



고속도로 확장교량 강결접합부 시공품질 확보방안

Quality Control Plan for Closure Concrete Placement in Case of Widening Highway Bridge

김동석 Dong-Suk Kim 포스코건설 냉정부산 고속도로 확장공사 현장소장	임현우 Hyun-Woo Lim 포스코건설 냉정부산 고속도로 확장공사 공사과장	김국한 Kook-Han Kim 한국도로공사 냉정부산 건설사업단 품질환경팀 팀장	이성렬 Sung-Ryul Lee 한국도로공사 냉정부산 건설사업단 품질환경팀 차장	박자민 Ja-Min Park 한국도로공사 냉정부산 건설사업단 품질환경팀 대리
--	--	---	--	--

1. 머리말

현재 국내의 많은 고속도로에서 교통량 증가 및 차로수 불균형 등으로 인해 교통 지·정체가 발생하고 있으며, 이로 인해 기존 고속도로 및 도로교량의 확장 필요성이 대두되고 있다. 일반 토공구간 확장에 비해 고속도로 교량 확장에 있어 설계시 세부사항이 면밀히 검토, 계획되어야 하며, 시공중 철저한 품질관리방안을 수립하여야만 향후 발생할 하자를 미연에 방지 할 수 있다.

본 고에서는 고속도로교량의 확장과 관련된 국내외 설계기준, 연구사례 및 현장실험결과를 비교분석하여 고속도로교량 확장시 고려하여야 할 주요 변수에 대해 고찰하고, 고속국도 제551호선 남해고속도로(냉정 ~ 부산간) 확장공사 중 양산낙동강교의 강결접합부 시공품질 확보방안을 위한 시험결과 및 시공방안을 제시하고자 한다.

2. 교량 확폭 공법의 종류 및 현황

2.1 교량 확폭 공법의 종류 및 특성

기존 교량을 확폭 시공하는 경우 신·구 슬래브를 접합시공하는 방법이 일반적으로 널리 적용되고 있다. 그러나 이러한 시공방법은 접합부의 시공과 품질관리가 주의 깊게 실시되지 않을 경우 부등처짐(탄성처짐 및 크리프에 의한 장기 처짐), 부등 종방향 수축, 차량에 의한 진동 등으로 인하여 기존구조물에 과도한 하중을 유발시킬 수 있으며, 신·구 콘크리트 접합부를 따라서 결함이 발생될 수 있다. 교량 확장의 시공방법은 크게 분리시공과 강결접합 시공의 두 가지로 분류될 수 있으며, 강결접합 시공은 일체타설 시공과 중간(팽창) 콘크리트 시공으로 세분될 수 있다.

우선 분리시공의 경우 두 교량사이에 종방향의 조인트를 설치하여 두 교량이 구조적으로 완전히 독립된 교량으로 작용하게 하는 시공방법이며, 확장교량이 별도로 시공되므로 공사중 교통차단 기간을 최소화 할 수 있다는 장점이 있으나 콘크리트 타설시 동바리의 처짐, 솟음량의 제작오차, 차량하중에 의한 부등처짐, 장기처짐 등에 의해 필연적

으로 두 교량사이 단차가 발생하게 된다. 또한 통행차량의 승차감이 저하될 뿐만 아니라 조인트도 주기적인 유지관리 및 보수가 필요하여 교통전환이 어렵고 최대한 빨리 차로를 확보해야 되는 갯길차로 확장구간의 교량에 제한적으로 적용된다. 강결접합 시공의 경우 고속도로 교량 확폭 시공에 널리 적용되는 방법이며, 기 언급한 두 가지의 강결접합 시공방법을 기존의 연구결과와 경험 그리고 이와 관련된 규정들을 근거로 비교 정리하면 <표 1>과 같다.

