

MIDAS SQUARE 공학 기술강연

운영지속성을 위한 산업시설 설계

홍기증 | 국민대학교 건설시스템공학부 교수

CONTENTS

01 산업시설 피해 분석

- 산업시설 피해 사례
- 산업시설 피해 특징

02 산업시설 설계의 개선 필요성

- 산업시설 설계의 문제점
- 산업시설 설계의 현황

03 설계기준안

- 설계목적
- 구조설계기준
- 내진설계기준
- 내진성능목표 설정 예제

04 설계 예제를 통한 경제성 검토

- 대상구조물
- 경제성 비교

05 산업시설의 운영지속성 확보를 위한 기술협력

산업시설 피해 분석

산업시설 피해 사례

산업시설 피해 특징

산업시설 피해 사례

■ 발전 플랜트 피해

- 2011.3.12 동일본 대지진: 쓰나미로 원자력발전소 폭발사고 발생
- 2018.9.7 홋카이도 지진: 도마토아쓰마 화력발전소 보일러 배관 손상, 정전사고(black out) 발생



< 후쿠시마 원전 파괴 >



< 도마토아쓰마 화력발전소 정전사고 >

간접 및 사회적피해:
정전사고 및 방사능 누출 피해발생

■ 정유 화학 플랜트 피해

- 2011.3.12 동일본 대지진: 코스모 석유공장 배관손상, 가스누출로 인한 화재
- 2019.4.17 에콰도르 지진: 페트로에콰도르 정유공장 기름유출 사고

간접 및 사회적피해 :
가스 또는 기름 누출 피해발생



< 코스모 석유공장 배관 손상 >

산업시설 피해 사례

■ 송변전 시설 피해 사례

- 1994.1.17 미국 Northridge 지진: 송전탑, 스위치기어의 파괴
- 1995.1.17 Kobe 지진: 변전소 파손
- 1999.9.21 대만 Chi-Chi 지진: 송전선로 파괴, 변압기와 차단기 피해

간접 및 사회적피해 :
정전사태 발생



< San Fernando 지진 - 송전설비 파손 >



< San Fernando 지진 - 앵커부 부실 >



< Coalinga 지진 - 변전소의 피해 >



< Edge Cumbe 지진 - 변압기의 파손 >



< Kobe 지진 - 변전소 파손 >



< Chi-Chi 지진 - 송전탑 파손 >

산업시설 피해 사례

피해 시설	명칭	날짜	주요 피해
송변전설비	San Fernando 지진	1971.02.09	앵커부실로 인한 변압기 전복, 애자의 파손, Porcelain 파손
	Coalinga 지진	1983.05.02	지지대의 파괴로 인한 변압기의 이탈
	Edge Cumbe 지진	1987.03.02	앵커의 파괴로 인한 변압기의 이탈
	Loma Prieta 지진	1989.10.18	세라믹부품의 파손, 절연스위치/변압기
	Northridge 지진	1994.01.17	송전탑의 파괴, Porcelain 부품과 Switcher의 파괴
	Kobe 지진	1995.01.17	변전소 설비의 파괴, 송전선로 파괴
	Quindio 지진	1999.01.25	앵커부실로 인한 변압기와 차단기 파괴
	Chi-Chi 지진	1999.09.21	송전선로 파괴, 변압기와 차단기 피해
원전, 정유공장	동일본 대지진	2011.03.12	원자력발전소 폭발, 정유공장 탱크 폭발
화력발전소	훗카이도 지진	2018.09.07	보일러 배관손상으로 인한 발전중단
정유공장	에과도르 지진	2019.04.17	정유공장 탱크 기름 유출

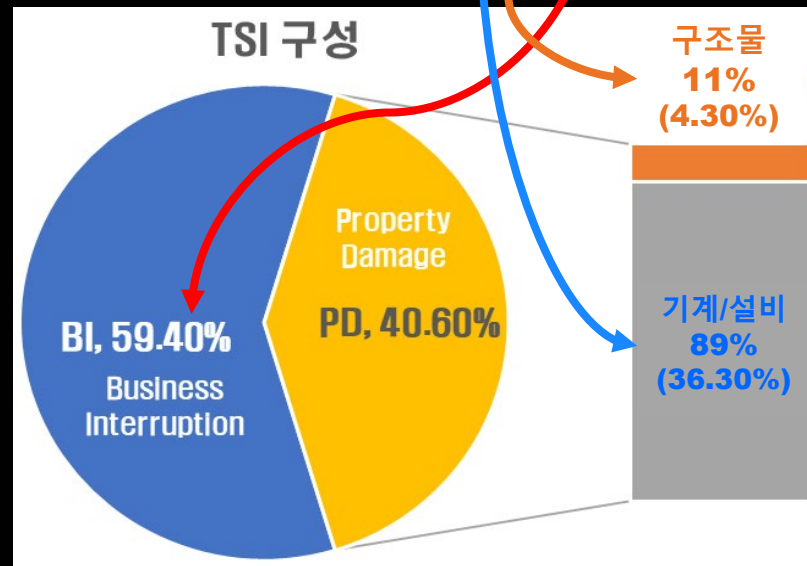
산업시설의 지진피해 특징

- 연쇄적 피해: 1차(직접적), 2차(간접적), 3차(사회적)피해
- 1차(직접적)피해: 구조물, 설비 손상
- 2차(간접적)피해: 생산활동 중단, 화재, 폭발 등
- 3차(사회적)피해: 유해물질 누출, 정전 등
- 3차(사회적)피해는 장기간의 피해 복구시간과 비용 소요
- 구조손상 뿐만 아니라
- 설비 작동 중지로 인한 피해가 상당히 큼

산업시설 피해 사례

■ 산업시설 지진피해 분석

- 연쇄적: 1차피해(구조물 & 설비) → 2차피해(Business Interruption) → 3차피해(지역사회 피해)
- 피해규모: 구조물 < 설비 < Business Interruption < 지역사회 피해



산업시설의 지진피해 비중 사례(삼성화재기업연구소 최혁주박사)



Business Interruption:
Cleanroom 오염 시 가동중단



설비 피해:
반도체 고가설비 대당 약 2000억원



지역사회 피해: 서산 케미칼공장 폭발 주변 민가 피해 (2020.03.04)

산업시설 설계의 개선 필요성

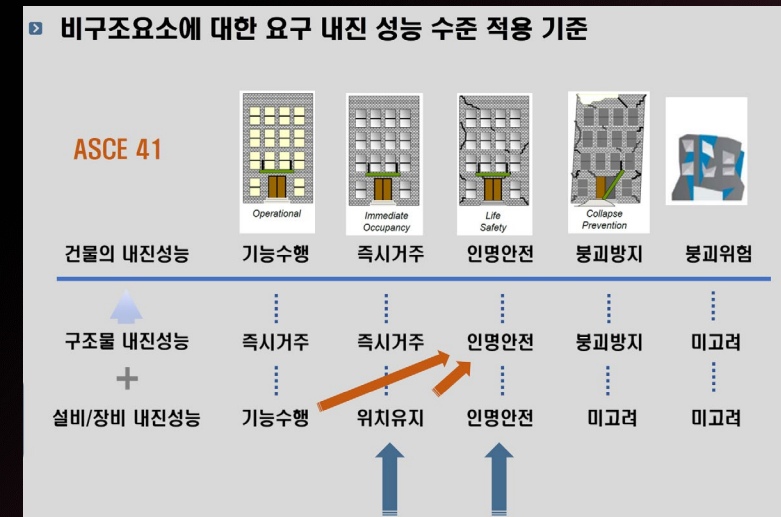
산업시설 설계의 문제점

산업시설 설계의 현황

산업시설 설계의 개선 필요성

■ 사업주의 설계 목적 vs 엔지니어의 설계 목적

- 사업주: 구조적 안전성을 확보하는 것은 당연하고, 더 나아가 **운영 지속성**을 확보하도록 요구
- 설계 엔지니어: **구조안전**을 위한 설계
- 엔지니어의 설계 목표를 달성하더라도 **운영 지속성 확보를 못하면 사업주의 요구를 만족시키지 못함**
- **기존 국내 기준들은 운영 지속성 고려 못함**
- **관련 해외 기준들 역시 마찬가지**



산업시설 설계의 개선 필요성

■ NEHRP에서도 인프라 운영 지속성 강조

- 해외에서도 라이프라인과 같은 **인프라의 운영지속성**을 중요하게 인지하고 있음.
- National Institute of Standards and Technology (NIST)와 Federal Emergency Management Agency (FEMA)가 NEHRP의 개선방향을 제시함



주로 생명 안전에 중점을 둔 현재의 설계에서 "즉시 재입주" 및 "기능복구"라는 추가 목표로 **라이프라인과 같은 인프라의 운영지속성을 확보하기 위한 설계의 개선**

방향을 제시

인프라 설계뿐만 아니라 건축법의 초점은 오랫동안 대형 재해 발생 시 심각한 부상이나 사망을 방지하기 위한 생명 안전에 관한 것이었다고 캘리포니아주 캐니언 레이크의 컨설팅 구조 엔지니어 인 크리스 폴란드(Chris Poland)는 말합니다. 보고서의 기술 패널. 그는 또한 "재점유 및 기능 복구는 또 다른 목표를 추가합니다. 건물을 다시 점유하거나 다리를 다시 열거나 다른 인프라를 다시 사용하기 전에 필요한 시간을 결정하는 것입니다."

