

원자력 산업의 진흥을 저해하는 LNT

2025. 05. 21.

박 상덕

서울대학교 원자력정책센터

발표 순서

- 과학의 역할과 인류의 당면 과제
- 당면 과제 해결을 방해하는 LNT
- 원자력 산업에 미치는 영향
- 호메시스
- 국제기관의 LNT 폐기 주장
- 제언

과학과 과학의 역할

과학 : 세상을 이해하고 변화시키며 인류의 삶을 풍요롭게 하는 끊임없는 탐구 과정

과학의 역할 : 인류의 지속가능한 미래를 만들어가는 핵심 동력

인류의 당면과제

UN 지속가능 발전 목표



기후위기 대응

기후위기 대응 최적 수단은?

원전 환경영향평가 결과

자료=EU 합동연구센터

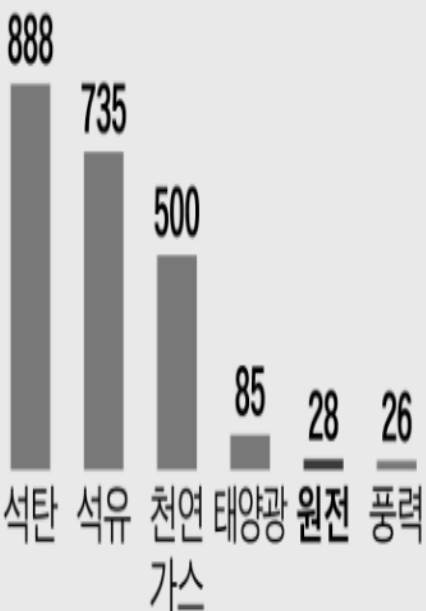
에너지원별 중대 사고 치명률

단위: 명, 전력 생산 1조 kWh당 사망자 수

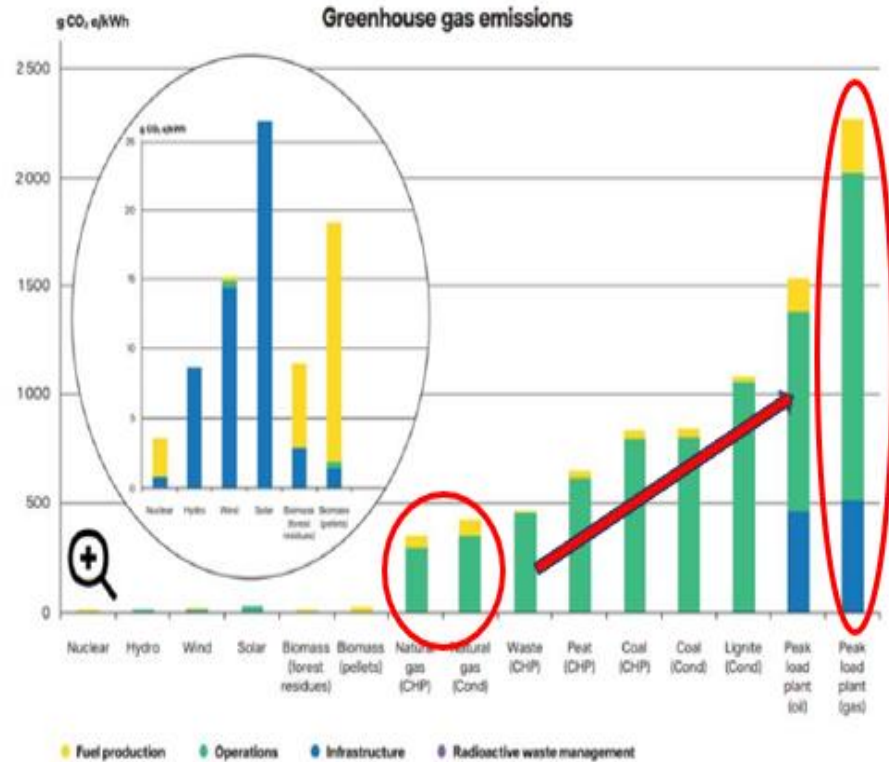


에너지원별 온실가스 배출량

단위: GWh당 t



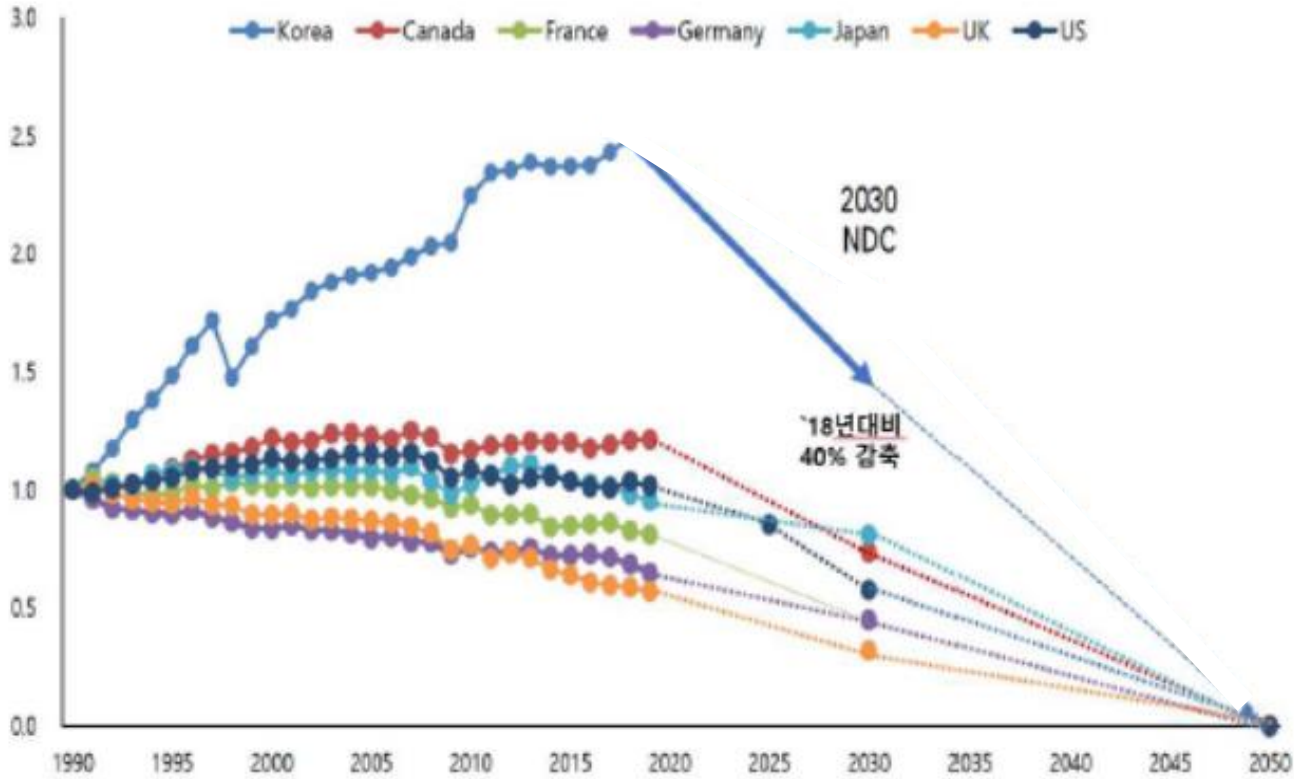
간헐성 보완



자료 : Vattenfall

우리나라 기후위기 대처 상황과 재생에너지 선두주자 독일의 현실

< 주요국 탄소중립 목표 ('90년배출량=1 기준)>



자료: KEEI(2021)



글로벌이코노믹

<https://m.g-enews.com>, 글로벌비즈, 유럽 ;

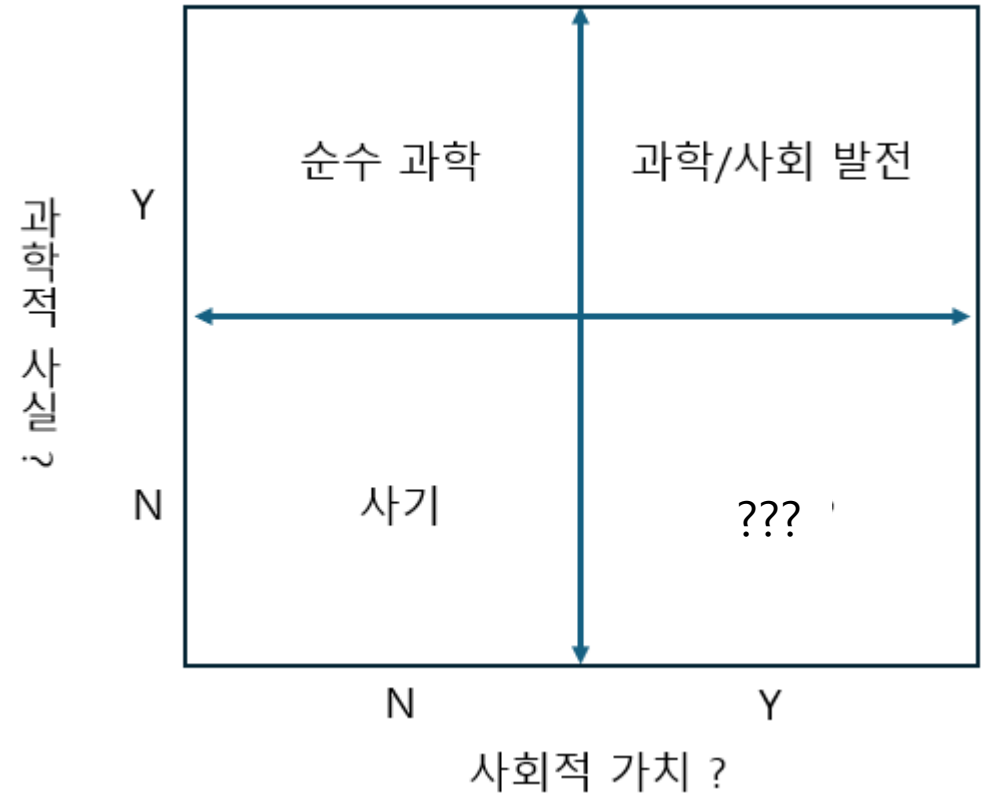
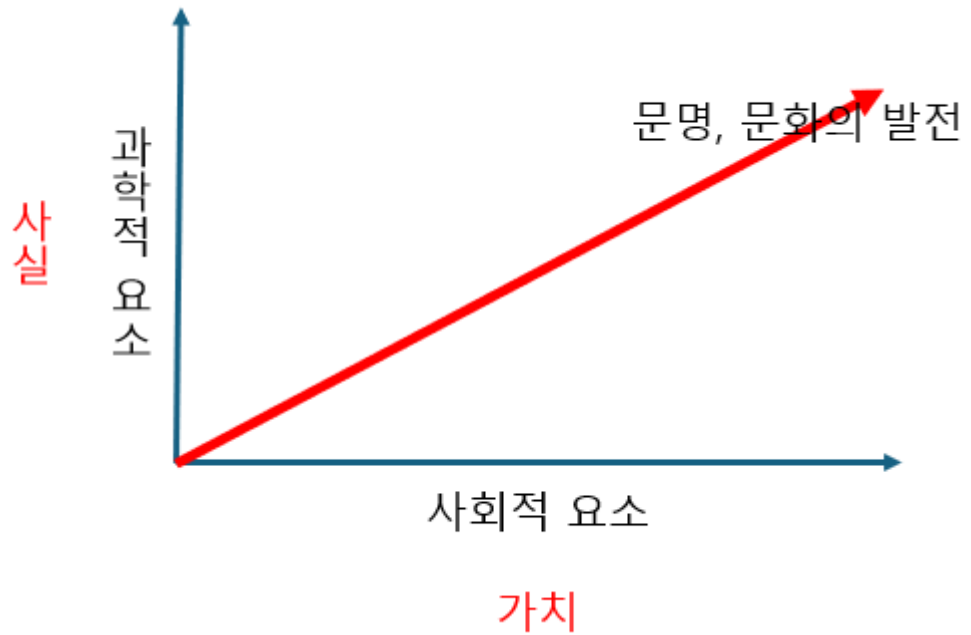
독일 원전 폐지, 20여 년 동안 888조4500억원 추가 비용 불러

2024. 9. 3. — 이는 연간 평균 약 44조 원(300억 유로)에 해당하는 금액으로 독일 재정에 큰 부담이 되었다. 더욱 충격적인 것은 이런 막대한 비용 투자에도 불구하고...

