[Research Paper]

협소공간전용 바닥고정형 입상관 흔들림방지버팀대 개발에 관한 연구

진세영 · 최수길 · 박상민 · 연태영* · 김창수** · 김시국***†

호서대학교 소방방재학과 대학원생, *한국안전기술(주) 대표이사, **한국안전기술(주) 선임연구원,

***호서대학교 소방방재학과 교수

A Study on the Development of Floor-Fixed Standpipe Sway Brace for Narrow Space

Se-Young Jin · Su-Gil Choi · Sang-Min Park · Tae-Young Yeon* · Chang-Su Kim** · Si-Kuk Kim***†

Graduate Student, Dept. of Fire and Disaster Protection Engineering, Hoseo Univ.,

*CEO, Korea Safety Technology Co.,Ltd,

**Senior Researcher, Korea Safety Technology Co.,Ltd,

***Professor, Dept. of Fire and Disaster Protection Engineering, Hoseo Univ.

(Received November 28, 2019; Revised December 16, 2019; Accepted December 16, 2019)

요 약

본 논문은 협소공간인 피트 내부에 설치되는 기존 입상관 흔들림방지버팀대의 설치 및 시공 상의 문제점을 개선하고, 수평지진하중(X축, Y축)에 대한 지지역할과 더불어 추가적으로 수직지진하중(Z축)을 지지할 수 있는 협소공간 전용 바닥고정형 입상관 버팀대 개발에 관한 연구이다. 솔리드웍스 시뮬레이션을 이용한 구조해석 결과 1차 설계모델의 경우 수직방향에서 앵커 위치에 따른 편심하중이 발생하였고, 수평 및 수직 방향에서 모두 재료의 허용응력을 초과하는 문제가 나타났다. 2차 설계모델의 경우 1차 설계모델에서 발생하였던 수직방향으로의 편심하중에 의한 변형이 발생되지 않았고, 최대변형률이 0.17%로 1차 설계모델(최대변형률 13.01%)보다 약 12.84% 감소하는 것으로 나타나 구조적인 안정성 및 내구성이 향상된 것을 확인할 수 있었다. 시제품에 대한 압축 및 인장 하중시험결과 모든 시제품이 기준에서 정한 성능기준에 적합한 것으로 나타났다.

ABSTRACT

This paper proposes a solution to the problems of constructing and installing sway braces for existing standpipes in narrow spaces and pits. The study develops a floor-fixed sway brace for a narrow space that can support the ground area under horizontal seismic loads (X-axis, Y-axis) as well as vertical seismic loads (Z-axis). The results of structural analysis using SolidWorks simulation showed that the eccentric load was generated in the first design according to the anchored position along the vertical direction, and the problem of exceeding the allowable stress of the material along the horizontal and vertical directions. In the second design model, deformation caused by the eccentric load along the vertical direction, similar to the first design model, did not occur. The maximum strain rate was 0.17%, which is approximately 12.84% less than the first design model (Maximum strain rate of 13.01%). It was confirmed that the structural stability and durability improved. Compressive and tensile load testing of the prototypes showed that all of them meet the performance criteria of the standard.

Keywords : Standpipe sway brace, Narrow space, Floor fixed, Horizontal seismic load, Vertical seismic load

† Corresponding Author, E-Mail: kimsikuk@hoseo.edu. TEL: +82-41-540-5732, FAX: +82-41-540-5738

