



콘크리트 교면 아스팔트포장의 구조적 거동 및 파손

Structural Behavior and Distress of Asphalt Pavement on Concrete Bridge Decks

박성완* · 이현종** · 이완훈***

Park, Seong-Wan · Lee, Hyunjong · Lee, Wan-Hoon

Abstract

This paper presents the results of a study that was performed to evaluate structural behaviors and related distress of asphalt pavements on concrete bridge deck based on the visual inspection and 3-dimensional finite element analysis. As a result, three most failure types were found such as permanent deformation, potholes, and fatigue crackings. In addition, the failure mechanisms of different types of concrete bridge deck were investigated. An increase in fatigue of asphalt pavements on concrete bridge deck was observed and confirmed by the results from the visual inspections. In consequence, the aging and stripping of asphalt surfacing materials are relatively dominant factors on fatigue rather than traffic loadings.

Keywords : concrete bridge deck, asphalt pavement, distress, finite element analysis, visual inspection

요 지

본 논문은 국내의 콘크리트 교면포장에 주로 발생하는 아스팔트 포장의 파손유형들에 대한 현황 분석과 교량 상판과 포장의 상호작용 해석을 실시하여 주된 파손유형을 제시하고자 한다. 연구의 범위는 PSCI형교, 철근콘크리트 슬라브교와 라멘교를 각각 대상으로 하였다. 조사결과 콘크리트 교면 아스팔트 포장의 주요 파손들은 소성변형, 포트홀 그리고 피로균열 순으로 확인되었다. 또한 교면 아스팔트 포장에 발생하는 피로균열의 경우 주된 파손인자가 교통하중의 반복보다는 포장의 노후화나 재료의 박리와 같은 재료 문제로 추정되며 실제조사에서도 콘크리트 교량의 경우 미세한 파손의 빈도가 높고 박리가 있는 지점에서 균열이 상대적으로 많이 발생되었다.

핵심용어 : 콘크리트 교면, 아스팔트 포장, 파손, 유한요소해석, 육안조사

* 정회원 · 단국대학교 토목환경공학과 전임강사 · 공학박사
** 정회원 · 세종대학교 토목환경공학과 부교수 · 공학박사
*** 정회원 · 청운대학교 토목환경공학과 조교수 · 공학박사



1. 서론

현재 도로교의 건설은 국토의 70% 이상이 산악지역인 지형적 특성으로 인해 적용 비율이 많아지고 있는 추세이다. 일반적으로 도로교에서 주행차량의 양호한 평탄성을 제공하고 교량 상부 바닥판을 보호하는 목적으로 아스팔트 포장에 적용된다. 그러나 아스팔트 교면포장은 일반 토공부 위에 건설되는 포장에 비해 구조물의 진동이나 차량의 충격, 그리고 기온차 등의 조건에 노출이 되며 하중의 전달이 상판면에 집중되는 특성 등으로 비교적 큰 파손 및 기능 저하 요인이 상존하고 있다.

따라서 교면포장의 공용수명 저하는 교면포장에 발생하는 여러 형태의 파손들에 기인한다. 실제로 수많은 파손들이 국내의 교면포장에서 빈번하게 발생하고, 이에 따라 유지보수의 비용도 상당히 소요되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 국내 교면포장의 파손, 교면포장의 공용성에 대한 연구를 위해서 현장 파손 조사와 더불어 교량 바닥판 및 교면포장의 상호작용에 대한 구조해석을 실시하였다. 이는 국내 교면포장의 파손현황과 교면포장의 공용특성을 이해하는 지표로 활용될 것이다. 본 연구에서는 국내 콘크리트 교량의 다수를 차지하는 교량 상부구조 형식인 프리스트레스 I형교(PSCI), 철근 콘크리트교(RCS) 그리고 라멘교(RA)를 대상으로 하였으며 편의상 PSCI, RCS, RA로 각각 통칭하였다.

2. 국내 콘크리트교 교면포장의 파손

교면포장의 파손원인으로 볼 수 있는 요소들은 중차량 통행에 따른 소성변형과 충격에 따른 파손, 해당 지역의 기후(연중 최대기온과 최저기온), 포장체에 침투한 수분에 의한 동결융해, 교량의 형식에 따른 경간장, 방수처리기능의 부적절함, 접착층의 기능 발휘 부적합 등을 들 수 있다. 본 연구에서의 콘크리트교 교면포장의 파손현황 조사는 건설교통부 교량관리시스템 자료의 활용과 직접현장조사를 동시에 실시하였다.

2.1 BMS 자료에 따른 국내 현황

건설교통부 교량관리시스템의 자료에 따른 일반국도상 교량의 파손형태 분류는 표 1과 같다(건설교통부 2002). 그러나 자료에서 교면포장 파손에 대한 세부사항은 현재 결여되어 있는 실정이다.

