

발간등록번호

11-1543000-001992-01



농업생산기반시설 내진설계기준 개정 연구

Revision of Seismic Design Criteria for Agricultural
Production Infrastructure

농림축산식품자료실



0027597



농림축산식품부



한국농공학회

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “농업생산기반시설 내진설계기준 개정 연구” 과제의
최종보고서로 제출합니다.

2017년 11월

주관연구기관명 :

(사)한국농공학회

연구책임자 : 김용성

연구원 : 박종화

하익수

김정면

이수권

김재휘

이동호

배상근

< 요약 >

□ 연구과제명 : 농업생산기반시설 내진설계기준 개정 연구

1. 서론

1.1 연구배경 및 필요성

- 국내 농업생산기반시설 내진설계기준은 농업생산기반정비사업 계획설계기준(필담편 2002, 해면간척편 1991)으로 각각 개정된 지 15년, 26년이 경과하여 실효성 측면에서 의문시 되고 있음.
- 따라서 개정이후 수행된 저수지 등 농업생산기반시설의 지진 관련 연구성과 및 2017년 7월 1일부터 시행된‘국가건설기술 공통편(내진)’의 내진설계 공통적용 사항을 반영하기 위해서는 농업생산기반시설 설계기준 개정이 필요함.
- 또한, 지진발생 후 농업생산기반시설의 손상을 점검하고 여진 등으로 인한 2차피해를 방지하기 위해서는 시설물별 안전점검 매뉴얼을 개발할 필요가 있음.

1.2 연구 목표 및 내용

1.2.1 연구목표

- 본 연구의 최종 목표는 농업생산기반시설 내진설계기준 개정(안) 마련 및 지진발생 후 시설물 안전점검 매뉴얼을 개발하고 저수지 등 농업생산기반시설의 지진에 대한 안전성 향상에 필요한 기초자료를 제공하는데 있음.

1.2.2 연구내용

- 국내·외 내진설계기준 현황 및 문제점 분석을 통하여 개선 방안 도출

- 농업생산기반정비사업 계획설계기준(필댐편, 해면간척편) 내진설계기준 개정(안) 마련
- 저수지, 방조제, 양배수장 등 농업생산기반시설 내진점검 매뉴얼 개발

1.3 기대효과

- 상위개념의 국가 내진설계공통기준의 반영에 따른 국가건설기준 정책 반영
- 국내 지반의 특성에 적합한 저수지 및 방조제의 내진설계기준의 재정립
- 지진 발생에 대비한 저수지, 방조제, 양배수장 관련 매뉴얼 마련으로 농업생산기반시설 관리자의 재해 대비 기술 향상 및 재난 대응 기술 향상 기대

2. 국내외 내진관련 설계기준 동향 및 사례조사

2.1 국외 저수지 등 농업생산기반시설 내진설계기준

- 기존의 결정론적인 방법(DSHA)에서 확률론적인 리스크에 기반한 방법인 확률론적 지진재해분석(Probabilistic Seismic Hazard Analysis, PSHA)을 활용하는 쪽으로 변화하고 있음.
- 또한 댐의 내진 안정성 평가를 하는 데에 있어 액상화 평가에 많은 내용을 할애하고 있음.

2.2 국내 댐시설 내진설계기준 동향 및 사례조사

- 댐의 내진설계 기준은 댐체, 여수로 및 부대시설물의 내진 성능을 확보하기 위하여 필요한 기준을 규정하는 것으로서 신설되는 높이 15m 이상인 댐의 내진설계에 적용함.
- 또한 높이 15m 미만인 소규모댐의 내진설계에도 준용할 수

있음.

- 댐의 부대시설물은 취수탑, 발전소, 댐 관리동, 수로터널 등을 말하며 이들 시설에 설치된 수문, 권양기, 현장조작반, 관리교, 전기 및 계측제어설비 등을 포함함.

2.3 국외 저수지, 방조제 내진설계 및 국내 댐 내진설계 기준 비교 분석

1) 필댐

- 필댐의 설계지진, 설계지반운동, 액상화 평가, 변위 평가, 지진 후 안정성 평가와 관련한 국내외 내진설계 기준을 비교 분석함.

2) 취수탑/여수로

- 취수탑 및 여수로의 내진설계등급, 설계지반운동, 해석방법과 관련한 국내외 내진설계 기준을 비교 분석함.

3) 수문

- 수문의 정역학적 및 동역학적 해석방법과 관련한 국내외 내진설계 기준을 비교 분석함.

3. 농업생산기반정비사업계획기준

3.1 내진설계기준 현황

- 현 저수지 내진설계기준을 만족할 때의 지진규모 추정, 피해 사례로부터 추정한 지진규모, 미공병단과 미개척국의 방법을 활용한 가장 열악한 조건의 저수지에 대한 지진 시 파괴확률 추정 결과로부터, 국내 농업용저수지는 최소 규모 M6.5 정도까지는 견딜 수 있을 것으로 추정됨.

3.2 내진설계기준의 문제점 및 개선방향

- 농업생산기반정비사업계획설계기준(필댐편, 2002)의 경우, 내진 설계 기준에 대한 기준서에서의 체계도 불분명하고, 기술내용도 충분하지 못하며. 별도의 장으로 분리기술된 “액상화의 검토” 내용을 포함하여 기술할 필요가 있음.
- 농업생산기반정비사업계획설계기준(해면간척편, 1991)의 경우, 1991년 이후 현재까지 개정이 이루어지지 않았으며, 방조제의 내진에 관한 내용은 보완되지 않아 실효성 있는 내진설계기준이 지속적으로 보완 개정되도록 할 필요가 있음.

3.3 필댐의 내진성능 향상 공법

- 필댐에서는 제체 기반에서의 지진파에 비해 정상부에서의 지진파의 기록이 1.5~3배정도 큰 값을 갖는 것으로 볼 때 지진 발생 시 제체에서의 취약부는 정상부가 될 가능성이 높음.
- 현재 운용 중인 저수지의 내진성능 향상을 위해서는 정상부 보강에 초점을 맞춰 경제적이고 효율적인 방법으로 내진성능을 향상시킬 필요가 있음.
- 식생 CSG(Cemented Sand and Gravel)를 이용한 댐 제방의 보강 시공 방법은 흙으로 이루어진 댐의 제방 상부 표면에 CSG재료와 물을 혼합한 CSG혼합물을 포설한 다음 다짐하여 시멘트의 사용량을 최소화하면서 댐 제방의 보강기능과 녹화 기능을 제공하는 친환경적인 보강시공방법임.

4. 농업생산기반정비사업계획기준 내진설계기준 개정(안)

4.1 저수지(필댐)의 내진설계기준 개정(안)

- 최근에 발생한 경주 및 포항 지진에 의한 시설물의 내진기준 강화 차원에서, 해당 기준 내 내진설계 대상시설물 및 시설물 범위는 “총저수용량 30만톤 이상인 저수지와 부속시설”로 수정·설정함.

- 2017년 7월에 공표된 내진설계기준 공통적용사항(이하 내진공통적용사항)을 반영하여 전라남도 및 세종시를 지진구역 I에 추가함.
- 내진등급과 관련하여 댐 설계지진의 내진등급 수준을 고려하여 현 ‘내진특등급 댐’의 등급 용어를 ‘내진 I등급 댐’으로 ‘내진 I등급 댐’을 ‘내진 II등급 댐’으로 수정함.
- 공통내진설계적용사항을 반영하여 저수지 특성에 맞게 현행 농업생산기반정비사업계획설계기준에 설계지반운동 및 설계지진수준 결정 방법과 관련한 내용을 추가함.
- 진도법에 의한 설계가 지나치게 보수적인 설계인 경우, 댐 설계기준에서와 같이 동적 소성해석법을 적극 사용할 수 있도록 기준에 동적해석 설계법 내용 보완함.

4.2 방조제시설의 내진설계기준의 개정(안)

- 필댐편과 마찬가지로 공통내진설계적용사항을 반영하여 방조제 특성에 맞게 현행 농지개량사업계획설계기준(해면간척편)에 이를 추가함.
- 배수갑문에 대한 내진설계 기본사항, 등가정적해석, 동적해석과 관련한 세부 내용을 명기함.

4.3 농업생산기반시설의 내진점검 매뉴얼 개발

- 지진에 관련된 기본사항, 일상점검 관리 포인트, 임시점검에서 점검할 사항, 비상시 대응방안, 점검 체크 시트 등의 내용을 포함한 농업생산기반시설 내진점검 매뉴얼을 개발함.

Summary

□ Title : A study on Revision of Seismic Design Criteria for Agricultural Production Infrastructure

1. Introduction

1.1 Research background and necessity

- Domestic seismic design criteria for agricultural production infrastructure have been revised for a long time and are questionable in terms of effectiveness; the criteria for fill dam have been over 15 years and that for seadike have been over 26 years.
- Therefore, it is necessary to revise the design standards for agricultural production infrastructure in order to reflect the latest research results related to agricultural production infrastructures such as reservoirs and the common application of seismic design announced on July 1, 2017.
- In addition, it is necessary to develop a safety inspection manual for each facility in order to check the damage after earthquake and to prevent secondary damage caused by aftershocks.

1.2 Research Objectives and Contents

1.2.1 Research Objectives

- In this study, the revised seismic design standard for agricultural production infrastructure and the safety inspection manual of the facilities after earthquake were developed and the basic data necessary for improving the

safety of the infrastructures such as the reservoir were provided.

1.2.2 Research Contents

- To find improvement plan through the analysis of current status and problems of domestic and foreign seismic design standards
- To revise the seismic design standard in the design standards of agricultural production infrastructure maintenance plan(fill dam, tidal land reclamation)
- To develop a seismic inspection manual for agricultural production infrastructures such as reservoir, seadike, and pumping stations

1.3 Expected Effects

- To reflect the national construction standard policy from the reflection of the national seismic design common standard
- To re-establish seismic design criteria of reservoir and seadike suitable for the characteristics of domestic ground
- To improve managers' disaster preparedness skills for agricultural production infrastructures and improve disaster response technologies from preparing seismic inspection manual for reservoirs, seadikes, and pumping stations against earthquakes

2. Trends and case studies of domestic and overseas seismic design standards

2.1 Overseas Seismic Design Criteria for Agricultural Production Infrastructure including Reservoirs

- It is changing from the existing deterministic method (DSHA) to utilizing Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA), a method based on probabilistic risk.
- In addition, much attention is paid to liquefaction assessment in assessing seismic stability of dams.

2.2 Domestic seismic design standard trend and case study of dams

- The seismic design criterion of the dam is to specify the necessary criteria to ensure seismic performance of dam, spillway, and auxiliary facilities. It applied to the seismic design of a dam with a height of 15m or more.
- This criterion can also be applied to seismic design of small dams less than 15m in height.
- The auxiliary facilities of the dam refer to the water intake tower, the power plant, the dam management station, and the waterway tunnel. It also includes hoists, field control panels, management bridges, and electrical and instrument control facilities installed in the auxiliary facilities.

2.3 Analysis of overseas seismic design of reservoir and seadike and domestic dam seismic design criteria

1) Fill dam

- Overseas and domestic earthquake design criteria concerning to design earthquake, design ground motion, liquefaction assessment, and post-earthquake stability evaluation were analyzed.

2) Intake tower/spillway

- Overseas and domestic seismic design criteria of intake tower and spillway concerning to seismic design grade, design ground motion, and analysis method were compared and analyzed.

3) floodgate

- Overseas and domestic seismic design criteria including the static and dynamic analysis for floodgate were compared and analyzed.

3. Agricultural production infrastructure maintenance plan standard

3.1 Status of seismic design criteria

- From the results of the earthquake scale estimation that meets the current reservoir seismic design criteria, the earthquake scale estimation using the damage cases, and the earthquake failure probability method, domestic agricultural reservoirs were estimated to be able to withstand the earthquake with a minimum scale of M 6.5.

3.2 Problems and improvement of seismic design criteria

- In the case of 'Design Standard for the Agricultural Production Infrastructure Maintenance Project (Fill dam, 2002)', the description system in its standard is unclear, and the technical content is not sufficient. It is also necessary to include the contents of "Liquefaction potential evaluation", which is described in a separate chapter, in this standard.
- 'Design Standard for the Agricultural Production Infrastructure Maintenance Project (Tidal Land Reclamation, 1991) has not been revised since 1991. Since seismic design criteria of sea dike, which is included in this standard, was not supplemented, this standard should be continuously revised and supplemented.

3.3 Seismic performance improvement method of fill dam

- From the fact that the seismic wave at dam crest is 1.5~3 times larger than the input seismic wave at the bottom of the dam, in the event of an earthquake in a fill dam, vulnerable parts are likely to be the crest.
- In order to improve the seismic performance of the reservoir currently in operation, it is necessary to improve seismic performance in an economical and efficient manner with a focus on top reinforcement.
- The vegetation CSG(Cemented Sand and Gravel) method is to compose the CSG mixture by mixing the CSG material and water. This method is an eco-friendly reinforcement method that provides reinforcement function and reforestation function of the dam embankment while minimizing the amount of cement used.

4. Seismic design criteria revision (plan) in agricultural production base maintenance business plan standard

4.1 Seismic design criteria revision of fill dam (plan)

- In order to strengthen the earthquake resistance standards of the facilities due to the recent Gyeongju and Pohang earthquake, the scope of the facilities requiring earthquake-resistant design was changed to "reservoirs and attached facilities with more than 300,000 tons of total capacity".
- We added Jeollanam-do and Sejong-si to Seismic Zone I to reflect the common application of earthquake-resistant design standards published in July 2017.
- "Seismic Special Class Dam" was changed to "Seismic

Class 1 Dam", and "Seismic Class 1 Dam" was changed to "Seismic Class 2 Dam".

- Design ground motion and seismic zone classification method were revised to reflect the common application of the seismic design standard published in July 2017.
- As for the dynamic analysis design method, if the design by the pseudo-static method is too conservative, it is reflected in the criterion so that the dynamic plastic deformation analysis can be actively used like "Dam Design Standard(2011)".

4.2 Revision of seismic design criteria of seadikes (plan)

- Similar to fill dam, the common application of seismic design criteria is reflected in the seadike.
- Seismic design criteria for tidal gate including the basic principles of seismic design, equivalent static analysis, and dynamic analysis contents were prepared.

4.3 Development of a seismic inspection manual for agricultural production

- We have developed an agricultural production infrastructure earthquake inspection manual that includes basic information on earthquakes, daily maintenance points, temporary check points, emergency response measures, check sheets.

