

2004 춘계학술발표회 논문집
한국원자력학회

영광 3,4호기 격납건물 종합누설률 시험 주기연장에 따른
사전 위험도 분석

Pre-Risk Analysis for Containment ILRT Interval Extension
of YGN Unit 3,4

서미로

한국전력공사 전력연구원
대전광역시 유성구 문지동 103-16

한병섭, 김기용

(주) 액트
대전광역시 유성구 신일동 1688-5

요 약

국내 원전의 격납건물 종합누설률 시험주기는 1998년 울진 3,4 호기를 대상으로 수행되었던 국내 원자력발전소 격납건물 종합누설률 시험주기 연장 시범 연구결과에 의하여 위험도 영향 평가 결과 안전성이 타당한 것으로 입증될 경우 10년에 1회로 연장이 가능하게 되었다. 그러나, 2회 이상의 가동중 시험 이력과 위험도 평가를 위한 확률론적 안전성 평가 모델의 부재로 국내의 경우 실제 연장을 수행된 경험은 아직 없다. 본 연구는 시험주기가 도래하였고, 연장을 위한 제반 조건이 갖추어진 영광 3,4호기의 실제적인 시험주기 연장 및 기술운영지침서를 개정하기 위한 과제 착수전 사전 위험도 영향 평가 결과를 기술하였다.

Abstract

The integrated leak rate test intervals for domestic nuclear power plants can be extended as long as appropriate level of safety is ensured, and such ILRT interval extension became possible based on the pilot research results for UCN 3 and 4 ILRT interval extension. However, there was no real experience of ILRT interval extension because of the absence of more than 2 times of online test experiences and the absence probabilistic safety assessment model for risk evaluation. In this study, it was described that the preliminary risk impact evaluation results before the commencement of the project to extend the ILRT interval and to

improve the Technical Specifications for YGN 3 and 4, for which the ILRT will be performed in time and the prerequisite conditions were satisfied.

1. 서론

격납건물 종합누설률시험(Integrated Leakage Rate Test ; ILRT)은 누설시험 수행기간에 다른 어떠한 원자로 보수작업도 수행할 수 없는 특성이 있어, 원전 운영자에게 막대한 부담을 부여해 왔다. 반면, ILRT 수행 이력 검토 결과, 시험의 유용성은 미미한 것으로 나타나 ILRT 수행의 유효성 여부가 논란이 되어왔다. 이에 따라 미국 원자력위원회(NRC)는 기존 확률론적 안전성 평가(Probabilistic Safety Assessment ; PSA) 결과인 NUREG/CR-4330과 NUREG-1150을 기반으로 NUREG-1493 “성능기반 격납건물 누설 시험 프로그램” 연구를 수행하였으며, 1995년에 10 CFR Part 50 Appendix J에 Option B 조항을 신설함으로써 격납건물의 성능에 근거하여 ILRT 주기를 10년에 3회에서 10년에 1회로 연장 수행할 수 있는 선택권을 사업자에게 부여하였다. 2001년 11월에는 Nuclear Energy Industry에서 “Interim Guidance for Performing Risk Impact Assessments In Support of One-Time Extensions for Containment Integrated Leakage Rate Test Surveillance Intervals” 문서를 발간하여 별도의 발전소 인허가 개정 절차없이 15년으로 주기를 연장하고 있는 상태이다.

국내의 경우, 격납건물 종합누설률 시험주기는 5년 주기로 수행하고 있으나, 핵연료 교체 주기가 12개월에서 18개월로 증가됨에 따라 ILRT 시험주기 준수를 위한 조기 실시가 빈번히 발생하는 문제가 발생하고 있다. NUREG-1493에서 지적한 바와 같이 이는 경제적인 측면에서는 발전소 정지 기간 및 ILRT 시험 준비로 인한 인력 등을 고려할 때, 사업자에게 막대한 경제적 손실을 유발시키고 있으며, ILRT 수행시 격납건물을 고압으로 가압하여 수행함으로써 인하여 격납건물의 건전성과 기기들의 피로도를 증가시켜 안전성을 저해시키는 문제점을 발생시키고 있다. 이에 따라 국내에서는 1998년 NUREG-1493의 방법론을 따라 울진 3,4호기를 대상으로 ILRT 주기연장과 누설률 증가에 따른 위험도 영향을 분석한 바 있다. 이 분석 결과를 토대로 2001년 10년 주기로 연장할 수 있도록 과기부 고시가 개정되었으며, 주기연장의 조건은 다음과 같다.

