

Production of Deep Learning Data Base for Accident Source Term Estimation

Sung-yeop Kim, Soo-Yong Park

Korea Atomic Energy Research Institute

sungyeop@kaeri.re.kr

Korean Nuclear Society Autumn Meeting

October 21-22, 2021

목 차

1. 서론

2. 딥러닝 학습용 중대사고 DB 구축

- 학습을 위한 주요 입출력 변수 도출
- 중대사고 대표 시나리오 선정
- MAAP 대량 계산을 통한 학습용 DB 구축

3. 요약 및 결론

서론

서론



*Image from HotSpot code homepage:
<https://narc.llnl.gov/hotspot>

■ 선원항이란?

- **선원항(Source term):** 사고로 인하여 환경으로 방출되는 위험물질의 방출과 관련된 정보
- **방사선원항(Radiological source term):** 원자력시설의 사고로 인한 방사성물질의 환경 방출 정보
 - 방출량(Manner of release)
 - 방출특성(Manner of release): 방출시점, 방출기간, 방출높이, 방출에너지, 입자크기분포 등

■ 선원항 예측의 중요성

- 원자력시설에서 방사선비상이 발생할 경우
 - **예방적보호조치구역(PAZ):** 사전에 주민을 소개하는 등 예방적 주민보호조치
 - **긴급보호조치계획구역(UPZ):** 방사능영향평가 또는 환경감시결과를 기반으로 주민보호조치 결정
- 방사능영향평가 시 **정확하고 신속한 선원항 정보 제공**이 중요함
 - 후쿠시마 사고 시 선원항 정보 제공의 미흡으로 SPEEDI* 시스템을 활용하지 못함

*SPEEDI (System for Prediction of Environmental Emergency Dose Information)

■ 본 연구의 차별성

- 변화하는 발전소 상태 정보들로부터 신속하게 중대사고 상황을 파악하고 반영하여 선원향을 예측하기 위한 기존 기술의 한계점 극복
- **딥러닝 기술을 활용한 신속 중대사고 상황 파악 및 선원향 고속예측** 기술 개발

■ 기대효과

- 사고진행 예측 결과 및 선원향 정보를 제공하여 **주민보호조치 의사결정** 뿐 아니라 **중대사고관리 지원** 등 다양한 분야에 활용
- 대표 시나리오에 대해 시범적으로 개발한 기술의 적용성 및 활용성이 확보되면 **다양한 노형의 다양한 시나리오에 대해 확대** 기술 개발 및 활용

■ 본 연구의 범위

- **선원향 고속 예측을 위한 딥러닝 학습용 중대사고 DB 구축**

딥러닝 학습용 중대사고 DB 구축

주요 입출력 변수 도출

■ 선원항 예측 주요 입력변수 선정

- AtomCARE 기반 주요 원전안전변수 중 **선원항과 관련이 높은 25개 변수 선정**

- **AtomCARE 변수 – MAAP 변수 연계**

- AtomCARE 변수와 관련 있는 MAAP 변수 선정
- AtomCARE 변수와 단위가 다른 MAAP 변수를 AtomCARE와 동일하게 변환 및 출력

- **관련 MAAP 변수**

- Pressure in pressurizer
- Collapsed water level in pressurizer
- Collapsed water level in Rx-vessel
- Temperature of water in loop 1 hot leg
- Water mass flow in cold leg 1A
- Water mass flow in cold leg 1B
- Water mass flow in cold leg 2A
- Water mass flow in cold leg 2B
- Pressure in the S/G 1
- Pressure in the S/G 2
- Collapsed water level in the S/G 1
- Collapsed water level in the S/G 2
- Temperature of gas in loop 1 upper plenum
- Hottest core node temperature
- Pressure in accumulator
- High pressure injection system flowrate
- Low pressure injection system flowrate
- Containment spray system flowrate
- Water level in refueling water storage tank
- Pressure in containment building compartment #3
- Temperature of gas in containment building compartment #3
- Collapsed water level in containment building compartment #2
- Collapsed water level in containment building compartment #6
- Mole fraction of H2 in containment building compartment #3

