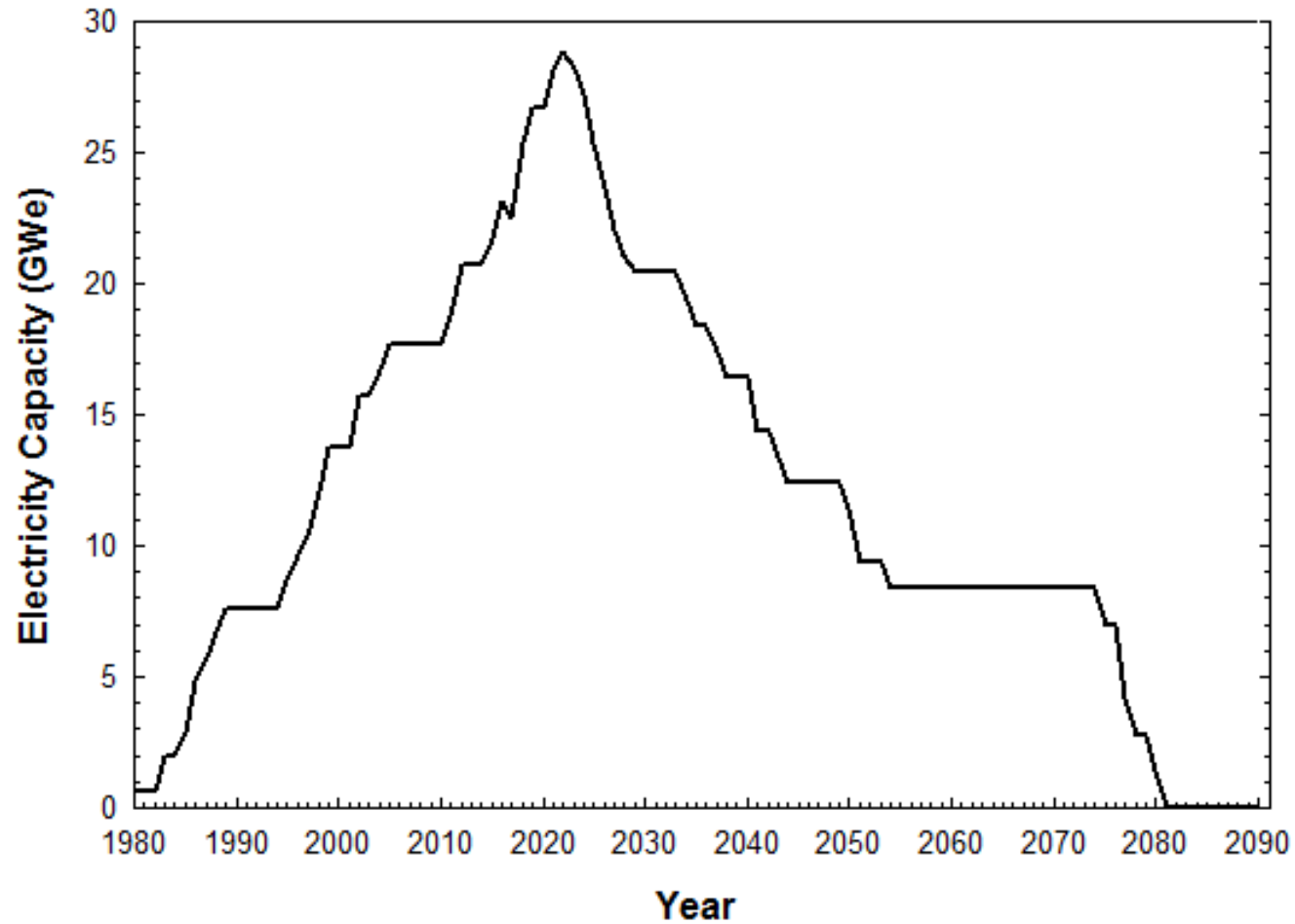


사용후핵연료 재처리와 핵확산: 한국의 파이로/고속로 이슈

강정민 박사
핵컨설턴트
(전 원자력안전위원회 위원장)

