

한국원자력학회 원자력이슈포럼  
“후쿠시마 사고 이후 10년 현재의 원자력은?”

# 후쿠시마 원전 현황

2021. 3. 8.(월)

**백 원 필**

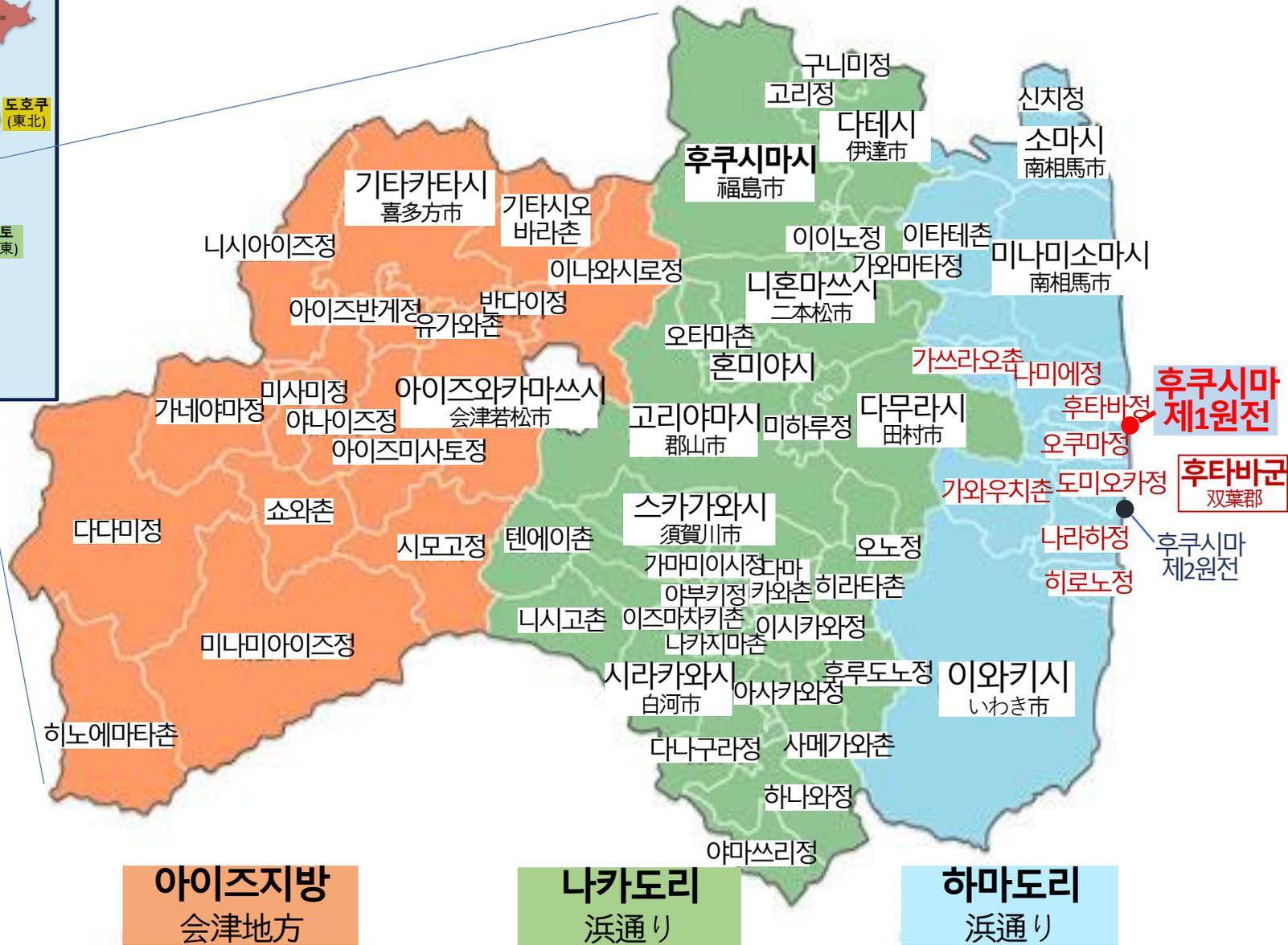
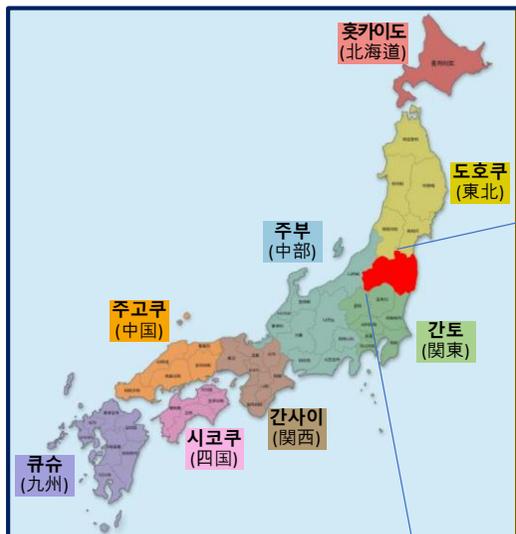
한국원자력연구원 前부원장

[wpbaek@kaeri.re.kr](mailto:wpbaek@kaeri.re.kr)

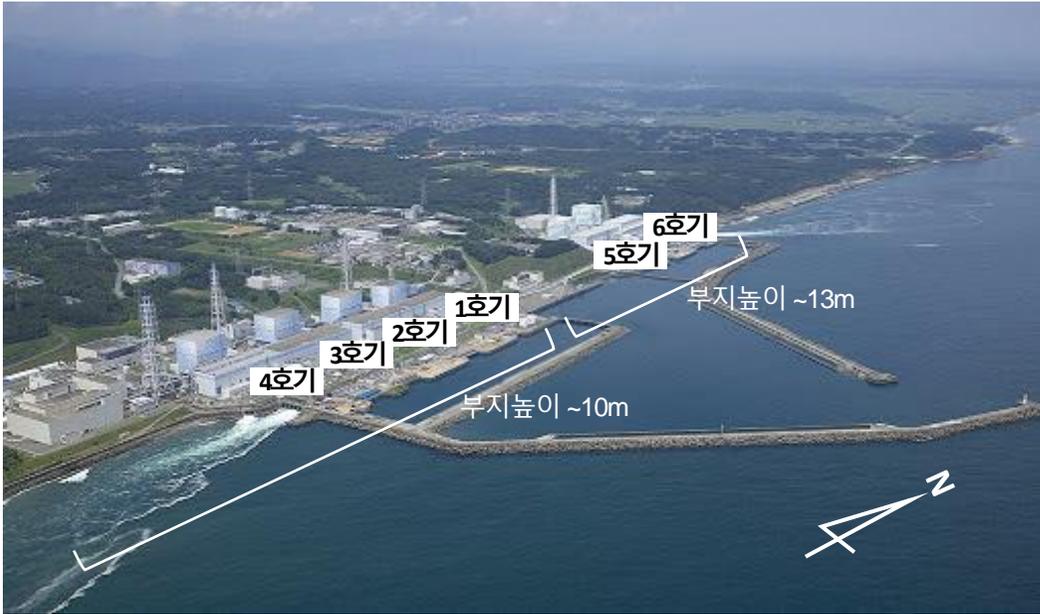
# 목 차

- 후쿠시마 제1원전 개요
- 사고원전 현장: 폐로 및 오염수 관리
- 제염(오염제거) 및 지역사회 복원
- FAQ

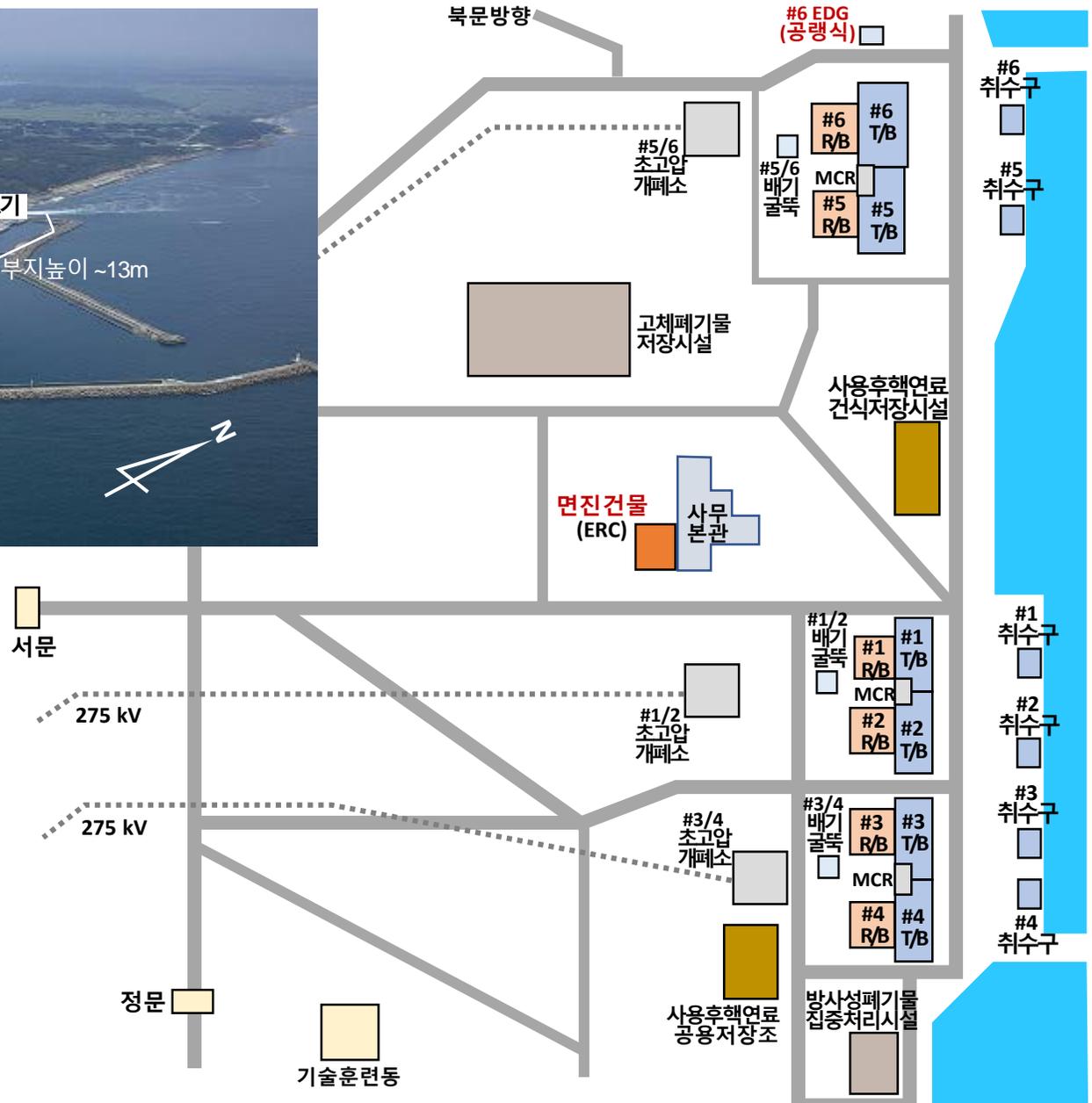
# 후쿠시마 제1원전 위치



# 사고 전 후쿠시마 제1원전



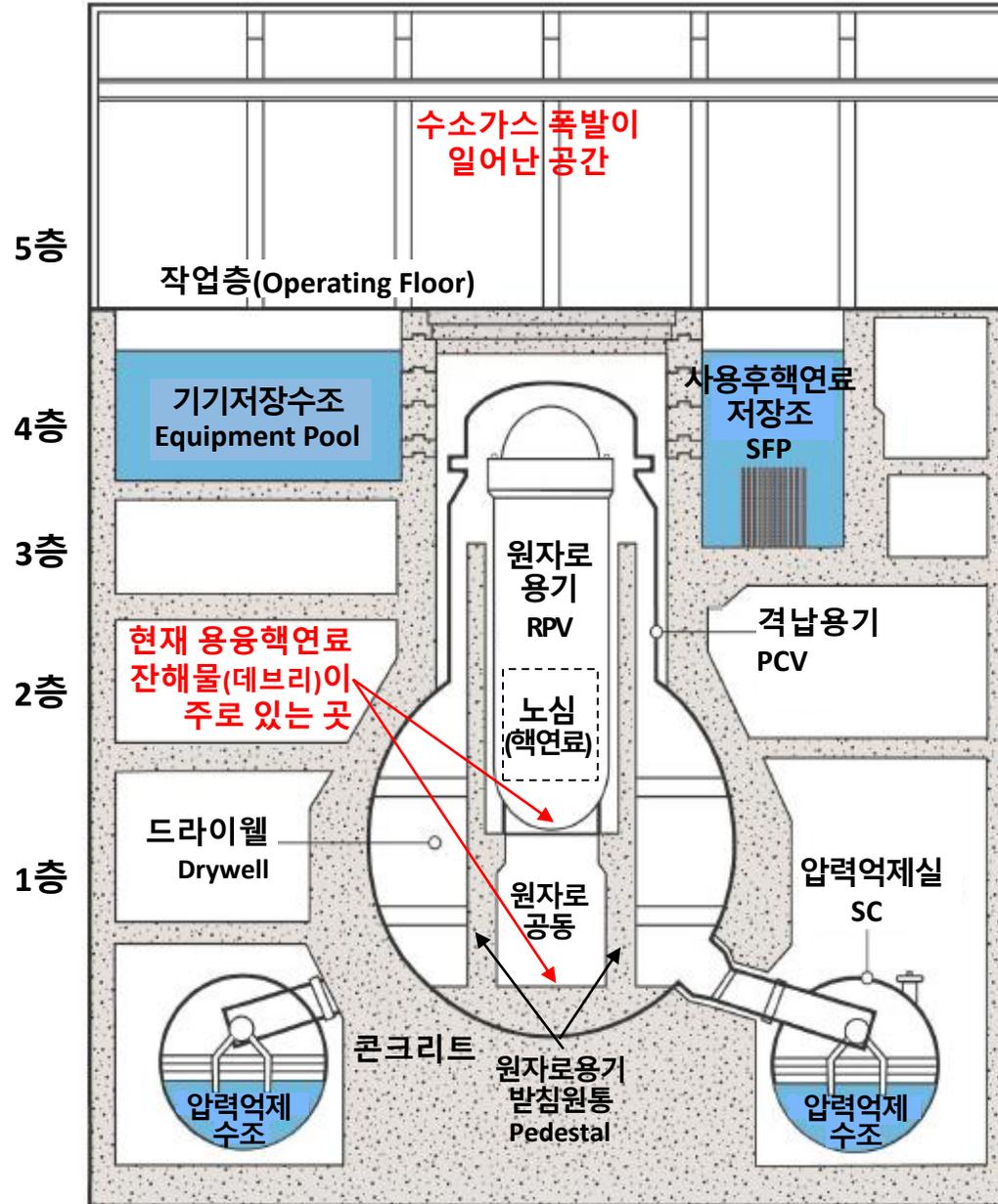
- 1호기: BWR-3(460MWe)
- 2-5호기: BWR-4(784MWe)
- 6호기: BWR-5(1,100MWe)



