

단순 LERF 평가 방법론의 국내 원전 적용

Application of Simplified LERF Evaluation Methodology to Korean Nuclear Power Plant

김명기, 서미로

한국전력공사 전력연구원
대전광역시 유성구 문지동 103-16

요약

원자력발전소의 안전성과 경제성을 동시에 확보하기 위하여 개발되고 있는 위험도 정보 활용 기술에 있어서 위험도는 일반적으로 노심손상빈도와 대량조기방출빈도로 결정되고 있다. 이 중 기존의 대량조기방출빈도 평가방법은 현재의 Level 2 PSA 방법론 자체가 복잡하게 이루어져 있어 빠른 계산이 불가능하며, 평가과정이 복잡하여 규제지침서등에서 요구하는 traceability가 보장되지 않는 단점때문에 위험도 정보 활용 기술에 적용하기에는 문제가 있다. 본 논문에서는 현재 미국에서 사용되고 있는 단순 대량조기방출빈도 평가 모델을 국내 원전에 적용하여 그 결과를 기존의 대량조기방출빈도와 비교하였다. 단순 대량조기방출빈도 평가 모델은 단순하면서도 중대사고에 의한 위험도 정보를 충분히 제공할 수 있어 위험도정보를 반영한 응용 연구 등에 적용 가능한 것으로 판단된다.

Abstract

The risk index in Risk-Informed Technologies which is developed in order to satisfy both safety and economical efficiency of nuclear power plant at the same time is generally determined by core damage frequency(CDF) and large early release frequency(LERF). But, the current evaluation process of LERF has some problems in application to Risk-Informed Technologies since the Level 2 PSA methodology itself was very complicated and, as a results, fast evaluation of LERF is impossible and traceability of the LERF can not be guaranteed. In this paper, we applied the simplified LERF model currently used in U.S. to Korean nuclear power plant, and compare the results with existing LERF value. The simplified LERF model is simple but it can provide sufficient risk information for severe accident. So it is judged that it can be applied to Risk-Informed Technologies.

1. 서론

원전의 종합적인 안전성을 평가하는 확률론적 안전성평가(PSA; Probabilistic Safety Assessment)를 전호기에 걸쳐 완료하고 그 결과를 주기적으로 갱신해 오고 있는 미국 원전 사업자들은 PSA

결과로 도출되는 위험도 정보를 이용하여 원전의 경제성을 확보하기 위한 PSA 응용 연구(RIA; Risk-Informed Application)를 이미 수년 전부터 추진하여 왔다. 또한, 미국의 원전 규제기관에서도 결정론적 분석 통해 발전된 기존 규제체계를 보완하고 규제자원의 효율적 재배치를 통하여 안전성을 강화할 수 있는 방안으로 위험도 정보의 활용을 강조하고 있으며, 실제로 위험도 정보를 반영한 새로운 규제(RIR; Risk-Informed Regulation) 체계 수립을 위한 시도를 하고 있다. 현재까지는 운영기술지침서 최적화, 가동중 배관검사 등의 분야에 위험도 정보의 활용이 활발하게 이루어지고 있으며 국내에서도 이러한 기법을 도입하여 연구가 수행 중에 있다. 일반적으로 RIA 및 RIR 연구결과에서 위험도 척도로써 노심손상빈도(CDF: Core Damage Frequency)와 대량 조기 방사성물질 방출빈도(LERF: Large early release frequency)를 이용하고 있으며, 위험도 정보의 활용에 대한 기본적인 배경 및 원칙을 제시한 Reg. Guide 1.174에서도 이들의 사용을 권고하고 있다. 이중 CDF는 이미 수행한 IPE(Individual Plant Examinations)를 통하여 얻을 수 있는 정보이며 국내에서도 이미 보편적으로 사용하고 있지만, LERF는 국내에서 많이 사용되고 있지 않으며, 그 개념도 완전한 정의를 내렸다고 보기 힘들다. 또한, LERF 평가 방법도 2단계 상세 PSA 중대사고 분석의 수행 여부에 따라 2단계 상세 PSA 모델이 있을 경우 이를 사용하는 방법과 NUREG/CR-6595에서 제시하고 있는 단순화된 방법을 사용하는 것이다. 미국의 경우 상세 2단계 PSA를 수행하지 않은 원전이 대부분으로 이들은 RIA/RIR에 단순 LERF 평가방법을 사용하고 있다. 국내의 경우 상세 2단계 PSA를 수행하고 있기 때문에 이를 활용할 수 있으나, 상세 2단계 PSA 방법론이 복잡하여 RG-1.174에서 요구하는 결과의 추적 가능성(traceability)을 만족시킬 수 없으며, 계산시간이 많이 걸려 실제 적용에는 문제가 많은 것으로 판단되고 있다. 따라서, 국내 원전의 상세 2단계 PSA 정보를 반영하면서 단순하게 계산할 수 있는 LERF 평가 모델 개발이 요구되고 있으며, 이를 위해 본고에서는 NUREG/CR-6595에서 제시된 단순 방법론을 국내 원전에 각각 적용하여 LERF 값을 비교 평가하고, RIA 및 RIR 연구에 적용할 수 있는지를 고찰하였다.

