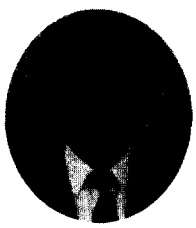
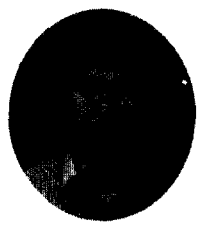
특집

콘크리트구조물의 보수 · 보강기법

국내 교량의 보수 · 보강 사례
Examples for Repair and Strengthening of Bridge in Korea


한 만 엽*


박 찬 민**

고 만 기***

1. 서 론

성수대교의 낙교사고 이후에 교량의 안전성에 관한 일반의 관심이 대폭적으로 증대되었다. 이에 따라 이러한 사고의 재발을 방지하기 위한 노력이 다각적으로 벌어지고 있는 실정이다. 이러한 노력의 일환으로 노후 교량이나 위험 교량에 대한 안전진단이 전국적으로 시행되고 있으며, 또한 안전진단의 결과에 따라 교량의 내하력을 적정한 수준으로 유지하고자 하는 보수공사가 뒤따르고 있고, 때로는 교량의 내하력을 DB-18에서 DB-24로 증가시키려는 보강공사가 실시되는 경우도 있다.

본 고에서는 국내에서 벌어지고 있는 교량의 보수, 보강공사에 관한 사례 2가지를 소개하고자 한다. 그 하나는 강합성교에서 바닥판의 두께 부족으로 인한 내하력 부족을 종형 증설을 통한 보강방법으로 보완한 경우이며, 또 다른 하나는 PC합성교와 강합성교로 이루어진 복합교량의 내하력을 DB-24로 증가시키기 위하여 주형의 연속화와 외부 프리스트레싱, 전단키의 부분설치 등이 복합적용된 경우이다.

* 정회원, 아주대학교 토목공학과 교수
** 정회원, 한국도로공사 도로연구소 구조연구실, 공학박사
*** 정회원, 삼환엔지니어링(주) 구조부, 공학박사

2. 유지관리의 문제점

국내의 국토면적당 도로연장은 선진외국의 1/2~1/5 수준이지만 도로 교통량의 증가는 폭발적이어서 2010년에는 2인당 1대 보유수준인 2,500만대에 달할 것으로 전망된다. 이와 같은 교통체증에 따른 물류지체비는 이미 현재에도 도로건설비에 육박하고 있는 실정이다. 우리나라의 경우 매출액 대 물류비용의 비가 17%에 달하고 있어, 일본의 11%와 미국의 7%에 비하여 월등히 높은 수준이다. 이를 해결하기 위하여는 대폭적인 도로의 증설과 함께 도로 정비체계 확립 및 도로이용의 효율을 극대화하는 대응이 절실히 요구된다.

물류지체비는 교량의 유지관리를 시행함에 있어 항상 부딪치는 문제중의 하나이다. 즉, 간단한 보수공사에서도 이에 따른 교통체증에 대한 시민의 이해와 협조를 구하기에는 너무나 심각한 교통

체증이 발생하는 현실이 바로 그 문제요, 어려움인 것이다. 이러한 이유등으로 인하여 때로는 바닥판의 교체만으로 충분히 보수가 가능한 교량이 전면개축 대상이 되어 버리는 경우가 종종 발생하게 된다.

현장에서 유지보수를 하는 실무진들이 토로하는 또 하나의 문제점은 바로 자신들이 하는 업무에 대한 인식이다. 이는 교량의 유지보수 업무가 교량의 신설 또는 확장공사 업무에 비하여 만족감이 그리 크지 않은 한직으로 인식되고 있으며, 그 중요도에 대한 인식도 대내외적으로 매우 낮게 평가되어 있다는 점이다. 이러한 상대적으로 낮은 인식도는 곧바로 관련 종사자의 사기에 영향을 미치기 때문에, 연관 업무의 평가방법이 이익(benefit)이 아닌 손실(loss)의 개념이 되어야만 이러한 문제가 해결될 수 있다는 주장이 제기되기도 하였다. 즉, 유지관리 요원의 노력으로 얼마만큼의 손실을 줄였느냐 하는 점에 대한 평가가 새로운 교량의 신설에 따른 경제적인 이익이 얼마만큼 발생하였는가에 대한 평가 이상으로 중요한 것으로 인식이 바뀌어야 한다는 것이다.

또한 유지관리의 어려움과 중요성이 신설 때보다도 오히려 크기 때문에 많은 전문가들이 유지관리 요원들의 중요성을 강조함과 더불어 그 자격기준이 오히려 설계자나 시공자보다도 더욱 엄격하여야 한다고 주장한다. 주어진 업무의 수행과 대비에 대한 충분한 여건과 권한이 주어지지 않은채 실무자들에게 그 책임만을 따진다면 실력있고 양심있는 기술자들이 설 땅이 없어질 것이기 때문이다.

3. 바닥판의 파손

철근콘크리트 바닥판의 구조적인 역할은 크게 두가지로 볼 수 있다. 그 하나는 하중을 직접적으로 받아 주형으로 하중을 전달하는 것이고, 또 하나는 바닥판과 주형이 일체로 작용하여 하중을 견디는 종방향 거동이다.

이런 기능의 바닥판이 파손에 도달하기까지의 과정은 다음과 같은 단계를 거쳐 발생한다. 우선 사용 초기에는 교축에 직각방향으로 1차균열이 발생한다. 이러한 균열은 사용하기 전에 관찰되기도 하는데 이는 콘크리트의 건조수축을 주형이 구속하기 때문에 발생하는 것으로 믿어진다. 이렇게 발생된 균열 때문에 결국 배력철근 방향으로 차륜하중의 하중횡분배 기능이 저하되고 이에따라 교축방향으로 2차균열이 발생한다. 다음 단계로 차륜하중의 동적재하가 반복되면서 세밀한 귀갑형의 균열망이 형성되며 이를 통해 염화물이나 수분이 상부철근에 침투하게 되어 철근의 부식 및 동결융해에 따라 바닥판의 노후화가 심화된다.

도로교 시방서의 바닥판 설계방법은 휨과 전단이론에 기초한다. 그러나 많은 조사 및 연구결과 실제의 바닥판 파손은 반복 차륜하중에 의한 광의의 휨 피로파괴라고 보는 것이 지배적이다. 따라서 바닥판의 유지관리를 효율적으로 수행하고 수명을 연장하기 위해서는 이에 근거한 대처 방안이 필요하다. 도로공사의 도로연구소에서는 이러한 연구결과를 토대로 바닥판의 피로수명에 대처하는 가장 효과적인 방법은 바로 바닥판의 두께를 증가시키는 것이라는 결론을 내렸다.

