J. Korea Asso. Radiat. Prot.
Vol. 28 No. 3 : 189~197 (2003)

▣ 論 文 ▣

A Risk Assessment for A Korean Standard Nuclear Power Plant

Seok Won Hwang · Moosung Jae
Department of Nuclear Engineering, Hanyang University

한국표준형 원전의 중대사고시 MACCS 코드를 이용한 위험성평가

황석원 · 제무성
한양대학교 원자력공학과

(2003년 5월 3일 접수, 2003년 9월 3일 채택)

Abstract - The Level 3 PSA being termed accident consequence analysis is defined to assess effects on health and environment caused by radioisotopes released from severe accidents of nuclear power plants. In this study consequence analysis on health effects depending on release characteristics of radioisotopes has been performed using the MACCS code in severe accidents. The results of this study may contribute to identifying the relative importance of various parameters occurred in consequence analysis as well as to assessing risk reduction accident management strategies. Especially three parameters for the purpose of consequence analysis, such as the release height, the heat content, and the duration time, are used to analyze the variation of early fatalities and latent cancer fatalities. Also, in this study risk assessment using the concept, "products of uncertainty and consequences", has been performed using consequence of MACCS and frequency on source term category 19 scenarios from IPE (Individual Plant Examination) analysis.

Key words : severe accidents, risk assessment, source terms, causal scenarios

요 약 - Level 3 PSA(사고결말분석)는 원자력 발전소의 사고 시 누출된 방사성 핵종으로 인해 야기되는 환경 및 인체에 미치는 영향(공중위험도)을 평가하는 것이다. 본 논문에서는 원자력 발전소의 중대사고시 환경으로 방출되는 방사성물질의 방출특성과 그 결과로 인체에 미치는 영향에 대하여 확률론적 사고영향분석코드인 MACCS를 이용하여 평가하였다. 이러한 평가는 관련 변수들의 상대적 중요도를 파악하는데 유용할 뿐만 아니라 소외리스크(Offsite Risk)를 최소화시키기 위한 대책개발에 있어 중요한 지표가 될 수 있다. 특히 방출고도, 열 함량, 방출기간의 3가지 중요 변수를 선정하여, 이들 변수들의 변화에 따라 영향을 받는 조기사망자 수와 암 사망자 수의 변화를 분석하였다. 또한, 참조원전의 위험성 평가를 위하여 IPE(Individual Plant Examination)에서 제시된 STC(Source Term Category) 19가지 시나리오에 대한 각 사고별 빈도와 MACCS코드를 수행한 결과값을 이용하여 참조원전의 위험성 평가를 수행하였다.

중심어 : 중대사고, 위험성 평가, 방사선원항, 방사선 사고시나리오

서 론

현재까지 Level 3 PSA단계에서의 사고결말분석은 APR 1400, 영광 3&4 등 일부원전에서만 부분적으로 수행되었으며, 종합적인 방사선 평가체계의 개발이 시급하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 참조원전이 울진 3&4의 IPE결과와 MACCS코드를 활용하여 위험성평가를 수행하였으며, 3가지의 중요한 방출변수를 선정하여 조기사망자와 암사망자에 관한 변화를 알아보았다. MACCS 코드는 원전의 중대사고 시 방사성 물질 방출로 인한 소외 결말 분석에 사용된다. 이 코드의 계산수행은 입력자료의 처리와 현상 모델링, 출력자료의 처리 세 단계로 나누어지며, 정량적 평가는 ATMOS, EARLY, CHRONC[3]의 세 모듈로 나뉘어서 수행된다. 또한 이 코드에서 취급하는 60개의 방사성 동위원소들은 9개의 주요 핵종 그룹으로 분류되어 입력된다. 또한 참조원전의 STC 1에서 STC 19까지 노심재고량과 방출분율을 중요 입력자료로 활용하였으며[2], 이 외에 바람의 방향, 속도, 대기안정도, 누적강수량의 기상자료와 인구분포, 육지지역의 분율 등과 관련된 부지관련 입력자료, 그리고 60개의 핵종에 대한 유효선량과 12개의 장기를 대상으로한 선량 환산인자들이 입력자료로 사용되었다. MACCS 코드로 계산을 수행한 결과 대표적인 시나리오이자 초기사건인 Large LOCA(STC 15)에 관하여 방출고도, 열 함량 및 방출기간에 대한 조기사망자수와 암사망자수의 변화를 비교 분석하였다. 또한 전체 19가지 STC에 관한 조기 사망자 수와 암 사망자수의 결과와 IPE에서 제시된 각 사고시나리오별 빈도수를 이용하여 참조원전의 위험성 평가를 수행하였다. 그림 1은 사고결말분석의 체계도를 보여준다.