2. LERF 개념

LERF는 대량 조기 방사성물질 방출빈도로 노심이 손상된 후 방사성물질이 외부로 누출되어 주민에게 피해를 줄만한 사고의 발생빈도를 의미한다. 다시 말하면 원자력발전소 사고가 발생하면 주민들은 방사선 방호계획에 의해 소개되는 데 소개되기 전에 대량으로 방출된 방사선이 주민에게 피해를 입혀 조기사망을 일으키는 사고빈도를 말한다. RG-1.174에서는 LERF에 대해서는 다음과 같이 언급하고 있다. LERF는 조기 치사 정성적 목표(Early Fatality QHO)에 대한 Surrogate(어떤 것이 평가하기가 어려울 때에는 그 효과가 같은 다른 것을 선택하여 평가하는 방법)로서 발전소 인근 주민이 대피하기 전에 대량으로 방사선이 누출되어 조기사망을 일으키는 방출빈도, 즉 Early health effects 영향을 주는 사고의 빈도를 말한다. 따라서, 이를 분석하기 위해서는 다음 두 가지를 알아야 한다. 첫째로 조기사망이 일어나기 위해서 얼마나 많은 방사성 물질이 누출되어야 하는가를 알아야 하며 두 번째로는 얼마 동안 주민이 방사성 물질에 노출되어 방사선 피폭을 입는가에 대한 있는가에 대한 사항이다. 위와 같은 정보는 발전소의 방사선 비상계획(몇 시간만에 주민을 대피시킬 것인가) 및 대량으로 방사선을 누출시킬만한 격납건물 파손 크기를 가지고 Level 3 PSA를 수행하여야 얻을 수 있다. 그러나, Level 3 PSA는 아직까지는 불확실성이 너무 크기 때문에 미국을 비롯한 대부분의 국가에서 수행하고 있지 않으며, 대신 2단계 PSA 결과에서 대량의 방사선 방출을 일으킬 수 있는 사고와 격납건물이 조기에 파손될 수 있는 사고를 분류하여 LERF를 평가하게 된다.

