

解 說

大韓熔接學會誌
第9卷第3號 1991年 9月
Journal of the Korean
Welding Society
Vol.9, No.3, Sep., 1991

상수도강관 파이프 용접공정의 자동화

나 석 주*

Automation of Welding Process for Steel Water Pipes

S. J. Na*

I. 서 론

근래에 들어 국민들의 소득이 높아지고 생활수준이 향상됨에 따라 어려운 일은 하지 않으려고 하는 풍조가 사회전반에 걸쳐 만연되고 있다. 용접공정은 우리 사회에서 가장 어렵고, 고된 일종의 하나로 인식되어 있고, 그 중에서도 특히 수도용 대형 강관의 용접시공은 열악한 작업환경 환경과 전자세 용접등의 어려움때문에 매우 높은 임금을 제시해도 용접공들사이에서 기피되는 대표적 사례이다. 따라서 앞으로의 원활한 상수도 공급을 위해서 긴급하게 요구되는 대형강관의 설치를 위해서는 용접공정의 자동화가 절실히 요구되는 실정이다. 이와같은 문제의 해결을 위한 연구의 일환으로 선진국의 수도용 대형 강관 용접시공 방법 및 자동화의 현황을 파악하고, 우리나라의 용접시공 현황과 비교, 검토하여 현실에 적합한 수도용 강관의 용접시공 방법 및 자동화기법을 도출하기 위해서 미국, 이태리, 일본의 관계되는 회사들을 방문하였다. 이와같은 해외방문목적을 요약하면 아래와 같다.

- (1) 선진국 대형 강관 용접시공의 현황 파악
- (2) 수도용 대형 강관 용접시공자동화의 가능성조사
- (3) 대형 강관 용접시공 자동화를 위해서 필요한 장치들의 성능조사

2. 강관용접공정의 자동화

그림 1에는 수동용접을 위한 그루브의 형상과 자동용접을 위한 그루브의 형상을 서로 비교하였는데, 자동용접을 수행하는 경우에는 용착금속의 소모가 적어서 용접속도가 빨라지고(그림2) 윗면과 아랫면의 열입도 비교적 고르기 때문에 열변형에 의한 각변형이 적으며, 또한 모재의 성질이 일반적으로 악화되는 열영향부의 크기도 작아지는등 여러가지 장점이 있음을 알 수 있다. 이와같이 많은 장점을 갖는 강관 자동용접용 장치에 대한 현황을 파악하고, 현재까지 개발된 기술이 한국의 수도용 강관 용접공정에도 적용이 가능한지를 조사하기 위하여 관련회사를 방문한 결과중 수도용 대형강관 용접공정의 자동화에 관한 내용을 요약하면 다음과 같다.

2.1 A 회사(미국)

(1) 이 회사에서는 현재 4세대 파이프 용접장치라 하는 전자동 파이프 용접장치를 개발하여 시운전중인 데, 여기에는 용접의 진공정을 제어 및 모니터링하는 마이크로프로세서가 주 컨트롤러로서 작동하여 유연성이 매우 좋으나 현장용접에 적용하기에는 아직 시기상조인 것 같음.

* 정회원, 한국과학기술원 생산공학과

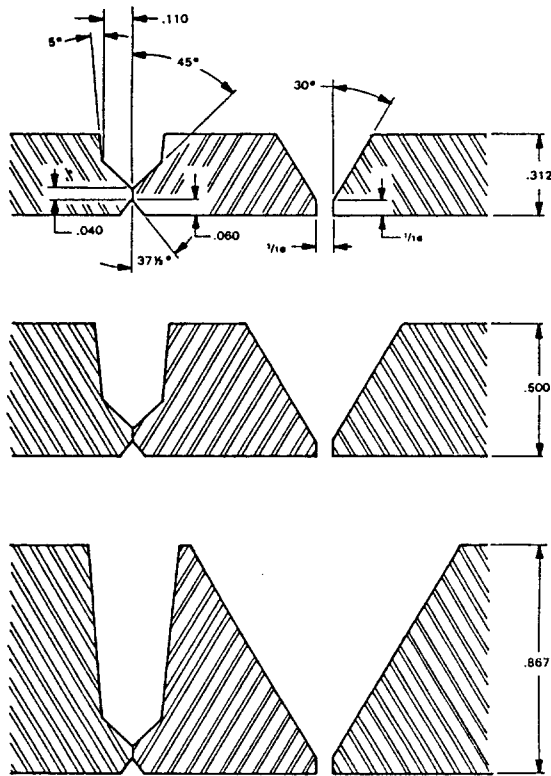


그림1 수동용접용(오른쪽) 자동용접용(왼쪽) 용접 그루브의 비교(맞대기 이음), 단위 : inches

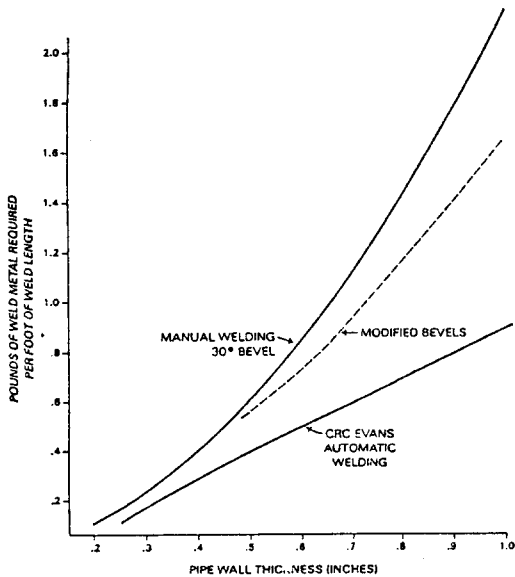


그림2 수동용접과 자동용접시 소모되는 용접재료의 비교(맞대기 어음)

