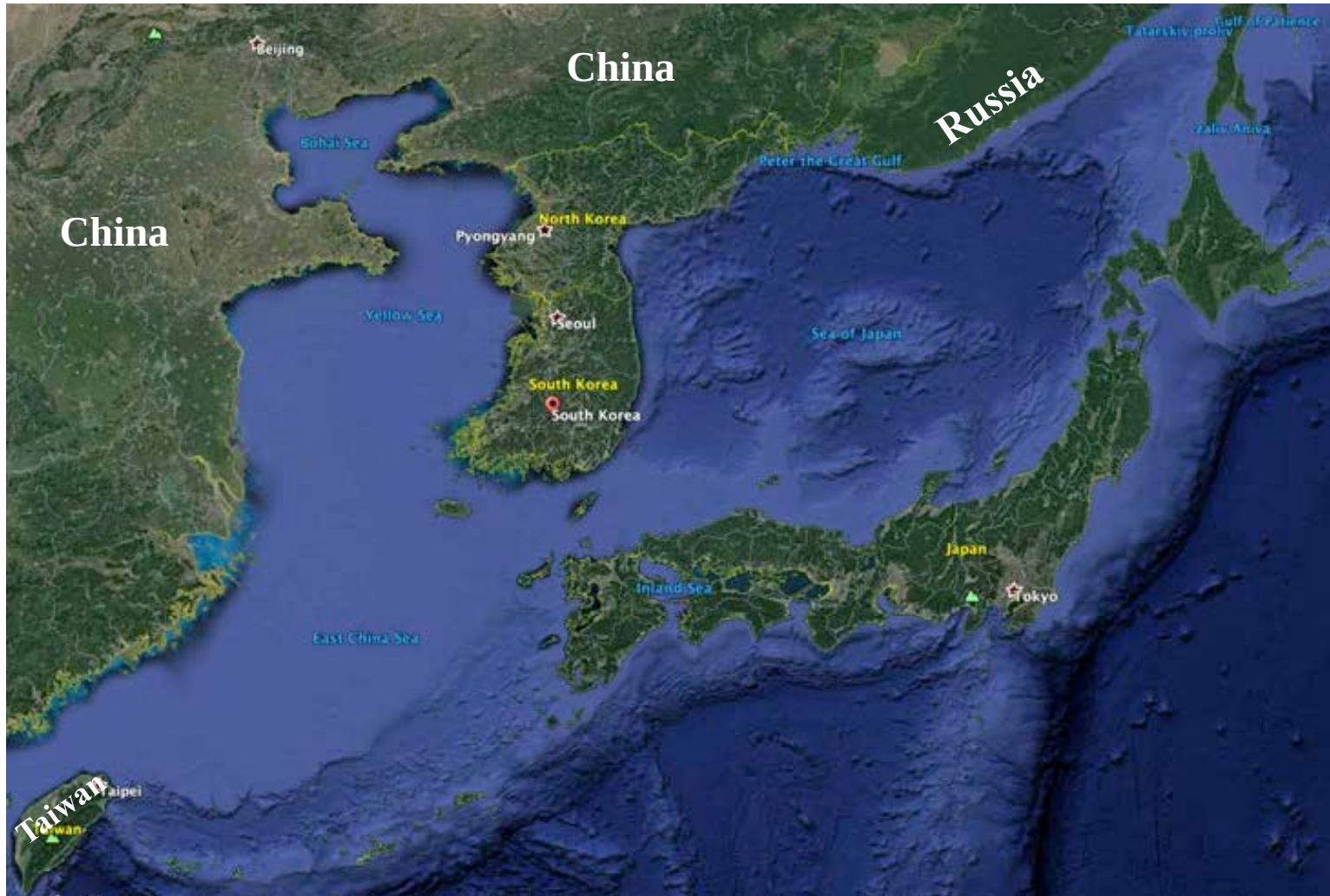


북한 비핵화- 핵물질 관점



프랭크 반 히펠

과학과 국제안보프로그램, 프린스턴 대학교

Nuclear Materials Management and Security System Annual Users Meeting
Las Vegas, 14 May 2019, 9:45 AM
Renaissance Las Vegas Hotel, 3400 Paradise Road, Renaissance 1

