



# 포항지진특성 및 지반구조물 지진재해대책 심포지엄

2018 2.7수 (14:00~17:30)

건설회관 2층 중회의실 (서울시 강남구 논현동 소재)



사단  
법인 한국지반공학회  
KOREAN GEOTECHNICAL SOCIETY

후원







# 포항지진특성 및 지반구조물 지진재해대책 심포지엄

2018 2.7<sup>수</sup>  
(14:00-17:30)

건설회관 2층 중회의실 (서울시 강남구 논현동 소재)

 **대한토목학회**  
KOREAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS



사단  
법인 **한국지반공학회**  
KOREAN GEOTECHNICAL SOCIETY

후원

 GIT4CC

 (주)브이엔건설컨설팅

 S TECH  
에스텍건설그룹

 EJtech



## 모시는글

안녕하십니까? 한국지반공학회 및 대한토목학회 회원님

2016년 경주지진에 이어 2017년 포항지진과 같이 근래 연속적인 지진으로 우리나라도 더 이상 지진의 안전지대가 아니라는 우려가 확산되고 있으며, 구조물의 붕괴와 침하발생 등 국민 안전에 대한 우려가 심화되고 있는 상황입니다. 특히, 포항지진을 통하여 액상화 현상에 대한 관심이 커지며, 액상화 현상에 따른 구조물의 안전성 문제가 대두되고 있습니다.

본 심포지엄은 한국지반공학회와 대한토목학회가 공동으로, 액상화 및 지반구조물에 대한 내진 설계 및 안전성 검토에 대한 심도있는 논의를 위해 마련한 장입니다. 본 심포지엄이 많은 실무 기술자와 전문가 여러분이 최신 정보와 기술을 공유하고, 지반 구조물의 지진 및 내진 해석 전반에 대한 이해를 높이는 소중한 시간이 될 것으로 기대되오니, 많은 성원을 바랍니다.

대한토목학회 회장 김홍택  
한국지반공학회 회장 정상성

- **주제**: 포항지진특성 및 지반구조물 지진재해대책
- **일시**: 2018. 2. 7.(수), 14:00~17:30
- **장소**: 건설회관 2층 중회의실(서울시 강남구 논현동 소재/관세청 인근)
- **공동주최**: (사)대한토목학회, (사)한국지반공학회
- **프로그램**

13:30~14:00		등록 최창호 박사(한국지반공학회 학술전담이사)
14:00~14:10		<b>개회사</b> • 대한토목학회 회장 김홍택 • 한국지반공학회 회장 정상성
1부	14:10~14:35	지반지진공학 연계관점의 포항지진 조사 및 분석 선창국 박사(한국지질자원연구원)
	14:35~15:00	포항지진 액상화 현상 사례 분석 정민수 박사(국립재난안전연구원)
	15:00~15:10	휴식
	15:10~15:35	국내 기반시설물 내진설계 기준 현황 김익현 교수(울산대)
	15:35~16:00	지반구조물 기초의 내진설계 현황 및 개선사항 정상성 교수(연세대)
16:00~16:20		휴식 강인규 박사(대한토목학회 재해대응위원회 위원장)
2부	16:20~17:10	<b>좌장</b> : 이승호 교수(상지대) 하익수 교수(한국지반공학회 지반진동기술위원회 위원장) 신희순 박사(코리아이엠티) 박두희 교수(한양대) 안정훈 과장(국토교통부 기술기준과) 1부 발표자 4인
17:10~17:20		폐회

# CONTENTS

- **지반지진공학 연계관점의 포항지진 조사 및 분석** ..... 1  
선창국(한국지질자원연구원)
- **포항지진 액상화 현상 사례 분석** ..... 21  
정민수(국립재난안전연구원)
- **국내 기반시설물 내진설계 기준 현황** ..... 39  
김익현(울산대학교)
- **지반구조물 기초의 내진설계 현황 및 개선사항** ..... 59  
정상섭(연세대학교)

# >> 지반지진공학 연계관점의 포항지진 조사 및 분석

---

선창국(한국지질자원연구원)



**KIGAM** 한국지질자원연구원 **대한토목학회** 한국지반공학회

# 지반지진공학 연계관점의 포항지진 조사 및 분석



| 2018. 2. 7.(수), 건설회관  
| 한국지질자원연구원  
| 선창국, 김한샘, 조형익

## 목 차

- 1. 포항지진 개요
- 2. 지진 정밀 관측·분석
- 3. 현장 지질 조사
- 4. 부지응답 특성 및 피해현황
- 5. 향후 조사·연구 추진

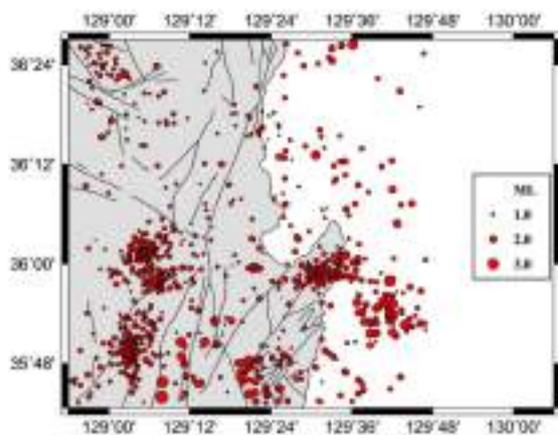
**KIGAM** 한국지질자원연구원 2

# 1. 포항지진 개요



## 1. 포항지진 개요

### 포항 지역 지진발생 현황



➢ 포항지진 지역에서의 **계기지진** 발생 분포도  
✓ 1995 ~ 2011. 10. 계기지진 진앙분포도

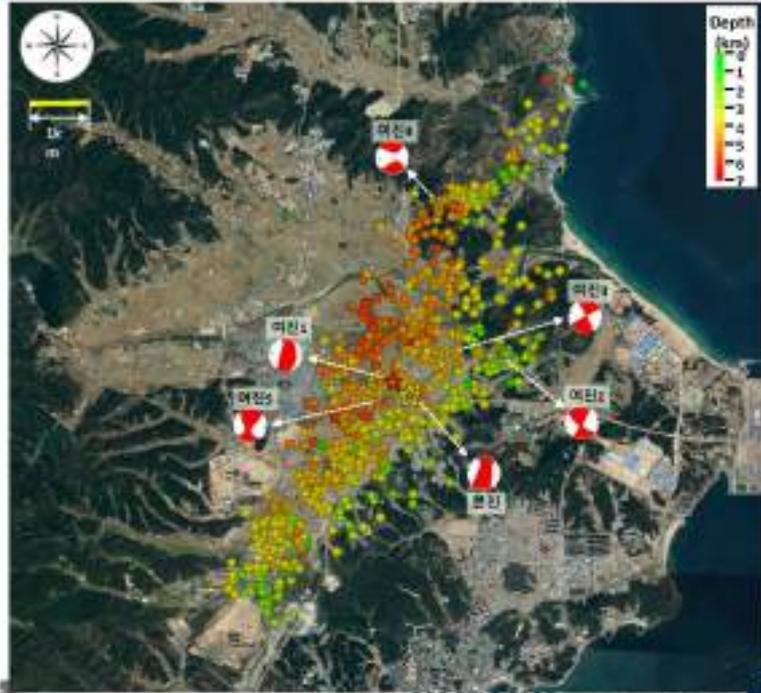


✓ 포항지진 지역에서의 2016년 1월 이후 지진 (파란색)과 포항 지진 이후의 분포(빨간색)



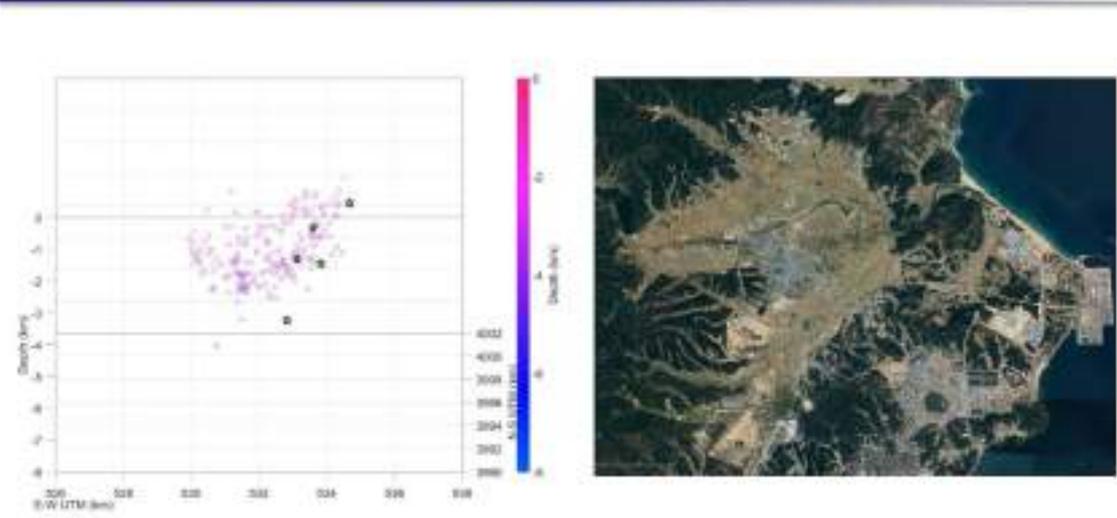
포항지진 주요 이벤트 발생 현황 (2018년 1월 기준)

구분	시간 (KST)	규모 (Mw)	깊이 (km)
본진	1110 14:29:52	5.4	4.0
여진1	1110 16:49:31	4.3	5.5
여진2	1110 09:02:43	3.6	2.0
여진3	1110 22:45:18	3.5	3.9
여진4	1110 06:05:16	3.6	3.7
여진5	1404 16:39:23	3.5	5.6



» 2017년 11월 15일 - 2018년 1월 15일 동안의 경일 분석된 1,054개 지진의 진앙 분포도

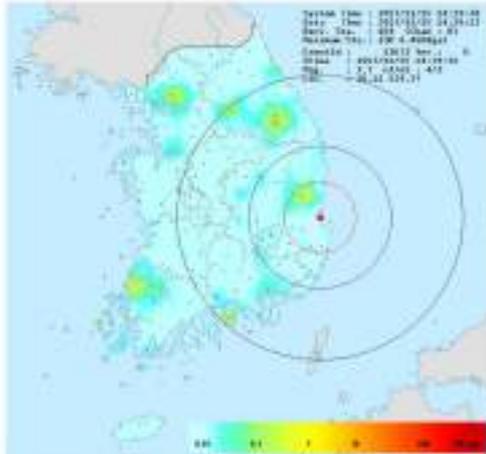
포항지진 주요 이벤트 진원 분포 (2017년 11월 23일 기준)



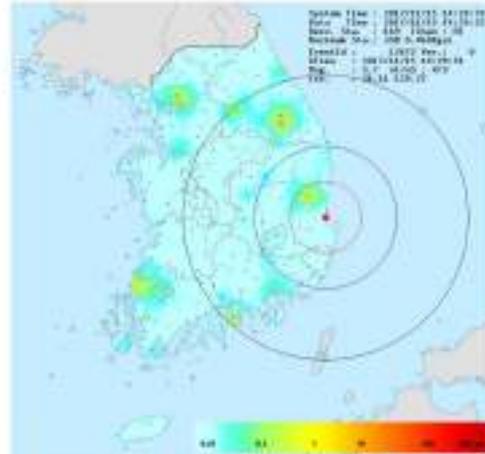
# 지진조기경보시스템 기반 최대지반가속도 분포

> 본진(M<sub>w</sub> 5.4) 발생시 지진조기경보시스템의 자동분석 결과

RTShakeMap 실시간 PGA



RTShakeMap 최대 PGA



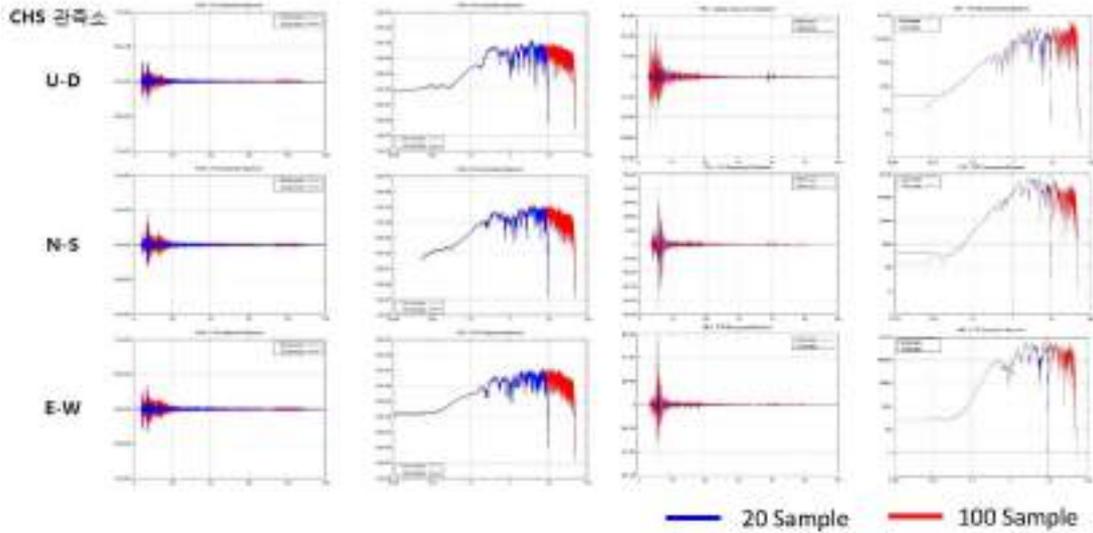
## 2. 지진 정밀 관측·분석



## 포항지진 지진기록 주파수 특성

» 포항지진 청송 관측소

» 경주지진 명계리 관측소

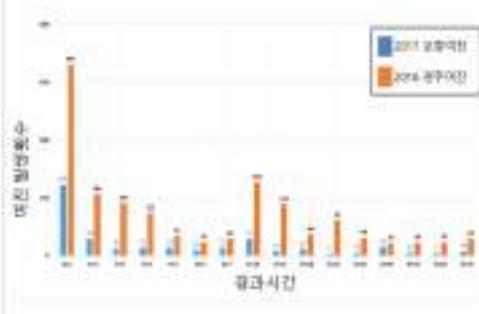


— 20 Sample — 100 Sample

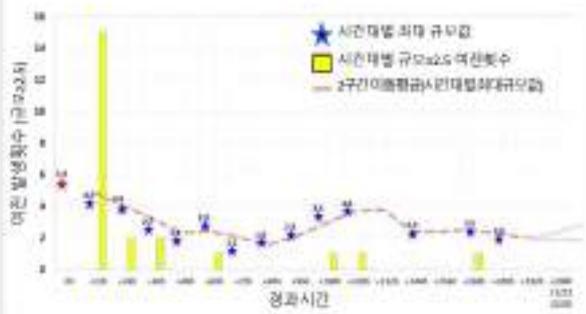


## 포항·경주 여진 발생 특성 비교 (2018년 1월 기준)

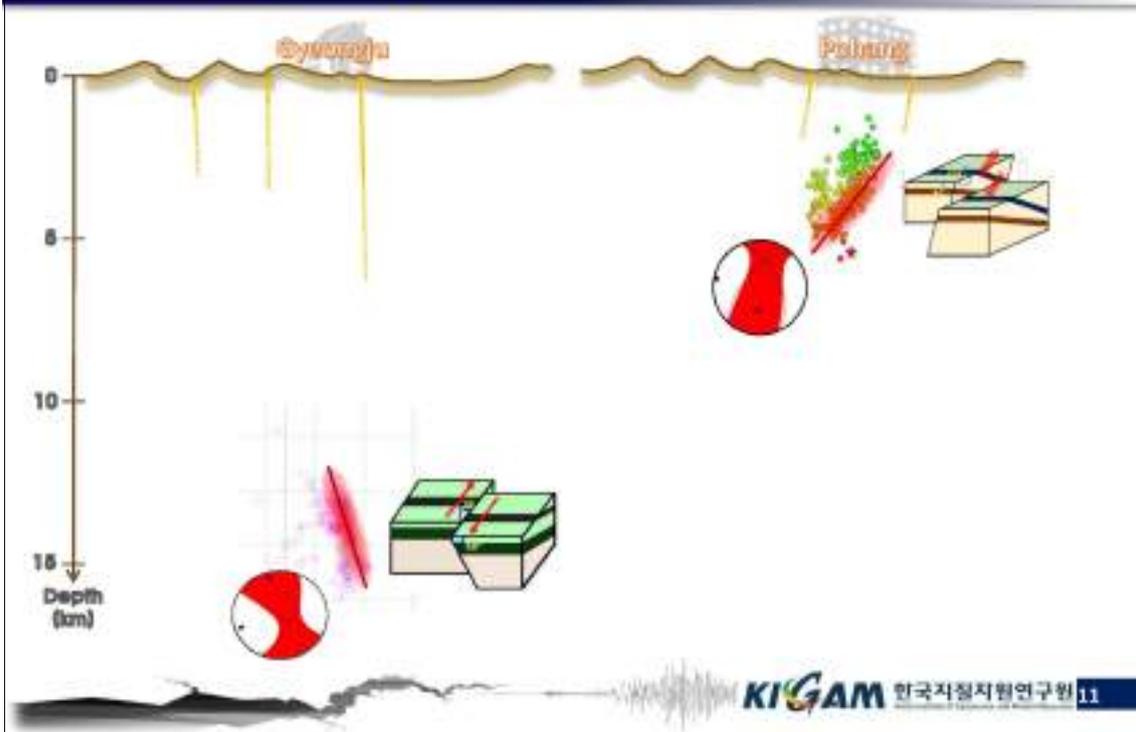
» 포항·경주지진의 시간에 따른 여진 발생 횟수 비교



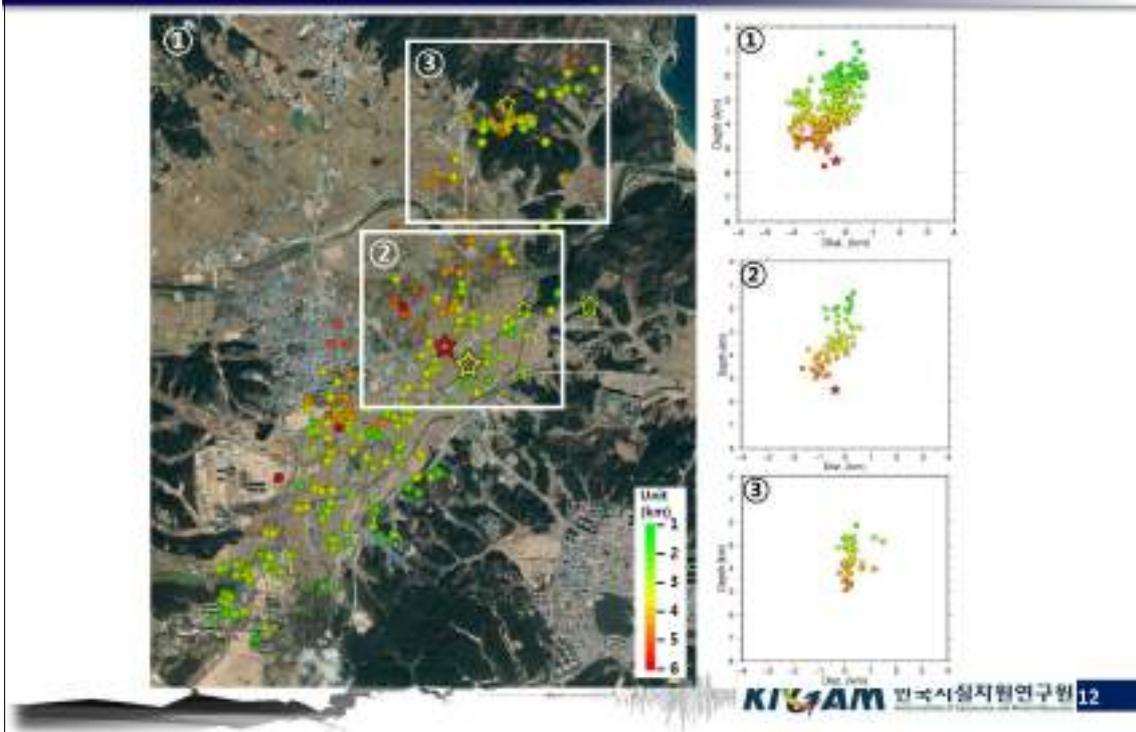
» 향후 포항 지역의 발생 가능한 여진 규모 추정



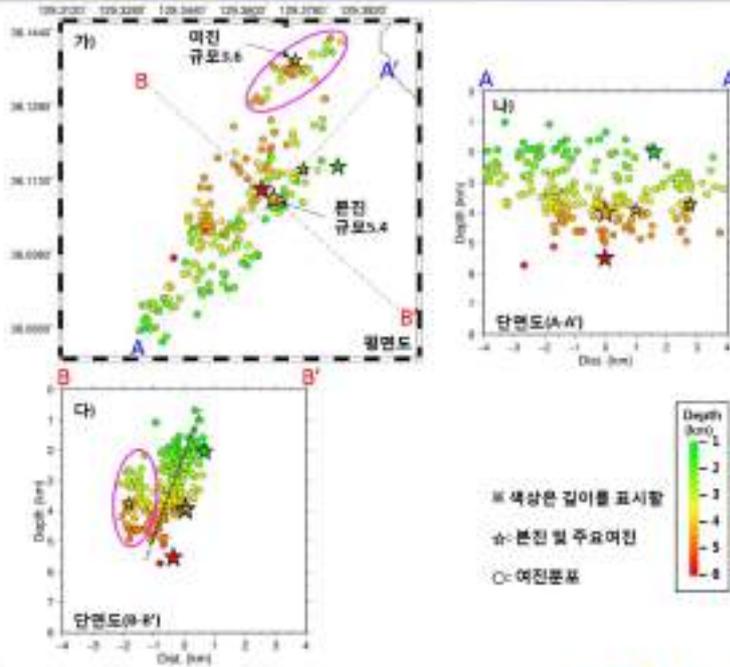
포항·경주 본진 지지원 특성 비교



진앙 및 진원깊이 분포 (1)

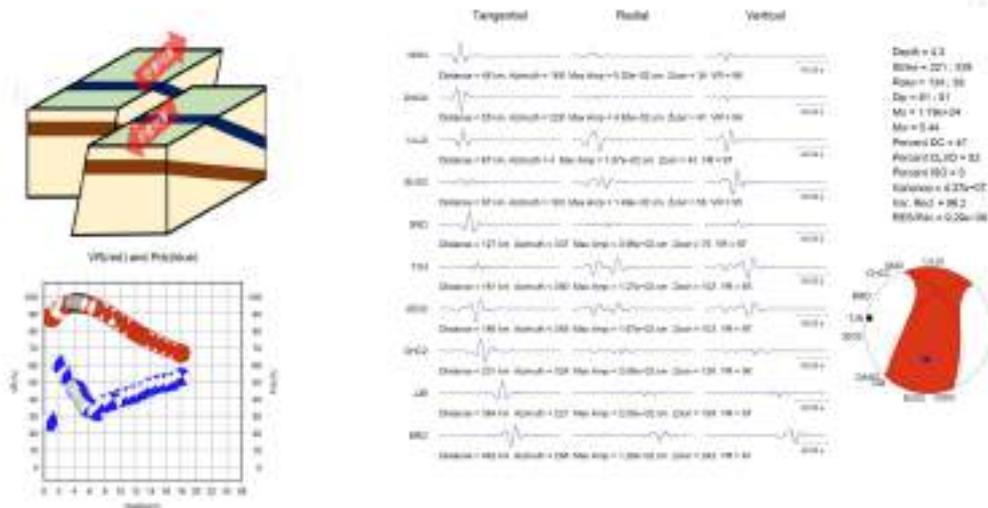


### 진앙 및 진원깊이 분포 (2)

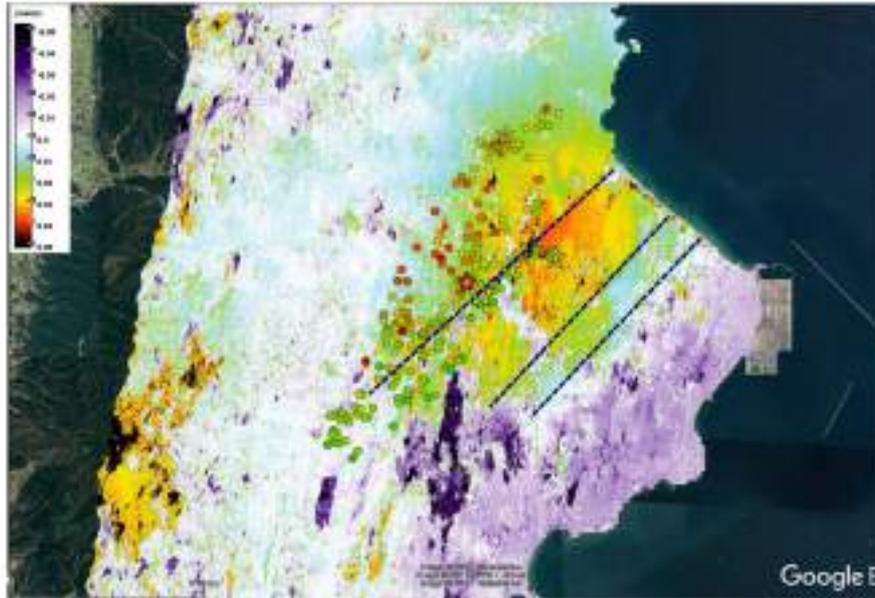


### 포항지진 주요 지진원 단층면해

- > 총 5개의 주요지진(M: 3.30이상)의 모멘트 텐서 역산에 의한 단층면해 및 모멘트 규모(Mw)
- > 포항지진 본진(M: 5.4)의 모멘트 텐서 역산 결과 Mw5.44, 우수향 경사이동 단층



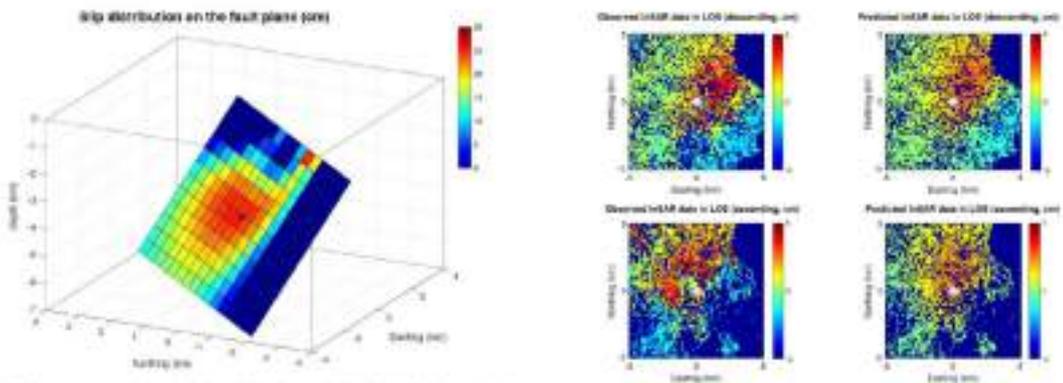
## 위성영상 기반 InSAR 자료를 이용한 포항 지진 후 지표변형



» 포항지진 전후 위성영상 비교(InSAR): 최대 약 4 cm의 지표면 변위 (from 강원대 어준일)

