



국내 LPG 집단공급시설 환경에 적합한 매몰배관용 과류차단밸브 성능시험 절차 개발

†장찬영 · 이우귀연 · 이진한

한국가스안전공사 가스안전연구원

(2018년 10월 18일 접수, 2018년 11월 27일 수정, 2018년 11월 28일 채택)

Development of Performance Test Procedure for the Excess Flow Valve for Buried Piping for the Domestic LPG Mass Supply System

†Chanyeong Jang · Ugwiyeon Lee · Jinhan Lee

Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation

(Received October 18, 2018; Revised November 27, 2018; Accepted November 28, 2018)

요 약

대한민국 정부에서 2014년부터 LPG배관망과 LPG소형탱크를 도시가스 공급망 개설이 어려운 산간이나 도서지역에 보급하는 사업을 시작했다. 마을단위와 군단위로 LPG집단공급시설을 설치하면서 기존의 가스공급 압력이 아닌 10배 이상의 높은 준저압(25kPa~100kPa)으로 소비자에게 공급하게 되면서 가스사고의 위험성이 높아졌다. 기존의 가스공급압력보다 10배 이상 높은 압력이기 때문에 가스가 누출 되었을 때 빠른 속도로 많은 양이 누출하게 된다. 이에 준저압 가스배관의 안전성 확보를 위해 과류차단밸브가 필요하게 되었지만, 국내에서는 준저압 매몰배관용 과류차단밸브가 미개발되어 있으며 보급 또한 되어 있지 않는 상황이다. 이에 한국가스안전공사에서는 과류차단밸브의 국산화를 위해 과류차단밸브를 기개발한 해외의 성능기준과 제품을 조사 중에 있으며, 과류차단밸브의 성능평가를 위해 성능시험설비를 구축하여 준저압 연료가스 매몰배관용 과류차단밸브를 연구·개발 중에 있다.

Abstract - Since 2014, the Korean government has begun distributing LPG pipelines and LPG tankers to mountainous or island areas where it is difficult to open urban gas supply chains. When installing LPG supply facilities at village level and county level, it supplied consumers with 10 times higher quasi-low pressure (25 kPa to 100 kPa) than conventional gas supply pressure, increasing the risk of gas accident. Due to the pressure that is 10 times higher than the conventional gas supply pressure, large amounts of gas are released at a faster rate when leaked. In order to secure safety of quasi-low-pressure gas pipes, excess flow valves for quasi-low-pressure gas pipes are not developed and are not supplied in Korea. Therefore, Korea Gas Safety Corporation is investigating the performance standards and products of the excess flow valves in order to localize the excess flow valves.

Key words : excess flow valve, LPG, burial pipe

†Corresponding author:jcy0630@kgs.or.kr

Copyright © 2018 by The Korean Institute of Gas

I. 서론

2013년 5월 11일, 서울 금천구 가산동의 한 가스 배관(Fig. 1. 참조)에서 가스가 새어나와 화재사고가 발생하였다[1]. 재산피해는 500만원으로 주변 나무, 광케이블 등이 연소 되었다[1]. 사고원인은 가스사업자의 직원이 입회 되지 않은 상태에서 사고 지점의 굴착작업을 진행하였고, 약 1.4m 깊이에 매설된 직경 80mm의 가스배관을 손상시켜 가스누출이 발생하였다[1]. 만약, 굴착작업도중 배관을 손상시킬 지라도 가스 누출을 막았더라면 피해를 줄일 수 있었을 것이다.

다른 화석연료보다 연소효율이 좋으며, 저장·수송이 쉬운 산업 전반부에 연료가스가 사용되고 있지만, Table 1.와 같이 폭발·화재 등 큰 사고로



Fig. 1. Gas pipe exposed damage point and gas leakage fire point.[1]

Table 1. Types of accidents in the last five years in Korea[1]

구분	2013	2014	2015	2016	2017
계	121	120	118	122	121
폭발	57	48	42	51	34
누출	16	26	18	24	29
화재	34	26	25	21	33
과열	8	14	24	17	15
CO중독	3	6	6	7	9
산소결핍	3	-	2	2	1

이어질 수 있다는 단점이 있다[1]. 폭넓게 이용되고 있는 연료가스를 안전하게 사용하기 위해서는 가스 누출로 인한 사고를 예방하며 안전성을 확보할 수 있는 안전장치가 필요하다[2]. 위의 사고 예시처럼 가스 배관이 파손되어도 가스 누출을 방지해줄 수 있는 안전장치가 과류차단밸브(Excess Flow Valve, EFV)이다[2].

배관이 파손 되는 원인은 크게 3가지로 나뉘는데 타공사로 인한 매물 인입배관 파손(Fig. 1. 참조), 차량 등에 의한 입상배관 파손, 건물 내 배관의 파손이 있다[3]. 과류차단밸브는 가스배관의 파손 등으로 인해 배관 내에서 과류가 흐를 때 Fig. 2와 같이 가스의 흐름을 자동으로 차단해주는 안전장치이다[3]. 가스가 차단됨으로서 가스 누출로 인한 화재와 폭발, 질식사고 등 대형 사고를 예방하며 재산과 인명피해를 줄일 수 있다[3].

과류차단밸브는 크게 매물주배관용, 노출 금속관용, 매물인입과용으로 3종류로 분류가 된다[3].

매물 주배관용은 주공급 배관에 설치하여 공급 배관이 파손되어도 가스누출을 방지하는 밸브인데, 주공급 배관을 차단하게 되면 대규모 공급 차단이 생기게 되어 널리 사용되는 밸브는 아니다[4]. 노출 금속관용은 보일러, 가스렌지, 난방기 등에 연결하는 배관에 설치하는 밸브이다. 배관의 파손으로 과류가 발생할 때 자동으로 가스 차단하며[5], 국내에서는 퓨즈콕이 노출금속관용을 대체되어 사용되고 있다[6]. 마지막으로 매물인입배관용은 Fig. 3.와 같이 주공급 배관으로부터 분기되는 배관에 설치되어 분기배관이 파손되어 가스 누출되는 것을 방지하는

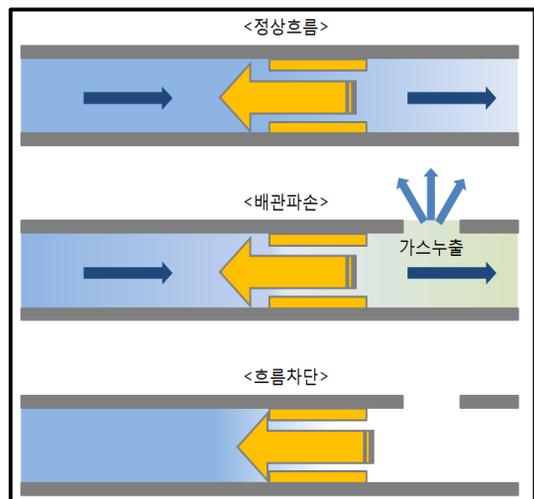


Fig. 2. Operational structure of excess flow valve.[3]

