



도시가스 매설배관 보수기준 개발에 관한 연구

†류영돈 · 이진한 · 조영도

한국가스안전공사 가스안전연구원

(2016년 7월 31일 접수, 2016년 8월 29일 수정, 2016년 8월 31일 채택)

A Study on the Development of the Repair Standards for Underground Pipelines Carrying Natural Gas

†Young-Don Ryou · Jin-Han Lee · Young-Do Jo

Korea Gas Safety Corporation

(Received July 31, 2016; Revised August 29, 2016; Accepted August 31, 2016)

요약

미국과 유럽의 가스회사에서는 배관의 보수방법으로 그라인딩, 육성용접, 슬리브팅용접, 복합재료보수, 핫 테핑, 클램프 등 다양한 방법을 사용하고 있으며, 배관에 손상이 발생한 경우 사용적합성 평가를 거쳐 배관보수를 실시하고 있다. 또한, 미국과 영국 등에서는 매설된 도시가스배관이 타공사 또는 부식으로 인해 손상을 입은 경우 손상형태별로 적용 가능한 배관보수방법을 규정하고 있다. 국내의 경우에는 노후된 중압배관에 대하여 정밀안전진단을 하도록 하고 있으며, 정밀안전진단결과 발생한 결함의 종류 및 정도에 따라 배관을 보수, 교체 또는 신설하도록 규정하고 있다. 그러나 보수 및 보강 방법에 대하여는 기준이 마련되어 있지 않아 배관에 손상이 발생한 경우 주로 손상된 배관을 절단한 후 단관(短管)으로 교체하는 방법만을 사용하고 있다. 본 논문에서는 미국, 영국 등 국외의 보수방법 및 기준을 조사하고, 국내의 매설배관 검사 방법 등에 대해 조사하고, 보수방법 시험 결과를 분석한 후 국내 실정에 맞는 배관보수기준(안)을 제시하였다. 개발되는 기준에 따라 도시가스사업자가 정밀안전진단 결과의 후속조치로 배관보수를 하는 경우 가스공급을 중단하지 않아도 되므로 가스의 안정적 공급에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract - Grinding, weld deposition, type A sleeve, type B sleeve, composite sleeve, hot tapping and clamp are used as the method to repair the buried pipelines in the United States, UK and Europe. In the event of defect to the pipeline, they have repaired the pipeline through the fitness-for-service assessments. In addition, they have guidelines for the possible repair methods to apply to each type of damage, which is occurred due to the 3rd party construction or corrosion. According to the KGS FS551, Safety Validation in Detail including ECDA(External Corrosion Direct Assessment) as one method of integrity management should be carried out for the old pipeline which supply natural gas as the middle pressure in Korea. Where a defect on the pipelines is found, on the result of Safety Validation in Detail, the pipelines should be repaired or replaced by new piping. However, there are no guidelines or regulations regarding the repair and reinforcement of pipeline, so that, cutting the damaged pipeline and replacing it as a segment of new pipe is the only way in Korea until now. We have suggested pipeline repair methods including type A, B sleeve, composite sleeve, after the survey of foreign repair method and standards including the method of United States and the United Kingdom, and after analysis of the results on pipeline repair test including type A, type B sleeve and composite sleeve.

Key words : External Corrosion Direct Assessment, Pipe Replacement, Sleeve repair method

†Corresponding author:rydon@kgs.or.kr

Copyright © 2016 by The Korean Institute of Gas

Table 2. Pipeline Repair Options vs Types of Defect[7]

Type of Defect (a)	Grinding	Type A Sleeve	Compression Sleeve	Type B Sleeve	Composite Sleeve	Weld Deposition	Bolt-On Clamp With Seals	Force Screw Leak Clamp	Welded Patch or Half Sole	Hot Tapping (b)
1. Leak (from any cause) or defect > 0.8t	No	No	No	Permanent	No	No	Permanent	Temporary (c)	No	Permanent
2. External Corrosion										
2a. Shallow to Moderate Pitting < 0.8t	No	Permanent	Permanent	Permanent	Permanent	Permanent	Permanent	No	Temporary	Permanent
2b. Deep Pitting ≥ 0.8t	No	No	No	Permanent	No	No	Permanent	No	No	Permanent
2c. Selective Seam Attack	No	No	Permanent	Permanent (d)	No	No	Permanent (d)	No	Temporary	No
3. Internal Defect or Corrosion	No	Permanent (e)	Permanent (e)	Permanent	Permanent (e)	No	Permanent (e)	No	No	No
4. Gouge or Other Metal Loss on Pipe Body	Permanent (f)	Permanent (g)	Permanent (g)	Permanent (h)	Permanent (g)	Permanent (g)	Permanent (h)	No	No	Permanent
5. Arc Burn, Inclusion, or Lamination	Permanent (f)	Permanent	Permanent	Permanent	Permanent (g)	Permanent (g)	Permanent	No	No	Permanent
6. Hard Spot	No	Permanent	Permanent	Permanent	No	No	Permanent	No	No	Permanent
7. Dent										
7a. Smooth Dent	No	Permanent (i)	Permanent (i)	Permanent	Permanent (j)	No	Permanent	No	No	No
7b. Dent With Stress Concentrator on Seam Weld or Pipe Body	Permanent (k)	Permanent (g) (i) (j)	Permanent (g) (i) (j)	Permanent	Permanent (g) (i) (j)	No	Permanent	No	No	Permanent
7c. Dent With Stress Concentrator on Girth Weld	Permanent (k)	No	Permanent (g) (i) (j)	Permanent	No	No	Permanent (l)	No	No	No
8. Crack or Cracking										
8a. Shallow Crack < 0.4t	Permanent (f)	Permanent (g)	Permanent	Permanent (d)	Permanent (g)	Permanent (g)	Permanent (d)	No	Temporary	Permanent
8b. Deep Crack ? 0.4t and not more than 0.8t	No	Permanent (g)	Permanent	Permanent (d)	Permanent (g)	Permanent (g)	Permanent (d)	No	No	Permanent
9. Seam Weld Defect										
9a. Volumetric Defect	Permanent (f)	Permanent (g)	Permanent	Permanent	Permanent (g)	No	Permanent	No	No	Permanent
9b. Linear Defect	Permanent (f)	Permanent (g)	Permanent	Permanent (d)	Permanent (g)	No	Permanent (d)	No	No	Permanent
9c. Defect In or Near an ERW Seam	No	No	Permanent	Permanent (d)	No	No	Permanent (d)	No	No	No
10. Girth Weld Defect	Permanent (f)	No	No	Permanent	No	Permanent (m)	Permanent (l)	No	No	No
11. Wrinkle Bend, Buckle, or Coupling	No	No	No	Permanent (n)	No	No	No	No	No	No
12. Blisters, HIC	No	Permanent	Permanent	Permanent	No	No	Permanent	No	No	No



