

중온 아스팔트 첨가제 SASOBIT 성능평가



문 성 호 | 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원

본 특집기사는 미국 NCAT(National Center for Asphalt Technology)에서 실험한 보고서(Hurley 및 Prowell, Evaluation of Sasobit for Use in Warm Asphalt, 2005)를 정리한 것으로 아스팔트 중온포장에 대해 연구하는 사람들에게 어느 정도 도움을 주고자 일부 내용을 번역하였다. 특히, 골재와 바인더 믹싱 및 현장다짐시 온도를 낮추어 궁극적으로 CO₂를 저감하고자 하는 노력이 많은 아스팔트 포장관련 종사자 및 연구자들에 의해 활발히 수행되고 있다. 본 기사에서는 중온에서도 작업성을 원활하게 하기 위해 사용되는 많은 첨가제 중 Fischer-Tropsch 왁스인 Sasobit에 대해 살펴보고자 한다. 여기서 관심을 두고자 하는 점은 중온 아스팔트를 실제로 활용할 시 과연 일반 아스팔트 포장과 비교했을 때 어느 정도의 공용성(Performance)을 확보할 수 있느냐 하는 점이다.

NCAT의 실내실험을 통해 알아낸 결과로는 진동다짐기를 이용하는 것이 보다 현실적이라는 것과 중온다짐에 따른 아스팔트의 동탄성 계수의 변화가 적다는 것이다. 또한 APA(Asphalt Pavement Analyzer)를 통해 소성변형의 가능성이 높지 않음을 알 수 있었으며, 중온 아스팔트를 사용함에 따른 일반적인 문제점인 수분민감성이 커지는 현상에 대해서 실험을 통해 검증한 결과, 박리방지제를 쓰는 것이 좋다는 결론을 얻었다. 전반적으로 Sasobit의 실내공용성 평가는 우수하다고 보고되고 있다.

1. 서론

최근 중온 아스팔트와 관련하여 일반적으로 사용되는 고온 아스팔트(Hot Mix Asphalt)와 비교했을 때 포장의 공용성(Performance)면에서 많은 차이

를 보이지 않는 첨가제 개발에 많은 노력을 해왔다. 이들 중온 아스팔트는 일반 아스팔트보다 약 20% 정도의 온도저감 효과를 보여 주고 있다. 북미에서는 아스팔트 혼합물을 믹싱하는데 필요한 온도를 149℃ 이상으로 제시하고 있으나 대개의 중온 아스

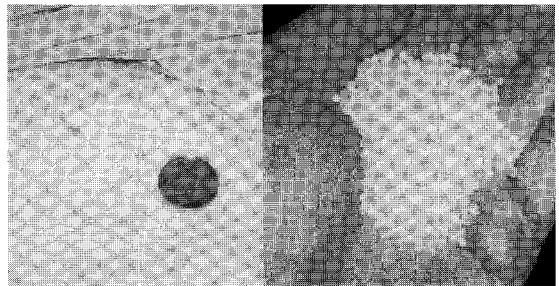
팔트의 경우 섭씨 121℃ 이하에서 한다. 이러한 중온에서 믹싱을 함으로 인해 연료비 30% 정도의 저감효과를 얻을 수 있고, 이러한 저감은 인체에 유해한 가스저감과 더불어 CO₂ 저감 등 많은 긍정적인 측면이 있다. 특히 유해가스 저감은 기존 인구밀도가 높은 지역에서도 플랜트를 건설할 수 있는 계기도 마련해 주고 있다. 아스팔트 시공에 있어서도 많은 변화를 주고 있는데 특히 중온에서 시공함에 따라 플랜트와 포장공사 구간간의 거리를 좀 더 여유가 있게 시공계획을 잡아도 괜찮다는 점이다. 아스팔트 노화의 관점에서는 중온시공으로 인해 아스팔트의 산화가 적게 진행되고, 이에 따라 온도균열 발생 가능성이 줄어든다. 이외 다른 이점으로는 중온시공에 따라 고온시공에서 흔히 발견할 수 있는 혼합물의 연성화를 막아준다는 점이다.

