

차세대관리 종합공정 실증시설 핫셀 크레인의 내진 해석

구정희, 정원명, 이은표, 권기찬, 조일제, 국동학, 유길성

한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

jhku@kaeri.re.kr

한국원자력연구소에서는 차세대관리 종합공정(ACP: Advanced spent fuel conditioning process) 연구의 실증을 위한 실증시설을 조사재시험시설의 지하에 위치한 예비 핫셀을 개조하여 건설하였다[1]. 이 실증시설이 위치한 조사재시험시설은 철근 콘크리트 벽체와 슬래브를 서로 연결한 콘크리트 박스(box) 형태로 지어진 구조물이며, 내진 1등급의 원자력시설로서 안전정지지진(SSE) 하중과 운전기준지진(OBE) 하중에 대하여 안전성을 유지하도록 된 건물이다[2]. 이 조사재시험시설에 설치되는 핫셀은 방사선 차폐를 위하여 두꺼운 벽체로 만들어지는데 이 시설은 핫셀에 대한 설계요구서를 만족하도록 설계되어졌다. 이 실증시설에는 1톤 용량의 천장크레인이 설치되어 있는데 실증시설에는 많은 공정장치들이 설치되어 있고, 이 크레인이 핫셀 내부에 장치의 설치, 공정 장치의 운전 등 거의 모든 작업에 사용될 것이므로 일반 핫셀 보다도 사용빈도가 그만큼 높을 것으로 예상된다. 실증시설 핫셀 내에는 많은 공정 장치들이 있으며, 이들의 운전에 절대적인 영향을 미치는 크레인에 대한 구조적 건전성의 유지여부가 매우 중요하다.

본 논문에서는 차세대관리 종합공정 실증을 위한 핫셀의 천장크레인의 지진에 대한 구조적 안전성을 유한요소 해석을 통해 평가하였다. 안전성 평가는 조사재시험시설 및 실증시설의 내진해석에 적용한 기술기준 및 내진부하를 기준으로 적용하였으며, 범용 구조해석 프로그램인 ANSYS ver. 9.0 코드를 이용한 유한요소해석을 수행하여 내진 안전성을 평가하였다. 그림 1, 2는 핫셀 천장 크레인의 내진해석 모델을 나타내고 있다. 이 크레인은 실증시설의 설계요건서인 CMAA 설계코드에 적합하도록 설계 되었다[3]. 핫셀 크레인의 유한요소 해석모델은 탄성 보요소와 탄성 셸 요소, 그리고 질량 요소 등을 사용하여 구성하였다. 바퀴는 고정된 것으로 가정하고, 구속방정식을 사용하여 자유도를 구속하였다. 구동축 바퀴중 모터로 직접 구동되는 바퀴는 6자유도를 모두 구속하였으며, 구동축의 나머지 바퀴와 종동축 바퀴는 일부 방향만 구속하였다. 하중조건 및 허용응력은 CMAA의 기준에 따라 적용하였으며, 내진 건전성은 UBC Fig. 16-3의 요구응답스펙트럼(RRS)을 이용하여 입증하였다[4].

크레인의 내진해석에서의 허용기준은 대상설계기준 기기가 설계기준 사건 동안 구조적 파손이나 결함이 발생해서는 안 되며, 응력해석 결과 최대값이 CMAA #70에 제시된 값을 초과해서는 안 된다. 또한 스펠의 최종적인 변형이 1.25 mm/m를 초과해서는 안 되며, 정격 부하조건하에서 인양 로우프에 작용하는 하중이 로우프 파단강도의 20%를 초과해서는 안 된다.

응력평가를 위해 CMAA Spec. #70의 3.3.2절의 요건에 따라 적용된 하중조건 가운데 지진하중을 포함하는 하중조건4에 대한 기준 및 결과를 살펴보면 다음과 같다.

$$\text{Load Condition 4 : } (DL * DLF_B) + (TL * DLF_T) + LL(1 * HLF) + IFD + \text{Seismic Load}$$

$$\text{- Max. Stress} = 908168 \text{ lb/ft}^2 < 4965840 \text{ lb/ft}^2 (=0.95S_y)$$

$$\text{- Max. Deformation} = 0.001055 \text{ ft} < 0.0073819 \text{ ft}$$

여기서, DL은 In-Cell Crane의 무게, DLF는 Dead Load factor로 1.1을 적용하였으며, TL은

Trolley의 무게, LL은 Lifted Load, HLF는 Hoist Load Factor로 수직하중의 0.5%를 적용하며, IFD는 Crane의 가/감속에 의한 Inertia Forces(수평력)로서 수직하중의 2.5%를 적용한다. 그림 3, 4는 내진해석 결과를 1차 모드와 하중조건4에서의 응력분포를 나타내고 있다.