3.1 파손의 원인

교량의 수명을 결정하는 파손은 아주 작은 한 부분에서부터 시작된다. 그것은 예를 들면 콘크리트 바닥판의 배수불량에서 부터 시작되기도 한다. 특히 콘크리트 교량에서는 염화물의 침투 및 교면에서의 배수불량이 전체적인 교량의 수명을 단축시키는 주범인 것이다. 따라서 내구성이나 유지관리 차원에서 본다면 교량에 아스팔트 포장을 사용하는 것은 설계를 변경하거나 그 사용자체를 재검토해 보아야 할 필요성이 있다. 아스팔트 포장을 사용할 경우 교면 배수에 문제가 발생할 수 있기 때문이다. 다음 사진 1은 시공시 배수구의 사진으로서 배수구의 높이가 앞으로 포장할 아스팔트 표면의 높이에 맞추어 콘크리트 바닥판보다 높게 설치되어 있음을 보여준다. 교량의 시공때부터 이렇게 잘못 설치되는 배수구는 포장과 콘크리트 상판 사이의 물이 빠져나가는 것을 불가능하게 하여 결국 아스팔트 포장의 들뜸과 교량 바닥판의 부식과 노후화를 촉진하게 되는 것이다.

사진 1 불량한 배수구 시공예

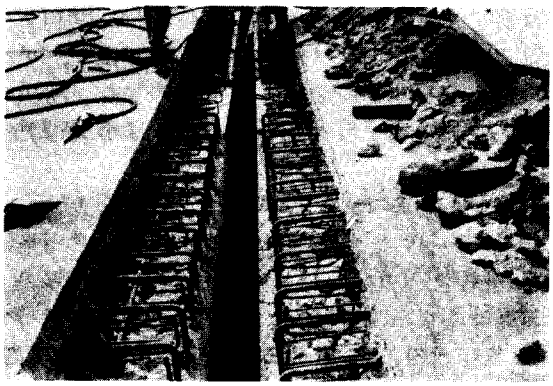


사진 2 신축이음장치를 설치하기 위해 콘크리트가 제거된 모습

다음으로 전체 유지보수 공사의 대부분을 차지하는 것은 신축이음부 및 신축이음장치의 파손에 따른 보수 및 교체공사이다. 교통량이 많아 교체공사가 매우 불리한 현 도로상황에서 반복되는 신축이음부의 보수공사를 유발하는 것은 건설 당시의 철저하지 못한 품질관리 때문이다. 이와같은 문제는 교량 시공 당시 조금만 더 신경을 써도 상당히 개선될 소지가 있는 부분으로 보수공사시에는 작업여건과 교통을 차단할 수 있는 시간등이 제한되기 때문에 시공에 따른 품질관리가 처음 건설할 때 만큼 완벽을 기하기가 어려운 것이다.

신축이음장치의 시공시에는 어느 형식의 장치를 사용할 것인지를 설계도에 따라 미리 파악하여 슬래브의 타설에 앞서 신축이음장치를 설치하여야 할 것이다. 그러나 사진 2에서는 일단 슬래브를 치고나서 신축이음장치를 설치하기 위해 콘크리트를 깍아낸 것을 보여준다. 되풀이 되는 이와같은 시공순서의 역전은 작업의 곤란성과 모재의 손상에 따라 신축이음 장치의 수명을 단축시키고, 분진 및 소음에 의한 인근주민이나 사용자의 민원을 야기하고 있는 것이다.

또한 설계시에 신축이음장치에 불가피하게 가해지는 충격하중을 충분히 고려할 수 있는 시방상의 규정 변경도 필요하다. 실제로 유지관리 차원에서 신축이음장치를 교체할 때 이음부의 하부에 헌치를 두어 약 50cm의 두께를 갖도록 바닥판을 타설함으로써 좋은 성과를 거두고 있다는 보고가 있다. 또한 충격을 완화하기 위해서 고무받침을 사용하는 것도 권장할 만하다.

4. 강합성교의 보수, 보강공사 사례

4.1 개요

구포낙동강교는 남해고속도로 424.54km (부산광역시 북구 덕천동)에 위치한, 1973년 11월에 완공된 강합성교로서 실제 본 교량이 위치한 곳은 통행 교통량이 과다하고 중차량 통행비중이 큰 대표적인 상습 교통체증 지역이다. 설계 당시에는 1등교, 즉 DB-18로 설계되었으나, 현재의 통과하중은 이미 설계하중을 훨씬 웃돌고 있는 실정이다. 한국도로공사에서는 이 교량을 문제 구조물로 선정, 관리하여 오다가 냉정-구포간 확장공사에 맞추어 보수공사를 시행하기로 한것이다.

본 교량의 경우에는 종형 증설을 통한 바닥판 보강공법을 적용하였다. 강합성교인 구포낙동강교의 횡단면도는 그림 1에 나와있고 제원은 다음과 같다.

- 연　　장 : L=1,336 m
  (16@76.0+4@31.0)
- 폭　　원 : B=11.7 m (2차선)
- 형　　식 : 강합성교 8경간 + PC합성교 4경간
- 준공년도 : 1973년
- 설계하중 : DB-18

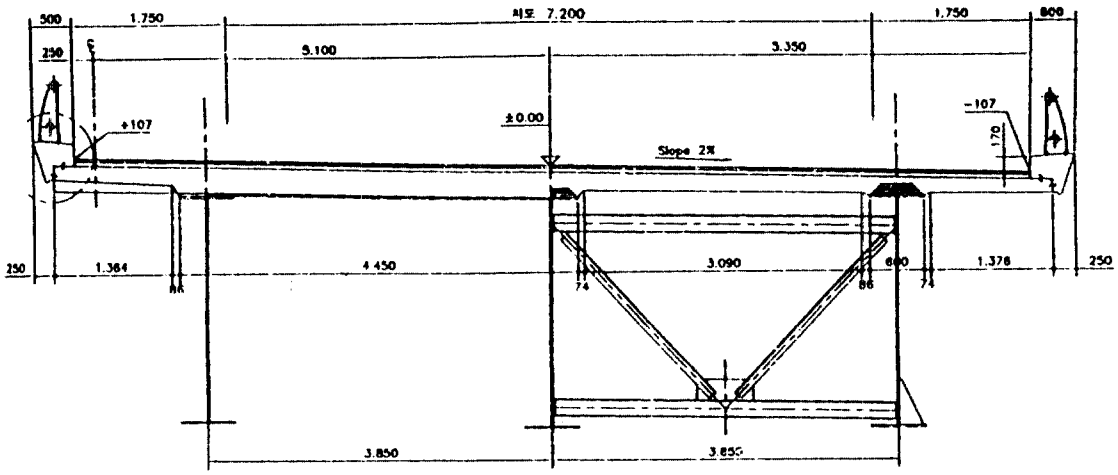


그림 1 구포 낙동강교의 횡단면도

4.2 내하력 검토

4.2.1 재하시험

한국도로공사 도로연구소에서는 보수공사에 앞서 종합적인 육안점검, 차량재하시험(세미트레일러 총중량 41.5 ton) 및 구조해석을 통한 안전진단을 시행하였다. 본 교량은 4경간 연속교로서 차량재하는 A1-P1 중앙부 외측에서 시행되었다. 차량재하시험 결과는 아래 표 1과 같으며 사용된 해석요소는 판요소와 뼈대요소로서 3차원 모델링을 하였다.

