

[Research Paper]

IoT를 활용한 흔들림 방지 버팀대의 내진설계에 관한 연구

탁성인 · 유봉근* · 손봉세**†

가천대학교 일반대학원 설비·소방공학과, *한국방진방음 주식회사, **가천대학교 설비·소방공학과

A Study on the Seismic Resistance Design of Sway Brace Device using Internet of Things

Sung-In Thak · Bong-Geun Yu* · Bong-Sei Son**†

Dept. of Building Equipment System & Fire Engineering Graduate School, Gachon Univ.

*Korea Vibration & Noise Control Corp.

**Dept. of Building Equipment System & Fire Engineering, Gachon Univ.

(Received January 26, 2017; Revised February 27, 2017; Accepted February 27, 2017)

요 약

국내에서도 내진설계의 필요성이 점차 증대되고 있다. 그 중에서도 비구조요소인 소화배관의 흔들림 방지 버팀대에 관한 연구가 계속되고 있다. 이에 본 연구에서는 흔들림 방지 버팀대의 하중 시험을 통하여 유효한 범위를 측정하였다. 그 결과, 하중 0에서부터 18.5 kN까지 설계안전 범위로 측정되었으며 최대 29.4 kN에서도 흔들림 방지 버팀대의 구조 및 성능에 이상 없이 정상 작동하였다. 또한 사물인터넷의 환경을 이용하여 센서노드로부터 데이터를 전송 받아 유효 하중범위 안에서 추출과 예측단계를 거쳐 재난정보를 수신케 하는 모니터링 시스템의 모듈을 구성하였다.

ABSTRACT

There is a growing need for seismic resistance design. But it is controversial that standards of sway brace device in non-structural elements for buildings like pump waterway is vary widely. Therefore, in this study to get a valid range of sway brace device in seismic resistance design, using load test of sway brace device. As a result, load of safe range from 0 to 18.5 kN and under 29.4 kN, no structural fault of sway brace device. And using internet of things get a data of seismic resistance design from sensor node like accelerometer, GPS, tilt sensor and temperature sensor through steps of sampling and prediction. These results will be acceptable for monitoring system for seismic resistance in non-structural elements.

Keywords : Internet of Things, Seismic Resistance, Sway Brace Device

1. 서 론

1.1 연구의 배경

산업의 급성장으로 건축물이 초고층화 되면서 소방시설에 대한 내진설계도 그 범위가 넓어지고 있다. 특히 2016년 9월 12일 오후 8시 33분경 경북 경주시 남남서쪽 8.7 km 지점에서 일어난 5.8 규모의 지진은 대한민국도 지진 안전지대가 아님을 시사하며 내진설계에 기초한 건축물의 관리 유지 분야가 주요 쟁점화 되었다. 규모 5.8 이상의 지진은 1978년 지진 관측이 시작된 이후로 가장 강력한 규모였다.

1990년대의 해외의 대형 지진사례를 조사해 보면 지진 발생 이후 전기 및 가스 관련시설 파괴에 따른 화재의 위험성이 매우 높다는 사실을 알 수 있다. 실제로 관동대지진의 경우 지진이후 대규모 연소화재가 발생되어 건물 약 22만동이 화재로 소실되었으며 총 7만여명의 사망자 중 95%는 화재로 인하여 사망했다. 1994년 노스리지 지진의 경우 지진 손상된 소방설비가 소화능력을 상실하여 전기 및 가스시설 파괴에 따른 화재를 조기진압 할 수 없었다. 초고층 빌딩의 높은 인구밀도를 생각한다면 지진 발생 시 초기화재의 진압여부는 재난을 관리하는 핵심적이고 기본적인 요

† Corresponding Author, E-Mail: bsson@gachon.ac.kr, TEL: +82-31-750-5713, FAX: +82-31-750-5713

