



역청 콘크리트 반복주행시험에서 고무바퀴와 강재바퀴의 신뢰성 비교 연구

Reliability Evaluation of Rubber Wheel and Steel Wheel for Wheel Tracking Test of Bituminous Concretes

홍 준 표* 도 영 수** 김 광 우***
 Hong, Joon Pyo Doh, Young Soo Kim, Kwang Woo

Abstract

Since the purpose of wheel tracking test is to find out relative difference of mixture's rut resistance, the wheel is an important part in the test for obtaining a consistent output. This study is performed to examine efficiency of different wheel material, rubber and steel in wheel tracking test. The rubber was inserted as a ring on the outer face of the steel wheel, and thickness of rubber ring was 15mm and 7.5mm and 0mm (steel wheel without rubber), making the total outer diameter 200mm. The objective of this study was to select reliable wheel material type in wheel tracking test at 60°C based on variance in output (rut depth and dynamic stability) and correlation with S_b (deformation strength). The result of regression analysis of rut depth with S_b showed that R^2 values of wheel rubber thickness of 15mm, 7.5mm and 0mm were 0.7, 0.8 and over 0.9, respectively. In a case of steel wheel (0mm), the highest R^2 value was 0.9569. Therefore, the wheel without rubber ring was the best in output consistency level and coefficient of determination (R^2) with deformation strength. Therefore, the steel wheel without rubber ring is suggested as the best choice for wheel tracking test of asphalt concrete.

Keywords : wheel tracking test, rut, dynamic stability, SD(deformation strength)

요 지

반복주행시험에서 얻은 침하깊이와 동적안정도는 아스팔트 혼합물의 소성변형 저항성 평가를 위하여 널리 사용되고 있다. 하지만 바퀴의 재질에 따라 다르게 얻어지는 실정이다. 따라서 본 연구는 반복주행시험시 핵심요소라 할 수 있는 바퀴의 재질에 대하여 연구하였다. 이를 위하여 2종류(7.5mm, 15mm)의 고무바퀴와 고무를 씌우지 않은 강재(Steel)바퀴 한 종류를 사용하였으며, 반복주행시험을 통하여 바퀴재질에 따른 혼합물의 소성변형 저항성을 평가하였다. 또한 반복주행시험에서 얻은 침하깊이와 동적안정도를 Kim test의 변형강도와의 상관성 분석을 통하여 반복주행

* 정회원 · 현대산업개발 토목사업부 부장
 ** 정회원 · 강원대학교 석재복합연구센터 전임연구원 · 공학박사
 *** 정회원 · 강원대학교 지역기반공학과 교수 · 공학박사



시험용 최적 바퀴를 선정하는데 이용하였다. 고무두께가 15mm, 7.5mm, 0mm에 대한 상관성 분석결과 각각 0.7, 0.8, 0.9 이상이 나와 고무를 사용하지 않은 강재바퀴가 변형강도와와의 상관성이 가장 높은 값을 보여주어 향후 반복주행시험시 강재바퀴의 사용이 소성변형을 예측하는데 가장 유리할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 반복주행시험, 침하깊이, 동적안정도, 변형강도

1. 서론

우리나라는 아스팔트 포장인 전 도로의 약 85%를 차지하고 있으나 교통하중 및 정체구간의 증가, 기후환경의 변화 등으로 1990년대 이후 소성변형(permanent deformation or rut) 발생이 급증하게 되었다. 이의 처리를 위한 유지보수비용이 상당히 큰 비중을 차지하게 되었으며 이제는 국가적 차원에서 해결해야 할 문제점으로 대두되었다. 현재 국내 아스팔트 혼합물 배합설계기준으로 이용되는 마샬시험법의 안정도나 흐름치는 소성변형과도 상관성이 아주 낮다. 따라서 안정도나 흐름의 기준을 통과하는 배합으로 제조한 혼합물에서도 소성변형이 많이 발생하고 있어서 마샬시험법을 대신하여 아스팔트 포장의 소성변형 저항성을 어느 정도 반영할 수 있는 대체특성치(Surrogate property) 시험의 개발이 필요하다(Huber et al, 1987). 따라서 대체특성으로 소성변형과의 상관성이 우수한 것으로 판명되면서도 시험법이 비교적 간단한 Kim test의 변형강도를 wheel tracking(WT: 반복주행) 시험결과와의 상관성 변수로 사용하여 소성변형과 상관성이 높음을 확인하였다(김광우 등 2002 a, b, c. Kim et al, 2004, 2005 a, b).

반면에 여러 동적 재하에 의한 소성변형 모사시험은 시험법이 복잡한 것에 비해 결과의 반복성이 비교적 낮아 본 연구에서는 간편한 시험법이며 반복성이 좋은 변형강도를 택했다.

배합설계후 OAC로 혼합물을 제조하여 소성변형 저항성을 예측하기 위해 반복주행시험을 세계적으로 널리 사용하며 바퀴는 강재와 고무 두 부류로 분

류된다. 하지만 반복주행시험은 시험방법이 아직 세계적으로 표준화가 되어있지 않으나 국내의 경우 심도 있는 연구를 통한 검증이 이루어지지 못한 상태에서 KS에 규정을 제시한 경향이 있어 연구의 여지가 많다. 게다가 국내에서는 이미 각 기관마다 제원이 다른 WT 장비를 사용하고 있으며 그에 따른 결과의 차이도 크다. 따라서 본 연구는 한국형 포장 설계법 개발을 위한 국책연구사업에서 아스팔트 포장 성능개선 과제에 일환으로 향후 체계적인 WT 시험법을 제시하기 위한 연구로서 수행되었다.

