2001 추계학술발표회 논문집
한국원자력학회

비상디젤발전기의 보조건물 내부수용에 따른 진동영향 검토

The Review on the Vibration Impact according to including the Emergency Diesel Generator(EDG) to Auxiliary Building

김성환, 김희수, 이현, 정대율

한전 전력연구원
대전광역시 유성구 문지동 103-16

요 약

국내 신형원전의 비상 디젤발전기(EDG)는 국내의 CE A type 원전에서 채택한 EDG와 기기 및 배치특성이 매우 유사할 것으로 예상되므로 이를 기준으로 서로 다른 특성을 갖는 CE B형 원전, CE C형 원전의 EDG 운전에 따른 진동영향을 평가한 결과, 국내 신형원전의 EDG 자체진동은 방진장치에 의하여 거의 소멸될 수 있으므로 주제어실 및 전기기기실까지 전달되는 진동은 매우 미미하며, 이로인한 주제어실 및 전기기기실의 각종 제어기기류에 미치는 악영향은 없을 것으로 예상된다. 이외에 저동조(low tuned)기초를 채택함에 따라 기계의 운전속도보다 고유진동수가 작아지므로 기계의 시동/정지시 공진발생 가능성을 예상할 수 있으나 CE A형 원전의 운전경험으로 볼 때, 공진영역을 통과하는 시간이 극히 짧으며, 기초의 감쇠효과 등으로 우려할 수준은 아닌 것으로 판단된다.

Abstract

Characteristics of equipment and layout of emergency diesel generator(EDG) in Korean Advanced Light Water Reactor will be expected to be very similiar to that of CE A type reactor. So, vibration impact according to EDG operation in CE B type reactor and CE C type reactor in reference to CE A type reactor was evaluated. As a result of vibration check, the vibration transferred to main control room and electrical equipment room turned out to be mostly reduced by vibration isolator in EDG skid. So, it is expected that there are no adverse influence on I&C panels in these rooms. In addition, though the possibility of resonance phenomenon when EDG starts or stops can be concerned because the natural frequency of EDG is less than the operating frequency according as the low tuned method is adopted as EDG foundation, resonance effect is expected to be insignificant in consideration of operation experience in CE type reactor(A unit) and so short of passing time in resonance range, and decay effect in EDG foundation.

1. 서 론

국내 신형원전 기기배치에서는 보조건물 및 비상 디젤발전기(EDG) 건물자체의 내진력을 향상시키고, 경제성을 제고하기 위하여 EDG를 보조건물 내부에 배치하는 설계를 채택하였다. EDG의 운전시 상당량의 진동발생이 예상됨에 따라 동일건물내에 있는 주제어실 및 전기기기실의 계측장비와 운전원에 진동 전달을 최소화시키기 위해 EDG의 기초에 방진장비를 설치 예정이다. 국내 신형원전 기기배치에서 진동발생원(Non-Seismic Vibration Source)이 될 수 있는 비상 디젤발전기를 보조건물 내부에 수용함에 따라 과거 일부 국내원전(CE B type 원전)의 시운전단계에서 발생하였던 진동영향과 유사사례 발생가능성에 대한 우려하는 시각이 있어 이에 대한 진동측정 및 평가를 수행하였다.

국내 신형원전은 현재 표준설계 개발단계이므로 EDG에 대한 공급자가 확정된 상태는 아니나 CE A type 원전의 EDG와 유사사양을 갖을 것으로 예상되므로 진동영향평가는 A type 원전과 EDG사양과 배치특성이 신형원전과 동일한 것으로 가정하고, 이를 기준으로 서로 다른 특성을 갖는 B type, C type 원전에 대한 진동측정과 측정결과를 비교·평가하였다.