서울
2019년 6월 3일

국내 원자력발전 전망



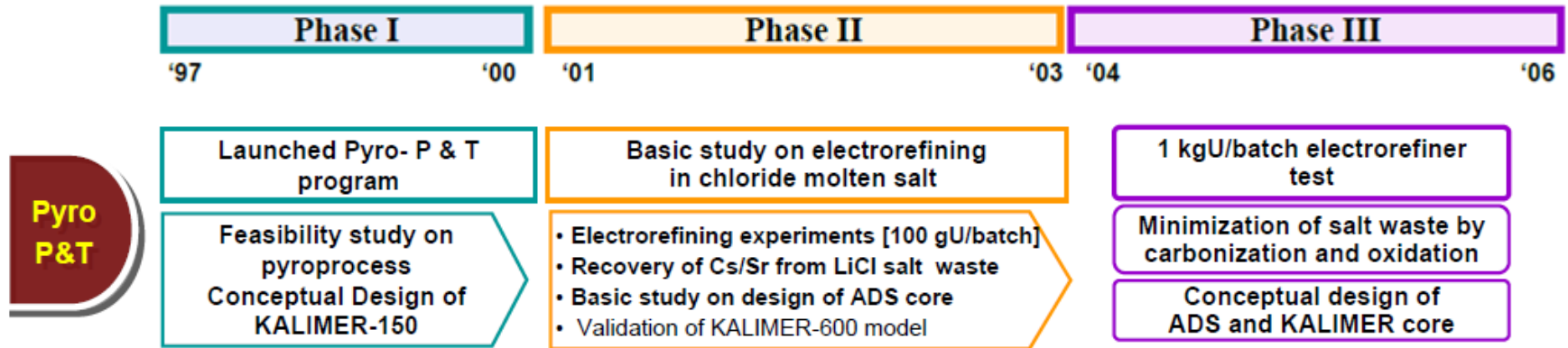
사용후핵연료 발생량 전망

	경수로	중수로
연간 발생량	약 20 tHM/1GWe	약 100 tHM/0.7GWe
발생량 (tHM)		
30년	—	100x30=3,000
40년	20x40=800	—
총 발생량 (tHM)		
26 PWRs (28.9 GWe)*	약 27,000	—
4 CANDUs (2.8 GWe)	—	약 12,000

* 경수로, 중수로, APWR-1400 (1.4 GWe) 운영기간은 각각 40년, 30년, 60년.
2024년까지 APWR-1400 6기 운영.

(2018년 기준: 약 8,000 tHM 경수로 사용후핵연료, 약 9,000 tHM 중수로 사용후핵연료)

