공학석사 학위논문

소수주형교 용접이음부 응력해석에 관한 연구

이 논문을 [illegible] 제출함.

2006년 2월

부경대학교 대학원

토목공학과

구 민 철

구민철의 공학석사 학위논문을 인준함

2006년 2월 24일

주 심 공학박사 국 승 규

위 원 공학박사 이 환 우

위 원 공학박사 이 동 욱

목 차

그림 목차 iii

표 목차 iv

ABSTRACT v

1. 서 론 1

2. 소수주형교의 특징 3

2.1 I형 플레이트 거더교의 손상 3

2.2 I형 플레이트 거더교와 소수주형교의 비교 7

2.3 소수주형교 설계시 주의사항 16

3. 가로보 간격과 플랜지 응력 17

3.1 대상교량 제원 및 재하하중 17

3.1.1 대상교량의 제원 17

3.1.2 재하하중 18

3.2 가로보 간격과 응력해석 21

3.2.1 모델링 21

3.2.2 응력해석 결과 22

4. 용접이음부 응력해석 26

4.1 하부플랜지와 수직보강재 용접이음부 응력해석 26

4.2 하부플랜지와 수직보강재 용접이음부 해석결과 · · · · · · 29
4.3 하부플랜지와 주형웨브 용접이음부 응력해석 · · · · · · 31
4.4 하부플랜지와 주형웨브 용접이음부 해석결과 · · · · · · 33
4.5 고찰 · 38

5.결론 · 39

참고문헌 · 40

감사의 글 · 43

그림 목차

그림 2.1 주형의 수직보강재에 가로보가 연결된 구조(타입 I)
그림 2.2 주형에 knee 브레이싱 부착 후 가로보가 연결된 구조(타입 II)
그림 2.3 판형교의 종류
그림 2.4 2주형교와 다주형 판형교의 비교
그림 2.5 강교량 형식별 비교
그림 2.6 강교량 형식별 공사비 비교
그림 3.1 대상교량의 지간구성
그림 3.2 대상교량의 폭원
그림 3.3 합성전 사하중
그림 3.4 합성후 사하중
그림 3.5 DL-하중에 의한 활하중 재하
그림 3.6 전체 해석모델링 형상
그림 3.7 가로보 간격별 응력분포 상태
그림 3.8 가로보 간격별 하부플랜지 최대응력
그림 4.1 전체 모델 형상
그림 4.2 용접이음부 모델 형상
그림 4.3 하부플랜지와 수직보강재 용접이음 형태별 응력분포 상태
그림 4.4 용접이음별 하부플랜지 최대응력
그림 4.5 해석 모델링 형상 및 홈용입필렛용접이음 실시 길이
그림 4.6 하부플랜지와 주형웨브 용접이음별 응력분포 상태
그림 4.7 하부플랜지와 주형웨브 용접이음별 최대응력

표 목차

표 2.1 I형 플레이트 거더교와 소수주형교의 구조적 차이

표 2.2 각 교량 형식별 단위면적당 강재량 비교

표 2.3 각 교량 형식별 부재수 및 용접량

표 2.4 비교대상 교량의 제원

표 2.5 교량별 상부물량 비교

표 2.6 교량별 상부 공사비 비교

표 2.7 소수주형교 설계시 주의사항

표 3.1 가로보 간격별 하부플랜지 최대응력

표 4.1 하부플랜지와 주형웨브 용접이음별 하부플랜지 응력

A Study on the Stress Analysis of Welded Joints in Few Member Plate Girder Bridge

Min-Cheal Gu

Department of Civil Engineering, Graduate School of Industry, Pukyong National University

ABSTRACT

A study on the evaluation of the proper spacing of cross beams in few member plate girder bridge without lateral and sway bracing system was performed and also performed to evaluate the influence of the welded joints type.

For the purpose, a two-lane 60m simple span with two girder were designed. Parametric studies are performed to show the influence of the parameters on the stress concentration at the connection between web and lower flange for FEM-analysis used full-seated test specimen. The parameters include fillet welding and full penetration welding. Based on the two phase analysis, space and welded joints in few member plate girder bridge were proposed

This study results show that cross beam spacing 6m are suitable for the structure and the fillet welding occurs excessive stress concentrations at the welded joint.

1. 서 론

소수주형교는 다수의 I형 주형을 병렬로 배치하고 얇은 강판을 사용하는 일반적인 판형교와는 달리 후판에 고강도 강재를 사용하여 주형의 개수를 최소화한 교량이다. 또한 기존 판형교에서 응력의 작용이 미약했던 강재를 생략하여 합리화 시킨 교량으로서, 최근에 건설되는 교량의 경우 시공, 제작, 가설·설치, 유지관리, 미관, 경제성 등을 고려하여 소수주형교로 설계하는 경우가 증가하고 있다[1)~6)]. 이러한 소수주형교의 설계 및 시공사례가 증가하면서 건설비용을 고려하여 소수주형교의 합리화·단순화가 진행되고 있는 추세이다. 소수주형교의 합리화 및 단순화의 방안으로 주형의 수를 감소시키거나 수직 및 수평보강재의 생략 등을 들 수 있다[1)~3)]. 즉, 단순한 구조형태를 가진 교량시스템은 복잡한 응력상태와 응력집중을 일으키는 부재의 교차지점을 감소시킬 수 있으므로 피로손상을 최소화하고 도장면적의 감소, 가설·설치 및 유지관리가 용이한 장점이 있다.

하지만 국내 도로교 설계기준에서는 풍하중, 지진하중 등의 수평력에 저항하기 위해 수평 및 수직보강재를 반드시 설치하도록 규정하고 있고, 이때 수직보강재의 간격은 6m 이내로 제한하고 있다[7), 8)]. 또한 바닥판이 3개 이상의 주형으로 지지되는 경우 가로보를 20m 이내로 설치하도록 규정하고 있으나 2개의 주형으로 지지되는 소수주형교의 경우는 특별한 규정이 없는 실정이다[7), 8)]. 그러나 최근의 연구결과에 의하면 수평 및 수직보강재를 생략하고 가로보만을 설치하여도 교량의 전체 거동에는 큰 차이가 없는 것으로 발표되고 있다[9)~14)]. 이러한 보강재의 생략으로 인해 하중이 주형과 가로보만으로 분배되기 때문에 주형 뿐만 아니라 가로보의 배치간격이 중요한 역할을 하게 된다. 또한 가로보의 배치뿐만 아니라 주형웨브의 용접이음의 형태, 수직보강재 용접이음의 형태에 따라 주형 및 가로보의 응력에 크게 영향을 미치게 된다.

본 연구에서는 수평 및 수직보강재를 생략하고 각 주형사이는 가로보만으로 연결된 2주형 판형교에 대해 가로보의 적정 배치간격을 선정한 후, 하부플랜지와 수직보강재 및 하부플랜지와 주형 웨브의 용접이음부에 따른 응력거동상태를 유한요소법에 의한 응력해석을 통해 비교·검토하였다. 응력해석의 인자는 가로보 간격을 5m, 6m, 10m, 30m 및 중간에 가로보가 없을 때 하부플랜지의 응력, 하부플랜지와 수직보강재의 용접이음부를 필렛용접 또는 홈용입필렛용접으로 실시하였을 경우 하부플랜지의 응력, 하부플랜지와 주형웨브의 용접이음부을 필렛용접 또는 홈용입필렛용접, 하부플랜지와 주형웨브의 중앙부 2.0, 4.0, 6.0m를 홈용입필렛용접으로 실시하였을 때 하부플랜지의 응력거동 상태를 비교·검토하였다.

2. 소수주형교의 특징

2.1 I형 플레이트 거더교의 손상

종래부터 I형 플레이트 거더교는 국내·외에서 많이 건설되었으며 피로손상사례도 많이 보고되어 있다. I형 플레이트 거더교에서 손상이 발생하는 부위는 다음과 같다[15)~19)].

1) 주형과 가로보 및 수직보강재의 연결부

그림 2.1은 I형 플레이트 거더교에서 주형의 수직보강재에 직접 가로보가 연결된 구조(타입 Ⅰ) 및 상세부(A)에서 발생하는 피로균열을, 그림 2.2는 주형에 knee 브레이싱 부착 후 수직보강재에 가로보가 연결된 구조(타입 Ⅱ) 및 상세부(B)에서 발생하는 피로균열을 각각 나타낸다. 그림 2.1의 상세부(A)에서 균열발생부①은 상부플랜지와 수직보강재의 돌림용접부에서 균열이 진전하는 형상을 나타낸 것으로 이 부위에서 피로손상이 가장 많다. 균열발생부②는 웨브 스켈럽에서 균열이 진전하는 형태, 균열발생부③은 주형웨브와 플랜지의 필렛용접이음의 토우부에서 크랙이 발생하는 형상을 나타낸다. 그림 2.2의 상세부(B)에서 균열발생부①은 상부플랜지와 knee 브레이싱의 돌림용접부에서 균열이 진전하는 형상을 나타낸 것으로 이 부위에서 피로손상이 가장 많다. 균열발생부②는 웨브 스켈럽에서 균열이 진전하는 형태를 나타낸다. 이상과 같은 피로손상은 다음의 2가지 주 요인으로 인해 균열이 발생한다.

(1) 륜하중에 의한 상판의 처짐 영향

교량상에서 주형사이에 활하중이 재하하면 상판에 처짐이 생긴다. 상판의 처짐에 의한 주형의 면외방향 변위 또는 회전은 가로보 및 브레이싱에 의해 구속된다. 따라서 상판의 처짐에 의해 생기는 변형은 주형의 플랜지와 가로보 및 브레이싱이 연결되는 좁은 영역에 집중하고 보강재 혹은 종리

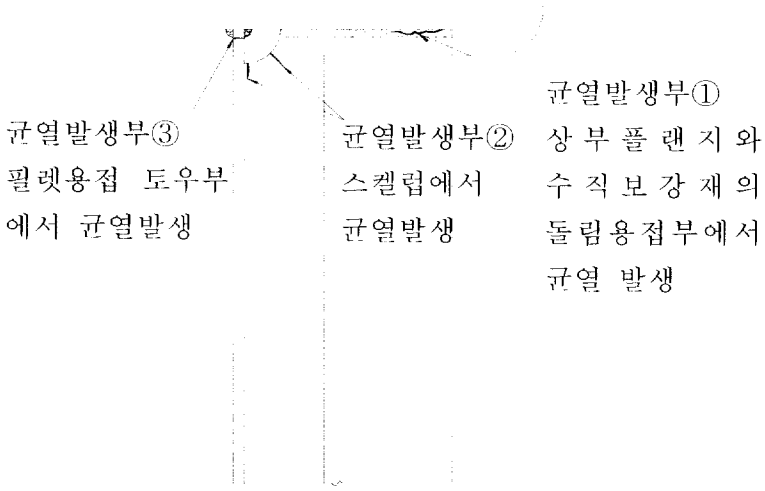
브에 응력이 집중된다[20)~21)].

(2) 가로보 및 브레이싱에 의한 하중분배의 영향

활하중 재하에 의해 주형사이에 처짐의 차이가 발생하면 가로보 혹은 브레이싱에 의해 인접한 주형에 하중이 분배된다. 주형과 가로보 및 브레이싱의 접합부 및 연결부의 강도가 부재의 편심, 가로보의 처짐 및 지점침하등의 2차응력에 대해서는 강도가 부족하게 된다. 이러한 손상에 대해 현재의 보수·보강법으로 보강재 및 리브플레이트의 판두께를 증가시켜 강성을 높이며, 또 필렛용접의 토우부를 TIG용접에 의해 국부적으로 처리하는 방법이 있다[23)].

이상과 같이 다주형 I형 플레이트 거더교는 상부플랜지와 수직보강재 및 knee 브레이싱이 부착된 이음부에 피로균열이 발생한다. 즉 주형의 연결부 및 부부재의 용접이음부에서 피로균열이 발생하므로 피로손상의 방지를 위해 주형의 개수를 최소화하고 응력의 작용이 미미한 부재를 최대한 생략하는 것이 필요하다.

