

극한지 천연가스 배관에 대한 사양 및 용접공정

백종현, 김우식
한국가스공사 연구개발원

The Specification and Welding Process Investigation on Arctic Line Pipe.

Jong-Hyun Baek, Woo-Sik Kim
R&D Center, Korea Gas Corporation, 277-1 Il Dong, Ansan, 425-150

1. 서론

동북아의 천연가스전이 21세기 자원의교의 최대 관심사로 두각 되면서 이 지역의 천연가스 전 개발 및 파이프라인 건설에 대해 한국, 중국 그리고 일본이 관심을 갖고 사업을 추진중이다. 동북아 지역의 천연가스 매장량은 사할린 연안의 4천억^{m³}, 사하(옛 야쿠츠크) 지역에 9조6천억~13조^{m³}, 이르쿠츠크 지역에 6천억~8천억^{m³}등 최대 56조^{m³} 이 매장되어있다. 현재 국내 천연가스 도입은 동남아 지역으로부터 LNG 상태로 수입하고 있으며, 천연가스의 안정적인 공급을 위하여 PNG(Pipeline Natural Gas) 도입이 적극 검토되고 있다. 현재 예상 배관노선 지역은 한랭지를 통과하고, 또한 고압으로 대량 천연가스를 수송하기 위하여 기존 배관보다 저온인성이 우수한 재질이 사용되어야 한다. 현재 천연가스 주배관으로 API 5L X65 배관을 사용하고 있으나, 향후 건설될 PNG Line에대해서는 API 5L X80 또는 X100과 같은 고인성, 고강도 배관 사용이 검토되어야 한다. 대량의 PNG 수송은 고압, 대구경 배관 사용에 의해 가능하며, 이를 위해서는 고강도, 고인성, 고내식성 및 용접성이 우수한 강관을 사용하여야 한다. 천연가스 배관을 API 5L X60에서 API 5L X70으로 변경함에 따라 배관 벽두께와 무게를 14%감소시킬 수 있으며, API 5L X70에서 API 5L X80으로 변화시킴에 따라 12.5%를 감소시킬 수 있어 배관 건설비 및 시공기간을 단축 할 수 있다. 고강도, 대구경 강관에대한 용접시공은 일반적으로 사용되는 수용접공정 이외에 GTAW 방식과 GMAW 방식에의한 원주자동용접기를 사용하고 있다. 자동화 용접공정으로의 변화는 고품질이 요구되는 가스배관 용접을 수행할 수 있는 숙련된 용접사의 부족과 점차로 가스배관이 대구경화됨에따라 용접시간이 많이 소요되므로 자동화를 통하여 이러한 문제점을 해결하고자 국외 가스회사에서는 자동용접공정을 대부분 채택하여 시공하고 있다. 본고에서는 향후 우리나라가 건설할 극한지 천연가스 배관의 사양 및 용접공정에대한 사전준비 작업의 일환으로 해외 가스회사들이 사용중인 고강도, 고인성 배관의 현황을 알아보고 극한지용 고강도 강관의 현지 용접시 적용하는 용접공정 및 용접봉에대한 검토를 하였다.

2. 천연가스 수송용 고강도 배관

고청정 에너지에 대한 수요증가에따라 에너지원이 석유에서 천연가스로 변화하고 그 수요도 매년 증가하고 있다. 천연가스의 수송은 LNG 수송선 이외에 Pipeline에 의한 PNG의 수송이 있다. 천연가스 수송거리가 3,000km 이상에서는 Pipeline에 의한 수송이 더욱 경제적이다. 고강도강관을 사용하려는 목적은 일정 공급압력하에서는 가스배관 두께를 감소시킬 수 있으며, 용접에 소요되는 시간이 단축되어 전체적인 공사비 절감이 가능하다. 현재 동북아시아 지역에서 PNG 도

입을위해 검토중인 지역으로는 Irkutsk, Yakutsk, Sahalin이 있다. 다음 표 1은 검토중인 PNG Project 구간을 나타낸 것이다. PNG 도입을 위해서는 장거리 배관망 공사가 진행되어야하며, 배관은 30만본 이상 소요되는 대규모 프로젝트이다. 위와 같은 시베리아 지역은 연평균 기온이 -9~-10℃이며, 동절기에는 -60℃인 한랭지이다. 따라서 한랭지 천연가스 수송용 강관은 고강도 이외에 저온인성이 우수한 고인성, 고내식성 및 용접성이 우수한 강관사용이 검토되어야 한다. 위와 같은 요구 조건을 충족시킬 수 있는 강관은 API X80과 같은 고강도,고인성 강관이다.