< 목 차 >

I 편 농업생산기반시설 내진설계기준 개정(안)

제1장 연구개요	1
1.1 연구배경 및 필요성	1
1.1.1. 기술적 측면	1
1.1.2. 경제·산업적 측면	2
1.1.3. 사회·문화적 측면	3
1.2 연구목표 및 내용	5
1.2.1. 연구목표	5
1.2.2. 연구내용	6
제2장 국내·외 내진관련 설계기준 동향 및 사례조사 ..	8
2.1 국외 저수지 등 농업생산기반시설 내진설계기준 동향 조사	8
2.1.1. 필댐(Embankment dam)	8
2.1.2 콘크리트 수력구조물 및 부대시설	15
2.2 국내 댐시설 내진설계기준 동향 및 사례조사	22
2.2.1. 댐	22
2.2.2. 수문	27
2.3 국외 저수지, 방조제 내진설계 및 국내 댐 내진설계 기준 비교·분석	30
2.3.1. 필댐(Embankment dam)	30
2.3.2. 취수탑/여수로	35
2.3.3. 수문	37

제3장 농업생산기반정비사업계획설계기준 내진설계기준	
 현황, 문제점 및 개선방향	38
3.1 내진설계기준 현황	38
3.1.1. 저수지 복통부 내진설계 필요성 검토	38
3.1.2. 현 저수지의 내진 지진규모 추정	41
3.2 내진설계기준의 문제점 및 개선방향	45
3.2.1. 저수지(필댐)의 내진설계기준의 문제점 및 개선방향	45
3.2.2. 방조제(해면간척)의 내진설계기준의 문제점 및 개선방향	56
3.2.3. 양배수장의 내진설계기준의 문제점 및 개선방향	57
3.2.4. 취수장의 내진설계기준의 문제점 및 개선방향	58
3.3 필댐의 내진성능 향상 공법	60
3.3.1. 지진 시 필댐의 거동	60
3.3.2. 필댐의 내진성능 향상 공법	68
제4장 농업생산기반정비사업계획설계기준 내진설계기준	
 개정(안)	73
4.1 저수지(필댐)의 내진설계기준 개정(안)	73
4.1.1. 저수지(필댐) 내진설계기준 주요 개정 내용	73
4.1.2. 저수지(필댐) 내진설계기준 개정(안)	79
4.2 방조제시설의 내진설계기준 개정(안)	103
4.2.1. 방조제시설 내진설계기준 주요 개정 내용	103
4.2.1. 방조제시설 내진설계기준 개정(안)	108
부록 1. 저수지(필댐) 내진설계기준 신규대조표	
부록 2. 방조제 내진설계기준 신규대조표	
부록 3. 농업생산기반정비사업계획설계기준(필댐편 내진설계	
 기준 개정) 신규대조표	
부록 4. 농업생산기반정비사업계획설계기준(해면간척편 내진	
 설계기준 개정) 신규대조표	

II 편 저수지 등 농업생산기반시설 내진점검 매뉴얼 개발

- 「농업생산기반시설」 저수지의 내진점검 매뉴얼
- 「농업생산기반시설」 방조제의 내진점검 매뉴얼
- 「농업생산기반시설」 양배수장의 내진점검 매뉴얼

- 참고문헌

< 표 차례 >

(표 2-1) 설계지진 등급 및 정의	8
(표 2-2) 설계지진 등급 및 정의Ⅱ	9
(표 2-3) 설계지진 등급 및 정의Ⅲ	16
(표 2-5) 댐의 내진등급별 설계지진	23
(표 2-6) 댐 형식별 내진설계 조건	24
(표 2-7) 하천시설물 내진등급별 시설분류기준	27
(표 2-8) 위험인자와 위험계수	28
(표 2-9) 수문시설물의 내진성능목표	29
(표 2-10) 국내외 설계지진 비교	31
(표 2-11) 국내외 설계지반운동 비교	32
(표 2-12) 국내외 액상화 평가 비교	33
(표 2-14) 국내외 지진 후 안정성 평가 비교	34
(표 2-15) 국내외 내진설계등급 비교	35
(표 2-16) 국내외 설계지반운동 비교	36
(표 2-17) 국내외 취수탑 해석방법 비교	36
(표 2-18) 국내외 여수로 해석방법 비교	37
(표 2-19) 국내외 수문 해석방법 비교	37
(표 3-1) 댐 시설물의 내진설계 대상	46
(표 3-2) 지진화산재해대책법 및 시행령의 다목적댐	46
(표 3-3) 지진화산재해대책법 및 시행령의 댐	46
(표 3-4) 댐 설계기준(2011) 내진설계 시설범위	47
(표 3-5) 저수지(필댐)의 내진설계 대상	48
(표 3-6) 지진화산재해대책법 및 시행령의 농업생산기반시설과 저수지	48
(표 3-7) 농업생산기반정비사업계획설계기준(필댐편,2002) 내진설계 시설 범위	48
(표 3-8) 저수지(필댐)의 내진설계 대상 적정성 검토 및 개선방향	49
(표 3-9) 현행 기준 댐의 내진 등급과 설계지진	51
(표 3-10) 저수지의 내진 등급과 설계지진 개선(안)	51

(표 3-11) 지반분류 체계	52
(표 3-12) 설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼 전이주기	53
(표 3-13) 지반증폭계수	54
(표 3-14) 미국 및 멕시코 필댐의 기초와 정상부에서 관측된 지진기록	62
(표 4-1) 저수지(필댐)의 내진설계 대상	74
(표 4-2) 지진구역 및 지진구역계수(Z)	75
(표 4-3) 필댐의 안전율	76
(표 4-4) 지진구역 및 지진구역계수(Z)	80
(표 4-5) 위험도 계수(I)	81
(표 4-6) 지반의 분류	81
(표 4-7) 가속도 표준설계응답스펙트럼 전이주기	84
(표 4-8) 감쇠보정계수(C_D)	84
(표 4-9) 지반증폭계수	86
(표 4-10) 댐의 내진 등급과 설계지진	89
(표 4-11) 저수지(필댐)의 내진성능목표	89
(표 4-12) 필댐의 안전율	93
(표 4-13) 방조제 시설의 내진등급과 설계지진	104
(표 4-14) 방조제 시설의 내진등급과 설계지진	118
(표 4-15) 방조제 시설의 내진성능 목표	119

<그림 차례>

<그림 1-1> 동일본 지진에 의한 후지누마 저수지의 붕괴(2011)	2
<그림 1-2> 농업생산기반시설 내진설계 개정(안) 상세 연구목표	5
<그림 1-3> 농업생산기반시설 내진설계 개정(안) 과업범위	7
<그림 1-4> 저수지 등 농업생산기반시설 내진점검 매뉴얼 개발 과업범위	7
<그림 2-1> PSHA 사례: 지진재해곡선	10
<그림 2-2> 지진영향 인자분석 사례	11
<그림 2-3> Example of UHS	11
<그림 2-4> $K\sigma$ 와 Effective Overburden Stress의 관계곡선	14
<그림 2-5> Process for developing time-histories for seismic analysis and design	17
<그림 2-6> Simplified model of intake tower	19
<그림 3-1> 저수지의 지진피해 유형	39
<그림 3-2> 제체 통과 취수관의 설치와 관련된 기준 내용 인용	40
<그림 3-3> 댐 형식별 지진규모에 따른 지진피해 현황	42
<그림 3-4> 최대지반가속도와 댐정부 침하량과의 경험적 관계식	43
<그림 3-5> 국내 96개 재해위험저수지의 1000년 재현주기 지진에 대한 파괴확률 산정	44
<그림 3-6> 국제대담회에서 제시하는 댐 부속시설물에 대한내진설계	47
<그림 3-7> 국내 지진구역의 변경(2013년 소방방재청 고시 내용중)	50
<그림 3-8> 내진설계기준 공통적용사항에서의 내진성능목표와 설계재현주기	51
<그림 3-9> 암반지반의 가속도 표준설계응답스펙트럼	53
<그림 3-10> 토사지반의 가속도 표준설계응답스펙트럼	53
<그림 3-11> 설계응답스펙트럼으로부터 인공합성 지진파시간이력 생성 절차	54
<그림 3-12> 댐설계기준(2011)에 제시된 동적소성해석법 내용 일부 발췌본	55
<그림 3-13> 액상화를 고려한 동적소성변형해석 결과 예시	55
<그림 3-14> 필댐 기초 및 정상부 최대가속도에 의한 제체응답특성 (댐축 직교성분, 기반: 댐 중앙)	64

<그림 3-15> 필댐 기초 및 정상부 최대가속도에 의한 제체응답특성 (댐축 직교성분, 기반: 댐 양안)	64
<그림 3-16> 필댐 기초 및 정상부 최대가속도에 의한 제체응답특성 (댐축 직교성분, 기반: 하류지반)	65
<그림 3-17> 필댐 기초 및 정상부 최대가속도에 의한 제체응답특성 (댐축방향 성분, 기반: 댐 중앙)	65
<그림 3-18> 필댐 기초 및 정상부 최대가속도에 의한 제체응답특성 (댐축방향 성분, 기반: 댐 양안)	66
<그림 3-19> 필댐 기초 및 정상부 최대가속도에 의한 제체응답특성 (댐축방향 성분, 기반: 하류지반)	66
<그림 3-20> 필댐 기초 및 정상부 최대가속도에 의한 제체응답특성 (상하방향 성분, 기반: 댐 중앙)	67
<그림 3-21> 필댐 기초 및 정상부 최대가속도에 의한 제체응답특성 (상하방향 성분, 기반: 댐 양안)	67
<그림 3-22> 필댐 기초 및 정상부 최대가속도에 의한 제체응답특성 (상하방향 성분, 기반: 하류지반)	68
<그림 3-23> 필댐 가속도 응답의 동수압 영향	69
<그림 3-24> 식생 CSG를 이용한 댐 제방의 보강 시공 방법 개념도 1	70
<그림 3-25> 식생 CSG를 이용한 댐 제방의 보강 시공 방법 개념도 2	71
<그림 3-26> 식생 CSG를 이용한 댐 제방의 보강 시공 방법 개념도 3	72
<그림 3-27> 식생 CSG를 이용한 댐 제방의 보강 시공 방법 개념도 3	72
<그림 4-1> 가속도 표준설계응답스펙트럼(암반지반)	83
<그림 4-2> 토사지반 수평지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼	85

I 편

농업생산기반시설 내진설계기준
개정(안)

제1장 연구개요

1.1. 연구배경 및 필요성

1.1.1. 기술적 측면

2016년 9월 12일 경북 경주에서 규모 5.8의 지진 및 2017년 11월 15일 경북 포항에서 규모 5.4의 지진이 발생함에 따라 내진설계기준 강화, 내진설계 대상시설물의 확대 등 노후 저수지에 대한 종합적인 지진 대응대책 마련의 필요성이 제기되고 있다.

국민안전처(현 행정안전부)에서는 2017년 3월 22일 그동안 건축물, 교량 등 관계 중앙행정기관(11기관)에서 제정된 31종의 시설별 내진설계기준이 서로 다르게 적용되는 문제점을 개선하기 위하여 부처설명회 및 의견수렴, 공청회, 자문회의를 통한 내진설계기준 공통적용 사항을 제정하여 심의 확정하였다.

내진설계기준 공통적용사항의 주요내용으로는 지반분류 체계 및 설계지반운동의 특성을 표현을 하기 위하여 지반특성을 국내 지반환경에 맞게 기반암 기준 깊이를 30m에서 20m로 변경하였고, 설계지진 분류체계를 당초 지진발생 주기 50년, 100년, 200년, 500년, 1,000년, 2,400년에서 4,800년을 추가하여 중요시설물의 안전성을 강화 하였다.

또한 내진성능수준 분류체계는 기존의 기능수행수준과 붕괴방지수준에서 기능수행수준, 즉시복구수준, 장기복구/인명보호수준, 붕괴방지수준으로 세분화 하였으며, 내진등급 분류체계는 시설물의 중요도에 따라 지진발생 시 큰 재난이 발생하거나 사회적 영향이 큰 경우를 내진특등급으로 하고 그 외에 내진 I 등급, 내진 II 등급으로 차등 분류하여 구조물의 용도, 성격에 따른 합리적 내진설계가 가능하도록 하였다.

농업용 저수지의 내진설계는 1982년 농지개량사업계획 설계기준(댐편) 개정으로 도입되어 2002년 농업생산기반정비사업 계획설계기준(필댐편)으로 개정되었으나, 개정된 지 15년이 경과하여 국내·외 연구성과를 반영하여 기준 전반에 보완이 필요하다는 의견이 꾸준히 제기되고 있으며, 2016년 12월 30일 농림축산식품부에서는 9.12지진을 계기로 농업용 저수지의 안전관리 개선대책을 마련을 위해 우선 내진설계 의무대상 저수지를 현행 총 저수용량 50만톤 이상(601개소)에서 30만톤 이상으로 확대(1,228개소)하고 내진설계기준 개정 및 내진보강방안을 확대 추진하기로 하였다. 또한 저수지 등 농

업생산기반시설의 관리자의 재난대응 역량 강화를 위해 지진이나 저수지 붕괴 등의 재난 상황에 대응하기 위해 마련된 매뉴얼 개선을 추진하고 있다.

국내 농업생산기반시설 내진설계기준은 농업생산기반정비사업 계획설계기준(필담편 2002, 해면간척편 1991)으로 각각 개정된 지 15년, 26년이 경과하여 실효성 측면에서 의문시 되고, 따라서 개정이후 수행된 저수지 등 농업생산기반시설의 지진 관련 연구성과 및 2017년 7월 1일부터 시행된‘국가건설기술 공통편(내진)’의 내진설계 공통적용 사항을 반영하기 위해서는 농업생산기반시설 설계기준 개정이 필요하며, 지진발생 후 농업생산기반시설의 손상을 점검하고 여진 등으로 인한 2차피해를 방지하기 위해서는 시설물별 안전점검 매뉴얼을 개발할 필요가 있다.

1.1.2. 경제·산업적 측면

지진은 인명과 재산에 가공할 피해를 가져올 수 있는 자연재해 중 하나로서 국내·외에서 지진의 발생 빈도 및 규모가 점차 증가하고 있으며, 지진으로 인한 인명 및 재산피해 사례들이 속속 보고되고 있다.

최근 10년간 일본, 아이티, 칠레, 터키, 뉴질랜드 등에서 대규모 지진이 발생하여 수많은 인명과 재산피해가 발생하였고, 2008년 5월 한반도와 인접한 중국에서는 규모 8.0의 강진으로 8만 9천여명의 사망자, 37만 여명의 중상자와 더불어 26조원의 경제적 손실, 도로, 수도, 통신, 전력 등 라이프라인이 치명적인 피해를 입었으며, 일본에서는 2011년 3월에 발생한 규모 9.0의 동일본 대지진으로 2만 3백 여명의 사망자가 발생한 바 있다.



<그림 1-1> 동일본 지진에 의한 후지누마 저수지의 붕괴(2011)

국내에서 지진이 일어날 가능성은 일본에 비해 상대적으로 낮지만 본격적으로 지진을 관측한 1978년부터 2014년까지 1,170회의 지진이 발생하였다.

최근 10년간 국내에서 발생한 지진은 총 529회로 전체의 45.2%를 차지할 만큼 지진의 발생횟수가 증가하고 있으며, 2016년 9월에 발생한 9.12지진 및 2017년 11월 15일 경북 포항에서 규모 5.4의 지진에서와 같이 지진 규모도 점차로 증가하고 있는 실정이다. 또한 경제성장과 더불어 사회간접 시설로서 대형 구조물이 증가하고 있으며, 고층 건물과 아파트 선호 주거환경으로 인하여 지진으로 인한 피해규모는 과거에 비하여 상상을 초월한 정도로 심각한 피해가 발생할 가능성이 상존하고 있다.

저수지 등 농업생산기반시설은 중요 국가시설물로서 지진발생으로 인한 구조물 대한 1차 피해 및 라이프라인 마비에 따른 사회·경제적인 2차 재난 발생의 위험성이 큼에 따라 현실성 있는 내진설계 마련 및 지진 발생 후 철저한 시설물 안전점검을 통한 유지관리 체계를 구축하는 등 지진에 대한 철저한 대비가 필요하다.

1.1.3. 사회·문화적 측면

2014년도 한국농어촌공사의 저수지 전수조사 결과 국내 저수지 총 17,427개소 중 약 96%가 1980년대 중반 이전에 건설되어 노후가 심각하거나 내구성이 취약한 것으로 나타났으며, 또한 축조된 지 50년 이상 경과된 노후 저수지가 전체의 70%를 차지하고 있어 노후화의 진행에 따른 저수지 붕괴 위험성 증가 등으로 인한 사회적 문제로 대두되고 있다.

실제로 장현 저수지(2002년), 동막 저수지(2002년), 춘정 저수지(2007), 대사 저수지(2007년), 산대 저수지(2013년), 지소 저수지(2013년), 괴연 저수지(2014년), 구천 저수지(2014년), 사당골 저수지(2016년) 등이 집중호우로 인하여 붕괴되어 막대한 재산피해가 발생한 바 있다.

