

라인 파이프 용접기술의 현황 및 전망

김 충 명

Advanced Welding Processes for Line Pipes and Their Prospects

Choong-Myeong Kim

1. 서 론

산업의 전 분야에 걸쳐서 가장 많이 사용되고 있는 에너지 종류로서 석유와 천연 가스 등의 화석화 자원이 있으며, 이러한 자원들을 채굴하여 사용 장소까지 운반해 주는 가장 일반적인 매체가 바로 라인 파이프이다. 물론 지역별로는 선박을 이용하여 수송하는 경우도 있으나, 선박에 의하여 수송된 원유나 액화 가스가 최종 사용되는 장소까지 운반되기 위해서는 다시 라인 파이프를 통하여 공급되게 된다. 따라서 라인 파이프는 보이지 않는 중에도 인간의 생활에 매우 큰 기여를 하고 있는 것이다. 이러한 라인 파이프는 판재나 코일 형태의 철강 소재를 파이프 형상으로 소성 변형을 가하고 이어서 용접 공정을 가하여 파이프를 만들고, 공장에서 만들어진 각각의 파이프들은 라인 파이프 건설 현장에서 다시 용접 공정을 가하여 연결함으로써, 비로소 석유나 가스를 수송할 수 있는 형태를 갖추게 되는 것이다. 즉 라인 파이프의 제조 공정에서 용접은 파이프용 소재 자체의 품질과 더불어 가장 중요한 역할들 중의 하나를 담당하고 있는 것이다. 따라서 본 논문에서는 라인 파이프의 사용 환경, 요구되는 품질 동향 및 라인 파이프 제작에 응용되는 용접 기술의 종류와 특징, 파이프용 용접 기술의 최근의 개발 동향 및 전망에 대하여 정리하고자 한다.

2. 라인 파이프의 사용 환경과 요구품질 동향

2.1 라인 파이프의 사용 환경 변화

1970년대 초에 발생한 제 1차 오일쇼크로 야기된 원유 가격 인상은 그 이전 시대에 경제성의 부족으로 채굴을 기피해 왔던 유전이나 가스전을 적극적으로 개발하게 만드는 계기가 되었다. 이에 따라 암반 지역에서의 채굴, sour 가스가 포함된 원유나 가스의 채굴과 같

이 새로이 개발되는 유전의 주변 환경이 가혹해 졌으며, 라인 파이프의 사용 환경 또한 이러한 지역으로 확대되었다. 이어서 1970년대 말에 발생한 제 2차 오일쇼크는 가혹한 환경에서 채굴된 원유나 가스의 수송 효율에 대한 관심을 더욱 크게 증가시켜, 라인파이프의 수송 압력을 증가시키거나, 파이프의 직경을 증가시켜왔다. 또한 최근까지 이어진 원유 가격의 지속적인 상승은 sour 가스뿐만 아니라 CO₂ 가스를 함유한 원유나 가스 및 극한지에서의 채굴까지 확대시키고 있다. 라인 파이프 산업에서의 최근의 환경 변화를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 경제성 확보측면 : 수송 효율의 증대 → 파이프의 대구경화, 수송압력의 고압화
- (2) 채굴환경의 변화 : 한랭지 유전 (예: 러시아 - 이르크츠크), 심해저 유전 (예: 미국 - 우루사, 웨스트 델타, 마스), Sour가스 함유 유전 (예: 중동 - 바쿠)
- (3) 라인파이프 환경 : 심해저 라인 파이프 (예: 터키/흑해 - 블루스트림 프로젝트) 길이 장대화 (예: 중국 - 서기동수프로젝트, 러시아, 중국, 한국 - 이르크츠크프로젝트)

2.2 라인 파이프용 소재의 개발 동향

앞 절에서 정리한 원유나 가스의 채굴 환경 변화와 라인 파이프 사용 환경의 변화에 따라 라인 파이프 제조에 사용되는 파이프용 소재에는 각각의 환경에 대응할 수 있는 충분한 품질을 갖추도록 요구되었으며, 그러한 품질로서는 소재의 고강도화, 두께 증가, 내 HIC 보증, 내 SSCC 보증, 내 CO₂부식 보증 및 저온 충격 인성 보증 등이 있다. 이러한 요구 특성을 만족시키기 위하여 강재 제조 회사에서는 소재 품질을 개선하기 위한 여러 가지 기술을 개발하여 적용함으로써 우수한 품

질의 강재를 지속적으로 개발하여 왔으며, 각각의 요구 품질 특성별로 적용되는 강재 제조 기술들은 다음과 같이 정리된다.

