

연속철근콘크리트 포장의 특성 및 국내 적용 방안

권수안 공학박사, 한국건설기술연구원 도로연구부 선임연구원
서영찬 공학박사, 한양대학교 교통공학과 교수

1. 개요

우리 나라의 도로 포장의 형식을 보게 되면 거의 획일적으로 선정되고 있음을 알 수 있다. 즉, 국도의 경우 대부분 아스팔트 포장으로 시공되어 있으며, 고속국도의 경우에는 연약지반을 제외하고는 콘크리트로 시공됨을 알 수 있다. 또한 고속 국도의 콘크리트 포장 형식은 거의 대부분 무근콘크리트 포장(JCP, Jointed Concrete Pavement)으로 시공되고 있다. 이와같은 획일적인 포장 형식 선정은 경제성 측면에서 올바른 의사 결정은 아닌 것 같다.

이러한 상태에서 고속국도의 경우에는 88고속도로를 비롯한 재령이 오래된 콘크리트 포장의 유지보수가 관건이 되어가고 있으며, 일반 국도의 아스팔트 포장에서는 중차량이 많은 구간에서의 포트-홀 및 소성변형 등의 조기 파손으로 많은 문제점을 안고 있다.

노후 콘크리트 포장의 유지보수 공법으로 가

장 많이 사용되어온 방법은 아스팔트 덧씌우기인데, 일반 덧씌우기 공법으로는 2년도 되지 않아 반사 균열이 발생하고 있으며, 이를 해결하기 위하여 줄눈부에 다양한 처리를 실시하고 덧씌우기를 수행하거나, 새로운 재료로 덧씌우기 하는 등의 여러 방법을 많이 시도하였으나, 별다른 효과를 보지 못하고 있는 것이 현 실정이다.

무근 콘크리트 포장의 이러한 문제점을 해결하고 국가 예산의 절감 그리고 기술 수준의 향상 차원에서 연속철근콘크리트 포장(CRCP, Continuously Reinforced Concrete Pavement) 공법을 제안하고자 한다. CRCP는 이미 국내에도 시공된 바 있다. 대표적으로 중부 고속도로에 많은 연장이 시공되어 있으며, 경부 고속도로, 호남고속도로, 판교-구리간 고속도로 그리고 국도 7호선 일부 등 많은 곳에서 시공이 되어 왔다. 그렇지만, 대부분 포장체 표면에 균열이 많이 발생된다는 이유만으로 무시되어 오고 있는 실정이다. CRCP에서 균열은 자연스런

현상이나, 일부 구간에서는 Sealing으로 불필요한 유지보수를 실시한 곳도 적지 않은 실정이다.

CRCP는 JCP의 단점인 평탄성을 개선하기 위해 콘크리트의 줄눈을 없앤 공법으로, 콘크리트의 건조 수축 및 온도 등에 대한 환경하중을 견디기 위해 콘크리트 내에 철근을 0.6~0.8% 정도 넣은 것을 말한다. 철근을 콘크리트 포장에 넣은 결과 시공 초기에 균열이 표면에 나타나는데, 실질적으로 이 균열의 폭은 상당히 미세하여(표면에서 보는 것과 내부에 발생된 것과는 상당한 차이가 있음) 포장의 공용성에 전혀 영향을 미치지 않는다. 그런데, 일부 기술자들은 이 균열을 파손으로 오인하여 균열 Sealing을 실시하는 것이다.

국내에 시공된 CRCP의 재령이 적어도 10년~15년 이상이 지나고 있는 이 시점에서, 기존 다른 콘크리트 및 아스팔트 포장과의 공용성 및 경제성을 다시 한번 생각하고, 유지보수 측면 등을 고려하게 되면 CRCP의 우수성을 검증할 수 있을 것이라고 생각한다.

따라서 본 원고에서는 연속철근콘크리트 포장에 대하여 기존에 제시되었던 문제점 및 공급증 등에 대하여 미국을 중심으로 한 국내외의 경험을 들어 해결하고자 하며, CRCP의 특성 및 활성화 필요성을 언급하고, CRCP의 활성화를 위해 추진해야 할 연구 내용 등에 대하여 언급하고자 한다.

2. CRCP의 정의 및 특성

미국에서 본격적인 콘크리트 포장 도로 시스

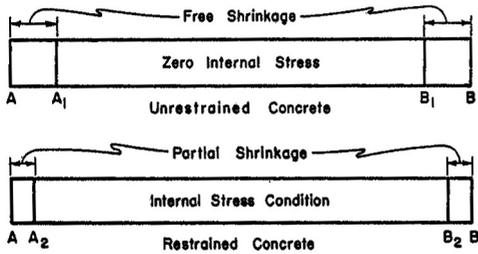
템의 시작은 1909년 미시간주의 Wayne County에서라고 한다.⁴⁾ 이때부터 도로 기술자들은 콘크리트 포장 자체의 체적 변화와 교통하중에 대한 포장 거동에 관심을 갖기 시작했다. 콘크리트 포장 자체의 체적 변화를 조정하기 위해 팽창 줄눈 및 수축 줄눈을 고안했다.

