

Soil-cement 안정처리 도로 기층 및 보조기층의 구조 및 피로해석  
Structural and Fatigue Analysis for soil-Cement Stabilized Base and Subbase of Road

도덕현<sup>1</sup>, DOH, DUK HYUN, 조래형<sup>2</sup>, JO, RAE CHEONG, 오병환<sup>3</sup>, OH, BYUNG HWAN, 이형준<sup>4</sup>, LEE, HYUNG JOON

- <sup>1</sup>건국대학교 농공학과 교수, Prof., Dept. of Agricultural Engineering, Kun-Kuk Univ.
- <sup>2</sup>건국대학교 대학원 농공학과 박사과정, Ph.D. course, Dept. of Agricultural Engineering, Kun-Kuk Univ.
- <sup>3</sup>서울대학교 토목공학과 교수, Prof., Dept. of Civil Engineering, Seoul National Univ.
- <sup>4</sup>서울대학교 대학원 토목공학과 박사과정, Ph.D. course, Dept. of Civil Engineering, Seoul National Univ.

<synopsis> It has been past for many years that soil-cement used in the field of roadway pavement in America and Europe.

Though the design and construction criteria on soil-cement pavement have been well established in Korea's specifications, this method has not been applied in roadway pavements, in practices.

It is mainly caused by the lacks of experiences in soil-cement pavement design and construction. In this study, the problems of soil-cement pavement in use were explored, and the structure and fatigue like of soil-cement bases and subbases were estimated.

1. 서론

우리나라에서 도로 기층 및 보조기층재료로서 soil-cement 안정처리 공법적용을 위한 연구는 1960년대 초부터 시작되었으며 70년대 초에 김포-강화간의 국도포장에 soil - cement 공법이 실용화 된 바 있다. 그 후 강자갈의 다량 입수 곤란 또는 운반거리 관계상 공사비의 절감을 위하여 쇄석을 보조기층으로 이용하던 시기였던 1970년대 말에는 soil-cement 공법을 여러개소에서 시험 시공을 거친후 일반 도로의 보조기층이나 기층에 적용토록 권장하던 시기였으며, 1986년도에는 도로공사 표준시방서에 soil-cement 안정처리 공법이 규정된 바 있다.<sup>(36, 40)</sup>

이때 LAC공법, 후지베른 공법, KAP공법, Sorex공법 등은 대부분 soil-cement의 성질을 개선한 특허 공법<sup>(3, 30, 43)</sup>으로써 지금까지 도로포장의 기층, 또는 보조기층 공법으로서 도로공사의 위치를 고려하여 일부구간에 소규모로 이용되고 있는 실정이다.<sup>(42)</sup>

본 공법이 지역에 따라서는 공사장 주변의 양질토를 이용함으로써 재료입수, 운반거리, 강자갈을 하천유지용으로의 보전등의 관점에서, 기존 강자갈이나 쇄석을 사용하는 도로포장공법보다 저렴하다는 것은 외국<sup>(21, 26, 42)</sup>에서는 물론이고 국내토목기술자 대부분이 공감하면서도, 일반적으로 사용하고 있는 외국의 현실<sup>(4, 16, 24, 33, 34, 35)</sup>에 비하여 국내에서는 아직 실용화 되지 못하고 있는 이유는, 그간에 사용한 대부분의 시험포장구간은 간이 포장이었으며, 완전 포장구간이라 하여도 설계, 시공 기술의 미숙(배합설계의 불합리<sup>(5, 17, 23)</sup>, 저습지를 포장 대상 구간으로 선정 또는 시공업체의 무리한 설계<sup>(6, 28)</sup>, 시멘트의 불충분한 혼합<sup>(10)</sup>, 최적함수비의 조정 미흡<sup>(1, 22)</sup>, 적정시간내에 충분한 다짐불이행<sup>(19)</sup>, 공사중 강우시의 시공노면의 처리와 강우 직후 최적함수비를 초과하는 시멘트 혼합토의 처리<sup>(20, 29)</sup>, 주변배수조건 등과 그에 따라 실제 경험만 기억<sup>(37)</sup>하고 있는 토목기술자의 선입견 문제라고 판단된다.

이와 같은 결과로 양질의 강자갈이 도로의 보조기층재료로 무한히 사용되고 있는 실정이며, 더욱 아쉬운 것은 아파트 단지내의 양질화강토<sup>(39)</sup>를 굴착, 제거하면서 까지 이에 강자갈을 운반하여 포장을 하는 실정에 있다.

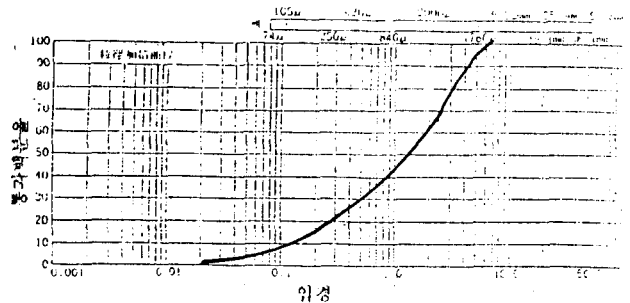
따라서 본 연구는 최근의 soil-cement시공 구간을 선정하여, 중, 횡단 균열이 발생하는 원인분석 및 그로 인하여 포장된 도로가 목표 수명까지 유지될 수 있는지의 여부를 검토하기 위하여 실험실 시험자료와 현지에서 실측한 각종 조사자료를 토대로 유한요소법을 통하여 구조해석과 피로수명을 예측하고, 안정성이 있는 공법임을 인식시켜 금후 하천 골재의 절약과 도로의 건설에 따른 공사비를 절감하는데 도움이 되도록 하는데 목적으로 두었다.

