



# 아스팔트 콘크리트 반복주행 시험에서의 동적안정도 정립에 관한 연구

## Determination of Valid Dynamic Stability in Wheel Tracking Test of Asphalt Concretes

김 광 우\*    김 준 은\*\*    김 번 창\*\*\*    도 영 수\*\*\*\*  
Kim, K. W.    Kim, J. E.    Kim, B. C.    Doh, Y. S.

### Abstract

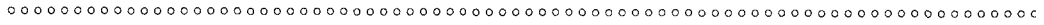
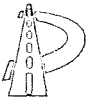
This study was performed to establish valid methodology for determining dynamic stability(DS) of deformation-cycle curve which is obtained through wheel tracking(WT) test, the most widely used method for forecast of rutting tendency of asphalt mixture. Existing Korean and Japanese methods for DS are unrealistic and do not really reflect characteristics of rut resistance of asphalt concretes especially when the slope of deformation-cycle curve is stabilized at the end. It was proved that the new DS developed in this study reflected rut resistance characteristics better than existing methods. It is especially effective to distinguish the mixtures with high DR(depth of rut) but stable slope at the end of curve from the mixture with lower DR and continuous slope. The field evaluation must be followed to prove whether the mixture which shows a high DS value this method perform well in the filed.

*Keywords : asphalt concrete, wheel tracking test, dynamic stability, rut, deformation-cycle curve*

### 요 지

본 연구는 소성변형을 예측하기 위하여 현재 가장 널리 사용되고 있는 반복주행(Wheel tracking: WT) 시험을 통해 얻어진 변형량-사이클 곡선의 동적안정도(Dynamic stability : DS)를 정립하기 위한 연구이다. 기존에 반복주행 시험을 통해 얻어진 곡선에서 동적안정도를 구하는 방법은 표준화되어 있기는 하지만 불합리한 점이 많아 이를 보다 합리적으로 정립하기 위한 방안을 제시하고자 하였다. 슬래브 305×305×70mm의 공시체를 물러콤팩터로 다짐하여

\* 정회원 · 강원대학교 지역기반공학과 교수, 공학박사  
\*\* 정회원 · 다운엔지니어링 품질부, 공학석사  
\*\*\* 정회원 · 강원대학교 대학원 지역기반공학과, 석사과정  
\*\*\*\* 정회원 · 강원대학교 석재복합연구센터 책임연구원, 공학박사



공극률 약  $4 \pm 0.5\%$ 로 맞추어 제조하여 반복주행시험을 실시하였다. 기존에 동적안정도를 구하는데 사용하던 방법보다는 본 연구에서 사용한 방법으로 동적안정도를 구하는 것이 침하깊이와의 상관성을 보다 잘 반영하고, 소성변형 저항성이 좋은 것과 나쁜 것간의 차이가 보다 확실히 나타남을 알 수 있었다. 추후 본 연구에서 개발된 방법으로 계산하여 동적안정도가 큰 혼합물이 실제 현장에서도 공용성이 우수함을 추적 조사하는 연구가 뒤따라야 할 것이다.

핵심용어 : 반복주행시험, 동적안정도, 침하깊이, 변형량 - 사이클곡선

## 1. 서론

아스팔트 포장표면에 차량의 진행방향을 따라 바퀴자국이 움푹 들어가 골이 발생하는 현상을 러팅(rutting)이라고 한다. 국내에서는 이를 영구변형(permanent deformation), 바퀴자국 패임 등 다양한 용어로 표현하고 있으나 소성변형(plastic deformation)으로 가장 널리 통용된다.

최근 연구보고(소성변형... 2002)에 따르면 2002년 국도 아스팔트 포장에 대한 현장조사자료를 근거로 분석한 파손형태별 분포는 균열 등의 탄성적 파손이 전체 도로의 약 50%인 반면에 소성변형은 대략 91% 정도로 가장 심각한 상태에 있음을 알 수 있다. 이로 인한 건설교통부 도로유지 보수비용 중 아스팔트 포장의 소성변형을 처리하기 위한 보수비용이 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 1997년도 건교부 집계 자료에 의하면 도로포장 유지보수비용에 사용된 예산은 1987년에는 약 300억, 1996년에는 약 700억, 2002년에는 1조 7,000억원(국비 : 1조 250억, 지방비 : 6,770억)으로 매년 꾸준히 증가하고 있는 실정이다.

