225~256 (페이지 없음)

르고 있으며, 외국의 일부 원전에서 지진에 취약한 별도의 SDI를 설치·운영하고 있는 점에 착안하여 국내에서도 이러한 기능을 수행할 수 있는 SDI를 원전에 설치하여 운전원의 신속한 판단에 도움을 주고자 하였다.

4. SDI 모형물의 제작

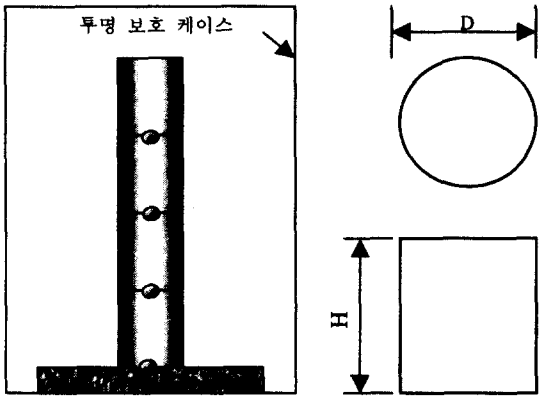


그림 1. 지진손상표시기(SDI) 모형도

본 연구에서는 지진발생시 SDI가 일관된 피해정도를 나타낼 수 있도록 하기 위해 기하학적으로 단순한 형태인 일정한 높이의 원통형 기둥을 선택하였다. 가진하중에 대하여 일관된 반응을 보이기 위해 실험을 통해서 적절한 높이로 원형기둥을 연속적으로 쌓는다(그림 1 참조). 실험에서 선택된 원통형 기둥은 수평방향의 지진하중에 대해 어느 방향으로 작용하더라도 구조물이 일관된 반응을 보이며, 조립, 분해 및 높이 조절 등이 편리하고 반영구적으로 사용할 수 있다. 다만, 지진하중 작용시 원통형 기둥간의 미끄러짐 현상은 모형물의 일관된 거동에 장해요소로 작용하는 것으로 밝혀졌기 때문에 원통형 기둥간에 베어링볼을 설치하여 원통형 기둥의 미끄러짐에 의한 붕괴를 최대한 억제하도록 하였다.

구체적인 원통형 기둥의 제원은 실험을 통해서 설계지진하중에 가장 적절히 반응을 보이는 크기와 개수를 결정하였으며, 실험용 SDI 모형의 제원은 표 1과 같다.

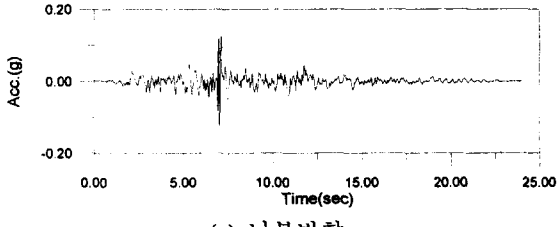
표 1. 실험용 SDI 제작시 고려사항

항 목	범 위	비 고
H/D	0.5, 1.0, 1.5, 2.0	직경(D) = 10 cm , 높이(H) = 5, 10, 15, 20 cm
원통개수	-	실험에서 요구하는 지진하중에 적절한 반응을 보이되 조합한 높이가 사람 신장을 넘지않는 범위
재 질	아크릴	부식의 방지, 재사용 가능, 지진하중의 관성력이 잘 나타나는 단위중량, 내구성이 좋은 재료 사용
바 닥 판	아크릴	상부 구조물의 중량을 충분히 지탱할 수 있도록 제작하여 진동대에 단단히 고정(원통기둥 중량의 2배 이상으로 제작)

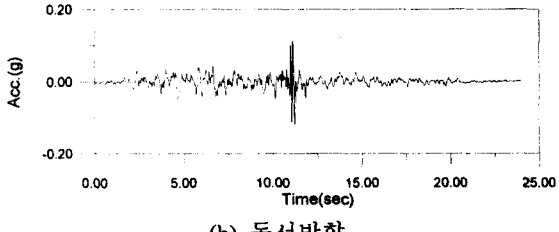
한편, SDI 를 발전소에 설치할 때는 보호 케이스를 설치하여 SDI 자체와 SDI 로부터 운전원이나 기타 시설물이 보호되도록 조치하여야 하며, SDI 설치위치의 일정한 마찰력을 보장하기 위해 별도로 마련된 바닥판 위에 SDI 를 설치해야 한다.