주요 입출력 변수 도출

■ 선원항 예측 주요 출력변수 선정

- 딥러닝 학습용 중대사고 DB 생산을 위한 주요 출력변수 선정
 - MAAP의 FP Group으로 출력 시 AtomCARE와 낮은 연계 용이성

	FP	Member		FP	Member
	Group			Group	
MAAP4 & MAAP5	1	VAPOR (V): Noble gases (Xe + Kr) AEROSOL (A): All non-radioactive inert aerosols	Only MAAP5	13	Ag (activation product, not FP)
	2	V & A: CsI + RbI		14	V: I ₂ (iodine in elemental form)
	3	V & A: TeO ₂		15	V: CH ₃ I (iodine in organic form)
	4	V & A: SrO		16	V & A: Cs ₂ MoO ₄
	5	V & A: MoO ₂ + RuO ₂ * + TcO ₂ ** + RhO ₂ **		17	V & A: RuO ₂
	6	V & A: CsOH + RbOH		18	V & A: PuO ₂ (fuel, not FP)
	7	V & A: BaO			
	8	V & A: La ₂ O ₃ + Pr ₂ O ₃ + Nd ₂ O ₃ + Sm ₂ O ₃ + Y ₂ O ₃ + ZrO ₂ ** + NbO ₂ ** + AmO ₂ ** + CmO ₂ **			
	9	V & A: CeO ₂ + NpO ₂ + PuO ₂ *			
	10	V & A: Sb			
	11	V & A: Te ₂			
	12	V & A: UO ₂ (fuel, not FP)			

< MAAP5의 18개 핵분열생성물(FP) 그룹 >

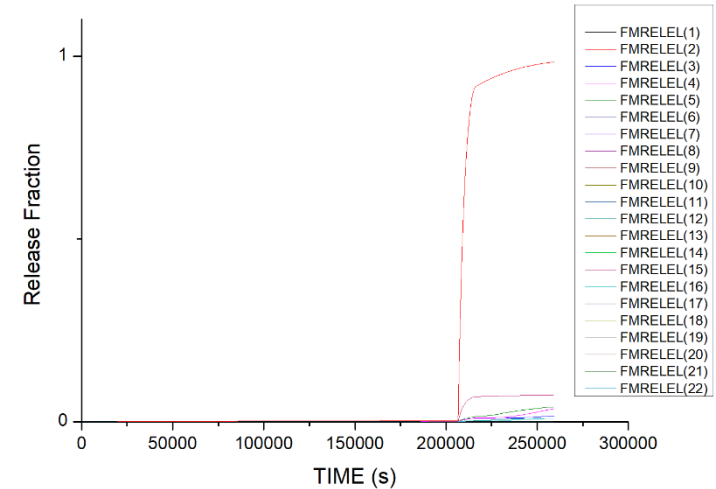
주요 입출력 변수 도출

■ 선원항 예측 주요 출력변수 선정

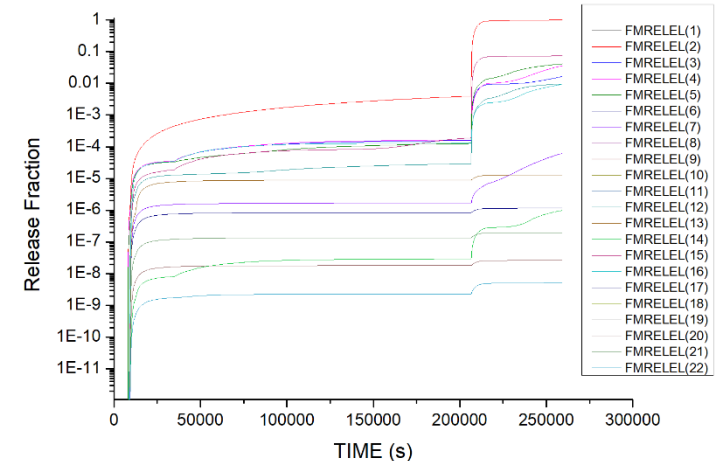
- 딥러닝 학습용 중대사고 DB 생산을 위한 주요 출력변수 선정
 - MAAP의 원소 정보 출력 기능 활용
 - 22개 원소에 대한 방출분율(FMRELEL) 정보를 출력변수로 선정