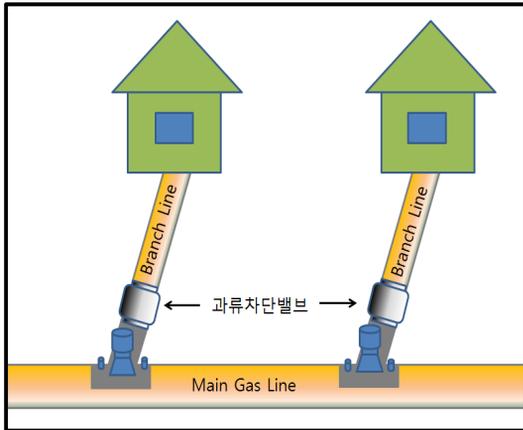


Fig. 3. Installation spot in LPG pipeline.

안전장치이다. 과류차단밸브를 분기배관의 최전단에 설치하여 설치된 최전단부터 분기배관 후단까지 파손으로 인한 가스 누출을 방지 할 수 있다[4].

국내에서는 2014년부터 정부의 에너지복지사업으로 산간, 도서지역 같이 도시가스 공급망 개설이 어려운 지역에 값싼 에너지를 공급하기 위해 LPG 집단공급시설을 공급하고 있다[7]. 이 사업은 마을 단위, 군단위로 LPG배관망과 LPG소형탱크를 공급하는데 가스공급압력이 도시가스처럼 저압(2.5kPa)이 아닌 준저압(25kPa~100kPa)으로 공급하게 된다[7]. 기존의 도시가스의 공급압력은 저압이기 때문에 배관이 파손되더라도 가스의 누출량이 적어 가스 누출을 방지해주는 과류차단밸브의 필요성이 적었다. 하지만 이번 사업의 가스의 압력은 준저압으로, 기존 도시 가스 공급압력의 10배 이상이므로 가스가 누출 되었을 때 큰 폭발 및 화재사고로 이어질 수 있다[16]. 이에 가스 배관의 안전성 확보를 위해 준저압 연료가스 매몰배관용 과류차단밸브가 필요하게 되었다.

본 기고문은 연료가스 매몰배관용 과류차단밸브와 밸브 성능시험 절차 개발에 대해 간단히 소개한다.

II. 과류차단밸브 현황

2.1. 해외 현황

유럽과 미국은 이미 과류차단밸브의 설치를 법적으로 의무화 하고 있다. 독일은 인입배관에 과류차단밸브를 설치해왔으며, 이를 자국용 과류차단밸브 설치 기준인 DVGW G 5305를 만들어 과류차단밸브의 설치를 의무화하였다[8]. DVGW-TRGI 규정은 천연가스 설비의 설계, 시공, 보수, 서비스에 관

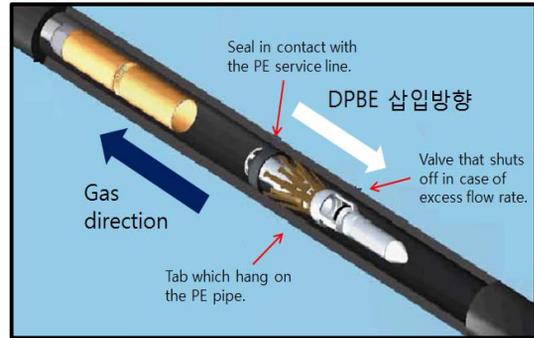


Fig. 4. Ejection of the DPBE in the PE service line.[10]

한 의무 기술 규정으로서 이에 따르면 2.5kPa를 초과하는 도시가스 인입배관에 대해서는 매몰 PE관용 과류차단밸브 설치가 의무화 되어 있다[8]. 국내에서는 퓨즈콕을 사용하듯이 독일에서는 조정기 및 계량기 전단에 노출 금속관용 과류차단밸브를 설치하게 되어있다[8]. 이는 퓨즈콕보다는 다기능 계량기와 더 유사하다고 볼 수 있다.

프랑스의 경우에도 2000년부터 과류차단밸브 설치를 의무화 하여 보급하고 있다[9]. 신규 설치되는 인입배관을 대상으로 과류차단밸브를 의무 설치하고 있지만, 이미 설치된 배관에서는 과류차단밸브를 삽입하거나 제거하는 기술까지 보유하고 있어 과류차단밸브의 보급이 더 수월할 것으로 보인다[10].

오스트리아의 경우는 1992년 4월부터 2004년 10월까지 인입배관에 설치된 26,399개의 과류차단밸브로 인해 공급차질이 발생하지 않았다[11]. 이 기간 동안 총 184건의 인입배관에 문제가 발생하였지만, 그 중 177건 (96.1%)이 과류차단밸브로 인해 가스 누출이 방지되었다[11]. 오스트리아 BEGAS(도시가스사)는 매몰형 과류차단밸브의 설치 및 운전 사례를 공개하고 있으며, 이 자료는 미국의 과류차단밸브의 설치 의무화를 위한 참고자료로 사용되었으며, 현재도 미국 PHMSA(배관 및 위험물질 안전위원회) 웹사이트(www.phmsa.dot.gov)에 관련 자료가 제공되고 있다.

미국은 2006년부터 신규로 설치되는 단독주택 인입배관에 과류차단밸브 설치를 의무화 하고 있으며[12], 2012년에는 집합주택, 소형 상업시설의 분기배관에 설치 의무화하고 있다[12]. 또한, 과류차단밸브의 성능기준(ASTM F 2138-1)과 성능시험 방법(ASTM F 1802-4)을 표준으로 정하여 과류차단밸브를 관리하고 있다[20,21].

Table 2. Serious Incident Cause Breakdown 12 Year Average(1992-2004)[11]

Digger damage	158	85.9%
Inside leaks	7	3.8%
Improper handling	12	6.5%
Manipulations	0	0.0%
Damage too small	7	3.5%
Total	184	100%

Table 3. Improved fuel cost burden

	개선전	⇒	개선후
취사	LPG(용기) : 15kg 31,425원/월	38% 절감	LPG(용기) : 15kg 31,425원/월
난방	보일러등유 : 55L 74,195원/월	33% 절감	LPG(탱크) : 38.7kg 50,078원/월
	105,620원/월	34% 절감	69,488원/월

이처럼 과류차단밸브를 기개발한 국가는 설치 기준에 대한 제정과 제도화를 통해 과류차단밸브를 통해 가스 누출 사고 및 폭발을 방지하고 있다.