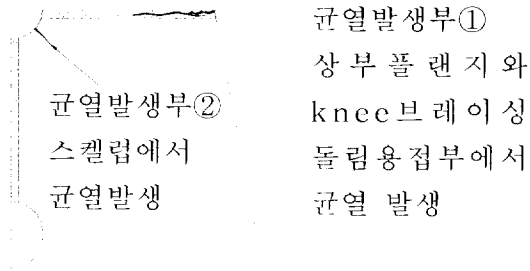
(a) 주형과 가로보의 접합구조



(b) 상세부(A)

그림 2.1 주형의 수직보강재에 가로보가 연결된 구조(타입 Ⅰ)

(a) 주형과 가로보의 접합구조



(b) 상세부(B)

그림 2.2 주형에 knee 브레이싱 부착 후 가로보가 연결된 구조(타입 II)

2.2 I형 플레이트 거더교와 소수주형교의 비교

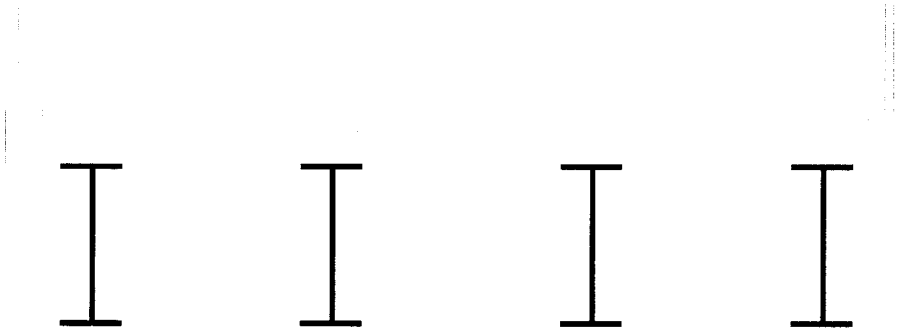
1) 구조적 차이

소수주형교는 다수의 I형 주형 대신 고강도의 초후판강재를 사용하여 주형의 개수를 최소화하여 용접개소 및 부재수를 현저히 줄이고 구조를 단순화함으로서 제작, 가설 및 유지관리가 용이하고 미관이 우수한 교량형식이다. 결과적으로 다수의 주형이 차지하는 폭을 작게하여 하부구조 규모를 작게함으로써 하부구조에서도 경제적인 시공이 가능하다. 한편 소수주형교의 부재는 주형웨브, 상·하부플랜지, 가로보, 세로보, 수직보강재, 수평 보강재 등이 있으나 최근 합리화 교량의 도입으로 세로보, 수직보강재, 수평보강재를 생략하는 대신 상대적으로 큰 가로보를 적정 간격으로 사용하여 전체 구조의 단순화를 도모하고 있다[1)~4),12)]. 표 2.1은 I형 플레이트 거더교와 소수주형교 구조의 차이를 나타낸다.

표 2.1 I형 플레이트 거더교와 소수주형교의 구조적 차이

I형 플레이트 거더교	소 수 주 형 교
· 중간 브레이싱 - 주거더의 전도 방지 - 주거더 상대변위 억제 - 하중분배에 기여 · 단부 브레이싱 - 비틀림 변형구속 - 상현재는 유하중 지지 · 수평 브레이싱 - 수평하중을 지점까지 전달 횡방향 진동방지	· 강성이 큰 가로보 설치 주형과 바닥판의 구속효과 - 가설시 수평하중을 지점에 전달 - 주거더 전도 및 상대변위 억제

이러한 차이를 가지고 있는 I형 플레이트 거더교 및 소수주형교의 경우 교량의 폭이나 지간 등의 조건에 따라서 다양한 형식으로 설계될 수 있으며, 그림 2.3 a)는 I형 플레이트 거더교의 형식을, 그림 2.3 b)는 소수주형교의 형식을 각각 나타낸다[24)~26)]. 일반적으로 I형 플레이트 거더교는 형고를 낮게 할 수 있는 장점이 있으나, 소형 부재들이 많고 주형이 교량 폭 전체에 걸쳐 위치하므로 교각이 커지게 되는 등 고정하중이 증가한다. 한편 소수주형교의 경우 주형이 2~3개이므로 미관상 유리하며, I형 플레이트 거더교에 비해 부재수가 현저히 줄어들게 되어 제작 및 유지관리도 간편하여 경제적인 시공이 된다.



a) I형 플레이트 거더교

b) 소수주형교

그림 2.3 판형교의 종류

2) 소수주형교와 다주형 판형교의 강재량 비교

판형교의 설계에서 주형 개수는 여러 가지 설계 변수에 의해서 최적의 개수가 결정되기 때문에 명확한 개수를 결정하기가 쉽지 않다. 그러나 제작 및 시공의 측면에서는 주형 개수를 최소화하는 것이 바람직하며, 이때 형하고에 제한이 없고, 외관상의 문제점이 없는 경우 주형의 높이 증가는 별다른 문제가 되지 않는다. 표 2.2에서는 2주형~5주형 및 강상자형 교량에 사용된 강재의 양을 단위면적당 강재량으로 비교하였으며, 표 2.3은 설계조건이 비슷한 2주형교, 5주형교 및 강상자형교 교량형식에 대하여 주부재수, 부부재수 및 용접량을 비교한 예를 나타낸다[1), 3)].

표 2.2 각 교량 형식별 단위면적당 강재량 비교

형 식	교 폭(m)	경간수(ea)	사용강재량(kg/m^2)
2주형교	12.15	3	약 160
3주형교	9.70	3	약 180
4주형교	9.70	3	약 220
5주형교	12.15	3	약 240
강상자형교	12.14	3	약 350

표 2.3 각 교량 형식별 부재수 및 용접량

형 식	주부재수(ea/m^2)	부부재수(ea/m^2)	용접량(cm^3/m^2)
2주형교	0.086	0.324	1,042
5주형교	0.874	1.987	2,163
상자형교	0.251	2.614	15,869

표 2.2에서 알 수 있는 바와 같이 주형 개수의 증가에 따라 사용 강재량이 증가함을 알 수 있다. 또한, 표 2.3에서 알 수 있는 바와 같이 2주형교의 경우 기존의 판형교나 상자형교에 비하여 부재수나 용접량이 상당히 적음을 알 수 있으며, 이는 2주형교의 제작성 및 시공성이 탁월함을 알 수 있다. 그림 2.4에는 2주형교 및 다주형 판형교의 강재사용량, 주부재, 부부재수, 용접량, 도장면적의 비교를 나타내며, 그림에서 알 수 있는 바와 같이 2주형교가 다주형교에 비하여 강재사용량, 주부재수, 부부재수, 용접량, 도장면적이 월등히 감소함을 알 수 있다[6].

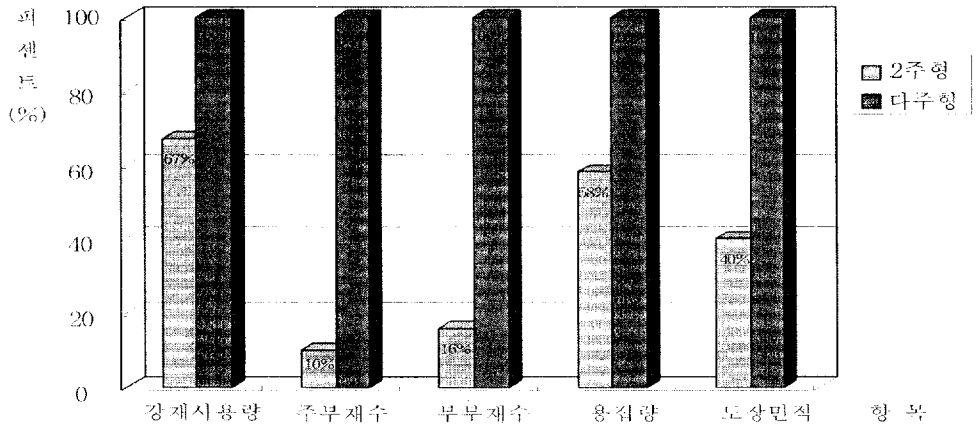


그림 2.4 2주형 판형교와 일반 판형교의 비교

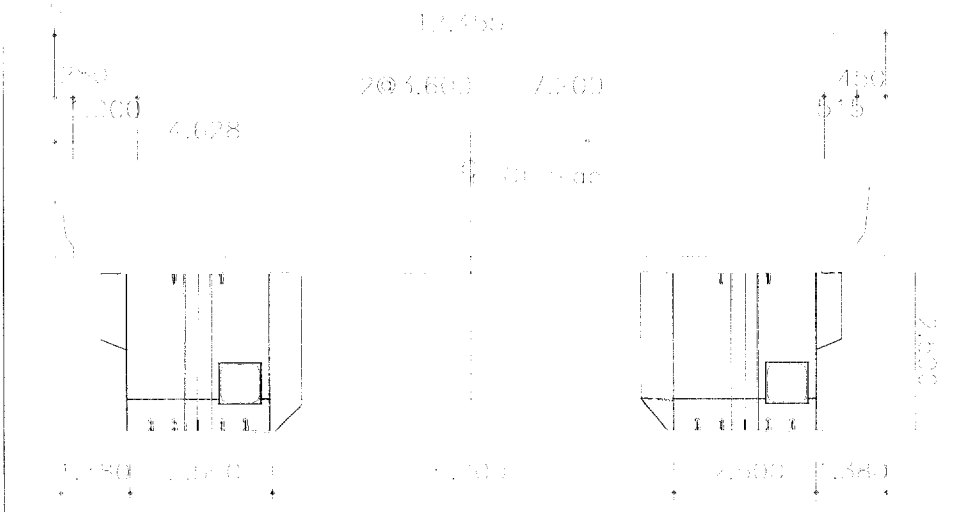
3) 교량 형식별 경제성 비교

교량폭이 거의 유사하고 지간길이 및 경간수가 동일한 교량에 대하여 경제성을 비교·검토하였다[4]. 표 2.4는 2002년 한국도로공사에서 발주한 16개 공구의 강교량에서 강박스교, 개구제형교, 다주형 판형교, 소수주형교의 제원을 나타낸다. 표 2.5에는 강박스교를 기준으로 하여 바닥판 콘크리트

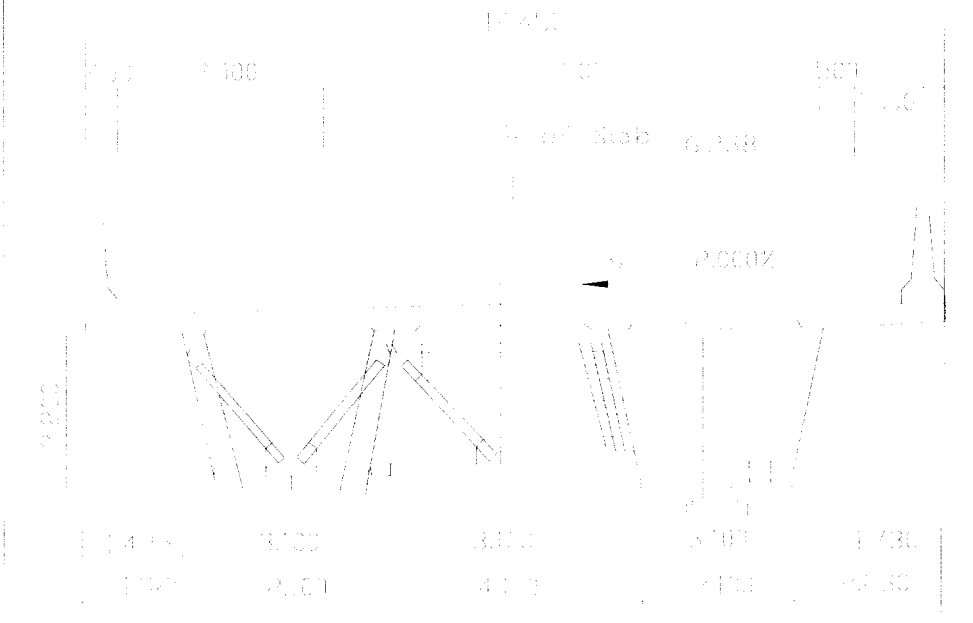
체적, 강재중량 및 도장면적등의 교량별 상부물량 비교를, 표 2.6에는 상부바닥판, 강교제작비, 도장비 및 총공사비등의 교량별 상부 공사비 비교를 각각 나타낸다. 또한 그림 2.5에는 강박스교를 기준으로 한 강교량 형식별 바닥판 콘크리트의 체적, 강재중량 및 도장면적의 비교를, 그림 2.6에는 강교량 형식별 바닥판 공사비, 강교제작비, 도장비 및 총공사비 비교를 각각 나타낸다. 그림 2.5에서 알 수 있는 바와 같이 바닥판 콘크리트의 체적을 제외하고는 소수주형교가 타 교량형식에 비해 적은 강재중량과 도장면적이 발생하고, 그림 2.6에서도 바닥판 공사비를 제외하고는 강교제작비, 도장비, 총 공사비등 모든 면에서 소수주형교가 높은 경제성을 나타내고 있음을 알 수 있다. 그러나 소수주형교의 상부바닥판 물량과 공사비가 나머지 교량형식에 비해 높은 이유는 소수주형교의 경우 주형간의 지간이 길어지므로 일반적으로 사용하는 RC바닥판 보다 시공비가 높은 PSC 바닥판을 사용하기 때문이다. 그러나 PSC 바닥판을 시공할 경우 PSC 바닥판의 내구성이 RC 바닥판에 비해 매우 높으므로 유지관리의 측면에서 보면 장기적으로는 PSC 바닥판이 유리함을 알 수 있다[3), 27)].