- (1) 수송 압력의 고압화 : 주로 천연 가스 수송관에 적용되며, 파이프용 소재로서는 고강도 강재의 사용이 요구된다. 따라서 석출 강화형 원소 및 고용 강화형 원소 등의 합금 원소를 첨가하고, 제어 압연이 적용되어 고압 수송에 대응할 수 있는 고강도 강재가 개발되어 API-X80급의 사용은 물론이고, 최근에는 API-X100급까지 실용화 되었다.
- (2) 파이프 대구경화, 고압화 : 불안정 연성파괴의 발생 가능성이 높아서 충분한 흡수 에너지를 보유한 고연성 재질이 요구된다. 따라서 탄소 함유량을 낮추어 연성을 확보하며, 유황과 같은 불순물 원소들을 최대한 제거하고 개재물의 형상을 제거하는 등의 기술이 적용되어 높은 인성을 보유한 강재가 개발되어 왔다.
- (3) 한랭지 유전 및 라인 파이프 : 한랭지의 저온 환경은 라인 파이프의 취성 파괴를 발생시킬 우려가 매우 높기 때문에 고연성과 더불어 저온에서의 높은 인성이 요구되고 있다. 따라서 앞의 고연성 확보 기술과 함께 결정립 미세화 효과가 있는 합금 원소를 첨가하고 제어 압연을 적용하여 취성 파면 천이 온도를 낮은 온도 범위로 유지할 수 있는 강재가 개발되어 왔다.
- (4) 심해저 라인 파이프 : 심해저에 설치되는 라인 파이프는 심해의 수압으로 발생하는 높은 압력에 견딜 수 있도록 지상의 라인 파이프에 비하여 그 두께가 훨씬 증가하며, 현재 진행되고 있는 수심 2000m 정도의 심해저 라인 파이프에는 약 32mm 두께의 강재가 사용되고 있다. 따라서 현지 용접시 두께 증가에 따른 냉각 속도의 증가 및 용접 공정수의 증가로 인하여 용접성이 저하하는 것을 방지하기 위하여 낮은 탄소 당량을 가지며, 고인성의 미시 조직을 가지는 강재가 개발되고 있다.
- (5) Sour가스 함유 원유 및 가스 : 유화수소(H_2S)가 함유된 원유나 가스를 수송하는 파이프용 강재의 경우 내 HIC(hydrogen induced cracking) 또는 내 SSCC(sulfide stress corrosion cracking) 특성을 강재 품질로서 요구하여 왔으나, 최근의 다양한 지역에서의 유전 개발로 CO_2 가스를 함유하는 가스전이 개발되고 있어 CO_2 부식에 대한 저항성이 추가로 요구되기도 하고 있다. 따라서 이러한 sour가스에 의한 균열 또는 CO_2 가스 부식에 대한 저항성을 높이기 위하여 그 기점이 되는 비금속

개재물의 형상을 배제하기 위한 저탄소화와 초청정 제강법을 적용한 개재물 형상제어 및 제어 압연에 의한 미시조직 제어 등을 통하여 균열 또는 부식에 대한 저항성이 우수한 강재가 개발되어 왔다.

3. 라인 파이프 용접 기술 동향

라인 파이프를 설치하기 위하여 적용되는 용접 공정은 크게 두 가지로 나눌 수 있는데, 먼저 각각의 프로젝트별로 요구되는 품질을 만족하는 강재를 이용하여 파이프 제조 공장에서 파이프를 만드는 과정에서 적용되는 조관 용접(seam welding) 공정이 있고, 다음으로는 라인 파이프 설치 현장에서 파이프 공장에서 만들어진 파이프들을 서로 연결하는 현장 용접으로서의 girth 용접(girth welding) 공정으로 구분할 수 있다. 이들의 구분은 Fig. 1에 나타내었다.

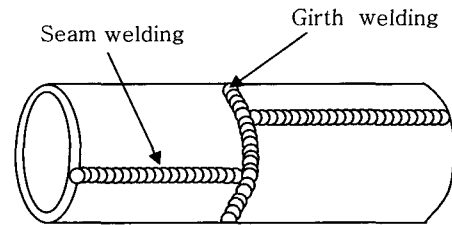


Fig. 1 Seam welding and girth welding

조관 용접은 파이프를 만들기 위하여 사용하는 소재의 종류 및 조관 방법에 따라 용접 방법도 다르게 적용하고 있으며, 현장 용접 또한 수동용접방식과 자동용접방식의 적용에 따라 사용되는 용접 방법이 다르다. 또한 앞장의 라인 파이프 요구 품질을 충분히 만족하는 파이프용 소재로서 철강사에서 생산하는 제품의 형태는 두 가지로 구분된다. 하나는 판재(plate) 형태의 제품이 있고, 다른 하나는 수십 미터 길이의 판재가 감겨있는 코일(coil) 형태의 제품이 있다. 이러한 강관용 소재의 형태에 따라서 파이프 형상을 만드는 조관 방법도 여러 가지가 적용되는데, 각각의 소재 형태별 조관 방법 및 그에 따른 용접 방법의 적용 현황을 정리하면 Fig. 2와 같이 나타낼 수 있다.

