

[Research Paper]

## 일반배관용 스테인리스강관에 대한 프레스식 관이음쇠의 내진성능에 관한 연구

백열선<sup>†</sup> · 남준석<sup>\*</sup>

김천대학교 소방학과, \*한국소방산업기술원 소방기술연구소

### A Study on the Seismic Protection Performance of Press Fittings for Light Gauge Stainless Steel Pipes

Yeal-Sun Baek · Jun-Seok Nam<sup>\*†</sup>

Department of Fire Protection Engineering, Gimcheon University, \*R&D Laboratory, Korea Fire Institute

(Received March 8, 2017; Revised March 22, 2017; Accepted July 6, 2017)

#### 요 약

본 연구는 최근 수계소화설비 배관에 적용되고 있는 스테인리스 강관용 프레스식 관이음쇠에 대한 내진성능 연구를 수행한다. 연구를 위한 설비의 구성은 NFPA 13의 배관연결방법으로 하였다. 배관의 허용변위량은 건축구조기준에서 제시한 허용량으로 하였고, 반복회수는 10회로 하였다. 실험 후 배관의 Von-mises 응력은 허용응력의 2.48, 1.25 배로 NPPs Allowable Stress for Level D service loading의 “허용응력의 3배”인 기준 보다는 적게 나타났다. 따라서 프레스식 관이음쇠는 내진성능을 갖추고 있는 것으로 판단 할 수 있다.

#### ABSTRACT

The seismic performance of press fittings is studied, which is one of the weldless joints of stainless steel pipe used in the water piping of recent fire protection system. The piping of this study was constructed based on the piping connection reference of NFPA 13. The permissible displacement of the piping was set as the allowed amount which is given in the Building Structure Standard, and the measurements were repeated 10 times. The Von-mises stress of the piping was 2.48 and 1.25 times of the allowed amount of stress, which was less than the standard, noted three times on the NPPs Allowable Stress for Level D service loading. Therefore, the press fittings shows enough seismic performance.

**Keywords :** Seismic Performance, Press Joint, Groove Joint

### 1. 서 론

지진은 자연적 원인으로 인해 지구의 표면이 흔들리는 현상으로 단층면에서 순간적으로 발생하는 변위 자체를 말한다. 현상적인 정의로는 지각 내에 저장되어 있던 왜력(歪力, strain)이 탄성진동 에너지로 바뀌어 급격히 방출되는 현상이다.<sup>(1)</sup> 이러한 지진으로 인한 피해는 지진 그 자체에 기인하는 1차 피해와 부수적으로 발생하는 2차 피해로 나뉘며 지진재해 대책의 특징은 1차 피해의 경감 및 2차 재해의 억지에 그 역점을 두고 있다. 지진으로 발생한 화재는 지진 그 자체의 피해보다 불에 의한 피해가 훨씬 크게 발생한 사례는 1906년 발생한 샌프란시스코 대화재, 1923년 관동대지진 등이 있다.

한국도 진도 5.0 이상의 지진이 1978년 이후 9회 있었으며, 내진설계는 구조요소에 대해 법적 규제를 하고 있었지

만 비구조요소에 대해서는 KBC 2016부터 규정하였다. 2016.09.12. 경주지진 피해의 51.8%가 비구조요소 손상(지붕, 천장, 창호, 배관, 수조, 소방 등)이고, 비구조요소는 건축물 신축비용의 60% 이상을 차지하고 있다. 비구조요소의 내진은 「지진화산재해대책법」 제14조 및 「지진화산재해대책법 시행령」 제10조의 규정에 따라 내진설계기준 고시 총 31개 대상시설 중 건축기계설비설계기준 및 건축설비설계기준(국토교통부), 방송통신설비의 내진설계 기준(미래부), 소방설비의 내진설계 기준(국민안전처), 종합병원, 병원, 요양병원 내진설계 기준(보건복지부), 어린이, 놀이시설 내진설계 기준(문체부), 학교시설의 내진설계 기준(교육부) 등이 있다.