3. 국외 고강도 천연가스배관 사용현황

3.1. 캐나다

캐나다에서는 1970년초반부터 고강도 강관인 API X70을 천연가스 배관으로 사용하였으며, 1980년 후반 부터는 API X80 배관을 사용하기 위하여 배관에대한 기계적시험 및 용접절차에대한 다양한 연구를 수행하였다. 캐나다 지역의 가스를 80%를 공급하고있는 NOVA 가스는 1987년말 API X80 배관을 사용하기 위하여 6개의 강관제작사로부터 강관을 공급받아 Pipe body test를 실시하여 2개의 강관제작사를 선정하여 사용하고 있다. 다음 표 2는 NOVA사에서 사용하고있는 API X80 배관 모재 및 용접부에대한 기계적 물성치이다.

3.2. 체코슬로바키아

러시아에서 서유럽으로 천연가스의 수송은 체코슬로바키아, 폴란드 및 헝가리를 경유하여 공급되고 있다. 체코슬로바키아의 천연가스 배관은 1971년부터 1986년까지 4개의 주배관이 총연장 4,100km의 길이로 건설되었다. 1971년에서 1976년사이에 건설된 Line 1은 API X60과 X52로 건설되었으며, Line 2에서는 API X70으로 건설되었으며, 점차로 강관의 강도가 증가하여 최근에 건설된 Line 4에서는 API X80의 고인성,고강도 강관으로 건설되었다. Line 1 과 Line 2에서는 12.4m의 배관을 사용하였으나 Line 3부터는 18.4m로 배관길이를 증가시켜 주배관 건설시 용접공정 감소로 인하여 공사기간 단축이 가능하였다.

3.3. 독일

지난 40여년간 독일에서 가스배관으로 사용된 강관은 초창기 API X52 강종부터 사용하기 시작하였으며 최근에서는 대유량의 천연가스 수송을 위하여 고강도 강관인 GRS 550 TM을 사용하기 시작하였다. 특이한 점은 GRS 550 TM 강관에 대한 인장강도값은 API 5L X80에서는 620MPa를 요구하고 있으나, 독일에서는 690MPa로 더 높은 인장강도값을 요구하고 있다. Ruhrgas사에서는 1992년 GRS 550 TM을 사용하기 위한 기본적인 합금성분으로 0.09%C, 1.9%Mn, 0.04%Nb 및 0.02%Ti계 강관을 사용하였다. 인장실험은 API 5L에서 사용된 것과는 다른 Round Bar 시험편을 사용하였으며 최소요구치인 690MPa를 만족하였고, 모재부에대한 충격 에너지값에서는 European Pipe Research Group에서 제시하고있는 95J 이상을 나타내었다.

3.4. 일본

일본에서 천연가스는 1969년 동경가스, 동경전력에의해 알래스카로부터 LNG가 도입되면서부터 본격적으로 이용되기 시작하였다. 이후 고정정 에너지에대한 수요 증가에 따라 PNG에 의한 천연가스 도입을 국가적으로 적극적으로 추진하고있는 상태이다. 현재 일본 국내에는 API X70 또는 X80과 같은 고강도 강관은 사용하고있지 않으나 新日本製鐵, 日本製鐵, 住友金屬工業, 川崎製鐵같은 강관사에서는 고강도 강관을 제작하고 있으며 향후 건설될 PNG Line에서는 고강도 강관을 적용할 것으로 예상된다. 현재 일본에서 구상중인 Line으로는 중앙아시아의 (A)사하린 지역, (B)러시아의 야쿠츠크 그리고 (C)타린 분지 지역을 검토하고 있다. 위 지역에서 송출압

력을 70kgf/cm^2 로 파이프라인을 통하여, 일본 국내에서는 $30\sim 40\text{kgf/cm}^2$ 로 공급하며, 육상배관은 직경 56인치, 해저구간은 40인치를 구상하고 있다. A-Line은 가스전으로부터 북해도까지 연결되며 약 250km정도의 해저 배관이 소요되는 구간이다. B-Line은 야쿠츠크지역으로 가스관 건설비가 1990년 기준으로 약 66억달러가 소요되는 구간으로 북한을 경유하기 때문에 정치적으로 해결되어야 할 문제가 있다. C-Line은 중앙아시아의 투르크메니스탄(Turkmenistan)에서 중국을 관통하는 구간으로 육상지역은 7,300km 해저지역은 약 800km로 제주도를 경유하여 일본九州로 연결되는 구간이다. 사용예정인 배관은 52인치이며, 총 공사비는 83억달러가 소요될 것으로 예상된다.

