

노의 노심용융물의 냉각 가능성 확률 변화에 따른 격납건물 건전성 민감도 분석

Sensitivity Study for Containment Integrity according to the Change of Probabilities for Coolability of Core Debris

김명기, 서미로

한국전력공사 전력연구원
대전광역시 유성구 문지동 103-16

요약

중대사고시 압력용기의 파손으로 노외로 방출된 노심 용융물은 원자로 공동 등에 배치되며, 공동 바닥 콘크리트와 접촉하면서 콘크리트를 침식할 뿐만 아니라, 콘크리트 및 노심 용융물내 금속물질의 산화반응에 의한 열 및 수소를 발생시킨다. 따라서 공동 바닥에 배치된 노심 용융물의 냉각은 격납건물 건전성에 중요한 요소로서, 중대사고에 대한 원전의 확률론적 안전성 평가를 수행하는 2단계 확률론적 안전성평가(Level 2 PSA)에서도 이를 격납건물 사건수목에 반영하여 평가하고 있다. 공동내 노심용융물 냉각 가능성은 공동내 퇴적되는 노심용융물의 양과 퇴적 깊이에 따라 영향을 받게 되며 따라서, 이에 대한 각기 다른 확률값을 지정하여 평가하고 있다. 최근 국내 표준 원전 PSA에서 사용된 이들 확률값에 대한 타당성 여부에 대한 문제가 제기되었으나, 중대사고 현상을 실험적으로 혹은 이론적으로 검증한다는 것이 현재까지는 거의 불가능하기 때문에, 민감도 분석을 수행하여 확률값의 적정성을 검토하였다.

Abstract

The core debris ejected into exvessel due to failure of vessel in severe accident is deposited in reactor cavity, then interacted with cavity concrete. The Core-Concrete Interaction produced heat and hydrogen gas by oxidation of metal in core debris and concrete, as well as ablation of cavity concrete. So, the cooling of core debris is a major factor in containment integrity, and is included in Level 2 Probabilistic Safety Assessment for severe accident. The coolability of core debris in cavity is evaluated by assigning the different value according to the amount of core debris ejected out of cavity and debris depth deposited in cavity. Recently, the issues for the appropriateness of these probabilities used in PSA for KSNP are brought up. But, since it's impossible to verificate the severe accident phenomena experimentally or theoretically until now, the appropriateness of probabilities assigned is examined by sensitivity study.

1. 서론

중대사고 발생시 노심이 용융되고 원자로용기가 파손되면 노심 용융물(core debris)이 원자로공동으로 재배치된다. 이때, 고온의 노심 용융물과 콘크리트가 접촉하면 흡열반응을 통하여 콘크리트가 화학적으로 분해되면서 수증기, 일산화탄소, 이산화탄소 등이 발생되고 노심용융물과 용융된 콘크리트가 혼합되면서 노심용융물-콘크리트의 혼합물이 생성된다. 또한, 콘크리트 및 노심용융물 내 금속물질이 산화반응하면서 열과 수소가 발생하게 된다. 따라서, 원자로 공동내 노심용융물이 냉각되지 못하면 원자로공동바닥 콘크리트는 계속 용발되면서 비응축성 기체등의 발생에 의하여 격납건물이 가압되고 가연성기체의 농도가 증가되며 에어로졸 형태의 핵분열생성물을 격납건물 대기중으로 방출하게 된다. 또한 콘크리트의 용발이 지속된다면 격납건물의 기초가 용융 관통되면서 노심물질이 외부토양으로 방출될 가능성도 있게 된다. 만일 노심용융물이 냉각된다면 수증기에 의한 격납건물 과압을 제외하고 비응축성 기체 및 가연성기체에 의하여 심각하게 격납건물 하중을 발생시키지 않을 것이다. 따라서 노외로 방출된 노심물질의 냉각 가능성은 중대사고시 격납건물의 건전성에 중요한 요인이 되며, 노심물질의 양, 공동내 물의 유무, 노심물질의 형상 등에 영향을 받는다.