Copyright © 2017 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

소이며 이에 따라 소화설비의 내진설계의 중요성이 날로 커지고 있다. 또한 건축물의 안전관리에 대한 관심이 증폭되면서 과거 재난에 대한 인명구조 자체에 초점을 맞춘 대응방식도 예방과 방호에 기초한 좀 더 거시적인 분야로 발전하게 되었다.^(1,2)

이와 더불어 건축물의 관리유지 분야에서 두각을 나타내고 있는 Internet of Things (IoT)을 내진설계에 접목하여 보다 안전한 관리시스템을 구축할 수 있다. 공간의 제한 없이 일상 속에서 자유롭게 네트워크를 통한 시설물 관리의 가능성을 기본으로 하는 이 IT 기술은 System on the Chip (SoC), Radio Frequency Identification Tag (RFID Tag), Ubiquitous Sensor Network (USN) 등을 바탕으로 각종 시스템의 실시간 제어 및 관리가 가능하게 한다.⁽³⁾ 본 연구에서는 소방시설의 내진설계 대상 중 흔들림 방지버팀대의 인장시험을 바탕으로 내진설계의 적용이 가능한 IoT 환경을 제시한다.

1.2 연구의 목적

지진에 의한 소방시설의 피해 사례를 살펴보면 소화설비의 배관 파손, 배관의 변형 및 손상, 서로 다른 흔들림에 의한 배관의 위치 차이 발생, 플랜지 이음의 파손과 같다. 이러한 파손의 영향은 비단 화재의 조기진압의 실패뿐 아니라 스프링클러헤드의 오작동 및 이에 따른 누수에 의하여 살수피해가 예상되기도 한다. 또한 지진 발생으로 수계 소화 설비뿐만 아니라 큰 직경 배관이나 덕트가 횡진동이 발생하여 작은 직경 및 덕트에 해당하는 소구경 관의 파손을 일으킬 수도 있다.

내진설계란, 이러한 지진 발생 시 건축물이 받는 지진영향력이 해당 건축물 혹은 시설물에 최소한으로 미치게 하는 설계로 정의된다. 국민안전처에서 제공하는 소방시설의 내진설계 기준에 의하면 내진배관은 작용하는 지진력에 대하여 버팀대로 구조부재에 단단히 연결시키고 버팀대가 이를 지지하는 방식을 의미한다. 또한 흔들림 방지 버팀대는 지진에 의한 배관의 흔들림을 방지하기 위한 고정 장치로서 배관의 자중을 지지하는데 사용되는 행거와 구분되며, 소방배관에 작용하는 지진력을 구조물에 전달할 수 있도록 구조물과 일체화시켜 견고하게 설치하여야 한다. 흔들림 방지 버팀대는 지지할 대상의 배관 가동중량 및 수평 지진력을 고려하여 충분한 강도를 가지고 있어야 하며, 또한 건축물의 구조부재 및 그와 동등한 성능을 갖고 있는 부재에 단단히 고정하여야 한다. 흔들림 방지 버팀대가 지지하는 배관의 실제 지진현상은 무수히 많은 방향에서 지진력이 작용할 것이나, 공학적으로는 수평 2방향 및 필요한 경우 수직방향을 포함하는 3방향의 정의만으로 해석이 가능하다고 본다. 본 연구는 흔들림 방지 버팀대의 길이방향에 대해 인장 또는 압축하중만이 작용하게 된다고 가정하여 이에 대한 검증을 수행하는 방식으로 진행하였다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 흔들림 방지

버팀대를 이용하여 내진설계 요소를 검증하고 3장에서는 IoT를 기반으로 내진설계 플랫폼의 구성요소를 도출한다. 4장에서는 결론과 향후연구를 기술한다.

