

서울대학교 원자력정책센터
SNEPC-PM-001(16)

<http://atomic.snu.ac.kr>

신뢰받는 원자력을 향한 기술정책 방향

(서울대학교 원자력정책센터 출범 심포지엄 자료집)

2016. 11. 4



서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center

목 차

1. 심포지엄 프로그램 안내.....	1
2. 센터 연구 및 활동 계획 소개.....	7
3. 기조강연‘원자력이 기후변화 해법인가?’.....	17
4. 원전에 대한 지역사회의 우려.....	51
5. 최근 핵문제 전개를 통해 본 정책과제.....	71
6. 우리나라 원전 안전의 현실과 과제.....	83
7. 원전 다수호기 안전성.....	97
8. 원전 내진 설계.....	121
9. 신뢰 확보를 위한 원자력 안전 규제.....	141
10. 사용후핵연료 해법.....	155

1

심포지엄 프로그램 안내

서울대학교 원자력정책센터 출범 심포지엄

서울대학교 원자력정책센터가 “원자력의 신뢰 증진과 미래를 선도하는 정책 개발의 중심”이라는 가치를 표방하며 본격적인 원자력 기술 정책 연구와 활동을 개시합니다. 경주 지진 이후 신고리 5,6 호기 건설 중지 입법까지 추진될 정도로 국민의 원전에 대한 불안감이 증폭되어 우리 나라 에너지 믹스의 중요한 일원인 원자력의 지속가능성이 위협 받고 있는 이때에 원전 안전성 향상과 사용후핵연료 문제 해결 등의 중요 사안에 대한 독립적이고 자율적인 연구와 활동을 통해 원자력의 신뢰를 증진할 정책을 제안하고자 합니다.

본 센터의 출범을 맞이하여 “신뢰받는 원자력을 향한 기술정책 방향”을 모색하기 위한 출범 심포지엄을 개최하오니 바쁘신 가운데서도 참석하셔서 고견을 주시고 격려하여 주시기 바랍니다.

감사합니다.

서울대학교 전력연구소 원자력정책센터장
주 한 규

프로그램

1부 출범식

10:00-10:05	개회사	조형규 교수(서울대학교)
10:05-10:15	환영사	이건우 학장(서울대학교)
10:15-10:25	축사	정동희 국장(산업통상자원부)
10:25-10:35	축사	이종호 전무(한국수력원자력(주))
10:35-11:00	센터 연구 및 활동 계획 소개	주한규 교수(서울대학교)
11:00-12:00	기조 강연 원자력이 기후변화 해법인가?	한삼희 수석논설위원(조선일보)

12:00-13:00 오찬 락구정, 38동 지하

2부 심포지엄 - 신뢰받는 원자력을 향한 기술정책 방향

13:00-13:40	원전에 대한 지역사회의 우려	김성수 교수(인제대학교)
13:40-14:20	최근 핵문제 전개를 통해 본 정책과제	이현석 대표(에너지정의행동)
14:20-15:00	우리 나라 원전 안전의 현실과 과제	이정윤 대표(원자력 안전과 미래)
15:00-15:20	휴식	
15:20-16:00	원전 다수호기 안전성	양준언 부장(한국원자력연구원)
16:00-16:40	원전 내진 설계	문일환 부장(한국전력기술(주))
16:40-17:20	신뢰 확보를 위한 원자력 안전규제	김무환 교수(포항공과대학교)
17:20-18:00	사용후핵연료 해법	송종순 교수(조선대학교)

3부 만찬 및 심층 토론

18:15-20:00 만찬 및 원자력 전문가포럼 분과 회의 락구정, 38동 지하

2

센터 연구 및 활동 계획 소개

원자력 기술정책 연구·활동 계획

2016. 11. 4

주 한 규



서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center

1

원자력 기술정책 사업 배경 및 목적

□ 원전 안전에 대한 불안감 증폭으로 원자력 산업 환경 악화

- 후쿠시마 사고, 한수원 납품 비리 사건, 경주 지진 등 일련의 사건·사고로 인해 원전 안전에 대한 국민 불안감 증폭
- 고리 1호기 정지 결정 및 신규 원전 부지 확보 애로
- 사용후핵연료 중간저장 시설 및 처분장 건설 난항 예상

□ 기후변화 대처와 안정적 기저 전력 공급에 원자력 역할 지속 필요

- 원전 안전성 향상과 사용후핵연료 처리 처분 문제 해결이 지속의 선결 조건
- 안심할 수 있는 원전 운영과 안전 규제 체제 확립
- 사용후핵연료 안전 관리 해법 제시
- 원자력에 대한 신뢰 증진 필수

□ 사업 목적

- 원자력 안전성 향상과 사용후핵연료의 효과적인 처리처분을 위한 정책방향을 제시하고 신뢰를 증진하는 활동을 함으로써 국민이 안심할 수 있는 원자력 발전 도모



2

서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center

센터의 비전, 사명과 사업 목표

□ 비전

- 원자력의 신뢰 증진과 미래를 선도하는 정책 개발의 중심

□ 사명

- 원자력 발전 안전성 향상을 위한 정책개발 및 기술제안
- 사용후핵연료의 효과적인 처리처분을 위한 중장기적 정책개발 및 기술제안
- 원자력 산업 기술 현안에 대한 선제적이며 체계적인 대처
- 원자력에 대한 국민의 합리적 이해 확산 도모
- 원자력의 지속가능한 이용을 위한 미래 혁신 원자력 시스템 개발 정책 제안
- 기타 원자력 발전 지속성 제고에 필요한 정책 연구 및 활동

□ 1단계 사업 목표

- 원전 안전성 향상을 위한 규제제도, 운영체계, 설비보완 등에서의 개선책 도출
- 사용후핵연료 중단기 안심관리 방안 및 처분을 위한 장기 대안 제시
- 원자력 산업기반확대, 타 에너지원과의 상생 및 미래기술 개발 정책 제안
- 원자력 지식정보 웹사이트 운영과 올바른 정보 확산활동을 통한 원자력 수용성 증진
- 원자력 리더들의 정책 역량 강화를 통해 원자력 신뢰증진을 위한 역할 강화



사업 추진 개요

□ 사업 추진 3개 분야

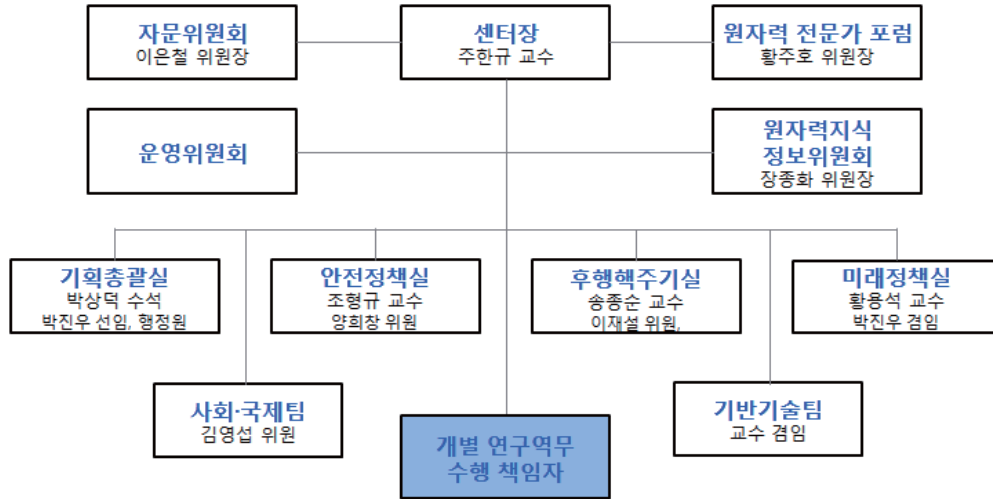
- 안전·규제
 - 원전 안전성 향상을 위한 설비, 조직, 운영 개선과 규제 제도 및 체계의 합리화
- 후행핵주기
 - 사용후핵연료 중간저장 및 영구처분, 핵변환 소멸처리 등과 관련된 다각적 사안
- 미래·기반
 - 원자력 이용 활성화를 위한 단기적 원자력 산업 기반 확대 정책과 장기적 미래 기술 개발 정책

□ 사업 구분

- 연구 사업
 - 3개 분야 각각에서 시의성있는 주제별로 연구 과제 수행
- 활동 사업
 - 원자력 전문가 포럼 운영
 - 원자력 지식정보 사이트 구축
 - 원자력 바로 알리기 매체 및 사회 활동
 - 고급 정책전문가 교육



조직과 인원 구성



조직별 직무

- **기획총괄실**
 - 센터 업무 기획 및 운영 총괄
 - 원자력 전문 정보 웹사이트 구축 및 운영
- **안전정책실**
 - 원자력 안전규제 제도 및 체계 개선 연구와 활동
 - 가동 원전 안전성 향상을 위한 기술 발굴 연구
 - 원전중사자 안전의식고양, 교육훈련강화를 위한 제도와 수단 연구
- **후행핵주기실**
 - 사용후핵연료 중간 저장 및 영구 처분 정책 연구와 활동
 - 사용후핵연료 감용 및 독성 저감을 위한 핵변환 기술정책 연구
 - 사용후핵연료 처분 지하연구소, 심지층 공내 처분 기술 연구
- **미래정책실**
 - 미래 혁신 원자력시스템 기술정책 연구
 - 신재생에너지와 원자력 상생 정책 연구
- **사회국제팀**
 - 원자력에 대한 국민의 합리적 이해 증진을 위한 정책 연구 및 언론 활동
 - 원전산업 종사자 사기양양 및 책임의식 고양을 위한 조직문화 개선책 개발
 - 원자력 수출 확대를 위한 정책 개발
 - 핵비확산, 북핵문제, 원자력 협정 등 등 원자력 국제 정책 연구
- **기반기술팀**
 - 직류 송전 기술 개선 및 적용 기술 및 정책 연구



운영 기초

□ 독립적 입장 견지

- 사안 별로 다를 수 있는 원자력 각 기관별 입장에 편향되지 않고 사실에 입각한 독립적 입장을 견지함.

□ 원자력 최고 전문가 구심점 역할 담당

- 각 분야별 연구계, 산업계, 학계의 고급 전문가로 원자력 전문가 포럼을 구성하여 원자력 문제 해결과 의사 결정을 주도하는 전문가들의 구심점 역할을 담당함.

□ 원자력 바로 알리기 활동 적극 수행

- 원자력 관련 지식 정보를 체계적으로 축적하고 인터넷 게시를 통해 공유
- 비합리적 주장에 대한 체계적, 전문적으로 대처하고 기고, 토론, 인터뷰 등 언론매체를 통한 원자력 바로 알리기 활동을 적극적으로 수행함.



원자력전문가 포럼 운영

□ 포럼 구성과 매분기 분과별 심포지엄 개최

- 황주호 총괄위원장 포함 총 49인의 원자력 전문가로 구성

구분	안전·규제	후행핵주기	미래·기반
분과장	백원필	박성원	김명현
위원수	21	14	13
1차년 주요 주제	경주지진과 원전 안전 다수기 원전 안전 문제 국내외 안전규제 동향	사핵관리 표준화방안 현실적 중간저장 방안 전주기 기술검토	장기원자로 개발방향 중장기 경수로/연구로개선 원자로 수출, 인력기반점검

□ 수시 활동

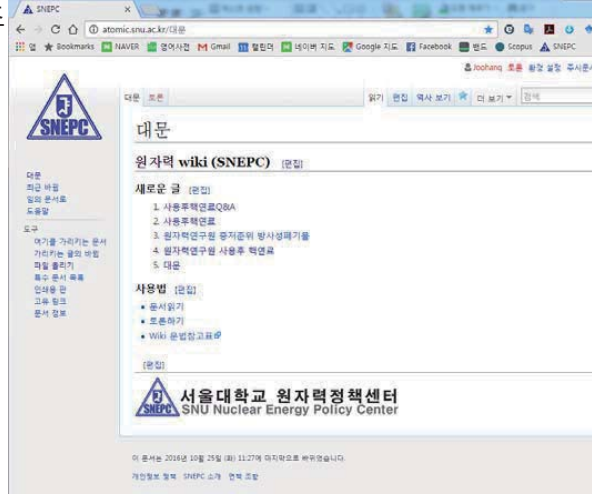
- 원자력 산업 현안 대응: 수시로 발생하는 현안에 대해서는 해당 그룹 전문가가 기고, 인터뷰, 토론 참여 등으로 적시에 대응하여 여론이 올바른 방향으로 가도록 유도, 필요시 태스크 포스를 운영하여 심도있게 대응
- 원자력 관련 비합리적 주장 분석 및 토론회 개최



원자력 지식정보 사이트 구축 및 운용

□ 구축 기초와 내용

- 개방형웹사이트 구축: 다수의 참여가 가능한 체계적이고 심도있는 원자력 지식정보 사이트 구축 (wikipedia 방식 운영)
- 지식정보 분야 구분 및 가용 자료 수집 및 분류
- 원자력 전문가 집단에 의한 콘텐츠 개발
- 일러스트레이션 전문가를 상근 직원으로 고용하여 웹사이트 수록물 가시성 제고
- 뉴스 및 현안 등에 신속 정보 제공



□ 시안

- atomic.snu.ac.kr



보고서 형태의 정보 제공



원자력 바로 알리기 매체 및 사회 활동

□ 시민 원자력 상식 강의

- 각급 학교와 단체 강연과 토론을 통한 원자력 이해 저변 확대

□ 원자력 정보 보급

- 원자력 웹진 구축 및 운영
- 정책센터 뉴스레터 발간
- 원자력 관련 사회 동향 파악 및 전파

□ 타 원자력 기관과 협력

- **원자력 관련 기관과의 협력 활동:** 각 기관의 정책 담당 부서와 협력 채널을 구축하고 분기 1회 회의 개최로 현안 논의 및 활동 사항 전파
- **원자력학회와의 협력 활동:** 학회 이슈 위원회, 소통 위원회 등에 참석하여 이슈를 공유하고 우리 센터의 활동 사항을 전달
- **원자력문화재단과의 협력 활동:** 원자력 문화재단의 기존 국민 소통 사업 성과와 체제 활용



안전규제 및 후행핵주기 분야 연구과제

번호	연구 주제	핵심연구원	
		책임자	공동연구원
1	원자력 안전규제 합리화 방안 연구	박군철	제무성
2	원전 다수호기 안전성 향상 및 재난대응 대책 연구	윤병조	조형규, 반치범
3	원전 안전문화의 지속적 향상을 위한 정책 개발 연구	박정훈	
4	원자력 국제 문제 대응 전략 연구	신성호	

번호	연구 주제	핵심연구원	
		책임자	공동연구원
5	사용후핵연료 중단기 안심 관리방안 도출	송종순	김응수, 송명재
6	사용후핵연료 처분 장기 대안 연구	전석원	민기복, 송종순
7	핵변환 소멸처리 관련 기술 검토 및 정책 개선	황일순	김명현



미래기반 분야 연구과제

번호	연구 주제	핵심연구원	
		책임자	공동연구원
8	고속 중성자 기반 혁신 원자력시스템 개발 정책 연구	주한규	황용석, 김용희
9	원전기자재 공급 중소기업 기술지원 체계 구축 방안 연구	정지환	
10	개도국 원자력 진출을 위한 제약조건 및 진출조건 분석	허은영	김시환
11	AI 기반 원전운전, 유지보수 및 정보보안 정책 연구	나만균	
12	신재생에너지와 원자력 상생 방안 연구	박상덕	오다



감사합니다.

적극적인 참여와 성원 부탁드립니다.

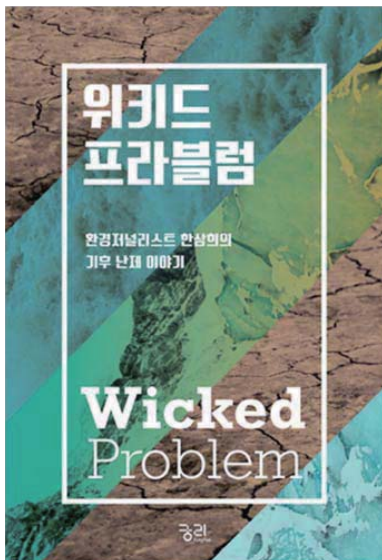


3

**기조강연 ‘원자력이 기후변화
해법인가?’**

원자력이 기후변화해법인가

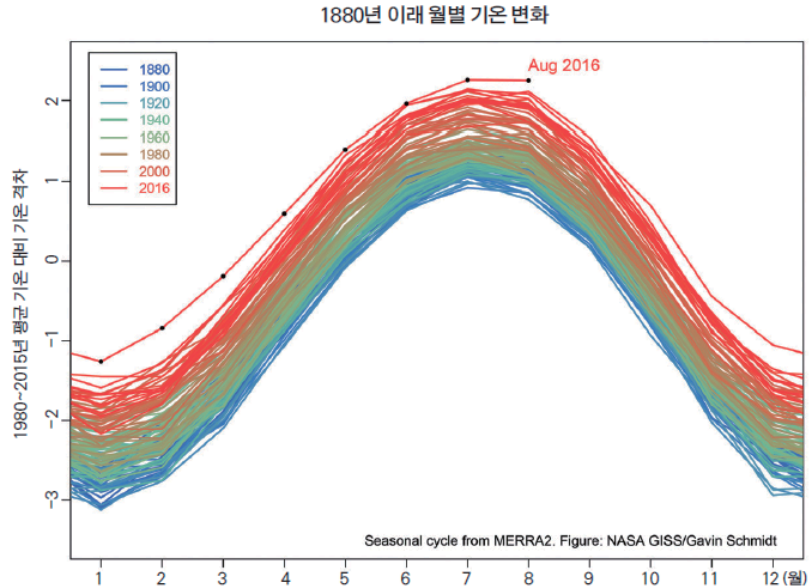
한 삼 희



2016년 9월 출간

- <1> 기후변화 기본 메카니즘
- <2> ‘기후’ 해결 어려운 이유
- <3> 원자력이 해법 될 수 있나

136년 동안의 기온 변화



기후변화 동력 = 태양 + 이산화탄소

- ① 태양 세기의 약화 (수억~수십억년)
⇒ 태양 입사량 변화
- ② 판구조 운동 (수백만~수억년)
⇒ CO₂ 등락
- ③ 지구 궤도 변화 (수천~수만년)
⇒ 태양 입사량 변화 + CO₂ 에 의한 증폭
- ④ 인위적 온실가스 배출 (수십~수백년)
⇒ CO₂ 변화

지구는 30억년 사이 다섯번 초대륙 형성

⇒ 가장 최근 초대륙은 판게아(Pangaea)

- ① 3억2500만년~2억4000만년 형성
(곤드와나, 로렌시아의 충돌)
- ② 2억5000만~1억8000만년 안정화
- ③ 1억7500만년 전부터 쪼개지기 시작

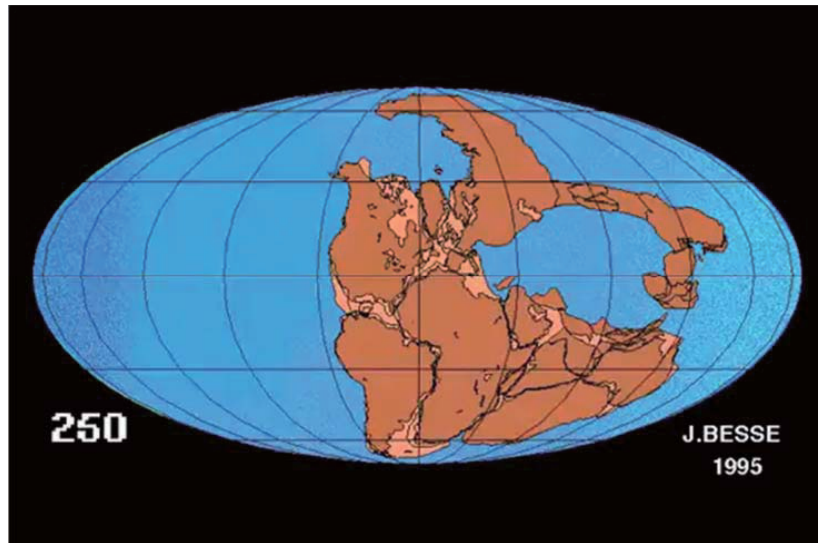


히말라야 산 꼭대기에
왜 퇴적암이 많을까?

심지어 석회암까지

2013년 안나푸르나에서

유라시아대륙에 충돌하는 인도판



지각판이 年 5cm씩 움직인다면

1만년이면 500m

100만년에 50km

1000만년에 500km

5000만년이면 2500km

지각의 움직임을 어떻게 아나

① 연대 판별

용암이 식어 현무암이 될 때 갇힌 우라늄
우라늄 반감기(45억년) 분석으로 확인

②古자장학 분석

용암이 현무암으로 식을 때 철은 磁場에 따라 배열
배열 자장 분석해 지각 형성시 위치 판별



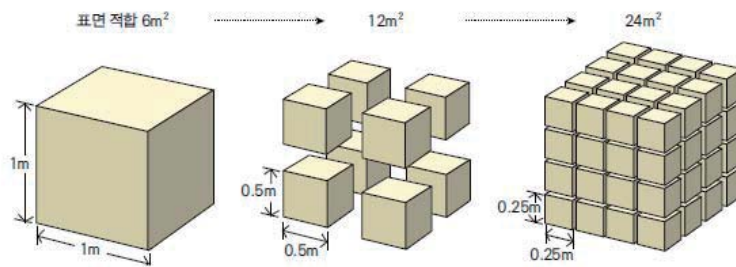
마테호른의 산비탈

지각판이 접혀 오른 산악지대

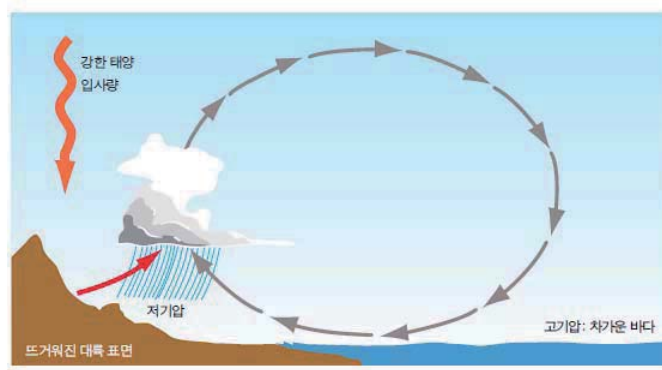
활발한 화산 활동으로 싱싱한 암석 노출
가파른 경사로 조각난 바위와 자갈들 굴러떨어져
몬순 강우에 의한 격렬한 암석 풍화

지각용기 풍화 가설 (Uplift-Weathering Hypothesis)

“바위 덩어리는 쪼개질수록
풍화에 노출된 표면적 증가”
⇒ 절반으로 쪼개질 때마다 2배



지각 용기가 강화시키는 몬순비



안나푸르나 트레킹
“오후 3~4시면 꼭 비가 와”

풍화는 대기 중 CO₂ 농도 떨어뜨린다

- ⇒ 빗물은 CO₂ 녹은 약산성 탄산 품어
- ⇒ 탄산이 암석을 화학적으로 녹여 풍화
- ⇒ 탄산은 암석(칼슘-규소 등)과 결합해 바다로
- ⇒ 바다 생물은 탄산칼슘-이산화규소로 껍질 형성
- ⇒ 죽은 후 바닥에 쌓였다가 나중 석회암으로

<히말라야+티벳고원> 면적은 지구의 1%

- ⇒잘게 쪼개져 풍화 강도는 50배
- ⇒육지 전체 풍화 강도를 1.5배로

히말라야 용기는 CO₂ 떨어뜨리는 작용

1억년 전 공룡 시대엔 1000~3000ppm
“북극권에도 악어 거북 살았다”

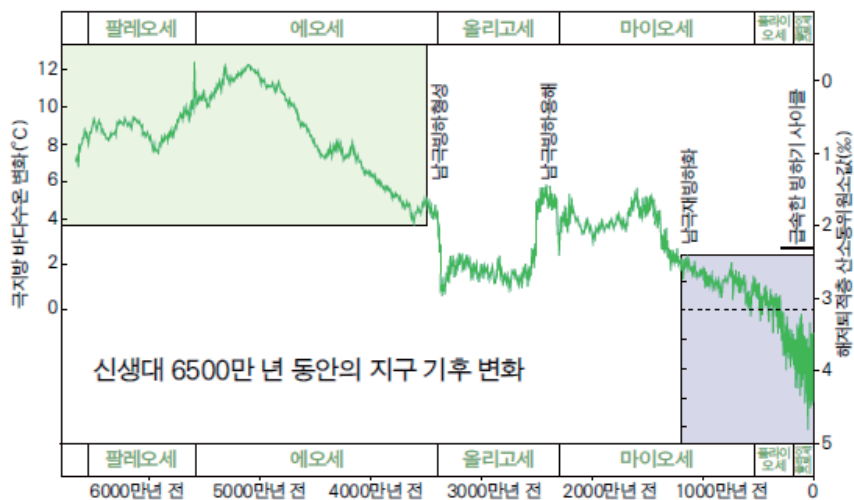
5000만년 동안의 냉각화

3500만년 전, 1400만년 전 ⇒ 남극 빙하화

700만~500만년 전 ⇒ 그린란드 빙하화

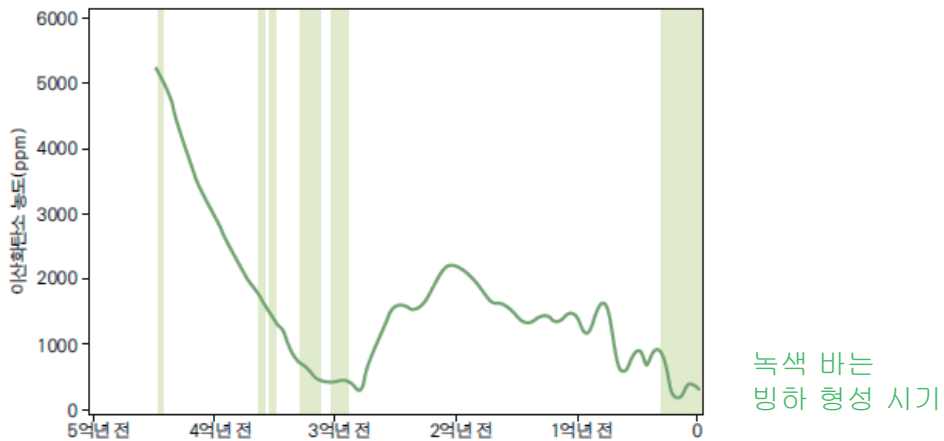
280만년 전부터 ⇒ 빙기-간빙기의 교대

신생대 6500만년의 기후 냉각화



판게아 형성 초기도 빙하시대

⇒곤드와나-로렌시아 지각판 충돌 시기
산맥 융기 활발해 암석 풍화로 CO₂ 낮아져



지구의 ‘기후 자기조절’ 능력

판구조 운동 활발 → 화산 분출 → CO₂ 상승
→ 기온상승, 강수량 증가, 식물량 증가
→ 풍화 작용 강화 → CO₂ 하강 → 기온 냉각화
→ 풍화 약화 → CO₂ 상승 → 기온 온난화
→ ...

궤도 변화가 일으키는 빙기-간빙기 사이클

① 편심률 eccentricity : 10만년 주기

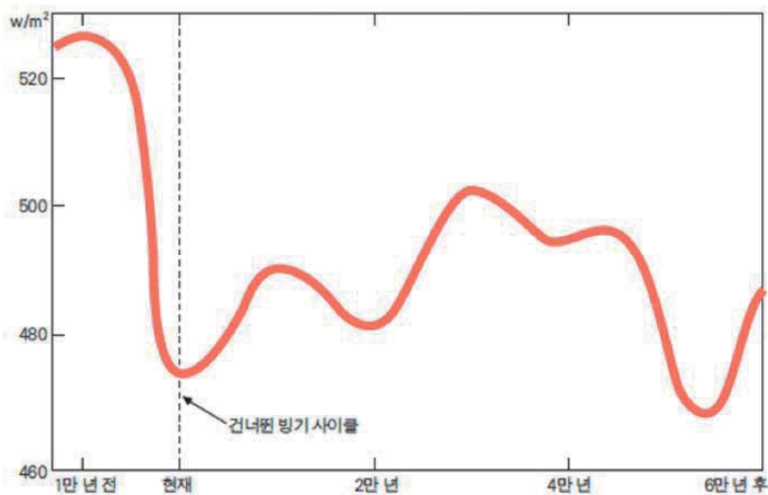
② 세차운동 precession : 2만년 주기

① + ② ⇒ '태양 ~ 지구' <거리> 결정

③ 자전축 기울기 tilt : 4만년 주기

⇒ 태양 내리쬐는 <각도> 결정

향후 6만년 북위 65도 태양 입사량 변화



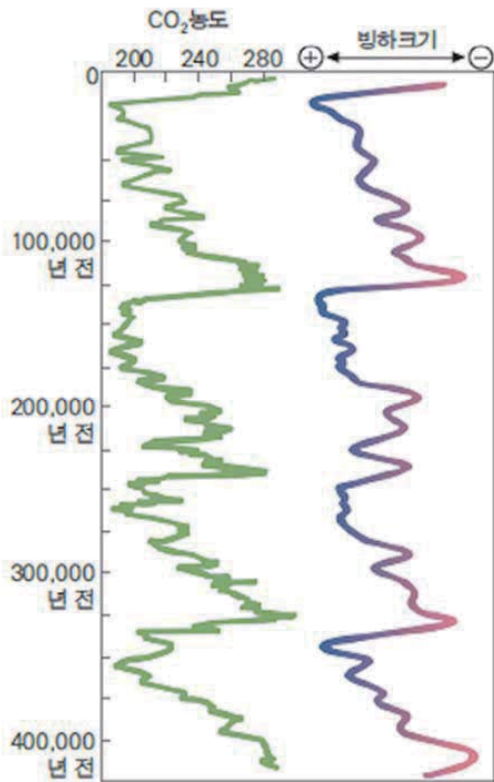
1978년 Quaternary Research 논문

러디먼의 추리 기후학

William Ruddiman (1943~) 버지니아대 명예교수

“농업 기인 온난화 가설”

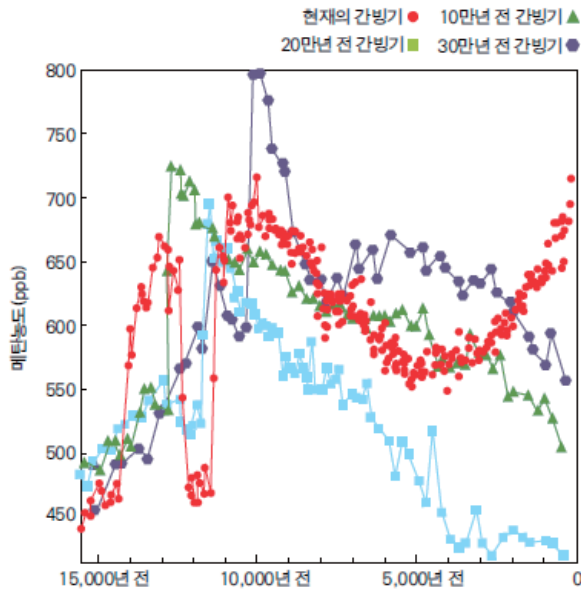
- ① 인류는 수천년 전부터 농업으로 지구 기후 바꿔왔다
火田 농법 → 숲의 대규모 파괴
벼농사 → 인위적 습지 광범위조성
- ② 이로 인한 온실가스 배출
수천년간 기온 2도 상승 → 빙기 돌입 늦춰졌다
- ③ 2000년 사이 전염병이 대기 중 CO₂ 조성 바꿔왔다



