



역청콘크리트 공시체 직경에 따른 변형강도(S_D)의 차이

Difference in Deformation Strength of Bituminous Concrete due to Specimen Diameter

백성현* 유민용** 김진철** 박태원*** 도영수**** 김광우*****
 Baek Sung H. Yu Min Y. Kim Jin C. Park Tae W. Doh, Young S. Kim, Kwang W.

1. 서론

현장의 하중 재하상태를 모사하여 현장 공용성과 상관성이 크고 장비가 간편하여 시험이 용이한 Kim test를 통한 변형강도(Deformation Strength; S_D)는 동적크리프 시험결과와 결정계수(R^2)가 0.79 이상 (조문진 등 2005), 반복주행시험 결과와 결정계수(R^2)가 0.90 이상 (김광우 등 2007)으로 높은 상관성을 보였다. Kim test에 의한 변형강도는 현재 실용화를 위하여 다양한 혼합물에 대한 상관성 연구와 타당성 입증에 위한 현장 코어채취를 통한 현장의 소성변형 상태와 변형강도의 상관성분석, 현장원형모의주행기 (Field Circular Wheel Tracking)를 이용한 혼합물의 물성변화에 대한 변형강도 값의 상관성 분석과 같은 구체적인 실용화 연구가 진행 중에 있다(아스팔트 콘크리트....., 2006,2007).

이상과 같이 변형강도가 배합설계 인자로 하여 아스팔트 혼합물의 배합설계를 할 경우, 이 혼합물은 사전에 소성변형 저항성이 고려된 혼합물이 될 것이다.

본 연구는 기 연구를 통하여 상관성이 우수한 것으로 나타난 $D=40\text{mm}$, $r=10\text{mm}$ 의 하중봉을 사용하여 공시체의 직경 차이에 따른 변형강도의 차이를 평가하였다. 또한 공시체 직경에 따른 반복주행시험 결과의 특성치와 비교하였다.

2. 재료 및 방법

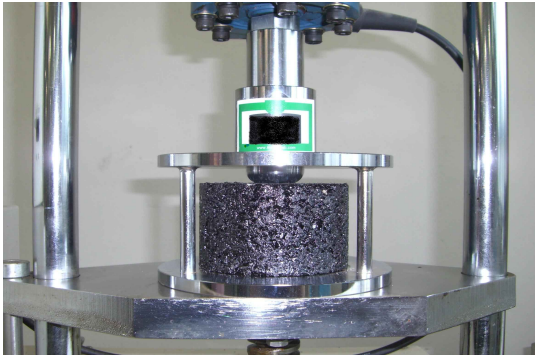
본 연구에 사용된 아스팔트 바인더는 침입도 등급 60-80인 AP-5, R10 개질 아스팔트, RL6R5 개질 아스팔트, 상용화되어 있는 PG76-22를 사용하였다. 골재는 두 가지 모암(편마암과 화강암)의 굵은골재 최대치수 13mm와 19mm와 부순 잔골재, 채움재는 석회석분을 사용하여 직경 100mm와 150mm의 공시체를 선회다짐기를 이용하여 제조하였다.

변형강도는 공시체를 아스팔트 혼합물의 소성변형과 유사하게 압밀·전단에 의한 변형이 유발되도록 봉 직경(D)의 끝부분을 반경 r 만큼 원형 질삭한 하중봉을 사용하여 60℃의 항온수조에 30분간 수침 후 Kim tester에 거치하고 강도 시험기에서 재하한다(그림 1). <그림 2>는 Kim test에 의해 얻어진 하중-변형 곡선의 한 예를 보여준다.

