

후쿠시마제일원전의 현황과 전망

-방사성오염수와 일본 원전 재가동을 중심으로-

일시: 2019년 3월 11일(월)

장소: 국회의원회관

일본마쓰야마(松山)대경제학부
교수 장 정욱

1. 방사성 오염수

1. 해발 35m의 토지(비행장)를 해발 10m로

(1) GE와의 Turn-Key 계약

→ 냉각수 취수펌프 능력과 추가비용(부두건설 등)의 절약

(2) 1966년 7월의 신청서

→ 해안근처까지 지하수면이 표고 20m

2. 풍부한 지하수(총 약 800t/d, 원자로에 약 400t/d)

(1) 미군의 항공사진 → 하천의 존재

(2) 사고전에도 우물(Drain)로 지하수의 추출.

◆ 양수 Drain → 사고전 57기(지하 10m, 약 730t/d 양수)

⇔ 현재, 신설의 42기

(1) 방사성 오염수의 발생원인

1. 오염수 증가원인과 저장부지의 한계

(1) 사고초기,

1) 지하수 유입(300t/d), 2) 빗물(100t/d)

3) 냉각수 주수(순환주수시스템, 216t/d) → 붕괴열 냉각
(2) 수위 조정 Drain = 주수용 33기 + 관찰용 100기

2. 대책(감소효과) → 유입량 100t/d 목표

(1) By-Pass Drain(약 470m에 12기, 20~100t/d, 2014.5)
→ 희석후, 해양방출

(2) 동토(얼음)차수벽(240t/d, 2014.6~2018.3)

(3) Sub-drain(42기, 200t/d, 2015.10) → 희석후, 해양방출

(4) 해측 차수벽(2012.4~2015.10)과 지하수 Drain(5기, 2015.10)

(5) 부지의 포장(2016.3)

3. 1~4호기건물내의 누적 오염수 → 약 3.9만톤

※ 현재 120t 유입, Sub-drain의 효과가 큼(원자력규제위원회)