인프라 노력 그러나 건물이 재해 후 단순히 재점유되는 것만으로는 충분하지 않습니다. 기능적으로 복구되면 건물이 지진이나 기타 재난 이전과 동일한 서비스에 액세스할 수 있어야 합니다. "전기, 상하수도 또는 통신 시스템이 없는 경우 내 건물이 '일할 준비가 되어 있는지'에 대해 누가 신경을 쓰나요?" 서비스"는 엔지니어가 인프라 설계 중에 고려해야 하는 기능 복구의 중요한 측면입니다."

산업시설 설계의 개선 필요성

■ 국내 어떤 설계기준을 따라야 하나?

- 산업시설 특화된 기준 없음
- 건축구조기준을 따름? → 문제점 발생!!!
- 문제점: **산업시설 특성(운영지속성) 고려 못함**
 - ✓ 산업시설에 특화된 하중 고려 미비
 - ✓ 설비-구조물 주종관계 고려 미비
 - ✓ 기능연계된 공정 유지 고려 미비

“건축법령의 각종 기술기준은 일반 건축물을 주대상으로 작성된 것으로 플랜트(산업시설) 특성을 반영하지 못하고 있음” (플랜트산업 고도화를 위한 플랜트 안전 통합관리 패키지 구축 사업 기획 최종보고서, 국토교통부/국토교통과학기술진흥원, 2020.04)

3.1 중요도(특) KDS 41-10-05:2019

(1) 연면적 1,000 m² 이상인 위험
(2) 연면적 1,000 m² 이상인 국가
국·전신전화국
(3) 종합병원, 수술시설이나 응급
(4) 지진과 태풍 또는 다른 비상사

<표 0306.4.1> 내진등급과 중요도계수 **KBC 2016**

건축물의 중요도	내진등급	중요도계수(J_B)
중요도(특)	특	1.5
중요도(1)	I	1.2
중요도(2), (3)	II	1.0

3.2 중요도(1)

(1) 연면적 1,000 m² 미만인
(2) 연면적 1,000 m² 미만인
국·전신전화국
(3) 연면적 5,000 m² 이상인
(화물터미널과 집배송기
(4) 아동관련시설·노인복
(5) 5층 이상인 숙박시설·
(6) 학교

3.3 중요도(2)

(1) 중요도(특), (1), (3)에

3.4 중요도(3)

(1) 농업시설물, 소규모창고
(2) 가설구조물

<표 0306.10.2> 기계 및 전기 비구조요소 설계계수 **KBC 2016**

기계 및 전기 비구조요소 또는 부재	중복계수	반응수정계수 R_p
1. 일반 기계		
a. 보일러 및 단방기계실	1.0	2.5
b. 뒷개 있는 자립형 압력용기	2.5	2.5
c. 수직 배기구	2.5	2.5
d. 캔틸레버 골뚝	2.5	2.5
e. 기타	1.0	2.5
2. 제조 및 처리 기계류		
a. 일반	1.0	2.5
b. 운반기(승용 제외)	2.5	2.5
3. 배관시스템		
a. 대변형이 가능한 부재 및 부작물	1.0	3.5
b. 변형이 제한된 부재 및 부작물	1.0	2.5
c. 변형성능이 낮은 재료 및 부작물	1.0	1.25
4. HVAC시스템 장비		
a. 진동격리된 경우	2.5	2.5
b. 진동격리되지 않은 경우	1.0	2.5
c. 덕트와 함께 붙어서 설치된 경우	1.0	2.5
d. 기타	1.0	2.5
5. 승강기 비구조요소	1.0	2.5
6. 이동계단 비구조요소	1.0	2.5
7. 트러스로 지지된 탑(자립형 또는 케이블로 지지된 경우)	2.5	2.5
8. 일반 전기		
a. 분산된 시스템(모선덕트, 배선, 케이블선반)	1.0	3.5

산업시설 설계의 개선 필요성

산업시설에 특화된 하중 고려 미비

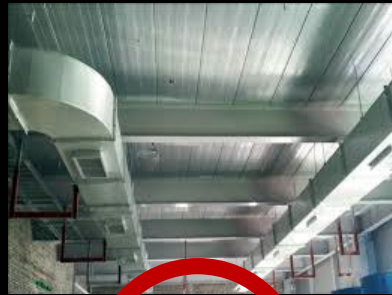
분야	대상시설	설계기준	문제점
플랜트	지역난방시설 댐	KDS 31 90 25 산업환경설비 지역난방시설 설계 KDS 41 00 00 건축구조기준 KDS 54 00 00 댐 설계기준	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 설계기준에는 구조기준이 아예 없거나, 설계하중, 하중조합, 구조설계법에 대한 내용이 명시되지 않음. • 건축구조기준: 비구조요소의 경우, 지진하중이 포함된 하중조합만을 제시하고 있음. • 설비에 특화된 하중(반력하중, 온도하중, 크레인하중 등)이 고려되지 못함.
가스	가스설비	KDS 31 50 05 가스설비설계기준	
환경	생활폐기물 하천 상하수도	KDS 31 90 45 산업환경설비 생활폐기물 이송관로 및 집하시설 설계 KDS 51 00 00 하천 설계기준 KDS 57 00 00 상수도 설계기준 KDS 61 00 00 하수도 설계기준	
석유	석유가스설비 석유비축/송유관	없음	
화학	폐기물 처리시설	KDS 61 50 00 수처리시설 설계기준 KDS 61 55 00 찌꺼기(슬러지) 처리시설 설계기준 KDS 61 60 00 분뇨처리시설 설계기준	

산업시설 설계의 개선 필요성

설비-구조물 주종관계 고려 미비

- 기존의 **국내 내진설계기준은 구조물이 '主', 설비가 '從'**.
 - 설비의 **공정유지**를 위한 **설계불가능**
- 산업시설은 **공정유지**를 위해 **설비가 '主', 구조물이 '從'**
 - 산업시설의 **인명피해**와 **재산피해**를 **최소화**하는 것을 목표
 - **구조안전성** 및 **공정유지**를 위한 **목적**으로 **구조설계** 및 **내진설계**가 가능
 - **공정유지**를 고려한 **"내진성능목표"** 설정

건물의 공조설비



떨어져서 사람이 다치지
않게 설계

발전소의 대형 터빈설비



떨어져서 사람이 다치지
않게 설계?

공정을 유지하게 또는 즉시
복구하도록 설계

산업시설 설계의 개선 필요성

설비-구조물 주종관계 고려 미비

■ 건물과 발전소의 비교



건물	vs	발전소
민간시설	유형	기반시설
지붕+기둥+벽	구조형식	지붕+기둥+벽
주거용 & 사무용	용도	발전용 (공정 유지 중요)
인명보호	내진성능수준	탄성유지, 즉시복구, 장기복구, 붕괴방지
연면적	중요도	플랜트 안전성 및 운전성에 미치는 영향
건물(구조물) 주, 설비 従	主従	설비 주, 수용구조물 従

산업시설 설계의 개선 필요성

기능연계된 공정 유지 고려 미비

분야	대상시설	설계기준	문제점
플랜트	발전용 수력·화력설비, 송전·배전·변전설비	전기설비 기술기준 송변전설비 내진설계 지침	<ul style="list-style-type: none"> • 기능 연계된 공정 유지 고려 미비 • 설비가 '主'이고 구조물이 '從'이어야 함. • 설비의 구조적 특성과 운전성유지를 고려한 내진성능목표 및 설계법 등이 정립되어야 함
	다목적댐	댐 설계기준	<ul style="list-style-type: none"> • 기능 연계된 공정 유지 고려 미비 • 설비가 '主'이고 구조물이 '從'이어야 함.
가스	가스공급시설, 고압가스저장소, 액화석유가스 저장시설	가스시설 내진설계 기준 가스배관 내진설계 기준	<ul style="list-style-type: none"> • 기능 연계된 공정 유지 고려 미비 • 설비가 '主'이고 구조물이 '從'이어야 함. • 배관의 본체 부재, 지지대 등에 대한 구체적인 내진설계기준 제시 필요 • 배관의 경우 지진 시 지반의 영구변형에 의한 배관 안전성 추가 필요
	압력용기	위험기계·기구 의무안전 인증고시	<ul style="list-style-type: none"> • 기능 연계된 공정 유지 고려 미비 • 설비가 '主'이고 구조물이 '從'이어야 함. • 구체적인 내진설계기준 제시 필요

