



변형강도 시험용 하중봉의 원형절삭반경 선정연구

Determination of radius of edge round cut of loading head for deformation strength test

박 태 원*
Park, Tae W.

도 영 수**
Doh, Young S.

김 광 우***
Kim, Kwang W.

Abstract

This study evaluated influence of the loading head dimension on characteristics of deformation strength (S_D) of asphalt mixtures. Kim test and Wheel tracking (WT) test were conducted to evaluate S_D characteristics with relation to WT results for various mixtures. The S_D values and coefficient of variation of S_D values of $r=10\text{mm}$ were smaller than those of $r=10.5\text{mm}$. It was also found that S_D values obtained using $r=10\text{mm}$ loading head showed high correlations with rut parameters of WT test. It was indicated that the aggregate size and radius (r) of round cut were statistically significant variables on S_D at $\alpha = 0.05$ level in the analysis of variance. However, in interaction of r and aggregate size showed no significance within 10~19mm aggregate size at the same level. Therefore, it was concluded that the diameter (D) of 40mm and the bottom edge radius (r) of 10mm was suitable dimension of loading head for deformation strength test.

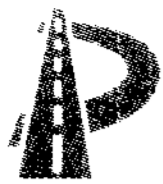
Keywords : deformation strength, loading head, wheel tracking, rut, variance analysis, asphalt mixture

요 지

본 연구에서는 아스팔트 혼합물의 변형강도시험에서 하중봉의 치수가 변형강도 특성에 미치는 영향을 평가하였다. 이를 위하여 직경(D) 40mm, 하단의 원형 절삭 반경(r)을 10.0mm와 10.5mm로 제작한 두 개의 하중봉으로 아스팔트 혼합물의 변형강도를 측정하고, 반복주행시험을 수행하여 얻어진 소성변형 특성치와 상관성 분석을 하였다. 또한 하중봉의 원형 절삭반경에 따른 골재치수에 어떠한 영향을 미치는지를 확인하기 위하여 통계 분석을 하였다. 변형강도 값과 변동계수는 $r=10\text{mm}$ 하중봉을 사용한 것이 더 낮은 것으로 나타났다. 또한 $r=10\text{mm}$ 하중봉이 변형강도와 소성변형 특성치와 상관성 분석에서도 더 높은 상관성을 보였다. 골재치수와 원형 절삭반경은 변형강도에 영향을 미치는 것으로 나타났으나 두 변수의 교호작용에서는 골재의 크기가 10mm~19mm내에서는 r 에 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 따라서 소성변형과의 상관성이 더 우수하며 변동계수도 낮은 것으로 나타난 $D=40\text{mm}$, $r=10.0\text{mm}$ 의 하중봉을 사용하는 것이 적합할 것으로 판단되었다.

핵심용어 : 변형강도, 하중봉, 반복주행시험, 소성변형, 분산분석, 다중범위분석, 교호작용

* 정회원 · 한국도로교통연구원 · 도로연구팀 연구원 · 공학석사 · E-mail: qkfoqkd@hanmail.net
 ** 정회원 · 강원대학교 지역건설공학과 · 초빙교수 · 공학박사 · E-mail: youngsdoh@hanmail.net
 *** 정회원 · 강원대학교 지역기반공학과 · 교수 · E-mail: asphalttech@hanmail.net



1. 서론

전 세계적으로 마셜안정도는 아스팔트 혼합물의 공학적 특성치로 가장 많이 사용되고 있다. 마셜안정도 시험은 혼합물을 다진 후 공시체를 쥐어짜듯이 하중을 가하여 혼합물의 견고성을 측정하기 위해 사용되는 것으로 배합설계에서도 중요한 항목으로 적용된다. 그러나 마셜안정도가 아스팔트 포장의 주된 손상인 소성변형과의 낮은 상관성 때문에 대체 특성치의 개발이 필요한 시점에 있음을 지적하고 있다(이상범 2001).

소성변형 저항성의 평가를 위하여, 회복탄성계수(Resilient modulus: M_R)시험, 반복주행(Wheel tracking: WT)시험, 동적 크리프(Repeated Load creep)시험, 삼축 동적압축시험 등이 개발되었지만 이 시험법들은 대부분 동적 재하시험이고 장비가 고가이다. 또한 이러한 시험의 결과가 배합설계에 반영되지 못하고 단순히 재료의 상대 비교용으로 사용되고 있다. 이에 더욱 간편하고 실용성 있으며 배합설계에도 반영될 수 있는 시험법의 개발이 필요하게 되었다. 국내에서는 지난 4~5년간의 연구를 통하여 변형강도(Deformation Strength: S_D)를 개발하여 현재 실용화를 위한 연구가 진행 중이다(김광우 등, 2002).

