



# 노후 줄눈 콘크리트 포장 보수를 위한 얇은 연속 철근 콘크리트 덧씌우기 포장의 초기거동 평가

## Initial Behavior of Thin Bonded CRC Overlay on JCP

류성우\*      김기현\*\*      김동호\*\*\*      남정희\*\*\*\*      박민영\*\*\*\*\*      조윤호\*\*\*\*\*  
Ryu,Sung Woo      Kim,Ki Heun      Kim,Dong Ho      Nam, Jung Hee      Park,Min Young      Cho, Yoon Ho

### 1. 서론

국가 산업의 발달과 경제 성장으로 인한 도로의 신설 및 확충 요구는 최근 20여 년간 약 2배의 도로 연장 증가를 가져왔다. 1980년대 들어서는 교통량이 많은 고속도로 및 일부국도에서 아스팔트 포장에 비해 비교적 긴 사용수명을 갖고 있는 콘크리트 포장이 건설되기 시작하였다. 하지만 경제성장으로 차량이 폭발적인 증가하고 국가산업의 발달로 인한 수송물량 증가는 중하중 교통량을 양산하였다. 이는 도로 포장의 수명을 단축시키고 향후 10 년내에 포장수명을 연장하기 위한 보수작업이 시작될 것으로 예측되고 있다. 이를 위해서 경제성, 신속성 내구성을 확보한 보강공법의 적용이 필요하다.

노후 콘크리트 포장수명을 연장하기 위한 유지보수 방안으로 다양한 아스팔트 및 콘크리트 덧씌우기 공법이 개발되었다. 하지만 기존 콘크리트 포장면의 파손부 및 줄눈부로부터 덧씌우기 층으로 전파되는 반사균열을 억제하지 못하고 공용 수명이 저하되는 문제가 발생하였다. 이러한 문제를 극복하고자 최근 국외에서는 새로운 형태 및 재료에 대한 연구가 진행 중이다. 본 논문에서는 국내 적용가능한 CRCP (Continuously Reinforced Concrete Pavement) 개념의 얇은 덧씌우기 포장에 대한 연구를 진행하였으며 그 결과를 기술하였다.

### 2. 콘크리트 덧씌우기 공법 및 사례 조사

콘크리트 덧씌우기는 노후된 콘크리트 포장의 구조적·기능적 보강을 위하여 사용하기 시작하였으며, 현재 다양한 관련 공법들이 개발되어 현장에 적용되고 있다. 국내 콘크리트 포장은 공용성이 심각하게 저하된 구간이 많지 않아 전체 덧씌우기 보다는 파손된 슬래브의 줄눈부 보수, 균열보수 등 국부적인 유지보수가 대부분이었다. 국내에서는 단 두건의 콘크리트 덧씌우기가 보고되고 있다.

국외의 경우, 미국에서 콘크리트 덧씌우기 공법에 대한 많은 연구를 진행하였다. 1913년부터 1960년대까지는 콘크리트 덧씌우기를 시작하는 단계로써 공사 물량이 꾸준한 증가하였다. 오하이오(Warsaw Street), 미주리(Savannah) 주에서는 Mesh-Reinforced Concrete 덧씌우기 진행하여 약 40년 이상 공용한 후에도 사용하였다. 1970년대에는 SFRC를 덧씌우기 재료로 사용하였다. 아이오아 주(Green County)에서는 SFRC 를 이용하여 덧씌우기 한 구간이

\* 정회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 박사과정 · 02-816-0251 · (E-mail :htsrsw@naver.com) - 발표자  
\*\* 정회원 · 삼우 IMC 대표 이사 · 공학박사 · 02-816-0251 · (E-mail :kiheun@samwooimc.com)  
\*\*\* 정회원 · 삼우 IMC 기술연구소 부장 · 공학박사 · 02-816-0251 · (E-mail :dhkim1327@hotmail.com)  
\*\*\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 선임연구원 · 공학박사 · 031-9100-114 · (E-mail :archnam@kict.re.kr)  
\*\*\*\*\* 정회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 석사과정 · 02-816-0251 · (E-mail :jikimi8105@naver.com)  
\*\*\*\*\* 정회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 정교수 · 공학박사 · 02-816-0251 · (E-mail : yhcho@cau.ac.kr)