5. 입력가진하중

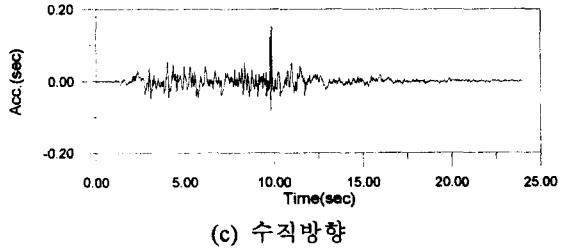
입력지진으로는 CAV 기준을 만족하는 인공시간이력과 미국 NRC 의 표준설계지반응답스펙트럼에 부합하는 인공시간이력을 사용하였고 시험한 결과를 토대로 현행 CAV 기준의 적합성에 대하여 평가하였다. SDI 의 실험을 위한 입력가진하중을 다음과 같이 구분하였다. 즉, 1) CAV 기준(0.16g-sec)에 부합하는 인공시간이력과 2) 현행 원전 설계요건을 만족하는 인공 시간이력 두 종류의 실험하중을 준비한 후 이를 SDI 가 설치될 위치의 입력가진하중으로 적절히 변형하여 가진하중을 작성하였다. [5] 전자의 하중은 원전 OBE 초과기준은 충족하나 설계요건을 만족하는 입력운동은 아니고, 후자의 하중은 원전의 OBE 초과기준 요건 충족과 원전의 설계입력지진 요건을 모두 상회하는 인공시간이력이다.



(a) 남북방향



(b) 동서방향



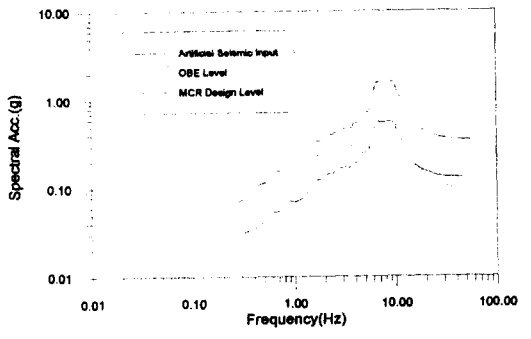
(c) 수직방향

그림 2. CAV(0.16g-sec)기준에 부합하는 가속도 시간이력

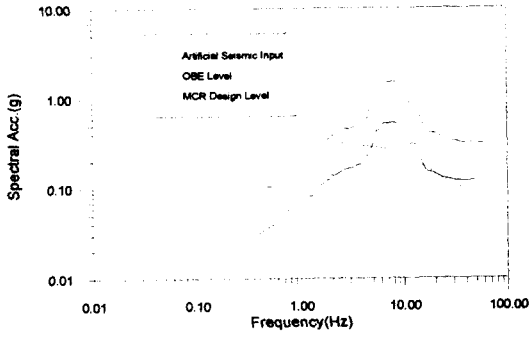
SDI 의 설치위치에 관한 별도의 규정은 없으나 일반적으로 주제어실 부근에 많이 설치하여 사용하고 있으므로 SDI 의 실험을 원전의 주제어실에 설치한다는 기본 가정하에 맞추어 진행하였다.

입력가진하중의 작성과정을 보다 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

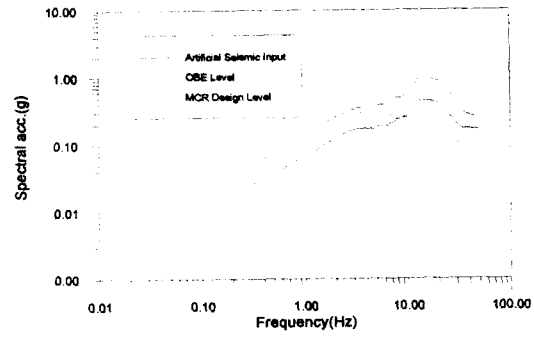
첫째는 미국 NRC 가 CAV 기준(0.16g-sec)으로 선정한 수준에 부합하는 인공 가속도시간이력과 현재 건설되었거나 건설중인 원전의 OBE(0.1g)에 부합하는 인공 가속도시간이력을 작성하였다. 인공적으로 작성된 가속도시간이력과 가진하중의 5% 감쇠비에 대한 응답스펙트럼을 그림 2 와 그림 3 에 나타내었다. 가속도시간이력의 총 지속시간은 24 초이며, 시간 간격은 0.005 초이다. 각 방향성분에 대한 최대 가속도는 남북, 동서 및 수직방향에서 각각 0.128g, 0.119g, 0.152g 이다. 첫 번째 인공가속도 시간이력은 CAV 기준을 초과하고, 일부 구간에서 최대가속도가 OBE(0.1g)를 초과하지만,



