

60MPa급 현장 타설 고강도 PSC 거더의 시험 시공

A Field Construction of PSC Girders with 60MPa Cast-in-Place High-Strength Concrete

민 경 환* 양 준 모* 정 해 문** 안 태 송** 윤 영 수***
Min, Kyung Hwan Yang, Jun Mo Cheong, Hai Moon Ahn, Tae Song Yoon, Young Soo

ABSTRACT

The most effective factors that improve sections and elongate spans of the prestressed concrete girders are shapes of sections and strengths of concretes, and the concrete strength is more influenced to enhance the allowable tensile strength on top and bottom fibers than increasing of flexural strength of girders. In this study, 60 MPa high-strength prestressed concretes were constructed at the Wonsoo Bridge where in the 1st section of expanding constructions of the Nonsan to Junjoo Expressway, the high-strength concrete was placed on the eight- 35 meters simple span IPC girders of four lanes of Nonsan direction. During casting of girder concretes, quality controls were carried out with continuing controls of surface moistures and corrections of the unit water using the air-meter methods right after batching. It was confirmed that compressive strengths of girder concretes ensure the target strength and the heat of hydrations of girder concrete were measured. Though using same materials and constructing methods, there're a wide range of strengths of each girder, so, when high-strength concretes cast in the place hereafter, a countermove should be prepared.

요 약

PSC 거더의 단면 개선과 장경간화를 위한 주요 영향 요소는 단면 형상과 콘크리트 강도이며, 이중 콘크리트의 강도에 의한 영향은 거더의 휨강도 증가보다는 거더 상하연의 허용인장강도 증가에 크게 기여한다. 본 연구에서는 60MPa급 고강도 PSC를 논산-전주간 고속도로 확장공사 1공구 원수교의 거더에 시험 시공하였고, 논산방향 4차선에 35m 단경간 IPC 거더 8본에 타설하였다. 거더 콘크리트 타설 기간 중 지속적인 표면수 관리와 생산시 에어미터법을 사용하여 단위수량을 보정하여 고강도 콘크리트의 품질관리를 실시하였다. 현장 거더 콘크리트의 압축강도는 목표 강도를 안정적으로 확보함을 확인하였고, 거더 콘크리트의 수화열을 측정하였다. 하지만 동일재료와 시공방법을 사용하였음에도 강도의 편차가 다소 크게 나타나 향후 고강도 콘크리트를 현장에서 타설하여 적용할 경우 이에 대한 대책을 반드시 마련해야 할 것으로 판단된다.

* 정회원, 고려대학교 건축·사회환경공학과 박사과정

** 정회원, 한국도로공사 도로교통연구원 도로연구팀 수석연구원

*** 정회원, 고려대학교 건축·사회환경공학과 교수

1. 서론

프리캐스트 제품으로 생산되는 PSC 부재는 80MPa급의 콘크리트도 안정적인 품질관리가 가능하지만, 현장 타설의 경우 60MPa급 콘크리트를 광범위하게 적용하는 것은 아직 일반적이지 못하다고 할 수 있다. 콘크리트의 고강도화에 따른 교량 구조물의 구조적 효율성의 증진은 설계적인 측면에서 유연한 대안 확보와 시공적 측면에서 형하공간 확보의 이득 및 공사비 절감, 고강도의 수밀구조에 따른 유지관리의 용이성 및 내구성 증대 등의 다양한 이득을 유도한다. 하지만 고강도 콘크리트의 현장 적용은 적용 사례의 부족, 경제성, 품질 확보 등의 문제점이 아직 완전히 해결되지 않고 있다. 고강도 콘크리트의 안정적인 품질 확보와 효과적인 성능 발휘를 위해서는 최적의 재료를 선정하고, 제조 방법에 있어서도 기존의 보통강도 콘크리트와 다른 세심한 품질관리 방안이 필요하며 아울러 고성능 콘크리트의 고유한 수화열 거동을 파악한 온도 균열의 방지 대책을 수립하여야 한다.