2016년에 발생한 9.12지진으로 인하여 사곡지, 토상지의 제당에 균열이 발생되어 긴급정밀안전진단을 실시한 결과 저수지의 안전성에 문제가 없는 것으로 나타났으나, 향후 9.12지진 보다 큰 규모의 지진이 발생할 경우에는 저수지 안전성을 자신할 수 없음으로 인한 저수지 인근에 거주하는 주민의 불안감이 고조되어 저수지 내진안전성 확보를 위한 대책수립이 필요하다는 목소리가 높아져 가고 있다.

최근 지진활동이 증가 추세에 있고, 지난 4월 일본과 에콰도르에서 발생

한 연쇄적인 강진으로 국민적 불안이 고조되고 있는 상황에서 신속한 대국민 전파체계 구축, 시설물 내진 대책 강화, 대응체계 강화 및 교육·훈련 확대, 과학적 지진대비 인프라 확충 등 주요 전략과제를 포함하여 대책을 마련하기 위하여 정부에서는 2016년 4월부터 국민안전처 주관으로 ‘지진대책 TF’를 운영하여 2016년 5월 27일 범정부 차원의 ‘지진방재 개선대책’을 마련하였다.

2017년 현재 ‘지진·화산 재해대책법 제14조’에 명기된 총 저수용량 50만톤 이상이고 제방높이 15m 이상인 저수지와 총 저수용량 2천만톤 이상인 내진설계대상 저수지는 전체 저수지의 3.4%에 불과하여 대부분의 농업용 저수지가 지진 사각지대에 놓여 있어 농업용저수지의 내진대책 마련이 시급하다.

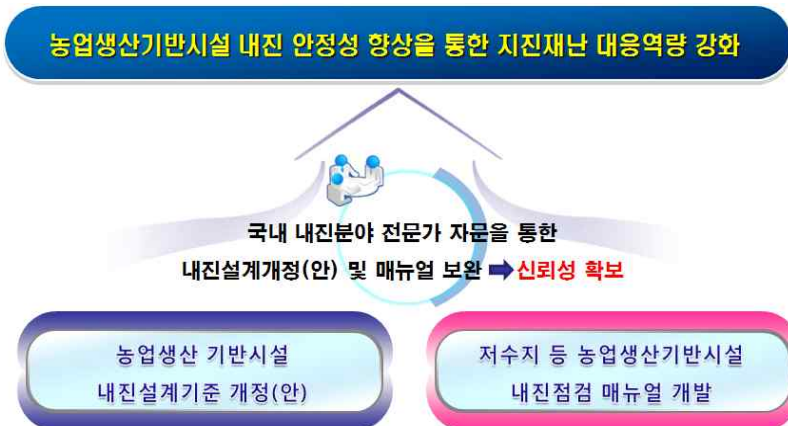
국내는 지진규모 7.0이상의 지진이 발생하기 어려운 지질구조로 보고, 가장 높은 안전도를 요구하는 원전의 경우에도 0.2g(규모 6.9)의 설계진도로 설계하고 있으나, 2016년 9월 12일에 발생한 경주 지진 및 2017년 11월 15일에 발생한 포항 지진을 계기로 원전은 물론 농업용 저수지도 내진설계기준을 강화할 필요성이 제기되고 있다.

1.2. 연구목표 및 내용

1.2.1. 연구목표

본 연구는 농업생산기반시설 내진설계기준 개정(안) 마련 및 지진발생 후 시설물 안전점검 매뉴얼을 개발하여 저수지 등 농업생산기반시설의 지진에 대한 안전성 향상을 목표로 하며, 상세 연구목표는 <그림 1-2>와 같다.

- 국내·외 내진설계기준 현황 및 문제점 분석을 통하여 개선방안 도출
- 농업생산기반정비사업 계획설계기준(필댐편, 해면간척편) 내진설계기준 개정(안) 마련
- 저수지, 방조제, 양배수장 등의 농업생산기반시설 내진점검 매뉴얼 개발



- 국내외 댐, 저수지 등 내진관련 설계기준 동향 및 사례조사를 통한 **내진설계 기준 개정안 발의성 수립**
- 국내외 농업생산기반시설 내진설계기준 현황 및 문제점 분석을 통한 **내진설계 기준 개선방향 제시**
- 국가 내진설계 기준 공통기준 적용 및 전문가 의견수렴을 통한 **종합적인 농업생산기반시설 내진설계기준 개정안 마련**
- 농업생산기반시설 시설물 별(저수지, 방조제, 양배수장 등) 특성을 고려한 **지진관련 안전점검 매뉴얼 작성**

<그림 1-2> 농업생산기반시설 내진설계 개정(안) 상세 연구목표

1.2.2. 연구내용

농업생산기반시설 내진설계기준 개정(안) 및 지진발생 후 시설물 안전점검 매뉴얼을 개발하여 저수지 등 농업생산기반시설의 지진에 대한 안전성 향상이 본 연구의 목적으로 과업의 범위는 <그림 1-3>, <그림 1-4>와 같으며 상세 연구내용은 다음과 같다.

1) 농업생산기반시설 내진설계기준 개정(안) 제시

- (1) 국내·외 내진관련 설계기준 동향 및 사례조사
 - 국외 저수지 등 농업생산기반시설 내진설계기준 동향 및 사례조사
 - 국내 댐시설 내진설계기준 동향 및 사례 조사
 - 취수시설, 물넘이시설, 배수갑문 등 콘크리트 구조분야에 대한 내진설계기준 검토
- (2) 농업생산기반정비사업 계획설계기준(필댐편, 해면간척편) 내진설계기준 현황, 문제점 및 개선방향 검토
 - 국외 저수지, 방조제 내진설계 및 국내 댐 내진설계기준 비교·분석
- (3) 저수지 등 농업생산기반시설 내진설계기준 개정(안) 마련
 - 2017년 고시 예정인 국가 내진설계 공통기준 내용을 반영한 개정(안) 마련
 - 저수지 유형별(규모, 축조시기, 하류부 여건 등) 내진설계 적용 범위 검토
 - 흙댐에 적합한 보편적인 내진성능 향상 공법 제시
- (4) 농업생산기반정비사업 계획설계기준(필댐편, 해면간척편) 내진설계기준 개정(안)마련
 - 2017년 고시 예정인 국가 내진설계 공통기준 내용을 반영한 개정(안) 마련
 - 마련된 개정(안)에 대하여 학회 및 교수 등 전문가 자문 실시
 - 개정(안)에 대하여 국가건설기준센터 중앙심의 위원회 심의 실시

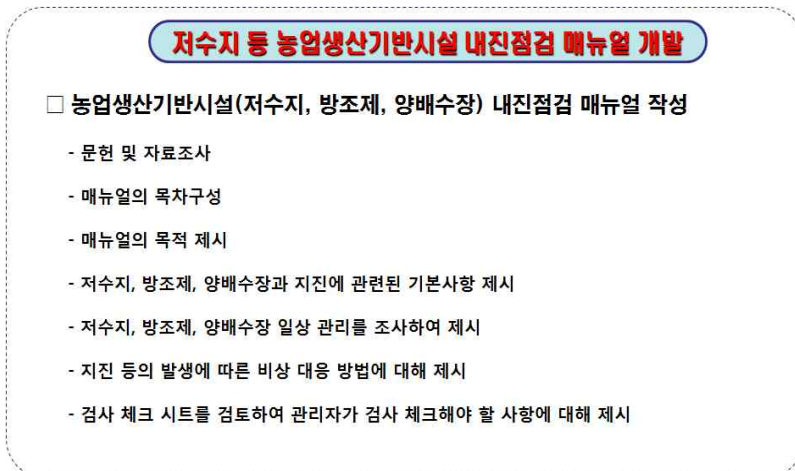
2) 저수지 등 농업생산기반시설 내진점검 매뉴얼 개발

(1) 농업생산기반시설 지진관련 시설물 안전점검 매뉴얼 작성

- 저수지의 농업생산기반시설 내진점검 매뉴얼 작성
- 방조제의 농업생산기반시설 내진점검 매뉴얼 작성
- 양배수장의 농업생산기반시설 내진점검 매뉴얼 작성



<그림 1-3> 농업생산기반시설 내진설계 개정(안) 과업범위



<그림 1-4> 저수지 등 농업생산기반시설 내진점검 매뉴얼 개발 과업범위

제2장. 국내·외 내진관련 설계기준 동향 및 사례조사

2.1. 국외 저수지 등 농업생산기반시설 내진설계기준 동향 조사

2.1.1. 필댐(Embankment dam)

‘Design Standards No.13 Embankment Dams (US Bureau of Reclamation, 2015)’에 의하면 Embankment dam 설계기준의 적용범위는 필댐이며 설계기준이 기존의 결정론적인 방법(DSHA)에서 확률론적인 리스크에 기반한 방법인 확률론적 지진재해분석(Probabilistic Seismic Hazard Analysis, PSHA)을 활용하는 쪽으로 변화하고 있다. 또한 댐의 내진 안정성 평가를 하는 데에 있어 액상화 평가에 많은 내용을 할애하고 있다.

‘Federal Guidelines for Dam Safety (FEMA, 2005)’에서는 콘크리트댐과 필댐에 대하여 내진설계기준을 명시하고 있다.

1) 설계지진

(1) ‘Design Standards No.13 Embankment Dams (US Bureau of Reclamation, 2015)’에서 정의된 설계지진은 <표 2-1>과 같다.

(표 2-1) 설계지진 등급 및 정의

내진등급	정 의	설계지진의 평균재현주기
MCE(Maximum Credible Earthquake)	기존에는 결정론적인 방법으로 최대가능지진을 정의했으나 2015 기준에서는 확률론적 지진재해분석(PSHA)을 활용	없음
MDE(Maximum Design Earthquake)	확률론적 지진재해분석(PSHA)를 활용한다고 제시됨	제시되지 않음

(2) ‘Federal Guidelines for Dam Safety (FEMA, 2005)’에 의하면 내진등급은 크게 MCE, MDE, SEE, 그리고 OBE로 구분된다. 각 지진 등급에 따른 정의는 <표 2-2>에 명시하였다.

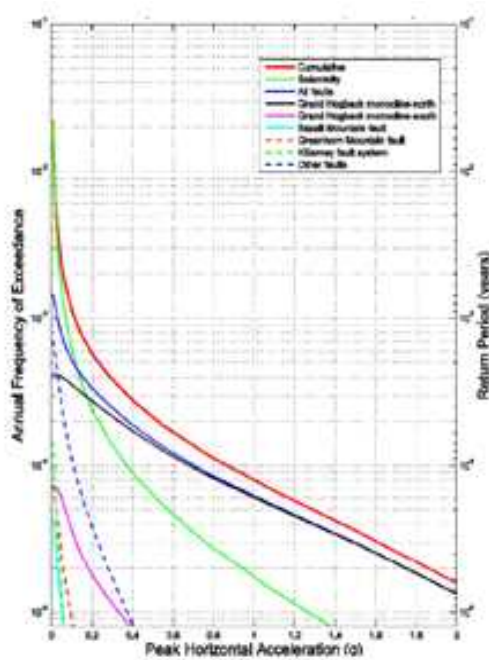
<표 2-2> 설계지진 등급 및 정의II

내진등급	정 의	설계지진의 평균재현주기
MCE(Maximum Credible Earthquake)	<ul style="list-style-type: none"> · 발생 가능한 최대 지진 · 위치 및 최대 규모를 알고 있는 지진원을 대상으로 결정함(결정론적 지진재해분석, DSHA) · 확률론적으로 결정된 지반진동보다 작을 수도 있음 	제시되지 않음
MDE(Maximum Design Earthquake SEE(Safety Evaluation Earthquake)	<ul style="list-style-type: none"> · 설계에 적용되는 최대 지진 · 댐의 중요도 또는 파급효과를 고려해서 결정됨 일반적으로 PSHA로부터 결정 · PGA는 작으나 지속기간이 긴 지반운동도 고려해야 함 · 활동연도가 35,000년~100,000년인 단층 또한 고려 대상임 	제시되지 않음
OBE(Operating Basis Earthquake)	<ul style="list-style-type: none"> · 시설물 사용 기간 중에 발생할 것으로 예상되는 지진 · OBE에 대해서는 손상이 제한적이며 기능이 수행되어야 함 · OBE의 재현주기는 경제적인 측면을 고려해서 결정할 수 있음 · 보통 PSHA로부터 결정됨 	제시되지 않음

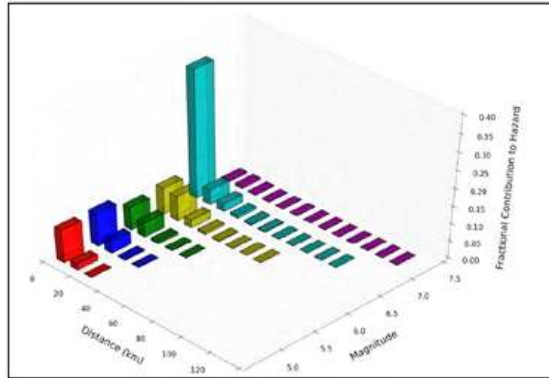
2) 설계지반운동

(1) 'Design Standards No.13 Embankment Dams (US Bureau of Reclamation, 2015)'

설계지반운동을 고려 시에는 댐에 영향을 줄 수 있는 모든 지진원을 고려하여 부지 고유의 PSHA를 수행하는 것이 바람직하다. 단, PSHA는 지진규모와 이격거리에 대한 정보를 제공하지 않으므로 지진영향 인자분석을 수행하는 것이 바람직하다. <그림 2-1>은 PSHA 사례의 지진재해곡선을 나타내었고, <그림 2-2>는 지진영향 인자분석을 수행한 사례를 나타내었다.



<그림 2-1> PSHA 사례: 지진재해곡선



<그림 2-2> 지진영향 인자분석 사례

또한, 부지에서 등재해스펙트럼 (Uniform-hazard response spectra, UHS) 또는 조건평균 스펙트럼(Conditional Mean Spectrum, CMS) 등을 생성할 수 있으며 설계지반운동 시간이력은 여기에 상응하도록 맞출 수 있다. 단, 전 주기범위에서 UHS에 상응하도록 조정할 필요는 없다. <그림 2-3>에 UHS의 예시를 나타내었다. 부지에서 지진영향 인자분석으로 결정된 지진규모와 이격거리 정보를 통해 스펙트럼을 생성할 수 있으며 해석영역 하부에 적용할 지반운동을 산정하기 위하여 역해석(Deconvolution)을 수행해야 한다. 지진파의 시간이력은 계측기록을 조정하거나 인공지진을 사용할 수 있다.

<그림 2-3> Example of UHS

(2) 'Federal Guidelines for Dam Safety (FEMA, 2005)'

결정론 지진재해분석(Deterministic Seismic Hazard Analysis, DSHA)이 사용되는 경우 지반운동변수는 감쇠식으로부터 결정한다. 기존에는 ㉠ 동일한 수평성분을 두 방향으로 나누어 적용, ㉡ 계측기록을 동일한 조정계수를 적용하여 사용, ㉢ 수직방향 지반운동은 수평성분의 1/2 또는 2/3를 적용하였으나 최근에는 수직성분 감쇠식을 사용하는 추세로 변하고 있다. 수직성분은 규모, 이력거리, 지반조건, 그리고 대상 주기의 영향을 받으므로 이 성분들을 고려해야 한다.

또한 인근에 단층이 있을 경우, 방향성과 근거리 특성(Near-field effect)을 고려해야 한다. 설계 시 지반운동의 지속시간은 매우 중요하므로 선정 시 유의해야 하고 목표 스펙트럼은 DSHA 또는 PSHA를 통하여 산정해야 한다. 설계지반운동 시간이력은 목표스펙트럼 그리고 부지 고유의 지진규모-이력거리, 단층운동, 지반조건 등을 만족하도록 적용한다.