본 보고서는 중온 아스팔트의 많은 첨가제에 있어서 Sasobit에 대한 실험결과를 제시하고 있다. 바인더 점성을 적게 해주는 성질로 인해 Sasobit은 혼합물 믹싱 및 현장시공시 아스팔트 바인더의 흐름을 증진(Asphalt Flow Improver)시켜주는 효과가 있다. 이러한 흐름증진은 시공온도를 18~54℃까지 낮출 수 있게 한다. Sasobit은 102℃까지는 응고된 상태로 유지하지만 120℃에서는 완전히 용해된 상태로 된다. 녹는 온도 이하에서는 결정체 망의 형태로 유지됨에 따라 바인더 구조체의 안정성에 도움을 준다. 만약 Sasobit과 SBS 폴리머를 함께 이용하면 높은 온도와 낮은 온도에 공용성이 좋아져서 PG 등급을 상향할 수 있다. 이런 혼합형을 Sasoflex라고 일컫는다.

위에서 언급한 Sasobit과 SBS 폴리머를 함께 사용했을 때 (Sasoflex) Sasobit은 소성성질 (Plastomer)을 나타내고 SBS는 탄성성질 (Elastomer)을 나타냄에 따라 중온에서 시공이 가능하고 더불어 공용성이 향상되는 것을 알 수 있다. 여기서, 소성성질은 혼합물의 점성을 낮게 해주고 탄성성질은 바인더의 강성을 증가시키는 역할을 한다. 중온혼합물을 생산할 시 바인더 중량의 0.8%에

서 3%의 범위에서 Sasoflex를 첨가할 것을 권고하고 있다. 특히 Sasobit과 Sasoflex는 혼합물을 생산할 때 골재간의 마찰에 있어 윤활유 역할을 함에 따라 믹싱에 필요한 전단력을 감소시킨다.

그림 1은 2가지 종류의 Sasobit을 보여주고 있다. 하나는 작은 조각형태이며 다른 하나는 알갱이 형태이다.



(a) 작은 조각

(b) 알갱이 형태

그림 1. Sasobit 형태

2. 실험목적

본 실험의 목적은 Sasobit를 중온 아스팔트로 활용할 수 있는 가치가 있는지를 확인하고자 다양한 실험들을 통해 공용성에 미치는 영향을 파악하였다. 따라서 이를 근거로 향후 중온 아스팔트를 이용함에 따라 포장시공 후 적절한 시기에 개통할 수 있고 환경적인 측면에서 CO₂를 저감할 수 있는 효과를 얻을 수 있다.

3. 조사방법

표 1은 Sasobit의 실내실험 평가를 위한 전체적인 실험계획을 보여주고 있다.

표 1. 공용성 평가를 위한 실험계획

	Number of Sample to be Tested									
	Granite					Limestone				
	PG 64-22		PG 70-22	PG76-22		PG 64-22		PG 70-22	PG 76-22	
	Control	Sasobit®	Sasoflex	Control	Sasoflex	Control	Sasobit®	Sasoflex	Control	Sasoflex
Mix Design	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Volumetrics	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Densification	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Resilient Modulus	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
APA Rutting	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Moisture Sensitivity	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Strength Change with Time	10	10				10	10			

3.1 혼합물 디자인

골재에 있어서는 화강암과 석회암이 사용되었고 Sasobit과 함께 사용될 바인더에 있어서는 PG 64-22와 PG 58-28이 사용되었다. 그리고 PG 58-28 바인더에 2.5% 및 4% Sasoflex를 첨가하여 각각 PG 64-22와 PG 70-22를 만들었다. PG 76-22의 경우에는 4%의 Sasoflex를 PG 64-22에 첨가하여 만들었다. 입도와 관련해서는 각각 골재에 대해 표 2와 같다.

표 2. 아스팔트 함량 및 골재입도

Sieve Size	% Passing		
	JMF ¹	Granite	LMS ²
19.0	100.0	99.0	100.0
12.5	90.0	87.9	90.9
9.5	83.0	79.9	83.6
4.75	52.0	49.6	52.7
2.36	34.0	32.2	32.6
1.18	25.0	23.6	23.7
0.600	19.0	18.6	17.5
0.300	13.0	14.7	12.3
0.150	5.0	5.3	6.0
0.075	2.9	2.9	3.1
AC, %	5.3	5.1	4.8

1) Job Mix Formula 2) Limestone

표 3과 4는 화강암과 석회암 골재를 이용한 일반 (Control) 아스팔트, Sasobit 중온 아스팔트, Sasoflex 중온 아스팔트 혼합물의 믹싱 온도를 보여 주고 있다. 일반(Control) 아스팔트의 경우 믹싱 온도는 최대 149℃(300°F)에 시작하여 129, 110, 88℃에서도 믹싱을 하였다. 중온 아스팔트의 경우도 마찬가지로 149, 129, 110, 88℃(300, 265, 230, 190°F)를 사용하였다. PG 76-22의 경우에는 149, 129, 110℃(300, 265, 230°F)에서 실험을 실시하였다. 따라서 본 실험 공시체를 이용하여 온도에 따른 중온 아스팔트 특성을 파악할 수 있었다. 바인더 함량에 있어서는 5.1%와 4.8%가 각각 화강암과 석회암 골재에 사용되었다.