2. 흔들림 방지 버팀대의 내진설계 요소 검증

2.1 구조물 및 비구조물에서의 내진설계

일반적인 구조물에서는 중력하중 이외의 추가하중이 작용할 경우 현재 가장 큰 응력이 발생하고 있는 부재가 작은 응력을 받고 있는 부재에 비하여 적은 추가하중에 대해서도 취약할 수밖에 없다고 판단한다. 따라서 전체 구조물에서 응력비를 산정하여 응력비가 큰 부재를 취약부재로 선정하는 작업이 우선되어야 하며 이것은 건물의 구조형식에 따라 다른 수치해석의 결과가 나올 수 있다. 다만, 예상치 못한 외부의 충격에 의해서는 충격하중을 받는 위치에 따라 구조물의 거동이 달라져 이를 특정해서 거동을 분석하는 것은 무의미한 것으로 판단한다. 이것을 기본 원칙으로 구조해석 프로그램을 이용하여 가장 취약한 부분의 응력을 산정한다.⁽⁴⁾ 취약한 부분의 응력을 산정 한 뒤, 능력곡선(capacity curve)과 능력스펙트럼(capacity spectrum)을 이용하여 내진성능평가를 가능하게 한다. 이 평가는 각 부재의 비선형 특성을 고려한 비선형 해석을 통하여 건물의 성능곡선을 형성할 수 있고 이 결과로 내진안전성을 평가한다. 또한 부재단위의 성능곡선은 그 부재에 대한 유한요소 해석 및 단면해석 등을 통하여 구축할 수 있다.

비구조물에서는 지진 발생 시 지진력이 비구조물등의 정착부에 작용하는 힘은 인장력, 전단력 등으로 정의하고 지진력이 작용하는 방향과 비구조물 자체 중량 등에 따라 비구조물이 받는 영향력은 달라지게 된다고 판단한다. 이에 따라서 주로 비구조물의 결합부위에서의 인장력 시험을 실시한다.

2.2 흔들림 방지 버팀대의 구성 및 하중시험

흔들림 방지 버팀대는 지진이 일어나는 동안 단일 장치로 건물과 함께 움직이는 소화설비 및 배관의 원활한 방재를 돕기 위해 설계된다. 이러한 목적만 달성이 가능하다면 흔들림 방지 버팀대는 다양한 방법으로 설치가 가능하다. 설치 방식별 종류로는 압축 및 인장하중을 견디기 위한 고정형 버팀대와 인장하중을 견디기 위한 버팀대인 비고정형 버팀대로 구별할 수 있지만 버팀대의 지지부를 고정단으로 설계하는 것은 배관 자체에 추가적인 응력을 발생시킬 수 있으며 이는 또다른 해석을 요구하기 때문에 본 연구에서는 비효율적이라고 판단한다. 따라서 본 연구에서는 비고정형 버팀대로 한정하여 연구한다. NFPA 인정 기준에 따른 흔들림 방지 버팀대의 종류로는 수평지진하중에 의한 배관 축에 수직 방향의 움직임을 방지하는 횡방향 흔들림 방지 버팀대, 수평지진하중에 의한 배관축과 평행방향의 움직임을 방지하는 종방향 흔들림 방지 버팀대가 있다. 횡

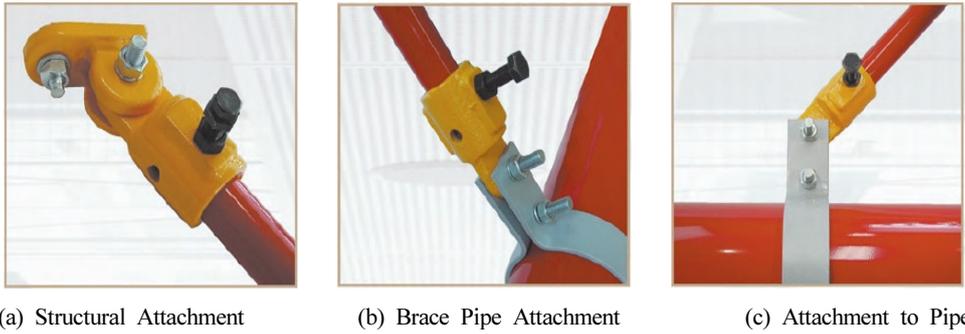


Figure 1. Parts of sway brace device.

