

技術報告
------

## 슬리브덧개를 이용한 배관 보수용접시 필릿용접부의 기계적특성에 관한 연구

김영표\* · 김형식\* · 김우식\* · 홍성호\*\*

### A Study on Mechanical Properties of Fillet Weldment in Pipeline Repair Welding Using Sleeve

Y. P. Kim\*, H. S. Kim\*, W. S. Kim\* and S. H. Hong\*\*

**Key words** : pipeline, repair welding, mechanical property, sleeve, SMAW, fillet welding

#### Abstract

In Korea Gas Corporation, as one of the pipeline repairing methods, damaged pipelines are sometimes treated with a temporally employment of split sleeve. On conducting the repair process, circumferential fillet and longitudinal groove welding usually must be included. For the case of groove welding, a considerable amount of R&D have been carried out related to property changes, while few study on the property change in fillet welding has been conducted.

In this paper, so as to confirm the specification of fillet welding in terms of safety and reliability, properties changed by fillet welding were investigated for two welding processes. Qualifying tests such as reviewing macrostructure and nick-break tests were performed according to API 1104 and ASME section IX. In addition, tensile properties and hardness were evaluated according to KS B0841 and BS 4515.

The fillet weld prepared by the qualified procedure showed melting depth of 0.8~1.3mm and heat affected zone of 2.8~3.4mm length. No crack and lack of penetration were observed. And the results of hardness and nick-break tests satisfied code requirements. The area crossed by fillet and groove welding line was found to have minimal tensile strength.

\* 정회원, 한국가스공사 연구개발원

\*\* 비회원, 한국가스공사 연구개발원

## 1. 서 론

우리나라의 천연가스 주배관망은 현재 600km 이상의 배관건설이 완료되었으며 전국에서 공사가 계속 진행되고 있다. 천연가스 배관은 가연성 고압가스를 수송하므로 건설 및 운전시 최우선 고려사항은 안전성 확보이며, 비상시에도 최종 수요자에게 가스공급을 보장하는 안정적인 조업이 필요하다. 한편 기 건설된 매설배관은 부식, 타공사 영향, 외부충격등 다양한 요인들에 의해 손상을 받는 경우가 생길 수 있다. 이러한 배관을 긴급보수하는 방법중 하나가 슬리브덮개를 기존배관위에 용접하는 보수용접이다.<sup>1,2,3)</sup> 이때 가스배관 보수용접시 안전성 제고를 위해서는 보수용접에 따른 배관의 미세조직 및 기계적특성의 변화를 파악하여 용접절차를 검증할 필요가 있다.

본 연구에서는 주배관에 불가피하게 생긴 결함을 슬리브 덮개로 보수용접할 때 원주방향의 필릿용접부위와 길이방향의 맞대기용접부위의 미세조직 및 기계적특성을 알아보고, 용접시 필연적으로 생기는 잔류응력과 변형 및 배관내의 온도분포 예측을 수행하였다. 본보에서는 배관 필릿용접시 발생하는 미세조직 및 기계적 특성의 변화를 알아보았다.

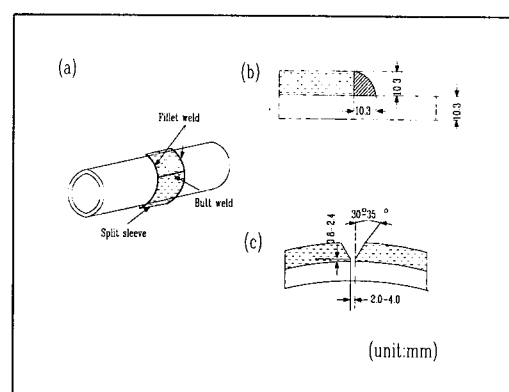
## 2. 실험방법

### 2.1 보수용접 방법 및 시험편 제작

보수용접에 사용된 배관과 덮개관은 같은 재료로서 API 5L X65 규격의 고장력강이며, 기계적 특성과 화학조성은 Table 1과 Table 2에 나타내었다. 덮개관은 같은 종류의 배관을 횡(배관원주방향)으로 절단하여 2개의 단관을 만든 다음, 각 단관을

**Table 2.** Chemical composition of pipeline  
(Unit : wt% min. ~max)

	C	Mn	P	S
API 5L Grade X65	~0.26	~1.40	~0.03	~0.03
Specimen	0.08	1.46	0.002	0.001



**Fig. 1** Schematic drawing of pipeline welding using sleeve  
a) pipe and sleeve      b) fillet weldment  
c) butt weldment

중(배관길이방향)으로 절단하여 Fig. 1의 맞대기용접 홈형상이 되도록 기존배관의 위, 아래에 2개를 부착한다음 강제 확관시켰다. 이때 슬리브덮개용 배관은 심용접부가 포함하지 않는 부분으로 절단하여 사용하였고, 확관의 모서리부인 필릿용접부는 직각으로, 맞대기용접부는 V-groove로 가공하였다.

