

철골모멘트접합부의 내진보강에 관한 해석적 연구

Analytical Study for Seismic Retrofit of SMRFs Connections

오 상 훈¹⁾ · 김 영 주²⁾

Oh, Sang Hoon Kim, Young Ju

요 약 : 철골모멘트접합부에 관한 이전의 연구에 의하면, RHS 기둥과 기존의 스킨을 가진 접합부실험체의 변형능력은 매우 열등했고, 보 단부의 응력집중은 보에서 기둥으로 전달되는 모멘트의 전달효율에 영향을 받는다는 사실을 실험이나 해석적으로 밝혔다. 본 연구는 보강된 RBS 접합부와 용접수평스티프너를 사용한 효고현남부지진 이전에 지어진 모멘트 접합부를 내진보강하는데 주안점을 두었다. 이러한 내진보강은 시공성과 경제성을 고려하여 보의 하부플랜지에만 실시하였다. 접합부의 내진보강방법을 발견하고 이를 향상시키기 위해서 비선형유한요소해석을 통해서 다양한 변수를 바탕으로 한 파라메타 연구를 실시하였다.

ABSTRACT : Based on previous research on steel moment connections, experimental and analytical results showed that the deformation capacity was poor in specimens using RHS columns and with conventional weld access holes and strain concentration at the end of beam is influenced by the efficiency in transmitting the moment in the web of beam through the beam-to-column joint. This paper is focused on the retrofitting of pre-Kobe steel moment frame connections using a stiffened RBS and a welded horizontal stiffener. These retrofitting methods were considered only in beam bottom flange. A parametric study was performed using nonlinear finite element analysis to elucidate and improve the retrofit methods of connections.

핵심어 : 기존모멘트접합부, 내진보강, RHS기둥, 보절취접합부(RBS), 수평스티프너, 비선형유한요소해석

KEYWORDS : Existing moment connections, Retrofit, RHS column, Reduced beam section, Horizontal stiffener, Nonlinear finite element analysis

1. 서론

1994년 캘리포니아 노스리지 지진과 1995년 효고현 남부지진 이전에 사용된 철골모멘트골조(SMRFs)는 보에서 전소성 모멘트를 발휘하는 충분한 연성능력을 가져서 강한 지진에 대해서도 저항성을 충분히 발휘하는 것으로 간주되었다. 따라서 강진지역에서 철골모멘트골조는 폭넓게 사용되어 왔다. 그러나 노스리지 지진과 효고현 남부지진 동안 철골모멘트골조의 접합부가 다수의 피해를 입었고, 그 피해는 주로 하부플랜지에 집중하는 경향을 나타내었다.

이러한 피해를 실험으로 재현하기 위해서 각형강관(Rectangular Hollow Section; RHS, 이하 RHS) 기둥과 철골합성보 접합부의 실험을 실시하였고, 그 결과 하부플랜지 파단은 스킨(Weld Access Hole) 단부의 노치(Notch)와 상부슬래브의 구속에 의한 보의 중립축 상승에서 기인한 하부

플랜지의 응력집중이 원인임을 밝혔다(Okada et al., 2001). 일본에서는 단면성능 및 내진성능의 우수성 때문에 철골모멘트골조에 RHS 기둥을 일반적으로 사용하고 있고, 최근에는 국내에서도 이러한 장점을 이유로 그 사용성이 확대되고 있는 실정이다. 그러나 이러한 우수한 성능에도 불구하고 RHS기둥을 사용할 경우, 접합부가 외력을 받으면 보웨브와 접합된 기둥플랜지의 면외변형이 발생하여 보웨브의 모멘트전달효율이 저하하는 사실이 밝혀졌다(Matsumoto et al., 1999; Y.J. Kim et al., 2006). 접합부에서 보웨브의 모멘트전달효율저하는 플랜지의 응력을 증가시키는 결과를 초래한다. 따라서 RHS 기둥을 가진 철골합성보접합부는 스킨의 노치, 슬래브의 구속효과 및 보웨브의 모멘트전달효율저하에 의해 하부플랜지의 응력이 집중하게 되어 조기 취성파단하는 결과를 초래하는 것으로 판단된다. 이러한 접합부의 파괴를 방지하고 변형능력을 향상시키기 위한 방안으로서 다양한 내진보강상세를 가진

1) 정회원, 부산대학교 건축학부 교수, 공학박사(osh@pusan.ac.kr)

2) 교신저자, 정회원, 고려대학교 건축·사회환경공학과 BK21 연구교수, 공학박사
(Tel. 02-921-7983, Fax. 02-921-2439, E-mail : kyj282@empal.com)

본 논문에 대한 토의를 2008년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

접합부가 제시되었다(Steel Design Guide 12, 1999; Y.J. Kim et al., 2004; S.H. Oh et al., 2007).

본 연구의 목표는 효고현 남부지진 이전에 건설된 철골모멘트 접합부(Pre-Kobe Steel Moment Connection)의 내진보강(Seismic retrofit)방안에 대해서 해석적으로 살펴보는 것이다. 이를 위해서 접합부에 관한 비선형 유한요소해석을 실시하였고, RHS 기둥을 가진 기존 철골모멘트접합부의 내진성능을 높이기 위한 방안을 제시하였다.

2. 기존 연구결과

미국의 노스리지 지진과 일본의 효고현 남부지진에서 발생한 철골모멘트접합부의 피해에 대해서, 많은 연구자 및 엔지니어들이 이론적·실험적 연구를 통해서 접합부의 문제점을 발견하였고 이에 대한 해결책을 제시하였다.