설계지반운동 시간이력 생성방법은 아래와 같이 2가지이다.

① 계측기록

- 계측기록은 3개 이상 사용한다.
- 지반운동의 평균이 목표스펙트럼보다 작지 않도록 적용한다.
- 비선형해석 시에는 기록 숫자를 추가한다.

② 인공기록 또는 계측기록 스펙트럼 조정

- Frequency domain에서 지진기록을 생성하거나 규모와 이력거리와 단층운동을 모사하여 생성하는 kinematic 모델이 있다.
- 계측기록을 스펙트럼 조정하는 방법도 있다.
- 목표 스펙트럼에 부합하는 지반운동을 생성할 수 있다는 장점이 있다.
- 실제 계측기록이 아니라는 단점이 있다.

3) 댐 안정성 평가 - 액상화

‘Design Standards No.13 Embankment Dams (US Bureau of Reclamation, 2015)’에 의하면 액상화 평가 시 동적해석(부지응답해석)으로부터 Cyclic Stress Ratio (CSR)를 산정할 수 있다. SPT를 사용하는 경우 Seed and Idriss 간편법으로 액상화를 평가할 수 있다. 단, Seed and Idriss(1970)의 곡선이 아니라 이후 수정된 NCEER(1997), Cetin et al.(2004), Idriss and Boulanger (2008, 2010)등을 사용할 것을 권장하고 있다. CPT 데이터를 활용하는 경우, Robertson and Wride(2009)와 Idriss and Boulanger(2014)의 방법을 권장하고 있으며 Vs 데이터를 사용하는 경우, Juang et al. (2013) 또는 Kayen et al. (2001)에 의해 제시된 방법을 사용할 것을 권장하고 있다. 흙의 분류는 sandlike와 claylike로 나누어 평가하지만 USCS와는 다른 분류체계를 적용한다.

액상화 평가 보정 방법으로는 3가지 방법이 제시되어 있다.

첫 번째는 규모 보정계수로 Idriss(1999)의 <식 2-1>을 사용한다.

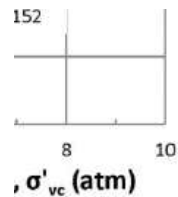
$$MSF = 6.9e^{(-M/4)} - 0.058 \quad \text{<식 2-1>}$$

여기서, MSF : 규모 보정계수(Magnitude Scaling Factor)

M : 지진모멘트 규모

두 번째는 경사에 대한 보정에 대하여 Idriss and Boulanger (2003) 방법을 사용한다.

세 번째는 구속압에 대한 보정에 대하여 Boulanger and Idriss (2004) 방법을 사용한다. 이 방법에 사용되는 $K\sigma$ 곡선을 <그림 2-4>에 명시하였다.



<그림 2-4> K_0 와 Effective Overburden Stress의 관계곡선

4) 댐 안정성 평가 - 변위

‘Design Standards No.13 Embankment Dams (US Bureau of Reclamation, 2015)’와 ‘Federal Guidelines for Dam Safety (FEMA, 2005)’에 의하면 변위 안정성 평가를 하는데 있어 변위법이 가장 널리 사용되고 있다. 변위법으로 사용되는 방법은 다음과 같다.

- ① Newmark Sliding Block
- ② Makdisi and Seed (1977)
 - 수정된 Newmark 방법이다.
 - 증폭특성 고려 가능하고, 차트법을 제시하고 있다.
- ③ Bray and Travarasrou (2007)
 - PGA에 추가적으로 댐 고유주기의 1.5배의 스펙트럴 가속도를 사용한다.
- ④ 하이브리드 해석
 - 부지고유의 해석으로 동적해석으로부터 파괴면에 작용하는 응력을 적분하여 등가가속도 시간이력을 생성한다.
- ⑤ 동적해석 비선형 해석 (유한요소 또는 유한차분법 사용)
 - 특정 위치에서 영구변위 시간이력을 산정한다.

5) 지진 후 안정성

‘Design Standards No.13 Embankment Dams (US Bureau of Reclamation, 2015)’에 의하면, 지진 후 안정성을 검토할 때는 침투해석으로 산정하기 위해 지진 이전의 지하수위를 적용하도록 제시되어 있다. 파괴면은 두 가지 방법으로 산정하고 이에 따라 최소 안전율 및 댐 손상에 있어 가장 중요한 사면을 평가에 적용하도록 하였다. 이 때, 최소 안전율에 대한 기준은 제시된 바 없으나 1.3이 널리 사용되고 있다. 지진 후 안정성 평가 시에는 액상화 발생 여부 평가가 매우 중요시되며 액상화 평가 방법은 앞서 2.1.1.3 댐 안정성 평가- 액상화에 명시한 절차 및 방법을 따르도록 제시되어 있다.

2.1.2. 콘크리트 수력구조물 및 부대시설

본 과업에서는 댐의 부대시설물 중 여수로(Spillway), 취수탑(Water tower), 수문(Flood gate)에 대하여 국외 설계기준을 조사하였다. USACE (미국공병단)에서는 USACE (ER 1110-2-1806 Earthquake Design and Evaluation for Civil Works Projects, EM 1110-2-2400 Structural Design and Evaluation of Outlet Works, EM 1110-2-6050 Response Spectra and Seismic Analysis for Concrete Hydraulic Structures, EM 1110-2-6051 Time History Analysis of Concrete Hydraulic Structures, EM 1110-2-6053 Earthquake Design and Evaluation of Concrete Hydraulic Structures)를 통해 콘크리트 수력구조물 및 부대시설에 대한 설계기준을 제시하고 있다.

1) 설계지진

‘USACE (ER 1110-2-1806)’에 의하면 설계지진의 내진등급은 OBE(Operating Basis Earthquake), MDE(Maximum Design Earthquake)이고 <표 2-3>에 정리한 바와 같이 내진 등급에 따른 구분 방법 및 평균 재현주기를 명시하였다. 내진 등급에 따른 설계 성능수준은 3가지로 구분되어 있다. Serviceability Performance의 경우는 OBE에 대해서는 기능을 유지하며 지진 직후 운영 가능하도록 명시하였다. Damage Control Performance의 경우, 일부 요소는 비선형 거동을 하고 손상이 크지는 않지

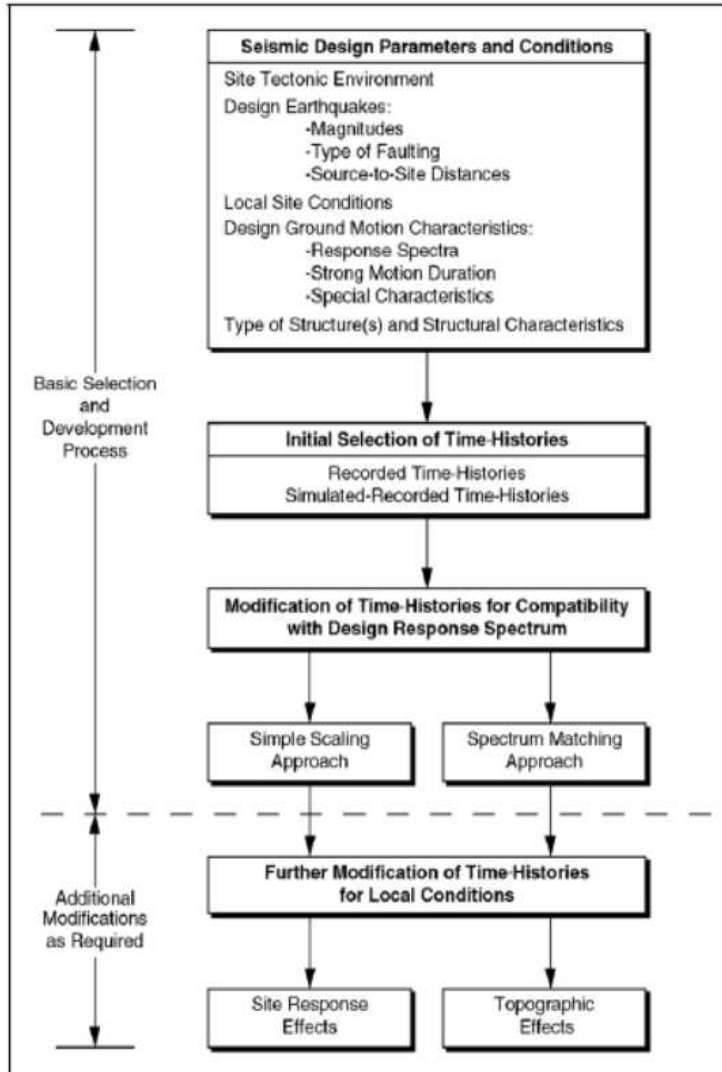
만 항복 또는 미세균열이 발생하는 지점이 생길 수 있다고 제시하였다. 설계자는 손상 발생 가능성이 있는 지점을 파악한 후, 구조물이 정하중을 지지가능하며 필요하다면 손상의 복구가 가능해야 하며 MCE 이외에는 기초 구조물에는 손상이 발생하지 않도록 설계해야 한다. Collapse Prevention Performance의 경우에는 구조물이 붕괴되지는 않으나 손상이 복구 가능하지 않을 수 있다고 명시하였다.

<표 2-3> 설계지진 등급 및 정의 III

내진등급	정 의	설계지진의 평균재현주기
OBE(Operating Basis Earthquake)	<ul style="list-style-type: none"> · 사용기간 이내 초과확률 50% · 사용기간이 100년인 경우 	재현주기 144년
MDE(Maximum Design Earthquake)	<ul style="list-style-type: none"> · 최대설계지반운동임 · 적용 가능한 최소 수준이 100년 이내 초과확률 10%(재현주기 1000년)인 지진 · Critical structure에는 MCE 지진을 MDE로 적용해야 함. 	최소재현주기 1,000년
MCE(Maximum Credible Earthquake)	<ul style="list-style-type: none"> · 발생가능한 최대 지진 	없음

2) 설계지반운동

‘USACE (EM 1110-2-6050, 6051)에 의하면 설계스펙트럼은 결정론적 스펙트럼과 확률론적 스펙트럼을 사용한다. 결정론적 스펙트럼은 단층정보와 감쇠식을 이용하여 생성하고, 확률론적 스펙트럼은 PSHA로부터 UHS를 생성한다. 설계지반운동을 고려할때는 설계스펙트럼에 부합하고 상응하는 지속시간을 가지고 있어야 한다. 평균이 설계스펙트럼에 부합하도록 선정된 계측기록을 적용하고, 인공지진과 또는 스펙트럴 매칭을 수행할 수도 있다. <그림 2-5>에 설계 응답 스펙트럼과의 호환성을 위한 시간 이력의 생성 방법 과정을 도시하였다.



<그림 2-5> Process for developing time-histories for seismic analysis and design

3) 설계 방법 및 세부사항

‘USACE (EM 1110-2-2011,6050,6053)’에 따르면 콘크리트 수력구조물의 분석방법으로 5가지 방법이 다음과 같이 제시되어 있다.

- (1) Seismic coefficient method:
- (2) Equivalent lateral force method
- (3) Response spectrum modal analysis procedure
- (4) Time history modal analysis procedure
- (5) Nonlinear time history analysis-direct integration procedure

설계방법으로는 Simplified 모델, 2D 수치해석 모델, 3D 수치해석모델을 적용하도록 제시되어 있다. Simplified 모델은 유사정적 해석법이 주로 사용되며 2D, 3D 수치해석 모델은 수직, 수평방향의 요소를 모두 고려하여 해석을 수행한다. 또한 수치모델은 구조요소, 지반요소, 지반-구조물 상호작용, 기초모델, 그리고 뒹채움재 모델 및 상호작용 등을 고려해야한다.

4) 취수탑

‘USACS (EM 1110-2-6050, 6051)’에 의하면 취수탑의 설계방법은 Simplified method와 Dynamic method가 있고, 각각 방법들의 고려사항은 다음과 같다.

- (1) Simplified method
 - 횡거동에 대해서만 모사한다.
 - 2개의 모드만 고려한다.
 - 기초-구조물 상호작용은 1차 모드에서만 고려한다.
 - 타워와 수압의 영향은 질량 추가로 고려한다.
 - 수직방향의 응답은 무시한다.

<그림2-6>을 통해 Simplified method에서 고려하는 2가지 모드에 대해 나타내었다. 여기서 $ag(t)$ 는 ground motion acceleration을 의미한다.

<그림 2-6> Simplified model of intake tower

(2) Dynamic method

- 응답스펙트럼법 또는 시간이력해석을 사용한다.
- 타워-교대-기초와 타워-유체 상호작용은 3차원 응답스펙트럼법으로 모사한다.
- 시간이력에 대한 상세 내용은 EM 1110-2-6051에 제시되어 있다.

5) 여수로

‘Guidelines for Design Dams and Appurtenant Structures for Earthquake (ANCOLD, 2017)에 의하면 여수로는 콘크리트 구조물로 고려하며 크게 세 부분으로 이루어져 있다. 여기에는 inlet structure(입구 구조물), chutes(활송 장치), terminal structure(종착 구조물)이 포함되며 구성요소 별 설계방법을 <표 2-4>에 명시하였다.

여수로는 OBE(Operating Basis Earthquake)시 정상기능을 유지해야 하고, SEE(Safety Evaluation Earthquake)시 통제되지 않는 저수 방출에 있어서도 안정성을 유지해야 한다. 또한 SEE 후 댐의 수리가 진행되는 동안 홍수 등의 많은 양의 저수방출이 가능해야 한다.

<표 2-4> 여수로 구성요소 설계 방법

여수로 구조물	구성요소	Usual Approaches	Recommended models
Inlet structures (입구 구조물)	Morning glory drop inlet structures	Response spectrum Linear time-history	3D
	Overflow structures: Straight ogee crests, Labyrinth, Fuse gates	Pseudo-static Using elastic foundation	2D plane-strain or plane stress or 3D
	Siphon structures	Response spectrum	2D or 3D
	Fuse plug structures: zoned embankment	Deformation analysis Newmark method or Liquefaction potential (refer Section 3)	2D
Chutes (활송장치)	Conveyance structure; Floor slab and connecting walls	Pseudo-static Using elastic foundation	2D plane-strain or plane stress
Terminal Structures (종착 구조물)	Hydraulic jump Stilling basin Flip bucket Impact structures	Pseudo-static Using elastic foundation	2D

‘Design Standards No.14 (US Bureau of Reclamation, 2015)에 따르면 여수로의 경우 Simplified method와 Dynamic method를 사용한다. Dynamic method의 경우 비선형 해석을 수행하는 것을 원칙으로 하며 Cross-canyon, upstream-downstream 방향으로 해석을 수행하도록 제시되었다. Pier(여수로 교각)의 안정성은 P=M diagram을 통해 평가하고 Westergaard(1933) 방법을 적용하여 동수압을 고려한다. 해석 시에는 여수로의 휨과 전단파괴를 반드시 확인해야 하며 Pier의 변형에 의한 수문 탈착 발생 여부, 그리고 Pier의 불안정성 또한 확인되어야 한다.

6) 수문

‘Design Standards No.14 (US Bureau of Reclamation, 2015)에 의하면 수문 내진설계 방법으로 Simplified method와 Dynamic method가 제시되어 있다. 평가사항으로는 Pier의 변형에 의한 수문 탈착 발생 여부 확인과 Trunnion anchorage/Hinge/Gate slot의 손상 여부 확인 등이 있다. 수문은 댐의 핵심적인 요소로 간주되어야 한다. 수문에서 trunnion pin과 trunnion block으로 전달되는 지진 하중은 설계 시 고려되어야 한다. 또한 수문은 모든 수문과 작동 기어들이 기능 기반 지진(OBE)후에도 정상적으로 작동해야 하고, 안전성 평가 지진(SEE)후에는 수문이 뒤틀리거나 영구적인 변형이 발생하지 않아야 한다.