© 2020 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

1. 서 론

2016년 경주에서 국내 지진계측 역사상 가장 큰 진도 5.8 규모의 지진이 발생했고, 연이어 2017년 포항에서 진도 5.3 규모의 지진이 발생하면서, 우리나라도 지진의 안전지대가 아닌 대형지진의 발생 가능성을 내포하고 있다. 또한, 최근 들어 잦은 지진의 발생으로 국민의 불안감 증대와 안전을 지속적으로 위협하고 있으며, 지진으로 인한 막대한 사회적·경제적 손실이 발생하고 있다. 특히, 지진으로 인해 가스배관의 파열로 인한 가스누출 및 전기사고 등에 의해 화재가 이어질 수 있기 때문에 비구조체인 소방배관의 경우 지진이 발생하여도 항상 안정적인 공급 및 정상작동 기능을 수행할 수 있도록 기구적인 보강을 통해 안전성을 확보해야 한다. 이러한 문제점을 해결하고자 정부에서는 지진방재대책의 일환으로 내진설계 규정을 지속적으로 강화해 가고 있으며, 기존 공공시설물의 내진보강대책 등을 추진하고 있으며, 2016년부터 소방시설의 내진설계가 의무화되었다⁽¹⁻⁵⁾. 「화재예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률」 및 같은법 시행령에 의거하여 옥내소화전설비, 스프링클러설비, 물분무등소화설비는 지진이 발생하여도 소방시설이 정상적으로 작동될 수 있도록 소방시설의 내진설계 기준을 적용하고 있다⁽⁶⁾. 소방시설의 내진설계 기준⁽⁷⁾에 의하면 배관의 흔들림을 방지하기 위하여 흔들림방지버팀대를 사용하도록 하고 있다. 흔들림방지버팀대는 배관에 산정된 횡방향(X축) 및 종방향(Y축)의 수평지진하중에 모두 견디고, 지진하중에 의한 수직방향(Z축) 움직임을 방지하도록 버팀대를 설치하도록 규정하고 있고, 4방향 버팀대는 횡방향(X축) 및 종방향(Y축) 버팀대의 역할을 동시에 수행하도록 규정되어 있다. 이러한 기준으로 기존 4방향 버팀대는 배관 평면상 X축(좌우) 및 Y축(전후) 각각 양방향의 수평지진하중에는 충분히 견디도록 설계되었지만, 배관 자중방향인 Z축(상하) 양방향 수직지진하중에 대해서는 움직임만 방지하도록 되어 있어 충분한 설계검증이 되지 않아 지진으로 배관이 들릴 경우 배관 자중을 견디지 못할 가능성이 있다. 또한, 협소공간인 피트(Pit) 내부에 설치하는 입상관 흔들림방지버팀대는 공간적인 제약 및 제품특성으로 인해 설치 및 시공이 어렵고, 배관 상부에 설치하기 때문에 작업자의 낙상사고의 위험성을 내포하고 있는 실정

이다.

따라서 본 논문에서 협소공간인 피트(Pit) 내부에 설치되는 기존 입상관 흔들림방지버팀대의 설치 및 시공 상의 문제점을 개선하고, 기존 4방향 입상관 흔들림방지버팀대와 같이 수평지진하중(X축, Y축)에 대한 지지역할과 더불어 추가적으로 수직지진하중(Z축)을 지지할 수 있는 협소공간 전용 바닥고정형 입상관 버팀대를 개발하고자 전용 모델을 설계하여 솔리드웍스 시뮬레이션을 이용한 구조해석을 수행하였고, 압축 및 인장 하중시험을 진행하여 시제품의 성능을 확인하였다.

2. 기존 입상관 흔들림방지버팀대의 설치 한계성

입상관 흔들림방지버팀대(이하, 입상관 버팀대)는 소방시설의 내진설계 기준⁽⁷⁾에 의하여, 입상관을 관통하는 길이 1 m를 초과하는 주배관의 최상부에 4방향 버팀대를 설치하고, 입상관 4방향 버팀대 사이의 거리는 8 m를 초과하지 않도록 규정하고 있다. 즉, 최상층을 제외하고 8 m 이내 간격으로 소방배관을 잡아주기 위해 4방향 입상관 버팀대가 설치되고 있다. Figure 1(a)은 기존 입상관 버팀대를 나타낸 것으로 4방향을 지지하기 위해 2 set씩 제조사가 제시한 각도대로 설치하여 사용하고 있으나, Figure 1(b)과 같이 협소공간인 피트 내부에 설치되는 입상관 버팀대의 경우 소화설비 배관뿐만 아니라, 다양한 배관들이 피트 내부를 관통하고 있어 배관 간섭으로 배관사이의 간격이 좁아 설치가 어렵고, 피트 내부에 입상관 버팀대를 상부에 설치하기 위해서는 사다리를 이용하여 벽에 천공 후 앵커볼트로 고정하는 방식으로 작업을 진행하고 있는 실정이다. 이와 같이 설치공간의 제약으로 작업의 용이성이 현저히 떨어지고, 설치시간도 오래 걸리고 있으며, 설치위치가 높아 작업자의 낙상사고 위험성을 내포하고 있는 실정이다. 또한, Figure 1(c)과 같이 기존 슬리브방식의 바닥고정형 제품은 배관중심이 정확하지 않아 설치작업 자체가 어렵고, 일부 제품의 경우 플라스틱 재질로 인장규정에서 요구하는 하중을 견디는 방식이 아니기 때문에 쉽게 파손되어 제 역할을 못하고 있는 실정이다.