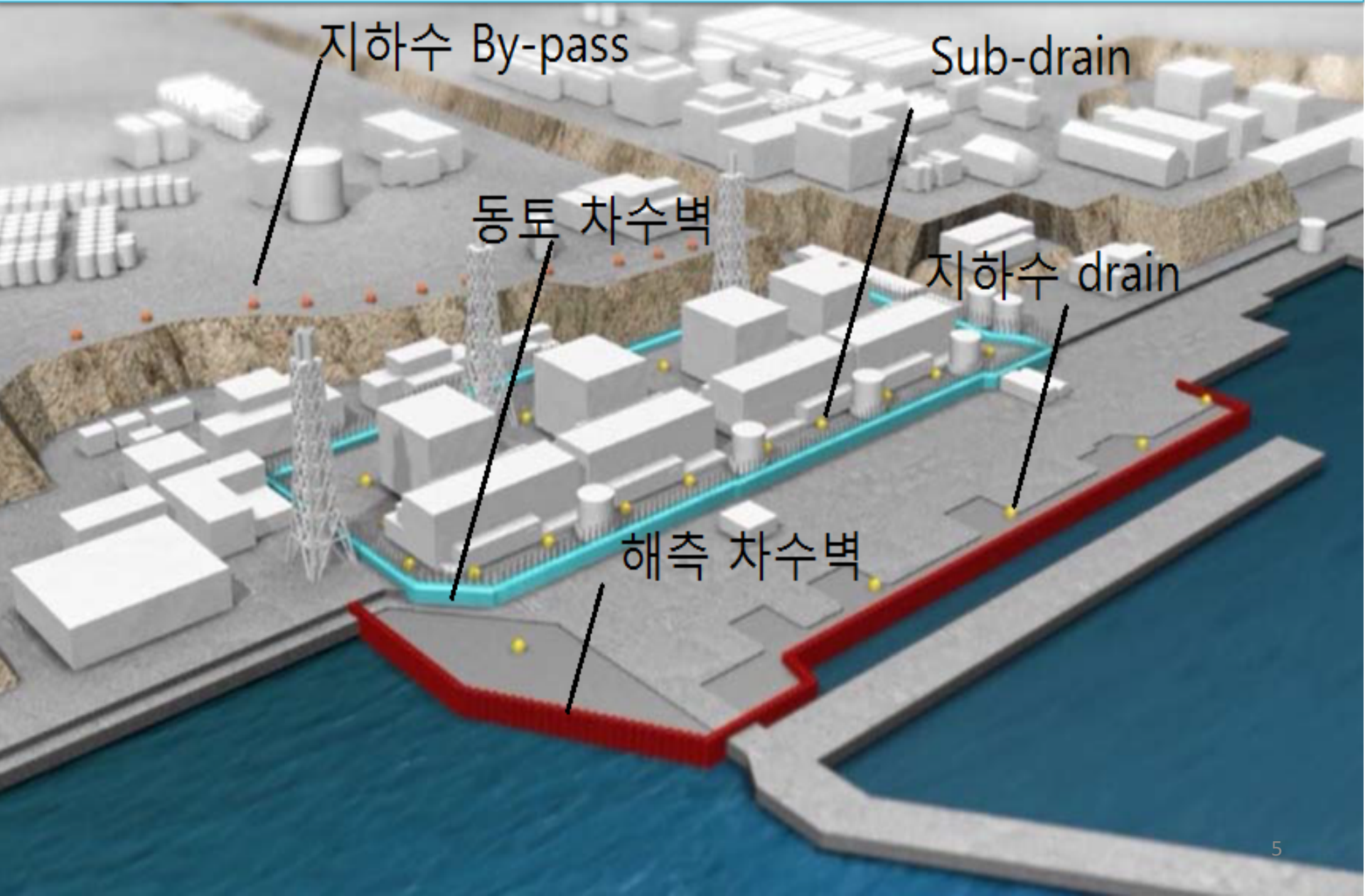
오염수 약 112만t, 저장탱크 약 950기

-2019.2.28 현재 -



출전)毎日新聞 2018년8월29일자

1F의 방수설비 개략도

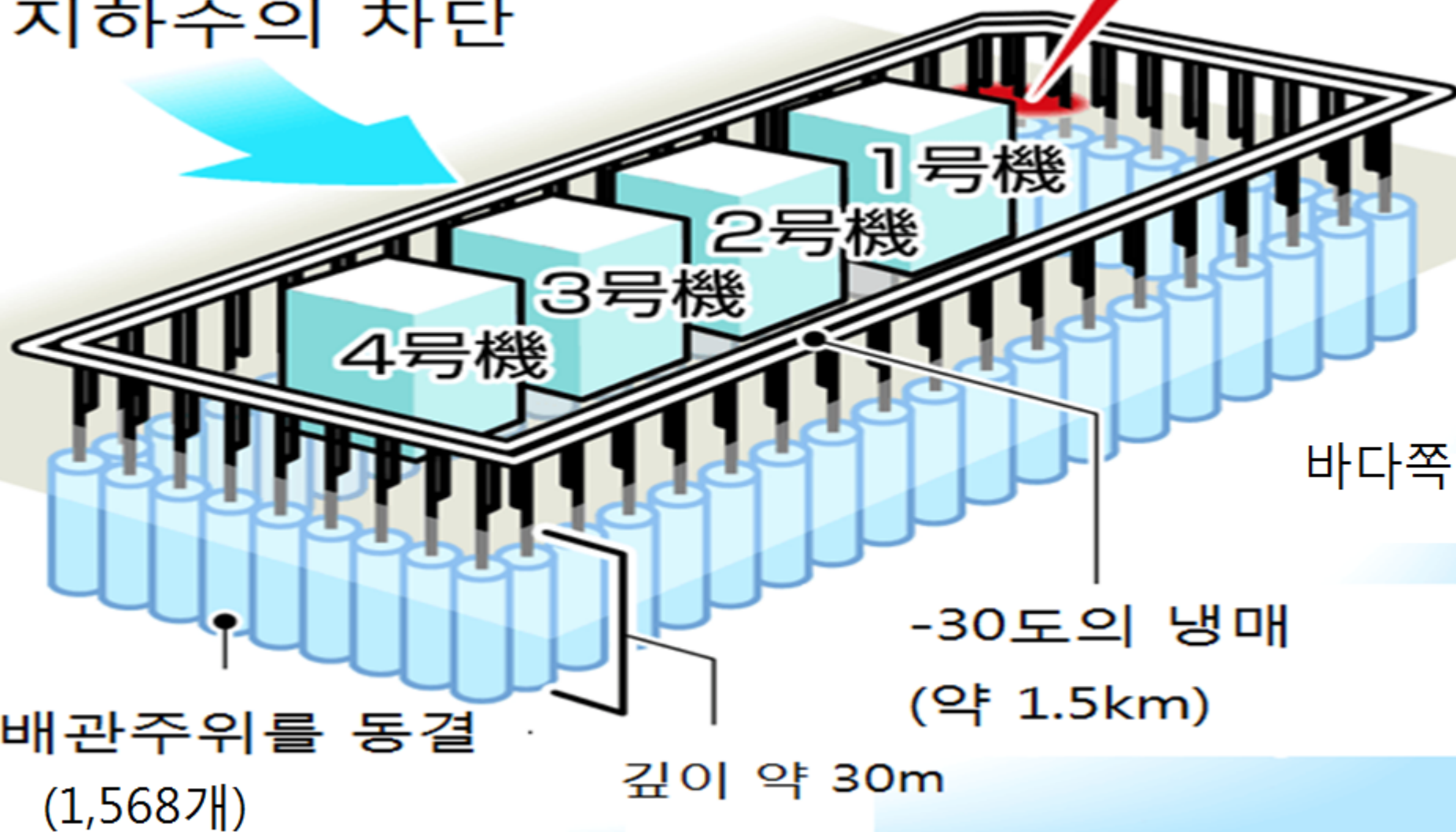


동토 차수벽(육측 차수벽)

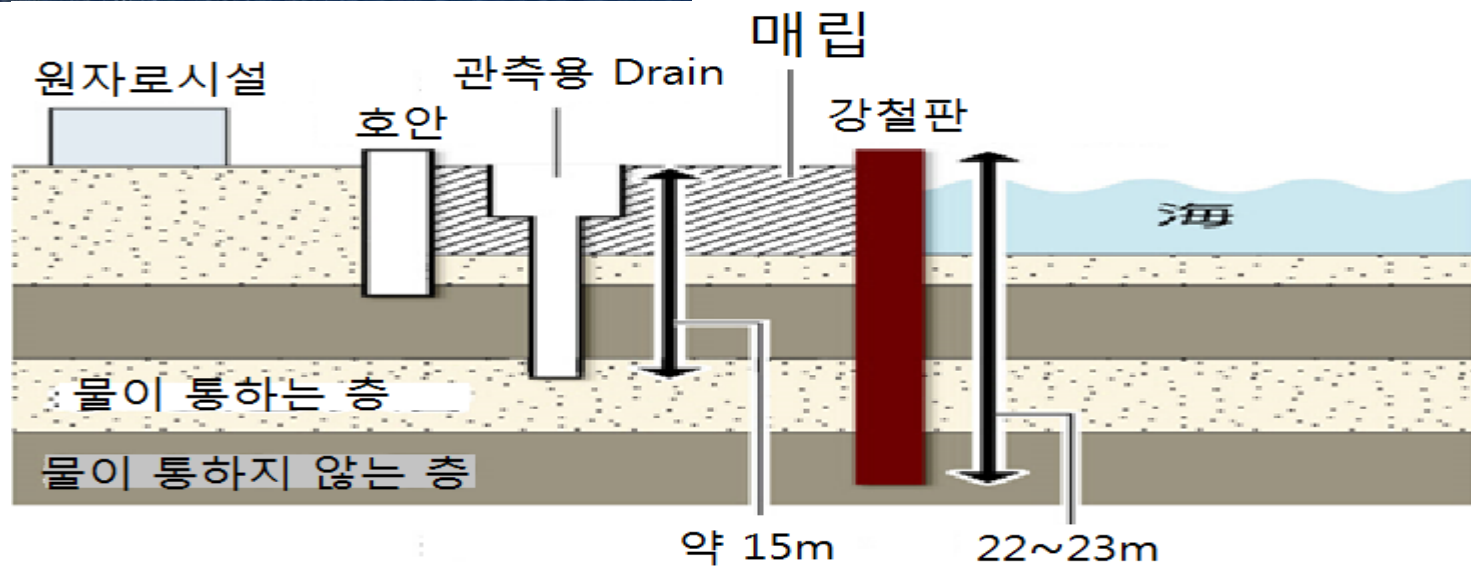
1. 345억엔의 **국비**(건설비)→토쿄전력(유지비)
→약 1.5km, 30m깊이, 1m간격, 벽두께 1.5m,
동결관 1,568개, 염화칼슘(냉매), 측온관 359개
2. 2013년(착공), 2020년까지 **7년**의 가동예정
→그동안에 누출방지의 완료가 가능한가?
3. **장기간**의 대규모 차수벽의 경험부족
4. 유지비용→**십수억엔/년**
 - (1) 전기요금(냉각순환)등의 유지비(약 5억엔/년)
 - (2) 시설의 교체비용(수명 약 5년)
→높은 염분인 냉매의 동결관(삼중구조) 부식

