

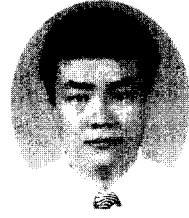
## 대구-포항간 고속도로에 적용한 소수주형 판형교의 설계



김 우 증\*



이 치 등\*\*



최 성 권\*\*\*

### 1. 서 론

소수주형 판형교는 2~3차로 교량에서 주형수를 5~7개로 배치하고 얇은 강판을 사용하여 설계하는 일반판형교와는 달리 주형수를 2~3개로 제한하고 두꺼운 강재(40~80mm)를 사용하여 필요강성을 확보하는 교량형식으로 서구등지에서는 이미 오래전부터 장지간의 교량에도 적용되었고 일본등에서는 최근 합리화 교량이란 개념으로 적용되고 있는 교량형식이다.

금번 소개하는 소수주형 판형교가 적용된 대구-포항 고속도로 T/K 입찰설계(3공구) 구간은 평면선형이 비교적 직선화 되어있고 대부분의 고성토부 구간이 평야나 계곡지대를 횡단하는 구간으로 전체노선중 약 25%가 교량으로 구성되는 구간이었다. 최초 교량계획시 철도나 하천 등을 통과하는 일부구간을 제외하면 장지간의 교량이 필

요치 않아 경제성 면에서는 지간 30m의 P.S.C Beam교가 우선 검토되었으나 일부 구간에 민가 및 유출입 시설이 근접되어 미관이 요구되므로 경제성 뿐만 아니라 교량의 내구성, 시공성, 유지관리, 미관 등을 종합적으로 고려한 교량형식의 적용이 필요하게 되었다. 그중 사용재료의 재질 향상 및 기술력의 발달, 공사비 중 인건비가 차지하는 비율 등 사회적인 변화를 중점 고려하여 새로운 교량형식인 소수주형 판형교를 도입하게 되었다.

### 2. 본 론

#### 2.1 소수주형 판형교의 특징

소수주형 판형교는 주형의 수를 최소화함으로써 종래 일반판형교에서 하중을 부담하는 주형이 활하중 위치에 따라 하중 분담률이 현저히 떨어지는 단점을 보완하여 강재를 적절히 재배치 함으로서 효

\* 성회원·다산건설엔지니어링 구조부, 상무

\*\* 다산건설엔지니어링 구조부, 이사

\*\*\* 다산건설엔지니어링 구조부, 부장

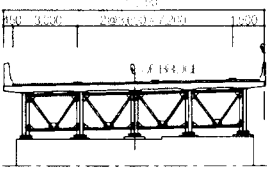
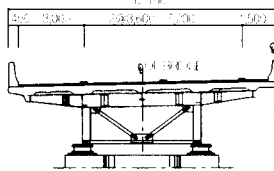
율적으로 강재를 사용함이 특징이라 할 수 있다. 이로 인하여 전체적으로 용접개소 및 부재갯수가 현저히 줄어들게 되고 구조를 단순화함으로써 제작, 가설 및 유지관리가 용이하고 상부구조가 간결하여 미관이 우수한 교량형식이다. 또한 외측주형 간격이 작게되어 하부구조 규모를 작게함으로서 경제적인 설계가 가능하였고 소수주형의 개념에 단순화 합리화 개념을 도입하여 주형수

절감에 따른 효과를 배가시키도록 검토 적용하였다. 표 1은 일반 판형교와 소수주형 판형교의 특징대비표이다.