MAAP FP 원소 방출질량 (kg)			
원소	변수이름	원소	변수이름
Xe-131	MRELEL(1)	Ru-101	MRELEL(14)
Kr-84	MRELEL(2)	Sb-127	MRELEL(15)
I-131	MRELEL(3)	Te-128	MRELEL(16)
Rb-86	MRELEL(4)	Ce-140	MRELEL(17)
Cs-133	MRELEL(5)	Pr-141	MRELEL(18)
Sr-88	MRELEL(6)	Nd-144	MRELEL(19)
Ba-138	MRELEL(7)	Sm-150	MRELEL(20)
Y-89	MRELEL(8)	Np-237	MRELEL(21)
La-139	MRELEL(9)	Pu-239	MRELEL(22)
Zr-91	MRELEL(10)	Rh-105	MRELEL(23)
Nb-93	MRELEL(11)	Am-241	MRELEL(24)
Mo-96	MRELEL(12)	Cm-242	MRELEL(25)
Tc-99	MRELEL(13)		

< MAAP5의 25개 핵분열생성물 원소 정보 >



방출분율 예시 (Linear Scale)



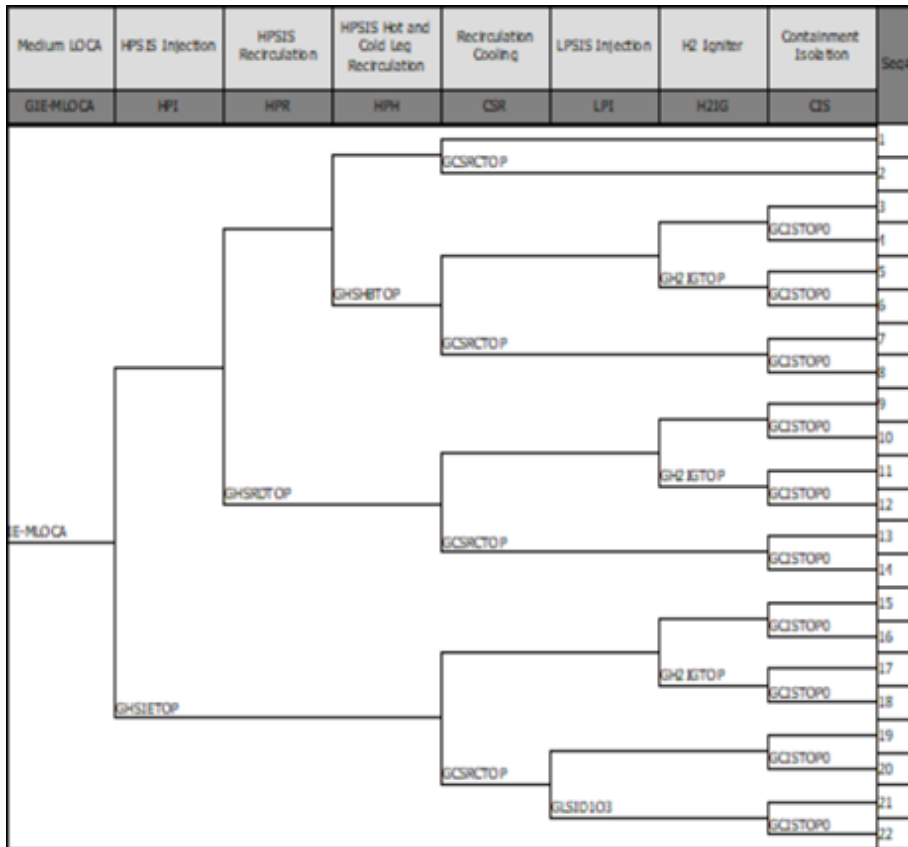
방출분율 예시 (Log Scale)