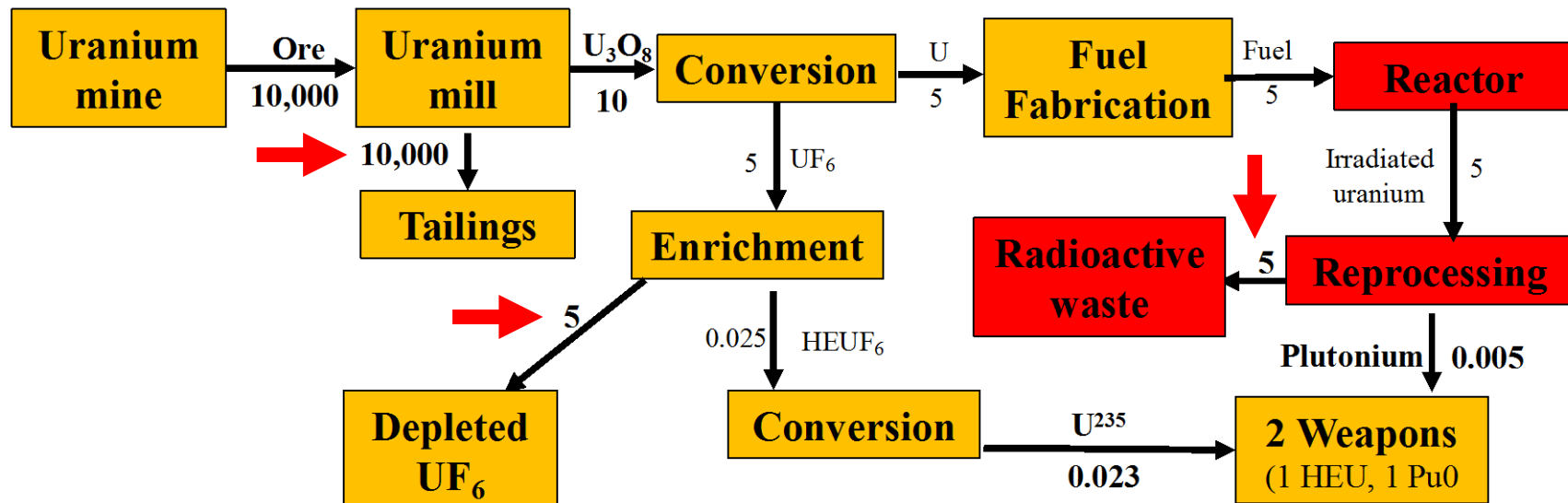
개요

1. 북한 비핵화를 위한 핵고고학(nuclear archeology)의 역할
2. 한국, 일본을 포함한 비핵화지대?
3. 빅딜 vs 단계적 비핵화

핵고고학: 우라늄을 조사하라!

(두 종류 핵무기의 소요 핵물질: 플루토늄과 고농축우라늄(HEU))

핵무기 1기 당 5,000톤의 우라늄쓰레기(원광의 우라늄 함량 0.1%시)
핵무기 1기 플루토늄 5 kg에 대해 ~5 톤의 재처리 후 회수 우라늄
핵무기 1기 HEU 25 kg에 대해 ~5 톤의 열화우라늄



우라늄 채광/제련은 인공위성에서 볼 수 있음 (평산, 북한의 주요 우라늄 광산)

