

줄눈콘크리트 포장 가로줄눈부의 피로수명

The Fatigue Life of Transverse Joint of Concrete Pavement

황 승 의* 송 준 호** 고 영 주*** 배 주 성****
Hwang, Seung-Eui Song, Jun-Ho Go, Young-Ju Bae, Ju-Seong

Abstract

This paper presents the fatigue life of transverse joint of concrete pavement with the fatigue model test. A 1/12 scale model was used to satisfy the geometric load, material similitude, which are variables to the skew angel of transverse joint. From the test results by fatigue load 700kgf applied, we can have that the fatigue life of transverse joint with skew angle is better than that of transverse joint without skew angle. In addition, we can have that the fatigue life of skewed transverse joint with angle of 10 degree is better than that of skewed transverse joint with angle of 20 degree.

Keywords : skewed transverse joint, jointed concrete pavement, fatigue life, model test.

1. 서 론

줄눈콘크리트 포장의 취약부는 가로줄눈부이며, 가로줄눈부의 단차를 줄여 하중전달을 향상시키기 위해 다우웰바를 설치하여도 손상의 대부분은 가로줄눈부에서 발생하고 있다. 따라서 포장 수명을 연장시키려면 가로줄눈부의 구조적 거동에 관한 연구가 수행되어야 한다. 줄눈콘크리트 포장 가로줄눈을 경사지게

설치하면 한번에 하나의 윤하중만 통과하므로 줄눈 단차의 영향을 최소화하여 도로의 주행성을 향상시킬 수 있다.⁽⁵⁾⁽⁷⁾ 따라서 본 연구에서는 모형시험체 가로줄눈부의 경사각을 0도, 10도 및 20도로 변화시켜 제작하여, 피로실험을 통해 가로줄눈부의 피로수명을 파악하고자 한다. 실험 포장체를 1/12 크기로 상사한 모형시험체를 제작하여 실내 모형실험을 수행하였다.

* 정희원, 한국전기안전공사, 공학박사

** 정희원, 전북대학교 대학원 토목공학과 박사과정

*** 정희원, 신성대학, 토목공학과 조교수, 공학박사

**** 정희원, 전북대학교, 토목·환경공학부 교수, 공학박사

E-mail : ogsky@hanmail.net 011-9881-3753

• 본 논문에 대한 토의를 2003년 3월 31일까지 학회로 보내 주시면 2003년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

이러한 축소모형실험은 극한강도 모델을 사용하여 현장실험의 결과와 기하, 하중 및 재료상사성이 만족해야한다.^{(3),(4),(6)} 그러므로 축소모형시험체는 기하, 하중 및 재료상사성을 만족하도록 제작하였다. 재하방법은 고속도로 설계기준인 표준트럭의 접지면적을 상사법칙에 근거하여 피로하중을 재하하였으며, 선형변환계(Linear Variable Differential Transformer : LVDT)와 스트레인게이지를 이용하여 포장 슬래브의 처짐과 변형률을 측정하였다.

2. 모형시험체의 상사

본 연구에서는 1/12의 상사율로 적용하여 모형시험체의 제작 및 실험을 수행하였으며, 기하, 하중 및 재료에 대한 상사율은 Table 1에 나타냈다.

2.1 하중상사

실제 포장체에 작용하는 하중은 이동하중이나 본 실험에서는 교통하중이 줄눈부에 인접하였을 때 반복하중으로 실험을 실시하였다. 현재 고속도로 포장설계시 적용하는 하중의 크기는 AASHTO의 등가단축하중