Fig. 1. Epoxy repair sleeve[11].



Fig. 2. Repair by grouted Tee[12].

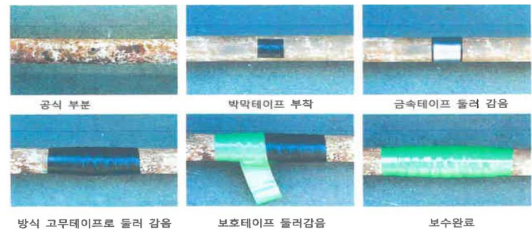


Fig. 3. Pipe repair method in Japan.

누출하는 경우 Fig 3과 같이 금속테이프와 부틸고무 등을 둘러감는 방법을 보수방법으로 사용하고 있다[13].

2.2. 국내 매설배관 보수 방법 및 기준

도시가스사업자는 도시가스사업법 제26조에 따라 공급시설의 안전유지에 관한 안전관리규정을 작성하여 행정관청에 제출하도록 하고 있으며, 동 규정에 보수작업 절차 및 작업 요령 등을 포함하도록 하고 있다. 그러나, 동 안전관리규정에는 피복손상 보수방법에 대하여는 규정하고 있으나, 매설배관의 보수방법 및 보수절차 등에 대한 자세한 내용을 정하고 있지 않다.

KGS FS551(일반도시가스사업 제조소 및 공급소 밖의 배관의 시설·기술·검사·정밀안전진단 기준)

Table 3. Repair and enforcement[2]

<p>4.2.2.4 정밀안전진단 보수 보강 정밀안전진단기관은 현장조사결과 발생된 결함의 종류 및 정도, 사용 환경조건 및 경제성 등을 고려하여 다음 중 하나의 조치를 강구할 것을 배관관리자에게 지시한다.</p> <p>(1) 현상유지(진행억제) (2) 사용상 지장이 없는 수준까지 회복 (3) 초기수준으로 개선 (4) 교체 또는 신설</p>
--

4.2.4.4.에서는 Table 5와 같이 정밀안전진단 보수·보강에 대하여 다음과 같이 규정하고 있다[2]. 그러나, 동 기준에서는 배관의 보수 및 보강에 대한 방법이나 기준을 명시하지 않고 있다. 따라서, 명확한 보수 보강 기준 마련이 필요한 실정이다.

III. 보수 방법별 특징 및 안전성시험 결과

3.1. 매설배관 보수 방법 별 특징

가. 결함부 절단 및 교체

교체 보수는 손상된 배관을 원통형태로 절단한 후 동일한 재질의 신규 배관으로 교체하여 용접하는 방법으로 완전한 배관 보수가 가능하며, 국내에서 일반적으로 사용하는 배관 보수 방법이다.

교체 보수 공사의 단점은 가스공급중단이 발생하며, 가스방출에 따른 경제적 손실이 발생한다.

나. 슬리브 보수

배관의 손상된 부분을 감싸도록 전체 원주를 덮는 슬리브로 결함을 보수하는 방법으로 원주방향 용접하는 B형 슬리브 보수와 원주방향 용접을 하지 않는 A형 슬리브 용접이 있다. B형 슬리브 용접은 원주용접 부 및 심용접부 결함에도 사용이 가능한 방법이다[9].

다. 패치(패드) 보수

패치 보수는 Fig. 5와 같이 보수대상 강관과 동등 이상의 설계강도를 갖는 강관을 이용하여 배관에 필렛 용접으로 보수하는 방법으로 국내 도시가스사업자가 긴급작업시 임시 보수 등으로 사용하는 방법이다. 고압배관에는 사용하지 않는 방법이다[3,9].