표 3과 4에서 보는 바와 같이 Sasobit과 Sasoflex를 첨가에 따른 최대비중(G_{mm})의 변화가 거의 없는 것을 알 수 있다. 또한 중온 아스팔트의 경우 온도가 증가함에 따라 공기량이 감소함을 알 수 있다.

3.2 다짐

실험 시편을 만들기 위해 그림 2의 진동다짐기를 이용하였다. 슈퍼페이브 선회다짐기를 사용하지 않은 이유는 선회다짐기가 온도에 대해 민감하지 않

표 3. 화강암 골재에 이용된 혼합물 디자인

Asphalt	Sasol Type	Temperature, F	AC. %	G _{mm}	% G _{mm} @N _i	G _{mb}	Air Voids, %	VMA	VFA
PG 64-22	Control	300	5.1	2.467	88.0	2.365	4.1	13.6	69.6
PG 64-22	Control	265	5.1	2.467	88.2	2.371	3.9	13.3	71.0
PG 64-22	Control	230	5.1	2.467	87.7	2.360	4.4	13.8	68.4
PG 64-22	Control	190	5.1	2.467	87.5	2.356	4.5	13.9	67.6
PG 64-22	Sasobit	300	5.1	2.461	88.4	2.375	3.5	13.9	74.8
PG 64-22	Sasobit	265	5.1	2.461	88.0	2.377	3.4	13.8	75.5
PG 64-22	Sasobit	230	5.1	2.461	88.0	2.360	4.1	14.4	71.7
PG 64-22	Sasobit	190	5.1	2.461	NA	NA	NA	NA	NA
PG 70-22	Sasoflex	300	5.1	2.458	88.8	2.378	3.2	13.8	76.5
PG 70-22	Sasoflex	265	5.1	2.458	88.7	2.374	3.4	14.0	75.4
PG 70-22	Sasoflex	230	5.1	2.458	87.7	2.356	4.2	14.6	71.6
PG 70-22	Sasoflex	190	5.1	2.458	87.1	2.349	4.5	14.6	72.6
PG 76-22	Control	300	5.1	2.457	88.0	2.369	4.0	14.1	71.5
PG 76-22	Control	265	5.1	2.457	88.5	2.355	4.5	14.6	69.1
PG 76-22	Control	230	5.1	2.457	86.7	2.334	5.4	15.4	64.8
PG 76-22	Sasoflex	300	5.1	2.458	88.1	2.365	3.8	14.3	73.6
PG 76-22	Sasoflex	265	5.1	2.458	88.5	2.371	3.5	14.0	74.9
PG 76-22	Sasoflex	230	5.1	2.458	87.6	2.343	4.7	15.1	68.9