산업시설 설계의 개선 필요성

기능연계된 공정 유지 고려 미비

분야	대상시설	설계기준	차별성
환경	폐기물매립시설	폐기물 매립시설 내진설계기준	<ul style="list-style-type: none"> 저장시설의 경우 가스시설 내진설계 기준을 따르므로 가스시설과 동일
	공공하수처리시설	하수도시설기준	<ul style="list-style-type: none"> 기능 연계된 공정 유지 고려 미비 설비가 '主'이고 구조물이 '從'이어야 함. 구체적인 내진설계기준 제시 필요
	산업단지 공공폐수처리시설	폐수종말처리시설 설치 및 운영관리지침	<ul style="list-style-type: none"> 하수도 시설기준 준용하므로 '상동'
	수도시설	상수도시설기준	<ul style="list-style-type: none"> 기능 연계된 공정 유지 고려 미비 설비가 '主'이고 구조물이 '從'이어야 함. 구체적인 내진설계기준 제시 필요
	농업생산기반시설	농업용 필댐 설계	<ul style="list-style-type: none"> 기능 연계된 공정 유지 고려 미비 설비가 '主'이고 구조물이 '從'이어야 함. 구체적인 내진설계기준 제시 필요
	배수갑문	해면간척 방조제 설계	

산업시설 설계의 개선 필요성

기능연계된 공정 유지 고려 미비

분야	대상시설	설계기준	차별성
환경	압력용기	위험기계·기구 의무안전 인증고시	<ul style="list-style-type: none"> • 기능 연계된 공정 유지 고려 미비 • 설비가 '主'이고 구조물이 '從'이어야 함. • 구체적인 내진설계기준 제시 필요
	송유관	송유관설치공사의 내진 설계기술기준	
	석유정제·비축 및 저장시설	API 650	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 설계사의 질적 향상을 위해 API650을 참고하여 국내 실정에 맞는 내진설계기준 제정 필요
화학	가스, 석유, 환경 참조		<ul style="list-style-type: none"> • 독성물질을 다루는 시설의 경우 그 특성에 맞도록 일반적인 플랜트보다 더욱 강화된 설계기준의 제정 필요

- 산업시설의 구조안전성 뿐만 아니라
- 기능연계된 공정을 유지하기 위해
- 설비가 '主' & 수용구조물 '從'으로 취급하고
- 산업시설에 특화된 하중을 고려한 설계기준 수립 필요

설계기준안

설계목적

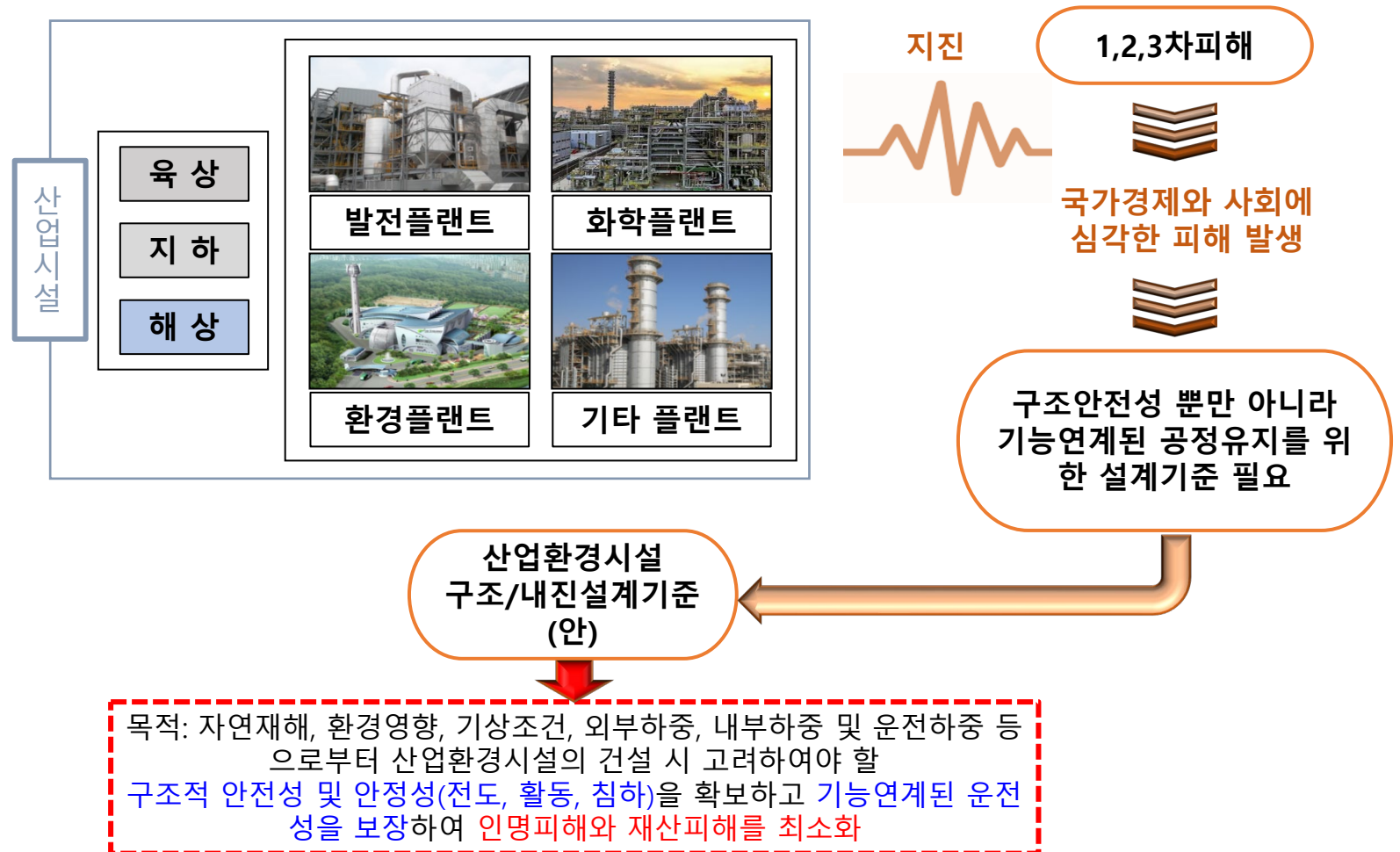
구조설계기준

내진설계기준

내진성능목표 설정 예제

설계기준안

설계목적

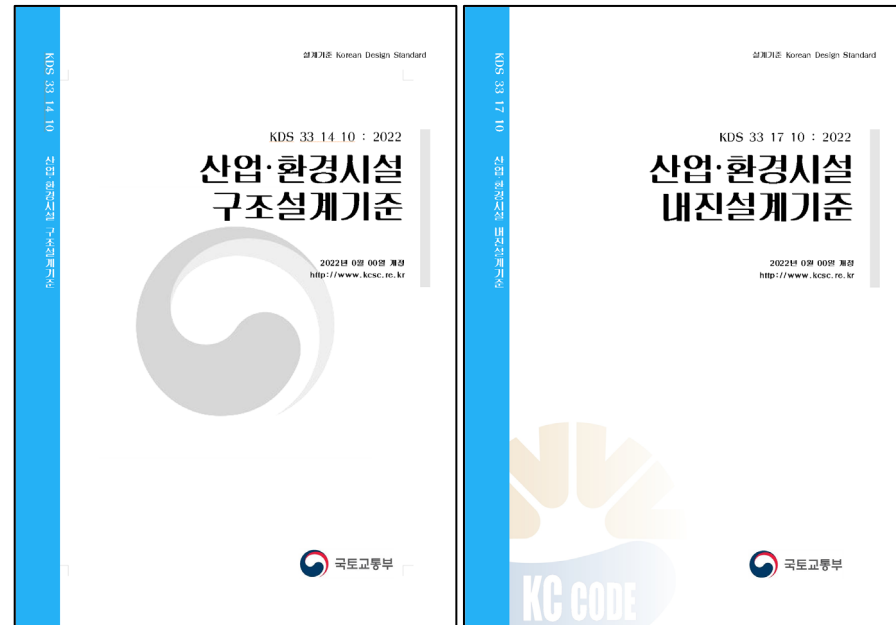


설계기준안

구조설계기준

■ 적용범위 !!!

- 1) 이 기준은 **산업환경설비공사의 구조물, 지지구조, 정착부 및 기초의 설계에 적용하며, 설비 자체 및 부속설비 자체는 적용범위에서 제외한다.** 단, **관계법령에 따라 구조설계기준 및 내진설계기준이 구비되어 있는 경우, 그들에 따른다.**
- 2) **기능연계된 공정이 중요한 산업환경시설의 특성**을 고려하기 위해 이 기준을 적용한다.