## 위성영상 기반 InSAR 자료 이용 지표변형과 단층면해 해석

> 포항지진 유한단층 모델은 지진을 일으킨 단층의 주요 파열 면적이 4 km x 6 km 정도이고 많은 양의 단층 변위가 진앙의 남서쪽 보다는 북동쪽에 위치함



» InSAR 자료 역산을 이용한 포항지진 유한단층 모델 (from KIGAM 송석규)

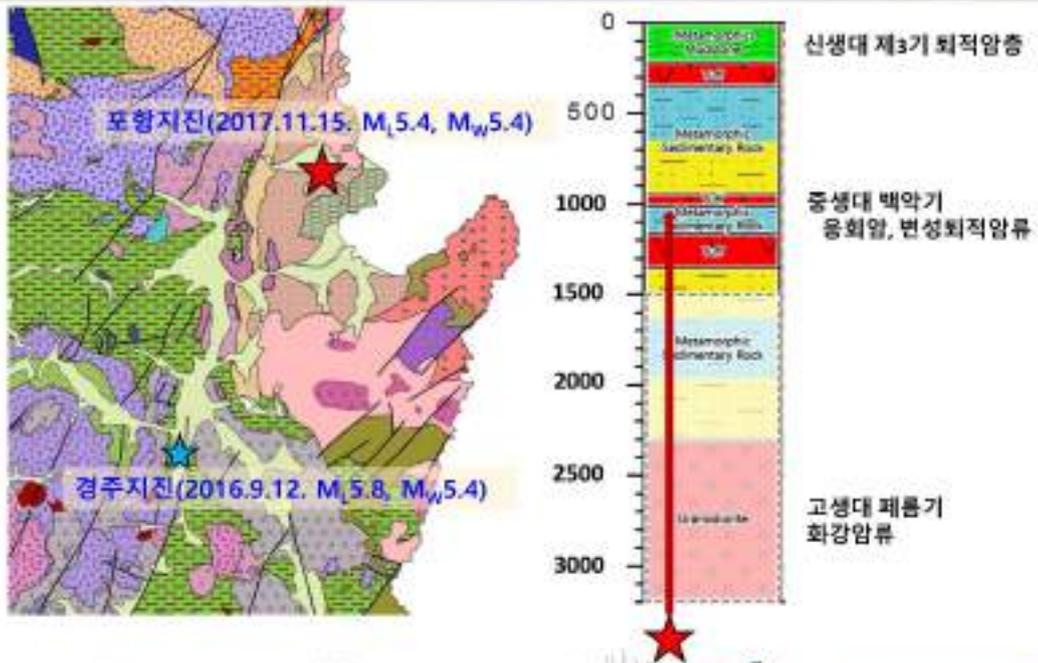
» 관측 InSAR 자료와 모델 예측에 의한 지표변형 비교 (from 강원대 이용필)

### 3. 현장 지질 조사



#### 3. 현장 지질 조사

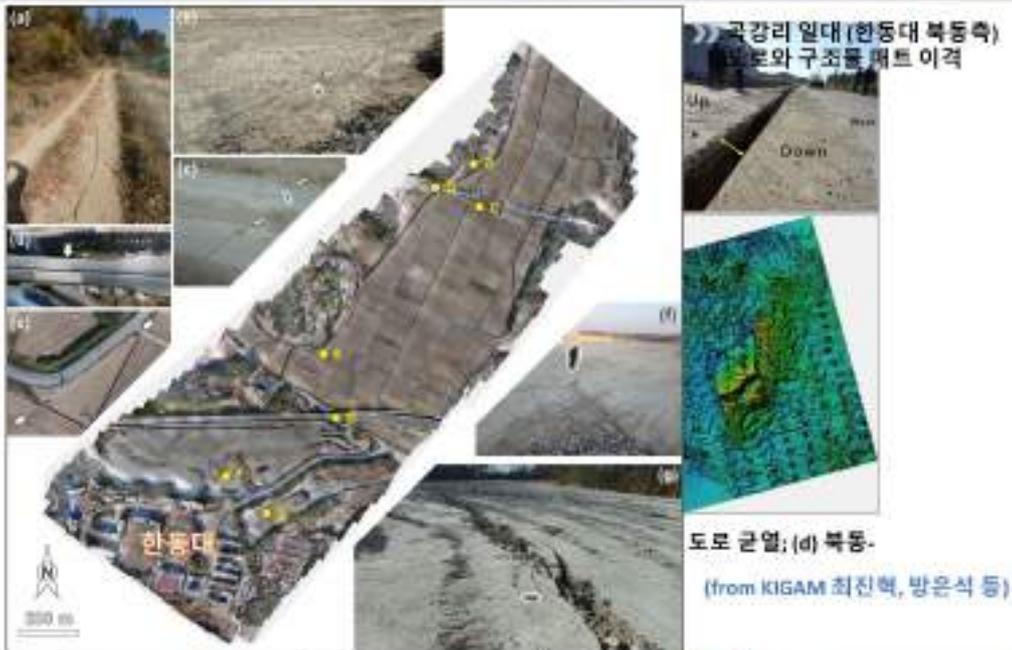
#### 진안 지역 지질 분포



### 지질조사 현황



### 지진동시성 지표변형



국강리 일대 (한동대 북동측) 도로와 구조물 펌프 이격  
도로 균열; (d) 북동-  
(from KIGAM 최진혁, 방은식 등)

## 액상화 관련 지표지질조사

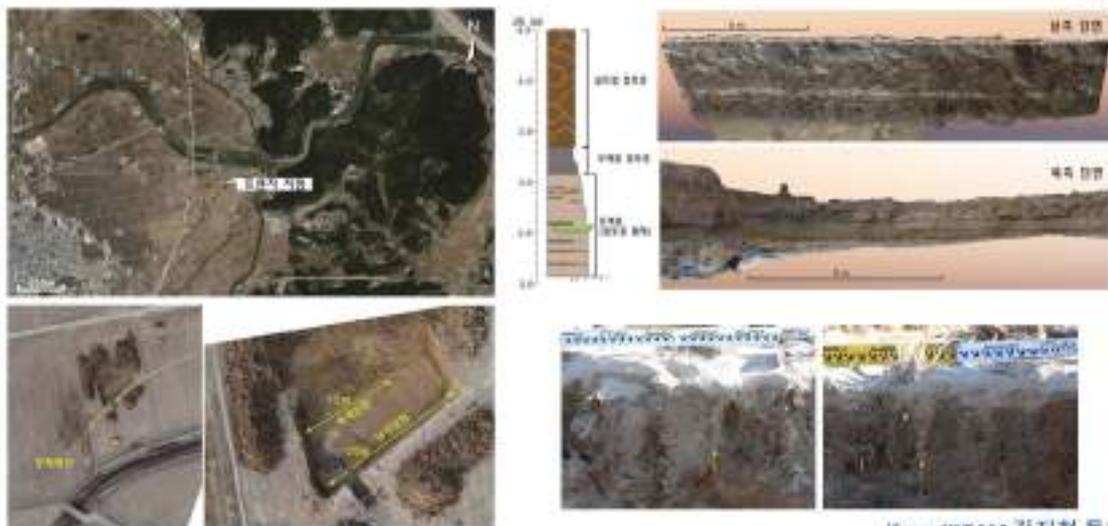
- > 진앙지 인근 위성영상 분석, 드론영상 촬영과 야외조사를 통해 액상화에 의한 지표분출 퇴적물 조사
- > 진앙지로부터 반경 15km 범위에서 약 600여개의 퇴적물(제4기 퇴적물)의 지표분출을 확인



(from KIGAM  
김용식 등)

## 액상화 관련 트렌치 조사

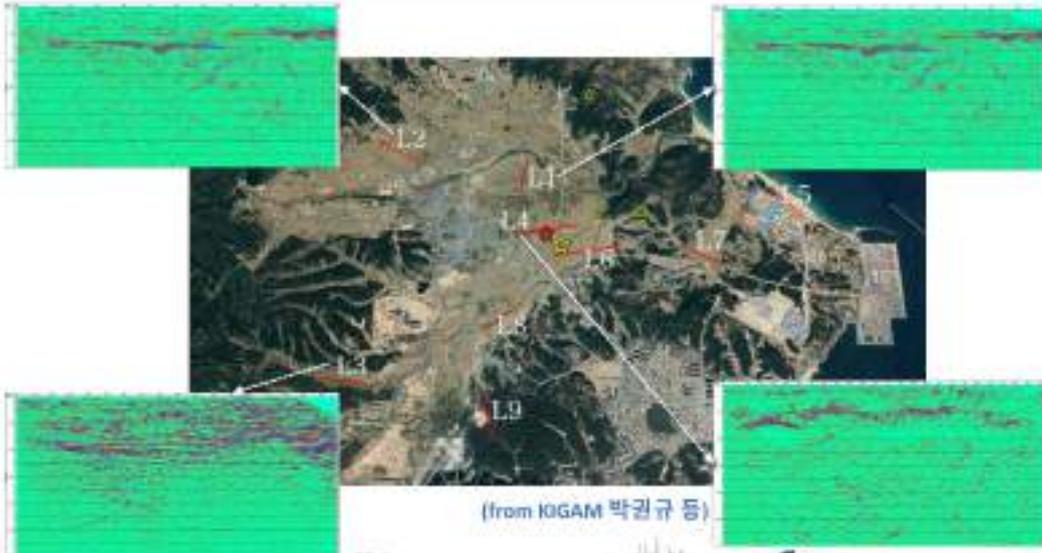
- > 실트질 점토층(약 1m 이상), 모래질 점토층(약 30cm), 모래층(점토층 교호)으로 구성됨
- > 상부 점토층의 불규칙적인 균열을 따라 모래의 상향이동 및 지표 분출



(from KIGAM 김진철 등)

## 기존 탄성과 탐사 자료 분석

- > 축선 위치에 따라 다르기는 하나 제3기층(퇴적암) 심도는 약 200m ~ 500m 내외로 추정
- > 북동방향 주향 확인

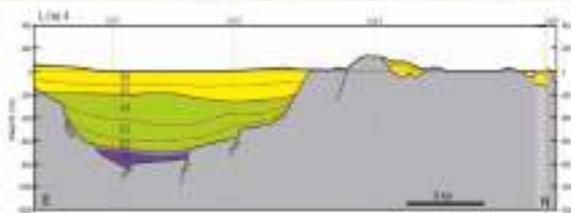


(from IGGAM 박권규 등)

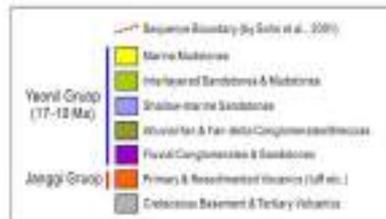
## 진안 지역 천부 지각 구조



제3기층 분지구조 단면선



분지구조 예상 단면도

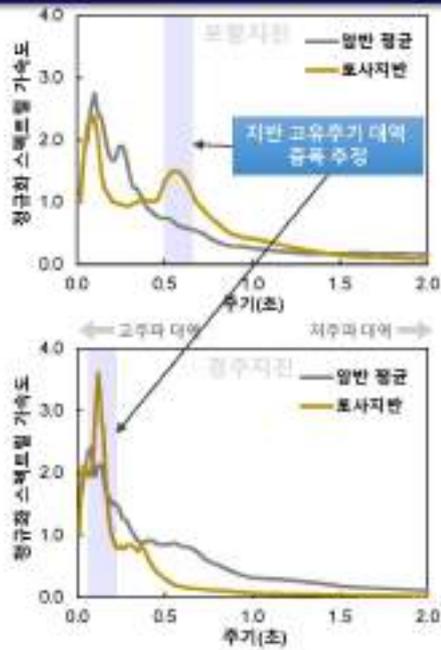


## 4. 부지응답 특성 및 피해현황

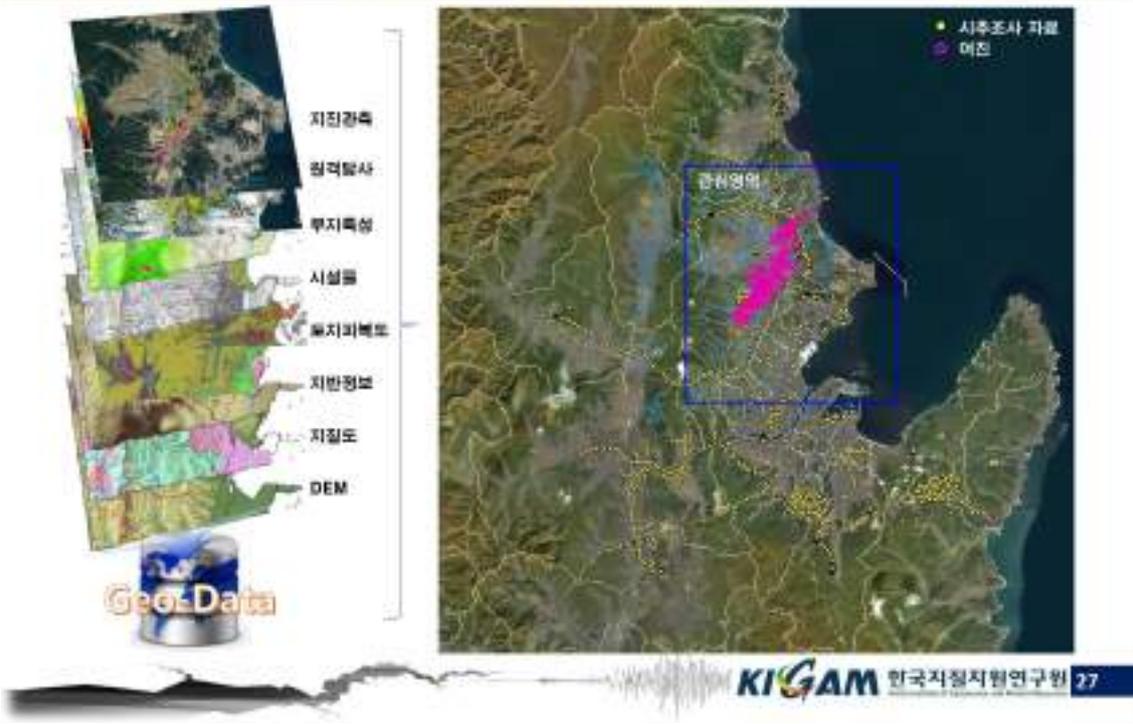


### 4. 부지응답 특성 및 피해현황

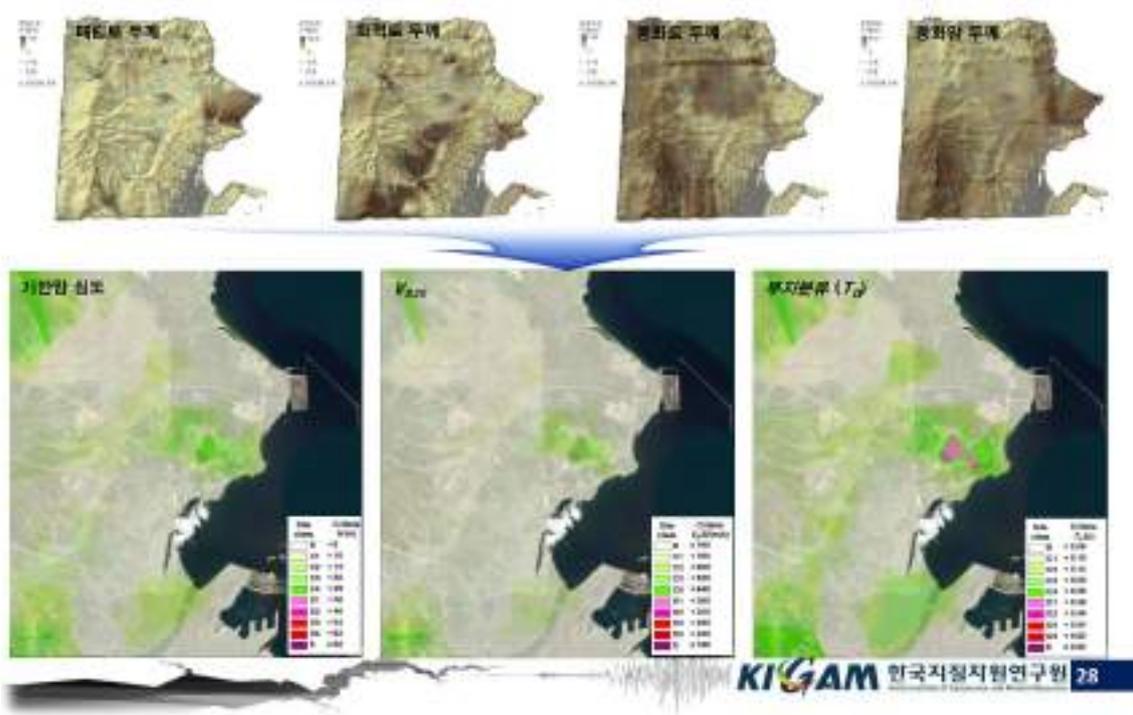
#### 포항지진 관측자료 응답스펙트럼



부지응답특성 분석을 위한 Geo-Data 구축



지반공간분포 및 지진지반응답 매개변수 구성



### 건축물 긴급 피해 피해 조사 (1)

» 지진피해 표준안(USGS)

USGS	Standard	Damage	USGS	Standard	Damage
1	None	None	1	Light	Light
2	Minor	Minor	2	Medium	Medium
3	Minor	Minor	3	Medium	Medium
4	Minor	Minor	4	Medium	Medium
5	Minor	Minor	5	Medium	Medium
6	Minor	Minor	6	Medium	Medium
7	Minor	Minor	7	Medium	Medium
8	Minor	Minor	8	Medium	Medium
9	Minor	Minor	9	Medium	Medium
10	Minor	Minor	10	Medium	Medium

0~10      0~10

0~20

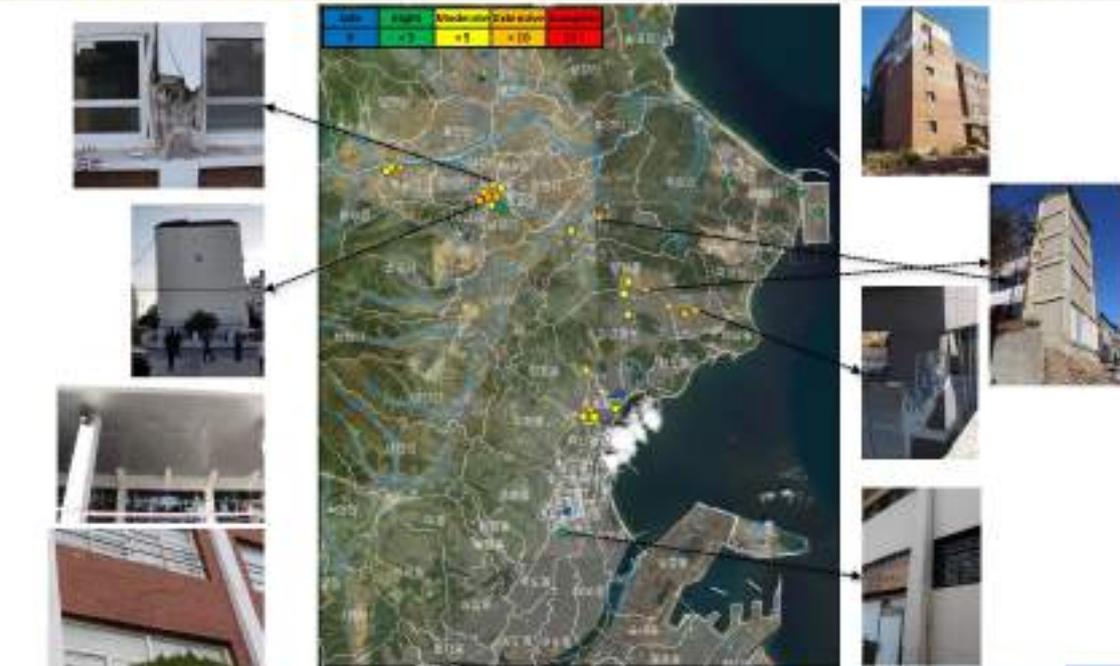
Safe	Slight	Moderate	Extensive	Complete
0	< 3	< 5	< 10	> 10

지진피해 등급

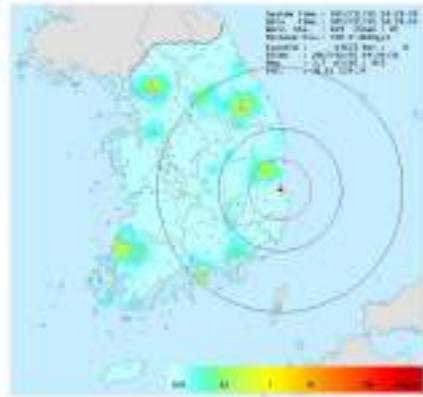
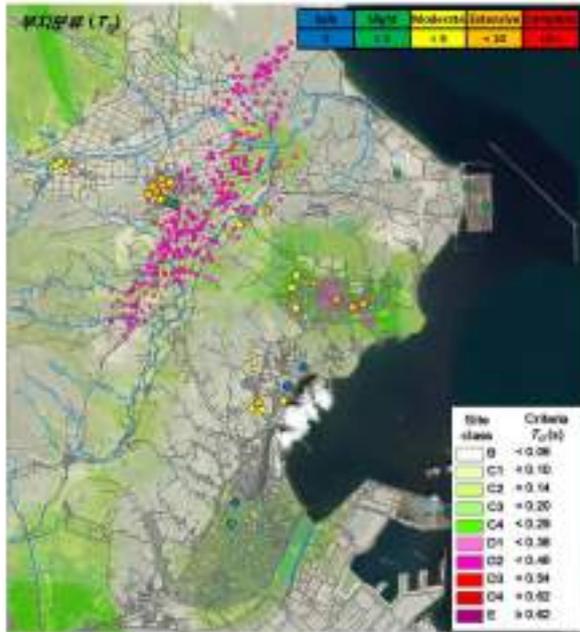
» 포항지진 긴급 건축물 조사 보고서(요약)

건축물 명	건축물 종류, 층수	지반 피해등급	구조물 피해등급	지진피해 등급	상세피해 현황	사진
동해조 중학교	무부속 중학교, 3층	1	7	Extensive (B)	기둥파괴	
대성아파트 1동	철근콘크리트, 5층	2	6	Extensive (B)	5기둥이음	
연풍대 학교	철근콘크리트, 6층	0	4	Moderate (B)	외벽 마감 벽돌 탈락	
중성동 일모디 빌라	철근콘크리트, 5층	0	5	Extensive (B)	기둥파괴	
포항시외버스 터미널	철근콘크리트, 4층	0	2	Slight (B)	벽에 금이 간	

### 건축물 긴급 피해 피해 조사 (2)



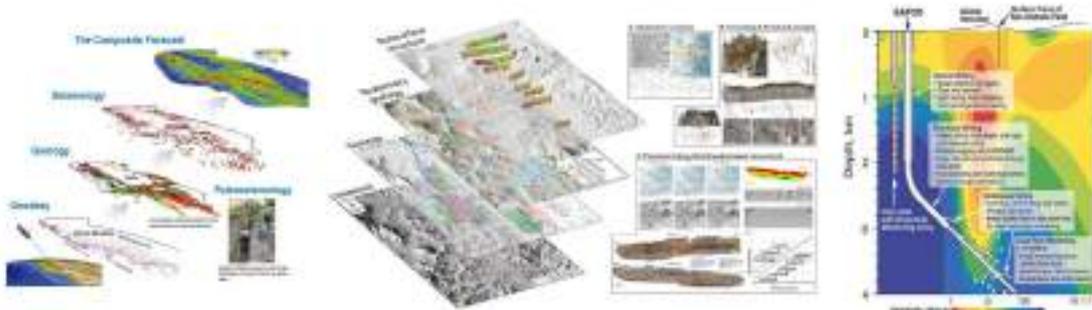
## 부지응답특성과 지진피해 상관분석



## 5. 향후 조사·연구 추진

## 한반도 동남부 정밀 관측 및 조사를 통한 종합 연구 필요

- ▶ 포항 및 경주 지역 포함 동남부 주요 지진들에 대한 지진원 정밀 분석
- ▶ 지역 지진/지질 환경에 적합한 단층 조사 기법 개발 및 활성단층 기반 지진 위험성 평가
- ▶ 광역 및 국부 지진관측과 현장 지반조사 기반의 지진동 전파 및 증폭 특성 정량적 규명
- ▶ 공간 지반 특성 및 정보기반 지진유발 지반재해(강지진동, 액상화, 사면활동, 지반함몰) 예측 평가
- ▶ 중요 시설물 원위치 지진 조기경보 및 신속대응 시스템 개발 적용
- ▶ 지진 단층 활동 평가를 위한 심부 복합지구물리 모니터링 기술 개발 적용



**KIGAM** 한국지질자원연구원

대한토목학회  
Korean Society of Soil, Rock, and Geotechnical Engineering

한국지반공학회  
KOREAN GEOTECHNICAL SOCIETY

# 감사합니다!

이 자료는 2017년 11월 15일 포항지진 직후부터 지금까지  
현장과 실내에서 조사와 연구를 수행하고 계시는  
한국지질자원연구원 여러 연구진들로부터 제공받았습니다.



# >> 포항지진 액상화 현상 사례 분석

---

정민수(국립재난안전연구원)





**포항 액상화 위험도 평가 결과**

2018.2.7.