가. 교량형식별 교량 상부구조 파손유형

교량형식에 따른 주요 파손은 표 2와 같다. 교량형식 모두 바닥판의 균열(휨)이 가장 많이 발생하였으며, 배수시설의 기능부족·결함, 교면포장 포장체의 균열 등으로 나타났다. 이는 배수시설의 기능결함으로 인한 교면포장의 수분손상으로 포장체에 균열, 함몰, 포트홀 등이 발생한 것으로 판단된다. 따라서, 교량의 유지관리에 있어 가장 중요한 사항은 배수시설의 기능을 유지하고, 교량상판의 철근부식 등으로

표 1. 콘크리트 교량 상부구조의 파손형태분류

구 분	교 면 포 장	바 닷 판	배 수 시 설
파손유형	교면포장 기타 포장균열(신축이음상부) 교면포장의 균열(포장체) 교면포장의 단차 교면포장의 요철 교면포장의 포트홀	바닥판 균열(전단) 바닥판의 박리·파손 바닥판 철근노출 바닥판의 균열(휨) 바닥판의 누수·열화·백태 바닥판 기타	배수시설 파손(강재) 배수시설의 기능결함 배수시설의 노화·열화 배수시설 기타

표 2. 교량형식별 파손유형

교량형식	주요 파손				
	1	2	3	4	5
RCS형교	바닥판의 균열(휨)	교면포장의 균열(포장체)	배수시설 기능부족·결합	교면포장 단차	교면포장 요철
RA형교	바닥판의 균열(휨)	배수시설 기능부족·결합	바닥판의 균열(포장체)	배수시설 노화·열화	교면포장 요철
PSCI형교	바닥판의 균열(휨)	배수시설 기능부족·결합	바닥판의 균열(포장체)	바닥판의 박리, 파손	교면포장 함몰, 포트홀

인한 상판의 구조적 결함을 방지하는 것이 무엇보다도 중요함을 간접적으로 알 수 있다.

나. 바닥판 두께별 교량 상부구조 파손유형

표 2와 같이 교량의 파손유형 가운데 바닥판의 균열이 가장 많이 발생되어 교량상판의 두께나 경간장과 관계가 있다고 판단되어 바닥판의 두께와

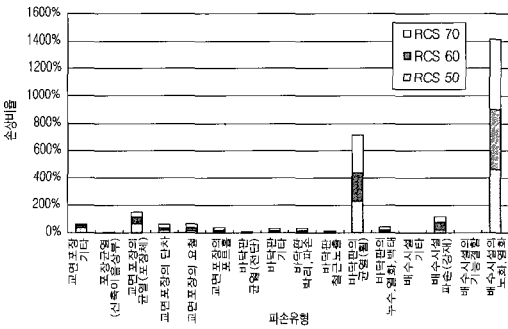


그림 1. RCS형교의 바닥판 두께별 손상비율

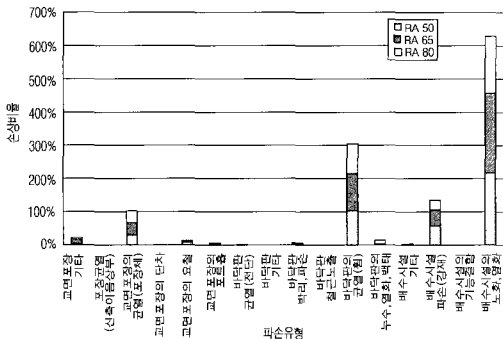


그림 2. RA형교의 바닥판 두께별 손상비율

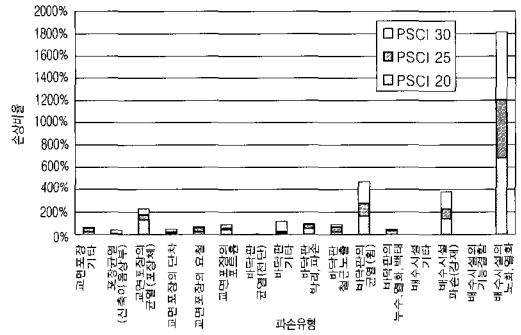


그림 3. PSCI형교의 바닥판 두께별 손상비율

포장체의 파손과의 상관성을 살펴보았다. 그림 1에서 그림 3은 바닥판 두께별 파손분포를 보여주고 있으며, 그림에서 세로축에 있는 손상비율은 시공된 교량 개수의 영향을 고려하여 파손이 발생한 개소를 교량의 수로 나눈 것이다. 분석 결과 RCS형교, RA형교, PSCI형교 모두 배수시설의 노화 및 열화 항목이 가장 많으며, 손상비율도 또한 가장 높았다. 또한 PSCI형교가 다른 교량형식에 비하여 손상비율이 높게 나타나 PSCI형 교량의 파손이 많은 것을 알 수 있다.