1) 종합누설률시험의 주기연장에 따른 안전성 영향 평가

2) 최근 2회 이상의 가동중 종합누설률시험 결과

3) 상기 2)에 해당하는 기간의 국부누설률시험 결과 및 격납용기 누설 관련 운전이력

그러나, 2회 이상의 가동중 시험 이력과 위험도 평가를 위한 확률론적 안전성 평가 모델의 부재로 국내의 경우 실제 연장을 수행된 경험은 없었다. 최근에 들어 2회 이상의 ILRT 시험결과를 보유한 국내 가동중원전의 확률론적 안전성평가 재평가 작업이 수행되어 새로운 확률론적 안전성 평가 모델이 구축되고 있어 ILRT 주기연장을 위한 기술운영 지침서 개정작업이 조만간 착수될 것으로 판단된다.

본 연구에서는 ILRT 주기가 조만간 도래하고 ILRT 주기 연장을 위한 조건이 충족되어 있는 영광 3,4 호기를 선정하여 ILRT 주기연장을 위한 예비 평가를 수행하였다. 주민의 위험도분석을 위하여 MACCS II (MELCOR Accident Consequence Code System) 전산 코드를 사용하였다. 영광 3,4 호기 PSA 방사선원항 자료와 영광원전 반경 80 Km의 1992 년도 인구분포 자료 및 영광원전에서 측정된 기상자료를 이용하여 평가를 수행하였으며, ILRT 주기연장에 의한 위험도 영향을 고려하기 위하여 주민선량을 위험도 측정인자로 선정하였다.

2. 분석범위 및 방법

격납건물 ILRT 주기연장 따른 위험도영향 평가는 다음과 같은 단계로 수행하게 된다

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

먼저 격납건물 ILRT의 유용성은 LLRT(Local Leakage Rate Test) 수행시 누설을 발견하지 못하였거나 LLRT 시험대상 이외의 부위에서 누설이 발생하는 경우를 ILRT에 의해 찾아내는 것이다. NUREG-1493에 따르면 LLRT는 성공하였는데 ILRT가 실패한 경우는 전체의 3%로 나타나고 있다. 따라서 ILRT의 유용성은 ILRT 수행으로 인한 위험도 방지 확률인 3%라 할 수 있으며, 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 : $0.03 \times 10/5 = 0.06$

다음으로, ILRT 주기 연장과 위험도와의 상관 관계를 분석하기 위해서 격납건물 성능 저하에 따른 주민의 위험도 영향을 평가해야 한다. ILRT 주기가 연장되면 격납건물의 성능이 떨어지게 되며 누설가능성이 증가되므로 중대사고시에는 주민에 대한 위험도가 증가하게 된다. 따라서 PSA 결과중 노심의 손상에 관계없이 격납건물의 건전성이 상실되어 주민 위협을 야기시키는 상태는 ILRT 주기 연장으로 인한 위험도와 관계가 없다. 격납건물의 건전성이 유지되는 상태에서는 오직 격납건물 누설에 의해서만 방사선물질이 주민에게 전파되므로 ILRT 주기연장에 따라 위험도가 영향을 받는다. 영광 3,4 호기의 경우 표 1에서 보는 바와 같이 방사선원 분류중 STC 1, 2, 15번에 해당하는 사고경위가 격납건물 누설에 의해 주민이 위협을 받는 경우로 파악되었다.