이런 혼합물들의 소성변형을 예측하기 위하여 현재 가장 널리 사용되고 있는 시험방법으로 반복주행(wheel tracking : WT)시험이 사용된다. 회전하는 차륜에 의해 재하되는 포장체내의 응력상태는 매우 복잡하며 실내시험에서 아스팔트 콘크리트 혼합물의 현장 거동에 대한 모사는 거의 불가능하다. 따라서 아스팔트 혼합물의 실내시험은 주로 재료에 대한 상대적 비교를 통하여 포장체의 응력상태를 추정하고

있다. 영국의 노팅햄 대학(Brown 1981)에서는 아스팔트 혼합물의 소성변형 저항성 평가에 관한 연구에서 반복주행시험이 도로의 소성변형과 밀접한 상관관계가 있음을 제시하였다. 이 시험은 시험방법의 간편성과 적절한 모사성, 그리고 소성변형과의 긴밀한 상관관계로 인해 소성변형 저항성을 측정하는데 많이 이용된다. 하지만 아직 이 반복주행 시험은 표준화된 방법이 정해지지 않은 상태이며, 특히 이 시험을 통해서 얻어지는 동적안정도(dynamic stability : DS)를 구하는 방법이 표준화되어 있긴 하지만 불합리적인 점이 많다. 따라서 본 연구의 목적은 여러 가지 데이터를 이용하여 반복주행시험에서의 침하량-사이클 곡선의 특성을 분석하여 소성변형 저항 특성을 타당하게 반영할 수 있는 동적안정도를 구하는 방안을 개발·제시하는 것이다.

## 2. 재료 및 실험

### 2.1 재료

아스팔트 시멘트의 분류는 침입도, 연화점 및 점도를 기준으로 하고 있으며, 우리나라에서는 KS M 2252(침입도 분류에 의한 도로포장용 아스팔트) 및 KS M 2208 (점도분류에 의한 도로포장용 아스팔트)에 따라 아스팔트를 분류하고 있다.

본 연구에 사용된 결합재는 일반적으로 국내에서 많이 사용되는 AC60-80 한 종류와 개질 아스팔트인 PG76-22 한 종류를 사용하였다. 각각의 아스팔트



시멘트의 물리적 특성은 표 1과 같다.

골재는 생산지별로 그 조건이 다르기 때문에 사용 전에 시방서 규격에 적합한지를 반드시 검토해야 한다. 본 연구에서는 강원도 횡성군의 A사(화강암), 충북 음성군 B사(화강암)를 선정하였다. 이들을 각기 KS F에 규정된 방법에 따라 품질 시험한 결과 규정

내에 모두 만족하였다(표 2). 또한 굵은골재 최대치수 13mm로 잔골재, 채움재와 혼합하여 건설교통부 밀입도 규격에 적합하도록 조정하였다.

본 실험에서는 골재 2종류, 결합재 2종류, 입도 분포 2종류를 조합하여 공시체를 제조하였다(표 3).

## 2.2 동적안정도(Dynamic Stability)시험

아스팔트 혼합물의 반복주행시험에서 얻어지는 동적안정도는 혼합물이 1mm 침하하는데 필요한 바퀴의 주행 횟수를 나타낸다. 본 연구에서는 동적안정도를 구하는데 있어서 적절한 범위를 제시하기 위하여 15개의 대표적인 반복주행 시험 결과를 가지고 소성 변형 깊이와 상관성이 높은 동적안정도의 구간을 선택하기 위하여 연구하였다.

본 연구에서는 아스팔트 콘크리트의 소성변형 깊이와 동적안정도와와의 상관성을 보기 위하여 반복주행시험을 수행하였다. 이를 위해 배합설계를 거쳐 305×305×70mm의 공시체를 롤러컴팩터로 다짐하여 공극률 약 4±0.5%로 맞추어 제작하였다. 제작된 공시체는 대략 24시간 양생 후 시험을 시작하였다. 반복주행시험기는 강제바퀴를 사용하였고, 지름은 200mm, 바퀴의 너비는 53mm로 하였으며, 바퀴의 반복주행에 따른 수직 침하량을 측정하였다. 또한 강재와 아스팔트 콘크리트의 직접 접촉에 의한 골재의 파손 등을 방지하기 위하여 폴리프로필렌 부직포를 공시체 표면에 덮었다. 반복주행시험기는 그림 1과 같다.

표 1. Properties of asphalt cement

Classification	AC 60-80	PG 76-22
Penetration 25℃(0.1mm)	60	70
Absolute viscosity at 60℃ (poise)	2,464	2,150
Kinematic viscosity at 135℃ (cP)	425	-
Ductility 25℃ (cm)	138	-
Flash point (℃)	334	-
Specific gravity	1.024	-

표 2. Properties of aggregates

Test item	Coarse aggregate		Fine aggregate		Mineral filler	
	Source A	Source B	Source A	Source B	Source A	Source B
Apparent S.G.	2.72	2.72	2.74	2.71	2.83	2.83
Abrasion (%)	19.6	19.8				
Absorption (%)	0.55	0.82	1.41	1.63		

표 3. Designation of mixtures

Designation	Designation of mixtures
AD-AC	A : source, D : dense-graded, AC : AC60-80 mix.
AD-PG	A : source, D : dense-graded, PG : PG76-22 mix.
BD-AC	B : source, D : dense-graded, AC : AC60-80 mix.
BD-PG	B : source, D : dense-graded, PG : PG76-22 mix.
AG-AC	A : source, G : Superpave gap grade, AC : AC60-80 mix.
AG-PG	A : source, G : Superpave gap grade, PG : PG76-22 mix.
BG-AC	B : source, G : Superpave gap grade, AC : AC60-80 mix.
BG-PG	B : source, G : Superpave gap grade, PG : PG76-22 mix.