(2) 수도용 강관 용접에는 기계식인 제2세대 파이프 용접장치가 적합하다고 판단되는데 이 방법의 특징은 다음과 같다.

- 위빙 (weaving) 폭과 진동 (frequency) 제어
- 맞대기 이음으로서 U-그루브 사용
- FCAW법을 채택하여 용접자세 및 작업환경의 영향을 최소화
- 프로판 가스로 75°C 정도로 예열하여 용접부의 습기 제거
- 용접 토치가 진행되는 guide는 유연하여 약간 찌그러진 강관의 경우도 적용가능
- 용착속도는 약 4kg/hr로서 2.5m직경의 상수도관용 강관의 경우 이음부 하나의 용접에 약 10시간의 작업이 필요함.

(3) 현재 국내에서 시행되고 있는 겹치기 이음형상의 용접시에는 외면과 내면용접을 서로 다르게 실시함을 추천함. 즉 내면용접은 부식방지와 강도유지를 위해서 현재와 같이 관두께와 각장길이가 서로 같게 용접하나, 외부용접시에는 산소압력 시험과 이물질이 두 관 사이에 끼어 들어가는 것을 방지할 수 있을 정도로 1혹은 2패스만 용접함으로써 용접시공단가의 절감과 생산성 향상을 도모할 수 있다.

(4) 파이프 용접에는 맞대기 용접법을 적용하는 것이 일반적이다.

- 파이프의 고정 및 내면 첫 패스용접에는 내면용접장치가 사용되는데, 이 장치는 현재 판매하지 않고 대어만 함.
 - 내면 첫 패스용접이 끝나면 외면용접을 수행하는데 관두께에 따라 여러 패스용접이 필요함
- 준비된 두 파이프를 정렬한 후 내면의 첫 패스를 용접하여 외면의 용접공정을 위한 파이프 고정작업을 수행하는 기계들의 사진이 그림 3에 나타나있다. 이 장치에는 용접토치, 용접 와이어, 용접보호가스등이 탑재되어 있기 때문에 그 구조가 매우 복잡함을 알 수 있다. 그림 4에는 파이프 자동용접시 요구되는 장치와 인원 배치도의 한 예를 나타내었다.

2.2 B회사(미국)

(1) 이 회사는 용접기 전문업체로서 용접기 전원과 용가재만을 생산하고 있으며, 용접자동화 시스템의 제작은 다른 전문업체와 협력하여 공급한다. 예를 들어 우리들의 방문시에는 용접 간이자동화 장치를 제작하는 한 전문업체의 사장과 부사장이 참석하여 자동용접

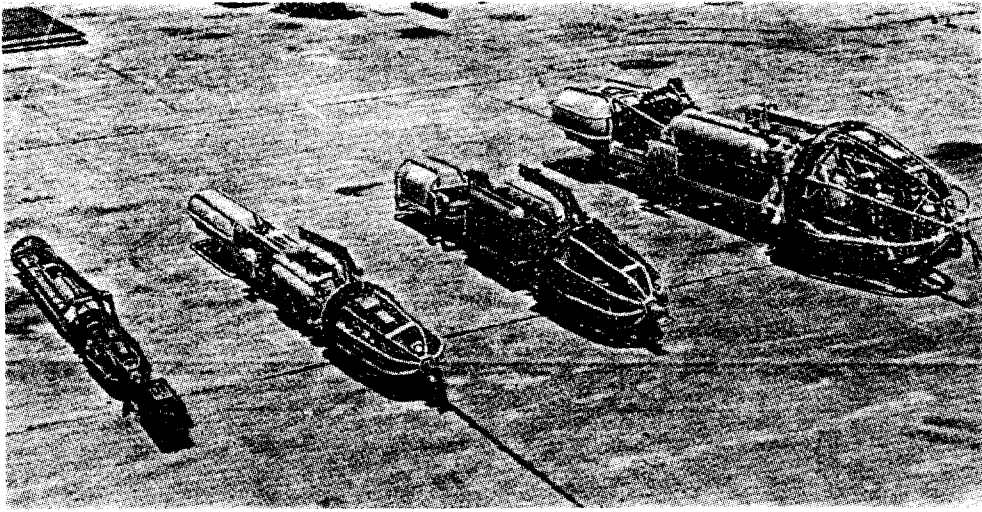


그림3 A사의 파이프 정렬 및 내부용접장치들

시스템의 가능과 성능을 설명하였다.