분석 결과, 재하차량에 의한 거더의 측정응력과 해석응력은 전반적으로 유사하였으며 이를 근거로 주형 및 바닥판의 구조적 내하력을 평가하였다. 또한 본 교량의 구조적 능력을 검토하기 위해 차선하중을 적용하였으며 그 하중 재하 위치는 아래 그림 2와 같다. 본 내하력 평가에서는 휨에 대한 구조적 능력을 위주로 검토하였다.

표 1 재하트럭에 의한 측정치와 구조해석치 비교

측정위치		측정값	이론값	이론값/측정값
외측거더	상연	-80	-80	1.00
	하연	200	204	1.02
내측거더	상연	-60	-56	0.93
	하연	140	152	1.09

4.2.2 바닥판 검토

바닥판은 캔틸레버부와 중앙부를 허용응력설계법과 강도설계법으로 검토한 바, 두가지 방법 모두 DL-18 하중에 대해서도 단면이 부족한 것으로 판명되었다. 참고로 중앙부에 대해 검토한 최종

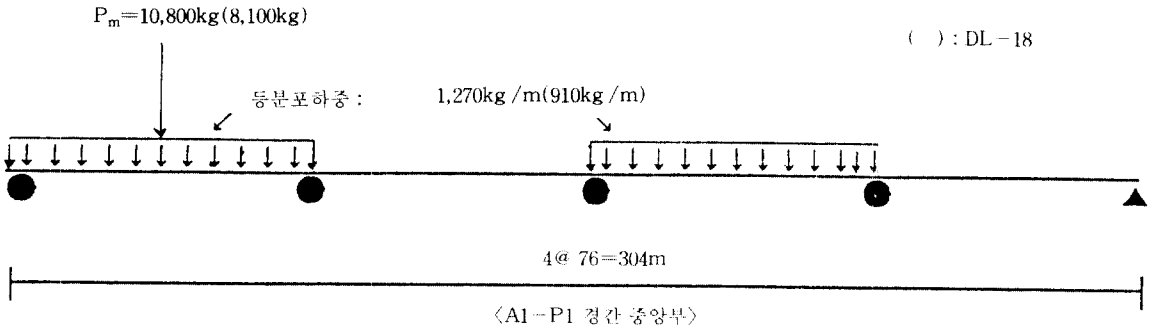


그림 2 차선하중 재하조건 - 3차선 편심재하

결과가 표 3과 표 4에 나와 있다.

표 2 설계모멘트 (ton-m)

M_d	M_{l+i}		M_d+M_{l+i}		$1.3M_d+2.15M_{l+i}$	
	DL-18	DL-24	DL-18	DL-24	DL-18	DL-24
0.775	3.237	4.316	6.757	5.091	7.967	10.287

표 3 허용응력법에 의한 검토(kg/ cm^2)

구 분		발생응력	허용응력	발생응력/허용응력	비 고
DL-18	콘크리트 응력	119	112	1.06	NG
	철근응력	2321	1600	1.45	NG
DL-24	콘크리트 응력	159	112	1.42	NG
	철근응력	3095	1600	1.93	NG

표 4 강도설계법에 의한 검토(kg/ cm^2)

설계하중	사용모멘트, M_u	저항모멘트, ϕM_n	$\frac{\phi M_n}{M_u}$	비고
DL-18	7.967	6.1	0.77	NG
DL-24	10.287	6.1	0.59	NG

4.2.3 주형 검토

도로연구소에서는 주형에 대한 단면력을 현상태에서 검토하여 본 결과, 주형 자체는 DL-24 하중에 대해서도 별 무리가 없는 것으로 판명되었다. 그러나, 취약한 바닥판을 보강하는 방안으로 두께를 증설하는 방법을 적용하게 되면 사하중의 증가로 DL-24 하중을 견디지 못하는 것으로 밝혀졌다. 참고로 바닥판의 단면력을 확보하기 위해 두께를 28cm로 하였을 때, 주형에 걸리는 응력을 P1(지점부) 단면에 대해 검토하면 아래 표 5와 같다.

표 5 P1(지점부) 단면에서의 응력(kg/ cm^2)

하중조건	계산응력		비 고
	상 연	하 연	
사하중	1258	1658	OK
DL-18(1+i)	232	-634	OK
DL-24(1+i)	309	-845	OK
사하중 + DL-18(1+i)	1517	-2292	NG
사하중 + DL-24(1+i)	1594	-2503	NG

4.3 보강방안 검토

강합성교인 구포 낙동강교의 바닥판은 두께가 20cm이나 거더 사이의 간격이 3.85m로서 그 설계단면력이 DL-24 하중에 크게 못 미치는 것으로 판명되었다. 따라서 본 교량의 바닥판을 보강하는 여러가지 보강안을 비교 검토한 결과, 원래의 주형을 활용하고, 종형(stringer)을 증설하며, 바닥판의 보수를 통한 보강방법을 채택하기로 하였고, 구체적인 보수·보강 방안은 다음과 같다.

4.3.1 상부구조 보강방안

1) 교면포장

포장의 노후화, 과적차량의 운행, 교통량의 증가 등으로 인하여 포장이 불량한 상태이므로 재포장을 하기로 하였다.

2) 신축이음장치

유지관리 보수의 미흡에 따른 각종 오물 등의 침투 및 교통하중에 의한 변형이 발생된 상태이며 특히 시공이음부의 교면상태가 불량하므로 전면적인 교체공사를 하기로 하였다.

3) 바닥판 재시공

3차원 모델링을 통한 유한요소해석에서 종형 증설시 바닥판의 전단면이 현재의 배근 상태로도 DL-24 하중에 대하여 안전함을 확인하였다. 다만, 백화현상, 균열의 진행, 철근의 노출 등이 심화된 일부 구간의 바닥판은 부분별로 완전히 철거하여 재시공하도록 하였으며, 전체적으로는 고압의 수압을 사용하는 Water Jet 공법을 이용하여 상부철근 깊이까지 콘크리트를 걷어낸 후 재타설하도록 하였다.