만약 독일이 원전을 유지하면서 신규 원전에 투자했다면, 약 488조6475억 원(3300억 유로)를 절약하고도 73% 더 많은 탄소 배출량을 줄일 수 있었을 것이라고 분석했다.

인류 당면 과제 해결을 방해하는 LNT

과학 평가 원리



플라톤 : 테크네" (τέχνη)

- **이데아에 따라 올바르게 행위하는 방법을 아는 것**
이데아 : 사물이나 개념의 참된 본질, 영원하고 변하지 않는 실재
- 단순한 기능(skill)이 아니라,
도덕적 목적에 복무服務하는 이성적 활동

초기 LNT : 사실요건 불만족

➤ 최초 주창자 멀러

1927년 사이언스에 게재된 노벨상 수상 논문("ARTIFICIAL TRANSMUTATION OF THE GENE")

- 일반적인 **논문의 요건을 갖추지 못함**

과학 논문은 실험 재료와 방법, 실험 결과와 도표, 실험에 관한 고찰, 참고로 한 문헌을 제시하여 다른 사람이 실험을 재현할 수 있어야 하나 그런 내용이 전혀 없음

- 실험 방사선량도 Sv
- 석유 재벌과의 연계?

➤ 미국 과학 아카데미 권고

1956년 6월 사이언스지 123호에 LNT 권고 논문, 'Genetic Effects of Atomic Radiation'을 게재

- Scientific American **잡지의 직원이 작성**했으며 유전학 위원회 회람도, 동의도 없었음

현재 LNT : 사실은 불명확, 가치에는 무관심

2023 INWORKS

Supplementary table C. Estimates of excess relative rate (ERR) per Gy for death due to solid cancer in INWORKS. Analyses on restricted dose ranges.

Restricted dose range	Deaths	ERR per Gy [†]	90% CI	LRT	<i>p</i>
No restriction	28,089	0.52	0.27 to 0.77	13.28	<0.001
<400 mGy	27,960	0.63	0.34 to 0.92	13.49	<0.001
<200 mGy	27,429	0.97	0.55 to 1.39	15.69	<0.001
<100 mGy	26,283	1.12	0.45 to 1.80	7.82	0.005
<50 mGy	24,518	1.38	0.20 to 2.60	3.74	0.05
<20 mGy	21,293	1.30	-1.33 to 4.06	0.66	0.42

10 year lag assumption.

P is the *p*-value for the reported likelihood ratio test (LRT) statistic, and is evaluated under a Chi-square distribution with 1 degree of freedom.

[†]strata: country, age, sex, birth cohort, socioeconomic status, duration employed, neutron monitoring status.



원자력 종사자 30만명 역학조사...“저선량 방사선 노출도 발암 위험”

최대 규모 국제공동연구 조사 결과
전문가 “안전한 기준치 없다 입증한 것”

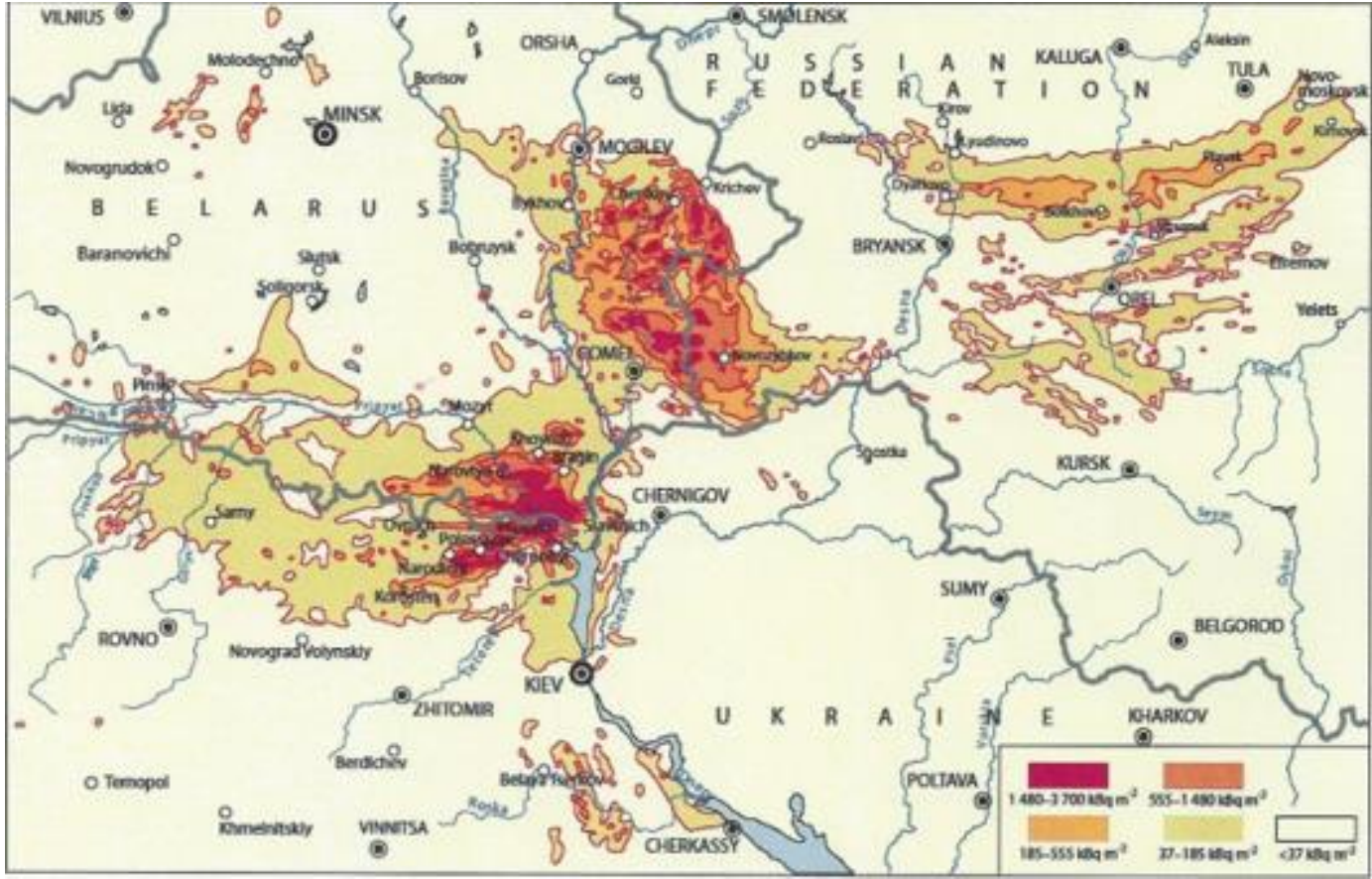
김정수 기자

수정 2023-11-08 20:41 등록 2023-08-20 18:22

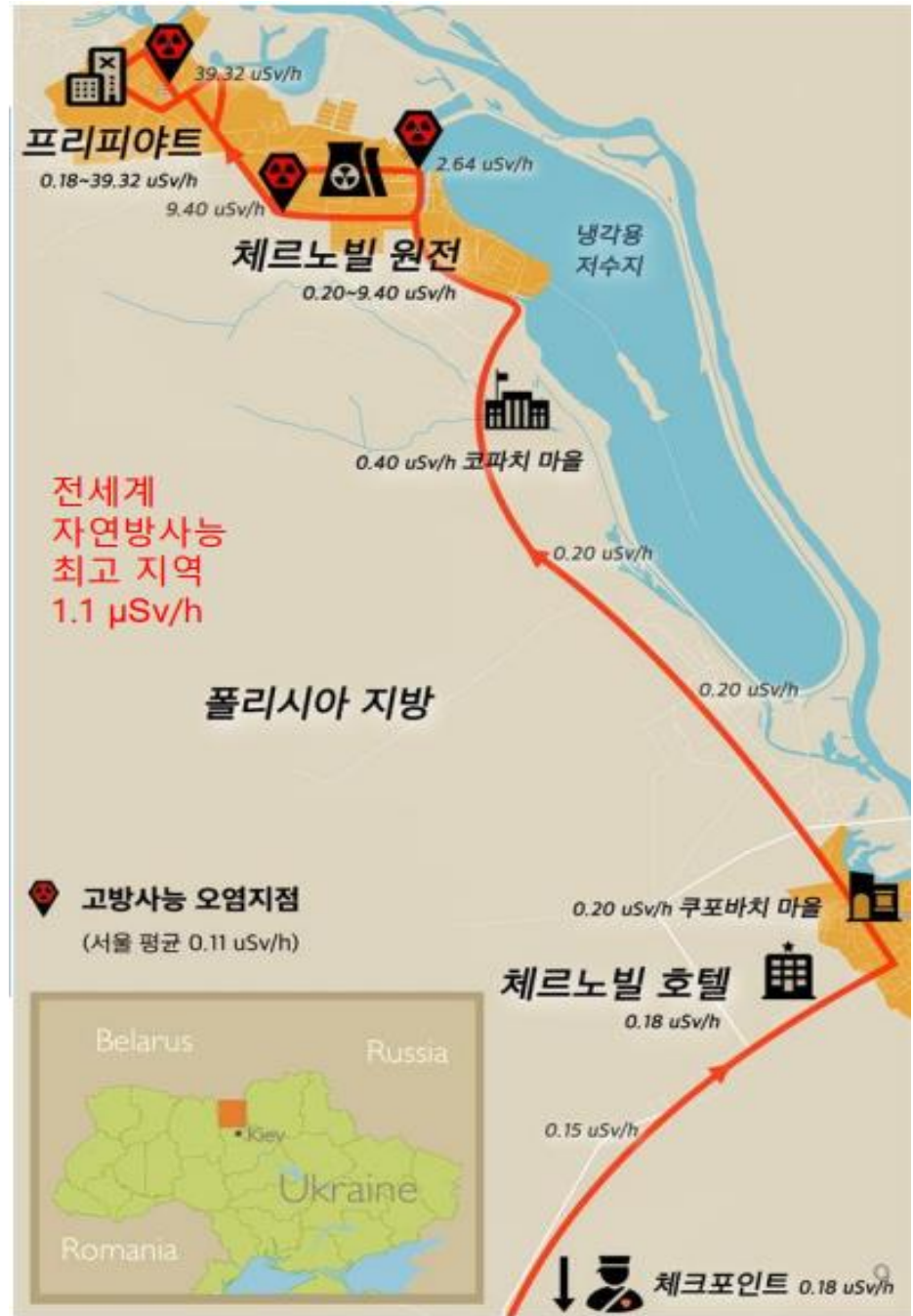
연구 결과, 누적 방사선 흡수선량 0~20mGy(밀리그레이)에 피폭된 이들의 고형암 사망 '초과 상대 위험비'가 Gy당 1.30이었다. 이는 누적 흡수선량 20mGy 이하 저선량의 방사선으로도 혈액을 제외한 장기에 발생하는 고형암 초과사망위험을 Gy당 130% 증가시킨다는 뜻이다.

