

포스트텐션 콘크리트 포장 공법의 현장적용

Field Application of Post-Tensioned Concrete Pavement

김동호* · 배종오** · 이봉학*** · 한승환**** · 김영강***** · 김덕용*****

Kim, Dong-Ho · Bae, Jong-Oh · Lee, Bong-Hak · Han, Seung-Hwan · Kim, Young-Gang · Kim, Duk-Yong

1. 서론

국내의 콘크리트 포장 공법은 초기 공사비와 시공성의 장점으로 인하여 줄눈콘크리트 포장(JCP: Jointed Concrete Pavement) 공법이 주로 적용되어 왔으며 부분적으로 연속철근콘크리트 포장(CRCP: Continuously Reinforced Concrete Pavement) 공법으로 시공된 바 있다. 그러나 국내 콘크리트 포장형식의 주류를 이어왔던 JCP 공법은 초기 공사비가 저렴하여 경제적인 장점이 있음에도 불구하고, 종·횡방향 줄눈부에서의 스펀링과 균열 등의 파손이 발생하여 설계수명인 20년의 70%에서 다양한 파손으로 인한 유지보수가 빈번히 시행되고 있어 이용자의 불편과 유지보수 비용이 증가되고 있는 실정이다. CRCP 공법은 균열틈으로 염화물과 우수침투에 대한 우려와 허용된 균열로 미관이 저하되고 종방향 줄눈부와 균열부에서의 파손 등으로 인해 유지보수 사례가 발생되고 있다. 이처럼 파손된 도로포장의 유지보수를 위하여 매년 막대한 국가예산이 투입되고 있고, 보수작업으로 인하여 발생하는 교통체증과 교통사고는 국민 생활수준 향상에 적지 않은 악영향을 미치는 등 콘크리트 포장의 장점을 드러내지 못하고 있다. 이러한 국내의 현실을 감안할 때 진보된 콘크리트 포장 기술에 대한 연구, 특히 장기 공용 기간 동안 파손과 유지보수 없이 서비스 될 수 있는 공법의 개발이 절실히 요구되고 있는 시점에서 최근 이에 대한 대안으로 포스트텐션 콘크리트 포장(PTCP: Post-Tensioned Concrete Pavement) 공법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(김동호 등 2008; 최관길 등 2009; 윤동주 등 2009).

그동안 유럽과 미국에서 적용사례가 있었지만 공법 선정시 초기 공사비가 높은 단점으로 채택이 어려웠던 이 공법은 최근 건설공사 생애주기비용해석(LCCA: Life-cycle-cost analysis)에 대한 검토가 중요하게 대두되면서 상당한 경제성이 확보되는 것으로 분석되고 있으며 특히 구조적인 장점으로 인하여 균열이 방지되고 줄눈이 대폭 감소되어 파손과 유지보수 없이 장기 공용이 가능하다는 측면의 장수명 고내구성 콘크리트 포장 공법으로 기대되고 있다.

본 논문에서는 동해고속도로 주문진-속초 사업단 1공구 현장의 일부구간에 포스트텐션 콘크리트 포장공법 적용 사례를 위주로 주요 기술내용을 서술하고자 한다.

2. 현장적용 기술내용

2.1 설계사항

본 연구에서 설계된 포스트텐션 콘크리트 포장은 구조해석프로그램 ABAQUS를 사용하여 환경하중과 교통하중을 고려하여 포장체의 정밀구조해석을 수행하여 설계되었다. 슬래브는 120m의 길이와 폭 8.2m에 60cm 간격으로 종방향 텐던이 배치되고, 3m 간격으로 횡방향 텐던이 배치된 구조이며 설계 인장력은 프리스트레스 손실을 고려하여 외력에 의한 인장응력에서 콘크리트 허용 휨강도를 뺀 값보다 크게 설계되었다.

* 정회원 · (주)삼우IMC 기술연구소 수석연구원 · 공학박사(E-mail : dhkim@samwooimc.com) - 발표자

** 정회원 · (주)삼우IMC 기술연구소 연구소장 · 도로및공항기술사(E-mail : jobae@samwooimc.com)

*** 정회원 · 강원대학교 공과대학 토목공학과 교수 · 공학박사(E-mail : bonghak@kangwon.ac.kr)

**** 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 · 공학박사(E-mail : hansu@ex.co.kr)

***** 정회원 · 한국도로공사 주문진-속초 사업단 공사1팀장(E-mail : yg33k@ex.co.kr)

***** 정회원 · 한국도로공사 주문진-속초 사업단 단장(E-mail : dykim@ex.co.kr)

표 1. PTCP 공법의 주요 설계내용

구분	설계내용	비고
설계수명	40년	
슬래브 길이	120m/span	
포장두께	15cm	
종방향 텐던 간격	60cm	
횡방향 텐던 간격	300cm	
줄눈형식(간격)	아모조인트(120m)	JCP접속부: 터미널조인트 적용

2.2 삼성분계 시멘트를 사용한 고내구성 콘크리트의 적용

본 공법은 40년 설계수명으로 개발된 공법으로 공용기간 동안 콘크리트는 충분한 내구성을 지녀야 한다. 따라서 콘크리트의 강도와 내구성 품질기준을 본 공법의 목표에 부합되도록 정립하여 개발되었다. 그 기준은 표 2와 같다. 본 연구에서 개발되어 현장에 적용된 시멘트는 보통포틀랜드시멘트에 플라이애시와 실리카흄이 각각 시멘트 중량대비 20%와 5% 치환된 삼성분계시멘트를 적용하였다.