라. 육성 용접

곡관이나 피팅류와 같이 슬리브 보수가 사용될 수 없는 경우에 사용될 수 있는 보수 방법으로써, 부식으로 배관의 두께가 감소된 부분에 용접봉만을 이용하여 용접을 하는 방법으로 신속한 보수 및 경제적인 방법이다. 그러나, 용락(burn-through) 및 수소 균열이



Fig. 4. An example of cutting the defected pipe and replacing with new pipe.



Fig. 5. Examples of the repair using a steel plate patch.



Fig. 6. Composite repair of pipeline elbow.

발생할 수가 있어 숙련된 용접사라 할지라도 안전을 위해 주의가 요구되는 보수 방법이다[3,9].

라. 복합재 보수

배관의 손상된 부분을 금속대신 탄소섬유 또는 유리섬유와 같은 복합재료로 여러겹으로 감싸 결함을 보수하는 방법이다. Fig. 6과 같이 복합재 보수는 곡관이나 피팅류에도 적용이 가능하다[7, 9].

3.2. 보수 방법 안전성 검토

본 연구에서는 육성용접, A형 슬리브, B형 슬리브, 복합재 보수 및 패치 보수 방법 등 5개의 보수방법에 대한 안전성을 검토하였다.

가. 육성용접 검토

육성용접은 앞서서도 언급한 바와 같이 용락의 위험



Fig. 7. An example repair with deposited welding metal.

Table 4. Wall thickness for unlikely occurrence of burn-through[3]

내압 (MPa)	가스 유속(m/s)			
	0	1.5	3.0	6.1
0.10	8.13mm	-	-	-
3.45	7.62mm	6.86mm	6.10mm	5.21mm
6.20	7.11mm	5.97mm	4.83mm	3.81mm

이 있기 때문에 주의해야 하는 용접방법이다. Fig. 7은 육성용접 실험중 용락이 발생하여 모재의 뒷면에 비드가 형성된 모습이다. 따라서, 육성용접 보수는 숙련되지 않은 용접사가 수행할 수 있는 보수방법으로서 적절하지 않은 것으로 판단되었다.

ASME 31. 8에서도 육성용접은 수소균열 및 용락(burn-through)의 우려가 있어서 배관의 최소 잔류두께가 3.2mm 이상인 경우에 시행하도록 하고 있으며, 압력 및 유속이 증가할수록 용락가능성이 감소한다고 규정하고 있다[3]. 또한, Table 4와 같이 전압 20V 전류 100A에서 0.1MPa 배관의 경우 배관의 두께가 8.13mm 이상이 되어야 용락의 위험이 적은 것으로 명시하고 있다[3].

김영표 등은 “가압상태 가스배관 보수를 위한 슬리브덮개 및 육성용접 방안에 관한 연구”에서 육성용접시 용접입열이 증가함에 따라 용입깊이 및 열영향부 깊이가 증가한다고 하였다[8].

나. 슬리브 보수

슬리브 보수는 배관의 손상된 부분을 감싸도록 전체 원주를 덮는 슬리브로 결함을 보수하는 방법이다. 김영표 등은 슬리브 덮개의 B형 슬리브의 필릿용접부는 배관인장강도의 87% 정도를 견딜 수 있음을 실험으로 확인[8] 하였고, 한국가스공사는 Fig. 8과 같이 슬리브 용접 보수된 배관에 대하여 250bar의 내압시험을 실시하여 이상이 없음을 확인하였다[15].



Fig. 8. Hydraulic test result after Type A(right side) and Type B(left side) sleeve repair[15].



Fig. 9. Installation of composite sleeve(left) and hydraulic test result after composite sleeve repair.

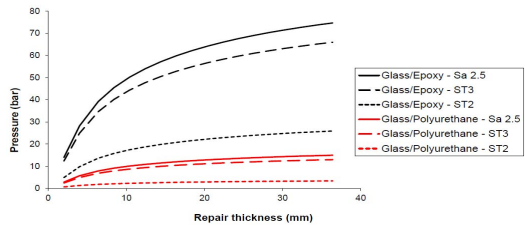


Fig. 10. Design pressure against repair thickness[7].

다. 복합재 보수 검토

복합재 보수 방법은 ISO/TS 24817과 ASME PCC-2 Articles 4.1, 4.2에서 규정하고 있는 배관 보수 방법으로 이미 미국 등에서는 배관 보수방법으로 안전성이 검증된 방법이다.

김한상 등은 “탄소 섬유 복합재료로 보수된 가스배관의 구조 해석”에서 복합재료로 보수배관의 안전성평가의 기본 단계로서 유한요소법을 이용한 구조해석을 수행하였으며, 복합재료의 두께가 커질수록 손상부의 최대응력이 감소하고 선형형태로 줄어드는 것을 확인하고, 결함부를 보수할 때에는 두께를 가급적 두껍게 시공하는 것이 안전성이 향상된다고 하였다[12].

Fig. 9의 왼쪽 그림은 미국의 실제 현장에서 사용되고 있는 복합재 보수의 예를 보여주고 있으며, 오른쪽 그림은 가스공사에서 복합재 보수 후 내압시험을 한 결과 이상이 없음을 보여주는 사진이다.

Fig. 10은 25mm의 결함이 있는 배관을 복합재로 보수하고, 복합재 보수 두께에 따른 설계압력을 보여주고 있다[7].