Fig. 2에서 보는 바와 같이 라인 파이프용 소재의 형태에 따라서 적용하는 조관 방법이 다른 것을 알 수 있는데, 판재 형태의 소재에 대해서는 프레스에 의하여 성형되는 UOE(U-ing, O-ing and Expansion) 조관법과 세 개의 롤에 의하여 성형되는 R/B(roll bending) 조관법 및 프레스에 의하여 성형되는 JCO(J-ing, C-ing, O-ing) 조관법의 세 가지 방법이 적용되고 있으며, 코일 형태의 소재에 대해서는 나선형 용접선을

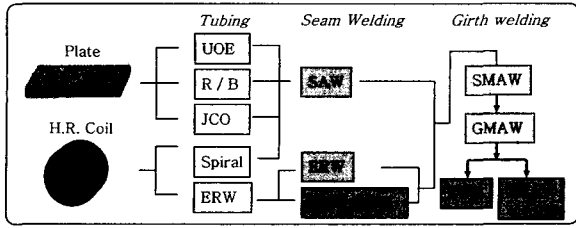


Fig. 2 Tubing, seam welding and girth welding methods applicable for each material types

가지는 spiral seam 조관법과 직선형 용접선을 가지는 ERW(electric resistance welding) 조관법의 두 가지 방법이 적용되고 있다. 소재의 형상에 따른 여러 가지 조관 방법이 적용된다 하여도 조관 용접에 적용되는 용접 방법으로는 코일에 대한 ERW 용접을 제외하고는 대부분 SAW(submerged arc welding) 용접 법이 적용되고 있다. 또한 각각의 소재별로, 각각의 용접 공정을 거쳐서 제조된 파이프들이 현장에서 연결되는 girth용접에서는 모두 동일한 용접 법이 적용되고 있는데, 가장 고전적인 SMAW(shielded metal arc welding) 와 GMAW(gas metal arc welding) 및 최근의 수년 전부터 새로이 파이프 girth 용접용 장치로 개발된 EBW(electron beam welding) 및 Laser-Arc hybrid welding이 있다. 다음의 몇 절에서는 이러한 여러 가지 조관 용접 방법 및 girth 용접 방법에 대하여 자세히 살펴보았다.

3.1 조관 용접 방법

3.1.1 SAW : 잠호용접

앞에서 언급한 바와 같이 SAW 용접 방법은 UOE, R/B, JCO 및 Spiral 조관시 공통적으로 적용되는 가장 대표적으로 조관 용접 방법이다. SAW 용접법의 특징은 용접선의 전방에 입상의 플럭스(flux)를 미리 살포하고, 그 속에 용접 와이어를 자동으로 공급하여 wire 선단과 모재 사이에 arc를 발생시켜 arc 열로 용접하는 방법으로서, 그 적용 대상 소재로는 10mm~100mm 두께의 대부분의 후판재 및 열연코일 소재에 대하여 적용이 가능하여 조선, 해양구조물, 고층건축물, 라인 파이프 등의 많은 분야에서 자동용접이 가능하다. 그 특징으로는 대 입열 용접을 적용하여 용접작업 시간을 단축할 수 있어 제조비용을 절감할 수 있으며, 다양한 성분의 플럭스를 이용하여 용접 금속의 물성치를 개선시킬 수 있으며, 여러 개의 wire를 동시에 사용하여 용접 속도를 향상시킬 수 있으나, 과립상의 플럭스를 사용하기 때문에 주로 아래 보기 자세의 대형 구조물에 적용하기가 용이하다. 라인 파이프의 조관 용접에 적용

되는 SAW는 내면과 외면에서 각각 한번씩 용접하여 전 두께를 완전히 접합하게 되는데, Fig. 3은 SAW 용접법에 의한 파이프 용접부 단면의 일 예를 나타낸 것이다.

조관 용접 방법으로서의 SAW에 있어서 최근의 기술 개발 동향의 하나는 지속적으로 추진되는 용접 생산성의 향상을 위하여 여러 개의 wire를 사용하여 동시에 용접하는 다 전극 SAW가 개발되어 적용되는 것인데, 초기에는 1개의 wire에 AC 전원을 사용하는 1 전극형 용접기로부터 최근에는 3~5개의 wire에 DC와 AC 전원을 조합하여 사용하는 다 전극 용접기를 사용하는 기술이 개발되고 있는 것이다. 여러 개의 wire를 사용하는 다 전극 SAW의 적용으로 동일한 두께는 기준으로 할 때, 다 전극의 용접을 적용하는 경우 용접 속도가 훨씬 빨라질 수가 있으며, 용접속도의 증가는 용접 입열량을 감소시켜 열 영향부(HAZ : heat affected zone)의 인성을 개선시키는 효과가 있다. 기존의 여러 문헌에 발표된 결과들을 종합하여 SAW 용접 wire의 수가 증가함에 따라 나타나는 개략적인 특징을 Fig. 4에 정리하였다.