표 2. 고내구성 포장 콘크리트의 품질기준

구분	품질기준	비고
슬럼프	40±20mm	
공기량	4~7%	
압축강도	21MPa	재령3일
알카리골재반응	반응억제	플라이애시 20% 사용으로 방지
투수저항성	1000Coulomb 이하	염소이온투과시험
동결/융해저항성	내구성지수 80% 이상	간격계수
내화학적성	중량손실 5% 이하	황산, 염산, 염화칼슘
표면박리저항성	G등급 이상	Boras method

2.3 조인트 시스템

PTCP 공법에서 조인트 시스템은 직접 공용성에 영향을 미치는 요소이기 때문에 매우 중요하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 미국의 조인트 설계와 시공내용을 상세히 검토하여 시공방식에 적합하고 승차감, 소음 및 평탄성이 확보될 수 있도록 개선하여 설계되었다.

본 조인트 시스템은 소음흡수를 위해 아모조인트의 내부에 EVA 수지를 설치하고 EVA 수지의 파손과 노화를 방지하기 위해 우레탄실린트를 2중 코팅하는 방식으로 설계하였다. 그림 1과 2는 아모조인트와 터미널 조인트 상세도를 나타낸 것이다.

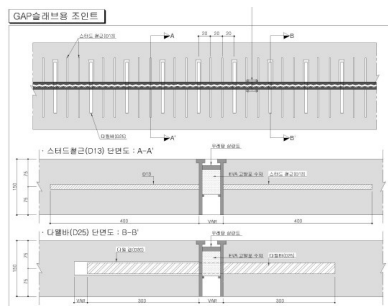


그림 1. 아모 조인트 상세

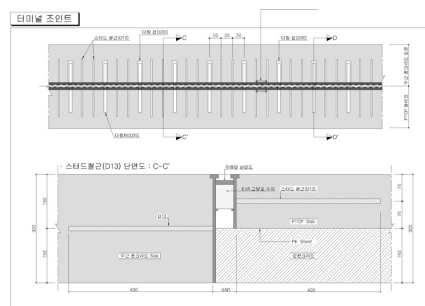


그림 2. 터미널 조인트 상세

2.4 시공방법

PTCP 공법의 시공방식은 크게 2가지로 구분된다. 첫째는 Gap 슬래브에 의한 시공방식이며, 둘째는 Pocket을 이용한 시공방식이다. Gap 슬래브에 의한 시공방식은 미시시피, 펜실베이니아, 애리조나, 버지니아에서 적용했던 시공방식으로 PTCP 메인 슬래브 사이의 인장작업 공간을 비워두고 인장작업 완료 후 이 부분에 콘크리트를 타설하여 Gap 슬래브를 시공하는 방식이다(Chavez 등 2003; Okamoto 등 1991). 반면 Pocket에 의한 시공방식은 텍사스에서 적용했던 시공방식으로 인장작업에 필요한 Pocket을 시공 중 Block-out 하여 조인트가 설치된 상태에서 콘크리트를 포설한 후 Pocket을 제거하고 이 부분에서 커플러를 이용하여 인장작업 완료 후 콘크리트로 그라우팅하여 완성하는 방식이다.

본 연구에서는 자체 시험시공과 시공방식에 대한 검토를 수행함으로써 개선된 Gap 슬래브의 시공방식을 개발하여 시공하였다. 개선된 Gap 슬래브 시공방식에서는 입체형의 Gap 슬래브 강재 거푸집을 사용하여 콘크리트 포설 중 페이버 장비가 연속적으로 작업이 가능하도록하여 시공에 장애가 없는 방식으로 설계하였다. 콘크리트 포설 후에는 입체 거푸집을 제거하여 인장작업을 수행하고 이 부분에 조인트를 설치하는 시공 방식이다. 그림 3~5는 Gap 슬래브 시공방식의 조인트부에서 시공과정을 나타낸 것이다.