(2) 파이프 용접과 같이 Flat, Vertical, Over head 등 용접시에 나타날 수 있는 모든 용접자세가 요구되고 현장용접시 바람등 주위환경의 악조건을 극복하기 위해서는 FCAW법이 추천된다.

- Gas Metal Arc Welding(GMAW)과 비교하여 보호가스가 필요없어 바람등의 악조건(야외용접)에 유리하고 용입깊이가 더 커지는 장점이 있다.

- Shielded Metal Arc Welding(SMAW)과 비교하면 기능공의 양성이 유리하고(SMAW에 숙련된 용접공은 단 2일간의 훈련으로 용접작업이 가능하고 비숙련공의 경우는 Vertical down용접을 위해서는 약 1주일, Vertical up용접을 위해서는 약 2주일이 소요되어 적어도 약 3주일이 소요되는 SMAW보다 유리), 용접작업환경이 양호(SMAW의 용접봉효율이 약60%인데 반하여 FCAW의 경우는 80%이상임)하여 용접기능공을 확보하는데 유리하다.

(3) 전체 용접공정에 소요되는 비용중에서 용접 와이어가 차지하는 비용은 2%이내이기 때문에 Flux cored wire의 비교적 높은 가격은 큰 문제가 없을 것이다.

(4) Flux cored wire에는 여러가지 다양한 종류의 제품들이 생산된다. 따라서 자동 혹은 반자동 용접중 용접질이 좋지 않다고 해서 포기하지 말고 새로운 와이어의 적용을 시도함이 바람직하다.

(5) 아직까지 수동용접에 의존하고 있는 국내의 수준을 감안할 때 먼저 반자동용접을 도입하고 용접 엔

지니어와 기능공들이 이러한 반자동용접에 어느 정도 적응된 후 완전자동용접으로 전환하는 것이 바람직 할 것이다.

(6) 파이프 용접시 겹치기 이음의 형태도 적용 가능하나 맞대기 용접법이 일반적으로 적용되고 있다.

그림 5에는 Flux cored wire를 이용한 반자동 용접장치와 링형 guide시스템을 결합시킨 기계식 반자동 용접법을 이용한 대형강관 용접시공현장의 사진들을 나타내었으며, 표 1에는 수동, 반자동및 기계식 반자동 용접에 의한 대형강관 용접비용을 서로 비교하였다. 수동용접에 비해서 반자동용접은 약 20%, 기계식 반자동 용접은 약 60%의 비용을 절감이 있음을 알 수 있다.

2.3 C회사(이태리)

(1) 이 회사도 미국의 A사와 비슷한 제품을 제작하는 회사로서, 다른 회사들로부터 필요한 부품들을 공급받아서 강관 자동용접 시스템을 조립 판매하고 있다. 우리가 조사한 시스템도 용접전원 장치는 미국제품이었고, 용접변수조절을 위한 프로그램도 다른 이태리 회사로부터 공급받고 있었으며 이회사는 용접시스템의 운송과 대형강관의 handling 및 정렬을 위한 특수차량 장치들을 주로 자체 제작하였다.

(2) 현재 공급가능한 자동용접시스템에는 두 종류가 있는데 하나는 가격이 비교적 저렴한 기계식인데 반하여 최근에 개발된 시스템은 마이크로프로세서가 내장된 완전 자동시스템으로서 전용접공정의 자동화 및 용접자