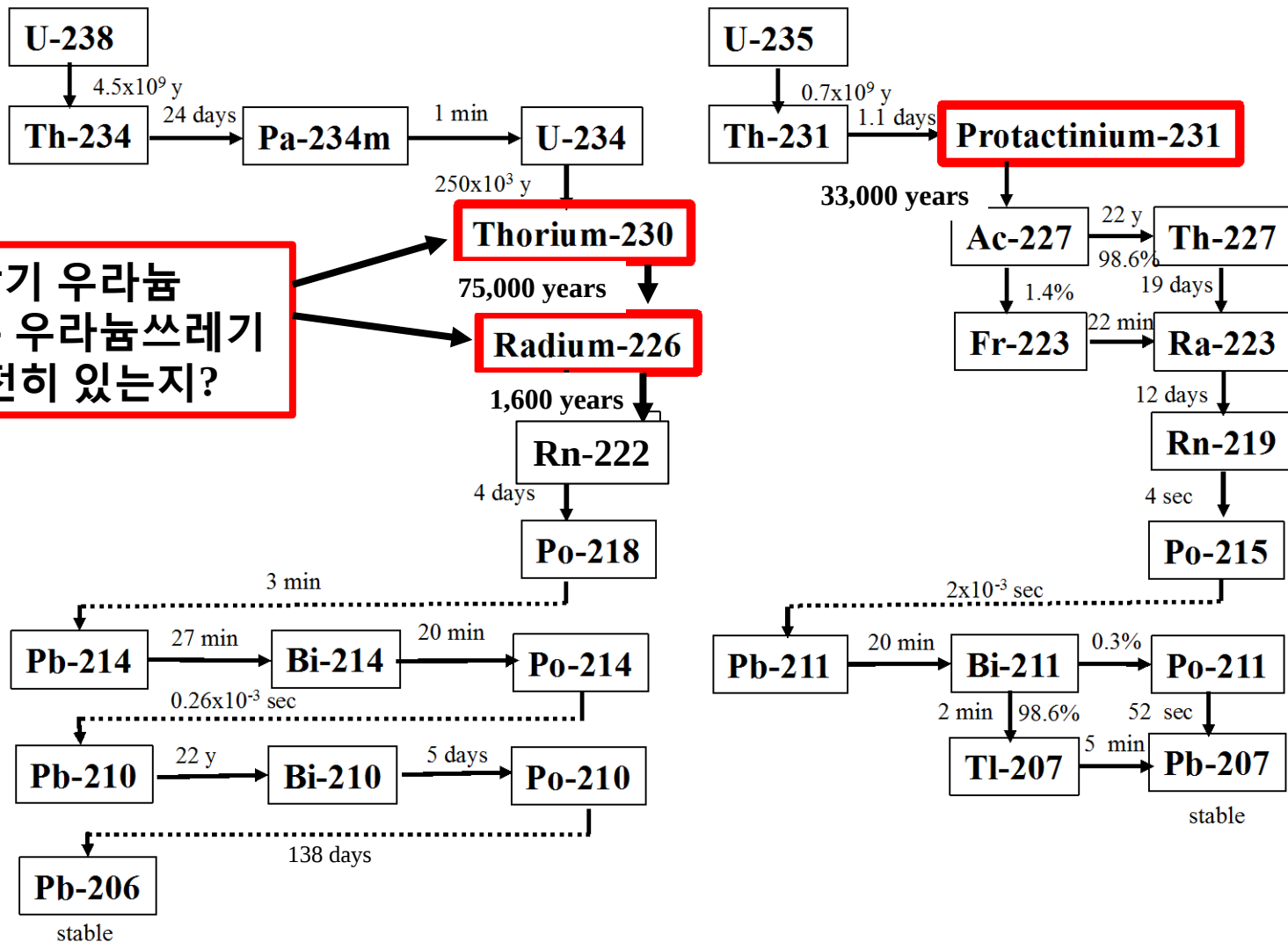


우라늄 제련
후 쓰레기는
숨기기 어려움



우라늄 제련쓰레기의 핵심샘플을 통해 알 수 있는 것

광석 침전물, 제련 및 찌꺼기의 침출을 무시하면, 장반감기 우라늄 붕괴 핵종의 농도가 원광에서의 우라늄 초기 농도에 비례한다. 기술의 유용성은 북한에서 채굴되는 것과 비슷한 원광과 공정을 갖춘 우라늄 공장에서 확인할 수 있음.