이에 본 연구에서는 실제 교량 구조물을 대상으로 고강도 콘크리트를 이용한 현장타설 PSC 부재를 시험 시공하여, 설계강도 60MPa급 고강도 PSC의 적용 방안을 수립하는 것을 주요 목표로 한다. 최근 까지도 고속도로 교량의 상부구조용으로 40~45MPa급 콘크리트를 사용해온 점을 고려할 때, 기존 연구와 함께 고강도 PSC의 현장 시험시공을 통해 설계강도 60MPa급 현장타설 PSC의 실용화가 최종적인 목표로 할 수 있다.

2. 거더 제작 및 품질 관리



그림 1 논산-전주간 확장공사



그림 2 거더 제작 후 모습

시험시공 교량은 논산-전주간 호남고속도로 확장공사 1공구의 원수교로 선정되었다. 본 호남고속도로 확장공사는 주변 고속도로, 즉 익산-장수간 및 전주-광양간 고속도로 신설에 따른 교통 수요에 효율적으로 대처하기 위해 2005년부터 시공 중이다. 시험시공은 2007년 10월 24일 부터 11월 1일까지 총 9일 동안 진행하였다. 이 중 25일은 우천으로 시공을 못하였고 다른 날짜에는 1일에 거더 1개씩을 타설하여 거더를 제작하였다. 거더 제작장은 1공구 원수교 인접 현장에 마련하였고, 배치플랜트는 10분 거리의 1공구 현장 배치플랜트를 사용하였다.

8개의 거더의 균지 않은 콘크리트의 물성은 표 1과 같다. 생산 전 잔골재 표면수를 측정하여 현장 일일 배합표를 수정하여 콘크리트를 시험 생산하였다. 생산 직후 콘크리트의 슬럼프플로우와 공기량을 측정하고, 에어미터법을 사용하여 공기량시험기와 콘크리트 무게를 측정하고 단위수량을 역으로 추정하였다. 추정된 단위수량을 현장의 보정단위수량과 비교하여 $\pm 10\text{kg/m}^3$ 이내에 들어오지 않을 경우, 보정단위수량과의 차만큼 제하고 다시 생산하여 단위수량을 측정하여 $\pm 10\text{kg/m}^3$ 의 범위 내에 들어올 경우 콘크리트를 타설하였다.

표면수 관리 단계에서부터 확인이 가능하였지만 고강도 콘크리트를 제조하는 데에서 표면수의 편차가 분명히 나타났고, 기타 요인과 상승하여 콘크리트 강도의 편차가 다소 나타났다. 하지만 목표 물성인 3일 재령에서 30MPa을 모든 거더 콘크리트에서 안정적으로 획득하였고, 28일 재령에서도 60MPa을 모두 획득함을 확인 할 수 있었다. 이는 현장 골재의 사정이 매우 좋지 않았고, 제작 과정에서도 국내 최초 시험 시공으로 인해 많은 시행착오를 거쳤음에도 소정의 목표 강도를 획득함을 확인하여 차후 현장타설 고강도 PSC의 실용화의 가장 큰 요소인 안정적인 강도 획득 문제는 다소 해결되었다고 할 수 있다.

그러나 동일한 재료를 사용하고 동일한 목표 강도를 두고 큰 시간차이를 두지 않고 제조되었음에도 콘크리트 강도의 편차가 큰 것은 향후 반드시 해결해야 할 문제이다. 즉 총 8개의 거더가 동일한 강성을 가지지 못하고, 이에 따라 콘크리트의 장기 거동에서도 차이를 보일 것이므로, 실제 사용하중 하에서 변형률이 달라지는 문제를 야기할 수 있다.