중대사고에 대한 원전의 안전성을 확률론적으로 평가하는 확률론적 안전성 평가에서는 Level 2 PSA 격납건물 사건수목 분석 단계에서 "EXVCOOL"이라는 표제로 노외로 방출된 노심용융물의 냉각 가능성 확률을 지정하여 격납건물의 건전성에 미치는 영향을 평가하고 있다. 격납건물 사건수목 상의 "EXVCOOL" 표제는 다시 "EXVCOOL" 표제 정량화를 위한 분해사건수목을 구성하여 최종 확률값이 정량화되며, EXVCOOL 분해사건수목에서는 공동 외부로 방출된 노심용융물의 양, 퇴적된 노심용융물 깊이, 공동 침수 여부 등을 고려하게 된다.

한국 표준형 원전의 확률론적 안전성 평가에서는 노외로 방출된 노심 용융물의 양을 HIGH, MEDIUM, LOW로 분류하고, 각각의 경우 퇴적깊이를 DEEP, SHALLOW, VERY SHALLOW로 구분하여 확률값을 지정하고 있다. 그러나, 최근 규제기관에 의해 이 확률값의 타당성에 대한 문제가 제기되었으나, 중대사고 현상을 실험적으로 혹은 이론적으로 검증한다는 것이 현재까지는 거의 불가능하기 때문에, 민감도 분석을 수행하여 확률값의 적정성을 검토하였다.

2. 한국표준원전 PSA에서의 확률값 지정

국내 Level 2 PSA는 노심손상이후 발전소 상태를 분류한 발전소 손상군 군집화에서 시작하여 격납건물사건수목의 작성 및 정량화, 방사선원항 방출군 분류 및 정량화의 단계를 거쳐 격납건물의 종합적인 건전성을 평가하게 된다. 격납건물사건수목은 중대사고현상의 발생, 격납건물의 상태, 격납건물 계통의 상태 등 중대사고 진행과정을 논리적으로 모델하기 위하여 작성된다. 격납건물사건수목 작성의 일부분으로 격납건물사건수목 정량화에 필요하거나 각 격납건물사건수목 사건에 기여하는 중요한 하부사건을 파악하여 격납건물사건수목의 분기확률을 논리적으로 구하기 위하여 분해사건수목을 작성하게 된다. 격납건물사건수목 정량화에서는 Level 1 PSA와는 다른 정량화 방법을 사용한다. 일반적으로 중대사고 현상에 대한 지식이 부족하기 때문에 현재 개발된 결정론적 모델에는 불확실성이 존재하며 현상의 진행과정을 올바르게 예측할 수 없다. 따라서 중대사고 현상 진행과정의 모든 가능성을 고려해야 하며 이러한 가능성은 사고 진행에 대한 가능성을 분석자가 정량적으로 표현한 "믿음의 정도(degree of belief)"에 의해 정량화될 수 있다. 이러한 "믿음의 정도"가 격납건물사건수목 정량화에 사용되는 확률의 의미이다. 이러한 의미를 갖는 격납건물사건수목의 분기확률 정량화는 일반적으로 기존 PSA 결과에 대한 검토, 현상에 대한 불확실성을 고려

한 민감도 분석과 이를 기초로 한 공학적 판단 등으로 수행된다.

노외로 방출된 노심 용융물의 냉각 가능성에 영향을 미치는 요인중 우선적인 것은 공동 외부로 방출되는 노심 용융물의 양과 공동 바닥에 퇴적되는 노심 용융물의 퇴적 깊이로 국내 표준원전 PSA에서는 격납건물 사건수목 표제중 “EXVCOOL”에 고려되어 있다.

격납건물 사건수목의 일곱 번째 표제인 “EXVCOOL”은 노심-콘크리트 반응에 의하여 발생하는 격납건물 하중을 결정하며, 이 표제를 정량화하기 위한 분해사건수목에서 공동 외부로 방출되는 노심물질의 양과 퇴적된 노심물질의 깊이를 고려하고 있다. 그림 1 은 노심물질의 냉각 가능성에 영향을 미치는 요소를 고려하여 작성된 EXVCOOL 표제 정량화를 위한 분해사건수목을 나타내고 있으며, 공동 외부로 방출되는 노심 용융물의 양은 CRM-EJECT 표제에서, 퇴적되는 노심 용융물의 깊이는 DB-DEPTH 표제에서 다음과 같이 분기를 결정하고 있다.

