



아스팔트 콘크리트 변형강도 시험에서의 적정 하중재하속도 선정 연구

Determination of Proper Loading Speed for Deformation Strength Test of Asphalt Concretes

조 병 진*	박 태 원**	도 영 수***	김 광 우****
Cho Byung J.	Park Tae W.	Doh Young S.	Kim Kwang W.

Abstract

This study was carried out to select proper loading speed for deformation strength (S_D) of asphalt mixtures. Kim test using loading head of diameter(40mm) with radius(10mm) was conducted to measure S_D in different loading speed (10mm/min, 30mm/min, 50mm/min, 70mm/min) and wheel tracking test was also conducted. The regression analyses between the S_D values and WT results were carried out by loading speeds. Higher S_D was observed as increasing loading speed. This means that loading speed is a high influencing factor on S_D . The loading speed of 30mm/min was found as an optimum for better correlation with WT results than any other speeds from the regression analysis between S_D and wheel tracking test results. S_D value measured at other loading speed than 30mm/min has to apply the conversion coefficients.

Keywords : *deformation strength, loading speed, wheel tracking test, regression analysis, conversion coefficients*

요 지

본 연구는 아스팔트 혼합물의 변형강도에 대한 적정 하중재하속도를 선정하기 위하여 수행하였다. 이를 위하여 직경(D) 40mm, 하단의 원형 질삭반경(r)을 10.0mm의 하중봉으로 Kim test의 하중재하속도를 분당 10mm, 30mm, 50mm, 70mm 로 하여 변형강도를 측정하고 반복주행시험을 수행하여 얻어진 소성변형 특성치와의 상관관계에 대하여 회귀분석을 수행하였다. 하중재하속도별 변형강도 값은 하중재하속도가 증가함에 따라 변형강도도 증가하는 경향을 보였다. 이것은 하중재하속도가 변형강도에 미치는 영향이 큰 요소임을 알 수 있었다. 하중재하속도에 따른 변형강도와 반복주행시험 결과인 최종침하깊이 및 동적안정도와의 상관성 분석을 통해 30mm/min의 하중재하속도가 가장 적합한 것으로 나타났다. 하중 30mm/min 하중재하속도가 불가능한 시험기의 30mm/min 하중재하속도에서의 변형강도는 제안된 환산계수를 적용해야 한다.

핵심용어: 변형강도, 하중재하속도, 반복주행시험, 소성변형, 회귀분석, 최종침하 깊이, 동적안정도

* 정회원 · 강원도 개발공사 토목직 사원 · 공학석사
 ** 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 연구원 · 공학석사
 *** 정회원 · 강원대학교 석재복합건설신소재연구소 연구교수 · 책임저자
 **** 정회원 · 강원대학교 지역건설공학과 교수 · 교신저자



1. 서론

아스팔트 혼합물의 소성변형특성과 상관성이 높은 시험법으로 개발되어 실용화 연구가 진행중인 변형강도(Deformation Strength: S_D)는 밀입도 혼합물의 반복주행(wheel tracking: WT)시험 결과와 결정계수(R^2)가 0.90 이상으로 높게 나타났다(김광우 등 2002, 2004b, Doh et al 2007, Kim et al 2004, 건설교통부 1년차 보고서 2006, 건설교통부 2년차 보고서 2007, Park et al, 2007, Kim et al, 2008). 또한 동적 크리프 시험결과와 $R^2 > 0.79$ 그리고 Asphalt Pavement Analyzer(APA) 결과와 $R^2 > 0.77$ (김광우 등 2007, Park et al 2007, Park et al, 2007, Kim et al 2008), 회복탄성계수(M_R)와 $R^2 > 0.82$ (건설교통부 2년차 보고서, 2007, Kim et al, 2008) 등 타 소성변형 관련 특성 시험과의 상관관계가 높게 나타났다. 또한 골재의 입도를 고정할 경우 바인더의 PG 등급에 따른 소성변형 저항성의 차이가 혼합물의 변형강도로 잘 나타난다(김광우 등 2004a).

이러한 변형강도의 측정은 수침을 통해 60℃로 가열된 원형 공시체의 평면 중앙에 밀면 가장자리가 원형 절삭된 하중봉으로 정하중을 가하여 공시체가 파괴될 때의 최대하중과 그때의 수직변위를 통해 구한다. 이 시험법은 Kim test로 명명되고 있으며, 장비가 간편하고 시험이 용이하여 실용화를 위하여 다양한 혼합물에 대한 상관성 연구가 진행중이다. 또한 타당성 입증을 위하여 현장 코어의 변형강도와 현장의 소성변형 상태와의 상관성분석, 원형 모의주행 시험기(Field Circular Wheel Tracking)를 이용한 소성변형저항성과 변형강도 값의 상관성분석과 같은 구체적인 실용화 연구가 진행중에 있다(건설교통부 1년차 보고서, 2006, 건설교통부 2년차 보고서, 2007).