LNT를 부정하는 체르노빌

체르노빌은 의도치 않은 방사선 실험의 보고



1989년 12월
UNSCEAR 2008 보고서



2016년 1월

LNT를 부정하는 체르노빌(30년후)

- 비즐리(Beasley)는 벨라루스 시 외곽에 살고 있는 대형 포유류 개체군을 5주간 조사, 재해 이후에 증가 그는 5주의 조사 기간 동안에 그곳에서 보았던 많은 수의 동물들을 보고 충격을 받았다. 설치해 놓은 카메라로 들소 1마리, 멧돼지 21마리, 오소리 9마리, 회색늑대 26마리, 너구리 60마리, 붉은여우 10마리의 사진을 촬영할 수 있었다. "그것은 믿을 수 없는 일이었다. 어디를 가든 늑대를 볼 수 있었다." 그는 말했다.
([National Geographic](#))

- "우리는 매우 오염된 지역에서 개체군이 감소되었다는 개념을 지지하는 어떠한 증거도 발견하지 못했다" [Science Daily](#)(2016. 4. 18)

Science News

from research organizations

30 years after Chernobyl, camera study reveals wildlife abundance in Chernobyl Exclusion Zone

Date: April 18, 2016

Source: University of Georgia

Summary: While humans are now scarce in the Chernobyl Exclusion Zone, continued studies—including a just-published camera study—validate findings that wildlife populations are abundant at the site. The camera study is the first remote-camera scent-station survey conducted within the Chernobyl Exclusion Zone, or CEZ.



LNT를 부정하는 체르노빌(34, 35년후)



Who we are ▾ Where we work ▾ What we do ▾ Publications & data 

Home / News, Stories & Speeches / story



16 SEP 2020 | STORY | NATURE ACTION
How Chernobyl has become an unexpected haven for wildlife

"The CEZ is a fascinating example of nature's power to rebound from degradation," says Tim Christophersen, head of the United Nations Environment Programme's (UNEP's) Nature for Climate Branch.

<https://www.unep.org/news-and-stories/story/how-chernobyl-has-become-unexpected-haven-wildlife>

동아사이언스

인간

35년 전 체르노빌 원전사고 겪은 피해자들, 대물림 피폭 흔적 없었다

2021.04.26 19:00

| 사이언스誌 논문 2편 소개... 직접 피폭 피해자 들연변이 발생 많아

자녀에게서 관찰된 드 노보 변이는 어디서나 볼 수 있는 돌연변이 비율과 유사

부모에게 없지만, 아이에게만 있는 유전체 변이

인류 최악의 원전 사고로 폐허가 된 우크라이나 프리피야티에 참사 이후 처음으로 크리스마스 트리가 세워졌다. 체르노빌과 불과 3km 떨어진 프리피야티는 지난 1986년 체르노빌 원전 사고로 주민들이 모두 떠나 유령 도시가 됐다.



체르노빌 원전 사고로 폐허가 된 도시 프리피야티에 세워진 크리스마스 트리

https://www.chosun.com/site/data/html_dir/2019/12/27/2019122702336.html

LNT를 부정하는 체르노빌(37년후)

애니멀피플 생태와진화

체르노빌 청개구리는 왜 까맣졌나...방사선 막아 준 멜라닌 색소

조홍섭 기자 +구독

등록 2022-10-04 11:28
수정 2022-10-04 19:44

[애니멀피플]

출입금지구역 안 연못 8곳 조사
사고 때 강한 방사선 구역일수록 색 진해
현 방사선 수준과 무관..."과거 피폭 결과"
'공업암화'의 검은 나방처럼 자연 선택 작동

연구자들은 "멜라닌은 전리방사선의 방사 에너지를 흡수해 소멸시키는 기능을 한다. 또 세포 안에서 방사선에 쏘여 이온화한 분자들을 청소하고 중성화하는 구실도 한다"고 밝혔다.



검은 청개구리가 나타난 과정은 자연선택에 의한 진화가 빠른 속도로 진행된 고전적 사례이기도 하다. 사고 당시 우연히 체르노빌 주변에 살던 짙은 청개구리는 주변이 강한 방사능에 오염되면서 갑자기 비교우위를 맞게 됐다. 연구자들은 "멜라닌의 보호를 받는 검은 청개구리의 생존율과 번식률이 높아졌다. 열 세대 이상이 지나면서 아주 빠르지만 고전적인 자연선택이 일어나 검은 개구리는 체르노빌 출입금지구역의 지배적 형질로 자리 잡았다"고 밝혔다.

한겨레

원자력 산업에 미치는 영향 – 사회적 측면

LNT로 인한 방사선에 대한 시각

유효선량 수준 (단위 : mSv)	의료방사선 종류	생애 암 발생 위험률
0.1 미만	흉부, 대퇴부, 어깨, 팔다리, 목 지아의 일반촬영	<ul style="list-style-type: none"> 최소위험(0.1 mSv) : 0.00001%~0.000001%
0.1-1	척추, 복부, 골반, 두부, 경추 일반촬영	<ul style="list-style-type: none"> 매우 낮은 위험(1 mSv) : 0.0001%~0.00001%
1-10	투시조영촬영, CT촬영, 중재방사선촬영	<ul style="list-style-type: none"> 낮음위험(10 mSv) : 0.001%~0.0001% <p>* 자연방사선: 한국: 3.0 mSv, 전세계 2.4, mSv ⇨ 의료방사선(1인당): 한국 3.13 mSv(23년), 전세계 0.57 mSv(09~18년)</p>
10-100	조영증강을 위한 이중 CT촬영 중재방사선촬영	<ul style="list-style-type: none"> 암 발생 증가가 나타나지 않음(50 mSv)
100 초과	-	<ul style="list-style-type: none"> 생애 암 발생 위험률 0.5% 증가(100 mSv)
1,000 초과	방사선 암 치료	<ul style="list-style-type: none"> 생애 암 발생 위험률 5% 증가(1,000 mSv)

※ 출처: 국제방사선방호위원회(ICRP)

LNT로 인한 방사선에 대한 시각

보건/의료 ▾ | 후쿠시마 오염수 방류 파장 +

방사능 기준치 이하면 안전?... "저선량에 노출돼도 암 증가"

CBS노컷뉴스 박영규 인턴기자 ✉ | 2023-09-02 05:05

백도명 서울대 보건대학원 교수도 "기준치는 지금까지 계속 변화해왔다"며 "문제 발생 가능성의 기준이 아닌 최소한의 관리 기준"일 뿐이라고 말했다.

LNT로 인한 원전에 대한 시각

➤ 고리 1호기의 가동 영구정지 기념사

- 안전한 대한민국으로 가는 **대전환**
-> 그동안 **국민의 생명과 안전은 후순위**
- 지속가능한 환경에 대한 고려도 경시
- 원전의 **가동 연장(계속운전)은 세월호와 같음**

LNT에 의한 피해 – 월성1호기 경제성 조작 폐쇄

 연합뉴스 · www.yna.co.kr > 연합뉴스 > 최신기사

한수원, 월성 1호기 조기폐쇄·신규원전 4기 백지화 의결(종합)

2018.06.15. 한국수력원자력이 아직 운영허가 기간이 남은 월성 원자력 발전소 1호기를 정부 정책에 따라 조기 폐쇄하기로 했다....

 뉴시스 PICK · 2024.10.26. · 네이버뉴스

'월성 원전 경제성 조작' 재판 3년...선고는 과연 언제?

월성 원전 1호기 '경제성 평가 조작 및 조기 폐쇄' 관련 재판이 지난 2021년 처음 시작해 3년을 끌었지만, 1심 판결이 나오기까지는 수년이 더 걸릴 것으로 보인다. 26일 지역 법조계에 따르면 대전지법 제11형사부(부장...

LNT에 의한 피해 – 월성 중수 누출에 대한 언론

 대구MBC · 2018.06.12. ⋮

R]월성원전 중수 누출...29명 방사선 피폭

◀ END ▶ ▶ VCR ▶ 어제 오후 6시 44분쯤, 한국수력원자력 월성원자력본부 월성 3호기에서 1차 냉각재인 중수 3.63톤이 누출됐습니다. 이 사고로 작업자 29명이 방사선에 피폭됐습니다. 중수는 원자로를 식히는 용도로 사용되는데, 작업자가 냉각수 배수밸브를 잘...

 데일리안 · 2018.06.13. · 네이버뉴스 ⋮

월성원전 중수 누출로 29명 방사선 피폭...한수원 "CT촬영보다 ...

월성 3호기 원전에서 중수 누출로 작업자 29명이 방사선에 피폭된 가운데, 한국수력원자력은 이들의 피폭량이 원전 근무자의 연간 허용 피폭량은 물론, PET-CT 촬영시 받게되는 방사선량보다 훨씬 낮은 수준이라고 ...



14일 한국수력원자력(사장 정재훈)에 따르면 월성 3호기 중수 누설에 따른 작업자 29명의 평균 피폭선량(방사선 노출량)은 0.39mSv(밀리시버트)이며, 최대로 노출된 근로자의 피폭선량은 2.5mSv로 연간 법적 선량 제한치인 20mSv의 약 12.7% 수준인 것으로 나타났다.

LNT에 의한 피해- 월성원전 삼중수소 조사

"삼중수소, 유의미한 외부 유출 없어"... 월성 원전 조사 2년 반 만에 마무리

오지혜 기자 [구독 +](#) 입력 2023.12.05 15:21 수정 2023.12.05 15:51

한국일보



조선일보

<https://www.chosun.com> > economy > science [이 결과를 번역하세요](#)

"월성원전, 삼중수소 외부 유출 없어" 민간 조사 최종 결론

2023년 12월 5일 · 월성원전의 삼중수소 유출을 조사해온 민간조사단이 2년이 넘는 조사 끝에 월성 원전 외부로의 삼중수소 유출은 없다는 최종 결론을 내렸다. 다만 원전 3호기 지하수 관측정의 ...

LNT에 의한 피해 – 라돈 침대 (1)

검찰 ‘라돈 침대’ 업체에 불기소 처분...“폐암 인과관계 인정 어려워”

입력 2020.01.03 (17:32) | 수정 2020.01.03 (17:36)



LNT에 의한 피해 – 라돈 침대 (2)

SBS SBS · 네이버 뉴스 · 2020.01.03.

