

건축철골구조물의 용접기술 동향

김 환 태*, 길 상 철**,
한국과학기술정보연구원 전문연구위원*,
한국과학기술정보연구원 책임연구원**,

1. 서 론

현대의 초고층, 초대형 철골조 건축구조물을 건설하고 유지하기 위해서는 건설용으로 사용되는 철강 건축 부재들의 기계적 특성과 용접기술의 확보가 필수적이다. 현재 일본의 건축구조용 형강재의 경우 탄소당량과 항복비가 낮으면서도 대입열 용접을 할 수 있는 650MPa급 강재를 개발하고 있는데 비해 우리나라의 경우는 550MPa급 강재의 수준에 머물러 있어 고강도 강재의 개발이 시급하다. 또한 거대구조물의 구조화에 있어서 용접기술은 다양한 형태와 재질의 철강소재를 모듈형태의 철구조물로 제작하고 조립하는 가장 경제적이고 핵심적인 생산가공기술로서 건축토목산업에서 철강구조의 거대화화 고기능화에 대응할 수 있도록 용접기술의 고도화가 절실히 요구된다.

본고에서는 초고층, 초대형 철골조 건축구조물을 건설할 때 생산성이 뛰어나고 용접부의 품질이 건축구조용 친환경/고강도 철강소재와 용접기술을 범위로 하여 미국, 유럽, 일본과 우리나라에서 수행되고 있는 기술개발 동향을 조사하고 분석하였다.

2. 국내외 기술동향

2. 1. 학술동향

○ 표 1의 검색식으로 Elsevier Engineering Information Inc.에서 운영하는 Engineering Village2(<http://www.engineeringvillage2.org>)의 Compendex을 사용하여 건축구조용 친환경/고강도 철강소재와 용접기술에 관한 학술정보를 조사하여(2006년 9월 20일자) 학술정보 2,126편을 1차

검색한 후 분석 효율을 높이기 위해 관련이 많은 자료를 선정하는 작업을 거쳐 최종 316편을 분석하였다. ○ 건축구조용 친환경/고강도 철강소재와 용접기술 관련 학술정보는 Theoretical이 134편으로 가장 많이 발표되었고 그 다음이 Review(73편), Application(55편), Experimental(52편) 순서로 발표되었다. ○ 1991년 10편으로 시작하여 감소와 증가를 반복하면서 증가하여 2005년도 41편으로 가장 많은 학술정보가 발표되었다. ○ Welded steel structure가 38편으로 가장 많았으며, 그 다음이 steel, Welds, Steel structure, Steel construction 등의 순서 학술정보가 발표되었다.

2. 2. 용접재료

○ 현대 강구조물의 특성은 초고층화 및 초대형화이므로 이를 효율적으로 건축하기 위하여 고강도 강재는 인장강도 490MPa급 용접용 탄소강재가 전체 사용강재의 약 90%를 구성하여 주종을 이루고 있으며, 건물이 초대형화 및 초고층화에 따라 인장강도 570MPa급 이상의 고장력 강재 및 두께 100mm 이상의 후판강재의 적용도 증대될 추세에 있다. ○ 이러한 소재는 고강도화 및 고인성화를 목적으로 합금원소의 첨가량이 증가한다. 그러나 합금원소의 첨가로 인하여 용접열변형, 균열, 용융부족 등 용접결함을 유발하게 된다. 그러므로 용접에 필수적으로 사용되는 용접재료도 요구특성에 맞는 특성을 확보해야 할 뿐만 아니라 모재와의 상호 결합성이 양호해야 한다. ○ 일본에서는 지질학적 특성으로 인하여 지진을 고려한 SN 강재(JIN G3136)를 건축용으로 사용하고 있다. 이 강재는 용접성능, 소성 변형능력 및 강재두께 방향의 집중 인장력에 대한 성능 등을 확보한 것으로, 인장강도와 인성요구

에 따라 SN400A, SN400B, SN400C와 SN 490B, SN490C로 분류되었다. 즉 용접성을 향상시키기 위하여 Ceq. 및 Pcm의 최대치를, 소성변형능력 확보를 위하여 두께 방향의 최저 R.A 및 불순물 특히 S의 함량을 크게 규정하고 있다. 이외에도 화재시 강도를 유지할 수 있도록 Cr-Mo-V을 소량 첨가하여 지진시 대형사고를 방지하도록 강재를 개발하고 있다. 현재 일본에서 사용되고 있는 강재는 주로 TMCP 공정에 의하여 제조되고 있으며 590MPa(인장강도)급까지 실용화 되고 있다.

