

[Research Paper]

## 배관 재료의 물성을 고려한 내진설계 방법에 관한 연구

방대석 · 이재오<sup>\*†</sup>

(주)비엔에스조인트, \*대전대학교 소방방재학과

### A Study on Seismic Design Method Considering Physical Properties of Piping Material

Dae-Suk Bang · Jae-Ou Lee<sup>\*†</sup>

BNS Joint Corporation

<sup>\*</sup>Department of Fire and Disaster Prevention, Daejeon University

(Received February 19, 2018; Revised March 26, 2018; Accepted March 28, 2018)

#### 요 약

본 연구에서는 배관 재료의 물성을 고려한 공학적 내진설계방식과 소방시설의 내진설계의 기준에 따른 사양위주의 설계방식에 대하여 비교 분석하였다. 배관 재료의 물성을 고려한 내진설계 방식의 경우는 배관에서 발생하는 비틀림 응력과 굽힘 응력의 합성 값을 통해 배관의 안전성을 분석하게 된다. 하지만 사양위주의 설계방식의 경우는 배관 재료의 안전성이 아니라 배관이 움직이는 힘을 해석하여 흔들림 방지버팀대가 견딜 수 있는지 여부를 해석하고 있다. 소화배관은 하나의 연결된 구조체로 일정구간에서 발생하는 흔들리는 힘을 통해서는 배관의 안전성을 보장 받을 수 없기 때문에 배관 재료의 응력과 변위의 안전성 분석을 통해서 가능하다. 그러므로 안전성 있는 소화 설비 배관의 내진설계를 위해서는 배관 재료의 물성과 건축 구조물의 내진성능을 고려한 해석방법을 적용할 필요가 있다.

#### ABSTRACT

In this study, we compare the engineering seismic design method considering the physical properties of piping materials and the specification-oriented design method according to the seismic design standards of fire fighting equipment. In the case of the seismic design method considering the physical properties of piping materials, the safety of the piping will be analyzed through the combined value of the torsional stress and the bending stress generated in the piping. However, in the case of the design-centered design method, instead of the safety of the piping material, it calculates the moving force of the pipe and interprets whether or not the shaking prevention strut can bear. Fire extinguishing equipment piping is possible through safety analysis of stress and displacement of piping material because piping safety can not be secured via unstable force generated in a certain section with one connected structure is there. Therefore, it is necessary to apply analytical method considering seismic performance of building structure and material properties of piping for seismic design of safe fire extinguishing system piping.

**Keywords** : Seismic, Physical property, Pipe system, Torsional stress, Bending stress, Displacement

### 1. 서 론

최근 경주 및 포항에서 발생한 지진으로 인해 더 이상 우리나라도 지진의 안전지대가 아님을 알 수 있다. 예상 된 지진에 대해서는 공학적인 해석을 통해 안전성을 확보할 수 있다<sup>(1)</sup>. 설비 분야의 경우 비구조체에 포함되어 내진에 대한 구조적 해석은 제외되어 왔다. 하지만 설비의 훼손으

로 인한 2차 및 3차 피해로 인한 재해발생의 경험을 바탕으로 위협을 방지하기 위한 노력이 최근 이루어지고 있다. 소방 분야의 경우 2016년에 발생한 경주 지진이후 미국방화협회(National Fire Protection Association; NFPA)의 기준을 준용한 설계기준을 적용하고 있다. 하지만 배관재료의 응력이나 변위에 대한 해석이 되지 않고 배관의 움직임을 구속시킬 수 있는 버팀대를 설치하는 방식이 주를 이루고

<sup>†</sup> Corresponding Author, E-Mail: [krokasig@dju.ac.kr](mailto:krokasig@dju.ac.kr), TEL: +82-42-280-2598, FAX: +82-42-280-2596

© 2018 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

있어 배관 및 지지대의 파손 등의 문제점이 발생할 수 있다<sup>(2)</sup>. 지진이 발생할 경우 배관은 일정구간에 따라 해석이 가능한 것이 아니며 모두 일체화로 거동하기 때문에 전체 배관에 대한 응력과 변위를 해석하여야 한다. 하지만 소방시설의 내진설계기준은 이를 반영하고 있지 못하고 있으며 일정구간에 종방향 및 횡방향의 버팀대를 설치하여 움직임을 구속하는 방식으로만 설계가 되고 있어 정확한 공학적 해석에는 한계가 있다<sup>(3)</sup>. NFPA 에서 준용하고 있는 내진설계의 기준이 되는 미국토목학회(American Society of Civil Mechanical Engineers; ASCE)기술 지침에서는 4 가지의 설계방식을 제시하고 있다. 공학적 지식이 전무한 상태에서 설계가 가능한 Cook Book (요리책 방식)과 공학적으로 배관의 거동을 해석한 Static Hand Calculations (정역학적 수계산 방식), Static System Analysis (정역학적 시스템 분석 방식) 그리고 Response Spectra Analysis (응답 최적 분석 방식) 이다<sup>(4,5)</sup>.

