

콘크리트 교면포장의 파손원인 분석연구

A Study on Cause of Distress of Concrete Bridge Deck

최지영^{*}, 이현종^{**}, 박성완^{***}

Choi, Ji Young · Lee, Hyun Jong · Park, Seong Wan

1. 서론

우리나라는 전국적으로 중소 규모의 하천이 각지에 분포하고 있으며, 많은 교량이 있다. 교면포장은 일반적인 도로포장과는 달리 진동 및 충격, 혹독한 기상조건 등에 그대로 노출됨으로서 토공부 포장보다 더 큰 파손요인이 발생한다. 또한 교량은 교통의 요충지에 위치하고 갓길이 없는 경우가 많기 때문에 교면포장의 보수공사시 심한 교통정체를 수반하며, 전면 보수공사는 교량 구조물의 수명을 단축시키는 요인이 되므로 교면포장의 공용성을 향상시키고 수명을 연장시켜야 한다.

최근 국내에서는 SBS 또는 SBR 계열의 폴리머 개질재를 첨가한 개질 아스팔트 혼합물, SMA 혼합물 및 구스 아스팔트 등이 사용되고 있으나 외국의 공용실적에 비하여 떨어지는 것으로 나타났다. 이는 교량의 구조적 거동특성을 고려하지 않고 아스팔트 혼합물의 공용성 증대에만 주안점을 둔 결과로서 교량의 거동 특성을 고려한 교면포장의 설계가 요구되고 있다. 이를 위해 한국건설기술연구원의 BMS자료를 바탕으로 교량의 하부구조별 바닥판의 두께와 경간장에 따른 파손유형으로 구분하였다.

2. 콘크리트 교면포장의 파손

2.1 교면포장의 파손유형

교면포장의 파손원인으로 볼 수 있는 요소들은 증차량 통행에 따른 소성변형과 충격에 따른 파손, 해당 지역의 기후(연중 최대기온과 최저기온), 포장체내에 침투한 수분에 의한 동결융해, 교량의 형식에 따른 경간장, 방수처리기능의 부적합, 접착층의 기능발휘 부적합 등을 들 수 있다.

한국건설기술연구원의 BMS자료에 따르면 전국의 교량은 19개의 지방사무소별로 관리되고 있으며, 파손 형태의 분류는 표 1.과 같다.

*정회원 · 세종대학교 토목환경공학과 석사과정 (E-mail:legion74@hanmail.net)
**정회원 · 세종대학교 토목환경공학과 조교수 · 공학박사 02-3408-3812 (E-mail:hlee@sejong.ac.kr)
***정회원 · 한국건설기술연구원 토목연구부 선임연구원 · 공학박사 031-9100-168 (E-mail:s-park@kict.re.kr)



표 1. 콘크리트 교면포장의 파손형태분류

파손구분	파손유형
교면포장	포장포장 기타
	포장균열(신축이음상부)
	교면포장의 균열(포장체)
	교면포장의 단차
	교면포장의 요철
	교면포장의 포트홀
바닥판	바닥판 균열(전단)
	바닥판의 박리, 파손
	바닥판 철근노출
	바닥판의 균열(휨)
	바닥판의 누수, 열화, 백태
	바닥판 기타
배수시설	배수시설 파손(강재)
	배수시설의 기능결함
	배수시설의 노화, 열화
	배수시설 기타

2.2 국내 교면 포장의 파손유형

전국에 건설된 교량은 콘크리트 슬래브교(RCS형교), 라멘교(RA형교), 프리스트레스 I형교(PSCI형교) 순으로 분포되어 있다. 바닥판 두께별 파손유형 분류에서는 각각의 RCS형교, RA형교, PSCI형교의 분포를 분석하여 가장 많이 시공된 3개의 바닥판 두께로 구분하여, RCS형교는 50cm(45~55), 60cm(56~65), 70cm(66~80), RA형교는 50cm(45~55), 65cm(60~70), 80cm(75~82), PSCI형교는 20cm(17~20), 25cm(23~27), 30cm(28~35)로 분류하였다. 지간장별 파손유형 분류는 각각의 교량을 10~14m, 15~19m, 20~24m, 25~29m, 30~35m, 40~45m, 60m이상으로 분류하였다.