2. 재료 및 시험

2.1 시료토

soil-cement안정처리 공법에 사용되는 시료토는 적절한 압도를 가져야 한다.<sup>(15)</sup>

본 공사에 사용된 시료토(기층 및 보조기층재)는 화강토이며 배합설계에 사용된 시료토의 입도분포 곡선은 <그림-1>과 같다.



<그림-1> 사용 흙의 입도분포곡선

## 2.2 시멘트 및 첨가제

시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 이에 강도 증진 및 방수 효과를 얻기 위하여 제 2 첨가제(이하 첨가제라 칭함)로서 유제(리그닌) 를 사용하였다.

## 2.3 배합설계

KS F 2329 및 2328 에 준하여 시험한 재령 7일 압축강도는 <표-1>과같이 보조기층의 경우 시멘트 및 첨가제함유량이 각각 1.5%, 2.0% 포함 할 때 25.2 ~ 26.0 kg/cm<sup>2</sup>, 기층의 경우는 시멘트 및 첨가제를 각각 2.8%, 4% 혼합하였을 때 38.8 ~ 41.2 kg/cm<sup>2</sup>범위로 나타났다.

<표-1> 배합 설계 성과표(A-2다짐)

배합비별 구분	A		B		C		D		E		F	
	배합비(%)	중량비(kg)	배합비(%)	중량비(kg)	배합비(%)	중량비(kg)	배합비(%)	중량비(kg)	배합비(%)	중량비(kg)	배합비(%)	중량비(kg)
화강토		10000		10000		10000		10000		10000		10000
Cement(%)	4.0	400	4.0	400	5.0	500	5.0	500	2.0	200	3.0	300
첨가제(%)	2.8	280	3.0	300	2.8	300	3.0	300	1.5	150	1.8	180
합수비(%)	7.9		8.93		8.11		8.75		8.60		8.98	
최적합수비(%)	8.6		8.6		8.6		8.6		8.6		8.6	
최대건조밀도 (kg/cm <sup>3</sup> )	1.991		1.991		1.991		1.991		1.991		1.991	
일축압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	31.95		34.24		38.82		41.23		25.23		26.09	

따라서, 실제설계에 사용한 적용치는 <표-2>와 같다.

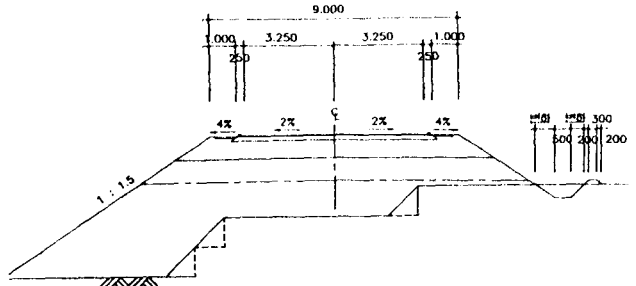
<표-2> 시멘트 안정처리층의 설계상 적용치

구분	두께 (cm)	시멘트혼합량(%)	첨가제혼합량(%)	시멘트량 (kg)	첨가제량 (l/ton)	일축압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	최대건조 단위중량 (g/cm <sup>3</sup> )
기층	15	5	3	1425	855	25	1.90
보조기층	40	3	1.5	2280	570	10	1.90

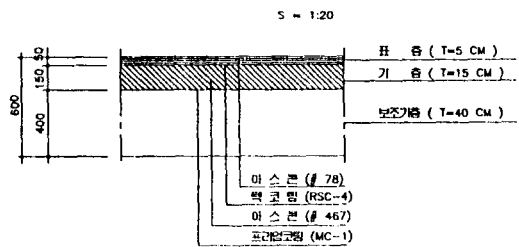
주) 배합 설계시 실내 다짐 방법 => 기층 A-2다짐, 보조기층 A-1다짐  
 현지 다짐 방법 => 기층 및 보조기층: 라이어 프롤러(8~10ton) 7회, 마카담 프롤러(10~12ton) 10회, 다짐도 => D-2 다짐도의 95%

## 2.4 현지 조사

배합설계를 통하여 <그림-2>의 표준단면도와 같이 소정의 설계 시멘트량과 첨가제량을 중앙플랜트식에 의하여 혼합하고, 원활한 교통소통을 위하여 1/2폭을 우선시공하고, 종단이음을 하였으며 수축균열의 억제제를 위하여 saw cutting에 의한 횡단이음(직선부 20m, 곡선부 10m, 깊이 5cm, 폭 3mm)를 두어 시공한 안정처리층을 대상으로 공시체(시공후 2년 5개월 경과한 두께 40cm의 보조기층, 시공후 2년 경과후 두께 15cm의 기층)를 취하여 시멘트와 첨가제 함유량을 확인하는 시험을 하였으며, 그 결과는 <표-3>과 같다.



a) 평면도



b) 포장단면도

<그림-2> 표준단면도 및 구조

<표-3> 현지코어 채취에 의한 soil-cement층의 시멘트와 soil-cement 함유량 시험

Simple No.	함수율(%)	강열감량(%)	산처리감량(%)	예상되는 조성비(%)		
				화강토	시멘트	첨가제
화강토및 시멘트경화제	1.20 11.02	2.12 15.25	1.4 88.0	화강토	시멘트	첨가제
1	1.49	5.08	6.94	91.40	5.70	2.90
2	1.78	4.45	7.28	91.70	5.40	2.90
3	1.69	4.78	6.87	91.78	6.00	2.22
4	1.64	4.61	5.69	92.10	4.96	2.94
5	1.63	4.68	5.28	93.52	4.48	2.00
6	1.68	4.34	7.28	94.60	3.80	1.90
7	1.52	4.48	4.73	94.24	3.64	1.92
8	1.69	4.43	5.56	95.20	3.20	1.60
9	1.50	3.94	5.69	95.40	3.37	1.23

또한, soil-cement 안정처리 보조기층 및 기층에 대하여 코어 채취에 의한 압축강도는 <표-4>와 같으며, 그 결과 7일 양생후 soil-cement 보조기층에 대한 코어의 압축강도는 25.3~42.32kg/cm<sup>2</sup>, soil-cement 기층의 압축 강도는 46.56~56.43 kg/cm<sup>2</sup>로 나타났다.