보수용접절차는 가스공급배관 용접작업절차를 바탕으로 하였는데, 천연가스 배관용접은 API STD. 1104와 ASME Sec. IX을 기본으로 하고 있다. 용접방법은 두가지로서, Weld I은 초층은 GTAW 방법을 사용하고 나머지 용접층은 SMAW

**Table 1.** Mechanical properties of pipeline

Spec.	Diameter (mm)	Thickness (mm)	Elastic modulus (GPa)	Yield stress (MPa)	Tensile stress (MPa)	Elongation (%)	Poisson's ratio
API 5L Grade X65	660.4	10.3	207	448	530	23	0.3

Table 3. Welding condition

No	Geometry of Weld Joint	Weld Layers	Process	Filler Metal		Current		Volt Range (V)	Travel Speed Range (cm/min.)
				Class	Diameter ( $\phi$ , mm)	Type Polarity	Amp. Range (A)		
Weld I	Fillet	Root	GTAW	ER70S-G	2.4	DCSP	80~100	12~16	8~10
		2th~4th	SMAW	E9016-G	2.6	DCRP	90~100	12~20	10~20
	Butt	Root	GTAW	ER70S-G	2.4	DCSP	80~100	12~16	8~10
		2th~6th	SMAW	E9016-G	2.6	DCRP	90~100	12~20	10~20
Weld II	Fillet	Root	SMAW	E9016-G	2.6	DCRP	90~100	12~20	10~20
		2th~4th	SMAW	E9016-G	2.6	DCRP	90~100	12~20	10~20
	Butt	Root	SMAW	E9016-G	2.6	DCRP	90~100	12~20	10~20
		2th~6th	SMAW	E9016-G	2.6	DCRP	90~100	12~20	10~20

를 사용하였으며, Weld II는 전 용접층을 SMAW방법으로 용접을 실시하였다. 용접봉은 입열량을 가능한 줄이기위해 주배관용접시 사용하는 직경 3.2mm를 직경 2.6mm로 변경하였으며, 기타 용접조건을 Table 3에 정리하였다. 보수용접은 원주방향의 필릿용접부는 4개층으로, 축방향의 맞대기용접부는 6개층으로 용접을 실시하였다. 실제 용접시 GTAW와 SMAW의 용접전류와 전압은 100A, 20V 이었으며 GTAW와 SMAW의 용접속도는 각각 8, 10cm/min. 이었다. SMAW에서는 E9016-G 용접봉을 사용하였고 GTAW에서는 ER70S-G 용접봉을 사용하였다.

보수용접 시험편은 API STD 1104의 규격에 따라 제작하였다. 필릿용접부만 포함한 인장 및 Nick-break 시험편을 4개씩 제작하였고(그림2), 필릿용접부와 맞대기용접부를 포함한 인장시험편 및 필릿용접부와 배관 심부를 포함한 인장시험편을 1개씩 제작하였다. 매크로시험과 미세조직관찰 및 경도측정은 같은 시험편에서 실시하였다.

2.2 미세조직 관찰

용착금속 초층부의 용융불량, 용착금속과 열영향부의 균열 및 결합 존재여부, 용착금속 용입 깊이, 용접입열에 따른 열영향부의 크기 및 결정립 크기 등의 관찰에 광학현미경을 이용하였다. 시험편의 예칭은 5% Nital 용액을 사용하였다.

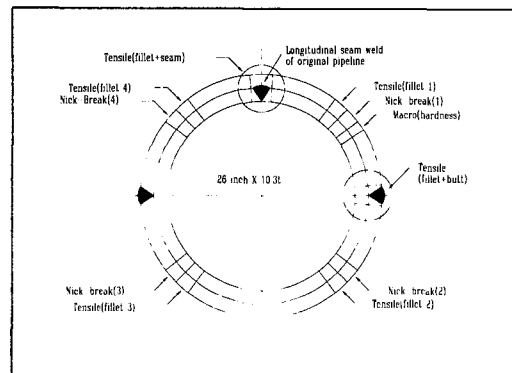
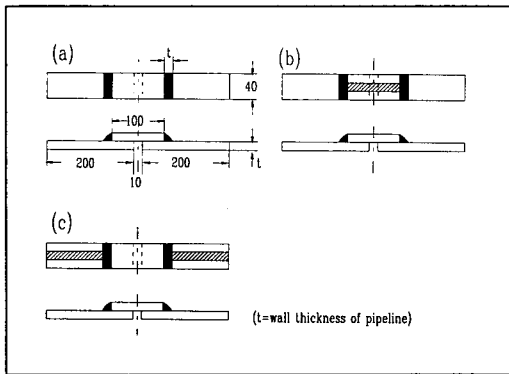


Fig. 2 Each specimen position in pipeline

2.3 인장시험, 경도시험 및 Nick-Break시험

API STD 1104 규격에는 필릿용접부에 대한 인장 시험기준을 규정하고 있지 않아서, KS B 0841의 "앞면 필릿용접 이음의 인장시험 방법"을 기준으로 인장시험편을 제작하였다. 보수용접이 덮개판을 확관하여 배관위에 용접하는 방법이므로 인장시험편은 실제상황과 유사한 단면 덮개판 이음형식에 따라 제작하였다. 인장시험편은 Fig. 3의 세가지 형태로 제작하였는데, 이는 필릿용접부와 다른 용접부의 상호교차가 인장응력에 주는 영향을 파악하기 위해서 이다. 원래 배관 중심에 10mm의 간

격을 준 것은 배관 주위에서 발생된 응력이 배관손상부에 작용하여 완전히 파단이 발생하는 경우에 필릿용접부가 견딜 수 있는 하중을 평가하기 위함이다. 인장시험기는 INSTRON 8540을 사용하였으며, 최대하중 50Ton에서 파괴시까지 3mm/min.의 속도로 하중을 부가하였다.