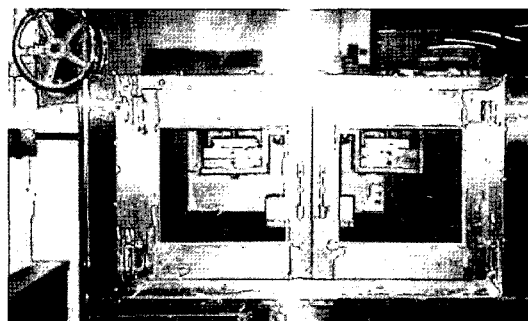


그림 1. Wheel tracking tester



통상 동적안정도를 구하기 위하여 변형량(mm)과 통과횟수(cycle)의 비로 나타내는 값을 사용하고 있으나, 침하량-반복횟수 곡선에서 어느 구간을 선정하느냐에 따라 그 값에 차이가 있다. 따라서 어느 구간을 선택해야 하는지에 대하여 정의를 명확히 할 필요가 있다. 일반적으로 반복주행 시험의 동적안정도 선정을 위해 많이 이용되는 부위 선택에 대한 정의는 다음과 같다.

### 2.2.1 일본 도로공사 규격 동적안정도 선정 방법

이 방법은 시험바퀴를 공시체의 중심부에 두고 주행방향 중앙부에 처음으로 통과했을 때를 원점으로, 매시간마다 시험바퀴의 연직방향 변형량을 측정해 이를 변형량으로 한다. 변형량은 공시체의 중앙부에서 1분, 5분, 10분, 15분, 30분, 45분, 60분을 경과할 때마다 읽은 것으로 한다. 재하주행은 60분간을 원칙으로 한다.

이 변형량의 측정결과에서 시간-변형량 곡선을, 그리고 변형량의 증가율이 거의 일정하게 되는 45분~60분의 15분간 변형량에서 1mm의 변형에 필요로 하는 차바퀴의 통과횟수를 다음의 식(1)로 계산해 동적안정도(DS)로 한다.

$$\text{동적안정도(DS)} = \frac{\text{통과횟수}}{\text{변형량}} = \frac{15 \times C}{(d60-d45)} \quad (\text{회/mm}) \quad (1)$$

여기서, C = 재하주행속도 42 (회/분)

d60 = 주행시간 60분의 변형량 (mm)

d45 = 주행시간 45분의 변형량 (mm)

### 2.2.2 한국 산업규격 동적안정도 선정 방법

(한국표준협회 2000)

변형량 측정은 최초에 중심부를 통과한 때, 다이얼 게이지의 눈금을 원점으로 하여 1분, 5분, 30분, 45분, 60분이 경과한 때의 침하 깊이를 측정 기록한다. 변형량은 차륜의 주행 범위 중앙에서 측정하는 것이 일반적이다. 변형 속도는 변형량-시간 곡선에서 곡

선이 거의 직선이 되는, 즉 변형률이 일정화되는 45분, 60분의 15분간의 변형량을 측정하여 다음 식(2)로 구한다.

$$\text{변형 속도 (RD, mm/min)} = \frac{(d60-d45)}{15} \quad (2)$$

여기서, RD = 변형 속도(mm/min)

d60 = 60분의 변형량 (mm)

d45 = 45분의 변형량 (mm)

총변형량을 측정하기 위하여 최초에 시험차륜이 중심부를 통과한 1회를 "0"으로 정하고, 다짐 횟수가 2,520회(60분 소요)일 때 침하 깊이(총 변형량, mm)를 기록한다.

동적안정도(Dynamic Stability : DS)는 공시체의 표면으로부터 1mm 변형하는 데 소요되는 시험 차륜의 통과 횟수로써 다음 식(3)으로 구한다.

$$DS = 42 \times \frac{t2-t1}{d2-d1} \times C \quad (3)$$

여기서, DS : 동적안정도(회/mm)

d1 : t1(일반적으로 45분)에서의 변형량(mm)

d2 : t2(일반적으로 60분)에서의 변형량(mm)

C : 크랭크에 의한 변속 구동형 시험기를 사용한 경우의 보정계수=1.0 크랭크 방식 이외의 구동 방식인 경우는 비교 시험을 실시하여 보정 계수를 산출하여 적용