행정안전부 국립재난안전연구원  
정민수



**CONTENTS**

- I** 조사 개요
- II** 상세 조사결과(중간발표 후속조치)
- III** 포항지역 액상화 위험도 평가
- IV** 액상화 신고지역 조치
- V** 대책 공법 및 향후 계획

# I . 조사 개요

## I . 조사 개요

### 포항 지진 발생 개요



- 진도 V : 거의 모든 사람들이 지진동을 느끼며 그릇이나 물건이 깨지기도 함
- 진도 IV : 건물 실내에서 있는 많은 사람들이 느낌
- 진도 III : 건물 실내에서 현저히 느끼며, 건물 위층에 있는 소수의 사람만이 느낌

# I. 조사 개요

## 포항지역 지질특성 ① 충적층 분포

• 망천리 인근 논지역, 형산강 하구 및 중류지역에 충적층 분포



# I. 조사 개요

## 포항지역 지질특성 ② 매립지반

• 1960년대 말부터 산업화 및 도시화 과정으로 인한 형산강 하류지역 매립



<포항진 지도(1872, 포항운하관 소장)>

<현재 포항시>

# I. 조사 개요

## 조사 목적 및 방법

### 배경 목적

- 기상청 계기관측(1978년) 이후 국내 최초로 포항지역에서 액상화 현상 발생
- 액상화 여부 및 그 정도를 규명하고 대책수립에 활용하고자 함

### [1차 조사 방법]

- ① 액상화 발생현장 조사
  - ② 시추조사
    - 행정안전부+기상청 10개소 합동조사(포항시 협의)
  - ③ 시추주상도 등 지반자료 분석
  - ④ 지반조건 및 입도분포를 고려한 액상화 가능성 평가
    - 액상화 간판 예측법
    - 지반액상화지수법(LPI)법
- > 분석 결과  
 ⇒ 액상화 발생 확인  
 ⇒ 10개소 중 5개소 상세예측 필요

### [국내 외 전문가 자문회의]

총 10회(대면자문 4회, 서면자문 6회)

### [2차 조사 방법]

- |        |   |
|--------|---|
| 상세조사   | • 상세현장조사(CPT, PS 및 밀도 검증)<br>• 내진특성시험(반복성속업속시험, 공진주시험)        |
| 추가시추   | • 포항시 협의동 통해 31공 추가 시추('17.12.19.~1.3.)                       |
| GPR 탐사 | • 신고지역을 중심으로 31개 지점 조사 수행<br>• 조사 결과 포항시 송부 및 조치              |
| 자료분석   | • 총 3,169공<br>(기존 시추자료 3,124공, 1차조사 10공, 추가시추 31공, 포항시 제공 4공) |
| 위험도평가  | • 시추공별 LPI 산정 → 액상화 지도 작성                                     |

### [포항시 - 연구원 업무 협의]

액상화 조사 업무 협의 및 현장조사 등 25회('17.12.01-'18.1.12)

# I. 조사 개요

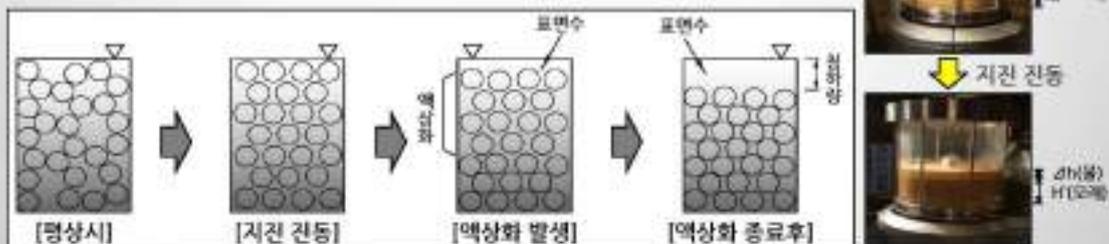
## 액상화 현상

### 액상화란?

- 물로 포화된 모래(사질토) 지반에 지진 진동이 가해지면, 흙입자 사이에 수압(간극수압)이 상승하여 지반 본연의 강도를 잃어 버리고, **흙입자와 물이 서로 분리되어 마치 물처럼 흘러내리면서 지반이 약해지는 현상**

### 액상화 발생 가능 조건

- 지하수 아래 포화된 느슨한 모래 지반( $N^*값 20$  이하)
  - $N^*값$ : 63.5kg 추를 높이 75cm에서 낙하시켜 생물이거 30cm 관입하는데 필요한 타격수
- 규모가 큰 지진



## II. 상세 조사결과(중간발표 후속조치)

## II. 상세 조사결과

### 상세조사를 위한 지반조사

- 중간발표시 10개 시추공 중 액상화 발생가능 5개 시추공에 대해 상세조사 실시

< 시추조사 위치 >



< 조사 및 시험 항목 >

		구분	수량
현장 시험	시추조사	5공	
	표준관입시험	155회	
	불교관시료채취	8회	
	교관시료채취	5회	
	파쇄모관관입시험	5회	
	SPT에너지효율시험	2회	
	지하수위 측정	5회	
	SPS 검증	5회	
	공내밀도검증	5회	
실내 시험	기분물성시험	10회	
	일축압축시험	8회	
	반복삼축압축시험	6회	
	보사공진주시험	6회	

## II. 상세 조사결과

### 시추 주상도 (CH-1~5)



## II. 상세 조사결과

### 분석 결과

- ① 5공에 대한 안전율은 3공에서 '액상화 발생 가능', 2공에서 '안전'으로 판정됨
  - ② LPI\*의 경우 CH-1은 '높음', CH2, 4는 '낮음', CH-3, 5는 '액상화 발생가능성 없음'으로 판정됨  
\* LPI : 지반액상화지수(Liquefaction Potential Index)
- (간편예측 LPI) 높음 1, 낮음 4, 없음 5 ▶▶▶ (상세예측 LPI) 높음 1, 낮음 2, 없음 7  
 ➔ 상세예측시 LPI는 간편예측보다 감소하는 경향을 보임

구분		CH-1 (액상화 발생 논)	CH-2 (동해선교각 밑)	CH-3 (매산리 노인회관)	CH-4 (송림공원)	CH-5 (모항기상대)
간편예측 (중간발표)	안전율	0.48	0.71	0.50	0.45	0.54
	LPI	6.5	2.4	3.3	4.2	0.6
		높음	낮음	낮음	낮음	낮음
상세예측	안전율	0.70(▲0.22)	0.93(▲0.22)	1.06(▲0.56)	0.95(▲0.50)	1.10(▲0.56)
		액상화 발생 가능	액상화 발생 가능	안전	액상화 발생 가능	안전
	LPI	6.1(▼0.40)	1.1(▼1.30)	-	1.2(▼3.00)	-
		높음	낮음	없음	낮음	없음

\* CH-3, 5의 경우, 실제 액상화 현상이 발생하지 않은 지역임

### Ⅲ. 포항지역 액상화 위험도 평가

### Ⅲ. 포항지역 액상화 위험도 평가

#### 평가 순서

##### 세부 분석 방법

① : 기존 및 신규 지반조사 자료 수집 ⇒ 3,169공

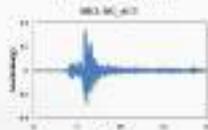
② : 액상화 경도를 위한 지반조사 자료 분석  
 - 1차 : 산지 및 액상화 비대상층 분류 ⇒ 2,738공 제외  
 - 2차 : 기반암에 얹는 사투공 분류 ⇒ 219공 제외

③ : 지진응답해석(Proshake 2.0 해석프로그램 사용)

포항지진파(MS.4)

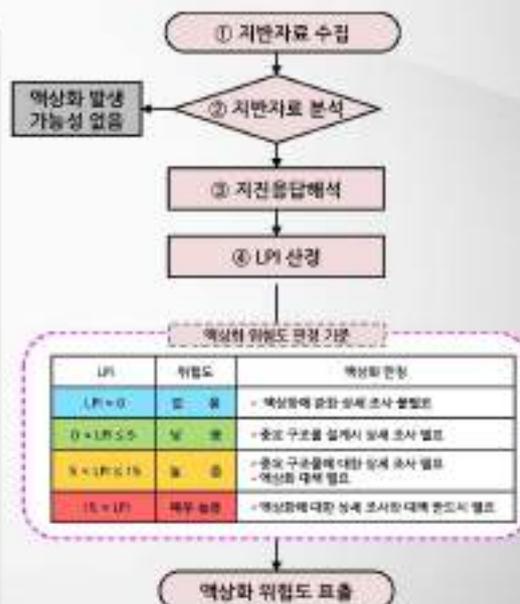


경주지진파(MS.8)



④ : 지반액상화 지수(Liquefaction Potential Index, LPI)법

- 액상화 위험지층(모래층)을 대상으로  
 지반액상화 지수(Liquefaction Potential Index) 산정  
 LPI 값에 따라 4단계로 위험 분류



### Ⅲ. 포항지역 액상화 위험도 평가

#### 지반자료 수집 및 분석

기존 및 신규지반조사 자료 수집 → 3,169공



### Ⅲ. 포항지역 액상화 위험도 평가

#### 지반자료 수집 및 분석

산지 및 액상화 비대상층 분류 → 2,738공 제외



### Ⅲ. 포항지역 액상화 위험도 평가

#### 지반자료 수집 및 분석

기반암이 없는 시추공 분류 → 219공 제외



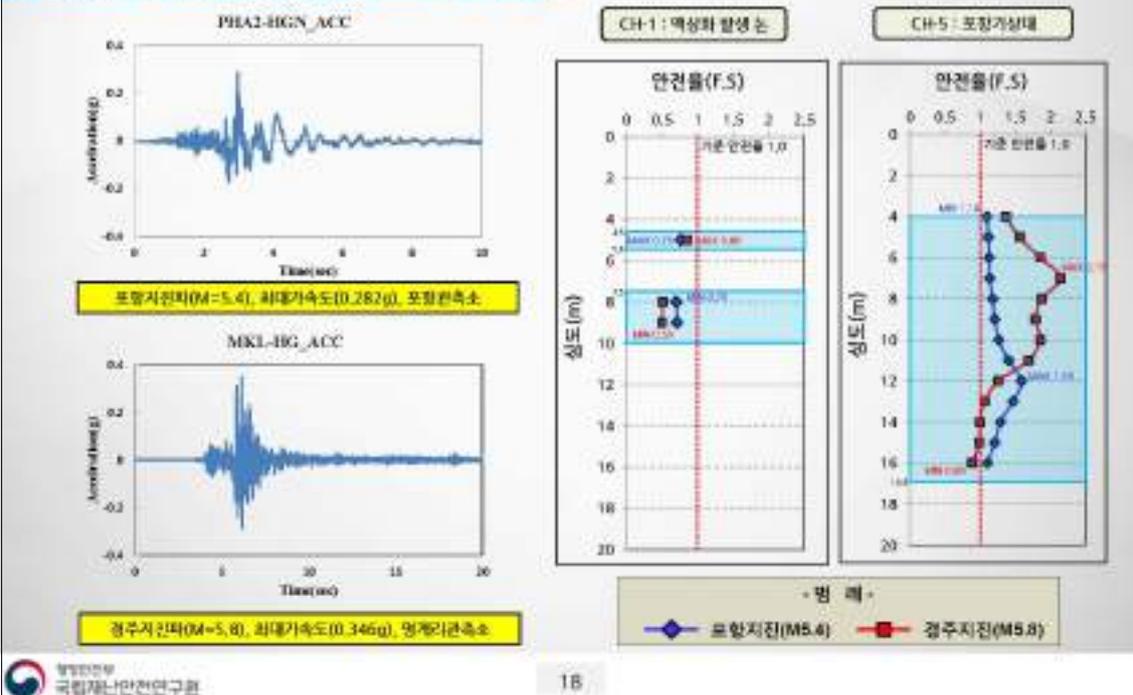
시추공수 개요

> 총 212공  
(최종 검토대상)

- 기존 시추자료 : 167공
  - 국토지반정보포털 : 116공
  - 개발사업지검 : 51공
- 신규조사 : 45공
  - 1차 시추 : 10공
  - 2차 시추 : 31공
  - 포함시 제외 : 4공

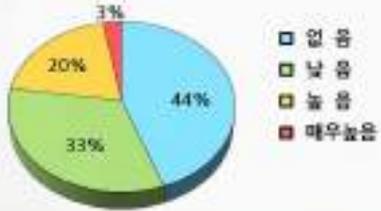
### Ⅲ. 포항지역 액상화 위험도 평가

#### LPI 산정을 위한 시추공별 안전율 검토(예시)



### Ⅲ. 포항지역 액상화 위험도 평가

#### 지진규모별 LPI 산정결과(M5.4)



액상화 위험도	논밭	주채지	기타*
계	123	33	56
없음	40	21	33
낮음	41	11	18
중음	36	1 (LPI 8.4)	5
매우높음	6	-	-

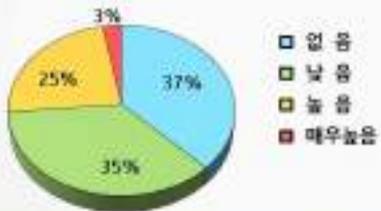
- \* 기타: 도로, 공중, 하천 등
- ※ 동해선 철도지역의 논밭(매우 높음 6, 높음 17)  
- 기초영역에 밀착 암반층까지 깊게 막혀 지재하도록 설계 및 시공되어 있음  
(출처: 한국철도시설공단 보도자료 '17.11.21)

위험도	액상화 판정
없음	• 액상화에 관한 상세 조사 불필요
낮음	• 중요 구조물 설치시 상세 조사 필요
중음	• 중요 구조물에 대한 상세 조사 필요 • 액상화 대책 필요
매우높음	• 액상화에 대한 상세 조사와 대책 반드시 필요



### Ⅲ. 포항지역 액상화 위험도 평가

#### 지진규모별 LPI 산정결과(M5.8)



액상화 위험도	논밭	주채지	기타*
계	123	33	56
없음	32	16	30
낮음	42	13	20
중음	43	4 (LPI 11.8)	6
매우높음	6	-	-

- \* 기타: 도로, 공중, 하천 등
- ※ 동해선 철도지역의 논밭(매우 높음 6, 높음 11)  
- 기초영역에 밀착 암반층까지 깊게 막혀 지재하도록 설계 및 시공되어 있음  
(출처: 한국철도시설공단 보도자료 '17.11.21)

위험도	액상화 판정
없음	• 액상화에 관한 상세 조사 불필요
낮음	• 중요 구조물 설치시 상세 조사 필요
중음	• 중요 구조물에 대한 상세 조사 필요 • 액상화 대책 필요
매우높음	• 액상화에 대한 상세 조사와 대책 반드시 필요



### Ⅲ. 포항지역 액상화 위험도 평가

#### 총괄 분석 결과

- 층적층과 매립층이 위치한 송도동 등 일부 주택지와 철도·도로 등 기반시설의 原지반인 논·밭에서 높은 LPI 분포를 보이고 있음
- 주택지는 LPI ‘높음’이 낮은 비중(M5.4 : 3%, M5.8 : 12%)을, 논·밭에서는 LPI ‘높음’이 높은 비중(M5.4 : 34%, M5.8 : 40%)을 차지
- 지진규모가 클수록 액상화 위험도는 증가하나, 보다 정확한 액상화 위험지도 작성을 위하여 연구 필요
  - ➔ 한국형 액상화 대책수립을 위한 연구사업 추진

### IV. 액상화 신고지역 조치

## IV. 액상화 신고지역 조치

### 액상화 주요 발생 현장



망천리 내평정미소 앞



송림공원(송도술밭)



송도동 신흥주택



송도동 송북주택

## IV. 액상화 신고지역 조치

### 액상화 발생 신고 및 GPR 탐사 지역

★ Ground Penetrating Radar

연번	신고위치	비고
1	문화로 24번길 6(신흥주택)	다가구주택
2	경림빌라와 신흥주택 사이 도로	공공용지
3	축항로 72번길 33(경림빌라)	다가구주택
4	송도동 508 (송도 제3아파트공원)	공공용지
5	희망대로 1081 정동어린이집인근	공터
6	송림로 6번길 46	단독주택
7	송도로 20번길 13-13 인근	공터
8	송림로 55번길 6-10	단독주택
9	문화로 148호은음향양도로 맞인도	공공용지
10	송림로 79번길 34	단독주택
11	송림로 79번길 28	다가구주택
12	송림로 79번길 28진주빌라앞 도로변	공공용지
13	송림로 89번길 18-1	단독주택
14	송림로 89번길 17-1	단독주택
15	문화로 168(송북주택)	다가구주택
16	송림로 103번길 15	단독주택
17	송림로 103번길 12-1	단독주택
18	송도술밭(정원기계 건너편)	공공용지
19	송도술밭(공영주차장 아래)	공공용지
20	송도술밭(한동조선 뒷편)	공공용지
21	포항운하관 북쪽 황산강변	공공용지
22	해도동 1-237번지 도로변	공공용지



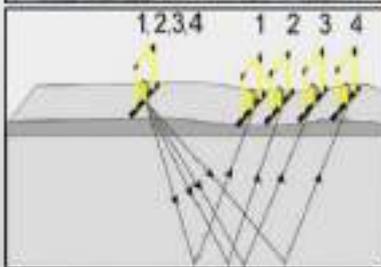
## IV. 액상화 신고지역 조치

### GPR 장비 소개

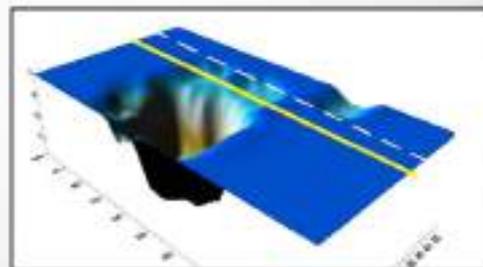


- < 지표 투과 레이더 조사(Ground Penetrating Radar, GPR)>
- 수십~수백 MHz 대역의 전자기파를 송수신하여 지하매질(지반)의 반사속도차를 이용하여 땅속 스캔
  - 땅꺼짐을 유발하는 땅속 빈공간을 파악하는 비파괴 검사법
    - 전자기파 속도 : 공기 중(300km/s), 땅속(100km/s)

- <장치 사양>
- 전자기파 주파수 대역 : 250, 500MHz
  - 탐사 심도 : 지하 3 ~ 4m까지



(출처:캐나다, Sensor & Software)



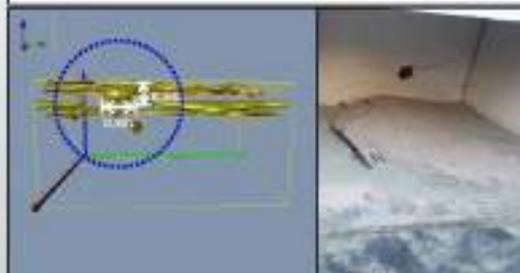
(출처:미국 샌타키 고속도로 도로함몰지역 GPR시험, Rister 등, 2006)

## IV. 액상화 신고지역 조치

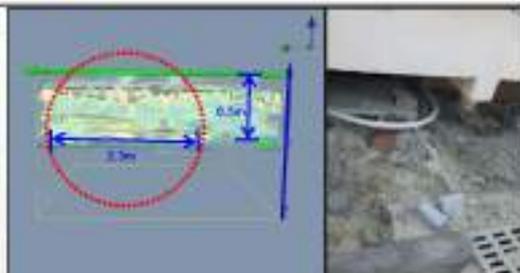
### GPR 탐사 결과

#### GPR 탐사 추진경과

- (1차 조사) 6개 지점 동공 탐사 수행(17.11.28., 12.4.~5.)
  - 5개 지점 동공 발견(지면에서 0.0~0.8m 깊이)
  - 동공탐사 결과 포항시 송부 및 조치(17.12.12.)
- (2차 조사) 25개 지점 동공 탐사 수행(17.12.13.~15.)
  - 20개 지점 동공 발견(지면에서 0.1~1.2m 깊이)
  - 동공탐사 결과 포항시 송부 및 조치(17.12.24.) ➡ 물탈주입 등 조치 완료(18.1.7., 포항시)



[송도동 경림빌라]



[송도동 신울주덕]

## V. 대책 공법 및 향후 계획

## V. 대책 공법 및 향후 계획

### 대책 공법

#### <역상화 대책공법 선정시 고려사항>

- 주택 시공자, 소유자는 적절한 조사결과를 기초로, 역상화 대책공법을 선정 적용
- 대책공법 등은 대책효과, 경제성, 시공성, 주변환경에 대한 영향 등을 종합적 고려
- 시공성, 경제성 및 공간제약 등 건축물 시공 전 대책을 적용하는 것이 유리
- 복수의 건물을 동시에 시공하는 것이 효율적이며, 경제적임

#### <역상화 대책공법>

		경제성	시공성	환경성	공차기간	
① 다층공법	• 역상화 발생가능성이 높은 연약지반의 간극을 줄이고 밀도를 증대시키는 공법	모래다짐밀착공법	○	○	□	□
		관통다짐공법	◎	○	□	□
		경제다짐공법	○	△	□	□
② 간극수압 소산공법	• 역상화 발생가능 지반에 배수계를 설치하여 간극수압을 감소시키는 방법	스톤칼럼공법	○	□	□	△
		PBD 공법	◎	○	□	△
③ 고화공법	• 시멘트 등을 사용하여 느슨한 지반 전체를 단단하게 고화시키는 방법	중중혼합처리공법	□	◎	△	○
		심층혼합처리공법	△	◎	△	○
		약액주입공법	◎	△	△	○

◎ 우수 ○ 양호 □ 보통 △ 미흡

## V. 대책 공법 및 향후 계획

### 액상화 대책 공법(일본사례, 일본토목학회, 2012년)

개량유리	내분류		다짐공법			간극수압소산공법		고화공법			
	종분류	모래다짐 필목공법	진동다짐 공법	경적다짐 공법	연직배수 공법		심층유압 처리공법		액역구입 공법		
	소분류	-	-	-	스톤칼럼 공법	PRD 공법	기계고반 공법	고압분사 공법	다공 콘 주입공법		
	세분류	-	-	유동계 삽입	다짐병용	액상화 대책용	-	이음관	이음관		
지반조건	적용도질	사질토	NC20	○	○	○	○	○	○	○	
시공조건	개량가능심도	lm	25~50	18~30	20~50	7,3~25	10~80	11~55	20~60	50~100	
	최소 작업 공간	깊이	lm	40	10~50	2.5~5.0	4~35	5~20	4.2~50	3~14	3~6
		높이	lm	10~30	10~30	2.5~3.0	3~20	2~10	2.5~3.0	2~7	3~6
개량사양	개량직경	lm	0.5~0.8	0.5~0.7	0.4~0.7	0.4~0.5	0.04~0.11	0.4~2.6	1.0~5.0	1.0~1.5	
	개량목표치	N치	15~25	10~20	10~25	3~15	0.05~0.1	-	-	-	
환경성	진동저감		△	△	○	○	△	△	○	○	
	소음저감		△	△	○	○	△	△	○	○	
	주변지반영향		x	△	△	○	△	△	○	○	
	수질오염억제		△	△	△	△	△	△	*	○	
	CO2배출량 억제		x	△	△	△	△	△	○	○	
표준서공능력		149~190 m³/일	100~300 m³/일	5~10 m³/일	50~190 m³/일	30~600 m³/일	50~1200 m³/일	48~100 m³/일	2,500~3,000 L/일		
표준공사비		3,500~ 4,000 엔/m	1,800~ 4,600 엔/m	8,000~ 25,000 엔/m²	3,000~ 6,000 엔/m	1,800~ 2,900 엔/m	3,000~ 40,000 엔/m³	23,000~ 300,000 엔/ m³	130 엔/L		

## V. 대책 공법 및 향후 계획

### 포항 주택지 적용방안(LPI '높음' 이상 지역)

#### 「건축구조기준」(국토교통부)

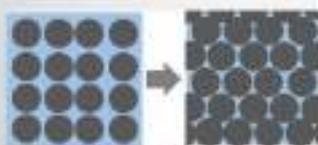
- 액상화 평가결과 대책이 필요한 지반의 경우는 지반개량공법 등을 적용하여 액상화 저항능력을 증대시키도록 하여야 한다.

<신규건축시> ➡ 말뚝기초 + 지반보강

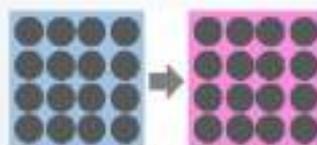
<기존건축물 보강> ➡ 지반보강



<말뚝기초>



<(지반보강) 지반 밀도증대>



<(지반보강) 연경계 등으로 지반 고경화>



<(지반보강) 지반에서 물을 제거>

## V. 대책 공법 및 향후 계획

### 향후 계획

한국형 액상화 대책 수립을 위한 연구사업 추진

연구기획 및 예산확보	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 액상화 연구 기획보고서 작성 착수('18. 1.-)</li> <li>- 위험도 평가기술, 설계기준 개선, 위험지도 작성, 기존 시설물 보수보강공법 및 우선순위 결정기법 등</li> </ul>	~'18. 3.
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 과학기술정보통신부, 기획재정부 예산대응</li> </ul>	'18. 5. -
연구추진	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 포항시를 시범지역으로 액상화 위험도 평가기법 및 위험지도 제작</li> <li>• 기존 주택지 액상화 방지공법 연구 등 우선 추진 예정</li> </ul>	'19. -

※ 민·관 주도 개발사업 추진시 시추공 자료의 체계적인 지반정보 DB구축 필요

# 감사합니다!

# >> 국내 기반시설물 내진설계 기준 현황

---

김익현(울산대학교)



대한토목학회 / 한국지반공학회 포항지진 심포지움

## 국내기반시설물 내진설계기준 현황



김익현

울산대학교  
UNIVERSITY OF ULSAN

### 발표내용

#### ❖ 내진관련 현황

- ✓ 내진설계 연혁
- ✓ 관계법령
- ✓ 현행 시설물의 내진설계기준 현황

#### ❖ 내진설계기준 공통적용사항(행안부)

- ✓ 공통적용사항 소개
- ✓ 설계지진하중의 변화

#### ❖ 논의 사항

- ✓ 내진설계 대상시설물은 적정한가?
- ✓ 내진기준의 정비 필요한가?
- ✓ 설계지진력 상향조정 필요?
- ✓ 내진설계개념(붕괴방지→손상제어)의 변화 필요?

## 내진관련현황

- ✓ 내진설계 연혁
- ✓ 관계법령
- ✓ 현행 시설물의 내진설계기준 현황

3

## 내진설계 연혁



4

## 내진설계 위계

### ○ 내진설계 관련 위계(3단계)

- 관계법령
- 내진설계기준(공통기준)
- 시설물의 내진설계기준

- ✓ 시설물의 내진설계기준은 내진설계기준(공통기준)과 관계법령에 부합되도록 작성.



5

## 지진화산재해대책법

### 제1장 총칙, 제3조(국가와 재난관리책임기관의 책무)

① 국가와 지방자치단체는 「재난 및 안전관리 기본법」 및 이 법의 목적에 따라 지진재해 및 화산재해(이하 "지진·화산재해"라 한다)로부터 국민의 생명과 재산, 주요 기간시설을 보호하기 위하여 지진·지진해일 및 화산활동의 관측·예방·대비 및 대응, 내진대책, 지진·화산재해를 줄이기 위한 연구 및 기술개발 등에 대한 계획을 수립하여 시행할 책무를 지며, 그 시행을 위하여 재정적·기술적 지원을 하여야 한다.

#### ③. 2. 내진대책

- 가. 국가 내진성능의 목표 및 시설물별 허용피해의 목표 설정
- 나. 내진등급 분류 기준의 제정과 지진위험도를 나타내는 지도(이하 "지진위험지도"라 한다)의 제작·활용
- 다. 내진설계기준 설정·운영 및 적용실태 확인
- 라. 기존 시설물의 내진성능에 대한 평가 및 보강대책 수립
- 마. 공공시설과 저층 건물 등의 내진대책 강구

### 제4장 내진대책, 제14조(내진설계기준의 설정)

① 관계 중앙행정기관의 장은 지진이 발생할 경우 재해를 입을 우려가 있는 다음 각 호의 시설 중 대통령령으로 정하는 시설에 대하여 관계 법령 등에 내진설계기준을 정하고 그 이행에 필요한 조치를 취하여야 한다.