Yongbyon Nuclear Complex

흑연로 및
실험용경수로

재처리시설

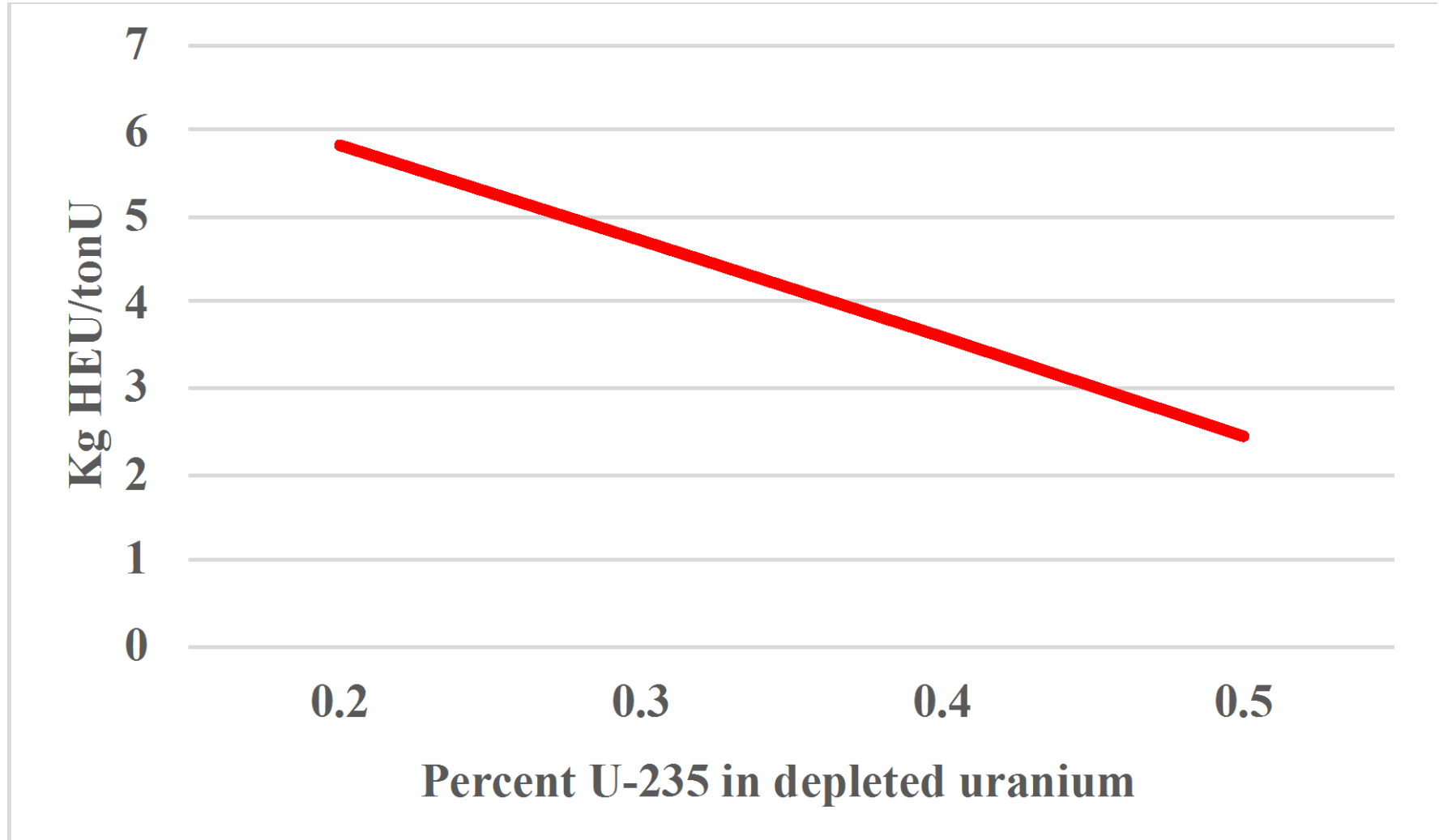
우라늄농
축시설(북한
은 다른
곳에서도
우라늄농축을
하고 있다고
언급)

Google Earth

© 2018 Google
Image © 2019 CNES / Airbus

1 km

우라늄 농축: 열화우라늄은 우라늄 톤당 HEU 량을 드러냄 (그림은 90% 농축도 HEU 가정)