40만년 사이

CO₂ - 기온 동반 등락

남극 보스토크 기지
아이스코어 분석



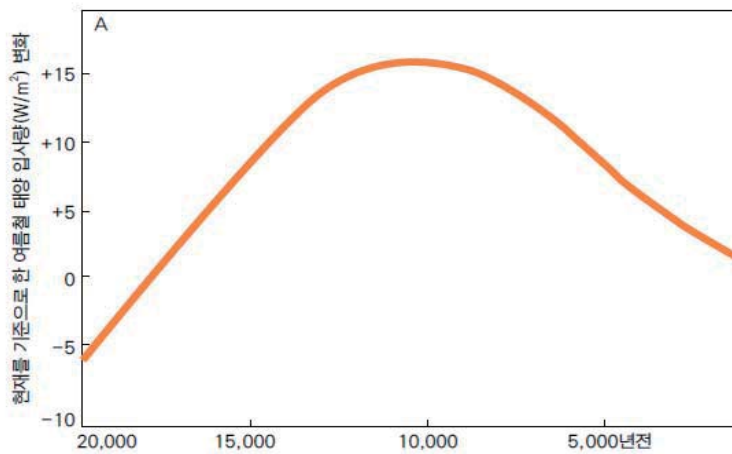
지난 세번 간빙기와 달리

이번 간빙기에는
CH₄ 5000년 전부터
느닷없이 상승

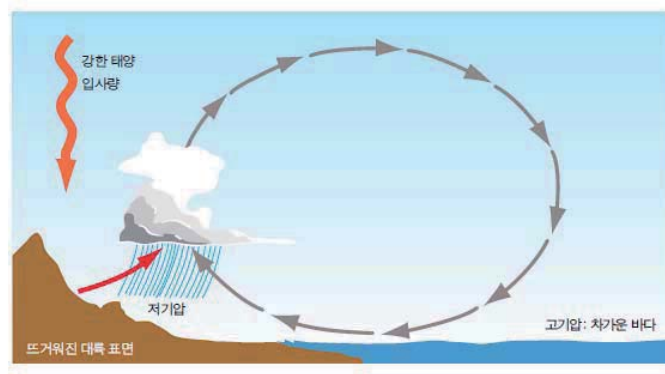
논(습지) 방출 때문

⇒ 궤도 몬순 이론
J. E. Kutzbach

북위 65도 여름철 태양 입사량 변화

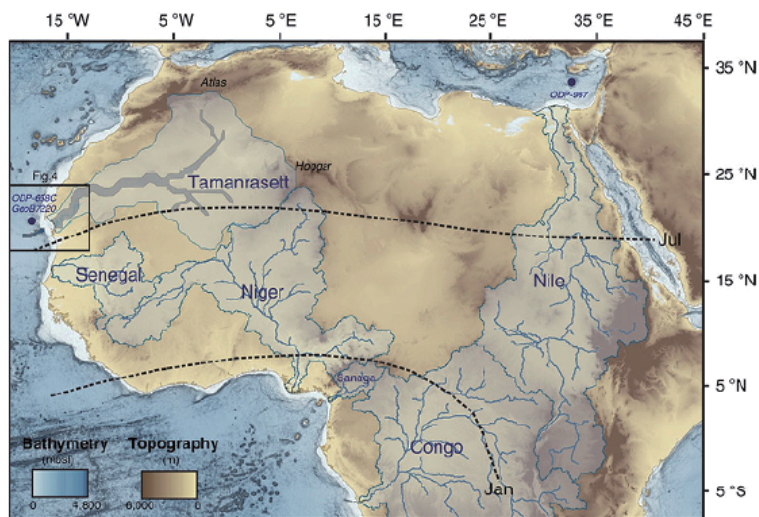


아시아-아프리카 대륙의 몬순비

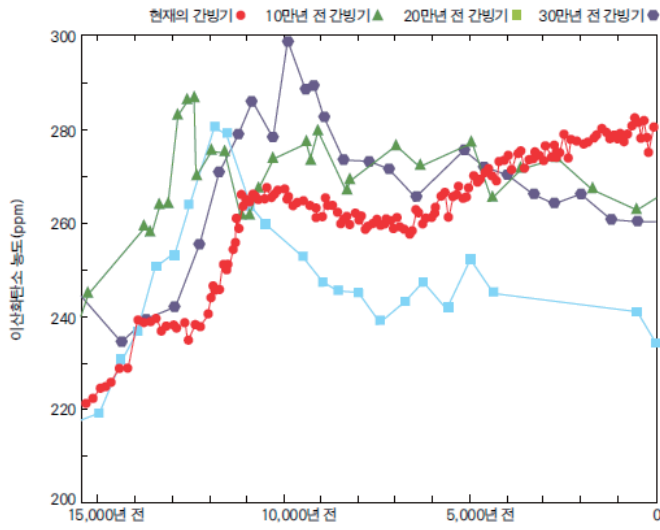


태양 뜨거워지면 ⇒ 강수량 증가 ⇒ 습지 형성 ⇒ CH₄ 상승

사하라 사막 수천년 전 강줄기 흔적



Ancient river network discovered buried under Saharan sand <The Guardian>



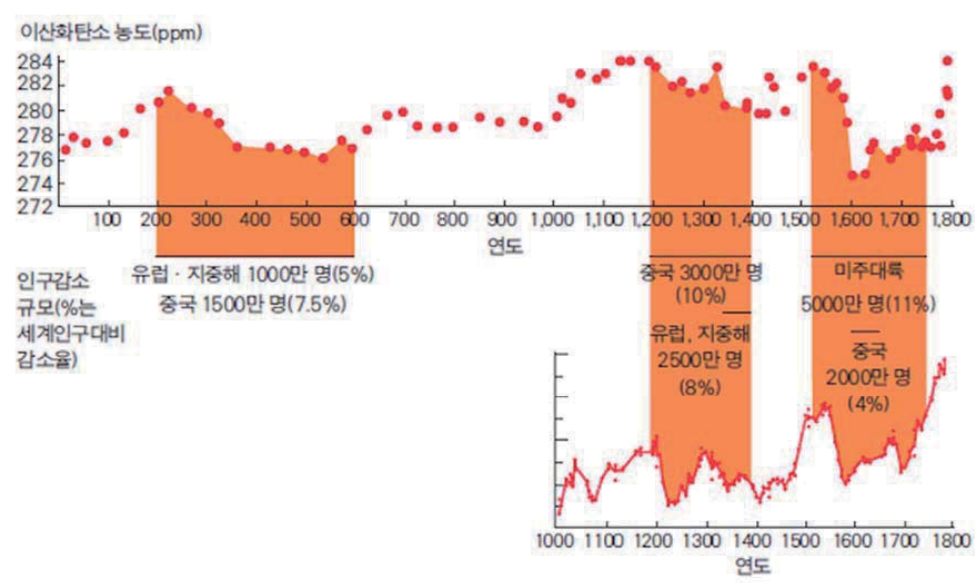
지난 세번 간빙기와 달리

이번 간빙기엔
CO₂ 5000년 전부터
느닷없이 상승

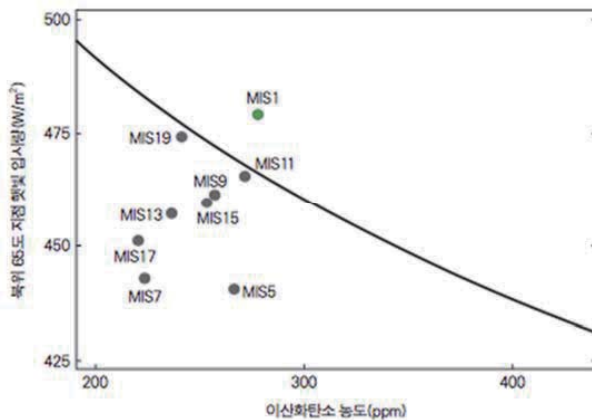
⇒ 火田 숲의 파괴때문

“연 4000만톤씩
8000년CO₂ 방출”

전염병으로 인한 CO₂ 일시 하락



- ① 200~600년 <페스트 등>
인구 2500만명(12.5%) 사망
⇒ CO₂ 5ppm 하락
- ② 1200~1400년 <페스트+몽골족 침략>
5500만명(18%) 사망
⇒ CO₂ 5ppm 하락
- ③ 1500~1700년 <남-북미 전염병 창궐 등>
7000만명(15%) 사망
⇒ CO₂ 10ppm 하락

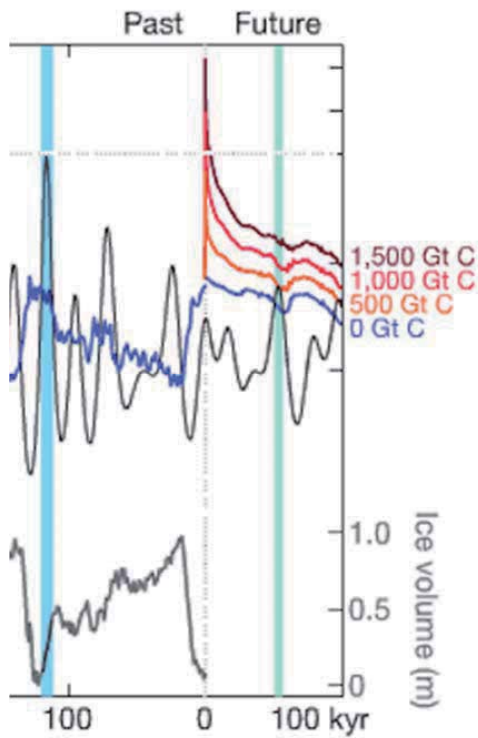
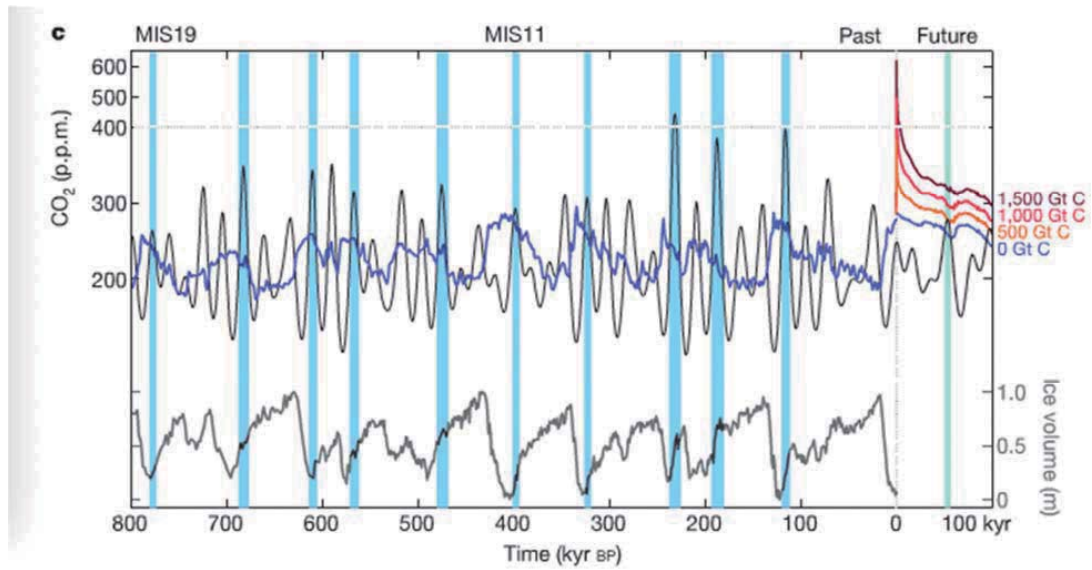


<네이처> 2016년 1월 Andrey Ganopolski

빙하 형성 = ① 햇빛 세기 ② 이산화탄소 결정

“지금의 햇빛 세기 감안하면
CO₂ 가 240ppm 아래라야 빙하 형성 가능”

'80만년 전~10만년 뒤'의 빙하 형성 임계치



① 푸른색

일체 인위적 온실가스
배출 없는 상황

→ 5만년 뒤 빙기 돌입

② 주황색

지금 당장 CO₂ 순배출 제로

→ 10만년 뒤 빙기 돌입

③ 빨간색 ④ 갈색

향후 CO₂ 1조톤, 1.5조톤 배출

→ 10만년 뒤에도 빙기 안 온다

기후변화= “Wicked Problem”

(런던 킹스칼리지 Mike Hulme)

골치아프다, 모순적이다, 고약하다, 사악하다,
불확실하다, 복잡하다, 규정하기 어렵다,
하나 풀려고 하면 더 복잡한 문제 생긴다

<1992년> 리우 기후협약

→ 강제성 없는 선언적 목표

<1997년> 교토 의정서 top down 방식

→ 선진 37개국 2012년까지

1990년 기준 5.2% 감축

<2015년> 파리협약 bottom up 방식

“2100년까지 산업혁명 전 대비

기온 상승치를 2도보다 낮게 유지”

※현재 이미 0.8도 상승 상태

→ 각국 알아서 목표(INDCs) 제기, 실천 후 검증 받기

선진국-개도국 모두 참여

CO₂ 문제의 특성

① 확산성

사람의 한 호흡 = 5×10^{20} 개의 CO₂ 분자

“1년 뒤 지구상 모든 나뭇잎이 광합성할 때
단 몇 개라도 섞여 있게 된다”

NYU Tyler Volk <CO₂ rising>

※ 5×10^{20} 개 = 5해개 (억, 조, 경, 해)

<확산성> 에서 오는 문제

원인과 결과의 공간적 분리

누가 어디서 배출하건 지구 전체에 피해
누가 감축해도 똑같은 효과

“나 대신 남이 해줬으면” ⇒ free riding 유혹

※ 전형적인 <tragedy of the commons>

<collective action problem>

무수히 많은 사람이 극미 수준 문제 야기

⇒ 70억분의 1의 책임

“나 하나 행동이 무슨 의미 있나”

※ SUV 몬다고, 비행기 탄다고 罪의식 느끼겠나

<원인>과 <피해>의 비대칭성

가해자 = 선진국, 피해자 = 개도국

‘skewed vulnerability’ ⇒ 전형적 ethics의 문제

선진국 : 원인제공자이면서

온대라 피해 크지 않고

재정-기술의 적응력 보유

→ ‘somebody else’s problem’

후진국 : innocent 한데

열대라 기후변화에 취약

적응 능력 부족

→ 절박하지만 발언권 약해

② 축적성

시카고大 David Archer <The Long Thaw>

CO₂ 17~33%는 대기 中 1000년 존속
10~15%는 1만년
7%는 10만년까지 남는다

⇒ 이산화탄소는 flow 아닌 stock
배출이 누적되다가 threshold 지나면
수십~수백년 뒤 後세대에 피해

원인과 결과의 시간적 분리

지금 배출한 건 다음 세대에 피해 야기 : <time lag>
→ 앞세대=가해자, 뒷세대=피해자

<인과 분리> 현 세대의 절박성은 약화
“당장 나에게 피해로 돌아오지 않는다”

해결에도 수십년의 지속 노력 필요
※ 에너지 산업은 막대한 인프라 구축(수명은 30~50년)

시간적 분리가 훨씬 해결 어렵다

선진국-후진국 간엔 대화라도 가능
→ 세대간엔 만날 수도 없어

“tyranny of contemporary”

앞 세대 방탕을 뒷 세대가 견제할 수 없음

민주주의-자본주의는 <myopic> <selfish>

4~5년 임기 선거 체제 ⇒ 50~100년 뒤 일 못 다뤄
후손 세대엔 투표권도 없어

기업은 당장의 이윤 추구가 목표 ⇒ 이타적-장기적 목표 설정 불능

③ 불확실성

지금의 온난화는 자연 현상 아닐까
나중 피해가 정말 그렇게 심각할까
원가 획기적 기술이 등장하지 않을까

자연조건-인프라-기술 수준따라 이해 달라
일부 국가엔 이득 될 수도

uncertainty가 국가간 협력 방해

계산서 없는 흥정

→ 오존홀이 불러일으킨 ‘긴급성’ ‘비주열성’ 결여

게다가 ‘非가시성’

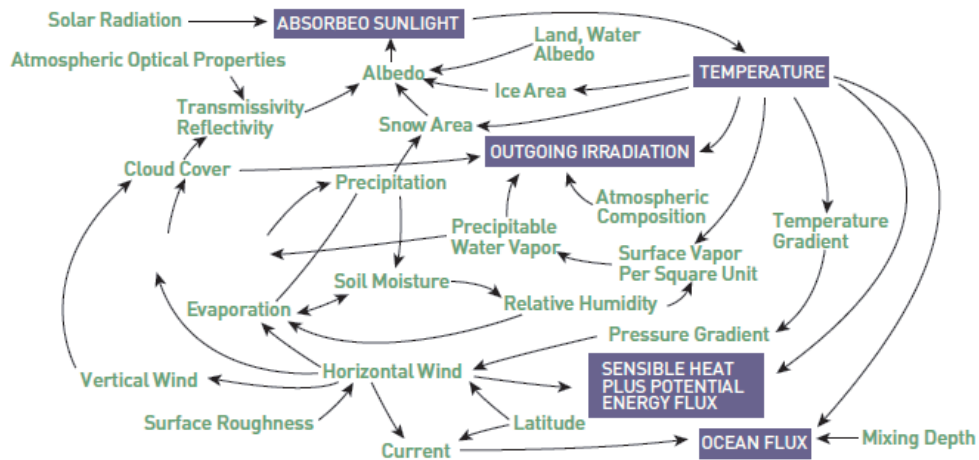
CO₂ 는 보이지 않고, 냄새-색깔 없고, 당장 건강 피해도 없어
→ 정서적 반감 불러일으키지 않아

인과관계 사슬이 길다

→ 복잡하고 긴 설명이 필요

“추상적이고 모호하고 눈에 보이지 않는 적과의 싸움”

꼬리에 꼬리 물며 연결된 기후 인과 사슬



아울러 threshold 문제

- damage 어느 시점 지나면서 갑자기 나타날 수
“2000년대 중반까지는 별 일 없을 것”
일단 시스템 붕괴되면 되돌리기 어려운 피해
그 전까지 절박한 문제 의식 느끼지 힘들

<복합적으로 얽힌 관계>

- 호주에서 캔 석탄으로
한국서 전기를 생산해 만든 제품
미국으로 수출해 소비할 경우
→ CO₂ 책임 누구에게 물어야 맞나

<종합하면>

- ① 지금 에너지 소비가 수백년 뒤 (축적성, 시간적 분리)
- ② 다른 대륙 사람에게 피해 주고 (확산성, 공간적 분리)
- ③ 온난화 회의론 여전 (불확실성)

→ 누가 책임감 느끼겠나

<先성장 後대처론>

경제는 계속 성장, 후손들 부자 된 다음 대처하자

→지금 기후변화 막는다고 투자하는 건

부자 후손들 위해 가난한 우리가 희생하는 셈

→기후변화 대책비로 차라리 현재의 빈곤층 돕자

‘wait & see’로 서서히 투자 늘려가며 불확실성 제거

⇒ 대처 늦을수록 드는 비용은 더 커진다

불확실성, 인간에 유리한 쪽으로만 작용한다 보장 있나

현재까지 나온 규칙→ <선진국 우선 행동>

Common, but differentiated responsibility (CBDR)

(공통의, 그러나 차별화된 책임)

“You broke it, you fix it” → Polluter pay principle

논리는 historical emission (1850~2012년)

미국 26.8%

중국 10.9%

러시아 7.5%

독일 6.2%

영국 5.1%

일본 3.7%

인도 2.8%

한국 0.97%

<윤리 근거>

선진국은 과거 배출로 이득 봤고(부유해졌고)

주로 온대 위치, 극단적 damage에선 벗어나 있고
개도국 피해 보상해줄 능력도 된다

후진국은 선진국 先占 배출로 대기 자원 이용 제한받고

취약 열대 지역 위치해 현재-미래 피해가 집중되고
재정 열악하고 당장 경제성장 시급

富國 <사치 소비> 위해 貧國 <생존 소비>가 위협받는 점

<선진국 입장>

“최근까지 화석연료의 기후변화 책임론 몰랐다”

→ 도덕적 비난 피한다 해도 책임지는 건 다른 차원 문제

“실수로 남의 집 유리창 깨고 고의 아니라고 모른 척 해도 되나”

“선조들이 과거 배출한 것을 지금 후손들이 책임져야 하나”

→ 선조들 빚 안 갚겠다면 선조 재산 상속할 권리도 없다

<배출량 분포 2012년>

총 배출량 (세계 338억톤)		1인당 배출량 (세계 평균 4.8톤)
중국	93억톤 (27%)	6톤
미국	51억 (15%)	16
EU	36억 (10.6%)	6.6
인도	20억 (5.9%)	1.6
일본	12억 (3.5%)	9.6
한국	6억 (1.8%)	11.8

※ 필리핀 0.9톤, 캄보디아 0.3톤, 르완다 0.07톤, 차드 0.02톤

‘equal per capita’ 직관적으로 가장 공평하지만

→그렇게 하면 선진국 경제 당장 무너져

1997년 교토의정서 : 선진국(Annex I)만 우선 규제

→기존 배출량 기준 감축 의무 부과

Peter Singer “불공평의 영원한 구조화

세계인 1인당 배출량 동등하게 해야”

→ “그런 다음 배출권거래제 활용해 선진국 소비 수준 유지”

배출권거래제는 선진국 富의 후진국 이전 효과

낙후 기술의 후진국에서 배출량 줄이는게 훨씬 효과적이기도

기후 협약 <오랜 교착>

no action의 논리

- ①국익에 해가 된다 (national interest)
- ②과학적으로 불확실하다 (uncertainty)

※한국 90년 대비 2012년 2.2배 배출 “undisputed bad boy”

<경제에 도움 안되더라도> <과학적으로 불확실해도>

action으로 가야 하는 이유는 없는 것인지

→ 윤리적 필연성

<윤리>로 풀 수밖에

① 국익 논란

원인 제공 국가(polluter)는 경제 손실 보더라도
피해 국가가 당할 재앙 막아줄 책임

② 불확실성

음주운전은 사고로 이어질 가능성 확실치 않아도
남에게 해 끼칠 가능성 높아 처벌하는 것

Pascal(1623~62)'s wager

“주저 말고 신을 믿는 쪽에 걸어라”

- 신이 없는데도 신을 믿을 때의 cost는 일요일 시간 낭비 정도
(type I error)
- 신이 있는데도 신을 믿지 않을 때는 큰 곤경에 처한다
(type II error)

※기후변화론

- 사실 아닌데도 기후변화 믿고 대책 실행할 때
(type I :false positive)
cost는 에너지 효율 향상, 에너지 고갈 방지
- 사실인데도 부인하고 no action
(type II :false negative)
‘인류 재앙’ 초래될 수

문제는 “개도국 동참 없이 해결 불가능”

1990~2012년 OECD 7% 삭감
non-OECD는 46% 증가

개도국 입장에선 경제 성장이 더 절박

“선진국들은 싼 화석연료로 부자 돼놓고
우린에겐 에어컨 쓰지 말고 차 타지 말라는 것인가”

⇒ 상황은 점점 심각

현재 0.8도 상승, 향후 0.3~0.6도 상승 예정돼
인프라 관성 감안하면 0.5~0.7도 상승 불가피
→ “2도 상승 억제는 불가능”

<거대 개도국> <신흥 도약국> 부유층·중산층 문제

→ 세계의 백화점 휩쓰는 중국 부자들
선진국 수준 소비의 한국 중산층들

<국가 단위 협상> → 자국 ‘평균 배출량’ 통계 뒤에 숨어 있는 셈
중국 슈퍼 리치들 책임 안물어도 되나

선진국 “그들이 참여 안 하면 나도 안 한다”
“후진국 협조 없이는 해결이 불가능”



파리 기후회의(2015. 12. 03) 4명 기후 과학자의 회견

“Nuclear power paves the only viable path forward on climate change”

(James Hansen, Kerry Emanuel, Ken Caldeira, Tom Wigley)

“풍력-태양광으로 에너지 총량 기대는 wishful thinging,
핵폐기물은 석탄 폐기물에 비하면 trivial한 문제”

“방사능 생태-건강 피해 대수롭지 않다” 주장

David JC Mackay (케임브리지대)

→ LCA 분석 kWh당 CO₂ 배출량
원자력 = 40g , 석탄발전 400g

ExternE (Externalites of Energy) 분석

→ 원자력의 환경-보건 코스트= kWh당 0.0019유로
석탄발전 = kWh당 0.06유로

Richard Muller (UC Berkley)

→ “후쿠시마 사고 방사능 사망자는 100명 미만”

한삼희의 환경칼럼

원자력 전기의 ‘진짜 가격’



2009년 원자력발전소를 보면 원자력발전소에서 원전에 오는 전기의 단가는 100원 30원, 석탄발전소는 51원이다. 이 것만 보고 원자력을 ‘싼 전기’로 단정하는 건 심부름이다. 원자력엔 요점에 반영되지 않은 비용들이 많다.

우선 사용후핵연료 처리 비용이 그렇다. 사용후핵연료는 지금 원자력발전소 안에 쌓여 있지만 언젠가는 비용을 들여 처리해야 한다. 원자력 전기의 단가엔 당연히 이 비용이 포함돼 있어야 한다. 원전 운영회사인 한국수력원자력은 2005년 방사성폐기물관리법 시행 뒤로는 연(국) 200여원 정도의 사용후핵연료 처리비를 국가에 내고 있다. 하지만 2008년까지 발생한 사용후핵연료 처리할 비용 3조 6000여원은 대안책이 없었다. 이 돈은 나중에 전기 소비자들 고지서에 추가될 수밖에 없다.

원전 해체할 거 비용도 마찬가지다. 후쿠시마 원전 사고로 원전의 수명연장은 쉽지 않게 됐다. 당장 곧바로 원전 원형으로 가와 수명연장 여부를 결정해야 한다. 원전 해체는 굉장한 어려움 작업이다. 스키 마일의 경우 14억이 걸린다. 총일은 서울 대 교수는 원전 1기당 해체할 비용을 6000억원 이상으로 추산했다. 우리는 1978년 이후 18개월마다 1기씩의 속도로 21기의 원전을 지었다. 앞으로 원전 해체할 거가 시작되면 18개월마다 6000억원씩 들어 원전을 해체해야 한다. 한수원이 이를 위해 적당히 예산은 돈을 썼다. 결국 이 비용도 전기 소비자 고지서에 반영될 거 것이다.

원전에서 한번 사고가 나면 거대사고가 된다. 그래서 보험회사들은 보상연도에 상한(上限)을 그려놓고 보험 가입을 받았다. 발전소가 있는 재산 피해의 보상 연도에는 사고당 189억달러, 자연주인 등의 피해에 대한 한수원이 전적으로 부담하는 손해배상 상한선이 5000억달러에 안 걸린다. 5000억 이상 5000억달러까지는 정부가 피해보상을 부담 지원하고, 5000억이 넘는 피해는 정부가 다 부담하게 돼 있다. 큰 사고가 터지면 결국 국민 세금으로 대응할 수밖에 없다. 전기요금 형태는 아니더라도 국민 부담이다.

원전 건설-운영 과정에서 초래되는 사회적 비용도 무시할 수 없다. 정부는 1988년

부터 중-저준위 방사성폐기물처리장 부지를 찾다가 19년 만인 2005년에야 경우로 낙자를 줬다. 그 사이 원전도(1990년)부터 2000년에서 2007년만 수준의 중저준위 처리장, 중저준위 처리장 부지도 구해야 한다. 이런 사회적 비용 역시 전기요금 고지서에 오르지 않는지만 국민이 짚어 봐야 하는 부분이다. 이런 부담을 가격으로 따진다면 얼마나 되는 것일까.

원자력엔 단량만 아니라 단위를 상쇄할 수도 있는 장황들도 있다. 온실가스 배출량이 극히 적고, 대조로만 물고기 배를 줄이지 않는다. 공정한 평가를 하려면 이런 플러스 부분까지 감안해야 한다. 그러나 이 계산은 냉랭하고 합리적이지가 힘들다. 원자력 사고는 발생 확률은 ‘무’에 가깝지만 한번 터지면 피해는 엄청 불가(不可) 수중이다. 이런 종류의 리스크는 ‘뭉개고기+발상 확률’이라는 단순중산으로 평가 어렵다. 이른바 ‘영-무한대 딜레마’(zero-infinity dilemma)의 전형이다.

예를 들어 수술 의사가 ‘사망 확률 1000분의 1’이라고 설명했다고 치자. 목숨의 1000분의 1만 태어날 확률일 방법이 없다. 환자는 아무리 확률이 낮아도 죽을 수 있다는 공포를 떨쳐내지 못한다. 원자력엔 이런 것이 있는 어떤 공포를 어떻게 낚아채는지가 문제다.

원자력 cost 계산에 반영돼야 할 요소들

- ① 사용후핵연료 처리비
- ② 원전 해체철거비
- ③ 사고 보상비
- ④ 사회적 비용

⇒ 과연 ‘값싼 에너지’인가

2011. 3. 26 자

일본 ‘코스트 검정위원회’ (2011년 12월 보고서)

<2004년 계산 kWh당 단가>

원자력 : 5.9엔

석탄화력 : 5.7엔

<2004년 계산>

원자력 : 적어도 8.9엔 (후쿠시마 피해액 5.8조엔 상정)

석탄화력: 9.5~9.7엔 (CO₂ 대책비 포함)

풍력: 원자력의 2.5배

태양광: 원자력의 3~5배

※ “후쿠시마 제염-폐로-보상비 12조엔” 10월20일 일본언론 보도

문제는 기술 발전의 불확실성

뭐가 나중 ‘winner technology’ 될지 알 수 없다

프랑스 <미니텔>

1982년 실용화된 인터넷 전단계 정보통신 기술

1998년 가입자 900만명

온라인 상품 구매, 항공-철도 예약 등

→ ‘프랑스 텔레콤’에 한해 11억달러 수입

2012년 6월 서비스 폐쇄

→ 프랑스 “인터넷 정보통신 발전 저해” 평가

<태양광 ‘세계 1위’의 부침>

2007년 일본 샤프

2008년 독일 큐셀

2010년 중국 썬테크

2012년 큐셀 도산 후 한국 한화에 인수

“Live by feed-in tariff, Die by feed-in tariff”

2014년 중국 썬테크 도산

2016년 한국 한화큐셀

⇒ 에너지 기술은 뭐가 winner 될지 불확실
국제정치, 정부정책에 따른 환경변화 극심

<산탄총 전략> 필요

“모든 대안 동원하기”

원자력은 ‘100년 사이클’ 인프라

계획~완공 : 10년

운영: 60년

운영허가 연장: 20년

철거-폐기: 20년

⇒ 유력한 대안이지만 원자력에만 의존은 “위험”

폐기물 부담도 적지 않고

더 훌륭한 대안 에너지 나올 경우 유연성 떨어져

“지금 수준 유지가 적절한 것 아닌지”

4

원전에 대한 지역사회의 우려

2016 11 04 서울대 원자력정책센터 심포지엄

원전에 대한 지역사회의 우려

김성수 Ph. D. 인제대 공공인재학부 교수
(전) 대통령직속 원자력안전위원회 위원

원전 안전: 지역사회 우려 심화 및 정치적 이슈로 쟁점화 (Issue Framing & Sociopolitical Agenda): Salient & Broad scope

- 대중들의 인식에 각인되는 사건이 강도 높게 발생하고
- 지속적으로 진행되는 느낌을 줄 때
- 해결책이나 대안이 적절하게 제시되지 않으면
- Crisis로 인식
- Media's key role: Favorable or Unfavorable
- 일상적 쟁점화 진행중

2011년 후쿠시마 원전 참사

- 2011년 3월11일.
- 후쿠시마 원전사고는 지진과 해일이라는 복합재난으로 인해
- 외부 전원과 내부 발전소의 정전으로 원자로 냉각재 상실사고(LOCA: Loss of Coolant Accident)가 일어난 뒤 원자로가 폭발하면서 생긴 세계 최악의 원자력 사고로 기록
- NYT는 특히 도쿄전력 측이 원자로를 식히기 위해 바닷물을 퍼붓는 것을 결정하는데 너무 많은 시간을 낭비한 것 아니냐는 의문이 든다고 지적
- 이후 일본 국회사고조사위원회는 후쿠시마 원전사고를 “천재지변이 아니라 인간이 만들어낸 재해”라고 결론지음
- 도쿄전력의 위기상황 대처 미숙
- 정부: 대통령직속 원안위 설치, 안전기준 높이고, 비상발전차량, 해일방비벽 쌓기 등
- IAEA에서 긍정적 평가

고리 사고 은폐

- 2012년 2월9일 19시30분 고리원전 1호기 연료봉 교체와 발전기 보호계전기 시험 진행 중
- 20시34분께 고리 1호기로 전력을 공급하던 외부전원 3개 회선 중 1, 2번 회선이 정비 중인 상태에서 남아있던 3번회선이 끊어지며 외부전원이 모두 차단
- 비상전력을 공급하기 위한 비상디젤발전기 2대중 한 대는 정비 중에 있었고 나머지 한 대는 자동 기동이 실패하면서 발전소전원이 12분 동안이나 전원 완전 상실(black out)된 사고 발생
- 전원 상실 12분 후 정비 중이던 1번 외부전원 회선을 긴급복구
- 12분 동안 전원공급이 상실되면서 원자로 잔열제거 계통 가동이 중단됐고 냉각수 온도가 36.9°C에서 58.3°C로 올랐음
- 전원공급이 지연되었을 경우 원자로 녹아내리는 LOCA상황 발생 가능성

- 고리 1호기 발전소: 사고에 대해 비상발령을 내리지 않고 사건기록을 누락하면서 은폐를 시도
- 한 달 뒤인 3월8일 부산시 한 시의원의 첩보로 밝혀짐
- 국제원자력기구(IAEA, International Atomic Energy Agency): 원자력 사고 레벨 2등급 판정
- 방사능 유출이나 작업자 인체에 유해할 정도의 피폭이 아니었지만 2등급 원전 사고는 전세계에서 발생할 확률이 1년에 한 번 정도
- 언론을 통해 알려지자 부산 시민들 충격에 빠짐
- "수백만의 생명과 직결된 원자력 발전소가 사고를 은폐했다니 분통이 터진다"며 고리 1호기에 대한 국제적 안전점검을 요구

한수원과 원안위의 조치

- 한국수력원자력(한수원)은 한 달이나 지나 감독기관에 보고
- 원자력안전위원회: 한수원이 지난달 9일 오후 8시34분께 고리 1호기의 발전기 보호계전기(발전기 등에 사고가 발생했을 때 발전기를 보호하기 위하여 차단기를 동작시키는 장치) 시험을 하던 중
- 외부전원 공급이 중단되고 비상디젤발전기가 작동하지 않아 발전소 전원이 12분간 들어오지 않는 사고가 발생.. 당시는 고리 1호기의 계획예방정비 기간(2월 4일~3월 4일)이었음
- 사고가 한 달여 만에 세상에 드러난 것은 김수근 부산시의원이 새로 부임한 고리원전본부장에게 전화 문의를 함
- 기장군이 지역구인 김 의원은 "고리원전에서 지난달 어떤 사고나 비상상황이 있었다고 알린 적이 없었는데, 지역에서 계획정비기간에 무슨 사고가 있었다는 소문이 들려 신임 본부장에게 확인했었다"고 발언

IAEA 조사 불신

- 2012년 6월 11일 기장군 장안읍 고리원자력본부에서 국제원자력기구(IAEA)의 고리원자력발전소 1호기 점검 결과 발표: 주민들과 시민단체 등이 반대 시위
- 통합진보당 김제남 의원과 시민단체들: 전문성이 없는 IAEA의 안전점검을 용납 못 한다며 기자회견
- 지역주민들: 형식적인 IAEA 현장조사에 반대
- 오후 2시30분 IAEA 점검결과 기자회견에 지역주민들도 참가: 고리본부에서 제공하는 보도자료를 받고 "일주일 동안 검사한다고 해놓고 발표 이를 전에 미리 보도자료가 나와 있는 것은 말이 안 된다"고 IAEA 점검단에게 소리치며 강력히 항의한 뒤 퇴장
- 이에 IAEA 미로슬라브 리파르 점검단장은 "파키스탄, 슬로바키아에 다녀왔지만 이 같은 물리적 반대시위는 처음 본다. 당황스럽다"고 발언