# 최근의 후쿠시마 제1원전



# 후쿠시마 제1원전 원자로건물



# 주요 참고 자료

■ 일본 폐로·오염수대책팀/사무국회의 자료(2021.2.25)

■ 일본 원자력위원회 회의 자료(2021.3.1)

■ 일본 도쿄전력, 부흥청, 환경성 및 후쿠시마현 자료

■ 한국원자력학회 후쿠시마위원회 보고서(2013.3)

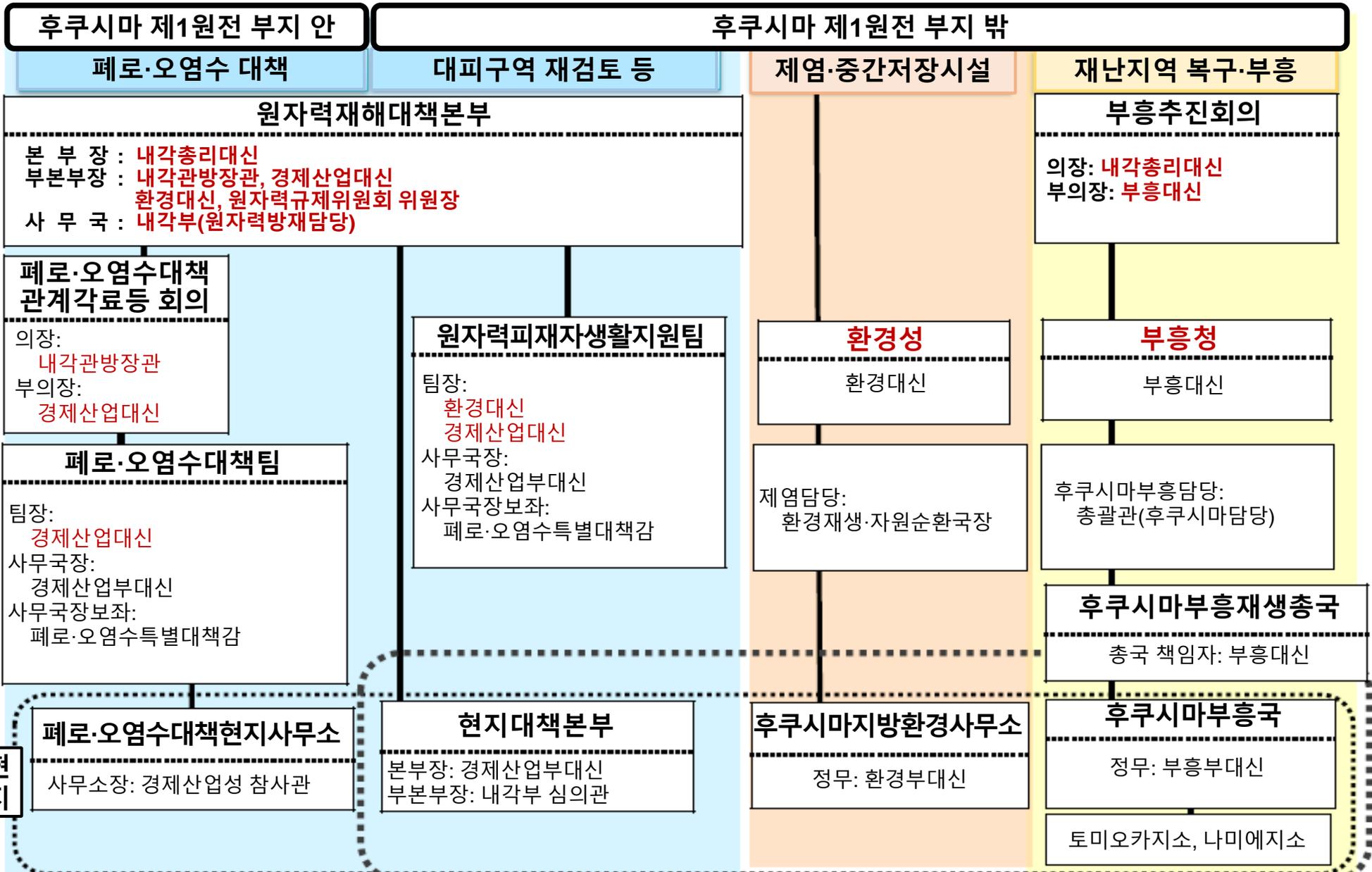
■ 국내외 언론 보도

※ 뉴스톱, “모두를 위해 ‘후쿠시마 방사능 지도’를 그리다” 시리즈 (2019.12.3~2020.1.8),  
(<http://www.newstof.com/news/articleView.html?idxno=10086>)

# 목 차

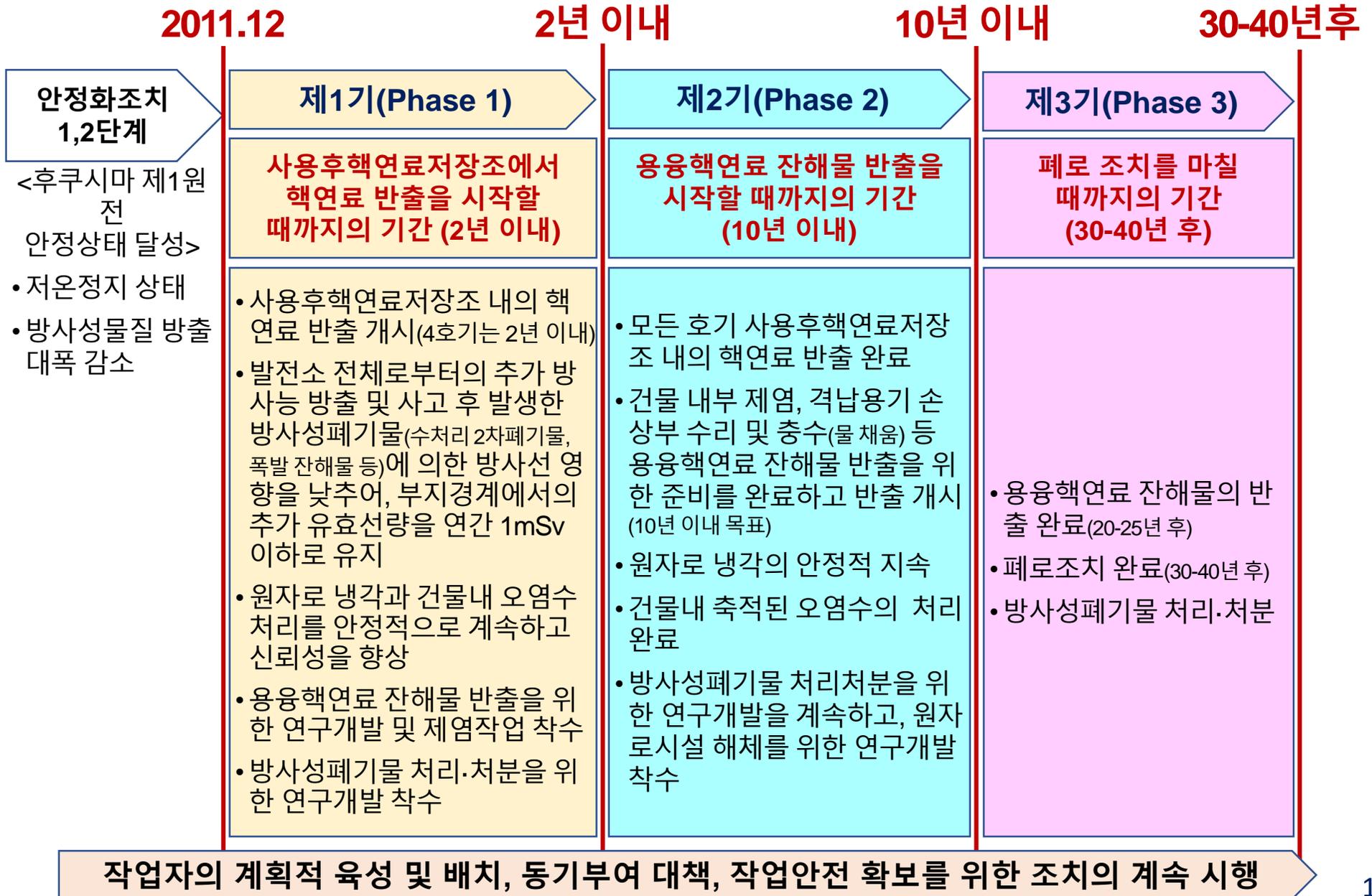
- 후쿠시마 제1원전 개요
- 사고원전 현장: 폐로 및 오염수 관리
- 제염(오염제거) 및 지역사회 복원
- FAQ