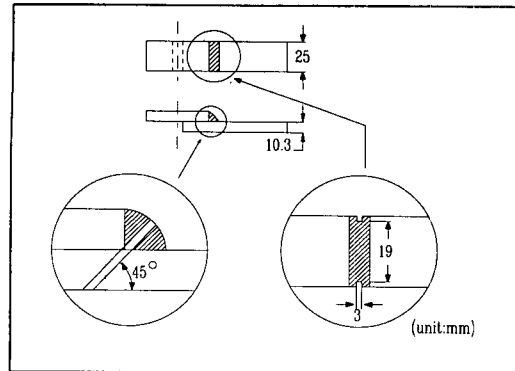
**Fig. 3** Geometry of tensile test specimen  
 a) only fillet weldment  
 b) fillet and butt weldment  
 c) fillet and seam weldment

필릿용접부와 맞대기용접부에 대한 경도측정은 BS 4515규격에 따라 실시하였다. 미소 비커스경도계로 0.5kg의 하중으로 경도를 측정하였으며, 자세한 경도측정부위는 그림 5에 나타내었다. API STD1104는 필릿용접부 용접절차서를 인정하기 위해서는 Nick-break 시험만을 실시하면 된다고 규정하고 있다. 시험편은 그림 2의 위치에서 제작하였으며 시험편의 크기는 그림 4와 같다. Nick-break 시험편은 바이스에 고정시킨 다음, 해머를 사용하여 용접부가 파단되도록 하였다.

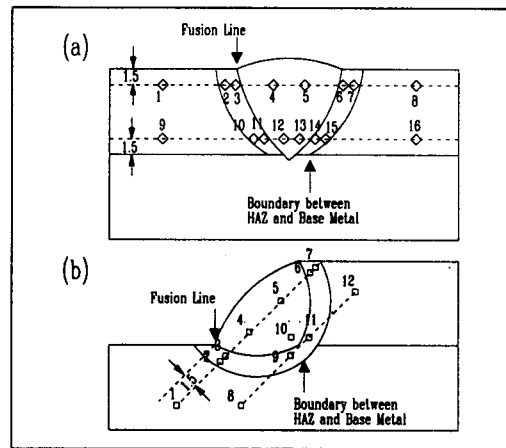
### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 보수용접부의 미세조직 관찰

본 연구에서 사용한 배관은 탄소 0.26% 이하와 망간 1.40% 이하를 함유하고 있다. 배관모재는 X-선 회절분석 결과, 체심입방격자 구조를 갖는



**Fig. 4** Geometry of nick-break test specimen



**Fig. 5** Position of hardness test in each weldment  
 (a) butt welding (b) fillet welding

페라이트강( $\alpha$ -Fe)이었다. 0.26% 이하의 탄소강은 서냉시  $\alpha$ -Fe가 우선적으로 생성되어 결정립을 구성하고 나머지 잔류하는 오스테나이트( $\gamma$ -Fe)가 공석점 온도(723℃)에서  $\alpha$ -Fe와 세멘타이트(Fe<sub>3</sub>C)의 층상구조인 퍼얼라이트로 변태되어 그 주위에 생성된다.

Fig. 6은 배관 모재의 미세조직 사진으로  $\alpha$ -Fe의 결정립 주위에 검게 나타나는 퍼얼라이트가 존재하고 있으며, 최종 냉간가공후 냉냉시킨 강의 압연조직으로 압연효과로 인하여 페라이트 결정립과 퍼얼라이트는 배관의 길이방향으로 방향성을 지니고 있다.

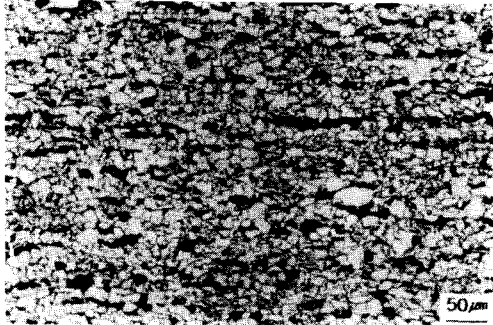


Fig. 6 Microstructure of base metal

본 연구에서 초층용접을 Weld I에서는 GTAW를 사용하고 Weld II에서는 SMAW를 사용하였다. 이는 보수용접에서 초층용접부의 입열이 용융깊이 및 기계적특성에 크게 영향을 미칠 것이라는 판단에서 초층용접방법을 변화시킨 것이다. 용착금속의 미세조직은 용착금속의 화학조성과 용융후 주위 열전달 매체(배관, 대기 및 가스)를 통한 냉각에 의하여 결정된다.