### 2.2 교량형식 선정배경

종래 강교의 설계개념은 강재중량의 최소화가 경제적이란 개념에 의해 얇은 강재를 용접에

표 1 소수주형 판형교의 특징

항목	일반 판형교		소수주형 판형교	
단면도				
주형수	<많음>	2, 3차선 교량기준으로 5~7개로 주형수가 많음.	<적음>	주형의 갯수를 2~3개로 제한하여 가설이 간단하고 강관이 수려함.
강관두께	<얇음>	얇은 강관을 사용한 강성이 작은 주형을 여러개 사용하여 전체 강성을 확보하였으며 집중하중의 영향으로 비경제적인 설계가 됨.	<두꺼움>	주형수를 줄여 하중을 주형에 효과적으로 분배하는 대신 소수화된 주형의 강관두께를 두껍게 하여 전체 강성을 확보.
강종	<일반강재>	주부재 강도는 SWS490 부부재 강도는 SWS400을 사용하여 일반적인 강재를 사용하였으나 난위강재 중량에 대한 강성이 작음.	<고장력강>	고강도 강재를 사용함으로써 구조물 중량을 감소시켜 강재의 사용 효율 및 내구성을 극대화하고 형고를 낮추어 미관 개선
용접	<복잡>	주형의 맞댐용접으로 품질관리가 어렵고 주형갯수가 많아 용접개소수 및 연장이 길어져 시공성이 떨어짐.	<단순>	주형의 맞댐용접이 없고 이음부위에서 채움관에 의해 플랜지 두께를 변화시켰으므로 품질관리가 쉽다. 주형 및 부재갯수가 적어 용접개소수 및 연장이 일반 판형교에 비해 50%이하로 작업이 단순하고 시공성이 좋음.
품질관리 및 유지보수	<보통>	부재수 및 용접개소수가 많아 품질관리 및 유지관리가 어려움	<양호>	재수 및 용접개소수가 적어 품질관리 및 유지관리가 쉬움.
경제성	<불량>	강재 사용량 및 제작비가 높아 경제성이 불량함.	<우수>	강재사용량 및 제작비가 낮아 경제성이 우수함.
가설	<불량>	부재수가 많아 가설에 장시간을 요하며 시공성이 불량함.	<우수>	가설 부재수가 작아(약30%) 시공성이 우수하고 가설시간이 짧아 공기단축을 요하는 공사에 적합함.
미관	<보통>	주형수가 많고 하부구조 규모가 커서 미관이 불량함.	<우수>	주형수가 작고 하부구조규모가 작아 미관이 우수함.

의해 두께 변화를 주어 적정단면으로 설계하였기 때문에 얇은 강재로 제작이 가능한 S.T Box Girder교나 S.T Plate Girder교가 선호되었고 후판의 생산 및 용접에 대한 불신으로 보통 강재로 제작이 가능한 다주형 교량형식이 선호되어 왔으나 인건비 상승으로 재료비 비중이 줄어들면서

용접 및 부재수가 적게되는 단순화, 합리화 개념을 도입하여 제작, 가설, 유지관리, 경제성이 우수한 형식인 소수주형 관형교의 도입이 필요하게 되었다. 본 설계에 적용된 소수주형 관형교의 해외사례 및 국내 적용계획을 표 2, 표 3에 나타내었다.

표 2 해외 가설사례

교량명	연장 (m)	최대지간 (m)	폭원 (m)	비고
Nordbrücke교 (스위스)	332	83	10.30	2주형 (Bolt 이음)
Melk교 (오스트리아)	274	79	8.10	2주형 (용접이음)
호로나이천교 (일본)	106	53	11.40	2주형 (Bolt 이음)
동해대부고가교 (일본)	483	71	15.50	3주형 (용접 이음)
신급사고가교 (일본)	165	35	10.00	2주형 (Bolt 이음)
토치기천교 (일본)	160	40	-	2주형 (Bolt 이음)
금성제2고가교 (일본)	214	60	-	3주형 (Bolt 이음)

표 3 국내 적용계획

교량명	연장 (m)	최대지간 (m)	폭원 (m)	비고
박사천교	640	40m	12.15	2주형
청통IC교	80	40m	15.75 12.15	3주형 2주형
석촌교	950	52.5m	12.15	2주형
삼부천교	110	55m	15.75	3주형
청통천교	100	50m	13.67 12.04	2주형 2주형
소월교	45	45m	15.6	3주형
계	1925	40~55m	12.15~15.65	2,3주형