라. 패치(패드) 보수

패치 보수는 도시가스사업자가 긴급작업시 임시 보수 등으로 사용하는 방법으로, 캘리포니아주정부가 허용하는 패치 보수 방법에서는 최고사용압력이 60psi(0.4MPa) 이하인 곳에 적용하도록 하고 있다.

또한 PRCI 배관보수매뉴얼에서도 패치보수는 길이방향 필렛용접부에서 7회나 누출이 발생하였으므로 높은 스트레스를 받는 배관에는 사용하지 않도록 하고 있으며[9], ASME B31.8-2010[3]에서는 항복강도(SMY; specified minium yield stress)가 276MPa(40,000psi) 이하인 배관에 대하여 패치보수용접을 할 수 있다고 규정하고 있다[3].

아울러, 캐나다의 CSA Z662-07에서는 항복강도(SMY; specified minium yield stress)가 317MPa ~ 386MPa 인 배관에 대하여 영구보수로서 패치용접보수를 사용할 수 있다고 규정하고 있다[18].

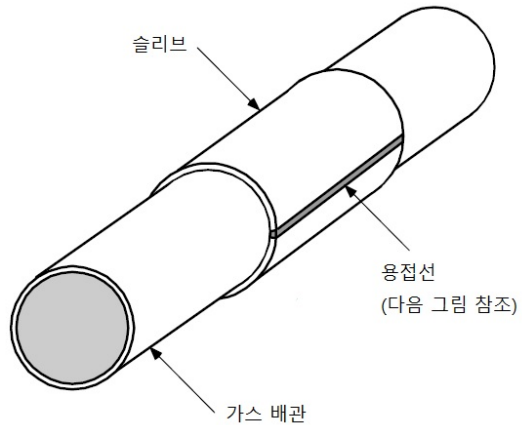


Fig. 11. Illustration of a Type A sleeve[7].

IV. 매설배관 보수 기준 개발

손상된 가스배관은 손상 형태, 손상 부위, 손상부 크기 및 배관의 운전조건에 따라 현상유지, 보수 또는 교체 등을 결정해야한다. 앞에서 살펴본 바와 같이 국외에서 사용중인 배관의 보수 방법은 슬리브 이용방법(Type A, Type B, 에폭시 슬리브), 복합재 보수방법, 육성용접 외에도 그라인딩, 핫탭핑(hot tapping), 기계적 클램프 방법 등이 있다. 그러나 국내에서는 배관 보수 기준이 마련되어 있지 않다. 따라서, 본 연구에서는 국내외의 자료조사 및 분석결과를 토대로 국내에서 효율적으로 이용가능한 배관의 보수 및 보강 방법에 대한 기준을 제시하였다.

4.1. 전처리

- (1) 보수를 실시하기 전에 부식 손상부는 산화물, 스케일, 코팅, 습기 기타 오염물로부터 깨끗이 하도록 한다.
- (2) 응력 집중이나 균열의 전파를 피하기 위하여, 또는 용접 작업에 적합한 모양을 가지도록 할 필요가 있는 경우 손상부를 그라인딩 한다. 이 경우 배관 모재의 두께 감소를 최소화하도록 한다.
- (3) 배관에 부식이 발생한 경우 초음파두께 측정기, 깊이게이지 등을 이용하여 배관의 잔류 두께를 측정하고 기록한다.

4.2. A형 슬리브 보수(Type A Sleeve)

A형 슬리브보수는 전체원주를 덮는 슬리브로 배관의 손상된 부분을 감싸도록 하는 보수방법으로써 Fig. 11과 같이 축방향으로는 용접하나, 원주방향으로는

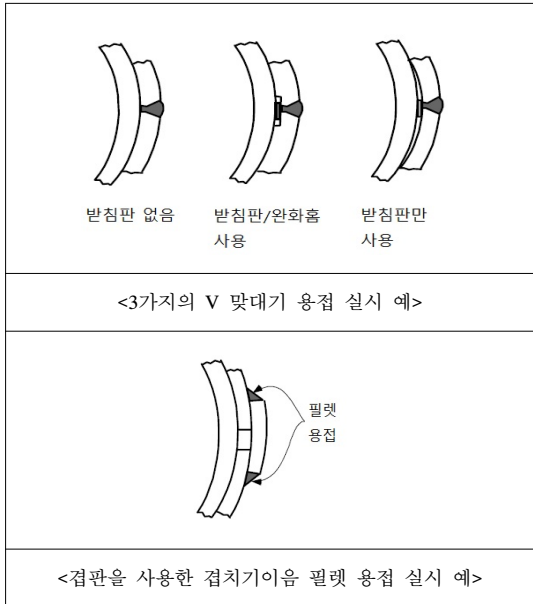


Fig. 12. Weld details for Type A sleeve[7].

용접을 하지 않는 보수방법이다.

가. 보수 대상

A형 슬리브용접으로 보수할 수 있는 대상은 다음과 같다.

- (1) 공급중인 배관에 적용 가능
- (2) 배관 잔류두께가 배관 두께의 20% 이상 또는 KGS FS551 2.5.4.1 식(2.2)에서 규정하는 배관최소 두께(t) 중 큰 값에 해당하는 경우

- (3) 원주용접 결합, ERW 심 용접부 결합을 제외한 누출이 발생하지 않은 결합의 보수에 적용
- (4) 외부부식에 적용 가능
- (5) 길이방향의 결합(원주방향의 결합은 부적정)

나. 보수 허용 기준

A형 슬리브용접으로 보수할 수 있는 배관은 다음을 모두 만족하는 경우로 한다.

