

격납건물 종합누설률 시험 주기연장에 따른 위험도 분석

Risk Analysis for Containment ILRT Interval Relaxation

서미로, 오해철, 김명기

한국전력공사 전력연구원
대전광역시 유성구 문지동 103-16

요 약

원자력발전소의 격납건물 종합누설률시험주기의 연장에 따른 위험도분석을 정량적으로 분석하였다. 대상호기로서는 울진 3,4호기를 선정하였으며, 위험도 척도로서는 잠재적 암치사와 주민선량을 선정하여 분석하였다. 위험도분석 전산코드로서는 MACCS를 사용하였다. 분석결과 현행 5년에 1회의 시험주기를 10년에 1회로 연장할 때에 위험도의 절대크기 뿐만아니라 위험도의 증가율도 미미한 것으로 나타났다. 이외에도 격납건물 누설률 증가에 따른 위험도를 분석하였으며, 설계누설률의 10배, 100배에 해당하는 누설이 발생해도 NRC의 안전목표에 충분히 만족됨을 알 수 있었다.

Abstract

In this paper we perform risk analysis for containment intergral leakage rate test interval relaxation. As a model plant Ulchin units 3,4 are selected. Using MACCS code, we calculates three risk measures: total latent cancer facilities, population dose, and individual latent cancer. Results show that current test interval 1 test during 5 years can be relaxed to 1 test during 10 years without imposing additional risk to public. In additions, it is shown that the increases of leakage rate of containment by 10 and 100 times more than design leakage rate causes very low additional risk, of course, which is below the NRC safety target.

1. 서론

미국 원자력위원회(USNRC)에서는 원전운영자에게 큰 부담을 주고 있는 일부 과도한 규제요건에 대해 확률론적안전성평가를 활용한 성능기반 규제에 대하여 연구를 수행하여 왔다. 이 가운데 격납건물누설시험(Integrated Leakage Rate Test ; ILRT)은 규제요건의 완화를 고려하였던 부분으로 성능기반으로 수행가능성이 높은 영역으로 인식되어져 왔다. 이는 격납건물 종합누설률시험이 누설시험 수행기간에 다른 어떠한 원자로 보수작업도 수행할 수 없는 특성이 있어, 원전 운영자에게 막대한 부담을 부여해 왔으며, ILRT 수행 이력 검토 결과, 시험의 유용성이 그다지 크지 않다는 결론을 내렸다. 미국 원자력위원회는 기존 PSA 연구 결과(NUREG/CR-4330, NUREG-1150)를 기반으로 성능기반 격납건물 누설시험 프로그램(NUREG-1493) 연구를 수행하였다. 이후 NRC는 1995년 10 CFR Part 50 Appendix J에 Option B 조항을 신설하여 격납건물의 성능에 근거하여 ILRT 주기를 현행 10년에 3회에서 10년에 1회로 연장 수행할 수 있는 선택권을 사업자에게 부여

하였다.

NRC의 연구결과에 의하면 ILRT 주기연장과 누설률완화는 위험도에 그다지 큰 영향을 주지 못하는 반면, 경제적인 측면에서 보면 발전소 정지기간 및 ILRT 시험준비로 인한 인력등을 고려할 때 사업자로서는 막대한 경제적 손실을 유발시키고 있다. 또한, ILRT 시험시 격납건물이 고압으로 가압된 상태에서 수행되므로 잦은 ILRT는 격납건물 및 주변기기의 피로도를 증가시켜 격납건물 건전성의 저해를 유발시키는 부정적인 측면도 있다.

본 연구에서는 분석 대상발전소로서 올진 3,4 호기를 선정하여 ILRT 주기연장과 누설률증가에 따른 위험도를 분석하였다. 분석 대상발전소로 올진 3,4호기를 선정한 이유는 올진 3,4호기는 Level I 및 Level II PSA가 완료된 발전소이며, 한국형 표준 원전으로 건설된 발전소인 만큼 국내 대표 원전으로 간주할 수 있기 때문이었다. 주민의 위험도분석을 위하여 Level III PSA 분석도구인 MACCS(MELCORE Accident Consequence Code System) 전산코드를 사용하였다. 이를 위해 올진 3,4 호기 방사선원항 자료와 올진원전 반경 80 Km의 '98년 추정 인구분포 자료, 그리고 '91년부터 '95년까지 올진원전 인근 올진기상관측소 부근에서 측정된 기상자료를 이용하여 평가하였다. 격납건물 허용누설율 증가에 의한 장기 누출효과를 고려하기 위하여 주민선량과 잠재적 암치사를 측정인자로 선정하였다.

