



# 72.5kV GIS 전력 장비의 KEPCO 기준 내진 및 응력 해석

이재환<sup>1</sup> · 김영중<sup>2†</sup> · 김소율<sup>3</sup> · 방명석<sup>4</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 선박해양공학과, <sup>2</sup>한국기계연구원, <sup>3</sup>충남대학교 대학원, <sup>4</sup>제룡전기(주)

## Seismic and Stress Analysis of 72.5kV GIS for Technical Specification of KEPCO

Jae-Hwan Lee<sup>1</sup>, Young-Joong Kim<sup>2†</sup>, So-Ul Kim<sup>3</sup> and Myung-Suk Bang<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Chungnam National Univ., Deajeon, 34134, Korea

<sup>2</sup>Korea Institute of Machinery and Materials, Deajeon, 34103, Korea

<sup>3</sup>Graduate School, Chungnam National Univ., Deajeon, 34134, Korea

<sup>4</sup>Cheryong Electric CO,LTD, Deajeon 34325, Korea

### Abstract

High voltage electric power transmitter GIS(Gas Insulated Switchgear) above 72.5kV needs to satisfy domestic Korean peninsular standard(ES-6110-0002) in KEPCO with respect to normal and special operation conditions which include internal gas pressure, dead weight, wind and seismic load. Some other requirements not described in Korean standard can be applied from other international standards such as IEC(International Electrotechnical Committee) 62271-203 and 62271-207. The GIS is a kind of pressure vessel structure made of aluminum and filled with SF6 gas of internal pressure 0.4~0.5MPa. Finite element analysis of GIS is performed with such operational loads including seismic loading and the stability and reliability is determined according to ASME BPVC(Boiler and Pressure Vessel Code) SEC. VIII standard where the allowable stress level of the pressure vessel is suggested. The result shows that the stress of GIS is satisfied the allowable stress level and the safety factor is about 2.3 for Korean peninsular standard.

**Keywords :** GIS, ASME, KEPCO, IEC 62271, required response spectrum, modal & seismic FEA analysis

### 1. 서 론

가스절연개폐장치(gas insulated switchgear, GIS)는 안정적인 전력공급을 위한 전력계통 설비로, 송전 시 변압기 선후에 위치하여 이상전류를 차단하고 전력을 분배한다. 변압기를 제외한 대부분의 전력 기기를 금속탱크로 밀폐시킨 변전 시스템으로, 가동 중 지진을 포함한 다양한 설계 하중에 대해 충분한 구조 견전성을 확보하여야 한다. Song 등(1999)은 GIS/GCB 개발 과정에서 축적된 기술들과 함께 전기력 계통 해석과 차단부내 냉가스 및 열 가스 유동해석도 진행하였다. 1999년 12월 주효성과 한국전력공사가 국내 규격은 물론 국제 규격에 적합한 800kV GIS개발에 성공하였다(Song, 2000). Lee 등(2001)은 GIS의 전체 Layout을 해석하기보다 1 Bay

만을 대상으로 모선과 분기모선 양측의 경계조건을 자유 상태로 가정하여 내진해석을 하였다. Kim 등(2013)은 내진 시험/해석을 통해 대형 전력기기인 GIS의 내진성능을 검증하고 그 결과를 비교·분석하여 대형 구조물용 내진해석 기법의 타당성을 평가하였고, 이를 위해 내진성능 검증기준을 분석하였다. 외국의 경우(Xia, et al., 2013)에는 IEC 62271-203에 따라 420kV GIS의 내진해석 결과로 지지대에 17.5MPa 정도의 응력계산이 있다. 하지만 이러한 논문들은 정상사용 상태와 특수사용상태의 조합하중에 대한 해석이 모두 수행되지는 않았다. Chopra(2001)과 Kim(2005)에는 내진해석에 관한 이론 내용이 있다. 기타 구조물의 내진해석 분야에서, Kim 등(2016)은 국내, 국외의 도로교 설계기준, 항만 및 어항 설계 기준, DNV OS를 참고하여 다중 파일기초 콘크리트 지지구조

\* Corresponding author:

Tel: +82-42-868-7424; E-mail: youngkim@kimm.re.kr

Received January 31 2017; Revised March 10 2017;

Accepted April 24 2017

©2017 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

물의 내진해석 수행 결과를 비교하였다. Lee 등(2011)은 BIM 기반의 교량건설 프로젝트의 구조설계 업무에 사용을 위해 강장자형 교량의 3차원 정보모델을 활용한 내진해석 프로세스를 제안하였다. 본 논문에서는 한국전력공사(KEPCO)의 한전 표준규격과 IEC 62271-203에 따른 정상/특수사용상태 하중 해석을 수행하여, 약 78MPa 응력값과 안전계수 2.3이 도출되어 72.5kV GIS 안전성이 확인되었다.