# 후쿠시마 복구·부흥 관련 일본정부체계

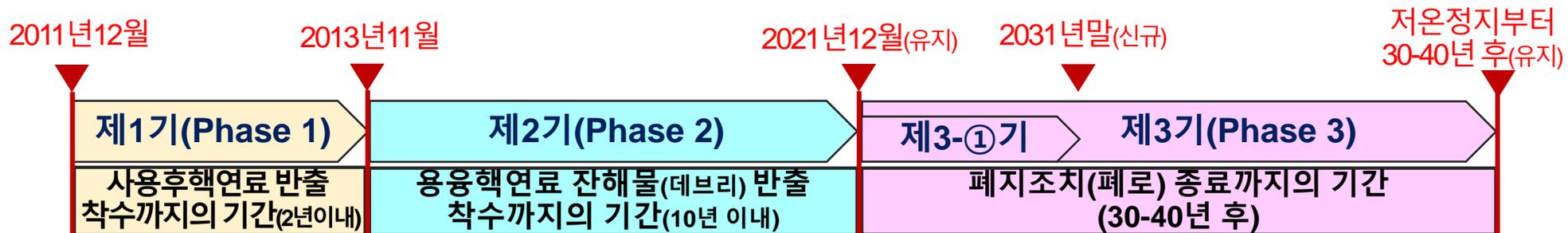


현지

# 중장기 폐로 로드맵 – 최초(2011.12)



# 중장기 폐로 로드맵 – 현재(2019.12, 5차개정)

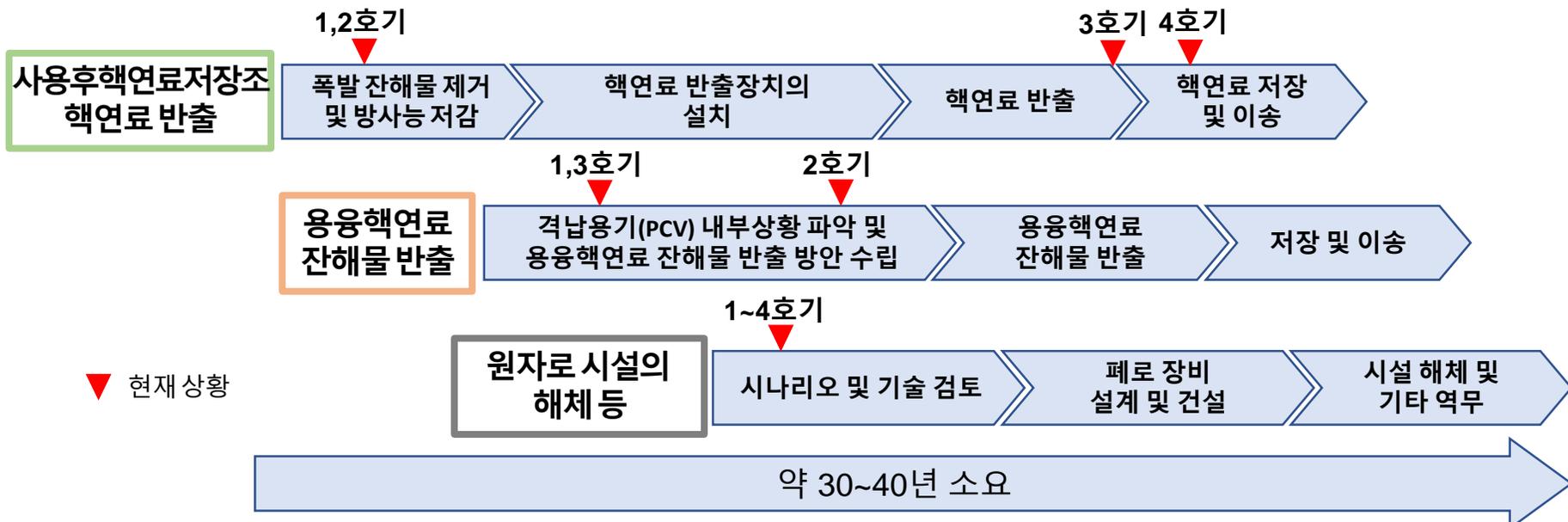
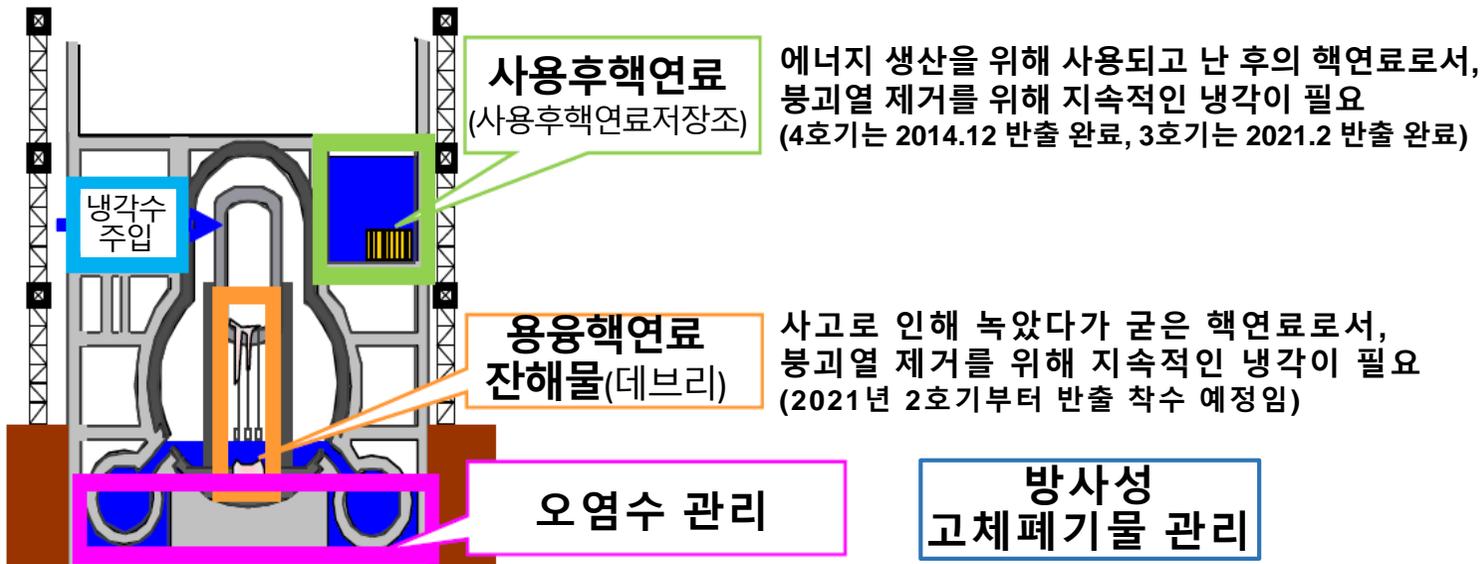


## 주요 목표공정(Milestones)

구분	목표	4차개정 (2017)	5차개정 (2019)	비고
오염수 대책	오염수 발생량을 150m <sup>3</sup> /일 수준으로 억제	2020년	2020년	
	오염수 발생량을 100m <sup>3</sup> /일 이하로 억제	-	2025년	신규(발생량 추가 감축 목표 설정)
	건물내 오염수 처리 완료	2020년	2020년*	조정(처리가 어려운 일부 건물 제외)
	원자로건물 체류수를 2020년 절반수준으로 감축	-	2022-24 회계년도	신규
사용후핵연료 저장조로부터 핵연료 반출	1-6호기 핵연료 반출 완료	-	2031년	신규
	1호기 원자로건물 대형 커버 설치 완료	-	2023 회계년도경	신규
	1호기 핵연료 반출 개시	2023 회계년도경	2027-2028 회계년도	개정(안전 확보와 먼지 비산 방지를 위해 공법 변경)
	2호기 핵연료 반출 개시	2023 회계년도경	2024-2025 회계년도	개정(안전 확보와 먼지 비산 방지를 위해 공법 변경)
용융핵연료 잔해물 반출	첫호기 용융핵연료 잔해물(데브리) 반출 개시 (2호기부터 착수하고, 단계적으로 반출규모 확대)	2021년	2021년	
폐기물 대책	처리·처분 방법과 안전성에 관한 기술적 검토	2021 회계년도경	2021 회계년도경	
	수소가스폭발 잔해물 등의 옥외 임시보관 해소	-	2028 회계년도	신규

