

발간등록번호
11-B552016-000074-01

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

2020. 6.



국토교통부

Ministry of Land, Infrastructure and Transport



한국시설안전공단

국토교통부와 한국시설안전공단은 지진으로부터 국민의 안전을 확보하기 위하여 기존 공항시설의 내진성능평가 및 내진보강을 체계적으로 수행할 수 있도록 “기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령”을 제정하고자 합니다.

행정안전부에서는 「국가지진위험지도(2013)」와 「내진설계기준 공통 적용사항(2017)」을 제정·공표하였으며, 국토교통부에서는 이를 반영하여 ‘KDS 17 10 00 내진설계 일반’과 ‘공항시설 내진 설계기준’을 제·개정하여 고시(2018)하였습니다.

이에 따라 공항시설의 내진성능평가가 최신의 기준 및 연구결과를 반영할 수 있도록 「기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령」을 제정하여 발간하였으니 실무에 많은 활용 바랍니다.

다만, 「기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령」은 내진성능평가를 수행하는 실무자의 이해를 돕기 위한 참고도서로써 관계법상 구속력이 없으므로, 관련 기준이나 지침의 내용과 상이한 경우는 발주처와 협의하여 결정된 사항을 따르시길 바랍니다.

목 차

제1장 총 칙	1
1.1 일반사항	1
1.1.1 시설물의 분류	1
1.1.2 평가자의 자격	2
1.1.3 내진성능 평가절차	3
1.2 자료수집 및 재료물성의 결정	5
1.2.1 현장조사	5
1.2.2 재료물성의 결정	7
1.3 용어정의	7
제2장 목표성능과 지진위험도	9
2.1 일반사항	9
2.2 지진위험도	11
2.2.1 지진구역, 지진구역계수 및 위험도계수	11
2.2.2 지반의 분류 및 지반증폭계수	13
2.2.2.1 지반 종류	13
2.2.2.2 지반분류의 기준면 및 지반 조사	14
2.2.2.3 지반증폭계수	14
2.2.3 평가 지진의 가속도응답스펙트럼	15
2.2.4 평가기준 지진의 속도응답스펙트럼	16
2.3 내진성능 수준	18
2.4 내진성능 평가절차	19
제3장 내진성능 예비평가	20
3.1 일반사항	20

3.2 예비평가 적용 대상 구조물 및 자료 조사	20
3.2.1 적용대상구조물의 범위	20
3.2.2 자료조사 및 정리	21
3.3 평가 기준	22
3.4 평가 방법	22
3.4.1 지진도	22
3.4.2 취약도	24
3.4.2.1 Runway 지수	25
3.4.2.2 Struct 지수	27
3.4.2.3 Under 지수	28
3.4.2.4 Power 지수	28
3.4.2.5 Deter 지수	29
3.4.2.6 Perform 지수	29
3.4.3 영향도	30
3.4.3.1 Importance 영향도	31
3.4.3.2 Trans 영향도	31
3.4.3.3 Strip 영향도	32
3.4.3.4 Force 영향도	32
3.4.3.5 Recovery 영향도	33
3.4.3.6 Urban 영향도	33
3.4.4 최종 평가 및 내진 그룹화	34
3.5 그 밖의 사항	35
제4장 비행장시설 내진성능 상세평가	36
4.1 일반사항	36
4.2 액상화 평가	37
4.2.1 액상화 평가를 위한 지반 물성치 산정	38

4.2.2	액상화 평가	38
4.3	성능수준의 판정	39
4.3.1	일반 사항	39
4.3.2	액상화 해석	40
4.3.3	성능 수준의 판정	40
4.3.4	내진성능수준 평가를 위한 해석 방법	42
4.3.5	내진성능수준 평가결과	44
제5장	건축물 내진성능 상세평가	45
5.1	일반사항	45
5.1.1	평가 대상 건축물	45
5.1.2	공항시설의 특성 반영	47
5.2	구조요소의 평가절차	48
5.3	비구조요소의 평가절차	50
5.4	성능수준의 판정	51
5.4.1	성능목표	51
5.4.2	성능수준의 판정	54
5.5	그 밖의 사항	54
제6장	교량 내진성능 상세평가	55
6.1	일반사항	55
6.1.1	성능평가용 지진	55
6.2	평가 기준 및 성능수준 별 하중 조합	56
6.3	내진안정성 평가방법	56
6.3.1	교대, 기초, 지반의 평가	56
6.3.2	교량 기초 및 지반의 액상화 평가	57

제7장 지중구조물 내진성능 상세평가	58
7.1 일반사항	58
7.1.1 터널의 해석방법	58
7.1.2 공동구의 해석방법	59
7.1.3 성능평가용 지진	59
7.2 평가 기준 및 성능수준 별 하중 조합	60
7.3 내진안정성 평가방법	61
7.3.1 액상화 평가	61
제8장 내진성능평가 보고서 구성	62
8.1 문장 및 보고서의 작성	62
8.1.1 문장	62
8.1.2 보고서	62
8.1.3 편집	62
8.2 현황보고서 작성	63
8.3 예비평가 보고서	63
8.4 상세평가보고서	64
부 록	
A. 내진설계기준 공통적용사항(2017)	A1
B. 내진성능평가 예제	B1

<표 차례>

표 3.4.1 지진도 등급 기준	22
표 3.4.2 Runway 예비평가	25
표 3.4.3 Terminal 예비평가	27
표 3.4.4 Nonstruct 예비평가	27
표 3.4.5 Bridge 예비평가	27
표 3.4.6 Tunnel 예비평가	28
표 3.4.7 Under 예비평가	28
표 3.4.8 Power 예비평가	29
표 3.4.9 Deter 예비평가	29
표 3.4.10 Perform 예비평가	29
표 3.4.11 Importance 예비평가	31
표 3.4.12 Traffic 예비평가	31
표 3.4.13 Freight 예비평가	32
표 3.4.14 Strip 예비평가	32
표 3.4.15 Force 예비평가	32
표 3.4.16 Recovery 예비평가	33
표 3.4.17 Urban 예비평가	33

<그림 차례>

그림 3.4.1 내진그룹화 방법	34
-------------------------	----

<해설표 차례>

해설표 1.2.1 현장조사 공통항목	6
해설표 1.2.2 현장조사 개별항목	6
해설표 2.1.1 시설물의 성능수준과 구조요소 및 비구조요소의 성능수준의 관계	9
해설표 2.1.2 건축물의 내진등급별 최소성능목표	10
해설표 2.1.3 비행장시설, 지중구조물 등의 내진등급별 최소성능목표	10
해설표 2.1.4 교량의 내진등급별 최소성능목표	10
해설표 2.2.1 지진구역 및 지진구역계수	11
해설표 2.2.2 재현주기에 따른 위험도계수	11
해설표 2.2.3 지반의 분류	13
해설표 2.2.4 지반증폭계수(F_a 및 F_v)	14
해설표 2.3.1 구조요소의 성능수준별 손상 정도	18
해설표 2.3.2 비구조요소 성능수준의 정의 및 일반적 피해 수준	19
해설표 4.3.1 비행장시설의 내진성능수준	40
해설표 4.3.2 비행장시설의 성능목표 및 설계지진 (활주로)	40
해설표 4.3.3 비행장시설의 성능목표 및 설계지진 (유도로, 계류장)	41
해설표 4.3.4 비행장시설 분류 등급 (비행장시설 설치기준, 국토교통부)	41
해설표 4.3.5 비행장시설 등급별 최대 종단경사도 (비행장시설 설치기준, 국토교통부)	41
해설표 5.1.1 공항시설의 건축물	46
해설표 5.3.1 비구조요소 평가방법	50
해설표 5.4.1 건축물과 비구조요소의 내진등급별 최소성능목표	51
해설표 5.4.2 건축물의 설계거동한계	52
해설표 5.4.3 건물외구조물의 설계거동한계	53
해설표 5.4.4 비구조요소의 설계거동한계	53

<해설그림 차례>

해설그림 1.1.1 내진성능평가절차 흐름도	4
해설그림 2.2.1 국가지진위험지도(소방방재청, 2013)	12
해설그림 2.2.2 설계응답가속도스펙트럼	16
해설그림 2.2.3 기반면에서의 설계속도응답스펙트럼	17
해설그림 3.4.1 입도분포를 활용한 액상화 예비평가 방법	26
해설그림 4.1.1 비행장시설 내진성능 상세평가	36
해설그림 4.2.1 액상화 평가 흐름도	37
해설그림 4.2.2 액상화 본평가 흐름도	39

제1장 총 칙

1.1 일반사항

이 요령은 기존 공항시설의 내진성능평가지 그 절차 및 방법을 제시하는 것을 목적으로 한다. 이 요령에서는 예비평가와 함께 선형정적절차, 선형동적절차, 비선형정적절차, 비선형동적절차 등을 활용한 상세평가의 방법 및 적용조건을 제시하고 있다. 적용대상은 공항시설 중 비행장시설, 건축물(일반건축물, 건물외구조물, 비구조요소), 교량, 지중구조물이다.

초고층건축물, 현수교 등 이 요령에서 평가방법을 제시하고 있지 않은 특수구조물의 경우 구조공학의 기본원리를 따르는 구조해석과 안전성이 검증된 합리적인 절차와 방법을 사용하여 내진성능평가를 수행할 수 있다.

■ 해설 ■

본 평가요령은 “지진·화산재해대책법 시행령” 제10조 제1항에 규정된 시설물 중, 공항시설의 내진성능을 평가하기 위함이다. 공항시설의 내진등급과 내진성능목표는 “내진설계 일반(KDS 17 10 00)”과 “공항시설 내진설계기준”에 따른다.

1.1.1 시설물의 분류

이 평가요령의 적용대상시설물은 용도, 형식 등에 따라 다음과 같이 분류한다.

- (1) 비행장시설
- (2) 건축물
- (3) 교량
- (4) 지중구조물

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

■ 해설 ■

공항시설의 분류는 “공항시설 내진설계기준”에 따라 비행장시설, 건축물(일반건축물, 건물외구조물, 비구조요소) 교량, 지중구조물 등으로 분류한다.

“공항시설 내진설계기준”에서는 각 시설물을 다음과 같이 정의하고 있다.

- 비행장시설(Airport Facilities) : 활주로, 유도로, 계류장을 포함한다.
- 일반건축물(Building Structures): 여객터미널, 관제탑, 항공교통센터, 흐름관리센터, 구조 및 소방시설, 동력동, 위험물 저장 및 처리시설, 화물터미널, 관리동, 경찰대, 항공기정비고, 레이더 송수신소, 관제통신 송수신소, 항공무선표지소, 주차건물 등을 포함한다.
- 건물외구조물(Nonbuilding Structures): 항행안전시설을 지지하는 구조물, 탱크, 급유시설, 변전설비 등을 포함한다.
- 비구조요소(Non-structural Elements): 화재발생시 진화에 필수적인 소화배관 및 스프링클러, 화재 및 지진시 피난경로상에 있는 계단, 캐노피, 비상유도등, 전도 및 탈락시 인명피해가 예상되는 외부마감재, 중량칸막이벽, 천장재, 중요장비가 설치된 이중바다, 내진특등급의 시설물에서 해당시설의 지속적인 기능수행을 위해 필요하거나 손상시 해당시설의 지속적인 기능수행에 지장을 줄 수 있는 요소 등을 포함하며, 건축물에 설치되어 있는 시설에 한정한다.
- 교량(Bridge Structures): 비행장시설상의 교량, 고가보도 및 차도교량, 터미널전면차도고가, 철도교 및 기타교량 등을 포함한다.
- 지중구조물(Underground Structures): 터미널시설, 지하주차장 등의 지중건축물, 지하철도, 지하차도, 지하보도 등의 지중교통구조물, 매설관, 파이프라인을 포함한 기타 라이프라인, 공동구, 상수도, 하수도 등의 선상지중구조물 등을 포함한다.

1.1.2 평가자의 자격

공항시설의 내진성능 평가는 평가대상 세부시설물에 따라 건축구조기술사, 토목구조기술사, 토질 및 기초기술사 또는 이에 준하는 특급기술자의 책임 하에 수행하는 것을 권장한다. 다만, 이 요령의 제3장에 제시된 예비평가의 경우 일반 건축 및 토목구조전공자가 수행할 수 있다. 또한 구조물의 정기적인 점검을 위해 정밀안전진단에 내진성능평가를 포함하여 수행하는 경우 평가자의 자격은 「시설물의 안전 및 유지관리 실시 등에 관한 지침」의 규정을 따를 수 있다.

■ 해설 ■

기존 구조물의 내진성능 평가는 기술자의 공학적인 판단이 필요한 정밀한 해석에 기반하고 있어 잘못된 해석모델을 사용할 경우 그 평가결과에 큰 차이가 발생할 수 있다. 따라서 기존 공항시설의 내진보강을 목적으로 하는 내진성능평가는 신뢰할 만한 평가를 위해서 지진공학 및 내진설계에 전문적인 지식을 가진 건축구조기술사, 토목구조기술사, 토질 및 기초기술사 또는 이에 준하는 특급기술자의 책임 하에 수행하는 것을 권장한다.

예비평가의 경우, 본 요령에서 주어진 절차에 따라 평가를 수행한다면 그 결과에 큰 차이가 발생하지 않기 때문에 일반 구조전공자도 이 요령에서 제시하는 예비평가 시트를 사용하여 수행할 수 있도록 규정하였다. 상세평가의 경우 시설물에 따라 성능기반 내진설계의 절차와 유사하므로 각 시설물 내진설계기준에서 요구하는 기술자의 자격요건을 반영할 필요가 있다. 다만, “시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법”에 의해 정밀안전진단에 내진성능평가를 포함하여 수행하는 경우 평가자의 자격은 “시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법” 및 하위 규정을 따르도록 하였다.

1.1.3 내진성능 평가절차

이 요령은 일반적인 내진성능 평가절차에 따라 순서가 구성되어 있다. 즉, 제1장의 규정에 따라 대상건축물의 도면 및 현장조사를 통해 평가에 필요한 재료강도 및 구조물의 상태를 판정하며 제2장에서는 대상건축물의 중요도에 따라 최소성능목표를 설정하고 이에 따른 평가지진을 산정한다. 제3장에서는 공항시설에 적용할 수 있는 예비평가법을 수록하였으며 제4장~제7장은 본격적인 내진성능평가를 위한 성능기반평가법의 기본사항과 시설물별 모델링 방법 및 성능수준의 판정기준이 기술되어 있다. 평가 후 평가내용 및 결과를 수록한 보고서는 부록에 제시된 항목을 포함하여 작성한다. 제3장의 예비평가는 문헌자료 및 현장조사에 근거하여 내진성능 상세평가의 우선순위 결정을 위해서 실시한다.

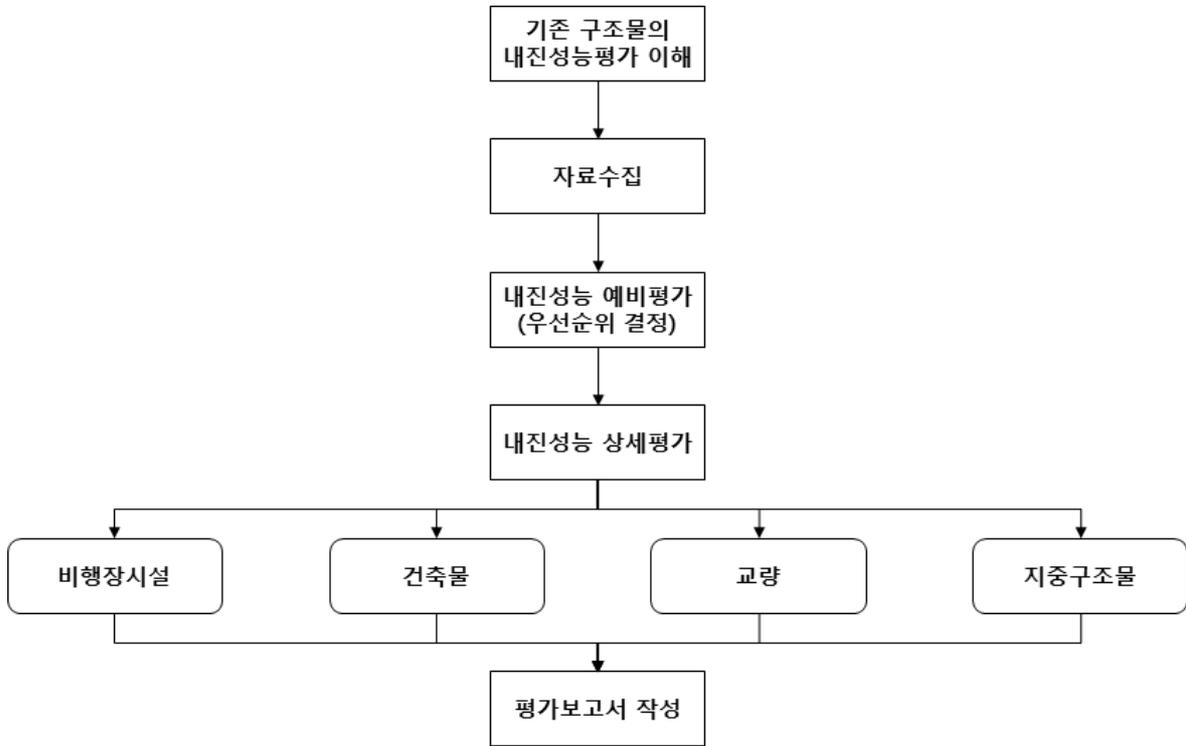
■ 해설 ■

본 요령 제3장의 예비평가에서는 문헌자료와 현장조사에 근거하여 위험도와 취약도를 분석하여 내진성능 상세평가의 우선순위를 결정하며, 각 시설물별 예비평가는 해당 시설물의

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

요령을 따른다. 내진성능 상세평가는 내진성능 예비평가에 따라 기존 공항시설의 내진성능을 파악하기 위해 실시한다. 내진성능 상세평가는 공항시설의 각 세부시설인 비행장시설, 건축물, 교량, 지중구조물별로 기술되어 있다.

해설그림 1.1.1은 상세평가의 개략적인 흐름도를 보여준다.



해설그림 1.1.1 내진성능평가절차 흐름도

1.2 자료수집 및 재료물성의 결정

1.2.1 현장조사

이 요령의 예비 및 상세평가규정에 따라 기존시설물을 평가하기 위해서는 대상구조물에 대한 상세한 정보가 요구된다. 현장조사는 시설물(비행장시설, 건축물, 교량, 지중구조물 등)의 공통항목과 구조형식 및 적용기준 등의 특수성을 반영한 시설물 개별항목으로 구분한다.

공통항목은 우선적으로 설계도서, 구조계산서, 지반조사보고서 등 관련 서류 및 보고서를 통해 위치 및 지반조건, 시공년도, 내진설계 여부, 적용 설계기준 등을 확인한다. 다음으로 공항의 이용객 및 수송능력, 권역 내 인구 등 통계자료를 확인한다. 수집된 서류 및 보고서를 바탕으로 현장조사를 통해 시설물의 배치 등을 확인한다.

개별항목은 부재치수 및 배근상태 등과 같이 구조물과 설비의 현황 조사로서 「시설물의 안전 및 유지관리 실시 등에 관한 지침」과 「시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(공통, 교량, 터널, 건축물 등)」 및 「기존 시설물(건축물, 교량, 터널) 내진성능 평가요령」의 조사방법 등을 준용하여 확인한다.

■ 해설 ■

예비평가는 공통사항과 본 요령에서 주어진 절차에 따라 수행할 수 있다. 그러나, 상세평가의 경우 시설물에 따라 현장조사에 필요한 항목과 표본의 종류 및 개수가 다르므로 시설물 별 “내진성능 평가요령”과 “시설물의 안전 및 유지관리 실시 등에 관한 지침” 및 “시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침”의 규정을 따르도록 한다.

다음 해설표 1.2.1은 현장조사 공통항목이며, 해설표 1.2.2는 현장조사 개별항목이다.

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

해설표 1.2.1 현장조사 공통항목

분류	조사항목		비고
공통	서류 및 보고서	<ul style="list-style-type: none"> • 시설물 관리대장 • 설계도서 • 구조계산서 • 지반조사보고서 • 시설물의 보수·보강이력 	
	보고서	<ul style="list-style-type: none"> • 정밀점검 및 정밀안전진단 • 정기점검 및 유지관리 	
	현장조사	<ul style="list-style-type: none"> • 시설물의 배치현황 • 지진하중에 영향을 줄 수 있는 비구조요소 또는 건물외 구조의 중량 	<ul style="list-style-type: none"> • 개별시설물별 현장조사는 각 시설물별 지침 활용

해설표 1.2.2 현장조사 개별항목

분류	준용기준	비고
공통	<ul style="list-style-type: none"> • 시설물의 안전 및 유지관리 실시 등에 관한 지침 • 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(공통편) 	
비행장시설	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 시설물(기초및지반) 내진성능 평가요령 	
건축물	<ul style="list-style-type: none"> • 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(건축물) • 기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령 	
교량	<ul style="list-style-type: none"> • 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(교량) • 기존 시설물(교량) 내진성능 평가요령 	
지중구조물	<ul style="list-style-type: none"> • 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(터널) • 기존 시설물(터널) 내진성능 평가요령 	

1.2.2 재료물성의 결정

내진성능평가를 위한 재료물성은 현장조사에서 얻은 실제 특성값을 적용하는 것을 원칙으로 한다. 재료물성의 결정은 「시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(공통, 교량, 터널, 건축물 등)」과 「기존 시설물(건축물, 교량, 터널) 내진성능 평가요령」의 재료물성 결정방법 중 불리한 경우를 적용하여 안전측으로 평가가 이루어질 수 있도록 하여야 한다.

1.3 용어정의

본 요령에 사용되는 용어의 정의는 관련기준인 「내진설계 일반(KDS 17 10 00)」 및 「공항시설 내진설계기준」에 따르고 이에 정의되지 않은 용어는 아래의 정의를 따른다.

1. 건물외구조물: 연직하중을 받는 자립 구조물로서 건축법의 적용을 받지만 공작물과 같이 건물로 분류되지 않는 구조물
2. 국가지진위험지도: 지진·화산재해대책법 제12조에 의거 내진설계 등에 활용하기 위하여 작성된 전국적인 지진구역을 정한 지진위험지도
3. 기반면: 지반변위의 기준점이 되는 지점으로 전단파속도 $V_s = 760\text{m/s}$ 이상인 보통암수준을 의미하며 지반조사에 의하여 산정
4. 단주기 스펙트럼가속도: 설계지진에 대한 단주기에서의 응답스펙트럼가속도
5. 부등침하 구배: 비행장시설의 상세평가 시 액상화에 의한 연직침하와 지점과의 거리로 산출함
6. 액상화(Liquefaction): 지진과 같은 진동하중 발생시, 느슨한 사질토 등이 비배수 상태에서 순간적인 과잉간극수압의 발생으로 지반의 전단저항력이 저하되거나 전단저항력을 잃게 되는 현상
7. 액상화 연직 침하: 액상화로 인해 발생하는 연직(수직) 침하량을 의미하며, 간편법과 수치해석 등으로 산출함.
8. 액상화 저항응력비(Liquefaction resistance stress ratio): 액상화가 발생여부의 기준이 되는 전단응력비

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

9. 지반응답해석: 설계지진에 대한 지반의 응답특성을 구하는 해석
10. 항행시설물: 항공기의 항행 보조 시설로 항공등화, 항행안전무선시설, 항공정보통신시설, 항행안전에 영향을 미치는 기상설비
11. V_g (m/s): 평균전단파속도

제2장 목표성과 지진위험도

2.1 일반사항

내진성능 평가를 위한 지진하중과 지진위험도는 「내진설계 일반(KDS 17 10 00)」의 내용을 따른다. 「내진설계 일반(KDS 17 10 00)」에 따라 구조물은 기본적으로 낮은 지진위험도의 지진에 대하여 기능을 유지하고, 높은 지진위험도의 지진에 대해서는 붕괴를 방지함으로써 인명의 안전을 확보하여야 한다. 내진성능평가는 대상 시설물이 이러한 목표성능을 확보하고 있는지를 평가하여야 한다.

■ 해설 ■

시설물의 성능수준은 “내진설계 일반(KDS 17 10 00)”에 따라 해설표 2.1.1과 같이 기능수행, 즉시복구, 인명보호, 붕괴방지 수준으로 구분할 수 있다.

해설표 2.1.1 시설물의 성능수준과 구조요소 및 비구조요소의 성능수준의 관계

시설물의 성능수준	구조요소의 성능수준	비구조요소의 성능수준
기능수행	거주가능	기능수행
즉시복구	거주가능	위치유지
인명보호	인명안전	인명안전
붕괴방지	붕괴방지	미고려

시설물의 성능목표는 시설물이 만족하여야 할 내진등급별 최소성능목표로 특정 지진위험도에서 요구되는 성능수준으로 정의된다. 건축구조기준에서 요구하는 성능수준이 타 기준과 다소 차이가 있기 때문에 공항시설물은 시설물에 따라 요구되는 성능수준을 별도로 검토하여야 한다.

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

- (1) 건축물과 건물외구조물의 경우 해설표 2.1.2에 제시된 바와 같으며 이는 “건축물 내진설계기준(KDS 41 17 00)”의 성능기반 내진설계에서 요구되는 최소성능목표와 동일하다.

해설표 2.1.2 건축물의 내진등급별 최소성능목표

내진등급	성능목표	
	재현주기	성능수준
특	2,400년	인명보호
	1,000년	기능수행
I	2,400년	붕괴방지
	1,400년	인명보호
	100년	기능수행
II	2,400년	붕괴방지
	1,000년	인명보호
	50년	기능수행

- (2) 비행장시설, 지중구조물 등의 최소성능목표는 해설표 2.1.3에 제시된 바와 같고, 교량의 최소성능목표는 해설표 2.1.4와 같다. 평가자는 성능목표에 대하여 시설물의 소유주 또는 발주처와 협의하여야 하며, 소유주 또는 발주처가 요구하는 경우 해설표 2.1.2~해설표 2.1.3의 성능목표를 만족시키는 동시에 추가적으로 설정된 성능목표에 대해 평가하여야 한다.

해설표 2.1.3 비행장시설, 지중구조물 등의 내진등급별 최소성능목표

내진등급	성능목표	
	재현주기	성능수준
특	2,400년	붕괴방지
	200년	기능수행
I	1,000년	붕괴방지
	100년	기능수행
II	500년	붕괴방지
	50년	기능수행

해설표 2.1.4 교량의 내진등급별 최소성능목표

내진등급	성능목표	
	재현주기	성능수준
특	2,400년	붕괴방지
I	1,000년	붕괴방지
II	500년	붕괴방지

2.2 지진위험도

2.2.1 지진구역, 지진구역계수 및 위험도계수

우리나라 지진구역 및 이에 따른 지진구역계수는 「내진설계 일반(KDS 17 10 00)」에 따라 분류한다.

■ 해설 ■

지진구역 및 지진구역계수의 값(평균재현주기 500년에 해당)은 해설표 2.2.1과 같이 구분한다. 재현주기에 따른 위험도계수는 해설표 2.2.2와 같다.

해설표 2.2.1 지진구역 및 지진구역계수

지진구역	행정구역		지진구역계수 (Z)
I	시	서울, 인천, 대전, 부산, 대구, 울산, 광주, 세종	0.11g
	도	경기, 충북, 충남, 경북, 경남, 전북, 전남, 강원 남부 ¹	
II	도	강원 북부 ² , 제주	0.07g

1 강원 남부(군, 시) : 영월, 정선, 삼척, 강릉, 동해, 원주, 태백

2 강원 북부(군, 시) : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천, 속초

재현주기별 유효수평지반가속도(S)는 해설표 2.2.1에 제시된 지진구역계수(Z)에 해설표 2.2.2에서 제시된 위험도계수(I)를 곱한 값으로 한다.