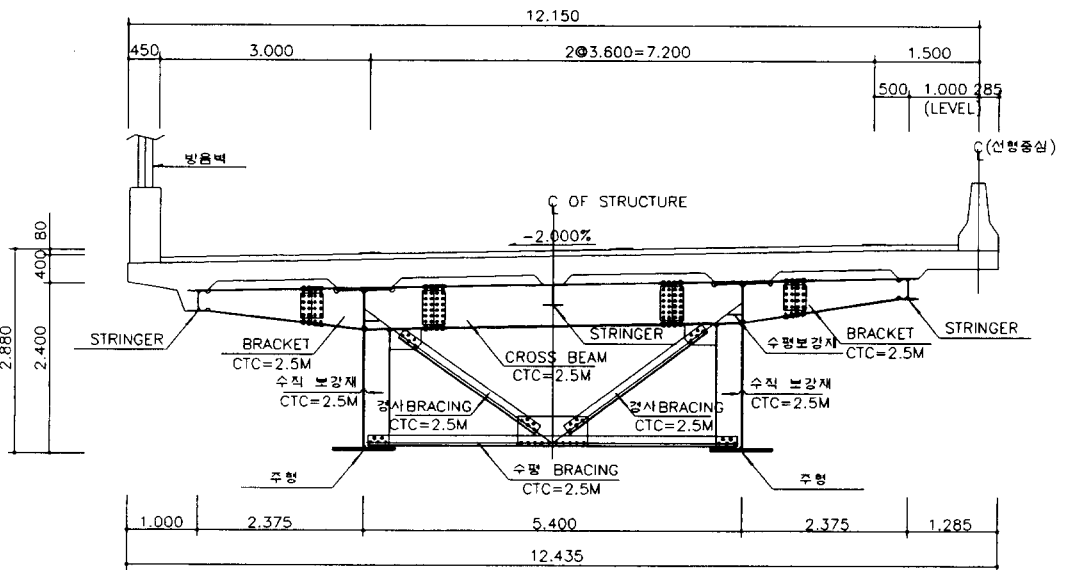


그림 1 본 설계에 적용된 소수주형 관형교의 표준단면(2주형)

### 2.3 국내적용시 현재까지의 장애요인

• 얇은 강재의 선호

현재까지 강교량의 설계개념은 교량 전체 강중량의 최소화가 경제적이란 개념으로 일반구조용 강재중 8~38mm의 두께로 제작 가능한 S.T BOX GIRDER교나 S.T PLATE GIRDER교가 선호됨.

• 외국에 비해 저렴했던 제작비

특히 위의 교량들은 복잡한 제작 및 시공과정에도 불구하고 상대적으로 저렴한 노무비와 지금까지 시공경험을 바탕으로 지속적으로 적용됨.

• 후판의 품질에 대한 불신

상대적으로 후판이라 불릴 수 있는 두께 40mm이상의 구조용 강재는 이전까지 강재 생산자체의 어려움과 품질보증, 특히 용접에 대한 불신으로 인하여 특수 형식의 교량 외에는 사용되지 않아 제작 및 가설공정의 유리함에도 불구하고 국내의 중·소 교량에서는 사용이 제한되어 후판을 사용한 교량의 발전은 미미한 실정임.

### 2.4 향후 전망

현재에 이르러서는 강판의 제작기술이 계속 발전되고(현재 두께 120mm의 구조용 강재가 자체 생산되고 두께 증가에 따른 강도저감이 없는 가속냉각형 강판도 80mm까지 생산) 후판 용접에 대한 품질보증 및 용접기술의 발달로 상부구조를 단순화함으로써 현장에서의 연결작업을 최소화하고 제작, 가설공정의 단순화로 노무비 절감, 생산성 향상은 물론 미관이 우수하고 유지관리가 용이한 후판을 사용한 소수주형 판형교의 건설이 국내에서도 보편화될 것으로 사료됨.

### 2.5 설계시 주요착안사항

국내 적용 계획교량의 최대지간이 40~55m로 해외사례 교량의 최대지간 40~83m 이내에 있고 폭원도 유사하므로 타당한 것으로 판단되나, 기존 설계되던 일반 판형교와 대비하여 상이한 점을 중점검토함으로써 신교량 형식 도입에 따른 문제점을 사전에 발견설계에 반영하였다.