2.2. 국내 현황

국내에서의 가스공급 방식은 정압기를 사용하여 일반 소비자에게 공급되기 전에 감압 하여 저압으로 공급한다[13]. 가스누출이 되더라도 유럽 및 북미처럼 고압으로 공급하는 방식보다 상대적으로 안전한 방식이기 때문에 인입배관용 과류차단밸브의 필요성이 적었다. 하지만, 정부의 에너지 복지 사업이 추진되면서 새로운 가스 공급방식이 선택되어 과류차단밸브의 필요성이 높아졌다[14]. 도시가스 공급망 개설이 어려운 산간, 도서지역에 LPG 배관망과 소형저장탱크를 설치하여 Table 3.과 같이 값싼 연료가스를 공급하는 이번 사업은 준저압 공급 방식으로 확대 진행 중에 있다[15].

문제는 기존의 저압방식(2.5kPa)이 아닌 공급압력이 10배 이상되는 높은 준저압(25kPa ~100kPa)으로 소비자에게 공급하게 되면서 가스의 대량누출이 될 수 있다는 것이다. 수식(1)을 보면 이상기체에

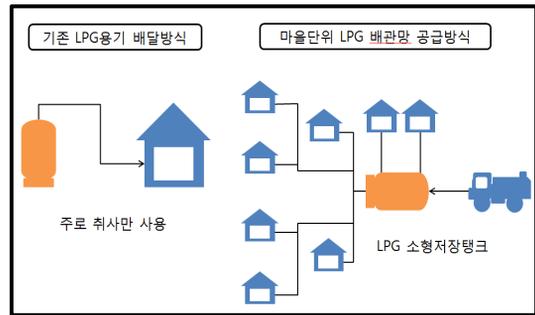


Fig. 5. Village unit LPG Pipe network Supply System.

대한 등엔트로피 팽창을 표현하는 식을 질량유속을 구하는 식으로 변환 한 것으로, 가스의 누출속도는 공급압력에 비례함을 알 수 있다. 높은 압력으로 누출속도가 커지므로 화재, 폭발의 크기도 커지게 되어 위험성이 높아지게 된다[16].

$$\dot{Q} = C_D A P_0 \sqrt{\frac{2MW}{R_g T_0} \frac{\gamma}{\gamma-1} \left[\left(\frac{P}{P_0} \right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{P}{P_0} \right)^{\frac{(\gamma+1)}{\gamma}} \right]} \quad (1)$$

where

\dot{Q} is mass flow rate of gas through the hole(mass/time)

C_D is the discharge coefficient (dimensionless)

A is the area of the hole(length²)

P_0 is the pressure upstream of the hole (force/area)

MW is the gravitational constant (force/mass-acceleration)

M is the molecular weight of the gas(mass/mole)

γ is the heat capacity ratio, C_p/C_v (unitless)

R_g is the ideal gas constant (pressure-volume/mole-deg)

이에 준저압으로 공급되는 배관의 안전성을 확보하기 위한 안전장치가 필요하게 되었고, 한국가스안전공사(이하 KGS)가 국내 업체와 함께 에너지 기술개발사업 일환으로 준저압 매몰배관용 과류차단밸브를 개발 중에 있다[17]. 이 개발 중인 밸브는 PE배관 가스사용 환경 모사 장비와 성능평가 설비를 구축하고 검사하여 빠르면 2019년 중반 늦어도 2020년 초부터는 PE관용으로 보급될 예정이다[17]. 아직 국내에서는 준저압 매몰형 과류차단밸브가 개발되거나 판매되지 않았으며, 매몰배관에 설치한

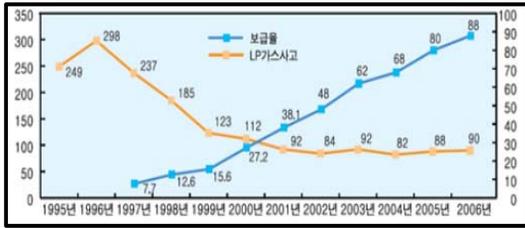


Fig. 6. Fusecock supply rate and trend of LPG accident.[19]

사례가 전무하므로 이 제품이 개발되면 국내 최초로 개발하게 되며 국내에 형성되지 않은 매몰형 과류차단밸브 시장을 창출하게 된다[18].

1997년 때 과류차단기능을 가진 퓨즈콕을 국산화시키면서 사고율을 낮춘 사례가 있다[6]. 1995년 시공감리 제도 도입과 1997년 퓨즈콕 설치의무화 같은 제도화를 도입하였으며 성능검증을 거친 후 보급하여 현재까지 20년간 국산품이 시장을 지배하고 있다. 가스렌지 전단에 설치하여 과류차단밸브 역할을 한 퓨즈콕은 보급된 후 가스사고가 감소하는 결과를 보여주었다[19].

퓨즈콕 사례와 같이 과류차단밸브도 설치기준 표준안(KGS CODE)과 더불어 개발하여 국산화 시키면 외국 제품이 국내 시장을 선점하는 것을 방지할 수 있을 것으로 예상된다. 또한, 내수시장 활성화로 국내 기업 성장을 기대할 수 있으며, 가스배관의 파손으로 인한 가스 사고에 대한 안전성이 확보될 것으로 보인다.

III. 과류차단밸브 성능평가

3.1. 해외 과류차단밸브 성능 인증 기준(ASTM)

과류차단밸브를 기계발한 해외에서는 밸브에 대한 성능 기준도 규정되어 있다. 이 밸브의 대표적인 성능기준은 미국 ASTM(America Society for Testing and Materials)의 ASTM F2138-12과 ASTM F1802-15 이 있다. 이 기준들은 PE배관 설치되는 과류차단밸브에 대한 사양 및 시험에 대한 기준을 제시해준다. ASTM 기준에서는 크게 6가지로 나누어져 있다 [20,21].

과류차단밸브의 가장 기본적인 성능 기준은 차단 유량 측정이다. 과류차단밸브의 차단 작동이 되는 유량 값을 측정하는 데 ASTM기준은 과류차단밸브의 최소 차단 유량 값의 1.5배의 범위 내에서 작동이 되도록 설계 되어야 하는 항목이다[20,21].