2. 본 론

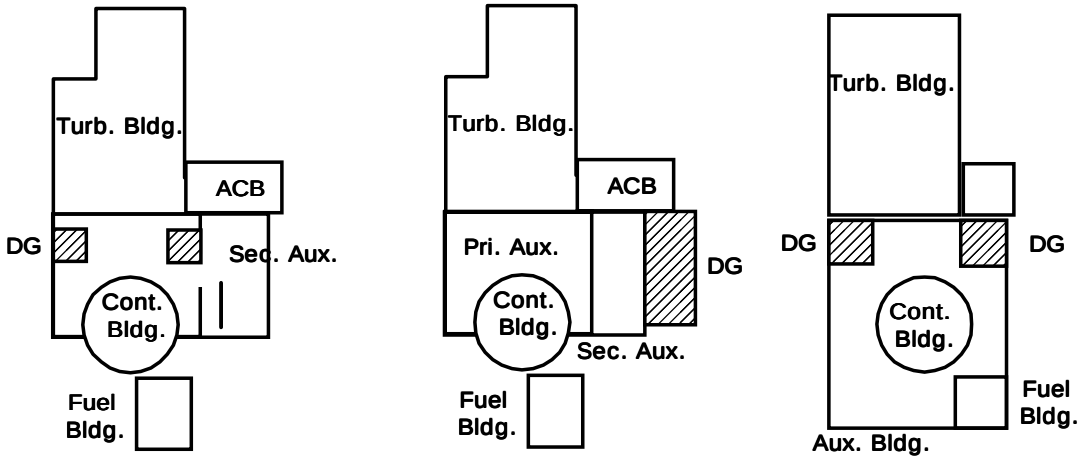
가. 원전별 비상디젤발전기 배치 및 기기특성

각 원전별 비상디젤발전기 배치 및 기기특성은 표 1과 같으며, 특히 C type 원전에서는 다른 호기와 달리 EDG에 의한 진동영향을 최소화하기 위하여 보조건물과 독립된 별도의 건물에 EDG를 수용하는 설계를 채택하였다.

표 1. 원전별 비상디젤발전기 배치 및 기기특성

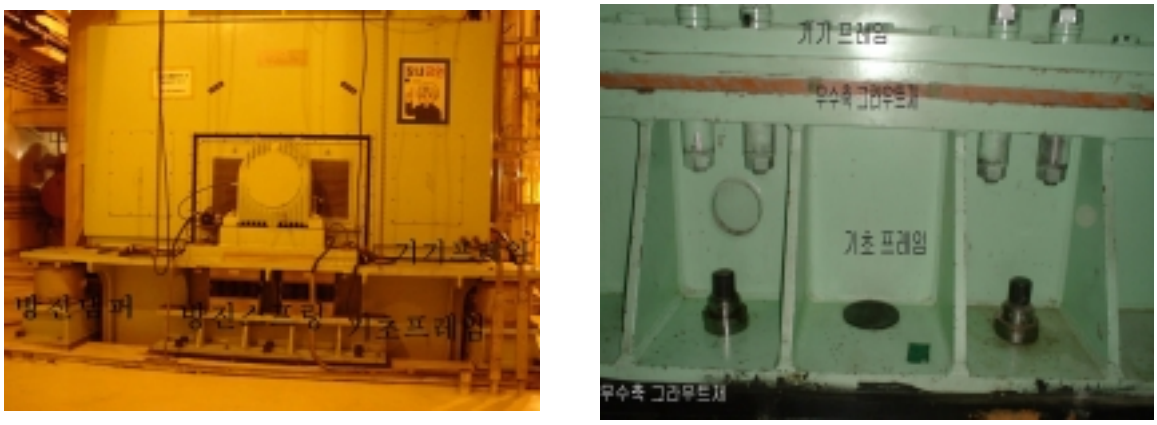
항 목	A type 원전*	B type 원전	C type 원전
건물 배치 (그림 1 참조)	-1차보조건물에 EDG를 수용(영광3,4와 동일)	-1차보조건물에 EDG를 수용	-2차보조건물과 2“의 Seismic Gap을 유지하여 독립건물로 배치
디젤 발전기의 기초 (그림 2 참조)	-방진기기 설치 -콘크리트바닥에 기초프레임을 볼트로서 고정하고, 기초 및 기기프레임과의 사이에는 진동절연을 위하여 다수의 스프링과 댐퍼를 설치하였으며, 기기 및 기기프레임은 이들에 의하여만 지지되고 있음.	-콘크리트바닥에 기초 프레임을 볼트로서 고정하고, 기기의 프레임과 볼트로 고정시킴.	-B type과 유사 -콘크리트 바닥기초에 무수축 그라우팅재료로서 수평을 유지시킨 후 기초프레임을 볼트로서 고정하고, 기초프레임의 상부에 다시 무수축 그라우팅재료로서 수평을 유지시킨 후 기기의 프레임과 볼트로 고정시킴.

