

# 원자력발전소 비상디젤발전기의 가동중 진동저감 효과

## Operating Vibration Reduction Effect Evaluation of EDG at the NPP Site

김민규<sup>†</sup>·전영선\*

Kim, Min Kyu, Choun, Young Sun

Key Words : Emergency Diesel Generator (EDG), Nuclear Power Plant (NPP), foundation system, anchor bolt, coil spring-viscous damper, vibration isolation effect

### ABSTRACT

The Emergency Diesel Generator (EDG) is a very important piece of equipment for the safety of a Nuclear Power Plant (NPP). In this study, the operating vibration of three kinds of EDG system was measured. The target EDG systems are Yonggwang 5 unit, Ulchin 2 unit and Ulchin 3 unit. The Yonggwang 5 and Ulchin 3 unit EDG system is the same type but the foundation systems are different. One is an anchor bolt type and the other is a spring and viscous-damper type. The purpose of this measurement is for a verification of the vibration isolation effect according to the foundation system. As a result, it can be said that the spring and viscous damper system of the EDG performed well for the vibration isolation.

### 1. 서 론

본 연구에서는 원자력 발전소 내부의 비상디젤발전기를 대상으로 하여 가동중 진동을 계측 분석하여 기초시스템에 따른 진동저감효과를 비교하였다. 원자력 발전소의 비상디젤발전기는 원자력발전소 전체의 안전성에 큰 영향을 미치는 주요 안전관련 기기중의 하나이다. 원자력 발전소는 가동중 매우 큰 진동과 소음을 유발하여 구조물과 주변 환경에 큰 영향을 미치게 된다. 비상디젤발전기는 이러한 진동저감을 위하여 다양한 방법으로 받침을 구성하고 있는데 대표적인 것이 고무패드와 앵커볼트를 이용하여 고정하는 방법과 코일스프링-점성댐퍼를 이용하는 방법이다[1]. 이러한 방법은 산업현장에서 회전기계 기초의 진동저감을 위해서 널리 사용되는 방법이다. 본 연구에서는 이러한 기초시스템의 차이에 따른 진동저감 효과를 분석하기 위하여 기초시스템이 상이하게 설치되어 있는 동일한 비상디젤발전기 시스템을 선정하여 그 진동특성을 비교하여 분석하였다.

기계기초의 진동저감에 대한 연구는 상당히 오래전부터 수행되어 왔던 연구이지만 실제로 기기의 진동을 측정하여 기초에 따른 진동특성을 비교한 연구는 그리 많지 않은 실정이다[2]. 본 연구에서는 영광원자력발전소 5호기와 울진원자력발전소 2호기 및 3호기를 대상으로 가동중 진동을 측정하여 그 결과를 비교하였다. 영광 5호기와 울진 3호기 원자력발전소의 비상디젤발전기는 SEMT Pielstick사의

16PC2- 5V400모델로서 동일하며 기초시스템은 영광 5호기의 경우 앵커볼트로, 울진 3호기의 경우 코일스프링과 점성댐퍼를 이용하여 기초를 구성하고 있다. 울진 2호기의 경우는 비상디젤발전기의 형태는 다르지만 진동저감을 위해서 seismic mass를 적용하여 가장 효과적으로 진동저감 시스템이 설치되어 있는 시스템이므로 그 진동특성을 비교하였다. 정확한 비교를 위하여 가동전의 배경진동과 가동중의 진동을 측정하여 비교하였다. 기초위의 6개 지점과 기초와 격리되어 있는 바닥면 그리고 비상디젤발전기 본체에서의 진동을 측정하였다. 코일스프링과 점성댐퍼를 이용하여 면진된 경우에는 바닥면과 기초와의 상대변위를 측정하여 전체 기초시스템의 안정성을 분석하였다. 시간영역과 주파수 영역에서의 진동을 측정하여 주파수 영역에서의 결과를 비교하였다.

### 2. 진동측정 개요

#### 2.1 비상디젤발전기

##### (1) 영광 5호기와 울진 3호기 비상디젤발전기

전술한 바와 같이 영광 원자력발전소 5호기와 울진원자력발전소 3호기의 비상디젤발전소는 동일한 형태이며 기초형식은 상이하게 구성되어 있다. 비상디젤발전기는 SEMT Pielstick사의 16PC2- 5V400모델이며 최대출력은 7000kW이다. 엔진의 회전속도는 514RPM이며 매달 한 번

씩 시험가동을 통하여 정상가동 여부를 검사하고 있다. 영광 5호기와 울진 3호기 원자력발전소 비상디젤발전기의 제원은 표 1에 정리하였다.

