



스퀴즈오프에 따른 PE배관의 손상평가 연구

서호성 · 이화영 · †이재훈

한국가스안전공사 가스안전연구원

(2023년 2월 21일 접수, 2023년 3월 23일 수정, 2023년 3월 24일 채택)

A Study on the Damage Evaluation of Polyethylene Pipe by Squeeze-off

Ho seong Seo · Hwa young Lee · †Jae-hun Lee

Korea Gas Safety Corporation, Eumseong 27738, Republic of Korea

(Received February 21, 2023; Revised March 23, 2023; Accepted March 24, 2023)

요약

시공 편의성 및 경제성 측면에서 장점이 있는 PE배관은 국내 도시가스 분야에서 지하 매설용으로 많이 사용되고 있다. 이러한 PE배관은 유지·보수 공사 중 가스 흐름을 차단하기 위해 많은 현장에서 스퀴즈오프를 활용하고 있다. 스퀴즈오프란 PE배관을 압착하여 유체 흐름을 차단하는 방법을 말하며 물리적인 힘에 의해 배관의 변형이 일어나는 공사의 특성상 손상이 발생할 수 있다. 본 연구에서는 스퀴즈오프에 따른 PE배관의 손상방지를 위해 압축률에 따른 손상평가 및 기밀시험을 통해 적절한 압축의 범위와 사용 압력, 관경 등의 스퀴즈오프 작업 절차에 반영될 주요 사항들을 도출하였다. PE배관 손상평가를 위한 압축 실험은 압축률(20%~40%)과 사용압력(2.8kPa, 25kPa, 70kPa), 관경(63mm, 90mm, 110mm)을 변화시키면서 실시하였다. 압축률에 따른 손상평가 결과, 과도한 압축에 따른 영향을 분석하기 위한 압축률인 45%(110mm), 73%(63mm)인 배관에서 파손이 발생하였다. 또한, 스퀴즈오프 작업 중 기밀시험은 Ar(아르곤)을 이용하여 진행되었으며, 실험결과 70kPa의 조건과 110mm의 배관 조건에서 누출이 발생하였다. 본 연구 결과, 기밀유지를 위한 스퀴즈오프는 25kPa이하의 사용압력 및 90mm 배관을 초과하지 않는 범위의 배관에서 작업을 실시해야하며 PE배관의 손상방지를 위한 적정 압축률은 30%임을 확인하였다. 이와같은 내용을 도시가스용 PE배관의 스퀴즈오프 작업 절차에 반영할 예정이다.

Abstract - PE piping, which has advantages in terms of construction convenience and economy, is widely used for underground burial in the domestic urban gas field. These PE pipes use squeeze-off in many sites to block gas flow during maintenance and repair work. Squeeze-off refers to a method of compressing a PE pipe to block fluid flow, and damage may occur due to the nature of construction in which the pipe is deformed by physical force. In order to prevent damage to PE pipes due to squeeze-off, the main points to be reflected in the squeeze-off operation procedures such as proper compression range, use pressure, and diameter were derived through damage assessment and confidential test according to the compression rate. The compression experiment for PE pipe damage assessment was conducted while changing the compression rate (20%~40%), the pressure of use (2.8 kPa, 25 kPa, 70 kPa), and the pipe diameters (63 mm, 90 mm, 110 mm). As a result of damage assessment according to the compression rate, damage occurred in pipes with compression rates of 45% (110mm) and 73% (63mm), which are for analyzing the effect of excessive compression. In addition, the leakage test was conducted using Ar (argon) during the squeeze-off, and as a result of the experiment, leakage occurred under the conditions of 70kPa and 110mm of pipe. As a result of this study, it was confirmed that squeeze-off for airtightness should be carried out in pipes within a range not exceeding 25 kPa and 90 mm pipes, and the appropriate compression rate to prevent damage to PE pipes is 30%.

Key words : polyethylene pipe, squeeze-off, damage, pressure test

†Corresponding author: sasimi@kgs.or.kr

I. 서론

국내 가스분야에서는 최대사용압력 0.4MPa 이하인 경우에 지하 매설 용도로 폴리에틸렌(Polyethylene, PE)를 사용되고 있다. PE배관은 물리적, 기계적 특성 및 내식성이 우수하고 강관에 비해 시공의 편의성과 경제성을 가지고 있어 사용이 증가하고 있다.