* : 국내 신형원전의 배치방식과 동일한 특성임.



a) A, B type 원전　　b) C type 원전　　c) 국내 신형원전

그림 1. 원전별 건물배치 개요



a) A type 원전 기초　　b) C type 원전 기초

그림 2. 원전별 EDG 기초 비교

2) 기기특성

B type 원전의 EDG는 2개의 엔진(CW방향, CCW방향)으로 하나의 발전기를 운전시키는 Twin type을 채택하고 있으나 후속호기는 하나의 엔진에 의하여 하나의 발전기를 운전하는 Single type을 채택하고 있는 점이 다르며, 기기 세부사양은 표 2와 같다.

나. 진동영향평가

1) 진동측정방법

진동측정은 EDG 정지시 및 1시간 전출력시험시를 기준하였으며, 특히 정지시는 EDG의 기동과 무관하게 발전소의 가동으로 인하여 상시 잔류하고 있는 진동성분이 있을 수 있으므로 이의 EDG의 출력운전시 이에대한 진동영향을 참조할 수 있도록 고려하였다. 측정장비는 대부분 가속도센서를 사용하였으며, 부분적으로 속도센서를 사용하였다.

표 2. 각 원전별 EDG 사양 비교

	항 목	A type 원전	B type 원전	C type 원전
엔진	출력(KW)	7,300	3,350×2*	7,530
	정격속도(rpm)	514	1,200	514
	사이클수(행정)	4	4	4
	기관형태	16실린더/V형	20실린더/V형	16실린더/V형
발전기	출력(kW)	7,000	6,500	7,200
	단시간출력(kW)	7,700	7,150	7,920
	전압(kV/Hz)	4.16/60	4.16/60	4.16/60

* : 2개의 엔진(CW방향, CCW방향)으로 하나의 발전기가 운전됨을 의미함.

2) 측정위치

진동측정위치는 다음과 같으며, 본 진동측정 위치선정시는 B type 원전의 정기시험 시 측정을 수행하고 있는 위치와 평가에 필요한 자료를 수집하기 위하여 디젤엔진몸체, 주제어실 및 전기기기실 바닥 기초를 추가하였다. 또한 주제어반 및 Isolation CH의 각 2개소의 측정위치는 EDG의 Train에 따라 기동위치와 근접한 장소에 있는 Side를 기준으로 기기의 상단, 중단, 하단을 측정위치로 선정하였다(그림 3,4,5 참조).

- 주제어실 : 주제어반 PM-01J 또는 11J, 주제어실 바닥기초
- 전기기기실 : Isolation CH A&C 또는 B&D Cabinet, 전기기실 바닥기초
- 비상 디젤발전기실 : 비상 디젤발전기실 엔진 및 바닥

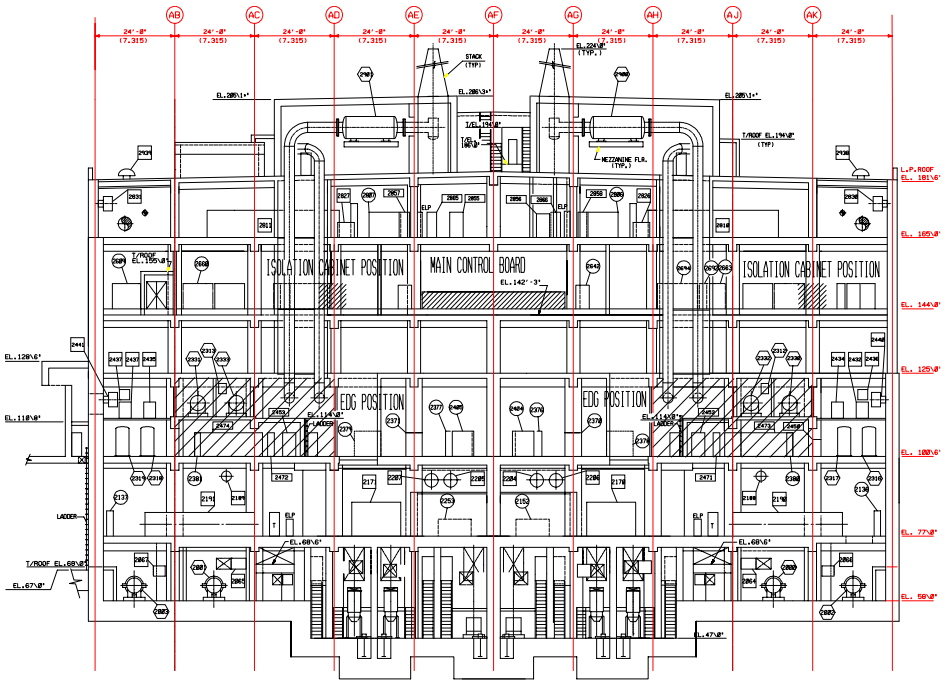


그림 3. 진동측정 대상기기 위치(단면도, A, B type 원전)

