2001 춘계학술발표회 논문집
한국원자력학회

# OMAM 평가체제를 이용한 리스크의 평가

## A Risk Assessment Using an OMAM Framework

박세인, 강경민, 전규동

한양대학교
서울 성동구 행당동 17

제무성

한성대학교

서울시 성북구 삼선동 2-389

**요약**

리스크는 사고 시나리오, 시나리오 발생확률, 그리고 파급효과의 3 요소로 구성된다. 본 논문에서는 ORIGEN, MAAP, MACCS 코드를 이용한 새로운 리스크 계산체제, OMAM Framework 를 제시하였고 원전에 적용하였다. 울진 3, 4 호기가 방사선 리스크를 평가하는데 참조원전으로 사용되었다. 이 평가체제를 이용한 연구결과는 국내 방사선 리스크 자료를 생산하는 것과 리스크 DB 를 구축하는데 기여할 것이다.

**Abstract**

Risk composes of a set of triplets, $<S_i, P_i, X_i>$ where $S_i$ is a scenario identification; $P_i$ is the probability of that scenario; and $X_i$ is the consequences of that scenario. In this paper, a new computing framework, OMAM(ORIGEN-MAAP4-MAACS), is suggested and applied for assessing the risk of a reference plant. Ulchin 3, 4 units are used as the reference plants for quantifying the radiation risk. The results of this study using the OMAM framework might contribute to producing domestic risk data as well as establishing the risk DB.

## 1. 서론

위험도는 다음과 같이 정의된다.[1]

$$\textit{위험도}(Risk) = \textit{불확실성}(Uncertainty) \cdot \textit{손상}(Damage) \quad (1)$$

그러므로 위험도를 정량적으로 파악하기 위해서는 식 (1)과 같이 먼저 위험대상의 가능한 사고 시나리오를 파악하고, 각 시나리오의 불확실성과 그로인한 파급효과를 계산해야 하며 일반적으로 리스크는 다음과 같이 3 개의 요소로 설명된다.

$$R = \{< S_i, P_i, X_i >\}, \quad i = 1, 2, 3, \ldots, N \tag{2}$$

여기서,

$S_i$ : 시나리오 정의

$P_i$ : 그 시나리오의 발생확률

$X_i$ : 손상의 정도

리스크 곡선은 식 (3)과 같이 사고 발생 시나리오를 사고로 인한 손상의 정도가 증가하는 순서로 배열시키고, 각 시나리오에 대한 축적확률(Cumulative Probability)을 대응시켜 얻는다.

$$X_1 \pounds X_2 \pounds X_3 \pounds \ldots\ldots \pounds X_N \tag{3}$$

식(3)의 순서로 리스크 3 요소(Triplet), $< S_i, P_i, X_i >$ 를 재배열 시키면 표 1 에 나타낸것과 같이 $<X_i, P_i>$를 나타내면 위험도 곡선을 얻을 수 있다.[1]

**표 1 축적확률을 포함하는 리스크 3 요소**

| 시나리오 | 가능성 | 파급효과 | 축적확률 |
|---|---|---|---|
| $S_1$ | $P_1$ | $X_1$ | $P_1 = P_2 + P_1$ |
| $S_2$ | $P_2$ | $X_2$ | $P_2 = P_3 + P_2$ |
| . | . | . | . |
| . | . | . | . |
| . | . | . | . |
| $S_i$ | $P_i$ | $X_i$ | $P_i = P_{i+1} + P_i$ |
| . | . | . | . |
| . | . | . | . |
| . | . | . | . |
| $S_{N-1}$ | $P_{N-1}$. | $X_{N-1}$. | $P_{N-1} = P_N + P_{N-1}$ |
| $S_N$ | $P_N$ | $X_N$ | $P_N = P_N$ |

본 연구에서는 이러한 리스크 방법론에 기초하여 참조원전인 울진 3, 4 호기에 대하여 정량적 리스크 평가를 하였다. 사고 시나리오의 도출과 정량화는 참조원전의 IPE(Individual Plant Evaluation)를 참조하였으며 본 연구를 통하여 새로이 제시한 OMAM(ORIGEN-MAAP4-MACCS) 전산체제를 이용한 방사선원항 평가체제를 종합하여 각 사고 시나리오에 대한 방사선 리스크를 정량적으로 평가하였다. 즉, ORIGEN 코드로는 노심내 방사선 핵종의 Inventory 를 계산하였고, 그리고 MAAP4 코드로는 사고시 격납건물 외부로 방출되는 방사선 핵종의 양을 계산하였고, MACCS 코드를 이용하여 방사선 누출로 인한 소외

결과 분석을 각각 수행하였다.