<표-4> 현지 코어채취에 의한 soil-cement층의 압축 강도

시료명 구분	화장토 (%)	시멘트 (%)	첨가제 (%)	하중강도 (kg)	일축압축 (kg/cm <sup>2</sup> )	시료중량 (g)	비 고
NO.1	92.0	5.0	3.0	4,000	56.43	1,750	H=12.4cm 기층
NO.2	92.0	5.0	3.0	3,600	50.79	1,600	.
NO.3	92.0	5.0	3.0	3,300	46.56	2,000	.
NO.4	92.0	5.0	3.0	3,800	53.61	1,920	.
NO.5	95.5	3.0	1.5	2,500	35.27	1,650	보조기층
NO.6	95.5	3.0	1.5	3,000	42.32	1,950	.
NO.7	95.5	3.0	1.5	2,600	36.68	1,700	.
NO.8	95.5	3.0	1.5	1,800	25.39	1,940	.
NO.9	95.5	3.0	1.5	2,000	28.22	1,560	.

아스콘 표층의 배합설계와 품질관리 결과는 <표-5>와 같이 표층의 두께는 5~7.5cm, 단위중량(KS F 2349)은 2.32~2.325 g/cm<sup>2</sup> 이었다. 시공후 코어채취에 의한 아스팔트 표층의 두께는 충분한 것으로 나타났으나, 단위중량은 기준에 미달되는 부분도 있었는데 이는 균열로 인하여 간극이 생긴 부분을 대상으로 실험하였기 때문으로 추측된다.

아스팔트 콘크리트 표층의 단위 중량과 일축압축강도 시험 결과는 <표-5>와 같다.

<표-5> 아스팔트 콘크리트표층의 품질시험결과

구분	위 치	두께 (cm)	단위중량 (kg/cm <sup>2</sup> )	아스팔트 함유량(%)	아스팔트의 일축압축강도 (Kg/cm <sup>2</sup> )	아스콘층 의 두께 (cm)	비 고
배합 설계	A	5	2.325	6.2		5~7.5	균열발생에 따른 간 극으로 인하여 단위 중량이 작은 값으로 나타났고, 균열이 미세한 시료들의 단위중량은 2.33 g/cm <sup>2</sup> 임
	B	5	2.325	6.2			
현 지 시 험	1(중앙방향)	5.95	2.02		86.92~117.6		
	2(중앙방향)	5.0	2.051		104.14~113.25		
	3(중앙방향)	6.48	2.078		76.85~85.82		
	4(중앙방향)	6.77	2.334		91.69~92.38		
	5(중앙방향)	4.26	2.095		102.62~120.16		

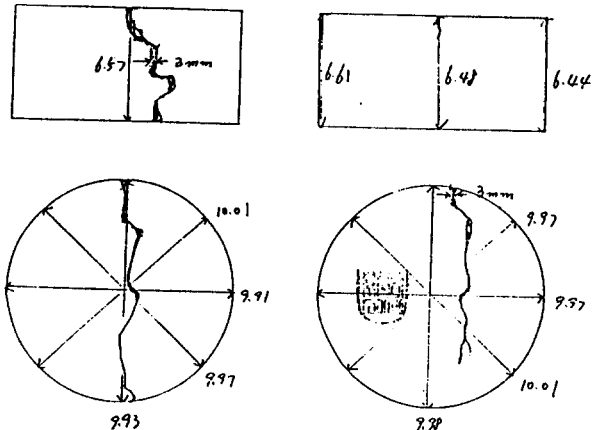
\* 압축강도는 초기마모강도(균열발생 및 변형시작) - 환전파괴

이 밖에 도로 균열이 발생된 soil-cement 기층 및 보조기층의 설계 교통하중의 통과에 따른 지지력과 침하량을 평가하기 위하

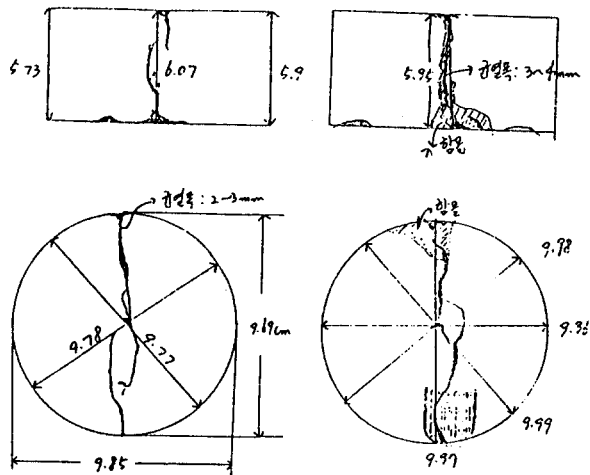
여 도로평판재하시험을 실시(횡단 균열부 2개소, 종단 균열부 1개소, <그림-3> 균열모습 참조)하였으며 그 성과는 <그림-4> 및 <표-6>과 같다.