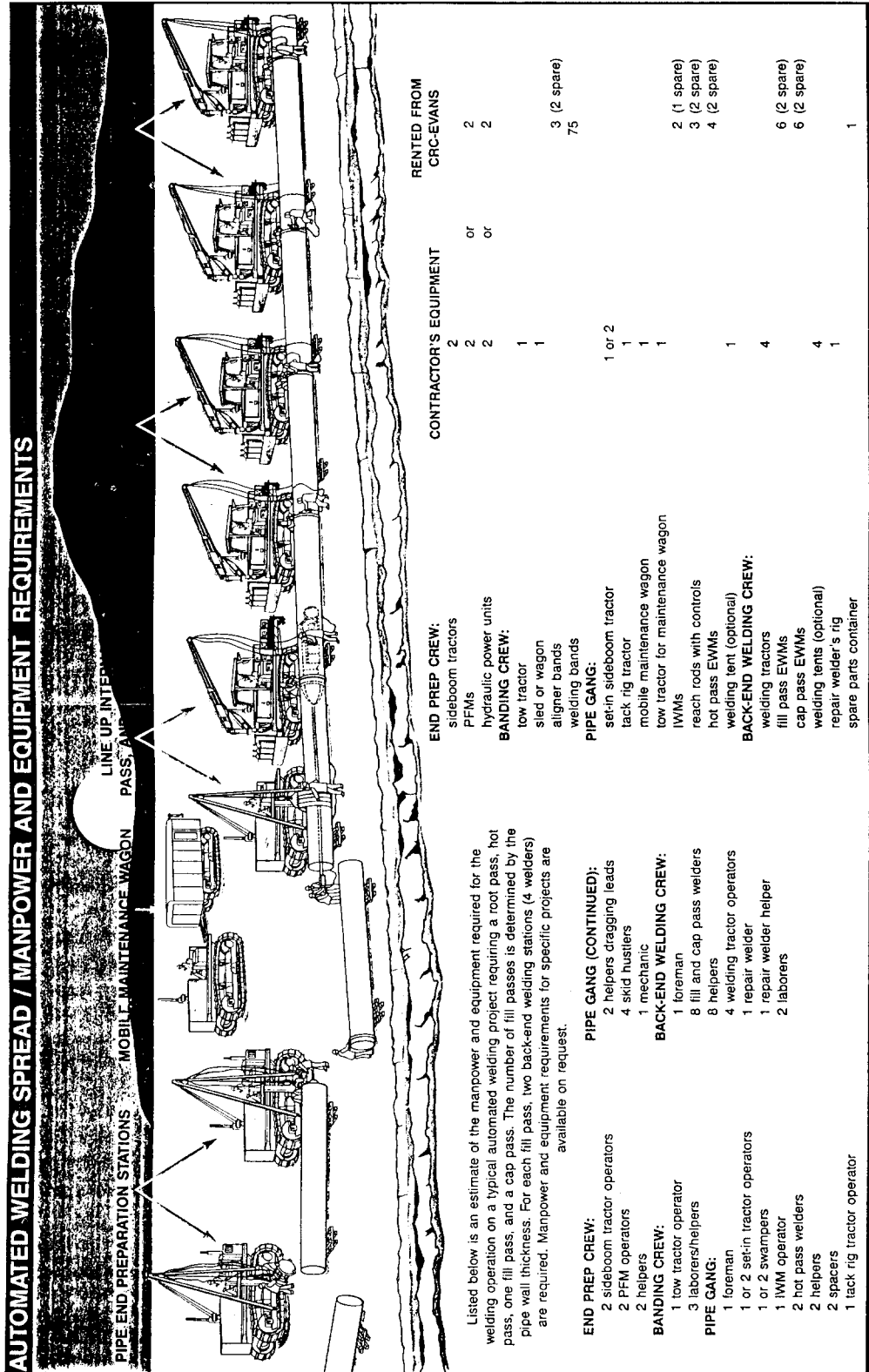
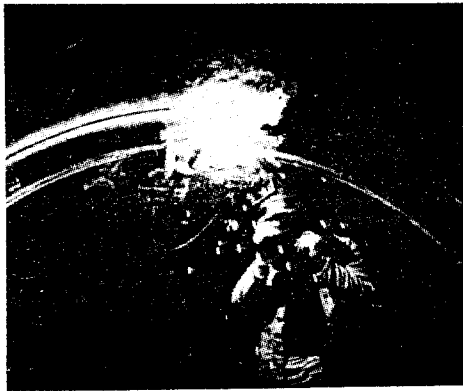
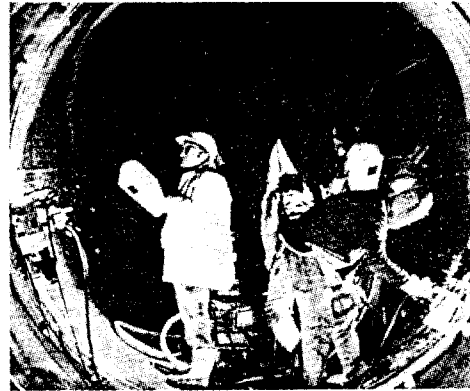