본 연구의 결과는 차후 원전주변제한구역에 대한 재평가, 원전의 안전성에 관한 국민 수용성 제고(PA: Public Acceptance), 원전사고관리 계획수립(AMP: Accident Management Plan) 및 원전의 주기적 안전성 평가(PSR: Periodic Safety Review)의 기반기술로도 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

위험성 평가방법

본 연구에서 사용되는 MACCS 코드의 모델링은 전술한 바와 같이 ATMOS, EARLY, CHRONC의 3단계로 구성되어 있으며, 대기확산 모델로는 Gaussian Plume 모델이 본 코드에 구성되어 있다. ATMOS 모듈은 방사성 물질의 대기 내 이동 및 확산을 다루며, EARLY 모듈은 사고 후 약 일주일 정도 기간의 비상대응 기간 동

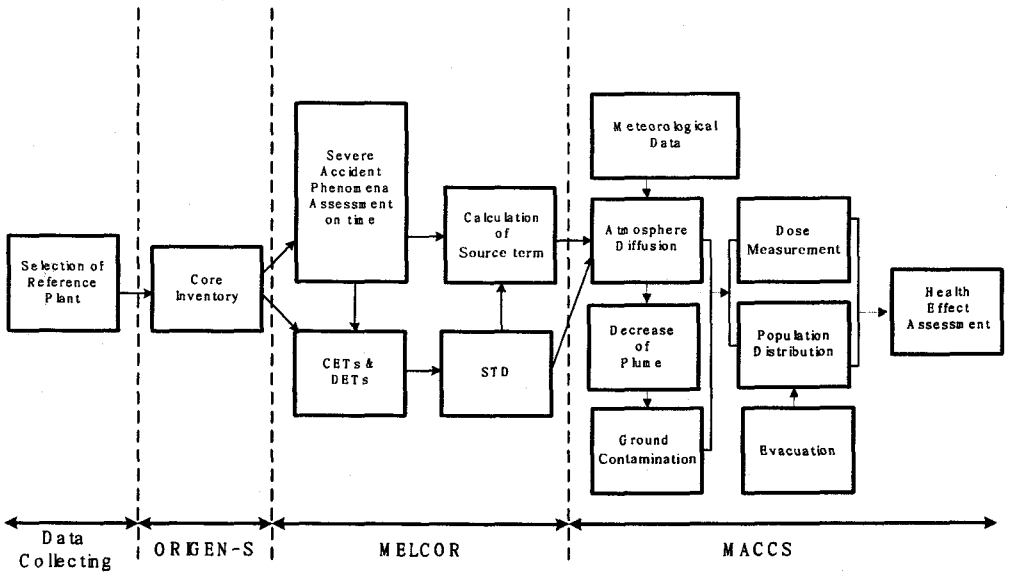


Fig 1. Framework of Consequence Analysis Used in this Study

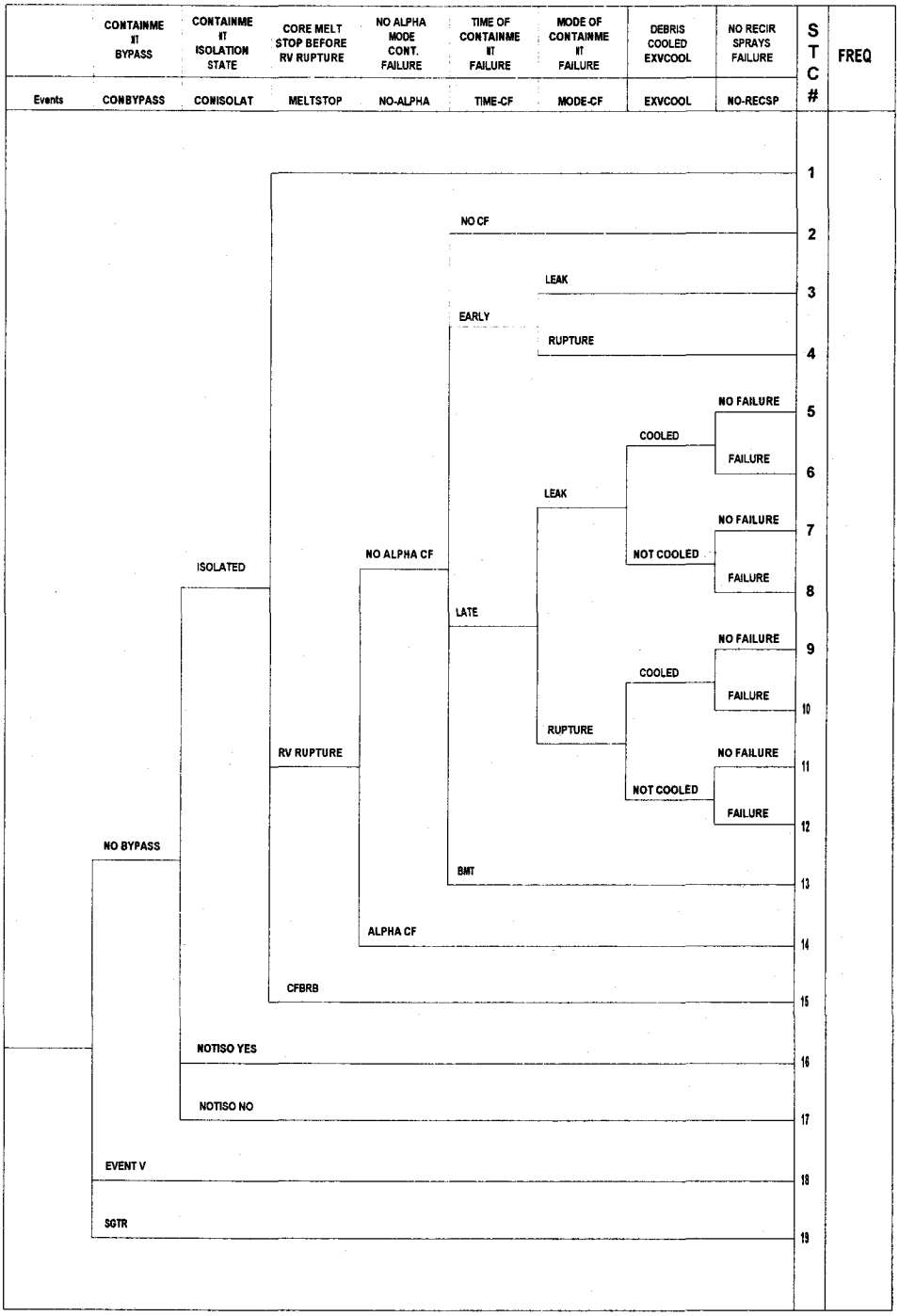


Fig 2. Source Term Diagram which is used to simulate the MELCOR Code Calculations.

안의 인체 및 주변환경에 미치는 영향 모델링을 취급한다. 그리고 CHRONC 모듈은 비상대응 기간 이후의 시간에서의 영향을 분석한다. 이 외에도 선량환산인자 입력파일, 기상자료 및 부지관련 입력파일이 있다. MACCS 코드의 중요한 입력자료인 STC별 방출 핵종별 방사선원의 방출분율은 MELCOR 전산코드를 사용하여 사고해석을