## 2. 국내외 적용 규격

주파수 60Hz의 3상 교류회로에서 사용하는 옥내 및 옥외용 72.5kV 가스절연개폐장치는 한전표준규격(ES-6110-0002, 2012)에 준한다. 이 규격에 명시되지 않은 사항은 IEC 6227-207의 관련기기 규격에 준한다(IEC 62271-207, 2012). 정격 SF6 내부가스압력은 차단부는 0.5MPa, 차단부 이외는 0.4MPa이다. 고압전선이 있어 절연가스가 채워지는 탱크부는 알루미늄 A6061-T6, 지지부는 일반 강 SS400이고 물성치는 Table 1과 같다. 탱크 재료인 A6061-T6의 허용응력 기준은 아래의 ASME BPVC(ASME Boiler and Pressure Vessel Code, 2010) 표준에 있는 동등한 SB-209에 의해 S는 121.0 MPa로 설정되며(표준 [1]로 표기), ASME [2] 안전계수식에 의해 허용응력은 1.5S에 의해 181.5MPa로 한다. 지지부 재료인 SS400 강의 허용응력은 ASME 표준 [1]에 있는 동등 규격인 SA-36에 의해, S는 165.0MPa이 되고 ASME [2]에 의한 안전계수 식은 1.5S에 따라 247.5MPa로 한다.

표준 [1]: ASME BPVC II Part D properties(Metric) materials의 Table 5A SECTION VIII, DIVISION 2, MAXIMUM ALLOWABLE STRESS VALUES FOR FERROUS MATERIALS.

표준 [2]: ASME BPVC VIII Division 2, Rules for construction of pressure vessels의 Part 4 design by rule requirements 4.1.6 design allowable stress.

여기서 부재에 Membrane stress만 발생하는 경우에는 허용응력 S 보다 작아야 하고, Membrane+Bending stress이 발생시에는 1.5S 보다 작게 되어 있다. 설계에 적용되는 전체

하중은 내부압력( $P$ ), 중량( $W$ ), 내부유동의 정/동하중, 풍, 적설, 열 하중, 지진하중이 있다. 풍하중과 적설하중이 작아 제외시, 본 설비에는 정상사용상태 하중은 내부압력과 자중(자체 중량), 특수사용상태 하중은 지진하중이 된다. 이를 적용한 조합 하중 시 설계 기준은 [3]과 같다.

표준 [3]: ASME BPVC VIII Division 2, Rules for construction of pressure vessels의 Part 5 design by analysis requirements 5.1.3 loading conditions : annex 3.A.

한전 표준규격을 포함한 국내외 규격은 Table 2와 같다.

Table 2 Domestic and internal standard

Rule	Organiza-tion	Content	Part of application
ES-6110-0002(GIS) 2012.12.31 Revision	KEPCO	Rated voltage >72.5kV, normal/abnor-mal service condition	SF6 gas, Wind speed >40m/s, Seismic performance 0.22g
IEC 62271-203: 2011 GIS-Part 203: GIS for rated voltages above 52kV	IEC	Rated voltage >52kV, Quotation standard of ES-6110-0002	Wind speed >40m/s
IEC 62271-207: 2012 GIS-Part 207: Seismic qualification for GIS for rated voltages above 52kV	IEC	Rated voltage >52kV, (Seismic) normal service condition	RRS (Required response spectrum) 0.25g, 0.5g
KS D 3503: 2014 Rolled steel for general structure	KS	$t < 16\text{mm}$ SS400, Yield strength 245MPa	-
ASME BPVC VIII Division 2:2010 Rules for construction of pressure vessels	ASME	Allows stress of pressure vessel	SB-209 (A6061-T6)
ASME BPVC II Part D properties materials	ASME	Allows stress of materials and yield stress	SA-36 (SS400)

## 3. 유한요소 구조해석

설비 전체 Layout은 Fig. 1이고, 이중 Part A와 Part D2를 각각 1 Bay씩만이 해석되었다. ANSYS 16.1 APDL로, GIB, ES/DS, DS, CT 등 탱크 부는 Shell188(쉘) 요소, 부싱부와 탱크지지부는 Beam181(빔) 요소를 사용하였다. Part A의 중량은 약 2.9ton, 요소수는 33,227개, Part D2의 중량은 약 3.0ton, 요소수는 19,834개이다. Fig. 2(a)와 (b)는 Part A, Part D2의 모델링 형상이다.

Table 1 Material property of GIS

Material	Material property				
	E (GPa)		Density (kg/m <sup>3</sup> )	$\sigma$ (MPa)	$\sigma_u$ (MPa)
A6061-T6	69.0	0.28	2700.0	220.8	276.0
SS400	210.0	0.3	7860.0	245.0 ( $t < 16\text{mm}$ )	400~510
Porcelain	104.0	0.3	2403.0	214.0	171.2
Epoxy	20.0	0.25	1360.0	-	-

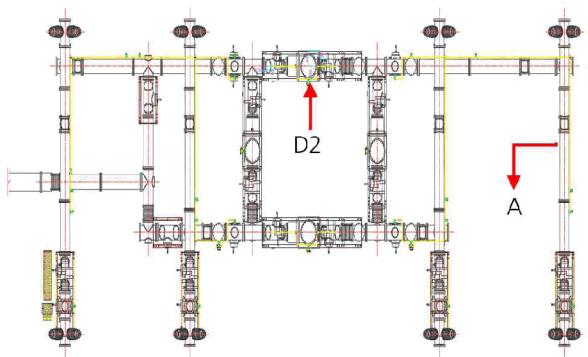
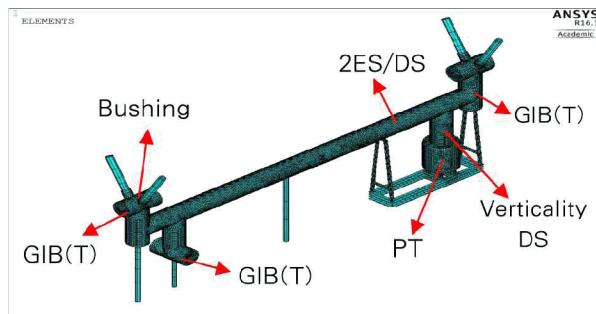
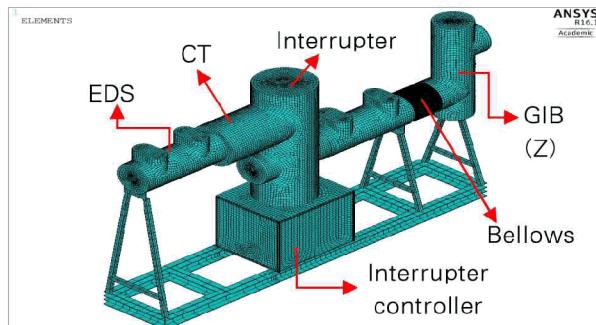


