적으로 시공하고 그 결과로부터 실용성을 확인하고자 하였다. 또한 폐비닐을 첨가한 아스팔트 콘크리트 시험 포장의 재활용 경험을 제시함으로써 전국적으로 문제가 되고 있는 폐비닐 재활용의 실용화를 앞당기는 계기를 마련하고자 한다.

원예작물 및 특용작물 재배를 위한 비닐 하우스 설치 등으로 농촌지역에서의 폐비닐의 발생량은 매년 증가하고 있다. 발생된 폐비닐들 중 일부는 자원재생공사를 통해 수거되고 대부분이 야외에서 임의로 소각되거나 매립되고 있어 대책이 시급하다. 자원재생공사에서 폐비닐을 수거

하고 있으나 그간 지급되어오던 수거비용을 없애서 수거 실적이 미미하고 또한 폐비닐의 재활용이 경제성이 없으므로 민간에 의한 수거도 전무하여 대부분의 폐비닐이 노천에 방치되거나 소각되고 있는 실정이다. 폐비닐 소각의 문제점은 노천 소각시 발암성이며 최기형성 오염물질인 다이옥신의 발생은 소각온도에 관계되는바, 폐비닐을 수거하여 소각장에서 고온으로 소각하면 다이옥신 발생이 미량이지만 노천소각을 하면 소각온도가 낮아 다이옥신이 다량 발생한다.

이렇게 발생한 다이옥신은 대기를 오염시키며 또한 농토에 방치된 폐비닐은 썩지 않고 장기간 땅속에 남아있어 미생물, 유충, 뿌리성장을 방해하는 토양오염 요소가 된다. 이러한 토양의 오염은 바로 먹거리의 오염으로 이어지고 있다.

따라서 현재 전국 농토를 뒤덮은 폐비닐을 대량으로 재활용하여 소모할 수 있는 방법의 하나로 아스팔트 포장재료로 활용하는 재활용 기법을 모색하기 위한 기초연구를 수행하게 되었다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

본 연구에서는 한국자원재생공사에서 단순재생에 의해 파쇄 처리된 폐비닐을 실험 연구용으로 공급받아 폐비닐의 불순물 함량을 측정하고 폐비닐을 첨가한 아스팔트 재료를 농촌 도로 포장의 표층 및 기층재료로 사용하기 위한 연구를 수행하였다.

본 연구를 수행하기 위하여 우선적으로 실험실에서 배합설계를 수행하고 최적 아스팔트 혼합물로 강도시험을 수행하였으며, 공용성능을 예

측하기 위하여 피로균열 저항성을 측정하기 위한 피로시험과 소성변형 저항성을 평가하기 위한 반복주행시험을 통하여 일반 혼합물과의 품질을 비교 평가하였다. 또한 실험실 연구에 근거하여 시험포장을 실시하고 1년간의 공용을 거쳐 포장의 성능을 평가하였을 뿐만 아니라 실험실 기초 연구와 현장 공용성능을 비교·분석하여 재활용을 위한 이론적인 기초 자료를 제시하였으며, 경제성 분석을 수행하여 실용성을 평가하고자 하였다.

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

본 연구의 결과를 실용화하기 위하여 앞으로 장기간 시험포장의 성능을 보고서, 논문, 매스컴 등으로 홍보함과 동시에 도로포장에의 재활용 시공 특별시방서를 작성하여 재활용을 위한 토대를 마련하고자 한다.

또한 공공기관뿐만 아니라 민간기업, 지방자치단체 및 건설협회, 환경단체 등의 적극적인 참여와 함께 지역주민의 적극적인 협조 및 지역발전을 꾀하기 위한 공감대가 형성되도록 본 연구결과를 알려야 할 것이다. 그리고 재활용 단체인 자원재생공사와 연계하여 폐비닐을 아스팔트에 사전 혼합할 수 있는 장비를 개발하기 위한 연구를 수행하게된다면 실용화가 더욱 촉진될 것이다.

여 백

제 1 장 서론

제 1 절 연구배경 및 목적

20세기 초 페놀과 포르말린을 합성시켜 최초의 합성수지를 제조한 이후 석유화학공업의 발전과 더불어 합성수지도 눈부신 발전을 가져와 비닐제품은 우리 주변에서 빼놓을 수 없는 화학 제품이 되었다. 특히 최근에는 국민소득 수준의 증가 및 농촌인구감소에 따라 노동력 절감을 위한 비닐 사용 농업의 증가와 식생활패턴의 변화에 따른 4계절 원예작물 및 특용작물 재배를 위한 비닐 하우스 설치 등으로 농촌지역에서의 폐비닐의 발생량은 매년 증가하고 있다.

농촌지역의 폐비닐은 그 발생원과 구성이 다르기 때문에 발생량을 예측하기란 쉽지 않다. 특히, 지금까지 폐비닐에 대한 통계자료는 한국자원재생공사에서 조사 보고된 자료가 대부분이며, 이에 대한 통계자료도 측정방법, 조사시기 등에 따라 상이하게 나타날 수 있다.

일반적으로 농촌에서 비닐이 가장 많이 쓰이는 곳은 저밀도 폴리에틸렌 필름을 사용한 비닐하우스(Fig. 1-1)이거나 비닐하우스의 직사광선차단을 위한 검은빛의 비닐망(Fig. 1-2)을 사용하는 것이다. 그 다음이 작물의 바닥 흙을 덮어 잡초성장을 억제하기 위해 씌우는 멀칭용 고밀도 폴리에틸렌 필름(Fig. 1-3)이다. 하지만 이들은 매년 사용 후 제대로 수거되지 못하고 농토에 그냥 방치되거나 그 다음해에 대충 걸어서 공터나 도로변 등에 방치해두는 상황이어서 큰 문제로 대두되고있다(Fig. 1-4~1-6).



Fig. 1-1. 저밀도 폴리에틸렌(LDPE) 비닐 하우스



Fig. 1-2. 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)를 사용한 직사광선막이 덮개

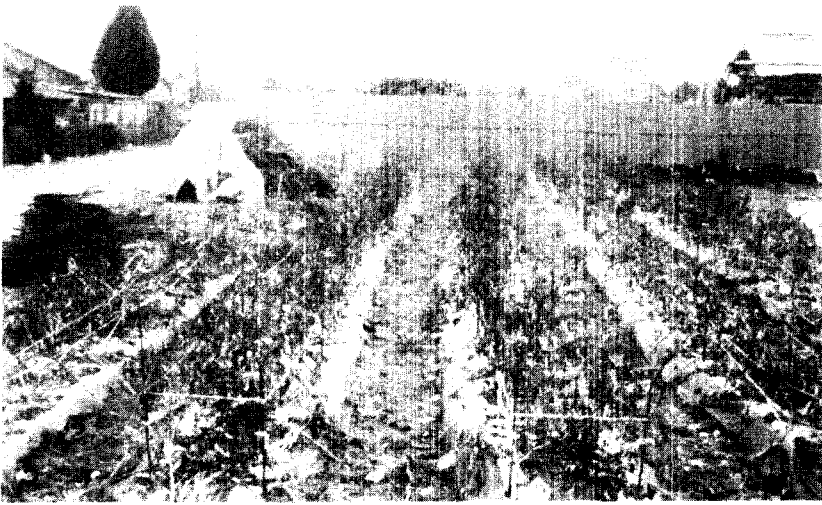


Fig. 1-3. 고추밭에 HDPE 필름을 이용한 잡초성장 방지용 덮개모습

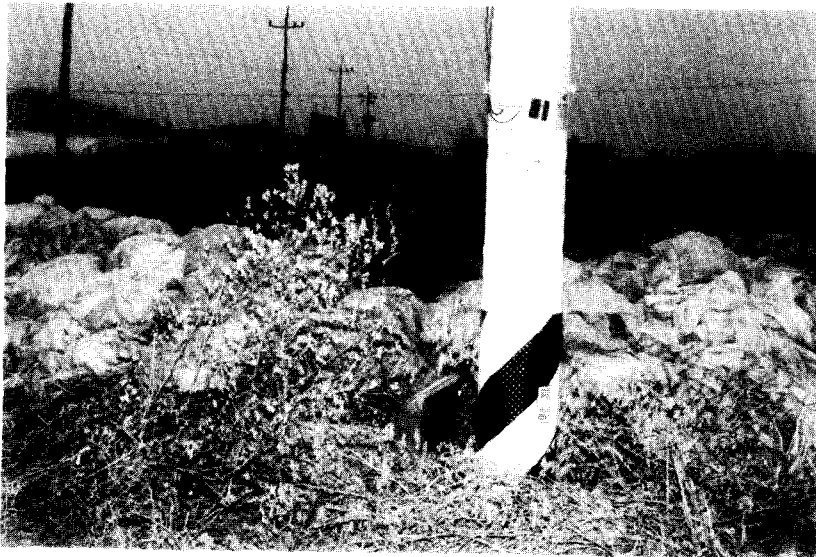


Fig. 1-4. 농토주변에 폐비닐을 모아 방치한 광경



Fig. 1-5. 작물재배 후 사용된 멀칭 비닐을 방치한 광경



Fig. 1-6. 도로변에 폐비닐들을 방치한 농은 광경

한국자원재생공사에서 조사하고 예측한 자료에 의하면, 농촌지역의 폐비닐 발생량은 Table 1에서 보는 바와 같이 매년 증가하고 있다. 제품별로 보면 LDPE(저밀도 폴리에틸레인)의 사용량이 전체의 약 63%를 차지하고 있으며, 그 다음이 HDPE(고밀도 폴리에틸레인)로써 약 35%, EVA 및 PVC가 약 2%를 차지하고 있다. 각 제품별로 발생량을 검토해보면, LDPE는 매년 평균 약 4.4%씩 증가하고 있으며, HDPE는 약 0.2%씩 감소하여 둔화 상태에 있으며, EVA는 증가율이 가장 높은 약 9.3%씩 증가하고 있으며, PVC는 약 0.8%에 머무르고 있는 실정이다.

2000년 5월 현재 전국 61개 재생공사 사업소 부지에는 폐비닐 재고가 무려 20여만 톤이나 된다(Fig. 1-7). 또한 지난해 발생한 10만톤의 폐비닐도 4만여톤밖에 처리하지 못하고 있는 실정이다. 향후 제품에 따라 다소 차이는 있지만 농촌지역의 폐비닐 발생량은 계속 증가될 전망이다. 이에 대한 정확한 수요예측이 수행되어야 할 것이다.

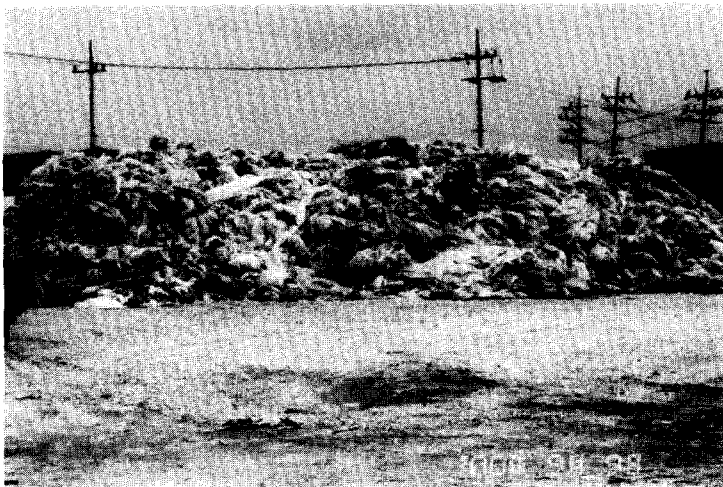


Fig. 1-7. 서인천지역의 자원재생공사 야적장에 쌓여있는 폐비닐

Table 1-1. 농업용 폐비닐의 발생량 및 수거량 (단위 : 톤, %)

구분	1993	1994	1995	1996	1997	1998	연평균 증가율	
LDPE	발생량	48,020	56,150	57,500	58,870	60,180	60,780	4.4
	수거량	22,810	26,680	27,320	31,310	33,890	34,230	
HDPE	발생량	21,700	22,890	22,310	20,950	21,420	21,660	-0.2
	수거량	14,540	15,340	14,950	13,760	19,340	19,550	
EVA	발생량	5,150	6,160	5,480	7,770	7,940	8,030	9.3
	수거량	0	0	0	0	0	0	
PVC	발생량	6,230	7,490	6,470	6,310	6,450	6,530	0.8
	수거량	0	0	0	0	0	0	
계	발생량	81,100	92,960	91,760	93,900	95,990	97,000	3.3
	수거량	38,350	42,020	42,270	45,070	53,230	53,780	

주 : 1) 한국자원재생공사의 자료를 이용하여 재작성 하였음

농업생산과정에서 발생하는 농업용 폐비닐은 농촌환경의 파괴는 물론 농업생산에도 막대한 영향을 미칠뿐만 아니라 인근 토양을 오염시킬 것이며, 토양의 오염은 바로 먹거리의 오염으로 이어지고 있다.

현재 폐비닐의 수거 처리의 문제점들을 개략적으로 열거하면 보면 다음과 같다.

첫째는 국토보존과 농작물 생육상태를 위해 자연보호운동을 꾸준히 전개하고 있으나 폐비닐을 버리고 줍는 사람이 따로 있어 큰 성과를 거두지 못하고 있다.

둘째는 농촌의 노동력은 계속 감소하고 있는데 비해 농경지 폐비닐의 수거 작업량은 증가하여 새로운 중노동으로 대두되고 있다.

셋째는 지금까지 누적되는 재고량 때문에 수거를 한다 해도 자원재생

공사 사업소는 폐비닐을 보관할 부지조차 마련하지 못하고 있으며, 보관용 부지의 추가 확보도 어려운 실정이다.

넷째는 폐비닐 수거 업체도 하우스용 비닐 같이 질 좋은 것만 수거할 뿐만 아니라 1998년 10월부터 kg당 30~50원씩 지급된 수거장려보조금이 중단되어 농민들이 수거를 기피하고 있다. 또한 극히 일부 지역에서는 수거하여도 재생공사에서 수거를 거부한 경우도 있다.

다섯째는 농경지에 폐비닐을 방치하면 토양에 있는 미생물(박테리아, 방사상균, 곰팡이 등)의 성장 및 분해가 촉진되지 않을 뿐만 아니라 작물의 뿌리성장에도 방해를 주어 작물생육에 상당한 지장을 초래하게 된다. 비료의 시비시에도 비닐에 차단되어 토양 속으로 침투되지 않아 그 효과가 감소되고 있다.

여섯째는 매립할 경우 부피가 커서 매립용적을 많이 차지할 뿐만 아니라 분해되는데 오랜 세월이 소요되며, 노천 소각시 발암성이며 최기형성 오염물질인 다이옥신이 발생은 소각온도에 관계되는바, 폐비닐을 수거하여 소각장에서 고온으로 소각하면 다이옥신 발생이 미량이지만 노천소각을 하면 소각온도가 낮아 다이옥신이 다량 발생한다. 이렇게 발생된 다이옥신은 당연히 인근 토양을 오염시킬 것이며, 토양의 오염은 바로 생산되는 작물의 오염으로 이어지고 있다.

일곱째는 국민들의 생활 수준이 향상됨에 따라 폐비닐을 이용하여 만든 재활용 제품들이 소비자들에게 외면 당하기 때문에 재활용 업체도 경제성 때문에 폐비닐 재활용을 거부하고 있는 실정이다. 그 한 예로 폐비닐의 재생품으로 물통이나 목욕통 등으로 많이 사용되던 적갈색의 “일명 고무다라”는 점차 사용량이 줄어가고 있는 실정이다.

이상에서 고찰한 바와 같이 농업용 폐비닐의 수거·처리는 많은 비용이 소요될 뿐만 아니라 이로 인한 농촌지역의 환경오염도 날이 갈수록 심각해져가고 있다. 더우기 향후 농업용 비닐수요는 계속 증가될 전망이므로 수집방법과 처리기법에 대한 획기적인 연구가 시급히 해결되지 않는 한 농촌폐비닐로 인한 농촌환경오염은 더욱 심각해질 것은 자명하다.

또한 1992년 리우 환경 정상회담 이후 지구의 환경오염에 대한 심각성이 크게 부각되면서 몬트리올 의정서 채택, 바젤 협약 및 기후 변화 협약 등 160여 개의 각종 협약이 환경보존 차원에서 체결되고 있어, 선진국들이 폐기물 재생에 대한 기술까지도 독점할 경우, 기술 후발국들은 기술료까지 부담하여 자국의 폐기물을 처리하게 된다. 그리고 제품의 수출에까지 일정 비율의 재생품을 사용토록 의무할 경우에는 수출 드라이브로 경제성장을 추구하는 우리 나라는 국가 경제에까지 막대한 영향을 입게 될 수도 있을 것이다. 이런 차원에서 폐비닐의 재생에 관한 기술도 국가적 관심과 지원으로 해결되어야 할 문제이다.

본 연구팀은 다년간의 폐기물의 재활용 연구와 폴리머 개질 아스팔트 혼합물에 대한 연구를 통하여 LDPE를 아스팔트에 첨가시 혼합물의 여러 가지 특성을 향상시킬 수 있음을 입증하였다. 또한 폐비닐의 주성분이 LDPE와 HDPE라는 점을 이용하여 문제가 되고 있는 농업용 폐비닐을 다량으로 소모할 수 있는 방법의 하나로 도로 포장재료의 일부로 재활용하기 위한 기법을 개발하고자 하였다. 이 기법이 개발된다면 폐비닐을 재활용하여 아스팔트 혼합물을 제조함으로써 아스팔트 혼합물의 성능 향상과 재활용으로 인한 환경보존과 자원재생 등 효과를 거둘 것으로 기대된다.

본 연구를 수행하기 위한 연구내용은 다음과 같다.

1. 농촌지역에 산재되어 있는 폐비닐의 물량을 조사하고 이것의 처리 및 재활용 실태, 그리고 환경에 미치는 영향 등을 조사하고 폐비닐의 재활용에 따른 경제성을 예측하였다.
2. 본 연구에 사용할 재료의 기본 물성을 분석하고 아스팔트 혼합물에 폐비닐을 첨가하는 방법에 대한 연구를 수행하였다.
3. 폐비닐 아스팔트 혼합물의 제조 기법을 개발하여 배합설계를 통하여 최적 혼합물을 결정하고 시험포장을 수행하였다.
4. 폐비닐 아스팔트 시험포장의 품질확인 및 성능 추적을 통한 실용화 가능성을 판정하였다.
5. 폐비닐을 첨가한 아스팔트 결합재의 특성을 분석하고, 폐비닐 아스팔트 혼합물의 특성에 대한 연구를 수행하였다.
6. 현장 시공성과 시험포장 성능평가를 통하여 실용성을 평가하고 농촌도로 포장으로서의 활용 방안을 연구하고, 시험포장 건설비용을 통한 경제성을 일반 아스콘 포장으로 건설시와 비교 분석하고 폐비닐 포장 시공시에 사용할 지방서를 제정하였다.

여 백

제 2 장 국내외 기술 개발 현황 및 문제점

제1절 국내외 기술 개발 현황

국내에서 아스팔트에 폴리머 계를 첨가한 개질 아스팔트의 개발은 아직 초보단계이며 농촌 페비닐을 이용한 연구는 거의 전무한 상태이다. 진명섭은 페비닐로부터 제조된 패렛 입자들을 아스팔트에 3%까지 첨가하여 아스팔트 혼합물을 제조하여 그 특성을 조사 분석한 연구를 발표하였다. 그는 페비닐을 넣은 아스팔트 포장재료가 일반 아스팔트포장 재료와 비교하여 별 차이가 없음을 보여주었다.

따라서 페비닐의 첨가도 방법이 잘 개발된다면 그와 유사하게 품질향상의 효과를 가져올 수도 있을 것으로 기대된다. 선진국인 유럽, 미국 및 일본에서는 비닐계 수지 (Polymer Vinyl)을 이용한 아스팔트 포장 재료의 개발에 대한 연구가 매우 많이 이루어 졌다. 그 중에서도 SBS, SBR, EVA, LDPE등이 많이 사용되었는데 이중 SBR을 제외하고는 국내 페비닐과 같은 종류의 재료들이다. 따라서 선진국에서 이들의 연구를 사전 조사하는 것은 본 연구에 많은 도움을 주리라 기대 된다.

미국 텍사스 휴스톤에서는 SBS, SEBS 그리고 EVA를 이용한 개질된 아스팔트와 AR 1,000 아스팔트를 비교하여 소성변형 저항을 연구한 결과 개질된 아스팔트들은 각각 소성변형에 대해 저항성의 증가를 보였다 (Bouldin and Collins 1992). 폴리머로 개질된 아스팔트의 개선된 성질들은 무거운 차량과 교통량이 많은 곳이나 長시간 교량의 鋼상판에 적

합한 것이어야 되므로 더 질이 좋고 견고한 포장건설을 위한 연구가 일본에서도 이루어졌다. 그들의 연구에서는 에폭시 수지(Epoxy resin)로 아스팔트를 개질 시켜 개질 되지 않은 아스팔트와 비교 실험한 결과 높은 강도, 높은 탄성, 강한 변형저항, 높은 하중분산효과 그리고 저온균열에 높은 저항을 보였다 (Mayama, Yoshin, and Hasegawa 1992).

미국 Minnesota 대학과 Nevada-Reno 대학에서는 Polyolefin(High melt-low index acrylic acid copolymers) 와 SBR 라텍스(latex)를 이용하여 실험실에서와 현장연구를 5년 동안 수행하였다. 현장시험은 기후가 다른 여러 지역 - Alabama, Main, Michigan, Idaho, Texas주 등에서 행해졌다. 실험실과 현장 연구 결과 개질된 아스팔트는 모든 온도에서 더 높은 탄성 계수를 보였으며 특히 25°C 와 40°C 즉 높은 온도에서 더 큰 차이점을 보였다.

또한 아스팔트 혼합물을 만들 때 첨가 순서가 중요함을 보였는데, 혼합물을 비비기전에 아스팔트와 라텍스를 미리 섞어 놓으면 더 효과적인 혼합이 이루어지는 것으로 보아 아스팔트와 폴리머 사이에 상호작용이 있는 것으로 생각된다. Polyolefin 과 Polyolefin/ latex 로 개질된 아스팔트는 정상적인 압축 온도가 요구되고 열에 의한 노화현상도 기존 아스팔트와 같게 나타났다. Polyolefin을 이용시 드럼플랜트에서 혼합시의 문제점이 있었지만 현장시험시공은 성공적이었다.

Polyolefin을 뜨거운 아스팔트에 유화시켜 이용하려는 연구가 많이 진행되고 있지만 상(phase) 분리 문제 때문에 결국 아스팔트의 성질을 나빠지게 하고있다. 만약 Polyolefin이 상 분리 없이 잘 유화된다면 도로 포장에 큰 경제적 이익을 얻을 수 있게 된다. 현재 Polyolefin이 아스팔

트에 유화되어 안정화시키기 위한 가장 전망 있는 기술은 steric stabilizer를 이용하는 것이지만 여전히 크립화되는 문제가 해결되지 않고 있다 (Hesp and Woodhams 1992).

미국 Oregon 주립대학에서는 EVA, SB (styrene-butadiene) 그리고 SBR을 사용하여 아스팔트를 개질하여 도로에 사용하였고, 또한 실험실에서도 이에 관한 시험을 수행하였다. Lava Butte-Fremont Highway junction project 에서 과열이 가해진 EVA 개질 아스팔트는 균열을 나타내었지만 정상적인 혼합온도로 시공된 EVA 개질 아스팔트는 문제없이 잘 시공되었고 4°C 침입도 규정에 적합한 PBA-2 와 PBA-5에 이르렀다. 시험결과를 종합하면 폴리머 첨가는 아스팔트의 온도 민감성을 개선할 수 있는 하나의 방법이 되어 온도변화에 의한 균열을 감소시키며 경제적으로 효과를 볼 수 있을 것이라 전망하였다 (Rogge et al. 1992).

텍사스 A&M 대학에서는 LDPE를 아스팔트에 분산시켜서 유변학적 (Rheology) 변화를 주어 크리프(Creep)변화에 상당한 개선을 보였을 뿐 아니라 전단강도를 개선시켰다(Little 1992). LDPE로 개질된 Novophalt(A stable dispersion of polyethylene in asphalt cement)는 오스트리아, 이탈리아, 영국, 노르웨이, 그리고 미국에서 성공적으로 도로포장과 실험실 시험에 이용되어 왔다.

불란서 ELF Aquitaine group 에서는 styrene-butadiene을 단순히 혼합시키는 것이 아니고 반응물에 아스팔트를 첨가하여 화학적 반응을 야기시켰고 환원되지 않는 결합을 이루게 하였다. 이렇게 형성된 혼합물을 styrelf 포장 혼합물이라 부르며 이에 대해 여러 가지 특징이 있는 것으로 보고되었다 (Hgenbach and Philippon 1983).

폴리머 개질 아스팔트는 고온에 대한 안정성, 공기에 대한 낮은 투과성 그리고 노화정도가 낮아 매립지 라이닝에도 이용된다(Terrel 1992). 인도 뉴델리 연구소에서도 개질 아스팔트의 특성에 대한 연구를 수행하였다. 이들이 사용한 개질재는 SBS, EVA, LDPE 등이었다. 침입도 지수가 개질 아스팔트와 일반 아스팔트를 비교한 결과 개질 아스팔트는 저온 균열의 가능성이 적었고, 저온에서의 연성(Ductility)값이 더 좋았으며, 결속력이 점점 증가하여 탄성 회복력이 매우 높아 반사균열의 가능성을 감소시킬 수 있다고 보고하였다. 게다가 마찰 안정도와 인장강도가 기존 아스팔트보다 1.5배가 높아 Overlay의 두께를 줄일 수 있으며, 또한 피로강도도 높아 교통량이 높은 도로에 적합한 것으로 나타났다. 그들은 2%의 LDPE, 2~5%의 SBS, 5%의 EVA, 2%의 LDPE + 5% EVA 그리고 1~2%의 HTPE가 Polymer들의 최적농도라고 제시하였다.

Little (1993)은 LDPE의 한 종류인 폐 플라스틱을 가열 혼합 아스팔트 혼합물에 첨가제로 사용하기 위한 실험을 수행하였다. Little은 순수 LDPE와 폐 폴리에틸렌을 아스팔트 함량의 4%, 6%씩 첨가하여 개질 아스팔트를 제조하고 바인더의 특성과 개질 아스팔트 혼합물의 특성을 비교 분석하였다. 실험을 통하여 고온에서의 소성변형 저항성과 저온 피로 저항성이 향상되었다고 평가하였다.

Liang 등(1993)은 LLDPE, HDPE, Polyolefin을 아스팔트 함량의 3%씩 첨가하여 개질 아스팔트와 순수 Polyethylene을 3%, 4% 첨가한 개질 아스팔트를 제조하고 일반 아스팔트와 비교 분석하였다. 또한 배합설계를 수행하고 -18°C에서의 간접인장강도 시험을 통하여 개질 아스팔트 혼합물이 저온에서의 균열을 억제하고 소성변형을 감소시킨다고 평가하였다.

한편 국내에서 김 등은 국내에서 생산되는 여러 종류의 폴리머들을 사용하여 아스팔트를 개질하고, 개질 아스팔트의 특성과 이로 제조한 혼합물을 실내 실험을 통해 비교 분석하고 그가운데 비교적 개질 효과가 우수한 폴리머인 LDPE와 SBS를 선정하였다(김광우 등 1996, 1997). 또한 본 연구를 수행하여 얻어진 결과들을 일부학회 등에서 논문으로 발표하였다.(김광우 등 1999, 2000)

또한 한국도로공사 도로연구소에서도 여러 폴리머 계열 개질재의 국내 적용성 여부에 관해 실내시험과 현장 포장을 통해 비교 분석하였다. 실내 시험 결과 폴리머 개질재는 아스팔트 혼합물의 소성변형 저항성을 개선시키고 포장상태가 전반적으로 양호한 것으로 평가되었다(이광호 등 1996).

제2절 현 기술상태의 취약성

앞서 언급하였듯이 폐비닐을 아스팔트 포장재료로 재활용하기 위한 첨가 방법이 잘 개발된다면 농촌도로 아스팔트 포장에 현지에서 발생하는 폐비닐을 재활용하고, 아스팔트포장의 품질 향상을 가져오며, 환경보호의 일거 양득의 효과를 가져올 수도 있을 것으로 기대된다. 하지만 현재까지 외국의 연구는 현장에서 직접 수거한 폐비닐을 사용한 것이 아니라 상품화된 폴리에틸렌 제품을 이용한 연구였다. 뿐만 아니라 국내에서의 연구도 극히 드물기는 하지만 폐플라스틱으로부터 제조한 패렛을 이

용하여 수행되었다. 따라서 폐비닐의 노화상태에 대한 점검 및 그것의 재료적 측면에서의 재활용 가능성, 수거 후 아스팔트 혼합물에 첨가 전까지의 전 처리 과정 연구 등을 통한 실용화 가능성 등이 전혀 수행되어 있지 않은 것이 문제점으로 대두된다.

특히 국내의 폐비닐의 재활용 기술과 그것을 이용한 포장 건설 기술 수준은 매우 낮다고 할 수 있다. 하지만 현재까지의 연구에 의한 기술축적의 부족 때문에 주먹구구식의 막연한 사업 시행은 많은 오류를 가져올 우려가 있다. 아직 국내에서는 폐비닐 재활용에 의한 아스팔트 포장 건설이 없었으며 도로의 기층 및 보조기층 재료로 사용된 기록도 없다. 따라서 이의 극복을 위한 체계적이고 본격적인 연구가 수반되어야 하며 이러한 노력은 실험실에서의 건식혼합 및 습식혼합기법의 개발과 부분적인 현장 시험포장을 통해 가능성을 확인할 수 있을 것으로 기대되며 관심있는 기업의 적극적인 노력을 통하여 성공할 수 있을 것이다.

제3절 앞으로의 전망

현재 국내에서의 환경에 대한 국민과 국가적 관심이 증가되고 있는 점으로 보아 향후 국내에서의 각종 폐기물 재활용 기술의 개발은 여러 각도에서 이루어지리라 본다. 따라서 폐비닐의 재활용도 중요한 과제중의 하나가 되리라 보며 이에 대해 여러 가지 방법이 개발될 수 있다. 그 중 본 연구에서와 같이 농업용 폐비닐을 농촌도로의 포장 재료로 재활용

하는 것은 매우 중요한 재활용 기법의 하나로 평가 될 것이다.

수 년전 국내 일부에서 폐비닐을 Flume의 재료로 재활용을 시도한 적이 있으나 실용화되지 못했다고 알려지고 있다. 하지만 당시의 사회적 분위기는 지금과 같은 상황의 절박감이 없었고 또한 그간의 연구에 의한 기술 축적 부족 및 실용성 부족 등이 큰 원인이었다고 본다. 이에 비해 본 연구에서는 기초적이고 실용적인 재활용 방법부터 수행되며, 여기에 참여하는 연구진들이 국내·외적으로 많은 연구실적이 있는 전문가들로 구성되어 환경적 측면에서 아스팔트 포장재료의 재활용 및 도로포장 기법까지 체계적으로 수행될 것이다. 그리고 본 연구가 성공적으로 이루어지면 이제까지 농촌지역에서 문제가 되고 있는 폐비닐을 농촌도로포장에 재활용을 체계적으로 수행하는 지침을 마련할 수 있을 것으로 전망한다. 이는 또한 폐기물을 폐기물 발생지역에서 재활용하게 한다는 환경 순환 원칙과도 일치하는 것이라 볼 수 있다. 따라서 지역별로 이 기술의 이전을 희망하는 정부기관이나 기업이 있으면 공동연구를 통해서 기술을 이전하여 실용화에 박차를 가할 것이다.

여 백

제 3 장 경제성 분석

본 연구는 농업용 폐비닐을 아스팔트 포장재료로 재활용하기 위한 연구로서 이를 수행하기 위하여 우선 경제성 분석을 수행하고 폐비닐 아스콘 개발 연구를 수행하였다. 연구개발 수행과정 및 결과는 다음과 같다.

제1절 경제성

농업용 폐비닐의 재활용을 위한 방법의 하나로써, 폐비닐을 이용한 농촌도로 및 농로 포장재료의 개발이 시급한 실정이다. 최근 농촌지역의 이농으로 인한 공동화, 과소화 현상이 심각하여 사회간접자본 (Infrastructure)에 대한 투자가 선행되어야 함에도 불구하고 상대적으로 투자가 이루어지지 못하고 있다.

여기서는 매년 약 50,000톤씩 수거되고 있는 농업용 폐비닐을 이용하여 농촌도로의 포장 재료로 재활용할 경우에 직접적인 경제성은 물론 간접적인 환경보호 및 농작물의 피해감소도 줄일 수 있다. 따라서 농업용 폐비닐을 수거하여 농촌도로 포장용으로 재활용 할 경우의 경제성을 검토해 보고자 한다.

농업용 폐비닐을 이용한 농촌도로포장 투자에 대한 경제성의 계산방법에는 원가비교법, 이익비교법, 투자이익율법, 자본 회수 기간법 등이 있다. 그리고 각각의 방법에 따라 시간적 가치를 고려하지 않는 방법과 고려하는 방법이 있다. 시간적 가치를 고려하지 않는 방법과 고려하는 방법의 차이는 할인율을 단리로 하느냐 복리로 계산하느냐의 차이이다.

본 내용에서는 일반아스콘, 수퍼팔트, LDPE 개질 아스콘, 페비닐 아스콘 등 4제품의 경제적 타당성을 비교 분석하기 위해서 시간적 가치를 고려한 원가비교법에 의한 계산방법을 적용하기로 한다.

원가비교법은 원가액이라고 하는 「금액」의 대소로 경제성을 비교하는 방법이다.

1. 활용성 분석

페비닐 사용량 : 아스팔트 혼합물 내 아스팔트 양의 12%

아스팔트 혼합물 1톤에 사용되는 페비닐 양(아스팔트 함량이 6.25% 경우) :

$$1,000\text{kg} \times 0.0625 \times 0.12 = 7.5\text{kg}$$

즉, 1톤(1,000kg)의 아스팔트 혼합물 내에 페비닐 약 7.5kg이 사용됨.

페비닐 50,000톤으로는 $50,000,000\text{kg} / 7.5\text{kg/ton} = 6,666,700\text{ton}$ 의 아스콘 생산 가능

$$\text{이것은 용적으로 } 6,666,700\text{ton} / 2.5\text{ton/m}^3 = 2,666,700\text{m}^3.$$

폭 5m, 두께 10cm로 농촌도로 1km를 포장할 때 필요한 아스콘량은

$$5\text{m} \times 0.1\text{m} \times 1,000\text{m} = 500\text{m}^3.$$

따라서 페비닐 5만톤이 들어간 아스콘 2,666,700m³으로 5,330km의 농촌도로 포설 가능.

2. 경제성 분석

Table 3-1은 제품별 제조원가를 비교하여 나타낸 것이다. 제조원가

(P)는 재료비, 부대경비, 간접경비, 인건비 등이 포함된 가격이며, 잔존가액(D)은 내구연수가 경과한 후에는 가치가 전부 소멸되는 것으로 간주하여 0원으로 처리하였다. 그리고, 연간유지보수비(S)는 지리적 여건 등에 따라 상이하게 나타날 수도 있으나 연간 일반 아스콘 제조원가의 10%가 소요되는 것으로 간주하였다. 또한 내구 연수(n)는 일반아스콘은 7년, 슈퍼팔트, LDPE 개질 아스콘, 페비닐 아스콘은 각각 15년으로 하였으며, 할인율(i)은 실제 은행금리인 10%를 적용하여 원가를 비교분석하였다.

원가비교법을 적용하여 어떤 시설투자의 경제적 타당성을 비교 분석하는 경우에 현가법과 연가법이 있으나 내구연수가 각각 7년과 15년으로 다르기 때문에, 이 경우에 적용하기 편리 한 것이 연가법이다. 원가비교법의 연가법에 의한 계산식은 다음과 같다.

Table 3-1. 제품별 제조원가 비교표(톤당) (단위 : 원, 년, %)

구 분	일반 아스콘 (A)	슈퍼팔트 (PG76-22) (B)	LDPE 7% 개질아스콘 (C)	페비닐 아스콘 (D)
제 조 원 가(P)	29,400	44,700	38,595	28,530
잔 존 가 액(D)	0	0	0	0
년간유지보수비(S)	2,940	2,940	2,940	2,940
내 구 연 수(n)	7	15	15	15
할 인 율(i)	10	10	10	10

<계산식>

$$R = S + P \times [i(1+i)^n / (1+i)^n - 1]$$

여기서 ; R = 연말등가지출액

S = 연간유지보수비

P = 제조원가

n = 내구연수

i = 할인율(또는 기회비용)

$[i(1+i)^n / (1+i)^n - 1]$ = 자본지출계수(자본단위당 자본지출액)

상기의 계산식에 의하여 4제품의 경제적 타당성을 분석한 결과는 다음과 같다.

<분석결과> : A = 일반아스콘, B = 슈퍼팔트,

C = LDPE 개질 아스콘, D = 페비닐 아스콘

$$\begin{aligned} A &= 2,940 + 29,400 \times 0.1(1+0.1)^{10} / (1+0.1)^{10} - 1] = 2,940 + 29,400 \times 0.2054 \\ &= 8,978(\text{원}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= 2,940 + 44,700 \times 0.1(1+0.1)^{15} / (1+0.1)^{15} - 1] = 2,940 + 44,700 \times 0.1315 \\ &= 8,818(\text{원}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= 2,940 + 38,595 \times 0.1(1+0.1)^{15} / (1+0.1)^{15} - 1] = 2,940 + 38,595 \times 0.1315 \\ &= 8,015(\text{원}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D &= 2,940 + 28,530 \times 0.1(1+0.1)^{15} / (1+0.1)^{15} - 1] = 2,940 + 28,530 \times 0.1315 \\ &= 6,692(\text{원}) \end{aligned}$$

상기의 분석결과를 제품별로 정리한 것이 Table 3-2이다.

분석결과에 의하면, 제조원가가 폐비닐 아스콘의 경우 일반 아스콘 제품보다 연가(1년단위)로 톤당 2,286원이나 싸게 생산할 수 있다는 분석 결과가 나왔다.

그리고, 타제품의 경우에도 폐비닐 아스콘이 슈퍼팔트보다 2,126원, 개질 아스콘보다는 1,323원의 원가를 절감할 수 있어 경제적 타당성이 있는 것으로 분석되었다.

또한 폐비닐 아스콘을 생산할 경우에 제품의 직접적인 경제효과 이외에도 환경영향평가 등의 간접적인 경제효과 까지도 고려한다면 그 효과는 더욱 커질 수도 있을 것이다.

Table 3-2. 4제품의 경제적 타당성 비교 (단위 : 원)

제품명	일반아스콘, 슈퍼팔트, 개질 아스콘	폐비닐 아스콘	차 액
(A-D)	8,978	6,692	2,286
(B-D)	8,818	6,692	2,126
(C-D)	8,015	6,692	1,323

여 백

제 4 장 사용재료 및 실험방법

제1절 사용재료

1. 페비닐

폴리머의 재생기술은 각 국마다 약간의 차이가 있으나 대체적으로 Fig. 4-1과 같다.

현재 국내의 페비닐의 재생과정은 크게 단순재생과 복합재생으로 나뉜다. 단순재생은 폐수지의 원료가 단일품으로 구성되어 있을 경우 유효한 기술로서 그 처리공정은 Fig. 4-2와 같고, 복합재생은 혼합된 수지를 비교적 양호한 수지끼리 배합하여 용융 재생하는 것으로 그 처리공정은 Fig. 4-3과 같다.

본 연구에서 재활용하는 페비닐은 단순재생과 복합재생과정에서 파쇄기에서 파쇄 분리된 것을 사용하였다. 따라서 다른 형태의 재활용보다 처리공정이 간단하고 비용이 적게 들고 소각이나 매립으로 인한 환경오염 또한 줄일 수 있다.

본 연구에 사용된 페비닐의 모양은 Fig. 4-4, 4-5, 4-6에서 보여주고 있다. 이중 Fig. 4-4의 LDPE 조각은 Fig. 4-2의 건조공정을 거친 것이고, Fig. 4-5의 HDPE-1은 Fig. 4-2의 스크린 벤트식 압출기를 거친 것으로, Fig. 4-6의 HDPE-2 는 Fig. 4-3의 형입 성형된 것이다. 이들은 모두 한국자원재생공사의 정읍사업소와 시화페비닐공장에서 수거 처리된 것을 실험 연구용으로 공급받은 것이다.

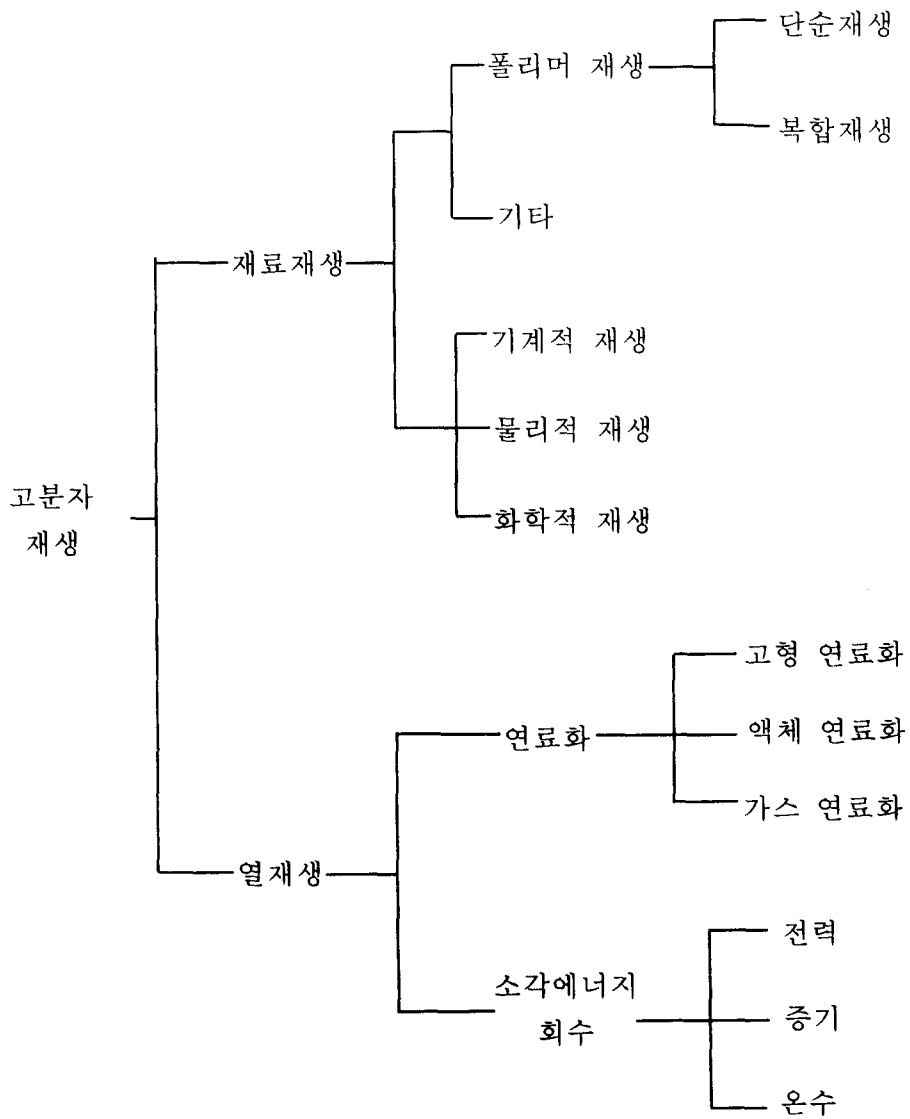


Fig. 4-1. 국내외 고분자 재생의 분류와 명칭

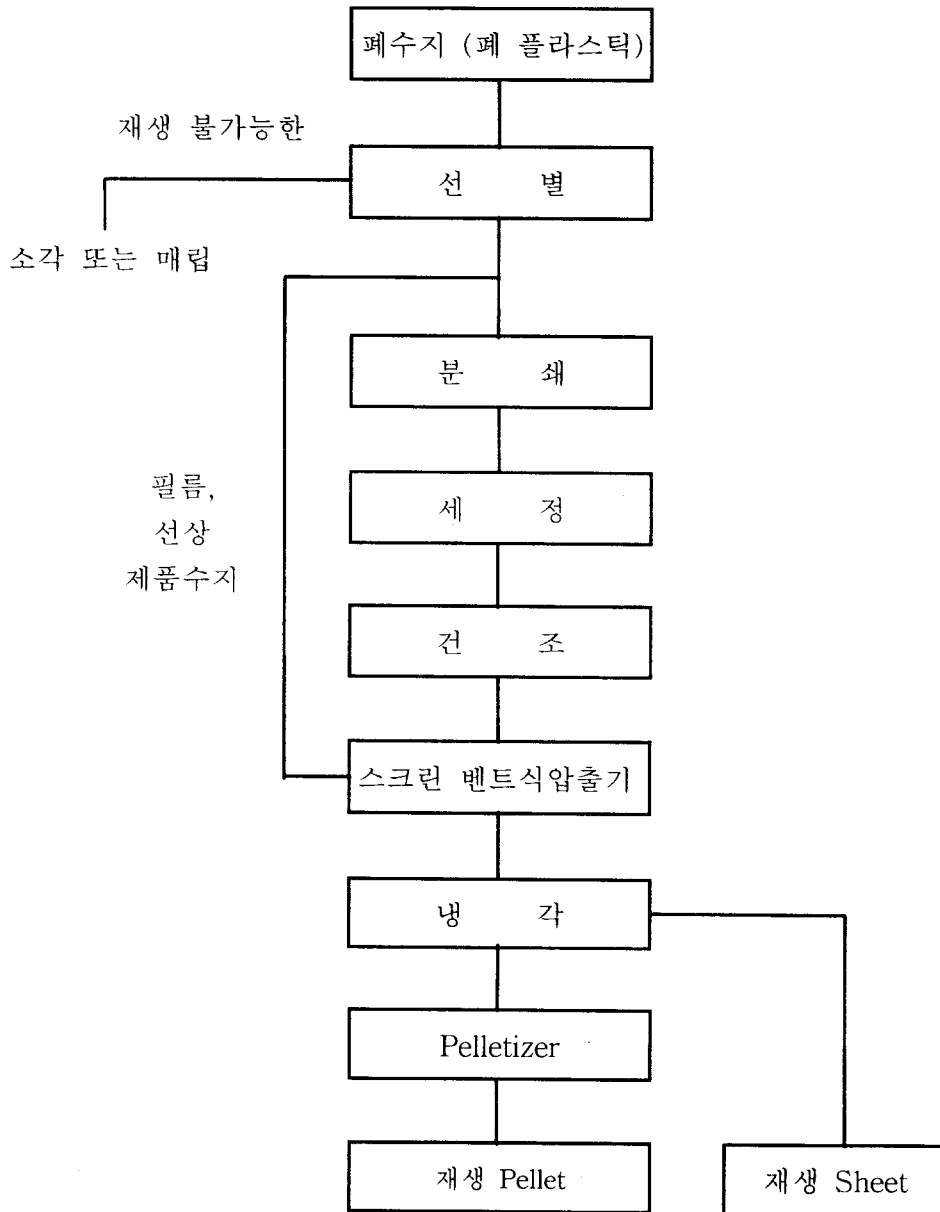


Fig. 4-2. 단순재생의 처리과정

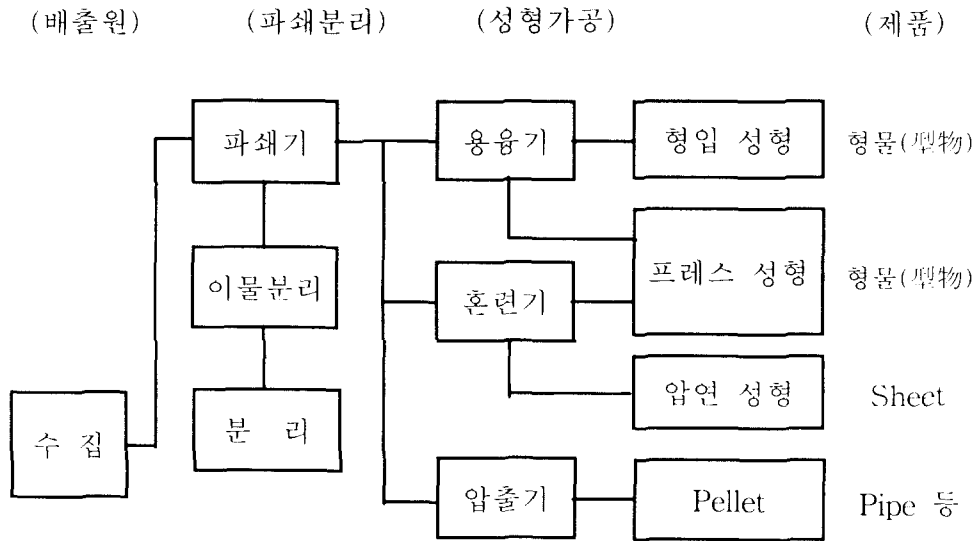


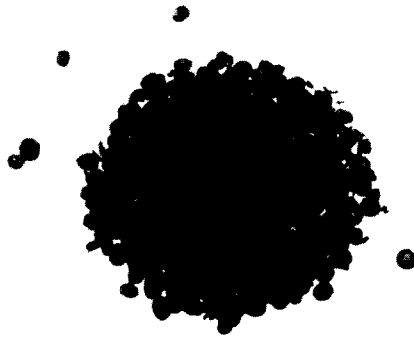
Fig. 4-3. 복합재생의 처리과정



Fig. 4-4. 폐비닐(LDPE) 조각



Fig. 4-5. 페비닐(HDPE-1) 조각



페비닐(HDPE-2)

Fig. 4-6. 페비닐(HDPE-2) 조각

2. 아스팔트

본 연구에서는 우리 나라 중부지역에서 널리 사용되고 있는 AP-3(침입도 85-100)와 AP-5(침입도 60-70) 아스팔트 시멘트를 사용하였다. AP-3는 예비시험과 실험실시험에 사용되었고, AP-5는 시험포장에 사용되었다. 아스팔트의 특성은 Table 4-1과 같다.

