

## 등가정적해석법에 의한 수계 파이프 시스템의 내진설계

이동명

경민대학교 소방행정학과

### The Seismic Design of Water Extinguishing Piping Systems for Equivalent Static Analysis Method

Dong-Myung Lee

Dept. of Fire Protection Administration, Kyungmin Univ.

(Received April 30, 2012; Revised May 30, 2012; Accepted June 8, 2012)

#### 요 약

본 연구에서는 수계소화설비 가압송수장치의 파이프라인에 대한 내진설계를 수행하였다. 내진해석에 필요한 내진설계용 스펙트럼에 대응하는 인공지진 진동파형을 작성하였고, 작성된 인공지진 진동에 대한 응답 스펙트럼 가속도를 결정하여 등가정적하중을 결정하였다. 내진설계를 위한 공학적 기반을 구축하였으며, 수계 및 가스계 파이프 시스템의 내진설계를 위한 등가정적해석법을 제시하였다. 또한 본 연구의 결과로부터 수계설비의 파이프라인뿐만 아니라 소방설비의 내진설계 및 성능평가에 응용할 수 있는 기틀을 마련하였다. 향후 진도규모 및 지반종류에 따른 추가적인 연구가 수행된다면 소방시스템의 신뢰성 향상과 안전성 제고, 성능위주설계가 이루어질 수 있을 것으로 본다.

#### ABSTRACT

In this study, seismic design in pipeline of pressurized water supply system of water extinguishing system has been carried out. This study described a generation of artificial earthquake wave compatible with seismic design spectrum, and also determined equivalent static loads to analyzed the response spectra acceleration by the simulated earthquake motion. This study constructed powerful engineering base for seismic design, and presented equivalent static analysis method for seismic design of water and gas extinguishing piping system. Also, this study readied basis that can apply seismic design and performance estimation of fire fighting system as well as pipeline of water extinguishing system from result of this research. Hereafter, if additional research by earthquake magnitude and ground kind is approached, reliance elevation, safety raising and performance based design of fire fighting system see to achieve.

**Keywords :** Seismic design, Equivalent static analysis method, Response spectrum acceleration, Pipeline, Seismic analysis

### 1. 서 론

전 세계가 21세기 최첨단기술을 기반으로 한 지식정보화 사회로 진입하면 서도 그 뒷면에 비치고 있는 엄청난 재난과 사고에 대하여 불안해하고 있다. 특히 대규모 인명피해와 재산피해를 비롯하여 사회혼란을 초래하고 있는 지진이 현재 전 세계 곳곳에서 지속적으로 발생하고 있는 상황이다.

20세기 후반에 들면서 전 세계적으로 지진활동이 증가하는 경향을 보이고 있고, 특히 멕시코 지진(1985), 아르메니아 지진(1988), 로마 프리에타 지진(1989), 노스릿지 지진(1994), 효고현 남부 지진(1995), 이즈미트 지진(1999),

대만 지진(1999), 아이티 지진(2010), 칠레 지진(2010), 일본 동북부 대지진(2011) 등은 지진재해로 인한 엄청난 인명피해와 재산피해를 가져왔다.

최근 10년 사이에 우리나라의 지진발생이 2배나 증가했다. 2000년대 들어서는 지진의 횟수가 연 평균 40~50회를 넘고 있다. 지진에 대해 안전지역이라고 생각하였던 우리나라도 1978년 홍성의 5.0, 1996년 영월의 4.7, 2007년 평창의 4.8, 2011년 백령도 서남서쪽 16 km 해역에서 발생한 4.1 규모의 지진을 비롯해서 더 이상 지진으로부터 안전지대가 아님을 인식시켜 주었고<sup>(1)</sup>, 매스컴과 많은 전문가들에 의해서도 지진으로부터 안전지대가 아님이 거론되고 있다.

