

## 굵은 골재 종류에 따른 포장 콘크리트의 피로특성

# Fatigue Characteristics of Pavement Concrete Considering Coarse Aggregate Types

김 성 권\* 김 동 호\*\* 윤 병 성\*\*\* 이 봉 학\*\*\*\*  
Kim, Seong-Kwon Kim, Dong-Ho Yun, Byung-Sung Lee, Bong-Hak

### Abstract

It is the purpose of this study to identify comprehensive fatigue characteristics of pavement concretes considering coarse aggregate types. The types of coarse aggregates considered are limestone, sandstone and granite, which are the most representative stones in Korea

The static strength tests were carried out to check the compressive strength, flexural strength at 7 and 28 days, and split tension strength at 56 day in order to minimize the various effect of strength during the test. The results are follows:

The comprehensive fatigue models of pavement concretes were developed considering coarse aggregate types. The developed model showed a good relationship between aggregate types. The fatigue models with coarse aggregate types were shown, respectively. The combined fatigue models was also shown.

**키워드** 피로특성, 골재 종류, 조깅인장강도

**Keywords** : *fatigue characteristics, aggregate types, split tension strength*

### 1. 서론

우리나라의 도로포장 형태중 전 구간이 콘크리트로 포장된 대구-광주간의 88고속도로가 콘크리트 포장의 효시라 할 수 있고, 이 고속도로는 준공 이후 개통한지 20여 년이 되어간다. 콘크리트 포장의 공용수명인 20여 년이 가까워짐에 따라 콘크리트 포장의 유지관리 및 보수공법, 신설 콘크리트 포장의 공용성 예측에 대한 관심이 고조되고 있는 실정이다. 포장 공용성은 유지관리의 시기, 유지관리 형태 등에 따라 좌우되며 적절한 시기에 있어

서 유지관리는 포장의 파손을 방지할 수 있으나 유지관리가 소홀하게 되면 파손의 정도가 심화되어 보수보강의 경제적 비용이 상당히 가중된다. 즉, 포장을 효율적으로 관리하고 장기적인 보수계획 수립을 통한 포장수명 및 기능향상을 위하여 포장 공용성 예측모형의 개발이 필요한 실정이다.

현재 국내에서는 콘크리트 포장의 피로파손 연구는 상당히 미흡하며 고유 설계법이 없는 실정이다. 그래서 최근 고유 설계법 개발을 위하여 시험도로 건설과 더불어 “한국형 포장설계법 개발과 포장 성능 개선 방안” 연구가 활발히 진행되고 있다. 포장 설계법 개발에 있어서 피로파손 모형은 포장 설계법 개발의 연구 일환으로써 필수적이라 할 수 있다.

따라서, 본 논문에서는 콘크리트 포장의 피로파손 모형의 개발에 있어 국내 대표적인 암종에 대하여 콘크리트 포장의 주요 파손 원인 중 교통하중과 관련된 피로관열을 모사하기 위하여 피로실

\* 강원대학교 토목공학과, 석사과정  
\*\* 강원대학교 토목공학과, 공학박사 후 과정  
\*\*\* 한국도로공사 도로교통기술연구원, 석사과정  
\*\*\*\* 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사

험을 실시하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험개요

본 연구에서는 국내의 대표적인 암종인 화강암, 석회암, 사암에 따른 콘크리트 포장의 피로특성을 파악하기 위하여 수행되었으며 특히 화강암의 경우에는 기존에 연구되어진 자료를 바탕으로 하였다.

### 2.2 재료특성

실험을 위하여 콘크리트 배합에 사용된 시멘트는 강원도 영월군 서면에서 생산되는 국내 S사 1종 보통포틀랜드 시멘트 제품이며 사용된 굵은 골재는 석회암의 경우 입도에 맞추기 위해서 19mm, 25mm, 32mm의 골재를 1:1:3의 비율로 혼합하여 사용했으며, 사암의 경우는 19mm와 40mm의 골재의 비율을 1:1로 혼합하여 사용하였다. 국내 S사의 제품인 AE감수제 표준형(LIGACE-CA)을 사용하였다.