누설 또는 바이패스 유량 측정 항목은 과류차단밸브의 종류에 따라 측정한다. 과류차단밸브는 차

Table 4. EFV performance test configuration [20,21]

구 분	성능평가 항목 구성
차단 유량 성능	표시한 최소 차단유량의 1.5배 이하의 유량에서 차단되는 성능을 가짐
누설유량 및 바이패스 유량	바이패스 유량은 0.556 m ³ /hr이하, 누설유량은 0.011 m ³ /hr이하
압력강하	설계압력 조건 내에 설치된 과류차단밸브는 정해진 최대 Pressure Drop을 초과할 수 없음
복귀 성능	바이패스 기능을 가진 제품은 차단 후 복귀되어야 함
스냅동작 하중시험	70kPa의 압력, 최소유량의 75%유량에서 밸브 순간 개방시 차단되지 않는 성능
반복시험	과류차단밸브의 차단과 복귀를 1000회 이상 수행 후 정상 동작 상태 확인

단작동이 이뤄진 후에도 바이패스가 흐르는 EFVB(Excess flow valve bypass)와 바이패스가 흐르지 않는 EFVNB(Excess flow valve non bypass)로 분류된다. EFVB를 시험할 때는 바이패스 유량측정을 하고, EFVNB를 시험할 때는 누설 유량 값을 측정하여 각 밸브의 유량 값을 측정한다. 각 과류차단밸브는 정해진 유량만큼만 흐르도록 기준이 정해져 있어 기준안에서 흐르도록 확인하는 항목이 되겠다 [20,21].

압력강하 측정은 유량이 흐를 때 과류차단밸브의 전·후단에서 압력이 발생하는데 이때의 압력차를 측정하는 항목이다. 압력차가 크면 가스공급압력의 손실이 발생 할 수 있다. ASTM 기준은 이 압력차를 측정하여 압력차가 없는지 확인하는 항목이다.[20,21].

복귀 성능 항목은 EFVB(Excess flow valve bypass)만 테스트하는 항목으로 차단 작동이 일어난 후에 자동으로 복귀하여야 한다. ASTM에서는 정해진 기준을 만족하도록 복귀하는지 파악하며 과류차단밸브의 성능을 시험을 한다[20,21].

스냅동작 하중성능 기준은 차단유량 값의 약 75%를 과류차단밸브에 순간적으로 유량을 주어 과류차단밸브의 작동여부를 확인하는 항목이다[20,21]. 실제로 가스를 공급하는 과정에서 소비자들이 우연히 동시간대에 가스를 소비하여 가스배관 내에 과류가 발생 할 수 있다. 이렇게 발생하는 과류로 인해

과류차단밸브가 작동하지 않도록 스냅동작을 주어 과류차단밸브의 성능을 확인한다[20,21].

ASTM 기준에서는 과류차단밸브의 내구성 기준도 있다. 밸브를 1000번 이상 반복하여도 성능에 이상이 없는지 확인한다. 차단과 리셋의 반복을 하면서 차단 유량 값과 누설 또는 바이패스 유량 값도 같이 계속 측정한다[20,21].

ASTM에서 제시되는 성능시험을 만족한 과류차단밸브의 일반적인 성능은 설계 압력에서는 0.86MPa이며, 설계온도는 -18℃~38℃이다. 또한, 차단 유량 범위는 0.07MPa조건에서 5.66~70.8m³/h가 된다. 성능시험을 할 때는 밸브의 Bypass형과 비 Bypass형을 고려하여야 하며, 밸브의 전단 최대/최소 설계 압력 조건을 고려하여야 한다. 과류차단밸브를 공급 시에는 밸브 몸체 외부에 ASTM F 2138, 제조사, 제조 위치 및 날짜 등을 기재 하며, 과류차단밸브가 내장된 배관을 판매하는 경우는 배관 표면에 위 사항을 기재하고 추가적으로 Bypass기능 유무, 유속 방향, 배관 규격 등을 기재하여야한다[20,21].

3.2. 과류차단밸브 성능 시험 장비 구축

3.2.1. 과류차단밸브 성능 시험장비 구성

KGS에서는 미국 ASTM 기준과 독일 DVGW 기준을 분석하고 국내 LPG 집단공급시설의 현황 및 현장에 맞는 과류차단 개발을 위한 성능 장비를 구축하였다[17]. Fig. 7.은 KGS에서 구축한 과류차단밸브 성능 시험장비로서 5가지 성능항목을 시험할 수 있는 장비이다.

이 성능 시험장비는 과류차단밸브를 탈부착이 가능하도록 설계 하였으며, 시험하고자하는 과류차단밸브의 규격에 맞는 Flange를 결합해야한다. Fig. 8. 과 같이 양쪽 고정형 Flange에 실링 구리스를 얇게 펴서 도포한 뒤 시험 할 PIPE의 외경에 맞는 내

부형 Flange를 결합한다. PIPE를 끼우기 전에 고정형 Flange와 PIPE 끝면에 SEALING 이 될 오링을 세로로 세워서 끼운다. 그 후에 Fig. 9.처럼 왼쪽 고정형 FLANGE를 RAIL을 따라 좌우로 움직일 수 있는데 RAIL을 움직여서 과류차단밸브가 결합 된 PIPE를 연결하면 된다.

시험을 할 때 사고 위험성이 있기 때문에 실제 가스를 사용하는 것이 아니라 Air를 사용하게 되는데, 이는 ASTM 기준과 DVGW 기준에도 명시되어 있다[21,23]. Air로 시험을 한 후 실제 적용되는 대상은 LPG이기 때문에 결과 값이 LPG에 대한 보정변환이 가능하도록 설계되어있다. 이 Air의 압력을 전공레귤레이터로 제어할 수 있어 원하는 압력을 입력하여 시험할 수 있도록 설계 되어 있다. 또한, 에어탱크를 설치하여 압축한 공기를 탱크에 들어오게 만들어 압축 공기를 일정한 압력을 유지할 수 있도록 하였으며, 압력계와 질량유량계는 에어탱크와 과류차단 밸브의 전·후단, 여러 밸브에 설치하여 공기의 유량 및 압력을 측정할 수 있게 하였다. 온도 센서는 과류차단밸브의 전·후단과 유량범위를 선택하는 밸브 전단에 설치하여 온도를 측정할 수 있게 제작하였다. 마지막으로 차압계를 통해 과



Fig. 7. Excess Flow Valve performance test facility in KGS.

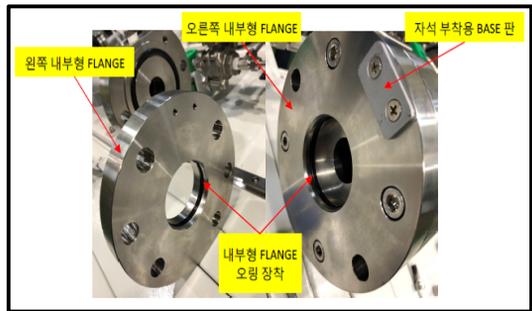


Fig. 8. Flange and Oring of Excess Flow Valve performance test facility in KGS.