표 1 균지 않은 콘크리트의 물성

거더	1	2	3	4	5	6	7	8
잔골재 함수율(%)	9.0	8.7	8.1	8.1	9.0	8.8	7.7	8.1
잔골재 표면수율(%)	7.0	6.7	6.1	6.1	7.0	6.8	5.7	6.1
공기량(%)	3.3	3.5	3.0	2.5	2.9	2.4	3.0	3.4
시료+용기무게(kg)	19.62	19.51	19.61	19.59	19.52	19.51	19.81	19.78
용기무게(kg)	3.074	3.074	3.074	3.074	3.074	3.074	3.074	3.074
용기용적(L)	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
추정단위수량(kg/m ³)	111.0	120.0	124.0	134.0	127.0	127.0	113.0	114.0
보정단위수량(kg/m ³)	119.0	121.0	126.0	126.0	119.0	109.0	120.0	117.0
B/P 슬럼프플로우(cm)	70/68	55/53	51/48	50/47	52/51	39/49	44/45	45/45
현장 슬럼프플로우(cm)	78/80	63/60	58/53	62/56	61/59	65/60	61/60	66/62

표 2 거더 수화열 및 도달시간

위치		최고온도 (°C)	도달시간 (hr)
정착부	Top.	Center	79.1
		Side	71
	Mid.	Center	82
		Side	68.3
	Bot.	Center	84.7
		Side	72.8
10m	Top.	Center	62.1
		Side	64.1
	Mid.	73.3	
	Bot.	Center	57.9
		Side	64.8

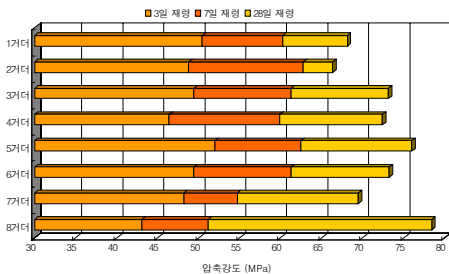


그림 3 거더 콘크리트 압축강도

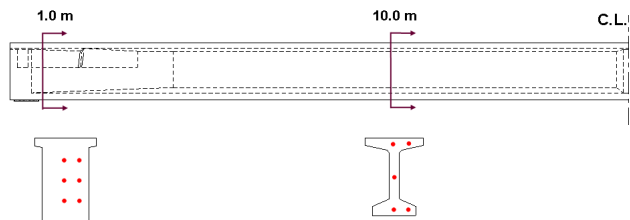


그림 4 수화열 측정 위치

고강도콘크리트의 수화열은 기존 연구에서도 지속적이고 중점적으로 연구되었던 부분이다. PSC I형 거더는 단면이 매시브하지 않아 수화열로 인한 온도 균열의 발생여부가 그리 크지 않다고 할 수 있지만, 정착부에서는 매스콘크리트로 보아도 무방할 정도의 큰 단면에 콘크리트가 타설된다. 물론 정착부에는 큰 응력이 발생하기 때문에 철근에 의한 보강이 매우 밀실하게 되어 있고, 또한 긴장 전에는 정착부에서도 온도응력만이 발생하기 때문에 직관적으로는 온도균열에 대해서는 충분히 대처가 되어 있다고 할 수 있다.

앞선 연구에서 60MPa급 고강도콘크리트의 단열온도상승시험과 현장 Mock-up 시험을 통해서 수화

열 거동에 대해서 이미 다루었고, 이로 인한 온도 균열도 일반적인 설계 및 시공방법을 통해서 제어가 가능하다고 판단하였다. 본 연구에서는 실제 구조물에 타설된 고강도콘크리트의 수화열을 측정하여, 향후 PSC 구조물에 고강도 콘크리트를 타설하는 데에 있어서 수화열 문제에 대한 적합성을 검토하는 차원에서 상대적으로 매시브한 정착부 부분과 날렵한 부분, 즉 다이아프램이 없는 부분에서의 콘크리트 온도를 측정하였고, 수화열 측정 위치는 그림 4와 같다. 정착부에서는 400mm 간격으로 상/중/하의 중앙부 및 측부의 온도를 측정하였고, 10m 부분에서는 상하부 플랜지의 중앙 및 측부, 웹 중앙의 온도를 30분 간격으로 측정하였다. 또한 외기 온도를 동시에 측정하여, 향후 고강도 콘크리트의 수화열 연구에 관한 중요한 데이터로 삼고자 하였다.