모사한 계산결과를 사용하였으며, 격납건물 파손형태를 그룹화하여 유사한 방사선원항으로 나눈 19개의 STC를 정의하였다. 이것은 STD(Source Term Diagram)로 나타낼 수 있으며, 이 때 그룹화 시키기 위한 매개변수들은 그림 1의 머리사건으로서[5] 그 내용은 다음과 같다.

- 격납건물 우회사고
- 격납건물 격리사고
- 노심용융사고
- α-사고
- 격납건물 파손시간 모드
- 격납건물 파손모드
- 데브리 냉각실패사고
- 순환스프레이 작동실패

본 연구에서 MACCS 코드의 중요한 입력자료인 MELCOR 코드를 이용한 STC 15의 격납건물 외부로의 9개 핵종별 방출분율과 ORIGEN 코드를 이용한 노심재고량은 각각 표 1과 표 2에 나타내었다. 본 연구에서는 방사선원 방출 특성을 결정하는 여러 가지 방출 변수(Release Parameter)들 중에서 소외결말분석을 위해 선택한 방출변수는 방출고도(Release Height), 열 함량(Heat Content) 및 방출기간(Release Duration) [4]이다. 방출고도는 실제로 방출이 발생하는 높이를 의미하며, 가장 보수적인 결과를 얻기 위해서는 지표방출(Ground Release)로 가정된다. 또한, 방출고도는 대기확산계산이나 주변건물이 대기확산에 미치는 영향을 분석하는데 매우 중요한 변수이기도 하다. 사고 시 환경으로 방출되는 방사성 물질의 온도가 주변 대기 온도보다 높으면 열 부력(Thermal Buoyancy)에 의해 플룸 상승(Plume Rise)이 발생한다. 이러한 플룸 상승에 영향을 미치는 중요한 인자는 열 함량인데 본 연구에서는 운동량에 의한 플룸 상승은 고려하지 않으며 열 부력에 의한 플룸 상승만을 고려하였다.