설계기준안

구조설계기준

고려하중

- 일반 하중

- ✓ 기본하중: 고정하중, 활하중, 지붕활하중
- ✓ 토압하중(흙과 액체), 유체하중(유체 자중 및 압력)

- 환경 하중

- ✓ 자연환경에 의한 하중: **지진하중**, **풍하중**, 강우하중, 적설하중

- 운전 하중

- ✓ 진동 및 충격 등 추가적인 **동적하중** 효과
- ✓ 구조물 내부의 온도에 의해서 구조재료가 수축팽창함에 따라 발생하는 **온도하중**
- ✓ 크레인 자체 및 중량물, 작동시 충격 등에 의한 **크레인하중**
- ✓ 설비의 하중은 지지 구조물에 의해 전달되어 하부 또는 수용구조물에 작용하므로 **반력하중**으로 통칭

- 풍하중과 적설하중의 정의에, KDS 41 12 00의 5장과 4장을 명시함
- 단, 산업시설 특성을 고려한 성능기반설계를 위해 **풍하중의 중요도계수는 사용하지 않음.**

설계기준안

구조설계기준

하중조합

- Specification for Safety-Related Steel Structures for Nuclear Facilities (**AISC N690-18**)
- Code Requirements for Nuclear Safety-Related Concrete Structures (**ACI 349-13**) and Commentary
- 원자력시설에서 고려하는 하중은 대부분 산업시설에도 적용 가능.
- 단, 현실성을 고려하여 고려하기 매우 까다롭거나 발생 가능성이 낮은 하중은 제외 필요

하중종류	기호	정의	
고정하중	D	구조물의 존치기간 중 지속적으로 작용하는 연직하중	
유체하중	F	밀도가 정의되고 최대 높이가 조절이 가능한 유체의 자중과 압력에 의한 하중	
토압하중	H	토질 속 흙과 물(또는 다른 재료 속 재료와 함유액체)의 자중과 압력에 의한 하중	
활하중	L	시설물을 점유/사용함으로써 발생하는 인원 및 시설 등에 의한 하중	
지붕활하중	L_r	지붕 유지/보수 작업 시 발생하는 하중 또는 소형 장식물에 의한 하중	
적설하중	S	쌓인 눈의 중량에 의한 하중	
강우하중	R	빗물의 중량에 의한 하중	
운전하중	반력하중	R_o	자중 및 지진 반력을 제외하고, 보통의 작동 및 정지 조건에서 발생하는 파이프와 설비의 반력
	온도하중	T_o	일반적인 작동 및 정지 조건에서 요소 및 구조물 내외부에 발생하는 온도분포에 의한 하중
지진하중	크레인재하용량	C_{cr}	크레인 자중을 제외한 크레인 정격인양하중
	심각지진하중	E_1	심각지진 발생 시 산업시설의 구성요소에 작용하는 지진하중 및 효과
풍하중	극단지진하중	E_2	극단지진 발생 시 산업시설의 구성요소에 작용하는 지진하중 및 효과
	풍하중	W	설계풍속에 의한 하중

설계기준안

구조설계기준

2단계(심각, 극단) 하중 설정 필요

- 대표적인 중요 산업시설인 원전의 심각환경하중(Severe environmental loads)과 극단환경하중(Extreme environmental loads) 개념을 도입
 - ✓ '내진설계 일반'의 2단계(작은 지진, 큰 지진) 설계지진 개념과 유사함.
- 점검에 필요한 하중과 설계에 필요한 하중 구분 필요
 - ✓ 산업시설의 복잡한 설비들에 대해 지진발생 후 운전을 지속하기 위한 inspection 필요 여부를 설정하는 하중 → 심각
 - ✓ 손상에 의한 피해가 최소화되는 설계하중 → 극단
- 산업환경시설의 설계지진 세기를 원전보다 완화하는 것이 타당함
 - ✓ 심각: 탄성거동 이내, 점검불필요
 - ✓ '심각지진': 운영기간 중 발생가능한 빈도인 200년 재현주기 이내로 설정
 - ✓ 극단: 안전성과 운전성에 영향을 미치지 않는 경우 연성거동 허용
 - ✓ '극단지진': 설계하중 개념이므로 500년 재현주기 이상으로 설정

설계기준안

구조설계기준

강도설계법 하중조합

- ASCE 7에 근거하되 ACI 349-13 & AISC N690-18에 따라, 지진과 풍하중은 심각·극단하중 조합에서 고려함.
- 발생가능성 적고 고려하기 어려운 비정상하중은 제외.
- 원전의 SSE(E_S)와 OBE(E_O)를 KDS 17 10 00의 '큰 지진 (E_2)'과 '작은 지진 (E_1)'으로 대체하여 이들을 극단과 심각 하중조합에 각각 적용함. → 일반 산업시설에 맞는 하중수준을 제시함.
- ACI 349 & AISC N690의 E_O , E_S 에 대해 원전의 탄성설계를 목표로 하므로 E_O 의 하중계수를 1.6으로 높여 사용하지만, 산업환경시설에서는 E_1 은 탄성, E_2 는 연성허용으로 한계상태에 차이를 두었기 때문에 E_1 의 하중계수는 1.0으로 설정.
- 2022년 국내 설계풍하중(KDS 41 12 00:2022)의 재현주기가 100년에서 500년으로 변경됨. 이는 극단지진 하중(기본재현주기 500년)과 동일한 재현주기이므로, AISC N690의 극단환경하중에 해당하는 토네이도하중(W_t) 조합을 차용하여 산업환경시설의 풍하중(W) 조합을 정함. 심각환경하중은 50년 재현주기의 풍하중(W_s) 조합을 차용함.

하중	AISC N690 (2018)	산업환경시설 하중조합
정상하중	$1.4(D + F + R_o) + T_o + C$	$1.4(D + R_o + F) + T_o + C$
	$1.2(D + F + R_o) + 1.6(L + H) + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + 1.2T_o + 1.4C$	$1.2(D + R_o + F) + 1.6(L + H) + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + 1.2T_o + 1.4C$
	$1.2(D + F + R_o) + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + 0.8(L + H) + 1.2T_o + 1.4C$	$1.2(D + R_o + F) + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + 0.8(L + H) + 1.2T_o + 1.4C$
심각환경하중	$1.2(D + F + R_o) + 0.8L + 1.6H + 0.2(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + T_o + C + 1.6E_o$	$1.2(D + R_o + F) + 0.8L + 1.6H + 0.2(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + T_o + C + E_1$
	$1.2(D + F + R_o) + 0.8L + 1.6H + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + T_o + C + W$	$1.2(D + R_o + F) + 0.8L + 1.6H + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + T_o + C + 0.65W$
극단환경하중	$D + F + R_o + T_o + H + 0.8L + C + E_s$	$D + R_o + F + T_o + H + 0.8L + C + E_2$
	$D + F + R_o + T_o + H + 0.8L + W_t$	$D + R_o + F + T_o + H + 0.8L + W$
비정상하중	$D + F + 0.8L + C + H + T_a + R_a + 1.2P_a$	-
	$D + F + 0.8L + H + (T_a + R_a + P_a) + (Y_r + Y_j + Y_m) + 0.7E_s$	-

설계기준안

구조설계기준

허용응력설계법 하중조합

- ANSI-AISC N690-18에서, 강도설계법과 동일하게 **심각·극단하중을 구분**.
- 발생가능성 적고 고려하기 어려운 비정상하중은 제외**.
- ASCE 7-16과 일관되도록, **지진하중에는 하중계수 0.7을 적용**
- ASCE 7-16과 일관되도록, **극단풍하중에는 하중계수 0.6을 사용. 심각풍하중에는 0.75를 추가 적용**
- 고정하중을 작게 고려하는 경우가 위험한 경우, 고정하중에 0.6을 곱함

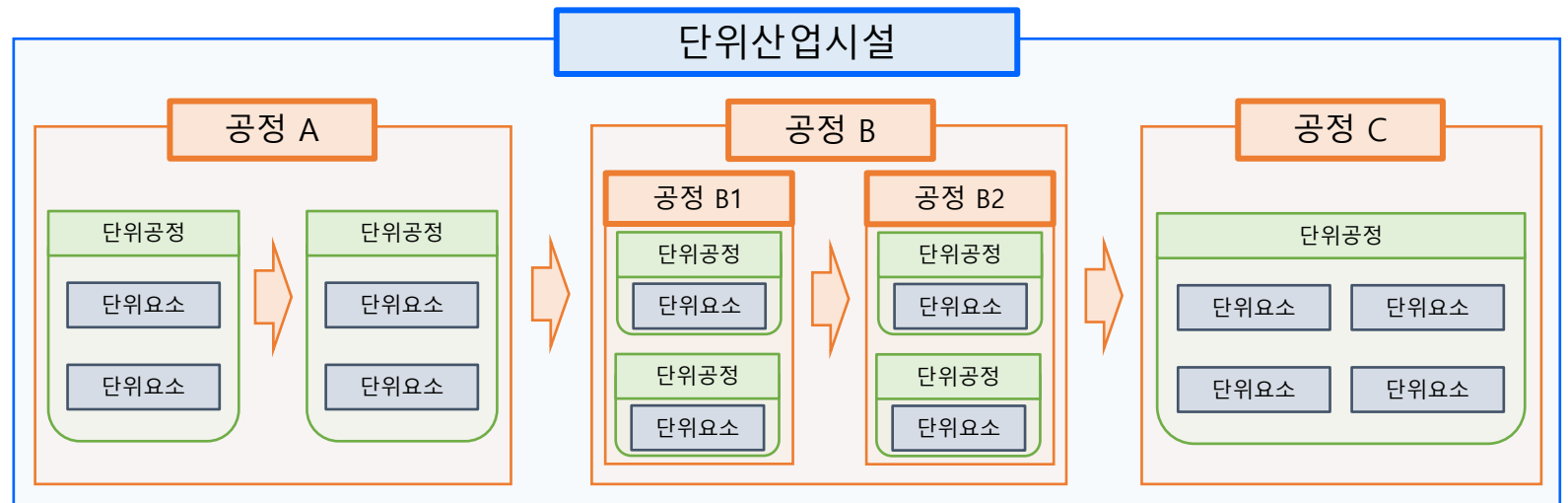
하중	ANSI-AISC N690 (2018)	산업환경시설 하중조합(안)
정상하중	$D + L + R_o + F + H + T_o + C$	$D + F + R_o + L + H + T_o + C$
	$D + (L_r \text{ or } S \text{ or } R) + R_o + F + H + T_o + C$	$D + F + R_o + (L_r \text{ or } S \text{ or } R) + H + T_o + C$
	$D + F + 0.75L + 0.75H + 0.75(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + T_o + C$	$D + F + 0.75L + 0.75H + 0.75(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + T_o + C$
심각환경하중	$D + R_o + F + 0.75(L + H) + C + 0.75(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + T_o + E_o$	$D + F + R_o + 0.75(L + H) + C + 0.75(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + T_o + 0.7E_1$
	$D + R_o + F + 0.75(L + H) + C + 0.75(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + T_o + 0.6W$	$D + R_o + F + 0.75(L + H) + C + 0.75(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + T_o + 0.75(0.6W)$
극단환경하중	$D + F + L + H + C + R_o + T_o + E_{ss}$	$D + F + L + H + C + R_o + T_o + 0.7E_2$
	$D + F + L + H + R_o + T_o + W_t$	$D + L + R_o + T_o + F + H + 0.6W$
비정상하중	$D + L + C + P_a + R_a + T_a + F + H$	-
	$D + L + P_a + R_a + T_a + Y_r + Y_j + Y_m + 0.7E_{ss} + F + H$	-