표 1. 영광 5호기와 울진 3호기 원자력발전소 비상디젤발전기의 제원

항목	영광 5호기	울진 3호기
회사	SEMT Pielstick	
모델	16PC2-5V 400	
출력(kW)	7000	
속도(RPM)	514	
시험주기	1개월	
시험출력	100%	
시험시간	60분	
기초형태	매입앵커	Spring 20set damper 6 unit

(2) 울진 2호기 비상디젤발전기

울진 원자력발전소 2호기 비상디젤발전기는 위의 두 모델과는 상이한 모델로서 엔진이 두개이고 발전기가 하나로 구성되어 있는 모델이다. 출력은 4500kW 이고 엔진의 회전속도는 1200RPM이다. 제원은 표 2에 정리하였다.

표 2. 울진 2호기 원자력발전소 비상디젤발전기의 제원

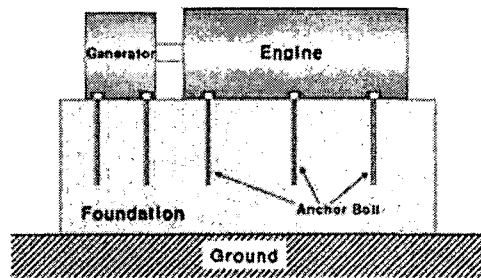
항목	울진 2호기
회사	SACM
모델	UD45V 20S5D
출력(kW)	4500
속도(RPM)	1200
시험주기	2 month
시험출력	30%
시험시간	60minute
기초형태	spring 12set

2.2 기초시스템

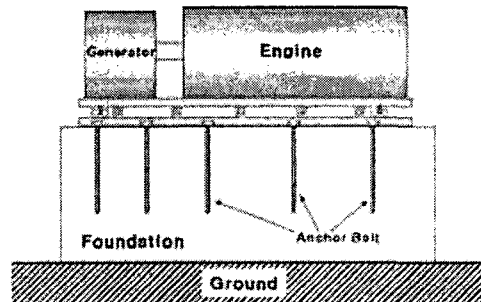
(1) 영광 5호기와 울진 3호기 비상디젤발전기

영광 5호기 비상디젤발전기의 기초형태는 전형적인 앵커볼트 시스템으로서 매입앵커를 이용하여 기초와 발전기를 고정하는 형태로 시공하였다. 영광 5호기의 경우는 비상디젤발전기실이 원자력발전소의 부속건물에 위치하지 않고 별도의 건물에 독립적으로 위치하고 있으므로 진동의 영향이 주변 구조물이나 기기에 미치는 영향이 적게 된다. 반면 울진 3호기 비상디젤발전기는 동일 모델이면서 원자

력발전소의 부속건물 내부에 위치하고 있으므로 그 진동과 소음이 건물 전체에 영향을 미치게 된다. 따라서 설계변경을 통하여 엔진과 발전기를 기초와 격리시키는 방법을 사용하였다. 진동저감을 위해서는 GERB사의 코일 스프링과 점성댐퍼를 사용하였는데 코일스프링의 경우 8개가 하나의 set로 구성된 코일스프링 시스템을 20개 사용하였으며, 6개의 점성댐퍼를 사용하여 효과적으로 진동을 저감시킬 수 있도록 하였다. 앵커볼트를 사용한 영광 5호기와 스프링댐퍼를 사용한 울진 3호기 비상디젤발전기의 기초형태에 대한 모식도를 그림 1에 각각 도시하였고, 울진 3호기에 사용한 스프링-댐퍼시스템의 물성을 표 3에 정리하였다.



(a) 앵커볼트 고정기초 (영광5호기)



(b) 코일스프링-점성댐퍼 시스템 (울진3호기)

그림 1. 비상디젤발전기 기초시스템의 모식도(영광5호기, 울진 3호기)

표 3. 울진 3호기 스프링-댐퍼시스템의 제원

	TYPE	GERB GP 8.721	
Coil Spring	STIFFNESS	Horizontal	24.9 N/mm
		Vertical	35.6 N/mm
	SET	20 Set (1 Set consist of 8 spring unit)	
Viscous Damper	Damping Coefficient	Horizontal	2500 N/m/s
		Vertical	2500 N/m/s
	Set	6 set	

(2) 울진 2호기 비상디젤발전기

울진 2호기 비상디젤발전기는 설계단계부터 진동저감을 위하여 seismic mass를 도입하여 기초를 포함한 비상디젤발전기 시스템의 무게중심을 아래쪽으로 이동시키므로 서 진동저감에 효과적이고 안정적인 시스템을 구축하였다. 울진 2호기 비상디젤발전기 시스템은 그림 2와 같이 pedestal을 설치하여 그 위에 코일 스프링으로 전체 시스템을 지지하도록 설계하였다. 이 경우에는 점성댐퍼를 사용하지 않고 코일스프링만으로 진동저감효과를 나타낼 수 있도록 하였다. 울진 2호기 비상디젤발전기에 사용된 코일스프링의 제원은 표 4에 정리하였다.