Table 1. Source Term Release Fraction for UCN 3&4 Obtained by the MELCOR Code Calculation (4^{th} cycle)

	Xe/Kr	I	Cs	Te	Sr	Ru	La	Ce	Ba
STC 3	0.99791	0.99912	0.29395	0.16919	0.23800	0.11325	0.15558	0.12799	0.23791
STC 4	0.99924	0.99949	0.45866	0.31602	0.21600	0.39355	0.14956	0.12348	0.21611
STC 6	0.96196	0.96189	0.14780	0.01714	0.09610	0.04364	0.00139	0.00045	0.09607
STC 8	0.54688	0.54684	0.00666	0.00882	0.00097	0.00195	0.00107	0.00016	0.00097
STC 10	0.98072	0.98093	0.15133	0.03656	0.09310	0.04276	0.000289	0.00094	0.09309
STC 12	0.99654	0.99647	0.31792	0.12627	0.19700	0.26720	0.00578	0.00063	0.19667
STC 13	0.99953	0.99923	0.41327	0.40201	0.55900	0.44905	0.07208	0.17805	0.55873
STC 14	0.99929	0.99950	0.42736	0.28933	0.17900	0.26682	0.11108	0.17540	0.17896
STC 15	0.10399	0.10304	0.00296	0.00335	0.00279	0.00128	0.00118	0.00106	0.00279
STC 16	0.99955	0.99952	0.35919	0.26097	0.28700	0.16238	0.26675	0.15698	0.28698
STC 17	0.99060	0.99052	0.42568	0.45713	0.29900	0.36865	0.19231	0.13223	0.29874
STC 18	0.31383	0.31390	0.04540	0.01097	0.02790	0.01283	0.00087	0.00028	0.02793
STC 19	0.80606	0.75157	0.09309	0.01129	0.06620	0.06646	0.00165	0.00006	0.0662

Table 2. Core Inventory for UCN 3&4 Obtained by the ORIGEN Code Calculation (4^{th} cycle)

Nuclide	Activity(Bq)	Nuclide	Activity(Bq)	Nuclide	Activity(Bq)
CO-58	2.96×10^{16}	RU-103	4.16×10^{18}	CS-136	6.01×10^{16}
CO-60	1.51×10^{16}	RU-105	2.80×10^{18}	CS-137	1.28×10^{17}
KR-85	1.16×10^{16}	RU-106	7.86×10^{17}	BA-139	5.19×10^{18}
KR-85M	7.25×10^{17}	RH-105	2.52×10^{18}	BA-140	5.09×10^{18}
KR-87	1.46×10^{18}	SB-127	2.33×10^{17}	LA-140	5.42×10^{18}
KR-88	2.03×10^{18}	SB-129	8.89×10^{17}	LA-141	4.66×10^{18}
RB-86	1.77×10^{15}	TE-127	2.25×10^{17}	LA-142	4.56×10^{18}
SR-89	2.90×10^{18}	TE-127M	3.32×10^{16}	CE-141	4.69×10^{18}
SR-90	9.56×10^{16}	TE-129	8.42×10^{17}	CE-143	4.37×10^{18}
SR-91	3.49×10^{18}	TE-129M	1.68×10^{17}	CE-144	2.49×10^{18}
SR-92	3.73×10^{18}	TE-131M	5.49×10^{17}	PR-143	4.23×10^{18}
Y-90	1.07×10^{17}	TE-132	4.06×10^{18}	ND-147	1.86×10^{18}
Y-91	3.70×10^{18}	I-131	2.77×10^{18}	NP-239	5.97×10^{19}
Y-92	3.77×10^{18}	I-132	4.05×10^{18}	PU-238	9.72×10^{14}
Y-93	2.83×10^{18}	I-133	5.76×10^{18}	PU-239	7.02×10^{14}
ZR-95	4.93×10^{18}	I-134	6.40×10^{18}	PU-240	6.80×10^{14}
ZR-97	4.73×10^{18}	I-135	5.46×10^{18}	PU-241	1.77×10^{17}
NB-95	4.89×10^{18}	XE-133	5.50×10^{18}	AM-241	7.38×10^{15}
MO-99	5.21×10^{18}	XE-135	1.22×10^{18}	CM-242	1.47×10^{16}
TC-99M	4.60×10^{18}	CS-134	9.54×10^{16}	CM-244	3.37×10^{14}

방출기간(Release Duration)은 환경으로 방사선원이 방출되는 시작시점과 종료시점 사이의 시간으로서 격납건물의 특성에 의해 좌우된다. 이 기간동안에 방출되지 않은 방사성 물질은 방사성 붕괴를 하기 때문에 방사선의 세기가 감소하며 또한 풍향이 바뀌게 되면 방출된 방사성 물질의 영향을 받는 지역이 넓어지기도 하므로 방사성물질의 농도는 감소한다.