2. 분석범위 및 방법

격납건물 ILRT 주기연장 및 누설률증가에 따른 위험도영향 평가는 다음과 같은 단계로 수행하였다.

- 1) 격납건물 ILRT의 유용성
- 2) 중대사고시 ILRT에 의해 영향을 받는 방사선원항 경로 파악
- 3) ILRT 주기연장에 따른 위험도 분석

먼저 격납건물 ILRT의 유용성은 다음과 같다. 격납건물 누설시험은 크게 ILRT와 LLRT (Local Leakage Rate Test)로 나눌 수 있다. LLRT란 기기의 격납건물 관통부에 대한 개별적인 누설시험을 말한다. ILRT는 LLRT 수행후 혹시라도 누설이 존재할지도 모른다는 판단하에 종합적인 측면에서 격납건물누설을 측정하는 시험이다. 따라서 ILRT에 의해서 누설이 탐지되는 경우는 LLRT 수행시 누설을 발견하지 못하였거나 LLRT 시험대상 이외의 부위에서 누설이 발생하는 경우이다. NRC에서 분석한 자료에 따르면 LLRT는 성공하였는데 ILRT가 실패한 경우는 전체의 3%로 나타났다. 즉 ILRT의 유용성은 ILRT 수행으로 인한 위험도 방지확률인 3%라 할 수 있다. 따라서, ILRT주기 연장에 따른 위험도 변화는 다음과 같이 말할 수 있다.

- 5년 시험주기 시 ILRT에 의해 탐지하지 못할 확률 : 0.03
- 10년 시험주기 시 ILRT에 의해 탐지하지 못할 확률 : $0.03 * 5/10 = 0.06$

여기서 각 기기의 성능은 LLRT 검사시에 확인이 되므로, ILRT 검사주기 연장에 따른 각 기기의 고장확률은 일정하다고 가정하였다.

다음으로, ILRT와 위험도와의 상관 관계를 분석하기 위해서 격납건물 성능 저하에 따른 주민의 위험도 영향을 평가해야 한다. 즉, 중대사고시 격납건물 파손 및 누설에 의한 위험 경로가 파악되어야 한다. 이는 ILRT 주기가 연장되면 격납건물의 성능이 떨어지게 되며 누설가능성이 증가되므로 중대사고시에는 주민에 대한 위험도가 증가하게 된다. 기존의 PSA 연구 결과를 살펴보면 중대사고에 의한 주민의 위험 경로는 크게 두가지로 구별할 수 있다. 첫번째는 노심이 손상된 상태에서 격납건물의 건전성이 유지되는 상태이다. 이러한 경우에 방사물방출은 오직 격납건물 누설에 의해서만 주민에게 전달되게 된다. 두번째는 노심의 손상에 관계없이 격납건물의 건전성이 상실되어 주민 위험을 야기시키는 상태이다. 전자의 경우가 ILRT 주기연장에 따라 위험도가 영향을 받게 되는 경우이며, 후자의 경우는 격납건물 건전성이 이미 상실되었기 때문에 ILRT 주기와는 상관없다. 올진 5,6 호기의 경우 표 1에서 보는 바와 같이 방사선원 분류중 1, 2, 15번에 해당하는 사고경위가 격납건물 누설에 의해 주민이 위험을 받는 경우로 파악되었다.

마지막으로 ILRT 주기연장에 따라 영향을 받는 사고경위가 파악되면, 이에 대한 위험도를 분석

한다. 이를 위해서는 발전소 주변의 인구, 풍속 및 기타 Level III PSA 수행에 필요한 각종 자료가 요구된다. 발전소 손상상태와 사고 진행군, 격납건물 비손상 혹은 우회 및 격납건물 격리실패 등을 포함하는 경우에 대하여 각 방사선원항 그룹의 빈도와 예상 결과 추이에 따라 위험도를 분석한다.

이와 아울러 본 분석에서는 격납건물 누설률 증가에 따른 위험도도 분석하였다. 분석방법으로서는 앞에서 언급하였듯이, 중대사고에 대한 사고경위중 ILRT에 의해 영향을 받는 사고경위에 대하여 대기로 방출되는 방사선원항의 양은 누설률에 비례한다는 가정하에 위험도를 분석하였다.