4. 극한지용 고강도 배관 자동용접 및 피복 용접봉

4.1. 고강도 배관 자동용접

배관용접에 있어서 자동용접과 기계화는 1960년초부터 시작되었다. 용접현장이 열악하고, 용접부에 대한 고품질을 요구함에 따라 자동용접에 대한 실용화가 계속적으로 추진되고 있다. 최근 숙련된 용접인력의 감소, 용접사의 고령화, 용접사의 고임금, 용접부의 균일한 품질유지, 대구경 배관 용접에 따른 시간단축 요구등의 여러 이유로 자동용접에 대한 요구는 점차로 증가하고 있다. 가스배관에 대한 자동용접은 일반적으로 GTAW(Gas Tungsten Arc Welding)와 GMAW(Gas Metal Arc Welding) 두 가지 방식에 의해 이루어진다. 북미 지역과 유럽 지역에서 사용되는 원주 자동용접기는 대부분 GMAW 방식이며 CRC-EVANS사 용접기가 대부분 사용되고 있다. GMAW 공정은 사용되는 용가제에 따라 Solid Wire 방식과 FCAW 방식이 있다. 캐나다에서는 1970년부터 가스배관 용접에 GMAW 방식에 의한 자동용접기를 사용하고 있으며, 독일에서 최근 신설된 GRS 550 TM 가스배관 용접시에도 GMAW 방식에 의한 자동용접기를 사용하여 시공하였다. 다음 표 3은 API X65, 직경 40인치, 두께 0.625인치(15.9mm)배관을 500km 시공시 소요되는 각 용접공정별 Man-Hour를 나타낸 것이다. 작업시간은 1일 10시간으로 상정하여 계산한 것이다. 분석결과 반자동 용접이 수용접공정인 SMAW에 비하여 전체 인력투입 시간이 58%감소되며, 전자동 GMAW 공정은 54%가 감소되어 배관 시공시 용접공정 선택에 따라 공사비가 크게 좌우된다.

4.2. 고강도 배관 피복용접봉

천연가스를 가스전에서부터 국내에까지 수송하기 위해서는 장거리 배관공사가 추진되어야 하며 현장 원주용접은 상당히 중요한 작업이다. 배관 용접시 반자동 및 자동용접을 적용시키기 위한 연구가 지속적으로 진행되고 있으나, 피복용접봉을 사용한 수용접 공정도 계속적으로 채택되고 있다. 배관용접은 강종, 배관직경, 용도, 사용조건, 용접부 품질, 용접현장의 환경 및 용접사의 기량 등을 고려하여 적절한 시공법을 채택하여야 한다. 피복아크 용접봉에 의한 현장 원주용접은 셀룰로즈계(Cellulose)용접봉, 저수소계(Low Hydrogen) 수직상향 용접봉 그리고 저수소계(Low Hydrogen) 수직하향 용접봉 으로 크게 대별된다. 저수소계와 셀룰로즈계 용접봉은 적용여건에 따라 장,단점을 나타내고 있다. 빠른 속도의 용접을 수행하기 위해서는 용착율과 용접속도가 높은 셀룰로즈계가 적합하며, 초충용접부 안전성과 내균열성 방지를 위해서는 수직상향용 저수소계 용접봉이 적합하며 이 두가지의 특성을 겸비한 것이 수직하향용 저수소계 용접봉이다.

5. 요약

극한지에 건설되는 천연가스배관은 현재 국내에 건설중인 천연가스배관보다 고강도, 고인성 재질을 사용하여 대구경 강관으로 사용되어야 한다. 또한 용접공정도 장거리배관과 극한지 현장용접, 대구경용접이라는 특성상 자동용접이 필수적으로 도입되어야 하고, 배관재질 및 용접부

위의 각종 물성평가도 진행되어야 한다. 따라서 국내에서도 위와같은 고강도 강관 개발 그리고 용접공정에대한 기초연구들이 조속히 활성화되어 향후 건설될 PNG사업 추진에 차질이 없도록 만반의 준비를 갖추어야 할 것이다.

Table 1. PNG Project routes in Korea.

Pipeline routes	Distance (km)	Thickness of pipe(mm)	Dia. of pipe (inch)	No of Pipe (12m/pipe)
Yakutzku-Wonsan-Seoul	5,300	15-25	42 ~ 56	441,666
Sahalin-Habarovsk-Pusan	3,700	"	"	308,333
Irkutsk-UlanBator-Peiking-Pyoungtaek	4,100	"	56	341,666

Table 2. Specification on the API X80 in NOVA Transmission LTD.

Pipe body					Weld seam			
Yield strength	Tensile strength	Elongation	Impact energy (-5°C)	Shear area (-5°C)	Yield strength	Tensile strength	Elongation	Impact energy
550MPa	620MPa	21%	60J	50%	550MPa	620MPa	10%	60J

Table 3. Comparison of welding time with variation of welding process.

Welding process	SMAW (Cellulose type)	Semi-auto (Self shielded FCAW)	Automatic GMAW
Amount of deposition/ Joint	5785.5g/J	3275.2g/J	2580.8g/J
Welding speed of stringer bead	280mm/min.	432mm/min.	762mm/min.
Welding time of stringer bead	4.8min./6 person	4.84min./4 person	4.4min./4 head
No. of max. welding joint / Day	125J/10hrs	124J/10hrs	136J/10hrs
Average welding joint / Day	100/10hrs	100/10hrs	109/10hrs
No. of welder	52	22	20
No. of assister	52	52	24
Technician	2	1	5
Total welding time	106,000	45,100	41,000
Assist working hour	110,700	47,150	59,450
Total Man Hour	217,300	92,250	100,450