그림 4 파이프 자동용접을 위한 장비배치 및 인원배치의 한 예



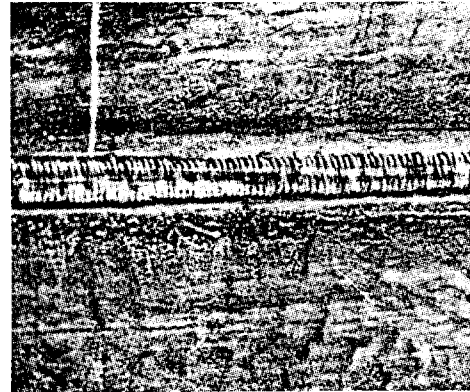
12 o'clock position, overhead



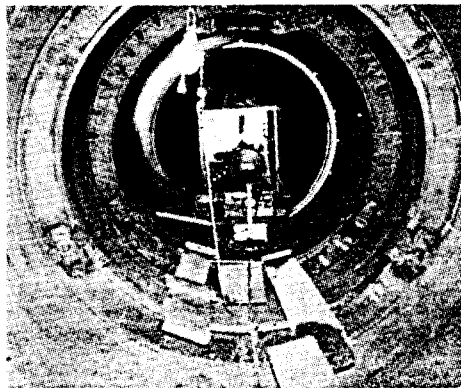
Weld position, vertical up



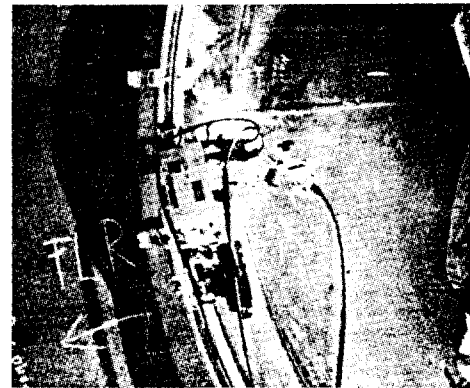
Weld position, vertical up



Finished weld



Equipment inside the Penstock



9 o'clock position, vertical up

그림5 기계식 반자동 파이프용접시공의 한 예

세의 변화에 적절한 용접변수의 선정등을 프로그램할 수 있도록 되어있다. 또한 원격제어반을 사용하여 용접환경의 작은 변화에도 대응할 수 있는 기능도 있으나 주변환경이 매우 열악한 수도관의 용접에는 부적절하고 비교적 작업조건이 양호한 see lines등의 건설에 적용되고 있다.

(3) 대형강관의 용접은 180°씩 동시에 수행할 수 있어야 하며 최적의 용접을 위해서는 매 15°마다 용접변수를 변화시키는 것이 요구된다. 강관의 정렬에 2-3 mm오차가 있을 때는(맞대기 용접시) 맨 처음 부트패스에는 수동용접이 필요하고 나머지 패스에는 자동용접을 적용할 수 있다.

표 1 수동, 반자동, 기계식 반자동 용접에 소요되는 비용의 비교 (약 3m직경 파이프 용접의 경우)

COST ANALYSIS			
Operating Expenses	Manual Stick	Manual Semi-Automatic	Mechanized Semi-Automatic
1. Purchase Price	\$1,694.92	\$6,779.66	\$11,864.41
2. Accessories	-----	1,016.95	1,355.93
3. Total Investment (1+2)	1,694.92	7,796.61	13,220.34
4. Working Life	10years	5years	5years
5. Yearly Operating Hours	1000 hours	1000 hours	1000 hours
6. Labor & Overhead	20.40	20.40	20.40
7. Calculated Depreciation Per Year	169.49	1,559.32	2,644.07
8. Calculated Interest Rates Per Year (Based on 8% Interest Rate)	67.80/yr.	311.86/yr.	528.81/yr.
9. Yearly Investment Expenses(7+8)	237.29/yr.	1,871.19/yr.	3,172.88/yr.
10. Maintenance	67.80/yr.	423.73/yr.	423.73/yr.
11. Spare Parts	33.90/yr.	423.73/yr.	423.73/yr.
12. Machine Costs per Hour(9+10+11)	.34/hr.	2.72/hr.	4.02/hr.
13. Operating Time For 650kg(1433.25 Lbs.) Deposited Metal	1625 hours	1083 hours	464 hours
14. Manufacturing Costs(6×13) + (12×13)	33,601.70	24,971.53	11,302.71
15. Costs/Consumables For 650kg (1433.25 Lbs.) Deposited Metal	1,432.20	2,864.41	2,864.41
16. Total Cost (14+15)	35,033.90	27,835.93	14,167.12
17. Total SAVINGS Compared to Manual Stick	-----	\$7,197.97	\$20,866.78
18. SAVINGS in percent (%)	-----	20.5%	59.5%

(4) 새로운 모델에서는 용접전원 제너레이터를 자동차 엔진에 직접 연결하여 구동함으로써 체적과 중량을 줄일 수 있다.

(5) 2.4m직경의 강관용접을 위해서는 내부 피복층을 보호하면서 강관을 정렬하는 특수 모델의 내부 클램프장치가 필요할 것이다.

(6) 개선 (beveling) M/C도 공급가능하나 기본사양은 약 50in, 직경까지 이고 국내의 대형강관(예를들어 96in, 직경)을 준비하기 위해서는 특별제작하여야 할 것이다. 단지 이 장치의 가격은 상당히 높을 것으로 예상되기 때문에 강관제작회사들이 미리 개선하여 공급하는 것도 검토할만 하다.

(7) 강관의 용접은 대부분 맞대기 용접공정으로 이루어지고 있다.

그림6에는 C사에서 제작하는 강관 자동용접시스템의 구성도를 나타내고 있는데, 현장용접시 바람등 주변 악환경을 차단하기 위한 용접텐트가 포함되어 있다. 그림 7에는 자동용접에 필요한 외부 클램프 장치를 나타내었는데 이러한 기본사양의 장치들은 최대 약 50in, 직경의 강관에 적용가능하고 그 이상크기의 강관들에 대해서는 특별제작이 요구되는 실정이다.

2.4 D회사(일본)

(1) 대형 강관의 자동용접을 위한 강관의 정렬을 위해서는 가접 (tack welding) 기법을 적용하였는데, 이 경우 한편 강관에 “ㄱ”형태의 한쪽 끝을 가접한 후 다른쪽 끝에 나사를 이용하여 위치조정을 함으로써 강관의 정렬을 이룩하였다. 이를 통해서 대형강관의 진원도 유지 및 정렬을 위한 충분한 크기의 힘을 얻을 수 있었다.