3. 가정사항 및 입력자료

3.1 가정사항

본 위험도분석에서 사용된 가정사항은 다음과 같다.

- 1) 평가대상지역은 16km(10mile)와 80km(50mile)내의 거주인구에 대해서 평가한다.
- 2) 사고후 16km 이내의 주민은 모두 소개(Evacuation)되는 것으로 가정한다.
- 3) 본 분석에서 고려되는 피폭경로는 통과하는 방사능 구름에 의한 외부피폭, 지표상에 침적된 방사성물질에 의한 외부피폭 및 방사능운의 흡입 및 음식물 섭취에 의한 내부피폭으로 나눌 수 있으며, 방사능운의 흡입에 의한 외부피폭은 흡입후 50년간 장기별 가중인자가 적용된 유효집적선량이고, 외부피폭에 의한 선량은 장기별 가중인자가 적용된 유효선량이다.
- 4) 방사능운 및 지표상에 침적된 방사성물질에 의한 외부피폭 선량환산인자와 호흡선량 환산인자는 MACCS 전산코드의 선량환산인자 파일에 내장된 값을 적용한다.
- 5) 수직확산계수는 Pasquill-Gifford curves에 근거하여 계산식 $\sigma_z = axb$ 에 근사한 결과를 얻기 위하여 대기안정도에 따라 아래 제시된 값이 적용된다.

대기안정도	a	b
A	2.47E-4	2.118
B	0.078	1.085
C	0.144	0.911
D	0.368	0.6764
E	0.2571	0.6720
F	0.184	0.6546

- 6) MACCS 전산코드에서 고려되는 각 핵종의 노심재고량은 울진 3,4 호기 열출력 2815 MWt로 운전시를 가정하였다.
- 7) 평가결과는 MACCS 전산코드에서 사고후 조기 건강효과(Early Health Effect)를 모델링하고 있는 EARLY 모듈과 지연 건강효과(Latent Health Effect)를 모델링하고 있는 CHRONC 모듈의 결과가 합해진 결과를 나타내었다.
- 8) 단일추정치(Point Estimate)로 제시된 결과는 Mean 값을 나타낸다..
- 9) 소외결말분석을 위해 추정인자는 다음 3가지 변수를 사용한다.
 - Total Latent Cancer Fatalities (LC : Number/RY) : 원자로 반경 50 mile 안에서 조기(Early) 및 지연(Chronic) 피폭에 의한 잠재적 암치사 숫자
 - Population Dose within 50 miles (PD : Person-rem/RY) : 원자로 반경 50 mile 안에서 조기 및 지연피폭으로 인해 받는 주민선량(Population Dose)
 - Individual Latent Cancer Risk within 10 miles (IL : /RY) : 원자로 반경 10마일안에 있는 임의의 개인이 피폭에 의하여 암에 걸릴 잠재적 위험도

3.2 울진 3,4 호기 Level II PSA 자료

원전의 위험도는 중대사고에 의한 노심손상빈도(Level I PSA), 중대사고 추이가 방사선원항 방출에 미치는 영향(Level II PSA), 마지막으로 방사선원항 방출로 인한 일반인에 대한 위험도평가(Level III PSA)를 수행함으로써 발전소의 안전성을 종합적, 정량적으로 평가할 수 있다. 일반적인

로, Level III PSA는 Level II PSA 결과인 사고유형에 따른 사고빈도, 방사선원, 방출열량, 방출고도 등의 자료와 각종 부지특성 자료를 이용하여 원전의 사고로 인한 대중과 환경에 미치는 영향을 평가한다. 즉, Level III PSA는 Level II PSA 결과인 사고유형에 따른 사고빈도, 방사선원, 방출열량, 방출고도 등의 자료와 각종 부지특성 자료를 이용하여 원전의 사고로 인한 대중과 환경에 미치는 영향을 평가하게 된다.

Level III PSA를 위해서는 사고상황을 특징짓는 방사선원항 변수를 필요로 하며, 방사선원항변수로는 각 방출군에 대한 발생빈도, 방출시점, 방출기간, 방출에너지, 방출높이, 그리고, 방출분율이 포함된다. 울진 3,4 호기 Level II PSA 수행결과로 구해진 15개 방사선원항 그룹에 대한 방사선원항 자료를 활용하였다. 표 1은 기본 경우(Base Case)로서, 설계 격납건물 누설율 0.2%의 10배인 2.0%의 누설률에 대하여 MAAP4 전산코드로 분석한 방사선원항을 나타내고 있다. 기본 경우의 방사선원항중 격납건물 누설율의 직접적인 영향을 받는 방출군인 STC1, STC2, STC15 방출군에 대해서 격납건물 누설율을 설계 기준인 0.2 %/일 로 고려한 방사선원항을 저누출 방사선원항으로 하여 분석하였다.