## 2. ORIGEN 을 이용한 방사선 핵종의 Inventory

정상운전중인 원전의 노심에 포함되어 있는 방사선 핵종의 Inventory 를 계산하기 위해 ORIGEN-S 코드를 사용하였다. 처음 ORNL 에서 개발된 ORIGEN 코드의 기능은 단지 노심내 핵분열 생성물, 피복재, 핵연료의 조성 및 방사능 계산에 국한되어 있었으나, ORIGEN-S 에 이르러서는 많은 성능개선이 있었으며 아울러 NITAWL-II, XSDRNPM 모듈을 이용한 Cross-Section 라이브러리까지 구축하는 성능개선이 있었다.

참조원전인 울진 3, 4 호기의 노심구성을 살펴보면 총 9 가지(A, B, B1, B2, C, C1, D, D1, D2)의 연료봉 집합체 Batch 가 있다. 각 Batch 의 분포는 노심의 운전 Cycle 에 따라 각각 달라진다. ORIGEN 코드로 Inventory 를 계산하기 위해서는 각 Batch 별로 계산후 그 결과를 종합하는 과정을 거쳐야 한다. Batch 마다 $UO_2$ 의 양은 물론 U-235, U-238 의 비(Ratio)도 다르게 설정되어 있으며 표 2 에 참조원전의 요약된 Batch 정보를 나타내었다.

**표 2 핵연료 집합체 Batch**

| Assembly Type | No. of Assembles | Fuel Enrichment (wt% U-235) | No. of Fuel Rods per Assembly | No. of Poison Rods per Assembly | $Gd_2O_3$ wt% in Nat'l $UO_2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 45 | 1.28 | 236 | - | - |
| B | 20 | 2.35 | 236 | - | - |
| B1 | 8 | 2.35/1.28 | 176/52 | 8 | 4 |
| B2 | 16 | 2.34 | 232 | 4 | 4 |
| C | 12 | 2.84/2.36 | 184/52 | - | - |
| C1 | 32 | 2.85/2.36 | 176/52 | 8 | 4 |
| D | 12 | 3.33/2.85 | 184/52 | - | - |
| D1 | 8 | 3.33/2.84 | 176/52 | 8 | 4 |
| D2 | 24 | 3.33/2.84 | 128/100 | 8 | 4 |

표 2 에 나타난 것 같이, 먼저 각 Batch 에 대한 전체 노심에 대한 질량비를 확인하고, 경우별로 U-235 및 U-238 의 비를 입력자료에 반영하였다. 원전의 운전시간, 즉 Burnup 에 대한 정보는 울진 3 호기의 자료를 참조하여 1 Cycle, 371 일(13,661 MWD/MTU) 까지 가동된 것으로 가정하였다. 위와 같은 가정을 통해 얻은 Inventory 결과가 어느 정도의 정확성을 가지는지 검증하기 위해 그림 1 과 같이 각 Batch 의 U-235 및 U-238 의 변화를 ORIGEN 실행결과를 비교하였다. 두 핵종 이외의 다른 원소들 경우는 적절한 비교대상을

찾기 어려웠기 때문에 나타내지 못했으나 U-235 및 U-238 의 벤치마킹을 통하여 전체적인 결과도 신뢰할 수 있을 것으로 판단된다.

ORIGEN 코드에 의해 얻어진 Inventory 는 MAAP4 와 MACCS 의 입력자료로 사용된다. 단지 입력양식의 차이로 인해 필요로 하는 핵종의 종류가 약간 차이가 있기 때문에, 전체 결과 중에서 필요로 하는 부분을 선택적으로 발췌하여 입력자료를 생산하였으며, 요약된 내용을 아래 표 3, 4 에 나타내었다.