다. 경간장별 교량 상부구조 파손유형

경간장별 파손유형 분류에서 주된 파손형태는 그림 4에서 그림 6과 같이 바닥판의 균열(휨), 교면포장의 균열(포장체), 배수시설의 기능저하로 나타났다. RCS형교는 바닥판과 배수시설의 손상비율이 높

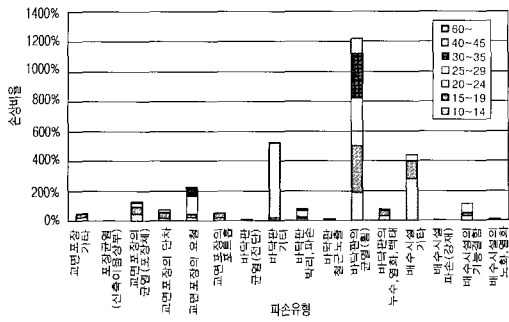


그림 4. RCS형교의 경간장별 손상비율

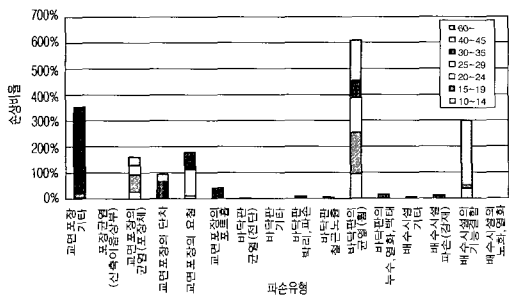


그림 5. RA형교의 경간장별 손상비율

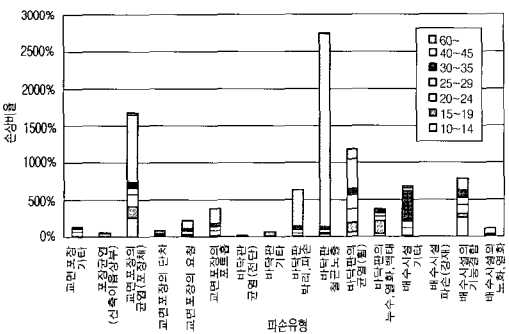


그림 6. PSCI형교의 경간장별 손상비율

았으나, RA형교는 RCS형교에 비해 바닥판의 균열(휨)항목의 손상비율이 절반정도로 나타났다. RA형교의 교면포장 기타는 하나의 교량에서 파손이 많이 발생하여 손상비율이 높게 나타난 것이며, PSCI형교는 손상비율이 500%가 넘는 항목이 다른 교량형식에 비해 많았다. 이는 PSCI형교가 다른 형식의 교량에 비하여 경간장이 긴 교량이 많기 때문에 분석

된다. 경간장이 길면 교통하중에 의한 진동이 크고 이로 인해 파손에 취약해 질 수 있기 때문에 추정된다.

PSCI형교에서 RA형교, RCS형교 별로 교면포장의 균열(포장체)과 배수시설의 기능저하 항목은 바닥판의 균열(휨)항목에 비해 상대적으로 많이 줄어들었다. 특히 그림 6에서와 같이 40-45m의 교량에서 시공교량은 하나인데 총 손상개소가 53개로서 손상비율이 매우 높게 나타났다.

라. 교면포장의 파손유형

표 3은 교량의 파손유형들에서 교면포장의 파손만 바닥판 두께별로 정리하였다. 전반적으로 교량형식이나 바닥판 두께에 관계없이 포장체의 균열이 가장 많이 발생한 것을 알 수 있으며, 그 외에 요철, 포트홀, 단차 등이 발생하였다.

경간장별 교면포장의 파손유형은 바닥판 두께별 파손유형과 유사한 경향으로 표 4에서 보는 바와 같이 교면포장 포장체의 균열이 가장 많이 발생하였고, 요철, 포트홀, 단차 등과 함께 PSCI형교에서는 신축이음상부의 균열도 발생하였다.

2.2 현장 육안조사를 통한 국내 현황

본 연구에서는 국내의 일반국도에 산재해 있는 교량 중에서 파손이력이 많은 교량을 선정하여 현장에서 직접 육안 조사를 실시하였다. 각 교량의 상부구조 형식별로 3내지 9개소를 각각 선정하였다. 총 조사를 실시한 교량은 약 40개소에 불과해 전체적인 파손 유형을 분석하기는 미흡하지만 대략의 흐름 정도는 파악할 수 있을 것으로 판단된다.

현장 육안조사의 조사내용은 영구변형(소성변형, 밀림 등), 피로균열, 종방향 균열, 횡방향 균열, 포트홀 발생량, 포장 노화 및 박리정도, 요철발생량, 블리딩 현상 발생량, 차량 통과량 정도 등의 내용이 포함되었다.



표 3. 바닥판 두께별 교면포장의 파손유형

교량형식	바닥판 두께	주요 파손		
		1	2	3
RCS형교	50cm(45~55)	균열(포장체)	기타	단차
	60cm(56~65)	균열(포장체)	요철	기타
	70cm(66~80)	균열(포장체)	요철	단차
RA형교	50cm(45~55)	균열(포장체)	요철	기타
	60cm(56~65)	균열(포장체)	기타	요철, 포트홀
	70cm(66~80)	균열(포장체)	기타	-
PSCI형교	50cm(45~55)	균열(포장체)	포트홀	요철
	60cm(56~65)	균열(포장체)	기타	요철
	70cm(66~80)	균열(포장체)	포트홀	균열(신축이음상부)