<표-6>에서 횡단 균열 발생부는 23.2~34.9kg/cm<sup>2</sup>의 하중강도를 나타내어 지지력이 충분함을 알수 있으며, 종단 균열부는 동일조건에서의 하중강도가 12.5kg/cm<sup>2</sup>로 나타났다.

일반적으로 종단 균열은 부동침하 또는 인장균열(tension crack)에 의하여 발생하는 것으로 알려져 있는데 본 구간도 인장 균열에 기인된 것으로 판단된다.

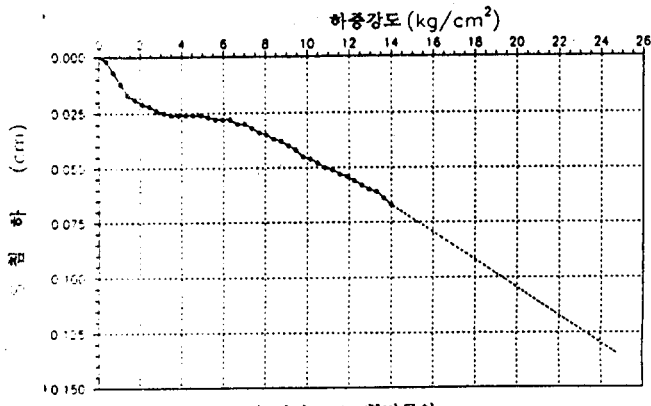


a) 횡단균열

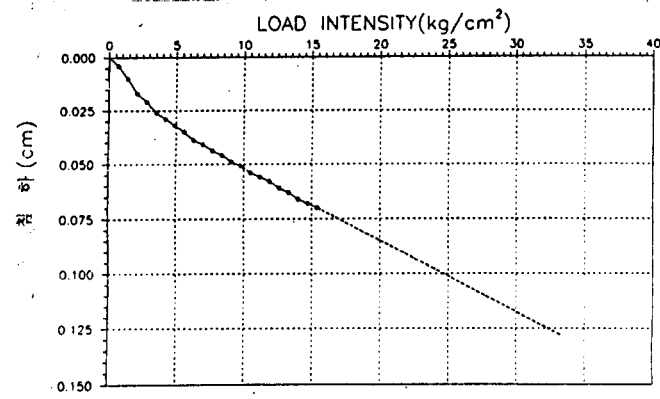


b) 종단균열

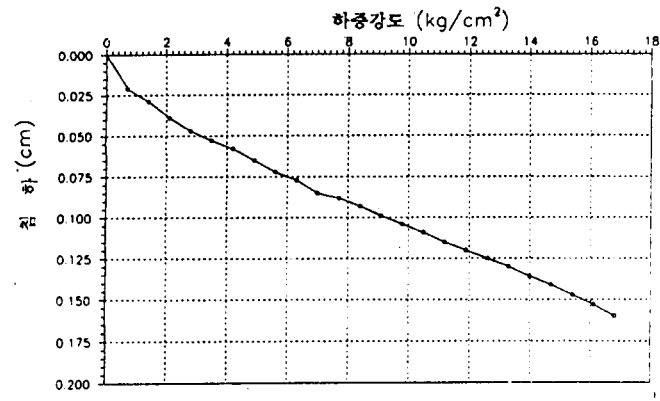
<그림-3> 횡단균열과 종단균열의 모습(사례)



a) 시점 100m 횡단균열



b) 종단경사구간으로 횡단경사 다수 발생 지역



c) 종단균열부

<그림-4> 평판재하시험결과(하중강도-침하곡선)

<표-6> 도로평판재하시험 결과

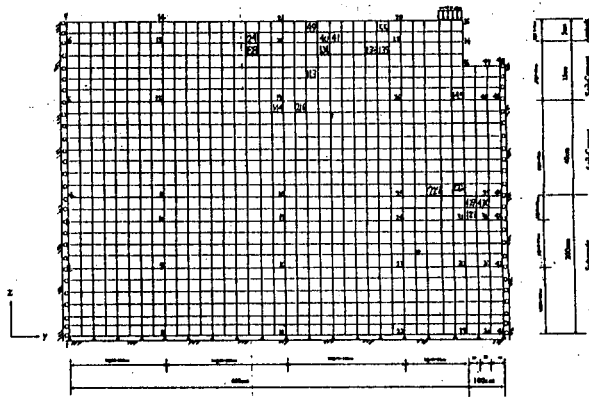
시험번호	위치 (m)	허용침하량(cm)	하중강도(kg/cm <sup>2</sup> )	비 고
①	0·100	0.125	23.2	시점에서 100m 지점 saw cutting사이의 횡단균열
②	0·260	0.125	34.9	종단경사 인장균열 발생 구간
③	0·320	0.125	12.5	종단균열부분

### 3. 유한요소법에 의한 구조 및 피로해석

#### 3.1 유한요소해석

##### 3.1.1 해석모델

<그림-2>와 같은 포장단면을 갖는 soil-cement 포장체의 구조 해석은 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 사용하였으며<sup>(13)</sup>, <그림-5>와 같은 유한요소망을 구성하였다. 또한, 노상에 의한 탄성지반의 효과를 충분히 고려하기 위하여 노상은 200cm까지 구조해석에 포함시켰으며<sup>(13,31,32)</sup>, 포장체는 연속되는 구조이므로 본 해석모델에서의 경계조건은 횡방향의 변위를 구속하였다.



<그림-5> 유한요소 해석모델

즉, 도로교시방서에서 차륜의 접지압은 DL-18일 경우  $8.1\text{kg/cm}^2$ , DL-24의 경우  $10.8\text{kg/cm}^2$ 이며, 이와 같은 교통하중이 수행하는 조건이라고 가정하면 위의 도로평판재하시험결과는 지지력과 침하면에서는 충분히 저항할 수 있을 것으로 생각된다.