표 4. 석회암 골재에 이용된 혼합물 디자인

Asphalt	Sasol Type	Temperature, F	AC. %	G _{mm}	% G _{mm} @N _i	G _{mb}	Air Voids, %	VMA	VFA
PG 64-22	Control	300	4.8	2.544	85.4	2.433	4.4	15.0	70.8
PG 64-22	Control	265	4.8	2.544	85.1	2.430	4.5	15.1	70.3
PG 64-22	Control	230	4.8	2.544	85.3	2.435	4.3	14.9	71.3
PG 64-22	Control	190	4.8	2.544	85.5	2.439	4.1	14.8	72.1
PG 64-22	Sasobit	300	4.8	2.545	86.1	2.459	3.4	14.1	76.1
PG 64-22	Sasobit	265	4.8	2.545	86.3	2.463	3.2	14.0	76.7
PG 64-22	Sasobit	230	4.8	2.545	86.3	2.465	3.1	13.9	77.4
PG 64-22	Sasobit	190	4.8	2.545	NA	NA	NA	NA	NA
PG 70-22	Sasoflex	300	4.8	2.538	86.5	2.465	2.9	13.9	79.3
PG 70-22	Sasoflex	265	4.8	2.538	86.2	2.450	3.5	14.4	76.0
PG 70-22	Sasoflex	230	4.8	2.538	86.2	2.444	3.7	14.6	74.6
PG 70-22	Sasoflex	190	4.8	2.538	84.9	2.421	4.6	15.4	70.2
PG 76-22	Control	300	4.8	2.546	85.8	2.444	4.0	14.1	76.1
PG 76-22	Control	265	4.8	2.546	85.8	2.442	4.0	14.7	72.4
PG 76-22	Control	230	4.8	2.546	86.5	2.426	4.7	15.2	69.2
PG 76-22	Sasoflex	300	4.8	2.543	86.4	2.459	3.3	14.1	76.6
PG 76-22	Sasoflex	265	4.8	2.543	86.3	2.453	3.6	14.3	75.2
PG 76-22	Sasoflex	230	4.8	2.543	85.8	2.441	4.0	14.7	72.8

고, 그림 3의 아스팔트 포장 해석기(APA, Asphalt Pavement Analyzer)를 이용하는데 있어 진동다짐기로 시편을 만드는 것이 수월하기 때문이다. 시편은 직경 6인치, 높이 3.75인치로 30초 동안 진동으로 다짐하였다.

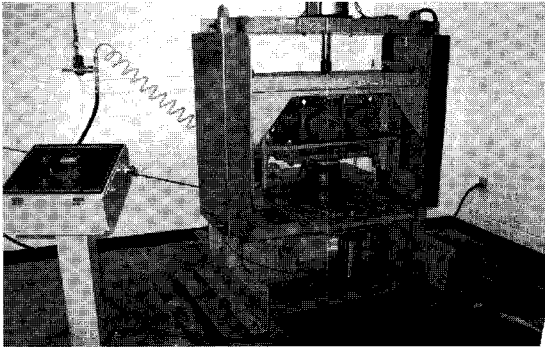


그림 2. 아스팔트 시편제작을 위한 진동다짐기

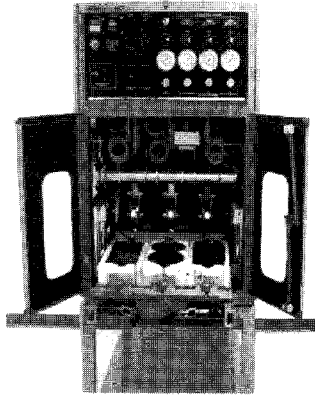


그림 3. 아스팔트 포장 해석기 (Asphalt Pavement Analyzer)

3.3 회복탄성계수

회복탄성계수는 ASTM D 4123에서 제시한 방법인 아스팔트 회복탄성계수 측정을 위한 간접인장시험 방법을 이용하였다. 시험은 23℃(73°F)에서 수행하였다.

3.4 APA 소성변형

회복탄성계수 측정시험에 사용된 시편과 동일한 시편을 이용하여 APA 실험을 통한 소성변형 저항성을 측정하였다. 실험조건은 64℃ 및 120psi 압력이다.

3.5 강성회복시험

중온에서 시공할 때 시간에 따른 강성회복 정도를 알아보기 위해 표 5에서 보는 바와 같이 온도별로 단기 노화와 장기 노화에 대해 간접인장시험을 실시하였다. 중온 아스팔트를 시공할 때 우려되는 점으로는 교통개방을 해야 하는 시점에도 시공성이 유지되면 교통하중에 따른 소성변형이 발생할 수 있다는 것이다.

표 5. 강성회복시험을 위한 온도 및 노화시간 조건

Set	Short Term Aging(hours) at 230°F (110°C) (prior to compaction)	Long Term Aging(days) of Compacted Samples at 185°F (85°C)
1	2	0
2	4	0
3	2	1
4	2	3
5	2	5

3.6 수분 민감성 실험

아스팔트 혼합물의 골재에 어느 정도 수분이 남아있을 경우를 고려했을 경우 중온아스팔트에 미치는 영향을 알아보기 위해 수분 민감성 실험을 실시하였다. 본 실험은 ASTM D 4867에 근거하였으며 일반적으로 TSR(Tensile Strength Ratio)실험이라고 일컫는다. 채취 및 보관 과정에서 골재가 수분을 어느 정도 함유하고 있고 그 골재가 아스팔트 혼합물에 사용됨에 따라 3% 정도의 물을 그림 4와 같이 분무하여 주었다. 실제로 플랜트 드럼믹서의 상황을 모사하기 위해 그림 5와 같이 프로판 토치

로 열을 가하였다. 그림 6은 혼합물을 믹싱하는 모습이다.