Fig. 7은 SMAW와 GTAW 용착금속부의 미세조직이다. SMAW 용착금속은 미세한 결정립으로 되어있는데, 모재에서 핵생성한 결정립은 수지상을 형성하여 용착금속 중심으로 성장하는 주조직형상을 나타낸다. GTAW 용착금속은 모재의 미세조직과 비슷한 형태를 보이고 있다. 페라이트결정립 주위에 겹겹이 나타나는 퍼얼라이트가 균일하게 분포하며 고온에서 공냉됨에 따라 결정립 모양은 불규칙한 형태를 나타낸다.

Fig. 8은 용착금속부에서 모재부까지 미세조직의 변화이다. 그림 8(a)에 SMAW 용착금속부와 열영향부 I의 경계인 용융선을 나타냈다. 열영향부 I은 용융선에 인접한 부분으로 액상선온도 근처까지 가열된후 용접입열이 배관이나 대기중으로 방출될때 다소 과냉이 발생함에 따라 조대한 미세조직을 보이고 있다.

Fig. 8(b)는 열영향부 I의 미세조직 사진이다. Fig. 8(a)의 용융선에 인접한 미세조직보다는 결정립크기가 감소하고 있으며, 이는 용융선에서의 거리에 따라 열영향부 조직이나 결정립 크기가 변화하는 것을 보여준다. Fig. 8(c)는 열영향부 I과 열영향부 II의 경계이며, Fig. 8(d)는 열영향부 II

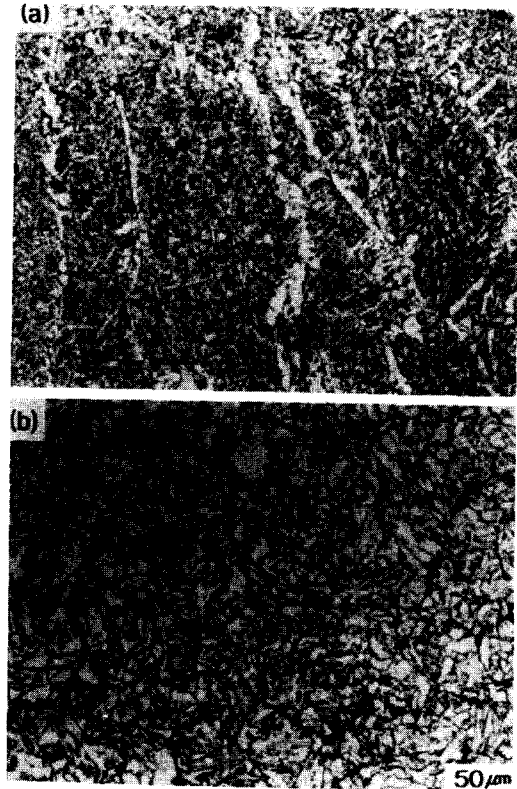


Fig. 7 Microstructure of weld metal  
(a) SMAW (b) GTAW

의 미세조직 사진이다. 열영향부 II는 페라이트와 퍼얼라이트 조직이 공석점온도 이상으로 증가하여 페라이트와 오스테나이트 조직을 가진후 냉각에 의해 다시 페라이트와 퍼얼라이트 조직으로 변화하는 과정에서 결정립 미세화가 발생한다. Fig. 8(e)는 열영향부와 모재부의 경계로서 편석되어 분포하는 퍼얼라이트가 미세화된 페라이트 결정립 주위로 재편성됨을 알 수 있다. Fig. 8(f)는 용착금속에서 모재까지 미세조직 관찰 위치를 표시한 것이다.

### 3.2 보수용접부의 매크로시험

ASME Sec. IX은 필릿용접의 용접절차서 인정을 위한 시험으로 매크로시험을 규정하고 있다. 매크로시험은 용접부 단면을 육안으로 검사하여 용입