구조체의 내진설계 기준은 건축물의 구조기준 등에 관한 규칙에 의해 설계 되고 있다. 하지만 소방시설의 내진설계기준은 Cook Book 방식으로 건축물의 구조기술 등에 관한 규칙에서 제시하고 있는 지진구역, 건물의 중요도 등을 고려한 건물의 내진등급 기준과는 별개로 지반가속도를 0.5 g (지반가속도)로 고정하여 배관의 수평지지력을 산정하고 설계하고 있다<sup>(6)</sup>. 이 방식은 지진과 배관에 대한 지식이 없는 사람들도 내진설계를 할 수 있도록 하는 사양화된 설계 방식으로 보수적인 방식이라 할 수 있다. 소방시설의 내진설계 기준 제2조 적용범위 2항에서 국내의 설계 기준에도 특별한 조사나 연구에 의한 설계방식을 사용할 수 있는 근거를 제시하고 있다. 하지만 내진 설계방법에 대해 공학적으로 이해할 수 있는 기술자가 거의 없어 국내의 현장 적용에 많은 어려움을 가지고 있다<sup>(5)</sup>. 하지만 실무자가 역학적 해석을 하지 못한다는 이유로 사용에 제한을 두는 것은 문제가 될 수 있으며 역학적 해석방식에 의한 배관의 내진설계를 적극적으로 적용할 필요가 있다.

지반가속도가 배관에 전달될 경우 배관은 전달된 힘에 의해 비틀림 응력, 굽힘 응력 및 변위가 발생되므로 버팀대에 전해지는 힘을 해석하기 보다는 배관자체의 응력 및 변위를 해석하여 설계하는 것이 좀 더 합리적이다. 소방시설의 내진설계 기준으로 사용되고 있는 버팀대 방식은 배관재료의 물성을 고려하지 않은 설계 방식으로 대부분의 배관계통의 엔지니어는 버팀대를 이용한 방식보다는 배관에 힌지나 롤러 같은 역할을 할 수 있는 응력과 변위에 따라 능동적으로 반응하여 지지할 수 있는 역할을 하는 볼 조인트나 멀티조인트를 이용한 설계 방식을 선호한다<sup>(7)</sup>. 그러므로 합리적이고 신뢰적인 내진설계를 위해서는 배관의 특성을 파악하고 지반가속도가 전달될 수 있는 힘을 여러 경우로 가정하여 해석할 필요가 있다<sup>(8)</sup>.

따라서 본 연구에서는 건축물의 요구 내진성능에 따라 배관의 응력 및 변위를 분석하고자 한다. 배관의 내진설계의 경우 구조체에 적용되는 지반가속도를 간과할 수 없

며 이를 근거로 배관에 대한 공학적 해석을 할 필요가 있다<sup>(9,10)</sup>. 소화배관에 대한 내진설계는 배관의 안전성 및 지지력을 위한 것으로 지진 시 배관에서 발생하는 응력 및 변위에 의해 서포트(support)나 지지대(anchor)에 전달되는 힘의 역학적 해석을 통한 방식의 연구를 통해 소방시설의 성능위주의 내진설계 정착에 기여하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 배관의 내진설계 방법

건축물의 구조기준 등에 관한 규칙에 따르면 설계하중은 고정하중, 적재하중(활하중), 적설하중, 풍하중, 지진하중, 토압 및 지하수압, 온도하중, 유체압력 및 용기 내용물 하중, 운반설비 및 부속장치 하중, 그 밖의 하중으로 분류하고 있다<sup>(6)</sup>. 이중 비 구조체인 설비 배관의 고정하중 외에 적용이 가능한 하중은 지진하중, 토압 및 지하수압, 온도하중 그리고 유체압력 등이다. 공학적으로 배관의 응력을 해석하는 주목적은 배관의 내압, 열팽창, 자중, 바람, 지진 등의 하중에 대한 배관계통과 배관에 연결되는 장치에 대한 안전성 검토 그리고 배관 지지대 및 배관 지지물의 설계에 필요한 자료를 제공하기 위함이다. 배관의 응력 해석 시 고려되어야 하는 하중은 배관의 자중, 배관 내부에 흐르는 유체의 압력, 배관 내부에 흐르는 온도로 발생하는 배관의 팽창 또는 수축으로 인해 배관에 발생하는 하중, 배관계의 힘을 유발시키는 풍하중, 지진에 의한 배관계의 흔들림 하중,

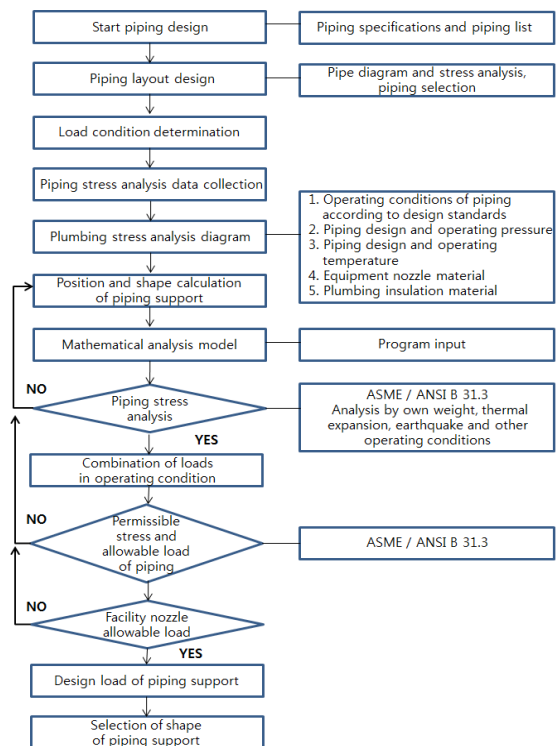


Figure 1. Seismic piping design flowchart.