2021년 말을 기준으로 한국도시가스협회에서 전국 도시가스사의 매설배관의 길이를 조사한 결과를 Table 1.에 나타내었다. 전체 배관 중 강관(PLP)의 비율과 PE의 비율이 비슷하며, PE배관은 본관에 비해 공급관에 많이 사용되고 있다.

이러한 PE배관의 사용량이 증가함에 따라 PE배관의 탄성력을 이용하여 유체의 흐름을 조절할 수 있는 스퀴즈오프 공법 또한 증가하고 있다. 스퀴즈오프(Squeeze-off)란, 유압식 또는 기계식 장비로 배관을 압착하여 일시적으로 배관 내 유체의 흐름을 차단하는 시공 방법 중 하나이다. 이 공법은 배관의 절단 없이 유체의 흐름을 조절할 수 있는 장점을 가지고 있으며, 배관의 연결 또는 철거, 유지관리, 보수 등 다양하게 이용된다. 하지만, 물리적인 힘을 이용하여 배관을 압착하는 방식이기 때문에 배관이 손상될 위험이 있다. 그러나, 국내에서는 스퀴즈오프는 작업 절차에 관한 표준화 된 기준이 없기 때문에 작업자의 경험, 주변 환경에 따라 작업 과정에 차이가 발생할 수 있다. 배관에 손상을 최소화 할 수 있는 작업 절차 및 사고 예방에 대한 주의사항이 필요하다.

일반적으로 스퀴즈오프는 200mm 이하의 배관에 대해서 작업을 진행하고 있지만, 독일가스식음료전문가협회의 기준인 DVGW GW 332에서는 최대 160mm 관경 및 10mm 이상의 벽두께를 가지는 배관에 스퀴즈오프를 실시하도록 권고하고 있다[1]. 또한, 미

국의 기준인 ASTM F 1041에서는 스퀴즈오프에 대한 주의사항 및 고려해야할 사항들을 안내하고 있으며, 배관 압착 시 50.8mm/min 이하의 속도로 압착하는 것이 배관의 손상도를 낮출 수 있다고 권고하고 있다[2]. Yi Zhang et al.의 연구에서는 스퀴즈오프를 실시하는 경우 압축하중에 의해 배관의 기계적 성능에 변형이 올 수 있다고 하였으며, 배관 손상 발생에 대해 고려해야 한다는 연구결과를 발표하였다[3].

기본적으로 스퀴즈오프는 PE배관에 물리적인 힘을 가하여 일시적인 변형을 일으키는 작업이기 때문에 배관 손상이 발생할 수 있다. ASTM F 1563에서는 스퀴즈오프 장비가 갖추어야 하는 성능을 규정하고 있으며 PE배관의 크기에 따른 스퀴즈오프 장비 바(Bar)의 최소 반경 등이 제시되어 있다[4]. PE배관의 손상도를 최소화하기 위해 ASTM F 1734에서는 스퀴즈오프 장비 및 배관, 작업 절차를 안내하고 있다. 이 기준에 따르면 권고하는 압축률을 준수하여 스퀴즈오프를 실시한 후, 배관의 표면에 백화 또는 균열, 열화 등의 손상 발생 여부를 육안으로 확인 하도록 하고 있다. 만약 스퀴즈오프 후 표면에 발생한 손상이 없다면 정수압 시험(Hydrostatic pressure Test)을 통해 배관의 손상 여부를 확인한다[5].

배관의 스퀴즈오프를 실시할 때 압축되는 배관 두께에 대한 정도를 두께 압축률(Wall Compression)로 정의할 수 있으며, 압축률은 PE배관의 두께와 스퀴즈오프 장치 바 사이의 거리에 대한 비율로 식 (1)과 같다.

$$WC(\%) = \left(1 - \frac{L}{2t}\right) \times 100\% \quad (1)$$

L = 스퀴즈오프 장치 바 사이의 거리[mm]
t = 배관의 두께[mm]