2.1 방출되는 노심용융물의 양

그림 1의 분해사건수목에서의 첫 번째 표제는 ‘CRM-EJECT’로 원자로용기 파손후 원자로공동으로 재배치된 노심용융 물질중 원자로공동 외부로 방출된 양을 결정한다. 공동외부로 방출된 노심물질의 양이 많으면 공동내 잔류하는 노심물질의 양이 적어지며 냉각 가능성이 상대적으로 커진다. 분기는 아래와 같은 기준으로 결정된다.

- (1) Case A. HIGH : 전체 용융 노심 물질중 40% 이상이 원자로공동 외부로 방출(대표값은 50%)
- (2) Case B. MEDIUM : 40% ~ 20% 원자로공동 외부로 방출 (대표값은 30%)
- (3) Case C. LOW : 20% 미만이 원자로공동 외부로 방출 (대표값은 10%)

2.2 퇴적되는 노심용융물의 깊이

그림 1의 분해사건수목에서의 두 번째 표제는 ‘DB-DEPTH’로 원자로 공동내 잔류한 노심물질의 두께를 결정한다. 잔류한 노심물질의 형상은 노심물질의 냉각 가능성에 주요한 영향을 미친다. 동일한 열전달계수를 적용하여도 노심물질의 표면적이 적으면 노심물질 외부로 전달되는 에너지가 적으므로 냉각에 실패할 가능성이 크다. 즉 원자로공동 바닥에 퇴적된 노심물질의 두께가 얇고 표면적이 넓으면 냉각 가능성이 크다.

국내 표준원전 PSA에 의하면 노심물질의 두께가 25cm이상이면 노심물질이 침수되지 않은 상태에서는 냉각될 수 없으며 침수된 상태에서도 냉각이 불확실한 것으로 판단하고 있다. 노심물질의 두께가 10cm 에서 25cm 사이라면 침수된 상태에서는 냉각되며 침수되지 않은 상태에서는 냉각 가능성이 희박한 것으로 판단하고 있으며, 노심물질의 두께가 10cm 미만이면 노심물질이 침수되지 않더라도 냉각 될 수 있는 것으로 판단하고 있다. 이와 같은 이유로 ‘DB-DEPTH’ 표제는 다음과 같이 분기하게 된다.

- (1) DEEP : 퇴적 노심물질의 두께 25 cm 이상
- (2) SHALLOW : 퇴적 노심물질의 두께 10 cm 이상 25 cm 미만
- (3) VERY SHALLOW : 퇴적 노심물질의 두께 10 cm 미만

2.3 확률값의 지정

원자로 파손시 원자로용기에서 분출되는 고속기체에 의하여 재배치되는 노심물질의 40% 이상이 공동외부로 방출된 경우, 잔류하는 노심물질은 고압기체에 의하여 원자로공동 바닥의 넓은 지역에 분포하거나(VERY SHALLOW), 만약 고압기체에 의하여 노심물질이 밀리면서 계측관 터널쪽 바닥에 집중될 수도 있을 것이다(SHALLOW). 만일, 공동외부로 20% ~ 40%의 노심물질이 방출

된다면 잔류하는 노심물질의 양이 적지 않기 때문에 공동바닥에 넓게 분포하더라도 퇴적된 노심물질은 어느 정도의 두께를 가질 것이다(SHALLOW). 또한, 원자로용기로부터의 고속기체에 의하여 계측관 터널쪽으로 노심물질이 몰린다면 노심물질이 두껍게 퇴적될 수도 있다(DEEP). 공동외부로 20% 미만의 노심물질이 방출된다면 잔류하는 노심물질은 공동바닥에 넓게 분포하거나(SHALLOW), 원자로용기에서 방출되는 기체가 원자로 공동내 노심물질의 이송에 크게 기여하지 못한다면 원자로용기로부터 재배치되는 노심물질은 원자로용기 직하방 공동바닥의 좁은 면적 내에 퇴적될 수도 있다(DEEP).