3.3 기상자료

기상자료는 울진원전 부근의 기상특성을 사실적으로 반영하기위해 '91년부터 '95년까지 울진원전 부지 인근의 울진기상관측소에서 측정된 데이터를 매 1년씩 8760시간 단위로 사용하였으며, 연도별 기상변화에 따른 주민위해도 민감도 분석을 수행했다. '91년부터 '95년까지의 풍향변화를 16 Sector(22.5 °)로 분석한 결과 울진 기상자료의 풍향변화의 추이는 정동쪽과 북동동, 남동동 쪽으로, 즉 주민이 거주하지 않는 바다방향으로 불어나가는 바람의 빈도가 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 아울러 소외선량에 결정적인 영향을 갖는 대기확산인자 (X/Q)에 대해 결정론적 방법으로 계산된 결과를 표 2에 정리하였다.

3.4 인구 및 지역특성 자료

울진원전 주변의 인구분포자료는 울진 3,4 호기 최종안전성 분석 보고서에 제시된 울진원전 반경 80 km(50 mile)까지의 '98년도 인구추정치 자료를 사용하였고 표 3에 명시하였다. 주민이 거주하는 구역내의 인구밀도는 평방 마일당 대략 126명으로 추정되었다. 또한 섭취경로 피폭에 중요한 인자인 농작물 재배면적 분포와 지표수 분포면적은 울진원전 주변 지역지도를 참고하되 보수적으로 가정하였다.

4 분석결과

4.1 누설률 증가에 따른 위험도영향 평가

MACCS 전산코드는 관심있는 소외결말 측정인자의 크기와 그것의 기상-근거(Meteorology-based) 확률을 각 방출군에 대해서 각각의 보상 누적 분포함수(Complementary Cumulative Distribution Function : CCDF) 형태로 출력된다. 따라서, 모든 방출군에 대한 소외결말 측정인자의 조건부 CCDF는 각 방출군의 발생빈도를 가중(Weighted-Frequency)하여 구한다. 그리고, 방사선원항 방출군의 발생빈도 및 방사선원항과 결합하여 소외결말의 크기를 정하는 부지기상변화의 확률이 여러 가지 Percentile과 Mean CCDFs를 만드는 데 이용된다. CCDF분포는 소외결말 측정인자 크기를 초과할 확률을 나타낸다. 본 평가에서는 위에서 고려한 세가지 측정인자들의 Mean CCDF로 위험도를 계산하였다.

울진 3,4 호기의 기본 경우 누설률(2.0 %/일)과 설계 기준 누설률(0.2 %/일)에 대한 방사선원항 평가결과는 Level II PSA 결과인 MAAP4 분석 방사선원항 자료를 MACCS 입력자료로 바꾸어 '91년도부터 '95년도까지 울진 기상자료를 사용하여 분석하였으며, 그 결과는 표 4에 정리되어 있다. 울진 3,4 호기에 대하여 누설률이 0.2 %/일 인 경우와 2.0 %/일 인 경우를 MACCS 전산코드로 분석한 결과인 총 잠재적 암치사 변화를 그림 1 및 2에 나타내었다. 가장 보수적인 값으로 '92년 기상 데이터를 사용하여 울진 3,4 호기에 해당하는 위험도영향 평가 결과를 구하였으며 계산된

값을 표 5에 나타내었다. 그림 3에서 보듯이 올진 3,4호기의 격납건물 누설률증가에 따른 위험도 증가는 NRC의 안전목표를 충분히 만족시킴을 보여주고 있고 미국의 Surry, Zion 발전소의 위험치 보다 낮은 값을 보여주고 있다.