김광우 등(2004)의 연구 결과에서 아스팔트 혼합물의 변형강도는 국내에서 소성변형 저항성 평가를 위해 가장 많이 쓰이는 반복주행 시험의 결과와 상관성 $R^2 > 0.90$ 을 보여 소성변형과의 상관성이 아주 높게 평가되었다. 최근에는 변형강도의 실용화를 위하여 다양한 혼합물을 이용한 기존의 주요 시험법과의 상관성 연구와 현장에서 코어를 채취하여 현장의 소성변형 상태와 변형강도 값을 비교하는 연구 등이 진행되고 있으며, 이를 통해 구체적인 시험 방법 및 적용기준, 배합설계에의 적용방법의 정립 등에 관한 연구가 진행 중에 있다(김광우 등 2007, 김부일 등 2006, 아스팔트 콘크리트의..., 2006, 2007).

본 연구의 목적은 변형강도를 아스팔트 혼합물의 공학적 특성치 평가기준으로 사용하기 위한 시

험변수 및 시험조건 정립의 일환으로서 하중봉의 치수가 변형강도 특성에 미치는 영향을 평가하는 것이다.

2. 재료 및 실험

2.1 재 료

본 연구는 국내에서 가장 널리 사용되는 침입도 등급 60-80 (AP5) 스트레이트 아스팔트를 기본바인더로 사용하였으며, 아스팔트의 물성을 개질하기 위하여 사용된 개질제로는 페타이어를 분쇄하여 30번체를 통과한 고무입자 (Crumb rubber modifier: CRM)와 재생 저밀도폴리에틸렌(Recycled Low-density polyethylene: RLDPE)이다. 또한 Styrene-butadiene-styrene (SBS)로 개질되어 상용화되어 있는 PG 76-22 아스팔트 바인더를 사용하였으며, 각 개질제의 첨가량에 따른 바인더의 약 식명칭은 Table 1과 같다.

Table. 1 Designation of binder and description of each binder

Designation	Description
AP5	Base asphalt : Pen. 60-80 binder without any modifier (Control)
R10	Modified binder with 10% CRM by wt. of total binder
RL6R5	Modified binder with 6% RLDPE and 5% CRM by wt. of total binder
SPG76	Modified binder with unknown content of SBS; a commercial PG76-22

골재로는 편마암(Gneiss: A)과 화강암(Granite: B) 2종류의 쇄석을 굵은골재와 잔골재(Screenings)로 사용하였으며, 채움재(Mineral filler)는 석회 석분을 사용하였다. 굵은골재 최대치수는 표층용 아스팔트 혼합물에 널리 쓰이는 13mm와 19mm 2 종류, 13mm를 체가름 하여 얻어진 10mm를 사용하였다.

Table 2는 연구에 사용된 골재의 물리적 성질을 나타낸다. 채움재는 두 골재 모두 같은 석회석분을 사용하였다. 골재의 합성입도는 건설교통부 밀입도 규정에 맞도록 입도를 혼합 조정하여 사용하였고 10mm의 경우는 국내의 규정이 없어 ASTM의 규정에 맞도록 조정하여 사용하였다. Figure 1과 Figure 2는 시험용 혼합물 제조에 사용된 화강암과 편마암의 합성입도를 나타낸 것이다.

Table 2. Property of aggregates

Classification		Apparent specific gravity	Absorption	Abrasion
Specification limit		> 2.45	< 3.0%	< 35%
Gneiss (A)	19mm	2.62	0.55	20.13
	13mm	2.60	0.91	24.67
	screenings	2.61	0.79	-
Granite (B)	19mm	2.72	0.34	21.51
	13mm	2.70	1.06	33.73
	screenings	2.55	1.58	-
Filler		2.75	-	-