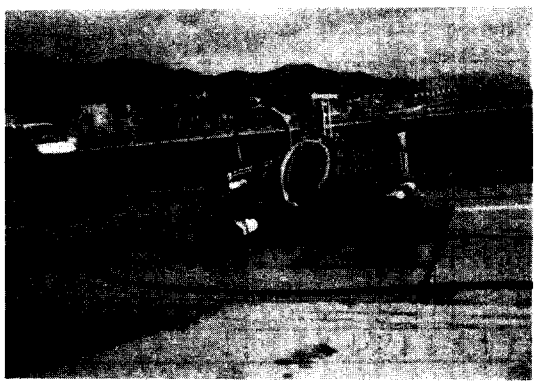


사진 3 바닥판 재타설을 위한 깎아내기 작업

4) 종형증설

본 교량의 주형은 현재 외관이 양호하고 손상이

거의 없어 잔존가치가 충분한 상태이므로 기존의 주형은 그대로 두고, 바닥판의 내하력을 보강하기 위해 2개의 종형을 증설하도록 계획하였다. 종형은 바닥판의 교축 직각 방향의 거동을 보강하기 위해 바닥판과 종형이 일체가 되도록 하였으며 바닥판에 작용하는 윤하중의 횡분배 능력을 향상시키기 위해 종형과 기존 주형을 가로보로 보강 연결하도록 하였다.

4.3.2 하부구조 보강 방안

1) 교좌장치

본 교량의 받침은 탄성받침으로 되어 있으며 받침 자체의 노후화로 인하여 고무 특유의 탄성을 잃었다고 판단되었고 과도한 전단변형 징후를 보이므로 교좌장치를 전반적으로 교체하기로 하였다.

2) 교대

전반적으로 양호한 상태이므로 특별한 보강을 실시하지 않았다.

3) 교각

교각의 일부에 재료분리 및 부분적인 파손이 있으나 구조물의 안전에는 큰 문제가 없는 것으로 판단되었다. 그러나 외관상의 문제와 방치할 경우 추가적인 철근 부식을 방지하기 위해 기본적인 보수를 실시하였다.

4.4 시공상의 유의점

현재의 공정 진행상태는 바닥판의 재타설이 마무리된 상태이며 위와 같은 보수·보강방법이 성공적으로 완료될 수 있도록 설계에 다음과 같은 사항들이 명시되었다.

4.4.1 고강도 무수축 몰타르의 사용

증설 종형과 바닥판 사이의 간극을 고강도 무수축 몰타르로 충진한다. 충진방법은 무수축 몰타르의 충진에 앞서서 종형에 하중을 가하여 강제적으로 하향 처짐이 발생토록 한 후 무수축 몰타르를 주입, 양생하도록 한다. 양생후 하중을 제거하면 종형에 복원력이 발생하므로 이 복원력이 활하중에 저항하는 상향력을 발생시켜 상판에 pre-compression의 상태를 유지하게 한다. 종형에 도입되는 하중은 잠정적으로 1기의 종형에 대해 2 ton/span 으로 하며 여기서 span이라 함은 가로보의 간격으로 이루어지는 6.3m의 구간을 의미한다.

사용되는 고강도 무수축 몰타르는 재료 자체의 양생과정에서 팽창작용을 일으키므로 일종의 화학적 프리스트레싱 효과를 추가로 얻을 수 있도록 하였다. 고강도 무수축 몰타르의 주입은 바닥판의 상면에 일정 간격의 그라우팅용 구멍을 뚫어서 주입하며 구멍 설치개소 및 그라우팅 작업량을 감안하여 일일 작업구간을 설정하고 이에 맞는 그라우팅 차단벽을 설치하도록 하였다.

무수축 몰타르의 충진여부를 확실히 점검하기 위해서는 적당한 간격(약 10m)으로 그라우팅 구멍과 그라우팅 차단벽을 설치하여 단위 간격별로 그라우팅의 충진 여부를 확인하면서 진행하도록 하였다.

4.4.2 증설부재와 기존주형과의 연결

기본적으로 고장력 볼트를 이용한 볼트이음을 채택하며, 그 위치는 기존 주형의 수직보강재가 있는 위치로 하였다. 기존 3본의 주형에 배치되어 있는 수직보강재는 그림 3의 보강 표준 단면도에서 보듯이 복부판의 어느 한쪽 면에만 배치되어 있기 때문에 증설부재의 설치를 위해서 수직보강재가 설치되어 있지 않은 면에 보조부재를 먼저 설치한다. 이 연결 보조부재의 설치도 고장력 볼트를 사용하여 연결하였는데 현장에서 볼트구멍을 천공하여야 하는 번거로움이 있으나 용접에 비해 부재의 안전성 확보나 작업의 효율성에 있어서 유리하다고 판단하였다.

캔틸레버부 바닥판의 부모멘트 발생에 대한 보강으로 설치하는 Overhang Bracket과 종방향 빔(H200×200)은 기존 주형의 복부판에 지지토록 해야 하므로 double bracing을 사용하도록 하였으며, 이 때 bracket과 종방향 빔의 연결 또한 gusset plate를 사용하여 연결하였다. 기타 기존 브레이싱 위치에 있는 상부 횡브레이싱(bracing channel)은 증설하는 종형과 서로 간섭하기 때문에 현장실측에 의거, bracing channel을 해체하고 분리, 재작하여 종형에 연결한다.

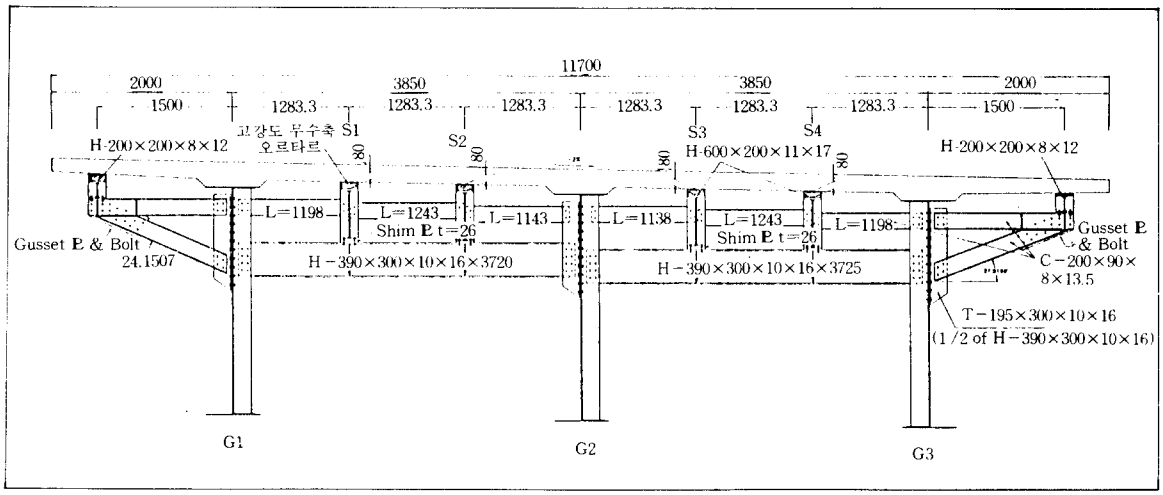


그림 3 보강 표준 단면도

4.5 소결

콘크리트 구조물에 대해 도로공사에서 시행하는 대표적인 보강공법은 철판압착 공법과 강선도입 공법이라고 할 수 있으며 간혹 FRP공법을 사용하기도 한다. 고속도로의 대대적인 신설 및 확장공사가 진행되는 현 시점에서 과거 1등교였던 DB-18 교량들을 전면적으로 등급을 상향 조정하는 국가적인 정책에 따라 단순히 수명이 20년 이상 되었다는 이유만으로 기술적으로 재활용이 가능한 교량임에도 불구하고 전면적으로 개축 대상이 될 때에는 기술자로서 많은 아쉬움을 느끼게 된다. 본 교량은 주형의 관리 상태가 타의 모범이 될만큼 좋았고 장경간, 다경간 교량으로서 주형의 경제적 이용 가치가 상대적으로 높았기 때문에 적절한 보강공사를 통하여 교량이 재활용될 수 있었던 것은 국가적인 자원의 절약이라는 점에서도 매우 다행한 일이라 할 수 있다.

