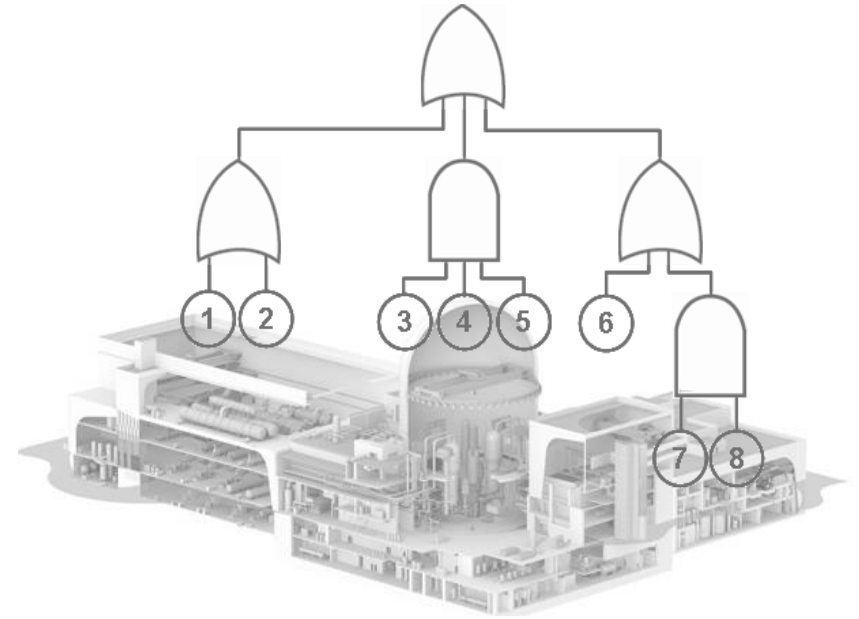


다수기 시차사고에 대한 새로운 계산 방법 (A New Calculation Method for Multi-unit Cascade Accidents)

세종대학교

이기만, 노현석, 정우식

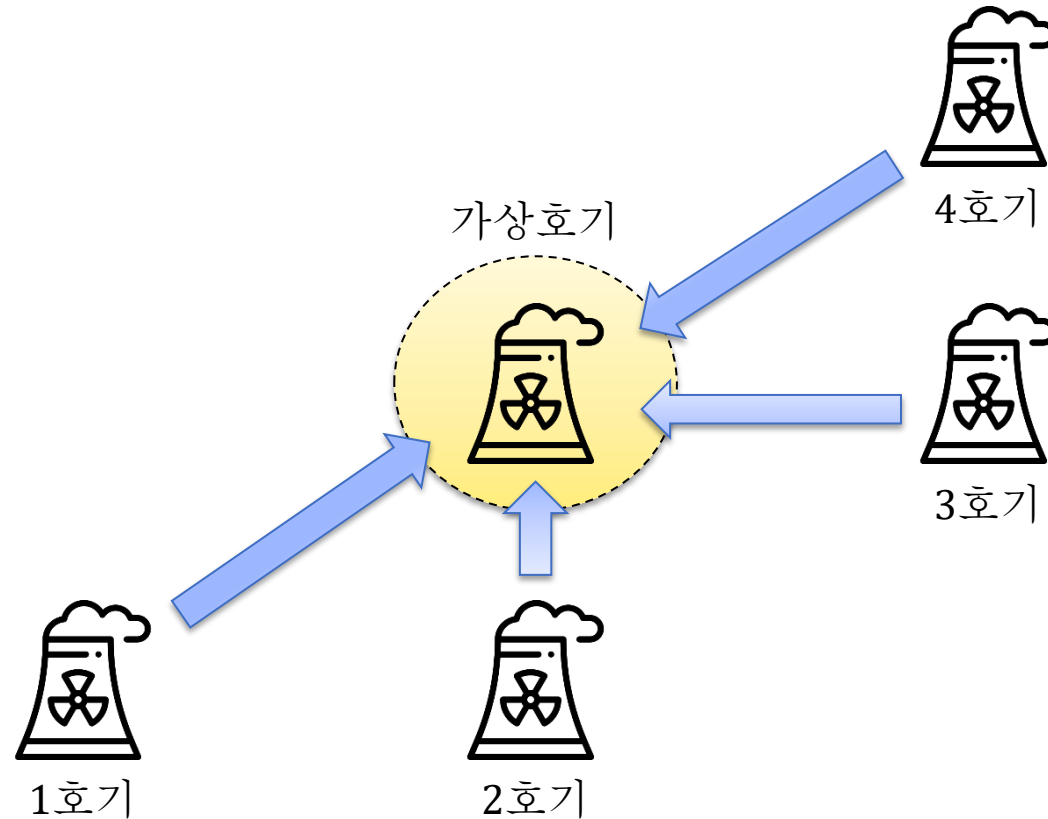


내용

1. MACCS 다수기 사고 계산의 문제점 #1
2. MACCS 다수기 사고 계산의 문제점 #2
3. 다수기 시차사고 계산 절차
4. 대기확산 - 가우시안 방사능운 모델
5. 다수기 다중위치 계산 방법
6. 다수기 시차사고 계산 방법
7. 벤치마크 문제
8. 입력 및 계산 결과
9. 결론
10. 향후 과제