- 원전민간환경감시기구 최영훈 소장
- "발전소에서 사고가 터지면 해당 발전소에서 해결하려고 하기보다 본부로 모든 책임을 이양해버리고 해당 사업소는 모든 채널을 닫아버린다"
- 그는 또 "각종 이슈에 대한 상벌 체계도 손 볼 필요가 있다"며 이슈가 발생했을 때 책임자에게 모든 책임을 묻기 보다는 그 사건이 매 뉴얼에도 없는 새로운 사고면 이에 얼마나 잘 대처했는지를 따져 상벌을 줘야지.. 무조건 문제가 발생하면 처벌만 하려고 하니 발전소 측에서는 모든 사건을 축소하고 은폐하려는 경향이 커지는 것 아니겠느냐"

고리 재가동 승인에 관한 언론 기사

- 원자력안전위원회가 거센 반대 여론을 무릅쓰고 고리 원자력발전소 1호기의 재가동을 승인한 것은 납득하기 어렵다.
- 여러 항목을 총체적으로 점검해 안전성을 확인했다지만 그동안 진행돼 온 일련의 점검은 고리 1호기의 재가동을 정당화하기 위한 수순이란 의심을 떨치기 어렵다.
- 하필이면 5년 후인 2017년까지는 안전하다는 판정을 내린 근거도 확실해 보이지 않는다.
논란을 빚어온 원자로 압력용기에 대해선 계속운전 심사와 제3기관의 검증 평가 결과를 검토한 결과 용기의 건전성을 확인했다고도 말했다.
- 납품 비리로 물의를 빚었던 부품도 모두 적절하게 교체된 것으로 나타났다고도 덧붙였다. 그렇다면 지난 2월 정전 사고는 왜 일어났으며 이를 은폐했던 건 또 뭔가.(국제신문 2012,7,4)

불량 케이블 납품비리(2013.10)

- 원전 불량 케이블 시험 조건부터 조작
- 신고리 3·4호기 납품 JS전선, 열노화 처리한 것처럼 꾸며 해외서 화재시험 검증 통과
- 또 이 케이블을 검증한 새한TEP는 냉각재 상실사고(LOCA) 시험 요구기준 가운데 온도·압력 실험조건을 조작
- 결국 신고리 3·4호기 납품 비리는 시험성적서 위조뿐만 아니라 그에 앞서 시험조건 조작부터 얽힌 문제
- 신고리 3·4호기의 부품 불합격 판정으로 준공이 1~2년 지연

Hardware vs. Humanware

- 고리 정전 사고 당시 현장 작업자의 머리 속엔 무엇이?
- 제어실 운영팀장의 판단을 좌우한 요인은?
- 사고 등급 및 보고 이후 진행절차와 신상필벌체계에 어떤 문제점 있는지?
- 작업자 vs. Engineer & Scientist
- 사출공장 안전사고 사례: 5초 모아 30분 만들기

2014년 5월 "부산시민 원전 안전 의식 조사"

- 국제신문 등이 기획한 '부산시민 원전 안전 의식 조사 결과 보고서'는 부산 시민이 원전 확대 정책을 반대한다는 사실을 보여주고 있음
- 이 보고서는 일본 후쿠시마 원전 사고 이후 화두가 된 원전 안전에 대한 체계적인 여론조사가 없는 상황에서 정부와 지자체의 원전 안전 및 방호대책 수립에 참고가 될 것으로 보임
- 하지만 원전 안전의 심각성에 대한 전반적인 인식은 예상과 달리 낮은 편이었음

2014년 5월 “부산시민 원전 안전 의식 조사”

- 조사 대상자의 64.9%가 '앞으로 원전을 단계적으로 폐쇄하고 대안에너지로 대체해야 한다'고 응답했다. '국가적 차원에서 기왕 정해졌으니 안전하게 운영하면 된다'고 답한 시민도 32.7%로 적지는 않았음
- 고리원전 1호기 수명 재연장에 대해서는 '즉각 폐쇄'가 30.7%, '2017년까지만 운영'이 31%, '전문가의 결정에 따른다'고 응답한 사람의 비율이 31.2%로 비슷한 분포를 보이는 등 시각이 엇갈렸음
- 다수인 61.7%는 수명 재연장에 반대했다. 고리원전 1호기는 2007년 설계수명(30년)을 다했으나 안전에 문제가 없다는 원자력안전위원회의 결정에 따라 10년간 가동기간을 연장

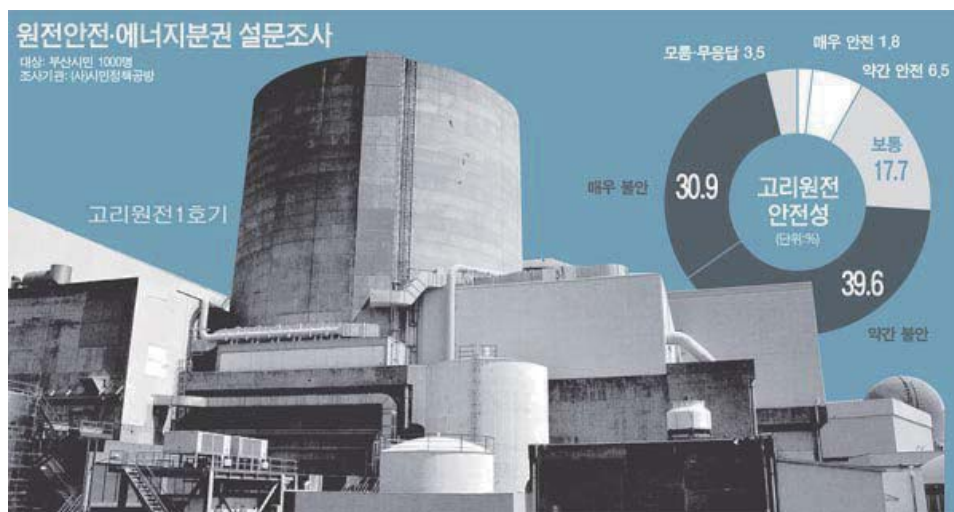
2014년 5월 부산시민 원전 안전 의식 조사

- 부산 시민 절반 이상은 고리원자력발전소를 폐쇄한다면 그 대가로 환경세를 부담할 의사가 있는 것으로 조사됐음
- 조사결과를 보면 고리원전을 폐쇄할 때 발생하는 비용을 환경세 방식으로 낼 의향이 있는냐는 질문에 56.4%가 '그렇다'고 응답
- 매월 7727원을 환경세로 낼 의사가 있다는 것으로 부산 시민이 이를 모두 낸다면 연간 총 1300억 원에 달함
- 이는 발전소 주변 지역 지원법에 따라 고리원전 인근에 지급되는 총지원금 520억 원의 배가 넘는 액수임
- 이번 조사에는 가상평가법(contingent valuation method:CVM)이 활용됐음
- 이는 환경 개선과 환경 파괴에 대한 환경의 가상적 변화를 응답자에게 제시해 지급의사금액을 직접 묻는 환경가치평가의 한 방법임
- 이번 조사는 국제신문 경향신문 부산KBS 시민정책공방 신라대 부산학연구원 SSK지방정치학모형연구팀이 공동 기획해 동대 전거정치연구소와 사회여론센터에 의뢰해 이뤄졌음
- 부산 시민 1000명을 대상으로 지난달 4~7일 전화설문 조사 방식으로 진행.. 신뢰 수준은 95%이고, 표본오차는 ±3.1% (국제신문 2014년 5월 1일)

2014년 5월 부산시민 원전 안전 의식 조사

- 1일 보고서에 따르면 고리원전의 안전성을 묻는 질문에 '위험하다'고 응답한 비율이 50%(500명)로, '안전하다'는 비율(16.4%)보다 크게 높았음
- 그 결과 고리원전에서 대형참사가 빚어질 가능성을 묻는 항목에는 49.1%가 '높다'고 답했고 '낮다'는 응답자는 18.5%
- 정부의 원전 확대 정책에 대한 생각을 묻는 항목에서는 '반대한다'는 응답자 비율(45.2%)이 찬성(25.9%)보다 배가량 많았지만, 시민 4명 중 1명은 원전 확대 정책을 옹호하는 입장이었음

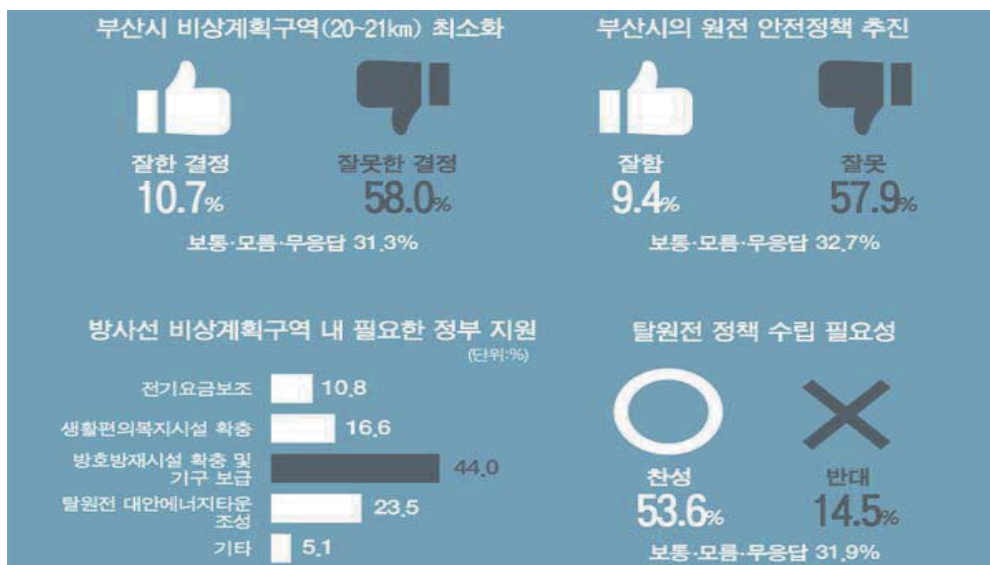
고리원전 1호기에 대한 부산시민 여론 2015년 5월



지역 오피니언 리더 92%, 고리1호기 재연장 반대
국제신문-시민정책공방 공동조사 법조·교육 등 8개 분야 100인 (2015, 5, 28)

- 100명 중 92명은 고리1호기 수명 재연장에 반대하고 88명은 고리원전이 불안하다는 의견
- 시민 1000명을 대상으로 앞서 설문 조사한 결과와 비교할 때 여론 주도층이 원전의 위험성을 한층 더 심각하게 인식하는 것으로 확인
- 부산시의원 공무원 대학교수 시민단체 경제계 법조계 교육계 문화·예술·체육계 등 8개 분야 100명을 대상으로 조사
- 경성대 김해창(환경공학과) 교수는 "일반적으로 여론 주도층은 보수적으로 답변하는 경향이 있는데도 원전이 불안하다고 답변한 비율이 시민 비율보다 17%포인트 이상 높게 나왔다"며 "이는 정보를 알면 알수록 원전을 더 불안하게 느끼고 있음을 의미한다"고 주장

부산시의 원전 정책에도 비판적: 시의 원전안전 정책 추진 정도에 대해서도 부정적인 의견(매우 잘못+약간 잘못)이 69%를 차지



예방적보호조치구역(5km), 부산시비상계획구역(20-21km)
 2015.5: 현행 법으로는 30km이내, 2016년 10월 더민주당 의원
 입법안은 EPZ를 50km로 확대 제안

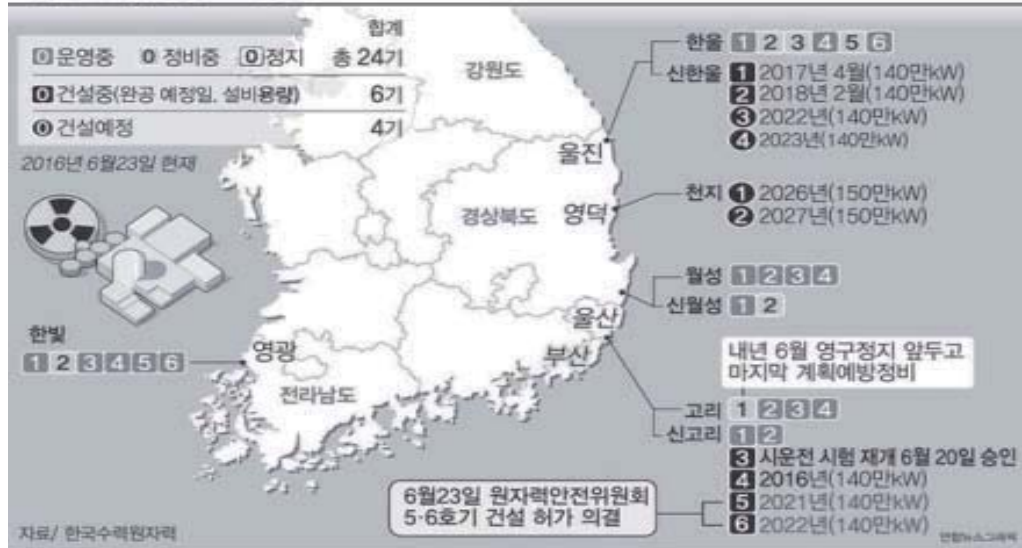


신고리 5,6호기 허가

- 2016년 6월23일 신고리 5-6호기 건설이 제57차 원자력안전위원회 회의에서 최종 허가
- 신고리 5-6호기는 지난 2011년 12월 건설허가가 난 신한울 1-2호기에 이어 5년6개월만의 신규 허가
- 이로써 국내 원자력 발전소는 건설 중인 원전을 포함해 모두 30기

국내 원전 현황

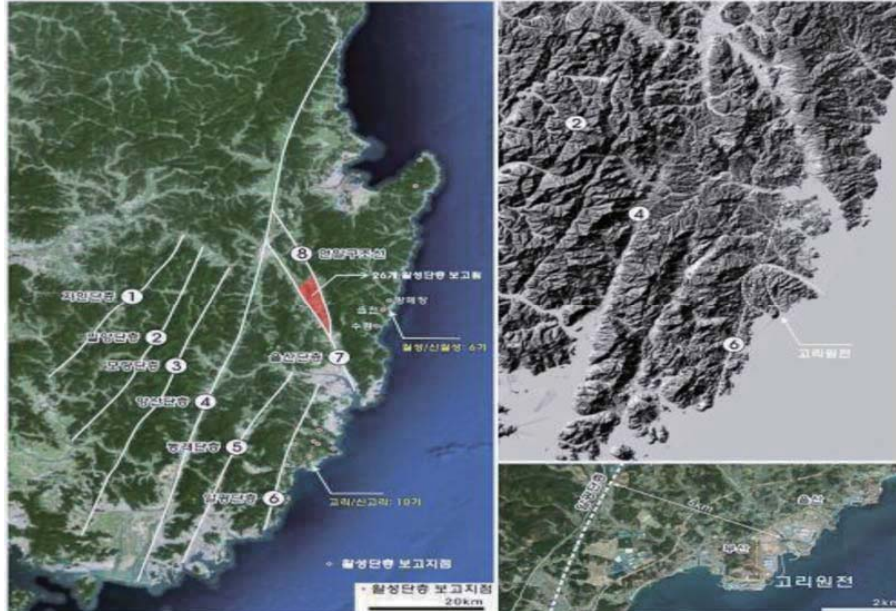
국내 원자력발전소 현황



정부,한수원 주장과 반발

- 정부와 한국수력원자력측은 "연 400만 명이 공사에 투입되고 지방세 납부 등 건설에서부터 운영까지 약 3조9천억원의 지역 경제 유발효과가 기대된다"고 설명.. "온실가스 감축과 미세먼지 감소에도 크게 기여할 것"이라고 강조
- 여러 환경단체와 시민단체들은 거세게 반발. 그린피스는 "신고리 5·6호기는 부산과 울산에 걸쳐서 위치한 9번째, 10번째 원전이다"며 "세계 최악의 원자력 발전소 사고 위험을 떠안게 되었다"고 비난

9월 12일 규모 5.8 지진의 충격: 활성단층 현황



부산 현안에 대한 시민인식 설문조사(2016, 10,13)

- (사)부산발전시민재단이 최근 20대 이상 성인 819명을 대상으로 '부산 현안에 대한 시민인식 설문조사'

신고리 원전 5·6호기 건설에 대해 반대 의견이 74.0%(적극반대 35.9%, 반대 38.1%)에 달한 반면, 찬성은 9.0%(적극찬성 1.6%, 찬성 7.4%)에 불과

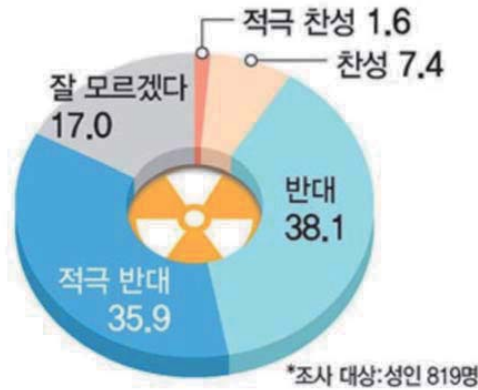
- 시민들의 이 같은 인식은 최근 발생한 경주 지진이 큰 영향을 미친 것으로 보임

비슷한 맥락에서 '부산 인근 원자력발전소가 지진에 안전하다고 생각하느냐'는 질문에 '불안하다'는 답이 87.5%

- 오차한계는 95% 신뢰 수준에서 $\pm 3.4\%$ (부산일보, 2016, 10, 13)

신고리 5, 6호기 건설에 대한 여론 조사 결과

신고리 5·6호기 건설 찬반



신고리 5,6호기 인허가 과정에서부터 원전안전성에 대한 의혹과 해명(전기신문, 2016, 10,13)

- ◆신고리 5,6호기 인허가 부실하게 진행됐나
- 신고리 5,6호기 건설 승인 근거로 사용된 한수원의 예비안전성분석 보고서를 신뢰할 수 없다는 지적이 있다. 고시기준에 따르면, 부지반경 320km내의 지진 재해도를 분석해야 하지만 동해와 일본지역의 역사지진, 계기지진, 단층 자료는 제외했기 때문이다. 또 보고서에는 부지 40km 이내에 활동단층이 없다는 내용이 포함됐는데 양산단층이 활동단층이라는 조사결과가 나온 사실을 알면서도 이를 제외했다.
- 예비안전성분석보고서 작성시 기술자문보고서 내용 뿐 아니라 조사자가 직접 현장확인을 통해 단층의 특성을 확인해 최종적으로 판단한 사항을 기술했다. 신고리 5,6호기 인허가시 부지에 직접적인 영향을 줄 수 있는 반경 8km는 정밀 조사를 통해 다수의 연대측정을 시행했고, 반경 8km 이상의 지역은 참고문헌과 현장답사 등을 통해 단층의 운동시기에 대한 분석을 시행했다. 실제로 예비안전성분석보고서에는 반경 40km까지의 단층 연대측정 자료가 포함돼 있다. 신고리 5,6호기 부지에 활동단층이 있다는 데에는 당시에는 물론 지금까지도 전문가들 사이에서 이견이 많은 게 사실이다.

신고리 5,6호기 인허가 과정에서부터 원전안전성에 대한 의혹과 해명(전기신문, 2016, 10,13)

- ◆신고리 5,6호가 건설되면 세계 최대 원전 밀집지역이 되는데 안전은?
- 고리에는 현재 가동 중인 원전 6기에 건설 예정인 원전 4기를 합치면 총 10기의 원전이 들어선다. 특히 고리 원전 30km 반경에 거주하는 인구가 380만명에 달하는 만큼 실제로 사고가 발생하면 일본 후쿠시마 원전사고보다 더 큰 피해가 발생할 수 있다. 하지만 신규 원전을 허가하는데 위험성 평가도 제대로 이뤄지지 않았다. 다수호기 안전성평가부터 제대로 실시해야 하는 것 아닌가.
- 해당 발전소 안전설비 등의 수준과 외부재해(지진, 해일 등) 발생빈도를 종합적으로 고려해 원전의 리스크평가를 하고 있기 때문에 단순히 발전용량과 주변인구만을 고려해 위험도를 비교하는 것은 적합하지 않다. 게다가 고리 부지를 포함한 국내 환경은 일본보다 지진 및 쓰나미 가능성이 매우 낮다고 알려져 있다. 또 신규 원전의 안전목표는 국제 원자력기구(IAEA)에서도 노심손상 확률을 10만년에 1회로 제시하고 있고, 신형경수로인 APR1400의 안전성은 이전보다 향상시켰다.
- 한수원은 최근 법제화된 사고관리계획서(중대사사고 포함)를 규정에 따라 수립하여 사고 대책을 마련할 계획이다.

신고리 5,6호기 인허가 과정에서부터 원전안전성에 대한 의혹과 해명(전기신문, 2016, 10,13)

- ◆신고리 5,6호기 주변 지진 위험성은 어느 정도인가?
- 월성 원전이 있는 경주 인근과 고리, 신고리 원전이 있는 울산, 부산 육지에는 60여개가 넘는 활성단층이 분포돼 있다. 대규모 활성단층대도 140km에 달하는 양산단층, 울산단층, 동래단층, 신고리 원전 바로 옆의 일광단층까지 8개나 된다. 지반조사, 다수호기 안전성 등에 대한 조사가 제대로 이뤄지지 않은 상황에서 위험성이 직접적으로 입증되지 않았다는 이유로 건설을 지속하는 건 직무유기다.
- 단층의 종류는 활성단층과 활동성단층이 있는데 활동성단층은 3만5000년에 1회, 50만년에 2회 이상 지진이 일어나는 단층이다. 원전은 이 활동성 단층을 고려해 건설한다. 그리고 조사결과 원전 부지 인근에는 활동성 단층이 없다고 밝혀졌다.
- 또 일정 수준의 지진 충격은 견딜 수 있도록 원전을 설계하고 있다. 원전 부지와 단층이 떨어져 있는 거리에 따라 평가를 하는데 신고리 5,6호기의 경우에는 주위에 활성단층인 읍천단층이 있는데 최대지반가속도가 0.183g다. 하지만 신고리 5,6호기는 최대 0.3g까지 견딜 수 있도록 설계돼 있다. 0.3g는 7.0 지진 규모에도 견딜 수 있는 수준이다. 신고리 5,6호기는 7.0 지진에도 안전하다.

신고리 5,6호기 인허가 과정에서부터 원전안전성에 대한 의혹과 해명(전기신문, 2016, 10,13)

- ◆9.12 지진 당시 월성원전 1~4호기 정지 왜 늦었나?
- 지진이 발생했을 때 지진계측기 값이 0.1g를 넘으면 원전을 수동정지해야 한다. 지진의 강도가 원전에 영향을 미칠 수 있는 수준이기 때문이다. 하지만 이번 지진이 난 직후 월성 1~4호기는 3시간 24분 뒤 수동정지했다.
- 당시 원자로 보조건물에서 측정된 지진계측기 값은 0.0981g으로 아슬아슬하게 기준치에 못 미쳤기 때문인데 원전은 내진설계가 적용돼 있기 때문에 실제 지진 강도와는 차이가 있을 수밖에 없다. 이럴 경우 원전이 아니라 원전 밖에서 측정된 지진계측값, 즉 자유장 계측기 값이 필요하다. 원자력안전기술원(KINS)에서 측정된 자유장 계측기 측정 결과는 0.12g였다. 정지 기준을 넘어서는 것이다. 하지만 KINS의 자유장 지진계로 측정된 값은 한수원의 공식자료가 아니기 때문에 원전을 정지하지 못했다. 결국 지진의 응답스펙트럼 값을 추가적으로 점검했고 그 결과 정지 기준은 넘겨 원전을 정지했다. 이 과정에서 3시간 24분이라는 시간이 소요됐는데 원전 안전은 보수적으로 판단하는 게 맞는 것 아닌가. 좀 더 일찌 정지하는 게 맞았다.
- 당시 지진계측기 측정 값은 0.1g 이하였고, 다만 응답스펙트럼이 기준치를 초과해 원전을 정지했다. 다만 지진으로 인한 특별한 영향이 없었고 안정상태도 유지하고 있었다. 응답스펙트럼 값이 정지기준을 초과한 것을 파악한 즉시 규정에 따라 원전을 정지했다. 규정은 지진 발생 이후 4시간 이내에 정지여부를 결정해야 하는데 규정을 지킨 것이다. 정지 기준을 초과한 즉시 원전을 정지해야 한다는 주장도 있지만 이는 규정과 맞지 않는다. 규정상으로는 지진이 발생 후 지진크기를 판정하고, 안전정지 설비 점검, 전력거래소 협의, 호기별 순차정지 준비 절차 등을 취해야 한다.

신고리 5,6호기 인허가 과정에서부터 원전안전성에 대한 의혹과 해명(전기신문, 2016, 10,13)

- ◆한수원은 소방방재청 자료 알고 있었나?
- 2012년 소방방재청은 '활성단층 지도제작' 연구를 수행했다. 당시 연구 보고서는 월성원전 부근에서 활성단층이 있으므로 추가적인 정밀 조사가 필요하다고 기술하고 있다. 하지만 이 보고서는 공개되지 않았다. 만약 활성단층의 여부가 공개됐다면 원전 안전과 관련된 논란이 상당했을 것으로 예상된다. 한수원은 이를 우려해 소방방재청의 연구 보고서를 알고도 은폐한 것 아닌가. 원전 사업자인 한수원이 신규 원전 건설을 추진하기 위해 활성단층의 존재여부를 감춘 것 같다.
- 활성단층 지도는 소방방재청에서 신뢰성이 부족하다고 판단해 외부에 공개되지 않았고, 한수원도 연구결과를 알 수 없었다. 신뢰성이 부족한 자료를 원전 건설 허가의 근거로 활용할 수 없다고 판단했다.

지역사회의 우려

- 원전 주변의 지반에 대한 융합적 연구: 지질 지반 구조 전문가와 원자력공학계의 종합적인 연구
- 원자로 및 터빈 등 핵심시설만 0.3g로 보강할 경우 주변기초시설은 0.2g 내진설계로도 안전한 것인지? (cf. 일본은 리히터 규모 7.7, 지반가속도 0.6g로)
-
- 구체적인 면진장치 비용과 이로 인해 안전도는 얼마나 높아지는지?
- 20여년전의 설계법과 최근의 설계법 즉 개선되었거나 지진관련정보를 반영한 설계법과 비교해본다면 신뢰도는 여하한지?

정부, 한수원, 원자력 및 지진 토목 관련 학계의
진정성 있는 대응이 요구되는 중대한(Critical) 시점

- 정치와 과학과 공학 사이의 균형회복이 중요한 과제
- 일반 시민들에 우려에 대해서는 공학계와 정부가 최대한 설명해야
- 원자력에 대한 시민의 시각전환에 유의(attention): 언론 매체 등에서 위험성이 상당히 강조되고 있고 또 사고 및 은폐 사례 등으로 불신과 불안감이 증폭 및 확산되고 있음
- 원자력에 대한 설명적 기사나 해명 등은 입지 약화: 비판 기사에 비해 설명이나 옹호를 하는 기사는 단 몇 건

정부, 한수원, 원자력 및 지진 토목 관련 학계의 진정성 있는 대응이 요구되는 중대한(Critical) 시점

- 원자력정책이 탈중양화하고 있음: 지역의 목소리가 커지고 있음, 일본 등 몇 개 국가에서는 지방자치단체의 동의를 원전 건설의 필수 고려 사항으로 하고 있음
- 99.99%의 정상 가동도 0.01%의 사고 발생이나 사고 가능성에는 무용지물인 상황: Zero Tolerance
- 관행적 설명에서 투명성과 정확성 제고로 신뢰의 축적을 이루는 방향으로 전환해야
- 설계상 안전하다--> 설계 및 계측상 안전한 것으로 추정되나 시민 안전을 위해 한번 더 엄밀하게 점검하는 것을 원칙으로 삼아야

정부, 한수원, 원자력 및 지진 토목 관련 학계의 진정성 있는 대응이 요구되는 중대한(Critical) 시점

- 신고리 5.6호기의 경우 시민 100만명 승인 취소 청원 서명 캠페인 및 지역 정치권의 노력 등으로 법적 소송 심화 될 것으로 보임: 부산 지역구의원 18명 중 13명이 승인 취소 주장
- 이미 Greenpeace 및 일부 시민단체 소송 시작
- Contingency Approach 필요성 증대

5

**최근 핵문제 전개를 통해 본
정책과제**

최근 핵에너지 이슈를 통해 본 우리나라 핵에너지정책의 문제점

이헌석(에너지정의행동 대표)

1. 대전지역 사례를 통해 본 우리나라 핵에너지정책의 난맥상

핵에너지를 둘러싼 찬반 논란은 역사가 깊다. 길게는 1940년대 핵무기 개발 과정에 지식인들을 중심으로 진행된 핵무기 반대 흐름으로까지 이어진다. 우리나라에서도 1980년대 민주화 운동과 함께 핵무기와 핵발전소 반대운동이 시작되어 오늘에 이르고 있다.

핵무기와 핵발전소는 우리사회에서 핵에너지 이용을 구분 짓는 중요한 기준 가운데 하나이다. 그러나 대전지역에 위치한 핵시설 등에서 보듯 핵에너지는 더욱 다양한 곳에서 사용되고 있다. 보통 우리나라의 다른 핵발전소 지역은 △ 1970~80년대 충분한 정보공개와 주민동의 없이 핵발전소 건설, △ 건설 이후 신규 건설을 둘러싸고 지역 주민들의 반대운동 시작, △ 발전소 노후화 등으로 폐쇄 요구로 지역이슈가 옮겨 있다. 바꿔 말해 해당 지역 주민들과 별개로 핵발전소가 건설되고 이것이 확장되면서 갈등이 확대되는 양상을 보여 왔다.

핵발전소를 둘러싼 사회적 이슈는 2011년 후쿠시마 핵발전소 사고를 기점으로 폭발적으로 증가한다. 한수원 비리사건, 한수원 해킹, 최근 지진 문제까지 폭발적인 이슈가 뉴스 전면을 장식했고, 이는 그간 핵산업계 전반에 산적해 있던 다양한 문제들이 주요 계기를 통해 터져나온 것들이다.

이 글은 그 중에서 대전지역에서 반복적으로 생기고 있는 정보공개 문제를 중심으로 우리나라 핵에너지 정책이 갖고 있는 문제점과 대안을 짚어보려고 한다.

반복되는 대전의 핵폐기물 논란

2005년 6월, 대전에서 채취한 강수와 낙수에서 요오드 131이 발견되는 일이 일어났다. 그 해는 부안에 핵폐기장 건설이 좌절되고 경주, 군산 등 4개 지자체가 핵폐기장 유치를 선언하면서 전국적으로 핵폐기장에 대한 관심이 높았던 때이다.

이러던 중 핵폐기장 주민투표가 끝난 직후인 11월 3일, 대전에 중저준위 핵폐기물이 대량 부실 저장되고 있다는 기사가 보도된다. 이와 함께 이미 대전은 방폐장과 다를 것 없다는 보강 기사가 함께 게재되면서 대전 핵폐기물 문제가 잠시 논란에 빠진다.

[단독] 방사성폐기물 2만여 드럼 대전 원자력원 부실 저장

대전시 대덕연구단지의 한국원자력연구소 안에 중·저준위 방사성 폐기물 2만2310통 (200ℓ 드럼 기준)이 부실 관리 상태로 비밀스럽게 저장돼 있는 것으로 확인했다.
..... (하락) / 한겨레신문 2005년 11월 3일자

[단독] 방사성 폐기물, 서울-대전 시내에 오염방지 장치도 없이 임시 보관

한국원자력연구원이 서울과 대전 시내에 '중·저준위 방사성 폐기물'을 보관해 온 것으로 3일 확인됐다.
..... (하락) / 동아일보 2008년 11월 4일자

기사의 내용은 중저준위 핵폐기물 저장여부이외에도 저장안전성, 스마트원자로에 대한 내용을 함께 담고 있었지만, 여전히 핵심 포인트는 '비밀스럽게' 였다. 당시 원자력연구소는 이 표현에 대해 강력히 반발한다. 대전에 중저준위 핵폐기물이 보관되어 있다는 사실은 원자력안전백서를 비롯하여 모든 정부자료에 이미 공개된 자료인데, 무엇이 비밀스럽냐는 것이다.

맞는 말이다. 당시 핵에너지를 다루는 학계, 산업계 인사들은 물론, 반핵운동진영에서도 대전에 핵폐기물이 있다는 사실은 '이미' 알고 있는 사실이었다. 하지만 이들의 숫자는 절대적으로 소수였다. 정치권과 언론은 그 사실에 대해 생소했고, 그 내용은 '단독'이라는 꼬리표까지 붙여가면서 보도하기에 충분했다.¹⁾

하지만 이를 단지 일부 언론의 해프닝으로만 볼 수 없다. 똑같은 일이 이로부터 딱 3년이 지난 2008년 또다시 일어나기 때문이다. 동아일보는 대전과 서울 시내에 중저준위 핵폐기물이 보관되어 있다며, 역시 단독 기사를 썼다. 보관 안전성 문제도 기사에 포함되어 있지만, 역시 핵심은 '보관되어 있다는 사실'이었다. 11월은 매년 국정감사

1) 결국 한겨레신문은 11월 25일자 신문에서 저장 사실이 인터넷과 원자력안전백서를 통해 공개되고 있다고 정정 기사를 내보낸다.