그러나 이제까지의 변형강도에 대한 연구는 정하중의 하중재하속도를 마살안정도 시험이나 간접인장강도시험과 같은 분당 50mm의 속도를 사용하여 왔

다. 하지만 아스팔트 혼합물의 소성변형은 저속이나 정제된 차량에 의해 더 심하게 발생되므로 하중재하속도를 낮추어 서서히 하중을 가하여 구하는 변형강도 값이 혼합물의 소성변형 특성을 더 잘 대변할 수 있을 것이라 추정되었다. 이러한 가정 하에 예비시험에서는 분당 1, 5, 10mm 등 낮은 하중재하속도로 같은 혼합물의 변형강도를 측정하여 비교하려고 하였으나 1, 5mm 등 아주 낮은 속도에서는 혼합물의 강도측정이 곤란하였다. 이는 60℃로 가열되어 물러진 혼합물에 하중을 가함으로써 응력이완(stress relaxation) 현상이 발생하기 때문인 것으로 추정되었다. 따라서 본 연구에서는 10mm/min부터 4가지 단계로 속도를 조절하여 변형강도를 측정하고 이를 WT 시험결과와 비교하는 연구를 수행하였다. 따라서 본 연구의 목적은 반복주행시험의 소성변형 특성치와 Kim test의 하중재하속도에 따른 변형강도 값을 비교하여 변형강도 측정을 위한 최적 하중재하속도를 선정하여 제시하는데 있다.

2. 재료 및 방법

2.1 재료

본 연구에서 사용된 기본 아스팔트는 국내에서 가장 널리 사용되는 침입도 등급 60~80(AP-5)이다. 아스팔트 개질재로는 재생 LDPE(Recycled Low-Density Polyethylene: RLDPE), 페타이어를 분쇄하여 30번체를 통과한 고운 고무입자(Crumb rubber modifier: CRM)를 사용하였다. 또한 Styrene-butadiene-styrene(SBS)로 개질하여 상용화되어 있는 PG 76-22 개질아스팔트 바인더를 사용하였다. 개질재 RLDPE는 건식방법으로 CRM은 습식방법으로 사용되었다. 표 1은 본 연구에서 사용된 바인더의 명칭을 나타낸다.

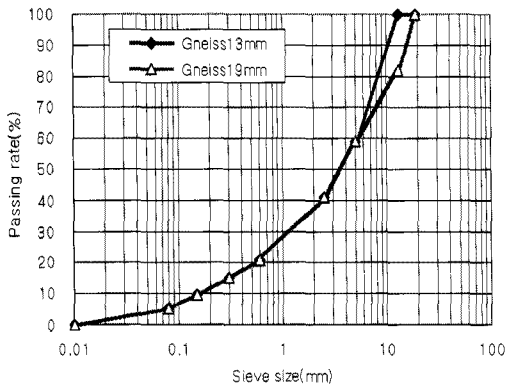
골재는 전국적으로 널리 분포되어 있고 일반적으로 많이 사용되는 화강암과 편마암 쇄석을 굵은골재



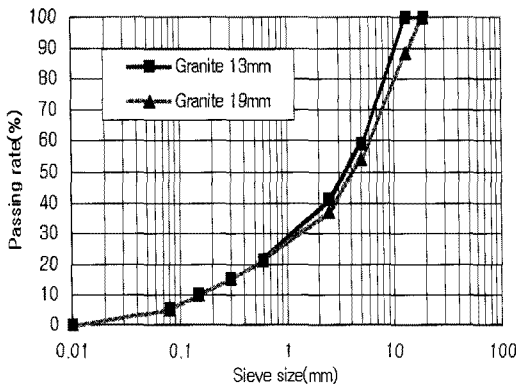
와 잔골재(Screenings)로 사용하였으며, 채움재(Mineral filler)는 석회석분을 사용하였다. 그림 1은 시험에 사용된 혼합물의 화강암과 편마암의 입도를 나타낸다.

표 1. Designation of binder and description

Designation	Description
AP-5	Base 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
PG76-22	Modified binder with unknown content of SBS for commercial PG76-22



(a) gneiss



(b) granite

그림 1. Gradation curves

2.2 방법

2.2.1 배합설계

혼합물의 최적 아스팔트 함량은 현재 한국형 포장 설계법 연구를 통해 지침(안)으로 제시된 방법(건설교통부, 2007)을 적용하였다. 이 방법에서 다짐은 선화다짐기(Superpave gyratory compactor: SGC)를 사용하고, 변형강도(S_D), 골재간극률(Void in mineral aggregate: VMA), 공극률(Air voids), 포화도(Voids filled with asphalt: VFA)를 최적 아스팔트 함량(Optimum asphalt contents: OAC) 결정변수로 적용하였다. SGC 75회 다짐을 적용하여 공시체를 제조하고 변수의 적용 기준치는 공극률 3-5%, VFA 65-80%, 변형강도(S_D) 3.2MPa 이상 및 19mm, 13mm 골재 VMA를 각각 13, 14% 이상으로 하였다. 이 모든 기준을 만족하는 아스팔트 함량중에서는 가능한 한 공극률 4%가 얻어지는 아스팔트 함량으로 OAC를 결정하였다. 배합설계시 변형강도는 50mm/min을 사용하였으며 대부분의 경우 OAC 부근에서 정점이 이루어지므로 최대 변형강도를 기준으로 좌우 인접한 범위에서 최적아스팔트 함량이 얻어진다. 배합설계는 아스팔트 함량을 4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5%로 변화시켜 선화다짐기(SGC)로 혼합물을 75회로 다짐하였다.