Steel Design Guide 12 (AISC, 1999)에서는 기존 철골모멘트 접합부의 내진보강방안으로 RBS(Reduced Beam Section, 이하 RBS), 용접현치(Welded Haunch) 및 볼트접합 브라켓(Bolted Bracket) 등의 접합부 상세들을 제안하였다. 특히, RBS 접합부는 역학적·시공적으로 명확하고 간결하며 또한, 경제적으로 유리한 것이 장점이다. 吹田(1999)과 Sheng-Jin Chen(2001)등도 RBS 접합부에 관한 실험을 통하여 내진성능에 유리한 상세라는 사실을 확인하였다. 그러나 이는 순철골보에 한정된 연구가 대부분이므로, 바닥슬래브의 합성효과를 고려할 경우의 접합부 거동을 확실히 밝히지는 못하였다.

오상훈(2004) 등은 슬래브가 있는 모멘트접합부의 다양한 내진보강방법으로, RBS 접합부, 수평스티프너로 보강된 RBS(Stiffened RBS, 이하 SR) 접합부 및 개량 수평스티프너(RBS Type Horizontal Stiffener, 이하 RH) 접합부를 제안하였고 실험을 실시하였다(그림 1 참조). 이러한 내진보강은 기존 바닥슬래브의 영향을 최소화하기 위해서 하부플랜지에만 실시하였다. 실험결과, RBS 접합부의 경우 기존의 많은 연구결과들과는 다르게 조기 취성파단하는 결과를 나타냈는데, 이는 순철골보 접합부와는 달리 합성보 접합부는 내력상승과 더불어 중립축이 상승하여 하부플랜지의 응력집중을 방지하지 못했기 때문이다. 결과적으로, RBS 접합부는 합성보 효과를 고려하는 경우, 내력상승과 동시에 중립축의 상승을 통한 하부플랜지의 응력집중이 우선적으로 고려되어야 됨을 알 수 있다. Steel design guide 12(1999)에서는 접합부에 RBS를 적용하는 경우에 스킵의 형상개선이나 기타 추가적인 보강이 요구된다고 보고했다. 그러나 수평스티프너로 보강한 RBS 접합부, 즉 SR접합부는 우수한 변형능력을 보였다. 또한 수

평스티프너 자체에 RBS형상의 절취부를 둔 개량 수평스티프너 접합부, 즉 RH 접합부는 스킵저면의 응력집중 방지와 더불어 기둥에서 일부 떨어진 거리에서 소성화가 되도록 할 수 있을 뿐만 아니라, 스티프너 끝단부에서 발생할 수 있는 응력집중을 최대한 절취부에서 분산시켜서 우수한 변형능력을 나타냈다.

Okada (2003) 등은 RHS 기둥과 H형강기둥을 가진 합성보접합부에 관한 실험을 실시하였고, 실험결과 슬래브가 압축을 받는 하중을 받으면 RHS 기둥을 가진 접합부는 H형강기둥을 가진 접합부에 비해서 중립축 상승폭이 훨씬 증가하는 경향을 보였다(그림 2참조). 이는 슬래브효과에 의해서 중립축이 상승하는 것은 두접합부 모두 동일하지만 RHS 기둥을 가진 접합부는 기둥플랜지의 면외변형에 의해서 보웨브의 모멘트 전달효율이 저하하기 때문인 것으로 밝혀졌다. 따라서 RHS 기둥을 가진 기존의 철골모멘트 접합부는 내진보강 시에 슬래브효과 뿐만 아니라 보웨브의 모멘트전달효율의 저하도 함께 고려해야 할 필요성이 있다.

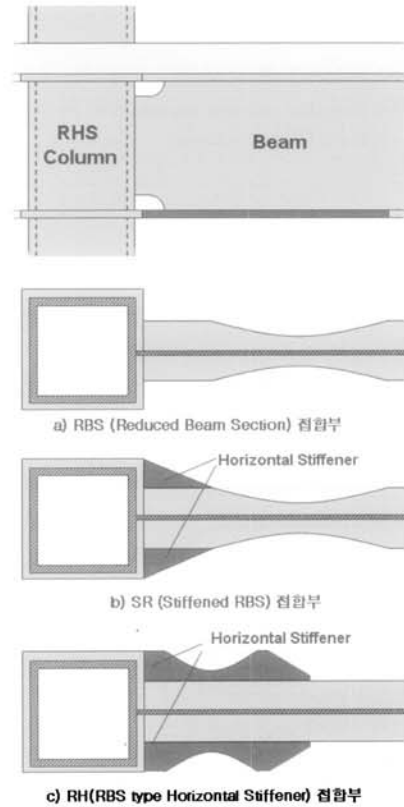
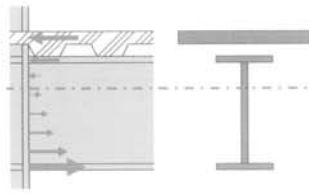
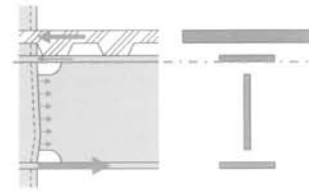


그림 1. 접합부 내진보강방안(하부플랜지만 보강)



(a) H형강 기둥



(b) RHS 기둥

그림 2. 중립축 상승효과(岡田, 2003)

3. 유한요소해석 모델링

3.1 유한요소해석 대상모델

연구에 사용된 해석모델의 형상은 그림 3에 나타나 있다. 그림 3(a)는 해석대상접합부 모델의 형상 및 크기를 나타냈다. 기둥은 RHS-450×450×22이고 보는 H-612×202×13×23을 사용하였고, 접합부형식은 일본에서 다수 사용되고 있는 관통 다이아프램형식이고, 용접을 위한 스퀘럽도 기존에 다수 사용되던 상세를 적용하였다. 슬래브는 200 mm 두께의 콘크리트 슬래브이다. 외팔보 형식의 접합부모델은 기둥의 길이가 3000 mm, 보의 길이는 3500 mm이다.

