

사용후핵연료 저장처분 안정성 확보를 위한

국내 지질특성 및 처분 가능 지질조건

부경대학교 지구환경과학과

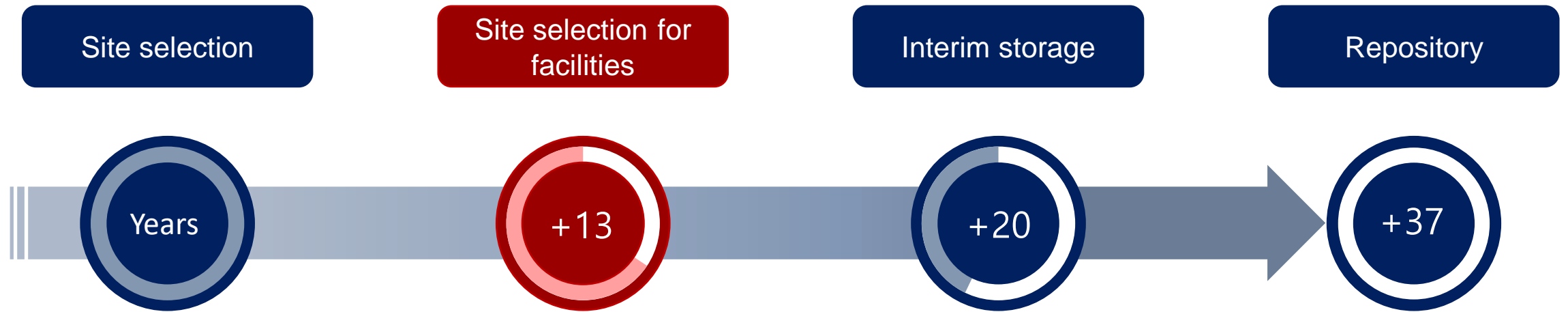
김영석

2023.05.17



01 부지 선정의 중요성 · 시급성

- 부지 선정 절차 착수 이후 **37년** 내에 영구처분 시설 확보(2021, 2차 고준위 방사성 폐기물 관리 기본계획)
- 최소 **10만년** 이상의 천연방벽의 장기적 안정성 확보(2022, 고준위 R&D 로드맵)



처분 부지 선정 = **지질학적 요소** + 지리학적 요소 + 사회적 요소

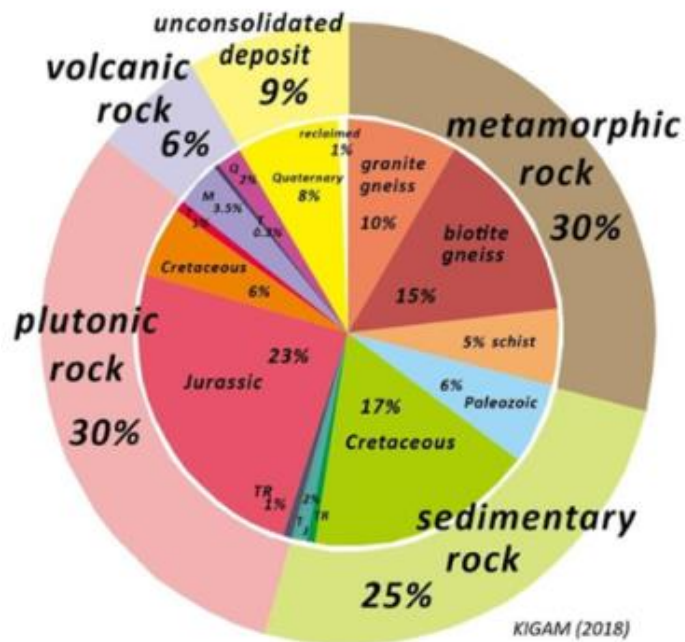
02 후보부지 선정을 위한 평가항목

- 부지 선정 시 고려해야 하는 지질학적 요소(김은경 외, 2020)

단계	항목
문헌조사 단계	암종, 광상, 선형구조, 단층, 지진, 화산, 용기/침강, 수리지질, 지열
기본조사 단계	문헌조사 단계 항목(화산 제외) + 지구화학, 핵종거동, 미생물, 토양, 단열, 암반, 무결암, 재해
심층조사 단계	문헌조사 단계 항목(화산제외) + 기본조사 단계 항목(지진제외)

02 후보부지 선정을 위한 평가항목

✓ 암종



국내 암상 분포

- 화성암 36%
- 변성암 30%
- 퇴적암 25%
- 미고결층 9%

❖ 국내에서는 화강암, 화강편마암, 퇴적암을 후보지로 고려 중

화성암

- 단일암종으로 고려 가능
- 유체의 통로 역할을 하는 취성변형에 취약

퇴적암

- 투수성이 낮은 점토층 고려 가능
- 국내에서 두꺼운 점토층의 분포가 적음

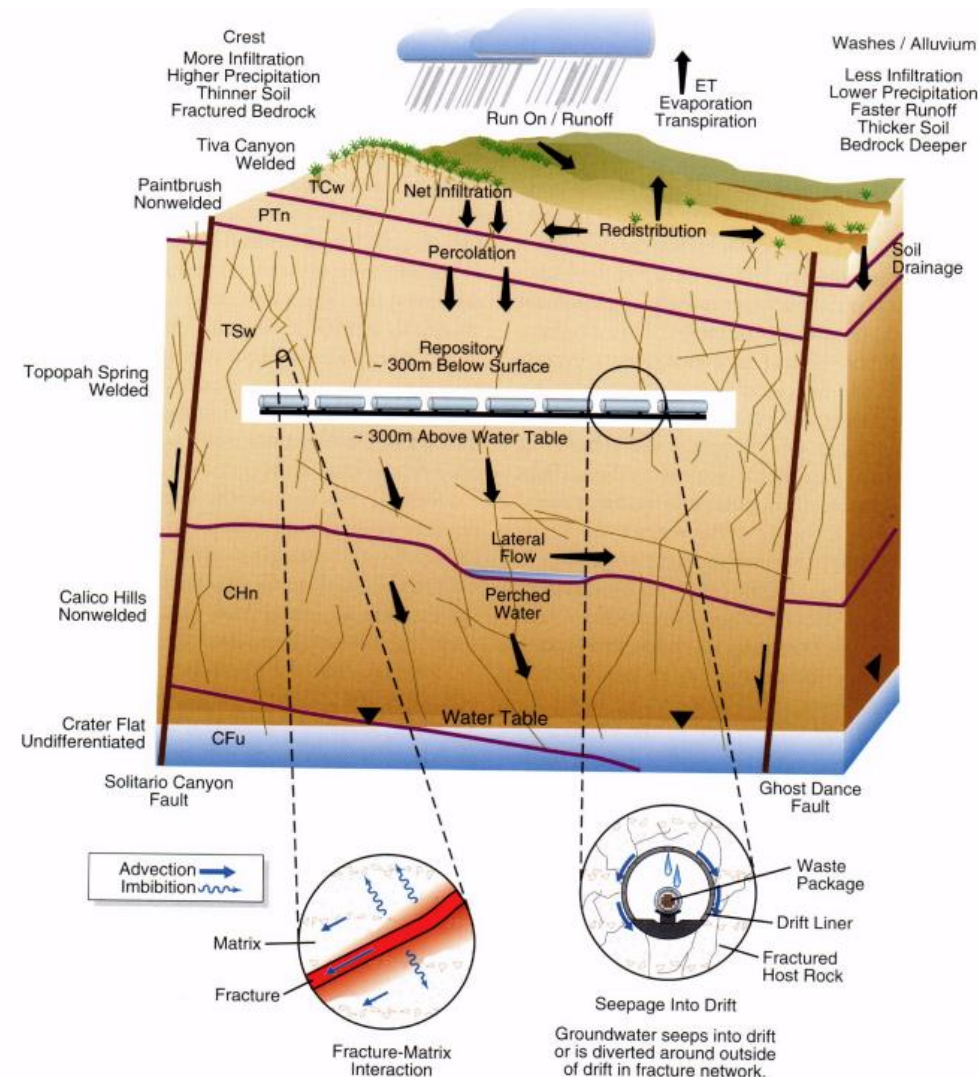
02 후보부지 선정을 위한 평가항목

✓ 수리지질

■ 미국 유카마운틴 수리지질학적 이슈

1. 지하수로 인한 캐니스터 부식 발생
2. 기존 단열망들을 따라 지하수 침투 및 유동
→ 포화대로 방사성 핵종 이동

- ❖ 단열 간의 수리적 연결성이 우세한 지역은 가능한 배제
- ❖ 수리전도도가 낮아 지하수 유동량이 적은 지역 선호
- ❖ 수두 경사가 낮은 평탄한 지역 선호



(Viability Assessment(v. 3, fig. 3-1))