표 2.4 비교대상 교량의 제원

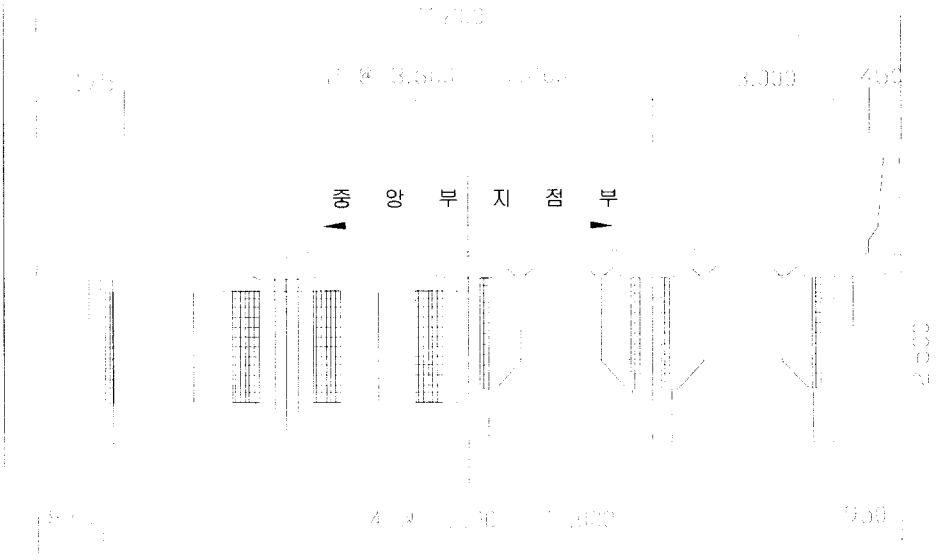
1) 강박스교(RC 바닥판, 40+50+40 = 130m, SM400, SM490)



2) 개구제형교(RC 바닥판, 40+50+40 = 130m, SM400, SM490)



3) 다주형판형교(RC 바닥판, 40+50+40 = 130m, SM400, SM490)



4) 소수주형교(PSC 바닥판, 40+50+40 = 130m, SM400, SM490, SM570)

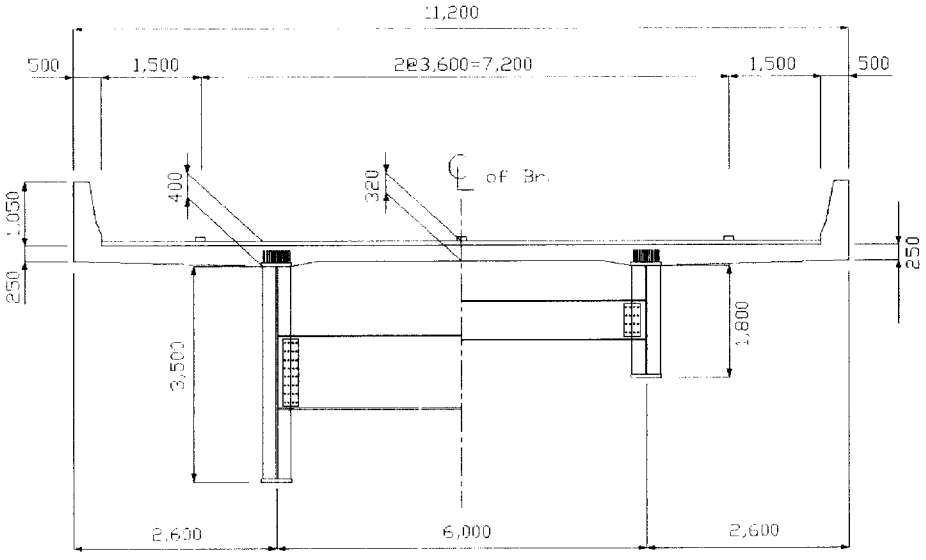


표 2.5 교량별 상부물량 비교

구 분	강박스교	개구제형교	다주형교	소수주형교
바닥판콘크리트 체적(m^3)	507(100%)	467(92%)	450(89%)	630(124%)
강재중량(kgf/m^2)	304(100%)	264(87%)	247(81%)	180(59%)
도장면적(m^2)	13,045(100%)	9,589(74%)	9,149(70%)	4,035(31%)

표 2.6 교량별 상부 공사비 비교

구 분	강박스교	개구제형교	다주형교	소수주형교
바닥판공사비(천원/m^2)	224(100%)	214(96%)	226(101%)	315(141%)
강교제작비(천원/m^2) (운반, 가설포함)	904(100%)	763(84%)	715(79%)	180(63%)
도 장 비(천원/m^2)	128(100%)	94(73%)	77(60%)	4,035(26%)
총공사비(천원/m^2)	1,256(100%)	1,071(85%)	1,017(81%)	916(73%)

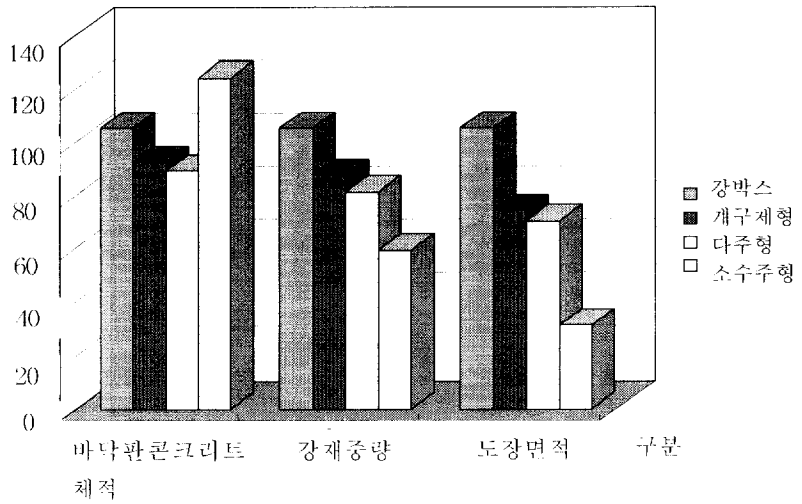


그림 2.5 강교량 형식별 비교

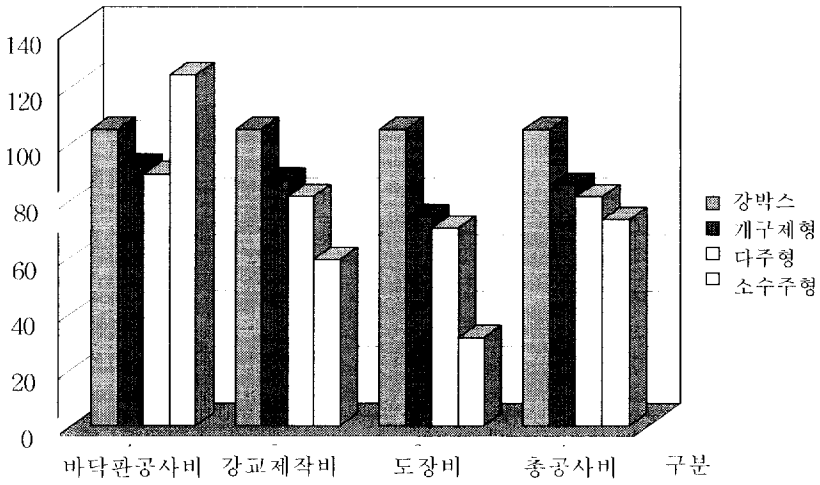


그림 2.6 강교량 형식별 공사비 비교

2.3 소수주형교 설계시 주의사항

소수주형교는 일반 판형교와 비교하여 고강도 후판의 강재를 사용하므로 설계 및 제작시 아래와 같은 사항을 주의하지 않으면 고강도강 취급과정에서 오히려 제작비용이 증가할 수 있다. 소수주형교 설계시 주의사항을 정리하면 표 2.7과 같다[28)~30)].

표 2.7 소수주형교 설계시 주의사항

특징	설계시 대책	비고
· 고강도강재(SM570) 후판의 적용(최대 50mm)	- 현재 SM570으로 100mm까지 생산	영종대교 서해대교
· 고강도 후판의 연결	- 고강도 후판의 용접을 완전 배재하고 볼트연결을 적용	서해대교
· 수평브레이싱 없음	- 브라켓을 이용한 구조로 수평브레이싱이 있는 일반 판형교와 비교 횡방향강성이 우수	외국 소수주형교 모두 생략
· 비틀림강성이 적음	- 수직브레이싱으로 비틀림에 저항 - 선형이 우수한 교량에만 적용(최소반경 R=4,160m)	외국에는 곡선교에도 적용
· 신축이음장치부 브라켓의 수평 Shear Lag 현상으로 찌그러짐	- FEM 해석후 브래이싱을 시·종점부에 보강	-
· 고강(SM570)과 보통강(SM490)의 용접이음	- 부부재와 용접시 강종등급의 차이를 줄임 (SM490 → SM520)	-
· 주형간격 증가에 따른 슬라브 두께 증가	- 종방향 스트링거를 설치	

3. 가로보의 간격과 플렌지 응력

소수주형교는 주형사이의 간격이 넓으므로 다주형 판형교에 비해 가로보가 하중의 횡분배에 기여하는 비율이 높다. 그러나 도로교 설계기준에서는 2개의 주형으로 지지되는 소수주형교의 경우 가로보 간격에 대한 특별한 규정이 없으므로 소수주형교에 고정하중 및 활하중 작용시 가로보의 간격에 따른 응력분배를 해석하기 위해 유한요소법에 의한 응력해석을 실시하여 하부플랜지의 응력해석을 통해 최적의 간격을 선정하였다.

3.1 대상교량의 제원 및 재하하중

3.1.1 대상교량의 제원

대상교량은 1등교, 왕복 2차선 교량으로 지간구성 및 폭원은 그림 3.1 및 그림 3.2와 같으며, 주부재 및 부부재의 강종은 SM520, 평면선형은 직선으로 하여, 가로보 간격을 5m, 6m, 10m, 30m 및 중간에 가로보가 없는 경우에 대해 하부플랜지 응력해석을 실시하였다.