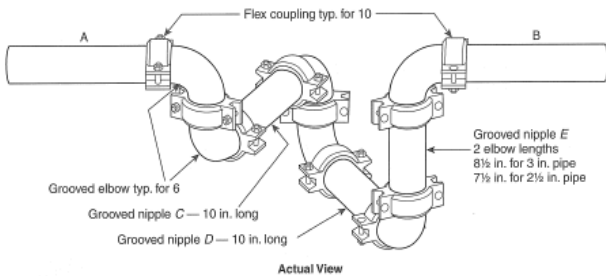
「화재예방, 소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한 법률」이 제정(2011.08.04.)되면서 제9조의2(소방시설의 내진설계 기준)에 “특정소방대상물에 대통령령으로 정하는 소방시설

<sup>†</sup> Corresponding Author, E-Mail: [bysunm@hanmail.net](mailto:bysunm@hanmail.net), TEL: +82-54-420-4034, FAX: +82-54-420-4003

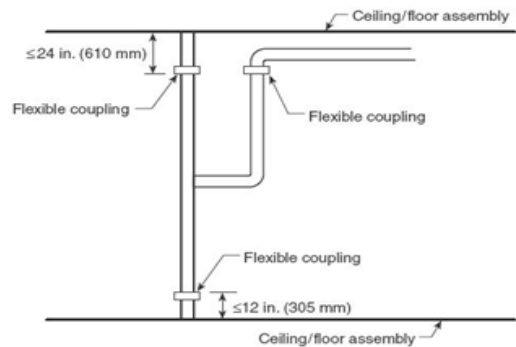
© 2017 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

**Table 1.** List of Earthquakes in South Korea

Earthquake Name	Date and Time (KST)	ML	Location
1978 Sangju	1978-09-16 02:07:06	5.2	Sangju, North Gyeongsang
1978 Hongseong	1978-10-07 18:19:52	5.0	Hongseong County, South Chungcheong
1980 Sakju	1980-01-08 08:44:13	5.3	Sakju County, North Pyeongan
2003 Ongjin	2003-03-30 20:15:53	5.0	Ongjin County, Incheon
2004 Uljin	2004-05-29 19:14:24	5.2	Uljin County, North Gyeongsang
2014 Taean	2014-04-01 04:48:35	5.1	Taean County, South Chungcheong
2016 Ulsan	2016-07-05 20:33:03	5.0	Dong Districk, Ulsan
2016 Gyeongju	2016-09-12 19:44:32	5.1	Gyeongju, North Gyeongsang
	2016-09-12 20:32:54	5.8	Gyeongju, North Gyeongsang



**Figure 1.** Seismic separation assembly (NFPA 13 Figure A.9.3.3).



**Figure 2.** Flexible coupling on vertical portion of tie-in.

을 설치하려는 자는 지진이 발생할 경우 소방시설이 정상적으로 작동될 수 있도록 소방방재청장이 정하는 내진설계 기준에 맞게 소방시설을 설치하여야 한다.”로 명시하였다. 이후 「지진화산재해대책법」이 발효되면서 「화재예방, 소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한 법률」 제9조의2는 “「지진화산재해대책법」 제14조 제1항 각 호의 시설 중”으로 범위를 축소하였다. 또한 「화재예방, 소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령」 제15조의2(소방시설의 내진설계)에서 그 대상설비를 ‘옥내소화전설비, 스프링클러설비, 물분무등소화설비’로 정하였다. 「소방시설의 내진설계 기준」은 2015.11.30.에 공포되었고 시행일은 2016.01.25.이다. 기준 내에서는 내진성능이 있는 이음쇠에 대해 특정하지 않았지만 이해를 돕고자 만든 해설서에 내진용 이음쇠로 그루브 조인트를 6 elbows로 연결한 예시를 지진분리장치로 넣으면서 이 방법만 내진성능이 있는 것으로 인식하게 되었다.

본 논문에서는프레스식 관이음쇠가 내진성능을 갖는지 여부를 실험을 통해 확인하고자 한다.

## 2. 각국의 소방관련 내진설계

### 2.1 일본

「소방법시행규칙」 제9항에 근거하며 소화기의 경우 전도방지조치를 하고, 소화시설은 저수조, 가압송수장치, 비상전원, 배관 등에는 지진에 의한 진동 등에 견딜 수 있도록

유효한 조치를 하도록 하고 있다.

### 2.2 뉴질랜드

「옥내소화전설비(NZS 4510)와 스프링클러설비(NZS 4541)의 구성부품, 장비, 배관, 배관지지에 대해 내진설계를 하도록 하고 있으며 특히, 유연성·고정·간극을 정하고 있다.

### 2.3 미국

「스프링클러설비(NFPA 13), 옥내소화전설비(NFPA 14), 물분무소화설비(NFPA 15), 가압송수장치(NFPA 20) 등에 대한 내진설계를 규정하고 있다.