Table 1 모형시험체의 상사율

	물리량	차원	상사율	진모델
하중	집중하중	F	$S_E S_L^2$	1/144
	Line하중	FL^{-1}	$S_E S_L$	1/12
	압력	FL^{-2}	S_E	1
중량	모멘트	FL	$S_E S_L^3$	1/1728
	전단력	FL^{-2}	$S_E S_L^2$	1/144
해책량	길이	L	S_L	1/12
	처짐	L	S_L	1/12
	회전	-	1	1
	면적	L^2	S_L^2	1/144
	단면2차모멘트	L^4	S_L^4	1/20736
재료물리량	응력	FL^{-2}	S_E	1
	탄성계수	FL^{-2}	S_E	1
	포아손비	-	-	1
	질량	FL^{-3}	S_E / S_L	12
	변형	-	-	1

※ SE : 탄성계수의 축척계수, SL : 길이의 축척계수

(Equivalent Single Axial Load : ESAL)인 8.2tf (18kips)를 기준으로 하고있다.⁽²⁾ 바퀴사이의 거리는 180cm(6ft)이고, 타이어의 접지압은 6.3kgf/cm²(90psi)의 크기로 작용하게 된다. 1/12상사율로 적용한 하중 크기는 Table 2와 같다.

2.2 기하 상사

본 연구에서 사용한 시험체는 고속도로 표준도의 줄눈콘크리트 포장의 주행차선을 근거로 하여 제작하였다. 실제 포장 크기에 상사율 1/12를 적용한 모형슬래브의 크기는 Table 3과 같다. 일반적으로 실물포장체에 사용하는 다우웰바는 항복강도가 3000kgf/cm²(SD30) 이상이며, 직경은 32mm, 길이 50cm, 간격 30cm로 한다.⁽¹⁾ 본 연구에 사용한 모형 다우웰바의 제원은 1/12의 상사율을 적용하여 Table 4에 나타냈다.

2.3 재료상사

현재 고속도로의 시멘트콘크리트 포장 배합설계기준과 동일한 방법으로 제작한 원형공시체와 골재의 최대

Table 2 모형시험체의 하중상사

구분	실물포장체	모형시험체
압력하중	6.3kgf/cm ² (90psi)	6.3kgf/cm ² (90psi)
재하면적	1300cm ² (200in ²)	9.03cm ² (1.39 in ²)
하중크기	8.2tf(18kips)	57kgf(0.125kips)

Table 3 모형슬래브 1개의 크기(단위:cm)

구분	실물 포장체	모형슬래브
슬래브 두께	30	2.5
슬래브 폭	360	30
슬래브 길이	600	50

Table 4 모형다우웰바의 제원(단위 : mm)

구분	실제다우웰바	모형다우웰바
직경	32	2.5
길이	500	42
간격	300	25

Table 5 원형 및 모형콘크리트 강도시험 결과(단위 : kgf/cm²)

구 분	원형콘크리트	모형콘크리트
압축강도	396.32	389.26
인장강도	36.00	34.93
탄성계수	298916	295945

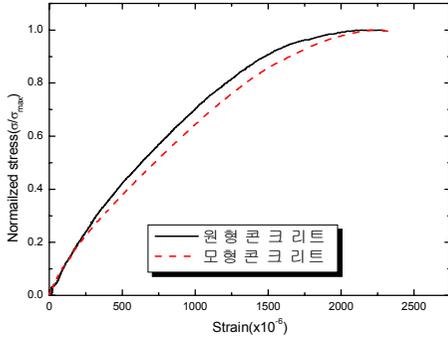


Fig. 1 원형 및 모형콘크리트의 응력-변형률 곡선

치수를 축소하고 W/C, C/a, S/a를 변수로 한 모형 공시체의 응력-변형률 관계로부터 모형콘크리트 배합비를 도출하였다. 원형과 모형콘크리트의 강도시험 결과 및 응력-변형률곡선을 Table 5와 Fig. 1에 나타냈다.

3 모형시험체의 제작

3.1 사용재료 및 배합

원형콘크리트에서는 골재의 최대치수가 40mm인 쇄석을 사용하였으나, 모형콘크리트는 상사성 확보를 위하여 No.4체를 통과하고 No.10체에 잔류한 것을 굵은골재로 사용하였고, No.10체를 통과한 골재를 잔골재로 결정하였다. 또한 원형 및 모형 콘크리트 제작에 사용한 시멘트는 1종 보통포틀랜드 시멘트이다. 시멘트 및 골재의 물리적 특성은 Table 6과 같고, Table 7에 모형슬래브의 배합표를 나타냈다.