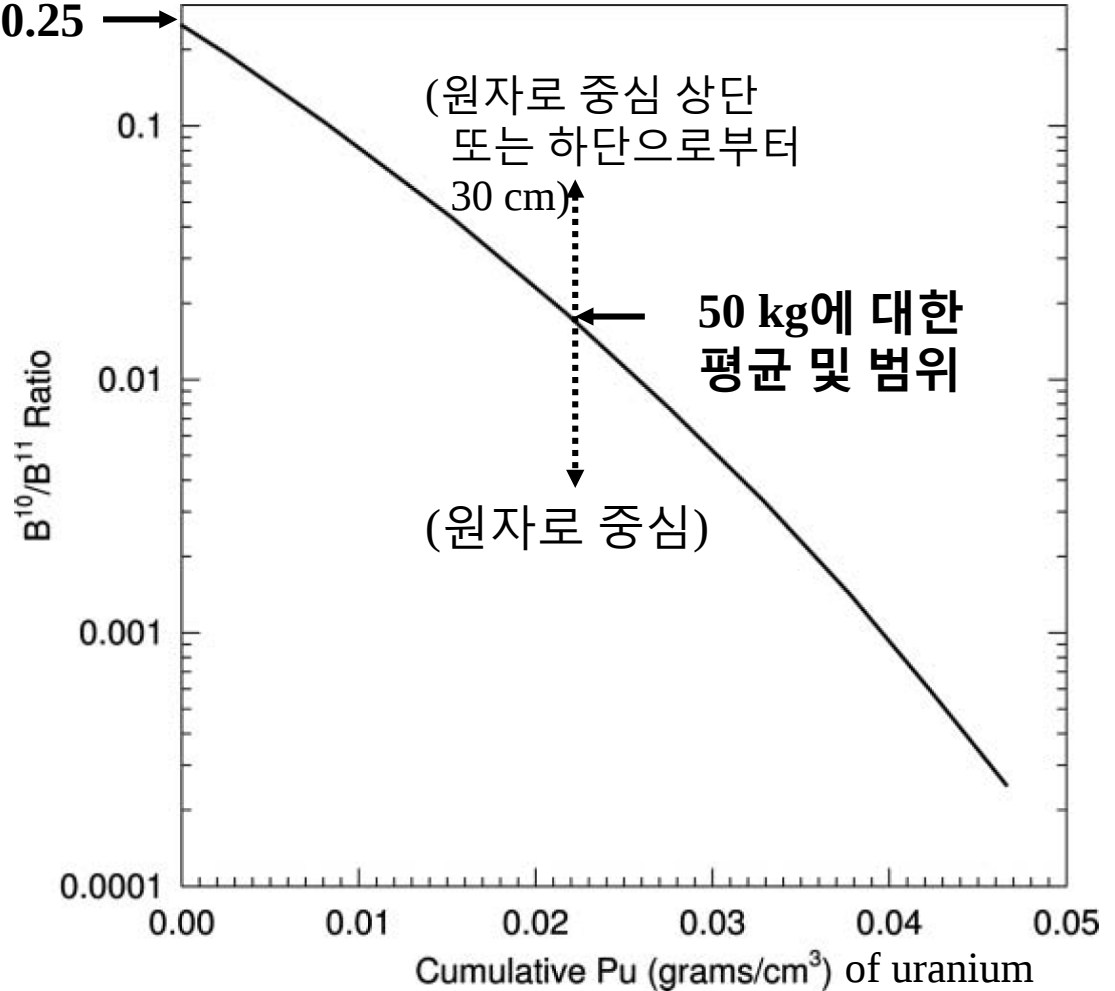


영변 흑연로의 플루토늄 생산은 흑연 내 보론의 B^{10}/B^{11} 비율로 부터 추정가능*

U-238이 중성자를
흡수하면 Pu-239로 변환.
흑연감속재 내 B^{10} 이
중성자를 흡수하여
 B^{11} 으로 변환.

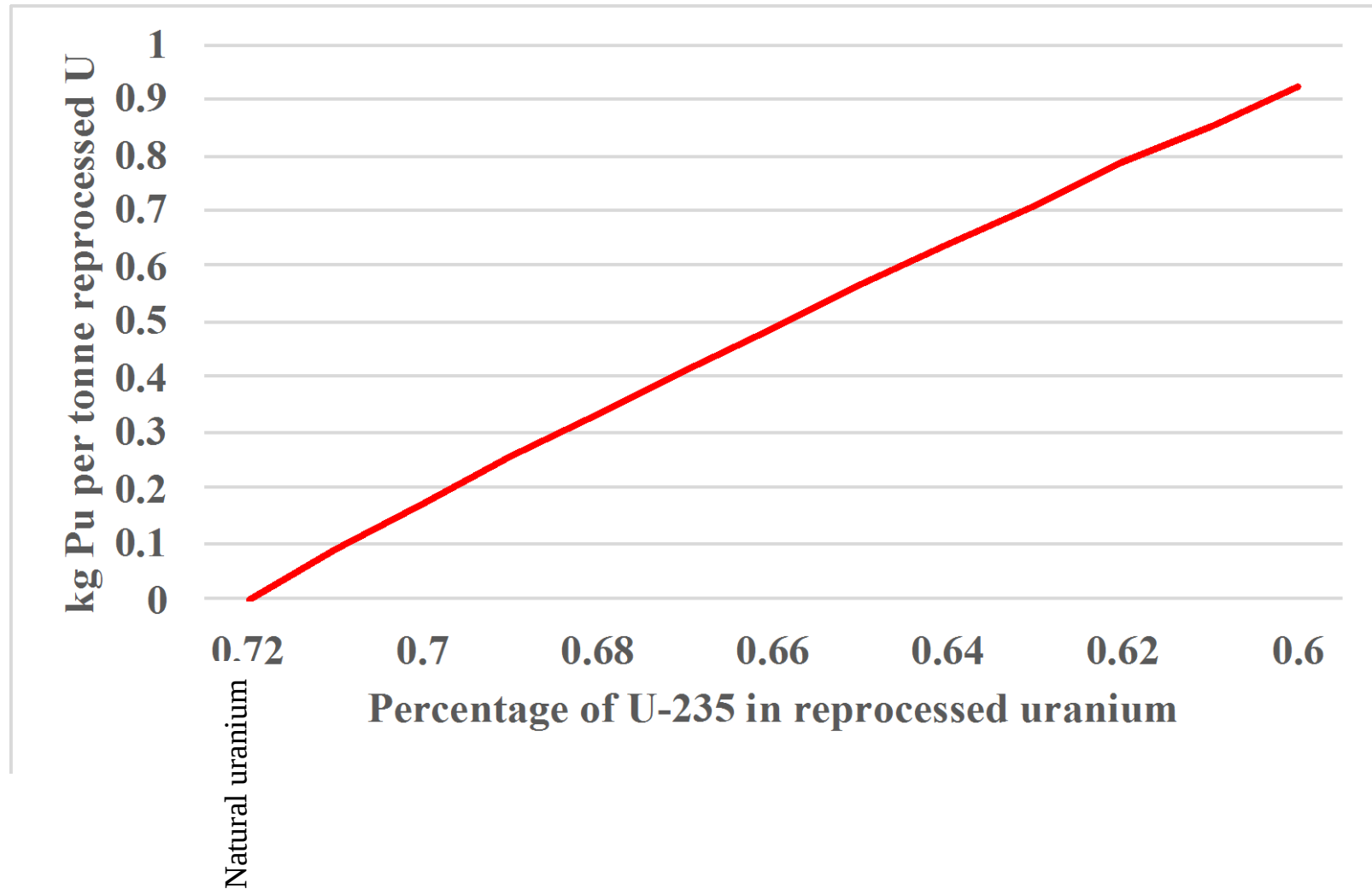
그러므로 원자로 중성자의
컴퓨터 모델은 흑연의
 B^{10}/B^{11} 비율을 핵연료 내
플루토늄 누적 생성량과
연계시킬 수 있음