## 3. 소방배관의 내진성능실험 방법 및 결과

### 3.1 실험 개요

본 실험의 목적은 프레스식 관이음쇠를 지진분리이음으로 사용할 수 있는지 여부를 확인하는 것이다.

이를 위해 수계소화설비의 수직배관계통을 NFPA 13의 A.9.3.2.3.2(2)에서는 바닥으로부터 305 mm 이내와 천장에서 610 mm 이내에 지진분리이음을 Figure 2와 같이 적용하도록 권고하고 있다.<sup>(2)</sup>

프레스식 관이음쇠를 Figure 2의 Flexible coupling 위치에 부착하고 「소방시설의 내진설계 기준」 제6조(배관) 제1항

**Table 2.** Major Components and Subassemblies Lists (KS B 1547)

Part Name	Specifications	Quantity
Pipe	KS D 3595 STS 304, 100su	-
Elbow	KS D 3595 STS 304, 90° elbow, 100su	2
Tee	KS D 3595 STS 304, 100su	1
Socket	KS D 3595 STS 304, 100su	2

**Table 3.** Tested Specimen Description

Kinds of Joints	Dimensions (mm)			Weight (kg)	Remark
	Length	Width	Height		
Press Joint	1 1 50	250	3 040	67	KS D 3595

**Table 4.** Permissible Interlayer Displacement  $\Delta_a$

	Seismic Rating		
	Special	I	II
Permissible Interlayer Displacement $\Delta_a$	0.010 $h_{sx}$	0.015 $h_{sx}$	0.020 $h_{sx}$

$h_{sx}$  : story height of x th floor

을 참고하여 다음 항목의 이상여부를 확인하였다.

- 1) 건물 구조부재간의 상대변위에 의한 배관의 응력
- 2) 배관에 작용하는 수평지진하중
- 3) 시험대상배관계통 내의 배관의 변형

사용된 배관 및 관부속품은 Table 3과 같다.

프레스식 관이음쇠의 시료의 크기, 중량 등을 Table 3에 나타내었다.

### 3.2 실험 방법 및 기준

허용층간변위량은 2016년 「건축구조기준」 ‘306.4.6. 변형과 횡변위 제한’에서<sup>(3)</sup> Table 2의 값 이하의 허용층간변위량을 정하고 있다. 이 값 중 최대의 값에 해당되는 Seismic rating의 II값인 0.020  $h_{sx}$ 로 정하고 해당 층간변위에 대하여 10회 이상 반복하중 재하를 수행한다. 배관 내부는 물을 가득채운 후 2.0 MPa의 수압을 가한다.

ASME<sup>(4)</sup>의 경우 원자력발전소의 Class I 배관에 대한 Level D Service Loading 조건의 응력기준은 다음 식과 같으며 허용응력의 3배 이하로 응력기준을 두고 있다.

$$B_1 \frac{P_D D_O}{2t} + B_2 \frac{D_O}{2I} M_E \leq 3S_m$$

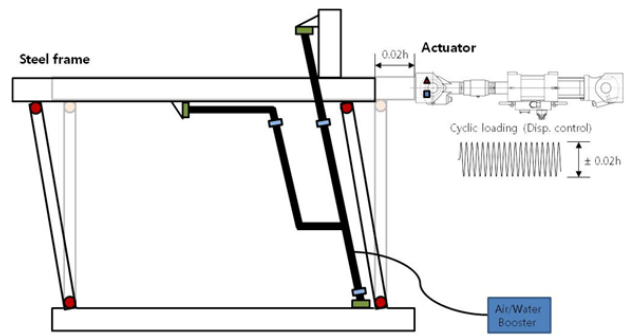
$P$  : 관내부 작용 압력

$D_o$  : 외경

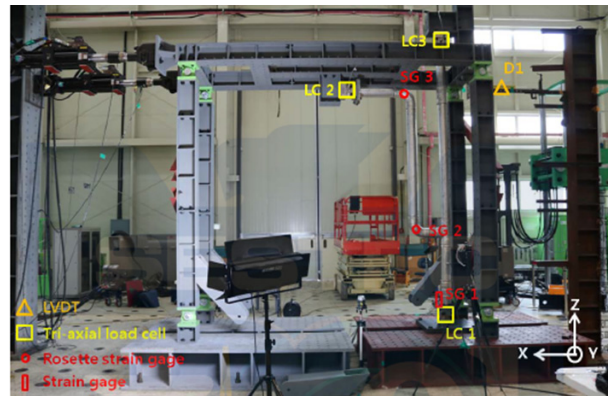
$t$  : 관두께

$I$  : 단면 2차 모멘트

$M_E$  : 자중효과를 고려한 발생 모멘트



**Figure 3.** Schematic of test.



**Figure 4.** The front photo of test.

$B_1, B_2$  : 주응력지수

$S_m$  : 허용응력

이를 근거로 정진환 등<sup>(5)</sup>은 원자력발전소 배관계통의 내진성능실험에서 실험된 배관의 파괴에는 설계기준작용력과 비교하여 3배 이상의 하중이 요구되었다고 하였다.