펌프나 압축기 등의 회전기기 등에 의한 배관계의 진동하중이 고려되어야 한다. 또한 배관 응력 해석 시 필요한 자료로는 공정흐름도, 공정배관계장도, 배관 자재 사양서, 설비 배치도, 구조물 도면, 배관도, 3차원 배관도 등이 필요하다. 응력을 해석하기 위해서는 비틀림 응력, 굽힘 응력 그리고 지지력에 대한 빔 공식을 사용하여 직접 수 계산을 통해서도 가능하지만 최근에는 배관의 응력해석이 가능한 배관 설계 소프트웨어를 이용하는 방식이 선호되고 있다. Figure 1은 배관의 내진 설계에 대한 순서도로 안전이 검증될 때까지 피드백을 통하여 최종설계에 반영하게 된다.

**2.2 배관의 공학적 응력 및 변위 해석을 통한 내진 설계**

Figure 2은 건축물에 설치된 소화설비 배관의 isometric diagram으로 건축물의 구조기준 등에 관한 규칙에 따른 Table 1의 지역별 지진구역 및 지역계수 기준을 적용하여 area I (0.22 g)과 area II (0.14 g)의 지진계수를 건축물의 지반가속도와 동일한 조건일 때 배관에 발생하는 응력과 변위를 해석하였다. 배관은 schedule number 10, 물의 온도는 21 °C, 배관내의 수압은 14 kg/cm<sup>2</sup>을 적용하였고 관을 지지하는 서포트는 3 m 간격으로 설치된 것으로 가정하였다.

건축물의 구조기준 등에 관한 규칙에서 최대 지반가속도를 구할 때는 응답스펙트럼 방식과 능력스펙트럼방식에 의해 산정을 하게 된다. 응답스펙트럼 방식의 경우 최대지반가속도는 식 (1)에 의해 Table 1의 지진계수와 Table 2의 중요도계수 그리고 지반의 조건에 따른 지반증폭계수를 통해 구하게 된다. 능력스펙트럼 방식의 경우 다음 1)에서 3)까지의 절차에 의해 산정하게 된다.

1) 하중의 점진적 증가에 상응하여 비선형 정적해석으로 구한 건축물의 최상층 변위와 지진력과의 관계곡선(이하 “능력곡선”이라 한다)을 구한다.

2) 능력곡선 위에 건축물이 지진력에 의해 변형을 일으키더라도 인명의 손상이 발생되지 않는 변위의 한계점(이하 “인명안전 한계점”이라 한다)을 구한다.

3) 가속도와 주기의 응답 스펙트럼 관계를 가속도와 변위관계로 변환하여 구해진 상관곡선(이하 “요구곡선”이라

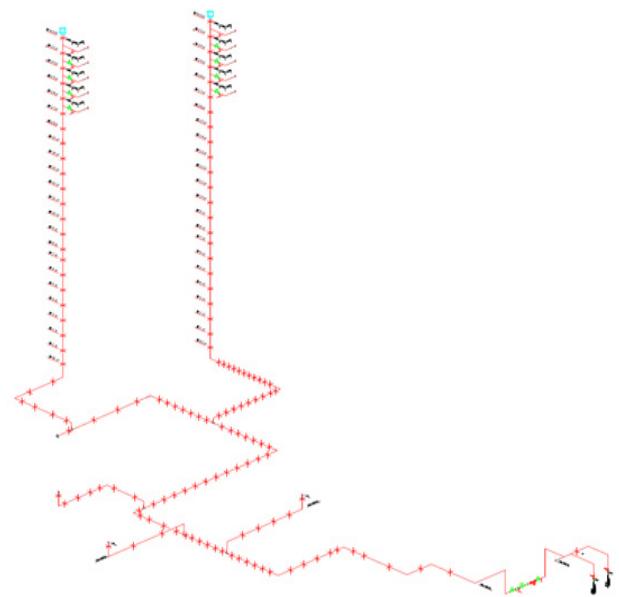


Figure 2. Isometric diagram for seismic analysis<sup>(2)</sup>.

한다)이 능력곡선의 인명안전 한계점과 교차할 때의 요구곡선 가속도를 최대 지반가속도로 한다.

$$\text{최대지반가속도}(g) = \frac{2}{3} \times S \times I \times F_a \tag{1}$$

S : 지진구역계수(Earthquake area and Seismic Coefficient)

I : 중요도계수(Important Factor)

Fa : 지반증폭계수(Ground Amplification Factor)

건축물의 구조기준 등에 관한 규칙에서는 건물의 중요도 및 중요도 계수에 따라 지진계수에 중요도 계수를 가산하여 건축물의 최대 지반가속도를 구하게 된다. 지진으로 인한 최대지반가속도를 수정 메르칼리 진도(Modified Mercalli Intensity; MMI)로 환산한 지표는 Table 3과 같으며 건물의 중요도나 건물의 증폭계수를 고려하지 않았을 때 일반적으로 사용하고 있는 지진지역에 대한 지진계수를 MMI 수치로 환산하였을 때 III~VII로 볼 수 있다.

ASME B31, “Code for pressure piping”을 기준으로 Figure

Table 1. Earthquake Area and Seismic Coefficient<sup>(5)</sup>

Earthquake Area	Administrative Area		Seismic Zone Coefficient
I	City	Seoul, Busan, Incheon, Daegu, Daejeon, Gwangju, Ulsan, Sejong	0.22 g
	Province	Gyeonggi-do, Southern Gangwon-do, Chungcheongbuk-do, Chungcheongnam-do, Gyeongsangbuk-do, Gyeongsangnam-do, Jeollabuk-do, Jeollanam-do	
II	Province	Northern Gangwon-do, Jeju Island	0.14 g
Southern Gangwon-do: Gangneung, Donghae, Samcheok, Wonju, Taebaek, Yeongwol, Jeongseon-gun Northern Gangwon-do: Sokcho, Chuncheon, Goseong, Yanggu, Yangyang, Inje, Cheorwon, Hwacheon Pyeongchang, , Hongcheon, Hoengseong			