그리고 동일한 방출분율의 방사성물질이 방출된다고 할지라도 방출되는 방사선의 양이 주어진 방출시간동안 한꺼번에 나오므로, 시간 적분된 방사성 물질의 최대 농도는 시간이 긴 경우에 비해 짧은 경우가 그 값이 훨씬 크게 나타나기도 한다. 또한 32 km까지의 거리 범위에 대하여 조기건강영향 즉, 골수, 폐, 위장계의 기능 손상으로부터 발생하는 조기사망(Early Fatalities)과 후기건강영향인 암 사망은 백혈병, 골수암, 흉부암, 폐암, 갑상선암, 위암 및 기타 암으로부터 사망이 유발된다. 그리고 참조원전의 위험성 평가를 위하여 거리에 따른 각 STC 별 19가지 시나리오에 대한 조기사망자와 암사망자의 평균값과 95 퍼센타일 값을 정량적으로 계산한 결과와 IPE에서 제시된 각 사고 시나리오 별 빈도수를 이용하여 위험성 평가를 수행하였다. 이러한 위험도(Risk)는 특정사고의 발생확률에 사고로 인한 결말 효과를 곱한 값으로 정의되며 이는 실제로 발전소에서 발생하는 사고의 중요도를 결정하는 중요한 판단기준이 된다. 이외에도 MACCS 코드의 결말분석을 위해 주민 소개에 대한 시나리오의 경우 주민 95 %는 사고 후 소개시키고 나머지 5 %는 소개되지 않고 남아 있는 것으로 가정하였으며, 주민 소개 속도는 1.8 m/s의 값을 사용하였다. 그리고 바람의 방향, 속도, 대기안정도, 누적 강수량 등이 포함된 참조원전인 울진 3&4의 실제기상자료를 사용하였다. 이 파일에는 1년 동안의 매 시간당 기록으로 바람의 방향, 속도, 대기안정도, 누적강

수량 등이 포함되어있으며, MACCS에서 필요로 하는 형태로 바꾸어 사용하였으며, 측정 시기는 1992년으로 1년 동안의 자료이다. 본 연구에서는 방사성 물질의 방출시간의 경우, 30분으로 가정하였다. 또한 인구분포자료, 육지지역의 분율 등 부지관련 자료를 입력 자료로 사용하였다. 표 3은 MACCS의 입력 자료로 사용된 참조원전주변의 인구분포 자료이다.

계 산 결 과

사고 발생 빈도가 높은 6개의 STC 시나리오 가운데 빈도수가 가장 크며 초기사건이 Large LOCA인 STC 15에 관하여 각 방출변수에 대한 소외결말분석을 수행하였다. 첫 번째로 방출고도에 따른 조기사망자와 암사망자 수의 변화는 그림 3에 도시된 바와 같으며, 방출고도는 0 m부터 60 m까지 10 m간격으로 그 값을 변화시켜가며 결과에 대한 평균값(Mean)의 변화를 살펴보았다. 계산 결과에 의하면 방출고도의 변화는 암 사망에 미치는 영향이 거의 없음을 알 수 있었으나, 조기사망의 경우는 방출고도가 증가할수록 그 값이 감소하는 것을 알 수 있었다.

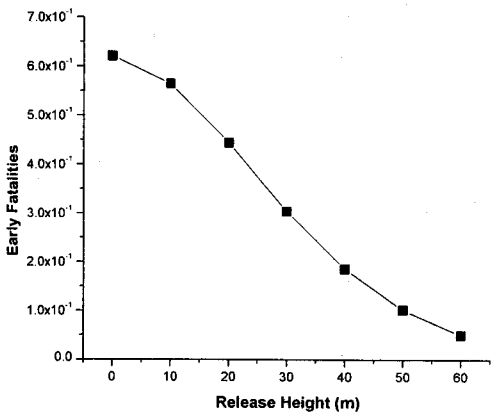
이는 방출고도가 높을수록 대기 난류가 대기확산에 미치는 영향이 크기 때문에 방사성 물질의

Table 3. Population Distribution on the distance and wind direction in the reference plant