발암물질 나온 '라돈 침대' 결국 불기소...피해자들 반발
검찰은 대진침대 대표와 라돈 방출 물질이 포함된 매트리스를
납품한 회사 관계자 등을 모두 재판에 넘기지 않기로 결정했
습니다. 검찰은 "라돈이 폐암을 유발할 수 있지만, 문제의 침..."

▪ 폐암 판결

- 폐암은 라돈 흡입만으로 생기는 특이성 질환이 아니라 유전·체질 등 선천적 요인과 식생활습관, 직업·환경적 요인 등 후천적 요인이 복합적으로 발생하는 비 특이성 질환,
- 누구나 일상생활 중 흡연, 대기오염 등 다양한 폐암 발생 위험인자에 노출되는 점에 비춰 라돈 방출 침대 사용만으로 폐암이 발생했다는 인과관계를 인정하기는 어렵다.

▪ 사기죄 판결

- 몸에 해로울 수 있다는 것을 알면서도 피해자들을 속여 판매대금을 가로챈 것이 인정돼야 한다,
- 피의자 본인과 가족도 라돈 침대를 장기간 사용했기 때문에 유해성을 인식했다고 보기 어렵다.

그런데 라돈 침대 생산 업체는 폐업, 노동자는 생존권 박탈

LNT에 의한 피해 – 후쿠시마 사고

작업자 피폭

	TEPCO	Contractor
<10 mSv	2034	17 164
10-50 mSv	1144	7470
50-100 mSv	553	794
100-150 mSv	118	20
>150 mSv	31	4

Maximum dose 678.8 mSv (external exposure 88.80 mSv; internal exposure 590 mSv). 29 332 workers were involved in operations. Data from the Japanese Ministry of Health, Labour, and Welfare.²⁸

Table 2: Irradiation dose and number of workers involved with the emergency and recovery operations at Fukushima Daiichi nuclear power plant (March 11, 2011, to Aug 31, 2013)

주민 피폭

The estimated external effective doses between March 11 and July 11, 2011, were no more than **2 mSv in 395,988 (94%)** of 421,394 respondents of the survey (**mean dose 0.8 mSv**).

The maximum external exposure was **25 mSv**, and most doses occurred soon after the accident.



**과도한 대피(20mSv/y 이상 지역)
1368명 사망**

자료 : Health effects of radiation and other health problems in the aftermath of nuclear accidents, with an emphasis on Fukushima

LNT에 의한 피해 – 후쿠시마 처리수 방류(1)

후쿠시마 오염수 방류를 막을 시간, 9개월

글: 장마리 그린피스 기후에너지 캠페이너

기시다 정부는 약 9개월 뒤부터 오염수를 바다에 버릴 계획입니다. 우리는 어떻게 오염수 해양 방류를 저지해야 할까요?

후쿠시마 오염수 방류 저지, 남은 시간은 9개월

2022년 7월 22일, 일본 원자력규제위원회(NRA)가 후쿠시마 오염수 해양 방류 계획을 최종 승인했습니다. 이에 따라, 도쿄전력은 후쿠시마 원전 해안 1km 바깥 지점까지 해저터널을 준공하여 이르면 내년 4월부터 오염수를 해양에 방류할 계획입니다.

- 방류 농도와 우리 해역 농도는 언급 안함
- 일본배출기준(6만Bq/L)의 1/40, 1400Bq/L로 방류
* 음용수 기준 1만Bq/L의 1/7
- 우리나라 도달시 1/10만 수준으로 희석(해양연구원)
- 처리수를 현상태로 1년에 방류시 피폭량 기준치의 7100만 분의 1(원자력연구원)

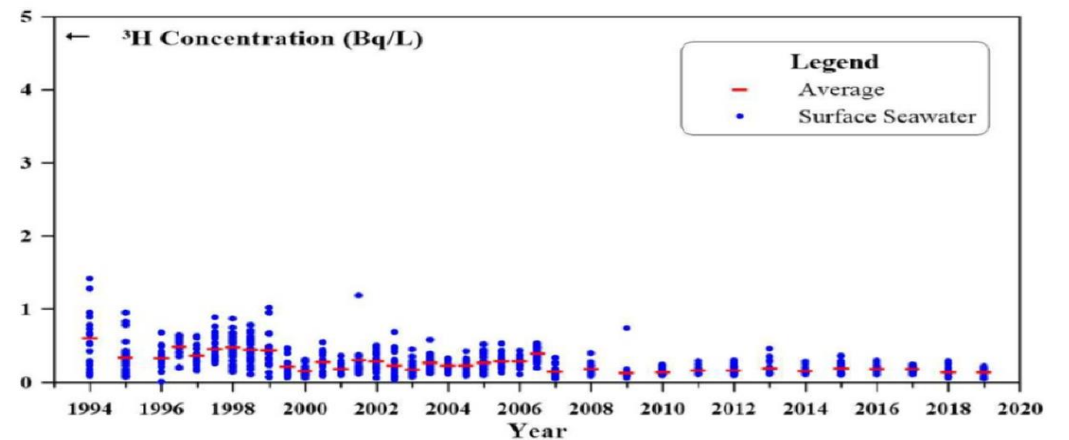


그림 2.9 표층 해수의 연도별 ³H 방사능농도 변동

자료: 한국원자력안전기술원

LNT에 의한 피해 – 후쿠시마 처리수 방류(2)

	방류 시기	방류량	삼중수소 총 배출	최대 헤더 농도* (< 1500Bq)	최대 해수 농도 **
1차 방류	23.08.24~23.09.11	7888톤	1조2440억 Bq	220 Bq/L	1.5 Bq/L
2차 방류	23.10.05~23.10.23	7810톤	1조2511억 Bq	188 Bq/L	16 Bq/L
3차 방류	23.11.02~23.11.20	7729톤	1조 1239억Bq	190 Bq/L	8.8 Bq/L
4차 방류	24.02,28~24.03.17	7800톤		254 Bq/L	7.7 Bq/L
5차 방류	24.04.19~24.05.07	7800톤		266 Bq/L	6.3 Bq/L
6차 방류	24.05.17~24.06.04	7892톤		234 Bq/L	7.0 Bq/L
7차 방류	24.06.28~24.07.16	7800톤		252 Bq/L	8.8 Bq/L
8차 방류	24,08.07~24.08.25	7897톤	1조 7,979억Bq	267 Bq/L	7.6 Bq/L

* 일본정부 안전 기준 허용치의 1/40

** 3Km 이내 14개 지점 (원인조사: 350Bq, 방류 중단: 700Bq)

LNT에 의한 피해 – 후쿠시마 처리수 방류(3)

YTN · www.ytn.co.kr

[국제]중국 "후쿠시마 오염수 첫 검사...이상 없어"

2025.01.23. 중국 원자력 당국은 일본 후쿠시마 원자력발전소 오염수가 방류된 해양에서 첫 번째 테스트를 벌인 결과 이상이 발견되지 않았다고 발표했습니다.중국 국가원자능기구(CAEA...

재난포털

KBS 뉴스

분야별 뉴스9 TV 뉴스 심층취재 스포츠 시사프로그램 지역뉴스 속보

국제

중국 “일본 오염수 2차 검사 결과 이상 없어”...수산물 수입 재개하나

입력 2025.04.07 (18:43) | 수정 2025.04.08 (04:28)



요약

LNT에 의한 피해 – 사회적 손실은?

LNT



- 기후 변화 대처 비용
- 월성1호기 폐쇄 비용
- 라돈 침대 제조사 피해
- 후쿠시마 사고 대피 사망자
- 후쿠시마 방류수 선동 피해
- - - - -
- - - - -

호메시스

호메시스의 과학적 메카니즘

▶ 세포 수준의 적응 반응:

LDIR(Low Dose Ionizing Radition) 이 DNA 복구 기전을 촉진, 세포 생존율을 높이며, 유전자 발현을 조절

▶ 항산화 시스템 활성화:

낮은 방사선 노출이 활성산소종(ROS, Reactive Oxygen Species) 의 균형을 조절하여 산화 스트레스를 줄이는 데 기여

▶ 면역 기능 조절:

LDIR은 면역계를 자극하여 염증 반응을 조절하고 항암 효과를 유도

방사선 호메시스의 생물학적 증거

구분	주요 연구 결과	관련 연구/실험
세포 성장 및 생존율 증가	저선량 방사선이 세포 성장률을 촉진하고 생존율을 증가시킴	누에 유충 실험에서 성장 촉진 효과 관찰
항산화 시스템 활성화	저선량 방사선이 항산화 효소(SOD, GPx 등) 활성 증가	세포 실험에서 활성산소(ROS) 균형 조절 효과 확인
DNA 복구 기전 강화	저선량 방사선이 DNA 손상 복구 효율을 높임	방사선 조사 후 DNA 복구 단백질 발현 증가 확인
면역 기능 강화	저선량 방사선이 T세포, NK세포 활성화	동물 실험에서 면역 반응 증가 및 감염 저항성 향상
종양 억제 효과	저선량 방사선이 암세포의 성장과 전이 억제 가능	마우스 실험에서 저선량 방사선 후 종양 성장 감소
세포 보호 및 아포토시스 조절	저선량 방사선이 세포 자멸사(Apoptosis) 기전 조절	배양 세포 실험에서 세포 생존율 증가 확인
수명 연장 효과	저선량 방사선 환경에서 일부 생물의 수명 연장	조파리, 쌀바구미 등에서 실험 결과 보고

방사선 호메시스의 역학적 증거

연구 대상	방사선 노출 환경	주요 연구 결과	참고 연구
높은 자연 방사선 지역 거주자	브라질, 이란, 인도, 중국 등 자연 방사선 수치가 높은 지역	높은 방사선 배경에서도 암 발생률 증가 없음	Cohen 연구(1995), Muckerheide 연구(2001)
방사선 작업자(원전, 병원 등)	저선량 방사선 환경에서 장기간 근무	일반 대중보다 암 발생률이 유사하거나 낮음	UNSCEAR 보고서(2000)
원폭 생존자(저선량 피폭 그룹)	히로시마·나가사키 원폭 피폭자 중 저선량 그룹	저선량 피폭군에서 일부 장수 효과 보고됨	Thompson 연구(1994)
의료 방사선 노출 (CT, X-ray 등)	저선량 방사선(진단 영상) 자주 노출된 환자	방사선 촬영 빈도 증가가 기대 수명에 큰 영향 없음	Berrington de González 연구(2004)
방사선 치료 경험 환자(저선량 치료군)	저선량 방사선 치료(예: 관절염 치료)	일부 질환에서 증상 개선 보고됨	Cuttler 연구(2013)

방사선 호메시스의 임상적 증거

연구 대상	저선량 방사선 적용 방법	관찰된 효과	참고 연구
류마티스 관절염 환자	저선량 방사선 치료 (관절 부위)	통증 완화 및 염증 감소	Cuttler & Pollycove (2009)
다발성 경화증 환자	저선량 전신 방사선 치료	면역 조절 및 증상 완화 가능성	Sakamoto 연구(2004)
알츠하이머병 환자	저선량 방사선(CT 스캔 활용)	신경 염증 감소 및 인지 기능 개선 가능성	Cuttler 연구(2016)
암 환자(저선량 방사선 병행 치료)	저선량 방사선과 면역 요법 병행	면역 반응 강화 및 암 억제 효과 가능성	Sakamoto 연구(2004), Kojima 연구(2018)
피부 질환 환자(건선 등)	저선량 UV 방사선 치료	피부 재생 촉진 및 염증 감소	Krutmann 연구(2001)

주요 국제기관의 LNT 폐기 주장

국제 기관의 LNT 비판

기관	문서명	주요 주장
MIT	The Future of Nuclear Energy (2018)	탈탄소에 원자력 필요. 과도 규제 장애 지적.
OECD-NEA	The Costs of Decarbonisation (2019)	원자력 경제성 약화 원인 중 규제비용 강조.
UNECE	Nuclear Power and Sustainable Development (2021)	방사선 공포가 원자력 수용성 저해.
Breakthrough Institute	다수 보고서	LNT 기반 규제 비판. 정책 실패 경고.
Gordian Knot Group	Abolish the NRC (2024)	LNT로 인한 규제 과잉이 기후대응 방해.