(a) 4-way sway brace

(b) Pit inside (narrow space)

(c) Sleeve type floor fixed

Figure 1. Conventional sway brace device.

3. 구조해석

기존 입상관 버팀대의 설치 및 시공 상의 문제점들을 보완하고 제품의 내구성을 강화하여, 본연의 기능을 다할 수 있는 협소공간전용 바닥고정형 입상관 버팀대 개발에 앞서 설계모델(배관호칭 50, 65, 80, 100, 125, 150, 200 A)에 대한 구조해석을 수행하였다. 바닥고정형 입상관 버팀대는 기존 4방향 입상관 버팀대와 같이 수평지진하중(X축, Y축) 지지 역할과 더불어 추가적으로 수직지진하중(Z축)을 지지할 수 있는 구조로 설계하였고, 설계모델을 대상으로 응력과 변형률의 구조해석을 통해 수평 및 수직 지진하중에 충분히 견디는지 여부를 미리 확인하고자 하였다. 구조해석은 솔리드웍스(SolidWorks) 시뮬레이션을 이용하였고, 구조해석 조건은 배관을 지지하는 X축(수평방향-좌우), Y축(수평방향-전후), Z축(수직방향-상하)에 대해 흔들림방지버팀대의 KFI인정기준⁽⁸⁾을 바탕으로, 본 설계모델의 최대 배관호칭인 200 A에 대한 성능기준 이상인 15,000 N의 하중을 전체 설계모델에 인가하였다. 즉, 현재 흔들림방지버팀대의 KFI 인정기준에서 지진 발생 시의 흔들림 모사에 대한 기준은 전무하여 제품인정 신청 시 시행되는 정하중 시험조건과 동일한 방법으로 해석 조건을 부여하였다. 또한, 설계된 바닥고정형 제품의 경우 양방향 고정볼트를 사용하여 배관을 잡아주는 형태로 설계되었기 때문에 볼트의 조임 정도에 따라 바닥고정형 제품이 약간의 변형을 일으키며, 배관을 더 확실하게 잡아주는 효과가 나타나기 때문에 사용재질의 항복응력이 아닌 인장응력 범위까지의 최대응력을 기준으로 결과를 분석하였다. 바닥고정형 입상관 버팀대의 양방향 고정볼트는 35 N·m Bolt-Pretension 조건으로 배관을 잡아주었으며, 배관 움직임의 경우 자유롭게 움직일 수 있도록 하였고, 입상관 버팀대를 바닥에 고정하는 방식으로 앵커볼트의 하부를 고정조건으로 적용하여 구조해석을 진행하였다. 구조해석은 설계모델을 대상으로 모두 수행하였으나, 세부적인 해석은 100 A를 기준으로 기술하였고, 구조해석 결과는 모든 모델을 대상으로 나타내었다.

3.1 1차 구조해석

Figure 2는 바닥고정형 입상관 버팀대의 설치예시 및 1차 설계모델의 3D 형상을 나타낸 것이다. Figure 2(a)와 같

(a) Installation example

(b) 3D shape of 1st design model

Figure 2. Installation example and 3D shape of 1st design model.

이 배관 바닥에 1 set로 고정하는 방식으로 고안하여, 기존 협소공간 배관 상부에 2 set로 설치하던 방식보다 설치시간을 줄이고 작업자의 안전성 확보 및 효율성을 높이하고자 하였다. Figure 2(b)는 1차 설계모델의 3D 형상으로 각 축 방향에 대해 제시하였고, X축이 표기된 부분의 바닥고정틀에 앵커볼트로 바닥과 고정하기 때문에 앵커볼트의 하부에 고정조건을 주었다. 또한, 재질은 구상흑연주철을 사용하여 내구성을 강화하고자 하였고, 본 연구에 사용된 구상흑연주철의 인장응력은 450 MPa로 설계모델이 제 기능을 다하기 위해서는 각 축에 15,000 N의 하중을 인가 시 각 축에서 측정되는 응력이 450 MPa를 초과하지 않아야 한다. 구조해석은 X축(수평방향-좌우), Y축(수평방향-전후), Z축(수직방향-상하) 각 축을 기준으로 양방향에 대해 수행하였으나, 각 축별 최대응력이 나타나는 방향에 대해서만 분석결과를 나타내었다.

