

통수단면 확보를 위한 새로운 형식의 강합성 거더 - 철도교를 중심으로



김 효 성 |

한빛하이테크 엔지니어링 부장
kim9744@empal.com

1. 들어가는 말

우리나라 강수량의 대부분은 여름철 특히, 장마철(6~7월)에 집중된다. 그러나 최근에는 7월보다 8월 강수량이 증가하고 집중호우 일수가 늘어나는 등 강우패턴이 변화하면서 기상청은 2009년부터 장마기간을 공식화하지 않기로 했다. 또한 약 100년간(1912~2008년) 우리나라 6개 관측지점(서울, 인천, 강릉, 대구, 목포, 부산)의 평균 연강수량은 변동성이 매우 크고(최소 712mm~최대 1,929mm), 최근 10 동안 20세기 초반에 비해 약 19%(220mm) 증가하였다. 이렇듯 기상이변에 의한 극한홍수는 하천을 명틀게 하고 있고, 홍수시의 통수단면(다리 밑 공간, clearance) 확보는 매우 중요한 항목이 되었다.

한국 철도는 사회기반시설물로 고속도로와 더불어 중요한 교통축을 이루고 있으며, 장래에 동북아 중심의 새로운 시대를 구축해 나가는데 중추적인 역할을 수행할 것으로 예상되고 있다. 2004년 고속철도 개통으로 지난 100여 년의 철도의 역할보다

앞으로의 역할이 더욱 중요시되고 있다. 하지만 현재 운행되고 있는 고속선은 기존선을 그대로 사용하는 경우가 많아 정상적인 속도를 내지 못하고 있다. 특히 이런 구간은 교량구간으로 대부분이 무도상(자갈이 없는 콘크리트 궤도) 판형교로 되어 있으며 진동, 처짐, 소음이 심하며, 동적성능이 낮아 고속운행에 제약이 되고 있다. 또한, 경간장이 매우 짧아 교각이 많아지고 교량의 형고가 높아 하천 통수단면이 자유로울 수 없어 이를 유도상(콘크리트 슬래브위에 자갈 포설) 교량으로 개량하는 사업이 많이 이루어지고 있다. 기존선은 100년 전의 설계 기준으로 설계되어 있어 현재의 변화된 기후 및 환경에 대처하기가 어려우며 이에 대한 보완으로 기존선의 유지보수 및 개축이 이루어지고 있다.

본 연구에서는 현재의 기존선 및 신설구간에서 시공과 설계 및 현장 여건에 적용성이 높은 새로운 구조의 교량의 상부형식을 제안코자 한다. 제안된 거더는 강과 콘크리트의 복합구조로 강재 내에 콘크리트를 채운 형태로 내하력이 높고 현장여건에 따라 적용이 편리하며, 홍수시 하천 통수단면 확보에 매우 유리한 구조로 이루어져 있다.

2. 기존선의 특징 및 개량 방향

2.1 기존선의 특징

경부선, 호남선 그리고 영동선 등은 건설된 지 100 여년이 되어 노후된 교량들이 많이 있다. 이런 구조물의 특징을 보면 기초는 우물통 및 목항이며 교각, 교대는 중력식이 대부분이고 처음 건설 당시에는 조적식이 대부분이었다. 또한 상부형식은 무도상판형교가 많고 경간장은 구교의 경우 5m 미만이며 보통 7.5m~15m 이내이다. 상부형식은 단순 교 형식이며 받침은 선받침 등이 많다. 또한, 하천 및 차량 통과 높이 확보가 불리한 교량이 많아 차량 충돌 및 홍수, 태풍 및 홍수 발생시 재해위험에 노출되어 있으며, 설계기준에 의한 홍수위 및 경간장 규정을 만족하기 어려운 실정이다. 또한 열차가 항시 운행하고 있어 교량을 개보수 할 경우, 신설교량보다 많은 위험과 노력, 경제적인 비용이 수반된다

2.2 기존선의 개량

기존선의 개량 방향은 자갈 도상이 없는 교량을 자갈 도상 있는 유도상 교량으로만 진행하고 있으며, 경부선을 비롯 영동선, 호남선 등에 많이 적용되어 있다. 유도상화가 이루어지기 위해서는 설계 단계부터 세밀한 검토가 요구된다. 유도상화로 인해 교량의 상부형식은 폭이 넓은 교량으로 바뀌고, 자갈층이 더해져 교량 상부중량이 커진다. 중량의 증가는 교각, 교대의 단면증대와 기초 보강으로 이어져 전체 교량을 보수하거나 보강해야 한다.