Table 1. Distance of gas pipeline in city gas corporation

구 분	본 관(km)			공 급 관(km)		
	PLP	PE	소계	PLP	PE	소계
500A 이상	948	0	948	14	0	14
400A 이상 ~	1,269	0	1,271	174	14	188
300A 이상 ~	3,430	16	3,455	2,352	2,645	4,999
200A 이상 ~	3,674	10	3,687	2,612	4,683	7,298
100A 이상 ~	4,580	33	4,614	3,058	10,847	13,911
50A 이상 ~	381	2	383	2,134	6,700	8,836
50A 미만	1	0	1	152	410	562
계	14,283	60	14,359	10,496	25,300	35,808

Fig. 1.은 식 (1)을 그래프로 나타낸 것이며, PE배관의 두께와 스퀴즈오프 장치 사이의 거리의 변화에 따

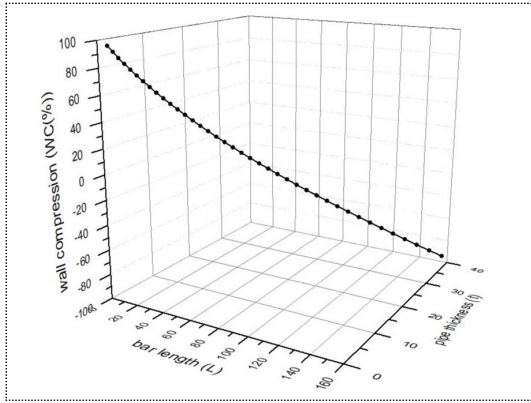


Fig. 1. Graph of wall compression during Squeeze-off (eq. 1).

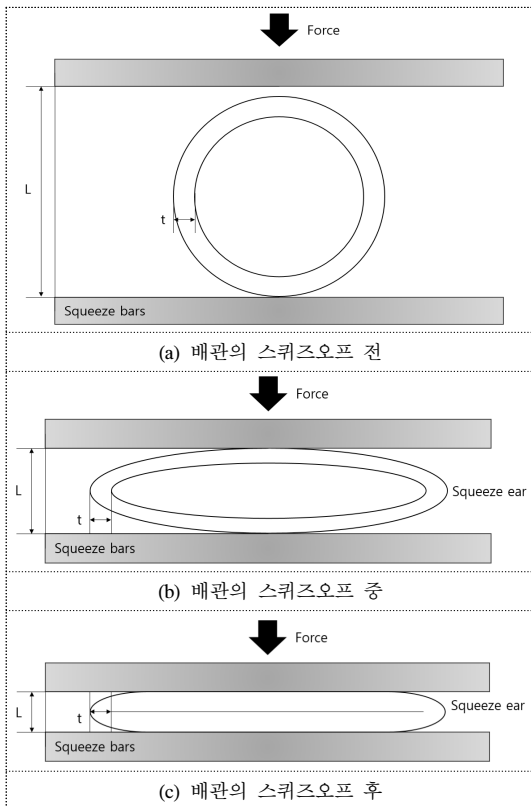


Fig. 2. Squeeze-off process[5].

른 두께 압축률을 도식화 한 것이다. 두께압축률을 계산하는 간단한 예시로 10mm의 두께를 가진 PE배관의 경우 스퀴즈오프 바 사이의 거리가 14mm 일 때, 30%의 두께 압축률을 가지게 된다[6]. 두께 압축률이 0%인 경우는 압축이 되지 않고 배관의 벽이 맞닿아 있는 경우로 볼 수 있으며, 음수의 경우에는 내벽이 접촉하지 않고 압축이 진행되지 않은 것을 나타낸다. Fig. 2.는 스퀴즈 작업 시 배관이 압축되는 과정을 나타내었다.

이러한 두께 압축률이 커질수록 스퀴즈오프를 실시한 배관의 손상이 발생할 수 있다. 일반적으로 스퀴즈오프를 실시하는 경우 PE배관의 손상방지를 위해 두께 압축률을 30% 이하로 설정하여 작업을 실시하고, 150mm 이하의 배관에 대해서는 20%의 두께 압축률을 적용해야 한다고 안내하고 있다[5]. 또한, P. Yayla et al.의 연구에 따르면 두께 압축률에 따라 스퀴즈오프를 진행한 배관 면의 인장시험 결과 탄성계수와 항복응력이 현저하게 감소하는 것을 확인하였으며[7], 스퀴즈오프가 PE배관의 기계적 물성에 영향을 주는 것을 확인할 수 있다.