Figure 3은 1차 설계모델의 구조해석 결과를 나타낸 것이다. Figure 3(a)은 X축으로 하중을 인가한 결과로 바닥고정틀 앵커볼트 체결부위와 고정틀과 고정틀을 연결하는 앵커볼트 체결부위에서 하중이 많이 집중되었고, 하중이 집중된 부분의 최대응력은 525 MPa로 설계 허용응력인 450 MPa보다 16.67% 높게 나타났다. Figure 3(b)은 Y축으로 하중을 인가한 결과로 고정틀과 고정틀을 연결하는 앵커볼트 체결부위에서 하중이 많이 집중되었다. 하중이 집중된 부위의 최대응력은 514 MPa로 세 방향 축에 동일한 하중 적용 시 Y축에서 가장 낮은 최대응력 값이 도출되었으나, 설계 허용응력인 450 MPa보다 14.22% 높게 나타났다. Figure 3(c)은 Z축으로 하중을 인가한 결과로 바닥고정틀 앵커볼트 체결부위에서 하중이 가장 많이 집중되었고, 하중이 집중된 부분의 최대응력은 3,101 MPa로 설계 허용응력인 450 MPa보다 589.11% 높게 나타났다.

결과적으로 1차 설계모델의 경우 각 축에 15,000 N의 하중인가 시 X축, Y축, Z축 모두 재질의 인장응력인 450 MPa를 초과하여 배관의 하중을 충분히 견디지 못하는 것으로 나타났다. 특히, 최대응력이 가장 높은 Z축의 경우 하중인가 전 Figure 4(a)의 상태에서 하중인가 후 Figure 4(b)의 상태로 모델의 형태가 변형(최대변형률 13.01%)되는 것을 볼 수 있었다. 이와 같은 원인은 고정하는 부분이 한쪽 방향에만 설계되어 고정 부분이 없는 쪽의 배관은 위로 드리는 수직방향의 하중을 견딜 수 없어 제 기능을 하지 못하는 것으로 생각된다.

Figure 3. Structural analysis results of 1st design model.

Figure 4. Z-axis deformation of 1st design model.

Figure 5. 2nd design model and structural analysis results.

3.2 2차 구조해석

1차 설계모델의 경우 바닥에 고정하는 앵커볼트 체결부위가 한쪽 방향에만 존재하기 때문에 수직방향으로 편심하중이 발생하여, 수평 및 수직 방향에서의 허용응력을 초과하는 문제가 발생하였다. 이에 대한 문제점을 보완하기 위

하여 양쪽으로 하중을 분산할 수 있는 구조로 설계하였다. Figure 5는 2차 설계모델 및 구조해석 결과를 나타낸 것으로 1차 설계모델과 동일한 재료로 설계하였고, 동일한 조건으로 구조해석을 진행하여 응력과 변형률을 확인하였다. Figure 5(b)는 X축으로 하중을 인가한 결과로 고정틀과 고

Figure 6. Z-axis deformation of 2nd design model.

Table 1. Maximum Results of Von Mises Stress and Strain (ESTRN)

Size		Axial Direction		
		X-axis	Y-axis	Z-axis
50 A	Von Mises Stress	361 MPa	338 MPa	396 MPa
	Strain (ESTRN)	0.15%	0.14%	0.17%
65 A	Von Mises Stress	403 MPa	355 MPa	405 MPa
	Strain (ESTRN)	0.18%	0.15%	0.18%
80 A	Von Mises Stress	355 MPa	389 MPa	400 MPa
	Strain (ESTRN)	0.15%	0.16%	0.17%
100 A	Von Mises Stress	348 MPa	343 MPa	397 MPa
	Strain (ESTRN)	0.15%	0.14%	0.17%
125 A	Von Mises Stress	301 MPa	315 MPa	383 MPa
	Strain (ESTRN)	0.13%	0.13%	0.16%
150 A	Von Mises Stress	267 MPa	308 MPa	333 MPa
	Strain (ESTRN)	0.11%	0.13%	0.14%
200 A	Von Mises Stress	291 MPa	316 MPa	364 MPa
	Strain (ESTRN)	0.12%	0.13%	0.15%