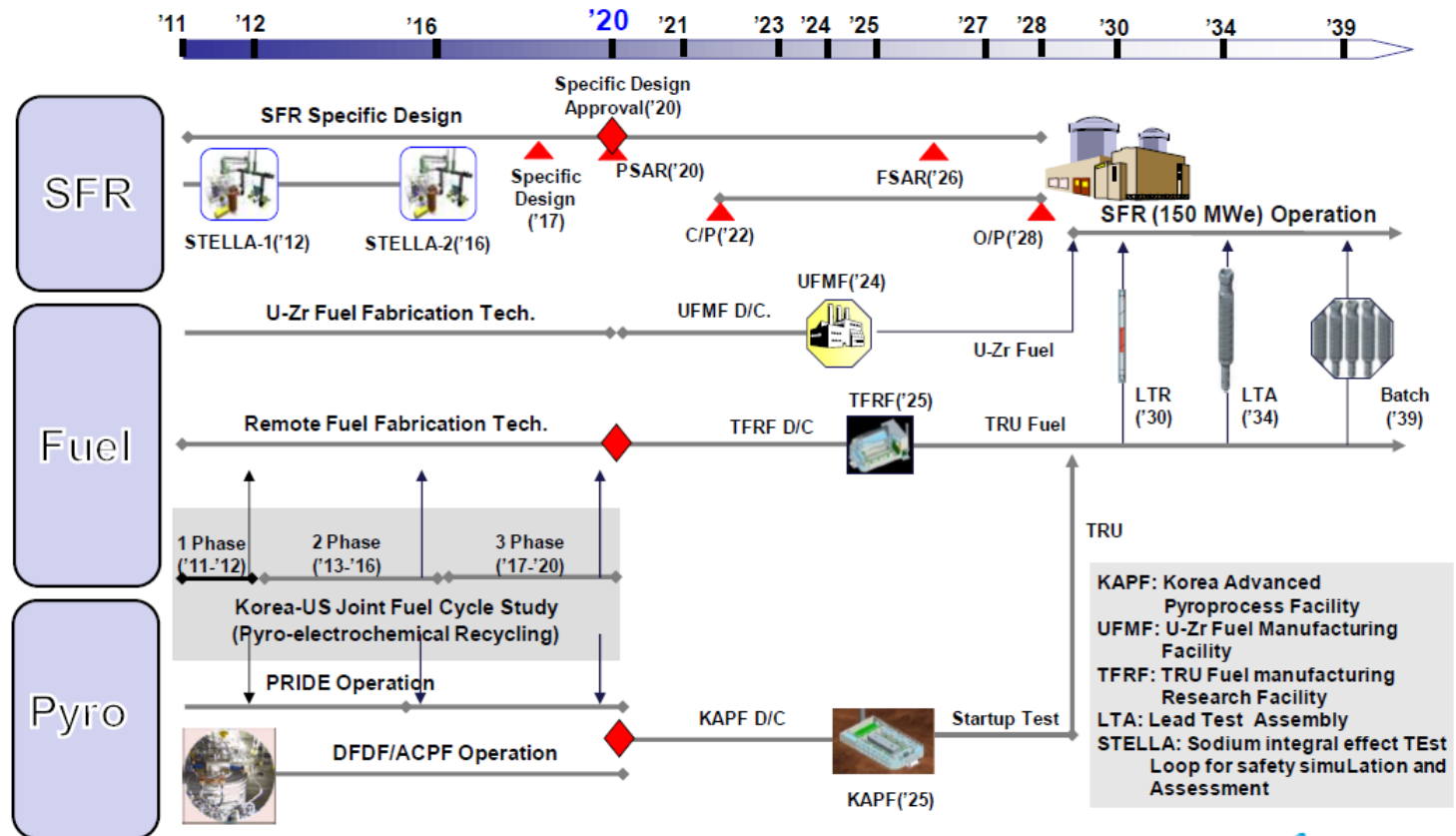
한국원자력연구원의 파이로/고속로 연구 (1990년대 후반 - 2000년대 초반)



- 2006년:
 - 미국의 국제원자력에너지파트너십(GNEP) 아래 파이로/고속로 협력관계 합의
 - 핵종소멸 목적의 고속로 KALIMER-600 개념설계 수행
 - DUPIC/파이로/고속로 10년 연구개발프로그램 계획

(Ref: Eung-Ho Kim, "Current Status on Development of P&T in Korea," 9th IEMPT, Nimes, France, 25-29 September 2006)

한국원자력연구원의 파이로/고속로 연구 기존 계획



(Ref: Chan Bock Lee et al., "Status of SFR Metal Fuel Development," FR13, Paris, France, Mar 5, 2013)

