

일리노이주 Staunton의 교면포장 보수에 대한 평가

Evaluation of Bridge Deck Overlays – Examining Repairs in Staunton, Illinois



김지원*
Ji-Won Kim

Concrete International(Magazine of the American Concrete Institute) 19권 8호, 1997년 8월호에 게재된 Rachel J. Detwiler, Tony Kojundic, and Per Fidject의 기사를 번역한 것이다.

일리노이주 Staunton 인근에 위치한 IL 4번 고속도로상의 I-55 횡단 육교는 1973년에 건설되었다. 위치는 미주리주 세인트루이스(St. Louis)에서 북동쪽으로 약 80km 떨어진 곳이다. 교량의 연장은 91m이고 중앙선으로 구분된 왕복 2차선 교량이다.

1986년 10월 남쪽 방향 차선이 표준 고밀도 콘크리트(dense mix concrete) 교면포장으로 전단면 보수되었으며 1987년 3월에는 북쪽 방향 차선이 일리노이주 교통국(IDOT: Illinois Department of Transportation) 최초로 실리카폼 콘크리트(silica fume concrete)를 사용한 교면포장으로 보수되었다. 두 보수공사 모두 동일한 시공사에 의하여 완공되었고 교면포장 두께는 50mm와 100mm로 구성되었다. 사용된 혼합물의 배합표는 <표 1>에 수록되었다.

일리노이주 교통국의 시공 기록에 따르면 고밀도 콘크리트는 5.5~6.3%의 연행공기량을 확보한 상태에서 시공되었고 7일 압축강도는 39MPa, 14일 강도는 44MPa이 얻어졌다. 일리노이주 교통국은 제설염에 의한 스케일링(scaling) 파손에 대한 저항성을 향상하고자 공기량을 높이면서도 강도를 얻을 수 있는 장점을 가진 실리카폼 콘크리트의 적용을 결정하였다. 그래서 본 교량에 적용된 실리카폼 콘크리트는 6.0~8.4%의 연행공기량을 가진 상태에서 시공되었다. 실리카폼 콘크리트 교면포장의 7일 압축강도는 40MPa, 14일 강도는 48MPa이었다.

실리카폼 콘크리트 교면포장 보수 시공에 대한 일리노이주 교통국의 보고서에 따르면, 첫 번째 공정은 제설염에 의하여 열화된(salt-contaminated concrete) 교량 바닥판을 파쇄형 워터젯(hydrodemolition)을 이용하여 불어내며 제거하는 것이다.

두번째로 신구콘크리트의 부착을 위하여 시멘트와 모래를 절반씩 혼합하되 시멘트 중량의 15%를 실리카폼으로 치환한 그라우팅 재료를 콘크리트 바닥에 살포하고 솔로 문질러준다(brooming). 세 번째로 콘크리트를 포설하고 면마무리를 실시한다. 네 번째로 표면조직을 형성하기 위하여 마대끌기(Astroturf drag)와 타이닝을 실시한다. 다섯 번째로 7일간 젖은 양생포(wet burlap)와 비닐을 이용하여 습윤양생을 실시한다. 실리카폼 콘크리트 교면포장 시공 3개월 이후에 현장 조사를 실시한 결과 4개의 짧은 횡방향 균열과 배수구 근처에 몇 개의 짧은 균열이 발생한 것이 확인되었다. 그러나 이런 균열들은 문제가 안되는 것으로 판단되었다.

Luther가 작성한 일리노이주 교통국의 시공 3개월 후 조사 보고서에 따르면 실리카폼 콘크리트 교면포장에서 균열은 지지점 부근에서 발생하였고 몇 개의 횡방향 균열이 다른 지점에서 발생하였다. 인접 구간의 고밀도 콘크리트 교면포장의 경우에는 7개의 횡방향 균열이 약 1.8~2.4m 간격으로 발생하였다.