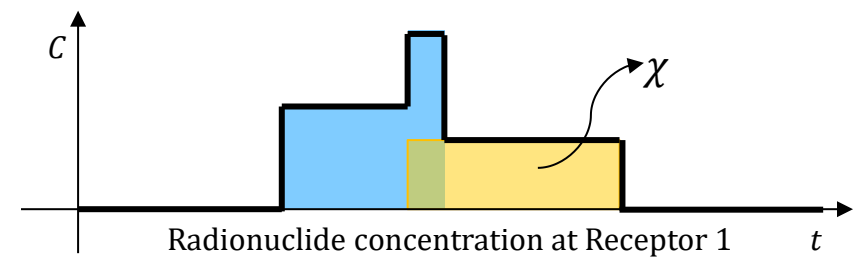
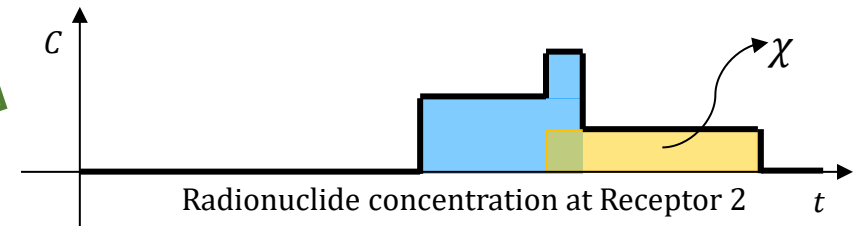
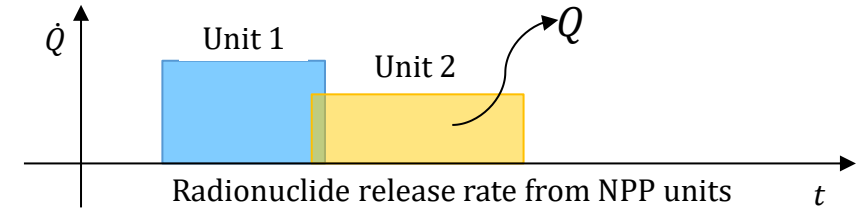
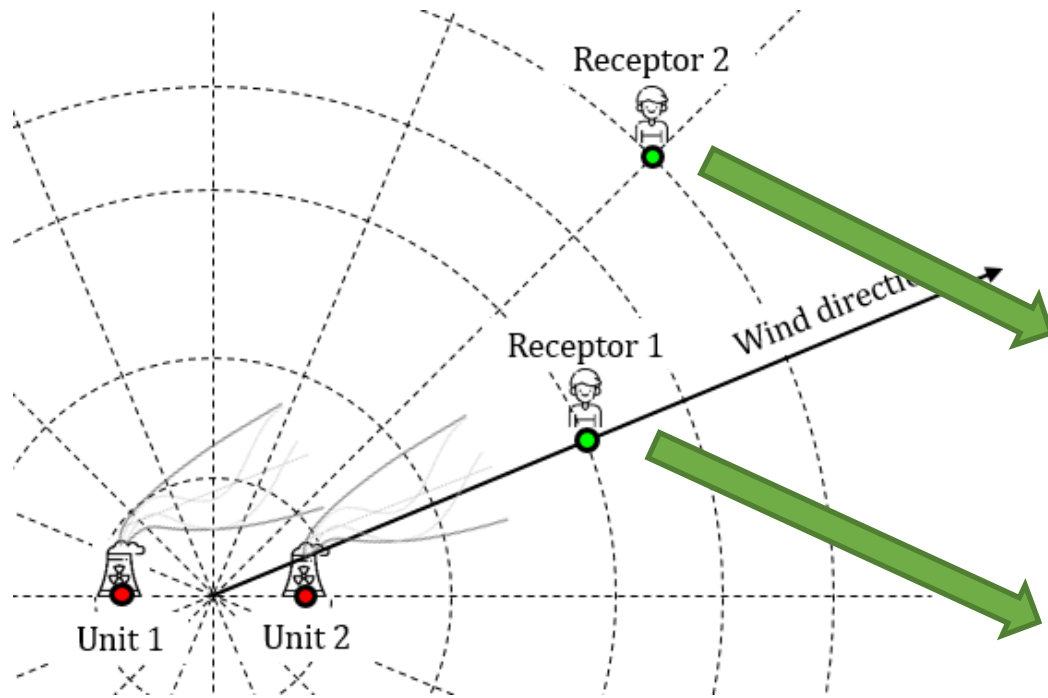
1. MACCS 다수기 사고 계산의 문제점 #1

- 다수기 사고에서 MACCS는 각 호기의 위치를 입력으로 설정할 수 없음.
- 공간적으로 다른 위치에 있는 호기들을 하나의 가상호기로 합산하여 계산하기 때문에 과평가 발생
- 다중위치가 가능하도록 MACCS를 수정하거나 후처리 코드 필요