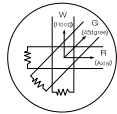
배관에서 지진에 취약한 부분은 엘보<sup>(6)</sup>이다. 따라서 본 논문에서도 허용응력의 3배 이하의 응력이 배관에 걸리는지 여부를 엘보에서의 이상 여부로 프레스식 관이음쇠를 지진분리이음으로 사용가능 여부를 판단하고자 한다.

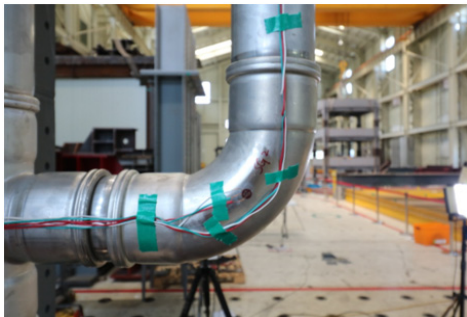
### 3.3 실험 장치

프레스식 관이음쇠의 실험체 가진을 위해 지진방재연구센터(Seismic Simulation Test Center, SESTEC)의 정하중 250 kN Actuator (미국, MTS Systems Corporation)를 이용하였다. 시험장치는 Figure 4, 5에 나타내었다. Data logger (TDS-303, Tokyo Sokki Kenkyujo Co., Ltd), switching box (ISW-50G, Tokyo Sokki Kenkyujo Co. Ltd.)로 구성하여, 시험중 변형률, 변위 및 하중 응답을 계측하였다.

시험체의 각 부분에 부착된 센서의 위치와 부여한 기호 및 센서의 모델과 일련번호를 Table 5에 표시하였다. 각 센서의 부착위치는 Figure 5의 정면사진에 나타내었고, 이중 SG1에 부착한 센서 S1을 Figure 6에 나타내었다.

**Table 5.** The Position of Sensors

Location Name	Sensor Location and Orientation					Remarks
	Sensor Name	Location	Orientation	Sensor		
				Model (Manufacture)	Serial or	
LC1	L1	Fixed End 1 (Lower End)	X	MC63-3A (Dacell)	D12M0202	Refer to Figure 5
	L2		Y			
	L3		Z			
LC2	L4	Fixed End 2 (Middle)	X	MC63-3A (Dacell)	D12M0201	Refer to Figure 5
	L5		Y			
	L6		Z			
LC3	L7	Fixed End 3 (Upper End)	X	MC63-3A (Dacell)	D12M0802	Refer to Figure 5
	L8		Y			
	L9		Z			
SG1	S1	Lower Socket	Z (Axial)	FLA-5-11-5L (Tokyo Sokki)	N/A	Refer to Figure 6
SG2	S2	Elbow 1 (Lower Elbow)	R (Axial)	FRA-5-11-5L (Tokyo Sokki)	N/A	Local Directions of Rosette Strain Gauge Refer to Figure 5
	S3		G (45°)			
	S4		W (Hoop)			
SG3	S5	Elbow 2 (Upper Elbow)	R (Axial)	FRA-5-11-5L (Tokyo Sokki)	N/A	
	S6		G (45°)			
	S7		W (Hoop)			
D1	lvdt1	Upper Frame Center	Y	SDP-300D	BAK050833	Refer to Figure 5



**Figure 5.** Sensors of SG2.



**Figure 6.** Sensors of SG3.

**Table 6.** The Measured Max. Value of Sensors

Location Name	Sensor Location and Orientation		Measured Max. Value
	Sensor Name	Location	
LC1	L1	Fixed End 1 (Lower End)	N/A
	L2		5.605 kN
	L3		3.195 kN
LC2	L4	Fixed End 2 (Middle)	N/A
	L5		7.858 kN
	L6		-2.868 kN
LC3	L7	Fixed End 3 (Upper End)	N/A
	L8		2.536 kN
	L9		4.852 kN
SG1	S1	Lower socket	545.5 μm/m
SG2	S2	Elbow 1 (Lower Elbow)	479.6 μm/m
	S3		749.8 μm/m
	S4		946.0 μm/m
SG3	S5	Elbow 2 (Upper Elbow)	1437.0 μm/m
	S6		1107.0 μm/m
	S7		527.0 μm/m
D1	lvdt1	Upper Frame Center	60 mm