10~15년 이상의 공용 수명을 더 확보하였다. 다른 프로젝트(I-80)에는 BCO 공법을 적용하여 포장 수명을 연장하였다. 1980년대에는 기존 포장과 덧씌우기 포장과의 부착에 관한 연구 및 재료를 개선하는 연구를 진행하였다. 루지아나 주(U.S 61)에서는 줄눈부에서 부착 문제가 있는 것을 확인하였으며, 줄눈부의 응력 감소를 위해 기존 슬래브에 인위적으로 줄눈을 시공하였다. 텍사스 주(South Loop IH-610)에서는 다양한 재료 및 경계면 처리에 대한 시공 결과, 층간 부착은 큰 문제가 되지 않았으며 기존 포장 파손부의 처리를 한다면 덧씌우기 층에 큰 영향이 없음을 확인하였다. 캘리포니아 주에서는 1964년에 20 cm JPCP 포장이 시공된 IH-80 을 1981년에 7.5 cm의 TBCO(JCP) 공법을 적용하여 보수하였으나 공용후 상당 구간에서 문제가 발생하여 아스팔트 재덧씌우기를 하였다. 1990년대에는 덧씌우기 포장에 대한 다양한 연구가 이뤄졌다. 버지니아 주에서는 노후 JCP 포장에 대해 48시간 내로 교통 개방을 하기 위해 Fast Track TBCO 공법을 시공하였다. 6년 후의 추적 조사 결과, 공용성이 양호하였으며, 경계면의 문제는 줄눈부에서 약 0.5 m 내에 발생하는 것을 확인하였다. 미시시피 주에서 일부 연구한 CRCP 위에 CRCO 를 적용했던 사례를 기초로 최근 텍사스에서는 CRCO(Continuously Reinforced Concrete Overlay) 적용성 연구를 진행 중에 있다.

### 3. 현장 시험시공

시험시공 현장은 서해안 고속도로 매송 IC 와 비봉 IC 사이의 매송 휴게소 예정 부지(상행)이다. 기존 포장 단면은 린콘크리트 15 cm 에 표층 콘크리트 30 cm 이며 슬래브의 폭은 3.8 m, 길이는 6.0 m 이다. 포장 상태 조사 결과, 심한 균열이나 파손은 발생하지 않았으나 표면에 머리카락 균열이 발생한 상태였다.

#### 3.1 디멕 게이지 측정

현장 시험시공을 수행하기에 앞서 기존 JCP의 줄눈 폭 움직임이 덧씌우기에 어떠한 영향을 주는지를 확인하기 위해서 각 줄눈(약 34개)에 디멕 측정을 하였으며 동시에 대기 온도도 계측하였다. 측정 결과 시험시공 구간의 7번 줄눈(7번 슬래브와 8번 슬래브 사이의 줄눈)에서 가능 큰 거동을 보였으며, 가장 작은 줄눈 거동은 9번 줄눈에서 발생하였다. 이를 바탕으로 줄눈부 움직임을 확인하기 위한 계측기 매립 위치(2번, 7번, 9번 줄눈)를 결정하였다.

#### 3.2 시험 시공

시험시공은 연속철근 콘크리트 덧씌우기 공법(CRCO)과 기존 JCP 덧씌우기 공법(JCO)을 시공하였다. 전자는 기존 포장을 5 cm 밀링하여 파손 부위를 제거하고 그 위에 철근을 설치한 후 10 cm 덧씌우기하는 형태이다. 철근량은 10cm 덧씌우기 포장 단면에 대해 0.6 % 넣는 것으로 계획하였다. 후자는 밀링한 후에 10cm 덧씌우기를 하고, 줄눈부를 일치시켜 덧씌우기 두께보다 깊게 약 12 cm 줄눈 커팅을 하는 형태이다. <그림 1>은 시험시공 단면 계획을 나타낸 것이다.