해석모델의 주요변수는 RBS의 존재와 수평스티프너의 형상(길이 및 크기 등)이다. 총 15개의 모델을 설계하여 해석을 수행하였고, 이 모델들은 4개의 시리즈로 다음과 같이 분류된다.

- CT Series (Conventional Type: CT1~CT3)
- SR Series (Stiffened RBS: SR1~SR3)
- RH Series (RBS Type Horizontal Stiffener: RH1~RH5)
- LH Series (Lengthened Horizontal Stiffener: LH1~LH4)

CT Series

CT 시리즈는 합성보 접합부모델(CT1), 상하부플랜지가 절취된 순철골 RBS 접합부모델(CT2) 그리고 하부플랜지만 절취된 합성보 RBS 접합부모델(CT3)로 구성되어 있다. 그림

3(b)와 같이 CT1 모델은 기존의 전형적인 슬래브가 있는 합성보 접합부로서 본 해석모델에서 다른 모델과 응력 및 내력 등의 비교를 위한 기준모델이다. CT3 모델은 RBS를 하부플랜지만 적용한 합성보 접합부로서 CT2 모델과의 비교를 통하여 접합부 부근의 응력 및 변형도 집중 등을 관찰하기 위함이다.

SR Series

SR 시리즈는 그림 3(c)와 같이 수평스티프너로 보강된 RBS 접합부 3개로 구성되어 있다. SR1과 SR2 모델은 Steel Design Guide 12(1999)에 따라 설계하였고, 두 모델의 다른점은 수평스티프너의 길이이다. SR3 모델은 SR1 및 SR2와 제작절차가 다르게 계획한 것이다. 즉, 수평스티프너를 먼저 용접한 후에, 수평스티프너와 용접된 보의 하부플랜지를 RBS 타입으로 절취하는 것이다. RBS의 크기에 대해서는 기존 연구를 통해서 이미 이론적·실험적으로 검증되어 있지만, 수평스티프너의 크기는 해석 및 실험을 통해서 확인해 볼 필요가 있다. Steel Design Guide 12에서도 RBS 접합부에 어느 정도의 추가보강을 요구하고 있다.

RH Series

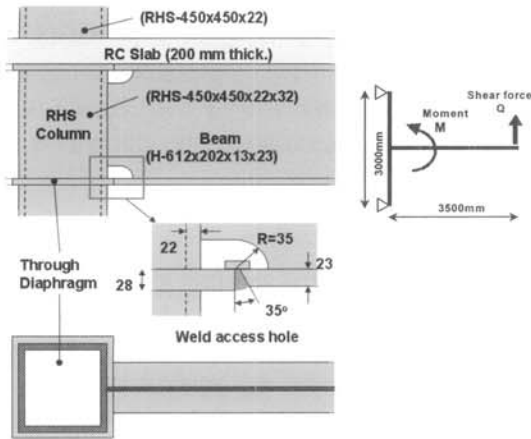
RH 시리즈는 그림 3(d)와 같이 RBS 형상을 가진 수평스티프너를 보강한 모델 5개로 구성되어 있다. 기존 연구결과(오상훈, 2004)에 의하면 RH 접합부는 기존 접합부에 비해서 변형능력이 매우 증가하는 것을 실험적으로 확인하였다. 이 모델은 RBS 접합부와 마찬가지로 정해진 구간(Pre-selected Zone)에서 소성힌지가 발생하도록 하는 응력메커니즘을 고려한 것이다. 주요 변수는 수평스티프너의 보강 길이 및 절취부(소단면)의 크기 등이다.

LH Series

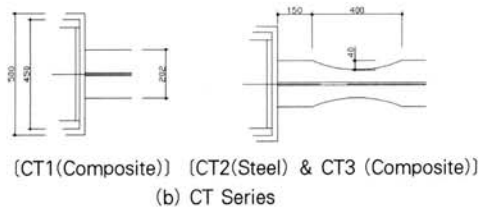
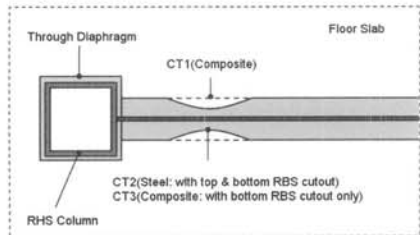
LH 시리즈는 그림 3(e)와 같이 4개로 구성되어 있고, RH에 비해서 제작편의를 고려한 것이다. LH 모델은 형상에 의해서 주요 보강부(Reinforced Part), 곡선부(Curved Part) 그리고 연장부(Extension Part)로 구성되어 있다. 곡선부는 보강부에서 연장부로 구성되는 스티프너의 크기를 점차로 줄이는 역할을 하며 응력집중을 방지하고자 하였다. 주요 변수는 LH 구성부분의 크기이다.