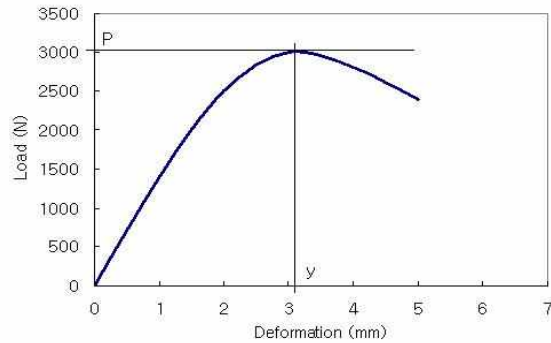
반복주행시험의 슬래브 공시체는 공극률 $4 \pm 0.5\%$ 의 배합설계를 거쳐 결정된 최적 아스팔트 함량으로 제조하였고 단기 노화를 거친 후 305mm × 305mm × 62mm 크기로 롤러 다짐기를 이용하여 제작하였다. 슬래브 공시체는 12시간 동안 상온에 보관 후 몰드에서 탈영하여 물성 시험을 한 후 반으로 절단하였고, 24시간 동안 항온항습기에 양생시킨 후 반복주행 시험에 사용하였다. <그림 3>은 반복주행시험이 수행된 슬래브 공시체를 나타낸다.

* 강원대학교 대학원 지역건설공학과 박사과정
 ** 강원대학교 대학원 지역건설공학과 석사과정
 *** 한국도로공사 도로교통연구원 도로연구팀
 **** 강원대학교 석재복합건설신소재연구소 연구교수 · 공학박사(E-mail:youngsdoh@hanmail.net)
 ***** 강원대학교 지역기반공학과 교수 · 공학박사(E-mail:asphaltech@hanmail.net)

반복주행시험 결과의 특성치인 동적안정도(Dynamic stability: DS)의 산정은 KS 산출방법은 주행 말기의 data만을 이용하므로 전체적으로 침하가 깊어도 말기에 침하 진전도가 낮으면 DS가 크게 되어 우수한 혼합물로 판정되는 모순이 있다. 본 연구에서는 <그림 4>와 같이 초기점인 500cycle, 중앙점인 1,800cycle 및 종점인 3,600cycle의 기울기의 역수(m_i)를 취해서 더한 값을 사용하는 최근에 개발된 방법(김광우 등, 2006)을 이용하였다. 이는 동적안정도로 초기, 중기, 말기의 누적 기울기를 고려하기 위한 취지에서 선택한 것이다. 이 산정방법은 KS 방법의 최종단계의 동적안정도만 취하는 모순을 초기와 중기의 기울기 역수와 같이 고려함으로써 초기의 기울기가 큰 경우 조기 공용성 저하 문제를 야기하므로 이를 계산에 포함하게 한 것이다. <그림 4>와 식 (1)은 본 연구에서 사용된 동적안정도의 산출방법을 나타낸다.



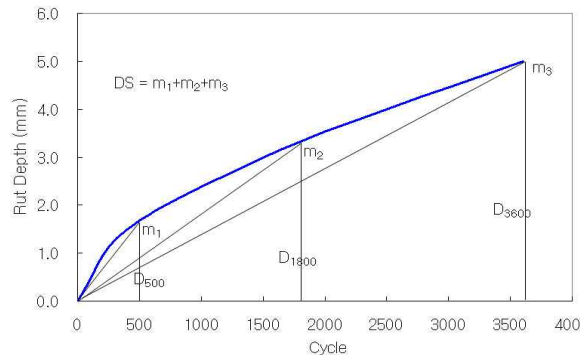
<그림 1> Kim Test setting



<그림 2> A typical load-deformation curve from Kim test



<그림 3> 2 Slab specimens for wheel tracking test



<그림 4> New dynamic stability used in this study (Kim et al 2006a)

$$\begin{aligned}
 DS_{new} (pass/mm) &= 2(m_1 + m_2 + m_3) \\
 &= 2 \left[\frac{500}{D_{500}} + \frac{1,800}{D_{1,800}} + \frac{3,600}{D_{3,600}} \right] \quad (1)
 \end{aligned}$$