조관 SAW 용접법의 개발에 있어서 또 하나의 중요한 특징은 제 2장에서 언급하였던 원유와 가스전의 채굴 환경 및 라인 파이프 사용 환경의 변화에 대응하여 강재의 품질이 크게 변화해 왔다는 점이다. 즉 소재의 강도가 증가함에 따라 강도 향상을 위하여 첨가한 화학 조성의 영향으로 강재의 미시 조직이 ferrite+pearlite 조직에서 bainite 조직으로 변화하였으며, 이에 따른 용접 경화성의 증가로 HAZ 인성의 저하가 유발되고,

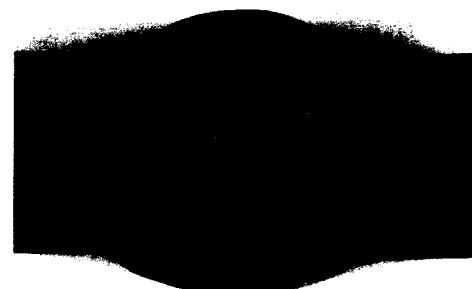


Fig. 3 SAW weld section for line pipe

전극수 :	2AC → DC-AC → 3AC → DC-2AC → 4AC → DC-3AC
	[25mm 두께 용접용 기준]
용접속도 :	100% → 125% → 155% → 180% → 260% → 300%
	75% → 100% → 125% → 140% → 200% → 230%
입열량 :	100% → 85% → 62%
	인성수준 → 증가

Fig. 4 Trend of multi-pole SAW technology and their effects

HAZ 결정립 경계에 석출되는 개재물의 영향으로 sour 가스에 의한 결정립계를 따르는 SSCC의 발생이 우려되고 있어 이에 대한 대비를 하여야 한다는 점이다. 이러한 관점에서 다 전극 SAW 적용에 의한 입열량 제어는 HAZ의 품질 확보에 중요한 역할을 한다고 할 수 있다.

라인 파이프의 SAW에서는 필수적으로 용접 재료가 사용되는데, 최근의 내균열성, 내식성 강재의 개발은 SAW 용접 재료에 대해서도 또한 그에 상응하는 특성을 보유하는 것을 요구하고 있다. 즉 최근의 고강도, 고인성, 내sour균열성 및 내부식성 라인 파이프용 소재의 개발은 각각의 성능에 대응하는 용접 재료의 개발이 동시에 이루어질 것을 요구하고 있는 것이다. 한편, SAW 용접 재료의 강도는 통상적으로 소재의 강도보다 높은 것을 사용하게 되는데, 소재의 고강도화에 따른 고강도 용접 재료의 사용은 또 다른 문제를 제기할 수 있다. 그것은 바로 SAW 용접 금속에서 현장의 girth 용접에 의하여 나타나게 되는 열 영향부가 존재하게 되는 점이며, 여기에서 hard spot이라는 국부적인 고경도 부위가 발생하게 된다. 이 부분의 높은 경도는 내 HIC, 내 SSCC용 라인 파이프에 대하여 규제되고 있는 경도 값의 상한치($H_v \leq 248$)를 초과하는 경우가 많아 고강도 라인 파이프용 SAW 용접 재료의 개발에는 이에 대한 대비가 반드시 고려 돼야 한다.

3.1.2 HF-ERW : 고주파전기저항용접

고주파전기저항용접 방법은 피 용접재의 두 표면을 마주 접촉시키고 고주파의 용접 전류를 가하여 두 접촉면 사이에서 발생하는 고주파 전류 특유의 표피 효과와 근접 효과를 이용하는 고유 저항에 의한 발열 및 접촉 저항에 의한 발열로 피 용접재를 가열시킨 후 용융면에 압력을 가하여 피 용접면을 접합시키는 용접 방법으로서 통상 150~350MHz의 고주파 전류 사용하고 있다. Fig. 5는 고주파 전류의 흐름에서 나타나는 표피 효과와 근접 효과를 나타내는 전류 밀도와 그 복합에 의하여 나타나는 파이프 대강 에지 면에서의 전류 밀도