Table 4-1. Physical properties of binders

Classification	AP-3		AP-5	
	Spec.	Measured value	Spec.	Measured value
Penetration, 25°C (0.1mm)	85-100	94	60-70	60
Absolute viscosity, 60°C (poise)	-	964	-	2,464
Ductility, 25°C (cm)	>100	150	>100	150
Flash point (°C)	>230	317	>230	334
Softening Point (°C)	40-60	46	40-60	50
Specific gravity	-	1.03	-	1.03

3. 골재

골재의 품질이나 입도는 아스팔트 콘크리트 혼합물의 강도에 중요한 영향을 미치며, 생산지별로 그 조건이 각각 다르기 때문에 사용 전에 지방서 규정에 적합한지를 반드시 검토해야 한다.

본 연구에서는 강원도 홍천군 A사와 춘천시 B 아스콘회사에서 사용하는 최대치수가 19mm인 편마암골재를 사용하였으며, 잔골재는 굵은골재를 생산하는 과정에서 발생하는 부순모래(Screenings)를 사용하였다.

홍천군 골재를 사용하여 페비닐의 첨가방법 및 첨가함량을 결정하였으며 페비닐의 함량차이에 따른 혼합물의 성능향상 효과를 확인하고자 하였다. 춘천시 골재로는 페비닐의 개질 효과가 검증된 적정 첨가함량으로 시험포장을 위한 배합설계를 수행하여 최적 아스팔트 함량을 결정하고, 최적 아스팔트 함량으로 공시체를 제작하여 실내시험을 수행하고 시험포장 혼합물과의 차이점을 비교·분석하고자 하였다.

예비시험에서 혼합물은 건설교통부 19mm 밀입도 규격에 적합한 입도를 사용하였으며, 혼합물의 시험포장과 실내시험에는 건설교통부 19mm 밀입도 규격에 적합한 입도와 본 실험실에서 연구한 소성변형에 강한 갭입도를 사용하였다. 입도분포 곡선은 Fig. 4-7과 같다. 또한 골재들은 KS규정에 따라서 품질시험을 실시하였다. 골재의 물성은 Table 4-2와 같다.

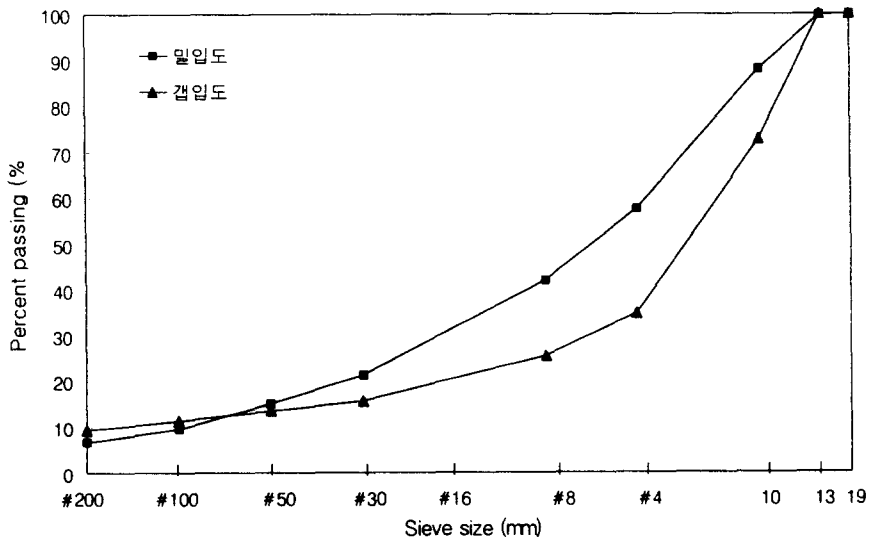


Fig. 4-7. Gradation of combined aggregates

Table 4-2. Properties of aggregates

Test items	Coarse aggregates		Fine aggregates		Filler			
	Spec. limit	Measured value			Spec. limit	Measured value		
		A사	B사	A사		B사	A사	B사
Specific gravity	>2.45	2.748	2.69	2.72	2.70	>2.60	2.75	2.75
Abrasion (%)	< 35	18.1	16.7	-	-	-		
Absorption (%)	< 3.0	0.85	0.72	0.26	0.32	-		

제2절 실험방법

1. 아스팔트 특성 분석시험

사용 아스팔트의 물성 및 레올로지 특성을 분석하기 위하여 노화되지 않은 아스팔트 바인더, 혼합물을 생산 및 시공하는 동안 발생하는 단기 노화를 모사한 회전박막가열 시험 (RTFO : Rolling thin film oven) 후의 아스팔트 바인더, 포장시공 후 여러 해가 지난 후의 장기노화를 모사한 압력노화 시험 (PAV : Pressure aging vessel) 후의 아스팔트 바인더를 이용하여 다음과 같은 실험을 수행하였다.

단기노화시험은 KS M 2259에 의하여 수행하였으며 시험장비는 Fig. 4-8과 같다. 이 시험은 캘리포니아주 도로국에서 개발되었으며 AASHOT T 240과 ASTM D 2872에 자세히 서술되어 있다. 장기노화시험은 AASHTO PP1에 의하여 수행하였다. 시험장비는 Fig. 4-9와 같다.



Fig. 4-8. Rolling thin film oven (RTFO)

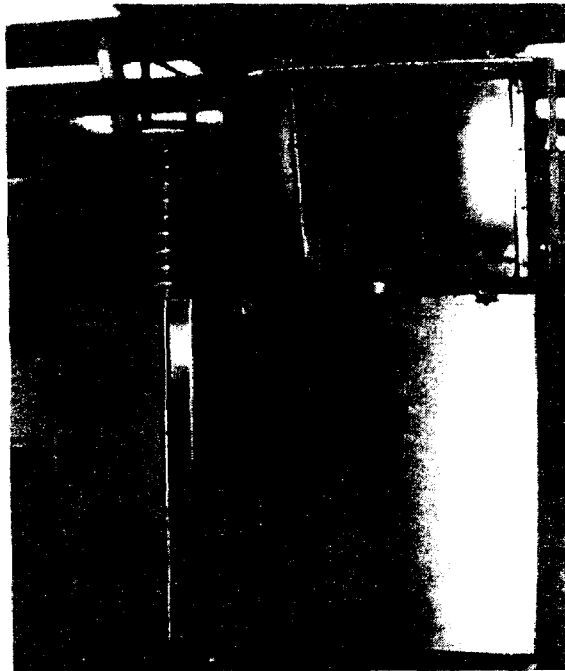


Fig. 4-9. Pressure aging vessel (PAV)

가. 침입도 시험(KS M 2201)

침입도 시험은 도로 포장용 아스팔트의 컨시스턴시를 측정하는 것으로, 이것은 규정된 하중(100g)과 시간(5초), 그리고 온도(25℃)하에서 표준 침이 아스팔트에 수직으로 침입하는 거리를 1/10mm단위로 나타낸다. 25℃와 그 이하의 온도(일반적으로 16℃, 4℃)에서 실험방법은 KS M2201 및 ASTM D 5에 기술되어 있다.

일반적으로 25℃ 침입도는 연평균 공용온도에서의 아스팔트의 경도를 의미하므로 아스팔트 포장의 전반적인 공용성을 평가하기 위한 어느 정도의 기준 역할을 한다. 침입도 시험기는 Fig. 4-10과 같다.



Fig. 4-10. The Penetration Equipment

나. 점도 시험

1) 절대 점도시험(KS M 2171)

절대 점도(Absolute Viscosity)는 60℃, 30기압하에서 아스팔트가 전단거동으로 흐르기 시작하는 성질로 유체의 제로전단 저항성을 나타내는 물리적 성질이다. 점도와 전단속도는 본질적으로 전단변형속도에 대한 전단 응력의 비율이다. 135℃와 같은 고온에서 아스팔트는 뉴턴 액체와 같이 거동한다. 즉, 고온에서는 전단변형속도에 대한 전단 응력의 비율이 일정하지만, 저온에서는 전단변형속도에 대한 전단 응력의 비율이 일정하지 않다. 따라서 저온에서는 비뉴턴 액체와 같이 거동한다. 진공 모세관 점도시험 장치의 외형은 Fig. 4-11과 같다.

즉, 침입도 시험이나 신도 시험과 같은 경험적 시험과는 달리 점도 시험은 시험 환경의 변화나 시편의 기하학적 형상의 변화에 영향을 받지 않는 절대 단위의 컨시스턴시를 측정하는 기본적인 시험이다.

아스팔트의 점도 기준인 KS M 2208에서는 60℃에서 아스팔트의 점도를 최대값과 최소값으로 규정하고 있다. 본 연구에서는 ASTM D 2171에 규정된 아스팔트 협회 진공 점도계(The Asphalt Institute Vacuum Viscometer)를 이용한 점도 측정 방법을 사용하였다. 점도계는 60℃에서 진공 모세관 점도계로 아스팔트의 절대점도를 측정하는 방법을 사용하였다(ASTM D 2171).

진공 및 온도가 정확히 조절되는 시험장치에 의하여 일정한 양의 아스팔트가 모세관을 통하여 위로 유출되는 시간을 측정하고 유출시간(sec)에 식 1과 같이 점도계 보정계수를 곱하여 절대점도를 구하였다.

$$P = k \cdot t \quad \text{--- (1)}$$

여기서 P : 절대점도 (poise)

k : 보정계수 (poise/sec)

t : 유출시간 (sec)

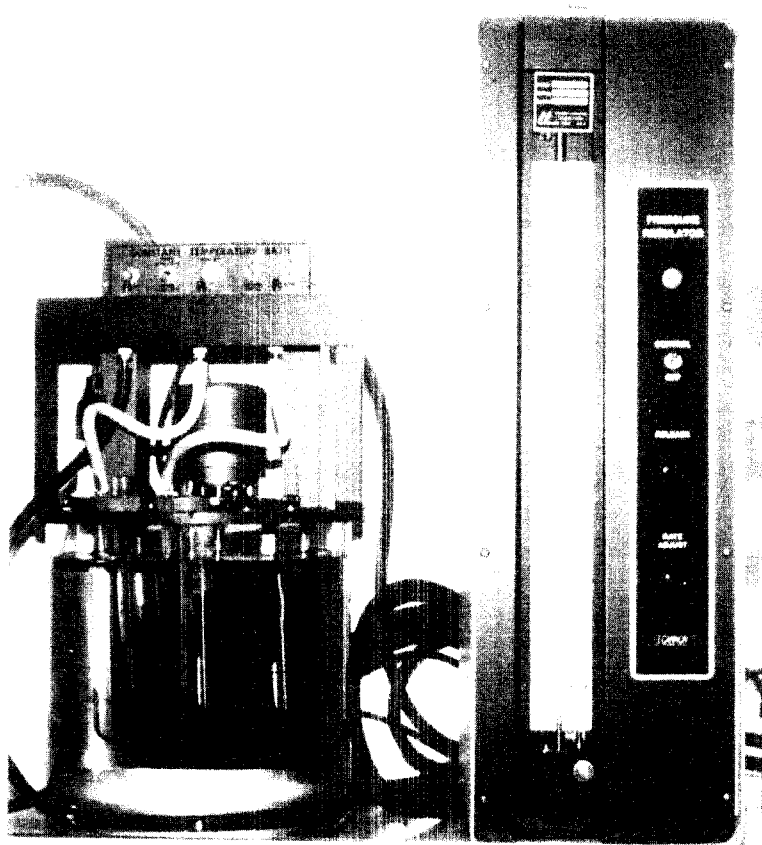


Fig. 4-11. The Absolute Viscometer Equipment

본 연구에서는 일반 아스팔트에 페비닐을 첨가함으로써 침입도와 점도가 어떻게 변하는지를 알아보기 위해 일반 아스팔트와 페비닐을 첨가한 아스팔트의 침입도와 점도를 측정하였다

2) 동점도 시험(ASTM D 4402)

동점도(Kinematic Viscosity) 시험은 아스팔트의 취급 온도인 100℃ 이상에서, 아스팔트가 충분한 유동성을 가질 때 점도를 측정하는 시험으로써, 본 연구에서는 SHRP (Strategic Highway Research Program)에서 채택한 시험방법을 이용하였다. 동점도는 추(Spindle)의 회전에 의한 비틀림 저항성을 나타내는 재료의 물리적 특성으로서, 약 30g의 아스팔트를 150℃ 이하의 온도로 액상이 될 때까지 가열시킨 후 이를 추의 크기에 따라 약 8~11g 을 계량하여 135℃로 가열되어 있는 시료 용기에 투입한 후, 스펀들을 20 rpm으로 회전시켜서 이에 대한 저항치를 15분 후, 1분 동안에 3개의 값을 취해 평균값을 시험 시료의 점도로 기록한다. 동점도 단위는 centi-Poise(cP)이다.

동점도는 기존의 모세관 점도계에 비하여 많은 종류의 개질 결합재에 대해서 더 적합하다. 왜냐하면 모세관 점도계는 모세관이 협소하여 간혹 유체흐름을 방해하여 실험이 잘못되는 경우가 있기 때문이다. 동점도 시험기는 Fig. 4-12와 같다.

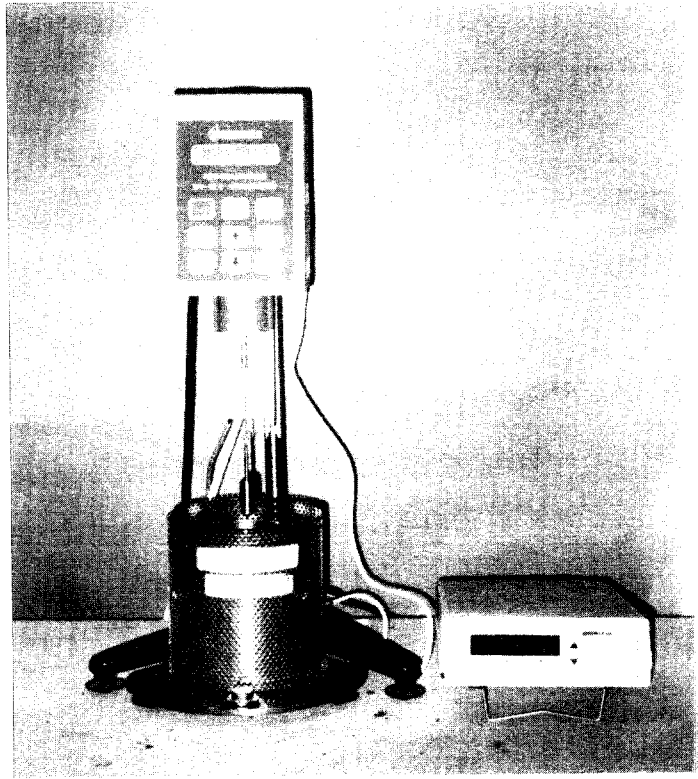


Fig. 4 12. Kinematic Viscometer Brookfield Viscometer

다. GPC 시험

폴리머 첨가에 따라 노화된 개질 아스팔트의 분자 입도 분포의 변화에 어떤 변화가 생기는지 분석하기 위하여 크로마토그램을 측정하였다. 분석기기로는 미국 WATERS사의 HP-GPC와 RI Detector를 이용하였다. 유동액인 THF의 유동 속도는 $1\text{ml}/\text{min}$ 이고, 아스팔트의 중량비는 1/100으로 희석하여 1회 주입시 $20\mu\text{l}$ 씩을 주입구내에 주입하였다. 주입된 샘플용액은 2개의 칼럼을 분자입도별로 시차를 두고 통과하며 분석용 샘플은 주입 직전 $0.45\mu\text{m}$ 주사기용 filter로 걸러 이물질의 반입을 막았고

시험 시 칼럼의 온도는 칼럼오븐에서 33℃로 유지하였다. 1회 시험은 약 30분이 걸리며, 각 샘플은 3회 반복 시험한다. 아스팔트가 노화되면 분자입도 분포 곡선 중 앞부분의 대형 분자량이 아스팔트 노화 정도에 따라 변화가 생기게 된다.

측정된 각 크로마토그램은 13개의 동일시간 구간으로 분할하여 이중 앞의 5개구간을 대형 분자(Large Molecular Size: LMS), 다음 4개 구간을 중형 분자(Medium Molecular Size: MMS), 그리고 마지막 4개 구간을 소형 분자(Small Molecular Size: SMS)로 명명하였다. 아스팔트는 노화되면서 대형 분자(LMS)의 량이 증가하고 이 LMS의 비율이 아스팔트의 각종 특성과 가장 밀접한 관계를 가지고 있으므로 이를 분석하여 물성과의 상관관계를 구하였다. Fig. 4-13은 대표적인 크로마토그램을 13개 구간으로 나눈 것을 보여준다.

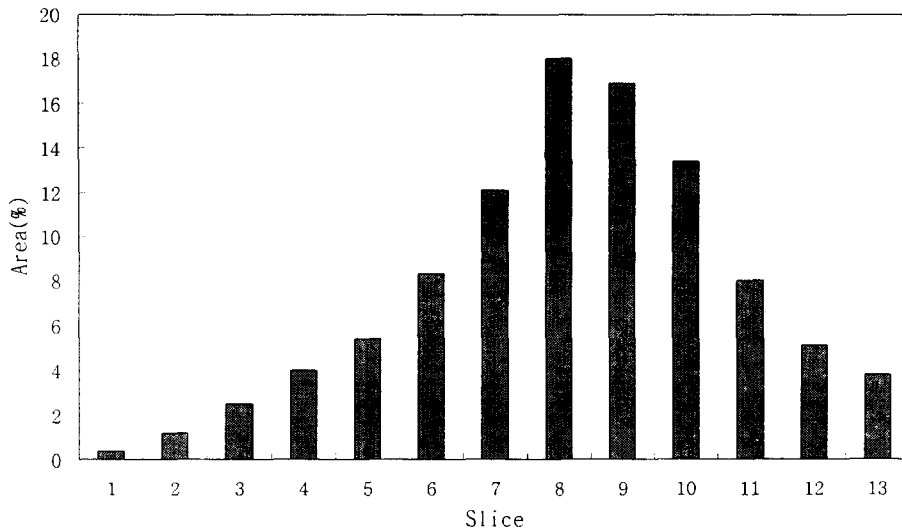


Fig. 4-13. Illustration of a GPC profile and 13 slices

라. DSR(Dynamic Shear Rheometer) 시험

아스팔트는 점탄성 재료로서 그 거동은 하중 재하시간과 온도에 좌우되기 때문에 DSR시험을 수행하였다. 본 연구에서는 AASHTO TP5에 규정되어 있는 방법에 따라 아스팔트의 복소 전단 탄성계수와 위상각을 측정하고 아스팔트의 등급을 결정하였다.

노화 후에 발생하는 유변학적인 변화는 폴리머 개질 아스팔트를 사용해 일반적인 아스팔트 규정 시험(침입도, 연화점, 점도)과 동적전단시험으로 측정할 수 있다. 동적전단시험은 폴리머 개질 아스팔트를 반고체 상태에서 화학적인 변화와 연계하여 노화시킨 후에 발생하는 변화를 측정한다.

아스팔트는 저온에서나 빠른 하중(단기 재하 시간-고속 하중 빈도)에서는 유리화 같은 탄성 고체로서 열가소성이고, 고온이나 느린 하중(장기 재하 시간-낮은 재하 빈도)에서는 점성 액체이며 그 중간 온도와 하중상태에서는 점탄성체이다. 응력에 대한 역칭의 반응은 온도와 재하 시간에 의존하기 때문에 결과적으로 아스팔트의 유변학적 특성은 응력 변형-시간-빈도에 대한 반응으로 정의된다.

DSR 시험은 Rheometrics사의 ARES 장비를 사용하였다. 이 장비는 고온에서 저온까지의 아스팔트의 점탄성 거동을 파악할 수 있도록 설계된 장비로써, Fig. 4-14에 나타난 것과 같이 상온 및 고온의 온도 범위에서는 Parallel plate(PP)모드를 저온의 온도 범위에서는 Torsion rectangular(TR)모드를 사용해 아스팔트의 온도에 따른 스티프니스 거동을 측정할 수 있다.

아스팔트의 스티프니스 거동은 고온에서의 점성체 거동부터 저온에서의 탄성 거동까지를 모두 나타내기 때문에 같은 모드를 사용해서는 실험이 불가능하여 Table 4-3과 같이 실험 모드를 바꾼다.

TR 모드의 시험 방법은 Rheometrics사에서 최근에 개발한 아스팔트의 저온 물성 측정 방법으로 SHRP 연구를 통하여 개발한 아스팔트의 저온 물성 측정 방법인 Bending beam rheometer(BBR)와 비슷한 하중 및 온도 영역에서 아스팔트의 스티프니스 거동을 측정할 수 있기 때문에 별도의 BBR 장비를 사용하지 않고도 하나의 DSR 장비로 아스팔트의 저온 거동을 측정할 수 있다는 장점이 있다.

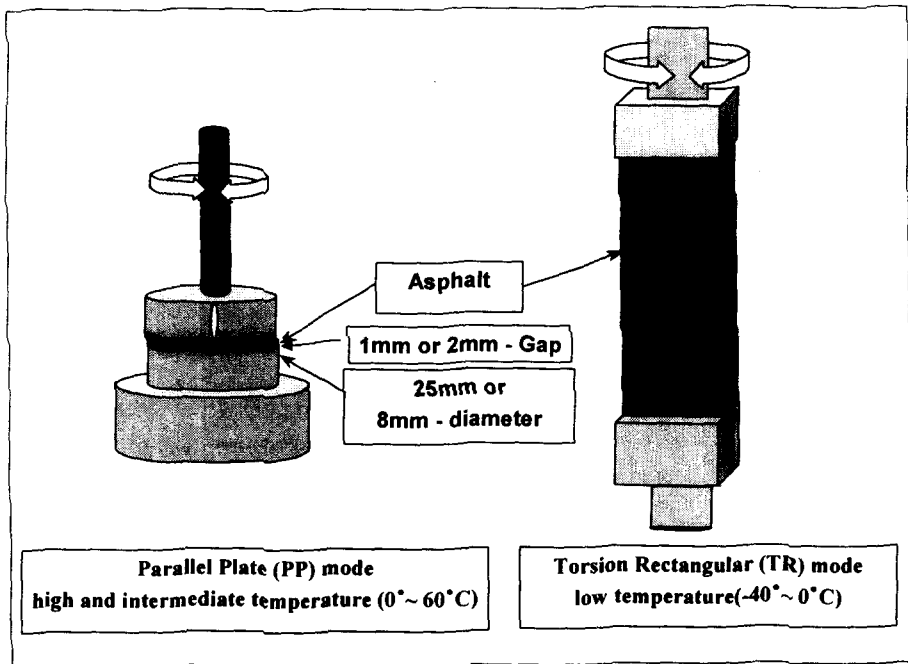


Fig. 4-14. Asphalt stiffness measure at different temperature range

Table 4-3. DSR test mode

Range	Test mode
$G^* > 30\text{MPa}$	Bending Beam Rheometer or Torsion Rectangular
$0.1\text{MPa} < G^* < 30\text{MPa}$	Plate gap(2mm), plate diameter(8mm)
$1\text{kPa} < G^* < 100\text{kPa}$	Plate gap(1mm), plate diameter(25mm)
$G^* < 1\text{kPa}$	Plate gap 0.5mm

DSR 시험 중 Strain sweep은 선형 거동의 범위를 결정하기 위해 사용됐다. 시료의 변형을 수준은 비선형이 나타날 때까지 점차적으로 증가되기 때문에 선형 점탄성에 기초한 특성은 선형 범위 이내로 변형율을 제한한다.

Frequency sweep은 고정된 응력 수준에서 온도 (-30, -20, -10, 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60℃)를 변화시켜가며 실행하였다. 아스팔트의 초기 시험에서 Frequency가 0.1에서 100 ㎥까지 나타난다. 10개의 점들을 포함한 각 Decade는 log 스케일 위에 같게 공간을 띄운다. 최근의 SHRP 개질 아스팔트 시험에서 상온에서 고온까지의 시험은 1에서 100 ㎥까지 행해졌다.

이 절차는 시험 시간을 줄이고, 온도들 사이의 데이터를 정확히 이동 (Shift)시키기 위한 충분한 Overlap을 제공한다. 특별한 시험의 경우 10%의 한 Frequency에서만 데이터를 얻는다. 노화가 안된 시료나 오븐에서 노화된 시료는 46~82℃ 범위에서 시험하고 PAV 시료의 경우 4~40℃에서 시험한다.

실제 시험 온도와 Strain/Stress 값은 등급과 노화 정도에 따라 결정된다. 동전단 계수는 충분히 작은 변형에서 상대적으로 변형에 의존적이다. 비선형 구간에서 얻어진 변형율은 아스팔트 결합재의 스티프니스에 따라 변한다. 선형 점탄성 거동의 한계는 Zero-Strain치의 95%까지 감소한 G* 밖의 점으로 정의된다.

규정 시험은 반복시험을 통해서 선형 점탄성 범위 안에서 값이 결정되도록 시험하여야 한다. 그래서, 시험할 때 변형율이나 응력 수준은 G* 값이 선형 점탄성 한계에 있도록 결정하여야 한다.

각 온도에서의 아스팔트에 대한 Strain sweep은 실질적인 것이 아니고 Zero-strain치의 95%까지 감소한 G* 점을 판단하는데, 이는 많은 변형성을 규제하는데 있다. 이에 대한 기준치는 다음과 같다.

$$\gamma = 12.0 / (G^*)^{0.29} \text{-----}(4)$$

여기서, γ = 전단 변형(%)

G* = 복소전단계수(kPa)

제한된 응력 레오메타의 시험에서 응력은 다음의 20%까지 제한된다.

$$\tau = 0.12(G^*)^{0.71} \text{-----(5)}$$

여기서, τ = 전단 응력(kPa)

DSR을 이용한 아스팔트의 스티프니스 측정 원리를 간단히 설명하면 다음과 같다. 먼저 Fig. 4-15에 나타난 바와 같이 PP 모드나 TR 모드에 알맞은 아스팔트 시료를 제작하여 설치한 후, 일정한 각도로 이를 진동시킨다.

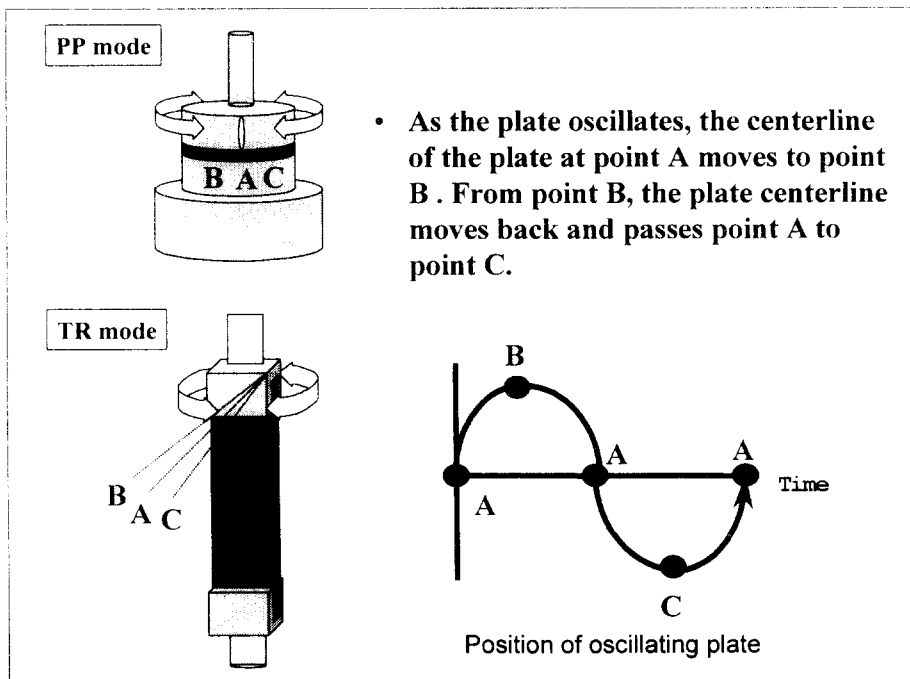


Fig. 4-15. Principal of DSR for asphalt stiffness behavior measure

아스팔트 시료에 가해지는 일정한 각도의 진동은 정현파 형태로 나타나며, 이때 유도되는 아스팔트의 응력도 같은 형태로 나타낼 수 있다.

DSR의 PP나 TR 모드를 통하여 가해지는 하중은 전단 하중이기 때문에 응력과 변형을 이외에 위상각(Phase angle)이 추가로 고려되어 전단탄성계수가 정의되는데, 이를 복소전단탄성계수(Complex shear modulus)라고 하며, 그 기호로 G^* 를 사용하고 있다.

Fig. 4-16에 나타난 바와 같이, 복소전단탄성계수(G^*)는 총 전단응력 ($\tau_{\max} - \tau_{\min}$)에 대한 총 전단 변형율($\gamma_{\max} - \gamma_{\min}$)의 비로써 정의된다. 이러한 복소전단탄성계수는 물체의 점성을 대표하는 요소와 탄성을 대표하는 요소로 구성되는데, 전자를 저장탄성계수(Storage Modulus)라 하며 G' 로 표기하고, 후자를 손실탄성계수(Loss Modulus)라 하여 G'' 로 부르고 있으며 이는 다음과 같은 수식으로 표현될 수 있다.

$$G^* = G' + iG'' \quad \text{----- (6)}$$

여기서, G^* = 복소전단탄성계수(Complex shear modulus)

G' = 저장탄성계수(Storage modulus)

G'' = 손실탄성계수(Loss modulus)

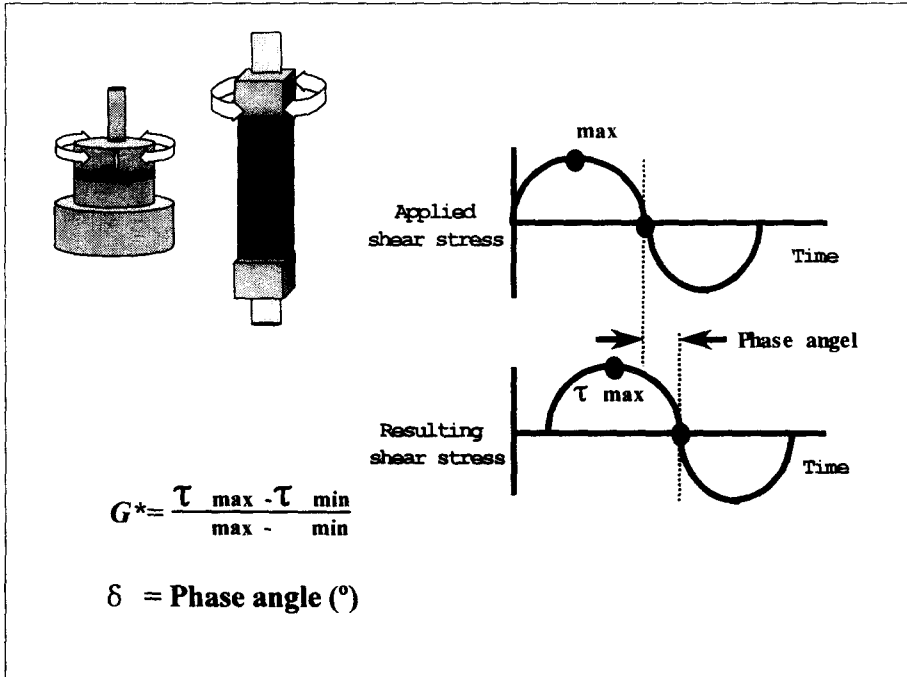


Fig. 4-16. Complex shear modulus(G^*) definition

마. 공용성 등급

아스팔트 시멘트 결합재의 등급 결정에 동전단 레오메타가 쓰일 때, 복소탄성계수와 위상각을 결정하기 위해 세 가지 노화 조건의 실험이 필요하다. 실험은 다음에 나오는 특별한 변수를 계산하기 위해 필요한 데이터를 얻기 위해 각기 다른 노화조건에 따라 수행하여야 한다.

1. Original 결합재 시험; $G^* / \sin \delta$ ($10^{\text{rad/s}}$ 에서) ≥ 1 kPa
2. RTFO 결합재 시험; $G^* / \sin \delta$ ($10^{\text{rad/s}}$ 에서) ≥ 2.2 kPa
3. PAV 결합재 시험; $G^* / \sin \delta$ ($10^{\text{rad/s}}$ 에서) ≤ 5.0 MPa

만약 위의 조건이 하나라도 만족하지 않으면 샘플의 등급 결정은 보류한다. 결합재의 등급을 결정하기 위하여 동전단 데이터를 사용할 때, 위의 1.2번을 만족하는 최고 온도와 위의 3번을 만족하는 최저온도를 결정하기 위하여 각 노화 조건에 따라 두 개 이상의 온도에서 데이터를 얻는다. 등급 결정은 다음 시험 순서에 의해 행하였다.

1. $G^*/\sin \delta \geq 1.0$ kPa인 경우 사전 정보가 없는 Original 결합재는 58°C에서 실험하였다. 하지만, 추운 지역의 연한 등급의 결합재는 초기에 52°C에서 시험하고, 더운 지역의 등급은 초기에 64나 72°C에서 실험한다. $G^*/\sin \delta \leq 1$ kPa이면, 실험온도를 6°C 낮추고 재 실험하였다.
2. 1번 실험에서 $G^*/\sin \delta \leq 1$ kPa을 만족한 결합재는 RTFO 후의 결합재 실험을 하였다. 만약 $G^*/\sin \delta \leq 2.2$ kPa이면 실험온도를 6°C 낮추고 재 실험하였다. $G^*/\sin \delta \geq 2.2$ kPa 일 때까지 6°C씩 올리며 재 실험하였다.
3. 포장 최고설계온도 결정을 위한 온도 등급은 위의 1, 2번에서 결정된 온도를 PG 64-22에 표기된 것처럼 처음 숫자로 쓰인다. 두 번째 숫자는 중간 포장 설계 온도 실험에서 결정하는데 여기에서는 생략되었다. $G^*/\sin \delta \geq 5.0$ MPa이면 같은 시료를 3°C 높여 재 실험하고, $G^*/\sin \delta \leq 5.0$ MPa 일 때까지 반복한다. 만약 $G^* \sin \delta \geq 5.0$ MPa이면 시료를 3°C씩 냉각시키고 실험한다. $G^* \sin \delta \geq 5.0$ MPa까지

3℃부터 증가시키면서 실험한다. 동 전단 계수의 변화를 제시하는 가장 좋은 법칙은 $G^*/\sin \delta$ 와 $G^* \sin \delta$ 가 시험 온도에서 매 10℃ 변할 때마다 변한다는 것이다.

2. 페비닐 혼합물 예비시험

가. 혼합방법

예비시험에서는 LDPE 페비닐을 사용하여 페비닐을 첨가한 아스팔트 혼합물의 혼합방법과 대체적인 첨가량을 결정하기 위하여 수행되었다.

개질 아스팔트 혼합물의 혼합방법은 일반적으로 크게 건식혼합과 습식혼합으로 나뉜다. 습식혼합은 아스팔트를 먼저 오븐 속에 넣어 180℃로 충분히 가열한 후 페비닐을 아스팔트에 서서히 넣고 같은 온도를 유지하면서 고성능 전단믹서로 혼합하는 방법이다.

습식혼합은 제품에 대한 품질관리가 용이하며, 아스콘 플랜트에서 별도의 주입시설이 필요없이 기존 아스팔트와 동일한 방법으로 사용이 가능하다는 장점이 있으나 아스팔트 종류별 아스팔트 탱크를 설치하여야 하는 단점이 있다.

건식혼합은 페비닐을 골재와 아스팔트를 혼합하기 전에 골재에 투입하여 혼합하는 방법으로 현장배합으로 현장 적용성이 높은 방법이다.

페비닐의 종류는 앞서 보여 주었듯이 LDPE와 HDPE로 나뉜다. 이 중 HDPE는 아스팔트에 용해되어 섞이지 않았으며 LDPE는 아스팔트의 온도를 150℃ 이상 높인 상태에서 고속전단믹서로 저으며 조금씩 넣었을

때 잘 섞였다. 특히 180~190℃에서 잘 섞였으며 LDPE 페비닐을 섞은 아스팔트를 제조하여 그 특성분석을 위하여 각종 실험을 수행하였다. 페비닐 개질 아스팔트의 혼합과정을 Fig. 4-17에서 보여주고 있다.

또한 페비닐은 아스팔트액 속에 섞지 않고 바로 골재와 아스팔트를 비밀 때 넣어 사용할 수 있어 HDPE, LDPE를 모두 이와 같은 방법으로 섞어 사용하는 연구를 수행하였다. 이 경우를 건식혼합이라 하며 혼합물 성능만 우수하다면 별도의 아스팔트 혼합장치가 필요 없이 더 실용적으로 사용이 가능하다.

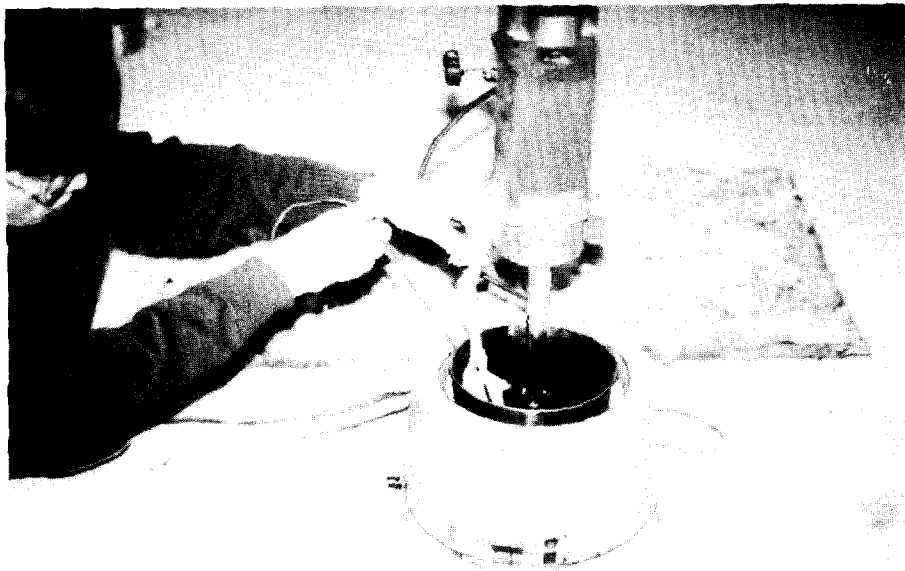


Fig. 4-17. 개질 아스팔트 혼합과정

건식혼합으로 페비닐을 아스팔트 함량의 6%, 10%, 14%로 증가시켜 첨가하여 혼합물을 제조하였다. 그 결과 6%, 10%에서는 페비닐이 응집되는 경향이 없었으나 14%에서는 약간의 응집경향이 나타났기 때문에 페비닐 첨가량이 높은 비율일 때 다량의 응집현상이 예측되었다. 따라서 이를 검토하기 위하여 19mm 일반 밀입도 혼합물의 배합설계로 결정된 최적아스팔트 함량(OAC)으로 페비닐 첨가량을 10%, 15%, 20%로 결정하고 아스팔트 혼합물을 제조하였다. 결과 20%에서는 응집현상이 심하여 혼합시간이 길고 수작업으로 응집된 페비닐 덩어리를 흐트려 주어야 하는 어려움이 있었다. 마찰안정도 시험결과는 Table 4-4와 같다.

Table 4-4. 예비시험결과

아스팔트 함량(%)	페비닐 함량 (%)	공극율 (%)	VMA(%)	채움율 (%)	안정도 (kg)	흐름값 (0.01cm)
5.2	AC 10%	5.02	16.99	70.47	1353	34
5.2	AC 15%	6.10	17.92	65.94	1227	30
5.2	AC 20%	6.98	18.65	62.59	1370	31

시험결과를 보면 공극율, 채움율을 제외하고 모두 건설교통부 규정을 만족하였다. 안정도는 규정 값인 500kgf보다 2배가 넘는 1200kgf이상이므로 크게 나타나 개질 효과가 있다는 것을 알 수 있었다. 따라서 페비닐 첨가량을 최대 20%로 결정하고 페비닐 함량을 아스팔트 함량의 10%, 15%, 17.5%, 20%로 배합설계를 수행하였다.

나. 배합설계

아스팔트 혼합물에 있어서 배합설계의 목적은 최적 아스팔트 함량 (Optimum asphalt content: OAC)을 결정하고 적절한 골재입도를 선정하여 이로 제조한 혼합물이 공용중의 하중에 대해 충분히 저항할 수 있도록 하는데 있다. 일반적으로 아스팔트 콘크리트의 품질은 마찰 안정도와 흐름값이 일정수준 이상 나오고 공극이 규정에 적합하면 양호하다고 표현하고 있다.

아스팔트 혼합물의 배합설계는 마찰방법을 이용하여 아스팔트 함량을 4.0%~6.0% 또는 4.5%~6.5%까지 0.5%씩 증가시켜 수행하였다. 공시체의 제작은 마찰다짐기를 이용하여 공시체 상하 양면을 각각 50회씩 다짐하였다. 페비닐(LDPE)을 첨가하는 경우에는 작업성 확보를 위하여 일반 혼합물의 가열온도보다 약 15℃ 더 올려 혼합·다짐하였다.

각 혼합물 별 OAC는 지방 규정(안정도, 흐름치 및 포화도)을 만족하는 범위 내에서 공극이 4%일 때의 아스팔트 함량을 최적 아스팔트 함량으로 결정하였다.

최적 아스팔트 함량으로 마찰안정도 및 간접인장강도 시험을 수행하여 페비닐의 효과를 검증하고자 하였다. 또한 실용화 연구를 위하여 현장 플랜트에 적용 대책으로 춘천시에 있는 플랜트사의 골재를 채취하여 현장 적용을 위한 시험을 시작하였다. 우선 배합설계를 수행하여 최적 아스팔트 함량을 결정하고 실내에서 공시체를 제조하여 마찰 안정도, 간접인장강도, 동결-융해 시험을 통하여 인장강도비(Tensile strength ratio: TSR)를 구하였고 반복주행시험을 통하여 고온에서의 소성변형 저

항성을 측정하였으며, 피로 수명을 규명하기 위해 피로 시험을 수행하여 페비닐 아스팔트 혼합물의 강도 특성에 연구를 수행함과 동시에 현장 플랜트에 적용하기 위한 플랜트에비시험을 수행하고 시험포장을 통하여 페비닐 아스팔트 포장의 시공성 및 공용성을 평가하고자 하였다.

3. 혼합물의 강도 특성 시험

가. 마샬안정도 시험 및 간접인장강도 시험

배합설계를 통하여 얻어진 최적 아스팔트 함량으로 공시체를 제작하여 마샬 특성치를 구하였다. 마샬 안정도는 몰드에서 탈형한 공시체를 24시간 상온에 보관 후 60℃의 수조에 30분 동안 수침시킨 다음 수조에서 꺼내어 표면의 물기를 마른 수건으로 제거한 후 50mm/min의 속도로 하중을 재하하여 구하였다. Fig. 4-18은 마샬 안정도시험기 및 자동기록장치를 보여준다.

Fig. 4-19는 간접인장강도 시험장면으로 간접인장강도(Indirect tensile strength: ITS)는 마샬시험 장비를 이용하여 마샬 공시체 상하에 공시체와 같은 곡률을 가진 폭 12.7mm 하중 띠를 가진 Lottman loading head를 통해 50mm/min 재하속도로 하중을 가하여 구하였다. 만들어진 공시체는 탈형 후 24시간 25℃에 보관 후 같은 온도에서 시험하였으며 이때 $ITS = 2P/(\pi Dt)$ 의 식을 이용하였다. 여기서 P는 최대하중(kgf), D는 공시체 직경(10cm), t는 공시체 두께(cm)이다.

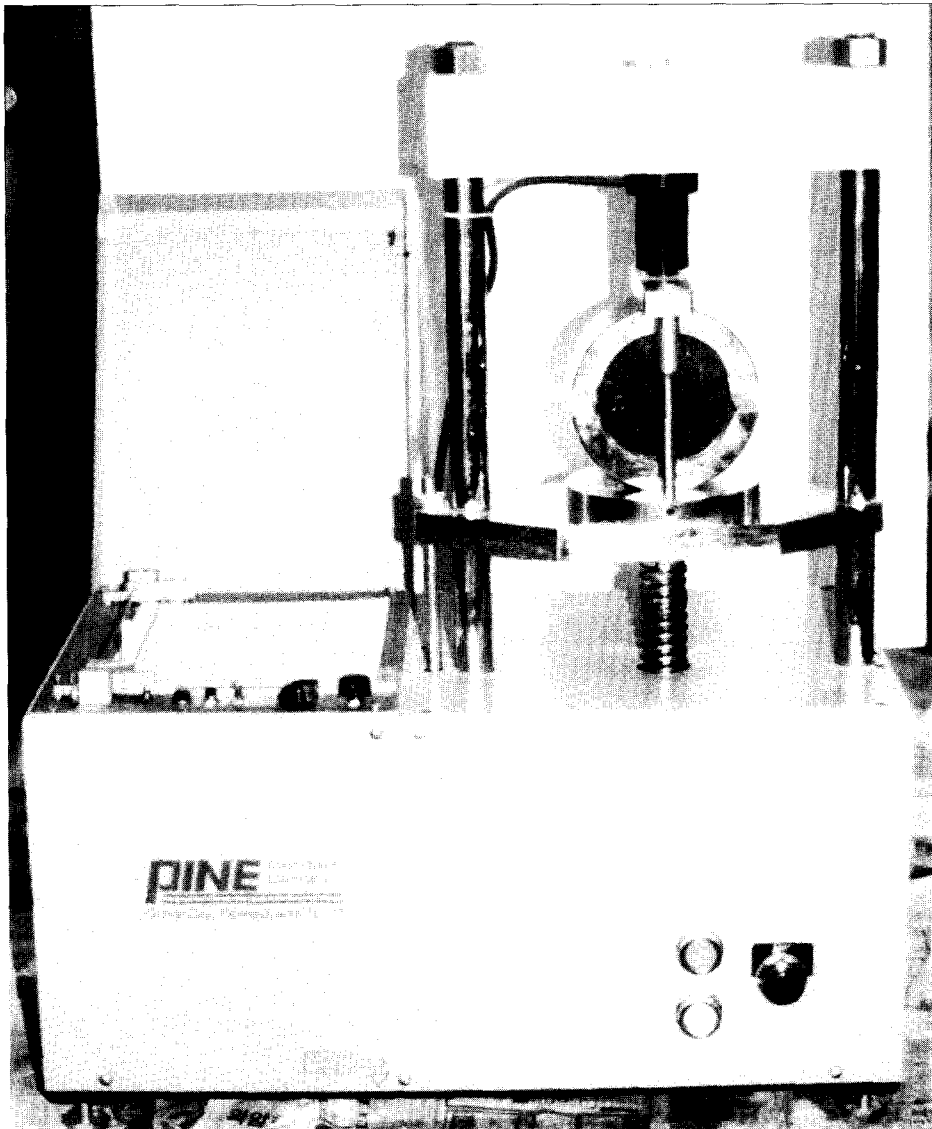


Fig. 4-18. Apparatus for Marshall stability test

또한 혼합물의 강성(Stiffness)은 하중-변형량 곡선에서 최대 하중값을 이때의 변형값으로 나눈 것으로 이는 개략적인 기울기가 되므로 이를

강성의 상대 비교치인 강성지수(Stiffness index)로 사용하였다. 강성이 크다는 것은 같은 하중하에서 적은 변형을 일으키는 것으로 간주 할 수 있다(Fig. 4 20).