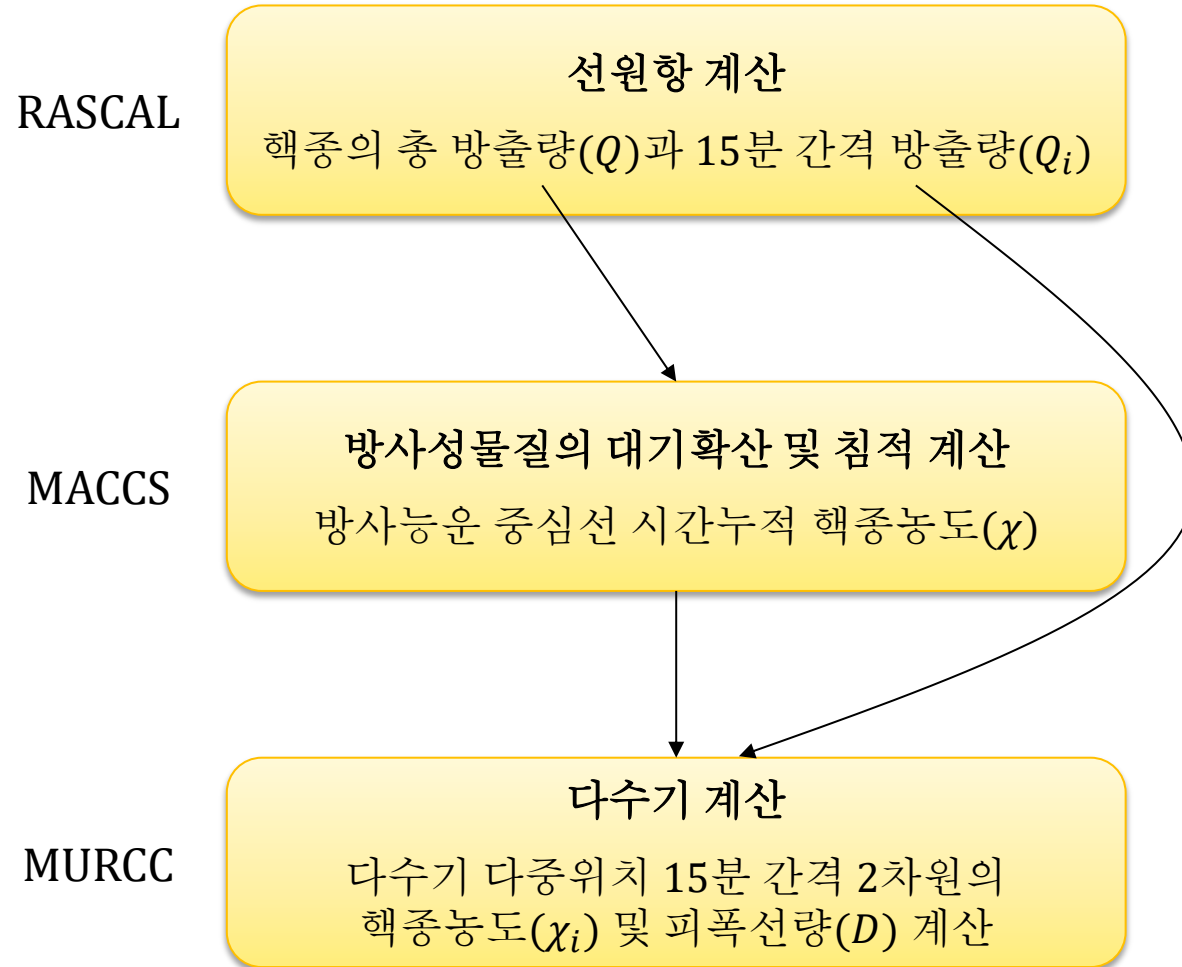


2. MACCS 다수기 사고 계산의 문제점 #2

- MACCS는 시간에 대해 적분한 총 방출량 Q (Bq) 을 입력으로 사용하고 결과는 시간누적 공기중 핵종농도 χ (Bq·sec/m³)가 됨.
- 시간정보가 사라져서 다른 시간에 발생한 사고를 동시사고로 계산하기 때문에 과평가 발생
- 시차사고를 계산하기 위해 MACCS를 수정하거나 후처리 코드 필요



3. 다수기 시차사고 계산 절차



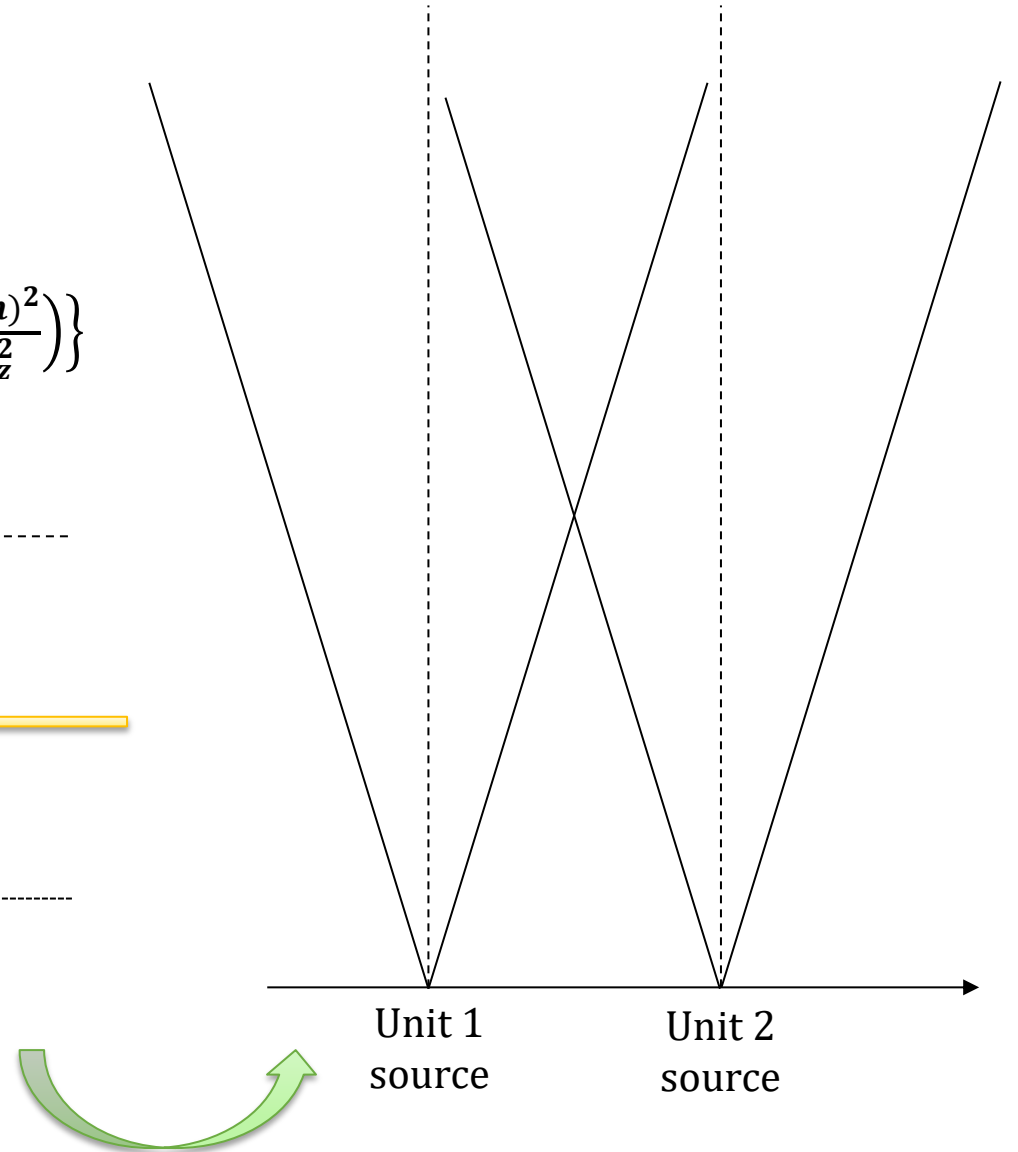
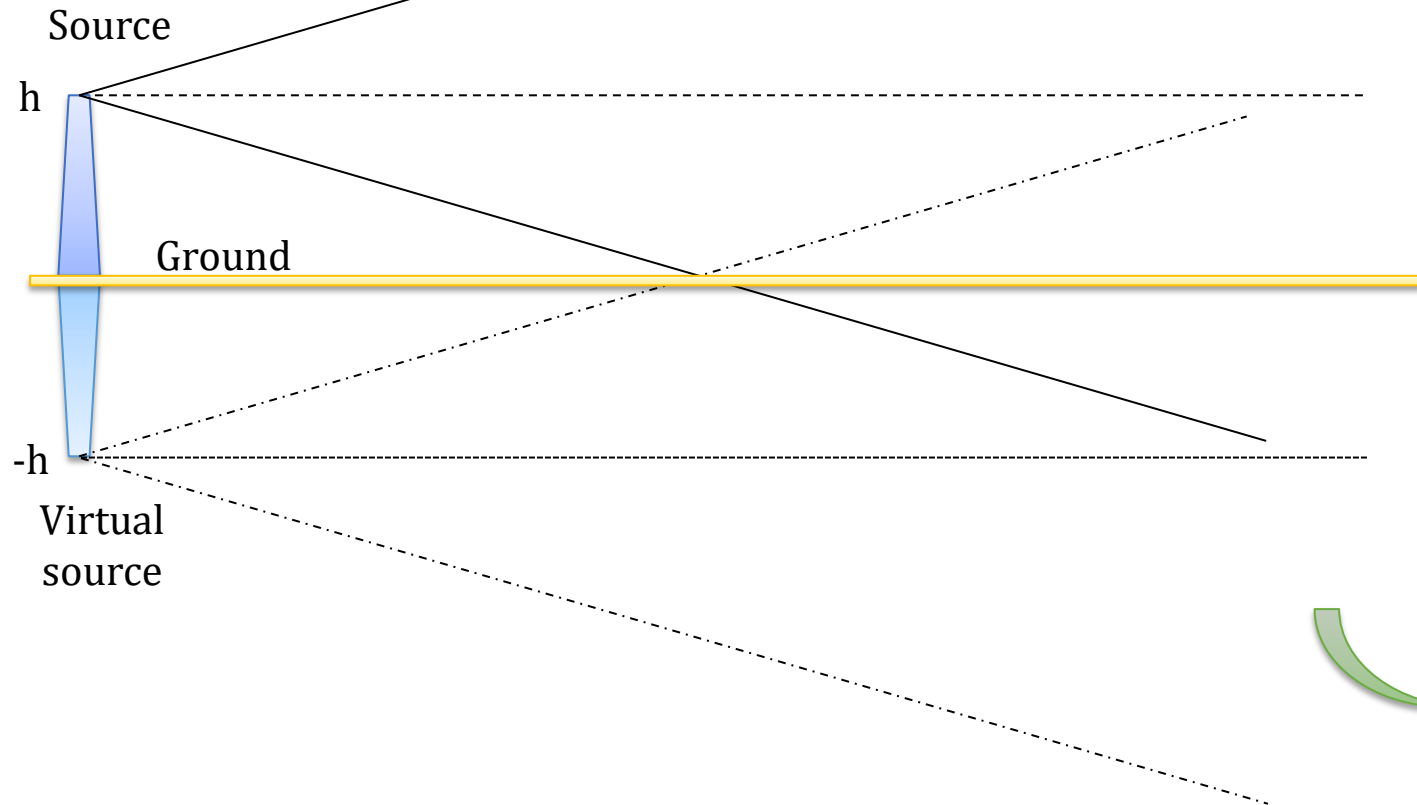
4. 대기확산 - 가우시안 방사능운 모델