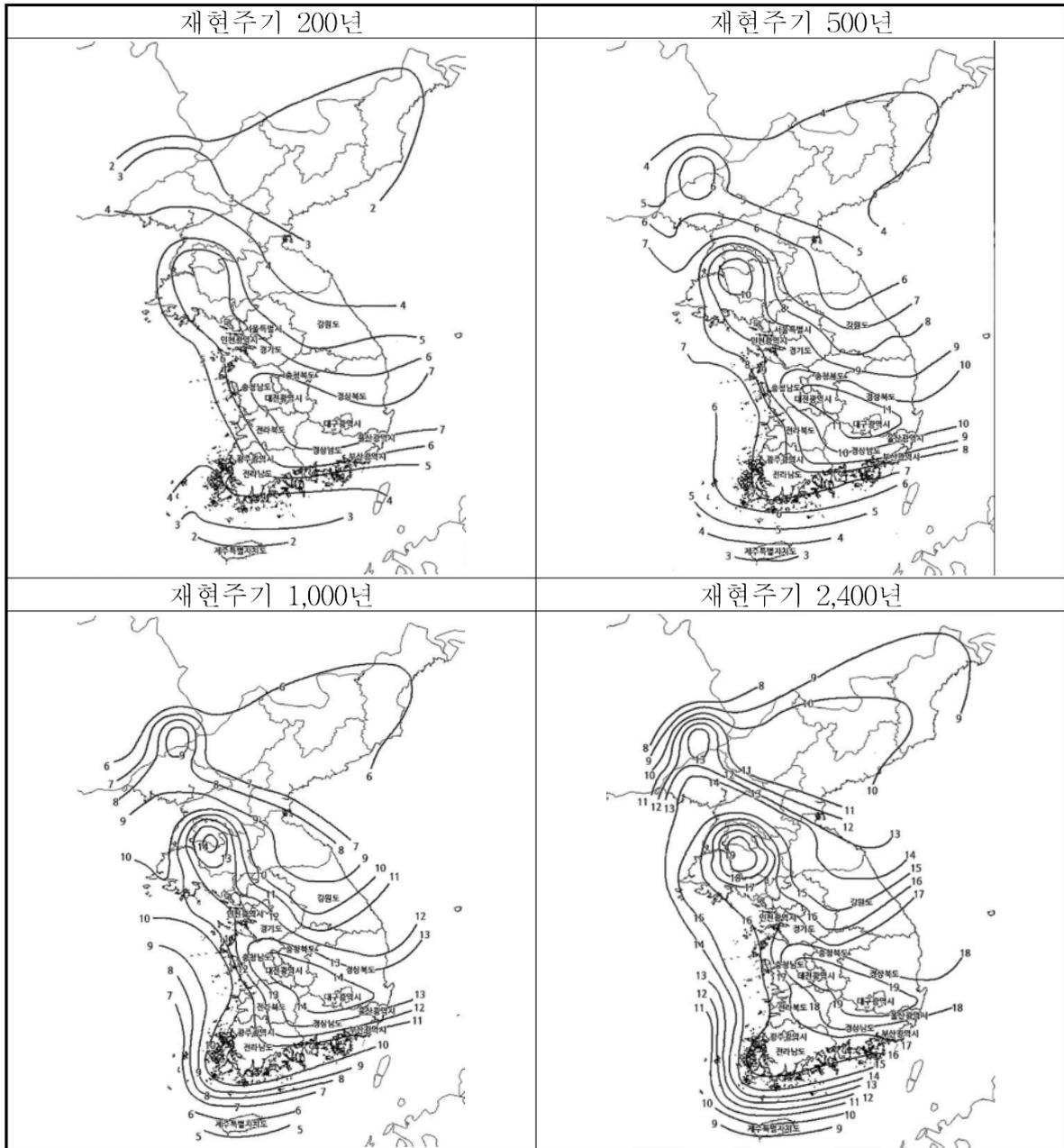
$$S = Z \times I \quad (2.2.1)$$

해설표 2.2.2 재현주기에 따른 위험도계수

평균재현주기(년)	50	100	200	500	1,000	2,400	4,800
위험도계수, I	0.40	0.57	0.73	1	1.4	2.0	2.6

유효수평지반가속도(S)는 국가지진위험지도를 이용하여 구할 수 있다. 단, 국가지진위험지도를 이용하여 결정한 S는 지진구역계수에 위험도계수를 곱하여 구한 S값의 80%보다 작지 않아야 한다.

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령



해설그림 2.2.1 국가지진위험지도(소방방재청, 2013)

2.2.2 지반의 분류 및 지반증폭계수

2.2.2.1 지반종류

지반분류는 「내진설계 일반(KDS 17 10 00)」에 따라 $S_1 \sim S_6$ 로 분류한다.

■ 해설 ■

국지적인 지질조건과 지표 및 지하 지형이 지반운동에 미치는 영향을 고려하기 위하여 지반을 해설표 2.2.3과 같이 지반분류의 기준면으로부터 기반암(지층의 전단파속도, $V_s = 760\text{m/s}$ 이상)까지의 지반에 대한 평균 전단파속도로 분류하며, 기반암의 위치가 기준면으로부터 30m 이상인 경우에는 상부 30m에 대한 평균 전단파속도로 분류한다. 기반암 깊이가 1m 이상인 지반 중 토층 평균 전단파속도가 120m/s 이하인 지반은 지반종류 S_5 로 분류한다.

“건축물 내진설계기준(KDS 41 17 00)”의 경우 S_1 지반은 기반암 깊이 기준을 3m로 검토하고 있다. 이와 같이 세부기준에 따라 분류기준의 차이가 발생할 수 있으므로 필요시 이를 검토하고 반영하도록 한다.

해설표 2.2.3 지반의 분류

지반종류	지반종류의 호칭	분류기준	
		기반암 깊이, H (m)	토층평균전단파속도, $V_{s,soil}$ (m/s)
S_1	암반 지반	1 미만	-
S_2	얕고 단단한 지반	1~20 이하	260 이상
S_3	얕고 연약한 지반		260 미만
S_4	깊고 단단한 지반	20 초과	180 이상
S_5	깊고 연약한 지반		180 미만
S_6	부지 고유의 특성평가 및 지반응답해석이 필요한 지반		

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

2.2.2.2 지반분류의 기준면 및 지반조사

지반분류의 기준면은 대상 시설물이 위치한 대지의 지표면으로 한다. 설계도서에 지반분류를 판정할 수 있는 정보가 불충분한 경우 지반분류를 위한 지반조사가 필요하다. 대상지역의 지반을 분류할 수 있는 자료가 충분하지 않고, 지반의 종류가 S_5 일 가능성이 없는 경우에는 지반종류 S_4 를 적용할 수 있다.

■ 해설 ■

S_4 지반은 기존 S_C 지반과 S_D 지반에 해당하는 구간을 합한 넓은 구간이다. 다만, S_4 지반을 적용할 경우 기존 기준보다 지진하중이 증가할 우려가 있으므로 이에 대한 적절한 검토가 필요하다.

2.2.2.3 지반증폭계수

지반증폭계수는 「내진설계 일반(KDS 17 10 00)」에 따라 구한다.

■ 해설 ■

단주기지반증폭계수 F_a 와 장주기 지반증폭계수 F_v 는 해설표 2.2.4와 같다.

해설표 2.2.4 지반증폭계수(F_a 및 F_v)

지반종류	단주기지반증폭계수, F_a			장주기지반증폭계수, F_v		
	$S \leq 0.1$	$S = 0.2$	$S = 0.3$	$S \leq 0.1$	$S = 0.2$	$S = 0.3$
S_2	1.4	1.4	1.3	1.5	1.4	1.3
S_3	1.7	1.5	1.3	1.7	1.6	1.5
S_4	1.6	1.4	1.2	2.2	2.0	1.8
S_5	1.8	1.3	1.3	3.0	2.7	2.4

F_a 및 F_v 의 값은 부지고유 지반응답해석을 수행하여 결정할 수 있다. 부지고유 지반응답해석의 절차는 각 시설물의 내진설계기준을 따른다.

건축물의 지하구조물이 지진토압에 대하여 안전하게 설계되어있는 경우, 기초저면

지반종류가 S_2 이상이고 지진토압과 지진하중이 기초저면의 지반에 직접 전달될 수 있도록 기초저면이 지반에 견고히 정착되어 있다면, 지하층의 영향을 고려하여 지상구조에 적용되는 지반증폭계수를 조정할 수 있다. 지하층의 영향을 고려한 지반증폭계수의 산정은 “건축물 내진설계기준(KDS 41 17 00)”을 따른다.

교량 및 지중구조물의 지진토압은 해당 시설물의 설계기준을 따른다.

2.2.3 평가지진의 가속도응답스펙트럼

평가지진의 가속도응답스펙트럼은 「내진설계 일반(KDS 17 10 00)」에 따라 구한다.

■ 해설 ■

평가지진의 가속도응답스펙트럼은 다음 식에 따라 구한 후 해설그림 2.2.2와 같이 작성한다.

- (1) $T \leq T_0$ 일 때, 스펙트럼가속도 S_a 는 식 (2.2.2)을 따른다.
- (2) $T_0 \leq T \leq T_S$ 일 때, 스펙트럼가속도 S_a 는 S_{XS} 와 같다.
- (3) $T_S \leq T \leq T_L$ 일 때, 스펙트럼가속도 S_a 는 식 (2.2.3)을 따른다.
- (4) $T > T_L$ 일 때, 스펙트럼가속도 S_a 는 식 (2.2.4)에 의한다.

$$S_a = 0.6 \frac{S_{XS}}{T_0} + 0.4S_{XS} \quad (2.2.2)$$

$$S_a = \frac{S_{X1}}{T} \quad (2.2.3)$$

$$S_a = \frac{S_{X1} T_L}{T^2} \quad (2.2.4)$$

여기서, T : 구조물의 고유주기(초)

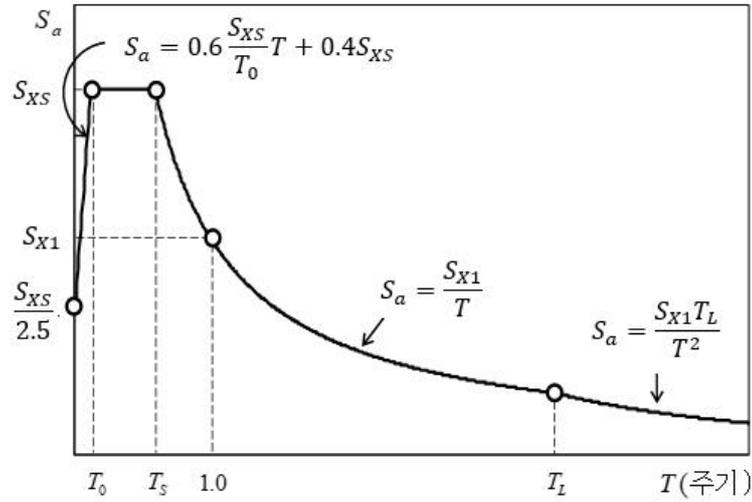
S_{XS} : 단주기 스펙트럼가속도(= $S \times 2.5 \times F_a$)

S_{X1} : 1초주기 스펙트럼가속도(= $S \times F_v$)

$T_S = S_{X1} / S_{XS}$

$T_0 = 0.2T_0$

$T_L = 5$ 초(건축물, 건물외구조물), 3초(교량, 지중구조물 등)



해설그림 2.2.2 설계응답가속도스펙트럼

2.2.4 평가기준 지진의 속도응답스펙트럼

지표면 아래에 설치되는 지중구조물의 설계응답스펙트럼은 기반면에서의 설계속도응답스펙트럼을 이용한다.

■ 해설 ■

암반지반(S_1)인 경우와 $S_2 \sim S_4$ 에 해당하는 토사지반 중 해석대상 부지의 공진주기가 0.4초 이하일 경우, 기반면에서 응답속도는 S_1 지반의 지표면 응답가속도를 직접 적분하여 구할 수 있다. $S_2 \sim S_4$ 에 해당하는 토사지반 중 해석대상 부지의 공진주기가 0.4초 이상이거나 그 외 지반의 경우 부지고유의 지반응답해석을 사용하여 속도응답스펙트럼을 구하여야 한다.

(1) 기반면에서의 설계속도응답스펙트럼은 다음 환산식을 이용한다.

$$S_v = \frac{T}{2\pi} S_a \quad (2.2.5)$$

여기서, S_v : 스펙트럼속도 (m/s)

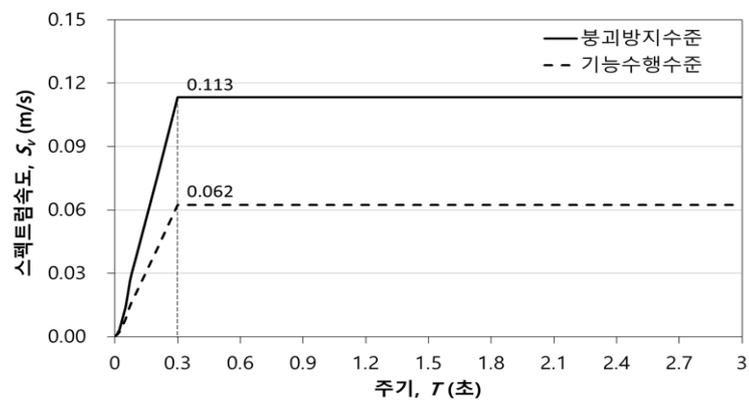
S_a : 스펙트럼가속도 (m/s^2)

T : 고유주기 (s)

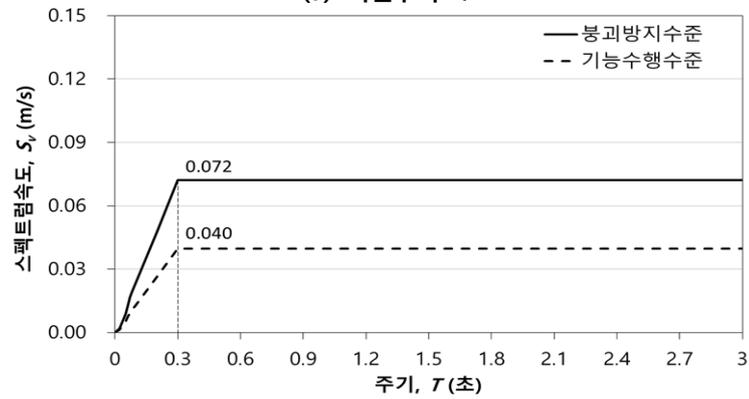
(2) 성능수준별 감쇠비(ξ)는 %단위를 사용하며, 이에 따라 기능수행수준과 붕괴방지수준의 감쇠비(ξ)는 다음과 같이 산정하여 적용할 수 있다.

- 기능수행수준: $\xi = 10$
- 붕괴방지수준: $\xi = 20$

(3) 유효수평지반가속도(S)를 행정구역에 따라 결정하는 경우 기반면에서의 설계속도응답스펙트럼을 도시하면 해설그림 2.2.3과 같다



(a) 지진구역 I



(b) 지진구역 II

해설그림 2.2.3 기반면에서의 설계속도응답스펙트럼

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

2.3 내진성능 수준

공항시설의 시설물을 구성하는 구조요소와 비구조요소의 지진에 대한 성능수준은 구조요소의 성능수준(기능수행, 인명보호, 붕괴방지)과 비구조요소의 성능수준(기능수행, 인명보호)으로 정의된다.

■ 해설 ■

본 평가요령에 따른 내진성능 평가결과 각 시설물 전체의 구조요소와 비구조요소의 성능수준은 각각 해설표 2.3.1과 해설표 2.3.2와 같다.

해설표 2.3.1 구조요소의 성능수준별 손상 정도

성능수준	손상 정도
기능수행	구조물의 피해는 경미하며 수직하중저항시스템과 지진력저항시스템은 대체로 지진 전의 강성과 강도를 보유하고 있다. 구조부재의 손상으로 인명에 피해를 입을 가능성은 매우 낮으며 손상부재에 대한 보수가 필요하지만 시급하지는 않다.
인명보호	구조부재에 상당한 손상이 발생하여 횡강성과 강도의 손실이 있으나 붕괴에 대해서는 여전히 역력을 보유하고 있다. 구조부재에 영구변형이 있으며 지진력저항시스템의 일부 요소에서 균열, 파단, 항복, 혹은 좌굴이 발생할 수 있으나 구조부재의 손상으로 인한 인명손실의 위험은 낮다. 구조부재의 보수는 가능하지만 경제적이지 않을 수도 있다. 당장 무너지지는 않으나 거주를 위해서는 보수와 보강이 요구된다.
붕괴방지	구조물이 심각한 피해를 입은 상태로 국부적 혹은 전체적인 붕괴가 임박한 상태이다. 지진력저항시스템에 상당한 강도 및 강성의 저하가 있으며 횡방향 영구변형이 있다. 그러나 중력하중저항시스템은 여전히 하중을 지지할 수 있다. 구조부재의 박락 등으로 인명피해가 생길 수 있으며 일반적인 보수보강 후에도 거주에 안전하지 않을 수 있다. 여진으로 인해 붕괴가 발생할 수 있다.

해설표 2.3.2 비구조요소 성능수준의 정의 및 일반적 피해 수준

성능수준	손상 정도
기능수행	지진 이후에도 정상적으로 기능수행 할 수 있다.
위치유지	지진 이후 정상적인 기능수행을 하지 못하나 위치가 고정되어있어 탈락과 전복 등의 위험은 피할 수 있다.
인명안전	지진 이후 심각한 피해가 발생할 수 있지만, 인명피해를 유발하지 않는다.

2.4 내진성능 평가절차

내진성능 평가절차는 다음과 같다.

- (1) 기존 공항시설의 내진성능 평가는 내진성능 예비평가와 상세평가 2단계로 구분하여 단계적으로 수행한다.
- (2) 내진성능 예비평가는 문헌자료 및 현장조사에 근거하여 내진성능 상세평가 수행의 우선순위 결정을 위해서 실시한다.
- (3) 내진성능 상세평가는 예비평가 결과와 내진성능 평가수준에 따라 기존 공항시설의 구성요소 별 내진성능을 파악하기 위해서 실시한다.
- (4) 본 요령에서는 내진성능 평가절차에 따라 공항시설의 내진성능 평가를 수행하도록 하고 있다.

제3장 내진성능 예비평가

3.1 일반사항

제3장의 내진성능 예비평가는 공항단위별 내진성능 상세평가의 우선순위를 결정하는 판단자료를 제공한다.

■ 해설 ■

내진설계가 수행되지 않은 기존 공항시설과 내진설계기준 개정에 따라 목표내진성능이 상향된 기존 공항시설에 대하여 내진성능평가를 보다 경제적이고 합리적으로 수행하기 위해서는 내진성능 예비평가를 먼저 수행하여 공항시설의 내진그룹을 분류하고 분류에 따라 내진성능 상세평가의 수행여부를 우선적으로 결정하는 것이 바람직하다. 내진성능 예비평가의 결과는 내진성능 상세평가가 시급한 공항시설의 우선순위를 결정하는 것이 목적이며, 그 결과가 시설의 보유내진성능을 의미하지 않는다. 공항시설의 보유내진성능은 각 시설별 상세평가를 활용하여 판정한다. 본 요령의 내진성능 예비평가는 비행장시설, 지중구조물, 교량의 내진성능 예비평가를 대체할 수 있는 반면, 건축물의 내진성능 예비평가를 대체할 수 없다. 건축물의 내진성능 예비평가는 “기존 시설물(건축물)의 내진성능 평가요령”을 따르도록 한다.

3.2 예비평가 적용 대상 구조물 및 자료 조사

3.2.1 적용대상구조물의 범위

공항시설의 내진성능 예비평가 대상은 「공항시설 내진설계기준」 「표 4.1-1 공항시설의 내진등급」의 시설로 다음과 같다.

- (1) 비행장시설(활주로, 유도로, 계류장 등)
- (2) 건축물로서 여객터미널과 건축물(「공항시설 내진설계기준」 「4.3 건축물」에 해당하는 일반건축물, 건물외구조물, 비구조요소)
- (3) 교량
- (4) 지중 구조물

상기 공항시설 중 제1종 및 제2종 시설과 비행장시설을 이 요령의 예비평가 대상으로 한다.

■ 해설 ■

본 요령상의 예비평가는 한정된 정보로부터 상세평가 우선순위를 결정할 수 있는 평가결과를 제시하여야 한다. 공항의 내진성능은 공항의 기능유지 및 인명안전과 밀접하게 관련되어 있으므로, 제1종 및 제2종 시설과 비행장시설을 주요 평가 대상으로 적용한다.

3.2.2 자료조사 및 정리

해당건물의 내진성능 예비평가를 위해 평가대상 공항시설에 대해 다음과 같은 자료를 확보해야 한다.

- (1) 해당지역의 지반정보
- (2) 시설물의 설계도서 및 점검·유지관리 보고서
- (3) 공항관련 통계자료
- (4) 공항~인접도시간 시설물(교통관련) 상태

■ 해설 ■

1. 대상지역의 지반을 분류할 수 있는 자료가 충분하지 않을 경우, 국내 지반의 특성상 지반종류가 S_5 일 가능성이 없는 경우에는 지반종류는 S_4 를 적용할 수 있다.
2. 본 요령 “3.4.2 취약도”의 취약도 지수 산정을 위하여 세부시설물의 상태평가등급과 비구조요소의 내진설계 적용여부 등의 자료가 필요하다. 필요한 세부자료는 본 요령 “3.4.2 영향도”의 세부지수를 참조한다.
3. 본 요령 “3.4.3 영향도”의 영향도 지수 산정을 위하여 공항의 규모, 이용객과 화물량 등 공항관련 통계자료가 필요하다. 필요한 세부자료는 본 요령 “3.4.3 영향도”의 세부지수를 참조한다.
4. 본 요령 “3.4.3 영향도”의 세부 지수 중 *Urban* 지수의 산정을 위하여 필요한 공항과 인접도시간 공항, 철도 등 교통망의 내진성능 관련 자료이다.

3.3 평가 기준

공항시설의 내진성능 예비평가는 기존 구조물의 지진도, 취약도, 영향도를 고려하여 내진그룹화 한다. 지진도(Seismic Hazard)는 지진의 규모 및 발생환경에 의해 결정되며, 구조물의 취약도(Vulnerability)는 구조물의 취약성, 기하학적인 형상, 형식 등에 의해 결정된다. 사회경제적인 영향도(Impact)는 교통량, 시설물의 중요성 등에 의해 결정된다.

내진그룹은 ‘내진보강 핵심시설’, ‘내진보강 중요시설’, ‘내진보강 관찰시설’ 및 ‘내진보강 유보시설’ 4개 그룹으로 분류하고 동 순서대로 우선순위를 부여한다. 이 중 ‘내진보강 핵심시설’, ‘내진보강 중요시설’에 대해서는 우선적으로 내진성능 상세평가를 실시하고, ‘내진보강 관찰시설’, ‘내진보강 유보시설’에 대해서는 관리주체의 정책적 판단에 의거하여 내진성능 상세평가 실시여부를 결정할 수 있다. 단, 정책적 판단으로 중요하다고 판단되는 시설에 대해서는 내진그룹을 조정할 수 있다.

3.4 평가 방법

3.4.1 지진도

지진도는 제2장에서 정의되는 지진구역과 지반종류를 기본으로 하여 국가지진위험지도의 유효수평지반가속도와 지반종류 등을 고려하여 표 3.4.1과 같이 4개 그룹으로 분류한다.

표 3.4.1 지진도 등급 기준

지진도 지역	지반종류					
	S_6	S_5	S_4	S_3	S_2	S_1
A1	1그룹	1그룹	1그룹	1그룹	1그룹	2그룹
A2	1그룹	1그룹	2그룹	1그룹	2그룹	3그룹
A3	1그룹	2그룹	3그룹	2그룹	3그룹	4그룹
A4	2그룹	3그룹	3그룹	3그룹	4그룹	4그룹

지진도 지역은 재현주기별 유효수평지반가속도에 따라 다음과 같이 구분한다.

- 1) A1: 국가지진위험지도의 유효수평지반가속도가 다음에 해당하는 경우
 - (재현주기 500년 기준) 유효수평지반가속도 $S \geq 0.11g$
- 2) A2: 국가지진위험지도의 유효수평지반가속도가 다음에 해당하는 경우
 - (재현주기 500년 기준) 유효수평지반가속도 $0.088g \leq S < 0.11g$
- 3) A3: 국가지진위험지도의 유효수평지반가속도가 다음에 해당하는 경우
 - (재현주기 500년 기준) 유효수평지반가속도 $0.07g \leq S < 0.088g$
- 4) A4: 국가지진위험지도의 유효수평지반가속도가 다음에 해당하는 경우
 - (재현주기 500년 기준) 유효수평지반가속도 $S < 0.056g$

■ 해설 ■

지진구역의 기준은 재현주기 500년 기준 국가지진위험지도를 근거하여 2개의 지역으로 분류하고 있다. 그러나 대부분의 지역이 국가지진위험지도로부터 구한 유효수평지반가속도가 지역계수로부터 구한 유효수평지반가속도의 80% 미만에 해당한다. 이에 설계실무자들은 지진 I 구역과 지진 II 구역을 지역계수로부터 구한 유효수평지반가속도를 적용하는 구간과 지역계수로부터 구한 유효수평지반가속도의 80%를 적용하는 구간으로 분류하여 총 4개의 구역을 사용하고 있다. 지진도의 분류는 이를 반영하여 지반종류에 따른 최대유효지반가속도로부터 다음과 같이 4개 그룹으로 지진도 등급을 산정하였다.

- ① 제 1 그룹 : 중점고려지역으로 한다.
- ② 제 2 그룹 : 우선고려지역으로 한다.
- ③ 제 3 그룹 : 관찰대상지역으로 한다.
- ④ 제 4 그룹 : 관찰제외지역으로 한다.

지진구역은 재현주기 500년 기준 국가지진위험지도를 근거하여 2개의 지역으로 분류하고 있다. 그러나 국가지진위험지도의 유효수평지반가속도는 지진구역계수보다 작은 곳이 대부분이며, 이에 설계실무자들은 국가지진위험지도의 유효수평지반가속도를 사용하는 경우가 많은 실정이다. 국가지진위험지도의 유효수평지반가속도를 사용할 경우 그 크기는 지진구역계수의 80%에 해당하는 값 이상이어야 하므로, 국가지진위험지도를 다음과 같이 3개의 지역으로 분류할 수 있다.

- 1) 지진구역계수를 사용하는 지역
- 2) 국가지진위험지도의 유효수평지반가속도를 사용하는 지역(유효수평지반가속도가 지진구역계수의

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

80%와 지진구역계수 사이에 해당하는 지역)

- 3) 지진구역계수의 80%를 사용하는 지역(유효수평지반가속도가 지진구역계수의 80%보다 작은 지역)

지진구역별로 상기 분류를 적용할 경우 총 6개의 지역으로 분류할 수 있다. 본 요령에서는 각 지역의 크기, 단주기 스펙트럼가속도 등을 고려하여 지진도 지역을 A1~A4의 4가지로 구분하였다.

건축물의 경우 재현주기 2,400년 기준 국가지진위험지도를 사용하므로 공항시설의 경우 재현주기 2,400년 기준 국가지진위험지도의 유효수평지반가속도를 참고할 필요가 있다. 이는 재현주기 2,400년 기준 국가지진위험지도에서 강원북부 일부지역(철원, 화천, 양구, 인제, 양양, 춘천, 홍천, 횡성, 평창 등)과 같이 유효수평지반가속도가 지진구역계수로부터 구한 유효수평지반가속도를 초과하는 등 재현주기 500년 기준 국가지진위험지도와 다른 유효수평지반가속도의 분포를 보이고 있기 때문이다.

3.4.2 취약도

지진에 대한 공항시설물의 취약도는 공항시설 주변의 지반상태, 규모, 시설의 배치, 건축물(설비 및 비구조요소 포함), 교량 구조물, 터널 구조물, 비행장시설에 대한 상태를 고려하여 취약도 지수 (Vulnerability Index)로 나타낸다.

$$VI = 20 \times \{1.5 \times Runway + Struct + 0.5 \times (Under + Power) + Deter\} \times Perform$$

여기서, *Runway*: 비행장시설 상태에 따른 지수

Struct: 여객터미널과 건축물, 교량 및 터널 등의 상태에 따른 지수

- *Terminal*: 터미널 상태에 따른 지수
- *Building*: 터미널 외 건축물 상태에 따른 지수
- *Nonstruct*: 비구조요소 및 설비 상태에 따른 지수
- *Bridge*: 교량 상태에 따른 지수
- *Tunnel*: 터널 상태에 따른 지수

Under: 비행장시설 하부 구조물 유무에 따른 지수

Power: 공항의 전력계통의 다양성에 따른 지수

Deter: 공항시설의 노후화에 따른 지수

Perform: 내진설계 적용여부 및 내진성능평가 수행여부에 따른 지수

■ 해설 ■

공항시설물의 취약도는 지진으로 인해 구조물이 붕괴되거나 손상을 입기 쉬운 형태를 구분하고 기능유지에 영향을 주는 요소를 검토하는 것이다. 공항시설물에 해당하는 비행장시설, 건축물(일반건축물, 건물외구조물, 비구조요소), 교량, 지중구조물 등의 상태를 고려하여 취약도 지수로 나타낸다.

3.4.2.1 Runway 지수

*Runway*는 비행장시설의 상태에 대한 지수이다. 지반조사 자료 등을 활용하여 액상화 예비평가를 수행하고 예비평가의 결과에 따라 아래 표와 같이 지수를 결정한다. 비행장 하부지반의 액상화 예비평가 방법은 「기존 시설물(기초및지반) 내진성능 평가요령」을 준용토록 한다.

표 3.4.2 Runway 예비평가

구분	내용	점수
액상화 예비 평가 결과 (<i>Runway</i>)	액상화에 대해 불안전	1.0
	액상화에 대해 안전	0.7

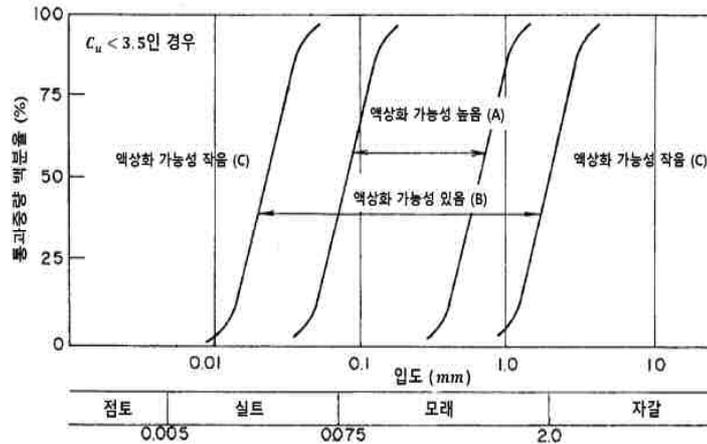
■ 해설 ■

액상화 예비평가 방법은 다음과 같다. 아래의 경우에는 액상화에 대해 안전한 것으로 보고 액상화 평가를 생략한다.