6

## 지진화산재해대책법 시행령

### 제4장 내진대책

#### 제10조(내진설계기준의 설정 대상 시설)

① 법 제14조제1항에서 "대통령령으로 정하는 시설"이란 다음 각 호의 시설을 말한다

#### 제10조의 2(내진설계기준 공통적용사항)

1. 국가 내진성능의 목표
2. 내진설계기준 공통적용사항
  - 가. 지역에 따른 설계지진의 세기
  - 나. 지반분류
  - 다. 설계지반운동의 특성표현
  - 라. 내진성능수준 분류체계
  - 마. 설계지진 분류체계
  - 바. 내진등급 분류체계

7

## 내진설계 법정시설물: 지진화산재해대책법 및 동법 시행령

시설명	대상시설
1. 건축물	- 2층이상, - 연면적 200㎡이상 - 높이 13m 이상, - 처마높이 9m 이상, - 경간 10m 이상 - 국토교통부령으로 정하는 지진구역의 건축물 - 국토교통부령으로 정하는 국가적 문화유산으로 보존할 가치가 있는 건축물 - 단독주택, 공동주택
2. 배수갑문, 방조제	- 방조제, 배수갑문(※ 국가관리방조제)
3. 공항시설	- 비행장시설: 활주로, 유도로, 계류장 - 건축물: 여객터미널, 관제탑, 구조 및 소방시설, 화물터미널, 기상시설, 레이더송수신소, 관리동, 경찰대, 동력동, 항공기정비고, 주차장, 화물창고, 경비시설 - 교량: 교량, 터미널 전면고가 - 지중구조물: 공동구, 공항지하차도, 라이프라인, 상수도, 하수도 - 기타시설물: 급유시설, 위험물창고, 변전소
4. 수문	- 국가하천의 수문 중 국토교통부장관이 정하여 고시한 수문
5. 농업생산기반시설	- 높이가 15m이상이고, 총저수량 50만톤 이상인 저수지 - 총저수량 2천만톤 이상인 저수지
6. 다목적댐	- 높이 15m이상인 댐(댐본체, 여수로 및 부대시설물)
7. 일반댐	- 높이 15m이상인 댐(댐본체, 여수로 및 부대시설물)
8. 도로시설물	- 교량, - 터널

8

## 내진설계 법정시설물: 지진화산재해대책법 및 동법 시행령

시설명	대상시설
9. 가스공급시설, 고압가스 저장소, 액화석유가스 저장시설	- 도시가스공급시설(·저장능력이 <b>3톤 이상인</b> 지상저장탱크, 가스출데, 지지구조물 및 기초와 이들의 연결부) - 고압가스저장소(· <b>5톤 이상</b> 의 지상저장탱크, 동체부 높이 <b>5m 이상</b> 의 압력용기, 동체 길이 <b>5m 이상</b> 인 원통형 용축기, 내용적 <b>5,000L 이상</b> 인 수역기, 지지구조물 및 기초와 이들의 연결부) - 액화석유가스 저장시설(· <b>3톤 이상</b> 의 액화석유가스 지상저장탱크, 지지구조물 및 기초와 이들의 연결부)
10. 도시철도	- 역사, - 본선박스, - 교량
11. 압력용기	- 동체의 길이가 <b>5m 이상</b> 인 수직형 압력용기
12. 크레인	- 옥외에 단독으로 설치되는 크레인
13. 리프트	- 건설작업용 리프트
14. 석유정제비축 및 저장 시설	- 석유정제시설, 석유비축시설 및 석유저장시설
15. 송유관	- 송유관
16. 산업단지 폐수종말처리시설	- 폐수종말처리시설
17. 수도시설	- 취수 저수·도수 정수 송수 배수시설, 급수설비, 수도 관련시설
18. 어항시설	- 어항시설(· 방파제·파제제·방조제·수문·갑문, 안벽물양장선·착장·선양장, 등 기본 시설(부잔교 및 수역시설 제외))

## 내진설계 법정시설물: 지진화산재해대책법 및 동법 시행령

시설명	대상시설
19. 원자력이용시설	- 원자로 및 관계시설, - 핵연료주기시설, - 사용후 핵연료 중간저장시설, - 방사성폐기물의 영구처분시설, - 방사성폐기물의 처리시설 및 저장시설
20. 발전용 수력·화력설비, 송전·변전·배전설비	- 발전용 수력설비·화력설비 - 본관/보일러 건물 연동, 터빈 및 발전기, 보일러, 보조기기 등 - 기타건축물 - 연료 하역부두 - 발전소 내 교량 - 송전·변전·배전설비 - 송전 및 변전설비 ※ <b>154kV 이상</b> 의 송전배전설비용 기기 및 구조물(이를 지지하는 옹벽 및 사면과 같은 지반시설물 포함) - 변전소 건물(※ 건축법령에 따른)
21. 철도시설	- 교량, - 터널, - 역사
22. 폐기물매립시설	- <b>150,000m<sup>3</sup> 이상</b> 의 폐기물매립장 내 시설물(저류시설, 매설관로, 매립시설 기초지반, 차수시설, 기타처리시설 및 부대시설)
23. 공공하수처리시설	- 공공하수처리시설
24. 고속철도	- 교량, - 터널, - 역사

## 내진설계 법정시설물: 지진화산재해대책법 및 동법 시행령

시설명	대상시설
25. 항만시설	<ul style="list-style-type: none"> <li>항만시설</li> <li>방파제·파재제·방조제·갑문·호안, 만석·물양장·선착장</li> <li>도로·교통·철도 등 기본시설</li> <li>여객이용시설, 화물터미널, 선박보급시설 등 기능시설</li> <li>복합화물터미널, 항만 관련 업무용시설 등 지원시설</li> <li>해양레저용 시설, 해양 문화·교육시설 등 항만친수시설</li> </ul>
26. 공동구	- 공동구
27. 학교시설	- 초·중·고등학교, 특수학교( . 교사, 체육관, 기숙사, 급식시설 및 강당)
28. 석도 및 궤도	- 사면, 옹벽, - 기초구조물, - 지주(강지주), - 정거장 및 건축물
29. 유기시설	- 지면과 연결된 기초가 있는 유기시설·유기기구
30. 종합병원·병원·요양병원	- 종합병원, 병원, 요양병원
31. 방송통신설비	- 통신국사, 통신장비, 전원설비, 부대설비, 목외설비(철탑시설, 선로구조물)
32. 물류시설(2018신설)	
33. 열공급시설(2018신설)	- 열수송관

11

## 현행 시설물의 내진설계기준 현황

대상시설	설계기준(개정년도)	대상시설	설계기준(개정년도)
1. 건축물	건축구조기준(2016)	17. 수도시설	상수도시설기준(2010)
2. 배수갑문	농업생산기반정비사업계획 설계기준(2012)	18. 여항시설	항만 및 여항 설계기준(2005)
3. 공항시설	공항시설 내진설계기준(2004)	19. 원자력발전시설	원자력시설의 위치에 관한 기술기준 고시(2012) ※ 원자로 및 관계시설 허가는 미국기준(10 CFR 100 APPENDIX A) 준용에 따라 해당없음
4. 수문(국가하천)	하천설계기준(2009)		
5. 농업생산기반시설	농업생산기반정비사업계획 설계기준(2012)	20. 발전용 수력화력설비, 송전·배전·변전설비	전기설비 기술기준(2011) 댐설계기준(2011) 송변전설비 내진설계지침(2002) ※ 건축구조기준 준용
6. 다목적댐	댐 설계기준(2011)	21. 철도시설	철도설계기준(2016)
7. 일반댐	댐 설계기준(2011)	22. 폐기물매립시설	폐기물 매립시설 내진설계기준(2001)
8. 도로시설물	도로교 설계기준(2016), 터널 설계기준(2007)	23. 공공하수처리시설	하수도시설기준(2011)
9. 가스공급시설, 고압가스저장소, 액화석유가스 저장시설	가스시설 내진설계 기준(2016) 가스배관 내진설계 기준(2015)	24. 고속철도	철도설계기준(2016)
10. 도시철도	도시철도 내진설계기준(2016)	25. 항만시설	항만 및 여항 설계기준(2005)
11. 압력용기	위험기계·기구 의무안전 인증고시(2012)	26. 공동구	공동구 설계기준(2010)
12. 크레인	위험기계·기구 의무안전 인증고시(2012)	27. 학교시설	학교시설 내진설계기준(2009)
13. 리프트	위험기계·기구 의무안전 인증고시(2012)	28. 궤도시설	궤도시설의 건설에 관한 설비기준(2010)
14. 석유정제·비축 및 저장시설	API 650 ※건축구조기준 준용	29. 유기시설	유기시설유기기구 안전성검사의 기준 및 절차 ※ 건축구조기준 준용
15. 송유관	송유관설치공사의 내진설계기술기준(2002)	30. 종합병원·병원·요양병원	
16. 산업단지 공공폐수처리시설	폐수중말처리시설 설치 및 운영관리지침(2010) (하수도 시설기준 준용)	31. 방송통신설비	방송통신설비의 안전성·신뢰성 및 통신규약에 대한 기술기준에 관한 규정(2016) 방송통신설비의 내진시험방법(2015)
		32. 물류시설	건축구조기준 준용 예정
		33. 열공급시설	열수송관 내진기준 제정 예정

12

## 내진설계기준연구(1997년); 상위기준

### ■ 시설물의 내진등급

- 내진II등급(일반시설물)
- 내진I등급(중요시설물)
- 내진특등급(핵심시설물)

### ■ 내진성능수준

- 기능수행수준
- 붕괴방지수준

### ■ 설계지반운동수준

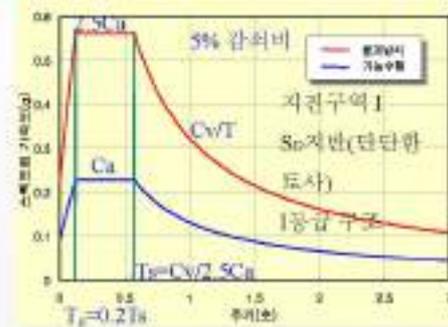
지진구역	I	II
구역계수, $Z_0(g)$	0.11	0.07

재연주기 (년)	50	100	200	500	1000	2400
위험도계수, $I$	0.40	0.57	0.73	1.0	1.4	2.0

### ■ 설계지진

설계지진	성능수준		붕괴방지
	재연주기	기능수행	
설계지진	50년(5년내 초과확률 10%)	II 등급	
	100년(10년내 초과확률 10%)	I 등급	
	200년(20년내 초과확률 10%)	특 등급	
	500년(50년내 초과확률 10%)	II 등급	
	1000년(100년내 초과확률 10%)	I 등급	
	2400년(250년내 초과확률 10%)	특 등급	

### ■ 표준설계응답스펙트럼



## 도로교설계기준

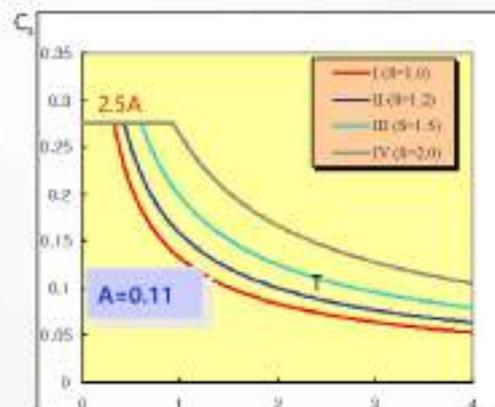
### ■ 내진등급 및 내진성능목표

내진등급	대상	내진성능목표	재연주기	지진가속도
내진1등급	- 고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도 또는 일반 국도상의 도로 - 일일계획교통량 기준으로 중요한 교량	붕괴방지수준	1000년	I 구역 : 0.11g II 구역 : 0.07g
내진2등급	- 내진1등급에 속하지 않는 교량		500년	

### ■ 설계응답스펙트럼

$$C_m = \frac{1.2AS}{T_n^{2/3}}$$

$$C_m = \frac{3AS}{T_n^{1/3}} \quad (T_n > 4.0 \text{ 초})$$



## 시설물별 내진설계 규정 비교

대상시설	내진등급	내진성능목표	응답스펙트럼	재현주기
도로교	내진1등급	통과방지수준	도로교설계기준	1000yr
	내진2등급	통과방지수준		500yr
터널	내진1등급	통과방지수준	도로교설계기준	1000yr
	내진2등급	통과방지수준		500yr
철도교	내진1등급	통과방지수준	도로교설계기준	1000yr
	내진2등급	통과방지수준		500yr
고속철도	내진1등급	통과방지수준	도로교설계기준	1000yr
	내진2등급	통과방지수준		500yr
도시철도	내진1등급	기능수행수준 통과방지수준	내진설계기준연구	100yr 1000yr
공공시설	내진특등급	기능수행수준	내진설계기준연구	200yr 2400yr
	내진1등급	통과방지수준		100yr 1000yr
	내진2등급	통과방지수준		50yr 500yr
다목적 댐, 댐	내진특등급 내진1등급	통과방지수준	내진설계기준연구	1000yr 500yr
어항 및 항만	내진1등급	기능수행수준	내진설계기준연구	100yr 1000yr
	내진2등급	통과방지수준		50yr 500yr
국가하천 수문	내진1등급	기능수행수준	내진설계기준연구	100yr 1000yr
	내진2등급	통과방지수준		50yr 500yr
고압가스저장소	내진특등급	기능수행수준	내진설계기준연구	200yr 2400yr
	내진1등급	통과방지수준		100yr 1000yr
	내진2등급	통과방지수준		50yr 500yr
송유관	내진특등급	기능수행수준	내진설계기준연구	200yr 2400yr
	내진1등급	누출방지수준		100yr 1000yr
	내진2등급	누출방지수준		50yr 500yr
수도시설	내진1등급	통과방지수준	내진설계기준연구	1000yr
	내진2등급	통과방지수준		500yr
매립시설	내진1등급	기능수행수준	내진설계기준연구	100yr 1000yr
	내진2등급	통과방지수준		50yr 500yr
공항공	내진1등급	기능수행수준 통과방지수준	내진설계기준연구	100yr 1000yr

15

## 내진설계기준 공통적용사항(행안부)

- ✓ 공통적용사항 소개
- ✓ 설계지진하중의 변화

16

## 내진설계기준 공통적용사항 (행안부, 2017)

### 1. 지역에 따른 설계지진의 세기

#### • 지진구역 및 지진구역계수(Z) - 재현주기 500년 기준

지진구역	행정구역	구역계수
I	시 서울, 인천, 대전, 부산, 대구, 울산, 광주, 세종	0.11
	도 경기, 강원 남부, 충북, 충남, 경북, 경남, 전북, 전남	
II	시 강원 북부, 제주도	0.07

◊ 변경사항(내진설계기준연구II 대비)

✓ 세종시 분리, I 구역에 편입

✓ 전라도 남서부; II 구역 → I 구역

#### • 위험도계수(I)

재현주기	50년	100년	200년	500년	1,000년	2,400년	4,800년
위험도계수(I)	0.4	0.57	0.73	1.0	1.4	2.0	2.6

◊ 변경사항(내진설계기준연구II

(상위기준, 97 대비)

✓ 4,800년 설계지진 신설

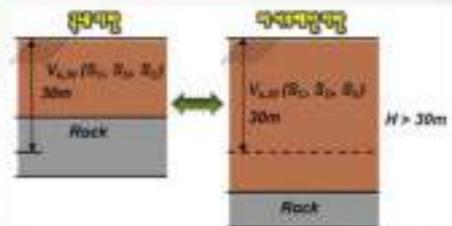
17

## 내진설계기준 공통적용사항 (행안부, 2017)

### 2. 지반분류

지반 종류	지반종류의 호칭	분류기준	
		기반암 깊이, H (m)	토층 평균 전단파속도, $V_{s,ref}$ (m/s)
S1	일반 지반	1 미만	-
S2	얕고 단단한 지반	1~20 미하	260 이상
S3	얕고 연약한 지반		260 미만
S4	깊고 단단한 지반	20 초과	180 이상
S5	깊고 연약한 지반		180 미만
S6	부지 고유의 특성평가가 요구되는 지반		

#### • 현행 지반분류체계의 기본 개념도



\* 전단파속도 760 m/s 이상을 나타내는 지층

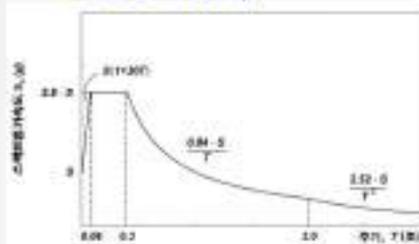
※ 기반암 깊이와 무관하게 토층 평균 전단파속도가 120m/s 이하인 지반은 S5 지반으로 분류

18

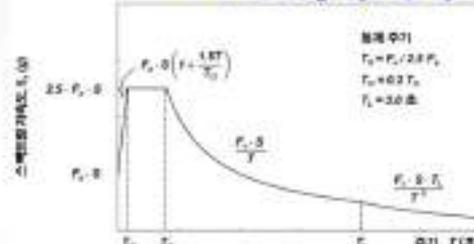
## 내진설계기준 공통적용사항 (행안부, 2017)

### 3. 설계지반운동의 특성표현

#### • 암반지반( $S_1$ )



#### • 토사지반( $S_2, S_3, S_4, S_5$ )



$\alpha_v$ (단주기 스펙트럼 응답계수)	장주기(sec)		
	$T_0$	$T_c$	$T_l$
2.5	0.06	0.3	3

지반분류	단주기 공진계수, $F_a$			장주기 공진계수, $F_v$		
	$S \leq 0.1$	$S = 0.2$	$S = 0.5$	$S \leq 0.1$	$S = 0.2$	$S = 0.3$
$S_1$	1.4	1.4	1.3	1.5	1.6	1.3
$S_2$	1.7	1.5	1.3	1.7	1.6	1.5
$S_3$	1.6	1.4	1.2	2.2	2.0	1.8
$S_4$	1.8	1.3	1.3	3.0	2.7	2.4

- ✓ 암반지반 수직가속도(V) = 수평가속도(H)\*0.77(V/H ratio)

28

## 내진설계기준 공통적용사항 (행안부, 2017)

### 4. 내진성능수준 분류체계

내진성능수준
기능수형수준
즉시복구수준
장기복구수준/인명보호수준
붕괴방지수준

#### ❖ 변경사항

- ✓ 즉시복구, 장기복구/인명보호 수준 추가

- ✓ **기능수형수준**: 설계지진하중 작용 시 구조물이나 시설물에 발생한 손상이 경미하여 그 구조물이나 시설물의 기능이 유지될 수 있는 성능수준이다.
- ✓ **즉시복구수준**: 설계지진하중 작용 시 구조물이나 시설물에 발생한 손상이 크지 않아 단기간 내에 즉시 복구되어 원래의 기능이 회복될 수 있는 성능수준이다.
- ✓ **장기복구/인명보호수준**: 설계지진하중 작용 시 구조물이나 시설물에 큰 손상이 발생할 수 있지만 장기간의 복구를 통하여 기능 회복이 가능하거나, 시설물에 상주하는 인원 또는 시설물을 이용하는 인원에 인명손실이 발생하지 않는 성능수준이다.
- ✓ **붕괴방지수준**: 설계지진하중 작용 시 구조물이나 시설물에 매우 큰 손상이 발생할 수는 있지만 구조물이나 시설물의 붕괴로 인한 대규모 피해를 방지하고, 인명 피해를 최소화하는 성능수준이다.

29

## 내진설계기준 공통적용사항 (행안부, 2017)

### 5. 설계지진 분류체계

설계지진	재원주기	
	50년(5년내 초과확률 10%)	
	100년(10년내 초과확률 10%)	
	200년(20년내 초과확률 10%)	
	500년(50년내 초과확률 10%)	
	1000년(100년내 초과확률 10%)	
	2400년(250년내 초과확률 10%)	
	4800년(500년내 초과확률 10%)	

### 6. 내진등급 분류체계

시설물의 내진등급	
내진특등급(핵심시설물)	
내진 I 등급(중요시설물)	
내진 II 등급(일반시설물)	

### 7. 시설물의 내진등급별 내진성능수준

설계지진(재현주기)	기능수행	내진등급		
		특등급	I 등급	II 등급
50	II 등급			
100	I 등급	II 등급		
200	특등급	I 등급	II 등급	
500		특등급	I 등급	II 등급
1000			특등급	I 등급
2400				특등급
4800				특등급

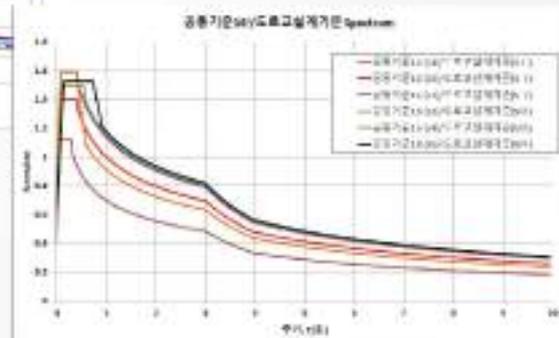
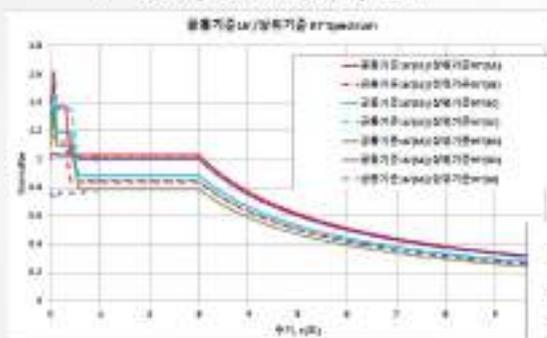
※ 개별 시설물의 내진성능목표는  
2개 이상 선택적으로 적용가능

31

## 설계지진하중의 변화

### 설계스펙트럼의 변화비(신규/현행)

- ✓ 단주기 영역에서 증가
- ✓ 중장주기 영역에서 감소



32

## 설계지진하중의 변화

### 도로교



교량명	연속 경간수	교각 형식	교각단면	교각높이 (m)	주기 (sec)
송탄육 교	2	다주(3)	원형단면 Φ1.4m	10.75(교축) 11.6(교직)	1 <sup>st</sup> 1.41 2 <sup>nd</sup> 1.05



교량명	연속 경간수	교각 형식	교각단면	교각높이 (m)	주기 (sec)
명선대 교	4	단주	원형단면 Φ3.5m	4.757(교축) 5.987(교직)	1 <sup>st</sup> 0.61 2 <sup>nd</sup> 0.43

지반분류		비율(공통/KBDC)	
KBDC	공통	X 방향	Y 방향
I		91%	100%
II		130%	142%
III		148%	162%
IV		158%	130%
V		150%	165%
지반분류		비율(공통/KBDC)	
KBDC	공통	X 방향	Y 방향
I		139%	136%
II		181%	187%
III		209%	212%
IV		194%	212%
V		201%	203%
V		206%	207%

23

## 설계지진하중의 변화

### 철도교



구분	교량명	연속 경간수	교각 형식	교각단면	교각높이 (m)	주기 (sec)
1	두원교	단경간	단주	원형단면 Φ4.6m	21.2(교축)	1st 1.14
					22.5(교직)	2nd 1.14
2	영주 고가	단경간	단주	원형단면 Φ3.2m	7.5(교축)	30th 0.48
					8.3(교직)	1st 0.69

지반	지반	비율(공통/철도교)	
		X방향	Y방향
I	S1	68%	70%
II	S2	97%	99%
III	S3	110%	112%
III	S4	88%	91%
III	S4	112%	113%
IV	S5	115%	114%

24

## 논의사항

- ✓ 내진설계 대상시설물은 적정한가?
- ✓ 내진기준의 정비 필요한가?
- ✓ 설계지진력 상향조정 필요?
- ✓ 내진설계개념(붕괴방지→손상제어)의 변화 필요?