그간의 연구에서는 WT 시험의 여러 변수 중 시험온도(60℃), 윤하중압력(100psi), 주행속도(40cycle/min), 왕복주행거리(200mm), 주행시간(90분), 공시체 치수(가로, 세로, 두께 최소치수: 300×120×60mm), 바퀴 치수(직경: 200mm, 폭: 50mm) 등이 최적치로 제시되었다. 하지만 상기 변수를 모두 고정하여도 바퀴 재질의 차이가 결과치의 분산에 큰 영향을 미침을 확인하고 본 연구에서는 이를 구명하기 위한 연구를 수행하였다. 시험결과에 분산이 크면 그만큼 결과치에 신뢰도가 떨어지므로 통계적으로 신뢰성 있는 결과를 얻기 위해서는 여러번 시험을 해야 한다. 하지만 WT 시험은 혼합물의 양이 많고 번거로워 대부분 1-2회만의 시험으로 끝내므로 신뢰성이 좋은 재질의 선정이 매우 중요하다.

따라서 본 연구에서는 WT 시험에서 핵심요소가 될 수 있는 바퀴에 재질에 따른 신뢰성에 관한 연구를 수행하였다.

연구의 목적은 바퀴 재질에 따른 반복주행시험(Wheel tracking test) 결과의 변동성을 평가하고



연어진 소성변형 특성치와 새로이 개발 중인 변형 강도(김 등, 2002, a,b,c, 김 등 2003, Kim et al., 2004)와의 상관성 분석을 통하여 소성변형 저항성 판정에 사용되는 적정 반복주행시험용 바퀴 재질을 제시하는 것이다.

2. 재료 및 방법

2.1 실험 재료

본 연구에서는 강원 춘천시 A사(편마암), 강원 횡성군 B사(화강암)의 골재를 사용하였다. 이들을 각기 KS F 2503, 2504, 2508에 규정된 방법에 따라 품질시험을 수행하였고, 모두 규정에 만족하였다. 골재는 굵은골재 최대치수 13mm로 하여 잔 골재, 채움재와 혼합하여 건설교통부 13mm 표층용 밀입도 규격에 적합한 입도로 조정하여 사용하였다. 또한 본 연구에 사용된 개질재는 LDPE(low-

density polyethylene), SBS(styrene-butadiene-styrene), SBR(styrene-butadiene-rubber), PG76-22, 재생 LDPE와 HDPE이다. 재생 LDPE(recycled LDPE : RLDPE)와 재생 HDPE(recycled HDPE : RHDPE)는 폐비닐을 수거하여 자원재생공사에서 펠렛으로 만든 것을 분쇄하여 NO.8~30 크기로 만든 것이다. 본 실험에 사용된 아스팔트 혼합물의 종류는 표 1에 나타내었다.

2.2 Kim test

마찰시험에서 마찰안정도는 공시체를 축방향으로 다지고 하중은 측면방향에서 쥐어짜듯 가하므로, 현장에서 골재 배열방향과 다르게 하중이 작용할 뿐만 아니라, 파괴시의 변형의 형태도 포장의 어떤 파손형태와 다르다. 따라서 현장과 상당히 차이가 나는 시험법이라 할 수 있다(Kim et al, 2004). 이에 김광우 등 (2002a,b,c)은 다양한 종류의 아스팔트 혼합물에서 소성변형 저항성과 밀접한 관계가

표 1. 밀입도 혼합물의 명칭

Designation	Description of mixture
AD50	Dense (D)-graded gneiss (A) agg. AC 60-80 mix.
AD3R7	D graded A agg. AC 80-100 with SBR 7% mix.
AD3S3	D graded A agg. AC 80-100 with SBS 3% mix.
AD3S5	D graded A agg. AC 80-100 with SBS 5% mix.
AD3L6	D graded A agg. AC 80-100 with LDPE 6% mix.
ADPG76	D graded A agg. PG76-22 mix
AD3RL8	D graded A agg. AC 80-100 with RLDPE 8% mix.
AD3RH8	D graded A agg. AC 80-100 with RHDPE 8% mix.
BD50	Dense (D)-graded granite (B) agg AC 60-80 mix.
BD3R7	D graded B agg. AC 80-100 with SBR 7% mix.
BD3S3	D graded B agg. AC 80-100 with SBS 3% mix.
BD3S5	D graded B agg. AC 80-100 with SBS 5% mix.
BD3L6	D graded B agg. AC 80-100 with LDPE 6% mix.
BDPG76	D graded B agg. PG76-22 mix.
BD3RL8	D graded B agg. AC 80-100 with RLDPE 8% mix.
BD3RH8	D graded B agg. AC 80-100 with RHDPE 8% mix.