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

3. 가정사항 및 입력자료

3.1 가정사항

본 위험도분석에서 사용된 가정사항은 다음과 같다. 위험도 영향에 대한 고찰 및 문제점의 사전 도출이라는 목적을 가진 사전 분석이기 때문에 발전소 고유 자료들은 현재 이용 가능한 자료들을 최대한 활용하였으며, 실제 ILRT 주기연장을 위한 위험도 분석을 시도할 경우

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

<u>대기안정도</u>	<u>a</u>	<u>b</u>
A	2.5E-4	2.125
B	0.0019	1.6021
C	0.2	0.8543
D	0.3	0.6532
E	0.4	0.6021
F	0.2	0.6020

- 6) MACCS II 전산코드에서 고려되는 각 핵종의 노심재고량은 영광 3,4 호기 FSAR에 따라 가정하였다.
- 7) 단일추정치(Point Estimate)로 제시된 결과는 Mean 값을 나타낸다.
- 8) 원자로 반경 80 km 안에서 조기 및 지연피폭으로 인해 받는 주민선량(Population Dose ; PD)을 위험도 측정인자로 고려한다.

3.2 영광 3,4 호기 Level II PSA 자료

원전의 위험도는 중대사고에 의한 노심손상빈도(Level I PSA), 중대사고 추이가 방사

선원항 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. ILRT 주기연장으로 인한 위험도 평가는 격납건물 누설에 따라 주민이 방사선에 피폭되는 경우로 소외결말분석 수행이 요구된다. 따라서, 소외결말분석은 Level II PSA 결과인 사고유형에 따른 사고빈도, 방사선원, 방출열량, 방출고도 등의 자료와 각종 부지특성 자료를 이용하게 되며 사고 상황을 특징짓는 방사선원항 변수를 필요로 한다. 방사선원항 관련 자료인 핵종그룹별 방출분율은 영광 3,4호기의 IPE(Individual Plant Examination) 결과를 활용하였으며, 표 1과 같다. 또한, 영광 3,4호기 IPE에서 정의된 19개 방사선원 논리도는 그림 1과 같다. 기본 경우의 방사선원항중 격납건물 누설률의 직접적인 영향을 받는 방출군은 STC1, STC2, STC15 방출군이다.

3.3 기상자료

기상자료는 영광원전 부근의 기상특성을 사실적으로 반영하기 위해 영광원전 부지 주변 기상탑에서 측정된 1992년 자료를 사용하였다. 영광 기상자료의 풍향변화의 추이를 파악하기 위해 풍향변화에 대하여 16개의 방위각으로 분석한 결과 주민이 거주하는 내륙 방향으로 불어나가는 바람의 빈도가 높게 나타나는 것을 알 수 있다.

3.4 인구 및 지역특성 자료

영광원전 주변의 인구분포자료는 영광 3,4 호기 최종안전성 분석 보고서에 제시된 영광원전 반경 80 km까지의 1992년도 인구분포 자료를 사용하였으며, 표 2에 명시하였다.

4. 분석결과

4.1 소외결말분석 결과

MACCS II 전산코드는 관심있는 소외결말 측정인자의 크기와 그것의 기상-근거 확률을 각 방출군에 대해서 각각의 보상 누적 분포함수(Complementary Cumulative Distribution Function : CCDF) 형태로 출력한다. 따라서 모든 방출군에 대한 소외결말 측정인자의 조건부 CCDF는 각 방출군의 발생빈도를 가중하여 구한다. 그리고 방사선원항 방출군의 발생빈도 및 방사선원항과 결합하여 소외결말의 크기를 정하는 부지기상변화의 확률이 측정인자인 주민선량의 Mean CCDFs를 만드는 데 이용된다.