"美, 원전 안전규정 전면개정 추진...2050년까지 발전용량 4배로"

송고 2025-05-10 06:15

이 행정명령 초안은 현재 기준이 지나치게 엄격하다고 지적하면서 방사선 노출 안전기준도 재검토하도록 요구하고 있다.

ICRP 내부의 "LNT 재검토" 요구

연도	사건	흐름 요약
2005	ICRP 99	LNT 채택 + 과학적 불확실성 인정
2007	ICRP 103	규제 편의용 인정, 집단적 적용 경고
2011-14	후쿠시마 이후	내부에서 LNT 재검토 논의 증가
2021	ICRP 146	비선형 모델 검토 가능성 공식 언급
2020s~	차기 권고 준비 중	LNT 대체모델 검토 가능성 존재

NCRP Commentary No. 27

Epidemiologic Study (or groups of studies)	Classification (support for LNT model)
Life Span Study, Japan atomic bombs (Grant <i>et al.</i> , 2017)	Strong
INWORKS (French, United Kingdom, United States combined worker cohorts) (Richardson <i>et al.</i> , 2015)	Strong
Tuberculosis fluoroscopic examinations, breast cancer (Little and Boice, 2003)	Strong
Childhood Japan atomic-bomb exposure (Preston <i>et al.</i> , 2008)	Strong
Childhood thyroid cancer studies (Lubin <i>et al.</i> , 2017)	Strong
Mayak nuclear workers (Sokolnikov <i>et al.</i> , 2015)	Moderate
Chernobyl fallout, Ukraine and Belarus thyroid cancer (Brenner <i>et al.</i> , 2011)	Moderate
Breast cancer studies, after childhood exposure (Eidemuller <i>et al.</i> , 2015)	Moderate
<i>In utero</i> exposure, Japan atomic bombs (Preston <i>et al.</i> , 2008)	Moderate
Techa River, nearby residents (Schonfeld <i>et al.</i> , 2013)	Moderate
<i>In utero</i> exposure, medical x ray (Wakeford, 2008)	Moderate
Japan nuclear workers (Akiba and Mizuno, 2012)	Weak-to-moderate
Chernobyl cleanup workers, Russia (Kashcheev <i>et al.</i> , 2015)	Weak-to-moderate
U.S. radiologic technologists (Liu <i>et al.</i> , 2014; Preston <i>et al.</i> , 2016)	Weak-to-moderate
Mound nuclear workers (Boice <i>et al.</i> , 2014)	Weak-to-moderate
Rocketdyne nuclear workers (Boice <i>et al.</i> , 2011)	Weak-to-moderate
French uranium processing workers (Zhivin <i>et al.</i> , 2016)	Weak-to-moderate
Medical x-ray workers, China (Sun <i>et al.</i> , 2016)	Weak-to-moderate
Taiwan radiocontaminated buildings, residents (Hsieh <i>et al.</i> , 2017)	Weak-to-moderate
Background radiation levels and childhood leukemia (Kendall <i>et al.</i> , 2013)	Weak-to-moderate
<i>In utero</i> exposures, Mayak and Techa River (Akleyev <i>et al.</i> , 2016)	No support
Hanford ¹³¹ I fallout, thyroid cancer (Davis <i>et al.</i> , 2004)	No support
Kerala, India, high background radiation area (Nair <i>et al.</i> , 2009)	No support
Canadian worker study (Zablotska <i>et al.</i> , 2014)	No support
U.S. nuclear weapons test participants (Caldwell <i>et al.</i> , 2016)	No support
Yangjiang, China, high background radiation area (Tao <i>et al.</i> , 2012)	Inconclusive
Computed-tomography examinations of young persons (Pearce <i>et al.</i> , 2012)	Inconclusive
Childhood medical x rays and leukemia (aggregate of >10 studies) (Little, 1999; Wakeford, 2008)	Inconclusive
Nuclear weapons test fallout (aggregate of eight studies) (Lyon <i>et al.</i> , 2006)	Inconclusive

UNSCEAR 기본 입장 (요약)

항목

내용

LNT에 대한 입장

규제 편의용으로는 인정. 과학적으로는 확정된 것이 아님.

저선량(100mSv 이하) 영향

암 위험 직접증거 없음. 귀속 추정 자제 권고.

정책 제안

지나친 규제보다 공포 완화에 중점 두어야 함.

* UNSCEAR 2012, 2020/2021 Reports

소결 1 : 비과학적 반사회적인 LNT

- 초기 LNT는 비과학적이고 반사회적이다.
- 최근 LNT는 순수과학에 머물러 있고 **사회적 영향/반향**을 고려치 않고 있다.
- 많은 국제 기관과 UNSCEAR, **심지어 ICRP 스스로도** LNT의 비과학성, 반사회성을 지적

소결 2 : 무탄소 사회로의 진행 방해

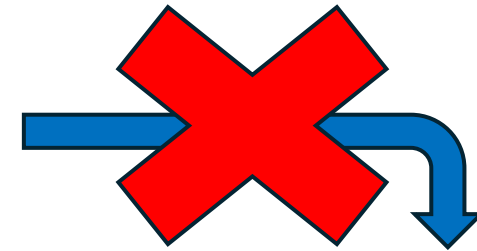
LNT로 인해 방사선에 대한
과도한 공포가 발생하며
일부 세력은 방사선 거짓 선동에 사용



원자력 수용성 저하

탈원전 논리 제공

비합리적 사회비용 발생



무탄소 에너지로의
전환

소결3 : LNT 폐기 되면

- 대중 인식 개선 -> 수용성 향상
 - 공포심 제거
 - 사회적 비용 감소
- 규제완화 -> 비용 절감
 - 방사선 관리 간소화
 - 폐기물 기준 완화
 - 불필요한 피난 비용 제거
- 방사선 의학, 식품, 비파괴 산업 활성화

무탄소 에너지로의
저비용 전환 촉진

제언

원전에 미치는 LNT 폐해(과다 보수성) 제거

과다 보수성 - 운전시

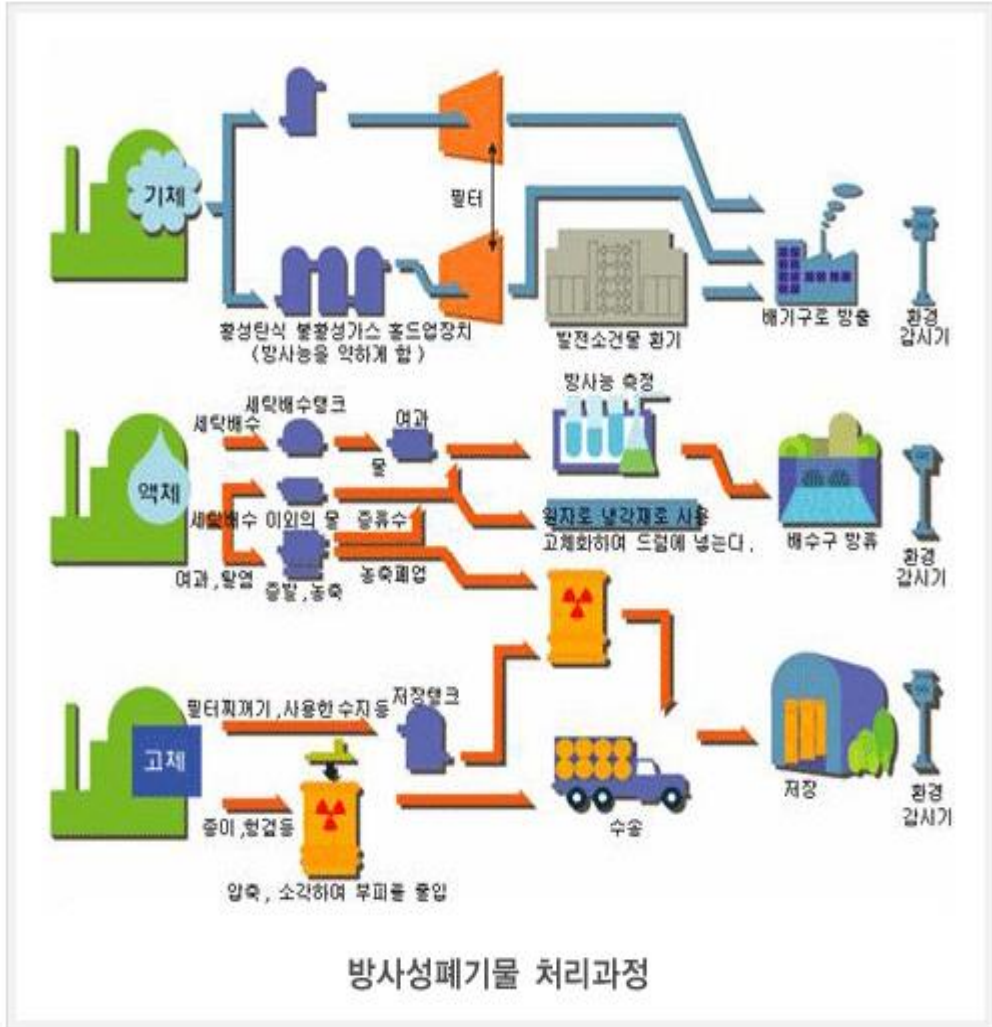
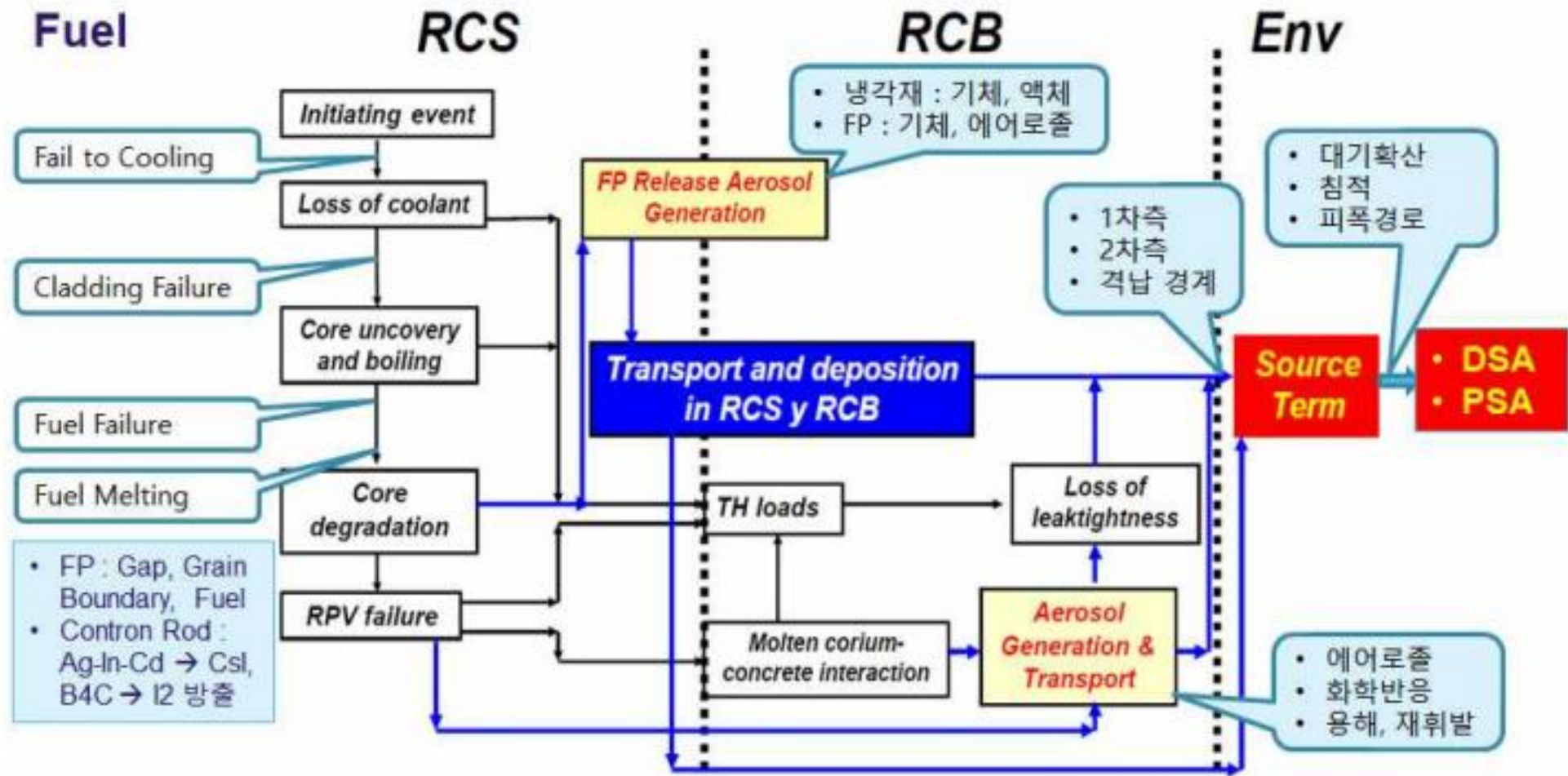