있는 변형강도(deformation strength; S_D)를 정하중하에서 측정하는 Kim test를 개발하였다. 이 시험법은 하중을 아스팔트 혼합물이 다져진 방향과 같은 방향으로 가하고 재하에 의해 혼합물이 소성 변형과 유사하게 압밀·전단에 의한 변형이 유발되도록 바닥이 둥근 하중봉을 사용하였다. 여기에 적용된 시험온도는 소성변형 저항성을 측정하는 반복주행 (Wheel tracking) 시험에서와 같은 온도인 60℃에서 수행하고, 그림 1과 같은 하중봉을 통해 수직으로 정하중을 가하도록 하였다.

Kim test에서 얻어지는 강도치는 아스팔트 혼합물이 고온에서 변형에 저항하는 정도를 나타내는 특성치로서 변형강도(S_D)라 정의하였다. 변형강도의 계산은 그림 1과 같은 한 $D(r)$ 하중봉이 재하하중에 의해 표면으로부터 y 만큼 아스팔트 혼합물로 눌러 들어갈 경우의 최대하중(P)을 D, r, y 의 함수로 나타낸 면적 [그림의 $\pi(D-2r+2x)^2/4 = \frac{\pi}{4}(D-2r+2\sqrt{r^2-(r-y)^2})^2$] 으로 나누어 정리한 식(1)로 계산하였다.

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

- 여기서, P = 최대하중(N)
- D = 하중봉의 직경(mm)
- r = 하중봉의 원형절삭반경(mm)
- y = 변형값(mm)

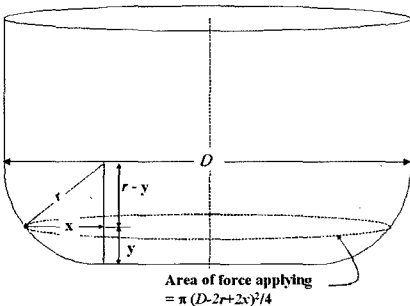
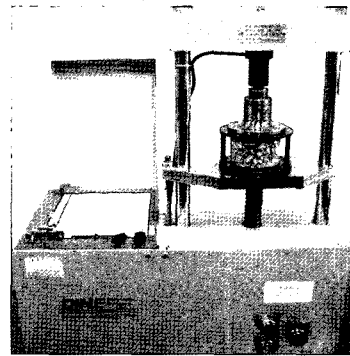


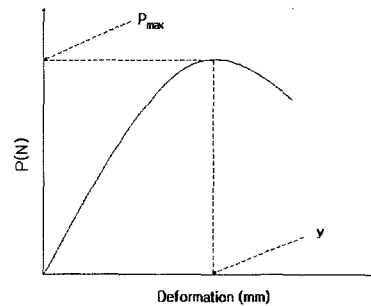
그림 1. $D(r)$ 의 하중 재하봉의 개략도

이고, S_D 의 단위는 MPa이다.

그림 2(a)는 직경 100mm 마찰식 공시체와 Kim tester를 마찰시험기에 얹어 놓고 시험을 하는 모습이며 이로부터 얻어지는 하중-변형곡선은 그림 2(b)와 같다.



(a)



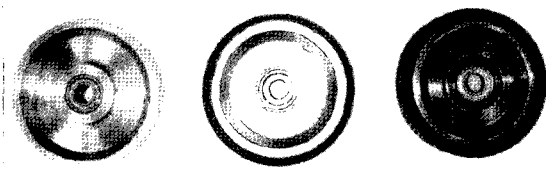
(b)

그림 2. (a) 마찰 재하기에 Kim tester 세팅
(b) Kim test에 의한 하중-변형곡선

2.3 반복주행시험

본 실험에서는 배합설계를 거쳐 결정된 최적 아스팔트 함량으로 305mm×305mm×62mm의 슬래브 공시체를 공극률 4±0.5 %를 목표로 제작하였다. 제작된 공시체는 24시간 양생 후 반으로 잘라 시험온도에서 6시간 이상 저장 후 반복주행시험기로 시험을 수행하였다.

본 연구에서는 반복주행 시험에 사용되는 바퀴의



(a) 강재바퀴 (b) 7.5mm 두께의 고무 바퀴 (c) 15mm 두께의 고무 바퀴

그림 3. 3종의 바퀴모양

고무 두께가 소성변형 저항성 시험결과에 미치는 영향을 분석하기 위하여 2가지 두께(7.5mm, 15mm)의 고무바퀴와 고무를 두르지 않은 강재바퀴를 사용하였다. 고무바퀴의 재질은 KS F 2374 에서 규정한 IRHD 경도 $84 \pm 4(20^\circ\text{C})$, $78 \pm 2(60^\circ\text{C})$ 를 사용하였다. 바퀴의 외부 지름은 200mm, 너비는 53mm로 모두 같게 하였으며, 바퀴의 반복주행에 따른 수직침하량을 측정하였다. 그림 3은 강재바퀴와 고무바퀴의 형상을 보여준다. 실험은 60°C 에서 90분 동안 수행하였고, 주행속도는 40cycle/min,

차륜 축하중은 100psi로 하였다(한국형..., 2003). 1회 주행거리는 200mm이며 축에 LVDT를 설치하여 반복주행에 따른 침하량을 컴퓨터를 통해 측정 기록하고 최종침하 깊이(rut depth: DR)와 동적안정도(dynamic stability: DS)를 분석에 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 아스팔트 혼합물 특성