##### 3.1.2 재료특성

본 해석에서의 포장구조는 노상위에 soil-cement 처리 보조기층이 높이고, 보조기층위에 이보다 압축강도가 높은 soil-cement처리 기층이 높이며 이 기층위에 이스팔트 포장이 놓이게 된다. 본 해석에서는 soil-cement 각 층의 재료특성을 표 7과 같이 두가지로 구분하여 구조해석을 수행하였다.

<표-7> 포장체 각 층의 재료 특성

(a) case 1

구 분	아스팔트	기 층	보조기층	노 상
단위중량(t/m <sup>3</sup> )	2.31	1.90	1.90	1.80
강도(kg/cm <sup>2</sup> )	120.16	46.0	25.0	
탄성계수(kg/cm <sup>2</sup> )	12,000	45,000	25,000	5,000
포아송 비( $\nu$ )	0.30	0.35	0.35	0.45

(b) case 2

구분	아스팔트	기층	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
포어송 비( $v$ )	0.30	0.35	0.35	0.45

### 3.1.3 입력하중

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, 해석에서는 표층에  $10.8\text{kg/cm}$ 의 하중을 포장체의 가장자리에 재하시켜 구조해석을 수행하였다.

## 3.2 해석결과

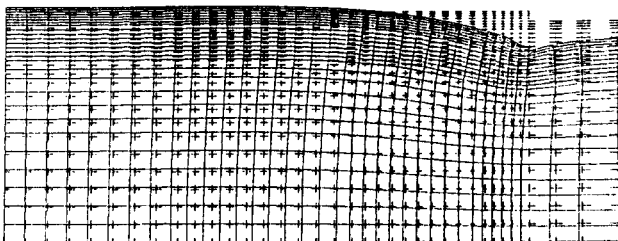
### 3.2.1 변위(처짐)

구조해석으로부터 각 절점에서의 변위량을 계산하였으며, 재하시점 하부에 있는 각 층에서의 침하량은 <표-8>과 같고, case 1에서의 침하형태는 그림 6과 같다.

<표-8> 각 층에서의 최대 침하량(단위 : cm)

위치 재료상태	아스팔트 상부 (절점 35)	기층 상부 (절점 34)	보조기층 상부 (절점 33)	노상 상부 (절점 32)
case 1	0.04050	0.03665	0.03410	0.02930
case 2	0.06028	0.05635	0.05152	0.04005

<표-8>에서 보는 바와같이 교통하중에 의해 발생하는 아스팔트 상부에서의 최대 처짐은  $0.06028\text{cm}$ 로 허용처짐( $0.125\text{cm}$ )이내에 들었다.



<그림-6> case 1에서의 침하형태

### 3.2.2 응력 및 균열검토

차량하중에 의해 발생하는 soil-cement의 응력이 soil-cement 재료의 인장강도보다 크면 이들 단면에서는 균열이 발생하는데 (2, 7, 11, 18, 31, 41) 각 층의 균열발생 여부를 검토하기 위한 soil-cement 기층 및 보조기층의 휨인장강도를 계산하면 표 9와 같다.

<표-9> 기층 및 보조기층의 휨인장강도

위치 재료특성	기층		보조기층	
	압축강도( $kg/cm^2$ )	휨인장강도	압축강도	휨인장강도
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 경우는 식(1)에 의하여 계산한다<sup>(13)</sup>

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

식에서,  $\sigma_{fp}$  : soil-cement의 휨인장강도(psi)

$\sigma_{ck}$  : soil-cement의 일축압축강도(psi)

또한, 구조해석으로부터 각 요소에서의 응력을 계산하였으며, 교통하중에 의해 발생하는 각 층에서의 최대인장응력은 <표-10>과 같다.

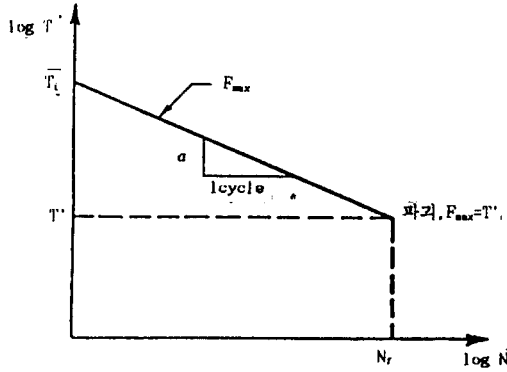
<표10> 각 층에서의 최대 인장응력

위치 재료특성	아스팔트 층		기층		보조기층				
	요소	절점 응력( $kg/cm^2$ )	요소	절점 응력( $kg/cm^2$ )	요소	절점 응력( $kg/cm^2$ )			
case 1	49	998	0.4542	134	917	1.4082	229	519	3.8723
		999	0.4467		918	1.3963		32	4.0685
		1009	0.4992		929	1.6483		748	2.7627
		1008	0.5067		928	1.6602		747	2.5666
case 2	55	1004	0.4690	145	782	2.933	229	519	1.488
		1005	0.4706		33	3.823		32	1.515
		1015	0.6224		939	0.722		748	1.144
		1014	0.6208		938	-0.168		747	1.117

따라서, soil-cement 기층 및 보조기층의 휨인장강도와 교통하중에 의하여 발생하는 각 층에서의 인장응력을 비교하면, soil-cement 기층 및 보조기층에서 설계 수명시까지의 추가 균열이 발생하지 않는 것으로 나타났다.