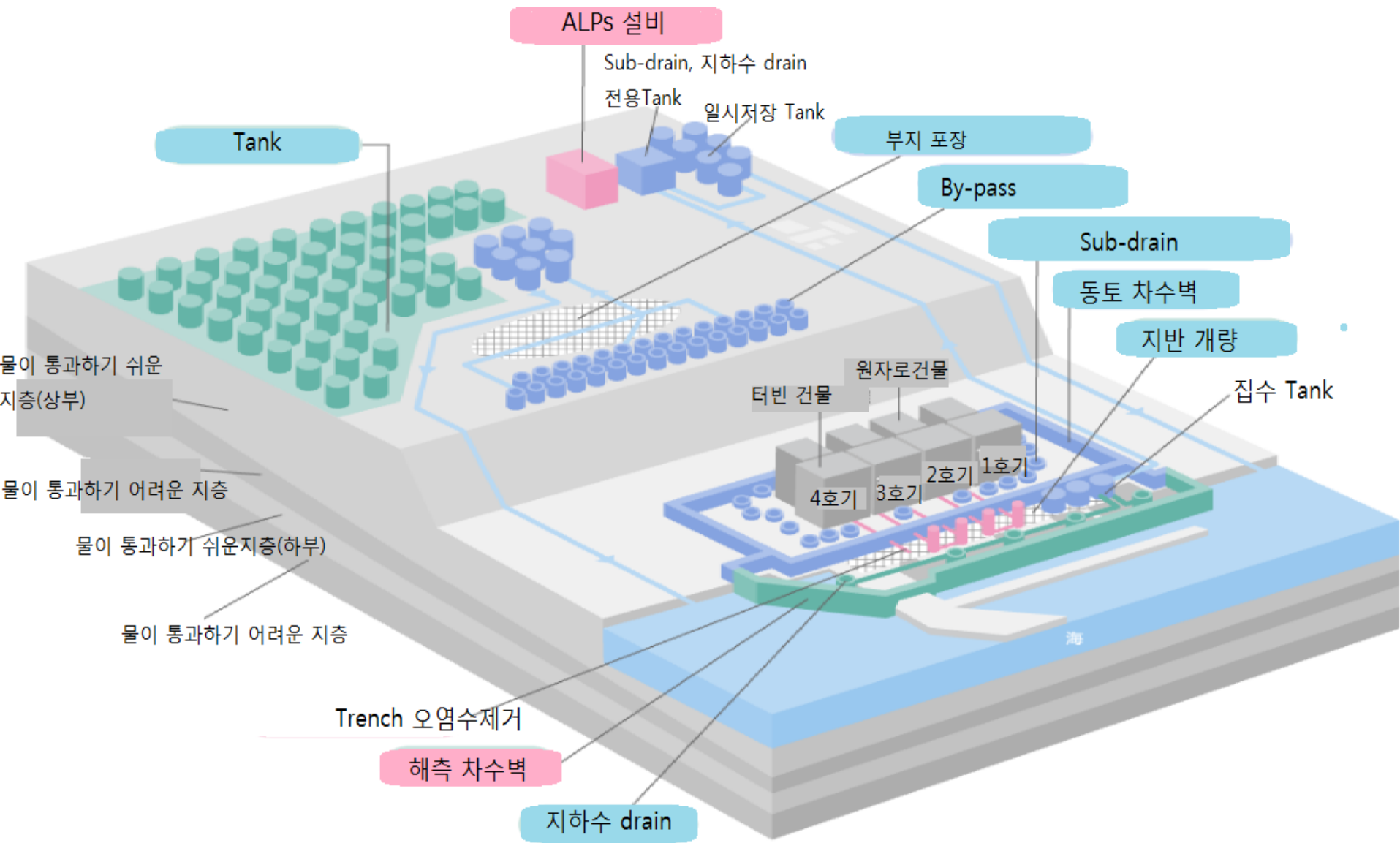
산에서 유입되는
지하수의 차단

2018년 3월 완공

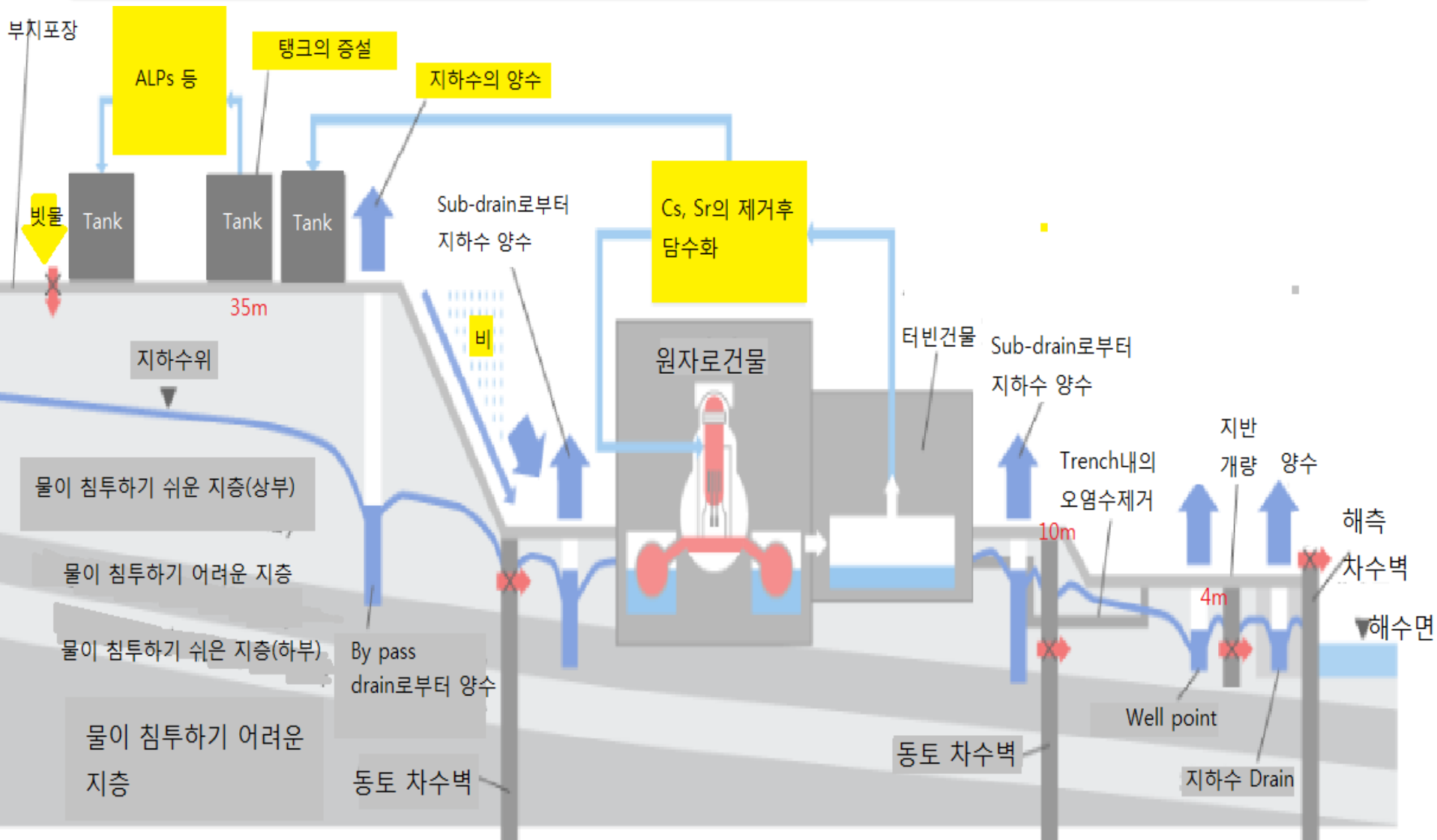


- 1.해측 차수벽: 780m(30m강철판×594개)
- 2.지하수-drain(5기), 3. Well point(2기)

