경제적 철골제작 · 설치 및 공기단축 사례분석연구

Case Study on Economical Fabrication and Erection of Steel Structure and Reduction in Field Erection Time

안 재 봉* · 최 윤 기**
Ahn, Jae-Bong · Choi, Yoon ki

요 약

현재 국내에도 건물의 특성에 알맞은 가변적이며 대공간 확보가 가능하고 사용부재의 두께가 수mm에서 100mm에 이르는 극후판 두께의 건축 철골구조의 건축물 및 Box형 강재교량으로 구축되는 사례가 증가하면서 철골부재의 제작 및 가공기술이 예전보다 더욱 향상되고 구조물로서의 품질관리에 대한 신뢰성의 요구도 증가되고 있는 실정이다, 그러나 국내의 철골조 건축부재의 구조설계는 설계사대로 각기 이루어지고 해당 부재는 공장별로 제작진행되어 그 기술수준에는 보이지 않는 상당한 격차가 있다고 보여지며 업체별로 경제성 등을 고려하여 기본적이며 일반적 철골제작기법을 간결하게 적용하는 것에 머물러 고도한 선진적인 기술의 채용은 대부분 주저할 수 밖에 없는 상황이다

또한, 중소규모의 빌딩 건축물들의 철골조 설계적용을 고려해볼 때 수많은 접합부의 표준화를 비롯하여 구조체 전체의 표준화 및 내 · 외장재까지 포함된 시스템건축의 건축물설계와 부재의 제작 및 설치기술 개발경향도 엿보이고 있는 가운데 특히, 철골부재의 공장제작과 현장설치의 보다 경제적이고 짧은 공기내에 완전한 품질을 확보할 수 있는 부재간의 접합부 설계에 대한 연구검토는 철골분야에 종사하는 업계는 물론 현장 관계자에게도 의미있는 일일 것이다. 본 논문에서는 철골조 건축물의 특성을 알아보고 철골구조물 공장제작 및 현장설치공기를 최대한 단축할 수 있는 철골기둥과 기둥, 기둥과 큰보부재 접합부 변경사례 및 Box Column의 용접자동화, 로봇화에 의한 철골기둥 부재제작사례와 금후 철골구조물 제작상의 문제점과 대응방안에 대하여 서술하고자 한다.

키워드 : 철골조 건축물, 철골구조 접합부설계, 공장제작, 현장설치, 자동화 부재제작

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

최근에 건축물들의 형태가 고층화, 장스팬화, 친환경화를 추구하게 되면서 초고층빌딩 뿐 아니라 학교, 아파트, 주택 등에 이르기까지 철골구조의 사용이 일반화되어 있다. 또한 철골구조의 장점이 널리 알려지면서 중, 저층의 사무소 건축에도 철골구조를 이용하는 예가 점차 확대되고 있는 실정이어서 건축기술자들의 철골구조에 대한 관심이 높아지고 있다.

일반적인 철골구조 건축의 장점으로는 다음의 것을 들 수 있다, 첫째, 철골조 건축은 내구성이 가장 큰 장점이다. 철근콘크리트에 비해 약 7배 정도의 강도를 가지고 있어 그만큼 내진성능이나 안전성이 탁월하다. 둘째, 다양한 구조로 변화가 자유롭다. 강도에 비해 가벼운 재료의 성질을 이용해 외관 디자인을 자유롭게 구사할 수 있어, 다양한 용도의 건물을 짓는데 유리하다. 셋째, 내부공간 면적을 극대화할 수 있다. 철근콘크리트조에 비해 기둥과 기둥간격(스팬:Span)을 넓게 할 수 있어 실제 내부 사용면적을 늘릴 수 있다. 더욱이, 고층건물의 경우 철근콘크리트조로 시공할 경우 크기가 지나치게 커지기 때문에 대부분 철골구조를 채택하고 있으며 넷째, 경제적 건축이 가능하다.

철골구조물은 공장에서는 주로 제작생산만 하고 현장에서는 조립설치를하는 방식으로 공사를 진행하기 때문에 공사기간을 철근콘크리트조 보다 20~30% 단축시킬 수 있어 경제적이다. 다섯째, 변경과 보수가 용이하며 상업공간의 경우는 유행의 변화를 빠르게 소화시켜야 하므로 가변성이 있는 재료로 짓는 것이 유용하다. 여섯째, 환경친화적이다, 건축물은 장기간 사용 후 철거를 하게 되는데 다른 건축자재의 경우 철거후 80~85%가량 폐기처리되나 철은 대부분 재활용이나 재사용이 가능하다는점 때문이다.[1]

* 학생회원, 숭실대학교 대학원 건축공학과, 박사과정
** 종신회원, 숭실대학교 건축공학부 교수, 공학박사
본 연구는 숭실대학교 교내 학술연구비 지원으로 연구되었음

1) 이용호, 중저층 철골조건축물의 활성화 방안, 건설기술정보, 건설기술연구원, 통권 203호, 2,000.10월호, pp. 28-29,

우리나라 건설산업의 경우 철강소비의 50% 정도를 차지하고 있지만 대부분의 건축물이 철근콘크리트(RC)구조로 지어 졌으며 국내에서의 철골구조(steel, steel + RC) 는 주로 대형 건축물에 적용되어 왔고 최근들어 철골구조 건축허가면적의 증가세가 두드러지고 있는데 이는 초고층아파트와 주상복합건축물, 업무용 고층빌딩 등 주거용 · 상업용 시설의 공급확대에 기인한다고 보여지며 아울러, 건설업계와 철강업계가 공동으로 새로운 강종개발과 자재의 표준화를 추진하여 내구성 확보 및 원가절감의 효과를 가시적으로 나타내고 있기 때문이다.

그러나 IMF체제를 거치면서 국내의 건설경기는 상당히 위축되어 있고 좀처럼 회복의 기미가 보이지 않고 있는 가운데 토목교량 및 건축철골산업 시장전체가 축소될 경향이 있다는 것을 부정할 수는 없으며 수요저하 및 원자재 가격의 상승우려에 대한 조속한 대응이 필요한 실정이다. 이러한 열악한 환경하에서 경쟁력 있는 생산체제를 정비하고 철골공장 제작 · 설치의 비용절감을 위한 노력은 현재의 어려운 시대를 극복하기 위한 필요불가결한 문제라고 생각하며 사례를 통한 철골구조 접합부 설계시 VE차원의 효과적인 표준화 설계제안과 용접자동화 및 로봇화에 의한 과감한 무인제작 기술개발 제안을 통해 철골관련업계에 효과적인 성력화를 가져다 주기 위한 목적으로 연구를 시작하였다.

1.2 철골조의 특성과 공사비용, 공사기간측면 비교 예

1.2.1 철골조 Apt와 철근콘크리트조의 특성비교

철근콘크리트조는 기둥과 벽 등 구조부재의 단면적이 크나, 초고층 철골조의 경우 간막이 벽체가 얇아 실내 전용면적(약 3~4%)을 넓힐 수 있고 철골조 아파트는 공기조화(HVAC)시스템, 정보통신시스템, 중앙집중식 냉 · 난방 및 방범설비와 첨단기기의 설치가 용이하며 커튼월(curtain wall)등 다양한 외장재를 사용하는 것이 가능하고 또한, 보다 넓고 개방된 발코니 공간을 확보하는 것이 가능하다, 아래표는 전반적인 특성을 비교한 것이다.