표준형 원전인 울진 5,6호기의 경우 원자로공동의 바닥면적은 63.5m² 이고 원자로용기 외부로 재배치되는 노심물질의 양을 가능한 최대량인 130 ton 으로 가정할 경우, 노심물질의 밀도는 9150 kg/m³ 이므로 노심물질의 부피는 14.2 m³ 이다. 따라서, 가능한 최소 노심물질 두께(공동바닥에 고르게 분포될 경우)는 22.4 cm 이며 원자로용기 하부지역에 집중될 경우 83 cm에 이른다. (원자로용기 직하방의 원통형 구역은 약 17m² 이다.)

국내 표준원전 PSA 수행시, 노심 용융물이 공동바닥에 고르게 분포하는 경우 열전달이 가능한 노심물질의 표면적을 원자로공동 바닥면적인 63.5 m²으로 가정하였으며, 고르지 못할 경우 바닥적의 절반에 해당하는 31.8 m²로 가정하였다. 공동외부로 방출되는 노심물질의 양을 공동내 잔류하는 노심물질의 두께를 결정하는 인자로 고려하여 각 방출률에 따라 아래와 같이 확률을 지지하고 있다.

(1) CASE A : 방출율 HIGH

원자로공동 외부로 방출되는 노심물질의 비율이 50% 이면 공동내에는 65 ton의 노심물질이 잔류하며, 이 경우 공동바닥에 고르게 분포한다면 두께는 약 11 cm 가 된다. 표준 원전 PSA에서는 공동으로 재배치되는 노심물질의 양 및 공동외부로 방출되는 노심물질의 비율에 반영되어 있는 보수성을 고려하면 공동바닥에 전체적으로 분포될 경우 노심물질의 두께는 10 cm 미만이 될 것으로 판단하고 있다. 만약 공동바닥에 고르게 분포되지 않더라도 25 cm 미만이 될 것으로 판단하고 있다. CASE A에서는 많은 양의 노심물질이 공동외부로 방출되려면 원자로용기에서 방출되는 고속기체에 많은 양의 노심물질이 동반되어야 하므로 공동내 노심물질은 이에 유리한 형상인 넓은 표면적을 유지하면서 고르게 분포될 가능성이 크다. 따라서 분기확률은 P(VERY SHALLOW) = 0.9, P(SHALLOW) = 0.1로 지정한다.

(2) CASE B : 방출율 MEDIUM

원자로공동 외부로 방출되는 노심물질의 비율이 30% 이면 공동내에는 91 ton의 노심물질이 잔류하며, 이 경우 공동바닥에 고르게 분포한다면 두께는 약 16 cm 가 된다. 만약 공동바닥에 고르게 분포되지 않는다면 두께가 32 cm 로 평가되고 있다. CASE B에서도 적지 않은 양의 노심물질이 공동외부로 방출되므로 공동내 노심물질은 넓은 표면적을 유지하면서 고르게 분포될 가능성이 크다. 따라서 분기확률은 P(SHALLOW) = 0.9, P(DEEP) = 0.1 로 지정된다.

(3) CASE C : 방출율 LOW

원자로공동 외부로 방출되는 노심물질의 비율이 10% 이면 공동내에는 117 ton의 노심물질이 잔류하며, 이 경우 공동바닥에 고르게 분포한다면 두께는 약 20 cm 가 된다. 만약 공동바닥에 고르게 분포되지 않는다면 두께가 40 cm 로 평가된다. 공동내에는 많은 양의 노심물질이 잔류하며, 이 경우 분기확률은 P(SHALLOW) = 0.8, P(DEEP) = 0.2 로 지정하고 있다.

