



아스팔트 혼합물의 수침/건조가열에 따른 변형강도 비교

Comparison of Deformation Strengths of Asphalt Mixtures Using Wet Conditioned and Drying Oven-Heated Specimens

라일호* 김현환* 조병진** 도영수*** 김광우****
Rhee, Suk Keun Kim, Seong-Min Hwang, Sang Min Lee, Jong Myung Kim, Kwang W.

1. 서론

마살 안정도 시험에서 아스팔트 혼합물을 고온(60℃)으로 올리기 위해 공시체를 60℃로 유지되는 수조에 30분간 담근다. 이는 혼합물의 온도를 신속히 가열하는 보편적인 방법이지만 도로에서 대기온도와 태양의 복사열에 의해 포장표면이 60℃에 달하는 과정과 다르다. 따라서 그 대안으로 공시체를 오븐에서 가열하는 방법을 고려할 수 있다. 이에 변형강도 시험에서 공시체를 60℃로 가열방법은 어떻게 하면 현장상태를 보다 유사하게 모사하며 시험 결과의 변동성도 적게 할 수 있는지를 연구할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 마살 방법과 같이 30분간 수침하는 방법(wet process)과 건조오븐으로 가열(dry process)하는 두 가지 방법에 대해서 고려하였다.

실제 도로에서 아스팔트 포장체는 일시적으로 수침되는 경우가 있다는 점에서 강도 시험 전에 수침이 현실성을 반영한다고 볼 수 있지만 실제 도로에서 수침에 의해 포장체가 60℃가 되는 경우는 드물다. 즉, 노면의 포장체는 일부 수분을 포함한 기건 상태에서 태양의 복사열에 의해 60℃가 되지만, 강우 시 침수나 범람 상태에서는 물이 차가워(국내의 경우 하절기 25℃ 내외) 포장체가 60℃까지 데워지지 못한다. 또한 대기 중 복사열에 의한 온도상승시의 포장체의 기건 상태와 오븐에서 온도 상승시 공시체의 노 건조 상태도 서로 다르다. 특히 도로의 포장체는 강수 등에 의해 이미 수침 이력이 있는 기건 상태에서 윤택층을 받는 반면 실험실 공시체의 내부 상태는 다르다. 즉, 수침 가열한 공시체는 재하시 내부가 상당부분 포화상태이고 오븐가열한 공시체는 수침이력이 전혀 없는 노 건조 상태이므로 두 가지 방법 모두 현장상태와는 다르다고 할 수 있다.

아스팔트 혼합물은 일단 수침되면 혼합물의 특성 변화가 유발될 수 있어 공시체의 사전 수침은 긍정적인 면도 있으나 물의 온도가 60℃라는 점이 현실과 다르고, 건조 상태에서의 가열은 혼합물의 수분함유 상태가 다르다는 점에 현실과 차이가 있다. 따라서 두 방법 다 현실과 다소의 거리감이 있으므로 어떤 방식을 변형강도 시험법으로 채택하는 것이 적합한지를 통계적으로 데이터의 평균과 분산 분석을 통하여 결정토록 해야 할 것이다. 본 연구는 아스팔트 혼합물 공시체를 수침 가열하는 방식과 건조 상태로 오븐에 넣어 가열하는 방식 두 가지로 60℃가 되게 하여 변형강도를 측정하여 그 결과를 토대로 적합한 방식을 찾고자하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구에 사용된 재료는 두 가지 모암(화강암과 편마암)의 굵은 골재 13mm와 19mm 골재와 4가지 바인더(AP-5,

* 강원대학교 대학원 지역건설공학과 석사과정
** 강원도개발공사 토목사업본부 산업단지개발팀 주임
*** 강원대학교 석재복합건설신소재연구소 연구교수 · 공학박사(E-mail:youngsdoh@hanmail.net)
**** 강원대학교 지역기반공학과 교수 · 공학박사(E-mail:asphaltech@hanmail.net)

R10, RL6R5, PG76-22)이며 선화다짐기를 이용하여 100mm 공시체로 제조하였다. 본 연구의 시험에 사용된 총 공시체 수는 2골재 × 2 굵은 골재 최대치수 × 4 바인더 × 2 가열방법 × 3 공시체 = 96개 이다. 그러나 공시체를 각각 6개씩 제작하여 공극률이 4±1% 범위를 만족하지 못하는 공시체는 폐기하고 다시 제작하였다.