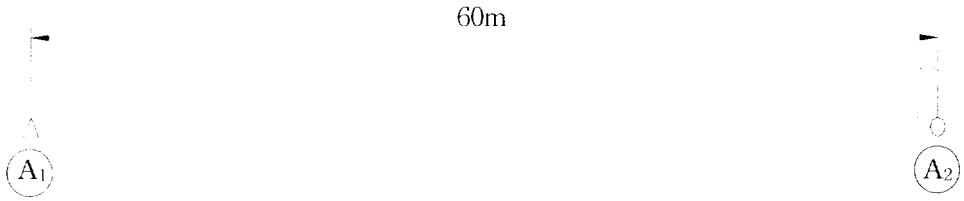


그림 3.1 대상교량의 지간구성

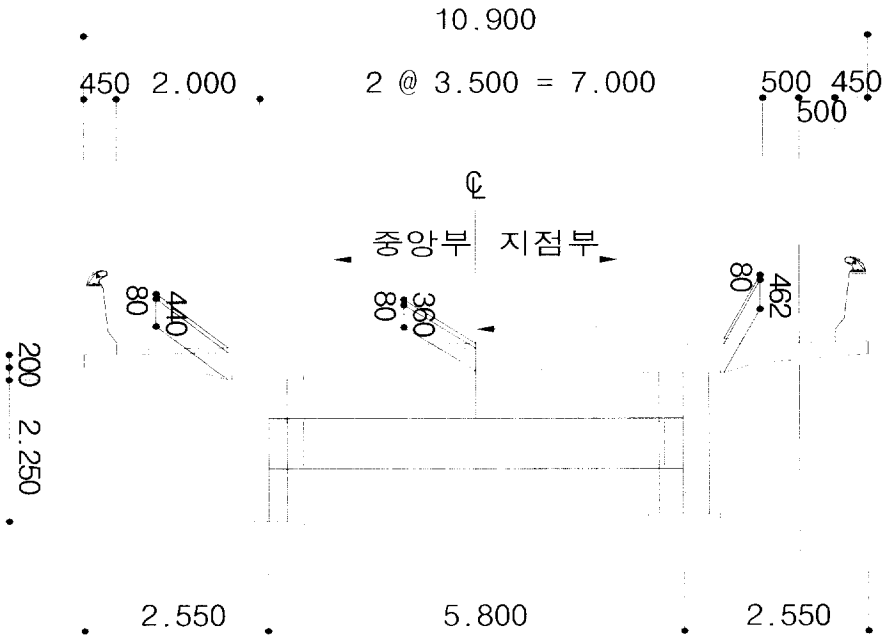


그림 3.2 대상교량의 폭원

3.1.2 재하하중

(1) 고정하중

① 합성전 사하중

합성전 사하중은 강재의 단위중량 7.85 t/m³과 바닥판 자중에 의하여 각 주형에 작용하는 하중을 재하하였다. 그림 3.3과 같이 바닥판은 주형을 지점으로 하는 내민보로 가정하고 바닥판의 사하중을 교폭에 대해 등분포 하중으로 재하하여 주형위치에서 발생한 반력을 주형의 사하중으로 고려하였다.

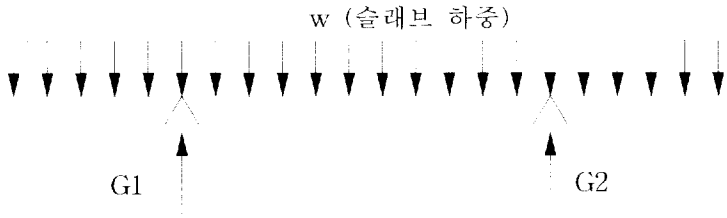


그림 3.3 합성전 사하중

② 합성후 사하중

합성후 사하중은 그림 3.4와 같이 포장하중과 양측 콘크리트 난간의 중량을 고려하였다. 포장의 두께는 8cm로 하고 단위중량을 2.3 t/m^{3}으로 하였으며, 콘크리트 난간의 중량은 교축방향으로 0.1 t/m를 적용하였다[7), 8)].

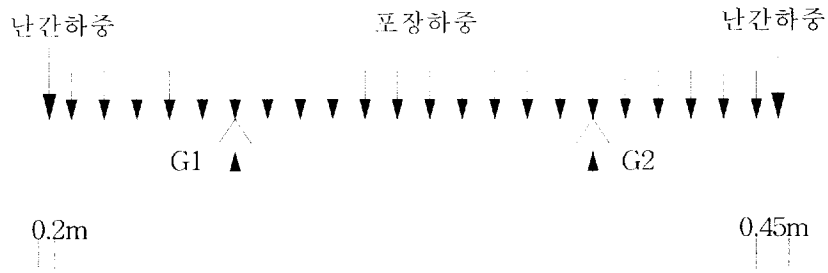


그림 3.4 합성후 사하중

(2) 활하중

활하중은 그림 3.5와 같이 1등급교를 고려하여 도로교 설계기준에 의해 DL하중을 재하하였으며 점유폭은 3m로 하였다. 차도부분에서 DL하중은 교축 직각방향으로 가장 불리한 응력을 발생시키도록 동시 재하하였으며, 다만 단경간의 경우에는 일반적으로 절대최대휨모멘트가 지간장 44m 이하에서는 DB하중이 더 크고, 그 이상에서는 DL하중이 더 크게 작용하므

로 본 연구에서는 DL하중을 재하하였다[7]. 활하중에 의해 각 주형에 작용하는 하중은 그림 3.5와 같다.

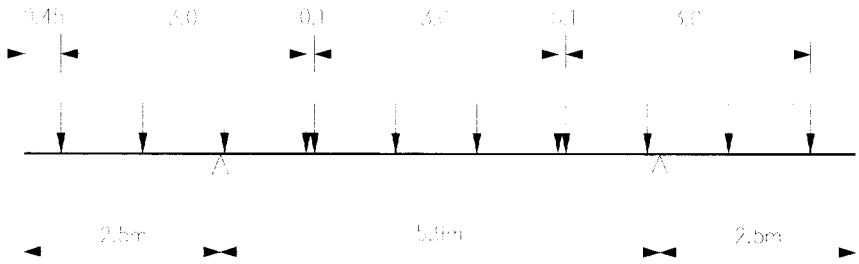


그림 3.5 DL-하중에 의한 활하중 재하

3.2 가로보 간격과 응력해석

3.2.1 모델링

소수주형교에서 동일한 강성을 갖는 가로보의 간격에 따른 하부플랜지의 응력거동을 해석하기 위해 그림 3.6에서 가로보의 간격을 각각 5m, 6m, 10m, 30m 및 중간에 가로보가 없는 경우에 대해 응력해석을 실시하였다. 가로보의 위치는 주형의 중단에 위치하는 경우가 주형웨브 및 가로보 연결부의 응력과 상판 콘크리트의 시공성 및 유지관리를 고려할 때 가장 유리하다고 알려져 있다[31]. 따라서 가로보의 위치는 주형의 중단배치로 일정하게 하였다. 모델링에서 응력해석 위치는 교량의 최대 휨모멘트가 발생하는 지간의 중간부에서 가로보 및 주형을 통해 응력이 전달되는 하부플랜지의 최대 응력을 비교·검토하였다. 그림 3.6에 전체 해석모델링 형상을 나타낸다.

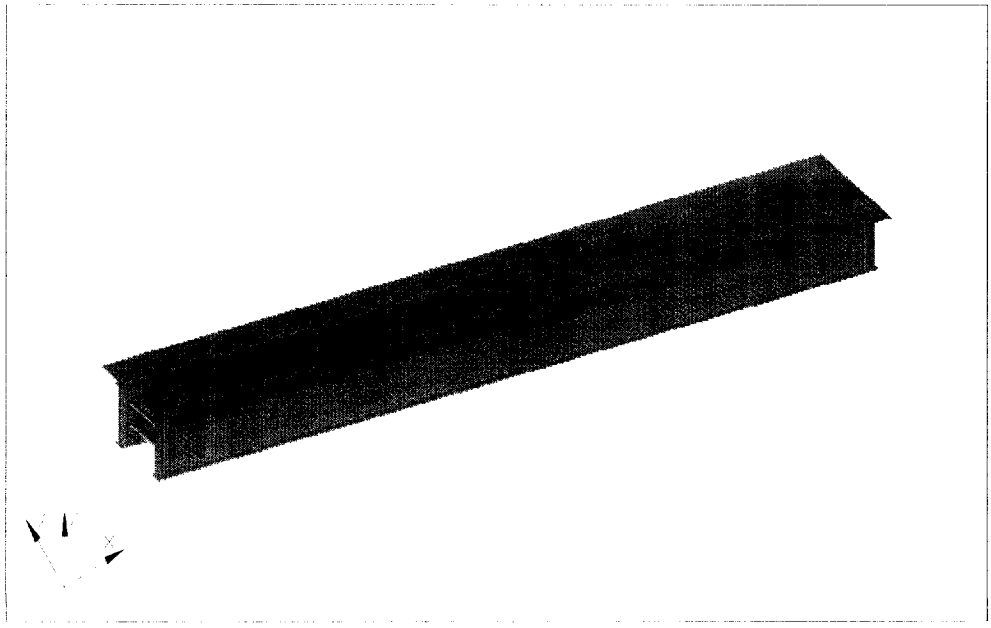
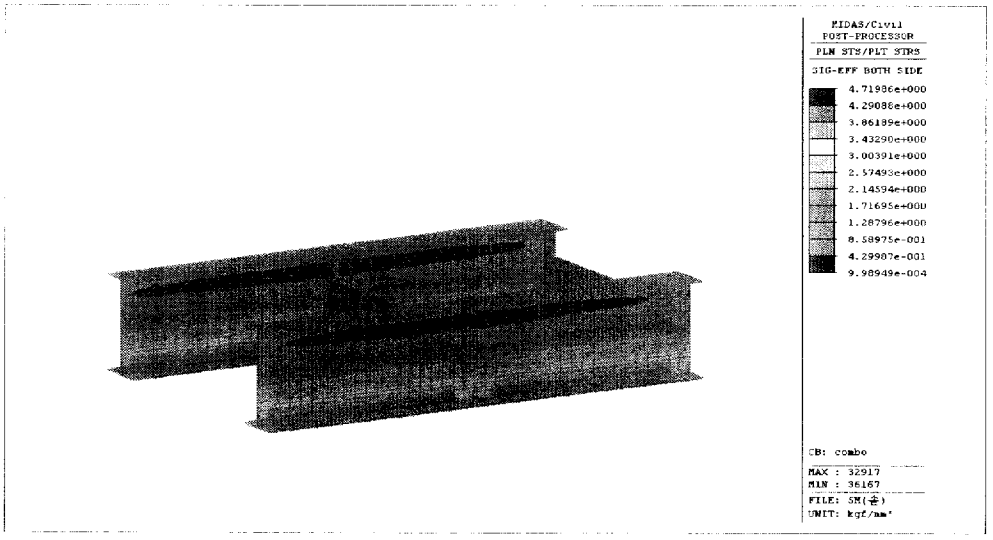


