

Soil-Cement도로포장 기층의 피로특성 연구 Fatigue Characteristics of Soil-Cement Based Pavement

오 병 환* 이 형 준** 이 명 규** 양 인 환**
Oh, Byung Hwan Lee, Hyeong Joon Lee, Myung Gyu Yang, In Hwan

ABSTRACT

Fatigue behavior of soil-cement based pavement due to repetitive traffic loads is studied. Finite element method is employed to analyze the pavement system including base, subbase, and soil layers. The calculated stresses are then used to evaluate the fatigue life of a pavement system.

For the study is needed to determine accurately the fatigue characteristics of various soil-cement systems.

1. 서 론

Soil-cement 기층 또는 보조기층으로 도로포장을 시행해온 역사는 제 외국에서는 오래된 일이나 우리나라에서는 그동안 부분적으로 이 공법을 이용해 왔으며, 그 실적은 미미하다. 이는 기존 시공구간이 유지관리를 통하여 여러가지 문제가 제기되었고, 이와 같은 문제는 soil-cement 기층 및 보조기층의 포장에 대한 정확한 설계와 시공기술의 미숙과 시공장비의 미비 등에 기인된 것이다.

포장에서는 표층에 재하되는 하중에 의해 발생하는 응력이 포장을 구성하는 각 층에 분포되어 하층으로 갈수록 넓은 면적에 분포시켜 포장체를 구성하는 각 층이 역학적 균형을 유지하여 교통하중에 충분히 견딜 수 있어야 한다. 특히, 보조기층과 기층은 표층을 통해 전달되는 교통하중을 분산시켜 노상에 전달하는 중

요한 부분이므로 이 보조기층과 기층은 충분한 지지력을 가져야 하고 교통하중의 반복작용에 의해 발생하는 피로(fatigue)에 대해 충분한 내구성을 가지고 있어야 한다.

따라서, 본 해석에서는 포장단면에 교통하중이 극한상태로 재하되었을 때의 기층 및 보조기층에서의 변위분포, 응력분포 및 균열의 발생 여부 등을 규명하여 포장체의 구조적 안전성을 검토하고, 차량하중의 반복작용에 의한 피로해석(fatigue analysis)을 수행하여 기층 및 보조기층의 피로수명을 예측하였다.

2. 구조해석

2.1 포장 단면

본 해석에 적용된 포장의 구조는 노상위에 soil-cement로 만든 보조기층 및 기층이 놓이고 그 위에 아스팔트로 포장된 표층의 순서로 구성되어 있다. 본 해석에서 수행한 포장체의 단면은 그림 1과 같다.

* 정회원 서울대학교 토목공학과 교수

** 정회원 서울대학교 대학원 박사과정

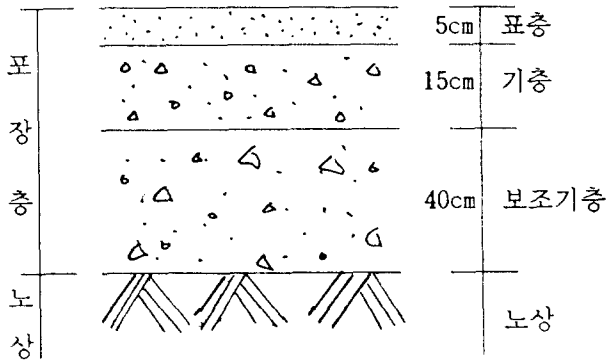


그림 1. 포장체의 단면

2.2 해석모델

그림1과 같은 포장단면을 갖는 soil-cement 포장체의 구조해석은 연속체에서의 일반적인 변위 및 응력분포 경향을 고려하여 길이 $L = 600\text{cm}$, 높이 $h = 240\text{cm}$ 인 구조로 선택하였고, 유한요소 해석모델은 포장체의 거동을 잘 묘사할 수 있는 평면변형요소(plane strain element)를 사용하여 유한요소망을 구성하였다. 또한, 노상에 의한 탄성지반의 효과를 충분히 고려하기 위하여 노상은 200cm까지 구조해석에 포함시켰으며, 포장체는 연속되는 구조이므로 본 해석모델에서의 경계조건은 횡방향의 변위를 구속하였다.

2.3 재료특성

포장구조는 노상위에 빈 배합의 soil-cement로 만든 보조기층이 놓이고, 보조기층위에 부 배합의 soil-cement로 만든 기층이 놓이며 이 기층위에 아스팔트 포장이 놓이게 된다. 따라서 본 해석에서는 soil-cement 각 층의 재료특성을 표1과 같이 두가지로 구분하여 구조해석을 수행하였다.

2.4 하중입력

본 해석에서 고려한 교통하중은 DL-24하중으로서 집중하중이 $P = 10.8\text{ton}$ 이며, 이 하중의 접지면적은 $20\text{cm} \times 50\text{cm}$ 이다. 따라서, 본

해석에서는 표층에 10.8kg/cm 의 하중을 포장체의 가장자리에 재하시켜 구조해석을 수행하였다.