같은 혼합물 당 6개를 두 개조로 나누어 60℃의 수조에서 수침가열(wet) 30분과 오븐에서 건조가열(dry) 2시간(120분)을 처리하여 변형강도를 측정하였다. 여기서, 건조가열 시간은 사전에 60℃로 가열된 강제순환 오븐에 공시체를 넣고 그 내부까지가 60℃에 도달하는 시간을 사전 시험을 통하여 얻은 최소 시간이다. Figure 1은 60℃의 수조(a)와 오븐(b)에서 공시체를 가열하는 광경을 보여준다.

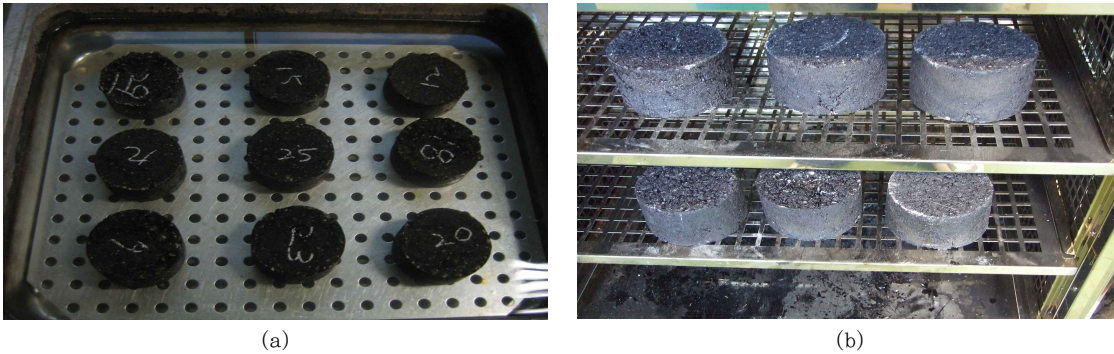


Figure 1. Specimens heating up to 60℃ for Kim test in (a) water bath and (b) oven

3. 결과 및 고찰

각각의 가열방식 처리를 거친 후 각 공시체의 변형강도를 측정하고 각 조별 3개 공시체의 변형강도 평균값을 구하였다. <표 1>~<표 4>는 각각의 모암종류 및 골재 치수 별 공시체들의 가열 방법에 따른 변형강도를 분석하여 나타낸 것이다. 그리고 <표 5>는 가열방법에 따른 변형강도의 전체 데이터의 통계치를 나타낸다.

<표 5>에서 평균과 변동계수의 값은 4 바인더 × 2 골재최대치수 (또는 2 모암 종류) = 8가지 혼합물의 평균이나 변동계수를 평균한 값이다. 여기서 변동계수(Coefficient of variation)는 표준편차의 평균에 대한 비율로서 $CV = \text{표준편차} / \text{평균} \times 100 (\%)$ 이다.

<표 5>에 나타난 바와 같이, 전체적으로 보면 건조 가열의 변형강도(Dry S_b)는 수침 가열 변형강도(Wet S_b)보다 약 5% 포인트 정도 더 높게 나타났다. 이는 혼합물이 물에 의하여 약간의 강도저하가 발생되었음을 의미한다. 또한 같은 혼합물 내에서 변형강도의 변동성(Variation)을 나타내는 변동계수를 보면 건조 가열처리의 경우가 수침 가열의 경우보다 훨씬 크게 나타났다. 건조가열의 변동계수는 약 15%로 수침 가열 약 8% 보다 2배 가까이 변동성이 높았다. 따라서 건조가열 보다는 수침가열이 변동성이 낮고 고른 변형강도를 얻을 수 있는 방법으로 판단된다.