CT를 제외한 SR, RH 및 LH모델은 수평스티프너를 완전 용입용접을 실시하도록 하였고, 상대적으로 취약한 기둥과 보의 용접부에서 일부 떨어진 구간에서 소성힌지가 발생하도록 의도한 것이다. 또한 CT2 모델을 제외한 다른 모델들은, 상부 플랜지 부근을 보강하고자 할 경우에 슬래브에 의한 접근성이

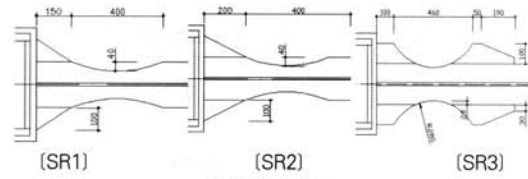
좋지 않아서 시공성이 떨어지고 보강에 대한 경제적 비용도 증가되기 때문에, 모두 하부플랜지에만 내진보강을 실시하여 성능을 확보하도록 계획하였다. RH와 LH 모델은 수평스티프너가 추가적으로 보강되어 내력이 증가하게 되고 이에 따른 응력도 증가하게 되어 SR 모델에 비해서 이점에서는 불리한 측면이 있다. 그러나 SR 모델들은 현장에서 RBS 절취와 수평스티프너 용접을 해야 하는 공정을 거쳐야 하지만, RH와 LH 모델의 경우 미리 공장에서 절취형 RBS 수평스티프너를 제작해 와서 현장에서 용접공정만 하면 되기 때문에 SR 시리즈에 비해서 시공적·경제적으로 장점이 있다고 생각되고, 이러한 장점은 내진성능과 더불어 내진보강에서 매우 중요한 요소라고 판단된다.



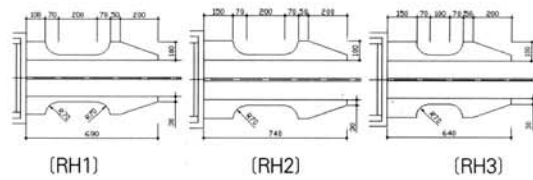
(a) 기본모델의 형상



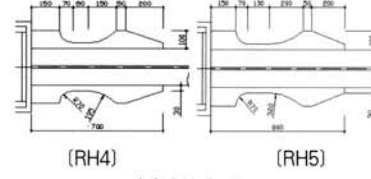
(CT1(Composite)) (CT2(Steel) & CT3 (Composite))
(b) CT Series



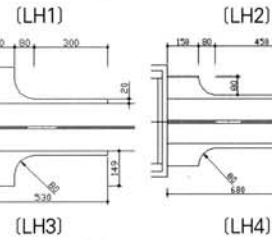
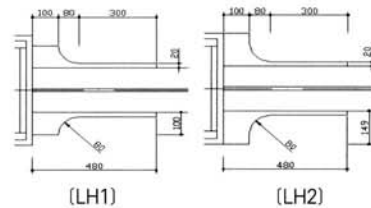
(c) SR Series



(d) RH Series



(d) RH Series



(e) LH Series

그림 3. 해석대상 접합부모델 상세

3.2 유한요소 모델링

해석에 사용된 프로그램은 기하 및 재료 비선형을 고려한 3차원 해석이 가능한 범용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS이다. 사용된 요소는 3차원 요소인 Solid 45로, 이 요소는 8개의 절점으로 구성되어 있고, 각 절점에서는 3방향의 자유도(x, y, z)를 가진다. 사용된 강재는 SM490이며 강재의 재료 비선형을 나타내기 위해서 MISO(Multi-linear Isotropic

Hardening)을 사용하여, 실험결과와의 비교를 위해서 강재시편시험으로부터 얻은 인장시험결과를 사용하였으며, 강재의 탄성계수는 200 GPa, 항복응력은 370 MPa 이다. 슬래브 콘크리트의 탄성계수는 23 GPa, 압축강도는 $F_c=24$ MPa 이며, 콘크리트의 재료특성을 나타내기 위하여 Drucker-Prager(DP) 모델을 사용하였는데, 이는 본 연구는 콘크리트 슬래브의 인장에 대한 균열 거동을 보기 위한 것이 아니라 콘크리트가 압축을 받는 정휘 상황에서의 접합부의 응력집중을 살펴보기 위한 것이기 때문이다. 그림 4와 같이 해석모델은 해석체의 기하학적 대칭성을 고려하여 1/2만을 모델링 하였으며, 실험체의 스티브와 Side beam 효과는 구속방정식(CE : Constraint Equation)으로 표현하였다.

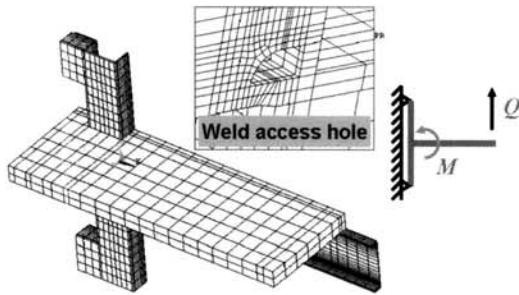


그림 4. 유한요소모델

4. 유한요소 해석결과

4.1 모멘트-회전각 관계

해석에서 하중은 콘크리트 슬래브가 압축을 받도록 하였으며, 최대회전각이 0.04 rad.이 되도록 단조가력하였다(그림 4).

그림 5는 오상훈(2004)이 실험한 SSP01 접합부 실험체의 실험결과와 본 연구에서 실시한 CT1 모델의 해석결과를 바탕으로 모멘트-회전각을 비교하였다. 비교결과 초기강성 및 항복내력과 전체적인 이력형상이 비슷한 것으로 나타났고 이 모델을 사용하여 이후의 해석을 진행하였다. 그림 6은 각 모델들의 모멘트-회전각 관계를 시리즈별로 나타낸 것이고, 비교를 위해서 기준모델인 CT1의 그래프는 다른 시리즈에도 포함시켜 나타냈다. 표 1에 해석결과 값을 정리하였다. 순철골보 접합부모델인 CT2를 제외하면 모든 접합부 모델들의 이력루프 형상은 거의 비슷하게 나타났다. 기준모델인 CT1을 기준으로 하면, 초기강성(Ki)은 0.98 ~ 1.14의 분포, 항복모멘트(My)

는 0.92 ~ 1.35의 분포, 항복회전각(θ_y)은 0.91 ~ 1.22의 분포 그리고 최대모멘트(Mu)는 0.97 ~ 1.19의 분포를 나타냈다. 이러한 분포를 한눈에 파악할 수 있도록 그림 7에 각각의 결과 값들을 나타냈다. 단면을 절취한 SR 시리즈는 스티브너로 보강했음에도 불구하고 강성이나 내력이 CT1모델에 비해서 약간 저하하는 결과를 나타냈다. 그러나 보강이 더 이루어진 RH 시리즈와 LH 시리즈는 초기강성, 내력 등이 약간 증가하는 결과를 보였고, 특히 보강량이 가장 큰 RH 시리즈가 가장 큰 값을 나타냈다.