그렇지만 줄눈으로 인해 평탄성이 저하되므로 이를 개선하기 위해 일부 철근을 넣고 줄눈 간격을 넓힌 JRCP(Jointed Reinforced Concrete Pavement)를 고안하기도 하였다. 그렇지만 줄눈이 있으면 표면으로 물이 침투하게 되고, 유지보수의 문제가 생김으로 인해 이 방법 역시 좋은 평탄성을 갖는데는 한계를 가지고 있다.

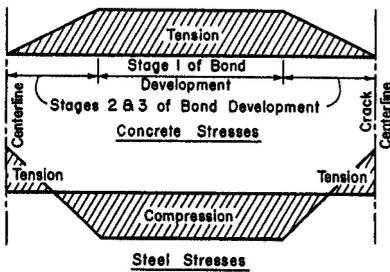
그러나 JRCP를 통해 철근을 사용하면 균열의 벌어짐을 최소화할 수 있다는 사실을 발견하고 줄눈을 완전히 없애는 대신 전체 구간에 상당량의 철근을 사용한 CRCP를 고안하기에 이르렀다.

CRCP은 콘크리트 포장의 줄눈을 없애기 위해 콘크리트 포장 내부에 철근을 삽입한 것을 말한다. 이러한 철근의 삽입으로 인해 균열이 없애는 것이 아니라, 오히려 균열을 더 많이 발생시킨다. 그렇지만, 철근은 균열 폭이 일정 한도 내로 벌어지는 것을 억제한다. 그럼으로 인해 균열 틈으로 물이 침투하는 것을 방지하고, 골재간의 마찰력을 증가시켜서 교통하중에 저항을 증가시키는 장점이 있다.

CRCP의 거동에 영향을 미치는 요인은 내부적 인자와 외부적 인자로 구분할 수 있다. 내부적 인자는 Shrinkage 와 온도 변화 등을 들 수 있으며, 외부적 인자로는 운하중과 하부 구조의



[그림 1] Shrinkage로 인한 콘크리트 거동



[그림 2] 두 균열 사이에서의 Shrinkage로 인한 응력 분포

강성 등이라고 할 수 있다.

이들 요인들에 의하여 CRCP을 구성하는 철근과 콘크리트에 응력이 발생하며, 이로 인해 포장의 거동에 영향을 미치게 된다. [그림 1] 및 [그림 2]는 Shrinkage에 의하여 내부 응력이 발생하는 원리를 나타내고 있다.

즉, [그림 1]의 상단 부처럼 원래 콘크리트는 Shrinkage에 의하여 A, B로부터 A1, B1으로 축소되어야 하는데, [그림 1]의 아래와 같이 철근 및 기층마찰력 저항으로 인해 A, B로부터 A2, B2로 축소량이 적게 됨으로 인해 콘크리트에 인장 응력이 발생하게 되는 것이다.

반면 균열 간격 사이에서 철근의 경우를 보게 되면 전반적으로 압축을 받게 되지만, 실제 두 균열 사이의 길이 변화는 없게 되므로, 압축으로 인한 변형을 상쇄하기 위해 균열이 발생하는 시점에서는 인장이 발생하게 된다.

CRCP, 설계 방법으로 가장 많이 사용하고 있는 것이 '86, '93 AASHTO Guide 방법이다. 이 방법은 미국 텍사스 대학교의 McCullough 교수가 개발한 것으로, 1960년대 초에 CRCP 설계 방법을 고안할 때에는 아래와 같은 가정을 하였으며, 근본적으로 포장 구조해석에는 Westergaard 공식을 사용하였다.⁴⁾

- (1) 철근과 콘크리트는 서로 독립적으로 거동을 한다. 콘크리트는 외력에 의해 발생하는 응력을 부담하게 되며, 철근은 포장의 체적변화의 구속에 따른 응력을 조정한다.
- (2) 노상의 수직 반력을 받는 콘크리트는 동일하고, 균질하며, 탄성 거동을 한다.
- (3) 콘크리트에는 횡방향 균열들이 발생하며, 이들 균열 사이의 종방향으로는 체적 변화가 없다.
- (4) 철근과 콘크리트 사이의 접촉이 완전하도록 균열 간격은 충분하다.
- (5) 철근과 콘크리트의 열팽창계수는 동일하다.
- (6) 체적의 변화로 인해 발생하는 모든 힘은 철근과 콘크리트만이 부담한다.
- (7) 철근과 콘크리트의 접촉력은 일정하다.