25

## 내진설계 대상시설은 적정한가? 확대가 필요한가?

- ◇ 내진설계 **법정 대상시설물**
  - 33종(관계법: 지진·화산재해대책법 및 동법 시행령)
- ◇ 관계법에 **지정되지 않은 시설물**의 추가 검토
  - 예) 주요 민간시설물(주요산업시설, 위험물 취급시설 등)
- ◇ 관계법에 **일부 시설물로 국한되어 지정된 경우 확대 여부 검토**
  - 예) 특정 용량 이상의 저장탱크 등
- ◇ 적용 **법규의 사각지대**에 있는 시설물의 지정
  - 예) **유해화학물질 취급시설(석유화학시설물 등)**
    - 지진·화산재해대책법에 미포함 → **포함 필요**
    - 적용 법규; 고압가스안전관리법, 액화석유가스의 안전관리 및 사업법, 산업안전보건법의 압력용기 등
    - **But, 누락시설이 존재**

26

## 내진설계 대상 시설물 확대 예

시설물	관련 시설	기존 법령 시설	확대 시설(???)
하천시설	수문, 제방, 호안, 댐, 하구둑, 저류지, 배수펌프장, 운하, 안벽, 선착장, 보, 수로터널 등	국가하천 수문 중 국토교통부 장관 고시 수문	제방, 호안, 댐, 하구둑, 보, 수로터널
농업생산기반시설	저수지, 양수장, 관정, 배수장, 용수로, 도로, 방조제, 제방	50만톤 이상 저수지 중 15m 이상 저수지 2000만톤 이상 저수지	저수지(용량 및 제방 하향조정) 제방
다목적 댐	다목적 댐( 및 부속시설)	다목적 댐	부속시설(?)
댐	댐	15m 이상 댐 및 부속시설	댐(용량 및 제방 하향조정)
도로시설물	교량, 터널, 성질보, 용벽, 도로교장, 지중구조물, 기차 시설물	교량, 터널	성질보, 용벽, 지중구조물
도시철도	선로, 역사, 역시설(물류시설, 관습시설, 업무시설), 기지시설(선로보수기지, 차량정비시설, 창고시설), 전철전력설비, 정보통신설비, 제어설비	역사, 본선박스, 다리	역시설 선로보수기지, 차량정비시설 전철전력설비, 정보통신설비, 제어설비
철도시설	선로, 역시설, 건축물, 선로보수기지, 차량정비기지, 전력설비, 통신설비, 제어설비	다리, 터널, 역사	역시설 선로보수기지, 차량정비시설 전철전력설비, 정보통신설비, 제어설비

31

## 내진설계 대상 시설물 확대 예

시설물	관련 시설	기존 법령 시설	확대 시설(???)
송유관	송유관	송유관 [항만법, 항공법, 어촌·어항법, 철도법]에 의한 시설 제외 산업단지 내 급유시설 제외 석유비축기지, 공장 등 사업장안의 급유시설 제외 정유공장 및 저유소에서 인근지역의 석유비축기지·저유소·발전소 및 공장동에 연결되는 석유수송시설 또는 급유시설로서 그 길이가 15킬로미터 미만인 시설 제외	[항만법, 항공법, 어촌·어항법, 철도법]에 의한 시설 산업단지 내 급유시설 석유비축기지, 공장 등 사업장안의 급유시설 정유공장 및 저유소에서 인근지역의 석유비축기지·저유소·발전소 및 공장동에 연결되는 석유수송시설 또는 급유시설
화약류 저장소 및 취급소			
주요 산업기반시설			석유화학산업 자동차산업 조선산업 전자산업 등
저류조			빛물 저류조 지하 저류조 등
지하 구조물			지하 소동굴 지하 대피소 등

38

## 유해화학시설물의 내진설계 대상 시설물 지정 필요성

### ■ 해외 석유화학시설의 지진피해

- 대규모 화재, 폭발, 유해물질 누출



### ■ 석유화학단지 : 다양한 시설물로 구성



- 유해화학물질 취급시설은 '지진화산재해대책법'에 내진설계 법정 대상시설로 규정되어 있지 않음
- 일부시설물은 관계법에 의해 내진설계 대상으로 지정
  - 고압가스안전관리법
  - 액화석유가스의 안전관리 및 사업법
  - 산업안전보건법의 압력용기 등
- But, 누락시설이 존재
- 내진설계 법정 대상 시설물로 지정 필요

29

## 내진설계기준 정비 필요?

### ❖ 내진설계기준 공통적용사항(행안부) 공표

- ✓ '18. 12. 31까지 시설물별 내진설계기준에 반영
- ✓ 현행 31종 + 신설(2018년) 2종의 내진설계기준 정비

### ❖ 내진설계기준의 구비 현황

- ✓ 독자적인 내진설계기준 구비
- ✓ 타 기준 준용
- ✓ 독자적인 내진기준 + 타 기준 준용  
예/ 공항시설 등

### ❖ 예상 문제점

- ✓ 설계기준간 설계지진 및 내진등급 상이
- ✓ 설계거동 한계, 설계방법 비합리적

### ❖ 정비 방향

- ✓ 독자적인 내진설계 제정
- ✓ 독자 기준(설계지진, 내진등급 구분, 성능목표) + 관련기준 준용(그 외)

- ✓ 도로교설계기준, 일반교량용 내진설계
- ✓ 도로교설계기준, 케이블교량용 내진설계
- ✓ 철도(교량)설계기준 내진설계
- ✓ 댐 설계기준 내진설계
- ✓ 터널 설계기준 내진설계
- ✓ 도시철도 설계기준 내진설계
- ✓ 고속철도 설계기준 내진설계
- ✓ 지하공동구 내진설계
- ✓ 공항시설 내진설계
- ✓ 삼수도 내진설계
- ✓ 가스시설/가스배관 내진설계
- ✓ .....

30

# 설계지진하중의 상향조정 필요 ?

## 내진등급 구분 합리화



개별 시설물 → 시스템, 네트워크 상의 기능 고려  
 (예) 도로망으로서의 기능고려 : 거점지역 도로, 긴급복구 지원 도로 등

## 내진등급 상향 → 지진력 상향 효과

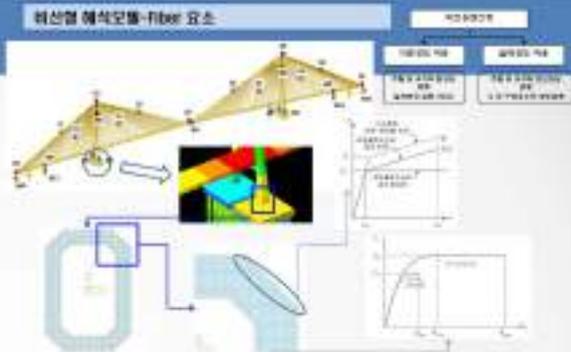
중요도 등급	연월도 등급	내진등급	설계지진(재현주기)	
			기능수행	붕괴방지
특등급	A	내진특등급	200년	4800년
	B		200년	2400년
I등급	A	내진특등급	200년	2400년
	B		100년	1000년
II등급	A	내진특등급	100년	1000년
	B		50년	500년

## 붕괴방지성능검증 도입

설계지진 (설계수명 내 초과확률)	재현주기		성능수준	준계상태	내진설계 단계	
	설계수명 100 yr	설계수명 300 yr			설계단계	검증단계
초과확률 63%	100 yr	200 yr	기능수행	사용한계상태	사용성검토	설계단계
초과확률 8~10%	1000 yr	2400 yr	인명보호	극단상황한계상태	단연설계	
초과확률 4%	2400 yr	4800 yr	붕괴방지	-	성능검증	

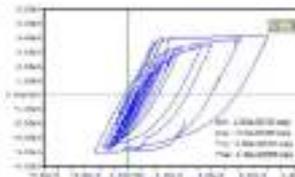
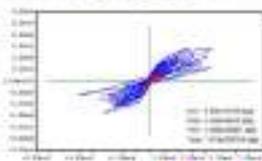
# 붕괴방지성능 검증 예

- 도로교설계기준(한계상태설계법) 케이블교량
- 붕괴방지수준에 대한 허용손상수준 비교



## 원형성 검증 콘크리트 변형률 Check 예

◆ Fiber 적재 결과 주요 변형률



◆ 철근 응력-변형률 (max : 0.01)



◆ 콘크리트 응력-변형률 (max : 0.00246)

구성요소	기준	초과확률 4%	붕괴방지 허용손상수준	
부하 및 축방향 교차	0	허위/불응답	$F_{max} > F_{ult}$ $F_{min} < F_{ult}$	
좌우 및 좌우 편	0	최소손상	$F_{max} > F_{ult}$ $F_{min} < F_{ult}$	
상부구조의 구조요소	0	최소손상	$F < F_{ult}$	
상부구조의 비구조요소	0	무대손상	-	
내진	내진거동 한	0	무손상	과충대응(Secc) 허용과 이하
	내진거동 한	0	무대손상	-
변형 및 전단력	0	허위/불응답	정밀부 일치부 : 설계강도 이하	
전단/휨 결합	0	무대손상	-	
제1종시스템 (일부 비 구조요소 포함)	0	최소손상	$F < F_{ult}$ (0.2% 초과선정도)	
제2종시스템 (비구조요소 포함)	0	허위/불응답	$F < F_{ult}$	

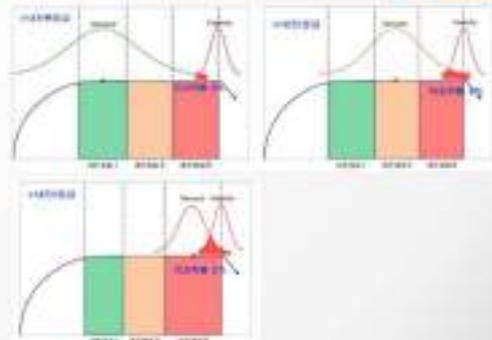
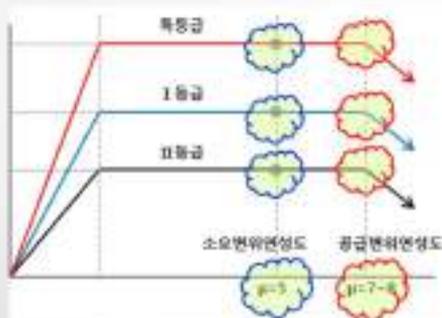
## 내진성능수준의 비교: 붕괴방지 vs 손상제어

○ 붕괴방지수준 내진설계

설계 지진 (재현 주기, 년)	기능수행	특시특구	인명보호	붕괴방지
50	II 등급			
100	I 등급			
200	특등급			
500				II 등급
1000				I 등급
2400				특등급
4800				특등급

○ 손상수준제어 내진설계

설계 지진 (재현 주기, 년)	기능수행	특시특구	인명보호	붕괴방지
50	II 등급			
100	I 등급			
200	특등급			
500		특등급	I 등급	II 등급
1000				I 등급
2400				특등급
4800				특등급



33



# 감사합니다



# >> 지반구조물 기초의 내진설계 현황 및 개선사항

---

정상섭(연세대학교)



연세대학교 YONSEI UNIVERSITY

한국지반공학회 KOREAN GEOTECHNICAL SOCIETY

대한토목학회 KOREAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS

포항지진특성 및 지반구조물 지진재해대책 심포지엄

# 지반구조물 기초의 내진설계 현황 및 개선사항

2018. 02. 07

**정상섭**  
연세대학교 사회환경시스템공학부



## 1. 서론



# 목 차

1. 서 론

2. 기초 구조물의 내진설계 방법

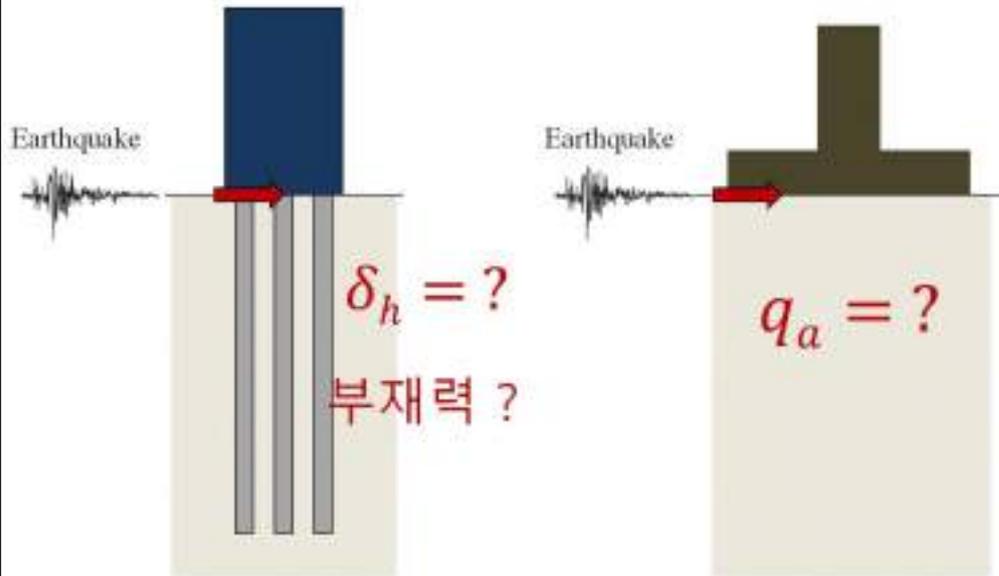
3. 기초 구조물의 내진설계 개선사항

4. 결 론



● 최근 국내 지진 피해 증가, 액상화 현상 발생

## 지진 발생시 기초설계는?



## 액상화 지반의 기초설계는?

## 2. 기초 구조물의 내진설계 방법

### 지진시 지반-구조물간 상호작용

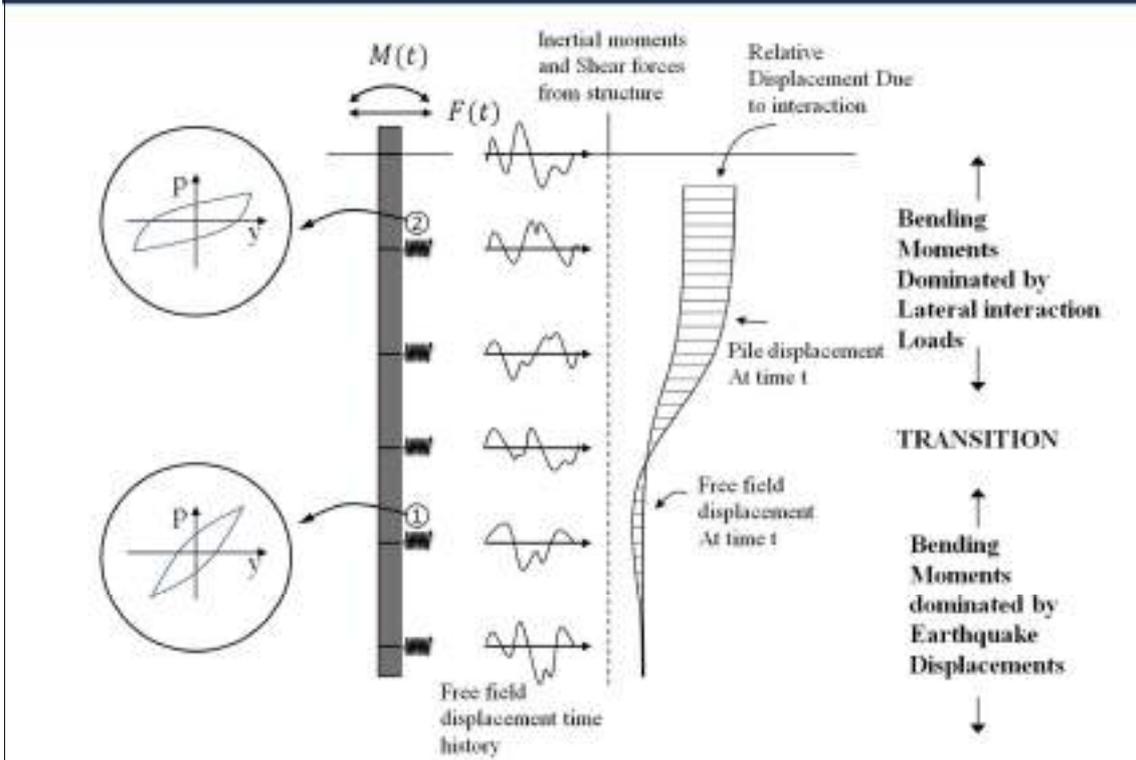
#### **Kinematic interaction**

- 지반을 통해 전달되는 지진(Far field motion)에 의한 기초-지반간의 상호 작용 (상부구조물을 제외 )
- 지반과 기초 강성 차이로 기초의 움직임은 지반의 자유장 운동과 상이

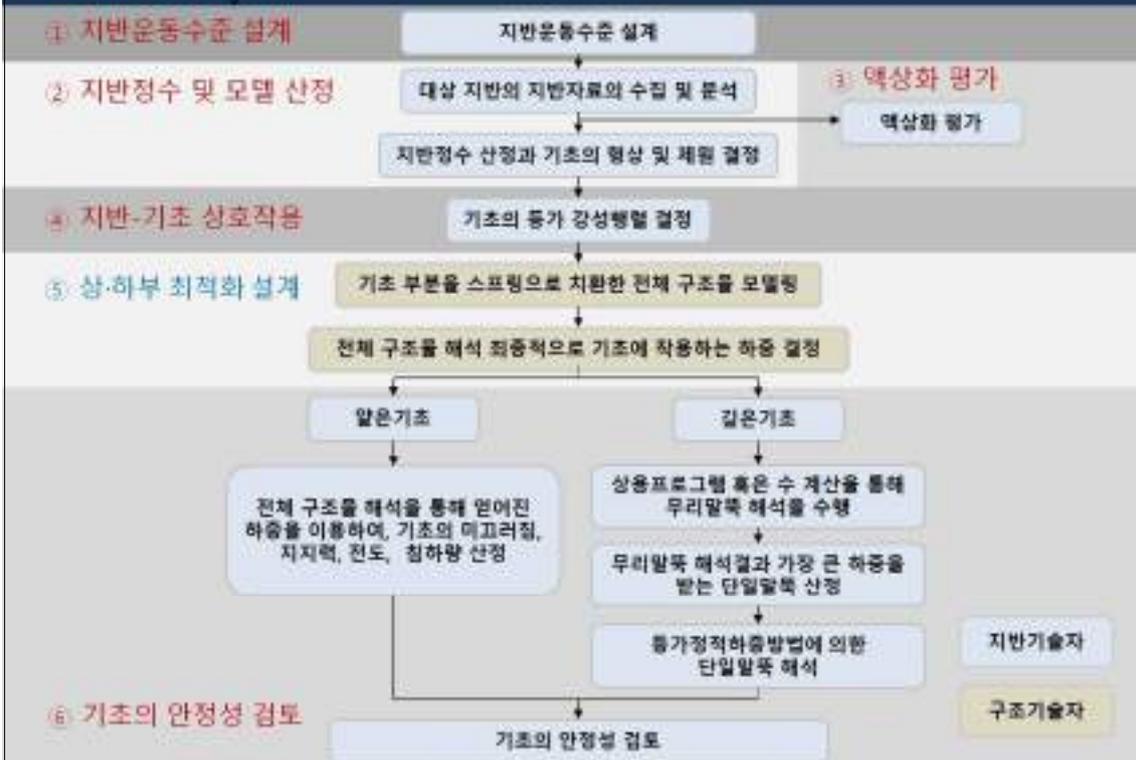
#### **Inertial interaction**

- 지진(Near field motion) 에 의해 상부구조물의 움직임은 관성력과 전도 모멘트를 발생 시킴
- 말뚝두부에 작용하는 상부구조물의 횡방향 하중에 의한 기초-지반간의 상호작용 고려

## 지진시 기초-지반간 상호작용 메커니즘



## 내진설계 흐름도



## 구조물기초 내진설계

### ■ 국내 내진설계

- 1997년 건설교통부의 내진설계기준(II)을 토대로 평가하고 있음
- 의사정적 해석법 또는 동적해석법에 의한 설계
- 지진 자료 및 그 신뢰성이 부족하여 미국 혹은 일본설계 기술 의존

### ■ 일본 내진설계

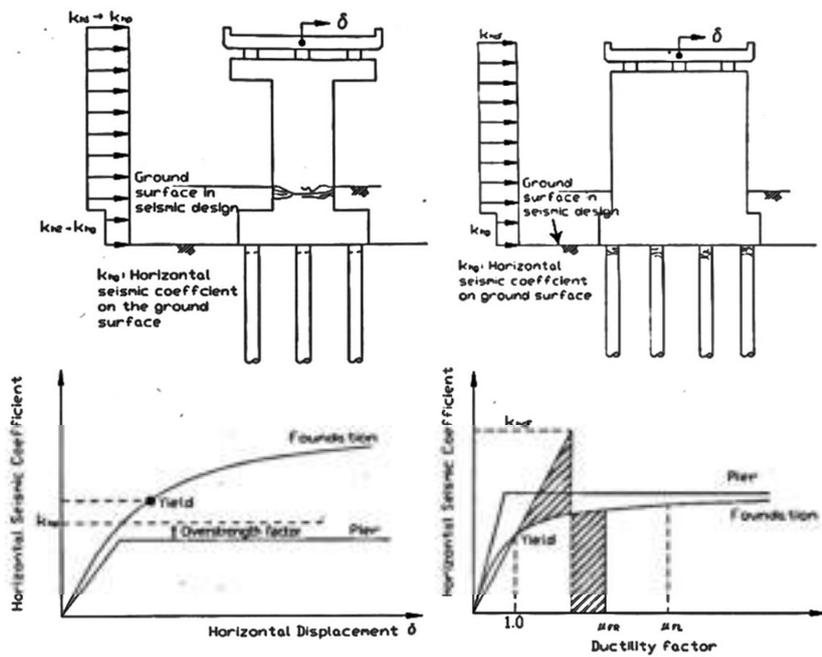
- 지진 발생횟수가 많고 피해경험을 바탕으로 내진 설계법이 발전
- 중/소지진 (Level 1: 0.2-0.3G<sup>l</sup>) : 허용응력설계법
- 대지진 (Level 2: 0.7-2.0G<sup>l</sup>) : 연성설계법 (보유수평내력설계법)  
† 일반 도로교의 가속도응답스펙트럼 (Acceleration response spectrum)

### ■ 미국 내진설계

- ANSI에는 의사정적 해석법의 설계과정을 규정하고 있음
- 기본적인 해석과정이나 계수의 범위는 국내와 유사함

## Level 2 지진시 내진설계: 연성설계법 (일본도로협회, JRA)

- Level 2의 상대적으로 큰 지진하중에 대해 구조물의 갑작스런 취성파괴를 방지하기 위해 구조물이 지니는 수평내력과 에너지흡수, 즉 연성능력을 고려하여 구조물의 비탄성 거동을 유도하는 설계법
- 큰 지진하중에 대해 연성설계가 아닌 탄성설계 시 항복강도가 높아져 경제적 부담이 상당히 증가함
- 구조물은 설계지진력보다 훨씬 큰 저항력을 지니고 있어 구조물 연성능력을 나타내는 반응수정계수 ( $R > 1$ )을 고려할 경우 설계지진력을 감소시킬 수 있음

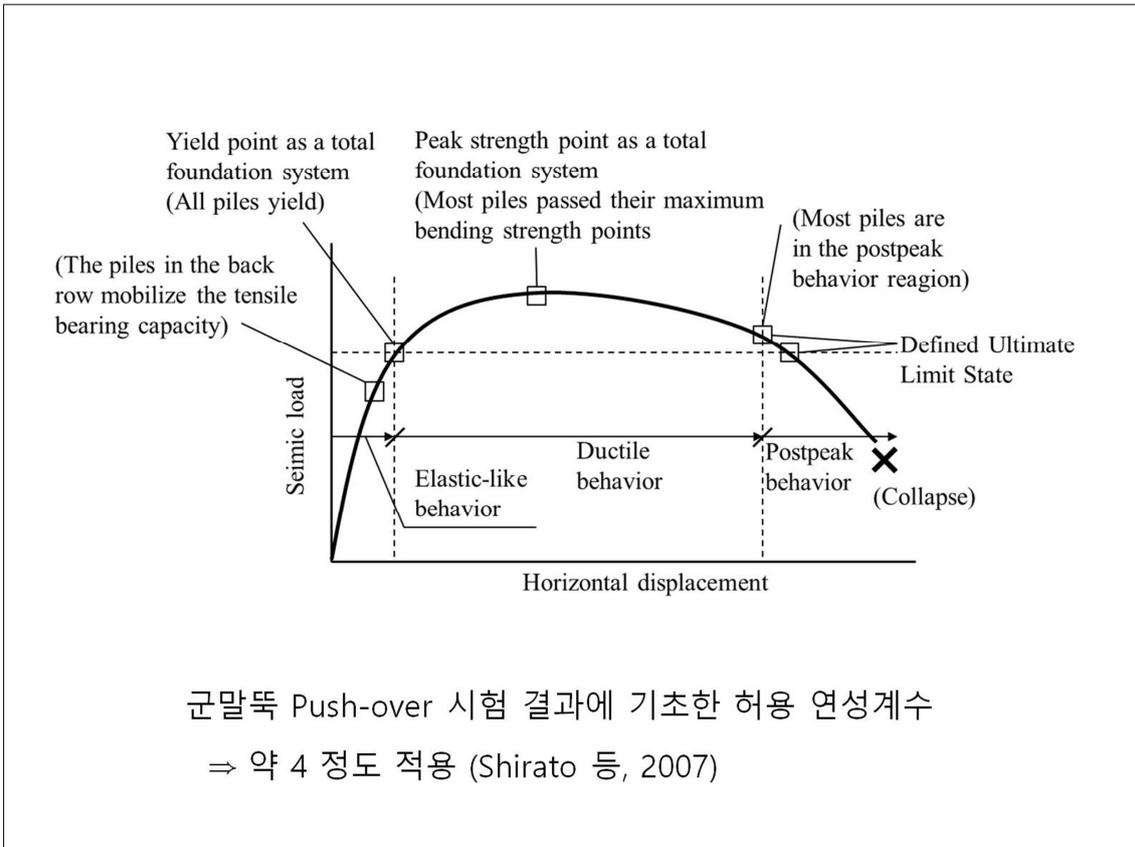


(a) 일반적인 경우

(b) 말뚝에 충분한 연성을 고려한 경우

- 반응수정계수 (R) (한국도로교통협회, 2005)

하부구조	R
벽식교각	2
철근 콘크리트 말뚝가구 (pile bent)	
1. 수직말뚝만 사용한 경우	3
2. 한 개 이상의 경사말뚝을 사용한 경우	2
단주가구 (single column bent)	3
강재 또는 합성강재와 콘크리트 말뚝가구	
1. 수직말뚝만 사용한 경우	5
2. 한 개 이상의 경사말뚝을 사용한 경우	3
다주가구 (multi column bent)	5



### 말뚝기초의 지진해석

#### 구조물기초설계기준 해설 (2015)

1) 구조물의 고유주기 ( $T_s$ ) < 지진의 가진주기 ( $T_e$ )인 경우 (즉, 강성이 충분히 큰 구조물)

**구조물 응답가속도 = 지반가속도**

→ 의사정적해석 적용

$$F = m \underbrace{a_{\max}}_{\text{지반가속도}} = \frac{W}{g} a_{\max} = \frac{W}{g} (k g) = \underbrace{W k}_{\text{지표면 설계지진계수}}$$

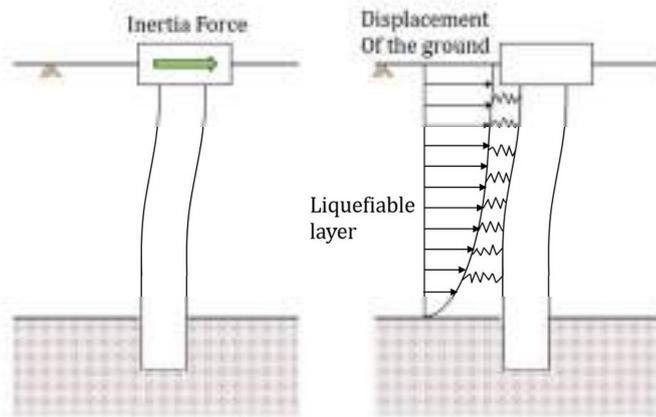
2) 구조물의 고유주기 ( $T_s$ ) ≥ 지진의 가진주기 ( $T_e$ )인 경우, 공진 등으로 인해