설계기준안

내진설계기준

용어 정의

- **단위산업시설**: 산업 제품을 생산하기 위한 여러 공정이 조합된 사업장. 내진설계 용역의 발주 대상이 되는 사업장으로 **관리주체가 결정**
- **운전성**: 산업시설이 건설 목적에 따라 부여된 **본래의 기능을 발휘하면서 작동을 유지하는 성능**
- **공정**: 제품생산을 위해 거쳐야 하는 계층화된 **여러 작업절차**
- **단위공정**: 계층화된 공정을 구성하는 **최하위 단계의 공정**
- **단위요소**: 단위공정을 구성하는 **설비 또는 구조물로서 내진설계의 대상**



설계기준안

내진설계기준

단위공정 내진등급

- **단위산업시설 중요도:** 인명피해 & 재산피해 고려
- **단위공정 중요도:** 단위공정이 단위산업시설의 구조안전성 및 운전지속성에 미치는 영향 고려
- 단위산업시설 중요도 & 단위공정 중요도 조합 → **단위공정 내진등급 (특, I, II, 비내진)** → **설계지진**

인명피해 (취급물질)	재산피해	단위산업시설 중요도
대 (독성물질)	대	핵심 (‘대’ 하나이상)
	중	
	소	
중 (인화/폭발 물질)	대	핵심
	중	중요 (‘중’ 하나이상)
	소	
소 (일반물질)	대	핵심
	중	중요
	소	일반

단위산업시설의 구조안전성 및 운전지속성에 미치는 영향	단위공정 중요도
직접 영향을 미치거나 상당한 영향을 미치는 경우 또는 단위공정 내에 독성·인화·폭발 물질이 포함되는 경우	주공정
간접 영향을 미치는 경우	부공정
영향을 미치지 않는 경우	보조공정

구분	단위산업시설 중요도		
	핵심시설	중요시설	일반시설
주공정	내진특등급	내진등급	내진등급
부공정	내진등급	내진등급	내진등급
보조공정	비내진대상		

설계기준안

내진설계기준

단위산업시설 중요도: 인명피해와 재산피해 규모에 따라 '핵심/중요/일반' 시설로 구분

인명피해 (취급물질)	재산피해	단위산업시설중요도
대 (독성물질)	대	핵심 (‘대’ 하나이상)
	중	
	소	
중 (인화/폭발 물질)	대	핵심
	중	중요 (‘중’ 하나이상)
	소	
소 (일반물질)	대	핵심
	중	중요
	소	일반

● 인명피해(취급물질) 분류

- ✓ 대: 독성물질 (산업안전보건법, 고압가스안전관리법, 화학물질관리법에 의한 독성물질 및 독성가스)
- ✓ 중: 인화성, 폭발성 물질 (산업안전보건법, 위험물질관리법에 의한 관련물질)
- ✓ 소: 그 외 일반물질

● 재산피해 분류

- ✓ 대: 일반 대중의 재산에 상당한 피해가 발생하거나 관련 산업 전반에 악영향을 미침
- ✓ 중: 시설물 소유주의 재산에 심각한 피해가 발생하고 관련 산업 전반에 제한적인 악영향을 미침
- ✓ 소: 시설물 소유주의 재산에 경미한 피해가 발생하고 관련 산업 전반에 악영향 없음
- ✓ 참고자료: 매출규모, 관리주체의 의견 수렴, 위험도평가 또는 복원력평가 결과

설계기준안

내진설계기준

단위공정 중요도: 단위공정이 단위산업시설에 미치는 영향에 따라 '주/부/보조'로 구분

- 공정의 흐름도 및 배관/계장도면(Piping & Instrument Diagram, P&ID)을 이용한 **재해와 운전 분석**(Hazard and Operability Studies, **HAZOP**) 기법을 적용한 **공정위험성평가 결과 활용**(한국산업안전보건공단)
- 참고자료 HAZOP**: 위험의 발생 **빈도(가능성)**와 **강도(중대성)**를 고려하여 **위험등급(1~5) 결정**
- 기타 자료**: 단위산업시설의 **위험도평가 또는 복원력평가 결과(인명 및 재산피해) 중 단위공정의 민감도를 토대로 단위공정 중요도 설정 가능**

HAZOP				산업환경시설 내진설계기준	
위험등급		위험관리 기준	비 고	단위공정 중요도	단위산업시설의 안전성 및 운전성에 미치는 영향
1	무시할 수 있는 위험	현재의 안전대책 유지	위험작업 수용	보조공정	영향을 미치지 않는 경우
2	경미한 위험	안전정보 및 주기적 표준작업안전교육의 제공이 필요한 위험		부공정	간접 영향을 미치는 경우
3	상당한 위험	계획된 정비/보수 기간에 안전대책을 세워야 하는 위험	조건부 위험작업 수용	부공정	
4	중대한 위험	긴급 임시안전대책을 세운 후 작업을 하되 계획된 정비/보수기간에 안전대책을 세워야 하는 위험		주공정	직접 영향을 미치거나 상당한 영향을 미치는 경우, 또는 단위공정 내에 독성·가연·인화물질이 포함되는 경우
6	허용불가 위험	즉시 작업중단	위험작업 불허	주공정	

설계기준안

내진설계기준

단위요소의 설계지진: **단위공정 내진등급**으로 결정

- 단위공정을 구성하는 **단위요소**는 **단위공정의 내진등급을 따름**
- **심각지진**: 평균재현주기 50/100/200년 → 발생 확률이 비교적 크지만 **지반운동 세기가 작은 지진**
- **극단지진**: 평균재현주기 500/1,000/2,400/4,800년 → 발생확률 매우 작지만 **지반운동 세기가 큰 지진**

구분		단위산업시설 중요도			내진등급	설계지진	평균재현주기
		핵심시설	중요시설	일반시설			
단위 공정 중요도	주공정	내진특등급	내진등급	내진II등급	내진 II등급	심각지진	50년
	부공정	내진등급	내진II등급	내진III등급		극단지진	500년
	보조공정	비내진대상			내진 I등급	심각지진	100년
				극단지진		1,000년	
					내진 특등급	심각지진	200년
						극단지진	2,400년

설계기준안

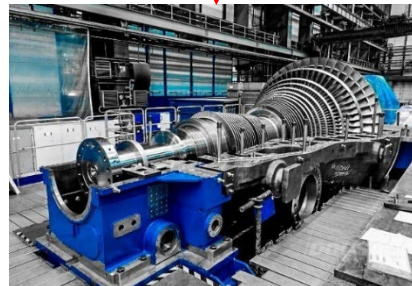
내진설계기준

내진성능수준: 탄성유지(舊 기능수행), 즉시복구, 장기복구, 붕괴방지

- 내진설계전문가와 설비전문가의 협의를 통해 ...
- 설비의 운전성이 확보되도록 내진성능수준 결정 !!!

