KIGAS Vol. 22, No. 1, pp 45~52, 2018
(Journal of the Korean Institute of Gas)
https://doi.org/10.7842/kigas.2017.22.1.45

교량에 설치된 도시가스배관의 안전관리에 관한 연구

†윤영만 · 손상근 · 최도균 · 이수경*
한국가스안전공사, *서울과학기술대학교 에너지환경대학원
(2017년 6월 13일 접수, 2018년 1월 25일 수정, 2018년 1월 26일 채택)

A Study on The Safety Management of City Gas Pipelines Attached on the Bridges

†**Young-Man Yun · Sang-Geun Son · Do-Kyun Choi · Su-Kyung Lee***
Pipeline Diagnosis Division, Korea Gas Safety Corporation,
**Graduate School of Energy & Environment, Seoul National Univ. of Technology*
(Received June 13, 2017; Revised January 25, 2018; Accepted January 26, 2018)

요 약

이 논문에서는 도시가스 배관 중 교량에 설치된 배관 398개소에 대해 현황을 조사하고, 배관을 설치연도별, 길이별, 원격차단장치 설치여부 등 특성별로 분류하여 분석하였다. 분석결과 20년 이상 장기사용배관이 43.0%를 차지하고 있었고, 원격차단장치 미설치 교량배관은 89.4%에 달하는 등 드러난 현상에 대한 안전관리 방안을 제시하였다. 또한 조사된 교량설치 배관 중 76개소를 선정한 후 응력해석 전용프로그램인 CAESAR-Ⅱ를 이용하여 응력특성을 연구하고, 교량배관 중 루프관을 설치할 경우 루프관의 위치 및 크기가 배관의 합성응력에 미치는 영향을 분석하였다. 본 연구의 결과를 통해 교량 배관의 설치, 검사 및 진단 기준 개선 등에 활용하여 교량설치 배관에 대한 안전성 향상에 도움이 될 수 있을 것으로 판단한다.

Abstract - In this study, 398 city gas pipe systems installed on the bridges were surveyed and analyzed classified characteristics about the ages, length, and remote isolation devices installed or not. As a result of analysis, 43.0% pipes have been used more than 20 years and 89.4% do not have remote cut-off devices, so this study suggest safety management ways for the issues. Chosen 76 pipes were researched stress strain characteristics by CAESAR-Ⅱ which is a specialized program for stress analysis. And, when a loop is installed on the bridge pipe, effect on code stress by the location and size of the loop was performed. This study can help to improve safety level by revising criteria of new installation, inspection and diagnostic.

Key words : pipe systems installed on the bridges, CAESAR-Ⅱ, stress strain characteristics

Ⅰ. 서 론

1972년 5월에 서울시가 시험적으로 용산구 이촌동에 LPG/AIR 방식의 설비를 완공하여 약 3천 가구에 도시가스를 공급한 것을 시작으로, 2016년 현재 전국에 33개 일반도시가스사업자가 영업 중에 있으며 이들이 보유하고 있는 배관은 2015년 기준으로 본관 12,652㎞, 공급관 28,535㎞로 모두 41,187㎞에 이르고 있다[1]. 도시가스사의 배관은 대부분 지하에 매설하여 설치하지만 부득이한 경우 노출하여 설치하고 있다. 노출배관은 하천 횡단을 위해 교량에 설치하는 경우, 지하 설치가 곤란하여 지상에 설치하는 경우, 도로 횡단을 위해 별도의 구조물에 설치하는 경우, 공동구에 설치하는 경우 등이 있다. 국내 도시가스 배관 중 교량설치 배관은 약 500개소 정도로 알려져 있다. 노출배관은 매설배관에 비해 온도변화, 자중, 압력, 지진, 바람 및 진동 등에 취약한 특성을 가진다. 노출된 배관에서 균열, 파열 등 사고가 발생할 경우, 급격한 가스누출로 인해 피해

†Corresponding author:ymyun@kgs.or.kr
Copyright ⓒ 2017 by The Korean Institute of Gas

Fig. 1. A typical example of city gas pipe installed on the bridge.