4.2 ILRT 주기연장에 따른 위험도영향 평가

ILRT 주기연장에 대한 총 원자로 사고 위험도는 다양한 누설 경로의 기여도에 대한 합으로 표시되며 위험도 정량화에 관한 식은 다음과 같이 표시된다.

$$\text{Risk(BL)} = \Delta \text{Risk(NL)} + \Delta \text{Risk(CF)} + \Delta \text{Risk(CB)} + \Delta \text{Risk(IF)}$$

여기에서, BL = 기본경우(Baseline)

NL = 정상누설(Nominal Leakage)

CF = 격납건물 파손(Containment Failure)

CB = 격납건물 우회(Bypass Containment)

IF = 격납건물 격리실패(Isolation Failure)

위의 식에서, 격납건물 누설률의 변화는 단지 격납건물의 건전성이 유지되는 사고 시나리오로 인한 위험도 증가에만 기여하게 된다.

$$\text{Risk(주기연장)} = [\text{Risk(BL)} - \Delta \text{Risk(NL)}] + \Delta \text{Risk(주기연장)}$$

위의 식은 단순히 현행 Appendix J 요건하에서의 정상 누설과 관련된 위험 기여도를 ILRT 주기연장시 증가되는 격납건물 누설률로 인하여 증가된 위험 기여도로 대체한 것이다. 위험도는 확률과 결과의 곱이므로 Risk(Alt)는 다음과 같이 표현된다.

$$\text{Risk(Alt)} = [\text{Risk(BL)} - \Delta \text{Risk(NL)}] + \Delta \text{Probability(Alt)} \times \text{Consequence(Alt)}$$

표 5에서 보는 바와 같이 올진 3,4 호기 대한 MACCS 전산코드 수행결과 결과, 기본 경우 위험도(50 mile 이내)는 0.449 인·렘/년 으로 계산되었다. 격납건물의 우회 혹은 파손을 포함하지 않는 “누설” 시나리오(STC 1, 2, 15에 해당)로 인한 총위험에 대한 기여도는 격납건물 누설률을 2%/일로 가정한 경우 0.05065 인·렘/년 으로 나타났다. 현행 ILRT 주기인 5년에 1회를 10년에 1회로 연장할 경우 발생하는 위험도영향은, 누설 탐지 가능성이 감소하는 것으로 나타난다. 즉, ILRT에 의해서만 탐지되는 누설의 특정 크기는 변하지 않지만, 시험간의 주기가 길어짐에 따라 누설확률은 변하게 된다. 현행 ILRT 주기인 5년에 1회 동안 누설이 탐지될 수 있는 평균시간은 2.5년(5년/2)인데, 주기를 10년에 1회로 연장하면 누설 탐지 평균시간은 5년(10년/2)으로 증가하여 2배의 증가를 가져온다. 그러나, ILRT가 전체 시험 중 3% 만을 탐지한다는 NUREG-1493의 연구 결과를 적용하면 전체적인 누설 확률은 6% (2×3%) 정도 증가하게 된다. 이러한 자료들을 위험도 정량화식에 대입하여 올진 3,4 호기 ILRT 주기연장안에 관련된 위험도를 구한다.

$$\text{Risk(ucn 3,4)} = [\text{Risk(BL)} - \Delta \text{Risk(NL)}] + \Delta \text{Risk(Alt 4)}$$

위식에서, Risk(BL)=0.449(인·렘/년), Risk(NL)=0.05065(인·렘/년) 으로 구해졌기 때문에, 올진 3,4 호기 주기연장안에 대한 위험도는

$$\text{Risk(ucn 3,4)} = (0.449 - 0.05065) + (1.06 \times 0.05065) = 0.452 \text{ 인·렘/년}$$

이며, 위험도의 증가율 퍼센티지는

$$[(0.452 - 0.449) \div 0.449] \times 100 \cong 0.67 \%$$

로 나타난다. 위 결과는 NUREG-1493의 평가 결과 범위인 0.02% ~ 0.14% 보다 약간 높은 수치이지만, NUREG-1493의 수치는 기본위험도가 전지역(1000 mile 이내)에서 구해진 값으로, 50 mile 이내에서 구한 올진 3,4 호기의 경우가 큰 것은 당연하다고 판단된다. 올진 3,4 호기 ILRT 주기연장(5년 → 10년에 1회)에 따른 위험도 변화는 절대 증가량 측면에서는 Surry 및 Zion 발전소의 경우보다 훨씬 작으며, 증가율은 약간 높은 수준에 해당된다고 볼 수 있다. 따라서, 올진 3,4 호기의 ILRT 주기연장으로 인한 위험도 증가는 미미하다고 결론지을 수 있다.