CRCO의 경우 슬래브 수가 많을수록 양 끝단의 경계 조건에 의한 영향을 배제할 수 있겠지만 시공비용 및 기타 현장 여건으로 인하여 8개 슬래브만을 적용대상으로 하였다. JCO 구간은 6개 슬래브에 시공하였으며 이 중 2 개 슬래브에서는 층간 부착 강도를 평가하였다.

먼저 기존 노후 포장의 미세 균열이나 파손을 제거하고 산· 구 콘크리트 포장의 부착 강도를 증진시키기 위하여 5 cm 를 밀링하였으나 측정 결과 평균 4.4 cm였다. 밀링 후 에어제트로 노면에 남아있는 불순물을 제거하였다. 앞서 디멕 통해 선정한 줄눈부(2번, 7번, 9번 줄눈)의 깊이별 거동을 측정하기 위하여 계측기를 매설하였다. 산· 구 콘크리트 포장의 경계면 거동을 측정하기 위하여 JCO 와 CRCO 구간의 줄눈 거동이 큰 줄눈부에 수직으로 끝단에서 일정 간격씩 이격하여 VWG를 매설하였다. 온도 및 건조수축에 따른 변형률을 측정하기 위하여 무응력 장치와 VWG를 CRCO



구간의 줄눈 거동이 큰 줄눈부에 매설하였다.

종방향 및 횡방향 철근으로는 공칭 지름이 19 mm인 이형 철근을 사용하였다. 종방향 철근량은 앞 서 설명한 바와 같이 덧씌우기 포장 두께의 0.6 % 를 적용하였으며, 간격은 1@29cm+15@23cm +1@29cm 로 설치하였다. 철근의 이음은 50 cm 겹치게 하였으며, 이음부가 일직선 상으로 있을 경우 이 부분에서 문제가 발생할 수 있다고 판단하여 사선 형태로 조립하였다. 횡방향 철근은 종방향 철근의 위치를 고정하기 위하여 약 1m 간격으로 설치하였다.

현장 시험시공 프로세스는 슬립폼 페이퍼 유도선 설치 → 타설 → 계측기 매립 → 공시체 제작 → 횡방향 타이닝 → 양생제 살포 순으로 이뤄졌다. 기존 JCP 덧씌우기 공법 구간에는 일정 강도가 발현된 후 기존 줄눈 위치에 줄눈 절삭 및 채움재를 설치하였다. <표 1>은 현장시험시공 배합을 나타낸 것이다.



<그림 1> 시험시공 단면 계획

<표 1> 현장 시험시공 재료의 배합

W/C(%)	S/a(%)	단위 재료량(Kg/m3)				혼화재료(%)	
		W	C (Type 3)	S	G(19mm)	고성능 감수제	촉진제
30	45	160	412	766	969	1.5	2

#### 4. 초기 거동 평가

본 공법의 비교 평가를 위하여 슬럼프, 강도 및 세팅 시간 측정, 부착 강도 시험, FWD 분석, VWG 결과 분석 등을 실시하였다.

##### 4.1 강도 및 세팅 타임 측정

압축강도 공시체는 마지막 차량의 재료(슬럼프 16cm)를 이용하여 현장에서 제작하였다. 샌드 베드를 만들어 실제 포장체 온도변화를 고려한 초기 강도를 측정하였으며 <표 2>와 같다. 시공 후 초기에는 강도가 발현되지 않았으나 3일 강도는 교통 개방이 가능한 기준 강도(압축강도 300kg/cm<sup>2</sup> 이상)를 상회하였다. 초기 강도가 예상보다 낮게 나온 것은 타설 후 강우가 내렸으며 대기 온도가 낮아서 수화반응이 빠르게 일어나지 않은 것으로 판단된다. 재료의 초결과 종결을 측정하기 위하여 KS F 2436에 제시된 “관입 저항침에 의한 콘크리트의 응결 시간 시험방법” 에 준하여 시험한 결과, 콘크리트 혼합물이 만들어진 후 약 3시간 정도에 초결이, 약 4~5시간 사이에 종결이 발생하였다.