따라서 건축법에서는 2005년부터 3층 이상 연면적 1,000 m<sup>2</sup> 이상의 건물에는 내진설계를 의무화하고 있고<sup>(2,3)</sup>, 2012년 소방법에서도 소방시설의 내진설계에 대한 규정을 신설하였다<sup>(4)</sup>.

지진은 지각 에너지의 불평형으로 표출되며, 이때 방출되는 에너지의 양에 따라 우리의 실생활에 크나큰 물리적인 피해와 인명피해를 가져다준다. 이와 같은 지진으로 인해 발생하는 재난 중 우리 인간이 만들어 놓은 시설물에도 엄청난 피해를 입히고, 특히 건물 및 구조물의 붕괴와 가스 및 유류탱크의 화학물질의 폭발, 가스 파이프의 절단 등으로부터 대형 화재사고는 물론 건물붕괴에 따른 소방시설의 파괴와 작동불능 등으로 화재를 감지하지 못하거나 소방용수 등을 공급할 수 없도록 하여 화재의 심각성을 더해주고 인명피해를 가중시키기도 한다. 그 대표적인 사례가 1994년 1월 노스릿지 지진과 1995년 1월 일본 고베 지진 및 2011년 3월 일본 후쿠시마 대지진과 지진해일이다.<sup>(5,6)</sup>

100층이 넘는 초고층 건축물이 건설 중이고 활성화되고 있는 현 시점에서 건축분야에서는 초고층 건물의 내진설계에 대한 연구가 왕성하게 이루어지고 있는 실정이다. 일반적으로 구조물의 주기가 길어질수록 지진에 의하여 발생하는 구조물의 가속도는 줄어들어 지진에 대한 위협도는 낮지만, 초고층이 주는 사회적 중요성, 붕괴 시 발생할 수 있는 막대한 피해, 발생된 구조손상에 대한 보수·보강의 어려움 등으로 내진설계에 대한 전략적인 접근을 시도하고 있다<sup>(5)</sup>.

소방에서도 지진으로부터 인명과 재산피해를 최소화할 수 있고 대처할 수 있는 체계적인 대책이 절실히 필요한 실정이다. 예를 들면, 소방대상물에 설치되는 스프링클러, 옥내소화전 등과 같은 수계 및 가스계 소화시스템에 사용된 수많은 파이프라인이 지진에 대한 안전성과 신뢰성이 입증된 내진설계로부터 소방시스템의 운전 건전성(operability integrity)이 확보될 수 있도록 해야 한다.

본 연구에서는 소방설비 중 수계소화설비의 가압송수장치에 사용되는 파이프라인을 선정하고 내진설계기법을 제시하고자 한다. 소방법에서는 내진설계에 대한 규정만 신설되어있고 내진설계 적용기준이 없다. 따라서 국토해양부의 내진설계 및 성능평가 기준인 건축구조기준(KBC) 2009<sup>(3)</sup>와 IBC(International Building Code)<sup>(7)</sup>을 바탕으로 등가정적해석법에 의한 내진설계와 평가기법, 내진설계에 필요한 엔지니어링 데이터 취득방법 등을 제시함으로써 파이프 시스템의 신뢰성 향상과 안전성 제고를 위한 내진설계 및 성능위주설계가 이루어질 수 있는 기틀을 마련하고자 한다.

## 2. 내진설계 및 평가

내진설계란 지진특성 및 지반의 특성을 고려하여 지진에 안전할 수 있도록 구조물(소방시스템 등)을 설계하는

것으로, 내진평가는 내진해석(seismic analysis)과 내진실험(seismic test)으로 구분된다. 가장 바람직한 것은 지진에 대한 구조물 전체를 내진실험을 하는 것이지만 구조물 제작과 설계변경의 어려움으로 내진해석을 통해 구조물의 안정성 평가와 설계를 실시하고 있다<sup>(5)</sup>.