CRCP에서 균열의 발생 및 패턴에 영향을 미치는 인자를 구분하면 다음과 같다.¹⁰⁾

(1) 길이 변화 구속 인자

- 내부적 구속(Restraints) 인자
 - 1) 철근 : 철근 양, 표면적, 탄성계수, 코팅, 횡방향 철근과의 연계, 강도, 열팽창계수, Creep 특성
 - 2) 콘크리트 : 두께, 강도, 탄성계수, 수축, Creep, 열팽창계수
 - 3) 철근과 콘크리트의 접착 특성
- 외부적 구속 인자
 - 1) 슬래브와 보조기층 또는 중간층과의 접착 또는 마찰 특성
 - 2) 옆 차로와의 연계 특성

(2) 시공 인자

- 철근의 Lapping
- 지지층에 대한 압밀
- 환경 조건
 - 1) 시공 시기(가을 또는 겨울)
 - 2) 시공시 온도, 풍속 및 습도
- 슬래브와 보조기층과의 접착 정도

(3) 시스템 강성(Stiffness)

- 콘크리트 두께
- 콘크리트의 탄성계수
- 하부구조의 지지력과 마찰 조건
- 철근과 콘크리트 접착
- 철근양과 깊이
- 균열 폭
- 길어깨 형태
- 콘크리트 강도

(4) 시간(공용성과 관련)

- 콘크리트의 Aging 특성
- 환경 조건
 - 1) 온도 변화
 - 2) 강우량
- 감소 접착 특성
- 철근의 부식 특성
 - 1) 얼음 용해제 또는 염화물 노출
- 교통 및 환경하중
- 하부구조 침식 및 지지력 감소
 - 1) 횡방향으로의 습기에 의한 warping

최근에는 FE 방법을 이용해서 AASHTO 2002 Guide가 개발되었다.¹²⁾ AASHTO 2002 설계법에서 사용하고 있는 논리는 부분적으로 기존의 '86 Guide와는 상이한 부분이 있으므로, 이에 대한 검토가 필요하다. 또한, 텍사스 대학 연구소 역시 FE 방법을 이용해서 CRCP 거동을 분석하기 위해 CRCP-10 Program을 개발하였다. 그렇지만, 미국 내에서도 CRCP 설계를 하기 위한 공용성 인자의 선정 및 이들 인자에 대한 발생 Mechanism 등이 서로 상이하므로 이에 대한 검토가 반드시 필요하다.

이외에도 CRCP 설계 및 분석을 위한 프로그램은 CRSI(Continuously Reinforced Steel Institute), 유럽의 프로그램 등이 있다고 한다. 현재 미국의 각 주에서는 새로 개발된 AASHTO 2002 Guide의 각주에서의 적용 가능성 평가 및 적용 방안에 대한 연구가 진행 중이다.

3. CRCP의 장점 및 국외 사용 현황

3.1 CRCP의 장점

(1) 공용 수명의 증대

CRCP는 기존의 아스팔트 포장 및 JCP에 비하여 수명이 월등히 길다는 것이다. 이는 기존 국내에 실시된 시공 경험 및 미국 텍사스 주에서의 경우를 보게 되면 충분히 이해할 수 있다.

일반 아스팔트 포장의 경우 10년 이내에 덧씌우기를 수행하는 것이 국내 대부분의 실정이지만, CRCP는 고속국도 중부고속도로 및 판교-구리 고속도로 등이 건설된 후 아직까지도 별 다른 파손이 없다는 것이다. 반면 중부 고속도로 및 외곽 순환 고속도로에 건설된 아스팔트 포장은 많은 구간에서 이미 덧씌우기를 실시하였다. 따라서 공용 수명이 우수하다는 것은 기존 우리나라의 경험으로 보아도 입증할 수 있다.

(2) 평탄성 및 소음 저감 측면에서 우수함

CRCP는 JCP에 비하여 줄눈이 없으므로 당연히 승차감이 좋아지고 동시에 소음이 줄어들어 도로 이용자들에게 쾌적한 도로를 주행할 수 있도록 제공한다. 이는 포장의 수명이 증가할수록 더욱 차이가 난다. 왜냐하면 JCP는 수명이 증가하면 줄눈부 파손 손상으로 인한 하부 구조의 파손으로 단차가 증가하기 때문에 평탄성이 안좋아지고, 이로 인해 소음이 점차로 증가하게 된다. 또한 JCP 거동 특성상 환경하중에 따른 Curing, Warming 등으로 인해 평탄성 및 쾌적

성이 불량하게 된다. 반면 CRCP는 줄눈이 없을 뿐더러 철근이 포장체 내에서 균열을 잡아주고 있으므로 평탄성의 변화가 JCP에 비하여 매우 적다. 따라서 평탄성 및 소음이 JCP에 비하여 우수하다. 실제 예로 한양대학교에서 중부고속도로 평탄성 조사 연구 결과에 대한 발표를 보면 <표 1>과 같이 CRCP에서는 IRI(International Roughness Index) 값이 1.19, JCP에서는 1.36으로 CRCP가 우수한 것으로 나타났다.¹⁾