유도상화시 고려해야 하는 가장 중요한 요인은 자갈 도상층의 반영에 따른 레일면의 양로 문제이다. 기존 무도상 판형교의 형고안에서 자갈도상층의 설치 높이가 적용될 수 있어야 하므로 상부형식은

높이가 낮아야 한다.

또한, 하천설계기준의 다리밑 공간 및 경간장 기준을 만족하기 위한 방법으로 저형교의 상부형식 적용과 교각의 철거 방법 등이 사용되고 있으나, 교각 철거시 경간장이 길어져 상부구조의 형고가 높아져 레일 양로가 발생하는 경우가 있고 상부형식의 중량이 커져 시공성이 제한 받는 경우가 있다.

2.3 기존선 개량공사 중 고려사항

기존선 교량 공사는 열차가 운행하고 있어 공사의 제한 사항이 많이 있다. 또한 고압전선으로 인해 크레인 및 장비작업시 주의가 요구되며 열차가 공사중에 운행하고 있어 작업성이 많이 떨어진다.

대표적인 공사방법은 교량의 측면에 밴트를 세워 밴트 위에서 상부구조를 제작하고 열차운행이 정지된 새벽에 운행선을 4~5시간 차단한 후 기존교량을 크레인을 이용하여 철거하고 신설교량을 밴트 위에서 밀어서 기존 교각 및 교대에 설치하는 방법으로 안전하고 열차가 서행하지 않는 장점이 있으나 공사비가 고가이며 하천통수단면이 줄어들어 우기철 공사가 제한되는 단점이 있다. 공사용 임시 거더를 이용하는 방법은 기존 교대 및 교각에 임시 거더를 설치하고 열차를 개통시킨 후 임시거더 아래에서 신규 상부구조를 제작하는 방법으로 공사 종료시까지 열차가 서행하여야 하는 단점이 있으며 작업자의 작업성과 작업효율이 떨어진다. 크레인 공법은 붐대의 각도나 전차선에 의한 작업 제한이 따르나 공사비는 가장 저렴하다. 밀어넣기공법이나 공사용 임시거더공법 적용시 기존 거더의 철거시에는 붐대 크레인을 사용하고 있어 가능하면 크레인 공법을 사용하는 것이 좋으나 안전 및 상부구조물의 중량, 현장 여건 등으로 인해 크레인 단독 사용에는 제한이 따르고 있다. 또한, 철근 매입 공법은 열차 운행에 따른 진동으로 콘크리트와 철근 사이의 부착에 문제가 있으며 공사기간이 길어지고 공사 종료시까지 열차 서행이 따른다.

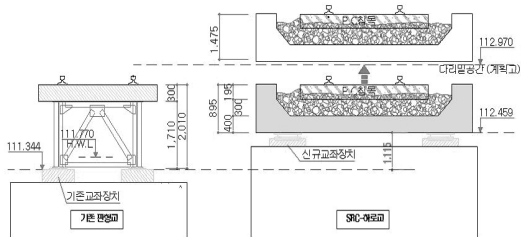


그림 1. 교량 형하고 비교

L하중에 있어서 기관차 하중은 단기 또는 중련으로 하고, 등분포 하중은 임의의 길이로 하되 부재에 최대응력이 발생하도록 재하하여야 한다. 다만 하중을 단속시켜서는 않된다. 복선교에서 활하중은 같은 방향과 반대 방향중에서 부재에 큰 응력을 발생시키는 방향으로 재하시킨다.

4.3 부재 단면력 산정 및 단면검토

거더에 작용하는 각 부재력을 구하기 위해 MIDAS 2006에서 주형의 지점부와 중앙부 각각 작용하는 하중을 검토하였다. 처짐 검토는 충격계수를 포함하지 않는 활하중의 값을 사용하며, 단면 검토는 최대 모멘트가 발생하는 주형 중앙부에서 모멘트 값을 사용하고, 최대 전단력이 발생하는 지점부에서 전단력 값을 사용하였다.

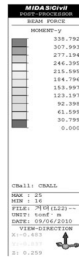
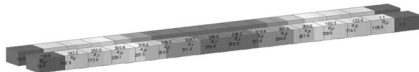


그림 5. 주형 모멘트(338.792 tf·m)

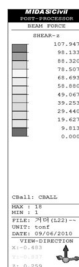
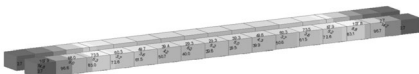


그림 6. 주형 전단력(107.947 tf)

또한, 설계조건은 다음과 같다.