가 열리는 시즌이기도 하다. 국정감사에서 또다시 이런 보도 자료가 나오게 되면, 이를 처음 접한 기자와 데스크는 이를 또 ‘단독’이라는 이름으로 보도하게 된다. 심지어 2008년의 경우, 담당기자에게 2005년 이 내용이 이미 보도되었으니 찾아보라고 필자가 ‘친절하게’ 알려주기까지 했지만, 대전 시내에 이 엄청난 핵폐기물이 보관되고 있다는 사실은 ‘단독’으로 처리할 만큼 충격적이었던 모양이다.

흔히 핵에너지 이용을 둘러싼 찬/반 논쟁을 할 때, 정보 공개의 투명성을 이야기하곤 한다. 그때마다 꼬리표처럼 붙는 것이 ‘어디까지 누구에게 공개해야 할 것인가?’라는 점이다. 백서를 통해 각 기관과 도서관에 자료를 배포하고, 관계자들은 모두 내용을 알고 있는 상황에서 ‘내가 모르면 비공개다’라고 말하는 누군가가 나오면 어찌할 것인가하는 질문이다.

이 어려운 문제에 대한 답은 문제를 바꿔보면 오히려 쉬워진다. 예를 들어 영광 지역 언론이나 중앙 언론이 ‘영광에 중저준위 핵폐기물이 쌓여있다’는 사실에 대해 기사를 쓸까? 쓰지 않을 것이다. 영광에 핵발전소가 있다는 사실은 이미 널리 알려진 사실이고, 2000년대 초 영광에 중저준위 핵폐기장을 유치하려는 흐름이 있었기 때문이다. 또한 다양한 견학프로그램 등을 통해 영광에 핵폐기물이 있다는 사실을 끊임없이 알려주고 있다. 설사 어느 촌로가 ‘나는 처음 들었다’고 이야기한다 할지라도 주위의 많은 이들이 사실을 바로 잡아주길 것이기 때문에 이런 기사가 올라올 가능성은 거의 없다.

원자력연구원과 핵발전소 모두 비슷한 핵시설인데, 대전에서는 이런 일이 반복되어 일어날까? 역설적으로 핵발전소는 수없이 많은 반대 운동을 통해 정보가 확산되었기 때문이다. 정보가 확산되는 것은 ‘비밀 정보’가 확산되는 것만을 의미하지 않는다. 핵 문제에 조금만 관심이 있다면 알 수 있는 정보라도 관심이 없는 일반 시민에게는 ‘비공개자료’이다.²⁾

만약 이런 정보가 핵에너지 관련 정보가 아니라, 일반적인 기업의 정보나 전문지식이었다면, ‘몰라도 되는 정보’로 치부할 수 있을 것이다. 하지만 핵시설의 존재 유무, 위치, 위험성과 사고 시 대처방안 등과 같은 정보는 안전 문제나 지역주민의 선택권과 연결되어 있기 때문에 ‘반드시 알아야 하는 정보’에 포함된다. 그리고 이런 정보는 사

2) 실제로 우리 단체에 자원 활동을 오는 대학생들 중에서도 ‘원자력발전소’와 ‘핵발전소’가 같은 말을 뜻하는지 모르는 학생들이 종종 있다. 일상생활 속에서 쓰지 않는 단어이기 때문에 기본 개념이 없는 경우는 참 많다.

회적 논란과 갈등을 통해 더욱 멀리 확산되며, 찬반 갈등을 겪으며 머릿속에 확실히 각인된다.

이런 면에서 대전(유성)지역은 아직도 '단독 기사'라는 꼬리표를 달고 핵시설의 존재 유무에 대해 기사가 날 수 있는 지역이다. 지역 주민은 물론이고 아직 해당 지역 언론조차 대전지역 핵시설에 대해 충분히 학습하고 토론해 보지 않았기 때문이다.

혼란의 전형적 사례를 보여준 하나로 원자로 백색비상

후쿠시마 핵발전소 사고가 발생하기 20여일 전인 2011년 2월 20일, 원자력연구원 하나로원자로에서 백색비상이 발령된다. 백색비상은 '시설 안전운동을 저해할 정도로 이상사태가 발생' 할 때 발령하는 비상단계이다. 1차적으로 방사성 오염이 건물 내부에 국한 될 것으로 예상될 때 발령하지만, 우리나라에서는 2002년 울진 3호기, 2010년 신고리 1호기 정도에서만 발령되었을 정도로 매우 이례적인 일이다.

조사 결과 오후 1시 3분경, 반도체 웨이퍼 제작을 위해 실리콘 덩어리에 중성자를 쬐이던 중 실리콘 덩어리가 든 알루미늄 통이 수조위로 떠오르면서 사고가 시작되었다. 이에 따라 경보기가 울리고 시설 내 근무하던 직원 3명은 긴급 대피했다. 이후 1시 8분쯤 원자로 가동을 중단했고, 건물 내 방사선 준위가 올라감에 따라 2시 32분경 백색비상을 발령했다.

하지만 이 사실에 대한 첫 언론보도는 4시 30분경 이뤄졌다. 백색비상 발령 2시간이 지난 이후였다. 이 내용이 홈페이지에 올라온 것은 언론 보도가 이뤄지고 몇 시간 이후였다. 심지어 주무부서인 교육과학기술부 홈페이지에는 그날 저녁까지도 해당 내용이 올라오지 않았다. 방사능방재종합메뉴얼에 따르면, 백색비상 발령시 30분내 언론에 공개하고 원자력연구원과 교육과학기술부 홈페이지에 공개하도록 하고 있다. 사고 당일은 마침 일요일이었다. 원자력연구원 대표 안내 전화를 당직실로 연결되었으나, 사고 내용에 대해서는 담당자가 없으니 내일 전화하라는 어이없는 답변만 돌아왔다.

하나로 원자로 백색비상의 허술한 점은 이후 발표 자료를 통해서도 잘 드러난다. 연구원은 보도 자료를 통해 연구원 부지경계에서 측정된 방사선 준위가 0.016mSv/h(=16μSv/h)였다고 밝힌다. 정상 상태에서 우리나라의 방사선 준위는 0.1~0.3μSv/h 임을 고려할 때 16μSv/h는 정상치의 53~160배에 이르는 매우 큰 값이다. 또한 이는 연구원 밖으로도 방사성 물질이 누출되었다는 것을 의미하기 때문에

부지 내부에만 방사성 물질이 머물 것으로 예상되는 청색비상 이상으로 비상단계가 확대되어야 함을 의미한다.

그러나 연구원은 보도자료 배포 몇 시간 뒤 해당 내용이 잘못되었음을 밝힌다. 보도자료 작성자가 실수로 단위를 잘못 읽어 0.016 μ Sv/h를 0.016mSv/h 로 배포했다는 것이다. 그리고 이 수치는 일상적인 방사선 준위와 비슷한 숫자로 안전에 문제없다는 말을 덧붙였다. 순간의 실수로 측정치가 1천배나 차이 났다는 말이다.

사후 조사 결과 등을 미뤄봤을 때, 연구원이 발표한 정정보도가 잘못되었을 가능성은 낮아 보인다. 그러나 이런 해프닝은 평소 원자력연구원이 방재를 어떻게 다루고 있는지를 잘 보여주는 사례이다. 2004년 중수 누출사고, 2005년 연구원 주변 빗물에서 방사성 요오드 검출, 2006년 작업자 2명 피폭, 2007년 우라늄 시료 분실 등 원자력 연구원에선 1~2년 꼴로 사건 사고가 끊이지 않고 있어왔지만, 정작 방재에 대해서는 제대로 된 준비가 되어 있지 않은 것이다.

또다시 반복된 대전 핵폐기물 논란

위의 두 가지 사례는 모두 2011년 이전의 사례들이다. 후쿠시마 핵발전소 사고 이후 핵발전소 안전과 정보공개에 대한 문제제기는 지속적으로 있었다. 그 중 일부는 법 개정을 통해 개선되기도 했다. 하지만 이 역시 근본적인 해법이 아니었다.

대전 방사능 노출 위험 폐기물 30년간 밀반입

허태정 유성구청장은 "고위험군에 속하는 사용후 핵연료인 폐연료봉과 손상핵연료가 1699개나 보관돼 있는데 30년 동안 단 한 번도 이 사실을 주민에게 알리지 않고 쉬쉬한 것은 주민 안전과 신뢰를 저버리는 명백한 기만행위"라고 지적했다. / (대전일보 2016.10.18. 1면기사)

원자력연 노조 "사용후핵연료 안전 논란은 마녀사냥"

전국과학기술연구전문노동조합 한국원자력연구원지부는 30일 "한국원자력연구원이 대중매체에 의해 마녀사냥의 피해자가 된 작금의 상황에 대해 개탄하며 심한 우려를 표명한다"면서 "사용후핵연료의 반입 과정에서 은폐나 불법은 전혀 없었다"는 내용의 성명서를 발표했다. / (이데일리 2016.10.30.일자)

원자력연 '핵 의혹' 해명에도 '논란은 계속'

"파이로프로세싱 연구가 위험하다고 이야기하는 것은 세슘 등 독성가스 발생가능성

때문인데, 실험실 공기를 100% 포집할 수 있는 시설을 갖춰 위험성을 최소화할 것"이라며 "(파이로프로세싱 연구는) 국가 에너지전략상 불가피한 선택"이라고 강조했다. / 디트뉴스 2016.10.26.일자

지난 5년간 원자력연 세슘 20만 베크렐 방출

정의당 추혜선 의원(비례)이 원자력연으로부터 제출받은 자료를 분석한 결과, 2011년부터 2015년까지 5년간 연구용원자로 하나로(원자로실·RCI-RIPF/IMEF·보조)에서 크립톤(Kr-85) 약 10조 432억베크렐과 삼중수소(H-3) 20조 7400억베크렐이 방출됐다. / 충청투데이 2016.11.1.일자

그 대표적인 사례가 최근 대전에서 다시 벌어지고 있는 대전 원자력연구원 사용후핵연료과 원자력연구원 방사성물질 방출 논쟁이다. 국정감사를 통해 대전에 사용후핵연료가 있다는 사실이 알려졌고³⁾ 이것이 지역사회를 중심으로 가장 큰 이슈가 되었다. 급기야 대전지역 여야 정치인들과 유성구청장이 이 문제에 대해 적극적인 발언을 하기 시작했다. 이에 대한 원자력연구원의 공식 반응은 찾기 힘들다. 다만 원자력연구원 노동조합의 성명은 그간 반복되었던 정보공개 논란이 다시금 시작되고 있다는 것을 잘 보여준다.

또 다른 한편에서 파이로프로세싱을 실험 안전성을 둘러싼 논쟁이 불거지고 있다. 이에 대해 원자력연구원 측은 실험실 공기를 100% 포집할 수 있다며 문제없다는 입장을 밝혔다. 하지만 며칠 뒤 국회를 통해 파이로프로세싱이 아니더라도 그간 방사성 물질이 굴뚝을 통해 배출되었다는 사실이 보도되면서 파이로프로세싱을 둘러싼 논쟁은 또 다른 국면으로 접어들고 있다.

어찌보면 사용후핵연료를 둘러싼 논란은 2005년과 2008년 대전에서 중저준위 핵폐기물 논란이 있을 때, 예견된 것이었다. 대전 원자력연구원과 여타 지역의 핵발전소와 비교했을 때 정보공개 수준과 사회적 논의 상황이 너무나 다르고, 이로 인해 생기는 일반 시민들의 충격은 무엇보다 크다. 그럼에도 불구하고 이를 ‘마녀사냥’이라고만 치부해 버리는 것은 문제를 해결하자는 것이 아니라, 또 다른 분란을 일으키자는 것과 별반 다르지 않다.

2. 무엇이 바뀌어야 할 것인가?

3) 중저준위 핵폐기물과 마찬가지로 이 사실 역시 인터넷과 각종 보고서에 나와 있는 내용이다.

앞서 대전의 예만 언급했지만, 이와 비슷한 상황은 아직도 계속 반복되고 있다. 최근 지진 문제로 언급되었던 2012년 소방방재청 활성단층 보고서는 사실 2014년 국회 국정감사를 통해 한차례 언급되었던 것이었다. 2014년과 2016년의 차이는 경주의 지진이 있고 없고 차이였고, 당연히 그 파괴력은 2016년이 더 컸다.

2016년 국정감사에서 언급된 월성 1호기와 관련한 상당수 내용은 과거 월성 1호기 수명연장 스트레스테스트 당시 언급되었던 내용이었다. 역시 당시와 2016년의 차이는 지진, 국민적 안전의식 향상 등이었다.

이와 비슷한 사례는 너무 많아 일일이 열거하기조차 힘들다. 도대체 왜 이런 일이 반복될까?

가장 큰 이유는 국민들은 후쿠시마와 세월호 사고를 거치면서 그 어느 때보다 안전의식이 높아졌는데, 정부와 핵산업계의 대국민 의식은 10여 년 전이나 지금이나 크게 다르지 않다는데 있다.

원안위 출범 이후 원안위 회의에 대한 속기록만 공개되고 있을 뿐 아직도 많은 정책 결정과정에 대한 내용은 베일에 싸여 있다. 대부분 회의 결과만 요약된 회의록만 작성되고 있을 뿐, 속기록은 작성조차 되지 않고 있다. 회의는 비공개이거나 제한적 소수에게만 공개되고 있고, 회의 배포 자료는 국회에서도 구하기 힘들다.

이러다보니 극소수 사람들이 알고 있는 내용을 잘 정리하면 어느 기자는 특종을 할 수 있는 세상이 되었다. 극소수 관계자에겐 상식이지만, 다수에겐 비밀과 은폐가 되는 일이 반복되고 있다. 그러니 사실과 검증보다 폭로와 음모론이 더 국민들에게 설득력 있게 다가가고 있고, 그 중 음모론 중 일부가 사실로 드러나면서 혼란의 늪에서 벗어나지 못하고 있다.

둘째, 논의 과정에 대한 시스템이 수십 년째 진전되지 못하고 있다.

다양한 정부 정책 의사결정과정에 일반국민들이 참여할 수 있는 방안을 마련해 달라는 요구는 최근 부쩍 늘어났다. 이는 투명하게 정보를 공개하는 것을 넘어 의사결정에 직접 참여함으로써 자신의 목소리를 높ی겠다는 보다 적극적인 의지이다.

그러나 현행 핵에너지와 관련한 제도에서 이를 제대로 수행할 수 있는 방안은 수십 년째 점거와 무산으로 반복되어오고 있는 ‘공청회’가 유일하다. 단 한차례 그것도 건설과정에서만 의무화되어 있는 공청회는 투명한 정보공개와 장도 아니고 토론의 장도 아니며 참여의 장은 더욱 아니다. 사업자나 정부, 주민 모두에게 이 행사는 그냥 ‘형식적 행사’에 불과하다.

물론 대전은 그나마도 제대로 주어지지 않았다. 한전원자력연료 제3공장 증설 당시 방사선환경영향평가를 공개하라는 지역주민들의 요구에 대해 2014년 한전원자력연료는 100여페이지도 되지 않는 요약본을 ‘원본’이라며 지역주민들을 우롱했다. 질책이 계속되자 그제서야 ‘내용이 어려워 이해하기 힘들까봐 요약본을 준 것’이란 반응을 보이며 원본 자료를 제공했다.

한전원자력연료 담당자의 태도에도 문제가 있었지만, 더 큰 문제는 이런 부분들이 전혀 법제화되어 있지 않다는 것이다. 그간 지역주민 의견 수렴과정은 큰 분쟁이 있을 때마다 조금씩 조금씩 개선되었다. 예를 들어 고리 1호기 수명연장 논쟁이 심해지자 수명연장에 대해서도 지역의견수렴을 조항을 넣고, 기장군 이외에도 해운대구 등이 문제제기를 하자 추가적인 의견수렴을 할 수 있는 조항 등을 넣는 식이다. 대전은 지금까지 이런 분란이 없었고, 타지역에선 누구나 볼 수 있는 방사선환경영향평가서가 담당자의 판단에 의해 요약본이 원본이 되는 일이 벌어지는 것이다.

핵시설의 종류	방사선환경영향평가서 등 작성여부 및 관련 조항	지역의견 수렴과정
발전용원자로 및 관계시설	○ (원자력안전법 제10조)	초안을 공람. 공청회 개최하여 주민의견 수렴 및 내용 반영 (원자력안전법 제103조)
방사성폐기물 처분시설	○ (원자력안전법 제63조)	
사용후핵연료 저장시설	○ (원자력안전법 제63조)	
발전용 원자로 수명연장	○	
발전용 원자로 해체	○	
핵연료물질 정련, 가공시설 (핵연료 주기시설)	○ (원자력안전법 제35조)	X
연구용 원자로	○ (원자력안전법 제30조)	X

<각 핵시설의 방사선환경영향평가서 작성 여부와 지역의견 수렴>

셋째, 원자력계 내부의 다양한 목소리가 국민 신뢰도를 높인다.

2012-2013년 한수원 비리 사건이 있을 당시, 원자력계의 대응은 ‘무대응’이었다. 검찰 수사가 진행되고 있기도 했지만, 학계 등 직접적인 수사대상이 아닌 진영에선 나름대로 자성의 목소리가 나올법 한데, 실상은 그러지 않았다. 이는 후쿠시마 핵발전소 사고 이후 일본 원자력학계가 보인 모습과 많은 부분에서 대비된다.

이러한 무대응 중심의 대응 방향은 안전성 논란, 국민들의 의혹이 높아질 때마다 반복되었다. 이런 식의 대응은 당장은 문제를 회피하기 때문에 좋은 대응처럼 보일지 몰라도 결국은 ‘모두가 한통속’이라는 식의 인식으로 고착될 수 밖에 없다. 더 큰 문제는 한 바탕 문제가 진행되고 난 이후 전혀 달라지는 것이 없다는 것이다.

신뢰는 시스템이 기초가 되었을 때 만들어지는 것이지만, 신뢰를 얻기 위한 작업은 단순히 시스템만 갖춘다고 이뤄지지 않는다. 제도를 아무리 잘 만들어도 이를 집행하는 것은 결국 사람이기 때문에 사람들 사이의 문화가 만들어지지 않으면 제도는 제대로 수행될 수 없다. 이런 면에서 국민들의 신뢰를 얻기 위한 원자력계 내부의 ‘신뢰 창출 문화’가 만들어질 필요가 있다. 이는 주요 현안에 대해 단일한 목소리를 내는 것으로 마무리하는 것이 아니라, 원자력계 내부의 다양한 목소리를 외부에 들려줌으로써 만들어갈 수 있을 것이다.

6

**우리나라 원전 안전의
현실과 과제**



서울대원자력정책센터
(2016.11.04(금))

우리나라 원전안전 현실과 과제

이정윤



목차



1. 배경
2. 우리나라 원자력 안전과 현실
3. 후쿠시마 사고의 교훈
4. 우리나라 원전안전의 현실
5. 우리나라 원전안전감시 개선방향
6. 우리나라 원전안전의 과제

국민정서상 불안한 원전

; 탈원전, 탈핵정책이 주목받는 현재의 국민정서

□ 후쿠시마 원전사고 발생(2011. 3.11)

- ☞ 전세계 원전부지 중에서 발생한 가장 강력한 지진과 해일
- ☞ 후쿠시마 4기의 원전 폭발/화재, 3년이 지난 현재까지도 수습 중
- ☞ 48조엔의 피해(지진 등), 전 국토의 50~70% 오염 추정(2014)
- ☞ 기후변화에 의한 유사 자연재해 재발 우려

□ 한국은 2012년 이후 원전비리 지속발생

- ☞ 원전마피아 - 그들만의 리그 & 폐쇄적 의사결정구조의 상징
- ☞ 전 국민의 우려 속에서도 원자력 산업계가 큰 변화가 없는 상황
; 얼마나 개방적인가? 얼마나 투명한가? 얼마나 소통하나?
- ☞ 안전을 위한 변화 - 나만의 땅만 지키려는 노력?

탈핵은 가능한가?

□ 독일의 탈원전 사례

- ☞ 기술, 문화적으로 완벽한 원자력 안전목표와 체계 구축
- ☞ 정치적인 이유로 탈원전 선언
- ☞ 상당히 오랜 기간 풍력 등 대체에너지 개발에 노력해 옴

□ 미국의 수명연장 사례

- ☞ 100여기 원전 중 64기 원전 수명연장 운전 중(2014)
- ☞ 상당한 기술적인 자신감이 작용
- ☞ 투명한 안전문화에 의한 신뢰로 국민 수용성이 뒷받침 됨.

□ 우리나라는?

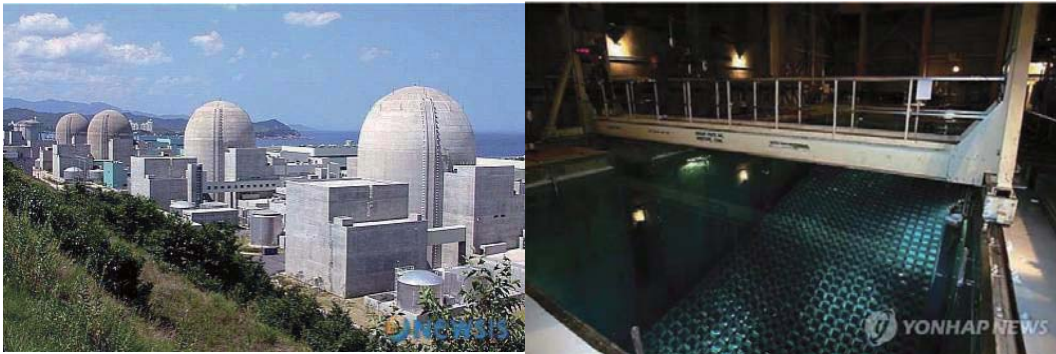
- ☞ 신뢰도 하락에 의한 안전성 문제가 화두로 대두
- ☞ 에너지 믹스의 한 부분이나...
- ☞ 탈핵운동이 지지받으면 원자력 산업 전체가 붕괴 버려야 할 걱정으로...?

우리나라의 원자력안전의 현실



원전의 불편한 진실 1 - 원전에 보관중인 사용후 연료

- 발전소 저장용량이 부족하여 과밀방식 저장 중이나 2024년 완전포화
- 국내 가동원전의 안전을 위협하는 가장 큰 위해 요소
 - ☞ 후쿠시마 4호기는 저장조 지붕이 폭발로 비산된 사례임
 - ☞ 격납용기 대비 천재지변과 대 테러대응능력 취약, 사고시 규모는?
 - ☞ 국민의 안전에 대한 신뢰문제 - 사용후핵연료 공론화 위원회



-4-

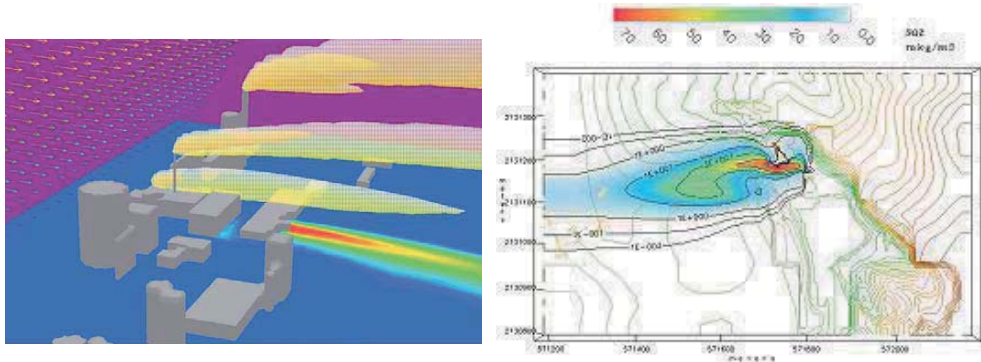
원자력안전과 미래

우리나라의 원자력안전과 현실



원전의 불편한 진실 2

- 원전 중대사고 및 비상계획 대응문제(EOP/SAMG/EP) - 국민의 기준은?
- 원전은 안전하다는 평소 정부논리와 상충, 근본적인 사고의 목표설정 미흡
- 실제적인 주민 소개대책 및 대피훈련이 필요하나 구체적인 준비 못함.
 - ☞ 국민이 합의할 수 있는 기준 설정, 신뢰도 문제, 주민 자율 훈련요구 필요



-5-

원자력안전과 미래

우리나라의 원자력안전과 현실

원전의 불편한 진실 3

- 1997년 외환위기 발생
- ☞ IMF 210억달러 외환차입에 의한 전 국민의 고통
- ☞ 달러 확보를 위한 금 모으기 운동(20억달러)
- ☞ 수출에 의존하는 한국경제의 특수성
- ☞ 원전의 경제성과 에너지안보의 중요성



후쿠시마 사고의 교훈

후쿠시마 사고로 본 원전안전의 3가지 요소

- 원전 운영관리의 투명성**
 - 안전보다 개발을 치중하는 폐쇄적 의사결정 구조
 - 폐쇄성은 감시를 차단하여 안전관리 소홀의 주요 요인이 됨.
- 독립적이고 전문적인 안전감시구조**
 - 독립조직에 의한 안전감시 최적화
 - 안전 관점으로 고도의 기술전문가에 의한 안전감시 및 평가기술
- 안전신뢰 기반으로 한 국민의 안전수용성**
 - 신뢰를 기반으로 한 국민과 함께하는 투명한 의사결정구조
 - 시민자율 원전 안전감시 필요
 - 한빛(영광)원전에서 시도 중 - 한빛원전안전성검증단

우리나라 원전안전감시의 개선사례



❁ 한빛원전 주민안전성검증단

-민관합동대책위

- 2012.11. 한빛3호기 원자로에드 관통관 균열 발생
- 2012.12. 관련 민관합동대책위원회 구성 및 1차 회의
- 정부(총리실, 산업부, 원안위, 한수원, KINS)와 민측 공동 12인 구성
- 2013. 8. 실무협의결과 주민안전성검증단 구성 결정

-한빛(영광)원전주민안전성검증단

- 한빛원전 1~6호기 OH 기간 중에 주민이 직접 안전성을 감시
- 전문가(원자력안전과 미래)의 기술지원으로 합동 심층감시 수행
- 원자로설계 및 검사 경험이 풍부한 전문가로 구성

-주민안전성검증단의 활동사례

- 법적인 검사업무가 규정되지 않은 관계로 일부 시행착오 발생
- 국내 최초 3자 입장의 독립적인 원전안전성 감시역할 수행
- 법정검사를 주로 수행하는 KINS와 대별되는 효과 발생
- 3자 독립적인 설계변경 기술검토
- 안전 및 품질 위해 요인 지적, 개선 요청(예, 후쿠시마 후속조치)
- 현장의 품질을 유지하는 훌륭한 자극제로서 기능

우리나라의 원자력안전의 현실



우리나라 원전안전의 제문제

-정부당국 주요 핵심 보직자의 전문성

- 현장실무 경험부족 - 외부 지원으로 산업정책구성
- 소수에 의한 폐쇄적 원전정책결정 - 원전마피아의 탄생
- 폐쇄적인 산업구조로 정부의 원전정책에 대한 건설적인 비판의견 전무

-원전마피아

- 원전정책에 있어 소수에 의해 의사결정 하는 폐쇄적 구조
- 자기들의 이익을 보호하는 카르텔(철밥통)로 작용 - 경쟁 없음

-원자력안전위원회의 독립성, 전문성부족

- 정부조직법상 차관급, 총리산하
- 현장의 설계 및 기술경험인력 부족
; 관료화, 탁상행정, 소통부족으로 신뢰도 저하 심각

-원전비리의 미해결

- 실제적인 개혁이 없어 상당수 원전비리 잠복된 상태, 원전감독법

-원전안전규제 시행, 지침수립의 적절성에 대한 감독기능 부재

- 규제 당국인 원자력안전위원회의 **규제행위에 대한 감독부서가 없음**
예) 후쿠시마 후속대책

우리나라의 원자력안전의 현실



우리나라 원전안전의 제문제

-벤처 생태계는 건전한가?

- 학연, 등 인맥 중심에 의한 네트워킹 형 사업구조
- 관료형 기술능력 평가로 기술보다는 형식을 중요하게 고려
- 기술적인 경쟁유도 보다는 인맥 형 신뢰 중심(품질, 가격은 기본)
- 치열한 기술경쟁 구도 취약, 안전관련 평가결과는 발주처 영향지배적
- All or Nothing!! - 기술경쟁 보다는 치열한 사업경쟁 구조
- 협력업체 등록 - 답합이 가능한 구조
- 공공기관 업무의 민간 이전 - 이권이 개입할 가능성이 높음
- 문제해결 방법이 다양하지 않음 ; 복제형, 단순 반복형, 인력지원 형
- 사업의 가치구조 취약 - 지속가능한 사업이 부족
- 고급 기술인력을 고용하기 어려운 구조
; 인력지원 형태(방사선 관리, 품질검사, 등)
- 해외사례 ; 캐나다
 - ✓ 고용창출이 우수한 중소기업 중심형(원자력 저변확대 목적)
 - ✓ 해외 수출한 CANDU 기술유지, 고용창출
 - ✓ 필터 제조회사의 경우
 - ✓ 누구를 위한 수출인가?

-10-

원자력안전과 미래

우리나라의 원자력안전의 현실



후쿠시마 후속대책

-후쿠시마 후속대책 수립

- 원자력안전위원회가 직접 대책반 외부전문가 36명을 구성하여 추진
- 전국원전 조사 후 1개월 만에 50개 과제 1조1천억 규모로 발표
- 중대사고-특정그룹의 조사인력으로 구성한 것이 특징
- 2015년 말까지 추진을 완료하는 것으로 대통령 보고
- 현재까지 약 7천억원(?) 정도 투입되었다고 함.

-후쿠시마 후속대책의 수립배경

- 2009년 12월 UAE 원전수출을 달성하고 수출산업 육성인지
- 대규모의 긴급 정책을 수립, 공포하여 안전대책 강화 국민 호소
- 극소수 인력이 폐쇄적으로 전체 조사를 주관, 진행

☞ 이에 따라 충분한 사전조사를 거쳐 개념설계와 설계요건을 설정하고 스펙을 결정하여야 하나 원전이 안전하다는 국민정서가 필요함에 따른 긴급 결정으로 졸속, 부실우려

-11-

원자력안전과 미래

우리나라의 원자력안전의 현실



후쿠시마 후속대책

-후쿠시마 후속대책의 문제사례

- ☞ PAR(800억) 수소제거장치 - 스펙의 상위개념인 개념설계 및 설계요건 미설정 상태에서 물건부터 나와 설치. 역효과 우려
- ☞ 이동발전차량 - 지형 고려한 개념설정이 미흡한 상태에서 물건부터 설치. 차량높이, 급유문제, 설치문제, 다중호기적용문제 등
- ☞ 지진자동정지시스템 - 다중호기 영향 반영 필요
- ☞ 기타 등등 후속대책이 설계적인 관점에서 그리고 적용성에서 현실적이지 못한 경우가 많음.
- ☞ 2011년 입안한 후쿠시마 후속대책이 이후 지속적으로 검토되고 있는 상황

-후쿠시마 후속대책의 문제점 원인

- ☞ 규제지침 수립, 시행 감독기능 부재
- ☞ 규제기관이 방안을 마련해 하달하고 한수원은 시행

우리나라의 원자력안전의 현실



후쿠시마 후속대책

◆ 이동형발전차량

- 다중호기 원전부지에 한대 설치하여 실효성 논란
- 적용호기의 부지특성을 고려한 설계반영 미흡(예 차량 높이 등)
- 전원케이블 차량 연결부 방수처리 미흡하고 설치 위치 부적절
- 설비운전 및 전원케이블 설치에 따른 인력투입 과다(ALARA 설계반영 미흡)
- 연료공급 라인 설치에 따른 지하탱크 연결부 위치 부적절
- 케이블 드럼 받침대가 목재로 제작되어 취약
- 운영인력 상시대기를 위한 대책 미흡
 - 개선 추진 및 관련 지속확인 요구됨



기타 현안 사항

월성 1호기 등 계속운전 문제

신고리 5,6호기 등 신규 건설 인허가 문제

사용후핵연료 처분 문제

파이로프로세싱 연구

방재 관련 사항

일본 오염 식품 수입 문제

지진 대책 등등등

우리나라의 원전안전 감시체계

-원자력안전위원회의 안전감시

- KINS(원자력안전기술원)이 기술지원, NSSC(원안위)가 규제당국
- KINS의 경우 500여명인력으로 상당히 부족(독일 약 2천명 이상 수준)
- KINS의 원전안전감시가 대부분 법정검사, 규제심사로 국한, 소통부재
 - ☞ 사례 : 울진34호기 증기발생기 원인규명 실패문제 - 전문성부족
 - ☞ 사례 : 후쿠시마 후속대책 문제 - 폐쇄성
 - ☞ 사례 : 원전부품 워변조 문제 - QA 시스템 작동불능, 구매제도개선위??
- 지침수립기능 취약, 규제가 제대로 이루어지는지에 대한 감독기관 없음

-원전산업의 안전감시

- 발전사업자 중심의 자체적인 감시(셀프검증)로 엄격한 검사진행이 회의적.
- PSR, NDT, QS, ST, FP 등등 안전성 관련 업무를 사업자가 직접관리
- 독립적인 감시기능 상실로 발주자와 수행기관의 유착가능
 - ☞ 사례 : 품질검사를 위한 제3기관으로 로이드사 선정(한수원발주110억원)
국감결과 품질문서 위조발생 시 징계, 퇴출직원 투입 - 신뢰관계

우리나라의 원자력안전의 현실



우리나라의 원전안전 감시체계

- 원전설계 및 연구개발의 품질문제
 - ; 원전설계 결과물에 대한 설계품질 불량발생
 - 발전소 설계문서 보관문제 - 지적소유권
 - 제작업체, 설계조직의 설계결과물 검토 미흡
 - ☞ ASME Code 설계문서인 설계시방서, 설계용력보고서 검토문제
 - ☞ UAE 원전의 부실설계에 의한 건설중단 사례
 - ☞ 가동원전 설계변경 부실사례 등 - **한수원 설계검증 위원회**
 - ; 국가 원자력 연구개발과제의 대형화 및 검증미흡 - 파이로프로세스
- 원자력 안전감시체계의 제문제
 - ; 독립성 미흡
 - 규제기관의 독립성
 - 품질 조직**, 기관의 독립성
 - 기타 **독립적 감시기능의 활성화** 필요 ; 독립적이란???

