

GMAW 및 FCAW 용접재료 개발동향

김 태 훈 · 이 윤 상 · 정 우 현

Development of Welding Consumables for GMAW and FCAW

Tea-Hoon Kim, Yoon-Sang Lee and Woo-Hyun Chung

1. 서 론

건축, 자동차, 선박·해양구조물 및 에너지 플랜트 산업등의 강구조물 제조에 있어 용접품질, 용접생산성 등을 고려한 용접공정의 자동화가 일반화되어 있으며, MIG/MAG Solid wire 및 Flux cored wire (이하 FCW)를 이용한 GMAW, FCAW 용접기술이 주로 적용되고 있다.

최근 원자재 가격의 급등에 따라 제품의 원가경쟁력을 확보함과 동시에 원소재의 기능 향상과 환경부담 저감을 고려하여 고성능 및 고효율 용접공법이 개발되고 있으며, 이에 따라 고기능성 용접재료 개발을 지속적으로 요구하고 있다.

따라서, 신소재·신강종 개발에 따른 용접재료의 제품군의 확대가 이뤄지고 있으며, 용접공정의 고효율화 요구를 충족시키기 위해 Solid wire의 경우 용접와이어의 송급성, 정점지향성, 저 Spatter화, 환경부담을 줄이기 위한 무도금(Cu-free)화가 진행중에 있고, FCW의 경우 전자세화, 저 Fume화가 진행중이며, Solid wire 및 FCW 모두 대입열 용접시 용접금속의 고강도·고인성 특성(특히 용접금속의 저온균열 저감 및 저온인성확보)화 진행중이다. 특히 용접부의 기계적 성질향상을 위해 FCW의 저수소화 및 원재료내 불순물 저감을 위하여 많은 노력을 기울이고 있다¹⁻⁶⁾.

이와같이 여러방면에서 용접재료의 개발 및 개선이 이뤄지고 있으며, 본 보고에서는 상기와 같은 용접재료

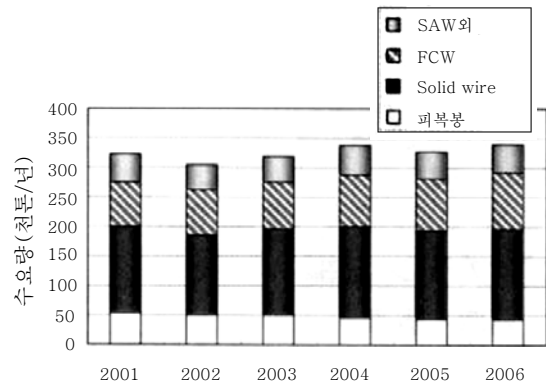


그림 1 연도별 일본의 용접재료 수요변화

의 개발 및 개선연구에 대한 일본의 용접재료 기술동향을 중심으로 소개하고자 한다.

2. 산업별 주요 선호 용접공정

최근 용접재료별 수요 추이를 그림 1에 나타내었다. 전체 사용량은 꾸준히 증가하여 연간 30만톤을 초과하였으나, 지난 5년전과 비교하면 크게 변화하지 않고 있다. 피복아크용접봉의 사용량이 지속적으로 감소하였고, FCW가 차지하는 비율이 점차 상승하고 있다¹⁾.

각 산업별로 적용되고 있는 용접공정의 특징을 표 1에서 나타내었다. 선박 및 교량구조물에는 사용되는 용접재료는 FCW형태가 가장 많고, 다음으로 SAW용 Flux와 Wire가 많이 적용되고 있다. 건축 및 철골구조

표 1 산업별 용접법의 특징

산업구분	선박·해양구조물, 교량	건축, 철골	자동차, 건설기계	에너지 플랜트
용접법 (용가재)	FCAW (FCW) SAW, SMAW EGW	GMAW (Solid wire) SAW, ESW	GMAW (Solid wire)	FCAW (FCW) SAW, SMAW EGW, GTAW
로봇화 경향	적음	중간	많음	적음
차폐가스 종류	CO ₂	CO ₂	Ar-CO ₂	Ar-CO ₂ , Ar

물에서는 CO₂ 가스를 차폐가스로 사용하는 MAG Solid wire가 가장 많으며, 다음으로 SAW용 재료의 소비가 많다. 자동차 및 건설기계는 Ar-CO₂ 혼합가스를 차폐가스로 사용하는 로봇 용접의 적용이 많다. 발전설비 및 석유화학 플랜트용 강구조물 제조시에는 선박 및 교량구조물과 유사하게 FCW형의 용접재료가 많이 사용되며, SAW용 용접재료가 많이 사용되고 있다^{1,3)}.