Table 6 시멘트 및 골재의 물리적 특성

구 분	시멘트	골재
분말도	3,300 cm ² /g	-
비중	3.15	2.58
흡수율	-	2.20 %
조립율	-	3.075

Table 7 모형슬래브의 제작 배합표

C/a (%)	S/a (%)	W (kg)	C (kg)	Sm (kg)	Gm (kg)	AE계 (g)	유동화제 (g)
17	49	176.5	353	808.4	1267.3	706	3530

Table 8 모형슬래브의 제작현황

슬래브 명	가로줄눈부의 경사각	개수	피로중하중
SF-0슬래브	0도	2	700kgf
SF-10슬래브	10도	2	
SF-20슬래브	20도	2	

3.2 모형슬래브의 제작

모형슬래브의 제작은 가로줄눈부의 경사각을 변수로 하여 총 6개를 제작하였다. 모형시험체의 제작현황을 Table 8에 나타냈다.

상사율에 따라 1/12로 축소한 2개의 모형슬래브를 Fig. 2 및 Fig. 3과 같이 가로줄눈부로 연결하여 총 100cm 길이로 제작하였다. 모형다우웰바는 항복강도가 3000kgf/cm²(SD30)이상이며, 직경 2.5mm, 길이 42mm, 간격 25mm로 제작하여 28mm까지 팽유칠을 하였다. 가로줄눈의 경사각을 0도, 10도 및 20도로 변화시켰으며, 포장체의 가로줄눈을 만들기 위해 폭 0.7mm, 깊이 6.0mm가 되도록 강판을 콘크리트 타설 전에 설치하였다. 이 강판은 콘크리트 타설 후 경화하기 시작한 7~8시간 후에 제거하였다. 모형포장체의 단부의 습윤 현상을 제어하고 건조수축에 의해 발생하는 인장응력을 모사하기 위해 인장바를 매설하였다. 콘크리트 타설 후, 모형시험체의 습윤 상태를 유지하기 위하여 양생포로 보호하고 주기적으로 살수하였다. Fig. 2 및 Fig. 3은 모형슬래브의 제원을 나타냈다.

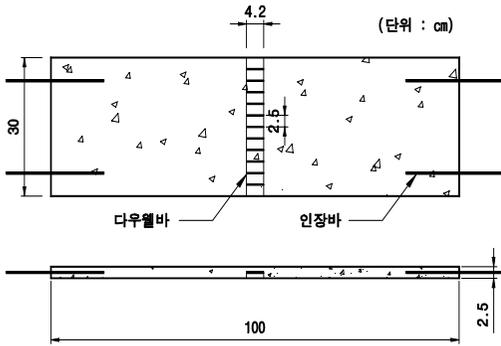


Fig. 2 SF-0슬래브의 제원

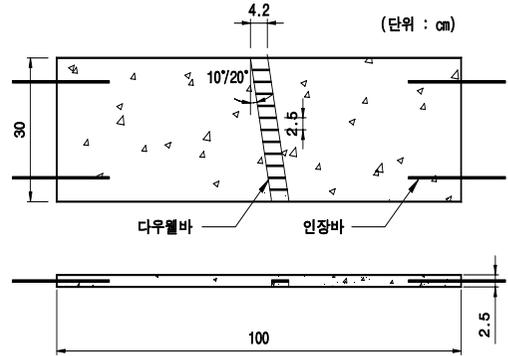


Fig. 3 SF-10 및 SF-20슬래브의 제원

3.3 지반조건 모사

줄눈콘크리트 포장 하부에 위치하는 노상 및 보조기층의 지반조건을 모사하기 위하여 20cm 두께의 base box를 제작하여 모형노상의 입도를 조절하고 최적함수비에 따라 층다짐을 실시하였다. 다짐도 확인을 위해 현장밀도 시험을 실시하여 고속도로의 노상 다짐도 95%이상 확보하도록 하였으며, 모형보조기층은 입도와 함수비를 관리하여 실내CBR 80% 이상의 균일한 지지력을 얻도록 하였다.