표 1. 철골조 Apt와 철근콘크리트조의 특성비교

구 분	철근 콘크리트조	철골조
건축계획	- 여러 치수, 형태의 구조물 설계용이 - 벽, 기둥의 단면적 증대 - 외장 마감이 다소 획일적 - 개조하거나 보강이 어려움	- 구조이론을 쉽게 적용 가능 - 내부구조의 가변성 풍부 - 실내 유효면적의 증가 - 기본적으로 격자형 모듈 설계 - 외장재, 색채마감의 변화가 다양
구조적 특성	- 자중(自重)이 큼(고강도 콘크리트, 경량콘크리트의 사용이 저조한 상태) - 구조물의 일체화 가능,	- 가구식 구조(Framed structure) - 건물의 경량화 가능 - 구조적으로 초고층 및 장스팬(Large span) 구조에 유리
구조적 특성	강성 증대 - 구조적으로 4~10층의 저층에 유리	구조에 유리
구조적 안전성	- 내구성, 내화성, 내풍성 - 내진성도 우수하나, 철골조에 비하여 취약 - 장기적으로 중성화에 의한 철근부식우려	- 내진성, 내충격성, 내구성 우수 - 내화성이 낮아 내화피복 필요 - 좌굴(Buckling) 발생우려 - 노출된 강재의 주기적 방청도장 필요
품질관리	- 품질 변동의 우려 존재 - 시험업무가 많고 품질관리가 어려움, - 시공이 조잡해지기 쉬움 - 크랙(Crack)이 발생하기 쉬움	- 공장 가공에 의한 제작 품질 확보가능 - 현장 품질관리 용이 - 볼트 · 리벳접합 및 용접부위 결함 우려
현장관리	- 소음 등 환경공해 존재 - 고급의 기능인력(철근공, 형틀공) 필요 - 레미콘타설에 따른 교통체증 유발	- 건식 생산에 의한 공해 요인 감소 - 골조부분에 가설사무소 설치 가능 - 기후영향 없이 전천 후 시공 가능 - 폐기물 감소 가능

1.2.2 공사비용, 공사기간측면 비교

우선 코스트 측면을 보면, 철골조는 사용 철강재의 가격이 높고, 공장 가공비 및 현장 수송비가 필요하게 되며, 나아가 현장에서의 내화피복 및 마감비용 등을 포함할 때, 철근콘크리트조 벽식 구조에 비하여 15~20% 가량 건축비가 상승하는 것이 일반적이다. 다만, 공기 단축에 의한 효과를 고려할 경우, 철골조는 현장관리비를 20%가량 줄일 수 있기 때문에, 금융비용(할인율) 등을 고려할 때, 전체적으로는 5~10% 정도 코스트가 상승하는 것으로 추정된다, 그러나, 초고층 아파트의 구조계획에 대하여 설계자와 시공자의 인식도를 조사한 결과에 의하면, 철골조(S조)는 코스트 및 거주성능 측면에서 층간 · 세대간 차음성능 취약 및 단열성능 미흡 등의 부정적인 평가가 많았으나, 다른 항목에서 좋은 평가를 받아 이를 상쇄하고 있다.

공기측면에서는 코어(core)부를 RC전단벽(shear wall)구조로 설계했을 경우 철골조는 골조공사 공기가 층당 평균 0.84개월이 소요되나, RC조는 평균 1.2개월이 필요한 것으로 평가(철강업계 자료)하고 있다[2].

1.3 연구범위 및 방법

우선 구조계산을 거친 건축물의 철골구조설계가 완료되어 건축도면화(Basic Dwawing)된 내용을 시공과정에서 제작 · 설치상세도(Shop Drawing)로 작성한 후 현장감리단의 검토과정에서 해당부재의 경제적 제작여부, 작업성 및 용접성확보 등의 일련의 VE차원의 행위가 이루어지는데 검토과정에서 효

2) 건설경영자료집, 건축분야 틈새시장(Niche Market) 에 관한 조사연구, 대한건설협회 서울특별시회, 2,003.03.30

과적인 비용절감을 추구할 수 있는 해박한 철골분야의 Engineer가 부족한 실정이며 시공성, 경제성 및 우수한 용접성확보 등의 변경사례 또한 미미하고 대부분의 구조설계된 부재는 기본도면을 근거로 공장제작 작업을 위한 세부상세도면화 되어 여러과정의 공장제작품질검수 및 설치검사검측을 거쳐 완공에 이르게 된다.

철골조 건축물의 경우 철골부재의 현장설치(erection)가 주공정(critical path)에 해당되고 부재접합부인 기둥(column)과 기둥(column), 기둥(column)과 큰보(girder), 큰보(girder)와 작은보(beam), 작은보(beam)와 작은보(beam) 및 가새(brace)등의 접합부의 제작 · 설치 작업속도가 전체공기에 영향을 미칠수 있으며 특히, 코어(core)후속일 경우에는 더욱 영향이 크다고 본다.

국내의 철골조 건축물 가운데 대표적인 철골접합부 사례를 비교 · 확인해본 결과 구조설계자의 의도에 치중되어 접합방법이나 용접법이 제각각 다르다는 것을 알 수 있고 또한 용접작업에 소요되는 노무비와 재료비 역시 설계별로 차이를 보이고 있으므로 이에대해 용접개선부 용착량, 시간당 작업량계산을 통한 부재두께, 개선각에 따른 용착량과 용접작업 소요시간을 알아보고 이어서 철골부재접합부 개선사례, 경제적인 부재접합부와 부재제작 개발사례 및 자동화된 부재제작사례에 대해 연구해 보고자 한다

2. 철골 부재접합부 사례분석

2.1 부재접합부 설계사례 검토

통상 철골부재 설계는 과거 제철회사에서 생산되는 형강(roll-beam)제품 카탈로그상의 허용응력을 참고로 수작업에 의한 구조계산을 하여 검증을 하였으나 최근에는 각종 구조계산 프로그램(MIDAS GEN)을 이용, 해당철골설계모듈을 입력하면 철골부재의 단면별 최적경량화설계 수행 및 단면성질 자동갱신 및 구조해석->강도검증->최적단면선정 과정을 자동반복하면서 철골부재 최적설계 수행하며 철골부재 볼트접합부 자동설계기능(볼트수량, 이음판 및 보강판 설계결과 포함)한 계산결과가 나타나게 되고 그를 바탕으로 철골부재에 대한 강도검증결과 및 구조계산서를 작성하게 되는데 그 과정에서 부재접합부(기둥과 보, 기둥과 기둥, 보와 거더, 보와 보와의 접합부) 작업의 신속성과 경제성을 고려한 강구조설계는 보다 작업시간을 단축시켜줄 것으로 예측된다. 이에 대해 철골조 건축물에서의 일반적인 기둥, 큰보 및 작은보와의 접합부상세사례를 들어 보기로 한다.