### 2.3 콘크리트 배합

석회암과 사암에 대한 콘크리트 배합은 중부내륙고속도로의 시험도로에서 사용된 배합을 기본으로 하여 콘크리트 배합된 골재의 입도와 함수상태를 보정하여 실험을 실시하였다. 콘크리트의 배합에서 재료의 투입순서는 굵은 골재와 잔골재 및 시멘트를 믹서기 내에 투입 한 후 1분간 건비빔을

## 2.4 실험방법

### 2.4.1 정적강도 측정

압축강도 측정은 KS F 2405 규정에 의하여 실험을 하였으며, 쪼갠인장 강도는 KS F 2423, 휨강도 측정은 KS F 2408에 의하여 측정하였다. 압축강도와 휨강도 측정은 7일과 28일 강도를 측정하였으며 쪼갠인장강도 측정은 피로실험 하기 전 재령 56일에 측정하였다.

### 2.4.2 쪼갠인장 피로시험

쪼갠인장 피로실험은  $\phi 15 \times 30$ cm의 원주형 시험체를 제작한 후  $\phi 15 \times 7.5$ cm가 되도록 절단한 후 버어너이 캘리퍼스를 이용하여 시험체의 두께에 대한 측정오차가  $7.5 \pm 0.2$ cm 이내가 되는지 측정된 후 실험에 사용하였다.

또한, 시험체가 가압판 위에서 편심이 되지 않도록 하고 가압판과 공시체 사이 균등한 하중전달과 시험체의 국부적인 파괴를 막기위해 3cm 두께의 가압판을 설치하여 실험하였다.

실험은 피로실험 기간동안 강도의 증진현상을 최소화하기 위하여 시험체를 재령28일까지 수중양생한 후 56일까지 공기 중 양생하여 정적 강도 측정결과로부터 응력수준을 계산하여 피로실험에 적용하였다. 또한, 피로하중 재하시 초기 평균하중까지 도달시간은 실험적으로 결정한 20초를 가하여 시험체의 손상을 방지하고자 하였으며, 실험의 종료는 200만 사이클까지 수행하였다.

표 1 콘크리트 배합표

[단위 : kg/m<sup>3</sup>]

구분	물/시멘트비 (%)	잔골재율 (%)	단위수량 (kg)	단위시멘트량 (kg)	잔골재 (kg)	굵은골재(kg)			AE 감수제 (g)
						G1 32mm	G2 25mm	G3 19mm	
화강암 배합	42.3	37.7	144	340	682	660	-	532	510
석회암 배합	42.3	37.7	144	340	687	723.6	241.2	241.2	510
사암 배합	42.3	37.7	144	340	687	590.5	-	590.5	510

실시한 후, 혼화제를 배합수에 희석하여 투입 한 후 콘크리트를 배출하였다. 본 연구에 사용된 콘크리트의 배합표는 표1과 같다.

본 연구에서 수행된 피로시험은 일정진폭 하중을 받는 콘크리트의 피로시험으로 일정진폭 하중은 일정한 주기와 진폭의 하중이 지속적으로 작용

되는 경우이다 이때, 콘크리트의 피로실험에 작용되는 하중재하 속도는 20Hz와 경현파를 적용하였으며 응력비는 적용 최대응력에 대한 최소응력의 비로써 0.1로 하였다

그림 1은 Instron 장비를 이용하여 쪼갬인장 피로시험을 수행하는 장면을 나타낸다

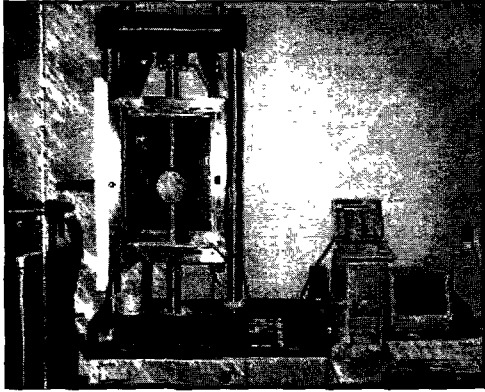


그림 3 쪼갬인장 피로시험 전경

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 강도측정결과

##### 3.1.1 압축강도

압축강도는  $\varnothing 15 \times 30$ cm 의 원주형 몰드로 제작한 시험체(석회암, 사암)를 24시간 이후에 탈형하여 표준으로 하는 양생온도  $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 의 수조에서 수중 양생하여 재령 7일과 28일에 200톤 용량의 단능저료시험기를 이용하여 강도실험을 실시하였다 이때 콘크리트 시험편의 양단을 연마기를 사용하여 수평하게 유지시킴으로써 편심의 영향을 최소화하였다

각각 3개의 시험체(석회암, 사암)에 대한 재령 7일과 28일에 측정된 압축강도는 재령 7일에서 석회암과 사암이 각각  $243 \text{ kgf/cm}^2$ 과  $228 \text{ kgf/cm}^2$ , 재령 28일의 경우에는 석회암이  $289 \text{ kgf/cm}^2$ , 사암은  $249 \text{ kgf/cm}^2$ 로 나타났다.