##### 4.2 부착 강도

신 구 콘크리트 포장의 경계면의 부착 강도를 측정하기 위하여 KS F 2386에 나타난 “도로포장체 부착면의 인장접착 시험방법” 에 준하여 시험을 실시하였다. 슬래브의 코너에서 20cm 간격으로 슬래브 중앙으로 약 100 cm 위치까지



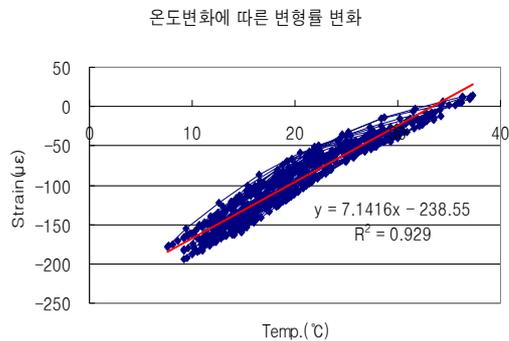
2 개씩 코어를 뚫어 시험하였다. 재령과 슬래브에서의 위치(슬래브 코너로부터의 거리)를 실험 변수로 하여 실험한 결과, <표 3>과 같다. 전체적으로 부착 상태는 양호하였다. 유지보수용 조강 재료이기 때문에 3, 7, 14 일에 따른 부착 강도는 큰 차이가 없었다. 시공 후 초기 단계이기 때문에 부착면의 분리 현상은 발생하지 않은 것을 알 수 있다.

<표 2> 압축강도 측정 결과

재령	12시간	20시간	24시간	3일	7일
강도(Kg/cm <sup>2</sup> )	35.33	114.6	144.73	581.47	619.67

<표 3> 부착강도 측정 결과(괄호 밖: 작용하중, 괄호안: 작용하중 / 면적)

	3 days	7 days		14 days	
	Kg(Kg/cm <sup>2</sup> )	Kg(Kg/cm <sup>2</sup> )		Kg(Kg/cm <sup>2</sup> )	
20 cm	1661(21.2)	785(10.0)	845(10.8)	760(9.7)	/
40 cm	1615(20.6)	800(10.2)	1053(13.4)	1250(15.9)	905(11.5)
60 cm	1113(14.2)	790(10.1)	505(6.4)	1055(13.4)	835(10.6)
80 cm	950(12.1)	770(9.8)	605(7.7)	/	/
100 cm	1225(15.6)	995(12.7)	/	1070(13.6)	820(10.4)



<그림 2> 초기 열팽창계수 변화 및 시공 후 43일 후의 열팽창계수

### 4.3 계측기 결과 분석

#### 4.3.1. 열팽창계수 및 건조수축 변화

온도와 건조수축에 의한 변형률을 구분하기 위하여 원형 실린더 내의 VWG 데이터를 분석하였다. 초기 열팽창계수는 두 가지 방법으로 산정하였다. 첫 번째 방법은 하루의 온도 변형률과 온도 변화를 플로팅하여 추세선을 만들어 기울기로 정의하였다. 둘째는 앞서 플로팅한 데이터의 온도변화가 최대, 최소일 때의 변형률 데이터를 얻어 그 기울기로 정의하였다. <그림 2>의 좌측이 그 결과를 나타낸 것이다. 강도가 발현되면서부터 열팽창계수는 점점 증가하였으며 계산 방법에 따른 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. <그림 2>의 우측 그림과 같이 시공 후 약 43일 후의 데이터를 분석한 결과, 안정화된 열팽창계수는 약  $7.142 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  정도 되었다.