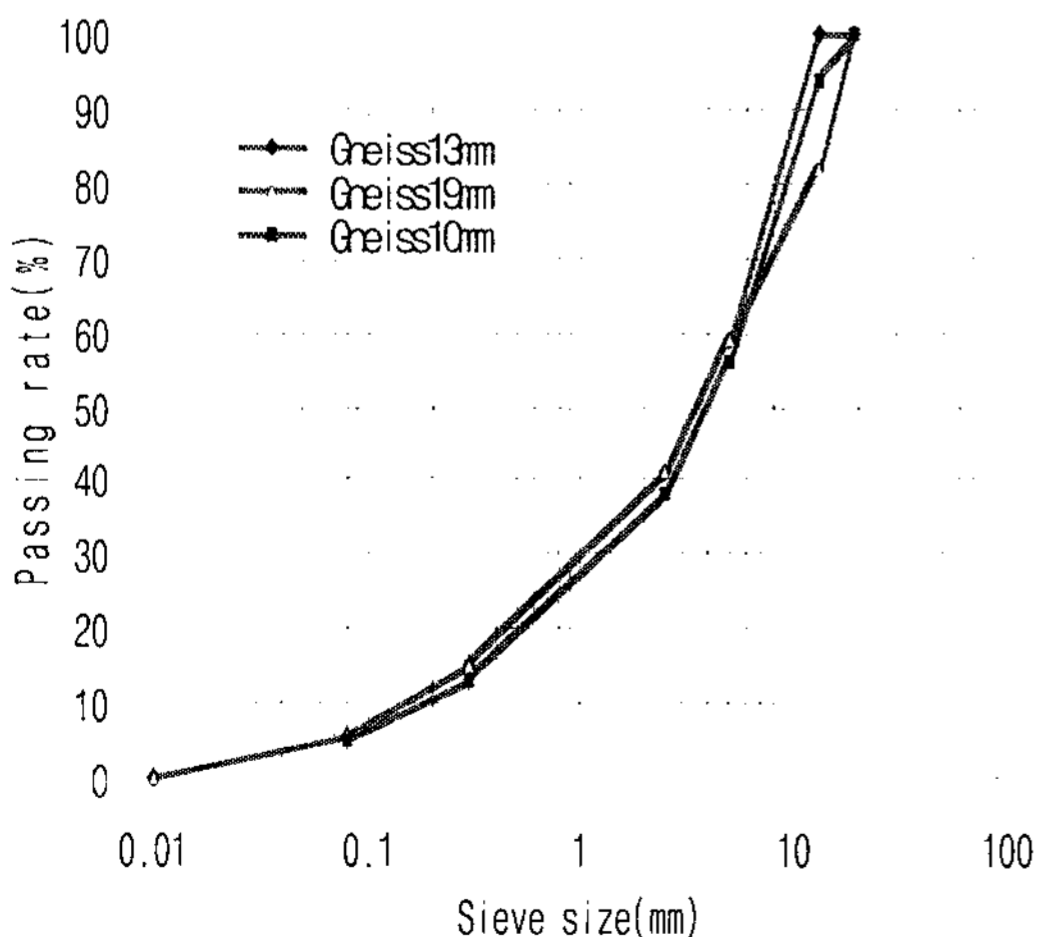


Figure 1. Gradation curves of gneiss (A)

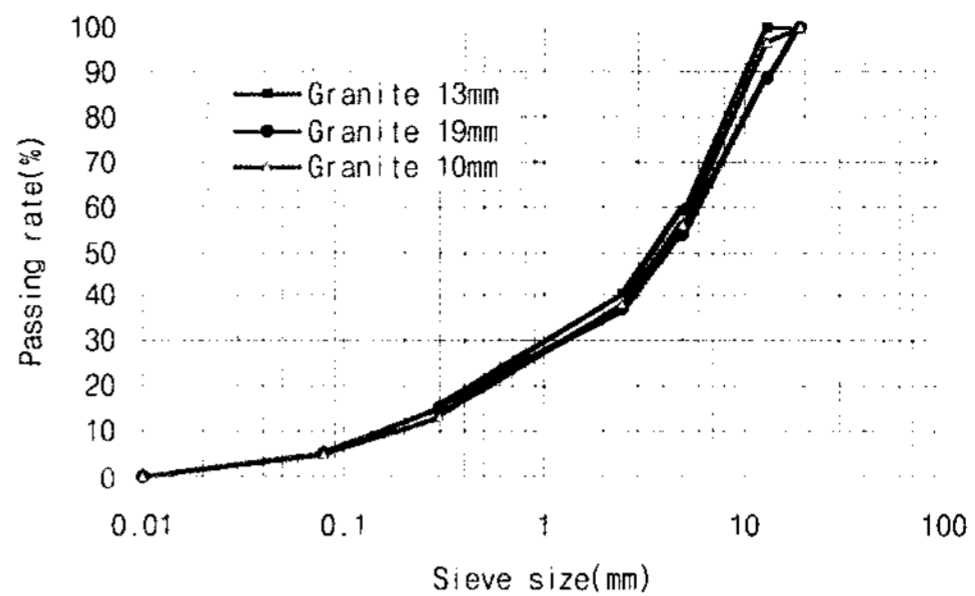


Figure 2. Gradation curves of granite (B)

2.2 시험

2.2.1 배합설계

본 연구에서는 2종류의 골재와 3가지 입도, 4종류의 바인더를 이용하여 24가지 혼합물에 대하여 배합설계를 수행하였다. 혼합물의 최적 아스팔트 함량(optimum asphalt content: OAC)을 결정하기 위하여 마샬 배합설계가 아닌 현재 아스팔트포장의 성능개선방안연구를 통해 개선연구 중인 새로운 배합설계 방법(아스팔트 콘크리트... 2006)을 적용하였다. 이 방법으로 다짐은 선회다짐기(Superpave gyratory compactor: SGC)를 사용하여 75회 다짐하였으며, 안정도 대신에 변형강도(S_D), 흐름치 대신에 골재간극률 (Void in mineral aggregate: VMA) 그리고 공극률과 포화도(Voids filled with Asphalt : VFA)를 OAC의 결정 변수로 적용하였다. 각 기준치는 공극률 3-5%, VFA 70%이상, VMA 13% 이상, S_D 는 3.0 MPa 이상으로 하였다 (김광우 등 2007). 그리고 이 모든 기준을 만족하는 아스팔트 함량 중에서도 가능한 한 공극률 4%가 얻어지는 아스팔트 함량을 OAC로 결정하였다.