(a) 남북방향



(b) 동서방향

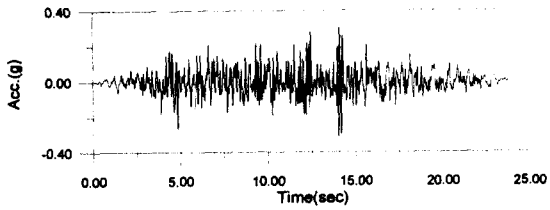


(c) 수직방향

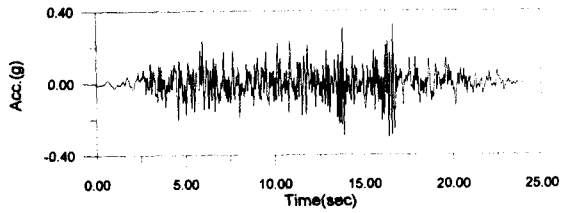
그림 3. CAV(0.16g-sec)기준에 부합하는 가속도 시간이력의 응답 특성(OBE Level 은 설계지반응답스펙트럼, MCR Design Level 은 주제어실의 층응답스펙트럼을 나타냄)

OBE 설계응답스펙트럼은 초과하지 않는 가상의 지진입력운동이다.

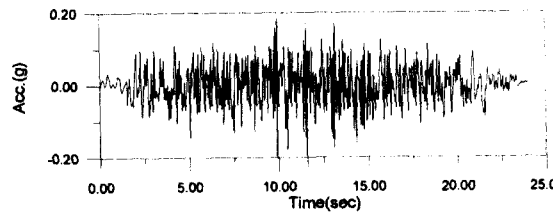
두 번째로 사용된 가진하중은 CAV 기준과 OBE 설계응답스펙트럼을 동시에 초과하는 인공 가속도 시간이력이다. 총 지속시간은 24 초이며, 시간간격은 0.005 초이다. 각 방향성분에 대한 최대 가속도는 남북, 동서 및 수직방향에서 각각 0.316g, 0.329g, 0.229g 이다. 가진하중의 가속도시간이력과 5% 감쇠비에 대한 응답스펙트럼을 그림 4 와 그림 5 에 표시하였다. 시간이력 및 응답스펙트럼을 비교해 보면 두 번째 가진하중이 첫 번째 가진하중에 비하여 파괴력이 큰 지진임을 알 수 있다.



(a) 남북방향

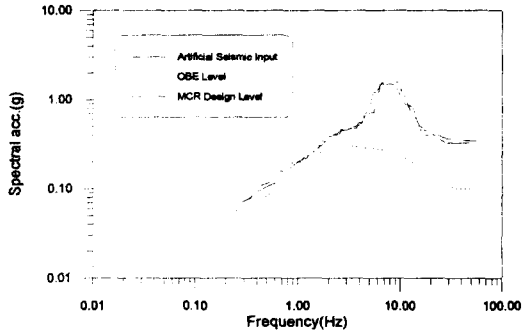


(b) 동서방향

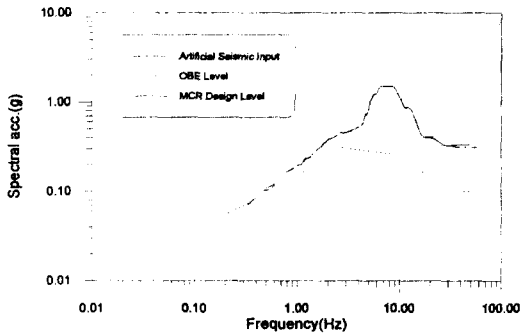


(c) 수직방향

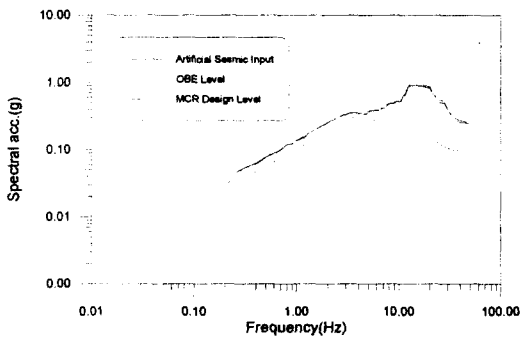
그림 4. OBE 기준에 부합하는 가속도시간이력



(b) 남북방향



(b) 동서방향



(c) 수직방향

그림 5. OBE 기준에 부합하는 가속도시간이력의 응답 특성(OBE Level 은 설계지반응답스펙트럼, MCR Design Level 은 주제어실의 층응답스펙트럼을 나타냄)