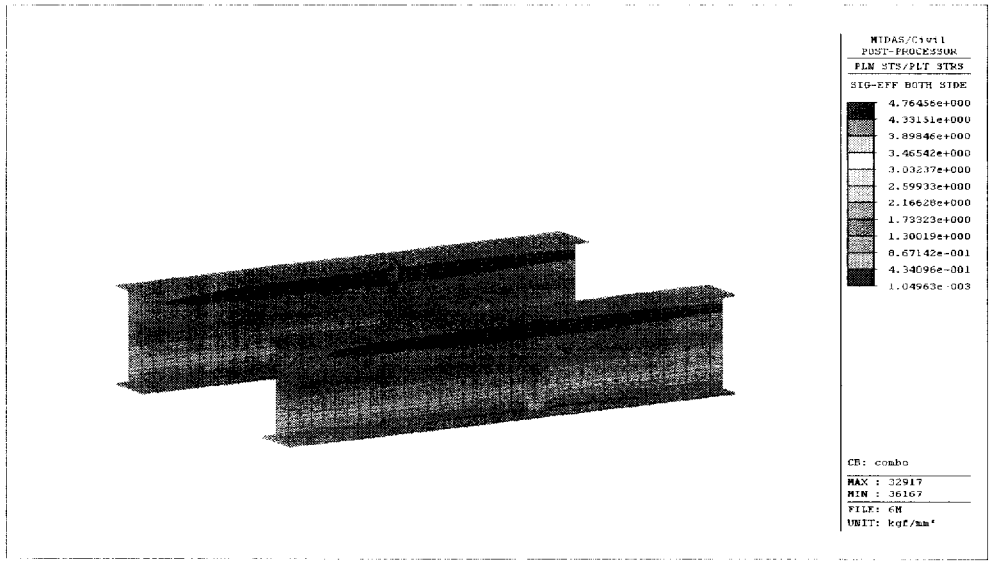
그림 3.6 전체 해석모델링 형상

3.2.2 응력해석 결과

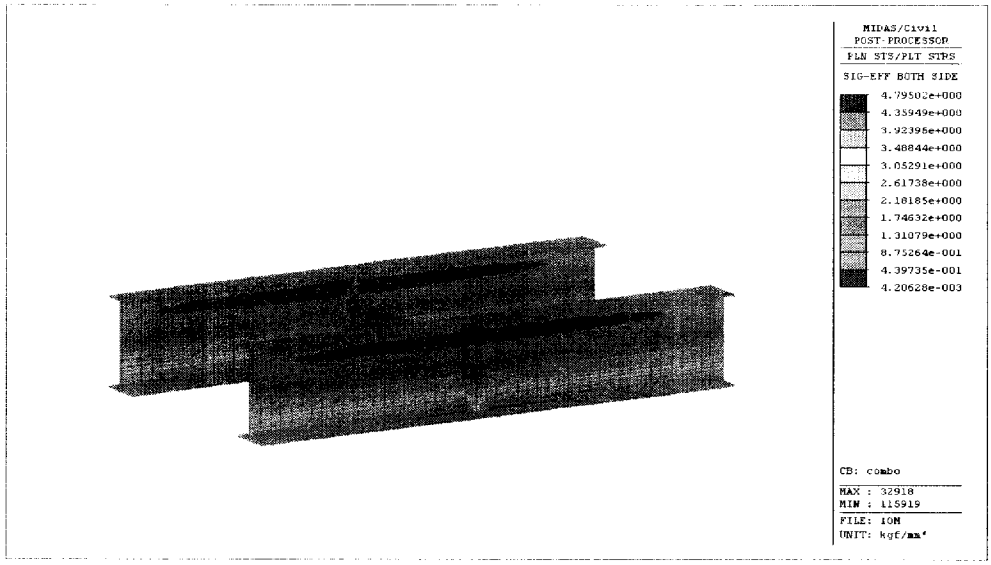
그림 3.7 a), b), c), d) 및 e)에는 가로보의 배치가 5m, 6m, 10m, 30m 및 중간에 가로보가 없을 때의 최대 휨모멘트부의 응력분포 상태를 각각 나타낸다. 표 3.1은 가로보 간격별 하부플랜지의 최대응력을 나타낸다. 그림 3.7에서 알 수 있는 바와 같이 최대 응력은 하부플랜지에서 발생하는 것을 알 수 있다. 그림 3.8에는 가로보 간격별 하부플랜지 응력을 각각 나타내며 그림에서 알 수 있는 바와 같이 가로보의 배치 간격에 따라 하부플랜지의 응력차이는 거의 발생하지 않는 것을 알 수 있다. 이러한 이유로서는 가로보 배치의 간격은 주형웨브의 응력분배에 그다지 영향을 미치지 못하기 때문으로 생각된다.



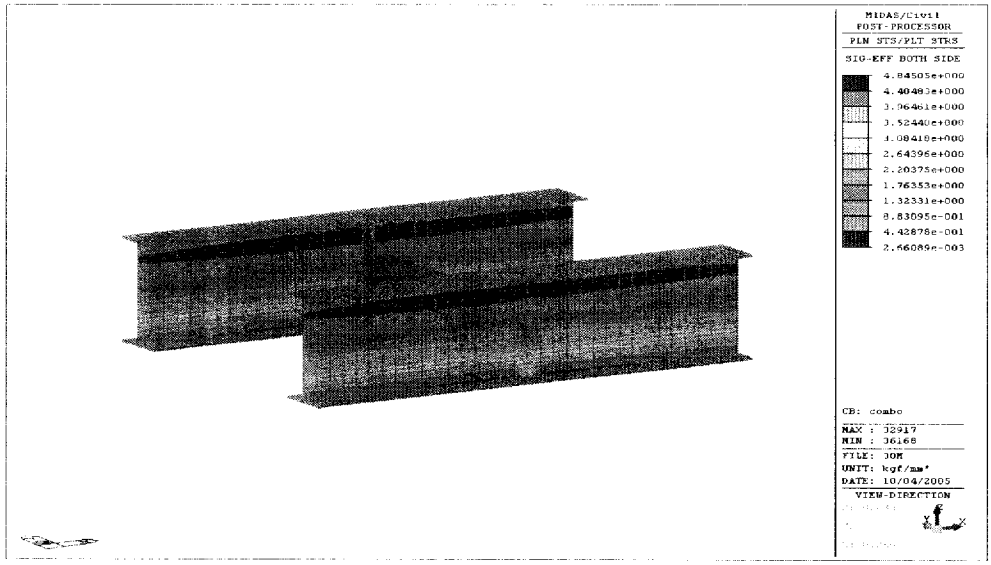
a) 가로보 5m 간격 응력분포 상태



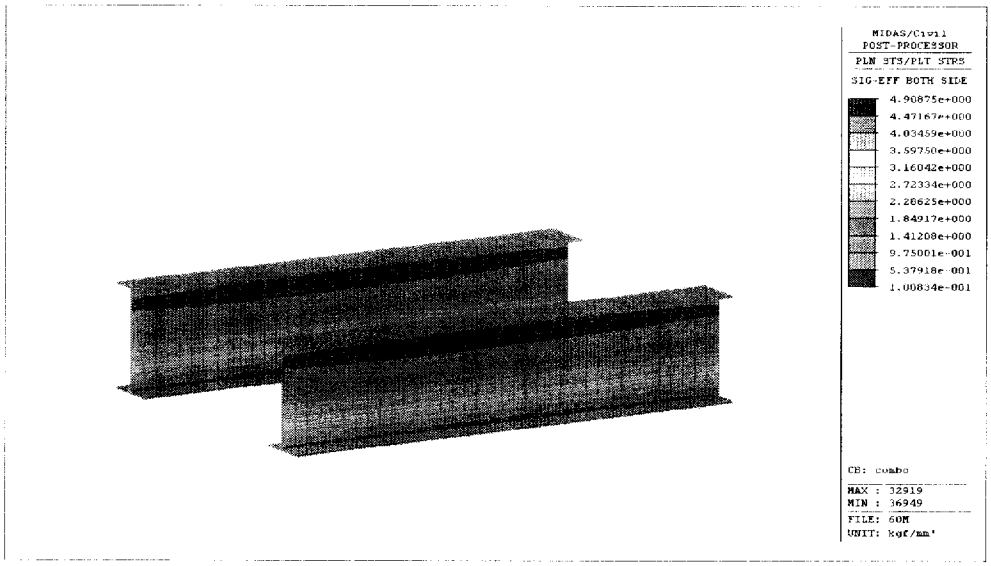
b) 가로보 6m 간격 응력분포 상태



c) 가로보 10m 간격 응력분포 상태



d) 가로보 30m 간격 응력분포 상태



e) 중간 가로보 생략 응력분포 상태

그림 3.7 가로보 간격별 응력분포 상태

표 3.1 가로보 간격별 하부플랜지 최대응력

	가로보 간격				
	5m	6m	10m	30m	60m
하부플랜지 응력 (MPa)	47.19	47.64	47.95	48.45	49.08

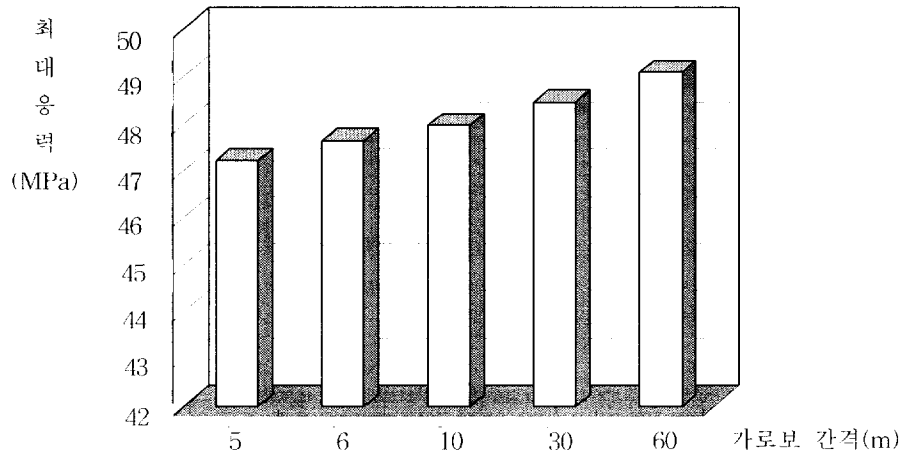


그림 3.8 가로보 간격별 하부플랜지 최대응력

4. 용접이음부 응력해석

가로보 간격별 응력해석을 실시한 결과 가로보 간격에 따른 하부플랜지의 응력 차이는 그다지 크지 않음을 알 수 있었다. 따라서 하부플랜지와 수직보강재에 필렛용접이음 및 홈용입필렛용접이음을 실시하였을 경우의 하부플랜지 응력, 하부플랜지와 주형웨브에 필렛용접이음, 또는 홈용입필렛용접, 하부플랜지와 주형웨브의 중앙부 2.0, 4.0, 6.0m를 홈용입필렛용접이음으로 실시하였을 경우의 하부플랜지의 응력해석을 각각 실시하였다.

4.1 하부플랜지와 수직보강재 용접이음부 응력해석

가로보 간격별 응력해석 결과 가로보의 간격은 구조물의 응력에 큰 영향을 미치지는 못하는 것으로 나타났다. 한편 국내 도로교 설계기준에서는 풍하중, 지진하중 등의 수평력에 저항하기 위해 수직보강재를 6m 이내로 설치하도록 제한하고 있다. 따라서 본 연구에서는 부재의 최소화를 위해 가로보만으로 응력을 분배하는 구조로서, 가로보를 설치하기 위해 수직보강재를 6m 간격으로 일정하게 배치한 후 가로보를 설치하였고, 가로보사이에는 수직보강재를 설치하지 않는 구조로 모델링을 실시한 후 용접이음부에 대한 응력해석을 실시하였다. 용접부의 상세해석을 위해 8절점 솔리드 요소를 사용하였으며, 재하하중은 가로보 6m 간격시 최대모멘트부의 변위를 구한 다음, 주형웨브 및 상·하부플랜지를 강체 연결한 절점에 변위의 값을 부하하였다. 그림 4.1은 전체 모델 형상을 나타내며, 그림 4.2의 a), b)는 하부플랜지와 수직보강재에 필렛용접이음 및 홈용입필렛용접이음을 실시하였을 경우의 모델 형상을 각각 나타낸다.