2.2.2 변형강도(Deformation strength: S_D)

혼합물의 변형강도 측정시의 하중봉은 직경(D) 40mm, 원형 절삭반경(r) 10mm의 하중봉을 사용하였다(건설교통부 1년차 보고서, 2006, 건설교통부 2년차 보고서, 2007). 이 하중봉은 그림 2와 같이 하단이 평면과 곡면으로 이루어져 혼합물에 압축·전단응력에 의한 변형이 유발되도록 한다. 시험온도는 WT시험의 시험온도와 같은 60℃이며 변형강도 시험용 공시체는 60℃ 항온수조에서 30분간 수침을 통해 공시체가 시험온도에 도달하도록 하였다.

변형강도(S_D)의 계산은 최대하중과 이때 공시체



표면으로부터 y 만큼 눌러 들어간 변형을 식 (1)에 대입하여 계산하였다. 식 (1)의 y 와 r, D 는 그림 2에서 보여준다.

$$S_D = \frac{4P}{\pi(D - 2(r - \sqrt{2ry - y^2}))^2} \quad (1)$$

- 여기서, S_D = 변형강도 (MPa)
- P = 최대하중(N)
- D = 하중봉의 직경(mm)
- r = 하중봉의 원형절삭반경(mm)
- y = 변형(mm)

식 (1)에서 기존 연구(건설교통부 2차 보고서, 2007)를 통해 하중봉 치수와 반복주행시험 결과와 상관성 분석에서 가장 우수한 것으로 D (40mm)와 r (10mm)을 사용하면 식 (2)와 같이 더욱 간단하고, 단지 최대하중 P 와 변형 y 의 식으로 표현된다.

$$S_D = \frac{0.32P}{(10 + \sqrt{20y - y^2})^2} \quad (2)$$

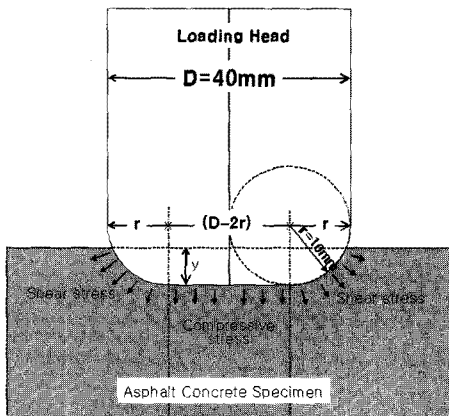


그림 2. Configuration of round-cut details at the bottom of loading head

2.2.3 하중재하속도 선정시험

일반적으로 아스팔트 혼합물의 강도특성 시험인 마찰안정도와 간접인장강도 시험은 하중재하속도를 50mm/min로 하여 하중을 재하한다. Kim test의 하중재하속도도 또한 다른 시험과 마찬가지로 50mm/min를 사용하여 개발되어 왔다. 하지만 소성 변형과 상관성이 더 높은 시험결과를 얻기 위해 본 연구에서는 같은 혼합물로 제작된 공시체를 4개조로 나누어 분당 10, 30, 50, 70mm의 재하속도로 시험을 수행하여 각각의 변형강도 값을 WT시험 결과와 상관성 분석을 통하여 적정 하중재하속도를 구하고자 하였다.

2.2.4 반복주행(Wheel tracking: WT)시험

WT시험은 아스팔트 혼합물의 소성변형 발생 메커니즘을 비교적 잘 묘사하는 시험방법이다. 이 시험은 측정온도인 60℃에서 6시간 이상 공시체를 안정화하여 WT시험기로 수행하였다(한국산업표준협회, 2000). WT시험기는 점지압 700kPa(100psi)의 축하중 하에서 왕복 40cycle/min의 속도로 90분간 총 3,600cycle을 왕복한다. 시험에서의 침하량은 LVDT(Linear variable differential transformer)를 이용하여 측정하였으며, 데이터 수집빈도는 3Hz로 하여 주행에 따른 침하량을 기록하였다. 슬래브 공시체는 최적 아스팔트 함량으로 믹싱된 혼합물을 단기노화를 시킨 후 305×305×62mm크기로 하여 선형 롤러 다짐기를 이용하여 제조하였다.

본 연구에서 동적안정도의 계산은 그림 3에서와 같이 500cycle, 1,800cycle, 최종 3,600cycle에서 기울기의 역수(m)를 취해서 더한 값을 사용하도록 김광우와 도영수(2006)에 의해 제안된 방법을 이용하였다. 이 방법은 동적안정도를 초기, 중기, 말기의 기울기를 누적 고려한 것이다. 이는 KS 방법에서 최종단계만을 고려하는 모순을 보완하고자 초기와 중기의 변화 모두를 고려한 것이다. 일반적으로 초기의 기울기가 큰 경우는 다짐 불량 등에 의한 조기 공용성 저하 문제를 야기하므로 이를 혼합물 평가에 포함