### 3.3 피로해석

포장구조의 피로거동 특성은 포장체의 기층을 구성하는 soil-cement의 피로거동 특성에 크게 영향을 받는다<sup>(9,25)</sup>. 일정한 응력수준이 soil-cement에 반복작용하면, soil-cement의 인장강도가 감소하는 경향을 나타낸다<sup>(8,12,32)</sup>. 이것을 그림으로 도시하면 <그림-7>과 같다.



<그림-7>하중의 반복작용으로 인한 soil-cement의 인장강도변화

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

$$\log N_f = \frac{\log [1/(F_{max}/T_1)]}{a} \quad (2)$$

식에서,  $F_{max}$  : 작용하중에 의하여 soil-cement기층 및 보조기층에 발생하는 응력

$T_1$  : soil-cement기층 및 보조기층의 인장강도

$a$  : 1회 반복하중 작용시 응력수준에 따른 soil-cement의 강도감소률

$N_f$  : 파괴까지의 응력 반복횟수(피로수명)

식(2)에 의해 계산한 soil-cement 피로파괴규준의 응력수준 ( $F_{max}/T_1$ )에 따른 피로수명( $N_f$ )은 <표-11>과 같다.

<표-11> soil-cement의 응력수준 및 피로수명

피로수명 ( $N_f$ )	응력수준 ( $F_{max}/T_1$ )	응력수준 ( $F_{max}/T_1$ )
	(4 weeks)	(10 weeks)
$10^5$	0.20	0.47
$10^7$	0.55	0.71
$10^8$	0.58	0.73
$10^9$	0.62	0.75
$10^4$	0.67	0.78
$10^2$	0.78	0.84
1	1.00	1.00

이 피로해석 방법을 대상 아스팔트 포장체에 적용하여 soil-cement 기층 및 보조기층에 대해 피로해석을 수행한 결과는 <표-12>와 같다. <표-12>에서  $F_{max}$ 은 교통량하중에 의해 발생하는 soil-cement 기층 및 보조기층에서의 최대 인장응력이고,  $T_1$ 는 soil-cement 기층 및 보조기층의 휨 인장강도이다.

<표-12> 본 해석에서 얻은 포장체에 대한 soil-cement의 응력수준 및 피로수명

재료특성	응력수준 ( $F_{max}/T_1$ )	기층		보조기층		
		피로수명 ( $N_f$ ), 회 4주 양생	피로수명 ( $N_f$ ), 회 10주 양생	응력수준 ( $F_{max}/T_1$ )	피로수명 ( $N_f$ ), 회 4주 양생	피로수명 ( $N_f$ ), 회 10주 양생
case 1	1.6602/10.56 = 0.16	$10^{10}$ 이상	$10^{10}$ 이상	4.0686/6.17 = 0.66	$1.59 \times 10^5$	$8.84 \times 10^{10}$
case 2	3.823/6.17 = 0.62	$10^8$	$1.63 \times 10^{12}$	1.515/2.76 = 0.55	$10^7$	$4.01 \times 10^{23}$

<표-12>에서 보는바와 같이, 기층의 일축압축강도  $46 \text{ kg/cm}^2$ , 보조기층의 일축압축강도가  $25 \text{ kg/cm}^2$ 인 경우(case 1)는 보조기층의 피로수명이  $1.58 \times 10^5$  회이고, 기층의 압축강도  $25 \text{ kg/cm}^2$ , 보조기층의 압축강도가  $10 \text{ kg/cm}^2$ 인 경우(case 2)는 기층에서의 피로수명이  $10^5$  회이다.

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

## 4. 종합고찰

이상과 같이 현지 및 실험실 시험결과와 유한요소법에 의하여 분석한 결과를 종합하여 soil-cement 기층, 보조기층 및 아스콘표층의 균열발생 원인을 살펴보면, soil-cement 보조기층 및 기층의 설계기준강도는 각각  $10 \text{ kg/cm}^2$  및  $25 \text{ kg/cm}^2$ 이나 코아채취에 의한 실제 강도는 양생기간이 길어서 일축압축강도가 다소 증가된 것을 감안하여도 일축압축강도가 매우 높게 나타났다. 즉, 설계압축강도보다 매우 큰 현지 일축압축강도의 발현에 따른 시멘트의 수화작용 과정에서의 건조수축의 영향으로 균열이 발생된 것으로 판단된다.

또한, 일부구간에는 soil-cement 안정처리기층을 시공후 소정의 습윤양생기간이 경과되지 않은 상태<sup>(22)</sup>에서 아스팔트 콘크리트 표층의 조기시공이 균열발생의 원인이 된 것으로 사료된다.

이중에서 아스팔트콘크리트 표층의 횡단균열은 시멘트콘크리트에 비하여 압축강도가 비교적 낮은 안정처리 기층에 10 - 20m 간격으로 설치한 saw cutting 부분에서 건조수축에 의한 응력집중이 복합적인 약점으로 작용하여 크게 나타난 것으로 판단되며, 앞으로 soil-cement 안정처리 기층의 강성(압축강도)이 높아짐에 따라 표층과 기층의 접착력이 불충분할 경우는 아스팔트표층의 슬립(slip) 발생 가능성<sup>(38)</sup>도 예상할 수 있다.

한편, 종단균열은 지반의 부동침하 또는 인장균열에 기인한 것으로 추정되며 급후 누가교통량에 따라 종단이음부에서의 종단균열의 발생도 예상할 수 있다<sup>(39)</sup>.

이밖에도 부대 시설 즉, 표층노면의 배수 불량에 따라 포장체의 지지력 약화, 또는 동상 등의 원인으로 배제할 수 없다.