2.1.1 일반적인 기둥과 기둥 접합부상세 예

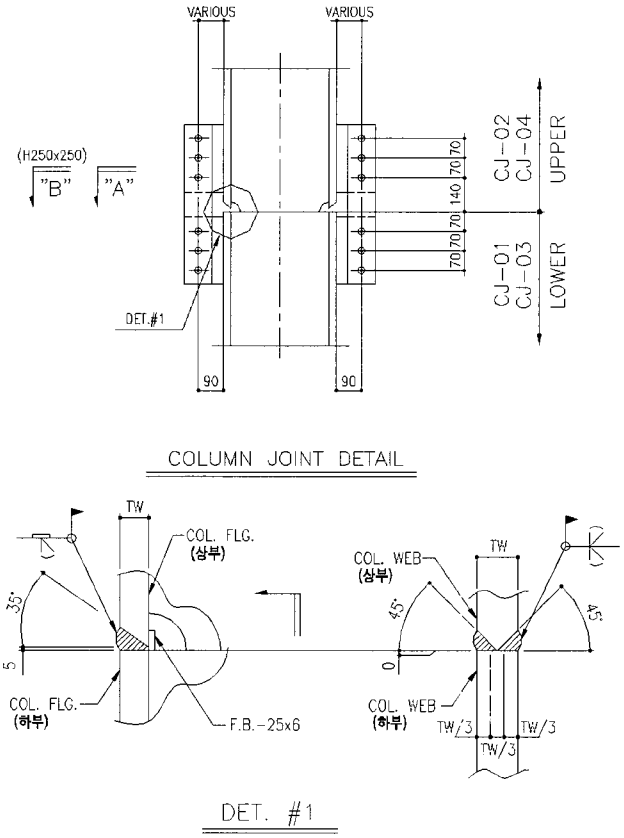


그림 1. 기둥 Joint 상세(상,하 기둥 동일경우)

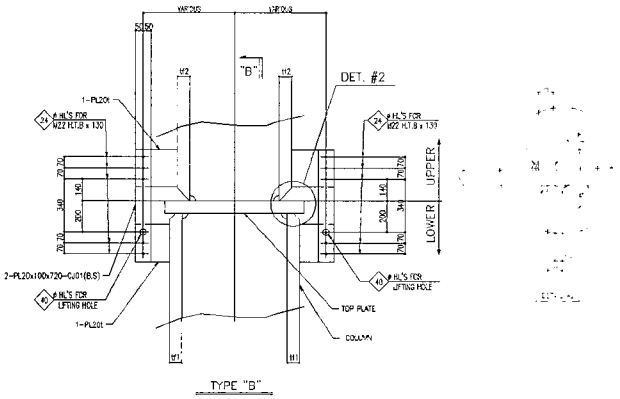
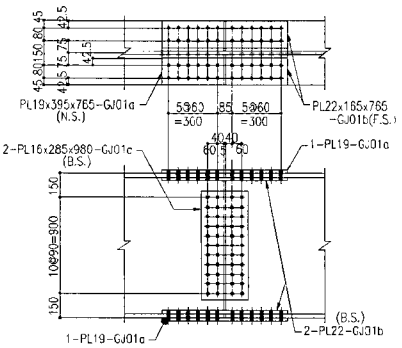
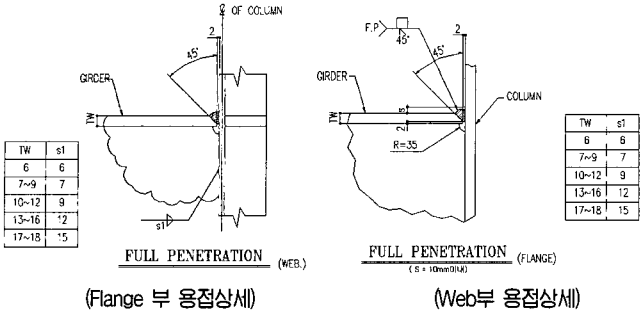


그림 2. 기둥 Joint 상세(상,하 기둥 동일하지 않을경우)

2.1.2 일반적인 기둥, 큰보 접합부 상세





(Flange 부 용접상세) (Web부 용접상세)

그림 3. 기둥 Bracket과 큰보의 Joint(Bolt)상세

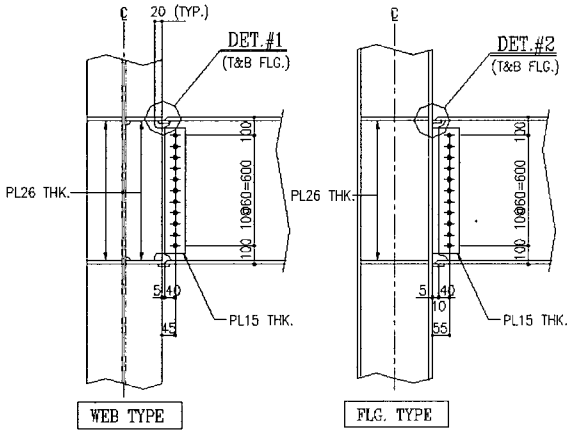
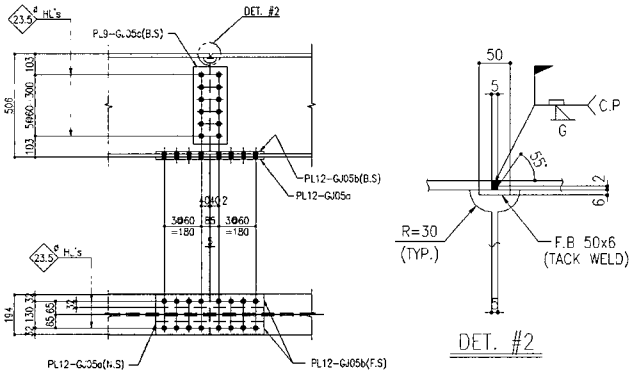


그림 4. 기둥과 큰보의 Joint(상,하 Flange현장용접)상세

2.1.3 일반적인 큰보와 큰보의 접합상세



2.1.4 일반적인 보와 보의 접합상세

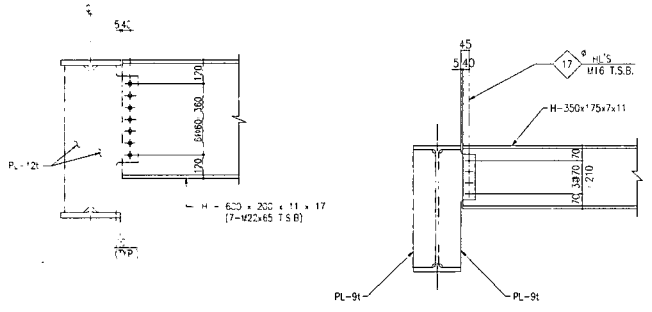


그림 5. 보와 보의 접합부 상세

2.2 부재접합부 용접작업량 비교분석

2.2.1 용접개선부 용착량 및 시간당 작업량 계산

본 연구를 위해 참조한 여러가지 대형철골조 건축물의 용접접합부 Detail을 분석해본 결과 대부분의 접합부 개선각은 45°를 적용·설계한 것으로 확인되었고 이에 대해 대형 철골제작사가 기준하는 용접작업에 소요되는 시간당 작업량을 알아보고자 한다, 아래내용은 철골부재의 용접접합부에 대한 용접용착량과 시간당 용접작업량을 공식으로 접근하여 용접사 1인 1일당 용접봉 소모량과 시간당 작업량을 알아보았다.