내진해석법으로는 등가정적해석법과 동적해석법<sup>(9)</sup>이 있다. 등가정적해석법은 지진하중을 등가의 정적하중으로 환산하여 구조물에 발생하는 응력 및 변형과 동일한 응력 및 변형을 일으키는 정적수평력을 작용시켜 해석방법으로써 지진에 의한 구조물의 거동을 예측하는 방법이다.

### 2.1 등가정적하중

국내의 건축물의 내진설계기준인 KBC와 IBC에서는 건축물과 구조물의 내부나 외부에 설치된 건물시스템의 일부로서 건물에 영구히 설치된 기계 및 전기의 구성요소, 소방시설 등을 비구조 요소로 분류하고 있다.

지반운동을 받고 있는 비구조 요소에 작용하는 등가정적하중은 식(1)의 수평지진하중  $F_p$ 와 식(2)의 수직지진하중  $F_v$ 로 나타낼 수 있다<sup>(3,7)</sup>.

$$F_p = \frac{0.4a_p S_{DS} W}{(R_p/I_p)} \left(1 + 2\frac{z}{h}\right) \quad (1)$$

$F_p$  값은 식(2)의 범위 내에 있어야 한다.

$$1.6S_{DS}I_pW < F_p < 0.3S_{DS}I_pW \quad (2)$$

여기서,  $a_p$ =증폭계수(1.0~2.5)

$I_p$ =중요도계수(1.5 또는 1.5)

$h$ =구조물의 밑면으로부터 지붕층까지의 평균높이(m)

$R_p$ =반응수정계수(1.0~5.0)

$S_{DS}$ =단주기에서의 설계스펙트럼가속도

$W_p$ =구조물의 무게(N)

$z$ =구조물의 밑면으로부터 비구조요소가 부착된 높이(m)

$$F_v = 0.2S_{DS}W \quad (3)$$

### 2.2 지진위험도

유효한 내진설계는 지진하중 및 하중조합을 어떻게 적용하느냐가 중요한 관건이다. 즉, 식(1)의 수평지진하중  $F_p$ 와 식(2)의 수직지진하중  $F_v$ 를 결정하는 것이다. 이들 지진하중은 각 지역별로 나타난 지진의 실측값을 이용하는 것과 예측값인 인공지진파를 이용하는 방법이 있다. 지진의 실측값을 이용하는 방법은 실제 지진이 발생한 지역의 진도값을 이용하는 것으로 정확도는 높지만 데이터 취득의 어려움으로 사용에 제약이 있기 때문에 지진하중으로 인공지진파를 작성하여 내진설계와 평가에 이용하고 있다. 인공지진파는 지반의 가속도를 구함으로써 결정할 수 있

**Table 1.** Region and Coefficients of Seismic

Seismic region	Administrative districts	Site coefficient (S)
1	All regions except for the seismic region 2	0.22
2	Kanwondo north, Jeollanamdo Southwest, Jeju do	0.14
㉠ Kanwondo north: Hongcheon, Cheorwon, Hwachon, Hoengseong, Pyeongchang, Yanggu, Inje, Goseong, Yangyang, Chuncheon city, Sokcho city ㉡ Jeollanamdo Southwest: Muan, Shinan, Wando, Yeonggwang, Jindo, Haenam, Yeongam, Gangjin, Goheung, Hampyeong, Mokpo city		

고, 임의 지반의 가속도는 지반의 특성과 설계 스펙트럼 가속도를 결정함으로써 구할 수 있다.

우리나라의 지진지역은 건설교통부 내진설계기준연구 II<sup>(8)</sup>에 따라 분류하고, 지진하중은 지진발생 시 지반의 성질에 따라 구조물의 거동에 상당한 차이가 있기 때문에 KBC 2009<sup>(3)</sup>에서는 우리나라를 Table 1과 같이 두 개의 지진구역으로 나누고 지반별 특성을 고려하여 지진하중 계산 시 해당지역의 위험도에 합당한 지진하중을 산정할 수 있도록 지역계수로 나타냈다.

