



도시가스 정압기용 압력조정기 다이어프램의 사용기간에 따른 경년특성에 관한 실험적 연구

이치우 · †박달재*

서울과학기술대학교 산업대학원 안전재난소방방재 프로그램학과 대학원생,
*서울과학기술대학교 안전공학과 교수
(2018년 8월 14일 접수, 2018년 11월 1일 수정, 2018년 11월 16일 채택)

Experimental Studies on the Aging Characteristics by Service Periods of Regulator Diaphragms at Governor Room of City Gas

Chi-Woo Lee · †Dal-Jae Park*

Disaster Safety & Fire Protection Program, Graduate School of Industry, Seoul National
University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea
*Dept. of Safety Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Seoul
139-743, Korea
(Received August 14, 2018; Revised November 1, 2018; Accepted November 16, 2018)

요 약

본 연구에서는 도시가스 정압기용 압력조정기 다이어프램의 사용기간에 따른 경년변화 특성을 조사하고자 사용기간별(신품, 5년, 10년, 15년, 20년, 25년 및 30년) 설치된 다이어프램을 대상으로 시험편을 제작하였고, 각 시험편에 대해 표면, 두께, 인장강도 및 연신율이 어떻게 변화하였는지 시험을 수행하였다. 표면 및 두께변화를 전자주사현미경을 이용하여 확인한 결과, 사용기간에 따라 약간의 영향을 받는 것으로 나타났다. 25년이 경과한 시험편은 신품 최고인장강도의 약 60%에 미치지 못하는 것으로 연신율은 사용기간에 따라 증가하는 것으로 나타났다. 이 연구결과는 향후 도시가스 정압기용 압력조정기 다이어프램의 교체주기를 정하는데 기초자료로 활용할 수 있으리라 기대된다.

Abstract - Experimental studies have been done to examine the aging characteristics by regulator diaphragms of gas pressure, governor room of city gas. Various testing samples with different service periods were manufactured. The results of SEM observation indicated that the surface and thickness of the samples tested were slightly sensitive to the service periods. It was found that as the service periods increased, the tensile strength of diaphragm samples decreased. For samples over 25 years of service, the strength decreased to approximately 60 % of that of new diaphragms. It was also found that as the service periods increased, the elongation increased.

Key words : gas pressure regulator, diaphragms, service periods

I. 서 론

2012년에서 2016년까지 최근 5년간 도시가스 사

고의 원인을 살펴보면, 제품노후·고장이 전체 가스사고의 약 4.7%, 이 중 압력조정기 문제로 인한 것은 약 5.8% 정도이다[1].

도시가스 압력조정기는 고압 또는 중압의 가스를 수요가의 연소기구에 적합하도록 일정한 압력을 감압하는 가스기기이다. 도시가스 압력조정기의

†Corresponding author: pdj70@seoultech.ac.kr
Copyright © 2018 by The Korean Institute of Gas

주요 부품인 다이어프램의 주재료는 고무이다. 다이어프램의 사용기간 및 환경특성 등에 따라 다이어프램의 기본적인 물리적 성질이 변화하게 되고, 이러한 물성변화는 압력조정기의 신뢰성에 영향을 미치게 된다. 이는 사용자의 안전에 바로 영향을 줄 수 있다는 점에서 그 중요성이 매우 크다.

이상욱[2]은 국내·외에서 생산되는 다이어프램에 대한 내가스성 특성에 관한 실험적 연구를 통하여 국내 제품의 성능이 국외(영국)에 비해 상당히 낮다고 언급하였고, 일부 연구[3-4]는 가정용 LPG 저압조정기를 대상으로 다이어프램의 사용경과에 따른 재료특성을 조사하였고, 사용기간의 약 6년까지는 다이어프램의 인장강도 및 신장률은 비교적 안정적인 재료특성을 유지한다고 제시한 바 있다. 신영일 등[5]은 다이어프램식 수소압축기에서 rpm 변화에 따른 다이어프램 변형특성을 조사하여 다이어프램의 손상은 가장자리 부근에서 먼저 발생할 것이라 예상하였다. 그 동안 다이어프램의 주재료인 고무재料到에 대해 연구도 진행된 바 있다. 문형일[6]은 고무부품의 내구성을 평가하기 위해 수행되는 다양한 시험들 중 영구변형과 파단 현상을 예측하기 위한 시험결과를 해석적으로 예측할 수 있는 방안, Meera 등[7]은 고무에 들어가는 첨가제 및 비율에 의해 응력완화 정도가 크게 변한다고 언급한 바 있고, Oman 및 Nagode[8]는 응력완화와 고무재료 creep 특성 사이에 상관관계가 있음을 보고하였다. 또한, Yang 등[9]은 온도에 따른 고무의 응력-변형을 관계의 변화, 우창수 등[10]은 고무재료의 물리적 성질은 노화온도 및 노화시간에 크게 영향을 준다고 보고하였다. 그러나 현재까지 사용기간에 따른 도시가스 압력조정기 다이어프램의 변형특성을 확인한 연구가 진행된 바 없어 도시가스 압력조정기가 설치되면, 언제 교체를 해야 하는지는 사업장의 경험에만 의존하고 있는 상황이다.