4. 시험장비 및 시험방법

4.1 하중장치 크기 및 재하방법

본 연구에서 재하하중은 700kgf로, 재하속도는 10Hz로 피로실험을 실시하였다. SF-0, SF-10, SF-20 슬래브의 정적파괴하중이 각각 900kgf, 1,100kgf, 1,000kgf였으므로 본 연구 피로실험 재하하중은 정적파괴하중의 각각 77.8%, 63.6% 및 70.0%에 해당된다. Fig. 4는 차륜하중을 1/12의 상사율로 모형화한 하중판의 크기 및 재하위치를 나타내고 있으며, Fig. 5는 실험의 전반적인 재하장치 구성도이다.

4.2 시험장비 및 게이지 측정위치

본 실험에서 사용한 시험장비는 Table 9에 나타냈

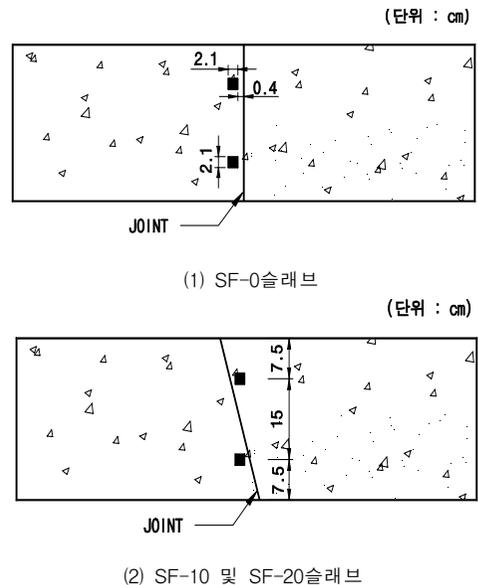


Fig. 4 SF-0, SF-10 및 SF-20슬래브 하중판의 크기 및 재하위치

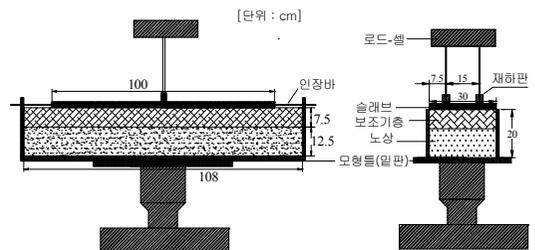


Fig. 5 재하장치도

Table 9 본 연구에 사용된 시험기기

시험기기	규격	사용목적
인장시험기	Instron 4483	다우웰바 인장시험
만능시험기	Shimadzu 100ton	원형공시체압축 및 인장 시험
만능시험기	Instron 332, 20ton	모형시험체 피로하중 실험
Dater Logger	UCAM-20PC	Data 취득
Strain gauge	8.0mm	슬래브의 변형률 측정
LVDT	50mm	슬래브의 처짐 측정



Fig. 6 SF-0슬래브의 처짐 및 변형률 측정위치

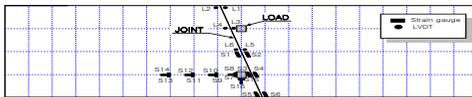


Fig. 7 SF-10, SF-20슬래브의 처짐 및 변형률 측정위치



Photo 1 실험장치 완료후 전경

으며, 슬래브에 700kgf의 피로하중이 작용할 때 재하측 슬래브와 비재하측 슬래브의 처짐과 하중 전달기능을 파악하기 위해 대칭으로 총 6개의 LVDT를 설치하였다. 스트레인게이지는 총 14~16개를 슬래브 상면에 설치하였다. 슬래브별 측정 게이지 부착위치는 각각 Fig. 6 및 Fig. 7과 같다. Photo 1은 각종 계측장치를 부착한 전체적인 실험의 광경이다

5. 실험결과 및 분석

가로줄눈의 경사각이 각각 0도, 10도 및 20도인 SF-0, SF-10, SF-20슬래브에 대해 재하속도 10Hz, 하중크기는 700kgf로 피로실험을 실시하여 가로줄눈부의 피로수명을 분석하였다.