3. LERF 분석 방법

3.1 상세 분석 방법

상세 2단계 PSA 모델을 통한 LERF 평가방법론을 이해하기 위해서는 우선 2단계 PSA 방법론인 격납건물 성능분석을 이해하여야 한다. 상세 2단계 PSA 수행의 첫 번째 단계는 1단계 PSA에서 파악된 노심손상 사고경위를 확장하여, 1단계 PSA에서 고려한 발전소내 계통뿐만 아니라 격납건물성능분석에서 고려되는 계통의 상태를 모사하여 그 상태를 결정하는 것에서 시작된다. 확장된 노심손상 사고경위들은 중대사고 진행관점에서 사고경위의 공통점에 기초하는 발전소손상군(Plant Damage State, PDS)으로 분류된다. 이들 손상군을 시작점으로 하여, 격납건물의 손상유형 및 격납건물 외부로의 핵분열생성물 방출특성을 나타내는 방사선원향을 파악하기 위한 격납건물 사건수목(Containment Event Trees, CETs)을 구성하여 사고 진행을 모사한다. 격납건물 사건수목의 개발과 정량화는 중대사고에 대한 최신 지식을 반영할 수 있도록 충분히 자세하고 심층적으로 수행하며 이를 위해 분해사건수목(Decomposition Event Tree)을 개발한다. 격납건물 사건수목의 최종점은 사고경위의 방사선원향이 하나의 대표 사고경위에 대한 방사선원향으로 대표되는데 적합하도록, 중요한 방사성핵종의 방출특성인자에 따라 적절한 수의 방출군으로 분류된다. 각 방출군의 방출빈도 계산은 확장된 1단계 사건수목인 PDS 사건수목을 발전소손상군 논리도에서 불러들여 각각의 규칙에 의해 노심손상 사고 경위를 발전소 상태에 따라 분류하는 것으로 시작한다. 발전소 손상군 정량화가 끝나면 이를 격납건물 사건수목에 불러들여 격납건물내의 중대사고 현상에 따라 분류하게 되며, 이때 분해사건수목에 기술된 각각의 상세한 중대사고 정보에 의한 확률로 분기하게 된다. 정량화된 격납건물 사건수목은 다시 방사선원향 방출군 논리도에 의하여 특징적인 방사선원향 방출군으로 분류된다. 이 방출군들에서 LERF의 정의에 부합되는 방출군을 추출하여 그 빈도를 더한 것이 LERF가 된다. 그림 1은 격납건물성능분석의 전체적인 흐름을 보여주고 있다.

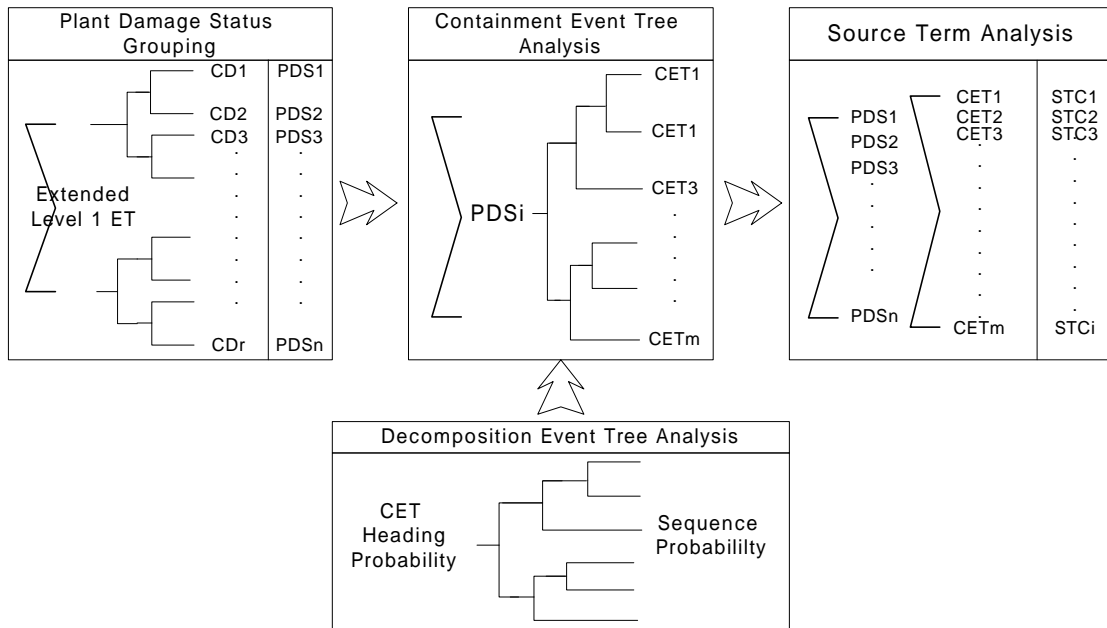


그림 1. 상세 2단계 PSA 방법론

3.2 단순 LERF 평가 방법

상세 2단계 PSA 모델을 갖고 있지 않은 미국에서는 기존의 IPE 결과와 PSA 연구 결과를 바탕으로 다음과 같은 4가지 방법으로 LERF를 계산하고 있으며, NRC에서도 NUREG/CR-6595를 통하여 이러한 방법들을 인정하고 있다.