02 후보부지 선정을 위한 평가항목

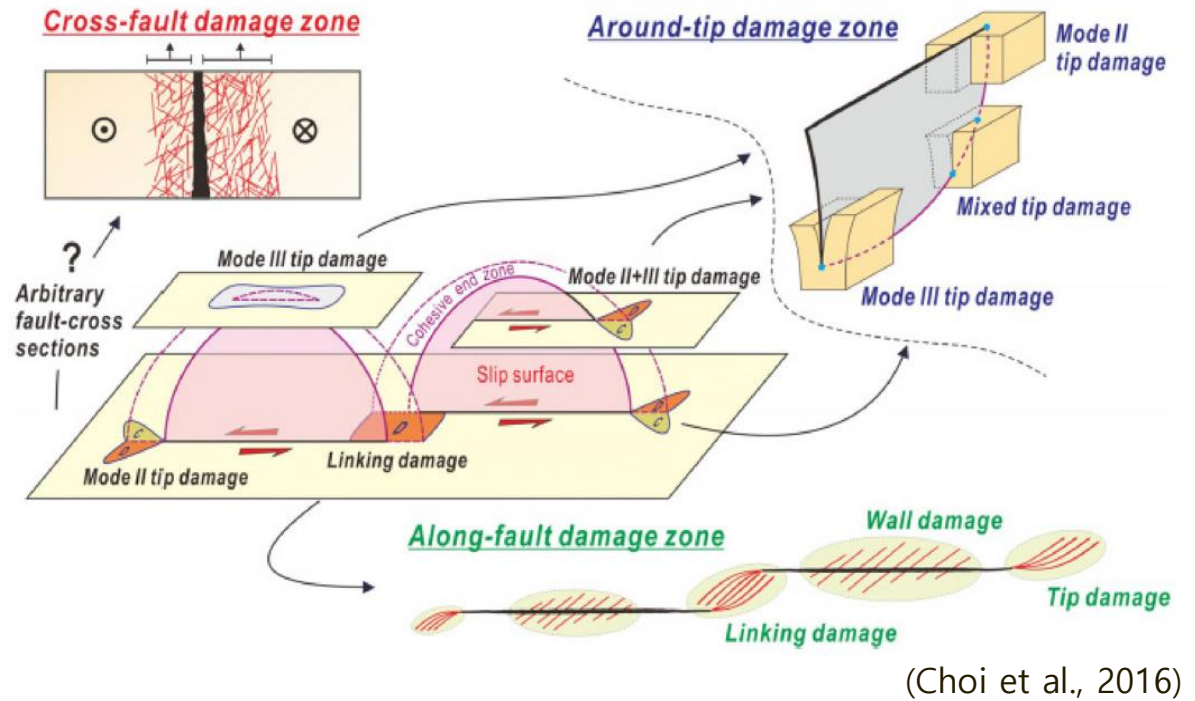
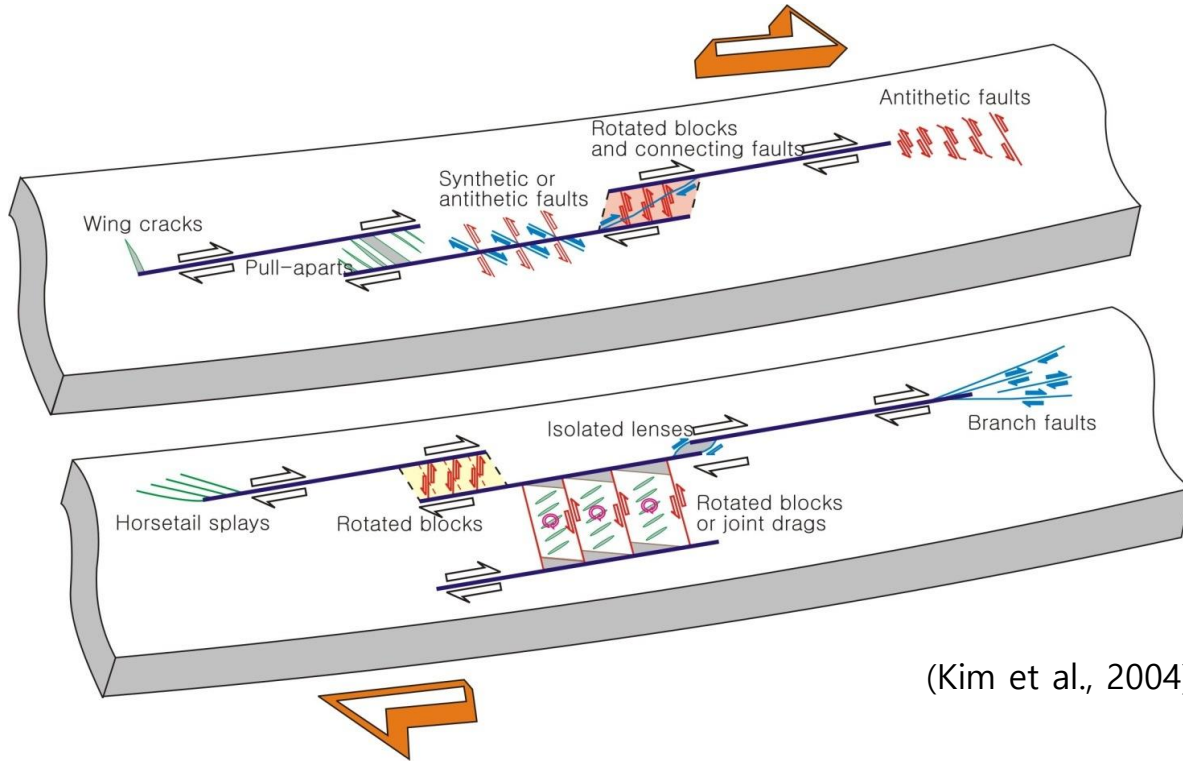
✓ 단층

단층: 1) 유체의 유동통로 역할 뿐만 아니라 2) 지진으로 인한 처분시설의 장기 안정성에 영향



02 후보부지 선정을 위한 평가항목

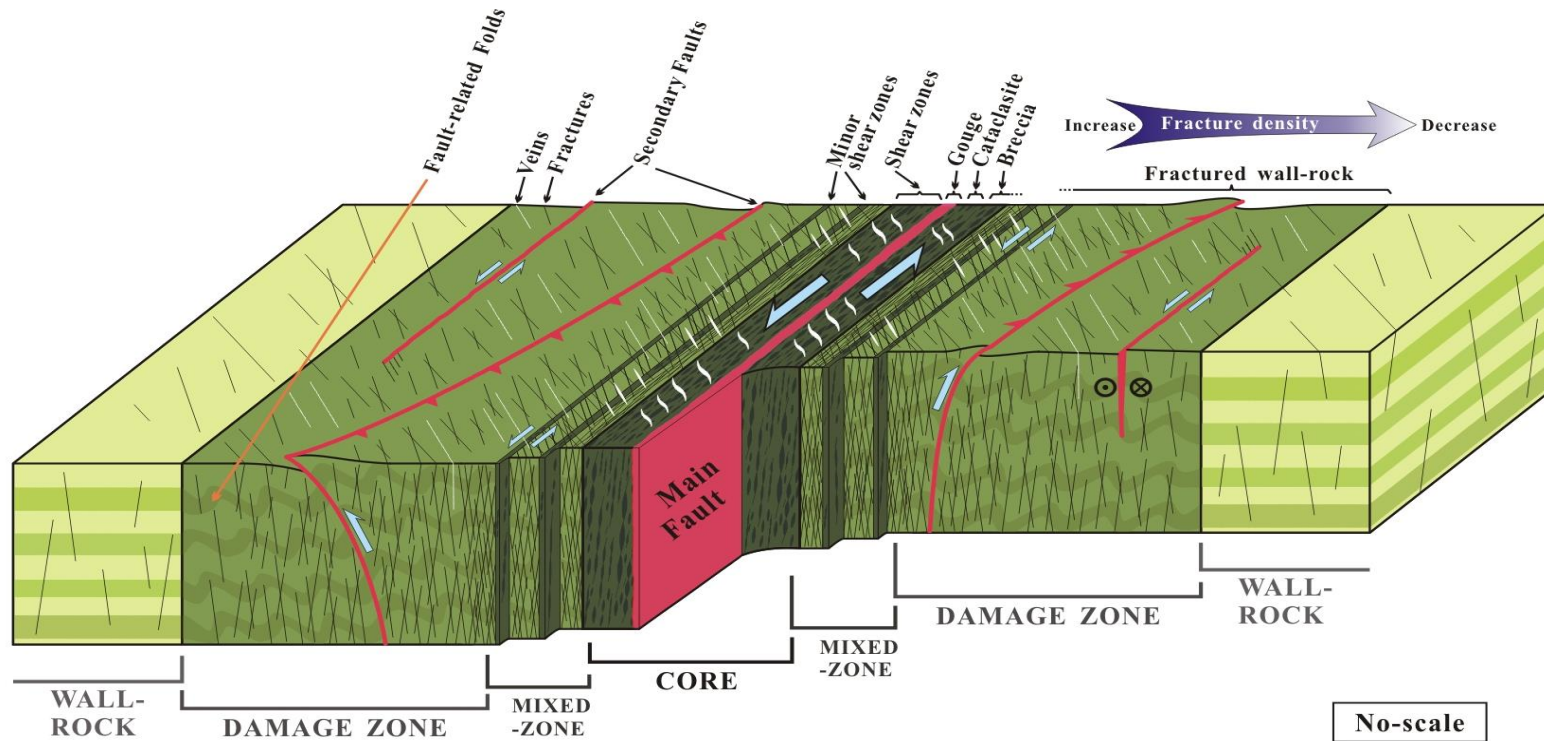
✓ 단층 – 단층을 따른 손상대의 분류(Along fault damage zones)