3. 용접재료의 개발동향

1885년 탄소전극봉을 이용하여 처음으로 아크용접을 시행한 이래로, 아크용접 방법은 장족의 발전을 거듭하였다. 새로운 소재 및 용접공법이 개발됨과 동시에 부합하는 용접재료의 개발이 이뤄져 왔고, 그 형태도 다양하게 변화되어 왔다.

최근들어 강구조물의 대형화 및 경량화를 위해 소재의 개발 주기가 빨라지고 성능이 대폭 개량되고 있으며, 기계·전자 산업의 발달에 따라 용접장치와 공법이 빠르게 변하고 있다^{3,4,6)}.

용접재료의 경우 앞서 두 부분과 동일한 시점에서 함께 개발되어야 하나, 현실적으로 그러한 경우가 많지 않고 모재 및 용접장치 개발 이후에 용접재료의 개발이 이뤄지고 있는 경우가 많다. 현재 이러한 문제를 빠른 시일내 해결하기 위해 많은 관련 산업체와 연구기관들이 노력을 기울이고 있다.

1995년 일본 KOBE에서 발생한 대지진시, 지역적 특징상 철골구조물이 내진 성능을 필요로 하는 부분임에도 불구하고 용접부의 취성과단 등이 발생하여 많은 피해를 입게 되었다. 이후 이러한 문제점을 해결하기 위해 강재 및 용접재료 업계에서는 건축·철골구조물의 시공시 대입열, 고쾌스간 온도에서도 용접부의 내진성을 확보하기 위해 용접구조용 540MPa급 강재를 개발하였으며, 기존 490MPa급 고장력강용 용접재료에 Mo 과 같은 합금성분을 높힌 YGW18 type의 용접재료를 개발하였다^{2,5)}.

이후 사회적인 변화로 인해 건축·철골구조물 제작시 북미, 유럽의 경향과 같이 용접공 부족현상이 발생하였으며 대부분의 용접작업이 로봇화 진행되었다. 그러나 기존 YGW18 Solid wire를 사용한 결과 합금성분 증가로 인해 슬래그 발생량이 증가하고 용접의 생산성이 낮아지는 문제점이 대두되었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 그림 2와 같이 슬래그 발생을 저감시키면서도 용접금속의 강도와 인성을 확보한 로봇 용접용 YGW18 Solid wire가 개발되고 있다¹⁾.

자동차 산업의 경우 생산성 향상과 용접부의 미관을 고려한 박판 고속용접 실현을 위한 연구가 진행되었다.

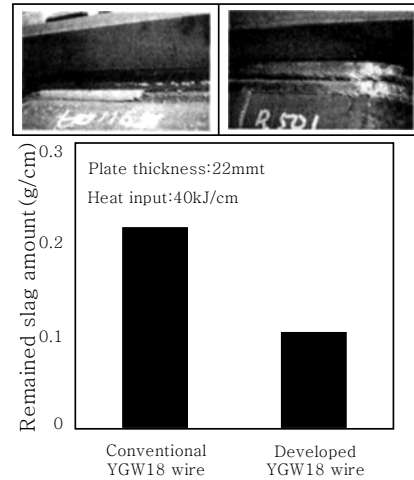


그림 2 로봇용접용 YGW18 Solid wire의 Slag발생량 비교

고속용접시 주로 발생하는 문제는 Undercut, Humping 비드 및 요철비드와 같은 불균일한 용접비드 형상이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 용착금속 화학성분의 건전성 및 고온균열 예방을 위해 제거하던 황(S)을 오히려 첨가시켜 용착금속의 유동성을 확보하여, 그림 3과 같이 평평하고 폭이 넓으며, 균일한 용접비드를 가지는 MAG 용접용 Solid wire가 개발되었다¹⁾.