**구조물 응답가속도 > 지반가속도**

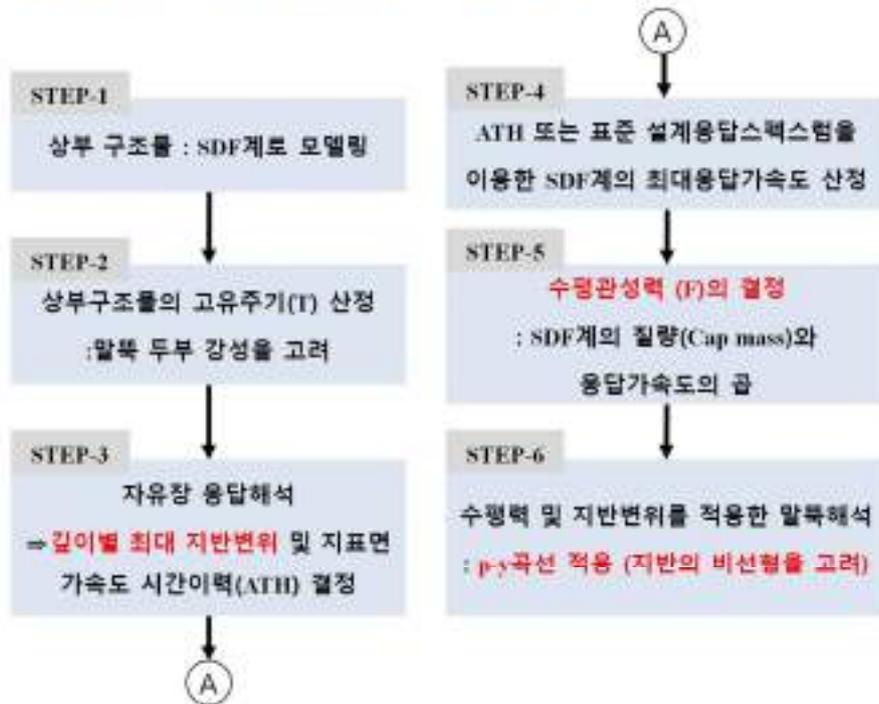
→ 동적해석이 요구됨

### 1) 의사정적해석법 (Pseudostatic approach)

- 실제 내진설계에 있어서 구조물 응답의 시간이력보다는 **응답의 최대치가 필요함**
- 지반구조물의 특성 (고유주기 및 강성) 을 고려하여 얻는 **관성력 및 지반변위를 적용하여 해석**
- ⇒ 보통, 관성력을 적용한 경우를 **진도법**, 지반변위를 적용한 경우를 **응답변위법**



### ✓ 의사정적해석을 이용한 말뚝기초의 내진해석 절차

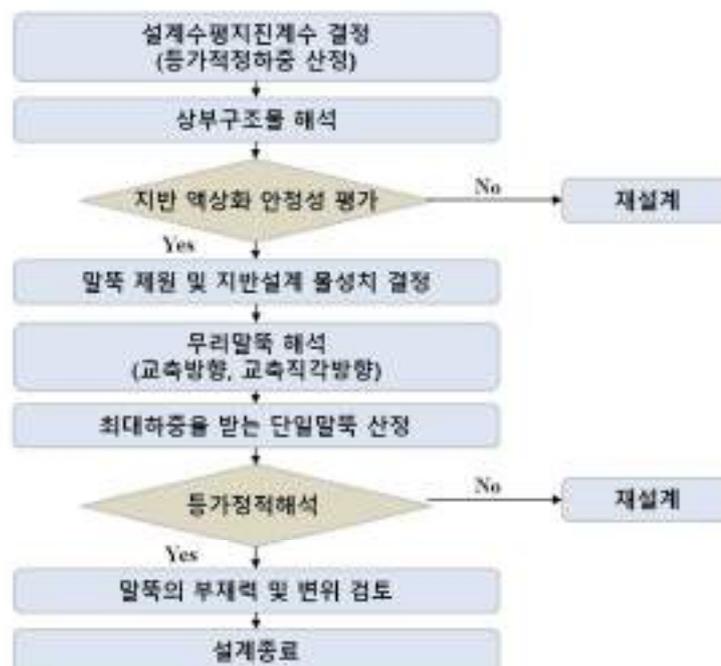


## 2) 동적해석법 (Dynamic analysis method)

- 구조동역학 이론에 근거한 방법으로 가속도 시간이력에 따른 구조물 응답 변화를 확인할 수 있는 방법
- 지진응답의 시간이력을 정확히 산정할 수 있으나 많은 시간적 소요가 필요
- 동적해석방법의 분류



### 말뚝기초의 지진해석 흐름도 (구조물기초 설계기준 해설, 2015)

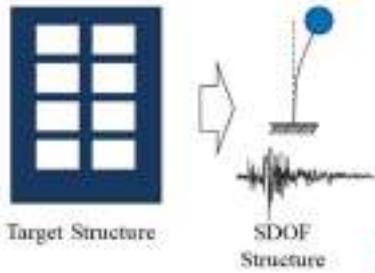
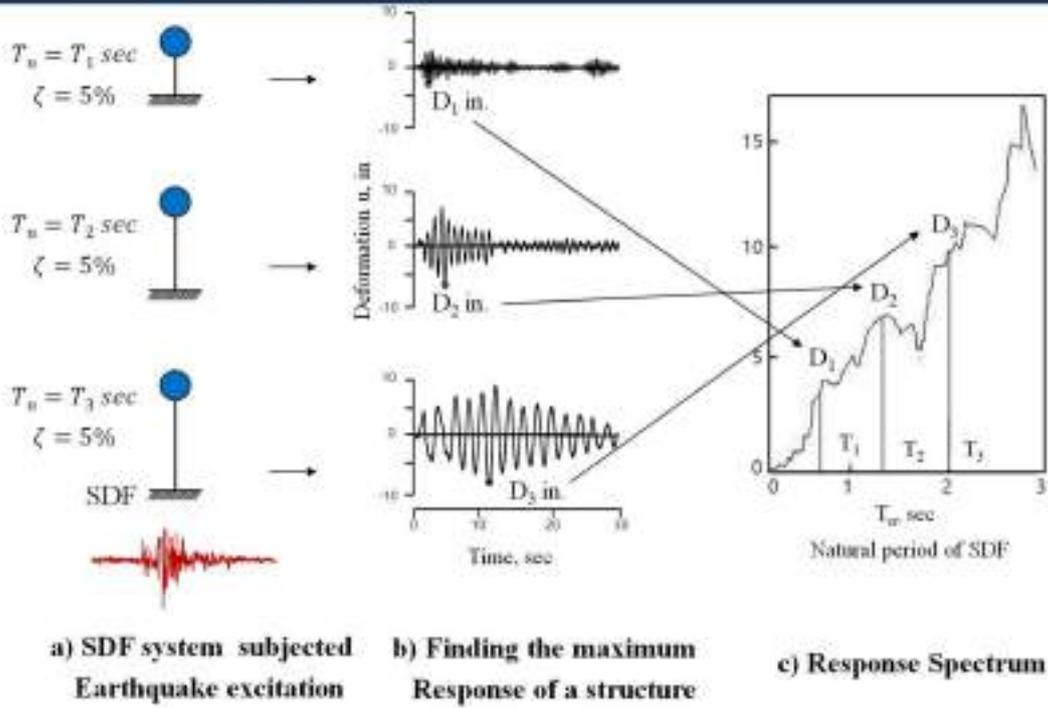


# 3. 기초 구조물의 내진설계 개선 사항

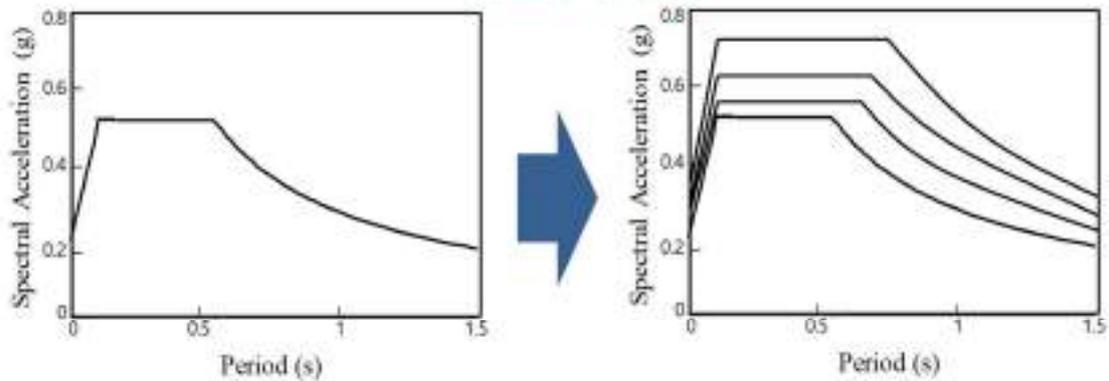
## 1 지반운동수준 설계



## 설계응답스펙트럼

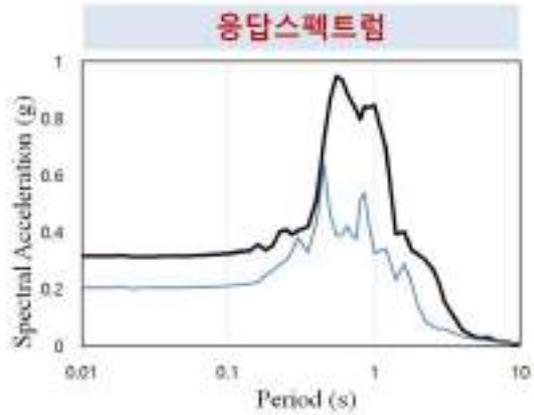
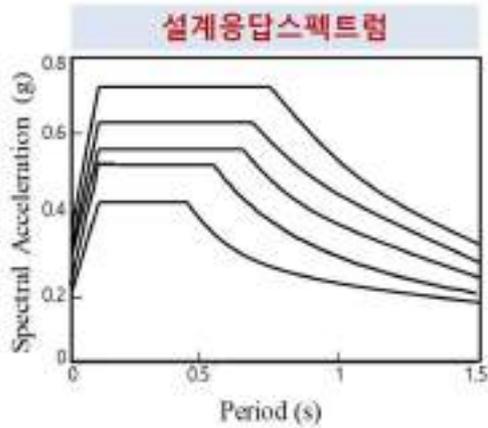


## 지반증폭현상



## 국내 내진설계기준

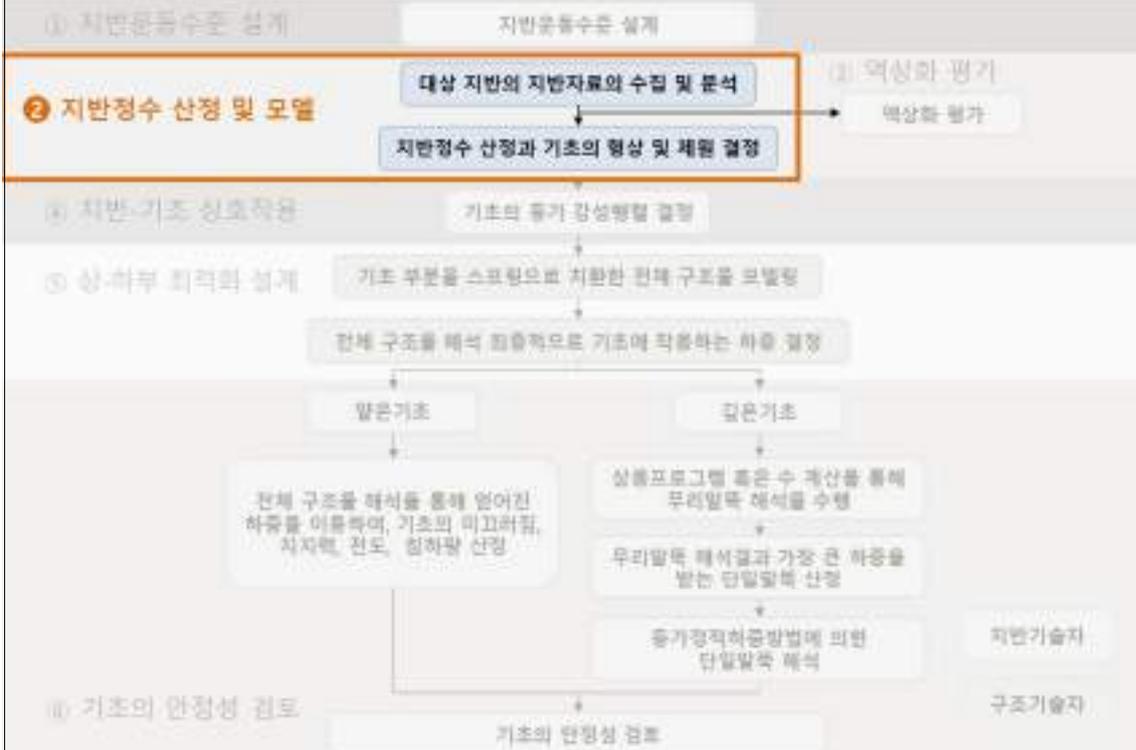
## 부지응답해석



지반 분류체계에서  $S_A, S_B, S_C, S_D, S_E$ 에 포함되는 지반

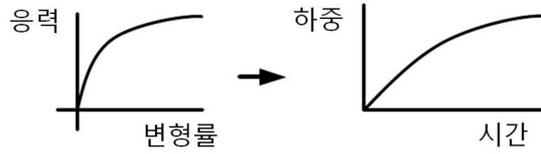
기반암 깊이가 20m(~30m) 이상이거나  
부지 고유의 특성평가가 요구되는 지반

## 2 지반정수 산정 및 모델

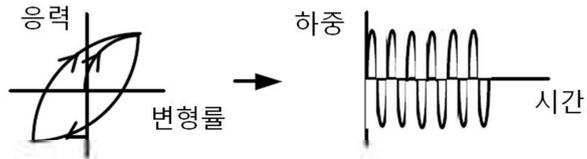


## 내진 설계의 지반정수

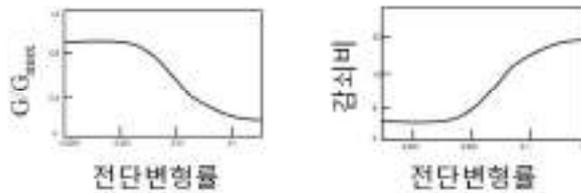
- Static modulus



- Dynamic modulus

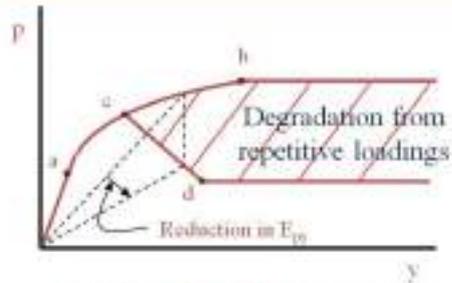


- 지반의 변형특성

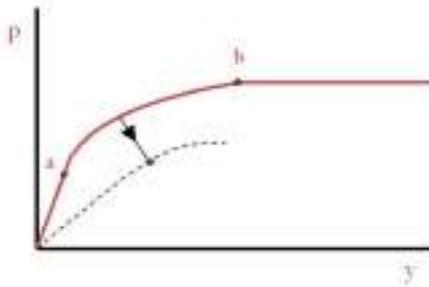


## p-y 곡선

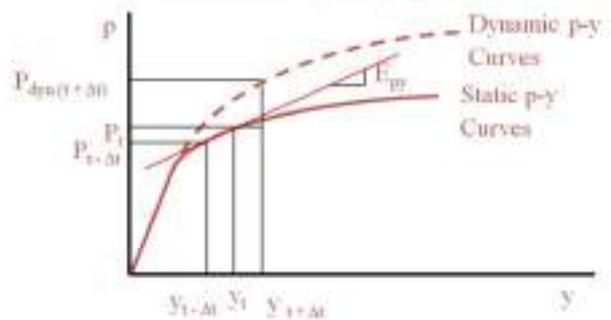
- Static loading
- Cyclic loading
- Sustained loading
- Dynamic loading



Static and cyclic p-y curve



Sustained p-y curve



Dynamic p-y curve

## 지반반력계수

- 도로교 설계기준 해설 (하부구조 편)
- 단지조성에 따른 시설물의 내진연구 (한국토지공사)
- 지하공동구 내진설계기준 (건설교통부)

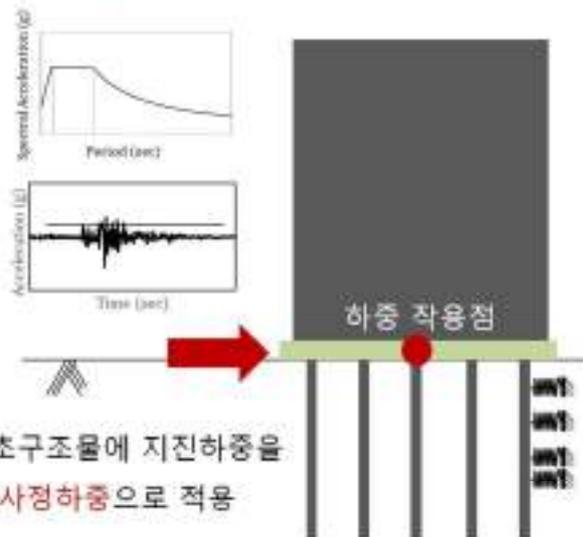
$$k_H = \frac{k_{H0}}{\left(\frac{B_N}{0.3}\right)^{3/4}} \quad (kN/m^3) \qquad k_{H0} = \frac{1}{0.3} \alpha \cdot E_0 \quad (kN/m^3)$$

- 지반의 변형계수  $E_0$ 와 지반반력계수의 추정에 사용되는 계수  $\alpha$  값

변형계수 $E_0$ ( $kN/m^2$ )	$\alpha$	
	평상시	지진시
지름 30의 강체원판에 의한 평판재하시험을 반복시킨 곡선에서 구한 변형계수의 1/2	1	2
보링 공내에서 측정된 변형계수	4	8
공시체의 1축 또는 삼축압축시험에서 구한 변형계수	4	8
표준관입시험의 N 값으로부터 주장한 변형계수 : $E_0 = 2,800 \cdot N$	1	2

## 내진설계시 지반정수 및 모델의 적용

### ① 구조해석의 지진하중 적용



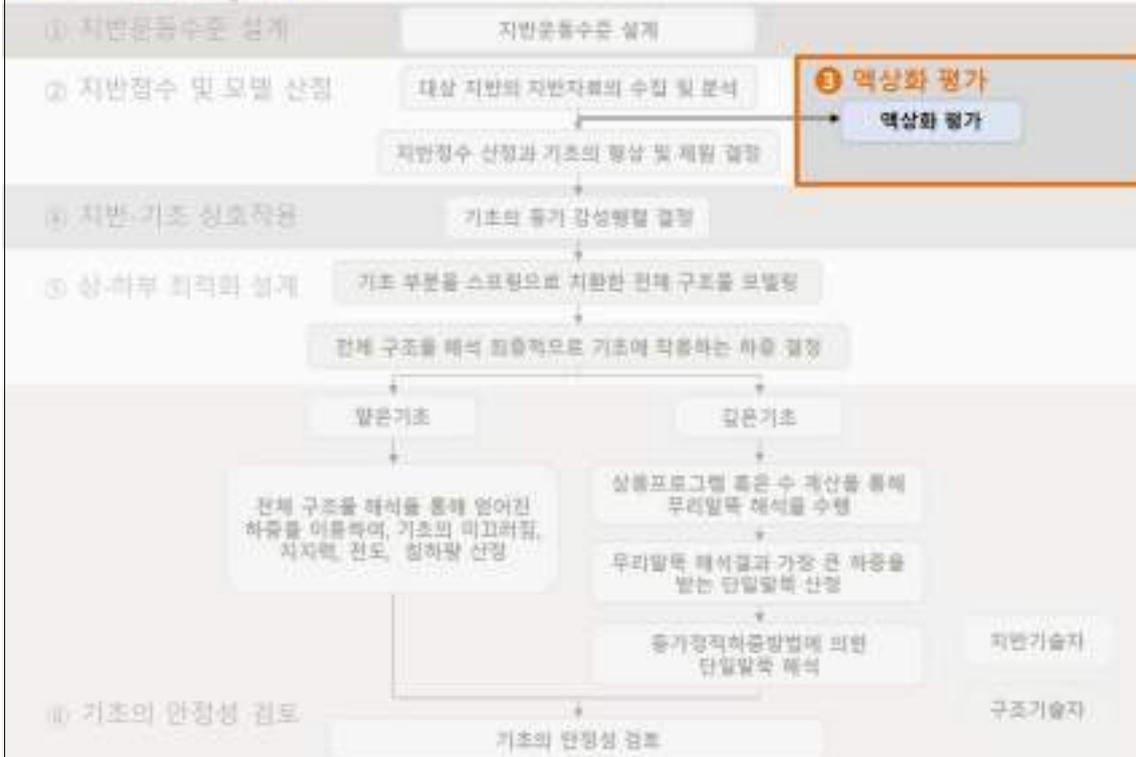
② 기초구조물에 지진하중을  
의사정하중으로 적용

③ ?

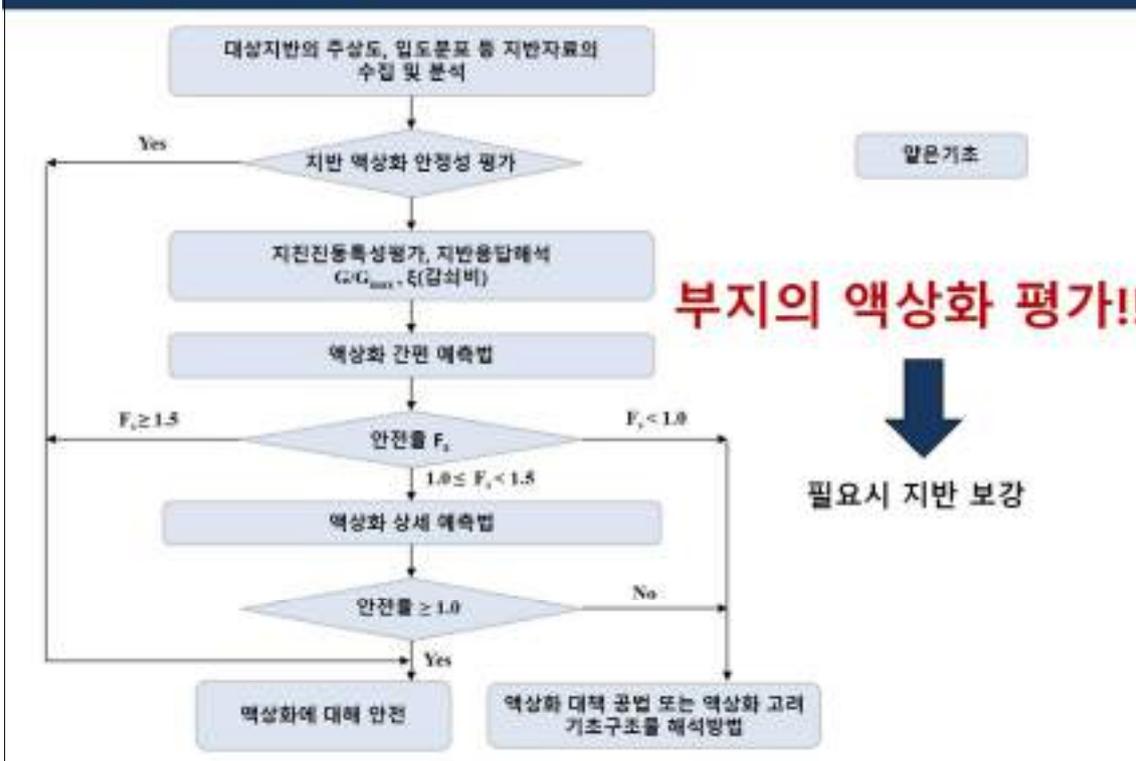
동적 p-y 곡선

동적 지반 반력계수

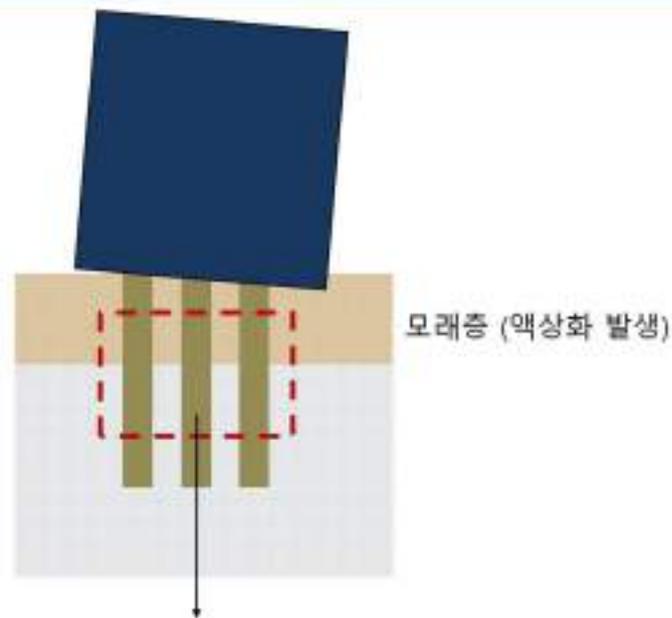
### 3 액상화 평가



### 액상화 평가 흐름도

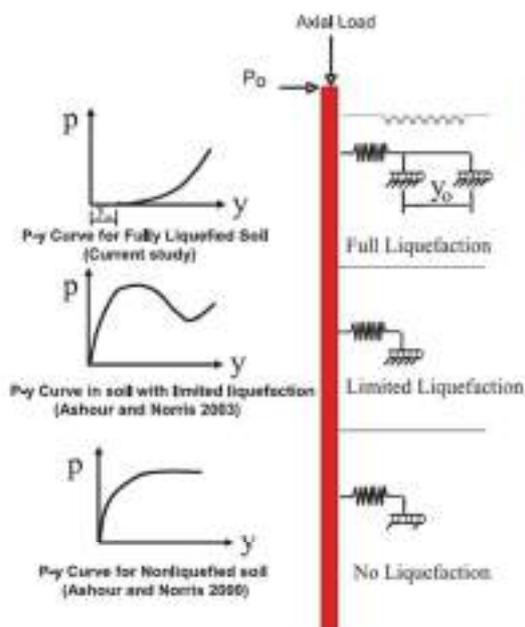


## 액상화 평가



지진으로 인한 액상화 현상 이후 **기존말뚝기초의 안정성 평가?**

## 액상화시 지반의 수정된 p-y 곡선



Researcher	Degradation parameter ( $\beta$ )
Liu & Dobry (1995)	$1-r_u$
Wilson (1998)	$0.1 (r_u = 1, Dr = 35\%)$ $0.25-0.35 (r_u = 1, Dr = 55\%)$
Feng and Wang (2006)	$1 (0 < r_u < 0.2)$ $1.25 (1-r_u) (0.2 < r_u < 0.8)$ $0.25 (0.8 < r_u < 1)$
Han (2006)	$0.05 \text{ or } 0.11 (r_u = 1)$