초기에는 50만회마다 변형률을 측정하였으며, 슬래브의 피로파괴 부근에서는 피로하중 10만회마다 스트레인 게이지 1개 Channel에 50개의 측정자료 중 최대 변형률을 실험결과로 이용하였다.

SF-0슬래브는 11개, SF-10, SF-20슬래브는 13개 측정점을 선정하고, 변위계를 통해 측정한 피로횟수 증가에 따른 변형률의 결과를 슬래브별로 정리하여 Fig. 8~Fig. 10에 나타냈다. Fig. 11~Fig. 13은 SF-0, SF-10, SF-20슬래브의 피로하중에 의한 균열도이다. 피로하중에 의한 슬래브의 균열은 변형률의 변화와 육안에 의한 관찰을 병행하여 판단하였다.

SF-0슬래브는 170만회까지 피로실험을 실시하였으며, Fig. 8(a) 및 Fig. 8(b)에 나타난 바와 같이 피로횟수 160만회에서 모든 변형률이 크게 변화하였는데, 이는 150만회 때 슬래브에 균열이 발생하여 나타난 결과라고 생각된다.

Fig. 11의 SF-0슬래브의 균열도를 보면 하중 재하측 슬래브에서 150만회 때 횡방향으로 균열이 관통되었으며, 추가적으로 160만회 때 3곳에서 균열이 발생하였다. 또한 비재하측 슬래브에서도 160만회 때 종방향으로 균열이 발생하여 횡방향으로 균열이 관통되었다. 따라서 변형률과 균열도를 고려하여 볼 때 SF-0슬래브의 피로파괴횟수는 150만회라고 판단하였다.