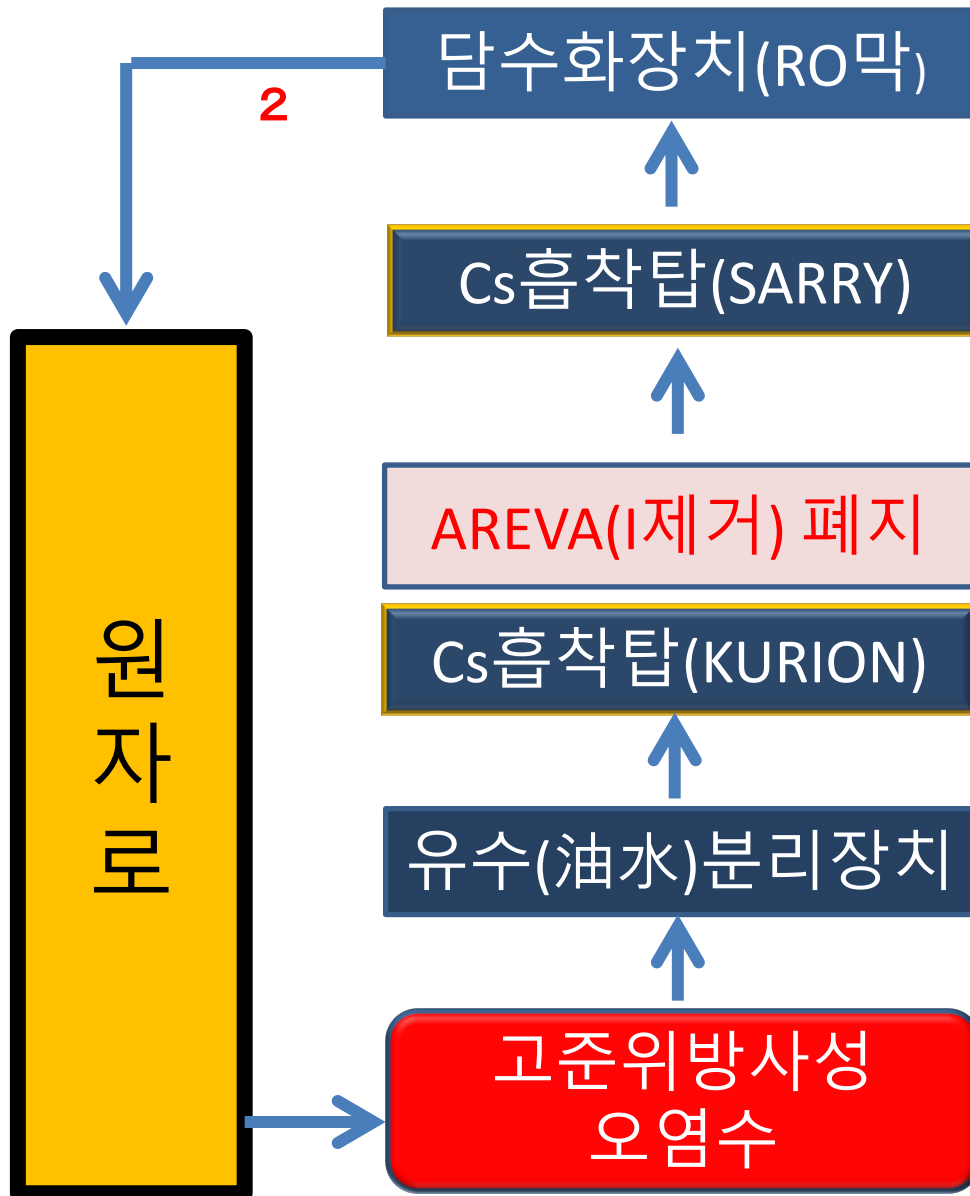




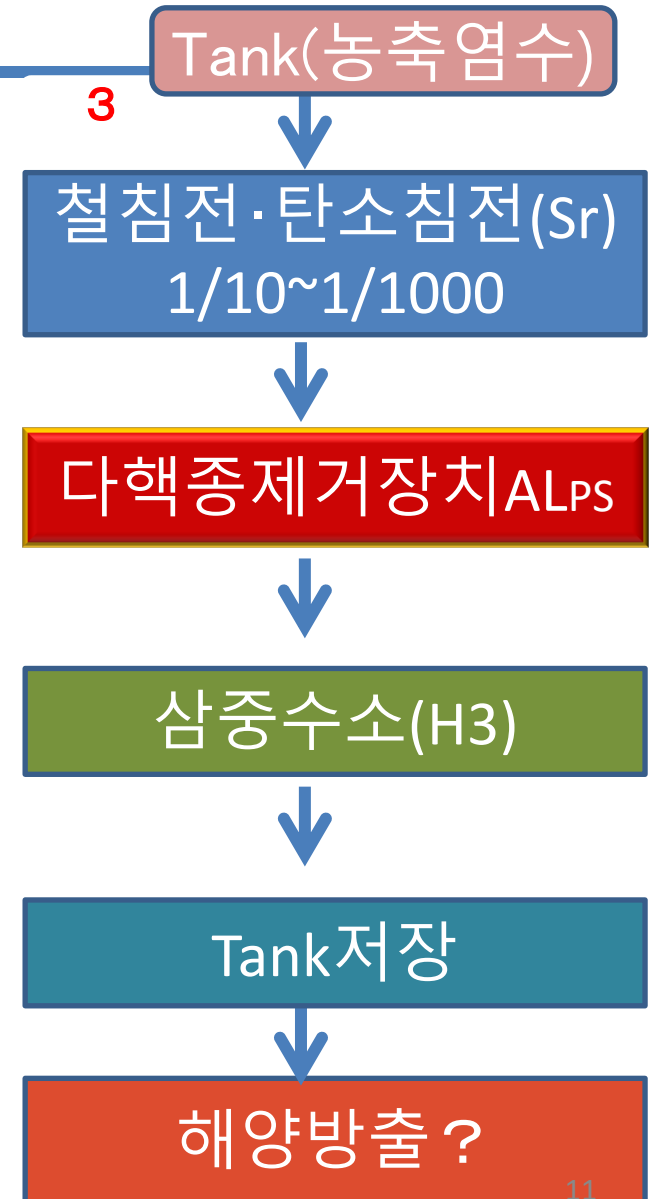
(2) 오염수의 정화시설



A. 순환주수System



B. 오염수정화



Cs흡착장치(SARRY)



Sr제거장치



KURION



ALPs(다핵종제거설비)



토쿄전력(http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/150129/150129_01_3_2_08.pdf#search=%27SARRY+KURION%27)

Flange Tank의 용접형 Tank

-週 3기의 Tank 증설이나 2기는 교환용-



Flange형 탱크



직경 16m×높이 14m

용접형 탱크

2019년 3월까지 전부 용접형으로 이송 완료계획? → Flange Tank 수명 5년

출전) 토쿄전력홀딩스

(3)기준초과의 오염수

1. 2018.10.1현재

(1)Cs+Sr의 처리수(약 175,918t,16.3%)와

(2)ALPS의 처리수(약 903,804t,83.7%)의

(3)계 약 1,079,722t

2. 처리수의 제염부족(2018.8.19 발표)

→2017년도에 ALPS를 거친 처리수(약 94만t)중의 약 88.7만t을 분석한 결과, 84%(약 75만t)의 기준초과가 확인

기준치(60,000Bq/L)의

(1)16.1만t은 기준치 10~100배

(2) 6.5만t은 100배이상, (3)최고 2만배이상

(4)삼중수소수 처분(2016.6)

-농도 50만~420만Bq/L-

	방 법		비용(80만톤)
1	지층주입	희석 또는 분리후, 지하 2,500m에 주입	주입구(20개) 약 6,200억엔
2	해양방출	희석 또는 분리후, 해양방출	약 34억엔
3	수증기 방출	희석·분리후, 증발처리후 H3을 포함한 수증기를 대기로 방출	약 349억엔
4	수소방출	삼중수소수를 전기분해하여, 수소로 환원하여 대기로 방출	약 1,000억엔
5	지하매설	삼중수소수를 시멘트 등에 섞어 콘크리트로 만든 후 매설	약 2,533억엔
※	보관후 방출	10만t탱크 11기 건설, 반감기 10배인 123년 보관후, 방출	11기×약 30억 = 약 330억엔

오염수 배출기준

	Cs134	Cs137	Sr90	H3
법령기준(일본)	60Bq/L	90Bq/L	30Bq/L	60,000Bq/L
배수허용한도(동경전력) -원전가동시-	1Bq/L	1Bq/L	* 10Bq/L	30,000Bq/L
운용목표(동경전력) By-pass	1Bq/L 60分の1	1Bq/L 90分の1	* 5Bq/L	1,500Bq/L 40分の1