2.2.1 바닥판두께별 파손유형

그림 1부터 그림 3은 바닥판 두께별 파손분포를 나타내고 있다. 그래프의 손상비율은 발생한 개소를 교량의 수로 나눈 것이다. RCS형교, RA형교, PSCI형교 모두 '배수시설의 노화, 열화'항목이 가장 많으며, 손상비율 또한 가장 높다. 그림 3에서 PSCI 30을 보면 손상비율이 손상개소에 비하여 높게 나타났는데 이는 하나의 교량에서 여러개의 파손이 발생하였음을 알 수 있다.

2.2.2 경간장별 파손유형

경간장별 파손유형 분류에서 주된 파손형태는 '바닥판의 균열(휨)', '교면포장의 균열(포장체)', '배수시설의 기능저하'로 나타났다. RCS형교는 바닥판과 배수시설의 손상비율이 높았으나, RA형교는 '바닥판의 균열(휨)' 항목의 손상비율이 절반정도밖에 되지 않았으며, PSCI형교는 손상비율이 500%가 넘는 항목이 다른 교량형식에 비해 많았다.

PSCI형교에서 RA형교, RCS형교로 가면서 '교면포장의 균열(포장체)'와 '배수시설의 기능저하' 항목은 '바닥판의 균열(휨)' 항목에 비해 상대적으로 많이 줄어들었다. 특히 그림 7의 경우 40~45cm의 교량에서 시공교량은 하나인데 총 손상개소가 53개로서 손상비율이 매우 높게 나타났다.