이에 본 연구에서는 도시가스 정압기용 압력조정

기 다이어프램의 교체주기를 정하는데 기초자료로 활용하는데 도움을 주고자 OO 소재 도시가스 공급사업장에서 사용되는 압력조정기를 사용 기간별로 구분하여 다이어프램을 채취하고, 시험편을 제작하여 표면, 두께, 인장강도 및 연신을 변화 시험을 수행하였다.

II. 다이어프램 시험편 선정 및 제작

Fig. 1은 가스 압력조정기의 구조도를 나타낸 것으로 크게 가스가 흐르는 메인 밸브와 이를 제어하는 조작용 액츄에이터로 구성된다. 액츄에이터는 설정압력과 2차 공급압력을 비교하는 다이어프램과 압력설정용 스프링 몸체로 이루어진다.

본 연구에서는 OO지역 도시가스 공급사업장 정압기실을 대상으로 압력조정기 사용기간별로 구분하여 다이어프램 샘플을 수집하였다. 수집한 샘플(Elsster-American Meter사 제품)의 재질은 내유, 내마모성, 내노화성이 우수한 특성을 가지는 NBR이다. Fig. 2 및 Table 1에 보여지는 바와 같이, 이 연구에 사용한 다이어프램은 신품 2개와 설치일자를 기준으로 사용기간 5년 단위로 30년까지 경과한 사용품 30개를 채취하여 총 32개의 시험편을 선정하여 시료번호

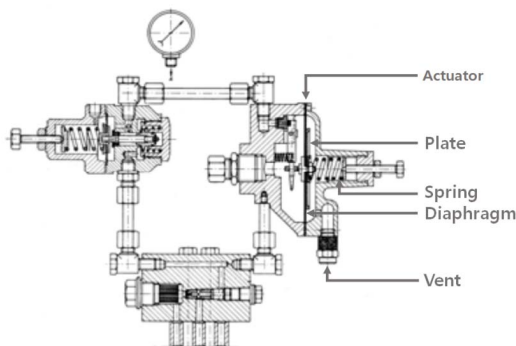


Fig. 1. A diagram of gas regulator [11].

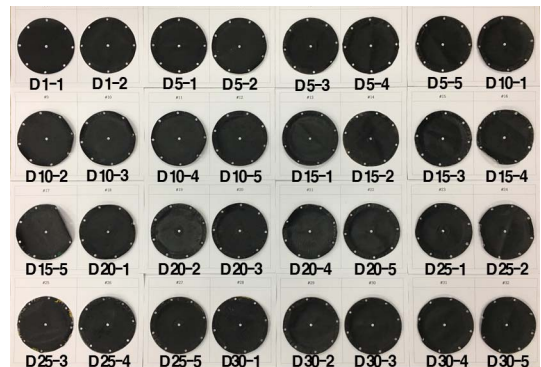


Fig. 2. Selected Samples.



Fig. 3. Manufactured test specimen.

를 지정하였다. 다이어프램에서 각 시험편 채취 위치는 Fig. 3과 같이, 다이어프램의 타공부분을 피해 되도록 평활한 고무면이 얻어질 수 있는 위치를 선정하였고 시험편은 한국산업표준 KS M 6518 (가황 고무 물리 시험방법)[12]에 따라 제작하였다.