- (1) 조기 격납건물 고장 혹은 격납건물 우회 시 일어나는 모든 방사성 물질 방출빈도
- (2) 조기 격납건물 고장 혹은 격납건물 우회 사건 시 관계되는 방사성 물질 방출빈도의 합으로 방사성 물질 I, Ce, Te가 노심 초기 재고량의 2.5%, 3%, 3% 이상 방출 사고
- (3) 두 번째 방법과 같으나 방사성 물질 방출 양이 10% 이상인 사고를 고려
- (4) 단순 사건수목(Simplified CET)을 통한 LERF 분석

미국의 대표 원전에 대하여 각각의 방법으로 LERF를 분석한 결과 Large Dry Containment 형태의 원전에서는 방법 1과 4의 결과가 보수적인 것으로 나타났으나 그 차이는 크지 않는 것으로 나타났다.

4. 단순 LERF 평가 방법의 국내 원전 적용

본 절에서는 앞에서 설명한 4가지의 단순 LERF 분석방법을 영광 5,6호기에 적용하여 상세 2단계 PSA 모델로부터 도출된 LERF와 비교하였다. 본 분석에서는 내부사건에 기인한 LERF만을 계산하였다. 또한 조기의 개념도 보수적으로 24시간을 적용하였다.

4.1 상세 2단계 PSA 모델을 사용한 LERF 평가

영광 5,6호기 PSA 결과 내부사건에 의한 CDF는 $7.43E-6$ /년으로 분석되었으며, 내부사건에 의한 격납건물 손상빈도는 $1.93E-6$ /년으로 평가되었다. 방출군 분석결과 도출된 19개의 방출군중 LERF의 정의에 부합되는 방출군은 방출군 3번(조기 격납건물 파손-누설), 4번(조기 격납건물 파손-파손), 14번(알파모드 파손), 16번(격납건물 격리실패-후기 살수 성공), 17번(격납건물 격리실패-후기 살수 실패), 18번(우회사고-저압 경계부 냉각재 상실 사고), 19번(우회사고-증기발생기 세관 파단 사고)이다. 이들 빈도의 합을 구하면 영광 5,6호기의 LERF값은 $7.25E-7$ /년으로 계산된다.

4.2 단순 LERF 평가 방법 (1)을 적용한 분석

보수적으로 방사성 물질은 격납건물 파손사고가 발생하면 대량의 방사성 물질이 외부로 누출된다고 보면 이런 사고에는 증기발생기 세관 파단 사고, 저압 경계부 냉각재 상실사고 및 노심손상 시 격납건물 격리실패사고가 있다. 즉 노심손상이 발생되고 격납건물 격리가 실패되면 모두 LERF라고 보는 것이다. LERF를 계산하기 위해서는 ISLOCA와 SGTR의 사고에 의한 CDF와 격납건물로 연결된 6" 이상의 배관 파손으로 인한 격리실패를 고려한다. 격납건물 격리 실패는 6" 이상인 배관 중에서 격납건물을 관통하는 배관의 부위가 파손되었을 때와 격납건물 격리를 위해서 설치되어 있는 MOV 격리밸브가 고장일 때 발생하게 된다. 이런 사고는 직접적으로 방사성 물질을 누출시키는 통로가 되므로 이에 의한 LERF는 $CDF_{otherIE} \times MOV$ 고장 확률값(노심이 용융된 상태에서 격납건물 격리 밸브가 열리면 외부로 대량 방사능이 누출된다는 의미)이 된다. 따라서 전체 LERF는 다음과 같다.

$$LERF = CDF \times CV \text{ Isolation Failure,}$$

여기서, CV Isolation Failure = ISLOCA, SGTR, Component Failure Probability

또한, Component Failure Probability = Pipe Failure AND/OR Valve Failure

따라서 위식을 풀어쓰면 다음과 같이 된다.

$$LERF = SGTR_{CDF} + ISLOCA_{CDF} + CDF_{otherIE} \times \text{격리밸브 MOVs 고장 확률}$$

여기서, $SGTR_{CDF}$ = 증기발생기 세관 파단 사고로 인한 CDF

$ISLOCA_{CDF}$ = 저압경계부 냉각재 상실사고로 인한 CDF

$$CDF_{\text{otherTE}} = \text{전체 CDF} - SGTR_{\text{CDF}} - ISLOCA_{\text{CDF}}$$

그러나 실제로 세 번째 있는 항은 앞의 두 항에 비해 크기가 매우 적으므로 이를 무시할 수 있다. 이를 영광 5,6호기에 적용하면 $SGTR_{\text{CDF}}$ 가 6.79E-7/년이고 $ISLOCA_{\text{CDF}}$ 가 1.77E-9/년이므로 LERF는 8.81E-7/년이 된다.