- Tip damage zone : 지진에 의한 지표파열의 종료와 관련된 응력과 변위가 해소되는 부분
- Wall damage zone : 변위의 누적에 따라 모암 내에 발달함
- Linking damage zone : 두 개 이상의 단층들이 인접하거나 연결되는 부분에서 응력과 변형의 집중

02 후보부지 선정을 위한 평가항목

✓ 단층 – 단층을 가로지른 손상대의 분류(Across fault damage zones)

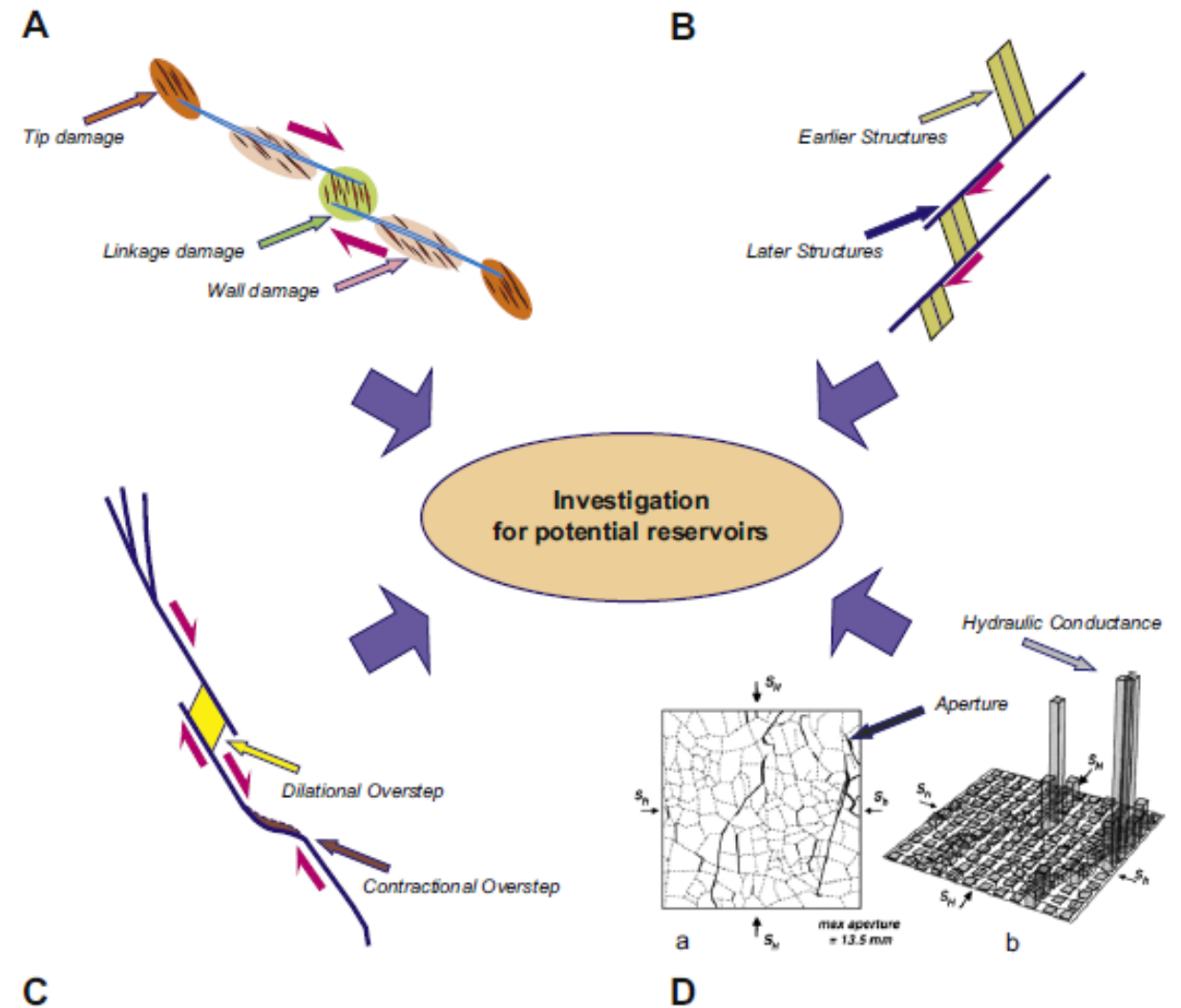


- 단층핵(fault core) : 모암의 특성을 거의 잃어버린 단층비지대나 단층각력암 등으로 구성. 단층운동시 변위의 집중
- 단층손상대(fault damage zone) : 모암의 특성을 갖고 있지만 심하게 파쇄되고 단층핵에 비해 상대적으로 넓은 유체유동의 통로 역할을 함

02 후보부지 선정을 위한 평가항목

✓ 단층 및 단열 시스템

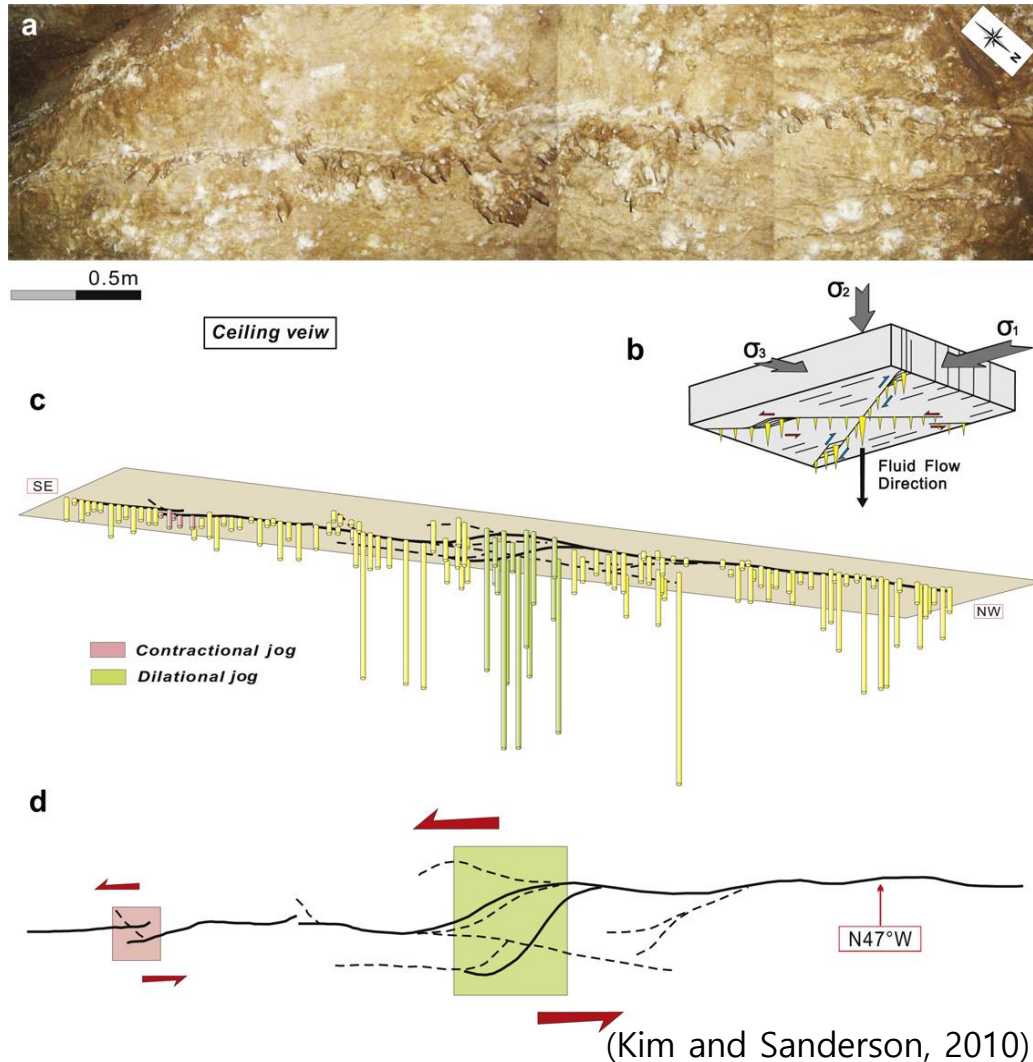
- 단층손상대를 따른 유체 유동은 광상의 배태 등을 유도할 수도 있지만, 처분장 주변에서는 **핵종의 이동 경로 및 저류장의 역할**을 할 수 있어 이들의 특성을 이해하는 것이 매우 중요



(Kim and Sanderson, 2010)