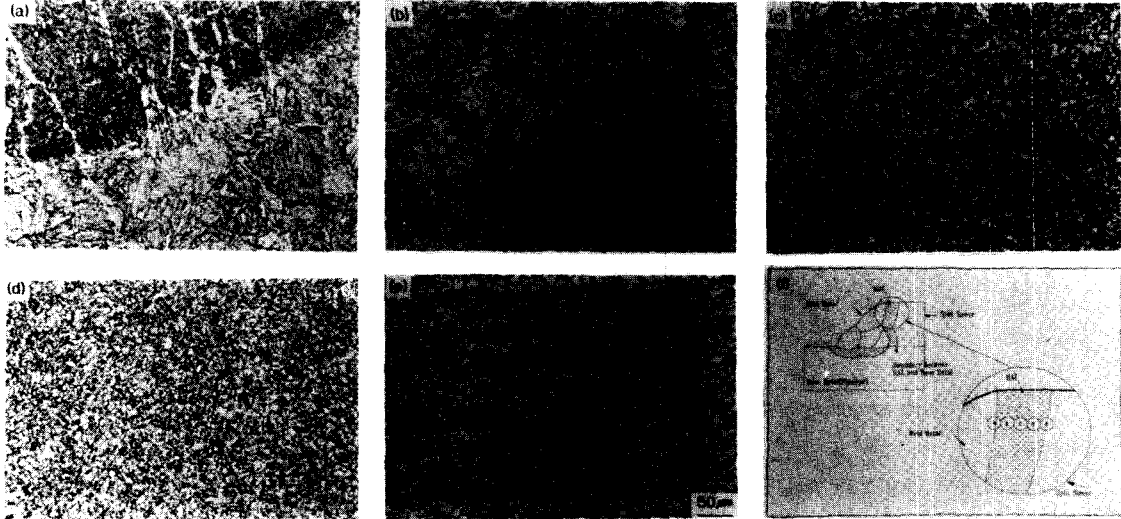


Fig. 8 Microstructure of weldments

(a) boundary of SMAW weld metal and HAZ I (b) HAZ I (c) HAZ I and HAZ II (d) HAZ II  
(e) boundary of HAZ I and base metal (f) schematic diagram of each microstructure

불량이나 균열이 존재하는가를 파악하고 필릿의 다리길이 (Leg Length)를 관찰하는 것이다. 매크로 시험의 판단기준은 용입불량이나 균열이 존재하지 않아야 하며 필릿의 다리길이는 3.2mm 이하의 차이를 가져야 한다. 용입불량 및 균열이외의 다른 결함들은 배관 용접부 비파괴검사 기준에 따라 합격여부를 판단한다.

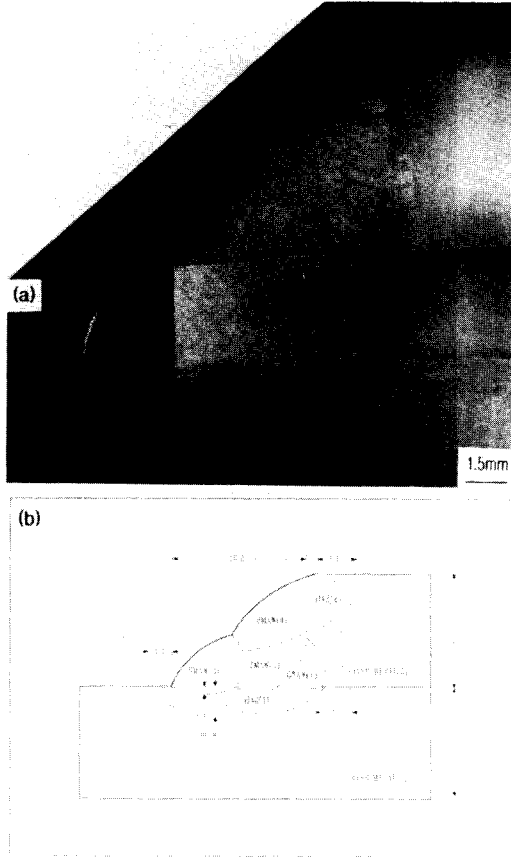
Fig. 9-12는 각 필릿용접부 및 맞대기용접부의 매크로 관찰결과로서, 용접방법과 용접위치에 따른 용입깊이와 열영향부의 크기를 나타내었다.

Fig. 9(a)는 Weld I 필릿용접부의 거시적인 매크로 사진이며, Fig. 9(b)는 이를 기하학적으로 설명한 것이다. Fig. 9(a)에서 SMAW 용착금속에 대한 용입선은 구별이 분명하나 GTAW 용착금속의 용입선은 구별이 확실하지 않다. 이는 앞서 보았듯이 GTAW 용착금속의 미세조직이 배관모재의 미세조직과 비슷하기 때문이다. 원래 배관표면에서 용입깊이는 0.8mm 정도이며 열영향부 깊이는 2.8mm 정도이다. 덮개판에서의 열영향부 크기는 3.1mm 정도로 원래 배관의 열영향부 깊이보다 크게 나타났다. 이는 네번째 용접층인 SMAW(4)에서 용접입열이 주로 덮개판을 통하여 한방향으로 열전달을 하기 때문에 열영향부가 크게 나타나는 것으로 판단된다. 용착금속부의 다리길이는 배관 두

께방향으로 배관모재 두께와 같은 10.3mm이고 배관길이 방향으로 10.2mm 이었다.

Fig. 10(a)는 Weld II 필릿용접부의 매크로 조직 사진이며, 그림 10(b)는 이를 기하학적으로 설명한 것이다. 배관표면에서 용입깊이는 1.3mm 정도이며 열영향부 깊이는 2.9mm 정도이다. 덮개판에서 열영향부 크기는 3.4mm이었다. 용착금속부 다리길이는 배관길이 방향으로 10.2mm로 Weld I의 다리길이와 일치하였다.