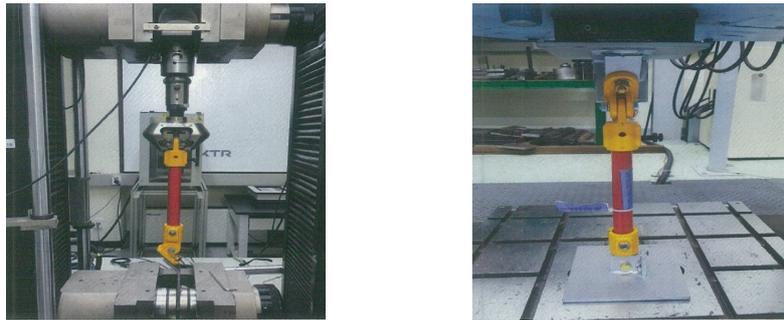


Figure 2. Test of sway brace device's static vertical load test.

Table 1. Specification of Universal Material Testing Machine

Max. Capacity	1000 kN
Grip Face for Rod Specimens	0 mm to 65 mm
Ram Stroke	250 mm
Crosshead Elevation Speed	330/400 Hz

방향 흔들림 방지 버팀대는 모든 주배관, 교차배관과 가지 배관이 배관구경 65 mm 이상인 배관에 설치하며 버팀대의 간격은 중심선 기준으로 최대간격이 12 m를 초과하지 않아야 한다. 종방향 흔들림 방지 버팀대의 경우 모든 주배관, 교차배관에 설치하며 버팀대의 간격은 24 m를 초과하지 않아야 한다. 이 외에도 길이 1 m를 초과하는 주배관의 최상부에는 4방향 흔들림 방지 버팀대를 설치하여야 하며 이때 버팀대 사이의 거리는 8 m를 초과하지 않아야 한다.⁽⁵⁾ 본 연구에서는 횡방향, 종방향에 모두 적용할 수 있는 KSCI 흔들림 방지 버팀대를 사용하여 하중 실험을 실시하였다.

흔들림 방지 버팀대는 웨지앵커를 포함한 구조적 부착물(Fastener/Structural Attachment), 지지대 부착물(Upper Brace Pipe Attachment), 지지대(Brace Material), 배관 부착물(Attachment to Pipe)로 구성되어 있다. Figure 1은 흔들림 방지 버팀대의 각 구성요소를 나타낸 것이다.

본 연구에서는 지지대를 고정하는 썬키 볼트를 이중으로 구성하고 상부 볼트가 장력도발 시 탈락되게 설계토크의 기준(34.5 N·m 이상)을 맞추어 만능재료 시험기를 사용하여 하중 시험을 실시한다. 만능재료 시험기의 규격은 Table 1과 같다.

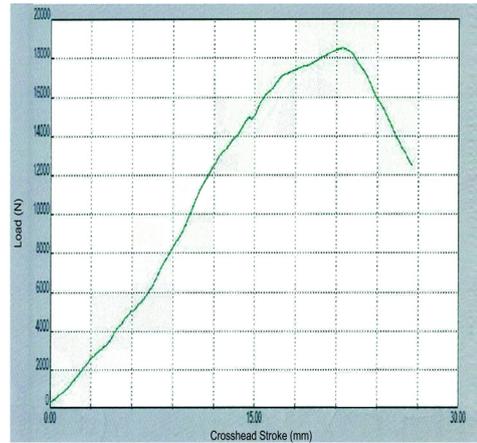


Figure 3. Result of static vertical load test.