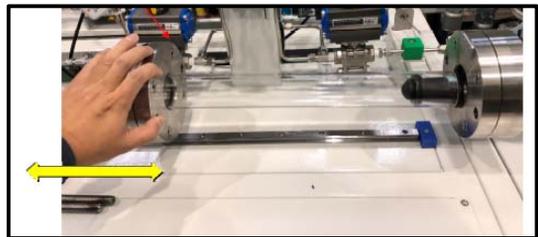


Fig. 9. Flange on rail of Excess Flow Valve performance test facility in KGS.

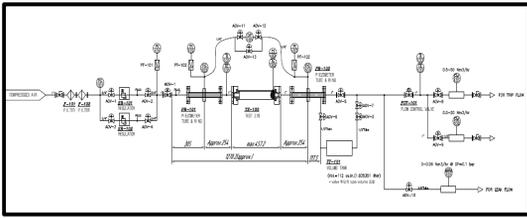


Fig. 10. Design drawing of Excess Flow Valve performance test facility.

류차단밸브의 전·후단 압력차를 구할 수 있게 되어있다.(Fig. 10. 참조)

3.2.2. 과류차단밸브 성능 시험 장비의 시험구성

Fig. 11.은 과류차단밸브 성능 시험 장비의 동작 화면이다. 가운데에 원하는 규격의 과류차단밸브를 탈부착 할 수 있도록 하여 원하는 시험 항목을 선택하여 시험을 할 수 있다. 이 성능시험 장비로 시험 할 수 있는 항목은 차단유량측정, 누설(or바이패스)유량측정, 압력강하, 자동복귀성능, 스냅동작 하중시험이 있다. 이번 시험에서는 PIPE LIFE社의 인입배관용 과류차단밸브를 성능을 평가 하였으며, 밸브의 외경은 63mm로 2.5kPa~100kPa에서 사용되는 과류차단밸브이다.

(1) 차단 유량 성능 평가(Trip Flow Rate Test)

과류차단밸브의 가장 기본적인면서 중요한 평가 항목이다[2]. 차단유량성능(Trip Flow Rate Test) 평가는 과류차단밸브의 차단되는 유량을 측정하는 항목으로 과류가 발생하였을 때 과류차단밸브의 그 차단되기 직전 유량을 측정하게 된다. 측정된 차단 유량은 제조업체가 명시한 최소 차단유량의 1.5배를 초과하지 않도록 한다. 정해진 차단유량에서 차단이 이뤄지지 않으면 배관에서 가스 누출이 되도 가스 차단이 안 될 수 있으며, 반대로 가스 누출이 되지 않는 상황에서 차단이 이뤄지는 오작동이 발생 할 수 있다[20].

(2) 누설(or바이패스)유량 평가(Leak or By-pass Rate Test)

누설(or바이패스)유량 측정은 단독으로 시험할 수 없고 차단유량측정이랑 병행되어 테스트하도록 설계 되어있어서 차단유량 값이 측정 되면 곧 이어서 누설(or바이패스)유량 값이 측정 된다. 누설유량 및 바이패스 유량(Leak & BY-PASS Flow Rate Test)평가는 과류차단밸브의 종류에 따라 누설이나 바이패스 유량이나 정해지게 된다. 밸브는 누설 유량

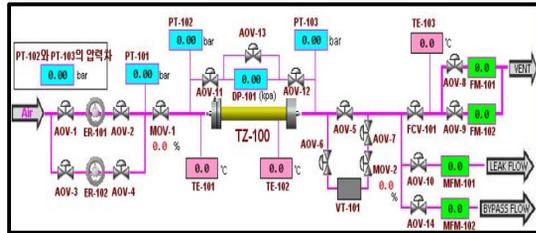


Fig. 11. Excess Flow Valve Performance test equipment operation screen

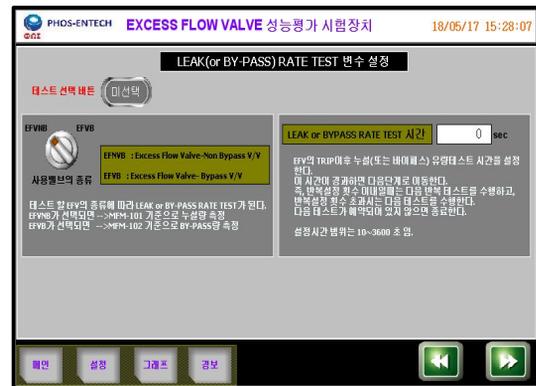


Fig. 12. Leak or By-pass Rate Test Action Screen of Excess Flow Valve performance test facility.

값을 측정하는 EFNVB(Excess Flow Valve-None Bypass V/V)와 바이패스 유량 값을 측정하는 EFVB (Excess Flow Valve-Bypass V/V)로 나뉘게 된다. EFNVB는 가스 차단을 할 때 차단유량이 0에 가깝게 되어야하며, EFVB는 가스 차단이 되었을 때 일부 흐름을 허용하는 밸브이다. 누설유량 측정은 EFNVB가 차단작동 한 후 누설 유량을 측정하며, 바이패스 유량은 EFVB가 차단작동 한 후 BY-PASS유량을 측정하게 된다. 누설유량은 0.011m³/hr를 초과할 수 없으며, 바이패스유량은 0.566m³/hr를 초과할 수 없다[20].

차단유량항목과 누설(or바이패스)유량을 시험을 할 때는 먼저 과류차단밸브가 차단이 예상되는 유량을 포함하는 범위를 설정한다.(0.0~50.0Nm³/hr설정) 그런 다음에 유량조절밸브가 OPEN되는 시간을 설정한다.(1000s 설정) 이때, 시간을 높게 할수록 유량조절밸브가 천천히 열리며 정밀도가 높아진다. 마지막으로 누설(or바이패스)유량 측정을 위해 EFNVB와 EFVB중 하나를 선택한다.(EFNVB 선택)

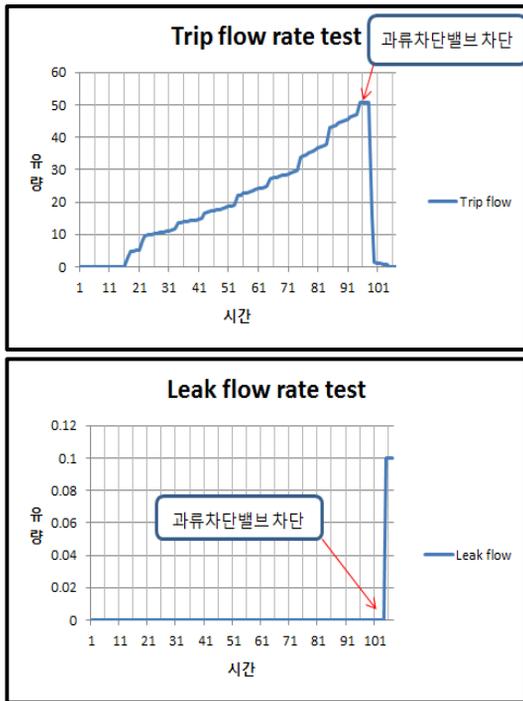


Fig. 13. Trip Flow Rate Test Graph & Leak(or BY-PASS) Rate Test Graph.

