

研 究 論 文
---------

大韓熔接學會誌  
第9卷第4號 1991年 12月  
Journal of the Korean  
Welding Society  
Vol.9, No.4, Dec., 1991

*Dedicated to Prof. em. Dr.-Ing. J. Ruge  
on the occasion of his 70<sup>th</sup> birthday*

## 수도용 대형 강관의 용접부 설계 개선에 관한 연구

배 강 열\* · 나 석 주\*

### A Study on Improvement of Weldment Design for Large Steel Water Pipes

K.Y. Bae\*, S.J. Na\*

**Key Words** : Weldment Design(용접부 설계), Steel Water Pipe(수도용강관), SMAW(수동용접), GMAW(반자동용접), Tensile Test(인장시험), Charpy Impact Test(샤르피 충격시험)

#### Abstract

Large steel water pipes in Korea are joined prevalently by bell end method and welded at inside as well as outside of the pipes with the length of leg which is same as or larger than the thickness of pipes. This results in an excessive consumption of material and labor compared with foreign countries such as USA, so that in our recent situation of requiring a number of water pipes such consumption is very ineffective and an improvement in weld design of water pipes is urgently necessary.

In this experimental study, the possibility of reducing the length of leg to 85% of the pipe thickness was investigated through observations of microstructure and cross section of weldments, the tensile test, and the impact test of the field and laboratory specimens.

As the results of this study, it was revealed that water pipes which have the leg of fillet about 0.8xthickness show a good weldability, have a greater strength than the base metal and absorb the enough energy to be safe in the working condition of the pipes.

---

\* 정회원, 한국과학기술원 생산공학과

1. 서 론

인구및 주택의 증가로 인하여 상수의 수요가 점진적으로 증가되는 추세이므로 새로운 수도관의 설치가 다량으로 요구되고 있다. 이러한 상황에서 수도관의 파손은 상수공급에 차질을 가져와 여러가지 곤란을 야기할 수 있기 때문에 수도관의 설치시 매우 큰 안전성을 요하게 된다. 특히 강관의 물리적, 기계적 성질, 그리고 수도관 매설위치의 지질학적 특성 등에 의해서 발생하는 수도관 파손사고는 관결합부인 용접부에서 주로 발생하기 때문에 용접시공에 세심한 주의를 필요로 하게 된다. 그러나 수도관의 파손을 방지해야 한다는 막연한 우려로 인하여 현재의 용접 방법에는 지나치게 비경제적인 요소를 지니고 있어 이에 대한 개선이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

Figure 1과 같이 우리나라의 대형 수도관은 현재 벨 엔드 방식으로 제작되고 관의 내부와 외부 양쪽에서 용접을 수행한다. 그런데 특히 문제가 되는 것은 각장을 관 두께의 100% 혹은 120%로 규정한 정부표준품셈의 용접부 크기가 지나치게 크게 계상된 것이 아닌가 하는 점이다. 이로 인하여 밀접히 관련되는 점은 우선 자재의 소요량, 작업량, 그리고 인력 수급의 문제등이다. 현재 미국 등의 선진국에서는 특별한 경우를 제외하고는 내측 또는 외측의 한쪽 용접으로 수도관을 결합하고 있는 현실이며<sup>1)</sup>, 간단한 계산을 통해서 한쪽만의 용접으로도 임의의 하중에 대하여 수도관의 강도가 보장됨을 보일 수 있다<sup>2)</sup>.

본 연구에서는 실제 수도관의 주어진 환경을 고려하여 실험적인 방법을 통해서 상수도용 대형 강관 용접부 설계에 관한 개선안의 타당성을 조사하였다. 이를 위해서 먼저 현재의 표준 품셈에 따라 제작되고 있는 용접부를 채취하여 조직검사, 단면조사, 인장시험, 충

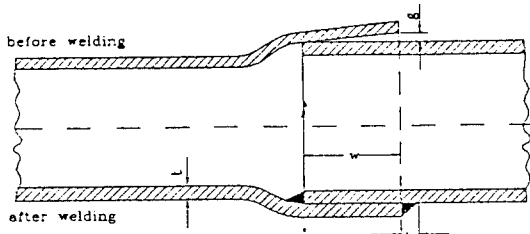


Fig. 1 Welding of steel water pipes by bell end method

격시험 등을 실시하여 용접부의 특성을 살펴 보았다. 그런데 상수도관의 설치현장에서는 본 연구에서 목표로 하고 있는 관 두께의 85%에 맞는 각장을 정확히 얻을 수 없고 또한 85%를 적용하여 시편채취를 하기가 불가능하기 때문에 원하는 각장의 크기를 얻기 위하여 실험실 내에서 시험용 용접시편을 제작하였다. 이때 모재는 현장 적용중인 상수도관과 동일한 것으로 원 강관에서 채취하였고, 용접재도 연강용접용의 것으로 선택하여 실제 상수도관과 유사한 효과를 내도록 하였다. 다만 용접방법은 작업효율이 높은 GMA용접을 실시하였다. 이와 같이 제작된 시험시편의 조직검사, 단면조사, 인장시험, 충격시험을 통하여 각장을 관 두께의 85%까지 축소하여도 용접성과 용접부 강도가 유지될 수 있는지를 조사하였다.

