

시멘트 콘크리트 포장도로의 우각부균열에 대한 유한요소해석

A Finite Element Analysis of Corner Cracks in Cement Concrete Pavements

조병완* 김낙주** 이계삼*** 박정규***
Jo, Byung-wan Kim, Nak-joo Lee, Kai-sam Park, Jung-kyu

ABSTRACT

Most defects in the cement concrete pavement take place mainly on the joints. These corner cracks don't happen as often as others relatively. it happens continuously.

In order to analyze the structural behavior of the corner cracks, The finite element structural analysis was performed on the representative section of the cement concrete pavements using JSLAB which uses FEM analysis method.

On plain cement concrete pavements, The result shows that loading not only on the joints but also on the center of slab brings out the maximum stress on the corner of slab and it is expected to make the corner cracks.

1. 서 론

우리나라의 시멘트 콘크리트 포장은 1978년부터 시행한 남해고속도로 부산-마산간 확장공사에 처음 도입한 이래 80년대부터 88올림픽 고속도로, 호남고속도로 확장 등에 적용되면서 일반화되기 시작했다.

시멘트 콘크리트 포장형식은 다층의 포장구조가 복합적으로 교통하중을 분담 및 경감시키는 아스팔트 콘크리트 포장과는 달리 강성이 월등한 콘크리트 슬래브를 사용하여 교통하중의 대부분을 콘크리트 슬래브가 감당하는 강성포장으로 유지관리비를 포함한 포장의 경제성 및 시공성, 중차량에 대한 우위성 등의 이유로 점차 확대 시행되고 있으며, 그동안 상당한 기술축적이 이루어져 고속도로의 경우 연약지반이나 확장공사의 일부구간 등을 제외하고는 대부분 시멘트 콘크리트 포장으로 시행하고 있는 실정이다. 그러나 시멘트 콘크리트 포장은 콘크리트 슬래브에 결함이 발생하게 되면 아스팔트 포장에서처럼 부분적인 패칭이나 덧씌우기에 의한 보수만으로 대처하기

어렵고, 보수를 위해 장시간 교통차단을 수반하여야 하며, 결함이 심한 경우에는 비용이 많이 소요되는 문제점이 있다. 우리나라에서 최초 본격적으로 시멘트 콘크리트 포장으로 시공된 88올림픽고속도로의 경우 개통후 여러 구간에서 포장체에 균열, 처짐 등 많은 문제점이 지적되어 왔다. 특히 포장체의 균열은 다양한 형태로 발생되고 있으며, 그 원인 또한 슬래브 자체의 결함뿐만 아니라 포장체 하부의 여러가지 결함에 의한 것 등 매우 다양하게 나타나고 있는데, 콘크리트 슬래브의 가장자리에 자주 발생하는 우각부 균열(Corner Cracks)은 슬래브 출눈부에서 일정한 규모의 형태로 발생되고 있어서 이에 대한 원인분석을 통한 근본적인 대책이 필요하다고 할 수 있다.

2. 시멘트 콘크리트 포장의 파손 현황

우리나라 고속도로의 콘크리트 포장은 최근에 개통된 일부 구간을 제외 하면 88선, 중부선, 경부선, 호남선으로 대별할 수 있다. 전반적으로 88선은 현재 부분적인 파손은 있으나 대부분 보수를 실시한 상태이고, 중부선 및 다른 구간은 88선에 비하여 비교적 양호한 상태라고 할 수 있다. 한국도로공사에서 지난 93년에 실시한 고속

* 정회원, 한양대학교 토목공학과 교수
** 한국도로공사
*** 한양대학교 토목공학과 석사과정

Read Name	Failure	Total rate	Joint sealing damage	Patching deterioration	Spalling	Transverse crack	Scaling	Coner crack	Faulting	etc.
전구간	갯수 (개)	2,255	1,079	328	499	146	46	103	10	44
	비율 (%)	100	47.85	14.55	22.13	6.47	2.04	4.57	0.44	1.95
88선	갯수 (개/Km)	68.25	33.35	13.6	9.1	4.5	1.25	4.4	0	2.05
	비율 (%)	100	48.86	19.93	13.33	6.59	1.83	6.45	0	3.01
호남선	갯수 (개/Km)	46.4	22.2	4.9	16.1	0.4	2.1	0.6	0	0.1
	비율 (%)	100	47.84	10.56	34.7	0.86	4.53	1.29	0	0.22
중부선	갯수 (개/Km)	13.42	5.7	0.23	5.32	1.9	0	0.27	0	0
	비율 (%)	100	42.48	1.71	39.64	14.16	0	2.01	0	0
경부선	갯수 (개/Km)	28.07	15.38	0.38	6.15	0.77	0	0.77	3.85	0.77
	비율 (%)	100	54.79	1.35	21.92	2.74	0	2.74	13.72	2.74