한국원자력연구원의 파이로/고속로 연구

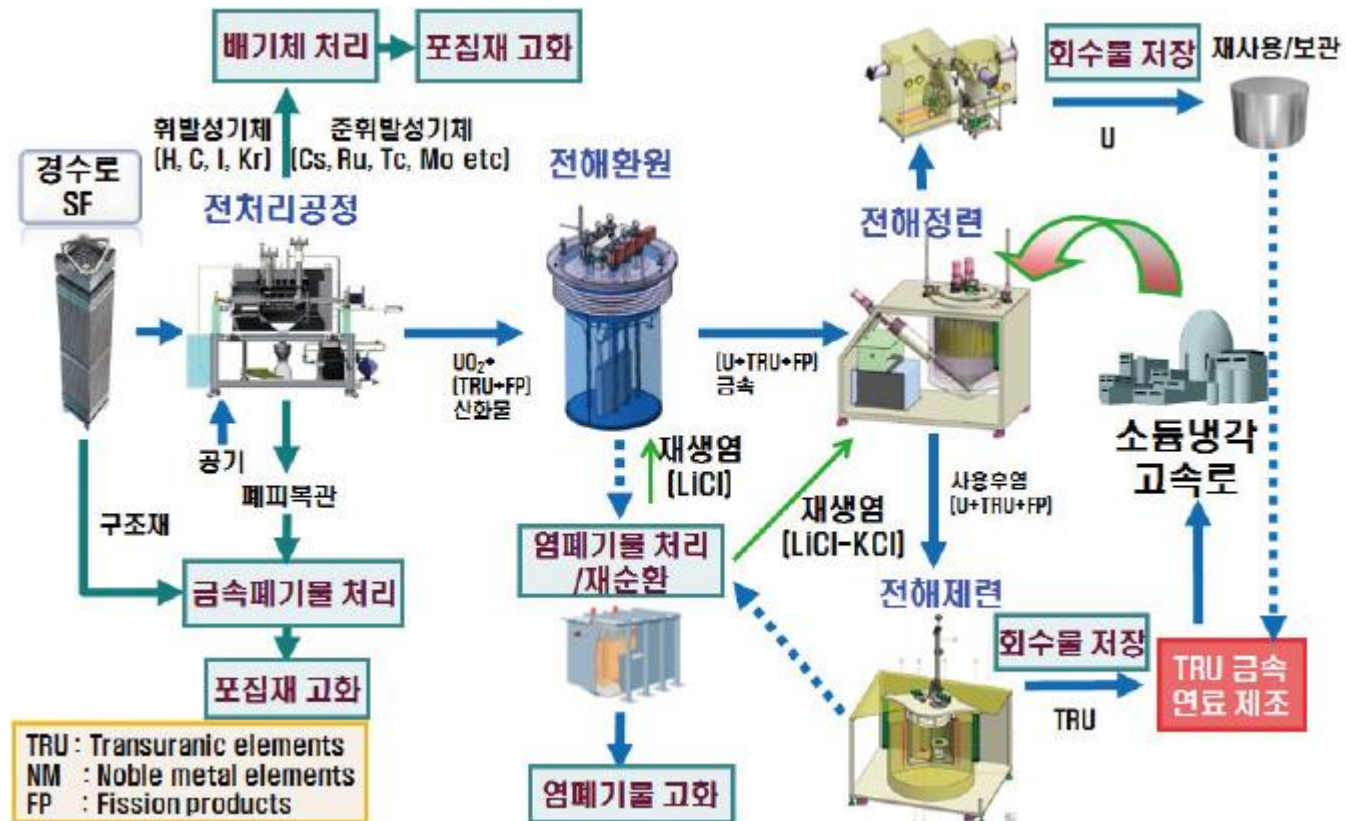


KAERI는 “파이로프로세싱 + 고속로” 시스템 구현 시
 방사성 독성은 1/1,000, 고준위폐기물 처분장 면적은 1/100,
 고준위폐기물량은 1/20 수준으로 감축 가능 주장

(Ref: 미래원자력시스템 개발 실증 추진전략 수립 계획, 원자력진흥위원회, 2015. 10. 5)

한국원자력연구원의 파이로/고속로 연구

KAERI 파이로/고속로 공정의 물질흐름 및 폐기물 발생



(Ref: 박환서, "파이로 폐기물 처리기술 개발," NEWS & INFORMATION FOR CHEMICAL ENGINEERS, Vol. 34, No. 3, 2016)

‘파이로+고속로’ 관련 기존 연구 결론

- 1996년 미국 국립아카데미
 - “(파이로+고속로 등 도입에 따른) 방사선피폭 감소는 그 어떠한 시스템의 도입으로도 소요 비용과 핵종변환 시스템 운영에 따른 추가 위험을 보충하기에 충분하지 않음”
- 2013년 프랑스 원자력안전위원회
 - “초우라늄물질 핵종변환은 주로 핵분열생성물에 좌우되는 심층 지하처분의 초장기 방사성 영향을 줄이는데 중요 역할을 못함”

(Ref: International Panel on Fissile Materials, "Plutonium Separation in Nuclear Power Programs: Status, Problems, and Prospects of Civilian Reprocessing Around the World" (2015).)