2.2 공용중인 확장교량 현황

교량확폭 시공방법에 따른 교량의 상태를 분석하기 위해 한국도로공사 수도권 기술자문단의 확장교량 점

표 1. 신·구 교량구조물의 강결접합 시공방법 비교

구분	일체타설 시공	중간(팽창) 콘크리트 시공
접합 방법	<ul style="list-style-type: none"> 기존 교량과 신설부 교량을 직접 맞대어 시공하는 방법 	<ul style="list-style-type: none"> 신설부 교량을 일정거리 띄워 독립적으로 시공한 후 두 교량 사이를 콘크리트로 타설/접합
장·단점	<ul style="list-style-type: none"> 동바리 제거에 따라 기존 교량 추가 처짐 및 응력 발생 신설콘크리트의 건조수축 및 크리프 변형에 의해서 기존 교량에 장기 추가 처짐 및 응력 발생 기존교량의 차량진동에 직접 영향을 받음 접합면이 1곳으로 한정되므로 평탄성 및 유지관리에 유리 	<ul style="list-style-type: none"> 동바리 제거에 따라 기존 교량의 추가 처짐 및 응력 발생 없음 신설콘크리트의 건조수축 및 크리프 변형에 의해서 기존 교량에 장기 추가 처짐 및 응력이 발생되지 않음 기존교량의 차량진동에 직접적 영향 없음 접합면이 2곳으로 유지관리 불리
적용 대상	<ul style="list-style-type: none"> RC라멘, RC슬래브, PSC빔 	<ul style="list-style-type: none"> 진동이 과다한 PF 및 강교량 등 2차 긴장이 적용되는 IPC교 등

표 2. 진동속도 허용치 비교

타설 후 경과	진동속도 허용치(mm/s)					
	국내 기준			해외 기준		
	도로공사 연구소	원자력발전소	서울, 부산 지하철	미국 토목학회	미국 수송부	독일 VIBRATEC
0~12시간	5.0	2.54	10~40	2.54	50.8	6.35
12~24시간		12.7	10~40	12.7	6.35	12.7
1~5일	50	12.7~25.4	10~40	12.7~25.4	25.4~127	25.4~63.5
5일 이상		25.4	10~40	25.4		

속부 처리방안 검토 보고서¹⁾에 제시된 공용중인 확장교량 44개소에 대한 현장조사 결과를 분석하였다. 그 결과에 따르면 확폭시공된 교량 44개소 중 분리시공된 교량은 3개소(6.8%)에 불과하여 특수한 경우에 제한적으로 적용됨을 알 수 있다. 강결접합된 교량 중 중간콘크리트로 연결된 교량은 44개 교량 중 30개소(68.2%)이며, 나머지 11개소(25.0%)는 일체 타설로 연결되어 대부분의 확폭 교량이 중간콘크리트로 시공됨을 알 수 있다.

현장조사 결과 대다수의 교량 상태는 양호한 것으로 나타났으나 일부 교량(4개소)에서 누수 및 백태 등의 문제가 발생되었다. 이와 같은 하자의 원인으로는 시공시 신·구 콘크리트 접합부 표면처리 불량(접합부 잔류 이물질 혹은 콘크리트 신·구접착제 미적용 등) 혹은 양생시 과다한 진동으로 인해 조인트부에 균열, 누수 등의 문제가 발생한 것으로 판단된다. 즉 강결연결부 시공시 철저한 품질관리가 이루어지지 않을 경우 하자가 발생함을 보여주는 사례이다.

3. 차량 진동의 영향 검토

3.1 진동이 콘크리트 양생에 미치는 영향

일반적으로 24시간이 경과하지 않은 굳지 않은 콘크리트에 차량진동 등의 불규칙 하중이 작용할 경우 종방향 균열과 철근 하부 공동현상이 발생되어 철근 부착력이 감소되는 것으로 알려져 있다. 진동의 영향과 관련하여 콘크리트 양생중 발생하는 진동의 영향과 규정²⁾에 제시된 바와 같이 국내외 많은 실험 사례들이 보고된 바 있으며, 각 실험의 환경조건이 정확히 일치하지 않으므로 실험결과에는 다소 차이가 있으나 대부분

의 연구결과를 검토해 보면 타설 4~6시간 사이 진동에 가장 큰 영향을 받는 것으로 검토되었다.