따라서, 스퀴즈오프에 따른 PE배관의 손상방지 및 손상방지에 따른 누출위험을 확인하기위하여 적절한 압축률의 범위와 작업 절차서 마련이 필요할 것으로 보인다. 본 연구에서는 국제기준 및 연구사례를 반영하여 압축률에 따른 손상도를 평가하고 기밀시험을 통해 적업 절차서에 반영이 필요한 주요내용을 도출하고자 한다.

II. 실험 수행

2.1. 실험 개요

PE배관의 손상 정도를 평가하기 위하여 실시한 스퀴즈오프 실험은 ASTM F 1734에서 제시하는 작업절차를 준용하였으며, 상세 절차는 Fig. 3.에 6단계로 구분하였다.

또한, 실제 현장에서 스퀴즈오프를 실시하였을 때 함께 수행하는 배관 절단, 연결 등의 작업 중 가스 누출에 따른 사고 방지를 위해서 압축률에 따른 기밀유지 여부를 확인하였다.

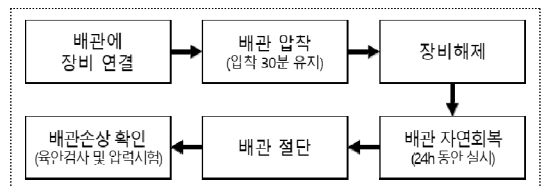


Fig. 3. Squeeze-off procedure[5].

Table 2. Squeeze-off test condition

항목	조건					
관경(mm)	63		90		110	
시험압력(kPa)	2.8		25		70	
압축률(%)	(a)			(b)		
	20	30	40	25	30	35

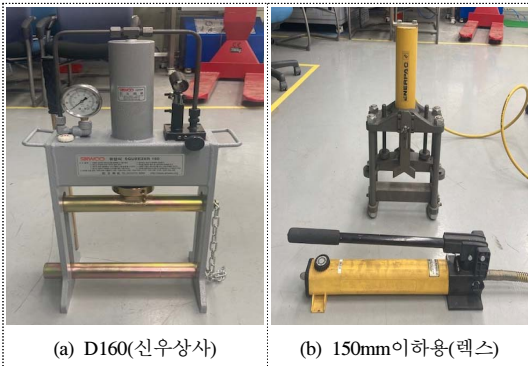


Fig. 4. Squeeze-off tool.

스퀴즈오프 작업 중 지속 압력은 도시가스 및 LPG 분야에서 PE배관을 사용되는 압력범위 중 가장 많이 사용되는 압력으로 설정하였으며, 실험에 사용된 PE 배관은 가스용 배관(PE80, KUPP)으로 관경은 63mm, 90mm, 110mm를 선정하였다. 그 이유는 150mm 이하의 관경을 가진 PE배관이 주종을 이루고 있기 때문이다. 세부 실험 조건은 아래 Table 2.와 같다.

2.2. 실험 장비

Fig. 4.는 실험에 사용한 스킨즈오프 장비로 (a) 유압식스퀴저 D160(신우상사, 한국)와 (b) 150mm이하용 유압식스퀴저(렉스, 일본) 이다. 스킨즈오프 중 기밀시험 시 불활성기체인 아르곤(Ar)을 이용하여 배관에 압력을 채운 뒤 압력전송기(PT3100, NURITECH)를 이용하여 압력변화를 측정하였다. 압력전송기의 압력 측정범위는 0.2 ~ 350bar 이며 ± 0.5%의 정확도를 가지고 있다.

2.3. 실험 방법

스퀴즈오프 진행 시 Fig. 4.에 나타난 모식도를 따라 실험 장비를 구성하였으며, PE배관 한쪽에 압력전송기를 설치하여 압력변화를 측정하였다. 3m 길이의 63mm, 90mm, 110mm PE배관에 조건별로 압력을 채운 뒤 두께 압축률에 따른 스킨즈오프를 실시하였다.