2.2. 국내 댐시설 내진설계기준 동향 및 사례 조사

2.2.1. 댐

‘댐설계기준 (국토해양부, 2011)’에 따르면 댐의 내진설계 기준은 댐체, 여수로 및 부대시설물의 내진성능을 확보하기 위하여 필요한 기준을 규정하는 것으로서 신설되는 높이 15m 이상인 댐의 내진설계에 적용한다. 또한 높이 15m 미만인 소규모댐의 내진설계에도 준용할 수 있다. 댐의 부대시설물은 취수탑, 발전소, 댐 관리동, 수로터널 등을 말하며 이들 시설에 설치된 수문, 권양기, 현장조작반, 관리교, 전기 및 계측제어설비 등을 포함한다.

1) 내진설계기법

- (1) 현재 우리나라에서 댐에 대한 내진설계 방법은 지진력을 지진계수에 의한 하중의 관성력과 동수압으로 대치하고 정역학적 방법으로 해석하는 진도법을 기본으로 하고 있다. 이 방법은 이미 경험적으로 안정적인 방법임이 입증되고 있다.
- (2) 정역학적 방법은 간편하고 안정적인 해석결과를 얻을 수 있는 장점이 있으나, 댐의 동적 특성을 고려하지 않고 지반과 구조물의 상호작용 관계인 설계진도와 최대응답 가속도의 관계가 명백하지 않다.
- (3) 최근 미국 등 일부 국가에서는 지진파에 의한 댐의 응답을 구하여 동적인 파동으로 해석하는 동역학적 안정해석 방법을 설계에 적용하고 있다.
- (4) 동역학적 안정해석 방법도 댐 설계에 적용할 때 다음과 같은 사항의 명확한 규명에 문제점이 있어 그 적용에 신중해야 한다.
 - 설계 지진파형의 설정
 - 댐 축조재료의 동적인 응력 왜곡 특성
 - 해석 방법으로서의 3차원적 응답이나 지하 소산 규정
 - 파괴 기준 및 파괴 현상의 모의

(5) 우리나라의 경우에는 빈약한 지진 해석자료 및 연구 미흡으로 여러 가지 불명확한 사항에 대한 가정이 불가피하여 설계기준으로 동적 해석 방법을 댐의 내진설계기준에 규정하기에는 무리가 따른다.

(6) 따라서 종래의 정역학적 설계 방법인 진도법을 내진설계의 기본으로 한다. 그러나 진도법으로 설계된 댐체 단면에 대한 상세검토가 필요한 경우(댐 높이가 매우 높은 경우 등)에는 동역학적 해석 방법에 의한 검토를 수행한다.

2) 내진등급별 설계지진 수준

댐의 내진등급은 <표 2-5>와 같이 댐의 중요도에 따라 내진 I 등급 및 내진 특등급의 두 가지 등급으로 분류한다. 댐은 내진 등급별로 규정된 평균재현주기를 갖는 설계지진에 대하여 설계된다.

<표 2-5> 댐의 내진등급별 설계지진

내진등급	구 분	설계지진의 평균재현주기
내진 특등급댐	- 사회, 안보, 경제적인 측면에서 특별한 댐으로 발주처가 지정하는 댐 - 법에 의하여 다목적댐으로 분류한 댐 - 높이45m 이상이고 총 저수용량 50백만 ^m 이상 댐	1,000년
내진 I 등급댐	-내진 특등급 댐 이외의 모든 댐	500년

3) 댐의 형식의 영향

지진의 영향은 댐 형식에 따라 달라진다. 일반적으로 록필댐(표면차수벽형 석괴댐 포함) 콘크리트 중력댐(롤러다짐 콘크리트댐 포함)은 상대적으로 지진에 안전한 댐으로 평가되나, 균일형 흙댐은 지진에 취약한 것으로 알려져 있다. 따라서 균일형 흙댐으로 설계할 때는 설계진도를 20% 크게 하고, 아치댐은 정역학적 방법으로 해석할 때 설계지반진도의 2배를 적용한다. 댐은 그 형식에 따라 내진설계에 반영할 지진하중의 종류 및 적용 범위가 조금씩 다르므로 필댐, 콘크리트 중력댐, 아치댐 세 가지 형식으로 구분하며, 댐 형식에 따른 일반적인 내진설계조건은 다음 <표 2-6>와 같다.

<표 2-6> 댐 형식별 내진설계 조건

댐 형식	설계 모형	일반적 설계조건
필댐	2차원	- 절편법에 의한 원호활동 안전율이 최소안전율 이상일 것
콘크리트 중력댐	2차원	- 합력이 제체 수평단면의 중앙 허용치 이내에 들것 - 전단마찰 안전율이 최소안전율 이상일 것 - 제체내 응력이 허용응력
아치댐	3차원	- 전단마찰 안전율이 최소안전율 이상일 것 - 제체내 응력이 허용응력 이내일 것

4) 필댐의 내진설계

(1) 설계거동한계

필댐은 다음과 같은 조건이 충족되어 지진이 발생해도 붕괴되지 않아야 한다.

- 재료의 미소한 항복과 영구변형은 허용될 수 있으나, 댐의 강도에는 큰 영향이 없어야 한다
- 제체 및 기초에 액상화가 발생해서는 안 된다.
- 댐체의 사면활동이나 기초의 활동이 발생하지 않아야 한다.
- 댐체에 균열이 발생하더라도 댐의 저수기능이 저하되지 않아야 한다.
- 댐체나 기초에 과도한 침하가 발생되지 않아야 한다.
- 지진시 발생하는 과량고에 의해 댐체가 월류되거나 여수로 및 부대 시설물이 붕괴되지 않아야 한다.
- 지진으로 인해 댐체 또는 여수로 및 부대시설물과의 경계, 기초와 양안(abutment)을 통해 제어 불가능한 누수가 발생하여 댐의 기능이 손상되어서는 안 된다. 누수가 발생하는 경우에는 댐의 안전을 위해 배수 시설을 통해 신속히 저수지 수위를 낮추어야 한다.
- 여수로 및 취수탑의 구조재료는 탄성변형 한계 내에 있어야 하며, 수 시간 내에 정상작동 회복이 가능해야 한다. 이들 구조물에 대한 설계는 콘크리트 중력댐의 내진설계를 참조한다.
- 콘크리트 표면차수벽형 석피댐에 대한 내진해석을 할 경우에는 표면 차수벽은 모델링에 포함하지 않는다.

(2) 정역학적 설계기준

- 설계에 적용하는 지진력은 작용 정하중에 대한 지진 관성력만 고려하고 동수압은 그 영향이 미미하므로 제외한다. 지진에 의한 파랑고는 필요시 따로 고려한다.
- 코어형 댐에서 사력부(셀부)를 퇴적지반 위에 설치하거나 코어를 깊은 기초암반에 설치할 때, 축조재료의 강성 차이로 균열이 발생할 우려가 있으므로 지진동에 저항하기 위해서는 셀과 코어 사이에 최소 2~4m의 필터층을 둔다.
- 지진 관성력의 작용점은 활동면의 중심이며 작용방향은 수평방향으로 하되 안정에 불리한 쪽으로 정한다. 단, 동수압은 아주 작으므로 무시한다.

(3) 동역학적 검토

- 동적 해석법은 아직 연구 중인 기법으로 댐의 내진성능을 충분히 정량적으로 판단하기는 어렵지만 100m 이상의 높은 댐과 특수한 구조의 댐에서 현행 설계법의 보조적 수단으로 사용될 수 있다.
- 진도법으로 설계된 댐체 단면이 내진설계기준연구(1997.12)에서 제안한 극대지진(MCE) 하에서의 붕괴방지 수준을 만족하는 지를 검토한다.
- 극대지진(MCE)은 내진 I 등급 댐 및 내진 특등급 댐에 대해 위험도 계수를 각각 1.4 및 2.0으로 취한다. 이때, 산출된 진도가 0.14g 이하이면 0.14g를 검토 진도로 취한다.
- 설계지반운동은 수평지반운동 뿐만 아니라 수직지반운동을 고려할 수 있다.
- 지진하중은 시간이력하중을 적용한다. 시간이력하중은 댐 지역 인근에서 발생된 지진 또는 인공지진을 활용하며, 3개의 시간이력하중을 채택한다.
- 상시만수위를 검토 수위로 하며 필요시 기타 낮은 수위 조건에서도 검토한다. 댐체에 대한 모델링은 2차원 모델링을 원칙으로 한다. 기초 암반은 점탄성모델 등을 사용하되 적절한 해석범위를 취한다.
- Newmark 방식에 의한 댐 사면의 소성활동량을 계산하여 내진 안전성을 검토한다. 계산된 소성활동량이 0.3m 이내이면 댐 안전에 문제가 되지 않으며, 소성활동량 0.6m는 상당한 손상을 동반하는 허용가능한 소성변형량이다. 이때, 댐 전체 높이를 포함하는 활동면 및 댐체

- 상부에서의 활동면을 포함하여 검토한다. 만일, 소성활동량이 0.6m 이상이면 좀 더 정밀한 동적 소성해석을 실시하여 그 결과를 분석한다.
- 댐체 사면경사가 완만하여 유체와 댐의 상호작용이 작으면 상호작용을 고려하지 않아도 된다.
- 동적 해석에서 면밀한 검토를 위하여 단계적 해석을 실시하며, 흙의 소성적 성질과 동적 간극수압을 고려한다.

5) 여수로 및 취수탑의 내진설계

- (1) 여수로 및 취수탑의 재료는 탄성거동 한계 내에 있도록 설계하며, 강재구조물의 발생 응력은 허용응력 이내여야 하고 콘크리트 구조물의 발생 외력은 내하력보다 작아야 한다.
- (2) 여수로 및 취수탑 등 부대시설의 내진등급은 댐 본체의 내진등급과 동일하게 설계한다.
- (3) 여수로 교각(pier)의 설계
 - 여수로 교각을 설계할 때는 상 하류 방향 및 댐축 방향에 대해 각각 지진력이 작용하는 것으로 한다.
 - 여수로 교각 설계 시 저수지 수위는 상시만수위(NHWL)인 경우를 적용하고, 수문은 모두 닫혀 있는 것으로 한다.
- (4) 동역학적 검토 시 여수로 및 부대시설물의 응답은 선형 및 비선형 거동특성을 고려할 수 있는 해석법을 사용하여 해석하고, 입력 지반운동에는 댐의 지진응답 영향을 고려한다.
- (5) 부속시설의 내진성 확보를 위하여 필요한 최소 요구조건을 만족시키는 내진설계를 하도록 규정할 뿐, 성능수준 및 평가방법에 대한 규정은 명확히 제시되지 않았다.

2.2.2. 수문

수문은 하천의 세부시설로서 「하천법」에 따라 분류되어진다. 수문의 기존 시설물을 ‘하천설계기준 (국토해양부, 2009)’의 내진설계기준에 따라 내진설계 및 내진성능을 평가하고 기존시설물의 내진보강을 위한 기본 자료로 활용하기 위함에 그 목적이 있다.

1) 수문의 내진등급

수문의 내진 등급은 하천시설물에 대한 내진등급 하류지역의 재해도와 규모 및 중요도에 추가적으로 위험계수를 고려하여 다음과 같은 2종류의 내진등급 시설물로 분류한다. <표 2-7>에는 내진등급별 시설분류기준을 나타내었다.

<표 2-7> 하천시설물 내진등급별 시설분류기준

구 분	시설분류 기준
내진 I 등급	시설물의 규모가 크고 피해를 입으면 많은 인명과 재산상의 손실을 줄 염려가 있는 하천시설물
내진 II 등급	시설물의 규모가 작고 파괴 시 낮은 수준의 피해가 발생할 것으로 예상되는 하천 시설물

(1) 위험계수를 고려한 수문의 내진등급은 <표 2-8>의 위험계수에 의하여 분류한다.

- 내진 I 등급은 총 위험계수가 10보다 큰 수문
- 내진 II 등급은 총 위험계수가 10이하인 수문
- 총 위험계수가 4이하인 수문에 대하여는 발주기관과 협의하여 내진설계를 하지 않을 수 있다.

(2) 수문이 지질학적으로 지진지반운동이 활발한 지역에 위치하는 등 지진의 영향을 특별히 고려해야 할 경우 위험계수와는 별도로 내진등급을 상향조정할 수 있다.

<표 2-8> 위험인자와 위험계수

위험인자	높음	중간	낮음
계획홍수량(m ³ /s) (위험계수)	20,000초과 (4)	20,000~10,000 (2)	10,000미만 (0)
수문의 높이(m) (위험계수)	30초과 (4)	30~10 (2)	10미만 (0)
대피시킬 인원의 수 (인) (위험계수)	5,000초과 (8)	5,000~500 (4)	500미만 (0)
하류 피해 (위험계수)	높음 (8)	중간 (4)	낮음 (0)

2) 내진성능수준과 목표

- (1) 지진하중 작용 시 만족하여야 하는 내진설계 성능수준은 기능수행수준과 붕괴방지수준으로 분류한다.
- (2) 기능수행수준은 지진 작용 시나 지진경과 후에도 하천시설물이 허용범위 이내의 변위가 발생하며 국부적인 보수를 통해 기능수행에 문제가 발생되지 않는 수준의 내진 성능을 말한다.
- (3) 붕괴방지수준은 하천시설물에 제한적인 구조적 피해는 발생하나 긴급보수를 통해 단시간에 하천시설물로서의 기능을 회복 할 수 있는 수준을 목표로 하며 지진 작용 시나 지진 경과 후에도 하천시설물의 기능이 상실되지 않아야 한다.
- (4) 등급별 성능 목표 설정을 위한 구조물의 내진성능 목표는 <표 2-9>와 같다.

<표 2-9> 수문시설물의 내진성능목표

재현주기 \ 성능수준	기능수행수준	붕괴방지수준
50년	내진 II등급	
100년	내진 I등급	
500년		내진 II등급
1000년		내진 I등급

3) 기타 하천시설물의 내진설계

- (1) 하천에 설치되는 배수펌프장 등 기타 내진 관련 하천시설물들에 대한 내진등급이나 설계지진력 등의 결정은 시설물의 중요도, 예상되는 피해의 파급정도, 지역별 지진의 발생빈도, 경제성 등을 고려하여 발주기관과 협의하여 정한다.
- (2) 내진 관련 하천시설물의 내진설계에 대한 사항이 본 설계기준에 기술되지 않은 경우에는 콘크리트나 강구조물로 이루어진 시설물에 대하여는 교량설계기준에서 정하는 내진설계기준을 준용할 수 있고 제방 등 여타시설물에 대하여는 댐 설계기준을 준용할 수 있다.

2.3. 국외 저수지, 방조제 내진설계 및 국내 댐 내진설계 기준 비교·분석

2.3.1. 필댐(Embankment dam)

본 장에서는 필댐의 국외 설계기준과 국내 설계기준을 비교하여 분석하였다. 설계지진, 설계지반운동, 액상화 평가, 변위 평가, 그리고 지진 후 안정성 평가에 대하여 비교하였으며 세부 항목별 국내외 설계기준의 차이는 다음과 같다.

1) 설계지진

<표 2-10>에는 국내·외 설계지진을 비교하여 나타내었다. 국외 기준의 경우, MCE, MDE(SEE), OBE로 설계지진을 정의하였다. 여기서, MCE는 재현주기가 없는 발생가능한 최대지진을 의미하며 MDE와 OBE는 확률론적인 지진재해분석(PSHA)을 통해 산정된 설계지진으로 이에 대한 재현주기는 따로 제시되어 있지 않다. PSHA는 지진규모와 이격거리에 대해 정보를 제공하지 않으므로 Disaggregation을 수행할 것을 권장하고 있다. 국내의 경우 댐의 등급별로 재현주기가 다른 설계지진을 적용한다. 내진 특등급의 경우 재현주기 1,000년의 설계지진을 적용하고, 내진 1등급의 경우 재현주기 500년의 설계지진을 적용한다. 지진규모와 이격거리에 대한 정의는 명시된 바 없다.