건조가열은 공시체가 60℃에 도달하는데 최소한 2시간이 걸린다. 따라서 수침가열을 사용하는 것이 시간적으로 절약이 될 뿐만 아니라 결과치도 고르고 변동계수가 약 7% 포인트 더 낮았다. 따라서 30분 수침가열방법으로 공시체를 가열하는 경우 변형강도는 건조가열 공시체 보다 약간 낮게 나타나지만 변동성이 낮고 고른 품질의 시험결과가 얻어져 더 유리 할 것으로 판단된다. 이는 새로이 만든 공시체이지만 수침경험이 있는 현장재료와도 상대적으로 유사한 상태를 겪은 혼합물이라는 점에서 더 긍정적이라 할 수 있다. 하지만 가열시간 연구결과에 의하면 공시체가 약 15℃보다 낮은 곳에 보관되어있거나, 직경 150mm인 경우 내부까지 완전히 60℃에 도달되게 하기 위해서는 5분간 더 수침시켜 35분간 수침시킬 것을 제시한다.



〈표 1〉 Analysis of S_D by dry and wet heating process(gneiss 13mm, diameter 100mm)

Mixture	Heating by drying oven		Heating by water bath		Dry/Wet ratio
	Air voids (%)	S_D (MPa)	Air voids (%)	S_D (MPa)	
Gneiss, AP-5 OAC=5.3%	4.98	2.766	4.36	3.281	0.843
	4.13	3.711	4.75	2.809	1.321
	3.94	3.680	4.05	3.750	0.981
Mean	4.35	3.386	4.38	3.280	1.032
S		0.537		0.471	
CV		15.857		14.345	
Gneiss, R10% OAC=6.0%	4.80	3.384	5.13	2.743	1.234
	5.22	2.776	4.77	3.591	0.773
	4.15	4.049	4.69	3.420	1.184
Mean	4.73	3.403	4.86	3.251	1.047
S		0.637		0.448	
CV		18.710		13.793	
Gneiss, RL6R5 OAC=6.1%	4.81	3.843	4.38	3.890	0.988
	-	-	-	-	-
	4.31	4.386	4.39	4.124	1.064
Mean	4.56	4.115	4.39	4.007	1.027
S		0.384		0.165	
CV		9.332		4.129	
Gneiss, PG76-22 OAC=5.3%	4.75	4.259	4.94	3.980	1.070
	3.89	5.128	3.82	4.637	1.106
	4.06	5.509	3.94	4.800	1.148
Mean	4.23	4.965	4.23	4.472	1.110
S		0.641		0.434	
CV		12.903		9.706	
mean CV, ratio		14.200		10.538	1.052

〈표 2〉 Analysis of S_D by dry and wet heating process(gneiss 19mm, diameter 100mm)

Mixture	Heating by drying oven		Heating by water bath		Dry/Wet ratio
	Air voids (%)	S_D (MPa)	Air voids (%)	S_D (MPa)	
Gneiss, AP-5 OAC=4.8%	4.89	2.797	4.04	3.763	0.743
	3.67	4.351	4.90	3.978	1.094
	4.34	4.441	3.90	3.846	1.155
Mean	4.30	3.863	4.28	3.862	1.000
S		0.924		0.108	
CV		23.926		2.807	
Gneiss, R10% OAC=5.3%	5.01	2.975	4.75	4.355	0.683
	3.46	5.006	4.59	4.218	1.187
	4.83	3.900	4.91	3.156	1.236
Mean	4.43	3.960	4.75	3.910	1.013
S		1.017		0.656	
CV		25.676		16.786	
Gneiss, RL6R5 OAC=5.4%	4.09	5.399	5.06	3.503	1.541
	4.20	3.894	4.32	4.221	0.923
	4.73	3.627	4.04	4.657	0.779
Mean	4.34	4.307	4.47	4.127	1.044
S		0.955		0.583	
CV		22.183		14.120	
Gneiss, PG76-22 OAC=4.7%	6.17	4.446	6.19	5.374	0.827
	5.38	6.480	5.32	5.558	1.166
	5.45	5.867	5.79	5.607	1.046
Mean	5.67	5.598	5.77	5.513	1.015
S		1.043		0.123	
CV		18.640		2.228	
mean CV, ratio		22.608		8.985	1.018