규모가 확대되고 커다란 사회문제를 야기할 개연성이 높다. 특히 교량에 설치된 배관은 외부 온도변화에 따른 열응력에 취약하고 교량 진동으로 인해 지속적 영향을 받게 되어 가스사고로 이어질 수 있다.

이 논문에서는 교량에 설치된 배관의 실태 조사를 실시하여 다양한 시각에서 분류하고 문제점과 대책을 제시하여 향후 안전관리 기본자료로 활용될 수 있도록 하고자 한다. 또한, 교량에 설치된 도시가스 배관의 응력특성을 Case Study를 통해 분석함으로서 교량설치 배관의 취약점을 찾아내고 대안을 제시하고자 한다.

Ⅱ. 교량설치 도시가스 배관 현황

국내 도시가스 교량설치 배관은 33개 도시가스사에 약 500개소가 운영 중인 것으로 알려져 있으나, 이 논문에서는 32개 도시가스사의 협조를 받아 398개소의 교량설치 배관의 세부현황을 조사하고 그 결과를 분석하였다.

2.1. 배관길이별 설치 현황

교량에 설치된 도시가스 배관은 Table 1과 같이 398개소에 전체 길이는 27,165.4m이고, 평균길이는 68.25m이다. 교량설치 배관 중 85.7%인 341개소는 100m 이하의 소규모 배관이고 10m이하의 아주 짧은 교량설치 배관도 41개소로 10.3%를 차지하고 있는 것으로 조사되었다. 이러한 소규모 배관은 배관관리주체의 안전관리 우선순위가 낮아 자칫 관리소홀로 이어질 우려가 있다.

반면 200m를 초과하는 대규모 배관은 27개소로 6.8%에 불과하지만, 배관연장은 12,193.2m로 44.9%를 차지하고 있어, 사고발생시 대형사고로 발전할 가능성이 높다. 도시가스 배관의 교량설치 결정은 현장의 기존교량의 형태, 교량운영기관의 의견, 행정관청의 정책, 도시가스사 시방 등에 의해 이루어지므로 교량의 형태를 특정할 수 없다.

Table 1. Installation status by piping lengths

배관길이	교량수량 (개소)	배관길이(m)	
		합계	평균
10m 이하	41	313.4	7.65
10m초과 ~ 30m 이하	160	3,230.3	20.19
30m초과 ~ 50m 이하	83	3,257.4	39.25
50m초과 ~ 100m 이하	57	3,916.1	68.70
100m초과 ~ 200m 이하	30	4,255.1	141.80
200m초과 ~ 300m 이하	12	2,795.9	232.99
300m 초과	15	9,397.3	626.49
계	398	27,165.4	68.25

Table 2. Installation status by year

설치연도	교량수량(개소)
1980년 이전	2
1981년 ~ 1985년	27
1986년 ~ 1990년	63
1991년 ~ 1995년	80
1996년 ~ 2000년	45
2001년 ~ 2005년	41
2006년 ~ 2010년	64
2011년 이후	76
계	398

2.2. 설치연도별 교량배관 현황

교량배관이 집중적으로 설치된 시기는 Table 2에서와 같이 1980년대 후반부터 1990년대 초반까지로 국내 도시가스 공급이 폭발적으로 증가한 시기와 일치한다. 배관을 설치한 후 30년 이상된 배관은 29개소로 7.3%를 차지하고 있으며, 20년 이상 경과한 장기사용 배관은 172개소로 전체의 43%를 차지하고 있다.

장기사용배관은 건전성 확인을 위해 안전성 평가 또는 수명평가를 통해 계속사용여부를 주기적으로 판단할 필요가 있으나, 아직 국내에는 이와 같은 제도를 운영하지 못하고 있는 실정이다.