- D_{500} = 500 cycle 에서의 침하깊이 (mm)
- D_{1800} = 1,800 cycle 에서의 침하깊이 (mm)
- D_{3600} = 3,600 cycle 에서의 침하깊이 (mm)



3. 결과 및 고찰

1. 공시체 직경(S)에 따른 변형강도

공시체의 직경에 따른 변형강도의 차이를 확인하기 위하여 국내에서 주로 사용되는 굵은골재 최대치수 13mm와 19mm에 대하여 직경D=40mm와 원형질삭반경r=10mm인 하중봉을 사용하여 공시체 직경(Diameter of specimen: S) 100mm와 150mm에 대하여 변형강도를 측정하였으며, <표 1>~<표 4>는 그 결과를 나타낸 것으로 평균값들이다. 공시체 직경에 따른 변형강도의 차이는 S= 150mm 공시체의 변형강도가 S= 100mm인 공시체에 비하여 더 크게 나타났다.

<표 1> Comparison of S_D for two specimens diameters (loading head D=40mm, r=10.0mm, Gneiss 13mm)

Mixture	Specimen diameter(mm)				S_D 100/150 ratio
	S= 100mm		S= 150mm		
	Air void(%)	S_D (MPa)	Air void(%)	S_D (MPa)	
A13AP OAC=5.3%	4.533	3.389	5.06	3.612	0.938
A13R10 OAC=6.0%	3.910	3.476	5.489	2.816	1.234
A13RL6R5 OAC=6.1%	4.200	4.186	4.831	4.070	1.029
A13PG OAC=5.3%	4.740	4.273	4.478	5.028	0.850

<표 2> Comparison of S_D for two specimens diameters (loading head D=40mm, r=10.0mm, Gneiss 19mm)

Mixture	Specimen diameter(mm)				S_D 100/150 ratio
	S= 100mm		S= 150mm		
	Air void(%)	S_D (MPa)	Air void(%)	S_D (MPa)	
A19AP OAC=4.8%	3.940	3.714	3.48	4.640	0.800
A19R10 OAC=5.3%	4.023	3.758	3.75	4.642	0.810
A19RL6R5 OAC=5.4%	4.237	3.841	3.86	5.000	0.768
A19PG OAC=4.7%	3.897	4.419	3.38	6.361	0.695

<표 3> Comparison of S_D for two specimens diameters (loading head D=40mm, r=10.0mm, Granite 13mm)

Mixture	Specimen diameter(mm)				S_D 100/150 ratio
	S= 100mm		S= 150mm		
	Air void(%)	S_D (MPa)	Air void(%)	S_D (MPa)	
B13AP OAC=5.5%	5.150	3.118	4.260	5.291	0.589
B13R10 OAC=5.8%	4.453	3.559	4.850	5.311	0.670
B13RL6R5 OAC=6.1%	3.943	3.875	3.860	5.023	0.771
B13PG OAC=5.4%	4.133	4.810	3.250	7.849	0.613

<표 4> Comparison of S_D for two specimens diameters (loading head D=40mm, r=10.0mm, Granite 19mm)

Mixture	Specimen diameter(mm)				S_D 100/150 ratio
	S= 100mm		S= 150mm		
	Air void(%)	S_D (MPa)	Air void(%)	S_D (MPa)	
B19AP OAC=5.0%	4.640	3.383	3.030	4.415	0.766
B19R10 OAC=5.6%	3.833	3.409	1.860	4.404	0.774
B19RL6R5 OAC=5.2%	3.423	4.067	4.690	5.254	0.774
B19PG OAC=4.8%	3.400	4.233	3.430	6.613	0.640



2. 반복 주행(Wheel tracking)시험

반복 주행 시험은 동적하중 하에서 소성변형에 대한 혼합물의 저항성을 평가하는 방법으로 현재 개발된 소성변형 저항성을 평가하는 시험법 중 가장 널리 쓰이는 방법이다. 본 연구에서는 각 혼합물에 대하여 슬래브 공시체를 제작하여 90분 (3,600cycle) 반복주행 후 최종 침하깊이(Rut Depth)를 측정하였고, 식 (1)의 산출방법으로 동적안정도(DS_{new})를 구하였다. <표 5>와 <표 6>은 각 혼합물별 최종 침하깊이와 동적안정도의 평균치를 보여준다.