Natural ratio: 0.25 →



* Jungmin Kang, "Using the Graphite Isotope Ratio Method to Verify the DPRK's Plutonium-Production Declaration," *Science & Global Security*, 2011 Vol. 19, 121–129.

재처리 후 회수 우라늄 내 U-235 감소는 우라늄핵연료 톤당 생산된 플루토늄을 알려줌*



* From A. Glaser, *Global Fissile Material Report 2010*, p. 159, assuming 1.1 gram U-235 consumed per MWt-day.

한국과 일본을 포함하는 비핵화 지대?

한국과 북한간 1992년 비핵화 조약

양국은 다음 사항에 합의:

1. **핵무기 금지**
2. **재처리 금지** (플루토늄 분리)
3. **우라늄농축 금지** (HEU 생산을 위한 입구)

미국과의 신 원자력협정 협상에서 한국은 일본과 마찬가지로 재처리하고 농축할 권리가 있어야 한다고 주장.

사실 현재 어떠한 국가도 재처리에 대한 경제적 또는 환경적 정당성은 없음.

우라늄농축은 원전 가동을 위해 필요하지만, 농축공장을 다국가 간 통제아래 둔다면 세상은 보다 더 안전할 것임

1992 남북 비핵화 조약

1. **핵무기 금지** (양면: 미국은 한국에 1991년까지 수백 기의 핵무기 보유)
2. **재처리 금지** (사용후핵연료로부터 플루토늄 분리)
3. **우라늄농축 금지** (HEU 생산을 위한 입구)

북한의 1992년 이전 분리 플루토늄 양 선언에 대한 IAEA의 이의제기로
야기된 1993년 북핵 위기에 이르러 남북비핵화 협정 탈선함

그럼에도 불구하고 미래의 비핵화 지대를 위한 좋은 출발점

왜 일본을 포함해야 하나?

한국은 미국이 일본의 재처리와 농축은 허용하면서 한국은 금지한다고 불만 (마치 사우디가 이란에 빗대어 우라늄농축 권리 포기를 거부하는 것 처럼)

재처리는 경제성 및 환경성 측면에서 타당성이 없으며 비확산 체제를 불안정하게 만듦 (인도).

일국의 우라늄농축도 비확산 체제를 불안정하게 만듦 (이란)

1970년 Urenco의 설립은 구 소련이 독일이 우라늄농축 프로그램을 보유하는 것을 원하지 않았다는 것이 한 이유.

미국에서 운영중인 단 하나의 우라늄농축공장은 Urenco 소유 (그런데 미국의 NNSA는 미국의 삼중수소 생산로 및 해군 원자로의 핵연료 공급을 위해 미국 소유의 농축공장을 설립할 것을 제안).

