

# 4점 휨 피로 시험을 통한 아스팔트 포장의 지불규정 인자와 피로균열과의 상관관계 분석

## Correlation Analysis Between Pay Adjustment Factors of Asphalt Pavement and Fatigue Cracking using 4 Point Flexural Fatigue Test

이석근\* · 이종명\*\* · 신형호\*\*\*

Rhee, Suk Keun · Lee, Jong Myung · Shin, Hyeong Ho

### 1. 서 론

본 연구는 포장 성능 개선을 위한 지불규정(Pay Adjustment)개발을 위한 기준인자 선정에 관한 기초연구로 수행되었다. 지불규정은 밀도와 평탄성 등과 같은 지불규정 인자의 측정값에 따라 통계적 품질측정 방법인 PWL에 따른 지불계수(Pay Factor)를 이용해 공사비를 차등 지급하기 때문에 지불규정 인자의 편차에 따른 실제 포장의 공용성 변화를 공학적으로 증명해야 할 필요가 있다. 이를 위해 지불규정에 적합한 공용성 모형 선정에 앞서 지불규정인자와 피로균열과의 상관관계를 검증하기 위해 4점 휨 피로 시험을 진행하였다. 포장 성능에 직접적 영향을 미치는 밀도와 아스팔트 함량, 입도와 현행 준공검사 기준인 두께와 평탄성을 국내 지불규정 기준인자로 선택했으며 이 중 아스팔트 함량, 밀도를 변수로 설정하였다. 아스팔트포장의 경우 아스팔트함량이 변화에 따라 밀도가 변화하는 등 각 인자가 상호 연관관계를 가진다. 따라서 본 연구에서는 지불규정 인자간의 상호 영향을 최소화하기 위해 총 7종의 시편을 제작하였다.

### 2. 시험 변수 및 시편 제작

#### 2.1 시험변수

지불규정 인자 중 변수로 채택된 밀도, 아스팔트 바인더 함량의 피로균열에 영향을 미칠 수 있는 요소를 최소화하기 위한 시험을 진행하였다.

표 1. 4점 휨 피로시험을 위한 인자별 변수 및 편차

지불규정인자	각 인자의 편차	변수개수	비고
아스팔트 바인더 함량	4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5%	4	공극률 4~6% 조정
밀도(공극률)	1~3%, 4~6%, 7~9%	3	아스팔트 바인더 함량 5.1% 고정

\* 정회원 · 경희대학교 토목건축대학 교수 · 공학박사 · 031-201-2900(E-mail : skrhee@khu.ac.kr)

\*\* 비회원 · 경희대학교 토목공학과 도로연구실 석사과정 · 031-201-2923(E-mail : lee0821c@nate.com)

\*\*\* 비회원 · 경희대학교 토목공학과 도로연구실 석사과정 · 031-201-2923(E-mail : shin\_2420@naver.com)

아스팔트 함량의 경우 최적아스팔트 함량을 기준으로 편차를 0.5씩 조정하여 총 4개의 각기 다른 함량을 갖는 시험 공시체를 제작하였으며, 공극률을 4~6%로 조정하였다. 공극률을 4~6%로 맞추어 공시체를 제작한 이유는 최대한 현장과 유사한 조건에서 진행해야 하기 때문이다. 밀도는 함량을 최적아스팔트 함량으로 고정하였으며 공극률의 변화를 1~3%, 4~6%, 7~9%로 조정하였다.

## 2.2 시험방법 및 데이터수집

본 연구에서 사용된 시험 장치는 상부재하방식의 INSTRON사의 Servo-Hydraulic closed-loop 시스템이며, 모든 시험은 4점 휨 피로 방식에 의해 수행되었다. 변위측정은 RDP Electronic사의 LVDT를 사용하였다. 각 센서에서 발생하는 데이터의 동기화를 위하여 National Instruments사의 데이터 수집카드(16bit), 데이터 수집장비(SCXI새시) 및 모듈, LabVIEW 프로그램을 사용하였다. 하중재하 장비는 큰 사이즈의 시편을 시험할 수 있도록 크게 제작되었으며, 시편의 고정을 위하여 4개의 DC모터를 장착하였다.