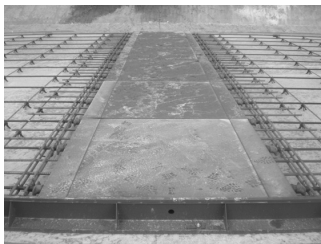


그림 3. Gap 슬래브 시공전



그림 4. 조인트 설치



그림 5. 콘크리트 포설 후

2.5 콘크리트 포설

CRCP 공법이나 PTCP 공법은 포장체 측면에서 스프레더 장비에 의해 콘크리트를 공급하며 슬립폼 페이퍼에 의해 포설을 진행한다. 국내에는 현재 스프레더 장비가 없기 때문에 장비를 제작하여 시공에 투입하였다. 그림 6과 7은 강선 및 철근조립이 완료된 사진과 스프레더에 의하여 콘크리트를 포설하는 과정을 나타낸 것이다. 제작된 스프레더 장비는 전,후 이동이 가능하나 좌, 우로의 콘크리트 공급이 원만하지 않아 시공성 향상을 위하여 장비의 개선이 필요할 것으로 판단되었다.



그림 6. 강선 및 철근 배치 완료



그림 7. 콘크리트 포설

2.6 인장작업

개선된 Gap 슬래브 시공방식의 장점은 시공성과 함께 프리스트레스 도입률이 우수한 점이라 할 수 있다. 슬래브 길이방향으로 설치된 종방향 텐던의 인장작업은 일단에서 인장할 경우 텐던의 길이에 의한 영향으로 타단에 프리스트레스력의 전달이 충분하지 못할 수 있다. 따라서 일단에서 설계인장력을 부여했다더라도 타단



에서 인장력의 손실만큼 보정하여 프리스트레스의 도입률을 확보하는 것이 중요하다. 따라서 본 시공에서는 일단에서 인장작업 완료 후 타단에서 보정작업을 수행하는 방식으로 인장작업을 수행하였다. 프리스트레스 도입률은 인장작업 후 신장량을 설계신장량으로 나누어 계산할 수 있으며 평균 98%이상의 도입률이 확보되어 미국의 88~92%의 도입률에 비하여 매우 우수한 결과를 나타내었다.

3. 결 론

본 연구에서는 국내 최초로 고속도로 본선에 포스트텐션 콘크리트 포장 공법을 적용하였다. 본 현장에서 PTCP 공법을 적용한 주요 기술내용에 대하여 요약하면 다음과 같다.

1. 삼성분계 시멘트를 사용한 고내구성 콘크리트의 적용으로 생산, 운반, 시공 등 현장적용이 용이하였으며 내구성 품질기준을 정립하여 향후 공용기간 동안 우수한 내구성이 확보되도록 개선하였다.
2. 조인트 시스템은 공용기간 동안 소음이 최소화 되고 승차감이 우수하도록 설계·시공하였으며 설치시 좌, 우 포장과의 평탄성을 정밀하게 맞추어 시공하였다.
3. 개선된 Gap 슬래브 시공방식은 Pocket 방식의 단점을 극복하여 시공성이 개선되고 평탄성 확보가 용이하도록 후 타설방식을 채택하여 정밀시공되도록 하였다.
4. 본 현장에서 사용한 스프레더 장비는 시공성 향상을 위하여 콘크리트가 포설면적에 고루 분포 되도록 하고 좌,우 움직임이 용이하게 개선하여 시공되어야 할 것으로 판단된다.
5. 인장작업 결과 프리스트레스 도입률이 98% 이상 확보되어 외국의 경우에 비하여 우수한 프리스트레스 도입률을 나타내었다.

마지막으로 본 시공에서는 PTCP 포장체의 거동을 분석하기 위하여 변위, 변형률, 온도 센서를 매설하여 데이터의 수집과 분석이 진행 중에 있으며 이 결과에 대해서는 추후 발표할 예정입니다.

감사의 글

본 연구와 시공은 한국도로공사 주문진-속초 사업단 1공구에서 수행한 것으로 본 연구와 시공이 가능케 한 한국도로공사 및 동부건설 등 시공사 관계자에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 김동호,배중오,김기현,이봉학,김성민,원문철(2008) "외국의 프리스트레스트 콘크리트 포장 기술과 국내 적용 방안", 대한토목학회 학술발표회
2. 최관길,이봉학,정범석,김동호(2009) "포스트텐션 콘크리트 포장에서 고내구성 콘크리트의 적용 ", 한국콘크리트학회 학술발표회
3. 윤동주,김성민,배중오(2009) "프리스트레스트 콘크리트 포장의 최적 긴장량 도입을 위한 설계 ", 한국콘크리트학회 학술발표회
4. Chavez, C.M., B.F. McCullough, and D.W. Fowler(2003) Design of a Post-Tensioned Prestressed Concrete Pavement, Construction Guidelines, and Monitoring Plan, *Center for Transportation Research, The University of Texas at Austin*, Research Report 0-4035-1, pp. 1-55
5. Okamoto, P.A., S.D. Tayabji and E.J. Barenberg(1991) Instrumentation and Evaluation of Prestressed Pavement U.S.220, Blair County, Pennsylvania, *Pennsylvania Department of Transportation*, Research Project No. 87-19, pp. 1-21