##### 3.1.2 쪼갬인장 강도

쪼갬인장강도 측정은 KS F 2423 규격에 의하여 실시하였으며 쪼갬인장 피로실험의 응력수준으로 적용하기 위해 동일한 조건이 되도록  $\varnothing 15 \times 30$ cm의 시험체를 제작한 후  $\varnothing 15 \times 75$ cm로 절단하여 실험을 실시하였다. 또한 시험체가 국부적인 파괴와 하중전달을 균등하게 하고 편심의 영향을 없애

기 위하여 3mm 두께의 가압판을 설치하여 실험을 실시하였다

각각 5개의 시험체(석회암, 사암)에 대한 재령 56일의 쪼갬인장강도의 결과를 살펴보면, 석회암은  $42 \text{ kgf/cm}^2$ 로 나타났고 사암의 경우는  $43 \text{ kgf/cm}^2$ 로 나타났다.

#### 3.1.3 휨강도

휨강도 측정은 재령 28일 3등분점 하중재하 방식으로 시험하였다. 콘크리트 포장의 경우 휨강도가 설계기준강도이며, 재령 28일 휨강도  $45 \text{ kgf/cm}^2$ 을 기준으로 하고 있다.

각각 3개의 시험체(석회암, 사암)에 대한 휨강도를 살펴보면, 재령 7일째 석회암은  $42 \text{ kgf/cm}^2$ , 사암은  $44 \text{ kgf/cm}^2$ , 재령 28일째 석회암은  $46 \text{ kgf/cm}^2$ , 사암은  $48 \text{ kgf/cm}^2$ 로 콘크리트 포장의 설계기준을 만족하는 것으로 나타났다

### 3.2 골재 종류에 따른 피로시험 결과

콘크리트 피로실험 결과는 실험 데이터가 통계적인 분산성이 크기 때문에 합리적인 해석이 요구된다. 따라서, 각 응력수준별 15개의 시험체를 실험하여 분산성이 큰 결과치는 제외함으로써 분석을 실시하였다 즉, 결정계수  $R^2$  이 0.9이상 해당되지 않는 데이터(†)와 피로수명이 200만회까지 파괴되지 않는 데이터(‡)는 각각 제외한다는 두 가지 기준으로 분석하였다 다음의 표 2는 압중에 대한 피로시험 데이터를 나타낸 것이다

#### 3.2.1 화강암에 따른 피로시험 결과

그림 2는 화강암 골재에 대한 피로시험 데이터를 S-N 선도로 나타낸 것이며, 시험데이터의 분석을 통하여 식(1)의 피로모형을 도출하였다 이 관계식으로부터 각 응력수준별 피로수명과 200만회 및 1,000만회의 피로강도를 계산하여 나타낸 것이 표 3이다

$$\ln(N_F) = 33.047 - 29.07(S) \quad (1)$$

표 2 암중에 따른 조깅인장 피로시험 결과

시험체 번호	피로수명								
	화강암			석회암			사암		
	용력수준 (90%)	용력수준 (80%)	용력수준 (70%)	용력수준 (90%)	용력수준 (80%)	용력수준 (70%)	용력수준 (90%)	용력수준 (80%)	용력수준 (70%)
1	†132	†2,383	†15,217	†58	†598	†4,957	†57	†116	†33,830
2	†241	9,960	†45,962	†62	†1,167	†46,201	†62	†183	†67,200
3	416	12,320	†72,849	†115	†1,274	†89,182	114	†2,033	79,598
4	477	15,033	107,516	†116	†3,362	127,395	164	8,584	84,173
5	622	22,181	117,349	229	8,776	155,371	168	9,815	89,320
6	1,036	23,352	124,399	230	13,243	260,066	191	14,506	187,021
7	1,656	25,171	183,767	470	14,974	296,052	228	16,959	342,035
8	1,716	35,747	203,184	598	36,118	385,102	285	19,046	424,214
9	2,205	40,113	239,396	600	38,080	602,083	597	21,503	493,420
10	2,397	40,767	299,816	839	39,079	662,476	598	36,538	500,189
11	2,582	59,458	374,390	962	51,902	934,041	616	45,081	765,130
12	2,640	†61,424	519,747	1,342	64,385	986,388	1,050	57,357	807,659
13	†4,111	†94,688	567,747	1,394	76,292	1,468,088	†4,929	113,879	2,000,000
14	†5,679	†114,321	†1,494,864	2,257	88,275	†2,000,000	†6,066	†403,083	†2,000,000
15	†5,913	†122,016	†2,000,000	†2,457	†112,712	†2,000,000	†10,119	†943,375	†2,000,000

