

인위적 재해 인자별 영향 분석

Analysis of Factors related to Man-Introduced Hazard for Nuclear Facilities

이영순 · 이근오 · 손기상 · 심택모* · 이창진**

서울산업대학교 안전공학과 · *한국 원자력 안전기술원

**서울산업대학교 산업대학원

1. 서 론

원자력 발전소는 국민생활, 산업활동 및 공공업무 수행과 연결되는 중대한 시설로 주변의 인위적 재해에 의한 영향으로 발전이 중단되거나 설비가 훼손되어서는 안된다. 따라서 원전시설 주변에 원전설비에 영향을 줄 수 있는 유해·위험설비가 있을 경우에는 이들 설비가 원전에 어떤 영향이 있을 것인가를 위험 형태별, 빈도별, 크기별로 나누어 평가되어야한다. 이를 위해서 먼저 원전시설 주변에 인위적 재해 가능성이 있는 인자를 조사하고 이들 인자들은 어떤 위험이 있으며, 그 위험의 세기가 원전시설에 어떤 규모로 피해를 줄 것인가가 정확하게 평가되어야한다. 따라서 본 논문에서는 원전주변에 있는 이들 유해 인자들과 이들 위험을 평가하는 기법을 조사하여 적절한 평가기법을 작성하고 이들 기법에 의한 인위재해를 인자별로 평가하여 원전시설 주변에 대한 인위재해시설 설치 기술 기준을 정하려고 한다.

2. 인위 재해 관련 국내·외 기술 기준

2.1 원전설비 주변 위험설비 설치제한 등에 관한 기술기준 및 주변설비 현황조사

2.1.1 기술기준조사

국내의 원전주변 인위재해 시설 설치기준에 관련 규제나 기술기준은 아직 정해지지 않았고 현재 원자력 안전기술원에서 외국의 기준과 신뢰성평가기법으로 평가를 실시하여 이를 제정하려하고 있는 단계이다. 외국의 경우 원자력규제위원회(Nuclear Regulatory Commission)에 의하면 원자로 건물이 있는 발전소 주변의 폭발성 물질은 8km 내에서 폭발압력이 1 psi 미만으로 정하고 있으며, 유해화학물질에 대한 기준은 주제어실에 대해 소의 독성물질 누출시 공기교환율은 시간당 0.015, 0.06, 1.2 미만으로 정하고 있으며 독성한계는 50mg/m³으로 나타내고 있다. 또한 진동에 대한 것은 가속도 값으로 제한하고 있는데 보통 수직으로 0.07g, 수평 0.1g 미만으로 제한하고 있다.

화재에 대한 기준은 공기의 질과 각 연소 물질별 양, 종류, 거리에 따른 인화점에 의해 제한되고 있다.

2.1.2 원전설비 주변 위험설비 현황조사

○○원자력발전소 주변에 인위재해 가능한 유해·위험 설비가 얼마나 있는지를 조사하였다.

조사 결과 화학제품제조업(70개소), 기계기구제조업(57개소), 목제품제조업(22개소), 식료품제조업(21개소), 금속제품제조업(64개소), 고무제품제조업(11개소), 전자제품제조업(7개소), 섬유제품제조업(29개소), 전기기계기구제품제조업(9개소), 수송용기계기구제조업(52개소), 기타제조업(83개소)로 총 사업장 수 425개 사업장으로 조사되었다. 대부분의 사업장이 소규모 사업장이며, PSM대상 사업장이므로 중대사고는 크게 일어난 적이 거의 없지만 이중 화학제품제조업을 하는 사업장이 많으므로 정량적인 사고결과 영향평가가 필요하다. 따라서 인위재해 영향평가 기법을 이용하여 각 사고에 대한 변수를 이용하여 정확한 평가가 나올 수 있도록 하며, 또 이에 대한 기술적 근거가 필요하다.

2.2 원전설비에 영향을 줄 수 있는 인위재해 요인조사

원전설비에 영향을 줄 수 있는 인위재해 요인을 원전설비의 기술기준과 비교하여 조사하였다. 조사결과 나타난 영향인자(요인)로는 유해(독성)물질의 누출, 화재, 폭발, 진동, 항공기 등의 충돌, 전자기파 등이 있으며 이들 요인별 위험성이 원전시설에 주는 영향은 다음과 같다.

2.2.1 유해·위험물의 누출

유해·위험물의 누출은 누출물질의 특성, 누출량, 누출현상, 대기조건 등에 따라 다르나 이로 인한 영향은 원전시설 운전요원에의 손상, 화재나 폭발로의 전이 등의 위험성이 있다.