마살배합설계 결과로부터 결정된 각 혼합물의 최적 아스팔트 함량(OAC)으로 공시체를 제조한 혼합물의 강도특성은 표 2와 같다. 최적 아스팔트 함량은 개질 아스팔트 혼합물이 일반 밀입도혼합물보다 다소 높게 나타났고, 마살안정도나 간접인장강도 역시 개질 아스팔트 혼합물이 일반 밀입도혼합물보다 높게 나타나 종류별로 차이는 있지만 개질

표 2. OAC로 제조된 밀입도 혼합물의 마살 및 인장강도 특성

Mixture types	OAC (%)	Stability (kgf)	Flow (0.01cm)	ITS (kPa)	SI (N/mm)
AD5O	5.6	9,990	39	810	3380
AD3R7	5.7	11,060	34	820	5080
AD3S3	6.0	11,960	36	770	5080
AD3S5	5.9	11,340	37	90	6720
AD3L6	5.9	11,570	34	870	6340
ADPG76	5.8	12,630	46	1060	5130
AD3RL8	5.8	13,110	33	1040	7610
AD3RH8	5.9	13,480	32	1080	7170
BD5O	5.6	11,620	32	1030	5110
BD3R7	5.7	11,390	36	790	4960
BD3S3	5.8	11,900	39	990	6820
BD3S5	5.9	12,560	39	1020	7130
BD3L6	5.7	12,660	33	1160	8010
BDPG76	5.7	12,390	31	1040	6710
BD3RL8	5.8	14,900	35	1190	8470
BD3RH8	5.9	15,630	38	1250	8350



표 3. 밀입도 혼합물의 바퀴재질에 따른 반복주행시험의 최종침하깊이(mm) 비교

Mixture	Steel wheel				7.5mm rubber wheel				15mm rubber wheel			
	1차	2차	평균	변동계수(%)	1차	2차	평균	변동계수(%)	1차	2차	평균	변동계수(%)
AD5O	14.68	14.72	14.70	0.19	5.59	9.44	7.51	36.23	4.09	7.68	5.88	43.14
AD3R7	17.90	18.73	18.32	3.20	7.50	9.21	8.36	14.47	10.41	6.54	8.47	32.29
AD3S3	10.50	11.60	11.05	7.04	6.20	8.55	7.38	22.53	4.59	7.71	6.15	35.87
AD3S5	7.10	7.65	7.38	5.27	2.00	3.09	2.54	30.28	1.36	2.53	1.95	42.12
AD3L6	6.90	6.35	6.63	5.87	1.79	1.84	1.81	1.95	1.12	2.00	1.56	39.89
ADPG76	5.41	5.24	5.33	2.26	5.01	2.17	3.59	55.94	4.42	3.00	3.71	27.06
AD3RL8	1.12	1.09	1.11	1.92	0.89	1.05	0.97	11.66	1.20	1.22	1.21	1.17
AD3RH8	1.89	2.01	1.95	4.35	1.45	1.20	1.33	13.34	1.11	0.84	0.97	19.58
BD5O	19.62	22.19	20.91	8.69	11.40	8.80	10.10	18.20	11.5	7.82	9.66	26.94
BD3R7	24.50	25.99	25.25	4.17	14.73	10.58	12.65	23.19	9.74	6.57	8.15	27.49
BD3S3	12.40	15.28	13.84	14.71	4.62	6.12	5.37	19.75	3.40	6.40	4.90	43.29
BD3S5	9.50	11.52	10.51	13.59	3.14	2.98	3.06	3.70	1.78	2.78	2.28	31.01
BD3L6	8.96	9.75	9.36	5.97	6.10	4.09	5.09	27.90	1.44	3.42	2.43	57.62
BDPG76	6.75	6.93	6.84	1.86	4.76	3.53	4.14	20.98	4.39	3.23	3.81	21.53
BD3RL8	2.12	2.28	2.20	5.14	0.89	0.55	0.72	33.39	0.84	0.72	0.78	10.88
BD3RH8	2.00	1.89	1.95	4.00	1.70	0.92	1.31	42.10	1.11	1.03	1.07	5.29
Mean	-	-	-	5.52	-	-	-	23.48	-	-	-	29.10