표1 포장체 각 층의 재료 특성
(a) case 1

구 분	아스팔트	기 층	보조기층	노상
단위중량(t/m^3)	2.31	1.90	1.90	1.80
강도(kg/cm^2)	120.16	46.0	25.0	
탄성계수 (kg/cm^2)	12,000	45,000	25,000	5,000
포아송 비(ν)	0.30	0.35	0.35	0.45

(b) case 2

구 분	아스팔트	기 층	보조기층	노상
단위중량(t/m^3)	2.31	1.90	1.90	1.80
강도(kg/cm^2)	120.16	25	10.0	
탄성계수 (kg/cm^2)	12,000	25,000	10,000	5,000
포아송 비(ν)	0.30	0.35	0.35	0.45

2.5 해석결과

(1) 변위(처짐) 및 응력

구조해석으로부터 각 절점에서의 변위량을 계산하였으며, 재하시점 하부에 있는 각 층에서의 침하량은 표2와 같다.

표2에서 보는 바와같이 교통하중에 의해 발생하는 아스팔트 상부에서의 최대 처짐은 0.06028cm 로 허용처짐(0.125cm)이내에 존재하고 있다.

표2 각 층에서의 최대 침하량(단위 : cm)

위치 재료상태	아스팔트 상부	기층 상부	보조기층 상부	노상 상부
case 1	0.04050	0.03665	0.03410	0.02930
case 2	0.06028	0.05635	0.05152	0.04005

또한, 구조해석으로부터 각 요소에서의 응력을 계산하였으며, 교통하중에 의해 발생하는 각 층에서의 최대인장응력은 표3과 같다.

표3 각 층에서의 최대 인장응력

위치 재료특성	아스팔트 층	기 층	보조기층
	응력 (kg/cm ²)	응력 (kg/cm ²)	응력 (kg/cm ²)
case 1	0.4542	1.4082	3.8723
	0.4467	1.3963	4.0685
	0.4992	1.6483	2.7627
	0.5067	1.6602	2.5666
case 2	0.4690	2.933	1.488
	0.4706	3.823	1.515
	0.6224	0.722	1.144
	0.6208	-0.168	1.117

(2) 응력 및 균열검토

차량하중에 의해 발생하는 soil-cement의 응력이 soil-cement 재료의 인장강도보다 크면 이들 단면에서는 균열이 발생하는데 각 층의 균열발생 여부를 검토하기 위한 soil-cement 기층 및 보조기층의 휨인장강도를 계산하면 표 4와 같다.

표4 포장체의 기층 및 보조기층의 휨인장강도(단위:kg/cm²)

위치 재료특성	기 층		보 조 기 층	
	압 축 강 도	휨인장 강도	압 축 강 도	휨인장 강도
case 1	46.0	10.56	25.0	6.17
case 2	25.0	6.17	10.0	2.76

여기서, soil-cement의 휨인장강도는 휨인장실험을 수행하여 구하지 않을 경우에는 식 (1)에 의하여 계산한다.

$$\sigma_{rp} = 0.5(\sigma_{ck})^{0.88} \quad (1)$$

여기서, σ_{rp} :soil-cement의 휨인장강도(psi)

σ_{ck} :soil-cement의 일축압축강도(psi)

이다.

따라서, soil-cement 기층 및 보조기층의 휨인장강도와 교통량하중에 의해 발생하는 각 층에서의 인장응력을 비교하면, soil-cement 기층 및 보조기층에서 균열이 발생하지 않는 것으로 나타났다.

3. 피로해석

포장구조의 피로거동 특성은 포장체의 기층 및 보조기층을 구성하는 soil-cement의 피로거동 특성에 크게 영향을 받는다. 일정한 응력수준의 하중이 soil-cement에 반복작용하면, soil-cement의 인장강도가 감소하는 경향을 나타낸다. 이것을 그림으로 도시하면 그림2와 같다.

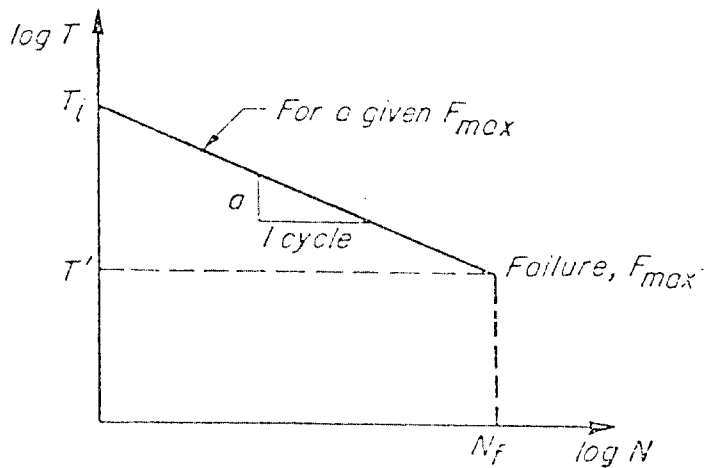


그림 2 하중의 반복작용으로 인한 soil-cement의 인장강도 변화

따라서, 하중의 반복작용으로 인한 soil-cement의 피로수명(N_f)은 식(2)로 계산할 수 있다.