에 대한 모식도와 함께 ERW에 의하여 얻어지는 용접부 단면 형상의 일 예를 나타낸 것이다. 이 용접법의 주로 1.5mm~16mm 두께의 열연 코일을 사용한 중구경~소구경 강관의 straight seam 조관 용접에 적용하고 있는데, 고주파 전류의 특징인 표피 효과 및 근접 효과에 의하여 접합부 표면의 국부적인 가열이 가능하여 열 영향부가 작아지는 특징이 있다. 소구경 파이프에는 주로 유도 코일에 흐르는 전류로부터 유도 전류에 의한 가열 방식이 이용되며, 중구경 파이프에는 주로 파이프 표면에 접촉되어 있는 접촉자에 직접적으로 전류를 가하여 저항 발열을 이용하는 가열 방식이 사용된다. ERW 용접 공정에서는 대개 각종 설비의 냉각을 위하여 공급하게 되는 냉각수 분위기 중에서 용접을 실시하게 되는데, 이 때의 용접부는 냉각수 수분 및 대기 중의 산소나 질소 등으로부터 용접부가 산화되는 것을 방지하기 위한 보호 능력이 부족하여 접합부에 산화물 등이 잔류하여 결함을 발생시킬 수 있는 가능성이 크기 때문에, 위험성이 높은 가스 수송용 라인 파이프로서의 사용은 극히 제한되었다.

그러나 최근에는 강관용 소재의 품질향상, ERW 용접시 온 라인 모니터링에 의한 자동 입열 제어 장치의 개발 및 비파괴검사 기술의 향상 등에 의하여 접합부에 대한 신뢰도가 크게 향상되어 라인 파이프용으로 사용을 확대 적용하기 위한 연구가 심도 있게 진행되었다. 또한 수년 전부터는 저항 용접에 의한 ERW 접합부의 결함을 근본적으로 방지하기 위하여 ERW 열원과 LBW(laser beam welding) 열원을 동시에 적용하여 접합부를 용융 및 응고시킴으로써 ERW 저항 용융 접합부의 결함 발생을 원천적으로 방지하기 위한 새로운 용접 방법으로서 개발되어 적용되기도 하고 있다. 그러나 ERW 용접 공정 자체가 저가의 소재를 이용하여 고속의 용접으로서 생산성을 확보하여 경제적으로 경쟁력이 있는 파이프를 제조하는 것을 특징으로 하는 점을 고려할 때 이러한 고가의 Laser 용접 열원을 함께 사용하는 복합 열원 용접의 적용 범위는 대개 스테인리스강과 같은 고부가가치강 등에 제한적으로 사용되고 있다.

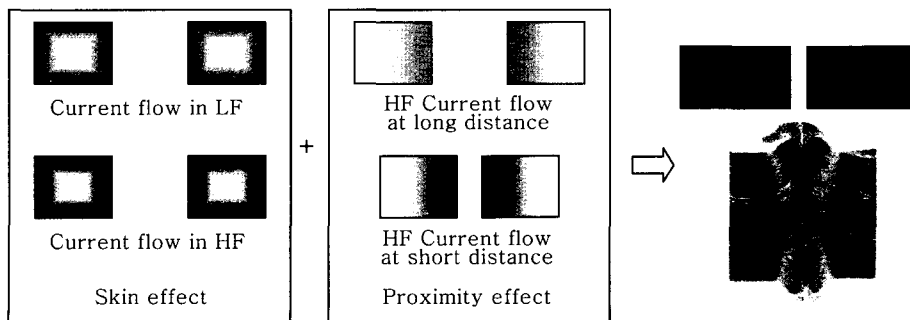


Fig. 5 Skin effect and proximity effect of high frequency current and their effect on pipe weld

또한, ERW와 LBW를 복합으로 이용하여 조관 하는 경우 ERW는 예열용 열원으로, LBW를 주 용접 전원으로 이용하고 있는 점을 고려할 때, 이 용접 법은 ERW 조관 용접이라기보다는 오히려 LBW 조관 용접이라고 보는 것이 타당하리라고 생각된다.

3.2 Girth 용접 방법

앞장의 Fig. 2에서 보는 바와 같이 라인 파이프에 대한 초기의 girth 용접 범으로서 셀룰로오스 플럭스의 용접봉 또는 저수소계 플럭스의 용접봉을 사용하는 SMAW(shielded metal arc welding)가 주로 적용되었다. 그러나 girth 용접 자체가 위 보기 자세 용접, 아래 보기 자세 용접, 수직 용접 등의 다양한 용접 자세에서 용접이 이루어져야 하기 때문에 SMAW 용접부의 결함 발생이나 품질은 용접 작업자의 숙련도에 크게 의존하고 있었다. 또한 지속적으로 증가해온 라인 파이프 길이의 장대화에 따른 설치 공사 기간의 연장은 많은 비용을 소요하게 되어 girth 용접작업의 고속화가 요구되기도 하였다. 이러한 문제점을 해소하고자 플럭스를 사용하지 않고 보호가스를 이용하여 용접부를 대기로부터 보호해 주는 GMAW(gas metal arc welding)을 적용하면서도 작업자의 기량에 대한 의존도를 탈피할 수 있는 파이프 girth 용접용 자동 용접기가 개발되어 사용되었다. 이러한 girth 용접 장치의 개발은 용접 공정 수를 크게 감소시킬 수 있어 용접 금속의 양 또한 감소시킬 수 있기 때문에 용접 금속의 응고에 의하여 발생하는 잔류 응력의 감소 효과도 얻을 수 있었다. Fig. 6은 SMAW에 대비하여 자동화된 GMAW를 적용하는 경우의 개선단면 형상의 차이와 그로 인하여 얻어지는 용접부 단면의 일 예를 나타낸 것이다.