※1-3호기 원자로건물, 프로세스주건물, 고온소각로건물은 제외

# 사고원전 폐로 핵심과제 및 진행상황 요약



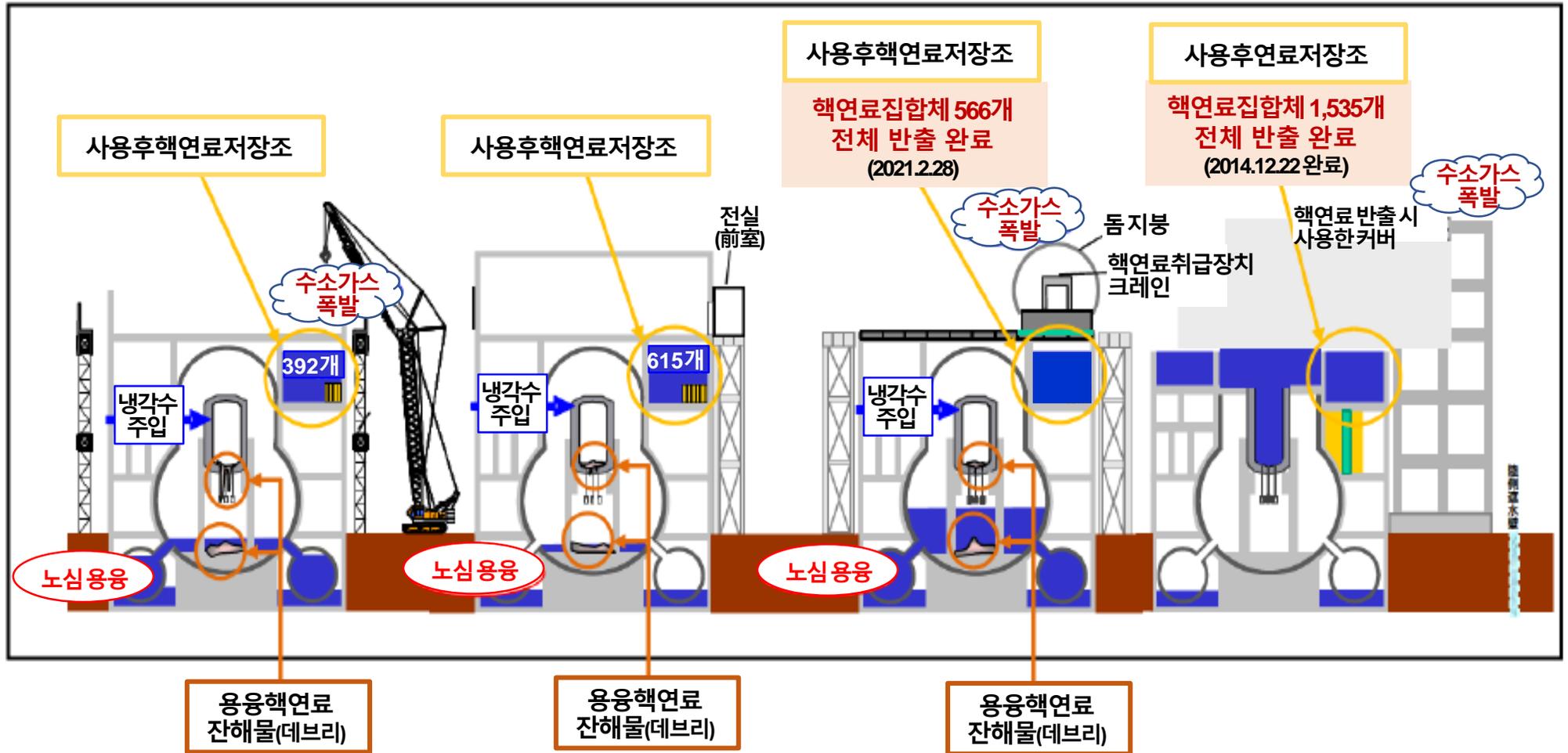
# 후쿠시마 제1원전 1~4호기 상태 요약

1호기

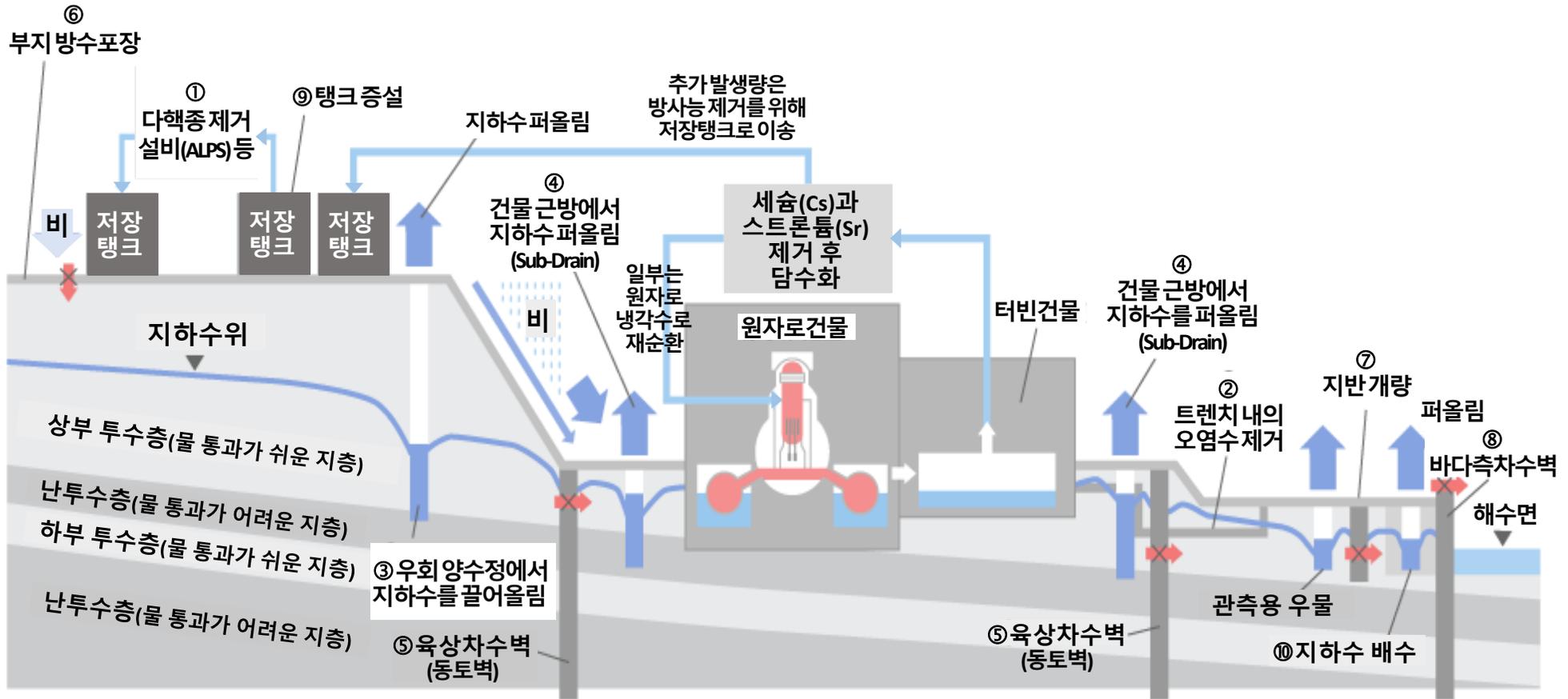
2호기

3호기

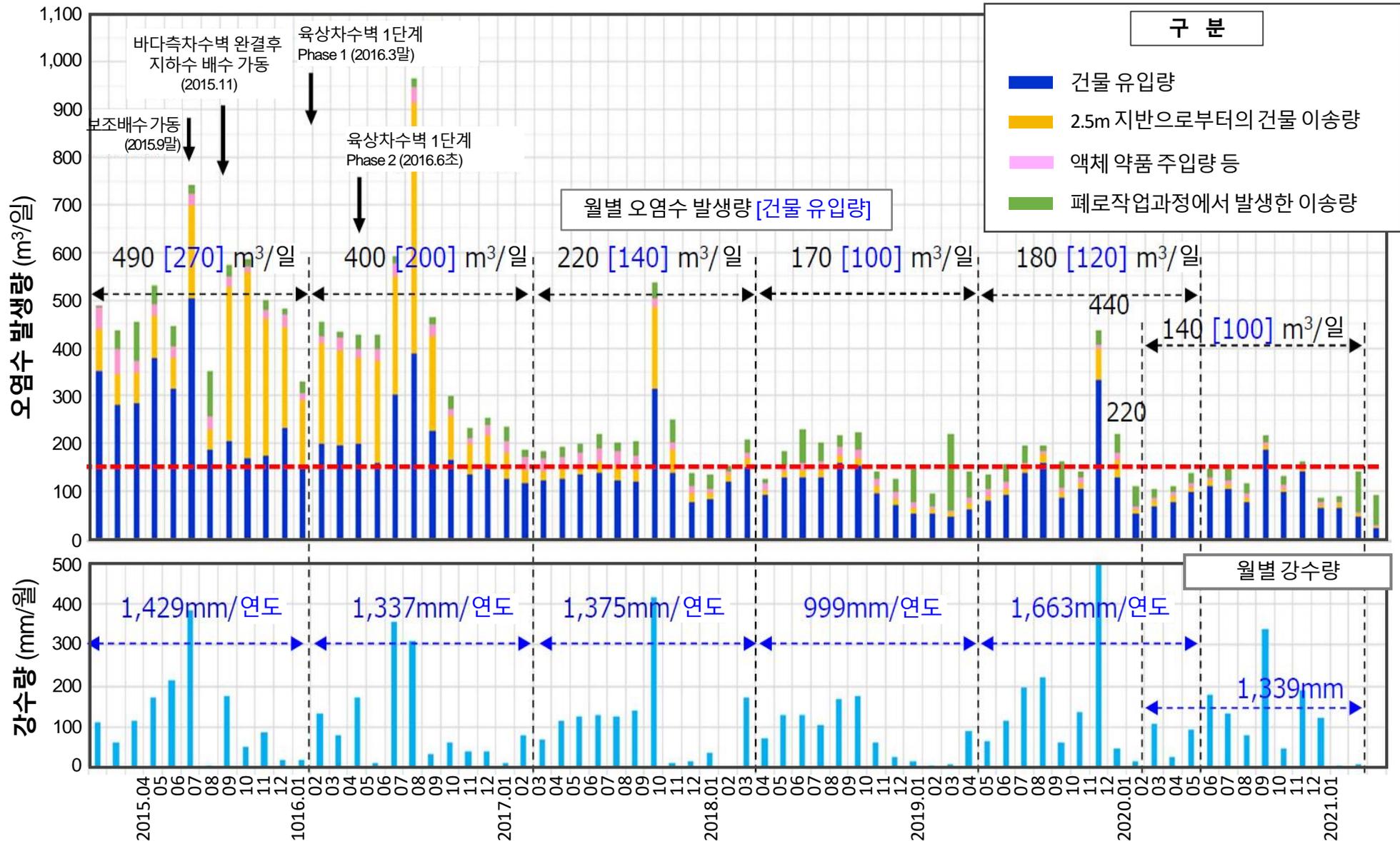
4호기



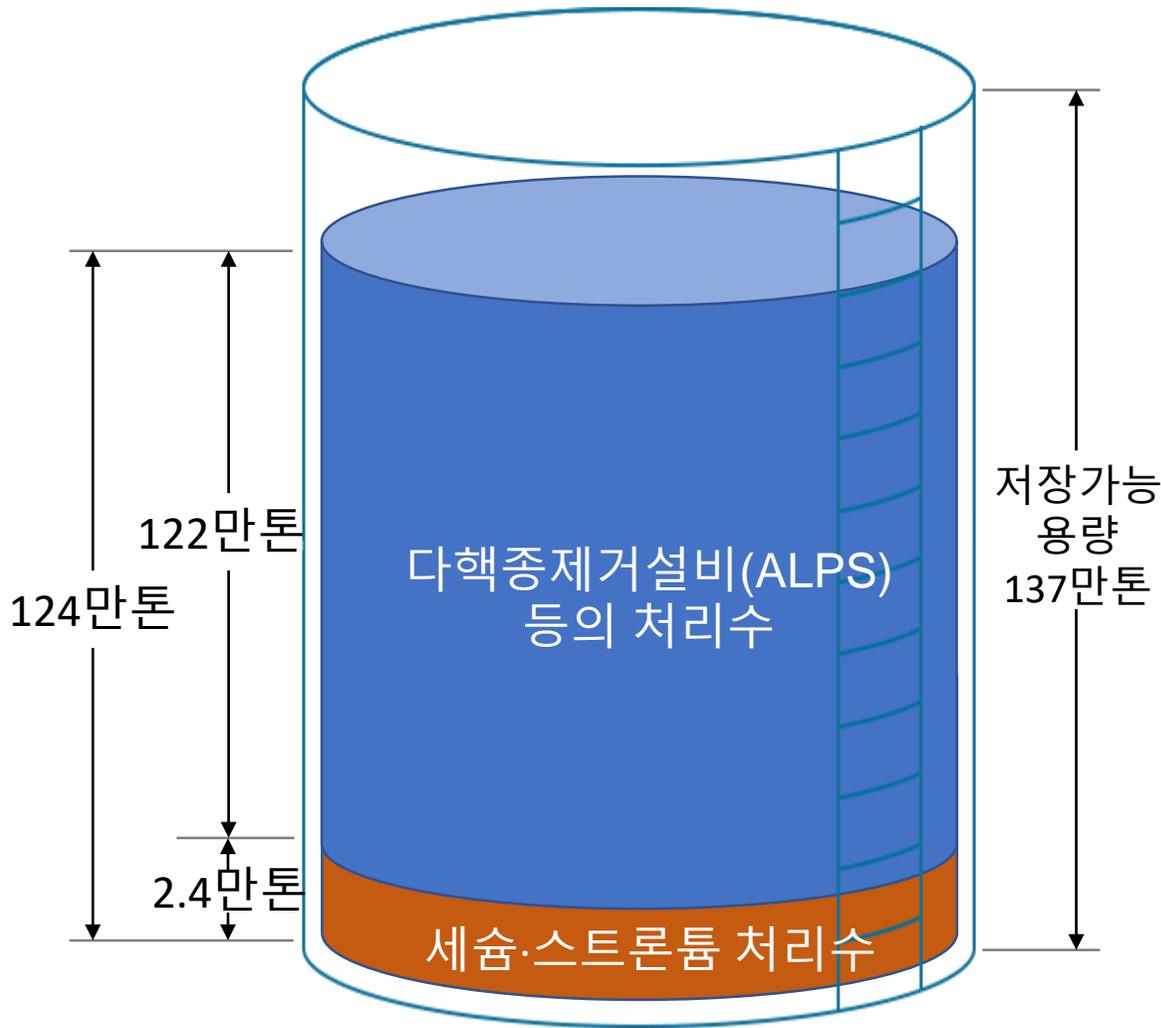
# 후쿠시마 제1원전 오염수 관리



# 후쿠시마 제1원전 오염수 발생 추이

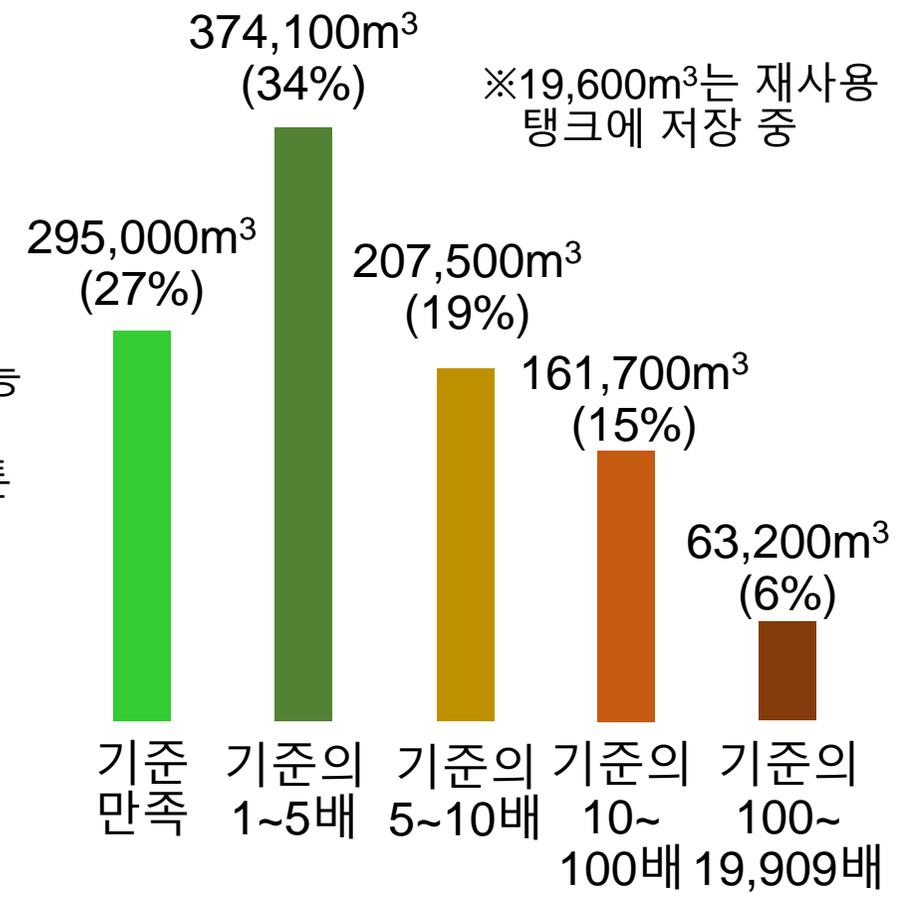


# 후쿠시마 제1원전 오염수 저장 현황



2020.12.17. 기준 오염수 현황

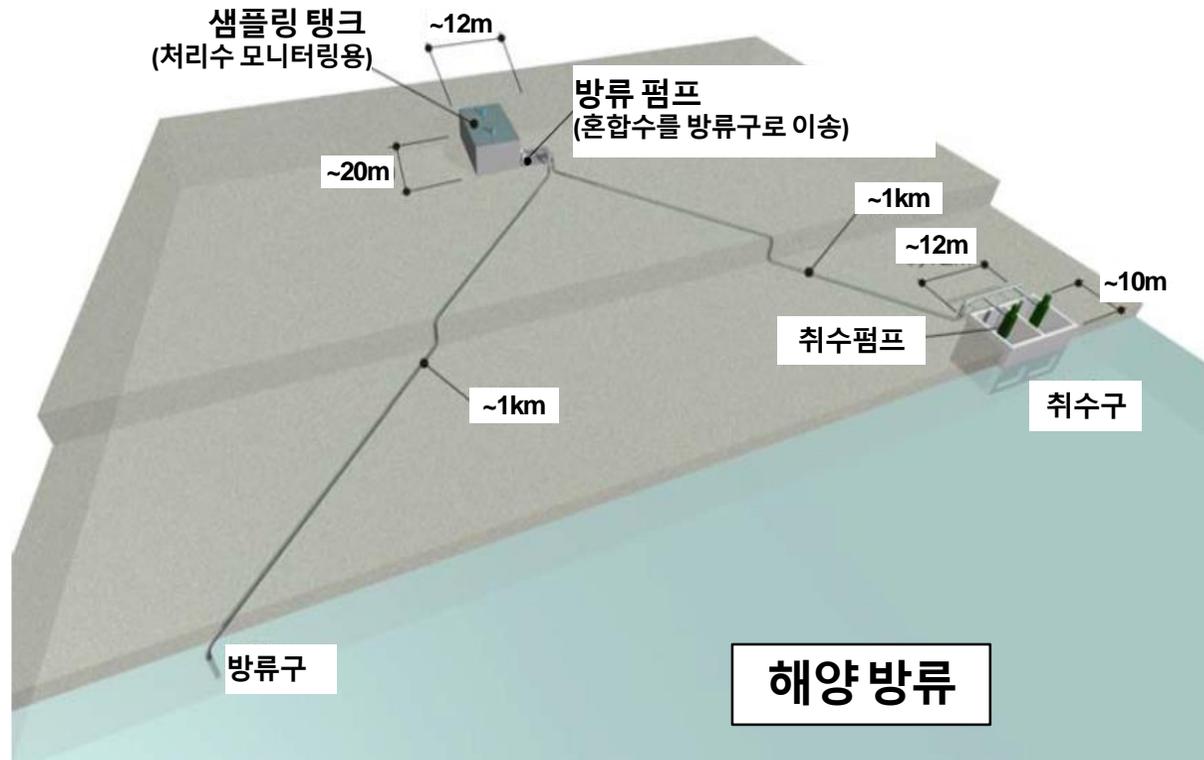
ALPS 처리수 총량: 1,122,900m<sup>3</sup>



2020.9.30. 기준 ALPS 처리수 현황

# 일본의 오염수 해양 방류 계획

- **일본정부의 기본 방침(일부 추정)**
  - 삼중수소(트리튬)을 제외한 방사성물질은 ALPS 등으로 배출기준치 이하로 처리
  - 삼중수소는 제거하지 않고 장기간에 걸쳐 희석하여 해양으로 방류
    - ※ 지층 주입, 해양 방출, 수증기 방출, 수소 방출, 지하 매설 등 검토 후 결론
- **風評被害를 우려하는 지자체와 지역 주민은 강하게 반대**



# 목 차

- 후쿠시마 제1원전 개요
- 사고원전 현장: 폐로 및 오염수 관리
- **제염(오염제거) 및 지역사회 복원**
- FAQ

# 피난구역 설정의 변화 (초기)

2011년 3월 15일  
(사고 진행 중)