3. 노심 용융물 퇴적 깊이의 계산

최근 울진 5,6 호기 PSA를 검토한 규제기관에 의해서 위 퇴적깊이에 따라 지정된 확률값의 타당성에 대한 문제가 제기되었다. 그러나, 중대사고시 발생할 수 있는 현상 및 진행과정의 불확실성 때문에 정확한 타당성을 입증하기는 거의 불가능하다. 따라서, 우선적으로 중대사고 분석 코드인 MAAP 전산코드를 사용하여 공동내에 퇴적되는 노심 용융물의 두께를 계산하였다. 사고 경위는 PSA 분석시 고려하는 일반적인 중대사고 경위들로 수소 생성 분석에 사용된 사고경위 6개, 중대사고 진행분석에 사용된 사고경위 8개, 조기격납건물손상 분석에 사용된 사고경위 6개, 후기격납건물파손 분석에 사용된 사고경위 6개이다. 표 1은 각 MAAP 전산코드 수행을 위한 사고경위의 개요 및 노심물질 퇴적 두께에 대한 MAAP 전산코드 분석 결과를 나타낸 것이다.

26개 사고경위에 대한 MAAP 코드 분석결과에 의하면, 퇴적깊이가 25 cm 를 초과하는 사고 경위는 LL, ML, TF, LL-28, SL-95, 5SLOCA, 8LOFW로 나타나고 있으며 10cm 미만인 경우는 24 시간 동안 분석한 조기 격납건물 손상사고 경위와 SL-17, LF1-79, LL-17, SB2-75, 4SBO 등의 경우로 나타나고 있어, 실제적으로 25 cm를 초과하여 두껍게 쌓일 가능성이 그렇게 희박한 것은 아닌 것으로 나타났다. 물론, 코드의 불확실성과 대상 사고경위 특성에 따라 보수적인 결과가 발생한 것으로 판단되지만, 실제로 노심용융물의 퇴적 두께가 두껍게 쌓일 수 있는 가능성은 무시할 수 없는 것으로 판단되었다. 따라서, EXVCOOL 분해사건수목상의 DB-DEPTH 지선관련 확률값 변동에 따른 격납건물 건전성의 영향을 검토할 필요성이 있다.

4. DB-DEPTH 확률값 변동에 따른 민감도 분석

위의 MAAP 분석 결과에 따르면 우선적으로 EXVCOOL DET에서 CRM-EJECT가 High인 분기에서 DB-DEPTH 분기의 확률값 중 P(SHALLOW)값에 대한 민감도 분석이 필요한 것으로 판단되었다. 또한, CRM-EJECT가 Medium 및 Low인 경우 P(DEEP)의 변경에 따른 격납건물 건전성 영향도 평가하였다. 민감도 분석을 수행한 경우는 다음과 같으며, 격납건물 건전성 영향은 정량화된 격납건물 손상빈도로 비교하였다.

- (1) Base Case
- (2) Case A : CRM-EJECT = High, P(SHALLOW) = 0.5, P(VERY SHALLOW) = 0.5
- (3) Case B : CRM-EJECT = High, P(SHALLOW) = 0.7, P(VERY SHALLOW) = 0.3
- (4) Case C : CRM-EJECT = High, P(SHALLOW) = 0.9, P(VERY SHALLOW) = 0.1
- (5) Case D : CRM-EJECT = Medium, P(DEEP) = 0.3, P(SHALLOW) = 0.7 and
CRM-EJECT = Low, P(DEEP) = 0.4, P(SHALLOW) = 0.6
- (6) Case E : CRM-EJECT = Medium, P(DEEP) = 0.5, P(SHALLOW) = 0.5 and
CRM-EJECT = Low, P(DEEP) = 0.6, P(SHALLOW) = 0.4

민감도 분석 수행 결과를 표 2에 정리하였다. 표 2에 나타나 있듯이 공동 외부로 방출되는 노심 용융물이 많을 경우, 즉 공동내에 잔류 노심의 양이 적을 경우는 퇴적 노심 용융물의 두께가 격납건물 건전성에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 즉, 공동 외부로 노심 용융물이 많이 빠져나가 조기 격납건물 손상빈도(4.2% 증가)를 증가시키게 되고, 공동 바닥 콘크리트 용융 관통 빈도(1.6% 증가)는 상대적으로 증가율이 작다. 그러나, 표준원전의 경우 이 두 손상모드가 전체적인 격납건물 손상빈도에 차지하고 있는 부분이 작아 격납건물 손상빈도의 증가는 0.2%로 미미한 수준으로 평가되었다.