간극수압비에 따라 감소계수 적용

### ➤ JRA의 저감계수

$F_L$	지표면 아래 깊이(m)	동적 전단 감도비, $R$			
		$R \leq 0.3$		$0.3 < R$	
		Level 1	Level 2	Level 1	Level 2
$F_L \leq 1/3$	$0 \leq x \leq 10$	1/6	0	1/3	1/6
	$10 \leq x \leq 20$	2/3	1/3	2/3	1/3
$1/3 < F_L \leq 2/3$	$0 \leq x \leq 10$	2/3	1/3	1	2/3
	$10 \leq x \leq 20$	1	2/3	1	2/3
$2/3 < F_L \leq 1$	$0 \leq x \leq 10$	1	2/3	1	1
	$10 \leq x \leq 20$	1	1	1	1

$$F_L = \frac{R}{c} = \text{역상화 저항계수}$$

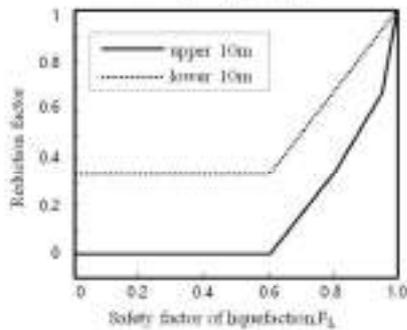
$$R = cWRL = \text{동적 전단강도}$$

$L =$  지진 전단응력

$c_w =$  지진지반운동에 대한 수정계수

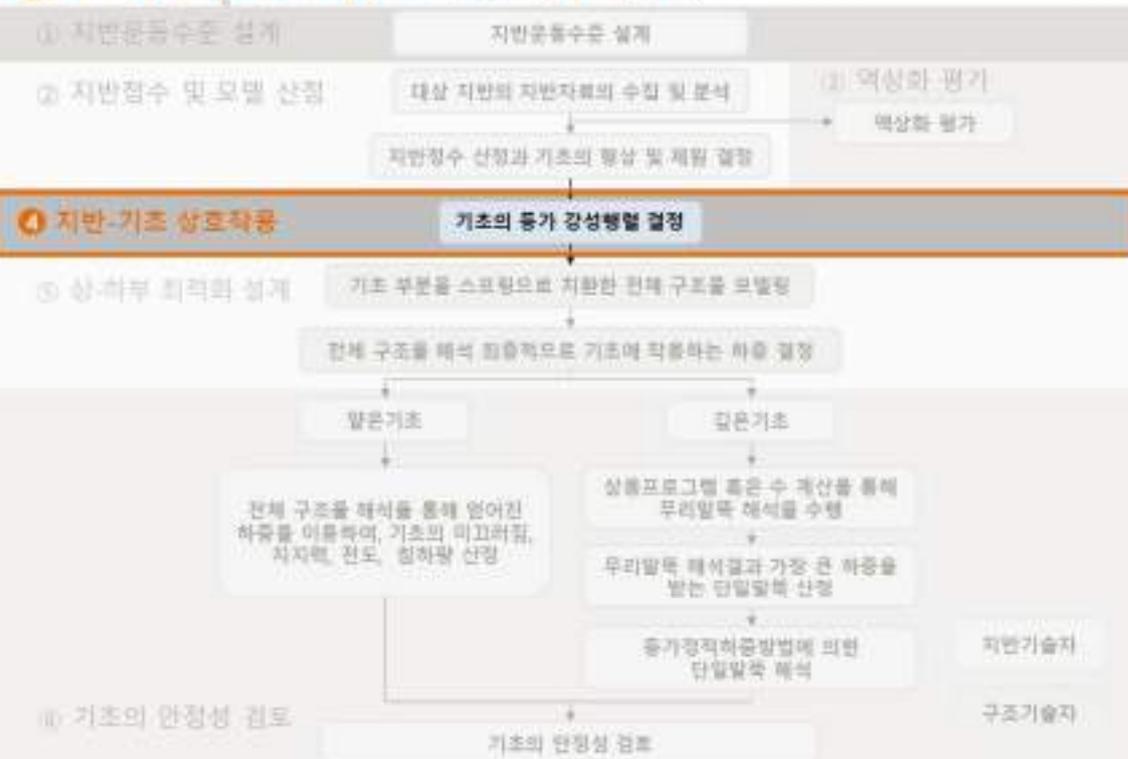
$R_c =$  반복 삼축전단응력

### ➤ RTRI의 저감계수



지반반력계수( $k_b$ ), 지반반력의 상한치( $P_c$ )에 감소계수를 곱한 값을 적용

## 4 지반-기초 동적상호작용 해석 (SSI)



## 지반-기초-구조물의 상호작용을 이용한 기초

### ✓ 기초 내진 설계의 문제점

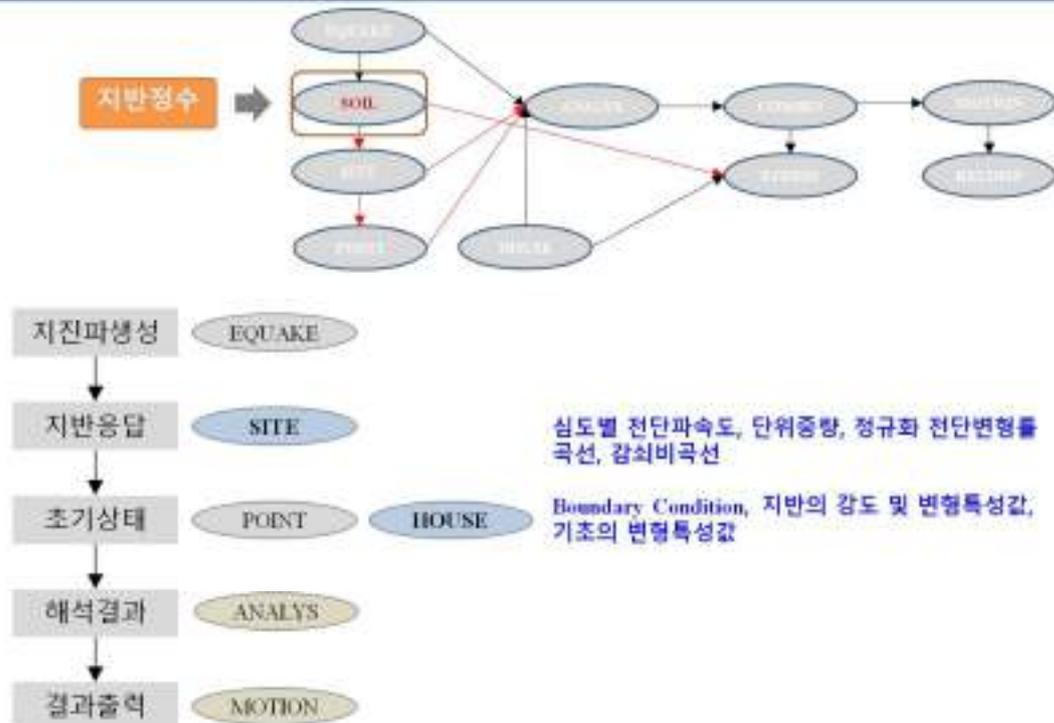
- 구조물 기초 움직임 제한 → 과다한 안전을 설계, 건설비용 증가
- 구조물 기동에서 지진에너지 소산 → 강진 시 구조물 파괴 발생

### ✓ 지반-기초-구조물의 상호작용

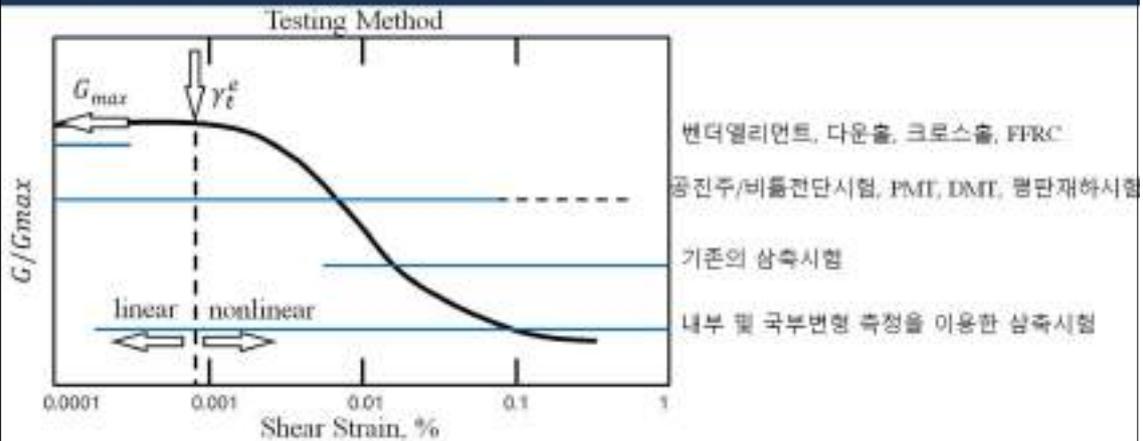
- 구조물 기초 움직임 허용 → 기초 건설 비용 감소
- 기초-지반 접촉면에서 지진 에너지 소산 → 구조물 건설 비용 감소
- 구조물의 지진 시 변위량 감소 → 강진 시 구조물 안정성 확보



## SSI 내진 해석 방법



## SSI 해석에 사용되는 지반정수

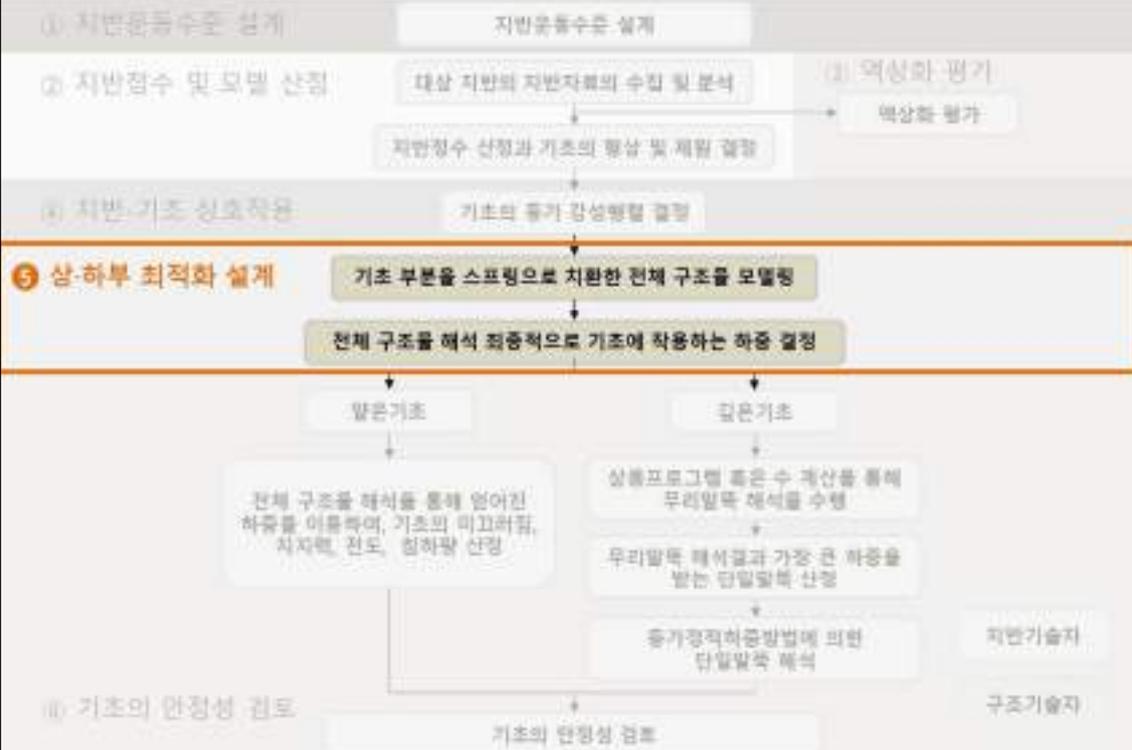


- 최대 전단 탄성계수( $G_{max}$ ) 저변형을 영역에서 지반의 종류, 간극비(건조단위중량), 구속 응력, 소성지수 등 다양한 요소의 영향을 받고 시험조건과 적용이 매우 중요
- Soil module 정수 : 탄성계수, 전단파속도, 단위중량,  $G/G_{max}$ , Damping curve 등
- 정규화 전단탄성계수 및 감쇠비 곡선은 **지반재료의 동적거동특성에** 매우 중요한 요소

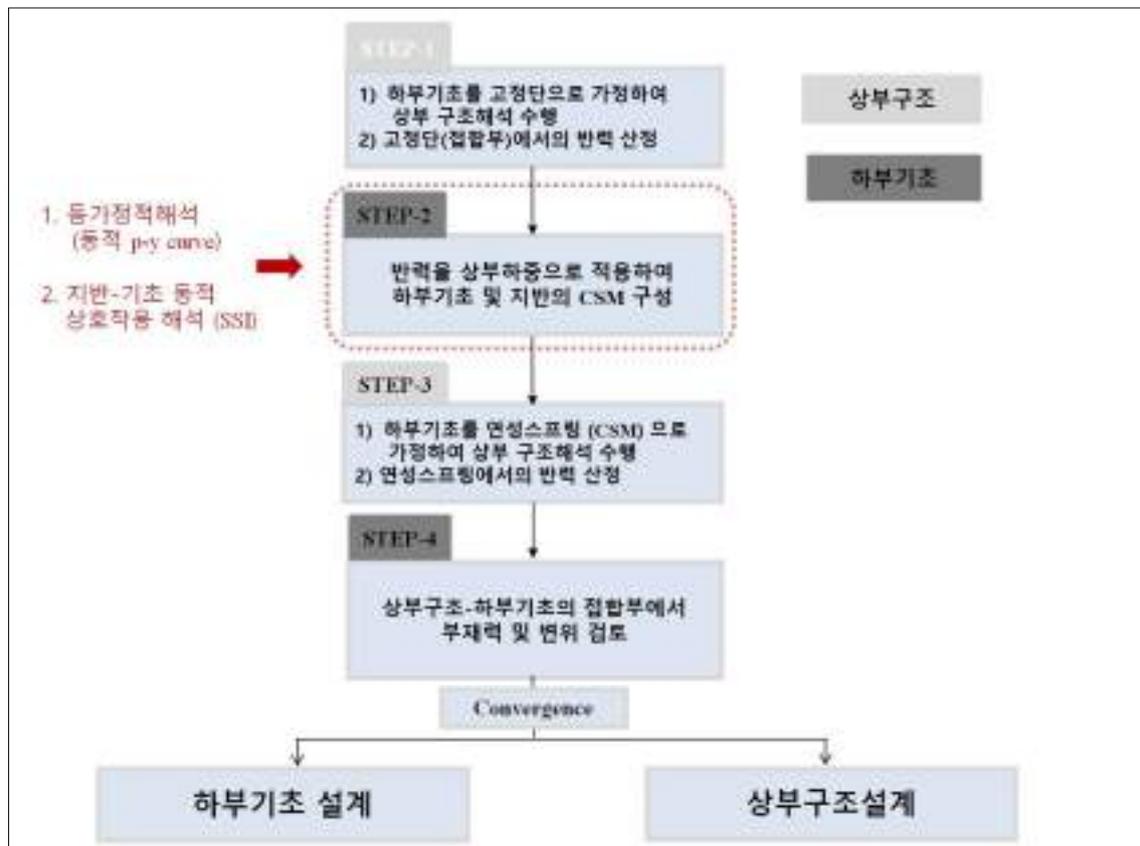
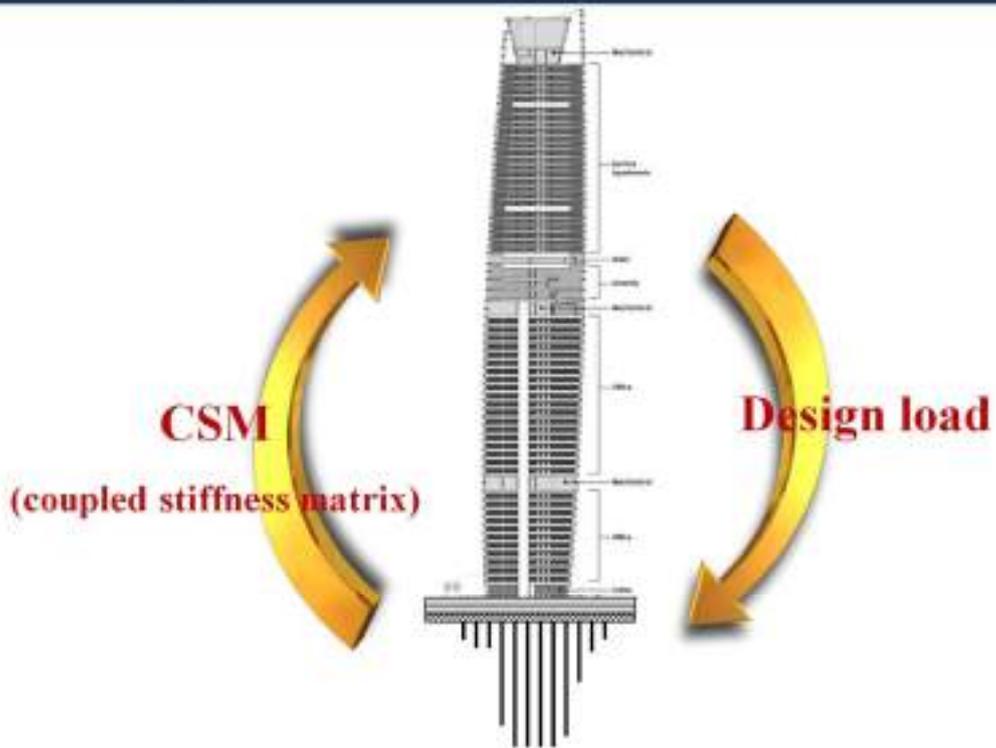
➡ **숙련된 지반기술자가 직접 수행**

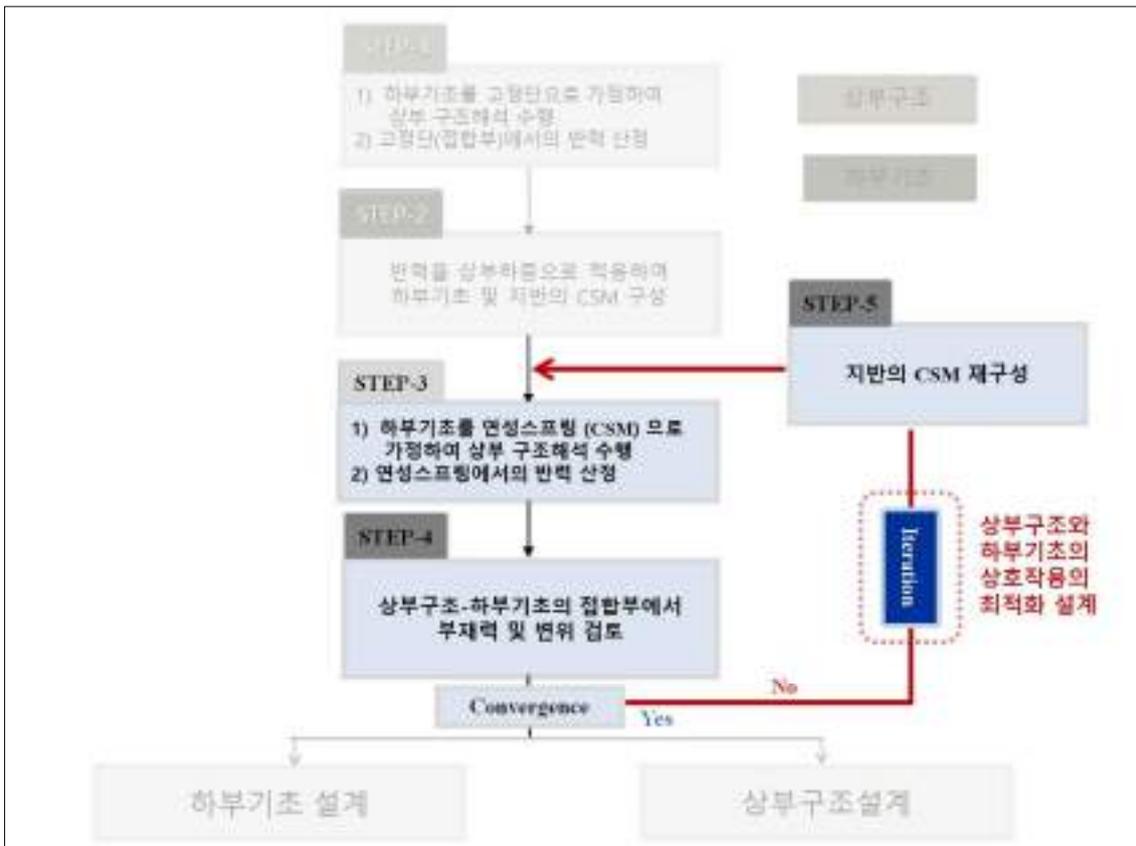
(일반적으로 구조기술자 수행)

## 5 최적화 설계방안

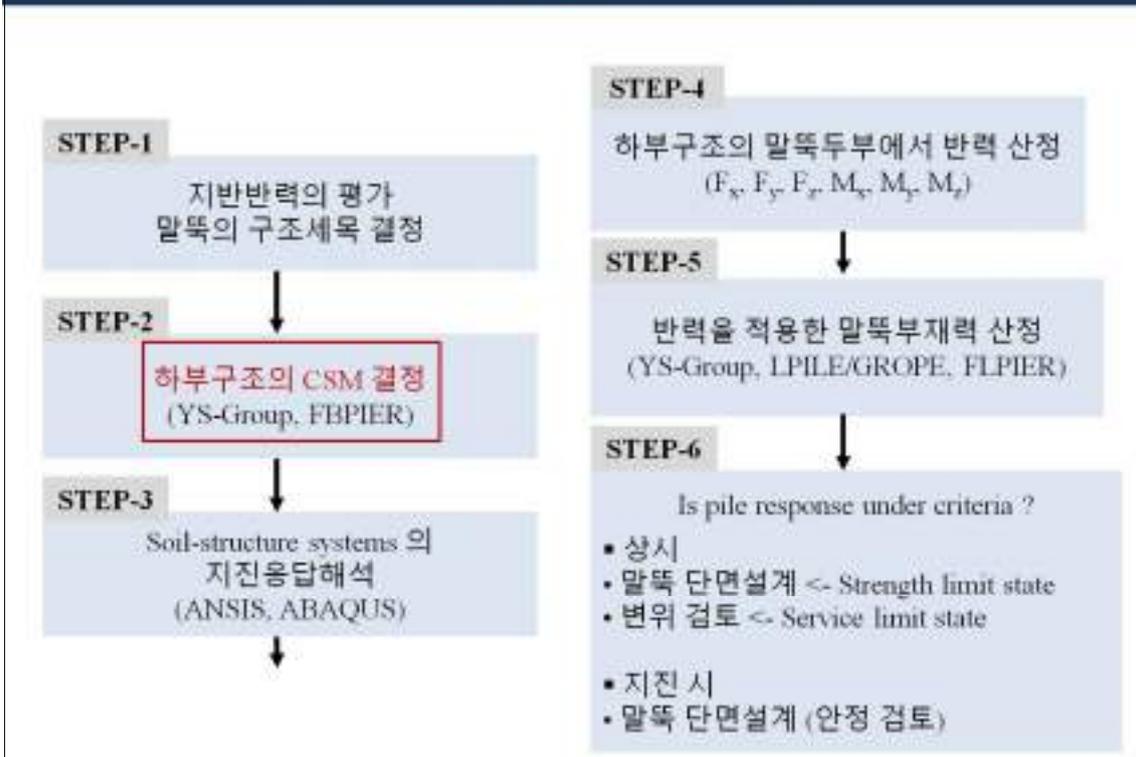


# Unified Analysis

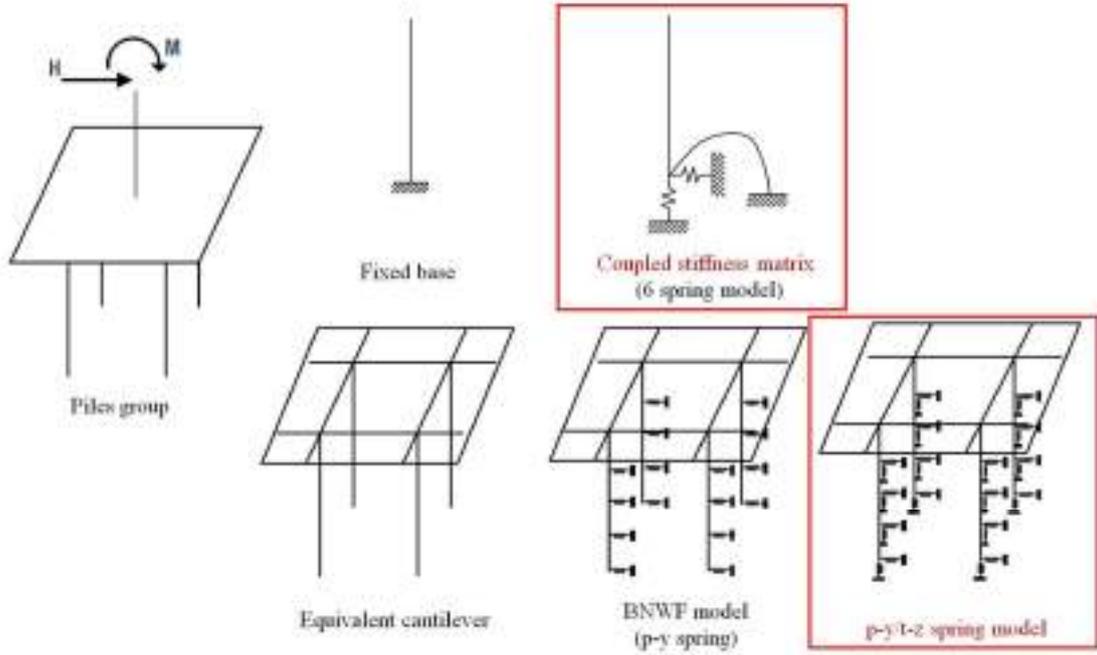




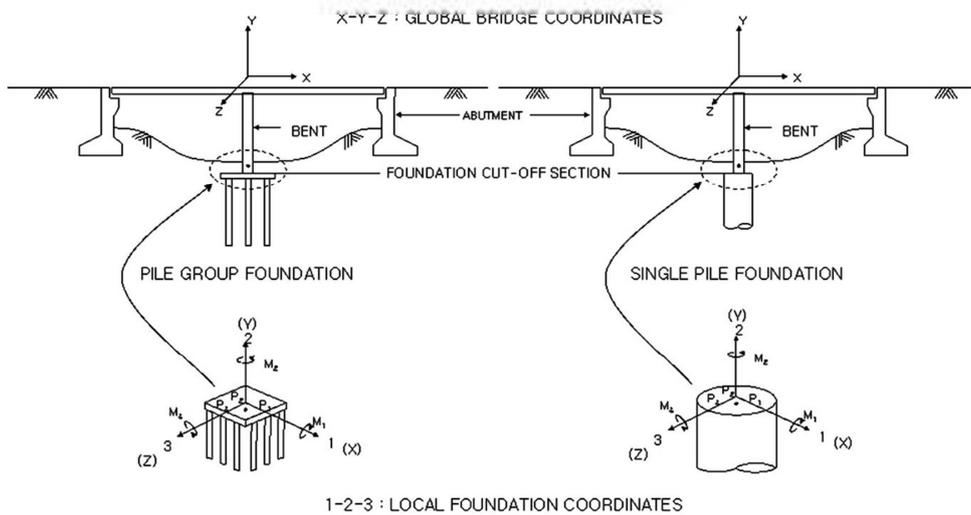
## AASHTO LRFD의 지진해석 절차 (의사정적해석)