한국도로공사 도로연구소에서는 이들 폐기대상 교량들이 보수, 보강 공법의 개발이나 내하력 평가 등에 대한 실물 실험을 시행할 수 있는 중요한 실험대상으로 활용될 수 있다고 보기 때문에 관심있는 전문가들의 자문을 구하고 있다.

토목구조물에 대한 일반인의 관심증대로 말미암아 때로는 콘크리트 교량의 사소한 균열에 대한 매스컴이나 일반인들의 과민 반응 때문에 당황스러울 때가 간혹 있다. 따라서 이러한 문제에 대한 콘크리트의 전문가 집단인 학회 회원들의 일반인을 대상으로 한 친절한 답변이나 인내심을 가진 지속적인 홍보와 교육이 필요하다 하겠다.

열악한 유지관리 업무를 감내하며 이 기고의 게재를 허락하고 기꺼이 협조하여 준 한국도로공사 경남지역본부 서장석 과장님께 감사드린다.

5. PC 합성교의 보강 사례

5.1 개요

시흥대교는 서울시와 경기도 광명시를 잇는 주요 교량의 하나로서 DB-18 하중으로 설계되어 1979년에 개통된 PC합성교와 강합성교로 이루어진 혼합교량이다. 본 교량의 경우도 건설후 통과 교통량의 폭발적인 증가와 화물 운송차량의 대형화 추세에 따라 교량의 안전이 우려되어, 교량의 내하력을 DB-24로 증대시키는 보강공사를 시행하게 되었다. 보강공사는 교량에 대한 안전진단을 먼저 실시하여 통과 교통량에 대한 안전성을 검토한 후에 적절한 보강공법을 선정토록 하였다.

본 교량에 적용된 보수, 보강공법은 상판의 연속화와 주형의 외부강선 설치등을 통한 보강공법

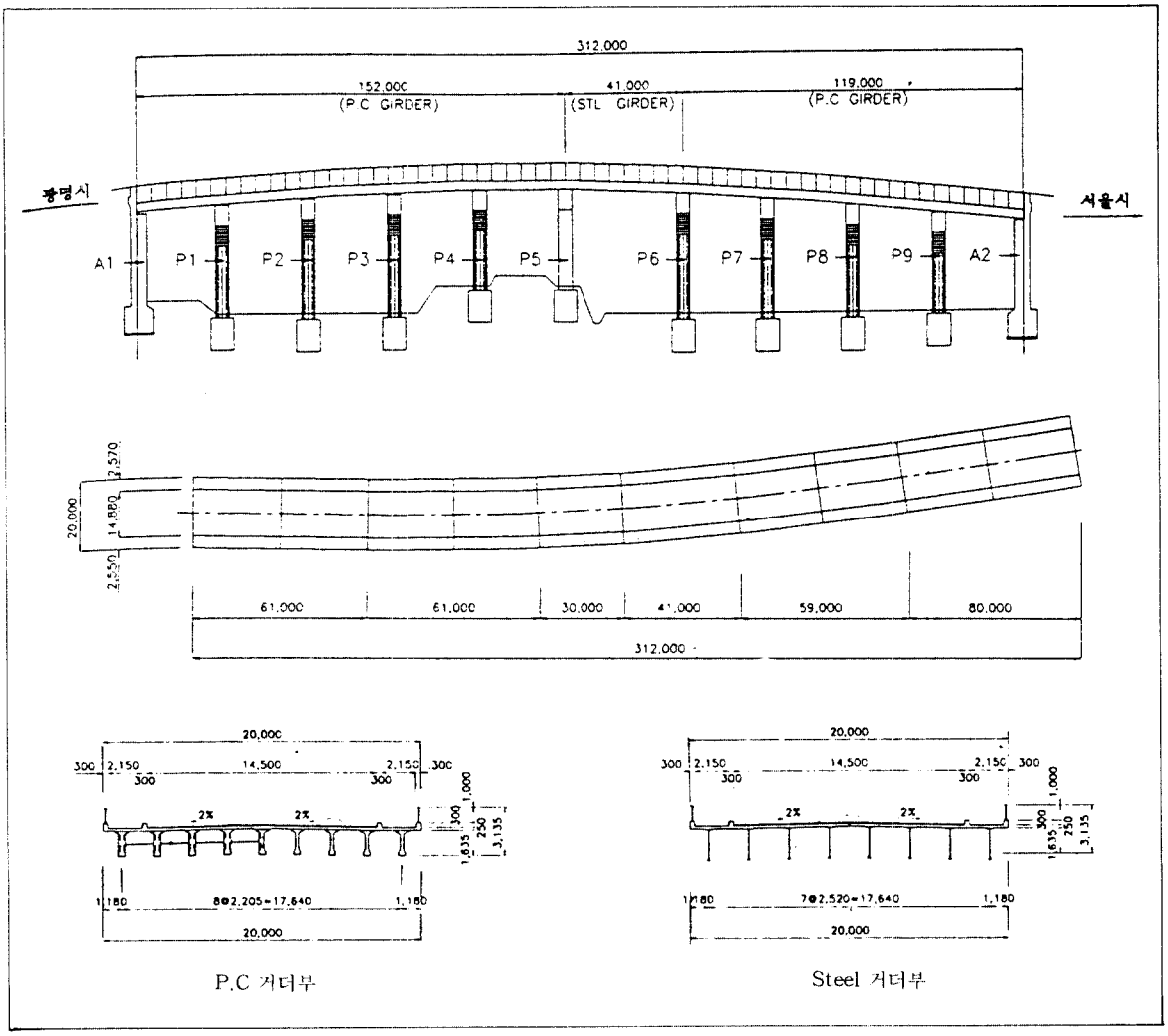


그림 4 시흥대교의 현황도

과 전단키 보강공법이며 대상 교량의 제원은 다음과 같다.