Fig. 1 All layout of 72.5kV GIS



(a) Part A



(b) Part D2

Fig. 2 Modeling and parts of GIS

### 3.1 정상사용상태 구조해석

해석은 내부 정격가스압력(0.4~0.5MPa)과 자중에 의한 정적응력해석으로 구조적 건전성을 검증한다. 유한요소결과와 비교하기 위하여 압력용기의 텡크부에 대한 이론 응력식 (1)과, 덮개부(Cap)의 이론 응력식 (2)를 이용하여 계산한 텡크와 덮개의 응력은 Table 3과 같다. 용접된 연결부는 이론식 만으로는 응력을 계산할 수 없어 유한요소해석으로 응력을 구한다.  $\sigma_v$ 는 내부 정격가스압력,  $P$ 는 텡크의 반지름,  $t$ 는 텡크의 두께,  $t_c$ 는 덮개의 두께이다(mm).

$$\sigma_v = Pr/t_v \quad (1)$$

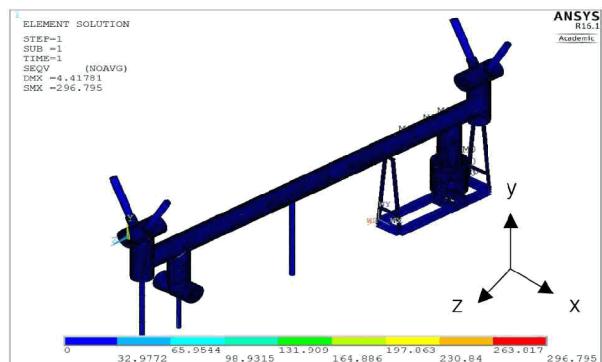
$$\sigma_c = 1238Pr^2/t_c^2 \quad (2)$$

**Table 3** Theoretical stress value(MPa) of GIS  
(D2\*: Without interrupter)

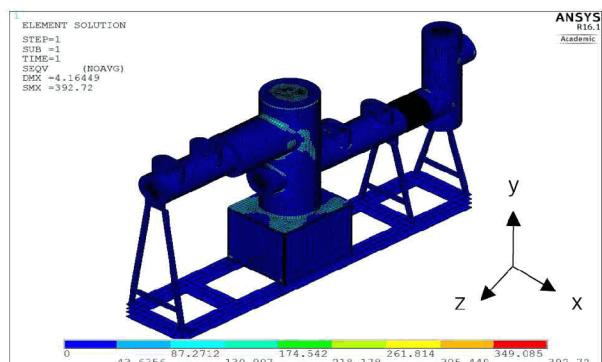
Part	(MPa)		Tank $t$	Stress $\sigma_v$	Cap $t_c$	Stress $\sigma_c$
A	0.4	226.0	9.0	10.0	-	-
D2 (Interrupter)	0.5	348.0	-	-	34.0	64.8
	0.5	348.0	9.0	19.3	-	-
D2*	0.4	226.0	9.0	10.0	-	-
D2 (Bellows)	0.4	234.0	2.5	37.4	-	-

#### 3.1.1 가스 내압( $P$ )에 대한 응력 해석

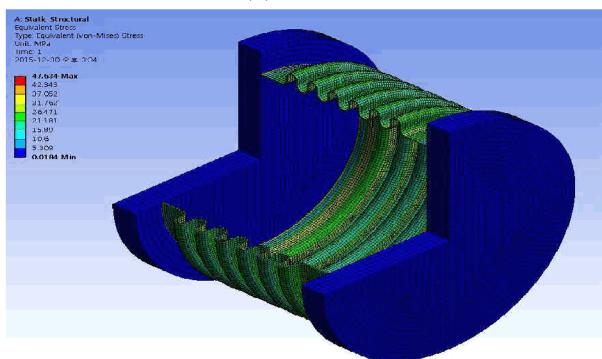
Fig. 3(a) Part A의 텡크부 최대응력은 GIB(T) 용접부위에 약 70.8MPa이고, 기타 텡크부분의 응력은 10.0MPa로 Table



(a) Part A



(b) Part D2



(c) Bellows

Fig. 3 Stresses due to internal gas pressure

3의 이론식 (1)에 의한 응력 값 10.0MPa와 같다. 지지부의 경우, 각진 코너의 모델특성상 발생하는 과도한 응력을 제외하면, 최대응력은 약 36.5MPa로, 2ES/DS의 A자형 지지부에서 발생한다. 최대변위는 4.4mm로, 부싱부에서 나타난다.