영광 3,4 호기에 대하여 누설률이 설계기준 누설률의 10배인 2.0 [%/일] 인 경우를 기본경우로 하여 MACCS II 전산코드로 분석한 결과를 표 3과 4에 나타내었다. 반경 80 km 에서의 주민선량은 $1.63E+05$ Sv 로 계산되었다

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 대치한 것이다. 위험도는 확률과 결과의 곱이므로 Risk(주기연장)는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \text{Risk(주기연장)} = & [\text{Risk(BL)} - \Delta \text{Risk(NL)}] \\ & + \Delta \text{Probability(주기연장)} \times \text{Consequence(주기연장)} \end{aligned}$$

영광 3,4 호기 대한 MACCS II 전산코드 수행결과 결과, 기본 경우 위험도(80 km 이내)는 1.63E+05 [person · Sv] 으로 계산되었다. 격납건물의 우회, 혹은 파손을 포함하지 않는 “누설” 시나리오(STC 1, 2, 15에 해당)로 인한 총위험에 대한 기여도는 격납건물 누설률을 2%/일 로 가정한 경우 1.57E+04 [person · Sv] 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 연구결과를 적용하면, 전체적인 누설 확률은 6% (2×3%) 정도 증가하게 된다. 이러한 자료들을 위험도 정량화식에 대입하여 영광 3,4 호기 ILRT 주기연장에 관련된 위험도를 구한다.

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

위 식에서, Risk(BL)=1.63E+05, Risk(NL)=1.57E+04 으로 구해졌기 때문에, 영광 3,4 호기 주기연장안에 대한 위험도는

$$\text{Risk(YGN 3,4)} = (1.63E+05 - 1.57E+04) + (1.06 \times 1.57E+04) = 1.6394E+05$$

이며, 위험도의 증가율은

$$[(1.6394E+05 - 1.63E+05) \div 1.63E+05] \times 100 \cong 0.58 \%$$

로 나타난다. 위 결과는 올진 3,4 호기 시범분석시 계산된 0.67%와 비슷한 값을 보이고 있다.

5. ILRT 주기연장을 위한 위험도 평가 Insight

5.1 위험도 증가율

ILRT 주기연장에 따른 위험도 증가율은 다음과 같이 구해진다.

$$\frac{Risk(\text{주기연장}) - Risk(BL)}{Risk(BL)} \times 100 = \frac{\Delta Risk}{Risk(BL)} \text{-----}(1)$$

여기에서 $\Delta Risk$ 는 ILRT 주기연장으로 인한 위험도 변화량을 나타내고 있으며, 위험도 증가율은 $\Delta Risk$ 뿐만 아니라 $Risk(BL)$ 의 영향도 받게 된다. 따라서 위험도 증가율에 대한 의미를 알기 위해서는 두 가지를 모두 고려하여야 한다. 즉, $\Delta Risk$ 와 $Risk(BL)$ 의 차이가 클수록 위험도 증가율은 작아지고 차이가 작을수록 증가율은 크게 나타난다. $\Delta Risk$ 가 동일한 경우 위험도 증가율은 ILRT 주기연장을 하지 않았을 경우의 위험도(기준 위험도)인 $Risk(BL)$ 이 상대적으로 큰 원전의 위험도 증가율이 작게 나타난다. 대부분의 경우 위험도 증가에 영향을 미치는 것은 격납건물이 손상되는 사고이고 격납건물의 건전성이 유지되는 경우 방사선원향 방출빈도가 낮기 때문에 ILRT 주기연장으로 인한 위험도의 증가는 작을 수밖에 없다. 결국 위험도 증가율로 위험도 자체를 판단할 경우 기본 위험도가 높아서 발전소의 안전성 개선이 시급한 발전소일수록 위험도가 낮게 나타나는 것이다. 이러한 사실은 이미 1999년도 추계원자력학술대회에서 발표한 “Development of Acceptance Criteria for ILRT Interval Relaxation Applying the RG 1.174” (1999.10, 서미로, 김명기) 논문에 지적되어 있으며, 이 논문에서 다양한 민감도 분석을 통해 기준 위험도가 높을수록 위험도 증가율이 낮아 주기연장에 유리하다는 것을 지적한 바 있다.