WHO의 guideline(음료수)	10Bq/l	10Bq/l	10Bq/l	10,000Bq/L
EU				100Bq/L
미국				740Bq/L
캐나다				7,000Bq/L
러시아				7,700Bq/L

주1) * 는 Sr90을 포함한 모든 β 선 물질을 가리킨다 .

2)농도는 피폭선량을 EU(0.001mSv), 미국(0.01mSv), 캐나다(0.09mSv), 러시아(0.1mSv), WHO(0.13mSv)와 같이 정해두고 있다.

(5)식품등의 수입규제(2018.11.29)

		규제내용	국	
수입 규제의 국· 지역	수입 규제의 국· 지역	일본의 일부 지자체	6	한국, 중국, 싱가포르, 홍콩, 마카오, 대만
			2	미국, 필리핀
		일부 또는 모든 지자체의 조사증명서	16	인도네시아, 폴리네시아, 오만, 바레인, 이집트, 콩고, 모르코, EU, EFTA(아이슬란드, 노르웨이, 스위스, 룩셈부르크), 보르네이, UAE, 레바논, 러시아
			1	이스라엘
	완전해제의 국·지역		29	캐나다, 브라질, 아르헨티나, 터키, 말레시아, 볼리비아, 네팔, 베트남, 호주, 태국, 인도 등

54

농수산물의 수입금지 국 및 지역

-2018. 5.9 현재-

홍 콩	1위	5현	야채, 과일, 우유, 유아음료, 분유
중 국	3위	1도9현	모든 식품, 사료, 2018.11.29(니이카타현 쌀 해제)
타이완	4위	5현	모든 식품(주류 제외)
한 국	5위	일본국내에서 출하제한조치의 현	일본 국내의 출하제한조치의 품목
		8현	수산물
싱가포르	8위	1현(후쿠시마현)	임산물, 수산물
		발전소 주변 10시군읍	모든 식품 및 농산물
마카오	23위	1현(후쿠시마현)	야채, 과일, 유제품, 달걀, 수산물, 식육·식육가공품, 수산가공품
		1도8현	야채, 과일, 유제품

미국과 필리핀은 일본국내의 출하제한조치의 품목을 수입금지

해양수산물

1. 수산물의 Cs농도 측정(추정)
= 해수의 Cs농도 × 농축계수(표)

어류	식물 플랑크톤	동물 플랑크톤	해초 류	갑각 류	연체 류	두족 류
100	20	40	50	50	60	9

2. 후쿠시마의 수산물 검사(**자주규제 50Bq/kg**)

간이검사(조합)	정밀검사(시험장)	어업조합	국·현
25Bq/kg초	100Bq/kg초	출하 자숙	검사강화
	50Bq/kg초	출하 자숙	검사강화
	50Bq/kg이하	출하 가능	안전치가
25Bq/kg이하	출 하		아니다

후쿠시마현의 바다채취

1. 시험조업(2012.6~)

(1) 당초 3어종 → 3군데에서 1개월간 기준이하를 해제

(2) 2019.2.21, 207종의 출하가능

→ 바다고기(147종), 낙지·문어(13종), 새우·게(15종),
조개류(21종), 해초류(7종), 성게·해삼(4종)