- 파이로프로세싱으로 플루토늄 등 초우라늄 물질들을 분리하여 고속로에서 핵분열시키는 것은 심층 매장되는 사용후핵연료로 인한 위험을 크게 줄이지 않음
- KAERI가 주장하는 사용후핵연료 처분장 면적 감소를 위해서는 고준위 방사성 핵종인 세슘 137과 스트론튬 90을 99%가 감소할 때까지 수세기 동안 지상에 보관할 것을 요구함.

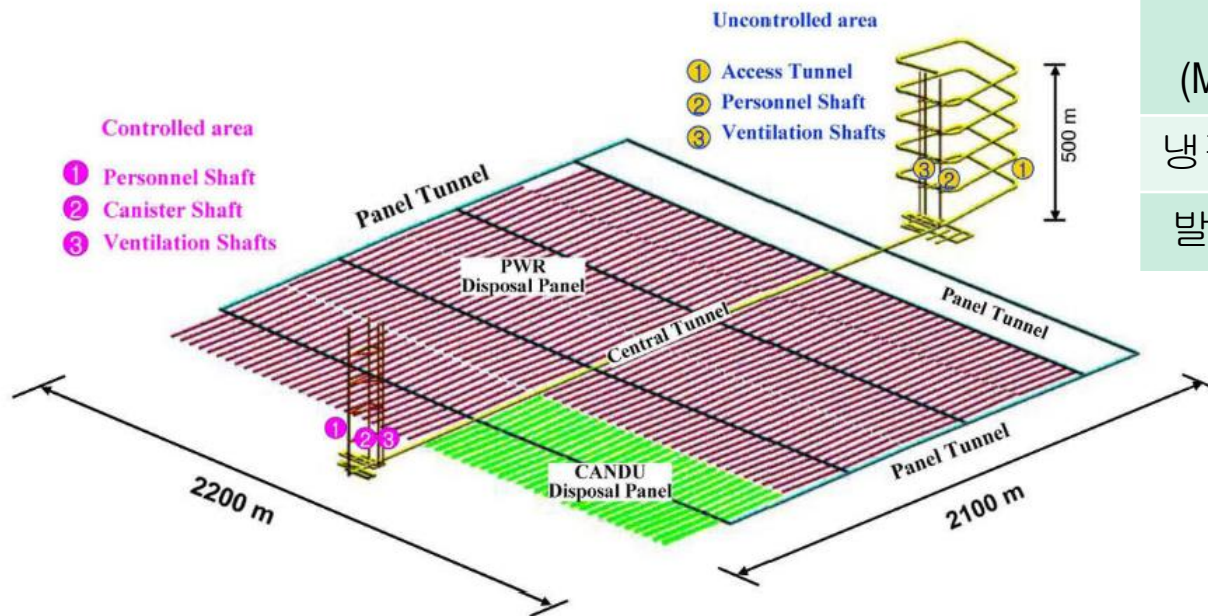
(Ref: Frank von Hippel)

‘파이로+고속로’ 관련 기존 연구 결론

- 2009년 6개 미 국립연구소들 결론
 - 파이로는 습식재처리에 비해 약간의 핵확산 저항성을 지니며, 그것도 테러그룹 등에만 해당
 - 이유는 추출한 초우라늄 혼합물은 방출 방사선이 미약해서, 탈취/전용 가능성 높고, 이로부터 플루토늄 분리는 작은 실험실 규모에서도 가능하기 때문
 - 현재 미국 정부는 파이로프로세싱을 재처리로 간주
- (Ref: R. Bari et al., "Proliferation Risk Reduction Study of Alternative Spent Fuel Processing," BNL-90294-2009-CP, July 2009)
- 즉, 파이로프로세싱은 핵확산 (nuclear proliferation) 및 핵보안 (nuclear security) 위험을 초래함