2011년 4월 22일  
(방사능 측정값을 반영한 피난구역 설정)

2011년 9월 30일  
(긴급시피난준비구역 폐지)

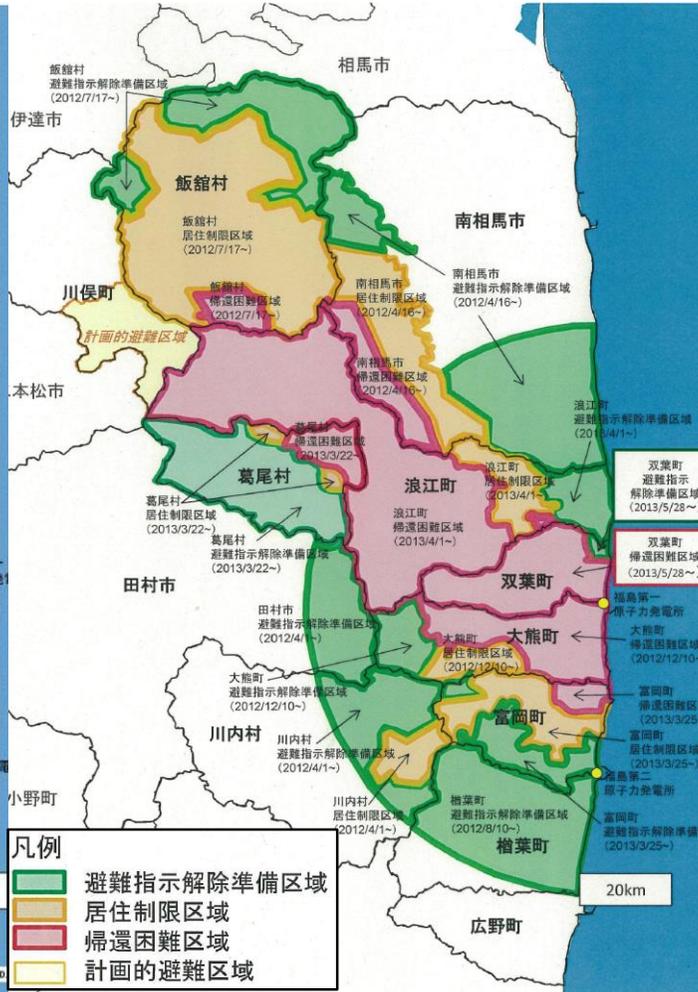


# 피난구역 설정의 변화 (2012.4 이후)

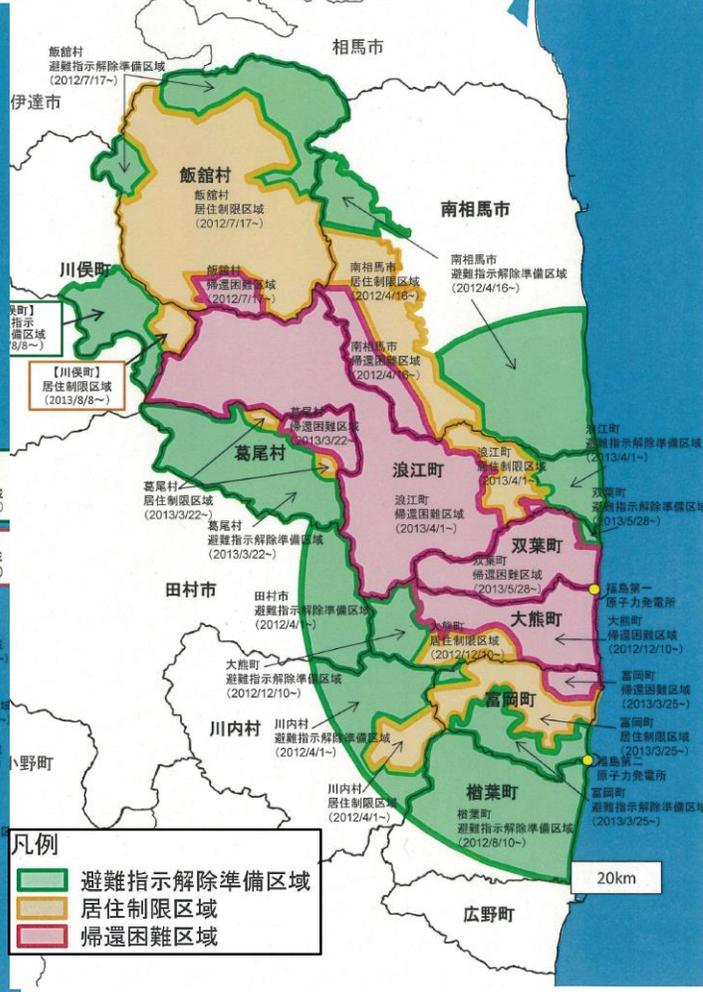
2012년 4월 1일  
(피난구역 재설정)



2013년 5월 28일  
(경계구역 폐지)

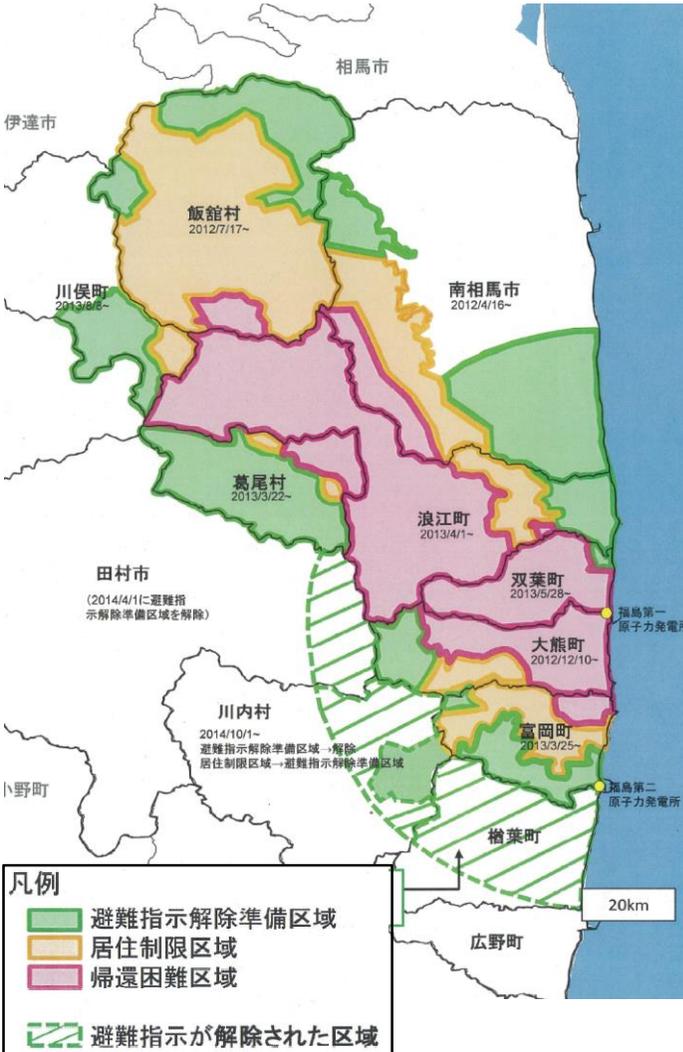


2013년 8월 8일  
(계획적 피난구역 폐지)