하는 것이 중요하다. 따라서 전체 곡선을 3부분으로 나누어 초기 점(500cycle), 대표성을 나타내는 중앙(1,800cycle), 그리고 최종점(3,600cycle)에서 기울기의 역수를 누적해서 구하는 방법을 개발하였다. 그림 3과 식 (3)은 본 연구에서 사용된 동적안정도의 계산방법을 보여준다.

$$DS_{New} (pass / mm) = 2(m_1 + m_2 + m_3) \quad (3)$$

$$= 2\left[\frac{500}{D_{500}} + \frac{1,800}{D_{1,800}} + \frac{3,600}{D_{3,600}}\right]$$

여기서 D_{500} = 500cycle 에서의 침하깊이 (mm)

$D_{1,800}$ = 1,800cycle 에서의 침하깊이 (mm)

$D_{3,600}$ = 최종cycle 에서의 침하깊이 (mm)

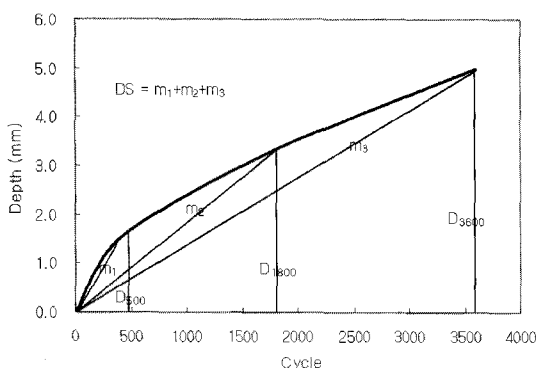


그림 3. New dynamic stability calculation suggested (김광우 등 2006)

3. 결과 및 고찰

3.1 배합설계

2종류의 골재(화강암(A), 편마암(B))와 2종류의 굵은골재(최대치수: 13mm, 19mm) 그리고 4종류의 바인더(AP-5, R10%, RL6R5A, SBS PG76-22)

를 조합하여 총 16가지의 혼합물에 대한 배합설계를 수행하였다. OAC는 각 혼합물 별로 공극률 3-5%, VFA 70% 이상, S_D 는 3.2 MPa 이상, VMA의 조건을 만족하는 구간에서 결정하였다. 표 2는 배합설계를 통해 얻은 혼합물별 최적아스팔트함량으로 제조된 공시체에 대한 물리적 특성 및 변형강도를 나타낸다.

표 2. Optimum asphalt content(OAC) and deformation strength(S_D)

Designation	OAC (%)	Air Void (%)	VMA (%)	VFA (%)	S_D (MPa)
A13AP	5.3	4.55	16.63	76.62	3.78
A13R10	6.0	4.44	17.97	75.29	3.20
A13RL6R5	6.1	3.89	17.73	78.05	3.67
A13PG	5.3	4.07	16.19	74.84	4.52
A19AP	4.8	4.05	15.14	73.28	3.86
A19R10	5.3	4.42	16.55	73.27	3.56
A19RL6R5	5.4	3.89	17.73	78.05	3.92
A19PG	4.7	4.07	16.19	74.84	5.14
B13AP	5.5	3.94	16.59	76.25	3.63
B13R10	5.8	3.79	16.98	77.68	3.69
B13RL6R5	6.1	3.72	17.60	78.86	4.56
B13PG	5.4	4.21	16.54	74.55	4.49
B19AP	5.0	3.79	16.08	76.45	3.20
B19R10	5.6	4.05	17.00	76.19	3.32
B19RL6R5	5.2	4.48	16.68	73.16	4.41
B19PG	4.6	4.09	14.86	72.51	4.21

3.2 하중재하속도 선정시험

각 혼합물 별로 160℃에서 1시간동안 단기 노화된 혼합물을 선회다짐기로 75회 다짐된 직경 100mm 공시체를 2종류의 골재(화강암 A, 편마암 B)와 2종류의 굵은골재 최대치수(19mm, 13mm), 4종류의 바인더(AP-5, R10%, RL6R5, PG 76-22) 그리고 4가지 하중재하속도(10mm/min, 30mm/min, 50mm/min, 70mm/min)를 조합하여 총 64개의 공시체를 제작하여 각 속도별 변형강도를 측정하였다. 표 3과 4는 각 혼합물에 대한 속도별 공시체 3개의 변형강도와 평균을 나타낸다.



표 3. S_D of 4 mixtures by loading speed (13mm)

Mixture	10(mm/min)		30(mm/min)		50(mm/min)		70(mm/min)		
	Air void(%)	S_D (MPa)	Air void(%)	S_D (MPa)	Air void(%)	S_D (MPa)	Air void(%)	S_D (MPa)	
Gneiss	AP-5	4.53	2.39	4.71	2.57	4.65	3.13	4.10	3.18
	R10	4.47	2.43	4.57	2.76	5.02	3.20	3.27	3.00
	RL6R5	4.27	2.61	5.23	3.18	5.12	3.57	4.65	3.62
	PG76-22	3.84	4.15	3.86	4.13	3.82	4.66	3.77	5.43
Granite	AP-5	4.65	2.36	4.65	2.91	4.74	3.09	4.56	3.43
	R10	4.77	2.41	4.20	3.25	4.36	3.52	4.39	3.64
	RL6R5	4.38	3.38	4.34	3.76	4.33	3.95	4.52	4.28
	PG76-22	3.70	4.28	4.11	4.26	3.93	4.90	4.05	5.00