시험결과 그래프인 Fig. 13.을 보면 과류차단밸브가 차단유량 값에 이르자 차단작동을 하여 유량 값이 0에 이른 것을 확인할 수 있다. 이어서 누설(or바이패스)유량 그래프를 보면 밸브가 차단하고 차단된 상태에서 밸브로부터 누설되는 유량 값이 측정되는 것을 알 수 있다.

(3) 압력 강하 평가(Pressure Drop Test)

압력강하(Pressure Drop Test)평가는 과류차단밸브가 설치된 후 밸브의 전·후단 압력이 차이가 없는지 확인하는 항목이다. 압력차가 발생하게 되면 공급압력손실이 발생하게 되고, 과류차단밸브 수명이 짧아진다. 압력 차이는 제조사가 표시한 압력강하 이하이어야 한다[20]. Pressure drop test를 시작 전에 2가지 Test모드 중 하나를 선택하여야 한다. Total Test Mode와 System Test Mode가 있는데 Total Test Mode는 과류차단밸브가 장착되어 있는 상태에서 선택하는 모드이고, System Test Mode는 PIPE만 장착되어 있는 상태에서 선택하는 모드이다. 이후 압력강하 시험도 마찬가지로 Pressure drop test하고자 하는 압력과 유량을 설정한 뒤 밸브의 전단과 후단의 압력을 측정한다.

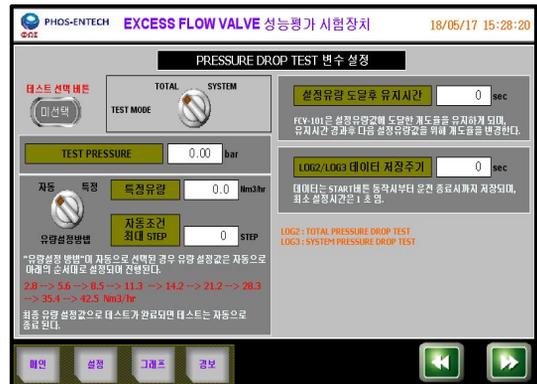


Fig. 14. Pressure Drop Test Action Screen of Excess Flow Valve performance test facility.

(4)복귀 성능 평가(Reset Test)

복귀 성능(Reset Test)평가는 EFVB(Excess Flow Valve-Bypass V/V)만 시험하며, 과류로 인해 과류차단밸브가 가스차단이 이뤄지고 나서 가스흐름이 정상으로 돌아왔을 때 밸브가 자동으로 차단을 해제하고 복귀하는지 확인하는 항목이다. 만약 실제로 밸브가 자동복귀가 이뤄지지 않는다면 차단작동이 이뤄질 때 마다 직접 배관을 굴착하여 수동으로 밸브를 차단해제 시켜야 하는 경우가 발생 할 수 있다[20]. 시험에 앞서 차단 압력과 유량을 설정하며, RESET여부 확인대기시간을 설정해 준다. 과류차단밸브는 차단작동을 하면 전·후단의 압력차가 생기게 되는데 시간이 지나고 가스흐름이 정상이 되면 전·후단의 압력차가 없어지게 된다[20]. Fig. 15.은 과류차단밸브의 전·후단의 압력차를 알려주는 차압계로서 전·후단의 압력이 동등해지면 과류차단밸브가 복귀한다. Fig. 16.을 보면 과류차단밸브의 차단이 일어나면서 밸브의 전단과 후단의 압력차이가 생기게 된다. 하지만 시간이 지나면서 정상흐름으로 돌아오면서 차압이 줄어들게 된다는 것을 확인할 수 있다.

(5) 스냅 동작 하중 평가(Snap Acting Test)

스냅동작하중시험(Snap Acting Test)평가는 일반적으로 차단유량의 75%의 유량을 짧은 시간에 흘려 보내도 과류차단밸브가 작동하지 않는 것을 확인하는 항목이다. 우연찮게 소비자가 동시에 가스를 소비하게 되어 순간적으로 과류차단밸브에 하중이 갑작스럽게 걸리게 되어 과류차단밸브가 차단하게 되면 오작동으로 가스공급이 중단될 수 있다. 이를 방지하기 위해서 차단유량의 75%가 갑자기



Fig. 15. A differential gauge of Reset Test

공급되어도 과류차단밸브가 작동되지 않도록 해야 한다[20]. Fig. 17은 SNAP ACTING을 할 수 있도록 만든 밸브로서 순간적으로 닫혀있던 밸브를 열어 유량이 흐르게 만든다. 시험설정은 스냅 동작 후 유지시간을 설정하고 차단유량 값을 선택한다. 이때 설정유량 값은 밸브의 차단유량의 75%의 해당 하는 유량을 입력한다. Fig. 18을 보면 SNAP ACTING 앞서 유량 값을 0에 가깝게 만든 후 SNAP ACTING을 발생하여 유량 값이 갑자기 상승한다. 하지만 과류차단밸브가 작동하지 않았기 때문에 유량 값이 유지가 되며, 밸브의 전·후단 압력이 일정 하단 것을 확인 할 수 있다.

ASTM의 마지막 성능 평가 항목인 반복 성능 시험은 이 시험 장비에서 시험 할 수 없는 이유는 반복시험을 위해서는 전자 레귤레이터 또는 수동 레귤레이터를 125psi로 출구 압력을 조정할 수 있는 것으로 추가 설치를 해야 하며, 모든 압력센서 및

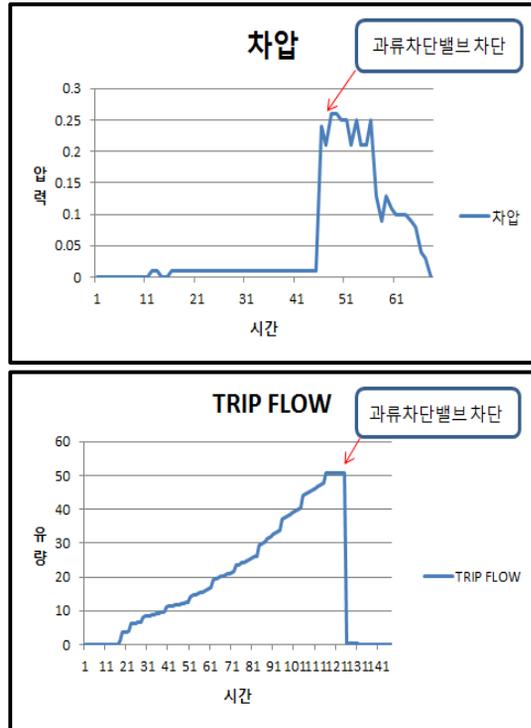


Fig. 16. Reset Test graph.



