사용후핵연료 해상수송 시나리오에 대한 안전성 평가

안동현, 황주호
경희대학교, 경기도 용인시 기흥구 서천동 1번지
adh9698@khu.ac.kr

1. 서론

현재 한국의 원자력발전소 운영 중 발생하는 사용후핵연료는 소내저장하고 있으며, 2016년 이후에는 저장용량이 포화될 것으로 예상하고 있다.[1] 포화상태에 이르게 되면 임시 저장중인 사용후핵연료를 소외로 운반해야 한다. 한국의 경우 2004년부터 지속적으로 사용후핵연료의 공론화가 이루어지고 있다. 차후 사용후핵연료 저장시설이 건설될 것을 가정한다면, 운반을 고려하여 작업자와 일반 주민들이 받는 피폭에 대한 선량평가가 이루어져야 한다. 이에 따라, 사용후핵연료의 해상수송을 예상하여 안전성 평가를 수행하는데 있어 정상수송과 사고조건 수송 평가가 수행되어야 한다. 수송 안전성 평가는 방사성폐기물의 수송 위험도 평가 프로그램인 RADTRAN을 사용하였다. RADTRAN은 운송수단에 대한 각 모델을 적용하여 특정시나리오의 평가가 가능한 프로그램이다.

본 연구에서는 RADTRAN 5.6 프로그램을 이용하여 해상수송에 대한 피폭 선량 평가를 수행하고자 한다. 또한 입력자료의 설정변화로 평가 인자의 민감도를 분석하여, 해상 수송에 대해 중점적으로 고려할 부분을 제시하고자 한다.

2. 수송 시나리오 및 입력 인자

시나리오는 정상 수송과 사고조건 수송으로 구분하였다. 정상 수송은 영광원자력발전소에서 가상의 중간저장시설인 포항항까지의 경로를 가정하였다. 항해 중에서는 충돌, 화재 및 침몰 등의 사고 발생이 없으며, 유조선 금지항로를 고려하여 운송을 실시하였다.

영광에서 포항까지 연간 3회 운항으로 1회 운항시 표면선량률이 0.1 mSv/hr인 캐스크 12개 수송을 가정하였다. 영광에서 포항까지 운항경로는 765 km이며, 선박속도는 24 km/hr로 하며 운항시간은 31시간이며 임시정박은 없다고 가정하였다. 포항 인구밀도는 2007년 기준 451 명/km^2으로 설정하였다. Fig. 1.의 내곽점선은 유조선 금지구역이며, 외곽점선은 영광에서 포항까지의 수송경로를 나타낸다.

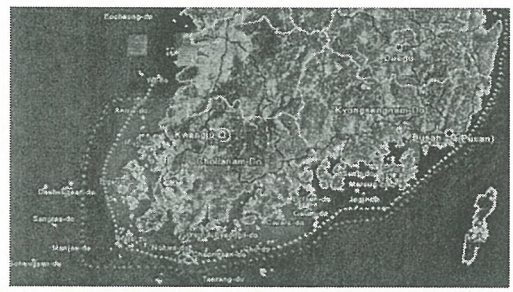

Fig. 1. Route setting from Young-gwang to Po-hang[2]

수송선박은 사용후핵연료 전용수송선박 1척 운행으로 적재창의 길이 36 m, 승선인원 22명으로 가정하였다. 선원과 적재창 사이의 차폐는 없다고 가정하였다. 차폐인자는 민감도 분석을 위해 변환인자로 사용하였다.

화물 선적 및 하역 작업은 부두크레인을 이용한 Lift-on/Life-off 방식을 적용하였다. 작업인원수는 영광과 포항에서의 작업으로 구분하여 각각 2명 1개조로 가정하였다. 선적 및 하역 작업자와 수송용기의 거리는 10 m로 하며, 수송용기와의 거리를 변환 인자로 설정하였다. 전체 작업시간은 8시간으로 가정하였다.

사고 조건에서는 인위적 사고인 충돌과 화재로 인한 폭발 사고로 분류하였다. 포항항으로 근접이동 중 적재창의 손상으로 인한 방사선원의 누출을 가정하였다. 방사선 누출비율은 각각 100%로 가정하여 우선적으로 정상수송 시나리오로 안전성 평가를 수행하였다. 사고율은 2005년부터 2008년까지 해양사고횟수를 고려하여 8.30×10^{-6} accident/veh-km로 계산하였다. 2005년부터 2008년도에서 전체 선박 개수에 대한 사고시 사망을 가정하여 1회 사고당 치명율은 3.05×10^{-2} 로 계산하였다. 방사성물질의 누출비는 Sandia National Lab.에서 제시한 보고서 자료를 활용하였다.[3] 대기확산의 경우 사용자정의에 대하여 Pasquill 모

델을 사용하였다. 모델은 중립적인 대기상태를 가정하였으며, 거주주민의 피폭평가를 위하여 민감도 분석에 대한 변환인자로 설정하였다.