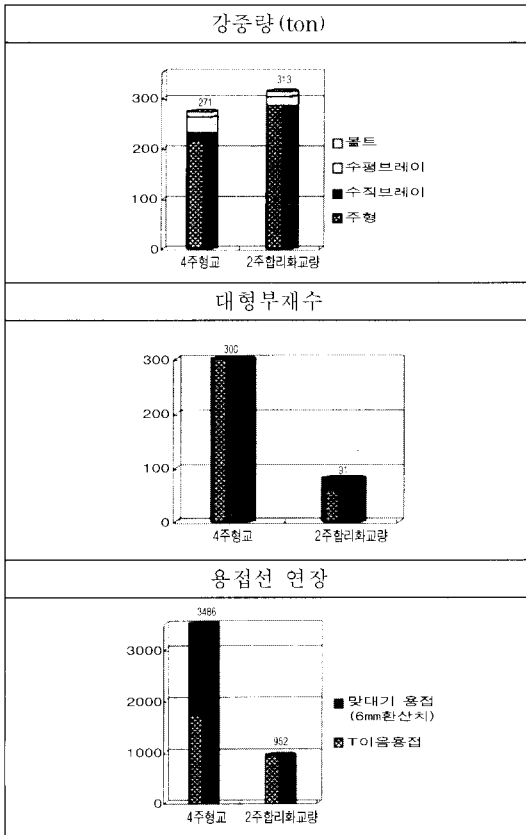
표 2 설계시 주요 착안 사항

특징	설계시 대책	비고
• 고강도강재(SM570) 후판의 적용(최대 50mm)	• 현재 POSCO에서 생산되고 있음. (SM570으로 두께 100mm까지)	영종대교, 서해대교, 광안대교에 적용계획중
• 고강도 후판의 연결	• 고강도 후판의 용접을 완전매체하고 볼트연결을 적용	서해대교 적용
• 주부재 연결시 채움판(Filler)의 적용	• 부재두께 변화를 SPLICE 위치에서 채움판으로 함(도로교시방서 적용)	서해대교 적용
• 수평브레이싱 없음	• 브라켓을 이용한 RIGID FRAME구조로 수평브레이싱이 있는 일반 판형교보다 횡방향 강성 우수	외국 소수주형 판형교에도 모두 생략
• 비틀림(TORSION)강성이 작음	• 수직 브레이싱으로 비틀림에 저항 • 선형이 우수한 교량에만 적용(최소반경 R=4,160m)	외국에는 곡선교에도 적용
• EXP부 브라켓의 수평 SHEAR LAG 현상으로 인한 찌그러짐	• FEM해석을 통하여 확인하였으며 대각선 부재를 시·중점부에 보강	-
• 교강(SM570)과 보통강(SM490)의 용접이음	• FEM해석을 통해 용접부재의 강종차이 영향을 검토 강종등급 차이를 줄임.(GUSSET PLATE SM490→SM570)	-
• 주형간격 증가에 따른 슬래브 두께 증가	• 종방향 STRINGER를 설치하여 일반적인 스테브로 교안	-

2.6 경제성 검토

일반 판형교와 소수주형 판형교의 특성은 전항에서 언급하였으므로 본 항에서는 경제적인 관점에서 비교 검토하였다.

2.6.1 외국의 검토사례 (호로나이천교, L=2@53.5=107.0m, 일본)



일반판형교보다 강재증량이 10~20% 증가되나 부재수 및 용접부위의 현격한 감소로 상부공에서만 약 15%정도 공사비가 절감되는 것으로 보고되었다.

2.6.2 국내적용 검토

국내에서는 아직 소수주형 판형교가 설계·시공된 예가 없으므로 직접적인 비교가 어려우나

최근 (1996년 이후) 설계된 일반 판형교와 소수주형 판형교의 강중 및 주요부재수, 가설시 인양·조립 SEG 수 등을 검토한 결과 약 10% 이상이 절감되는 것으로 평가된다. (8@40=320m, B=12.5m 기준)