### 2.2.3 그 외 국내 방법

위의 일본과 한국의 두 방법은 원칙적으로 같은 결과를 가져온다. 이들 방법은 1시간 시험중에서 결국 최종 15분간의 곡선의 기울기에 근거하여 동적안정도(DS)가 결정되므로 최종침하 깊이와는 관계없이 그 부분의 기울기에만 의존한다. 따라서 김광우 등(1998)은 이의 개선책으로 그 범위를 넓혀 총 반복주행시간 1시간 30분에 약 500cycle~2500cycle 사이에서 회귀분석을 통하여 동적안정도를 구하였다



(1cycle=2sec). 이 구간은 혼합물이 초기의 불안정한 단계를 지나 안정한 단계에서의 침하를 나타내는 구간이고 대부분의 곡선들이 직선을 이룬다.

이는 반복주행시험을 통하여 LVDT로 읽어들이는 각 사이클마다의 침하량을 컴퓨터를 통하여 기록하며, 혼합물의 동적안정도는 그림 2에서 보여주는 바와 같이 500cycle~2500cycle에서 식(4)를 이용하여 구하였다.

$$DS(\text{cycle/mm}) = \frac{\Delta C}{\Delta D} \quad (4)$$

이 방법의 특징은 비교적 직선구간을 길게 잡은 것과 그 구간내에서 회귀분석으로 직선식을 구함으로써 매우 정확한 동적안정도를 기울기로부터 구할 수 있다는 점이다. 따라서 끝부분에서 변화가 심해도 비교적 최종 침하깊이가 적은 것이 동적안정도가 높게 나타나는 경향을 보인다.

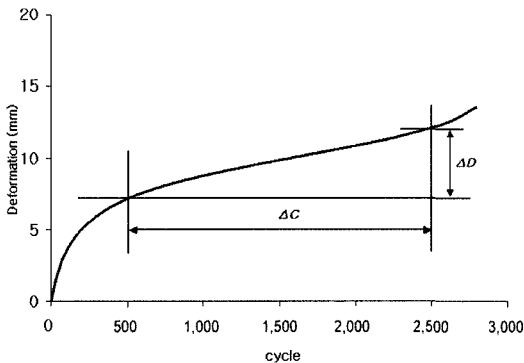


그림 2. Accumulative deformation rate and dynamic stability of flexible pavement in wheel tracking test

### 3. 결과 및 고찰

기존에 사용되는 동적안정도 범위 선정 방법은 그림 3, 4와 같다. 즉 그림 3의 방법은 일본 도로공사 휠 트랙킹 시험방법이며 또한 한국 산업규격 역청 포장 혼합물의 휠 트랙킹 시험방법으로 2000년도에 규

정된 방법이다. 그림 4 방법은 직선이 시작되는 초기 점을 잡아 동적안정도를 구하는 방법으로 국내에서 김광우 등에 의해 개발되어 사용되어온 방법이다(그림에서 ㉠, ㉡, ㉢의 표시는 사람마다 변곡점을 선택하는데 차이가 있음을 의미). 여기서 동적안정도는  $y=ax+b$  식의 기울기인  $a$ 의 역수가 된다.

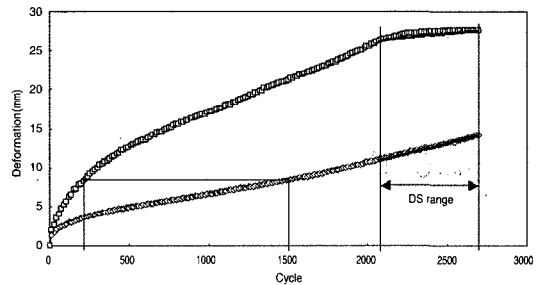


그림 3. Dynamic stability selection method (1)

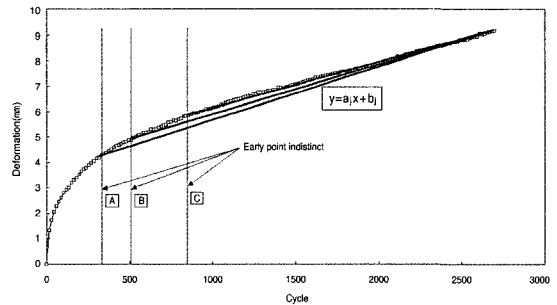


그림 4. Dynamic stability selection method (2)

그림 3의 방법에 의하면 침하 깊이가 더 큰 A 혼합물의 동적안정도가 침하가 적은 B 혼합물의 동적안정도 보다 더 크게 나온다. 동적안정도는 침하량-사이클 곡선에서 직선 구간에 대한 기울기의 역수로서 이것이 크면 반복운하중 하에서 침하에 안정적인 것으로 평가된다. 따라서 그림 3의 방법에 의한 동적안정도만으로 보면 B보다는 A혼합물이 더 우수하게 평가된다. 이는 특히 곡선의 마지막 부분의 짧은 구간을 택해서 구할 때 그러한 결과가 나올 확률이 더 높아진다.