6. 실험 및 결과

실험목적에 부합하는 3 방향의 지진하중을 동시에 가진할 수 있는 한국기계연구원의 6 자유도 진동시험대에 SDI 실험 모형을 그림 6 또는 그림 7 과 같이 설치하였다. 실험 모형은 2 세트를 마련하였는데, 미끄러짐 방지를 위해 원통형 기둥간에 장착한 베어링볼의 크기만 각각 4.75mm (3/16inch) 와 9.5mm (3/8inch)로 다르고 그 밖의 조건은 동일하다. 첫 번째로 그림 2 와 같이 CAV 기준에 부합하는 가진하중을 동시에 실험 모형에 작용시켜 적절한 높이에서 실험 모형이 전도되는 실험을 수행하였다. 실험 모형의 높이를 변화 시키면서 가진하중의 크기를 역시 단계별로 변화를 주는 방법으로 실험을 수행하였다. 이때, 실험 모형이 가진하중의 90% 수준에서는 전도현상이 발생하지 않으며, 100% 수준에서는 일관되게 전도현상을 보이도록 실험을 통하여 알맞은 높이를 찾아 나간다. 일정한 높이의 실험 모형이 위와 같은 하중조건에서 3 회에 걸쳐 일관된 결과를 얻으면 주어진 하중에 적절히 반응하는 SDI 로 간주된다. 두 번째 실험도 동일한 과정을 거쳐 그림 4 와 같은 가진하중을 작용하였을 때 적절한 높이와 최적의 원형기둥 조합을 찾는다.

이러한 실험과정을 통해 CAV 초과기준을 유발하는 지진하중의 경우는 4.75mm 베어링볼을 삽입시켜 바닥으로부터 20cm × 2 + 15cm × 2 + 10cm × 3 + 5cm × 4 로 조합한 120cm 높이의 실험 모형(그림 6 참조)이 가장 적절한 반응을 보였으며, OBE 기준을 초과하는 가진하중의 경우는 4.75mm 베어링볼을 사용하여 바닥으로부터 10cm × 3 + 5cm × 3 으로 조합한 45cm 높이의 실험 모형(그림 7 참조)이 최적의 반응을 보였다.