3. 결론

비사고 조건에서 승무원, 선적 및 하역 작업자, 거주자에 대한 평가는 다음 Table 1.에서 나타냈다.

Table 1. Non-accident assessments for collective dose

비사고시 평가 대상	집단피폭선량(man-Sv)
승무원	6.55×10^{-2}
선적 및 하역 작업자	4.2×10^{-3}
거주자	5.4×10^{-3}

선적 및 하역 작업자의 집단피폭선량은 4.2×10^{-3} man-Sv이며 연간 평균피폭선량은 3.15 mSv이다. 개인 피폭선량한도가 5년간 100 mSv이므로, 안전하다고 할 수 있다.

비사고시 평가대상을 기준으로 각각의 변환인자에 따른 민감도 분석을 수행하였다.

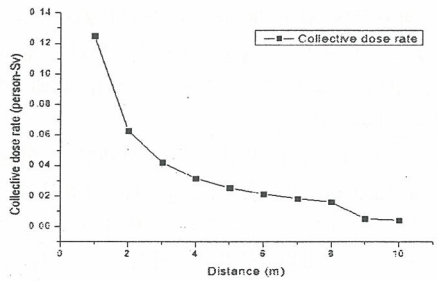

Fig. 2. Handling dose from distance alteration

Fig 2. 는 선적 및 하역 작업 중 작업자의 거리변화에 따른 집단피폭선량을 나타낸다. 거리가 가까워질수록 피폭정도는 커지며, 5 m에서 집단피폭선량은 2.54×10^{-2} man-Sv이고, 평균 개인피폭선량은 6.35 mSv를 나타낸다. 즉, 1년간 19.05 mSv, 5년간 95.5 mSv의 피폭을 받는다.

승무원의 변환인자에 대한 집단피폭선량은 Table 2. 에, 대기확산등급에 대한 거주자의 평균 피폭선량은 Table 3. 에 나타내었다. 사고 시나리오에서 대기확산등급에 따른 거주자의 집단선량은 비례하지만, 연간 평균 개인피폭선량은 큰 차이가 없었다.

Table 2. Crew's collective dose for an alteration of crew shielding factor

차폐	집단피폭선량(man-Sv)
0	2.58×10^{-6}
10%	2.32×10^{-6}
20%	2.06×10^{-6}
30%	1.81×10^{-6}
40%	1.55×10^{-6}
50%	1.29×10^{-6}
60%	1.03×10^{-6}
70%	7.74×10^{-7}
80%	5.16×10^{-7}
90%	2.58×10^{-7}
100%	0

Table 3. Dispersion conversion factor of pasquill level

대기확산 (level)	집단 피폭선량(man-Sv)	연간 개인 피폭선량(mSv)
A	2.65×10^{-1}	6.59×10^{-5}
B	2.14×10^{-1}	6.73×10^{-5}
C	1.64×10^{-1}	6.86×10^{-5}
D	1.24×10^{-1}	6.89×10^{-5}
E	8.72×10^{-2}	6.41×10^{-5}
F	6.55×10^{-2}	6.42×10^{-5}

선적 및 하역 작업자와 수송용기 사이의 거리는 법적기준인 5년간 100 mSv를 넘지 않는 범위 내에서 5m 이상에서 작업이 이루어져야한다. 승무원과 거주자는 일반인의 선량한도를 적용하였을 경우, 변환인자에 관계없이 연간 1 mSv의 1%이하로 평가되었다.

4. 감사의 글

본 연구는 원자력인력양성 과제로 수행하였습니다.

5. 참고문헌

[1] 지속가능발전위원회, 사용후핵연료의 관리체계 및 공론화방안 연구, pp.33-36, 2005

[2] 원자력발전소 사후처리사업 비용평가 시스템 개발, 2009

[3] Jeremy L. Sprung, Data and Methods for the Assessment of the Risks Associated with the Martime Transport of Radioactive Materials Results of the SeaRAM Program Studies Volume 1, Sandia National Laboratory Report, SAND98-1171/1(1998)