- 가우시안 방사능운 모델 - 정적 모델, 정상 상태

$$- C(x, y, z) = \frac{\dot{Q}}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

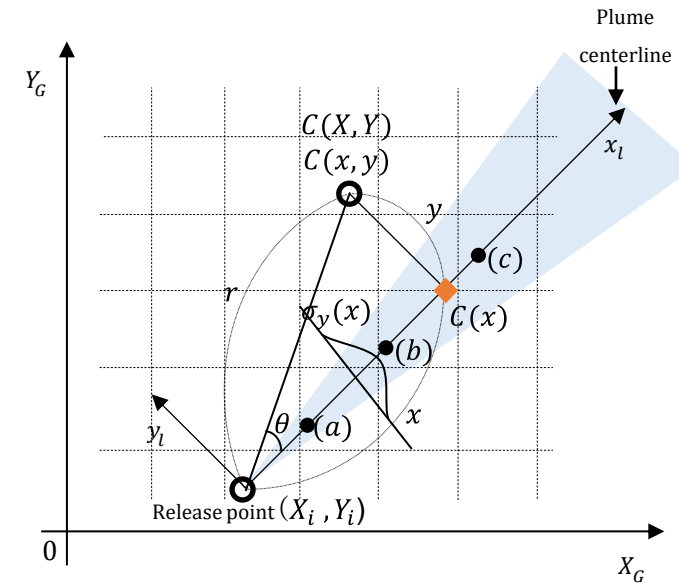
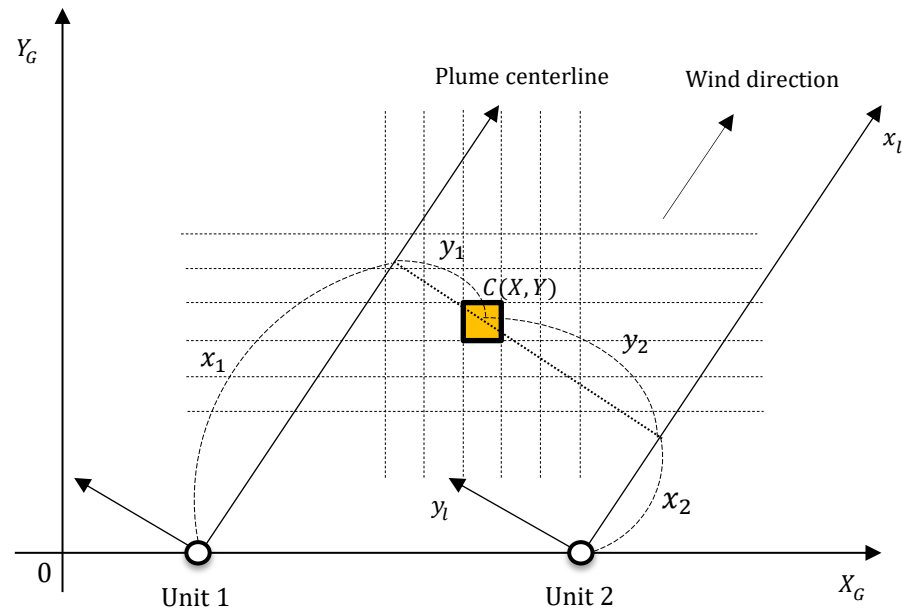
- 지표면 반사를 고려한 가우시안 방사능운 모델

$$- C(x, y, z) = \frac{\dot{Q}}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left\{ \exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right\}$$