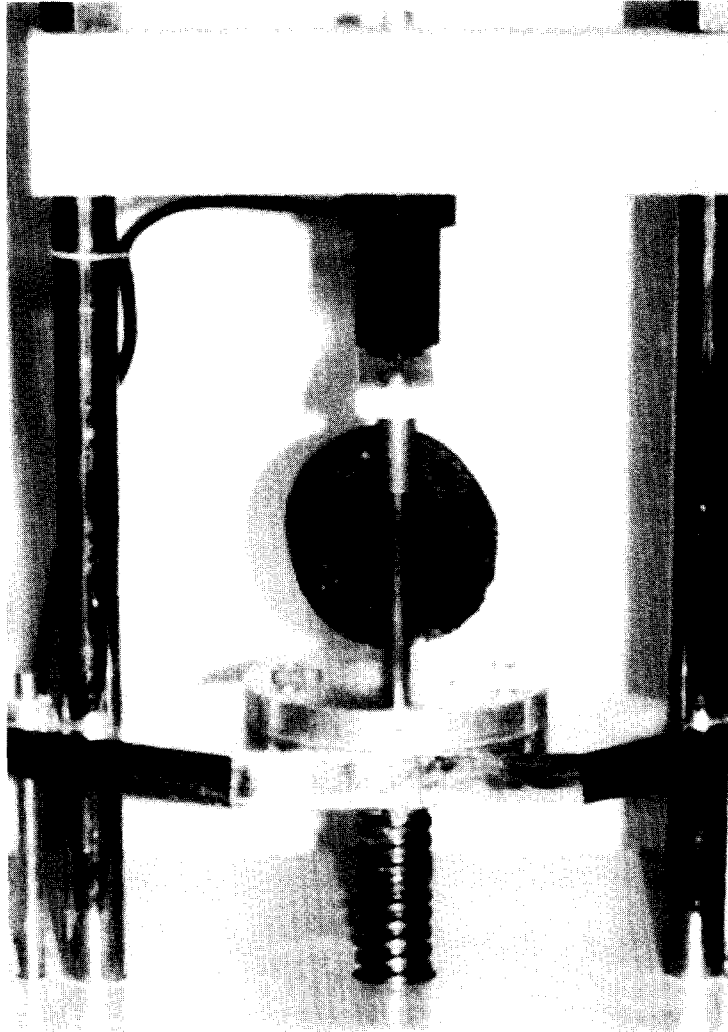


Fig. 4 19. Setup of indirect tensile strength (ITS) test in Marshall apparatus

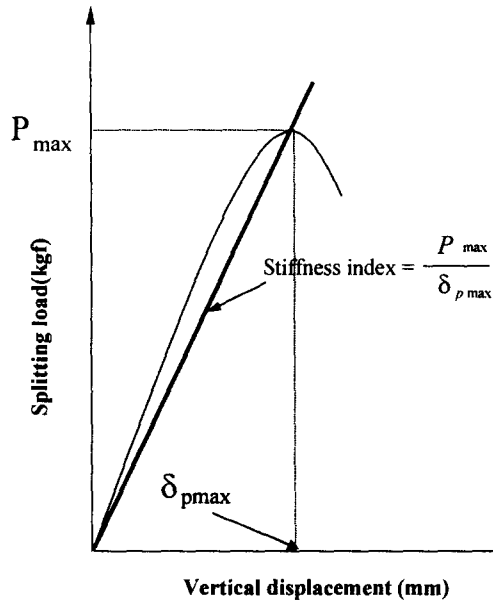


Fig. 4-20. Illustration of stiffness index in load-deformation curve

나. 동결-융해 시험

겨울철 포장은 동결과 융해를 반복적으로 거치고, 이러한 동결-융해 작용은 아스팔트 혼합물의 결합력 저하, 박리(Stripping), 저온 균열(Low thermal cracking)의 원인이 된다. 본 연구에서는 이러한 동결-융해 작용에 따른 혼합물의 특성치의 하나로 인장강도비(Tensile strength ratio by freezing-and-thawing: TSR)를 측정하였다.

겨울철 포장온도가 -20°C 이하로 내려가면 일반아스팔트 포장에서는

저온 균열이 발생할 것으로 예상되나 개질 아스팔트를 사용하면 -20°C 이하의 기온에서까지 저온균열 저항성이 향상된다(권승준, 1999). 따라서 본 연구에서는 바인더를 개질하기 때문에 동결 온도를 -26°C 로 설정하였다. Fig. 4-21은 시험기에 설정한 동결-융해 주기와 공시체가 실제로 겪는 동결-융해(Freezing and thawing) 주기를 나타낸 것이다. 그리고, 동결-융해 시험기 내의 공시체 내부 온도가 실제로 Fig. 4-21과 같이 $+4^{\circ}\text{C}$ 에서 -26°C 로 되는지 보기 위하여 온도 측정장치를 공시체 내부에 꽂아 온도를 측정하였다. 측정된 온도를 근거로 공시체 내부온도가 실제로 주고자하는 온도와 이 온도가 유지되는 시간을 맞추기 위해 시험기의 온도와 시간을 여러 차례 예비실험을 통해 Fig. 4-21과 같이 설정하였다.

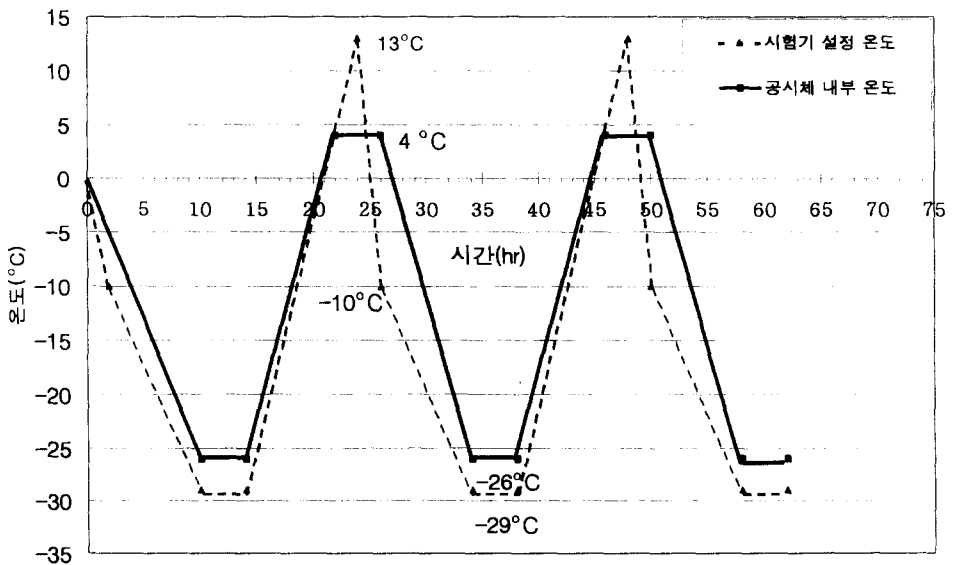


Fig. 4-21. Freezing-and-thawing cycle

동결-융해 1주기는 동결 8시간, 동결유지 4시간, 융해 8시간, 융해유지 4시간으로 총 24시간이 걸린다. 이와 같이 동결 및 융해 시간을 길게 한 것은 급속한 동결-융해로 인한 온도충격(Thermal shock)을 방지하고 가능한 겨울철 일일 기후 변화에 의한 자연 동결-융해 현상을 모사하기 위한 것이다. 따라서, 동결 및 융해시의 온도경사(Temperature gradient)는 $\pm 3.75^{\circ}\text{C/hr}$ 로 시간당 온도가 비교적 완만한 3.75°C 만큼 변화하도록 하였다.

원통 속에 공시체를 집어넣고 공시체 표면 위 3mm정도로 물을 채워 포화를 시켰다. 이때 공시체 옆면과 원통의 간격이 3mm정도 유지되도록 원통의 크기를 108mm로 Fig. 4-22와 같이 설치하였다.

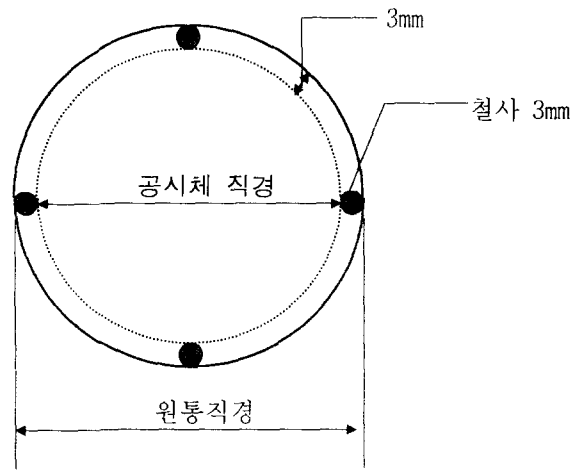


Fig. 4-22. 원통형 동결-융해 시험용 용기의 규격

각 혼합물별로 공시체를 15개씩 제작하여 무작위로 3개를 선정하여 초기 ITS를 구하고 7일, 14일, 21일, 28일 동안 동결-융해 처리한 후 매번 무작위로 3개씩 공시체를 선정하여 ITS 시험을 하고 $TSR_{f/t}$ 를 구하였다. 인장강도비는 다음 식 (3)에 의하여 계산하였다.

$$TSR = \frac{S_2}{S_1} \dots\dots\dots(3)$$

S_1 = 동결-융해를 거치지 않은 공시체의 간접인장강도

S_2 = 동결-융해(해당 cycle)를 거친 공시체의 간접인장강도

다. 반복주행시험

아스팔트 콘크리트의 소성변형 발생 메커니즘을 모사한 시험방법이 반복주행(Wheel tracking)시험이다. 본 연구에서는 표층 및 기층용 배합 설계를 거쳐 결정된 최적 아스팔트 함량으로 305mm×305mm×70mm의 슬래브 공시체를 공극률 4±0.5%로 맞추어 제작하였다. 제작된 공시체는 48시간 양생 후 시험온도인 60℃에서 6시간 이상 저장 후 반복주행 시험기로 시험을 수행하였다. 슬래브 공시체의 다짐기는 Fig. 4-23과 같다.

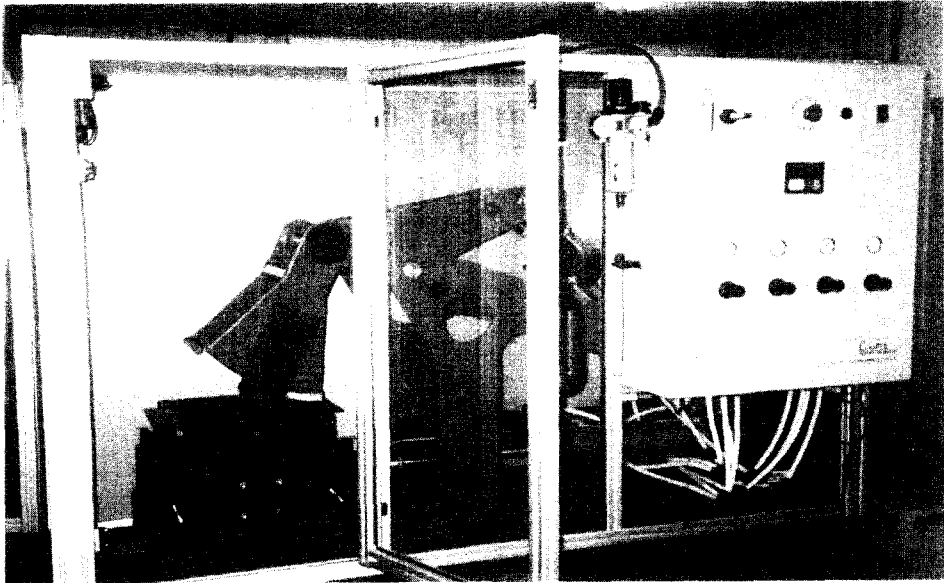


Fig. 4-23. Roller compactor

반복주행시험기는 강재(鋼材) 바퀴를 사용하였고 지름은 200mm, 바퀴의 너비는 53mm로 하였으며 바퀴의 반복주행에 따른 수직 침하량을 측정하였다. 또한 강재와 아스팔트 콘크리트의 직접 접촉에 의한 골재의 파손 등을 방지하기 위하여 폴리프로필렌 부직포를 공시체 표면에 덮었다. 차륜 축하중은 70kg으로 하고 축에 LVDT를 설치하여 반복주행에 따른 변형량을 컴퓨터를 통해 측정·기록하였다. 반복주행시험기의 계측 시스템은 Fig. 4-24와 같다.

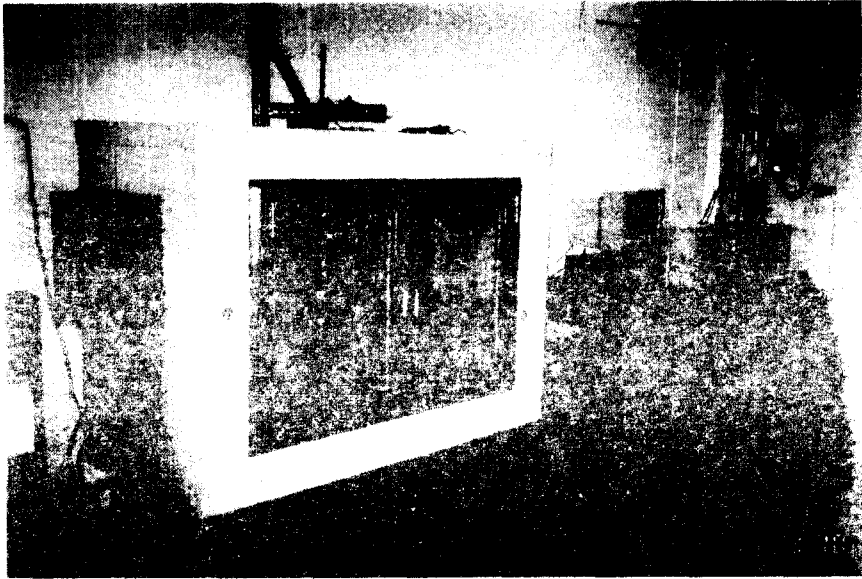


Fig. 4-24. Wheel tracking test system

이 시험을 통하여 혼합물의 누적 침하율(Accumulative deformation rate : ADR), 동적안정도(Dynamic stability : DS)와 최종 침하량을 구하였다. 반복주행시험 중 LVDT로 읽어들이는 침하량을 컴퓨터를 통하여 기록하였으며 초기 일정횟수가 지난 후 반복 재하에 따른 누적 침하율은 Fig. 4-25에서와 같이 기울기로 나타나게 되는데 이 값은 대략 500cycle 과 2500cycle 사이에서 회귀분석을 통하여 구하고 또한 동적안정도는 혼합물이 1mm 침하하는데 필요한 반복횟수로 나타내며 이를 같은 구간 내에서 cycle/mm로 구하였다.

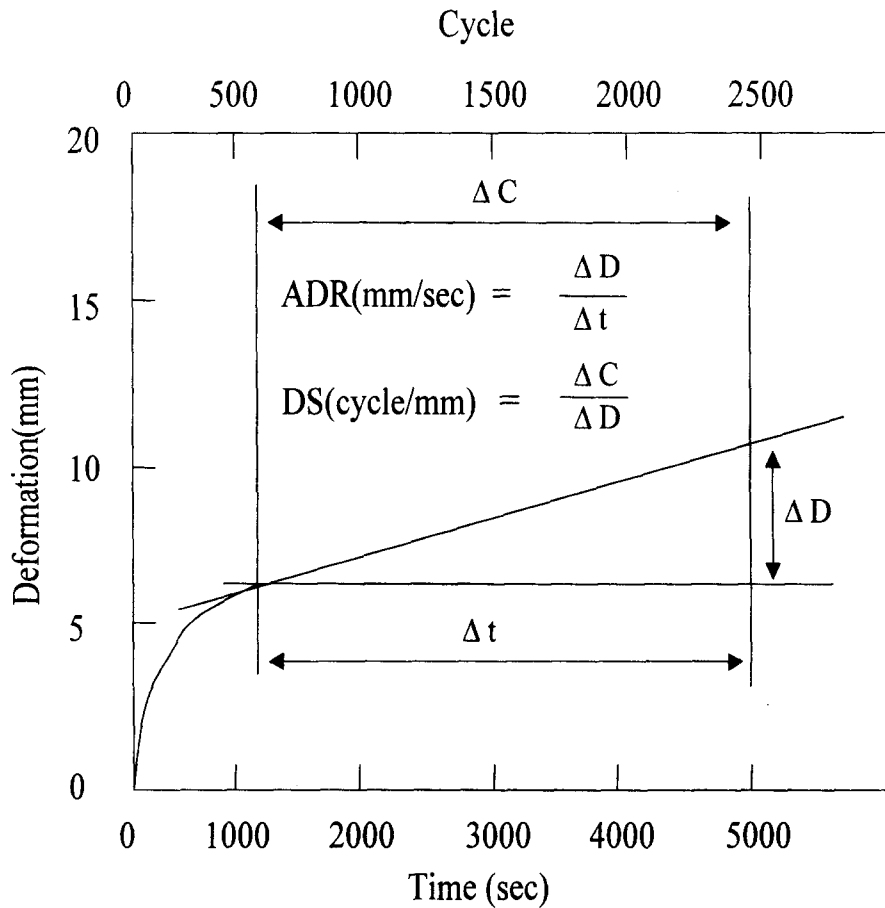


Fig. 4-25. Accumulative deformation rate and dynamic stability of flexible pavement in wheel tracking test

라. 피로 시험(Fatigue test)

반복되는 차량하중에 의해 포장층의 하부로부터 발생된 균열이 포장층의 상부로 진전되어 발생하는 균열을 피로 균열(Fatigue crack) 또는 거북등 균열(Alligator crack)이라 한다. 이러한 아스팔트 포장의 피로 균

열은 주로 상온이하 대역에서 발생된다고 알려져 있으며, 이를 방지하기 위해서는 포장체의 하부에서 차량하중에 의해 발생하는 인장변형에 저항할 수 있도록 포장체의 두께를 증가시켜 포장체의 구조적 용량을 늘리는 방법이 많이 사용되고 있다. 또한 사용되는 아스팔트의 선정에 있어서는, 상온에서 높은 스티프니스 및 저온에서 유연성을 갖는 아스팔트를 선정하여 차량 하중에 의해 유도되는 포장체 하부의 인장변형에 저항하도록 하는 것이 이러한 피로 균열을 방지하는 중요한 요소로 평가되고 있다.

이러한 피로균열에 대한 저항성으로(피로수명 Fatigue life)을 비교하기 위해서 본 연구에서는 다음과 같이 피로 시험을 수행하였다. 시험장비는 INSTRON사의 8502 만능재료 시험기를 사용하였으며, 재하장치는 간접인장강도 시험에서 사용한 것과 같은 Lattman Loading head를 사용하였다. 시험은 25℃에서 이루어졌으며, 최대하중이 작용할 때 수평인장응력이 2 kg/cm²의 되도록 계산하여 최대하중을 결정하였다. 결정된 최대하중을 0.1초의 재하기와 0.9초 휴지기를 두어 1Hz의 주기로 하중을 재하하였다. 이때 재하와 휴지를 반복할 때 공시체에 충격하중이 가해지지 않도록 5kg의 최소하중을 계속 재하시켰다. Fig. 4-26은 피로시험에 가해진 하중 곡선이고 Fig. 4-27은 피로시험 공시체를 거치한 장면이다.

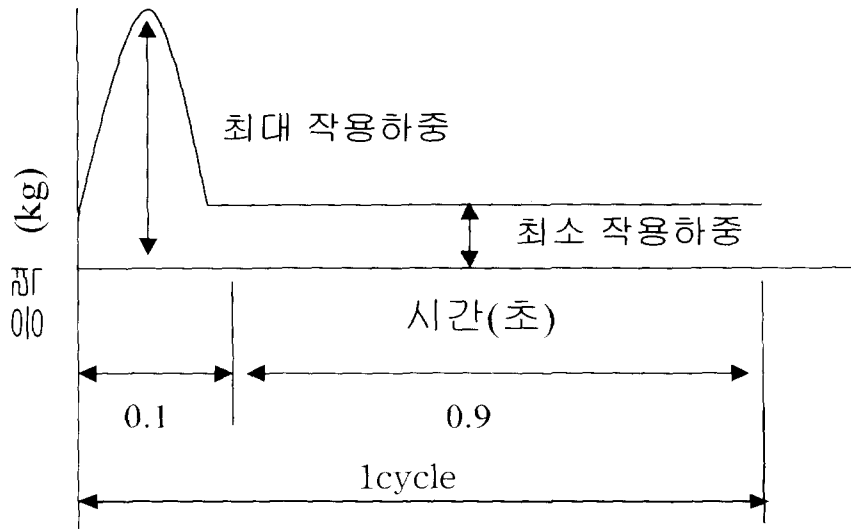


Fig. 4-26. A load cycle of fatigue test

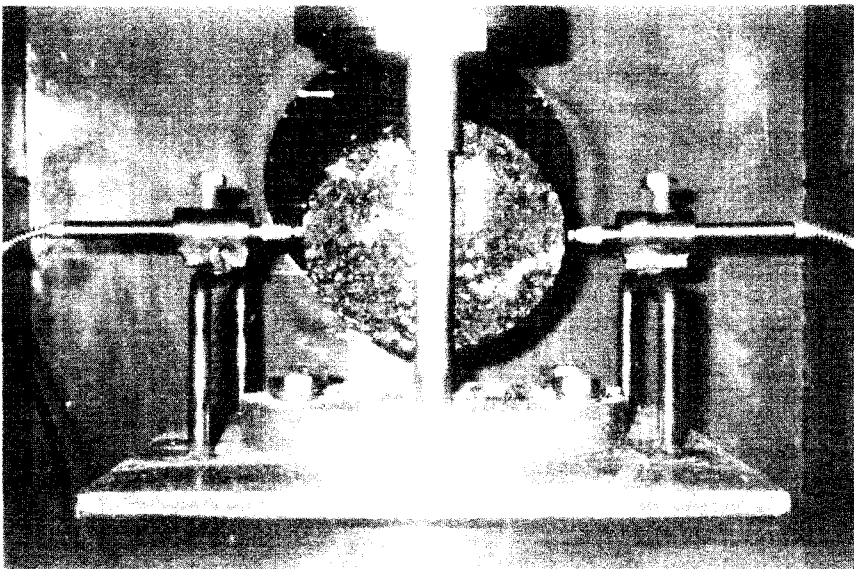


Fig. 4-27. Fatigue test set up

4. 시험포장

가. 배합설계

폐비닐의 개질 효과 및 첨가범위를 결정함으로써 현장적용을 위한 연구를 수행하였다. 시험포장 혼합물과 실내에서 연구 제작된 혼합물의 특성을 비교하기 위하여 춘천시 B 아스콘회사의 골재를 사용하여 9종 혼합물의 배합설계를 수행하고 이 배합설계에서 결정된 최적 아스팔트함량으로 플랜트 적용 가능성 여부를 판정하고 현장 포설을 수행하고자 하였다. 9종의 혼합물은 다음과 같다.

- ① 건설교통부 19mm 밀입도 혼합물(Control); 폐비닐 무첨가
 - ② (19mm 밀입도 + 가루형태의 LDPE를 아스팔트 함량의 5%) 혼합물(DL5)
 - ③ (19mm 밀입도 + LDPE 폐비닐을 아스팔트 함량의 12%) 혼합물(DL12),
 - ④ (19mm 밀입도 + LDPE 폐비닐을 아스팔트 함량의 17.5%) 혼합물(DL17.5),
 - ⑤ (19mm 밀입도 + HDPE 폐비닐을 아스팔트 함량의 12%) 혼합물(DH12)
 - ⑥ 13mm 갭입도 + 가루형태의 LDPE를 아스팔트 함량의 5%) 혼합물(GL5)
 - ⑦ (13mm 갭입도 + LDPE 폐비닐을 아스팔트 함량의 12%) 혼합물(GL12),
 - ⑧ (13mm 갭입도 + LDPE 폐비닐을 아스팔트 함량의 17.5%) 혼합물(GL17.5),
 - ⑨ (13mm 갭입도 + HDPE 폐비닐을 아스팔트 함량의 12%) 혼합물(GH12)
- 이다.

배합설계를 통하여 결정된 최적 아스팔트 함량으로 각 혼합물별 공시체를 제작하여 마찰시험과 간접인장강도 시험을 수행하여 그 성능을 확

인하였으며, 이 혼합물들로 플랜트에서 혼합 가능성 여부를 판정하기 위한 플랜트 예비배합시험을 수행하였다.

나. 플랜트 예비배합

플랜트 예비배합을 수행하기 위하여 사전에 현장과 운송시간이 가까운 거리의 플랜트에 대하여 조사한 결과 모두 92년식 배치 당 1.5톤의 플랜트였다. 이 플랜트에는 개질재를 투여하는 입구가 없기에 Hot bin에서 나오는 골재들이 계량되는 배치플랜트에 함께 투여하기로 하였다. 첨가되는 페비닐의 부피가 크기 때문에 배치 당 소요량을 계산하여 3개의 50×120cm크기의 얇은 비닐포대에 넣었다가 골재가 계량되는 시간 내에 페비닐포대를 골재에 투입하여 골재의 온도에 의하여 페비닐포대가 용해되고, 골재의 중력에 의하여 골재와 함께 믹서에 투입되도록 하였다. 혼합온도는 일반 밀입도 혼합물보다 높여 190℃로 설정하였으며, 혼합시간도 일반 밀입도 혼합물보다 15초 증가시켰다.

시험을 시작한 결과 페비닐포대는 Hot bin 골재에 의하여 완전 용해되지 않았으며, Back filter 되는 바람에 의해 위로 날려 올라왔기 때문에 비닐포대에 의하여 믹서로 들어가는 입구가 막혀버렸다. 따라서 비닐포대를 제거하고 페비닐조각들을 직접 투여하였다. 투입된 페비닐조각들은 골재온도에 의해 표면이 용융되어 하나의 덩어리로 응결되면서 입구의 지지대에 걸리거나 길이가 긴 페비닐조각들이 지지대를 걸려 골재를 믹서에 넣을 수 없게 되어 혼합물을 생산할 수 없었다. 또한 믹서에 투입된 일부도 겉표면만 용해되거나 페비닐덩어리들이 혼합되지 않고 출하되는 현상이 발생하였다. 따라서 혼합온도를 210℃로 상승시켜 페비닐을

용융시키고 혼합시간을 증가하여 강제믹서에 의해 페비닐 덩어리를 파쇄하고자 하였으나 처음과 마찬가지로 규정에 부합되는 혼합물을 생산할 수 없었다.

이상의 결과로부터 페비닐을 Hot bin이 아닌 믹서에 직접 투여할 방안을 연구하였다. 하지만 바로 믹서에 투여할 수 있는 입구는 관찰용 창으로 크기가 40×40cm 1개소뿐이었다. 따라서 페비닐의 부피를 줄이고 포대를 여러개로 나누어 작게 만들어 관찰 창으로 바로 투여하였다. 그 결과 출하된 DL17.5 혼합물과 GL17.5 혼합물은 실내시험에서와 마찬가지로 페비닐조각의 양이 많아 응집현상이 나타나 사용가능성이 낮아 시험포장에서 제외하였다. 또한 DH12 혼합물과 GH12 혼합물은 HDPE 비닐의 생산특성상의 원인으로 페비닐덩어리가 발생되어 GH12, DH12 혼합물은 시험포장에서 제외하였다. 따라서 HDPE를 재활용하기 위하여 함량을 10%로 낮추고 갭입도로 배합설계를 수행하고 플랜트 시험을 수행하였다. 그 결과 HDPE 10%는 혼합이 가능하고 응집덩어리가 발생하지 않아 갭입도 시험포장에 사용하기로 결정하였다. 그 이상을 첨가한 혼합물의 생산은 가능하였지만 페비닐을 믹서에 투여하는 과정에서 투여시간이 길고 안전상 문제로 대량 생산이 불가능할 것으로 예상되었기 때문이다.

다. 시험포장

시험포장은 강원도 춘천시 신동면 의암리 마을 안길 120m을 4종류의 혼합물을 각각 30m씩 4개구간으로 나누어 1999년 9월 15일에 시험포장을 수행하였다. 이 도로는 하천 변의 막석 다짐형태의 비포장도로로 개

설된지 수십년된 도로로서 차량 소통이 일일 수십 대 정도로 영농 장비 및 마을에서 생산되는 농산물을 운반하기 위한 소형 트럭 등이 통행한다.

시험포장 전에 기존의 막석 다짐형태의 도로를 평평하게 고르고 다짐롤러로 다짐하고 우기에 파괴 유실된 도로도 복구하고 그 위에 25mm 재생골재를 다짐하여 무처리 기층을 설치하였다. 프라임 코우트로 잘 다져진 기층 위에 아스팔트 유제를 살포하였다.

시험포장시 대기온도는 약 20℃ 이었다. 플랜트에서 포장현장까지의 혼합물 운반시간은 약 10km로 운반시간은 10분 정도 소요되었다. 일반 혼합물의 출하온도는 약 165℃, 포설전의 온도는 135℃이상이었으나 폐비닐 혼합물의 출하온도는 약 190℃, 포설전의 온도는 155℃이상이었다. 작업은 기술자들이 소형 기계를 이용하여 3시간에 걸쳐서 완성하였다. 시험포장 위치도 및 현장 개략도 Fig. 4-28, 4-29과 같으며 시험포장 과정은 부록에 사진으로 보여주고 있다.

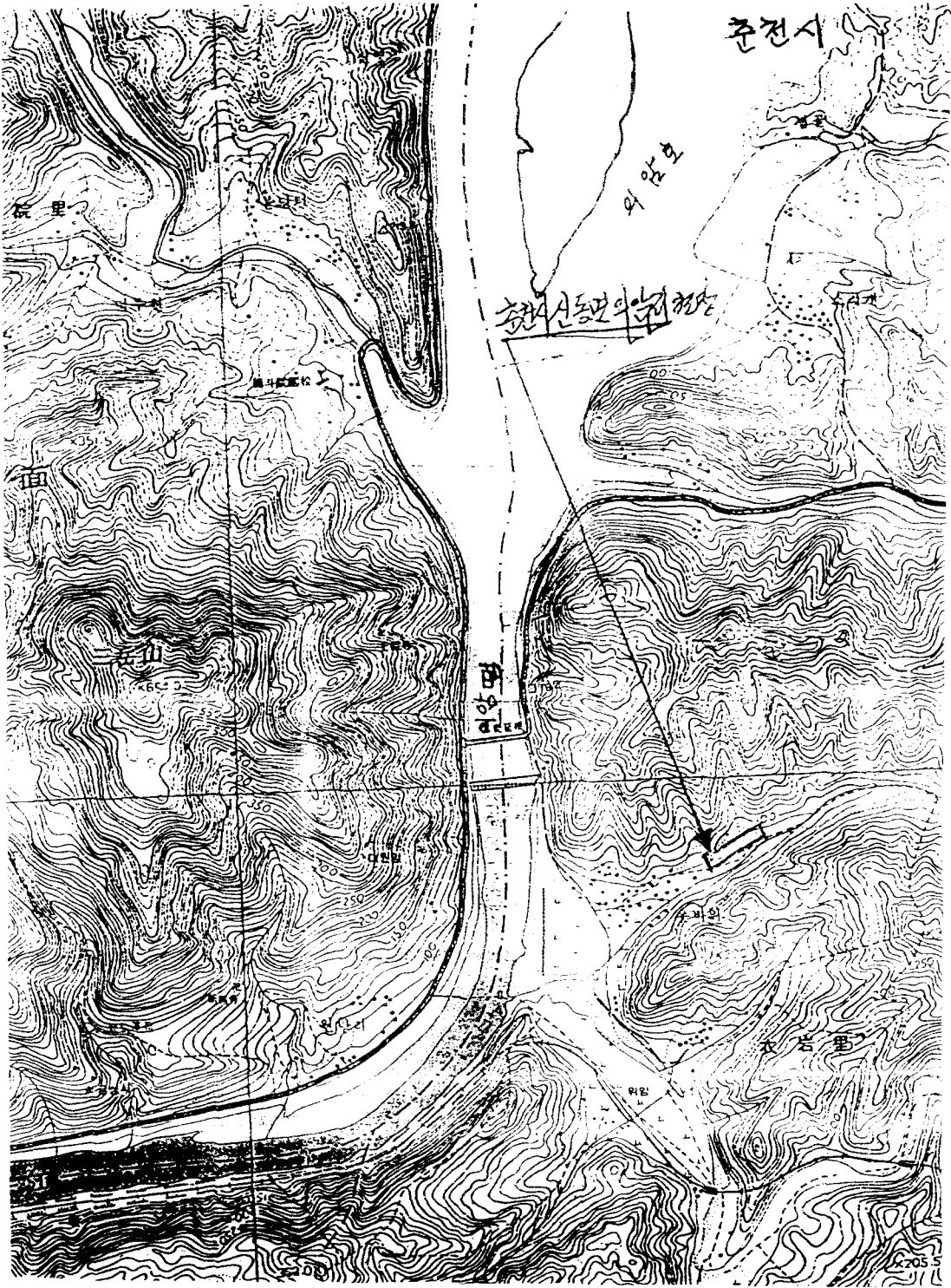


Fig.4-28. 시험포장 위치도

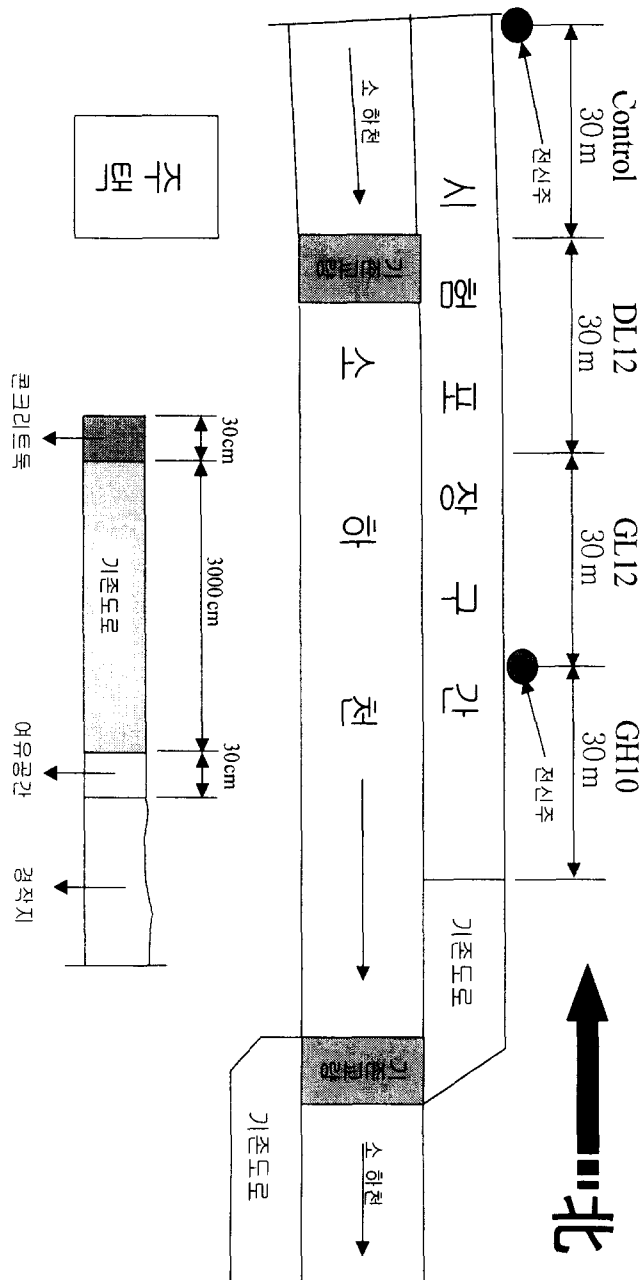


Fig. 4-29. 현장 개략도

라. 시험포장의 품질확인 및 성능 추적

시험포장시 현장에서 하차된 혼합물을 각각 무작위로 채취하여 실험실로 가져와 일부는 KS F 2354에 따라 아스팔트 추출시험을 수행하여 아스팔트 함량을 측정하였으며, 추출된 골재의 체가름을 통하여 입도분포를 검증하였다. 또한 추출된 아스팔트를 재생하여 바인더의 노화특성을 분석하고자 하였으며, 현장에서 공용시간에 따른 아스팔트 바인더의 노화특성을 분석하고자 6개월, 1년 후에 코어를 채취하고 아스팔트를 추출 재생하여 바인더의 특성시험을 수행하였다.

아스팔트 추출시험을 수행하기 위하여 아스팔트 혼합물을 110℃ 오븐에서 30분 정도 가열하여 잘게 부수고 1400g을 정확히 계량하여 Trichloroethylene 용액에 넣어 1시간 이내로 침전시켰다. 그리고 이를 원심분리형 추출기에 넣고 여과지로 개스킷 역할을 하도록 밀폐한 다음 3,600rpm의 속도로 회전시켜 아스팔트가 용해된 용액으로 골재로부터, 추출·분리하였다.

아스팔트가 용해된 용액은 ASTM D 1856의 Absorb recovery 방법으로 아스팔트를 재생하였다. 시험과정은 우선 원심분리형 추출기로 추출된 용액을 원심분리기를 이용하여 미립의 filler를 침전시키고 그 다음 1차 가열에 의한 Trichloroethylene의 증류, 그리고 2차 가열에 의한 아스팔트 용액 내의 Trichloroethylene을 걸러내고 현장 상태의 아스팔트로 회생시키기 위해서 온도를 신속히 160℃로 올린 후 탄산가스(CO₂)를 적절히 주입하는 과정이 매우 중요하다.

한번의 회생에 걸리는 시간은 혼합물을 오븐에서 건조시키는 시간부

터 침전, 1차 증류, 2차 가열 등을 거쳐 약 10시간 정도 소요된다. 한번의 재생과정으로부터 약 50g 정도의 아스팔트가 노화된 상태 그대로 얻어지며, 본 실험에서는 이와 같은 추출·재생한 물성결과를 부록의 시험 성적표에 수록하였다. Fig. 4-30, 4-31은 Abson recovery 방법의 흐름도와 시험장치를 보여준다.

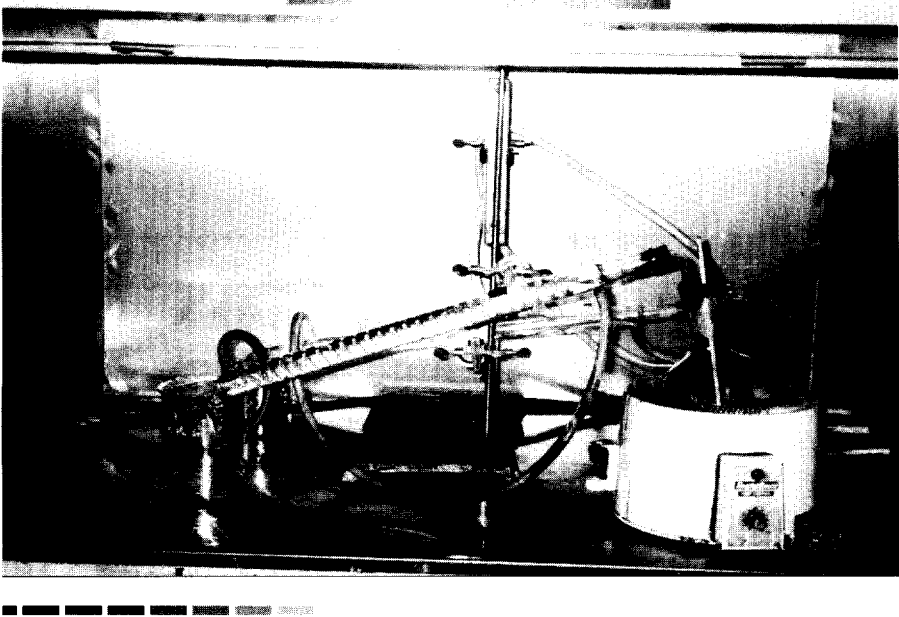


Fig. 4-30. Abson recovery 시험장치

시험포장 현장에서 가져온 혼합물 중 나머지는 다시 가열 후 마샬 공시체와 슬래브 공시체를 제작하여 마샬 안정도 시험, 간접인장강도 시험 및 반복주행시험을 수행하여 실내 시험 데이터와 비교·분석하였다.

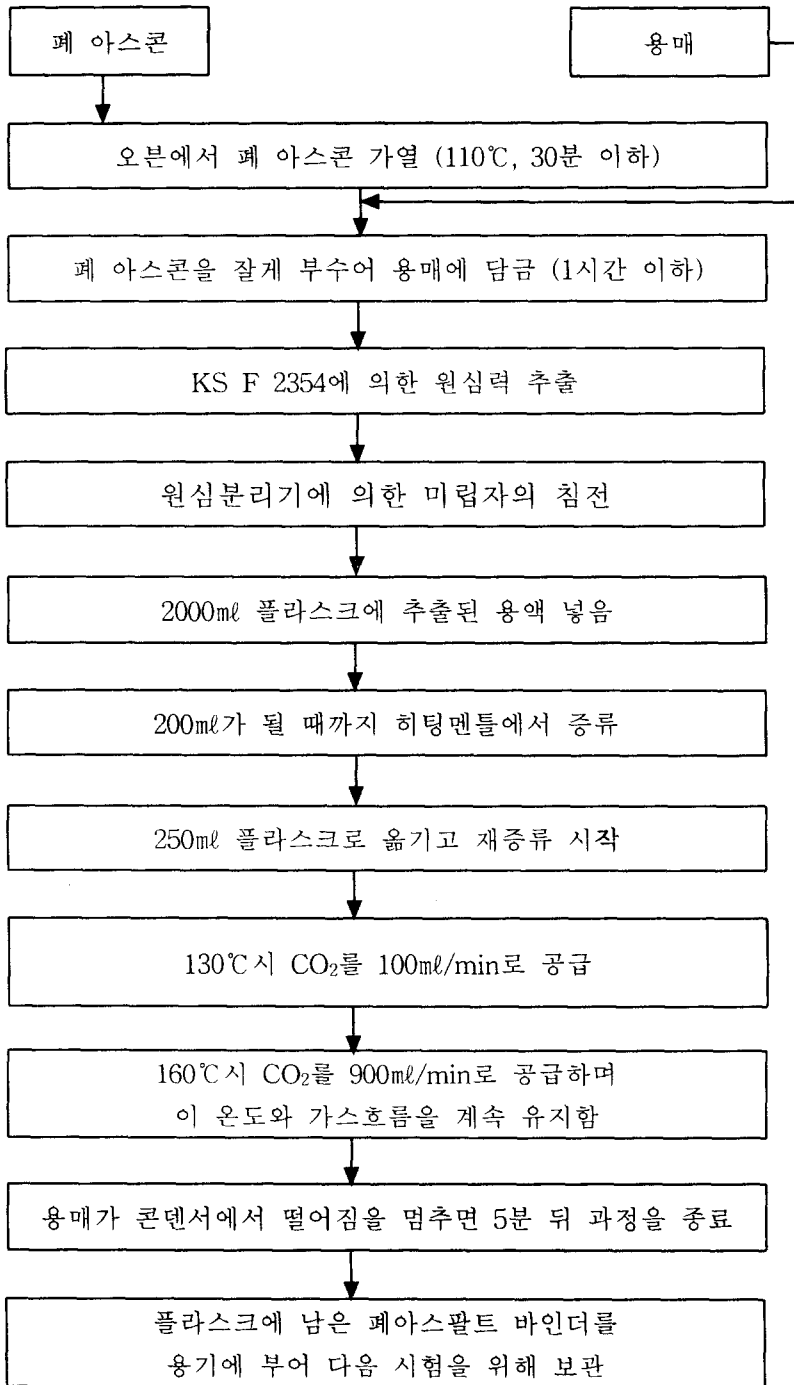
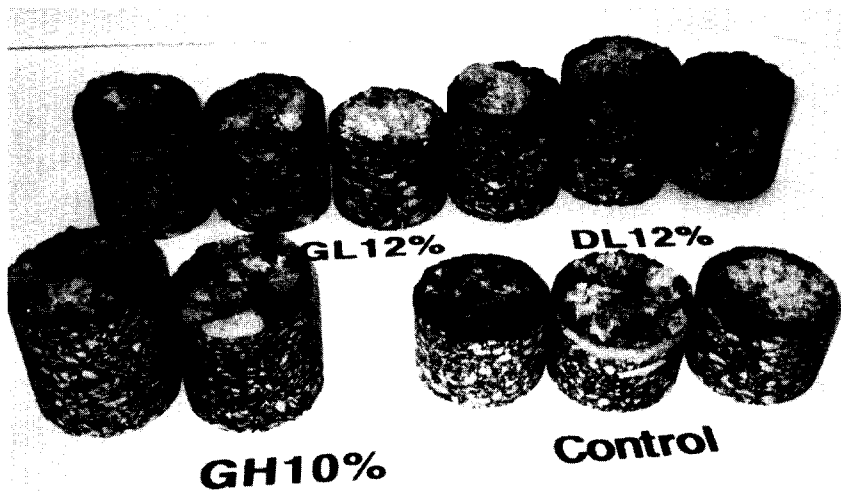


Fig. 4-31. Abson recovery 시험과정 흐름도

또한 시험포장 시공 48시간, 6개월, 1년이 지난 후 시험포장에서 구간별로 코어를 3개씩 채취하였다. 코어를 채취하는 장면 및 채취한 코어를 Fig. 4-32, 4-33에서 보여주고 있다. 채취된 코어로부터 시험포장 페비닐 아스팔트 혼합물의 다짐상태를 확인하고자 코어를 48시간 상온에서 건조시킨 후 실측밀도를 측정하고 공극율을 구하였다.



Fig. 4-32. 코어 채취



(a)

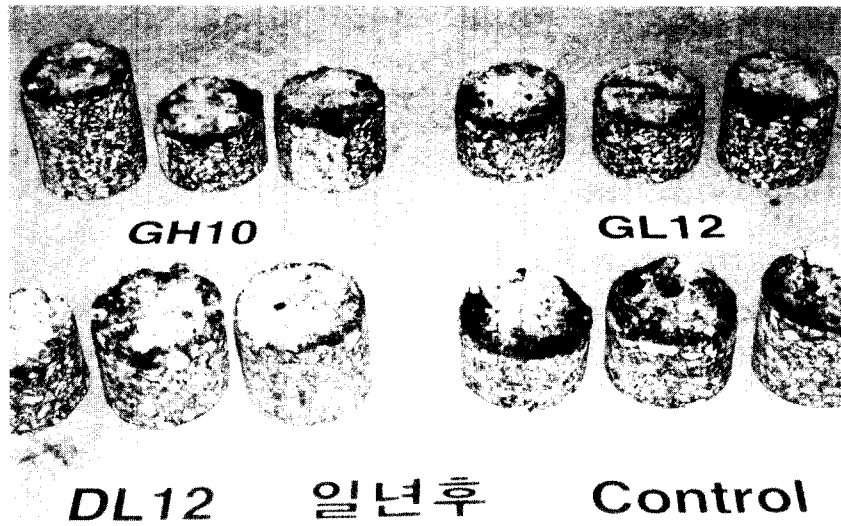


Fig. 4-33. 채취한 코어(a) 6개월 후 (b) 1년 후

마. 투수시험과 미끄럼 저항 시험

도로에서 노면이 습한 경우 특히 고속 주행시 차량 타이어에 의한 물보라 현상이 주요 사고원인으로 되고 있다. 따라서 국내외적으로 도로와 공항 활주로에서의 배수처리를 위한 연구를 활발히 수행하고 있다.