2. 실험대상 및 실험방법

본 연구에서는 수도관 모재와 용접재가 이미 선정된 상태이기 때문에 이를 사용한 용접 도중에, 또는 수도관의 작동 중에 발생할 수 있는 문제점을 급속적, 기계적 관점에서 조사하였다. 이를 위해서는 우선 모재, 용접재의 성분조사를 통하여 탄소및 탄소 당량을 조사하고, 이를 토대로 용접성을 판단하였으며, 또한 이와 병행하여 용접부 주위의 조직 검사를 실시하여 인성이 낮고 균열 전달을 용이하게 하는 경화된 조직의 발생 여부를 조사하였다. 이를 위하여 먼저 현장시편을 채취하여 현재의 용접부 특성을 조사하고 강도평가를 실시한 다음, 현장용접부와 동일한 특성을 갖는 시험용접시편을 제작하였다. 시험시편은 용접부의 크기를 달리하여 제작한 다음 각각에 대하여 인장시험을 실시하고 용접부의 크기를 줄일 수 있는 근거를 제시하고자 하였다. 또한 충격시험을 실시하여 주어진 환경하에서 충격값과 파손형태를 조사하여 급격한 파손에 대한 저항성을 평가하였다.

2.1. 모재및 용접재의 특성

2.1.1. 모재및 용접재의 성분분석

모재및 용접재의 성분분석을 실시하여 용접성을 조사하고자 하였다. 특히 탄소 당량은 용접성에 큰 영향을 미치고 용접후의 열영향부 조직을 지배하기 때문에

탄소(C), 실리콘(Si), 망간(Mn), 인(P), 황(S) 등의 성분분석을 실시하였다. 또한 이를 제조자 검증서(mill certificate)와 비교하여 재확인 하였다.

### 2.1.2. 모재의 인장시험 및 충격시험

수도관용 강재의 기본적 강도를 조사하기 위하여 인장시험과 노치 충격시험을 상온에서 실시하였다. 인장시험편은 모재의 크기를 고려하여 ASTM A370에 규정된 사각 인장 시험 시편의 sub size로 제작하여 시험하였다<sup>9)</sup>. 충격시험은 ASTM A370에 규정된 단순 보 충격시험 시편 A형으로 제작하여 시험하였다. 각각의 시험에서 평균값을 취하기 위하여 시편의 개수를 각각 3개씩 제작하였으며, 또한  $-10^{\circ}\text{C}$ 에서 충격시험을 실시하여 저온에서 충격치를 조사하였다.

### 2.2. 현장용접부의 시편채취 및 제반 시험

현장용접시편을 채취하여, 조직검사, 용착량 조사, 인장시험, 충격시험 등을 실시하였다. 용착량조사는 내외부에서 실시하였고, 단면의 크기조사는 Auto-cad software를 이용하여 디지털이저로 단면의 정보를 입력시켰다. 일반적으로 용접 지단(toe of weld)에 생성되는 균열은 취화된 모재의 열영향부를 따라 급진전하게 되므로 본 연구에서는 이와 같은 사실을 고려하여 용접부 아래에 모재를 채취하고, 용접 지단 아래에 노치를 설정하여 ASTM A370에 규정된 단순 보 충격시험 시편 A형으로 제작하여 시험하였다. 각각의 시험에서 평균값을 취하기 위하여 시편의 개수를 각각 3개씩 제작하였으며, 충격시험 분위기 온도는 상온과  $-10^{\circ}\text{C}$ 로 실시하였다. 인장시험편은 Fig. 2와 같은 형태로 제작하였고, 인장시험 결과 파단이 모재쪽에서 발생하거나 용접부에서 모재의 최저규정 인장강도 이

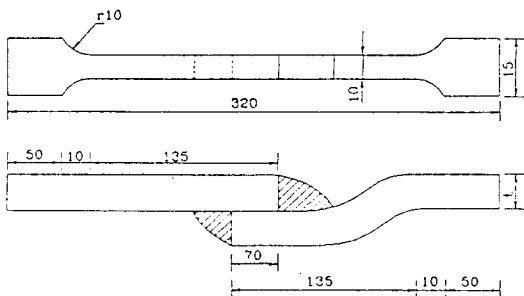


Fig. 2 Shape of tensile test specimen  
(t: base metal thickness)

상으로 파단이 발생되면 용접부는 안전한 것으로 판정하였다. 이때 인장시험의 접합강도는 인장시험을 실시하고 최대 인장력을 인장시험편의 단면적으로 나누어 계산하였다. 수도관의 용접 조건은 전류 180~220 A, 전압 18~25V를 사용하였고, 연강 일미나이트형의 용접봉(인장강도  $43\text{kg}/\text{mm}^2$ 급)으로써 수동용접하였다.