표 4. 밀입도 혼합물의 바퀴재질에 따른 반복주행시험의 동적안정도(cycle/mm) 비교

Mixture	Steel wheel				7.5mm rubber wheel				15mm rubber wheel			
	1차	2차	평균	변동계수(%)	1차	2차	평균	변동계수(%)	1차	2차	평균	변동계수(%)
AD5O	499	512	506	1.82	1,946	976	1,461	46.95	3,244	1,366	2,305	57.61
AD3R7	402	390	396	2.14	1,065	830	948	17.54	602	1,462	1,032	58.93
AD3S3	980	580	780	36.26	1,260	855	1,058	27.08	2,542	1,609	2,076	31.79
AD3S5	2,574	2,046	2,310	16.16	2,564	4,337	3,451	36.33	7,518	6,763	7,141	7.48
AD3L6	3,996	3,764	3,880	4.23	4,950	4,807	4,879	2.07	18,520	15,690	17,240	10.50
ADPG76	2,988	1,995	2,492	28.18	1,705	7,528	4,617	89.19	2,714	23,471	13,093	112.11
AD3RL8	15,635	18,136	16,886	10.47	21,000	15,960	18,480	19.28	11,083	13,300	12,192	12.86
AD3RH8	12,560	14,250	13,405	8.91	8,867	11,735	10,301	19.69	9,068	36,273	22,671	84.85
BD5O	609	401	505	29.12	1,015	1,157	1,086	9.25	825	1,313	1,069	32.28
BD3R7	560	308	434	41.06	397	728	563	41.61	679	1,432	1,056	50.45
BD3S3	896	687	792	18.67	2,168	1,649	1,909	19.23	4,185	1,750	2,968	58.02
BD3S5	765	625	695	14.24	3,990	6,541	5,266	34.26	9,500	5,955	7,728	32.44
BD3L6	1,568	1,010	1,289	30.61	2,890	3,244	3,067	8.16	6,985	4,926	5,956	24.45
BDPG76	3,488	3,004	3,246	10.54	1,712	5,115	3,414	70.49	3,764	4,337	4,051	10.00
BD3RL8	8,765	5,542	7,154	31.86	18,136	79,800	48,968	89.04	49,875	15,960	32,918	72.85
BD3RH8	13,685	11,735	12,710	10.85	5,783	18,136	11,960	73.04	11,735	19,950	15,843	36.67
Mean	-	-	-	18.45	-	-	-	37.70	-	-	-	43.33



에 따른 효과가 크게 나타났다. 최적 아스팔트 함량의 경우 골재의 종류에 관계없이 5.6-6.0% 범위 내에서 결정 되었고 간접인장강도에서 낮게는 770kPa부터 1,250kPa까지 양호하게 나타났다. 이 혼합물들은 향후 반복주행시험과 변형강도시험에 사용되었다.

3.2 반복주행시험

본 연구에서는 두 가지 골재별 8가지 아스팔트 혼합물을 가지고 슬래브 공시체를 제조하여 시험 온도 60℃에서 700kPa(100psi) 접지압 하에 주행속도는 40cycle/min로 실험을 수행하였다. 표 3~4에서 바퀴 재질 및 회수별 반복주행시험결과를 보면 강제바퀴는 1차와 2차의 최종침하깊이가 거의 같은 값을 보여 시험결과의 반복성이 우수하게 나타났다(변동계수 5.5%[표3], 18.5%[표4]). 그러나 고무바퀴를 사용한 결과는 7.5mm와 15mm 모두 1차와 2차의 최종침하깊이가 서로 큰 차이를 보여 시험결과의 반복성이 떨어지는 것으로 나타났다. 고무두께 7.5mm와 15mm는 고무두께 간에는 차이가 두 배이나 변동계수는 23%와 29%(표 3), 38%와 43% (표 4)로 그리 차이가 크지 않아 일단 고무가 사용되면 변동성이 커지는 것으로 나타났다. 그림 4는 바퀴재질별 반복주행시험의 최종침하

깊이의 편차를 보여준다. 이 그림은 각 바퀴별 최종 침하깊이를 순서대로 가로축에 놓고 두 번 시험치의 평균(실선)과 상하 값을 점선으로 표시한 것이다.

동적안정도도 마찬가지로 고무바퀴를 사용하였을 때 변동성이 커짐을 알 수 있었다(표 4). 따라서 고무바퀴의 사용은 시험결과의 반복성이 떨어져 데이터의 신빙성이 낮고 유사한 성능을 보이는 혼합물간의 성능차이를 구분해 내는데 어려움이 있어 보다 깊은 연구가 있어야 할 것으로 보여 진다. 그리고 고무바퀴는 사용회수가 증가함에 따라 마모 등으로 외형의 변형과 고무가 떨어지는 현상도 보였다. 또한 반복주행시험시 강제바퀴가 고무바퀴보다 상대적으로 큰 침하깊이를 보여 혼합물별 차이를 더 잘 판단할 수가 있어 변별력이 크므로 반복주행 시험에 적합한 것으로 판단되었다.

그림 5~10은 바퀴재질에 따른 반복주행시험의 침하깊이-사이클 관계를 나타낸다. 강제바퀴의 경우 두 골재 모두 혼합물의 최종침하깊이가 작은 것부터 큰 것까지 고무 넓게 분포되고 있어 혼합물간의 비교가 용이하다. 그러나 고무바퀴의 경우 침하 곡선들이 그룹을 짓듯이 모이는 경향을 보여 유사 성능 혼합물간의 차이를 평가하기가 힘들었다. 이 경향은 편마암(Gneiss)에서 두 그룹으로 매우 심하게 나타나고 있어 고무바퀴 사용에 따른 또 다른 문제점을 보여주는 것이라 할 수 있다.