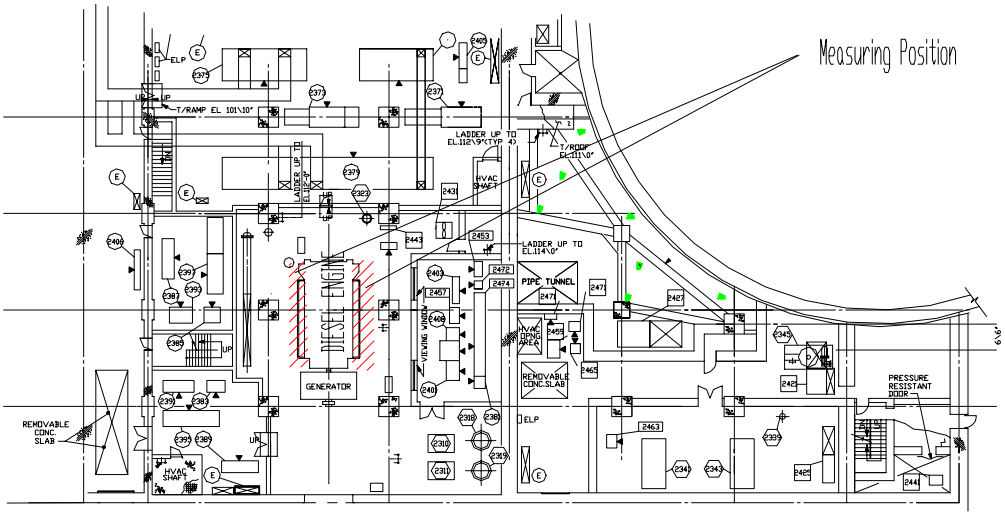


그림 4. EDG 실의 진동측정지점

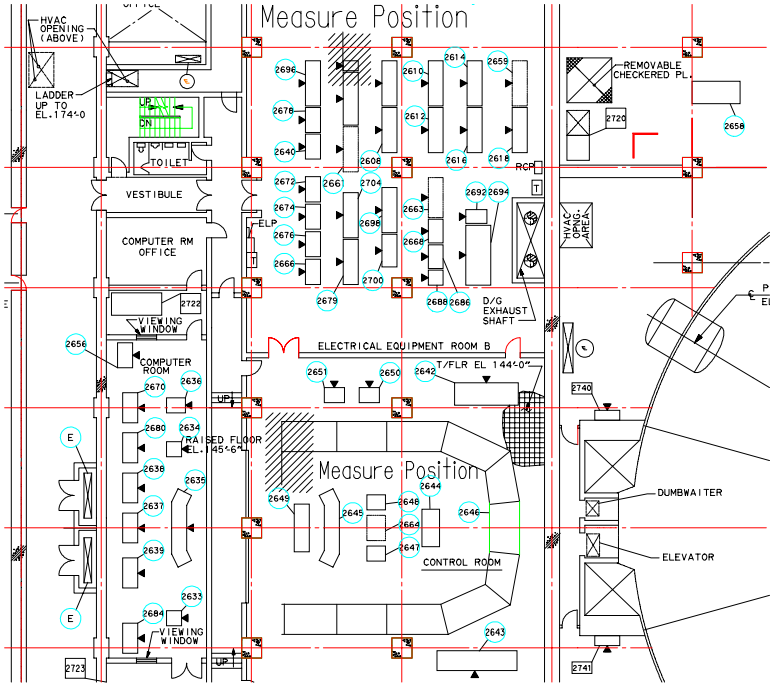


그림 5. 주제어실 및 전기기기실의 진동측정지점

3) 진동측정결과

진동측정결과는 EDG가 배치된 기기실과 주제어반 등 제어기기가 배치된 주제어실 및 전기기기실에 대하여 기기 및 구조물에 대하여 측정한 결과를 기술한다.