일리노이주 교통국에 따르면, 인근 지역의 강설량은 매년 500mm 가량이다. 제설염의 살포량은 강설량에 따라 변화한다. 1993, 1994, 1995년의 경우에는 각각 27, 29, 19톤이 1차선 1마일(1.609 km)의 도로에 살포되었다. 교량 구간은 인접 토공 구간의 포장에 비하여 더 빨리 동결되기 때문에, 동결

표 1. 교면포장에 사용된 콘크리트의 배합 비율

		실리카폼 콘크리트(w/cm=0.31)	고밀도 콘크리트(w/cm=0.32)
물		129 kg/m ³	157 kg/m ³
시멘트		374 kg/m ³	488 kg/m ³
실리카폼		42 kg/m ³	0
굵은골재		943 kg/m ³	824 kg/m ³
잔골재		806 kg/m ³	837 kg/m ³
강도	7일	40 MPa	39 MPa
	14일	48 MPa	44 MPa
공기량		6.0~8.4 %	5.5~6.3%

* (주)토탈페이브시스템 대표이사
aircraft1@paran.com

의 경보가 있을 때마다 교량 구간에는 토공 구간에 비하여 더 많은 제설염이 살포된다. 일리노이주 교통국의 추정에 따르면 IL 4번 노선의 교량은 인접 토공 구간에 비하여 약 10배의 제설염이 살포되었다. 그 양은 연간 1m²당 31kg이다<그림 1>.

Janssen 등이 작성한 보고서에 의하면 세인트루이스 인근 지역의 도로포장은 연간 46회의 동결융해 주기에 노출되는데 교량은 아마도 더 많은 주기를 겪을 것으로 판단된다. 일리노이주 교통국의 일별 교통량 추정에 따르면 교량에는 하루에 1985년에는 2600대, 1987년에는 2200대, 1991년에는 3200대, 1993년에는 3600대의 차량이 통과한 것으로 나타났다. 1987년에 교통량이 줄어든 이유는 인근 지역의 공사 때문이었다.

1. 현장 조사

1995년에 수행한 현장 조사는 육안 조사, 사진 촬영, 체인 끌기를 통한 부착 상태 조사를 수행하였다. 실리카폼 콘크리트 교면포장에서는 10개의 직경 100mm 코어를 채취하였고, 고밀도 콘크리트 교면포장에서는 2개의 코어를 채취하였다. 실험실에서 수행한 실내 시험 결과를 확인한 이후에 1996년 1월에는 고밀도 콘크리트 교면포장에서 추가로 6개의 코어를 채취하였다.

육안 조사 결과 실리카폼 콘크리트로 시공된 교량(northbound)은 우수한 성능을 나타내고 있었다. 포장 표면은 타이닝 조적이 깨끗이 살아있는 정도의 경미한(very little) 마모를 보이고 있다. 포장 표면에는 스케일링에 의한 파손 흔적은 전혀 없어 동결융해와 제설염에 대한 저항성이 아주 우수한 것으로 판명되었다. 체인 끌기 조사 결과 22개 구역에서 부착이 떨어진(delamination) 것이 확인되었으며 이 면적은 전체 교면포장의 2% 가량이다. 주된 균열은 횡방향이고 간격은 1.0~1.2m 이었다.

고밀도 콘크리트로 시공된 교량(southbound)의 육안 조사 결과는 유사한 상황을 보였다. 교면포장의 표면은 마모와 동결융해에 대해서 우수한 저항성을 보였고 하부 바닥판과의 부착 상태도 우수했다. 체인 끌기에 의한 조사결과 8개소에서 부착이 떨어진 것이 확인되었으며 면적은 1% 이었다.



그림 1. IL 4번 노선의 교면포장 시공

2. 실내 시험을 통한 조사

2.1 Petrographic 조사

실리카폼 콘크리트 교면포장에서 채취한 10개의 코어를 ASTM C 856-83 (1988년에 제정) “경화된 콘크리트에 대한 Petrographic 조사 방법”을 사용하여 시험하였다. 코어 채취과정에서 확인한 바로는 교면포장은 하부 바닥판에 완벽한 부착 상태를 유지하고 있었다. 그리고 콘크리트도 잘 다져진 상태로 유지되어 있었다. 채취된 코어들에 콘크리트 바닥판의 철근이 포함되어 있거나, 철근 부착 자국이 포함되어 있을 경우에는 철근의 부식에 따른 부산물이 감지되었다. 이와 같은 부식은 교면포장이 아니라 바닥판 내부에서 발생한 현상이다.