Fig. 3(b) Part D2의 차단부(interrupter) 최대응력은 CT와의 용접부위에서 110.8MPa이나, 용접부를 제외하면 19.6MPa로, Table 3의 이론식 (2)의 응력 값 19.3MPa와 근사하다. 다른 텁크부의 응력은 약 10.0MPa로 Table 3의 이론식 (1)의 응력 값 10.0MPa와 같다. 또한, 차단부 윗면(cap) 응력은 63.8MPa로 Table 3의 이론식 (2)의 응력 값 64.8MPa와 근사하다. 지지부는 약 87.0MPa로 EDS 지지대에서 나타난다. 최대변위는 차단부 윗면에서 4.1mm이다. GIS 파트를 연결하는 얇은 굴곡 판의 벨로즈(bellows)는 굴곡형상을 위해 Solid요소로 모델링되었고 응력은 Fig. 3(C)에서 약 37.0MPa이다.

### 3.1.2 자중( )에 대한 응력 해석

자중에 의한 Part A의 최대응력은 PT부에 약 3.0MPa이고, 지지부는 PT부 지지대에서 약 15.1MPa가 발생한다. 부싱부에서 최대변위는 0.2mm이다. Part D2의 GIB(Z)부 응력은 0.2MPa, EDS부 응력은 2.1MPa이고 차단부의 응력은 약 1.2MPa가 발생한다. 벨로즈의 응력은 0.4MPa, 지지부의 응력은 31.6MPa로 차단기 조작부와 지지대 연결부에서 나타나고, 최대변위는 0.1mm로 EDS부에서 나타난다.

## 3.2 특수사용상태 구조해석

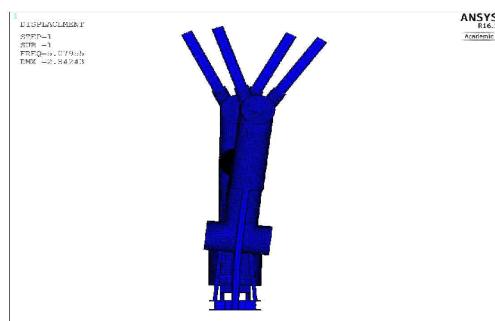
72.5kV GIS에 평균재현주기 1000년인 붕괴방지수준으로 내진 I등급에 대한 기준을 적용한다. 본 연구의 내진 해석에 사용된 요구응답스펙트럼(required response spectrum, RRS)은 한전표준규격(0.22g)과 IEC 62271-207(moderate 0.25g, high 0.5g)이 적용되었다. 응답스펙트럼 해석은 구조동역학의 이론에 근거하여 구조물의 동적 거동을 근사적으로 알아내는 방법으로 내진설계에서 흔히 사용된다. 응답스펙트럼 해석 시, 모드 질량 참여계수 합이 90% 이상 되도록 충분한 수의 모드가 고려되었으며, 수평 및 수직 방향 지진응답이 모두 고려되었다.

### 3.2.1 고유진동수 해석

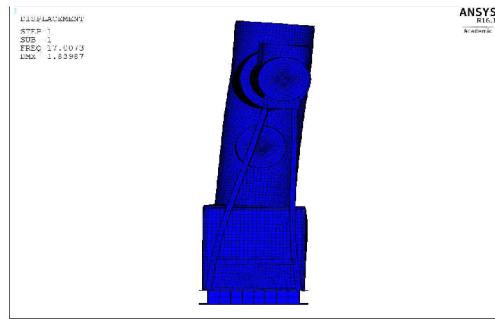
진동 해석은 구조물이나 기계 부품의 고유진동수, 모드 형상을 판명한다. Table 4는 Part A와 Part D2의 고유진동수와 방향을 나타낸다. Fig. 4는 Part A와 Part D2의 1차 모드 형상이다.

**Table 4** Natural frequency of Part A and Part D2

Part	Mode	Natural frequency (Hz)	Direction
A	1	5.0	X
	2	9.8	Z
	3	65.7	Y
D2	1	17.0	X
	2	22.6	Z
	3	147.7	Y



(a) Part A(5.0Hz, X Direction)



(b) Part D2(17.0Hz, X Direction)

**Fig. 4** The first mode shape

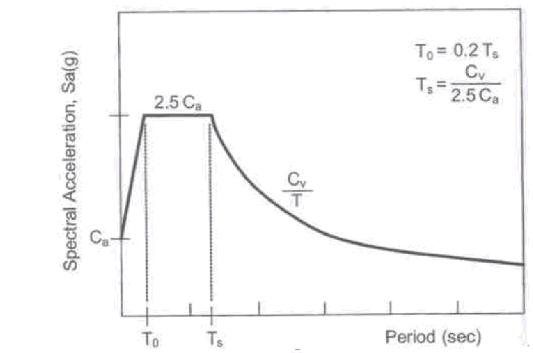
3.2.2 한전표준규격(ES-6110-0002)에 의한 내진응답해석 GIS는 지반종류 SD(단단한 토사), 지진구역 I에 설치되므로, 지진계수 Ca와 Cv는 Table 5에서 각각 0.16, 0.23이다. Fig. 5(a)는 Moderate 0.22g에 대한 지표면 표준설계 가속도 응답스펙트럼이고, 이에 Ca와 Cv를 적용하여 계산한 요구응답스펙트럼(required response spectrum, RRS)은 Fig. 5(b)와 같다.