(1) 대형부재수

구분	일반 판형교	소수주형 판형교	
총 톤 수	895~1,050ton (230~270kg/m <sup>2</sup> )	940ton (240kg/m <sup>2</sup> )	
부재수	주형	750	192
	수직 보강재	1706	256
	수평 보강재	1706	256
	가로보 및 브라켓	1664	1152
	스트링거	—	288
	수직 브레이싱	512	384
수	수평 브레이싱	640	—
	계	6978 <sup>EA</sup> (100%)	2528 <sup>EA</sup> (27%)

(2) 소형부재수

구분	일반 판형교	소수주형 판형교
주형	250	64
가로보 (브라켓) + 스트링거	288	96
브레이싱	1152	384
계	1690 <sup>EA</sup> (100%)	544 <sup>EA</sup> (32%)

(3) 인양·조립 SEG 수

구분	일반 판형교	소수주형 판형교	
거셋판	수평	640	384
	수직	768	—
	계	1408 <sup>EA</sup> (100%)	384 <sup>EA</sup> (27%)

2.7 구조검토

2.7.1 상부구조의 유한요소해석

본 교량의 실제 구조계를 이상화하기 위해서 일반 판형교와 같이 6자유도를 갖는 보요소를 사용하여 구조해석을 실시하였으며 구조해석의 정밀도 검증을 위하여 전체교량을 세부적으로 쪼뉘

유사한 요소를 사용하여 해석을 수행함으로써 보 요소에 의한 3차원 해석결과와 비교 검토를 행하였다. 여기서 사용된 방법은 범용구조해석 프로그램인 SAP2000을 사용하여 판형을 shell 요소로, 슬래브를 solid 요소로 브레이싱을 frame 요소로

구성하여 보다 실제 구조물에 유사하도록 modelling 하여 검토를 수행하였다.

이상과 같이 검토결과 대부분의 부재들이 frame 요소의 해석에 의하여 결정된 단면으로도 허용치 이내임을 알 수 있었으나 교량 단부 bracket 및 gusset plate 부위가 교축방향으로 응력이 초과하는 구간이 발생하여 상세부 검토를 수행하였다.

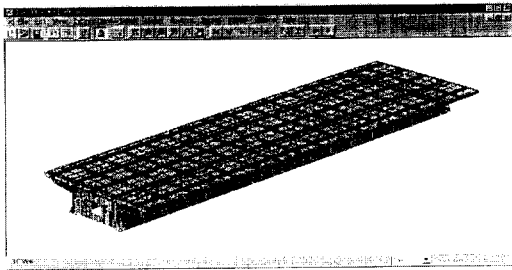


그림 2 해석 모델링

2.7.2 교량 시·중점부 보강

교량의 시·중점부는 전단력이 큰 지점으로 주형에 휨변형이 발생시 주형의 도심축과 스트링거의 도심축이 연직방향으로 차이가 남으로 인하여 스트링거의 변형율이 주형상부의 변형율과 같아 질려고 하는 움직임을 보이게 된다. 이 때 주형과 스트링거의 일체화하는 역할은 브라켓과 크로스빔이 수행하게 되고 스트링거에 주형상부의 변