5.2 위험도 허용기준

위에 기술한 내용은 위험도 평가 결과를 단순히 위험도 증가율만으로 판단할 경우의 문제점을 명확히 보여주고 있는 사실로 기본 위험도가 낮은 발전소일수록 위험도 증가율은 크게 나타난다는 문제를 지적하고 있다. 이러한 문제는 Risk-Informed Application을 주도하고 있는 미국에서 PSA Dilemma로 이미 지적되어 왔던 문제로써 NRC는 1998년 7월에 발간된 Regulatory Guide 1.174 " An Approach for Using Probabilistic Risk Assessment in Risk-Informed Decisions on Plant-Specific Changes to the Licensing Basis"에서 그림 2와 같은 Acceptance Criteria를 제시하고 있다. RG 1.174의 허용기준은 위험도 정보를 활용하여 현행 인허가 기준을(current licesing Basis ; CLB)변경하고자

할 경우, 발전소의 기본적인 위험도(CDF 및 LERF)와 CLB 변경으로 인한 위험도 증가를 동시에 고려하기 위한 것으로, CLB 변경으로 인하여 증가되는 위험도를 계산하고, 계산된 위험도를 3개의 Region으로 나누어 각기 다른 허용 기준을 세우고 있다. Region III의 경우, 즉 CLB 변경으로 인한 ΔCDF 가 10^{-6} 이하이거나 $\Delta LERF$ 가 10^{-7} 이하이면 Total CDF의 계산이 요구되지 않으며, 위험도의 증가가 매우 작은 것으로 판단할 수 있으며, CLB 변경상의 상당한 유연성을 제공받게 된다. 단, CDF가 10^{-4} 이상인 발전소에서는 Total CDF를 감소에 집중적인 요구를 받게 된다. Region II의 경우(즉, $10^{-6} < \Delta CDF < 10^{-5}$, $10^{-7} < \Delta LERF < 10^{-6}$)는 CDF가 10^{-4} , LERF가 10^{-5} 이하인 경우에만 위험도 변화가 작다고 판단되어 허용이 고려될 수 있다. Region I의 경우 CLB의 변경이 허용되지 않는다. 그러나, 허용이 허가된 Region에 대하여 누적효과의 추적 및 불확실성에 대한 고려를 요구하고 있다.

이러한 허용기준은 기본위험도가 높은 발전소로 하여금 위험도 정보를 활용한 규제 최적화 이전에 기본 위험도를 낮출 방안을 강구할 수 있도록 하며, 기본 위험도가 낮은 발전소는 안전성 향상에 노력한 댓가로 원전 운영의 유연성을 부여하여 지속적인 발전소 안전성 및 경제성 확보가 가능하게 한다. 따라서 국내의 경우도 조속한 시일안에 합리적인 기준을 가진 위험도 허용기준이 수립되어야 할 것으로 판단된다.

6. 결론

국내 ILRT 주기는 과기부 고시의 변경으로 10년까지 연장될 수 있지만 그동안 기반이 없어서 실제 인허가 개정 작업이 수행되지 못하였다. 그러나, 최근 가동중 원전 PSA 재평가를 수행하면서 ILRT 주기연장을 위한 조건들이 충족되어 가고 있으며, 조만간 국내 원전전의 ILRT 주기연장 연구가 시작될 것으로 보인다. 이에 따라 본 연구에서는 영광 3,4 호기 원전에 대하여 격납건물 ILRT 주기연장에 따른 예비 위험도 분석을 수행하였다. 예비 분석이기 때문에 분석결과에는 많은 제약이 있을 수 있다. 실제로는 재평가된 PSA 모델을 사용하여야 하고 인구 및 기상 데이터도 최근 자료로 재분석을 수행하여야 할 것이다. 예비 분석결과로도 ILRT 주기 연장에 따른 위험도의 증가는 미미한 것으로 나타났다. 그러나, 국내의 경우에는 안전성에 상당한 이목이 집중되어 있기 때문에 위험도를 어떠한 기준으로 판단할지에 대해 논란이 계속 이루어지고 있으며, 위험도 영향평가 자체보다도 이러한 위험도 허용기준과 같은 지침들이 우선적으로 개발되어야 할 것으로 판단된다.