5. 결론

본 연구는 격납건물 ILRT 주기연장에 따른 위험도 분석을 한국형 표준원전인 울진 3,4 호기에 적용하여 수행한 것으로, 분석결과 ILRT 주기를 현행 5년에 1회에서 10년에 1회로 연장해도 위험도의 증가는 미미한 것으로 나타났다. ILRT에 의해서만 탐지되는 잠재적 누설경로의 사건수는 극히 적으며, 이러한 경우의 격납건물 누설률은 규제 제한치에 충분한 여유를 가지고 있기 때문에, 주기연장으로 인한 위험도 증가는 매우 작은 것으로 판단된다. 또한, 격납건물 누설률 증가에 의한 위험도 증가를 정량화한 결과, 격납건물 누설률을 현행 요건보다 수백배 크게 가정해도 누설률 증가로 인한 위험도 증가는 NRC의 안전목표를 충분히 만족시키고 있음을 알 수 있었다. 결론적으로 국내 원전의 ILRT 주기를 현행 5년에 1회에서 10년에 1회로 연장하는 제안은 타당한 것으로 판단된다.

표 1. MAAP 분석결과 방사선원항 (기본 경우 : 누설율 2.0%)

S T C	격납건물 파손유형	빈도 (/RY)	방출 시점 (HR)	방출 기간 (HR)	방출 높이 (M)	방출 E (W)	방출량											
							NG	CSI	TEO2	SRO	MOO2	CSOH	BAO	LA2O3	CEO2	SB	TE2	UO2
1	격납건물건전 (Tech.Spec Leak rate)	2.33E-6	3.62	25.14	9.	0.	1.60E-02	6.22E-05	0.0E+00	4.89E-07	1.08E-05	6.20E-05	5.02E-06	4.78E-07	9.45E-07	4.68E-05	0.0E+00	0.0E+00
2	격납건물건전 (Tech.Spec Leak rate)	3.4E-6	1.54	26.	9.	0.	1.43E-02	1.33E-04	0.0E+00	1.65E-07	3.49E-06	1.38E-04	1.09E-06	0.0E+00	1.27E-07	2.76E-05	1.62E-06	0.0E+00
3	Early Leak	1.3E-8	4.48	36.	9.	0.	9.7E-01	3.9E-03	4.0E-02	5.6E-05	1.7E-04	4.8E-03	9.7E-05	1.9E-05	8.1E-05	2.1E-02	1.7E-02	5.6E-07
4	Early Rupture	1.8E-8	4.48	36.	9.	0.	1.0E+00	3.0E-02	2.1E-01	1.9E-04	9.3E-04	3.6E-02	4.1E-04	8.7E-05	4.1E-04	1.0E-01	8.2E-02	3.2E-06
6	Late Leak	2.9E-7	72.	36.	9.	0.	9.4E-01	2.4E-03	0.0E+00	4.4E-04	1.1E-03	1.7E-03	1.0E-03	1.5E-04	4.3E-04	1.6E-02	0.0E+00	0.0E+00
8	Late Leak	1.61E-7	73.61	36.	9.	0.	9.4E-01	1.7E-03	1.5E-02	3.0E-05	6.9E-06	2.3E-03	2.4E-05	3.5E-06	9.7E-06	2.5E-03	3.2E-04	3.9E-08
10	Late Rupture	1.46E-7	72.	36.	9.	0.	1.0E+00	4.9E-03	0.0E+00	4.6E-04	2.5E-03	5.6E-03	1.9E-03	2.7E-04	8.0E-04	2.7E-02	0.0E+00	0.0E+00
12	Late Rupture	7.8E-8	88.17	36	9.	0.	9.6E-01	8.9E-04	1.3E-02	3.1E-05	6.9E-06	2.1E-03	2.5E-05	3.5E-06	9.8E-06	2.5E-03	3.1E-04	4.2E-08
13	Basemet Melt	1.62E-7	116.5	22.	0.5	0.	9.2E-01	9.7E-04	5.3E-02	1.7E-05	4.2E-06	6.8E-04	1.7E-05	3.0E-06	5.5E-06	1.3E-02	4.8E-03	7.2E-08
14	α -mode failure	7.33E-9	2.37	36.	26.8	0.	9.6E-01	9.4E-01	0.0E+00	1.6E-03	1.1E-01	9.4E-01	1.9E-02	4.0E-04	5.9E-03	1.4E-01	0.0E+00	0.0E+00
15	격납건물건전 (Tech.Spec Leak rate)	4.92E-7	5.82	66.18	9.	0.	6.31E-02	2.31E-04	0.0E+00	1.32E-05	1.98E-04	3.68E-04	8.68E-05	9.61E-06	1.86E-05	6.32E-04	0.0E+00	0.0E+00
16	Isolation Failure	5.4E-9	0.9	39.32	9.	0.	1.0E+00	2.6E-02	0.0E+00	2.3E-05	3.8E-04	2.7E-02	1.4E-04	1.8E-05	2.6E-05	1.5E-02	0.0E+00	0.0E+00
17	Isolation Failure	2.76E-9	0.91	39.04	9.	0.	9.5E-01	1.3E-01	6.5E-02	7.6E-04	1.6E-02	1.3E-01	6.3E-03	4.6E-04	1.1E-03	7.7E-02	1.9E-04	1.3E-07
18	IS-LOCA	1.2E-9	3.56	40.01	14.7	0.	3.0E-01	2.4E-03	0.0E+00	1.2E-05	2.9E-05	3.2E-03	1.4E-05	2.0E-06	4.3E-06	1.6E-03	0.0E+00	0.0E+00
19	SGTR	1.19E-6	3.2	39.1	9.	0.	9.5E-01	1.3E-01	0.0E+00	8.6E-04	4.6E-02	1.3E-01	1.4E-02	1.9E-04	7.1E-04	4.9E-01	0.0E+00	0.0E+00