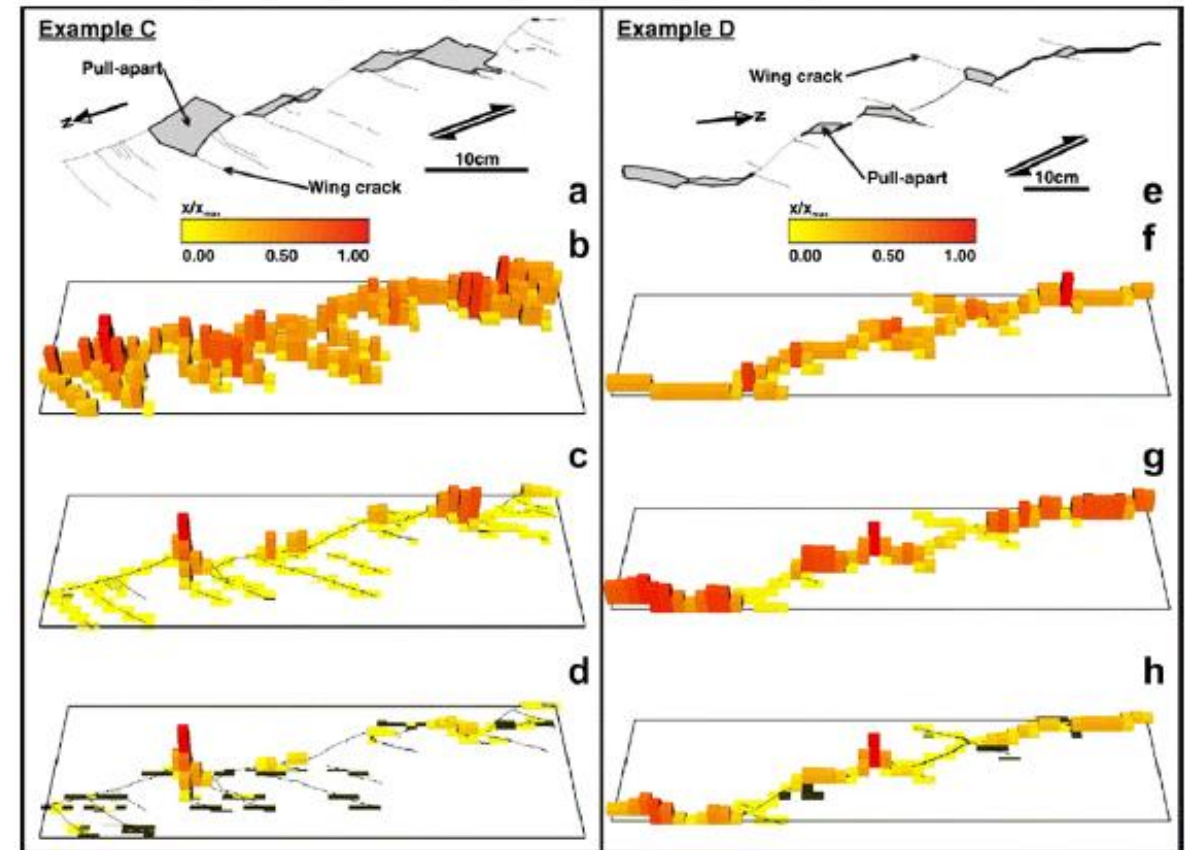
02 후보부지 선정을 위한 평가항목

✓ 단층 및 단열 시스템



(Kim and Sanderson, 2010)

단층시스템의 발달형태와 운동감각에 따라 확장 이나 단
힘의 영향이 발생 -> 유체유동 특성에서의 차이를 유발

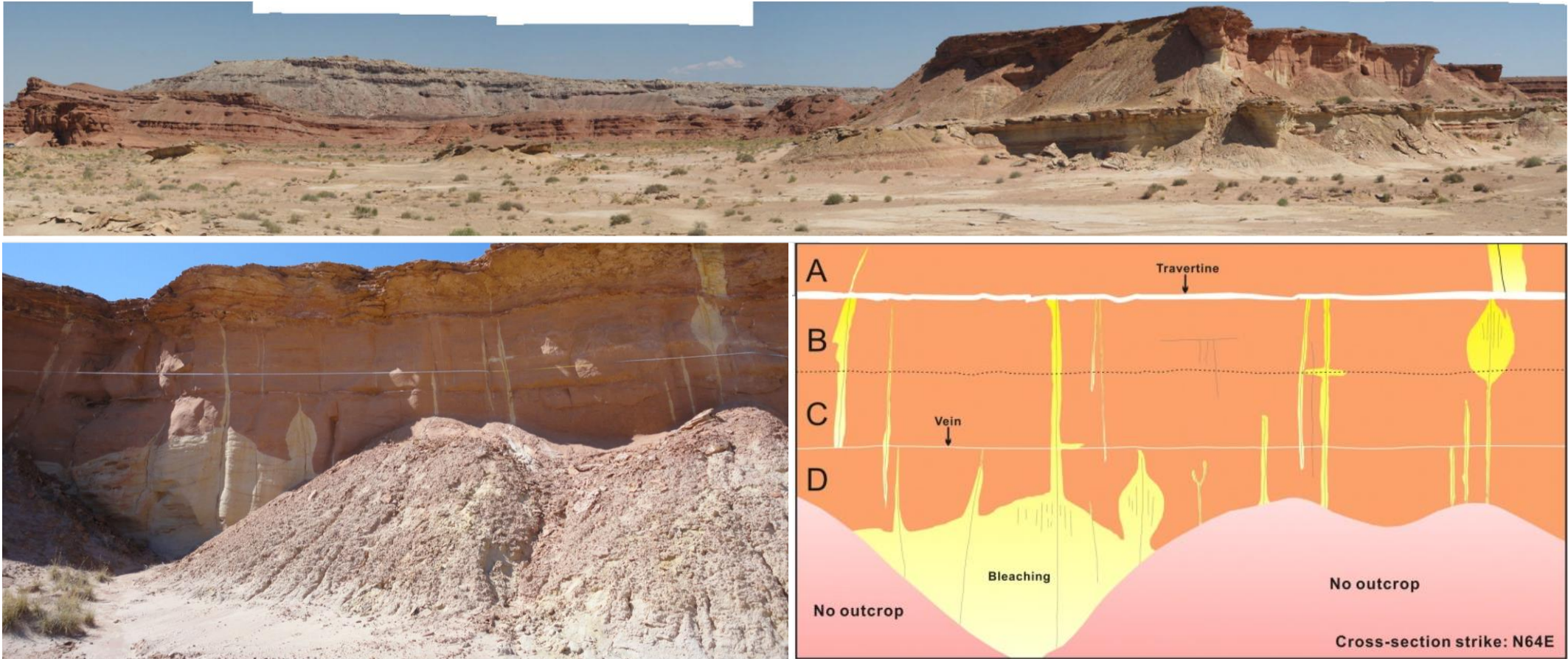


(Leckenby et al., 2005)