(2) 일본에서 적용되는 강관의 용접법은 전적으로 맞대기형태이고, 적용되는 용접공정은 FCAW법으로서 직경 1.2mm의 와이어가 주로 사용된다.

(3) Double Y 그루브인 경우의 맨처음 루트패스를 위해서는 ceramic backing을 이용하며 V 그루브인 경우도 backing을 고려해야 한다.

(4) 국내에서와 같이 겹치기 이음인 경우 관사이의 간격이 3mm이하인 경우에는 자동용접의 적용이 가능할 것이나 그 이상이 되면 그 부분만을 수동으로 용접한 후 자동용접하여야 할 것이다.

(5) 일본에서의 수도관 용접현황은 10시방향과 2시방향사이는 수동으로 용접하고 2시방향과 10시방향사

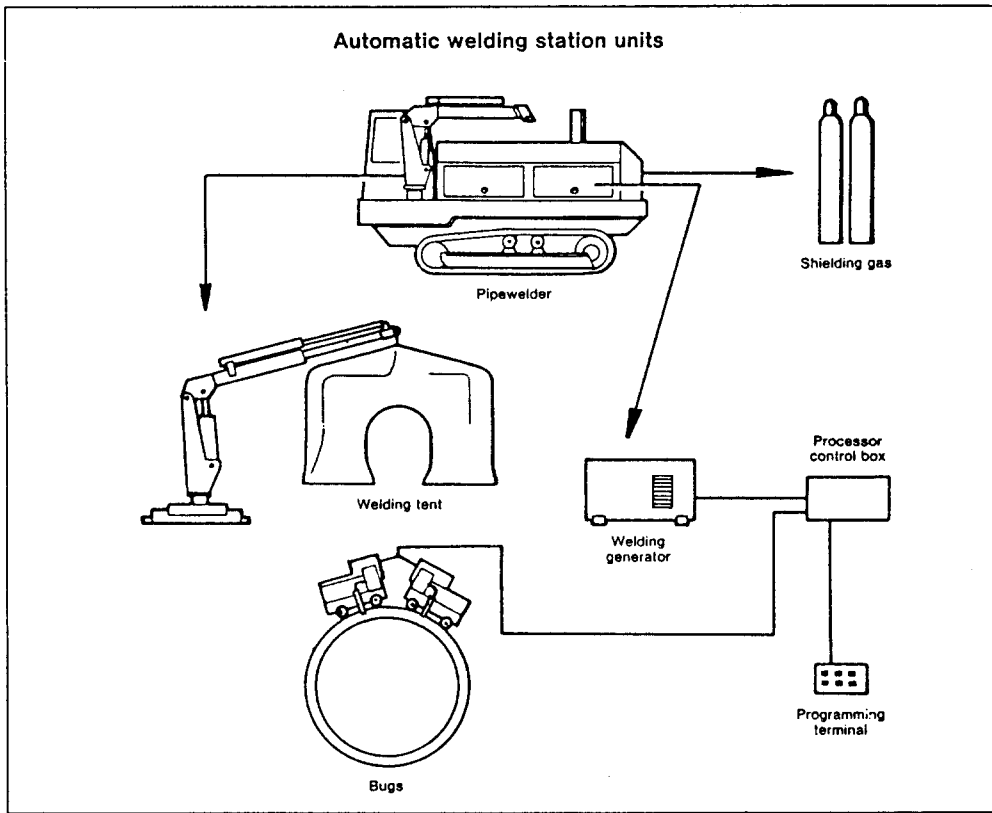


그림6 C사 강관 자동용접시스템의 구성

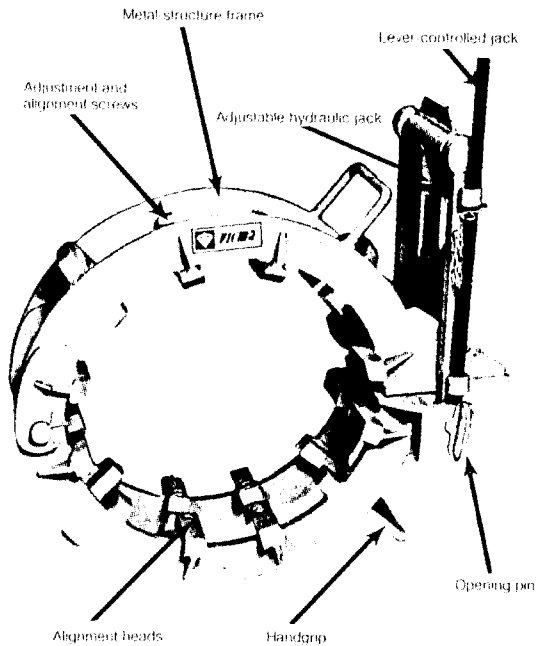


그림7 C사의 외부 클램프 M/C

이에서는 자동용접을 적용한다.

(6) 용접무경험자라도 2-3주의 용접교육과 1주의 자동장치교육을 시키면 현장투입이 가능하다.

(7) 자동용접장치는 마이크로 프로세서형으로서 teaching box와 디지털 모니터등을 갖추고 있으며, 용접위치와 용접변수의 변화는 원격제어반에 의한 직접조작이 가능하다.