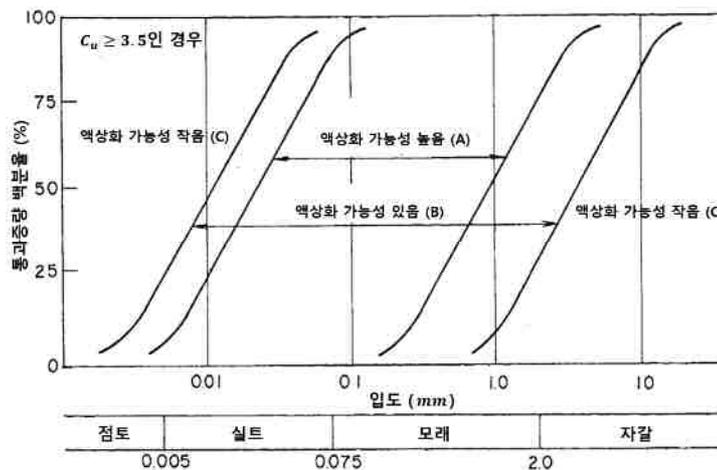
- (1) 지하수위 위에 위치한 지반
- (2) 액상화 평가 대상 지반이 20m 이상 깊이에 위치한 지반 (단, 20m 이상 깊이에 위치하더라도 액상화가 발생하는 경우에 구조물에 중대한 손상이 생긴다고 판단되거나, 평가 대상 지반이 20m 보다 상부에 위치한 지반과 연관이 있는 층이라고 판단되는 경우는 액상화 평가를 시행한다.)
- (3) 상대밀도가 80% 이상인 지반
- (4) 주상도 자료만 가지고 있는 경우,
 - 주상도의 표준관입저항값에 기초하여 산정된 $N_{1,60}$ 이 25 이상인 지반

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

- 주상도의 콘관입저항값에 기초하여 산정된 q_{c1N} 이 150 이상인 지반
 - 주상도의 전단파 속도에 기초하여 산정된 V_{s1} 가 200m/sec 이상인 지반
- (5) 세립분 함량이 35% 이상이고 원위치시험 결과가 다음과 같은 지반
- $N_{1,60}$ 이 20 이상
 - q_{c1N} 이 100 이상
 - V_{s1} 가 180 m/sec 이상
- (6) 입도분포가 액상화 가능성 작음 영역(C)에 위치하는 지반(해설그림 3.4.1)
- (7) 지진구역 II에 위치한 내진 II등급 구조물
- (8) 기타, 경제성을 위하여 내진 II등급 구조물에서는 전문가와 상의 후에 액상화 평가를 생략할 수 있다.



(a) 균등 계수 3.5 미만



(b) 균등 계수 3.5 이상

해설그림 3.4.1 입도분포를 활용한 액상화 예비평가 방법

3.4.2.2 Struct 지수

*Struct*은 공항시설에 속한 건축물, 설비 및 비구조요소, 교량, 터널의 4종류 구조물에 대한 상태 지수를 다음 식으로 결정한다.

$$Struct = 1.0 \times Terminal + 0.5 \times Average(Building, Nonstruct, Bridge, Tunnel) \quad (3.4.2)$$

(1) *Terminal*과 *Building*은 공항시설 중 여객터미널과 그 외 건축물의 상태에 따라 나타내는 지수이다.

표 3.4.3 Terminal 예비평가

구분	상태등급	점수
건축물 ¹⁾ (<i>Terminal, Building</i>)	D, E등급	1.0
	C등급	0.8
	B등급	0.6
	A등급	0.4

1) 대상 건축물의 최근 상태평가 등급으로 분류

(2) *Nonstruct*은 공항시설 중 공항시설 설계기준에 따라 분류되는 건물외구조물 및 비구조요소의 내진설계 적용여부에 따라 나타내는 지수이다.

표 3.4.4 Nonstruct 예비평가

구분	내용	점수
비구조요소 및 설비 (<i>Nonstruct</i>)	내진설계 미적용	1.0
	내진설계 적용	0.5

(3) *Bridge*은 공항시설 중 교량의 상태에 따라 나타내는 지수이다.

표 3.4.5 Bridge 예비평가

구분	상태등급	점수
교량 ¹⁾ (<i>Bridge</i>)	D, E등급	1.0
	C등급	0.8
	B등급	0.6
	A등급	0.4

1) 공항시설의 모든 교량의 최근 상태평가 등급으로 분류하되 가장 취약한 교량의 상태등급을 따름

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

(4) *Tunnel*은 공항시설의 터널상태에 따라 나타내는 지수이다.

표 3.4.6 Tunnel 예비평가

구분	상태등급	점수
터널 ¹⁾ (<i>Tunnel</i>)	D, E등급	1.0
	C등급	0.8
	B등급	0.6
	A등급	0.4

1) 공항시설의 모든 터널의 최근 상태평가 등급으로 분류하되 가장 취약한 터널의 상태등급을 따름

■ 해설 ■

*Nonstruct*지수는 현행설계기준에 근거하여 내진설계대상이 되는 비구조요소 및 설비에만 적용한다. 비구조요소 및 설비의 내진설계 적용여부는 관련된 구조계산서 또는 인증서를 확인하는 것으로 평가한다.

3.4.2.3 Under 지수

*Under*는 활주로, 계류장 등 비행장시설 하부에 터널 등의 지중구조물의 유무에 따라 나타내는 지수이다.

표 3.4.7 Under 예비평가

구분	내용	점수
비행장시설 하부 지중구조물 (<i>Under</i>)	폭 30m 이상 또는 높이 20m 이상 지중구조물	1.0
	폭 10~30m 또는 높이 10~20m 지중구조물	0.8
	폭 10m 미만이며 높이 10m 미만 지중구조물	0.6
	없음	0.5

3.4.2.4 Power 지수

*Power*는 별도의 전력계통 확보 유무에 대한 지수이다.

표 3.4.8 Power 예비평가

구분	내용	점수
전력계통 (Power)	단일계통	1.0
	2계통 이상	0.7

3.4.2.5 Deter 지수

*Deter*은 공항시설의 노후화상태에 따라 나타내는 지수로 공항기능유지에 필요한 주요시설의 공용년수에 따라 결정한다.

표 3.4.9 Deter 예비평가

구분	공용년수(t)	점수
노후화 (Deter)	50년 이상	1.0
	30년 ≤ t < 50년	0.8
	10년 ≤ t < 30년	0.5
	10년 미만	0.2

3.4.2.6 Perform 지수

*Perform*은 내진설계 적용여부와 최근 5년 이내 내진성능평가의 수행여부에 따라 결정한다.

표 3.4.10 Perform 예비평가

구분	내용		점수
내진설계 및 내진성능평가 수행여부 (Perform)	내진설계 미적용 및 내진성능평가 미수행		1.0
	내진성능평가 수행	일부시설만 수행	0.8
		대상시설 전체 수행	0.6
	내진성능평가 수행 및 내진 보강 수행	일부시설만 적용	0.7
		대상시설 전체 적용	0.5

■ 해설 ■

1988년 6층 이상 건축물에 대한 내진설계가 실시된 이래로 1998년 “내진설계기준

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

준칙(1998.02. 건설교통부)” 이후 17개 각종 시설에 대한 내진설계기준을 정하였으며, 현재 32개 각종 시설물에 대한 내진설계 및 내진성능평가를 실시하도록 하고 있다.

내진성능평가는 내진설계가 적용되지 아니하였거나 내진설계기준이 상향되었을 때 현행 설계기준을 기초하여 시설이 보유하고 있는 내진성능을 평가하고, 목표한 내진성능이 확보되지 아니하였을 경우 이에 대한 보강계획을 수립하는 것을 목적으로 하고 있다.

본 장의 목적은 공항시설의 내진성능을 평가하는 것이 아니라 내진성능 상세평가 실시의 우선순위를 결정하는 것이 그 목적이므로, 기존에 내진성능평가 및 내진보강이 수행되었다면 해당시설은 낮은 상세평가 우선순위를 받는 것이 타당하다. 따라서, *Perform*지수를 통하여 내진성능평가가 수행되었거나, 이로 인한 내진보강이 수행된 공항시설의 취약도 지수를 보정하도록 한다.

3.4.3 영향도

공항 시설물의 영향도는 평상시 교통량 및 화물량, 군사적 중요도와 지진발생 이후 공항의 영향권에 포함되는 배후인구, 복구에 소요되는 비용 등을 고려하여 영향도 지수로 나타낸다. 공항시설물의 영향도는 공항시설물의 취약도 지수 산정과 유사한 방법으로 다음과 같이 영향도 지수(Impact Index)로 나타낸다.

$$II = 15 \times \left(Importance + Trans + Strip + Force + Recovery + \frac{2}{3} Urban \right)$$

여기서, *Importance*: 사회·경제적으로 영향을 주는 공항의 중요도

Trans: 공항시설의 연평균 수송규모

Strip: 공항의 활주로 수

Force: 민·군 공동사용여부

Recovery: 공항시설물의 성능회복을 위한 비용지수

Urban: 도시기능유지 및 경제활동 지속성

■ 해설 ■

공항시설물의 영향도는 지진으로 인해 피해가 발생할 경우 이로 인한 사회경제적인 영향을 주는 요소를 검토하는 것이다. 공항의 중요성, 교통량, 탑승인원, 국가안보에 미치는 영향 등을 고려하여 영향도 지수로 나타낸다.

3.4.3.1 Importance 영향도

*Importance*는 사회·경제적으로 시설의 중요도(Importance)를 나타내는 지수이다.

표 3.4.11 Importance 예비평가

구분	내용	점수
중요도 (<i>Importance</i>)	인천, 김포, 김해, 제주	1.0
	도서지역의 공항 또는 반경 80km 내 다른 공항이 없는 경우	0.9
	그 외	0.8

3.4.3.2 Trans 영향도

*Trans*은 공항시설의 연평균 수송규모를 나타내는 지수로 *Traffic*과 *Freight*의 합으로 한다.

(1) *Traffic*은 최근 5년간 연평균 운항편수(Traffic density) 또는 승객수(Passengers)를 나타내는 지수이다.

표 3.4.12 Traffic 예비평가

구분	연평균 운항편수(T)	연평균 탑승인원(Pa)	점수
연평균 교통량 및 탑승인원 ¹⁾ (<i>Traffic</i>)	10만대 ≤ T	1천만명 ≤ Pa	1.0
	1만대 ≤ T < 10만대	1백만명 ≤ Pa < 1천만명	0.8
	5천대 ≤ T < 1만대	5십만명 ≤ Pa < 1백만명	0.6
	1천대 ≤ T < 5천대	1십만명 ≤ Pa < 5십만명	0.4
	T < 1천대	Pa < 1십만명	0.2

1) 연평균 운항편수 및 탑승인원은 출발과 도착의 합계로 산정하되 운항편수와 탑승인원 중 큰 값으로 함

(2) *Freight*은 최근 5년간 공항시설을 이용한 연평균 화물량을 나타내는 지수이다.

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

표 3.4.13 Freight 예비평가

구분	연평균 화물량(C), ton	점수
연평균 화물량 ¹⁾ (<i>Freight</i>)	1백만 ≤ C	1.0
	2십5만 ≤ C < 1백만	0.8
	1십만 ≤ C < 2십5만	0.6
	1만 ≤ C < 1십만	0.4
	C < 1만	0.2

주1) 연평균 화물량은 출발과 도착의 합계로 산정

3.4.3.3 Strip 영향도

*Strip*는 공항의 활주로 수를 나타내는 지수이다.

표 3.4.14 Strip 예비평가

구분	활주로 수	점수
활주로 수 ¹⁾ (<i>Strip</i>)	1면 ²⁾	1.0
	2면	0.8
	3면 이상	0.6

1) 지진시 활주로 피해로 인하여 거점으로써의 기능을 상실할 가능성이 클 것으로 예상되는 시설물

2) 교차형 활주로(2개 이상의 활주로는 활주로를 공유하는 경우는 교차구간의 피해가 모든 활주로의 기능을 제한할 수 있으므로 1면으로 검토한다.

3.4.3.4 Force 영향도

*Force*는 공항의 민·군 공동사용여부를 나타내는 지수이다.

표 3.4.15 Force 예비평가

구분	내용	점수
민·군 공동사용여부 (<i>Force</i>)	공동사용	1.0
	민항 전용	0.6

■ 해설 ■

Force 지수는 국가안보와 관련되어 지진시 공항 피해로 인하여 군사활동에 파급효과가 클 것으로 예상되는 시설물에 대한 지수이다.

3.4.3.5 Recovery 영향도

*Recovery*는 구조물의 성능 회복(Recovery)을 위한 비용지수로 활주로 총 길이(공항 내 모든 활주로 길이의 총합)와 여객터미널 규모(공항 내 모든 여객터미널 연면적의 합) 중 높은 점수로 산정한다.

표 3.4.16 Recovery 예비평가

구분	활주로 총 길이(L)	여객터미널 규모(S)	점수
구조물 성능회복 (<i>Recovery</i>)	10,000m 이상	$500,000\text{m}^2 \leq S$	1.0
	$6,000\text{m} \leq L < 10,000\text{m}$	$100,000\text{m}^2 \leq S < 500,000\text{m}^2$	0.8
	$5,000\text{m} \leq L < 6,000\text{m}$	$25,000\text{m}^2 \leq S < 100,000\text{m}^2$	0.7
	$2,500\text{m} \leq L < 5,000\text{m}$	$10,000\text{m}^2 \leq S < 25,000\text{m}^2$	0.5
	2,500m 미만	$S < 10,000\text{m}^2$	0.4

■ 해설 ■

교차활주로의 경우, 활주로 총 길이 산정시 교차되는 부분이 중복합산되지 않도록 주의하여야 한다.

3.4.3.6 Urban 영향도

*Urban*은 지진발생 후에도 공항과 도시간 주요 접근로의 기능유지여부에 따라 도시기능의 유지와 경제활동의 지속성을 나타내는 지수이다.

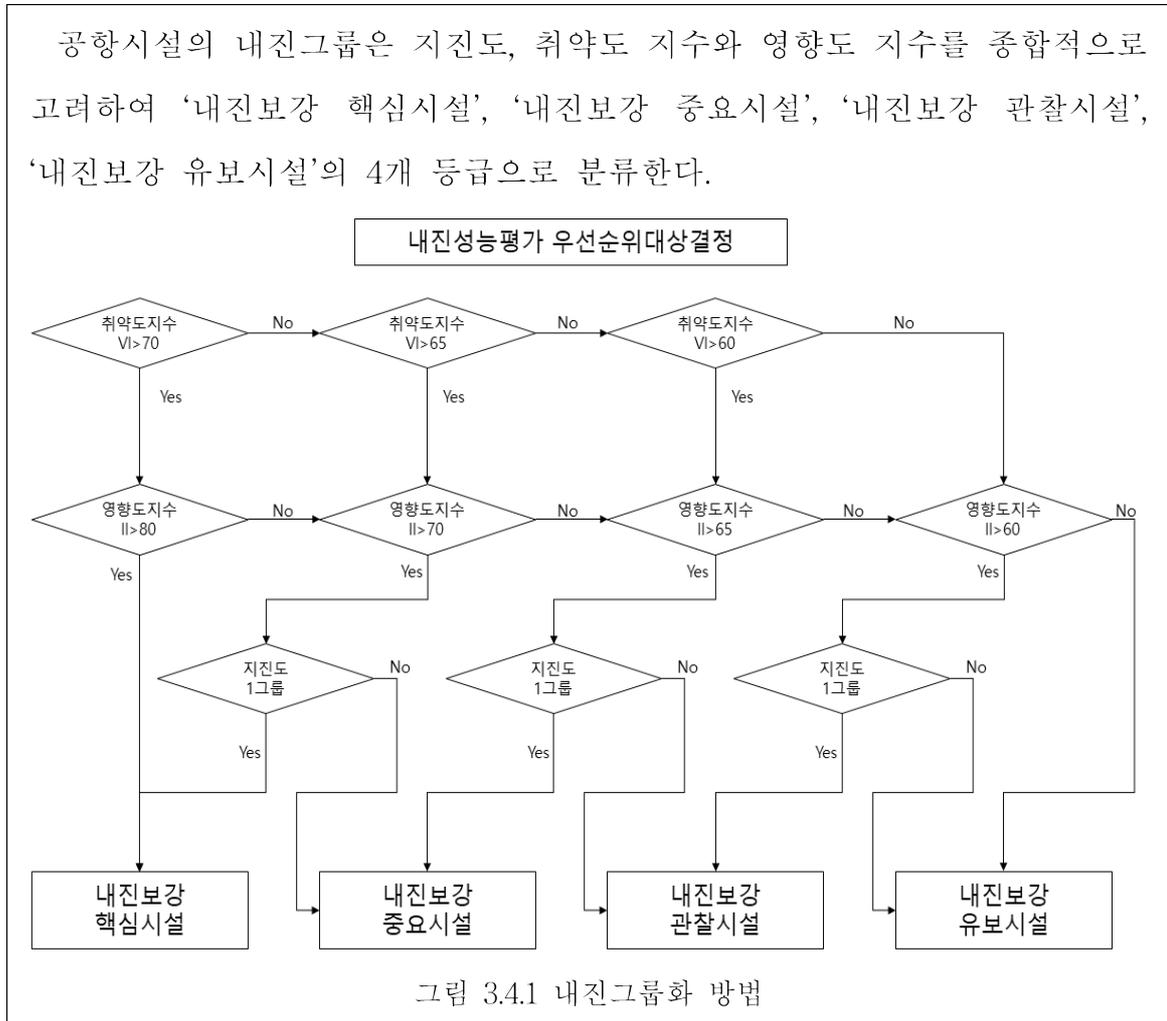
표 3.4.17 Urban 예비평가

구분	공항~인접도시간 교통망(도로/철도)	점수
도시기능 (<i>Urban</i>)	내진성능 미확보 또는 확인불가	1.0
	내진성능 부분 확보	0.7
	내진성능 확보	0.4

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

3.4.4 최종 평가 및 내진 그룹화

공항시설의 내진그룹은 지진도, 취약도 지수와 영향도 지수를 종합적으로 고려하여 ‘내진보강 핵심시설’, ‘내진보강 중요시설’, ‘내진보강 관찰시설’, ‘내진보강 유보시설’의 4개 등급으로 분류한다.



■ 해설 ■

공항시설물의 내진그룹은 그림 3.4.1과 같이 취약도 지수와 영향도 지수를 고려하여 공항시설의 내진그룹을 ‘내진보강 핵심시설’, ‘내진보강 중요시설’, ‘내진보강 관찰시설’, ‘내진보강 유보시설’ 4가지로 구분한다. 우선순위가 높은 등급(핵심시설, 중요시설)의 경우 내진성능 상세평가를 우선적으로 수행한다. 내진그룹과 상관없이 최근 지진이 발생한 지역이나 시설물의 노후화로 인한 구조적손상 등이 발견된 경우, 정책적 판단 등에 따라 상세평가를 우선적으로 수행할 수 있도록 한다.

3.5 그 밖의 사항

본 장의 예비평가는 공항단위 상세평가 우선순위를 결정하기 위함으로, 개별 시설물의 예비평가는 해당시설물의 평가요령을 따른다.

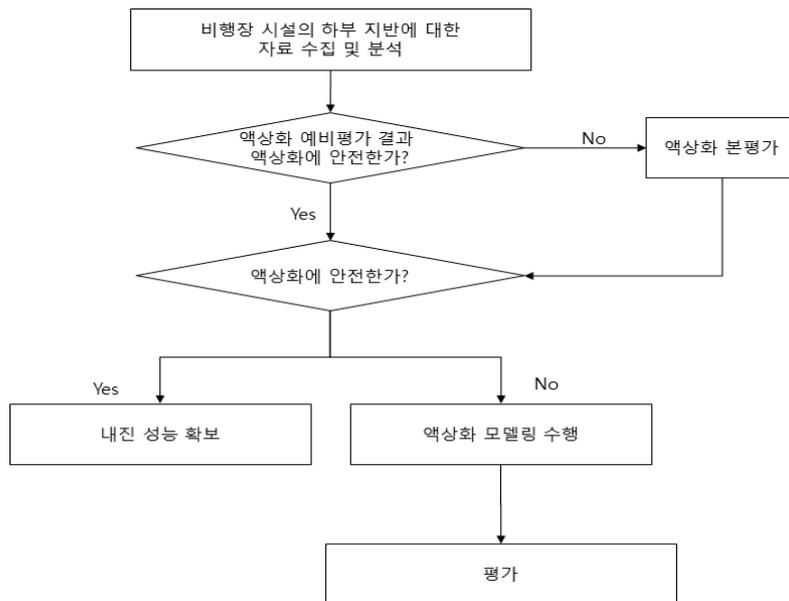
제4장 비행장시설 내진성능 상세평가

4.1 일반사항

제4장은 공항시설물 중 비행장시설의 내진성능 상세평가의 기술적인 사항을 규정한다. 이 장의 요구사항은 비행장시설을 구성하는 활주로, 유도로, 계류장 등에 대한 것으로, 비행장 내 세부 설비 등에 대한 사항은 포함하지 않는다.

■ 해설 ■

제4장은 기존 시설물 중 비행장시설의 내진성능 상세평가의 세부 기술적인 사항을 규정한다. 이 장의 요구사항은 비행장시설을 구성하는 활주로, 유도로, 계류장 등에 대한 것으로, 비행장 내 세부 설비 등에 대한 사항은 포함하지 않는다. 단, 비행장시설의 내진성능 상세평가지 지질학적 부지재해(seismic-geologic site hazard)가 예상되는 경우에 관련 전문가에 의한 별도의 평가를 수행하여야 한다. 부지재해는 단층파쇄(fault rupture), 산사태(landsliding), 홍수(flooding), 침수(inundation) 등을 포함한다. 비행장시설 하부에 지중구조물이 존재할 경우 본 요령의 제6장을 준용하여 해당시설을 포함하여 비행장시설의 내진성능 상세평가를 수행하도록 하며, 아래 해설그림 4.1.1을 따르도록 한다.



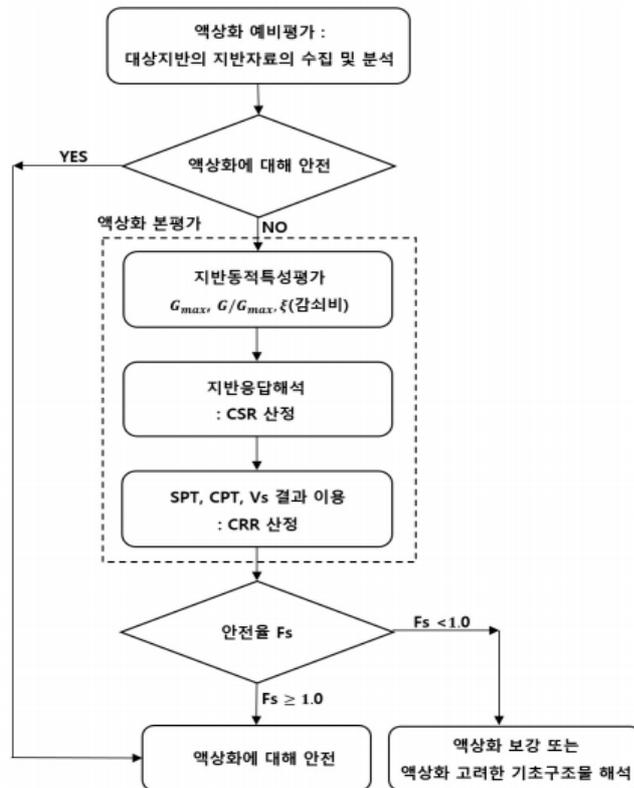
해설그림 4.1.1 비행장시설 내진성능 상세평가

4.2 액상화 평가

활주로, 유도로, 계류장 등 비행장시설의 경우 상재하중의 크기가 작아 관성력에 의한 지진 피해보다는 액상화 발생으로 기인한 침하와 이로 인한 균열, 파손 등의 발생위험이 크다. 이에 액상화 평가를 수행하여 비행장시설의 내진성능을 평가하도록 한다. 액상화 발생가능성에 대한 평가는 「내진설계 일반(KDS 17 10 00)」과 「기존 시설물(기초및지반) 내진성능 평가요령」을 준용토록 한다.

■ 해설 ■

액상화 평가의 경우 비행장시설의 하부 지반이 $S_2 \sim S_6$ 인 경우에 수행한다. 지반 액상화 평가는 예비평가와 본평가의 2단계로 구분하며, 전반적인 액상화 평가의 흐름도는 다음의 해설그림 4.2.1과 같다.



해설 그림 4.2.1 액상화 평가 흐름도

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

4.2.1 액상화 평가를 위한 지반 물성치 산정

액상화 평가를 위한 지반 물성치 산정은 「기존 시설물(기초및지반) 내진성능 평가요령」을 준용토록 한다.

■ 해설 ■

액상화 평가에 필요한 지반 물성값은 해당 시설물의 기존 설계 자료 또는 기 수행된 내진성능 평가자료를 이용하여 획득한다. 단, 필요한 지반 물성값이 없거나 기존 지반조사 자료의 신뢰성이 부족하다고 판단 될 경우에는 지반조사를 수행한다. 비행장시설의 액상화 평가를 수행하기 위해 필요한 지반 물성 값은 아래와 같다.

- 1) 시설물 하부 지반의 층상 구조 및 지하수위
- 2) 기반암까지의 깊이 및 각 층의 밀도
- 3) 액상화 본평가를 위한 깊이별 표준관입시험 저항값(SPT-N값) 및 해당 SPT 장비의 에너지 효율

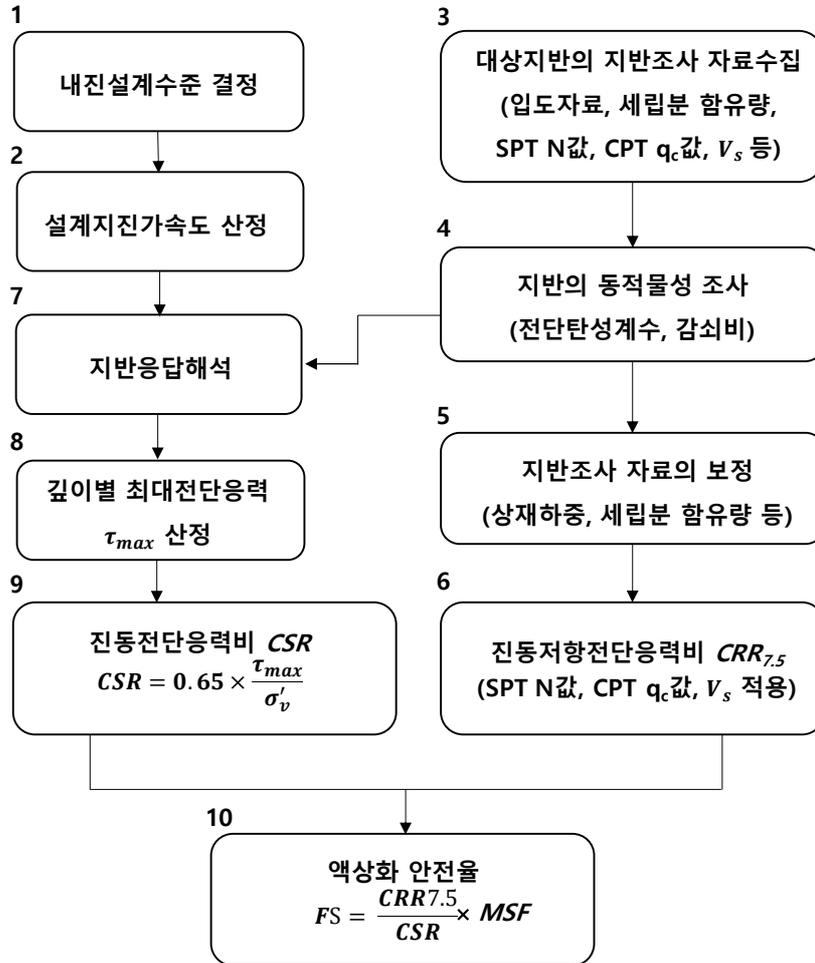
그 외 상세한 사항은 “기존 시설물(기초및지반) 내진성능 평가요령”의 “제3장 지반 물성값 산정”을 준용토록 한다.

4.2.2 액상화 평가

비행장 하부지반의 액상화 평가 방법은 「기존 시설물(기초및지반) 내진성능 평가요령」을 준용토록 한다. 액상화 예비평가는 제3장 내진성능 예비평가 내용의 3.4.2 중 비행장시설 예비평가 결과를 적용한다. 액상화 예비평가 결과 액상화 발생위험이 있는 것으로 판단될 경우 액상화 본평가를 수행한다.

■ 해설 ■

액상화 본평가 방법으로는 국내 지진특성을 고려한 수정 Seed 와 Idriss 방법을 제안한다. 액상화 본평가의 흐름도는 다음과 같다. 그 외 상세한 사항은 “기존 시설물(기초및지반) 내진성능 평가요령” 중 “제4장 액상화 평가”를 준용토록 한다.



해설그림 4.2.2 액상화 본평가 흐름도

4.3 성능수준의 판정

4.3.1 일반 사항

4.2에 따른 액상화 평가 결과 활주로, 유도로, 계류장 등 비행장시설의 하부지반이 액상화에 대해 안전하지 않다고 판단될 경우 아래 방법에 따라 비행장시설의 내진성능 수준을 판정한다.

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

4.3.2 액상화 해석

비행장시설 하부지반의 액상화에 대한 내진성능수준을 판정하기 위해, 등가정적 해석법 및 동적 해석법(비선형시간이력 해석법)을 통해 액상화 발생 시 발생 가능한 지반 변위를 산정할 수 있다.