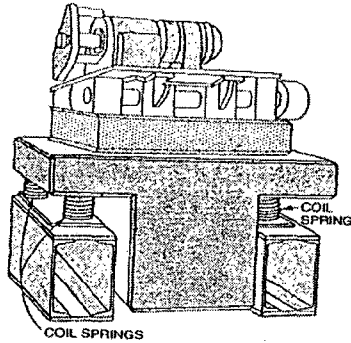


그림 2. Seismic Mass Type Isolation System[3]

표 4. 울진 2호기 비상디젤발전기에 사용된 코일스프링의 제원

Item	Properties	
	Resonant Frequency	Vertical
Horizontal		3.3-5.5Hz
Vertical Stiffness	608kg/mm	
Permissible Displacement	0.5mm	

2.3 계측시스템

진동계측 시스템은 동일 비상디젤발전기를 사용하는 영광 5호기와 울진 3호기는 동일한 형태로 구성하였으며, 울진 2호기의 경우는 기초의 경우 유사한 형태로 구성하였으나, 기초의 6지점과 페데스탈 위와 아랫부분 바닥면에서의 진동을 계측하였다.

(1) 영광 5호기와 울진 3호기 비상디젤발전기

영광 5호기와 울진 3호기 비상디젤발전기는 동일한 시스템이므로 기초위의 동일한 6지점에서 진동을 계측하였으며 발전기 본체와 기초와 분리된 바닥면에서의 진동을 계

측하였다. 진동계측은 가속도계를 이용하여 시간영역에서 수행하였으며 주파수 영역에서의 분석을 위하여 FFT를 수행하여 비교하였다. 총 8개의 가속도계를 이용하여 계측을 수행하였으며, 가동전의 진동과 가동중의 진동을 비교하여 진동저감효과를 정량적으로 비교할 수 있도록 하였다. 영광 5호기와 울진 3호기의 계측 모식도는 그림 3에 제시하였다.

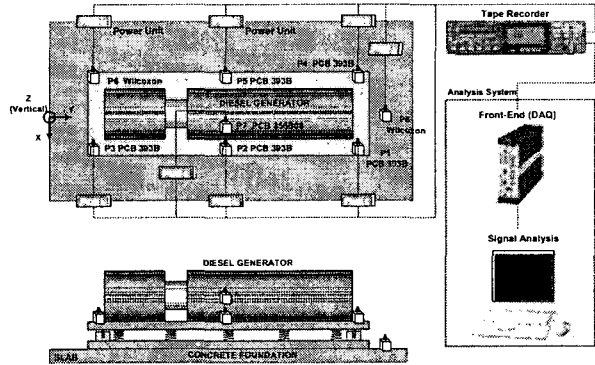


그림 3. 계측 모식도(울진 3호기)[4]

(2) 울진 2호기 비상디젤발전기

울진 2호기 비상디젤발전기는 페데스탈 위의 스프링으로 비상디젤발전기와 기초를 지지하고 있는 구조이므로 그림 4와 같이 기초의 6지점과 페데스탈 위와 아래의 지점에서 각각 가속도 응답을 계측하였다. 영광 5호기의 계측시스템과 동일하게 8개의 가속도계를 이용하여 진동계측을 수행하였다. 또한 맨 앞과 뒤쪽의 페데스탈과 기초와의 상대변위를 계측하여 전체 비상디젤발전기 시스템의 거동을 살펴보았다.

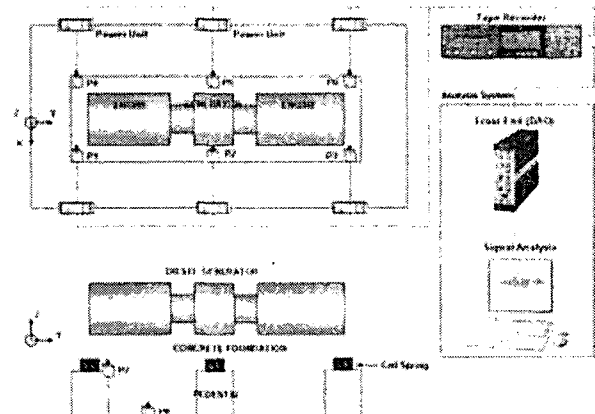


그림 4. 계측 모식도 (울진 2호기)[5]