표 3 화강암 골재에 따른 피로수명 및 피로강도

구분 (화강암)	용력수준별 피로수명 (Cycles)				피로강도(%)	
	90%	80%	70%	60%	200만회	1,000만회
조깅인장 피로실험	976	17,872	327,093	5,986,395	63.77%	58.23%

표 4 석회암 골재에 대한 피로수명 및 피로강도

구분 (석회암)	용력수준별 피로수명 (Cycles)				피로강도(%)	
	90%	80%	70%	60%	200만회	1,000만회
조깅인장 피로실험	652	22,340	765,055	26,200,055	67.28%	62.73%

표 5 사암 골재에 대한 피로수명 및 피로강도

구분 (사암)	용력수준별 피로수명 (Cycles)				피로강도(%)	
	90%	80%	70%	60%	200만회	1,000만회
조깅인장 피로실험	301	12,915	554,357	23,794,438	66.59%	62.31%

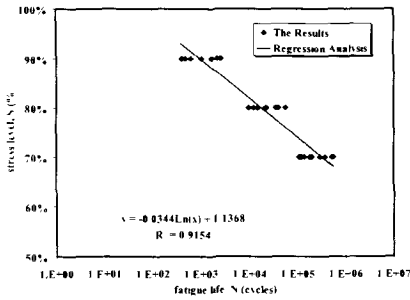


그림 2 화강암 골재에 대한 S-N 선도

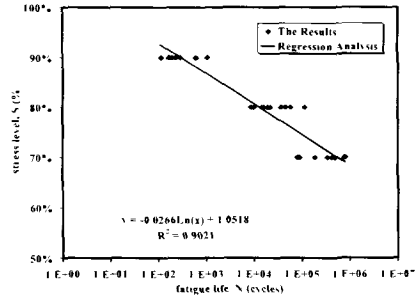


그림 4 사암 골재에 대한 S-N 선도

3.2.2 석회암에 따른 피로시험 결과

그림 3은 석회암 골재에 대한 피로실험 데이터를 S-N 선도로 나타낸 것이며, 실험데이터의 분석을 통하여 식(2)의 피로모형을 도출하였다. 이 관계식으로부터 각 응력수준별 피로수명과 200만회 및 1,000만회의 피로강도를 계산하여 나타낸 것이 표 4이다

$$\ln(N_F) = 38.283 - 35.336(S) \quad (2)$$

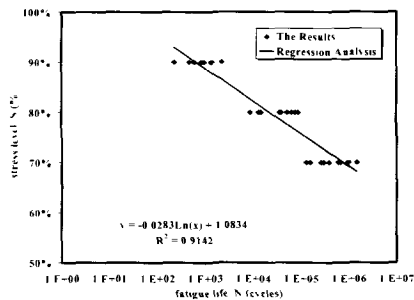


그림 3 석회암 골재에 대한 S-N 선도

3.2.3 사암에 따른 피로시험 결과

그림 4는 사암 골재에 대한 피로실험 데이터를 S-N 선도로 나타낸 것이며, 실험데이터를 분석하여 식(3)의 피로모형을 도출하였다. 석회암 골재와 마찬가지로 이 관계식으로부터 각 응력수준별 피로수명과 200만회 및 1000만회의 피로강도를 계산하여 나타낸 것이 표 5이다

$$\ln(N_F) = 39.541 - 37.594(S) \quad (3)$$

3.3 통합피로 모형

본 절에서는 석회암과 사암 그리고 콘크리트 포장에 많이 사용되는 화강암의 골재를 통합하여 종합적인 모형을 제시하고자 한다 여기서 화강암에 대한 자료는 기존에 연구된 자료를 이용하였다