한국 사용후핵연료 지하 처분장 개념

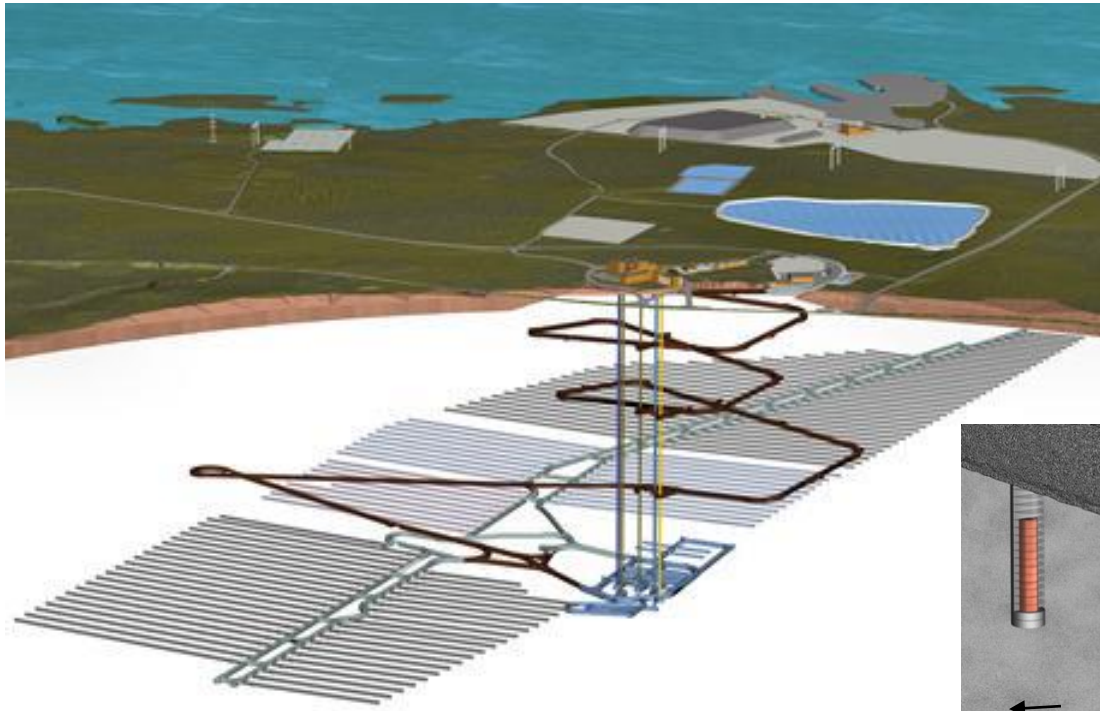
- 한국 사용후핵연료 처분장 개념과 사용후핵연료 사양



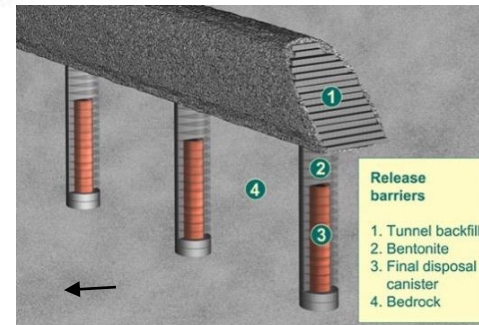
	PWR	CANDU
연소도 (MWd/kgHM)	45	7.5
냉각기간 (년)	40	30
발생량 (tHM)	20,000	16,000

(Ref: Heui-joo Choi et al., "Development of Geological Disposal Systems for Spent Fuels and High-Level Radioactive Wastes in Korea," Nuclear Engineering and Technology, Vol.45, No.1, February 2013)

사용후핵연료 지하 처분장 지상시설



핀란드 Olkiluoto
원전 옆에 건설중인
Onkalo 지하 처분장.