Fig. 11과 12는 Weld I과 Weld II 맞대기용접부의 매크로 조직 사진이다. 각각의 사진에서 초층 용착금속부는 두번째층 용착금속에 의해 열영향을 받아 첫번째 용착금속내에 새로운 열영향부가 생성됨을 알 수 있다. 각 용접층에서 용접입열은 이전 용접층의 열영향부에 중첩된 열영향을 주고 있다. Fig. 11(b)에서 배관표면의 용입깊이는 1.4mm이며 열영향부 깊이는 1.9mm이다. 덮개판 표면에서 열영향부 크기는 각각 3.2mm와 1.9mm이며, 마지막층의 배관위방향에서 열영향부가 크게 나타났다. Fig. 12(b)에서 Weld II용접시 용입깊이는 1.0mm이고 열영향부 깊이는 1.8mm이다. 덮개판 표면에서 열영향부 크기는 각각 2.7mm와 1.8mm이며, Fig. 11과 마찬가지로 배관위방향에서 열영향부가 크게 나타났다. 전체적으로 필릿용접

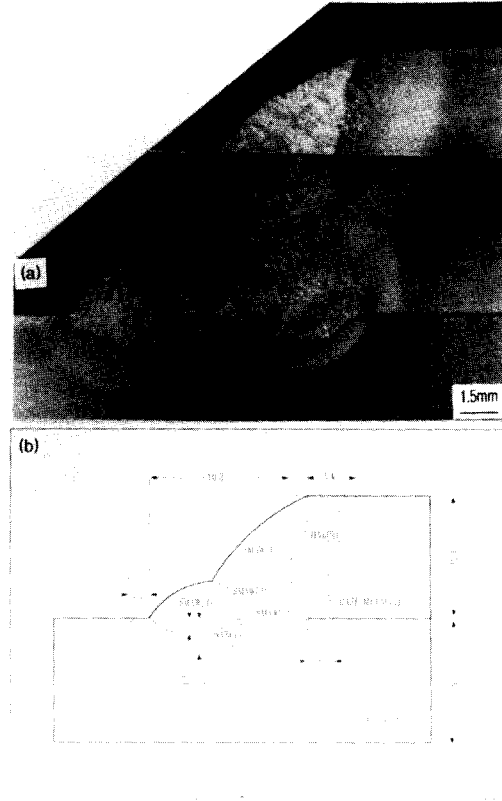


**Fig. 9** Macrostructure change in fillet weldment of Weld I  
(a) macrostructure (b) schematic diagram

부와 맞대기용접부의 용입깊이 및 열영향부 크기는 비슷하게 나타났고, 용착금속 및 열영향부에서 용입불량이나 균열은 관찰되지 않았다. 따라서 ASME Sec. IX에서 필릿용접의 용접절차서 인정을 위한 시험으로 실시를 규정하고 있는 매크로시험 결과는 규격을 만족시키는 것으로 나타났다.

### 3.3 보수용접부의 경도측정

경도측정은 용접부의 내균열성과 연성을 평가할 수 있는 가장 간편한 방법중의 하나이다. BS 4515에서는 저온균열을 방지하고, 용접부 연성을 확보하기 위하여 용착금속과 열영향부의 최고 경도값을 표 4와 같이 규정하고 있다.

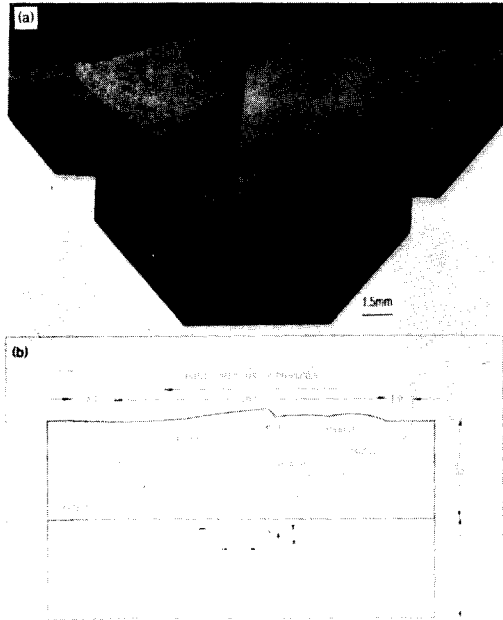


**Fig. 10** Macrostructure change in fillet weldment of Weld II  
(a) macrostructure (b) schematic diagram

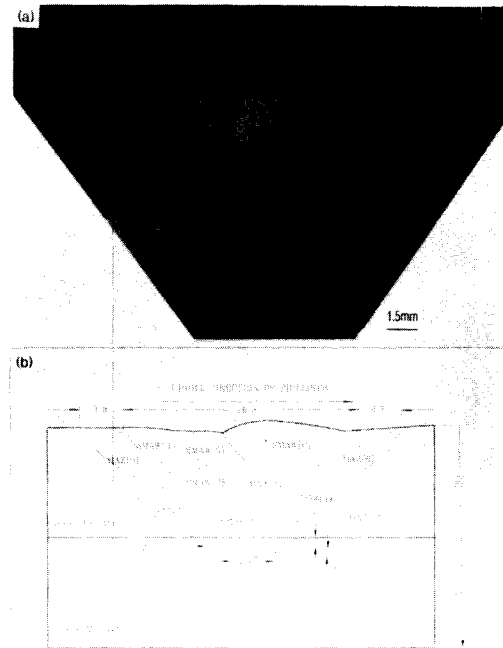
**Table 4.** Maximum hardness for welding soundness (HV10, BS 4515)