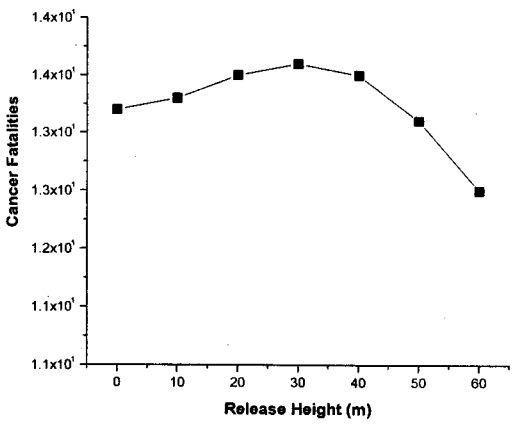
16 units Angle	Distance from Nuclear Power Plant [km]									
	0	1.6	3.2	4.8	6.4	8.0	16.0	32.0	48.0	64.8	80.0
1	6	0	0	0	0	0	2	0	0	0	
2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	17	24	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	25	555	931	224	0	0	0	0	0	0	
8	25	398	1,044	1,270	555	529	2	154	0	0	
9	25	153	1,037	1,233	688	3,981	5,971	11,588	15,394	4,656	
10	25	174	825	632	578	4,767	3,077	5,921	13,276	8,994	
11	25	75	126	176	264	2,278	932	4,245	8,080	10,109	
12	25	75	126	176	226	1,417	1,685	5,787	16,431	26,403	
13	25	75	126	176	226	1,311	9,225	35,728	9,621	16,079	
14	25	75	126	176	226	1,205	9,682	31,079	19,128	20,447	
15	25	75	126	176	210	1,342	3,957	6,179	16,519	11,491	
16	20	38	102	144	121	884	4,134	41,214	84,218	8,258	

영향을 받는 지역은 넓어지지만 그 농도는 적어지기 때문에 조기 사망에 미치는 영향은 방출고도가 높아질수록 적어지며 암 사망에 대한 영향은 장기간에 걸친 영향이기 때문에 방출고도의 변화에 따른 영향은 무시할 정도였다. 또한 조기사망이나 암 사망에 대한 보수적인 결과를 얻기 위해 정확한 방출고도를 알 수 없을 경우 지표방출(Ground Release)을 가정하기도 한다.

그리고 열 함량의 변화에 따른 조기사망과 암 사망자수의 변화는 그림 4에 도시된 바와 같으며, 열 함량의 변화는 0 MW부터 60 MW까지 10 MW의 간격으로 값의 변화를 살펴보았다. 열 함량이 증가함에 따라 조기사망과 암 사망에 대한 값은 감소함을 알 수 있다. 열 함량 증가에 따른 암 사망에 대한 변화는 완만하지만 조기사망의 변화는 열 함량이 0 MW에서 20 MW까지 증가할 경우 조기 사망자의 감소 폭이 매우 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 열 함량이 증가할수록 플륨 상승이 증가하기 때문에 방사성 물질의 이동 및 확산이 진행되는 초기에 발전소로부터 풍하 방향으로의 거리가 16 Km 이상까지 플륨 상승이 진행되므로 이로 인해 방사성 물질의 농도가 매우 낮은 지역이 발생하고 그 이후의 거리에서는 플륨 상승이 정지되고 다시 대기 난류에 의해 방사성 물질이 지상으로 이동하기 때문이다. 열 함량과 방출고도의 차이는 방출고도는 방사성 물질이 실제 방출되는 높이이므로 이는 참조원전 지역의 기상 및 대기안정도에 따라 그 영향을 받

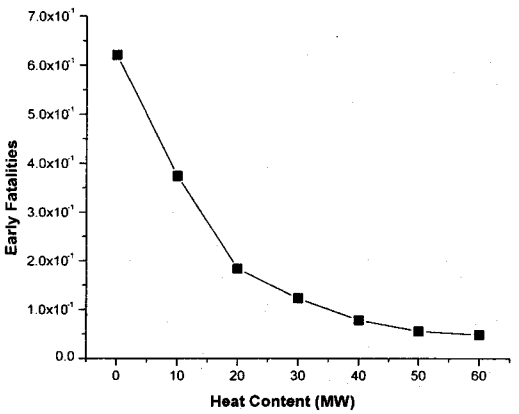


(a)

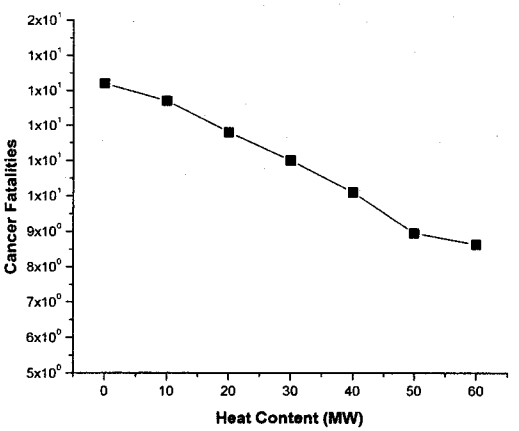


(b)

Fig 3. Variation of Early and Latent Cancer Fatalities on Release Height (0~32km).



(a)



(b)

Fig 4. Variation of Early and Latent Cancer Fatalities on Heat Content (0~32km).