Fig. 17. AOV-5 Valve of SNAP ACTING

압력게이지의 사양을 높여야한다. 이렇게 되면 압력센서 및 압력게이지의 정밀도에 대한 해상도가 저하되어 ASTM에서 요구하는 측정 오차 값을 만족 시킬 수가 없다. 또한, 1000회 이상 리셋 반복을 하기 때문에 성능시험장비에 설치된 볼밸브들이 수명이 저하 될 것이며, 수명저하로 볼밸브들을 주기적으로 교체를 하여 장비의 유지 관리가 어렵게 된다. 이러한 이유로 반복시험은 별도로 시험 장비를 구성하여 제작 하도록 하였다.

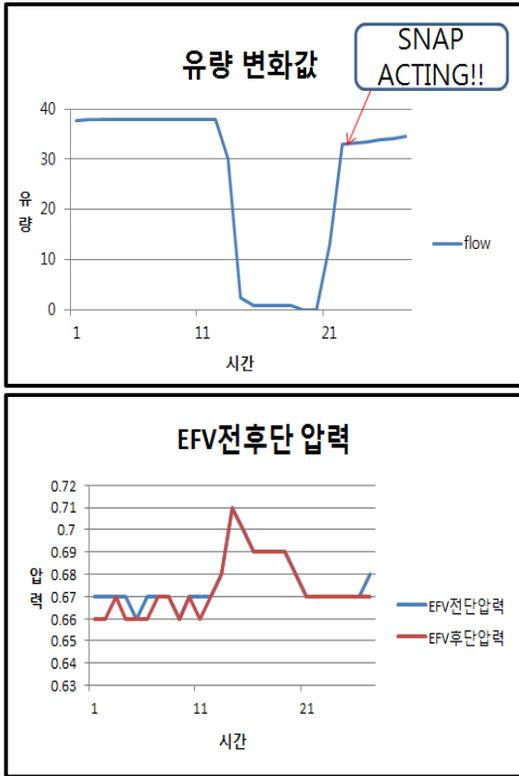


Fig. 18. Snap Acting Test graph.

3.3. 반복 성능 시험 장비

위 시험장비에서 빠진 반복성능 시험은 한번 시험할 때 1000회를 리셋 반복을 하기 때문에 시험장비의 내구성을 고려하여야 하며 ASTM에서 요구하는 측정의 오차범위도 만족시켜야 한다.

반복시험 성능장비는 ASTM F-2138 기준 참고하여 과류차단밸브 차단 및 복귀 기능을 테스트하는 장비로서 과류차단밸브의 내구성 시험이다[20]. 밸브 전단부 압력조건을 125psi에서 차단 및 복귀 기능을 1000회 이상 반복을 하여, 밸브 작동에 이상이 없는 지 확인하며 각 횟수마다 차단유량 값과 누설 유량, 바이패스 유량을 동시에 확인하여 성능 저하 모니터링 한다. 이 시험은 결국 차단 유량 측정과 누설 유량 및 바이패스 유량 측정을 반복하는 시험이라고 할 수 있다. 차단 및 복귀 반복시험 측정 기본 요소는 차단과 복귀 작동 여부확인, 차단과 복귀 시 장착 부 양단 사이 압력차를 측정하게 된다.

설비에는 버퍼 탱크를 장착하여 SYSTEM내 압력이나 공급을 일정하게 유지하여 시스템의 작동을 보다 안정하게 만들어 준다. 또한 상기 유량계는 온



Fig. 19. A repeated test Equipment of EFV.

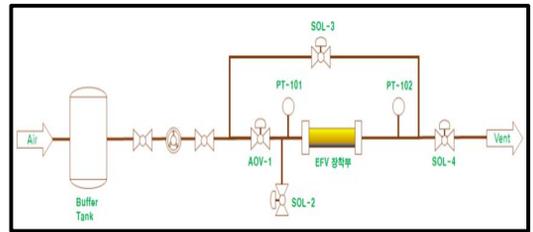


Fig. 20. Schematic design for repeat test for trip and return function.

도, 압력센서를 내장하여 자동으로 측정하며 가스 (Air)의 온도, 압력이 보상되어 계측기 내부에서 유량, 온도, 압력의 Analog 신호(4~20mA)가 출력이 된다. 또한 자가진단 기능을 탑재하였으며 시험 결과를 모니터링 및 데이터 저장 시스템을 갖추었다. 시험 유체는 공기지만 실제 적용되는 대상은 석유가스(LPG)이기 때문에 결과 값이 액화석유가스 구성(프로판65%, 부탄35%) 기준으로 보정 변환 가능하다. KGS에서 반복 성능 시험 장비의 설계를 완료하여 제작 중에 있으며, 2018년 12월에 제작이 완료될 예정이다.

3.4. 장거리 PE배관 가스사용환경 모사설비

장거리 PE배관 가스사용환경 모사설비는 과류차단밸브가 어느 거리만큼 가스누출을 파악하고 가스흐름을 차단하는지 측정하는 설비이다. 매우 긴 배관 전단부에 과류차단밸브를 설치하고 밸브로부터 먼 거리에서 배관이 파손되어 가스가 누출이 되면 과류차단밸브에서는 차단성능을 제대로 작동하지 않을 수도 있다[5]. 국내 정부 사업의 LPG 집단공급시설의 분기배관에서 가정집까지의 배관 길이는 보통 5~6m이며, 길면 110m정도 이다. 장거리 PE배관이 110m에서 과류차단밸브가 설치되었을 때 제

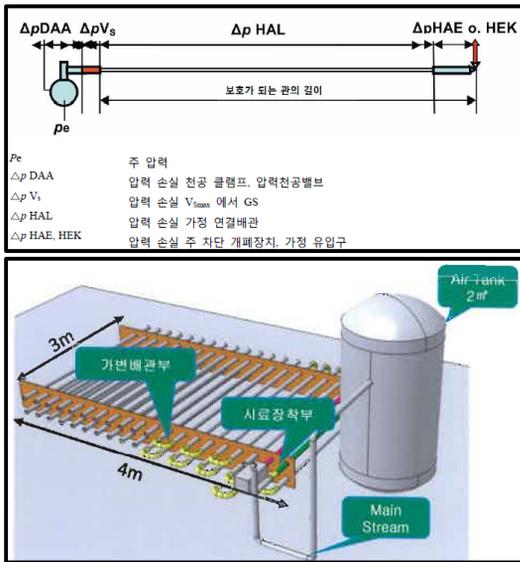


Fig. 21. Maximum protectable pipe length measuring facility.[5]

대로 작동하는지 알아보고자 장거리 PE배관 가스사용환경 모사설비를 구축하였다. 이 성능 설비에서는 과류차단밸브 성능에 최대 보호 가능한 배관길이를 측정하며 밸브에 맞는 배관길이를 제시 한다.