해당기기의 동특성을 파악하기 위한 모드해석에서 1차 모드가 33 Hz 이상에서 나타났다. 발생 응력과 함께 최대변형량도 함께 평가하였는데 스패의 허용변형량이 1.25 mm/m이므로 1,800 mm의 스패를 갖고 있는 크레인의 최대 허용변형량은 2.25 mm인데 최대변형량은 0.32 mm로 허용치의 14% 값을 나타냈다. 내진해석 결과 핫셀 크레인은 허용응력 및 변위에 대한 조건들을 모두 만족하였다. 직경이 8 mm이고, 파단강도가 9,033 lbf인 Lift Rope의 정적부하에 대한 안전성은 정적하중에서 0.122, 동적하중에서는 0.128로 계산되어 허용기준인 0.2 이하로서 충분한 안전성을 유지하는 것으로 평가되었다. 이와 같이 실증시설의 천장크레인은 충분한 내진 안전성을 유지함을 입증하였다.

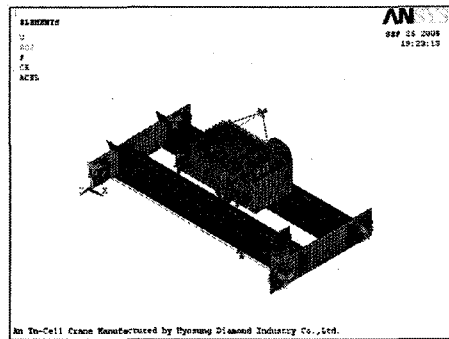
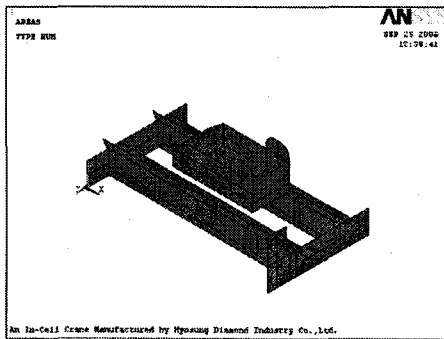


그림 1. Area Model for the In-Cell Crane. 그림 2. FEM Model of the In-Cell Crane.

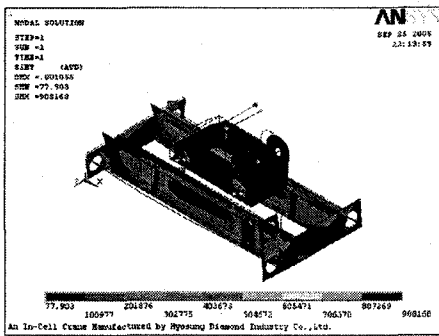
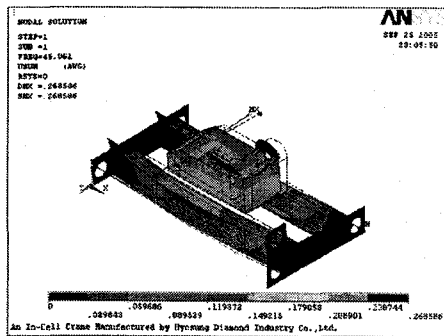


그림 3. First Mode of the In-Cell Crane. 그림 4. Stress Distribution of the In-cell Crane at Load Case 4.

참고문헌

1. 유길성의 8인, 차세대관리 종합공정 실증시설 설계요건서, 한국원자력연구소 보고서, KAERI/TR-2004/2002, 2002.
2. 다목적원자로안전성분석보고서 제2권, 한국원자력연구소, KAERI/TR-107/87, 1987.
3. CMAA Specification No.70-1994, "Specifications for Top Running Bridge and Gantry Type Multiple Girder Electric Overhead Traveling Cranes"
4. Uniform Building Code 1994