**Table 2.** Importance and Important Factor<sup>(5)</sup>

Importance	Special Grade	1 Grade	2 Grade	3 Grade
Usage and Scale of Building	1. Storage and Processing Facilities of Dangerous Goods with a Total floor Space of 1,000 m <sup>2</sup> or More · Government Buildings of the National or Local Autonomous Organizations, Foreign Diplomatic Missions and Fire Departments, Power Stations and Broadcasting Stations and Whole Body Telephone Offices 2. General Hospitals, Hospitals with Surgical Facilities and Emergency Facilities	1. Storage and Processing Facilities of Dangerous Goods with Total Floor Area Less Than 1,000 m <sup>2</sup> · Government Buildings of Government or Local Autonomous Organizations, Foreign Diplomatic missions, Fire Department and Power Station, Broadcasting Station and Whole Body Telephone Office 2. Venues and Meeting Places and Galleries with Total Floor Space of 5,000 m <sup>2</sup> or More, Exhibition Halls, Exercise Facilities, Sales Facilities, Transportation Facilities (Excluding Cargo Terminals and Collection and Delivery Facilities) 3. Child-related Facility · Elderly Welfare Facility · Social Welfare Facility · Work Welfare Facility 4. Accommodation Facility of 5th Floor or Above · Office Building and Dormitory and Apartment 5. school 6. Hospitals That do not have Both Surgical Facilities and Emergency Facilities, and Other Buildings That do not Fall Under Importance (Special) as Medical Facilities with a Total Floor Space of 1,000 m <sup>2</sup> or More	1. Buildings That do not Fall Under Importance (Special), (1), (3)	1. Agricultural Facility, Small Scale ware House 2. Hypothetical Structure
Important Factor	1.5	1.2	1.0	1.0

**Table 3.** Modified Mercalli Intensity Scale and Maximum Acceleration<sup>(5)</sup>

Maximum Acceleration	MMI Value
0.002 or more and less than 0.004	I
0.004 or more and less than 0.008	II
0.008 or more and less than 0.017	III
0.017 or more and less than 0.033	IV
0.033 or more and less than 0.066	V
0.066 or more and less than 0.133	VI
0.133 or more and less than 0.264	VII
0.264 or more and less than 0.528	VIII
0.528 or more and less than 1.050	IX
1.050 or more and less than 2.100	X
2.100 or more and less than 4.191	XI
4.191 or more	XII

2의 소화 배관을 0.14 g와 0.22 g의 최대지반가속도 조건으로 Table 4의 37가지 하중조건을 고려하여 배관의 응력 및 변위를 해석하고자 한다.

Figure 3은 Table 4에서 U1 (X-axis direction)축, U2 (Y-axis direction)축 그리고 U3 (Z-axis direction)축의 좌표 값을 나타내며, 축에 따라 +와 -값이 입력되어 각종 응력 및 변위가 해석 된다. Load case 15, Load case 16, Load case 17, Load case 18에서는 U1 (X-axis direction)축과 U2 (Y-axis direction)축으로 진행되는 지반가속도를 Load case 19, Load case 20, Load case 21, Load case 22에서는 U2 (Y-axis direction)축과 U3 (Z-axis direction)축으로 진행되는 지반가속도를 Load case 31, Load case 32, Load case 33에서는 U1 (X-axis direction)축과 U3 (Z-axis direction)축으로 진행되는 지반가속도를 고려한 하중 조건을 만들었다. 종합적으로 U1

**Table 4.** Listing of Static Load Cases for this Analysis<sup>(2)</sup>

Number	Analysis of condition case	Load case	Number	Analysis of condition case	Load case
1	HYD	L1=WW+HP	20	OCC	L20=L8-L2
2	OPE	L2=W+T1+P1	21	OCC	L21=L9-L2
3	OPE	L3=W+T1+P1+U1+U2	22	OCC	L22=L10-L2
4	OPE	L4=W+T1+P1-U1-U2	23	OCC	L23=L14+L15
5	OPE	L5=W+T1+P1+U1-U2	24	OCC	L24=L14+L16
6	OPE	L6=W+T1+P1-U1+U2	25	OCC	L25=L14+L17
7	OPE	L7=W+T1+P1+U2+U3	26	OCC	L26=L14+L18
8	OPE	L8=W+T1+P1-U2-U3	27	OCC	L27=L14+L19
9	OPE	L9=W+T1+P1+U2-U3	28	OCC	L28=L14+L20
10	OPE	L10=W+T1+P1-U2+U3	29	OCC	L29=L14+L21
11	OPE	L11=W+T1+P1+U1+U3	30	OCC	L30=L14+L22
12	OPE	L12=W+T1+P1-U1-U3	31	OCC	L31=L11-L2
13	OPE	L13=W+T1+P1+U1-U3	32	OCC	L32=L12-L2
14	SUS	L14=W+P1	33	OCC	L33=L13-L2
15	OCC	L15=L3-L2	34	OCC	L34=L14+L31
16	OCC	L16=L4-L2	35	OCC	L35=L14+L32
17	OCC	L17=L5-L2	36	OCC	L36=L14+L33
18	OCC	L18=L6-L2	37	EXP	L37=L2-L11
19	OCC	L19=L7-L2			