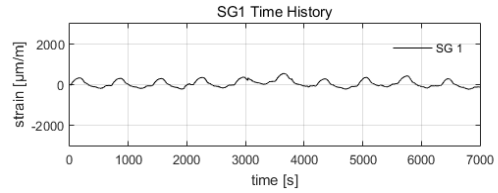
**3.4 실험 결과<sup>(7)</sup>**

센서들의 최대 측정값을 Table 6에, 엘보인 SG2와 SG3의 응력값을 Table 7에 나타내었다. Table 8에서 이들 응력

값과 재료 특성을 비교하였다. 실험결과 SG2, SG3에 작용한 Von-mises 응력은 NPPs Allowable Stress for Level D service loading의 허용응력의 3배인 509.4 MPa보다 적음을

**Table 7.** Comparisons of Measured Max. Stress Press Fittings

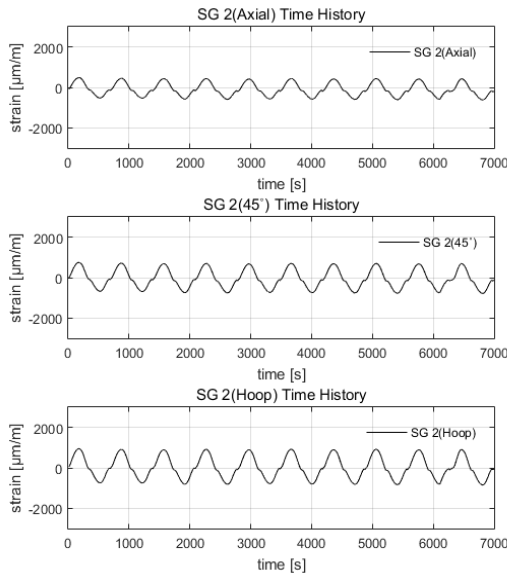
Location Name	Location	Press Fittings
		Measured Max. stress (MPa)
SG2	Elbow 1 (Lower elbow)	205.3
SG3	Elbow 2 (Upper elbow)	406.7



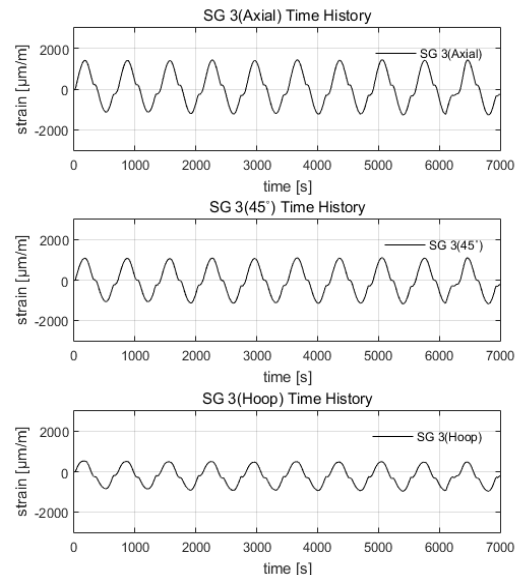
**Figure 7.** Measured signals from SG1.

**Table 8.** Comparisons of Measured Max. Stress Press Joint

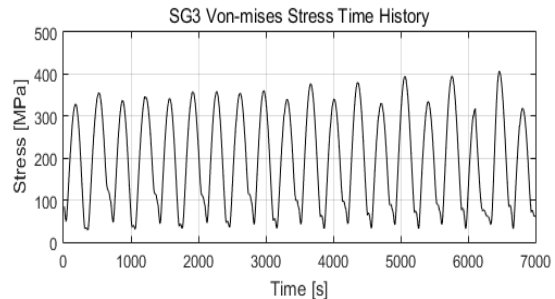
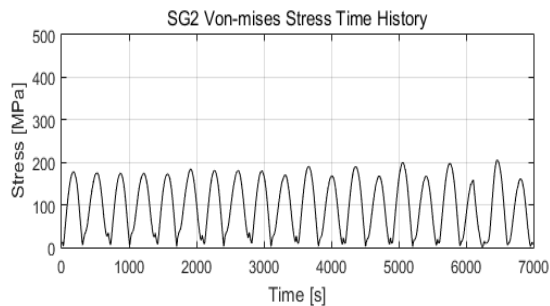
Location Name	Location	Measured Max. Stress (f), MPa	Yield Strength for STS 304 (F), MPa	NPPs Allowable Stress for Level D Service Loading (F'), MPa	F'/f
SG2	Elbow 1 (Lower Elbow)	205.3	258	509.4	2.48
SG3	Elbow 2 (Upper Elbow)	406.7			1.25