북한과 일본의 재처리

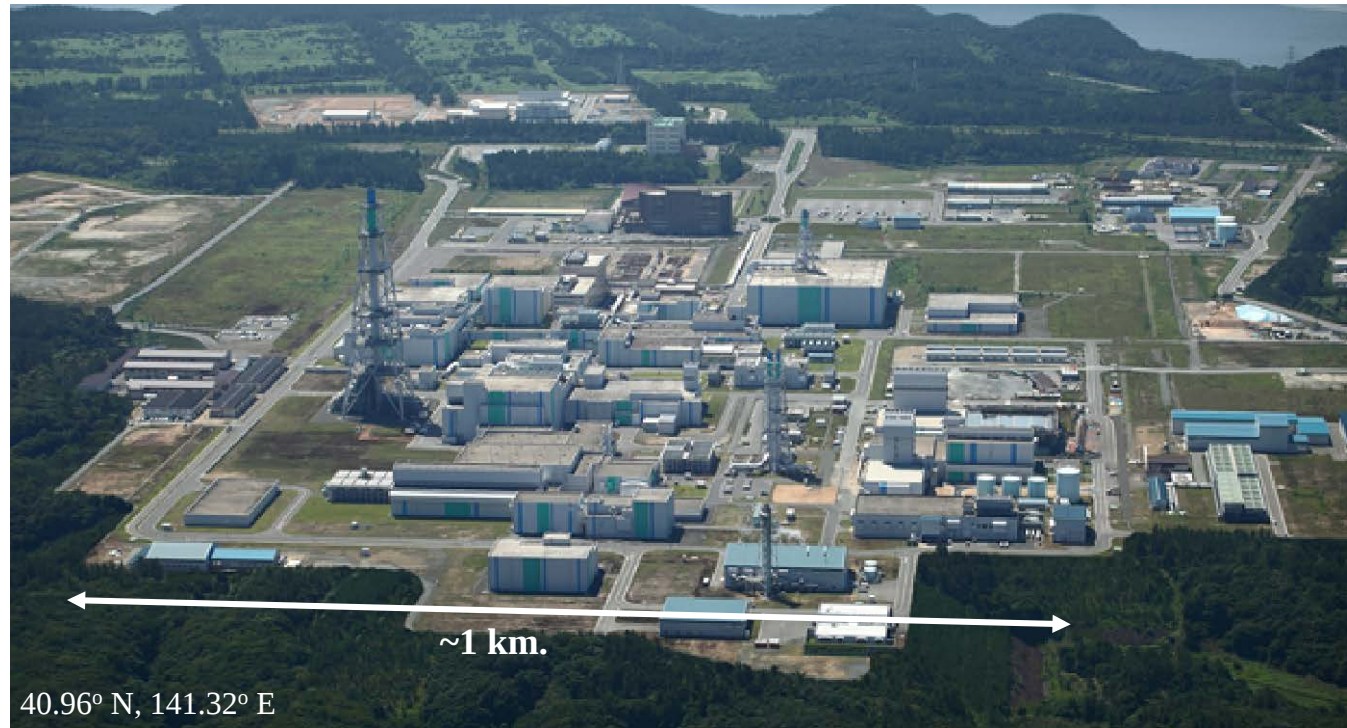
북한은 소규모 군사용 시설
일본은 300억 달러 재처리공장
한국의 KAERI는 재처리 연구개발 원함

북한 영변



~ 8 kg/yr. Pu (reactor)