측정된 수화열 온도는 표 2와 같다. 앞선 Mock-up 시험 연구에서 1종시멘트를 사용한 배합의 중앙부에서의 최고 온도가 약 82°C였던 점을 감안하면 비슷한 결과가 나왔지만, 본 연구에서는 중앙부보다는 하부에서 높은 온도가 측정되었다. 이는 타설 시간이 길어서 상/중/하부의 타설 시간에 차이가 있었고, 타설 종료 후 증기양생을 실시하면서 중앙부보다는 하부에서의 온도가 높게 나타난 것으로 보인다.

3. 결론

60MPa급 현장타설 고강도 PSC를 논산-전주간 고속도로 확장공사 1공구의 원수교에서 시공하였고, 논산방향 4차선 35m 단경간 IPC 거더교의 8개 거더를 제작하였다. 거더 제작은 기존 40MPa급 IPC 단면을 그대로 사용하고, 콘크리트의 강도를 60MPa급 콘크리트로 대체하였다. 현장 거더 콘크리트의 생산시 단위수량의 보정을 위해 에어미터법에 의한 단위수량 추정방법을 사용하였고, 추정단위수량이 보정단위수량의 $\pm 10\text{kg/m}^3$ 범위에 들 경우에 콘크리트를 출하하였다. 고강도콘크리트는 점성이 크고, 경화속도가 빨라 이에 유의하여 타설과 다짐의 시공방법을 결정하여야 한다. 고강도 콘크리트를 타설할 때 타설 시간이 길어지면 콜드조인트의 생성 가능성이 커지므로, 최대한 빨리 타설하여야 한다. 현장 거더 콘크리트의 압축강도는 목표 강도인 3일 재령에서 30MPa과 28일 재령에서 60MPa을 다소 안정적으로 확보하는 것으로 나타났다. 하지만 동일 재료와 동일 시공방법을 사용하였음에도 강도의 편차가 커서 향후 고강도콘크리트를 현장에서 타설하여 적용할 경우 이에 대한 대책을 반드시 마련해야 할 것으로 판단된다. 거더 콘크리트의 수화열은 상대적으로 매시브한 정착부 하부에서 84.7°C로 가장 크게 나타났으나, 정착부의 경우 높은 응력을 감안하여 철근 보강이 매우 밀실하게 되어 있고, 수화열 발현 단계에서는 온도응력만이 발생하여, 이에 대해서는 충분히 제어가 가능한 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. 양준모, 이주하, 정해문, 안태송, 윤영수, “PSC 교량용 설계강도 60MPa 이상 고강도 콘크리트의 실용화를 위한 시간의존적 변형 및 내구성에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 2006년 봄학술발표회 논문집, 18권 1호, pp.5-8
2. 이주하, 정현석, 정해문, 안태송, 윤영수, “PSC 교량용 설계강도 60MPa 이상 고강도 콘크리트의 실용화를 위한 배합 및 역학적 특성에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 2006년도 봄학술발표회 논문집, 제18권 1호, pp.9-12
3. 민경환, 양준모, 박장호, 정해문, 안태송, 윤영수, “PSC 교량용 60MPa급 고강도 콘크리트의 펌프압송에 따른 품질평가”, 한국콘크리트학회 2007년 봄학술발표회 논문집, 제19권 1호, pp.521-524
4. 민경환, 양준모, 이태규, 정해문, 윤영수, “60MPa급 고강도 콘크리트의 온도응력에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 2007년 가을학술발표회 논문집, 제19권 2호, pp.589-592