○ 차세대 초대형 구조물용 강재(Mega Structure Steel)란 대형건물, 대형지하 구조물, 대형 해양부채 강구조물 등을 포함하는 개념으로 도시의 급진전에 따라 건물이 고층화, 대형화되고, 지하공간으로의 생활공간 확대와 해양공간의 활용성이 증대되고 있다. 이에 따라 향후 차세대 구조물의 철강소재는 경량화, 고강도화 건축부재의 사용이 필수적이고 중국과 일본사이에서의 기술경쟁력 우위를 확보하기 위한 고부가가치 철강제품 개발이 강력히 요구되고 있다.

○ 국내 육상 구조물에 사용되는 강재는 KS SWS 계열로 강재의 인장강도 및 인성으로 분류되고 있다. 표 2는 선진국과 우리나라의 '차세대 초대형 구조물용 강재'의 연구개발 현황으로서 선진국에 비해 우리나라의 수준이 뒤떨어져 있음을 보여주고 있다. 이들 제품의 제조 기술력은 최선진 기술력을 보유하고 있는 일본과 비교하여 다소 열세이며 확보된 원천 기술은 거의 전무한 실정이다.

○ 우리나라와 일본에서는 기존의 SM강재를 TMCP 처리하여 탄소 당량과 항복비가 낮으면서도 대입열 용접을 할 수 있도록 판 두께 방향의 단면 수축률이 우수한 강재를 건축 구조용으로 개발해 사용하고 있다. 대표적인 국내의 TMCP 강재로는 1996년부터 사용되기 시작한 490MPa급의 PILAC BT33, 1999년부터 사용이 허용된 520MPa급의 PILAV BT45 강재 등이 있다. 특히, PILAC BT45 강재는 지금까지 사용된 강재들에 비해서 강도와 충격 인성이 훨씬 높을 뿐만 아니라 탄소 당량도 매우 낮아서 그 용도가 다양해질 것으로 예상된다.

○ 일본의 Nippon Steel & Sumikin Welding Co.(주)는 높은 용접입열과 충전온도 조건에서 용접을 할 수 있는 새로운 건축구조용 강재인 「EzWELD 강재」와 여기에 대응하는 CO₂ 용접용 「EzWELD 와이어」를 개발하였다. 「EzWELD 와이어」는 「용접입열량 15~70kJ/cm, 충전온도

550℃이하」 또는 「용접입열량 15~50kJ/cm, 충전온도 600℃이하」인 용접조건에서 사용이 가능한 CO₂ 용접재료이다.

2. 3. 용접공정 및 시공

○ 건축 토목산업에서 이용되는 용접재료는 피복아크 용접봉, 가스실드 용접 와이어(솔리드 와이어, 플렉스 코어드 와이어) 서브머지드 아크 용접재료 등이 있는데 현재 가스실드 용접재료의 사용량이 피복아크 용접봉을 대체하여 약 70%를 점하고 있으며 플렉스 코어드 와이어의 사용이 매우 높아지고 있다. 또한 로봇용접용 와이어는 용접공정의 효율화라는 관점에서 고능률성·고속성과 함께 스파터 발생량, 와이어 거칠기, 와이어 송급성, 재아크성 등에 대한 요구가 높아지고 있다.