- (1) 슬리브의 재질은 보수대상 배관과 동일한 것으로 한다.
- (2) 슬리브의 두께는 보수대상 배관과 동등 이상이어야 한다.
- (3) 벙클(buckle) 또는 주름(wrinkle)이 아닌 결합에 적용한다.
- (4) 슬리브가 배관에 밀착되도록 한다. 다만, 배관과 슬리브 사이에 공간이 발생하는 경우에는 에폭시나 폴리에스테르와 같은 충전재로 채운다.

다. 보수시 고려사항

- (1) 심용접된 배관의 축방향 용접선이 있는 경우에는 슬리브가 배관에 밀착되도록 다음 방법 중 하나를 사용한다.
 - ① 배관의 최고사용압력의 80%를 넘지 않도록 공급압력을 낮추고 축방향 용접선을 그라인딩 한다.
 - ② 슬리브에 배관의 용접선 크기에 해당하는 홈을 가공한다. 다만, 이 경우에도 가공한 슬리브의 두께는 보수대상 배관의 두께 이상이어야 한다.
 - ③ 두 개의 슬리브 사이의 공간으로 배관의 용접선이 지나가도록 배열하고 두 개의 슬리브는 곁관을 이용하여 겹치기 이음 필렛 용접 방법으로 연결한다.
 - ④ 슬리브와 배관의 용접선을 지나면서 생기는 사이의 공간을 에폭시나 폴레에스테르와 같은 충전재로 채운다.
- (2) 슬리브의 길이는 최소 100mm 이상으로 하고, 슬리브의 양 끝단은 손상부의 양 끝단으로부터 최소 50mm 이상 떨어지도록 한다.
- (3) 용접부에는 KGS GC205에 따른 비파괴 시험을 실시한다.

라. A형 슬리브 보수 자격

A형 슬리브 보수를 할 수 있는 자는 용접기능사 이상의 자격을 갖추고 법 제26조에 따라 도시가스사업자가 정한 안전관리규정에 따른 보수 작업절차 및 작업요령을 숙지한 자로 한다.

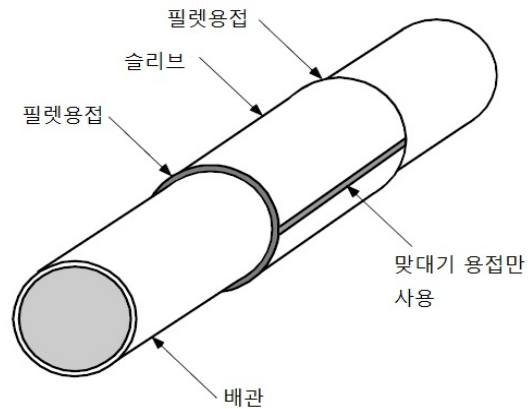


Fig. 13. Illustration of a Type B sleeve[7].

4.3. B형 슬리브 보수(Type B Sleeve)

B형 슬리브 보수는 전체원주를 덮는 슬리브로 배관의 손상된 부분을 감싸도록 하는 보수방법으로써 Fig. 13과 같이 축방향으로 용접할 뿐만 아니라 원주방향으로도 용접을 하는 보수방법이다.

가. 보수 대상

B형 슬리브용접으로 보수할 수 있는 대상은 다음과 같다.

- (1) 공급중인 배관에 적용 가능
- (2) 누출이 발생한 결합의 보수에 적용
- (3) 운전압력을 견딜 수 있도록 보수해야 하는 배관에 적용
- (4) 외부부식, 내부부식, 덴트(함몰), 응력부식의 보수에 적용

나. 보수 허용 기준

B형 슬리브용접으로 보수할 수 있는 배관은 다음을 모두 만족하는 경우로 한다.

- (1) 슬리브의 재질은 보수대상 배관과 동일한 것으로 한다.
- (2) 슬리브의 두께는 보수대상 배관과 동등 이상이어야 한다.
- (3) 슬리브의 항복강도는 보수대상 배관의 강재와 같거나 큰 것으로 한다.
- (4) Buckle 또는 Wrinkle이 아닌 결합에 적용한다.

다. 보수시 고려사항

- (1) 슬리브는 보수대상 배관에 밀착되도록 설치한다.
- (2) 심용접된 배관의 축방향 용접선이 있는 경우에는 슬리브가 배관에 밀착되도록 다음 방법 중 하나를 사용한다.

나를 사용한다.