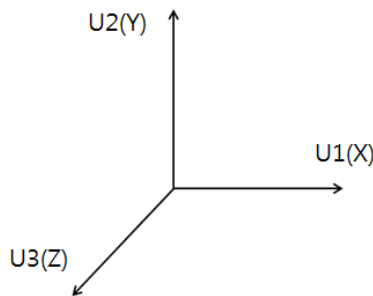
note:

HYD: hydraulic pressure test

OPE: analysis assuming operating conditions, SUS: analysis taking into account the influence of weight and pressure

EXP: analysis considering the effect of heat, OCC: analysis assuming a state where a short-term load is applied

W: weight, T1: temperature, P1: pressure, U1: X-axis direction, U2: Y-axis direction, U3: Z-axis direction

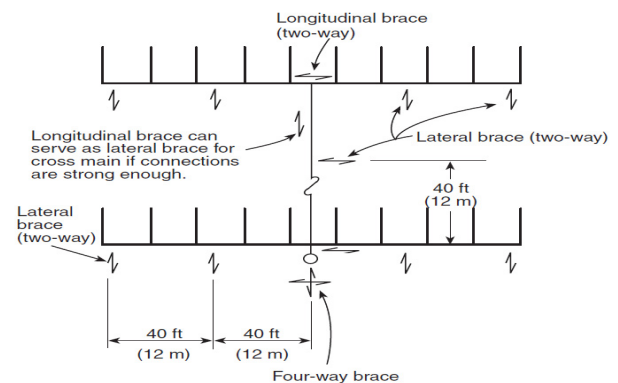


**Figure 3.** Coordinate reference.

(X-axis direction)축, U2 (Y-axis direction)축 그리고 U3 (Z-axis direction)축으로 축을 배열하고 영향을 주는 방향을 2 방향으로 한정하였으며 이는 지진파의 특성을 고려한 것이다.

**2.3 소방시설의 내진설계기준에 의한 내진설계**

국내 소방시설의 내진설계 기준은 배관, 관부속, 배관 속의 물의 하중을 고려하여 Figure 4와 같이 횡방향 흔들림 방지 버팀대와 종방향 흔들림 방지 버팀대를 일정 간격 이하로



**Figure 4.** Typical location of bracing on a tree type pipe system<sup>(4)</sup>.

설치하는 것으로 가정하여 해석하고 있다. 이를 바탕으로 소방시설의 내진설계기준에 의해 KSD 3507 Steel Pipe와 KSD 3562 Steel Pipe 150 mm 배관에 대하여 횡방향 및 종방향의 흔들림 방지버팀대에서 요구되는 하중 값을 해석하고자 한다.

**Table 5.** Stress Amount at 0.14 Gravity

Load Case	Node	Bending Stress (kg/cm <sup>2</sup> )	Torsion Stress (kg/cm <sup>2</sup> )	Code Stress (kg/cm <sup>2</sup> )	Allowable stress (kg/cm <sup>2</sup> )	Ratio (%)
34	610	76.3	-3.1	364.6	1496.2	24.4
	738	8.1	-1.2	296.0		19.8
	1265	1240.2	22.9	1426.5		95.3
	2408	284.6	18.6	470.3		31.4
	2448	339.1	14.2	525.2		35.1
35	610	81.6	-1.2	369.4		24.7
	738	9.2	-1.2	397.9		19.9
	1265	1202.4	22.8	1385.2		92.6
	2408	280.5	20.5	462.3		30.9
	2448	318.6	23.6	500.1		33.4
36	610	75.5	-1.2	363.6		24.3
	738	8.1	-1.2	296.7		19.8
	1265	1235.1	22.9	1419.7		94.9
	2408	105.9	20.5	462.5		30.9
	2448	322.7	23.9	505.0		33.7

**Table 6.** Stress and Displacement Amount at 0.22 Gravity

Load Case	Node	Bending Stress (kg/cm <sup>2</sup> )	Torsion Stress (kg/cm <sup>2</sup> )	Code Stress (kg/cm <sup>2</sup> )	Allowable Stress (kg/cm <sup>2</sup> )	Ratio (%)
34	610	115.9	4.5	404.2	1496.2	27.0
	738	44.0	-0.6	331.3		22.1
	1265	1249.6	23.5	1436.4		96.0
	2408	423.0	20.1	609.8		40.8
	2448	423.4	18.8	610.2		40.8
35	610	114.9	-10.6	402		26.9
	738	51.6	-1.8	340.9		22.8
	1265	1188.9	22.3	1370.8		91.6
	2408	418.5	19.5	599.2		40.1
	2448	411.5	19.1	592.3		39.6
36	610	149.9	-0.3	437		29.2
	738	4.0	-0.3	292.9		19.6
	1265	1247.6	22.3	1433		95.8
	2408	419.7	19.7	601.5		40.2
	2448	419.4	19.6	601.3		40.2

### 3. 결과 및 분석

#### 3.1 배관의 공학적 응력 및 변위 해석을 통한 내진설계 결과 분석

0.14 g와 0.22 g의 최대지반가속도 조건에서 해석된 응력 및 변위를 분석해 본 결과 Load case 34, Load case 35, Load case 36 조건에서 배관의 허용 응력에 가장 가까운 값의 굽힘

응력 및 비틀림 응력의 합성응력 값이 발생됨을 알 수 있었다. Table 5와 Table 6은 0.14 g와 0.22 g 조건에서 해석되어진 굽힘 응력(bending stress), 비틀림 응력(torsion stress) 그리고 배관에 발생하는 합성 응력(code stress)을 나타내고 있다<sup>8)</sup>.