연 장 : L=312m(9@30.0+1@41.0)
폭 원 : B=20m(4차선), 유효폭은 14.5m
형 식 : 30m PC합성교 9경간+강합성교 1경간
준공년도 : 1979
설계하중 : DB-18

5.2 1차 보강 방안

5.2.1 내하력 측정

교량의 보수·보강계획을 세우기 위하여 아주대에서 교량의 종합적인 외관조사, 구조계산 및 재하시험을 통한 정밀 안전진단을 실시하였다. 구조해석은 판요소와 뼈대요소로서 3차원 모델링을 하였으며, 내하력 판정에 대한 최종 결과는 다음 표 6에 제시되었다. 안전진단 결과 상부구조의 내하력은 DB-18 에 대해서는 안전하였으나 DB-24

표 6 강도설계법에 의한 검토(kg/ cm^2)

부 재	작용모멘트, M_u	저항모멘트, ϕM_n	$\frac{\phi M_n}{M_u}$	비고
외측주형	549.28	690.82	1.26	OK
내측주형	569.06	690.82	1.21	OK

에 대해서는 내하력이 부족한 것으로 판명되었다. 또한 외관조사 결과 P.C 주형, 교좌장치, 교각 등이 상당히 양호하여 상대적으로 상태가 나쁜 바닥판만을 보강하면 내하력을 DB-24로 증대시키는 것이 가능한 것으로 판단되어 이에 맞는 보강 공법들이 검토되었다.

5.2.2 보강 방안

1) 개 요

DB-18 하중으로 설계된 상부구조를 DB-24 수준으로 내하력을 증강시키기 위하여 검토된 첫번째 방법은 바닥판의 두께를 늘리고, PC거더를 연속화시키는 방안이었으나, 바닥판의 두께 증대시 사하중에 의한 응력이 증가하여 교량의 내하력을 증대시키는데 도움이 되지 않는다고 판단되었다. 또한 바닥판의 상태가 좋지 않았으므로 단순히 바닥판의 두께를 증가시키시 보다는 기존의 바닥판을 제거한 후에 재시공하되 기존의 PC거더와 합성이 잘 유지되도록 시공하며, 상판 보수시공시 상판의 2경간 연속화를 병행하여 내하력을 증대시키는 방법이 검토되었다.

이는 PC거더를 두경간씩 연속화하고 (1경간+2경간, 3+4, 7+8, 9+10) 바닥판 타설 후 양생이 완료되어 P.C거더와 바닥판이 일체로 작용하는 합성작용이 일어날 때까지 동바리가 바닥판의 사하중을 지지해주는 이른바 완전합성공법을 이용하여 현교량의 내하력을 증대시키고자 하였다. 한편 6번째 경간은 경부선 철도 통과구간으로 작업조건이 극히 불량하므로 이웃한 5번째 경간의 PC 주형을 모두 제거한 후 6경간과 동일한 강거더로 교체하여 이를 6경간의 기존 강거더와 연속화시킴으로써 내하력을 증가시키는 간접적인 보강공법이 검토되었다.

2) 시공상의 문제점

강거더로 교체 예정 경간인 제5경간의 PC거더 1개를 분리시켜 X-Ray로 조사한 결과 원래 계획했던 P.C보의 연속화공법을 적용하는 데는 시공상 문제가 있음이 판명되었다. 연속화 작업을 위한 철판고정용 고장력볼트 설치 작업시, 기존의 PC 강선 씨스템을 손상시킬 가능성이 제기됨에 따라 PC거더 구간의 연속화 공법에 대해서는 대안을 검토하게 되었다.

또한 강거더 합성교 구간인 제6경간의 연속화에 의한 보강 방법의 타당성을 조사하기 위하여 대상구간에 대한 2차 내하력 실험이 실시되었다.

5.3 2차 보강 방안

5.3.1 내하력 측정

PC거더의 연속화를 위한 고장력볼트의 설치 문제 외에도 PC거더의 연속화에 따른 부모멘트의 과다발생 우려와 이에 따른 균열발생, 상부철근의 부식등 연속화에 따른 문제점들이 제기되어 내하력 증진공법에 대한 재검토가 실시되었다. 특히 기존 내하력 측정이 PC합성과 구간에 국한됐던 점을 고려하여 강합성교 구간인 6경간에 대한 추가적인 내하력 측정을 실시하여 이를 2차 보강설계의 참고자료로 활용하였다. 재하차량은 1대와 2대인 경우에 대하여 조사하였으며 중앙부의 내외측 거더간의 활하중 횡분배가 관심의 초점이었고, 바닥판과 주형의 합성작용 여부에 대한 평가도 포함되어 있었다.

PC거더에 대한 두대의 차량 재하시험 결과 43%가 중앙측 거더에 의해 지지되었고 한대의 차량재하시험에서는 전체 차량중량의 41%가 중앙측 거더에 의해 지지됨을 알 수 있었다. 이러한 하중분배는 계산에 의한 값보다 과다한 것으로 하중의 횡분배가 적절하지 않거나, 중앙측(5번) 거더가 과하중 등에 의하여 손상을 입은 것으로 추정되는 결과였다. 6번 경간의 측정결과에서는 중앙측 거더의 변형율이 인접 거더의 측정값보다 작음으로 해서 거더의 상부와 바닥판이 합성작용을 적절히 하지 못하고 있는 것으로 추측되었다. 또한 측정 처짐값의 분석 결과, PC거더는 설계하중 상태에서 균열이 발생될 수 있음을 추측할 수 있었다.

바닥판의 경우도 RF값이 0.79로 보강을 요하는 것으로 판명되었는데, 이에 대한 보수 방법으로는 전체적인 교체 대신 일정한 두께의 바닥판을 제거한후 바닥판의 두께를 늘려서 보강하는 방법이 검토되었다. 이 경우 현 바닥판의 표면을 일정 두께 제거한 후 표면을 거칠게 정리한 뒤 새로운 콘크

리트를 타설하되, 신구 콘크리트의 분리를 막기 위하여 이 바닥판의 주변에 50cm 간격으로 전단키를 박아서 시공하도록 하였다.

5.3.2 2차 보강 방안

1) PC 거더의 보강

제1경간에서 4경간, 또 6경간에서 10경간까지는 구조형식이 PC 합성교로 되어 있으며 설계하중은 DB-18 이다. 따라서 이들 경간의 보강방법은 가장 보편적인 외부 강선 보강 공법이 최종 선정되었는데 선정이유는 앞에서 언급되었던 이유외에도 다음과 같은 장점들이 있기 때문이다.

- 구조적 해석이 명확하다.
- 적용범위가 넓다.
- 재료의 자중이 가벼워 PC 거더 자중의 증가를 유발시키지 않는다.
- 시공이 간편하며 타공법에 비해 경제적이다.
- 시공후 PC 거더의 균열관측 및 유지관리가 용이하다.
- 시공후 필요시 외부 강선의 교체 및 추가 긴장이 가능하다.

보강설계의 기본 개념은 PC거더는 사하중만 부담하는 것으로 하고 활하중은 외부 강선이 부담하는 것으로 하였다. 외부 강선 보강 공법의 설계도가 그림 5에 제시되어 있다.