### 2.3. 시험 시편의 제작

용접부의 각장을 모재 두께의 100%, 85%, 그리고 70% 등으로 변화하여 용접하기 위해서 GMA용접기 및 X-Y 테이블을 이용하여 용접을 실시하였다(Fig. 3). 이때 모재는 실제 수도관에 사용되는 재료와 동일한 것이었고, 용접재는 연강재질  $\text{CO}_2$  용접용 직경 1.2mm의 AWS ER70S-6 와이어(인장강도  $50\text{kg}/\text{mm}^2$ 급)를 사용하였다. 용접용 시편은 원래의 수도관에서  $200\text{mm} \times 200\text{mm} \times 13\text{mm}$ 의 크기로 채취된 것으로 약간의 곡률이 있는 것이었다. GMA용접에 사용된 제반 조건은 Table 1에 나타내었고, 각장의 변화를 얻기 위해 용접 비드의 적층을 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 행하였다. Figure 5에서 보인 바와 같이 현장 수도관의 fit-up 상태를 고려하기 위하여 삼구, 수구 두 모재간의 간극을 3가지로 고려하였다.

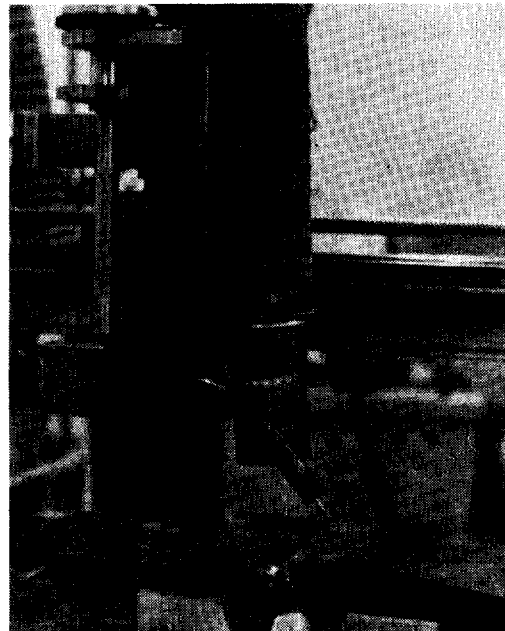
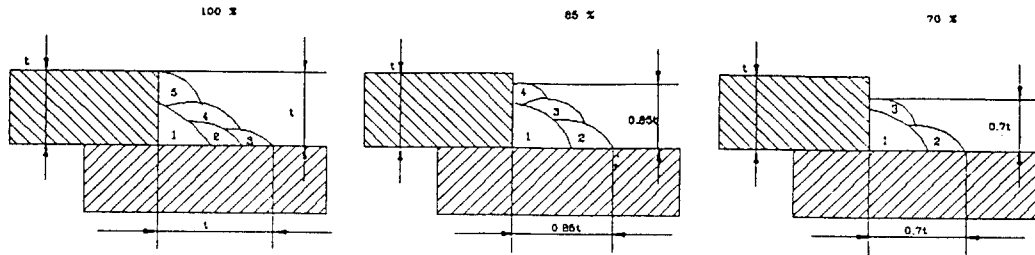


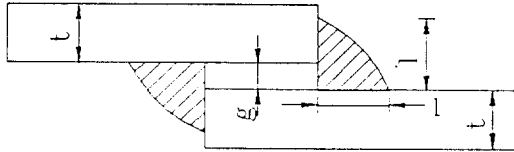
Fig. 3 Mechanized gas metal arc welding system

**Table 1** Conditions of laboratory welding

Process	Current (Amp)	Voltage (Vol)	Welding Speed (mm/sec)	Weaving distance (mm)	Weaving speed (mm/sec)	Shielding gas (%)
GMAW	220	28	5	6	8	Ar80 + CO <sub>2</sub> 20



**Fig. 4** Welding sequences for various legs of fillet (t : base metal thickness)



1.  $l = g + t$  (100% leg)
2.  $l = g + 0.85t$  (85 % leg)
3.  $l = g + 0.7t$  (70 % leg)

**Fig. 5** Leg of fillet with gap (g : gap; l : leg of fillet; t : base metal thickness)

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1. 모재 및 용접재의 특성

##### 3.1.1. 화학적 성분 조사

수도관 모재 및 용접재의 화학성분을 조사하고, 그 결과를 Table 2, 3에 각각 나타내었다. 이 표에서 보여 주듯이 탄소 함량은 0.2%이하로 용접시 지온 균열 등의 발생은 없을 것으로 예상되며 용접성이 우수할 것으로 판단된다<sup>4)</sup>. 탄소강과 저합금강의 용접성에서는