정들을 연결하는 앵커볼트 체결부위에서 하중이 많이 집중되었고, 하중이 집중된 부분의 최대응력은 348 MPa로 설계 허용응력인 450 MPa보다 22.67% 낮게 나타났다. Figure 5(c)는 Y축으로 하중을 인가한 결과로 바닥고정틀 앵커볼트 체결부위에서 하중이 가장 많이 집중되었다. 하중이 집중된 부위의 최대응력은 343 MPa로 세 방향 축에 동일한 하중 적용 시 Y축에서 가장 낮은 최대응력 값이 도출되었고, 설계 허용응력인 450 MPa보다 23.78% 낮게 나타났다. Figure 5(d)는 Z축으로 하중을 인가한 결과로 전체적으로 하중을 받았고, 바닥고정틀 앵커볼트 체결부위에서 하중이 가장 많이 집중되는 것으로 나타났고, 하중이 집중된 부위의 최대응력은 397 MPa로 설계 허용응력인 450 MPa보다 11.78% 낮게 나타났다.

결과적으로 2차 설계모델의 경우 각 축에 15,000 N의 하중을 인가하였을 때, X축, Y축, Z축 모두 재질의 인장응력인 450 MPa를 초과하지 않는 것으로 나타나 입상관 버팀대로의 역할을 하는데 문제가 없을 것으로 판단되었다. 또한, Figure 6에서 보는 바와 같이 2차 설계모델의 경우 1차 설계모델에서 발생하였던 수직편심하중에 의한 변형이 발생

되지 않았다. 즉, 2차 설계모델에서는 최대변형률이 0.17%로 1차 설계모델(최대변형률 13.01%)보다 약 12.84% 감소하는 것으로 나타나 구조적인 안정성 및 내구성 향상을 확인할 수 있었다.

Table 1은 2차 설계모델과 동일한 구조로 설계한 전체 설계모델(배관호칭 50, 65, 80, 100, 125, 150, 200 A)에 대한 구조해석 결과로 응력과 변형율의 최대값을 나타낸 것이다. 구조해석은 모두 동일한 조건으로 각 축에 15,000 N의 하중을 인가하여 수행하였다. X축으로 하중인가 시 전체 설계모델 중 65 A 모델이 최대응력 403 MPa (최대변형율 0.18%)로 가장 높게 나타났고, 150 A 모델이 최대응력 267 MPa (최대변형율 0.11%)로 가장 낮게 나타났다. Y축으로 하중인가 시 전체 설계모델 중 80 A 모델이 최대응력 389 MPa (최대변형율 0.16%)로 가장 높게 나타났고, 150 A 모델이 최대응력 308 MPa (최대변형율 0.13%)로 가장 낮게 나타났다. Z축으로 하중인가 시 전체 설계모델 중 65 A 모델이 최대응력 405 MPa (최대변형율 0.18%)로 가장 높게 나타났고, 150 A 모델이 최대응력 333 MPa (최대변형율 0.14%)로

(a) Prototype (100 A)

(b) Installation example

Figure 7. Prototype and installation example.

가장 낮게 나타났다. 일반적으로 배관과의 접촉면적을 고려하였을 때 응력과 변형률은 배관의 관경이 커질수록 감소하여야 하나, 본 해석 결과에서는 배관의 관경이 커질수록 배관의 중심과 바닥에 지지되는 앵커볼트와의 간격 증가로 인해 회전모멘트의 값이 달라지고, 회전모멘트의 값이 응력과 변형률에 영향을 주었기 때문에 일정한 경향성이 나오지 않은 것으로 생각된다.