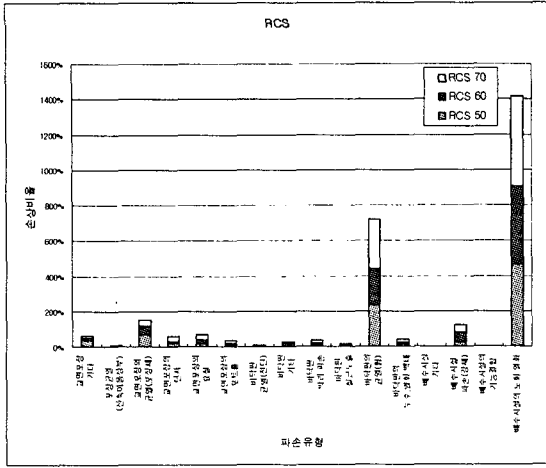


그림 1. RCS형교의 바닥판 두께별 손상비율

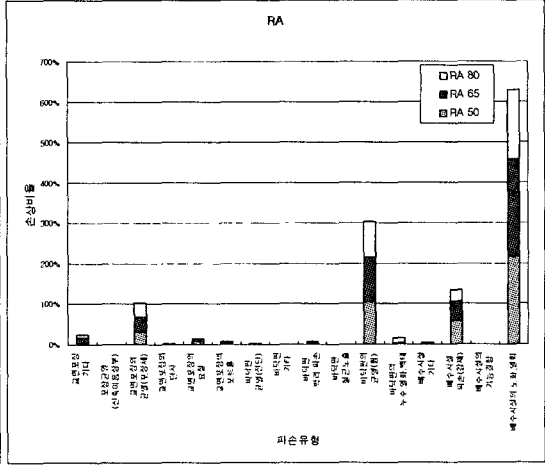


그림 2. RA형교의 바닥판 두께별 손상비율

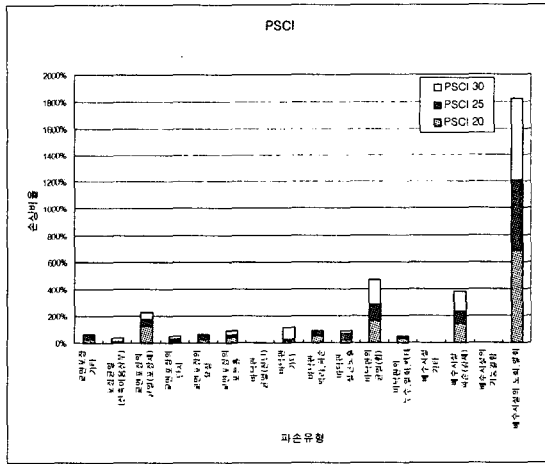


그림 3. PSCI형교의 바닥판 두께별 손상비율

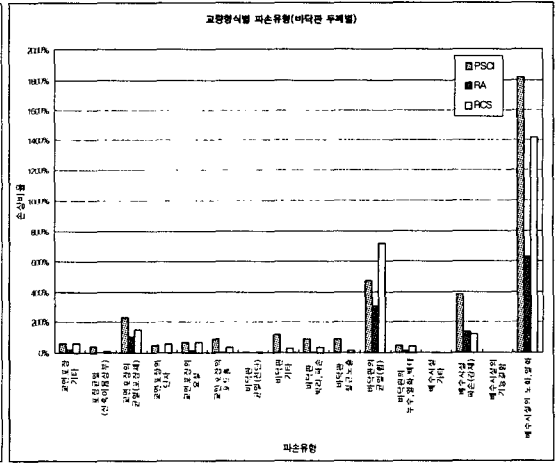


그림 4. 교량형식별 파손유형(바닥판 두께별)