2.2. 설계압력별 교량배관 현황

도시가스 배관은 도시가스사업법 등 관련법규에 따라 설계압력 이내로 운전하도록 정하고 있다. 조사에 따르면 Fig. 2와 같이 설계압력이 0.1㎫ 미만인 저압배관은 124개소, 설계압력이 0.1㎫이상 1.0㎫미만인 중압배관은 274개소로 중압배관의 비중이 69%를 차지하고 있다. 중압배관은 저압배관에 비해 가스수송량이 많아 중압배관 중심으로 교량배관이 설치된 것으로 판단된다.

Fig. 3과 Fig. 4는 압력별 설치 경과 연수를 보여주고 있다. 20년 이상 장기 사용한 저압배관은 41개소로 33.1%에 불과하지만 중압 배관은 131개소로 47.8%를 차지하고 있어, 교량설치 배관은 상대적으로 중압배관의 노후화가 더 심각함을 알 수 있다.

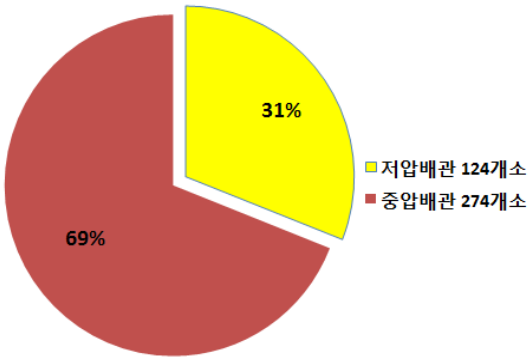

Fig. 2. Bridge hanging gas pipes in pressure.

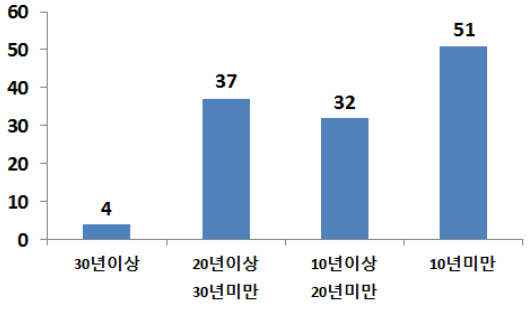

Fig. 3. Aging status of low pressure pipes.

2.3. 교량배관 전용차단 장치

교량에 설치된 배관은 응급상황 발생에 대비하여 그 배관에 유입되는 가스를 신속히 차단할 수 있는 장치를 설치해야 하며, 이러한 전용차단밸브 설치 현황은 Table 3과 같다. 교량전단에는 15.8%인 63개소가 전용차단밸브가 없고, 교량후단에는 33.7%인 134개소에 전용차단 장치를 설치하지 않고 있다.

전용차단장치 위치는 교량으로부터 통상 100m ~ 200m 떨어진 곳에 설치하고 있지만, 교량전단밸브 중 24개소는 교량으로부터 500m이상 떨어져 있고, 후단밸브 중 32개소도 교량으로부터 500m이상 떨어져 있어 있는 것으로 나타났다. 교량 배관으로부터 지나치게 먼 거리에 있는 차단밸브는 물리적으로 신속한 차단조치가 불가능 할 수도 있고, 내용적에 따라 잔류가스의 양도 많아지는 단점이 있다.

Table 4는 원격차단기능이 있는 긴급차단장치의 설치 현황이다. 전체 교량설치 배관 중 42개소 만 긴급차단장치를 운영하고 있는 실정이며, 이중에서

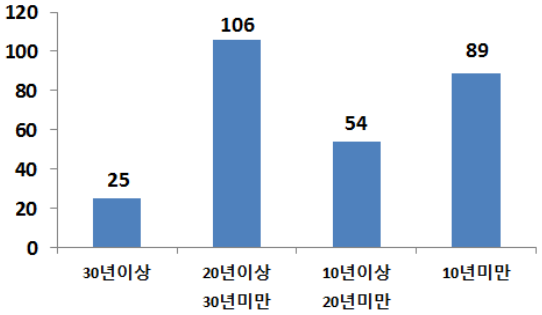

Fig. 4. Aging status of middle pressure pipes.