TYPE : 1		TYPE : 4	
표 층	Asphalt Concrete	표 층	Asphalt Concrete
기 층	Soil Cement <30kg/cm <sup>2</sup> 이내>	기 층	Soil Cement <30kg/cm <sup>2</sup> 이내>
보조기층	모래섞인 자갈	보조기층	쇄 석

TYPE : 2		TYPE : 5	
표 층	Asphalt Concrete	표 층	Asphalt Concrete
기 층	Soil Cement <35kg/cm <sup>2</sup> 이내>	기 층	Soil Cement <35kg/cm <sup>2</sup> 이내>
보조기층	모래섞인 자갈	보조기층	쇄 석

TYPE : 3		TYPE : 6	
표 층	Asphalt Concrete	표 층	Asphalt Concrete
기 층	Soil Cement <40kg/cm <sup>2</sup> 이내>	기 층	Soil Cement <40kg/cm <sup>2</sup> 이내>
보조기층	모래섞인 자갈	보조기층	쇄 석

TYPE : 7		TYPE : 8	
표 층	Asphalt Concrete	표 층	Asphalt Concrete
기 층	Soil Cement <30kg/cm <sup>2</sup> 이내>	기 층	Soil Cement <35kg/cm <sup>2</sup> 이내>
보조기층	석 회 처리	보조기층	석 회 처리

<그림-8> 바람직한 soil-cement 안정처리 도로층의 구조

따라서, 앞으로 soil-cement 안정처리 공법을 적용시에는 위에 지적한 여러가지 균열발생 원인<sup>(27)</sup>을 사전에 검토하여 시공시에 반영하여 중.횡단균열의 최소화를 도모해야 함은 물론이고<그림-8>과 같이 보조기층과 기층을 이중으로 시공하지 않음으로써<sup>(36)</sup> 수화열을 발산시켜주는 방안의 검토가 요망된다.

다만 본 지구에 이미 발생된 균열부분을 적절히 보수함으로써 금후 교통개방에 따른 추가피해 문제는 크게 발생하지 않을 것으로 기대된다.

## 5. 결 론

최근에 시공한 soil-cement 안정처리 도로 기층 및 보조기층을 대상으로, 균열의 발생원인과 설계수명을 유지할 수 있는지의 여부를 판단하기 위하여 유한요소법에 의한 구조 및 피로해석 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 연구대상 구간의 중횡단균열은 건조수축, 부동침하 및 인장균열에 기인한 것으로 판단된다.

2. soil-cement 기층 및 보조기층으로 시공된 포장체에 대한 구조해석결과 포장체의 처짐은 허용처짐(0.125cm)량 이내에 드는 것으로 나타났다.

3. 대상 포장층에 대한 유한요소해석에 의해 기 시공층의 피로 거동을 예측한 바에 의하면 soil-cement안정처리를 기층 및 보조기층에 적용한 경우 피로파괴는 보조기층이 기층보다 먼저 발생하는 것으로 나타났다.

4. 그러나, 현지 지지력 및 침하시험과 피로해석에 의하면 이미 발생된 중횡단균열은 설계수명을 유지하는 데는 지장이 없는 것으로 나타났다.

5. soil-cement 도로 포장의 구조는 가급적이면 기층 또는 보조기층 1개의 층에만 적용하고 필요에 따라서는 보조기층만의 두께를 증가시키는 방법이 피로파괴에 대한 저항성이 크므로 내구성을 증가시키는데 유효하다고 판단된다.

6. soil-cement 기층이나 보조기층 시공 후 표층에 전달된 중.횡단균열 부분은 흡수에 의하여 지지력이 약화되거나 동상을 받을 우려가 있으므로 우수의 침투를 억제하는 방안을 강구할 필요가 있다.

7. 이상의 결과를 종합하면 soil-cement 안정처리 공법은 제 규정에 따라 설계방법 및 엄격한 시공관리를 실시할 경우 설계수명을 유지하는 데는 문제가 발생하지 않을 것으로 판단된다.

## 參 考 文 獻

1. Biswas, S., "Effect of Varying Stabilizer Content and Degree of saturation on Stabilized Soils", Cornell Local Roads Program thesis series, pp.1-229, 1984.
2. Bofinger, H.E. and Sullivan, G.A., "An Investigation of Cracking in Soil-Cement Bases for Roads", Road Research Laboratory, Department of the Environment, RRL Report LR 379, PPI-25, 1971.
3. Cowell, M.J., "Effective of Time Delay, Multipart Treatment and Varying Compactive Effort on the Strength and Durability of Cement Stabilized Soils", Cornell Local Roads Program thesis series, pp.1-170, 1978.
4. Cowell, M.N., "Effect on the Strength and Durability of Stabilized Soils" Cornell Local Roads Program thesis series, pp.1-129, 1976.
5. Duval, H.H., "Procedure for economic development of Soil-cement Mix Design", T.R.R. NO. 501, pp.28-34, 1974.
6. Hough, G.B., "The Development of an Instrumentation System and the Preliminary Investigation of the Effective Stress-Strength Parameter of Stabilized Soils", Cornell Local Roads Program thesis series, pp. 1-221, 1978.
7. Hudson, W.R. and Kennedy, T.W. An Indirect Tensile Test for Stabilized Materials, Center for Highway Research, University of Texas at Austin, Research Rept. 98-1, Jun 1969.
8. 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, pp.348-373, 1967.
9. Mitchell, J.K., Deter, D.W., Carl, L.M., "Behavior of Stabilized Soils under repeated loading", Report 6, A summary Report with a suggested structural Pavement Design Procedure, University of California Berkely, California, pp.1-160, 1974.
10. Kawala, "Progress in development of a Soil-cement Design Procedure", Proceeding 1st paving conf. University of New Mexico, pp.96-110, 1962
11. Kolas, S. "Evaluation of the strength and elastic properties of Cement Stabilized materials". Ph.D. thesis, University of Surrey, pp.1-301, 1975.
12. Larsen, T.J. and Nussbaum, P.J., "Fatigue of Soil-Cement", Research and Development Laboratories Portland Cement Association, pp.37-50, 1967.