### 3. 진동측정 결과

#### 3.1 가속도 응답

##### (1) 영광 5호기와 울진 3호기 비상디젤발전기

영광 5호기 비상디젤발전기의 가동전 진동 값과 가동중 진동 값을 시간영역과 주파수 영역에서의 최대값을 각각 표 5와 표 6에 정리하였다. 표에서 보는 바와 같이 가동전의 진동 값은 비상디젤발전기 본체를 제외하고는 기초부분과 바닥면(P8)이 큰 차이가 없는 것을 알 수 있다. 배경진동의 크기가 기초와 바닥면에서 유사한 값을 보이는 것을 알 수 있다. 반면 가동중에는 기초블럭에서의 진동 값이  $0.117\text{m/s}^2$  에서  $0.269\text{m/s}^2$ 의 범위를 갖는데 반해서 바닥면에서는  $0.071\text{m/s}^2$ 의 값을 나타내므로 앵커볼트를 고정시킨 경우에도 진동저감 효과가 있는 것을 알 수 있다. 이것은 앵커볼트를 이용하여 발전기를 고정시키는 경우에도 방진고무패드를 발전기와 기초 사이에 설치하기 때문에 이것에 의해서 어느 정도의 진동저감 효과가 나타난 것이다. 또한 발전기 본체와 기초와의 진동 값을 비교해 보면 가동전이나 가동중이 모두 발전기 본체에서 큰 진동이 관측되는 것을 알 수 있다. 이것은 앵커볼트를 이용하여 고정시키는 경우 본체에서의 진동이 제어되고 있는 것을 알 수 있다.

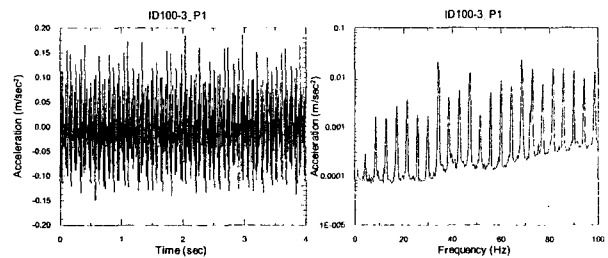
표 5. 영광 5호기 EDG 가동전 진동

측정 위치	시간이력		주파수 분석(RMS)	
	Peak [m/s <sup>2</sup> ]	Peak[dB] [Ref=1×10 <sup>-5</sup> ]	O.A. [m/s <sup>2</sup> ]	O.A.[dB] [Ref=1×10 <sup>-5</sup> ]
P1	0.004	52.5	0.0009	39.3
P2	0.004	51.3	0.0007	37.4
P3	0.006	55.1	0.0011	41.4
P4	0.006	56.0	0.0013	42.6
P5	0.003	50.0	0.0005	35.1
P6	-	-	-	-
P7	0.183	85.2	0.0403	72.1
P8	0.003	48.0	0.0005	34.8

표 6. 영광 5호기 EDG 가동중 진동

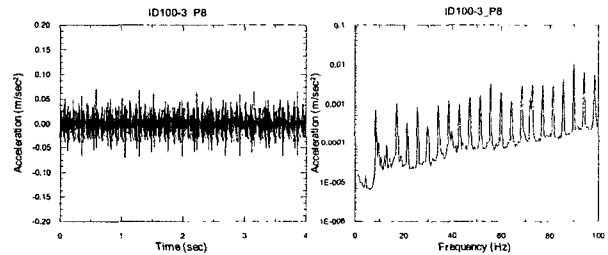
측정 위치	시간이력		주파수 분석(RMS)	
	Peak [m/s <sup>2</sup> ]	Peak[dB] [Ref=1×10 <sup>-5</sup> ]	O.A. [m/s <sup>2</sup> ]	O.A.[dB] [Ref=1×10 <sup>-5</sup> ]
P1	0.187	85.4	0.0672	76.6
P2	0.140	82.9	0.0543	74.7
P3	0.117	81.4	0.0421	72.5
P4	0.269	88.6	0.0880	78.9
P5	0.147	83.4	0.0506	74.1
P6	0.133	82.5	0.0467	73.4
P7	1.056	100.5	0.3619	91.2
P8	0.071	77.1	0.0214	66.6

영광 5호기 비상디젤발전기의 가동중 기초에서의 진동 측정결과를 그림 5에, 바닥면에서의 진동측정결과를 그림 6에 제시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 바닥면에서 진동레벨이 다소 감소한 것을 알 수 있고 바닥면의 경우 저주파수 영역에서의 진동 값이 좀 더 감소하고 있는 것을 알 수 있다. 이것은 앵커볼트의 강성이 상대적으로 크기 때문에 고주파 영역에서는 진동저감효과가 적게 나타나는 것으로 판단된다. 또한 비상디젤발전기 엔진의 회전수인 514RPM의 절반이 4.28Hz의 배수에서 공진주파수가 발생하는 것을 알 수 있다.