**Table 5** Seismic Constants

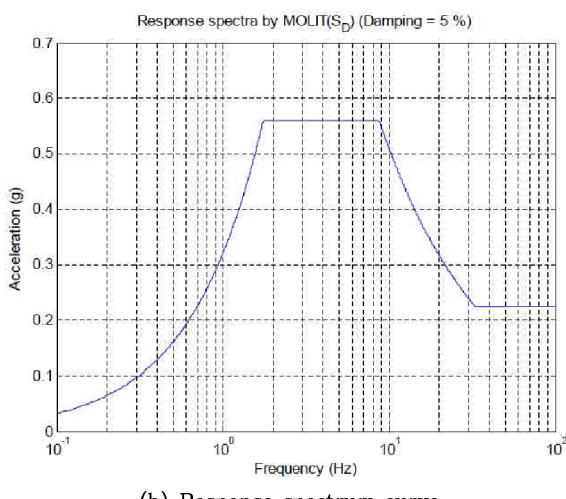
Geological type	Region I		Region II	
	Ca	Cv	Ca	Cv
SA	0.09	0.09	0.05	0.05
SB	0.11	0.11	0.07	0.07
SC	0.13	0.18	0.08	0.11
SD	0.16	0.23	0.11	0.16
SE	0.22	0.37	0.17	0.23

\* Region I: Remaining region of south excluding Region II

\* Region II: The northern part of Gangwon-do, Jeju-do



(a) Local standard response spectrum curve



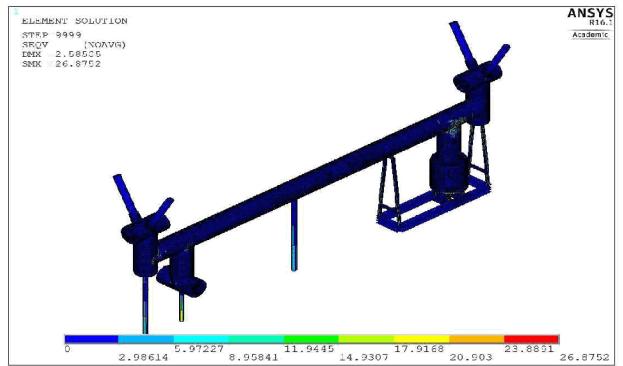
(b) Response spectrum curve

Fig. 5 Required response spectrum of KEPCO (moderate 0.22g, damping: 5%)

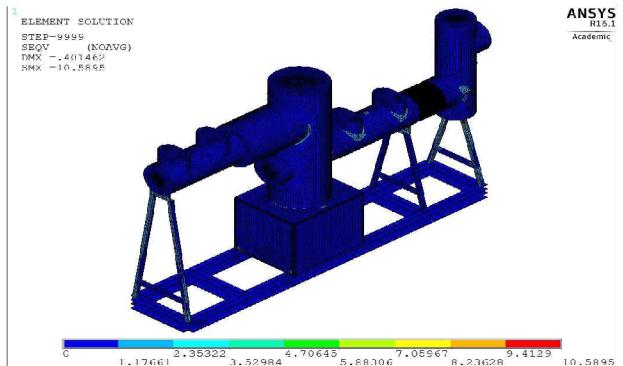
Fig. 6(a)은 Fig. 5(b)의 가속도에 의한 Part A의 내진 해석 결과로, 탱크부에서 최대응력은 수직 DS부의 용접부에 약 16.5MPa이고, PT부의 응력 값은 12.1MPa이다. 지지부의 최대응력은 26.8MPa로, GIB(T)부와 파이프형 지지대가 연결된 지점이다. 최대변위는 부싱부에 2.5mm이다. Fig. 6(b) Part D2의 탱크부의 최대응력은 2.7MPa이며 EDS부 용접부에 나타난다. 차단부(interrupter)의 최대응력은 약 2.0MPa, 벨로즈 부분은 약 3.2MPa가 발생한다. 지지부의 최대응력은 10.5MPa로, GIB(Z)부와 지지대 연결부분에서 발생한다. 차단기조작부와 지지대 연결부분에서는 약 10.1MPa의 응력이 나타난다. 최대변위는 0.4mm으로, GIB(Z)부의 윗면에서 발생한다.

### 3.2.3 IEC 62271-207 기준에 의한 내진응답해석

참고로 국제규격인 IEC 62271-207 내진해석 요구응답 스펙트럼은 Fig. 7과 같다. Fig. 8(a)는 IEC 62271-207 기준 Moderate 0.25g에 의한 Part A의 내진해석 결과로 탱크부의 최대응력은 수직 DS부의 용접부위로 17.0MPa이고,



(a) Part A



(a) Part D

Fig. 6 Seismic stress according to KEPCO standard

PT부에서 12.5MPa이다. 지지부의 최대응력은 27.8MPa로, GIB(T)부와 파이프형 지지대가 연결된 지점이고, 최대변위는 부싱부에서 2.6mm이다.