- 설계 휨모멘트(Mdreq)
= 338.792 tonf·m (=3387.920 KN·m)
- 설계 전단력(Vdreq)
= 107.947 tonf (=1079.470 KN)
- 강재의 허용응력(fsa) = 1,750 kgf/cm²
= 175 Mpa(40mm 초과 75이하)
- 강재의 전단허용응력(τsa) = 1,000 kgf/cm²
= 100 Mpa(40mm 초과)
- 콘크리트의 허용압축응력 : Vca
= 0.4·fck = 108.0 kgf/cm² = 10.8 Mpa

설계조건을 토대로 주형철골의 최대저항 모멘트(Msr), 콘크리트의 전단응력(vc), 처짐 등을 고려하였다.

4.4 동적해석

Time history function은 시간에 따른 하중의 영향을 함수로 나타낸 것으로 본 논문에서는 열차 하중의 영향이 모델링의 각 절점에 짧은 시간동안 가해지고 사라지는 충격 하중이므로 각각의 형태의 하중으로 이상화 하였다. Time history function의 하중의 지속시간은 요소의 분할 길이와 속도와 관련 있으므로 모델링은 차량진행방향으로 요소길이를 1.0m의 등 간격으로 나누었다.

동적해석 결과는 표 1과 같다.

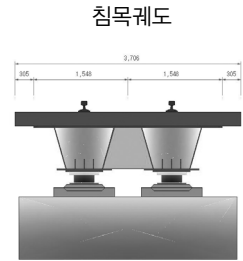
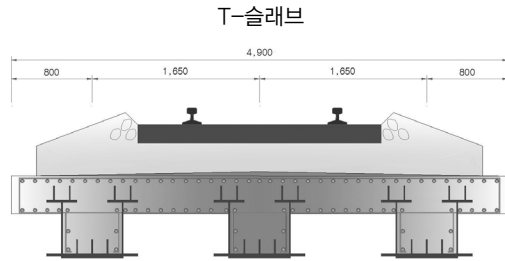
5. 현장 여건에 따른 교량 구조

본 교량은 강합성 구조로 강재의 가장 큰 특징인

표 1. 동적해석 결과값 정리

구분	정적처짐	동적처짐	허용처짐	충격계수	D.M.F	판정
100km/hr	0.235	0.239	1.750	1.459	1.017	O.K
120km/hr	0.235	0.220	1.270	1.459	0.936	O.K
150km/hr	0.235	0.271	1.270	1.459	1.153	O.K
200km/hr	0.235	0.240	0.870	1.459	1.021	O.K
250km/hr	0.235	0.294	0.870	1.459	1.251	O.K
300km/hr	0.235	0.250	0.870	1.459	1.064	O.K
350km/hr	0.235	0.271	0.870	1.459	1.153	O.K

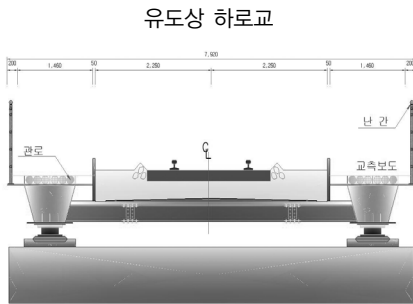
5.1 상로교



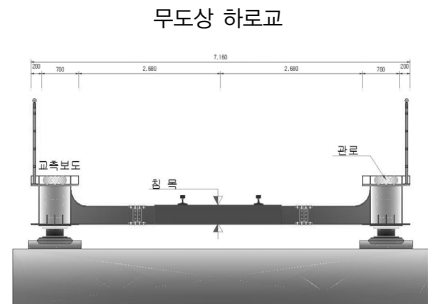
- Filler-Beam구조를 개량했으며 인장부 콘크리트 최소화 했음

- 폭이 좁고 중량 작음
- 코핑 단면 및 하부 구체 보강 최소화

5.2 하로교

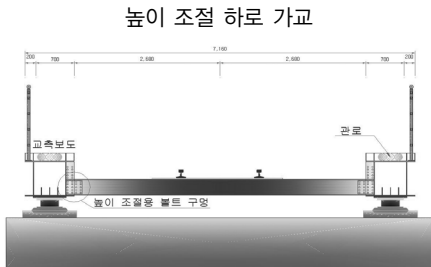


- 관로 및 교축 보도를 별도로 설치 불필요함
- 다리밑 공간 확보에 유리함

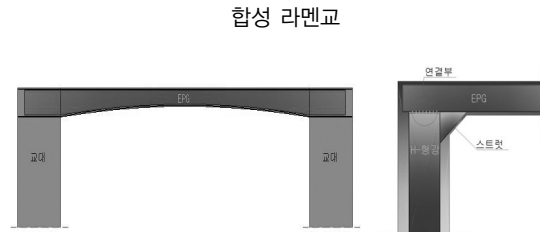


- 가로보 속에 침목 설치로 도상이 불필요
- 다리밑공간 확보에 유리하고 하부구조 부담감감

5.3 기타



- 가로보 높이 조절이 가능 레일 설치시 유리 임의의 형상으로 제작이 가능하며, 연결 및 구조의 변경이 용이한 특징을 이용하였다. 따라서 본 연구의 교량은 상로교 및 하로교, 가교로 현장 여건에 따라 적용이 가능하다.