표 1. MAAP 분석결과 방사선원항 방출목록의 핵종그룹별 방출비

핵종그룹	STC-3	STC-4	STC-6&10	STC-7&11	STC-8&12	STC-1&2&13
Noble Gases	1	1	1	1	1	0
Iodine	6.77E-02	2.22E-01	8.01E-03	8.41E-03	2.58E-02	0
Cesium	8.82E-02	2.23E-01	6.33E-03	1.14E-03	3.36E-02	0
Tellurium	1.07E-02	3.49E-02	1.71E-03	6.12E-04	3.71E-02	0
Barium	1.00E-03	3.29E-03	4.31E-03	1.08E-06	1.57E-02	0
Strontium	7.71E-04	2.52E-03	3.22E-05	8.05E-07	3.87E-03	0
Ruthenium	1.38E-03	4.51E-03	2.30E-08	5.75E-07	2.30E-05	0
Lanthanum	4.87E-04	1.59E-03	5.04E-07	1.30E-08	5.04E-07	0
Cerium	4.88E-04	1.60E-03	7.56E-07	1.90E-08	7.56E-07	0
핵종그룹	STC-14	STC-15	STC?16	STC-17	STC-18	STC-19
Noble Gases	1	1	1	1	1	7.41E-01
Iodine	6.95E-01	1.97E-01	5.02E-03	6.02E-02	3.59E-01	1.13E-01
Cesium	5.85E-01	1.29E-01	3.29E-03	3.95E-02	2.35E-01	9.24E-02
Tellurium	1.96E-01	3.59E-02	9.12E-04	1.09E-02	6.53E-02	9.27E-02
Barium	6.45E-03	1.18E-03	3.01E-05	3.61E-04	2.15E-03	1.46E-03
Strontium	4.02E-03	7.36E-04	1.87E-05	2.24E-04	1.34E-03	1.15E-03
Ruthenium	2.04E-03	3.74E-04	9.52E-06	1.14E-04	6.79E-04	8.21E-04
Lanthanum	1.00E-04	1.83E-05	4.66E-07	5.59E-06	3.33E-05	1.80E-05
Cerium	1.50E-04	2.75E-05	6.99E-07	8.39E-06	4.50E-05	2.55E-05

표 2. 1992년도 영광원전 주변 인구분포

방향	발전소로부터 거리 (km)									
	1.6	3.2	4.8	6.4	8.0	16.0	32.0	48.0	64.8	80.0
N	57	0	0	0	0	0	0	3297	707	707
NNE	0	60	41	40	204	700	6926	13878	46245	291577
NE	29	57	199	504	949	4318	17338	41967	108559	424938
ENE	1025	1051	276	626	1194	4738	16027	110307	41961	166189
E	495	294	703	1003	4777	3352	203	31809	46647	46647
ESE	102	673	230	580	674	5209	18301	81736	552453	35337
SE	3	1106	1938	549	707	6072	20376	88342	607201	50311
SSE	42	428	525	4860	1819	6845	24740	41277	90629	44715
S	31	294	723	144	108	5115	15459	28381	41587	253422
SSW	73	230	14	134	347	1734	6282	19960	15141	19122
SW	14	45	0	0	0	0	146	4801	1938	0
WSW	3	0	0	0	0	0	292	292	646	0
W	0	0	0	0	0	0	73	290	0	0
WNW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NW	0	0	0	0	0	0	286	857	0	0
NNW	0	0	0	0	0	0	1715	0	0	0