3.2 진동의 허용기준치 검토

전술한 바와 같이 강결접합 시공방법은 도로교량 확장에 널리 사용되고 있는 방법이나 기존교량 차량진동이 신·구 교량 접합부에 미치는 영향에 대한 연구 및 설계기준 정립은 아직 미흡한 실정이다. 다만, 국내의 경우 주요 구조물인 원자력 발전소 및 기존 서울, 부산 지하철 시공사례와 해외의 경우 콘크리트 양생 시간대별로 분류된 미국, 독일 등의 진동허용 기준치를 비교자료로 사용할 수 있으며, 해당 기준들을 정리하면 <표 2>와 같다.

진동이 양생중인 콘크리트의 특성에 미치는 영향에 대한 각국의 규정과 적용 사례는 서로 상이한데, 이는 실험조건과 각국의 원재료 특성, 시멘트의 응결특성에 따른 것으로 판단되며, 정확한 기준을 적용하기에 어려움이 따른다. 전술한 바와 같이 국가별 환경조건 및

원재료의 특성 등으로 인해 진동속도의 허용치가 상이하므로 당 현장의 대상 구조물이 국내 고속도로 교량 확장공사임을 감안하여 도로공사 연구소 및 서울부산 지하철에서 제시하는 최소 허용치 5 mm/s를 적용하는 것이 합리적이라고 판단된다.

4. 고속도로 확장교량 강결접합부 시공품질 확보 방안 사례

4.1 대상교량의 개요

양산 낙동강교는 <그림 1>과 같이 경상남도 김해시 대동면과 양산시 물금읍을 연결하는 1,126 m의 장대교량으로, 70 m 16개 경간으로 구성된 강박스 거더교이다. 현재 왕복 4차로의 본 교량은 <그림 2>와 같이 양방향 1차로씩 2개의 차로를 확폭하여 6차로로 확장될 예정이며, 확장교량 슬래브는 기존교량의 슬래브와 강결 콘크리트로 연결될 계획이다.



그림 1. 양산 낙동강교 평면도

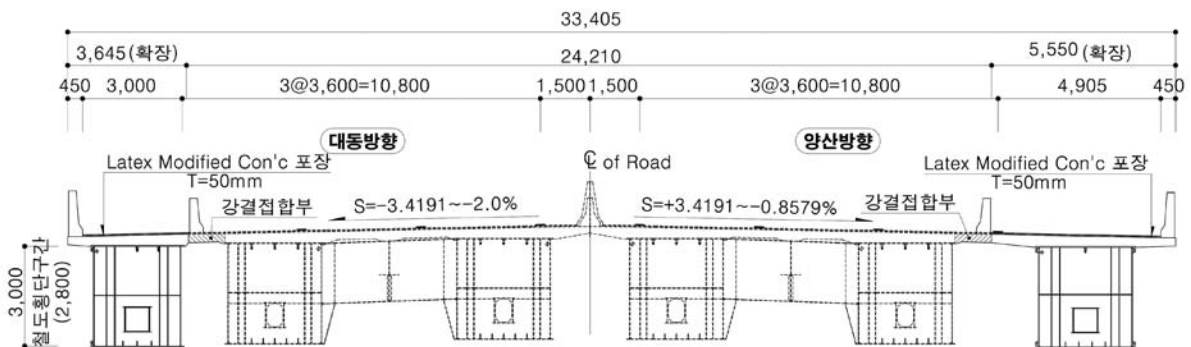


그림 2. 양산 낙동강교 단면도

4.2 양산낙동강교 진동측정

4.2.1 진동측정 개요

양산낙동강교 확폭구간 강결접합 콘크리트를 시공함에 있어 차량진동에 따른 영향을 면밀히 검토하기 위해 진동속도를 측정하고 이를 허용기준치와 비교하였다.

4.2.2 진동속도 측정결과

1) 진동속도 측정방법

기존 교통량 통계자료를 토대로 <표 3>과 같이 주간에 지·정체시간과 정상속도시간, 그리고 야간에는 지·정체시간이 따로 없어 양차선 재하 경우와 한 개 차선 통제하고 한 개 차선으로만 차량 통행하는 경우로 나누어 3회씩 측정하였다.