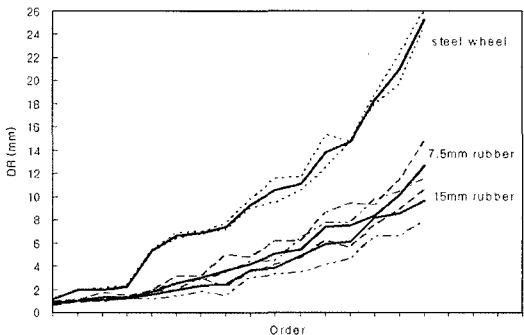


그림 4. 바퀴재질에 따른 반복주행시험의 최종침하깊이의 최대와 최소 값의 편차 비교

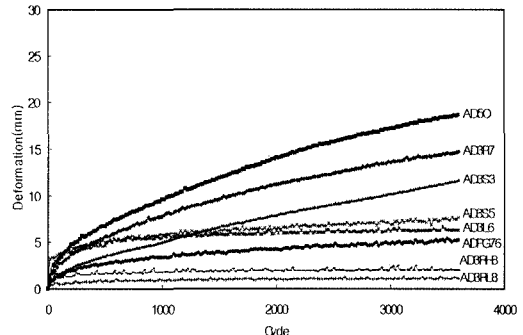


그림 5. 강제바퀴를 사용한 휠 트래킹 시험결과 (편마암)

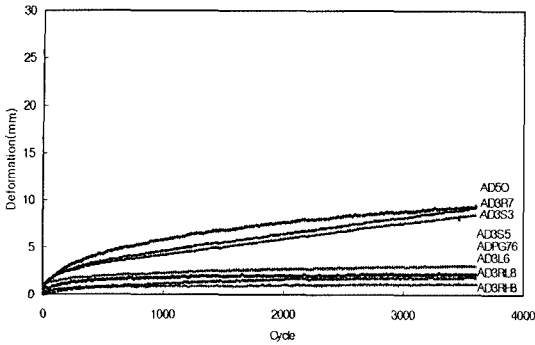


그림 6. 7.5mm 두께의 고무바퀴를 사용한 휠 트랙킹 시험결과 (편마암)

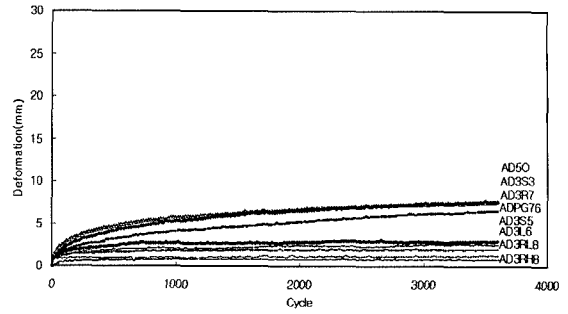


그림 7. 15mm 두께의 고무바퀴를 사용한 휠 트랙킹 시험결과(편마암)

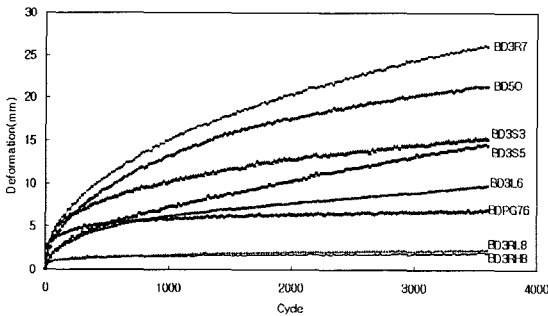


그림 8. 강제바퀴를 사용한 휠 트랙킹 시험결과(화강암)

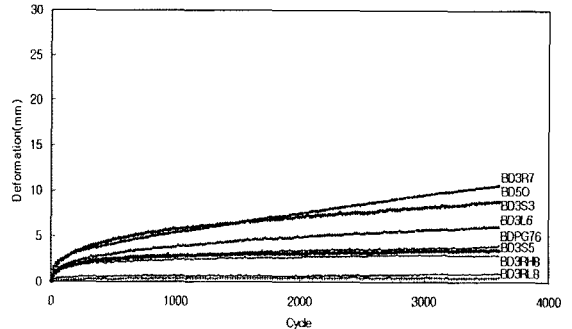


그림 9. 7.5mm 두께의 고무바퀴를 사용한 휠 트랙킹 시험결과(화강암)

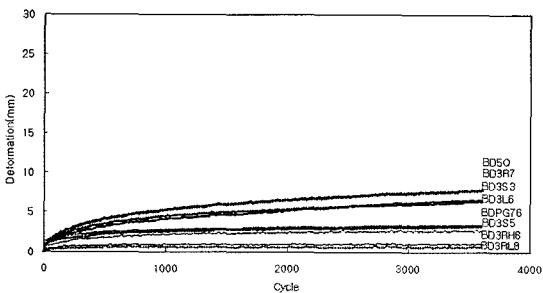


그림 10. 15mm 두께의 고무바퀴를 사용한 휠 트랙킹 시험결과 (화강암)

3.3 반복주행시험과 Kim test와의 상관성 분석 결과

그림 11~13은 소성변형 특성인 DR값과 DS값을 S_D 와 회귀분석 하여 얻어진 결과를 바퀴별로 R^2

값과 같이 보여주고 있다. DR과 S_D 의 상관성은 R^2 값이 0.8 이상, DS와 S_D 의 상관성은 R^2 값이 0.7 이상으로 우수한 상관성을 나타냈다. 그 중에서도 강제바퀴는 DR의 경우 R^2 값이 0.95 이상, DS의 경우 R^2 값이 0.94 이상으로 매우 높은 상관성을 나타냈다.