**표 3 MAAP4 를 위한 노심 방사선 핵종 Inventory**

| Elements | Inventory(kg) | |
|---|---|---|
| | This Work(13,661MWD/MT) | KAERI PSA Report(44,000MWD/MT) |
| XE-131 | 15.62 | 330.58 |
| KR-84 | 3.62 | 23.79 |
| I-131 | 0.00 | 14.92 |
| RB-86 | 0.00 | 17.88 |
| CS-133 | 38.46 | 173.44 |
| SR-88 | 11.57 | 59.84 |
| BA-138 | 40.78 | 88.47 |
| Y-89 | 12.82 | 30.94 |
| LA-139 | 38.79 | 77.17 |
| ZR-91 | 189.29 | 226.28 |
| NB-109 | 0.00 | 3.12 |
| MO-96 | 0.32 | 201.60 |
| TC-99 | 26.43 | 48.06 |
| RU-101 | 24.63 | 147.35 |
| SB-122 | 0.00 | 1.95 |
| TE-128 | 2.74 | 29.62 |
| CE-140 | 38.88 | 175.54 |
| PR-141 | 31.50 | 67.99 |
| ND-144 | 16.37 | 228.99 |
| SM-150 | 10.27 | 40.37 |
| NP-237 | 9.77 | 32.99 |
| PU-239 | 305.50 | 614.18 |

**표 4 MACCS 를 위한 노심 방사선 핵종 Inventory**

| Nuclide | Activity (Bq) | Nuclide | Activity (Bq) | Nuclide | Activity (Bq) |
|---|---|---|---|---|---|
| CO-58 | 2.96E+16 | RU-103 | 4.16E+18 | CS-136 | 6.01E+16 |
| CO-60 | 1.51E+16 | RU-105 | 2.80E+18 | CS-137 | 1.28E+17 |
| KR-85 | 1.16E+16 | RU-106 | 7.86E+17 | BA-139 | 5.19E+18 |
| KR-85M | 7.25E+17 | RH-105 | 2.52E+18 | BA-140 | 5.09E+18 |
| KR-87 | 1.46E+18 | SB-127 | 2.33E+17 | LA-140 | 5.42E+18 |
| KR-88 | 2.03E+18 | SB-129 | 8.89E+17 | LA-141 | 4.66E+18 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| RB-86 | 1.77E+15 | TE-127 | 2.25E+17 | LA-142 | 4.56E+18 |
| SR-89 | 2.90E+18 | TE-127M | 3.32E+16 | CE-141 | 4.69E+18 |
| SR-90 | 9.56E+16 | TE-129 | 8.42E+17 | CE-143 | 4.37E+18 |
| SR-91 | 3.49E+18 | TE-129M | 1.68E+17 | CE-144 | 2.49E+18 |
| SR-92 | 3.73E+18 | TE-131M | 5.49E+17 | PR-143 | 4.23E+18 |
| Y-90 | 1.07E+17 | TE-132 | 4.06E+18 | ND-147 | 1.86E+18 |
| Y-91 | 3.70E+18 | I-131 | 2.77E+18 | NP-239 | 5.97E+19 |
| Y-92 | 3.77E+18 | I-132 | 4.05E+18 | PU-238 | 9.72E+14 |
| Y-93 | 2.83E+18 | I-133 | 5.76E+18 | PU-239 | 7.02E+14 |
| ZR-95 | 4.93E+18 | I-134 | 6.40E+18 | PU-240 | 6.80E+14 |
| ZR-97 | 4.73E+18 | I-135 | 5.46E+18 | PU-241 | 1.77E+17 |
| NB-95 | 4.89E+18 | XE-133 | 5.50E+18 | AM-241 | 7.38E+13 |
| MO-99 | 5.21E+18 | XE-135 | 1.22E+18 | CM-242 | 1.47E+16 |
| TC-99M | 4.60E+18 | CS-134 | 9.54E+16 | CM-244 | 3.37E+14 |

### 3. 방사선 핵종의 방출율 계산

방사선 핵종의 Release Fraction 계산을 위해 MAAP 4.0.2 버전을 사용하였으며[8], 그 전단계로 먼저 STC(Source Term Category)를 선정하여 사고 시나리오를 정의하였다. 즉, PDS-CET(Containment Event Tree) 로 이어지는 시나리오 가운데 개연성이 높고 대표적인 경우에 대하여 MAAP 계산을 수행하였다. STC 선정에 기준이 되는 주요 고려사항(Containment Sequence Characteristics)은 다음과 같다.