-16-

원자력안전과 미래

우리나라의 원자력안전의 현실



독립적인 제 3자란?

- 발주처(1자) ; 발전사업자, 연구소, 정부(연구기금) 등
- 수주처(2자) ; 연구소, 사업자, 대학교(교수) 등
- 무관자(3자) ;
 - 원안위, KINS(500명)
 - 지자체, 시민단체, NGO, 등
 - 국회



예산의 독립성을 의미

-17-

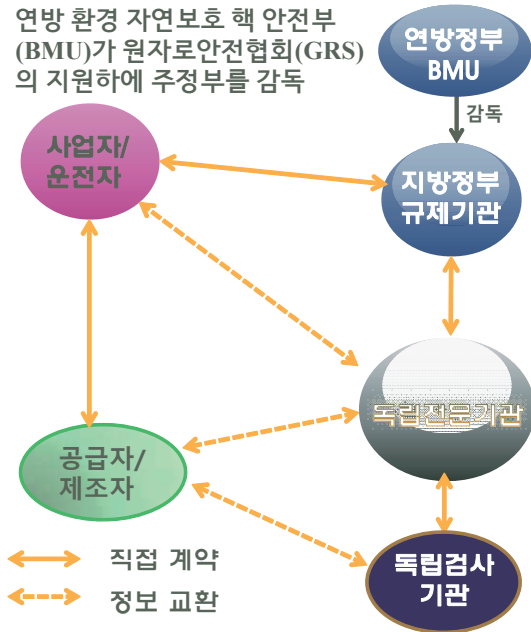
원자력안전과 미래

해외사례 - 독일의 원자력 안전 감시사례



원자력 안전과 미래
원자력안전과미래연구소

연방 환경 자연보호 핵 안전부 (BMU)가 원자로안전협회(GRS)의 지원하에 주정부를 감독



지방정부 규제기관

- 운전자에게 인허가
- 운전자에게 지시
- 독립전문기관(I.E)과 계약, 권한 및 업무 부여

원자력 발전소 사업자/운전자

- 독립전문기관과 정부 검사 보장
- 제조자 및 서비스 제공자와 계약
- 독립전문기관에게 검사 업무 통보

독립전문기관(Independent Expert)

- 규제기관에게 일반적인 기술 지원
- 예비 검사 및 설계 검토
- 현장 작업/보수 업무 감독
- 현장 점검 및 반복 검사
- 문서 확인
- 엔지니어링 변경 사항 평가
- 독립검사기관과 제작 검사 계약

독립검사기관

- 제작검사 실시

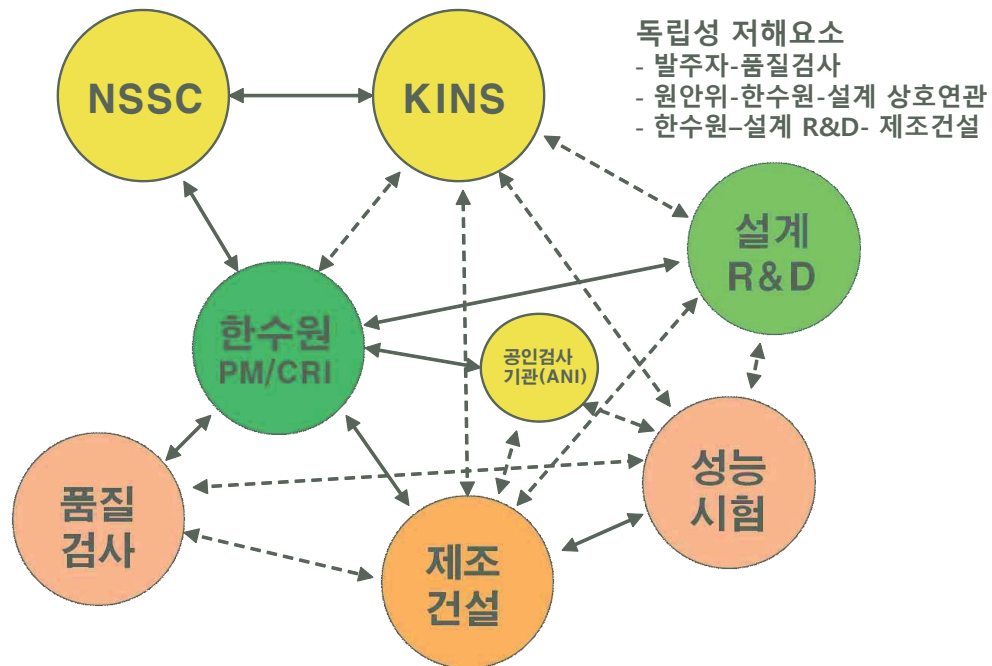
-18-

원자력안전과 미래

우리나라 원전안전감시의 개선방향 - 현행



원자력 안전과 미래
원자력안전과미래연구소



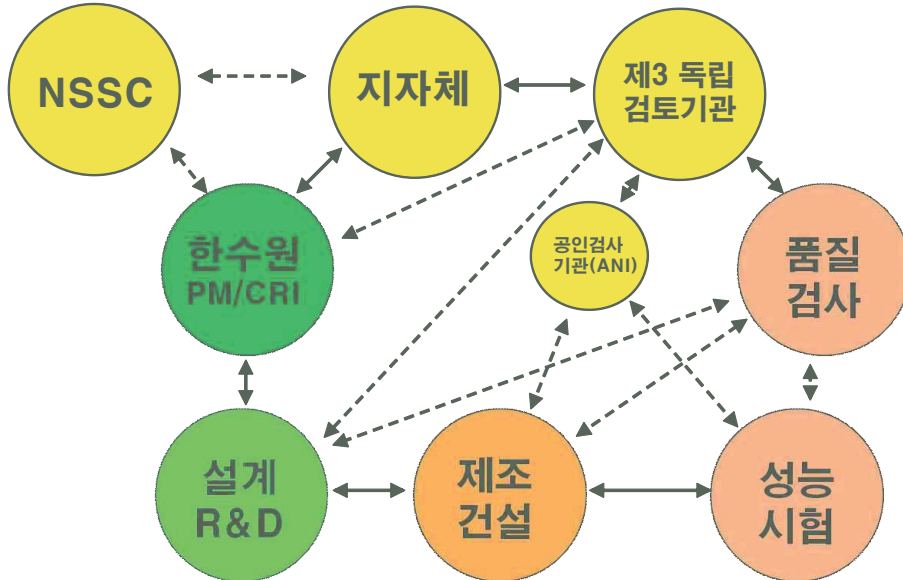
-19-

원자력안전과 미래

우리나라 원전안전감시의 개선방향



시민전문가 / 별도 정부조직 감시



-20-

원자력안전과 미래

우리나라의 원자력안전의 과제



안전규제 시스템의 독립성 강화, 제3의 전문가 시장 확대
원자력계 전반에 걸친 감시기능 확대, 강화 및

민간 감시 참여에 의한 안전공감대 확대

안전 소통 확대 - 원안위, KINS 주도

한국형 안전규제 기술지침 개발강화

원자력 산업의 개방형 구조 - 의사결정 과정 투명성

연구기술개발 체계의 기술중심 경쟁 구조

발전소 현장 중심 품질강화 및 기술경영 강화

벤처생태계의 네트워크 중심에서 기술중심으로 전환

-21-

원자력안전과 미래



감사합니다.



원자력 안전에 우리의 미래가 있습니다.

- 원자력 안전과 미래 전문가 일동.

7

원전 다수호기 안전성



다수기 원전 안전성 현황 및 현안

2016. 11. 4

양준언

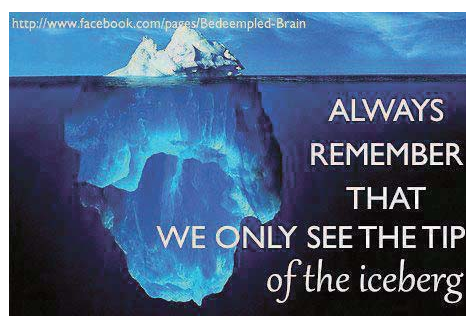


한국원자력연구원
Korea Atomic Energy Research Institute

목차



- ❖ Introduction
- ❖ Background
 - Multi-unit risk, is it a new issue?
 - Is it an important issue?
- ❖ Assessment of Multi-unit Risk
- ❖ Conclusions





Introduction

3

Definition, Terminologies



- ❖ **Multi-unit Risk**
- ❖ **Site Risk**
 - Multi-unit Risk + SFP + Dry Storage Cask + ?
- ❖ **Multi-module Risk**
- ❖ **Site**
 - Many nuclear power plants (NPPs) are co-located at a single site. Specifically, there are 32 sites with two operating reactors and three sites with three operating reactors in the U.S.A.
 - In addition, **some sites are physically near to each other such that they are essentially challenged by the same external hazards** (Hope Creek is near Salem Units 1 & 2, and FitzPatrick is near Nine Mile Point Units 1 & 2).

4

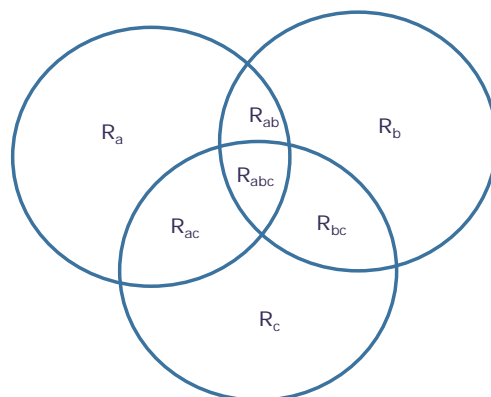
Overview of Issue



분류	호기수	현황	비고
정상 운전	단일호기	환경영향평가	
	다수기	환경영형평가	다수기 동시 정상 운전 시의 환경영향평가 수행
DBA	단일 호기	SAR	
	다수기	설계 요건	중요 안전 계통 공유 금지 호기간 이격 거리 요건
		환경영형평가	다수기 중 1개 호기에서 DBA 발생시의 환경영향 평가 수행
중대사고	단일 호기	PSA	공유기기 별도 모델
	다수기	후쿠시마 후속 조치 (AAC DG)	다수기 PSA는 미수행*

5

Single Unit vs. Multi Unit Risk

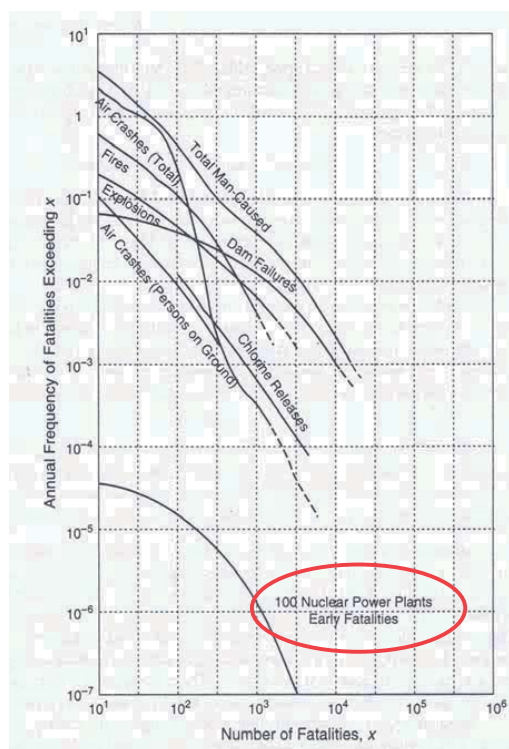


Background: Multi-unit risk, is it a new issue?

7

Multi-unit risk, is it a new issue?

WASH-1400 (1975)



8

Multi-unit risk, is it a new issue?



- ❖ **NUREG-0660, TMI Action Plan (1980)**
 - NRC identified the need to consider **the effects of an accident in a reactor plant on an adjacent plant in a multiple reactor site**. This issue was subsequently dropped at the Commission's direction
 - SECY-82-1B: have minimal value for improved safety and, therefore, **need not be considered further: namely, effects of severe accidents at multiunit sites and post-accident recovery plans**

- ❖ **After the Chernobyl accident (1989)**
 - The 1989 lessons learned report included four recommendations that address multi-unit accidents. Many of these recommendations came about because **noble gas and airborne volatiles were found to have been transported to the other three units onsite through a shared ventilation system** during the accident.

- ❖ **NUREG-0880, Safety Goal (1983)**
 - $CDF < 1.0E-4/yr.$, $LERF < 1.0E-5/yr.$
 - Some commenters objected to the originally proposed individual and societal numerical guidelines because **they were to be applied on a per-site basis**. This would have resulted in tighter requirements being imposed on plants at multiunit sites than at single-unit sites. The Commission **decided not to impose a regulatory bias against multiunit sites**. **Therefore, the quantitative design objectives were changed from risks per site to risk per plant.**

9

Multi-unit risk, is it a new issue?



- ❖ **SECY-05-0130 (2005)**
 - "Policy Issues Related to New Plant Licensing and Status of the Technology-Neutral Framework for New Plant Licensing"
 - Integrated Risk Analysis
 - Option 3: it requires nuclear power plants to **quantify the risk of all units on a reactor site**
 - ACRS suggested, however, that **quantifying the integrated risk from all new reactors onsite**.

- ❖ **SECY-11-0079 (2011): Multi-module risk (SMR)**

10

Multi-unit risk, is it a new issue?



❖ 10CFR Part 50, App.A, GDC 5

- Structures, systems, and components important to safety shall not be shared among nuclear power units unless it can be shown that such sharing will not significantly impact their ability to perform their safety functions, including, **in the event of an accident in one unit, an orderly shutdown and cool down of the remaining units.**

❖ 10 CFR 100.11(b)

- If the reactors are interconnected to the extent that an accident in one reactor could affect the safety of operation of any other, **the size of the exclusion area, low population zone and population center distance shall be based on the assumption that all interconnected reactors emit their postulated fission product releases simultaneously.**

11

Multi-unit risk, is it a new issue?



❖ IAEA Safety Goal

- CDF < 1.0E-4/yr. for existing NPPs
- CDF < 1.0E-5/yr. for new NPPS

❖ In KAERI

- Ha, J. , Yang, J.E. (2001), Safety Goals - for A Unit or Site?, ANS
 - Is the Safety Goals for A Unit appropriate for A Site with Multiple Units?
 - Site Risk = $\sum(\text{Unit Risk}) + \alpha$
- Jung, W.S., Yang, J.E., & Ha, J. (2003).
 - A New Method to Evaluate Alternate AC Power Source Effects in Multi-Unit Nuclear Power Plants. Reliability Engineering and System Safety(82), 165-172.

12

Is it an important issue?

13

What causes multi-unit issue?

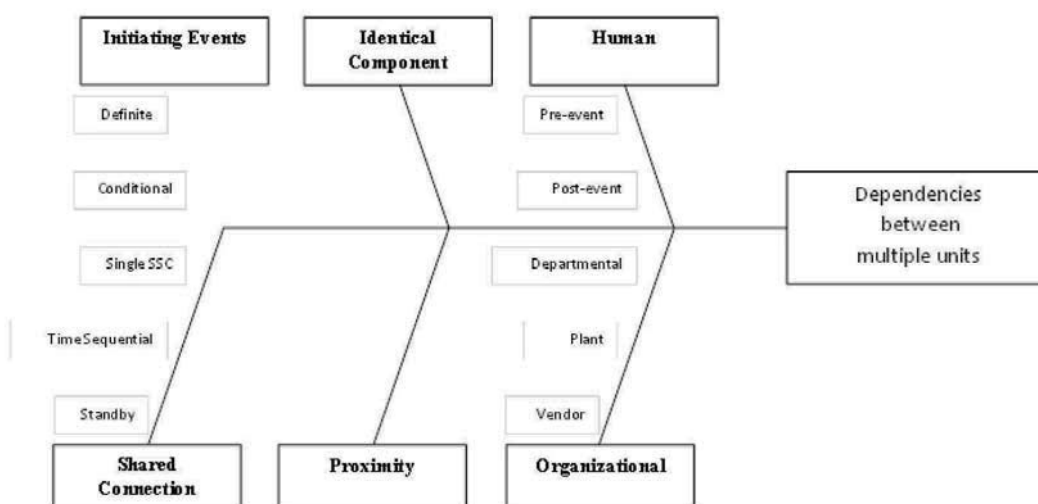


Figure 1: Classification of Events

[Suzanne Schroer, Mohammad Modarres, An Event Classification Schema for Evaluating Site Risk in a Multi-Unit Nuclear Power Plant Probabilistic Risk Assessment, PSA 2013]

14

Is it an important issue?



Table 1: Multi-Unit Licensee Event Report Classifications from 2000-2011

Classification	Percentage of Total
Initiating Event	6.63%
Definite	3.83%
Conditional	2.81%
Shared Connection	32.40%
Single	26.79%
Time Sequential	1.28%
Standby	4.34%
Identical component	8.16%
Proximity	4.59%
Human	3.83%
Pre-event	3.57%
Post-event	0.26%
Organizational	44.39%

- ❖ Of the 392 LERs that affected multiple units, the NRC cited eight with official findings (**two red, one yellow, two white, two green, and one Severity Level III violation**). Four findings were linked to organizational factors, two to shared SSCs, one to identical equipment, and one to human action.

[Suzanne Schroer, Mohammad Modarres, *An Event Classification Schema for Evaluating Site Risk in a Multi-Unit Nuclear Power Plant Probabilistic Risk Assessment, PSA 2013*]

15

국내 다수호기 정지 이력 (from OPIS)



발전소	발생일자	분류	사건요약
한울 1&2	97.01.01	외부사건-폭설	전출력으로정상운전중에 영동지방에 내습한 폭설과 강풍에 의해 울진-동해간의 송전선로가 순차적으로 지락에 의해 차단되고, 울진-영주간의 345kV 송전선로 두 개 모두 송전탑이 무너지면서 차단되어 소외전원이 상실됨.
한울 1&2	97.02.01	외부사건-해양생물	정상 출력운전중취수구에 다량의 해양생물 유입으로 드럼스크린 표면에 흡착. 드럼스크린 차압이 증가하고 차압산화에 의해 순환수펌프가 자동정지.
	97.04.24		
	97.12.28		
	06.05.18		
고리 1	87.07.15 ~ 87.07.17	외부사건-태풍 해양생물	태풍 셀마의 내습으로 송전계통의 외란으로345kV #1,#2 송전선로의 전압이 순간적으로 급강하(약 30%로 감소)됨에 따라 소내4.16kV 저전압에 의한 터빈조속기 공급전원이 순간 강하(약 78%)되어 조속기의 기능상실로 터빈 및 원자로가 정지됨.
고리2			태풍 셀마의 내습으로 취수구에 해초류 및 오물 유입량이 크게 증가. 대량의 오물이 짧은 시간에 취수구 유입으로 Band Screen D, B, A 의 구동기어(Sprocket)가 순차적으로 파손. 이에 순환수펌프 순차 정지 및 출력 급감발 후 원자로 수동 정지.
고리 3&4			태풍 셀마의 내습에 대비, 안전운전을 위해 감발중 변압기 및 스위치야드의 절연물에 염분이 축적되어 주발전기 및 주변압기의차동보호계전기가 동작하여 터빈 및 원자로가 정지.
고리 1&2	03.09.12 ~ 03.09.13	외부사건-태풍	태풍 매미의 영향으로 신고리 #1 송전선이 고장으로 차단.고리 1, 2호기의 출력을 80%로 감발운전중나머지 1개 송전선이 차단.발전기 보호계전기 작동으로 터빈/발전기, 원자로 정지.
고리 3&4			태풍 매미의 영향으로 신앙산#1 송전선로에 지락 발생.1개 송전선 차단기가 개방. 이후 북고리#1 및 #2(구 신평항) 송전선 이상으로 발전소 소내 공급 전원의 13.8kV 모선의 저전압계전기가개방. 원자로냉각재펌프 중단으로 원자로 정지.

16

Is it an important issue?



❖ Results of Screening of Proposed Generic Issue Pre-GI-0001, "Multi-unit Core Damage Events" (2013)

- During the screening of this issue, the March 2011 accident at Fukushima Dai-ichi in Japan occurred, further underscoring the importance of better understanding and quantification of multiunit risk.
- However, the enclosed **notional evaluation** suggests that multiunit risk is low and that interim regulatory actions are not warranted.
- The screening panel recommends that this issue exit the Generic Issue (GI) Program **because of the estimates of low risk significance** and because **it will require longer term efforts** to develop the tools to fully and accurately quantify multiunit risk, i.e., **more than the six months**

17

NRC Scoping Site Risk Estimate



$$❖ R^{(n)} < n \cdot R_{su,MUI} + n^2 \cdot R_{su,SUI}$$

where,

$R^{(n)}$ = site risk for a site with n identical multi-units (per site year),

$R_{su,MUI}$ = risk for multi-unit initiators (MUIs) in a single unit,

$R_{su,SUI}$ = risk for single-unit initiators (SUIs) in a single unit.

❖ Example Scoping Site Risk Estimates based on NUREG-1150

Individual Early Fatality Risk (0-1 miles)					
Plant	CCIs	SUIs			Bounding Site Risk $R_S^{(2)}$
	Seismic $R_{single-unit,CCI}$	Internal Events	Internal Fires	Total $R_{single-unit,SUI}$	
Peach Bottom	1.6E-6/ry ^a	4.7E-11/ry	4.8E-10/ry	5.3E-10/ry	3.2E-6/sy ^b
Surry	1.8E-7/ry	1.6E-8/ry	6.3E-10/ry	1.7E-8/ry	4.3E-7/sy
Individual Latent Cancer Fatality Risk (0-10 miles)					
Plant	CCIs	SUIs			Bounding Site Risk $R_S^{(2)}$
	Seismic $R_{single-unit,CCI}$	Internal Events	Internal Fires	Total $R_{single-unit,SUI}$	
Peach Bottom	1.6E-6/ry	4.3E-10/ry	2.4E-9/ry	2.8E-9/ry	3.2E-6/sy
Surry	3.1E-8/ry	1.7E-9/ry	1.2E-10/ry	1.8E-9/ry	6.9E-8/sy

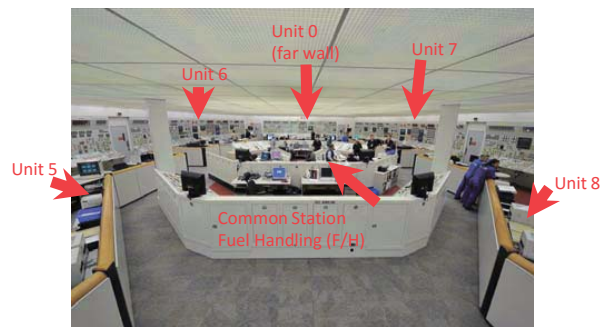
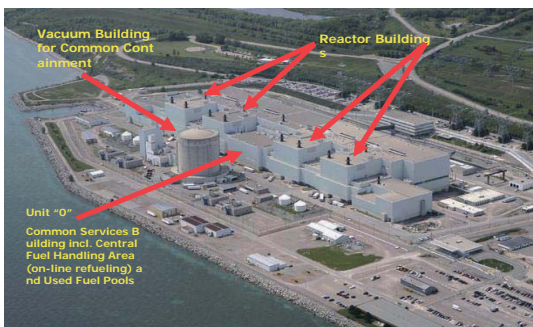
- ❖ **Conditional probability of latent cancer fatality (CPLCF) given core damage = 0.001 (based on SOARCA, NUREG-1150)**

18

Is it an important issue?



- ❖ Many shared systems/components (캐나다, 미국, 유럽?)
- ❖ # of multi-units within a site (캐나다, 일본, 한국)
- ❖ Occurrence of extreme events (일본, 대만, 북유럽, 동유럽)
- ❖ Expectation of high population-dose (일본, 유럽, 한국)



From OECD/NEA Multi-Unit Risk WS, Ottawa, CA, 2014.11

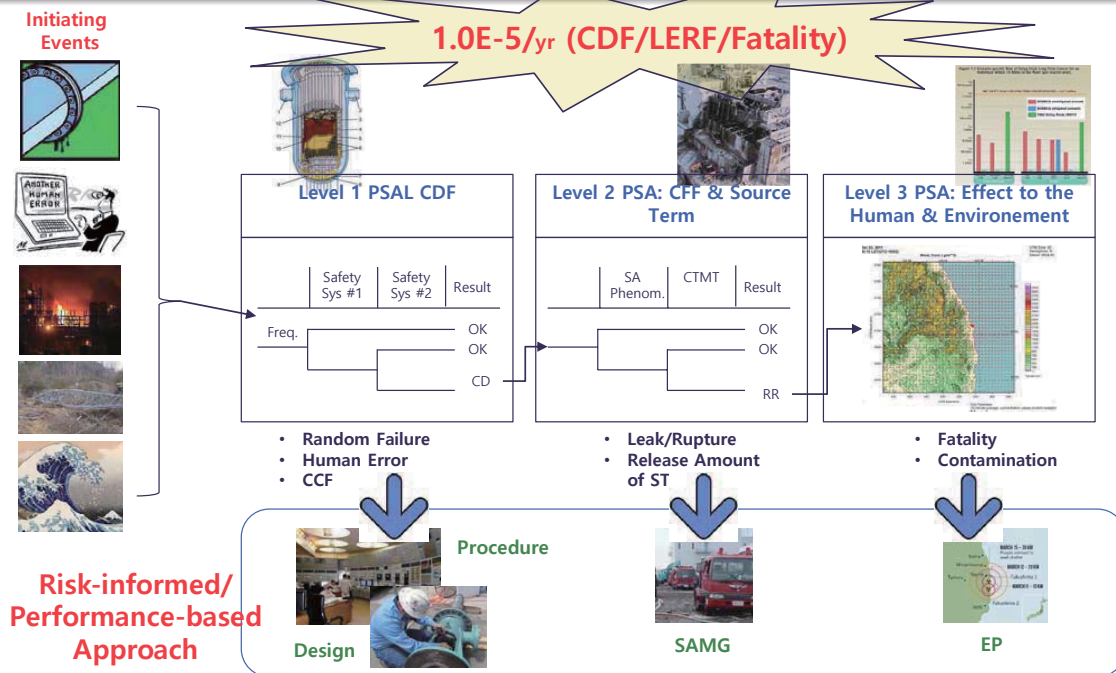
19



Assessment of Multi-unit Risk

20

PSA (Probabilistic Safety Assessment)



- 국내 원전 리스크 = 내부사건 리스크 + 화재 리스크 + 침수 리스크 + 지진 리스크
- 후쿠시마 원전 리스크 = 내부사건 리스크 + 지진 리스크 + 침수 리스크 + 쓰나미 리스크

Fukushima Insights for PRA



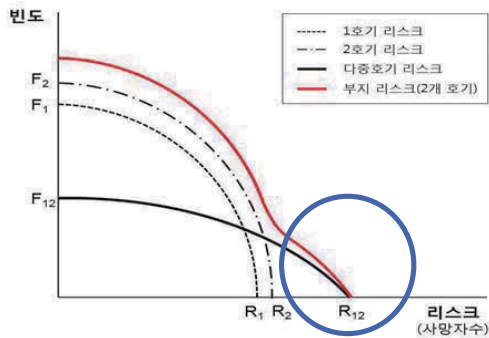
- ❖ **Key cause of accident was flood** damage to emergency switchgear and EDGs located in basement of turbine buildings and resulting station blackout to Units 1-4
 - **An internal flooding PRA was never done** but would have likely identified flood vulnerability and improved flood protection
 - **Flood vulnerability also exposed by 1991 flood event**
- ❖ **Fundamental causes included**
 - Inadequate protection of site against tsunami **despite evidence that tsunami risk was high**
 - Location of safety related switchgear and EDGs in basement of turbine building was a critical vulnerability and contributing cause
 - **Lack of protection of equipment from internal flooding** amplified this vulnerability
 - **Multi-unit interactions and dependencies, loss of infrastructure, and site contamination made major contributions to accident progression**
 - **Lack of appreciation that PRA can be used to identify safety improvements**

[K.N. Fleming, National Academy of Sciences, Fukushima Committee, June 24, 2013]

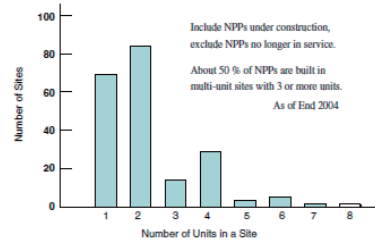
Multi-unit Risk...



❖ 다수호기 부지 리스크 > 부지내 단일호기 리스크의 합?



$$\text{Site Risk} = \sum(\text{Unit Risk}) + \alpha$$



Country	Plants	Reactor	Number of units
Canada	Bruce	PHWR	8 (2 shutdown)
	Pickering	PHWR	8 (3 shutdown)
Japan	Kashiwazaki	BWR	7
South Korea	Ulchin	PWR	6
	Yonggwang	PWR	6
France	Gravelines	PWR	6
India	Rajasthan	PHWR	6 (2 under construction)

[T. Hakada, "Seismic PSA Method for Multiple Nuclear Power Plants in a Site," RESS, V.92, No.7, 2007, pp.883-894.]

23

Multi-unit Risk Assessments



❖ Seabrook PRA (mid 1980s)

- Integrated Level 3 PRA of two unit station
- Seabrook had minimal use of shared systems**
- Full scope treatment of internal and external hazards and plant operating states

❖ Byron/Braidwood PRA for Risk-informed Tech. Spec. Evaluation (late 1990's)

- Integrated Level 1 PRAs of two unit stations
- These plants have shared systems and structures**
- Internal events and internal floods from full power

❖ Modular HTGR PRAs (mid 1990's)

- Integrated Level 3 PRA of four reactor module plant

❖ Seismic PSA for Multi-Units (2007)

- T. Hakada, "Seismic PSA Method for Multiple Nuclear Power Plants in a Site," RESS, V.92, No.7, 2007, pp.883-894.

❖ IAEA

- IAEA-SRS-xx-8.4: "Methodology For Safety Assessment Of Multiunit NPP Sites For External Events And Its Review"

❖ OECD/NEA CAPS Multi-unit PSA (2014)

❖ France EdF (2013)

❖ NRC Level 3 PRA Project (2012~2015)

❖ KAERI (2012~2016)

24

Seabrook PSA for Two Units (1/3)

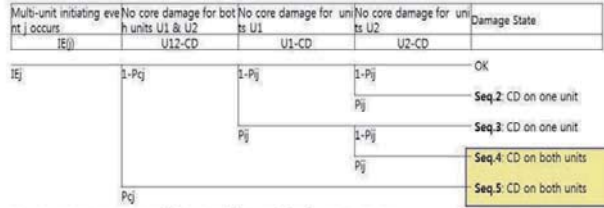


❖ 방법론 특징

[K.N. Fleming, National Academy of Sciences, Fukushima Committee, June 24, 2013]

- MUR Estimation from SUR model (Level 1/2/3 PSA model)
- Use of multi-unit event tree (MUET)
- Multi-unit initiator (MUI) frequency quantification using inter-unit common cause failure (CCF)

Category	Initiating Events
Events Impacting Both Units	<ul style="list-style-type: none"> Loss of Offsite Power Seismic Events Tornado and Wind External Flooding Truck Crash in Switchyard
Events Impacting Both Units under certain conditions	<ul style="list-style-type: none"> Loss of Condenser Vacuum Loss of Service Water Turbine Missile
Events impacting each unit independently	<ul style="list-style-type: none"> Loss of Coolant General Transients Loss of Component Cooling Loss of one DC bus Internal fires Internal floods Aircraft crashes



Seq. 2&3: $CDF_{sj} = IE_j [2(1 - P_{cj})(1 - P_{ij})P_{ij}] \cong 2 * IE_j * P_{ij}$

Seq. 4: $IE_j P_{ij}^2$

Seq. 5: $CDF_{cj} \cong IE_j * P_{cj} = IE_j \sum_k (\beta'_k \beta_k Q_k + Q'_k) \cong IE_j \sum_k \beta'_k \beta_k Q_k$

where, intra-unit CCF factor (β), inter-unit CCF (β'),
e.g., for 2-train system f_{comp} at 2 units, $Q_s = Q^1 + 2\beta Q^2 + (\beta Q)^2 + \beta' \beta Q$

MUET & Inter-Unit CCF

Component	Number of CCF Events Screened, N_c	Number with High Multiunit Potential	Number with Low Multiunit Potential	β' , Multiunit Common Cause Failure Parameter
Diesel Generators	8	1	7	.22*
Motor-Operated Valves	11	0	11	.043**

$DG \rightarrow \frac{1 \times (4)}{1 \times (4) + 7 \times (2)}$ $MOV \rightarrow \frac{0 + 1}{2 \times (11) + 1}$

25

Seabrook PSA for Two Units (2/3)

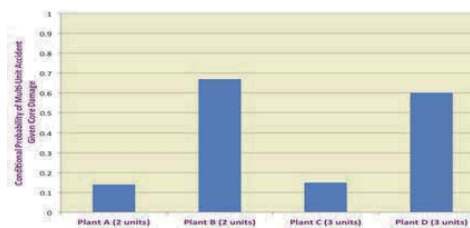


❖ Site Level 1 Risk Metric

Model Type	Risk Metric	Core Damage Frequency Uncertainty Distribution*			
		Mean Value	5%	50%	95%
Single Reactor PRA	CDF per reactor year	2.3×10^{-4}	6.9×10^{-5}	1.8×10^{-4}	5.4×10^{-4}
Integrated Site PRA of both Units	Single reactor CDF per site year	4.0×10^{-4}	1.2×10^{-4}	3.1×10^{-4}	9.4×10^{-4}
	Dual reactor CDF per site year	3.2×10^{-5}	1.1×10^{-6}	1.5×10^{-5}	1.2×10^{-4}
	Total Site CDF per site year	4.3×10^{-4}	1.40×10^{-4}	3.4×10^{-4}	1.0×10^{-3}

CPMA = Conditional probability of multiple core accident (kind of a "bandaid" multi-unit metric) given core damage on either unit

CPMA = .14



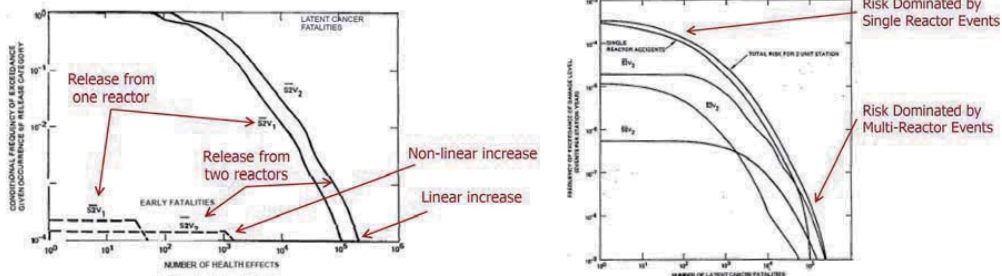
Initiating Event	Dual Unit Site CDF (Per Site Year)	% of Total
Seismic Events	2.80E-05	88%
Loss of Offsite Power	2.80E-06	9%
External Flooding	1.60E-06	5%
Truck Crash into Transmission Lines	1.00E-07	0.3%
Total	3.20E-05	100%

26

Seabrook PSA for Two Units (3/3)



❖ Site Level 3 Risk Metric



❖ Seabrook PRA 방법론의 문제점

- 일반화의 어려움 (MUET and inter-unit CCF for a n-unit site ?)