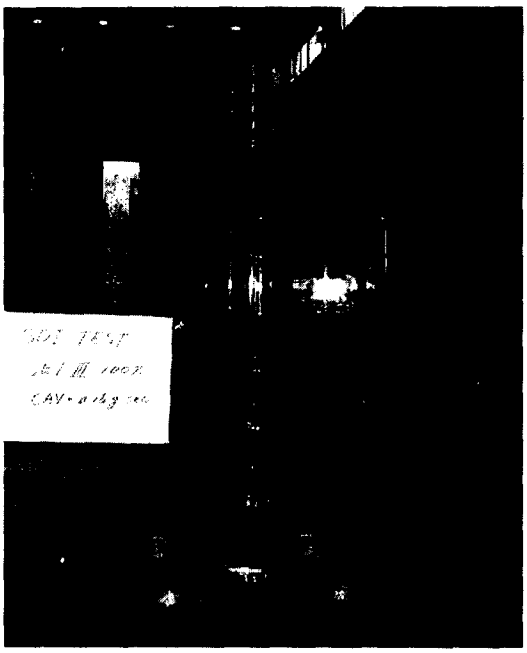


그림 6. CAV 기준을 초과하는 가진하중에 대한 SDI 최적 조합 실험

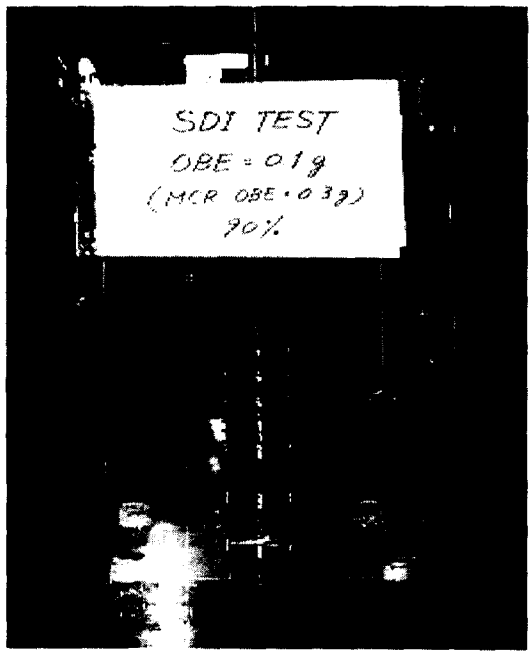
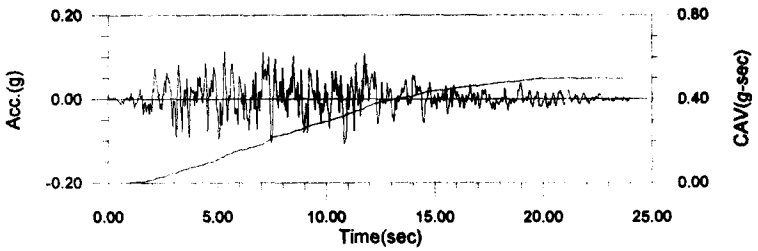


그림 7. OBE 기준을 초과하는 가진하중에 대한 SDI 최적 조합 실험

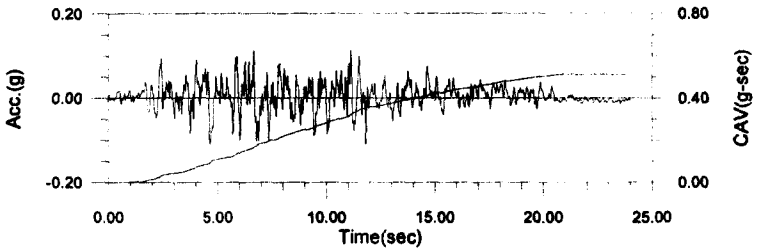
그림 6 과 그림 7 을 비교해 보면 CAV 초과기준 가진하중에 반응을 보이는 실험 모형물의 높이는 OBE 기준을 초과하는 가진하중에 반응을 보이는 실험 모형 보다 높은 크기의 SDI 가 필요함을 알 수 있다. 한편, 9.5mm 크기의 베어링볼을 장착한 실험 모형은 4.75mm 크기로 장착된 실험 모형에 비하여 전도현상이 발생하지 않아 부적합한 것으로 나타났다.

7. 결 론

본 연구에서는 SDI 모형을 제작하여 현재 OBE 초과기준에 포함된 CAV 기준에 대한 적합성을 진동대시험을 통하여 평가하였다. 시험 결과, 현재 CAV 기준인 0.16g-sec 에 해당하는 가진하중은 OBE 를 초과하는 하중에 비하여 세기가 작게 나타남에 따라 실제 원전에는 손상이 유발되지는 않을 것으로 판단된다. 국내 표준 원전의 설계입력지진운동의 CAV 를 평가한 결과 그림 8 에서와 같이 약 0.5g-sec 인 것으로 나타났다. 따라서, 현행 미국 NRC 의 OBE 초과기준으로 제시하고 있는 CAV(0.16g-sec) 값은 지나치게 보수적이긴 하지만 안전측면에서 국내 적용 가능한 수준인 것으로 판단된다. 본 연구를 통해 선정된 SDI 가 원전에 설치될 경우 지진감시시스템의 오동작이나 고진동수 성분의 지진동으로 인한 불필요한 운전중지를 예방할 수 있고 또한, 운전원이 지진발생시 즉각 대응하여 신속한 조치에 취하는데 크게 도움이 될 것으로 판단된다.



(a) 남북방향 성분



(b) 동서방향 성분

그림 8. 표준원전에 사용된 인공 설계 가속도 시간이력의 CAV

참고문헌

1. Guidelines for Nuclear Plant Response to an Earthquake, EPRI NP-6695, Palo Alto, California: Electric Power Research Institute, prepared by MPR Associates, Inc., December 1989
2. A Criterion for Determining Exceedance of the Operating Basis Earthquake, Palo Alto, California: Electric Power Research Institute, prepared by Jack R. Benjamin and Associates, Inc., July 1988
3. Standardization of the Cumulative Absolute Velocity, EPRI TR-100082, Palo Alto, California: Electric Power Research Institute, prepared by Yankee Atomic Electric Company, December 1991
4. 지진발생시 원자력발전소 안전조치 및 후속성능평가기법 개발, 중간보고서, 한국전력공사 전력연구원, 1999
5. 인공지진 가속도시간이력 작성기술 및 전산프로그램 개발, 기술개발과제 최종보고서, 한국전력기술(주), 1996