중대사고 대표 시나리오 선정

- 중대사고 DB 구축을 위한 대표 시나리오 2건 선정
 - 중대사고 진행 시 원자로냉각재계통이 저압 및 고압으로 유지되는 조건에 대하여 초기사건 1건씩을 고려
 - 저압으로 유지되는 냉각재상실사고
 - 고압으로 유지되는 과도사건
 - 근거
 - 원자로냉각재계통 압력 조건에 따라 RCS 압력경계 파손, DCH, MCCI, 증기생성 및 수소생성 등의 중대사고 현상들이 판이하게 다르게 전개되기 때문
 - 노심손상빈도가 가장 높은 대표 시나리오 선정
 - 중형냉각재상실사고(MLOCA)
 - 1차측 기기냉각수 완전상실사고(TLOCCW)

중대사고 대표 시나리오 선정

- MLOCA에 대하여 세부 시나리오 선정
 - 안전계통 작동 여부에 따라 22개 시나리오로 분류 후 발생빈도 기준으로 12개 세부 시나리오 선정 (Level 1 & Level 2 PSA 기반, 발생빈도 기준 99.99%)



12개 시나리오 선정/저장 폴더

- ML-02
- ML-03
- ML-04
- ML-05
- ML-07
- ML-09
- ML-11
- ML-13
- ML-15
- ML-17
- ML-19
- ML-21

학습용 DB 구축 및 딥러닝 적용성 검토

▪ 각 세부 시나리오 별 분석 케이스 도출

- 파이프 파단크기, 분석 전산코드의 불확실 변수값 범위 및 분포에 따라 100회 샘플링 수행
- 각 샘플링 결과를 분석 케이스로 정의
- 총 분석 케이스: 12개 세부 사고시나리오 × 100 = 1,200 분석 케이스