- ① 배관의 최고사용압력의 80%를 넘지 않도록 공급압력을 낮추고 축방향 용접선을 그라인딩 한다.
- ② 슬리브에 배관의 용접선 크기에 해당하는 홈을 가공한다. 다만, 이 경우에도 가공한 슬리브의 두께는 보수대상 배관의 두께 이상이어야 한다.
- (3) 누출이 있는 손상부를 보수하는 경우에는 누출되는 가스에 의해 점화되지 않도록 벤트 등의 안전조치를 실시한 후 보수작업을 한다.
- (4) 두 개의 B형 슬리브간의 간격은 배관 외경의 1/2 이상으로 한다.
- (5) 슬리브의 길이는 최소 100mm 이상으로 하고, 슬리브의 양 끝단은 손상부의 양 끝단으로부터 최소 50mm 이상 떨어지도록 한다.
- (6) 축방향 용접은 WPS(용접절차사양서)에 따라 맞대기 용접을 실시하며, A형 슬리브의 경우와 달리 겹치기 이음은 사용하지 않는다.
- (7) 맞대기 용접을 위해서 슬리브의 배관축방향 모서리면의 각도는 60도를 이루도록 한다.
- (8) 슬리브와 배관사이 필렛 용접은 배관에 손상부가 없고 용락이 발생하지 않을 정도로 충분한 배관 두께가 확보된 경우에만 실시한다.
- (9) 필렛 용접을 위해서 슬리브의 양 끝모서리면은 수직으로 가공되어야 한다.
- (10) 용접부에는 KGS GC205에 따른 비파괴 시험을 실시한다.

라. B형 슬리브 용접 자격

B형 슬리브 보수를 할 수 있는 자는 용접기능사 이상의 자격을 갖추고 법 제26조에 따라 도시가스사업자가 정한 안전관리규정에 따른 보수 작업절차 및 작업요령을 숙지한 자로 한다.

4.4. 복합재료 보수(Composite Sleeve)

복합재료 보수는 Fig. 14와 같이 유리섬유 또는 탄소섬유와 같은 복합재료를 여러겹으로 감싸 결함을 보수하는 방법으로써 설치시간이 빠르며, 취급하기 쉬운 보수 방법이다.

가. 보수 대상

복합재료로 보수할 수 있는 대상은 다음과 같다.

- (1) 공급중인 배관에 적용 가능
- (2) 배관 외면 및 내면 결함의 보수에 적용
- (3) 부식결함의 보수에 적용
- (4) 누출이 없는 부식 손상 배관의 보수에 적용

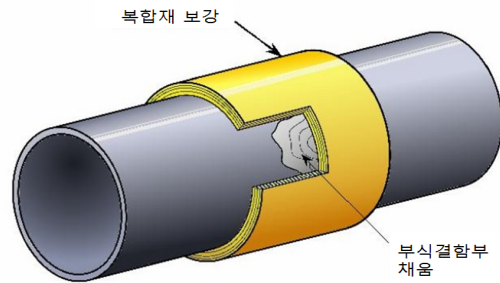


Fig. 14. Illustration of the Composite sleeve repair system[7]

- (5) 배관 잔류두께가 배관 두께의 20% 이상 또는 KGS FS551 2.5.4.1 식(2.2)에서 규정하는 배관최소 두께(t) 중 큰 값에 해당하는 경우

나. 보수 허용 기준

복합재료로 보수할 수 있는 배관은 다음을 모두 만족하는 경우로 한다.

- (1) 부식에 의한 손상으로 배관의 금속재가 손실되었을 경우
- (2) 복합재료별 제조사가 제시하는 검증된 설계데이터와 현장 데이터가 있는 경우

다. 보수시 고려사항

- (1) 복합재 보수를 시행할 때는 벤딩 응력을 고려한다.
- (2) 복합재료는 제조사가 최소 50년의 수명을 보장하는 것을 사용한다.
- (3) 자외선 영향을 받는 곳에는 사용하지 않는다.
- (4) 슬리브의 양 끝단은 손상부의 양 끝단으로부터 최소 50mm 이상 떨어지도록 한다.

라. 보수 자격

복합재 보수자격은 해당 제품의 제조자로부터 보수 교육을 받고, 제조사가 보수능력이 있다고 인정하는 자로 한다.

4.5. 육성용접(Deposited Weld Metal)

육성(적층)용접이란 배관의 손상된 부분을 용접으로 채워서 결함을 제거하고 배관의 연속성과 기능을 회복하는 보수 방법을 말한다.

가. 보수 대상

육성용접으로 보수할 수 있는 대상은 다음과 같다.

- (1) 운전중인 배관에 적용 가능
- (2) 외면부식결함의 보수에 적용(일반적으로 부식

결합의 보수에 적용하며, 균열결합과 배관 곡률을 변화시킨 결합의 보수에는 사용하지 않는다.)

- (3) 부식의 크기가 작은 결합에 사용
- (4) 곡관 및 관이음매(피팅)와 같이 전체 원주를 덮는 슬리브의 사용이 불가능한 곳에 적용

나. 보수 허용 기준

육성용접을 할 수 있는 배관은 다음을 모두 만족하는 경우로 한다.