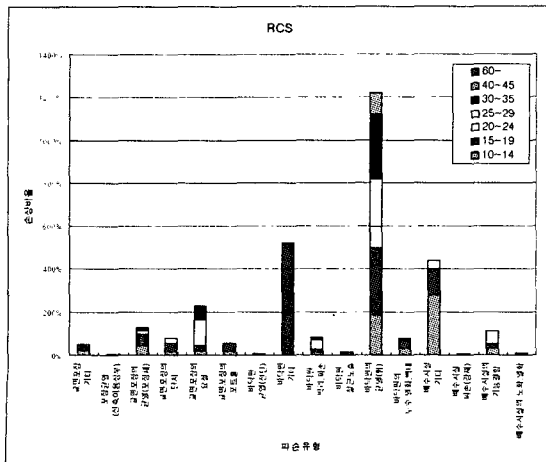


그림 5. RCS형교의 경간장별 손상비율

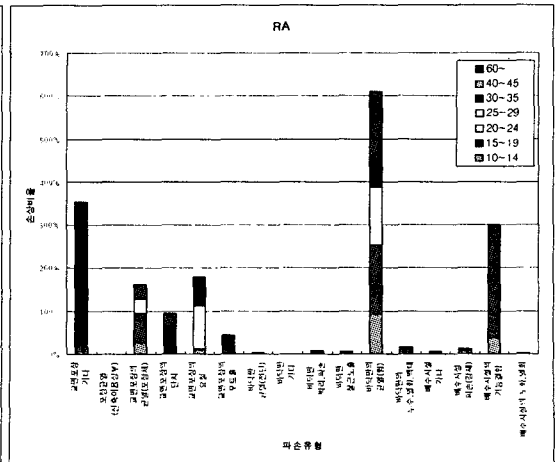


그림 6. RA형교의 경간장별 손상비율

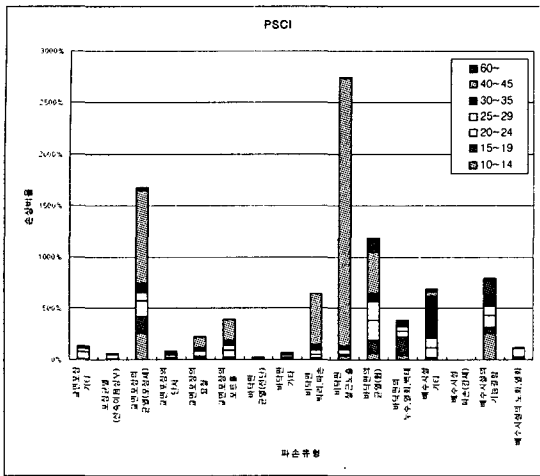


그림 7. PSCI형교의 경간장별 손상비율

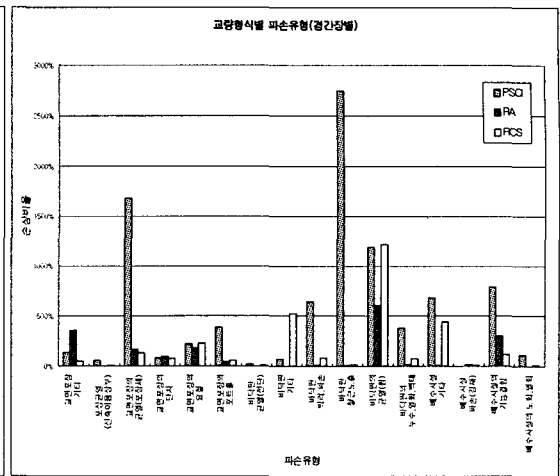


그림 8. 교량형식별 파손유형(경간장별)

3. 콘크리트 바닥판과 아스팔트 포장체의 거동해석

교량 바닥판의 조건에 따라 아스팔트 포장체에 미치는 영향을 평가하기 위하여 콘크리트 RCS형교, RA형교, PSCI형교의 차륜하중에 의한 콘크리트 바닥판과 아스팔트 포장체의 거동을 수치해석 하였다.

3.1 차륜의 접지 및 물성

차륜의 접지에 대한 사항은 도로교 설계기준(2000)의 1등급을 기준으로 하였으며, 접지면과 접지압 및 바닥판의 물성은 표 2와 같다. 접지압은 접지면에 균등분포하는 것으로 가정하였다. 아스팔트 혼합물의 물성은 재료의 구성성분이나 특성에 영향을 받으므로, 실험을 바탕으로 파단 인장응력의 추세곡선으로부터 산출하여 사용하였다. 아스팔트 구조체는 수치해석의 단순화를 위하여 완전 탄성체로 가정하였다.

표 2. 접지면, 접지압 및 바닥판의 물성

접지면	1322.5 cm ²
접지압	7.26 kgf/cm ²
콘크리트의 탄성계수(Ec)	259,807 kgf/cm ²
콘크리트의 프아송비	1/6
콘크리트의 전탄성계수(Gc)	111,345 kgf/cm ²
철근의 탄성계수(Es)	2.04×10 ⁶ kgf/cm ²

3.2 수치해석조건 및 해석결과

바닥판의 두께에 따른 변화를 알아보기 위하여 하부구조별로 3가지로 분류된 바닥판두께에 대하여 유한요소 해석프로그램인 STRAND-7을 이용하여 해석을 하였다. 그리고 포장의 두께는 모두 5cm로, 해석온도는 -5℃, 20℃, 50℃로 하였다. PSCI형교의 구성과 표준형은 그림 9, 그림 10과 같다.

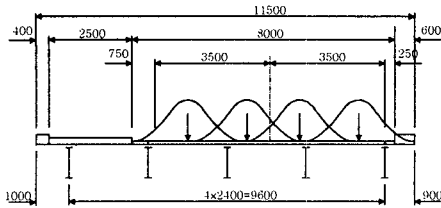


그림 9. 주요간선도로 교량(4차선 편측)

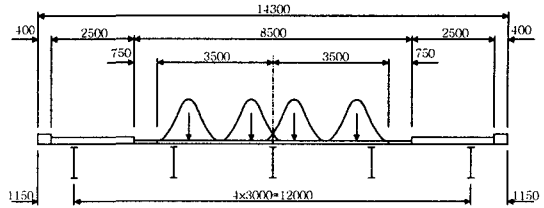


그림 10. 주요간선도로 교량(2차선)

표 3. 해석결과(RCS형교)

(단위: kgf/cm², cm)