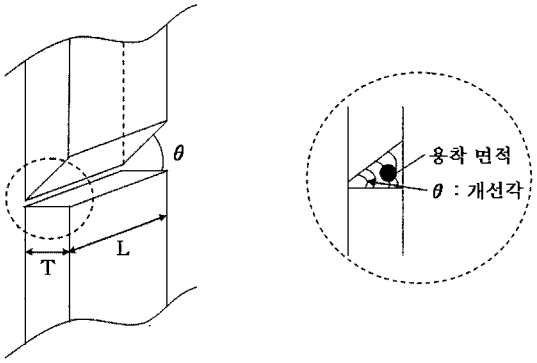


그림 6. 용접 개선부 용접단면

* A(용착량) = 1/2 * T^2 * tanθ * L * 7.85/1000
  A=용착량(Kg), T=부재두께(mm), θ=개선각 L=용접길이(m)
* 현장용접사 1인1일(8hr)용접봉 소모량(FCAW 1.4Φ 기 준) : 30Kg
  W(작업량) = 30Kg/8hr * η = 30/8 * 0.85Kg/h = 3.19 Kg/hr
* η(용착효율) = 85%, H(작업소요시간) = A/W(hr)

2.2.2 부재두께 및 개선각에 따른 용착량과 용접작업 소요시간 분석(용접길이 L=1M 기준)

표 2. 부재두께별, 개선각별 용접시간 비교

T(부재두께mm)	θ (개선각°)	A(용착량kg)	H(소요시간hr)
30	30	2.04	0.6
	45	3.53	1.11
	60	6.12	1.92
40	30	3.63	1.14
	45	6.28	1.97
	60	10.88	3.41
60	30	8.16	2.5
	45	14.13	4.43
	60	24.47	7.68
80	30	14.50	4.55
	45	25.12	7.88
	60	43.51	13.65

주. 1) 현장 여건 및 용접사 기량에 따라 작업량 증감 할 수 있음.
주. 2) 용착량 산정시 Root gap 고려치 않음

위의 표 내용을 살펴보면 부재두께 40T, 30°의 개선각을 가진 부재의 용접시간과 60°개선각의 용접시간은 무려 3배의 시간이 소요됨을 알 수 있고, Flange 부재 폭 700mm, 두께 60T, 45° 개선 완전용입(full penetration)용접부와 Web 폭 450mm, 두께 30T, 양면 45°개선 부분용입(partial penetration)부의 용접 접합을 할 경우 현장 기능공의 1일(8시간 기준)완료가능한 부재 접합 Point수는 1개소 정도에 불과하다고 사료된다. 개선각 30°와 45°와의 용접작업 소요시간이 1.5배 이상소요되는 것을 감안할 때 철골부재의 접합부 설계에 있어서 공장 또는 현장용접 작업에 소요되는 시간이 최소화 될 수 있도록 구조설계시에 감안하여 반영, 적용하는 것이 합리적이며 30°-35°개선각으로 설계하여도 양질의 용접으로 시공되게만 관리하면 인적, 물적차원의 많은 경제적인 도움이 될 것이다.

2.3 철골부재 접합부 개선사례

2.3.1 기둥과 기둥의 접합부 개선(불광 P 현장)

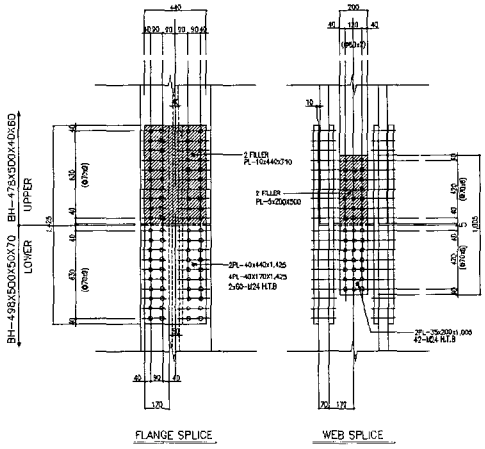


그림 7. 개선전의 접합상세

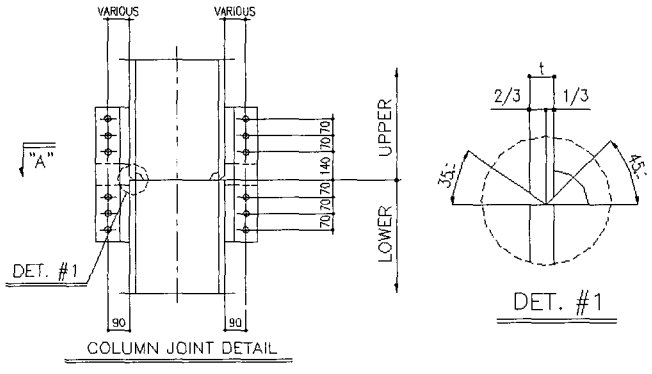


그림 8. 개선 후의 접합상세

대규모 건축구조물의 경우 상부하중의 지지를 위한 철골부재의 두께가 40t를 초과하여 설계되는 경우가 많고, 이때 기둥과 기둥의 두부재간의 접합을 볼트접합으로 설계되었을 경우 제작공장에서 보유중인 자동화 드릴링 기계의 제원을 Over하게 되어 부득이 Bolt Hole을 수가공으로 이루어 짐에 따라 이에 따른 제작기간 및 품질확보 문제점이 야기될 소지가 있으므로 현장용접으로 설계전환하는 것이 합리적일 것이다. 또한, 두꺼운 부재일수록 Flange 및 Web측의 볼트수량은 그만큼 증가(대략 200개 이상)하므로 현장에서의 부재조립시 고장력볼트의 구멍을 일치시켜서 체결하기에는 어려움이 따른다.

2.3.2 기둥과 보의 Bracket Moment 접합부 개선 (부산 S병원)

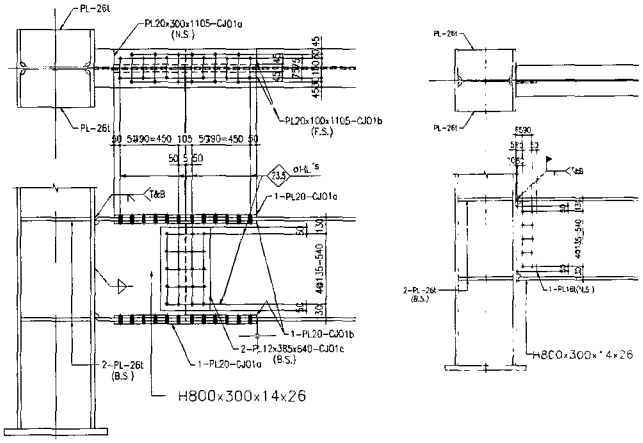


그림 9. 기둥과 보 접합부 개선 전·후의 접합상세

표 3. 개선에 따른 장,단점 비교

Type	장 점	단 점
Bracket Type (당초)	1) 용접의 신뢰성 확보	1) 공기지연 2) 제작 및 시공오차에 따른 오작을 증가 3) Bracket과 Girder Flange 부재의 두께가 허용오차 범위 내에서 다를 경우 Splice Plate와의 마찰단면 결손발생 가능
현장용접 Type (변경)	1) 제작공정 축소로 공기 단축 2) 100 % 현장 용접검사 실시로 용접불량 감소(CO_2 반자동) 3) 원가절감	1) 현장용접의 신뢰성 결여 및 검사비용 증가 2) 현장 및 안전관리비 증가