2) 진동속도 측정결과³⁾

양산낙동강교의 최대 진동속도는 평균최대 3.846 mm/sec로 기록되었으며, 진동측정 결과 모두에서 진동

속도 허용치(5 mm/sec)를 만족하는 것으로 나타났다.

5. 강결접합부 품질 확보방안

5.1 중간콘크리트 타설 계획

확장교량 슬래브 타설 후 일정 기간이 경과하지 않고 중간콘크리트를 타설할 경우 신규 슬래브의 크리프가 기존 구조물에 영구적인 추가하중을 발생시키게 되어 결국 전체 구조물의 안전성에 악영향을 끼칠 우려가 있다. 「고속도로 확장공사 매뉴얼」⁴⁾, 「교량 확폭 시공을 위한 설계 및 시공기법 연구」⁵⁾ 및 「ACI, Guide for widening Highway Bridge」⁶⁾를 참고하여 중간 콘크리트는 확장교량 슬래브 타설 이후 최소 42일(거푸집 존치기간 28일 + 추가양생기간 14일)을 경과 후 타설하여 기존구조물에 영향을 줄 수 있는 크리프효과를 최소화 하였으며, 중간콘크리트 타설 폭은 신규 구조물의 건조수축 영향을 최소화하기 위해 관련 지침(50 cm 이상)을 적용하여 현장 여건에 따라 0.8~1.9 m의 폭으로 타설하는 것으로 계획하였다.

전술한 진동측정결과는 허용치 이내 이나 추가적인 진동영향 최소화 방안으로 야간(21:00~24:00)에 인접 1차선 차량을 통제 후 콘크리트를 타설하여 진동의 영향에 가장 취약한 초결 4~6시간 동안 차량진동 최소화를 도모하였다.

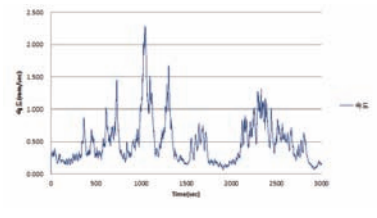
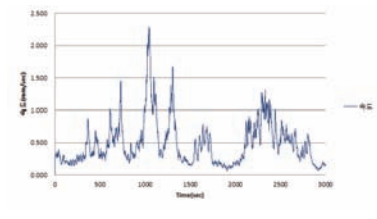
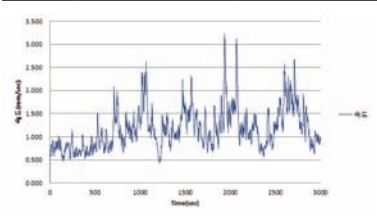
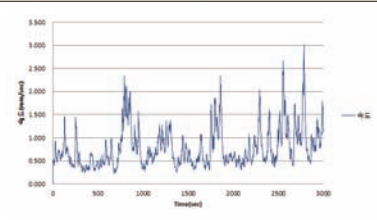
5.2 시공품질 확보방안

강결부 시공품질 확보를 위해 콘크리트 신·구접착제를 사용하여 접합면 개선을 통한 콘크리트 부착면의 강도증진(무처리시 대비 2.5배 증가)을 도모하였으며, 중간콘크리트는 팽창재를 혼합한 것으로 혼입량은 콘크리트 설계강도를 기준으로 배합설계를 실시하여 결정하였고, 슬럼프는 10 cm 이하로 하였다.