2.2.2 화재

화재가 원자력 발전소에 미치는 주요 손실은 발전소의 일부가 화재에서 발생하는 열에 의한 소실이나 열화 및 기능상실, 근로자의 심리적 불안 등에 의한 휴먼에러의 유발 등을 들 수 있다. 또한 화재시 발생하는 연기도 발전소 운전원과 특정 계통에 영향을 끼칠 수 있다.

2.2.3 폭발물 또는 위험물의 폭발

폭발물 저장소, 이들을 사용하는 공정, 또는 이들 물질의 수송중에 발생하는 폭발사고가 발생할 때는 강력한 폭풍압력이 발생하게 되는데 이로 인한 과압이나 동압은 원전설비에 치명적인 손실을 줄 수 있다. 이러한 폭발은 폭발에 의한 비산물의 영향이나 열에 의한 영향을 받을 수도 있다.

2.2.4 진동

원전 주변에 건설 및 터널 공사시에 일어나는 발파로 인한 진동은 원전의 지반 침하, 구조물의 균열이 발생할 가능성이 있다. 또한 원전 운전원의 진동에 의한 오작동 가능성으로 인한 원전 설비의 손실을 가져올 수 있다.

3. 인위적 재해 영향 평가기법

3.1 인위적 재해 영향 평가절차

사고결과 영향분석 기법을 이용한 인위 재해에 대한 사고결과 평가 절차는 그림 1과 같다.

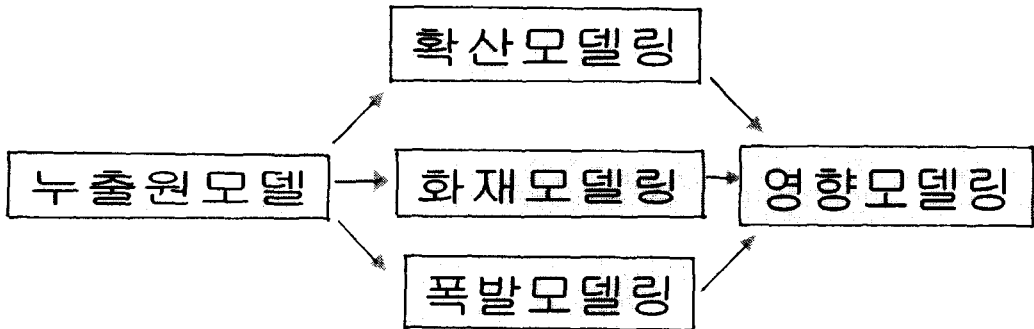


그림 1 피해예측 모델 절차

3.2 인위적 재해 인자별 평가 기법 및 평가에 필요한 자료

인위적 재해로 인한 피해를 예측하기 위하여 고려할 인자로는 인위재해의 형태, 고온/고압등의 운전조건과 누출원으로 부터의 인접정도, 피해설비관련 환경조건 등이다. 또한, 피해예측을 위한 모델링을 실시할 때 필요한 자료는 Source data, meteorological data, site information, receptor information이 있으며 이들 각각의 인위적 재해에 대한 고려인자(요소)와 관련 기술적 모델을 조사한 결과는 다음과 같다.

3.2.1 유해물질 누출

인위재해 관련 유해물질 누출에 대한 고려인자 및 모델에 대한 내용을 정리하면 표1과 같다.

표 1 인위재해별 고려인자 및 모델(유해물질 누출)

	인재관련 고려요소	기술적 모델
누출	공장내 최대 소요량과 저장면적 유해화학물질의 농도 바람속도 누출시간 유해화학물질의 최대누출속도 주제어실로부터 source까지의 거리 주제어실에서의 공기교환률 확산계수 유효누출높이 실제누출높이 공기의 비중 중력가속도 누출원의 지름	▶ 가벼운 가스 - 플룸(Plume)모델 - 퍼프(Puff)모델 - Pasquill-Gifford 분산모델 ▶ 무거운 가스 - BM모델(순간누출, 연속누출의 경우) - HMP모델(리차드슨수 사용) - DEGADIS 모델

3.2.2 화재

인위재해 관련 화재에 관한 고려인자 및 모델에 대한 내용을 정리하면 표2와 같다.