2.2.2 변형강도 시험

변형강도는 실제 현장의 차량 운하중에 의한 재하 메커니즘을 고려한 실험법으로서 선행된 연구



(2006)에 의해 개발된 새로운 방법(DS_{new})를 사용하였다. 이는 Figure 4에서 초기점인 500cycle, 중앙점인 1,800cycle 및 종점인 3,600cycle의 침하깊이를 구하여 기울기의 역수(m_i)를 취해서 더한 값을 사용하는 방법이다.

$$\begin{aligned} \text{즉, } DS_{new} &= 2(m_1 + m_2 + m_3) && \text{이며, 정} \\ &= 2\left[\frac{500}{D_{500}} + \frac{1800}{D_{1800}} + \frac{3600}{D_{3600}}\right] \end{aligned}$$

리하면 이는 식 (2)와 같다.

$$DS_{new} = 1,000\left[\frac{1}{D_{500}} + \frac{3.6}{D_{1800}} + \frac{7.2}{D_{3600}}\right] \quad (2)$$

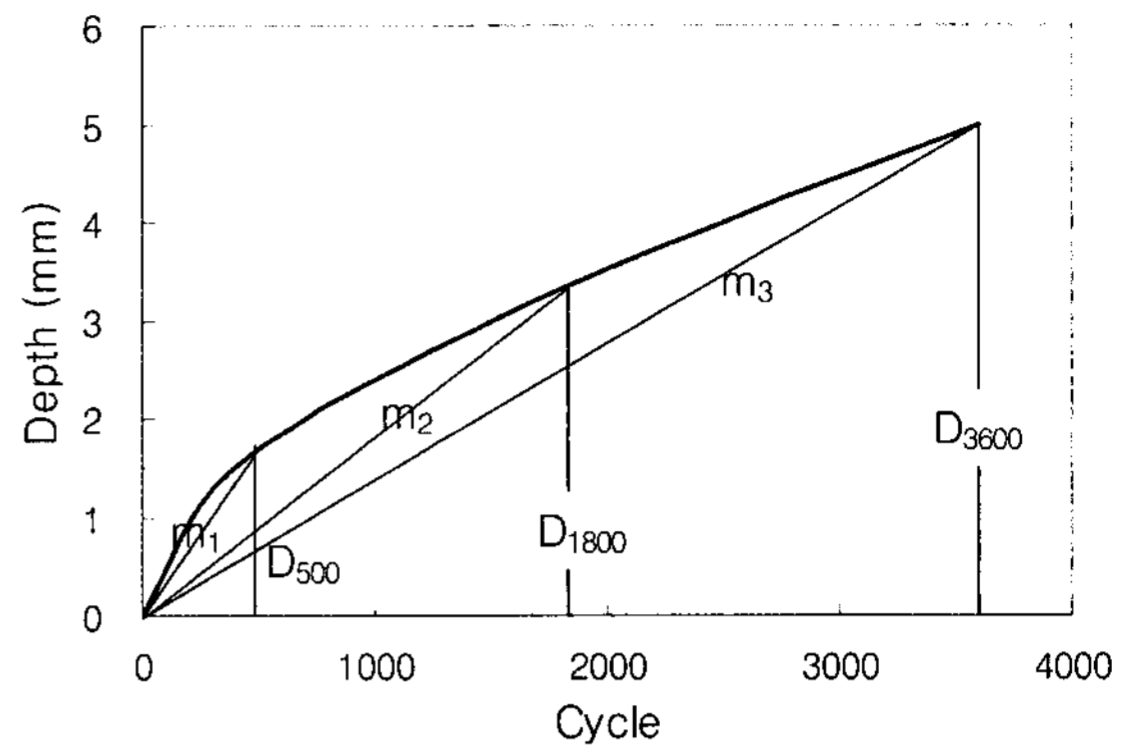


Figure 4. New dynamic stability used in this evaluation (Kim et al 2006)

Table 3. Optimum asphalt content (OAC) and deformation strength (S_D)

Designation	OAC(%)	Air Void(%)	VMA(%)	VFA(%)	S_D (MPa)
A10AP5	6.6	3.26	18.27	82.15	3.293
A10R10	7.0	4.61	20.29	77.27	3.007
A10SPG76	6.6	3.62	18.52	80.45	4.267
A10RL6R5	7.8	3.45	20.86	83.50	4.057
A13AP5	5.3	4.55	16.63	76.62	3.389
A13R10	6.0	4.44	17.97	75.29	3.476
A13SPG76	5.3	4.07	16.19	74.84	4.273
A13RL6R5	6.1	3.89	17.73	78.05	4.186
A19AP5	4.8	4.05	15.14	73.28	3.714
A19R10	5.3	4.42	16.55	73.27	3.753
A19SPG76	4.7	4.07	16.19	74.84	4.252
A19RL6R5	5.4	3.89	17.73	78.05	3.841
B10AP5	6.2	4.10	18.30	76.98	3.041
B10R10	7.1	4.28	20.10	78.21	3.359
B10SPG76	6.0	4.19	17.82	76.47	4.347
B10RL6R5	7.3	3.74	20.19	81.48	4.083
B13AP5	5.5	3.94	16.59	76.25	3.118
B13R10	5.8	3.79	16.98	77.68	3.559
B13SPG76	5.4	4.21	16.54	74.55	4.810
B13RL6R5	6.1	3.72	17.60	78.86	3.875
B19AP5	5.0	3.79	16.08	76.45	3.383
B19R10	5.6	4.05	17.00	76.19	3.400
B19SPG76	4.6	4.09	14.86	72.51	4.067
B19RL6R5	5.2	4.48	16.68	73.16	4.233