(a) 시간영역 (b) 주파수 영역

그림 5. 영광 5호기 기초에서의 진동(P1, 가동중)



(a) 시간영역 (b) 주파수 영역

그림 6. 영광 5호기 바닥에서의 진동(P8, 가동중)

울진 3호기 비상디젤발전기의 가동전 진동 값과 가동중 진동 값을 시간영역과 주파수 영역에서의 최대값을 각각 표 7과 표 8에 정리하였다. 표에서 보는 바와 같이 가동전의 진동 값은 기초블럭의 경우  $0.017\text{m/s}^2$  에서  $0.031\text{m/s}^2$ 의 범위를 갖는 것을 알 수 있다. 이것은 영광 5호기의 경우와 비교하였을 때 배경진동의 수준이 상당히 높은 것을 알 수 있다. 또한 영광 5호기의 경우는 기초블럭과 바닥면에서의 진동레벨이 유사한 수준이었지만 울진 3호기의 경우는 기초에서의 진동레벨이 2-3배 정도 큰 값으로 관측되는 것을 알 수 있다. 이것은 비상디젤발전기 본체가 스프링과 댐퍼를 이용한 제진장치를 설치하였으므로 주변의 소음과 진동에 의해서 발전기 본체에 진동이 발생하는 것으로 판단된다. 가동중에는 기초에서의 진동 값이  $2.879\text{m/s}^2$ 에서  $6.242\text{m/s}^2$ 의 값으로 앵커 고정된 경우에 비하여 10배 이상의 큰 진동을 하는 것을 알 수 있다. 그러나 바닥면

에서의 진동측정값은  $0.048\text{m/s}^2$  로서 앵커 고정된 경우의 절반정도에 그치는 것을 알 수 있다. 가동전 바닥면에서의 진동은 오히려 울진 3호기의 경우가 두 배 이상 크게 나타나고 있음에도 불구하고 가동중에 바닥면에서의 진동이 울진 3호기에서 절반정도로 감소하고 있는 것은 울진 3호기에 사용한 스프링과 댐퍼시스템이 진동저감용으로 효과적으로 작용하고 있음을 알 수 있는 것이다.

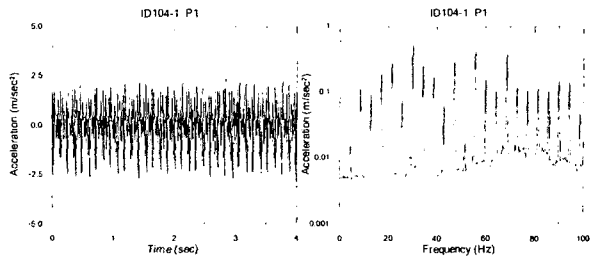
표 7. 울진 3호기 EDG 가동전 진동

측정 위치	시간이력		주파수 분석(RMS)	
	Peak [ $\text{m/s}^2$ ]	Peak[dB] [Ref= $1 \times 10^{-5}$ ]	O.A. [ $\text{m/s}^2$ ]	O.A.[dB] [Ref= $1 \times 10^{-5}$ ]
P1	0.023	67.3	0.0051	54.2
P2	0.024	67.7	0.0042	52.6
P3	0.031	69.7	0.0075	57.6
P4	0.023	67.2	0.0057	55.2
P5	0.017	64.6	0.0050	54.1
P6	0.027	68.7	0.0055	54.9
P7	0.036	71.1	0.0033	50.4
P8	0.008	58.2	0.0033	50.5

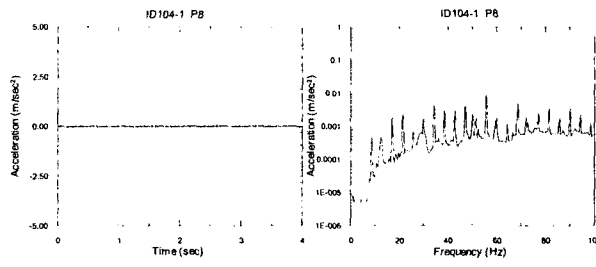
표 8. 울진 3호기 EDG 가동중 진동

측정 위치	시간이력		주파수 분석(RMS)	
	Peak [ $\text{m/s}^2$ ]	Peak[dB] [Ref= $1 \times 10^{-5}$ ]	O.A. [ $\text{m/s}^2$ ]	O.A.[dB] [Ref= $1 \times 10^{-5}$ ]
P1	3.202	110.1	1.3599	102.7
P2	2.879	109.2	1.3480	102.6
P3	6.242	115.9	3.0339	109.6
P4	4.807	113.6	2.0520	106.2
P5	3.072	109.7	1.3192	102.4
P6	5.367	114.6	2.0278	106.1
P7	1.997	106.0	0.9339	99.4
P8	0.048	73.7	0.0218	66.8

그림 7과 그림 8에 울진 3호기에서 가동중에 기초와 바닥면에서 측정한 결과를 도시하였다. 그림 7의 기초에서의 응답과 그림 8에서의 바닥면에서의 응답을 비교하면 시간영역에서 진동저감효과가 확연히 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 FFT에 의한 주파수 영역에서의 응답을 비교해보면 전 주파수 영역에서 고르게 진동저감효과가 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 또한 영광 5호기의 경우와 동일하게  $4.28\text{Hz}$ 의  $n$ 배에 해당하는 주파수에서 탁월주파수가 발생하고 있는 것을 알 수 있다.