Table 5와 Table 6을 분석한 결과 최대지반가속도가 0.14 g와 0.22 g에서 Load case 34, Load case 35, Load case 36 조건에서 동일하게 1265 Node에서 배관의 허용응력에

**Table 7.** Displacement Amount at 0.14 Gravity

Load Case	Node	Displacement (mm)			Angle displacement ( ° )		
		X	Y	Z	X	Y	Z
34	610	0.004	-0.028	0.001	-0.0029	-0.0002	-0.0018
	738	0.002	-0.838	0.003	-0.0322	-0.0001	-0.0302
	1265	-0.054	-1.981	1.982	-0.0017	0.0763	0.0153
	2408	0.002	0.685	-0.606	-0.0280	0.0591	0.0719
	2448	0.003	0.676	-0.730	-0.0309	0.0712	0.0710
35	610	-0.011	-0.030	-0.001	-0.0032	0.0004	-0.0027
	738	-0.006	-0.836	-0.002	-0.0322	0.0002	-0.0301
	1265	-0.090	-1.997	-2.005	-0.0018	-0.0759	0.0182
	2408	-0.051	0.677	0.618	-0.0261	-0.0605	0.0711
	2448	-0.105	0.646	0.727	-0.0221	-0.0714	0.0677
36	610	0.005	-0.029	-0.001	-0.0032	-0.0002	-0.0017
	738	0.002	-0.836	-0.002	-0.0321	-0.0002	-0.0300
	1265	-0.064	-1.958	-2.004	-0.0017	-0.0766	0.0158
	2408	-0.007	0.682	0.617	-0.0263	-0.0603	0.0715
	2448	-0.024	0.660	0.721	-0.0225	-0.0706	0.0691

**Table 8.** Displacement Amount at 0.22 Gravity

Load case	Node	Displacement (mm)			Angle displacement ( ° )		
		X	Y	Z	X	Y	Z
34	610	0.026	-0.034	0.002	-0.0029	-0.0007	-0.0163
	738	0.237	-0.848	0.018	-0.0327	-0.0079	-0.0314
	1265	-0.047	-1.978	1.995	-0.0003	0.0750	0.0147
	2408	0.003	0.683	-0.908	-0.0267	0.0886	0.0717
	2448	0.003	0.671	-0.909	-0.0271	0.0887	0.0704
35	610	-0.037	-0.023	-0.002	-0.0032	0.0008	0.0127
	738	-0.284	-0.840	-0.003	-0.0325	0.0093	-0.0301
	1265	-0.101	-2.001	-2.016	-0.0028	-0.0734	0.0191
	2408	-0.075	-0.676	0.928	-0.0268	-0.0908	0.0709
	2448	-0.132	0.648	0.936	-0.0256	-0.0918	0.0680
36	610	0.038	-0.046	-0.002	-0.0033	-0.0012	-0.0234
	738	0.233	-0.857	-0.003	-0.0331	0.0089	-0.0322
	1265	-0.053	-1.982	-0.202	-0.0033	-0.0692	0.0149
	2408	0.001	0.684	0.927	-0.0271	-0.0907	0.0717
	2448	-0.010	0.667	0.932	-0.0262	-0.0912	0.0700

가장 근접한 최대 합성 응력이 발생됨을 알 수 있었다. 또한 Load case 34, Load case 35, Load case 36에서 공통적으로 Load case 14 (L14=W+P1)의 배관 지지를 위해 설치되는 서포트의 안전성을 평가하기 위한 조건이 입력된 조건에서 가장 큰 응력이 발생됨을 알 수 있었다.

Table 7과 Table 8은 각 노드에서의 변위량, 변위방향 그리고 배관의 변위로 인해 발생하는 배관의 변위각을 나타내고

있으며, Table 5와 Table 6과의 상관성을 확인할 수 있었다.

그리고 여러 하중 조건에 따라 가장 큰 응력과 변위가 발생하는 하중 조건을 분석한 결과 Table 9와 같은 조건이 나타남을 알 수 있었다. 응력과 변위의 경우 0.14 g 조건 0.22 g 조건에서 Figure 5와 같이 610 node, 738 node, 1265 node, 2408 node, 2448 node에서 가장 큰 응력변화가 발생됨을 알 수 있었다. 또한 U1 (X-axis direction)축과 U2 (Y-axis