2. 출하제한(8종) → 2019.2.28현재

(1) 농어의 일종, (2) 가자미의 일종, (3) 감성돔, (4) 볼락의 일종,
(5) 송어의 일종, (6) 조개류의 일종, (7) 솜뱅이, (8) 홍어의 일종

(1)



(2)



(4)



(5)



(6)



(7)

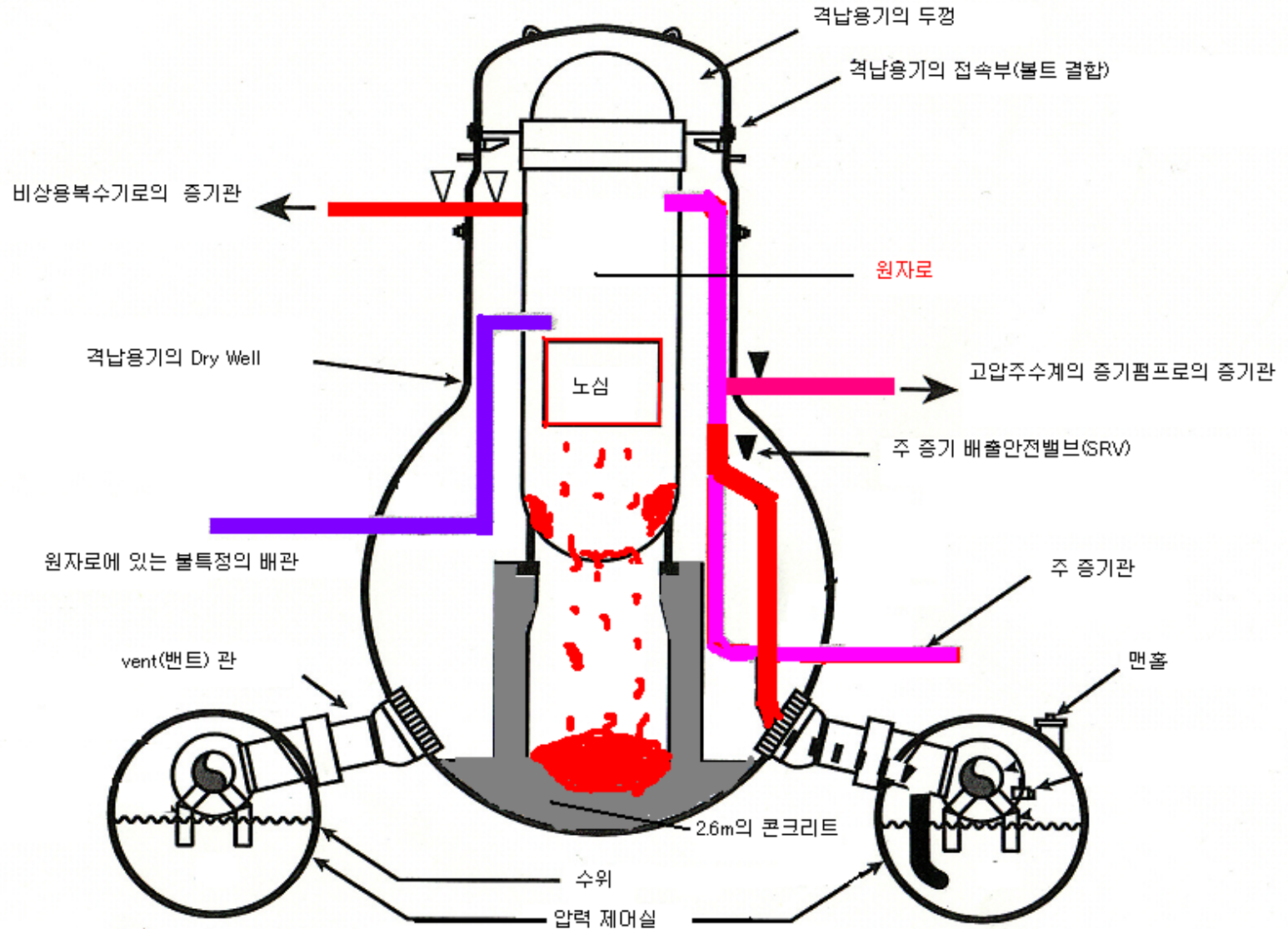


(6) WTO 소송

1. 2015.9→WTO, 분쟁처리소위원회(1심)
2. 2018.10.17→ 1심 일본의 승소
3. 최종심(2심)인 **상급위원회(정원 7명)**
 - (1) 최저인원 3인이 필요 = 현재 3인뿐
 - (2) 3인의 심의로, 분쟁해결처리의 차질
→ 9월 30일에 임기가 종료된 1인의 재임명에 대한 미국의 반대로 3인체제의 기능부진

한국은 β 선의 측정자료도 요구해야 한다

2. 폐로작업의 한계



Debris의 추출 가능?

	1호기	2호기	3호기	계
연료	69t	94t	94t	257t
Debris	279t	237t	365t	880t
SF	392체	615체	566체	1535체

관수공법	용기파손 (관수불가)	1.수직 약 50m의 높이 2.관수가 가능해도, 내진성능의 저하
기중(氣中) 공법	부분적 관수?	방사능의 차폐곤란

시행착오로 공정연기가 일상화

1. 2019년도내, 추출방법과 시험적 추출
2. 2021년부터, 1기의 본격적 추출 개시?

기술적 과제

- 1.오염수의 **지속적인 증대**(지하수, 냉각수)
 - 용융핵연료(Debris)의 완전추출때까지 ⇔ 공냉식(자연대류)?
 - 도쿄전력은 110만t의 저장계획(2020년까지 140만톤 확장)

저장탱크의 저장한계→2021.1이후의 증설계획 무

→ **공냉**의 가능성(체르노빌)? ⇔ 공기의 자연대류?