○ 일본은 고베 대지진 이후 건축철골 용접부의 품질을 높이기 위해 대입열과 높은 충전온도에 있어서도 용접부 품질이 확보되는 540N.mm²급 강용 가스실드 용접와이어를 건축구조용 JIS 규격으로 정하여 사용하고 있다. CO₂ 용접용 솔리드 와이어인 YGW818는 종전의 YGW11에 비해 0.4% 이하의 Mo를 첨가하는 등 와이어 화학조성의 최적화에 의해 대입열/높은 충전온도에 있어서도 매우 양호한 기계적 특성(인장강도와 인성)을 보유하고 있다. 또한 YGW818 와이어는 판두께가 20mm인 건축구조부재의 용접에 소요되는 시간이 약 1/2 수준으로 단축된다. 이밖에 Ar-CO₂ 용접용 와이어인 YGW 19 와이어, 플렉스 코어드 와이어인 YFW-C55DX 와이어, YFW-A55DX 와이어 등도 JIS 규격으로 정해져 있다.

○ 건축구조물의 대형화 및 고장력 강재의 사용량이 급증함에 따라 건설비용의 저감을 위한 용접능률의 향상 대책이 적극적으로 추진하고 있으며 대형 용접구조물의 안전성 확보를 위한 용접이음부의 높은 기계적 성질(인장/항복강도, 인성)이 요구되고 있다. 건축철골이나 교량 용접의 자동화와 용접 인력의 감소에 따라 플렉스 코어드 와이어를 사용하는 가스실드 아크용접이 급속히 증가하였다. 용접능률의 향상을 위하여 단면 일층의 서브머지드 아크용접, 일렉트로 가스용접, 소모노즐식 일렉트로 슬라그 용접 등의 대입열 용접법을 500MPa급 이상의 고장력 강재에 적용하는 경우에는 용접열 영향부의 인성이 저하되지 않도록 용접시공시 용

접 입열량을 제한해야 한다. ○ 일본의 경우 철골 교량의 제작에 있어 용접기술은 자동, 반자동 용접을 통하여 용접능률 향상을 도모하고 있으며 공장용접의 성력화와 탈기능화를 위하여 다진극 자동용접장치 개발, 직교형 NC 로봇화, CAD/CAM 다관절 용접 로봇 시스템의 개발 등과 같은 용접 자동화와 용접 로봇화가 적극적으로 추진되고 있다. 또한 현장용접에서는 숙련 용접기능자의 부족과 3D 대책의 일환으로 용접 로봇을 이용하여 무인화 용접과 야간 자동화 용접도 가능하게 하는 전천후 자동화 용접시공을 적용하고 있다. ○ 건축구조물의 용접 생산성을 향상시키고 작업환경을 개선할 목적으로 개발되고 있는 건축구조용 최신 용접공정으로는 두 대의 용접기를 동시에 사용하여 용착율이 상당히 높은 텀덤 아크용접, 레이저 빔 용접과 가스실드 아크 용접을 복합적으로 사용하는 laser-arc 하이브리드 용접, 마그네틱 펄스 용접 등이 있다. 가장 최근에 상용화를 목적으로 개발하고 있는 laser-arc 하이브리드 용접 프로세스는 건축구조물 분야에서 시너지 효과를 제공할 수 있는 새로운 용접기술로서 투자비용의 감소, 짧은 용접시간, 적은 건설비용, 높은 생산성이 기대된다. ○ 일본용접협회는 2001년부터 2003년까지 건축구조물에 사용하는 건축구조용 스테인리스 강재의 기계적 성질을 높이기 위한 기술적인 검토를 실시하였다. JIS G 4321 「건축구조용 스테인리스 강재」에는 건축구조용 SUS304A 강재, 건축구조용 SUS316A 강재, 건축구조용 SUS304N2A 강재, 그리고 건축구조용 SCS13AA-CF 강재의 4종류가 규정되어 있다. ○ 초고층 건축물의 경우는 대단면 부재가 많이 사용되는데 건축철골의 용접부에 요구되는 품질중에서 용접열영향부의 인성을 예측하는 지표로서 MAG용접열영향부 인성지표(f_{HAZ})를 제안하였다. ○ 철골제작 공장에서 로봇 용접이 차지하는 비중이 매우 높아서 용접공정이 전체의 40~90%를 차지하고 있다. 철골용접 로봇의 고능력화는 용접시간의 단축에 달려있으며, 일본의 고베스틸(주)은 철골용접시 로봇의 고능력화를 위해 1개의 기동을 2대의 로봇으로 동시에 용접하는 「2 아크 용접시스템」을 개발하였다. ○ 한국신철강기술연구조합은 포항산업과학연구원을 주관기관으로하고 동국제강, 고려제강, INI스틸, 세아베스틸 등 12개사의 참여기업과 서울대학교, 연세대학교 등 4개 대학교가 위탁기관으로 참여