2) 바닥판의 보강

아스팔트 포장을 제거하고 콘크리트 바닥판의 표면을 2cm정도 제거한 후 표면을 깨끗이 정리한 뒤 압축강도 300kg/cm²의 콘크리트로 7cm를 타설하도록 한다. 타설시 수화열에 의한 온도 균열

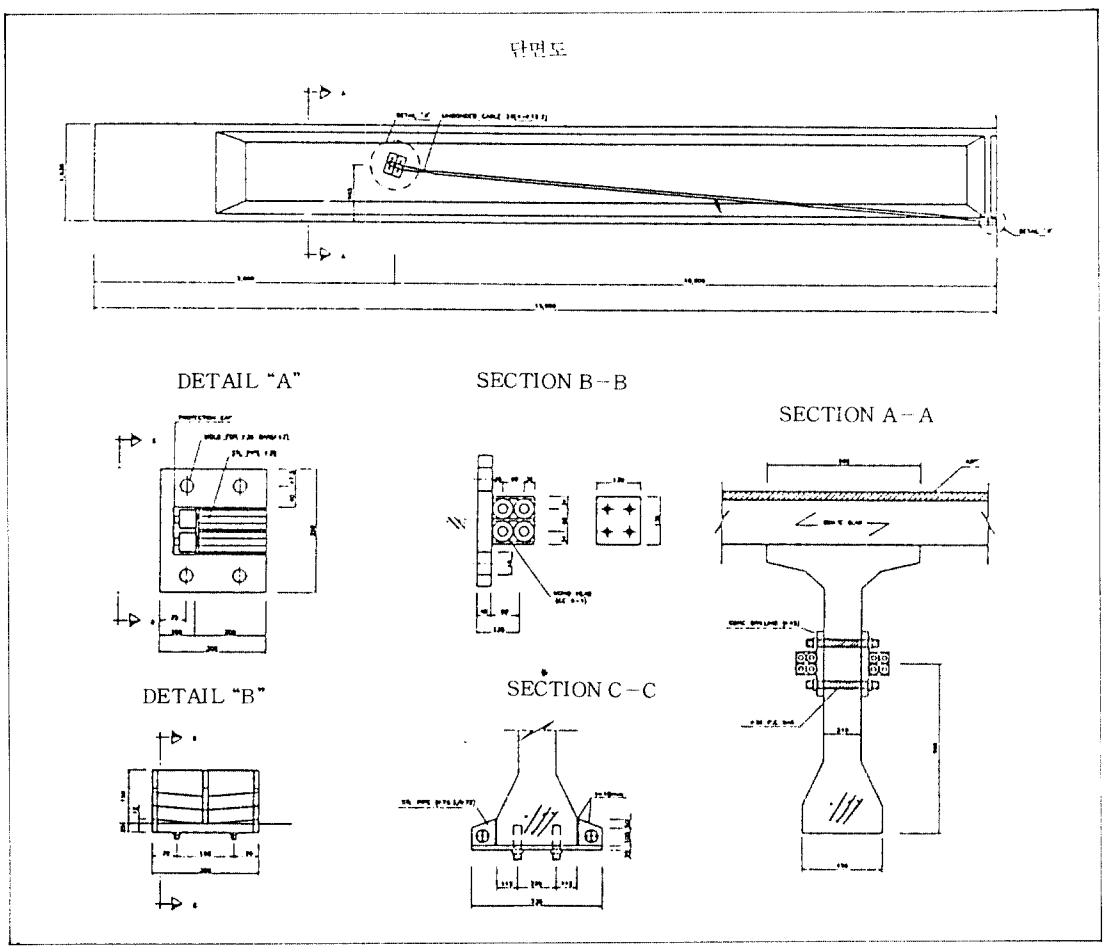


그림 5 외부 강선 보강 공법 설계도

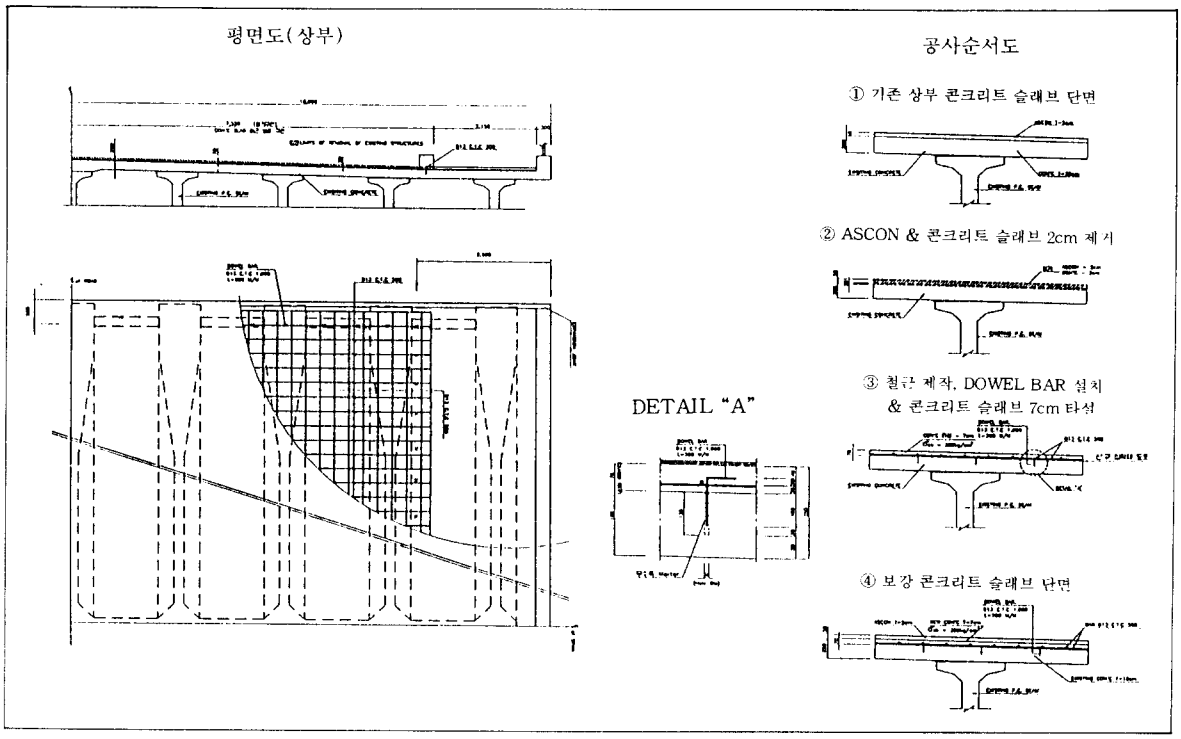


그림 6 바닥판 보강 상세도

등을 제어하기 위하여 D13 철근을 50cm 간격으로 보강하였으며, 신구 콘크리트의 분리를 방지하기 위하여 1m 간격으로 그림 6에 나타난 것 같은 전단키를 시공하도록 한다.