골재 치수에 따른 모든 혼합물에서 AP-5를 사용한 혼합물이 가장 큰 침하깊이를 보였고, PG 76-22를 사용한 혼합물이 가장 작은 침하깊이를 나타내는 것을 알 수 있다.

<표 5> Result of wheel tracking test (Gneiss mixtures)

Mixture	Rut Depth(mm)	DS_{new} (pass/mm)
Gneiss 13mm AP-5	5.54	2,451
Gneiss 13mm R10	3.67	3,710
Gneiss 13mm PG76-22	1.73	7,594
Gneiss 13mm RL6R5	1.71	7,533
Gneiss 19mm AP-5	5.47	2,363
Gneiss 19mm R10	3.54	3,703
Gneiss 19mm PG76-22	1.94	6,513
Gneiss19mm RL6R5	2.42	5,386

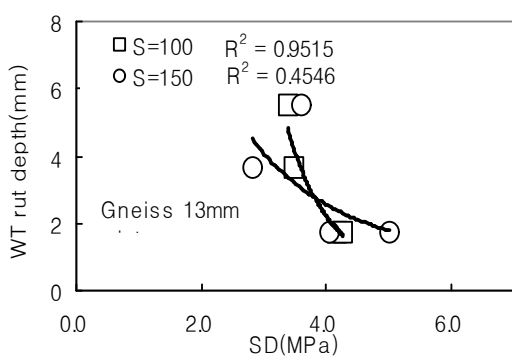
<표 6> Result of wheel tracking test (Granite mixtures)

Mixture	Rut Depth(mm)	DS_{new} (pass/mm)
Granite 13mm AP-5	5.93	2,423
Granite 13mm R10	3.54	4,416
Granite 13mm PG76-22	1.63	8,155
Granite 13mm RL6R5	2.19	6,218
Granite 19mm AP-5	6.46	2,229
Granite 19mm R10	5.32	2537
Granite 19mm PG76-22	1.60	9,008
Granite 19mm RL6R5	2.46	6,004

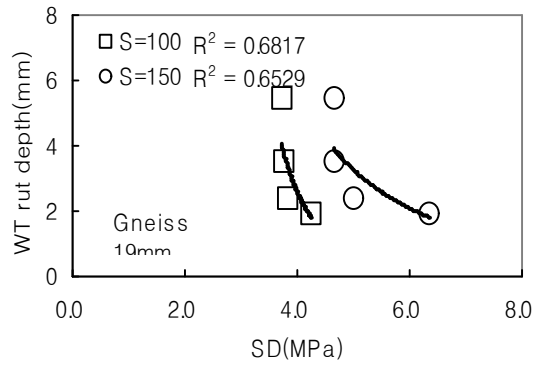


3. 공시체 직경에 따른 변형강도와 침하깊이의 상관성 분석

소성변형과 상관성이 우수한 것으로 나타난 하중봉 D=40mm, r=10mm를 사용하여 공시체 직경에 따른 변형강도와 소성변형과의 상관성을 분석하였다. 위에서 언급한 대로 변형강도는 공시체가 커짐에 따라 커지는 경향을 보인다. 소성변형과의 상관성을 분석하기 위해 반복주행시험의 결과인 최종침하깊이와의 상관성을 분석한 결과 S= 100mm 공시체의 상관성이 S= 150mm 공시체에 비해 매우 좋게 나타났다. <그림 5>와 <그림 6>은 각 혼합물의 최종침하깊이와 변형강도의 상관성 분석을 나타낸다. <그림 5>와 <그림 6>에서 100mm 공시체의 상관성이 더 우수함을 알 수 있다.