Table 3. Exclusive cut-off device installation status

구분	설치 개소 (평균거리)	불필요 (관말)	미설치	계
교량전단	334 (127m)	1	63	398
교량후단	241 (195m)	23	134	398

Table 4. MOV installation status

구분	전단만 설치	전단 + 후단 설치	후단만 설치	계
설치 수량 (개소)	14	24	4	42

도 전 · 후단 어느 한쪽에만 설치한 곳이 18개소에 달하고 있다. 500m이상 이격된 밸브에 긴급차단장치를 설치한 곳은 교량전단 2개소, 교량 후단 4개소 뿐인 것으로 나타났다.

Ⅲ. 기존 교량설치 배관 응력해석

3.1. 이론적 고찰

배관응력해석이란 배관 배치 설계가 완료된 후 배관계(Piping System)를 설계하기 위한 관련 법규 및 규격의 최소 요구사항에 부합되는지 여부와 구조적 안전성을 분석하고 검토하는 것이다.

도시가스사업법에서는 "매설되어 있는 배관 외의 배관(옥외공동구에 설치된 것과 굴착으로 주위가 노출된 것은 제외한다)은 온도변화에 따른 신축을 흡수하는 조치를 할 것"[2]이라고 규정하고 있다. 구체적인 배관설비 신축흡수 조치는 KGS CODE FS551에서 곡관(bent pipe) 또는 신축이음매를 사용하고, 온도변화에 따른 열변위합성응력은 열변위합성응력 허용값 이하가 되도록 하고 있다.

열변위 합성응력의 계산식은 다음과 같다.[3][4]

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_b^2 + 4\sigma_t^2} \quad (1)$$

여기서, σ_e : 열변위 합성응력 (N/㎟)
σ_b : 합성 굽힘응력 (N/㎟)
σ_t : 비틀림 응력(N/㎟) ($\sigma_t = \frac{M_t}{2Z}$)
M_t : 비틀림 모멘트(N-㎜)
Z : 관의 단면계수(㎣)

또, 열변위합성응력 허용값은 다음 계산식에 따라 계산한다.

$$\sigma_A = f(1.25\sigma_C + 0.25\sigma_n) \quad (2)$$

다만, σ_C가 σ_L보다 크면 두 값의 차이는 위 식 (2)의 $0.25\sigma_n$항에 더해진다. 이 경우의 허용응력 범위는 다음과 같다.

$$\sigma_A = f[1.25(\sigma_c + \sigma_n) - \sigma_L] \quad (3)$$

여기서, σ_A : 열변위 합성응력의 허용 값(N/㎟)
σ_C : 변위 주기 동안 최저금속온도에서 그 재료의 허용인장응력(N/㎟)
σ_n : 변위 주기 동안 최고금속온도에서 그 재료의 허용인장응력(N/㎟)
σ_L : 배관계의 1차응력(N/㎟)
f : 응력 범위 감소 인자로 Table 5에서 구하거나 또는 다음의 식으로 계산한 값

$$f = 6.0(N)^{-0.2} \leq 1.0$$

N : 배관계의 기대수명 전체 변위 주기 동안의 계수

3.2. 응력해석 전용프로그램 및 조건

이 논문은 응력해석 전용프로그램인 CAESAR-Ⅱ를 이용하여 ASME ANSI B31.3, B31.8 코드를 기준으로 응력해석을 하였다. CAESAR-Ⅱ는 자중, 내압, 열응력, 바람, 지진 등의 응력(Stress)에서 배관계의 안전성을 검토하는 솔루션으로 관련업계에서 가장 많이 사용하는 프로그램 중 하나이다.