표 1. 해석결과

모델	초기강성 [kN.m/rad.]	항복내력 [kN.m]	항복회전각 [rad.]	최대내력 [kN.m]
CT1	304650	1820	0.006	3440
CT2	117300	1173	0.009	1385
CT3	298240	1720	0.006	3330
SR1	307450	1680	0.005	3340
SR2	311620	1760	0.006	3440
SR3	326800	1960	0.006	3690
RH1	335590	2370	0.007	3990
RH2	338500	2440	0.007	4040
RH3	337330	2450	0.007	4020
RH4	338870	2450	0.007	4050
RH5	340390	2440	0.007	4080
LH1	327770	2280	0.007	3840
LH2	328480	2280	0.007	3850
LH3	333070	2370	0.007	3910
LH4	347980	2410	0.007	3960

* 최대내력은 0.04 rad.에서의 내력을 의미함.

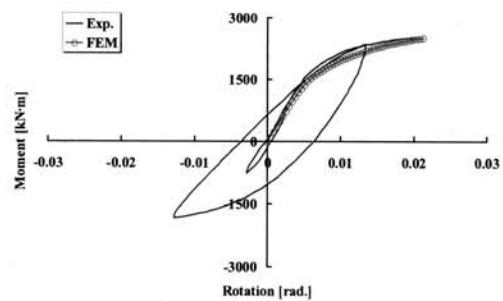
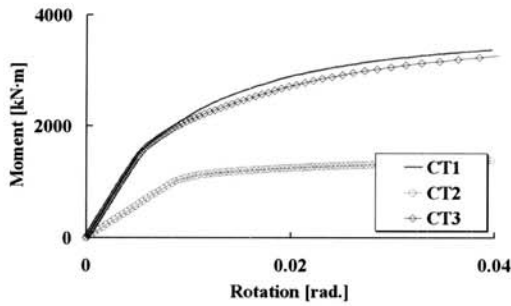
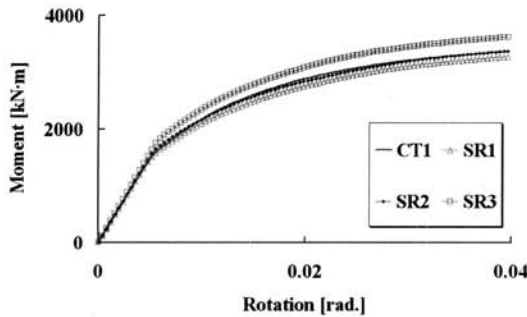


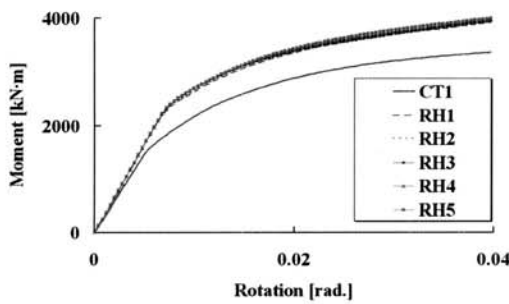
그림 5. 모멘트-회전각 비교



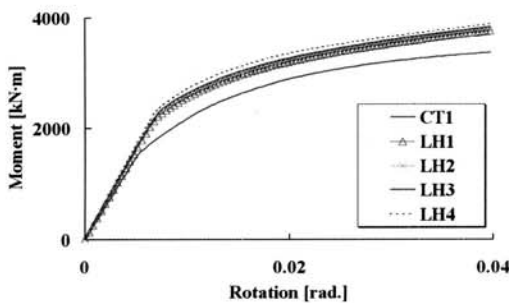
(a) CT 시리즈



(b) SR 시리즈



(c) RH 시리즈



(d) LH 시리즈

그림 6. 모멘트-회전각 관계

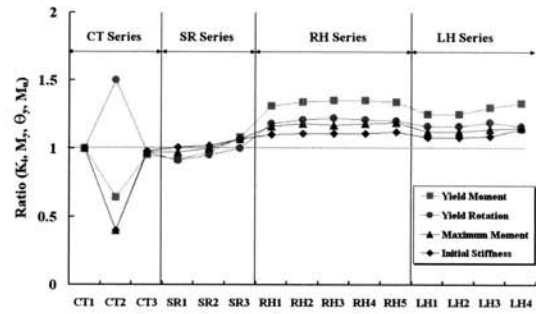


그림 7. 해석결과 비교

4.2 응력 분포

접합부 모델의 응력분포와 항복영역을 관찰하기 위하여 그림 8에 미세스(Von Mises)응력분포를 나타냈다. 그림 8(a)에서 CT1 모델은 기둥면에서 가까운 부분의 보하부플랜지에서 응력집중현상이 관찰되었다. 이는 기하학적 불연속성에 의한 스캘럽 영향, 보웨브의 모멘트전달효율 저하 그리고 슬래브에 의한 합성보 효과때문이다(Okada, 2001; Kim, 2004 & 2006). CT2는 보플랜지의 상하 모두를 절취한 접합부 모델이고, CT3는 상부플랜지측에 슬래브가 있기 때문에 하부플랜지만 절취한 합성보접합부 모델이다. 양모델의 응력분포는 서로 다르게 나타났다. CT2모델의 경우에는 절취부를 중심으로 양쪽으로 대칭한 응력분포를 나타냈고, 기둥면 부근의 응력 집중은 특별히 관찰되지 않았다. 이와는 반대로, CT3모델은 하부플랜지의 절취부를 중심으로 넓은 소성영역을 발생시켰지만, 응력은 기둥면 부근까지 확대되어 상대적으로 취약한 스캘럽부근에 집중되었다. 이는 조기취성파단의 원인이 되며, 기존 합성보 접합부에 RBS를 하부플랜지에 적용하는 내진보강을 실시하더라도 추가적인 보강이 필요하다는 것을 나타낸다.