본 연구에서는 노면의 습한 상태에서의 미끄럼 저항성을 예측하기 위하여 ASTM E 303-83 규정에 근거하여 시험포장 표면의 미끄럼 저항성을 측정하였으며, 측정과정은 Fig. 4-34와 같다. 또한 아스팔트 포장도로의 투수성을 알아보기 위하여 투수시험을 수행하였으며 투수시험방법 및 투수계수 추정모델은 Fig. 4-35, 4-36과 같다.

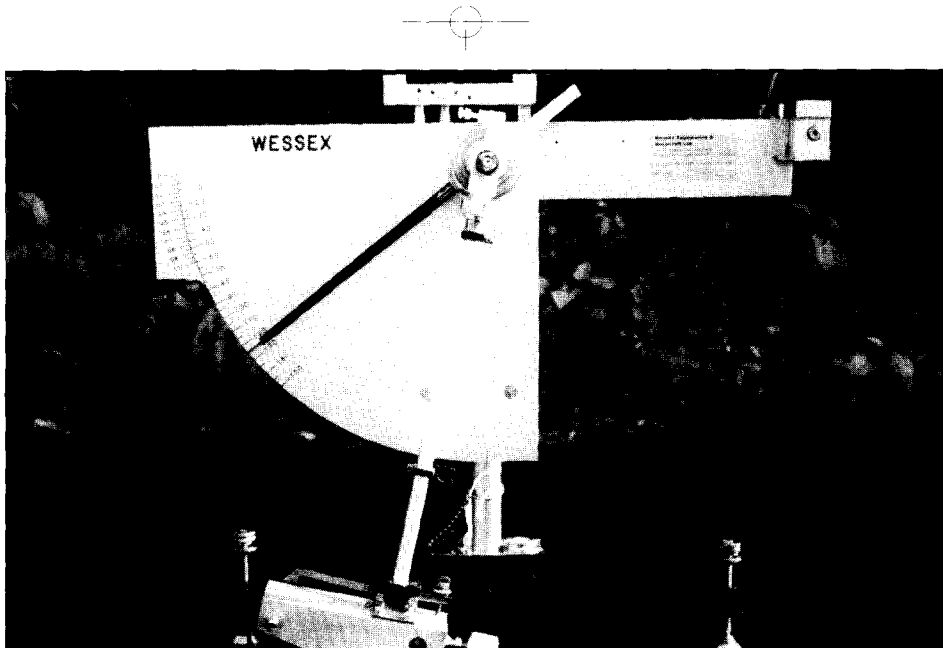


Fig. 4-34. 미끄럼 시험

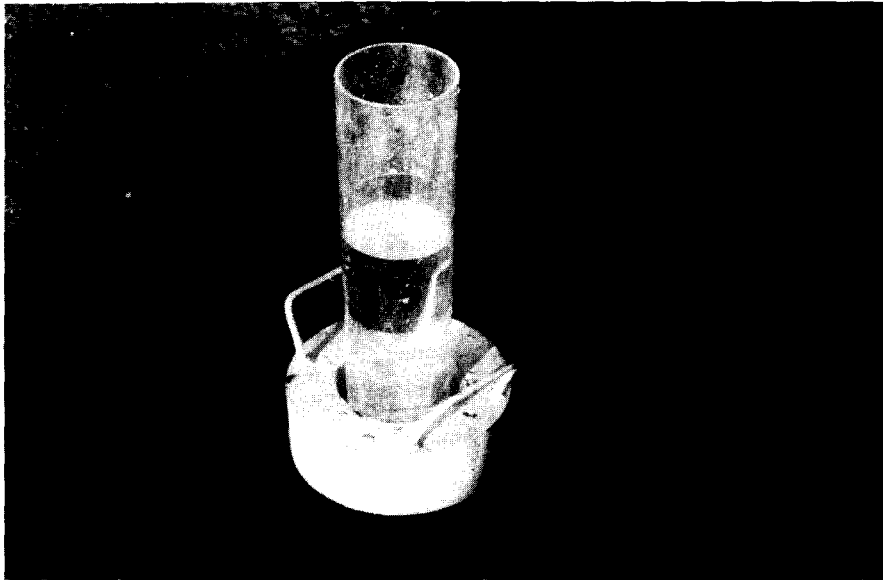


Fig. 4-35. 투수시험기

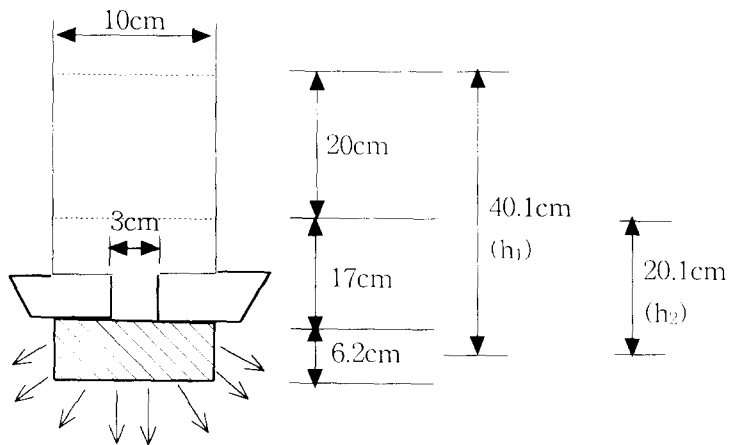


Fig. 4-36. 단위투수량 추정 모델

투수시험 방법 및 결과는 Darcy의 법칙을 사용하여 다음과 같이 계산하였다. 투수시험기를 도로 면에 설치하고 용기에 물을 채우면 압력으로 물이 빠지면서 수위가 낮아지게 된다. 수위가 용기 벽에 표시되어 있는 시작눈금(h_1)에서부터 마지막 눈금(h_2)까지 통과하는 시간(Δt)을 측정하고 투수계수를 구하였다.

예를 들어 눈금사이를 통과하는 시간이 33.52초 걸리고 도로층 두께가 6.2cm로 가정하면 투수계수(k)는 다음과 같다.

$$t_1 - t_2 = 33.52 \text{ sec,}$$

$$v = ki, \quad k = v/i$$

$$v = 20/33.52 = 0.5966 \text{ cm/sec,} \quad i = \Delta h/L = 20/6.2 = 3.2258$$

$$k = 0.5966/3.2258 = 0.18495 \text{ cm/sec}$$

여 백

제 5 장 결과 및 고찰

1. 페비닐 성분 분석

본 연구에 사용된 페비닐 가운데서 LDPE 페비닐은 세척하지 않고 잘게 파쇄한 것이기에 이물질이 많이 부착되어 있었다. 따라서 물로 세척하고 No. 200체로 거르고 오븐에 건조시키고 남은 무게를 계량하여 이물질함량을 측정된 결과 8.9%로 나타났고, 수분함량은 0.5%로 나타났다.

HDPE 페비닐은 세정공정을 거쳤기 때문에 이물질함량은 0.5%이하로 나타났고, 수분함량은 0.3%로 나타났다.

2. 바인더의 유연학적 특성

본 시험포장에 사용한 AP-5 아스팔트를 RTFO 및 PAV로 인공노화시키고 각종 시험을 통하여 아스팔트의 레올로지 특성을 측정된 결과 Table 5-1과 같이 나타났다.

시험결과로부터 알 수 있듯이 아스팔트는 노화됨에 따라 침입도는 감소하고 점도는 증가하는 추세를 나타내었으며, GPC 시험결과 LMS 면적비율은 노화됨에 따라 증가하였다.

시험포장 혼합물 코어로부터 아스팔트를 추출·재생한 아스팔트의 레올로지 특성은 Table 5-2와 같다.

Table 5-1. AP-5 변화적 특성

Asphalt binder	Aging treatment	Test Method				
		Penetration (0.1mm)	Absolute viscosity (Poise)	Kinematic viscosity (cP)	GPC LMS(%)	DSR Grade
AP-5	Original	60	2,464	425	8.85	58
	RTFO	34	3,976	625	11.59	
	PAV	10	86,369	1,975	14.53	

Table 5-2. 시험포장에서부터 재생한 아스팔트의 특성

Asphalt binder	Aging treatment	Penetration (0.1mm)	Absolute viscosity (Poise)	Kinematic viscosity (cP)	GPC LMS (%)
Control	48시간	52	2,616	450	15.25
	6개월	45	3,442	500	17.65
	12개월	44	3,616	500	17.35
DL12	48시간	29	12,235	1,025	15.07
	6개월	31	14,843	1,225	17.31
	12개월	29	14,819	1,250	17.91
GL12	48시간	31	9,588	950	15.15
	6개월	33	8,746	925	15.91
	12개월	30	9,271	940	16.57
GH10	48시간	41	6,329	575	15.26
	6개월	33	9,154	850	16.69
	12개월	34	9,345	860	16.88

시험포장 아스팔트 코어로부터 재생한 아스팔트의 레올러지 특성을 보면 공용시간이 짧기 때문에 노화가 덜 진행되었다. 실험실에서 인공노화시킨 바인더와 비교해보면 시험포장 48시간후의 아스팔트 레올러지 특성은 거의 비슷하였다. 6개월 후와 일년 후의 아스팔트 레올러지 특성은 시간이 지남에 따라 결합재가 약간 노화되었지만 큰 차이를 보여주지는 않았다.

습식으로 제조한 페비닐 결합재의 레올러지 특성은 Table 5-3과 같다. 페비닐 아스팔트는 페비닐을 10%이상 첨가함으로 인하여 점성이 크기 때문에 60℃에서의 절대점도 시험을 수행할 수 없었다.

습식으로 제조된 페비닐 결합재의 특성은 상기의 표에서 알 수 있듯이 공용성 등급을 결정할 수 없었다. 전체적으로 결합재의 점도가 커 소성변형에 대한 저항성은 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

Table 5-3. 페비닐 아스팔트 특성

Binders		Penetration (0.01mm)	Kinematic viscosity (Cp)	Loss (%)	GPC LMS (%)	
AP-3	LDPE 10	Original	24	3,325	0.07	15.07
		RTFO	23	7,600	0.05	16.11
		PAV	17	12,100	0.04	21.55
	LDPE 12	Original	20	1,700	0.05	15.11
		RTFO	16	3,800	0.04	16.29
		PAV	13	14,800	0.03	27.28
	LDPE 15	Original	23	12,725	0.03	17.29
		RTFO	18	-	-	18.89
		PAV	-	-	-	-
	LDPE 17.5	Original	19	15,550	0.03	14.67
		RTFO	16	-	-	-
		PAV	-	-	-	-
	HDPE 10	Original	25	-	-	-
		RTFO	-	-	-	-
		PAV	-	-	-	-

3. 예비시험 혼합물의 강도 특성

각 혼합물에 대한 배합설계 결과로부터 최적 결합재 함량을 결정하였다. 페비닐 첨가량 별로 결정된 최적 결합재 함량별 마찰안정도 시험 결과는 Table 5-4와 같다.

Table 5-4. 혼합물별 마찰안정도 시험성과표

페비닐 함량 (%)	결합재 함량(%)	공극율 (%)	VMA(%)	채움율 (%)	안정도 (kgf)	흐름값 (0.01cm)
0%	5.2	4.60	16.65	72.38	1185	29
10%	5.7	4.39	17.53	74.97	1324	29
15%	5.9	4.75	18.28	74.03	1414	31
17.5%	6.0	4.51	18.29	75.35	1460	36
20%	6.1	4.45	18.45	75.90	1547	34

시험결과 안정도는 규정을 크게 넘는 높은 값이 얻어졌다. 페비닐을 첨가한 혼합물이 일반 혼합물보다 안정도가 높았고, 페비닐 첨가량이 증가함에 따라 안정도는 증가추세를 보여주고 있다. 그러나 첨가량이 증가할수록 혼합이 어렵고 페비닐이 응집형태로 존재하는 경향이 뚜렷하였다.

각 혼합물에 대해서 최적 아스팔트 함량으로 제작한 공시체의 간접인장강도 시험 결과 그 변화는 Fig. 5-1, Fig. 5-2와 같다.

Fig. 으로부터 페비닐 첨가량이 증가함에 따라 간접인장강도도 증가

함을 알 수 있었다. 일반 밀입도 혼합물에 비하여 페비닐 10% 첨가혼합물은 약 7%, 15%첨가는 약 15%, 17.5%첨가는 약 23%, 20%첨가는 약 27%의 증가를 나타내었다. 이는 페비닐의 주성분이 폴리머로서 아스팔트 혼합물의 인장강도 향상에 영향을 나타낸 것이라고 생각된다. 즉 페비닐이 상당한 품질향상 효과가 있다는 것을 의미한다.

각 혼합물에 대한 강성(Stiffness)의 변화를 살펴보면, Fig. 5-3에서 보듯이 간접인장강도와 같이 페비닐 첨가량의 증가에 따라 강성도 증가 추세를 나타내었다. 강성은 페비닐 첨가량이 10~20%로 증가에 따라 각각 약 17%, 33%, 42%, 61% 증가하였다.

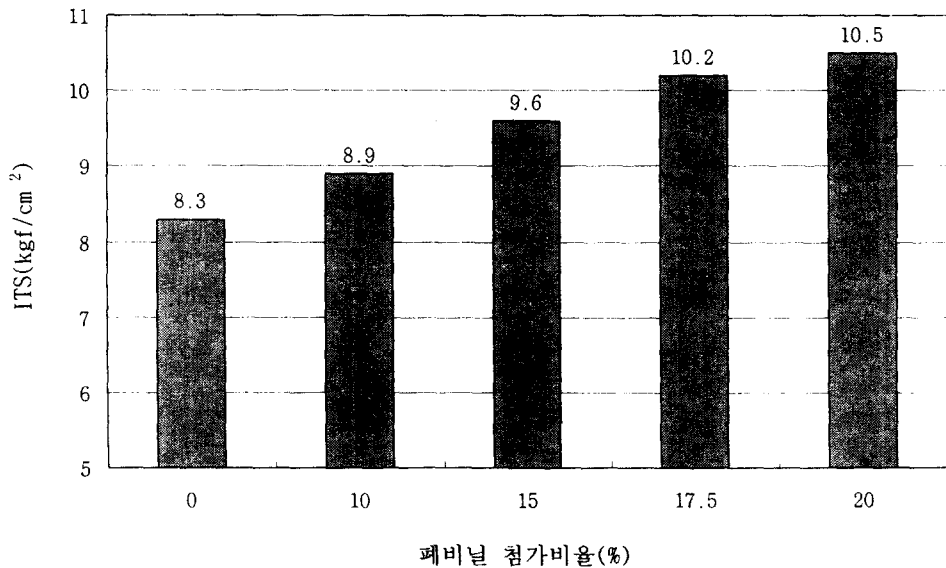


Fig. 5-1. 페비닐의 첨가비율에 따른 간접인장강도

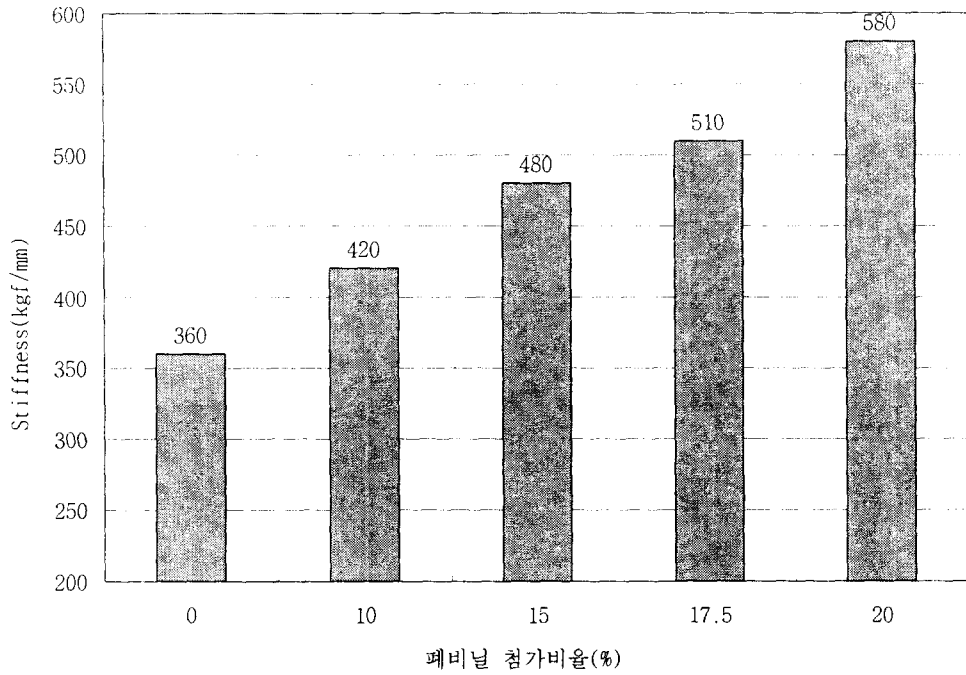


Fig. 5-2. 페비닐 첨가비율에 따른 강성지수

HDPE-1, 2를 10%, 15%, 20%씩 첨가하여 혼합물을 제조한 결과는 Table 5-5와 같다.

HDPE-1은 15%부터 응집현상이 발생하여 20%에서는 공극율이 증가하여 규정을 만족하지 못하였으며, 10%에서 가장 큰 안정도 값을 나타내고 그 이상 페비닐량이 첨가되면 안정도가 낮아져 페비닐의 첨가량이 증가함에 따른 안정도의 향상효과를 기대할 수 없었다.

HDPE-2는 혼합물에 용해되지 않고 입자형태로 존재하여 골재 대용으로 사용이 가능하나 아스팔트의 개질효과는 거의 나타나지 않았다. 또

한 가격이 비싸므로 골재대용으로도 사용하지 않기로 결정하였다. 따라서 HDPE는 HDPE-1을 12% 첨가하기로 하였다.

Table 5-5. HDPE 종류 및 함량에 따른 마찰시험결과

페비닐 함량 (%)	결합재 함량(%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도 (kgf)	흐름값 (0.01cm)
HDPE-1 10%	5.7	4.46	17.67	74.77	1642	31
HDPE-2 10%		3.75	16.87	77.76	1337	32
HDPE-1 15%	5.9	5.30	18.29	71.03	1472	31
HDPE-2 15%		3.32	16.93	80.39	1451	34
HDPE-1 20%	6.1	6.59	20.21	67.38	1565	38
HDPE-2 20%		3.37	17.44	80.68	1474	39

4. 예비시험 결과

예비시험을 통하여 페비닐의 첨가함량 범위를 결정하고 각 첨가함량 별 배합설계를 수행하여 최적아스팔트 함량으로 마찰안정도 시험과 간접인장강도 시험을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1). 예비시험을 통하여 페비닐을 첨가한 아스팔트 혼합물의 혼합은 건식혼합이 가능함을 알 수 있었다.
- (2). 배합설계를 통하여 결정된 최적아스팔트 함량으로 마찰안정도

시험을 수행한 결과 페비닐 아스팔트 혼합물은 배합설계 규정을 만족하였다.

- (3). 페비닐 첨가량 증가에 따라 마찰안정도와 간접인장강도가 일반 밀입도 혼합물에 비하여 우수하며, 첨가량이 증가함에 따라 증가추세를 나타내어 페비닐이 아스팔트 혼합물에 일정한 개질 효과가 있음을 알 수 있었다.
- (4). 페비닐의 함량이 증가함에 따라 성능이 향상되나 약 15%부터 페비닐의 응집현상이 발생하기 시작하여 현장에서의 사용가능성과 플랜트 제작 가능성 여부에 관한 문제점이 제시되었다. 응집현상은 사용되는 페비닐의 크기 및 함량에 따라 변화하는데 12~15%를 응집현상이 발생하는 기점으로 볼 수 있다.

따라서 상기의 시험을 기초로 하여 LDPE 페비닐 첨가량을 페비닐이 응집현상이 발생하지 않는 최대의 첨가량 12%, 최대한 많이 사용하기 위하여 응집현상이 발생하나 사용이 가능할 것으로 보여지는 17.5%를 실내시험용 혼합물에 최대 첨가비율로 결정하였고, HDPE-1은 12%로 결정하고 다음 시험을 수행하기로 하였다.

5. 마찰안정도 및 간접인장강도

배합설계를 통하여 결정된 최적 아스팔트 함량으로 각 혼합물별 공시체를 제작하여 마찰 안정도시험과 간접인장강도 시험을 수행하여 그 성능을 확인하였다. Table 5-6, 5-7은 제작된 공시체의 물성 및 강도 특성을 보여주고 있다. Fig. 5-3, 5-4는 안정도, 간접인장강도 및 강성지수를 Fig. 5-5에 보기 쉽게 나타낸 것이다. 결과적으로 페비닐을 첨가한 밀입

도 아스팔트 혼합물은 일반 밀입도 혼합물보다 마찰안정도와 간접인장강도가 우수하게 나타났다. 반면에 갭입도 혼합물들의 안정도 및 간접인장강도는 더 낮게 나타났다. 하지만 많은 연구결과 갭입도 혼합물들의 경우 단순 물성시험인 안정도 등은 낮게 나타나지만 실제 현장성능을 반영하는 반복주행시험과 현장소성변형 저항성이 크게 우수하므로 일부 갭입도 혼합물을 계속 시험해보기로 하였다. 따라서 이 혼합물들로 플랜트에서 혼합 가능성 여부를 판정하기 위한 예비배합시험을 수행하였다.

Table 5-6. 최적 아스팔트 함량에서의 혼합물의 마찰특성치

혼합물 종류	아스팔트 함량(%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도 (kg)	흐름값 (0.01cm)
Control	5.2	3.85	15.88	75.79	1366	29
DL5	5.6	6.0	16.21	75.63	1187	27
DL12	5.5	4.10	16.64	75.32	1412	31
DL17.5	6.1	3.84	17.63	78.22	1732	36
DH12	5.6	4.22	16.93	75.09	1475	29
GL5	5.4	3.73	14.68	79.91	899	31
GL12	5.9	3.48	16.97	79.48	833	36
GL17.5	5.8	4.43	18.87	76.52	877	37
GH12	6.2	4.37	18.30	76.11	882	35

Table 5-7. 최적 아스팔트 함량에서의 혼합물의 간접인장강도

혼합물 종류	아스팔트 함량(%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	ITS (kg/cm ²)	강성계수 (kg/mm)
Control	5.2	3.75	15.80	76.26	8.9	526
DL5	5.6	5.7	16.16	75.16	9.5	440
DL12	5.5	4.04	17.67	77.16	9.6	580
DL17.5	6.1	3.91	17.69	77.88	13.1	795
DH12	5.6	4.22	16.93	75.10	9.4	428
GL5	5.4	3.79	15.16	74.97	8.5	400
GL12	5.9	3.88	17.88	78.32	7.6	336
GL17.5	5.8	4.80	19.19	74.98	8.1	336
GH12	6.2	4.57	18.47	75.24	8.8	385

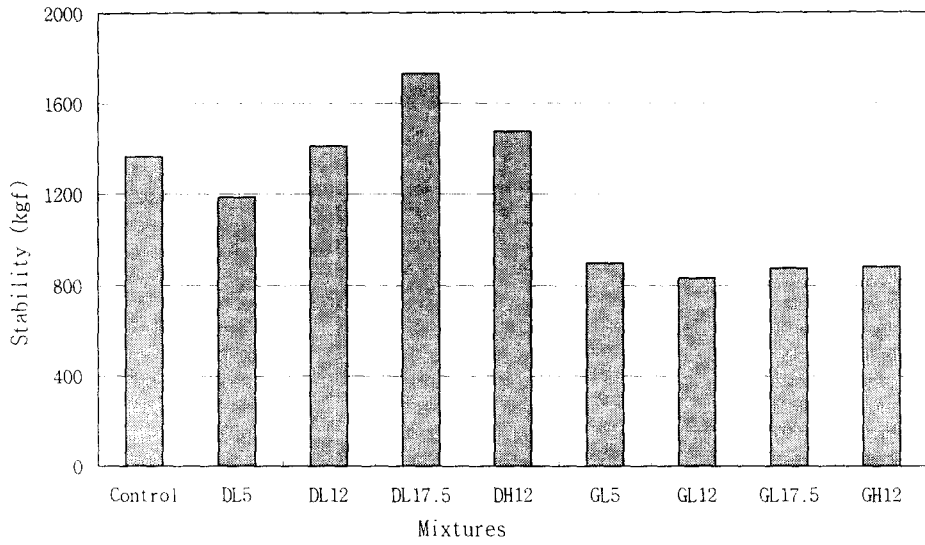


Fig. 5-3. 혼합물의 마찰안정도 비교

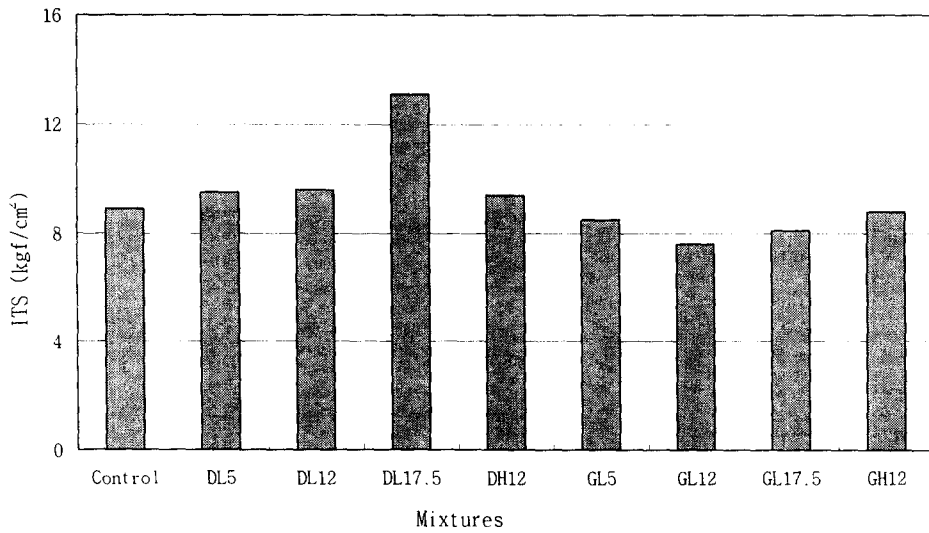


Fig. 5-4. 혼합물의 간접인장강도

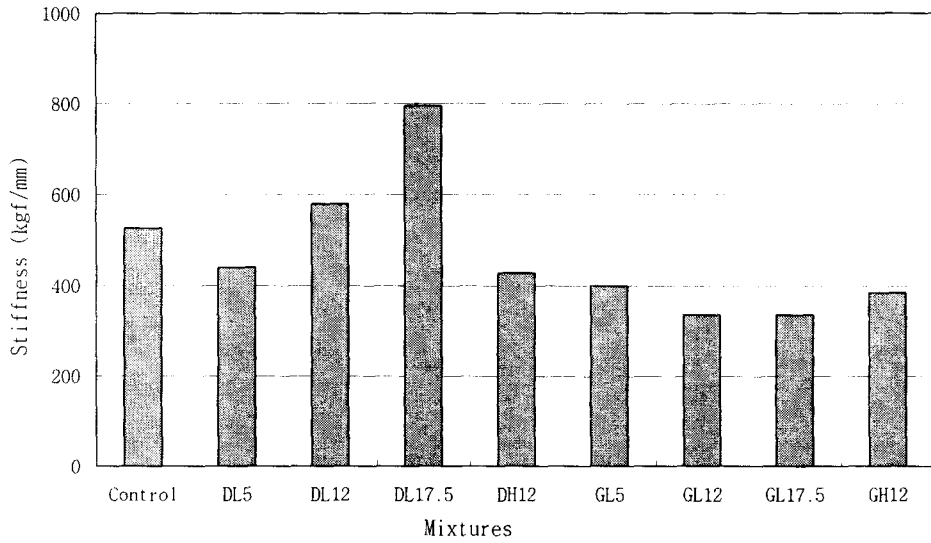


Fig. 5-5. 혼합물의 강성계수

시험포장시 무작위로 채취한 표본 혼합물로 제작한 공시체의 마찰 안 정도와 간접인장강도를 실험실에서 제작한 공시체와 비교한 시험결과는 Fig. 5-6과 같다.

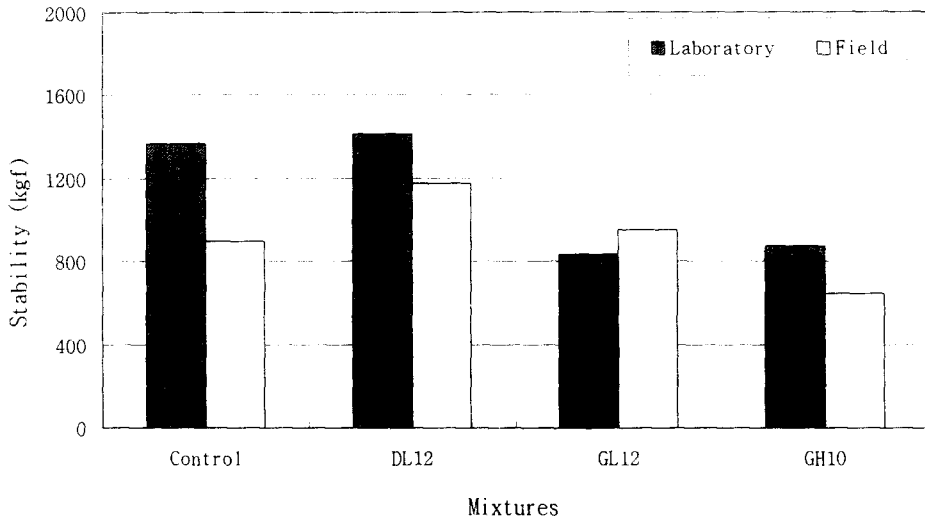


Fig. 5-6. 혼합물의 마찰안정도 비교

상기의 Fig. 5-6에서 알 수 있듯이 마찰안정도 값을 비교해 보면 실험실 마찰안정도 값이 대체적으로 크게 나타났으며, 밀입도 혼합물의 경우 페비닐을 첨가한 DL12 혼합물의 마찰안정도는 실험실에서 측정한 마찰안정도는 약 10% 증가하였으며 현장 혼합물은 약 30% 향상되었다. 반면에 갭입도 혼합물은 마찰안정도가 Control 혼합물보다 적게 나타났으나 KS 규정을 만족하고 있다. 갭입도 혼합물의 마찰안정도가 낮은 것은 입도 특성으로 인한 것이다.

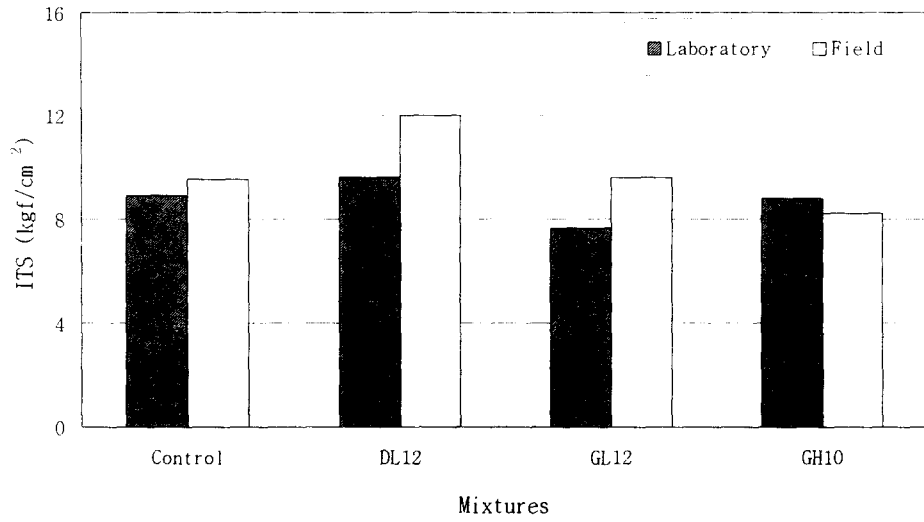


Fig. 5-7. 혼합물의 간접인장강도 비교

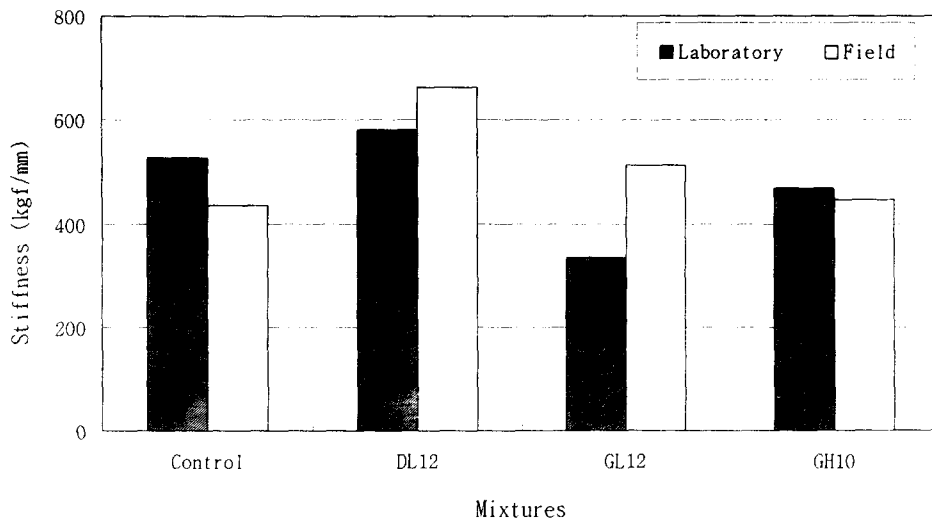


Fig. 5-8. 혼합물의 강성계수 비교

간접인장강도를 보면 현장 혼합물이 실험실에서 제조한 혼합물보다 약간 우수하게 나타났다. 밀입도 혼합물의 간접인장강도는 Control보다 우수하게 나타났고 갭입도 혼합물은 비슷하거나 약간 적게 나타났다. 강성계수도 비슷한 경향을 나타내었다.

6. 동결-융해시험

혼합물의 동결 융해 시험결과는 Fig. 5-9와 같다. 대체적으로 밀입도 혼합물의 동결 융해 저항성이 갭입도보다 우수하게 나타났다. 같은 밀입도 혼합물에서는 페비닐을 첨가한 혼합물이 더 우수하게 나타났다. 갭입도 혼합물의 경우 1주에서는 일반 밀입도 혼합물보다 우수하게 나타났으나 동결 융해 1주와 2주 사이에서 큰 인장강도 손실을 보여주고 있는데 이에 대한 연구가 필요하다고 사료된다.

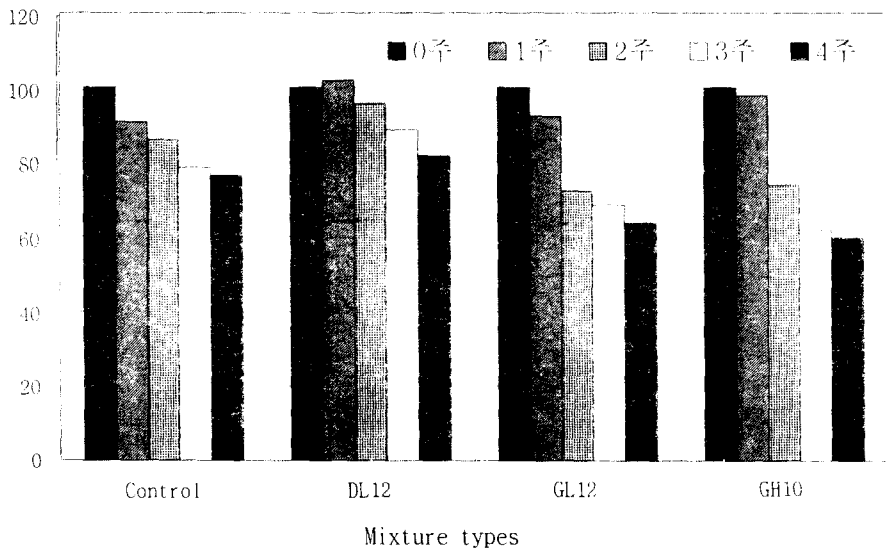


Fig. 5-9. 동결 융해 시간에 따른 잔류 간접인장강도 비

7. 반복주행시험

혼합물들의 반복주행시험 후의 최종 침하깊이와 동적안정도를 Fig. 5-10, 5-11에서 보여주고 있다. 시험 후 공시체의 절단면을 Fig. 5-12에서 보여주고 있다. 최종 침하깊이와 동적안정도를 비교해보면 개입도 혼합물과 페비닐을 첨가한 혼합물이 일반 밀입도 혼합물보다 월등히 우수함을 알 수 있다. 동적안정도를 비교해보면 DL12는 일반 밀입도 혼합물의 약 14배 우수하며 GL12, GH10은 일반 밀입도 혼합물의 약 50배 우수하게 나타났다.

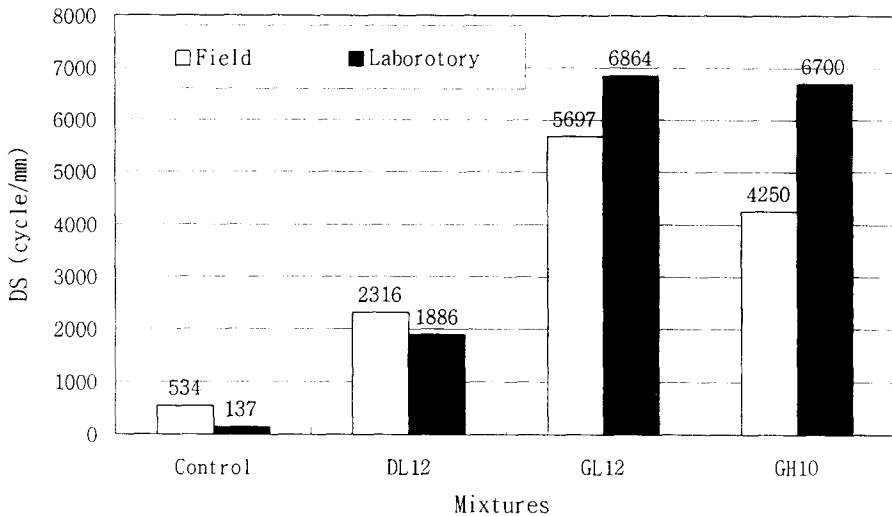
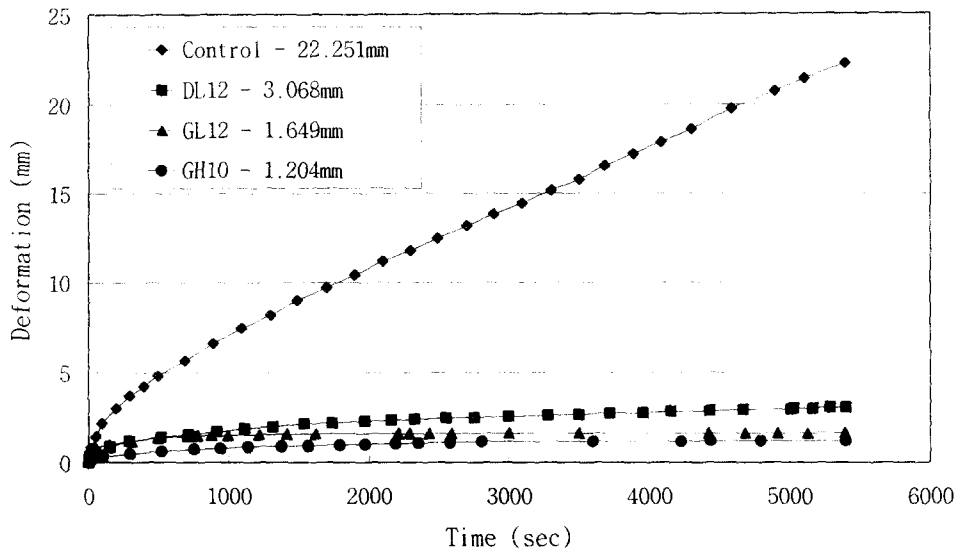
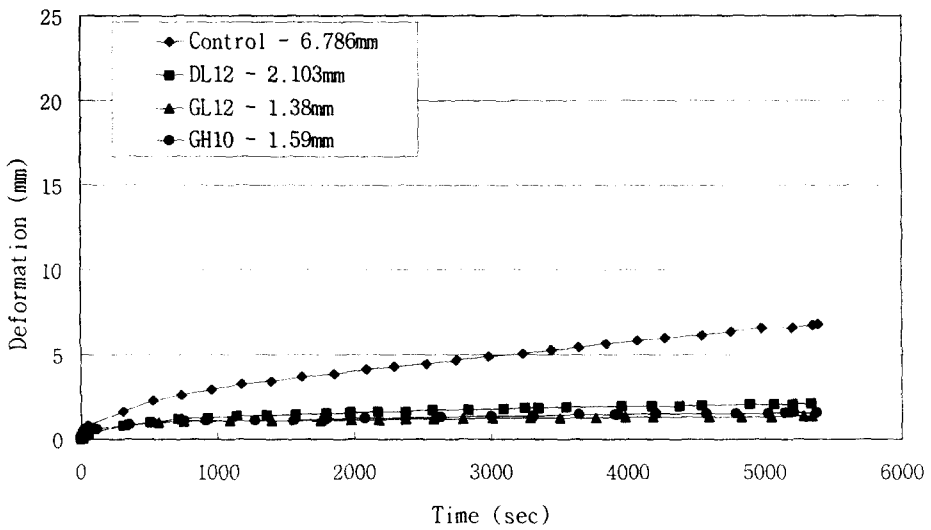


Fig. 5-10. 혼합물의 동적안정도 비교



(a)



(b)

Fig. 5-11. 혼합물의 반복주행시험 결과 (a) 실험실 (b) 현장

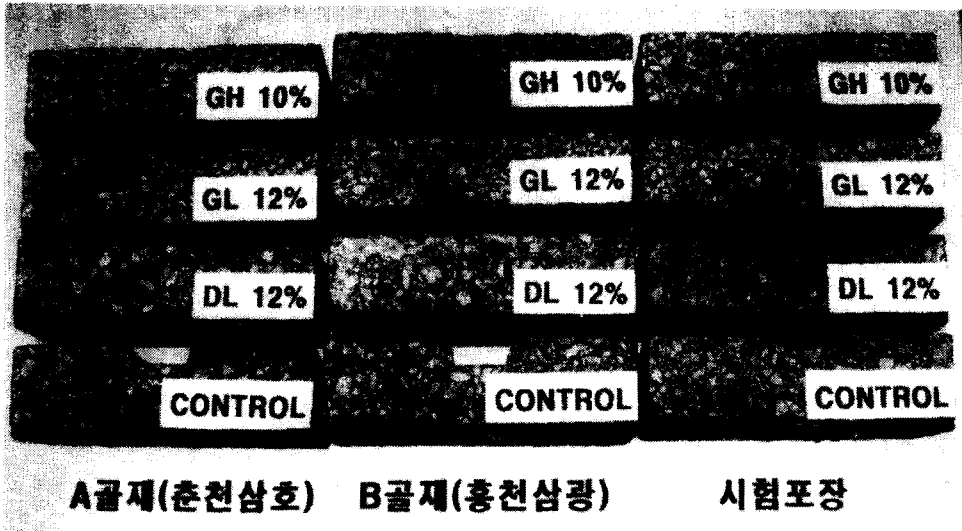


Fig. 5-12. 반복주행시험 후 공시체 절단면

8. 피로시험

피로시험결과를 Fig. 5-13, 5-14에서 보여주고 있다. 피로시험 결과를 살펴보면 피로수명은 DL12, GH10, GL12, Control 순으로 나타났다. 이 결과는 간접인장강도와 비슷한 경향을 보여주고 있다. GL12는 일반 밀입도 혼합물과 비슷하게 나타났고 DL12의 경우 피로수명이 일반 밀입도 혼합물의 약 5배로 나타나 피로저항성이 아주 우수함을 보여주었다.

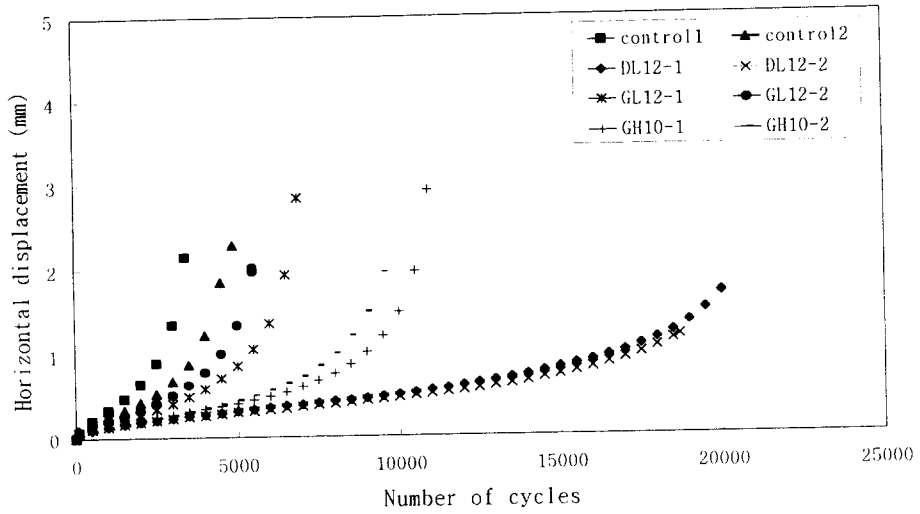


Fig. 3-13. 혼합물 종류에 따른 수평변형 피로수명

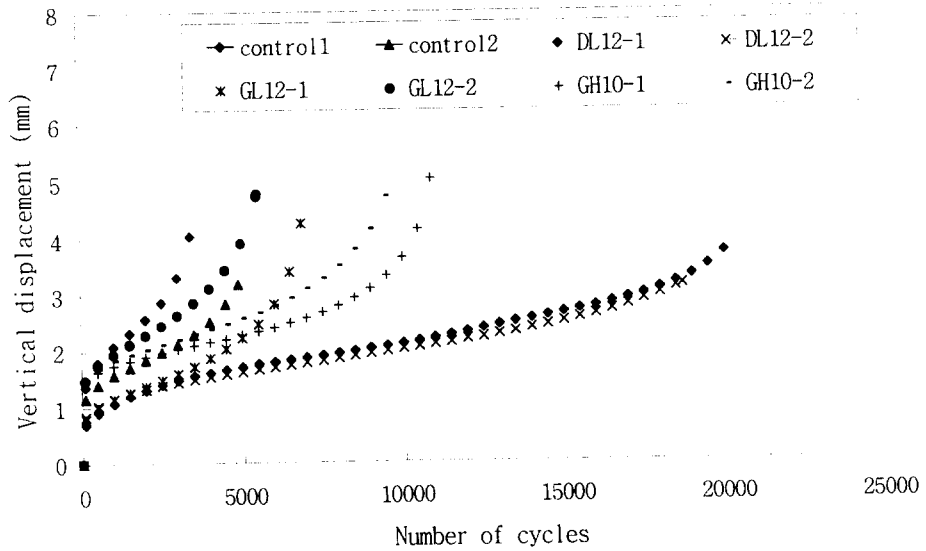


Fig. 3-14. 혼합물 종류에 따른 수직변형 피로수명

9. 시험포장 품질 평가

시험포장 시공 48시간, 6개월, 1년이 지난 후 시험포장에서 구간별로 코어를 3개씩 채취하였다. 시험포장 페비닐 아스팔트 혼합물의 다짐상태를 확인하기 위하여 코어의 실측밀도를 측정하고 공극율을 구하였다. 또한 아스팔트 추출시험을 수행하여 아스팔트 함량을 측정하고 추출된 골재의 체가름을 통하여 입도분포를 검증하고자 하였다. 그 결과는 Table 5-8, Table 5-9, Fig. 5-15~5-18과 같다.