위 표의 비교에서 철골부재 제작자재의 소요는 적게 들지만 비파괴 검사(NDT) 및 간접비용의 일부 증가로 원가적인 측면에서는 크게 기여하기 힘들어 보이나 Bracket Type 대비 현장용접 Type의 제작·설치공기 축소는 절점당 7 : 3정도로 단축예상되어 공장제작 및 현장설치공기에 획기적으로 기여할 수 있다

고 판단되며 해당 절점부위의 구조내력만 유지한다면 어떤 철골조 현장이던 현장의 여건에 맞추어 변경시공 가능하다고 보여진다. 또한 AISC(American Institute Of Steel Construction)에서 발행한 Detailing For Steel Construction 기술자료의 Column부위 Moment Connections관련 내용에 의하면 미국에서는 오래전부터 Bracket Type를 적용하고 있지 않은 실정이고 가까운 일본이나 국내에서 많이 채택, 적용하고 있다.

2.3.3 기둥과 보의 Pin 접합부 개선(P시의 출판물 유통센터)

아래의 그림과 같이 기둥과 큰보의 Pin 접합부 설계의 경우 2.3.2의 비교에서 보여준 현장용접보다 더욱 개선된 것으로 간주되기 쉬우나 사실상 보의 플랜지 상,하부 용접작업은 줄어들지만 기둥 웨브측의 볼트체결작업은 거의 불가능한 것으로 사료되고 수체결한다고 하더라도 설계볼트축력의 Torque치 측정 또한 어려워 보이므로 제작변경 시공함이 타당하다고 사료된다.

상기의 내용 이외에도 보와 보, 철골계단 디딤판, 두께가 변하는 기둥의 용접접합방법 및 Purlin의 접합방법 변경 등의 많은 사례도 있으나 생략하였다.

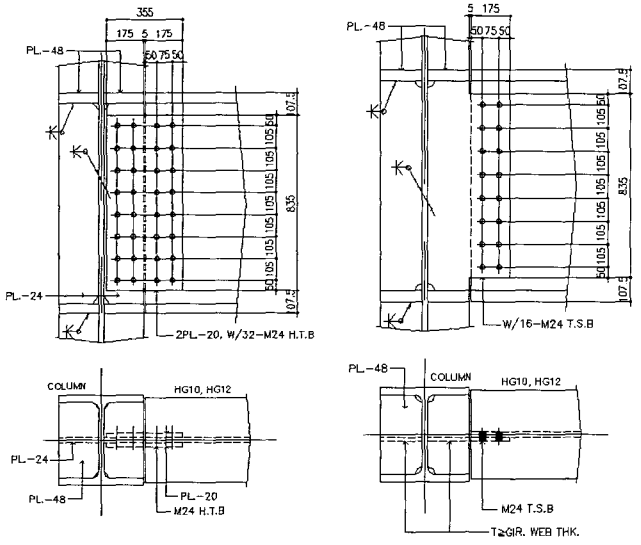


그림 10. 개선 전 · 후의 접합상세

3. 경제적 부재접합부 및 제작개발사례

3.1 RBS 접합부연구 사례

최근 기둥 Flange에서 약간 떨어진 위치에 보 Flange일부를 약간 절취하여 구조비용의 증가없이 이 부분이 마치 "Structural fuse"와 같은 기능을 하도록 하여 용접부의 취성파괴를 방지하고 뛰어난 연성능력을 확보하는 RBS(Reduced Beam Section, 일명 Dogbone)접합방식에 대한 연구가 진행되고 있다.

연구에 적용한 실물대 시험체의 경우 위의 2.3.2 기둥과 보의 Bracket Monent 접합부 개선 후의 그림처럼 보 Flange 상 · 하부를 현장용접하고 보의 웨브를 고장력볼트로서 접합하며, 공장의 Bracket부재 접합비용을 더욱 절감할 수 있고 트레일러 적재, 운반에도 유리한 접합방법과 또, 보와 웨브를 용접한 강한 Panel zone 시험체로서 이중에서 보의 웨브를 Bolt로 접합한 시험체는 RSB의 도입에도 불구하고 보와 웨브를 모두 용접한 경우에 비해 보 원단면의 실제 소성모멘트를 전달하지 못해 높은 빈도의 용접부 근방의 취성파괴가 발생한 것으로 보고되고 있고 그 차이는 15%정도이지만 연성능력의 발휘에 결정적 영향을 미치므로 보 웨브를 용접하는 것이 내진 신뢰성 있는 접합부 확보를 위해 바람직 하다고 주장한다.[3]

아래그림 12 및 13은 RBS를 도입한 연구자[4]가 실험한 바가 있는 2개의 실물대 시험체의 접합부 디테일을 보여 주고 있다. 즉 그림 12는 보 웨브를 용접한 강한 패널존 시험체이고, 그림 13은 보 웨브를 고장력볼트로서 AISC-LRFD 설계방식에 따라 Slip-critical하게 배치하고 패널존의 항복을 허용한 시험체를 보여주고 있다.

RBS접합부는 용접부의 취성파괴를 방지하고 뛰어난 연성능력을 확보하는 접합부라는 점에서 중진대에 속하는 국내에서도 주목할 필요가 있다고 보여지며 RBS접합부가 가지는 여러 가지 장점 때문에 향후 국제적으로도 대표적 내진 접합부로 자리매김 할 것으로 사료되며 국내의 상황에도 잘 활용할 수 있는 접합부로 사료된다.

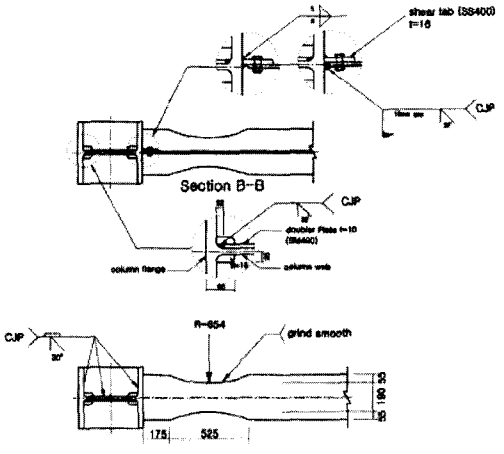


그림 11. RSB를 도입한 기둥, 보접합부재

3) 이철호, 전상우, 김진호, RBS 철골모멘트 접합부의 내진거동평가를 위한 반복재하 실물대 실험, 강구조학회 논문집 제 14권 4호, 2002. 08