**Table 2** Chemical composition of base metal (wt%)

Component	C	Si	Mn	P	S
Mill spec.	0.15	0.25	0.58	0.012	0.010
Analysis	0.15	0.21	0.57	0.009	0.015

현재까지 탄소당량이 가장 큰 영향을 미치고 있는 것으로 조사된 바 있는데<sup>5)</sup>, 탄소 당량이 0.4%이하에서는 용접균열이 전혀 발생하지 않는다고 발표되고 있다. 본 연구에서 나타난 결과와 제조사 검증서에서 제시한 것을 비교해 보면 공히 탄소당량이 0.4%이하로 용접부에서의 균열은 발생하지 않을 것으로 판단된다. 또한 탄소 당량이 낮기 때문에 용접 열영향부에서의 조직은 크게 취화될 것으로 우려되지 않고, 따라서 균열진전 등이 용이하지 않을 것으로 판단된다.

##### 3.1.2. 모재의 인장시험 및 충격시험

모재의 인장시험 결과와 충격시험 결과를 Table 4, 5에 각각 나타내었다. 시편의 단면크기를 6mm×6mm로 가공하여 행한 모재의 인장시험결과 제조사 검증서(모재 규격 : SS41)에서 제시된 강도와 유사한 크기의 인장강도를 나타내었으며, 연신율은 다소 크게 나타났다. 이 결과에서 모재는 일반적인 연강이 가지

**Table 3** Chemical composition of filler metal

Component	C	Si	Mn	P	S	Cu
JIS Z3211	0.09	0.03	0.35-0.65	0.02	0.023	0.2
Analysis	0.047	0.033	0.52	0.016	0.012	0.013

**Table 4 Tensile test result of base metal**

	Yield strength (kg/mm <sup>2</sup> )	UTS (kg/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)
Mill spec.	28.3	44.5	30
Test*		42.4	41.7

\* Average value of 3 specimens

**Table 5 Charpy impact test result of base metal**

Temperature	Average* (J)	Average (k·m)
20°C	116.30	11.87
-10°C	22.67	2.31

\* Average value of 3 specimens

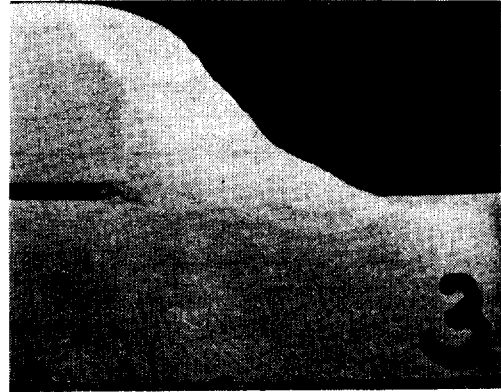
는 정도의 인장강도를 갖는 것으로 판정할 수 있다. 충격시험 결과는 상온에서 평균 11.87kg·m의 크기를 나타내어 연성인 특성을 나타내고 있다. 그러나 -10°C의 시험에서는 평균 2.31kg·m의 크기를 나타내어 상온에 비해 현저히 낮은 값을 나타내고 있어 -10°C 부근에서 천이 온도가 될 것으로 판단된다. 그러나 이 온도에서의 충격치는 취성파괴에 대한 안전성을 보장할 수 있다고 알려진 15 lb·ft(2.075kg·m)에 비해 다소 높은 값을 나타내어 -10°C 이상의 온도에서는 취성파괴에 대한 위험이 없을 것으로 예측된다.

### 3.2. 현장용접부의 조사

공구에 따른 각장의 변화를 비교하기 위하여 7개의 공구에서 2시 또는 11시 방향의 시편 채취를 하였는데 시편의 폭은 약 200mm이고, 길이는 약 500mm이었다.

#### 3.2.1. 마이크로단면 조사 및 용착량 조사

현재 상수도관의 용접부를 조사하여 용접설계에서 개선의 여지를 찾고자 하였는데 이를 위해서 현장 수도관용접부의 용입정도, 불순물의 혼입 등의 용접상태와 용착량을 조사하였고, 특히 용착량을 현재의 표준품셈과 비교하고자 하였다. Figure 6에 현장 채취시편의 내외부 용착부의 대표적인 마이크로단면사진을 보여 주고 있다. 불순물 등이 개재된 흔적은 있으나 대체로 양호한 용접형태를 보이고 있다. Table 6에서는 용착량 조사결과를 보여 주고 있다. 이 결과에서 보여 주듯이 채취한 시편의 경우 현재의 용착량은 현행 정부 표준품셈에 비해 대체로 낮게 나타났다.