**Figure 8.** Measured signals from SG2.



**Figure 9.** Measured signals from SG3.



**Figure 10.** Calculated Von-mises stresses from SG2 and SG3.

확인할 수 있었으나, SG1은 단축스트레인으로 응력을 계산할 수 없었다. SG1, SG2, SG3의 잔류변형량은 거의 없는 것으로 나타났다. 즉 SG3에서 순간적으로 항복강도를 초과

하는 Von-mises 응력이 측정되었으나 이는 엘보의 특성상 나타나는 현상으로 잔류응력이 거의 없는 것으로 보아 스프링백 현상으로 판단된다. 지진하중 하에서 배관시스템의

소성변형은 엘보에 집중되는 경향이 있으며 파괴모드는 ratcheting strain이 발생하는 Low Cycle Fatigue (LCF)으로 밝혀져 있다. 따라서 이부분에서는 항복강도는 넘었으나 잔류변형률과 잔류응력이 거의 없는 것으로 보아 이에 해당하는 파괴모드까지는 가지 않은 것으로 판단된다. 통상 항복강도를 넘어서는 경우 소성변형으로 영구변형이 남는 것으로 알고 있으나 엘보의 특성상 그 부분의 항복강도는 재료의 항복강도보다 훨씬 큰 값으로 판단된다.

즉, 프레스식 관이음쇠가 적용된 배관의 엘보에서 계측된 응력이 ASME BPVC의 지진에 대한 허용응력보다 낮으며, 시험 종료 후 이상이 없었으며 계측된 strain에서 ratcheting strain이 확인되지 않으므로 충분한 내진성능을 가지고 있다고 확인할 수 있었다.

#### 4. 결 론

프레스식 관이음쇠의 내진성능을 NFPA 13에서 제시하는 배관설치방법으로 건축구조기준에서 허용하는 변위량 만큼 10회 반복하여 실험한 결과 시험체의 누수, 파손 등의 이상여부를 발견하지 못했다. 지진 발생 시 가장 취약한 부분인 엘보의 잔류변형률과 잔류응력이 거의 남아있지 않았고 순간적인 응력도 허용응력의 3배를 넘지 않았다. 배관의 연결방법 중 무용접방법이 증가하고 있고 이들의 안전성을 확인하는 것은 매우 중요한 일이다. 지진발생시 엘보, 소켓 등을 포함하는 프레스식 관이음쇠의 내진성능은 충분한 것으로 판단된다.

#### 후 기

본 연구는 2016년 김천대학교 교내학술연구비를 지원받아 수행된 것으로 학교당국에 감사드립니다.

#### References

1. <https://en.wikipedia.org/wiki/Earthquake>.
2. National Fire Protection Association, "NFPA 13 Standard for the installation of Sprinkler Systems", pp. 13-317 (2013).
3. The Ministry of Land, "Intrastructure and Transport", Korea Building Code 2016 0306.4.6, p. 143 (2016).
4. ASME, "Boiler & Pressure Vessel Code, SEC III, Division I", Subsection NB, NB-3656 Construction of Level D Service Limits, pp. 124-125 (2007).
5. J. H. Cheung, M. S. Gae, Y. D. Seo, H. S. Choi and M. K. Kim, "Seismic Capacity Test of Nuclear Piping System using Multi-platform Shake Table", Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea, Vol. 17, No. 1, pp. 21 (2013).
6. B. G. Jeon, S. W. Kim, H. S. Choi, D. U. Park and N. S. Kim, "A Failure Estimation Method of Steel Pipe Elbows under In-plane Cyclic Loading", Nuclear Engineering and Technology, Vol. 49, No. 1, pp. 245-253 (2017).
7. Seismic Simulation Test Center (KOCED), SESTEC-2016-R-042-0-Rev.1 (2017).