배관 응력해석을 위한 기준은 Table 6과 같이 적용하였고, 동일한 프로그램을 활용한 연구논문을 참고하여 조건을 구성하였다.[5][6][7]

Table 5. Stress-range reduction factors, f

Cycles, N	Factor,f
7,000 and less	1.0
Over 7,000 to 14,000	0.9
Over 14,000 to 22,000	0.8
Over 22,000 to 45,000	0.7
Over 45,000 to 100,000	0.6
Over 100,000 to 200,000	0.5
Over 200,000 to 700,000	0.4
Over 700,000 to 2,000,000	0.3

Table 6. References for stress analysis

구분	적용 기준
배관재료	KS D3631
풍하중	도로교 설계기준 표 2.1.14 지역별 기본풍속
온도 (Temperature)	도로교 설계기준 3.14 온도변화 등
지진의 영향 (Seismic Load)	소방방재청 공고 제2013-179호
가상 고정점	'Peng'의 Virtual Anchor 이론

Table 7. Stress analysis results without bent pipe

교량명	직경 (A)	길이 (m)	응력(N/㎟)			응력의 종류
			허용	실제	%	
퇴○○교	100	10.2	137.9	9.8	7.1	주하중
모○교	150	10.0	137.9	8.6	6.2	주하중
무○교	150	10.0	137.9	21.3	15.4	주하중
소○교	150	15.3	137.9	14.7	10.7	주하중
난○교	150	15.6	137.9	7.9	5.7	주하중
남○교	150	20.0	137.9	9.4	6.8	주하중
용○교	150	28.8	137.9	4.0	2.9	주하중
명○교	150	30.0	137.9	9.5	6.9	주하중
연○교	200	29.5	139.7	8.9	6.4	주하중
제○교	250	20.0	137.9	13.2	9.6	주하중
대○교	300	10.0	137.9	11.3	8.2	주하중
전○○교	300	10.5	158.6	8.1	5.1	순간하중
충○교	300	12.0	137.9	4.7	3.4	주하중
양○○교	300	13.5	137.9	6.2	4.5	주하중
무○교	300	17.0	137.9	11.2	8.1	주하중
대○교	400	120.0	137.9	7.0	5.1	주하중
군○교	400	192.6	137.9	9.5	6.9	주하중

Table 8. Stress analysis results with 2 bent pipe

교량명	직경 (A)	길이 (m)	응력(N/㎟)			응력의 종류
			허용	실제	%	
신○교	150	24.5	339.2	130.1	38.4	열응력
군○○교	150	29.0	342.3	159.7	46.7	열응력
야○교	150	64.4	338.7	223.2	65.9	열응력
쌍○교	250	15.7	341.6	164.3	48.1	열응력
개○○가	300	23.8	338.3	137.2	40.6	열응력
월○교	300	71.6	333.5	227.2	68.1	열응력
안○교	300	227.0	338.6	166.3	49.1	열응력
신○교	350	45.0	335.1	157.7	47.1	열응력
성○교	400	150.0	137.9	6.3	4.6	주하중
서○교	500	188.8	335.4	274.6	81.9	열응력

3.3. 응력해석 결과

기존 교량설치 배관 중 20년 이상 장기사용 배관 76개소를 선정하여 CAESAR-Ⅱ 프로그램을 이용해 응력해석을 수행하였다. 배관의 형태별 응력특성을 파악하기 위해 곡관(bent pipe)의 개수를 기준으로 분류한 결과 곡관이 없는 배관은 17개소, 곡관이 2개인 배관은 10개소, 곡관이 4개인 배관은 23개소이고 기타배관은 26개소로 나타났다. 기타배관은 교량의 형태가 복잡하여 곡관을 많이 사용하거나 45°곡관을 사용하는 등 응력특성을 다른 교량배관과 비교하기 곤란하여 분석을 생략하였다.