(a) Outside weld



(b) Inside weld

**Fig. 6** Typical macro cross section of field weldments

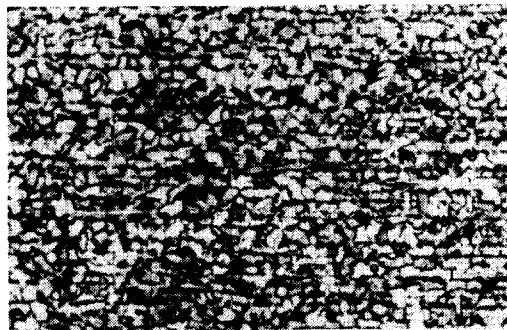
#### 3.2.2. 미세 조직검사

모재, 열영향부, 용착부 등을 촬영한 결과를 Fig. 7에 보여 주고 있다. 이 조직 사진은 기계적 실험결과에 대한 근본해석 자료로 사용될 수 있고 시험시편의 제작시에 동일 조건임을 확인할 수 있는 수단이 된다. 여러 공구에서의 조직은 동일한 형태를 나타내어 전형적인 형태만을 보이고자 하였다. 모재는 페라이트와 퍼얼라이트로 구성되어 있고 (a), 부분적으로 상변태가 발생한 구역에서는 페라이트와 퍼얼라이트 조직이 미세화 되고 압연조직이 와해되어 있었다 (b). 열영향부에서는 상변태가 완전히 발생하여 입자가 균질화되었으며, 용착금속에서는 냉각방향을 따라 덴드라이트 조직이 발달되어 있다 (c). 다음 수준의 용접으로 인한

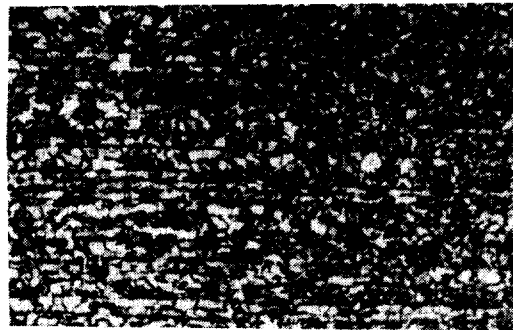
**Table 6 Deposition efficiency of field weldments**

Field no.	Thickness (mm)	Location of weld	Deposition area (cm <sup>2</sup> )	Deposition mass (g/cm)	Standard deposition (cm <sup>2</sup> )	Deposition efficiency* (%)
1	20.8	inside	2.18	17.19	2.60	84
		outside	4.1	32.1	3.738	110
2	20.5	inside	1.59	12.4	2.52	63
		outside	2.617	20.5	3.3	79
3	17.4	inside	1.7	13.3	1.82	93
		outside	1.6	12.528	2.21	72
4	20.6	inside	2.23	17.5	2.55	88
		outside	2.31	18.09	3.32	70
5	20.3	inside	2.08	16.3	2.47	84
		outside	2.626	20.56	3.00	88
6	17.8	inside	1.82	14.3	1.90	96
		outside	1.47	11.51	3.04	48
7	14.0	inside	2.07	16.2	1.18	175
		outside	1.676	13.12	1.92	87

\* Deposition efficiency =  $\frac{\text{Deposition area}}{\text{Standard deposition}} \times 100$



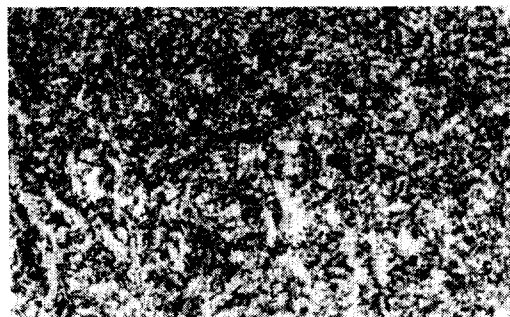
(a) Base metal



(b) Base metal + HAZ



(c) HAZ + Weld metal



(d) Reheated weld metal

**Fig. 7 Typical microstructures of field weldments**

재열부분에서는 용착금속의 조직이 미세화한 현상을 볼 수 있다(d). 마르텐사이트 등의 취성 조직은 발견되지 않았으며 이와 같은 조직검사의 결과 전형적인 연강 용접부에서 발생하는 미세조직임이 관찰되었다.

3.2.3. 인장시험

Table 7은 인장시험의 결과를 보여 주고 있는데 단면조사에서도 언급한 바와 같이 정부표준품셈에 비해 낮은 현재의 용착량만으로도 충분한 용접부의 강도가 보증되고 있음을 알 수 있다. 즉 용착량을 현재의 정부표준품셈보다 줄이는 설계의 현실화가 필요함을 보인다고 할 수 있다. 파단위치는 대부분 모재에서 나타나고 있다. 다만 시편2의 경우는 용접부가 모재보다 다소 취약한 것으로 나타났으나 용접부의 강도는 모재의 인장강도 수준으로 나타났다. Figure 8은 인장시험 결과의 대표적인 사진으로 각 시편의 파단형태와 위치를 잘 보여 주고 있다.