<표 1> 중부고속도로 콘크리트 포장의 종단평탄성 측정 결과

종 류	평 균	표준 편차	자료수
CRCP	1.19	0.95	11,232
JCP	1.36	1.10	7,336

(3) 유지보수 비용 절감

CRCP는 JCP 및 일반 아스팔트 포장보다 수명이 크다는 것 이외에도, 유지보수 비용이 매우 작다는 것이다. 1987년 개통된 중부고속도로는 JCP, CRCP, 아스팔트 포장 구간이 모두 포함된 구간이다. 현재까지의 유지보수 사례를 보게 되면 CRCP 구간의 유지보수가 가장 적게 수행된 것을 육안으로 판단할 수 있다. 즉, CRCP 구간은 공용 기간이 17년이 지났음에도 불가하고 유지보수가 거의 이루어지지 않고 있다는 것이다. 이를 다른 한편으로 얘기하면 maintenance free 포장이라는 것이다. 그러므로 교통량이 많은 대도시 구간이나 중차량 교통이 많은 구간에서는 매우 우수한 포장 공법이다. 유지보수를 거의 실시하지 않으므로 유지보수로 인한 교통 차

단을 최소화할 수 있으며, 이로 인한 간접적인 경제적 손실이 거의 없다는 것이다.

반면, JCP는 5 ~ 10년 주기로 줄눈부 유지보수를 실시해야 하며, 아스팔트 포장도 5~10년 주기별로 덧씌우기를 위해 도로를 차단하거나, 교통을 차단해야 하는 단점이 있다.

미국 텍사스 주의 휴스턴 및 달라스 지부의 경우를 보게 되면 대도시내에서는 유지보수 문제로 인한 교통 차단을 없애기 위해 모든 포장은 CRCP를 실시한다고 하며, 이는 휴스턴, 달라스 이외에도 뉴욕과 같은 다른 지역에서도 점차로 확대되고 있는 상황이다.

(4) 아스팔트 덧씌우기시 반사 균열 방지

JCP가 오래되면 덧씌우기 등의 공법을 적용해야 하지만, 국내 국도 및 고속국도에서 많이 경험하였던 것처럼, 반사 균열을 방지하기에는 한계가 있다. 그러나 CRCP를 하게되면 반사 균열을 걱정하지 않아도 된다.

반사균열이라 함은 주로, 기존 콘크리트 포장 위에 아스팔트 포장을 덧씌우기 하였을 때 기존 콘크리트 포장의 줄눈부 및 균열부에서 온도에 따른 거동의 크기와 덧씌우기 한 아스팔트 포장의 온도에 따른 거동 차이로 인해, 더불어 차량 하중으로 인해, 아스팔트 포장에 응력이 발생하여 균열로 나타나는 것을 말한다. 그런데 CRCP에서는 균열의 거동을 철근이 우선 억제하므로, 아스팔트 포장을 덧씌우기 하였을 때 아스팔트 포장으로 전달되는 응력이 JCP에 비교하여 미미하므로 [사진 1]과 같이 반사 균열이 거의 발생하지 않는 것이다.



[사진 1] CRCP 위에 아스팔트 덧씌우기 한 포장

또한 CRCP위에 아스팔트 포장을 하게 되면, 반사 균열이 저감될 뿐 아니라, 향후 아스팔트가 파손되면, 덧씌우기 부분인 아스팔트 포장만 주기적으로 재포장하면 된다는 의미이다. 즉, 확장공사와 같은 단면의 변화만 없다면, 반 영구적으로 도로 포장 유지관리 할 수 있다는 의미이다.

3.2 외국의 사용 현황

미국에서 1992년도 시행한 유럽의 콘크리트 포장에 대한 기술 시찰 보고서와 Tayabji 등이 정리한 보고서에 따르면, 유럽에서 CRCP를 사용하는 국가는 주로 벨기에, 프랑스에서 많이 사용하며, 기타 여러 국가에서도 일부 적용하고 있다고 보고하고 있다.^{7), 9)}

유럽에서 사용하는 슬래브의 두께는 주로 교통량에 따라 17,20,25cm의 형식을 사용하고 있으며, 기층의 형식은 lean concrete, Asphalt Concrete 등을 사용하고 있다. 또한 CRCP에 사용하는 철근량은 0.6~0.85% 정도로 다양하

게 사용하고 있는 것으로 나타났다. 벨기에, 프랑스, 스페인 등에서의 시험 포장 결과를 보게 되면 철근량을 0.85%까지 사용하였는데, 공용성이 매우 좋다고 보고되었다. 또한 철근의 위치를 보면 표면에서 슬래브 두께의 1/3 지점에 철근을 사용함으로써 철근으로 인한 균열의 벌어짐을 잘 잡아주는 것으로 보고되었다.