온도		-5℃			20℃			50℃		
두께		50	60	70	50	60	70	50	60	70
전체 구조	Dy	-0.324	-0.196	-0.127	-0.374	-0.221	-0.141	-0.399	-0.223	-0.147
	σ ₁₁	26.14	18.50	13.73	28.64	19.97	14.68	29.92	20.70	15.12
포장체	Dy	-0.322	-0.194	-0.126	-0.371	-0.219	-0.14	-0.397	-0.231	-0.147
	σ ₁₁	1.55	1.32	1.36	1.28	1.20	1.21	1.23	1.17	1.17
포장체 중심면	σ ₁₁	1.21	1.11	1.12	0.99	0.96	0.95	0.95	0.95	0.95
	ν ₁₁	2.09E-5	1.61E-5	1.34E-5	3.25E-5	2.62E-5	2.13E-5	8.76E-5	8.20E-5	7.88E-5
	τ _{zx}	1.56	1.10	0.81	0.61	0.42	0.30	0.12	0.08	0.05
	ν _{zx}	1.63E-5	1.15E-5	8.53E-6	2.01E-5	1.36E-5	9.90E-6	2.21E-5	1.47E-5	1.05E-5
포장체 바닥면	σ ₁₁	1.50	1.24	1.07	1.04	0.95	0.92	0.93	0.92	0.91
	ν ₁₁	2.07E-5	1.58E-5	1.27E-5	3.15E-5	2.52E-5	2.04E-5	8.46E-5	7.88E-5	7.55E-5
	τ _{zx}	1.38	1.01	0.75	0.55	0.38	0.28	0.11	0.07	0.05
	ν _{zx}	1.45E-5	1.06E-5	7.95E-6	1.80E-5	1.26E-5	9.25E-6	1.98E-5	1.36E-5	9.88E-6

표 4. 해석결과(RA형교)

(단위: kgf/cm², cm)

온도		-5℃			20℃			50℃		
두께		50	65	80	50	65	80	50	65	80
전체 구조	Dy	-0.092	-0.056	-0.038	-0.102	-0.060	-0.041	-0.108	-0.064	-0.044
	σ ₁₁	13.06	8.45	6.03	14.22	9.00	6.33	14.83	9.27	6.47
포장체	Dy	-0.091	-0.055	-0.038	-0.102	-0.060	-0.040	-0.108	-0.064	-0.044
	σ ₁₁	6.50	3.56	2.18	5.90	3.24	1.98	5.83	3.14	1.88
포장체 중심면	σ ₁₁	6.03	3.35	2.06	2.36	1.26	0.96	0.94	0.95	1.28
	ν ₁₁	2.74E-5	1.52E-5	9.38E-6	3.34E-5	1.78E-5	1.67E-5	7.81E-5	7.53E-5	9.85E-5
	τ _{zx}	0.90	0.58	0.44	0.39	0.24	0.16	0.08	0.049	0.26
	ν _{zx}	9.46E-6	6.17E-6	4.66E-6	1.29E-5	7.88E-6	5.27E-6	1.49E-5	8.82E-6	4.64E-5
포장체 바닥면	σ ₁₁	5.48	3.13	1.95	2.16	1.18	0.89	0.91	0.91	1.15
	ν ₁₁	2.48E-5	1.42E-5	8.89E-6	3.05E-5	1.67E-5	1.57E-5	7.53E-5	7.21E-5	8.94E-5
	τ _{zx}	0.81	0.54	0.16	0.35	0.21	0.14	0.07	0.045	-0.09
	ν _{zx}	8.50E-6	5.68E-6	1.74E-6	1.15E-5	7.16E-6	4.86E-6	1.33E-5	8.04E-6	-1.70E-5



표 5. 해석결과(PSCI형교)

(단위: kgf/cm², cm)