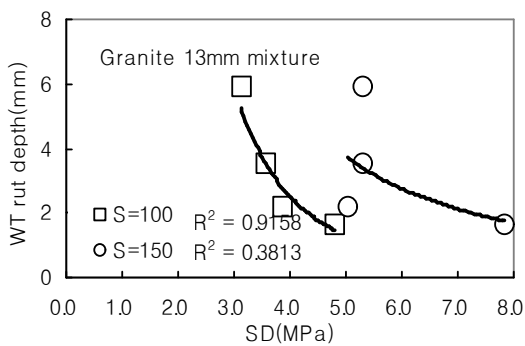


(a) 13mm

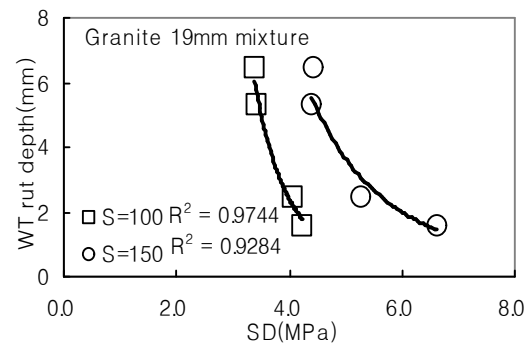


(b) 19mm

<그림 5> Correlation between rut depth and S_D of Gneiss (a) 13mm, (b) 19mm



(a) 13mm

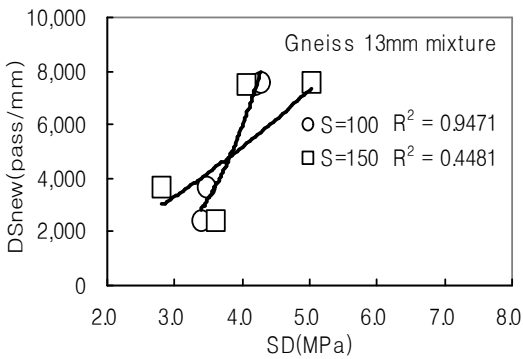


(b) 19mm

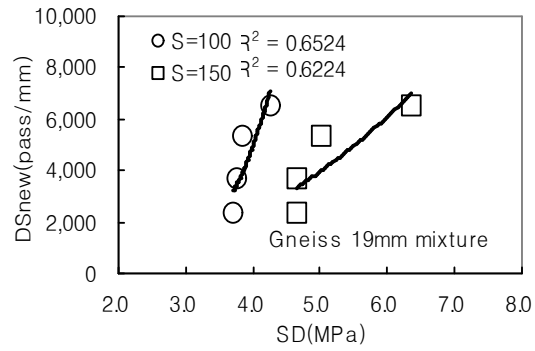
<그림 6> Correlation between rut depth and S_D of Granite (a) 13mm, (b) 19mm

4. 공시체 직경에 따른 변형강도와 동적안정도의 상관성 분석

소성변형과 상관성이 우수한 것으로 판단된 하중봉 직경 D=40mm, 원형절삭반경 r=10.0mm를 사용하여 공시체의 직경에 따른 변형강도와 반복주행시험을 통해 산출된 동적안정도와와의 상관성을 분석하였다. 동적안정도는 새로이 제시된 산출방법을 사용하여 얻은 결과 치를 사용하였다. 공시체 직경(S)에 따른 변형강도와 동적안정도와와의 상관성은 S=100mm 공시체가 S=150mm 공시체에 비해 더 좋은 결과를 보였다. <그림 7>과 <그림 8>은 각 혼합물의 최종침하깊이와 변형강도의 상관성 분석을 나타낸다.