- 격납건물 우회사고(Containment Bypass; CONBYPASS)
- 격납건물 격리사고(Containment Isolation Status;CONISOLAT)
- 노심용융사고(Core Melt Progression Stopped before RV Failure/Debris Cooled In-vessel; MELTSTOP)
- α-사고(No Alpha Mode Containment Failure; NO-ALPHA)
- 격납건물 파손시간 모드(Time of Containment Failure; TIME-CF)
- 격납건물 파손모드(Mode of Containment Failure; MODE-CF)
- 데브리 냉각실패사고(Debris Cooled Ex-vessel; EXVCOOL)
- 순환스프레이 작동실패(No Recirculation Sprays Failure; NO-RECSP)

STC 의 중요한 사고 시나리오의 특징을 아래 표 5 에 정리하여 나타내었다. 격납건물 파손시간과 모드의 특징을 기술하였으며 가능성이 큰 초기사건을 제시하였다.[11]

**표 5 STC 별 특징**

| Calculation | Containment Failure Mode and Time | Initiator |
|---|---|---|
| STC01 | Core melt stopped before reactor vessel failure;<br>SIT Injection Success<br>LPSIS Injection Fail<br>HPSIS Injection Success<br>Recirc. Cooling Using CSS Success | Large LOCA |
| STC02 | Reactor vessel failed, Containment do not failed;<br>Reactor Trip Success<br>AFW Fail<br>Bleed RCS Fail<br>LPSIS Injection Success<br>LPSIS Recirc. Success<br>CTMNT Spray Injection Success<br>Recirc. Cooling Using CSS Success | Loss of Feed Water |
| STC03 | Early Containment Failure, Leak;<br>Similar with STC02 | Loss of Feed Water |
| STC04 | Early Containment Failure, Rupture;<br>Similar with STC02 | Loss of Feed Water |
| STC06 | Late Containment Failure, Leak;<br>Reactor Trip Success<br>HPSIS Injection Success<br>AFW Success<br>Steam Removal via ADV Success<br>HPSIS Recirc. Fail<br>Depress RCS for LPSIS Recirc. Success<br>LPSIS Recirc. Fail<br>Recirc. Using CSS Fail | Small LOCA |
| STC08 | Late Containment Failure, Leak;<br>Reactor Trip Success<br>AFW Success<br>Steam Removal via ADV Success<br>Restore AC Power(late) Fail<br>Restore AC Power Prior Vessel Failure Fail<br>Restore AC Power Prior CTMNT Failure Fail | Station Blackout |
| STC10 | Late Containment Failure, Rupture;<br>Similar with STC06 | Small LOCA |
| STC12 | Late Containment Failure, Rupture;<br>Similar with STC08 | Station Blackout |
| STC13 | Basemat Melt-through;<br>Similar with STC02<br>Without Safety Injection and CTMNT Spray Injection | Loss of Feed Water |

| | | |
|---|---|---|
| STC14 | Alpha Mode Failure;<br>Similar with STC02<br>With Support Plate Failure | Loss of Feed Water |
| STC15 | Containment Failure before Reactor Vessel Failure;<br>Similar with STC01<br>Without CTMNT Heat Removal System | Large LOCA |
| STC16 | Isolation Failure;<br>CTMNT Failure with the successful Recirc. Spray | Large LOCA |
| STC17 | Isolation Failure;<br>CTMNT Failure with the Failure of Recirc. Spray | Large LOCA |
| STC18 | V-sequence (Bypass) | Station Blackout |
| STC19 | Steam Generator Tube Rupture (Bypass);<br>Reactor Trip Success<br>HPSIS Injection Fail<br>Steam Removal via MSSV Fail | SGTR |