Fig. 8(b)는 High 0.5g에 의한 내진해석 결과로 탱크부의 최대응력은 수직 DS부의 용접부위로 34.1MPa이고, PT부에서 25.1MPa이 발생한다. 지지부의 최대응력은 55.6MPa로, GIB(T)부와 파이프형 지지대가 연결된 지점이다. PT부와

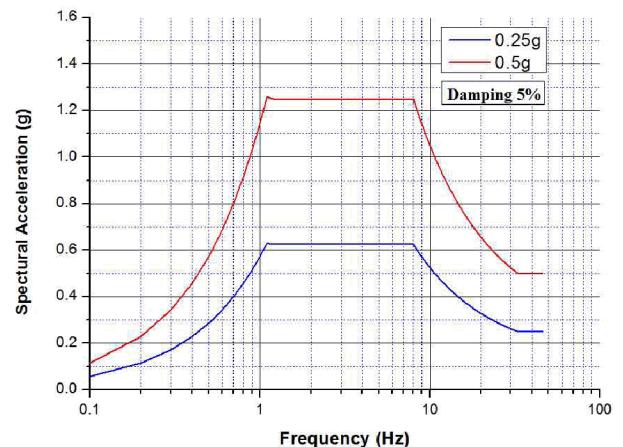


Fig. 7 IEC 62271-207 Seismic response spectrum curve (Moderate: 0.25g, High: 0.5g, Damping 5%)

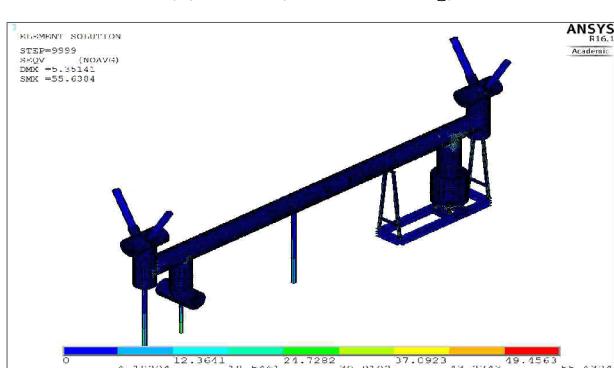
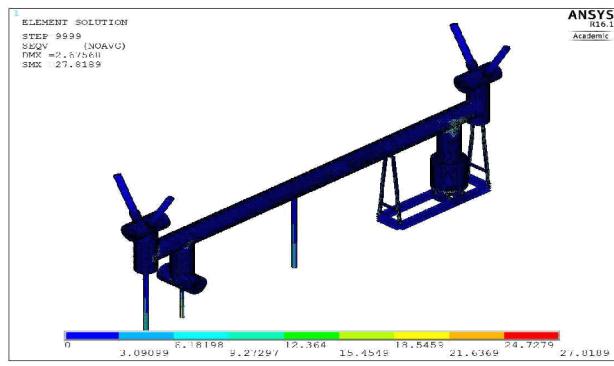


Fig. 8 Seismic stress according to IEC 62271-207 of Part A.

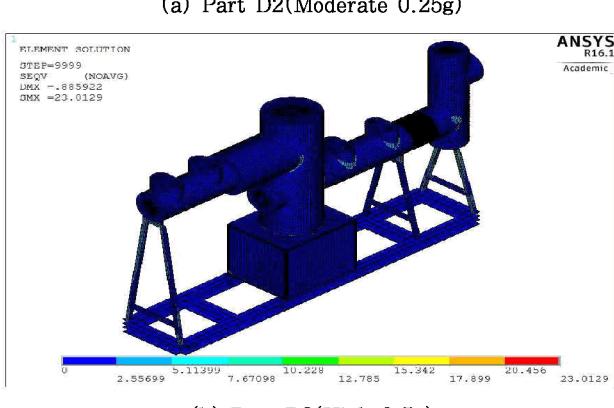
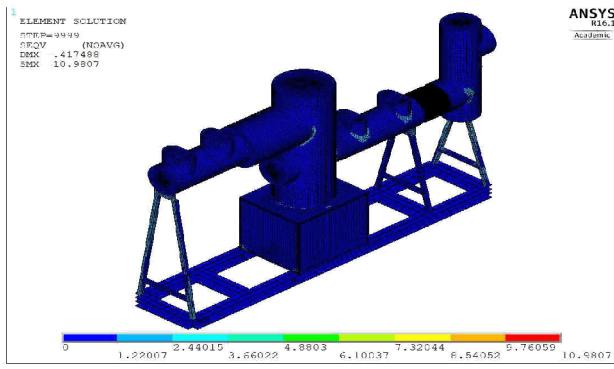


Fig. 9 Seismic stress according to IEC 62271-207 of Part D2

연결된 지지대에서 응력 값은 25.1MPa이다. 최대변위는 부싱부에서 5.3mm이다.

IEC 62271-207 기준 Part D2의 Moderate 0.25g, High 0.5g에 의한 내진해석 결과는 각각 Figs. 9 (a), (b)이다. Moderate 0.25g에 의한 최대응력은 EDS부 용접부위에 2.8MPa, 차단부에 약 2.2MPa가, GIB부에 2.6MPa가, 벨로즈에 3.0MPa가 발생한다. 지지부의 최대응력은 10.9 MPa로, GIB(Z)-부와 지지대 연결부분에서 발생한다. 차단기 조작부와 지지대 연결부에서는 약 10.5MPa의 응력이, 최대변위는 GIB(Z)-부의 윗면에서 0.4mm이다.