표 2. 결정론적 방법에 의하여 계산된 정상 및 사고시 대기확산인자

대기 확산인자	1991	1992	1993	1994	1995
정상운전	8.593E-6	9.711E-6	9.813E-6	1.079E-5	1.328E-5
사고시	4.893E-4	4.933E-4	4.955E-4	4.974E-4	5.002E-4

* 상기 결과는 울진기상관측소 자료를 이용하여 원전반경 500m로 가정하여 계산됨.

표 3. '98년도 울진원전 주변 인구분포

방향	거리 (km)										총인구
	0.0-1.6	1.6-3.2	3.2-4.8	4.8-6.4	6.4-8.0	8.0-16	16-32	32-48	48-64	64-80	
N	6	-	-	-	-	-	2	-	-	-	8
NNE	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
NE	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
NEE	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
E	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
SEE	17	24	-	-	-	-	-	-	-	-	41
SE	25	555	931	224	-	-	-	-	-	-	1,735
SSE	25	398	1,044	1,270	555	529	2	154	-	-	3,977
S	25	153	1,037	1,233	688	3,981	5,971	11,588	15,394	4,656	44,726
SSW	25	174	825	632	578	4,767	3,077	5,921	13,276	8,994	38,269
SW	25	75	126	176	264	2,278	932	4,245	8,080	10,109	26,310
SWW	25	75	126	176	226	1,417	1,685	5,787	16,431	26,403	52,351
W	25	75	126	176	226	1,311	9,225	35,428	9,621	16,097	72,310
NWW	25	75	126	176	226	1,205	9,682	31,079	19,128	20,447	82,169
NW	25	75	126	176	210	1,342	3,957	6,179	16,519	11,491	40,100
NNW	20	38	102	144	121	884	4,134	41,214	84,218	8,258	139,133
총인구	283	1,717	4,569	4,383	3,094	17,714	38,667	141,595	182,667	106,455	501,144

표 4. 울진 3,4 호기 MACCS 전산코드 분석결과

측정인자	년도	기본 경우 (2.0%/일)					평균
		'91	'92	'93	'94	'95	
총 잠재적 암치사 (/RY)		2.08E-4	2.11E-4	1.85E-4	2.05E-4	2.09E-4	2.036E-4
주민선량 (인·렘/Ry)		4.42E-1	4.49E-1	3.98E-1	4.39E-1	4.45E-1	4.3462E-1
10 mile 이내에서의 개별 잠재적 암위험도 (/RY)		5.98E-10	7.32E-10	4.83E-10	7.19E-10	5.39E-10	6.142E-10
측정인자	년도	설계 기준 누설률(0.2%)					평균
		'91	'92	'93	'94	'95	
총 잠재적 암치사 (/RY)		1.92E-4	1.90E-4	1.71E-4	1.88E-4	1.89E-4	1.86E-4
주민선량 (인·렘/Ry)		4.08E-1	4.04E-1	3.67E-1	4.02E-1	4.04E-1	3.97E-1
10 mile 이내에서의 개별 잠재적 암위험도 (/RY)		5.25E-10	6.75E-10	4.36E-10	6.67E-10	4.93E-10	5.592E-10

표 5. 울진 3,4 호기 위험도 분석결과 ('92년 기상자료 사용)