**4. 확률론적 방사선량 계산**

MACCS 코드의 입력자료에는 ORIGEN 에서 계산된 노심핵종 Inventory 와 MAAP 4.0.2 에서 계산된 방사선 핵종의 Release Fraction 이 사용된다. MACCS 1.5.11.1 은 정확한 모의를 위해 참조원전 주변의 기상조건(1992 년 기준), 인구분포 등의 실제자료를 참조하여 계산하였다. 계산조건은 각 사고마다 격납건물 외부로 방사선 핵종이 분출되기 시작하여 10 시간이 경과할때까지 주변부지 64km 이내에서 발생하는 방사선 피폭으로 설정하였고, Consequence 로서는 Early Fatality 를 척도로 선정하여 위험도 곡선을 생산하였다. 다음 표 6 은 참조원전의 STC 별 방사선원항 방출률이고 표 7 은 OMAM Framework 에 의하여 소외방출 방사선원[Sv]을 거리에 따라 계산한 결과이다. 소외로 방출된 방사선원을 거리별로 Sv 단위로 나타낸 것이다.

**표 6 참조원전의 방사선원항 방출률**

| STC | XE/KR | I | CS | TE | SR | LA | CE | BA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| 2 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| 3 | 9.646E-01 | 5.672E-03 | 1.255E-02 | 2.088E-02 | 4.304E-05 | 2.126E-05 | 3.795E-05 | 7.270E-04 |
| 4 | 9.944E-01 | 2.986E-02 | 6.733E-02 | 5.968E-02 | 2.448E-04 | 1.209E-04 | 2.165E-04 | 4.140E-03 |
| 6 | 0.000E+00 | 2.004E-03 | 5.591E-03 | 0.000E+00 | 9.569E-05 | 1.590E-04 | 1.809E-04 | 6.950E-04 |
| 8 | 9.081E-01 | 5.572E-04 | 3.128E-03 | 1.103E-01 | 1.253E-08 | 2.476E-09 | 2.249E-10 | 4.590E-07 |
| 10 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| 12 | 9.120E-01 | 2.488E-04 | 1.432E-03 | 4.071E-02 | 8.376E-09 | 1.668E-09 | 1.166E-10 | 3.280E-07 |
| 13 | 0.000E+00 | 1.571E-04 | 4.722E-04 | 4.894E-02 | 1.237E-08 | 3.322E-09 | 1.865E-10 | 3.820E-07 |
| 14 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| 15 | 6.296E-02 | 2.183E-03 | 1.072E-02 | 0.000E+00 | 5.793E-06 | 6.594E-06 | 1.019E-05 | 6.530E-05 |
| 16 | 9.998E-01 | 5.776E-03 | 1.789E-02 | 0.000E+00 | 6.024E-06 | 6.503E-06 | 6.208E-06 | 7.210E-05 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 17 | 9.616E-01 | 6.416E-02 | 1.768E-01 | 3.291E-02 | 5.174E-04 | 5.172E-04 | 6.555E-04 | 5.120E-03 |
| 18 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| 19 | 7.303E-01 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |

**표 7 참조원전의 소외 방사선량 [Unit: Sv]**

| distance[㎞] | stc#1 | stc#2 | stc#3 | stc#4 | stc#6 | stc#8 | stc#12 | stc#13 | stc#15 | stc#16 | stc#17 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.6-3.2 | 2.47E-02 | 1.77E-02 | 1.60E-02 | 1.02E-02 | 4.20E-03 | 1.12E-03 | 4.22E-04 | 2.02E-04 | 2.47E-02 | 1.77E-02 | 1.60E-02 |
| 3.2-4.8 | 2.80E-02 | 2.42E-02 | 2.52E-02 | 2.18E-02 | 1.29E-02 | 3.23E-03 | 1.23E-03 | 5.91E-04 | 2.80E-02 | 2.42E-02 | 2.52E-02 |
| 4.8-6.4 | 2.80E-02 | 2.42E-02 | 2.52E-02 | 2.18E-02 | 1.29E-02 | 3.23E-03 | 1.23E-03 | 5.91E-04 | 2.80E-02 | 2.42E-02 | 2.52E-02 |
| 6.4-8.0 | 2.00E-01 | 1.17E-01 | 8.04E-02 | 7.24E-02 | 8.08E-02 | 1.10E-01 | 5.55E-02 | 3.17E-02 | 2.00E-01 | 1.17E-01 | 8.04E-02 |
| 8.0-16.0 | 7.38E-02 | 6.55E-02 | 5.70E-02 | 4.38E-02 | 2.64E-02 | 2.89E-02 | 1.77E-02 | 1.40E-02 | 7.38E-02 | 6.55E-02 | 5.70E-02 |
| 16.0-32.0 | 1.64E-01 | 1.03E-01 | 6.97E-02 | 4.83E-02 | 3.38E-02 | 8.27E-02 | 4.25E-02 | 2.16E-02 | 1.64E-01 | 1.03E-01 | 6.97E-02 |
| 32.0-48.0 | 1.17E-01 | 6.67E-02 | 5.11E-02 | 4.14E-02 | 2.63E-02 | 4.59E-02 | 1.92E-02 | 9.16E-03 | 1.17E-01 | 6.67E-02 | 5.11E-02 |
| 48.0-64.0 | 6.13E-02 | 3.58E-02 | 2.85E-02 | 2.53E-02 | 1.67E-02 | 3.80E-02 | 1.47E-02 | 7.10E-03 | 6.13E-02 | 3.58E-02 | 2.85E-02 |

## 5. 참조원전의 위험도 평가

MACCS 코드의 실행결과로부터 얻은 Consequence 값과 각 사고 시나리오의 발생가능성을 종합하여 참조원전의 리스크를 구하였다. Early Fatality 및 Latent Cancer Fatality 에 대해 정리한 리스크를 표 8 에 나타내었고 리스크 곡선을 그림 2 에 나타내었다. OMAM 체제를 이용한 계산결과를 통해서 확인할 수 있듯이 참조원전의 최적 리스크는 Early Fatality 에 대해 $1.54\times10^{-11}$/RY, Latent Cancer Fatality 에 대해 $4.08\times10^{-5}$/RY 인 것으로 계산되었다.

**표 8 참조원전의 리스크**

| STC | Frequency | Early Fatality | Cancer Fatality | (Freq.) * (E/F) | (Freq.) * (C/F) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2.33E-06 | 0.00E+00 | 1.40E+00 | 0.00E+00 | 3.27E-06 |
| 2 | 3.40E-06 | 0.00E+00 | 3.32E+00 | 0.00E+00 | 1.13E-05 |
| 3 | 1.30E-08 | 9.21E-06 | 2.90E+01 | 1.20E-13 | 3.78E-07 |
| 4 | 1.80E-08 | 2.54E-04 | 5.36E+01 | 4.57E-12 | 9.64E-07 |
| 6 | 2.90E-07 | 0.00E+00 | 1.96E+01 | 0.00E+00 | 5.69E-06 |
| 8 | 1.61E-07 | 3.79E-05 | 2.53E+01 | 6.09E-12 | 4.07E-06 |
| 12 | 7.80E-08 | 0.00E+00 | 1.35E+01 | 0.00E+00 | 1.05E-06 |
| 13 | 1.62E-07 | 0.00E+00 | 1.01E+01 | 0.00E+00 | 1.63E-06 |
| 15 | 4.92E-07 | 0.00E+00 | 2.49E+01 | 0.00E+00 | 1.22E-05 |
| 16 | 5.40E-09 | 9.10E-06 | 3.01E+01 | 4.91E-14 | 1.63E-07 |
| 17 | 2.76E-09 | 1.66E-03 | 7.93E+01 | 4.57E-12 | 2.19E-07 |