5. 다수기 다중위치 계산 방법

- 전역 좌표계에서 계산
 - 하나의 전역 좌표계와 각 방사능원의 지역 좌표계 사용
 - 동일한 위치에 대해서는 각 방사능원의 농도를 합산
- 지역 좌표계에서 계산
 - MACCS 계산 결과 방사능원 중심선 핵종농도와 대기확산계수
 - 가우시안 방사능원 수식을 사용하여 임의의 위치에서 핵종농도 계산



6. 다수기 시차사고 계산 방법

- 가우시안 방사능운 모델 - 사고 상황

- $$\chi(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left\{ \exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right\}$$

- $Q = \int \dot{Q}(t) dt$

- $\chi(x, y, z) = \int C(x, y, z, t) dt$

- 각 방사능운이 공간에서 독립적이듯이 시간에 대해서도 독립적임

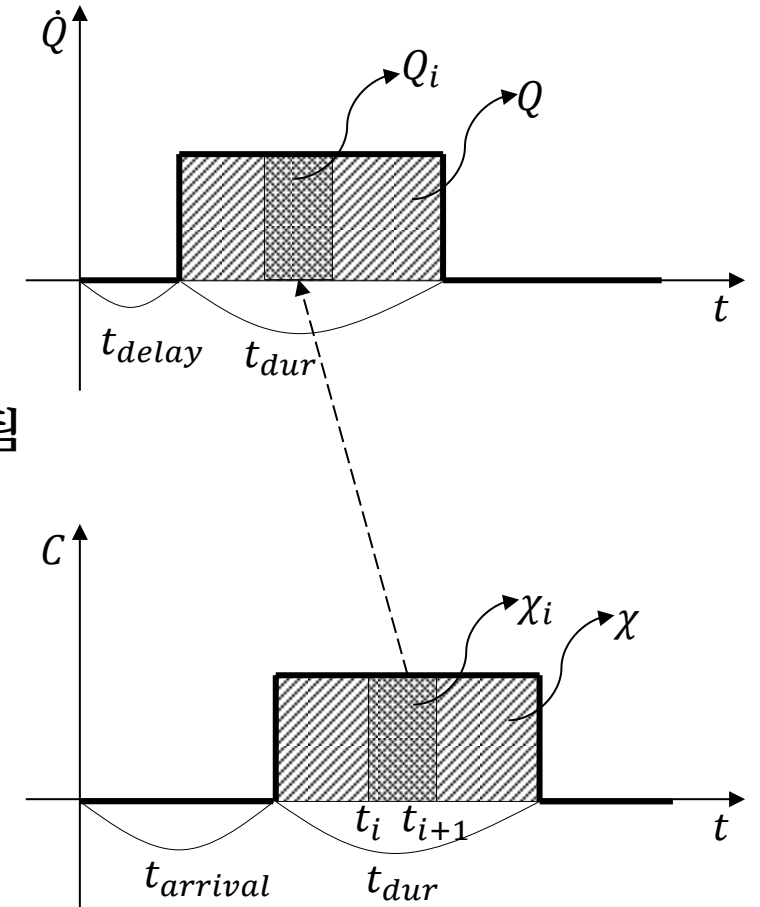
- 시간에 따른 Plume Segment를 계산한 뒤 같은 시간과 지점은 합산하면 됨