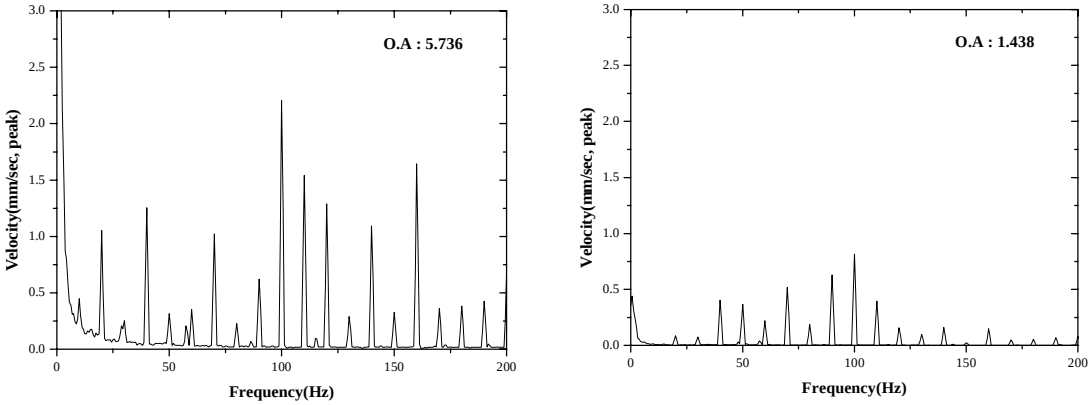
가) 비상 디젤발전기실

원전별로 진동발생원(Non-Seismic Vibration Source)인 비상 디젤엔진 흡배기관

인접부근의 몸체 및 바닥에 대하여 측정한 결과는 그림 6,7,8과 같다. 측정결과에서 보는 바와 같이 엔진가동시 엔진몸체는 대부분의 주파수구간에서 3mm/sec미만의 peak velocity값을 갖고 있는 것으로 나타났다(그림6,7,8의 좌측 참조). 디젤엔진의 운전에 따라 엔진기초 바닥면으로의 전달되는 진동량은 다음에서 보는 모든 주파수구간에서 1mm/sec미만의 peak velocity값을 갖고 있는 것으로 나타났다(그림6,7,8의 우측 참조).

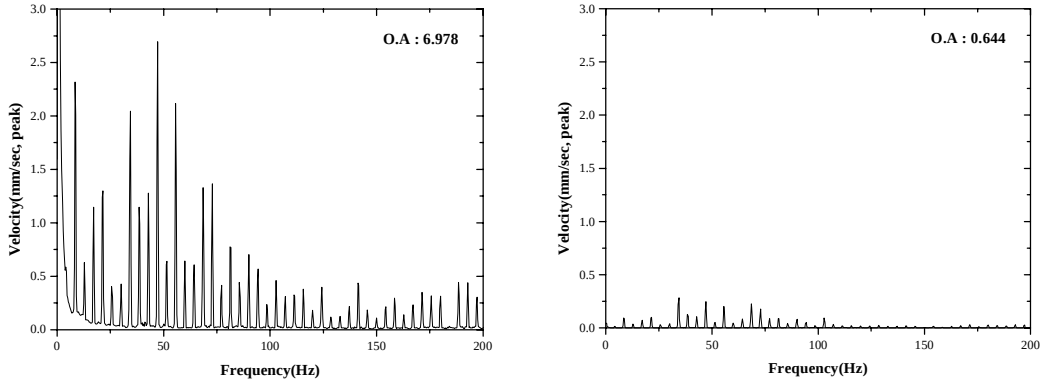
- A type 원전 : 모든 주파수구간에서 0.02mm/sec미만의 peak velocity값을 갖음.
- B type 원전 : 모든 주파수구간에서 1mm/sec미만의 peak velocity값을 갖음.
- C type 원전 : 모든 주파수구간에서 0.25mm/sec미만의 peak velocity값을 갖음.

따라서 디젤발전기실로부터 인접구조물로 전달되는 진동은 방진기구를 설치한 A type 원전의 경우가 가장 작으며, 엔진의 형식 및 기초의 평면유지 측면에서 상대적으로 불리한 B type 원전이 가장 큰 것으로 나타났다.