4.3.3 성능 수준의 판정

액상화 발생 시 비행장시설 하부지반의 성능 수준은 연직 침하량을 기준으로 하며 시설물 종류 및 비행장시설 분류 등급 등에 따라 성능목표, 설계지진 및 성능평가 기준을 다르게 적용한다.

■해설 ■

비행장시설의 시설물 종류별 내진성능수준은 공항시설 내진설계 기준에 따라 해설표 4.3.1을 따르며, 비행장시설의 종류별 성능목표 및 설계지진은 해설표 4.3.2 및 해설표 4.3.3을 따른다.

해설표 4.3.1 비행장시설의 내진성능수준

비행장시설의 종류	기능수행수준	붕괴방지수준
활주로, 유도로, 계류장	지진발생 후에도 비행장시설의 항공기 이착륙 및 긴급차량의 통행이 가능해야 한다.	지진발생 후 비행장시설의 기능수행 가능 여부와는 상관없이 활주로, 유도로, 계류장의 전체 또는 일부가 붕괴되지 않아야 하는 수준으로 단기간에 보수가 가능해야 한다.

해설표 4.3.2 비행장시설의 성능목표 및 설계지진 (활주로)

내진등급	성능수준	설계지진
특	붕괴방지	재현주기 2400년 설계지진
	기능수행	재현주기 200년 설계지진

제4장 비행장시설 내진성능 상세평가

해설표 4.3.3 비행장시설의 성능목표 및 설계지진 (유도로, 계류장)

내진등급	성능수준	설계지진
1	붕괴방지	재현주기 1000년 설계지진
	기능수행	재현주기 100년 설계지진

비행장시설의 시설물 별 성능 평가기준은 해설표 4.3.4의 비행장시설 분류 등급 및 해설표 4.3.5의 비행장시설 분류 등급별 최대 종단경사도 세부 조건을 따르며 비행장시설 등급은 활주로의 길이에 따라 결정한다.

해설표 4.3.4 비행장시설 분류 등급 (비행장시설 설치기준, 국토교통부)

분류번호	활주로 길이 (과주로를 제외)
1	800m 미만
2	800m 이상 1200m 미만
3	1200m 이상 1800m 미만
4	1800m 이상

해설표 4.3.5 비행장시설 등급별 최대 종단경사도 (비행장시설 설치기준, 국토교통부)

구 분	분류번호			
	1	2	3	4
최대 종단경사	2.0%	2.0%	1.5% ^a	1.25% ^b
최대 평균종단경사 ^c	2.0%	2.0%	1.0%	1.0%
최대 경사변화	2.0%	2.0%	1.5%	1.5%

- a) 단, 활주로 운영등급이 CAT II 또는 CAT III 정밀접근활주로는 활주로 시단에서 활주로 길이의 최초 및 최종 4분의 1구간의 종단경사도는 0.8%를 초과해서는 안된다.
- b) 단, 활주로 시단에서 활주로 길이의 4분의 1이하의 거리에 위치하는 부분의 종단경사도는 0.8%를 초과해서는 안된다.
- c) 활주로 중심선을 따라 최고표고와 최저표고의 차를 활주로 길이로 나누어 산출한 값.

4.3.4 내진성능수준 평가를 위한 해석 방법

4.2에 따른 액상화 평가 결과 액상화에 대해 안전하지 않다고 판정된 비행장시설 하부지반의 내진성능수준 평가는 등가정적해석법 및 동적 해석법(비선형시간이력 해석법)과 같은 해석적 방법을 사용하여 수행할 수 있으며, 해석 결과를 토대로 4.3.3의 판정 기준에 따라 평가할 수 있다.

■ 해설 ■

등가 정적 해석법은 지진하중을 등가의 정적하중으로 변환한 후 정적설계법과 동일한 방법을 적용하여 액상화 발생 시 구조물의 내진안정성을 평가하는 방법이다. 등가 정적 해석 시 해석모델은 지반반력계수를 스프링으로 치환한 간략모델 및 연속체모델을 사용할 수 있으며 지반반력계수 적용 시 액상화 효과를 고려하기 위해 감소계수를 적용할 수 있다.

동적 해석법은 지진력을 구조동역학적 이론으로 평가하여 대상 시스템의 지진거동을 해석하는 방법으로써 액상화 평가의 경우 비선형시간이력해석법을 이용하는 것이 바람직하다. 일반적으로 동적 해석법의 경우 대상 시스템의 전체를 모델링하여 원하는 지점에서의 지진 응답을 얻는 것이 바람직하나, 규모가 크고 얻을 수 있는 지반정보가 제한적인 공항 시설물의 특성상 각 지점별 모델링을 통해 연직 침하량을 구한 후 부등침하량을 결정하는 방안을 이용할 수 있다.

가) 전체 시설물에 대한 모델링

비행장시설(활주로, 유도로, 계류장) 전체를 모델링하여 비선형시간이력해석을 수행하고 원하는 지점에서의 연직침하량을 출력하여 부등침하량을 결정함으로써 액상화 발생 시 내진성능수준을 평가한다. 공항 시설물의 규모에 따라 해석 효율성이 달라질 수 있다.

나) 각 지점별 모델링

비행장시설(활주로, 유도로, 계류장)의 각 연직 침하량 비교지점을 개별적으로 모델링하고 각 지점에서의 연직침하량을 토대로 부등침하량을 결정함으로써 액상화 발생 시 내진성능수준을 평가한다. 해석 횟수가 늘어날 수 있음에도 불구하고 해석 효율성 측면에서 4.2.1의 방법에 비해 유리한 방법이다.

제4장 비행장시설 내진성능 상세평가

동적 해석법(비선형시간이력해석법)을 이용한 비행장시설 하부지반의 내진성능수준 평가 시 다음과 같은 고려사항을 적용하여 수행한다.

(1) 동적 해석을 위한 지반운동은 다음 각 호의 방법 중 하나를 이용할 수 있다.

- 1) 설계지반운동 시간이력
- 2) 실지진기록 활용 지반운동 시간이력
- 3) 인공합성 지반운동 시간이력

(2) 동적 해석을 위한 하부지반 및 포장체의 제원 및 물성은 설계 항공기 하중 및 통행량에 따라 공항마다 상이하므로 내진성능수준 평가를 수행하는 해당 공항의 실제 시공기준에 따른다.

(3) 동적 해석을 위한 지반모델은 지진 시 전단 변형률 증가에 따른 전단탄성계수의 비선형적 감소 및 동적 감쇠비의 비선형적 증가, 그리고 과잉간극수압 증가에 따른 유효응력의 감소 등 액상화 발생 시 주요 지반동역학적 거동을 모사할 수 있어야 한다.

(4) 동적 해석을 위한 지반모델의 수평방향 크기는 경계부에서의 지진파 반사로 인한 내부 응력상태의 교란, 에너지의 증첩 등을 방지하기 위해 충분히 크게 설정되어야 하며, 필요 시 자유장 경계요소 모델 적용 등 실제 거동을 모사할 수 있는 적절한 경계조건의 설정을 통해 해석 수행이 가능하다.

(5) 지반운동은 모델의 바닥면(기반암층)에 입력하는 것을 원칙으로 하며 모델의 요소망은 해석 결과의 정확도를 확보할 수 있도록 충분히 촘촘하게 구성하여야 한다.

(6) 해석 결과로는 지표면 연직 방향 잔류침하량을 도출하며, 최종적으로 해설표 4.3.5에 따라 착륙대 등급별 비행장시설의 지표면 최대 중·횡단 구배를 기준으로 해당 비행장시설 별 하부지반의 내진성능수준을 평가한다.

4.3.5 내진성능수준 평가결과

동적 해석법에 따른 내진성능수준 평가결과 비행장시설(활주로, 유도로 및 계류장)의 액상화에 대한 내진성능이 확보되지 못하는 경우에는 액상화 대책공법을 적용하여 보강한다.

제5장 건축물 내진성능 상세평가

5.1 일반사항

5.1~5.3은 기존 공항시설 중 건축물에 대한 내진성능 상세평가의 세부 기술적인 사항을 규정한다. 이 장의 요구사항은 공항시설물 중 건축물에 대한 것으로 항행안전시설 등에 대한 사항은 포함하지 않는다.

본 요령 제3장의 예비평가는 건축물의 예비평가를 대체할 수 없으므로 「기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령」에 따라 예비평가를 실시한 후 상세평가를 실시하도록 한다.

■ 해설 ■

제5장은 기존 공항시설 중 건축물의 내진성능평가에 대한 기술적인 사항을 규정한다. 건축물에 부속된 항행시설물의 경우, 항행시설물의 내진설계기준이 부재함에 따라 필요시 “공항시설 내진설계기준”과 “기존 시설물(건축물)의 내진성능 평가요령”의 제반규정을 참조할 수 있다. 다만, 항행시설물과 관련한 내진설계기준이 제정될 경우 해당 내진설계기준의 규정을 따르도록 한다.

5.1.1 평가 대상 건축물

기존 공항시설 중 건축물의 상세평가절차는 「공항시설 내진설계기준」의 규정을 따르는 건축물을 대상으로 한다.

■ 해설 ■

공항시설 중 건축물이라 함은 “공항시설 내진설계기준”에 따라 해설표 5.1.1과 같이 일반건축물, 건물외구조물, 비구조요소에 해당하는 시설이다. 본 요령의 예비평가에서는 우선순위 결정을 위하여 여객터미널과 제1종 및 제2종 시설물로 범위를 제한하였으나, 상세평가에서는 공항시설의 모든 건축물을 대상으로 한다.

건축물의 예비평가는 “기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령”을 따르며, 본 요령에서는 해당 절차를 생략한다. 이는 공항시설의 내진성능평가는 예비평가단계에서 공항단위로

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

진행되며, 예비평가 결과에 따라 상세평가의 우선순위를 결정하는 것이기 때문이다.

해설표 5.1.1 공항시설의 건축물

	내진특등급	내진I등급	내진II등급
일반 건축물	여객터미널, 관제탑, 항공교통센터(ATC), 흐름관리센터(ATFM), 구조 및 소방시설, 동력동 연면적 1천 제곱미터 이상인 위험물 저장 및 처리시설	화물터미널, 관리동, 경찰대, 항공기정비고, 레이더 송수신소, 관제통신 송·수신소, 항공무선표지소	내진특등급 및 내진I등급에 해당하지 않는 건축물
건물외 구조물	내진특등급 비행장시설에 설치된 건물외구조물, 지진 피해시 공항시설 기능이 마비되는 항행안전시설이 설치된 건물외구조물	내진I등급 비행장시설에 설치된 건물외구조물, 탱크, 급유시설, 변전설비 지진 피해시 공항시설 기능이 일부 제한되는 항행안전시설이 설치된 건물외구조물	내진특등급과 내진I등급이 아닌 건물외구조물
비구조 요소	화재발생시 진화에 필수적인 소화배관, 스프링클러, 화재 및 지진시 피난경로상에 있는 계단, 캐노피, 비상유도등, 전도 및 탈락시 인명피해가 예상되는 외부마감재, 중량칸막이벽, 천장재, 중요장비가 설치된 이중바닥, 내진특등급의 시설물에서 해당시설의 지속적인 기능수행을 위해 필요하거나 손상시 해당시설의 지속적인 기능수행에 지장을 줄 수 있는 비구조요소		내진특등급이 아닌 비구조요소

5.1.2 공항시설의 특성 반영

공항시설의 내진성능 상세평가는 공항시설의 기능수행과 관련이 있는 건축물에 대하여 내진등급과 상관없이 기능수행을 위해 요구되는 내진성능목표에 대한 평가를 수행할 수 있다.

■ 해설 ■

공항시설은 비행장시설, 건축물, 교량, 지중구조물 등 서로 다른 시설이 복합된 시설로 내진II등급부터 내진특등급까지 서로 다른 기준의 목표성능을 검토하여야 한다. 이에 기능유지를 위하여 일관된 목표성능을 검토하고 이를 반영하여 성능평가를 실시할 필요가 있다.

(1) 기능수행과 관련한 사항

공항시설은 지진발생 후 피해복구와 국가안보의 핵심거점으로 활용된다. 따라서 붕괴방지수준의 지진이 발생하더라도 일부시설의 한하여 기능수행이 가능하거나 단시간 내에 복구가 가능하여야 한다. 발주처와의 협의를 통하여 조기복구 및 기능수행이 필요한 시설을 설정하고 해당시설에 대하여 필요한 성능수준을 별도로 정할 수 있다.

(2) 항행시설물과의 관계

공항의 기능유지를 위한 필수 항행시설물(지진 피해시 공항시설 기능이 마비되는 항행안전시설)을 지지하는 건물외구조물의 평가는 가장 높은 내진등급을 기준으로 평가한다. 다만, 항행안전시설에 대한 내진설계 및 내진성능평가기준이 제정될 때까지 항행안전시설 내진성능평가에 적용할 국내외 관련기준을 발주처와 협의하여 진행할 수 있다.

5.2 구조요소의 평가절차

구조물의 경우 선형정적절차, 선형동적절차, 비선형정적절차, 비선형동적절차의 4종류의 상세평가 방법을 사용하며, 비구조요소 및 건물외구조물의 구조해석과 실험을 통한 평가 방법을 사용한다. 건축물 내진성능 상세평가의 세부적인 절차는 「기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령」을 준용하도록 한다. 다만, 평가방법이 제시되지 않은 장스팬구조물 등 특수구조물에 해당되는 경우 구조공학의 기본원리를 따르는 구조해석과 안전성이 검증된 합리적인 절차와 방법을 사용할 수 있으며, 이 경우 제3자 검토 및 발주처의 사전승인을 획득하도록 한다.

■ 해설 ■

관제탑은 대부분 세장한 구조물이며, 여객터미널은 장경간과 같은 특수구조물인 경우가 많다. 이러한 공항시설의 내진성능 상세평가는 구조적 특수성에도 불구하고 조건이 충분하다면 선형정적절차, 선형동적절차, 비선형정적절차, 비선형동적절차의 방법을 사용할 수 있다. 다만, 평가자가 이러한 구조물의 비선형성을 충분히 고려하여야 하며, 평가자의 가정을 검증하고 해석상의 오류를 파악하기 위해 제3자 검토가 필요한 것이다.

가) 관제탑

관제탑의 하부구조가 전도에 저항할 수 있는 충분한 크기일 경우 기초 및 지반의 전도모멘트를 고려할 필요가 없지만, 하부구조의 크기가 충분하지 못할 경우 지반-구조물의 상호작용을 고려할 필요가 있다. 이때 기초 또는 구조물의 지표면 하부는 강체요소로, 지지조건은 3개의 회전 스프링과 3개의 변위 스프링으로 이루어진 3차원 조인트요소로 모델링할 수 있다.

나) 여객터미널

(1) 신축줄눈

여객터미널이 신축줄눈으로 구분될 경우 각각의 구조물로 나누어 평가한다. 각각의 모델이 층고가 동일하고 유사한 구조로 이루어진 경우에는 기능수행수준에 한하여 변형적합성 검토를 실시한다.

(2) 하중-변위 증폭

장스팬, 초고층구조물은 큰 변위가 발생할 경우 하중에 의해 변위가 증폭되므로 하중-변위 증폭을 고려하도록 한다.

(3) 비정형 부재

비정형부재의 모델링은 해당부재의 재료 및 기하비선형성을 충분히 반영한 모델을 사용하여야 한다.

다) 탄성받침

건축물 내에 탄성받침이 사용된 경우 “기존 시설물(교량) 내진성능 평가요령”의 받침과 관련한 제반사항을 추가로 검토하여야 한다.

5.3 비구조요소의 평가절차

<p>비구조요소의 내진성능은 아래의 절차에 따라 평가한다.</p> <p>(1) 대상 구조물에 설치된 비구조요소에 대한 자료를 수집한다. 관련 자료가 미흡할 경우 현장조사를 통하여 성능평가에 충분한 정보를 취득하여야 한다. 기존의 관련 도서가 있더라도 현장조사를 통해 비구조요소의 위치, 구조체와의 접합 상세 등을 파악하여 평가 시 이를 반영하여야 한다.</p> <p>(2) 「공항시설 내진설계기준」을 참고하여 평가대상 비구조요소를 결정한다.</p> <p>(3) 비구조요소의 목표성능과 건축물의 성능목표가 부합하도록 정의한다.</p> <p>(4) 해석적 방법, 실험적 방법으로 평가한다.</p>

■ 해설 ■

공항시설의 비구조요소의 평가절차는 다음과 같다.

(1) 공항시설의 비구조요소는 다음과 같다. (해설표 5.1.1 공항시설의 건축물 참조)

해설표 5.3.1 비구조요소 평가방법

비구조요소	평가방법
화재발생시 진화에 필수적인 소화배관, 스프링클러	소방시설의 내진설계 기준
화재 및 지진시 피난경로상에 있는 계단, 캐노피, 비상유도등	건축구조기준, 건축물의 내진성능평가요령
전도 및 탈락시 인명피해가 예상되는 외부마감재, 중량칸막이벽, 천장재	건축구조기준, 건축물의 내진성능평가요령
중요장비가 설치된 이중바닥	건축구조기준, 건축물의 내진성능평가요령
내진특등급의 시설물에서 해당시설의 지속적인 기능수행을 위해 필요하거나 손상시 해당시설의 지속적인 기능수행에 지장을 줄 수 있는 비구조요소	공항시설내진설계기준, 공항시설의 내진성능평가요령 건축물의 내진성능평가요령

(2) 상기 비구조요소 중 소화배관, 스프링클러 등 소방시설은 소방관련기준에 따라 평가하며, 그 외 비구조요소를 평가대상으로 한다.

(3) 구조요소와 비구조요소의 성능목표는 전체 건축물 성능목표에 부합하여야 하면, 최소성능목표는 해설표 5.4.1과 같다. 다만, 공항시설의 경우 붕괴방지수준의 지진에도 기능유지 또는 조기복구를 요구할 수 있다. 이와 관련하여 발주처와 협의하여 해당시설에 한하여 보다 높은 성능목표를 설정할 수 있다.

(4) 해석적 방법이라 함은 등가정적해석법을 통한 비구조요소를 평가하는 방법이며, 실험적 방법이라 함은 동적실험 또는 정적실험을 통하여 수행하는 방법이다.

5.4 성능수준의 판정

5.4.1 성능목표

공항시설 건축물의 내진등급별 최소성능목표는 「공항시설 내진설계기준」을 따른다.

■ 해설 ■

건축물의 최소성능목표는 다음 해설표 5.4.1과 같다.

해설표 5.4.1 건축물과 비구조요소의 내진등급별 최소성능목표

내진 등급	성능목표			설계지진
	재현주기	성능수준		
		건축물	비구조요소	
특	2,400년	인명보호	인명보호	기본설계지진 ¹⁾ × 중요도계수(I_E)
	1,000년	기능수행	기능수행	-
I	2,400년	붕괴방지	미고려	-
	1,400년	인명보호	미고려	기본설계지진 × 중요도계수(I_E)
II	2,400년	붕괴방지	미고려	-
	1,000년	인명보호	인명보호	기본설계지진 × 중요도계수(I_E)

1) 기본설계지진은 스펙트럼가속도가 최대고려지진(2,400년 재현주기 지진 크기)에 의한 값의 2/3 수준에 해당하는 지진으로 1,000년 재현주기 지진 크기에 해당한다.

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

구조요소 및 비구조요소의 설계거동한계는 해설표 5.4.2~해설표 5.4.4와 같다.

해설표 5.4.2 건축물의 설계거동한계

건축물의 종류	기능수행수준	인명보호수준	붕괴방지수준
여객터미널, 관제탑, 구조 및 소방시설, 동력동, 위험물 저장 및 처리시설, 화물터미널, 관리동, 경찰대, 항공기정비고, 주차건물, 항공교통센터(ATC), 흐름관리센터(ATFM), 레이더 송수신소, 관제통신 송·수신소, 항공무선표지소	구조물의 피해는 경미하며 중력하중저항시스템과 지진력저항시스템은 대체로 지진 전의 강성과 강도를 보유하고 있다. 구조부재의 손상으로 인명에 피해를 입을 가능성은 매우 낮으며 손상부재에 대한 보수가 필요하지만 시급하지는 않다.	구조부재에 상당한 손상이 발생하여 횡강성과 강도의 손실이 있으나 붕괴에 대해서는 여전히 여력을 보유하고 있다. 구조부재에 영구변형이 있으며 지진력저항시스템의 일부 요소에서 균열, 파단, 항복, 혹은 좌굴이 발생할 수 있으나 구조부재의 손상으로 인한 인명손실의 위험은 낮다. 구조부재의 보수는 가능하지만 경제적이지 않을 수도 있다. 당장 무너지지는 않으나 거주를 위해서는 보수와 보강이 요구된다.	구조물이 심각한 피해를 입은 상태로 국부적 혹은 전체적인 붕괴가 임박한 상태이다. 지진력저항시스템에 상당한 강도 및 강성의 저하가 있으며 횡방향 영구변형이 있다. 그러나 중력하중저항시스템은 여전히 하중을 지지할 수 있다. 구조부재의 박락 등으로 인명피해가 생길 수 있으며 일반적인 보수보강 후에도 거주에 안전하지 않을 수 있다. 여진으로 인해 붕괴가 발생할 수 있다.

해설표 5.4.3 건물외구조물의 설계거동한계

건물외구조물의 종류	기능수행수준	인명보호수준	붕괴방지수준
건물외구조물	구조물의 피해는 경미하며 대체로 지진 전의 강성과 강도를 보유하고 있다. 구조부재의 손상으로 인명에 피해를 입을 가능성은 매우 낮으며 손상부재에 대한 보수가 필요하지만 시급하지는 않다.	구조부재에 상당한 손상이 발생하여 횡강성과 강도의 손실이 있으나 붕괴에 대해서는 여전히 여력을 보유하고 있다. 구조부재에 영구변형이 있으며 일부 요소에서 균열, 파단, 항복, 혹은 좌굴이 발생할 수 있으나 구조부재의 손상으로 인한 인명손실의 위험은 낮다. 구조부재의 보수는 가능하지만 경제적이지 않을 수도 있다. 당장 무너지지는 않으나 거주를 위해서는 보수와 보강이 요구된다.	구조물이 심각한 피해를 입은 상태로 국부적 혹은 전체적인 붕괴가 임박한 상태이다. 그러나 여전히 연직하중을 지지할 수 있다. 구조부재의 박락 등으로 인명피해가 생길 수 있으며, 여진으로 인해 붕괴가 발생할 수 있다.

해설표 5.4.4 비구조요소의 설계거동한계

비구조요소의 종류	기능수행수준	인명보호수준	붕괴방지수준
비구조요소	지진 이후에도 정상적으로 기능수행할 수 있다.	지진 이후 심각한 피해가 발생할 수 있지만, 인명피해를 유발하지 않는다.	지진에 대한 비구조요소의 성능을 고려하지 않는다.

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

5.4.2 성능수준의 판정

공항시설 건축물의 내진성능평가에 대한 성능수준의 판정은 5.4.1의 성능목표의 만족여부로 판정한다.

■ 해설 ■

본 요령과 “기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령”에 의거 해설표 5.4.1~해설표 5.4.4의 성능목표를 만족할 경우 그 성능목표를 만족하는 것으로 본다. 비구조요소 중 기계/전기 비구조요소의 경우 장치의 작동여부를 추가로 검토하여 성능목표를 만족할 경우 그 성능목표를 만족하는 것으로 본다.

5.5 그 밖의 사항

본 장에서 기술하지 않은 기존 공항시설물 중 건축물에 대한 내진성능 상세평가의 세부 기술적인 사항은 「기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령」을 준용하도록 한다.

제6장 교량 내진성능 상세평가

6.1 일반사항

제6장은 공항 시설물 중 교량 시설물 내진성능 상세평가의 기술적인 사항을 규정한다. 교량의 내진성능 상세평가 요소는 교량 구성요소 중 교각, 교량받침부, 받침지지길이, 교대, 기초 및 지반으로 한다. 이 중 교각, 교량받침부, 받침지지 길이는 「기존 시설물(교량) 내진성능 평가요령」을 준용하고 교대, 기초, 지반은 「기존 시설물 (기초및지반) 내진성능 평가요령」을 준용토록 한다.

■ 해설 ■

평가는 구성요소가 보유하고 있는 공급역량과 내진성능 평가기준지진에 대하여 각 구성요소에 요구되는 소요역량을 비교하여 평가한다. 교량의 내진성능 상세평가는 다양한 방법이 제안되고 있으나 본 요령에서는 평가방법의 단순화를 위하여 교량을 구성하는 각 구성요소-교각, 교량받침(받침길이 포함), 교대, 기초 및 기초지반-에 대해 구성요소가 현재 보유하고 있는 공급역량과 내진성능평가 기준지진시에 부재에 요구되는 소요역량을 비교하여 개별적으로 내진성능을 평가한다.

6.1.1 성능평가용 지진

성능평가용 지진은 「내진설계 일반(KDS 17 10 00)」에 기반하여 선정한다. 그 외 상세한 일반사항은 「기존 시설물(교량) 내진성능 평가요령」을 준용토록 한다.

■ 해설 ■

본 요령의 제2장에서 결정된 지진을 성능평가용 지진으로 사용하되, 상세평가의 세부 내용은 “기존 시설물(교량) 내진성능 평가요령”의 “제4장 내진성능 상세평가” 중 “4.1 일반사항”에서 명시한 것을 준용토록 한다. 교량의 구성요소 중 교각의 평가지진하중은 교량 상부구조에서 교각으로 전달되는 지진하중으로 하며, 받침 및 기초의 평가지진하중은 교각의 조합탄성지진력과 교각의 단면강도 중 작은 값으로 한다.

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

6.2 평가 기준 및 성능수준 별 하중 조합

교량의 내진성능평가를 위한 성능수준 및 하중 조합은 「기존 시설물(교량) 내진성능 평가요령」을 준용토록 한다.

■ 해설 ■

교각에 작용하는 지진하중은 교량의 탄성주기를 계산하여 내진성능 평가기준지진에 대한 응답스펙트럼으로부터 응답가속도(탄성지진응답계수, C_s)의 크기를 결정하여 계산한다. 지진 하중 및 조합탄성 지지력에 대한 그 외 상세한 사항은 “기존 시설물(교량) 내진성능 평가요령”의 “제4장 내진성능 상세평가” 중 “4.2 지진하중 및 조합탄성지진력”에 명시한 것을 준용토록 한다.

6.3 내진안정성 평가방법

교각, 교량받침부, 받침지지 길이의 내진안정성 평가방법은 「기존 시설물(교량) 내진성능 평가요령」을 준용토록 한다.

■ 해설 ■

교각, 교량받침부, 받침지지길이의 공급역량과 소요역량을 비교하여 내진성능평가를 수행한다. 자세한 사항은 “기존 시설물(교량) 내진성능 평가요령”의 “제4장 내진성능 상세평가” 중 “4.3 구성요소의 내진성능 평가”에 명시한 것을 준용토록 한다.

6.3.1 교대, 기초, 지반의 평가

교대, 기초, 지반의 내진안정성 평가방법은 「기존 시설물(기초및지반) 내진성능 평가요령」을 준용토록 한다.

■ 해설 ■

교대, 기초 및 지반의 공급역량과 소요역량을 비교하여 내진성능평가를 수행한다. 자세한 사항은 “기존 시설물(기초및지반) 내진성능 평가요령”의 “제5장 기초의 내진성능평가”에 명시한 것을 준용토록 한다.

6.3.2 교량 기초 및 지반의 액상화 평가

교량 기초 및 지반의 액상화 발생 가능성에 대한 평가는 「내진설계 일반(KDS 17 10 00)」과 「기존 시설물(기초및지반) 내진성능 평가요령」을 준용토록 한다. 액상화 발생가능성이 있다면 「기존 시설물(기초및지반) 내진성능 평가요령」에 따라 액상화를 고려한 기초의 내진성능 평가를 수행한다.

■ 해설 ■

액상화 평가를 통하여 기초구조물 주변지반에 액상화가 발생할 것으로 판단되는 경우 액상화에 의한 지반강성 및 강도감소, 액상화에 의해 유발되는 지반변위 등의 영향을 고려하여 기초구조물의 모델링 및 내진성능평가를 수행한다. 얕은기초 하부지반의 액상화 발생이 예상되면 액상화 대책공법을 적용하여 보강하거나 액상화 현상을 모사할 수 있는 동적수치해석을 수행하여 상세내진성능을 평가한 후 액상화 보강여부를 결정한다. 말뚝기초는 액상화 지반의 물성 변화와 지진관성력을 고려한 내진성능평가와 지진후 액상화 지반변위에 대한 내진성능평가를 각각 수행한다.

제7장 지중구조물 내진성능 상세평가

7.1 일반사항

제7장은 공항 시설물 중 지중구조물 시설물 내진성능 상세평가의 기술적인 사항을 규정한다. 본 상세평가는 개착 또는 비개착공법으로 건설된 터널 구조물 및 개착공법으로 건설된 지중 공동구에 적용한다. 터널 구조물의 정의는 「기존 시설물(터널) 내진성능 평가요령」을 준용토록 하며, 지중 공동구 시설물의 정의는 「기존 시설물(공동구) 내진성능 평가요령」을 준용토록 한다.

■ 해설 ■

터널 구조물은 개착 또는 비개착 공법으로 지중에 건설된 터널 구조물로 정의한다. 개착식 터널의 본선 및 정거장 구조물, 굴착식 터널(도로 및 철도터널), 지중과 지상의 경계부인 U-Type 구조물의 경우 “기존 시설물(터널) 내진성능 평가요령”을 준용토록 한다.