- 거더와 교대빔을 연결 합성 라멘으로 적용가능함
- 능력을 증가시킬 수 있는 방법들이 모색되고 있다. 그 중 교량의 형고를 낮추는 방법은 신설 교량이나 기존 교량의 유지보수 차원에서 중요한 사항이다. 철도는 그 중요성이 재인식되면서 각종 철도사업 및 공사가 날로 증가하고 있으며, 이에 따라 철도교의 유지보수도 증가하고 있다. 하지만 철도는 일반 도로교와 현장여건이 다르다. 기존의 철도교의 보수 및 교체에는 기존선을 유지하면서 교체하는 공법과 기존선을 대신할 우회 특수선을 부설하는 공법이 있지만 특수선 부설은 공사비가 고가로 적용

6. 결론

최근 기상이변으로 인한 이상홍수의 급등으로 하천의 중요성이 날로 증가하고 있으며, 하천의 통수

이 어려우며, 철도의 운행 중 기존선을 유지하면서 공사할 경우는 정시율 유지 및 공사중 안전 등 제약이 따라 고도의 기술을 요구하고 있다.

본 연구에서는 교량의 형고가 현저히 낮아 홍수시 통수능력을 최대화 할 수 있고, 형고가 낮아 단면이 작아지지만 충분한 동적 성능을 발휘할 수 있는, 즉 서행을 하지 않아도 되는 공사용 거더의 개발과 열차운행 중 급속 시공이 가능한 철도교용 영구거더의 개발을 목적으로 하였다. 개발된 합성거더는 MIDAS program을 이용하여 하중은 LS-22 및 설계기준 상의 하중을, 운행속도는 정적운행 기준으로 100km/hr, 120km/hr, 150km/hr, 200km/hr, 250km/hr, 300km/hr, 350km/hr 등 총 7가지로 동적해석을 수행하여 거동을 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 새로 고안된 SRC-강합성 거더는 홍수시 통수 단면을 확보를 위해 교량 단면을 축소 시켰음에도 불구하고 정적하중에 의해 발생한 처짐은 모두 허용 처짐값 이내로 수렴하였다.
2. 동적해석을 통해 산출한 D.M.F(동적확대계수)와 설계에 적용된 충격계수를 비교한 결과, 설계속도별로 D.M.F는 모두 충격계수 이하의 값을 보였다.
3. 크레인을 통해 쉽게 시공이 가능한 거더이며, 기존 노후교량의 유도상화 공사를 위해 설치해야 했던 가설부재(가벤트, 슬래브 제작장) 및 거푸집 동바리 등을 줄일 수 있어 경제적이고, 공장제작 후 차량으로 이동이 가능하며, 공사 중에 차량통제 및 서행을 최소화 할 수 있다.
4. 새로 고안된 SRC-강합성 거더는 기존 공사용 거더에 비해 동적성능이 뛰어나, 공사용 거더로 사용 할 경우 열차 서행이 불필요 하며 진동, 소음이 작다. 또한 영구용 거더로 사용 시, 거더와 거더를 연결하는 가로보의 구조를 개량할 경우 현장여건에 따라 상로교 및 하로교로 적용이 가능하며 거더를 곡선으로 제작 가능한 구조이다. 🌀

● 참고문헌

1. 국토해양부, 기후변화 대비 국가 물 안보 확보 방안, p.341, 2009
2. 심재현, 이철규, 극한홍수의 상황과 국가차원의 대응방안, 한국수자원학회지 Vol.42, No.7, pp. 30-38, 2009
3. 건설교통부, 철도교 설계기준(철도교편), 2004
4. 대한토목학회, 철도교 설계편람(강철도교), 2004
5. 한국철도기술연구원, 판형교의 보수보강 및 유도상화 기술개발, 2002
6. 서울산업대학교, 강합성 거더의 철도교의 동적 거동에 관한 연구, 2008
7. 건설교통부, 기존선 속도향상에 대비한 판형교의 동적안정성 향상 기술개발, 2005
8. Clough, R. W., Dynamics Of Structure, McGraw-Hill, 1975
9. Paz, Mario., Structural Dynamics, Van Nostrand Reinhold, 1991
10. William Weaver jr and paup R. Johnston, Structural Dynamics by Finite Element, Prentice-Hall, 1982