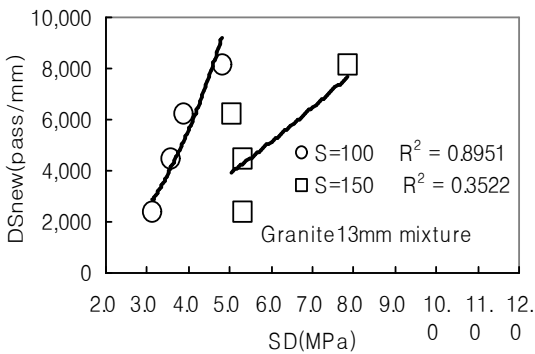


(a) 13mm

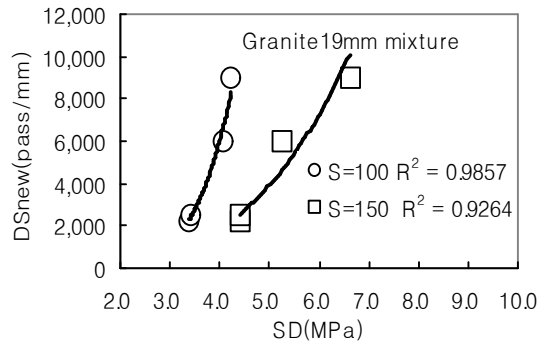


(b) 19mm

〈그림 7〉 Correlation between DS and S_D of Gneiss (1) 13mm, (b) 19mm



(a) 13mm



(b) 19mm

〈그림 8〉 Correlation between DS and S_D of Granite (a) 13mm, (b) 19mm

4. 결론

본 연구의 결과 다음의 결론을 얻었다.

1. 공시체의 직경에 따른 변형강도의 차이를 평가한 결과 공시체의 직경이 커짐에 따라 변형강도가 커짐을 알 수 있었다.
2. 변형강도와 최종침하깊이, 동적 안정도와의 상관성 분석에서 100mm 직경의 공시체가 150mm 공시체 보다 더 상관성이 우수한 것으로 나타났다.
3. 이상의 연구결과를 볼 때 공시체 직경에 따른 변형강도의 차이를 보정하는 방안에 대한 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

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, (2006a) “아스팔트 혼합물 반복주행 시험에서 합리적 동적 안정도의 산정 방법,” 한국도로학회 논문집 제 8권 1호, pp.77-87.
3. 김광우, 도영수, 이기호, 조문진, 최선주, “개질아스팔트 혼합물의 변형강도 측정연구,” 석재연논문집 제 9집, 2004. 9. 191- 206.
4. 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
5. 김광우, 조병진, 이순제, 도영수, “고온 내변형 아스팔트혼합물 선정을 위한 변형강도 임계치의 결정방안,” 한국도로학회 논문집, 9(4), 2007. 12. 193-204.
6. 김광우, 최선주, 이기호, 도영수, “온도변화에 따른 아스팔트 콘크리트의 변형강도와 소성변형과의 상관성 연구,” 대한토목학회 논문집, 제 24권 5D호, 2004. 9. 743-748.
7. 박태원, 도영수, 김광우, “변형강도 시험용 하중봉의 원형절삭반경 선정연구,” 한국도로학회 논문집, 10(2), 2008. 6.
8. 이문섭, 최선주, 도영수, 김광우, “공시체 크기가 변형강도를 이용한 소성변형 추정에 미치는 영향,” 한국도로학회 논문집, 제 6권 2호, 2004. 6. 1-13.
9. “아스팔트 콘크리트의 고온변형저항성 평가방안 연구,” 1년차 연구보고서, 강원대학교, 건설교통부, 2006. 12.
10. “아스팔트 콘크리트의 고온변형저항성 평가방안 연구,” 2년차 연구보고서, 강원대학교, 건설교통부, 2007. 12.
11. 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.
12. Kim, H. H., Park, N. W., Doh, Y. S., K. Ahn, Lee, S. J. and Amirkhanian, S. N., Kim, K. W., "Rutting Estimation of Asphalt Pavement Mixtures using Deformation Strength," EATA08, European Asphalt Technology Association Meeting, Lyon, France, April. 2008.
13. 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.
14. 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.
15. 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.