하중재하는 변형률제어 방식으로, 10Hz의 Haversine파로 재하 하였으며, 스트레인 레벨을 100~300 $\mu\epsilon$ 의 범위로 한정하여 시험을 진행 하였다. 시험온도는 20 $^{\circ}\text{C}$ 로, 시편은 20 $^{\circ}\text{C}$ 에서 2시간이상 방치후 시험을 실시하였다.

## 2.3 피로시험 데이터 해석

아스팔트 혼합물의 피로수명을 평가하는 가장 일반적인 방법은 혼합물에 대해 피로시험을 수행하여 얻어진 데이터로부터 강성(stiffness)을 계산하고 이를 통해 시편의 강성이 초기 강성의 50% 도달했을 때까지 시편에 가해진 하중재하회수를 피로수명으로 결정하는 방식, 그리고 하중재하회수에 따른 변형률 진폭의 변화를 그래프로 그린 다음 최소 곡률반경이 되는 지점의 하중재하회수를 피로수명으로 결정하는 방식이 있다 (SHRP-A-404, 1994). 본 연구에서는 시편의 강성이 초기 강성의 50%에 도달할 때까지 적용된 하중재하회수를 피로수명으로 결정하였다.

피로수명을 산정하기 위해서는 시편의 강성을 사용하게 되는데 시편의 강성은 수평 인장 변형률의 진폭을 사용하여 계산하게 된다. 피로시험이 진행되는 동안 일반적으로 인장 변형률은 초기에 큰 폭으로 증가되다가 한참동안은 큰 변화가 없으며 파괴에 도달할 때 다시 큰 폭으로 변화하게 된다.

시험 데이터는 시험초기의 50cycles의 값을 계산하여 초기 강성값( $S_{ini}$ )을 구하고, 매 500cycles 마다 데이터를 계산 및 저장하여 초기 강성값 40%가 되면 시험이 끝나도록 하였다.

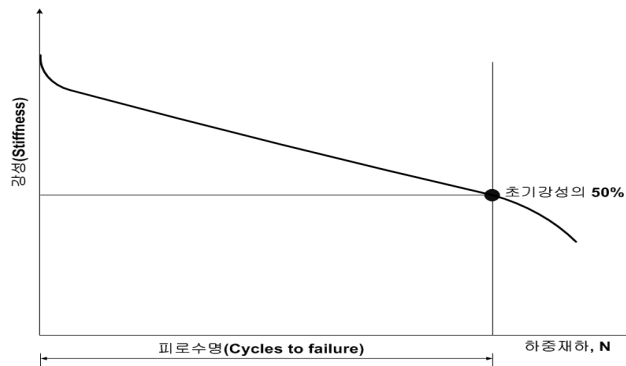


그림 1. 변형률제어 방식에서 파괴의 정의

### 3. 실험 결과

#### 3.1 아스팔트 함량과의 관계

아스팔트 함량 변수는 공극률을 4~6%로 고정된 상태에서 0.5%의 편차를 두어 실험을 진행했다. 실험을 진행한 모든 시편이 혼합물의 강성이 하중재하 횟수가 증가함에 따라 감소함을 보였으며 표 2와 같이 함량이 증가함에 따라 강성은 작아지고, 피로수명은 늘어나는 결과를 나타내었다.

표 2. 아스팔트 함량 변수별 침 피로시험 결과 값

	Micro Strain( $\mu\epsilon$ )	초기강성	Nf	비 고
4.0%	146	9615.40	55,503	
4.5%	152	7682.82	89,502	
5.0%	150	8692.11	127,001	
5.5%	154	4923.40	185,004	

이러한 결과 값은 아스팔트 혼합물의 아스팔트함량이 낮으면 그 배합은 내구적이지 못하고, 아스팔트함량이 많으면 안정적이지 못 함을 보여준다. 혼합물의 아스팔트 함량이 너무 과다하게 되면, 골재 입자간의 내부마찰력이 감소되며, 이로 인해 강성이 작아진다고 판단된다.