참고문헌 등에 의하면 타설 후 24시간 이후에는 진동의 영향을 거의 받지

표 3. 진동속도 측정 결과


측정 CASE		최대진동속도 (mm/sec)		진동 속도비 (C=A/B)
		측정치(A)	기준치(B)	
주간	지체 정체시	3,846(Max)	5.0	0.77
	정상 속도시	3,236	5.0	0.65
야간	한차선 재하	2,291(Min)	5.0	0.46
	양차선 재하	3,020	5.0	0.60

(a) 주간 - 지체 정체시		(b) 주간 - 정상속도시	
			
3,846 mm/s		3,236 mm/s (Max.)	
(c) 야간 - 한차선 재하		(d) 야간 - 양차선 재하	
			
2,291 mm/s (Min.)		3,020 mm/s	

않는 것으로 나타나 조기강도 확보가 품질관리의 중요한 요소로 판단된다. 이에 조기강도 확보 방안으로 증기양생을 적용하여 24시간 후 압축강도 10 MPa 이상 확보하였다.

6. 맺음말

본 연구에서는 고속국도 제551호선 남해고속도로(냉정~부산간) 확장공사 중 양산낙동강교의 강결접합부 시공품질 확보를 위해 국내외 설계기준, 연구사례 및 현장실험결과를 비교분석하여 실 시공에 적용하였다. 특히 차량진동에 의한 영향을 검증하여, 진동에 의한 품질저하를 최소화 하였으며, 추가적인 시공품질 확보 방안을 수립해 강결부 콘크리트의 시공품질을 확보할 수 있었다.

연구 및 시공결과를 바탕으로 향후 시공되는 유사한 조건의 확장교량에 확대 적용할 경우 콘크리트 품질확보에 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 

담당 편집위원 : 진남희((재)한국건설품질연구원)
nhjin70@hanmail.net

참고문헌

1. 원종국, 권혁철, 백정호, 수도권 기술자문단, 확장교량 접속부 처리방안 검토, 2008. 9.
2. 윤기원, 콘크리트 양생중 발생하는 진동의 영향과 규정, 한국콘크리트학회 학회지, Vol. 20, No. 6, 2008. 11, pp. 100 ~ 101.
3. 서기영, (주)청출어람, 고속국도 551호선 냉정-부산간 확장공사 8공구, 진동측정 결과보고서.
4. 김태건, 한국도로공사 수도권 건설사업단, 고속도로 확장공사 매뉴얼-구조물공, 2011.
5. 정수형, 최인형, 김춘호, 한국도로공사 도로연구소, 교량 확폭 시공을 위한 설계 및 시공기법 연구, 1993.
6. Michael M. Sprinkel, Khaled S. Soubra, Guide for Widening Highway Bridges, ACI 345.2R-98, 1998.



김동석 소장은 1984년 대구대학교 토목공학과 학사수료 후 베트남 해외건설현장, 중부내륙 고속도로, 김천 영동 고속도로 확장공사현장 등 고속도로 및 교량분야를 전문으로 시공하였으며, 현재 포스코건설 냉정부산간 고속도로 확장공사(8공구) 현장소장으로 재직중이다.

hakuikim@poscoenc.com



임현우 과장은 2005년 구조물 손상 추정방법의 실험적 비교에 관한 연구로 KAIST에서 석사학위를 취득하였으며, 관련 분야는 구조 동역학 및 구조물 비파괴 검사 등이다. 현재 포스코건설 냉정부산간 고속도로 확장공사(8공구)현장 공사과장으로 재직중이다.

hyuncom2@poscoenc.com



김국한 팀장은 2001년 파이프쿨링을 고려한 콘크리트 구조물의 수화열 해석에 관한 연구로 KAIST에서 박사학위를 취득하였으며, 관련분야는 콘크리트 수화열, 전기방식 등이다. 현재 한국도로공사 냉정부산간건설사업단 품질환경팀장으로 재직중이다.

khkim@ex.co.kr



이성렬 차장은 1995년 한국도로공사에 입사하여 청원-상주 건설사업단, 춘천-양양 건설사업단에서 근무하였으며 현재 냉정-부산간건설사업단 품질차장으로 재직 중이다.

ultraman@ex.co.kr



박자민 대리는 2009년 동아대학교 토목공학과 학사 수료 후 2011년부터 남해고속도로 확장공사를 담당하고 있는 한국도로공사 냉정부산간건설사업단 품질환경팀에서 품질담당 대리로 재직 중이다

exman2011@ex.co.kr