4.3 단순 LERF 평가 방법 (2)를 적용한 분석

영광 5,6호기 PSA 분석 결과를 보면 조기사고로 분류된 방출군은 방출군 3번, 4번, 14번, 16번, 17번, 18번, 19번이 해당되며 MAAP 전산코드를 통해 분석된 각각의 사고 진행과정을 살펴보면 다음과 같다.

방출군 3번의 경우를 보면 소외전원상실사고시 안전감압밸브 개방 실패, 안전주입계통 및 살수계통 실패 시 원자로용기가 사고 후 3시간에 파손되는 것(보수적으로 원자로용기가 파손되면 격납건물이 파손되는 것으로 간주)으로 나타났다. 그러나 이때에 사고 후 36시간 동안 방출되는 방사선 분율을 보면 CsI, TeO₂는 1.98%, 2%로 즉시치사의 기준인 2.5%와 3%에 훨씬 못 미치는 것으로 분석되었다. 따라서 방출군 3번은 시간적으로 보면 조기에 해당되나 즉시치사를 일으키지 못하므로 LERF 평가에서 제외된다.

방출군 4번의 경우, 이는 소형냉각재상실사고시 고압안전주입계통의 재순환 운전이 실패되었을 때의 사고로 사고 후 22시간에 원자로용기 하부가 파손되는 것으로 나타났다. CsI, TeO₂의 방사선 분율 또한 각각 28.4%, 5.4%로 조기치사 기준을 넘으므로 LERF 분석에 해당되며, 이러한 방출군의 빈도는 1.78E-8/년으로 전체 노심손상빈도의 0.2%를 차지한다.

방출군 14번을 살펴보면 이는 격납건물 알파모드에 의한 사고경위이다. 격납건물 파손은 사고 후 20시간이 지난 후 발생하며, CsI, TeO₂의 방사선 방출 분율이 각각 98.6%, 82.8%로 조기치사의 기준을 넘는다. 이때의 사고빈도는 4.22E-7/년으로 전체 노심손상빈도의 0.1%를 차지한다.

방출군 16번과 17번은 격납건물 격리실패의 경우로 후기 재순환 살수의 성공/실패 여부로 나누게 된다. 16번의 경우 재순환 살수계통의 작동으로 CsI, TeO₂의 방사선 방출 분율이 각각 0.3%, 0.1%로 작기 때문에 LERF 분석에서 제외되지만 살수계통이 실패하는 17번의 경우 CsI, TeO₂의 방사선 방출 분율이 각각 23.5%, 15.5%로 LERF 분석 대상이 된다. 17번 사고빈도는 3.33E-9/년으로 전체 노심손상빈도에서 차지하는 비율은 미미하다.

방출군 18번 저압경계부 냉각재 상실사고의 경우를 보면 사고 후 약 4시간에 노심이 손상되어 방사성 물질이 격납건물 외부로 누출되는 것으로 나타나고 있으며 사고 후 36시간 동안 CsI, TeO₂는 50%, 32%가 누출되는 것으로 나타나 LERF 분석 대상이 된다. 이때의 사고빈도는 1.77E-9/년으로 나타났다.

방출군 19번 증기발생기 세관 파단사고의 경우를 보면 사고 후 방사선 물질은 4시간 30분부터 방출되는 것으로 나타났다. 사고 후 36시간 동안에 CsI, TeO₂는 44%, 18%가 누출되는 것으로 나타나 LERF 분석 대상에 포함되며 이때의 사고빈도는 6.79E-7/년으로 전체 노심손상빈도의 9.1%를 차지한다.

위의 결과를 토대로 방법론 (2)에 해당하는 방사선 방출군은 4번, 14번, 17번, 18번, 19번으로, 5개 방출군 빈도의 합인 1.12E-6/년이 영광5,6호기 LERF 값이 된다. 단순평가방법 (3)번은 (2)번과 방법론상으로는나 결과적인 측면에서 유사하므로 본 분석에서는 제외하였다.