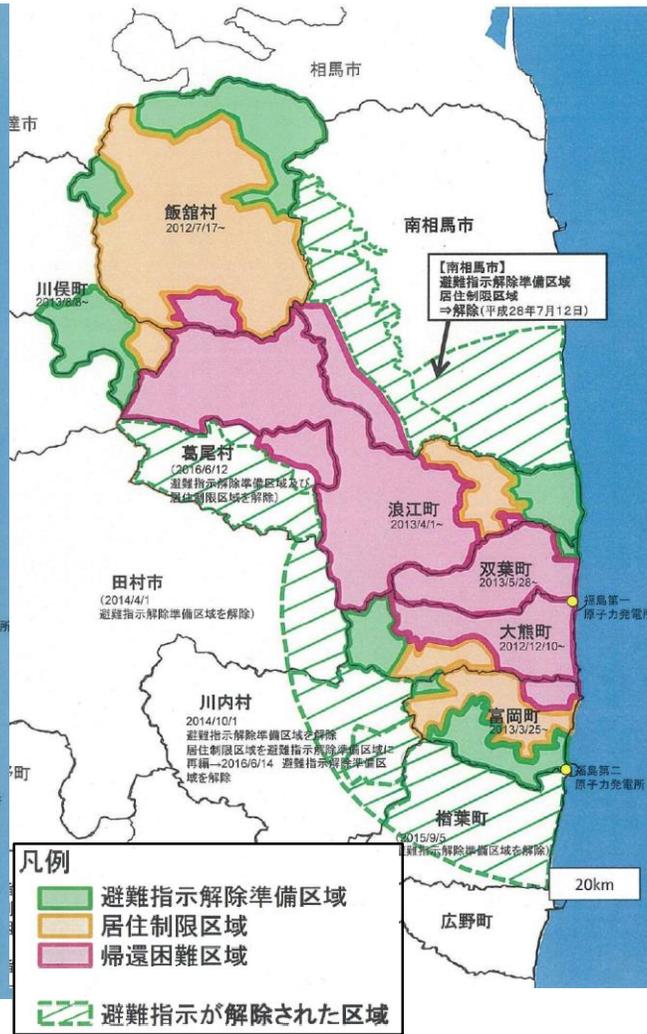


# 피난구역 설정의 변화 (2015.9 이후)

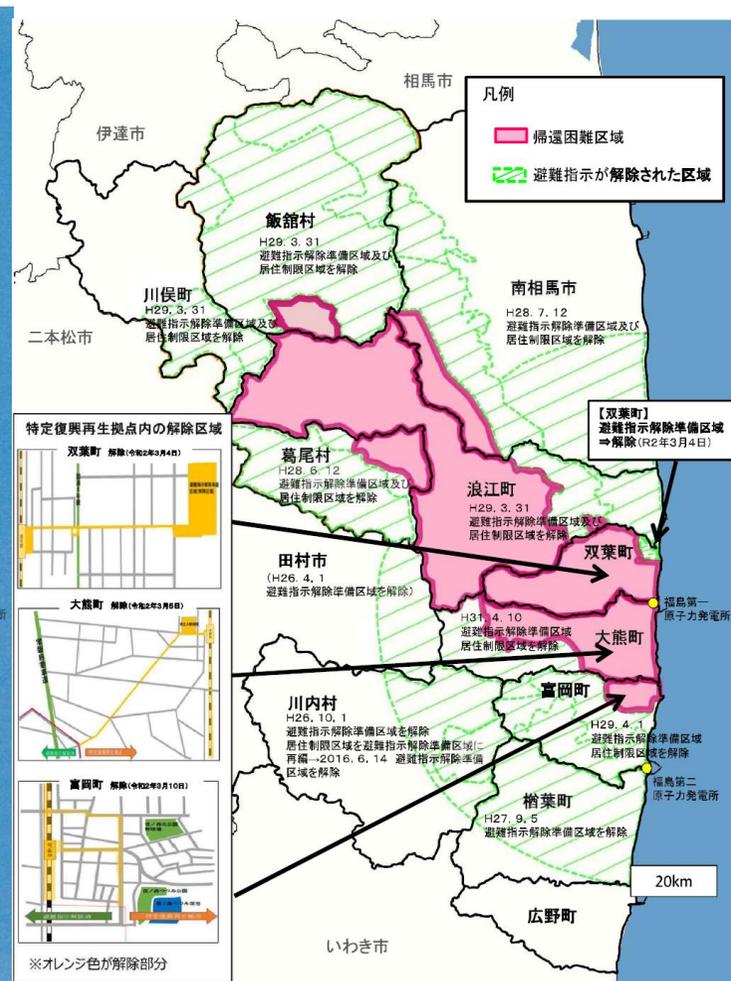
2015년 9월 5일



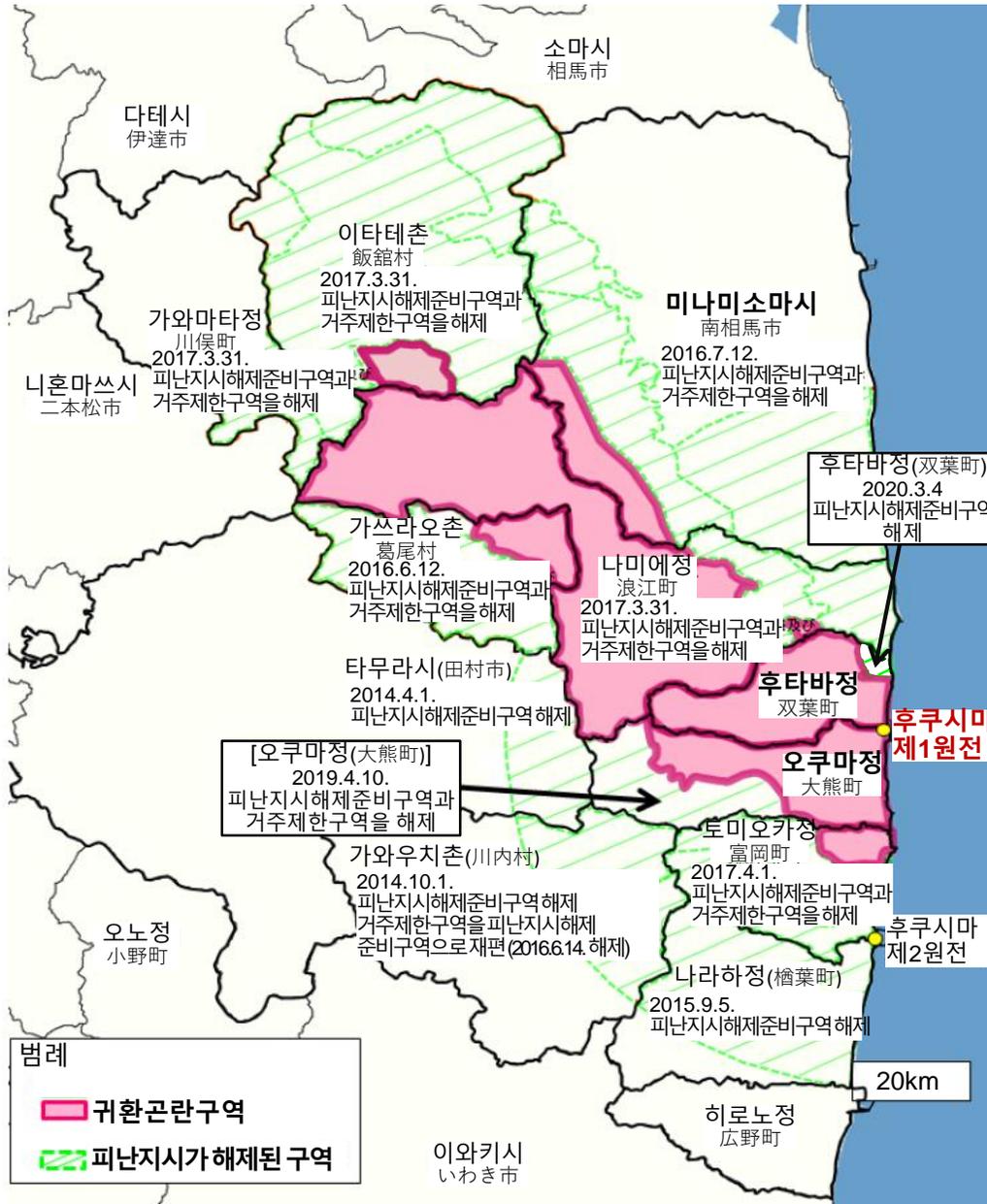
2016년 7월 12일



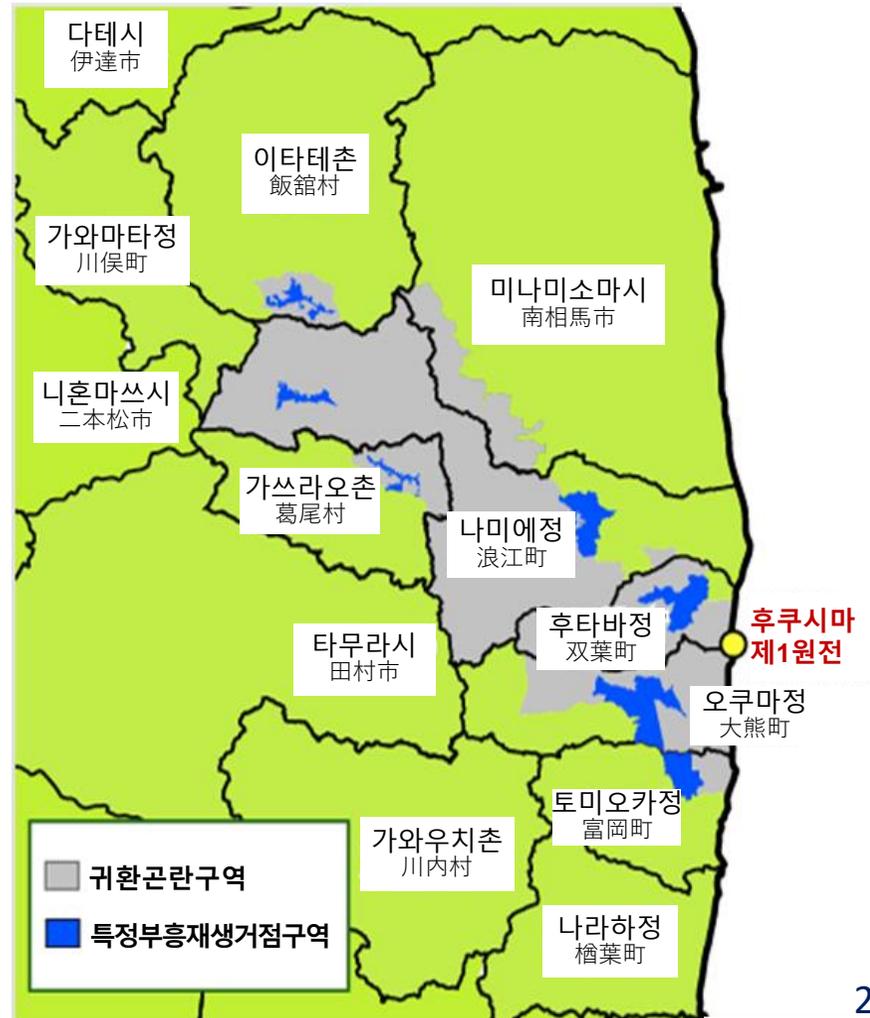
2020년 3월 10일  
(귀환곤란구역만 유지)



# 현재의 피난구역

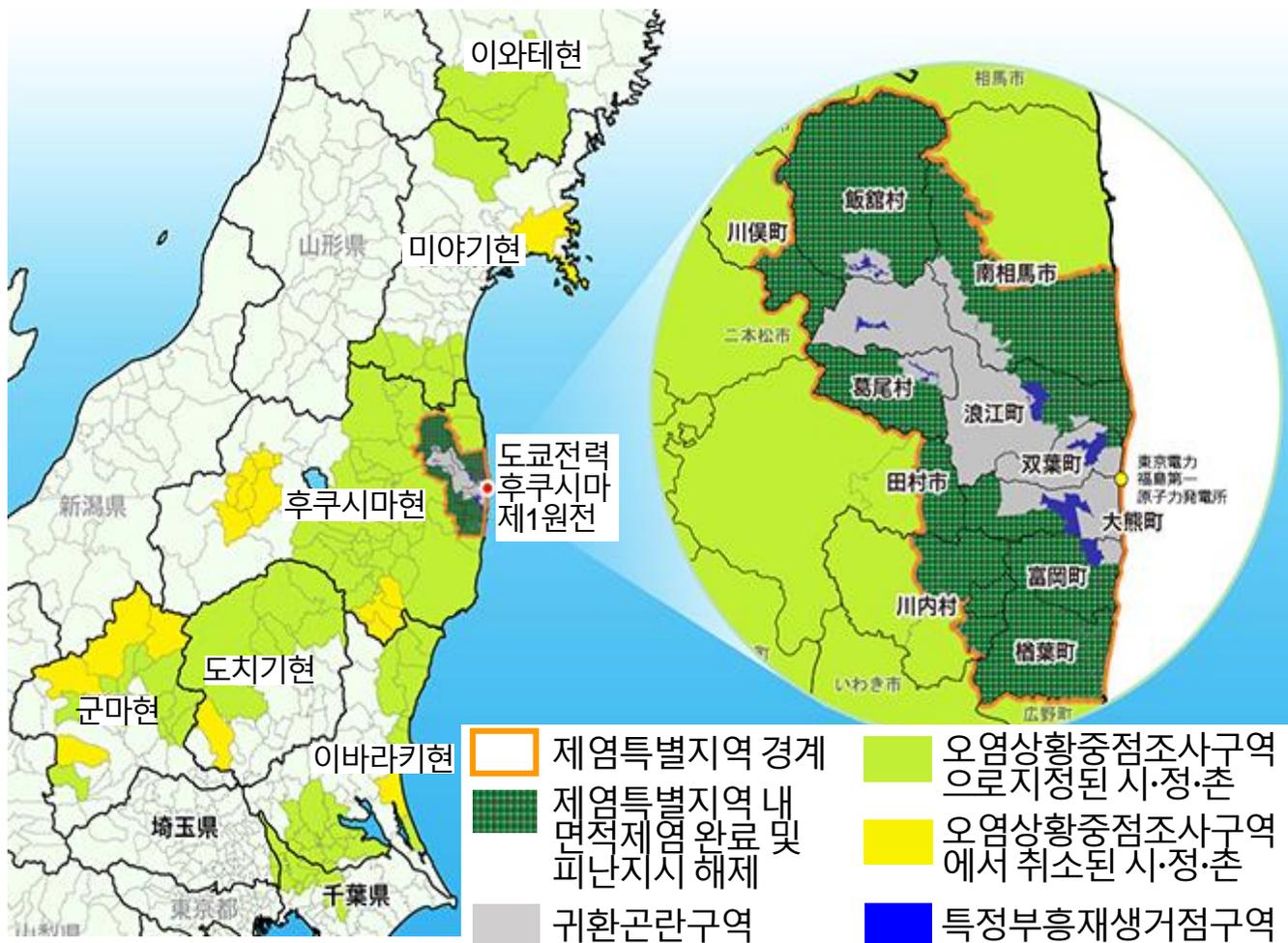


- 현재의 피난지시구역 면적: 336km<sup>2</sup> (후쿠시마현의 2.4%, 일본국토의 0.09%)
- 주요 간선도로와 철도는 모두 개통



# 방사능 오염지역 제염

- 국가에서 주관하는 **제염특별지역(SDA; 피난지시구역)**과 시·정·촌에서 주관하는 **오염상황 중점조사구역(ICSA;  $0.23\mu\text{Sv/h}$  이상)**으로 구분하여 제염 추진
- **귀환곤란구역을 제외하고 주거지역, 학교, 공원, 도로, 농지, 생활구역 인접 산림지역 등의 제염을 완료했으나, 산림지역은 제염에서 제외**

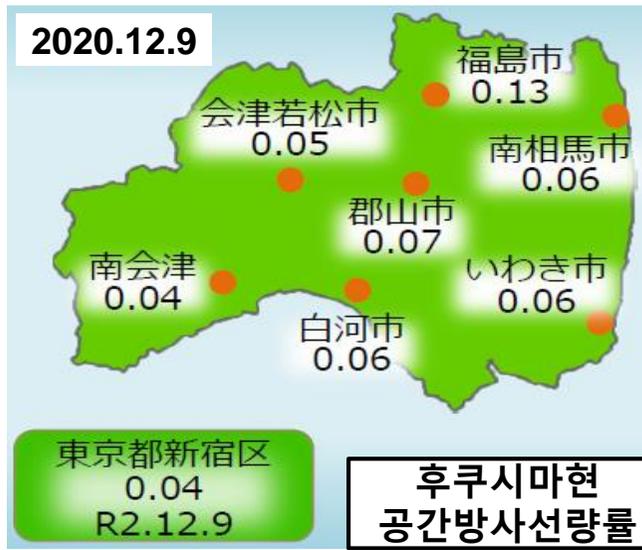
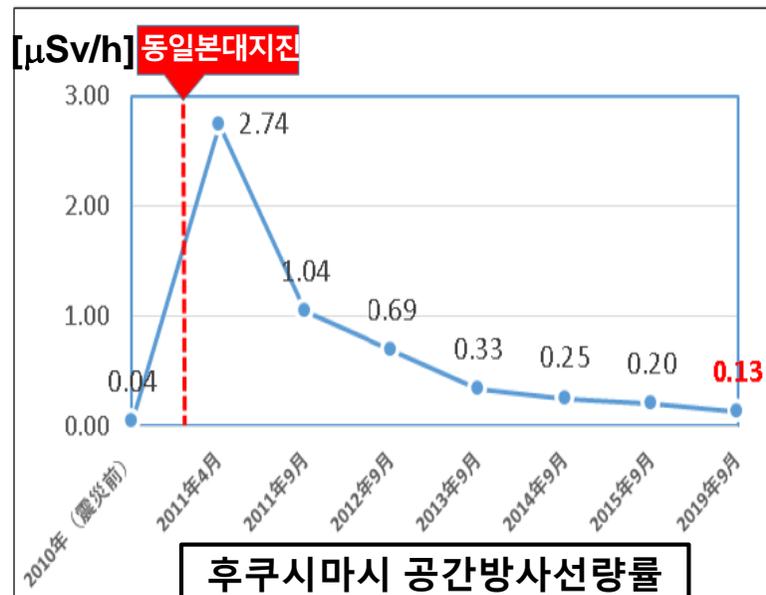
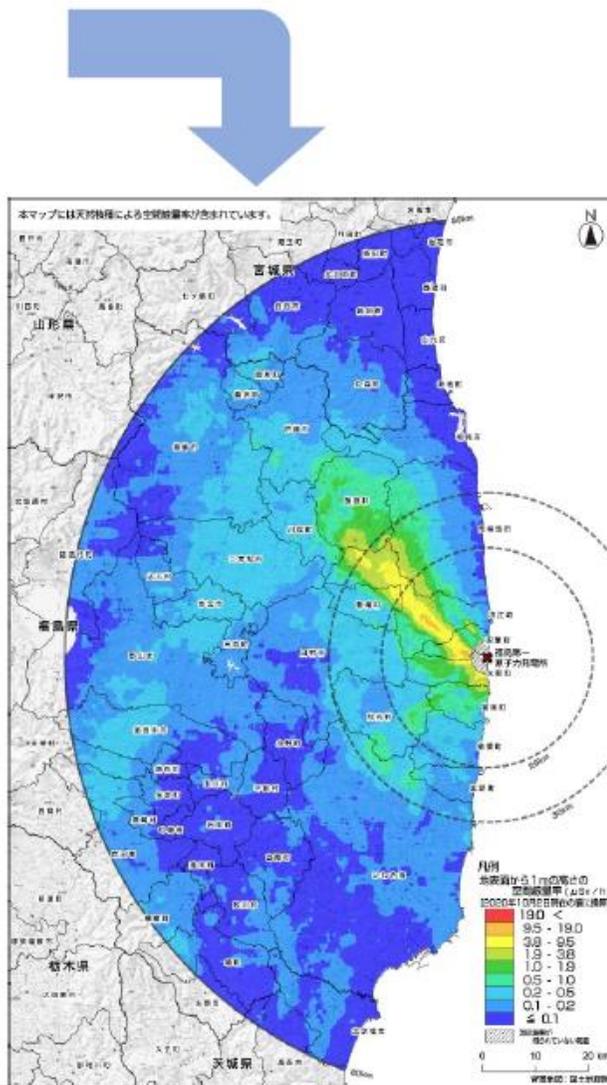
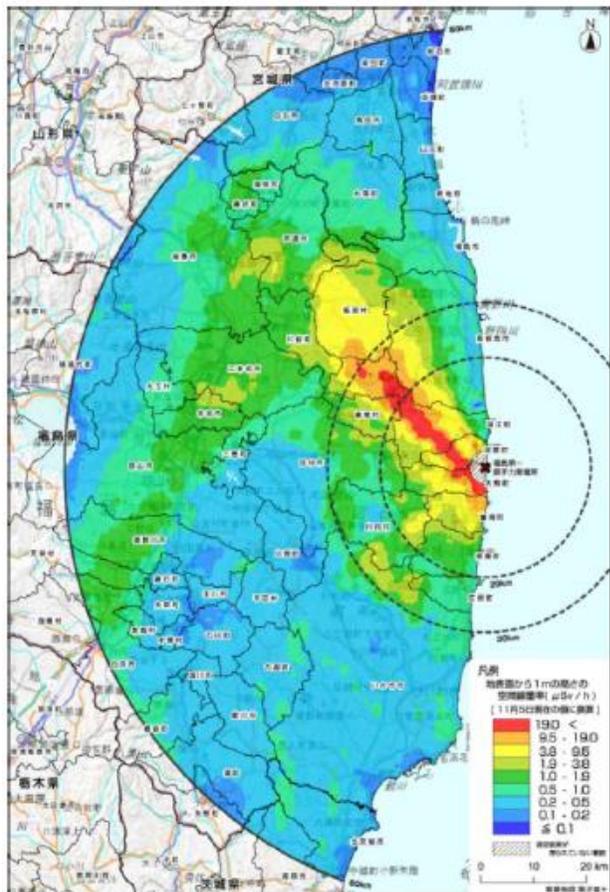