Table 5-8. 시험포장 혼합물의 입도분포

체크기	Control		DL12		GL12		GH10	
	실험실	현장	실험실	현장	실험실	현장	실험실	현장
19mm	99.7	100	99.7	100	100	100	100	100
13mm	87.82	87.51	87.82	89.76	100	100	100	99.59
4.75mm	57.67	55.04	57.67	58.09	34.72	44.00	34.72	34.76
2.36mm	41.96	39.22	41.96	41.67	25.40	24.95	25.40	16.55
600 μ m	21.33	20.87	21.33	19.87	15.71	17.97	15.71	12.66
300 μ m	14.99	14.67	14.99	14.60	13.4	15.62	13.4	11.80
150 μ m	9.55	9.14	9.55	9.59	11.29	11.60	11.29	10.15
75 μ m	6.5	5.16	6.5	5.65	9.28	7.95	9.28	7.47

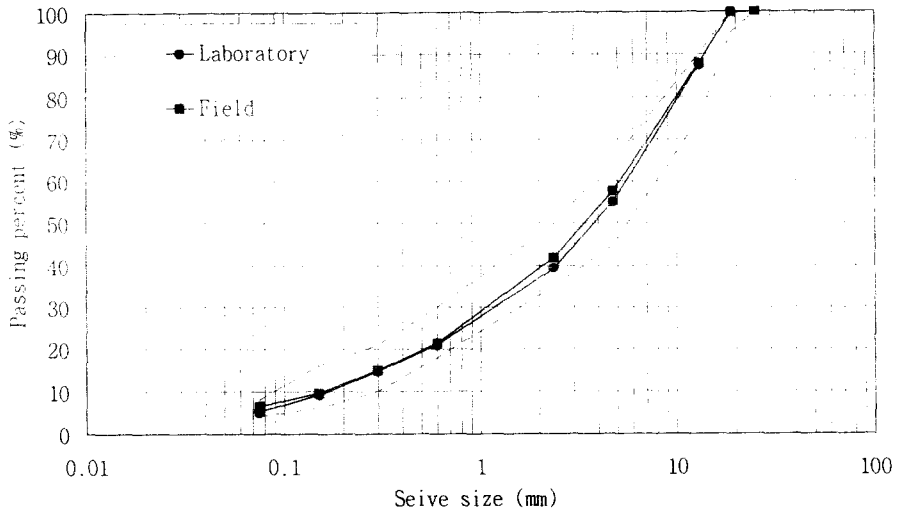


Fig. 5-15. 19mm 밀입도 Control 혼합물 입도 비교

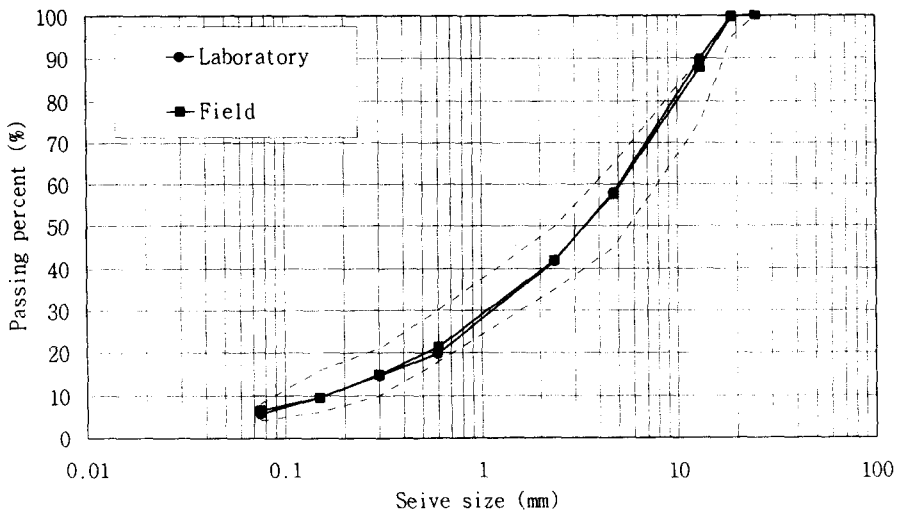


Fig. 5-16. 19mm DL12 혼합물 입도 비교

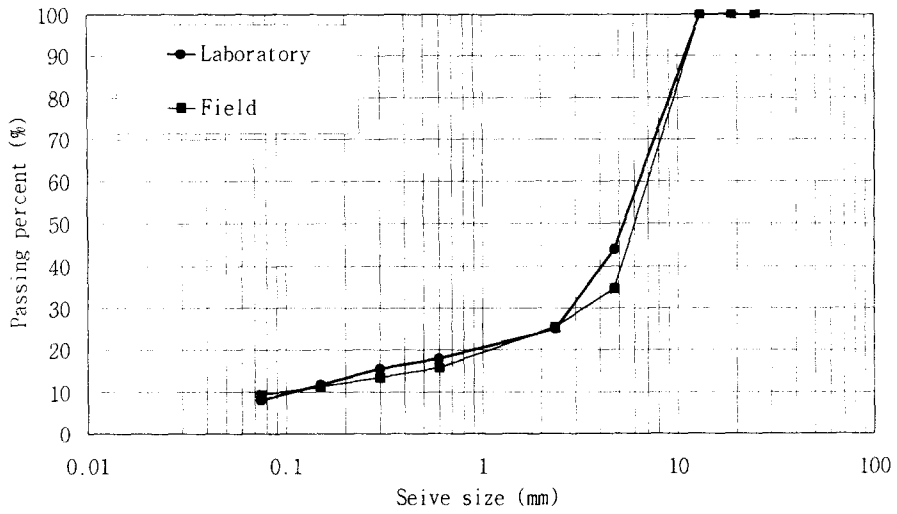


Fig. 5-17. 13mm GL12 혼합물 입도 비교

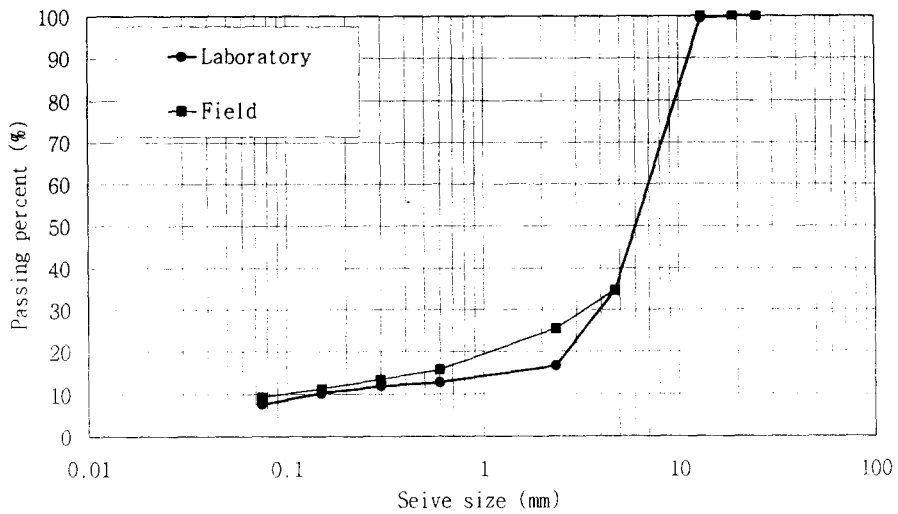


Fig. 5-18. 13mm GH10 혼합물 입도 비교

Table 5-9. 시험포장 코어 공시체의 물성

혼합물 종류		아스팔트 함량(%)	밀도 (g/cm ³)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)
Control	48시간	5.15	2.304	5.28	16.89	68.73
	6개월		2.301	5.39	16.98	68.29
	1년 후		2.292	5.77	17.32	66.678
DL12	48시간	5.55	2.260	7.47	18.85	60.40
	6개월		2.257	7.57	18.95	60.03
	1년 후		2.263	7.31	18.72	60.93
GL12	48시간	5.85	2.170	10.94	21.55	50.75
	6개월		2.171	10.60	21.54	50.77
	1년 후		2.128	12.37	23.09	46.44
GH10	48시간	6.10	2.166	10.91	21.48	51.15
	6개월		2.135	11.72	22.47	47.86
	1년 후		2.156	10.83	21.69	50.09

Table 5-8의 결과에서 알 수 있듯이 골재의 입도 분포는 밀입도의 경우 현장 입도 분포가 실험실에서 배합설계를 수행한 입도와 비슷하게 나타나 실용성이 있으나, 갭입도 혼합물은 4.75mm~2.36mm 골재에서 큰 차이를 보여주고 있다. 이는 국내 플랜트의 Hot bin수가 적으므로 인하여 특정골재를 다량으로 추가할 경우 플랜트에서 골재의 Over flow 현상이 발생한 것이 주요원인이라고 사료된다.

아스팔트 함량은 배합설계와 비슷하게 나타났다. 공극은 밀입도 혼합물의 경우 다짐도가 93%이상으로 나타났다. 이는 SHRP에서 제시하는 4~5년 후 차량에 의해 다져진 상태의 공극이 배합설계에서 결정된 4% 전후가 되도록 요구하는 점을 고려하면 큰 문제가 없는 것으로 보여진다. 반면에 갭입도 혼합물은 다짐도가 90%에 미달되었는데 이는 앞에서 설명한대로 입도의 차이에 인한 것으로 사료되며, 국내 플랜트에 적합한 입도로 조정하기 위한 연구가 있어야 할 것으로 사료된다. 또한 1년 후의 아스팔트 혼합물도 공극율의 변화가 거의 없이 나타나 비록 공용시간은 짧으나 조기 파손 없이 아주 양호하였다.

추출된 아스팔트는 재생하여 결합재의 노화에 따른 물성의 변화를 파악하기 위하여 침입도, 절대점도, 동점도 시험을 수행하였다. 그 결과는 다음과 같다.

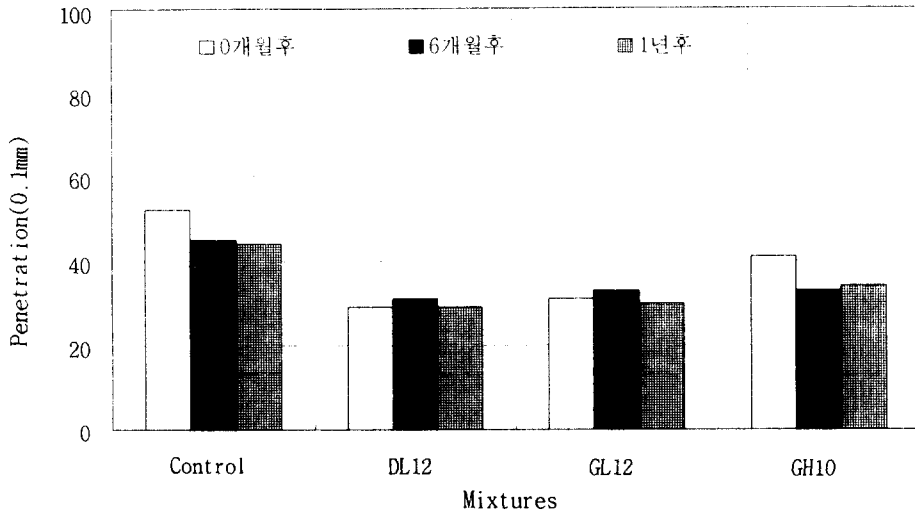


Fig. 5-19. 재생 아스팔트의 침입도

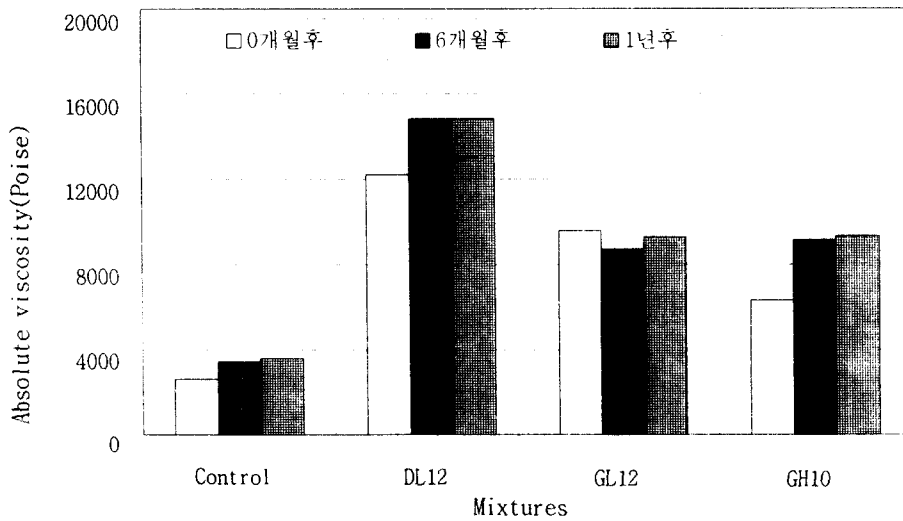


Fig. 5-20. 재생 아스팔트의 절대점도

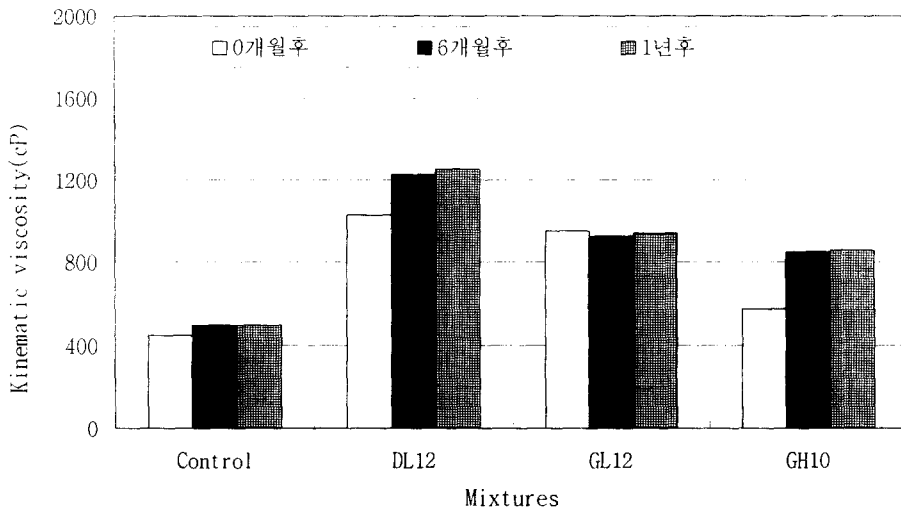


Fig. 5-21. 재생 아스팔트의 동점도

10. 미끄럼 저항성 및 투수성

시험포장 도로의 미끄럼 저항성과 투수성능을 파악하기 위하여 ASTM E303-83에 의하여 시험을 수행한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

투수시험을 수행한 결과 밀입도 혼합물은 투수계수가 0.0005cm/sec로 투수성이 아주 적게 나타난 반면 갭입도 혼합물의 경우 GL12는 0.124cm/sec, GH10은 0.21cm/sec로 투수계수가 크게 나타났다. 이는 시험포장 혼합물의 다짐에 의한 것으로 공극율이 큰 갭입도 혼합물이 투수성이 크게 나타났고 밀입도 혼합물은 적게 나타났다. 이와 같이 투수성이 큰 포장은 우수 등이 쉽게 포장 밑으로 내려가 생태보존에는 유리하나 포장층 하단에 Filer 층을 두껍게 설치하지 않으면 동절기 동상을 입

을 염려가 있다. 따라서 소성변형 저항성 및 안정도가 좋은 갱입도에 혼합물에 의한 투수성을 확인은 하였으나 실용화를 위해서는 향후 보다 많은 연구가 있어야 할 것으로 보인다.

미끄럼 저항성은 Fig. 5-22와 같다. 결과를 보면 갱입도 혼합물이 밀입도 혼합물보다 크게 나타났으나 그 차이가 현저하지 않았다. 이는 밀입도 혼합물이라도 골재표면의 마모가 없는 상태로 포장이 잘 되어서 마찰력이 양호한 상태임을 보이는 것이라 사료된다.

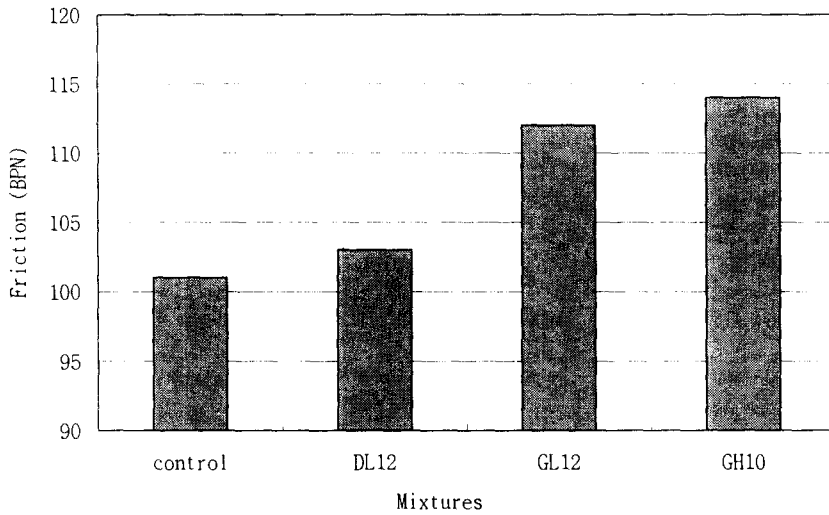


Fig. 5-22. 미끄럼 저항성

제 6 장 결론

본 연구는 폐비닐을 재활용하여 환경보전과 자원재활용 및 아스팔트 혼합물의 품질향상을 얻기 위한 연구로서 실험실시험을 통하여 폐비닐의 첨가함량별 배합설계를 수행하고 최적아스팔트 함량으로 시험포장을 수행하였으며 혼합물의 특성 분석과 경제성 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 경제성 분석결과 제조원가가 폐비닐 아스콘의 경우 일반 아스콘 제품보다 연가(1년단위)로 톤당 2,286원이나 싸게 생산할 수 있고, 아스콘이 슈퍼팔트보다 2,126원, 개질 아스콘보다는 1,323원의 원가를 절감할 수 있어 경제적 타당성이 있는 것으로 분석되었다. 또한 폐비닐 아스콘을 생산할 경우에 제품의 직접적인 경제효과 이외에도 자원절약 환경보호 등의 간접적인 경제효과 까지도 고려한다면 그 효과는 더욱 커질 수도 있을 것이다.
2. 폐비닐 아스팔트 콘크리트를 마찰안정도 및 간접인장강도 시험을 통하여 분석한 결과 폐비닐이 첨가됨으로써 아스팔트 콘크리트의 강도를 향상시키는 효과가 확실하게 나타났으며, 반복주행시험 및 피로시험에서도 성능이 우수하여 현장 적용시 내구성 및 공용성이 우수함을 확인할 수 있었다.

3. 페비닐 아스팔트 콘크리트는 시험포장을 성공적으로 수행함으로써 현장 적용 가능성이 있음을 알 수 있었으며 1년 4계절의 공용기간을 거치면서 시험포장의 성능 평가를 통하여 전혀 문제점이 없어 도로포장 재료로서의 성능이 우수한 것으로 판정되었다.
4. 본 연구는 페비닐을 깨끗이 세척하지 않고 1차 처리한 페비닐(Fig. 3-4: 비닐에 흙미분이 붙어있는 상태)을 바로 사용할 수 있어 전처리에 따른 비용이 적고, 아스콘 포장 기술자에게는 적용기술이 비교적 쉬우며, 사용에 따른 아스콘 품질 향상효과가 커서 매우 실용성이 높은 기술이라 판단된다.
5. 상기의 결과로부터 페비닐을 아스팔트 포장재료로 재활용하는 것은 충분히 가능하고 실용성이 있으며, 아스팔트 콘크리트의 성능을 향상시킬 뿐만 아니라 경제적으로 생산비용이 저렴하며 환경보전에 큰 기여를 할 것으로 사료된다.
6. 특히 농촌도로와 같이 유지관리 주체가 없는 도로는 적은 손상이 발생시 이를 처리하지 않고 방치해두어 이내 전체도로상태가 악화된다. 이는 우리가 과거의 새마을도로(저품위 시멘트 콘크리트 포장)에서 절실히 경험했다. 따라서 사용하는 재료의 내구성이 커야 상대적으로 장기간 공용성을 유지할 수 있으므로 본 연구에서 개발한 페비닐 재활용 아스콘과 같이 저렴하고 내구성이 우수한 재료가 사용되어야 할 것이다.

참고문헌

1. AL Dhalaan, M. (1992), "Field Trials with Polymer Modified Asphalts in Saudi Arabia," ASTM STP1108, Ed. by Wardlaw and Shuler, Philadelphia, PA 19103.
2. Bouldin, M. G. and Collins, J. H. (1992), "Influence of Binder Theology on Rut Resistance of Polymer Modified and Unmodified Hot Mix Asphalt," ASTM STP1108, Ed. by Wardlaw and Shuler, Philadelphia, PA 19103.
3. Branthaver, J. F., Roberston, R. E. and Duvall, J. J. (1996), "Relationship b/w Molecular Weights and Rheological properties of Asphalts," Paper No. 960540, 75th TRB Annual Meeting, TRB, NRC, Washington, D.C.
4. Carnery III, J. F., Faramawi, M. I. and Chatterjee, S. (1996), "Development of Reusable High-Molecular-Weight/High-Density Polyethylene Crash Cushions," Paper No. 961085, 75th TRB Annual Meeting, TRB, NRC, Washington, D.C.
5. Denning, J. H. and Carswell, J. (1983), "Assessment of Novaphalt as a Binder for Rolled Asphalt Wearing Course," Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne (England) TRRL Lab. Report 1101.
6. Fleckenstein, L. J., Mahboub, K. and Allen, D. L. (1992), "Performance of

- Polymer Modified Asphalt Mixes in Kentucky," ASTM STP1108, Ed. by Wardlaw and Shuler, Philadelphia, PA 19103.
7. Hesp, S. A. and Woodhams, R. T. (1992), "Stabilization Mechanisms in Polyolefin-Asphalt Emulsions," ASTM STP1108, Ed. by Wardlaw and Shuler, Philadelphia, PA 19103.
 8. Joseph, P., Dickson, J. H. and Kennepohl, G. (1992), "Evaluation of Polymer-Modified Asphalts in Ontario," Proceedings, Canadian Technical Asphalt Association.
 9. 김광우, 연구석, 최중대, "노화에 의한 아스팔트 시멘트의 형질변화의 HP-GPC 분석," 대한토목학회 논문집 제 12권 4호, 1992. 12.
 10. Kim, K. W., and Burati, J. L., "Use of GPC Chromatogram to Characterize Aged Asphalt Cement," Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, Vol. 5. No1., 1993, 2., pp. 41-52
 11. Kim, K. W., Burati, J. L. and Amirghanian, S. N., "Relation of HP-GPC Profile with Mechanical Properties of AC Mixtures," Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, Vol. 5. No.4., 1993. 11., pp. 447-459.
 12. Kim, K. W., Burati, J. L. and Park, J. S., "Methodology for Defining LMS

Portion in Asphalt Chromatogram," Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, Vol. 7. No.1., 1995. 2., pp. 31-40.

13. Kim, K. W., Burati, J. L. and Park, J. S., "Methodology for Defining LMS Portion in Asphalt Chromatogram," Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, Vol. 7. No.1., 1995. 2.
14. 김광우, 도영수, 조희원, 이상범, 이지용, "개질 아스팔트 콘크리트의 변형 특성 연구," 강원대학교 석재복합신소재 연구센터 연구보고서, 1998.
15. 김광우, 유능환, 김주인, 박용철, 최상용, 최영규, "농촌도로 포장재료로 폐콘크리트의 재활용에 관한 연구," 한국농공학회 학술발표회 논문집, 전남대학교, 1995. 10, pp. 137-142
16. 김광우, 최영규, 박용철, "페타이어 고무아스팔트 콘크리트의 배합설계," 대한토목학회 학술발표회 논문집, 중앙대학교, 1995. 10, pp. 503-506
17. 김광우, 최영규, 조희원, "국내 폴리머를 이용한 아스팔트 혼합물의 특성," 대한 토목학회 논문집, Vol. 17. No. III-2, 1997.
18. 김광우, 박용철, 최영규, "폴리머코팅을 이용한 아스팔트 콘크리트의 반사균열 저항특성," 대한토목학회 학술발표회 논문집, 중앙대학교, 1995. 10, pp. 507-510

19. 김광우, 조희원, 이상범, 이지용, 안경애, “폴리머 (LDPE, SBS) 개질 아스팔트 혼합물의 특성 연구,” ‘97 국제 심포지엄 - 아스팔트 포장공학의 첨단기술 - 논문집, 강원대학교 석재복합신소재제품 연구센터, 1997.
20. 김광우, 안경애, 조희원, 이상범, “폴리머 개질 아스팔트 콘크리트의 인장강도 특성,” 대한토목학회 논문집, Vol. 18. No. III-1, 1998.
21. 김광우, 안경애, 정일권, 도영수, “개질 아스팔트의 노화 특성 분석,” 석재연 논문집, Vol. 4, 1999.
22. 김광우, 연구석, El Hussein, “저온 하에서 아스팔트 콘크리트의 역학적 특성,” 대한토목학회 논문집, 제 15권 5호, 1995. 11, pp. 1557-1564
23. 김광우, 조희원, 도영수, “폴리머 개질 아스팔트 콘크리트의 소성변형 및 피로 저항특성,” 대한토목학회 학술발표회 논문집, 1998.
24. 김광우, 이상범, 오성균, 고동혁, 정승호, “농업용 폐비닐로 개질한 아스팔트 콘크리트의 배합설계,” 한국농공학회 학술발표회 발표논문집, 1999.
25. 김광우, 이상범, 도영수, 김성운, “폐비닐 아스팔트 콘크리트의 특성,” 한국농공학회 학술발표회 발표논문집, 2000.

26. Kim, K. W. and El Hussein, M., "Effect of Differential Thermal Contraction on Fracture Toughness of Asphalt Materials at Low Temperatures," Journal of AAPT, Vol. 66, 1995, pp. 474-499
27. Kim, K. W. & Burati, J. L., "Probabilistic Approach for Evaluating Critical Tensile Strength of Bituminous Surface Course," Transportation Research Record 1171, TRB, Washington, DC, 1988
28. Kim, K. W, Burati, J. L. and Amirkhanian, S. N., "Required Number of Specimens for Moisture Susceptibility Testing," Transportation Research Record 1228, TRB, Washington, DC, 1989.
29. 金光宇, 延圭錫, 朴濟善, "Correlation between Property of Bituminous Concrete and Chromatogram of Asphalt Cement Used," 韓國콘크리트學會 학술발표대회논문집, 延世大學校, 1990. 11.
30. 金光宇, "Correlation Between Mixture Distress and Strength of Bituminous Concretes," 韓國農工學會 論文集 제 32 권 English Edition, 1990.12
31. Kim, K. W, and Amirkhanian, S. N., "Evaluation of Effectiveness of Antistrip Additives Using Fuzzy Set Procedure," Transportation Research Record 1323, TRB, Washington, DC, 1991.

32. El Hussein, M. & Kim, K. W. "Assessment of Localized Damage Associated with Exposure to Extreme Low Temperatures," paper Presented at '96 TRB Meeting in Washington, D.C., 1996. 1.
33. Kim, K. W., Park, Y. C. and Yeon, K. S., "Tensile Reinforcement of Asphalt Concrete Using Polymer Coating," In-press, Construction and Building Materials, Vol. 10, No. 1, 1996. 12.
34. 김영식 등, (1997), "농업용 멀칭 페비닐 건식 처리 공정 개발에 관한 연구," 한국자원재생공사 연구보고서
35. Lee, N. K. and Hesp, S. A. (1994), "Low Temperature Fracture Toughness of Polyethylene-Modified Asphalt Binders," Paper No. 940185, 73rd Annual Meeting, Transportation Research Board, Washington, D. C.
36. Mayama, M., Yoshino, M. and Hasegawa, K. (1992), "An Evaluation of Heavy Duty Binders in the Laboratory," ASTM STP1108, Ed. by Wardlaw and Shuler, Philadelphia, PA 19103.
37. Newcomb, D. E., Stroup-Gardiner, M. and Epps, J. A. (1992), "Laboratory and Field Studies of Polyolefin and Latex Modifiers for Asphalt Mixtures," ASTM STP1108, Ed. by Wardlaw and Shuler, Philadelphia, PA 19103.

38. Raab, C., Hugener, M. and Parte, M. N. (1996), "Pavement Damage by Thermal Degradation of Polymer-Modified J Binders," Paper No. 960067, 75th TRB Annual Meeting, TRB, NRC, Washington, D.C.
39. Rogge, D. F., Terrell, R. L. and George, A. J. (1992), "Polymer Modified Hot Mix Asphalt - Oregon Experience," ASTM STP1108, Ed. by Wardlaw and Shuler, Philadelphia, PA 19103.
40. Serfass, J. P., Joly, A. and Samanos, J. (1992), "SBS-Modified Asphalt for Surface Dressing - A Comparison between Hot-Applied and Emulsified Binders," ASTM STP1108, Ed. by Wardlaw and Shuler, Philadelphia, PA 19103.
41. Shuler, T. S., Hanson, D. L. and McKeen, R. G. (1992), "Design and Construction of Asphalt Concrete Using Polymer Modified Asphalt Binders," ASTM STP1108, Ed. by Wardlaw and Shuler, Philadelphia, PA 19103.
42. Srivastava, A., Hopman, P. C. and Molenaar, A. A. A. (1992), "SBS Polymer Modified Asphalt Binder and Its Implications on Overlay Design," ASTM STP1108, Ed. by Wardlaw and Shuler, Philadelphia, PA 19103.
43. 유진홍 등, (1994), "농업용 멀칭 페비닐 재생공장 기계설비 정밀진단," 한국자원재생공사 연구보고서

여 백

부록-A

페비닐 아스콘 시험포장 과정

여 백

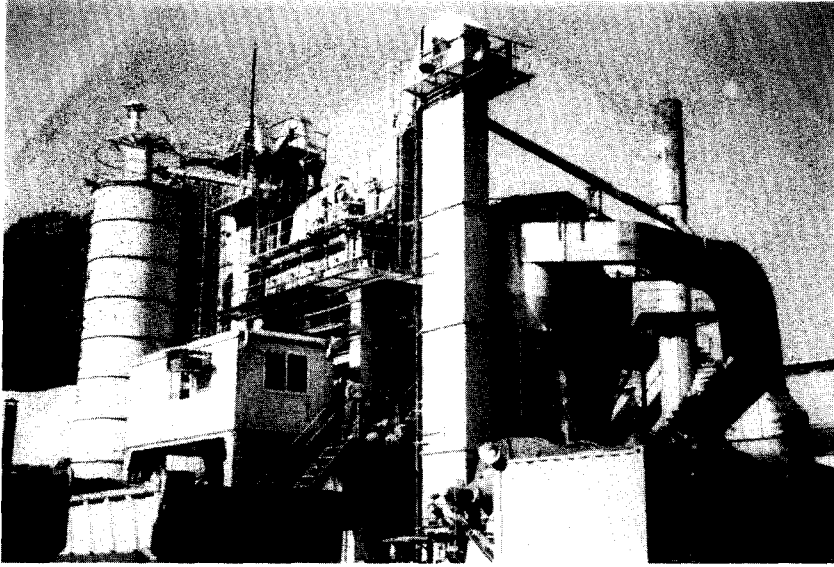


Fig. A-1. 아스콘 플랜트 전경



Fig. A-2. 페비닐(LDPE) 투입

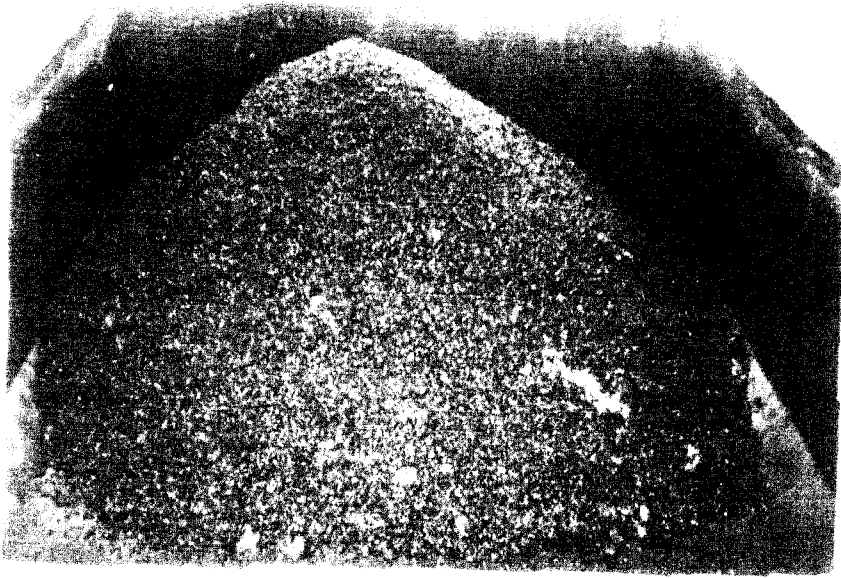


Fig. A-3. 폐비닐 덩어리 채로 출하된 모습

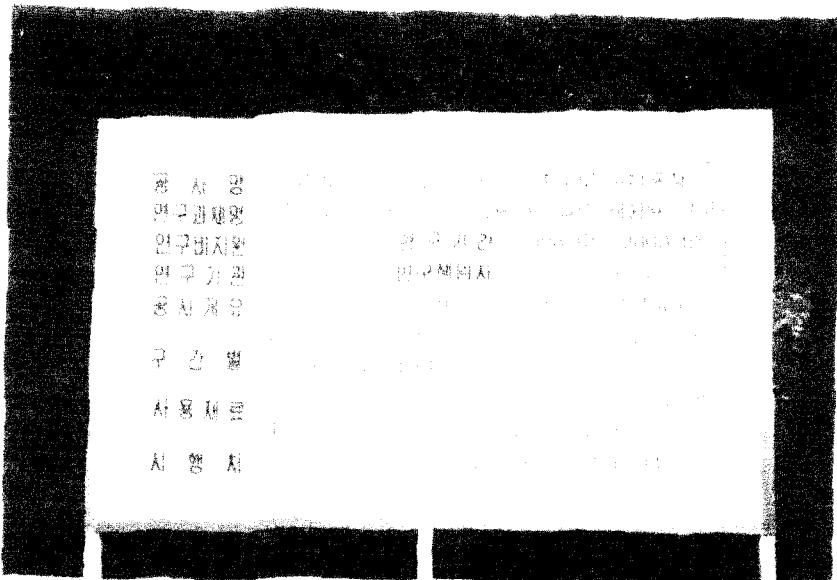


Fig. A-4. 시험포장 현장 뜻말



Fig. A-5. 시험포장 전 도로 전경



Fig. A-6. 시험포장 보조기층 시공 1



Fig. A-7. 시험포장 보조기층 시공 2



Fig. A-8. 프레임 코팅 장면

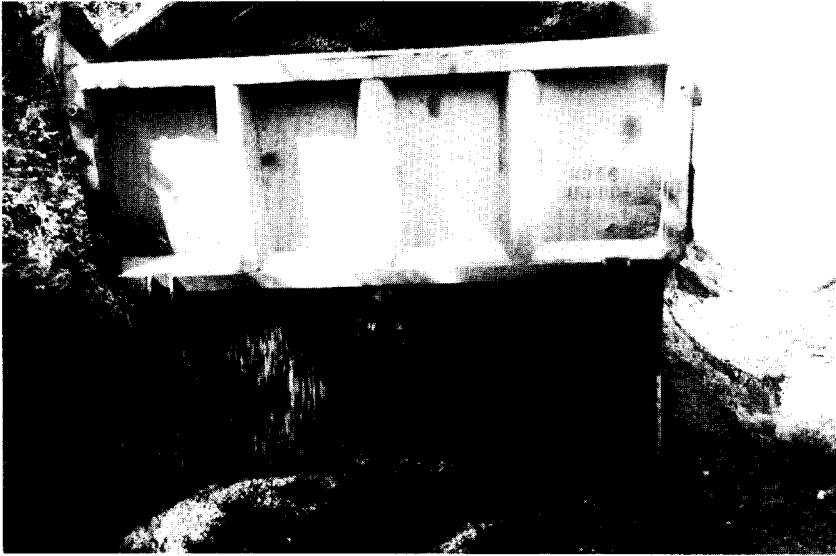


Fig. A-9. 폐비닐 아스콘 하차

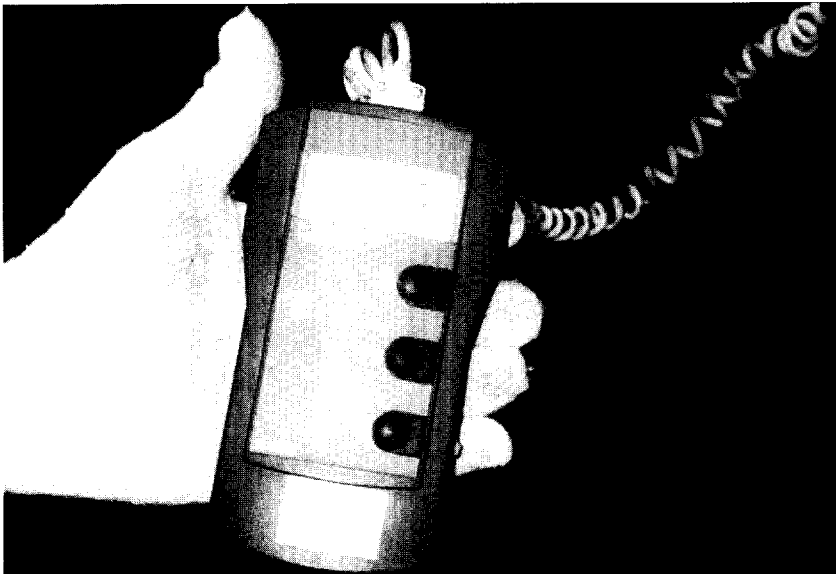


Fig. A-10. 폐비닐 아스콘이 현장 도착시 온도

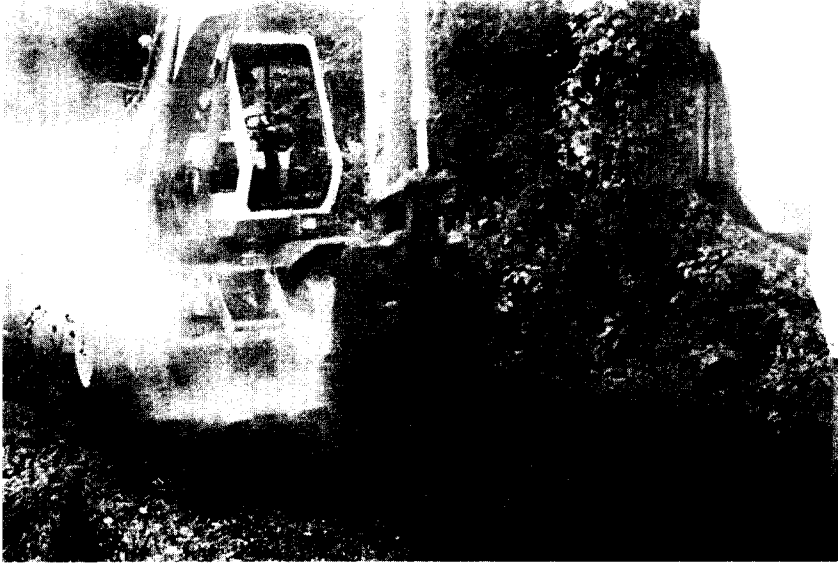


Fig. A-11. 페비닐 아스콘을 펼침



Fig. A-12. 페비닐 아스콘 다짐

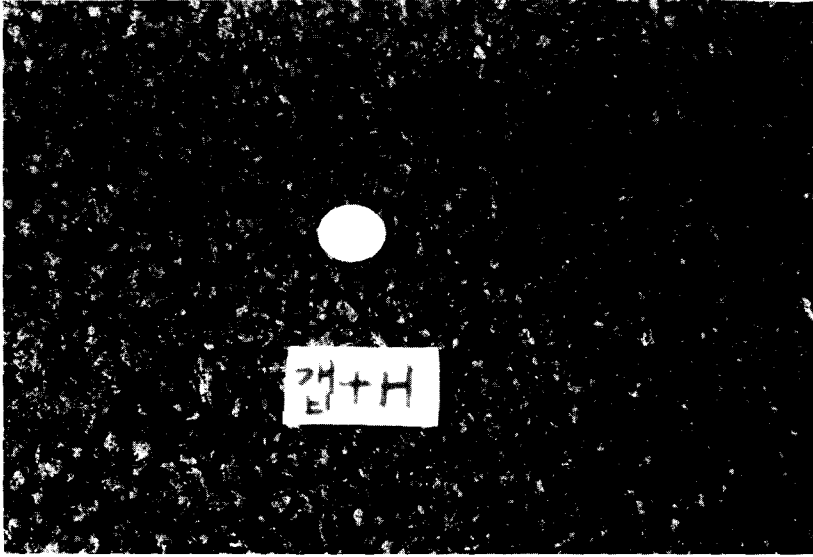


Fig. A-13. 포설 후의 표면상태



Fig. A-14. 시험 포장한 후의 도로

여 백

부록-B

페비닐 아스콘 혼합물 시방서(안)

여 백

페비닐 아스콘 혼합물 시방서(안)

1. 총 칙

1. 적용범위

이 시방서는 정치식 플랜트를 이용하여 페비닐 아스콘 혼합물을 표층용 아스팔트 포장재료로써 사용하는 혼합물의 배합설계, 제조 시공 등에 관한 기술적인 제반 사항에 대하여 적용한다.

[해설]

본 시방서는 국내에서 현재 사용하고 있는 일반 표층용 골재 최대 치수 19mm와 13mm 아스팔트 혼합물과 기층용 골재 최대치수 40mm (BB-1), 25mm (BB-2), 19mm (BB-3, BB-4) 혼합물에 적용된다.

이 시방서에 별도로 규정하지 않은 사항은 건설교통부 제정 (1996) 도로공사 표준시방서 또는 한국도로공사 제정 (1998) 고속도로공사 전문시방서(토목편)을 참고하여 공사의 중요도와 규모에 알맞도록 적용한다.

2. 적용과 설계

2.1 적용범위

페비닐아스콘 혼합물을 사용한 포장의 구조설계 및 품질은 건설교통부 제정 (1996) 「도로포장설계·시공시침」에 적합한 것을 원칙으로 한다.

[해설]

이 지방서에서는 페비닐 아스콘 혼합물을 일반 도로포장에 적용할 수 있는 것으로 한다.

2.2 품질규정

페비닐 아스콘 혼합물의 품질은 아래에 특별히 기술한 사항 외에 원칙적으로 건설교통부 제정 (1996) 「도로포장설계·시공시침」의 기준을 만족하는 것으로 한다.

[해설]

혼합물의 품질은 KS F 2377 마샬시험기를 사용한 역청 혼합물의 소성흐름에 대한 저항성 시험방법으로 결정한다.

항목	기층용	표층용
다짐횟수 (회)	50	50
안정도 (kg)	350	500
흐름치 (0.1mm)	10-40	20-40
공극율 (%)	3-10	3-6
포화도 (%)	-	70-85

3. 재료

3.1 적용범위

페비닐 아스콘 혼합물에 사용되는 재료는 골재, 아스팔트는 건설교통부 제정 (1996) 지방서나 지침에 규정되어 있는 것을 사용한다.

[해설]

아스팔트는 침입도 등급 60-70, 85-100인 아스팔트를 모두 사용할 수 있으나 침입도 등급이 60-70인 아스팔트를 권장한다. 아스팔트는 KSM 2201 규격에 적합한 것을 사용하는 것을 원칙으로 한다.

4. 배합설계

4.1 적용범위

페비닐 아스콘 혼합물의 배합설계는 건설교통부 제정 (1996) 「도로포장설계·시공지침」 지방서나 지침에 규정되어 있는 것을 사용한다.

5. 페비닐 아스콘 혼합물의 제조

5.1 플랜트

페비닐 아스콘 혼합물의 플랜트는 일반 아스팔트 혼합물을 제조하는 능력 외에 별도로 믹서에 재료 투입구가 있는 것 이어야 한다.

5.2 혼합물의 제조 및 저장

페비닐 아스콘 혼합물의 제조 및 저장은 건설교통부가 제정한 규정에 따라 실시하며, 품질관리는 본 지방서 규정에 의하여 실시한다.

[해설]

페비닐 아스콘 혼합물을 제조하는 플랜트는 일반 밀입도 아스팔트 혼합물 제조 플랜트와 마찬가지로 혼합장치와 보조장치로 이루어져 있어야 한다.

페비닐 아스콘 혼합물을 바로 현장으로 운반하여 포설하지 않는다면 적절한 저장고가 준비되어야 한다. 이러한 저장고로는 현장소요와 플랜트 생산의 균형을 유지시킬 수 있는 저류고나, 가열이나 보온이 가능한 저장 사일로가 있다. 저장시간은 실내시험을 근거로 판단하여야 하며 어떤 경우에도 혼합물을 하루 이상 저장해서는 안된다.

6. 혼합물의 포설과 다짐

페비닐 아스콘 혼합물의 포설과 다짐순서는 원칙으로 건설교통부 제정(1996) 「도로포장설계·시공지침」의 기준을 만족하는 것으로 한다. 아스콘의 포설 다짐 온도는 일반 밀입도 아스콘보다 15℃ 이상 높아야 한다.

7. 품질관리

7.1 사전조사

페비닐 아스콘 혼합물의 제조에 있어서는 사전에 재료와 제조설비 등을 조사한다.

[해설]

사전에 해야 할 조사사항은 다음과 같다.

- 1) 사용하는 재료의 품질
- 2) 플랜트의 제조설비 및 제조능력

7.2 재료의 품질시험

페비닐 아스콘 혼합물의 제조에 사용하는 골재 및 아스팔트는 건설교통부의 「도로포장설계·시공지침」에 있는 규격에 적합한 것을 사용한다.

[해설]

굵은골재는 파쇄석을 사용하며 파쇄면이 2개 이상인 것으로 다음 표에 적합한 것을 원칙으로 한다.

항 목	시험방법	기 준
비중(표면건조)	KS F 2503	>2.5
흡수량(%)	KS F 2503	<2.0
마모감량(%)	KS F 2508	<3.0
안정성시험(%)	KS F 2507	Na ₂ SO ₄ 인 경우 <12
아스팔트 피막박리시험에 의한 피복면적(%)	KS F 2355	>95
장편석 및 편평석 함유량(%)	※	<20

※ No.4 체에 남는 골재를 대상으로 장편석은 폭에 비해 길이가 3배 이상이며, 편평석은 두께에 대한 폭의 비가 3배 이상인 것.

7.3 배합시험

페비닐 아스콘 혼합물에 대해서는 배합시험을 실시한다.

[해설]

페비닐 아스콘 혼합물의 배합시험은 재료의 배합률과 아스팔트 양을 설정하기 위하여 마찰특성시험을 실시한다.

7.4 시험혼합

페비닐 아스콘 혼합물에 대해서는 배합설계 결과를 근거로 시험혼합을 실시하여 표준 현장배합을 설정한다.

[해설]

시험혼합에서 실시하는 페비닐 아스콘 혼합물의 품질시험은 다음 표와 같다.

시 험 항 목	목 적	비 고
골재입도	혼합물의 입도 확인	
아스팔트 함량	혼합물내의 아스팔트 함량 확인	
마샬특성	마샬특성치의 확인	

7.5 페비닐아스콘 아스팔트 혼합물의 정기시험

정치식 페비닐 아스콘 혼합물 플랜트에서 표준배합품에 대해서는 표 의 항목에 대하여 년 2회의 빈도로 혼합물의 품질을 확인하는 정기시험을 실시하는 것을 원칙으로 한다.

[해설]

정기시험항목은 다음 표와 같다.