Table 1. Annual distribution of diaphragm samples used in this study

Symbol	Sample number	Installed date	Used years
D New	D 1-1	2017-01-01	New product
	D 1-2	2017-01-01	
D 5	D 5-1	2011-12-27	5
	D 5-2	2011-12-01	
	D 5-3	2011-11-30	
	D 5-4	2011-11-29	
	D 5-5	2011-08-25	
D 10	D 10-1	2006-12-01	10
	D 10-2	2006-11-01	
	D 10-3	2006-10-20	
	D 10-4	2006-06-26	
D 15	D 15-1	2002-01-21	15
	D 15-2	2001-11-01	
	D 15-3	2001-07-25	
	D 15-4	2001-05-24	
	D 15-5	2001-01-15	
D 20	D 20-1	1996-12-01	20
	D 20-2	1996-08-20	
	D 20-3	1996-05-01	
	D 20-4	1996-01-01	
	D 20-5	1996-01-01	
D 25	D 25-1	1991-12-01	25
	D 25-2	1991-11-10	
	D 25-3	1991-11-01	
	D 25-4	1991-10-28	
	D 25-5	1991-07-02	
D 30	D 30-1	1986-12-15	30
	D 30-2	1986-07-01	
	D 30-3	1986-05-21	
	D 30-4	1986-04-15	
	D 30-5	1986-03-10	

III. 결과 및 고찰

Fig. 4은 전자주사현미경을 이용하여 본 연구에서 고려한 다이어프램의 사용기간별 표면변화를 관찰한 것이다. 다이어프램 시험편은 각 년도별 대표 시료를 선정하여 총 6개를 제작하였다. 제작된 시험편은 전자주사현미경(TESCAN a.s., VEGA3 SB)을 이용하여 500배율로 표면의 변화를 관찰하였다. Fig. 4에 보여지는 바와 같이, 신제품인 경우 시험편의 표면이 매끄러우나 사용기간이 경과할수록 거칠어지고, 표면 균열이 커지는 것으로 나타났다. 시험편의 두께변화를 관찰하기 위해 Fig. 3에 점선으로 표시한 부분과 같이, 다이어프램이 가장 많이 상하 운동하는 하우징 체결 부위를 선정하였다. Fig. 5는 다이어프램 신제품과 25년 경과된 사용품에 대해 전자주사현미경으로 250배율에서 두께변화를 관찰한 것이다. 신제품인 D New인 경우 두께는 약 506.3 μm , 25년이 경과한 D 25는 약 455.6 μm 로 관찰되었으며, 시험편 내부에 섬유 다발의 변화를 볼 수 있다. 이러한 두께변화가 발생한 이유는 다이어프램이 압력조정기 액츄에이터 내부에서 상하 왕복운동을 반복하고 있기 때문이다.

본 연구에 사용한 다이어프램 시험편의 최대 인장강도 및 연신율 측정을 위해 사용한 시험편은 신

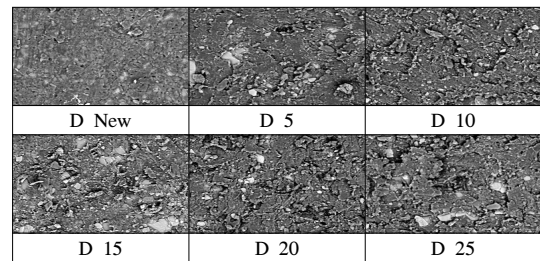


Fig. 4. SEM micrographs of diaphragm samples with a magnification of 500 x.

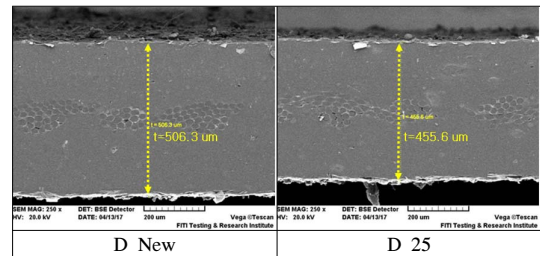


Fig. 5. SEM images of both D new and D 25 samples with a magnification of 250 x.

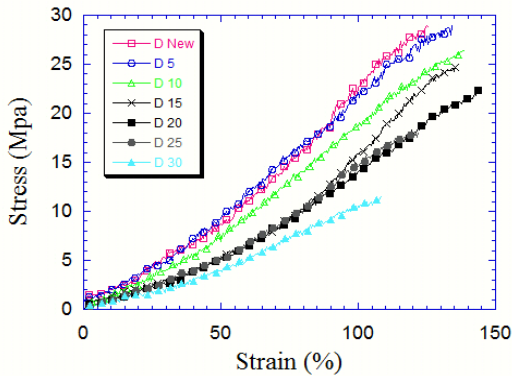


Fig. 6. Changes of stress by strain percentage for different service periods of diaphragms.