▪ 사고모의 전산프로그램(MAAP5)을 이용하여 1,200 분석 케이스에 대한 사고분석 수행

▪ 각 분석 케이스별 Data Sheet 생성

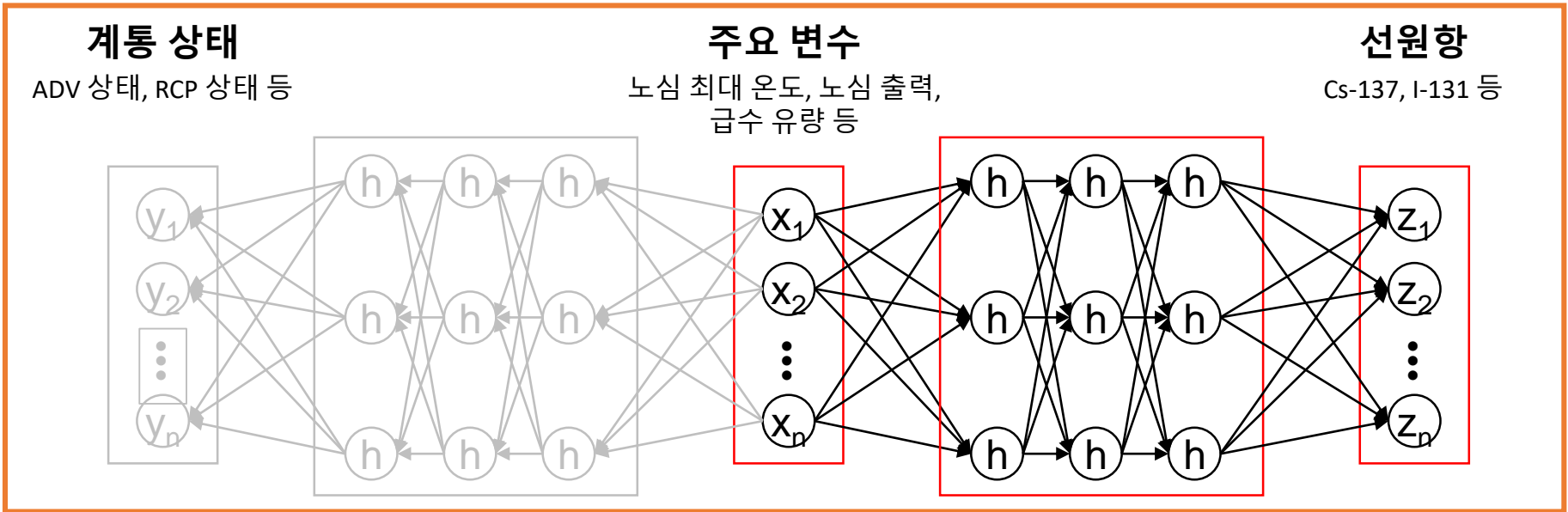
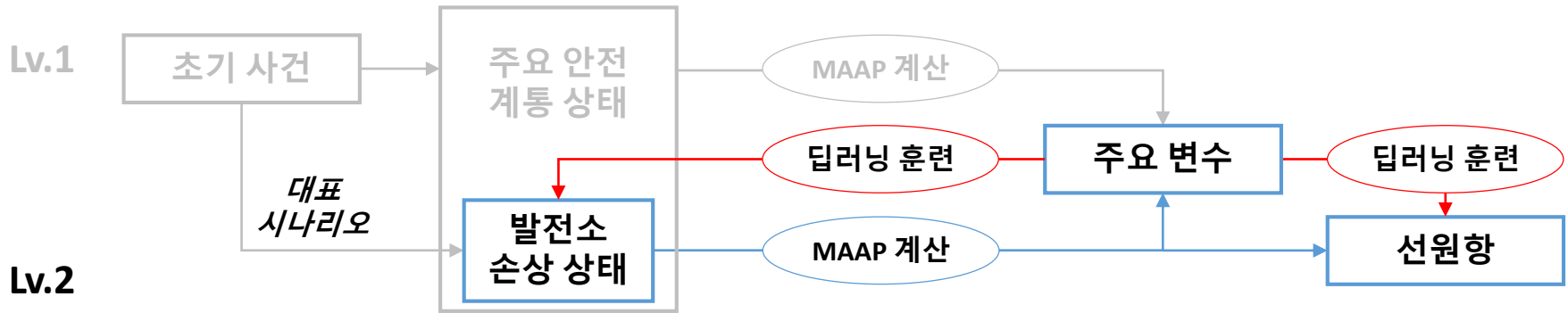
- 딥러닝 입력변수: Run-xxx.in.D201.CSV
- 딥러닝 출력변수: Run-xxx.in.D202.CSV

▪ 다양한 모델을 비교하며 적용성 검토중

- ANN / 1D-CNN / Autoencoder / eQRNN 등으로 검토 중이며 추가 모델 검토 예정

딥러닝 모델 개발 전략

- AtomCARE 주요변수를 통한 계통상태 파악 및 선원항 예측



참고문헌: J. Y. Yoon, K. O. Song, K. H. Jin, S. Y. Kim, "Deep Learning Modeling Strategy to Estimate Accident Source Term," Transactions of the Korean Nuclear Society Autumn Meeting, Changwon, Korea, October 21-22, 2021.

요약 및 결론

요약 및 결론

- 신속하고 정확한 선원항 예측을 위하여 딥러닝 활용 기술이 개발중
- 학습 및 검증용 DB 구축을 위하여 다음 연구를 수행함
 - 학습을 위한 주요 입출력 변수 도출
 - 중대사고 대표 시나리오 선정
 - MAAP 대량 계산을 통한 학습용 DB 구축
- 다양한 모델을 비교하며 적용성 검토중
- 향후 적절한 모델을 도입하여 딥러닝 모델 개발 예정

감사합니다.