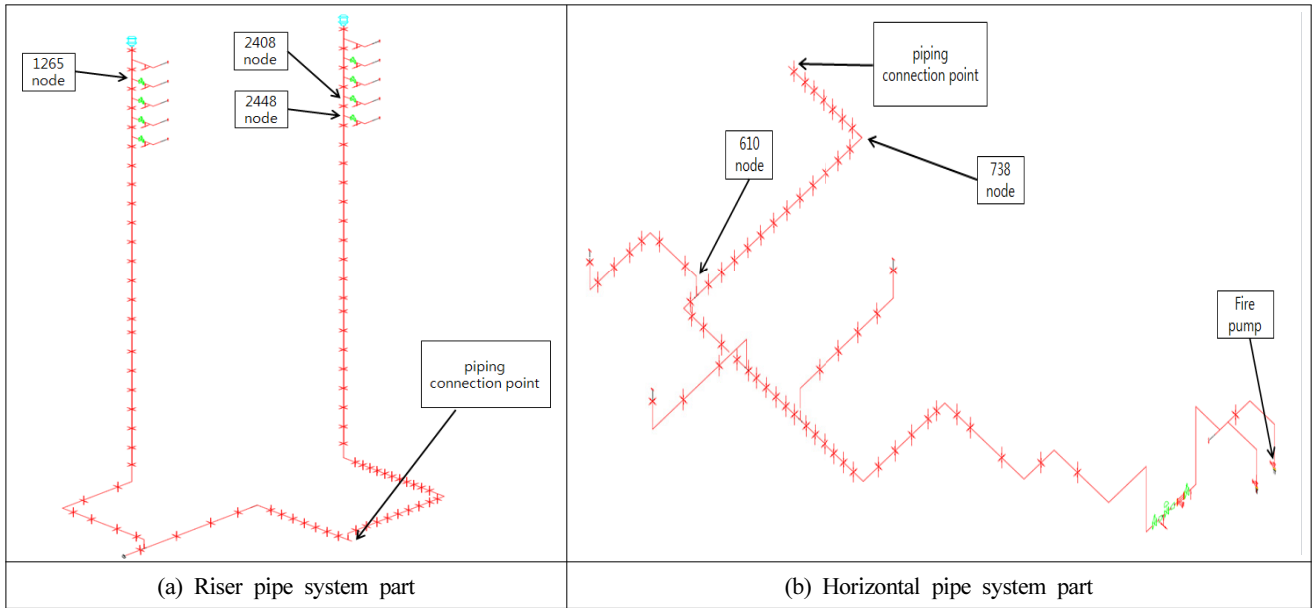


Figure 5. Isometric diagram of the node with the largest displacement<sup>(2)</sup>.

Table 9. Stress and Displacement of Load Case Analysis

Analysis of Condition Case	Load Case	Solution
OPE	2	$L2=W+T1+P1$
OPE	11	$[L11=W+T1+P1+U1(X)+U3(Z)]$
OPE	12	$[L12=W+T1+P1-U1(X)-U3(Z)]$
OPE	13	$[L13=W+T1+P1+U1(X)-U3(Z)]$
SUS	14	$L2=W+P1$
OCC	31	$L11 - L2 = [W+T1+P1+U1(X)+U3(Z)] - (W+T1+P1) = U1(X)+U3(Z)$
OCC	32	$L12 - L2 = [W+T1+P1-U1(X)-U3(Z)] - (W+T1+P1) = -U1(X)-U3(Z)$
OCC	33	$L13 - L2 = [W+T1+P1+U1(X)-U3(Z)] - (W+T1+P1) = U1(X)-U3(Z)$
OCC	34	$L14 + L31 = (W+P1)+[U1(X)+U3(Z)] = W+P1+U1(X)+U3(Z)$
OCC	35	$L14 + L32 = (W+P1)+[-U1(X)-U3(Z)] = W+P1-U1(X)-U3(Z)$
OCC	36	$L14 + L33 = (W+P1)+[U1(X)-U3(Z)] = W+P1+U1(X)-U3(Z)$

direction)축 그리고 U3 (Z-axis direction)축 중 U1 (X-axis direction)축과 U3 (Z-axis direction)축 방향으로 지반가속도가 영향을 줄 경우에 가장 큰 응력 및 변위가 발생됨을 알 수 있었다.

### 3.2 소방시설의 내진설계기준에 의한 내진설계 결과 분석

배관의 물성을 고려한 설계 방식과는 다르게 소방시설의 내진설계기준에 의해 횡방향 흔들림 버팀대와 종방향 흔들림 버팀대를 설계하는 경우 해석되어지는 값은 환경이나 schedule number에 따른 차이는 있으나 대부분 일률적으로 비슷한 값을 나타내게 된다. Table 10과 Table 11은 KSD 3507 Steel Pipe과 KSD 3562 Steel Pipe 150 mm 배관에 대

하여 횡방향 버팀대의 경우는 12 m 기준으로 종방향의 흔들림 방지버팀대에 대해서는 20 m 기준으로 버팀대에 요구되는 하중 값을 해석한 값이다. 수평주행배관의 경우 대부분 지진분리장치나 지진분리이음을 사용하지 않기 때문에 모두 하나의 구조체로 연결되어 있는데 이를 고려하지 않고 횡방향과 종방향 버팀대를 일정구간으로 나누어 해석하기 때문에 배관에서 발생하는 응력과 변위량의 해석이 불가능하다. 단순히 배관의 종류나 배관의 길이에 따라 버팀대에서 요구되는 힘은 배관의 길이가 증가할수록 더 큰 하중에 대해 움직임을 방지할 수 있는 버팀대를 요구하는 것을 알 수 있다. 이는 배관과 배관내의 물의 하중을 고려하여 배관을 움직임을 방지하기 위한 조건만을 고려한 것으로 구체적으로 배관의 부위별로 발생하는 응력이나 변위



**Table 10.** Calculation of Lateral Support by NFPA 13

Pipe Diameter	Length	KSD 3507 Steel Pipe	KSD 3562 Steel Pipe
150 mm	39.37 ft (12 m)	513 lbs (233 kg)	603 lbs (274 kg)
Safety Ratio (15%)		105 lbs (47.63 kg)	122 lbs (55.34 kg)
Influence Area Final Weight		802 lbs (364 kg)	939 lbs (426 kg)

**Table 11.** Calculation of Longitudinal Support by NFPA 13

Pipe diameter	Length	KSD 3507 Steel Pipe	KSD 3562 Steel Pipe
150 mm	65.617 ft (20 m)	855 lbs (388.00 kg)	1006 lbs (456 kg)
Safety ratio (15 %)		128 lbs (58.06 kg)	151 lbs (68.49 kg)
Influence area final weight		983 lbs (446 kg)	1156 lbs (524 kg)

의 특성 등을 고려하지 못한다는 것이다. 또한 KSD 3507 Steel Pipe와 KSD 3562 Steel Pipe의 경우도 배관에서 요구되는 압력에 따라 배관을 설치하게 되는데 배관의 두께가 KSD 3562 Steel Pipe가 KSD 3507 Steel Pipe에 비해 더 두꺼워 더 큰 하중을 요구하는 것 또한 알 수 있었다.