국내 가스 배관은 주배관부터 분기배관까지 63mm을 사용하기 때문에 모사설비에서는 PE배관의 외경이 63mm이 되도록 적용하였으며 밸브가 탈부착이 가능하도록 설계되어있다. 배관 내 압력은 10k~100kPa 게이지 압력 조정이 가능하며 버퍼 탱크 및 배관 내부 온도를 측정할 수 있도록 온도계가 설치되어 있으며, 시험유체는 Air이기 때문에 실제 가스(LPG)에 대한 보정변환가능(GAS FACTOR)하도록 설계 되어 있다. 그리고 밸브의 양 끝단과 PE 배관 후단 누출부를 압력강하 측정하여 과류차단밸브 보호관길이를 측정 할 수 있도록 하였다. 배관은 U자형 이음쇠를 이용하여 길이를 변환 가능하게 하였으며 공간손실율이 없어 정확한 유량 측정이 가능하다. KGS에서 현재 제작 중에 있으며 2018년 12월에 제작이 완료 될 예정이다.

IV. 결론

국내에서의 가스공급 압력은 정압기를 사용하여 저압(2.5kPa)으로 감압하여 공급하는 방식으로, 다른 유럽이나 미국처럼 높은 압력으로 가스 공급하는 방식에 비해 상대적으로 안전한 방식을 사용해

왔다. 하지만 최근 정부는 도시가스 공급망 개설이 어려운 산간, 도서지역에 값싼 에너지 공급을 위해 LPG 집단공급시설을 설치하는 사업을 하면서 준저압(25~100kPa)을 사용하게 되었다[14,15]. 이에 기존의 도시가스 압력보다 10배 이상 커져 가스 사고의 위험성이 높아지게 되었고 이에 안전성을 확보해 줄 수 있는 안전장치가 필요하게 되었다.

과류차단밸브(Excess Flow Valve, EFV)는 정부 에너지 복지사업의 준저압(25~100kPa) 공급방식을 기존의 저압공급 방식만큼 안전성을 확보해 줄 수 있는 안전장치이다[3]. 과류차단밸브는 가스배관 파손으로 가스 누출 시 자동으로 가스의 흐름을 차단하여 대형 사고를 예방하며, 사고발생에 따른 사회·경제적 손실비용을 절약해줄 수 있다[3]. 현재 KGS에서는 준저압 연료가스 매물배관용 과류차단밸브를 개발 중에 있다[17]. 국내에서는 아직 매물형 과류차단밸브가 개발되거나 판매되지 않고 있으며 KGS에서 개발되면 국내 최초로 개발하게 된다. 과류차단밸브의 성능 평가 항목으로는 ASTM의 6 가지항목과 DVGW의 장거리 PE배관 시험항목을 분석하여 설비를 구축하였으며, 정부의 LPG 집단공급시설 보급 사업에서 요구하는 환경에 맞도록 개발되고 있다.

이번 정부의 LPG 집단공급시설 보급 사업을 발판삼아 과류차단밸브의 국내 시장이 창출되면 가스 안전성을 높일 뿐만 아니라 국산화로 인해 내수시장 활성화에도 기대할 수 있다. 또한, 단순 제품 개발만 하는 것만이 아니라 함께 해당 제품의 성능시험 및 설치기준에 대한 코드화를 동시에 추진함으로써 국산화뿐 아니라 세계시장 진출을 할 가능성이 생긴다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 수행되었으며, 지원에 감사를 드립니다.
(과제번호 : 20172210100120)

REFERENCES

- [1] "Gas accident yearbook", KOREA GAS SAFETY CORPORATION (2017)
- [2] Lee, U., and Joo, Y.G., and Lee, J.H., "Excess Flow Valves for Underground Gas Pipeline and their Performance Testing Equipment Development", KIGAS, 4, 75-76,(2018)
- [3] Product-Katalog PipelifeGas 2014 - Functional

- Description (2014)
- [4] Pipelife社, Product Catalog 2016 - Enganced Safety for Gas Supply Networks, (2016)
 - [5] DVGW G 5305-2 (P), Deutscher Verein des Gas-und Wasserfaches Regelwerk, Technische Prüfgrundlage, (2013)
 - [6] 한국가스안전공사, KOREA GAS SAFETY CORPORATION AA009 2017 Code - 가스누출 확인 퓨즈콧 제조의 시설·기술·검사 기준(2017)
 - [7] 산업통상자원부 가스산업과 2016년 3월 16일 (화) 보도자료, 2016년도 LPG저장탱크 및 배관망지원 사업 추진 방향, (2016)
 - [8] Deutscher Verein des Gas-und Wasserfaches Regelwerk, DVGW G 5305-2, DVGW:TRGI-2018 and Kommentar (2018)
 - [9] Institution of Chemical Engineer, Hazard XV: The Process, Its Safety and the Environment getting it right, (2000)
 - [10] DPBE-excess flow valve for service lines, Ejection of the DPBE in the PE service line (2016)
 - [11] BEGAS_Paper_GWF_7_2003_Excess Flow Valves Experience Report (2003)
 - [12] Code of Federal Regulation(CFR), Title 49, Transportation, PT. 178-199, Revised as of October 1, (2011)
 - [13] Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration, P-01-2, (2017)
 - [14] 산업통상자원부 가스산업과 2016년 3월 16일 (화) 보도자료, 2016년도 LPG저장탱크 및 배관망지원 사업 추진 방향, (2016)
 - [15] 산업통상자원부, LPG소형저장탱크 및 배관망지원 사업 시행계획서 (2016)
 - [16] American Institute of Chemical Engineers (AIChE), Guidelines for Consequence Analysis of Chemical Releases (1999)
 - [17] 가스신문 2018년 7월 26일(목) 보도자료, PE관내 삽입 '과류차단밸브'개발추진 (2018)
 - [18] Korea Gas Safety Corporation, A Development Report of Flow Excess Valves for Gas Service Pipeline (비공개), (2017)
 - [19] Korea Gas Safety Corporation, Explanation data for the gas safety management system (2008)
 - [20] ASTM F2138-12, Standard Specification for Excess Flow Valves for natural Gas Service, (2012)
 - [21] ASTM F1802-15, Standard Test Method for Performance Testing of Excess Flow Valves, (2012)
 - [22] 가스신문 2018년 7월 26일(목) 보도자료, PE관내 삽입 '과류차단밸브'개발추진 (2018)