표 4. 경간장별 교면포장의 파손유형

교량형식	경간장	주요 파손		
		1	2	3
RCS형교	10~14m	균열(포장체)	기타	단차
	15~19m	균열(포장체)	단차	포트홀
	20~24m	요철	단차	-
	25~29m	균열(포장체)	-	-
	30~35m	요철	균열(포장체)	-
RA형교	10~14m	균열(포장체)	요철	기타
	15~19m	균열(포장체)	기타	포트홀
	20~24m	균열(포장체)	-	-
	25~29m	요철	-	-
	30~35m	기타	단차, 요철	포트홀
	60m이상	균열(포장체)	단차	-
PSCI형교	10~14m	균열(포장체)	단차, 요철	포트홀, 균열(신축이음상부)
	15~19m	균열(포장체)	요철	단차
	20~24m	균열(포장체)	포트홀	기타
	25~60m이상	균열(포장체)	포트홀	요철

가. 소성변형 발생량 조사

본 조사에서 소성변형의 발생량은 정성적인 비율만을 제시한다. 표 5는 소성변형의 발생비율을 나타낸 것으로, 이는 조사 교량에 대해서 소성변형이 과

도하게 발생한 교량의 비율을 나타낸 것이다. 국내 일반국도의 대표적인 콘크리트 바닥판 형식의 교량 중에서 가장 소성변형이 많이 발생한 교량은 PSCI형교로서 소성변형의 발생은 바닥판이나 교량의 형



표 5. 바닥판 형식별 소성변형 발생비율

바닥판 형식	조사교량수	발생 비율(%)
PSCI형교	5	60
RCS형교	9	11
RA형교	6	17

식보다는 교통량의 흐름이나 차량의 하중에 많은 영향을 받는 것으로 판단된다. 실제로 조사에서 교량 부근에 교차로가 존재하거나 중차량 교통량이 많은 교면포장에서는 모두 과도한 소성변형이 발생하였다.

나. 국내 교면포장의 파손 발생량

PSCI형교의 교면포장은 대부분 많은 파손형태를 보이고 있다. 조사결과 PSCI형교의 경우 포트홀이 가장 많이 발생하는 파손이다. 그리고 이 형태의 교량에서는 여러 가지 유형의 파손들이 골고루 발생한 것을 보여준다. 특히 과도한 소성변형의 발생이 자주 관찰되었다. 그러므로 PSCI형교 교면포장의 주된 파손은 소성변형, 포트홀, 종방향 및 피로균열이라고 판단된다. 다음의 그림 7은 조사교량의 교면포장 파손유형을 보여준다.

RCS교의 경우 교장이 짧고 바닥판의 두께가 두꺼운 관계로 교면포장에서 과도한 파손은 발생되지 않고 있다. RCS교 교면포장에서 주로 발생하는 파손은 포트홀이다. 또한 소성변형이 과도하게 발생한 교량은 중차량의 통과량이 많은 교량 1개소에 지나지 않는다. 그러므로 RCS형교에서는 소성변형이나 피로균열보다는 포트홀과 단차 및 요철이 주된 파손 유형으로 추정된다. 조사결과는 그림 8과 같다.

라멘교는 과도한 파손은 관측되지 않았다. 그림 9는 조사대상 교량에 대한 파손발생량이다. 가장 많이 발생하는 파손은 밀림 현상이며, 포트홀이나 피로균열도 다소 발생한다. 또한 과도한 소성변형은 밀림과 동시에 발생하기도 한다. 따라서 주된 파손유형은 밀림, 소성변형 그리고 포트홀로 판단된다. 그리고 현

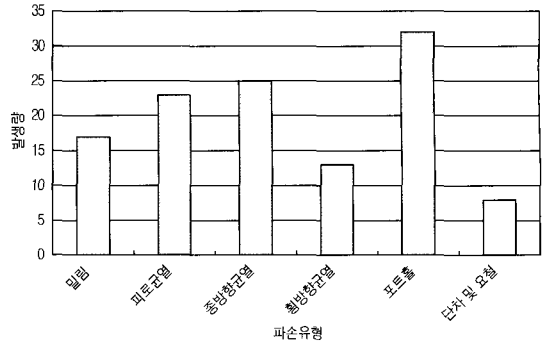


그림 7. PSCI형교의 파손발생량(조사대상 교량)

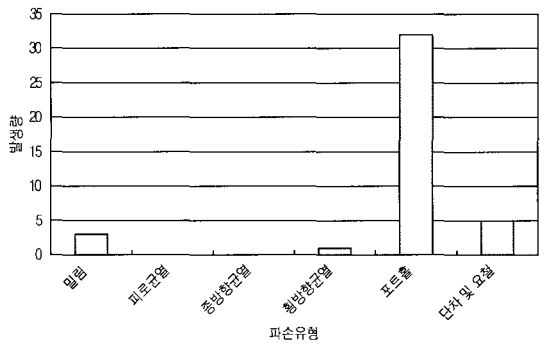


그림 8. RCS형교의 파손발생량(대상교량)

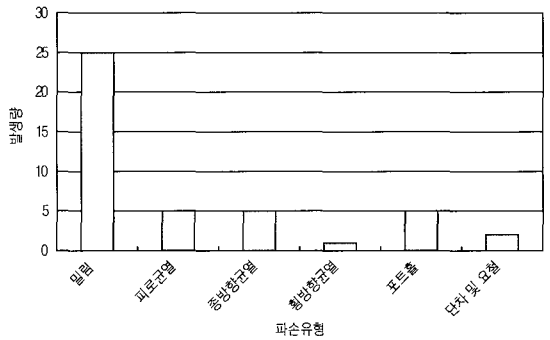


그림 9. RA교의 파손발생량(대상교량)

장조사 결과에서 라멘교의 피로균열은 포장의 노후도와 직접적으로 연관된 것으로 판단된다.