02 후보부지 선정을 위한 평가항목

✓ 단층 및 단열 시스템

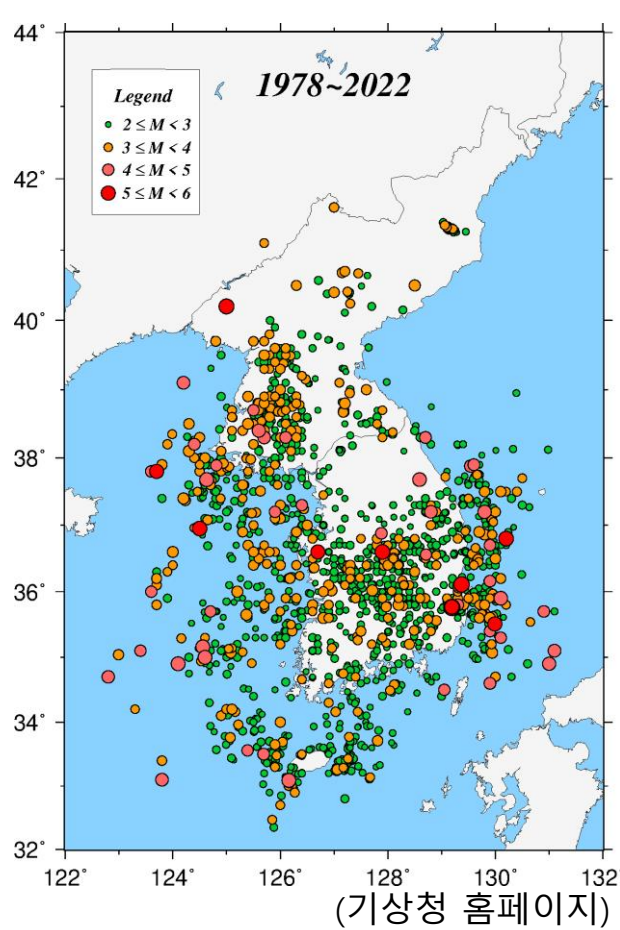
퇴적암에서의 유체유동 특성 = 공극특성 + 단열특성



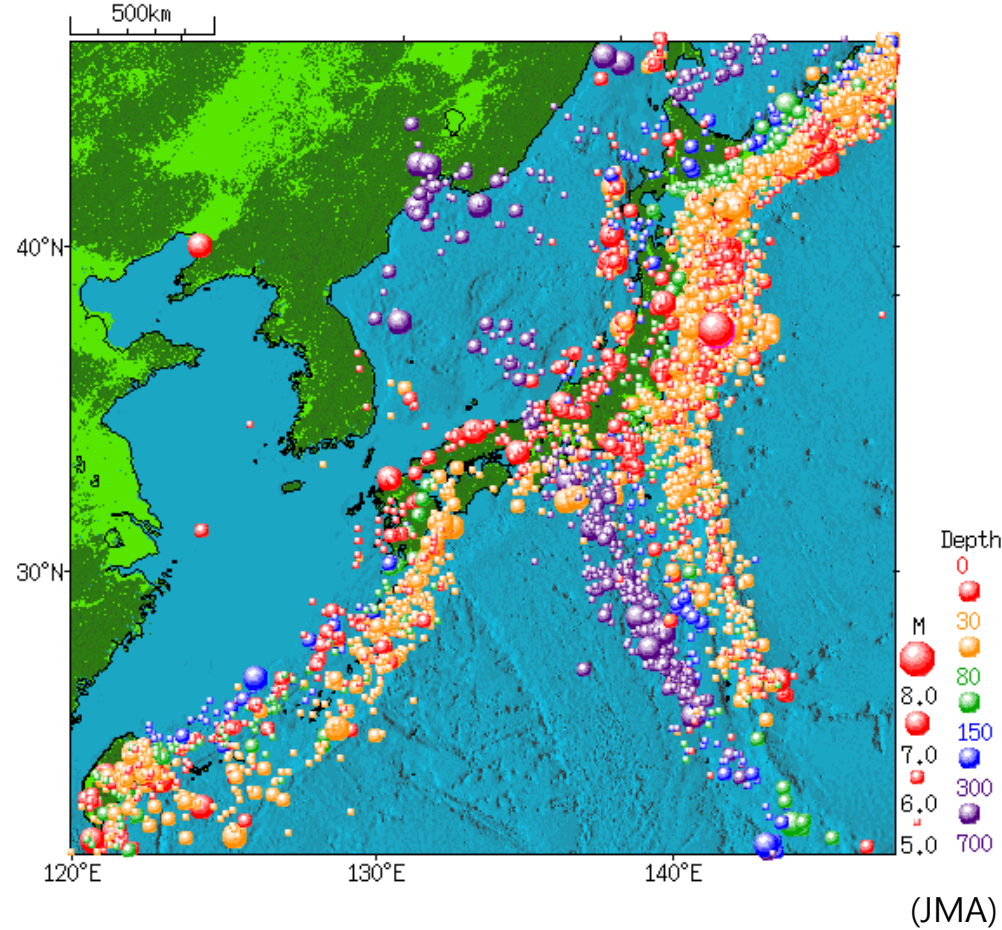
(Ko et al., 2012, Ko et al., 2020)

02 후보부지 선정을 위한 평가항목

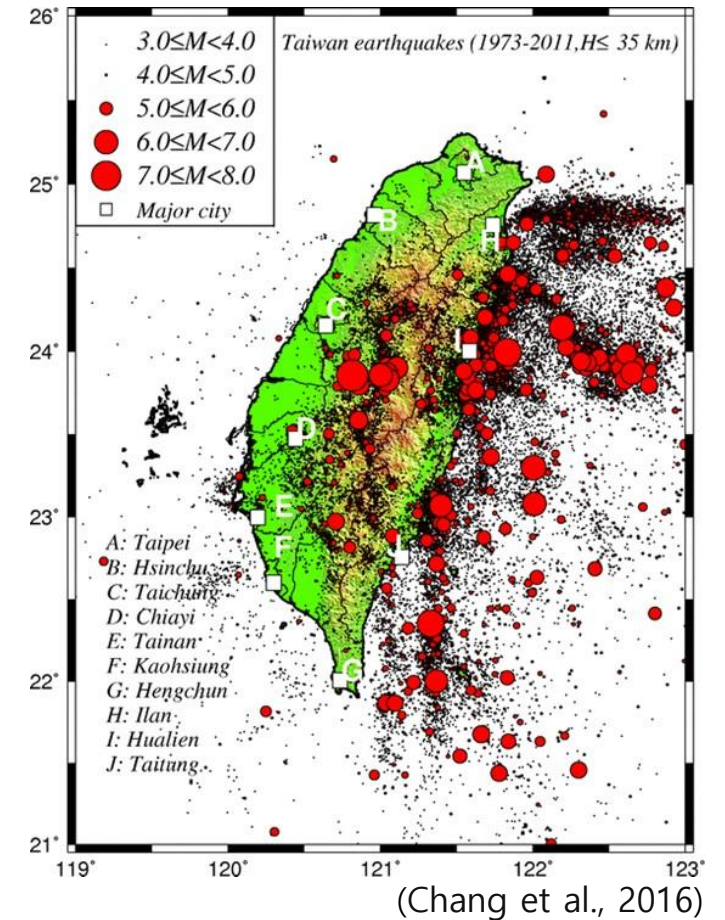
✓ 지진 – 현재 처분장 선정을 위해 조사 중인 일본, 대만과의 비교



[한국]



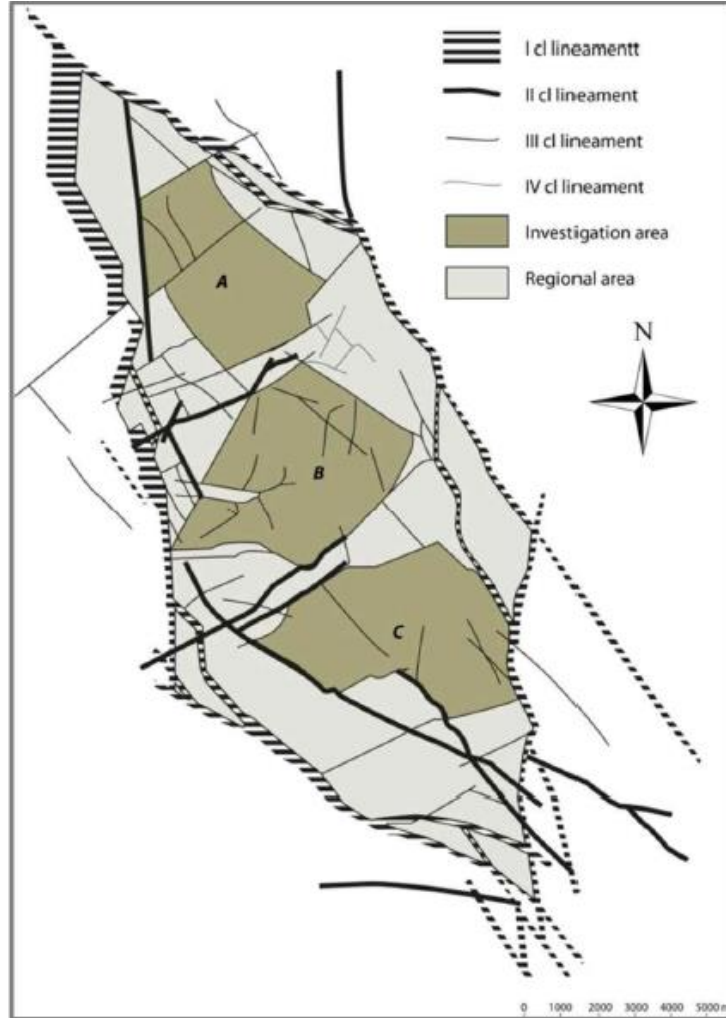
[일본]



[대만]

02 후보부지 선정을 위한 평가항목

✓ 선형구조

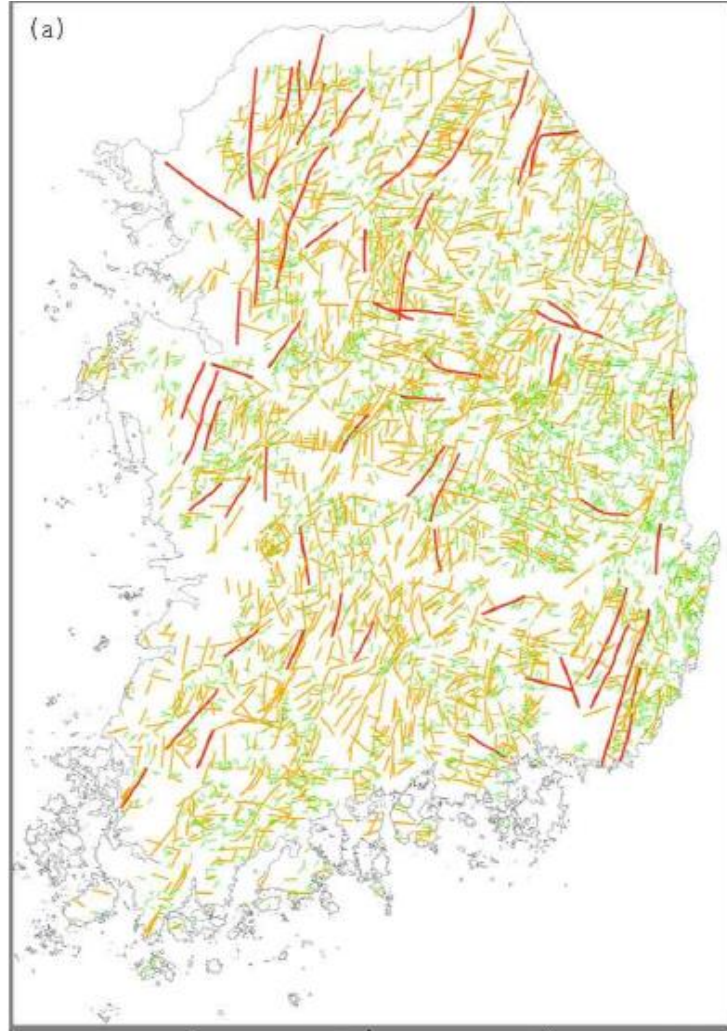


핀란드식 선형구조를 이용한 후보지 목표 지역

Categories	Classification Criteria
Class 1	The width of the lineament is approximately 1 km and the corresponding length of the zone is dozens or hundreds of kilometres.
Class 2	The width of the lineament is hundreds of meters and the length varies from 5 km to tens of kilometers.
Class 3	Lineaments inside the target area, length < 5km, width from tens of meters to a hundred metres.
Class 4	Lineaments inside an investigation area, length > 1km, the number of which should be small.