공동구란 전기·가스·수도 등의 공급설비, 통신시설, 하수도시설 등 지하매설물을 공동 수용함으로써 미관의 개선, 도로구조의 보전 및 교통의 원활한 소통을 위하여 지하에 설치하는 시설물을 말한다. “기존 시설물(공동구) 내진성능 평가요령”에 따르면 평가요령의 평가대상은 공동구 구조물 및 이를 둘러싼 지반으로 한정하며, 공동구 내부 비구조요소 시설물(통신, 라이프라인 등)에 대한 평가는 해당시설물의 관리자와 협의하에 별도의 기준에 따라 별도의 성능평가 용역을 실시하는 것을 원칙으로 한다.

7.1.1 터널의 해석방법

터널 구조물의 상세평가 방법으로는 개착 천층 터널의 경우 응답변위법을 기본으로 하고 굴착 터널인 경우 응답이력 해석법(Response History Analysis) 적용을 추천한다.

■ 해설 ■

본 요령에서는 내진성능 평가를 위하여 가능하면 보편적으로 이용하고 있는 응답변위법

또는 응답이력해석법 등을 이용하도록 하고 있다. 따라서 개착식 터널의 경우 응답변위법을 적용하고 굴착식 터널의 경우 실지진과 시간이력을 이용한 응답이력해석법을 적용함을 원칙으로 한다. 응답이력 해석법의 경우 지반과 구조물의 상호 작용 및 지반과 구조물의 비선형 거동을 함께 고려할 수 있다.

7.1.2 공동구의 해석방법

지진시 지중 공동구 구조물의 해석은 지진시 지반의 변위에 근거하여 지진하중을 추정하는 응답변위법 사용을 기본으로 하며, 지반-구조물의 동적 상호작용을 고려한 응답이력해석법(Response History Analysis)을 사용할 수도 있다.

■ 해설 ■

공동구 구조물의 내진해석은 ‘응답변위법’, 혹은 ‘응답이력해석법(시간이력해석)’ 중 한 가지를 사용하여 수행할 수 있다. 일반적인 공동구 구조물의 경우 ‘응답변위법’을 기본으로 하며, 상세 검토가 필요한 경우나 구조 또는 지반조건이 복잡한 경우는 ‘응답이력해석법’을 사용하는 것을 추천한다. 본 평가요령에서는 ‘응답변위법’을 공동구 구조물의 내진해석을 위한 표준해석법으로, ‘응답이력해석법’은 부수적인 해석법으로 규정한다.

7.1.3 성능평가용 지진

성능평가용 지진은 「내진설계 일반(KDS 17 10 00)」에 기반하여 선정한다. 그 외 상세한 일반사항은 「기존 시설물(터널) 내진성능 평가요령」과 「기존 시설물(공동구) 내진성능 평가요령」을 준용토록 한다.

■ 해설 ■

본 요령의 제2장에서 결정된 지진을 성능평가용 지진으로 사용하되, 상세평가의 세부 내용은 각 요령의 “제4장 내진성능 상세평가” 중 “4.1 일반사항”에서 명시한 것을 준용토록 한다.

7.2 평가 기준 및 성능수준 별 하중 조합

터널의 내진성능평가를 위한 성능수준 및 하중 조합은 「기존 시설물(터널) 내진성능 평가요령」을 준용토록 한다. 공동구의 내진성능 평가를 위한 성능수준 및 하중 조합은 「기존 시설물(공동구) 내진성능 평가요령」을 준용토록 한다.

■ 해설 ■

우리나라 내진설계 기준을 규정하는 최상위 기준인 “내진설계기준 공통적용사항(행안부)”에서는 내진설계에서 목표로 하여야 하는 시설물의 내진성능 수준을 총 4가지 형태(기능수행, 즉시복구, (장기복구/인명보호), 붕괴방지)로 제시하고 있으며, 개별시설물은 기능수행을 포함하는 총 두 개의 성능수준을 만족하도록 규정하고 있다. “기존 시설물(터널) 내진성능 평가요령”에서는 기능수행수준과 붕괴방지구준을 내진성능목표로 규정하고 있다. 그 외 하중 조합 등도 “제4장 내진성능 상세평가” 중 “4.2 평가기준 및 성능수준별 하중조합”을 해당 요령을 준용한다. 공동구의 경우 “기존 시설물(공동구) 내진성능 평가요령”에서 기능수행수준과 붕괴방지구준을 내진성능목표로 규정하고 있다. 그 외 하중 조합 등도 “제4장 내진성능 상세평가” 중 “4.2 평가 기준 및 성능수준별 하중조합”을 해당 요령을 준용한다.

7.3 내진안정성 평가방법

터널의 내진안정성 평가방법은 「기존 시설물(터널) 내진성능 평가요령」을 준용토록 한다. 공동구의 내진안정성 평가 방법은 「기존 시설물(공동구) 내진성능 평가요령」을 준용토록 한다.

■ 해설 ■

터널의 응답변위법 및 응답이력 해석법 적용 방법은 “기존 시설물(터널) 내진성능 평가요령”의 “제4장 내진성능 상세평가” 중 “4.3 내진 안정성 평가방법”을 해당 요령을 준용한다. 공동구의 경우 공동구의 응답변위법 및 응답이력 해석법 적용 방법은 “기존 시설물(공동구) 내진성능 평가요령”의 “제4장 내진성능 상세평가” 중 “4.3 내진 안정성 평가방법”을 해당 요령을 준용한다.

7.3.1 액상화 평가

터널 및 공동구의 액상화 발생가능성에 대한 평가는 「내진설계 일반(KDS 17 10 00)」과 「기존 시설물(기초및지반) 내진성능 평가요령」을 준용토록 한다.

제8장 내진성능평가 보고서 구성

8.1 문장 및 보고서의 작성

8.1.1 문장

보고서의 문장은 간결하여야 하며 앞 뒤 연결 관계가 명확하여야 한다.

8.1.2 보고서

객관적인 자료수집과 분석 그리고 결론으로 이루어져야 한다. 대상 기존 시설물에 대한 사항과 이론서 및 전문서, 연구보고서의 내용을 분명히 구별하여야 한다.

8.1.3 편집

편집순서는 다음을 따른다.

1. 표지
2. 속표지
3. 대상시설물 전경사진
4. 제출문
5. 참여기술진
6. 요약
7. 목차
8. 표목차
9. 그림목차
10. 본문
11. 참고문헌
12. 부록
13. 서지자료

8.2 현황보고서 작성

현황조사는 기초 및 지반에 대한 조사 및 작업을 필요로 하며 보고서 구성은 다음과 같아야 한다.

1. 개요
2. 조사범위
3. 지반 조사 결과
4. 구조물 요약
5. 도면 및 지질 주상도 분석결과
6. 지반 물성값 결정
7. 부록

8.3 예비평가 보고서

입력자료와 예비평가 분석 자료로 구성된다. 평가보고서의 구성은 다음을 참고하여 작성하도록 한다.

1. 일반사항
2. 기존 검토 자료 평가
3. 현장평가분석
4. 지진도 평가
5. 취약도 평가
6. 영향도 평가
7. 내진그룹의 결정
8. 평가

8.4 상세평가보고서

상세평가 보고서는 지반의 액상화와 공항 시설물 내진성능 평가 결과에 대한 종합 보고서로 구성된다. 보고서의 구성은 다음을 참고하여 작성하도록 한다.

1. 내진성능 예비평가결과 분석
2. 지진하중
3. 액상화 평가
4. 비행장시설의 내진성능 상세평가
5. 건축물의 내진성능 상세평가
6. 교량의 내진성능 상세평가
7. 지중구조물의 내진성능 상세평가
8. 내진성능 향상 방안
9. 최종평가 및 결론

부 록

부록 A. 내진설계기준 공통적용사항(2017)

부록 B. 내진성능평가 예제

부록 A

내진설계기준 공통적용사항 (2017)

A.1 목 적

A.2 근 거

A.3 「국가 내진성능의 목표」 및 「내진설계기준 공통적용사항」

A.3.1 국가 내진성능의 목표

A.3.2 내진설계기준 공통적용사항

A.4 「내진설계기준 공통적용사항」 적용(활용) 대상

A.5 「내진설계기준 공통적용사항」 적용에 따른 조치사항

A.6 「내진설계기준 공통적용사항」 시행일

[붙임 A.1] 지반분류($S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$)

[붙임 A.2] 표준설계응답스펙트럼에 대응하는 비탄성응답스펙트럼

[붙임 A.3] 표준설계응답스펙트럼에 대응하는 가속도시간이력 작성 기준

[붙임 A.4] 내진성능이 확보된 것으로 인정받을 수 있는 경우

A.1 목 적

「지진·화산재해대책법」 제14조(내진설계기준의 설정) 및 동법 시행령 제10조에 따른 ‘시설별 내진설계기준’의 일관성유지를 위하여 「내진설계기준 공통적용사항」을 정하여 활용하도록 함

A.2 근 거

「지진·화산재해대책법」 제14조(내진설계기준의 설정) 및 동법 시행령 제10조의2(내진설계기준 공통적용사항)

A.3 「국가 내진성능의 목표」 및 「내진설계기준 공통적용사항」

A.3.1 「국가 내진성능의 목표」

‘국가 내진성능의 목표’란 국가가 지진에 대비해서 국가적 기능을 유지하기 위하여 설정한 목표를 말한다.

이를 달성하기 위하여 발생 가능한 강진에 대해서 인명손실과 사회·경제적 피해를 최소화하여 사회기능을 조속히 회복할 수 있어야 하며, 내진설계기준의 설정 대상 시설물의 내진성능을 이에 부합하도록 관리하여야 한다.

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

A.3.2 「내진설계기준 공통적용사항」

A.3.2-1 지역에 따른 설계지진의 세기

가. 지진구역 및 지진구역계수(Z , 재현주기 500년 기준)는 아래와 같다.

지진 구역	행정 구역		지진구역계수 (Z)
I	시	서울, 인천, 대전, 부산, 대구, 울산, 광주, 세종	0.11g
	도	경기, 충북, 충남, 경북, 경남, 전북, 전남, 강원 남부*	
II	도	강원 북부**, 제주	0.07g

* 강원 남부 : 영월, 정선, 삼척, 강릉, 동해, 원주, 태백

** 강원 북부 : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천, 속초

나. 위험도계수(I)는 아래와 같다.

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

※ 가, 나 항목은 2013년 12월 13일 공표 (전 소방방재청 공고 제2013-179호) 관련임

다. 유효수평지반가속도(S)는 다음과 같이 결정한다.

- (1) ‘유효수평지반가속도(S)’란 지진하중을 산정하기 위하여 국가지진위험지도나 행정구역을 기준으로 제시된 암반지반의 수평지반운동수준을 말한다.
- (2) 행정구역에 의한 방법으로 재현주기에 따른 유효수평지반가속도(S)는 지진구역 계수(Z)에 각 재현주기의 위험도계수(I)를 곱하여 결정한다.

$$S = Z \times I$$

- (3) 국가지진위험지도를 이용하여 결정한 유효수평지반가속도(S)는 행정구역에 의한 방법으로 결정된 유효수평지반가속도(S) 값의 80% 보다 작지 않아야 한다.

A.3.2-2 지반분류

가. ‘지반분류’란 국지적인 토질조건과 지표 및 지하 지형이 지반운동에 미치는 정도를 공학적인 특성에 근거하여 지반을 분류하는 등급을 말한다.

나. 국지적인 토질조건, 지표 및 지하 지형이 지반운동에 미치는 영향을 고려하기 위하여 다음 각 (1)에서부터 (3)까지를 따른다.

- (1) 내진설계를 위한 지반분류는 기반암의 깊이(H)와 기반암 상부 토층의 평균 전단파속도($V_{S,Soil}$)에 근거한다.
- (2) 지반은 <표 A.1>과 같이 $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ 등 6종류로 분류한다.
- (3) 토층의 평균 전단파속도($V_{S,Soil}$)는 탄성파시험 결과가 있을 경우 이를 우선적으로 적용한다.

다. 지반의 자세한 분류 절차는 [붙임 A.1]과 같다.

<표 A.1> 지반분류체계

지반종류	지반종류의 호칭	분류기준	
		기반암* 깊이, H (m)	토층 평균 전단파속도, $V_{S,Soil}$ (m/s)
S_1	암반 지반	1 미만	-
S_2	얕고 단단한 지반	1~20 이하	260 이상
S_3	얕고 연약한 지반		260 미만
S_4	깊고 단단한 지반	20 초과	180 이상
S_5	깊고 연약한 지반		180 미만
S_6	부지 고유의 특성 평가 및 지반응답해석이 요구되는 지반		

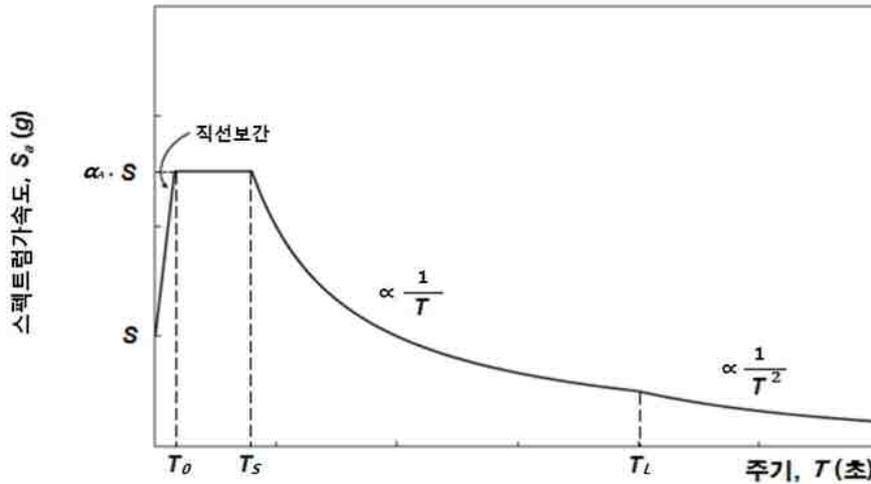
* 전단파속도 760m/s 이상을 나타내는 지층

※ 기반암 깊이와 무관하게 토층 평균 전단파속도가 120m/s 이하인 지반은 S_5 지반으로 분류

A.3.2-3 설계지반운동의 특성표현

가. 암반지반 설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼

(1) 암반지반인 S_1 의 5% 감쇠비에 대한 수평설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼은 <그림 A.1>과 같다.



<그림 A.1> 암반지반 수평설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼

① 전이주기(절점주기)

<표 A.2> 수평설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼 전이주기

구 분	α_1 (단주기스펙트럼 증폭계수)	전이주기 (sec)		
		T_0	T_s	T_L
수 평	2.8	0.06	0.3	3.0

② 감쇠비(ξ , %단위)에 따른 스펙트럼 형상은 다음에 제시한 감쇠보정계수 C_D 를 표준설계응답스펙트럼에 곱해서 구할 수 있다. 단, 감쇠비가 0.5%보다 작은 경우에는 적용하지 않으며 해당 구조물의 경우 응답이력해석을 권장한다.

㉑ $T=0$, 모든 감쇠비에 대해서 $C_D = 1.0$

㉒ $0 \leq T \leq T_0$, $T=0$ 에서 $C_D = 1.0$, $T=T_0$ 에서 $C_D = \left(\frac{6.42}{1.42+\xi}\right)^{0.48}$ 이며,

그 사이는 직선보간

㉓ $T_0 \leq T$, $C_D = \left(\frac{6.42}{1.42+\xi}\right)^{0.48}$

③ 표준설계응답스펙트럼에 대응하는 비탄성응답스펙트럼이 필요한 경우 [붙임 A.2]의 기준을 적용할 수 있다.

(2) 수직설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼은 다음과 같다.

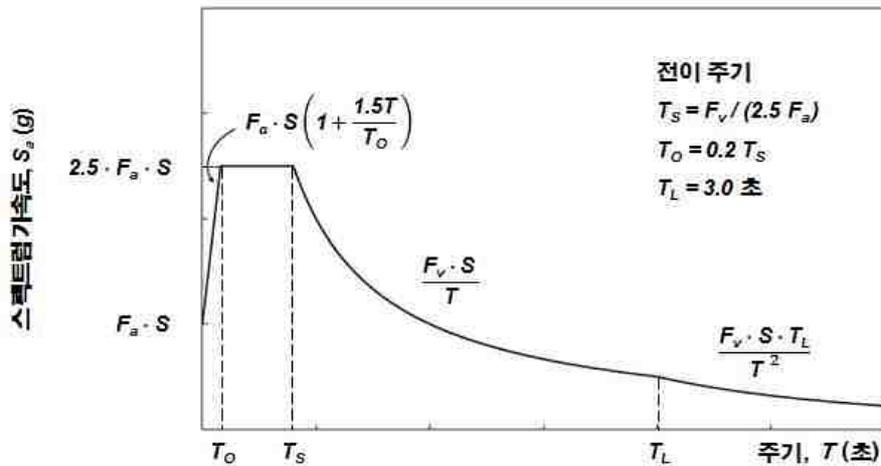
① 5% 감쇠비에 대한 수직설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼은 (1)에 있는 수평설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼과 같은 전이주기와 감쇠보정계수를 갖는다.

② 최대 유효 수평지반가속도에 대한 최대 유효 수직지반가속도의 비는 0.77이다.

(3) 표준설계응답스펙트럼에 대응하는 가속도시간이력 생성 기준은 [붙임 A.3]의 기준을 적용할 수 있다.

나. 토사지반 설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼

(1) 토사지반인 S_2, S_3, S_4, S_5 지반의 5% 감쇠비에 대한 수평설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼은 기반암의 스펙트럼 가속도와 지표면의 스펙트럼 가속도의 증폭비율을 의미하는 '지반증폭계수(F_u, F_v)'로부터 <그림 A.2>와 같이 구할 수 있다.



<그림 A.2> 토사지반 수평설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

- ① 토사지반에서 감쇠비에 따른 스펙트럼 형상은 해당 토사지반에 적합한 가속도시간이력을 이용하여 공학적으로 적절한 분석과정을 통해 결정할 수 있다.
- (2) 유효수평지반가속도(S)에 따라 단주기 지반증폭계수(F_a)와 장주기 지반증폭계수(F_v)는 <표 A.3>을 이용하여 결정한다. 유효수평지반가속도(S)의 값이 중간 값에 해당할 경우 직선보간하여 결정한다.

<표 A.3> 지반증폭계수

지반분류	단주기 증폭계수, F_a			장주기 증폭계수, F_v		
	$S \leq 0.1$	$S = 0.2$	$S = 0.3$	$S \leq 0.1$	$S = 0.2$	$S = 0.3$
S_2	1.4	1.4	1.3	1.5	1.4	1.3
S_3	1.7	1.5	1.3	1.7	1.6	1.5
S_4	1.6	1.4	1.2	2.2	2.0	1.8
S_5	1.8	1.3	1.3	3.0	2.7	2.4

- (3) 수직설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼은 다음과 같다.
 - ① 5% 감쇠비에 대한 $S_2 \sim S_5$ 지반의 수직설계지반운동의 가속도 표준설계 응답스펙트럼은 (1)에 있는 수평설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼과 같은 전이주기를 갖는다.
 - ② 최대 유효 수평지반가속도에 대한 최대 유효 수직지반가속도의 비는 공학적 판단에 의해 값을 결정할 수 있다.
- (4) $S_2 \sim S_5$ 지반의 경우 <그림 A.2>의 표준설계응답스펙트럼 대신 부지고유의 지반응답해석을 이용하여 결정한 스펙트럼을 사용할 수 있다.
- (5) S_6 지반의 경우 부지고유의 지반응답해석을 이용하여 결정한 스펙트럼을 사용한다.
- (6) 가속도시간이력은 암반지반에 대해 작성된 가속도시간이력을 사용하여 지반응답해석을 통해 결정한다.

A.3.2-4 내진성능수준 분류체계

가. 내진성능수준을 ‘기능수행’, ‘즉시복구’, ‘장기복구/인명보호’, ‘붕괴방지’의 4가지로 분류한다.

- (1) ‘기능수행’ 수준은 설계지진하중 작용 시 구조물이나 시설물에 발생한 손상이 경미하여 그 구조물이나 시설물의 기능이 유지될 수 있는 성능수준을 말한다.
- (2) ‘즉시복구’ 수준은 설계지진하중 작용 시 구조물이나 시설물에 발생한 손상이 크지 않아 단기간 내에 즉시 복구되어 원래의 기능이 회복될 수 있는 성능수준을 말한다.
- (3) ‘장기복구/인명보호’ 수준은 설계지진하중 작용 시 구조물이나 시설물에 큰 손상이 발생할 수 있지만 장기간의 복구를 통하여 기능 회복이 가능하거나, 시설물에 상주하는 인원 또는 시설물을 이용하는 인원에게 인명손실이 발생하지 않는 성능수준을 말한다.
- (4) ‘붕괴방지’ 수준은 설계지진하중 작용 시 구조물이나 시설물에 매우 큰 손상이 발생할 수는 있지만 구조물이나 시설물의 붕괴로 인한 대규모 피해를 방지하고, 인명 피해를 최소화하는 성능수준을 말한다.

A.3.2-5 설계지진 분류체계

가. 설계지진은 시설물의 사용연한과 해당 기간 내 지진의 초과발생확률로서 정한다. 이를 반영한 「지진·화산재해대책법」 제12조 국가지진위험지도에 의한 50년, 100년, 200년, 500년, 1,000년, 2,400년, 4,800년 재현주기(7가지) 지진을 설계지진으로 정할 수 있다.

- ① 평균재현주기 50년 지진지반운동 (5년내 초과발생확률 10%)
- ② 평균재현주기 100년 지진지반운동 (10년내 초과발생확률 10%)
- ③ 평균재현주기 200년 지진지반운동 (20년내 초과발생확률 10%)
- ④ 평균재현주기 500년 지진지반운동 (50년내 초과발생확률 10%)
- ⑤ 평균재현주기 1000년 지진지반운동 (100년내 초과발생확률 10%)
- ⑥ 평균재현주기 2400년 지진지반운동 (250년내 초과발생확률 10%)
- ⑦ 평균재현주기 4800년 지진지반운동 (500년내 초과발생확률 10%)

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

A.3.2-6 내진등급 분류체계

가. 시설물의 중요도에 따라서 ‘내진특등급’, ‘내진 I 등급’, ‘내진 II 등급’의 3가지 등급으로 분류한다.

- (1) ‘내진특등급’은 지진 시 매우 큰 재난이 발생하거나, 기능이 마비된다면 사회적으로 매우 큰 영향을 줄 수 있는 시설의 등급을 말한다.
- (2) ‘내진 I 등급’은 지진 시 큰 재난이 발생하거나, 기능이 마비된다면 사회적으로 큰 영향을 줄 수 있는 시설의 등급을 말한다.
- (3) ‘내진 II 등급’은 지진 시 재난이 크지 않거나, 기능이 마비된다면 사회적으로 영향이 크지 않은 시설의 등급을 말한다.

나. 구체적인 내진등급 분류기준은 시설별 내진성능기준에서 정의한다.

A.3.2-7 시설물의 내진등급별 내진성능수준

가. 시설물의 내진등급별 최소 내진성능수준은 <표 A.4>와 같으며 내진등급에 따라 ‘기능수행’, ‘즉시복구’, ‘장기복구/인명보호’, ‘붕괴방지’ 수준 중에서 두 개 이상의 성능수준을 선택하여 적용할 수 있다. 시설별 내진설계기준에서 해당 시설물에 적용할 내진성능수준을 결정할 수 있다.

<표 A.4> 시설물의 내진등급별 내진성능수준

설계지진 재현주기(년)	내진성능수준			
	기능수행	즉시복구	장기복구/인명보호	붕괴방지
50	내진 II 등급			
100	내진 I 등급	내진 II 등급		
200	내진특등급	내진 I 등급	내진 II 등급	
500		내진특등급	내진 I 등급	내진 II 등급
1,000			내진특등급	내진 I 등급
2,400				내진특등급
4,800				내진특등급

A.4 「내진설계기준 공통적용사항」 적용(활용) 대상

「지진·화산재해대책법」 제14조 및 시행령 제10조에 따른 ‘시설별 내진설계기준’에 적용한다. 다만, 「원자력안전법」에 의한 원자력이용시설의 경우 중앙재난안전대책본부장과 협의하여 별도의 기준을 정할 수 있다.

A.5 「내진설계기준 공통적용사항」 적용에 따른 조치사항

1. 「내진설계기준 공통적용사항」에 따라 개정된 ‘시설별 내진설계기준’ 시행일 이전에 보강한 시설은 내진성능이 확보된 것으로 인정*할 수 있다.

* [붙임 A.4]에서 정하는 것을 말한다.

2. 「내진설계기준 공통적용사항」이 ‘시설별 내진설계기준’보다 낮은 경우 「내진설계기준 공통적용사항」을 공통 최소기준으로 보아, 높게 정해져 있는 ‘시설별 내진설계기준’을 유지할 것을 권장한다.

A.6 「내진설계기준 공통적용사항」 시행일

「내진설계기준 공통적용사항」은 2017년 7월 1일 부터 시행한다. 또한, 「지진·화산재해대책법」 제14조에 따른 관계 중앙행정기관의장은 ‘시설별 내진설계기준’을 내진설계기준 공통적용사항 시행일로부터 1년 6개월 이내에 개정하여 시행한다.

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

[붙임 A.1] 지반분류($S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$)

□ 지반분류 절차

1. 범위

여기서는 <표 A.1>에 따라서 지반을 S_1 부터 S_6 까지 6종으로 분류하는 절차를 기술한다.

2. 정의

지반의 종류는 다음과 같이 정의된다.

S_1 : 전단파속도가 760m/s이상인 기반암의 깊이(H)가 1m 미만인 지반

S_2 : $H \leq 20\text{m}$ 이고, $V_{S,Soil} \geq 260\text{m/s}$ 인 기반암 깊이가 얇고 단단한 지반

S_3 : $H \leq 20\text{m}$ 이고, $V_{S,Soil} < 260\text{m/s}$ 인 기반암 깊이가 얇고 연약한 지반

S_4 : $H > 20\text{m}$ 이고, $V_{S,Soil} \geq 180\text{m/s}$ 인 기반암 깊이가 깊고 단단한 지반

S_5 : $H > 20\text{m}$ 이고, $V_{S,Soil} < 180\text{m/s}$ 인 기반암 깊이가 깊고 연약한 지반

S_6 : 부지 고유의 특성 평가 및 지반응답해석이 요구되는 다음 경우에 속하는 지반

- ① 액상화가 일어날 수 있는 흙, 예민비가 8이상인 점토, 붕괴될 정도로 결합력이 약한 붕괴성 흙과 같이 지진하중 작용 시 잠재적인 파괴나 붕괴에 취약한 지반
- ② 이탄 또는 유기성이 매우 높은 점토지반(지층의 두께 > 3m)
- ③ 매우 높은 소성을 띤 점토지반(지층의 두께 > 7m이고, 소성지수 $PI > 75$)
- ④ 층이 매우 두껍고 연약하거나 중간 정도로 단단한 점토(지층의 두께 > 36m)
- ⑤ 기반암이 깊이 50m를 초과하여 존재하는 지반

※ 예외: $V_{S,Soil}$ 이 120m/s 이하인 지반은 기반암 깊이에 관계없이 S_5 지반으로 분류한다.

부지 고유의 특성 평가 및 지반응답해석이 요구되는 지반, 즉 S_6 로 분류할 때는 상기 S_6 에 대한 정의에서 제시한 기준이 고려되어야 한다. 만약 해당 부지가 이 기준과 일치하면 그 부지는 지반 종류 S_6 으로 분류되어야 하며, 부지 고유의 특성 평가 및 지반응답해석이 이루어져야 한다.

가. 기반암에 대한 정의

기반암은 전단파속도 760m/s 이상을 나타내는 지층이다.

나. 토층 평균 전단파속도($V_{S,Soil}$)

$V_{S,Soil}$ 은 다음 공식에 따라 결정한다.

$$V_{S,Soil} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}}} \quad (A.1)$$

여기서, d_i = 기반암 깊이까지의 i 번째 토층의 두께, m

V_{si} = 기반암 깊이까지의 i 번째 토층의 전단파속도, m/s

다. 표준관입시험 관입저항치의 전단파속도로의 변환

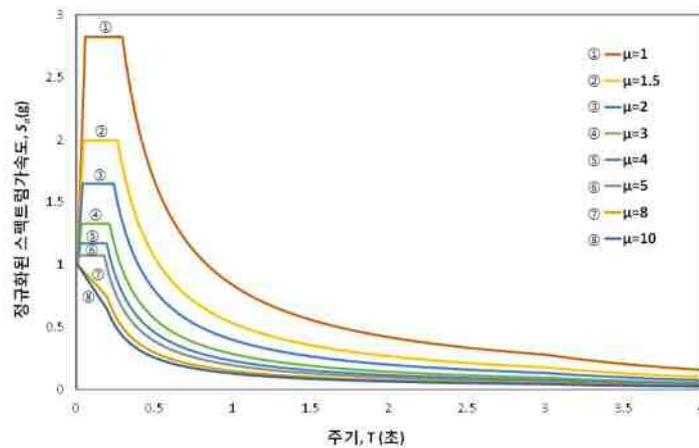
표준관입시험 관입저항치(SPT-N치)를 전단파속도로 변환할 수 있다. 변환에는 국내 지반에 대해 제안된 상관관계식(Sun et al. 2013*, 등)을 활용할 수 있다. 표준관입시험 시 단단한 암질에 도달하여 향타수가 50에 이르러도 30cm 깊이를 관입하지 못할 경우 50타수 이상의 N값은 선형적인 비례관계를 토대로 30cm 두께 관입 시 N값으로 환산한다. 이때 환산 N치의 최대값은 300이다.