Table 9. Stress analysis results with 4 bent pipe

교량명	직경 (A)	길이 (m)	응력(N/㎟)			응력의 종류
			허용	실제	%	
기○교	100	12.2	339.0	63.0	18.6	열응력
신○○교	100	38.8	333.8	79.0	23.7	열응력
신○교	150	7.6	137.9	10.1	7.3	주하중
대○○교	150	23.6	339.4	97.8	28.8	열응력
가○○교	150	24.5	339.3	110.3	32.5	열응력
옥○○교	150	30.0	342.0	141.3	41.3	열응력
퇴○교	150	44.2	334.0	249.8	74.8	열응력
남○○교	150	46.0	338.0	29.3	8.7	열응력
창○○교	150	75.4	339.1	268.4	79.2	열응력
완○교	150	81.6	339.2	313.8	92.5	열응력
오○○교	200	28.0	340.8	30.6	9.0	열응력
관○교	200	29.0	342.2	75.5	22.1	열응력
연○○교	200	30.0	341.6	110.8	32.4	열응력
연○○교	200	35.0	341.9	227.9	66.7	열응력
신○○교	200	45.0	337.0	274.4	81.4	열응력
원○○교	200	113.0	336.1	277.8	82.7	열응력
안○○교	250	112.0	339.9	156.8	46.1	열응력
손○교	300	14.0	137.9	11.8	8.6	주하중
장○○교	300	14.0	341.5	154.3	45.2	열응력
무○교	300	17.0	336.2	52.0	15.5	열응력
고○○교	300	75.0	334.1	227.8	68.2	열응력
평○교	400	15.4	332.7	69.3	20.8	열응력
개○○교	400	45.0	137.9	16.6	12.0	주하중

Table 7부터 Table 9까지는 교량설치 배관 중 곡관이 설치되지 않은 경우, 곡관이 2개 설치된 경우, 그리고 곡관이 4개 설치된 경우의 응력해석 결과이다.

직선관으로만 이루어진 배관은 노출배관에는 곡관 등을 사용하여 유동성을 확보하도록 한 국내기준과 ASME Code 요구사항을 충족시키지 못하고 있다. 유동성 배관을 설치하지 않을 경우 배관의 열팽창 및 수축에 따른 열변위 합성응력에 관한 해석을 할 수 없다. 따라서 최대응력은 주로 자중과 내압 등 주하중에서 나타난다.

곡관 2개 또는 4개 설치된 배관의 경우, Code Stress 최대응력은 대부분 열응력에서 나타나고 있다. 온도변화에 따른 배관의 팽창과 수축응력이 지배적인 것을 알 수 있다. 배관에 걸리는 응력의 크기는 길이방향과 직각을 이루는 배관의 길이와 반비례하고, 곡관의 숫자가 늘어날수록 최대응력이 감소한 것을 확인할 수 있다. 또한 배관의 직경이 동일한 경우에는 배관 길이가 길수록 최대응력은 커지는 특성이 있어, 노출배관에 필요한 유동성은 배관의 길이에 비례하여 확보하여야 한다. 배관의 유동성은 곡관, 루프관, 또는 신축이음매를 설치하여 확보할 수 있다.

Ⅳ. 루프관의 설치에 따른 응력특성

루프관을 설치할 경우 루프관의 설치위치와 입상관의 설치 형태에 따른 응력특성을 분석하였다. 교량에 배관을 설치할 때 교량의 형태 및 현장조건에 따라 루프관의 설치위치와 입상관 형태를 조정해야 하는 경우가 발생한다. 이러한 상황에서 루프관의 위치 및 형태에 따른 응력특성을 파악하기 위해 응력해석 표준이 되는 모델을 가정하였으며, 그 제원은 Table 10과 같이 하였다.