그림 8에는 D사에서 생산하는 자동용접시스템을 도시하였는데, teaching box를 이용하여 용접경로를 미리 입력시킬 수 있고 또한 용접중에 열변형등에 의해서 용접토치가 용접선에서 이탈하는 경우는 원격제어반으로 바로 조절할 수 있는 특징이 있다(기계식 자동 혹은 반자동 시스템에서는 장치에 부착된 조정나사를 조정하여야 함). 표 2에는 여러가지 크기의 강관용접에 수동용접과 자동용접을 적용할 때 예측되는 용가재 소모량, Arc time, 작업시간등을 비교하였는데, 자동용접시스템 1 set를 투입하게 되면 3명의 용접공이 동시에 작업하는 수동용접에 소요되는 시간의 약 절반만이 필요하게 되는 것으로 나타나 있다.

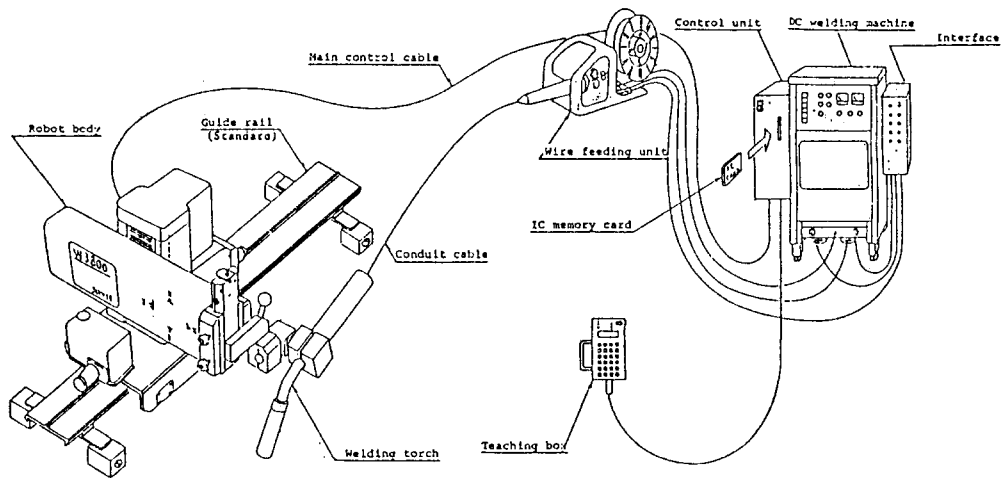


그림8 D사에서 제작중인 자동용접 시스템

3. 결 론

강관용 자동용접시스템을 제작하는 회사들을 방문하여 여러가지 용접장치의 기능과 성능에 대해서 토론하고 또한 용접시공의 어려움과 그 해결책들에 대해서 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 현재 국내에서는 수도용 강관의 용접은 대부분 겹치기 이음(lap joint)의 형태인데, 이는 용접공정의 자동화가 어렵고, 강관재료와 용접재료의 소모가 많을 뿐만 아니라 용접품질도 V 그루브 맞대기 용접의 경우보다 나쁘다. 그러나 강관의 직경이 커질수록 맞대기 용접의 수행이 어려워지는데, 이것은 관두께가 큰 경우 맞대기 용접을 위한 개선작업이 어렵고 관의 자중에 의한 찌그러짐이 상당히 크게 나타나 양호한 용접을 위한 관의 정렬(fit-up)이 매우 어렵기 때문이다. 실제로 방문회사들에서 조사한 자료에 의해서도 관의 개선, 클램프 및 자동용접장치들의 기본사양은 약 50in. 직경까지의 강관용접에만 적용가능하고 그 이상의 직경을 갖는 강관(예를 들어 국내에서 많이 사용중인 96in. 직경의 강관)을 용접하기 위한 장치들(특히 개선, 클램프장치)은 특별제작하여야 하는 실정인데, 이를 위해서는 비용이 매우 클 것으로 예측된다. 또한 현재와 같은 공법에 익숙해져 있는 강관제조회사, 용접시공회사 및 용접공들이 새로운 맞대기 용접공정에 익숙해지기 위해서는 적응기간이 필수적으로 요구되기 때문에 단계적인 전환이 바람직 할 것이라 판단된다. 그러나 직경이 50in. 이상이 되는 강관에 대한 맞대기

용접법의 적용은 지금까지 조사한 자료에 의하면 매우 어려울 것으로 판단되기 때문에 먼저 50in. 직경까지의 강관에 대한 경험을 충분히 쌓은후에야 실용적인 방안이 제시될 수 있을 것이라 생각된다.