$$\log N_f = \frac{\log [1/(F_{max}/T_i)]}{a} \quad (2)$$

여기서, F_{max} 는 작용하중에 의해 기층 및 보조기층(soil-cement) 발생하는 응력, T_i 는 기층 및 보조기층(soil-cement)의 인장강도, a 는 1회 반복하중 작용시 응력수준에 따른 soil-cement의 강도감소를, N_f 는 파괴까지의 응력 반복횟수(피로수명)이다.

식(2)에 의해 계산한 soil-cement 피로파괴규준의 응력수준(F_{max}/T_i)에 따른 피로수명(N_f)은 표5와 같다.

표5 soil-cement의 응력수준 및 피로수명

피로수명 (N_f)	응력수준 (F_{max}/T_i) (4 weeks)	응력수준 (F_{max}/T_i) (10 weeks)
10^{35}	0.20	0.47
10^7	0.55	0.71
10^6	0.58	0.73
10^5	0.62	0.75
10^4	0.67	0.78
10^2	0.78	0.84
1	1.00	1.00

이 피로해석 방법을 본 포장체에 적용하여 soil-cement 기층 및 보조기층에 대해 피로해석을 수행한 결과는 표5와 같다. 표6에서 F_{max} 은 교통량하중에 의해 발생하는 soil-cement 기층 및 보조기층에서의 최대 인장응력이고, T_i 는 soil-cement 기층 및 보조기층의 휨 인장강도이다.

표6에서 보는바와 같이, 기층의 압축강도 46kg/cm^2 , 보조기층의 압축강도가 25kg/cm^2 인 경우(case 1)에는 보조기층의 피로수명이 1.58×10^5 년이고, 기층의 압축강도 25kg/cm^2 , 보조기층의 압축강도가 10kg/cm^2 인 경우(case 2)에는 기층에서의 피로수명이 10^5 년이다.

이상의 결과에 의하면, soil-cement 기층 및 보조기층의 각각의 강도가 어느정도 이상이 되면 보조기층의 피로파괴가 기층보다 먼저 일어나는 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 soil-cement안정처리 도로 기층 및 보조기층의 포장체에 대하여 유한요소법을 이용하여 구조해석을 수행하였으며, 또한 이에 대한 피로해석을 수행하였다. 이와같은 연구결과를 요약하면 다음과 같다,

1. soil-cement 기층 및 보조기층을 갖는 포장체에 대한 구조해석결과 포장체의 처짐은 허용처짐(0.125cm)이내에 존재하는 것으로 나타났다.
2. 교통하중에 의해 soil-cement 기층 및 보조기층에 발생하는 인장응력은 soil-cement의 휨인장강도보다 작으므로 균열을 유발하지 않는 것으로 나타났다.
3. 유한요소해석에 의해 기시공층의 피로거동을 예측한 바에 의하면 soil-cement안정처리를 기층 및 보조기층에 적용한 경우 피로파괴는 보조기층이 기층보다 먼저 발생하는 것으로 나타났다.

표6 본 해석에서 얻은 포장체에 대한 soil-cement의 응력수준 및 피로수명

위치 재료특성	기 층			보 조 기 층		
	응력수준 (F_{max}/T_i)	피로수명 (N_f), 년		응력수준 (F_{max}/T_i)	피로수명 (N_f), 년	
		4주 양생	10주 양생		4주 양생	10주 양생
case 1	$1.6602/10.56$ = 0.16	10^{35} 이상	10^{35} 이상	$4.0686/6.17$ = 0.66	1.59×10^5	8.84×10^{10}
case 2	$3.823/6.17$ = 0.62	10^5	1.63×10^{12}	$1.515/2.76$ = 0.55	10^7	4.01×10^{23}

참고문헌

1. Mitchell, J.K. and Chih-Kand Shen, "Soil-Cement Properties Determined By Repeated Loading In Relation to Bases For Flexible Pavements", Univ. of Michigan 2nd Int'l Conf. on the structural Design of Asphalt Pavements Proceedings, pp348-373, 1967.
2. Koliass, S. "Evaluation of the strength and elastic properties of Cement Stabilized materials". PhD thesis, University of Surrey, 1975, pp. 301.
3. Larsen, T.J. and Nussbaum, P.J., "Fatigue of Soil-Cement", Reseach and Development Laboratories Portland Cement Association, pp37-50, 1967.
4. P.C.A., "Cement-Treated Aggregate Base", Portland Cement Association, pp.1-7, 1979.
5. 도택현, "도로기층 안정처리에 관한 연구", 대한토목학회지, Vol.26, No.2, pp.73-84, 1978.