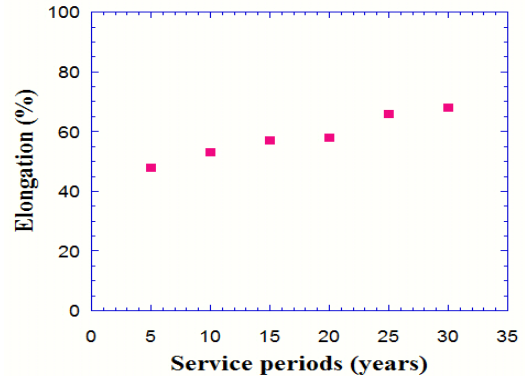


Fig. 8. Elongation percentage according to the service periods of diaphragms.

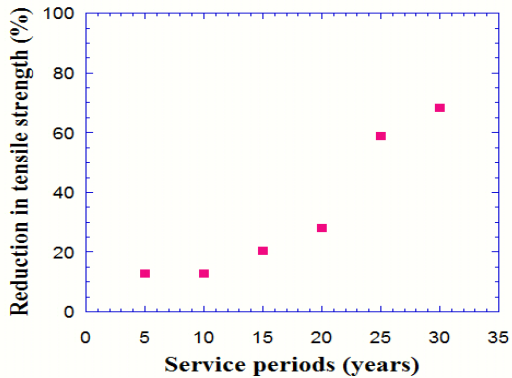


Fig. 7. Reduction percentage in tensile strength according to the service periods of diaphragms.

품인 경우 2개, 나머지 각 사용기간별 시험편은 5개이고 얻어진 결과를 평균하였다.

다이어프램 시험편의 사용기간에 따른 인장강도와 연신율에 대한 유의성 검증은 통계 프로그램인 SPSS (ver 23)에서 one-way ANOVA를 이용하여 $p = 0.05$ 유의수준에서 분석하였다. 분석결과 사용기간별 시험편에 대한 최대인장강도에서는 F 는 302.296, p 값은 0.000, 연신율인 경우는 F 는 9.632, p 값은 0.000으로 나타났다. 이는 본 연구에 사용된 시험편의 사용기간별 최대인장강도 및 연신율이 각각 통계학적으로 유의한 차이가 있음을 나타낸다.

Fig. 6은 만능재료시험기(INSTRON, 3382)를 이용하여 시험편의 사용기간별 변형률-인장응력 곡선이다. 여기서, 각 곡선은 사용기간별 대표적인 데이

터 1개씩 선정하여 나타내었다. Fig. 7은 시험편의 사용기간별 신장대비 최대인장강도 감소율을 나타낸 것이다. Fig. 6에 보여지는 바와 같이, 신장 시험편인 경우 변형률 약 125%에서 약 29 MPa 응력에서 파단하였고, 신장(D New)과 5년 경과한 시험편(D 5)은 유사한 경향을 보였다. 5년 이상의 시험편부터 응력이 감소하는 경향을 보이다가 25년(D 25) 및 30년(D 30) 시험편에서 약 18 MPa(D 25) 및 11 MPa(D 30)로 급격히 감소하였다.

Fig. 7과 같이, 신장대비 사용기간별 시험편의 최대인장강도 감소율의 변화를 살펴보면, 5년에서 20년까지의 시험편에서는 약간의 편차가 있지만 약 20% 내·외, 25년 이상인 시험편에서는 감소율이 약 60%로 나타났다. Fig. 8은 시험편의 사용기간별 연신율 변화를 나타낸 것이다. 5년 사용된 시험편은 약 48%의 연신율을 보였고, 10년에서 20년 시험편에서는 약 50% 범위, 25년 및 30년은 약 60% 범위를 가지고 연신율이 증가하는 것으로 나타났다.

실제 도시가스 정압실에 설치된 압력조정기의 다이어프램 인장강도는 설치 후 가동 기간과 지역적으로 차이를 보이는 정압기 공급부하(운동부하) 특성에 따라 다이어프램 왕복운동 횟수가 달라 다이어프램의 성능변화가 발생하게 되며, 이는 다이어프램의 고장 파손을 야기시킬 수 있다.

도시가스 압력조정기 다이어프램의 교체주기는 단순히 설치된 사용연수에 따른 인장강도 감소율만 고려할 것이 아니라 공급부하(운동부하) 특성도 함께 고려하는 것이 필요해 보인다. 이를 위해서는 다이어프램의 왕복횟수 등을 측정하는 것이 필요하나 현장 여건상 본 연구에서는 이를 반영하는데 어려움이 있었다.

IV. 결론

본 연구에서는 OO 소재 도시가스 정압실에서 사용되는 압력조정기를 사용기간별로 구분하여 다이어프램의 경년변화 특성을 조사하였다. 다양한 다이어프램 시험편(신품, 5년, 10년, 15년, 20년, 25년, 30년 사용기간이 경과된 제품)을 제작하였고, 각 시험편에 대해 표면, 두께, 인장강도 및 연신율 시험을 수행하였다.