KBC 2009에서는 설계 스펙트럼 가속도를 0.2초 단주기 S<sub>DS</sub>와 1초 장주기 S<sub>D1</sub>으로 나누고 있다. 이들 두 주기에 대한 설계 스펙트럼 가속도는 식(4) 및 식(5)와 같다.

$$S_{DS} = S \times 2.5 \times F_a \times 2/3 \tag{4}$$

**Table 2.** Values of Site Amplify Coefficient, F<sub>a</sub>

Site class	Soil profile name	Seismic region (S <sub>s</sub> =2.5S)		
		S <sub>s</sub> ≤0.25	S <sub>s</sub> =0.50	S <sub>s</sub> =0.75
S <sub>A</sub>	Hard rock	0.8	0.8	0.8
S <sub>B</sub>	Rock	1.0	1.0	1.0
S <sub>C</sub>	Very dense soil and soft rock	1.2	1.2	1.1
S <sub>D</sub>	Stiff soil profile	1.6	1.4	1.2
S <sub>E</sub>	Soft soil profile	2.5	1.9	1.3

**Table 3.** Values of Site Amplify Coefficient, F<sub>v</sub>

Site class	Soil profile name	Seismic region		
		S≤0.1	S=0.2	S=0.3
S <sub>A</sub>	Hard rock	S≤0.1	S=0.2	S=0.3
S <sub>B</sub>	Rock	0.8	0.8	0.8
S <sub>C</sub>	Very dense soil and soft rock	1.0	1.0	1.0
S <sub>D</sub>	Stiff soil profile	1.7	1.6	1.5
S <sub>E</sub>	Soft soil profile	2.4	2.0	1.8
		3.5	3.2	2.8

$$S_{D1} = S \times F_v \times 2/3 \tag{5}$$

여기서, F<sub>a</sub>와 F<sub>v</sub>는 Table 2와 3에 제시한 지반증폭계수이다. 값은 2400년 재현주기지진의 유효지반가속도 Table 1을 이용하여 구할 수 있다.

**2.3 설계응답 가속도 스펙트럼**

일반적으로 구조물의 진동주기가 짧은 경우에는 지반의 가속도(절대 가속도)는 최대값이 되고, 구조물의 진동주기가 아주 긴 경우에는 지반의 가속도는 거의 영(zero)이 된다.

내진설계기준의 수평 지진하중은 설계 스펙트럼 가속도로부터 유도된다. 따라서 설계 스펙트럼 가속도에 근접한 인공지진 진동파형을 작성하여 건물의 지진응답을 평가하는데 그 의미가 있다. 이에 따라 작성되는 인공지진 진동파형은 임의로 주어지는 가속도 응답 스펙트럼에 적합하도록 작성할 수 있게 된다. 본 연구에서는 KBC 내진설계기준을 참고하여 다음 식에서 설계 가속도 스펙트럼을 설정하였다<sup>(7-9)</sup>.

$$T \leq T_0: S_a = 0.6(S_{DS}/T_0)T + 0.4S_{DS} \tag{6}$$

$$T_0 \leq T \leq T_S: S_a = S_{DS} \tag{7}$$

$$T \geq T_S: S_a = S_{D1}/T \tag{8}$$

식(6)~(8)에서 T는 구조물의 고유진동주기이고, T<sub>0</sub>=0.2S<sub>D1</sub>/S<sub>DS</sub>, T<sub>S</sub>=S<sub>D1</sub>/S<sub>DS</sub>가 된다. 식(6)~(8)은 감쇠비 5%에 대해 진동주기에 따라 설계 가속도 응답 스펙트럼 형상을 정의한 것이며, 식(6)~(8)을 이용하여 진동주기에 따른 스펙트럼 가속도의 크기를 조정하면 다양한 지반특성과 지진활동에 따른 다른 지역의 설계 스펙트럼 가속도를 구할 수 있다.