반면 공동 외부로 방출되는 노심 용융물질의 양이 적어서 공동내부에 노심용융물질의 퇴적이 많이 이루어지는 경우에는 공동 바닥 콘크리트 용융 관통 빈도의 증가가 상당한 것으로 나타났다. 그러나, 공동 바닥 콘크리트 용융 관통 사고 빈도 자체가 전체적인 격납건물 손상빈도에서 차지하는 부분이 작기 때문에 전체적인 격납건물 손상빈도의 증가는 2~5%에 그치고 있다.

5. 결론

중대사고시 원자로용기의 파손으로 공동에 재배치되는 고온의 노심 용융물질은 공동 바닥의 콘크리트와 접촉하면서 Core-Concrete Interaction (CCI)을 일으켜, 비응축성 가스 및 수소를 생성하게 된다. 이로 인하여 격납건물이 가압되고 가연성기체의 농도가 증가되며 에어로졸 형태의 핵분열생성물을 격납건물 대기중으로 방출하게 된다. 또한 콘크리트 침식으로 공동 바닥 관통 가능성이 증가하게 된다. 따라서, 노외로 방출된 노심물질의 냉각가능성은 격납건물 건전성에 중요한 요인이 되며, 일반적으로 공동내 퇴적되는 노심물질의 양 및 퇴적 두께에 영향을 받는다. 확률론적 안전성 평가에서는 이를 공학적 판단에 의한 확률값으로 지정하여 격납건물의 건전성을 평가하고 있다. 본 민감도 분석은 공동내 퇴적되는 노심물질의 냉각 가능성에 대한 확률값의 적절성을 판단하기 위한 것으로 노심물질의 냉각 가능성에 중요한 인자인 노심물질의 퇴적 깊이에 관련된 분기 지선의 확률값을 변동시켜 격납건물의 건전성에 미치는 영향을 평가하였다.

민감도 분석 결과, 공동내 노심 용융물질이 많이 존재하지 않는 경우, 즉 노심 용융물질이 공동 외부로 많이 방출된 경우는 초기 격납건물 손상빈도가 증가하지만 전체적인 격납건물 손상빈도의 증가는 미미하다. 또한 공동내 노심 용융물질이 많이 존재하는 경우는 공동바닥 콘크리트 용융관통 빈도가 상당히 증가하지만 표준원전의 손상 모드 특성상 이 모드가 차지하는 비중이 작아 전체적인 격납건물 손상빈도의 증가는 미미한 것으로 판단된다.

그러나, 국내 원전중 초기에 건설된 일부 원전의 경우 설계상 공동 바닥 콘크리트 용융관통에 취약한 원전이 있을 수 있으며, 이 경우에 격납건물 손상빈도에 미치는 영향은 상당히 클 것으로 판단된다. 따라서, 이러한 경우에는 퇴적 노심물질의 두께에 대한 고려가 충분히 이루어져야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. USNRC, "An Approach for Estimating the Frequencies for Various Containment Failure Modes and Bypass Events," NUREG/CR-6595, January 1999
2. KEPCO, "Ulchin Units 3&4 Final Probabilistic Safety Assessment Report," 1997
3. 전력연구원, "영광 5,6호기 확률론적 안전성 평가", '00전력연-단612, TR.94ZJ15.T2000.607, 2000, 12
4. 한수원(주), "울진 5,6호기 확률론적 안전성 평가 (II 단계 연구) : 격납건물 성능분석"(최종보고서), 2002. 6.
5. USNRC, "Severe Accident Risks: An Assessment for Five U.S. Nuclear Power Plants," NUREG-1150, June, 1989.