2.3 파손유형 분석결과

교량관리시스템의 자료에 의하면, 콘크리트교 교



면포장의 파손은 교량형식이나 바닥판의 두께, 경간장에 관계없이 모두 포장체의 균열, 요철, 포트홀이 가장 많이 발생하였다. 요철의 경우에는 대부분 아스팔트 혼합물의 내유동성과 관련이 있으므로 혼합물의 소성변형에 대한 저항성이 주된 요인으로 작용하는 것으로, 포트홀의 경우 대부분 피로균열에 기인한 수분 침투로 수분손상에 의해 주로 발생된 것으로 판단된다. 따라서, 콘크리트교의 교면포장 역시 토공부포장과 마찬가지로 아스팔트 혼합물의 배합 설계시에 포장체 균열과 소성변형 및 수분손상 등에 중점을 둔 설계를 해야 할 것이다.

아울러 경간장이 길어질수록 바닥판 균열과 기타 손상이 많이 발생하는 경향을 보이고 있다. 이는 장대교량의 설계시 교량상판의 과도한 처짐을 고려한 방안이 모색되어야 할 것이며, 경간장이 상대적으로 긴 교량의 교면포장에서 포장체의 과도한 처짐에 대비한 혼합물의 배합설계가 필요할 것으로 판단된다.

현장조사 자료에 의하면, 교면포장에 대한 상세한 항목에 따라 조사한 결과 교량관리시스템(BMS)의 자료와는 약간의 차이가 있었지만, 거의 비슷한 결론을 유추할 수 있었다. 현장조사에 따른 각 바닥판 형식별로 주된 파손유형을 분류하면 다음의 표 6과 같다.

현장조사에서 대부분의 교면포장이 어느 정도의 피로균열을 나타내고는 있다. 또한 대부분 포트홀의 경우도 피로균열로부터 시작해서 발전함으로 주된 파손유형과 함께 피로균열도 교면포장의 파손으로 고려되어야 할 것이다.

표 6. 바닥판별 교면포장의 주된 파손유형(현장조사결과)

바닥판 형식	주된 파손유형		
	1	2	3
PSCI형교	소성변형	포트홀	피로균열
RCS형교	포트홀	단차	소성변형
RA형교	밀립	소성변형	포트홀

3. 콘크리트 바닥판과 포장체의 거동해석

교량상판에 시공되는 아스팔트 포장층은 교량의 바닥판에 전달되는 교통하중을 저감시키는 역할이 있다. 이는 부분적으로 바닥판과 일체화에 의한 휨작용과 하중을 분산시키는 포장의 두께 영향으로 나눌 수 있다. 따라서 교면포장 상호작용 해석은 설계의 목적으로 아스팔트 표층이 교량의 일부로서 합성 거동을 하는지의 여부를 정량화하며 하중 재하시 바닥판에 의한 응력 감소나 아스팔트 층의 두께에 대한 영향을 확인하는 것이다.

교량 바닥판의 조건에 따라 아스팔트 포장체에 미치는 영향과 파손을 평가하기 위하여 콘크리트 슬래브교, 라멘교, 프리스트레스 I형(PSCI)교에 대한 차륜 하중에 의한 콘크리트 바닥판과 아스팔트 포장체의 거동을 STRAND7 프로그램(2000)에 의한 3차원 유한요소해석을 실시하였다.

3.1 하중 및 재료의 물성

차륜의 접지에 대한 사항은 도로교 설계기준(2001)의 1등교를 기준으로 하였으며, 접지면과 접지압 및 바닥판의 물성은 표 7과 같다. 접지압력은 접지면에 균등하게 분포하는 것으로 가정하였다.

아스팔트의 재료성질은 아스팔트의 재료 구성성분이나 특성에 영향을 받게 된다. 본 연구에서는 국내 자료가 없는 관계로 Witczak(2001) 등의 실험에 의해 작성된 그림 10의 온도-파단응력 곡선을 바탕으로

표 7. 접지면, 접지압 및 바닥판의 물성

접지면(cm ²)	1322.5
접지압(kgf/cm ²)	7.26
콘크리트 탄성계수(Ec)(kgf/cm ²)	259,807
포아송비	1/6
콘크리트 전단탄성계수(Gc)(kgf/cm ²)	111,345
철근 탄성계수(Es)(kgf/cm ²)	2.04×10 ⁶