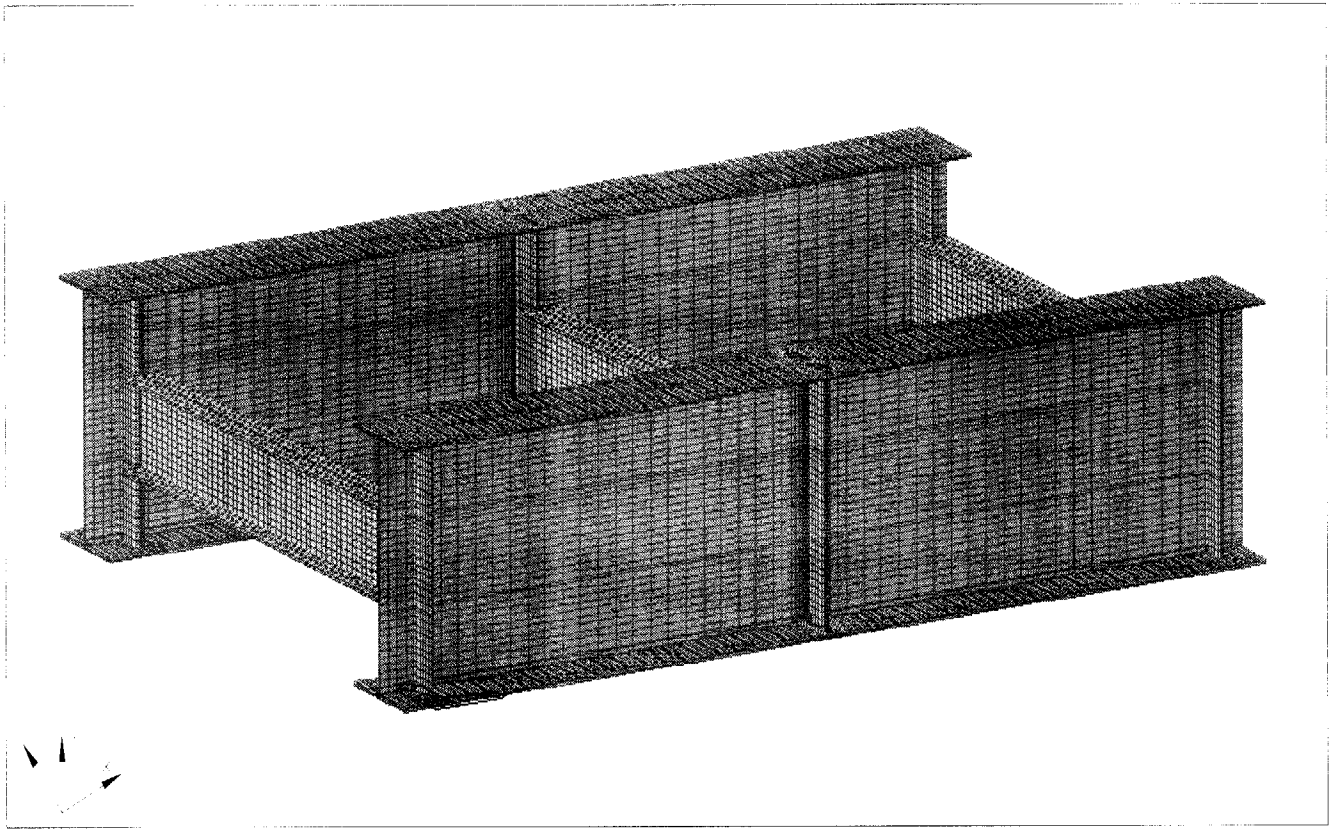
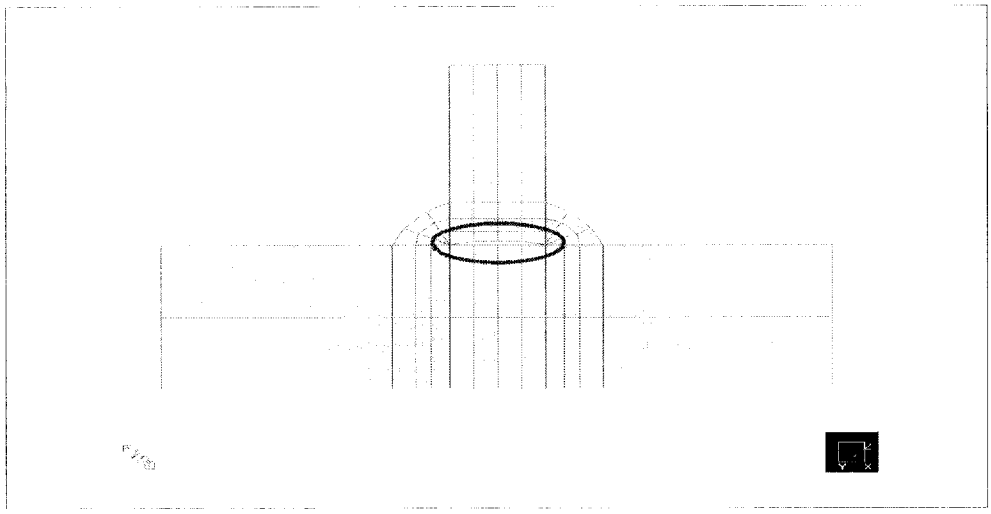
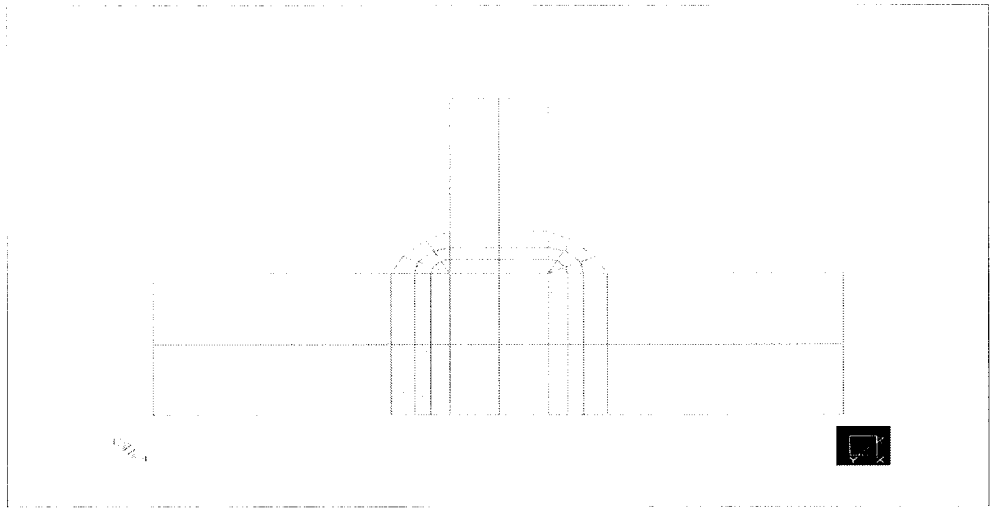


그림 4.1 전체 모델 형상



a) 하부플랜지와 수직보강재의 필렛용접이음 형상

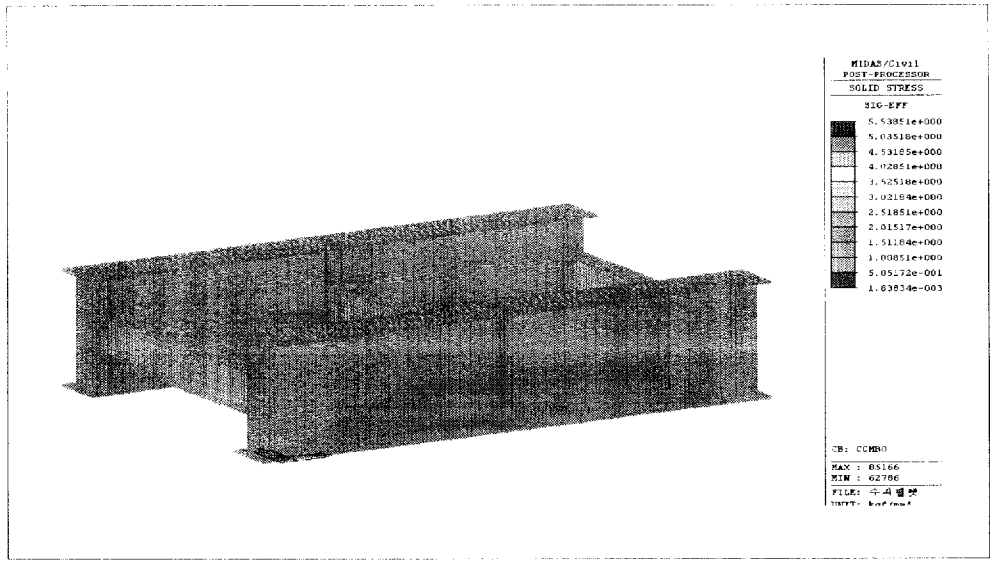


b) 하부플랜지와 수직보강재의 홈용입필렛용접이음 형상

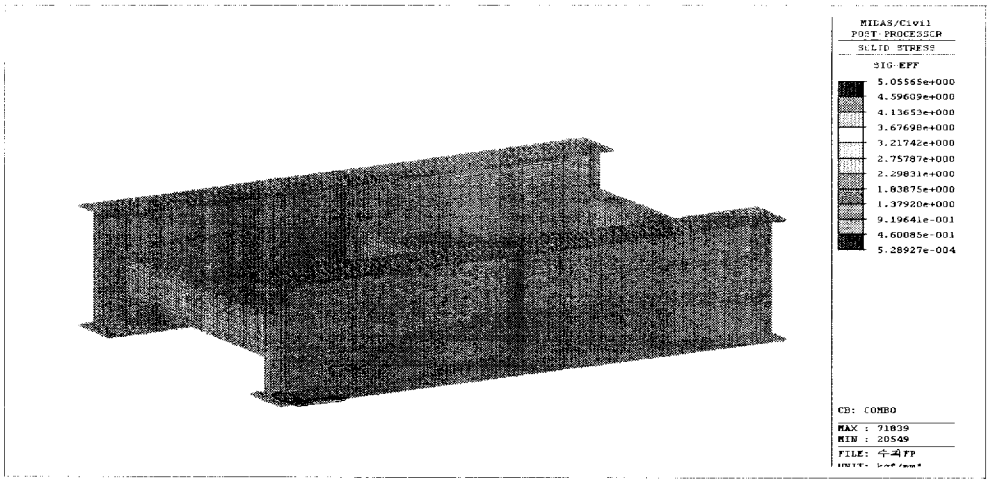
그림 4.2 용접이음부 모델 형상

4.2 하부플랜지와 수직보강재 용접이음부 해석결과

그림 4.3 a), b)는 하부플랜지와 수직보강재의 용접이음 형태가 필렛용접, 홈용입필렛용접일 때의 응력분포 상태를, 그림 4.4에는 용접이음별 하부플랜지 최대응력 나타낸다. 그림 4.4에서 알 수 있는 바와 같이 필렛용접일 경우가 홈용입필렛용접보다 큰 응력이 발생하였다. 이러한 이유로서는 필렛용접이음의 경우 하부플랜지와 수직보강재 사이에 간극이 발생하여 하중이 하부플랜지로 전달되지 못하고 필렛용접이음부에서 응력집중이 발생하기 때문이라 여겨진다.



a) 하부플랜지와 수직보강재 필렛용접이음시 응력분포 상태



b) 하부플랜지와 수직보강재 홈용입필렛용접이음시 응력분포 상태

그림 4.3 하부플랜지와 수직보강재 용접이음 형태별 응력분포 상태

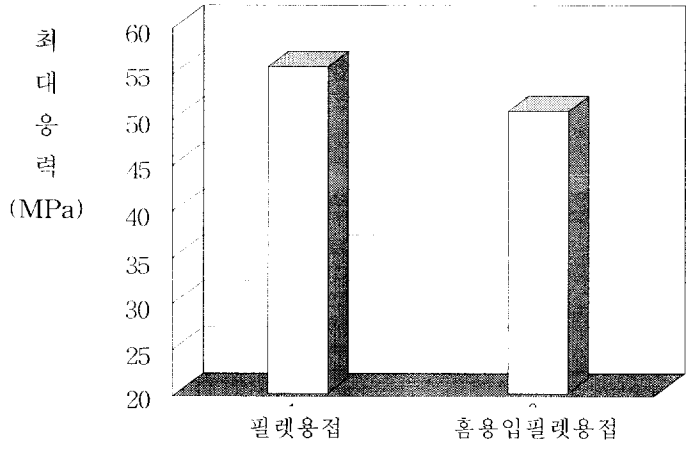


그림 4.4 용접이음별 하부플랜지 최대응력

4.3 하부플랜지와 주형웨브 용접이음부 응력해석

하부플랜지와 주형웨브의 용접이음 형태에 따른 하부플랜지의 응력을 비교·검토 하기 위해 하부플랜지와 주형웨브에 필렛용접 및 홈용입필렛용접을 실시하였을 경우에 대해 응력해석을 실시하였다. 또한 그림 4.5에 나타난 바와 같이 하부플랜지에 응력이 큰 중앙부에 각각 2.0, 4.0, 6.0m만 홈용입필렛용접을 실시하였을 경우에도 응력해석을 실시하여 비교·검토하였다. 그림 4.5는 모델링 형상 및 홈용입필렛용접이음을 실시한 길이를 나타낸다.