Component	Number of CCF Events Screened, Nc	Number with High Multiunit Potential	Number with Low Multiunit Potential	β^* , Multiunit Common Cause Failure Parameter
Diesel Generators	8	1	7	.22*
Motor-Operated Valves	11	0	11	.043**

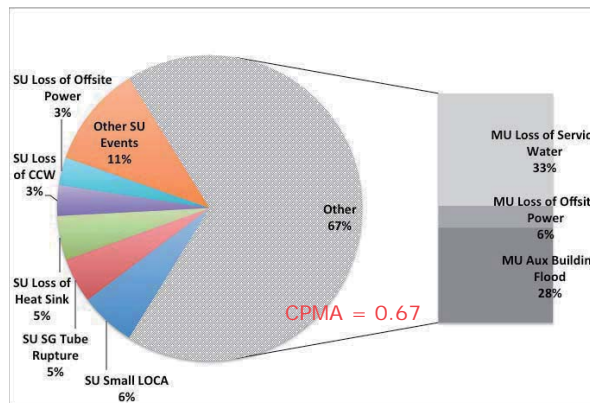
$$DG \rightarrow \frac{1 \times (4)}{1 \times (4) + 7 \times (2)} \quad MOV \rightarrow \frac{0 + 1}{2 \times (11) + 1}$$

27

Byron and Braidwood



- ❖ Two Dual Unit Westinghouse 4-loop PWRs built and Licensed in one safety analysis report
- ❖ Each site has two reactor units with highly shared support systems (service water and AC power) and co-located equipment in a common structure



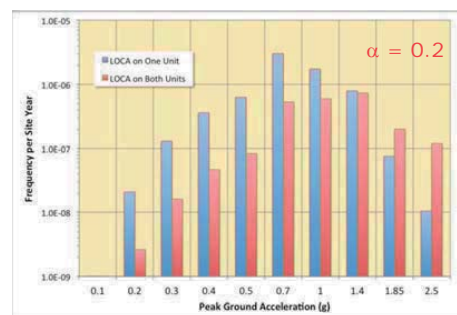
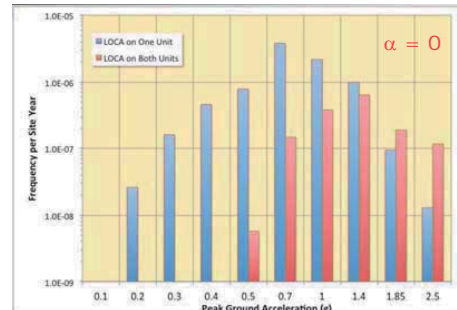
28

Multi-unit Seismic PRA



Seismic Induced LOCAs at Two Unit Seabrook Site

Seismic Event	Fragilities Correlated?	LOCA on Unit 1?	LOCA on Unit 2	Conditional LOCA State Probability Given Seismic Event	LOCA State, Number Concurrent LOCAs
α	Yes	No	No	αf	2
		Yes	Yes	$\alpha(1-f)$	0
		Yes	No	$\alpha(1-f)$	0
$(1-\alpha)$	Yes	No	No	$(1-\alpha)f^2$	2
		Yes	Yes	$(1-\alpha)f(1-f)$	1
		Yes	No	$(1-\alpha)f(1-f)$	1
	No	Yes	Yes	$(1-\alpha)f(1-f)$	1
		Yes	No	$(1-\alpha)(1-f)$	1
		No	No	$(1-\alpha)(1-f)^2$	0



{Tadakuni Hakata, Seismic PSA Method for Multi-Unit Site---CORAL-reef, Next Generation PSA Software Workshop at NEL, Nov. 13-14, 2007}

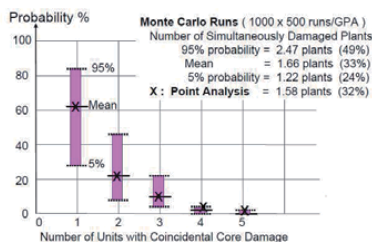
29

Seismic PSA Method for Multi-Unit Site (Tadakuni Hakata)



Sample Analysis 1

Probability of Simultaneous Core Damages in 5-unit Site

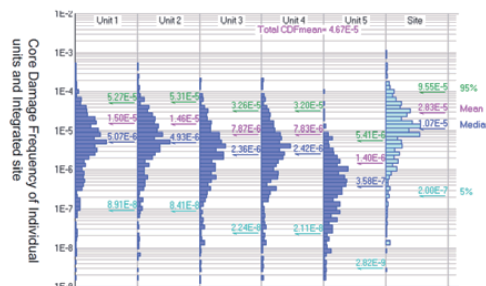


Results:

- 1) Mean number of plants with core damage is 1.66 out of 5
- 2) Site CDF / site-year is about 3 times mean CDF / reactor-year

Sample Analysis 2

Uncertainty Analysis of CDF



Effects of Mutual Support in Multi-Unit Site

- Tying risk-dominant components within a safety functional system is effective.

```

    graph LR
      subgraph "Tie from other units"
        CST
        AFWP
        SG
      end
      subgraph "Tie to other units"
        Electrical_Power[Electrical Power]
        RCS_Cooling[RCS Cooling Through SGs]
      end
      CST --> AFWP
      AFWP --> SG
      Electrical_Power --> RCS_Cooling
      RCS_Cooling --> SG
      AFWP --- RCS_Cooling
      SG --- RCS_Cooling
    
```

- Sample Analysis shows effect of 50% reduction in site CDF

Effect of AM:
 $\eta = N \times 1/\epsilon \times \text{AM} = 1.3$
 $5 \times 1/1.9 \times 0.5$
 where:
 • N = number of units (5)
 • ϵ = mean number of damaged units (1.9)
 • Multi-Unit Site Effect Factor $\eta = 1.3$
 Note: Terminology is tentative

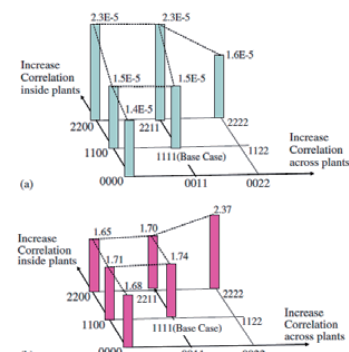


Fig. 12. (a) Sensitivity of CDF per site-year on correlations, and (b) sensitivity of mean number of units damaged on correlations.

❖ Developing series of reports on multi-unit risk assessment

- “Technical Approach to Multi-Unit Probabilistic Safety Assessment” was completed by 2014 (Not finalized yet)
- Supporting reports being developed on:
 - External events screening and PSA
 - High wind hazards analysis and PSA
 - External flooding hazards analysis and PSA
 - Other IAEA Working Groups developing updated safety guides on
 - Tsunami hazards analysis and PSA
 - Seismic hazards analysis and PSA

31

OECD/NEA CAPS MUPSA

❖ Status of Multi-Unit PSA (MUPSA) Developments in Member Countries

- **Objective**
 - The objective is the collection of information on how multi-unit issues are being addressed in probabilistic assessment of multi-unit site NPPs, on challenges and developments of MUPSA.
- **Lead by Canada**
- **Issues identified** in the Workshop held in Nov. 2014, Ottawa
 - external hazards affecting all units at a site,
 - the interactions between units at a site,
 - human reliability analysis, common-cause failures between units, management issues,
 - EOP/SAMG impact in multi-unit accident, and
 - accident simulation for multi-unit plants

32

MUPSA Methodology by EdF RND

[Tu Duong Le Duy, Multi Units Probabilistic Safety Assessment: Methodological elements suggested by EDF R&D, PSAM12]

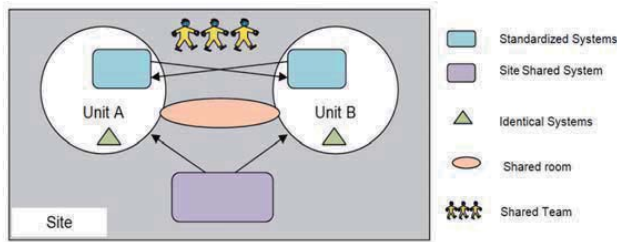


Figure 1: Representation of a site with two units with its dependencies

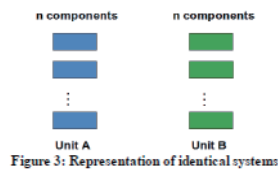


Figure 3: Representation of identical systems

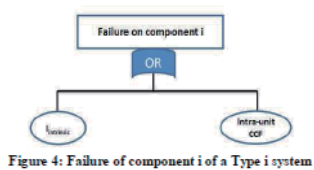


Figure 4: Failure of component i of a Type i system

Table 1 Risk at unit level and the corresponding risk at site level

	Unit level risk	Site level risk
Case 1: Reference PSA model	1.67 E-10	3.33 E-10
Case 2: Upgraded PSA model	3.33 E-10	6.66 E-10

33

NRC Level 3 PRA Project

❖ Objectives

- Develop a Level 3 PRA, generally based on current state of practice methods, tools, and data, that (1) **reflects technical advances since completion of the NUREG-1150 studies**, and (2) **addresses scope considerations** that were not previously considered (e.g., **multi-unit risk**)
- Extract new insights to enhance regulatory decision-making and **to help focus limited agency resources on issues most directly related to the agency's mission to protect public health and safety**
- Enhance NRC staff's PRA capability and expertise and improve documentation practices to make PRA information more accessible, retrievable, and understandable
- Obtain insight into the technical feasibility and cost of developing new Level 3 PRAs

34

NRC Level 3 PRA Project



Factor	Scoping Options for Operating Nuclear Power Plants
Radiological hazards	Reactor core Spent fuel Other Radioactive Sources
Population exposed to hazards	Onsite population Offsite population
Plant operating states	At-Power Low Power/Shutdown
Initiating event hazards	Traditional internal events (transients, loss-of-coolant accidents) Internal floods Internal fires
	Seismic events (earthquakes) High winds Other external hazards
Level of risk characterization	Level 1 PRA: Core damage frequency Level 2 PRA: e.g., Large early release Level 3 PRA: Early fatality risk Latent cancer fatality risk

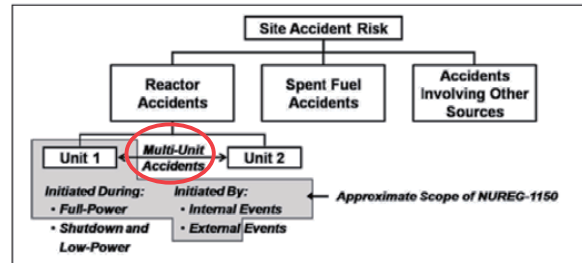
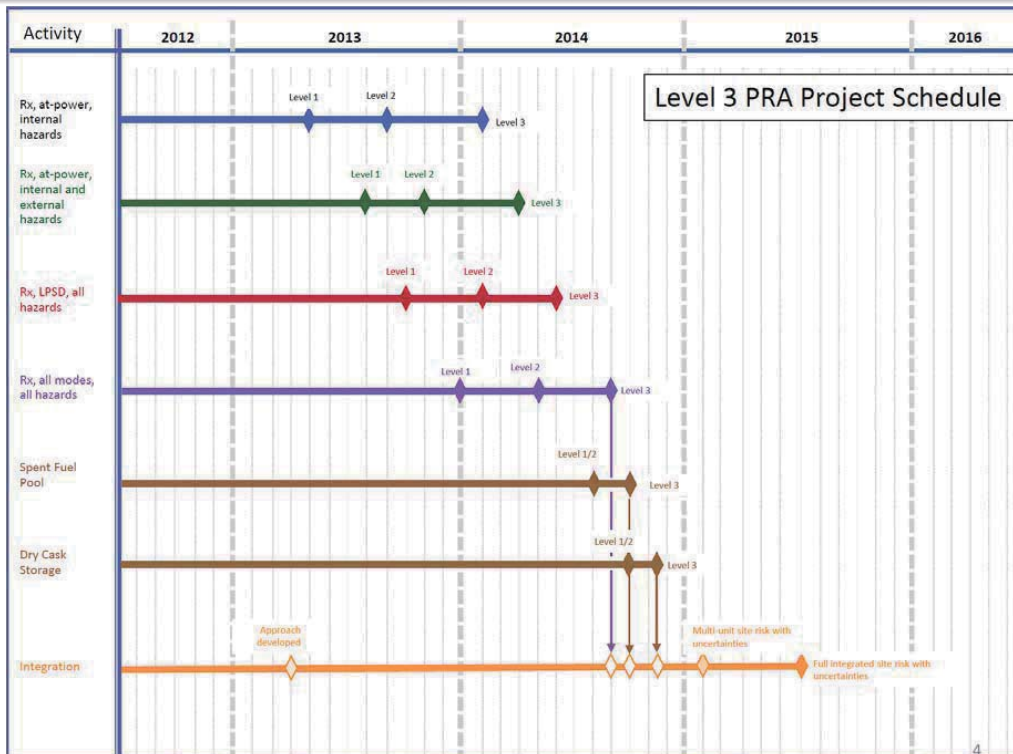


Figure 5.3 Site accident risk and approximate scope of NUREG-1150 (Source: Marty Stutzke)

Figure 5.1 Factors affecting the scope of PRAs for operating nuclear power plants

35

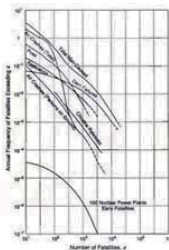
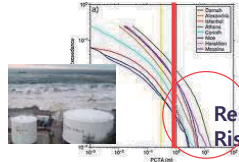
NRC Level 3 PRA Project



4 36

❖ 후쿠시마 원전 사고의 교훈

- 극한사건/복합사건
 - 지진 + 쓰나미
- 다수호기
 - 1~4호기 사고
 - 사용후핵연료저장조
- 중대사고 관리
 - 전원차 + 소방차
 - 비상 대응
- 방사선 피해
 - Level 3 PSA



- 극한 재해 리스크 평가
 - 설계 초과 지진
 - 쓰나미와 기타 국내 고유 극한 자연 재해
 - 항공기 충돌
- 다수호기 부지 리스크 평가
 - All Mode(전출력/정지저출력)/All Hazard (지진, 내부 화재/침수) Site (한울 부지) Risk
 - 극한 재해/SFP 리스크 포함
- 부지 차원 비상운전/중대사고/방사능 비상 종합 대처방안 도출
 - 사용후핵연료저장조(SFP) 중대사고 리스크평가 체계 구축
- 리스크 평가 복원실성 저감 기술
 - 고장수목 S/W, 인간신뢰도분석, Digital I&C 신뢰도 평가

37

Procedures for MUPSA

부지 리스크 정의 및 상위 로직 구성

각 호기별 개별 PSA 모델의 구성(L1 and L2 PSA)

- 내부사건, 화재, 침수, 지진 쓰나미에 대한 전출력/정지저출력 모델 (후쿠시마 시나리오를 보이기 위해서는 정지저출력 필수)
- 내부사건 중 외부원인에 의한 사건은 분리(다수호기 소외정전 사고, 최종 열제거원 상실사고)

호기간 종속성 처리

- 공통 구조물, 계통, 기기 (SSC)
- 초기사건 및 SSC의 공통원인 고장

부지 리스크 모델(고장수목)의 정량화(L1, L2)

- 몬테칼로 또는 고장수목 직접 계산

결말분석 및 리스크 프로파일 계산

38

- ❖ 독립사건에 의한 다수기 리스크 유발 인자
- ❖ 고장수목 정량화 방법
- ❖ 국내 고유 L3 PSA 분석 코드
- ❖ 호기간 공통원인 고장 분석 방법
- ❖ 부지내 사고에 따른 조직/인적 신뢰도
- ❖ 부지 안전목표
 - Risk Aggregation
 - 고리 1호기 폐로

Conclusions

Summary



❖ Technical Issue

- **Current single unit based PSA cannot identify the multi-unit issues.**
 - Underestimation of Site Risk
- **Are the MUIs (e.g., External hazards) rare events?**
 - External hazard screening/frequency assessment and
 - Combined hazards,
 - Correlation of fragility between units
- **There are a lot of technical challenges in MUPSA:**
 - Human reliability analysis, common-cause failures between units, management issues,
 - EOP/SAMG impact in multi-unit accident and
 - Dynamic Effects,
 - Risk Aggregation and
 - Risk Metrics for MUPSA

❖ Political Issue

- **How to setup and use the Safety Goal?**
 - Site Safety Goal?
 - What is the definition of site?
 - What is the required tech. level?
 - How to reduce the site risk?

❖ Real Issues

- **Confusion on the definition of "Multi-unit risk"?**

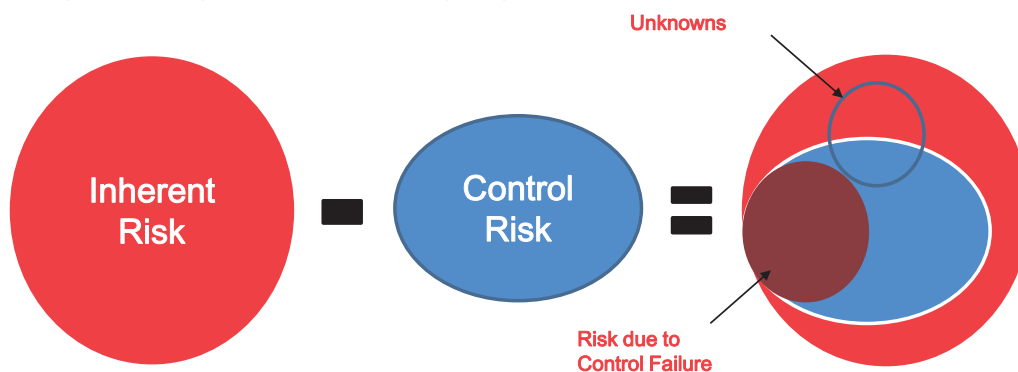
41

How can we ensure the safety?



Do right thing and Do thing right!!!

[J.E.YANG, NET, 2014]



- **Ultimate Goal: No Release**
- **Strategy**
 - **Expansion of Controlled Risk Region → Improvement of Design (Prevention)**
 - **Reduction of Failure of Control Risk Region → Improvement of Operation (Prevention)**
 - **Prepare for the Residual → Improvement of Severe Accident Management & EP (Mitigation)**

42

Concluding Remarks



安心

Think Unthinkable vs. Think well Thinkable

Do right thing and Do thing right!!!

risicare

43



감사합니다.



한국원자력연구원
Korea Atomic Energy Research Institute

8

원전 내진 설계

서울대학교 원자력정책센터 출범 심포지엄

원자력발전소 내진설계

2016. 11. 04

문일환

newpower, newstandard
 KEPCO
E&C

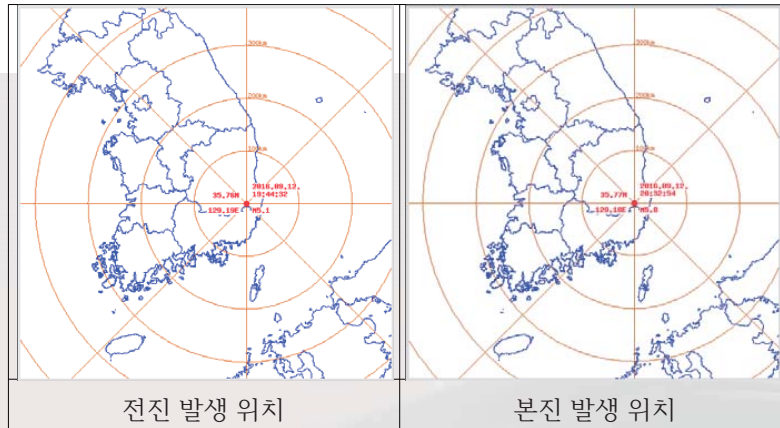
경주지진과 지진 일반사항

newpower, newstandard
 KEPCO
E&C

본진 발생 개요

□ 지진발생 개요 (출처: 기상청)

- 전진 : 2016년 9월 12일 19시 44분 (규모 5.1), 경북 경주시 남남서쪽 9km 지역
- 본진 : 2016년 9월 12일 20시 32분 (규모 5.8), 경북 경주시 남남서쪽 8km 지역
- 깊이 : 15km 내외



newpower, newstandard

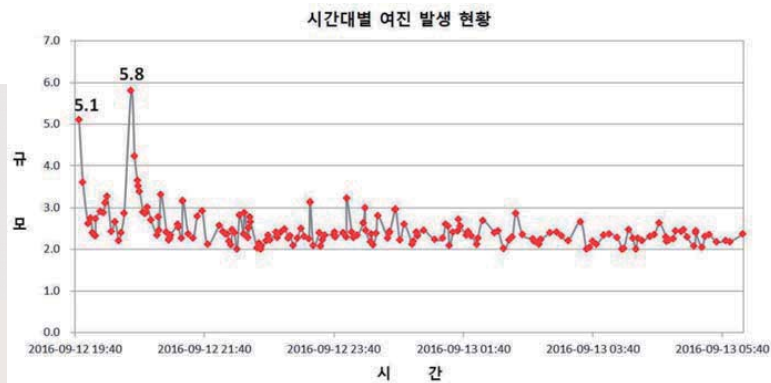
- 3 -

ICEPCO
E&C

여진 발생 현황

□ 여진발생 현황 (규모 1.5 이상, 9월 22일 05시 08분 기준)

- 9월 19일 오후 8시 33분 58초 (규모 4.5) 지진 발생 (19일까지 총 380회 발생)
- 본진 (5.8 규모) 이후 다수의 여진 최근까지 발생



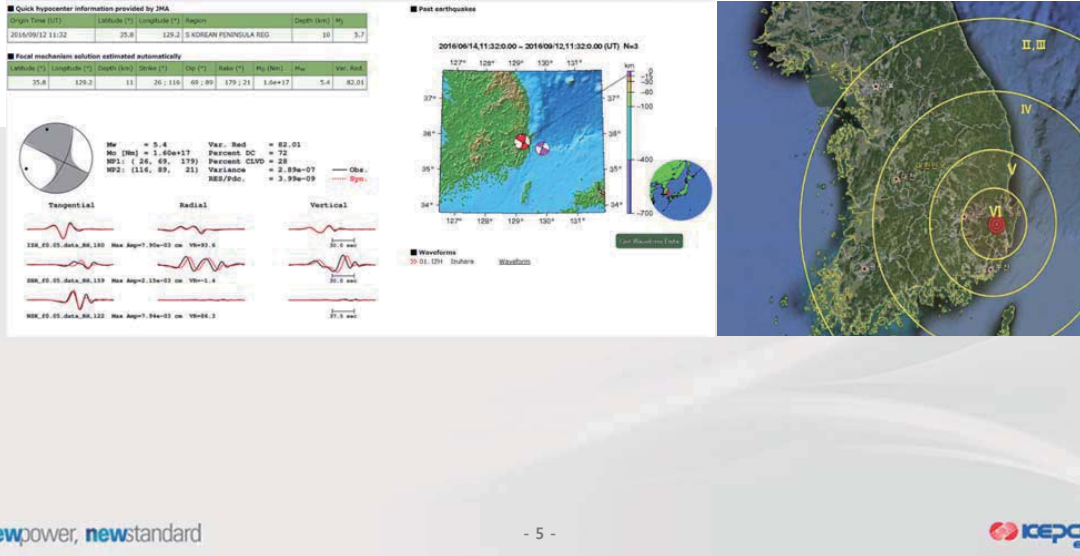
newpower, newstandard

- 4 -

ICEPCO
E&C

지진발생 원인 및 규모

- 지진발생 원인 (일본기상청 분석결과)
 - 주향 이동 단층에 의하여 발생한 것으로 추정



국내원전 관측 및 조치 현황

- 월성 원전
 - 진양지로부터 가장 가까운 28km 거리에 위치한 원전으로 원전부지에서 0.12g 계측 (부지에서 OBE 지진 0.1g를 초과)
 - RG 1.166 및 한수원 절차에 따라 부지에서 수동정지 조치
 - SSE 지진 0.2g 보다 작으므로 구조물 및 기기의 안전성과 안전정지에 영향 없음
- 지진계측기는 RG 1.12에 따라 구조물의 간섭이 없는 자유장 부지, 원자로건물 기초 슬래브, 외벽 및 2차 차폐벽, 보조건물 기초 슬래브 및 운전층 벽체에 설치

규모 5.8 본진 발생시 발전소 별 계측기록 (Peak Value)

원전(KINS)	2016/09/12 20:32 규모 5.8	
	진양거리(km)	최대지반가속도(g)
월성	28	0.12g
고리	51	0.0378g
한울	148	0.0076g
한빛	254	0.0019g

국내원전 입력지진과 경주지진 비교

- 설계지진과 경주지진 비교
 - 강진지속 시간 : 10초 vs. 1초
 - 최대지반가속도 : 0.30g vs. 0.12g

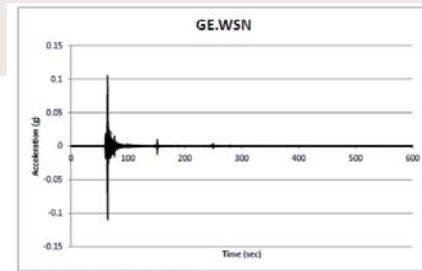
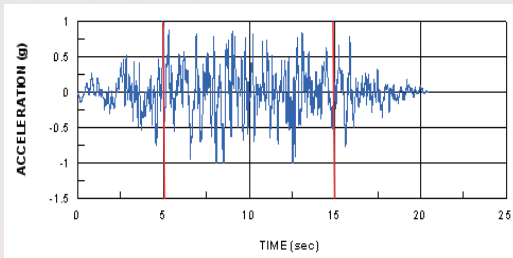


Figure 1 - Acceleration time history for E-W direction



국내원전 지진입력

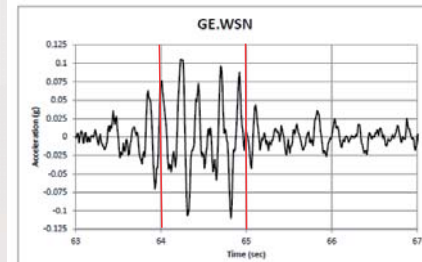
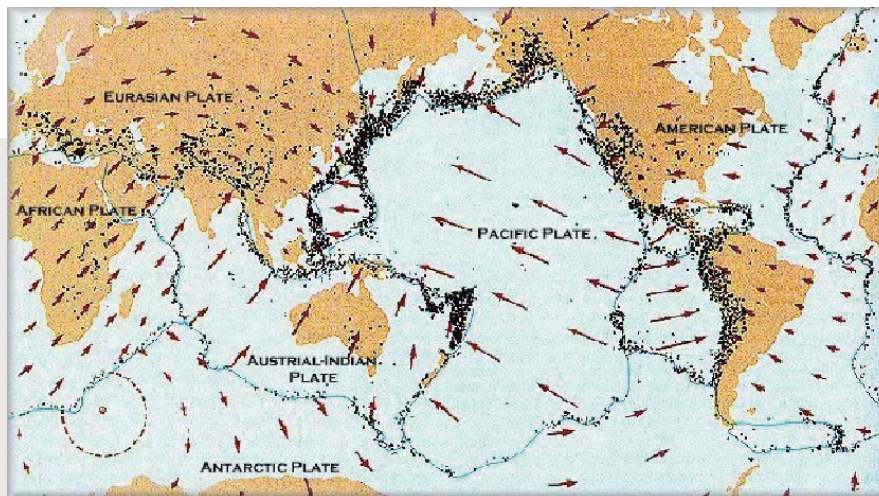


Figure 2 - Range of E-W acceleration time history where 0.025 g is exceeded

계측된 경주지진

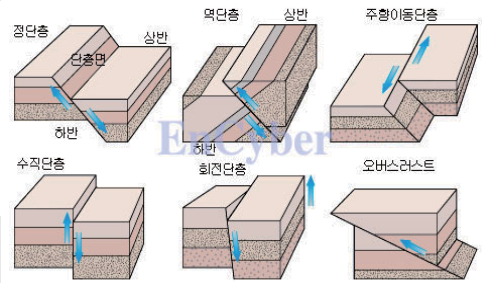
지진발생 메커니즘

- 세계 지각판 분포와 운동방향
 - 지각판의 경계부에서 주로 역단층에 의하여 빈번하고 큰 지진 발생
 - 지각판 내에서는 활성단층의 주로 주향이동에 의하여 지진이 발생하며 상대적으로 규모가 작은 지진 발생



지진발생 메커니즘

□ 단층의 형태 및 단층 사례



양산단층



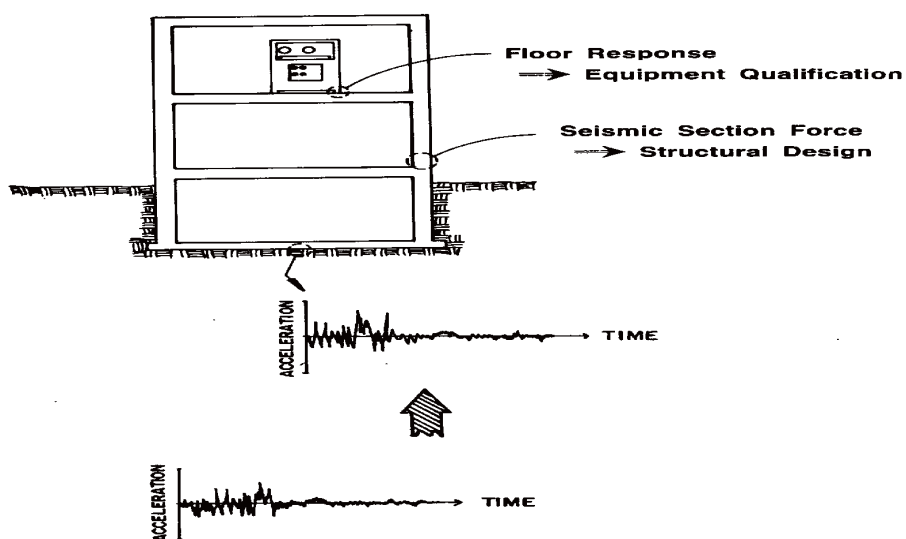
San Andreas

원전 내진해석 및 설계

내진설계 개요

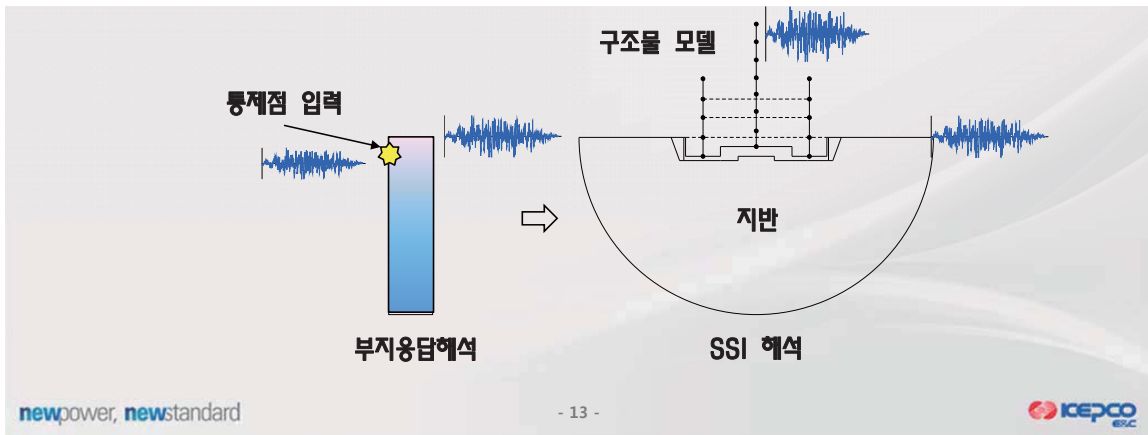
- 10CFR 50 Appendix A에 따라 원자력발전소 안전관련 구조물, 계통 등의 내진 해석 수행
- 원자력발전소를 구성하고 있는 안전관련 구조물, 계통 및 기기들을 지진으로부터 구조적 건전성과 기능적 건전성 확보하기 위하여 내진해석 및 설계 수행
- 구조물 내진해석은 발전소 부지에 발생 가능한 최대설계지진에 부합하도록 시간이력을 개발하고 구조물과 주요 계통에 대한 수학적 모델을 작성한 후 입증된 동적 해석방법을 사용하여 구조물과 기기에 작용하는 지진하중을 산출하는 과정
- 내진해석 결과로 산출된 지진하중에 대해 구조물과 기기가 안전하도록 내진설계 수행
 - 구조물의 경우 지진하중과 다른 하중을 조합하여 요구되는 설계하중에 저항할 수 있도록 구조 부재의 단면을 결정
 - 기기의 경우 지진하중에 견딜 수 있도록 해석 또는 실증시험으로 내진검증 수행

내진해석이란?