IEC 62271-207 기준 High 0.5g에 의한 최대응력은 EDS부 용접부위에서 5.2MPa로 나타난다. 차단부에 4.2MPa, GIB부에 5.0MPa, 벨로즈는 7.3MPa가 발생한다. 지지부의 최대응력은 23.0MPa로 GIB(Z)-부와 지지대 연결부분에서, 차단기조작부와 지지대 연결부에는 21.2MPa가 발생한다. 최대변위는 GIB(Z)-부 윗면에 0.8mm이다.

#### 4. 안전성 평가

정상사용상태시 응력과 특수사용상태시 응력을 합한 Table 6의 응력에 하중별로 참여계수를 적용하여 최대응력을 결정한다. ASME BPVC VIII Div. 2의 Part 5 design by analysis requirements 5.1.3 loading conditions : appendix A.3에서 조합하중 식은 식 (3)과 같다.

$$0.9P + Ps + D + (W \text{ or } 0.7E) \quad (3)$$

$P$ 는 정상사용상태인 가스내압이고,  $P_s$ 는 내부유체하중이라 본 설비에는 해당되지 않고  $D$ 는 자중이다. 풍하중  $W$ 와 지진 하중  $E$ 에 0.7의 참여계수(participation factor)를 곱하여 계산된 하중 중에서 큰 값을 선택한다. 실내의 경우 적설하중과

Table 6 Max. Equivalent stress before participation factor is applied(MPa).

(Tank\*: Without interrupter, \*: Dead weight)

Part		Normal service condition		Special service condition			Allowable stress
		$W^*$		KEPCO (0.22g)	IEC (0.25g)	IEC (0.5g)	
A	Tank	70.8	3.0	16.5	17.0	34.1	181.5
	Support	36.5	15.1	26.8	27.8	55.6	247.5
D2	Tank	110.8	1.2	2.0	2.2	4.2	181.5
	Tank*	57.0	2.1	2.7	2.8	5.2	181.5
	Bellows	37.0	0.4	3.2	3.0	7.3	247.5
	Support	87.0	31.6	10.5	10.9	23.0	247.5

**Table 7** Max. Equivalent stress after participation factor is applied(MPa).  
(Tank\*: Without interrupter, \*: Dead weight)

Part		Normal service condition	Special service condition			Final stress	
			W*	KEPCO (0.22g)	IEC (0.25g)	IEC (0.5g)	
Participation factor	0.9	1.0		0.7	0.7	0.7	-
Part A	Tank	63.7	3.0	11.5	-	-	78.2
				-	11.9	-	78.6
				-	-	23.8	90.5
	Support	32.8	15.1	18.7	-	-	66.6
				-	19.4	-	67.3
				-	-	38.9	86.8
Part D2	Tank	99.7	1.2	1.4	-	-	102.3
				-	1.5	-	102.5
				-	-	2.9	103.8
	Tank*	51.3	2.1	1.8	-	-	55.1
				-	1.9	-	55.3
				-	-	3.6	57.0
	Bellows	33.3	0.4	2.2	-	-	35.9
				-	2.1	-	35.8
				-	-	5.1	38.8
	Support	78.3	31.6	7.3	-	-	117.2
				-	7.6	-	117.5
				-	-	16.1	126.0

풍하중은 제외 가능하다. 허용응력을 계산시 해당 하중의 기여도를 나타내는 참여계수는 정상사용상태에는 0.9, 자중의 경우 1.0, 특수사용상태는 0.7을 적용한다. 구조해석에서 산출된 Table 6의 응력에 참여계수를 곱한 GIS 부위별 최종적인 사용응력은 Table 7과 같다.

참여계수를 적용한 후, Part A 탱크부(tank)의 정상사용상태시의 가스내압과 자중에 대한 응력은 63.7MPa, 3.0MPa이고, 특수사용상태(지진하중)시, 한전표준규격(0.22g), IEC (Moderate 0.25g), (High 0.5g) 적용 시의 응력은 각각 11.5MPa, 11.9MPa, 23.8MPa가 된다. 알루미늄의 Membranes+Bending stress 허용응력은 181.5MPa이므로, 한전표준규격을 적용한 경우의 최대사용응력 78.2MPa에 대한 안전계수는 2.3, IEC(Moderate 0.25g)에는 2.3이, (High 0.5g)에서는 안전계수 2.0이 산출되었다. 탱크부에 대해 매우 보수적으로 Membranes stress의 허용응력 121MPa를 적용하여도 안전성을 충분히 확보하고 있음을 알 수 있다.

참여계수를 적용한 후, Part D2 탱크부(tank interrupter)의 정상사용상태시의 가스내압과 자중에 대한 응력은 99.7 MPa, 1.2MPa이고, 특수사용상태(지진하중)시, 한전표준규격(0.22g), IEC(Moderate 0.25g), (High 0.5g) 적용

시의 응력은 각각 1.4MPa, 1.5MPa, 21.9MPa가 된다. 알루미늄의 허용응력은 181.5MPa이므로, 한전표준규격을 적용한 경우의 최대사용응력 102.3MPa에 대한 안전계수는 1.7, IEC(Moderate 0.25g)과 (High 0.5g)에서도 안전계수 1.7이 산출되었다. 탱크부에 대해 매우 보수적으로 Membranes stress만의 허용응력 121MPa를 적용하여도 안전성을 확보하고 있음을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구의 구조해석 결과에 의하면, 72.5kV GIS 전력장비는 일반 작동시의 여러 하중 상태나 지진시에도 안전함이 보여지고 있다. 진동특성에서, 1차 고유진동수는 한전표준규격에 의한 설계지진응답스펙트럼의 최대 가속도인 0.55g가 위치한 주파수 영역대에 있어 지진 응답 특성이 커짐이 보여지고 있다.