바퀴 재질에 따른 상관성은 침하깊이와 동적안정도 모두 강제바퀴 > 7.5mm 고무바퀴 > 15mm 고무바퀴 순으로 나타났다. 고무바퀴의 두께의 영향은 두께가 두꺼울수록 상관성은 낮아지는 것으로 나타났는데 이는 고무 두께의 증가에 따라 응력흡수현상이 증가하기 때문이라 판단된다. 그리고 두께뿐만 아니라 고무마모에 따라서도 변동성이 커지므로 이를 줄이기 위해 사용회수의 제한에 대한 연구도 필요하다. 그림 14는 고무바퀴 두께에 따른 상관성 변화를 보여준다.

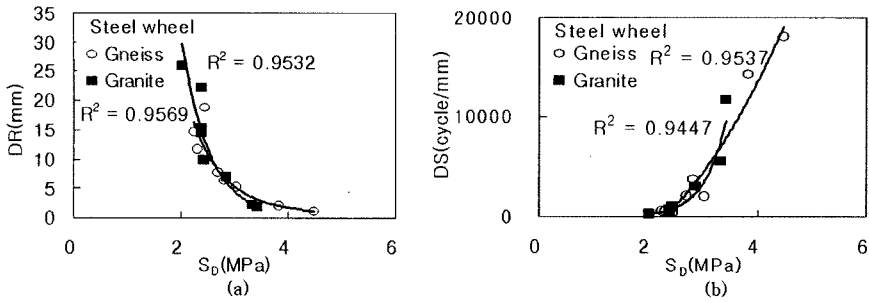


그림 11. 강재바퀴의 (a) 소성변형깊이와 변형강도, (b) 동적안정도와 변형강도의 관계

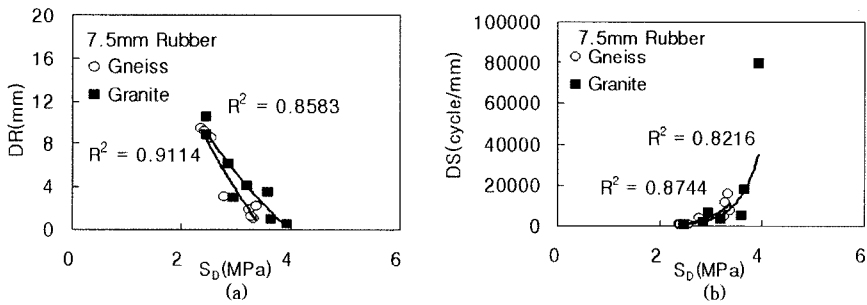


그림 12. 7.5mm 고무바퀴의 (a) 소성변형깊이와 변형강도, (b) 동적안정도와 변형강도의 관계

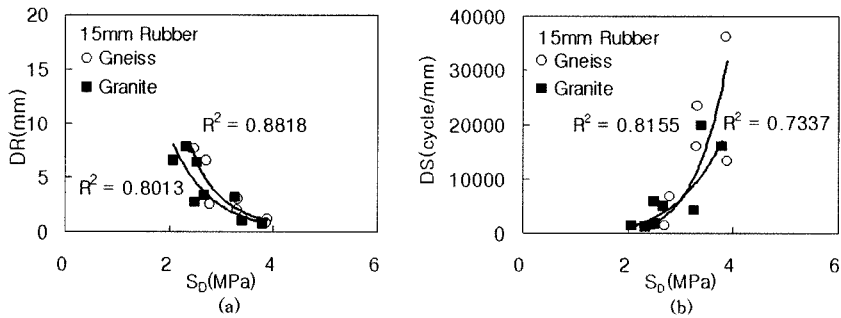


그림 13. 15mm 고무바퀴의 (a) 소성변형깊이와 변형강도, (b) 동적안정도와 변형강도의 관계

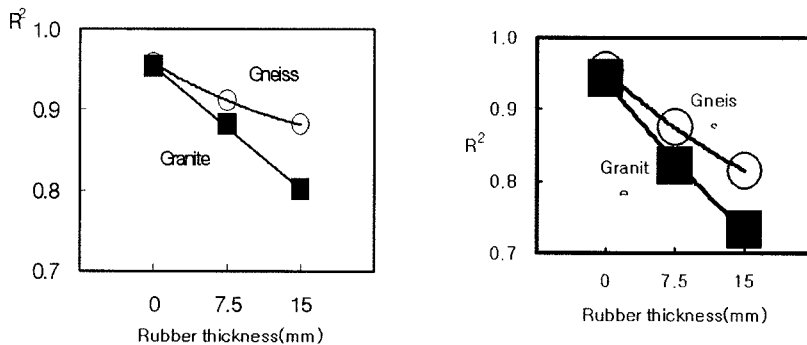


그림 14. 소성변형깊이와 동적안정도의 고무두께에 따른 결정계수의 변화



표 5. 변형강도와 소성변형깊이 그리고 변형강도와 동적안정도의 상관계수 (R^2)