※ 舊 "기능수행"은 손상이 미미함을 의미하는 것이지만 설비의 작동수행을 의미하는 것으로 혼동될 수 있으므로, 이 용어를 "탄성유지"로 변경함(ASCE 43 참고)

내진성능수준	손상정도	복구기간	거동특성 예시
탄성유지	손상 없음	복구 또는 수리가 필요 없음	변형 민감 기기, 회전기기 고온·저온기기, 고압·저압기기
즉시복구	약간의 손상	단기간의 복구 또는 수리 필요	약간의 변형(또는 손상)에도 운전 가능 기기, 우회 운전 불가능 기기
장기복구	상당한 손상	우회 운전용 임시 설비 구축 후 장기간의 복구 또는 수리 필요	상당한 변형(또는 손상)에도 운전 가능 기기, 우회 운전 가능 기기
붕괴방지	큰 손상, 붕괴임박	우회 운전용 임시 설비 구축 후 전면적 교체 필요	큰 변형(또는 손상)에도 운전 가능 기기



설계기준안

내진설계기준

ASCE 43-05: Seismic Design Criteria for Structures, Systems, and Components in Nuclear Facilities

- 원전시설은 내진성능수준을 탄성에서 소성변형의 손상정도로 표현함. 전력시설도 동일하게 정의함.
- 이는 일반구조물에 대한 ASCE 7 기준에도 동일하게 적용하는 개념임.
- ASCE 7을 참고하여 "내진설계 일반(KDS 17 10 00)"에서 사용되고 있는 "기능수행, 즉시복구, 장기복구, 붕괴방지" 용어는 원래 구조물의 손상정도를 표현하는 용어임. 즉, ASCE 7의 기능수행은

	Target Performance Goal(Pf)	Limit State				Essentially Elastic	Criteria	Structure
		Large Permanent Distortion (Short of Collapse)	Moderate Permanent Distortion	Limited Permanent Distortion				
SDC 1	-	SDB-1A	SDB-1B	SDB-1C	SDB-1D	ASCE 7 (or N/A)	General Structure	
SDC 2	-	SDB-2A	SDB-2B	SDB-2C	SDB-2D			
SDC 3	1×10^{-4}	SDB-3A	SDB-3B	SDB-3C	SDB-3D	ASCE 43	NPP Structure	
SDC 4	4×10^{-5}	SDB-4A	SDB-4B	SDB-4C	SDB-4D			
SDC 5	1×10^{-5}	SDB-5A	SDB-5B	SDB-5C	SDB-5D			

설계기준안

내진설계기준

내진성능목표: 설계지진에 대한 단위요소의 내진성능수준으로 정의

다음 두 개의 내진성능목표를 동시에 만족해야 함

- 내진성능목표 1: 심각지진에 대해 단위요소는 탄성유지수준을 만족
- 내진성능목표 2: 극단지진에 대해서는 단위요소의 구조안전성 및 운전지속성 확보가 가능하도록 탄성유지 또는 붕괴방지수준 중 하나를 선택하여 만족

극단지진에 대해 탄성유지수준으로 구조안전성 및 운전지

설계 지진	평균 재현주기	속성 확보 내진성능수준			
		탄성유지	즉시복구	장기복구	붕괴방지
심각 지진	50년	내진II등급			
	100년	내진등급			
	200년	내진특등급			
극단 지진	500년	내진II등급			
	1,000년	내진등급			
	2,400년	내진특등급			

극단지진에 대해 붕괴방지수준으로 구조안전성 및 운전지

설계 지진	평균 재현주기	속성 확보 내진성능수준			
		탄성유지	즉시복구	장기복구	붕괴방지
심각 지진	50년	내진II등급			
	100년	내진등급			
	200년	내진특등급			
극단 지진	500년				내진II등급
	1,000년				내진등급
	2,400년				내진특등급

설계기준안

내진설계기준

시설 유형별 내진설계기준 제시

❖ 사일로, 저장탱크, 파이프랙, 압력용기, 수용구조물, 타워 및 굴 뚝, 플랫폼

- 응답수정계수(반응수정계수) R 제시
- 내진상세 제시(관련 콘크리트구조 또는 강구조 설계기준 인용)

❖ 매설배관

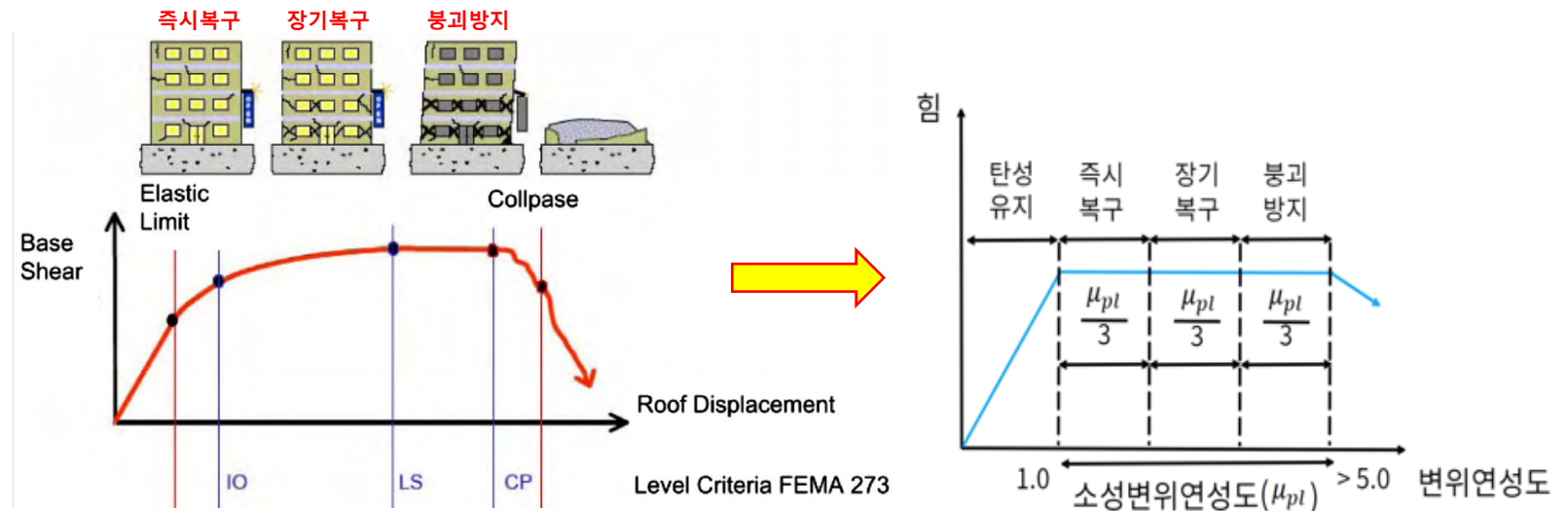
- 구체적인 변형률 검증 방법 제시
- 허용변형률 제시

설계기준안

내진설계기준

현재 진행중인 관련 연구과제: “시설물 안전 기반 플랜트 통합위험관리 패키지 기술개발”

- 주관기관: 한국건설기술연구원
- 연구내용: 플랜트 시설물 내진성능 확보를 위한 내진설계지침 마련
- 본 “산업환경시설 구조설계기준 및 내진설계기준”과 연계하여,
- 플랜트의 운전지속성을 확보하기 위한 성능기반 내진설계방법을 구축하고 있음.



설계기준안

내진성능목표 설정 예제

대상 단위산업시설: 석유화학플랜트에 있는 인화성 가스인 메탄(CH_4)정제 공정

단위산업시설 중요도 결정을 위한 인명피해와 재산피해 규모(대/중/소) 분류

- 인명피해: 독성물질은 '대', 인화/폭발물질은 '중', 일반물질은 '소'
- 재산피해: 매출규모를 기준으로 분류, 1,000억원 이상 '대', 1,000억원 미만 '중', 100억원 미만 '소'로 가정함
 - ✓ 해당 분야 매출규모 통계자료를 활용한다면, 재산피해 규모를 더욱 현실적으로 설정 가능
 - ✓ 자료가 부족한 경우, 관리주체와 논의하여 재산피해 규모 결정

단위산업시설의 재산피해 및 인명피해 규모 분류

구분	인명피해	재산피해
대	독성물질	1,000억원 이상
중	인화/폭발물질	100억원 이상 ~ 1,000억원 미만
소	일반물질	100억원 미만



메탄(CH_4)정제 공정

설계기준안

내진성능목표 설정 예제

대상 단위산업시설: 석유화학플랜트에 있는 인화성 가스인 메탄(CH_4)정제 공정

- 2022년 5월 19일 울산 울주군에 위치한 온산공장 사고사례에 준하는 피해가 발생한 것으로 가정
- 인명피해 규모(인화/폭발물질) '중' & 재산피해 규모(5,762억원) '대' → 단위산업시설 중요도 '핵심시설'
- 메탄(CH_4)정제 공정의 검토구간(Node No.)을 각각 하나의 단위공정으로 가정
- 단위공정별 설비 목록 및 공정위험도평가(HAZOP) 결과(한국산업안전보건공단)로 얻어진 위험등급으로