전체 설계모델의 구조해석 결과 각 축에 15,000 N의 하중을 인가하였을 때, X축, Y축, Z축 모두 재질의 인장응력인 450 MPa를 초과는 모델이 없는 것으로 나타났고, 변형률도 X축, Y축, Z축에서 최대 0.18%로 구조적인 변형이 발생하지 않는 것을 볼 수 있었다. 구조해석 결과를 통해 설계된 바닥고정형 입상관 버팀대는 기존 4방향 입상관 버팀대와 같이 수평지진하중(X축, Y축) 지지역할과 더불어 추가적으로 수직지진하중(Z축)을 지지할 수 있는 기능을 확보할 수 있는 것으로 판단된다.

4. 시제품제작 및 성능시험

Figure 7은 구조해석 결과를 바탕으로 동일 재질 및 모델로 제작된 시제품 및 설치예시를 나타낸 것이다. 협소공간인 피트(Pit) 내부 바닥에 고정하는 방식으로 제작하였기 때문에 상부 배관에 설치하던 기존 입상관 버팀대보다 배관 설치가 용이하고, 낙상사고를 방지할 수 있다. 또한 Figure 1(a)과 같이 기존 2 set로 설치되는 방식에서 Figure 7(b)과 같이 1 set로 줄임으로써 작업시간 단축 및 작업의 효율성을 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다.

4.1 압축 및 인장 하중시험

제작된 바닥고정형 입상관 버팀대 시제품의 성능확인하기 위해서 구조해석과 동일한 X축, Y축, Z축에 대한 압축 및 인장 하중시험을 진행하였고 시험의 신뢰성을 확보하기 위해 인증기관의 담당자의 입회하에 시험을 실시하였다. 압축 및 인장 하중시험은 흔들림방지버팀대의 KFI인정기준⁽⁸⁾ 제7조(제품 하중시험) 및 제8조(부품 하중시험)에 의

거하여 진행하였다. 최대시험하중은 KFI인정기준에 의해 본 시제품의 최대 배관호칭인 200 A를 기준으로 최소정격하중(8,963 N)의 1.5배인 13,445 N을 적용하도록 되어있지만, 본 연구에서는 기준보다 더 높은 하중에 견딜 수 있도록 구조해석과 동일한 15,000 N을 최대시험하중으로 하였다. 시험방법은 Figure 8(a)의 인장·압축 하중시험기를 이용하여 제작된 입상관 버팀대를 장착하고, 시험각도 90°로 각 축 방향에 대해 15,000 N 하중으로 압축하중과 인장하중을 각각 1분 동안 가한 후 부품의 이탈, 균열 및 변형 등을 확인하고, 하중방향의 최대움직임을 측정하였다. 이때, 최대움직임의 적합기준은 배관호칭 100 A 이하는 25.4 mm 이하, 100 A 초과는 50.8 mm 이하가 되어야 한다. Figure 8(b)는 압축 및 인장 하중시험 시 하중이 인가되는 축 방향을 제시한 것이다. 시험은 모든 시제품을 대상으로 각 축 방향에 대한 압축 및 인장 하중시험을 5회씩 진행하여 최대움직임 중 측정된 최대값을 기록하였다.

4.2 압축 및 인장 하중시험결과

Table 2는 제작된 바닥고정형 입상관 버팀대 시제품의 압축 및 인장 하중시험의 결과를 나타낸 것으로 모든 시제품에서 부품의 이탈, 균열 및 변형 등이 나타나지 않아 이 부분에 대한 분석은 배제하였다. 배관호칭 100 A 이하의 시제품에 대한 결과를 분석해보면 X축의 경우 압축하중에 대한 최대움직임은 50 A에서 6.7 mm로 가장 높게 나타났지만, 기준(25.4 mm)대비 73.6% 감소, 인장하중에 대한 최대움직임은 80 A에서 5.6 mm로 가장 높게 나타났지만, 기준대비 78.0% 감소된 값으로 나타났다. Y축의 경우 압축하중에 대한 최대움직임은 50 A에서 4.8 mm로 가장 높게 나타났지만, 기준대비 81.1% 감소, 인장하중에 대한 최대움직임은 65 A에서 6.4 mm로 가장 높게 나타났지만, 기준대비 74.8% 감소된 값으로 나타났다. Z축의 경우 압축 및 인장 하중에 대한 최대움직임은 모두 50 A에서 각각 2.7 mm, 1.5 mm로 가장 높게 나타났지만, 기준대비 각각 89.4% 및 94.1% 감소된 값으로 나타났다. 배관호칭 100 A 초과 시제품에 대한 결과를 분석해보면 X축의 경우 압축하중에 대한 최대움직임은 125

Figure 8. Compressive and tensile load test.