표 4. S_D of 4 mixtures by loading speed (19mm)

Mixture	10(mm/min)		30(mm/min)		50(mm/min)		70(mm/min)		
	Air void(%)	S_D (MPa)	Air void(%)	S_D (MPa)	Air void(%)	S_D (MPa)	Air void(%)	S_D (MPa)	
Gneiss	AP-5	4.81	2.42	4.07	2.89	4.39	3.83	4.38	3.95
	R10	4.73	2.86	4.66	3.53	4.59	3.75	4.01	4.19
	RL6R5	5.11	3.11	5.25	3.79	4.70	4.14	5.02	4.17
	PG76-22	4.33	4.75	4.38	5.60	4.40	5.54	4.30	6.04
Granite	AP-5	4.92	2.55	4.25	3.14	4.64	3.44	4.39	3.57
	R10	3.11	2.66	3.68	3.28	3.83	3.41	3.96	3.78
	RL6R5	4.68	3.15	4.95	3.46	4.42	3.64	4.65	3.92
	PG76-22	4.10	3.15	4.05	3.58	4.02	3.95	3.95	4.62

3.3 하중재하속도에 따른 변형강도와 WT시험 특성치의 상관성 분석

표 5는 각 혼합물 별 최종 침하깊이와 동적안정도를 나타낸다. 아스팔트 콘크리트 포장의 공용성과의 상관성이 보다 높은 배합설계기준을 정립하기 위해

표 5. Result of wheel tracking test

Mixture	13mm				19mm				
	OAC	Rut depth(mm)	DS _{KS} (pass/mm)	DS _{new} (pass/mm)	OAC	Rut depth(mm)	DS _{KS} (pass/mm)	DS _{new} (pass/mm)	
Gneiss	AP-5	5.3	5.54	3,250	2,451	4.8	5.47	4,456	2,363
	R10	6.0	3.67	3,709	3,710	5.3	3.54	4,620	3,703
	RL6R5	6.1	1.71	20,250	7,533	5.4	2.24	10,500	5,387
	PG76-22	5.3	1.73	12,721	7,594	4.7	1.94	12,600	6,513
Granite	AP-5	5.5	5.93	1,941	2,423	5.0	6.46	1,752	2,229
	R10	5.8	3.54	3,671	4,416	5.6	5.32	3,408	2,537
	RL6R5	5.1	2.19	12,651	6,218	5.2	2.46	12,685	6,004
	PG76-22	5.4	1.63	9,206	8,155	4.6	1.60	8,552	9,008

여 아스팔트 콘크리트의 소성변형 저항특성을 나타내는 WT시험의 최종 침하깊이와 동적안정도를 Kim test의 하중재하속도에 따른 변형강도와와의 상관성 분석을 위하여 회귀분석을 실시하였다.

그림 4와 5는 하중봉 D=40mm의 하단 절삭반경 r=10mm의 하중봉으로 하중재하속도를 분당 10, 30, 50, 70mm에서 각각의 변형강도를 측정하고 이를 WT 시험의 최종침하깊이와의 상관관계를 회귀분석한 결과를 보여준다. 하중재하속도별로 얻어진 변형강도(S_D)와 WT시험의 침하깊이와의 상관관계를 보면 분당 30mm의 속도가 R^2 이 평균 0.8767로 가장 높게 나타났다. 상대적으로 속도가 빠른 편인 분당 50mm나 70mm는 변형강도가 크게 나타났으나 변동성이 크고 WT시험과 상관성이 편마암 골재에서 낮게 나타났다.

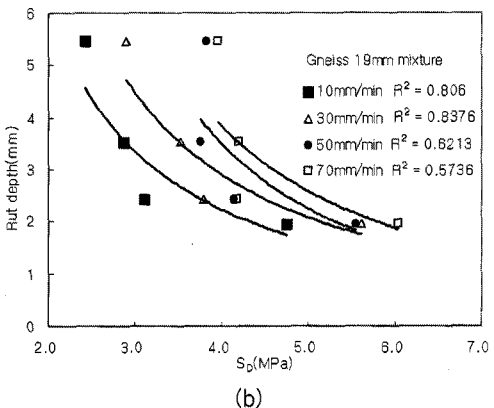
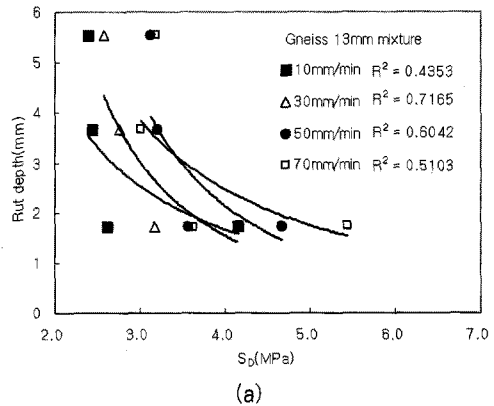
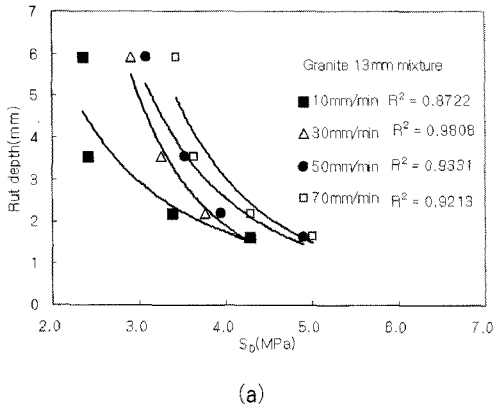
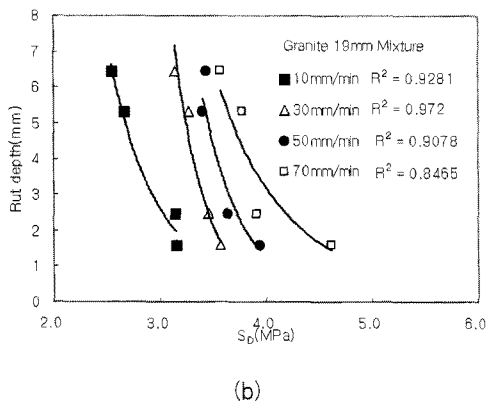