* Sun, C. G., Cho, C. S., Son, M., & Shin, J. S. (2013). Correlations between shear wave velocity and in-situ penetration test results for Korean soil deposits. Pure and Applied Geophysics, 170(3), 271-281.

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

[붙임 A.2] 표준설계응답스펙트럼에 대응하는 비탄성응답스펙트럼

1. 표준수평설계응답스펙트럼에 대응하는 수평지반운동에 대한 비탄성응답스펙트럼은 변위연성도(μ)와 감쇠비(ξ)의 함수로 정의된다.
2. 감쇠비 5%에 대한 표준설계응답스펙트럼에 대응하는 비탄성응답스펙트럼의 형상은 <그림 A.1>의 수평설계응답스펙트럼과 같은 형상을 갖는다.



<그림 A.3> 표준설계응답스펙트럼에 대응하는 비탄성응답스펙트럼 기준
($T=0.01$ 초에서 $S_a=1g$ 로 정규화)

3. 비탄성응답스펙트럼의 유사가속도 스펙트럼에 대한 단주기스펙트럼증폭계수 (α_d)와 전이주기는 <표 A.5>를 따른다.
4. 감쇠비에 대한 스펙트럼 형상은 다음에 제시한 감쇠보정계수 C_D 를 비탄성응답스펙트럼에 곱해서 구할 수 있다. 각 변위연성도에 대한 감쇠보정계수는 <표 A.6>의 값을 따른다. 변위연성도가 8이상의 경우 감쇠보정계수는 1을 사용한다. 단, 감쇠비가 0.5%보다 작은 경우에는 적용하지 않으며 해당 구조물의 경우 응답이력해석을 권장한다.

<표 A.5> 비탄성응답스펙트럼의 유사가속도 스펙트럼과 전이주기

구분	α_A	전이주기(sec)		
		T_0	T_S	T_L
$\mu=1.0$ (표준설계응답스펙트럼)	2.8	0.06	0.30	3
$\mu=1.5$	2.0	0.05	0.27	3
$\mu=2$	1.65	0.044	0.24	3
$\mu=3$	1.33	0.036	0.21	3
$\mu=4$	1.17	0.03	0.20	3
$\mu=5$	1.07	0.02	0.18	3
$\mu=8$	0.74	0.2	0.2	3
$\mu=10$	0.64	0.2	0.2	3

※ <표 A.5>에 열거된 변위연성도(μ)는 대표적인 값들이며, 예시된 변위연성도 이외의 사이 값에 대해서는 보간한 값을 적용할 수 있다. 단, 변위연성도에 대하여 증폭비와 전이주기를 로그단위로 보간하도록 한다.

<표 A.6> 비탄성응답스펙트럼의 감쇠보정계수

변위연성도 1.5	변위연성도 2	변위연성도 3
$C_{D,1.5} = \left(\frac{7.23}{2.23 + \xi} \right)^{0.42}$	$C_{D,2} = \left(\frac{7.70}{2.70 + \xi} \right)^{0.37}$	$C_{D,3} = \left(\frac{6.68}{1.68 + \xi} \right)^{0.24}$
변위연성도 4	변위연성도 5	변위연성도 8 이상
$C_{D,4} = \left(\frac{6.47}{1.47 + \xi} \right)^{0.20}$	$C_{D,5} = \left(\frac{6.17}{1.17 + \xi} \right)^{0.16}$	$C_D = 1$

※ <표 A.6>에 열거된 변위연성도(μ)는 대표적인 값들이며, 예시된 변위연성도 이외의 사이 값에 대해서는 가까운 변위연성도의 감쇠보정계수 중 큰 값을 사용한다.

- ① $T=0$ 초, 모든 감쇠비에 대해서 $C_D=1.0$
- ② $0 \leq T \leq T_0$, $T=0$ 초 에서 $C_D=1.0$, $T=T_0$ 에서 $C_D=C_{D,\mu}$ 이며 그 사이는 직선보간
- ③ $T \geq T_0$, $C_D=C_{D,\mu}$

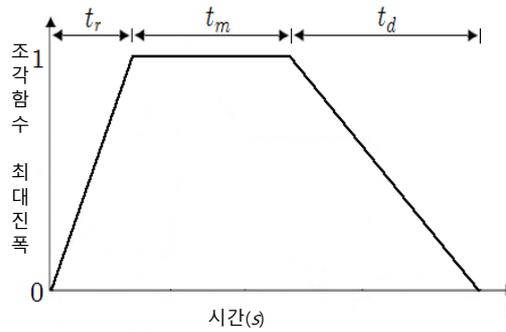
기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

[붙임 A.3] 표준설계응답스펙트럼에 대응하는 가속도시간이력 작성 기준

□ 인공합성 가속도시간이력 작성

인공합성가속도시간이력의 포락함수에 대한 최소 요구조건은 다음과 같다.

1. 시간이력의 절단(cut off) 진동수는 최소 50Hz 이상이어야 한다.
2. 규모에 따른 구간선형 포락함수의 형상과 지속시간은 <그림 A.4> 및 <표 A.7>과 같다.



<그림 A.4> 가속도시간이력의 구간선형 포락함수

<표 A.7> 가속도시간이력 구간선형 포락함수에 대한 지진규모별 지속시간

지진규모	상승시간 (t_r)	강진동지속시간 (t_m)	하강시간 (t_d)
7.0 이상 ~ 7.5 미만	2	12.5	13.5
6.5 이상 ~ 7.0 미만	1.5	9	10.5
6.0 이상 ~ 6.5 미만	1	7	9
5.5 이상 ~ 6.0 미만	1	5.5	8
5.0 이상 ~ 5.5 미만	1	5	7.5

강진동지속시간(t_m)의 한쪽 파워스펙트럼밀도(PSD; Power Spectral Density)는

다음과 같이 구할 수 있다.

$$S(f) = \frac{|F(f)|^2}{\pi t_m} \quad (\text{A.2})$$

여기서, $F(f)$ 는 강진동지속시간의 푸리에 변환이다.

3. <그림 A.4>의 포락함수가 적용되지 않은 경우 강진동지속시간 t_m 은 가속도시간이력의 누적에너지가 5%에서 75%에 도달하는 구간으로 정의된다. 누적 에너지는 다음과 같이 정의된다.

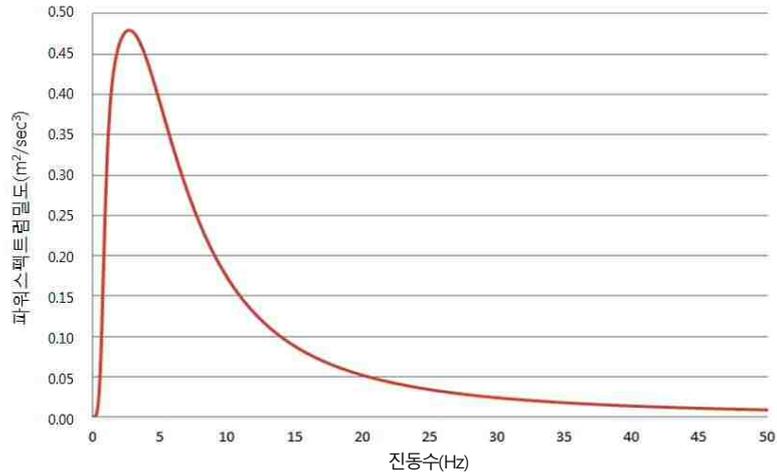
$$E(t) = \int_0^t a^2(\tau) d\tau \quad (\text{A.3})$$

여기서, $a(\tau)$ 는 지반가속도시간이력이다.

4. 다수의 인공합성가속도시간이력으로부터 계산된 5% 감쇠비 응답스펙트럼의 평균은 전체 주기 영역에서 표준설계응답스펙트럼의 10%보다 작아서는 안 된다.
5. 다수의 인공합성가속도시간이력으로부터 계산된 5% 감쇠비 응답스펙트럼의 평균은 0.04초와 10초 주기 영역에서 표준설계응답스펙트럼의 30%를 초과해서는 안 된다.
6. 어떤 두 개의 가속도시간이력 간의 상관계수는 0.16을 초과할 수 없다.
7. 시간이력 생성을 위해 표준설계응답스펙트럼에 대응하는 파워스펙트럼이

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

필요한 경우 수정 Kanai-Tajimi 모델로 정해지는 파워스펙트럼 형상을 사용할 수 있다.



<그림 A.5> 수정 Kanai-Tajimi 모델의 형상

<표 A.8> 수정 Kanai-Tajimi 모델 파라미터(제공평균제공근 가속도 0.5g)

수정 Kanai-Tajimi 파라미터	S_0	ω_g	ξ_g	ω_{cp}	ξ_{cp}
값	0.35 m ² /s ³	25.02 rad/s	1.00	5.63 rad/s	0.64

$$S_g^{1-sided}(\omega) = S_o^{1-sided} \frac{1 + 4\xi_g^2(\omega/\omega_g)^2}{[1 - (\omega/\omega_g)^2]^2 + 4\xi_g^2(\omega/\omega_g)^2} \frac{(\omega/\omega_{cp})^4}{[1 - (\omega/\omega_{cp})^2]^2 + 4\xi_{cp}^2(\omega/\omega_{cp})^2} \quad (A.4)$$

8. 제공평균제공근(RMS; Root Mean Square) 지반가속도가 0.5g가 아닌 경우에는 목표 파워스펙트럼 밀도를 제공평균제공근 지반가속도의 제공으로 눈금을 바꾸어야 한다.

실지진기록을 활용한 가속도시간이력 작성

1. 실지진 기록은 국내여건과 유사한 판 내부(intra-plate) 지역에서 계측된 기록을 선정한다. 이때, 관측소 하부지반이 S_1 지반 혹은 이에 준하는 보통암 지반에서 계측된, 고려하는 설계지진과 유사규모의 기록을 선정하여야 한다.
2. 선정된 지진기록은 S_1 지반의 수평설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼(<그림 A.1>)에 맞추어 수정 적용한다. 수정 시, 원본파형의 왜곡을 최소화하기 위해 기존파형의 응답스펙트럼을 설계응답스펙트럼에 맞추어 보정(Spectral Matching)하는 것을 추천한다. 이때, 설계 대상구조물의 탁월주기(dominant period)를 주 대상으로 보정하는 것이 바람직하다.
3. 입력 지진기록 최대지반가속도(PGA; Peak Ground Acceleration)의 절대크기가 중요한 경우, 상기 절차로 보정된 지진기록에 대하여 최대지반가속도를 보정할 수 있다.

[붙임 A.4] 내진성능이 확보된 것으로 인정받을 수 있는 경우

- 시설별 내진설계기준 개정 완료일('18.12.31.) 이전에 내진성능평가를 실시한 결과, 내진성능이 확보된 기존 시설물
- 시설별 내진설계기준 개정 완료일('18.12.31.) 이전에 내진보강설계를 완료한 시설물
 단, 내진보강공사 인·허가(협의) 절차가 존재하는 경우에는 이를 완료한 시설물
- ※ 이외의 사례에 대해서는 행정안전부와 협의를 거쳐 결정한다.

부록 B

내진성능평가 예제

B.1 내진성능 예비평가 예제

B.2 내진성능 상세평가 예제 I [비행장시설]

B.3 내진성능 상세평가 예제 II [건축물]

B.1 공항시설 예비평가 예제

B.1.1 지진도 평가

대상공항은 지진구역 I, 재현주기 500년 국가지진위험지도의 유효수평지반가속도는 0.07g~0.088g, 지반종류 S4에 위치하므로, 아래 표 B.1.1의 “지진도 등급 기준”에 의해 지진도 3그룹에 해당한다.

표 B.1.1 지진도 등급 기준

지진도 지역	지반종류					
	S ₆	S ₅	S ₄	S ₃	S ₂	S ₁
A1	1그룹	1그룹	1그룹	1그룹	1그룹	2그룹
A2	1그룹	1그룹	2그룹	1그룹	2그룹	3그룹
A3	1그룹	2그룹	3그룹	2그룹	3그룹	4그룹
A4	2그룹	3그룹	3그룹	3그룹	4그룹	4그룹

B.1.2 취약도 평가

대상공항 주변의 지반상태, 규모, 시설의 배치, 건축물, 건물의 구조물, 교량 구조물, 터널 구조물, 활주로 구조물에 대한 상태를 고려하여 취약도 지수 (Vulnerability Index)로 나타낸다.

$$VI = 20 \times \{1.5 \times Runway + Struct + 0.5 \times (Under + Power) + Deter\} \times Perform$$

여기서, *Runway*: 활주로 상태에 따른 지수

Struct: 여객터미널과 건축물, 교량 및 터널 등의 상태에 따른 지수

- *Terminal*: 터미널 상태에 따른 지수
- *Building*: 터미널 외 건축물 상태에 따른 지수
- *Nonstruct*: 비구조요소 및 설비 상태에 따른 지수
- *Bridge*: 교량 상태에 따른 지수
- *Tunnel*: 터널 상태에 따른 지수

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

Under: 활주로 하부 구조물 유무에 따른 지수

Power: 공항의 전력계통의 다양성에 따른 지수

Deter: 공항시설의 노후화에 따른 지수

Perform: 내진설계 적용여부 및 내진성능평가 수행여부에 따른 지수

No.	세부지수	설명	내용	점수	가중치	점수× 가중치
1	<i>Runway</i>	활주로 액상화	안전	0.7	1.5	1.05
2	<i>Struct</i>			-	1.0	1.10
	<i>Terminal</i>	여객터미널 상태	B등급	0.6	-	
	<i>Building</i>	건축물 상태	해당 없음	0.0	-	
	<i>Nonstruct</i>	비구조요소 상태	내진설계 미적용	1.0	-	
	<i>Bridge</i>	교량 상태	해당 없음	0.0	-	
	<i>Tunnel</i>	터널 상태	해당 없음	0.0	-	
3	<i>Under</i>	활주로 하부 구조물	폭, 높이 10m미만	0.6	0.5	0.30
4	<i>Power</i>	전력계통	2계통	0.7	0.5	0.65
5	<i>Deter</i>	공용년수	45년	0.8	1.0	0.80
합계						3.6
기타	<i>Perform</i>	내진성능평가 여부	미수행	1.0	-	1.00
→취약도 지수(VI) = 20×3.6×1.0 = 72.0점						

B.1.3 영향도 평가

대상공항의 평상시 교통량 및 화물량, 군사적 중요도와 지진발생 이후 공항의 영향권에 포함되는 배후인구, 복구에 소요되는 비용 등을 고려하여 영향도 지수로 나타낸다. 공항시설물의 영향도는 공항시설물의 취약도 지수 산정과 유사한 방법으로 다음과 같이 영향도 지수(Impact Index)로 나타낸다.

부록 B. 내진성능평가 예제

$$II = 15 \times \left(Importance + Trans + Strip + Force + Recovery + \frac{2}{3} Urban \right) \quad (3.4.3)$$

여기서, *Importance*: 사회·경제적으로 영향을 주는 공항의 중요도(Importance)

Trans: 공항시설의 연평균 수송규모

Strip: 공항의 활주로 수

Force: 민·군 공동사용여부

Recovery: 공항시설물의 성능회복(Recovery)을 위한 비용지수

Urban: 도시기능유지 및 경제활동 지속성

No.	세부지수	설명	내용	점수	가중치	점수× 가중치
1	<i>Importance</i>	사회경제적 중요도	그 외 지역	0.8	1.0	0.80
2	<i>Trans</i>	최근 5년 수송량		0.6	1.0	0.60
	<i>Traffic</i>	연평균 여객수송량	1,912편/182,686명	0.4	-	
	<i>Freight</i>	연평균 화물수송량	812톤	0.2	-	
3	<i>Strip</i>	활주로 수	2	0.8	1.0	0.80
4	<i>Force</i>	군 공동사용여부	공동사용	1.0	1.0	1.0
5	<i>Recovery</i>	성능 회복 비용		0.8	1.0	0.80
		활주로 총 길이	5,488Km	0.5	-	
		터미널 총 연면적	3,960m ²	0.8	-	
6	<i>Urban</i>	공항-도시간 연계교통 내진	확보	1.0	2/3	0.67
합계						4.67
→영향도 지수(II) = 15×4.67 = 70.0점						

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

B.1.4 내진그룹의 결정

지진도, 취약도, 영향도를 산정하여 그림 B1.1과 같은 결정과정을 거쳐 대상공항의 내진그룹을 결정한다. 대상공항의 ‘지진도그룹은 3그룹’, ‘취약도지수는 72’, ‘영향도지수는 70’이므로 대상공항은 ‘내진보강 관찰시설’그룹으로 분류한다.

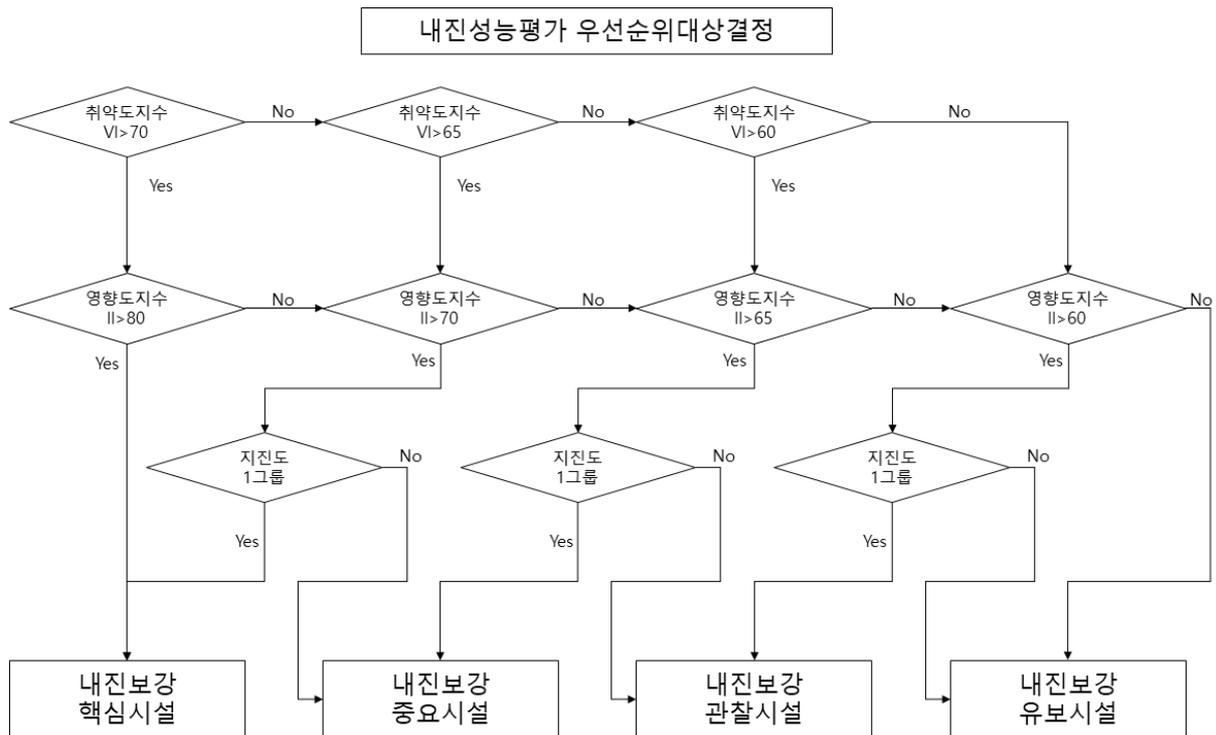


그림 B1.1 내진그룹화 방법

B.2 비행장시설 상세평가 예제

B.2.1 일반사항

본 장에서는 요령 4.2(액상화 평가)에 따른 액상화 평가 결과 비행장시설의 하부지반이 액상화에 안전하지 않다고 판단된 경우, 요령 4.3(성능수준의 판정)에서 서술된 내용을 바탕으로 해석적 방법을 통해 비행장시설의 내진성능 수준을 평가한 예제를 제시하였다.

B.2.2 A공항 활주로에 대한 액상화 발생 시 내진성능평가 예제

B.2.2.1 검토개요

(1) 검토단면

내진성능평가 대상은 A공항의 활주로 시설물로서 활주로의 형상과 제원, 내진성능평가 대상지점은 그림 B2.1과 같다. 대상지점은 지반조사 지점별로 선정되었고 해당 활주로는 요령 4.3(성능수준의 판정)의 해설표 4.3.5(비행장시설 등급별 세부조건)에 따라 비행장시설 분류번호 1에 해당한다.

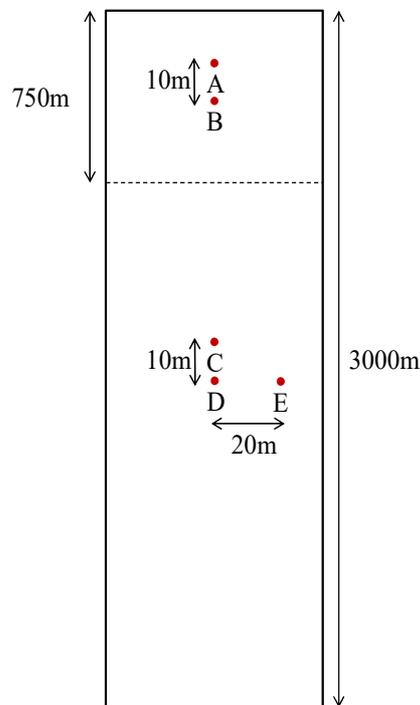


그림 B2.1 검토단면

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

(2) 지점 별 지반조건

표 B2.1 입력 지반 물성(A공항)

구 분		A	B	C	D	E
연약 사질토 지반	두께(m)	5.4	6.4	1.8	3.2	4.4
	단위 중량 (kN/m ³)	13.58	13.58	13.58	13.58	13.58
	평균 전단파속도 (m/s)	236	242	306	272	254
	평균 N치	6	6	6	6	6
	포아송 비	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
포장체	두께(m)	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
	단위 중량 (kN/m ³)	23.50	23.50	23.50	23.50	23.50
	평균 전단파속도 (m/s)	338	338	338	338	338
	포아송 비	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35

B.2.2.2 액상화 평가

(1) 평가방법의 산정

요령 4.3.4(내진성능수준 평가를 위한 해석 방법)에 따라 해석적 방법을 통해 비행장시설의 내진성능 수준을 평가할 수 있다. 이 경우 우선적으로 간편해석법을 적용하여 액상화 발생 시 내진성능을 평가하고, 간편해석법 적용 결과 여전히 비행장시설 하부지반이 액상화에 안전하지 않다고 판단된 경우에 동적 해석법을 적용할 수 있다.

(2) 간편해석법

본 예제에서는 Ishihara & Yoshimine(1992)가 제안한 등가정적해석법을 적용하여 간편해석법을 통한 액상화 발생 시 활주로 시설물의 내진성능평가를 수행하였다. Ishihara & Yoshimine(1992)는 액상화 안전율에 따른 액상화 발생 시 부피변형률 (Post-liquefaction volumetric strain, ϵ_v)과 지반조건, 액상화 층의 두께를 이용하여 액상화 발생 시 지반의 연직 침하량을 산정하는 간편식을 제안하였으며 산정 과정을 요약하면 다음과 같다.

- ① 지반조건, 입력 지진하중 등을 토대로 대상 지층의 액상화 안전율 산정
- ② 액상화 안전율 및 지반 강도를 토대로 부록그림 2에 따라 액상화 발생 시 부피변형률 산정
- ③ 층별 부피변형률과 층 두께를 곱하여 대상 지층의 액상화 발생 시 연직 침하량 산정
- ④ 각 지층의 액상화 발생 시 연직 침하량을 합산하여 해당 지점에서의 총 연직 침하량 산정

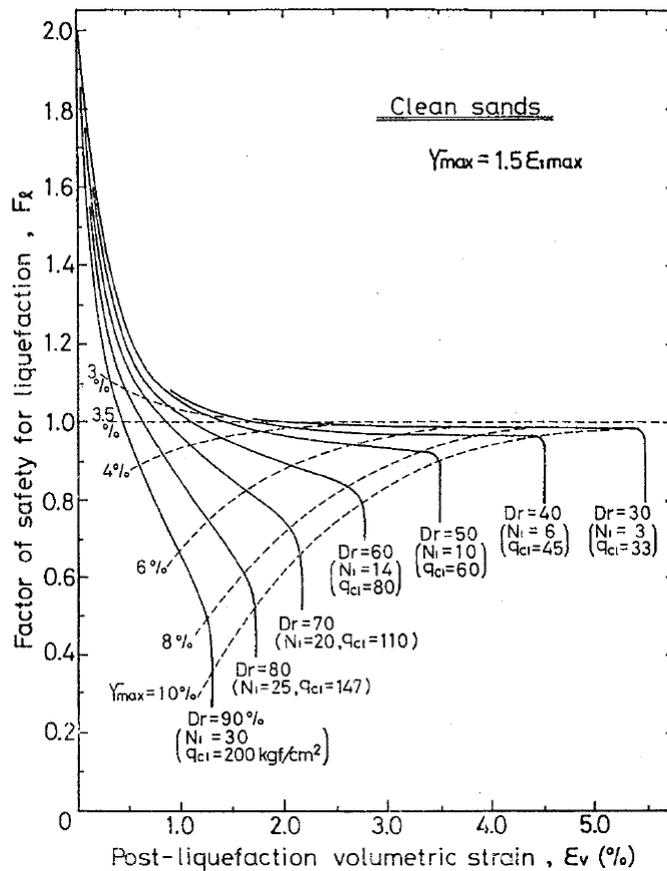


그림 B2.2 액상화 안전율에 따른 부피변형률 결정(Ishihara & Yoshimine, 1992)

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

액상화에 대한 안전율을 산정하는 방식은 다양하나, 본 예제에서는 요령 4.2(액상화 평가)에 따른 액상화 평가 결과 비행장시설의 하부지반이 액상화에 안전하지 않다고 판단된 경우에 대한 해석을 수행하였으므로 액상화 안전율을 0.9로 가정하였다. 따라서 표 B2.1의 지반조건에 따라 지점별 연약 사질토층에 대한 액상화 발생 후 부피 변형률은 약 4.5%로 산정되며 이를 적용한 액상화 발생 시 각 지점별 연직방향 침하량은 표 B2.2와 같다.

표 B2.2 액상화 발생 시 각 지점별 연직방향 침하량(간편해석법, A공항)

지점	A	B	C	D	E
침하량(m)	0.243	0.288	0.081	0.144	0.198

산정된 지점별 연직방향 침하량을 토대로 요령 4.3(성능수준의 판정)의 해설표 4.3.5(비행장시설 등급별 세부조건) 만족여부를 평가하기 위해 아래와 같이 세 구간에 대한 부등침하 구배를 산정하여 표 B2.3과 같이 제시하였다.

- A-B: 최대 중단 구배①(활주로 끝에서 활주로 길이의 1/4만큼 떨어진 곳과의 사이)
- C-D: 최대 중단 구배②(최대 중단 구배①에서 규정한 부분을 제외한 모든 부분)
- D-E: 최대 횡단 구배

표 B2.3 액상화 발생 시 각 구간별 부등침하 구배(간편해석법, A공항)

구간	A-B	C-D	D-E
부등침하 구배(%)	0.45	0.63	0.27
요령 4.3의 해설표 4.3.5에 따른 기준	0.8	1.0	1.5
만족여부	O.K	O.K	O.K

간편해석법에 의한 A공항 활주로의 주요 구간별 부등침하 구배 산정 결과, 표 B2.3과 같이 모든 구간에 대해 부등침하 구배 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 따라서 A공항 활주로의 경우 추가적인 동적 해석법 수행을 통한 내진성능평가는 필요하지 않으며 내진성능 평가요령에 따른 액상화 발생 시 내진성능 기준을 만족한다고 판단되었다.

B.2.3 B공항 활주로에 대한 액상화 발생 시 내진성능평가 예제

B.2.3.1 검토개요

(1) 검토단면

내진성능평가 대상은 B공항의 활주로 시설물로서 활주로의 형상과 제원, 내진성능평가 대상지점은 A공항과 동일하며 요령 4.3(성능성능수준의 판정)의 해설표 4.3.5(비행장시설 등급별 세부조건)에서 비행장시설 분류번호 1에 해당한다.

(2) 지점 별 지반조건(B공항)

표 B.2.4 입력 지반 물성

구 분		A	B	C	D	E
연약 사질토 지반	두께(m)	2.2	9.4	3.1	5.4	4.3
	단위 중량 (kN/m ³)	12.86	12.86	12.86	12.86	12.86
	평균 전단파속도 (m/s)	198	205	257	226	216
	평균 N치	3	3	3	3	3
	포아송 비	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
포장체	두께(m)	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
	단위 중량 (kN/m ³)	23.50	23.50	23.50	23.50	23.50
	평균 전단파속도 (m/s)	338	338	338	338	338
	포아송 비	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

B.2.3.2 액상화 평가

(1) 간편해석법

액상화 발생 시 간편해석법을 통한 B공항 활주로시설물의 내진성능평가를 위해, Ishihara & Yoshimine(1992)가 제안한 등가정적해석법을 적용한 내진성능평가를 수행하였다. 액상화 안전율은 A공항 평가 시와 동일하게 0.9로 가정하였으며 부록표 B2.4의 지반조건에 따라 지점별 연약 사질토층에 대한 액상화 발생 후 부피 변형률은 약 5.5%로 산정되었다. 이를 적용한 액상화 발생 시 각 지점별 연직방향 침하량은 표 B2.5와 같다.