*

표 3. 영광 3,4 호기 MACCS II 전산코드 분석결과

방사선원 방출목록	사고빈도	건강영향 및 리스크			
		조기 사망자수	암 사망자수	조기사망 리스크	암사망 리스크
3	7.67E-08	9.51E+00	2.49E+03	2.11E-10	5.58E-09
4	4.36E-08	6.10E+01	3.43E+03	9.03E-10	6.32E-09
6	7.24E-07	3.40E-05	1.02E+03	6.33E-14	5.42E-09
7	3.68E-10	1.44E-05	6.58E+02	1.36E-17	1.85E-12
8	2.31E-06	2.00E+00	2.01E+03	1.33E-09	6.35E-08
10	4.61E-07	3.40E-05	1.02E+03	4.03E-14	3.45E-09
11	1.23E-10	1.44E-05	6.58E+02	4.52E-18	6.15E-13
12	1.47E-06	2.00E+00	2.01E+03	8.46E-10	4.03E-08
14	7.01E-08	2.12E+02	4.17E+03	5.14E-09	8.41E-09
15	2.19E-07	4.38E+01	2.73E+03	3.06E-09	1.37E-08
16	3.30E-08	5.10E-05	8.85E+02	4.32E-15	2.18E-10
17	7.37E-09	2.75E+00	2.04E+03	5.81E-12	2.12E-10
18	5.51E-09	8.92E+01	3.25E+03	1.77E-10	4.67E-10
19	1.21E-06	1.45E+02	3.18E+03	6.36E-08	9.78E-08
합				7.52E-08	2.45E-07

표 4. 영광 3,4 호기 MACCS II 전산코드 분석결과

STC GROUP NO.	POPULATION DOSE (SV) At 80 Km
3	5.23E+04
4	1.85E+04
6,10	2.52E+03
7,11	6.62E+02
8,12	8.71E+03
14	2.09E+04
15	1.57E+04
16	1.46E+03
17	9.48E+03
18	1.78E+04
19	1.46E+04
SUM	1.63E+05