표 1 : Failure and damage rate in the concrete pavements of Korea

도로의 시멘트 콘크리트 포장의 상태조사에 의하면 포장의 파손이 심하다고 판단된 4개노선의 7개구간 76Km에 대한 표본조사를 실시한 결과 표 1에 보인바와 같이 줄눈부의 파손이 주로 많이 발생하였는데, 파손 유형별로 줄눈재 파손 (Joint Seal Damage) 48%, Spalling 22%, 팻칭부 파손(Patching Deterioration) 15%, 가로균열 (Transverse Crack) 6%, 우각부 파손(Corner Cracks) 5%의 순으로 나타났다.

특히 88선의 경우 Box 뒷채움부, 교량 뒷채움부, 절성토 구간, 길어깨 부근이 타 부근보다 파손이 현저하게 많이 나타났으며, Box 뒷채움부, 교량 뒷채움 부분은 거의 예외없이 파손이 있었고 상당부분 전단면 보수를 시행한 상태이다.

30Cm의 두께를, 길이는 6m를 적용하고 있고 차선수에 따라서 폭은 약간의 차이를 보이고 있으나 응력분포의 비교를 위하여 다음의 표 2와 같이 자료를 입력하였다.

구 분	단 위	Case 1	Case 2
슬래브 규격	m	6.0 × 3.6	6.0 × 3.6
슬래브 두께	cm (in)	22.9 (9)	30.0 (11.81)
콘크리트단위중량	t/m ³	2.3	2.3
콘크리트탄성계수	ksi	5,290	4,000
콘크리트포아손비		0.2	0.15
지반 반력 계수	pci	100	100

표 2 : 입력자료 현황

3. 시멘트 콘크리트 포장의 응력해석

3.1 입력 자료

우리나라의 고속도로중 시멘트 콘크리트 포장을 적용한 노선의 경우 대부분 무근 시멘트 콘크리트포장을 채택하고 있으며, 중부고속도로의 일부구간과 비상할주로구간에 연속철근 콘크리트 포장을 적용하고 있다.

우리나라 고속도로의 포장 슬래브는 모두

3.2 결과 분석

3연속 콘크리트 포장슬래브 줄눈부의 구조적 거동을 검토하기 위해 줄눈부의 Edge부분에 최악의 조건을 고려하여 80kips의 tandem하중을 재하하여 해석을 실시하였다.

이에 따른 구조해석의 결과 모서리 부근에서는 최대 주응력(σ_1)은 조금 증가하다가 감소하며, 전단응력은 꾸준히 증가하는 현상을 보이고 있으

며, 그림 1, 그림 2에서 모서리 부근(1.8m×3.0m)의 최대 주응력도의 변화를 보여주고 있다. 모서리부근의 최대 응력현황은 표 3과 같다.

이상에서 살펴본 바와 같이 (Case1)과 (Case2)에서 슬래브의 두께의 차이에 따라 응력값은 차이를 보이고 있으나, 조인트에서 길이방향으로 약 1~1.2 m 떨어진 지점에서 줄눈방향으로 타원형 형태의 모양으로 최대응력미를 형성하고 있어 우각부 균열의 가능성에 대한 원인을 이론적으로 뒷받침하고 있다고 할 수 있다.

228	0	-171	-92	74	175	283	280	306	360	320	279	200
227	357	363	326	288	274	330	307	332	377	359	318	232
226	410	392	374	351	332	403	340	357	417	372	329	240
225	429	435	424	414	406	422	406	412	436	403	352	257
224	386	423	418	415	417	425	428	435	469	419	364	264
223	0	52	185	313	378	237	451	464	416	446	383	278
Node No.	222	235	248	261	274	287	300	313	326	339	352	365

(Case 1.)

228	0	-91	-43	56	118	158	186	205	225	228	211	168
227	224	226	202	178	169	177	194	214	240	248	234	188
226	262	248	235	219	207	207	215	229	249	255	240	193
225	280	281	271	262	256	254	257	263	273	273	254	204
224	250	275	270	265	264	268	271	277	285	282	260	209
223	0	50	131	204	242	268	284	295	304	299	273	218
Node No.	222	235	248	261	274	287	300	313	326	339	352	365

(Case 2.)