3) 강거더의 보강

제6경간의 경우 경부선 철도 통과구간으로 작업조건이 극히 불량하므로 이웃한 5경간의 바닥판 및 PC 거더를 제거한 후 강거더로 교체하여 이를 6경간의 기존 강거더와 연속화시킴으로써 내하력의 증대를 꾀하였다. 제5경간의 PC거더를 강거더로 교체한 후 6경간의 강거더와 고인장 볼트 및 용접으로 연결시키는 방법이다. 앞의 재하시험편에서 언급한 것과 같이 6경간에서는 거더와 바닥판의 분리 현상이 관찰되었는데, 이 분리 현상은 차량이 많이 통과하는 중앙차선 바로 밑의 중앙부 거더에 집중된 것으로 추측된다. 따라서 6경간 내측 거더의 합성작용을 회복시키기 위한 보강을 실시하였다. 경간의 중앙부를 중심으로 1m 간격을 두고 3곳 정도를 선정하여, 콘크리트 바닥판의 일정 면적을 제거한 후 새로운 전단키를 설치하고, 이 부분을 다시 무수축 몰타르로 충진시키는 공법이 적용된 것이다. 이러한 바닥판과 주형의 합성기능을 회복시키기 위한 전단키 설치 작업을 위한 보강 상세도가 그림 7에 나와 있다.

5.4 소결

기존 교량에 대한 대규모 보수 보강공사를 시행하기에 앞서 각 부위별 상태에 대한 정밀한 평가가 필요하며, 이를 위해서는 현장조건을 최대한 반영한 해석 모델링 및 재하시험에 따른 정확한 측정이 필수적이라 할 수 있다. 본 보수 공사의 경우는 연속화 공법이 가능한 구간과 불가능한 구간, 바닥판과 주형의 합성 작용에 문제가 있는 구간 등 보수,보강 대상 구간의 다양한 문제점을 모두 포괄할 수 있는 공법이 없었기에 다양한 보수 보강 공법들이 선정, 적용된 것이다.

또한 교량의 형식 구성이 다양할수록 보강 설계

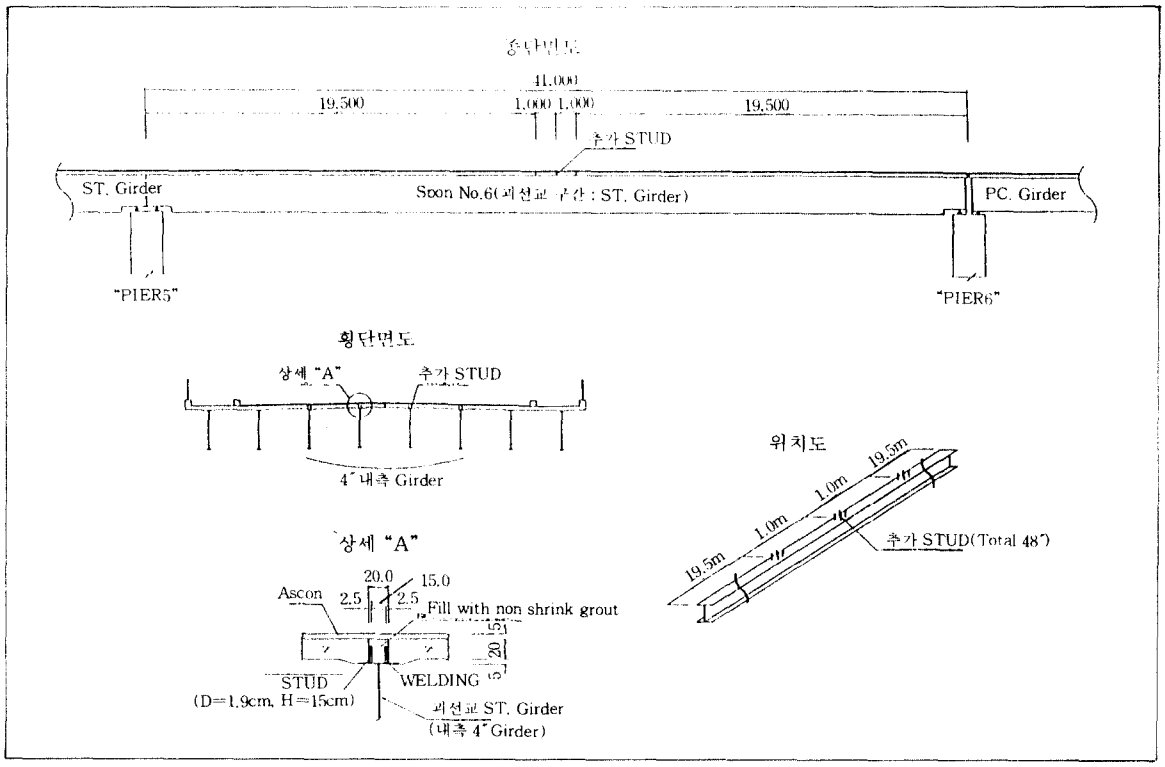


그림 7 바닥판과 거더의 합성을 위한 전단키 보강도면

에 필요한 정보를 통상적인 내하력 시험으로 얻는 데는 한계가 있음을 드러냈으며, 보강 설계를 위한 추가적인 내하력 평가 및 세부 조사가 필요함을 보여주었다.

6. 결 론

이상과 같이 현재 국내에서 교량의 내하력을 증가하기 위하여 보수 보강 공사가 시행중인 현장 두군데를 소개하였다. 이들 두가지 예에서 볼 수 있듯이 보수, 보강 공법은 아직 어느 한가지의 공법이 모든 교량에 두루 적용될 수 있는 경우가 없으며, 대상 교량마다 경험있는 기술자에 의한 적절한 공법의 선택과 설계가 필요함을 알 수 있고, 때에 따라서는 한개 교량에 여러 가지의 보수 보강 공법이 적용될수도 있음을 알 수 있다.

본 고에서 제시된 교량의 보수, 보강공법중 교량의 연속화 공법이나 외부강선 도입 공법 등과 같이 아주 보편적인 공법에 대해서는 구체적인 언급을 하지 않았으나, 이들 공법의 경우도 사소한 현장 여건의 차이에 의하여 각각 유리한 경우가 있기도 하고, 때로는 비효율적인 경우가 있기도 하였다. 또한 현재 많이 쓰이는 또 다른 보강 공법인 강판압착보강 공법도 현장에 적용된 사례는 쉽게 발견되고 있으나 이에 관한 체계적인 연구실적은 미미한 형편으로, 구체적인 검증없이 현장에 적용되고 있는 실정이다.

국내 교량의 상당 부분이 DB-18 이하의 2등교인점과 현재 교통량의 폭발적인 증가세를 고려하면 보편적으로 적용가능한 교량의 효율적인 보수, 보강 공법들에 대한 체계화와 성능평가 및 개선연구, 그리고 연관 시방서의 정비 등이 시급하다고 할 수 있다.