스테인리스강, 저온강, 내열강용 용접재료의 경우 최근 용접의 효율성을 향상시키기 위한 전자세 용접용 FCW 개발이 진행되고 있다. 또한 내열강용 강재의 경우 발전온도의 상승에 따라 강재에 요구되는 고온특성이 더욱 높아지게 되고, 이러한 특성을 맞추기 위해 모재가 고 Cr화되고 있는 추세이다. 더불어 이러한 강재가 석유화학플랜트에 사용될 경우 충격인성을 요구하는 경향이 높아짐에 따라, 용접금속도 모재와 유사한 수준

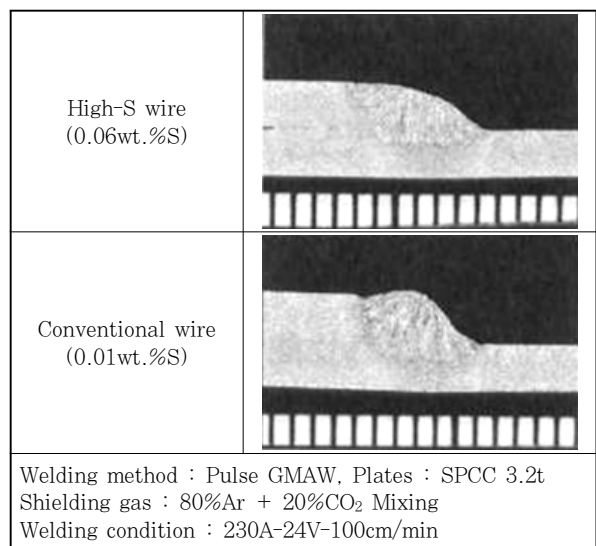


그림 3 황(S)함량에 따른 박판고속용접용 Solid wire의 비드퍼짐성 변화

의 충격특성을 가지도록 용접재료가 개발되고 있다.

최근들어 청정연료로 각광받고 있는 액화천연가스(LNG)의 해상 및 육상 저장 탱크재료로 사용되는 9% Ni강 용접은, 용기의 대형화에 따라 SAW 같은 용접 자동화가 도입되고 있으며, 기존의 SMAW, GTAW를 공법 생산할 때와 달리 고입열 용접부에 대해 고강도·극저온 고인성 특성이 요구되고 있다. 최근에는 생산성 향상을 위해 FCAW가 도입되고 있는 추세로, 이러한 요구에 따라 Ni 합금용 FCW가 최근 개발되었으며, 일부 적용이 진행되고 있다¹⁾.

4. 향후 용접재료 개발방향

최근 5~7년 동안 용접기술은 Laser-GMA/GTA Hybrid 용접이나 FSW와 같은 새로운 용접·접합기술 개발이 주류를 이루었으며 현재도 계속되고 있다. FSW는 철도차량과 자동차 외판 용접분야의 알루미늄 합금 접합이나 자동차 분야의 Spot 용접부에 접목되어 일부 실용화 되었으나, 철강재 적용에 적합한 Tool 개발 문제로 인해 확대보급이 늦어지고 있으며, Laser-GMA/GTA Hybrid 용접도 특수강, 선급용 강재등의 용접에 실용화가 예상되지만, 설비가 고가인 관계로 주요 강구조물의 용접법으로 확대 보급이 어려울 것으로 예상된다. 따라서 향후 5~10년 후에도 아크용접법이 주요 접합기술일 것으로 생각할 수 있다^{1,3,4)}.

주요 산업별 요구사항은 크게 3가지로 요약된다. 즉 '고효율화(자동화, 로봇화 포함), 고성능화(고강도, 고인성화), 친환경화'이다. 용접재료 역시 이러한 요구사항에 맞도록 아크현상이나 용접야금에 대한 근원적인 접근을 통해 신용접 공정에 적합한 용접재료를 찾는 연구가 수행되어야 한다.