그림 8(b)는 SR시리즈 모델의 미세스 응력분포를 나타낸 것이다. 이것은 기둥으로부터 일부 떨어진 구역에 소성역을 확보하고자 한 것으로서, 보플랜지의 절취부에서 소성현상이 발생하도록 하였다. 이 시리즈의 모델들은 CT3모델과는 다르게 기둥면에 접한 보플랜지의 응력집중이 저감되었음을 그림을 통해 알 수 있다. 이는 RBS만 취한 CT3모델과 달리 추가 수평스티프너로 보강하였기 때문이라고 판단된다. 따라서 하부플랜지만 보플랜지를 절취하더라도 보강수평스티프너가 있으면 기둥으로부터 일부 떨어진 보에서 소성현상을 발생하도록 한 안전한 붕괴모드를 확보할 수 있음을 확인하였다.

그림 8(c)와 8(d)는 각각 RBS 타입의 수평스티프너를 보강한 RH와 LH시리즈 모델의 응력분포를 나타낸 것이다. 이 두 시리즈 모델은 기둥에서 일부 떨어진 구역에서 넓은 소성영역

을 확보하여 소성힌지를 발생하는 결과를 보였다. 이는 Oh(2007)의 연구에서 실시한 실험결과를 통해 RH와 LH 타입의 합성보 실험체들이 우수한 변형능력을 보인 것을 통해 이미 확인한 바 있다. 또한, 수평스티프너의 영향에 의해서 기둥면의 보플랜지에서 응력집중의 영향이 CT3에 비해서 현저히

저감하였음을 알 수 있다. 일부 모델의 수평스티프너 라운드부근에서 응력이 집중되는 현상이 관찰되었으나 접합부의 성능에는 큰 영향을 주지 않을 것으로 판단되나 추가적인 파라메터릭 연구를 통해서 밝혀질 필요가 있다.