라인 파이프를 설치하기 위한 girth 용접에 자동화된 GMAW 용접기가 사용되면서^{1,2)} 용접 공정 자체에도 작업 효율을 증가시킬 수 있는 일련의 연속적인 용접 작업공정이 개발되었으며, Fig. 7은 지상의 라인 파이프를 설치하기 위하여 자동화된 GMAW 용접 장치를

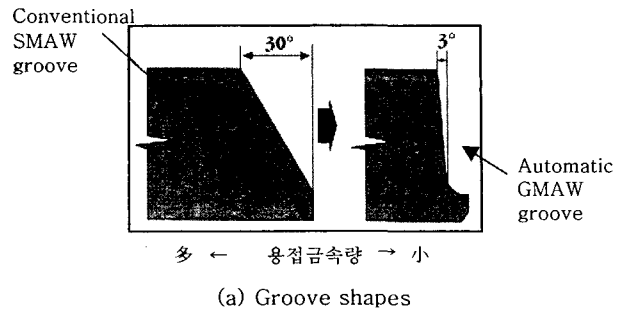


Fig. 6 Groove shapes in pipe girth welding and GMAW weld section (source PASSO)

이용하는 spread welding system의 모식도를 나타낸 것이다. GMAW 용접에서는 또한 그 용접 효율을 증대시키기 위한 기술개발이 지속적으로 이어져 왔는데, 그 결과로서 dual-torch GMAW³⁾ 및 twin-wire GMAW가 개발되어 적용되고 있다. 이 이외에도 GTAW(gas tungsten arc welding)⁴⁾, Plasma용접, FCAW (flux cored arc welding) 등을 이용한 여러 가지 arc 용접 장치가 개발되었으나 그 이용도는 낮았다.

한편 깊이가 비교적 낮은 해저에 파이프라인을 설치하는 S-laying 공정에서도 파이프를 수평으로 놓고 용접을 실기하기 때문에 spread welding system과 유사하게 여러 개의 파이프를 동시에 용접할 수 있어 비교적 빠른 girth 용접을 기대할 수 있다. 그러나 깊이가 큰 심해저에 파이프라인을 설치하는 경우에는 파이프를 수평으로 늘어놓고 용접할 수 있는 여건이 아니라 수직으로 세워 놓고 용접하여야 하는데, 이 경우에는

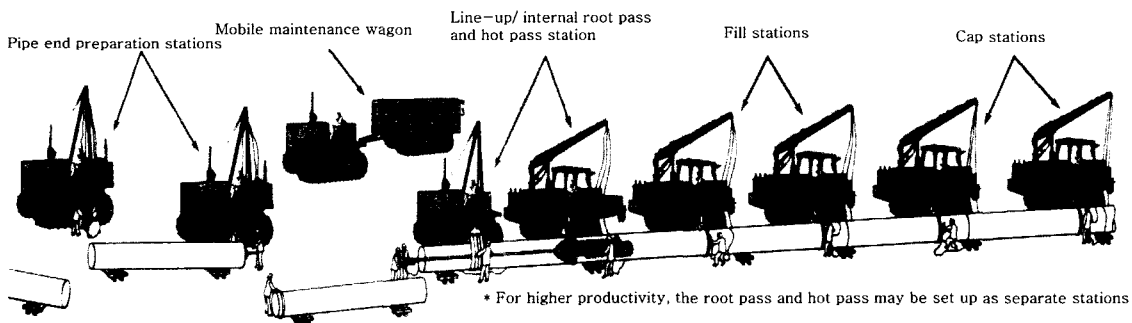


Fig. 7 Typical mechanized GMAW pipelay welding spread (source CRC Evans)