Aggregate	Wheel thickness and type	R^2 for DR	R^2 for DS	Mean R^2	
Gneiss	Steel	0.9569	0.9537	0.96	0.8990
	7.5mm rubber	0.9114	0.8744	0.89	
	15mm rubber	0.8818	0.8155	0.85	
Granite	Steel	0.9532	0.9447	0.95	0.8562
	7.5mm rubber	0.8825	0.8216	0.85	
	15mm rubber	0.8013	0.7337	0.77	

표 5에서 보듯이 골재별로 상관성을 분석해 보면 편마암이 $R^2=0.8990$ 로 화강암 $R^2=0.8562$ 보다 우수한 것으로 나타났다. 특히 편마암에서 강재로 실험한 값이 $R^2=0.9569$ 로 가장 우수한 상관성을 나타냈다. 전체적으로 볼 때 편마암이 화강암보다 높은 상관성을 보였는데 이는 편마암과 화강암의 골재특성 차이 때문인 것으로 보여 진다.

4. 결론

1. 반복주행시험시 바퀴재질에 따른 최종침하깊이와 동적안정도의 분산을 비교해보면 강재바퀴가 최종침하깊이 및 동적안정도 모두에서 가장 낮은 변동계수 값을 보여주었다. 이는 실험시 강재바퀴의 사용이 반복성이 좋아 결과에 신뢰성이 높음을 뜻하므로 향후 반복주행시험시 강재바퀴의 사용이 혼합물의 소성변형특성을 평가함에 있어 유리함을 보여주는 결과이다.
2. 바퀴 재질에 따른 반복주행시험 결과와 변형강도와의 회귀분석을 수행한 결과 골재종류에 관계없이 강재바퀴가 R^2 이 0.9 이상으로 고무바퀴들 보다 높은 상관성을 보여주었다. 따라서 강재 바퀴는 변형강도와의 상관성이 높을 뿐만 아니라 반복주행시험시의 반복성도 높아 아스팔트 혼합물의 소성변형 저항성 측정에 보다 좋은 재료임을 알 수 있었다.

3. 현재 국내에서는 실내실험으로 소성변형 저항성을 확인하기위해 반복주행시험을 많이 사용하고 있다. 본 연구에서는 바퀴의 재질이나 고무두께에 따른 차이는 있었지만 반복주행시험결과와 변형강도(S_D)와의 상관성이 모두 우수한 ($R^2=0.7$ 이상)값을 보여주었다. 이는 변형강도로 반복주행시험 결과 값을 예측할 수 있고, 더 나아가 혼합물의 소성변형 저항성을 판단할 수 있는 하나의 기준으로 발전시킬 가능성을 보여준 결과이다.
4. 본 논문에서는 바퀴재질에 따른 반복주행시험의 신빙성, 소성변형 특성치와 변형강도 값과의 상관성 분석 등 기초적인 실험을 수행하였다. 보다 일반화된 결론을 내리기 위해서는 다양한 혼합물을 사용한 실험을 수행하고 기존의 결과와 비교 분석하는 작업이 수반되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 강원대학교 석재복합신소재 연구센터와 건설교통부 한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구의 연구비의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

참고 문헌

1. "한국형 포장 설계법 개발 및 포장 성능 개선 방안 수립을 위한 기본 계획," (2003), 건설교통부최종보고서.



2. 김광우, 이문섭, 김성태, 이순제, (2002a), "소성변형과의 상관성 및 추정 모델을 통한 변형강도 시험 장치 변수 분석," 한국도로포장공학회 논문집, 제 4권 4호, pp. 41-52.
3. 김광우, 이문섭, 김준은, 최선주, (2002b), "소성변형과의 상관성에 근거한 아스팔트 콘크리트의 변형강도 개발을 위한 기초연구," 한국도로포장공학회 논문집, 제 4권 4호, pp. 23-40.
4. 김광우, 이문섭, 김중열, 최선주, (2002c), "소성변형과의 상관성을 향상시킨 변형강도측정법의 개발," 한국도로포장공학회 학술발표회 논문집, pp. 67~74.
5. 김광우, 최선주, 권오선, 이순제(2003), "실험오차를 최소화한 아스팔트 콘크리트의 변형강도와 소성변형의 상관성 연구," 한국도로포장공학회 학술발표회 논문집, pp29-34
6. Huber, G. H., and Heiman (1987), "Effect of asphalt concrete parameters on rutting performance: A field investigation", *Processings, Association of Asphalt Paving Technologist*, Volume 56
7. Kim, K. W., Doh, Y. S. and Amerkhanian, S. N. (2004), "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. pp. 303-322.
8. Kim, K. W., Cho.M. J., Ko, T. Y., Doh, Y. S. (2005a), "Kim Test for Measure of Rut Resistance of Asphalt Concretes," *Proceedings, 5th ICPT*, Ed. by Kim, May 2005.
9. Cho, M. J., Lee, G. H., Kwon, O. S. and Kim, K. W. (2005b), "Validation of Kim Test Using Asphalt Pavement Analyzer and Dynamic Creep Test," *Proceedings, 5th ICPT*, Ed. by Kim, May 2005.

〈접수 : 2005. 1. 27〉