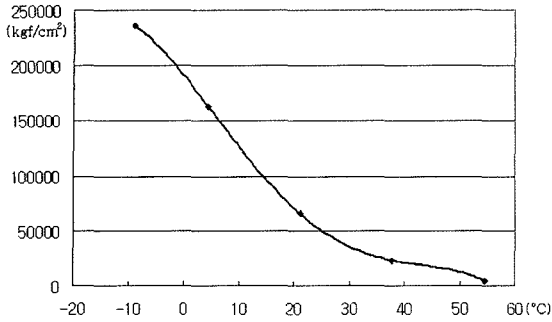


그림 10. 아스팔트 포장체의 온도-응력 곡선

로 -5℃, 20℃, 50℃의 3가지 온도의 경우에 대한 파단 인장응력을 추세곡선으로부터 산출하여 사용하였다. 그리고 수치해석의 단순화를 위하여 아스팔트 층을 탄성체로 가정하였다. 포물선의 곡선은 다음과 같이 산출하였다.

$$y = -0.0551 \times T^4 + 5.3738 \times T^3 - 78.852 \times T^2 - 6172.9 \times T + 191413 \quad (\text{식1})$$

여기서 y = 응력 (kgf/cm²),
 T = 온도 (℃).

3.2 교량 형식 및 모형

가. 프리스트레스 콘크리트 I형교(PSCI교)

일본건설협회(1992)에서 발행된 자료에 따르면 PSCI 교량의 폭원 구성과 표준형의 배치를 위한 단면 형상은 주요 간선도로의 교량부분으로 차량통행이 빈번하거나 빈번해질 것으로 예상되는 경우에 대한 3가지 단면이 제시되어 있다. 이때 주형인 I형의 단면은 교량 종방향으로 지간장의 일정한 비율에 해당하는 위치에 따라 변화를 주도록 되어 있다. 그러나 본 연구에서의 관심은 주 부재인 I형이 아니라 바닥판과 포장체에 대한 사항이므로 그림 11과 그림 12와 같이 참고문헌에 제시된 단면형상을 대상으로 차륜하중에 의해 바닥판과 포장체의 거동을 해석 고찰하고자 했다. 이때 바닥판의 두께에 따른 변화를 살펴

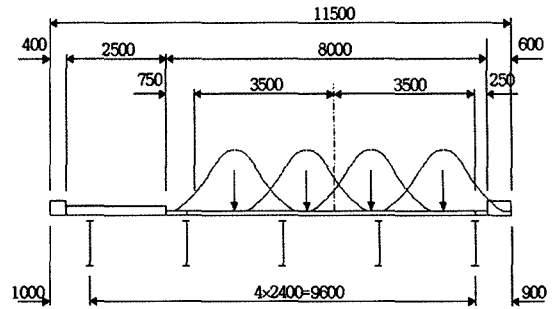


그림 11. 4차선 편측 도로교 상부의 구성 (단위 : mm)

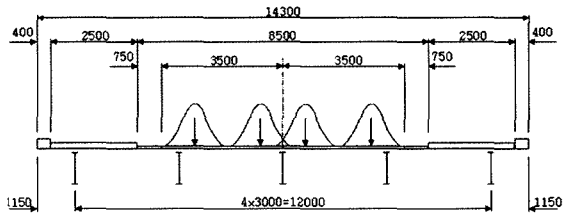


그림 12. 2차선 왕복 도로교 상부의 구성 (단위 : mm)

보기 위하여 3가지 경우의 바닥판 두께 20cm, 25cm, 30cm에 대하여 수치해석을 수행하였다.

나. 콘크리트 슬래브교(RCS교)

본 연구에서는 10m 지간에 대하여 50cm, 60cm, 70cm의 3가지 슬래브 두께에 대한 해석을 실시하였다. 슬래브교의 폭원 구성은 PSCI교의 경우를 참조, 결정하여 사용하였다.

다. 라멘교(RA교)

슬래브의 두께는 슬래브교와 유사한 50~120cm 정도가 많으며 본 연구에서는 교량길이 13m에 슬래브 두께가 50cm, 65cm, 80cm인 경우 4차선 교량에 대하여 포장체 두께를 5cm로 설정하여 해석하였다. 마찬가지로 라멘교의 폭원 구성은 PSCI교의 경우를 참조, 결정하여 사용하였다. 각 교량형식 별 수치해석 모형은 그림 13과 같다.