- (1) 부식에 의한 손상으로 배관의 금속재가 손실되었을 경우
- (2) 결합부에서의 배관의 최소 잔류두께가 3.2 mm 이상인 경우
- (3) 전기저항용접 심(ERW seam) 또는 심 근처의 결합이 아닌 경우
- (4) 균열(크랙)결합과 배관 곡률을 변화시킨 결합이 아닌 경우
- (5) 곡관 및 관이음매(피팅)와 같이 전체 원주를 덮는 슬리브의 사용이 곤란한 경우
- (6) 취성 파괴에 민감한 배관에는 사용 불가
- (7) 최소 배관 두께가 8mm 이상인 경우

다. 보수시 고려사항

- (1) 수소균열을 최소화하기 위하여, 템퍼-비드 육성용접 절차를 따른다.
- (2) 용접봉은 저수소계 용접봉을 사용한다.
- (3) 육성용접의 자세는 가능한 한 하향자세로 하고, 불가능한 경우에는 하부에서 상부로 작업한다.
- (4) 육성용접시에는 용락(burn-through)이 발생하지 않도록 한다.
- (5) 잔존두께가 얇을 때에는 입열량이 잔존두께에 적합하도록 제한하는 절차에 따라 직경이 작은 전극봉을 사용한다.
- (6) 압력 및 유속이 증가할수록 용락가능성은 감소하며, 전압 20V 전류 100A에서 실제 배관 두께가 Table 4의 두께 이상일 때 용락 발생율이 적음을 고려하여 육성용접을 실시한다.
- (7) 보수가 끝난 표면부는 초음파검사에 적합하도록 한다.

라. 육성용접 보수 자격

육성용접을 할 수 있는 자는 용접기능사 이상의 자격을 갖추고 법 제26조에 따라 도시가스사업자가 정한 안전관리규정에 따라 육성용접 작업절차 및 작업요령을 숙지한 자 또는 API 1104(19판 이후 버전) 부록 B에 따른 자격을 갖춘자로 한다.

4.6. 패치 보수

패치(패드) 보수란 배관의 손상된 부분을 동등이상의 설계 강도를 갖는 강판을 이용하여 필렛 용접하여 보수하는 방법을 말한다.

가. 보수 대상

패드 용접 보수 대상은 다음을 모두 만족하는 배관으로 한다.

- (1) 보수대상 배관의 항복강도(SMYS)가 276MPa 이하인 배관
- (2) 부식으로 손상된 배관
- (3) 최고사용압력이 0.4MPa 이하인 배관, 다만, 임시 보수의 경우에는 1MPa미만인 배관

나. 보수 허용 기준

패드 용접 보수는 다음을 모두 만족하는 것으로 한다.

- (1) 패치의 재질은 보수대상 배관과 동일한 것이어야 한다.
- (2) 패치의 두께는 보수대상 배관과 동등이상이어야 한다.
- (3) 패치의 모서리는 둥근 형상이어야 한다.
- (4) 패치의 길이는 보수대상 배관 둘레의 1/2 이하이어야 한다.
- (5) 패치와 패치 사이의 간격은 최소 760mm 이상이어야 한다.

다. 보수시 고려사항

- (1) 심용접된 배관의 축방향 용접선이 있는 경우에는 패치를 부착하지 않는다. 다만, 임시보수를 할 때에는 축방향 용접선을 그라인딩 한 후 설치할 수 있다.
- (2) 누출이 있는 손상부를 보수하는 경우에는 누출되는 가스에 의해 점화되지 않도록 벤트 등의 안전조치를 실시한 후 보수작업을 한다.
- (3) 필렛 용접은 배관에 손상부가 없고 용락이 발생하지 않을 정도로 충분한 배관 두께가 확보된 경우에만 실시한다.
- (4) 패치의 크기는 최소한 결합 크기의 2배 이상으로 하고, 패치는 결합의 중앙에 위치하도록 한다.
- (5) 용접은 도시가스사의 WPS에 따라 실시한다.
- (6) 용접부에는 KGS GC205에 따른 비파괴 시험을 실시한다.

라. 보수 자격

패드 용접 보수를 할 수 있는 자는 용접기능사 이상의 자격을 갖추고 법 제26조에 따라 도시가스사업자가 정한 안전관리규정에 따라 패치용접 작업절차 및

작업요령을 숙지한 자 또는 API 1104(19판 이후 버전) 부록 B에 따른 자격을 갖춘자로 한다.

4.7. 교체 보수

교체란 손상된 배관을 원통(cylinder) 형태로 절단하고 동등 이상의 설계 강도를 갖는 배관으로 교체하는 보수 방법으로서 가장 완전한 보수 방법이다.

가. 보수 대상

교체 보수 대상은 다음과 같다.

- (1) 가스공급 중단이 가능한 경우에 사용
- (2) 모든 결함에 사용 가능

나. 보수 허용 기준

- (1) 교체되는 배관(단관)의 재질은 보수대상 배관과 동일한 것이어야 한다.
- (2) 교체되는 배관(단관)의 두께는 보수대상 배관과 동등이상이어야 한다.

다. 보수시 고려사항

교체 보수의 용접 및 검사방법 등은 KGS FS551의 배관의 시설 및 검사기준(2. 시설기준 및 4. 검사기준)을 따른다.

4.8. 보수방법 선정

굴착현장에서 결함이 발견된 경우 결함이 발생한 배관은 다음과 같이 임시보수 또는 영구 보수를 실시한다.

- (1) 인명 및 재산을 보호하기 위하여 즉시 법 제26조에 따라 도시가스사업자가 정한 안전관리규정에 따라 임시 보수작업을 실시한다.
- (2) 영구 보수를 할 때에는 다음 순서에 따라 보수방법을 선정하고 배관을 보수한다.
 - ① 결함이 발생한 배관은 공급중단이 가능한 경우 절단 후 교체 보수한다.
 - ② 공급중단이 불가능한 경우 4.2 및 4.3에 따른 슬리브 보수 또는 4.4에 따른 복합재 보수를 실시한다. 다만, 4.5에 따른 육성용접보수 또는 4.6에 따른 패치 보수가 가능한 경우에는 이를 사용할 수 있으며, 누출이 없는 결함의 경우 4.2에 따른 A형 슬리브 보수 또는 4.3에 따른 B형 슬리브 보수를 실시할 수 있다.