Table 2. Maximum Movement Results of Compressive Load (CL) and Tensile Load (TL)

Size (Standard)	Axial Direction					
	X-axis		Y-axis		Z-axis	
	CL	TL	CL	TL	CL	TL
50 A (≤ 25.4 mm)	6.7 mm (-73.6%)	4.4 mm (-82.7%)	4.8 mm (-81.1%)	5.0 mm (-80.3%)	2.7 mm (-89.4%)	1.5 mm (-94.1%)
65 A (≤ 25.4 mm)	2.3 mm (-90.9%)	3.1 mm (-87.8%)	2.0 mm (-92.1%)	6.4 mm (-74.8%)	0.7 mm (-97.2%)	1.1 mm (-95.7%)
80 A (≤ 25.4 mm)	4.9 mm (-80.7%)	5.6 mm (-78.0%)	1.5 mm (-94.1%)	3.8 mm (-85.0%)	0.9 mm (-96.5%)	0.8 mm (-96.9%)
100 A (≤ 25.4 mm)	3.2 mm (-87.4%)	5.2 mm (-79.5%)	2.9 mm (-88.6%)	3.6 mm (-85.8%)	0.8 mm (-96.9%)	1.2 mm (-95.3%)
125 A (≤ 50.8 mm)	5.8 mm (-88.6%)	6.2 mm (-87.8%)	2.4 mm (-95.3%)	4.7 mm (-90.7%)	0.5 mm (-99.0%)	1.2 mm (-97.6%)
150 A (≤ 50.8 mm)	3.1 mm (-93.9%)	5.1 mm (-90.0%)	5.1 mm (-90.0%)	7.5 mm (-85.2%)	0.3 mm (-99.4%)	2.0 mm (-96.1%)
200 A (≤ 50.8 mm)	2.7 mm (-94.7%)	6.3 mm (-87.6%)	4.9 mm (-90.4%)	4.7 mm (-90.7%)	2.7 mm (-94.7%)	4.7 mm (-90.7%)

A에서 5.8 mm로 가장 높게 나타났지만, 기준(50.8 mm)대비 88.6% 감소, 인장하중에 대한 최대움직임은 200 A에서 6.3 mm로 가장 높게 나타났지만, 기준대비 87.6% 감소된 값으로

나타났다. Y축의 경우 압축 및 인장 하중에 대한 최대움직임은 모두 150 A에서 각각 5.1 mm, 7.5 mm로 가장 높게 나타났지만, 기준대비 각각 90.0%, 85.2% 감소된 값으로 나타났

다. Z축의 경우 압축 및 인장 하중에 대한 최대움직임은 모두 200 A에서 각각 2.7 mm, 4.7 mm로 가장 높게 나타났지만, 기준대비 각각 94.7% 및 90.7% 감소된 값으로 나타났다.

압축 및 인장 하중시험결과 모든 시제품이 기준에서 정한 성능기준에 적합한 것을 확인할 수 있었고, 기존 입상관 버팀대가 보유하고 있는 X축(수평방향-좌우) 및 Y축(수평방향-전후) 방향으로의 수평지진하중에 대한 지지역할과 더불어 추가적으로 Z축(수직방향-상하) 방향으로의 수직지진하중에 견딜 수 있는 성능을 확보하고 있는 것을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

본 논문은 협소공간 전용 바닥고정형 입상관 흔들림방지버팀대 개발에 관한 연구로써 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 1차 설계모델의 경우 각 축 방향으로 15,000 N 하중인가 시 바닥에 고정하는 앵커볼트 체결부위가 한쪽 방향에만 존재하여 수직편심하중으로 인한 변형(최대변형률 13.01%)이 발생하였고, 수평 및 수직 방향 모두 재질의 인장응력인 450 MPa를 초과하는 문제가 발생하였다.

2) 1차 설계모델의 문제점을 개선한 2차 설계모델의 경우 각 축에 15,000 N의 하중인가 시 전체 설계모델에서 X축, Y축, Z축 모두 재질의 인장응력인 450 MPa를 초과하지 않았고, 가장 높게 측정된 최대변형률도 0.18%(65 A, Z축)로 변형이 발생하지 않아 구조적인 안정성 및 내구성이 향상된 것으로 나타났다.