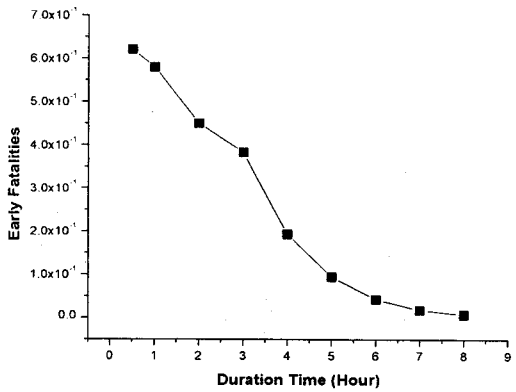
지만, 열 함량의 경우는 플룸상승에 따른 영향이 크므로 그 차이가 있다고 사료된다.

또한 방출기간의 변화에 따른 조기사망과 암사망의 변화는 그림 5에 도시된 바와 같다. 조기사망의 경우 방출지속시간이 증가할수록 감소하는 변화를 보이며, 암사망의 경우는 증가 후 약간 감소하는 변화를 보였다. 이 방출기간이 증가한다는 의미는 이 시간 동안에 방출되지 않은 방사성 물질이 방사성 붕괴를 일으키기 때문에 방출되는 방사성 물질의 양에 변화가 생기며, 또한 확산 도중에 풍향이 바뀔 가능성이 크기 때문에 피해 지역이 넓어질 가능성도 있다. 그리고 대기확산 평가 시 이 방출기간의 증가는 수평 확산계수의 증가를 통하여 보정해주기 때문에 방사성 물질은 더 넓은 지역으로 확산이 이루어진다.

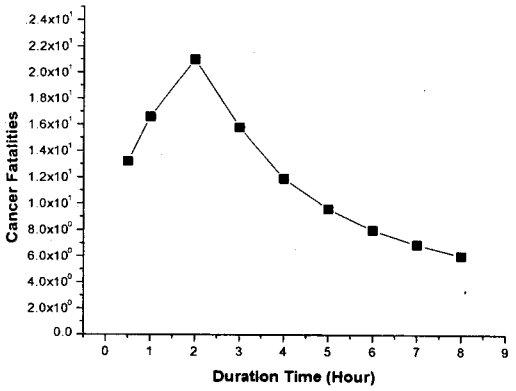
원자력발전소는 설계기준 사고라고 지칭되는 모든 가능한 사고에 대하여 독립성, 다양성 및 다중성을 고려하여 발전소의 안전성을 확보하고 있다. 만약 원자력 발전소의 설계기준 사고 범위를 넘는 노심손상 사고 시 소외지역의 인체 및 환경에 미치는 영향에 대한 체계적이고 종합적인 평가는 Level 3 PSA 기법을 통하여 이루어진다.

이를 통하여 원자력발전소의 사고 시 환경으로 방출되는 방사성 물질의 대기 내 이동 및 확산, 주요 경로별 선량평가, 건강영향평가, 경제적인 영향 평가 등을 수행하며 그 대부분은 위험도(Risk)로써 주어진다.

이러한 위험도는 특정사고의 발생확률에 사고로 인한 결말효과를 곱한 값으로 정의[6]되며 앞서 기술한 바와 같이 실제로 발전소에서 발생하

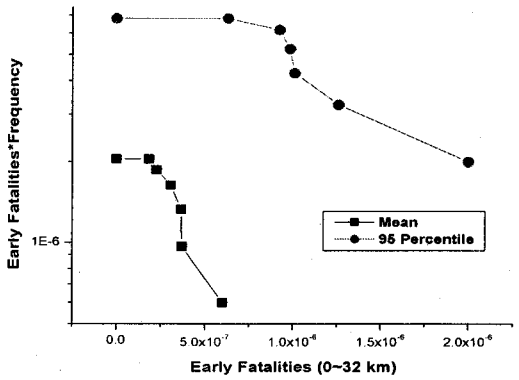


(a)

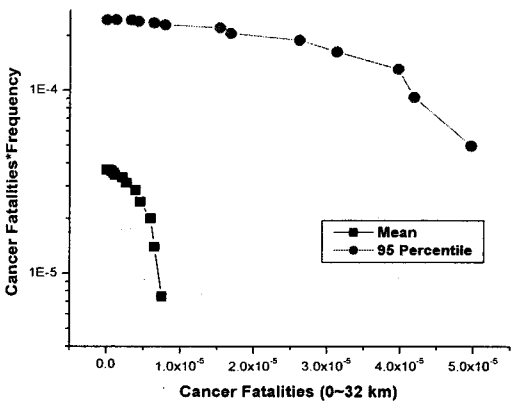


(b)

Fig 5. Variation of Early and Latent Cancer Fatalities on Duration Time (0~32km).