항 목	비 고
아스팔트의 품질시험	“도로포장설계·시공지침” 참조
골재의 품질시험	“도로포장설계·시공지침” 및 표 1 참조
시험혼합	표 2 참조
혼합물의 품질시험	“도로포장설계·시공지침” 및 2.2 품질규정 참조

여 백

부록-C

페비닐 아스콘 시험성적서

여 백

마살안정도 실험

실험자 : 이상범

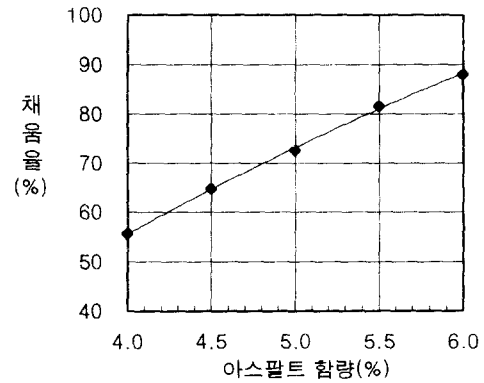
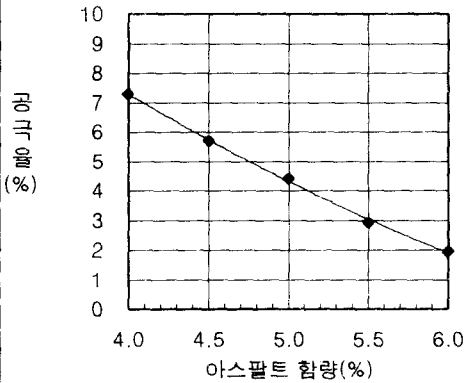
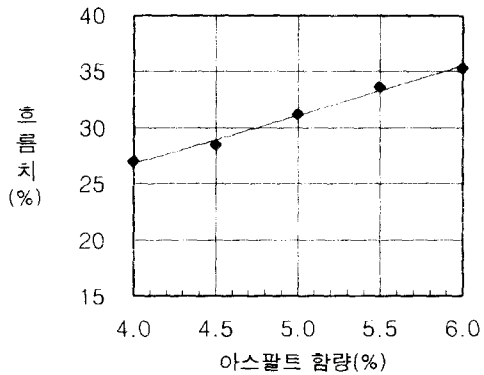
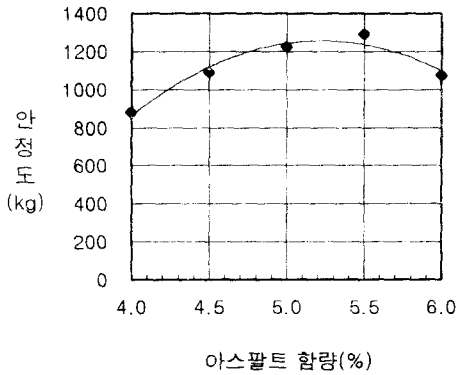
가열혼합 밀입도 (AP-3, 19mm, 50회 마살다짐)

날 짜	종류	AC 합량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도(kg)		흐름값 (0.01cm)		
					공기중	수중	SSD		실측	이론					실측치	보정치			
1 9 9 9 년 1 월 1 4 일	마 살 배 합 설 계		4.0	1	64.2	1193.0	683.0	1195.0	512.0	2.330	2.526	9.12	7.76	16.88	54.04	886	842	27	
				2	63.7	1194.5	686.0	1195.5	509.5	2.344	2.526	9.18	7.19	16.36	56.08	944	906	28	
				3	63.2	1194.0	686.5	1194.5	508.0	2.350	2.526	9.20	6.95	16.15	56.96	887	887	26	
			평균	63.7						2.342	2.526	9.16	7.30	16.46	56.67		875		27
			4.5	4	63.0	1198.5	692.5	1199.5	507.0	2.364	2.507	10.41	5.71	16.12	64.58	1037	1047	29	
				5	63.1	1197.0	693.0	1198.5	505.5	2.368	2.507	10.43	5.55	15.97	65.28	1005	1015	28	
				6	63.3	1197.0	691.5	1198.5	507.0	2.361	2.507	10.40	5.83	16.22	64.09	1204	1204	28	
			평균	63.1						2.364	2.507	10.41	5.69	16.10	64.65		1039		28
			5.0	7	62.6	1198.0	697.0	1199.5	502.5	2.384	2.489	11.66	4.22	15.88	73.45	1229	1254	32	
				8	62.7	1197.0	695.5	1198.5	503.0	2.380	2.489	11.64	4.39	16.03	72.62	1236	1261	30	
				9	62.6	1195.5	693.0	1196.5	503.5	2.374	2.489	11.62	4.61	16.22	71.61	1130	1153	31	
			평균	62.6						2.379	2.489	11.64	4.40	16.04	72.55		1222		31
			5.5	10	62.1	1197.5	699.5	1199.0	499.5	2.397	2.470	12.90	2.94	15.84	81.44	1257	1282	32	
				11	62.0	1197.5	699.0	1198.5	499.5	2.397	2.470	12.90	2.94	15.84	81.44	1273	1298	36	
				12	61.7	1194.5	697.5	1195.5	498.0	2.399	2.470	12.91	2.89	15.80	81.70	1228	1289	33	
평균	61.9						2.399	2.470	12.90	2.92	15.83	81.53		1280		34			
6.0	13	62.4	1194.5	698.0	1195.5	497.5	2.401	2.452	14.10	2.08	16.18	87.14	1017	1037	34				
	14	62.4	1191.5	697.0	1192.0	495.0	2.407	2.452	14.13	1.83	15.96	88.52	988	1008	35				
	15	61.7	1191.0	697.0	1192.0	495.0	2.406	2.452	14.13	1.87	16.00	88.29	1114	1170	38				
평균	62.2						2.406	2.452	14.12	1.90	16.05	87.98		1072		35			

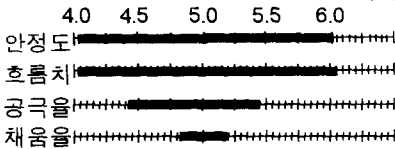
마살 안정도시험

시 험 번 호 _____
 조 사 명 · 목 적 _____
 혼 합 물 의 종 류 밀입도 19mm

시 험 년 월 일 1999년 1월 14일
 혼 합 물 의 사 용 장 소 _____
 시 험 자 이상범



최적아스팔트함량 결정



공 통 범 위 4.8 ~ 5.5

최 적 아 스 팔 트 함 량 5.2 %

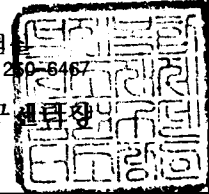
상기의 결과는 제시된 시료에 대한 시험 결과임을 확인합니다.

1999년 1월 14일

석재 - 역청 복합 소재 실험실

Tel : 0(361) 250-7283, Fax : 0(361) 250-8467

강원대학교 부설 석재복합 신소재 제품 연구실



마살안정도 실험

실험자 : 이상범

가열혼합 밀입도 (AP-3, 19mm, 50회 마살다짐)

날 짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도(kg)		흐름값 (0.01cm)		
					공기중	수중	SSD		실측	이론					실측치	보정치			
1 9 9 9 년 1 월 3 0 일	마 살 안 정 도	5.2	1	62.8	1194.5	692.0	1195.5	503.5	2.372	2.482	12.07	4.42	16.49	73.21	1321	1334	30		
			2	62.6	1191.0	689.0	1192.5	503.5	2.365	2.482	12.04	4.70	16.73	71.93	984	1004	28		
			3	62.8	1190.0	688.0	1191.0	503.0	2.366	2.482	12.04	4.68	16.72	72.00	1204	1216	27		
			평균	62.7					2.368	2.482	12.06	4.60	16.66	72.38		1185		29	

간접인장강도 시험

실험자 : 이상범

가열혼합 밀입도 (AP-3, 19mm, 50회 마살다짐)

날짜	종류	AC 합량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	해흡율 (%)	Def. (mm)	Sti. (kg/cm)	ITS (kg/cm ²)	
					공기중	수중	SSD		실측	이론								
1999년 1월 30일	간접인장강도	5.2	1	62.6	1195.0	694.0	1196.5	502.5	2.378	2.482	12.10	4.19	16.29	74.30	2.25	0.37	8.4	
			2	62.6	1194.0	693.0	1195.5	502.5	2.376	2.482	12.09	4.27	16.36	73.92	2.17	0.37	8.2	
			3	62.2	1192.0	692.0	1193.5	501.5	2.377	2.482	12.09	4.24	16.33	74.06	2.42	0.34	8.3	

마살안정도 실험

실험자 : 이상범

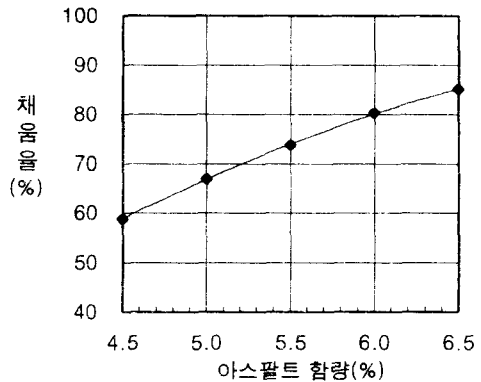
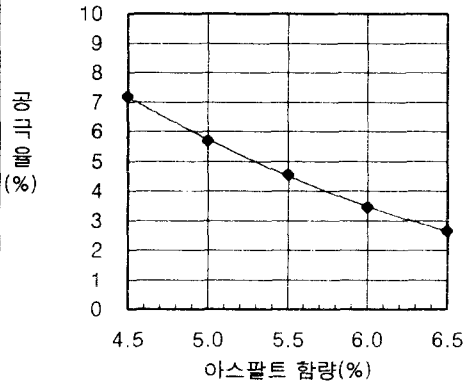
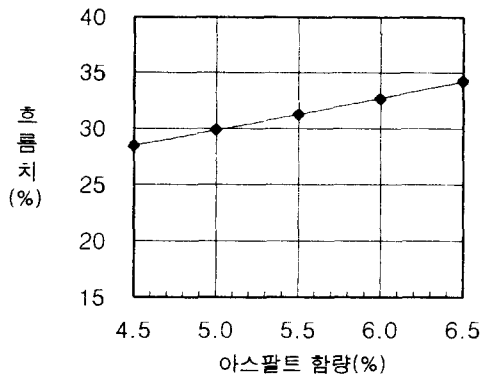
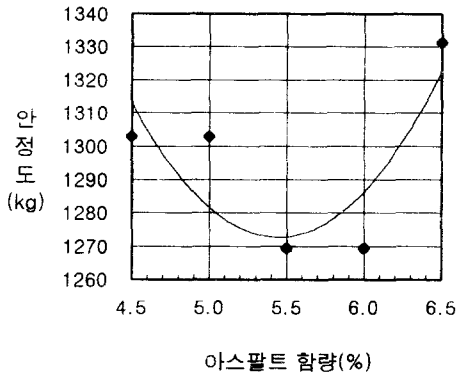
가열혼합 밀입도 (페비닐 AC10%, AP-3, 19mm, 50회 마살다짐)

날 짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도(kg)		흐름값 (0.01cm)		
					공기중	수중	SSD		실측	이론					실측치	보정치			
1 9 9 9 년 1 월 2 0 일	마 살 배 합 설 계		4.5	1	63.9	1192.5	682.5	1193.5	511.0	2.334	2.509	10.28	6.99	17.26	59.52	1513	1452	28	
				2	63.8	1194.0	682.5	1195.0	512.5	2.330	2.509	10.26	7.14	17.40	58.95	1350	1296	28	
				3	64.0	1189.5	679.0	1191.0	512.0	2.323	2.509	10.23	7.40	17.63	58.01	1208	1160	29	
				평균	63.9					2.329	2.509	10.26	7.18	17.43	58.82		1333		28
			5.0	4	63.6	1197.0	689.5	1198.0	508.5	2.354	2.490	11.52	5.46	16.98	67.83	1290	1238	29	
				5	63.5	1189.0	682.0	1190.0	508.0	2.341	2.490	11.45	6.00	17.45	65.61	1350	1350	31	
				6	63.7	1192.0	686.5	1193.5	507.0	2.351	2.490	11.50	5.58	17.08	67.34	1375	1320	30	
				평균	63.6					2.349	2.490	11.49	5.68	17.17	66.91		1303		30
			5.5	7	64.4	1196.0	690.0	1199.0	509.0	2.350	2.472	12.65	4.95	17.59	71.88	1395	1311	35	
				8	63.4	1194.5	691.5	1197.0	505.5	2.363	2.472	12.72	4.41	17.13	74.25	1244	1244	29	
				9	63.2	1195.0	692.0	1197.0	505.0	2.366	2.472	12.73	4.27	17.01	74.87	1253	1253	30	
				평균	63.7					2.360	2.472	12.70	4.54	17.24	73.65		1269		31
			6.0	10	62.7	1198.0	695.5	1199.0	503.5	2.379	2.454	13.97	3.04	17.01	82.12	1493	1523	32	
				11	64.0	1197.0	692.0	1200.0	508.0	2.356	2.454	13.83	3.98	17.81	77.65	1183	1136	35	
				12	62.7	1190.0	690.0	1191.5	501.5	2.373	2.454	13.93	3.31	17.24	80.82	1127	1150	31	
	평균	63.1					2.370	2.454	13.91	3.44	17.36	80.16		1269		33			
6.5	13	62.5	1192.0	692.0	1193.5	501.5	2.377	2.436	15.12	2.43	17.54	86.16	1403	1431	36				
	14	62.9	1191.0	689.0	1192.5	503.5	2.365	2.436	15.04	2.90	17.94	83.86	1171	1183	34				
	15	63.0	1193.5	691.5	1194.5	503.0	2.373	2.436	15.09	2.60	17.69	85.32	1366	1380	33				
	평균	62.8					2.372	2.436	15.08	2.64	17.72	85.11		1331		34			

마살 안정도시험

시험 번호 _____
 조사명·목적 _____
 혼합물의 종류 19mm(페비닐 AC10%)

시험년월일 1999년 1월 20일
 혼합물의 사용장소 _____
 시험자 이상범



최적아스팔트함량 결정

4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	
안정도					공통 범위
혼합치					5.2 ~ 6.25
공극율					최적 아스팔트량
채움율					5.7 %

상기의 결과는 제시된 시료에 대한 시험 결과임을 확인합니다.

1999년 1월 20일
 석재 - 역청 복합 소재 실험실
 Tel : 0(361) 250-7283, Fax : 0(361) 250-6467

강원대학교 부설 석재복합 신소재 제품 연구센터장



마살안정도 실험

실험자 : 이상범

가열혼합 밀입도 (건식혼합 페비닐 AC10%, AP-3, 19mm, 50회 마살다짐)

날짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도(kg)		흐름값 (0.01cm)		
					공기중	수중	SSD		실측	이론					실측치	보정치			
1999년 1월 30일	마살안정도	5.7	1	63.1	1189.5	685.5	1190.5	505.0	2.355	2.465	13.14	4.44	17.58	74.72	1365	1379	29		
			2	63.3	1194.5	689.0	1196.0	507.0	2.356	2.465	13.14	4.42	17.56	74.82	1301	1301	30		
			3	63.0	1192.5	688.0	1193.5	505.5	2.359	2.465	13.16	4.30	17.46	75.38	1281	1294	28		
			평균	63.1					2.357	2.465	13.14	4.39	17.53	74.97		1324	29		

간접인장강도 시험

실험자 : 이상범

가열혼합 밀입도 (건식혼합 페비닐 AC10%, AP-3, 19mm, 50회 마살다짐)

날 짜	종류	AC 합량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	Def. (mm)	Sti. (kg/cm)	ITS (kg/cm ²)			
					공기중	수중	SSD		실측	이론										
1 9 9 9 년 1 월 3 0 일	간 접 인 장 강 도		5.7	1	62.8	1194.0	689.0	1195.5	506.5	2.357	2.465	13.15	4.37	17.51	75.07	2.00	0.46	9.2		
				2	63.3	1193.0	686.0	1194.0	508.0	2.348	2.465	13.10	4.73	17.83	73.47	2.17	0.41	8.9		
				3	63.2	1194.5	687.5	1195.5	508.0	2.351	2.465	13.11	4.61	17.72	73.99	2.25	0.38	8.6		

마살안정도 실험

실험자 : 이상범

가열혼합 밀입도 (건식배합 페비닐 AC15%, AP-3, 19mm, 50회 마살다짐)

날짜	종류	AC 합량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도(kg)		흐름값 (0.01cm)
					공기중	수중	SSD		실측	이론					실측치	보정치	
1999년 1월 22일	마 살 배 합 설 계	5.0	1	64.4	1191.0	678.0	1192.5	514.5	2.315	2.495	11.33	7.22	18.54	61.07	1395	1311	29
			2	64.1	1184.0	675.0	1185.0	510.0	2.322	2.495	11.36	6.95	18.31	62.03	1456	1383	31
			3	64.3	1195.0	680.0	1197.0	517.0	2.311	2.495	11.31	7.36	18.67	60.58	1196	1136	32
		평균	64.3						2.316	2.495	11.33	7.18	18.5	61.22		1277	31
		5.5	4	64.3	1189.5	681.5	1191.0	509.5	2.335	2.476	12.56	5.71	18.27	68.76	1350	1283	33
			5	64.0	1189.5	682.0	1190.5	508.5	2.339	2.476	12.59	5.52	18.11	69.50	1464	1405	35
			6	63.5	1187.0	678.5	1188.5	510.0	2.327	2.476	12.53	6.00	18.52	67.61	1420	1420	30
		평균	63.9			1190.0		509.0	2.334	2.476	12.55	5.74	18.30	68.62		1350	33
		6.0	7	63.7	1187.0	682.0	1189.0	507.0	2.341	2.458	13.74	4.75	18.50	74.31	1612	1548	36
			8	63.3	1197.5	690.5	1199.0	508.5	2.355	2.458	13.83	4.19	18.02	76.73	1594	1594	34
			9	63.6	1193.5	686.0	1195.0	509.0	2.345	2.458	13.77	4.61	18.37	74.93	1078	1035	32
		평균	63.5						2.347	2.458	13.78	4.55	18.29	75.31		1350	34
		6.5	10	62.2	1194.5	695.0	1195.5	500.5	2.387	2.440	15.18	2.19	17.37	87.40	1595	1627	36
			11	62.9	1197.0	696.5	1198.0	501.5	2.387	2.440	15.18	2.18	17.36	87.45	1411	1425	40
			12	63.0	1191.5	690.5	1192.5	502.0	2.374	2.440	15.10	2.73	17.82	84.71	1594	1610	33
평균	62.7						2.382	2.440	15.15	2.35	17.52	87.85		1504	36		
7.0	13	62.8	1193.5	693.5	1195.0	501.5	2.380	2.422	16.30	1.74	18.04	90.36	1619	1635	39		
	14	63.0	1193.0	691.5	1194.5	503.0	2.372	2.422	16.24	2.07	18.32	88.68	1403	1417	38		
	15	62.7	1194.0	694.5	1194.5	500.0	2.388	2.422	16.36	1.40	17.76	92.10	1472	1501	39		
평균	62.8						2.380	2.422	16.30	1.74	18.04	90.36		1510	38		

마살 안정도시험

시험 번호 _____

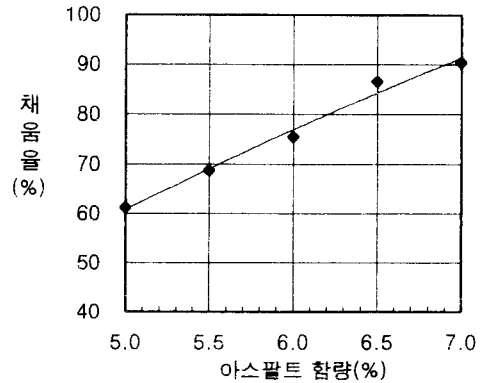
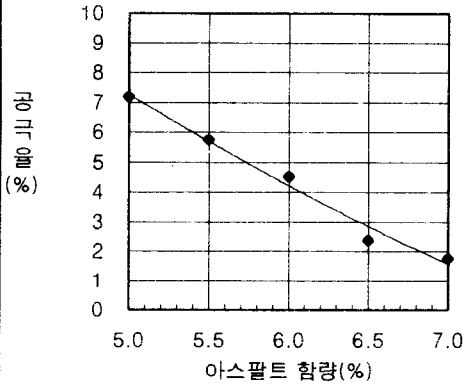
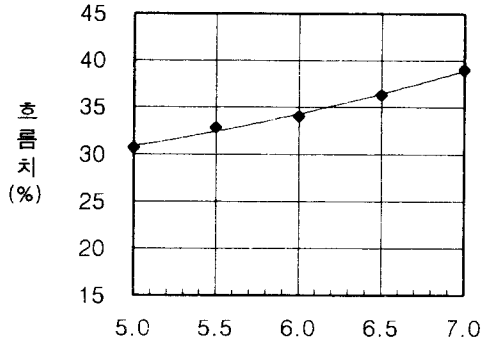
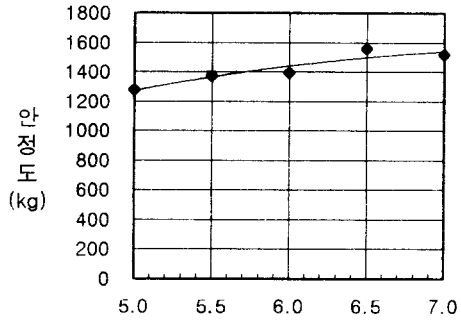
시험 년 월 일 1999년 1월 22일

조사명·목적 _____

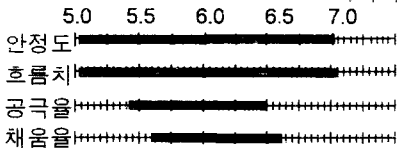
혼합물의 사용장소 _____

혼합물의 종류 페비닐AC15%(19mm)

시험자 이상범



최적아스팔트함량 결정



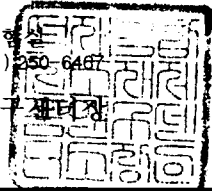
공 통 범 위 5.5 ~ 6.4
 최 적 아 스 팔 트 량 5.9 %

상기의 결과는 제시된 시료에 대한 시험 결과임을 확인합니다.

1999년 1월 22일

석재-역청 복합 소재 실험실
 Tel : 0(361) 250-7283, Fax : 0(361) 250-6467

강원대학교 부설 석재복합 신소재 제품 연구 센터장



마찰안정도 실험

실험자 : 이상범

가열혼합 밀입도 (건식배합 페비닐 AC15%, AP-3, 19mm, 50회 마찰다짐)

날짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도(kg)		흐름값 (0.01cm)		
					공기중	수중	SSD		실측	이론					실측치	보정치			
1999년 1월 30일	마찰안정도	5.9	1	63.6	1192.5	685.5	1194.0	508.5	2.345	2.461	13.54	4.71	18.25	74.20	1672	1605	34		
			2	63.9	1192.0	684.5	1193.5	509.0	2.342	2.461	13.52	4.84	18.36	73.63	1330	1277	28		
			3	64.0	1195.0	687.0	1196.5	509.5	2.345	2.461	13.54	4.70	18.24	74.25	1416	1359	32		
			평균	63.8					2.344	2.461	13.53	4.75	18.28	74.03		1414	31		

간접인장강도 시험

실험자 : 이상범

가열혼합 밀입도 (건식배합 페비닐 AC15%, AP-3, 19mm, 50회 마살다짐)

날짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	Def. (mm)	Sti. (kg/cm)	ITS (kg/cm ²)		
					공기중	수중	SSD		실측	이론									
1 9 9 9 년 1 월 3 0 일	간 접 인 장 강 도	5.9	1	63.5	1192.5	685.0	1194.0	509.0	2.343	2.461	13.53	4.80	18.33	73.80	2.00	0.48	9.6		
			2	64.0	1194.5	687.0	1195.5	508.5	2.349	2.461	13.56	4.55	18.11	74.88	2.08	0.47	9.4		
			3	63.5	1193.5	686.0	1194.5	508.5	2.347	2.461	13.55	4.63	18.18	74.54	2.00	0.50	9.9		
			평균	63.7					2.346	2.461	13.65	4.66	18.20	74.41		0.48	9.6		

마살안정도 실험

실험자 : 이상범

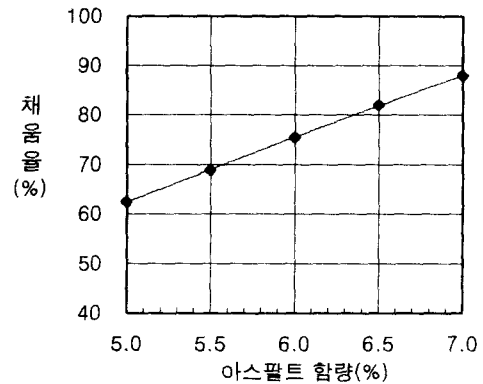
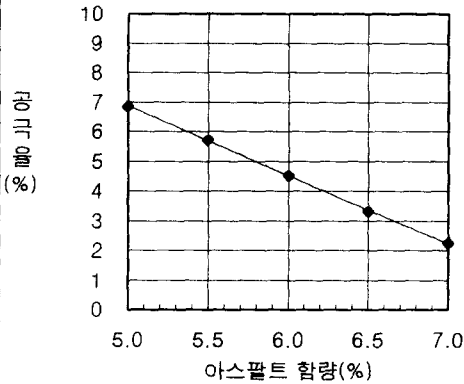
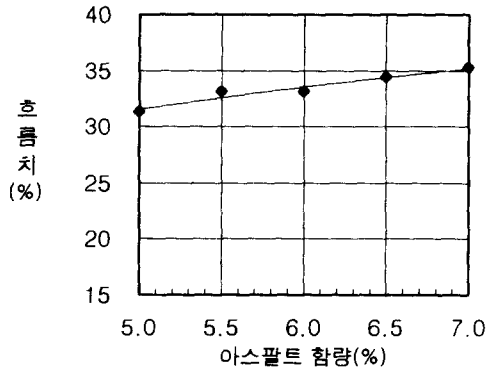
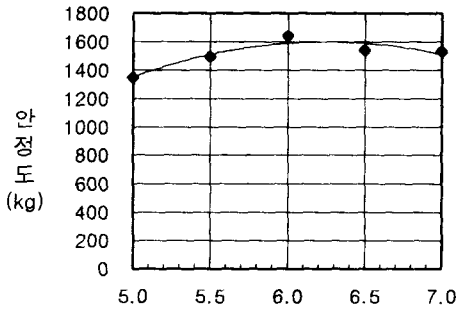
가열혼합 밀입도 (페비닐 AC17.5%, AP-3, 19mm, 50회 마살다짐)

날짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도(kg)		흐름값 (0.01cm)	
					공기중	수중	SSD		실측	이론					실측치	보정치		
1999년 1월 27일	마살배합설계		5.0	1	64.2	1191.5	681.5	1193.0	511.5	2.329	2.495	11.40	6.62	18.01	63.26	1390	1321	32
				2	63.6	1190.5	680.0	1192.0	512.0	2.325	2.495	11.38	6.79	18.16	62.63	1546	1484	38
				3	63.7	1189.5	677.0	1190.5	513.5	2.316	2.495	11.33	7.14	18.47	61.35	1289	1237	24
				평균	63.8	1190.5	679.5	1191.8	512.3	2.322	2.495	11.37	6.85	18.21	62.41	1375	1314	31
			5.5	4	63.5	1195.5	685.0	1196.0	511.0	2.340	2.476	12.59	5.51	18.10	69.55	1456	1456	31
				5	63.9	1193.5	682.0	1195.0	513.0	2.327	2.476	12.52	6.04	18.56	67.46	1477	1418	36
				6	63.3	1192.5	683.0	1193.0	510.0	2.338	2.476	12.58	5.56	18.15	69.34	1606	1606	33
				평균	63.6	1193.8	682.7	1194.7	511.3	2.335	2.476	12.56	5.71	18.27	68.72	1476	1460	33
			6.0	7	63.1	1191.0	685.0	1192.5	507.5	2.347	2.458	13.78	4.52	18.29	75.31	1517	1532	33
				8	63.3	1192.5	686.0	1194.0	508.0	2.347	2.458	13.78	4.49	18.27	75.43	1790	1790	35
				9	63.2	1194.5	687.0	1196.0	509.0	2.347	2.458	13.78	4.52	18.30	75.31	1590	1590	31
				평균	63.2	1192.7	686.0	1194.2	508.2	2.347	2.458	13.78	4.51	18.29	75.35	1639	1639	33
			6.5	10	63.1	1194.0	690.0	1195.5	505.5	2.362	2.440	15.02	3.19	18.21	82.49	1578	1594	36
				11	63.6	1192.5	688.0	1193.0	505.0	2.361	2.440	15.02	3.22	18.23	82.36	1598	1534	34
				12	63.2	1193.5	688.0	1195.0	507.0	2.354	2.440	14.97	3.52	18.49	80.98	1483	1483	33
	평균	63.3	1193.3	688.7	1194.5	505.8	2.359	2.440	15.00	3.31	18.31	81.94	1553	1539	34			
7.0	13	62.2	1192.0	690.5	1192.0	501.5	2.377	2.422	16.28	1.87	18.15	89.70	1444	1473	34			
	14	62.3	1191.0	686.0	1191.5	505.5	2.356	2.422	16.14	2.73	18.86	85.54	1487	1517	35			
	15	62.6	1189.0	688.0	1189.5	501.5	2.371	2.422	16.24	2.12	18.36	88.47	1558	1589	37			
	평균	62.4	1190.7	688.2	1191.2	502.7	2.375	2.422	16.22	2.24	18.46	87.90	1496	1526	35			

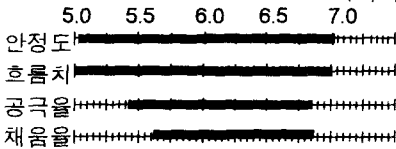
마살 안정도시험

시험 번호 _____
 조사명·목적 _____
 혼합물의 종류 9mm(페비닐 AC17.5%)

시험년월일 1999년 1월 27일
 혼합물의 사용장소 _____
 시험자 이상범



최적아스팔트함량 결정



공통 범위 5.6 ~ 6.6

최적 아스팔트량 6.0 %

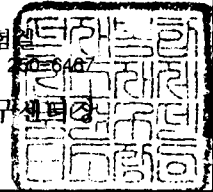
상기의 결과는 제시된 시료에 대한 시험 결과임을 확인합니다.

1999년 1월 27일

석재 - 역청 복합 소재 실험실
 Tel : 0(361) 250-7283, Fax : 0(361) 250-3467

강원대학교 부설 석재복합 신소재 제품 연구실

귀하



마살안정도 실험

실험자 : 이상범

가열혼합 밀입도 (건식혼합 페비닐 AC17.5%, AP-3, 19mm, 50회 마살다짐)

날 짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도(kg)		흐름값 (0.01cm)		
					공기중	수중	SSD		실측	이론					실측치	보정치			
1 9 9 9 년 1 월 3 0 일	마 살 안 정 도	6.0	1	63.9	1192.0	686.0	1193.0	507.0	2.351	2.458	13.80	4.35	18.15	76.04	1481	1422	34		
			2	63.9	1192.0	685.0	1193.0	508.0	2.346	2.458	13.78	4.54	18.31	75.22	1668	1601	36		
			3	64.1	1195.5	687.0	1197.0	510.0	2.344	2.458	13.76	4.63	18.40	74.81	1428	1357	38		
			평균	64.0					2.347	2.458	13.78	4.51	18.29	75.35		1460		36	

간접인장강도 시험

실험자 : 이상범

가열혼합 밀입도 (건식혼합 페비닐 AC17.5%, AP-3, 19mm, 50회 마살다짐)

날짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	Def. (mm)	Sti. (kg/cm)	ITS (kg/cm ²)	
					공기중	수중	SSD		실측	이론								
1 9 9 9 년 1 월 3 0 일	간 접 인 장 강 도	6.0	1	64.3	1192.5	686.0	1194.0	508.0	2.347	2.458	13.78	4.50	18.28	75.39	2.00	0.55	10.5	
			2	63.7	1192.0	684.5	1193.5	509.0	2.342	2.458	13.75	4.73	18.47	74.42	2.08	0.51	10.1	
			3	63.8	1193.5	685.0	1195.0	510.0	2.340	2.458	13.74	4.79	18.53	74.14	2.17	0.49	10.1	

마살안정도 실험

실험자 : 이상범

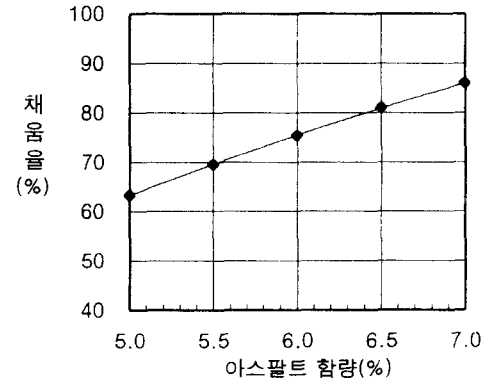
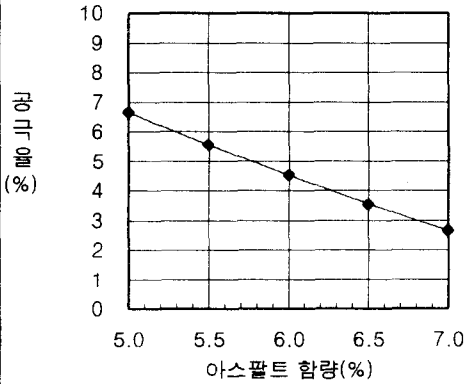
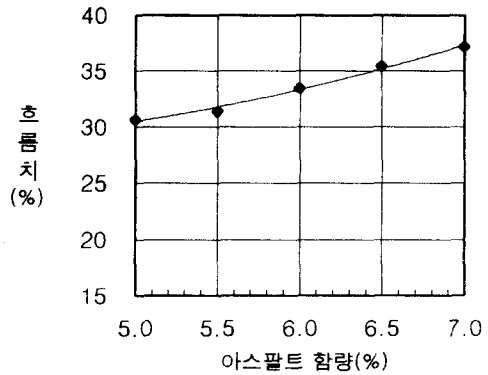
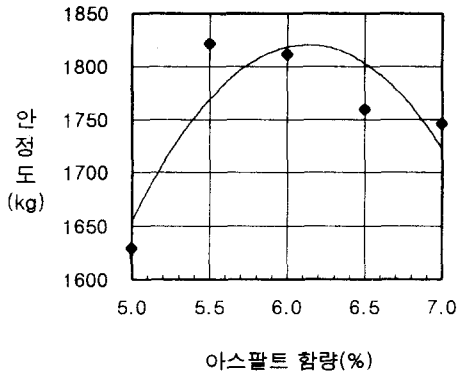
가열혼합 밀입도 (건식배합 페비닐 AC20%, AP-3, 19mm, 50회 마살다짐)

날짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도(kg)		흐름값 (0.01cm)		
					공기중	수중	SSD		실측	이론					실측치	보정치			
1 9 9 9 년 1 월 2 3 일	마 살 배 합 설 계		5.0	1	63.2	1192.5	683.5	1194.5	511.0	2.334	2.497	11.42	6.54	17.96	63.57	1679	1679	29	
				2	63.5	1190.5	682.5	1192.5	510.0	2.334	2.497	11.42	6.52	17.94	63.67	1644	1644	31	
				3	63.6	1192.0	681.0	1193.5	512.5	2.326	2.497	11.38	6.85	18.23	62.41	1630	1565	32	
				평균	63.4					2.331	2.497	11.41	6.64	18.04	63.21		1629		31
			5.5	4	62.9	1186.5	680.0	1187.5	507.5	2.338	2.478	12.58	5.65	18.23	69.00	1769	1787	31	
				5	62.9	1190.0	684.5	1191.0	506.5	2.349	2.478	12.64	5.19	17.83	70.91	1844	1862	31	
				6	63.6	1194.0	684.0	1195.5	511.5	2.334	2.478	12.56	5.80	18.36	68.42	1891	1815	31	
				평균	63.1					2.341	2.478	12.60	5.55	18.14	69.43		1821		31
			6.0	7	63.3	1194.0	685.5	1195.0	509.5	2.343	2.460	13.76	4.74	18.49	74.39	1830	1830	34	
				8	63.5	1192.0	686.5	1194.0	507.5	2.349	2.460	13.79	4.52	18.31	75.31	1705	1705	32	
				9	63.5	1195.0	688.0	1195.5	507.5	2.355	2.460	13.82	4.28	18.11	76.35	1899	1899	34	
				평균	63.4			1190.5		2.349	2.460	13.79	4.51	18.30	75.34		1811		33
			6.5	10	62.8	1192.0	689.5	1193.0	503.5	2.367	2.442	15.06	3.05	18.11	83.14	1781	1799	37	
				11	63.5	1192.0	687.0	1193.5	506.5	2.353	2.442	14.97	3.63	18.60	80.49	1784	1784	35	
				12	63.6	1195.5	687.5	1197.0	509.5	2.346	2.442	14.92	3.91	18.84	79.22	1765	1694	34	
	평균	63.3					2.356	2.442	14.98	3.53	18.61	80.92		1759		35			
7.0	13	62.8	1190.0	686.5	1191.0	504.5	2.359	2.424	15.00	2.69	17.69	84.79	1730	1747	37				
	14	62.8	1190.0	686.5	1191.0	504.5	2.359	2.424	15.00	2.69	17.69	84.79	1721	1738	35				
	15	62.6	1190.5	687.5	1191.5	504.0	2.362	2.424	15.02	2.55	17.58	85.47	1717	1751	40				
	평균	62.7					2.360	2.424	15.16	2.65	18.81	85.94		1746		37			

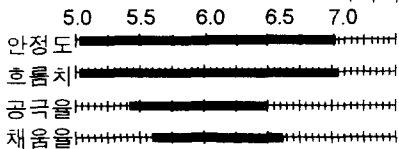
마살 안정도시험

시험 번호 _____
 조사명·목적 _____
 혼합물의 종류 페비닐AC20%(19mm)

시험년월일 1999년 1월 23일
 혼합물의 사용장소 _____
 시험자 이상범



최적아스팔트함량 결정



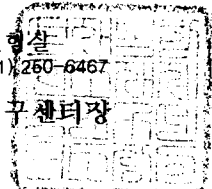
공통 범위 5.5 ~ 6.8
 최적 아스팔트량 6.1 %

상기의 결과는 제시된 시료에 대한 시험 결과임을 확인합니다.

1999년 1월 23일

석재 - 역청 복합 소재 실험실
 Tel : 0(361) 250-7283, Fax : 0(361) 250-6467

강원대학교 부설 석재복합 신소재 제품 연구센터장



마살안정도 실험

실험자 : 이상범

가열혼합 밀입도 (건식배합 페비닐 AC20%, AP-3, 19mm, 50회 마살다짐)

날짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도(kg)		흐름값 (0.01cm)			
					공기중	수중	SSD		실측	이론					실측치	보정치				
1999년 1월 30일	마살안정도	6.1	1	64.3	1192.5	686.0	1194.5	508.5	2.345	2.456	14.00	4.51	18.51	75.61	1598	1518	36			
			2	64.1	1192.0	687.0	1194.5	507.5	2.349	2.456	14.02	4.37	18.39	76.25	1692	1607	33			
			3	64.1	1192.0	686.5	1194.5	508.0	2.346	2.456	14.01	4.46	18.47	75.85	1595	1515	31			
			평균	64.1	1192.2	686.2	1194.5	508.0	2.347	2.456	14.01	4.44	18.45	75.90	1628	1545	30			

간접인장강도 시험

실험자 : 이상범

가열혼합 밀입도 (건식배합 페비닐 AC20%, AP-3, 19mm, 50회 마살다짐)

날짜	종류	AC 합량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	Def. (mm)	Sti. (kg/cm)	ITS (kg/cm ²)	
					공기중	수중	SSD		실측	이론								
1 9 9 9 년 1 월 3 0 일	간 접 인 장 강 도	6.1	1	64.0	1196.5	686.5	1197.5	511.0	2.341	2.456	13.98	4.66	18.64	74.98	1.83	0.60	10.6	
			2	64.0	1194.5	686.0	1195.5	509.5	2.344	2.456	13.99	4.54	18.54	75.50	1.92	0.57	10.4	
			3	63.9	1191.5	683.5	1193.0	509.5	2.339	2.456	13.96	4.78	18.74	74.48	1.92	0.57	10.5	

마살안정도 실험

실험자 : 이상범

가열혼합 밀입도 (춘천삼광, AP-3, 19mm, 50회 마살다짐)

날짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도(kg)		흐름값 (0.01cm)		
					공기중	수중	SSD		실측	이론					실측치	보정치			
1999년 8월 6일	마살배합설계		4.0	1	64.4	1192.0	678.0	1196.0	518.0	2.301	2.504	9.01	8.10	17.11	52.65	995	935	26	
				2	65.0	1180.5	673.0	1184.0	511.0	2.310	2.504	9.04	7.74	16.78	53.88	1070	995	24	
				3	65.8	1165.5	675.0	1189.5	514.5	2.265	2.504	8.87	9.53	18.40	48.19	1179	1073	24	
				평균	65.1					2.292	2.504	8.97	8.46	17.43	51.47		1091		25
			4.5	4	64.6	1189.0	681.5	1194.0	512.5	2.320	2.486	10.22	6.68	16.89	60.47	1151	1082	26	
				5	65.0	1196.5	687.0	1199.0	512.0	2.337	2.486	10.29	6.00	16.29	63.18	1119	1041	24	
				6	65.1	1187.0	682.0	1191.5	509.5	2.330	2.486	10.26	6.29	16.54	62.01	1119	1041	24	
				평균	64.9					2.326	2.486	10.26	6.32	16.57	61.87		1054		26
			5.0	7	63.8	1190.0	687.0	1192.0	505.0	2.356	2.467	11.53	4.48	16.01	72.01	1229	1180	31	
				8	64.8	1192.5	686.0	1195.5	509.5	2.341	2.467	11.45	5.13	16.58	69.08	1151	1070	30	
				9	64.6	1191.0	685.0	1193.0	508.0	2.344	2.467	11.47	4.97	16.44	69.79	1131	1063	30	
				평균	64.4					2.347	2.467	11.48	4.86	16.34	70.27		1104		31
			5.5	10	63.1	1187.5	690.0	1188.5	498.5	2.382	2.449	12.82	2.73	15.55	82.44	1297	1310	28	
				11	62.8	1188.0	690.5	1189.5	499.0	2.381	2.449	12.81	2.79	15.60	82.14	1306	1319	29	
				12	62.5	1186.0	687.5	1187.5	500.0	2.372	2.449	12.77	3.14	15.91	80.24	1216	1240	31	
	평균	62.8					2.376	2.449	12.80	2.89	15.69	81.60		1280		29			
6.0	13	63.2	1189.5	688.0	1190.5	502.5	2.367	2.432	13.90	2.67	16.56	83.90	1094	1094	35				
	14	63.3	1186.5	686.5	1188.0	501.5	2.366	2.432	13.89	2.72	16.61	83.64	1208	1208	31				
	15	63.1	1184.0	686.5	1185.0	498.5	2.375	2.432	13.94	2.34	16.28	85.64	1029	1039	34				
	평균	63.2					2.369	2.432	13.91	2.57	16.48	84.38		1114		33			

마샬 안정도시험

시 험 번 호 _____

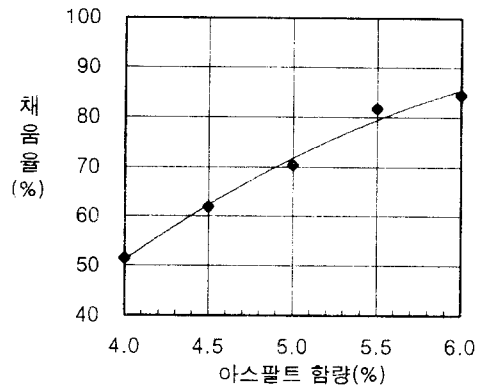
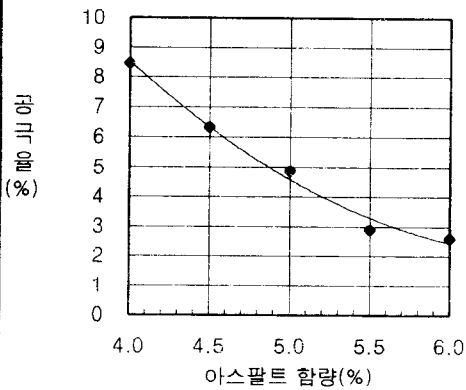
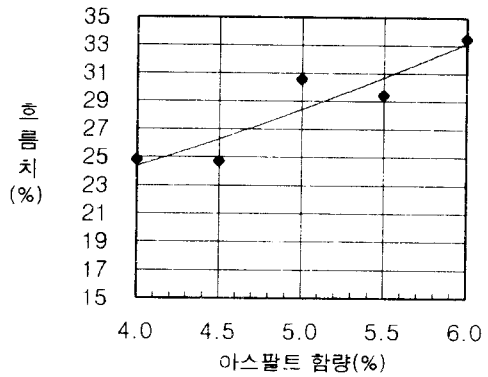
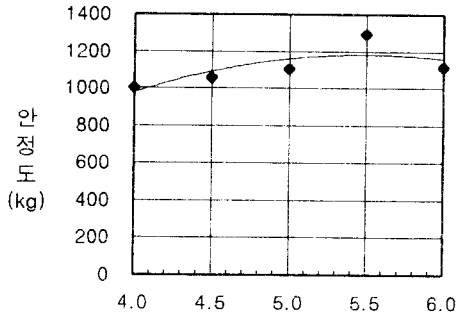
시 험 년 월 일 1999년 8월 6일

조 사 명 · 목 적 _____

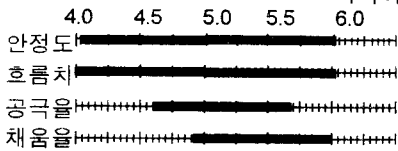
혼합물의 사용장소 _____

혼합물의 종류 19mm(춘천삼광)

시 험 자 이상범



최적아스팔트함량 결정



공 통 범 위 4.9 ~ 5.7

최적 아스팔트량 5.2 %

상기의 결과는 제시된 시료에 대한 시험 결과임을 확인합니다.