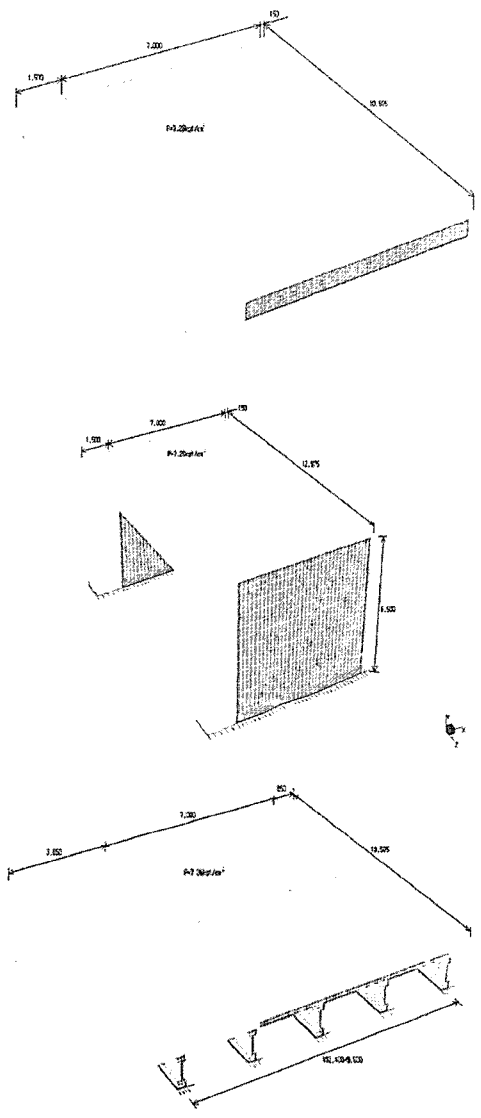


그림 13. 교량 바닥판과 포장체 수치해석 모형
(4차선 편측, 위쪽부터 RCS, RA, PSCI교)

4. 해석결과 및 고찰

해석 결과를 정리하면 그림 14와 그림 15로 나타낼 수 있다. 그림 14에서 포장체 하부면에 발생하는 최대 인장변형률은 바닥판의 두께가 증가할수록 감소하고 온도가 증가할수록 증가함을 알 수 있다. 반

복되는 교통하중 하에서 포장체는 피로균열이 발생하게 되고 포장체 하부에 발생하는 인장응력-변형률은 이러한 피로균열을 유발하는 주된 하중으로 작용하고 있다. 따라서 포장체에 발생하는 인장변형률이 작을수록 포장의 피로파손은 감소하게 된다.

Monismith와 Long(1999)의 연구결과에 의하면 상온(25℃)에서 70 μ strain 미만의 변형률이 발생하면 포장체의 피로균열은 거의 발생하지 않는 것으로 알려졌다. 그림 14에서 보는 바와 같이 50℃의 온도 이외의 인장변형률은 모두 70 μ strain 미만으로 피로균열의 발생 가능성은 희박해 보인다. 또한 50℃의 온도에서는 변형률이 70 μ strain 이상이나 고온에서는 피로균열이 발생할 가능성이 적기 때문에 구조적인 관점에서 볼 때 피로균열의 발생가능성은 낮다고 볼 수 있다.

이러한 구조해석 결과는 앞서 언급한 국내 교면포장의 주된 파손유형 중의 하나가 포장체의 균열이라는 실제 파손자료 분석과는 상반되는 결과를 나타내고 있다. 이러한 차이가 발생한 원인은 여러 가지 가능성을 들 수 있다. 첫째로는 구조해석에 사용된 포장체의 물성과 교량상판의 물성은 노화나 손상이 없는 건전한 상태에서의 물성을 사용하였으나 실제로 교량은 공용이 지속되면서 노화와 손상을 받게 된다. 대부분의 재료는 손상을 받게 되면 강성이 감소하게 되어 처짐이 더욱 크게 발생할 수 있다. 따라서, 교량의 장기공용으로 인한 물성변화를 구조해석에 정확히 반영할 수 없는 차이를 첫 번째 원인으로 볼 수 있다.

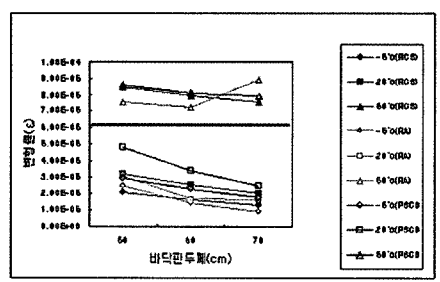


그림 14. 교면 포장체 바닥면의 인장 변형률

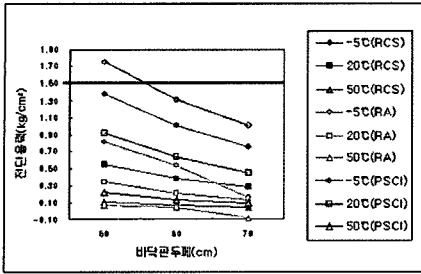
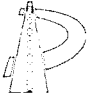


그림 15. 교면 포장체 바닥면의 전단응력

또 다른 원인으로는 아스팔트 혼합물의 노화와 수분손상을 들 수 있다. 교면포장의 시공시 일반 토공부에 비해 혼합물의 온도가 빨리 저하되고 이로 인해 온도관리가 어려워 다짐부족이 발생할 가능성이 상존하고 있다. 다짐이 부족하게 되면 재료공극 사이로 쉽게 공기와 수분이 침투하여 노화와 수분손상을 촉진시킨다. 노화와 수분손상은 아스팔트 혼합물의 균열에 대한 저항성을 급격히 감소시키기 때문에 실제 교면포장의 파손분석에서는 교면포장의 균열이 가장 흔한 파손으로 분류될 가능성이 높게 된다. 따라서, 비록 수치해석에 의한 교량상판의 거동분석에서는 구조적으로 피로균열을 유발할 만큼의 변형이 발생되지는 않았으나 이상 언급한 요인들로 인하여 포장체의 균열이 발생하였을 것으로 판단된다.