**제염특별지역(SDA)**  
 피난지시구역을 대상으로 국가가 제염작업 주관 (귀환곤란구역 외 2017.3 제염완료)

**오염상황중점조사지역(ICSA)**  
 공간방사선량률이  $0.23\mu\text{Sv/h}$  이상인 지역으로, 시·정·촌에서 제염작업 주관 (2018.3 제염 완료)

**특정부흥재생거점구역**  
 전반적 제염작업이 수행되지 귀환곤란구역내의 특정구역을 우선 제염하여 부흥거점화 (2023년 봄까지 제염 완료 계획)

# 공간 방사선량을 변화



최신 데이터 제공 사이트

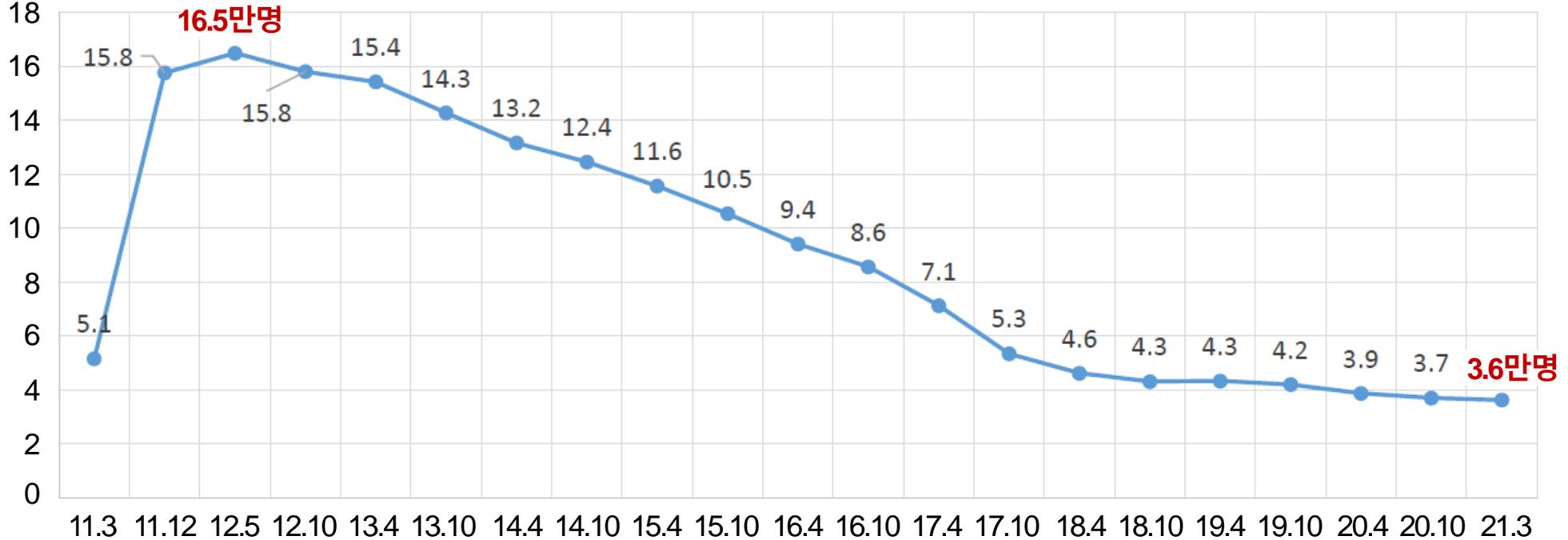
放射線モニタリング情報

検索

<http://radioactivity.nsr.go.jp/map/ja/>

# 후쿠시마현 피난자 수

피난자 수  
(만명)



- 후쿠시마현 피난자 수는 12년5월 16.5만명에서 현재 3.6만명으로 감소
- 피난지시해제구역 거주자는 17년4월 0.4만명, 18년4월 0.9만명, 20년10월 1.4만명으로 완만하게 증가
- 동일본대지진 총 피난자 수는 12년2월 47만명에서 20년12월 4.2만명으로 감소

# 목 차

- 후쿠시마 제1원전 개요
- 사고원전 현장: 폐로 및 오염수 관리
- 제염(오염제거) 및 지역사회 복원
- **FAQ**

# 원전사고로 인한 사망자 수?

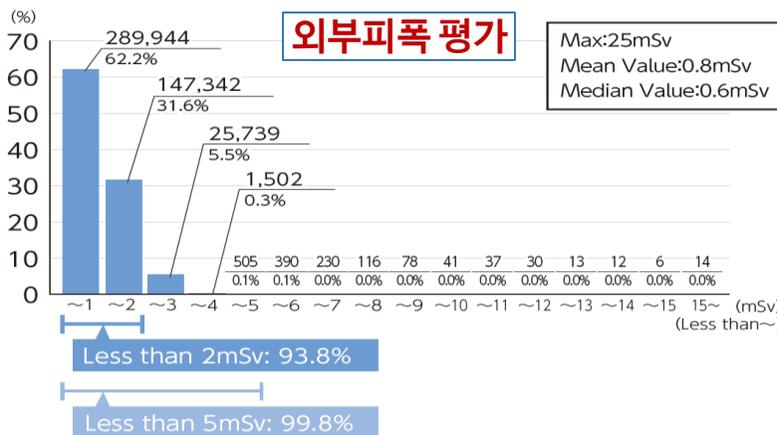
- **동일본대지진·쓰나미 인명피해: 사망 15,899인, 행방불명 2,527인, 부상 6,167인(2020.12.10. 日경찰청 자료)**

- 사망 원인: 쓰나미에 의한 익사 14,308인(90.64%), 지진에 의한 압사 등 677인(4.23%), 화재로 인한 소사 145인(0.92%), 미상 666인(4.22%)

- **원전사고 방사능으로 인한 인명 피해: 0**

- 신속한 대피조치로 주민 피폭선량은 매우 낮음 → 향후 사망자 발생 가능성도 매우 낮음 (UN 방사선영향과학위원회 등)
  - 사고당시 어린이의 갑상선암 증가 가능성에 대해서는 지속적 추적검사 필요

Estimated external radiation doses As of 31 March 2019



내부피폭 평가

	2011년6월27일~ 2012년1월31일	2012년2월1일~ 2019년3월31일	합
1 미노노키 미만	15,384人	323,394人	338,778人 (99.99%)
1 미노노키	13人	1人	14人 (0.00%)
2 미노노키	10人	0人	10人 (0.00%)
3 미노노키	2人	0人	2人 (0.00%)
합	15,409人	323,395人	338,804人 (100%)

- **재해관련사망자 수: 3,767명(2020.9.30 기준)**

- 후쿠시마현 2,313인, 미야기현 929명, 이와테현 469명, 이바라키현 42명

# 후쿠시마 사고 후 암 환자 등 증가?

## ● 원전사고 후 후쿠시마 지역의 암 발생률 증가 주장

- 2017.1 한일공동심포지엄(국회): 2010년 대비 2012년에 백내장 227%, 협심증 157%, 뇌출혈 200%, 소장암 400%, 대장암 297%, 전립선암 300%로 증가 주장
- 2018.10 미나미소마 시의원: 성인갑상선암 29배, 백혈병 11배 등 질환 급증 주장
- '먹어서 응원하자' 참여 연예인의 암, 백혈병 발생 주장 등

## ● 암환자 등 증가 주장은 데이터 해석 오류로 판명

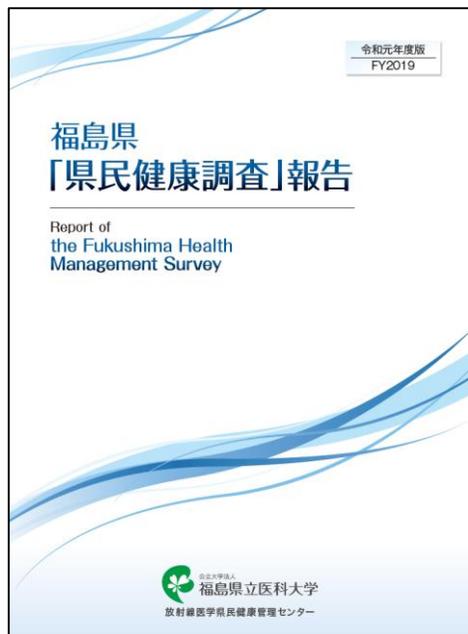
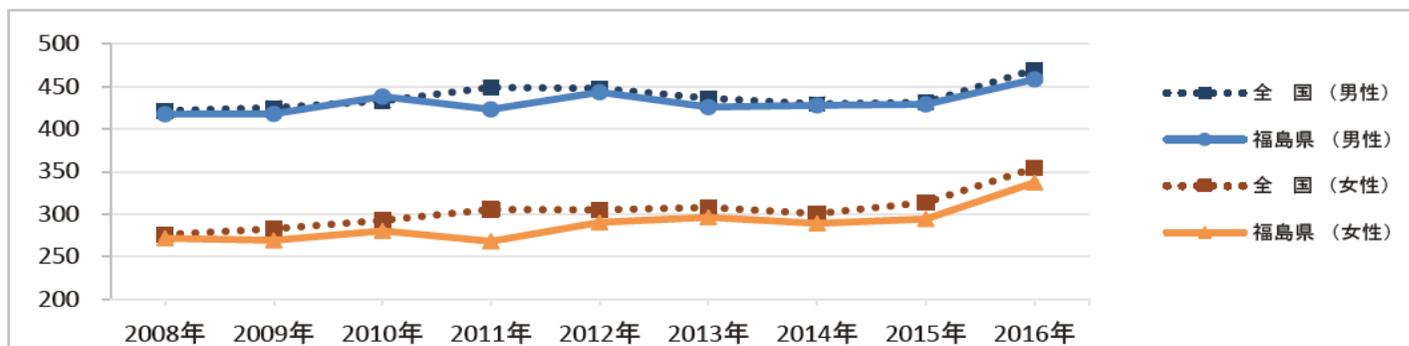


図 10. 年齢調整罹患率(人口 10 万対)の推移



参考: 県民健康調査「甲状腺検査(先行検査)」の結果と三県調査の比較

	県民健康調査 「甲状腺検査(先行検査)」 (平成30年3月31日末時点)	三県調査 (青森、山梨、長崎) (平成24年度実施)
検査受診者	300,472人 (100.0%)	4,365人 (100.0%)
年齢層	事故当時0~18歳	3~18歳
A1判定	154,605人 (51.5%)	1,853人 (42.5%)
A2判定	143,573人 (47.8%)	2,468人 (56.5%)
B判定	2,293人 (0.8%)	44人 (1.0%)
C判定	1人 (0.0%)	0人 (0.0%)

【判定結果】

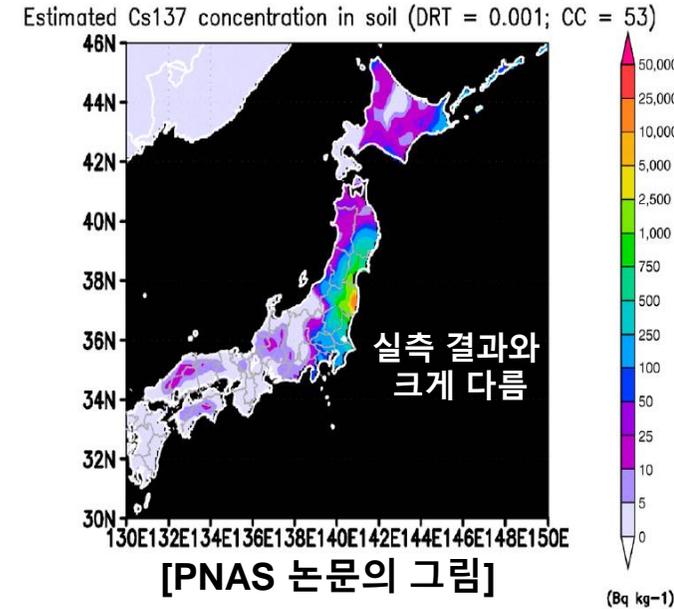
- A1: 結節やのう胞を認めなかったもの
- A2: 5.0mm以下の結節や20.0mm以下ののう胞を認めたもの
- B: 5.1mm以上の結節や20.1mm以上ののう胞を認めたもの。
- C: 甲状腺の状態等から判断して、直ちに二次検査を要するもの。

### Summary of the Results of Full-scale Screening

"As of this time, no correlation can be found between thyroid cancer cases detected through the Full-scale Screening and radiation exposure."