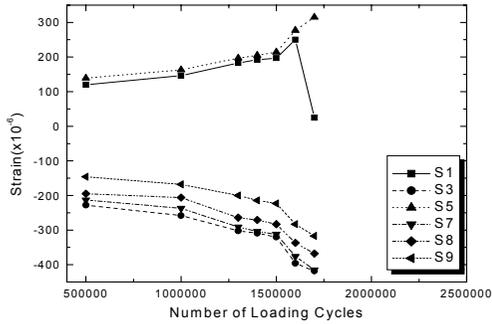


Fig. 8(a) SS-0슬래브의 피로횟수 증가에 따른 변형률

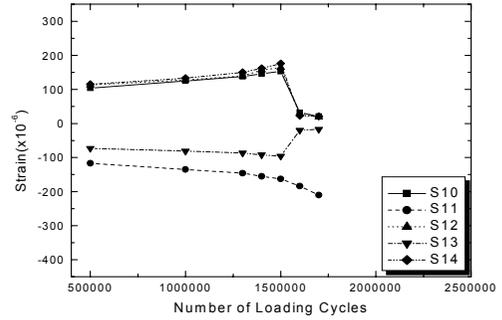


Fig. 8(b) SF-0슬래브의 피로횟수 증가에 따른 변형률

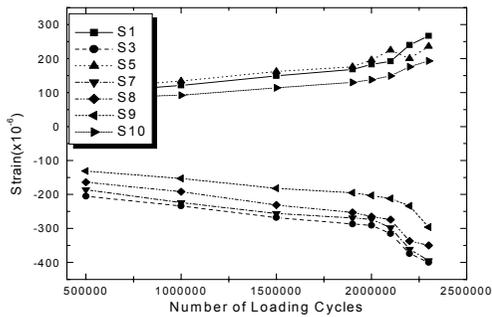


Fig. 9(a) SF-10슬래브의 피로횟수 증가에 따른 변형률

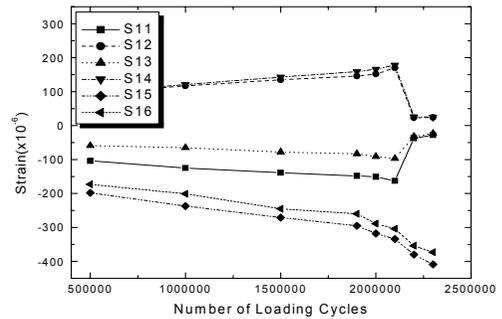


Fig. 9(b) SF-10슬래브의 피로횟수 증가에 따른 변형률

SF-10슬래브는 230만회까지 피로실험을 실시하였으며, Fig. 9(a) 및 Fig. 9(b)에 나타난 바와 같이 220만회 때 모든 변형률이 크게 변화하였는데, 이는 210만회 때 발생한 슬래브의 균열 때문이라고 생각된다.

Fig. 12의 균열도에 나타났듯이 균열이 190만회 때 좌측 슬래브 예각부에서 발생하여 우측 슬래브 예각부에서는 210만회 때 파괴가 일어났다. 또한 210만회 때 우측 슬래브에서 횡방향 균열이 관통하였으며, 좌측 슬래브 가장자리에서는 210회 때 균열이 발생하여, 220만회 때 횡방향으로 균열이 관통하였다. 슬래브 중앙부에서 양측 슬래브로 종방향 균열이 220만회 때 발생하였다. 따라서 변형률과 균열도를 고려하여 볼 때 SF-10슬래브의 피로파괴 횟수는 210만회라고 판단하였다.

SF-20슬래브는 220만회까지 피로실험을 실시하였으며, Fig. 10(a)~Fig. 10(b)에 나타난 바와 같이 200만회 때 S1 및 S13을 제외한 모든 변형률이 크게 변화하였는데, 이는 190만회 때 발생한 슬래브의 균열 때문이라고 생각된다. Fig. 13의 균열도를 보면 균열이 180만회 때 우측 슬래브 예각부에서 발생하여 190만회 때 좌측 슬래브 예각부까지 균열이 관통하였고, 210만회 때 우측 슬래브에서 추가적인 예각부 균열이 발생하였다. 또한 200만회 때 우측 슬래브에서 횡방향 균열이 발생하여 210만회 때 관통되었으며, 좌측 슬래브에서는 210회 때 균열이 횡방향으로 관통하였다. 따라서 변형률과 균열도를 고려하여 볼 때 SF-20슬래브의 피로파괴횟수는 190만회라고 판단하였다.