하여 산학연공동으로 '차세대 초대형 구조물용 강재개발'을 2004년도 산업자원부 중기거점기술개발사업 신규과제로 선정하여 2004년 9월부터 2009년 8월까지 5년간의 연구를 진행중이다. 이 중에서 용접기술분야인 '초대형 구조물용 강재구조화 기술개발'로는 고강도 구조용강 구조화를 위한 소재이용 기술의 폐기지화, 고강도 복합기능 구조용 강관 제조 기술 개발, 저 YR형 600MPa급 구조용강관 제조 기술 개발, 600MPa급 강재용 고효율 용접재료 개발, 800MPa급 강재용 고강도 고인성 용접재료 개발, 고효율, 고품위 연속화 복합열원 용접기술 개발 등이 포함되어 있다. ○ 건축철골조 분야의 용접저온균열을 방지하는데 필요한 예열온도를 결정하는데 있어서 일본도로협회(토목분야)는 도로교량시방서와 해설서를 기준으로 사용하고 있으며 일본건축학회(건축분야)에서는 철골공사기술지침공사현장시공편을 기준으로 사용하고 있다.

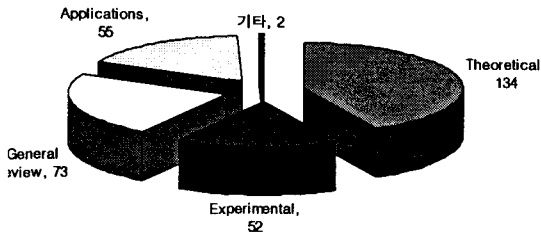
3. 전망

○ 앞으로 건축물의 대형화, 초고층화와 함께 건축물에 대한 요구사항이 다양해짐에 따라 성능이 우수한 건축구조용 친환경/고강도 강재가 요구되고 있다. 또한 건축구조용 강재의 개발에 맞추어 용접기술을 포함한 구조시스템 기술의 개발이 동시에 개발되어야 할 것이다. ○ 새로이 개발되는 건축구조용 친환경/고강도 강재가 신뢰성이 높은 용접품질과 용접생산성을 확보하기 위해서는 그에 상응하는 새로운 용접재료의 개발이 필수적이다. 또한 많은 수요가 예상되는 건축구조용 스테인리스 강재의 국산화 개발시에도 기계적 성질이 높은 용접재료를 동시에 개발해야 하며 이를 위해 국내 철강업체와 용접재료 제조업체간에 긴밀한 협력이 요망된다. ○ 산학연관이 공동으로 추진하고 있는 '차세대 초대형 구조물용 강재개발'을 통해 건축구조용 철강소재의 친환경화와 고강도화를 달성함으로써 건축구조물 전반에 걸친 경쟁력의 향상이 기대된다.