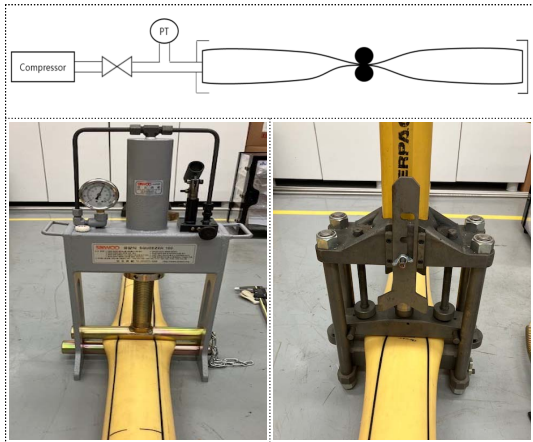


Fig. 5. Experimental equipment schematic and squeeze-off operation.

배관은 Fig. 5.의 사진처럼 장비의 중앙에 위치하여 균일하게 압착을 시켜 스킨즈오프를 실시하였다.

(1) PE배관 손상평가

PE배관의 손상평가는 ASTM F 1734 기준에 따라 육안검사 및 압력시험을 통해 배관의 손상 여부를 확인하였다. 압력시험의 기준은 KS M 3514(가스용 폴리에틸렌관)의 정수압 시험 기준에 만족하는지 확인하였다. 정수압 시험 기준은 80°C의 온도에서 4.6MPa 응력을 가하여 165시간 이후에도 변형이 없는 경우 배관 성능을 만족한다고 판단할 수 있다. 추가적으로 동일한 위치에서 스킨즈오프를 2회 이상 실시한 시편과 40%를 초과한 압축률에서 스킨즈오프를 실시한 시편을 이용하여 배관의 손상 여부를 확인하였다.

(2) 기밀시험

기밀시험은 ASTM F 1734에서 권고하는 압축률 30%이내 조건으로 실시하였다. 스킨즈오프 상태에서 배관 내 기밀이 유지되는지 확인하기 위하여, 2.5, 25, 70kPa의 압력이 채워진 PE배관에 스킨즈오프를 실시한 후, 압력전송기가 연결된 배관의 밸브를 열어 한쪽의 내부압력을 제거하였다. 이 후, 압력전송기에 서 측정된 값을 기록하였다.

III. 실험 결과

3.1. PE배관 손상평가 결과

스퀴즈오프에 따른 PE배관의 손상평가를 위하여 63mm, 110mm의 스킨즈오프를 실시한 PE배관에 대하여 정수압시험을 실시하였다. 데이터 비교를 위하여

스퀴즈오프를 진행하지 않은 110mm PE배관도 함께 시험을 진행하였다.

시험 결과는 Table 3.과 같다. 총 13개의 시험편 중 대부분 KSM 3514의 정수압 시험 기준을 만족하였으나, 과도하게 압축을 진행했던 관경 63mm 배관과 110mm 배관의 경우 165시간 이전에 파손이 발생하였다. 관경 110mm 배관의 경우 약 15시간 유지 후 파열 되었으며, 특히 관경 63mm의 경우 배관이 완전히 파손되어 실험 시작부터 누수가 발생하였다.

결과에서 표기한 과도스퀴즈란 스퀴즈오프 압축률

이 40%를 초과하는 경우를 말한다. 과도 스퀴즈오프의 경우 관경 110mm PE배관의 경우 약 45%, 관경 63mm의 경우 약 73%의 압축을 진행한 것이다. Fig. 6.은 과도한 압축을 진행한 110mm, 63mm PE배관이며 스퀴즈오프 부위에서 백화현상이 발생한 것을 육안으로 확인할 수 있다. 이러한 현상은 스퀴즈오프가 진행되면서 배관 내 손상이 발생된 것으로 확인할 수 있으며, 백화 상태의 배관을 지속적으로 사용하게 된다면 배관 손상으로 인해 가스 누출이 발생할 수 있을 것으로 예상된다.