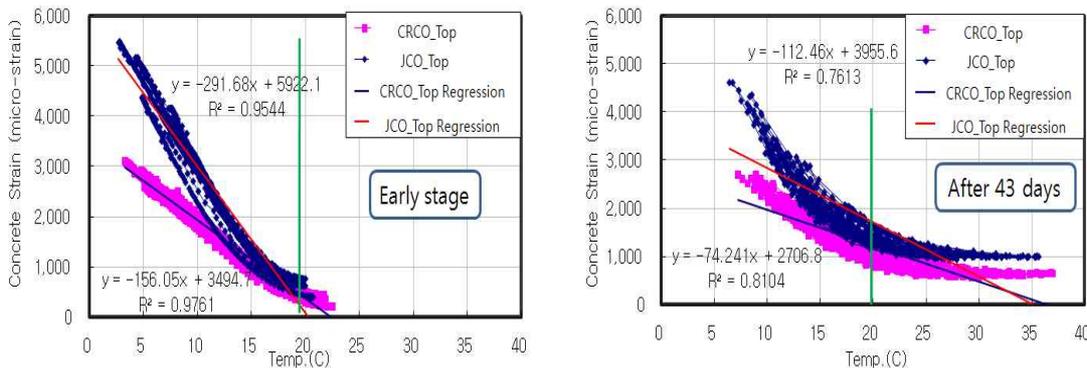
시간에 따른 건조수축 변화를 분석한 결과, 건조수축도 대기 중의 습도 변화에 따라 하루에도 변화하는 것을 알 수 있다. 건조수축이 가장 많이 발생하는 시간대는 오후 7~8시 사이였으며, 반면 다시 건조수축을 회복하여 최소가 되는 것은 오전 11~12 사이인 것으로 나타났다.



### 4.3.2. 수평 거동 평가

본 연구진은 기존 콘크리트 포장의 줄눈부의 거동으로 인하여 상부로 반사균열이 발생할 것으로 예측하여 CRCO 구간에 균열 유도 장치를 삽입하지 않았다. 하지만 줄눈의 움직임이 작은 곳은 예상과 달리 기존 줄눈에서 약 38 cm 이격된 곳에 균열이 발생하였다. 따라서 데이터 분석에는 기존 JCO 와 CRCO 구간의 줄눈부 거동이 큰 곳에 매설한 VWG 데이터를 이용하였다.

〈그림 3〉은 표층에서 약 1.5 cm 깊이의 시공 초기 및 43일 후의 데이터 보여주고 있다. 상부의 초기 거동을 살펴보면 시공초기 슬래브의 온도가 약 20 ℃였으며, 온도 하강 및 상승을 반복하였다. 디랙 게이지를 이용하여 줄눈거동을 측정하였을 경우, CRCO 전의 줄눈부의 거동이 기존 JCO 전의 줄눈부 거동보다 2배 이상 더 크게 움직이는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 덧씌우기 후 CRCO 의 줄눈부 거동이 기존 JCO 에 비하여 절반 수준으로 낮아졌다. 시공 후 약 43일 지난 데이터를 보면 시공 초기 슬래브 온도인 20 ℃ 기준으로 높은 온도에서는 변화 폭이 작아졌으며 두 공법간의 기온기도 거의 유사한 것을 알 수 있다. 하지만 20℃ 이하에서는 시공 초기의 거동 패턴과 동일한 것을 알 수 있다. 즉, 온도가 높은 여름철에는 균열부가 닫히기 때문에 큰 차이를 보이지 않다가 겨울철이 되어 균열부가 열리면 CRCO 의 철근이 균열폭이 늘어나는 것을 억제하는 역할을 할 것이다.