4.9. 보수절차

보수방법을 선정된 후 보수방법별 보수 절차는 법 제26조에 따라 도시가스사업자가 정한 안전관리규정을 따른다.

4.10. 보수 보강부 피복(코팅)

배관보수 및 검사가 종료된 후에는 KGS FS551 부록 D의 매설배관 이음부 현장도복 실시방법에 따라 배관을 피복한다.

4.11. 보수결과 기록 보존

배관을 보수한 경우에는 보수내용, 비파괴검사 결과서, 비파괴 필름 및 보수사진(배관 피복 사진 포함)을 5년간 보관한다.

V. 결 론

매설배관에 결함이 발생되었을 때 취할 수 있는 가장 일반적이고 완전한 보수방법은 공급중인 가스를 차단하고, 배관내부의 가스를 방출시킨 후 손상된 배관을 절단하고 새로운 배관을 연결시키는 방법이다. 이 방법은 천연가스를 대기중에 방출시킴에 따라 온실가스로 인한 대기오염은 물론 가스공급을 중단함으로써 안정적인 공급이 불가능하고 경제적인 손실을 초래하게 된다. 또한, 가스공급 중단이 불가능한 경우에는 절단 및 교체 보수 방법은 사용할 수 없으므로 대체 보수방법이 필요하다.

미국, 영국 등에서는 가스를 공급하고 있는 상태에서 배관을 보수하는 방법에 대하여 규정하고 있으며, 각국의 도시가스회사 등은 보수방법 및 절차를 마련하여 운용하고 있다. 또한, 배관뿐만 아니라 배관 이음매(레듀서, 티 등)에 용접할 수 있는 슬리브(Type B)를 제작하여 판매하는 회사도 있다. 그러나 국내의 경우 도시가스사업법령 및 KGS 코드에 배관의 보수 및 보강 기준을 규정하고 있지 않으므로, 도시가스사업자는 정밀안전진단 결과에 따라 배관을 보수 또는 보강하도록 지시받은 경우 배관을 교체하는 방법만을 사용할 수 밖에 없는 실정이다.

본 연구에서는 도시가스 매설 배관의 보수 및 보강 방법에 대하여 연구하고 그 기준을 제시하였다. 기존의 배관 손상부위를 절단한 후 단관을 삽입하는 배관 교체방법은 경제적 손실과 함께 가스공급 중단 및 가스방출에 따른 손실을 유발하지만, 본 연구에서 제안한 육성용접, 슬리브 및 복합재료 등을 이용한 보수기준은 가스공급을 중단하지 않고 손상된 배관을 보강하거나 보수할 수 있으므로 가스의 안정적 공급에 기여할 뿐만 아니라 배관의 건전성을 유지하는 데에도 기여할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지

기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 것(과제번호 20132010500030)으로 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- [1] Urban gas business enforcement regulation, (2013)
- [2] KGS, FS551 "Facility/Technical/Inspection/ Safety Diagnosis Code for Pipes Outside of Producing and Supplying Places of Urban Gas Business" (2016)
- [3] ASME B31.8, Gas Transmission and Distribution Pipong Systems (2010)
- [4] API RP 1107, Pipeline Maintenance Welding Practices (1997)
- [5] ASME B31.8S, Managing System Integrity of Gas Pipelines (2004)
- [6] BS 6990, Code of practice for welding on steel pipes containing process fluids or their residuals(1989)
- [7] Simon Frost, "Codes and Standards for Composite Repair Systems", (2011)
- [8] Young-pyo Kim, Jong-hyun Baek, Woo-sik Kim, "Development of sleeve and direct deposit welding procedure for repair on pressurized gas pipeline", *KWJS Conference* (1998)
- [9] PRCI, Pipeline Repair Manual, (2006)
- [10] HSE, Temporary/permanent pipe repair Guidelines, (2001)
- [11] GL group, "Epoxy Repair Sleeve", (2009)
- [12] GL group, "Grouted Tee Connection", (2009)
- [13] Trade up, "Gas leak repair method for buried pipeline", *SETEC exhibition* (2016)
- [14] Sungho Park, Hansang Kim, "Structural Analysis of Gas Pipeline Repaired by Carbon Fiber Composite Materials", *KIGAS Vol. 18 No. 2*, pp62~68 (2014)
- [15] KOGAS, "Gas Pipeline Repair Method" Gas technology trend, (2006)
- [16] KGS, "A Development of External Corrosion Direct Examination Measures for Urban Gas Pipelines", (2011)
- [17] API 1104, Welding of Pipelines and Related Facilities (2001)
- [18] CSA Z662, Oil and gas pipeline systems (2007)
- [19] Young-Don Ryou, Jin-Han Lee, Yung-Ki Yoon, Ho-Seok Lim, "A Development of External Corrosion Direct Examination Measures for Urban Gas Pipelines", *KIGAS Vol. 18 No. 5*, pp12~19 (2014)