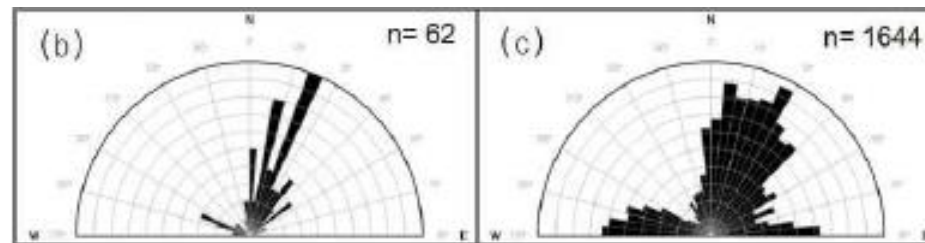
02 후보부지 선정을 위한 평가항목

✓ 선형구조



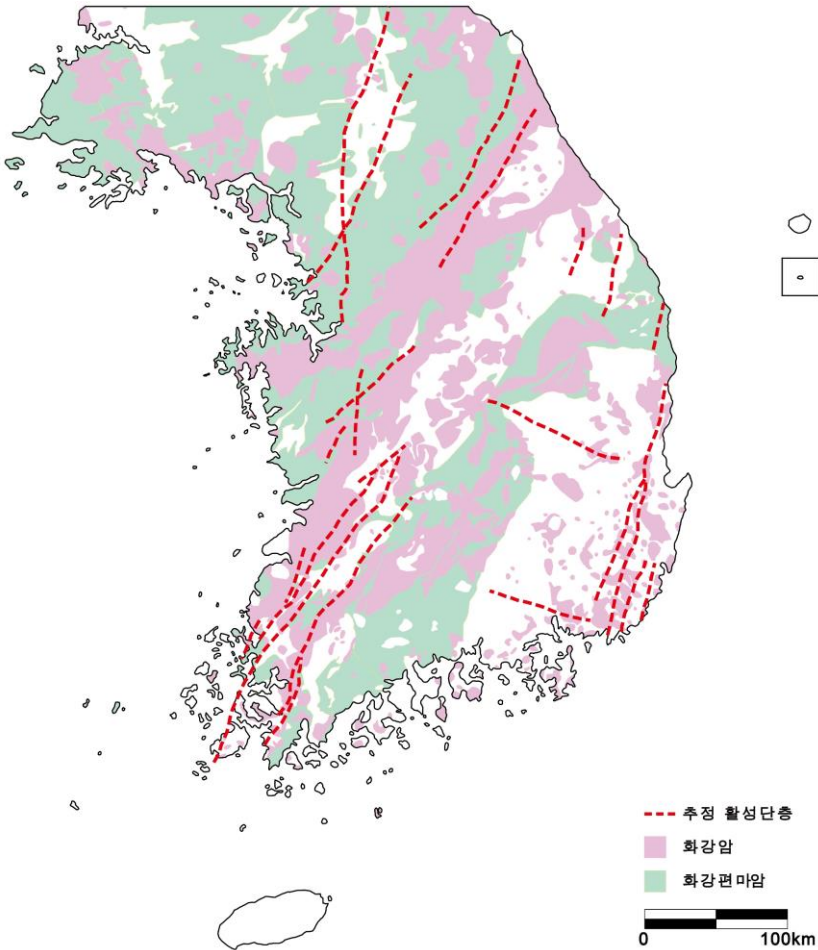
핀란드식 분석 결과(KIGAM, 2012) 적용

Categories	Classification Criteria
Class 1	The width of the lineament is approximately 1 km and the corresponding length of the zone is dozens or hundreds of kilometres.
Class 2	The width of the lineament is hundreds of meters and the length varies from 5 km to tens of kilometers.
Class 3	Lineaments inside the target area, length < 5km, width from tens of meters to a hundred metres.



02 후보부지 선정을 위한 평가항목

✓ 활성단층 및 활동성단층



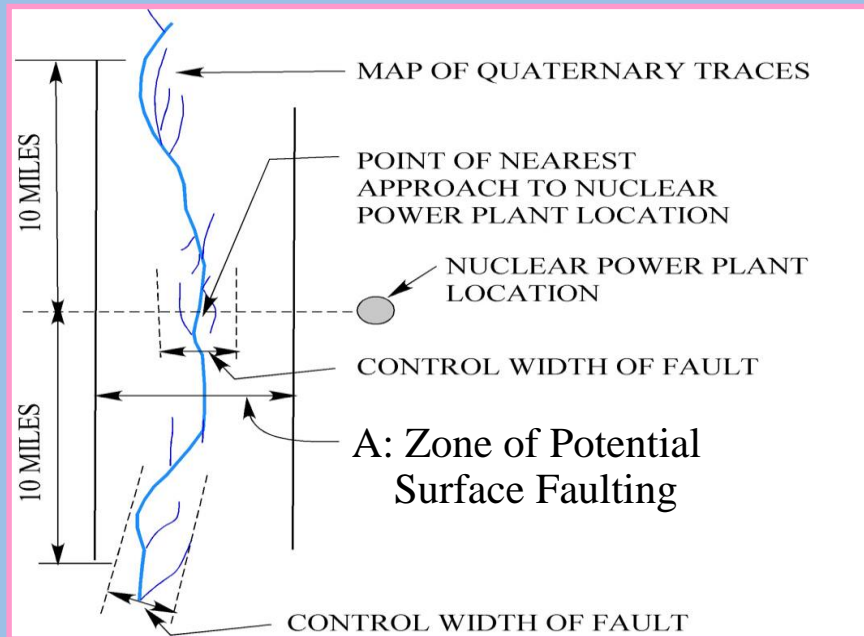
남한의 추정 활성단층(최성자 외, 2012) 분포

- 활성단층 및 활동성단층에 대한 여러 국가들의 지침
 - 미국: 부지 내 **활동성단층**의 증거가 있을 경우 잠재적으로 불리한 조건으로 작용함으로 배제 대상이다(USDOE, 2011).
 - 독일: 후보 부지 선별 시 처분장 부지 내에 **활동성단층**이 있을 경우 배제 대상이다(DETEC, 2008).
 - 일본: 전국 규모에서 확인되는 활성단층 지역은 우선적으로 배제한다. 또한 문헌에 조사된 **활성단층 지역** 및 **활성단층의 분기**가 발생할 가능성이 높은 지역은 배제한다(NUMO, 2004).

02 후보부지 선정을 위한 평가항목

✓ 활성단층으로부터의 이격거리

- Zone of Potential Surface Faulting
 - Consists of traces of capable fault and Quaternary faults structurally related with the capable fault
 - Minimum width of 800 m must be applied



(Modified from the appendix A to 10 CFR 100)

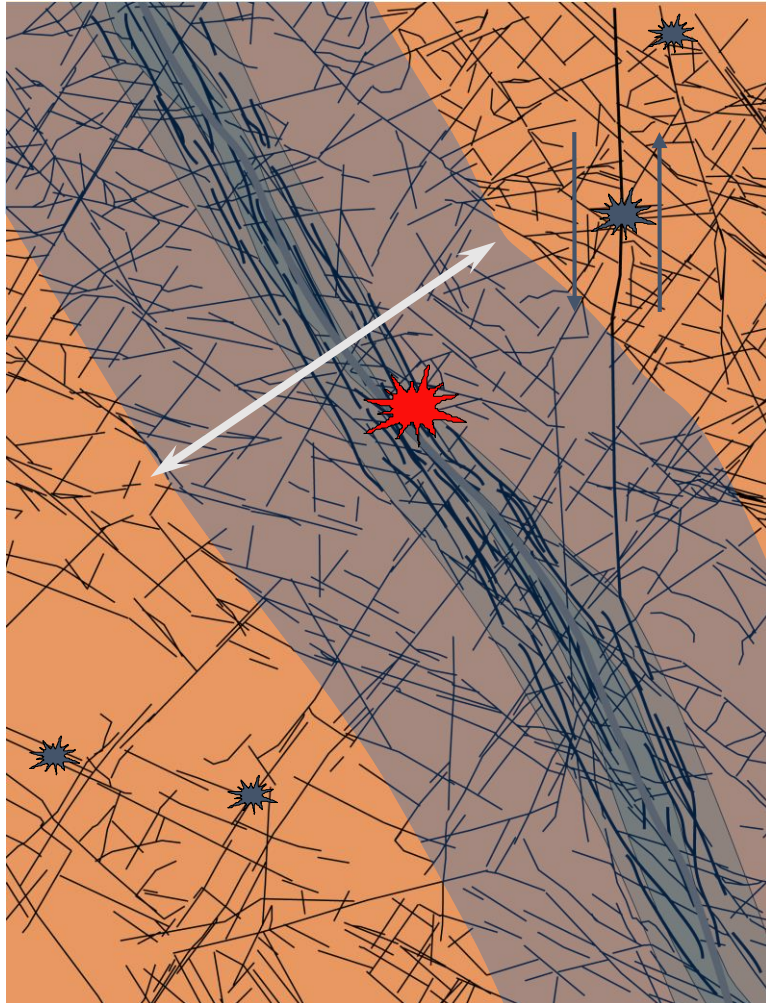
A: Zone of Potential Surface Faulting

Magnitude of earthquake	A
Less than 5.5	1 x CW
5.5-6.4	2 x CW
6.5-7.5	3 x CW
Greater than 7.5	4 x CW