특히, 벨기에의 경우 1923년부터 CRCP를 사용해왔었는데, 1970년부터 많이 사용하기 시작했다고 한다. CRCP를 선호하는 이유는 유지보수 비용이 거의 없기 때문이라고 한다. 벨기에는 주로 두 가지 설계 형식의 포장이 시공되었는데, 1979년을 기준으로 설계를 바꾸었다고 한다. 1979년 전까지는 0.85%의 철근량 그리고 철근의 위치는 표면에서 1/3 위치에 설치했다고 한다. 그 결과 좁은 균열 간격(0.6m 이하)이 발생되어 1979년부터는 철근량을 0.67%로 줄이고, 철근의 위치도 슬래브의 중앙으로 변경하였다고 한다. 그런데 주목할 것은 두 포장 설계에 대하여 현재까지의 공용성 결과를 보면 철근양이 많은 포장이 중차량 교통량에도 불구하고 Punch-out 등의 파손이 거의 없다는 것이다. 그렇지만, 철근양을 줄이고, 철근의 위치를 바꾼 포장은 포장 상태가 전반적으로 좋지만, 일부분 Punch-out 파손이 발생되었다고 한다.

미국의 경우 최근 FHWA에서 정리한 보고서를 보게 되면 적어도 35개주 이상에서 CRCP를 사용하고 있는 것으로 보고하고 있으며, 최근들어 중차량이 많거나, 교통량이 많은 구간에서 CRCP 적용을 적극적으로 검토하고 있는 주가 늘어나는 추세이다. 대표적으로 일리노이주와

텍사스 주가 가장 많이 사용하고 있으며, 이에 대한 연구도 가장 활발하다. 미국의 각 주에서 사용하고 있는 철근량은 0.6 - 0.8% 정도의 범위 내에서 매우 다양하게 사용하고 있으며, 슬래브 두께 역시도 110 - 300mm로 다양함을 알 수 있다. 철근의 위치는 대표적으로 일리노이 주의 경우는 슬래브 표면에서 약 1/3 위치에 설치하고, 텍사스는 슬래브의 중앙에 설치한다.

위에서 보는 바와 같이 CRCP의 설계에 대한 것은 아직까지 이론적으로 추진되었다기보다는 주로 경험에 의해서 각 국가 및 지역별로 특성에 맞게 실시하고 있는 것을 알 수 있다.

4. 기존에 제기된 연속철근콘크리트 포장의 문제점

(1) 균열의 발생

기존 고속국도의 포장 관리자 중 일부는 CRCP에 발생하는 균열이 일반 JCP 및 구조물에서의 균열처럼 파손으로 인식하여 균열 Sealing 보수를 실시하였다. 앞의 설계 개념에서 언급하였듯이 CRCP는 처음 설계 때부터 균열이 발생하는 것으로 되어 있으므로, 이를 파손으로 보는 것은 잘못된 인식이다. 또한 일부 기술자들은 육안으로 표면에 나타난 균열 폭을 보고 균열의 폭이 매우 큰 것으로 인식하는데, 이는 잘못된 생각이다. 왜냐하면, 표면에서의 균열 모서리 부분은 차량의 통과 등으로 인해 닳는 것이므로 균열 폭이 크다고 오인할 수 있다. 그렇지만 적절한 철근 양이 사용된 CRCP의 균열부

에서 코아를 채취하여 보게되면 사진 2와 같이 상단부는 균열이 크게 보이는 듯 하지만, 철근의 바로 아래부터는 균열이 없음을 알 수 있다. 대부분 코아 채취 결과 철근의 하부 부분에서는 균열이 거의 안보이거나, 없는 것을 알 수 있다. 따라서 상단부에서의 균열 폭이 포장 내부까지 동일한 크기로 존재한다거나, 균열이 포장 파손에 영향을 미친다는 것은 잘못된 인식이다. 이러한 결과는 기존의 보고서에서 미리 잘 알려진 사실이다.⁵⁾



[사진 2] 균열부에서 채취한 코아의 단면

그러므로, CRCP에서 균열을 파손으로 보는 것도 다시 한번 재고할 필요성이 있으며, 포장의

구조적 상태를 평가하기 위해 균열부에서 하중 전달율을 측정한다고 하는 것도 의미가 있는 것 인지를 재고할 필요성이 있는 것으로 추정된다.

(2) 철근의 부식 문제

국내의 기온은 봄, 여름, 가을, 겨울이 명확하게 존재하며, 겨울철에는 눈의 내리므로, 도로상에 내린 눈을 제거하기 위해 염화 칼슘을 살포한다. 또한 겨울철이 아니더라도, 비가 내리면 물이 균열 틈 사이로 침투하여 연속 철근의 부식을 초래한다는 많은 우려가 있다. 그렇지만, 우리 나라의 경우를 생각하면, 기우라는 것을 알 수 있다. 우리 나라에서 건설된 CRCP 중에서 철근 부식이 문제가 되어서 포장의 공용성에 문제가 된 구간이 있는가? 답은 전혀 없다는 것이다. 건설된지 10년 ~ 15년 이상이 되었으며, 서울 근교 및 충청권 이북 지방 등에 건설된 CRCP이 전혀 무리 없이 사용되는 것을 보면 균열 틈으로 물이 침투하여 철근이 부식된다는 것은 기우라는 것이 입증된 것이다. 그 이유는 앞의 균열의 발생과 관련된다. 즉, 균열의 폭이 포장체 표면에만 큰 것이지, 포장체 하부에는 매우 미세하여 물이 침투하기 힘들다는 것을 입증하는 것이다.