**3. 해석결과 및 고찰**

내진해석을 위한 등가지진하중을 결정하기 위해 설계 스펙트럼 가속도를 이용하여 구하고, 이를 바탕으로 가속도 이력에 대한 수계 파이프 시스템에 대한 내진해석을 실시하였다.

**3.1 설계 스펙트럼 가속도**

설계 스펙트럼 가속도를 설정하기 위하여 지반지역을 Table 1의 지진지역 1로 가정하고, 단주기 S<sub>DS</sub>와 1초 장주기 S<sub>D1</sub>은 Table 2와 3에서 지반의 종류 S<sub>D</sub>인 단단한 토사 지반으로 가정하였다.

Table 2와 3에 의해 단주기와 1초 주기의 설계 스펙트럼 가속도를 계산하면 S<sub>DS</sub>=0.5 g와 S<sub>D1</sub>=0.29 g이 되고, 이를 근거로 설계 가속도 응답에 근접한 인공지진 진동파형을 시간이력에 대해 작성하면 Figure 1과 같다<sup>(9)</sup>. 0.29~0.5 g 정도의 가속도면 규모 6.0~6.9 정도의 지진에 해당하며,

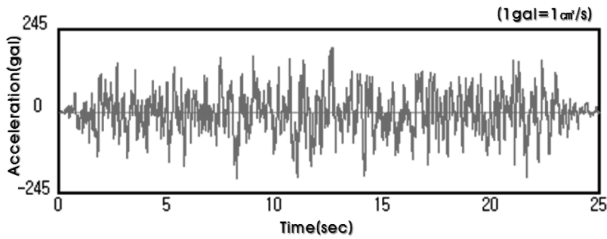


Figure 1. Acceleration-time of seismic history.

Table 4. Accelerations of Design Spectrum

Period range T (sec)	Frequency range f (Hz)	Spectral acceleration S (g)
0~0.21	$\infty$ ~8.33	$S=1.5T+0.2$
0.12~0.58	8.33~1.72	$S=0.5$
0.58~ $\infty$	1.72~ $\infty$	$S=0.29/T$

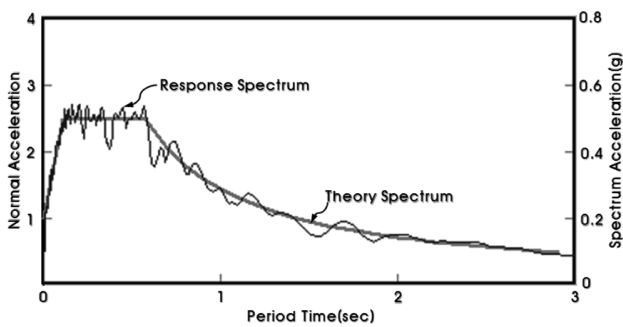


Figure 2. Accelerations of design spectrum.

특히 설계된 구조물에 상당한 피해를 주게 되고, 잘 설계된 구조물이 기울어지며, 건물 등의 부분적인 붕괴와 땅은 금이 가고 지하배관이 부러진다.

인공지진 진동파형은 모드 중첩법에 의해 계산된 것이며,  $S_{DS}=0.5\text{ g}$ 와  $S_{DI}=0.29\text{ g}$ 일 때, 최대 지반가속도 196 gal이고 최소 지반가속도는 -196 gal 정도가 된다. 작성된 인공지진 진동파형으로부터 식(6)~(8)을 이용하여 진동주기에 따른 설계 스펙트럼 가속도를 계산하면 Table 4와 Figure 2와 같이 된다<sup>(5,9)</sup>.