그림 4. Correlation between WT rut depth and deformation strength by loading speed (a) gneiss 13mm (b) gneiss 19mm



(a)



(b)

그림 5. Correlation between WT rut depth and deformation strength by loading speed (a) granite 13mm (b) granite 19mm

그림 6은 하중재하속도별 변형강도(S_D)와 침하깊이의 R^2 의 변화의 3차식으로 회귀분석을 실시하여 본 연구의 속도 범위 내에서 최대 R^2 이 얻어진 것을 보여준다. 이때 최고의 결정계수(R^2)가 얻어지는 하중재하속도는 28.31mm/min이었다.

그림 7와 8은 하중재하속도에 따른 변형강도(S_D)와 동적안정도(DS)의 상관관계에 대한 회귀분석의 결과를 보여준다. 침하깊이와의 상관관계와 마찬가지로 분당 30mm의 하중재하속도의 R^2 가 평균 0.8831로 가장 높게 나타났다.

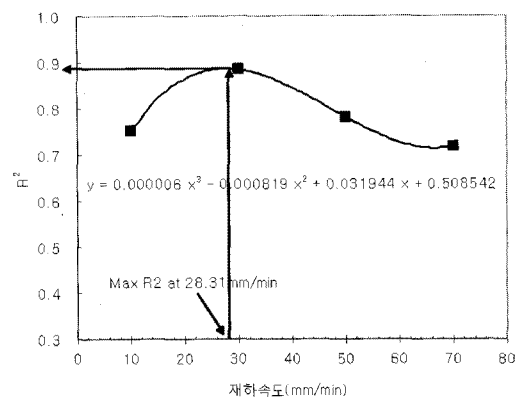
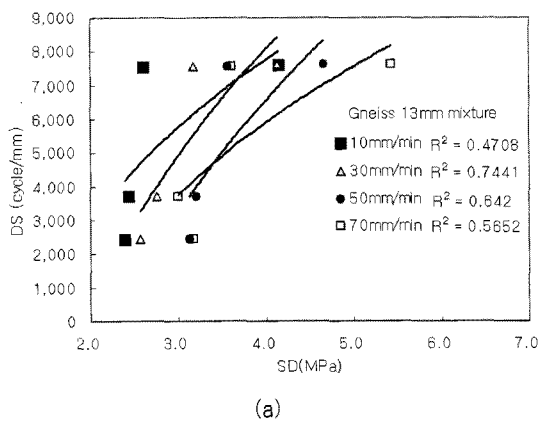
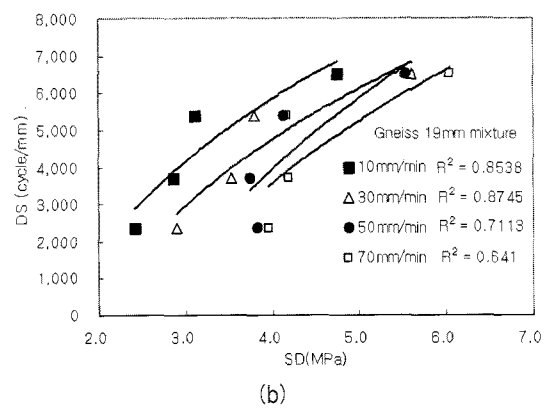


그림 6. Regression curves of R^2 (based of rut depth and S_D) quadratic and cubic functions, and the optimum speed at peak R^2 for each regression curves

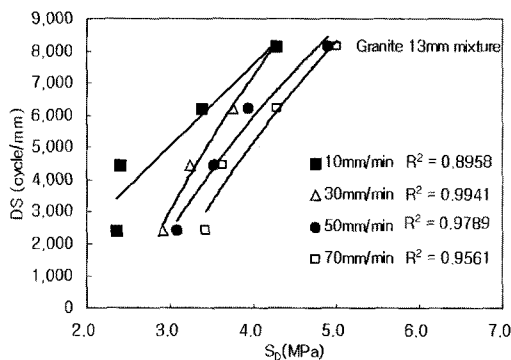


(a)