3) 시제품에 대한 압축 및 인장 하중시험결과 100 A 이하 시제품에서의 최대움직임은 50 A가 X축 방향에 대한 압축하중인가 시 6.7 mm로 가장 높게 나타났지만, 기준(25.4 mm)보다 73.6% 감소된 값이고, 100 A 초과 시제품에서의 최대움직임은 150 A가 Y축 방향에 대한 인장하중인가 시 7.5 mm로 가장 높게 나타났지만, 기준(50.8 mm)보다 85.26% 감소된 값으로 모두 기준에 적합한 것으로 나타났다.

이상과 같은 결과 제작된 바닥고정형 입상관 흔들림방지버팀대는 기존 입상관 흔들림방지버팀대가 보유하고 있는 X축 및 Y축 방향으로의 수평지진하중에 대한 지지역할과 더불어 추가적으로 Z축 방향으로의 수직지진하중에도 견딜 수 있는 성능을 확보하고 있는 것을 확인하였다. 또한, 협소공간인 피트(Pit) 내부 바닥에 고정하는 방식으로 제작하였기 때문에 상부 배관에 설치하던 기존 입상관 버팀대보다 배관 설치가 용이하고, 낙상사고를 방지할 수 있는 제품으로 활용 가능할 것으로 생각된다.

하지만, 현재까지 바닥고정방식의 입상관 흔들림방지버팀대에 대한 기준이 없기 때문에 제도적인 개선이 향후 필요할 것으로 생각되고, 또한 개발된 바닥고정형 입상관 흔들림방지버팀대의 경우 주배관이 통과하는 모든 층에 독립

적으로 설치가 가능하지만 주배관 최상부는 바닥고정이 불가능하기 때문에 기존 입상관 흔들림방지버팀대로 설치해야하는 단점을 가지고 있다. 하지만 기존 제품에서 검증되지 않은 수직하중에 의한 배관 들림현상을 방지할 수 있기 때문에 기존 제품들과 병행으로 사용하면 그 효과가 극대화 될 것으로 판단된다.

끝으로 본 논문은 하중이 앵커 및 콘크리트에 미치는 영향을 분석한 것이 아닌 개발된 바닥고정형 입상관 흔들림방지버팀대 자체의 변형률 및 최대응력을 분석하는 논문으로 추후 앵커 및 콘크리트에 미치는 영향에 대해 추가연구를 진행할 예정이다.

후 기

본 연구는 2018년도 중소벤처기업부의 ‘산학연협력 기술개발사업’으로 수행된 연구임(S2657683).

References

1. G. Y. Kim, J. S. Choi, C. Y. Kim, J. H. Kim, K. H. Lee and D. J. Yun, "Performance Accreditation Test of Sway Brace to Maintain the Function of Fire Piping During Earthquake", Proceedings of 2018 Autumn Annual Conference, Korean Society for Noise and Vibration Engineering, p. 350 (2018).
2. S. H. Kim, "Sway Bracing Construct Ability Study", Proceedings of 2017 Autumn Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 69-70 (2017).
3. J. D. Kang, T. Nagae, J. S. Choi, C. Y. Kim and K. Kajiware, "Seismic Response of Piping System with and without Sway Brace", Proceedings of 2019 Spring Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 69-70 (2019).
4. S. I. Thak, B. S. Son, D. O. Lim and C. Y. Oh, "A Study on the Seismic Resistance Design of Sway Brace Device using Internet of Things", Fire Science and Engineering, Vol. 31, No. 1, pp. 58-62 (2017).
5. D. S. Bang and J. O. Lee, "A Study on Seismic Design Method Considering Physical Properties of Piping Material", Fire Science and Engineering, Vol. 32, No. 2, pp. 38-47 (2018).
6. Presidential Decree (No. 28996), "Fire Prevention, Act Enforcement Ordinance on the Installation Maintenance and Safety Management of Fire Protection System" (2018).
7. National Fire Agency 119 Notice (No. 2017-1), "Seismic Design Criteria for Fire Protection Facilities" (2017).
8. Korea Fire Institute, "KFI Certification Standard of Sway Brace" (2019).