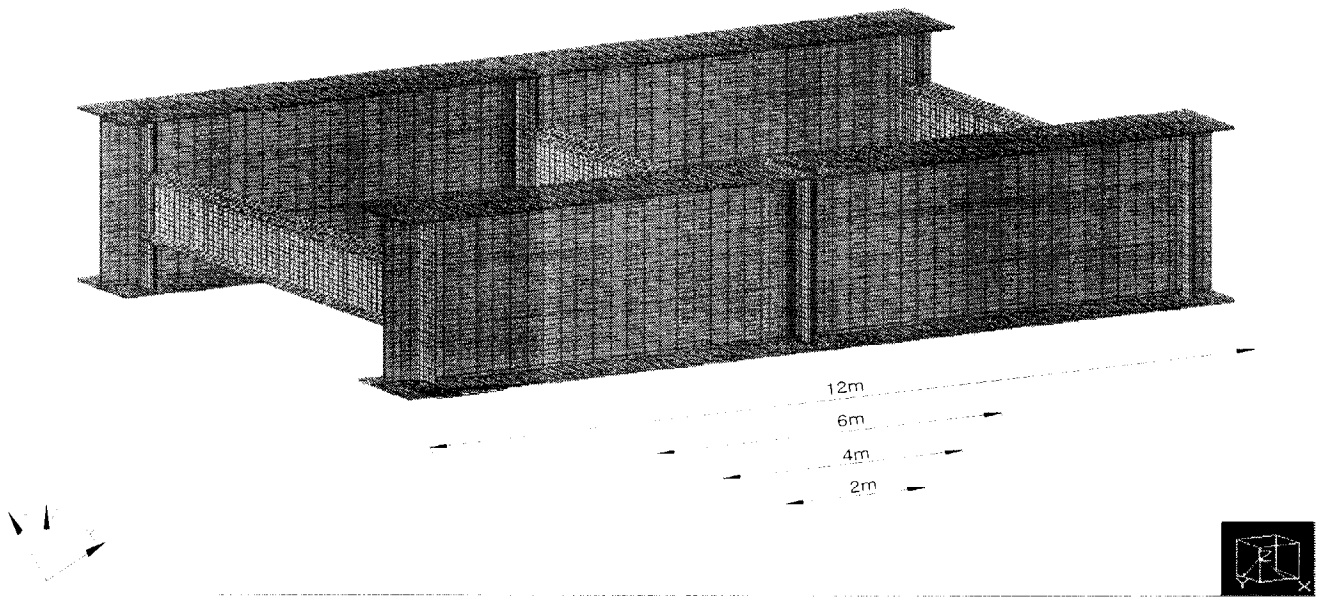
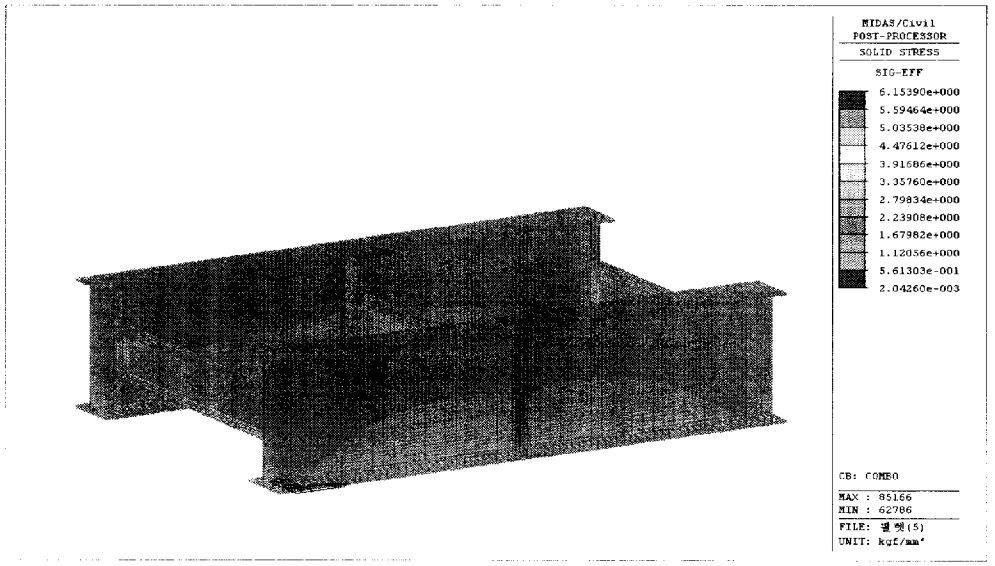


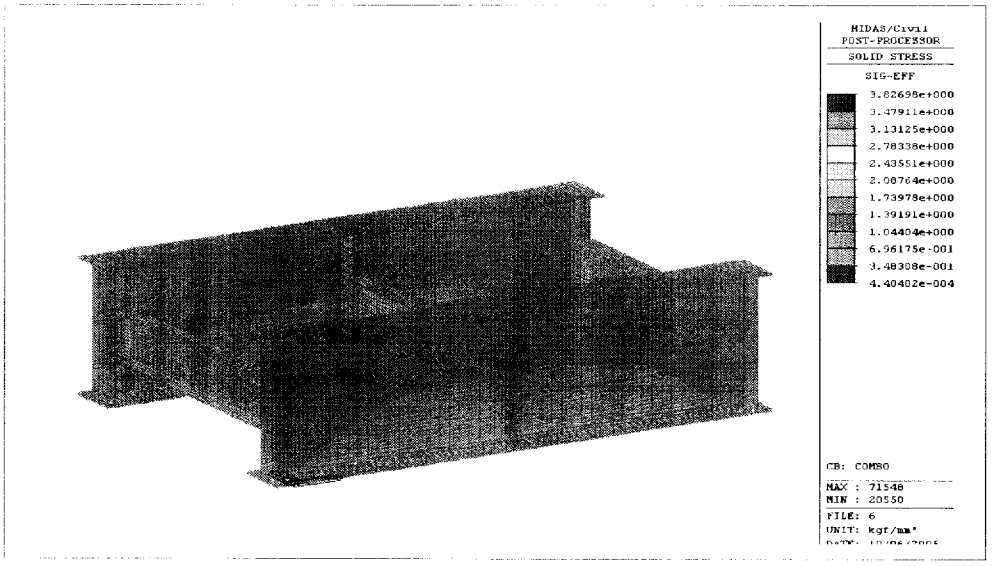
그림 4.5 해석 모델링 형상 및 홈용입필렛용접이음 실시 길이

4.4 하부플랜지와 주형웨브 용접이음부 해석결과

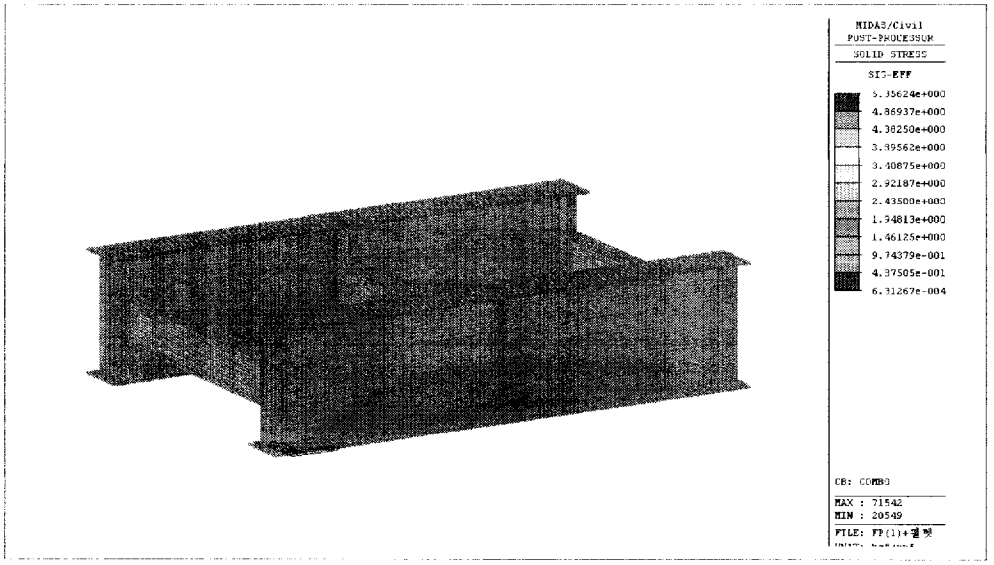
그림 4.6 a), b), c), d) 및 e)는 하부플랜지와 주형웨브 용접이음의 형태가 필렛용접, 홈용입필렛용접 및 홈용입필렛용접 구간을 2m, 4m, 6m로 적용했을 시의 응력분포 상태를, 그림 4.7은 하부플랜지의 용접이음별 최대응력을 각각 나타낸다. 표 4.1은 필렛용접을 실시한 경우를 기준으로 하였을 때 홈용입필렛용접을 실시한 경우의 응력과 비교한 결과를 나타낸다. 그림 4.7에서 알 수 있는 바와 같이 필렛용접이음을 실시하였을 때보다 홈용입필렛용접을 실시한 경우의 하부플랜지의 응력이 크게 감소함을 알 수 있다. 또한 홈용입필렛용접이음의 적용구간을 증가시킬수록 하부플랜지의 응력은 감소하였다. 표 4.1에서 알 수 있는 바와 같이 필렛용접이음을 실시한 경우의 응력과 비교하면 모든 구간을 홈용입필렛용접을 실시할 경우의 하부플랜지 응력은 37.8% 감소한 것으로 나타났다. 즉 하부플랜지와 주형웨브의 용접이음의 상태가 다른 해석인자와 비교하여 하부플랜지의 응력거동에 가장 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 또한 홈용입필렛용접의 적용구간을 2m, 4m, 6m로 변화시켰을 시 하부플랜지의 응력은 각각 13.0%, 17%, 21.3% 감소함을 알 수 있다.



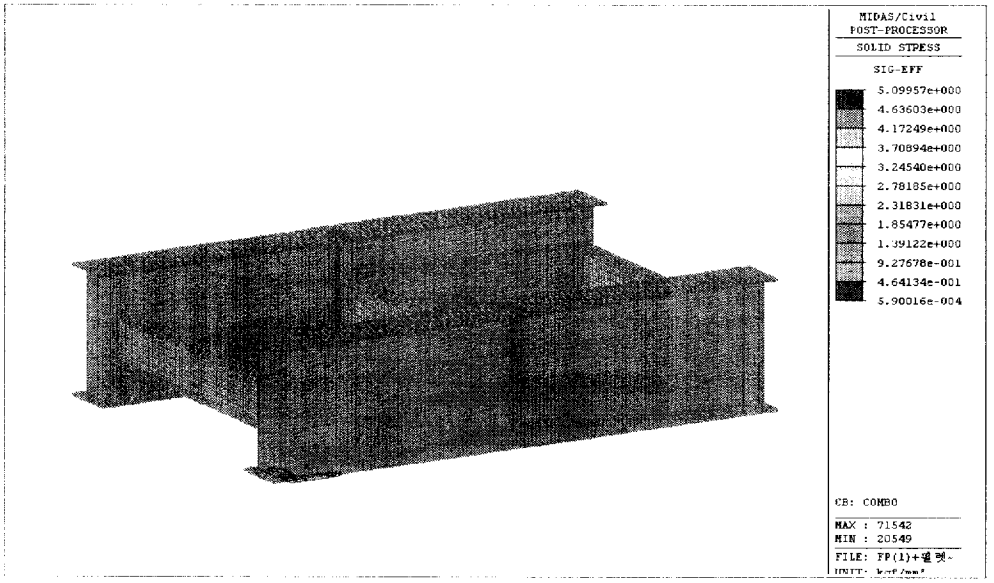
a) 하부플랜지와 주형웨브 필렛용접이음시 응력분포 상태



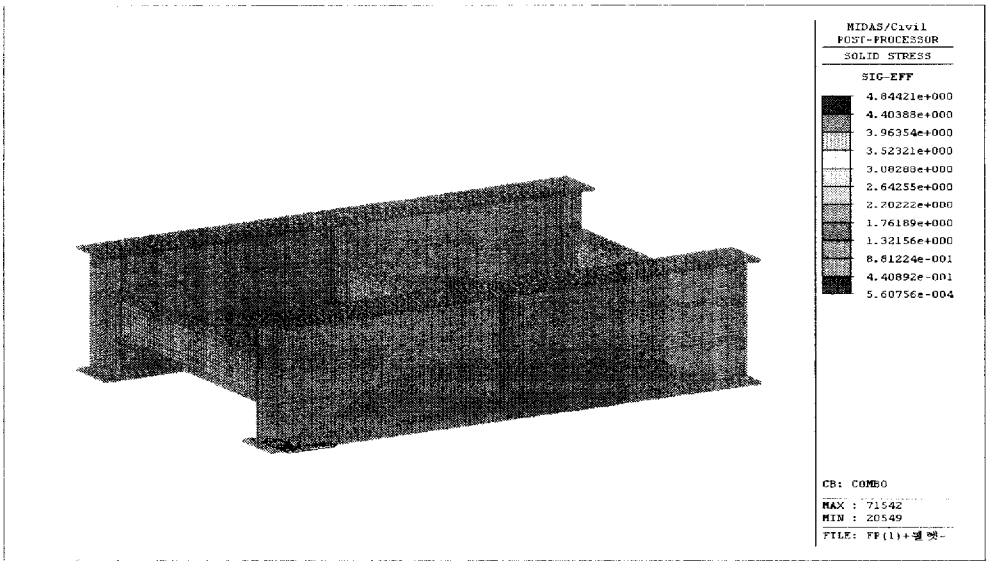
b) 하부플랜지와 주형웨브 홈용입필렛용접이음시 응력분포 상태



c) 지간중앙 홈용접이음 2m 적용시 응력분포 상태



d) 지간중앙 홈용접이음 4m 적용시 응력분포 상태



e) 지간중앙 홈용접이음 6m 적용시 응력분포 상태

그림 4.6 하부플랜지와 주형웨브 용접이음별 응력분포 상태

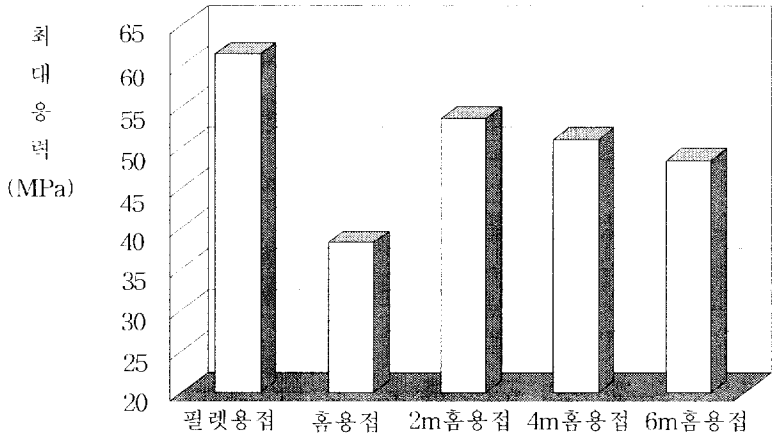


그림 4.7 하부플랜지와 주형웨브 용접이음별 최대응력

표 4.1 하부플랜지와 주형웨브 용접이음별 하부플랜지 응력

	필렛용접	홈용입 필렛용접	지간중앙 홈용접 길이		
			2m	4m	6m
하부플랜지 응력 (MPa)	61.54	38.27	53.56	51.00	48.44
필렛용접 기준	100%	62.2%	87.0%	82.8%	78.7%