Table 3. Result of hydrostatic pressure test

	시간(hr)	비고
110mm, None	> 165	-
110mm, 70kPa(25%, 일)	> 165	-
110mm, 70kPa(30%, 일)	> 165	-
110mm, 70kPa(35%, 일)	> 165	-
110mm, 70kPa(20%, 한)	> 165	-
110mm, 70kPa(30%, 한)	> 165	-
110mm, 70kPa(40%, 한)	> 165	-
110mm, 2회 스퀴즈(30%)	> 165	-
110mm, 과도스퀴즈	15.64	연성파괴
63mm, 70kPa(20%, 한)	> 165	-
63mm, 70kPa(30%, 한)	> 165	-
63mm, 70kPa(40%, 한)	> 165	-
63mm, 과도스퀴즈	0	누수

3.2. 기밀시험 결과

PE배관에 Ar가스를 채운 후, 스퀴즈오프 중 기밀시험 결과를 Table 4.에 나타내었다. O는 기밀시험이 유지되었음을 확인한 결과이며, X는 기밀시험이 유지되지 않았음을 확인한 결과이다. 본 실험의 결과를 보면 배관의 관경이 커질수록, 내부 압력이 높아질수록 기밀시험이 유지되지 않는 것으로 확인된다. 관경이 가장 큰 110mm 배관은 모든 압력 및 압축률에서 기밀시험이 유지되지 않았으며, 가장 높은 압력인 70kPa에서도 모든 관경 및 압축률에서 누출이 발생하였다. 반면, 63mm 배관은 2.8kPa, 25kPa의 사용압력 중 25%, 30%의 압축률에서 기밀시험이 유지되는 것을 확인하였으며, 90mm배관 역시 2.8kPa, 25kPa의 사용압력에서 30%의 압축률일 때 기밀시험이 유지되는 것을 확인하였다.

압력전송기의 데이터를 그래프로 나타내면 Fig. 7.과 같다. Fig. 7.은 가스누출이 발생한 조건과 발생하지 않은 조건을 비교하여 나타내었다. (a)의 조건인 압력 2.8kPa, 배관 관경 63mm의 경우 압축률 20%에서 압력이 상승하고, 25%, 30%에서는 압력변화가 없는 것을 확인할 수 있다. 또한, (b)에서는 압력 70kPa, 배관 관경 110mm이며 모든 실험에서 가스누출이 발생하여 스퀴즈오프 중 압력이 상승하는 것을 확인할 수 있다.

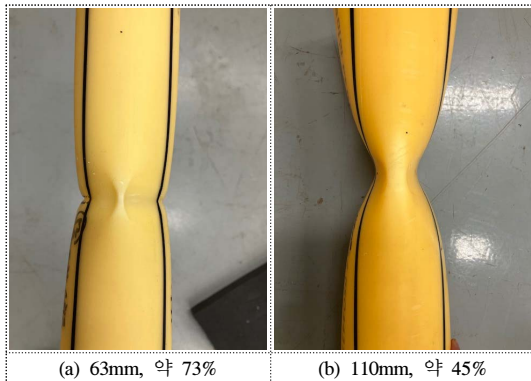


Fig. 6. Test results of over squeeze for PE pipe.

Table 4. Result of leakage test

	2.8kPa			25kPa			70kPa		
	20%	25%	30%	20%	25%	30%	20%	25%	30%
63mm	20%	25%	30%	20%	25%	30%	20%	25%	30%
	X	O	O	X	O	O	X	X	X
90mm	20%	25%	30%	20%	25%	30%	20%	25%	30%
	X	X	O	X	X	O	X	X	X
110mm	20%	25%	30%	20%	25%	30%	20%	25%	30%
	X	X	X	X	X	X	X	X	X

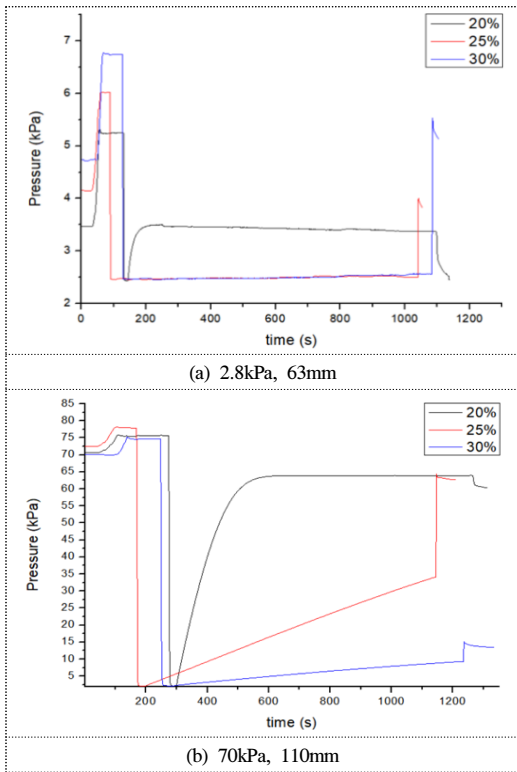


Fig. 7. Pressure trend for gas leakage during squeeze-off.