포장체에 발생하는 전단응력의 경우 포장체 하부로 내려갈수록 전단응력이 감소함을 알 수 있고, 그림 15에서 처럼 바닥판의 두께가 두꺼워지고 온도가 높아질수록 포장체내에 발생하는 전단응력이 감소하였다. 바닥판이 두꺼워지면 처짐도 작게 발생하고 포장체에 발생하는 전단응력도 작게 발생함을 알 수 있다. 철근콘크리트교를 살펴보면, 바닥판의 두께가 40cm에서 50cm로 증가하면 전단응력이 0.17kg/cm²이 감소하였고, 50cm에서 60cm로 증가하면 전단응력이 0.1kg/cm²이 감소하였다. 두께가 증가할수록 전단응력은 줄어들지만 과도한 바닥판 두께로 인해 그 효율은 떨어지고 있다. 이는 PSCI형교에서도 마찬가지이다. 따라서, 전단응력을 줄이기 위하여 무조건 바닥판의 두께를 증가시키는 것보다는 최적의 바닥

판 두께를 찾는 것이 바람직하다고 하겠다.

교면포장은 콘크리트와 포장체 사이에 방수층을 설치하는데, 이러한 방수층의 전단강도 기준은 20°C일 때 1.5kg/cm²으로 되어있다(안태송, 심재원, 2000). 모든 교량은 20°C에서 포장체 바닥면의 최대 전단응력이 이러한 기준치를 만족함을 알 수 있다. 그러나 바닥판의 두께가 20cm인 PSCI형교의 경우 -5°C일 때 발생하는 전단응력이 1.75kg/cm²으로 기준보다 높게 발생해 방수층과 포장층의 접촉면에서 전단응력이 과다하게 발생하여 부착이 파괴되는 문제를 야기할 가능성도 있다. 그러나 최근에는 교면포장의 두께를 8cm로 증가하여 시공되는 경우가 많기 때문에 포장체가 두꺼워지면 포장체 하부면에 발생하는 전단응력도 감소하므로 부착이 문제가 되는 경우는 상당히 줄어들 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 국내의 교면포장의 파손현황 및 유형을 조사 및 분석하였고, 3차원 구조해석을 통한 교량과 교면포장의 거동을 파악하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 국내 교면포장의 파손현황 및 유형을 분석한 결과, 교량관리시스템(BMS)의 내용과 실제 현장 조사 내용과는 다소 차이를 보이고 있다. 그러나 주요 파손은 비슷한 양상을 띠고 있다. 따라서 국내에서 나타나는 교면포장의 파손유형은 크게 소성변형, 포트홀, 그리고 피로균열이다.
- (2) 현재까지 국내 콘크리트 상판 교량 중 다수를 차지하는 콘크리트 라멘교, 슬라브교, PSCI형교에서 소성변형의 손상율이 가장 많은 교량은 PSCI형교이다.
- (3) 콘크리트 교량과 교면포장의 상호작용 해석 결과 거동에 따른 교면포장의 파손은 파손조사의 내용과 큰 차이가 없었다. 다만 피로균열의 경우 주된 파손인자로 교통하중의 반복보다는 포장의



노후화나 재료 박리와 같은 재료의 문제로 추정된다. 실제 조사에서 콘크리트 교량은 큰 파손보다는 미세한 파손의 빈도가 높았으며 박리가 있는 지점에서 균열이 상대적으로 많이 발견되었다. 이는 궁극적으로 콘크리트교량의 경우 상판이 상대적으로 강성도가 크며 처짐도 작은 관계로 방수층이나 교면포장의 혼합물의 문제로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원 기본사업 “고내구성 교면포장 기술개발 1차년도 연구”의 일부이다. 아울러 현장 조사를 도와준 오재원(LG건설), 최지영(한국건설기술연구원) 연구원들의 도움에 감사드립니다.

참고문헌

1. 건설교통부(2000), 교량관리시스템 DB.
2. 안태송, 심재완(2000), “교면 방수재료의 실용화”, 한국도로포장공학회지, 제2권, 제1호, pp 15-19.

3. 일본건설협회(1992), *Design Data Book*.
4. 건설교통부(2001), 도로교 설계기준.
5. G+D Computing Pty Ltd.(2000), *STRAND* 7, Australia.
6. Witczak, M. W., Bonaquist, R., Von Quintus, H., and Kaloush, K.(2001), Simple Performance Test: Test Results and Recommendations. *Superpave Support and Performance Models Management*, NCHRP 9-19, Arizona State University, Tempe, AZ, U.S..
7. Monismith, C. L. and Long, F.(1999), “Overlay Design for Cracked and Seated Portland Cement Concrete (PCC) Pavement-Interstate Route 710”, Technical Memorandum UCB-PRC-99-3, Pavement Research Center, Institute for Transportation Studies, University of California at Berkeley, CA, US.

〈접수 : 2004. 1. 9〉