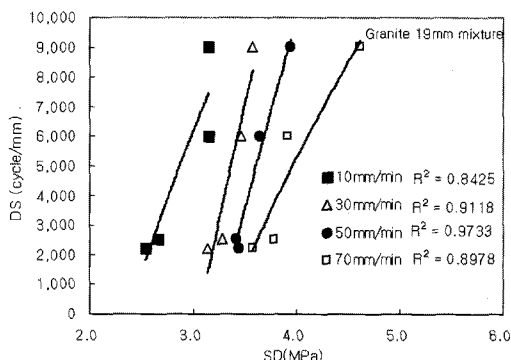


(b)

그림 7. Correlation between dynamic stability and deformation strength by loading speed (a) gneiss 13mm (b) gneiss 19mm



(a)



(b)

그림 8. Correlation between dynamic stability and deformation strength by loading speed
(a) gneiss 13mm (b) gneiss 19mm

그림 9는 하중재하속도별 S_b 와 동적안정도의 R^2 의 변화의 3차 함수에 의한 회귀분석을 실시하여 본 연구의 속도 범위 내에서 최대 R^2 이 얻어진 것을 보여준다. 이때 최고의 R^2 이 얻어지는 하중재하속도는 30.22mm/min이었다. 표 6은 침하깊이와 S_b , 동적안정도와 S_b 의 3차 함수식의 회귀분석에서 따른 R^2 이 가장 높게 나타나는 점을 회귀곡선으로부터 찾은 것이다. 표 6에서 보듯이 두 회귀분석에서의 최고 R^2 이 되는 점은 28.31과 30.22로 다소 차이가 있으나 이를 평균해보면 29.25이다. 따라서 이와 가까운 정수인 30mm/min를 최적 속도로 제시하는 것이 현실적으로 적용이 편리할 것으로 판단된다.

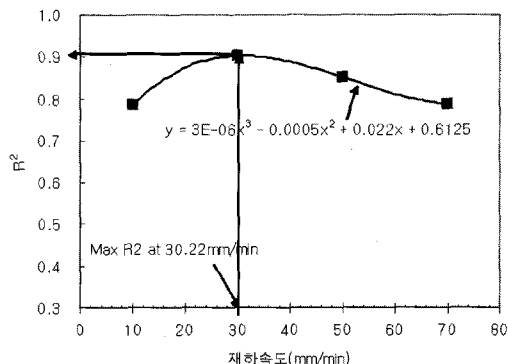


그림 9. Regression curves of R^2 (based of DS and S_b) quadratic and cubic functions, and the optimum speed at peak R^2 for each regression curves

표 6. Optimum speed, mean and recommended speed by Rut depth vs S_b and DS vs S_b in regression analysis

구 분	Rut vs. S_b	DS vs. S_b	평균 및 최적하중 재하속도
Optimum speed (mm/min)	28.31	30.22	29.27 → 30

이 하중재하속도는 속도 조절이 가능한 장비에서는 유용하나, 하중재하속도가 50mm/min로 고정된 장비에서는 30mm/min에서의 시험이 불가능하다. 따라서 표 7과 그림 10은 이의 환산을 위해 4가지 혼합물의 속도에 따른 변형강도의 평균을 50mm/min일 때의 값을 기준으로 한 비율로 나타낸 것이다. 그림

표 7. Ratio of S_b by loading speed(based on 50mm/min)

Binder	S_b by loading speed(mm/min)				
	10	30	50	70	
AP5	S_b	2.4267	2.8800	3.3703	3.5358
	Ratio	0.7201	0.8545	1	1.0491
R10	S_b	2.592	3.205	3.47275	3.6540
	Ratio	0.7464	0.9229	1	1.0522
RL6	S_b	3.0600	3.5483	3.8225	3.9965
	Ratio	0.8005	0.9283	1	1.0455
SPG	S_b	4.0805	4.3945	4.7603	5.2735
	Ratio	0.8572	0.9232	1	1.1078
Mean Ratio	0.7811	0.9072	1	1.0644	



10에서 볼 수 있는 바와 같이 이들 4가지의 평균으로부터 30mm/min때의 변형강도 값을 추정하면 0.9052이다. 따라서 이를 근거로 30mm/min 하중재하속도에서의 변형강도는 50mm/min에 비해 10% 낮은 0.9로 환산토록 한다.

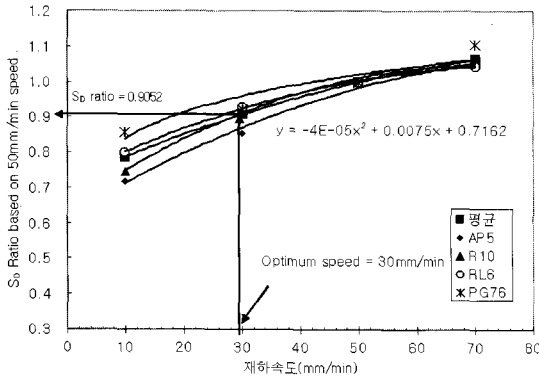


그림 10. Ratio of S_b by loading speed (based on 50mm/min)

표 8은 하중재하속도별 변형강도 비율의 계산치와 제안치를 나타내었다. 예를 들어 50mm/min의 속도로 5.0MPa이 얻어지면 30mm/min의 속도로는 4.5MPa로 환산된다. 반대로 하중재하속도 30mm/min으로 3.6MPa이 얻어진 혼합물의 50mm/min에서의 등가치는 4.0MPa이다.