측정인자	설계기준누설률 (0.2 %/일)	기본경우 (2.0 %/일)	고누설률 (20 %/일)
총 잠재적 암치사(/RY) (in 50 mile)	1.90E-4	2.11E-4	4.24E-4
주민선량 (person-rem/Ry) (in 50 mile)	4.04E-1	4.49E-1	8.97E-1
개별 잠재적 암위험도(/RY) (in 10 mile)	6.75E-10	7.32E-10	1.28E-9

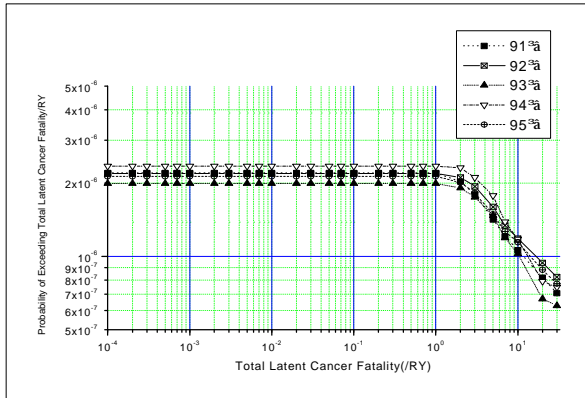


그림 1. Total Latent Cancer Fatality within 80km 기본 경우 : 누설률 2 %/일

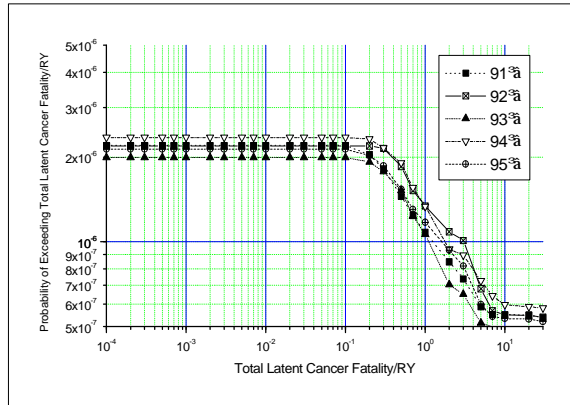


그림 2. Total Latent Cancer Fatality within 80km (설계 기준 누설률 : 0.2 %/일)

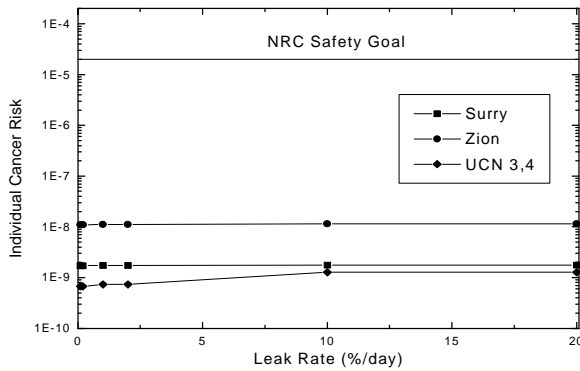


그림 3. 울진 3,4 호기와 Surry 및 Zion 발전소의 개별 잠재적 암위험도 비교

참 고 문 헌

1. Mullen, M. F., et al., "Review of Light Water Reactor Regulatory Requirements," Pacific Northwest Laboratory, NUREG/CR-4330, PNL-5809, Vol. 2, June 1986.
2. "Severe Accident Risk : An Assessment for Five U.S. Nuclear Power Plants, Final Summary Report," NUREG-1150, December 1990.
3. "Performance-Based Containment Leak-Test Program," NUREG-1493, January 1995.
4. "울진 원자력발전소 3,4 호기 최종 안전성 분석 보고서," 한국전력공사, 1993.
5. "Ulchin Unit 3&4 Final Probabilistic Safety Assessment Report," Vol. 5, KEPCO, 1998.
6. U.S. Nuclear Regulatory Commission, "Reactor Safety Study," WASH-1400, NUREG/75/014, Washington, D.C., 1975.
7. "울진 3,4 호기 2단계 PSA 심사질의서에 대한 별도 보고서," KAERI, 1997.
8. "UCN 3,4 Main IPERS Review Meeting의 Issue No. RG-004에 대한 답변서," KAERI, March, 1997.
9. "MELCORE Accident Consequence Code System Model Description," NUREG/CR-4691, Vol 2, 1990, SNL