온 도		-5℃			20℃			50℃		
두 겜		20	25	30	20	25	30	20	25	30
전체 구조	Dy	-0.015	-0.010	-0.072	-0.020	-0.012	-0.008	-0.026	-0.016	-0.012
	σ_{11}	17.43	11.78	9.28	21.06	13.88	9.65	23.97	15.33	10.45
포장재	Dy	-0.015	-0.010	-0.072	-0.020	-0.012	-0.008	-0.026	-0.016	-0.012
	σ_{11}	10.40	7.26	5.20	7.72	5.46	3.92	8.18	5.51	3.86
포장재 중심면	σ_{11}	8.42	6.06	4.43	4.12	2.83	2.00	1.05	1.03	1.02
	ν_{11}	3.86E-5	2.82E-5	2.08E-5	5.85E-5	4.06E-5	2.90E-5	9.43E-5	8.95E-5	8.72E-5
	τ_{zx}	2.39	1.70	1.27	1.19	0.79	0.56	0.28	0.18	0.12
	ν_{zx}	2.50E-5	1.79E-5	1.33E-5	3.89E-5	2.60E-5	1.85E-5	5.01E-5	3.21E-5	2.25E-5
	σ_{11}	6.35	4.84	3.68	3.36	2.33	1.70	1.01	0.98	0.96
포장재 바닥면	ν_{11}	2.94E-5	2.26E-5	1.73E-5	4.78E-5	3.36E-5	2.47E-5	8.61E-5	8.13E-5	7.88E-5
	τ_{zx}	1.75	1.31	1.01	0.93	0.64	0.46	0.22	.014	0.098
	ν_{zx}	1.84E-5	1.38E-5	1.05E-5	3.06E-5	2.09E-5	1.50E-5	4.03E-5	2.64E-5	1.75E-5

4. 결론

바닥판 두께별 파손유형을 보면 배수시설의 노화, 열화의 손상비율이 다른 파손에 비하여 상당히 높게 나타나고 있으며, 경간장별 파손유형에서는 교면포장의 PSCI형교가 교면포장, 바닥판, 배수시설 모두 문제가 있는 것으로 나타났다. 반면 RCS형교와 RA형교는 바닥판과 배수시설에 파손이 나타났다.

바닥판 두께와 경간장별 파손유형을 비교해 보면 차이가 많이 나는데, 이는 경간장별 분류는 10m 미만의 교량을 제외한 대부분의 교량이 대상이 된 반면, 바닥판 두께별 분류는 전체 교량중 시공빈도가 높은 3가지 범위의 교량에 대해서만 분류가 이루어졌다.

바닥판 두께에 대한 손상비율은 교량형식별로 비슷하였으며, 시공빈도가 높은 교량에 대한 바닥판 두께차이에 의한 것은 없는 것으로 나타났다. 경간장별 분류에서는 시공빈도가 낮은 어느 한 교량에 대해 집중적으로 하나의 파손이 집중되어 손상비율이 매우 높게 나타나는 경우가 있었다. 포항국도사무소의 유가의팔교는 RA형교로서 교면포장의 열화, 노화가 10곳이었으며, 의정부국도사무소의 행주대교는 PSCI형교로서 바닥판의 철근노출이 26곳으로 손상비율이 매우높게 나타났다.

이상의 자료는 교량의 제령을 고려하지 않은 자료들이며, 소성변형에 대해서는 언급이 없어 교면포장의 파손 유형에 대하여 단언할 수는 없으나, 전반적인 경향은 파악되었다.

참고문헌

1. 건설교통부, 아스팔트 포장설계·시공 요령, 1997.
2. 한국건설기술연구원, 교량관리시스템, 토목연구부, 2002.
3. 옥창권, 이광호, 교면포장의 파손 및 유지보수, 한국도로포장공학회지, 제3권 제3호, 2001.
4. 김주원, 교면포장의 기본, 한국도로포장공학회지, 제2권 제1호, 2000.
5. 반태순, 류명차, 이석홍, 국내교면포장 시공사례, 한국도로포장공학회지, 제2권 제1호, 2000.
6. 유승옥, 지길용, 정시운, 도경일, 교면포장의 설계 유의점, 한국도로포장공학회지, 제2권 제1호, 2000.
7. Boothby, T. E., and J. E., Laman, Cumulative Damage to Bridge Concrete Deck Slabs Due to Vehicle Loading, Journal of Bridge Eng., Vol. 4, No. 1, ASCE, U.S., 1999, PP 80-82