4.4 단순 LERF 평가 방법 (4)를 적용한 분석

단순 사건수목을 개발하여 LERF를 평가하는 방법은 상세 2단계 PSA 모델인 PDS 정보와 CET 정보를 단순 사건수목 하나에 반영하는 것으로, 본 연구에서는 NUREG/CR-6595에서 제시

한 단순 CET를 사용하여 영광 5,6호기 LERF를 평가하였다. 여기에서 제시된 단순 CET의 각 표제와 해당 표제의 특징을 살펴보았다.

(1) Core Damage (CoreDamage)

이 표제는 LERF의 초기빈도에 해당하는 항목으로 1단계 PSA 결과를 확장하여 노심손상후의 격납건물 계통 상태를 포함하게 한 PDS 사건수목 빈도를 의미한다.

(2) Containment Isolation or Not Bypassed (CONISOLAT)

격납건물의 격리여부 및 우회여부를 의미하는 표제로 노심손상 시점에서의 격납건물 건전성을 다룬다. NOT ISO-Bypass 분기에는 격납건물 격리실패 사고들과 ATWS사고중 일부, 저압경계부 냉각재 상실사고, 증기발생기 세관과단 사고 중 온도유발 증기발생기 세관과단사고(Temperature induced SGTR)를 제외한 사고 등이 포함된다. 온도유발 증기발생기 세관과단사고는 단순 사건수목 5번째 표제에서 다루게 된다. 이 표제는 PDS rule의 개념으로 PDS 사건수목의 정보를 통해 분기시켰다.

(3) RCS Depressurized (RCSPRESS)

중대사고 진행에 중대한 영향을 미치는 원자로 냉각재계통의 감압여부를 나타내며 일반적으로 과도사건과 소형냉각재 상실사고, 발전소 정전사고등은 고압상태로 분기된다. 중/대형 냉각재 상실사고는 저압사고로 분류하며, Relief valve가 열리는 경우, 2차측 냉각이 성공하는 경우, 고온관 파손이 발생하는 경우 등도 저압사고로 분기된다. 이 표제도 PDS 사건수목의 정보를 통해 분기시켰다.

(4) Core Damage Arrested without Vessel Breach (MELTSTOP)

노심손상 이후 원자로 용기가 파손되기전 노심손상이 중지되는지 여부를 묻는 표제이다. 원자로 파손이전 원자로에 냉각수가 주입된다면 노심은 손상되어도 원자로용기의 파손은 막을 수 있다. 전원회복, 고압사고시 운전원의 감압 조치 등에 의해 이루어질 수 있다. 이 표제도 PDS 사건수목의 정보를 통해 분기시켰다.

(5) No Induced Steam Generator Tube Rupture (TSGTR)

노심 용융시 1,2 차계통의 열수력학적 조건으로 증기발생기 세관에 creep rupture가 발생되는지를 묻고 있으며 주로 SGTR 사고시 고압이 유지되는 경우가 해당된다. 이 표제도 PDS 사건수목의 정보에 의해 분기되었다.

(6) No Containment Failure at Vessel Breach (NOCF)

원자로 용기 파손시 격납건물이 파손되는지 여부를 묻는 표제로 일차계통의 압력, 원자로용기를 빠져나오는 노심용융물의 양과 온도, 원자로 용기 파손부 크기, 격납건물 성능 등에 따라 다르다. 여기에서는 저압사고시 CF분기(격납건물 파손)에 0.01, NOCF분기에 0.99를 지정하였으며, 고압사고시에는 격납건물 파손확률이 증가하므로 CF분기에 0.1, NOCF분기에 0.9를 지정하였다. 이 표제는 설명한 바와 같이 확률값 지정에 의하여 분기된다.

(7) No Potential for Early Fatalities (NOEF)

조기 치사(Early Fatalities)의 가능성은 방사선 방출의 시점과 크기에 의존하게 된다. 이 단순 CET 모델에서는 (2), (5), (6)번 표제의 No 분기에 해당하는 사고경위에서 확률값이 커진다. 그러나, 이 분기에 대한 확률 지정은 주민소개 시점등에도 의존하므로 정확한 확률값을 지정할 수 없어 보수적으로 NOEF 분기에 0.2, EF 분기에는 0.8을 지정하였다.