2. 격납용기의 "**관수(冠水)공법**"의 곤란

⇔ **기중(氣中)공법** → 방사선차폐 곤란과 미세먼지(입자)의 발생

석관

3. Debris의 완전 추출 불가능 ⇔
 - Debris의 **위치, 양, 강도, 성분** 등 ?
 - 오염수의 지하부분(세로 46m, 가로 56.4m, 깊이 17.1m/기)을 스트렌스 강판으로 막음(200억엔, 공기4년/기)
 - Melt-through의 가능성----추출불가

3. 1F사고와 처리비용

	정부 (당초)	경제산업성 (2016.12)	일본경제연구센터	
			오염수전량처리 ³⁾	오염수 해양방출
폐로·오염수	JPY2.0조	JPY8조	JPY32조 ¹⁾	JPY11조
배상	JPY5.4조	JPY7.9조	JPY8조	JPY8.3조 ⁴⁾
오염제거	JPY2.5조	JPY1.6조	JPY30조 ²⁾	JPY30조
중간저장	JPY1.1조	JPY4조		
계	JPY11조	JPY21.5조	JPY70조	JPY49.3조

1) 1~3호기의 모든 폐기물을 방사성폐기물로 간주하여 계산

2) 제염(오염토)의 최종처분비용(JPY30조)은 LLW취급비용으로 환산

3)오염수의 전기화학 처리비용으로 JPY20조

4) 방출시의 어민에의 보상금 JPY3000억추가

제3자의 지원 불가결

	토쿄전력	다른 전력	신 전력	일본정부
폐로·오염수	JPY2.0조 → JPY8.0조	JPY	JPY	연구개발지원 2016년말까지JPY0.2조
배 상	JPY2.7조 → JPY3.9조	JPY2.7조 → JPY3.7조	JPY0.24조	(계 JPY7.9조)
오염제거	JPY2.5조 → JPY4.0조	JPY	JPY	주식 매각익
중간저장		JPY	JPY	JPY1.1조 → JPY1.6조
계	JPY7.2조 → JPY15.9조	JPY2.7조 → JPY3.7조	JPY0.24조	JPY1.1조 → JPY1.6조

1 일본정부의 교부금(교부공채)→당초의 JPY5조가 현재 JPY 13.5조

2. 2019.2.15현재, 기지불배상액은

JPY 8조 7207억 > JPY 7.9조

국가책임의 추궁

1. 집단소송만

→ 20개 재판소, 25건의 소송, 원고 12,376명

2. 올 2월20일까지, 도쿄전력과 함께 **정부의 배상책임**을 묻는 소송의 판결이 6건→원고승소 **5건**

규제권한의 불행사에 따른 책임

- (1) 도쿄전력의 내부 계산결과 15.7m(2008.3)
- (2) 2009년의 내진Back-check WG에서 쓰나미상정
부족을 지적
- (3) 대책보고는 2011.3.7
→ 이 사실의 정부 공개는 2011.8월초

4. 재가동의 전망?

1. 2019년도의 재가동 가능성?

→오나가와2호기?

2. 원자력안전협정의 존재

(1) 입지 및 주변지역 수장 및 지사의 **사전 동의권?**

→토카이제2원전의 경우(반경 30km내의
입지현+입지촌+**5시**, 나머지 8시정)

(2) 토카이제2원전(2023년재가동, 110만kWe)의 안전대책비

→당초의 1740억엔이 약 3000억엔으로 증가

3. 규제기준의 강화

(1) 소규모원전(60만kWe이하)의 **채산성 저하**

안전대책비 ⇔ 수명연장에 따른 수익

(2) 오오이원전(117.5만kWe)는 예외

→구조적 문제로서 얼음덩어리를 이용한 격납용기

4. 2030년의 20~22% 유지(**7기?**) ⇔ **신증설의 곤란**

건설(상업로)		57기
폐로확정 20기	1F사고전	3기 (GCR1기 +BWR2기)
	1F사고후	17기 (BWR9기 +PWR8기)
가동가 37기 (BWR18기 + PWR19기)	가동중	9기(모두 PWR)
	수명연장	4기(모두 PWR)
	준비?	24기
건설중		3기 (ABWR)

- 1.후쿠시마제2원전 4기는 미확정
- 2.활성단층위에 주요시설이 있는 원전(3~4기)