4) 이철호, 보플랜지 절취형 내진 철골모멘트 접합부의 볼트 웨브접합법 개선 및 균형 패널존강도에 관한연구과제, 경남대, 2003

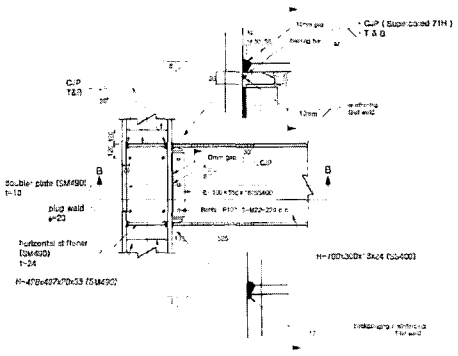


그림 12. 보웨브를 용접한 부재접합

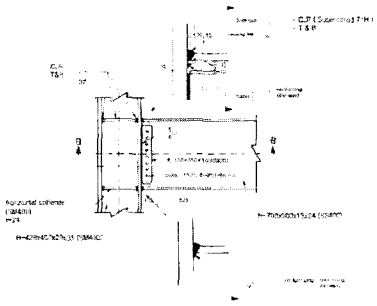


그림 13. 보웨브를 고장력볼트 체결한 부재접합

모든 모멘트접합부를 공장용접하고 현장에서 값비싼 볼트 이음을 하는 전통적 관행에서 탈피하여, 횡력저항골조에만 RBS 접합부를 도입하고 나머지 접합부는 저렴한 전단접합으로 시공한다면, 도리어 내진신뢰성의 향상과 비용의 절감을 기할 수도 있다고 본다. 설령 기존의 공장용접 방식을 고수한다 해도 Perimeter moment frame system 과 같은 골조시스템을 선택하면 RBS 접합부를 도입하는데 따른 구조비용의 증가는 거의 없을 것으로 사료된다.[5]

3.2 경제적인 철골TSC보 부재개발 사례[6]

철근콘크리트구조(RC)는 철골구조에 비하여 공사비가 저렴하나 공사기간이 상대적으로 길고 거푸집 제작, 조립, 탈형에 소요되는 시간과 철근배근의 번거로움이 많았다. 거푸집은 콘크리트가 양생된 후에야 제거하므로 공기가 연장되며 낡은 거푸집을 폐기하는 비용과 환경 파괴도 무시할 수 없는 실정이다. 철근콘크리트 표면에는 균열 발생이 필연적임에도 불구하고 수요자들은 이를 수용할 만큼 너그럽지 못하며, 구조상 내력이 부족하기 때문에 발생하는 균열 이외에도 초기 경화수축균열 등 여러 가지 다른 이유로 발생하는 균열을 보수하기 위하여 많은 수고와 비용을 부담하고 있다.

현재 철골구조는 철근콘크리트구조와의 가격 경쟁에서 열세를 극복해 나가고는 있으나 아직도 동등 수준으로 끌어내리지 못하고 진동 특성도 좋지 않으며 철근콘크리트구조 및 철골구조에서 층고를 조금이라도 더 줄이는 것이 과제로 남아왔다. 철골구조와 철근콘크리트구조의 장점만을 조합하여 기둥이 차지하는 면적을 줄이고, 가능한 한 층고를 낮추는 데 효과적인 새로운 System 개발이 요구되었다.

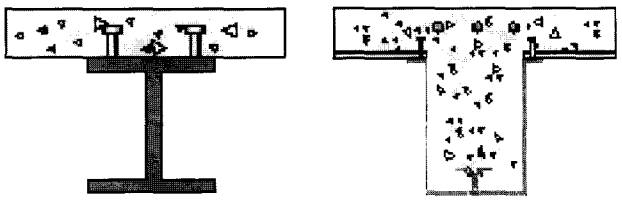


그림 14. H합성보와 TSC보의 단면

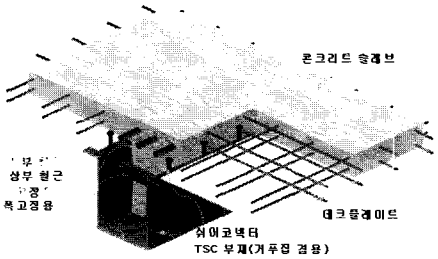


그림 15. TSC 보의 개념도

3.2.1 기둥과 보 접합부

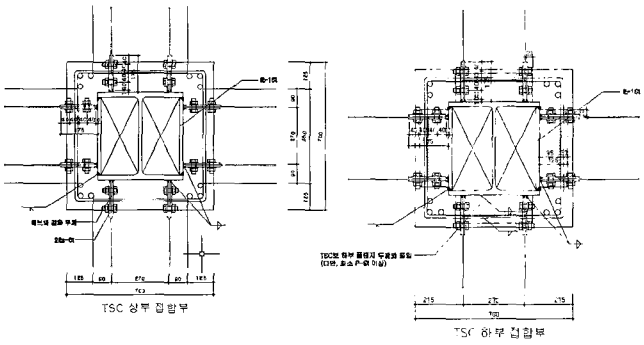


그림 16. TSC 기둥, 보 접합부 평면도

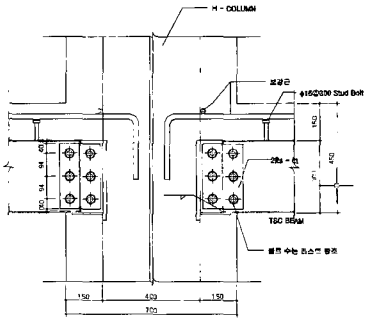
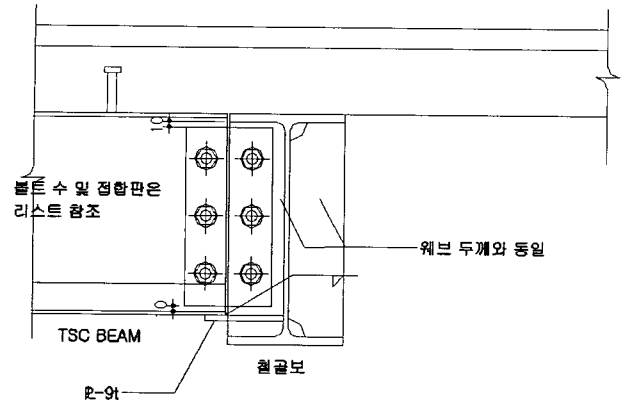


그림 17. TSC 기둥,보 접합부 단면도

5) Ibid.