# 일본 국토의 70%는 살 수 없는 땅?

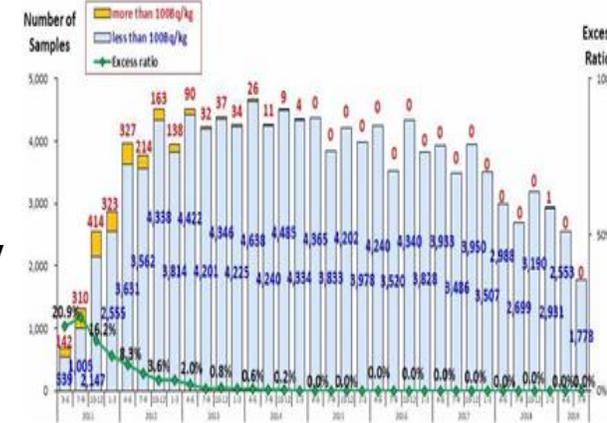
- 일본 국토 70%가 살 수 없는 땅이라는 주장은 거짓: 미국 국립과학원회보(PNAS) 논문 내용을 잘못 사용
- 일본 대부분 지역의 공간 방사선량률은 한국보다 낮음: 지질 특성에 따른 차이
- 사고원전 주변을 중심으로 방사선량률이 높은 지역 존재
  - 피난지시가 해제되지 않은 귀환곤란구역(후쿠시마현의 0.09%, 일본국토의 2.4%)
  - 귀환곤란구역 밖이라도 제염이 이루어지지 않은 산간지역
  - 누출된 방사성물질이 모이거나 오염지역으로부터의 재오염에 의한 핫스팟
- 노심용융사고가 발생한 원자로건물 내부의 매우 높은 방사선량률은 당연: 일반 기준치와의 비교는 무의미
- 일본을 방문한다면 출입금지구역에 임의로 들어가거나 공식 유통되지 않은 식품을 섭취하지 않아야



# 일본산 식품의 안전성?

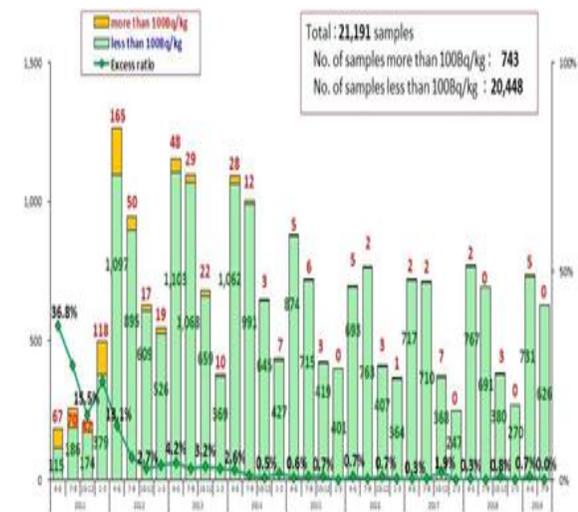
## ● 일본정부와 후쿠시마현은 식품(농산물, 수산물) 안전검사의 신뢰 확보에 사활

- 일본 정부지자체의 검사과정을 거쳐 공식 유통되는 식품은 대체로 안전
- 제염되지 않은 산간지역의 버섯이나 산나물 및 야생동물, 이를 통과하는 하천 민물고기 등의 방사능 농도는 높을 가능성: 공식 유통되지 않는 식품 섭취 피해야



## ● 방사능 우려는 왜?

- 방사능이 높은 후쿠시마 제1원전 인근 해저에서 활동했던 우려이었을 가능성
- 앞으로도 간헐적으로 유사한 상황 발생 가능



## ● 한국에서 판매되는 수산물은 안전

- 후쿠시마현 포함 인근 8개현의 수산물 수입금지 중
- 일본산 농수산물에 대해 한국 정부의 엄격한 방사능 검사

## ● 수산물 안전에 대한 과도한 불안감 주입은 자해 행위

# 후쿠시마 오염수 안전 관리 문제

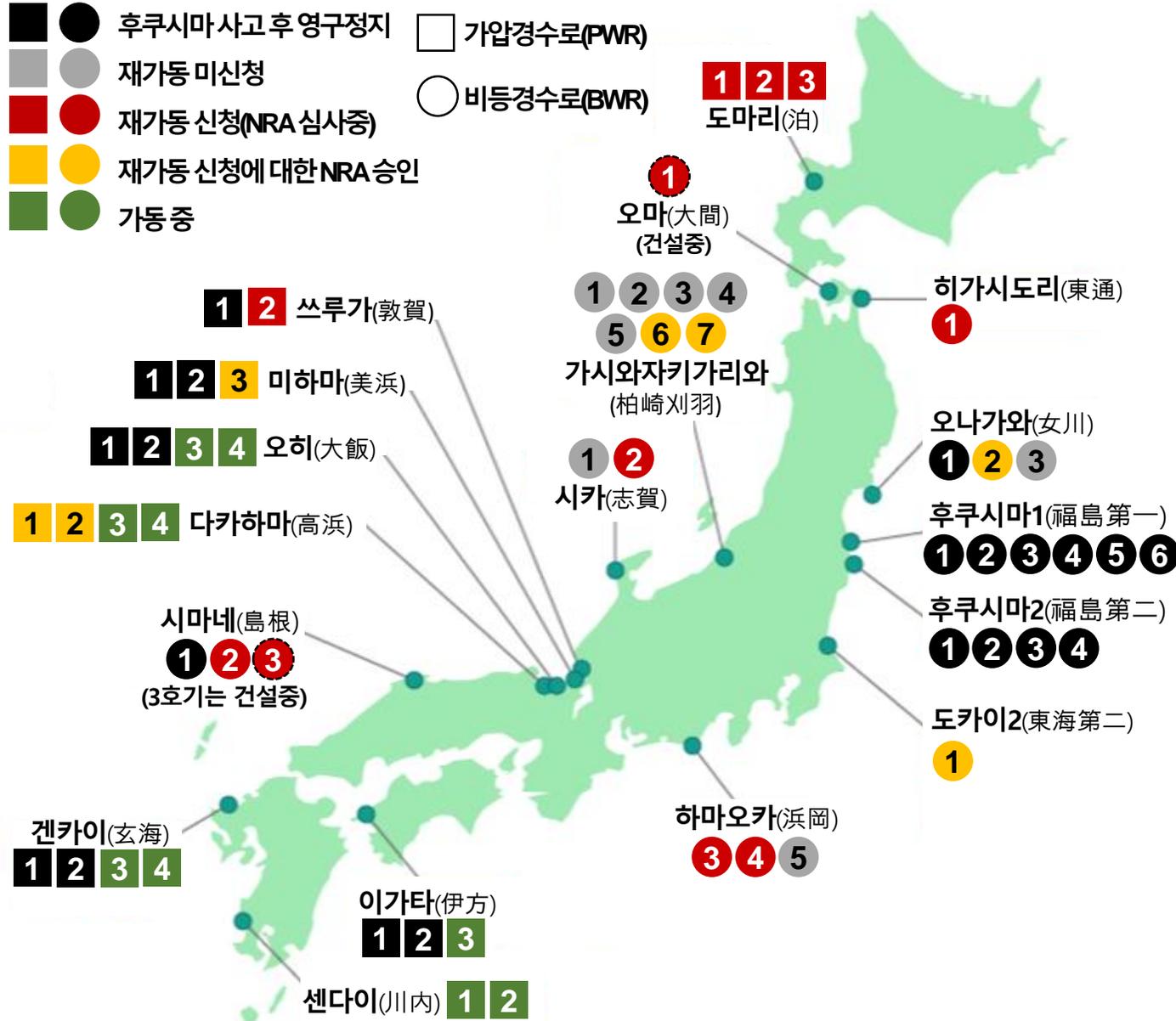
- ALPS 반복 처리를 통해 삼중수소 이외의 방사성물질 농도는 배출기준 이하로 처리 가능
  - 오염수내 방사능 총량은 원전사고 당시 방출된 양의 수만분의 1 수준으로 평가
- 오염수에 저장된 삼중수소 양: 약 2.4g(860TBq)(일본측 평가)
  - 삼중수소 평균 농도: 73만 Bq/L(일본측 평가)
- 오염수 해양 배출은 후쿠시마 인근 해역에 직접적 영향
  - 주변국의 수산물 수입금지 근거 강화 → 후쿠시마현 및 인근 지역주민과 지자체의 수용 여부가 해양 방류 추진에 결정적 영향
  - 한국 해역에 미칠 영향은 미미: 방사성물질이 대량 방출된 후쿠시마 사고 이후 국내 해양 방사능 측정 결과(원자력안전위원회 원자력안전백서) 참조
- 과학기술 팩트에 기반하고 정치·사회적 측면을 고려하여 대응
  - 정부 주도의 팩트 확인: '전문가' 위원회를 구성하여 일본측 데이터를 검증하고 방류 영향 평가
  - 정치적·사회적 측면까지 종합적으로 고려하여 통합적 대응
  - 비과학적이거나 왜곡된 자료에 근거한 발언이나 대응 자제

# 사고 원전의 안전 상태

- 자연재해나 인적실수에 의한 소규모 사건·사고는 간헐적으로 발생할 가능성
  - 부분적인 시설 손상, 원자로 또는 사용후핵연료저장조 냉각기능 단기 상실, 방사성물질 소량 누출, 폐로 작업 지연 등 유발 가능
- 후쿠시마 원전에서 지진 등에 의해 큰 사고 발생 가능성 희박
  - 붕괴열이 크게 낮아져서 원자로나 사용후핵연료저장조 냉각이 수일간 이루어지지 않더라도 안전한 상태 유지
  - 발전소 부지를 넘어 일반인에게 영향을 주는 사고의 가능성은 극히 낮고, 사고 발생 시에도 방사능 방출은 미량일 것으로 판단
- 2021.2 규모 7.3 지진에 발전소가 크게 손상되었다는데?
  - 일부 취약한 구조물 손상 등 여러 문제 발생: 방사성물질 누출 X
  - 오염수 저장탱크 일부 수 cm 이동: 중요한 안전문제 없으나, 오염수 처리를 추진해야 하는 근거가 오히려 강화됨

# 일본 원전 재가동 현황

- 후쿠시마 사고 후 영구정지
  가압경수로(PWR)
- 재가동 미신청
  비등경수로(BWR)
- 재가동 신청(NRA 심사중)
- 재가동 신청에 대한 NRA 승인
- 가동 중



구분	사고 전 (2011년 2월 기준)	2021년 1월말
가동 원전	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 운전가능 원전: 총 54기</li> <li>- BWR 30기</li> <li>- PWR 24기</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 운전가능 원전: 총 33기</li> <li>- BWR 17기</li> <li>- PWR 16기</li> <li>※ 사고 후 총 21기 폐지</li> <li>▪ 사고 후 재가동 현황</li> <li>- 재가동심사 신청 27기(건설원전 2기 포함)</li> <li>- NRA의 설치변경 허가 완료: 16기</li> <li>- 상업운전 재개: 9기</li> </ul>
건설 원전	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 3기 건설 중</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 2기 건설 중</li> </ul>
원전 이용률	68.3% (2010년)	23.8% (2019년)
원자력 점유율	29.2% (2010년)	7.5% (2019년)

# 마무리 말씀: 올바른 일을 제대로!!!

**Do the “Right” Things “Right”**

for Securing a High Level of Safety

(안전성 확보를 위해 **‘올바른’** 일을 **‘제대로’** 이행)

by

Fully Utilizing the Best Available

Scientific Knowledge, Resources and Human Wisdom

(최상의 과학기술 지식, 자원 및 인간의 지혜를 최대한 활용)

in

**Effective Communication with Stakeholders**

(이해당사자들과의 효과적 소통)

Let us **“Do the Right Things Right!”**

“최상의 지식에 기반하여 올바른 일을 제대로”

감사합니다