표 1. 선정된 분석대상 사고경위 개요 및 퇴적 노심용융물 두께의 MAAP 분석결과

분류	초기사건	이 름	설명	DB-Depth
수소 생성량 분석 사고 경위 (72hr)	SBO	SBO	교류전원 상실, 보조급수 실패	10.8 cm
	LLOCA	LL	저온관 파손, 안전주입 및 살수 실패	27 cm
	MLOCA	ML	저온관 파손, 안전주입 및 살수 실패	27 cm
	SLOCA	SL	저온관 파손, 안전주입 및 살수 실패	22 cm
		SL-17	저온관 파손, 보조급수 성공, 안전주입 재순환 운전 실패	2E-7 cm
TLOFW	TF	급수 및 보조급수 상실, 모든 공학적안전계통 실패, 가압기 안전밸브 개방시 SDS 2개 밸브 개방	27.1 cm	
중대 사고 분석 사고 경위 (72hr)	LOFW	LF1-61	고압안전주입 실패로 일방관류냉각 실패, 저압안전주입 및 살수계통 가용	11.7 cm
		LF1-79	안전감압계통 실패로 일방관류냉각 실패, 저압안전주입 및 살수계통 가용	4.9 cm
	LLOCA	LL-17	저온관 양단 완전파단, 저압 안전주입 실패, 고압 안전주입 성공	2E-7 cm
		LL-28	저온관 양단 완전파단, 교류전원상실, 모든 안전계통 상실	26.9 cm
	SBO	SB2-75	모든 공학적 안전계통 상실(TDP 포함)	8.45 cm
	SGTR	SG-37	S/G 고온관측 전열관단면적 크기 파손, 안전계통실패	24.2 cm
	SLOCA	SL-95	고압안전주입 실패, 이차측 열제거 성공, 안전주입실패	27.9 cm
SL-97		이차측 열제거 실패, 저압안전주입 및 격납건물살수계통 성공, 재순환운전 성공	14.3 cm	
조기 격납 건물 손상 사고 분석 사고 경위 (24hr)	LOFW	LOFW1	H2 mass & DCH mass High, 공동 침수, 수소연소발생, P-Base Low	3.82 cm
		LOFW2	H2 mass & DCH mass high, 공동 침수, 수소연소발생, P-Base High	4.14 cm
	SBO	SBO1	H2 mass & DCH mass High, 수소연소발생, P-Base High	3.88 cm
		SBO2	H2 mass High, DCH mass Not High, 수소연소발생, P-Base High	3.54 cm
		SBO3	H2 mass High, DCH mass Not High, 수소연소없음, P-Base High	3.54 cm
		SBO4	H2 mass Low, DCH mass High, 수소연소발생, P-Base High	7.93 cm
	후기 격납 건물 손상 사고 분석 사고 경위 (72hr)	LOOP	1LOOP	이차측 열제거 성공, CSI 성공, 모든 재순환운전실패
3LOOP			이차측 열제거 성공, 모든 안전계통 실패	13.8 cm
LOFW		2LOFW	CSI 성공, 모든 재순환운전실패	11.4 cm
		8LOFW	SDS 개방성공, 안전주입실패	28.5 cm
SBO		4SBO	전원회복 실패	8.48 cm
SLOCA	5SLOCA	HPI 성공, 이차측 열제거 성공, 모든 재순환운전 실패	26.8 cm	

표 2. Base Case와 민감도 분석대상의 격납건물 손상빈도 차이 (%)

MODE	Case A	Case B	Case C	Case D	Case E
NO CF (No Containment Fail)	-0.07	-0.07	-0.07	-0.87	-1.73
ECF (Early Containment Fail)	4.17	4.17	4.17	0	0
LCF (Late Containment Fail)	0.02	0.01	0.01	0.77	1.54
BMT (Basemat Melt Through)	1.64	1.64	1.64	25.29	50.58
ISOFAIL (Isolation Failure)	0	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06
BYPASS (Containment Bypass)	0	0	0	0	0
격납건물손상빈도	0.2	0.2	0.2	2.4	4.82