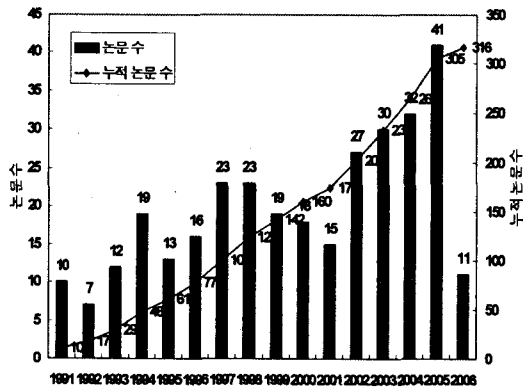
참고문헌

1. 차세대 초대형 구조물용 강재개발 위원회, "차세대 초대형 구조물(Mega Structure)용 강재기술 개발에 관한 산업분석", 산업자원부, 2004

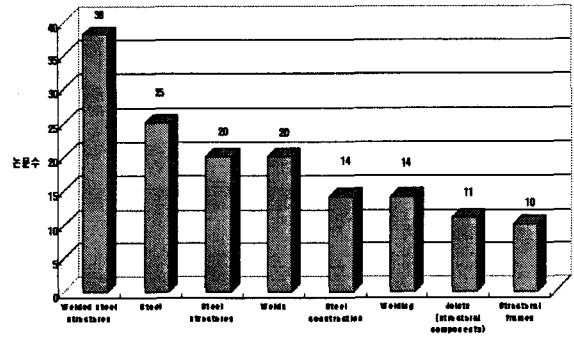
2. Torizuka Shiro, "Creation of Ultrafine-grained Steel by High Z-Large Strain Deformation", 溶接學會誌, 第74巻, 第2號, p. 13~17, 2005.
3. 塚本 宗安, "大入熱・高パス間溫度對應CO₂溶接ソリットワイヤ", 溶接技術, p.94-98, 12月, 2003
4. 志村 保美, "建築鐵骨溶接部の材料面から見た品質確保", 溶接技術, p.104-108, 8月, 2003
5. 定廣 健次, "鐵骨溶接ロボットの高能率化", 溶接技術, p.110-119, 12月, 2003
6. 장용성 등, "건축·토목 분야 용접기술의 최근 개발 동향", 「대한용접학회지」, 5(21), p. 482-490, 2003.
7. I. H. Chang et al, "Application of the Fine Grained Structural Steel to the Building Structure", RIST 연구논문집, 第17巻, 第3號, p. 231~240, 2003.
8. 한국과학기술정보연구원 DB (COMPENDEX)
9. 糟谷 正, "國內における豫熱溫度決定方法と今後の課題", 「溶接學會誌」 Vol. 75(2006) No.4, pp.26~31



<그림 1> 기사 구분 현황



<그림 2> 연도별 발표 현황



<그림 3> 기술별 현황

<그림 4> 초미세립강 용접이음부의 강도

<표 1> Compendex 검색식

검색식	
#1	((welded steel structure*) WN ALL) AND (1990-2006 WN YR)
#2	((building* or hous* or architectur*) WN ALL) AND (1990-2006 WN YR)
#3	((steel*) WN ALL) AND (1990-2006 WN YR)
#4	((weld* or join*) WN ALL) AND (1990-2006 WN YR)
#5	((538.2*) WN CL) AND (1990-2006 WN YR)
#6	((402* or 403*) WN CL) AND (1990-2006 WN YR)
#7	((545.3*) WN CL) AND (1990-2006 WN YR)
#8	(#4 or #5) and (#3 or #7)
#9	(#2 or #6) and (#1 or #8)

<표 2> 차세대 초대형 구조물용 강재의 개발현황

구분	개발 현황		선진국 수준대비	
	선진국	한국		
형강	490, 550MPa	600MPa 상용화	550MPa 상용화	동등
	650MPa	650MPa 연구진행		부족
철근	400, 500MPa	685MPa 실용화	500MPa 상용화	동등
	685MPa			부족
강선	1,800MPa	2,000MPa 상용화	1,800MPa 상용화	동등
	2,000MPa	2,400MPa 연구진행		부족
강봉	650MPa	800MPa 상용화	650MPa 상용화	동등
	800MPa	1,350MPa 연구진행		부족
강관	500MPa	650MPa 상용화	500MPa 상용화	동등
	650MPa	저YR(0.80) 상용화	0.85YR 상용화	부족

자료 : 한국신철강기술연구조합