표 8. 2022년 원자력발전소 부지별 주민 피폭방사선량 평가결과

항목	기준치	계산결과			기준치 대비(%)	
		기체	액체	합계		
고리/새울						
유효선량	0.25 mSv/yr	KHNP	2.17E-02	2.43E-05	2.17E-02	8.7
		KINS	1.21E-02	2.93E-04	1.24E-02	5.0
감상선등가선량	0.75 mSv/yr	KHNP	2.17E-02	1.65E-05	2.17E-02	2.9
		KINS	1.02E-02	2.37E-04	1.04E-02	1.4
한빛						
유효선량	0.25 mSv/yr	KHNP	9.14E-03	1.09E-06	9.14E-03	3.7
		KINS	9.44E-03	3.64E-05	9.48E-03	3.8
감상선등가선량	0.75 mSv/yr	KHNP	9.12E-03	1.01E-06	9.12E-03	1.2
		KINS	8.15E-03	3.45E-05	8.18E-03	1.1
월성						
유효선량	0.25 mSv/yr	KHNP	2.97E-02	2.56E-04	3.00E-02	12.0
		KINS	4.24E-02	3.11E-04	4.27E-02	17.1
감상선등가선량	0.75 mSv/yr	KHNP	2.97E-02	2.28E-04	2.99E-02	4.0
		KINS	3.85E-02	3.11E-04	3.88E-02	5.2
한울						
유효선량	0.25 mSv/yr	KHNP	2.14E-02	9.13E-06	2.14E-02	8.6
		KINS	2.46E-02	1.30E-04	2.47E-02	9.9
감상선등가선량	0.75 mSv/yr	KHNP	2.14E-02	8.64E-06	2.14E-02	2.9
		KINS	2.10E-02	1.23E-04	2.11E-02	2.8

과다 보수성 - 사고시



과다 보수성 - 사고시

➤ 영향평가 :

10CFR100.11

- 전신 : 250mSv/2Hr
- 갑상선 : 3000mSv/2Hr

➤ 위험도 평가 :

- 초기사망 위험도 및 암사망 위험도가 각각의 전체 위험도의 0.1% 이하,
- Cs-137이 100TBq을 초과하는 사고 발생 빈도의 합이 1.0×10^{-6} /년 미만

대표 사고경위	개인 유효선량(mSv)			기준치 ¹⁾ (mSv/yr)	비율(%) ²⁾ (EAB/기준치)
	구분	EAB	LPZ		
사고 A	전신	0.000825	0.0000379	250	0.00033
	갑상선	0.0136	0.000624	3,000	0.00045
사고 B	전신	0.17	0.00782	250	0.068
	갑상선	4.77	0.219	3,000	0.159
사고 C	전신	0.111	0.0051	250	0.0444
	갑상선	0.0764	0.00351	3,000	0.0025
사고 D	전신	0.00268	0.000123	250	0.00107
	갑상선	4.21	0.194	3,000	0.140
사고 E	전신	0.332	1.14	250	0.133
	갑상선	22.4	49.7	3,000	0.747

주 1) 원자력안전위원회 제 2017-15호 “원자로시설의 위치에 관한 기술기준”

2) 비율은 평가결과가 크게 나타나는 EAB에서의 평가결과와 기준치의 비교 결과임

과다 보수성 – TMI 사고

	스리마일 2호기	후쿠시마 제1 원전	체르노빌 사고
노심 사고 발생 호기 수	1	3	1
사고원인	기기 고장, 운전원 실수	쓰나미에 의한 침수	설계결함 및 운전원과실
설비용량(MW)	959	2,028	1,000
격납용기	1.2m 두께 PC 구조 대형 격납건물	3cm 두께 강철 재질 소형 격납용기	없음
세슘137 누설량	0PBq	6~20PBq (1.9 ~ 6.3kg)	85PBq (26.6kg)
세슘137 누설률	0%	1~3%	30%
방사선 피폭 사망자	0명	0명	43명 (암 사망자 포함)
대피면적, 인원	초기	200km ² 면적, 임산부와 어린이 임시대피	1150km ² 면적, 164,865명 대피
	2018년 말	없음	371km ² 면적, 43,214명
			4000km ² 면적, 335,000명 반영구 소개
			초기방침 유지.

- TMI 2호기 방사선 노출 수준
반경 16 km 이내 주민 가슴 X선 촬영 2~3번 정도
- TMI 1호기는 계속 가동 후 2019년 9월에 정지

아시아타임즈 · 2024.09.26.

[박상덕 칼럼] 탈원전 세력이 기겁할 스리마일섬 1호기 재가동

마이크로소프트사는 클라우드 컴퓨팅 및 인공지능 시스템에 20년간 무탄소 전력을 안정적으로 공급할 목적으로 약 2조원을 투자해 인허가 등 관련 준비를 할 계획이라고 밝혔다. 탈원전 단체가 들으면 기겁할 일이다. ...



과다보수성 제거 시도의 문제점

원전 설계기준과 방사선 규제는 느슨하게 연계

- 원전 설계와 방사선 규제는 밀접한 연계없이 느슨한 관계로 각각 규제화/제도화 즉, 소외 방사선 제한치로부터 역으로 계산하여 격납용기/안전계통의 설계기준이 작성된 것이 아님
- 원전 사고에 대한 지식이 부족한 초기의 과도한 보수성을 유지

예 : 비상냉각계통 설계 기준

1. 피복재의 최고온도 < 1204℃
2. 피복재의 최대산화 : 전체 피복재 두께 < 0.17배
3. 최대 수소 생성률 : 원통형 피복재의 모든 금속 반응시 수소생성량의 0.01배 이하
4. 냉각가능 형상 유지
5. 장기 냉각 가능

과다 보수성 제거 방안(1) – LNT 폐기

근거

많은 논문에 호메시스의
생물학적, 역학적, 임상적 증거 제시

Overview of Biological,
Epidemiological, and Clinical Evidence
of Radiation Hormesis, Int. J. Mol. Sci.
2018, 19, 2387

예

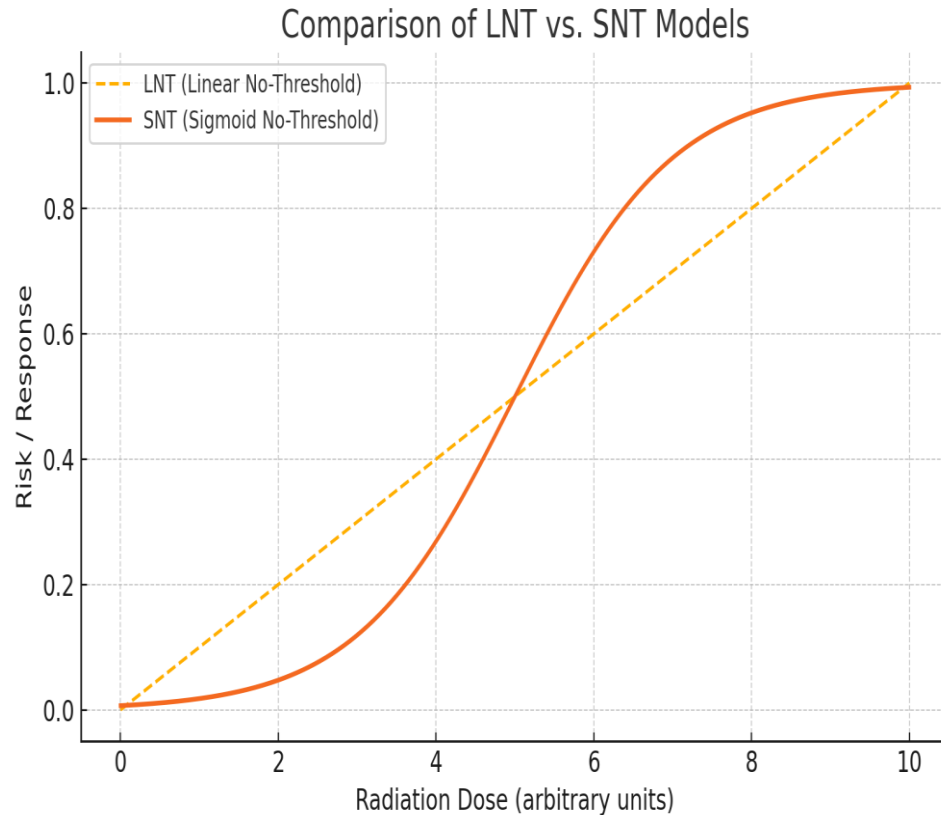
라듐 다이얼 페인터들은
20,000~200,000 mSv의
누적선량을 받았음.