<표 2-10> 국내외 설계지진 비교

국 외	국 내
<ul style="list-style-type: none"> · 기존 결정론적이 방법에서 확률론적 리스크에 기반한 방법으로 변화되었음 · MCE, MDE(SEE), OBE 지진이 정의되었음. MCE는 재현주기가 없는 발생가능한 최대지진. MDE와 OBE는 확률론적인 지진재해분석(PSHA)로 산정하지만 재현주기가 제시되지 않음 · PSHA는 지진규모와 이격거리에 대한 정보를 제공하지 않으므로 Disaggregation을 수행할 것을 권장함 	<ul style="list-style-type: none"> · 내진 특등급댐의 경우 재현주기 1,000년의 설계지진 적용 · 내진 1등급댐의 경우 재현주기 500년의 설계지진 적용 · 지진규모와 이격거리에 대한 정의 없음

2) 설계지반운동

<표 2-11>에는 국내·외 설계지반운동을 비교하여 나타내었다. 국외의 경우, 결정론적 방법(DSHA) 또는 확률론적 지진재해분석(PSHA)를 통하여 목표 스펙트럼을 산정한다. 결정론적 방법이 사용되는 경우 지반운동 변수는 감쇠식으로부터 결정한다. 동일한 수평성분을 두 방향으로 적용하고 수직방향 지반운동은 수평성분의 1/2 또는 2/3를 적용할 수 있으나 수직성분 감쇠식을 사용하도록 권장하고 있다. 3개 이상의 계측기록을 사용해야 하고, 인근에 단층이 있을 경우 방향성과 근거리 특성을 고려하도록 제시하였다. 국내의 경우, 설계지반운동으로 수평 2축 방향을 지표면 자유장 운동으로 적용하도록 제시하였다. 수직방향 고려시 수평방향의 1/2을 적용하고 3개 이상의 계측기록을 사용하여 가장 불리한 방향으로 가진하여 해석하도록 권장하고 있다.

<표 2-11> 국내외 설계지반운동 비교

국 외	국 내
<ul style="list-style-type: none"> • 목표스펙트럼은 DSHA 또는 PSHA를 통하여 산정 • 결정론적 방법(DSHA)이 사용되는 경우 지반운동변수는 감쇠식으로부터 결정 • 동일한 수평성분을 두 방향으로 적용 • 수직방향 지반운동은 수평성분의 1/2나 또는 2/3를 적용할 수 있으나 수직성분 감쇠식을 사용하는 것이 적절함 • 인근에 단층이 있을 경우, 방향성과 근거리 특성 고려 • 3개 이상의 계측기록 사용 	<ul style="list-style-type: none"> • 수평 2축 방향 지표면 자유장 운동 • 수직방향 고려시 수평방향의 1/2을 적용 • 가장 불리한 방향으로 가진하여 해석 • 3개 이상의 계측기록 사용

3) 액상화 평가

<표 2-12>에는 국내·외 액상화 평가 방법을 비교하여 나타내었다. 국내의 경우 액상화와 관련된 평가 방법이 제시되어 있지 반면, 국외의 경우 현장의 지반조사를 통해 획득된 SPT, CPT, V_s 등의 지반조사 데이터를 활용하여 액상화를 평가할 수 있는 방법이 각각 제시되어 있다. 동적해석(부지응답해석)을 통해 Cyclic Stress Ratio를 산정하거나 SPT 데이터를 활용하는 경우 Seed and Idriss(1970)에 의해 제시된 간편법을 적용하도록 제시하였다. CPT 데이터를 사용하는 경우에는 Robertson and Wride(2009)와 Idriss and Boulanger(2008)의 방법을 권장하고 있다. V_s 의 데이터의 경우에는 Juang et al.(2013) 또는 Kayen et al.(2001)에 의해 제시된 방법을 적용하도록 권장하고 있다.

<표 2-12> 국내·외 액상화 평가 비교

국 외	국 내
<ul style="list-style-type: none"> • 동적해석(부지응답해석)으로부터 Cyclic Stress Ratio 산정 • SPT를 사용하는 경우 Seed and Idriss(1970) 간편법으로 평가 • CPT를 사용하는 경우 Robertson and Wride(2009)와 Idriss and Boulanger(2008)의 방법을 권장 • Vs를 사용하는 경우 Juang et al.(2013) 또는 Kayen et al.(2001)의 방법을 권장 • 규모보정계수 보정, 경사에 대한 보정, 구속압에 대한 보정 	<ul style="list-style-type: none"> • 평가방법은 제시되지 않음

4) 변위 평가

<표 2-13>에는 국내·외 변위 평가 방법을 비교하여 나타내었다. 국외의 경우 변위 평가 시 설계방법으로 Newmark Sliding Block 방법, Makdisi and Seed(1977) 방법, Bray and Travasarou(2007)방법, 하이드리드 해석, 그리고 비선형 동적해석법등이 사용되고 있다. Makdisi and Seed(1977)은 수정된 Newmark 방법을 통해 증폭특성의 고려가 가능한 차트법을 제시한 바 있으며, Bray and Travasarou(2007)는 PGA에 추가적으로 댐 고유주기의 1.5배의 스펙트럴 가속도를 적용하여 변위 평가를 수행하도록 제시하였다. 하지만 변위 평가를 위한 설계기준은 따로 제시되어 있지 않은 실정이다. 국내의 경우, Newmark 변위법과 동적해석법을 사용하지만 동적해석법은 아직 실무에 적용하기는 어려운 수준이며 특수구조로 이루어진 댐에 대해 보조적인 해석수단으로 사용되고 있다. 설계기준에는 Newmark 방식에 의한 댐 사면의 소성활동량이 0.3m 이내일 때 댐이 안전하다고 판단하도록 명시하고 있으며 0.6m이상일 때 상당한 손상을 동반할 수 있으므로 정밀한 동적 소성해석을 실시되어야 한다고 명시되어 있다.

<표 2-13> 국내외 변위 평가 비교

	국 외	국 내
설계방법	<ul style="list-style-type: none"> • Newmark Sliding Block 방법 • Makdisi and Seed(1977) • Bray and Travasarou(2007) • 하이드리드 해석 • 비선형 동적해석법 	<ul style="list-style-type: none"> • Newmark 변위법 • 동적해석법
설계기준	제시되지 않음	0.3m, 0.6m

5) 지진 후 안정성 평가

<표 2-14>에는 국내·외 지진 후 안정성 평가 방법을 비교하여 나타내었다. 국외의 경우, 지진 이전의 지하수위를 적용하여 침투해석을 통해 안정성을 평가한다. 이 때의 파괴면은 최소안전율과 댐 손상 시 가장 중요하게 평가되는 사면을 기준으로 산정된다. 최소안전율에 대한 기준은 제시된 바 없으나 주로 1.3이 널리 사용된다. 또한 지진 후 안정성 평가에 있어 액상화 발생 여부 평가가 매우 중요한 요소로 고려된다. 국내의 경우 정역학적 검토를 통해 안정성을 평가한다. 지진력에 대한 사면의 안정성을 우선적으로 검토하고 지진력에 대한 최소안전율을 만족시키도록 설계한다. 간극수압은 설계자의 판단에 의해 적용하는 것이 일반적이다.

<표 2-14> 국내외 지진 후 안정성 평가 비교

국 외	국 내
<ul style="list-style-type: none"> ○지진 이전의 지하수위 적용 (침투해석으로 산정) ○파괴면은 두가지 방법으로 산정 <ul style="list-style-type: none"> - 최소 안전율 - 댐 손상에 가장 중요한 사면 ○최소 안전율에 대한 기준은 없으나 1.3이 널리 사용됨 ○액상화 발생 여부 평가가 중요함 	<ul style="list-style-type: none"> ○정역학적 검토 <ul style="list-style-type: none"> - 지진력에 대한 사면의 안정성 검토 - 지진력에 대하여 최소안전율을 만족하도록 설계 - 간극수압은 설계자의 판단에 의함

2.3.2. 취수탑/여수로

본 장에서는 취수탑, 여수로의 국내·외 설계기준을 비교하여 분석하였다. 내진설계등급, 설계지반운동, 해석방법에 대하여 비교하였으며 세부 항목별 국내외 설계기준의 차이는 다음과 같다.

1) 내진설계등급

<표 2-15>에는 국외와 국내의 내진설계등급을 비교하여 나타내었다. 국외의 경우, 사용기간 중 OBE는 초과확률 50%를 기준으로 적용하며 MDE는 초과확률 10%를 기준으로 적용하도록 제시하였다. 국내의 경우, 기능수행수준은 재현주기 100년을 기준으로 결정하며 붕괴방지수준은 재현주기 1000년을 기준으로 결정하도록 제시되었다.

<표 2-15> 국내외 내진설계등급 비교

국 외	국 내
<ul style="list-style-type: none"> • OBE : 사용기간 초과확률 50% • MDE : 사용기간 초과확률 10% 	<ul style="list-style-type: none"> • 기능수행수준 : 재현주기 100년 • 붕괴방지수준 : 재현주기 1000년

2) 설계지반운동

<표 2-16>에는 국내·외 설계지반운동을 비교하여 나타내었다. 국외의 경우, 감쇠식 또는 UHS 설계스펙트럼을 사용하며 지반운동 조정방법으로는 strong motion을 통한 통계학적 분석 방법과 임의적 지진 분석 방법 2가지를 제시하였다. 수직방향 운동을 정의하는 방법은 따로 제시되어 있지 않다. 국내의 경우 표준응답스펙트럼을 설계스펙트럼으로 사용하며 지반운동 조정방법은 제시되어 있지 않다. 수직 방향 운동은 수평운동의 1/2로 제시되어 있다.

<표 2-16> 국내외 설계지반운동 비교

국 외	국 내
<ul style="list-style-type: none"> • 설계스펙트럼 : 감쇠식 또는 UHS • 지반운동 조정 2가지 방법 제시 • 수직방향 운동 정의 방법 미제시 	<ul style="list-style-type: none"> • 설계스펙트럼 : 표준응답스펙트럼 • 지반운동 조정방법 미 제시 • 수직방향 운동 수평운동의 1/2

3) 해석방법 및 내용

<표 2-17>에는 국내외 취수탑의 해석방법을 비교하여 나타내었다. 국외의 경우, ㉠ Seismic coefficient method, ㉡ Equivalent lateral force method, ㉢ Response spectrum modal analysis procedure, ㉣ Time history modal analysis procedure, ㉤ Nonlinear time history analysis-direct integration procedure의 총 5가지 방법을 사용하도록 제시하였다. 국내의 경우에는 ㉠ 정역학적 방법, ㉡ 동역학적 방법 2가지 방법을 적용된다.

<표 2-17> 국내외 취수탑 해석방법 비교

국 외	국 내
<ul style="list-style-type: none"> • Seismic coefficient method • Equivalent lateral force method • Response spectrum modal analysis procedure • Time history modal analysis procedure (EM 1110-2-2011) • Nonlinear time history analysis-direct integration procedure 	<ul style="list-style-type: none"> • 정역학적 방법 • 동역학적 방법

<표 2-18>에는 국내외 여수로의 해석방법을 비교하여 나타내었다. 국외의 경우, 정역학적, 동역학적 방법 두 가지 방법을 통해 평가하며 동적해석을 위한 세부 수행방법이 제시되어 있다. 구조물별 해석 방법 또한 제시되어 있다. 국내의 경우에는 국외의 경우와 동일하게 정역학적 방법, 동역학적 방법 두 가지 방법을 적용하여 평가하는 것이 일반적이나 이에 대한 세부 방법은 제시 되어 있지 않다.

<표 2-18> 국내외 여수로 해석방법 비교

국 외	국 내
<ul style="list-style-type: none"> · 두 가지 방법으로 평가(정역학적 / 동역학적 방법) (US Bureau of Reclamation, 2015) · 동해석 세부 수행방법 제시 (US Bureau of Reclamation, 2015) · 구조물별 해석 방법 제시 (ACOLD, 2017) 	<ul style="list-style-type: none"> · 두 가지 방법으로 평가(정역학적 / 동역학적 방법) · 세부방법 제시되지 않음

2.3.3. 수문

본 장에서는 수문의 국내외 설계기준 중 해석방법을 비교하여 분석하였다.

1) 해석방법 및 내용

<표 2-19>에는 국외와 국내의 해석방법을 비교하여 나타내었다. 국외의 경우, 정역학적 방법, 동역학적 방법 두 가지 방법을 통해 평가하도록 제시되어 있으나 이에 대한 세부 방법은 제시되어 있지 않다. 또한 Pier의 변형으로 인한 수문 손상 및 anchorage와 hinge의 손상을 확인하도록 제시되어 있다. 국내의 경우, 이와 관련한 세부 해석 방법 및 상세한 내용이 제시되어 있지 않다.

<표 2-19> 국내외 수문 해석방법 비교

국 외	국 내
<ul style="list-style-type: none"> · 두 가지 방법으로 평가(정역학적 / 동역학적 방법) (US Bureau of Reclamation, 2015) · 세부방법 제시되지 않음 · Pier의 변형으로 인한 수문 손상 그리고 Anchorage/Hinge의 손상을 확인하도록 제시됨 	<ul style="list-style-type: none"> · 세부방법 제시되지 않음 · 상세한 내용 없음.

제3장. 농업생산기반정비사업 계획설계기준 내진설계 기준 현황, 문제점 및 개선방향

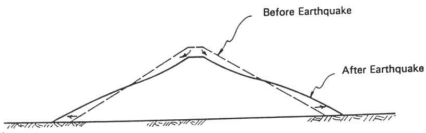
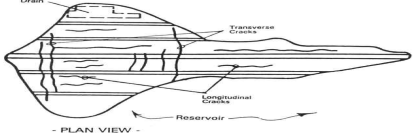


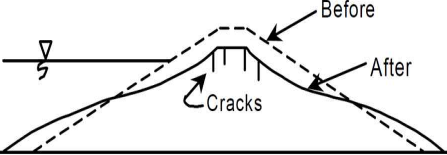
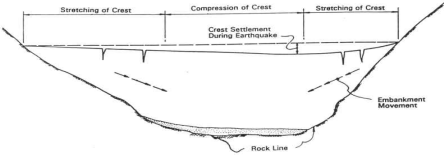
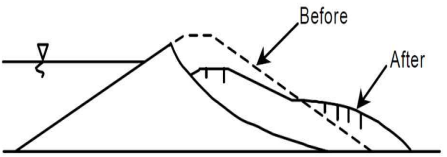
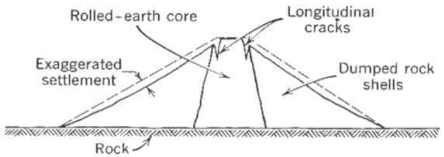


3.1. 내진설계기준 현황

3.1.1. 저수지 복통부 내진설계 필요성 검토

1) 저수지 지진피해(파괴모드) 유형

지진이 저수지(댐)에 미치는 영향은 댐체의 변형 및 균열, 기초가 되는 하부지반에서는 지반의 액상화로 인한 체체 변형 및 침하에 의한 여유고 감소와 댐 월류파괴를 초래할 수 있다. 이 중 균열은 종방향, 횡방향, 건조 수축에 의한 균열로 크게 구분되며, 이 중 횡방향 균열은 체체를 통한 누수로 이어져 내부침식에 의한 파괴를 일으킨다. <그림 3-1>은 지진 시 저수지의 거동과 지진피해 유형을 정리하여 나타낸 것이다.