이는 배관에 사용하는 재료의 물성을 고려하지 않은 것으로 KSD 3507 Steel Pipe와 KSD 3562 Steel Pipe가 동일한 조건일 때 KSD 3562 Steel Pipe가 응력이나 변위에 대해서 좀 더 안정적이라는 기본적인 물성은 무시하고 하중만을 고려하였기 때문이다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 소화배관의 내진설계방법을 건축물의 구조기준 등에 관한 규칙에서 제시하고 있는 지반가속도를 고려하여 배관의 응력 및 변위를 해석하는 방법과 소방시설의 내진설계기준에서 제시하고 있는 설계방법을 비교하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 소화배관에서 발생하는 응력과 변위를 해석할 경우 지진에 의한 가속도의 진행방향은 U1 (X-axis direction)축, U2 (Y-axis direction)축, U3 (Z-axis direction)축 중 U1 (X-axis direction)축과 U3 (Z-axis direction)축방향으로 지반가속도가 영향을 주는 조건에서 가장 큰 응력과 변위가 발생됨을 알 수 있었다.

2. 소화배관에서 발생하는 응력과 변위를 해석할 경우 응력이 집중되는 부위에서 변위가 많이 발생되며 발생하는 node의 경우도 Load case의 변수가 있기는 하지만 대부분 동일한 구간의 node에서 지속적으로 발생됨을 알 수 있었다.

3. 소방시설의 내진설계 기준에 의해 소화배관을 해석하는 경우 지반가속도를 일률적으로 0.5 g로 규정하고 있지만 이는 건축물의 내진기준에 비해 과대 값을 입력하는 것으로 성능위주의 내진설계를 위해서는 건물의 내진설계 기준에서 사용하는 최대지반가속도 값과 동등한 값을 기준으로 내진성능을 해석할 필요가 있음을 알 수 있었다.

4. 건축물의 구조기준 등에 관한 규칙에서 제시하고 있는 지반가속도 0.14 g와 0.22 g를 입력하여 배관에서 발생하는 응력 및 변위를 공학적으로 해석한 결과 소방시설의 내진설계 기준에서 설계하는 가정과 같이 일정 구간에 동등하게 힘이 분포하는 것이 아니라 모든 구간에 따라 발생되는 응력과 변위가 다르게 분포됨을 알 수 있었다.

5. 건축물의 구조기준 등에 관한 규칙에서 제시하고 있는 0.14 g와 0.22 g의 지반가속도를 이용하여 배관의 응력 및 변위를 해석한 경우와 소방시설의 내진설계 기준에서 제시하고 있는 0.5 g의 지반가속도를 이용하여 버팀대에서 요구되는 힘을 비교해 본 결과 공학적 해석방식에 의해 설계한 경우는 1265 node에서 최대 1247.6 kg/cm<sup>2</sup>의 응력이 발생되었으나 소방시설의 내진설계 기준의 경우는 힘(Force)의 개념으로 해석되어 실질적으로 버팀대에서 받는 구조적 응력으로 환산할 필요가 있음을 알 수 있었다.

즉, 공학적으로 신뢰성 있는 소화설비 배관의 내진설계를 위해서는 배관에 전달되는 최대지반가속도를 건축물의 구조기준 등에 관한 규칙에서 제시하고 있는 값을 적용하여 응력과 변위를 해석할 필요가 있다. 하지만 소방시설의 내진설계 기준의 경우는 동일한 하중 조건에서 배관에서 발생하는 응력과 변위는 무시하고 횡방향과 종방향으로 흔들림을 방지하는 버팀대에 전달되는 힘으로 해석하기 때문에 안전성을 확보하는 배관의 재료적 물성을 고려하여 응력으로 환산할 필요가 있다. 또한 배관의 흔들림을 방지하는 개념의 설계 방식은 소규모의 건물에 한정하고 실질적으로 지진에 의해 발생하는 배관의 응력 및 변위를 해석하여 배관의 허용응력을 초과하는 부분에 대해 응력 및 변위를 저감시킬 수 있는 장치 등의 설치를 통한 내진설계를 적용할 필요가 있다.

#### References

1. Korea Meteorological Administration, <http://www.kma.go.kr/> (2017).
2. J. O. Lee, H. K. Kim, and S. B. Cho, "A Study on

- Performance- based Seismic Design Method of Fire Extinguishing Pipe System”, Fire Science and Engineering, Vol. 31, No. 4, pp. 86-94 (2017).
3. NEMA, “Seismic Design Criteria of Fire-fighting Facilities” (2016).
  4. NFPA 13, “Standard for the Installation of Sprinkler Systems, Ch.9” (2016).
  5. American Lifelines Alliance, “Seismic Design and Retrofit of Piping Systems” (2002).
  6. MOLIT, “Rules on Structural Standards Etc. of Buildings” (2017).
  7. ASME B31.3, “Code for Pressure Piping” (2014).
  8. C. A. E. Eng’g S/W, “CAESAR II Technical Reference Manual” (2013).
  9. Ferdinand P. Beer, E. Russell Johnston, and David Mazurek, “Vector Mechanics for Engineers (Statics)”, McGraw-Hill, US (2007).
  10. Ferdinand P. Beer, E. Russell Johnston, and David Mazurek, “Mechanics of Materials”, McGraw-Hill, US (2015).