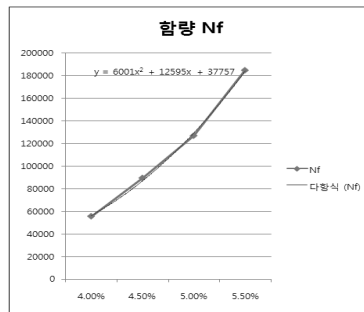


그림 2. 아스팔트 함량 변수의 피로수명 경향

#### 3.2 밀도와와의 관계

아스팔트 밀도(공극률) 실험은 함량을 5.1%로 고정된 상태에서 변수를 1~3%, 4~6%, 7~9%로 두어 실험을 진행했다. 밀도 변수의 경우 표 3과 같이 공극률이 높을수록 시편의 강성이 작아지고, 공극률 4~6% 시편에서의 피로수명이 가장 길게 나오는 결과를 나타내었다.

표 3. 아스팔트 밀도(공극률) 변수별 침 피로시험 결과 값

	Micro Strain( $\mu\epsilon$ )	초기강성	Nf	비 고
1~3%	154	6318.30	340,506	
4~6%	153	4601.00	557,004	
7~9%	153	3772.08	220,010	

혼합물 내의 공극은 공용성과 밀접한 관계가 있는 물리적 성질로서, 본 시험을 통해 공극률이 7~9%(8%) 이상일 때 아스팔트 포장의 조기파손 가능성이 높고, 혼합물의 밀도가 안정도와 내구성에 큰 영향을 미칠 수 있다고 판단된다.

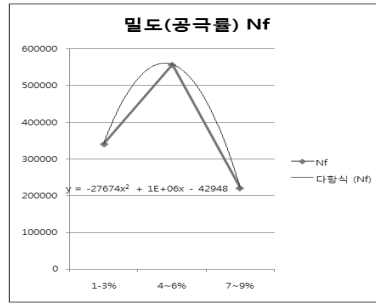


그림 3. 아스팔트 밀도(공극률) 변수의 피로수명 경향

#### 4. 결 론

본 연구에서는 지불규정 인자가 실제 피로균열에 미치는 영향을 검토하였다. 그 결과는 아스팔트 함량, 밀도에 따라 피로파괴의 경향이 뚜렷이 나타났으며 본 연구에서 얻어진 결론을 정리하면 다음과 같다.

1. 지불규정인자의 편차에 따라 피로수명은 일정한 경향을 보였다.

- (1) 아스팔트 함량의 경우 함량이 증가함에 따라 피로수명도 증가함을 보였다.
- (2) 밀도의 경우 밀도가 감소함에 따라 강성은 작아지나, 피로수명의 경우 밀도가 작거나 너무 크면 수명이 줄어드는 경향을 보였다. 공극률 4~6%(5%)에서 현저히 높은 피로수명이 보였는데, 이는 적정 밀도의 범위가 존재하며 밀도가 안정도와 내구성에 큰 영향을 미침을 보였다.

2. 향후 다양한 온도와 스트레인 레벨에서 추가적인 시험을 수행하여 피로수명 예측모형을 통해 변수에 따른 피로공용성 검증이 필요할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

이 논문은 건설교통 R&D 정책·인프라 사업 - 성능중심의 건설기준 표준화과제('06~'11) 연구 결과의 일부입니다. 본 연구의 지원에 감사드립니다.

#### 참고 문헌

1. Asphalt Research Program Institute of Transportation Studies University of California, Berkeley, (1994), "Fatigue Response of Asphalt-Aggregate Mixes", Strategic Highway Research Program
2. 이현중, 박현순, 강민균, (2003) "간접인장시험을 이용한 아스팔트 혼합물의 피로해석", 한국 도로학회 학술대회 논문집
3. 이영호, (2004) "삼축압축 반복재하 시험을 통한 아스팔트 혼합물의 소성변형 특성 연구", 석사학위논문, 경희대학교
4. 한국건설기술연구원, 한국도로공사, (2004) "한국형포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구", 국토해양부
5. 한국건설기술연구원, (2006) "아스팔트포장의 현장 다짐관리 매뉴얼", 국토해양부