〈표 3〉 Analysis of S_D by dry and wet heating process(granite 13mm, diameter 100mm)

Mixture	Heating by drying oven		Heating by water bath		Dry/Wet ratio
	Air voids (%)	S_D (MPa)	Air voids (%)	S_D (MPa)	
Granite, AP-5 OAC=5.5%	4.31	3.663	4.91	3.545	1.033
	4.39	4.258	4.38	3.627	1.174
	4.84	3.733	4.63	3.843	0.971
Mean	4.51	3.885	4.64	3.672	1.058
S		0.325		0.154	
CV		8.372		4.193	
Granite, R10% OAC=5.8%	5.92	3.055	-	-	-
	5.14	3.623	5.04	3.335	1.086
	5.15	3.141	5.34	3.264	0.962
Mean	5.40	3.273	5.19	3.300	0.992
S		0.306		0.050	
CV		9.354		1.522	
Granite, RL6R5 OAC=6.1%	4.71	4.094	4.74	4.572	0.895
	4.71	5.292	4.67	4.232	1.250
	4.48	4.411	4.77	3.978	1.109
Mean	4.63	4.599	4.73	4.261	1.079
S		0.621		0.298	
CV		13.497		6.995	
Granite, PG76-22 OAC=5.4%	4.70	4.361	4.56	4.548	0.959
	4.65	5.084	4.79	3.914	1.299
	5.19	4.242	4.65	4.454	0.952
Mean	4.85	4.562	4.67	4.305	1.060
S		0.456		0.342	
CV		9.988		7.947	
mean CV, ratio		10.303		5.164	1.047

〈표 4〉 Analysis of S_D by dry and wet heating process(granite 19mm, diameter 100mm)

Mixture	Heating by drying oven		Heating by water bath		Dry/Wet ratio
	Air voids (%)	S_D (MPa)	Air voids (%)	S_D (MPa)	
Granite, AP-5 OAC=5.0%	4.11	3.193	3.75	3.197	0.999
	3.53	3.735	4.41	3.39	1.102
	3.72	3.75	3.79	3.081	1.217
Mean	3.79	3.559	3.98	3.223	1.104
S		0.317		0.156	
CV		8.916		4.844	
Granite, R10% OAC=5.6%	3.30	3.457	3.33	4.145	0.834
	3.29	3.217	3.28	4.664	0.690
	4.03	2.671	4.05	3.323	0.804
Mean	3.54	3.115	3.55	4.044	0.770
S		0.403		0.676	
CV		12.931		16.721	
Granite, RL6R5 OAC=5.2%	4.71	4.094	4.74	4.572	0.895
	4.71	5.292	4.67	4.232	1.250
	4.48	4.411	4.77	3.978	1.109
Mean	4.63	4.599	4.73	4.261	1.079
S		0.621		0.298	
CV		13.497		6.995	
Granite, PG76-22 OAC=4.6%	3.42	6.372	3.39	3.967	1.606
	3.45	5.128	3.15	4.16	1.233
	3.92	4.815	4.09	4.209	1.144
Mean	3.60	5.438	3.54	4.112	1.323
S		0.824		0.128	
CV		15.144		3.111	
mean CV, ratio		12.622		7.918	1.069



〈표 5〉 Comparison of S_D data statistics by dry and wet heating process

구분		100mm 공시체		
		Dry S_D (MPa)	Wet S_D (MPa)	Dry/Wet 비
Agg. max size	13mm	4.023	3.818	1.05
	19mm	4.305	4.132	1.04
	평균	4.164	3.975	1.05
	변동계수(%)	14.873	8.008	
Agg. source	Gneiss	4.200	4.053	1.04
	Granite	4.129	3.897	1.06
	평균	4.164	3.975	1.05
	변동계수(%)	14.873	8.008	

4. 결론

본 연구의 결과 다음의 결론을 얻었다.