- χ 와 Q 는 비례관계

- $\chi_i(x, y, z) = \chi(x, y, z) \frac{Q_i}{Q}$

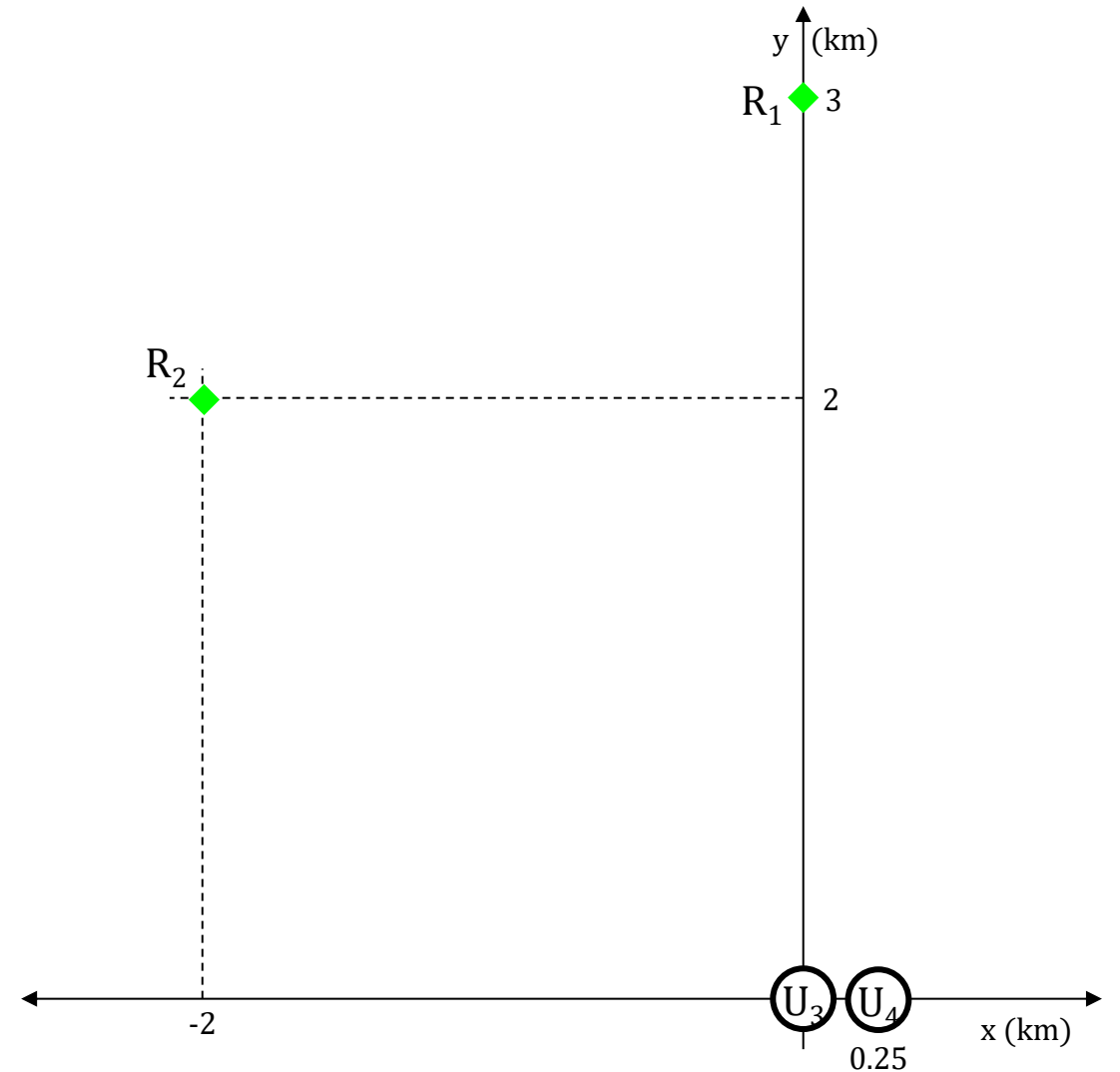
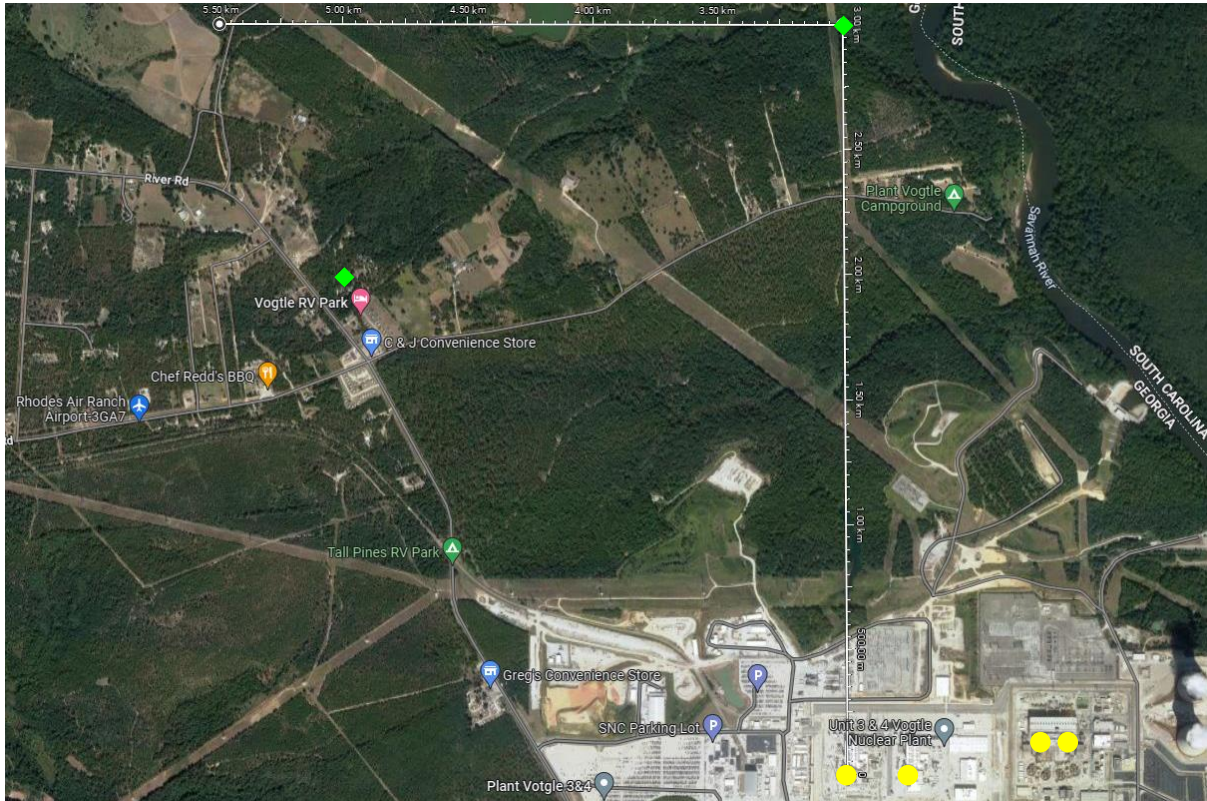
- $Q_i = \int_{t_i - x/u}^{t_{i+1} - x/u} \dot{Q}(t) dt$