6) ((주)센구조 TSC 신기술/신공법 기술자료)

3.2.2 보와 보 접합부



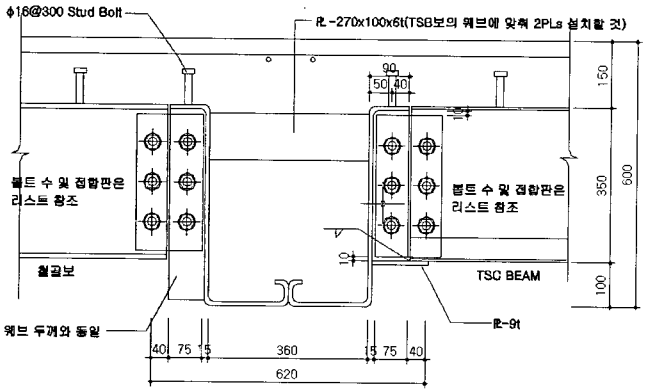
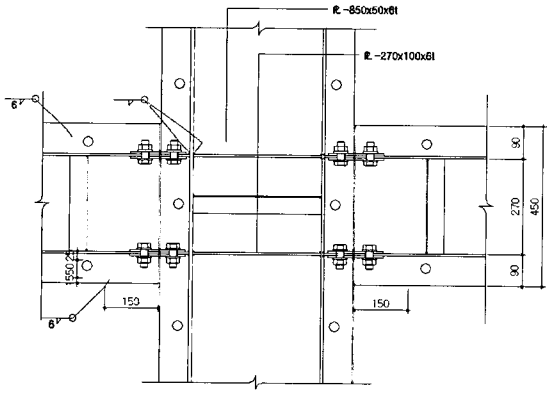


그림 18. 철골보와 TSC보 접합상세



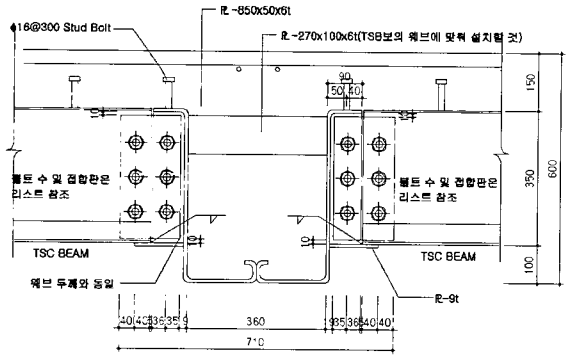


그림 19. TSC Girder와 TSC Beam의 접합상세 (평면 및 단면도)

3.2.3 TSC 접합부 설계의 장점

TSC보는 RC구조와 PC구조와의 비교는 제외하더라도 기존 철골 보구조와 비교하여 보면 압축측 플랜지에 해당하는 강재단면을 대폭 감소시켜 강재단면의 이용이 상당히 효율적이며 부재의 접합방법 또한 공장 및 현장용접을 최소화 하여 Bolt접합화 하여 설치시간, 소요강재를 절약할 수 있다. 또한 U형 웨브가 콘크리트로 채워져 휨 강성과 전단내력이 커서 층고를 절감할 수 있으며 콘크리트 중성화 염려가 없어 구조물 수명이 반영구적이다. PC화 된 제품을 공장제작 운반해야하는 번거로움과 접합부 균열문제에서 자유로우며 처짐 및 진동에 대한 사용성이 우수한 것이 장점이다.

4. 자동화된 철골기둥 부재제작 사례[7]

4.1 Column, 둥근기둥 제작의 자동화(로봇화)

건축구조물이 고층화되고 심층화 되면서 상부하중을 지지하기 위한 철골기둥부재의 규격이 두꺼워 지면서 기둥과 기둥의 이음부 또한 용접량이 증대되고 이에따른 제작기간 및 비용의 증가가 진행되고 있으며 이를 극복하기 위한 새로운 용접기술이 개발, 이용되고 있다. 특히 공장제작용 Column의 이음패널 및 대기둥 조립용접에서는 해당부재의 Setting후에 무인화 운전에 의한 로봇용접이 가능하며 그러한 용접부에서의 Crack결함이나 융합불량 등의 용접결함 발생확률 역시 미미할 정도이다.

작업능률 역시 1인당 대기둥 조립대수는 2.5개로서 종래의 반자동 CO_2용접 0.75개 보다 약 3.3배의 작업능률을 보이고 있음을 확인할 수 있다. 아래그림은 조립용접로봇 이용시 용접조건(전류, 전압) 및 층간온도의 측정예를 나타내는데 온도측정은 방사온도계에 의해 용접부 근방을 연속적으로 계측하고 이런 데이터로부터 다음 Pass 용접직전의 온도로 환산해 층간온도로 이용한다. 층간온도의 최고치는 200℃정도(500mm각 column, 25mm두께, 5층 76Pass마감)으로 일본의 건축학회기준 JASS 6의 권장치

그림 20. Column 기둥 및 이음 Panel의 로봇용접

7) 건축철골 · 강교제작비용 절감사례, Cost down, 월간철구기술통권 제85호, 2,000. 09월호

(490N/㎟등급, 층간온도 350℃이하)도 충분히 만족하고 있으며 용접입열(Q)은 30kJ/㎝이하(JASS 6권장치 : 40kJ/㎝)임도 확인할 수 있으며 용접 온도와 용융 열량을 측정하고 그 결과를 용접공에게 알리는 측정요원 1명의 인원축소 효과도 있다.

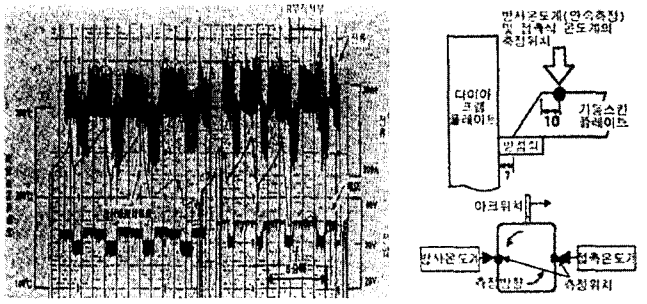


그림 21. 기둥조립 용접시의 층간온도 측정예

4.2 4면 Plate Box기둥제작의 자동화

4면 Plate box기둥 자동제작의 경우 대전류 서브머지아크용접(SMAW)에 의한 Box기둥 코너부의 용접 및 Dia-phragm 부위의 일렉트로 슬래그용접(ESW)용접법이 이용되고 있는데 전자의 대전류 SMAW에서는 60mm 두께정도의 투인탄뎀 용접에 의한 1Run 1Pass용접이 가능하고, 후자의 ESW에서는 4극식에 의한 Diaphragm의 동시용접(2장의 4용접선)이 적용되고 있으며 양자 모두 얼마전부터 Box Column제작상의 대폭적인 비용절감화가 꾀해지고 있다. 기타 Box Column의 제작법으로는 최근 고주파 증후 공법에 의한 증후보강박스 단면기둥(Box내의 Diaphragm을 생략하는 공법)의 적용과 그 건전효율성이 확인되고 있다.

아래그림은 Box Column의 이음 Bracket부위에 대한 가반식 용접로봇의 적용예로서 수평보기자세의 다층용접도 가능하고 1인 2대의 로봇 사용에 의해 용접작업의 탈기능화, 성력화, 효율화가 달성되고 있다. 또 거치식의 기둥대조립 용접로봇에 있어서도 이러한 수평보기 용접소프트를 내장하고 있어 본접합으로서의 적용도 가능하다.