위와 같은 표제로 그림 2와 같은 단순 사건수목을 구성하였으며 정량화를 시도한 결과 12개의 경위가 도출되었으며 이중 LERF에 해당하는 사고경위는 4번, 8번, 10번, 12번이 된다. 따라서, 단순 사건수목에 의한 영광 5,6호기 LERF값은 $1.19E-6$ /년으로 평가된다.

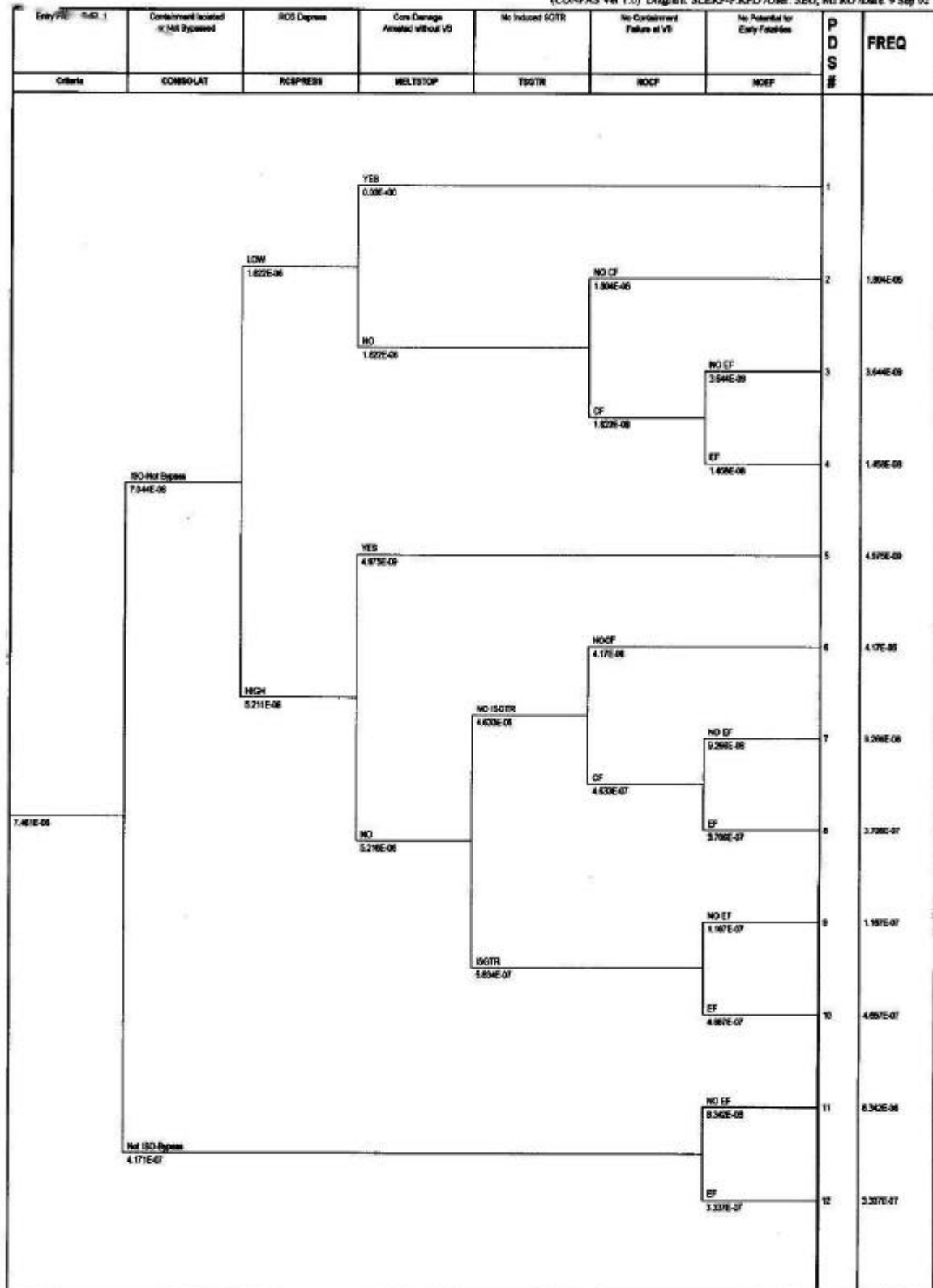


그림 2. 단순사건수목 모델

5. 결론

본 논문에서는 LERF에 대한 근본 개념과 이를 구현하기 위한 LERF의 방법론에 대하여 설명을 하였으며 RIA 및 RIR 연구에 활용하기 위한 단순 LERF 평가방법을 소개하고 이를 영광 5,6호기에 적용하여 그 결과들을 비교하였다. 표 1에 위의 분석 결과들을 정리하였다.