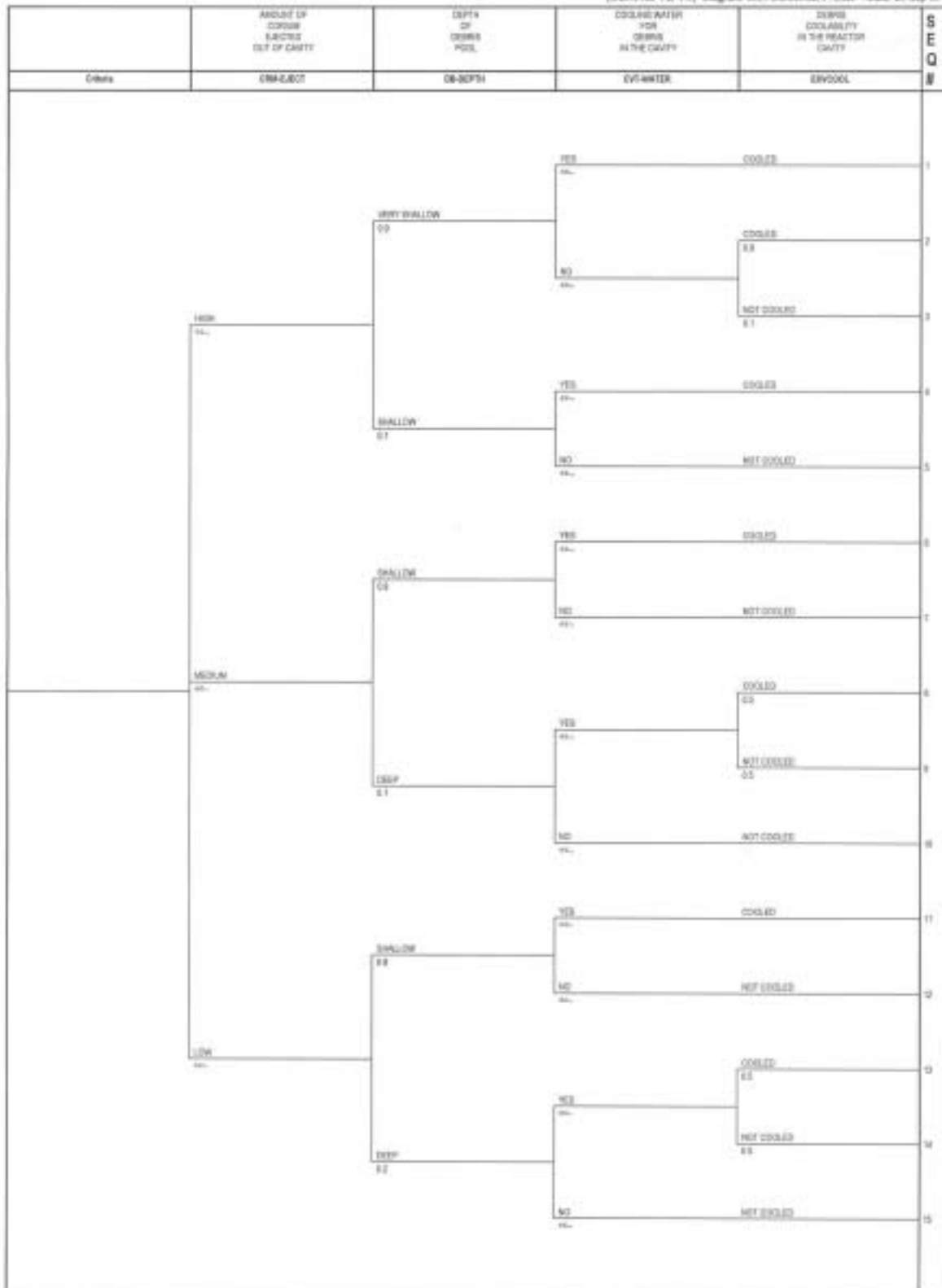


그림 1. EXVCOOL 표계 정량화를 위한 분해사건수목