13. Raad, L., "Design Criteria for Soil-cement Bases", Ph.D. thesis, University of California Berkely, pp.1-224, 1976.
14. Monismith, C.L., Seed, H.B., Mitry, F.G. and Chan, C.K., "Prediction of Pavement Deflection from Laboratory Test", Univ. of Michigan 2nd Int'l Conf. on the structural Design of Asphalt Pavements Proceedings, pp.109-138, 427-441, 1967.
15. National Roads Board, "A Review of Aggregate Research In New Zealand", RRU BULLETIN No. 50, pp.2-89, 1980.
16. National Roads Board, "Cement Stabilization For New Zealand Roads", RRU TECHNICAL RECOMMENDATION TR5, pp.9-84, 1981.
17. National Roads Board, "Laboratory Testing For Stabilization", RRU TECHNICAL RECOMMENDATION TR7, pp.1-48, 1985.
18. Otte, E., Savage, P.F. and Monismith, C.L., "Structural Design of Cemented Pavement Layers", ASCE, Vol.108, TE4, pp.428-444, 1982.
19. P.C.A., "Cement-Treated Aggregate Base", Portland Cement Association, pp.1-7, 1979.
20. P.C.A., "Soil-Cement Construction Handbook", Portland Cement Association, pp.6-98, 1956.
21. P.C.A., "Soil-Cement Inspector's Manual", Portland Cement Association, pp.3-64, 1980.
22. P.C.A., "Soil-Cement for Water Control : Laboratory Tests", Portland Cement Association, pp.1-26, 1976.
23. P.C.A., "Soil-Cement Laboratory Handbook", Portland Cement Association, pp.1-62, 1959.
24. P.C.A., "Thickness Design of Soil-Cement Pavements for heavy Industrial Vehicles", Portland Cement Association, pp.1-11, 1975.
25. Pretorius, P.C., "Design Consideration for Pavement Containing soil-cement Bases", Ph.D thesis, University of California Berkeley, pp.1-218, 1970.
26. Ruenlrairergsa, T., "Development of Soil-cement Road in Thailand", Proceeding Vol.III, 11th, IRF, Worl Meeting, 16-21 April Seoul Korea, pp.81-84, 1990
27. Sanaa, B.K., "Viscoelastic Shrinkage Stress in Soil-Cement Base", Jour. of the Soil Mech. and Found. eng. Division, pp.1375-1395, 1972.
28. U.S.DOCS, Soil Stabilization in Pavement Structures A User's Manual, FHWA-IP-80-2, Volume 1, pp.1-190, 1979.
29. U.S.DOCS, Soil Stabilization in Pavement Structures A User's Manual, FHWA-IP-80-2, Volume 2, pp.1-149, 1979.
30. Walton, W.H., "The Influence of Chemical Stabilizers on the Effective Stress-Strain-Strength Parameters of Stabilized Soils", Cornell Local Roads Program thesis series, pp.1-290, 1981.
31. Wang, M.C., J.K.Mitchell, & C.L.Monismith, "Stresses and Deflections in Cement-Stabilized Pavements", U.S.Army Materiel Command, pp.3-161, 1970.
32. Wang, M.C., Mitchrll, J.K. and C.L.Monismith, "Behavior of Stabilized Soil under Repeated Loading", U.S.Army Materiel Command, pp.1-129, 1970.
33. 日本道路公園, "阪奈(大阪奈良間直通 有料道路工事の試験について ソイルセメント路盤(その1)", 道路通巻 220號, pp.294-303, 1963.
34. 關西道路研究會, "セメント路盤 調査報告(その3)", 道路建設 198號 pp.33-41, 1964.
35. 渡邊崇博, 市村正二, 今川史郎, "路床の安定處理に關する研究と高速道路における 施工例", 土の基礎 29-11, pp.13-19, 1981.
36. 건설부 국립기술연구소, "시멘트 및 석회에 의한 도로기층 안정처리 공법에 관한 연구" 건설부 국립건설연구소, 건설연구소 자료 No. 376, pp.1-117, 1978.
37. 대한토목학회, "용문산 국민 관광지 포장(KAP공법) 파손 원인 분석", 대한토목학회지 보고서, pp.1-30, 1986.
38. 농어촌진흥공사, "농어촌도로 포장공법 연구보고서 (Soil-cement 공법의 이론과 실제)", 농업토목시험연구원, pp.1-220, 1986.
39. 도덕현, "도로기층 안정처리에 관한 연구", 대한토목학회지, Vol.26, No.2, pp.73-84, 1978.
40. 도덕현, 고재만, "도로포장을 위한 soil-cement 안정처리공법 연구", 건국대학교 부설 농업자원개발연구소 농자원개발논집, 제 13집, pp.81-94, 1988.
41. 장용순, "시멘트 혼합토의 인장강도 특성에 관한 연구", 건국대학교 대학원 석사학위 논문 (농공학과), 1986.
42. 정인준, "도로의 기층과 노상토의 안정공법", 고속도로 건설 기술 심포지움, pp.43-58, 1968.
43. 지성현, "제2첨가제에 의한 Soil-Cement포장의 내구성 증대에 관한 연구", 한양대학교 대학원 석사학위 논문 (토목공학과), 1992.