LNT로는 이들 모두 뼈암에 걸려야

실제 결과는 ?

자료 :Nordhaus's Jack's-a-Gnome Piece, Gordian knot News,
Apr 17, 2025

과다 보수성 제거 방안(2) – Sigmoid No Threshold로



체르노빌 사고 영향

(우크라이나·벨라루스·러시아 지역)

– 집단에 적용하지 말라는 ICRP 103에도 불구하고–

- LNT 로는 3420명이 암으로 사망추정
- SNT를 적용하면 사망자는 **0.0002명**

- LNT에서는 대참사지만,
- SNT에서는 무시해도 될 수준의 위험

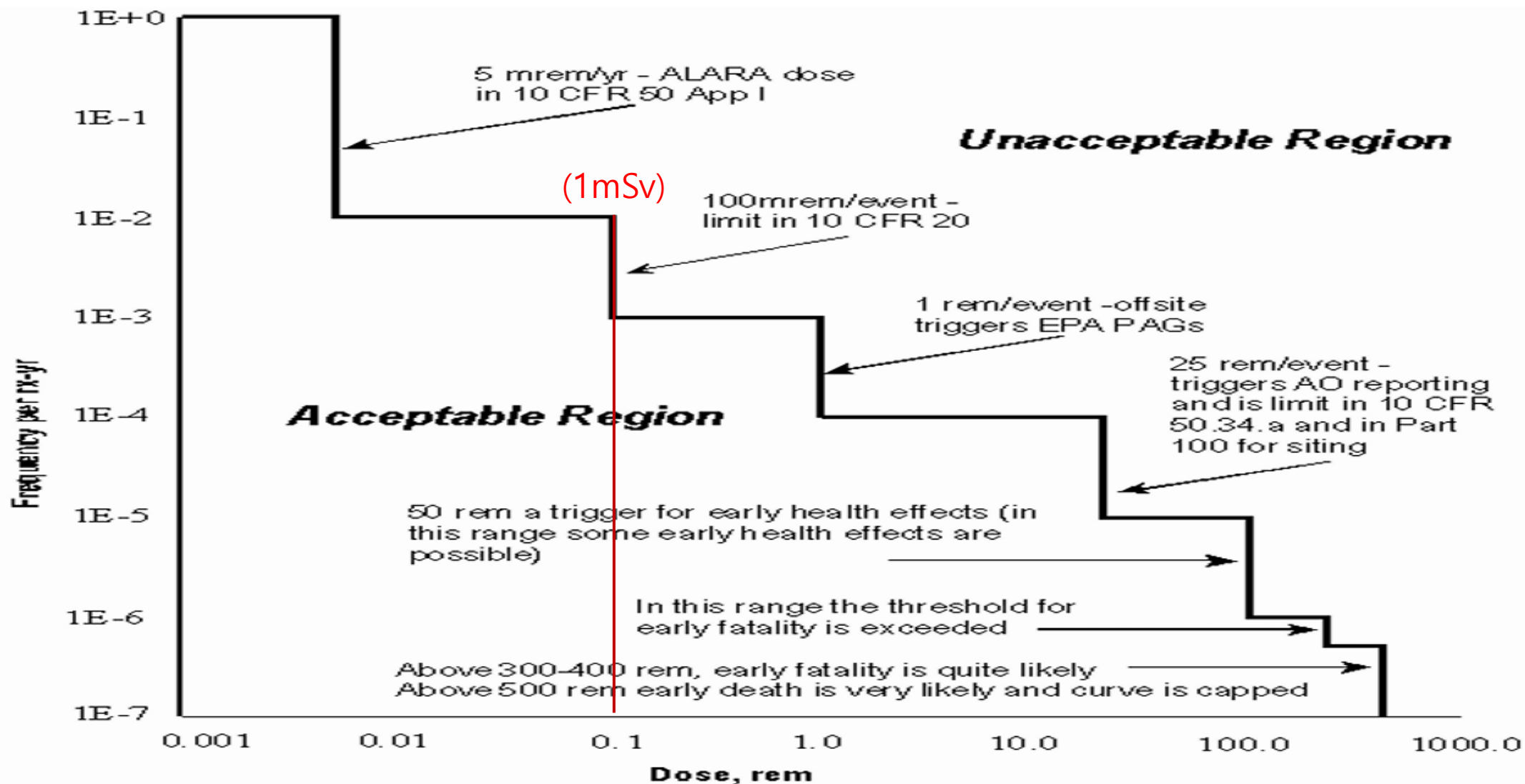
자료 :Nordhaus's Jack's-a-Gnome Piece, Gordian knot News, Apr 17, 2025

과다 보수성 제거 방안(3) - 리스크 매트릭스 이용

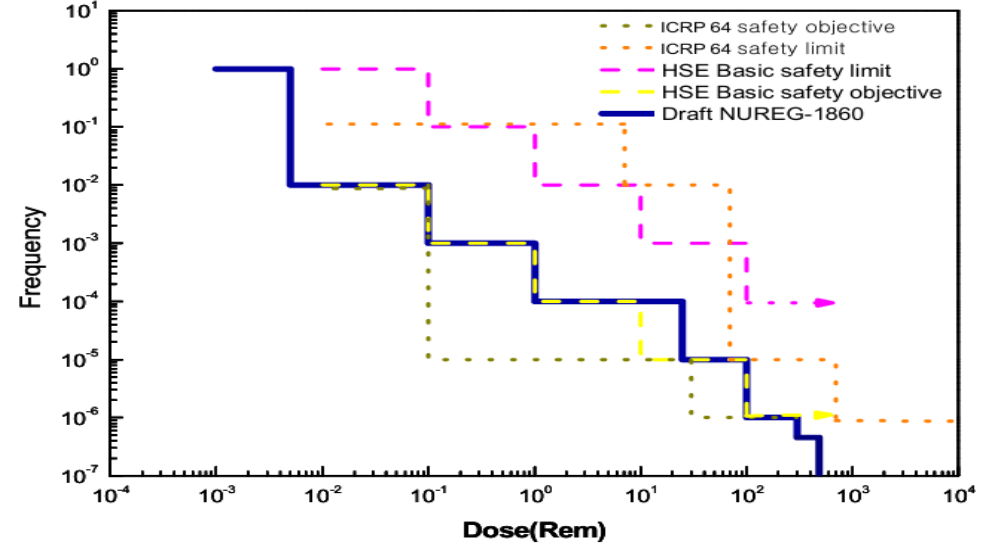
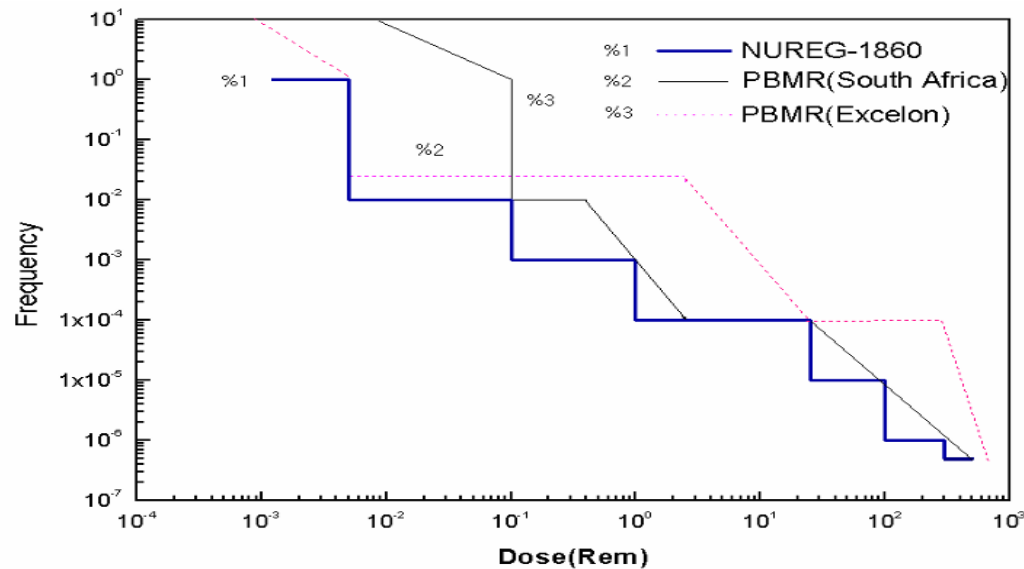
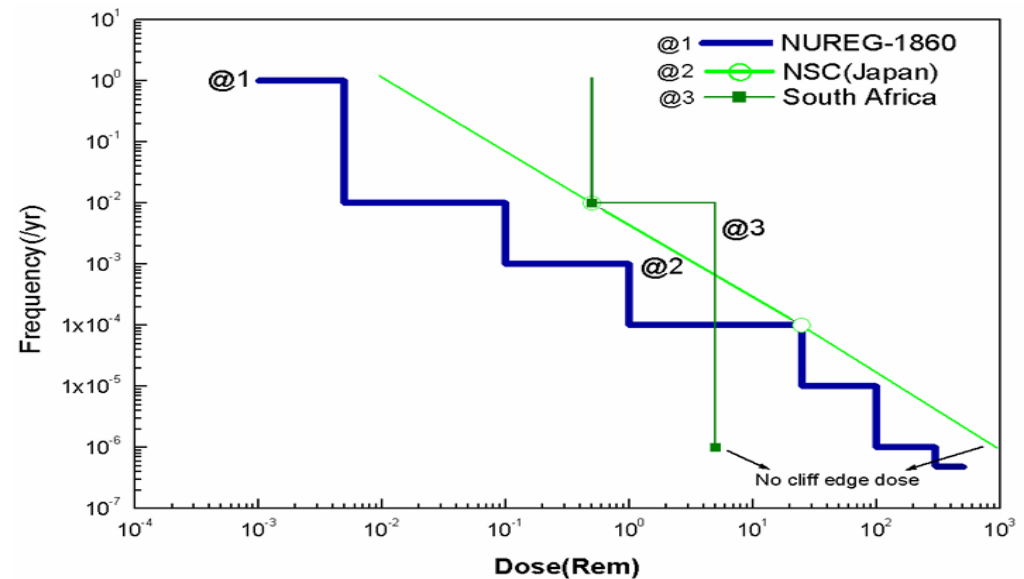
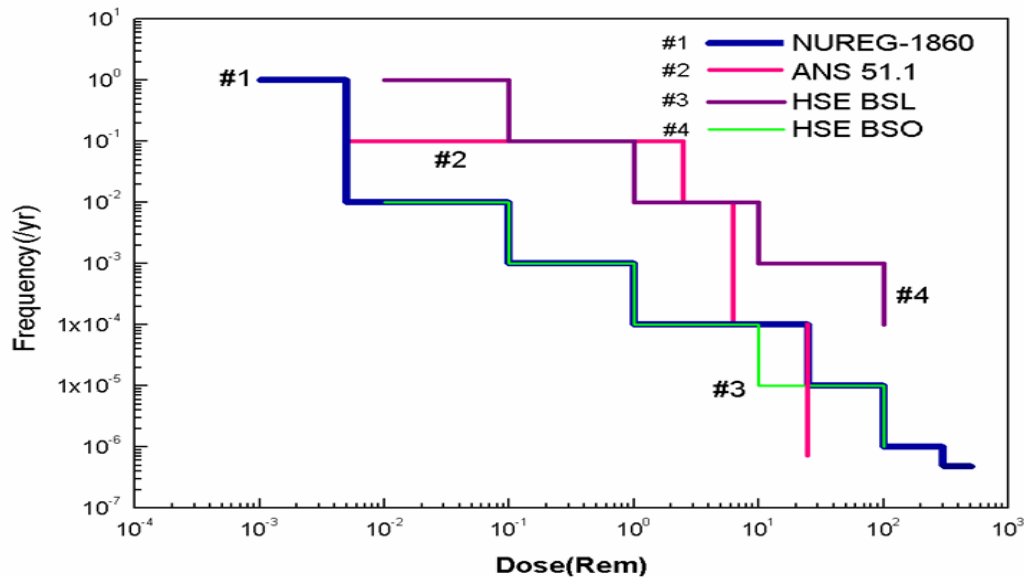
Risk Matrix (Illustrative)