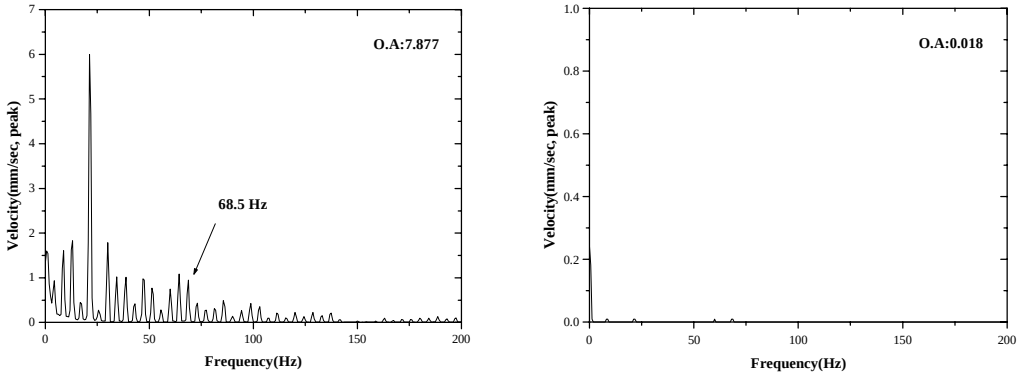
(a) 엔진 흡배기측 몸체 수직방향 (b) 엔진 흡배기측 기초 수직방향

그림 6. B type 원전 EDG 100% 출력시 디젤 몸체/기초의 진동 레벨



(a) 엔진 흡배기측 몸체 수직방향 (b) 엔진 흡배기측 기초 수직방향

그림 7. C type 원전 EDG 100% 출력시 디젤 몸체/기초의 진동 레벨



(a) 엔진 흡배기측 몸체 수직방향 (b) 엔진 흡배기측 기초 수직방향

그림 8. A type 원전 EDG 100% 출력시 디젤 몸체/기초의 진동 레벨

나) 주제어실 및 전기기기실

원전별로 비상 디젤발전기의 정지시 및 100% 출력운전시 진동측정결과는 다음 표2, 3과 같으며, 비교결과는 그림 9와 같다. 그림 9-a에서 보는 바와 같이 3개원전 모두가 EDG 정지시에도 0.15mm/sec rms 미만의 잔류진동성분을 갖고 있었으며, C type 원전이 가장 낮은 것으로 나타났다. 그러나 C type 원전은 측정당시 시운전이 진행되고 있는 상태로 정상운전시에는 비교대상이 되는 다른 호기와 유사한 잔류진동성분을 갖을 것으로 예상된다. EDG의 100% 출력운전시에는 그림 9-b에서 보는 바와 같이 3개 type의 원전 모두 다음의 진동판정기준을 잘 만족하고 있는 것으로 나타났다.

- 주제어반 : 1.34mm/sec rms 이하
- ILS 캐비넷 : 2.02mm/sec rms 이하

특히 A type 원전이 EDG를 독립건물에 수용한 C type 원전보다도 낮은 진동수치를 나타내고 있는 것은 "가)"항에서 검토한 바와 같이 디젤엔진의 운전에 따라 엔진기초의 바닥면으로 전달되는 진동량의 대부분이 방진장치에 의하여 이미 제거된 상태이기 때문에 다른 구조물로 전달되는 진동량도 매우 작아졌기 때문으로 판단된다. C type 원전의 경우는 2"의 Seismic Gap으로 DG건물과 보조건물(1차 및 2차 보조건물은 하나의 구조물로 연결되어 있으므로 진동전달의 관점에서 일체형 건물로 보았음)을 분리하였으나 EDG 건물기초를 통한 진동이 보조건물 EL. 100' Floor로 일부 전달되고, 이러한 진동이 보조건물의 벽면을 통하여 상부층에 있는 제어기기실의 바닥 기초로 일부 전달되었기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 보조건물 내부에 EDG를 수용하되 방진장치를 설치한 A type 원전의 경우가 독립건물에 EDG를 배치한 C type 원전의 경우에 못지않는 진동저감특성을 갖고 있다고 볼 수 있다.