## 6. 결론

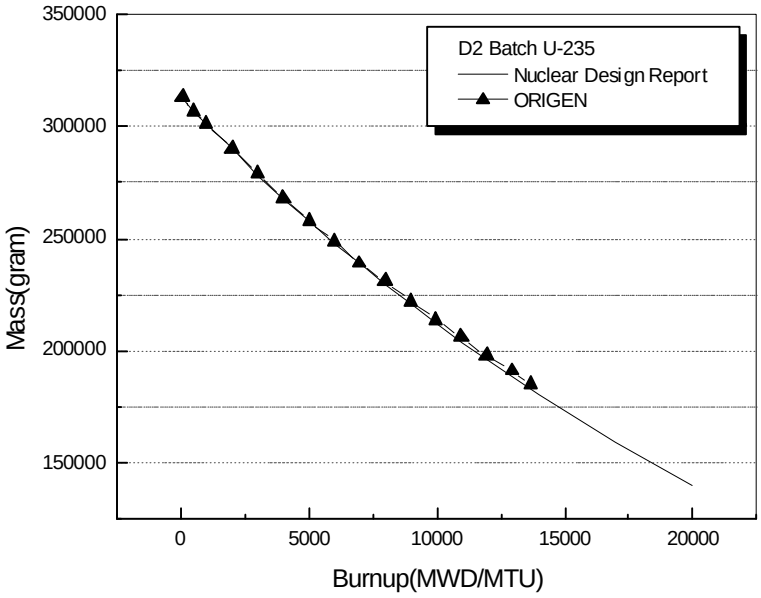
본 연구에서는 OMAM(ORIGEN-MAAP4-MACCS)의 전산체제 구축을 통해 참조원전의 리스크를 정량적으로 평가하였다. 그 결과를 위험도 곡선으로 나타내었으며 국내 다른 원전에 대해서 방사선 리스크를 평가할 수 있는 기반을 구축하였다. 아울러 다른 종류의 위험요인이 있는 자동차, 항공기, 낙뢰 사고와 같은 인적재난과 자연재난의 리스크와 비교가 가능할 수 있는 기술적 기반을 조성하였다. 본 연구결과는 각 단계별 불확실성을 줄이는 연구를 통하여 OMAM 체제를 개선함으로서 향후 국내 20 개 원전에 대한 리스크 DB 를 구축하는데 활용될 것이다.

## 7. 참고문헌

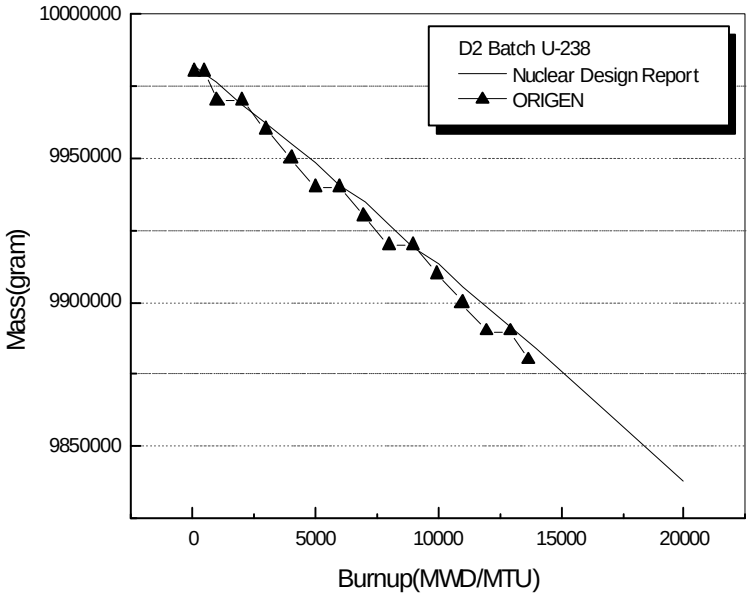

1. S. Kaplan and B. J. Garrick, “On The Quantitative Definition of Risk,” Risk Analysis, Vol. 1, No. 1, 1981
2. US NRC, “PRA Procedure Guide Vol 1,” NUREG/CR-2300, 1983
3. US NRC, “PRA Procedure Guide Vol 2,” NUREG/CR-2300, 1983
4. N. J. McCormick, “Reliability and Risk Analysis Methods and Nuclear Power Application,” Academic Press, New York, 1981
5. O. W. Hermann, R. M. Westfall, “ORIGEN-S: Scale System Module to Calculate Fuel Depletion, Actinide Transmutation, Fission Product Buildup and Decay, and Associated Radiation Source Terms,” ORNL, NUREG/CR0200, 2000
6. “확률론적 안전성 평가기법 및 응용과정,” 한국원자력연구소 원자력연수원, 1993
7. “Final Probabilistic Safety Assessment Report,” 한국전력공사, Vol. 1~4
8. “MAAP4 – Modular Accident Analysis Program for LWR Power Plants,” EPRI, Vol 1~3, 1994
9. “Reactor Safety Study,” WASH-1400
10. “Nuclear Design Report for Ulchin Nuclear Power Plant Unit 3 Cycle 1,” 한국전력공사, 1998
11. “확률론적 안전성 평가,” KEPRI Technical Report, TR.96NS20.97.80, 1997