단위공정 중요도 결정

단위공정별 설비목록과 위험등급 및 단위공정 중요도

Node NO. (단위공정)	P&ID NO.	설비목록	위험 등급	단위공정 중요도
1	D20-2	펌프	2	부공정
2	D20-2	탱크	2	부공정
3	D20-2	배관, 탱크, 펌프	2	부공정
4	D20-2	배관, 펌프	2	부공정
5	D20-2	배관	1	보조공정
6	D30-2	배관	2	부공정
7	D30-2	배관, 펌프	1	보조공정
8	D30-2	배관, 펌프	2	부공정
9	D30-2	배관, 펌프	2	부공정
10	D30-2	리액터, 펌프	2	부공정



2022년 5월 19일 울산 울주군 온산공장 사고

설계기준안

내진성능목표 설정 예제

대상 단위산업시설: 석유화학플랜트에 있는 인화성 가스인 메탄(CH₄)정제 공정

❖ 내진등급

- 단위산업시설 중요도 '핵심시설' & 단위공정 중요도 '부공정' → '내진등급'
- 단위산업시설 중요도 '핵심시설' & 단위공정 중요도 '보조공정' → '비내진등급'

❖ 내진등급 별 설계지진

Node NO. (단위공정)	P&ID NO.	단위산업시설 중요도	단위공정 중요도	단위공정의 내진등급	설계지진 평균재현주기
1	D20-2	핵심시설	부공정	내진등급	100년, 1,000년
2	D20-2		부공정	내진등급	
3	D20-2		부공정	내진등급	
4	D20-2		부공정	내진등급	
5	D20-2		보조공정	비내진등급	-
6	D30-2		부공정	내진등급	100년, 1,000년
7	D30-2		보조공정	비내진등급	-
8	D30-2		부공정	내진등급	100년, 1,000년
9	D30-2		부공정	내진등급	
10	D30-2		부공정	내진등급	

설계기준안

내진성능목표 설정 예제

대상 단위산업시설: 석유화학플랜트에 있는 **인화성** 가스인 **메탄(CH₄)정제 공정**

결정된 설계지진에 대하여 단위공정을 구성하는 단위요소가 내진성능수준을 만족하도록 내진설계 수행

- 평균재현주기 100년의 **심각지진**에 대해 **탄성유지수준** 만족
 - **변형에 민감한** 운전성을 갖는 단위요소: **리액터, 펌프** → 평균재현주기 1000년의 **극단지진**에 대해 **탄성유지수준** 만족
 - **변형에 덜 민감함** 운전성을 갖는 단위요소: **배관, 탱크** → 평균재현주기 1000년의 **극단지진**에 대해 **붕괴방지수준** 만족
- 단위요소의 내진성능목표(내진성능수준 & 설계지진)**

Node No. (단위공정)	설비-구조물 (단위요소)	내진성능수준	설계지진
1	펌프	탄성유지	1,000년
2	탱크	붕괴방지	
3	배관	붕괴방지	
	탱크	붕괴방지	
4	펌프	탄성유지	
	배관	붕괴방지	
5	배관	-	-
6	배관	붕괴방지	1,000년
7	배관	-	-
	펌프	-	
8	배관	붕괴방지	1,000년
	펌프	탄성유지	
9	배관	붕괴방지	
	펌프	탄성유지	
10	리액터	탄성유지	
	펌프	탄성유지	

설계 예제를 통한 경제성 검토

대상구조물

경제성 비교

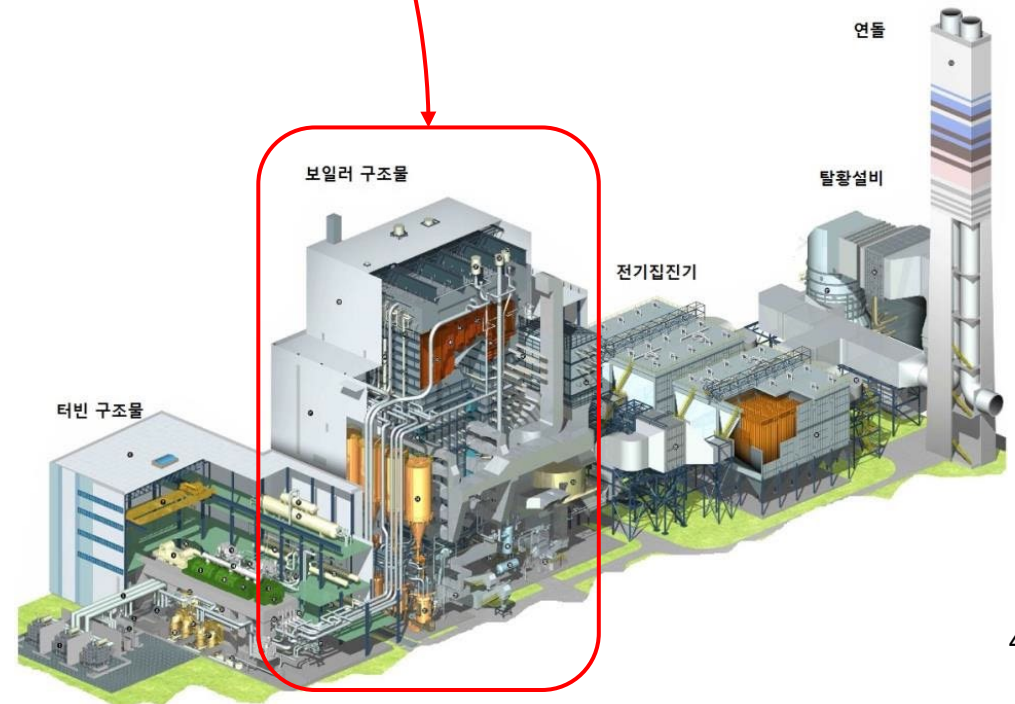
설계 예제를 통한 경제성 검토

대상 구조물

산업환경시설 내진설계기준 vs. 건축물 내진설계기준 비교

대상 구조물: **화력발전소 보일러 구조물**

- 연면적: 연면적 1,000 m² 이상, 발전용량 3 GW 초과
- 구조 형식: 보통모멘트 골조(R=3.5) 철골 구조물 (주공정, 붕괴방지)
- 내부 주요 설비: 점화기 (주공정, 탄성유지)
송풍기 (부공정, 붕괴방지)
- 지진구역계수: I 구역 (Z = 0.11)
- 지반종류: S₃



설계 예제를 통한 경제성 검토

대상 구조물

건축물 내진설계기준

1. 내진등급과 중요도계수 결정(I_E)

건축물의 중요도	내진 등급	내진설계 중요도계수 (I_E)	연면적 기준
중요도(특)	특	1.5	
중요도(1)	I	1.2	
중요도(2), (3)	II	1.0	

2. 성능목표 설정

내진 등급	성능목표		평균재현 주기 (년)	위험도 계수, I
	재현주기	성능수준		
특	2400년	인명보호	50	0.40
	1000년	기능수행	100	0.57
I	2400년	붕괴방지	200	0.73
	1400년	인명보호	500	1.0
II	2400년	붕괴방지	1,000	1.4
	1000년	인명보호	2,400	2.0

3. 설계 계수 설정

- 지진구역계수 $Z = 0.11$ (I 구역)
- 유효지반가속도 $S = Z \times I = 0.11 \times 2.0 = 0.22$

4. 지반증폭계수

지반종류	지진지역		
	$S \leq 0.1$	$S = 0.2$	$S = 0.3$
S_1	1.12	1.12	1.12
S_2	1.4	1.4	1.3
S_3	1.7	1.5	1.3
S_4	1.6	1.4	1.2
S_5	1.8	1.3	1.3

* 위 표에서 S의 중간값에 대하여는 직선보간한다.

- $S = 0.22g$ 이므로 $F_a = 1.46$

5. 단주기 스펙트럼 가속도 S_{DS}

- $S_{DS} = S \times 2.5 \times F_a \times 2/3$
 $= 0.22 \times 2.5 \times 1.46 \times 2/3 = 0.5353(g)$

6. 지진응답계수 C_S

- $C_S = S_{DS} / (R / I_E)$
 $= 0.5353 / (3.5 / 1.5) = 0.229(g)$

설계 예제를 통한 경제성 검토

대상 구조물

산업환경시설 내진설계기준

1. 내진등급과 중요도등급 결정

- 발전용량 3GW 초과 발전소
- 내부 주요 설비 : 점화기 (주공정, 탄성유지), 송풍기 (부공정, 붕괴방지)

재산피해 (사업구역 내 총 설비용량)	단위산업시설의 중요도
대 (3GW 초과)	핵심
중 (20MW 초과 ~ 3GW 이하)	중요
소 (20MW 이하)	일반

단위공정의 중요도	시스템의 기능에 미치는 영향	설비 등급	비고 (KECG)
주공정	인명안전과 관련되거나 지진 후에도 안전을 위하여 작동되어야 하는 설비	1	안전 및 보호계통
	지진 발생 시 위치를 유지하며 전력 생산에 장기적인 지장을 미치지 않도록 작동되거나 손상을 최소화하여야 하는 설비	2	주동력 계통
부공정	지진 발생 시 손상되더라도 전력 생산에 직접적인 영향이 적고, 설비 교체비용 및 수급이 양호하여 설비 교체가 용이하며 전력 생산에 필수설비가 아닌 보조공정의 설비 등	3	보조계통
보조공정	그 외 기타공정	4	기타계통