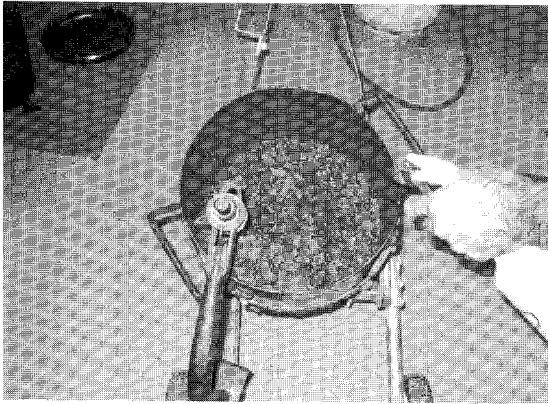


그림 4. 골재에 분무하는 모습

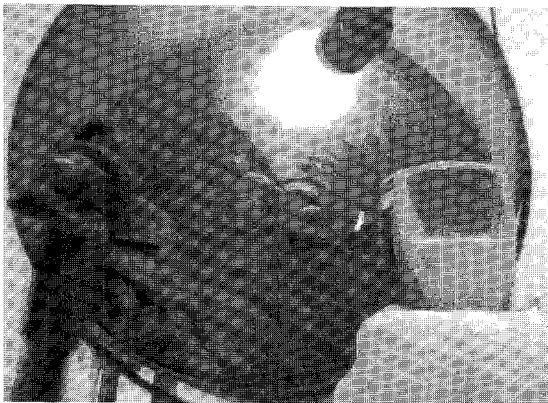


그림 5. 프로판 토치로 열을 가하는 모습

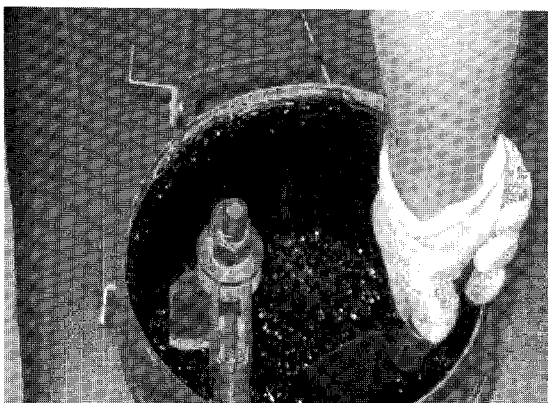


그림 6. 혼합물을 믹싱하는 모습

4. 실험결과

4.1 바인더 실험

표 6에서 보는 바와 같이 각 바인더의 특성 결과 값을 실험을 통해 구하였다.

표 6. 바인더 실험 결과

Test	PG 58-28 (Base)	PG 64-22 (Control and Base)	PG 64-22 (Sasobit [®])	PG 70-22 (Sasoflex)	PG 76-22	PG 76-22 (Sasoflex)
Modifier	None	None	2.5% Sasobit [®]	4% Sasoflex	None	4% Sasoflex
Test Temp., °C	58	64	64	70	76	76
Original DSR, G [*] /sin δ, kPa	1.015	1.815	1.790	2.689	1.290	1.461
RTFO DSR, G [*] /sin δ, kPa	2.781	3.868	3.950	4.548	3.096	2.682
Test Temp., °C	19	25	25	28	31	31
PAV DSR, G [*] /sin δ, kPa	4138	3554	2906	2448	1059	2635
Test Temp., °C	-18	-12	-12	-12	-12	-12
BBR Creep	248	208	164	153	165	251
Stiffness(S), MPa						
BBR m-value	0.316	0.317	0.306	0.328	0.315	0.292 ¹

¹ Dose not meet the minimum requirements of AASHTO M320(m-value > 0.300)

4.2 다짐결과

그림 7과 8에서 보는 바와 같이 Sasobit를 첨가함에 따라 공기량이 적어져 다짐도가 좋아짐을 알 수 있다. 하지만 Sasoflex를 쓴 경우 일반 혼합물(Control Mixture)과 비교했을 때 다짐이 좋아지지 않는 경우가 발생함을 알 수 있다. 이는 SBS를 첨가함에 따른 결과임을 유추할 수 있다. 실험 결과, Sasobit를 첨가한 경우에 있어 다짐온도가 줄어들어도 다짐에는 큰 영향이 없음을 알 수 있다. 따라서 중온 아스팔트를 이용함에 따라 시공다짐이 나빠진다고 볼 수 없다. 그러나 Sasoflex를 사용할 때는 다짐온도에 대해 주의해야 함을 나타내고 있다.