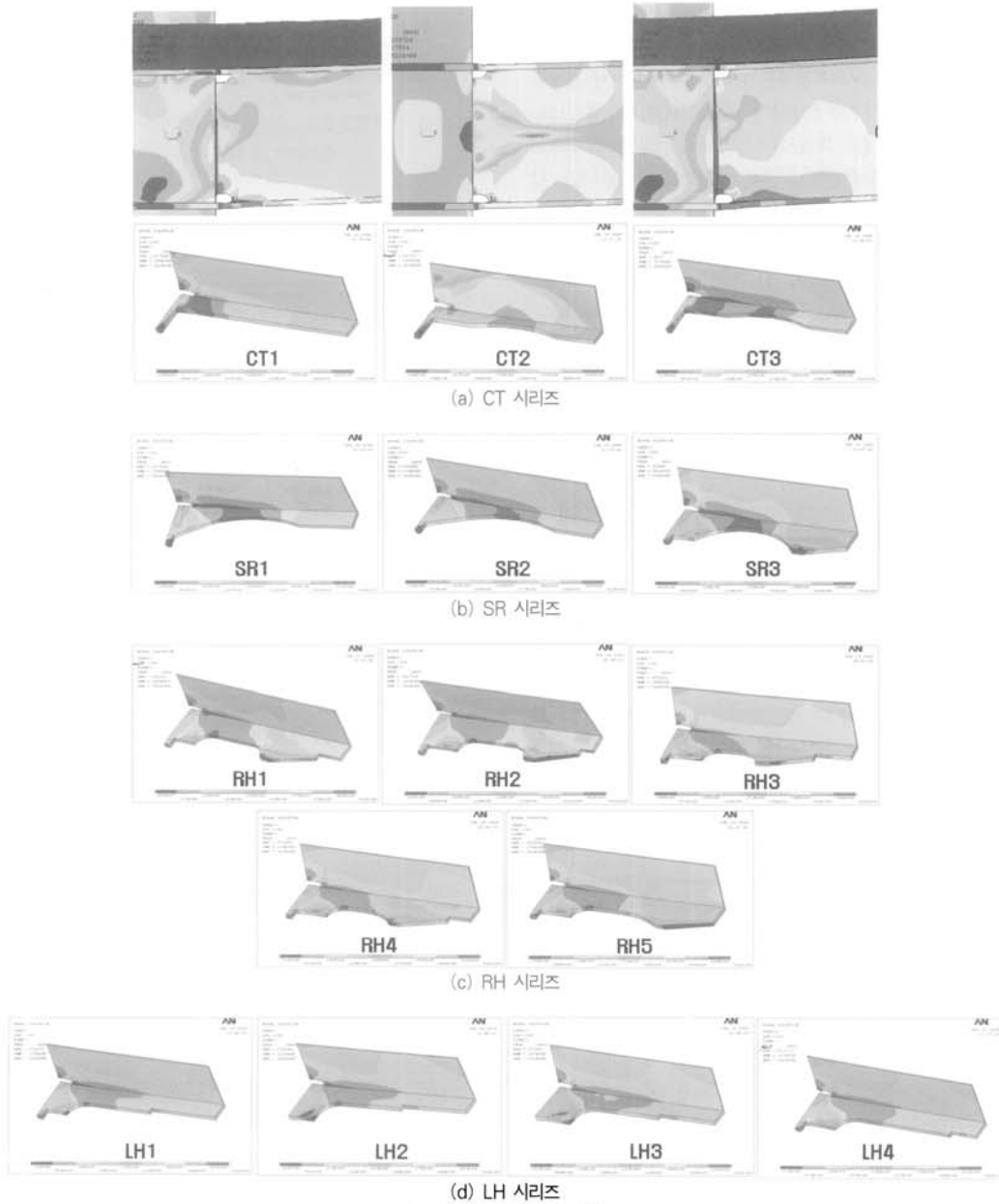


그림 8. Von Mises 응력분포

4.3 변형도 분포

그림 9는 접합부 부근의 스캐럽 단부지점에서 보하부플랜지의 변형도 분포를 각 시리즈별로 나타낸 것이다. 보의 하부플랜지에서 스캐럽의 단부가 있는 하부플랜지의 상부면(TBF)과 하부플랜지의 하부면(BBF)에서의 변형도 분포를 각각 좌우에 나타냈다. 모든 모델의 변형도분포는 TBF에서도 특히 스캐럽 단부가 가장 큰 변형도를 나타냈는데 이는 기하학적으로 스캐럽의 노치가 있는 부분에서 변형도가 집중하는 것을 잘 보여주는 예라고 할 수 있다. 각 그림에는 비교를 위해서 기준모델인 CT1의 변형도 분포를 나타냈다. CT1과 CT3모델에 비해서 SR, RH 및 LH모델의 변형도 분포는 급감하고 있는 것을 알 수 있다.

그림 10은 평균변형도와 접합부의 회전각관계를 나타낸 것이다. 이 그림을 통해서 알 수 있는 사실은 같은 회전각에서 변형도가 크면 변형도 집중이 상대적으로 크다고 할 수 있다. 이러한 변형도 집중을 객관적으로 파악하기 위해서 항복이후의 단위회전각에 대한 변형도의 증가율 즉, 기울기를 계산하였다. 즉, 기울기가 크면 클수록 변형도 집중이 크게 되는 것이다. 그림 10을 살펴보면, 각 그래프에 나타난 CT1의 기울기에 비해서 SR, RH 및 LH 모델들의 기울기는 매우 저하함을 한눈에 알 수 있다. 이러한 모델들은 회전각이 증가해도 변형도의 증가율이 매우 둔화함을 의미한다. 이러한 변형도 집중을 비교하기 위해서 각 기울기를 구해서 CT1모델의 기울기를 기준으로 해서 그림 11에 나타냈다. 하부플랜지를 절취한 CT3의 경우 변형도 집중이 CT1에 비해서 저하했지만 여전히 높게 나타났다. 그러나 SR, RH 및 LH 모델들의 값은 각각 0.17, 0.27 및 0.22로 나타났다. 이는 슬래브에 의해 하부플랜지의 변형도가 커지더라도 본 논문에서 제시한 보강을 실시할 경우 접합부의 파단을 방지하고 안전성을 확보해서 충분한 변형능력을 발휘할 수 있을 것으로 판단된다.

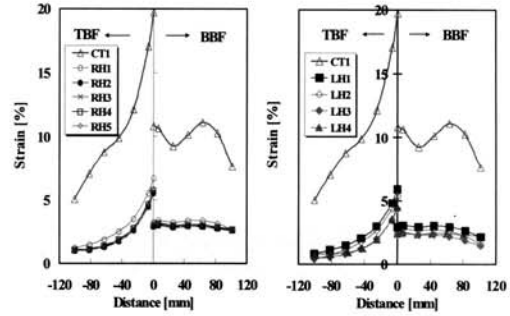
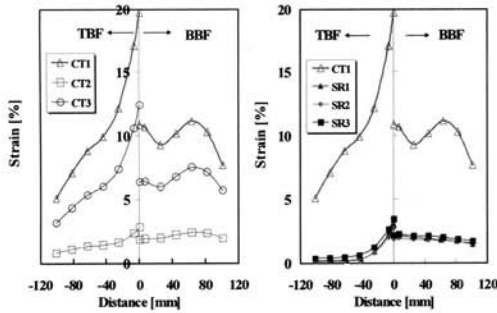
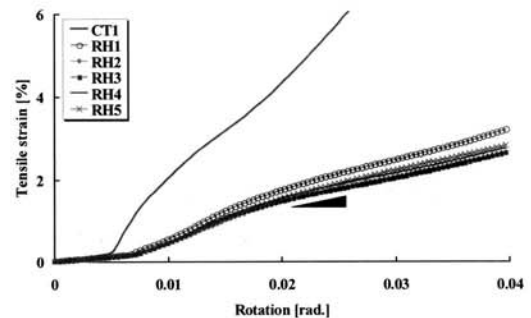
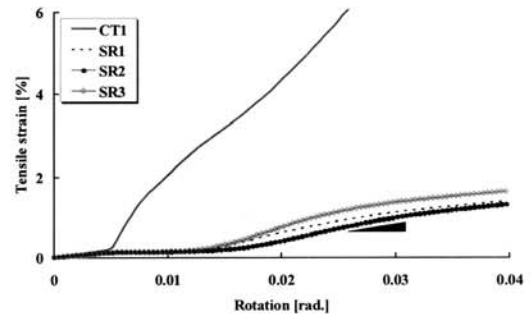
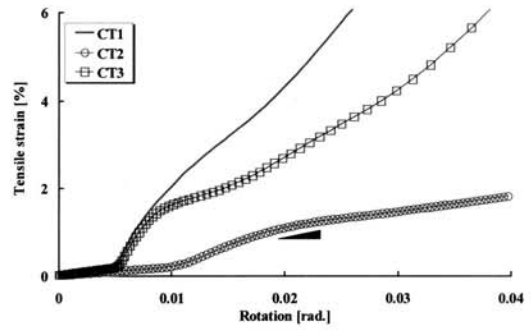