- $x/u = t_{arrival} - t_{delay}$



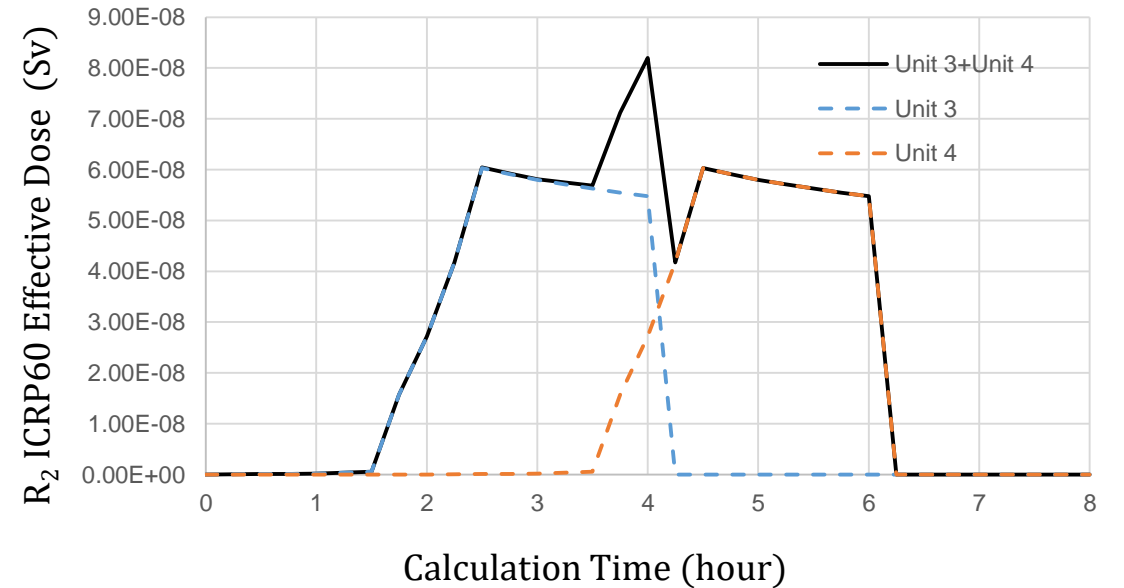
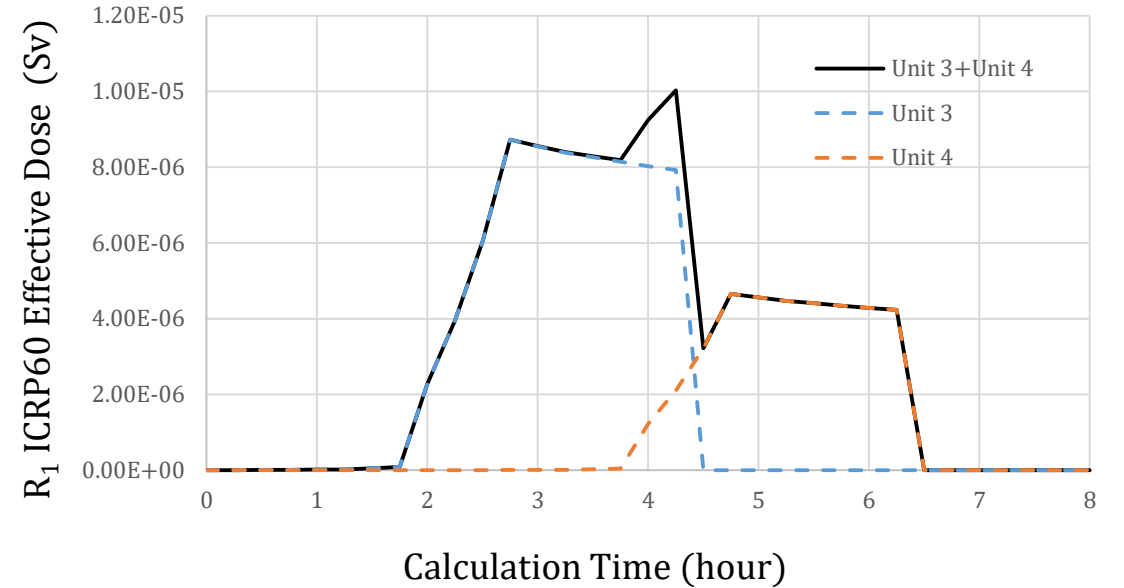
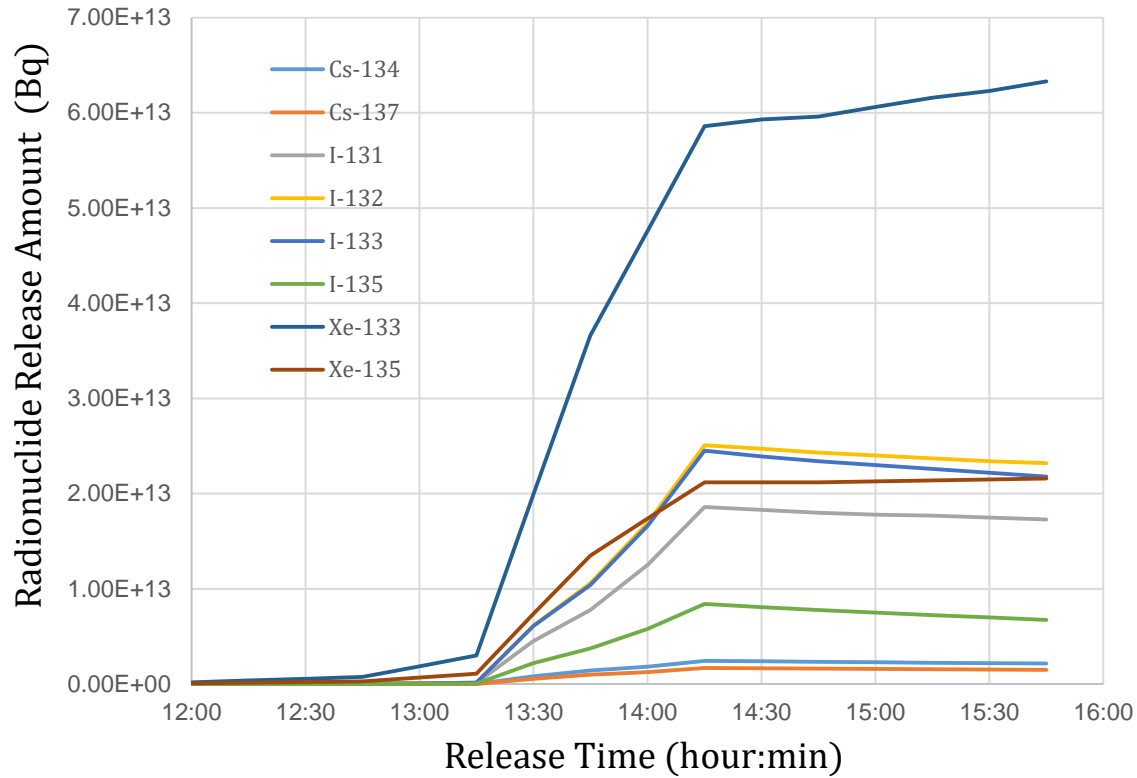
7. 벤치마크 문제

- Vogtle 3&4 Units
 - 동일한 LTSBO 사고, 4시간 방출, 방출 시차 2시간
- 고정 날씨 조건
 - 남풍, 풍속 2.5m/s, 대기안정도 D



8. 입력 및 계산 결과

- 3호기/4호기는 2시간 시차로 방사성물질 방출



9. 결론

- 다수기 사고에서 모든 호기가 동일한 시각에 사고가 발생하지 않고 방사성물질 방출 시간도 동일하지 않다.
- 현재의 3단계 PSA는 비상대응 시간 동안의 시간누적 핵종농도와 총 피폭선량을 사용하고 있다.
- 이는 시간에 대해서 적분한 결과이므로 이러한 방법은 다수기 사고가 동시에 발생했다고 가정하는 것과 동일한 결과가 되어 위험을 과대평가할 수 있다.
- 시차사고를 적용하여 시간에 따른 방사성물질의 핵종농도 및 피폭선량을 계산해야 리스크를 보다 정확하게 평가할 수 있고 사고 초기에 비상대응에 적용 가능할 것으로 예상된다.