(a) 시간영역 (b) 주파수 영역  
그림 7. 울진 3호기 기초에서의 진동(P1, 가동중)



(a) 시간영역 (b) 주파수 영역  
그림 8. 울진 3호기 바닥에서의 진동(P8, 가동중)

(2) 울진 2호기 비상디젤발전기

울진 2호기 비상디젤발전기의 가동전 진동 값과 가동중 진동 값을 시간영역과 주파수 영역에서의 최대값을 각각 표 9와 표 10에 정리하였다. 표에서 보는 바와 같이 가동전의 진동 값은 기초블록의 경우  $0.015\text{m/s}^2$  에서  $0.126\text{m/s}^2$  의 범위를 갖는 것을 알 수 있다. 이것은 앞선 영광 5호기와 울진 3호기의 경우보다 큰 값으로서 이것은 울진 2호기에는 코일스프링만을 이용하여 진동저감 효과를 고려하였으므로 댐퍼에 의한 저감효과가 없기 때문에 발생하는 현상인 것으로 판단된다. 반면 페데스탈 위(P7)와 페데스탈 아래 바닥면(P8)에서의 진동 값은 가동전에도 기초 위에서의 진동 값의 20% 수준인 것으로 나타나서 울진 3호기와 같이 스프링에 의해서 먼진되어 있으므로 기초블록을 포함한 EDG시스템이 주변 진동에 더 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 또한 페데스탈 윗부분의 진동이 아래부분 바닥면에 비해서 진동 값이 크게 관측되는 것은 페데스탈에 의해서도 진동저감의 효과가 있음을 알 수 있다. 가동중에는 기초에서의 진동 값이  $2.579\text{m/s}^2$  에서  $6.827\text{m/s}^2$  의 값으로 증가하지만 바닥면에서의  $0.109\text{m/s}^2$  를 나타내고 있으므로 전반적으로는 약 95% 이상의 진동저감효과가 있는 것을 알 수 있다.

표 9. 울진 2호기 EDG 가동전 진동

측정 위치	시간이력		주파수 분석(RMS)	
	Peak [m/s <sup>2</sup> ]	Peak[dB] [Ref=1×10 <sup>-5</sup> ]	O.A. [m/s <sup>2</sup> ]	O.A.[dB] [Ref=1×10 <sup>-5</sup> ]
P1	0.061	75.7	0.048	73.6
P2	0.097	79.7	0.086	78.7
P3	0.067	76.5	0.049	73.8
P4	0.015	63.6	0.005	53.4
P5	0.105	80.4	0.085	78.6
P6	0.126	82.0	0.096	79.6
P7	0.020	65.9	0.005	54.4
P8	0.014	62.6	0.004	51.6

표 10. 울진 2호기 EDG 가동전 진동

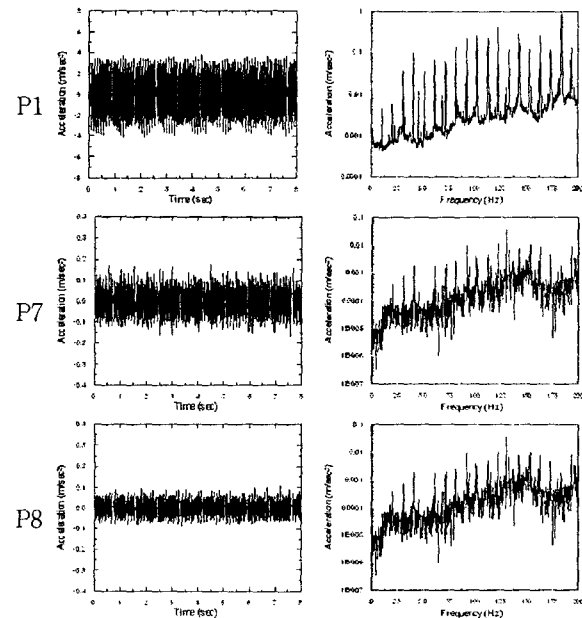
측정 위치	시간이력		주파수 분석(RMS)	
	Peak [m/s <sup>2</sup> ]	Peak[dB] [Ref=1×10 <sup>-5</sup> ]	O.A. [m/s <sup>2</sup> ]	O.A.[dB] [Ref=1×10 <sup>-5</sup> ]
P1	4.181	112.4	1.843	105.3
P2	2.579	108.2	0.711	97.0
P3	5.330	114.5	2.326	107.3
P4	6.827	116.7	2.313	107.3
P5	2.637	108.4	0.655	96.3
P6	5.031	114.0	2.550	108.1
P7	0.177	85.0	0.061	75.7
P8	0.109	80.8	0.033	70.3

에서 보는 바와 같이 울진 2호기의 경우는 엔진의 회전속도인 1200RPM의 절반이 10Hz에서 탁월주파수가 나타나는 것을 알 수 있으며 전 주파수 영역에서 진동저감효과가 탁월하게 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 시간영역에서의 결과를 보면 전 시간영역에서 특이점이 발생하지 않고 고르게 진동 값이 나타나는 것을 알 수 있다.