단위산업시설의 중요도 / 단위공정의 중요도	핵심	중요	일반
	주공정	특	I
부공정	I	II	II
보조공정	비내진		

설계 예제를 통한 경제성 검토

대상 구조물

산업환경시설 내진설계기준

2. 보일러 수용구조물 성능목표 설정

- **주공정 설비 수용**
- 내진성능수준 : **붕괴방지수준 (R = 3.5)**

내진성능수준	손상정도	복구기간	거동특성 예시
탄성유지	손상 없음	복구 또는 수리가 필요 없음	변형 민감 기기, 회전기기, 고온·저온기기, 고압·저압기기
붕괴방지	붕괴임박	멸실 후 재건설	큰 변형에도 운전 가능 기기

설계지진	내진성능수준		탄성 유지	즉시 복구	장기 복구	붕괴 방지
	평균재현주기					
심각지진 (E ₁)	50년		II			
	100년		I			
	200년		특			
극단지진 (E ₂)	500년					II
	1,000년					I
	2,400년					특

- 성능목표 : 2,400년 재현주기 (I = 2.0)

평균재현주기 (년)	50	100	200	500	1,000	2,400
위험도계수, I	0.40	0.57	0.73	1	1.4	2.0

설계 예제를 통한 경제성 검토

대상 구조물

산업환경시설 내진설계기준

3. 설계계수 설정

- 지진구역계수 $Z = 0.11$ (I 구역)
- 유효지반가속도 $S = Z \times I = 0.11 \times 2.0 = 0.22$

4. 지반증폭계수

지반종류	지진지역		
	$S \leq 0.1$	$S = 0.2$	$S = 0.3$
S_1	1.12	1.12	1.12
S_2	1.4	1.4	1.3
S_3	1.7	1.5	1.3
S_4	1.6	1.4	1.2
S_5	1.8	1.3	1.3

* 위 표에서 S의 중간값에 대하여는 직선보간한다.

- $S = 0.22g$ 이므로 $Fa = 1.46$

5. 단주기 스펙트럼 가속도 S_{DS}

- $S_{DS} = S \times 2.5 \times Fa = 0.22 \times 2.5 \times 1.46 = 0.803(g)$

6. 지진응답계수 C_s

- 계통 내 주요기기 중 중요도가 가장 높은 설비
→ 점화기 (주공정, 탄성유지)
- $C_s = S_{DS}/R = 0.803/3.5 = 0.229(g)$

설계 예제를 통한 경제성 검토

경제성 비교

- 대상 구조물: 보일러 **수용구조물** (연면적 1,000 m² 이상, 발전용량 3 GW 초과)
- 구조 형식: 보통모멘트 골조 철골 구조물 (**붕괴방지**, R=3.5)
- 내부주요설비: 점화기(**주공정**), 송풍기(부공정)

항목	건축구조기준 (KDS 41 17 00)	산업환경시설 내진설계기준
중요도	중요도(특)	단위산업시설의 중요도 : 핵심 단위공정의 중요도 : 주공정
내진등급	내진특등급 ($I_E = 1.5$)	내진등급 특
내진성능수준	인명보호수준	붕괴방지구준
응답수정계수	R = 3.5	R = 3.5
재현주기	2,400년 (위험도계수 I = 2.0)	2,400년 (위험도계수 I = 2.0)
유효지반가속도 ($S = Z \times I, g$)	$S = 0.11 \times 2.0 = 0.22$	$S = 0.11 \times 2.0 = 0.22$
지반증폭계수	$F_a = 1.46$	$F_a = 1.46$
탄성응답가속도	$S_{DS} = S \times 2.5 \times F_a \times 2/3 = 0.5353(g)$	$S_a = S \times 2.5 \times F_a = 0.803(g)$
지진응답계수	$C_S = S_{DS} / (R / I_E) = 0.229(g)$	$C_S = S_a / R = 0.229(g)$

→ **수용구조물의 경우 건축구조기준과 동일한 내진성능목표를 가짐**

설계 예제를 통한 경제성 검토

경제성 비교

- 대상설비: 송풍기 (부공정, 설비등급 3, 붕괴방지수준)
- 대상설비 위치 : 보일러 구조물(핵심시설) 2층 (총 4층) (z = 10m, h = 20m)

항목	건축구조기준 (KDS 41 17 00)	발전용 수력 및 화력시설 설비 정착부 내진설계지침(안) (KECG 6701-2021)	산업환경시설 내진설계기준
중요도	-	핵심시설	단위산업시설의 중요도 : 핵심 단위공정의 중요도 : 부공정
기기중요도	$I_p = 1.0$	설비등급 3 ($I_p = 1.0$)	내진등급
내진성능수준	인명보호수준	인명보호수준	붕괴방지수준
응답수정계수	R = 2.5	R = 2.5	R = 2.5
재현주기	2,400년 (위험도계수 I = 2.0)	1,000년 (위험도계수 I = 1.4)	1,000년 (위험도계수 I = 1.4)
유효지반가속도 (S = Z × I, g)	S = 0.11 × 2.0 = 0.22	S = 0.11 × 1.4 = 0.154	S = 0.11 × 1.4 = 0.154
지반증폭계수	Fa = 1.46	Fa = 1.592	Fa = 1.592
탄성응답가속도	$S_{DS} = S \times 2.5 \times Fa \times 2/3$ = 0.5353(g)	$S_{DS} = S \times 2.5 \times Fa$ = 0.613(g)	$S_a = S \times 2.5 \times Fa$ = 0.613(g)
지진응답계수	$C_s = 0.4 \alpha_p S_{DS} / (R_p / I_p) \times (1+2z/h)$ = 0.171(g)	$C_s = 0.4 \alpha_p S_{DS} / (R_p / I_p) \times (1+2z/h)$ = 0.196(g)	$C_s = (0.4 \alpha_p S_{DS} / R) \times (1+2z/h)$ = 0.196(g)

➔ 큰 변형에도 운전성이 유지되는 설비의 경우 건축구조기준 및 수화력 설비 정착부 내진설계지침과 유사한 내진성능목표를 가짐

설계 예제를 통한 경제성 검토

경제성 비교

- 대상설비 : 터빈 (주공정, 설비등급 2, 탄성유지수준)
- 대상설비 위치 : 터빈 구조물(핵심시설) 1층

항목	건축구조기준 (KDS 41 17 00)	발전용 수력 및 화력시설 설비 정착부 내진설계지침(안) (KECG 6701-2021)	산업환경시설 내진설계기준
중요도	-	핵심시설	단위산업시설의 중요도 : 핵심 단위공정의 중요도 : 주공정
기기중요도	$I_p = 1.5$	설비등급 2 ($I_p = 1.5$)	내진특등급
내진성능수준	인명보호수준	인명보호수준	탄성유지수준
응답수정계수	$R = 2.5$	$R = 2.5$	$R = 1.0$
재현주기	2,400년 (위험도계수 I = 2.0)	2,400년 (위험도계수 I = 2.0)	2,400년 (위험도계수 I = 2.0)
유효지반가속도 ($S = Z \times I, g$)	$S = 0.11 \times 2.0 = 0.22$	$S = 0.11 \times 2.0 = 0.22$	$S = 0.11 \times 2.0 = 0.22$
지반증폭계수	$F_a = 1.46$	$F_a = 1.46$	$F_a = 1.46$
탄성응답가속도	$S_{DS} = S \times 2.5 \times F_a \times 2/3$ $= 0.5353(g)$	$S_{DS} = S \times 2.5 \times F_a$ $= 0.803(g)$	$S_a = S \times 2.5 \times F_a$ $= 0.803(g)$
지진응답계수	$C_s = 0.4 \alpha_p S_{DS} / (R_p / I_p) \times (1+2z/h)$ $= 0.128(g)$	$C_s = 0.4 \alpha_p S_{DS} / (R_p / I_p) \times (1+2z/h)$ $= 0.193(g)$	$C_s = (0.4 \alpha_p S_{DS} / R) \times (1+2z/h)$ $= 0.321(g)$

→ 변형에 민감한 설비의 경우 건축구조기준 및 수화력 설비 정착부 내진설계지침보다 더 높은 내진성능목표를 요구함.

→ 공정의 운전성 유지 측면에서 이는 합리적임!!!

산업시설의 운영지속성 확보를 위한 기술협력

산업시설 운영지속성 확보를 위한 기술협력

운영지속성 확보를 위한 기술협력 – 2023년 3월 28일

산업시설의 운영지속성 확보를 위한 설계가 결국 경제적인 설계이므로 이를 적극적으로 보급 및 활용 필요

- 보험업계에서 플랜트의 운영지속성 확보를 위한 설계기준의 필요성을 이미 인지하고 있었음.
- “산업환경시설 설계기준”의 적용을 활성화하기 위해 자료공유 및 지원하기로 함.
- 참여기관: 대한토목학회, 건설기술연구원, 한국지진공학회, 삼성화재해상보험(주), 한국화재보험협회