〈그림 3〉 상부 변형률 데이터 비교(좌 : 시공초기, 우 : 시공후 43일 부근)

### 4.3.3. 수직 거동 평가

컬링 및 와핑에 의한 산-구 경계면에서의 부착에 따른 거동을 평가하기 위하여 매설한 수직 계측기중 가장 코너에 있는 것들은 페이퍼의 바이브레이터에 의해 손상되었다. 따라서, 약 20 cm 와 30 cm 에 수직으로 매립된 계측기를 이용하여 거동을 평가하였다. 그 결과, 두 구간 모두 경계면이 분리된 거동을 보이지 않은 것으로 나타났으며, 온도에 따른 변화를 또한 위치 및 공법과 무관하게 거의 유사하였다.

## 5. 결론

국내외 문헌 조사를 통해 국내에 적용 가능한 얇은 콘크리트 덧씌우기 공법에 대한 연구 및 시험 시공을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 서해안 고속국도의 노후 콘크리트에 기존 JCP 덧씌우기와 종방향 철근이 들어간 CRCO 공법을 시공하였다. 초기 강도 측정 결과, 1~3일 정도에 교통개방이 가능할 정도의 강도를 발현하였으며, 콘크리트 응결 시간 측정결과, 초결은 재료 혼합 후 약 3시간 무렵에, 종결은 4~5시간 후에 발생하였다.



- VWG 계측기와 SDS 측정용 원형 실린더를 매립하여 초기 거동을 분석하였다. 초기 열팽창계수는 일정하지 않고 증가 추세였으며 43일 후 약  $7.142 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  정도 되었다. 건조수축 변화를 확인할 수 있었으며 하루에도 주기를 갖고 변화하는 것을 알 수 있었다.
  - 공법간의 수평 거동을 분석하였으며, 덧씌우기 전 약 3배 정도 움직이는 줄눈부가 덧씌우기 후 기존 JCP 덧씌우기 공법의 변형률 변화폭의 약 50% 수준으로 나타났다. 수직 거동 분석 결과 두 층은 분리되지 않았으며 위치에 상관없이 유사한 경향을 나타냈다.
- 향후 이에 대한 추적 조사를 수행하고, 미흡한 점을 보완하는 추가 연구를 진행하여 CRCO 공법이 국내 노후 콘크리트 포장의 유지보수 공법으로 자리 잡을 수 있도록 노력할 것이다.

참고 문헌

1. 한국도로공사 도로연구소, “ 콘크리트 덧씌우기에 의한 포장보강방안 연구(3)” 1997
2. 김진춘, 권순민, “특집 : 콘크리트포장의 덧씌우기 및 재포장] 비행장 포장에서의 콘크리트 덧씌우기(Overlay)” , 도로포장공학회지 제3권 제2호 20~27 pp., 2001. 6
3. 유승권, 최진욱, “특집 : 콘크리트포장의 덧씌우기 및 재포장] 비행장 포장에서의 콘크리트 덧씌우기(Overlay)” , 도로포장공학회지 제3권 제2호 3~10 pp., 2001. 6
4. Felt, Earl J., “Resurfacing and Patching Concrete Pavements with Bonded Concrete,” " HRB Proceedings, Vol. 35, Washington D. C., 1956
5. Delatte, N. J. and Laird, J. T. II, "Performance of Bonded Concrete Overlays" 1998, TRB
6. Reiner, E. J. “Concrete Overlays Challenge Asphalt,” " Civil Engineering 1987. Pgs 54 - 57.
7. Temple, W. H., and Cumbaa, S. L., Thin Bonded PCC Resurfacing, Louisiana Department of Transportation and Development, Report No. FHQA/LA-85/181, July 1985.
8. German Claros, Moon Won, "Project Summary, O-4893 : performance of old concrete under thin overlays", TxDOT
9. Jeong-Hee Nam, “MEASUREMENT AND ANALYSIS OF EARLY -AGE CONCRETE STRAINS AND STRESSES IN CONTINUOUSLY REINFORCED CONCRETE PAVEMENT UNDER ENVIRONMENTAL LOADING “, Center for Transportation Research The University of Texas at Austin, 2006