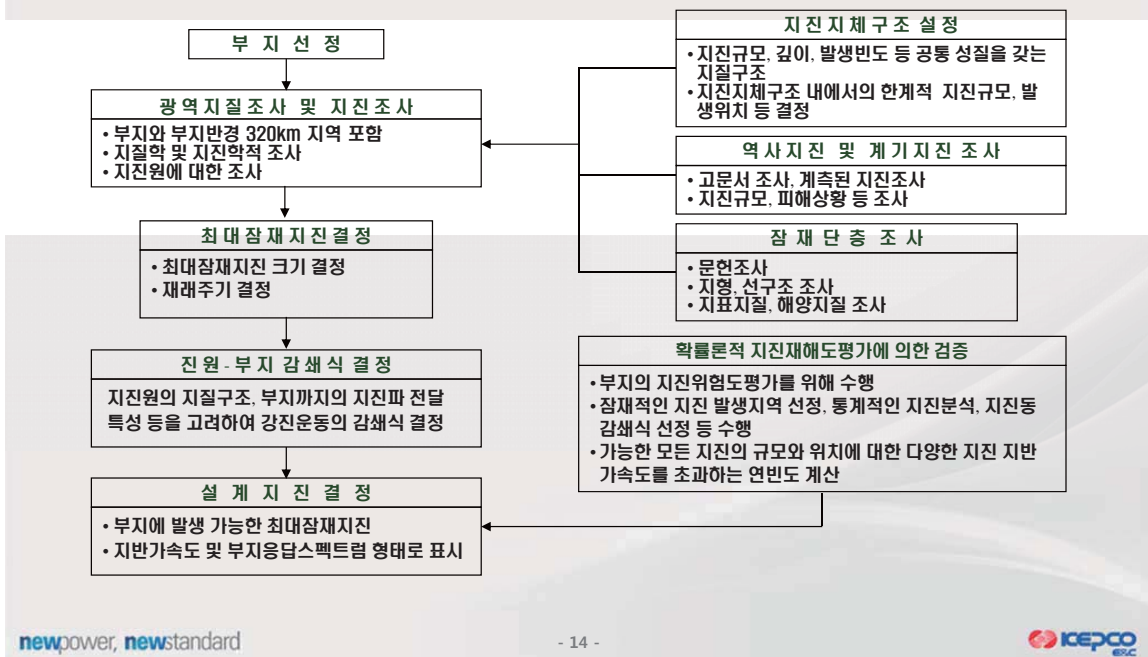
원전의 내진해석 및 내진설계 절차

- 원전 내진설계 절차
 - 설계최대지진 결정 및 인공지진 시간이력 작성
 - 부지지질조사 결과를 바탕으로 통제점 정의 및 자유장 부지응답해석 수행
 - 굴착지반, 뒷채움 및 구조물 모델을 포함하는 SSI 해석 모델 개발
 - 지반-구조물 상호작용해석 수행하여 FRS, 변위, 부재력 등 산출하여 내진설계 수행
 - 안전관련 기기의 내진설계 및 내진검증 (시험 및 해석적 방법)



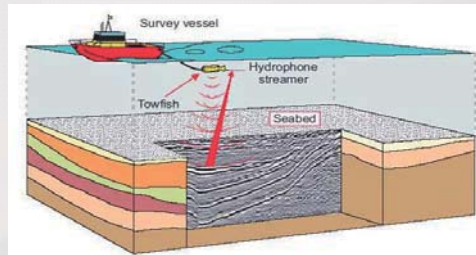
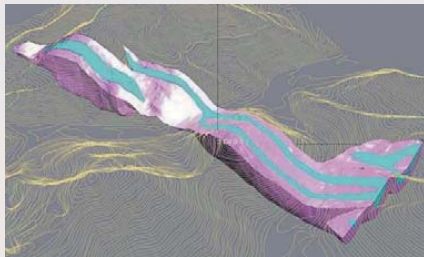
설계최대지진의 결정

• 설계 최대지진 결정 절차



설계최대지진의 결정 - 원전부지 선정 및 지질 조사

- 예비 시추조사
 - 예비 부지배치를 위한 지층 및 지질구조 발달상태 파악
 - 시추조사 및 물리탐사
- 세부 시추조사
 - 약 4,000 km 이상 시추심도 적용
 - 물리탐사, 현장시험 및 실내시험
 - 지반-구조물 상호작용해석(SSI)을 고려한 지진해석을 위한 지반조사
- 지질구조 조사
 - 광역 및 부지 정밀 지질구조 조사 (반경 320 km, 40 km, 8 km, 1 km)
 - 해양물리탐사 (탄성파탐사, 부지반경 8 km)



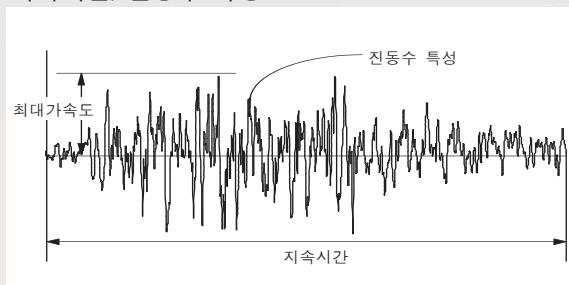
newpower, newstandard

- 15 -

KEPCO
E&C

지진입력운동 정의

- 안전정지지진 (Safe Shutdown Earthquake, SSE)
 - 원전 부지에서 발생 가능한 최대지진
 - 원전의 안전성 유지를 위하여 중요한 기기 및 구조물은 이 지진이 발생 하더라도 그 기능을 유지할 수 있도록 설계
- 운전기준지진 (Operating Basis Earthquake, OBE)
 - 원전 설계수명 기간 동안 발생가능하며, 시설물에 영향을 줄 수 있을 것으로 예상되는 지진
 - 원전의 안전에 중요한 시설물은 이러한 지진이 발생 하더라도 공중의 안전과 건강에 영향 없이 정상적인 가동이 가능하도록 설계
- 지진입력운동의 정의요소
 - 최대가속도, 지속시간, 진동수 특성



newpower, newstandard

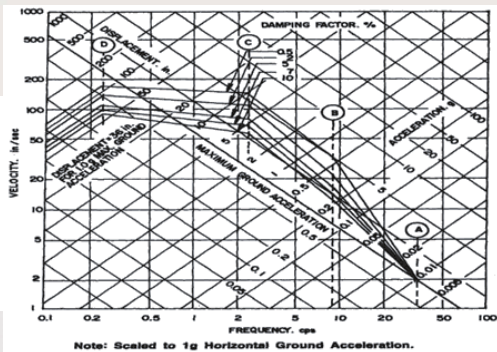
- 16 -

KEPCO
E&C

지진입력운동의 구분

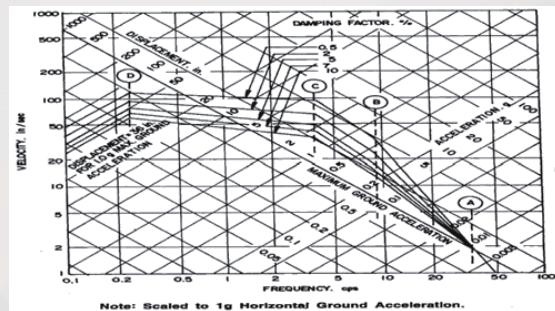
- 최대지반가속도 (Peak Ground Acceleration, PGA)
 - 지진운동의 크기를 나타내는 공학적 표현 방법, 중력가속도에 대한 계수로 표시
 - 안전정지지진과 운전기준지진에 대하여 따로 정의하며, 통상적으로 운전기준지진의 지반 가속도는 안전정지지진의 1/2값 사용
 - SSE : 수평방향 0.2g(0.3g), 수직방향 0.13g(0.3g, 일부 구간 수평방향의 2/3)
 - OBE : 수평방향 0.1g(0.1g), 수직방향 0.067g(0.1g)
- 설계지반응답스펙트럼 (Design Ground Response Spectrum, DGRS)
 - 부지고유응답스펙트럼 (Site-Specific Response Spectrum) : 특정 부지의 지진성 평가를 통하여 결정된 그 부지에 고유한 지반응답스펙트럼
 - 표준지반응답스펙트럼 (USNRC Regulatory Guide 1.60) : 다양한 지반조건에서 기록된 다수의 지진기록 으로부터 통계적 처리를 통하여 결정된 대부분의 부지에서 적용할 수 있는 지반응답스펙트럼
- 설계지진시간이력
 - 지진기록을 수정하여 작성
 - 정현파를 합성하여 작성

설계지반응답스펙트럼 (RG 1.60)



수평방향

수직방향



설계입력지진 개발

- 지질조사 및 지진재해도 분석으로부터 결정된 설계지진 준위에 대해 실제지진 파와 유사한 형태로 가속도시간이력을 인공적으로 작성 (단일세트 시간이력 사용의 경우)
 - ▶ 각 시간이력의 응답스펙트럼이 설계지반응답스펙트럼 포괄, 파워스펙트럼 밀도함수 (PSD)가 SRP 3.7.1의 Target PSD 포괄, 각 방향 시간이력이 통계학적 독립(ASCE 4)

설계응답스펙트럼, 5% 감쇠비

설계가속도시간이력(1.0g에 맞춤)

newpower, newstandard

- 19 -

KEPCO
E&C

구조물의 내진해석모델 작성 [SRP 3.7.2]

- 실제 구조물의 동적 특성치를 적절하게 나타낼 수 있도록 구조물 내진해석 모델 작성
- 고정지반가정 : 10⁻⁴% 이하의 저 전단변형률에서 전단파속도 8,000ft/sec 이상
- 구조물의 균열 및 비균열강성 고려 : ASCE/SEI 43-05
- 동수역학(유체-구조물 상호작용) 효과고려 : TID-7024, ASCE 4

원자로건물 고정지반 해석모델

본관건물 구조물-지반-구조물 상호작용해석 모델

newpower, newstandard

- 20 -

KEPCO
E&C

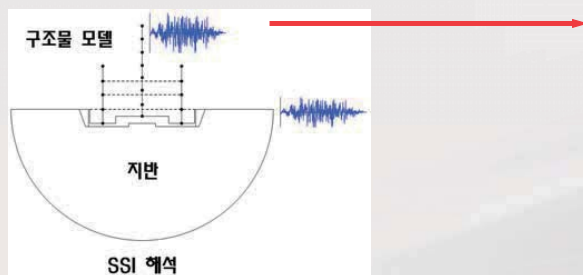
구조 감쇠비 적용 (RG 1.61 Rev. 1)

- SSE 하중을 포함하는 하중조합에 대하여 구조물의 응답수준에 따라 콘크리트 균열 또는 비균열 상태 반영
- 응력수준이 설계기준에 규정된 콘크리트 균열강도를 초과하는 경우 ASCE 43-05에 따라 강성 저하시키고 SSE 감쇠비 적용하고, 그 이외는 OBE 감쇠비 적용 원칙

구조물 종류	운전기준지진	안전정지지진
기기	2 %	3 %
배관계통	3 %	4 %
용접된 강구조물	3 %	4 %
볼트 접합된 강구조물	5 %	7 %
프리스트레스트 콘크리트구조물	3 %	5 %
철근콘크리트 구조물	4 %	7 %

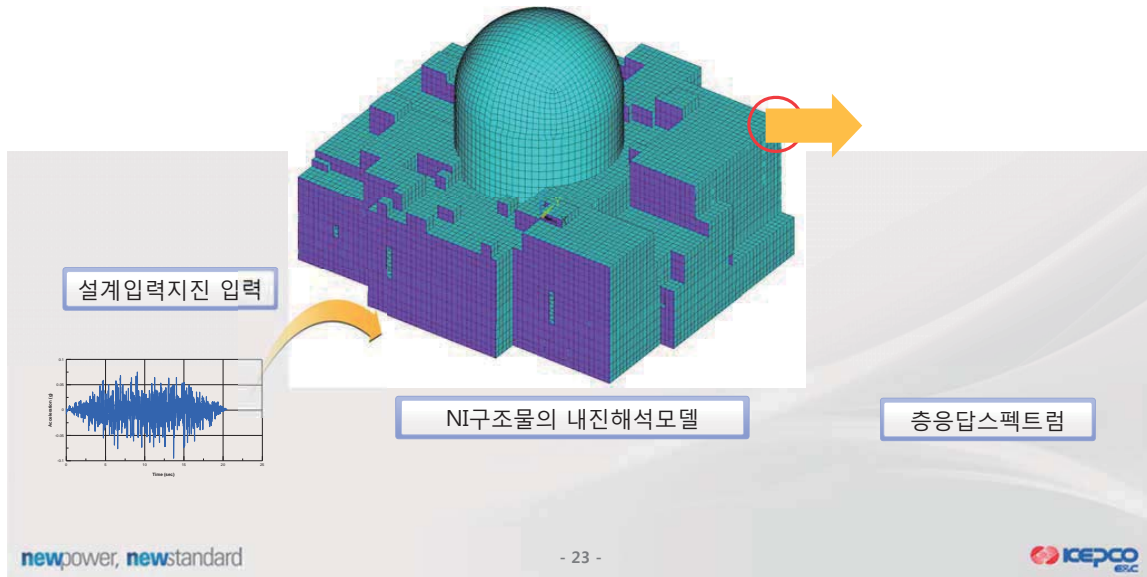
응답스펙트럼 작성

- 응답스펙트럼 (Floor Response Spectra, FRS)
 - 내진해석결과인 응답가속도시간이력을 응답스펙트럼으로 변환
 - 응답스펙트럼 첨두값을 나타내는 진동수의 최소 $\pm 15\%$ 범위까지 응답스펙트럼 값을 광폭화
- 포괄응답스펙트럼 (Enveloped Response Spectra)
 - 구조물의 여러 곳에 동시에 놓이는 부계통(밸브 등)의 내진해석을 위하여 관련된 여러 개의 응답스펙트럼을 포괄한 응답스펙트럼
- PVRC 응답스펙트럼 (PVRC Response Spectra)
 - ASME Code Case N-411-1에 제시된 진동수 구간에 따라 다른 감쇠값을 적용한 응답스펙트럼으로 배관계통의 내진해석에 적용



내진해석 및 응답스펙트럼 [RG 1.122] 작성

- 구조물이 위치하는 지반조건에 따라 엄밀한 고정지반해석 또는 지반-구조물 상호작용해석 수행 후, 구조물 주요 위치에서 구조물, 계통 및 기기 내진설계를 위한 응답스펙트럼, 부재력, 변위 등의 지진응답을 산출



구조물의 내진설계

- 내진설계 하중조합

하중 조건	번호	하중																	설계 강도						
		경 상							심한환경				비 경 상							극심한환경					
		D ¹	D _s	L	La	To	Ro	C	Po	Mo	Eo	W	H	Pa	Ta	Pa	Yt	Yi	Ym	Yt	Ma	Ea	Wt	Hs	
시 공	1	1.1	-	1.3	1.1	-	1.1	1.3	-	1.3	-	1.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	KEPIC SNC
	2	-	0.9	-	1.1	-	-	1.3	-	1.3	-	1.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	KEPIC SNC
시 험	3	1.1	-	1.3	1.1	1.3	1.1	1.3	1.3	1.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	KEPIC SNC
경 상	4	1.4	-	1.7	1.4	1.3	1.4	1.7	1.7	1.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	KEPIC SNC
심한 환경	5	1.4	-	1.7	1.4	1.3	1.4	1.7	1.7	1.7	1.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	KEPIC SNC
	6	1.2	-	1.4	1.3	1.2	1.7	1.7	1.7	1.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	KEPIC SNC
	7	1.4	-	1.7	1.4	1.3	1.4	1.7	1.7	1.7	-	1.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	KEPIC SNC
	8	1.2	-	1.4	1.3	1.2	1.7	1.7	1.7	-	1.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	KEPIC SNC
비경 상	9	1.4	-	1.7	1.4	1.3	1.4	1.7	1.7	1.7	-	-	1.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	KEPIC SNC
	10	1.2	-	1.4	1.3	1.2	1.7	1.7	1.7	-	-	1.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	KEPIC SNC
극심한 환경	11	1.0	-	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0	-	-	KEPIC SNC
	12	1.0	-	1.0	1.0	-	-	1.0	-	1.0	-	-	-	1.5	1.0	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	KEPIC SNC
비경 상/심한 환경	13	1.0	-	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0	-	-	KEPIC SNC
	14	1.0	-	1.0	1.0	1.0	1.0	-	1.0	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0	-	KEPIC SNC
	15	1.0	-	1.0	1.0	1.0	1.0	-	1.0	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0	KEPIC SNC
비경 상/극심한 환경	16	1.0	-	1.0	1.0	-	1.0	1.0	1.2	1.2	-	-	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	-	-	-	KEPIC SNC
비경 상/극심한 환경	17	1.0	-	1.0	1.0	-	1.0	1.0	1.0	1.0	-	-	-	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	-	-	KEPIC SNC

주) 1. Ds는 D에 포함된다.
 2. 어떤 하중이 다른 하중의 효과를 감소시킬 경우 항상 존재하는 하중이거나 동시에 작용하는 하중일 경우 하중계수 0.9를 사용하고 그렇지 않을 경우 하중계수는 0을 사용한다.

구조물의 내진설계

- 지진하중과 다른 하중을 조합하여 구조해석을 수행하고, 이로부터 결정된 부재의 부재력에 저항할 수 있도록 부재의 단면 결정 및 철근 배근
- ASME Section III, Div. 2(KEPIC SNB), ACI 349(KEPIC SNC), AISC N690(KEPIC SND)

구조물 내진설계 결과

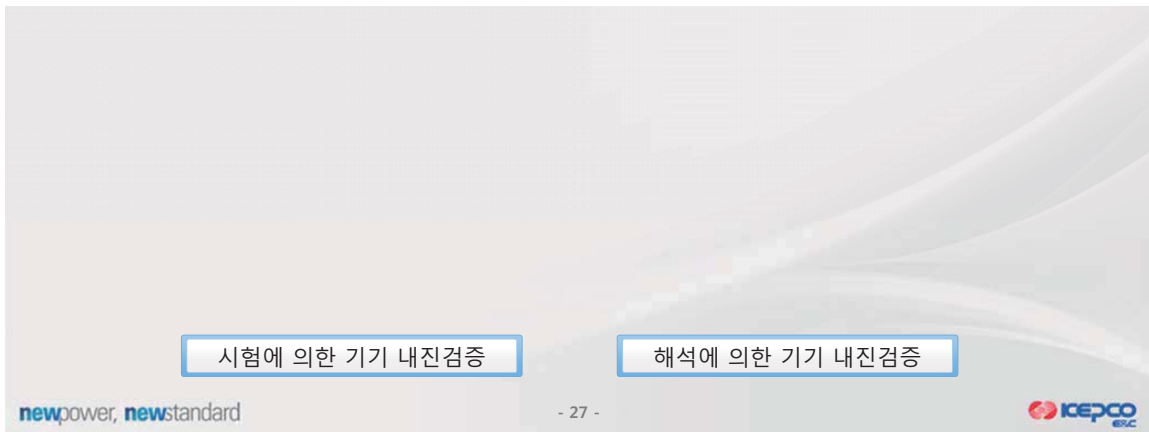
원자로건물 내부구조물 구조해석 결과

지진에 대한 구조물 안정성 검토

- 전도에 대한 검토
 - 수평 지진력이 구조물의 전도를 유발시키는 요인
- 활동에 대한 검토
 - 활동력은 수평 지진력과 구조물의 측면지반의 주동토압
- 지반지지력에 대한 검토
 - 상부하중에 의한 침하량 산정하며, 구조물 자체 또는 건물 간의 부등침하 중요
 - 부등침하에 대한 검토 (NI 구조물, 0.5in/ 50ft)
 - 시공 공정에 따른 지반의 침하량 검토
- 구조물의 기울어짐에 대한 검토
 - 기초의 부등침하와 지진시 기초의 들림에 의하여 발생
 - 구조물 내 기기의 기능/작동성에 문제없도록 기기 제작자가 제시한 허용한계 이하
 - 지진에 의한 기초슬래브의 들림이 20%를 초과할 경우 SSI 해석 재 수행 필요
- 부양에 대한 검토
 - 구조물이 지반에 깊이 매입되어 있고 지하수위가 높은 경우 발생
 - 구조물의 총 중량이 설계기준 홍수위에 의한 부력 보다 작을 경우

기기의 내진검증

- 지진하중에 대해 구조적 건전성, 내압력 건전성, 운전성 등을 입증하기 위한 기기의 성능검증 수행



국내 원전의 내진설계 및 안전성 확보

- 지진하중의 결정
 - 발전소부지에서 발생할 수 있는 최대잠재지진을 안전정지지진으로 적용
- 구조물의 내진해석 및 내진설계
 - 검증된 구조물의 해석모델을 이용한 내진해석 및 구조해석 수행
 - 일반 산업시설과는 달리 다양한 사고하중 및 하중조합을 고려한 내진설계
 - 구조물의 지진 안정성 평가
- 기기의 내진검증
 - 안전관련 기기의 내진검증시험 및 해석을 통한 내진성능 확보
- 지진 PSA/SMA 수행
 - 내진설계결과를 반영한 안전관련 기기와 구조물의 내진성능 평가, 그리고 필요한 경우 내진 보강설계 수행
- 발전소 운영절차에 따른 발전소 안전성 확보
 - 발전소 운영절차에 따라 원전 부지에서 계측지진이 OBE를 초과하는 경우 수동정지
 - 보조건물 최하층에 설치된 자동정지시스템(ASTS)에 의하여 SSE의 약 90% 수준의 지진을 초과하는 지진의 계측될 경우 자동정지

일본대지진시 일본 원전 사고경위 검토 (후쿠시마원전 사고 후속조치)

일본 원전 사고경위 분석

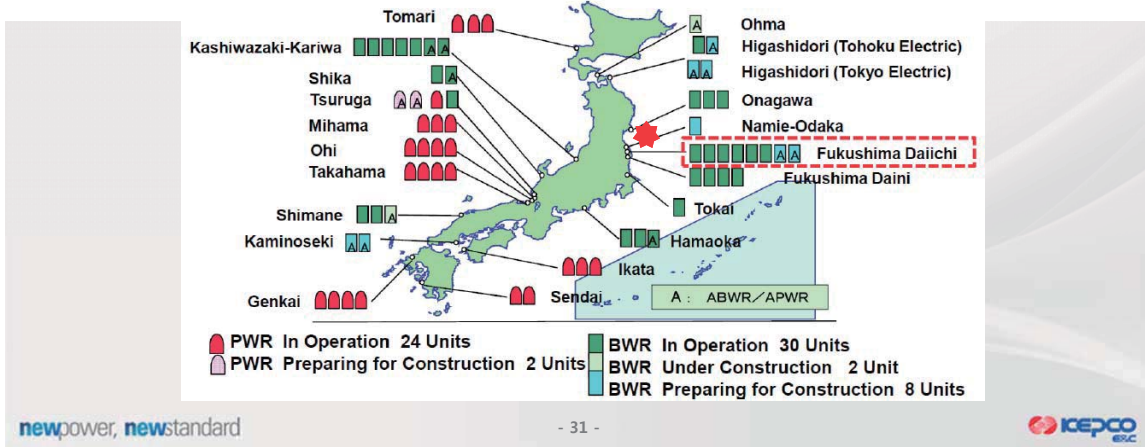
□ 일본대지진 발생시 진앙부근 일본 원전들의 내진설계 수준과 계측지진



- 후쿠시마원전 내진설계 수준
 - 설계지진수준 : 0.18g(S1), 0.37g(S2)
 - 부지고 10m
- 오나가와원전 내진설계 수준
 - 설계지진수준 : 0.25g(S1), 0.375g(S2)
 - 부지고 14.7m
- 일본대지진 발생시 부지 계측기록 :
 - 0.44g ~ 1.65g
 - 원전 내진설계 수준 초과

후쿠시마 원전 사고경위 분석

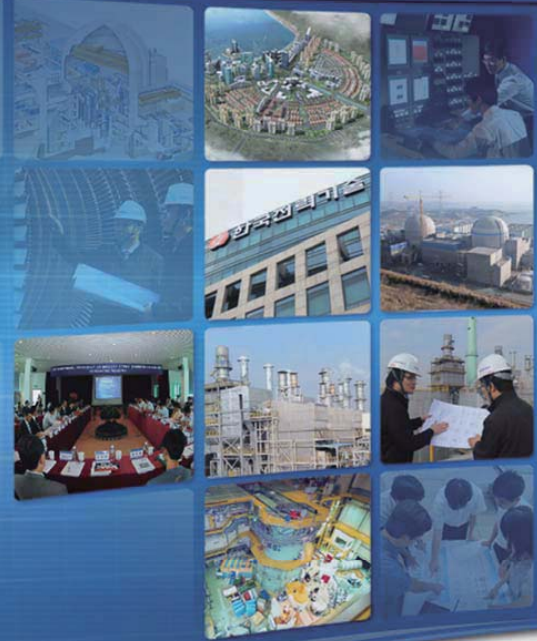
- 지진발생(일본기상청) : 2011년 3월 11일(금) 14:45분
 - 東北 지방 동쪽 약 200km, 해저 24.4km, 지진규모 : Mw 9.0(JMA)
 - 원전 정지: Onagawa(3기), Fukushima Daiichi(6기), Fukushima Daini(4기)
 - 전원공급 중단, 비상 발전기 가동 등 정상 작동
- 약 41분 후 높이 14m 쓰나미로 주요기기 침수(발전소 부지고 10m)
- 1시간 후 비상 발전기 정지, 8시간 후 배터리 전원 상실
 - 노심 잔열제거능력 상실



일본원전 사고경위 분석 및 국내원전 후속조치사항

- 일본대지진 발생 당시 진앙지 부근 일본원전 현황
 - 후쿠시마원전 6개 호기 중 1~3호기 자동정지, 4~6호기 정지상태
 - 진앙지에 근접한 나가와원전 3호기 자동정지
 - 후쿠시마원전은 지진의 영향으로 소외전력이 상실되어 비상디젤발전기를 전력공급 시작 이후 41분에 쓰나미로 인한 침수로 전원 상실
 - 오나가와원전은 5개의 소외전원이 작동 가능하였으며 손상이 없었음
- 일본대지진의 발생에도 불구하고 지진으로 인해 원전에 직접적인 사고가 발생한 경우는 없음
 - 후쿠시마원전 사고는 지진발생 이후 쓰나미로 인한 침수 때문에 소외전원, 비상디젤 발전기, 배터리의 전원상실로 노심 잔열제거능력 상실
 - 쓰나미의 피해가 없었던 오나가와원전은 대지진에도 불구하고 안전성 유지
- 후쿠시마원전 사고 이후 국내 원전의 후속조치사항
 - 해안방벽 증축, 이동형 발전차량 및 축전지 확보, 피동형 수소제거기 설치 등 후속조치 완료
 - IAEA에서는 후쿠시마원전 사고 이후 한국의 대응조치가 신속하고 효과적이며 대중과 이해관계자가 함께한 높은 수준의 조치였다고 평가

감사합니다.



newpower, newstandard
 KEPCO
E&C

9

**신뢰 확보를 위한 원자력
안전 규제**



신뢰 확보를 위한 원자력 안전 규제

2016. 11. 4

포스텍 첨단원자력공학부
김무환

순서



- 1 원자력 안전 규제의 목표 및 활동
- 2 후쿠시마 사고의 재 방문
- 3 Vienna Declaration
- 4 현재 그리고 앞으로 우리가 할 일



포항공과대학교 2상유동 연구실 *Two-Phase Flow Laboratory*

1 원자력 안전 규제 목표 및 활동



원자력 안전 규제 목표

• 원자력 안전

- 원자력의 생산과 이용에 따른 방사선재해 등의 각종 위험으로부터 국민과 자연환경을 보호하는 것
- 원자력 발전사고 또는 방사선 누출 사고방지와, 사고가 발생 한 경우에 피해 경감

Fundamental; objective of RB

- Ensure that nuclear licensees operate their facilities at all times in a safe manner
- To do the right thing well and efficiently



원전 건설에서 해체까지의 규제



2 후쿠시마 사고의 재 방문



Peter B. Lyons's talk at NUTHOS-11



- **Fukushima was a product of multiple factors**
 - Japanese regulator was not independent of industry.
 - Safety culture in Japan was not adequate
 - At most basic level, Fukushima event was a Station Blackout
- **Post Fukushima, NRC further strengthened regulatory requirements**
 - Station Blackout preparations further strengthened
 - Instrumentation for spent fuel pools required.



Haruki Madarama's talk at NUTHOS-11



Lessons learned(1)

- In the safety analysis, deterministic/probabilistic, we must take every possible event in consideration. The large uncertainties cannot be the reason to exclude the event from the consideration.
- Tsunami countermeasures were not discussed widely.
(The concern of TEPCO and NISA was not informed to NSC.)

Why severe accident measures were insufficient?

- Severe accidents were studied widely in Japan, but there were no regulatory requirements.
- Few people believed severe accident would actually happen (safety myth).
- Some people believed that the recognition of severe accidents would be misinterpreted as non-satisfaction of DBA-based regulation.
- They claimed, "litigation risk is higher than actual accident risk."



Lessons learned(2)

- We should have improved the regulation system with making use of the research results (research for research was meaningless).
- The disaster occurs any time, so I had to make regulation changes as soon as possible.
- I tried my best to change Japanese safety standard so as to satisfy the international obligations.
- Before worrying about the litigation risk, NSC should have presented the requirements for adequate safety.
- The severe accident researchers' knowledge was not utilized unless the decision makers' comprehension. It is important to build up a system for advising their knowledge to the decision makers.

요시다 조서

요시다는 오전 6시 42분에 지시를 했다. “구내 저 방사선량 지역에서 대피한다. 이후, 본부에서 이상이 없는 것을 확인한 후 복귀토록 하겠다.”

그런데 그 무렵, 먼진 중요동 앞에 준비되어 있던 버스에 탑승한 650명은 요시다의 지시와 달리 후쿠시마 제 1원전 주변의 방사선량이 낮은 곳이 아니라 10km 남쪽 후쿠시마 제 2 원전을 향하고 있었다.

3

Vienna Declaration



Vienna Declaration (New nuclear power plants)

New nuclear power plants are to be designed, sited, and constructed, consistent with the objective of preventing accidents in the commissioning and operation and, should an accident occur, mitigating possible releases of radionuclides causing long-term off site contamination and **avoiding early radioactive releases or radioactive releases large enough to require long-term protective measures and actions**



Comprehensive and systematic safety assessments are to be carried out periodically and regularly for existing installations throughout their lifetime in order to identify safety improvements that are oriented to meet the above objective. **Reasonably practicable or achievable** safety improvements are to be implemented in a **timely** manner.