4.1. 루프관의 위치에 따른 응력특성

루프관의 위치 변화가 응력특성에 미치는 영향을 검토하기 위해, 루프부를 제외한 직선길이 72m, 고정간격 12m인 배관을 가정하였다. 그리고, 루프의 위치를 12m씩 배관 중앙으로 이동하면서 Fig. 5와 같은 네 가지 Case를 모델링 하여, 온도변화의

Table 10. Data of the modeling pipe system

배관 재질	기계적 특성	배관제원	
		직선관	루프관
A106 Gr.A (200A)	인장강도 330.9㎫ 항복강도 206.8㎫	72m	입상관 높이: 1.7m 직선관 기본길이 : 1.1m 전·후단여유 : 2.0m 엘보 : Long type

Table 11. Stress analysis results by loop's location (단위 : ㎫)

구분	최고온도(T1)			최저온도(T2)		
	code stress	허용응력	%	code stress	허용응력	%
Case Ⅰ (가장자리)	117.2	266.4	44.0	197.5	266.4	74.1
Case Ⅱ ($\frac{1}{6}$ 지점)	110.1	266.3	41.3	185.6	266.3	69.7
Case Ⅲ (⅓지점)	109.7	266.2	41.2	184.8	266.2	69.4
Case Ⅳ (½지점)	109.6	266.2	41.2	184.7	266.2	69.4

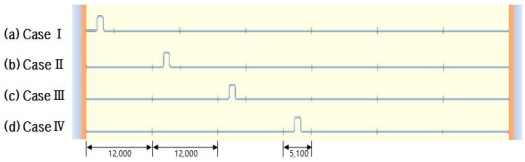

Fig. 5. Case models of loop's location.

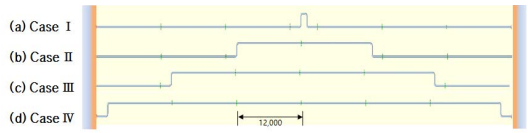

Fig. 6. Case models of loop standpipe's width.

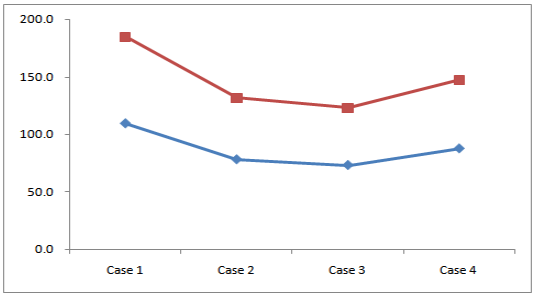

Fig. 7. Code stress variation by loop standpipe's width (unit : ㎫).

영향에 따른 열응력의 변화를 분석하였다.

Table 11은 각 Case별 응력해석 결과를 보여준다. Code Stress는 최저온도를 기준으로 Case Ⅰ에서는 197.5㎫이나 CaseⅣ에서는 184.7㎫로 약 6.5%가 감소하여, Loop관을 배관 중앙에 설치할수록 응력은 감소함을 알 수 있다.

4.2. 루프 입상관의 위치에 따른 응력특성

교량중앙에 Loop관을 설치할 공간이 없거나, 소규모 교량의 경우에는 배관의 입상관을 이용하여 유동성을 확보할 수 있다. Loop관 입상배관의 설치위치에 따른 응력의 크기 및 응력집중부의 특성을 알 수 있다면 교량배관의 설치와 유지・관리에 유용할 것이다. 이를 위해 Fig. 6과 같이 4가지 Case를 모델링 하였다. 배관의 전체 길이를 일정하게 유지하면서 루프관 상부배관 진행방향의 길이 L'의 크기를 2,400㎜씩 증가시켰을 경우의 허용응력과 Code Stress의 변화를 분석하였다.

응력해석 결과는 Fig. 7에서 보는 바와 같다. Code Stress는 루프 입상배관이 배관 중앙에 있을 때 가장 크게 나타나며 가장자리 쪽으로 이동하면 감소 추세를 보이다가, 가장자리에 접근하면 다시 상승하였다. 이러한 효과는 직선배관의 길이가 길수록 더 큰 응력이 발생하기 때문이다. 따라서, 루프 입상배관을 적절한 위치에 설치하여 직선배관의 길이를 분산한다면 교량설치 배관에 걸리는 응력도 분산됨을 알 수 있다.