KFI 인정기준에 따라 시험은 썬키 볼트가 부러질 때까지 조임 후 최소 정격하중치인 수직각도에서의 버팀하중을 측정하였고 시험방법은 만능재료시험기(GALDABINI SUN60)를 이용하여 상온에서 시험속도는 10 mm/min로 인장하였다. 또한 파손유무를 측정하기 위하여 만능재료시험기(SHIMADZU UHF1000kNX)를 이용하여 상온에서 시험속도 5 mm/min으로 최대하중 1.5배 이상이라고 가정되는⁽⁶⁾ 29.4 kN의 압축하중시 육안으로 파손유무를 확인하였다. Figure 2는 흔들림 방지 버팀대의 하중 시험 장면이다.

Figure 3은 하중에 따른 인장거리를 나타낸다. 시험결과 34.5 N·m 이상으로 조임 후 인장거리(Crosshead stroke) 21

Table 2. An Element of a Sensor Node

Name	Purpose	Model
Accelerometer	Detection	Structural
GPS	Detection	Structural
Tilt Sensor	Symptom	Diagnostics
Temperature Sensor	Symptom	Diagnostics

mm에서 최대하중 18.5 kN로 측정이 되었으며 최대하중 이후 시료가 미끄러지는 현상으로 하중 측정이 불가능해졌다. 29.4 kN의 압축하중시 육안으로 파손된 상황은 없었다. 따라서 0kN에서부터 18.5 kN까지의 유효범위를 가지고 최대 29.4kN까지의 하중범위 안에서 기계적 결함은 없다고 판단할 수 있다.

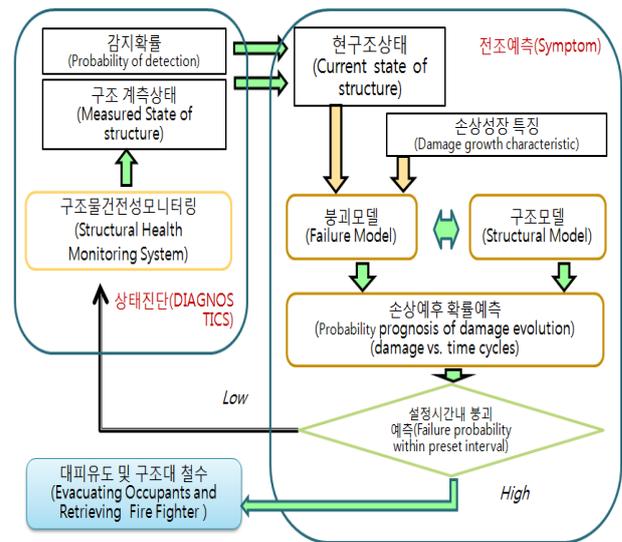
3. IoT 적용을 위한 모듈 설계

3.1 계측요소에 따른 모듈의 설계

허용된 인장강도의 범위 내에서 계측용 센서에 대한 요구사항으로는 저비용(센서가격, 설치비, 보수비), 대상물의 수명에 따른 내구성, 옥외 등 주어진 환경 아래에서의 로버스트성(robustness : 내충격성, 내노이즈성)의 확보등을 고려하여야 한다. 또한 고유진동수 및 기울기 스트레인 온도 등 다양한 계측요소를 총괄적으로 수집하여 전송시킬 센서 노드가 필요하다. Table 2는 센서노드에 포함될 요소이다.

각 센서의 사양은 다음과 같다. 가속도계의 경우 0.4 Hz에서 12.0 KHz의 주파수와 온도 120 °C 이상의 Top형 연결형식의 규격을 가지고 있어야 하며, 기울기 센서는 서보 경사센서 내장의 센서방식과 수직으로부터 $\pm 10^\circ$ 의 측정범위와 9 arc sec의 분해능을 가지고 시스템 반복도 ± 22 arc sec 이상을 가지는 센서를 사용한다. 고정밀 구조물 부착형 기울기 센서의 경우는 경제적 효율성을 고려하여 이 연구에서는 배제한다. GPS센서 및 온도센서 또한 경제적 효율성을 고려하여 -40 °C에서 125 °C의 온도조건을 만족하고 0.1 분해능을 가진 기본 센서를 사용한다.