울진 2호기의 경우는 seismic mass를 이용하여 진동저감장치를 사용한 경우이므로 수평방향 거동도 살펴보기 위하여 수평방향의 가속도 응답을 계속하였다. 비상디젤발전기의 정상가동중에 본체의 동일지점에서 연직방향과 수평 횡방향과 수평 종방향의 가속도 응답을 계속하여 시간영역에서의 최대값을 표 11에 정리하였다. 표 11에서 보는 바와 같이 연직방향의 가속도 응답이 가장 작고 수평 횡방향(X), 수평 종방향(Y)의 순서로 가속도 응답이 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 이것은 회전기계의 진동저감을 고려할 때 단지 연직방향 진동만을 고려해서는 효과적으로 진동저감 효과를 볼 수 없다는 것을 의미한다.

표 11. 횡방향 가속도 응답

측정방향	측정위치	시간이력	
		Peak [m/s <sup>2</sup> ]	Peak[dB] [Ref=1×10 <sup>-5</sup> ]
수직(Z)	M1	3.719	111.4
수평(X)	M2	7.651	117.7
수평(Y)	M3	9.734	119.8



(a) Time Domain (b) Frequency Domain  
그림 9. 울진 2호기 EDG 가동중 진동측정 결과

그림 9에 울진 2호기 기초(P1)와 폐데스탈 윗부분(P7) 그리고 바닥면(P8)에서의 진동측정결과를 도시하였다. 그림

### 3.2 변위 응답

#### (1) 울진 3호기 비상디젤발전기

스프링과 점성댐퍼가 설치되어 있는 울진 3호기 비상디젤발전기의 가동중 거동을 분석하기 위하여 변위응답을 계속하였다. 표 12에 가동전과 가동중 최대변위를 정리하였다. 표에서 보는 바와 같이 수평 종방향 거동은 유사한 값으로 나타나는 반면 횡방향은 두 지점에서의 최대변위가 0.159mm와 0.070mm로서 상이하게 나타나는 것을 알 수 있다. 이것은 비상디젤발전기에서 발전기와 엔진이 무게 차이로 인하여 무게중심이 발전기 쪽에 치우쳐 있기 때문에 발생하는 현상인 것으로 판단되며 스프링을 배치할 때 이러한 사항을 고려해서 배치해야 할 것으로 판단된다. 그러나 그 변위의 차이가 매우 작은 값이므로 비교적 적절하게 배치가 된 것으로 판단된다. 연직방향 변위도 앞 뒤 두 지점에서의 최대변위가 0.1mm 정도 차이가 나는 것은 수평 횡방향의 경우와 동일한 이유인 것으로 판단된다. 그러나 이 경우에도 동일하게 변위의 차이가 크지 않으므로 전체적으로 안정적으로 거동하고 있는 것으로 판단된다.

표 12. 울진 3호기 EDG 변위응답

		측정방향	측정위치	최대변위 [mm]
가동전	수평방향	종방향	P3	0.004
		종방향	P6	0.004
가동중	수평방향	횡방향	P3	0.159
		횡방향	P4	0.070
	종방향	P3	0.048	
		P6	0.050	
	연직방향	P3	0.249	
	P6	0.164		

그림 10과 그림 11에 가동전 변위응답과 가동중 변위응답을 도시하였다. 그림 10에서 보는 바와 같이 가동전의 변위는 두 지점에서 유사하게 나타나고 있으며 그 크기는 미미한 것을 알 수 있다. 그림 11에서 나타나고 있는 가동중 수평 횡방향 변위는 두 지점에서의 변위 양상에 차이가 있는 것을 알 수 있으며 180°의 위상차이가 발생하는 것으로 판단된다.

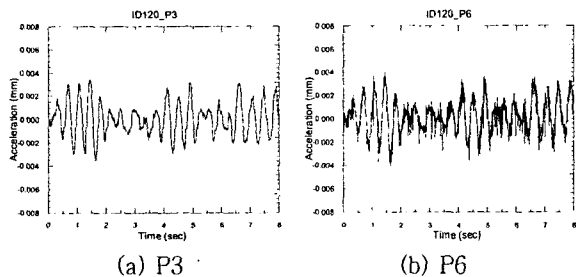


그림 10. 울진 3호기 가동전 변위응답(연직방향)

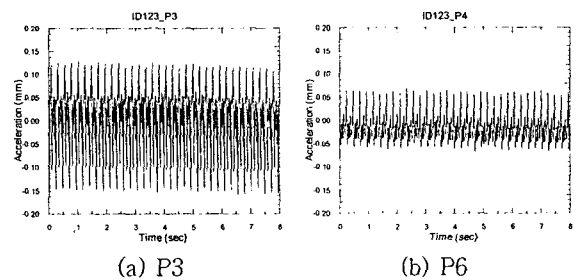


그림 11. 울진 3호기 가동중 변위응답(수평횡방향)