(a)



(b)

Fig 6. Risk Curve for Early and Cancer Fatalities (0~32km).

는 사고의 중요도를 결정하는 가장 중요한 판단 기준이 된다. 본 연구에서는 STC 19가지 시나리오에 대한 조기 사망자수와 암 사망자수에 대한 결말과 IPE에서 제시된 각 사고시나리오별 빈도수를 이용하여 참조원전의 위험도에 관해 정량적인 평가를 수행하였다. 그리고 32 Km까지의 거리범위에 대해 STC 별 조기사망자와 암사망자의 평균값과 95 퍼센타일 (임의의 결말에 대해 조건부 확률이 0.05이상인 중대성의 정도이다)에 대하여 MACCS 코드의 계산을 수행하였으며, 그림 6에 도시된 바와 같다.

각각의 조기 사망자수와 암 사망자수의 결말값과 각 STC 19가지 사고시나리오에 관한 빈도수를 각각 곱한 값을 작은 수에서 큰 수로 정렬한 후 그 값을 순차적으로 합산하여 값을 계산하였으며, 위험도 곡선에 대한 변화를 알아보았다. 그 결과 결말 값이 증가함에 따라 각각의 위험도의 평균값과 95 퍼센타일의 값은 감소함을 알 수 있었다.

결 론

본 논문에서는 방사성물질의 방출 특성이 조기사망자와 암사망자에 미치는 영향에 대하여 MACCS 코드를 이용하여 소외결말분석을 수행하였으며 그 분석결과는 원전사고시 소외 리스크를 최소화시키기 위한 방안도출에 활용될 수 있다. 참조원전의 소외결말분석의 평가를 위한 방사선원의 방출변수로는 방출고도, 열 함량, 방출기간의 3가지 변수를 선정하였으며 초기사건이 대형냉각재 상실사고인 STC 15에 관하여 분석을 수행하였다. 또한 전체 STC 19가지 시나리오에 대해 IPE에서 제시된 각 사고별 빈도수와 MACCS의 결과값을 이용하여 참조원전의 위험성 평가를 수행하였다. 방출고도의 변화는 조기사망과 관련한 평가에서 방출고도가 증가할수록 그 값이 감소하며 암사망자에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 나타났다. 그리고 열 함량 값이 증가함에 따라 조기사망자와 암사망자의 값은 모두 감소하는 것으로 나타났으나, 조기사망자의 경우 열 함량이 0 MW에서 20 MW까지 증가할 경우 값의 감소폭이 매우 크게 나타났다. 그리고 방출기간변화에 따른 조기사망자의 변화는 방출기간이 증가할수록 감소하는 결과를 보여주었으나, 암사망자의 경우는 약간의 증가 후 감소하는 것으로 나타났다. 마지막으로 참조원전의 전체 STC 19가지에 대한 MACCS 코드의 결과값과 각 사고별 빈도수를 이용하여 위험도 곡선을 얻었다. 또한 참조원전의 환경 특성에 관한 상세한 분석은 향후 연구로 수행할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 과학재단지정 우수공학연구센터인 방사선안전신기술연구센터(iTRS)의 지원으로 수행되었다.

참고문헌

1. IAEA, "Procedures for Conducting Probabilistic Safety Assessment of Nuclear Power Plants(Level 3)," Safety Series No. 50, P12 (1996).
2. Shane Park, Kyung Min Kang, Gyoo Dong Jeun, Moosung Jae, "Development of a Framework for Assessing Radiation Source Terms in Nuclear Power Plants," Journal of the Korean Association for Radiation Protection Volume 26, Number 3 (2001).
3. D. I. Chanin, J. L. Sprung, L. T. Richie, and H. N. Jow, "MELCOR Accident Consequence Code System (MACCS)," NUREG/CR-4691, SAND86-1562, Sandia National Laboratories (1990).
4. 정종태 외, "방사선원 방출변수가 인체건강에 미치는 영향평가," 한국원자력연구소 (1998).
5. "Final Probabilistic Safety Assessment Report for Ulchins 3&4," Korea Electric Power Corporation, Seoul, Korea (1997).
6. Mohammad Modarres, Mark Kaminskiy, Vasiliy Krivtsov, "Reliability Engineering and Risk Analysis," Marcel Dekker, Inc (1999).
7. Canadian Standards Association, "Guidelines for Calculating Radiation Doses to the Public from a Release of Airborne Radioactive Material under Hypothetical Accident Conditions in Nuclear Reactors," CAN/CSA-N288.2-M91 (1991).
8. Richard E. Faw, J. Kenneth Shultis, "Radiological Assessment (Sources and Exposures)," PTR Prentice-Hall, Inc (1993).