표 2. EDG 정지시 MCR 주제어반 / ILS 캐비넷의 진동 레벨

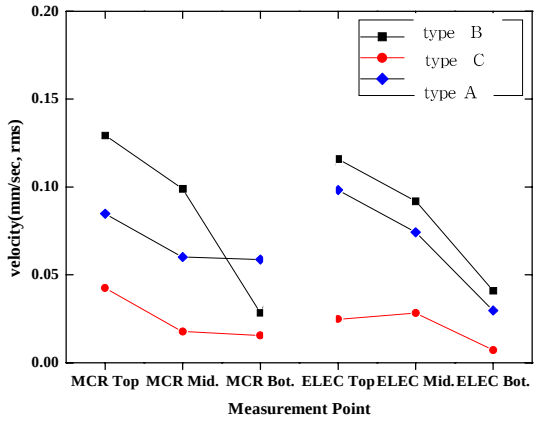
(2~200Hz, mm/sec, peak)

위치 / 호기	MCR 주제어반				ILS 캐비넷				원전상태
	상	중	하	기초	상	중	하	기초	
A type	0.120	0.085	0.083	0.040	0.139	0.105	0.042	0.035	EDG정지
B type	0.183	0.140	0.040	-	0.164	0.130	0.058	-	〃
C type	0.050	0.027	0.026	-	0.040	0.037	0.010	-	〃

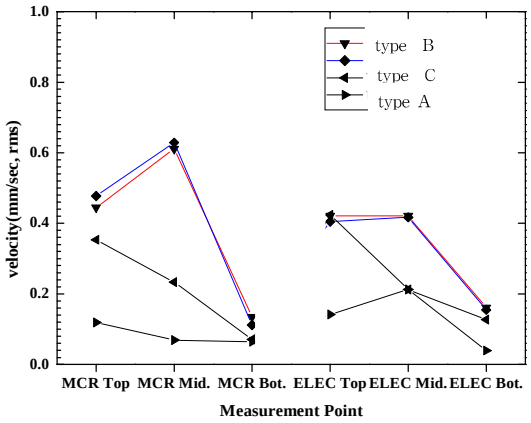
표 3. EDG 100% 출력시 MCR 주제어반 / ILS 캐비넷의 진동 레벨

(2~200Hzmm/sec, peak)

위치 / 호기	MCR 주제어반					ILS 캐비넷					원전상태
	상단	중단	하단	기초	소음 (dBA)	상단	중단	하단	기초	소음 (dBA)	
A type	0.168	0.098	0.091	0.033	56.5	0.200	0.300	0.056	0.045	72.0	EDG 100% 출력
B type	0.675	0.889	0.158	0.056	62.0	0.573	0.590	0.219	0.096	73.9	〃
C type	0.500	0.330	0.100	-	-	0.600	0.300	0.180	-	-	〃



(a) EDG 정지시



(b) EDG 100% 출력운전시

그림 9. MCR/ILS 캐비넷의 진동 레벨

그림 10. 주제어반 및 ILS 캐비넷의 기초 부분

3. 결론

국내 신형원전은 A type 원전 EDG사양과 배치특성이 매우 유사할 것으로 예상되므로 이를 기준으로 서로 다른 특성을 갖는 B 및 C type 원전의 EDG 운전에 따른 진동영향 평가한 결과, 국내 신형원전의 EDG 자체진동은 다른 호기의 경우와 유사한 수준을 유지할 것으로 예상되나 바닥으로 전달되는 진동은 방진장치에 의하여 거의 소멸될 것으로 예상된다. 따라서 EDG실의 상층에 있는 주제어실 및 전기기기실까지 전달되는 진동은 매우 미미하며, 이로인한 주제어실 및 전기기기실의 각종 제어기기류에 미치는 악영향은 없을 것으로 예상된다. 이외에 저동조(low tuned)기초를 채택함에 따라 기계의 운전속도보다 고유진동수가 작아지므로 기계의 시동/정지시 공진발생 가능성을 예상할 수 있으나 A type 원전의 운전경험으로 볼 때, 공진영역을 통과하는 시간이 극히 짧으며, 기초의 감쇠효과 등으로 우려할 수준은 아닌 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 한전 전력연구원, 차세대원전 EDG의 보조건물 내부수용에 따른 진동영향검토, TM99NJ13.P2000.185, '00전력연-단188, 2000.4.
2. 한전 기술연구원, 회전기계에 의한 진동을 받는 구조물의 동역학적 해석에 관한 연구, pp39-pp40, KRC-89H-J05, 1990.12.