이러한 불합리한 점을 줄이기 위해 그림 4에서는



직선이 시작되는 초기점을 선정하여 동적안정도를 구하게 되는데 이 시점을 정확하게 선정하기가 어렵다. 따라서 선정하는 사람의 주관에 따라 동적안정도 값이 각각 틀리게 나올 수 있다. 대개는 초기 몇 백 사이클 이후부터의 기울기로부터 동적안정도를 구한다. 하지만 이것도 곡선의 스타일에 따라 차이가 많이 나게 된다.

이 두 가지 방법의 문제점은 동적안정도와 최종침하량의 상관성이 낮은 것이다. 즉 그림 3에서와 같이 초기에 빠르게 그리고 전체적으로 훨씬 침하가 크게 일어난 A 혼합물의 동적안정도가 크기 때문에 이를 B보다 우수한 혼합물로 간주하게 되는 것이다. 하지만 침하가 빠르고 절대 깊이가 큰 것은 그만큼 변형에 약한 재료이기 때문에 현장에서의 소성변형도 크게 나타날 것이다. 특히 상대적으로 초기 변형이 크면 시공 후 공용기간이 얼마 되지 않아 표면에 소성변형이 쉽게 나타나게 된다. 그림에서 본다면 B 혼합물이 1,500 사이클 이상에서 나타날 변형이 A 혼합물은 약 200 사이클 만에 나타나게 된다.

동적안정도는 어느 정도 혼합물의 침하깊이를 반영하는 특성으로 표현되어야 하는데 기존 일본이나 국내 산업규격 방법들에 의하면 최종 침하깊이와 상관관계가 낮은 것이 많다. 이에 본 연구에서 새로이 제시하는 방법은 변형량-사이클 곡선을 두 구간으로 나누어 각각의 기울기를 구한 다음 두 구간의 기울기 평균으로부터 동적안정도를 구하는 방법을 개발하였다. 이렇게 두 구간으로 나누어서 동적안정도 값을 구하였을 때 상기 두 방법보다 침하 깊이와 상관성이 높게 나오는 동적안정도 값을 구할 수 있었다.

즉, 침하량 변위(곡선 접선의 기울기의 변화)가 최대가 되는 점을 택하여 그 부분을 중심으로 전반 곡선과 후반 곡선으로 나누었다. 이를 위해서 식(5)와 같은 지수함수 모델을 채택하여 그림 5와 같이 침하량 변위가 최대가 되는 점을 구하였다.

$$y = A1(1 - e^{-x/T1}) + A2(1 - e^{-x/T2}) \quad (5)$$

여기서, x : 회 (Cycle)  
 $T_1, T_2$  : 시간 상수  
 $A_1, A_2$  : 상수

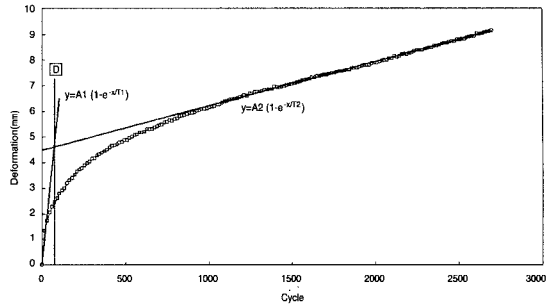


그림 5. Graph showing equation of each slope

그림 5에서와 같이 한 그래프에서 두 개의 방정식이 나오게 되는데 여기서 두 방정식이 만나는 D점이 최고 침하량 변위가 발생하는 부분이다. 이 D를 구하기 위하여 아래와 같이 하였다.

- (1) 식(5)를 한번 미분을 하면  $y_{(0)} = \frac{A1}{T1} + \frac{A2}{T2} \equiv m$
  - (2)  $x \rightarrow \infty, y = A1 + A2$
  - (3)  $x_0 : y = mx, y = A1 + A2$
- $$\therefore x_0 = \frac{A1 + A2}{m} \quad (6)$$

여기에서 곡선 맞춤(curve fitting)을 이용하여  $A_1, A_2, T_1, T_2$  값을 구한 다음에 식(5)을 사용하여  $x_0$  값을 구하였다.

그림 6은 Origin 프로그램을 사용하여 구한  $A_1, A_2, T_1, T_2$  값을 보여준다. 그림 7은 그림 6 그래프를 한번 미분하였을 경우의 그래프를 보여주며 그림 7에서의 화살표가 되어있는 부분이 식(6)에 의해서 구해지는 부분이 된다.