표 2 인위재해별 고려인자 및 모델(화재)

	인재관련 고려요소	기술적 모델
화재	물질별 인화점(Flash Point) 풀(Pool)의 면적 열 유속(Heat Flux) 화재의 지속시간 방사된 연소에너지 분율 대상물까지의 방사거리 대기투과도 기하학적 가시계수 표면 방출열 대기온도에서의 공기의 밀도 중력가속도 연소속도 표면방출 플럭스량 복사열 비율	▶ 증기운 화재 - 대기확산모델 ▶ 액면화재 - TNO 액면화재 모델 ▶ 고압분출 화재 - TNO 모델 - API 모델

3.2.3 폭발

인위재해 관련 폭발에 관한 고려인자 및 모델에 대한 내용을 정리하면 표3과 같다.

표 3 인위재해별 고려인자 및 모델(폭발)

	인재관련 고려요소	기술적 모델
폭 발	복사열량 거리에 따른 복사열 강도 증기운의 크기, 온도, 밀도 거리에 따른 과압, 최대과압 파편의 비산에 의한 영향 방출된 물질의 양 폭발효율 환산거리 발화에너지 화구의 크기 화염의 지속시간 시계변수 대기열 전도도 표면 방출력 누출량 연소한계 폭발성 물질의 조성, 물리적 성질 주위의 온도, 압력 가연성물질의 양 가연성 물질의 방출속도	▶ 밀폐계 증기운 폭발 - TNT 당량모델 - TNO 상관모델 - TNO MULTI- ENERGY 모델 ▶ 물리적 폭발 - TNT 당량모델

3.2.4 진동

인위재해 관련 진동에 관한 고려인자 및 모델에 대한 내용을 정리하면 표4와 같다.

표 4 인위재해별 고려인자 및 모델(진동)

	인재관련 고려요소	기술적 모델
진동	지반의 진동속도(particle velocity) 발파원으로부터의 거리 지발당 장약량(charge per delay) 지발암반조건, 발파조건 등에 따른 상수	거리에 따른 진동 관련 수식

4. 결 론

원전주변의 인위재해에 대한 평가 대상 시설의 각 사고에 대한 평가·전개과정·결과에 대해 국내 기준에 대해 알아보았다. 우리나라는 현재 미국(CFR) 기준인 Reg. Guide와 IAEA Safety Series를 받아들여 사용하고 있지만, 아직까지 인위재해관련 기

술기준이나 이들 설비에 대한 구체적인 평가 기법이 정해지지 않았다.

앞에서 지적한 것과 같이 우리나라는 이를 위해서 우리나라 원전설비 주변의 위험설비인 이들을 정확하게 평가할 수 있고 위험성 평가기법 등이 개발되어야 한다. 이를 위한 기초작업으로 본 연구에서는 다음 사항을 조사하였다.

- ① 위험시설에 대한 누출, 폭발, 화재, 진동 등 원전에 미치는 요인 분석
- ② ○○ 원자력 발전소 주변 인위적 위험시설 파악(8km이내)
- ③ 인위 재해에 대한 국내·외 기술기준 비교
- ④ 평가에 영향을 주는 변수 파악
- ⑤ 인위재해별 기술적 분석모델 모색

조사결과 원전 설비에 영향을 주는 인위재해 영향요인으로는 독성물질 누출, 화재, 폭발, 진동, 물리적 충격 등이 있고 이들을 평가하는 방법으로는 앞으로 화학공장을 평가했던 기존의 평가방법을 사용할 수 있었다. 앞으로 인위재해 평가기술개발, 원전주변에 대한 인위재해 관련 규제기준 등에 관한 연구가 더 수행되어야 하겠다.

참고문헌

1. ReG. Guide 1.78, "Assumptions for Evaluation the Habitability of a Nuclear Power Plant Control Room During a Postulated Hazardous Chemical Release"
2. Reg. Guide 1.91, "Evaluations on Explosions Postulated to Occur on Transportation Routes Near Nuclear Power Plants"
3. IAEA, Safety Series No. 50-SG-S5, External Man-Induced Events in Relation to Nuclear Power Plant Siting
4. Reg. Guide 1.95, "Protection of Nuclear Power Plant Control Room Operations Against an Accidental Chlorine Release, U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1977
5. C.Y. Kimura, P.G. Prassinis, "Evaluation of External Hazards to Nuclear Power Plants in the United States", U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1989
6. Sargent & Lundy, "A Manual for the Prediction fo Blast and Fragment Loadings on Structures", United States Department of Energy Albuquerque Operations Office Amarillo Area Office Pantex Plant Amarillo, Texas, 1982
7. The Tolerability of Risk from Nuclear Power Stations, HMSO, 1992
8. G. C. Mays and P. D. Smith, "Blast Effects on Buildings", Thomas Telford, 1996
9. Naser Nehzat, "Gas Explosion Modelling for Complex Geometries", Ph.D. Thesis, University of New South Wales, 1998.