이같은 개념으로 진행되고 있는 예로, 강구조물 제작의 고효율화 및 고속화 실현을 위해 철골 이음부의 협개선화가 진행중에 있고, 종래의 YGW18에 비해 더욱 고온 내균열성이 뛰어난 Solid wire 개발을 요구하고 있다. 현재 이러한 용접재료 개발을 위해 용접재료의 최적 성분계를 찾기위한 노력이 진행중에 있으며, 그림 4에 최적 성분계를 찾기 위한 시험결과를 나타내었다¹⁾.

크루즈선 제작에 사용되는 4~12mm두께 강판 용접시 용접부의 뒤틀림을 줄임으로써 후속 공수를 줄이고 생산성을 향상하기 위한 방법으로, 상변태온도 제어를 위한 연구가 진행중에 있다. 최근 연구에 의하면 마르텐사이트 변태온도를 저온화하는 것 보다 그림 5와 같이 각변형을 최소화할 수 있는 변태온도를 찾는 방법등

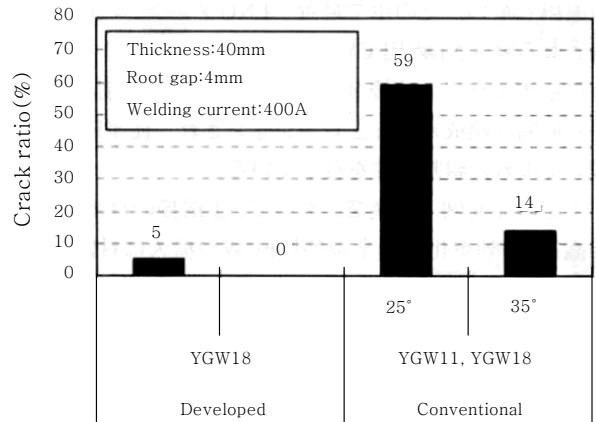


그림 4 고온내균열성이 우수한 YGW18의 검토

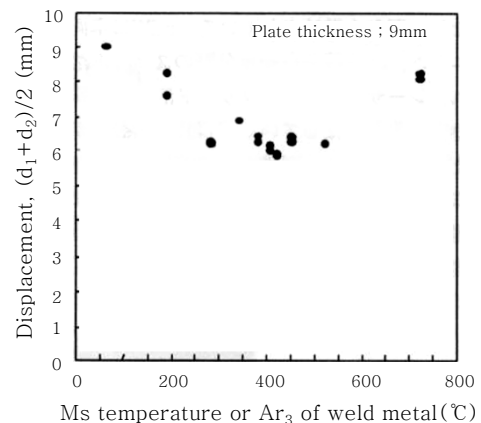


그림 5 용접금속 변태개시온도와 용접변형량

용접금속에 대한 기초연구도 수행되고 있다¹⁾.

선박·해양구조물, 석유화학설비 및 각종 발전설비와 같은 에너지 플랜트 건설이 지속적으로 증가하는 추세로, 이 같은 강구조물의 시공시 용접기술에 대한 핵심기술은 용접부의 고강도화·고인성화이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 용접금속의 미세조직제어가 반드시 필요하며, 그림 6에 표시한 것처럼 산화물계 개재물의 형태와 고장력강 용접 금속의 인성에 관해 기초 연구가 진행되고 있다. 그리고 용착금속의 확산성 수소량 제어를 통해 예열량을 줄이거나 혹은 무예열화 요구는 더욱 강해질 것이라고 예상된다^{1,6)}.

환경적 측면에 있어 용접 Fume에 대해 Mn이나 6가 Cr Fume에 대한 연구도 진행되고 있으며, Solid wire나 FCW의 용접아크 현상해석(용적이행, 용적온도 측정)이나 Fume 발생메커니즘 해명 등의 기초적인 연구가 진행되고 있다. 그림 7은 Solid wire를 이용하여 CO₂ 차폐가스로 용접할 때 Fume 발생 경향을 용적이행에 따라 정리한 예를 나타내었다¹⁾.