표 B2.5 액상화 발생 시 각 지점별 연직방향 침하량(간편해석법, B공항)

지점	A	B	C	D	E
침하량(m)	0.121	0.517	0.171	0.297	0.237

산정된 지점별 연직방향 침하량을 토대로 요령 4.3(성능수준의 판정)의 해설표 4.3.5(비행장시설 등급별 세부조건) 만족여부를 평가하기 위해 아래와 같이 세 구간에 대한 부등침하 구배를 산정하여 표 B2.6과 같이 제시하였다.

- A-B: 최대 종단 구배①(활주로 끝에서 활주로 길이의 1/4만큼 떨어진 곳과의 사이)
- C-D: 최대 종단 구배②(최대 종단 구배①에서 규정한 부분을 제외한 모든 부분)
- D-E: 최대 횡단 구배

표 B2.6 액상화 발생 시 각 구간별 부등침하 구배(간편해석법, B공항)

구간	A-B	C-D	D-E
부등침하 구배(%)	3.96	1.27	0.30
요령 4.3의 해설표 4.3.5에 따른 기준	0.8	1.0	1.5
만족여부	N.G	N.G	O.K

간편해석법에 의한 구간별 부등침하 구배 산정 결과, D-E구간(최대 횡단 구배)의 경우 부등침하 구배 기준을 만족하는 것으로 나타났으나 A-B 및 C-D구간(최대 종단 구배)의 경우 부등침하 구배 기준을 만족하지 못하는 것으로 나타나 액상화 발생 시 내진성능을 확보하지 못하는 것으로 판단되었다. 따라서

B공항 활주로에 대해서는 동적해석법을 통한 상세 내진성능평가를 수행되어야 하는 것으로 나타났다.

(2) 동적해석법

간편해석법 수행결과 액상화 발생 시 활주로 시설물의 내진성능을 만족시키지 못하는 것으로 나타난 B공항 활주로시설물에 대한 액상화 평가를 위해, 동적해석법을 적용한 액상화 평가를 수행하였으며 본 예제에서는 요령 4.3.4(내진성능수준 평가를 위한 해석방법)의 나)각 지점별 모델링 방법을 이용하였다.

가. 해석 조건

B공항의 활주로시설물을 대상으로 3차원 동적 시간이력해석이 수행되었으며 해석 프로그램으로 지반 및 기초분야에서 널리 사용되는 유한차분법 기반 상용 수치해석 프로그램인 FLAC3D가 사용되었다. 모든 해석조건은 간편해석법의 경우와 동일하며 다섯 지점(A~E)에 대해 각각 3차원 동적 시간이력해석을 수행하고 각 지점에서의 지반모델 최상단(지표면)에서 계산된 연직방향 침하량을 도출하였다.

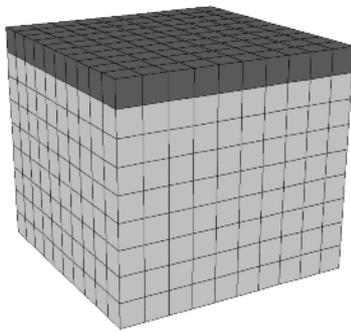
나. 지반 모델링

지반 구성 모델로써 Mohr-Coulomb 모델이 적용되었으며 액상화 발생 시 과잉간극수압의 발달과 지반 유효응력의 감소를 실시간으로 포착할 수 있는 Finn 모델이 함께 적용되었다. 또한 이력감쇠모델을 적용하여 지반 전단 변형률 증가에 따른 전단탄성계수의 비선형적 감소 및 감쇠비의 비선형적 증가를 고려하였다. 지반 조건은 B공항에서 수행된 지반조사 결과를 토대로 표 B2.4와 같이 지점별로 간편해석법과 동일하게 결정·입력되었다. 그림 B2.3(a)는 B지점에 대한 해석 지반모델의 요소망 예시로써 각 지점별 모델의 너비와 폭은 각각 10m이며 심도는 지점별 지반조건에 따라 다르게 모사하였다. 경계부에서의 입력 지진과 거동을 적절히 모사하기 위해 Free-field 경계요소 모델을 적용하였으며(그림 B2.3(b)), 지하수위는 지표면 상부에 위치하여 완전히 포화된 조건을 모사하였다.

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

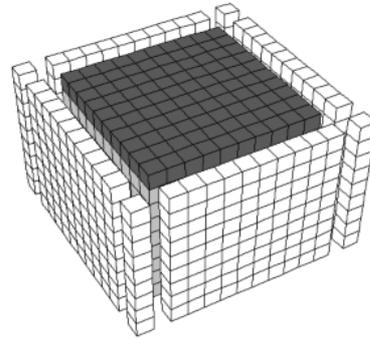
모든 해석조건에서 암반은 연약사질토층 직하부에 출현하며 포장체는 연약사질토층 상부에 위치한다. 그림 B2.4는 해석조건에 대한 모델링이 완료된 후 각 주요 지반물성에 대한 초기조건을 나타낸다. 지반의 액상화 거동에 중요한 영향을 미치는 지반의 초기 전단탄성계수, 수평방향 초기 지반 응력, 초기 간극수압이 깊이에 따라 적절히 입력되었음을 확인할 수 있으며 모든 깊이에 대해 완전히 포화된 조건임을 확인할 수 있다.

■ sand
■ pavement



(a) 지반 및 포장체 요소망

■ sand
■ pavement



(b) Free-field 경계요소 반영

그림 B2.3 해석모델의 요소망

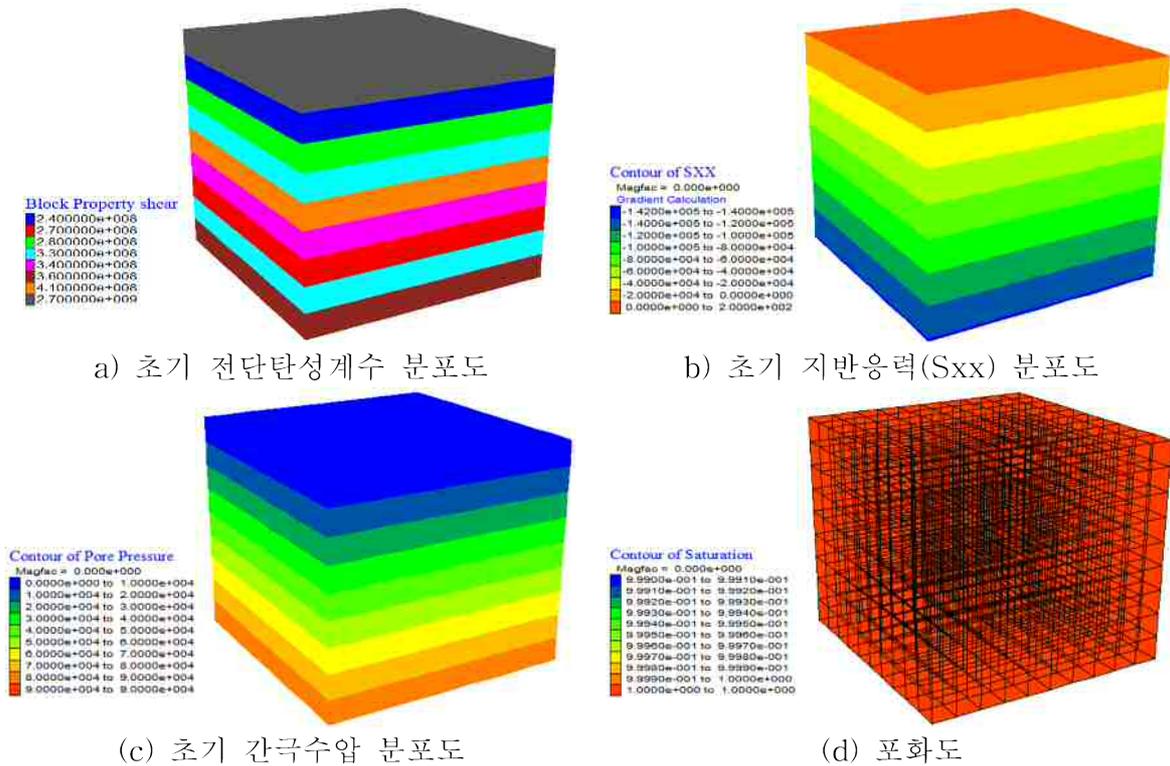


그림 B2.4 해석모델의 해석 초기조건 컨투어

다. 입력 지진파

본 해석에 적용된 입력 지진파는 2017년 11월에 발생한 포항지진(KMA규모 5.4, 포항관측소 PHA2, 남북방향)의 실제측 지진파를 토대로 기존의 표준응답스펙트럼 및 2017년 공표된 행정안전부 “내진설계기준 공통적용사항”의 표준응답스펙트럼에 맞추어 스펙트럼 규모를 보정한 인공지진파이다. 요령 4.3(성능성능수준의 판정)의 해설표 4.3.2(비행장시설의 성능목표 및 설계지진(활주로)에 따라 해석조건별 지진 가속도 시간이력이 산정되었으며 본 예제에 사용된 붕괴방지수준의 입력 지진파는 그림 B2.5와 같다.

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

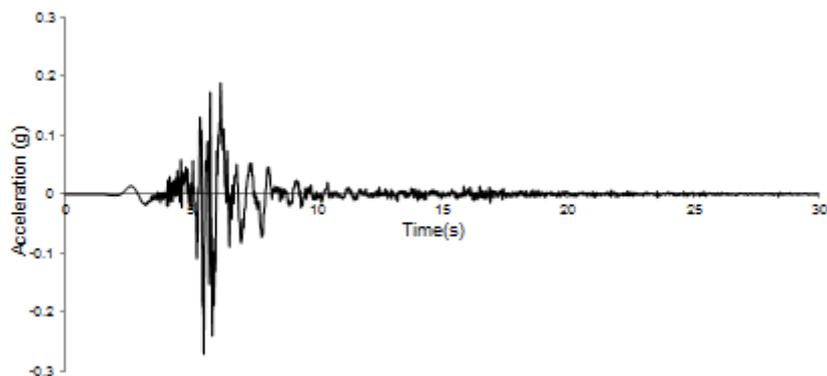


그림 B2.5 입력 지진 가속도-시간이력(붕괴방지수준, 2400년 재현주기)

라. 해석 결과

각 지점에 대해 동적 해석법을 적용하여 액상화 평가를 실시한 결과 도출된 지점별 연직방향 침하량은 표 B2.7과 같다. 각 침하량 값은 지점별 모델에서 발생한 연직방향 변위의 최댓값을 표기하였다.

표 B2.7 액상화 발생 시 각 지점별 연직방향 침하량(동적 해석법, B공항)

지점	A	B	C	D	E
침하량(m)	0.096	0.468	0.140	0.290	0.220

산정된 지점별 연직방향 침하량을 토대로 요령 4.3(성능수준의 판정)의 해설표 4.3.5(비행장시설 등급별 세부조건) 만족여부를 평가하기 위해 아래와 같이 세 구간에 대한 부등침하 구배를 산정하여 표 B2.8과 같이 제시하였다.

- A-B: 최대 종단 구배①(활주로 끝에서 활주로 길이의 1/4만큼 떨어진 곳과의 사이)
- C-D: 최대 종단 구배②(최대 종단 구배①에서 규정한 부분을 제외한 모든 부분)
- D-E: 최대 횡단 구배

표 B2.8 액상화 발생 시 각 구간별 부등침하 구배(동적 해석법, B공항)

구간	A-B	C-D	D-E
부등침하 구배(%)	3.72	1.50	0.35
요령 4.3의 해설표 4.3.5에 따른 기준	0.8	1.0	1.5
만족여부	N.G	N.G	O.K

부록 B. 내진성능평가 예제

동적 해석법에 의한 B공항 활주로의 구간별 부등침하 구배 산정 결과, 간편해석법의 경우와 마찬가지로 D-E구간(최대 횡단 구배)의 경우 부등침하 구배 기준을 만족하는 것으로 나타났으나 A-B 및 C-D구간(최대 종단 구배)의 경우 부등침하 구배 기준을 만족하지 못하는 것으로 나타나 액상화 발생 시 내진성능을 확보하지 못하는 것으로 판단되었다. 따라서 B공항 활주로에 대해서는 필요한 구간에 대해 액상화 대책공법을 적용하여 지반을 보강하는 등 내진성능을 확보하기 위한 후속 조치가 뒤따라야 할 것으로 판단되었다.

B.3. 참고문헌

- 1) 항공법 시행규칙(2019), 일본 국토교통성
- 2) Ishihara, K., & Yoshimine, M. (1992). Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes. *Soils and foundations*, 32(1), 173-188.

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

B.3 건축물 상세평가 예제

B3.1 기본정보

용역명	A공항 내진성능평가		
건물명	A공항 여객터미널		
주소	A시 XX동		
용도	공항시설 여객터미널		
내진등급 및 성능목표	특등급	성능목표(재현주기-성능수준)	
		2,400년	인명보호
		1,000년	기능수행
지반조건	S ₄		
지반조건 판정근거 적용된 평가절차	지반조사	지반조사결과	-
적용된 지역계수	비선형정적절차		
신축준준의 유무	없음	신축준준의 유격	-
평가결과 및 종합판정	<p>재현주기 2,400년 지진(기본설계지진의 1.0배)에 대하여 X, Y 양방향 모두 목표성능인 인명보호(LS)을 만족하지 못하였음. (연직하중 저항능력은 만족, 허용층간변형각은 초과)</p> <p>재현주기 1,000년 지진(기본설계지진의 1.0배)에 대하여 X, Y 양방향 모두 목표성능인 기능수행(IO)을 만족하지 못하였음. (연직하중 저항능력은 만족, 허용층간변형각은 초과)</p> <p>따라서 X, Y 양방향 허용변형각에 대한 목표내진성능을 확보하지 못하였으므로 내진성능 보강이 필요한 것으로 판단됨.</p>		

B3.2 건축물 정보 및 현장조사 결과

대상구조물	A공항 여객터미널		
층수	지상 3층		
건축연도	2000년	증축여부	없음
증축연도	-	증축부의 위치	-
현장조사에서 나타난 설계도서와 실제 구조물과의 차이점	없음		
재료강도	평균강도(MPa)	근거	
콘크리트강도	27.6	코어테스트, 반발경도법	
철근강도	400	연도별 기본재료강도	
조적강도	-	-	
평면의 형태	사각형, 평면비정형		
입면의 형태	비정형		
기초의 형태	파일기초		
지내력	허용지내력(kN/m ²)	근거	
	-	-	

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

B3.3 도면

*생략

B3.4 하중 및 해석모델

B3.4.1 고정하중 및 활하중

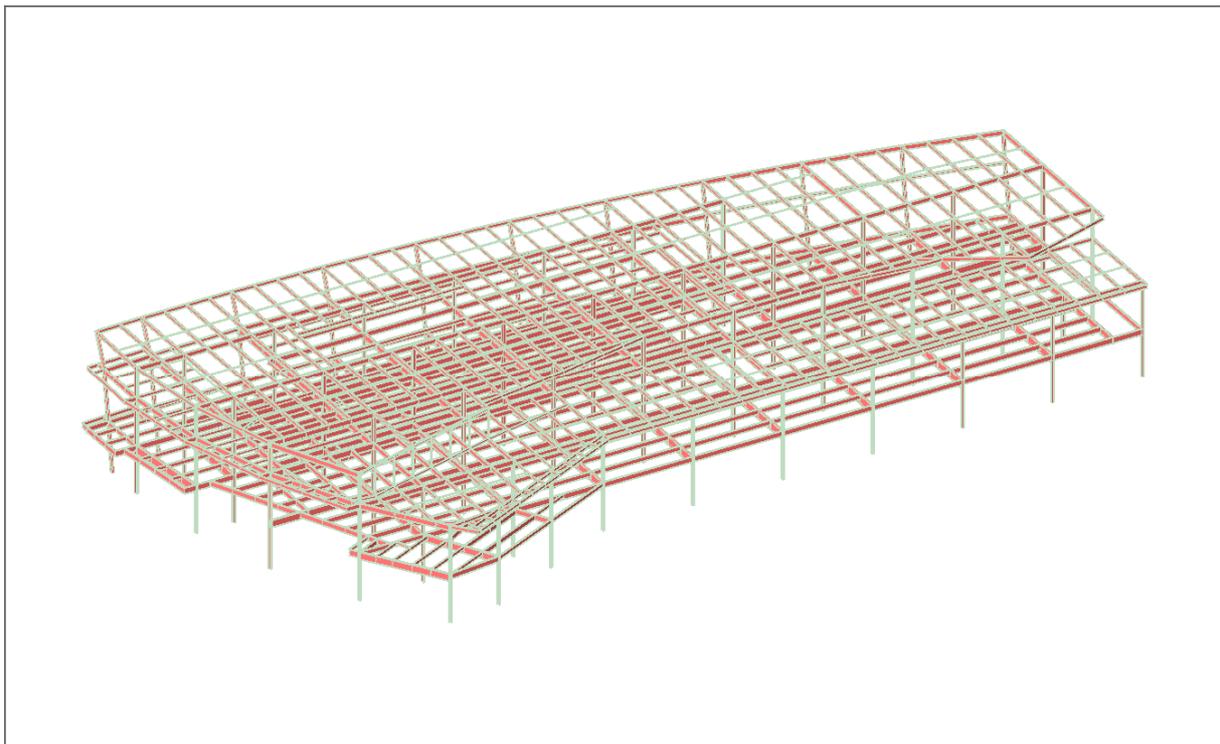
용도	고정하중(DEAD LOAD)				활하중 (LIVE LOAD) (KN/m ²)	사용하중 (D.L.+L.L.) (KN/m ²)	계수하중 (1.2D.L.+ 1.6L.L.) (KN/m ²)
		THK (mm)	중량 (KN/m ²)	하중 (KN/m ²)			
지붕층	지붕 및 마감			1.40	2.00	3.10	4.52
	퍼린			0.40			
	천정			0.20			
				2.00			
여객터미널	마감 및 몰탈	30	20.0	1.20	3.00	9.80	13.76
	데크슬래브	150	24.0	3.30			
	천정			0.30			
				4.80			

B3.4.2 층별하중일람

	면적(m ²)	고정하중(kN)	활하중(kN)
지붕층	5,951.0	9,783	9,783
3층바닥	5,514.7	19,900	20,590
2층바닥	6,711.6	31,250	32,550
합계	18,177.3	60,933	62,923

B3.4.3 지하층, 1층 기둥하단부 모델링 방법

- 지중보 생략, 고정지지



기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

B3.4.4 주기 및 참여율

Node	Mode	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
EIGENVALUE ANALYSIS							
	Mode No	Frequency		Period	Tolerance		
		(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)			
	1	2.9951	0.4767	2.0978	0.0000e+000		
	2	3.7326	0.5941	1.6833	0.0000e+000		
	3	4.5122	0.7181	1.3925	8.7881e-280		
	4	4.6278	0.7365	1.3577	5.4883e-275		
	5	4.7542	0.7567	1.3216	2.2425e-269		
	6	4.9832	0.7931	1.2609	2.0281e-262		
	7	5.1890	0.8259	1.2109	8.6367e-256		
	8	5.4600	0.8690	1.1508	1.4229e-248		
	9	5.9885	0.9531	1.0492	3.7099e-231		
	10	6.3146	1.0050	0.9950	2.0441e-222		

MODAL PARTICIPATION MASSES PRINTOUT													
	Mode No	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z		ROTN-X		ROTN-Y		ROTN-Z	
		MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
	1	85.5289	85.5289	0.0229	0.0229	0.0000	0.0000	0.0082	0.0082	17.4799	17.4799	0.3611	0.3611
	2	0.9398	86.4687	0.0518	0.0747	0.0000	0.0000	0.0019	0.0102	0.9907	18.4706	8.0388	8.3999
	3	0.0000	86.4688	72.6669	72.7416	0.0000	0.0000	18.5754	18.5855	0.0031	18.4737	9.8230	18.2229
	4	0.2718	86.7406	3.1277	75.8693	0.0000	0.0000	2.3333	20.9188	0.0079	18.4816	47.9836	66.2066
	5	0.7927	87.5333	2.9213	78.7906	0.0000	0.0000	2.6469	23.5657	0.0517	18.5333	0.1900	66.3965
	6	0.4469	87.9802	0.0081	78.7987	0.0000	0.0000	0.0418	23.6076	0.1574	18.6907	2.4486	68.8452
	7	2.7954	90.7756	0.5924	79.3911	0.0000	0.0000	0.2065	23.8140	1.3738	20.0645	0.3346	69.1797
	8	0.0204	90.7960	0.1473	79.5384	0.0000	0.0000	0.2866	24.1006	0.0176	20.0821	0.6979	69.8776
	9	0.0000	90.7960	1.6232	81.1616	0.0000	0.0000	0.4069	24.5075	0.0164	20.0985	3.4419	73.3195
	10	0.0025	90.7986	0.1407	81.3022	0.0000	0.0000	0.7305	25.2379	0.0064	20.1050	1.2851	74.6045
	11	2.3443	93.1429	0.0133	81.3155	0.0000	0.0000	0.1303	25.3682	16.0989	36.2038	0.1733	74.7778
	12	4.1201	97.2630	0.0161	81.3317	0.0000	0.0000	0.0006	25.3688	26.3286	62.5325	0.0982	74.8760
	13	0.5632	97.8262	0.1910	81.5226	0.0000	0.0000	0.4191	25.7879	6.8993	69.4317	0.0714	74.9475
	14	0.9347	98.7609	0.0024	81.5250	0.0000	0.0000	0.0192	25.8071	15.0981	84.5298	0.5939	75.5413
	15	0.0016	98.7625	0.0389	81.5639	0.0000	0.0000	0.0865	25.8937	0.0091	84.5389	0.4058	75.9471
	16	0.2964	99.0588	0.0121	81.5759	0.0000	0.0000	0.0717	25.9653	1.2049	85.7438	0.0120	75.9591
	17	0.0929	99.1518	0.1375	81.7134	0.0000	0.0000	0.1498	26.1151	0.4822	86.2260	0.1771	76.1362
	18	0.0704	99.2222	0.0001	81.7135	0.0000	0.0000	0.0223	26.1374	0.1040	86.3301	0.0014	76.1376
	19	0.1560	99.3782	0.3877	82.1012	0.0000	0.0000	1.1906	27.3280	1.9254	88.2555	0.1703	76.3080
	20	0.0131	99.3913	0.2990	82.4002	0.0000	0.0000	0.7429	28.0709	0.0776	88.3331	0.0018	76.3098
	21	0.0506	99.4419	2.9385	85.3387	0.0000	0.0000	6.4902	34.5610	0.8495	89.1826	3.7015	80.0113
	22	0.0233	99.4652	2.3997	87.7384	0.0000	0.0000	6.8963	41.4573	0.6573	89.8398	2.1818	82.1931
	23	0.0010	99.4661	0.0119	87.7504	0.0000	0.0000	0.3194	41.7767	0.3629	90.2028	0.0050	82.1981
	24	0.0143	99.4805	0.0000	87.7504	0.0000	0.0000	0.0739	41.8507	1.1077	91.3104	0.0885	82.2866
	25	0.0126	99.4930	1.4174	89.1678	0.0000	0.0000	4.5912	46.4419	0.3406	91.6510	0.0150	82.3016
	26	0.0054	99.4984	0.1696	89.3374	0.0000	0.0000	2.1306	48.5726	0.0091	91.6601	1.7305	84.0321
	27	0.0676	99.5661	0.0901	89.4275	0.0000	0.0000	0.1896	48.7621	0.7574	92.4175	0.1624	84.1945
	28	0.0096	99.5757	0.3079	89.7355	0.0000	0.0000	0.4690	49.2311	0.4972	92.9147	1.2733	85.4678
	29	0.0631	99.6387	1.9060	91.6414	0.0000	0.0000	5.2100	54.4411	1.5549	94.4696	3.2675	88.7353
	30	0.0000	99.6388	1.6742	93.3157	0.0000	0.0000	11.1132	65.5543	0.0040	94.4736	0.2445	88.9798

B3.4.5 평가절차별 요구조건 만족여부 검토

- 각 방향 모드참여율이 90%이상인 층전단력과 1차모드의 층전단력비가 130% 미만으로 비선형 정적해석을 실시함이 적절한 것으로 판단됨

구분	방향	층 전단력		층 전단력비
		1차모드(KN)	전체모드(KN)	전체모드/1차모드
3층	X	1,179	1,259	107%
2층		3,139	3,285	105%
1층		4,758	4,927	104%
3층	Y	1,661	2,017	121%
2층		4,406	4,606	105%
1층		6,343	6,856	108%

B3.5 평가결과

B3.5.1 비선형 정적절차

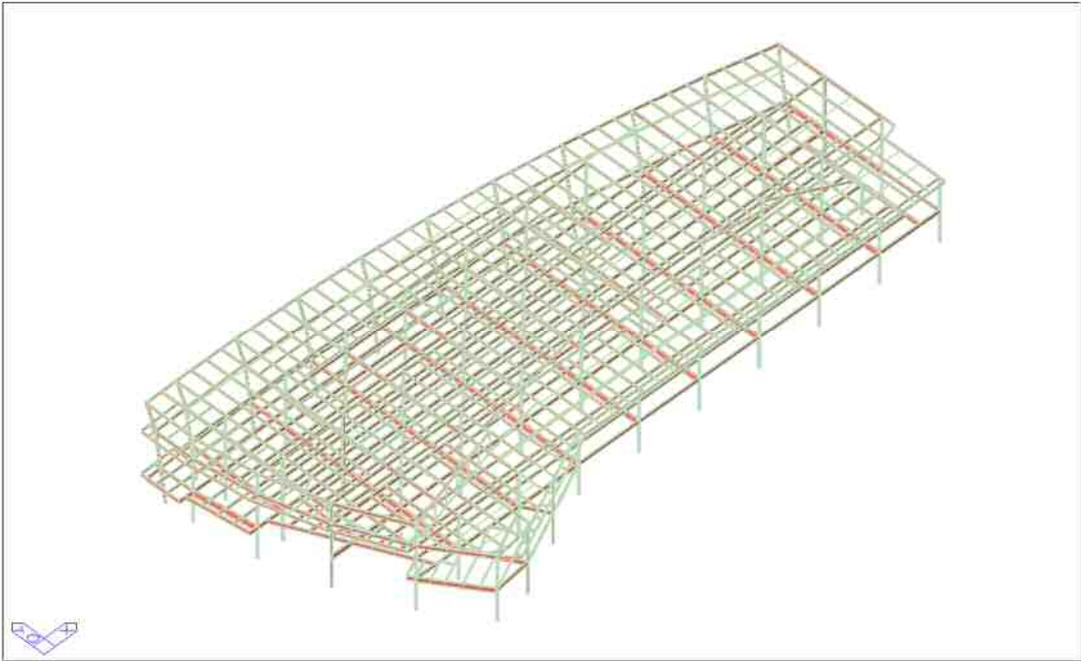
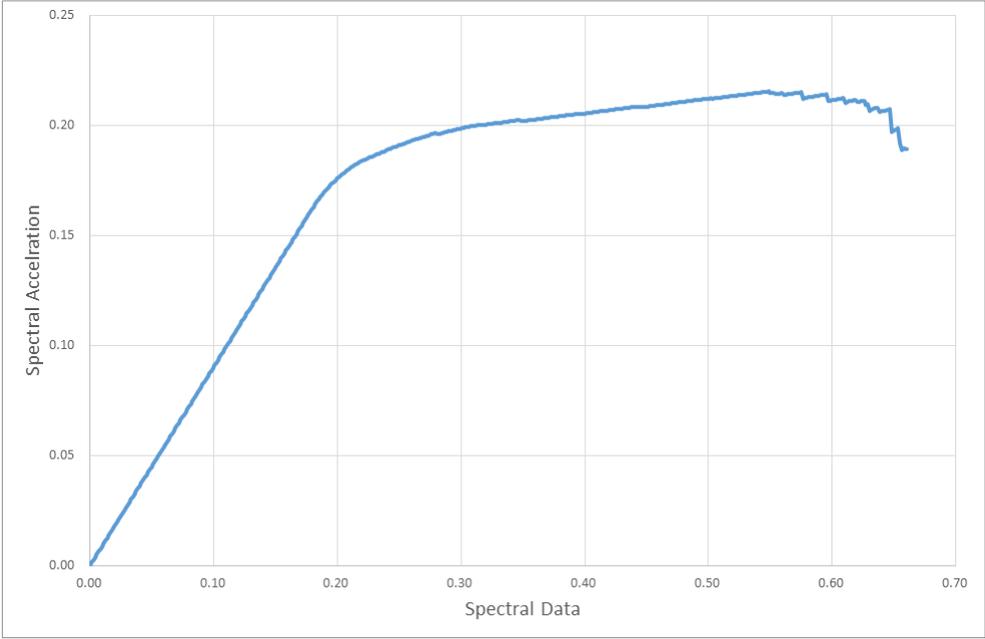
B3.5.1.1 해석조건