(2) 울진 2호기 비상디젤발전기

울진 2호기 비상디젤발전기에 대한 변위응답 시간이력을 관측하였다. 기초블럭의 맨 앞부분과 뒷부분의 동일 지점에서 페테스탈과 기초블럭과의 상대변위를 관측하였다. 최대변위응답을 표 13에 정리하였다. 표에서 보는 바와 같이 연직방향과 수평횡방향, 수평 종방향 모두 두 지점에서 관측되는 최대변위가 유사한 것으로 나타나고 있어서 전체

시스템이 안정적으로 거동하고 있는 것을 알 수 있다.

표 13. 울진 3호기 EDG 변위응답

방향	위치	최대변위
UZ	D1	0.0161mm
	D2	0.0198mm
UX	D1	0.0095mm
	D2	0.0099mm
UY	D1	0.0065mm
	D2	0.0053mm

그림 12에서는 비상디젤발전기가 정지 상태에서부터 정상 가동에 이를 때 까지 두 지점에서의 연직방향 변위응답시간이력을 도시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 정지 상태에서 기동시 다소의 큰 응답이 있는 후 정상운전 시에는 안정적인 변위거동을 보이는 것을 알 수 있다. 두 지점에서의 변위 응답은 거의 유사한 거동을 보이고 있으며 최대응답도 유사한 값을 나타내는 것을 알 수 있다.

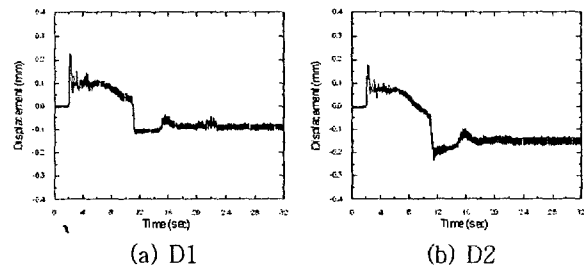


그림 12. 울진 2발전소 EDG 가동중 변위응답(연직방향)

4. 결론

본 연구의 결과 울진 3호기 비상디젤발전기의 배경진동이 영광의 경우에 비해서 상당히 크게 나타나지만 가동중 진동은 울진의 경우가 크게 증가하지 않는 것을 알 수 있었다. 울진의 경우 비상디젤발전기의 가동에 의해서 진동이 1.5배 증가한 반면 영광의 경우는 24배가 증가한 것을 알 수 있다. 이것은 울진 3호기 비상디젤발전기에 설치되어 있는 스프링-점성댐퍼 시스템의 진동저감효과가 확실히 나타나고 있음을 보여주고 있다. 앵커로 고정된 경우(영광 5호기 EDG)에는 50%, 스프링과 점성댐퍼를 사용한 경우(울진 3호기 EDG)에는 90%의 진동저감효과 있는 것을 확인할 수 있었다.

울진 2호기 비상디젤발전기의 경우 방진마운트의 유연성으로 인하여 기초블럭에서의 진동레벨이 증가하였지만, 기초구조의 안정성으로 인하여 울진 2발전소 3호기 디젤발전기의 기초블럭 진동레벨보다 낮게 계속되었음을 알 수 있고, 최대 진동 값을 비교하였을 때 발생 진동을 4%로 감

소시킴으로 방진시스템의 효율이 좋은 것으로 판단된다. 방진시스템 변위를 분석한 결과 가동 및 정지시 모두 0.3mm 이하에서 거동하며, 정상운전 시에는 0.025mm 이하로 변위가 발생하여 안정적으로 거동하는 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

- (1) Kim, Min Kyu, Kwon, Hyoung Oh, Choun, Young Sun, Seo and Jeong Moon, "The Effectiveness of Coil Spring System for EDG System in Ulchin 2 Unit," 한국원자력학회 2005 추계학술발표회 논문집, 2005. 10. 27-28. 부산
- (2) Kumar, J. and Reddy, C.O., Dynamic Response of Footing and Machine with Spring Mounting Base, Geotechnical and Geological Engineering, 24: 15-27, 2006.
- (3) Macinate, J.A., Seismic Mountings for Vibration Isolation, John Wiley & Sons, 1984
- (4) 김민규, 전영선, 권형오, "기초형식에 따른 비상디젤발전기의 진동저감효과 분석," 2005년도 대한토목학회 정기 학술대회, 2005. 10. 21-22. 제주'
- (5) Kim, Min Kyu, Choun, Young Sun and Seo, Jeong Moon, "Vibration Reduction Evaluation of an Isolated EDG Model," 한국원자력학회 2006 춘계학술발표회 논문집, 2005. 5. 25-26. 강촌