1999년 8월 6일

석재 - 역청 복합 소재 실

Tel : 0(361) 250-7283, Fax : 0(361) 250-9467

강원대학교 부설 석재복합 신소재 제품 연구센터장



마살안정도 실험

실험자 : 이상범

가열혼합 밀입도 (춘천삼광, AP-3, 19mm, 50회 마살다짐)

날짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도(kg)		흐름값 (0.01cm)		
					공기중	수중	SSD		실측	이론					실측치	보정치			
1999년 7월 30일	마살안정도	5.2	1	60.4	1147.5	664.0	1149.0	485.0	2.366	2.460	12.04	3.82	15.86	75.90	1249	1361	28		
			2	59.6	1135.5	657.0	1138.0	481.0	2.361	2.460	12.01	4.04	16.05	74.85	1281	1422	28		
			3	60.1	1135.0	658.0	1137.0	479.0	2.370	2.460	12.06	3.68	15.73	76.62	1195	1315	32		
			평균	60.0					2.365	2.460	12.04	3.85	15.88	75.79		1368	29		

간접인장강도 시험

실험자 : 이상범

가열혼합 밀입도 (춘천삼광, AP-3, 19mm, 50회 마살다짐)

날 짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	Def. (mm)	Sti. (kg/mm)	ITS (kg/cm ²)	
					공기중	수중	SSD		실측	이론								
1 9 9 9 년 7 월 3 0 일	간 접 인 장 강 도	5.2	1	60.4	1142.0	662.0	1144.0	482.0	2.369	2.460	12.06	3.69	15.74	76.58	1.83	486	9.7	
			2	60.6	1146.0	662.0	1147.0	485.0	2.363	2.460	12.02	3.95	15.97	75.28	1.75	518	9.8	
			3	60.4	1140.5	660.0	1141.0	481.0	2.371	2.460	12.06	3.61	15.68	76.95	1.33	574	8.3	
			평균	60.5					2.368	2.460	12.05	3.75	15.80	76.26		526	9.3	

마살안정도 실험

실험자 : 이상범

가열혼합 밀입도 (춘천삼광, LDPE AC12%, AP-3, 19mm, 50회 마살다짐)

날짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도(kg)		흐름값 (0.01cm)		
					공기중	수중	SSD		실측	이론					실측치	보정치			
1999년 8월 30일	마 살 배 합 설 계		5.0	1	63.0	1161.0	663.0	1163.5	500.5	2.320	2.446	11.35	5.16	16.51	68.73	1301	1314	36	
				2	63.7	1155.5	660.5	1159.0	498.5	2.318	2.446	11.34	5.23	16.58	68.42	1119	1074	25	
				3	63.4	1158.0	663.0	1160.0	497.0	2.330	2.446	11.40	4.74	16.14	70.62	1205	1205	25	
				평균	63.4					2.323	2.446	11.36	5.05	16.41	69.24		1198		29
			5.5	4	62.9	1168.0	669.5	1169.5	500.0	2.336	2.428	12.57	3.79	16.36	76.84	1342	1355	32	
				5	62.8	1161.5	663.5	1164.0	500.5	2.321	2.428	12.49	4.42	16.91	73.86	1261	1274	28	
				6	62.5	1159.5	663.0	1161.0	498.0	2.328	2.428	12.53	4.11	16.64	75.32	1281	1307	32	
				평균	62.7					2.328	2.428	12.53	4.10	16.64	75.32		1312		31
			6.0	7	61.8	1161.0	669.0	1163.0	494.0	2.350	2.411	13.80	2.52	16.32	84.55	1314	1380	31	
				8	62.6	1161.5	668.5	1163.0	494.5	2.349	2.411	13.79	2.58	16.37	84.25	1391	1419	38	
				9	62.4	1161.0	668.5	1163.5	495.0	2.345	2.411	13.77	2.72	16.49	83.51	1460	1489	30	
				평균	62.3					2.345	2.411	13.79	2.61	16.39	84.10		1429		33
			6.5	10	61.6	1153.5	666.0	1154.5	488.5	2.361	2.394	15.02	1.37	16.38	91.67	1330	1397	36	
				11	61.4	1160.5	668.5	1161.5	493.0	2.354	2.394	14.97	1.67	16.64	89.95	1367	1449	30	
				12	62.0	1161.5	668.0	1163.0	495.0	2.346	2.394	14.92	1.99	16.91	88.26	1253	1278	29	
	평균	61.7					2.364	2.394	14.97	1.67	16.65	89.94		1378		32			
7.0	13	61.3	1152.5	663.0	1154.0	491.0	2.347	2.377	16.08	1.25	17.33	92.78	1277	1354	43				
	14	62.0	1161.5	669.5	1162.5	493.0	2.356	2.377	16.14	0.88	17.02	94.81	1269	1294	42				
	15	61.4	1157.5	666.0	1158.0	492.0	2.353	2.377	16.11	1.02	17.14	94.02	1155	1224	42				
	평균	61.6					2.362	2.377	16.11	1.05	17.16	93.86		1291		42			

마살 안정도시험

시험번호 _____

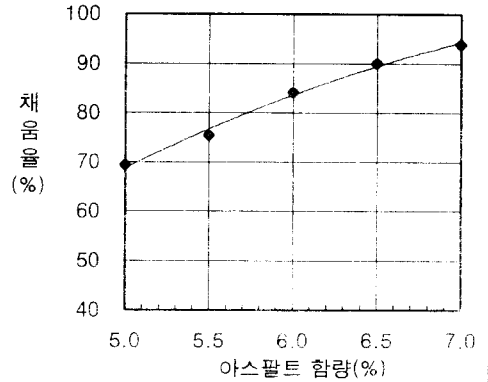
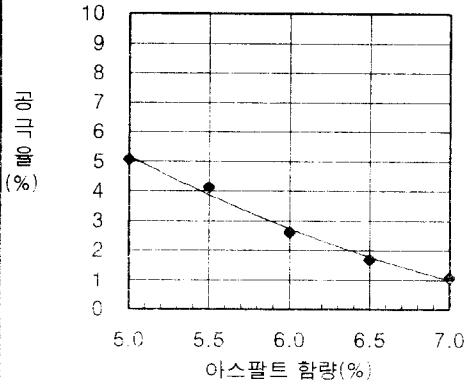
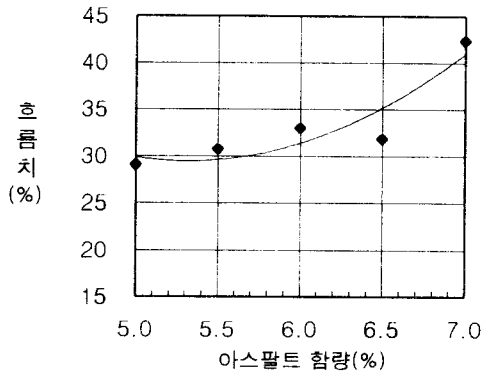
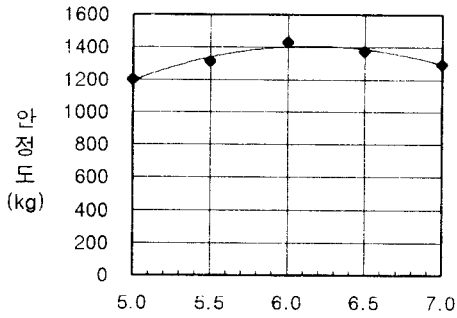
시험년월일 1999년 8월 30일

조사명·목적 _____

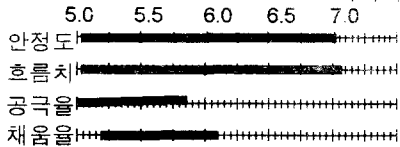
혼합물의 사용장소 _____

혼합물의 종류 19mm(춘천,LDPE12%)

시험자 이상범



최적아스팔트함량 결정



공통범위 5.2 ~ 5.9

최적 아스팔트함량 5.5 %

상기의 결과는 제시된 시료에 대한 시험 결과임을 확인합니다.

1999년 8월 30일

석재 - 역청 복합 소재 실험실
Tel : 0(361) 250-7283, Fax : 0(361) 250-6467

강원대학교 부설 석재복합 신소재 제품 연구센터장

마살안정도 실험

실험자 : 이상범

가열혼합 밀입도 (춘천삼광, LDPE AC12%, AP-3, 19mm, 50회 마살다짐)

날짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도(kg)		흐름값 (0.01cm)		
					공기중	수중	SSD		실측	이론					실측치	보정치			
1999년 1월 30일	마살안정도	5.5	1	62.4	1141.0	653.0	1143.0	490.0	2.329	2.428	12.53	4.10	16.63	75.37	1508	1538	32		
			2	62.2	1137.0	650.5	1139.0	488.5	2.328	2.428	12.53	4.14	16.66	75.17	1592	1624	31		
			3	63.0	1139.0	650.0	1140.5	490.5	2.322	2.428	12.50	4.36	16.86	74.13	1378	1391	28		
			평균	62.5					2.326	2.428	12.62	4.26	16.72	74.89		1518	30		

간접인장강도 시험

실험자 : 이상범

가열혼합 밀입도 (춘천삼광, LDPE AC12%, AP-3, 19mm, 50회 마살다짐)

날짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	Def. (mm)	Sti. (kg/mm)	ITS (kg/cm ²)		
					공기중	수중	SSD		실측	이론									
1999년 1월 30일	간접인장강도	5.5	1	62.2	1134.0	648.0	1136.0	488.0	2.324	2.428	12.51	4.29	16.80	74.45	1.80	567	10.5		
			2	62.0	1137.0	649.5	1138.5	489.0	2.325	2.428	12.51	4.24	16.75	74.71	2.50	355	9.2		
			3	62.4	1136.0	649.5	1138.0	488.5	2.325	2.428	12.51	4.22	16.74	74.77	1.60	727	11.9		
			평균	62.2					2.325	2.428	12.51	4.25	16.75	74.64		560	10.6		

마살안정도 실험

실험자 : 이상범

가열혼합 밀입도 (춘천삼광, LDPE AC17.5%, AP-3, 19mm, 50회 마살다짐)

날짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도(kg)		흐름값 (0.01cm)	
					공기중	수중	SSD		실측	이론					실측치	보정치		
1999년 8월 6일	마살배합설계		5.0	1	68.5	1194.0	669.0	1203.0	534.0	2.236	2.440	10.94	8.36	19.30	56.67	1090	927	26
				2	68.5	1197.5	674.0	1208.0	534.0	2.243	2.440	10.97	8.09	19.07	57.55	1066	906	31
				3	69.0	1191.0	669.5	1204.0	534.5	2.228	2.440	10.90	8.68	19.58	55.68	1306	1110	38
				평균	68.7					2.238	2.440	10.94	8.36	19.32	56.62		981	
			5.5	4	66.7	1198.5	678.5	1204.0	525.5	2.281	2.422	12.27	5.83	18.11	67.78	1029	916	28
				5	66.0	1187.0	670.5	1191.5	521.0	2.278	2.422	12.26	5.93	18.19	67.39	1363	1227	31
				6	66.8	1183.0	672.0	1188.5	516.5	2.290	2.422	12.33	5.43	17.76	69.41	1224	1077	34
				평균	66.5					2.263	2.422	12.29	5.73	18.02	68.18		1073	
			6.0	7	67.8	1185.5	672.0	1189.0	517.0	2.293	2.405	13.46	4.66	18.12	74.30	1549	1332	29
				8	68.0	1188.0	674.0	1192.0	518.0	2.293	2.405	13.46	4.64	18.10	74.38	1294	1113	41
				9	68.5	1186.5	673.0	1191.0	518.0	2.291	2.405	13.45	4.76	18.21	73.86	1524	1295	28
				평균	68.1					2.292	2.405	13.46	4.68	18.14	74.18		1247	
			6.5	10	63.5	1184.0	678.0	1186.0	508.0	2.331	2.388	14.82	2.40	17.22	86.07	1554	1554	36
				11	64.8	1182.0	674.5	1183.5	509.0	2.322	2.388	14.77	2.76	17.52	84.28	1493	1388	28
				12	64.9	1187.0	678.0	1189.0	511.0	2.323	2.388	14.77	2.73	17.50	84.42	1355	1260	29
평균	64.4						2.325	2.388	14.79	2.63	17.42	84.92		1401		31		
7.0	13	64.9	1190.5	681.5	1192.0	510.5	2.332	2.371	15.97	1.64	17.62	90.67	1529	1422	40			
	14	63.9	1190.5	680.5	1192.0	511.5	2.327	2.371	15.94	1.84	17.78	89.67	1404	1348	40			
	15	63.6	1194.0	683.5	1195.5	512.0	2.332	2.371	15.97	1.64	17.62	90.67	1338	1284	31			
	평균	64.1					2.331	2.371	16.06	1.71	17.67	90.34		1351		37		

마살 안정도시험

시 험 번 호 _____

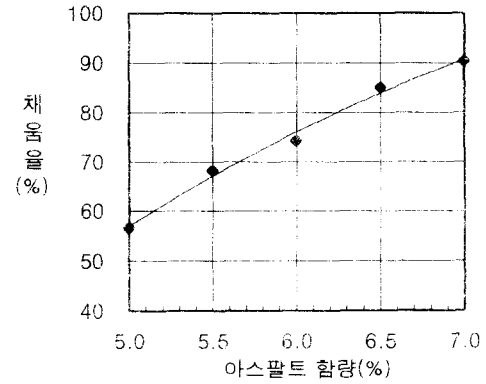
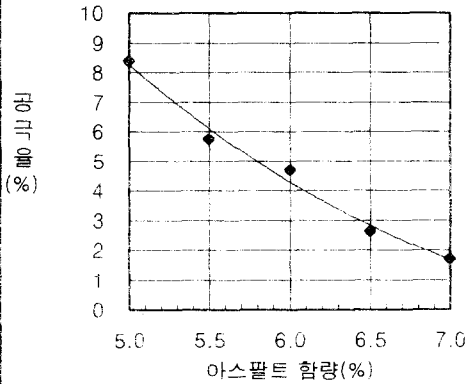
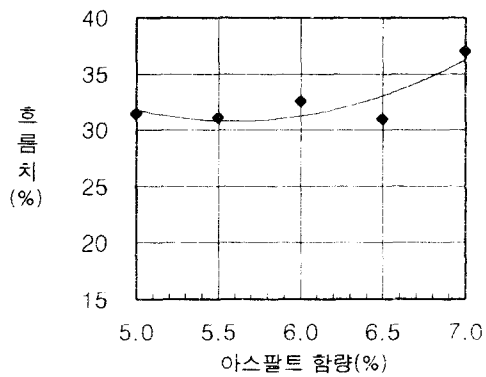
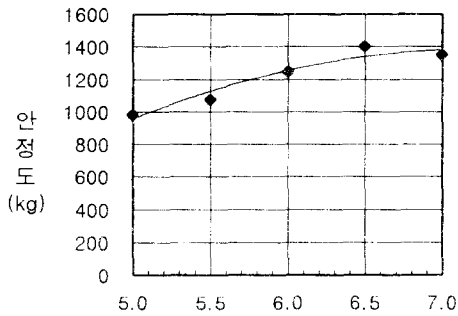
시 험 년 월 일 1999년 8월 6일

조 사 명 · 목 적 _____

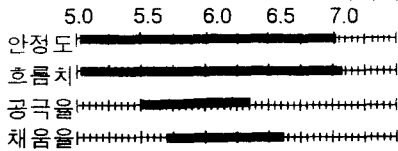
혼합물의 사용장소 _____

혼합물의 종류 19mm(준천, LDPE)

시 험 자 이상범



최적아스팔트함량 결정



공 통 범 위 5.7 ~ 6.6

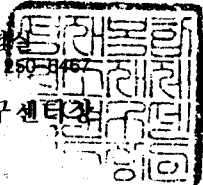
최적 아스팔트량 6.1 %

상기의 결과는 제시된 시료에 대한 시험 결과임을 확인합니다.

1999년 8월 6일

석재 - 역청 복합 소재 실험실
Tel : 0(361) 250-7283, Fax : 0(361) 250-8457

강원대학교 부설 석재복합 신소재 제품 연구센터



마살안정도 실험

실험자 : 이상범

가열혼합 밀입도 (춘천삼광, LDPE AC17.5%, AP-3, 19mm, 50회 마살다짐)

날짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도(kg)		흐름값 (0.01cm)		
					공기중	수중	SSD		실측	이론					실측치	보정치			
1 9 9 9 년 1 월 3 0 일	마 살 안 정 도	6.1	1	61.4	1155.5	658.0	1157.0	499.0	2.316	2.402	13.82	3.60	17.42	79.36	1574	1668	33		
			2	61.1	1144.5	650.0	1146.0	496.0	2.307	2.402	13.77	3.94	17.71	77.77	1562	1671	35		
			3	61.4	1148.5	652.0	1150.0	498.0	2.306	2.402	13.77	3.99	17.75	77.54	1750	1855	40		
			평균	61.3					2.310	2.402	13.79	3.84	17.63	78.22		1732	36		

간접인장강도 시험

실험자 : 이상범

가열혼합 밀입도 (춘천삼광, LDPE AC17.5%, AP-3, 19mm, 50회 마살다짐)

날짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	Def. (mm)	Sti. (kg/mm)	ITS (kg/cm ²)	
					공기중	수중	SSD		실측	이론								
1 9 9 9 년 1 월 3 0 일	간 접 인 장 강 도	6.1	1	61.5	1145.5	650.0	1147.0	497.0	2.305	2.402	13.76	4.05	17.80	77.28	1.83	683	13.5	
			2	61.8	1144.5	650.0	1146.0	496.0	2.307	2.402	13.77	3.94	17.71	77.77	1.50	859	13.7	
			3	61.8	1145.5	651.5	1147.0	495.5	2.312	2.402	13.80	3.75	17.55	78.61	1.42	841	12.7	
			평균	61.7					2.308	2.402	13.78	3.91	17.69	77.88		795	13.3	

마살안정도 실험

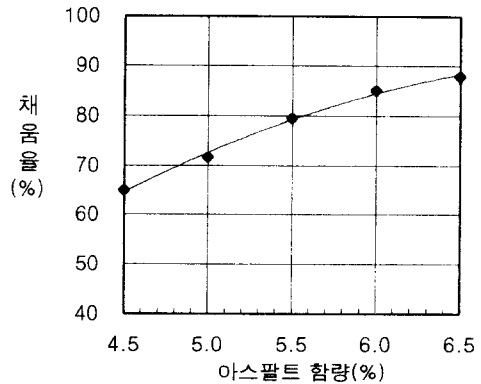
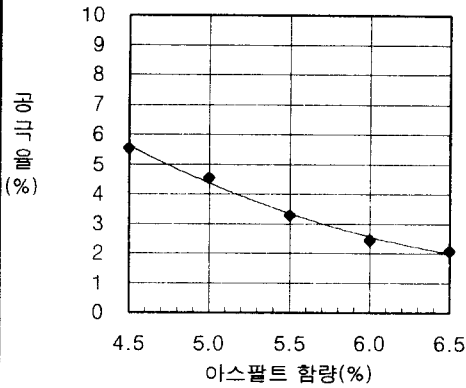
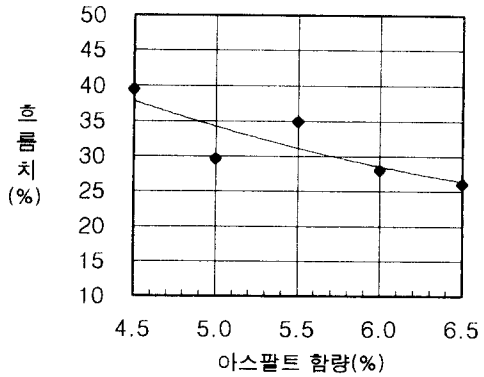
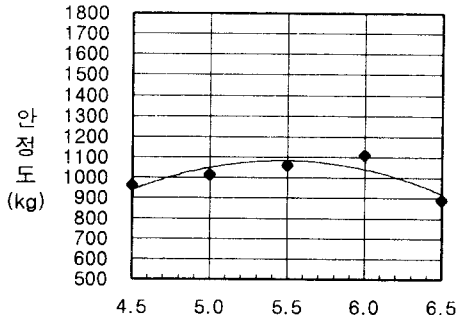
실험자 : 이상범

가열혼합 밀입도 (춘천삼광, 부순모래, 페비닐 HDPE-1, AC12%, AP-3, 19mm, 50회 마살다짐)

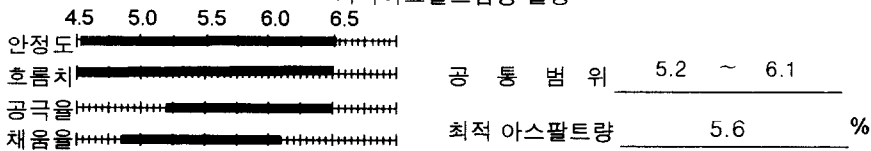
날 짜	종류	AC 합량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도(kg)		흐름값 (0.01cm)
					공기중	수중	SSD		실측	이론					실측치	보정치	
1 9 9 9 년 4 월 3 0 일	마 살 배 합 설 계	4.5	1	66.3	1169.0	676.0	1176.5	500.5	2.336	2.461	10.28	5.09	15.38	66.88	1012	911	42
			2	68.1	1169.5	673.5	1179.5	506.0	2.311	2.461	10.18	6.08	16.26	62.58	1062	913	41
			3	67.0	1173.5	678.5	1182.5	504.0	2.328	2.461	10.25	5.39	15.64	65.55	1198	1054	35
			평균	67.1					2.325	2.461	10.24	5.52	15.76	64.96		959	99
		5.0	4	63.8	1146.0	659.5	1152.5	493.0	2.325	2.444	11.37	4.89	16.26	69.94	879	844	29
			5	64.3	1145.5	663.0	1153.0	490.0	2.338	2.444	11.44	4.35	15.78	72.46	1042	990	27
			6	64.6	1147.5	661.0	1152.0	491.0	2.337	2.444	11.43	4.38	15.81	72.32	1282	1205	33
			평균	64.2					2.333	2.444	11.41	4.54	15.95	71.56		1013	30
		5.5	7	64.0	1150.0	664.0	1153.0	489.0	2.352	2.426	12.66	3.06	15.72	80.52	956	918	34
			8	64.2	1150.5	662.0	1152.5	490.5	2.346	2.426	12.62	3.32	15.94	79.20	1225	1164	36
			9	64.1	1150.0	663.0	1154.0	491.0	2.342	2.426	12.60	3.46	16.06	78.48	1155	1097	35
			평균	64.1					2.346	2.426	12.63	3.28	15.91	79.39		1090	35
		6.0	10	63.6	1150.0	663.0	1152.0	489.0	2.352	2.409	13.81	2.38	16.18	85.31	1293	1241	31
			11	62.7	1145.0	660.0	1146.5	486.5	2.354	2.409	13.82	2.30	16.12	85.72	977	997	27
			12	63.4	1150.5	661.5	1152.0	490.5	2.346	2.409	13.77	2.63	16.40	83.95	1088	1088	26
평균	63.2						2.360	2.409	13.80	2.44	16.24	84.99		1109	26		
6.5	13	63.2	1148.0	660.0	1149.5	489.5	2.345	2.392	14.92	1.95	16.87	88.42	924	924	26		
	14	63.4	1154.0	662.0	1155.0	493.0	2.341	2.392	14.89	2.14	17.03	87.42	899	899	27		
	15	63.6	1150.0	660.5	1151.5	491.0	2.342	2.392	14.90	2.08	16.98	87.73	877	842	25		
	평균	63.4					2.343	2.392	14.90	2.06	16.96	87.85		886	26		

마살 안정도시험

시 험 번 호 _____ 시 험 년 월 일 1999년 4월 30일
 조 사 명 · 목 적 부순모래, 밀입도 혼합물의 사용장소 _____
 혼 합 물 의 종 류 19mm(춘천HDPE-1, AC12%) 시 험 자 이상범



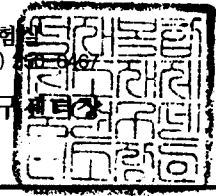
최적아스팔트함량 결정



상기의 결과는 제시된 시료에 대한 시험 결과임을 확인합니다.

1999년 4월 30일
 석재 - 역청 복합 소재 실험실
 Tel : 0(361) 250-7283, Fax : 0(361) 250-9467

강원대학교 부설 석재복합 신소재 제품 연구실



마살안정도 실험

실험자 : 이상범

가열혼합 밀입도 (춘천삼광, 부순모래, 페비닐 HDPE-1, AC12%, AP-3, 19mm, 50회 마살다짐)

날짜	종류	AC 합량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도(kg)		흐름값 (0.01cm)		
					공기중	수중	SSD		실측	이론					실측치	보정치			
1 9 9 9 년 4 월 1 0 일	마 살 안 정 도	5.6	1	61.7	1140.0	650.5	1141.5	491.0	2.322	2.423	12.72	4.18	16.90	75.28	1448	1520	29		
			2	62.8	1143.5	652.0	1145.0	493.0	2.319	2.423	12.71	4.27	16.98	74.84	1494	1509	30		
			3	62.0	1142.0	652.0	1144.0	492.0	2.321	2.423	12.72	4.20	16.92	75.16	1369	1396	28		
			평균	62.2					2.321	2.423	12.72	4.22	16.93	75.09		1475	29		

간접인장강도 시험

실험자 : 이상범

가열혼합 밀입도 (춘천삼광, 부순모래, 페비닐 HDPE-1, AC12%, AP-3, 19mm, 50회 마살다짐)

날 짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	Def. (mm)	Sti. (kg/mm)	ITS (kg/cm ²)		
					공기중	수중	SSD		실측	이론									
1 9 9 9 년 4 월 1 0 일	간 접 인 장 강 도	5.6	1	62.6	1142.5	652.5	1144.5	492.0	2.322	2.423	12.72	4.16	16.89	75.35	2.17	439	9.7		
			2	61.7	1145.5	653.5	1147.0	493.5	2.321	2.423	12.72	4.20	16.92	75.16	1.92	450	9.2		
			3	61.3	1141.0	650.0	1142.0	492.0	2.319	2.423	12.71	4.29	17.00	74.77	2.25	395	9.6		
			평균	61.9						2.321	2.423	12.72	4.22	16.93	75.10		428	9.5	

마살안정도 실험

실험자 : 이상범

가열혼합 갭입도-2 (춘천삼광,부순모래, 페니닐 HDPE-1, AC10%, AP-3, 13mm, 50회 마살다짐)

날짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도(kg)		흐름값 (0.01cm)	
					공기중	수중	SSD		실측	이론					실측치	보정치		
1 9 9 년 9 월 6 일	마 살 배 합 설 계		5.0	1	65.6	1134.5	648.0	1143.5	495.5	2.290	2.468	11.20	7.23	18.43	60.78	874	795	21
				2	66.2	1137.5	650.0	1149.5	499.5	2.277	2.468	11.14	7.73	18.87	59.05	789	710	26
				3	67.5	1136.0	645.0	1140.5	495.5	2.293	2.468	11.22	7.11	18.32	61.22	779	678	31
				평균	66.4					2.287	2.468	11.19	7.35	18.54	60.34		728	26
			5.5	4	64.1	1136.0	647.0	1140.5	493.5	2.302	2.450	12.39	6.04	18.43	67.21	813	772	31
				5	65.2	1137.0	647.5	1145.0	497.5	2.285	2.450	12.30	6.72	19.02	64.68	769	707	27
				6	64.4	1137.0	648.5	1142.0	493.5	2.304	2.450	12.40	5.96	18.36	67.53	860	808	32
				평균	64.6					2.297	2.450	12.36	6.24	18.60	66.45		782	30
			6.0	7	64.0	1142.0	647.5	1144.0	496.5	2.300	2.432	13.50	5.42	18.93	71.35	867	832	32
				8	65.2	1129.0	639.5	1133.0	493.5	2.288	2.432	13.43	5.93	19.36	69.37	767	706	36
				9	64.8	1132.0	640.0	1135.5	495.5	2.285	2.432	13.41	6.06	19.47	68.87	739	687	30
				평균	64.7					2.291	2.432	13.45	5.81	19.25	69.86		742	33
			6.5	10	64.8	1139.0	647.0	1140.5	493.5	2.308	2.415	14.68	4.43	19.11	76.82	829	771	34
				11	62.8	1129.0	643.0	1130.0	487.0	2.318	2.415	14.74	4.01	18.75	78.64	862	871	29
				12	64.2	1131.0	642.0	1133.5	491.5	2.301	2.415	14.64	4.72	19.35	75.63	683	649	32
평균	63.9						2.309	2.415	14.69	4.36	19.07	77.01		763	32			
7.0	13	62.7	1135.0	646.5	1136.5	490.0	2.316	2.398	15.87	3.41	19.27	82.33	833	850	25			
	14	62.4	1123.5	642.0	1125.5	483.5	2.324	2.398	15.92	3.10	19.01	83.70	740	755	43			
	15	62.6	1125.5	643.0	1127.0	484.0	2.325	2.398	15.93	3.03	18.95	84.03	774	789	35			
	평균	62.6					2.322	2.398	15.90	3.18	19.08	83.36		796	34			

마살 안정도시험

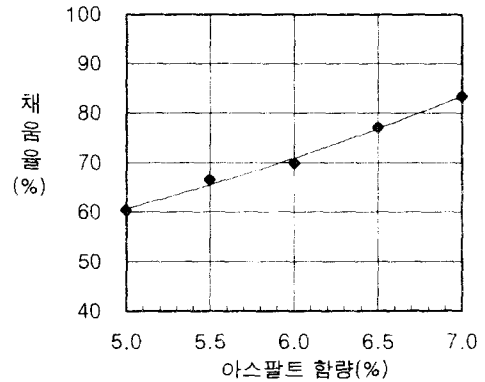
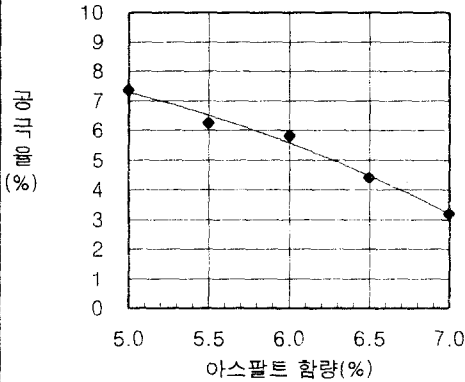
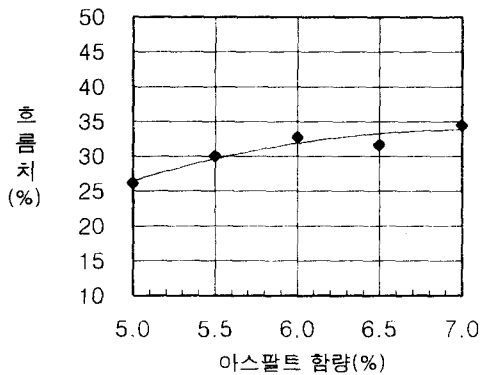
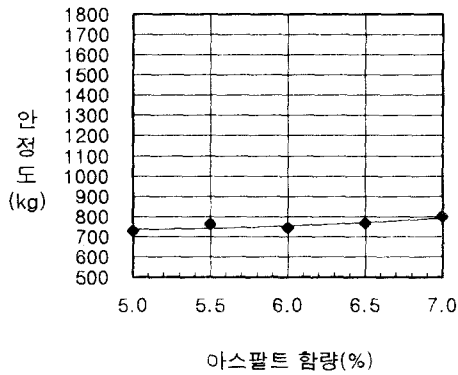
시험년월일 1999년 9월 6일

조사명·목적 부순모래, 갭입도-2

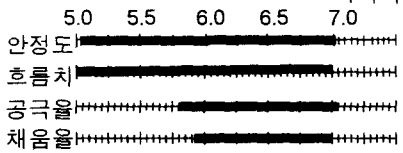
혼합물의 사용장소 _____

혼합물의 종류 13mm(춘천HDPE-1, AC10%)

시험자 이상범



최적아스팔트함량 결정

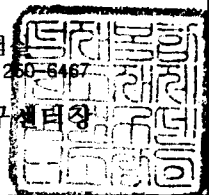


공통범위 5.9 ~ 7
 최적 아스팔트량 6.6 %

상기의 결과는 제시된 시료에 대한 시험 결과임을 확인합니다.

1999년 9월 6일
 석재-역청 복합 소재 실험실
 Tel : 0(361) 250-7283, Fax : 0(361) 250-6467

강원대학교 부설 석재복합 신소재 제품 연구센터



마살안정도 실험

실험자 : 이상범

가열혼합 갭입도-2 (춘천삼광, 부순모래, 페비닐 HDPE-1, AC10%, AP-3, 13mm, 50회 마살다짐)

날짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도(kg)		흐름값 (0.01cm)		
					공기중	수중	SSD		실측	이론					실측치	보정치			
1 9 9 9 년 6 월 5 일	마 살 안 정 도	6.6	1	64.0	1126.5	640.5	1128.0	487.5	2.311	2.411	14.92	4.16	19.08	78.21	1041	999	29		
			2	64.9	1127.0	642.0	1129.0	487.0	2.314	2.411	14.94	4.02	18.96	78.82	867	807	34		
			3	63.8	1121.5	637.5	1123.0	485.5	2.310	2.411	14.92	4.19	19.11	78.07	847	813	26		
			평균	64.2					2.312	2.411	14.93	4.12	19.05	78.37		873	30		

간접인장강도 시험

실험자 : 이상범

가열혼합 겹입도-2 (춘천삼광, 부순모래, 페비닐 HDPE-1, AC10%, AP-3, 13mm, 50회 마살다짐)

날 짜	종 류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	Def. (mm)	Sti. (kg/mm)	ITS (kg/cm ²)		
					공기중	수중	SSD		실측	이론									
1 9 9 9 년 6 월 5 일	간 접 인 장 강 도	6.6	1	65.0	1127.0	641.0	1129.0	488.0	2.309	2.411	14.91	4.21	19.13	77.97	2.20	399	8.6		
			2	64.5	1122.5	639.0	1124.0	485.0	2.314	2.411	14.95	4.01	18.95	78.87	1.70	564	9.5		
			3	64.8	1133.5	645.0	1135.0	490.0	2.313	2.411	14.94	4.05	18.99	78.66	1.90	440	8.2		
			평균	64.8					2.312	2.411	14.93	4.09	19.02	78.60		468	8.8		

마살안정도 실험

실험자 : 이상범

가열혼합 갱입도-2 (춘천삼광, 부순모래, 페비닐 HDPE-1, AC12%, AP-3, 13mm, 50회 마살다짐)

날짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도(kg)		흐름값 (0.01cm)	
					공기중	수중	SSD		실측	이론					실측치	보정치		
1 9 9 9 년 5 월 2 0 일	마 살 배 합 설 계		5.0	1	67.3	1177.0	672.5	1188.5	516.0	2.281	2.461	11.16	7.31	18.47	60.41	960	835	32
				2	67.5	1179.0	673.0	1191.0	518.0	2.276	2.461	11.14	7.51	18.65	59.71	1033	899	41
				3	67.5	1197.5	682.5	1207.5	525.0	2.281	2.461	11.16	7.32	18.48	60.40	1136	988	42
				평균	67.4					2.279	2.461	11.15	7.38	18.53	60.17		907	839
			5.5	4	66.2	1177.0	671.0	1184.0	513.0	2.294	2.444	12.35	6.12	18.47	66.85	952	857	35
				5	66.6	1176.0	668.0	1180.0	512.0	2.297	2.444	12.36	6.02	18.38	67.25	1131	1007	40
				6	68.6	1215.5	689.0	1219.0	530.0	2.293	2.444	12.34	6.16	18.50	66.70	1179	1002	37
				평균	67.1					2.296	2.444	12.36	6.10	18.45	66.93		966	837
			6.0	7	67.6	1189.5	675.0	1192.0	517.0	2.301	2.426	13.51	5.16	18.67	72.35	1116	971	40
				8	67.3	1195.5	678.0	1197.0	519.0	2.303	2.426	13.52	5.05	18.57	72.81	1021	888	38
				9	67.1	1186.5	671.0	1189.0	518.0	2.291	2.426	13.45	5.58	19.03	70.66	1139	1002	30
				평균	67.3					2.296	2.426	13.49	5.27	18.76	71.93		954	866
			6.5	10	64.4	1186.5	677.5	1188.5	511.0	2.322	2.409	14.77	3.61	18.38	80.34	1302	1224	38
				11	63.0	1178.0	676.0	1179.0	503.0	2.342	2.409	14.89	2.78	17.68	84.26	1315	1328	35
				12	64.5	1202.5	688.0	1203.5	515.5	2.333	2.409	14.84	3.17	18.00	82.40	1297	1219	33
평균	64.0						2.332	2.409	14.85	3.19	18.02	82.31		1257	85			
7.0	13	64.2	1188.5	679.5	1190.0	510.5	2.328	2.392	15.95	2.67	18.62	85.65	1252	1189	28			
	14	64.6	1192.0	681.5	1193.5	512.0	2.328	2.392	15.95	2.67	18.62	85.66	1326	1246	38			
	15	63.3	1174.0	671.5	1175.0	503.5	2.332	2.392	15.97	2.52	18.49	86.36	1281	1281	34			
	평균	64.0					2.329	2.392	15.95	2.62	18.58	85.89		1239	83			

마살 안정도시험

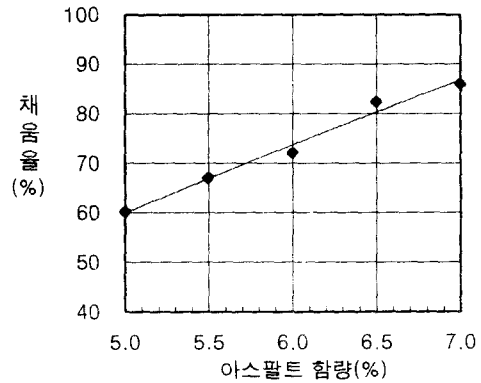
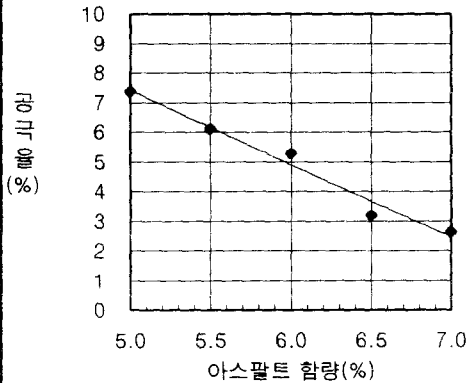
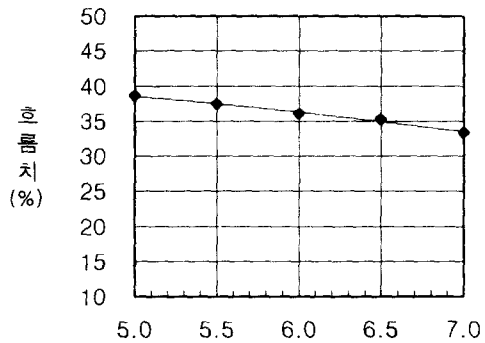
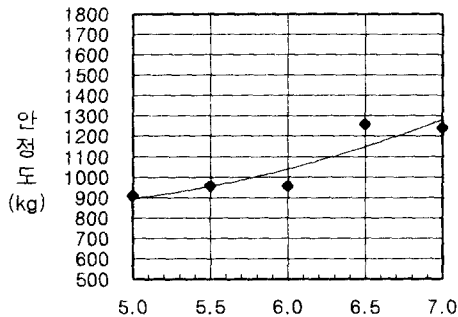
시 험 년 월 일 1999년 5월 20일

조 사 명 · 목 적 부순모래, 갭입도-2

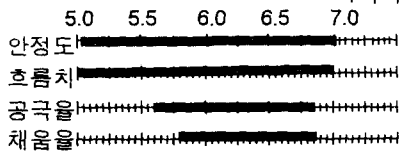
혼합물의 사용장소 _____

혼합물의 종류 13mm(춘천HDPE-1, AC12%)

시 험 자 이상범



최적아스팔트함량 결정



공 통 범 위 5.8 ~ 6.7

최적 아스팔트량 6.2 %

상기의 결과는 제시된 시료에 대한 시험 결과임을 확인합니다.

1999년 5월 20일

석재 - 역청 복합 소재 실험실

Tel : 0(361) 250-7283, Fax : 0(361) 250-6467

강원대학교 부설 석재복합 신소재 제품 연구센터장

마살안정도 실험

실험자 : 이상범

가열혼합 갭입도-2 (춘천삼광,부순모래, 페비닐 HDPE-1, AC12%, AP-3, 13mm, 50회 마살다짐)

날짜	종류	AC 합량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도(kg)		흐름값 (0.01cm)	
					공기중	수중	SSD		실측	이론					실측치	보정치		
1 9 9 9 년 6 월 5 일	마 살 안 정 도	6.2	1	64.9	1135.0	644.0	1141.0	497.0	2.284	2.401	13.85	4.89	18.74	73.93	1010	939	36	
			2	63.5	1131.5	645.0	1135.0	490.0	2.309	2.401	14.01	3.82	17.83	78.56	871	871	29	
			3	63.9	1123.5	640.5	1130.0	489.5	2.295	2.401	13.92	4.41	18.33	75.96	870	835	41	
			평균	64.1					2.296	2.401	13.93	4.37	18.36	76.11		882	35	

간접인장강도 시험

실험자 : 이상범

가열혼합 갭입도-2 (춘천삼광, 부순모래, 페비닐 HDPE-1, AC12%, AP-3, 13mm, 50회 마살다짐)

날 짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	Def. (mm)	Sti. (kg/mm)	ITS (kg/cm ²)		
					공기중	수중	SSD		실측	이론									
1 9 9 9 년 6 월 5 일	간 접 인 장 강 도	6.2	1	66.1	1164.0	663.0	1169.0	506.0	2.300	2.401	13.96	4.19	18.15	76.91	2.08	455	9.1		
			2	65.9	1140.5	643.0	1146.5	503.5	2.265	2.401	13.74	5.66	19.40	70.83	2.33	364	8.2		
			3	64.6	1150.5	655.0	1153.5	498.5	2.308	2.401	14.00	3.88	17.88	78.32	2.75	336	9.1		
			평균	65.5						2.291	2.401	13.90	4.67	18.47	75.24		385	8.6	

마살안정도 실험

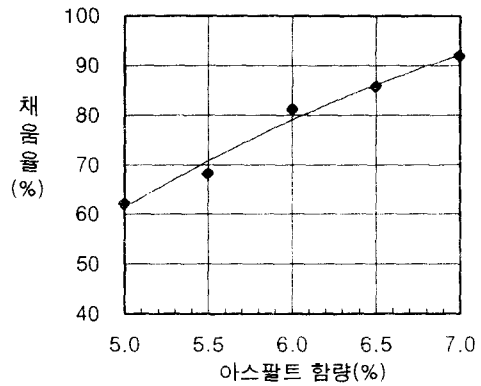
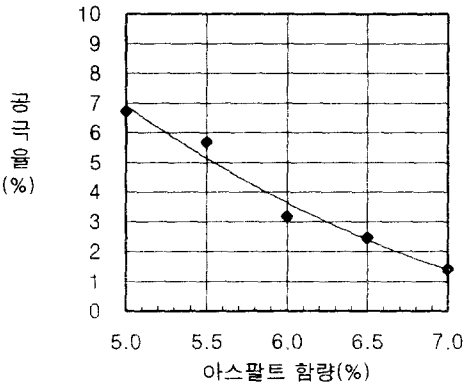
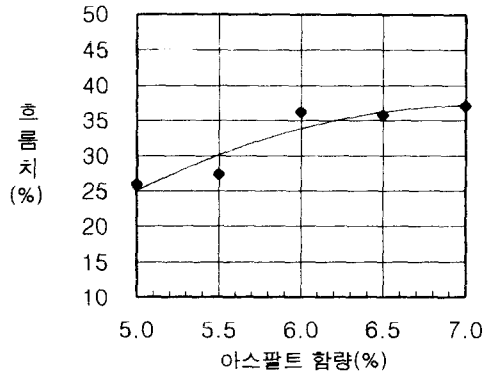
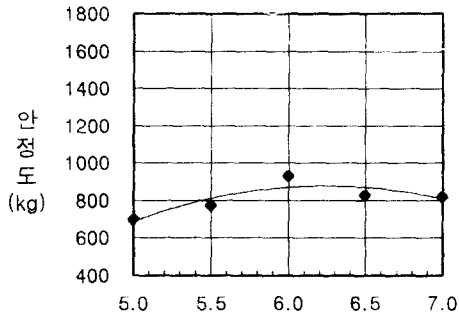
실험자 : 이상범

가열혼합 갱입도-2 (춘천삼광, 부순모래, 페비닐 LDPE, AC12%, AP-3, 13mm, 50회 마살다짐)

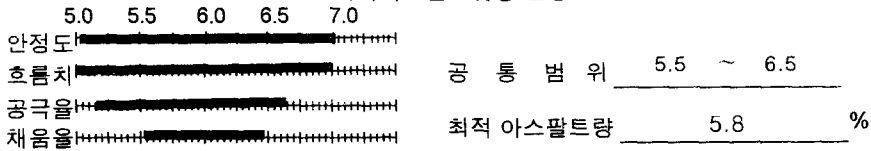
날짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도(kg)		흐름값 (0.01cm)	
					공기중	수중	SSD		실측	이론					실측치	보정치		
1999년 8월 30일	마살배합설계		5.0	1	67.4	1135.5	646.5	1152.0	505.5	2.246	2.414	10.99	6.95	17.94	61.27	870	757	23
				2	66.6	1136.0	646.0	1149.5	503.5	2.256	2.414	11.04	6.54	17.57	62.81	724	644	32
				3	66.8	1137.0	646.5	1151.0	504.5	2.254	2.414	11.03	6.64	17.67	62.41	780	686	24
				평균	66.9					2.252	2.414	11.02	6.71	17.73	62.18		696	28
			5.5	4	65.7	1127.5	640.5	1138.5	498.0	2.264	2.397	12.18	5.55	17.73	68.72	919	836	28
				5	66.3	1151.5	652.0	1161.0	509.0	2.262	2.397	12.17	5.62	17.80	68.42	830	747	25
				6	66.5	1130.5	640.0	1141.0	501.0	2.256	2.397	12.14	5.86	18.01	67.44	827	736	28
				평균	66.2					2.261	2.397	12.17	5.68	17.84	68.19		773	27
			6.0	7	65.6	1168.0	666.0	1172.5	506.5	2.306	2.381	13.54	3.15	16.69	81.13	951	875	30
				8	63.7	1129.5	642.5	1134.0	491.5	2.298	2.381	13.49	3.48	16.97	79.48	920	883	43
				9	63.7	1130.0	645.0	1133.5	488.5	2.313	2.381	13.58	2.85	16.43	82.67	1068	1025	36
				평균	64.3					2.306	2.381	13.54	3.16	16.70	81.07		926	36
			6.5	10	66.5	1172.0	666.5	1174.5	508.0	2.307	2.364	14.67	2.41	17.08	85.91	915	814	35
				11	63.4	1124.0	641.0	1127.0	486.0	2.313	2.364	14.71	2.17	16.88	87.16	802	802	44
				12	63.6	1125.0	638.5	1128.0	489.5	2.298	2.364	14.62	2.78	17.40	84.02	902	866	27
평균	64.5						2.306	2.364	14.67	2.45	17.12	85.68		827	36			
7.0	13	65.4	1155.5	659.0	1158.0	499.0	2.316	2.348	15.86	1.38	17.24	92.00	808	743	40			
	14	62.8	1124.0	641.0	1126.0	485.0	2.318	2.348	15.87	1.30	17.17	92.44	816	824	39			
	15	62.5	1119.0	637.5	1121.5	484.0	2.312	2.348	15.84	1.53	17.37	91.17	869	886	33			
	평균	63.6					2.315	2.348	15.86	1.40	17.26	91.87		818	37			

마살 안정도시험

조 사 명 · 목 적 <u>부순모래, 갭입도-2</u>	시 험 년 월 일 <u>1999년 8월 30일</u>
혼 합 물 의 종 류 <u>13mm(춘천LDPE, AC12%)</u>	혼 합 물 의 사용장소
	시 험 자 <u>이상범</u>



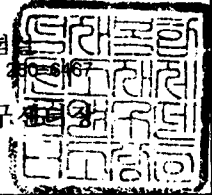
최적아스팔트함량 결정



상기의 결과는 제시된 시료에 대한 시험 결과임을 확인합니다.