용접을 여러 곳에서 동시에 진행할 수가 없게 된다. 또한 심해저용 라인 파이프는 높은 수압에 견디기 위하여 그 두께가 지상의 파이프보다 증가하게 된다. 따라서 심해저 파이프라인을 설치하는 경우에는 girth 용접에 소요되는 시간이 훨씬 길어지는 문제점이 있어왔다. 이러한 문제점을 해소하기 위하여 파이프의 전 두께를 한번에 용접할 수 있는 용접 공정의 개발이 요구되었으며, 이러한 요구에 대응할 수 있는 girth 용접 방법으로 고밀도 열원 용접의 하나인 EBW(electron beam welding)^{5,6,7)}를 이용하여 수직으로 연결된 파이프의 둘레를 용접할 수 있는 용접 장치가 개발되어 사용되기 시작하였다. 여기에서는 기존의 EBW 적용에서의 제한 사항인 5×10^{-2} 이하의 고진공을 유지하는 문제가 크게 완화되어 $10^{-1} \sim 10$ mbar 정도의 저진공 상태에서도 사용이 가능하도록 설계되었다. Girth 용접용 EBW의 사용은 그 빠른 냉각 속도로 인하여 용접부 인성이 극히 낮아지는 문제점으로 인하여 즉각적으로 사용되지 못하였으나, 최근에 저 진공 상태의 EBW를 적용하여도 충분히 우수한 용접부 인성이 확보되는 파이프용 강재가 개발되어 girth EBW 용접기의 실적용을 뒷받침해 주었다. 현재 진행되고 있는 러시아산 가스 터키로 공급하기 위한 흑해저 파이프라인 설치 프로젝트에서 저진공 EBW 용접기의 적용이 심도 있게 고려되고 있다⁶⁾.

고밀도 열원을 이용한 또 하나의 girth 용접 방법으로서 GMAW에 비하여 용융 깊이가 크게 증가하는 LBW의 적용이 고려되고 있다. LBW는 비록 EBW보다는 용융 깊이가 크게 낮아 종전에는 주로 자동차, 항공기 및 핵발전소 등에 제한적으로 이용되어 왔으나, LBW용접기의 Power가 크게 증대되어 적용할 수 있는 두께가 점차로 증대되고, EBW에서와 같은 진공을 유지하지 않아도 된다는 장점이 있어 파이프 용접, 구조물 용접, 조선 용접 등으로 그 적용 범위를 확대해 왔다. 이러한 특징에 따라 J-laying에서는 EBW의 적용이 훨씬 유리하지만 S-laying 또는 지상의 spread welding system에서는 LBW의 적용이 더 유리할 수 있다. Laser용접기로는 laser 발전기에 따라 CO₂ laser와 Nd:YAG laser가 있으며, 초기에는 주로 CO₂ laser가 많이 적용되어 왔는데, 20kW 용량의 CO₂ laser 용접기⁸⁾는 최대 28mm의 두께를 1m/min.의 속도로 용접할 수 있게 되었다. 한편 Nd:YAG laser는 1.06 μ m의 파장을 가지고 있어 광섬유를 통하여 laser가 전달될 수 있다는 점과 고체 상태의 장치를 사용하기 때문에 쉽게 운반이 가능하다는 점 및 적용 형태가 다양하다는 점이 장점으로서 점차 그 이용이 확대되고

있다. 또한 laser 용접기 단독만이 아니라 최근에는 laser 용접 열원과 GMAW 용접 열원을 조합하여 사용하는 laser-arc hybrid 용접 기법이 개발되고 있다. 이러한 복합 열원을 이용하는 경우에는 Fig. 8에 나타난 바와 같이 GMAW는 물론 laser 용접기만을 단독으로 이용하는 경우에 비해서도 더욱 높은 용융 효율을 기대할 수 있어, 향후 복합 열원을 이용한 고효율 girth 용접 system의 이용으로 라인 파이프 용접 공정의 대폭적인 단축을 기대해 볼 수 있다.

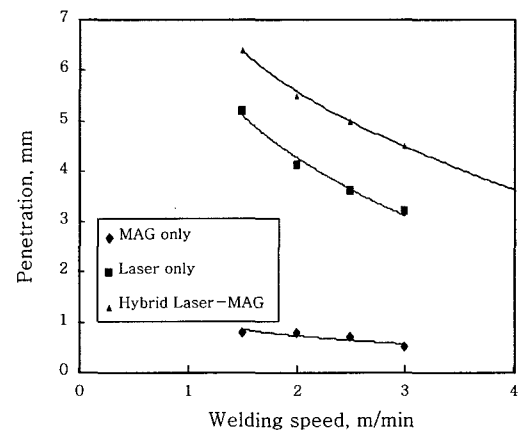


Fig. 8 Comparison of penetration depth between welding methods (source TWI)