특정중대사고 등 대처시설

본체시설에 의해 중대사고 등 대책에 필요한 기능을 갖춘 후에도, 그 신뢰성 향상을 위한 Back-up 대책

1. 원자로건물에 고의에 의한 대형항공기 충돌 그 밖의 테러에 대처하는 시설
2. 원자로격납용기의 파손을 방지하기 위해 필요한 설비

* 기설(既設)제어실을 사용할 수 없게 된 때의

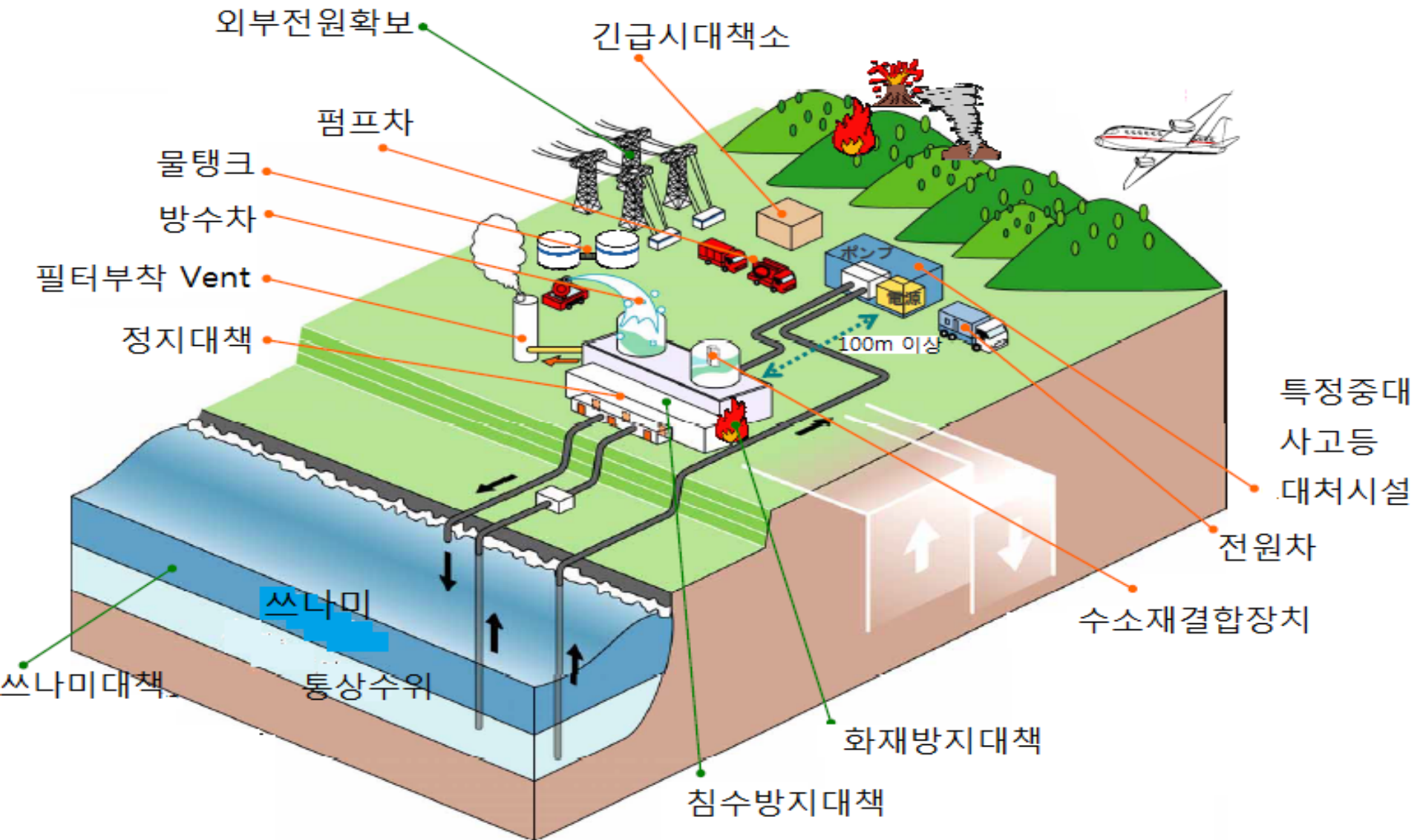
제2제어시설

* 예비전원설비(所內상설직류전원설비, 3계통째)

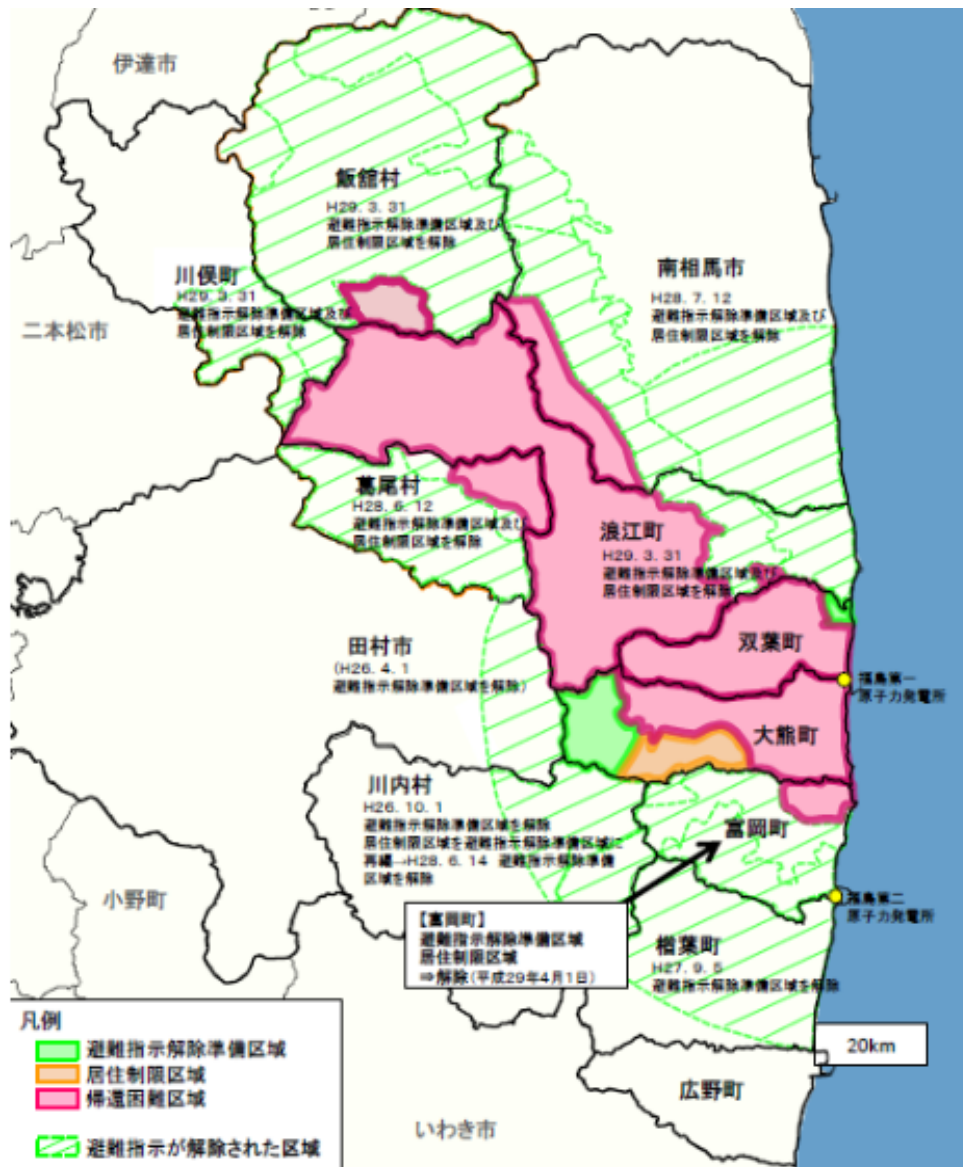
* 예비주수설비

* 여과배기장치 등

개요



후쿠시마현의 현황(7시정촌)



1. 후쿠시마현외 피난자
32,768명(2019.2.28)
(1)재해관련사 2267명
공식(2250명, 2018.9.30)
(2)직접사망자 1614명

2. 공동체 소멸!
(1)노인중심의 귀환율
(2)생활 및 지역산업
기반시설의 미회복

3. 귀환곤란구역(6정촌)에
“(부흥재생거점구역(부흥거
점)”건설→국비투입

국내 관련제도의 개정 필요

1. 지방세법의 개정→**법정외세**의 도입 특히 **법정외목적세**로 지방분권과 재생에너지 추진, 지역자원시설세의 폐지
2. 발전소주변지역지원제도의 개정
 - (1)관리주체의 변경→제3자기관
 - (2)기준의 수정(출력→설비용량, 기간 등)
3. 전원개발촉진법의 즉각폐지
4. 지방자치법의 개정
 - (1)주민투표제의 도입, (2)원자력안전협정의 도입
5. 원자력시설의 폐로적립금의 외부위탁(공탁)
 - (1)민간 및 **국가의 원자력시설**의 폐지비용의 기금화
 - (2)최종처분장 비용의 기금화
6. 원자력안전규제의 강화 →안전설비 완공시기에 대한 제재강화
7. 원자력안전위원회위 강화 → 원자력안전기술원과의 통합
8. 사용후핵연료의 중간저장관련 법의 정비 및 강화---특히 월성원전
9. 원자력손해배상법의 개정→기능부전 상태
- 10.방재(피난)계획의 충실화
→훈련회수의 확대, 요소제 사전배포, 대피시설 등
- 11.전기요금제도→총괄원가요금제도의 폐지

경청해 주셔서 감사합니다



行不由徑