3.2.4. 충격시험

충격시험은 균열발생 및 진전여부를 판단할 수 있는 자료가 된다. Table 8은 현장 채취시편의 충격시험 결과를 나타내었는데 대부분 한계값인 2.07kg·m 이상으로 나타나 수도관의 급작스런 취성파괴는 우려되지 않는다. 특히 우리나라 수도관의 매설위치가 지하인



Fig. 8 Typical tensile test specimens after fracture

점과 수온이 0°C이상의 점을 고려하면 사용분위기 하의 충격치는 훨씬 상회할 것으로 판단되어 취성파괴의 우려는 더욱 불식할 수 있을 것이다.

3.3. 시험시편의 조사

3.3.1. 용접부의 마크로단면 및 미세조직 검사

Figure 9에서는 시험시편용착부의 대표적인 단면사진을 보여주고 있는데 이 그림들에서 각장과 간극이

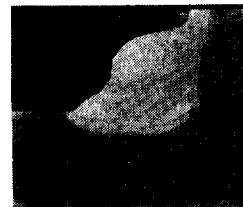
Table 7 Tensile test result of field weldments

Field No.	Tensile strength* (kg/mm <sup>2</sup> )	Fracture location
1	45.2	Base metal
2	45.3	**
3	45.4	Base metal
4	47.1	***
5	46.9	Base metal
6	46.6	Base metal
7	47.8	Base metal

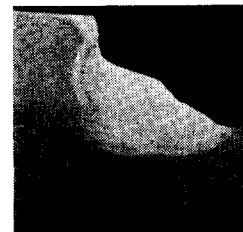
\* Average value of 3 specimens

\*\* Two specimens in weld metal and one in toe

\*\*\* Two specimens in base metal and one in weld metal



(a) leg of fillet=0.85t, gap=0mm



(b) leg of fillet=0.7t, gap=0mm

Fig. 9 Typical macro cross sections of laboratory weldments

Table 8 Charpy impact test result of field weldments

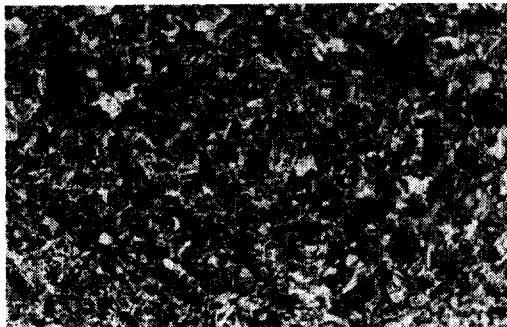
(Testing temperature : -10°C)

Field no.		1	2	3	4	5	6	7
Average*	J	9.0	30.0	109.0	20.7	26.67	247.3	262.67
	kg·m	0.9	3.06	11.13	2.11	2.72	25.26	26.83

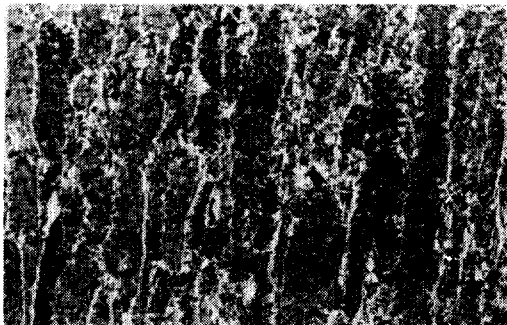
\* Average value of 3 specimens

시편제작에서 의도한 크기와 유사하게 얻어진 것을 확인할 수 있었다. 또한 각장이나 간극의 차이에 비해서 열영향부의 폭은 큰차이를 나타내지 않아 이들이 급속 냉각의 효과에 영향을 주지는 않았다는 사실도 확인할 수 있다.

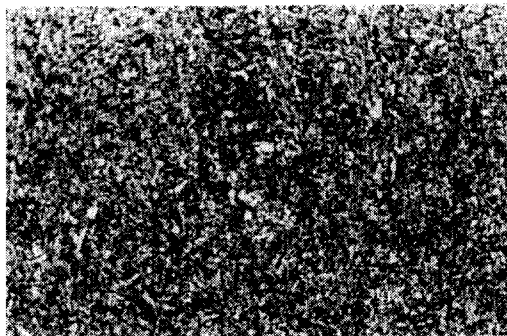
Figure 10에는 시험시편용접부의 대표적인 미세조직을 나타내었다. 단면조사에서도 언급하였듯이 각장



(a) HAZ + Weld metal



(b) Weld metal



(c) Reheated weld metal

Fig. 10 Typical microstructures of laboratory weldments

이나 간극의 변화에 의해 미세조직의 차이는 발견되지 않았기 때문에 전형적인 미세조직사진을 열영향부, 용착부, 재열부 등에서 촬영하였다.