각 시험편에 대해 표면변화를 전자주사현미경을 이용하여 확인한 결과, 사용기간이 경과할수록 표면이 거칠어지고, 표면균열이 커지는 것으로 관찰되었고, 신품과 25년 다이어프램의 시험편에서도 두께 변화가 있었지만 기간에 비해 그 영향은 크지 않은 것으로 여겨진다. 변형률에 따른 인장응력 변화에서 신품과 5년 사용된 다이어프램의 시험편은 유사한 경향을 가졌고, 25년 및 30년 시험편에서 약 18 MPa 및 11 MPa로 급격히 감소하였다. 신품대비 사용기간별 시험편의 최대인장강도 감소율인 경우, 5년에서 20년까지의 시험편에서는 약 20 % 내·외, 25년 이상인 시험편에서는 약 60 %의 감소율이 발생하였다. 연신율인 경우, 10년에서 20년 시험편에서는 약 50 % 범위, 25년 및 30년은 약 60 % 범위를 가지고 연신율이 증가하는 것으로 나타났다.

본 연구를 통해 얻어진 결과물은 향후 도시가스 정압기용 압력조정기 다이어프램의 교체주기를 정하는데 있어 기초자료로 활용할 수 있으리라 판단된다. 그러나 본 연구에서는 표면, 두께, 인장강도 및 연신율 시험에만 국한하였기에 향후 압력조정기 운동부하 특성 측정, 내가스성 실험, 가스투과시험 등의 지속적인 연구가 필요하다. 또한, 본 연구에서 수집한 사용연수별 NBR 제품의 성분의 차이가 있을 것으로 예상되나 제조사의 비공개로 이에 대한 영향을 고려하지 못하였기에 향후 이에 대한 추가적인 조사도 요구된다.

감사의 글

본 논문은 주저자의 석사학위논문인 "도시가스 압력조정기 다이어프램의 사용기간에 따른 물리적 특성에 관한 연구"(서울과학기술대학교, 2017)의 일부 내용을 보완하여 작성한 것이다.

REFERENCES

- [1] Korea Gas Safety Corporation, "2016 Year-book of Gas Accident", pp. 32~118, (2017)
- [2] Lee, S. W., "A study on the Gas-Proof Features of Diaphragm of the Gas Pressure Regulator", Master thesis, Seoul National University of Technology, Seoul, pp. 37~38, (2007)
- [3] Kim, Y. G., and Kwon, J. R., "Aging Characteristics of Low Pressure LPG Regulators for Domestic Use", *KIGAS*, **3**(1), 58~63, (1999)
- [4] Kim, Y. G., Cho, S. B. and Kim, P. J., "Evaluation of Performance and Service Life of Low Pressure LPG Regulators for Home Use", *Energy Engineering*, **15**(1), 23~27, (2006)
- [5] Shin, Y. I., Park, H. W., Lee, Y. J., Kim, G. B., Song, J. H., Chang, Y. J., and Jeon, C. H., "An Experimental Study on the Diaphragm Deflection Characteristic of a Hydrogen Diaphragm Compressor", *Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society*, **20**(4), 274-282, (2009)
- [6] Moon, H. I., "A Study on Permanent Deformation and Endurance Life of Rubber Components", PhD thesis, Kangwon National University, Kangwon, 163-169, (2011)
- [7] Meera, A. P., Said, S., Grohens, Y., Luyt, A. S., and Thomas, S., "Tensile Stress Relaxation Studies of TiO₂ and Nanosilica Filled Natural Rubber Composites", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, **48**(7), 3410-3416, (2009)
- [8] Oman, S., and Nagode, M., "Observation of the Relation Between Uniaxial Creep and Stress Relaxation of Filled Rubber", *Materials and Design*, **60**, 451-457, (2014)
- [9] Yang, Y. L., Qiao, L., Wang, C., Lu, F., and Kang, X. H., "Effect Analysis, of Temperature on the Rubber Material Stress-strain Relationship", *Advanced Materials Research*, **977**, 116-119, (2014)
- [10] Woo C. S., Park, H. S., Yang, S. C., Jang, S. Y., and Kim, E., "Lifetime Prediction of Rubber Pad for High Speed Railway Vehicle", *Trans. of Korean Society of Mechanical Engineers A*, **33**(8), 739-744, (2009)
- [11] <https://www.elster-americanmeter.com>
- [12] Korean Agency for Technology and Standards, "KS M 6518, Vulcanized rubber physical test method", 4~5, (2016)