## 감사의 글


본 연구는 방사선안전신기술연구센터(iTRS)의 방사선안전성종합평가 과제수행의 일환으로 수행된 것이다.

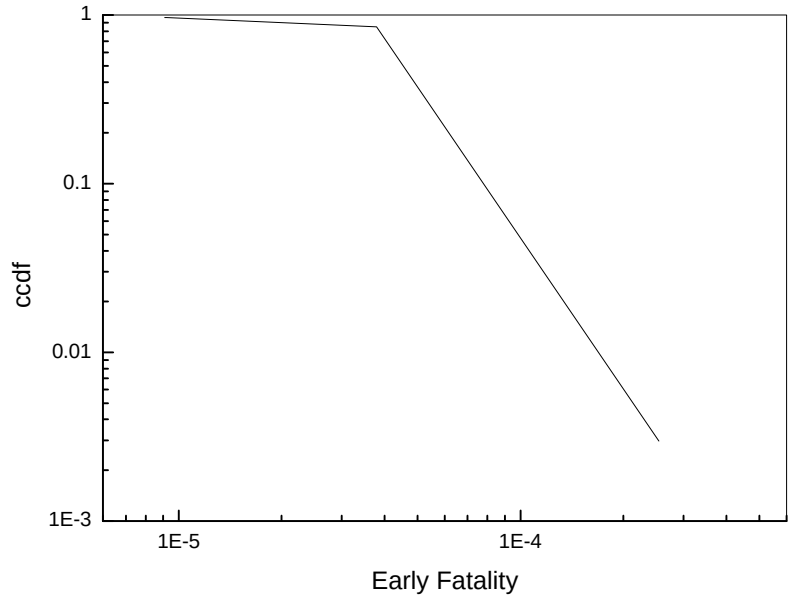



**(a) U-235**

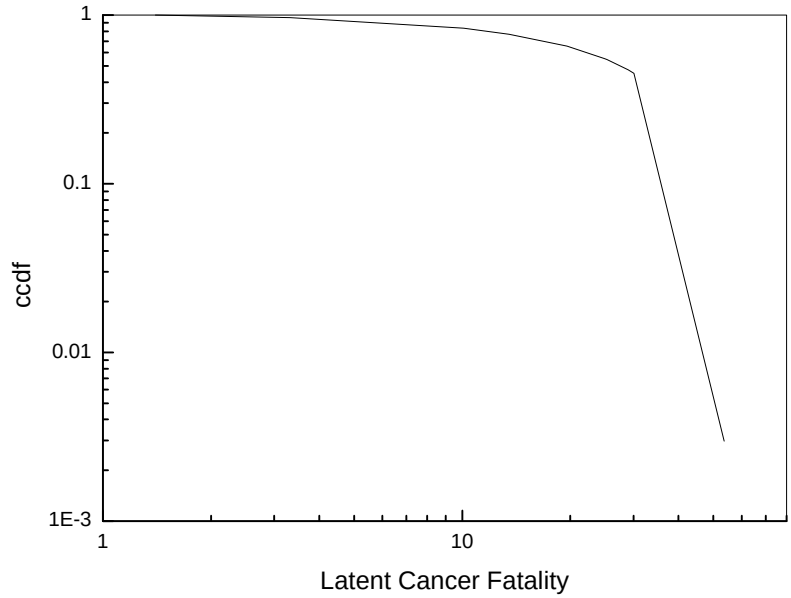



**(b) U-238**

**그림 1. D2 Batch U-235 와 U-238 의 변화**




**(a) Early Fatality**




**(b) Cancer Fatality**

**그림 2. 리스크 곡선**