모재의 조직은 현장 채취 시편에서와 마찬가지로 페라이트와 퍼얼라이트로 구성되어 있었으며 압연방향에 따라 나열되어 있음을 알 수 있었다. 열향부는 입자의 크기가 미세화되어 있는 것을 보여 주고 있었는데 용착부에 가까운 열영향부에서는 오오스테나이트의 입자가 커지고 이 입자가 냉각시 상변태될 때 정상적인 확산에 의하지 않고 페라이트가 퍼얼라이트의 기지 내로 침상으로 침입한 상태를 보여 주고 있다(a). 용착금속은 입자가 큰 덴드라이트형태의 조직을 보여 주고 있는데(b), 이러한 용착금속이 다음 수준의 용접에 의해 열영향을 받으면 인접 부위에 상변태가 다시 발생하여 냉각시 미소 입자의 조직을 갖게 된다(c). 따라서 조직검사의 결과에 의하면 여러가지 각장 및 간극의 크기에 대하여 취성조직인 마르텐사이트등은 발생되지 않았고, 다층용접시 재열에 의해 입자의 미세화 등으로 인하여 용접균열 또는 취성과파괴 등의 발생은 용이하지 않을 것으로 판단된다.

### 3.3.2. 시험 시편의 인장및 충격 시험

각장을 모재 두께의 100%, 85%, 70%로 하고 모재간의 간극을 0mm, 1mm, 3mm가 되게 제작한 시편의 인장시험 결과를 Table 9에 나타내었다. 실험결과에서는 인장강도가 모재의 강도와 거의 동일했으나 시편에 따라 다소 차이가 있었는데 이는 휘어진 정도의 차이 등 시편의 형상에 기인된 것으로 판단된다.

Table 9 Tensile test result of laboratory weldments

Leg of fillet	Gap (mm)	Tensile strength*	Fracture location
1.0t	0	43.0	Base metal
	1	43.2	Base metal
	3	44.8	Base metal
0.85t	0	40.6	**
	1	43.6	Base metal
	3	43.9	Base metal
0.7t	0	42.1	Base metal
	1	42.5	Base metal
	3	42.6	Base metal

\* Average value of 3 specimens

\*\* Two specimens in base metal and one in toe



Table 10 Charpy impact test result of laboratory weldments

(Testing temperature :  $-10^{\circ}\text{C}$ )

Leg of fillet	Gap(mm)	1.0t			0.85t			0.7t		
		0	1	3	0	1	3	0	1	3
Average*	J	32.33	29.67	119.0	22.0	24.67	66.0	11.67	13.67	26.0
	kg·m	3.3	3.03	12.15	2.25	2.52	6.74	1.19	1.4	2.66

\* Average absorbed energy of 3 specimens

파단 위치는 거의 모재의 휘어진 부분에 집중되어 나타나 휘어진 부분이 용력 집중처가 됨을 알 수 있다. 85%의 경우도 유사한 결과를 나타내었으나 단지 간극이 1mm인 경우에 1개의 시편에서 용접부가 파단되었다. 그러나 이는 용접 지단부분에서의 용입불량에 기인한 것으로 시편제작상에서의 하자라고 보아진다. 실험 결과를 Table 7과 비교해 볼 때, 강도가 다소 낮게 나타났다. 이는 구속이 없는 작은 부재를 용접함으로써 다소의 변형이 나타나고, 이로 인하여 인장시험시에 추가적인 모멘트가 가해진 결과로 판단된다. 각장의 크기를 두께의 70%까지 줄여도 파단은 모재부분에서 발생되는 것으로 나타나 안전성을 갖는 것으로 판단할 수 있다. 간극의 크기를 크게 하면 모멘트에 의해 용착부가 부가적인 하중을 더 받게 되나 실험의 결과 간극의 변화를 최대 3mm까지 허용하여도 용접부의 강도를 유지하였다. 이 결과는 각장을 모재 두께의 70%, 간극을 3mm까지로 허용하여도 강도상 하자가 없음을 보여 주었다. 그런데 시험시편의 경우 용접재는 ER70S-6으로 인장강도(50kg/mm<sup>2</sup>급)가 실제 현장 용접재(43kg/mm<sup>2</sup>급)의 강도보다도 큰 것이었다. 용접부의 허용력은 면적과 인장강도와 각각 비례 관계에 있고, 면적과 인장강도의 곱이므로 실제 용접부의 경우 허용면적은 더 커야 한다. 따라서 시험시편의 70% 각장의 경우는 현장용접부의 각장으로 환산하면 약 81%에 해당한다. 즉 실제 용접부에서 85%까지 각장을 축소하여도 강도상 하자가 없음을 알 수 있다.

용접열영향부의 인성을 평가하는 충격시험 결과를 Table 10에 나타내었다. 대부분의 시편에서 충격치는 취성파괴 한계치인 2.075kg·m를 상회하는 값을 나타내었다. 취약한 용접열영향부의 인성측정을 하기 위한 시험이었으나 충격치는 모재의 결과와 유사하게 나타났는데 이는 충격시편의 노치 아래에 위치하는 열영향부의 폭이 충격시편의 두께에 비해 작기 때문인 것으로 간주된다.