그림 5는 피로실험 데이터를 종합하여 도시한 S-N 선도로써 이를 종합한 피로모델은 식(4)와 같이 도출하였다 그리고 결정계수  $R^2=0.8942$ 로 비교적 양호한 상관성을 나타내고 있다 이 식을 이용하여 응력수준별 피로수명과 200만회 및 1000만회의 피로강도를 계산하여 나타낸 것이 표 6이다

$$\ln(N_F) = 37.439 - 34.602(S) \quad (4)$$

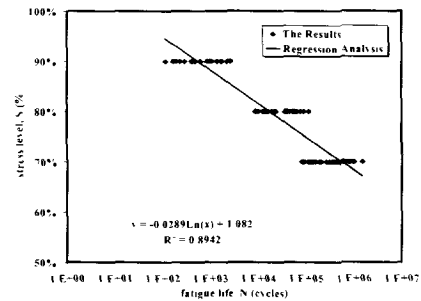


그림 5 통합 골재에 따른 S-N 선도

4. 결론

따라서 본 논문에서는 콘크리트 포장의 교통하중을 모사한 피로파손 모델을 개발하기 위하여 국내 대표적인 압중에 대하여 조깅인장 피로실험을 실시하였으며, 각 골재별 피로모형과 통합 피로모형을 제시하고자 한다.

(1) 골재 종류에 따른 석회암, 사암에 대해 기존에 제안된 조깅인장 피로실험을 실시하여 피로모형을 도출하였다.

표 6 통합골재에 따른 피로수명 및 피로강도

구분 (통합)	응력수준별 피로수명 (Cycles)				피로강도(%)	
	90%	80%	70%	60%	200만회	1,000만회
조깅인장 피로실험	543	17,281	549,959	17,501,549	66.26%	61.61%

(2) 한국의 대표적 암종인 석회암, 사암의 피로 실험 결과는 토대로 각각의 S-N 선도, 피로모형 그리고 골재에 따른 피로수명 및 피로강도를 제시 하였다.

(3) 기존에 연구된 화강암의 조깅인장 피로실험 결과 데이터의 상관성은 양호하게 나타났으며, 이 모든 골재를 종합하여 통합 피로모형을 도출하였다.

본 연구는 콘크리트 포장 설계법 개발에 있어서 설계법 개발의 연구일환으로써 필수적이라 생각되며, 계속적으로 자료를 축적한다면 정확한 포장 파손을 예측 할 수 있을 것으로 사료된다.

### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 지정 강원대학교 부설 "석재 복합 신소재 제품연구센터에서의"의 협조에 의해 이루어진 것으로 이기 감사 드립니다.

### 참 고 문 헌

- [1] 최창식, 김동호, 김성환, 윤경구, "휨과 조깅인장 피로시험을 이용한 포장용 콘크리트의 피로 해석", 한국도로포장공학회 학술발표회 논문집, pp. 169-176, 2002.
- [2] 최창식, 김동호, 김성환, 이주형, 윤경구, "휨 피로시험을 이용한 포장용 콘크리트의 피로 해석", 한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, pp.401-406, 2002.
- [3] 김동호, 김경진, 이봉학, 윤경구, "확률론적 개념을 이용한 일정진폭 조깅인장 반복하중을 받는 포장용 콘크리트의 피로 해석", 대한토목학회 학술발표회 논문집, 2002.
- [4] 김동호, 김성환, 이주형, 윤경구, "조깅인장 반복하중을 받는 포장용 콘크리트의 피로해석", 한국도로포장공학회 학술발표회 논문집, pp. 149-156, 2002.
- [5] Cowher, C. E. and T. W. Kennedy, "Cumulative Damage of Asphalt Materials under Repeated-Load Indirect Tension".

Center for Highway Research, Research Report 183-3, 1975.

- [6] Holmen, J. O., "Fatigue of Concrete by Constant and Variable Amplitude Loading", ACI Publication SP75-4, pp.71-110, 1982.
- [7] Kyong-Ku Yun, Dong-Ho KIM, Kwang W. KIM, "Fatigue Behavior of Pavement Concrete by Split Tension Fatigue Test", THE 82nd ANNUAL MEETING, TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, WASHINGTON, D.C., January 2003.
- [8] Oh, B H., "Fatigue-Life Distribution of Concrete for Various STress Levels", ACI materials Journal, Title no. 88-M-15, pp.122-128, 1991.
- [9] Stock, A. F., "Concrete Pavement", ELSEVIER APPLIED SCIENCE., 1988.