Likely $> 10^{-2}$	Intolerable	Intolerable	Intolerable	Intolerable	Intolerable
Unlikely $10^{-4} - 10^{-2}$	Tolerable (Intolerable if Fatality $> 10^{-3}$)	Tolerable (Intolerable if Fatality $> 10^{-3}$)	Intolerable	Intolerable	Intolerable
Very Unlikely $10^{-6} - 10^{-4}$	Tolerable	Tolerable	Tolerable	Tolerable	Intolerable
Remote $10^{-8} - 10^{-6}$	Broadly Acceptable	Broadly Acceptable	Tolerable	Tolerable	Tolerable
Probability	Single Fatality	2-10 Fatalities	11-50 Fatalities	50-100 Fatalities	100+ Fatalities

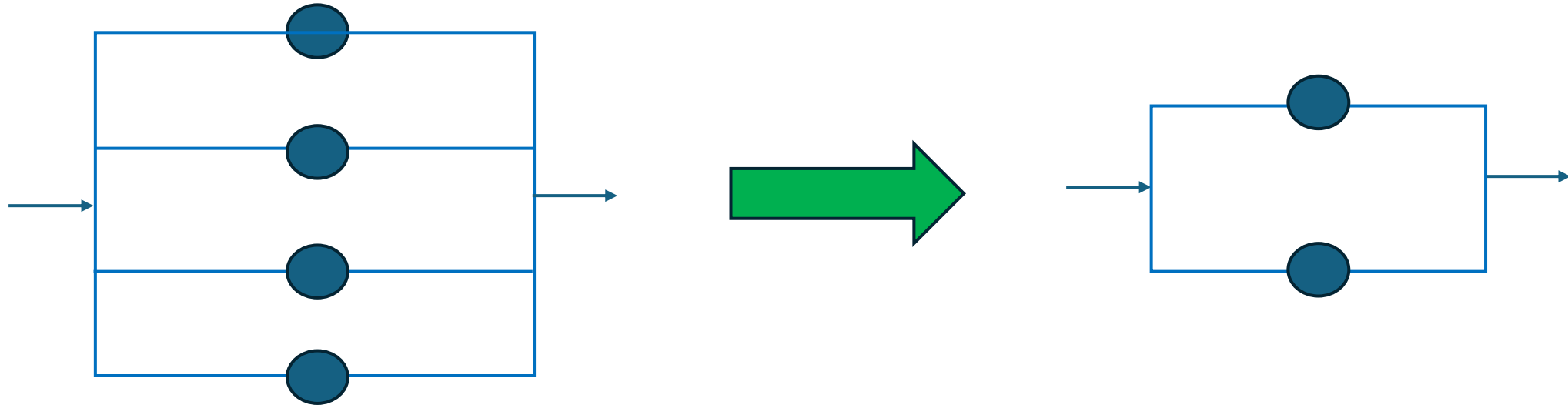
과다 보수성 제거 방안 (4-1)- F-C Curve에서 1mSv를 상향



과다 보수성 제거 방안 (4-2)- F-C Curve 비교



적용 예 : 안전설비 4중화 -> 2중화 할 경우 신뢰도 손실



$$R_{sys(4)} = 1 - (1-p)^{**4}$$

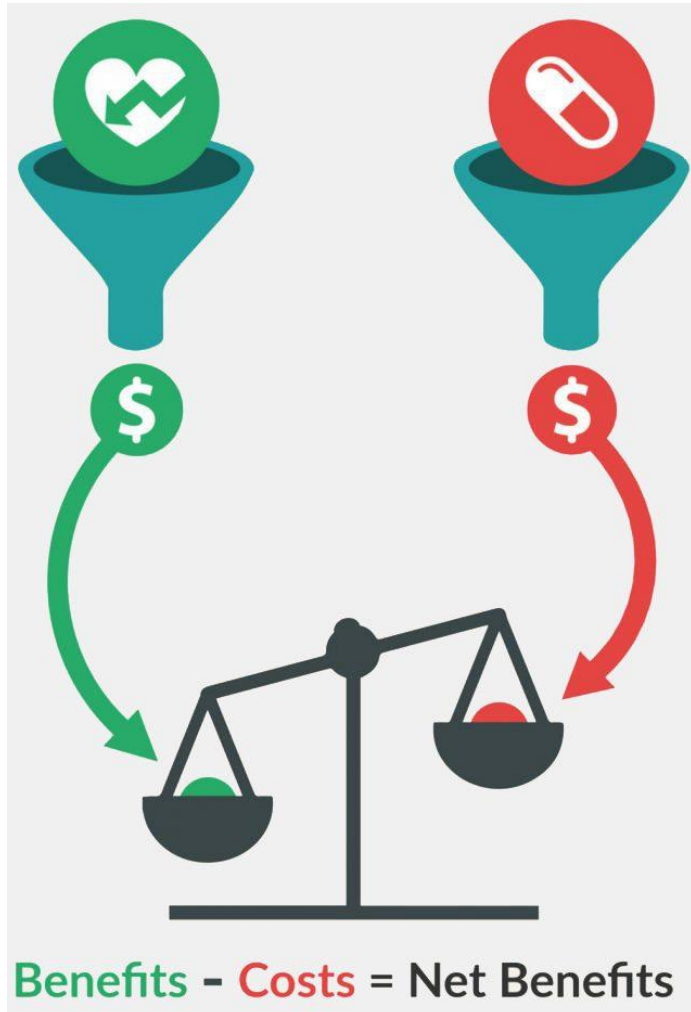
$$R_{sys(2)} = 1 - (1-p)^{**2}$$

여기서 P : Failure Probability

줄어드는 신뢰도 : $\Delta R = [1 - (1-p)^{**4}] - [1 - (1-p)^{**2}]$

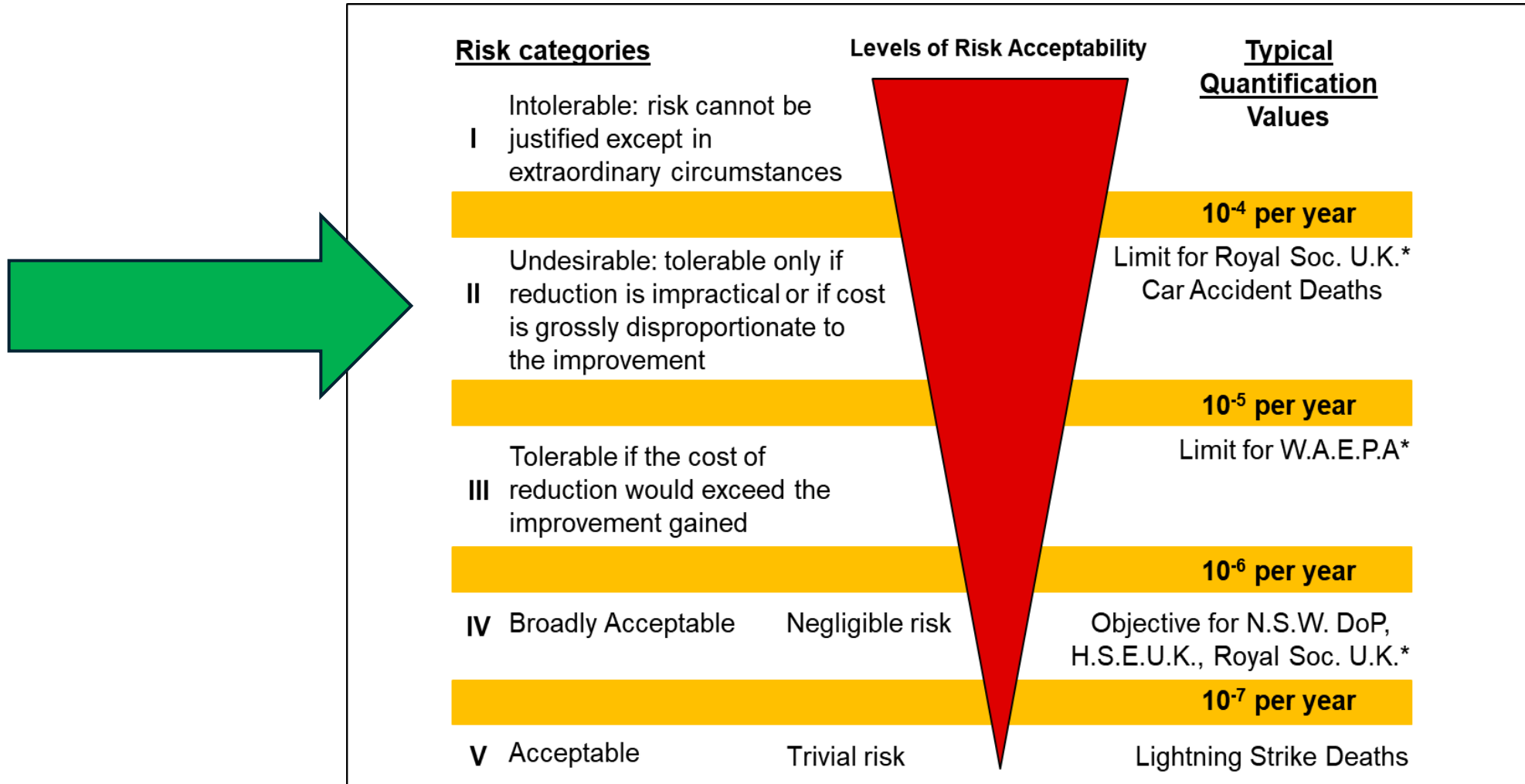
P가 0.001이라면 줄어드는 신뢰도는 약 0.002 감소

과다 보수성 제거 방안(5) – 비용/편익 분석 (CBA)적용



- 대안별로 추진하는 데에 소요되는 비용과 얻을 수 있는 기대 이익을 비교 평가
- 의료 개입, 프로그램 및 정책의 경제적, 사회적 영향을 평가하는데 널리 사용 (코로나 예방 접종)
- 미국의 현행 ROP(Reactor Oversight Process)에는 전통적인 결정론적·처방적 안전규제를 벗어나 확률론적·성능기반으로 진화, 위험도 정보활용 성능기반 규제(Risk-informed Performance-based Regulation, RIPBR)로 진행

과다 보수성 제거 방안(2) – 비용/편익 분석 (CBA)적용



방사선 공포에서 인류를 해방하자 !

감사합니다

spark3388@snu.ac.kr