표 1 . LERF 모델 변경에 따른 영광 5,6호기 LERF 평가결과

LERF 모델	LERF	비고
상세 2단계 PSA 모델	7.25E-7/년	계산과정 복잡/시간이 많이 소요/Traceability 보장 안됨
단순 LERF 방법 (1)	8.81E-7/년	상세 중대사고 현상이 반영되지 못함
단순 LERF 방법 (2)	1.12E-6/년	MAAP 분석을 통한 방출균 분석 수행 필요
단순 LERF 방법 (4)	1.19E-6/년	단순 사건수목의 확률지정에 대한 근거 필요

상세 2단계 PSA 모델을 사용한 LERF는 계산방법이 복잡하고 계산시간이 많이 걸린다는 단점이 있으며, RG-1.174에서 요구하는 추적가능성을 보장하지 못하기 때문에 RIA 및 RIR 연구에 활용하기 곤란하다. LERF 계산 결과에서도, 위 표에서 보는 바와같이 상세 2단계 PSA모델을 사용한 LERF 보다는 단순 LERF 평가방법론을 적용한 LERF가 더 보수적인 결과를 나타내기 때문에 단순 LERF 평가방법을 사용하는데 문제는 없을 것으로 판단된다. 또한, RIA 및 RIR연구에서 관심을 갖게 되는 것은 상세 2단계 PSA 결과로서의 LERF와 같은 현재 발전소의 안전성을 나타내는 수치보다는 규제요건 변경에 따른 위험도의 변화에 초점을 맞추기 때문에 경우에 따른 LERF 값의 변화가 더 의미가 있는 것이다. 이러한 논리에 더하여, 중대사고 현상의 불확실성으로 인해 상세 2단계 PSA 결과로서의 LERF 값도 상당한 불확실성 범위를 갖고 있다는 현실적인 문제로 인하여 실시간 계산이 요구되는 RIA 및 RIR분야에서는 단순 LERF 평가방법이 더 적합한 것으로 판단된다. 그러나, 단순 LERF 평가방법도 보완해야할 사항이 존재한다. 단순 LERF 평가방법 (1)은 1단계 PSA 결과로부터 간단히 LERF를 도출할 수 있는 장점이 있지만 상세 중대사고 현상이 반영되지 못하고 있으며, 평가방법 (2)는 MAAP 전산코드와 같은 열수력코드로 방사선원항 방출분율을 따로 계산해야한다는 단점이 있어 RIA 및 RIR 분야에서 적용이 무의미한 것으로 판단된다. 단순사건수목을 구성하는 평가방법 (4)는 비교적 상세한 중대사고현상을 포함하면서도 구조가 간단하여 추적가능성 및 실시간 계산이 보장되고 있어 RIA 및 RIR 연구분야에 가장 적합한 평가방법으로 판단된다. 반면, 조기치사의 가능성과 온도유발 SGTR 확률 지정 등에 관한 추가 연구를 수행하여 확률지정의 근거를 확보해야만 할 것이다. 또한, 현재 상태에서 규칙에 의한 정량화와 확률지정에 의한 정량화를 동시에 수행할 수 있는 코드의 개발이 시급하다.

참고문헌

1. USNRC, "An Approach for Estimating the Frequencies fo Various Containment Failure Modes and Bypass Events," NUREG/CR-6595, January 1999
2. 전력연구원, "영광 5,6호기 확률론적 안전성 평가", '00전력연-단612, TR.94ZJ15.T2000.607, 2000, 12
3. 한국원자력연구소, "위험도정보활용을 위한 대량조기방출빈도 추정의 단순화 방법", KAERI/TR-2025/2002
4. '01 원자력학회 춘계학술발표회, "LERF를 어떻게 정의할 것인가", 김명기, 서미로, 2001, 5