4.5 고찰

소수주형교에서 동일한 강성을 갖는 가로보의 간격에 따른 하부플랜지의 응력거동을 해석하기 위해 가로보 간격을 5m, 6m, 10m, 30m 및 중간에 가로보가 없는 경우에 대해 각각 응력해석을 실시한 결과 최대응력은 하부플랜지에 발생하였으며 가로보의 간격은 하부플랜지의 응력에 큰 영향을 미치지는 못하는 것으로 나타났다.

또한 용접이음부 형태에 따른 하부플랜지의 응력거동을 알아보기 위해 하부플랜지와 수직보강재에 필렛용접이음과 홈용입필렛용접이음을 실시한 결과, 필렛용접은 수직보강재와 하부플랜지 사이의 공극으로 인해 용접이음부에 응력집중을 일으킴을 알 수 있으며, 필렛용접이음과 홈용입필렛용접이음에서의 응력비는 1:0.912 임을 알 수 있다. 따라서 하부플랜지와 수직보강재의 이음은 홈용입필렛용접이음을 실시하는 것이 응력이 적게 작용함을 알 수 있다.

하부플랜지와 주형웨브에 필렛용접이음, 홈용입필렛용접이음 및 하부플랜지에 응력이 가장 큰 중앙부에 각각 2.0, 4.0, 6.0m만 홈용입필렛용접을 실시하여 해석을 실시한 결과 홈용입필렛용접을 실시한 경우가 필렛용접에 비해 하부플랜지에 37.8%의 응력감소가 나타나 하부플랜지의 응력은 용접이음의 상태가 응력발생에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 홈용입필렛용접이음의 적용구간을 변화시킨 경우에는 하부플랜지에 각각 13.0%, 17%, 21.3%의 응력감소가 발생하였다. 이러한 결과를 종합할 경우 소수주형교에서 하부플랜지의 응력과 교량 제작시 작업의 효율성 및 경제성을 고려할 경우 최대응력 발생지점에서 6m 정도를 홈용입필렛용접이음으로 적용하는 것이 가장 유리할 것으로 사료된다.

5. 결론

부부재를 생략한 가로보만으로 연결된 2주형 판형교에 대해 가로보의 적정 배치간격을 선정한 후, 하부플랜지와 수직보강재의 용접이음 및 하부플랜지와 주형웨브의 용접이음에 따른 응력거동상태를 유한요소법에 의한 응력해석을 실시하고 비교·검토하였다. 본 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 소수주형교에서 가로보의 간격을 5m, 6m, 10m, 30m 및 중간에 가로보가 없는 경우에 대해 응력해석을 실시한 결과, 가로보의 간격은 하부플랜지의 응력에 거의 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다.

2. 하부플랜지와 수직보강재 용접이음의 형태를 필렛용접, 홈용입필렛용접으로 실시하여 응력해석을 실시한 결과, 홈용입필렛용접이음을 실시한 경우 필렛용접이음에 비해 적은 응력을 나타냈으며 하부플랜지의 응력감소를 위해 홈용입필렛용접이음을 실시하는 것이 적절하다 여겨진다.

3. 하부플랜지와 주형웨브에 필렛용접, 홈용입필렛용접 및 하부플랜지에서 응력이 가장 큰 중앙부에 각각 2m, 4m, 6m만 홈용입필렛용접을 실시하여 응력해석을 실시한 결과, 홈용입필렛용접이음은 필렛용접이음과 비교하여 하부플랜지에서 큰 응력의 감소를 나타내었다. 또한 홈용입필렛용접이음의 적용길이를 증가시킬수록 하부플랜지의 응력은 감소하였다. 이러한 결과를 종합하면 제작의 효율성 및 경제성을 고려하여 하부플랜지와 주형웨브의 용접이음시 최대응력의 발생 지점에서 6m 정도 홈용입필렛용접이음을 실시하는 것이 유리한 방안이라 여겨진다.

참 고 문 헌

1) 포항산업과학연구원, "경쟁력 향상 도로용 소수주형 판형교", 2001.

2) 경갑수, 홍성욱, 권순철, 유현상, "설계·제작·가설·유지관리에 합리화 시스템을 도입한 강교량 개발에 관한 연구",
포항산업과학연구원, 2003.

3) 황민호, 윤태양, "합리화 2주형 플레이트 거더교", 韓國鋼構造學會誌 제 13권 1호, pp. 31~35, 2001. 3.

4) 한국도로공사 설계처, "설계실무자료집", 2004.

5) 川崎重工業株式會社 鐵骨·機器事業部, "經濟性·耐久性を目指した次世代橋梁の開發PC床板連續合成2主桁橋の設計·施工", 平成11年 6月.

6) 김수보, 김시동, 안승주, 최유진 "현장타설 P.S.C 상판을 갖는 장지간 2주형 강판형교(옥정교)의 설계사례",
韓國鋼構造學會誌 제 15권 1호, pp. 81~89, 2003. 3.

7) 대한토목학회, "도로교 표준시방서", 건설교통부, 1996.

8) 대한토목학회, "도로교 설계기준·해설", 기문당, 2003.

9) 용환선, 김석태, 최수영 "합성 2주형교의 하중분배 거동에 미치는 가로보 효과에 관한 연구",
韓國鋼構造學會 學術發表大會 논문집, pp. 25~30, 2001. 6.

10) 박용명, 조현준, 황민호, "강합성 2-거더교의 가로보 배치 간격 및 소요 휨강성에 관한 연구",
韓國鋼構造學會 論文集 제 16권 1호, pp.1~10, 2004. 3.

11) 제성훈, 이제형, 박영근, 배두병, "플레이트 거더교의 하중분배계수 산정방법 비교 연구",
대한토목학회 2001년도 학술발표대회 논문집, 2001.

12) Skai, "合成2主桁橋の横桁の配置に關する研究",
橋梁と基礎, pp.1~38, 1997. 3.
13) 이정헌, 박찬식, 이성철, "플레이트거더교의 중간가로보 설치간격이 활하중 횡분배에 미치는 영향",
대한토목학회 2005년도 학술발표대회 논문집, 2005
14) 윤동용, 은성운, "단경간 H형강 교량의 가로보와 활하중 횡분배",
대한토목학회 2005년도 학술발표대회 논문집, 2005.
15) 阪神高速道路公團 阪神高速道路管理技術センター, "鋼I桁橋の疲勞損傷に關する文獻", 1990.
16) 鋼橋技術研究會 施工部會, "スカラップ構造に關する研究", 1998
17) 阪神高速道路公團 阪神高速道路管理技術センター, "第二東名鋼高速道路少數主桁橋梁の設計施工に關する調査研究 報告書", 1998.
18) 阪神高速道路公團 阪神高速道路管理技術センター, "第二東名鋼高速道路少數主桁橋梁の設計施工に關する調査研究 資料集", 1998.
19) 建設省土木研究所 構造橋梁部橋梁研究室, "橋梁の架替に關する調査結果Ⅲ", 1997
20) Gere and Timoshenko, "재료역학", 반도출판사, 1999. 1.
21) S. P. Timoshenko and J. N. Goodier, "Theory of Elasticity", McGraw Hill, 1982.
22) Nagai, Honda, Nakayama, Sakai, Yabe, "合成2主桁橋の對稱鉛直荷重下の斷面變形擧動", 鋼構造年次論文報告集 第3卷, 1995.
23) 이현모, "강교의 손상과 보수 및 보강대책에 관한 연구",
부경대학교 공학석사 학위논문, 2005.
24) 방명석, "鋼橋 설계의 기초", 건설도서, 1997.
25) 장동일, "강구조의 보강설계", 건설도서, 1995.

26) 일본교량건설협회, “강교의 계획과 설계・시공”,
도서출판 과학기술, 1997.

27) 日本鋼構造協會, “既設鋼橋部材の耐力・耐久性診斷と補修・補强に關する資料集”, 2002.

28) 건설교통부, “강도로교 상세부 설계지침”, 1997.

29) AASHTO LRFD Bridge Design Specifications Ⅰ,Ⅱ Third edition, 2004.

30) 길홍배, 강상규, “고속도로상의 소수주형거더교 설계 지침”, 대한토목학회지 제 52권 제 3호, pp.34~43.

31) 송지훈, “2주형 판형교의 가로보 응력해석”,
부경대학교 공학석사 학위논문, 2005.

감사의 글

강구조연구실과 인연을 맺은 2년이란 시간속에서 본 논문이 결실을 이루게 되어 한없이 기쁘며, 지금가지 저에게 아낌없는 사랑과 도움을 주실 분들게 미약하나마 지면으로 감사의 인사를 드리고자 합니다.

먼저, 논문이 완성되기가지 한없이 부족한 제자를 늉 아버지와 같은 마음으로 자신의 노력만이 진정한 자신의 재산이라 일께워주신 지도교수님 이동욱 교수님께 진심으로 감사의 인사를 드립니다. 또한 바쁘신 일정중에서도 부족한 제자의 논문을 세심하게 조언해 주시고 심사해 주신 국승규 교수님과 이환우 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 그리고 학부 및 대학원 과정동안 많은 가르침을 주신 토목공학과 교수님께도 감사의 마음을 전합니다.

논문이 완성되기까지 엄하지만 늘 걱정하는 마음으로 감싸주신 민수형, 재원이형, 영표형, 창회형, 창민이형, 대성이형, 3년 동안 늘 곁에서 친형같이 돌봐주고 보살펴준 성민이형, 저 때문에 많은 고생을 했지만 항상 우리를 편하게 대해준 용교형, 지훈이형에게 깊은 감사를 드립니다. 그리고 친형제처럼 항상 나를 걱정해주고, 감싸준 동기 창승이와 지금은 연구실을 떠난 언철이에게 무한한 신뢰와 감사의 말을 전합니다. 부족한 선배 밑에서도 항상 밑고 따라준 태석이, 준헌이, 복상이, 병규형, 이제 막 연구실 생활을 시작한 원식이, 헌우에게도 감사의 말을 전하면 앞으로의 연구실 생활동안 자기의 꿈을 이루기를 간절히 기원합니다. 또한 2년의 대학원 생활동안 밤을 지새며 공부하고, 서로를 격려해주던 형수형, 동원이형, 성호형, 성반이, 종화, 세준이, 윤성이, 태욱이, 후배 관수, 동원이, 희준이, 강민이에게도 눈물어린 감사의 말을 전합니다. 학교 밖에서 늘 아낌없는 성원을 보내준 명헌이, 성렬이, 성근이 등 97학번 동기들에게 감사의 말을 전합니다.

언제나 나를 위해 희생하고 걱정하며 항상 내편이 되어준 정란이에게도 사

랑한다는 말을 전하면, 마지막으로 홀로 자식을 위해 모든 것을 바치고 고생하신 이 세상에 단 한분뿐인 사랑하는 어머니와 항상 못난 형을 지켜봐준 동생 민혁이에게 한없는 존경과 눈물어린 감사의 인사를 드리며, 은혜에 보답하고자 이 논문을 바칩니다.