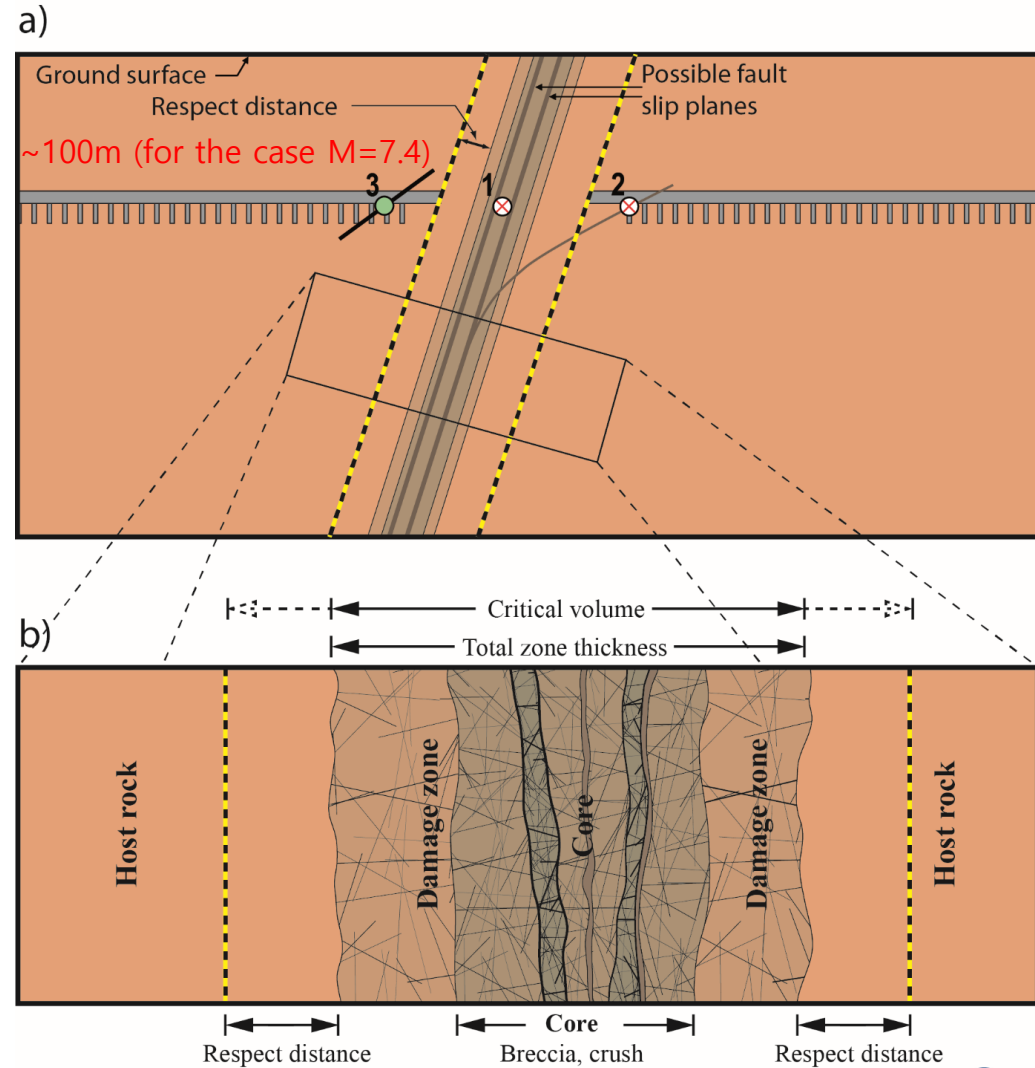
CW : Control Width

02 후보부지 선정을 위한 평가항목

✓ 활성단층으로부터의 이격거리



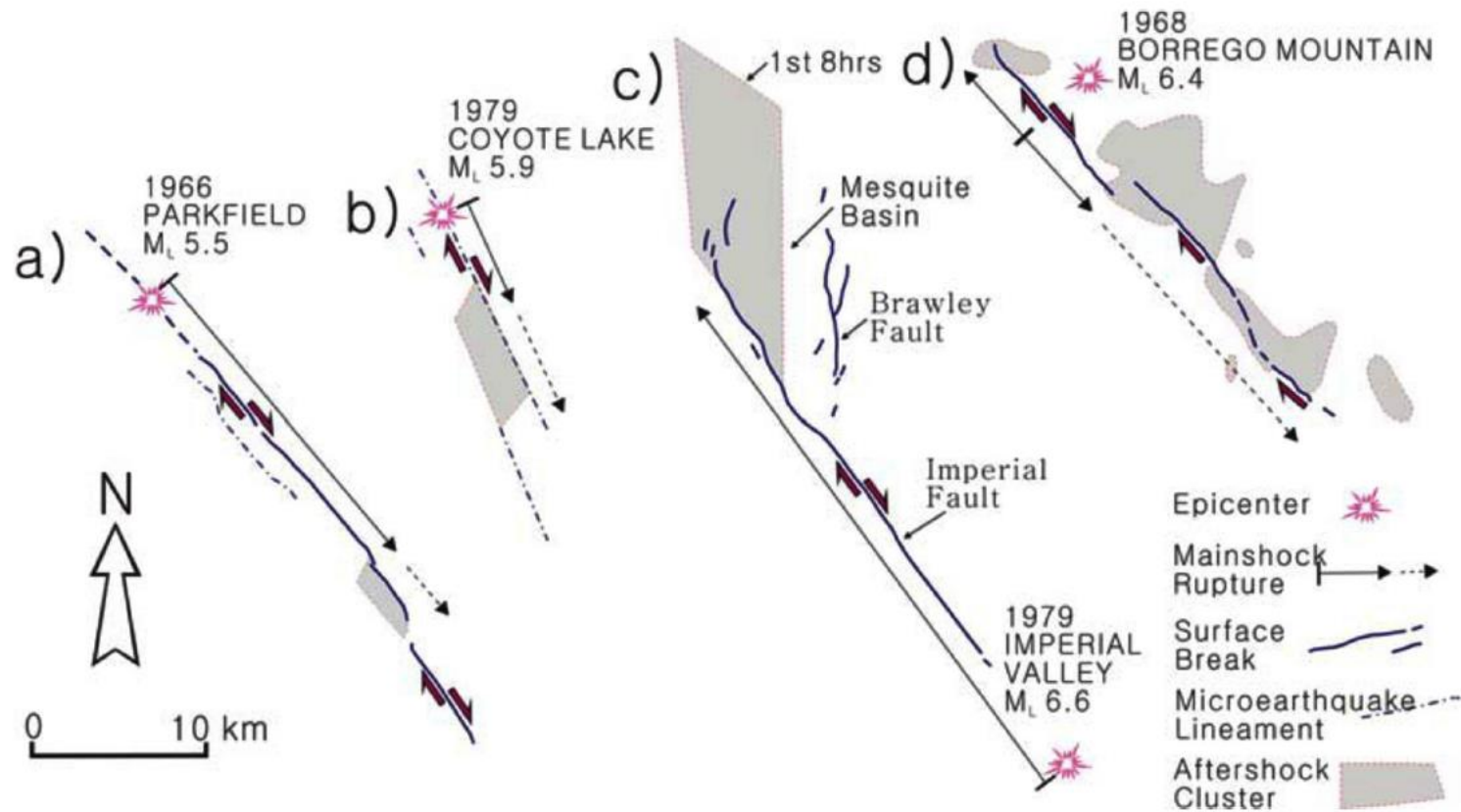
(Modified from R. Munier et al., 2008)



02 후보부지 선정을 위한 평가항목

✓ 활성단층으로부터의 이격거리 – 주향이동단층에서의 여진 분포

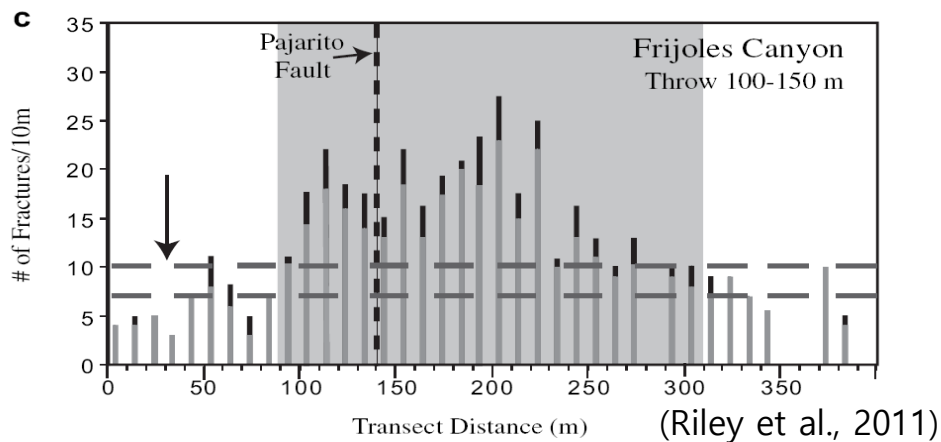
여진의 분포가 linking damage zone, tip damage zone에 집중됨