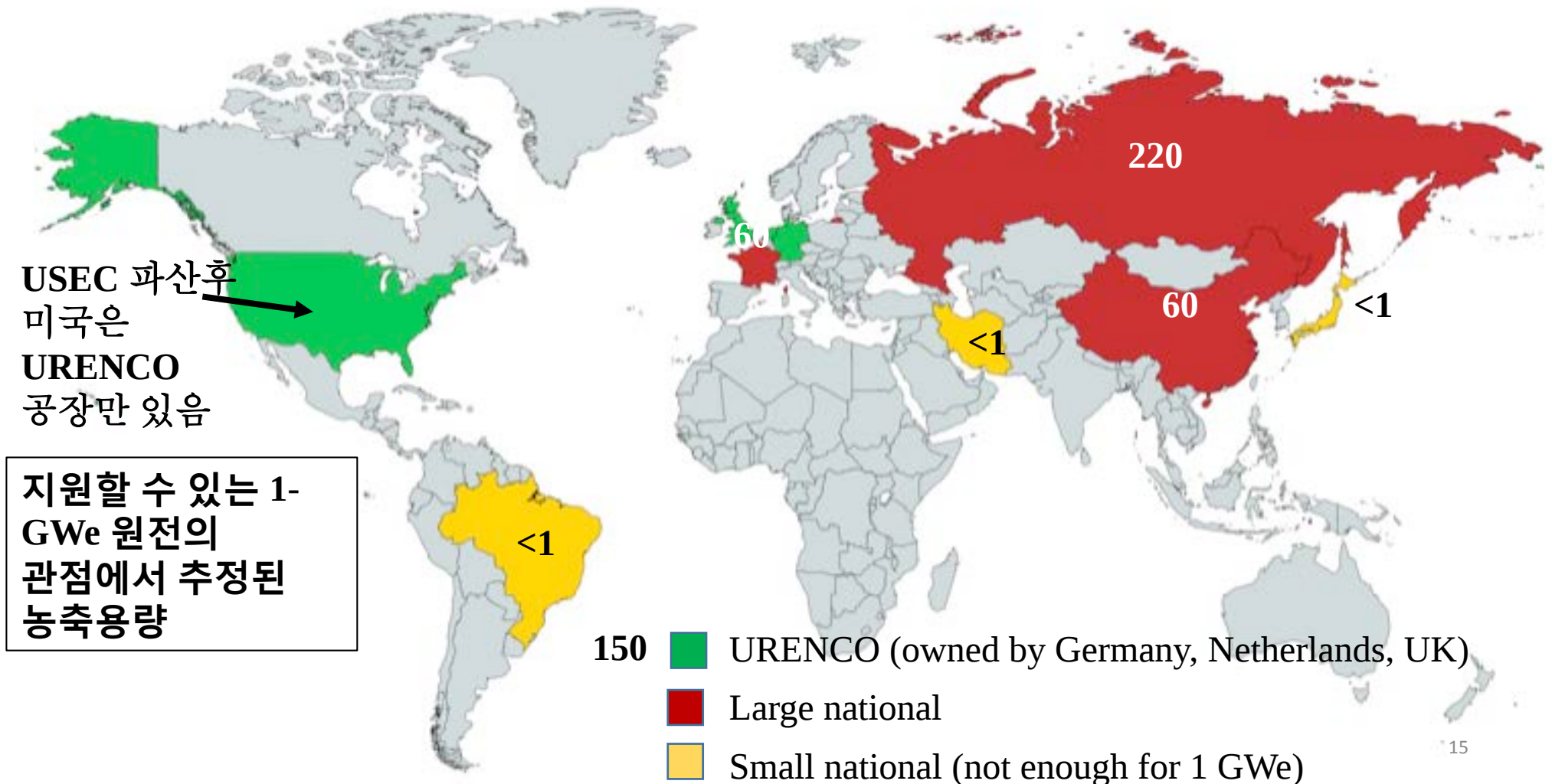
일본 로카쇼



~ 8,000 kg/yr. Pu (design)

우라늄농축

대규모 우라늄농축공장은 러시아, URENCO, 프랑스, 중국 소유
브라질, 이란, 일본은 소규모 비경제적 농축공장. 브라질은 핵잠수함 프로그램
관련. 이란과 일본은 핵무기 옵션 보유
한국과 일본은 경쟁하는 대신에 다국가 프로그램에 함께 가입가능



하노이 서밋 (2019.2.27-28)

트럼프 행정부는 북한이 최소한의 생계 지원을 넘어서는 모든 북한의 수출입을 금지하는 유엔 제재 조치의 해제 대가로 북한의 핵, 화학 및 생물 무기 프로그램을 신고하고 해체하기를 원했음.

김정은은 다른 곳의 우라늄 농축 시설, 우라늄 광산, 전환 시설 등은 포함 않고 영변 핵물질 생산 단지 해체에 대한 대가로 유엔 경제 제재 조치에 대한 해제를 요청

양측은 너무 적게 내놓은 반면 너무 많이 요구했음.

보다 타당한 제안: 단계적 비핵화, 제재 완화 및 한국의 경제지원, 그리고 "적대감의 종료"

1. 핵분열물질 생산 신고, 폐쇄, 해체
 - 플루토늄 생산로 및 재처리시설
 - 미신고시설을 포함한 우라늄농축시설
 - 우라늄 광산, 제련, 전환, 핵연료 제조 시설
2. 검증 및 일관성 검사 (*핵고고학*)
3. 단계적 거래와 해체 핵무기 및 재고로부터의 HEU와 플루토늄의 처분

전면적 비핵화가 가능할까? – 어느 정도의 기간 내에?

핵무기가 절멸의 위험에 대한 대가로 제공하는 안보에 대한 보다 나은 대안이 있는가?

북한은 미국보다 중국을 두려워 하는가? 일부 전문가들은 북한이 일본, 한국 및 기타 미국의 동맹국들이 핵무장 할 필요가 없도록 유지해 온 것 같은 미국의 안전보장을 원한다고 주장.



북한에서 본 세계