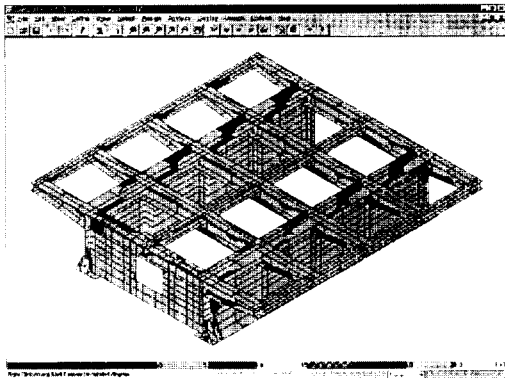


그림 3 지점부 해석결과

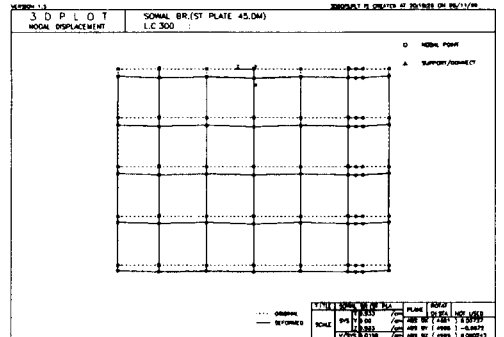


그림 5 사보강전 변형도

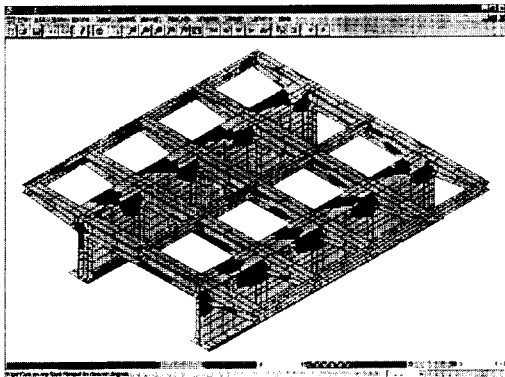


그림 4 지간부 해석결과

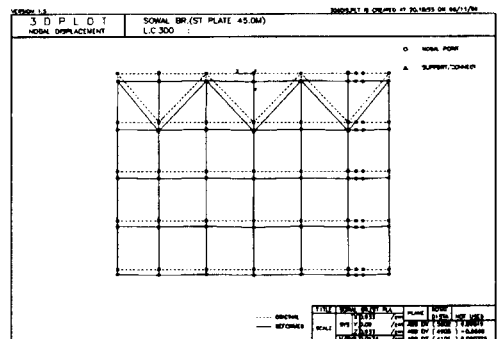


그림 6 사보강후 변형도

형상을 전달하는 과정에 브라켓과 크로스빔에는 면외방향으로 큰 외력이 전달되게 된다. 최초 설계시에 이러한 이론에 바탕을 두고 단부 브라켓 및 크로스빔의 단면을 보강하여 사보강재를 배치하지 않고 안정검토를 수행하였으나 부재력이 크게 발생하여 단면보강보다는 사방향 보강이 경제적이고 안정적이라는 결론을 얻을 수 있었고 frame 요소 및 shell 요소 해석에서 각각 그 결과를 확인할 수 있었다.

대상교량은 총6개 교량중 지간이 45m인 단경간교로 시·중점부 처짐각이 가장 커서 변형이 큰 소월교를 선택하였으며 합성응력 검토결과 최대 0.63으로 허용치 1.2에 대비 우수한 안정성을 갖도록 하였으며 보강도면은 아래와 같다(그림 7).

### 2. 7. 3 Gusset Plate 검토

gusset plate는 flange 축응력과 cross beam 및 bracket의 응력이 직교하는 부재로서 응력흐름의 예측이 곤란하여 판요소를 사용하여 정밀 검토하였다.

모델링은 주형의 상부플랜지와 cross beam, bracket의 상부 플랜지만을 고려하였으며 단면해석에 의해 산정된 플랜지의 응력을 절점하중으로

변환하여 입력하였다. 요소의 구역은 절점하중으로 외력이 입력되는 것을 고려하여 등분포 응력으로 작용하도록 플랜지폭의 2.5배를 취하였다. 기본 가정은 gusset plate 강종을 주부재(SM570)보다 낮게(SM490) 적용하고 응력의 집중으로 인해 증가되는 응력에 비례하여 gusset plate 두께를 보강하여 발생응력을 감소시킴으로서 안전도를 확보하려 하였으나 판두께를 증가시킬수록 응력 집중이 심화됨을 알 수 있었다.

이는 gusset plate의 강성이 클수록 주형 flange에 구속작용이 강하게 되어 응력집중이 되는 것으로 판단된다. 따라서 본 설계에서는 주형과 gusset plate의 강종을 같도록 하고 gusset plate의 두께를 얇게 함으로서 응력집중을 피하고 높아진 허용응력으로 안정성을 만족시키는 것이 적절한 방법이라 결론짓고 설계에 반영하였다.