스퀴즈오프에 따른 PE배관의 손상평가 결과 배관의 손상 방지를 위해 과도한 압축률을 방지해야 한다. 하지만, 압축률이 낮은 경우에는 스퀴즈오프 중 가스 누출이 발생할 수 있으므로 적절한 압축률인 30%에 맞춰서 작업을 진행하는 것이 안정성을 확보할 수 있을 것으로 예상된다. 추가적으로, 스퀴즈오프 수행 시 장비의 중앙에 배관이 놓이지 않으면 압착되는 장비바가 기울어지면서 배관의 압착이 완벽하게 이루어지지 않을 수 있다. 이에따라, 낮은 사용압력이나 작은 관경을 가진 배관에서도 기밀시험이 유지되지 않을 수 있기 때문에 스퀴즈오프 작업 시 주의해야한다.

IV. 결론

스퀴즈오프는 PE배관 내 유체의 흐름을 차단하기 위해 다양하게 활용되고 있다. 그러나 스퀴즈오프에 따른 배관의 손상이나 작업 현장의 안전성 확보를 위하여 본 연구를 통해 스퀴즈오프 시 필요한 주의사항 및 절차를 도출하였다.

본 연구에서 실시한 정수압시험 결과는 압축률 40%를 초과한 경우 스퀴즈오프가 진행 된 배관에 누수 및 파괴 현상이 나타났다. 또한, 스퀴즈오프 중 기밀시험을 확인한 결과, 배관의 관경과 사용압력이 높아질수록 가스가 누출되는 것으로 나타났다. 관경 110mm의 배관에서는 사용압력과 압축률에 관계없이 가스가 누출되었고, 70kPa의 사용압력에서 역시 관경과 압축률에 관계없이 가스누출이 발생하였다.

따라서, 스퀴즈오프 작업의 안전성을 확보하기 위한 방법으로 절차서에 반영이 필요한 주요 내용은 다음과 같이 도출하였다.

- (a) 기밀시험 유지를 위한 스퀴즈오프는 25kPa 이하의 사용압력 및 90mm 배관을 초과하지 않는 배관에 실시한다.
- (b) 배관의 손상방지를 위하여 적정 압축률은 30%에 맞춰서 작업을 진행한다.

감사의 글

본 연구는 2021년도 중소벤처기업부의 기술개발사업(지역특화산업육성+(R&D)-지역스타기업육성) 지원에 의한 연구임 (S3087113)

REFERENCES

- [1] DVGW GW 332, *Abquetschen von Rohrleitungen aus Polyethylen in der Gas-und Wasserverteilung*, Technical Data Sheet, (2000)
- [2] ASTM F 1041-20, *Standard Guide for Squeeze-Off of Polyolefin Gas Pressure Pipe and Tubing*, (2020)
- [3] Zhang Y., and Ben Jar P.-Y., “Effects of squeeze-off on mechanical properties of polyethylene pipes”, *International Journal of Solids and Structures*, 135, 61-73, (2018)
- [4] ASTM F 1563-01, *Standard Specification for Tools to Squeeze-off Polyethylene(PE) Gas Pipe or Tubing*, (2019)
- [5] ASTM F 1734, *Standard Practice for Qualification of a Combination of Squeeze Tool, Pipe, and Squeeze-Off Procedures to Avoid Long-Term Damage in Polyethylene (PE) Gas Pipe*, (2019)
- [6] 김성희, *PE 배관 스퀴즈오프 장비의 성능개선 및 인증연구*, 한국가스안전공사, (2006)
- [7] Yayla, P., Bilgin, Y., “Squeeze-off of polyethylene pressure pipes: Experimental analysis”, *Polymer Testing*, 26, 132-141, (2007)