Position of hardness test	Weld metal (first layer)	Weld metal (last layer)	HAZ (first layer)	HAZ (last layer)
Auto or semi-auto welding (low hydrogen electrode)	275	275	325	325

Table. 5와 6은 필릿용접부와 맞대기용접부의 경도값을 정리한 것이다. 필릿용접부의 경도값이 맞대기용접부의 경도값보다 조금씩 작게 나타났다. 이는 맞대기용접부에서 용접입열에 따른 과냉이 더 크기 때문으로 판단된다. 경도값이 큰 순서부터 배열하면 SMAW 용착금속부, 열영향부 I,



**Fig. 11** Macrostructure change in butt weldment of Weld I  
(a) macrostructure (b) schematic diagram



**Fig. 12** Macrostructure change in butt weldment of Weld II  
(a) macrostructure (b) schematic diagram

**Table 5.** Results of hardness tests on fillet welding (HV0.5)

Type of microstructure		Position of hardness test	Weld I	Weld II	Average
Base Metal		1	201	204	200
		8	201	205	
		12	188	198	
HAZ II		2	194	214	198
		7	188	190	
		9	189	-	
		11	213	-	
HAZ I		3	220	225	229
		6	226	233	
		9	-	246	
		11	-	226	
Weld Metal	SMAW	4	230	233	232
		5	213	231	
		10	-	261	
	GTAW	10	221	-	

GTAW 용착금속부, 모재부와 열영향부 II이다. 모재부와 열영향부 II는 비슷한 경도값을 가지나 미세결정립 영역인 열영향부 II는 모재부보다 낮은 경도값을 보이고 있다. 전반적으로 열영향부 및 용착금속부의 경도값은 BS 4515에서 규정한 경도값 이하이었다. 따라서 슬리브토게를 이용한 보수용접을 수행하여도 용착금속과 열영향부에 취성을 유발시키는 높은 경도값을 나타내는 현상은 없을 것으로 판단된다.

### 3.4 보수용접부의 Nick-break 시험

Nick-break 시험이란 용접부 파단면 관찰로 용착금속에 용입부족, 용융불량 및 기공의 존재여부를 관찰하여 용접의 건전성을 평가하는 것으로, API STD 1104는 평가기준을 아래와 같이 제시하고 있다

(a) 각 필릿용접시험편의 파단면은 용입부족이



**Table 6.** Results of hardness tests on butt welding (HV0.5)

Type of microstructure	Position of hardness test	Weld I	Weld II	Average	
Base metal	1	210	198	206	
	8	190	211		
	9	210	204		
	16	220	202		
HAZ II	2	198	216	207	
	7	182	212		
	10	193	214		
	15	213	228		
HAZ I	3	215	241	240	
	6	232	259		
	11	235	258		
	14	235	246		
Weld metal	SMAW	4	267	275	261
		5	241	275	
		12	-	248	
		13	-	248	
	GTAW	12	234	-	226
		13	218	-	

나 용융불량이 존재하지 않아야 한다. (b) 가장 큰 기공은 1.59mm를 초과하지 않아야 한다. (c) 모든 기공의 합면적은 노출된 표면의 2%를 초과하지 않아야 한다. (d) 슬래그 개재물은 깊이가 0.79mm를 초과하지 않아야 하며, 길이가 3.17mm 혹은 공칭벽두께의 절반중에서 작은 값을 초과하지 않아야 한다. (e) 이웃하는 개재물사이에 적어도 12.7mm의 건전한 용착금속부가 있어야 한다.

각 용접방법에서 4개씩의 필릿용접부 Nick-break 시험편 파단면을 관찰한 결과, Weld I 용접의 세번째(225° 방향) 시험편에서 2.2mm 정도의 기공이 발견되었다. 이는 SMAW 용착금속부의 마지막 용접층에 위치하고 있었다. 그러나 다른 시험편에서는 규정치를 초과하는 기공이나 슬래그가 발견되지 않았다. 따라서 API STD 1104규격에 따라 Weld II 용접방법에 대하여 필릿용접을 허용하는 것이 가능하다.

### 3.5 보수용접부의 인장시험

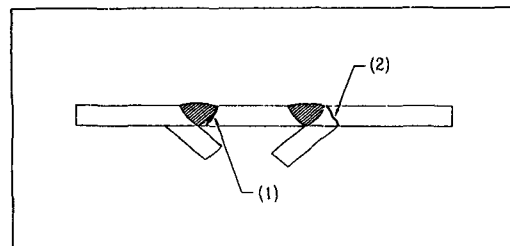
용접선의 방향이 전달해야 할 응력방향에 직각인 앞면필릿용접에서 탄성응력이 걸린 경우의 주 응력방향은 매우 복잡한 분포를 나타낸다. 용접초층부 및 배관위의 용접끝점에서 응력집중이 큰데 용접초층부에서 6~7, 용접끝에서 약 4.7의 응력집중계수를 가진다. 이러한 응력집중은 탄성범위 내의 것이나 응력집중이 큰 곳에 국부적인 소성변형이 일어나면 응력집중이 상당히 평평하게 된다. 계속 이것을 잡아당기면 용접끝에서는 표면 각도가 점차로 둔해져서 응력집중이 감소하나, 초층부에서는 둔화가 되지 않고 현저한 소성변형을 받게 되므로 실제 파단은 초층에서부터 일어나기 쉽다.