1999년 8월 30일
 석재-역청 복합 소재 실험
 Tel: 0(361) 250-7283, Fax: 0(361) 250-5167

강원대학교 부설 석재복합 신소재 제품 연구실



마살안정도 실험

실험자 : 이상범

가열혼합 갱입도-2 (춘천삼광, 부순모래, 페비닐 LDPE, AC12%, AP-3, 13mm, 50회 마살다짐)

날짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도(kg)		흐름값 (0.01cm)		
					공기중	수중	SSD		실측	이론					실측치	보정치			
1999년 6월 5일	마살안정도	5.8	1	63.4	1138.5	647.0	1142.0	495.0	2.300	2.387	13.05	3.64	16.70	78.17	1061	1061	23		
			2	64.0	1135.0	643.0	1138.5	495.5	2.291	2.387	13.00	4.04	17.04	76.30	980	940	26		
			3	63.5	1133.5	641.0	1136.0	495.0	2.290	2.387	13.00	4.07	17.06	76.16	1102	1102	48		
			평균	63.6					2.294	2.387	13.02	3.92	16.93	76.87		1056	32		

간접인장강도 시험

실험자 : 이상범

가열혼합 갱입도-2 (춘천삼광, 부순모래, 페비닐 LDPE, AC12%, AP-3, 13mm, 50회 마살다짐)

날 짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	Def. (mm)	Sti. (kg/mm)	ITS (kg/cm ²)		
					공기중	수중	SSD		실측	이론									
1 9 9 9 년 6 월 5 일	간 접 인 장 강 도	5.8	1	63.7	1137.5	644.5	1140.5	496.0	2.293	2.387	13.02	3.92	16.94	76.84	1.60	587	9.4		
			2	63.4	1133.5	642.0	1137.0	495.0	2.290	2.387	13.00	4.07	17.06	76.16	1.67	593	9.9		
			3	63.8	1135.0	643.0	1139.0	496.0	2.288	2.387	12.99	4.13	17.12	75.85	1.63	538	8.8		
			평균	63.6					2.291	2.387	13.00	4.04	17.04	76.28		573	9.4		

마살안정도 실험

실험자 : 이상범

가열혼합 갱입도-2 (춘천삼광, 부순모래, 페비닐 LDPE, AC17.5%, AP-3, 13mm, 50회 마살다짐)

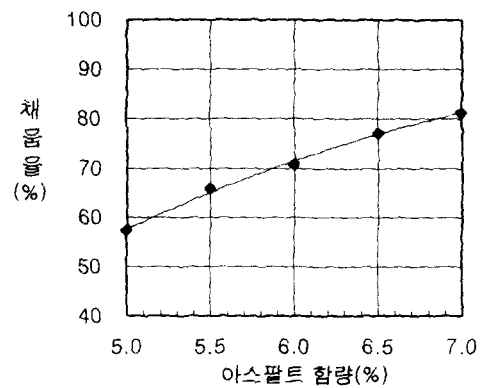
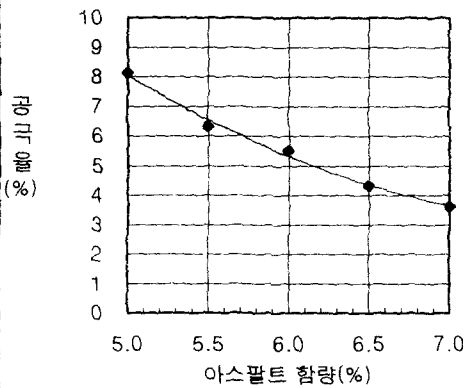
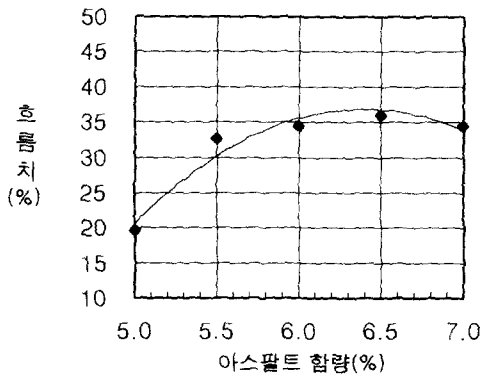
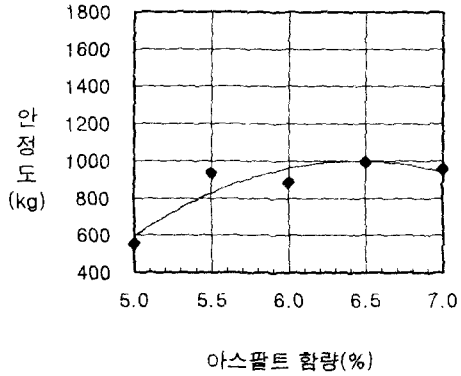
날짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도(kg)		흐름값 (0.01cm)	
					공기중	수중	SSD		실측	이론					실측치	보정치		
1999년 6월 3일	마살배합설계		5.0	1	67.6	1141.0	653.5	1163.0	509.5	2.239	2.427	10.96	7.73	18.68	58.64	544	473	18
				2	68.3	1139.0	648.5	1162.5	514.0	2.216	2.427	10.84	8.70	19.54	55.49	622	535	17
				3	66.4	1130.5	643.5	1149.5	506.0	2.234	2.427	10.93	7.94	18.87	57.91	728	648	24
			평균	67.4					2.230	2.427	10.91	8.12	19.03	57.32		652	520	
			5.5	4	67.5	1151.5	656.0	1168.5	512.5	2.247	2.410	12.09	6.77	18.86	64.10	964	839	33
				5	67.2	1140.5	651.0	1159.0	508.0	2.245	2.410	12.08	6.84	18.93	63.84	907	798	38
				6	63.2	1128.5	643.0	1137.5	494.5	2.282	2.410	12.28	5.31	17.59	69.83	1168	1168	27
			평균	66.0					2.258	2.410	12.16	6.31	18.46	65.63		936	833	
			6.0	7	65.6	1139.0	647.0	1151.5	504.5	2.258	2.394	13.25	5.69	18.95	69.95	1033	940	30
				8	64.1	1125.5	640.5	1136.0	495.5	2.271	2.394	13.34	5.12	18.45	72.26	952	904	38
				9	65.4	1137.0	646.0	1149.5	503.5	2.258	2.394	13.26	5.67	18.93	70.03	879	809	35
			평균	65.0					2.262	2.394	13.28	5.50	18.78	70.73		864	814	
			6.5	10	63.2	1137.0	644.5	1141.0	496.5	2.290	2.376	14.56	3.62	18.18	80.10	1029	1029	39
				11	65.6	1156.0	654.5	1165.5	511.0	2.262	2.376	14.39	4.79	19.18	75.03	1086	988	29
				12	64.5	1138.0	644.0	1146.0	502.0	2.267	2.376	14.42	4.59	19.01	75.85	1025	964	39
평균	64.4					2.273	2.376	14.46	4.33	18.79	76.94		994	956				
7.0	13	64.6	1139.5	644.5	1144.5	500.0	2.279	2.357	15.61	3.31	18.92	82.51	1037	975	33			
	14	64.3	1116.0	629.0	1124.0	495.0	2.255	2.357	15.44	4.35	19.79	78.03	928	882	33			
	15	64.2	1137.5	643.0	1141.5	498.5	2.282	2.357	15.63	3.19	18.82	83.06	1066	1013	37			
평균	64.4					2.272	2.357	15.56	3.61	19.18	81.16		956	914				

마살 안정도시험

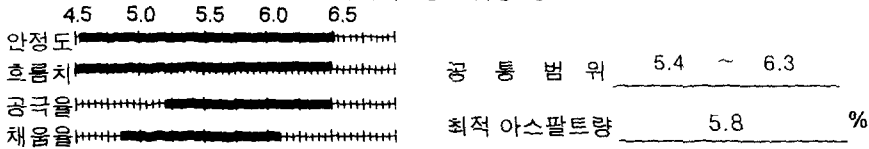
시험년월일 1999년 6월 3일

조사명·목적 부순모래, 갭입도-2 혼합물의 사용장소 _____

혼합물의 종류 13mm(충천LDPE, AC17.5%) 시험자 이상범



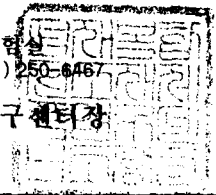
최적아스팔트함량 결정



상기의 결과는 제시된 시료에 대한 시험 결과임을 확인합니다.

1999년 6월 3일
 석재-역청 복합 소재 실험실
 Tel: 0(361) 250-7283, Fax: 0(361) 250-6467

강원대학교 부설 석재복합 신소재 제품 연구센터장



마살안정도 실험

실험자 : 이상범

가열혼합 갱입도-2 (춘천삼광, 부순모래, 페비닐 LDPE, AC17.5%, AP-3, 13mm, 50회 마살다짐)

날짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도(kg)		흐름값 (0.01cm)		
					공기중	수중	SSD		실측	이론					실측치	보정치			
1 9 9 9 년 6 월 5 일	마 살 안 정 도	6.5	1	66.5	1135.0	645.0	1148.0	503.0	2.256	2.376	14.35	5.03	19.38	74.04	903	804	42		
			2	66.1	1149.5	652.5	1158.0	505.5	2.274	2.376	14.46	4.29	18.76	77.11	960	864	38		
			3	64.6	1134.0	645.0	1142.0	497.0	2.282	2.376	14.51	3.97	18.48	78.52	1025	964	31		
			평균	65.7					2.271	2.376	14.44	4.43	18.87	76.52		877	37		

간접인장강도 시험

실험자 : 이상범

가열혼합 갭입도-2 (춘천삼광,부순모래, 페비닐 LDPE, AC17.5%, AP-3, 13mm, 50회 마살다짐)

날 짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	Def. (mm)	Sti. (kg/mm)	ITS (kg/cm ²)	
					공기중	수중	SSD		실측	이론								
1 9 9 9 년 6 월 5 일	간 접 인 장 강 도	6.5	1	65.7	1133.5	642.0	1142.5	500.5	2.265	2.376	14.40	4.68	19.09	75.47	2.33	331	7.5	
			2	65.9	1131.5	641.0	1142.5	501.5	2.256	2.376	14.35	5.04	19.39	74.00	2.42	372	8.7	
			3	65.2	1129.0	638.5	1137.0	498.5	2.265	2.376	14.40	4.68	19.08	75.48	2.75	306	8.2	
			평균	65.6					2.262	2.376	14.39	4.68	19.19	74.98		336	8.1	

Slab공시체(춘천골재, AP-3) 이상범													
시험	배합비, 첨가제	AC	두께	중량(g)			용적	밀도		AC용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)
일시	함량	함량	mm	공기중	수중	SSD		실측	이론				
12-6	밀입도 Control	5.2	70.2	15,438.0	8,926	15,455	6,529	2.365	2.460	11.95	3.87	15.82	75.52
12-6	밀입도 LDPE AC12%	5.5	71.9	16,172.0	9,278	16,175	6,897	2.345	2.428	12.53	3.43	15.96	78.53
12-7	겉입도 LDPE AC12%	5.8	70.1	14,678.0	8,350	14,698	6,348	2.312	2.387	13.03	3.13	16.17	80.62
12-7	겉입도 HDPE AC10%	6.6	70.4	14,820.5	8,480	14,836	6,356	2.332	2.411	14.96	3.29	18.24	81.98

간접인장강도 시험

시험자 : 이상범, 김성운

가열혼합 밀입도 (춘천삼광, AP-3, 19mm, 50회 마살다짐) 동결융해실험

날 짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	Def. (mm)	Sti. (kg/mm)	ITS (kg/cm ²)	
					공기중	수중	SSD		실측	이론								
2000년 4월 28일	간접인장강도	5.2	1	64.0	1181.5	685.0	1184.0	499.0	2.368	2.460	12.05	3.75	15.80	76.26	1.50	760	10.7	
			2	64.2	1179.0	683.5	1181.0	497.5	2.370	2.460	12.06	3.66	15.72	76.69	1.50	787	10.9	
			3	63.1	1181.5	685.5	1183.0	497.5	2.375	2.460	12.08	3.46	15.54	77.74	1.42	706	10.0	
			평균	63.8					2.371	2.460	12.06	3.69	15.69	76.89		761	10.8	
		1주 후	5.2	1	63.1	1181.0	684.0	1183.5	499.5	2.364	2.460	12.03	3.89	15.92	75.58	1.67	588	9.2
			2	63.2	1183.0	686.5	1185.0	498.5	2.373	2.460	12.07	3.53	15.61	77.37	1.50	640	9.6	
			3	62.7	1180.5	686.0	1183.0	497.0	2.375	2.460	12.09	3.45	15.53	77.82	1.42	706	9.9	
			평균	63.0					2.371	2.460	12.06	3.62	15.68	76.91		646	9.6	
		2주 후	5.2	1	62.7	1181.0	684.5	1182.0	497.5	2.374	2.460	12.08	3.50	15.58	77.53	1.54	558	8.8
			2	62.5	1178.5	683.0	1180.0	497.0	2.371	2.460	12.06	3.61	15.67	76.98	1.58	568	9.0	
			3	62.5	1180.0	684.0	1181.5	497.5	2.372	2.460	12.07	3.58	15.65	77.11	1.58	594	9.6	
			평균	62.6					2.372	2.460	12.07	3.56	15.63	77.20		573	9.1	
		3주 후	5.2	1	62.7	1180.0	682.5	1181.5	499.0	2.365	2.460	12.03	3.87	15.90	75.65	1.67	480	8.2
			2	62.4	1178.5	682.0	1180.0	498.0	2.366	2.460	12.04	3.80	15.84	76.00	1.67	498	8.5	
			3	62.5	1180.5	684.0	1182.5	498.5	2.368	2.460	12.05	3.74	15.78	76.33	1.67	486	8.3	
			평균	62.5					2.366	2.460	12.04	3.80	15.84	75.99		486	8.3	
		4주 후	5.2	1	62.7	1178.5	683.0	1180.5	497.5	2.369	2.460	12.05	3.71	15.76	76.49	1.92	417	8.2
			2	62.4	1178.0	682.0	1179.5	497.5	2.368	2.460	12.05	3.75	15.79	76.28	2.00	395	8.1	
			3	62.3	1177.0	683.0	1179.0	496.0	2.373	2.460	12.07	3.54	15.61	77.34	2.08	384	8.2	
			평균	62.5					2.370	2.460	12.06	3.66	15.72	76.70		399	8.1	

간접인장강도 시험

실험자 : 이상범, 김성운

가열혼합 밀입도 (춘천삼광, LDPE AC12%, AP-3, 19mm, 50회 마살다짐) 동결융해실험

날짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP 용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	Def. (mm)	Sti. (kg/mm)	ITS (kg/cm ²)	
					공기중	수중	SSD		실측	이론								
2000년 4월 28일	간접인장강도	5.5	1	63.4	1181.0	680.0	1184.0	504.0	2.343	2.428	12.61	3.49	16.10	78.32	1.80	672	12.0	
			2	63.6	1181.5	680.0	1185.0	505.0	2.340	2.428	12.59	3.64	16.23	77.57	1.80	636	10.8	
			3	64.4	1185.0	678.5	1188.0	509.5	2.326	2.428	12.52	4.21	16.73	74.84	1.70	724	11.3	
			평균	63.8					2.336	2.428	12.57	3.78	16.35	76.88		677	11.4	
		1주 후	5.5	1	64.2	1183.5	680.5	1185.5	505.0	2.344	2.428	12.61	3.48	16.09	78.39	2.00	610	11.3
			2	64.0	1185.0	679.5	1186.5	507.0	2.337	2.428	12.58	3.74	16.31	77.10	2.00	610	11.5	
			3	63.2	1179.5	676.0	1181.0	505.0	2.336	2.428	12.57	3.80	16.37	76.77	1.70	712	12.0	
			평균	63.8					2.339	2.428	12.58	3.67	16.26	77.41		644	11.6	
		2주 후	5.5	1	63.8	1182.5	678.5	1184.0	505.5	2.339	2.428	12.59	3.65	16.24	77.50	1.90	589	10.6
			2	63.3	1172.0	673.5	1173.5	500.0	2.344	2.428	12.61	3.46	16.07	78.48	1.90	589	11.1	
			3	63.2	1184.5	680.0	1185.5	505.5	2.343	2.428	12.61	3.49	16.10	78.32	2.00	560	11.1	
			평균	63.4					2.342	2.428	12.60	3.54	16.14	78.10		590	10.9	
		3주 후	5.5	1	63.6	1183.0	680.0	1185.0	505.0	2.343	2.428	12.61	3.52	16.13	78.18	3.00	373	10.6
			2	64.0	1182.0	675.5	1182.0	506.5	2.334	2.428	12.56	3.89	16.44	76.37	2.20	464	9.6	
			3	64.2	1182.0	676.0	1183.5	507.5	2.329	2.428	12.53	4.07	16.61	75.47	2.40	450	10.0	
			평균	63.9					2.335	2.428	12.57	3.82	16.39	76.38		429	10.1	
		4주 후	5.5	1	64.2	1182.0	677.5	1184.5	507.0	2.331	2.428	12.55	3.98	16.53	75.92	2.00	535	10.1
			2	62.6	1170.0	670.0	1171.0	501.0	2.335	2.428	12.57	3.82	16.38	76.71	2.40	408	9.1	
			3	51.8	956.5	548.5	959.5	411.0	2.327	2.428	12.52	4.15	16.67	75.11	2.30	374	8.8	
			평균	59.5					2.331	2.428	12.55	3.98	16.53	75.91		439	9.3	

간접인장강도 시험

시험자 : 이상범, 김성운

가열혼합 갭입도-2 (춘천삼광, 페비닐 LDPE, AC12%, AP-3, 13mm, 50회 마살다짐) 동결융해시험

날 짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	Def. (mm)	Sti. (kg/mm)	ITS (kg/cm ²)
					공기중	수중	SSD		실측	이론							
2 0 0 0 년 4 월 2 9 일	간 접 인 장 강 도	5.8	1	62.7	1139.5	650.0	1143.5	493.5	2.309	2.387	13.10	3.27	16.37	80.04	1.35	733	10.1
			2	62.5	1145.0	650.5	1148.5	498.0	2.299	2.387	13.05	3.68	16.73	78.01	1.60	681	11.1
			3	63.1	1144.0	650.5	1148.0	497.5	2.299	2.387	13.05	3.67	16.72	78.07	1.90	547	10.5
			평균	62.8						2.303	2.387	13.07	3.54	16.60	78.70		654
		5.8 1주 후	1	63.0	1142.5	650.5	1147.0	496.5	2.301	2.387	13.06	3.60	16.66	78.40	1.80	517	9.4
			2	63.1	1143.5	650.0	1146.5	496.5	2.303	2.387	13.07	3.51	16.58	78.81	1.90	579	11.1
			3	63.8	1141.5	648.0	1144.5	496.5	2.299	2.387	13.05	3.68	16.73	77.99	2.40	354	8.5
			평균	63.3						2.301	2.387	13.06	3.60	16.66	78.40		483
		5.8 2주 후	1	63.2	1141.0	649.0	1145.0	496.0	2.300	2.387	13.06	3.63	16.68	78.25	2.20	382	8.5
			2	64.4	1143.0	648.0	1148.0	500.0	2.286	2.387	12.97	4.23	17.20	75.41	1.90	400	7.5
			3	65.3	1144.5	652.5	1149.5	497.0	2.303	2.387	13.07	3.53	16.60	78.75	2.30	304	6.8
			평균	64.3						2.296	2.387	13.03	3.60	16.83	77.45		382
		5.8 3주 후	1	63.0	1139.0	649.0	1143.0	494.0	2.306	2.387	13.09	3.41	16.49	79.34	1.80	406	7.4
			2	63.9	1145.0	650.5	1148.5	498.0	2.299	2.387	13.05	3.68	16.73	78.01	2.60	238	6.2
			3	63.2	1141.5	647.0	1144.5	497.5	2.294	2.387	13.02	3.88	16.90	77.06	2.70	296	8.1
			평균	63.4						2.300	2.387	13.05	3.65	16.71	78.13		313
		5.8 4주 후	1	64.1	1141.0	648.5	1144.0	495.5	2.303	2.387	13.07	3.53	16.60	78.73	2.30	357	8.1
			2	64.0	1146.0	650.0	1148.5	498.5	2.299	2.387	13.05	3.69	16.74	77.95	2.20	327	7.2
			3	63.9	1140.0	648.0	1143.0	495.0	2.303	2.387	13.07	3.52	16.59	78.79	2.50	192	4.8
			평균	64.0						2.302	2.387	13.06	3.58	16.64	78.49		292

간접인장강도 시험

시험자 : 이상범, 김성운

가열혼합 갱입도-2 (춘천삼광, 페비닐 HDPE-1, AC10%, AP-3, 13mm, 50회 마살다짐) 동결융해실험

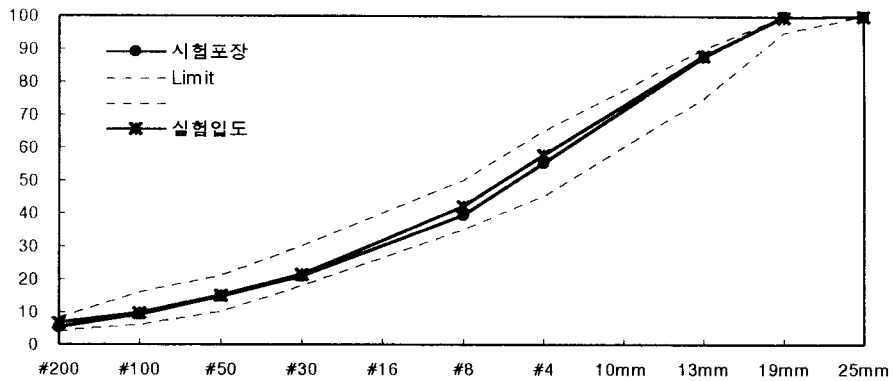
날 짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	Def. (mm)	Sti. (kg/mm)	ITS (kg/cm ²)	
					공기중	수중	SSD		실측	이론								
2 0 0 0 년 4 월 2 9 일	간 접 인 장 강 도	6.6	1	62.0	1139.5	649.5	1140.5	491.0	2.321	2.411	14.99	3.74	18.73	80.02	1.50	561	8.6	
			2	62.0	1137.5	649.0	1139.5	490.5	2.319	2.411	14.98	3.81	18.79	79.71	1.60	594	9.8	
			3	62.7	1140.5	651.0	1142.0	491.0	2.323	2.411	15.00	3.66	18.66	80.40	1.80	511	9.3	
			평균	62.2					2.321	2.411	14.99	3.74	18.73	80.04		566	9.2	
		1 주 후	6.6	1	63.0	1136.5	647.5	1139.5	492.0	2.310	2.411	14.92	4.19	19.11	78.07	2.20	391	8.7
			2	62.0	1140.0	652.0	1141.5	489.5	2.329	2.411	15.04	3.40	18.44	81.54	1.70	512	8.9	
			3	63.5	1143.0	649.5	1146.5	497.0	2.300	2.411	14.85	4.61	19.46	76.30	1.80	517	9.3	
			평균	62.8					2.310	2.411	14.94	4.07	19.01	78.69		473	9.0	
		2 주 후	6.6	1	62.4	1141.0	651.5	1142.5	491.0	2.324	2.411	15.01	3.62	18.62	80.59	2.30	270	6.3
			2	63.8	1143.5	650.5	1146.5	496.0	2.305	2.411	14.89	4.38	19.27	77.28	2.10	376	7.9	
			3	62.3	1141.5	652.5	1143.5	491.0	2.325	2.411	15.01	3.57	18.59	80.78	2.30	261	6.1	
			평균	62.8					2.316	2.411	14.97	3.86	19.03	78.52		302	6.5	
		3 주 후	6.6	1	63.1	1142.5	651.5	1145.5	494.0	2.313	2.411	14.94	4.07	19.01	78.56	2.00	350	7.1
			2	63.0	1139.5	648.5	1143.5	495.0	2.302	2.411	14.87	4.52	19.39	76.68	2.40	213	5.2	
			3	62.9	1136.0	648.0	1139.0	491.0	2.314	2.411	14.94	4.04	18.98	78.72	2.50	192	4.9	
			평균	63.0					2.309	2.411	14.91	4.21	19.13	77.96		262	5.7	
		4 주 후	6.6	1	62.4	1142.0	651.0	1143.5	492.5	2.319	2.411	14.97	3.82	18.80	79.65	2.10	352	7.5
			2	62.0	1138.5	651.0	1140.0	489.0	2.328	2.411	15.04	3.43	18.47	81.41	2.60	177	4.7	
			3	61.8	1139.5	650.0	1142.0	492.0	2.316	2.411	14.96	3.94	18.89	79.16	2.60	158	4.2	
			평균	62.1					2.321	2.411	14.99	3.73	18.72	80.08		229	5.5	

시험포장 Slab 공시체												1999년 이상범	
시험	배합비, 첨가제	AC	두께	중량(g)			용적	밀도		AC용적	공극율	VMA	채움율
일시	합량	합량	mm	공기중	수중	SSD		실측	이론	(%)	(%)	(%)	(%)
9-16	19mm 밀입도 Control	5.15	71.4	15,396.5	8,824	15,429.5	6,606	2.331	2.432	11.67	4.16	15.82	73.72
9-16	19mm 밀입도 DL12%	5.55	70.4	15,074.5	8,666	15,121.0	6,456	2.335	2.442	12.59	4.38	16.97	74.21
9-16	13mm 갭입도 GL12%	5.85	70.0	14,248.0	8,143	14,364.0	6,222	2.290	2.428	13.02	5.68	18.70	69.63
9-16	13mm 갭입도 GH10%	6.10	70.4	14,329.5	8,165	14,447.5	6,283	2.281	2.418	13.52	5.67	19.19	70.45

골재의 품질 시험표

시험의뢰인			시험일자	시험온도	시험장소			
			99년 09월 30일	20℃	강원대학교			
시험포장 혼합물 체가름 시험(춘천삼광, 19mm 밑입도 혼합물: Control)								
체크기	남은중량(g)		각체에 남은량	각체에 남은량 누계		통과량		
	1	2	평균	백분율(%)	누계중량(g)	백분율(%)	통과중량(g)	
							백분율(%)	
25mm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	937.70	100.00
19mm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	937.70	100.00
13mm	117.1	117.1	117.10	12.49	117.10	12.49	820.60	87.51
10mm	81.0	81.0	81.00	8.64	198.10	21.13	739.60	78.87
#4	223.5	223.5	223.50	23.83	421.60	44.96	516.10	55.04
#8	148.3	148.3	148.30	15.82	569.90	60.78	367.80	39.22
#16	100.5	100.5	100.50	10.72	670.40	71.49	267.30	28.51
#30	71.6	71.6	71.60	7.64	742.00	79.13	195.70	20.87
#50	58.1	58.1	58.10	6.20	800.10	85.33	137.60	14.67
#100	51.9	51.9	51.90	5.53	852.00	90.86	85.70	9.14
#200	37.3	37.3	37.30	3.98	889.30	94.84	48.40	5.16
Pan	48.4	48.4	48.40	5.16	937.70	100.00	0.00	0.00
합 계	937.7	937.7	937.70	100.00				

입도분포 곡선



상기의 결과는 제시된 시료에 대한 시험 결과임을 확인 합니다.

99년 09월 30일

석재-역청 복합소재 실험
☎: 0(361)250-7283, Fax: 0(361)250-6467

강원대학교 부설

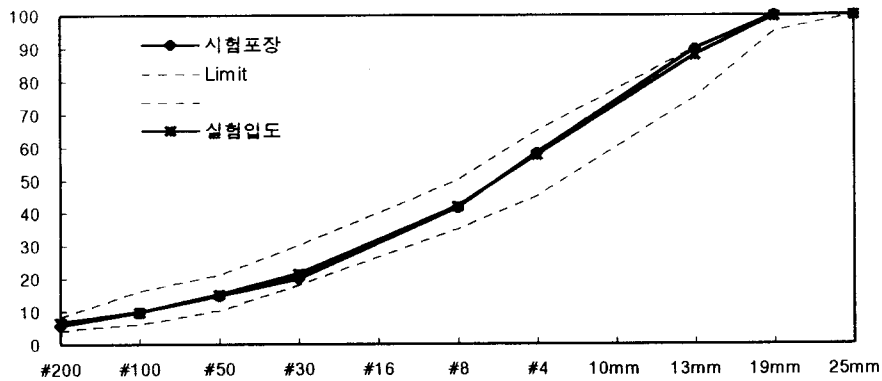
석재복합 신소재 제품 연구개발소장



골재의 품질 시험표

시험의뢰인			시험일자	시험온도	시험장소			
			99년 09월 30일	20℃	강원대학교			
시험포장 혼합물 체가름 시험(춘천삼광, 밀입도 페비닐 19mm, DL12)								
체크기	남은중량(g)		각체에 남은량	각체에 남은량 누계		통과량		
	1	2	평균	백분율(%)	누계중량(g)	백분율(%)	통과중량(g)	
				백분율(%)	누계중량(g)	백분율(%)	통과중량(g)	
25mm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	937.80	100.00
19mm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	937.80	100.00
13mm	96.0	96.0	96.00	10.24	96.00	10.24	841.80	89.76
10mm	68.1	68.1	68.10	7.26	164.10	17.50	773.70	82.50
#4	228.9	228.9	228.90	24.41	393.00	41.91	544.80	58.09
#8	154.0	154.0	154.00	16.42	547.00	58.33	390.80	41.67
#16	127.6	127.6	127.60	13.61	674.60	71.93	263.20	28.07
#30	76.9	76.9	76.90	8.20	751.50	80.13	186.30	19.87
#50	49.4	49.4	49.40	5.27	800.90	85.40	136.90	14.60
#100	47.0	47.0	47.00	5.01	847.90	90.41	89.90	9.59
#200	36.9	36.9	36.90	3.93	884.80	94.35	53.00	5.65
Pan	53.0	53.0	53.00	5.65	937.80	100.00	0.00	0.00
합 계	937.8	937.8	937.80	100.00				

입도분포 곡선



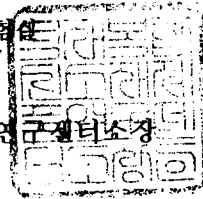
상기의 결과는 제시된 시료에 대한 시험 결과임을 확인 합니다.

99년 09월 30일

석재-역청 복합소재 실험실
☎: 0(361)250-7293, Fax: 0(361)250-6467

강원대학교 부설

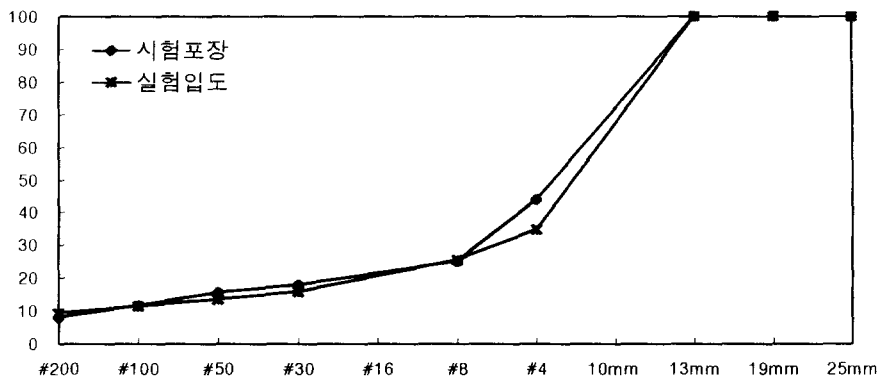
석재복합 신소재 제품 연구센터소장



골재의 품질 시험표

시험의뢰인			시험일자	시험온도	시험장소			
			99년 09월 30일	20℃	강원대학교			
시험포장 혼합물 체가름 시험(준천삼광, 갭입도 13mm 페비닐, GL12)								
체크기	남은중량(g)		각체에 남은량	각체에 남은량 누계		통과량		
	1	2	평균	백분율(%)	누계중량(g)	백분율(%)	통과중량(g)	
							백분율(%)	
25mm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	937.30	100.00
19mm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	937.30	100.00
13mm	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	937.30	100.00
10mm	71.8	71.8	71.80	7.66	71.80	7.66	865.50	92.34
#4	453.1	453.1	453.10	48.34	524.90	56.00	412.40	44.00
#8	178.5	178.5	178.50	19.04	703.40	75.05	233.90	24.95
#16	43.6	43.6	43.60	4.65	747.00	79.70	190.30	20.30
#30	21.9	21.9	21.90	2.34	768.90	82.03	168.40	17.97
#50	22.0	22.0	22.00	2.35	790.90	84.38	146.40	15.62
#100	37.7	37.7	37.70	4.02	828.60	88.40	108.70	11.60
#200	34.2	34.2	34.20	3.65	862.80	92.05	74.50	7.95
Pan	74.5	74.5	74.50	7.95	937.30	100.00	0.00	0.00
합 계	937.3	937.3	937.30	100.00				

입도분포 곡선



상기의 결과는 제시된 시료에 대한 시험 결과임을 확인 합니다.

99년 09월 30일

석재-역청 복합소재 실험실

☎: 0(361)250-7283, Fax: 0(361)250-6467

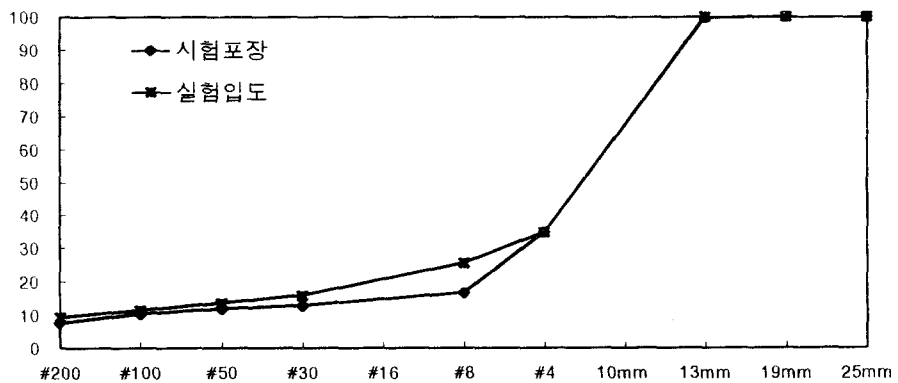
강원대학교 부설

석재복합 신소재 제품 연구센터소장

골재의 품질 시험표

시험의뢰인		시험일자	99년 09월 30일	시험온도	20℃	시험장소	강원대학교	
시험포장 혼합물 체가름 시험(춘천삼광, 갱입도 13mm 페비닐, GH10)								
체크기	남은중량(g)		각체에 남은량	각체에 남은량 무게		통과량		
	1	2	평균	백분율(%)	누계중량(g)	백분율(%)	통과중량(g)	
							백분율(%)	
25mm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	937.60	100.00
19mm	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	937.60	100.00
13mm	3.8	3.8	3.80	0.41	3.80	0.41	933.80	99.59
10mm	34.7	34.7	34.70	3.70	38.50	4.11	899.10	95.89
#4	573.2	573.2	573.20	61.13	611.70	65.24	325.90	34.76
#8	170.7	170.7	170.70	18.21	782.40	83.45	155.20	16.55
#16	25.1	25.1	25.10	2.68	807.50	86.12	130.10	13.88
#30	11.4	11.4	11.40	1.22	818.90	87.34	118.70	12.66
#50	8.1	8.1	8.10	0.86	827.00	88.20	110.60	11.80
#100	15.4	15.4	15.40	1.64	842.40	89.85	95.20	10.15
#200	25.2	25.2	25.20	2.69	867.60	92.53	70.00	7.47
Pan	70	70	70.00	7.47	937.60	100.00	0.00	0.00
합 계	937.6	937.6	937.60	100.00				

입도분포 곡선



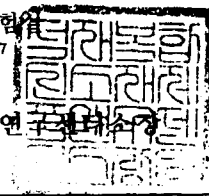
상기의 결과는 제시된 시료에 대한 시험 결과임을 확인 합니다.

99년 09월 30일

석재-역청 복합소재 실험실
☎: 0(361)250-7283, Fax: 0(361)250-6467

강원대학교 부설

석재복합 신소재 제품 연구실



마살안정도 실험

실험자 : 이상범

시험포장 19mm 밀입도 혼합물 (춘천삼광)

날짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용석	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도(kg)		흐름값 (0.01cm)
					공기중	수중	SSD		실측	이론					실측치	보정치	
1999년 9월 16일	마살안정도	5.15 CONT.	1	62.3	1150.5	657.5	1153.5	496.0	2.320	2.432	11.69	4.62	16.31	71.66	858	875	25
			2	62.6	1152.5	658.5	1154.5	496.0	2.324	2.432	11.71	4.46	16.17	72.43	855	872	29
			3	62.2	1153.0	659.0	1155.0	496.0	2.325	2.432	11.71	4.42	16.13	72.62	931	950	34
			평균	62.4						2.323	2.432	11.70	4.50	16.20	72.23	898	925
		5.55 DL12	1	63.3	1128.0	650.0	1133.5	483.5	2.333	2.442	12.67	4.46	17.13	73.95	1159	1159	27
			2	64.8	1129.0	651.0	1135.5	484.5	2.330	2.442	12.65	4.58	17.23	73.44	1237	1150	27
			3	63.6	1130.0	653.0	1136.5	483.5	2.337	2.442	12.69	4.29	16.99	74.72	1265	1214	26
			평균	63.9						2.333	2.442	11.76	4.45	16.20	72.57		1175
		5.85 GL12	1	63.1	1095.0	625.0	1106.5	481.5	2.274	2.428	13.02	6.34	19.35	67.26	943	952	38
			2	63.8	1099.5	628.0	1112.5	484.5	2.269	2.428	12.99	6.53	19.52	66.53	960	922	30
			3	62.5	1098.0	625.0	1108.0	483.0	2.273	2.428	13.01	6.37	19.38	67.13	968	987	29
			평균	63.1						2.272	2.428	11.45	6.41	17.56	64.09		954
6.10 GH10	1	68.3	1099.0	630.0	1120.0	490.0	2.243	2.418	13.39	7.24	20.63	64.89	787	677	24		
	2	68.6	1097.0	630.0	1118.0	488.0	2.248	2.418	13.42	7.03	20.45	65.61	759	645	23		
	3	68.3	1101.0	634.0	1122.5	488.5	2.254	2.418	13.45	6.79	20.24	66.46	721	620	26		
	평균	68.4						2.248	2.418	11.33	7.02	18.35	61.74		647	24	

간접인장강도 시험

실험자 : 이상범

시험포장 19mm 밀입도 혼합물 (춘천삼광)

날짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	Def. (mm)	Sti. (kg/mm)	ITS (kg/cm ²)
					공기중	수중	SSD		실측	이론							
1999년 9월 16일	간접인장강도	5.2 CONT.	1	62.2	1148.5	656.5	1150.5	494.0	2.325	2.432	11.72	4.40	16.12	72.68	1.83	512	9.6
			2	62.2	1149.0	651.5	1150.5	499.0	2.303	2.432	11.60	5.32	16.92	68.56	2.17	411	9.1
			3	62.0	1147.5	657.5	1149.0	491.5	2.335	2.432	11.76	4.00	15.77	74.62	2.50	384	9.9
			평균	62.1						2.321	2.432	11.69	4.58	16.27	71.93		436
		5.6 DL12	1	63.4	1129.5	650.5	1134.5	484.0	2.334	2.442	11.76	4.44	16.20	72.61	1.58	755	12.0
			2	63.0	1132.5	652.0	1137.0	485.0	2.335	2.442	11.77	4.38	16.15	72.88	2.00	616	12.4
			3	64.4	1140.5	658.0	1146.5	488.5	2.335	2.442	11.76	4.39	16.16	72.81	1.92	611	11.6
			평균	63.6						2.334	2.442	11.76	4.40	16.17	72.76		661
		5.9 GL12	1	63.2	1098.5	627.0	1111.5	484.5	2.267	2.428	11.43	6.62	18.04	63.32	2.08	502	10.5
			2	64.1	1099.5	630.0	1114.0	484.0	2.272	2.428	11.45	6.44	17.89	64.01	1.67	549	9.1
			3	64.3	1098.5	631.0	1111.5	480.5	2.286	2.428	11.52	5.84	17.36	66.35	1.92	485	9.2
			평균	63.9						2.275	2.428	11.46	6.30	17.76	64.54		512
6.1 GH10	1	70.0	1126.0	646.0	1145.5	499.5	2.254	2.418	11.36	6.77	18.13	62.65	2.17	466	9.2		
	2	68.3	1098.5	631.0	1118.5	487.5	2.253	2.418	11.35	6.81	18.16	62.51	1.75	470	7.7		
	3	67.4	1097.0	632.0	1119.0	487.0	2.253	2.418	11.35	6.84	18.19	62.39	2.00	407	7.7		
	평균	68.6						2.253	2.418	11.36	6.81	18.16	62.52		447	8.2	

마살안정도 실험

실험자 : 이상범

시험포장 48시간 후 코아 공시체 (춘천삼광)

날짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도(kg)		흐름값 (0.01cm)
					공기중	수중	SSD		실측	이론					실측치	보정치	
1999년 9월 18일	마살안정도	5.15 CONT.	1	67.1	1153.5	655.0	1155.5	500.5	2.305	2.432	11.61	5.23	16.85	68.93			
			2	67.3	1162.5	658.5	1167.0	508.5	2.286	2.432	11.52	6.00	17.52	65.76			
			3	66.8	1171.5	669.0	1174.0	505.0	2.320	2.432	11.69	4.61	16.30	71.70			
			평균	67.1					2.304	2.432	11.61	5.28	16.89	68.73			
		5.55 DL12	1	65.8	1111.0	623.0	1115.0	492.0	2.258	2.442	11.38	7.53	18.91	60.18			
			2	66.6	1112.5	624.5	1116.5	492.0	2.261	2.442	11.39	7.40	18.80	60.61			
			3	66.8	1105.0	620.0	1109.0	489.0	2.260	2.442	11.39	7.46	18.85	60.40			
			평균	66.4					2.260	2.442	11.39	7.47	18.85	60.40			
		5.85 GL12	1	66.6	1022.0	574.5	1047.0	472.5	2.163	2.428	10.90	10.92	21.82	49.96			
			2	66.6	1082.0	604.0	1097.5	493.5	2.193	2.428	11.05	9.70	20.75	53.25			
			3	66.9	1054.0	577.0	1066.0	489.0	2.155	2.428	10.86	11.23	22.09	49.17			
			평균	66.7					2.170	2.428	10.94	10.61	21.56	50.75			
		6.10 GH10	1	66.5	1048.0	579.5	1062.5	483.0	2.170	2.418	10.93	10.27	21.20	51.58			
			2	67.1	1054.0	582.5	1070.0	487.5	2.162	2.418	10.89	10.59	21.48	50.72			
			3														
평균	66.9						2.166	2.418	10.91	10.43	21.34	51.15					

마살안정도 실험

실험자 : 이상범

시험포장 6개월후 코아 공시체 (춘천삼광)

날짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도(kg)		흐름값 (0.01cm)
					공기중	수중	SSD		실측	이론					실측치	보정치	
2000년	마살안정도	5.15 CONT.	1	78.8	1276.5	730.5	1281.0	550.5	2.319	2.432	11.68	4.65	16.34	71.51			
			2	72.0	1224.5	697.5	1229.5	532.0	2.302	2.432	11.60	5.36	16.96	68.40			
			3	68.0	1102.5	630.5	1113.5	483.0	2.283	2.432	11.50	6.14	17.65	65.19			
			평균	72.9					2.301	2.432	11.60	5.39	16.96	68.29			
		5.55 DL12	1	81.6	1268.0	720.0	1286.0	566.0	2.240	2.442	11.29	8.26	19.55	57.75			
			2	70.8	1076.0	614.0	1089.0	475.0	2.265	2.442	11.41	7.24	18.65	61.20			
			3	76.7	1155.5	660.5	1170.5	510.0	2.266	2.442	11.42	7.22	18.64	61.26			
			평균	76.4					2.267	2.442	11.37	7.57	18.95	60.03			
		5.85 GL12	1	95.0	1418.0	789.5	1449.0	659.5	2.150	2.428	10.83	11.45	22.28	48.63			
			2	67.2	1026.5	577.0	1050.0	473.0	2.170	2.428	10.94	10.62	21.55	50.74			
			3	76.9	1180.0	668.0	1206.5	538.5	2.191	2.428	11.04	9.75	20.79	53.11			
			평균	79.7					2.171	2.428	10.94	10.60	21.54	50.77			
6.10 GH10	1	78.6	1161.0	648.5	1194.0	545.5	2.128	2.418	10.72	11.98	22.70	47.24					
	2	56.7	824.5	461.0	843.5	382.5	2.156	2.418	10.86	10.85	21.72	50.02					
	3	129.2	1871.0	1019.0	1901.5	882.5	2.120	2.418	10.68	12.32	23.00	46.44					
	평균	88.2					2.156	2.418	10.76	11.72	22.47	47.86					
18일	마살안정도																

마살안정도 실험

실험자 : 이상범

시험포장 1년후 코아 공시체 (춘천삼광)

날짜	종류	AC 함량	No	두께 (mm)	중량(g)			용적	밀도(g/cm ³)		AP용적 (%)	공극율 (%)	VMA (%)	채움율 (%)	안정도(kg)		흐름값 (0.01cm)
					공기중	수중	SSD		실측	이론					실측치	보정치	
2000년 9월 18일	마살안정도	5.15 CONT.	1	82.1	1470.5	839.5	1477.5	638.0	2.305	2.432	11.61	5.23	16.84	68.96			
			2	70.4	1212.5	680.0	1216.5	636.5	2.260	2.432	11.39	7.07	18.46	61.69			
			3	61.0	1076.5	621.0	1087.0	466.0	2.310	2.432	11.64	5.01	16.65	69.90			
			평균	71.2					2.292	2.432	11.55	5.77	17.32	66.88			
		5.55 DL12	1	75.4	1478.0	830.0	1482.5	652.5	2.265	2.442	11.41	7.24	18.66	61.18			
			2	81.3	1374.5	780.0	1390.5	610.5	2.261	2.442	11.35	7.80	19.15	59.25			
			3	72.6	1125.5	656.0	1151.0	495.0	2.274	2.442	11.46	6.89	18.35	62.45			
			평균	76.4					2.263	2.442	11.41	7.31	18.72	60.93			
		5.85 GL12	1	88.2	1375.5	767.5	1413.5	646.0	2.129	2.428	10.73	12.30	23.03	46.58			
			2	70.4	1039.0	568.0	1063.5	495.5	2.097	2.428	10.57	13.64	24.20	43.66			
			3	66.3	1057.0	596.5	1086.5	490.0	2.157	2.428	10.87	11.16	22.03	49.35			
			평균	76.0					2.128	2.428	10.72	12.37	23.09	46.44			
6.10 GH10	1	74.8	1179.0	655.5	1202.5	547.0	2.155	2.418	10.86	10.86	21.72	50.00					
	2	60.5	944.0	526.5	967.0	440.5	2.143	2.418	10.80	11.37	22.17	48.71					
	3	100.7	1804.5	1008.0	1839.5	831.5	2.170	2.418	10.94	10.25	21.19	51.62					
	평균	78.7					2.156	2.418	10.87	10.83	21.69	50.09					

아스팔트 침입도 · 점도시험 결과

시험포장 48시간후 (폐비닐 혼합물)

1999년 10월 8일

아스팔트 종류	침입도			절대점도						동점도
	No.	측정치	침입도 (0.1mm)	시험 용기	Bulb	K (ps/sec)	시간 (sec)	측정치 (ps)	점도 (ps)	cp
control	1	52.0	52	J607	B	40.30	65	2619.5	2,616	450
	2	52.0			C	17.54	149	2613.5		
	3	53.0			D	11.15	235	2620.3		
					E	8.18	319	2609.4		
					F	6.46				
DL12	1	29.0	29	J608	B	41.40	295	12213.0	12,235	1,025
	2	29.0			C	17.60	696	12249.6		
	3	29.0			D	11.28	1084	12227.5		
					E	8.21	1492	12249.3		
					F	6.48				
GL12	1	31.0	31	J606	B	44.30	208	9214.4	9,589	950
	2	31.0			C	19.04	510	9710.4		
	3	30.0			D	12.06	805	9708.3		
					E	8.78	1107	9719.5		
					F	6.95				
GH10	1	41.0	41	J612	B	40.50	157	6358.5	6,329	575
	2	42.0			C	17.49	362	6331.4		
	3	41.0			D	11.19	564	6311.2		
					E	8.15	775	6316.3		
					F	6.37				

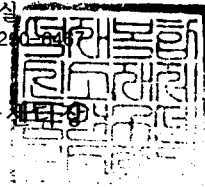
비 고

상기의 결과는 제시된 시료에 대한 시험 결과임을 확인합니다.

1999년 10월 8일

석재 - 역청 복합 소재 실험실
Tel : 0(361) 250-7284. Fax : 0(361) 250-6245

강원대학교 부설
석재복합 신소재 제품 연구센터



아스팔트 침입도 · 점도시험 결과

시험포장 6개월 후(폐비닐 혼합물)

2000년 4월 7일

아스팔트 종류	침입도			절대점도					동점도	
	No.	측정치	침입도 (0.1mm)	시험 용기	Bulb	K (ps/sec)	시간 (sec)	측정치 (ps)	점도 (ps)	cp
control	1 2 3	45.0 45.0 45.0	45	J607	B	40.30	86	3465.8	3,442	500
					C	17.54	198	3472.9		
					D	11.15	306	3411.9		
					E	8.18	418	3419.2		
					F	6.46				
DL12	1 2 3	31.0 31.0 32.0	31	J612	B	40.50	370.0	14985.0	14,843	1,225
					C	17.49	840.0	14691.6		
					D	11.19	1318.0	14748.4		
					E	8.15	1834.0	14947.1		
					F	6.37				
GL12	1 2 3	34.0 34.0 32.0	33	J608	B	41.40	210.0	8694.0	8,746	925
					C	17.60	498.0	8764.8		
					D	11.28	772.0	8708.2		
					E	8.21	1074.0	8817.5		
					F	6.48				
GH10	1 2 3	34.0 32.0 32.0	33	612	B	40.50	226.0	9153.0	9,154	850
					C	17.49	526.0	9199.7		
					D	11.19	818.0	9153.4		
					E	8.15	1118.0	9111.7		
					F	6.37				

비 고

상기의 결과는 제시된 시료에 대한 시험 결과임을 확인합니다.

2000년 4월 7일

석재 - 역청 복합 소재 실험실

Tel : 0(361) 250-7284. Fax : 0(361) 250-6467

강원대학교 부설

석재복합 신소재 제품 연구센터장



아스팔트 침입도 · 점도시험 결과

시험포장 12개월 후(페비닐 혼합물)

2000년 10월 7일

아스팔트 종류	침입도			절대점도					동점도	
	No.	측정치	침입도 (0.1mm)	시험 용기	Bulb	K (ps/sec)	시간 (sec)	측정치 (ps)	점도 (ps)	cp
control	1 2 3	43.0 45.0 44.0	44	J607	B	40.30	88	3546.4	3,016	500
					C	17.54	202	3543.1		
					D	11.15	340	3791.0		
					E	8.18	438	3582.8		
					F	6.46				
DL12	1 2 3	30.0 29.0 29.0	29	J612	B	40.50	368.0	14904.0	14,819	1,250
					C	17.49	838.0	14656.6		
					D	11.19	1330.0	14882.7		
					E	8.15	1820.0	14833.0		
					F	6.37				
GL12	1 2 3	31.0 30.0 30.0	30	J608	B	41.40	224.0	9273.6	9,271	940
					C	17.60	518.0	9116.8		
					D	11.28	832.0	9385.0		
					E	8.21	1134.0	9310.1		
					F	6.48				
GH10	1 2 3	34.0 34.0 33.0	34	612	B	40.50	229.0	9274.5	9,345	860
					C	17.49	541.0	9462.1		
					D	11.19	830.0	9287.7		
					E	8.15	1148.0	9356.2		
					F	6.37				

비 고

상기의 결과는 제시된 시료에 대한 시험 결과임을 확인합니다.

2000년 10월 7일

석재 - 역청 복합 소재 실험실
Tel : 0(361) 250-7284. Fax : 0(361) 250-6467

강원대학교 부설
석재복합 신소재 제품 연구센터장