### 3. 결 론

하중작용시 역할을 하지 않는 부재를 감소시키려는 점에 착안하여 시도된 소수주형 판형교와 시공성 개선을 위해 도입한 단순화 합리화 개념

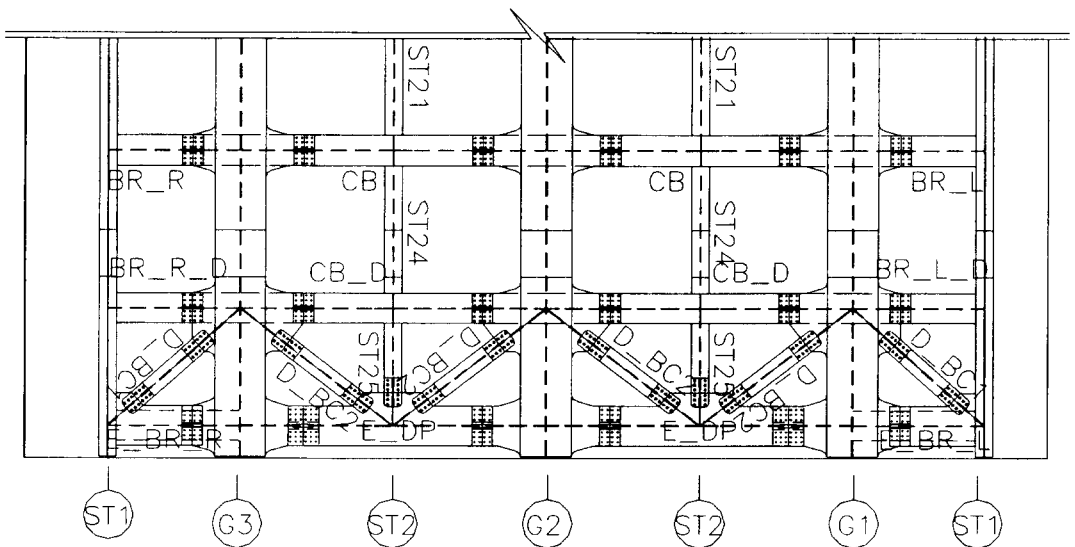


그림 7 시·중점부 평면도

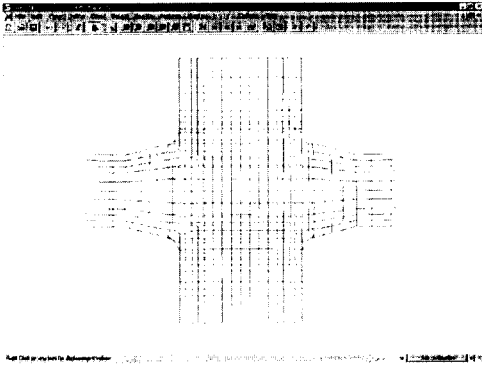


그림 8 변형도

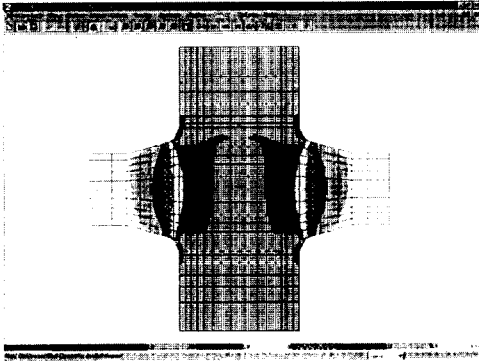


그림 9 응력도

으로 교량의 경제성이 개선되어 비교적 적은 비용으로도 우수한 품질의 교량건설이 가능케 되었다. 또한 국내 강관제작기술이 발달되어 고강도 후판의 생산이 가능케 됨으로서 제작 및 가설공정이 단순하고 유지관리가 용이하며 미관이 우수한 소수주형 판형교의 적용성을 확대시켜 향후 본 형식의 교량건설이 증가할 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

1. 도로교 표준시방서, 건설교통부, 1996
2. 강도로교 상세부설계지침, 건설교통부, 1996
3. Bridge Welding, Code American Welding Society
4. 프랑스鋼·콘크리트合成2主桁橋梁의設計指針, 橋梁と基礎, 1995
5. PC床版2主桁橋「ホロナイ川橋」의設計および解析·試驗檢討, 橋梁と基礎, 1996
6. 롱크 라이프브리징への道, 橋梁と基礎, 1997 