Note: A=gneiss, B=granite, 10=10mm, 13=13mm, 19=19mm,



3. 결과 및 고찰

3.1 배합설계

2 종류의 골재와 3가지 입도(10, 13, 19mm) 그리고 4 종류의 아스팔트 바인더(AP5, SPG76, R10, RL6R5)를 이용하여 총 24 조합 혼합물의 배합설계를 수행하였다. Table 3은 시험에 사용된 혼합물들의 명칭(골재 종류, 입도, 바인더 종류순)과 각 혼합물에 대한 배합설계 결과를 나타내고 있다.

3.2 원형 절삭 반경(r)에 따른 변형강도

원형절삭반경에 대한 민감도 및 변동성 연구(아스팔트... 2006,2007, Doh et al 2007)에 의하면 하중봉 밑면의 직경(그림 3의 H)과 r이 중요한 변수이다. 하중봉 전체직경은 D=40mm가 가장 적절한 것으로 나타났으며, 이 경우 r/D 가 0.25보다 작으면 민감도가 떨어지므로 0.25 이상이 필요한 것으로 제시되었다. 하지만 해석적 연구(김광우 등 2002, 2004, Kim et al 2004)에서 이 비율이 너무 커지면 H가 작아지므로 시험결과에 변동성이 커져

적은 시험환경의 변화에도 큰 데이터의 분산이 나타나는 것으로 분석되었다. 이에 본 연구에서는 D=40mm에 r=10.0mm와 10.5mm 두 하중봉에 대해 3가지 골재크기와 4가지 바인더를 사용한 다양한 혼합물의 변형강도를 측정하여 구체적으로 검토하였다.

각각의 혼합물별로 직경 100mm 공시체를 6개씩 제작하여, 3개는 r= 10.0mm인 하중봉을 사용하고, 나머지 3개는 r= 10.5mm인 하중봉을 사용하여 변형강도를 측정하였다. Table 4는 전체 혼합물에 대하여 변형강도의 통계치를 분석한 것이다. 표에서 변형강도는 r= 10.5mm인 것이 10mm보다 더 크게 나타났다(S_D 평균의 10.0/10.5 비가 0.932), 하중봉 치수에 따른 변동계수도 10.5mm가 더 크게 나타났다(S_D 의 변동계수 10.0/10.5 비가 0.895). 즉, 전체적으로 10.5mm의 변동계수가 다소 커서 r의 증가에 따라 평편한 밑면이 줄어들어 변동성을 증가시킨 원인인 것으로 보여진다. 또한 19mm 혼합물의 변형강도 평균이 4.005 MPa로 13mm와 10mm 골재의 평균보다 다소 높았다. 하지만 골재치수가 커짐에 따라 변동계수가 커지거나 작아지는 경향을 보이지는 않는데 이는 r의 차이가 골재치수에 영향을 받지 않음을 시사하는 것이다.

Table 4. Mean and variation of S_D for each radius (r) of edge round cut by max. agg. size

Max size	r (mm)	S_D (MPa)								
		Aggregate A			Aggregate B			Sub total		
		Mean	Std	Cov.	Mean	Std	Cov	Mean	Std	Cov.
10mm	10.0	3.633	0.429	11.808	3.708	0.235	6.338	3.671	0.332	9.045
	10.5	3.858	0.404	10.472	3.939	0.326	8.276	3.899	0.365	9.363
	Mean	3.746	0.417	11.120	3.824	0.281	7.307	3.785	0.349	9.204
	10/10.5	0.942	1.062	1.128	0.941	0.721	0.766	0.942	0.910	0.966
13mm	10.0	3.831	0.332	8.666	3.840	0.185	4.818	3.836	0.259	6.740
	10.5	4.039	0.496	12.280	4.127	0.201	4.870	4.083	0.349	8.535
	Mean	3.935	0.414	10.473	3.984	0.193	4.844	3.959	0.304	7.638
	10/10.5	0.949	0.669	0.706	0.930	0.920	0.989	0.939	0.742	0.790
19mm	10.0	3.891	0.406	10.434	3.773	0.207	5.486	3.832	0.307	7.998
	10.5	4.293	0.605	14.093	4.063	0.120	2.953	4.178	0.363	8.676
	Mean	4.092	0.506	12.264	3.918	0.164	4.220	4.005	0.335	8.337
	10/10.5	0.906	0.671	0.740	0.929	1.725	1.858	0.917	0.846	0.922
Total	10.0	3.785	0.389	10.303	3.774	0.209	5.547	3.779	0.299	7.928
	10.5	4.063	0.502	12.282	4.043	0.216	5.367	4.053	0.359	8.858
	Mean	3.924	0.445	11.292	3.908	0.212	5.457	3.916	0.329	8.393
	10/10.5	0.932	0.775	0.839	0.933	0.969	1.034	0.932	0.834	0.895