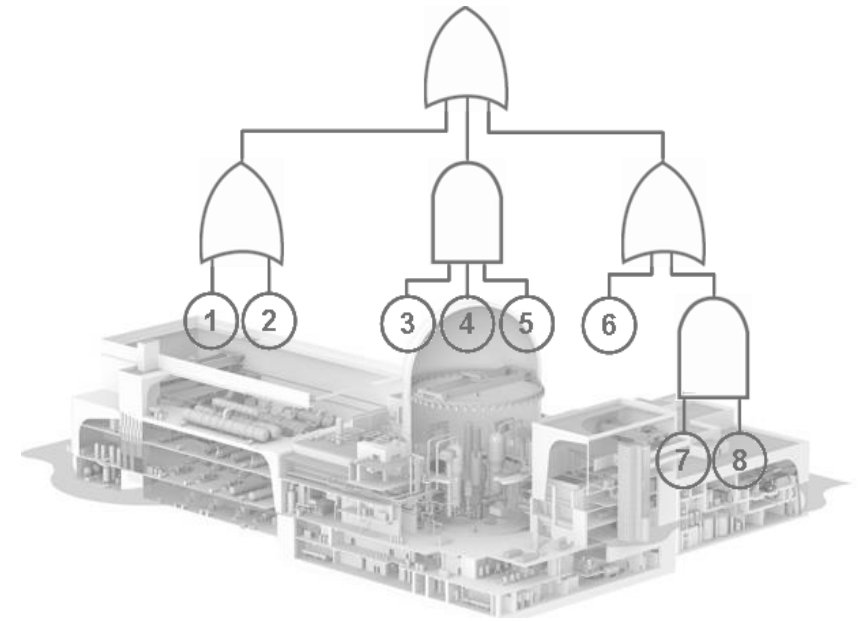
10. 향후 과제

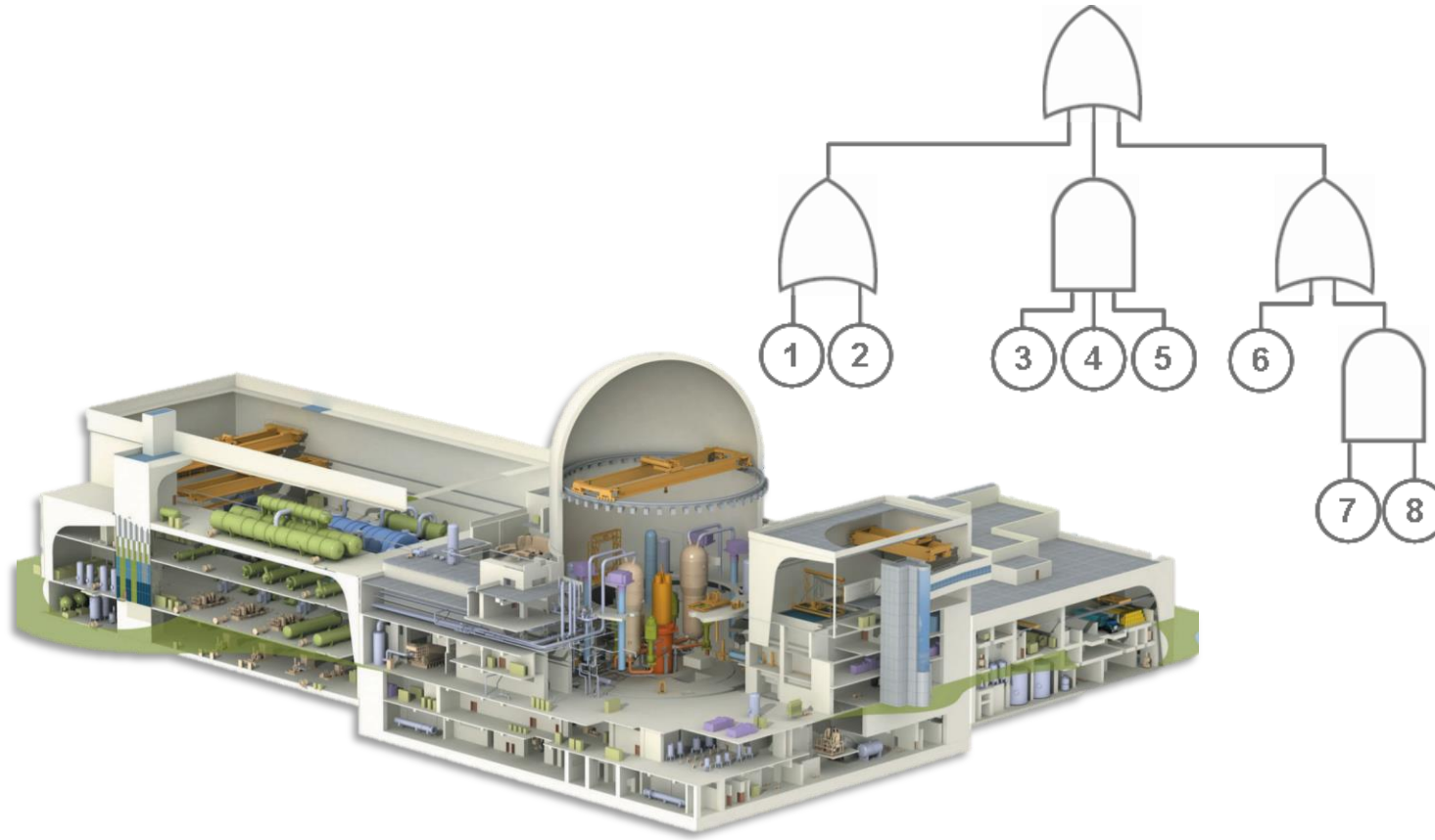
■ 리뷰어 코멘트

- 옥내대피, 소개, 이주 등의 비상대응 모델과 어떻게 연계할지
 - MACCS 대피 모델은 고정 대피 시나리오임
 - 실시간 대피를 적용하기 위해서는 동적 대피 시나리오가 적용 가능해야 함
 - 예방적보호조치구역(PAZ)은 사전에 주민을 소개하므로 해당되지 않음
 - 긴급보호조치계획구역(UPZ)은 비상시 방사선영향평가를 기반으로 주민보호조치를 시행하므로 행정구역 별 우선순위를 정하는데 적용 가능함
- 실시간으로 변하는 선량으로부터 보건영향을 어떻게 평가할지
 - 현재 보건영향 평가는 총 피폭선량을 위해도 함수에 적용하여 평가
 - 시간별 피폭선량을 보건영향평가에 적용하기 위해서는 생물학적/의학적 모델부터 개발되어야 함
- 날씨가 변하는 경우 시차사고 계산
 - 각 날씨에 대해서 MACCS 계산을 수행
 - 풍향, 풍속을 반영하여 수용체 위치에 Plume Segment 도착 시간을 계산



질문 & 답변





Integration of Nuclear Safety and Security