Figure 4는 센서노드로 받아들이는 데이터의 흐름에 따른 상태진단 및 전조예측의 순서도이다. 이 순서도에 따르면 데이터의 흐름은 크게 추출(Sampling)과 예측(Prediction) 단계를 거치며 기초데이터(Raw Data)에서 정제되고 유효한 데이터로의 발전을 이룬다. 추출단계에서는 단순한 수집 및 분류 등을 담당하며, 데이터를 보관하는 데이터 웨어하우스의 의미로 적용할 수 있으며, 빅데이터 분석을 통해 손상예후를 예측하는 단계를 거친다. 즉 기초데이터에 해당하는 흔들림 방지 버팀대의 허용된 인장강도 범위에서는 안전하다는 상태진단을 내릴 수 있으며, 그 이후 가속도계와 GPS의 데이터를 포함하여 현 구조상태에 따라 손상에 따른 전조예측이 가능하다.⁽⁷⁾

**Figure 4.** Module design using diagnostics and symptom.

4. 결 론

본 연구에서는 흔들림 방지 버팀대의 내진설계 기준에 의하여 하중실험을 실시하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 하중범위 18.5 kN까지를 설계안전 범위로 판단할 수 있으며 육안으로 파손된 상황이 없는 29.4 kN 하중범위 안에서 흔들림 방지 버팀대의 구조 및 성능에 이상 없음을 확인하였다.
- (2) 허용된 인장범위 내에서 상태진단 및 전조예측을 프로세스로 삼는 모듈을 설계하여 기초데이터(Raw Data)에서 추출한 정보를 가지고 IoT를 기반으로 하는 흔들림 방지 버팀대의 내진설계가 가능하다.
- (3) 향후연구에서 흔들림 방지 버팀대의 동적해석실험을 실시하여 실제 지진력이 발생되었을 때의 취약지점을 설정하여 가속도계 온도 등의 센서노드로부터의 데이터를 기반으로 한 능동적인 내진설계가 가능 할 수 있음을 기대한다.
- (4) 비구조물의 경우 설치위치 및 접합부에 따라 구조적 요소에 따른 거동특성이 존재하기 때문에 이것에 대한 추가 연구의 필요성이 있다. 또한 앵커볼트의 인발시험을 통한 내진 설계의 기준도 규정이 되어야 한다.

후 기

본 연구는 한국방진방음 주식회사의 지원을 받아 수행되었으며 관계제위께 감사드립니다.

References

1. J. H. Kim, D. E. Kang and T. J. Kim, "Seismic Design of

- High-rise Buildings”, Review of Architecture and Building Science, Vol. 54, No. 10, pp. 32-36 (2010).
2. J. M. Hong, “Seismic Design for Non-structural”, The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Proceedings of 2012 Annual Conference, pp. 289-304 (2012).
 3. W. J. Joe, M. L. Jiang and K. J. Jeong, “An M2M/IoT Based Smart Data Logger for Environmental Sensor Networks”, Journal of KIISE : Computing Practices and Letters, Vol. 20, No. 1, pp. 1-5 (2014).
 4. K. K. Chang, Y. C. Lim and D. W. Seo, “Comparison of Building Code for Design of Non-structural Elements for Buildings”, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction Vol. 29, No. 1, pp. 23-30 (2013).
 5. National Fire Protection Association, “NFPA 13 - Standard for the Installation of Sprinkler Systems” (2016).
 6. Ministry of Public Safety and Security, “Explanation of the Fire Protection System’s Seismic Resistance Design 2016” (2016).
 7. S. I. Thak, “A Study of Collapse - Disaster Symptom Management System based on Heat Degradation and Excessive Overload Beyond Design Load”, pp. 14-18 (2013).