일반적으로 앞면필릿용접의 인장강도는 최대인장하중을 시험편의 폭과 하중을 부담한 목의 이론

**Table 7.** Results of tensile tests

Weld method	Type	Tensile strength (MPa)	Average (MPa)	rupture position*
Weld I	Fillet welding	474	467	(1)
		467		(1)
		458		(2)
468		(1)		
Weld II	Fillet + Butt welding	408	408	(2)
		429		(1)
	Fillet + Seam welding	478	471	(2)
469		(2)		
460		(2)		
475		(1)		
Weld II	Fillet + Butt welding	445	445	(2)
	Fillet + Seam welding	450	450	(1)

\* Rupture position after tensile test



두께를 곱한 단면적으로 나눈 값이다. 이러한 방식은 용접부에서 파단이 발생하는 경우에 적용하는 것이다. 본 연구에서 인장시험한 필릿용접부는 모두 모재나 덮개판의 열영향부에서 파단이 발생하였기 때문에 인장응력은 최대인장하중을 배관두께와 시험편 폭을 곱한 값으로 나뉘 구하였다. 용접방법 및 용접부의 종류에 따라 인장시험한 결과를 Table 7에 나타내었다.

보수용접을 실시한 필릿용접부의 인장강도는 배관모재의 인장강도에 대한 최소규정치인 530MPa 이하임을 알 수 있다. 배관 맞대기용접부의 인장시험 결과, 모재부에서 파단이 발생하고 인장강도는 530 MPa 이상이었다.<sup>4)</sup> 이는 배관손상부가 하중을 받아 완전히 파괴된 이후에 다른 하중이 미치는 경우에 필릿용접부 주위가 먼저 파단됨을 의미한다.

부위별로는 필릿용접부만 포함한 부분의 인장강도가 가장 크며 필릿용접과 맞대기용접이 만나는 부분의 인장강도가 가장 작았다. 이는 필릿용접과 맞대기용접이 만나는 부분에서 열영향의 작용이 크게 나타남을 의미한다. 따라서 맞대기용접의 시작과 끝부분에서 과냉이 발생하여 결함이 생성되지 않도록 주의하여야 하며, 서로 다른 용접부가 교차하는 부분에서 비파괴검사를 주의 깊게 실시하여야 한다.

인장시험시 파단은 주로 응력집중이 큰 초충부나 배관표면의 용접끝점에서 발생하였다. 필릿용접한 인장시험편이 배관위 용접끝점에서 배관내부로 파단되고, 파단은 인장응력 방향에 대하여 45° 방향으로 기울어져 있었는데 이는 전단응력이 크게 작용하였음을 의미한다. 즉 인장하중하에서 용착금속과 덮개판에 모멘트가 발생하는 복잡한 응력분포로 인하여 상대적으로 경한 용착금속보다는 용착금속에 인접한 응력집중이 큰 열영향부에 소성변형이 국부적으로 발생하여 전단응력에 의해 파단되는 것이다.

일반적으로 건전한 필릿용접부의 파단은 초충에서 시작하여 필릿내를 60-70°의 각도로 가로질러 파단되며, 경우에 따라 필릿용접부 전체가 용융선

근처에서 박리될 수 있다. 본 연구에서 보수용접한 필릿용접부는 용착금속부 주위의 열영향부에서 파단이 발생하는 것으로 보아 건전한 용접임을 알 수 있다. 그러나 맞대기용접을 포함하는 필릿용접부의 인장시험편에서는 거의 박리에 가까운 파단이 발생하였는데, 이는 맞대기용접부와 배관이 용접된 부분은 완전한 전단응력이 작용하고 배관과 용접된 단면이 작기 때문이다. 배관 길이방향으로 부가되는 하중에 대하여 맞대기용접부와 배관이 용접된 부분은 취약하며, 배관 원주방향으로 작용하는 하중에 대해서는 맞대기용접부가 하중을 지탱하는 역할을 할 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

- 1) 가스배관 보수용접시 필요한 용접절차서를 API 1104와 ASME IX규격에 따라 개발하였다.
- 2) 두께 10.3mm배관의 보수용접시 용융부는 0.8-1.3mm이고 열영향부는 2.8-3.4mm이었으며, 필릿용접부와 맞대기용접부의 양상은 비슷하게 나타났다.
- 3) 경도측정 결과 BS 4515규격에서 규정한 경도 값 이하의 값이었으며, Nick-Break시험 결과 규격을 초과하는 결함은 발견되지 않았다.
- 4) 인장시험결과 필릿용접과 맞대기용접이 만나는 부위가 인장강도가 가장 낮은 취약부위로 나타났다.

#### 5. 참고문헌

1. John F. Kiefner, Robert D. Fischer, Oil & Gas Journal, Mar 7, (1988) p41
2. Alan K. Denney et al, Pipe Line & Gas Industry, Dec (1995) p45
3. BSI DD39, July 1974
4. 김영표, 김우식, "가스배관 용접방안 연구", 한국가스공사, 1996