미국의 경우도 Illinois, North 및 South Dakota 등 우리 나라 보다 추운 지역에 있는 주에서도 CRCP를 많이 사용하고 있으며, 철근의 부식으로 별다른 조치를 취하지는 않는다. 물론 시공을 잘못하거나 설계를 잘못하여 균열의 폭이 넓어지면 문제가 생길 소지가 없는 것은 아니다.

(3) 철근의 양

CRCP에서 철근의 역할은 콘크리트에서 발생한 균열의 거동을 억제하는 것이다. 따라서 철근의 양이 적게 되면 철근에 과도한 응력이 발생하여 철근이 파손될 우려가 있으며, 철근이 많이 들어가게 되면 시공비가 높아지는 우려가 있는 것이다. 따라서 적절한 철근의 양을 산정하는 것이 중요하다. 유럽의 경우에는 0.6~0.85%를 일반적으로 사용하고 있으며, 미국의 경우에는 대략적으로 0.6~0.8%를 사용하고 있다. 즉, 각 지역별로 약간씩 차이가 있음을 알 수 있다.^{7), 10)}

철근의 양에 영향을 미치는 인자는 해당 지역의 환경 여건, 재료 조건, 시공 특성 등에 따라 달라질 수 있다. 텍사스 주의 McCullough는 현장 실험을 통하여 0.5 ~ 0.6 정도가 적당한 것으로 제시하였으며, 미국 일리노이 주에서 실시한 시험 포장의 결과에서는 0.7% 이상의 철근 양이 가장 적절한 것으로 나타났다. 국내의 경우에는 중부고속도로에 0.6% 내외를 사용하였으나, 향후 국내 현황에서 공용성을 최대한으로 하기 위한 철근 양 선정 연구가 필요하다.

(4) 철근의 위치

CRCP에서 철근의 역할은 온도 및 습도 변화로 인한 콘크리트의 체적 변화(Volume Change)를 억제하기 위한 것이다. 일반적으로 콘크리트에 철근을 삽입한다는 것은 콘크리트의 단점인 인장 응력을 철근이 담당하는 것이지만, CRCP에서는 체적 변화의 억제이므로 개념이 상이하다. 그러므로 포장체에서 철근의 위치는 포

장 단면의 중앙부에 설치한다.

CRCP에서 철근의 또 다른 역할은 균열 거동의 억제이다. 콘크리트 구조물 내에 철근이 들어가게 되면 당연히 균열이 발생하게 되는데, 이러한 균열의 거동을 억제하는 것의 철근의 역할이다. 그래서 미국 일리노이 주의 경우 포장체 표면에서 3.5" 하부에 철근을 설치한다. 그렇지만 여기서 주의해야 할 것은 철근이 포장체 표면에 가까워질수록 균열 거동을 억제하여 균열 폭이 좁은 대신 포장체 표면에 균열이 더욱 많이 발생한다는 것이다.

철근이 중앙부에 위치한 경우와 상단부에 위치한 경우에서의 거동을 생각해보면, 상단부에 설치하게 되면 철근과 표면사이의 두께가 작으므로 온도에 따른 Curling이 많이 발생하게 되고, 중앙부에 설치하게 되면 철근과 표면 사이의 두께가 커짐으로 인해 Curling이 적게 발생하나, Curling 응력이 크게 나타난다는 이론적 논리가 생긴다. 또한 이러한 거동 특성은 재료의 열팽창계수 및 탄성계수에 따라 정도의 차이가 있다. 그렇지만 어떤 것이 포장의 장기 공용성에 더 좋은 것인지는 해당 지역의 특성에 따라 차이가 있음을 인지해야 한다.

5. 국내에 CRCP 적용을 위한 향후 연구 내용

지금까지 CRCP에 대한 기존 기술자들이 주요 문제로 삼던 부분에 대한 원인 및 결과 등에 대한 설명을 실시하였고, 또한 CRCP의 장점에 대한 부분도 언급하였다. 따라서 경제적으로나 쾌적성 측면 등에서 CRCP이 우수함을 입증하였

다. 향후 국내에 CRCP을 접목하기 위해서는 아래와 같은 연구를 실시해야 할 것이다.

(1) 포장 형식 선정 기준 개발

포장 형식을 선정하는데 있어서 정답이 있는 것은 아니다. 그렇지만, 어느 한도까지는 포장 형식을 선정할 수 있는 기준이 있어야 할 것이다. 예를들어 아스팔트 포장, 콘크리트 포장 등을 구분하는 등의 기준이 필요할 것으로 생각된다. 미국 AASHTO의 경우 경제성 분석을 실시해서 포장 형식을 결정하는 것이 되어 있으며, 미국 일리노이 주에서는 경제성 분석을 실시하지만, 너무 일률적으로 기준에만 의존하는 것이 아니라, 형식별 경제성이 일정 이하로 차이가 날 경우에는 위원회를 개최하여 형식을 결정하는 것으로 되어 있다.