### 3.3.3. 시험시편의 평가 결과

미세조직, 인장강도, 충격강도의 조사 결과에서 나타났듯이 반자동용접 공정인 GMA용접으로 제작된 시편은 현장에서 현재 적용중인 수동용접의 강도평가를 하는데 적절하게 대치될 수 있음을 보였고, 또 강도평가의 결과는 현장용접시편을 충분히 대변한 것으로 판단된다. 따라서 실험실의 시험시편용접 결과에서 유추하여 각장을 현재의 85%까지로 줄이는 것은 타당한 것으로 판단되었으며, 이 결과는 곧바로 실제 상수도관의 제작에 고려될 수 있을 것으로 판단된다. 나아가 수동용접으로 비효율적으로 제작되고 있는 현장용접방법을 반자동용접으로 제작하여도 재료의 조직적 측면, 강도상의 문제 등에 있어 하자가 없을 것으로 간주된다.

## 4. 결 론

상수도관 제작에 사용되는 모재 및 용접재의 특성조사, 현장용접부의 조사, 그리고 시험시편의 제작 및 제반시험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 모재 및 용접재의 화학성분 분석 결과, 탄소 함량이 0.2%이하이었고 탄소당량도 0.4%이하로 조사되어, 수도관 용접은 그 용접성이 우수한 것으로 판단되었고, 열영향부의 저온균열 등이 발생되지 않을 것으로 예상되었다.

2) 열영향부의 미세조직검사 결과, 전형적인 연강용접부의 조직을 나타내었고 경화조직은 발견되지 않았다. 따라서 취성파괴에 대한 저항성은 높을 것으로 판단되었다. 다층용접으로 인하여 용접부에서 재열 부분이 나타나고 이때 입자가 미세해져 용접부의 강도 및 인성에 유리하게 작용될 것으로 예상되었다. 그러나 미세조직은 각장의 변화에는 큰 차이를 보이지 않았다.

3) 현장용접부의 단면 조사 결과, 불순물의 개재 흔

적이 다소 있었으나 대체로 양호한 형태를 보였다. 현장채취시편에서 용접위치에 따라 용착량의 차이를 일관되게 발견할 수 없었으며, 대부분의 경우 현재의 표준 품셈을 준수하기 위해 모재 부분을 과다 하게 용융시키는 것으로 나타났다. 수구와 삼구간의 간극으로 인하여 용착량은 다소 크게 나타나는 경우도 조사되었으나 대부분 정부표준품셈보다 낮게 나타났다.

4) 현장채취 시편의 인장시험 결과, 인장강도는 모재의 인장강도 이상으로 나타났고 파단위치도 대부분 모재측에서 나타나 용접부의 강도는 보증할 수 있었다.

5)  $-10^{\circ}\text{C}$  샤르피 충격시험에서 대부분의 현장채취 시편이 갖는 충격치는 한계치  $2,075\text{kg}\cdot\text{m}$ 와 유사하거나 더 큰 크기를 나타내었다. 그러나 실제 상수도관의 작동온도는 더 높을 것으로 예상되어 급작스런 취성 파괴의 우려는 불식할 수 있고 최소한  $-10^{\circ}\text{C}$  온도에서 까지도 안전함을 보였다.

6) 각장을 여러 가지로 변화하여 제작한 시편의 인장시험결과, 각장을 현재의 70%까지 줄이고, 또 간극을 3mm까지 허용하여도 용접부의 강도를 충분히 보증할 수 있었다. 따라서 실제 현장 용접부의 각장을 85%로 축소하는 것은 강도보증에 문제가 없다고 판단되었다.

7) 시험시편의 충격시험결과,  $-10^{\circ}\text{C}$ 에서 현장채취 시편의 결과와 유사하게 한계값 근처의 값을 나타내었

다. 따라서 수도관의 작동중 취성 파괴는 크게 우려되지 않을 것으로 판단되었다.

8) 시험시편의 제반 시험결과, 현재 수도용접으로 제작되고 있는 상수도관을 더 효율이 높은 반자동용접으로 제작하여도 용접품질면에서 하자가 없을 것으로 판단되었다.

## 후 기

본 연구를 지원해 주신 서울시 상수도본부의 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

- 1) 수도용 강관 용접 시공개선(안), 서울시 상수도본부, 1990. 6.
- 2) Steel Pipe ·· A Guide for Design and Installation, AWWA, 2nd ed., 1983.
- 3) Metals - Tests Methods and Analytical Procedures, Annual Book of ASTM Standards, ASTM, Sec. 3, Voi. 03. 01, 1986.
- 4) J. Ruge: Handbuch der Schweißtechnik-Band I, Springer-Verlag, 1980.
- 5) G.E. Linnert: Welding Metallurgy - Vol.2, American Welding Society, 3rd ed., 1967.