본 연구에서는 혼합물을 가지고 슬래브 공시체를 제조하여 시험온도 60°C에서 70kgf 하중하에 왕복 횟수 2700cycle로 실험한 데이터를 사용하였으며 이를 그림 8에 침하깊이 2~7mm, 그림 9에 침하깊이 8.5~14mm, 그림 10에 침하깊이 14.1~28mm에

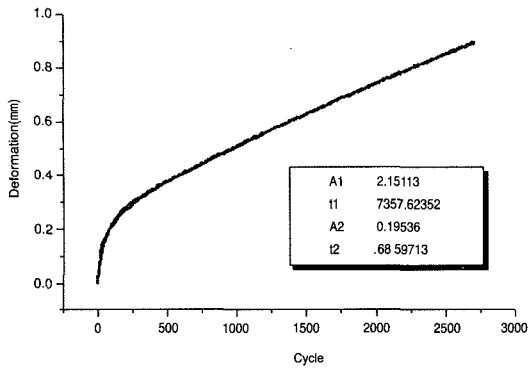


그림 6. Results of origin program

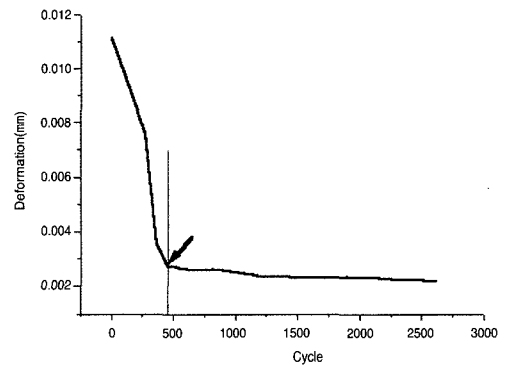


그림 7. Differentiation of wheel tracking test

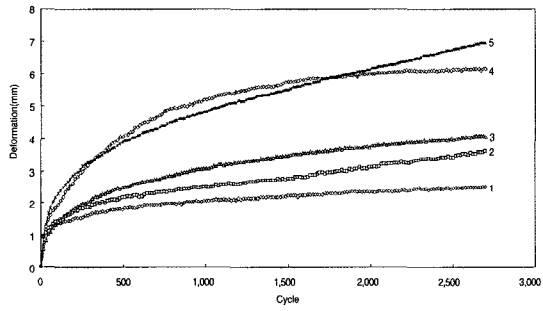


그림 8. Results of wheel tracking test result curve (Depth of rut : 2~7mm)

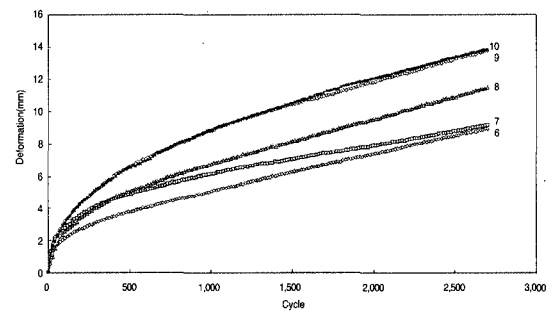


그림 9. Results of wheel tracking test result curve (Depth of rut : 8.5~14mm)

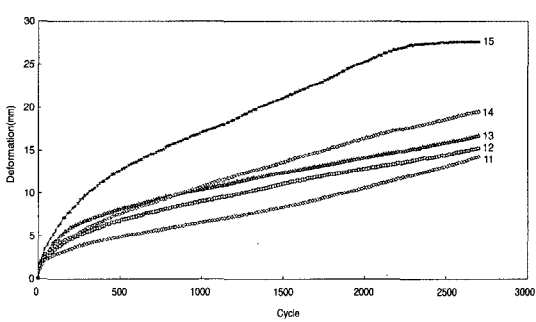


그림 10. Results of wheel tracking test result curve (Depth of rut : 14.1~28mm)

대하여 나타내었다.

일본도로공사, 한국산업규격 및 그 외 국내 방법 (김광우 등, 1998), 그리고 새로운 방법은 표 4에서와 같이 각각 Jap, Kor, New로 명명하였으며, 그로

부터 구한 동적안정도의 값들은 표 5와 같다. 즉, 일본규격과 한국산업규격은 같은 결과가 얻어지므로 이를 Jap, 그 외 국내 방법을 Kor, 그리고 본 연구에서 제시하는 방법을 New로 명명하였다.

하나의 침하량-사이클 곡선을 그림 5와 같이 전·후 두 구간으로 나누었을 때 앞 구간의 동적안정도를  $DS_1$ , 뒷 구간의 동적안정도를  $DS_2$ 라 하였다. 여기서  $DS_1$ 은 초기 침하에 대한 혼합물의 안정도를,  $DS_2$ 는 초기 침하가 끝난 후 중장기 침하에 대한 안정도를 나타내므로 두 가지 모두 중요한 변수라 할 수 있다. 특히 초기 침하의 경우 얼마나 짧은 기간에 침하가 이루어지는지가 중요하므로  $DS_1$ 을 D점의 사이클 수에 대한 총 사이클 수인 2700의 비율로 나누었다. 그리고 후반부의 경우도 전체적으로 얼마나 침하가 이루어진 것인지가 중요하므로 그 구간에 대한 2700



의 비로  $DS_2$ 를 나누어 둘을 더해 전체 동적안정도로 채택하였다.