Table 4와 Figure 2에 나타낸 바와 같이 지진에 의한 지반의 운동은 약 0.12초에서 0.58초 사이에서 가장 활성화가 되어 스펙트럼 가속도가 최대가 되고, 아주 짧은 시간 내에 큰 피해를 입게 됨을 알 수 있다. 만약, Table 4에서 8.33 Hz의 주파수 주기가 길어지면 질수록 건축물이나 구조물은 지진으로부터 더 큰 피해를 입게 될 것이다.

### 3.2 내진해석 및 고찰

내진해석을 위해 가압송수장치의 파이프라인 일부를 선정하고, Figure 3과 같이 개략도로 나타냈다. Figure 3에 나타낸 바와 같이 수평/수직 파이프는 펌프 및 OS&Y 밸브와 플랜지에 의해 볼트 체결되고, 파이프의 각 끝부분은

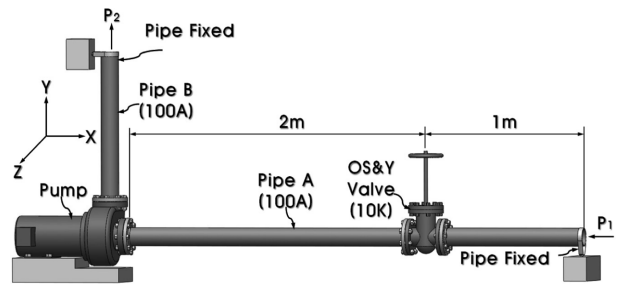


Figure 3. Pipeline diagram of pressurized water supply systems.

Table 5. Physical Properties of Pipeline

Size of pipe A&B	SPPS38 100A×SCH40
Pipe outside diameter $D_0$	0.1143 m
Pipe thickness t	0.006 m
Pipe weight w	157 N/m
Pipe tensile strength $\sigma_t$	3.73E+08 Pa
Pipe yield strength $\sigma_y$	2.16E+08 Pa
Pressure $P_1$	0.1 M Pa
Pressure $P_2$	0.35 M Pa
OS&Y valve weight W	490 N

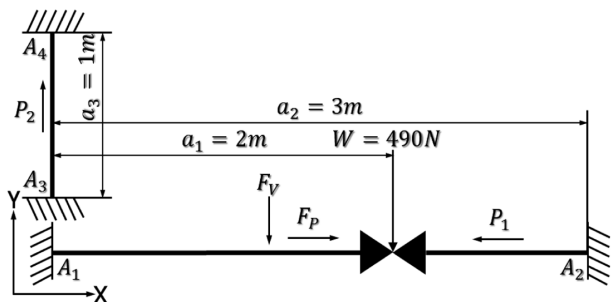


Figure 4. Mathematical modeling of pipeline.

파이프 행거에 의해 고정되었다. 파이프 내부에는 소화용수의 압력  $P_1$ 과  $P_2$ 가 작용한다. 내진해석을 위한 파이프라인의 규격 및 물리적 특성은 Table 5와 같다.

Figure 3에서 펌프 체결부위와 파이프 행거의 위치는 경계조건이 되고, 각 파이프는 내진해석을 위해 Figure 4와 같이 소화용수의 압력, 등가정적하중과 밸브의 무게가 작용하는 양단 고정보(beam)로 모델링하였다<sup>(10)</sup>.

지반운동을 받는 파이프라인은 파이프에 작용하는 하중과 내부압력, 지진하중을 합한 조합하중을 받게 되고, 이들 조합 하중은 파이프라인에 축응력과 굽힘모멘트 등으로 작용하게 되어 파이프를 변형 또는 파괴시키게 된다.<sup>(11)</sup> 따라서 ASME B31.1에서는 조합하중이 작용하는 파이프는 조합응력 식(9)와 최대 응력 식(10)의 두 식을 만족하도록 규정하고, 이들 두 식으로부터 내진설계의 안전성을 판단하고 있다<sup>(12)</sup>.