V. 결 론

일반도시가스사업자의 교량설치 배관 398개소에 대한 현황조사 결과 20년 이상 사용 배관은 172개소로 전체의 43%를 차지하고 있었다. 장기사용 노출배관은 정기적인 건전성확인을 통해 경년변화 영향을 검토하고 계속 사용 여부를 결정해야 할 것이다. 또한 응급사태 발생시 가스를 차단할 수 있는 전용차단장치가 설치된 시설도 교량전단 15.8%, 교량후단 33.7%에 불과하여 개선이 필요하다. 전용차단장치에는 원격조작 기능을 갖춰 사고발생시 신속한 차단이 가능하도록 제도적 보완이 필요한 것으로 나타났다.

기존 배관의 응력특성 연구를 위해 샘플링한 교량배관 중 17개소는 곡관을 설치하지 않고 직선배관으로 이루어진 배관이었다. 직선배관은 노출배관에는 곡관 등을 사용하여 유연성을 확보 하도록 한 국내기준 및 외국 Code의 요구사항을 충족시키지 못하고 있다. 이들 배관은 유연성을 확보하기 위해서는 곡관, 루프관, 신축이음매 등을 설치가 필요한 것으로 나타났다.

곡관을 설치한 배관은 최대응력은 대부분 온도변화에 의한 배관의 팽창・수축이 원인을 제공하는 열응력으로 나타났다. 열응력의 크기는 동일한 관경인 경우 배관의 길이에 비례하였고, 길이방향과 직각을 이루는 배관의 길이에 반비례 하였다.

루프관의 위치에 따른 응력특성 연구를 수행한 결과 루프관을 교량 중앙에 설치하면 가장자리에 설치하는 것보다 Code Stress가 약 6.5% 작은 것으로 나타났다. 또, 교량배관을 설치 할 때 루프관의 상부 배관의 길이를 적당히 조정하여 직선관의 길이를 분산 설치하면 Code Stress를 33.4%까지 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

열응력이 집중되는 곳은 대부분 배관의 곡선부이므로 교량설치 배관 등 노출배관의 점검 및 유지・보수를 위하여 잔류응력 측정 및 배관두께 감소 여부 등을 점검 할 때에는 배관의 곡선부를 우선하여야 할 것이다.

이 논문을 통해 조사된 교량설치 배관의 현황은 추후 안전관리 정책을 입안할 때 기본 자료로 이용할 수 있을 것이다. 아울러 도출된 교량설치 배관의 응력특성에 대한 결과는 배관의 유지・보수뿐만 아니라, 국내 실정에 맞는 교량 배관의 설치기준, 검사 및 진단 기준 개선에 활용될 수 있다. 특히, LPG 및 도시가스 배관을 노출 설치할 경우 응력해석 전용 프로그램을 이용한 설계를 의무화 할 필요가 있으며, 기존배관에 대한 위험성 평가에 대한 구체적인 기준도 마련되어야 할 것이다.

REFERENCE

[1] Korea City Gas Association, "City Gas Business Statistics 2015", (2016)

[2] Reliable Ministry of Government Legislation, National Law Information Center, http:// www.law.go.kr, Article Table6 3(가)1)아)② of Enforcement Rule of the Urban Gas Business Act

[3] L.C. Peng, Alvin Peng, '*Pipe Stress Engineering*', Peng Engineering, Houston, (2010)

[4] ASME ANSI B31.3, ASME ANSI B31.8, ASME PRESS, (2009)

[5] Lee, S.k., and Lim, B.G., "A Study of Stress of City Gas Pipe Attached on the Bridge", *KIGAS*, 10(3), 20-26, (2006)

[6] Kim, D. U., "A Study of Composition Stress by Heat Displacement on the Standing City-gas

Pipe", Master's Degree Paper in Seoul National University of Technology, (2002)
[7] Park,C.M., and Yoon, S.R., "Study on Structural Behavior of Pipe Loops Using CAESAR-Ⅱ", *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 27(2), 13-18, (2013)