즉, 새로이 개발한 동적안정도는 식(7)과 같다.

$$DS_{total} = \frac{DS_1}{2700} + \frac{DS_2}{2700 - D} \quad (7)$$

표 4. Designation dynamic stability

Classification	Designation Dynamic stability
Jap	Japan Highway Corporation: use final 600 cycle
Kor	Regression within 500 and 2,500 cycle
New	Developed method in this study

표 5를 보면 소성변형 저항성이 좋은 1~5번 혼합물 중 4번 혼합물이 Jap방법으로는 가장 DS가 좋은 것으로 나타났고, 침하깊이가 4번의 1/2수준인 2번 혼합물은 DS가 4번의 1/4수준으로 나타났다. 하지만 이러한 문제점이 New에서는 개선되어 가장 침하깊이가 낮고 안정적인 변화를 나타낸 1번 혼합물이 가장 우수한 것으로 나타났다. 이는 15번과 11번의 비교에서도 유사한 결과를 나타냈으며, 결과적으로 New방법은 기존 Jap방법의 모습을 개선한 효과를 보였다.

그림 11은 세 가지 방법으로 구한 표 5의 동적안정도를 해당 혼합물의 최종 침하와의 상관관계를 보여주는 것이다. 그림에서와 같이 기존 방법보다는 새로운 방법의 동적안정도는 침하 깊이와 매우 높은 상

표 5. DS and Final depth of wheel tracking test

No.	Mixture designation	Depth of Rut (mm)	D point (cycle)	2700-D point (cycle)	DS (cycle/mm)				
					Jap	Kor	New		
							DS <sub>1</sub>	DS <sub>2</sub>	DS <sub>total</sub>
1	(BG-PG1)	2.5	60	2,640	4,286	3,134	48	2,112	4,320
2	(BG-PG2)	3.6	107	2,593	1,201	1,511	36	2,250	4,189
3	(AG-PG1)	4.1	253	2,447	998	1,296	128	1,187	2,660
4	(BD-PG1)	6.2	294	2,405	4,615	1,361	91	830	1,757
5	(AG-PG2)	6.9	244	2,456	857	758	79	628	1,577
6	(BD-PG2)	8.9	149	2,551	448	412	61	392	1,516
7	(AD-PG1)	9.1	112	2,588	556	543	41	414	1,358
8	(AD-PG2)	11.5	206	2,494	359	340	61	310	1,116
9	(BG-AC1)	13.7	193	2,507	364	314	46	262	921
10	(BG-AC2)	13.9	250	2,450	387	317	52	272	855
11	(AG-AC1)	14.2	337	2,363	196	240	81	236	906
12	(AG-AC2)	15.2	569	2,131	291	160	80	262	712
13	(BD-AC1)	16.8	480	2,220	269	263	59	256	646
14	(BD-AC2)	19.5	902	1,798	234	181	89	192	554
15	(AD-AC1)	27.6	558	2,142	377	128	42	149	391



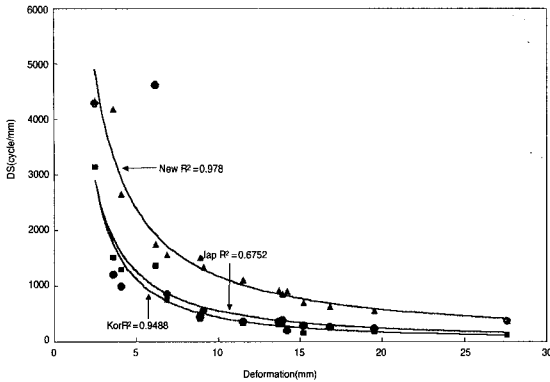


그림 11. Correlation of each DS with final depth of rut (deformation)

관성을 보임을 알 수 있다. 특히 Jap 방법은 상관관계가 아주 낮고, Kor 방법이 비교적 높으나 값들이 전체적으로 작고 이것도 새로운 방법보다는 상관성이 낮다. 이는 새로운 방법이 초기와 후기의 동적안정도를 모두 고려함에 따른 것으로 판단된다. 따라서, 기존에 사용하던 방법보다는 본 연구에서 사용한 방법으로 동적안정도를 구하는 것이 침하깊이와의 상관성을 보다 잘 반영한다고 할 수 있고 소성변형 저항성이 좋은 것과 나쁜 것간의 차이가 보다 확실하게 나타남을 알 수 있다.