구조 안전성은 내부가스 SF6에 의한 응력, 자체중량에 의한 응력, 내진해석에 의한 응력 값에 참여계수를 적용한 후, 모두 합한 최대응력으로 판단되었다. 한전표준규격 적용시, Part A 알루미늄 탱크부에 산출된 최대사용응력 78.2MPa에 대한 안전계수는(ASME 기준에 의해) 2.3이, Part D2 탱크부 응력 102.3MPa에 대한 안전계수는 1.7이 산출되었다. 탱크부를 지지하는 강철 지지부의 경우 응력은 117.2MPa로 안전계수 2.1이 산출되었다. 외국 IEC 62271-207 High 0.5g 기준 적용시, 한전표준규격 최대가속도의 2.27배가 되는데, 최종 응력은 Part A는 90.5MPa, Part D2는 103.8MPa로 안전계수는 각각 2.0, 1.7이 산출되었다.

## 감사의 글

본 연구는 2016년도 충남대학교(CNU) 학술연구지원으로 수행 되었고, 기기에 관한 자료는 (주)제통전기에서 제공하였기에 감사를 표합니다.

## References

- ASME BPVC(Boiler and Pressure Vessel Code). (2010) Section VIII, Division 1: *Rules For Construction of Pressure Vessels*.
- Chopra, A.K. (2001) Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice Hall, Second Edition.
- ES-6110-0002(Gas-insulated switchgears) (2012) General Technical Specifications of KEPCO.
- IEC 62271-207(International Electrotechnical Commi-

- ssion) (2012) *Edition2.0, International Standard.*
- Kim, D.G.** (2005) Dynamics of Structures, *Kumi Press.*
- Kim, W.S., Jeong, Y., Kim, K., Kim, K.J., Lee, J.H.** (2016) Seismic Analysis for Multi-pile Concrete Foundation in 5MW Class Offshore Wind Turbine, *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea*, 29(3), pp.209~218.
- Kim, Y.G., Kwon, T.H., Jeong, Y.J., Kim, H.T., Kim, Y.J.** (2013) Study on Seismic Analysis and Test for Seismic Qualification of 245kV GIS. *The Korean Society of Mechanical Engineers*, 37(5), pp.715~722.
- Lee, H-M., Lee, J-K., Yoo, J-M., Shin, H-M.** (2011) Seismic Analysis Process of Steel Box girder Bridge based on BIM, *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea*, 24(4), pp.421~428.
- Lee, S.H., Cho, S.S., Kang, S.M., Ahn, K.Y., Bang, J.D., Min, K.S., Choi, J.W., Yonn, S.S.** (2001) The Seismic Analysis of 72.5kV Gas Insulated Switchgear (GIS), *J. Electr. Eng. & Inf. Sci.*, 18~20, pp.762 ~764.
- Song, G.D., Park, G.Y., Shin, Y.J.** (1999) Analysis Techniques for Design Verification of GIS, *Korean Inst. Electr. Eng.*, 48(9), pp.4~11
- Song, W.P.** (2000) Development of 800kV 50kA 8000A GIS, *J. Electr. World Monthly Mag.*, 282, pp.27~35.
- Xia, Y., Xu, J., Li, D., Shen, F.** (2013) Analysis of Seismic Performance for High-voltage Switchgear Equipment of GIS, *2nd International Conference on IEEE*, pp.1~4.

## 요지

국내의 72.5kV 이상, 주파수 60Hz의 송배전설비인 육내 및 육외용 가스절연개폐장치(GIS)는 내진 안전성에 대해 국가에서 정한 한전표준규격(ES-6110-0002)을 만족해야 한다. 이 규격에서 명시되지 않은 사항은 IEC 62271-203, 62271-207 등의 관련 기기 규격에 준한다. 한전표준규격에서 기기는 정상사용상태와 특수사용상태에서 견전성이 유지되어야 한다. 안전성 판단을 위해 ASME BPVC SEC.VIII 내압용기 설계 기준에 의해 A6061-T6 재질의 GIS에 대한 정상사용상태 기준과 국내 한전표준규격과 국외 IEC 62271-207에 의한 특수사용상태 기준(지진)에 대한 총체적 응력상태를 판단하였다. 한전표준규격 기준(0.22g) 적용시, 최종응력이 알루미늄인 Part A는 78.2MPa, Part D2의 경우 102.3MPa로, ASME 허용응력 값 181.5MPa를 만족하고 있다. IEC 62271-207 High 0.5g의 경우에도 최종응력은 Part A는 90.5MPa, Part D2는 103.8MPa이다. 본 연구 결과, 72.5kV GIS는 한전표준규격의 구조안전성과 내진성능을 충분히 만족함을 보이고 있다. 내진해석으로 내진시험을 수행할 수 있는 대형 전력기기의 내진성능 실증에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

**핵심용어 :** 가스절연개폐장치, 한전표준규격, IEC 62261, ASME, 진동해석, 요구응답스펙트럼, 내진해석