1. 공시체의 수침에 따른 영향을 분석한 결과 건조가열보다 수침가열이 다소 강도는 낮게 (약 5% 포인트) 나타났으나 변동성이 더 적게 나타났다.
2. 같은 혼합물 내에서 변형강도의 변동성(Variation)을 나타내는 변동계수를 보면 수침 가열의 경우가 건조 가열처리의 경우보다 훨씬 작게 나타났다. 따라서 건조가열 보다는 수침가열이 변동성이 낮고 고른 변형강도를 얻을 수 있는 방법으로 판단된다.
3. 수침 가열 시간이 건조가열의 1/4 이어서 시간 절약과 함께 측정치의 분산이 낮은 좋은 방법으로 판단되었다.

감사의 글

본 연구는 한국건설교통기술평가원의 연구비의 지원에 의하여 강원대학교 석재복합건설신소재연구소의 시설을 이용하여 이루어진 것입니다

참고문헌

1. 김광우, 김성태, 권오선, 도영수, “수퍼페이브 혼합물의 소성변형저항성과 변형강도와의 상관성 분석,” 한국도로학회 논문집, 제6권, 4호, 2004. 12. 45-53
2. 김광우, 도영수, 이기호, 조문진, 최선주, “개질아스팔트 혼합물의 변형강도 측정연구,” 석재연논문집 제 9집, 2004. 9. 191- 206.
3. 김광우, 도영수, 조문진, “바인더 Stiffness와 혼합물의 변형강도 및 동적크리프 특성과의 상관성 분석을 통한 김테스트 적용성 고찰,” 한국도로학회 논문집, 2005. 12. Vol 7, No. 4, 91-100
4. 김광우, 조병진, 이순제, 도영수, “고온 내변형 아스팔트혼합물 선정을 위한 변형강도 임계치의 결정방안,” 한국도로학회 논문집, 9(4), 2007. 12. 193-204.
5. 김광우, 최선주, 이기호, 도영수, “온도변화에 따른 아스팔트 콘크리트의 변형강도와 소성변형과의 상관성 연구,” 대한토목학회 논문집, 제 24권 5D호, 2004. 9. 743-748.
6. 박태원, 도영수, 김광우, “변형강도 시험용 하중봉의 원형절삭반경 선정연구,” 한국도로학회 논문집, 10(2), 2008. 6.
7. 이문섭, 최선주, 도영수, 김광우, “공시체 크기가 변형강도를 이용한 소성변형 추정에 미치는 영향,” 한국도로학회



논문집, 제 6권 2호, 2004. 6. 1-13.

8. "아스팔트 콘크리트의 고온변형저항성 평가방안 연구," 2년차 연구보고서, 강원대학교, 건설교통부, 2007. 12.
9. 조병진, "아스팔트 콘크리트 변형강도 시험에서의 재하속도 선정연구," 석사학위연구, 강원 대학교 대학원, 지역기반 공학과, 2008. 2.
10. Doh, Y. S., Yun, K. K., Amirkhanian, S. N. and Kim, K. W., "Framework for developing static strength test for measuring deformation resistance of asphalt concrete mixtures," Construction and Building Materials, 21(12), Dec. 2007.
11. Kim, H. H., Park, N. W., Doh, Y. S., K. Ahn, Lee, S. J. and Amrikhanian, S. N., Kim, K. W., "Rutting Estimation of Asphalt Pavement Mixtures using Deformation Strength," EATA08, European Asphalt Technology Association Meeting, Lyon, France, April. 2008.
12. Kim, K. W., Cho, M. J., Ko, T. Y., Doh, Y. S., "Kim Test for Measure of Rut Resistance of Asphalt Concretes," Proceedings of 5th ICPT, Ed. by Kim, May 2005.
13. Kim, K. W., Doh, Y. S. and Amirkhanian, S. N., "Feasibility of deformation strength for estimation of rut resistance of asphalt concrete," International Journal of Road Materials and Pavement Design, Vol. 5, No. 3., Dec. 2004, 303-322.
14. Park, N. W., Kim, H. H., Baek, S. H., Kim, K. W. and Doh, Y. S., "Correlation of Deformation Strength (SD) with Lab Data and Field Rutting Data of Asphalt Pavements," UKC Conference, Washington, DC, USA, Aug. 2007.