표 3 : 콘크리트슬래브의 주응력 분포현황(모서리)

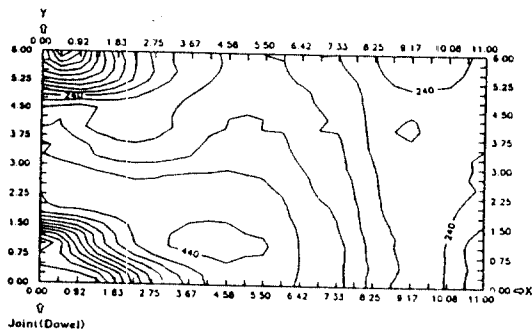


그림 1 : 콘크리트 슬래브의 주응력 분포도(경우1)

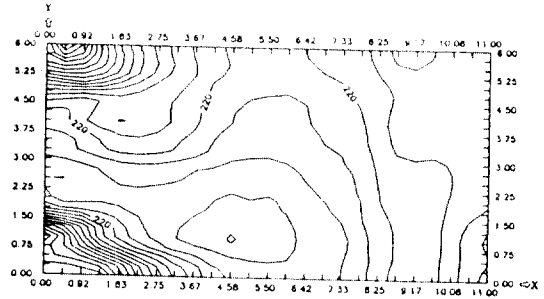


그림 2 : 콘크리트 슬래브의 주응력 분포도(경우2)

4. 결 론

연속된 콘크리트 슬래브판의 응력분포에 대하여 FEM해석을 도입, 포장구조 해석프로그램인 JSLAB를 이용하여 해석한 결과 슬래브의 모서리 부근에서는 최대 주응력은 조금 증가하다가 감소하고, 전단응력은 꾸준히 증가하는 현상을 보이고 있으며, 슬래브의 두께의 차이에 따라 응력값은 차이를 보이고 있으나, 조인트에서 길이 방향으로 약 1~ 1.2 m 떨어진 지점에서 줄눈 방향으로 타원형 형태의 모양으로 최대응력미를 형성하고 있어 우각부 균열의 가능성에 대한 원인을 이론적으로 뒷받침하고 있다고 할 수 있다.

더욱이 현실적으로 총중량 40ton이상의 과적 차량이 많이 통행되고 있고 줄눈부에 있어서 채움재의 탈리 및 줄눈부 모서리 탈락 등 사소한 결함이 발생하더라도 주행차량의 타이어 충격에 의하여 별도의 추가응력이 발생할 수 있으며, 또한 줄눈부에 우수의 침투로 인한 지반의 이완등으로 지반반력이 낮아지게 되는 경우 이로 인한 우각부 균열의 가능성은 더욱 커질 수 밖에 없다고 할 수 있다.

이러한 우각부 균열을 방지하기 위해서는 시공단계에서 슬래브 하단의 보조기층, 노반등의 균일한 다짐관리로 소요 지반강성을 확보하여야 하며, 유지보수시에도 무근 시멘트 콘크리트에 자주 발생되는 줄눈부의 결함에 대하여 적기 보수를 시행하여 줄눈부의 결함으로 인한 충격등 추가 응력이 슬래브 모서리에 발생하는 최대응력과 합성되어 우각부 균열로 발전되지 않도록 세심한 관리가 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Byung - Wan Jo, A Finite Element Parametric Study for the Response of Concrete Highway Pavements with Skewed Joints, 1988
2. 한국도로공사, 시멘트 콘크리트 포장체의 응력 분포에 관한 연구, 1992
3. 한국건설기술연구원, 시멘트 콘크리트 포장의 유지보수 대책에 대한 연구, 1994
4. 한국도로공사, 한국도로공사 20년사, 1989
5. 한국도로공사, 고속도로 건설공사 표준도(제1권), 1994
6. 한국기술연구원, 시멘트 콘크리트포장 유지보수 공법 연구보고서, 1986
7. Larry J. Serlind, Applied Finite Element Analysis, 1984
8. D. J. Dawe, Matrix and Finite Element Displacement Analysis of Structures, 1984
9. 한국도로공사, 포장유지보수 지침서, 1994
10. 이 병 철, 포틀랜드 시멘트 콘크리트 포장의 설계와 해석개념 및 방법론, 고속도로 제42호, 1991
11. 이 병 철, 포장파손 형태, 파손원인 및 유지보수 방법, 고속도로 제43호, 1991