Note: Std= standard deviation, Cov=coefficient of variation



3.3 반복주행 시험

Table 5는 2회의 WT시험을 수행한 평균값으로 각각의 혼합물별 동적안정도와 최종 침하 깊이를 나타내었다. 표 6에서 보면 대부분 혼합물에서 AP5를 사용한 혼합물이 가장 큰 침하깊이를 보였고, SPG76을 사용한 혼합물이 가장 작은 침하깊이를 나타냈다.

Table 6. Result of wheel tracking test

Mixture	Rut Depth (mm)	DS _{new} (pass/mm)	Mixture	Rut Depth (mm)	DS _{new} (pass/mm)
A10AP5	6.66	2,080	B10AP5	9.39	1618
A10R10	7.71	1831	B10R10	4.98	2840
A10SPG76	2.00	6354	B10SPG76	2.00	7196
A10RL6R5	2.67	4874	B10RL6R5	3.42	4020
A13AP5	5.54	2,451	B13AP5	5.93	2,423
A13R10	3.67	3,710	B13R10	3.54	4,416
A13SPG76	1.73	7,594	B13SPG76	1.63	8,155
A13RL6R5	1.71	7,533	B13RL6R5	2.19	6,218
A19AP5	5.47	2,363	B19AP5	6.46	2,229
A19R10	3.54	3,703	B19R10	5.32	2537
A19SPG76	1.94	6,513	B19SPG76	1.60	9,008
A19RL6R5	2.42	5,386	B19RL6R5	2.46	6,004

3.4 상관성 분석

3.4.1 하중봉 치수에 따른 변형강도와 반복주행 시험 결과와의 상관성 분석

하중봉 치수에 따른 각 혼합물별 변형강도와 최종 침하깊이의 상관성 분석을 수행하였다. 분석 결

과를 Figure 5에서 볼 수 있듯이 절삭반경 $r=10\text{mm}$ 인 하중봉을 사용한 변형강도가 WT시험에 의한 최종 침하깊이와의 상관성 분석 결과 결정계수(R^2)가 더 높게 나타났다. 또한 하중봉 치수에 따른 변형강도와 동적안정도의 상관성 분석을 수행한 결과를 Figure 6에 나타낸 바, 절삭반경 $r=10\text{mm}$ 인 하중봉을 사용한 변형강도가 동적안정도와 상관성 분석을 통해 결정계수(R^2)이 더 크게 나타났다. 이는 절삭반경 $r=10\text{mm}$ 하중봉에 의한 변형강도가 소성변형 특성치에 잘 부합된다는 것을 의미한다.