고밀도 콘크리트 교면포장에서 채취한 2개의 코어도 동시에 시험에 포함되었다. 두개의 코어 모두 콘크리트가 잘 다져진 상태로 포장되었고 바닥판에 완전한 부착 상태가 유지되고 있었다. 콘크리트의 내구성에 중요한 이 실험의 결과에서 실리카폼 및 고밀도 콘크리트 두가지 모두 최상의 상태를 보여주고 있었다. 시멘트 페이스트는 균질하게 다져져 있었고, 페이스트와 골재 역시 완벽한 부착이 유지되었다. 그리고 미세균열의 발생은 매우 적었다.

2.2 염소이온 투과 시험

두가지 교면포장에 대해서 각각 4개의 코어 시편을 ASTM C 1202-94 ‘전기적 지표에 의한 콘크리트의 염소이온 투과 저항성 시험’ 기준에 의하여 시험하였다. <표 2>는 6시간 이후에 코어시편을 통과한 전체 전하량을 보여준다. 실험 결과는 평균 처리하지 않고 그냥 나타냈는데, 이는 코어를 채취한 위치가 분산되어 있어 동일한 배치의 콘크리트가 아니기 때문이다. 실리카폼 콘크리트의 실험값은 아주 낮은(very low) 침투량을 보이고 있고 고밀도 콘크리트는 보통(moderate) 또는 낮은(low) 침투량을 보여준다.

유사한 시험이 실리카폼 콘크리트 시험생산에서 제작한 42일 된 공시체들에서도 수행되었다. 이 공시체들은 운송되기 이전까지 28일간 습윤양생되었고 실험실에 도착한 이후에는 석회수(limewater)에 안치되었다. 염소이온투과시험에서 이 공시체들을 통과한 평균 전하량은 540 Coulomb으로 아주 낮은 침투량을 나타내었다.

표 2. 6시간까지 통과한 전체 전하량 (ASTM C 1202)

실리카폼 콘크리트	고밀도 콘크리트
240	1,350
330	2,200
250	2,720
140	2,380

2.3 염소 분포

두가지 교면포장에서 채취된 코어 중 4개씩은 약 1mm 단위로 층을 구분하여 표면을 갈아냈다. 각 층에서 갈아낸 먼지를 채취한 뒤 산에 녹은 염소(acid-soluble chlorides)에 대한 분석을 수행하였다. <그림 2>은 실리카폼 및 고밀도 콘크리트에서 얻어진 염소분포를 보여준다. 표면에 가까운 곳에서 얻어진 낮은 염소 농도는 빗물에 의하여 씻겨진 현상을 반영한다. 여기서 염소이온 농도가 0이 될 수는 없다. 제설염이 콘크리트 표면에서 내부로 염소이온을 전달하지 않아도 지역적인 골재의 특성상 염소이온을 일부 포함하고 있기 때문이다.

- 흰색선은 고밀도 콘크리트 검정색선은 실리카폼 콘크리트
- 골재 자체의 염소 함유로 표면에서 깊이 들어가도 염소 함량이 영이 될 수 없음.
- 이 실험 결과가 표면에서부터 염소이온의 침투를 정확하게 반영하지는 않음.

염소 이온은 확산(diffusion), 모세관 현상(capillary action), 전달(convection)과 같은 경로를 통해서 콘크리트 바닥판으로 침투한다. Pettersson은 실리카폼 콘크리트를 습윤과 건조의 주기를 반복하는 시험을 통하여 표면에서 30mm 이상 침투하는 염소이온의 전달은 확산(diffusion)이라는 경로에 의존함을 발견했다. 그러나 IL 4 노선의 교량에서 채취한 시편들에서 이 깊이까지 염소이온이 침투한 사례는 없었기 때문에 Ficks가 제안한 두 번째 법칙(염소이온의 침투는 확산에만 의존한다)은 이 사례에 적용이 불가능하다. <표 3>에서 보여지는 실험 결과는 두가지 콘크리트에 대해서 염소이온의 농도를 10과 25mm 깊이에서 보여준다.