지진피해 사례로부터 얻어진 <그림 3-1>의 지진 시 저수지의 파괴모드에서 복통에 파손 등의 직접적인 지진피해나 이로 인한 저수지의 파괴 사례는 거의 없는 것으로 알려져 있다. 이러한 이유를 지진 시 저수지 체체 내에서의 복통의 역학적 거동에서 찾아 볼 수 있는데, 지진 시 저수지의 파괴를 일으키는 주된 진동모드는 저수지 상하류 방향으로서 복통은 체체와 함께 움직이고, 복통 횡단면상의 상대변위가 발생하기 어려워, 대부분 복통 축방향의 축력으로 작용하게 되고 복통 재료의 대부분이 축력에는 큰 강성을 가지기 때문에 복통의 파괴가 발생되기 어렵다.

	
<p>체체변형</p>	<p>댐의 각 방향 균열</p>
	
<p>종방향 균열</p>	<p>횡방향 균열</p>
	
<p>체체변형 및 종방향 균열</p>	<p>체체변형 및 횡방향 균열</p>
	
<p>균열로 인한 비유티류 사면 파괴</p>	<p>양안부 부등침하에 의한 균열</p>
	
<p>측방유동</p>	<p>저수지내 사면 슬라이딩</p>

<그림 3-1> 저수지의 지진피해 유형

2) 설계기준 상에 반영된 내용 확인

일반적으로 최근에 설계하는 저수지의 경우, 그 규모가 다소 큰 경우, 대부분 복통보다는 취수탑을 이용하는 경우가 많으며, 비교적 규모가 작은 경우라도 앞서 설명한 바와 같이 그 역학적 거동 특성 상 지진동으로 인한 제체에 있는 복통은 파괴되기 어렵고, 최근에 설계하는 경우라면 연성이 좋은 대구경 강관을 사용하는 방법도 있다. 취수탑을 이용하는 경우라도 제체 하부를 통과하는 경우라면, <그림 3-2>에 나타난 바와 같이 현행 농지개발사업계획설계기준(댐편)에 제시된 내용처럼 제체 하부의 암반에 설치하도록 설계하면 될 것으로 여겨진다. 아울러, 작은 규모의 저수지는 그 중요도가 떨어진다는 점에도 유의하여야 한다.

<p>다. 필댐의 내진설계</p> <p>필댐은 형식에 따라 내진설계에 반영할 지진하중의 종류 및 적용범위가 조금씩 다르다.</p> <p>1) 내진설계상의 주의점</p> <p>내진 설계상의 일반적인 주의점은 다음과 같다.</p> <p>가) 연약기초의 침하나 느슨한 모래 기초에 의한 액상화 현상을 일으키지 않도록 충분한 기초처리를 한다.</p> <p>나) 콘크리트관, 철관 등의 피해는 암반위보다도 토질기초위에서 더욱 크기 때문에 물넘이 취수관 등의 중요한 구조물은 모두 암반위에 설치하도록 설계한다.</p>
--

<그림 3-2> 제체 통과 취수관의 설치와 관련된 기준 내용 인용

3) 복통의 내진설계 필요성 평가 의견

지진피해 사례에 의한 지진 시 저수지의 파괴사례, 지진 시 제체 내 복통의 역학적 거동 평가 등을 감안할 때, 복통의 횡단면에 대하여 추가적인 지진력을 반영한 해석을 통한 내진설계는 불필요하다고 여겨진다. 다만, 기존 기준 내에서도 기술되었듯이 규모가 작은 저수지의 경우, 제체를 통과하는 복통이 설계될 수 있지만, 이러한 저수지의 중요도는 상대적으로 낮음에 유의해야 하며, 신설 저수지에 복통을 설치하는 경우라면 연성이 좋은 대구경 강관을 사용하는 것도 하나의 방편이 될 수 있다.

3.1.2 현 저수지의 내진 지진규모 추정

1) 현 설계지진의 규모 파악

진앙으로부터 거리 감쇠에 따라, 진도(또는 지진가속도)가 변화(대부분 감소)하기 때문에, 설계지진가속도를 규모로 환산하는 경우는 이른 바 가장 최악의 상황을 가정한 것으로, 대상 구조물 직하부에서 지진이 발생한 경우만을 환산할 수 있다. 따라서, 환산된 규모보다는 훨씬 더 큰 규모의 지진에 견딜 수 있다고 감안하면 된다.

Gutenberg와 Richter의 가속도-진도(MMI) 변환식인 식 (3.1)과 규모(M)-진도(MMI) 변환식인 식 (3.2)를 이용하여 설계가속도-규모를 환산해 볼 수 있다. 현 설계기준에서 필댐의 내진등급을 특등급으로 가정하고, 지진구역 I에 위치하며, 기초지반이 보통이라고 가정한다면, 흙댐의 댐형식에 따른 증가를 고려하지 않은 경우에는 설계지진가속도가 0.154g가 되며, 댐형식을 감안하여 증가계수 1.2를 곱하면, 0.184g가 된다. 이를 규모로 환산하면 M6.3 ~ M6.5가 된다. 즉, 현행 설계기준이나 성능평가로부터 내진성이 확인된다면 결국 현재의 국내 저수지는 최대 규모 M6.3 ~ M6.5 이상(이상이라고 한 이유는 이러한 규모의 지진이 댐 직하부에서 발생한다고 가정한 결과이므로 댐 직하부에서 지진이 발생하는 경우는 매우 드문 경우이므로 견딜 수 있는 지진규모의 하한값이라고 할 수 있다)에 견딜 수 있음을 의미한다. 현재 정밀안전진단이나, 기존 저수지의 내진성능평가 결과 대부분의 저수지가 현재의 기준을 만족하는 것으로 나타나므로 제시된 규모의 지진에 견딜 가능성이 크다고 판단된다. 물론, 동일한 규모의 지진이 저수지 기초 하부에 발생하더라도, 저수지의 기하학적 형태나 축조재료의 물성 등에 따라서는 지진 거동이 달라질 수 있는 점은 당연히 고려되어야 한다.

$$\log a = \frac{I}{3} - \frac{1}{2} \quad (3.1)$$

여기서, a : gal (cm/sec²), I : 진도(MMI)

$$M = \frac{2}{3}I_e + 1.0 \quad (3.2)$$

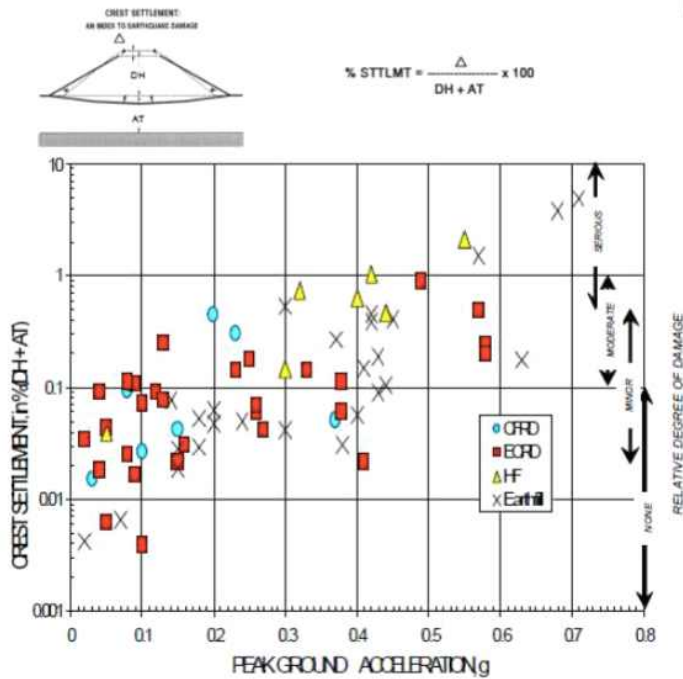
여기서, M : 규모, I_e : 진앙에서의 진도(MMI)

2) 지진피해 사례로부터 추정

국내 저수지는 기하학적 형태, 축조재료의 물성, 수리수문학적 환경 등 다양한 특성을 가지고 있으므로, 저수지가 지진에 견딜 수 있는 지진규모를 개별 저수지에 대해 모두 조사한다는 것은 년세스이며, 이러한 경우, 그 간의 저수지 파괴사례로부터 견딜 수 있는 지진규모 정도를 파악할 수 있다. <그림 3-3>은 다양한 댐 및 저수지의 지진피해 사례 중에서 댐 형식별로 주요한 파괴사례를 대표적으로 나타낸 것인데, 필댐의 지진에 의한 피해다운 피해는 최소 규모 M6.5 정도부터 발생하는 것으로 나타났다. 즉, 역으로 기술하면 일반 필댐은 최소 규모 M6.5의 지진에는 견딜 수 있을 것이라 예상해 볼 수 있다. 이 규모 M6.5는 액상화가 발생하는 최소 지진규모로도 알려져 있어, 대부분의 지진에 의한 저수지의 파괴가 액상화에 의해 발생하고, 액상화가 발생하지 않은 경우에는 댐 정상부의 침하량이 댐 높이의 1%를 넘지 않아(<그림 3-4> 참조) 지진에 의한 파괴가 발생하지 않았다. 이러한 사실로도 최소한 저수지는 지진 규모 M6.5까지는 견딜 수 있다고 예상해 볼 수 있다.

형식	댐명	제원	피해내용	지진현황	지진발생지
흙댐	Lower San Fernando 댐	H=42m	댐체의 상류면이 활동 댐머루와 상류측 사면이 9m 정도 침하	규모 6.5 진앙거리 13.7km 최대지반가속도 0.4~0.5g	California, San Fernando (1971년)
	Kitayama South 댐		상류경사면 사석강부에서 사면이 파괴	규모 7.2 진앙거리 31km	Kobe, 일본 (1995년)
	Hebgen 댐	H=27m L=200m	댐체가 최대 2m 정도 침하로 콘크리트 코어와 단차 발생 댐머루부에 종방향으로 균열발생	규모 7.5	Montana, Hebgen Lake (1959년)
록필댐	Miboro 댐	H=131m L=418m	댐머루가 3cm 침하 댐체가 하류측으로 수평변위 발생	규모 7.0 최대지반가속도 0.1g	칠레 (1962년)
	Matabina 댐		댐머루부에 균열발생	규모 6.5	뉴질랜드 (1987년)
콘크리트댐	Koyna 댐	H=103m L=853m	수평균열로 누수발생	규모 7.0	인도 (1967년)
	Pacoima 댐	H=111m L=853m	좌안부 균열발생 아치부가 25mm 수축	규모 6.5	California, San Fernando (1971년)
	Cogoti 댐	H=83m L=160m	댐머루부가 약 38cm 침하	규모 7.1	칠레 (1943년)

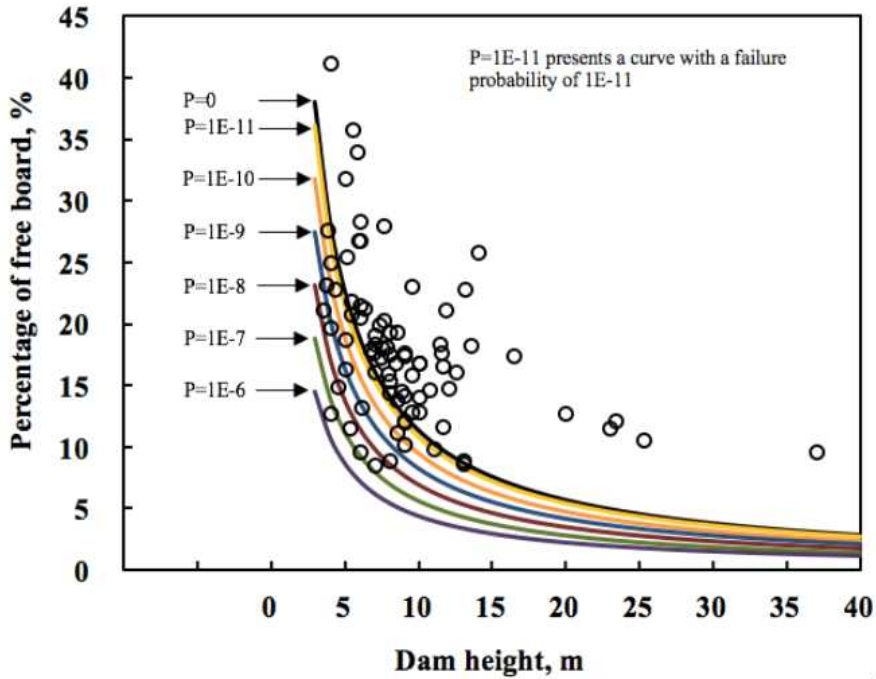
<그림 3-3> 댐 형식별 지진규모에 따른 지진피해 현황



〈그림 3-4〉 최대지반가속도와 댐정부 침하량과의 경험적 관계식

3) 미공병단과 미개척국의 지진시 저수지 파괴확률로부터 추정

〈그림 3-5〉은 미공병단과 미개척국에서 개발한 툴박스(tool-box)를 이용하여 1,000년 재현주기의 설계지진(앞서 기술한 바에 의하면 규모 M6.3 ~ M6.5의 지진)에 대한 국내 96개 재해위험저수지(‘저수지·댐의 안전관리 및 재해예방에 관한 법률 시행령’(2009)에 따라, 정밀안전진단결과 D등급 또는 E등급을 받은 저수지 및 재해가 우려되는 저수지로 소방방재청장이 정한 저수지. 2015년을 기준으로 약 285개 저수지가 이에 해당되며, 이중 설계도서를 획득할 수 있었던 저수지의 개수가 96개)의 지진 시 파괴확률을 산정하여 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 검토대상 96개 저수지 중 78%는 지진에 대한 파괴확률이 ‘0’인 것으로 평가되었고 나머지 22%의 저수지도 파괴확률이 1×10^{-6} 이하로 공학적인 파괴확률의 기준인 1×10^{-4} 과는 거리가 멀어 파괴는 거의 발생되지 않을 것으로 추정된다. 이러한 경우, 마찬가지로 국내 저수지는 최소 규모 M6.5 정도의 지진에는 견딜 수 있을 것으로 추정해 볼 수 있다.



<그림 3-5> 국내 96개 재해위험저수지의 1000년 재현주기 지진에 대한 파괴확률 산정

4) 결론

국내 농업용 저수지의 최대 견딜 수 있는 지진규모를 추정하는 것은 매우 어렵다. 왜냐하면, 저수지의 기하학적, 지반공학적, 환경적 특성이 각양각색이고, 발생된 지진도 규모는 한가지라도 진앙거리에 따른 저수지의 피해정도는 너무나 다르기 때문이다. 이러한 이유로 본 절에서는 현 저수지 내진설계기준을 만족할 때의 지진규모 추정, 피해사례로부터 추정한 지진규모, 미공병단과 미개척국의 방법을 활용한 가장 열악한 조건의 저수지에 대한 지진 시 파괴확률 추정 결과로부터, 국내 농업용저수지는 최소 규모 M6.5 정도까지는 견딜 수 있을 것으로 추정해 보았다.

3.2. 내진설계기준의 문제점 및 개선방향

3.2.1. 저수지(필댐)의 내진설계기준의 문제점 및 개선방향

1) 내진설계기준의 위상 및 관리 문제와 개선방향

댐 설계기준(국토해양부, 2011)의 경우, 별도의 장(12장 내진설계)으로 내진설계 기준을 22페이지 분량(총 280페이지 중)으로 기술하고 있다. 이에 반해, 농업생산기반정비사업 계획설계기준(필댐편, 2002)의 경우, 별도의 장도 아닌 절의 일부분으로서 내진설계 기준과 관련된 내용을 단 8페이지 분량(총 719페이지 중)으로만 기술하고 있다. 즉, 내진설계 기준에 대한 기준서에서의 체계도 불분명하고, 기술내용도 충분하지 못하다. 별도의 장으로 따로 분리하여 현재 분리기술된 “액상화의 검토” 내용을 포함하여 기술할 필요가 있다.