(Sibson, 1989)

02 후보부지 선정을 위한 평가항목

✓ 활성단층으로부터의 이격거리 – Hanging-wall vs Footwall



(Robert S.Yeats's homepage)

02 후보부지 선정을 위한 평가항목

✓ 활성단층으로부터의 이격거리 – 활성단층 추적의 중요성



Chi-Chi earthquake,
Taiwan (1999, Mw=7.5)

1999년 규모 7.6 Chi-Chi 지진

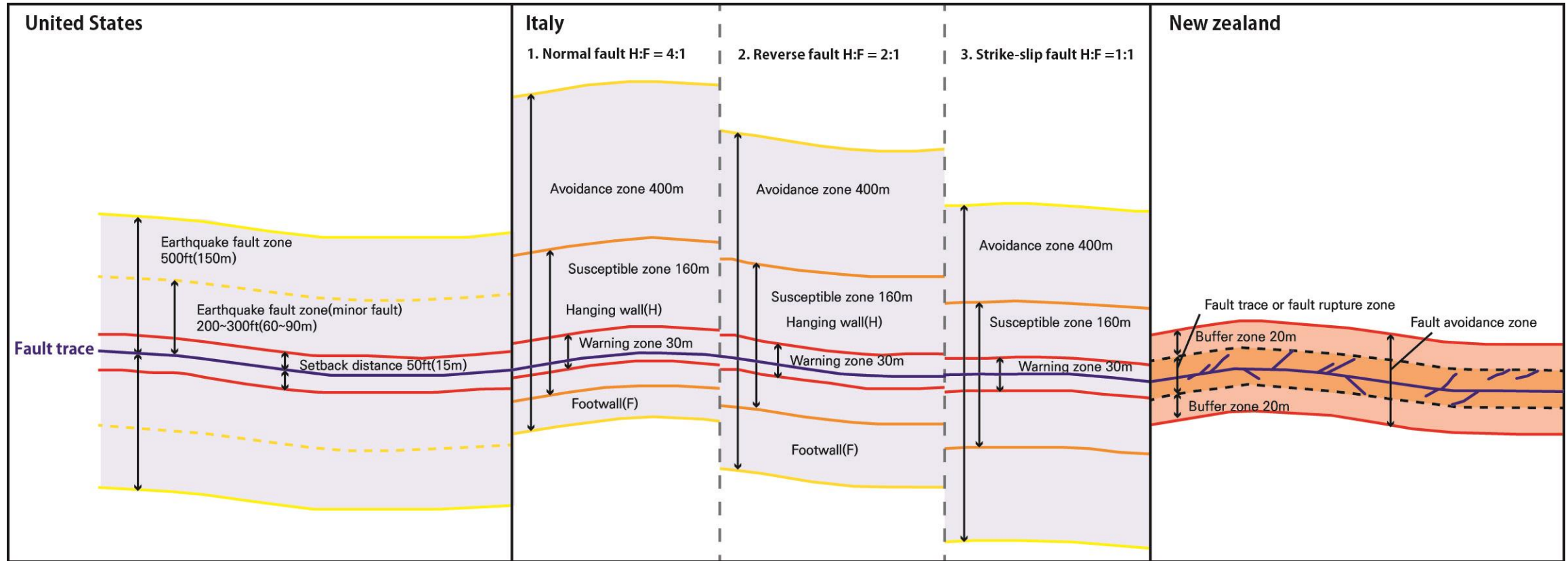
상반(hanging wall) 피해지역 폭이 약 50 m인 반면, 이를 벗어난 지역에서는 피해가 거의 발생하지 않음

**공학적 내진설계로는 지표파열에
대비할 수 없다!**

02 후보부지 선정을 위한 평가항목

✓ 활성단층으로부터의 이격거리

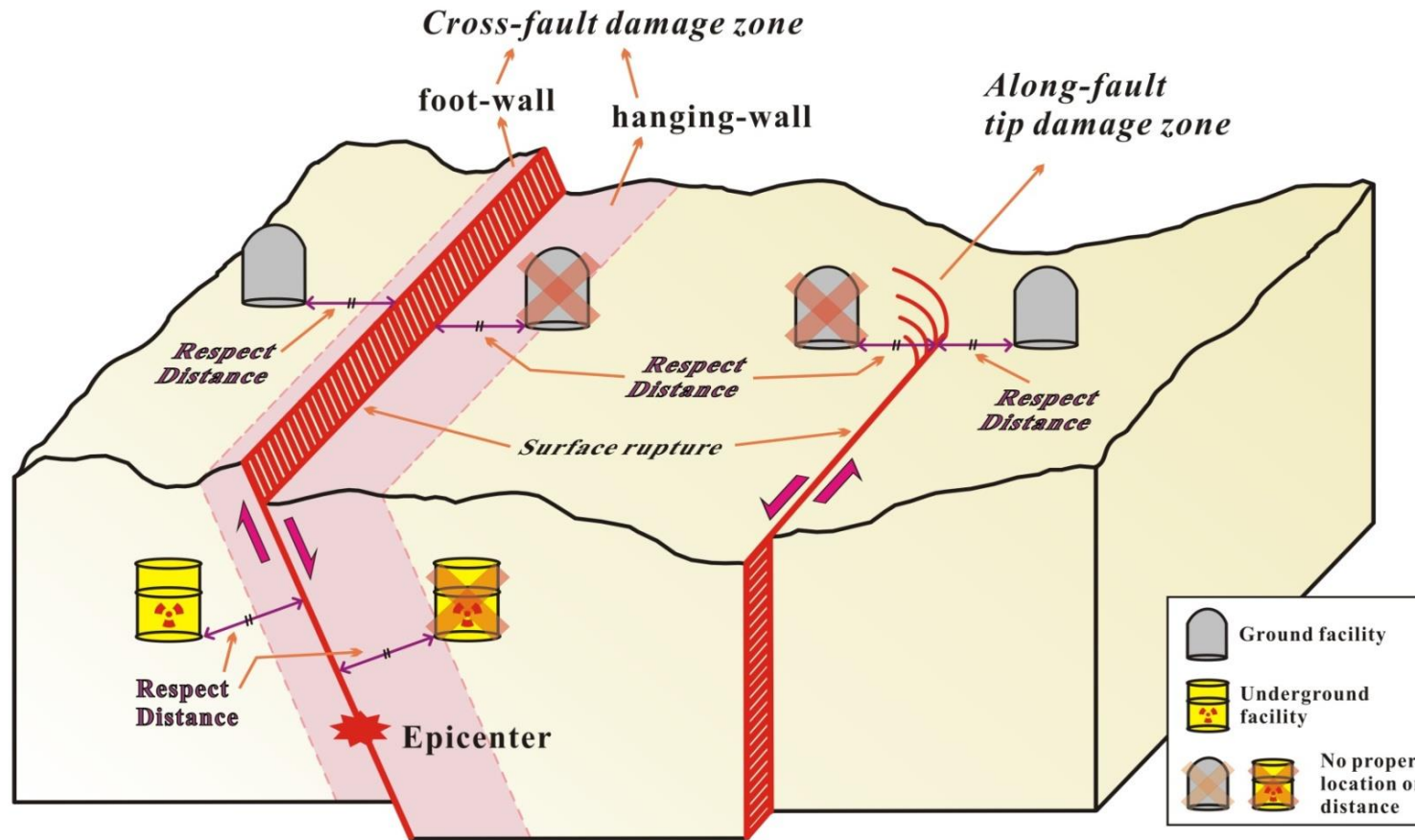
■ 이격거리에 대한 여러 국가들의 지침



(Hong, 2022)

02 후보부지 선정을 위한 평가항목

✓ 활성단층으로부터의 안전위치 선정



Fault damage zones + Respect distance = Proper location for Nuclear Facilities

03 처분 부지 선정 절차에 대한 제언



1단계

예비 지역 선정



2단계

후보 부지 선정



최종 목표

- 과학적이고 공정한 법, 규정, 절차, 방법론에 관한 중장기 로드맵 작성
- 전국을 대상으로 조사를 실시, 지질학적 배제조건을 우선적으로 제외

- 지질조건에 부합하는 상위 10 여개의 후보 부지 선정
- 선정된 10 여개 후보 부지 지자체의 선정결과 수용 합의
- 선정된 후보 부지에 대한 수용성 선호도 조사를 실시하여 점수로 반영

- 선호 지역이 없을 시 부지선정위원회에서 점수를 바탕으로 최종 후보지 선정
- 최종 후보지에 대한 상세 조사 실시
- 상세 조사 결과를 통해 최종 부지 확정

<성공적 부지선정을 위한 필수조건>

- 신뢰를 바탕으로 전국민을 대상으로 부지선정의 공정성, 안전성 및 혜택을 설명!
- 모든 선정절차와 과정 그리고 점수까지도 투명하게 공개!

감사합니다.