표 8. Conversion coefficient of 50mm/min according to loading speeds

속도(mm/min)	10	20	30	40	50	70
계산치	0.7811	0.8502	0.9052	0.9522	0.9912	1.0452
제안치		0.85	0.90	0.95	1.0	1.05

4. 결론

1. 하중재하속도별 변형강도는 하중재하속도가 증가함에 따라 변형강도도 증가하는 경향을 보였다. 이것은 하중재하속도가 느릴수록 응력이완현상

및 수평전단유발에 의해 변형강도가 낮게 측정되는 것으로 추정된다. 따라서 하중재하속도가 변형강도에 미치는 영향이 큰 요소임을 알 수 있었다.

2. 하중재하속도에 따른 변형강도와 동적안정도의 상관관계가 변형강도와 최종 침하깊이와의 관계보다 약간 높은 결정계수(R^2)를 보였다. 하지만 변형강도와 최종 침하깊이의 관계도 매우 양호한 상관성을 보여 두 변수 모두 적용에 타당성이 있음을 암시하는 것이라 할 수 있다.
3. 하중재하속도에 따른 변형강도의 변화와 반복주행시험의 최종 침하깊이 및 동적안정도와의 분석에서 하중재하속도 30mm/min이 R^2 의 평균이 0.88 이상으로 가장 높게 나타났다. 따라서 하중재하속도별로 얻어진 S_b 값의 반복주행시험의 최종 침하깊이와의 상관관계를 통해 30mm/min의 속도가 가장 적합한 것으로 나타났다.
4. 하중재하속도가 50mm/min로 고정된 시험기에서는 30mm/min 속도에서의 재하가 불가능하므로, 30mm/min 하중재하속도에서의 변형강도는 50mm/min에 비해 평균적으로 10% 낮은 0.9로 환산할 것을 제시하였다.
5. 본 논문에서 제시한 변형강도 시험법의 적정 하중재하속도는 이제까지 얻어진 실험결과에 근거한 (안)이며 향후 보다 구체적인 연구와 검증과정을 거쳐 필요시 보완 조정이 가능할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 자유공모과제의 지원에 의해 강원대학교 석재복합건설신소재연구소의 장비를 사용하여 이루어진 것입니다.

참고문헌

- 김광우, 이문섭, 김준은, 최선주 (2002), "소성변형과의 상관성에 근거한 아스팔트 콘크리트의 강도특성 개발에 관한 기초연구," 한국도로학회 논문집, 제 4(4), pp23-40.



- 김광우, 김성태, 권오선, 도영수 (2004a), "수퍼페이브 혼합물의 소성변형저항성 과 변형강도와의 상관성 분석," 한국도로학회 논문집, 6(4), 한국도로학회, pp 45-53
- 김광우, 도영수, (2006) "아스팔트 혼합물 반복주행 시험에서 합리적 동적안정도의 산정 방법," 한국도로학회 논문집 8(1), pp77-87.
- 김광우, 조병진, 이순제, 도영수 (2007), "고온내변형 아스팔트혼합물 선정을 위한 변형강도 임계치의 결정 방안," 한국도로학회 논문집, 9(4), pp193-204.
- 김광우, 최선주, 이기호, 도영수 (2004b), "온도 변화에 따른 아스팔트 콘크리트 의 변형강도와 소성변형과의 상관성 연구," 대한토목학회 논문집, 제24권 5D 호, pp.37-46.
- "아스팔트 콘크리트의 고온 내변형성 평가기법 개발," (2006), 건설교통부 1년차 보고서
- "아스팔트 콘크리트의 고온 내변형성 평가기법 개발," (2007), 건설교통부 2년차 보고서
- "한국형 포장설계 법 개발과 포장성능개선방안 연구-아스팔트 포장의 재료 생산 및 시공관리 정립 연구," (2007), 건설교통부.
- "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. (2007), "Framework for developing static strength test for measuring deformation resistance of asphalt concrete mixtures," *Construction and Building Materials*, 21(12).
- Kim, K. W., Doh, Y. S. and Amirkhanian, S. N. (2004), "Feasibility of deformation strength for estimation of rut resistance of asphalt concrete," *Road Materials and Pavement Design*, 5(3), 303-322.
- Kim, H. H., Park, N. W., Doh, Y. S., K. Ahn, Lee, S. J. and Amirkhanian, S. N., Kim, K. W. (2008), "Rutting Estimation of Asphalt Pavement Mixtures using Deformation Strength," *Paper presented at 2008 European Asphalt Technology Association Meeting*, Lyon, France, April.
- 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.

접 수 일: 2008. 8. 4
심 사 일: 2008. 8. 4
심사완료일: 2008. 11. 11