하지만 본 연구에서 곡선의 변위가 가장 큰 점을 찾는 것은 위에 제시한 방법으로 할 수 있으나 일반적으로는 어렵다. 따라서 향후 연구에서는 이를 보다 쉽게 찾기 위한 방안을 개발해야 할 것이다. 또한 본 개발된 방법으로 계산하여서 동적안정도가 큰 혼합물이 실제 현장에서도 공용성이 우수한지를 추적 조사하는 연구가 뒤따라야 할 것이다.

## 5. 결론

본 연구는 소성변형을 예측하기 위하여 현재 가장 널리 사용되고 있는 반복주행 (Wheel tracking : WT) 시험을 통해 얻어진 변형량-사이클

곡선의 동적안정도(dynamic stability : DS)를 정립하기 위한 연구이다. 기존에 반복주행시험을 통해 얻어진 곡선에서 동적안정도를 구하는 방법은 표준화되어 있기는 하지만 불합리한 점이 많아 이를 보다 합리적으로 정립하기 위한 방안을 제시하고자 하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

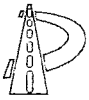
1. 기존의 동적안정도는 국내 및 일본 규정 모두 변형량-사이클 곡선의 후미 부분의 기울기를 이용하므로 침하량(depth of rut : DR)이 아무리 커도 그 부분의 기울기가 낮으면 안정된 혼합물로 나타나 소성변형에 대한 변별력이 낮은 경우가 많이 있다.

2. 초기 침하의 경우 얼마나 짧은 시간에 침하가 이루어지는지가 중요하므로 앞부분  $DS_1$ 을 분할점의 사이클 수에 대한 총 사이클 수인 2,700의 비율로 나누었다. 그리고 후반부의 경우도 얼마나 오랜 기간 침하가 이루어진 것인지가 중요하므로 그 구간에 대한 2,700의 비로  $DS_2$ 를 나누어 둘을 더해 전체 동적안정도로 채택을 하였다. 따라서 새로이 개발한 동적안정도 계산식은

$$DS_{total} = \frac{DS_1}{2700} + \frac{DS_2}{2700 - D} \text{ 이다.}$$

3. 기존에 사용하던 방법보다는 본 연구에서 사용한 방법으로 동적안정도를 구하는 것이 침하 깊이와의 상관성을 보다 잘 반영하고, 소성변형 저항성이 좋은 것과 나쁜 것간의 차이가 보다 확실하게 나타남을 알 수 있어 향후 이와 같은 방식으로 동적안정도를 개선하는 노력이 필요할 것으로 보인다.

4. 본 연구에서 곡선의 변위가 가장 큰 점을 찾는 것은 위에 제시한 방법으로 할 수 있으나 일반적으로는 어렵다. 따라서 향후 연구에서는 이를 보다 쉽게 찾기 위한 방안을 개발해야 할 것이다. 또한 본 개발된 방법으로 계산하여서 동적안정도가 큰 혼합물이 실제 현장에서도 공용성이 우수한지를 추적 조사하는 연구가 뒤따라야 할 것이다.



## 감사의 글

본 연구는 한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구비의 지원과 한국과학재단 지원 강원대학교 석재 복합 신소재 연구센터의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

## 참고문헌

1. 김광우, 조희원, 도영수, (1998), "폴리머 개질 아스팔트 콘크리트의 소성변형 및 피로저항 특성," 대한토목학회 논문집, 제 18권 III-5호, pp.635~643
2. 한국도로공사, 2002, "소성변형 저감을 위한 시 방지침개발"
3. 한국표준협회, 2000, "역청 포장 혼합물의 트랙킹 시험 방법"
4. 일본 도로공사 규격, "Wheel Tracking 시험 방법"
5. S F Brown and B V Brodrick, (1981), "Nottingham Pavement Test Facility," Transportation Research Record 810, pp 67~72.
6. E.R. Broun and Dale Decker., (1999), "Superpave Construction Issues and Early Performance Evaluation" Presented at the Annual Meeting of the Association of Asphalt Paving Technologists, Journal Volume 68.
7. Harvey, J. and L. Popescu, (2000), "Rutting of Caltrans Asphalt Concrete and Asphalt-Rubber Hot Mix Under Different Wheels, Tires and Temperatures - Accelerated Pavement Testing Evaluation," Draft Report for California Department of Transportation, Pavement Research Center, University of California, Berkeley, January.
8. Rabbira Garba and Ivar Horvli, (2002), "Prediction of Rutting Resistance of Asphalt Mixtures," *Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields, Volume 2*, pp 839~849.
9. *Tracking Test, Determination of the Track Depth of High-Stability Binding Layers.* Construction Bureau, Civil Engineering Office, Department of Civil Traffic, Hamburg, Germany.

〈접수 : 2004. 3. 29〉