우리 나라의 경우 도로설계편람에 교통량을 기준으로 하여 포장 형식을 결정하는 기준이 제시되어 있지만, 아직 설계 기준에 적용되고 있는 않으며, 경제적인 측면 및 운영 측면 등을 고려한 방법들을 보완하여 합리적인 포장 형식 선정 기준이 개발되어야 할 것이다.

(2) Fly ash 사용 량 선정

콘크리트 포장에서 Fly ash의 사용은 다른 어떤 구조물에 적용하는 것 보다 매우 유용하다. Fly ash란 화력발전소에서 석탄을 연소시킬 때 발생하는 미세한 분진을 말하는 것으로 일반적으로 F, C 형식 등으로 구분한다. 이러한 Fly ash를 재활용하는 것에 대한 장점은 다음과 같다.

- 시멘트보다 단가가 저렴하므로 예산 절감
- 화력발전소의 부산물이므로 자원의 재활용
- 콘크리트의 시공성(Workability) 증가
- 포장체의 투수성 (Permeability) 감소
- 포장체의 장기 공용성능(Durability) 증가 : ASR/DEF(Alkali Silica Reaction/Delayed Ettringate Formation) 등의 감소
- 포장체의 초기 발열량(Hydration) 감소

위에서 언급한 바와 같이 Fly ash를 콘크리트 포장에 적용하게 되면 재활용 측면에서도 좋지만, 포장의 경제적, 공용성 측면 등에서 매우 유용하므로 이에 대한 활용 방안 연구가 절대적으로 필요하다. Fly ash 이외에도 콘크리트 포장의 공용성 개선을 위해 SCM(Supplimentary Cementitious Materials)에 대한 기술 개발을 수행해야 한다.

(3) 설계 입력 변수에 대한 정량화

앞의 설계 개념에서 언급한 바와 같이 CRCP의 설계 입력 변수는 JCP에 비해 다양하며, 철근의 삽입으로 인해 거동이 좀더 복잡하다. 이러한 설계 입력 변수의 정량화를 위해서는 외국의 값을 인용하기보다는 국내에서 사용되고 있는 재료 및 기후 조건 등을 이용해서 결정해야 할 것이다. 예를 들어 재료적인 측면에서 보면 골재의 종류별로 열팽창계수 및 탄성계수가 틀리는데, 이에 따라 CRCP의 공용성이 상이하기 때문이다. 또한 외국의 경우에도 아직까지 실제 현장

의 조건을 나타내는 입력변수 값을 선정하기 위한 실험 방법들이 계속해서 연구 중에 있으므로, 실제 현장을 고려한 국내에서의 실험 방법 및 규정들을 개발해야 할 것이다.

(4) 단면 설계에 대한 연구

기존 CRCP의 단면을 보게 되면, 슬래브(30cm), 린콘크리트 기층(15cm), 보조기층 또는 동상방지층(20cm ~ 50 cm) 등 일률적으로 실시되어 왔다. 미국 텍사스 주의 경우를 보게 되면 중교통 구간이더라도 슬래브(20cm ~ 33cm), 아스팔트 안정처리 기층(10cm), 안정처리 노상 등의 단면을 사용하고 있다. 여기서 중요한 것은 동상방지층이 없다는 것과 안정처리 노상을 사용한다는 것이다. 동상방지층의 경우 우리와 동일한 기후 지역에 놓여진 미국의 North Carolina, Indiana, Ohio, Iowa 주 등 해당 교통국에 문의한 결과, 연약지반 등과 같은 곳을 제외하고는 사용하지 않음을 알 수 있었다. 대신 안정처리 노상의 경우에는 시공시 주행성능(Trafficability)의 증가 및 원활한 배수 등의 이유로 인해 많은 주에서 적용하고 있다.

따라서 기층의 경우 어느 형식의 기층이 우리나라의 형식에 적합한지, 동상방지층의 필요성 여부(동상민감성 기준), 그리고 안정처리 노상에 대한 타당성 등에 대한 결정을 위한 연구가 도로 포장 측면에서 체계적으로 이루어져야 한다.

(5) CRCP 거동 분석 연구

CRCP는 콘크리트의 체적 변화를 제어하기 위해 철근을 포장체에 삽입한 것인데, 이들의 거

동에 대한 mechanism을 이해하는 것이 필수적이다. 예를 들어 콘크리트의 종류, 철근양의 구분, 철근의 설치 위치 그리고 여러 시공 및 환경 조건에 따라 어떻게 거동을 하는지를 분석해야 한다. 이를 위해서는 작더라도 다양한 종류의 시험 포장이 장기적인 계획을 갖고 수행되어야 하며, 이들 공용성 결과를 계속적으로 Monitoring 해야 한다. 그리고 이들 자료를 체계적으로 정리하기 위한 D/B 역시 갖추어져야 한다. 따라서 현재 한국도로공사에서 건설되어 운영중인 시험도로는 이러한 목적을 수행하기 위한 장소 중의 하나로서 매우 중요한 역할을 할 것으로 생각된다.