2) 용접공정은 작업환경이 유해하고 육체적인 부담이 크기 때문에 근로자들이 꺼려하는 대표적인 공정중의 하나이다. 따라서 용접공정의 무인화나 자동화는 필연적인 추세로서, 다관절로봇의 가장 큰 응용분야가 아크 및 저항용접분야라는 데이터에서 나타난바와 같이 강관의 용접에 대해서도 무인화 혹은 자동화에 대한 추구는 계속되어야 할 것이다. 그러나 용접부 형태에서와 마찬가지로 급격한 변화는 많은 시행착오를 유발할 것이기에 단계적인 개선이 필요하다고 판단된다. 또한 지금까지 개발된 자동용접시스템은 연속작업이 보장된 지역, 즉 사막이나 평원에서와 같은 지역에서는 그 경제성이 입증되었으나 국내의 경우처럼 대도시나 산악지대에서와 같이 변화가 심한 지역에서 작업이 이루어지는 경우에 대해서는 알려진 데이터가 없었다. 따라서 우선은 flux cored wire를 이용한 반자동 용접법을 적용하고, 그 다음 단계로서 guide rail을 주행하는 위빙장치가 부착된 기계식 반자동 용접시스템을 적용하는 것이 바람직하다고 판단된다. flux cored wire의 경우는 국내에서도 현재 여러 종류가 개발되어 있기 때문에 상수도관 용접공정에 적합한 와이어를 사용하는 데는 큰 어려움이 없을 것이다. 마이크로프로세서가 응용된 완전자동시스템은 강관용접 시공현장과 같은 약조건에서는 유지, 관리에 문제점이 많을 것으

표2 D사에서 조사한 수동용접과 자동용접의 성능비교

Pipe dia.×thickness		1500×12.7'		1650×14.0'		1800×16.0'		2000×18.0'		2200×19.0'		2400×21.0'	
Welding side of pipe		Outer	Inner	Outer	Inner	Outer	Inner	Outer	Inner	Outer	Inner	Outer	Inner
Fillet section area (mm ²)		1.601	1.048	1.897	1.274	2.261	1.600	2.762	2.025	3.025	2.261	3.480	2.646
Volume of welding deposition (mm ³)		771.6	499.1	995.4	667.6	1307	915.2	1774	1287	2137	1580	2681	2185
Deposited metal (kg)		6.018	3.892	7.764	5.207	10.20	7.138	13.84	10.04	16.67	12.33	20.91	17.04
ROBOT WELD YFW24 × φ1.2	Deposition efficiency (%)	90	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←
	Welding consumables (kg)	6.687 (11.011)	4.324	8.627 (14.413)	5.786	11.33 (19.259)	7.931	15.37 (26.528)	11.16	18.52 (32.212)	13.69	23.24 (42.174)	18.94
	Depo. rate (g/min)	57	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←
	Arc time (min)	105.6	68.3	136.2	91.4	178.9	125.2	242.7	176.1	292.4	216.2	366.9	298.9
	Arc time rate (%)	70	65	75	70	75	75	80	75	80	75	85	80
	Total operation time (min/1set)	151	105	182	131	239	167	303	235	366	288	432	374
	(min/2set)	75.4	52.5	90.8	65.3	119	83.5	152	117	183	144	216	187
	Shjeld gas flow rate (l/min)	20	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←
Shield gas consumption (m ³)	2.35	1.52	3.03	2.03	3.97	2.78	5.40	3.92	6.50	4.81	8.16	6.65	
SMAW D4301 × φ4.0	Deposition efficiency (%)	58	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←
	Welding consumables (kg)	10.35 (17.086)	6.710	13.39 (22.364)	8.978	17.58 (29.885)	12.31	23.85 (41.163)	17.31	28.73 (49.984)	21.25	36.06 (65.442)	29.38
	Depo. rate (g/min)	25	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←
	Arc time (min)	240.7	155.7	310.6	208.3	407.8	285.5	553.4	401.6	666.6	493.0	836.6	681.7
	Arc time rate (%)	30	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←
	Total operation time (min/1man)	802	519	1035	694	1359	952	1845	1339	2222	1643	2789	2272
	(min/2man)	401	260	518	347	680	476	922	669	1111	822	1394	1136
(min/3man)	267	173	345	231	453	317	615	446	741	548	930	757	

(Remarks) Welding consumables=Deposited metal÷Deposition efficiency
 Deposition rate : YFW24×φ1.2...Welding current 200Amp, D4301×φ4.0...160Amp
 Arc time =Deposited metal÷Deposition rate
 Total operation time =Arc time÷Arc time rate÷Number of welding machines
 Gas consumption =Arc time×shield gas flow rate

로 판단되어 적용에 많은 주의가 요할 것이다. 지금까지 방문한 회사들로부터의 설명과 수집한 자료에 의하면 강관의 자동용접은 기본적으로 가능하다고 판단된다. 그러나 국내에서 제작된 대형강관에 대해서 국내의 작업조건에서도 믿음만한 용접부를 얻을 수 있는지에 대해서는 확신할 수 없다. 따라서 수도용 강관용접

용 자동용접시스템을 도입하기 위해서는 국내 작업현장에서의 실연이 반드시 선행되어야 한다고 판단된다.

3) 수도용 강관 용접공정의 자동화추세를 감안할때 적절한 FCAW용 와이어와 전원장치 및 자동화시스템의 국산화를 위한 산, 학, 연 합동연구를 즉시 추진하여야 할 것으로 생각된다.