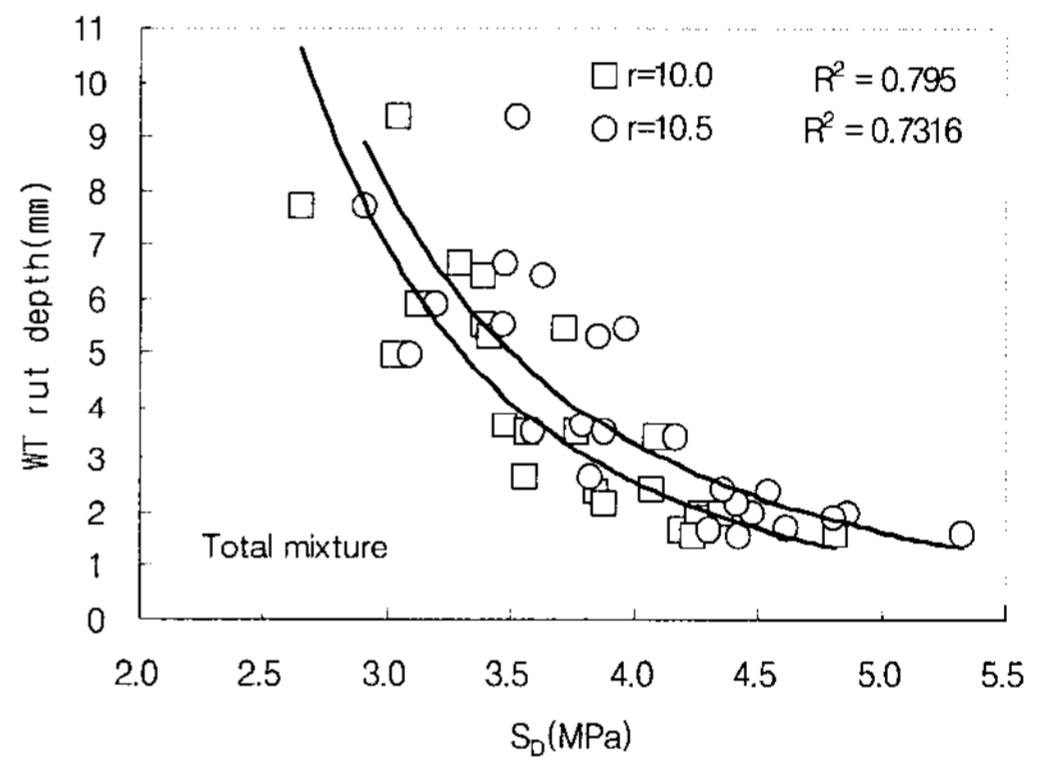


Figure 5. Correlation between rut depth and S_D of total mixtures

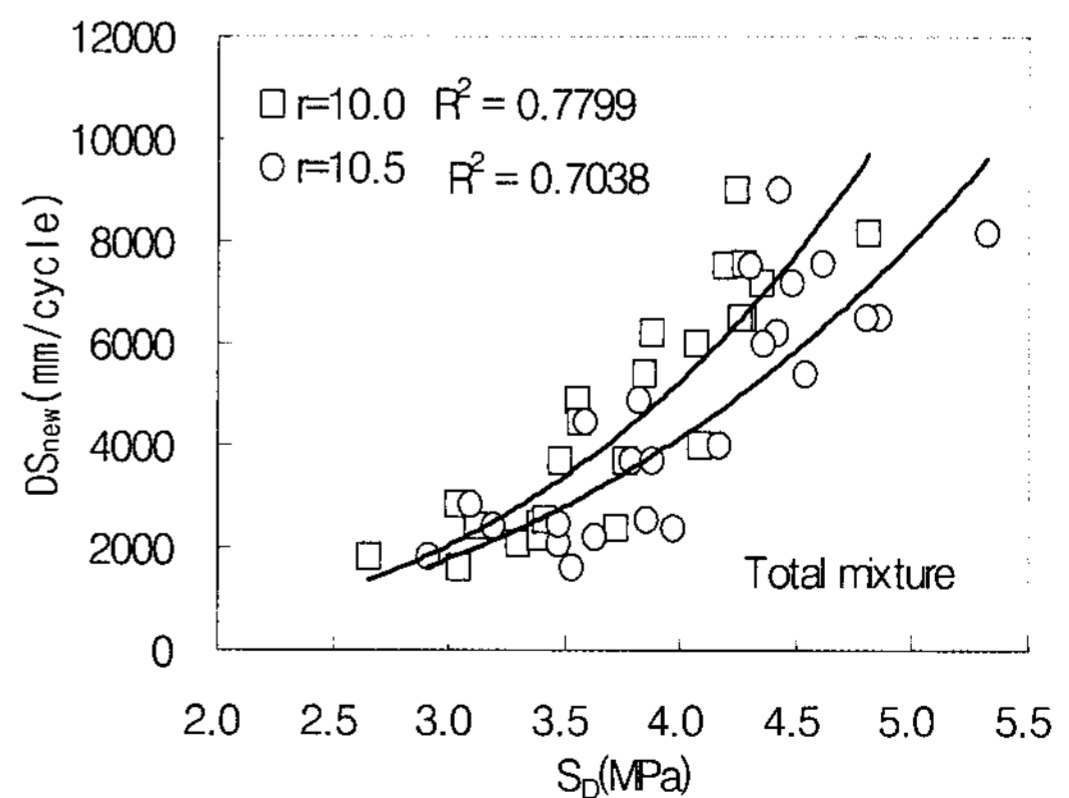


Figure 6. Correlation between DS_{new} and S_D of total mixtures



3.4.2 하중봉 원형절삭반경과 골재 치수와의 분산분석

본 연구에서는 두 가지 골재(편마암, 화강암), 3가지 골재치수(10, 13, 19mm)와 4가지 바인더(AP5, R10, RL6R5, SPG76)를 시험 변수로 사용하였다. 여기에서 하중봉의 원형 절삭반경의 크고 작음이 골재치수의 대소에 어떠한 영향을 미치는지를 확인하기 위하여 통계적 분석방법을 사용하였다. 측정된 각각의 변형강도 데이터를 Statistical analysis program (SAS)을 이용하여 General linear model (GLM) procedure의 분산 분석(Analysis of variance: ANOVA)을 수행하였다.