(6) 유지보수를 위한 덧씌우기 공법 개발

CRCP의 장점 중에는 아스팔트 포장으로 덧씌우기 하여도 반사균열이 거의 없다는 것이다. 현재 국내에서 절대적으로 사용하고 있는 JCP는 수명이 다되어 아스팔트 덧씌우기를 실시하게 되면 100% 반사균열이 발생되어 많은 문제점으로 떠오르고 있다. 반면 CRCP에서는 온도에 따른 균열 거동 크기가 JCP 보다 훨씬 적기 때문에 반사 균열이 거의 없는 것이다. 즉, JCP와 비교할 때 CRCP는 아스팔트 덧씌우기의 주기가 길다는 것이다. 그렇지만 중요한 것은 반사 균열의 발생이 저감되는 것이 아니라, 덧씌우기 후 일정 공용 연수가 지난 후 덧씌우기 된 아스팔트 포장을 보수할 때에는, 덧씌우기 된 아스팔트 부분만 재포장 하면 된다는 것이다. 즉, 기존 CRCP은 그대로 보존 한 상태에서 아스팔트로 덧씌우기 된 부분만 재포장 한다는 것이다. 즉,

여기서 아스팔트 덧씌우기 부분은 마모층으로 사용된다는 것이다. 이러한 방법으로 유지보수를 하게된다면, CRCP은 거의 영구적으로 사용해도 무방하다는 것이다. 따라서 어느 형식의 아스팔트 포장이 CRCP에 적합한지를 결정해야 한다. 이를 위해서는 경제적인 측면, 시공성, 아스팔트 포장과 콘크리트 포장의 결합성 그리고 쾌적성 등의 인자를 고려해서 결정해야 한다.

6. 결론

연속철근콘크리트 포장의 개념 및 장점 그리고 활성화를 위한 방안 등에 대하여 기존 국내의 연구 결과 및 현장 자료를 근거로 언급을 하였다. 연속철근콘크리트 포장에 대하여 이를 언급한 이유는 기본적으로 국가 예산을 절감하고, 도로 이용자에게 편리하고 쾌적한 도로를 제공하기 위한 방안 제공 그리고 도로 유지관리자에게 편리한 공법 제공 등의 이유에서이다. 토목 기술이 다른 기술에 비해 보수적이고, 포장 기술에 대한 이해 부족으로 잘못 이해되고 있는 연속철근콘크리트 포장이 좀더 적극적으로 활용되기를 진심으로 바라며, 향후 이를 활성화하기 위한 국가 연구가 체계적으로 실시되기를 바란다.

감사의 글

본 원고를 작성하기 위해 사진 및 기술 자료를 제공하여 주고, CRCP의 이해를 위해 많은 조언을 해주신 미국 텍사스 대학의 토목 공학과 연구 부교수인 원문철 박사님께 진심으로 감사를 드린다. 

참 고 문 헌

1. 김 성호외 3인, 중부고속도로 평탄성 특성 연구, 한국도로포장공학회지, 3권 2호, pp 131 ~ 140, 2001.
2. AASHTO, AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993, AASHTO, 1993.
3. American Coal Ash Association, Fly Ash Facts for Highway Engineers, FHWA, FHWA-IF-03-019, 2003.
4. Benjamin F. McCullough and William B. Eddbetter, "LTS Design of Continuously Reinforced Concrete Pavement," ASCE Vol. 127, Part IV, paper No 3357, 1962.
5. Continuously Reinforced Concrete Pavement, NCHRP Syn 16, Highway Research Board, 1973
6. CRSI, CRCP in Gerogia - Durable Pavement on Their Mind, CRSI No 61, 2003.
7. FHWA, Report on the 1992 U. S. Tour of European Concrete Highways, FHWA-SA-93-012, FHWA, 1993.
9. Kim, S. M., M.C. Won, and B. F. McCullough, Three-Dimensional Nonlinear Finite Element Analysis of Continuously Reinforced Concrete Pavements, Report 1831-1, Center for Transportation Research, University of Texas at Austin, 2000.
8. Shelby and McCullough, "Determining and Evaluating Stresses of an Service



Continuously-Reinforced Concrete Pavement," HRR publication 1101.

9. Shiraz D. Tayabji, Dan G. Zollinger, George T. Korovesis, Peter J. Stephanos, Jeffrey S. Gagnon, Performance of Continuously Reinforced Concrete Pavement Volume I - Summary of Practices and Annotated Bibliography, FHWA-RD-94-178, FHWA, 1998.
10. Shiraz D. Tayabji, Peter J. Stephanos, and Dan G. Zollinger, "National Field Investigation of CRCP," TRR 1482, TRB, 1996.
11. Won, M., K. Hankins, and B.F.Mellough, Mechanistic Analysis of Continuously Reinforced Concrete Pavements Considering Material Characteristics, Variability and Fatigue, Report No. 1169-2, Center for Transportation Research, University of Texas at Austin, April 1990.
12. www.2002designguide.com