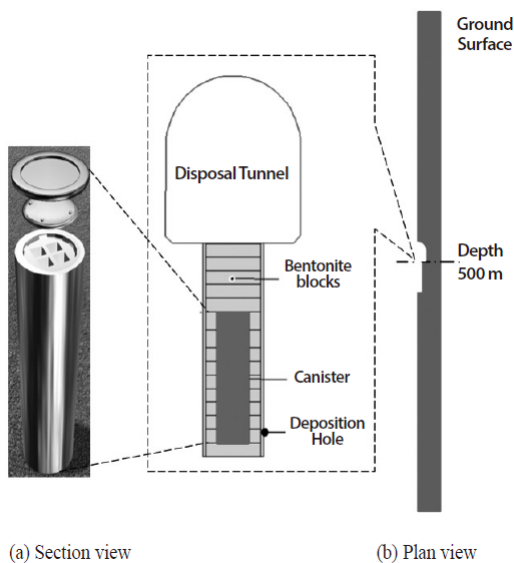


(Ref: Frank von Hippel, "Why pyroprocessing is unnecessary and dangerous," Daejeon, South Korea, 28 February 2017)

사용후핵연료 지하 처분장 개량?

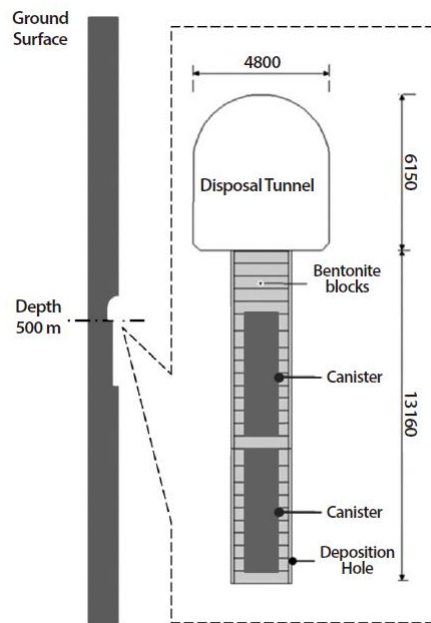
- 기존의 한국의 지하 처분장 개념을 조금만 수정하면 국내 경수로와 중수로에서 방출되는 모든 사용후핵연료(경수로 27,000 tHM, 중수로 12,000 tHM)를 수용할 수 있을 것이라고 본인은 주장함
- 더욱이, “이중층 지하 처분장”* 개념은 상기의 사용후핵연료 량 이상을 수용 할 수 있을 것으로 예상됨

(* Ref: Jongyoul Lee et al., "Analyses of the Double-Layered Repository Concepts for Spent Nuclear Fuels," JNFCWT Vol.15 No.2 pp.151-159, June 2017 (Korean))



기준 지하처분장

VS.



이중층 지하처분장

결론

- 사용후핵연료 관리에 있어서 KAERI가 주장하는 “파이로프로세싱+고속로” 도입을 위한 소요 비용은 천문학적임에* 비해, 심층 매장되는 사용후핵연료로 인한 위험을 크게 줄이지 않는 반면, 관련 공정에서 발생하는 고준위 방사성 물질의 외부 누출 우려 등 새로운 환경 위험을 불러 일으키고, 분리되는 플루토늄 혼합물은 핵확산과 핵보안 위험의 중요 원인이 됨.
- 기존의 국내 사용후핵연료 지하 처분장 개념은 조금만 수정하면 국내 경수로와 중수로에서 방출되는 모든 사용후핵연료 (경수로 27,000 tHM 중수로 12,000 tHM)를 수용할 수 있을 것이며, 더욱이, “이중층 지하 처분장” 개념은 상기의 사용후핵연료 량 이상을 수용할 수 있을 것임.
- 결론적으로 사용후핵연료 관리를 위해 “파이로프로세싱+고속로” 연구개발은 백해무익함.

(* Ref: 강정민, "한국의 사용후핵연료 재처리 '파이로프로세싱'," 동북아 핵위기와 한국의 핵정책' 시민사회간담회, 서울, 2017.6.1)