Table 7. ANOVA table by GLM procedure using SAS

Dependent variable: S _D .					
Source	Degree of freedom	Sum of square	Mean square	F value	Pr. > F
Binder	3	28.5639	9.5213	59.12	<.0001
Aggregate	1	0.0312	0.0312	0.19	0.6603
r	1	2.5860	2.5860	16.06	0.0001
Agg size	2	1.1308	0.5654	3.51	0.0328
r*agg size+	2	0.0990	0.0495	0.31	0.7360
Error	128	20.6131	0.1610		
Total	137				

+Interaction between r and aggregate size

Table 7의 ANOVA table에서 바인더는 물론이거니와 r과 골재크기(Agg. size)도 "Pr. > F"가 0.05이하로 유의성이 있는 변수로 나타났다. 이는 서로 다른 하중봉이 S_D크기에 영향을 미치며, 골재크기도 S_D에 영향을 미친다는 의미이다. 하지만 이 두 변수의 교호작용(Interaction)을 보는 r*agg. size의 "Pr. > F"가 0.05보다 훨씬 커서 전혀 유의

차가 없는 것으로 나타났다. 즉, 골재크기가 하중봉 절삭반경 차이에 영향을 받지 않음을 의미한다. 따라서 r=10mm나 10.5mm 어느 것도 골재크기가 10mm ~ 19mm 내에서는 r 때문에 영향을 받지 않음을 의미한다. 따라서 본 연구를 토대로 S_D 측정치에 변동성도 적고 WT 시험결과와의 상관성도 높은 시험결과가 얻어지는 하중봉의 원형절삭반경으로 r= 10mm를 선정하였다.

4. 결과

1. 직경 40mm 하중봉 재하면의 원형절삭 반경(r) 10mm와 10.5mm의 비율 (10/10.5)가 0.93으로 나타나 10mm를 사용한 변형강도가 다소 낮은 것으로 나타났다. 또한 변동계수에서도 10/10.5의 비가 0.895로 10mm를 사용한 변형강도가 낮은 것으로 나타났다.
2. 변형강도와 반복주행시험(wheel tracking)을 통하여 얻은 동적 안정도 및 최종침하 깊이와의 상관성 분석에서 원형 절삭반경 r=10mm 하중봉의 변형강도 값들이 10.5mm보다 R²이 높게 나타나 소성변형 추정에 더 효과적인 것으로 나타났다.
3. 측정된 변형강도 데이터의 분산 분석 결과, 골재 치수와 원형절삭 반경(r)이 "Pr. > F"가 0.05 이하로 SD 값에 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 하지만 이 두 변수의 교호작용(Interaction)을 나타내는 r*agg. size의 "Pr. > F"가 0.05보다 훨씬 커서 전혀 유의차가 없는 것으로 나타났다. 따라서 두 가지 하중봉은 어느 것도 골재크기가 10mm ~ 19mm 내에서는 r 때문에 영향을 받지 않음을 의미한다.
4. 이를 토대로 S_D 측정치에 변동성도 적고 WT 시험결과와의 상관성도 높은 시험결과가 얻어지는 하중봉으로 직경 40mm, 원형절삭반경으로 r= 10mm가 적합한 것으로 선정하였다.



감사의글

본 연구는 건설교통기술평가원 자유공모과제의 지원으로 강원대학교 석재복합건설신소재연구소의 시설을 이용하여 이루어졌습니다.

참고문헌

이상범 (2001), “아스팔트 혼합물의 공극 및 강도 특성을 이용한 소성변형 추정 연구,” 강원대학교 대학원 박사학위 논문.

김광우, 이문섭, 김준은, 최선주 (2002), “소성변형과의 상관성에 근거한 아스팔트 콘크리트의 강도특성 개발에 관한 기초연구,” 한국도로학회 논문집, 제 4권 4호, pp.23-40.

김광우, 최선주, 이기호, 도영수 (2004), “온도 변화에 따른 아스팔트 콘크리트의 변형강도와 소성변형과의 상관성 연구,” 대한토목학회 논문집, 제 24권 5D호 pp.743-748.

김광우, 조병진, 이순제, 도영수 (2007), “고온 내변형 아스팔트 혼합물 선정을 위한 변형강도 임계치의 결정방안,” 한국도로학회 논문집, 9(4), 193-204

김부일, 이문섭, 김광우 (2006), “포장성능관련 역학적 특성이 고려된 아스팔트 혼합물의 배합 설계 방안,” 한국도로학회 논문집, 8(1), 15-23.

“아스팔트 콘크리트의 고온 내변형성 평가기법 개발,”(2006) 건설교통부

“아스팔트 콘크리트의 고온 내변형성 평가기법 개발,” (2007) 건설교통부

김광우, 도영수, (2006) “아스팔트 혼합물 반복주행 시험에서 합리적 동적 안정도의 산정 방법,” 한국도로학회 논문집 제 8권 1호, pp.77-87.

“KS F 2374 역청 포장 혼합물의 휠 트래킹 시험 방법,” (2000) 한국산업표준협회

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.

Kim, K. W., Doh, Y. S. and Amirkhanian, S. N., “*Feasibility of deformation strength for estimation of rut resistance of asphalt concrete,*” *Road Materials and Pavement Design*, 5(3), Dec. 2004, 303-322.

접 수 일: 2008. 3. 25

심 사 일: 2008. 3. 26

심사완료일: 2008. 6. 3