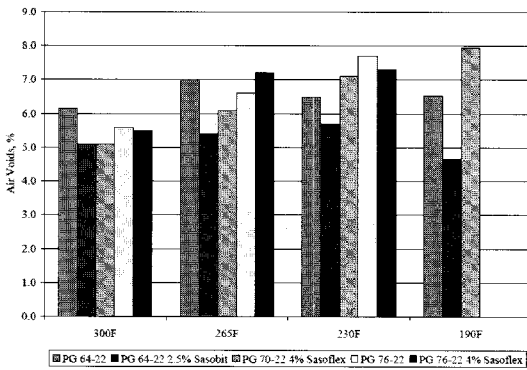


그림 7. 화강암 골재를 이용한 경우에 있어 다짐도 결과

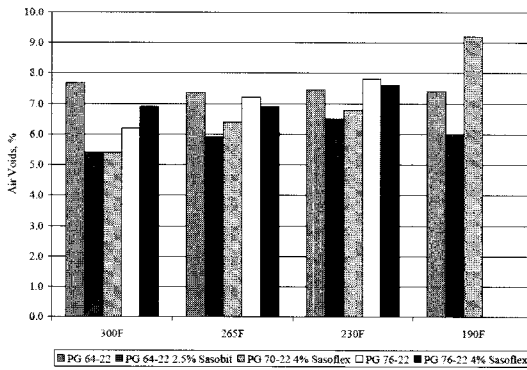


그림 8. 석회암 골재를 이용한 경우에 있어 다짐도 결과

4.3 회복탄성계수

회복탄성계수 측정결과는 Sasobit를 첨가했을 경우에는 일반 혼합물(Control Mixture)과 유사한 회복탄성계수를 보여주고 있으나, Sasoflex를 첨가한 경우에는 회복탄성계수가 증가함을 알 수 있었다.

4.4 APA를 이용한 소성변형 측정

APA 실험의 적정온도(64℃)를 고려하여, 제작된 시편을 64℃ 온도의 건조로에서 최소 6시간 이상 유지하였다. 화강암과 석회암 골재를 각각 사용한 경우의 결과를 그림 9와 10에서 볼 수 있다. 그림의 Whisker(Y오차막대) 표시는 표준편차를 보여주고

있다. PG 64-22 경우에 있어서는 Sasobit를 혼합물 첨가에 따라 일반 혼합물보다 소성변형을 적게 발생함을 알 수 있고, PG 76-22 경우 Sasoflex가 첨가된 혼합물이 일반 혼합물보다 좋은 결과값을 보여주고 있다.