**Table 6.** Results of Seismic Analysis

Point	Load	FX (N)	FY (N)	MX (Nm)	MY (Nm)
A <sub>1</sub>	W	-	235.9 (235.9)	-	108.9 (108.9)
	S	-	23.55 (23.55)	-	17.7 (17.7)
A <sub>2</sub>	W	-	254.1 (254.1)	-	217.8 (217.8)
	S	-	23.55 (23.55)	-	17.7 (17.7)
A <sub>3</sub>	W	-	-	-	-
	S	60.55 (60.55)	-	15.14 (15.14)	-
A <sub>4</sub>	W	-	-	-	-
	S	60.55 (60.55)	-	15.14 (15.14)	-

※ W=Dead load, S=Seismic load

$$(PD_0/4t)+0.75i(M_A+M_B)/Z \leq 1.15S_h \tag{9}$$

$$i(M_{Ai}^2+M_{Bi}^2)1/2/Z < 1.5S_y \tag{10}$$

식(9)에서 P(Pa)는 파이프 내부 작용하는 소화용수의 압력, i는 응력보정계수로서 0.75i는 1보다 작아서는 안 된다. M<sub>A</sub>(Nm)는 파이프의 고정하중에 의해 발생하는 굽힘모멘트, M<sub>B</sub>(Nm)는 지진하중에 의해 발생하는 굽힘모멘트, Z(m<sup>3</sup>)는 파이프의 단면계수이다. S<sub>h</sub>(Pa)는 파이프의 허용 응력으로 인장강도 σ<sub>t</sub>의 80 % 정도를 취하고 있다. 식(10)에서 M<sub>Ai</sub>(Nm)는 파이프의 고정하중에 의해 발생하는 번째 굽힘모멘트이고, M<sub>Bi</sub>(Nm)는 지진하중에 의해 발생하는 번째 굽힘모멘트이다.

양단 고정보로 모델링한 Figure 4의 파이프라인에 Table 5의 파이프라인의 규격 및 물리적 특성을 적용하여 파이프라인의 각 위치에 대한 X와 Y 방향으로 작용하는 하중(F)과 모멘트(M)를 계산하면 Table 6과 같다.

Table 6에서 괄호 ( ) 안의 수치는 ANSYS® ED<sup>TM</sup>(13)를 이용하여 계산한 값으로 수(手)계산에 의한 값과 잘 일치함을 보여주고 있다.

Table 6의 내진해석결과 및 식(9)와 (10)으로부터 파이프 A와 B의 내진설계 안전성을 평가하면 다음과 같다.

- 1) 파이프 A의 경우  
 식(9):  $5.0 \times 10^6 \text{ Pa} < 2.984 \times 10^8 \text{ Pa}$   
 식(10):  $\text{Max}(4.2 \times 10^6 \text{ Pa}) < 3.24 \times 10^8 \text{ Pa}$
- 2) 파이프 B의 경우  
 식(9):  $2.0 \times 10^6 \text{ Pa} < 2.984 \times 10^8 \text{ Pa}$   
 식(10):  $\text{Max}(0.3 \times 10^6 \text{ Pa}) < 3.24 \times 10^8 \text{ Pa}$

파이프 A의 경우 Table 6에 나타난 바와 같이 압력 및

고정하중과 지진하중이 가장 크게 작용하는 위치는 A<sub>2</sub>점이다. A<sub>2</sub>점의 조합하중에 의해 발생하는 조합응력은 허용응력 S<sub>h</sub>( $2.984 \times 10^8 \text{ Pa}$ )의 약 1.7 % 정도로 안전하며, 최대응력은 항복응력 1.5S<sub>y</sub>( $3.24 \times 10^8 \text{ Pa}$ )의 1.3 %로 매우 안전하다고 할 수 있다.