## 지진해석을 위한 Soil-Structure System (SSS)

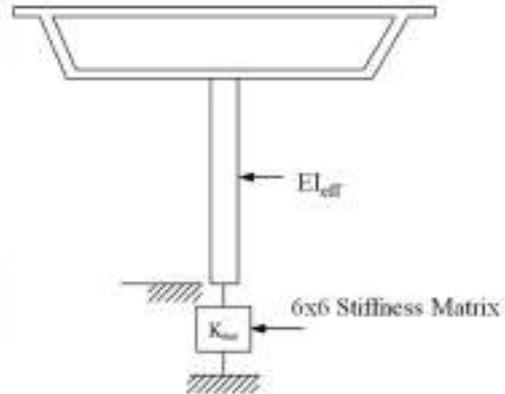


## 등가강성행렬을 이용한 SSS모델링



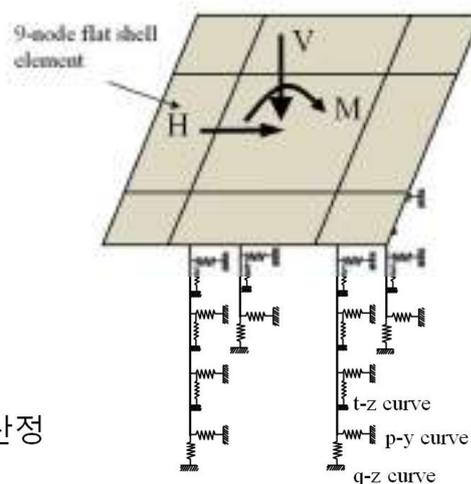
등가강성행렬 (CSM)

- 상부구조물은 SDF로 모델링  
i.e., single pier frame
- **지반-구조물의 상호작용을 고려하기 위해 fixed base이 아닌 6×6 강성행렬을 적용**
- 6×6 강성행렬 산정시 지반의 비선형을 고려하는 **하중전이함수(p-y, t-z, q-z곡선)**을 이용

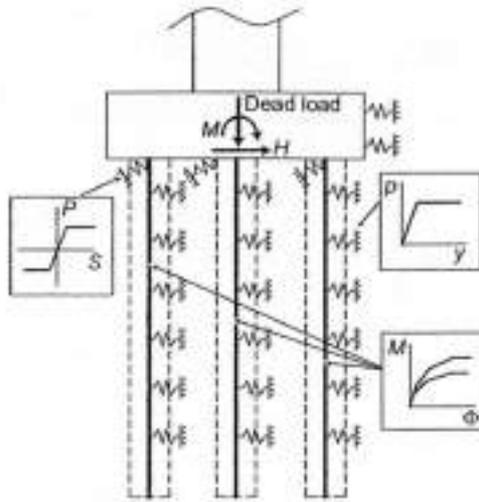


### FBPIER/YS Group 을 이용한 등가강성행렬 산정

- 3 차원 해석
- Soil-pile-system model
  - 말뚝캡 : flat shell 요소
  - 말뚝 : 3 차원 discrete 요소
  - 지반 : 비선형 지반 스프링  
(p-y, t-z, q-z curves)
- 해석코드를 이용하여 강성행렬을 산정



## p-y/t-z Spring Model을 이용한 SSS 모델링



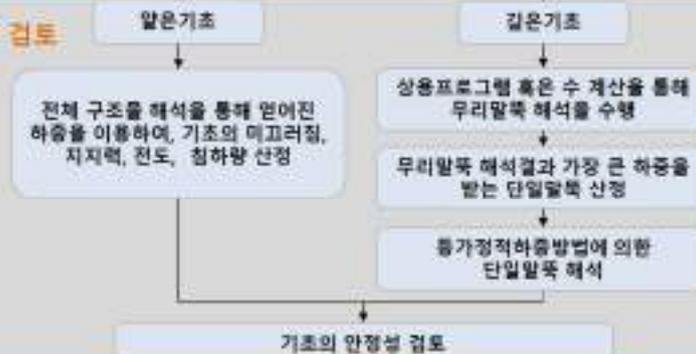
- 말뚝 : Beam-Column 요소
- 지반 : p-y, t-z 곡선
- 휨모멘트의 비선형성  
: Bending moment- curvature 관계

해석모델을 적용한 지진응답해석으로 구조물의 응답 결정

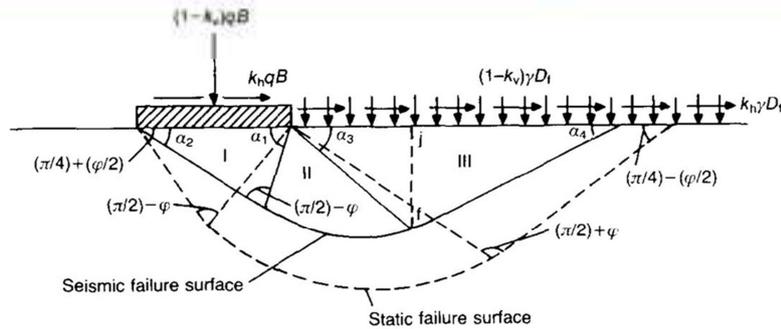
## 6 기초의 안정성 검토



### 6 기초의 안정성 검토



## 지진시 얇은 기초 안전율 기준 (지반구조물 내진설계)



(상시)

$$q_{allow} = \frac{1}{F_s} \times (c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q + \frac{1}{2} \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma)$$

$$F_s = 3.0$$

(지진시)

$$q_{allow} = \frac{1}{F_s} \times A' \times (c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q + \frac{1}{2} \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma)$$

$$F_s = 2.0$$

(지반구조물 내진설계, 지반공학회)

## 지진시 말뚝기초 변위 기준

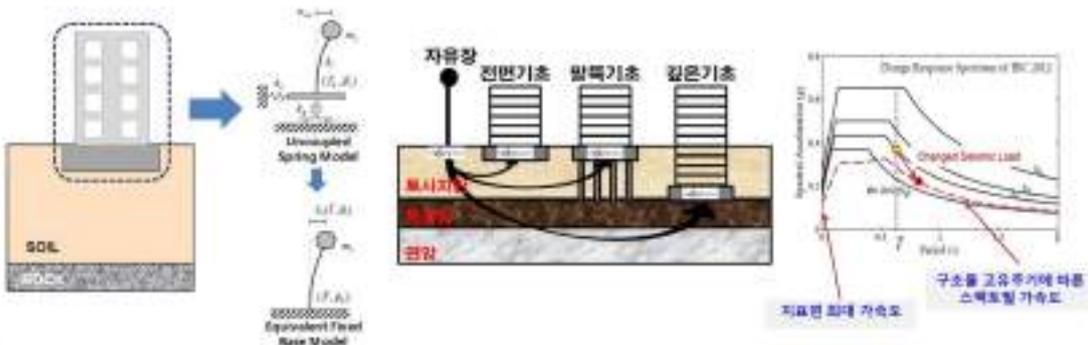
➤ 말뚝기초의 허용 수평변위 기준 사례

기준서	수평변위 기준
Canadian Foundation Engineering Manual(1992)	<ul style="list-style-type: none"> <li>수평지지력은 3가지 조건에 의해 제한</li> <li>그 중, 말뚝 두부변위에 의해 상부 구조의 준립이 가능하여야 함</li> </ul>
FHWA-TS-85-228 (1986)	<ul style="list-style-type: none"> <li>사용성기준으로 고대의 수평변위를 1.5in(38mm)로 제한</li> <li>현장조사 결과를 바탕으로 구조물의 손상이 매우 작은 범위가 1~2m 이므로 1.5in(38mm)를 제한</li> </ul>
FHWA-IP-99-025 Drilled shafts (1999)	<ul style="list-style-type: none"> <li>고대의 수평변위는 연직변위보다 구조물 손상에 더 큰 영향을 미치며, 사용성 연속에 의해 38mm보다 작아야 함</li> </ul>
FHWA	<ul style="list-style-type: none"> <li>상시: 15mm, 지진시: 25mm</li> </ul>
AASHTO LRFD Bridge Design Specification (2007)	<ul style="list-style-type: none"> <li>말뚝의 수평변위는 Barker 방법 또는 p-y 해석 결과 적용</li> <li>수평변위는 지반-말뚝 상호작용을 고려해야 함</li> <li>말뚝의 수평변위는 선택된 허용수평변위 이내, 수평방향 변위는 38mm 이내로 제한 (Moulton et al, 1985)</li> </ul>
AASHTO Standard Specification for Highway Bridges (1996)	<ul style="list-style-type: none"> <li>말뚝의 수평변위 기준은 연직변위와 수평변위를 결합시킬 수 있는 경우, 수평변위를 25mm 이하로 규정. 단, 연직변위가 작은 경우 수평변위는 50mm 이하로 규정</li> <li>예측변위가 위의 규정을 초과하였다면, 정밀분석이 필요함</li> </ul>
NCHRP (1991)	<ul style="list-style-type: none"> <li>수평변위는 제안자 및 조건에 따라 1.0in(25mm), 1.5in(38mm), 2.0in(51mm)로 나타났으며, 최종적으로 38mm (Moulton et al, 1985)를 제시함</li> </ul>
일본 도로교 시방서	<ul style="list-style-type: none"> <li>상시: 15mm, 지진시: 22.5mm</li> </ul>

## ➤ KDS 11 50 20 깊은기초설계기준 (한계상태설계법)

- [상시] 기초의 **수평방향 허용 변위량**은 구조물의 기능과 형태, 예상 사용수명, 차량 주행성, 과대변위 발생시 **구조물에 미치는 영향** 등을 고려하여 결정하며, **38mm**를 초과해서는 안된다. 단, 지반의 저항력과 말뚝변위의 비선형성을 고려할 수 있는 **p-y 해석 등의 정밀한 해석**을 하는 경우 **말뚝 본체에 구조적인 결함**이 발생하지 않고 **상부구조물의 유해한 영향을 미치지 않는 변위까지 허용**할 수 있다.
- [지진시] 별도기준없음, 국가건설기준센터 내진코드 작성중

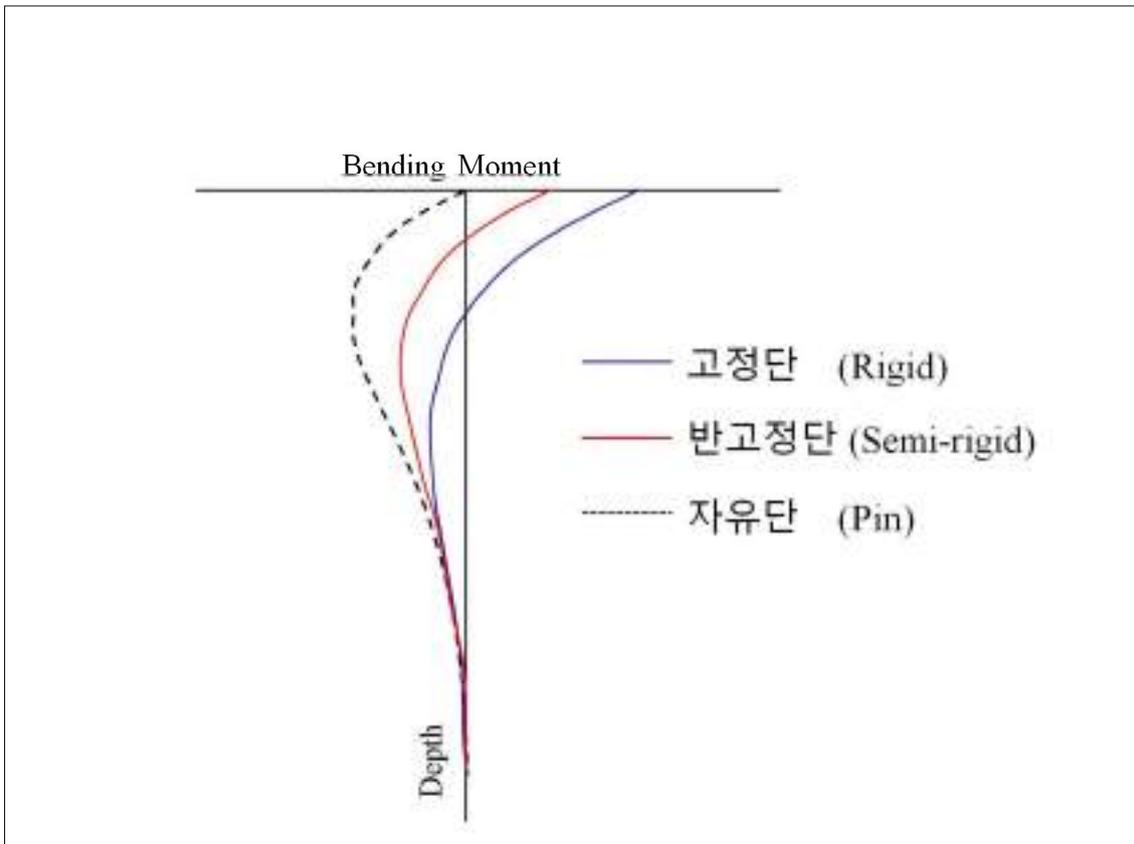
## + 기초의 고정단 조건



- 실제 구조물은 **비고정단 조건** (Flexible base condition)
  - 주기의 증가와 및 증폭현상 감소(=감쇠비 증가)
    - 구조물에 대한 **지진하중의 변화**가 발생
  - 지반-기초-구조물의 상호 작용 고려 필요**

## “케이블교량 설계지침 (6장 하부구조편 中)”

기 준	설계지침 상 내용
<p>상부구조-하부기초/ 말뚝 접합부 설계</p>	<p>① 상부구조와 하부기초/말뚝과의 접합부 설계 시에는 상부구조물의 특성에 따라 기초는 말뚝머리에 작용하는 압축력, 인발력, 횡력, 모멘트 등을 검토하여 기초 말뚝의 저항력이 안정적으로 상부구조를 지지할 수 있어야 한다. 말뚝과 기초의 연결부를 <b>간편해석 시, 강결 및 힌지결합을 검토</b>하여 변위 및 강성이 확보될 수 있도록 할 수 있으며, <b>상세해석 시에는 말뚝 및 기초의 실제 상대강성(연결상태)을 고려하여 해석</b>할 수 있다.</p>



## 4. 결 론

### 결 론

1. **지반의 운동수준결정시** 기반암의 깊이가 20 m(혹은 30 m)이상 깊거나, **부지 고유의 특성평가가** 요구되는 경우, 내진설계기준에서 제시하고 있는 설계응답스펙트럼 대신 **부지응답해석을 통해 응답스펙트럼을 산정하여 적용**하여야 함
2. 내진해석 수행 시에는 반드시 시험방법, 하중 및 지반의 특성을 종합적으로 분석하여 산정한 **동적지반반력계수와 동적p-y곡선**을 적용하여야 함
3. **액상화발생 지반**에 대해서는 액상화 저항계수와 간극수압비를 고려하여 각각 **수평지반반력계수와 p-y곡선**을 감소시켜 기초의 안정성을 평가

4. SSI(지반-기초간 상호작용해석)에서 각 단계에 적용되는 동적지반정수의 비선형성과 산정방법이 동적거동특성을 결정하는데 매우 민감한 요소이므로 숙련된 지반기술자가 직접 수행하여야 함
5. 상부구조와 기초를 별도로 계산하는 경우 하부기초의 CSM은 반드시 지반-기초간의 상호작용을 고려하여 산정되어야 하며, unified analysis를 통해 최적화된 CSM을 산정하여야 함
6. 지진시 말뚝기초의 수평변위는 지반과 말뚝기초의 비선형성을 고려한 정밀해석을 통해 말뚝본체와 상부구조물의 결함을 유발하지 않는 허용변위를 별도로 산정하여 적용할 수 있음
7. 상부구조와 하부기초/말뚝과의 접합부는 결합형식에 따라 실제 연결상태(고정단/반고정단/자유단)를 고려하여 설계할 수 있음


  
**Thank you for your  
 kind attention**

과학기술정보통신부 한국연구재단 선도연구센터사업 이공학분야(ERC)

# 기후변화 적응형 사회기반시설 연구센터

## Green Infrastructure Technology for Climate Change

### GIT4CC의 연구 배경과 필요성

#### 기후변화 (Climate Change)



#### 기후변화 관련 기반시설물의 취약성



#### 기존 대응기술 (Mitigation Technology)

- 단순 기후 변화 현상 예측 및 평가
- 기후 변화 원인 분석(CO<sub>2</sub> 발생, 화석연료의 사용)
- 탄소저장 및 완화 위주의 대응 기술

#### 차세대 적응기술 (Adaptation Technology)

- 중·장기적 기후영향 및 취약성 평가
- 선제적 최적 적응 전략 구축 필요
- 사회기반시설 전반에 대한 적응 기술 철설

**GIT4CC 연구센터**  
Green Infrastructure Technology for Climate Change

### GIT4CC에서는,

2011년 9월 교육과학기술부 첨단선도연구사업으로 연세대학교에 설립된 이래로 '증강기적 기후변화 예측평가에 따른 사회기반시설의 적응기술 개발'을 목표로 하여 연구를 진행하고 있습니다.

앞으로 다가올 신기후체제에서는 기후변화 적응의 중요성에 주목하여 모든 당사국이 국가적응계획을 수립·이행하며 이에 대한 내용을 보고서로 제출할 것을 명시하였습니다. 이러한 범지구적 조류 속에서 본 센터는 극한 강우, 폭한, 폭서, 폭설, 가뭄, 홍수 등 기후변화에 적용할 수 있는 사회기반시설 연구는 물론, 기후변화 적응전략을 수립하고 관련 기준을 설정 및 활용하는 방법을 모색하고 있습니다. 뿐만 아니라 국내·외 기관 및 기업에 대한 컨설팅과 해외 유수대학과 연구소와의 협업 등을 진행하며 이 분야를 국제적으로 선도하는 역할을 수행하고 있습니다.

**Green** : 녹색성장 지향

**Infrastructure** : 사회기반시설물

**Technology** : 실용화 기술

**4(for)**

**Climate Change** : 기후변화 적응

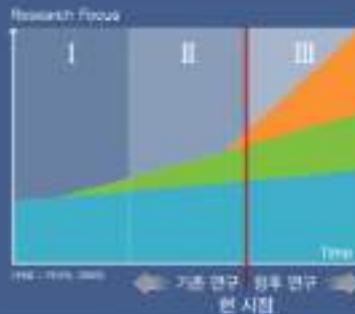
#### 대응(Mitigation)

탄소 배출 저감을 통한 기후변화 완화 기술

vs.

#### 적응(Adaptation)

기후변화의 해리다짐을 인정하고 그에 능동적으로 대처하는 기술



#### 적응(Adaptation) 연구

민생성 증대, 기후 적응용 재료 개발, 기후변화관련 사회기반시설 요소기술 개발

#### 대응(Mitigation) 연구

CO<sub>2</sub> 저감 발전, 신재생 에너지 에너지 개발

#### 기후변화 영향 연구

저성온도, 온도변화, 강수변화, 오존층의 변화



### Contact

서울특별시 서대문구 연세로50 연세대학교 첨단과학기술연구관 B109  
T 02.2123.8372 F 02.2123.8378  
W www.git4cc.com M git4cc@yonsei.ac.kr

### Director 정성섭

1994 - 연세대학교 공과대학 시뮬레이션시스템공학부 교수  
2011 - 기후변화 적응형 사회기반시설 연구센터 센터장

신기술 제700호



# PMR 옹벽

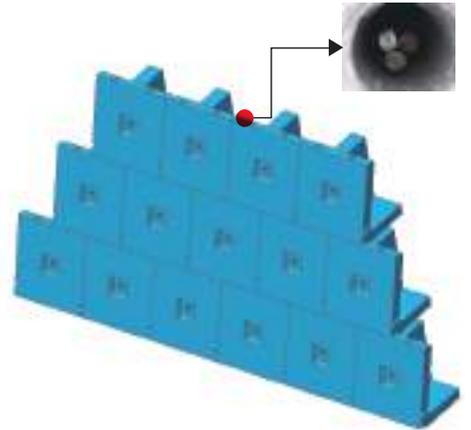
## Precast Modular Retaining wall



### 신개념 자립식 급속시공 프리캐스트 모듈러 옹벽 공법

#### 프리캐스트 모듈러 옹벽 (신기술 제700호)

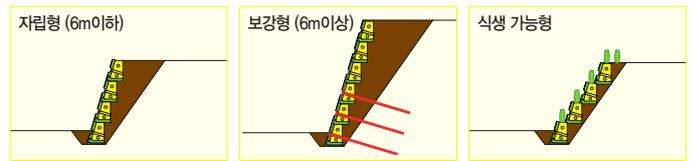
- 6m 이하는 지보재 없이 모듈러 옹벽의 경사와 자중만으로 토압에 저항하는 자립형 구조
- 옹벽 블록을 지그재그 쌓기 후 저판과 측면부의 전단키와 상하부의 연결철근으로 일체화
- 저판 폭이 1.2m로 배면 토공량을 최소화하여 도심지 저진동/저소음 시공 가능



#### 적용 사례



#### 공법 활용



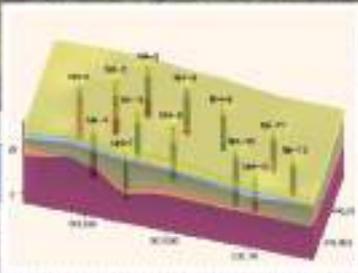
서울시 중로구 신문로1가 57번지  
TEL \_ 031-250-1171    www.daewooenc.com



(주)브니엘컨설턴트

서울시 금천구 가산디지털2로14 대륭테크노타운12차 909호  
TEL \_ 02-3452-9130    www.vniel.co.kr

# 미래를 향한 끝없는 이상과 도전! (주)에스텍컨설팅그룹이 있습니다.



☼ 조사·시험



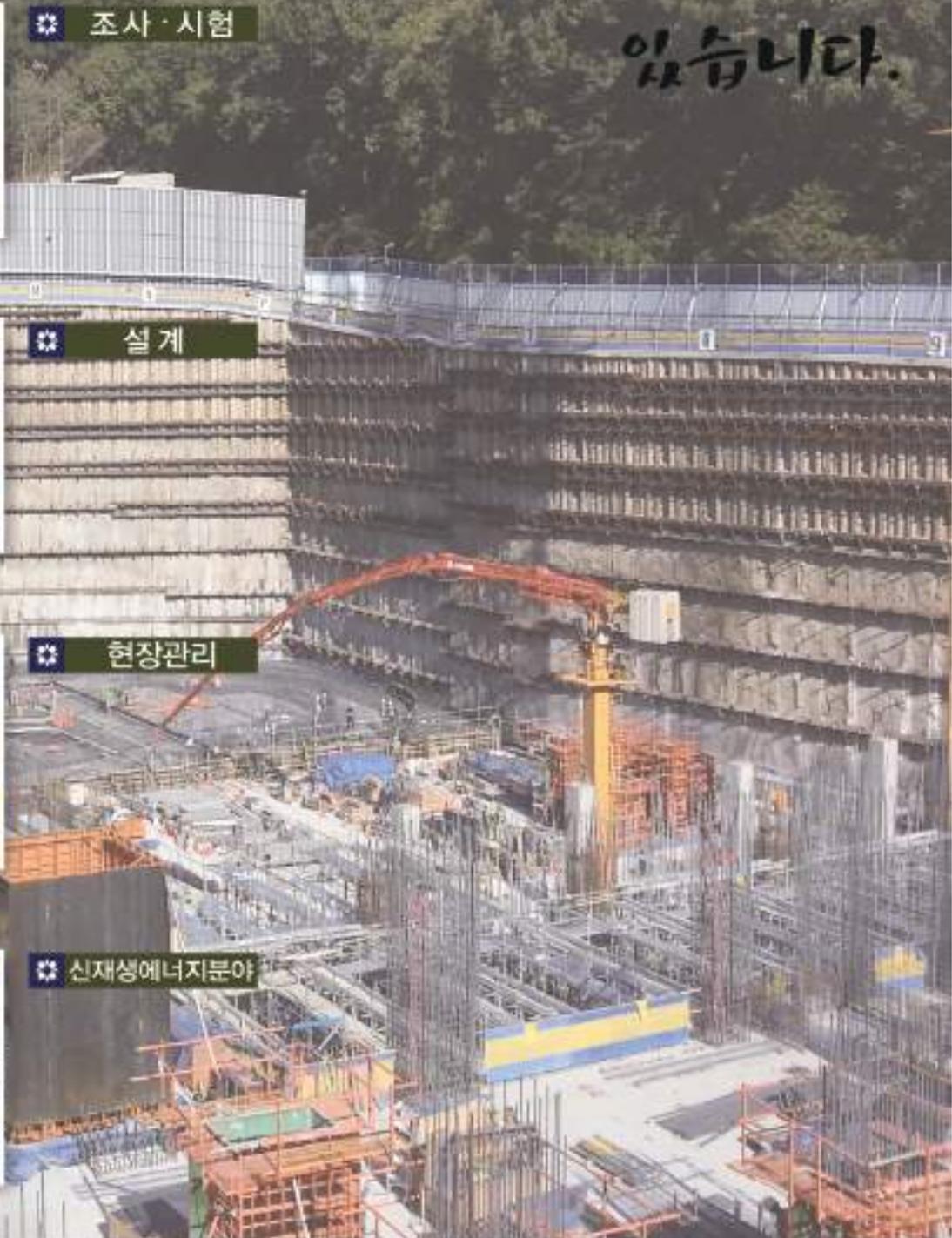
☼ 설계



☼ 현장관리



☼ 신재생에너지분야



# 이제이텍의 기술력으로 미래를 개척하겠습니다

## 엔지니어링 사업본부

- 도목설계
- 지반조사 및 시험
- 설계검토 외

## 해외사업 수행

- 해외 법인 및 지사 설립
- 지반조사 및 계속 수행

## 계측 사업본부

- 계측 및 구조물 모니터링
- 지진계
- 정보통신공사 외

## 연구개발

- 지진계 및 GNSS 관련 연구개발 수행



- 경주 방폐장 구조물 계속
- 인천대교 시공중 및 유지관리 계속
- 구리 - 포천 지반조사
- 이라크 알파우 계속
- 파키스탄 파트린드 댐 계속
- 알제리 메기달 프로젝트 지반조사
- 브루나이 텀부롱 CC2 교량 지반조사
- 말레이시아 페낭대교 유지관리 계속시스템 구축

(주) 이제이텍

본사 | 경기도 성남시 분당구 미금로 33번길 10 석정빌딩 Tel 031.711.4880 Fax 031.711.6311

지사 및 해외법인 | 부산 · 알제리 · 베트남 · 브루나이 · 파키스탄 · 말레이시아

ISO 9001 인증 / ISO 14001 인증



# 포항지진특성 및 지반구조물 지진재해대책 심포지엄