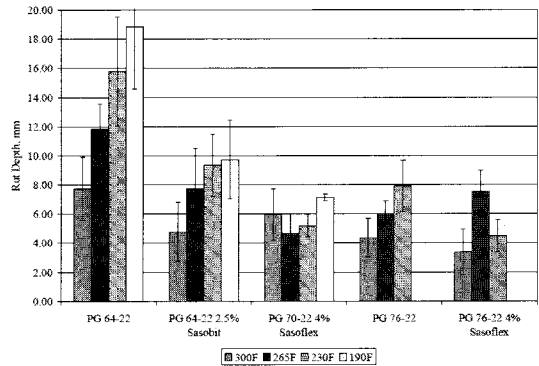


그림 9. 화강암 골재를 사용한 경우의 소성변형 결과

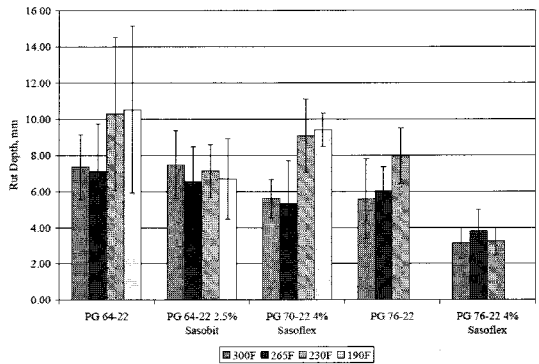


그림 10. 석회암 골재를 사용한 경우의 소성변형 결과

4.5 강성의 회복정도

중온 아스팔트 시공시 강성의 회복이 어떻게 진행되는지를 확인하여 교통개방 시기를 결정할 수 있다. 즉 중온 아스팔트의 특징이 중온에서도 시공성이 좋음에 따라 그 시공성이 어느 정도 지속되는지를 알아야 한다. 그림 11과 12에서 알 수 있듯이 중온 아스팔트의 경우 일반 아스팔트보다 좀 더 강

성회복을 위해 시간이 요구됨을 알 수 있다. 따라서 중온아스팔트를 계획한다면 강성회복을 위해 교통 개방을 다소 늦출 필요가 있는 것으로 판단된다.

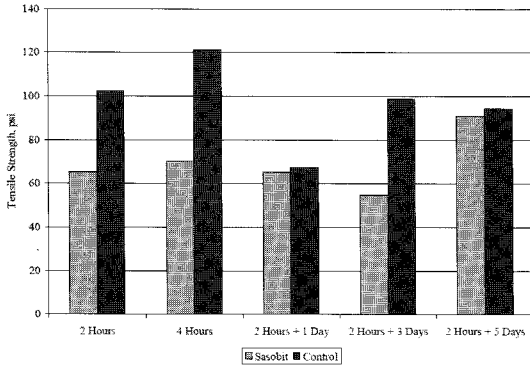


그림 11. 화강암의 경우 강성회복도

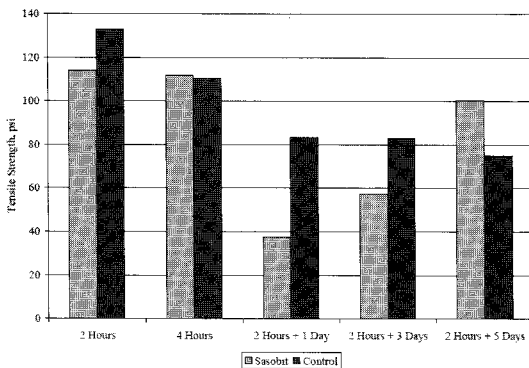


그림 12. 석회암의 경우 강성회복도

4.6 수분민감성

수분민감성을 판단하기 위해 실시한 실험은 ASTM D 4867을 근거로 수행하였다. 표 7에서 보는 것처럼 일반 및 중온 아스팔트의 11개 시편 중 4개 시편만이 슈퍼페이브 설계 조건 (TSR≥0.8)을 만족시켜 그다지 만족스러운 결과를 얻지는 못하였다. 보다 수분에 대한 저항성을 높이기 위해서는 박리방지제를 첨가하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

표 7. 인장강도비(TSR, Tensile Strength Ratio)

Aggregate	Mix Type	Unsaturated, psi	Saturated, psi	TSR, %
Granite	PG 64-22 Control	89.8	68.2	0.76
Granite	PG 64-22 Sasobit®	53.2	38.0	0.71
Granite	PG 70-22 Sasoflex	106.2	50.4	0.47
Granite	PG 76-22 Control	137.3	68.4	0.50
Granite	PG 76-22 Sasoflex	99.1	79.2	0.80
Granite	PG 64-22 Sasobit® with 0.4% Magnabond	17.5	16.5	0.94
Limestone	PG 64-22 Control	109.5	71.2	0.65
Limestone	PG 64-22 Sasobit	53.9	49.1	0.91
Limestone	PG 70-22 Sasoflex	118.6	62.4	0.53
Limestone	PG 64-22 Control	97.3	84.7	0.87
Limestone	PG 70-22 Sasoflex	145.3	80.9	0.56

회비 납입 안내

회원 여러분께서 납부하시는 회비는 학회 운영의 소중한 재원으로 쓰이고 있습니다. 회원 재워께서는 체납된 회비를 납부하시어 원활한 학회운영에 협조하여 주시기 바랍니다.

- 회비납부는 한국씨티은행 : 102-53510-243
- 참조금은 한국씨티은행 : 102-53512-294
(예금주(사)/한국도로학회)
- 지로번호 : 6970529

〈학회사무국〉