파이프 B의 경우에는 압력과 지진하중이 작용하고, A<sub>3</sub>와 A<sub>4</sub>점에는 지진하중이 1/2씩 똑같이 작용한다. 이들 두 점에서 조합하중에 의해 발생하는 조합응력은 허용응력 S<sub>h</sub>( $2.984 \times 10^8 \text{ Pa}$ )의 약 0.7 % 정도로 안전하며, 최대응력은 항복응력 1.5S<sub>y</sub>( $3.24 \times 10^8 \text{ Pa}$ )의 0.1 %로 또한 매우 안전하다고 할 수 있다.

본 연구에서는 등가정적해석법에 의한 내진설계와 평가 기법, 내진설계에 필요한 엔지니어링 데이터 취득방법 등을 제시하기 위해 수계소화설비의 가압송수장치를 Figure 3과 같이 간략하게 모델링하여 계산하였다. 따라서 이상의 결과만을 검토해볼 때 필요 이상으로 파이프의 치수 등이 너무 크게 선정되었다고 볼 수 있지만, 실제 소방대상물에 설치되는 수계소화설비의 가압송수장치에 대해 내진해석을 한다면 본 연구의 결과와는 다르게 평가될 수 있음을 접언한다.

## 5. 결 론

수계소화설비 중 가압송수장치 파이프라인을 선정하여 KBC, IBC, ASME의 내진해석 및 성능평가 기준을 바탕으로 등가정적해석법에 의해 내진설계를 실시하였다.

내진설계를 위한 공학적 기반을 구축하였으며, 수계 및 가스계에 사용되는 파이프라인에 대한 내진설계 해석기법을 제시하였다. 수계소화설비의 파이프라인뿐만 아니라 소방설비의 내진설계 및 성능평가에 응용할 수 있는 기틀을 마련하였다.

본 연구를 바탕으로 향후 지진규모 및 지반종류 등에 따른 추가적인 연구와 지진규모에 따른 파이프의 지지거리, 감쇠기능이 부가된 행거의 선정 등에 대한 추가적인 연구가 이루어진다면 소방설비의 파이프라인에 대한 신뢰성 향상과 안전성 제고 및 진정한 성능위주의 설계가 이루어질 수 있을 것으로 사료된다.

소방법에는 내진설계에 대한 규정만 신설되어있고 내진설계기준은 없다. 따라서 본 연구가 소방설비 내진설계기준의 기틀을 마련하는데 필요한 기초가 되었으면 한다.

## 참고문헌

1. KMA, “Analysis of Characteristics of Earthquake of Domestic and Foreign”, Press Release (2011).
2. MLTM, “Enforcement Decree of Building Act” (2009).
3. MLTM, “Architectural Structures Design Criteria (KBC 2009)”, MLTM Announcement No. 2009-1245 (2009).
4. NEMA, “Enforcement Decree on The Fire Fighting Facili-

- ties Installation, Maintenance and Safety Management” (2012).
5. D. M. Lee, “The Trend and Data Investigation of Seismic Design for Foam Extinguishing Piping Systems”, Korea Fire Institute of Industry Technology (2010).
  6. Tokyo Fire Department, “A Survey Results on the Correspondence Situation ect. of the Japan Tohoku Pacific Earthquake” (2011).
  7. ICC, “IBC (International Building Code) 2009”, International Code Council (2009).
  8. KICT, “A Study of Seismic Design Criteria(II)”, MLTM (1997).
  9. D. M. Lee, “A Study on the Seismic Design for Water Extinguishing Piping Systems”, Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 22, No. 1, pp. 10-15 (2008).
  10. S. H. Song, “Standard Mechanics of Materials”, Dongmyungsa, pp. 83-96, 261-271 (1980).
  11. D. M. Lee, “A Study on the Fluid-Induced Vibration and Dynamic Behaviors of Piping Systems Using Transfer Matrix Method”, Phd. Degree Thesis, Kyunghee University (1997).
  12. ASME B31.1, “Power Piping”, American Society of Mechanical Engineers, New York (2006).
  13. ANSYS Co., “ANSYS ED Manual” (2003).