항목	내용
하중조합	1.0DL+0.25LL
반응수정계수	R=1.0 적용
강도감소계수	$\phi = 1.0$ 적용
재료강도	변형지배형 거동: 평균강도 강도지배형 거동: 공칭강도
비선형 모델링 파라미터	보: 휨, 전단 유효강성 기둥: P-M-M, 휨, 전단, 축방향 강성 조적벽체: 강성, 강도, 변형능력 등
다축가진효과의 반영	성능점의 밀면전단력 X방향: 9,430kN Y방향: 12,120kN 직교방향 30% 변위의 밀면전단력 X방향: 283kN Y방향: 360kN
성능점산정방법	FEMA440(Procedure-A)
수렴조건/스택크기/총스택	X방향: Displacement Norm / 0.002/750 Y방향: Displacement Norm / 0.002/750

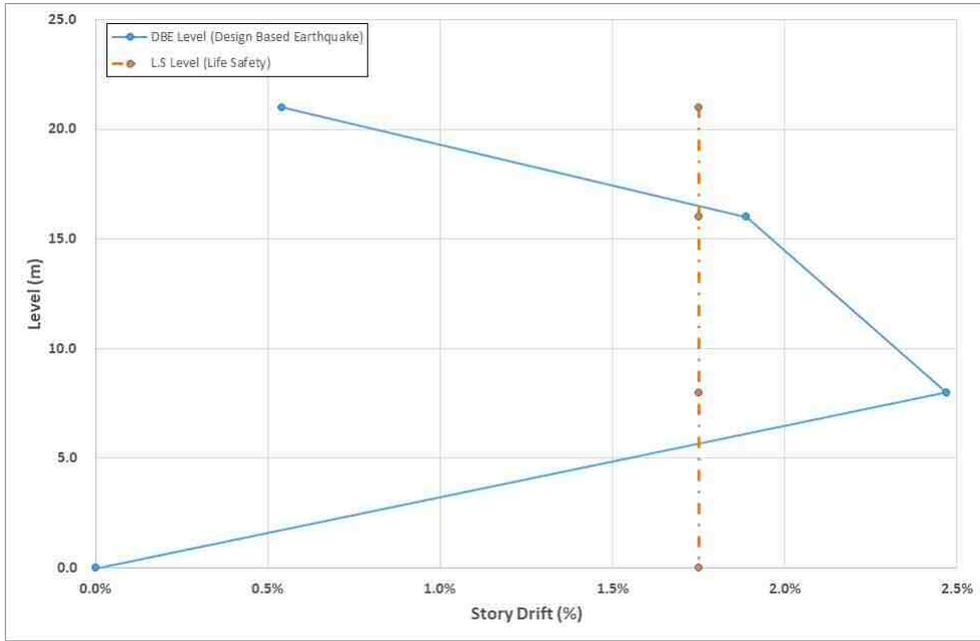
기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

B3.5.1.2 목표성능: 2,400년-인명안전

B3.5.1.2.1 방향별 밀면전단력 및 횡변위

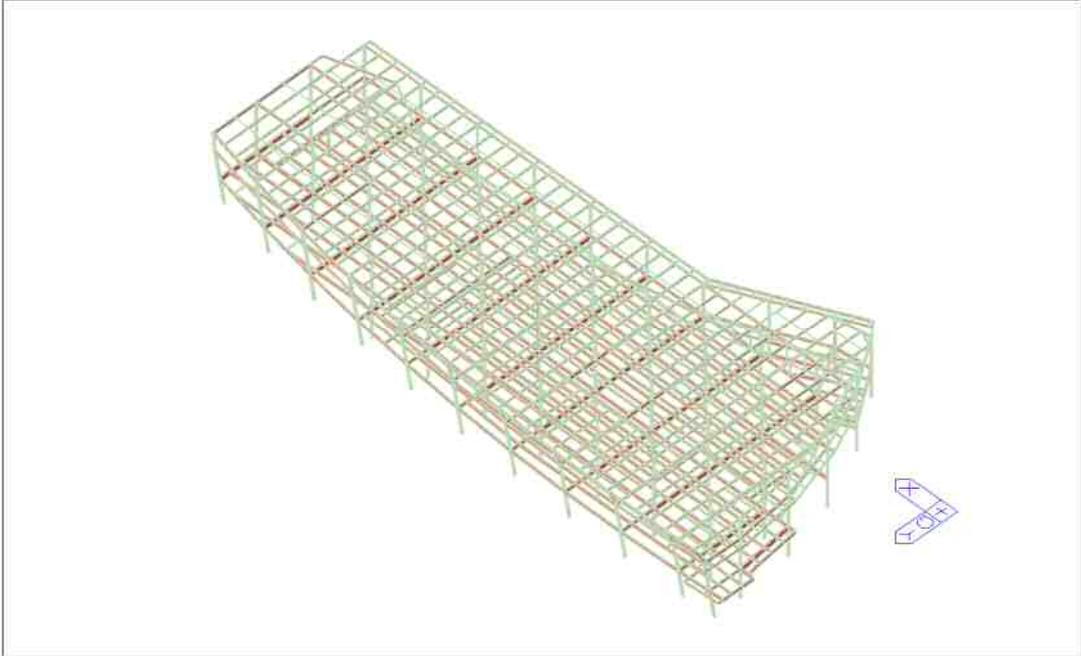
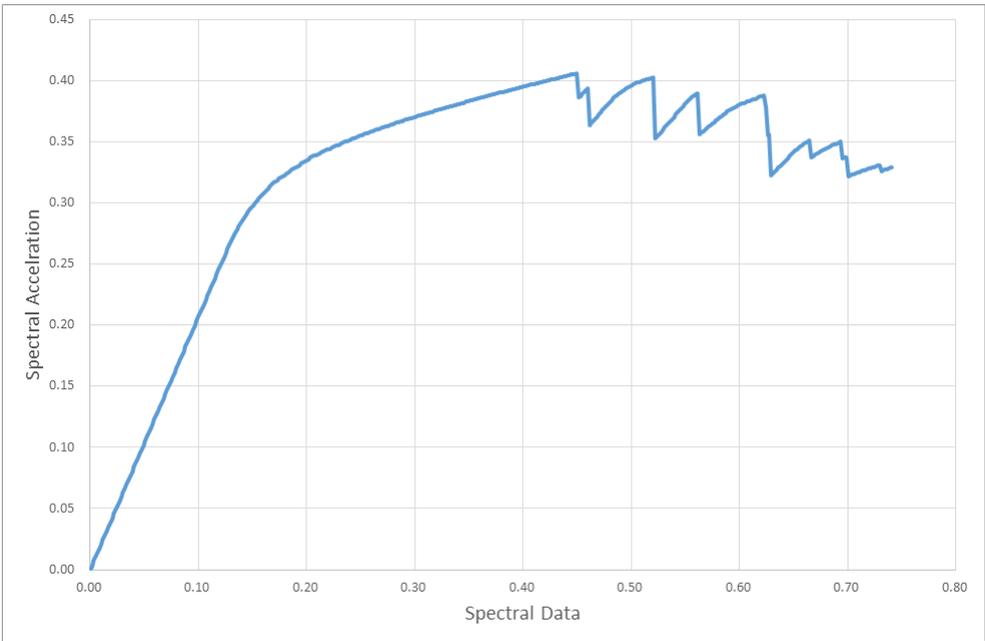
항목	+X방향					
						
						
	SD	SA	D	V	유효주기	유효감쇠비
성능점의 위치	0.2428	0.1893	352.3mm	13,150kN	2.098	5%

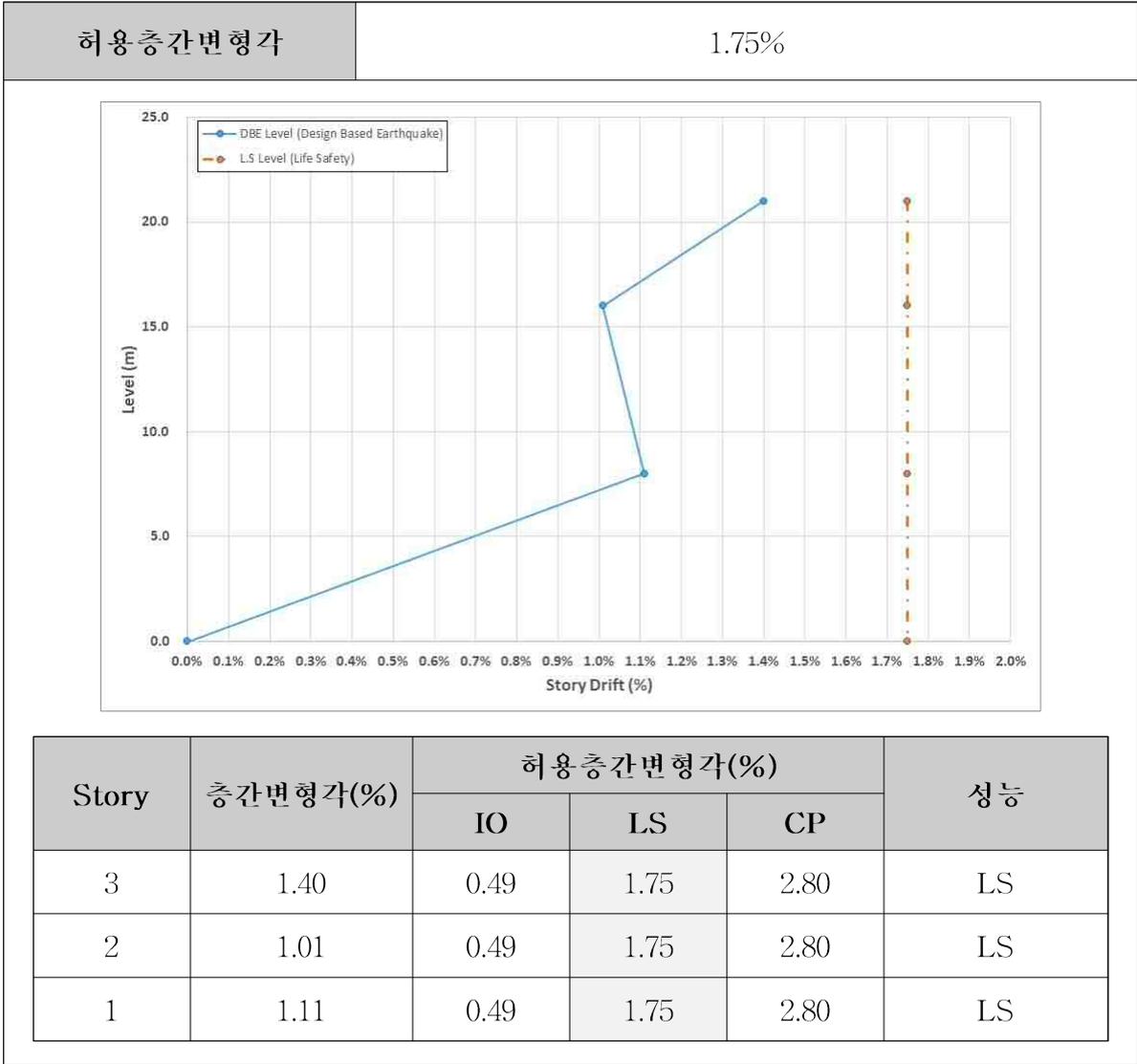
허용 층간변형각 1.75%



Story	층간변형각(%)	허용 층간변형각(%)			성능
		IO	LS	CP	
3	0.54	0.49	1.75	2.80	LS
2	1.89	0.49	1.75	2.80	CP(NG)
1	2.47	0.49	1.75	2.80	CP(NG)

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

항목	+Y방향					
						
						
	SD	SA	D	V	유효주기	유효감쇠비
성능점의 위치	0.153	0.3005	180.04mm	17,730kN	1.392	5%



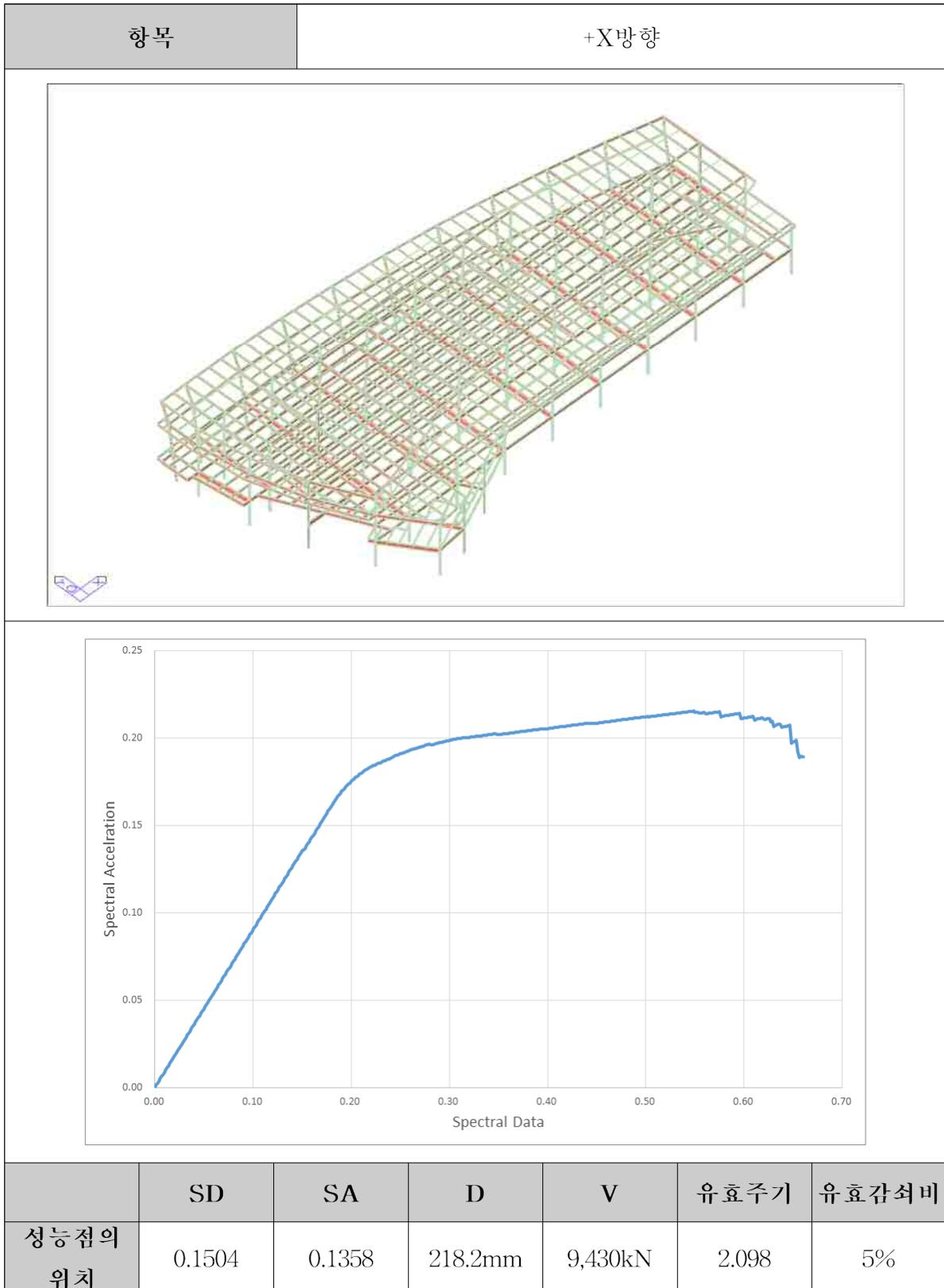
기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

B3.5.1.2.2 연직하중 저항능력

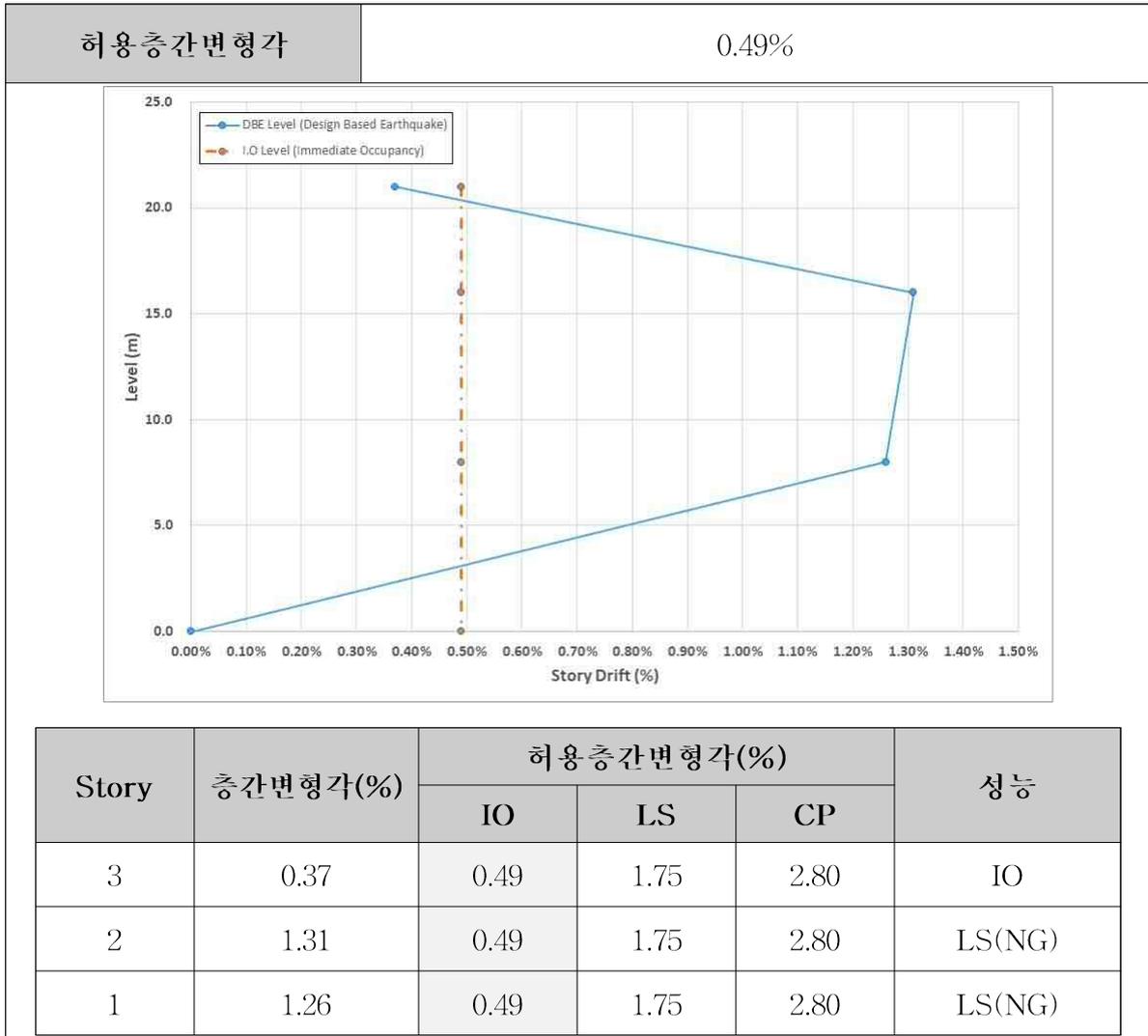
방향	층	성능점의 목표성능	수평부재		수직부재	
			목표성능을 만족하는 부재의 중력하중분담률	만족 여부	목표성능을 만족하는 부재의 중력하중분담률	만족 여부
+X	지붕층	2,400년-LS	1.0	OK	1.0	OK
	3	2,400년-LS	1.0	OK	1.0	OK
	2	2,400년-LS	1.0	OK	1.0	OK
	1	2,400년-LS	10.	OK	1.0	OK
+Y	지붕층	2,400년-LS	1.0	OK	1.0	OK
	3	2,400년-LS	1.0	OK	1.0	OK
	2	2,400년-LS	1.0	OK	1.0	OK
	1	2,400년-LS	1.0	OK	1.0	OK
결과검토			2,400년-붕괴방지수준에 대한 연직하중 저항능력 만족			

B3.5.1.3 목표성능: 1,400년-인명보호

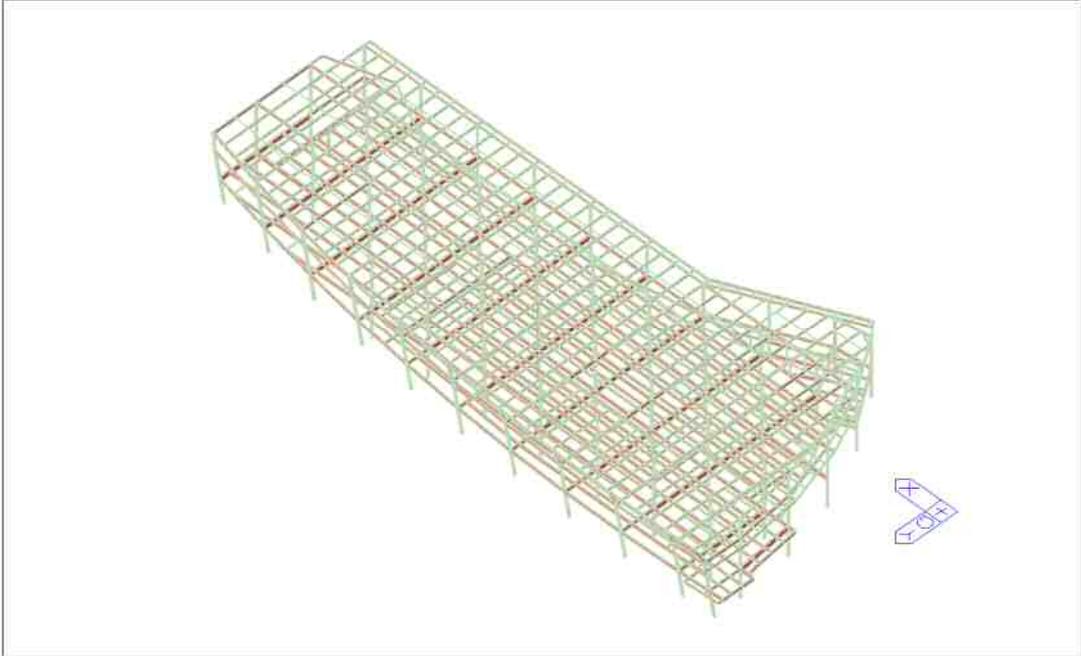
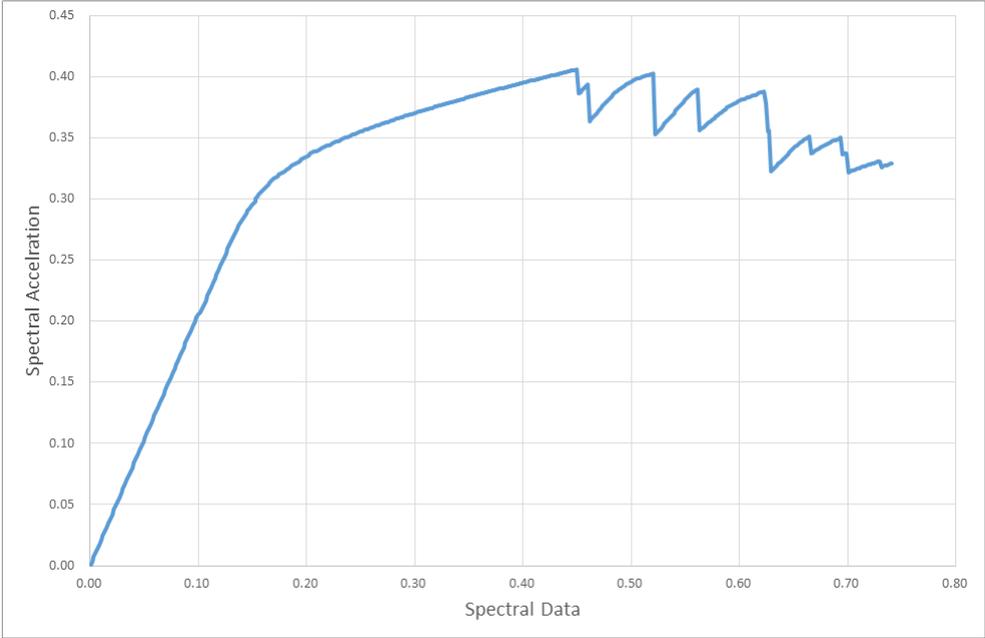
B3.5.1.3.1 방향별 밀면전단력 및 횡변위



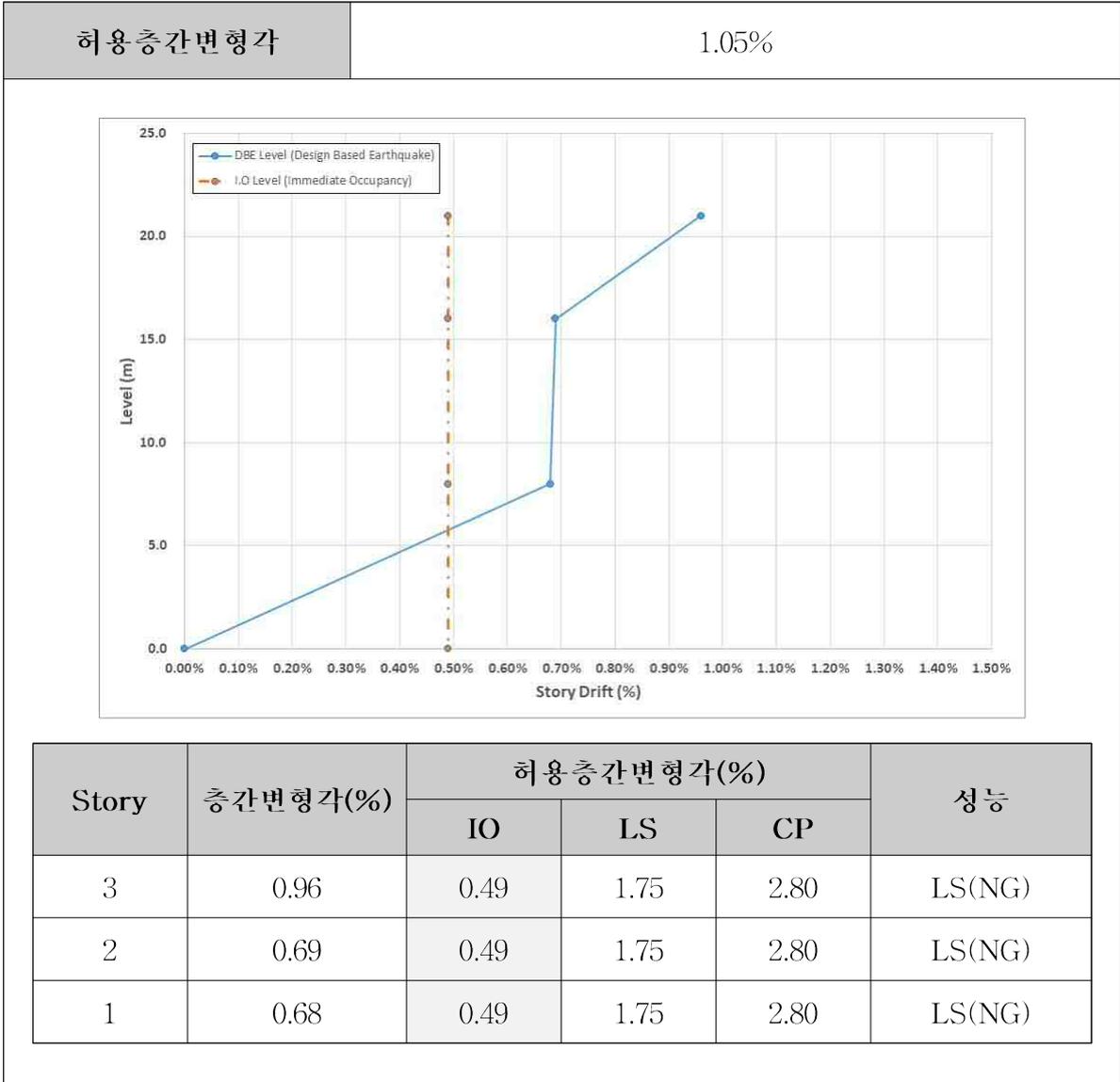
기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령



부록 B. 내진성능평가 예제

항목	+Y방향					
						
						
	SD	SA	D	V	유효주기	유효감쇠비
성능점의 위치	0.09946	0.2054	117.3mm	12,120kN	1.392	5%

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령



B3.5.1.3.2 연직하중 저항능력

방향	층	성능점의 목표성능	수평부재		수직부재	
			목표성능을 만족하는 부재의 중력하중분담률	만족 여부	목표성능을 만족하는 부재의 중력하중분담률	만족 여부
+X	지붕층	1,000년-IO	1.00	OK	1.00	OK
	3	1,000년-IO	0.98	OK	1.00	OK
	2	1,000년-IO	1.00	OK	1.00	OK
	1	1,000년-IO	1.00	OK	1.00	OK
+Y	지붕층	1,000년-IO	1.00	OK	1.00	OK
	3	1,000년-IO	0.98	OK	1.00	OK
	2	1,000년-IO	1.00	OK	1.00	OK
	1	1,000년-IO	1.00	OK	1.00	OK
결과검토			1,000년-기능수행수준에 대한 연직하중 저항능력 만족			

기존 시설물(공항시설) 내진성능 평가요령

승인 국토교통부 시설안전과

발행 한국시설안전공단

2020년 6월 제정

- * 본 요령의 내용에 관한 질의 및 건의 사항은 국토교통부 시설안전과 및 한국시설안전공단으로 연락하여 주시기 바랍니다.

한국시설안전공단 (http://www.kistec.or.kr)
(우) 52856 경상남도 진주시 예나로 128번길 24 대표전화 1588-8788

본 요령의 내용은 공단 홈페이지에서 다운로드 받으실 수 있습니다.