4

현재 그리고 앞으로 우리가 할 일

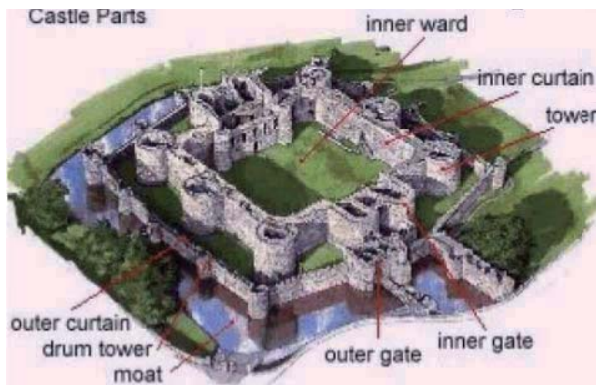


원자력의 사회적 특성과 규제 필요성



심층방어 개념

□ 성(Castle)의 설계와 위치 선정에서 부터 적용



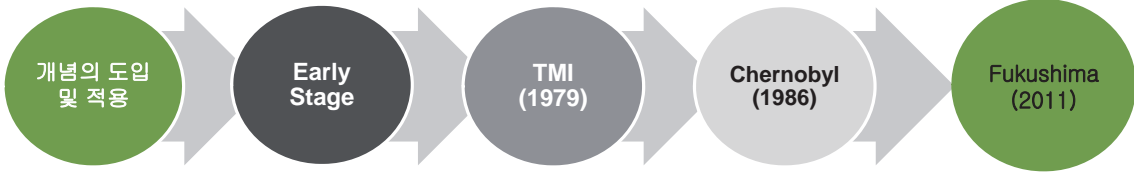
□ 군사 전략 수립에 활용

- 다중방벽과 다양한 방위 수단
- ◆ 활과 창, 보병과 기병, 끓는 기름과 돌 등

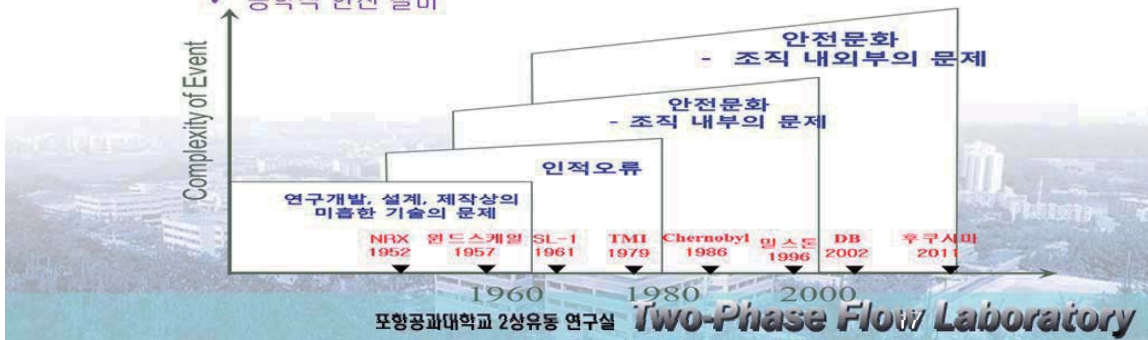
□ 그러나, 방위군의 역량이 성패를 좌우

- 조직, 문화, 리더십

심층방어의 진화



- 운영 경험의 반영
- 기본 안전 원칙: 냉각, 제어, 차폐
- 보수적 설계
- 제어계통
- 공학적 안전 설비
- 사고관리
- 증상기반 비상절차서
- 소내외 비상대응
- 공학적 DiD 미비
- 조직적 취약점: 규제, 안전문화
- 외부 극한 재해 지평가
- 제도적 취약점: 의사결정, 규제 독립성



심층방어 개념의 확장



•공학적 건전성

•인적·조직적 건전성

•제도적 건전성

•후쿠시마 이전 Technical Defense-in-Depth
•[물리적 공학적 방벽]

•후쿠시마 + 국내 사건의 교훈
•Technical + HOF/SC
•[조직적 인적 방벽]

•국내외 사건의 교훈
•Tech. + HOF/SC + 상호검토/소통
•[제도적 방벽]

•HOF / SC : Human Organizational Factor / Safety Culture

포항공과대학교 2상유동 연구실 Two-Phase Flow Laboratory

공학적 건전성 (안전설계 원칙)



•다중성

- 같은 기능을 가진 설비를
- 2개 이상 중복 설치

•다양성

- 한가지 기능을 달성하기 위해
- 성질이 다른 계통이나 기기를
- 2개 이상 설치

•독립성

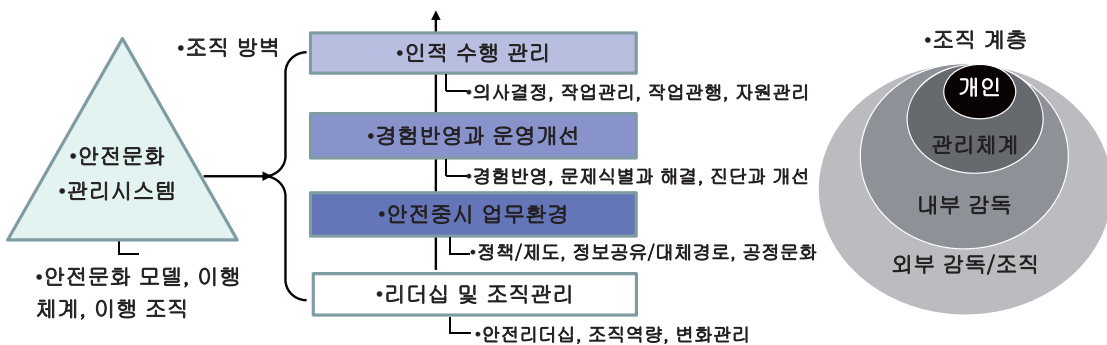
- 2개 이상의 계통, 기기가
- 한가지 원인에 의해 기능이
- 상실되지 않도록 분리설치

포항공과대학교 2상유동 연구실 **Two-Phase Flow Laboratory**

인적·조직적 건전성 (안전문화)

□ 안전문화 규제 감독

- 종사자, 조직, 안전 문화에 대한 지속적인 관찰과 평가를 통해 안전 행동양식의 강화와 그에 따른 문화적 변화의 지속성을 목표



□ 검사제도 개선

- 기기 중심 검사에서 탈피, 이행 프로세스와 practice의 점검
- 종합적 원전 안전성 평가

포항공과대학교 2상유동 연구실 **Two-Phase Flow Laboratory**

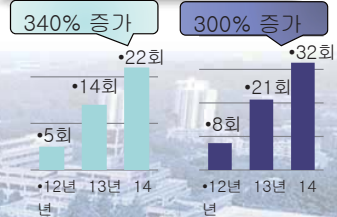
제도적 건전성 (규제 체계)

- 규제 독립성 · 효과성 향상
 - 원자력안전위원회 설립('11.10) 및 지원 체계 보강
 - IAEA 통합규제검토서비스(IRRS) 수검('11.7) 및 후속수검('14.12)
- 정책/제도적 대책 마련
 - 제1차 원자력안전종합계획 수립 (2012-2016)
 - [국정과제] 원자력안전관리체계 구축
 - 원자력안전법 개정
- 국제 공조 전략
 - IAEA 기준 : 원자력안전기준안 개발계획 (2012-2016)
 - 한-중-일 3국 협조체계 구축, 합동 방재 훈련('14)
- 공개 · 소통 · 참여
 - 원자력안전 실명제, 심사보고서 공개
 - 지역사무소, 지역별 협의회, 정책조정 협의회
 - 특별조사 및 ST 민간 참여



• IAEA 사무차장,
• “2011년 도출 사항의 체계적·종합적 해결을 통해 원자력 안전규제체계 개선에 큰 성과”
• IRRS 후속수검 종료회의

• 주민설명회 및 간담회



최근 원자력 현안과 교훈

• 후쿠시마 사고

- ❖ 원자력 사고의 전지구적 영향
- ❖ 안전신화와 자만심의 경계
- ❖ 자발적 안전 향상 노력의 중요성
- ❖ 규제기관의 독립성과 전문성

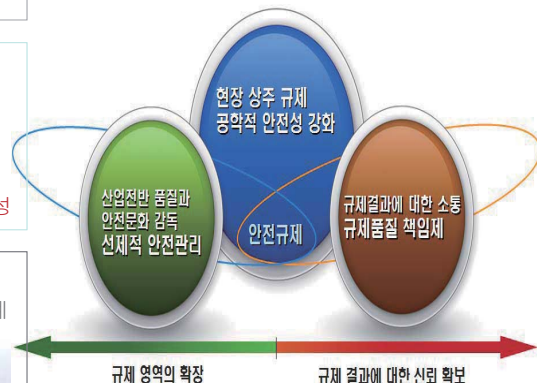
• 정전은폐 사건

- ❖ 내부 감독 시스템의 한계
- ❖ 원자력안전에 대한 신뢰 회복의 어려움
- ❖ 안전 관련 조직 의사결정 체계의 문제
 - (안전보다 국민여론)
- ❖ 안전문화와 경영진 안전 리더십의 중요성

• 품질 문서 위조

- ❖ 작은 노력을 소홀히 한 결과 : 나비 효과
- ❖ 산업계 자율 책임 제도(규제완화)의 한계
- ❖ 효율(성장)중심에서
 - 안전(기본) 최우선 사회로 변화

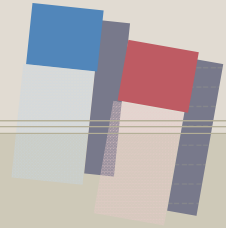
원전 안전에 대한 규제기관의 역할 강화 요구





10

사용후핵연료 해법



사용후핵연료 해법



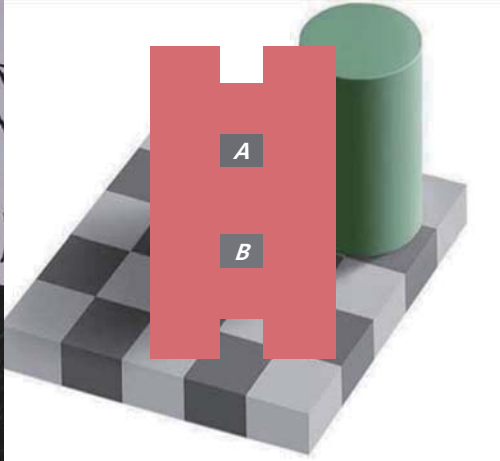
"The trouble with most folks isn't so much their ignorance, but in knowing so many things that ain't so."

"보통 사람들의 문제는 모른다는 것이 아니고 잘못된 내용을 너무 많이 알고 있다는 것이다."

(Josh Billings, 19세기 코미디언)



Fact vs. Truth



3



사용후핵연료를 기준으로 한 발생전망으로 사용후핵연료 처리·처분은 향후 원자력진흥위원회의 심의·의결에 따라 결정

기존발생량

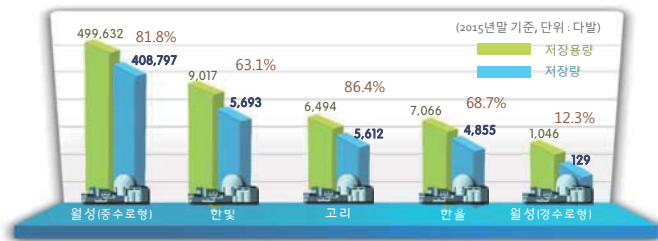
• 2015.12월말 기준, 경수로형 원전 16,297다발, 중수로형 408,797다발 발생

향후 발생량 전망

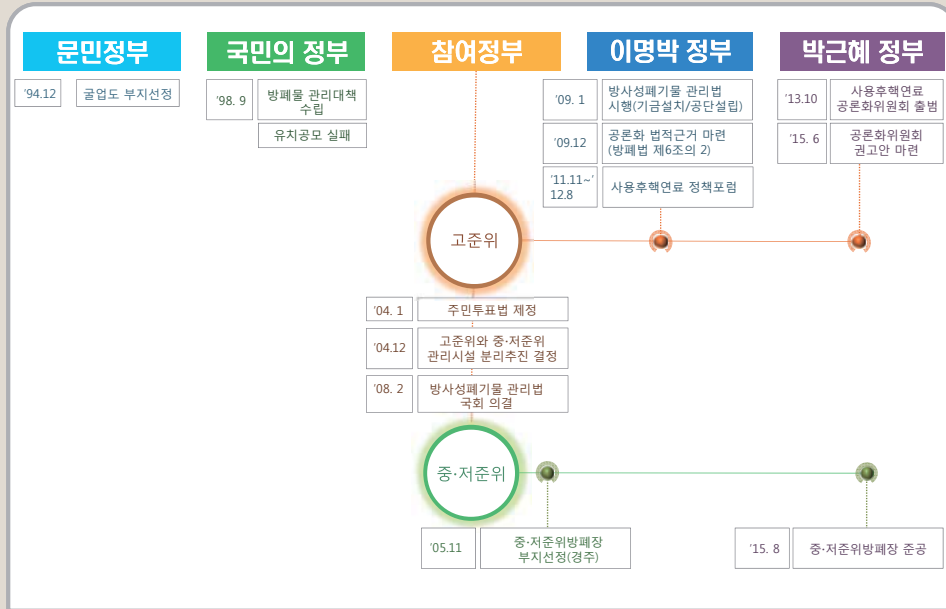
• 2016년 이후 경수로형 73,110다발, 중수로형 255,840다발 발생 예상
※ 기본가정 : 제7차 전력수급기본계획에 반영된 신규원전 2기를 포함, 총 36기는 최초 가동연한까지만 운영하는 것으로 가정

저장용량 포화시점

• 중수로형 월성원전은 2019년부터 포화가 예상되고, 경수로형 원전은 한빛(2024년), 고리(2024년), 한울(2037년), 신월성(2038년) 순으로 포화 예상
※ 고리1호기 영구정지(2017. 6월), 부지 내 이송 등에 따라 포화년도 변동 가능



역대 정부의 방사성폐기물 관리정책



그간의 준비과정

- 2004.12.17: 제253차 원자력위원회

 - 중·저준위방사성폐기물과 고준위방사성폐기물 관리시설을 분리하여 추진키로 의결하였으며, 2005. 8월 중·저준위방사성폐기물 처분부지를 선정하고 2015. 8월 시설 준공
- 2009.12월: 공론화추진을 위한 법적 근거 마련

 - 방사성폐기물관리법 제6조의2(공론화 등)에 공론화의 정의와 공론화 위원회 기능 등 명시
- 2011.11월~2012. 8월: '사용후핵연료 정책포럼' 운영

 - 사용후핵연료 관리방향과 공론화 과정에 대해 관계 전문가와 이해관계자의 의견을 청취·논의
 - 위원장 1인을 포함, 총 23명의 위원으로 구성하였으며, 관리대안 검토분과와 공론화방안 검토분과를 설치·운영
 - ※ 공론화의 조속한 착수, 관련 규제기준의 법제화, 공론화위원회 핵심의제 등을 권고

그간의 준비과정 (계속)

4 2013.10월~2015.6월: '공론화위원회' 운영 및 권고안 제출



- 타운홀미팅과 공론조사 등 다양한 의견수렴 프로그램을 활용하여 일반국민, 원전소재지역주민, 이해관계자의 의견을 충실히 수렴
- 공론화 위원회는 약 20개월간의 의견수렴 결과를 정리, 대정부 권고안을 제출(2015. 6.29)

타운홀미팅



국회 토론회



공론조사



5 2015.7월~2016.4월: '기본계획수립TF' 구성·운영



- 학계, 유관기관 소속 전문가, 관계부처, 변호사 등 전문가 50인이 기본계획(안)을 심층검토

기본계획 개요

기본계획 수립근거

- 방사성폐기물관리법 제6조(방사성폐기물 관리 기본계획)

기본계획의 성격

- 고준위 방사성폐기물의 관리원칙과 방향을 제시하는 최상위 법정계획
- 관리사업자는 기본계획에 따라 매년 방사성폐기물 관리에 관한 시행계획을 수립·시행(방사성폐기물관리법 제7조)

기본계획 수립절차

- 산업통상자원부장관이 수립하고, 원자력진흥법 제3조에 따른 원자력진흥위원회(위원장: 국무총리)가 심의·의결

기본계획 작성항목

- ①고준위 방사성폐기물 관리 기본정책, ②발생현황과 전망, ③부지선정 등 시설계획, ④투자계획, ⑤국민이해증진, ⑥기술개발에 관한 사항 등

정책방향

- 인허가용 지하연구시설(URL), 중간저장시설, 영구처분시설을 하나의 부지에 단계적 확보
 - 과학적 부지조사와 민주적 방식에 의한 부지선정 추진(약 12년 소요예상)
 - 부지확보 이후 중간저장시설 건설(약 7년 예상)과 인허가용 URL 건설·실증연구(약 14년 예상) 동시 추진
 - 인허가용 URL에서 실증연구 이후 영구처분시설 건설(약 10년 소요)
 - 중간저장시설 가동 이전에는 불가피하게 원전부지에서 사용후핵연료 관리



- 국제협력을 기반으로 국제공동저장·처분시설 확보 노력 병행



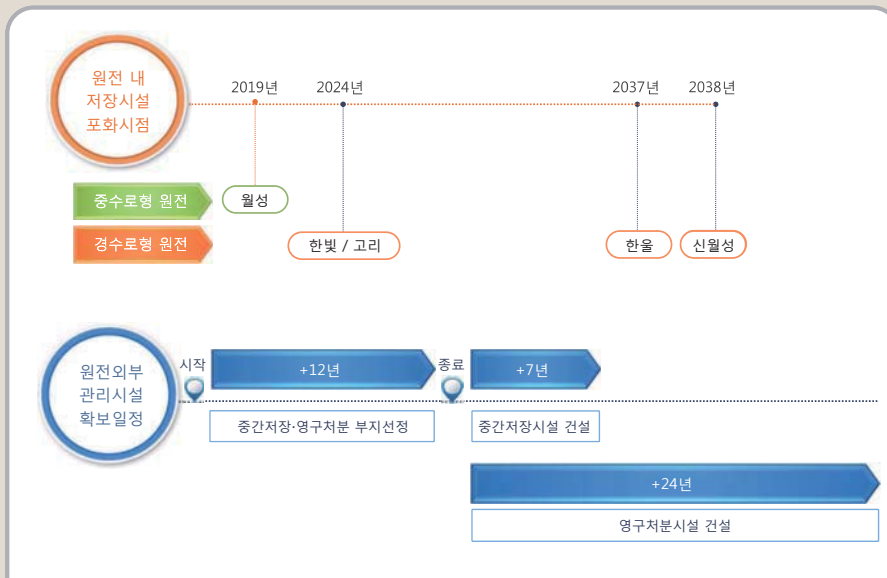
- 안전성과 경제성을 모두 지향하는 핵심 관리기술을 적시에 확보



- 관리시설 운영 정보의 상시 공개와 지역주민과의 지속적 소통 전개



참고 향후 고준위방사성폐기물 관리정책 추진일정



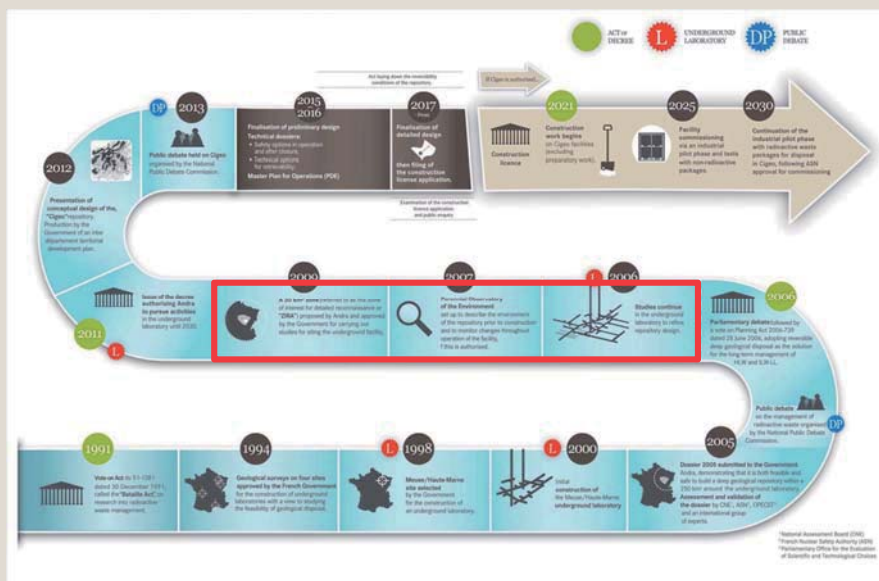
1991 – Initial input data for the Road-Map

- ❑ **First law : The 1991 Waste Act**
 - ❑ Creation of « Andra » as a public independent body
 - ❑ 3 research directions for High Level Long-lived Waste: P/T; long term storage; geologic disposal (reversible or not)
 - ❑ 1 main milestone : after a period of 15 years the Government should submit to the Parliament
 - ❑ A evaluation report on research outcomes
 - ❑ A project of a new law for RWM
 - ❑ Sub-milestones : a yearly report on the progress
 - ❑ On each research directions in France
 - ❑ On R&D outcomes from overseas program
 - ❑ And for Andra, as URL's are to be developed,
 - ❑ Public consultation must be organized prior initial site investigations
 - ❑ URL construction application(s) must be compliant with applicable legislation(s), including EIA, positions of the cities, district and region councils and report of a public enquiries,
 - ❑ The demonstration that the applicant has the technical and financial ability to construct, operate and dismantle the facilities.

DINT/16-0208

Korad/Andra Workshop Oct. 2016

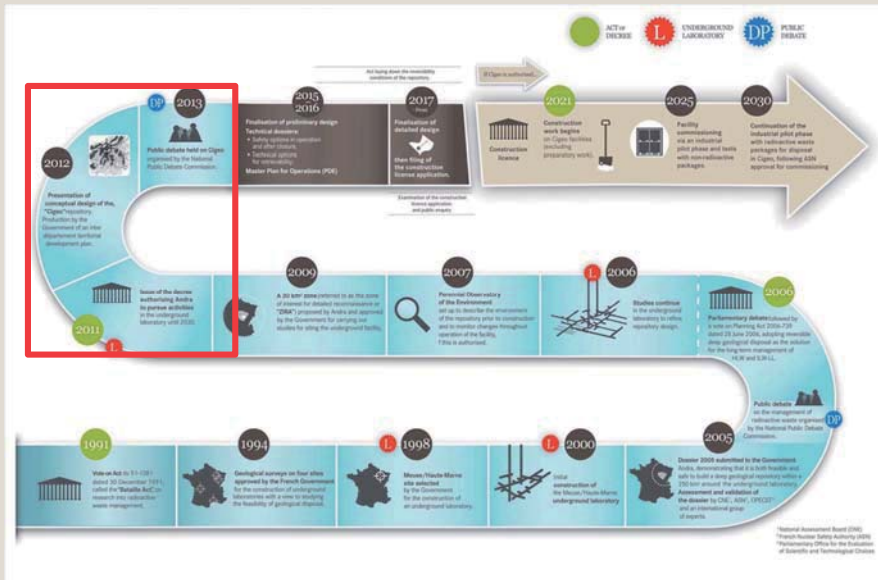
2006 - 2010 : launching the industrial phase of the project



DINT/16-0208

Korad/Andra Workshop Oct. 2016

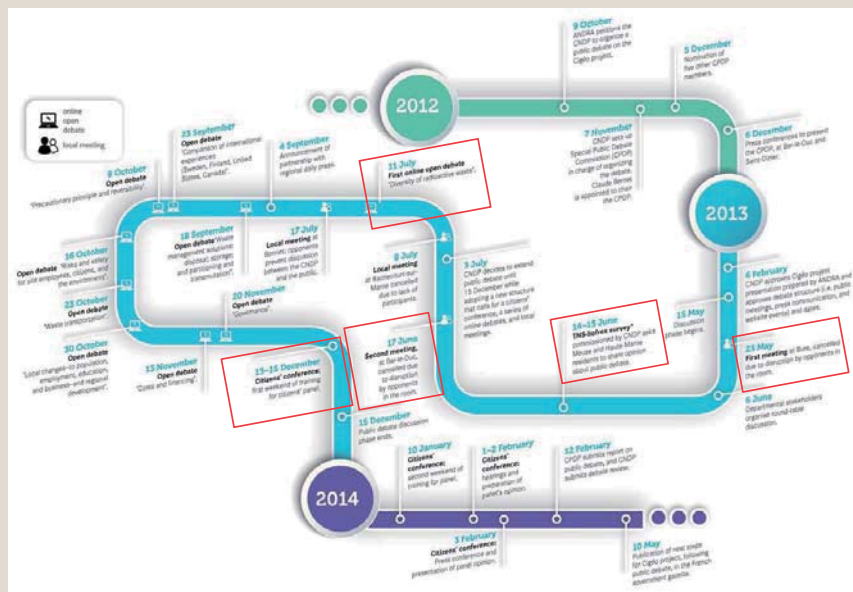
A bit of history ... and future



DINT/16-0208

Korad/Andra Workshop Oct. 2016

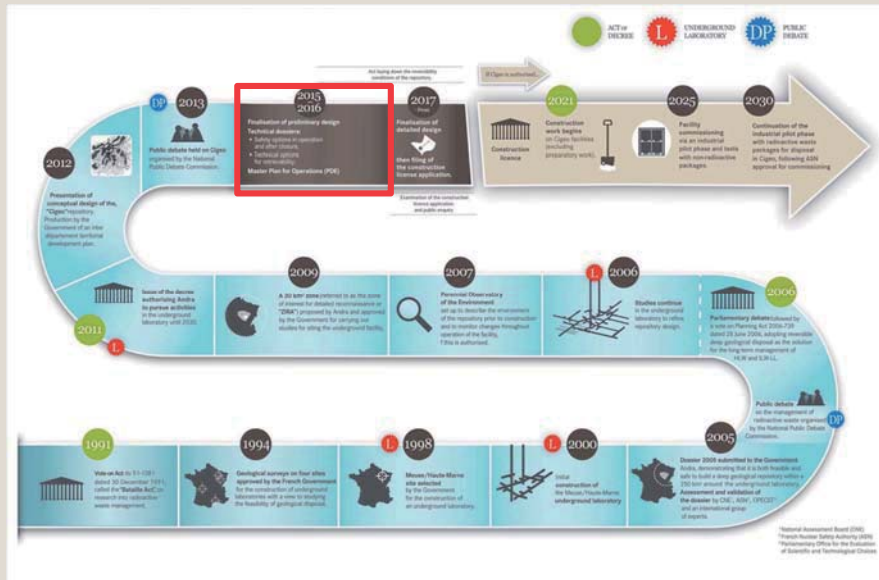
Chronology of the public debate



DINT/16-0208

Korad/Andra Workshop Oct. 2016

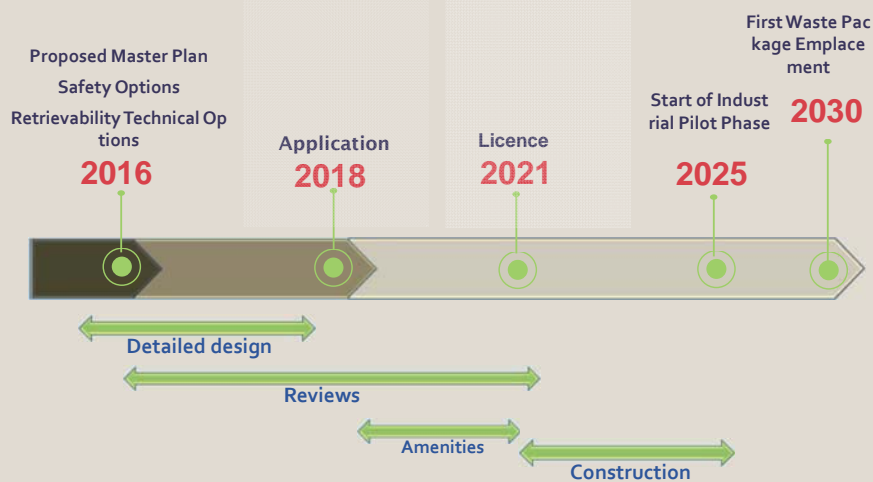
A bit of history ... and future



DINT/16-0208

Korad/Andra Workshop Oct. 2016

Forecast schedule



DINT/16-0208

Korad/Andra Workshop Oct. 2016

Keys to save time and money

- A extraordinary long project (30 yrs ~ 1 generation):
 - Clear Political framework and decision making process (a road map, since 1991, supported by 3 laws), independent review bodies
 - Clear and stable organization (working plan, who is doing what...), updated on a regular basis, who evaluate the work and who decides
 - Clear and readable definition of the requirements, Iterative approach, internal milestones and project reviews, suited to the corresponding development phase of the project
 - Clear and adequate funding
 - National and International reviews, international cooperation, close relation with national academic/R&D groups, laboratories, universities
 - URLs are key elements in the overall strategy,
- but not only...
 - Communication, public and stakeholders involvement are paramount

No instant solution , any (new) project will be unique and specific !

DINT/16-0208

Korad/Andra Workshop Oct. 2016

사용후핵연료 중단기 안심 관리 방안 도출

□ 연구 배경 및 목적

- 원전에서 발생하는 사용후핵연료의 저장 용량이 점차 포화되고 있음에 따라 사용후핵연료의 안전한 중단기 관리방안 수립이 시급한 현안 과제로 부상.
- 2015년 사회적 합의를 통한 공론화 권고 보고서 발간, 2015년 한미 원자력협력협정 개정을 통한 사용후핵연료 관리 방안 한미 협력 체제 구축, 2016년 사용후핵연료 관리 기본 계획 발표를 통한 장기 로드맵 확정 등 사용후핵연료 관련 환경 변화 고려 필요.
- 사용후핵연료의 보관과 영구처분 방안 및 관리 장소에 대한 우려로 국민 수용성 문제가 크게 부각되고 있어 사용후핵연료의 안심 관리 방안을 장기와 중단기적인 측면에서 심도 있게 고찰해볼 필요가 있음.
- 본 연구는 주로 사용후핵연료의 중단기적인 안심 관리 방안 도출에 필요한 전략을 수립함을 목적으로 함.

연구 업무 및 내용

- **역무1: 사용후핵연료 관리 정책 분석 및 기본계획에 따른 관리 시나리오 평가**
 - 국내외 사용후핵연료 중단기 관리 현황 및 문제점에 대한 분석
 - 사용후핵연료 관리 기본계획을 토대로 가능한 중단기 시나리오 도출
 - 각 시나리오별 경제성, 안전성 및 수용성 등을 평가
- **역무2: 중단기 안심관리 방안 수립을 위한 로드맵 제시 및 추진체계 도출**
 - 방안 수립을 위한 국산화 및 기술개발 로드맵 제시
 - 다자간 협력 등 적용 가능한 관리 방안 도출
 - 한미 협력 등을 고려한 방안의 최적 추진체계 도출을 위한 요소 분석
- **역무3: 사용후핵연료 수송 건식저장 방안 및 안전 기준 검토**
 - 사용후핵연료의 수송, 건식저장에 대한 기술 기준 검토
 - 사용후핵연료 건식 저장 시설 및 부지에 대한 안전 기준 검토
 - 사용후핵연료 수송, 건식 저장 방안 및 관련 용기 확보 방안 제시
- **역무4: 국내 사용후핵연료 중단기 안심 관리 방안 제안**
 - 사용후핵연료 안심 관리 방안의 추진 전략 도출
 - 사용후핵연료 안심 관리 방안의 경제성, 기술성 및 핵비확산성 평가
 - 관리 방안의 적기 추진을 위한 선도적 인허가 체계 제시
- **역무5: 사용후핵연료 관련 수용성 증진을 위한 대응 논리 개발**
 - 사용후핵연료 관련 NGO나 언론 등의 관심 사항 수집 분석
 - 대응 논리 개발 전문가 그룹 조직 및 운영
 - 책자(가칭 "사용후핵연료의 진실") 발간
- **역무6: 사용후핵연료 저장방식에 따른 냉각능력 평가**
 - 사용후핵연료 습식 저장 방식의 사례조사 및 냉각능력 평가
 - 사용후핵연료 건식 저장 방식의 분석 및 냉각능력 평가

사용후핵연료 처분 장기 대안 연구

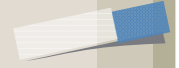
- **연구 배경 및 목적**
 - 2015년 사회적 합의를 통한 공론화 권고 보고서 발간, 2015년 한미 원자력협력협정 개정을 통한 사용후핵연료 관리 방안 한미 협력 체제 구축, 2016년 사용후핵연료 관리 기본 계획 발표를 통한 장기 로드맵 확정 등 사용후핵연료 관련 환경 변화 고려 필요.
 - 후행 핵연료주기 분석을 통한 사용후핵연료 장기관리 전략 도출 필요.
 - 사용후핵연료 관련 정책적 불확실성 대비한 시나리오 개발 및 기술성/경제성/정책성 분석을 기반으로 전략 제안 필요
 - 사용후핵연료 또는 고준위방사성폐기물의 안전한 처분을 위한 방법으로 지난 수십년간 심층처분(*Deep geological disposal*) 방식이 고려되어 왔으나, 장기간 안전성에 대한 연구는 완료되지 않은 상황임.
 - 심층처분 방식과 병행으로 혹은 대안으로 심부시추공 처분(*Deep borehole disposal*)이 고려되고 있으며, 정부의 고준위방사성폐기물 관리 기본 계획(안)(2016. 5)에서 이에 관한 연구를 진행하는 계획을 설정한 바 있음.
 - 심부시추공 처분 기술 이력과 현안을 조사 및 정밀 분석하여 국내 실정에 부합하는 지질, 기술 요건을 정의하고 이를 바탕으로 시나리오 제시 및 연구 수요를 도출하고자 함.

연구 역무 및 내용

- **역무1: 후행 핵연료주기 정책 환경 및 전망 분석**
 - ▣ 국내외 후행 핵연료주기 정책의 현황 파악, 정책 환경 검토
 - ▣ 국내 여건 및 관련 정책의 변화 추이를 고려한 장단기 전망 분석
- **역무2: 후행 핵연료주기 시나리오 도출 및 평가**
 - ▣ 해외 위탁 처분이나 통일 등을 고려한 적용가능한 시나리오의 도출
 - ▣ 적용가능 시나리오의 기술성 평가
 - ▣ 적용가능 시나리오의 경제성 평가
- **역무3: 시나리오별 장기추진 전략 제안**
 - ▣ 기술성/경제성 분석 결과를 기반으로 장기추진 전략 제안 작성
 - ▣ 전문가 참여 워크숍 및 자문을 통한 최종 전략 제안
 - ▣ 원자력 포럼의 관련 분야에서의 논의 및 피드백 반영
- **역무4: 사용후핵연료 심부시추공 처분 기술 현황 조사 및 분석**
 - ▣ 전세계 시추공 처분 기술 개발 이력, 실적, 연구 현황 조사 및 정밀분석
 - ▣ 심지층 처분 대비 장단점 분석
- **역무5: 국내 여건에 부합하는 사용후핵연료 심부시추공 처분 방안**
 - ▣ 부지 선정에 있어서의 지질, 수리, 역학적 요건 분석
 - ▣ 심부 시추 기술 요건 분석
 - ▣ 시추공 심도, 수량, 간격 등 시나리오 제시
 - ▣ 정책 및 기술 개발 연구 수요 도출 및 제안

기후변화시대 한국 에너지 정책에 대한 리처드 물러 교수의 제안

- '대통령을 위한 물리학 (Physics for the Future President)' 및 '대통령을 위한 에너지 강의 (Energy for the Future President)'의 저자
- 에너지 안보 (Energy security)와 환경지속성 (Sustainability)이 21세기 에너지 정책의 중요한 두 축이 될 것이라고 미래 대통령에게 조언
- 원자력 안전의 담보가 가장 중요



**Thank you
for your attention!**