그림 22. 4면 Plate Box기둥 SMAW 및 ESW 자동용접

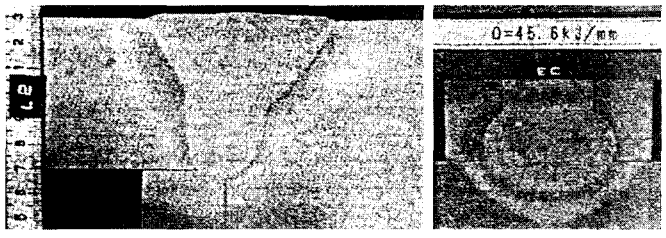


그림 23. 4면 Plate Box기둥 후판용접부 Macro 단면예

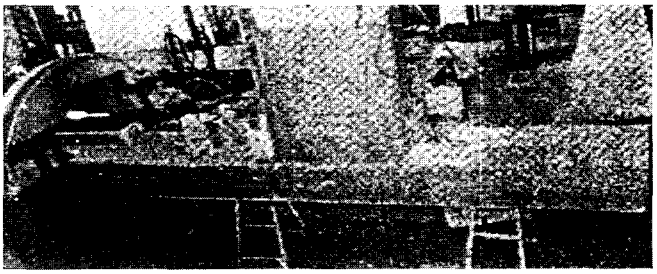


그림 24. 가반식 용접로봇의 기둥대조립 적용

5. 결 론

본 연구에서 철골조 건축물의 구조설계와 철골부재간의 접합부상세 및 접합부 개선사례 등을 통해 구조적으로 안정되며 보다 효률적이고 경제적이며 품질확보가 우수한 시공사례을 들어 보았다. 본인의 경험으로 볼 때 플랜트, 체육관, Office, 초고층 Apt, 교량, 대규모 창고 등과 관련된 국내의 철골구조설계에 반영된 각종 철골부재의 제작시 수백개에 이르는 철골제작 공장별로 해당 기술수준(부재절단, 부재제작 용접기량, 용접후열처리(PWHT), 현장설치과정 등)에는 보이지 않는 상당한 기술격차가 있다고 보여지며, 그 이전에 철골구조 설계결과물에서도 흔히 볼 수 있듯이 다종다양한 접합부 중에서도 같은 재질, 같은 부재크기와 두께, 동일한 접합조건인 가운데서도 용접 및 고장력볼트를 이용한 접합부 상세가 Project별로 상이하게 진행되고 있음을 알 수 있다.

철골조 건축구조물 혹은 용접구조물을 설계 · 제작 · 설치함에 있어서 일반적으로 우선 접근해야 하는 것이 구조설계이므로 위와 같은 문제를 최소화하기 위해서는 설계검토시 사용재료의 비용(cost), 부재제작 생산성의 향상(productibility)과 현장설치의 품질(quality)및 공기면(delivery & election time)등에서 보다 효과적인 제작상세가 반영된 접합부의 설계표준화가 이루어져야 한다고 본다.

철골조에 있어서 제작 및 설치는 공정상 주공정(critical path)에 속하고 있고 후속공정인 바닥판 작업에도 직접적인 영향을 미치는 공종이며 사용목적, 사용조건이 다를지라도 수천개에 이르는 부재접합부 용접개선단면을 양질의 용접기능이 발휘되도록 관리하는 것을 전제로 최대한 용접량을 줄여 설계되는 방향으로 진행된다면 열악한 경쟁계약체계에 놓여 있는 철골산업분야의 제작생산공기나 비용절감면에서 다소나마 도움이 되리라 생각한다.

일부 제작장의 경우 육중한 강판부재(Slab)의 절단방법도 아

직까지 반자동 개스절단에 의존하거나 수작업에 의한 Facing처리, 대형 형강(built-up beam)의 상·하면 각장(S)용접처리가 미흡한 공장이 있고 이를 위한 기계화(로봇화)된 제작용접법의 개발과 도입 그리고 라인(베이)의 구축이 요구된다.

나아가 인력면에서 축소되고 있는 용접기능공들의 기능화(non-skill)와 국내 중소규모 건축물의 철골구조 적용을 위한 대중적인 시장 잠재력확보와 건설 폐자재 처리시 재사용이 가능한 철강재의 환경친화적 특성 및 공기단축, 내구수명을 고려한 경제적인 인식도 증가를 위해서라도 설계단계, 제작단계와 설치단계에서 참여기술자(건축설계자, 제작기술자, 설치기술자, 구조설계자)들의 감각적인 VE차원의 효과적인 접합부 표준화설계와 용접자동화 및 로봇화에 의한 과감한 무인제작 기술개발을 위해 노력한다면 현재의 철골제작업계에 상당히 효과적인 성력화를 가져다 줄 것으로 생각한다.

그림 25. NC 플라즈마 아크절단기 및 아크용접 로봇

참고문헌

1. 건설경영자료집, 건축분야 틈새시장(Niche Market) 에 관한 조사연구, 대한건설협회 서울특별시회, 2,003.03. 30
2. 이철호, 전상우, 김진호, RBS 철골모멘트 접합부의 내 진거동평가를 위한 반복재하 실물대 실험, 한국강구조학회 논문집 제 14권 4호(통권 59호), 2,002. 08
3. "Cost down", 건축철골·강교제작 비용절감사례, 월간철구기술, (주)건설산업정보, 통권제85호, 2,004. 09
4. 稻垣道夫, 福永和義 외 1명, 構造用鋼材溶接の實際, 産報出版 昭和58年7月, p. 76.
5. 이용호, 중저층 철골조건축물의 활성화 방안, 건설기술정보, 건설기술연구원, 통권 203호, 2,000.10월호, pp. 28-29
6. (주)센구조 TSC 신기술/신공법 기술자료
7. "철골접합기술", 최신건축기술정보, 산업도서 출판공사, 1998. 12. 20, pp. 398-404
8. 안재봉, 이상범, 최신 초고층 철골공사 가이드북, 건설 문화사, 2001. 09, pp. 160-162

Abstract

Even in Korea the number of steel structure buildings that allow internal space and easy change of their layouts in accordance with the purpose of buildings and box-type steel bridges constructed with thick plates with thickness in a rage just from a few ßÆ to 100ßÆ is increasing these days and therefore, domestic fabrication and processing technology of members for steel structures is being improved at a pace faster than in the past to meet the growing requirements of consumers for high reliability on quality control on the related steel structures.

However, most domestic fabricators os steel structures who are turning out their steel products in accordance with the designs prepared by engineering companies in their respective works for the sake of cost cut more than anything else, hesitating to introduce any advanced new technology into themselves.

In the case of the steel structure design application for small and mid-size buildings in particular, it is quite meaningful not only for those who are involved in steel structure business, but also for the people working at construction work fields to review the result of the study on the connections of steel structure members deigned to obtain superb quality of steel structures within short period for steel fabrication and erection at fields in economical ways, as there is a growing tendency seeking standardization of connection of steel structure members as well as whole structure together with the development on design of construction system of buildings including their exterior and interior decoration materials, manufacture of the related members and fabrication technique structure.

This paper has been prepared with the aim to review the peculiar characteristics of buildings constructed with the main frames of steel structures and actual cases of the change made ing the connections between steel structure columns and between columns and girder members in order to reduce the work period necessary for fabrication and erection of steel structures at the maximum as well as the some examples of steel structures fabricated through automatic welding by robots for box-type columns in addition to the description of the problems found in the course of fabricating those steel structures, suggesting possible counter-measures to solve them.

Keywords : Steel Sture Building, Steel structure Connection Design, Fabrication Factory, Field Erection. Steel Structures Fabricated Through Automatic