4. 결 론

이상의 고찰로 볼 때 파이프를 제조하기 위한 주요 용접법인 SAW 기법에서의 기술 개발 동향의 특징은 주로 다 전극 용접과 같은 SAW 자체의 용접 효율을 향상시키는 기술 개발이 중심을 이루고 있다는 점이다. 또한 원유 및 가스의 채굴 환경 변화와 라인 파이프의 사용 환경 변화에 따라 요구되는 파이프 품질 특성 변화에 대응한 강재의 개발 동향은 그러한 강재의 수준에 대응하는 용접 재료의 개발을 동시에 필요로 하고 있다. 따라서 고효율 조관 SAW 용접 기술의 개발은 결함을 방지하기 위한 용접 기술 자체의 개발도 중요하지만 고효율 용접 기술 적용에 대응한 강재 개발 및 고품질의 강재에 적합한 용접 재료의 개발이 동시에 진행되어야 할 것으로 생각된다. 또한 ERW 용접관의 사용 확대를 위해서는 ERW 접합부의 성능을 보증할 수 있는 충분한 성능 평가와 사용 수명을 향상시키기 위한 용접 기술 개발이 필요하며, 용접부의 품질 편차를 고려한 확률론적인 수명 예측 기술에 대한 연구가 활발히 진행될 것으로 기대된다.

라인 파이프 프로젝트 전체의 경제성을 고려할 때 라인 파이프 용접 기술 개발의 초점은 조관 용접보다는

girth 용접에 큰 무게를 두고 있다. 즉 조관 용접 기술에서는 SAW 용접 기법의 효율 향상이 주를 이루고 있으나, girth 용접의 경우에는 용접 기법 자체도 탈 기능화, 고속화의 목적으로 다양한 용접 법이 개발되고 있으며, 각각의 용접 기법에 있어서도 그 효율을 향상시키기 위한 많은 노력이 이루어지고 있다. 초기의 SMAW에서 탈 기능화, 고속화를 위한 자동화된 GMAW 설비가 개발된 이후에도 지속적으로 추진되고 있는 girth 용접 기술 개발 동향으로 볼 때 향후의 girth 용접에는 advanced GMAW system, laser welding system & laser-arc hybrid welding system 및 electron beam welding system이 주류를 이룰 것으로 예상된다. 즉, 실용화 측면에서 가장 앞서 있는 GMAW에서는 dual-torch 또는 twin-wire GMAW가 더욱 향상된 생산성을 제공하며 지속적으로 이용될 수 있을 것이다. 파이프의 전 두께를 한번에 접합할 수 있다는 장점을 가지고 있어 심해저 파이프라인 J-laying 등에서의 두꺼운 파이프 용접에 적합한 EBW 또한 저진공에서 대기용접으로까지 적용 범위가 넓어져 그 이용이 확대될 것으로 예상되며, 또한 EBW 보다는 용융 깊이가 작으나 진공 유지의 필요성이 없고, GMAW에 비해서는 상당히 높은 용융 깊이를 가지고 있는 LBW가 GMAW에 의한 다층 용접에서 나타날 수 있는 용접부 품질의 편차와 같은 문제점을 제거할 수 있어 그 이용이 확대될 것으로 예상된다. 이와 더불어 라인 파이프 용접의 주종으로 사용되는 GMAW와 laser용접을 함께 이용하는 laser-arc hybrid 용접은

그 높은 용접 효율과 동일한 power에서의 경제성으로 인하여 laser 용접을 단독으로 사용하는 경우보다 더 확대 될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. Dye, S. A., "New automatic machine for pipe welding", *Metal Construction and British Welding Journal*, 2-3 (March 1970), 111-114
2. Randall, M., "25 years of automatic welding", *Pipeline Digest*, April 1994
3. Hansen, E. and N. Poirier, "Offshore welding technology applied to a major onshore pipeline project: Maghreb to Europe 48" gasline in Morocco", *Pipeline Technology, Proceedings of 2nd international conference, Ostend, Belgium, 11-14 Sep. 1995, Vol. III*, 119~137
4. Belloni, A. and M. Celant, "Development of an Advanced [Automatic Hot Wire TIG Welding] system to Weld Corrosion Resistant Alloys and Clad Pipes", *OMAE 1993, Proceedings 12th International Conference, Glasgow, UK, 20-24 June 1993, Vol. 3a*, 83-90
5. Sivry, B. de, "J-Configuration Laying - Electron Beam Welding", *New Technologies for The Exploration and Exploitation of Oil and Gas Resources, Proceedings, EC Symposium, Luxemburg, 5-7 Dec. 1984*, 921~930
6. Punshon, C. S. and A. Belloni, "Reduced Pressure EB Welding for Offshore pipelines", *Joining and Welding for the Oil and Gas Industry, Proceedings, International Conference, London, 30-31 Oct. 1997*
7. Masuda, H., "New Technologies for Transmission Pipelines", *IIW Document XII-1488-97, 1997*
8. PCT World Patent Application WO 98/06533



- 김충명(金忠明)
- 1961년생
- (주)포스코 기술연구소
- 탄소강용접, 파괴역학, 용접결합
- e-mail: chmkim@posco.co.kr