그림 9. 변형도 분포 (TBF: Top of bottom flange, BBF: Bottom of bottom flange)



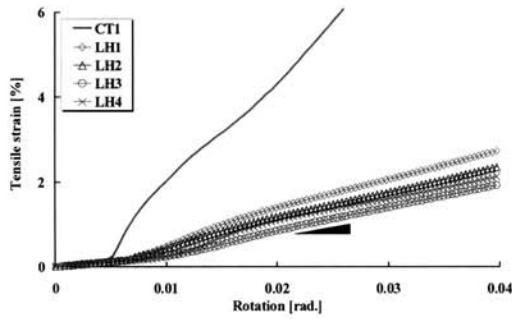


그림 10. 변형도와 회전각의 관계

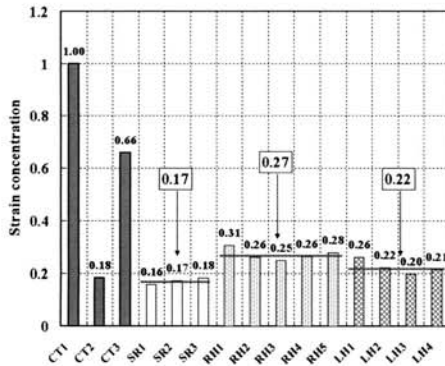


그림 11. 변형도 집중률 비교

5. 결론

본 연구에서는 RHS기둥을 가진 기존 합성보 철골모멘트접합부의 취성파단을 방지하기 위한 내진보강방법을 제시하기 위해서, 기존 합성보 접합부모델을 포함한 4가지 시리즈의 내진보강모델을 대상으로 유한요소해석을 실시하였고 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 해석결과 이전의 연구결과에서 우수한 성능을 나타내었던 순철골 RBS접합부(CT2 모델)의 경우는 보강하단의 절취부에서 넓은 소성영역을 확보하여 기둥단부 보플랜지의 응력저감이 뚜렷이 관찰되었다. 그러나 슬래브를 가진 RBS 접합부(CT3 모델)의 경우, 기존 합성보접합부(CT1 모델)에 비해서는 응력이 많이 완화되었지만 보하부플랜지에서의 응력집중을 초래하였다.
- (2) RBS에 추가적으로 수평스티프너를 보강한 SR시리즈 모델의 경우 기둥단부 보플랜지에서의 응력집중이 매우 저감하는 결과를 나타냈다. 따라서 합성보접합부에

RBS를 적용할 경우에는 추가적인 보강요소가 필요하다고 판단된다.

- (3) 수평스티프너 자체를 변형하여 소성화를 유도한 RH나 LH시리즈 모델의 경우에도 넓은 소성화영역을 확보하였고 기둥에서 일부 떨어진 위치에 소성힌지를 발생할 수 있는 가능성을 발견하였다.
- (4) 본 연구에서 제시한 접합부의 보강방안은 시공성의 편의를 위해 보의 하부플랜지를 중심으로 검토되었고, 해석결과 보하부플랜지의 보강만으로도 우수한 응력저감성을 발휘하였다. 그 중에서 응력저감성과 제작성이 가장 유리한 SR과 LH 디테일을 권장하고자 한다. 무엇보다도, 본 연구에서 제안된 내진보강접합부를 실제 적용하기 위해서는 기둥플랜지면의 붕괴모드를 고려한 설계식을 제안하고 이것을 검증하는 실험 등의 추가적인 연구가 필요하다.

참고 문헌

- K. Okada, S.H. Oh, S. Yamada, T. Imaeda, M. Yamaguchi and A. Wada. (2001). Experimental study on deformation capacity of composite beams with conventional type beam-to-column connections. *Journal of Structural Construction and Engineering*, AIJ, 547(9), pp. 161-168
- Y. Matsumoto, H. Akiyama and S. Yamada. (1999). Relationship between deformation capacity of beam at steel beam-to-column connection and joint efficiency. *J. Struct. Constr. Eng.*, AIJ, 523(9), pp. 117-124
- Y.J. Kim, S.H. Oh (2006). Effect of moment transfer efficiency of a beam web on deformation capacity at box column-to-H beam connections. *Journal of Constructional Steel Research.*, Vol. 63, pp. 24-36
- Steel Design Guide Series 12. (1999). Modification of existing welded steel moment frame connections for seismic resistance. AISC.
- Y.J. Kim, S.H. Oh and T.S. Moon. (2004). Seismic behavior and retrofit of steel moment connections considering slab effects. *Eng. Struct.*, 26(13), pp. 1993-2005
- S.H. Oh, Y.J. Kim, T.S. Moon (2007). Cyclic performance of existing moment connections in steel retrofitted with a reduced beam section and bottom flange reinforcements. *Canadian journal of civil engineering*, Vol.34(2), pp. 199-209
- K. Okada, S.H. Oh and S. Yamada. (2003). Effect of

오상훈 · 김영주

joint efficiency at beam-to-column connection on ductility capacity of composite beams. J. Struct. Constr. Eng., AIJ, 573(11), pp. 185-192

(접수일자 : 2008. 2. 18 / 심사일 2008. 4. 4 / 게재확정일 2008. 6. 10)