그림 1. 영광 3,4 호기 방사선원 논리도

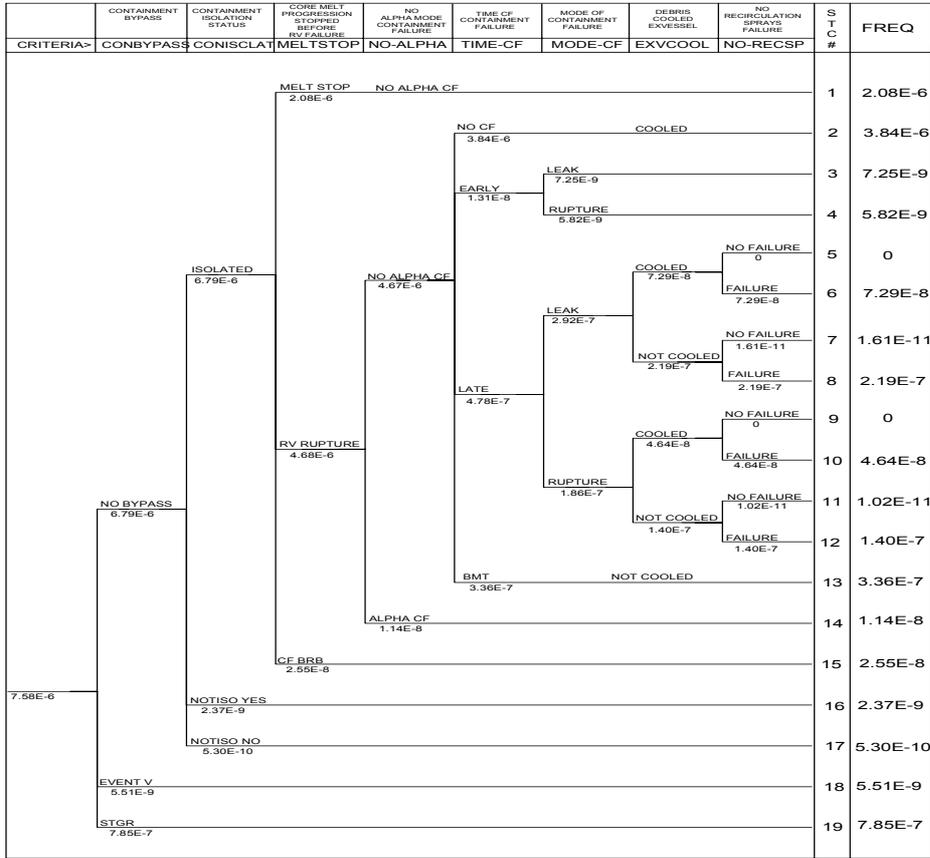
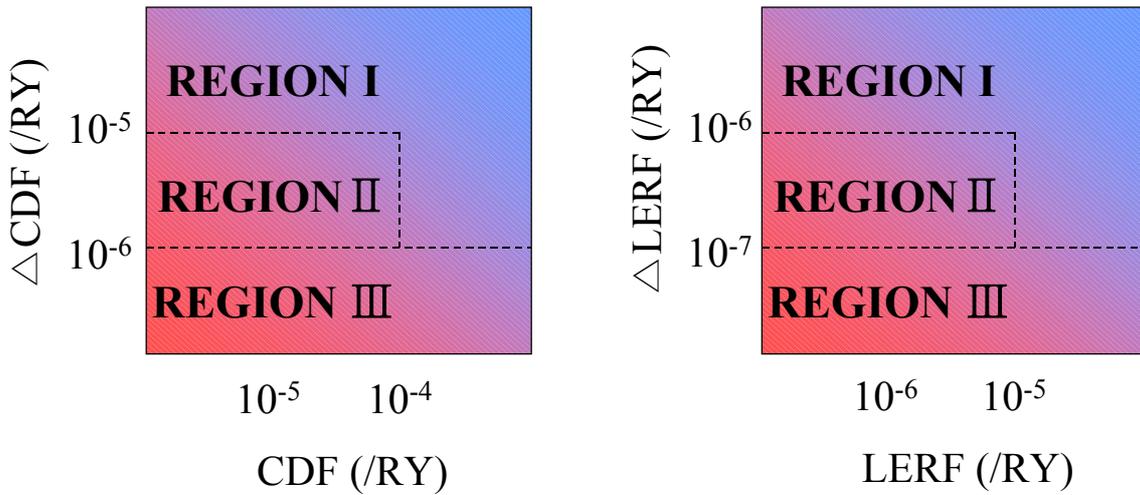


그림 2. RG 1.174 에서의 위험도 Acceptance Guideline



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. "YGN 3&4 Final Safety Analysis Report," 한국전력공사.
5. "원자력발전소 안전성 점검 연구(격납건물 성능해석 분야)," 제1권, KEPCO, 1994.
6. "Radiological Consequence Analyses under Severe Accidents for the YGN 3&4 Nuclear Power Plants," ICONE-5, May 26-30, Nice France, 1997
7. "기상자료가 인체 건강에 미치는 영향 평가," KAERI/TR-1230/99, 1999
8. 김명기, 서미로, 오해철, "성능기반 격납건물 누설시험 주기연장", 전력연구원, '98전력연-단681, T.M.C97NS02.S1998.619, 1998. 9.
9. 김명기, 서미로, 오해철, "격납건물 종합누설률 시험주기 연장에 따른 위험도 평가 민감도 분석", 전력연구원, '99전력연-단024, T.M.S05.R1999.22, 1998. 9.
10. 서미로, "위험도정보를 반영한 국내원전 ILRT 주기연장 허용기준 개발", 전력연구원, '99 전력연-단541, T.M.S05.P1999.532, 1999. 10.
11. "MELCOR Accident Consequence Code System Model Description," NUREG/CR-4691, Vol 2, 1990, SNL