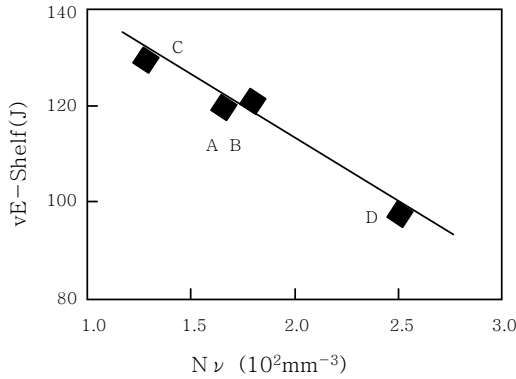


그림 6 용접금속중 산화 개재물의 수에 따른 충격인성간의 관계

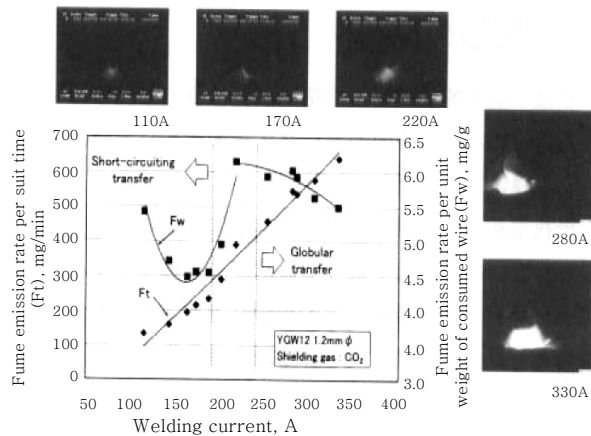


그림 7 Solid wire를 이용하여 CO₂ 차폐가스로 용접할 때 Fume 발생 경향

4. 결 론

용접재료는 산업계의 요구와 변화에 대응하며 발전해 왔다. 그 대표적인 예가 주요 용접재료 사용 동향이 피복아크용접봉에서 Solid wire로 그리고 또 다시 Flux cored wire 로 바뀐것을 들 수 있다.

용접산업은 ‘고효율화, 고성능화, 친환경화’ 라는 요구에 따라 새로운 용접기술이 계속해서 개발될 것이다. 최적의 용접부 성능을 확보하기 위해선 모재 개발시 부터 용접재료 설계가 함께 이뤄져야 하며, 신용접 기술에 맞는 용접재료의 개발도 반드시 수반되어야 한다. 이러한 목적을 달성하기 위해 기본적인 용접현상에 대해 정확한 이해가 반드시 필요하고, 이것을 응용할 때에만 최고의 품질을 가진 용접재료 개발이 가능할 것으로 확신한다.

참 고 문 헌

1. Fusaki Koshiishi : Welding Technoloy, **56-1**(2008), 66 (in Japanese)
2. Chung-Yun Kang : Journal of KWS, **24-6**(2006), 5
3. RIST, KWS : Analysis of welding technology of domestic and foreign institutions, **6**(2006)
4. Korean intellectual property office : Advanced welding technology, **6**(2003), 44
5. Toshihiko Nakano, Reiichi Suzuki : KOBE STEEL ENGINEERING REPORTS, **55-2**(2005), 56 (in Japanese)
6. Masayasu KIMURA : KOBE STEEL ENGINEERING REPORTS, **58-1**(2008), 1 (in Japanese)



- 김태훈(金泰勳)
- 1980년생
- KISWEL LTD. R&D CENTER
- 분말야금, 알루미늄브레이징
- e-mail : naholo99@hanmail.net



- 정우현(鄭遇賢)
- 1956년생
- KISWEL LTD. R&D CENTER
- 아크용접재료
- e-mail : idsendung@yahoo.co.kr



- 이윤상(李玟尙)
- 1975년생
- KISWEL LTD. R&D CENTER
- 아크용접재료, 레이저용접
- e-mail : hinnoonyi@kiswel.com