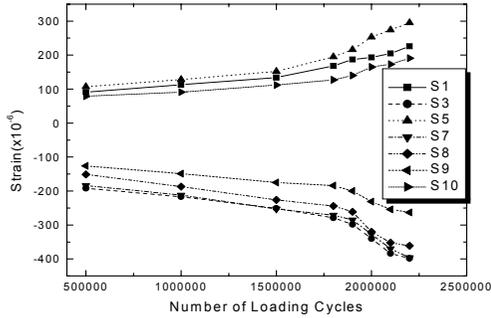


Fig. 10(a) SF-20슬래브의 피로횟수 증가에 따른 변형률

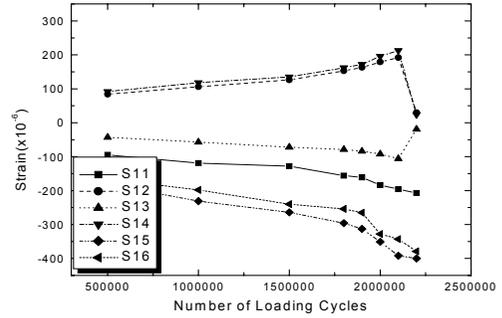


Fig. 10(b) SF-20슬래브의 피로횟수 증가에 따른 변형률



Fig. 11 SF-0슬래브의 피로하중에 의한 균열도

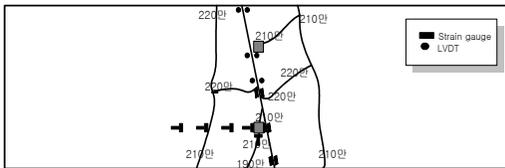


Fig. 12 SF-10슬래브의 피로하중에 의한 균열도

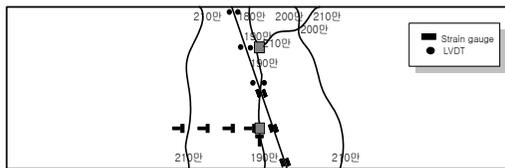


Fig. 13 SF-20슬래브의 피로하중에 의한 균열도

SF-0, SF-10, SF-20슬래브의 피로수명이 각각 150만회, 210만회 및 190만회로 가로줄눈의 경사각이 10도인 슬래브가 0도인 슬래브보다는 40.0%, 20도인 슬래브보다는 10.5% 크게 나타났다. 따라서 경사가로줄눈을 가진 슬래브가 경사가 없는 슬래브보다 피로수명이 크다는 것을 알 수 있으며, 가로줄눈의 경

사가 10도인 경우가 20도인 경우보다 피로수명이 크게 나타났는데, 이는 20도의 경우 10도보다 예각부가 하중에 취약하기 때문이라고 생각된다.

6. 결론

- 1) 가로줄눈의 경사각이 10도 및 20도인 슬래브의 균열시작이 각각 190만회, 180만회 때 예각부에서 시작되었는데, 이는 가로로줄눈의 경사각을 과도하게 증가시키면 예각부가 하중에 취약하기 때문이라고 사료된다.
- 2) 가로줄눈의 경사각이 0도, 10도 및 20도일 때 피로수명이 각각 150만회, 210만회 및 190만회로 10도인 줄눈부가 0도인 줄눈부보다 40%, 20도인 줄눈부보다는 10.5%크게 나타났다.
- 3) 경사가 있는 가로줄눈이 경사가 없는 가로줄눈보다 피로수명이 크게 나타난 것으로 볼 때 콘크리트 포장의 가로줄눈부에 경사각을 설치하는 것이 가로줄눈부의 수명을 크게 할 수 있음을 알 수 있었다.
- 4) 가로줄눈부의 경사각을 0도에서 10도로 증가하면 피로수명이 40% 증가하고, 10도에서 20도로 증가하면 가로줄눈부의 피로수명이 14.3%감소하였는데, 가로줄눈부의 경사각을 증가시켜도 피로수명이 비례하여 증가하지 않는 것으로 보아 임계 경사각이 존재함을 알 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 공업기술연구센터의 지원에 의해 이루어졌습니다.

참고문헌

1. 건설부제정, “도로포장설계·시공지침”, 1988, pp.334~342.
2. 한국도로공사, “도로설계요령”, 제5권, 1992, pp.108~129.
3. 한국도로공사, 시멘트 콘크리트 포장의 구조진단 및 중점보수기법에 관한 연구 (III), 1995, pp.45~50.
4. 한국도로공사, 시멘트 콘크리트 포장의 피로실험과 프로그램 작성, 고려대학교 생산성기술연구소, 1994, pp.85~90.
5. Huang, Y.H., “Pavement Analysis and Design”, Prentice-Hall, 1993, pp.200.
6. Sabnis, G.M., Harris, H.G., White, R.N. and Mirza M.S., “Structural Modeling and Experimental Techniques”, Prentice-Hall, 1983, pp.56
7. Yoder, E.J. and Witczak, M.W., “Principles of Pavement Design”, John Wiley & Sons, Inc, 1975, pp.609.

(접수일자 : 2002년 5월 29일)