3. 결론 및 향후 연구 방향

현장 조사와 Petrographic 실험 결과 고밀도 콘크리트와 실

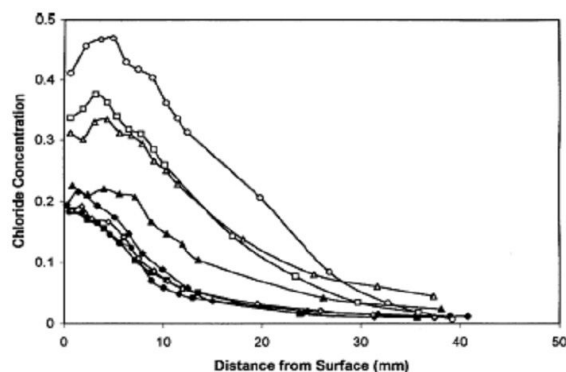


그림 2. 산에 녹은 염소이온 함량(콘크리트의 질량에 대한 비율) 분포와 깊이

표 3. 콘크리트의 질량에 대한 염소 함량

실리카폼 콘크리트		고밀도 콘크리트	
코어 표면으로부터 깊이			
10 mm	25 mm	10 mm	25 mm
0.152	0.042	0.253	0.084
0.074	0.014	0.263	0.061
0.087	0.014	0.077	0.021
0.066	0.018	0.370	0.114

리카폼 콘크리트로 보수한 교면포장의 성능은 우수했다. 두가지 교면포장 모두 46회의 동결융해 주기와 매년 평균 31 kg/m²의 소금 살포에 조건하에서 실리카폼 콘크리트는 8년간 그리고 고밀도 콘크리트는 9년간 우수한 성능을 나타냈다.

실리카폼 콘크리트 교면포장이 고밀도 콘크리트 교면포장에 비하여 겨울철을 한번 덜 지낸 점을 고려하더라도 염소이온에 의한 포장 표면 손상에 대해서 더 우수한 저항성을 보였다. ASTM C 1202 기준에 따른 염소이온 투과시험 결과를 보면 실리카폼 콘크리트 교면포장은 아주 낮은(very low) 염소이온 투과성을 보여준다. 이는 일반적으로 실리카폼 콘크리트가 고밀도 콘크리트에 비하여 콘크리트 표면에서 동일 깊이일 경우 염소이온의 농도가 더 작다는 염소이온 농도 분포와도 일치하는 결과이다. 고밀도 콘크리트 교면포장의 ASTM C 1202 염소이온 투과시험 결과는 약간 낮은(moderate to low) 저항성을 보였다. 이는 다른 코어에서 얻어진 염소이온 농도 분포와도 일치하는 결과이다.

IL 4번 도로에서 I-55번 고속도로를 횡단하는 육교는 시공이 아주 잘된 고밀도 및 실리카폼 콘크리트 교면포장을 비교할 수 있는 보기 드문 기회를 제공한다. 한개의 시공회사가 동일한 장비를 사용하여 타설, 다짐, 면마무리의 공정을 수행하였다. 또한 양생 전에 동일한 인력마무리 방법으로 표면 조직을 형성하였다. 그리고 최초 교량의 교면포장이 13년 뒤에 교체될 만큼 혹독한 환경 하에 놓여있었다. 일리노이주 교통국(IDOT: Illinois Department of Transportation)에 따르면 설계수명은 50년으로 계획되었으며 최초 교면포장 보수(patching)는 공용 후 15~20년 뒤로 예정되었으며, 교면의 재포장은 공용 후 약 25년으로 예상되었었다. 이 교면포장이 일리노이주에서는 처음으로 실리카폼 콘크리트를 사용하여 시공되었기 때문에 교면 재포장에 대한 기록이 상세하게 남아있다. 이 교량은 바닥판과의 부착강도를 포함하여 바닥판과 일체형 교면포장에 대한 다양한 공용성 시험을 수행할 수 있는 기회를 제공하였다. 우리는 앞으로 5에서 10년 사이에 동일한 연구가 수행되어 고밀도와 실리카폼 콘크리트를 사용한 교면포장의 공용 성능을 판단할 수 있기를 바란다. □