댐 설계기준의 경우, 설계기준의 변화와 최근 기술을 반영하여, 2001년, 2003년, 2005년, 2011년 순으로 지속적인 기준 개정이 이루어지고 있는 반면, 농업생산기반사업계획설계기준(필댐편)은 전신인 농지개량사업계획 설계기준(댐편, 1982)이 1982년에 1차 개정된 이후 20년만인 2002년에 개정되고, 이 때에 필댐의 내진에 관한 내용이 추가되었다고 한다. 이러한 기준의 관리 정도로 판단하건데, 관리주체의 관리부서나 관리체계를 명확히 하여 주기적이며, 실효성 있는 내진설계기준이 지속적으로 보완 개정되도록 할 필요가 있다.

2) 내진설계기준 내용 상의 문제 및 개선방향 검토

(1) 내진설계 대상시설물 또는 내진설계 범위 검토

① 유사시설(댐) 국내외 내진설계 대상시설물

□ 국내 댐 내진설계 대상시설물

1997년 내진설계기준연구(II)에서부터, 2003년 댐설계기준을 거쳐, 현재 댐 설계기준(2011)까지의 국내 댐설계기준에서는 댐 내진설계 대상시설물을 댐체와 그 부속시설을 그 범위로 하고 있다. 법규상으로 살펴보면, <표 3-1>에서 보는 바와 같이 댐체와 부속시설물에 대하여 내진설계 대상에 변천이 있었다. 현 지진화산재해대책법 제14조①항6항의 ‘다목적댐’의 경우

에는 부속시설에 대해서 특별한 언급이 없으며(<표 3-2> 동법시행령 제10조①항7의 ‘댐’에는 댐 본체와 그 부속설비를 포함하고 있으나 높이가 15m인 댐을 대상으로 하고 있다(<표 3-3>).

<표 3-1> 댐 시설물의 내진설계 대상

시설물	자연재해대책법			지진재해대책법	지진화산재해대책법
	‘96.06	‘02.05	‘05.08-’07.11	‘09.03	‘16.01
6. 다목적댐	○	○	○	○	○
7. 댐	○	○	15m 이상 댐 및 부속시설		

<표 3-2> 지진화산재해대책법 및 시행령의 다목적댐

지진화산재해대책법	제14조①6. [댐건설 및 주변지역지원 등에 관한 법률]에 따른 다목적댐
동법 시행령	제10조①6. [댐건설 및 주변지역지원 등에 관한 법률] 제2조 제2호에 따른 다목적댐

<표 3-3> 지진화산재해대책법 및 시행령의 댐

지진화산재해대책법	제14조①7. [댐건설 및 주변지역지원 등에 관한 법률] 외의 다른 법령에 따른 댐
동법 시행령	제10조①7. [댐건설 및 주변지역지원 등에 관한 법률] 외에 다른 법령에 따른 댐 중 생활·공업 및 농업용수의 저장, 발전, 홍수 조절 등의 용도로 이용하기 위한 높이 15m 이상인 댐 및 그 부속 시설

현재 우리나라 댐설계기준(2011년)에서는 내진설계 대상을 아래 <표 3-4>와 같이 규정하고 있다.

<표 3-4> 댐설계기준(2011) 내진설계 시설범위

- 댐체
- 높이 15m 이상인 댐에 적용
- 높이 15m 미만인 소규모댐에도 준용할 수 있음
- 여수로 및 부대시설물(취수탑, 발전소, 댐 관리동, 수로터널, 수문, 권양기, 현장조작반, 관리교, 전기 및 계측제어설비 등)

□ 해외(국제대담회)의 댐 내진설계 대상 시설물

ICOLD Bulletin 148 「Selecting Seismic Parameters for Large Dams Guideline」(2010)에서는 댐 체체와 부속시설은 물론, 댐 건설과정 중의 임시시설까지도 내진설계의 대상시설물로 다루고 있다.

• Design Earthquake for Appurtenant Structures

As a minimum, appurtenant structures (penstocks, powerhouses, intake structures, rock caverns etc.) should be designed in accordance with the applicable seismic code for buildings or other structures. Consequently, the site-specific design earthquake ground motion should have a return period equal to that specified in the seismic building codes, which is typically 475 years. For structures which are critical for dam safety, such as bottom outlet, spillway gates, control units and power supply, the design must be based on the safety evaluation earthquake (SEE).

<그림 3-6> 국제대담회에서 제시하는 댐 부속시설물에 대한내진설계

- 저수지(필댐) 내진설계 대상시설물

현재 농업생산기반정비사업계획설계기준(필댐편)(2002)에서는 필댐의 내진설계 대상시설물을 체체와 그 부속시설을 그 범위로 하고 있다. <표 3-5>에서 보는 바와 같이, 법규상으로 살펴보면, 일관성 있게 내진설계의 대상으로 농업생산기반시설을 기술하고 있고, 관련 법규의 변천은 없었다. 저수지의 경우에는 표에서 보는 바와 같이 대상 범위의 변천이 있었다. 이전의 법규뿐만 아니라, 현 지진화산재해대책법 제14조①항5항의 ‘농업생산기반시설’의 경우나, 동법시행령 제10조①항5항의 저수지에도 부속시설에 대해서 특별한 언급이 없이 총저수용량 50만톤 이상이고 제방높이 15m 이상인 저수지와 총저수용량 2천만톤 이상인 저수지를 대상으로 하고 있다(<표 3-6>).

<표 3-5> 저수지(필댐)의 내진설계 대상

시설물	자연재해대책법			지진재해 대책법	지진화산재 해대책법
	'96.06	'02.05	'05.08-'07.1 1	'09.03	'16.01
농업생산기반 시설	○	○	○	○	○
저수지	저수용량 2천만톤 이상의 저수지		총저수용량 50만톤 이상이고 제방 높이 15m 이 상인 저수지와 총저수용량 2천만톤 이상인 저 수지		

<표 3-6> 지진화산재해대책법 및 시행령의 농업생산기반시설과 저수지

지진화산 재해대책법	제14조①5. [농어촌정비법]에 따른 농업생산기반시설
동법 시행령	제10조①5. [농어촌정비법] 제2조 제6호에 따른 저수지 중 총저수용량 50만 톤 이상이고 제방 높이 15m이상인 저수지와 총저수용량 2천만 톤 이상인 저수지

현재 우리나라 농업생산기반정비사업계획설계기준(필댐편)(2002)에서는 내진설계 대상을 아래 <표 3-7>과 같이 규정하고 있다.

<표 3-7> 농업생산기반정비사업계획설계기준(필댐편)(2002) 내진설계
시설범위

· 신설되는 높이 15m 이상인 총저수량 50만톤 이상의 댐 및 부속시설

- 내진설계 대상시설물 또는 시설물 범위의 적정성 검토

저수지 내진설계 대상시설물에 있어서, 앞서 기술한 내용에서 볼 수 있듯이 관계법령(지진화산재해대책법 및 동법 시행령) 등에서는 제체외 부속 시설에 대한 언급은 전혀 없다. 그러나 유사시설인 국내외 댐 내진 대상시설물에 부속시설들이 포함되어 있고, 관계법령이란 최소 요건을 제시하는 것이기 때문에, **부속시설을 대상시설에 포함한 것은 적정하다고** 판단되어진다. 다만, 대상이 되는 저수지의 범위가 “신설되는 높이 15m 이상인 총저수용량 50만톤 이상의 댐 및 부속시설”로 정의되어 있는데, 해당 기준 개정이 2002년에 이루어졌고, 대상 저수지의 범위에 대한 법규가 <표 3-5>에서 볼 수 있는 바와 같이 2005년에 변경되었으므로 이를 반영하고, 최근 (2016년과 2017년)에 각각 발생한 경주 및 포항 지진에 의한 시설물의 내진기준 강화 차원에서, 해당 기준 내 **내진설계 대상시설물 및 시설물 범위는 “총저수용량 30만톤 이상인 저수지와 부속시설”**로 수정·설정하여야 한다. <표 3-8>은 적정성 검토 및 개선방향을 제시한 표이다.


<표 3-8> 저수지(필댐)의 내진설계 대상 적정성 검토 및 개선방향

시설물	지진재해대책법 및 동법시행령에 따른 대상시설	현행 기준에 제시된 대상시설	기준내 대상시설 개정안
저수지	총저수용량이 50만톤 이상이고 높이가 15m 이상인 저수지와 총저수용량 2천만톤 이상의 저수지	높이 15m 이상인 총저수용량 50만톤 이상의 저수지 제체와 부속시설	총저수용량 30만톤 이상인 저수지와 부속시설

(2) 지진구역의 변경 수정

현재 농업생산기반정비사업계획설계기준(필담편)의 지진구역은 전라남도 남부를 지진구역 II로 정하고 있으나, 2013년 소방방재청 고시(이하 소방청 고시) 또는 2017년 7월에 공표된 내진설계기준 공통적용사항(이하 내진공통적용사항)에는 이 지역이 지진구역 I로 변경되었으므로 지진구역 구분이 변경되어 개정되어야 한다. 아울러, 세종시도 지진구역 I에 새로이 추가되었다.

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



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

<그림 3-7> 국내 지진구역의 변경(2013년 소방방재청 고시 내용중)

(3) 내진등급의 구분 및 해당 등급의 설계지진의 평균재현 주기 변경 필요

현재 농업생산기반정비사업계획설계기준(필담편)은 내진특등급에 대해 재현주기 1,000년의 지진을 설계지진으로 하고(내진공통적용사항에서는 2,400년), 내진I등급에 대해 재현주기 500년의 지진을 설계지진으로 하는(내진공통적용사항에서는 1,000년) 부분을 해외 사례와 국내 전문가 자문 등을 통해 공통기준에 적합하도록 수정할 필요가 있다.

상기 내용을 반영하는 경우, 현 ‘내진특등급 댐’의 등급 용어를 ‘내진 I 등급 댐’으로 ‘내진 I등급 댐’을 ‘내진 II등급 댐’으로 수정하여야 한다.

<표 3-9> 현행 기준 댐의 내진 등급과 설계지진

내진등급	댐	설계지진의 평균재현주기
내진특등급 댐	<ul style="list-style-type: none"> · 사회, 안보, 경제적인 측면에서 특별한 댐으로 발주처가 지정하는 댐 · 법에 의하여 다목적 댐으로 분류한 댐 · 총저수량 2천만톤 m³ 이상인 댐 	1,000 년
내진I등급 댐	높이 15m 이상이고 총저수량 50만톤 m ³ 이상인 댐	500 년

<표 3-10> 저수지의 내진 등급과 설계지진 개선(안)

내진등급	댐	설계지진의 평균재현주기
내진 I등급 댐	<ul style="list-style-type: none"> · 사회, 안보, 경제적인 측면에서 특별한 댐으로 발주처가 지정하는 댐 · 총저수량 2천만톤 이상인 댐 	1,000 년
내진 II등급 댐	<ul style="list-style-type: none"> · 총저수량 30만톤 이상인 댐 · 붕괴 시 하류 인명피해가 예상되는 댐 	500 년

설 계 지 진	재현 주기	기능 수행	즉시 복구	장기 복구	붕괴 방지
	50년	II등급			
	100년	I등급	II등급		
	200년	특등급	I등급	II등급	
	500년		특등급	I등급	II등급
	1000년			특등급	I등급
	2400년				특등급
	4800년				특등급

<그림 3-8> 내진설계기준 공통적용사항에서의 내진성능목표와 설계재현주기

(4) 설계지반운동 및 그 수준(설계진도) 결정하는 방법 부재

설계지진의 수준, 즉 설계진도를 결정하기 위해서는 우선적으로 저수지가 위치할 기초지반을 분류하는 지반분류체계(<표 3-11> 참조)가 기술되어야 하고, 지반분류에 따른 표준설계응답스펙트럼(<그림 3-9>과 <그림 3-10>)과 전이주기(<표 3-12> 참조)가 제시되어야 하며, 표준설계응답스펙트럼 곡선을 완성하기 위한 증폭계수(<표 3-13> 참조)가 제시되어야 한다.

설계진도가 결정되고, 설계응답스펙트럼이 결정되면 이러한 설계응답스펙트럼과 적합도를 가지도록 인공합성지진파를 생성하며, 이러한 지진파를 동적해석을 위한 입력지진가속도 시간이력으로 이용하는 절차가 제시 되어야 한다(<그림 3-11> 참조).

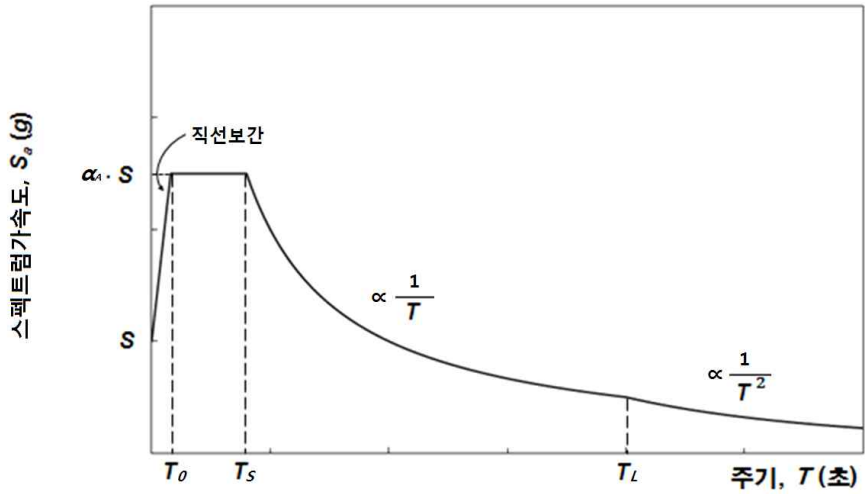
그러므로 공통내진설계적용사항의 내용을 바탕으로 저수지 특성에 맞게 현행 농업생산기반정비사업계획설계기준(필댐편)에 이를 추가 반영하여야 한다.

<표 3-11> 지반분류 체계

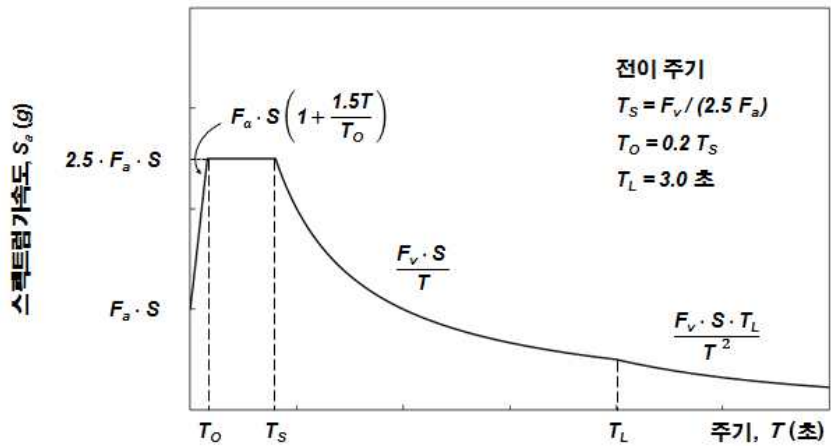
지반 종류	지반종류의 호칭	분류기준	
		기반암* 깊이, H (m)	토층 평균 전단파속도, VS, Soil (m/s)
S1	암반 지반	1 미만	-
S2	얕고 단단한 지반	1~20 이하	260 이상
S3	얕고 연약한 지반		260 미만
S4	깊고 단단한 지반	20 초과	180 이상
S5	깊고 연약한 지반		180 미만
S6	부지 고유의 특성 평가 및 지반응답해석이 요구되는 지반		

*전단파속도 760m/s 이상을 나타내는 지층

※기반암 깊이와 무관하게 토층 평균 전단파속도가 120m/s 이하인 지반은 S5지반으로 분류



<그림 3-9> 암반지반의 가속도 표준설계응답스펙트럼



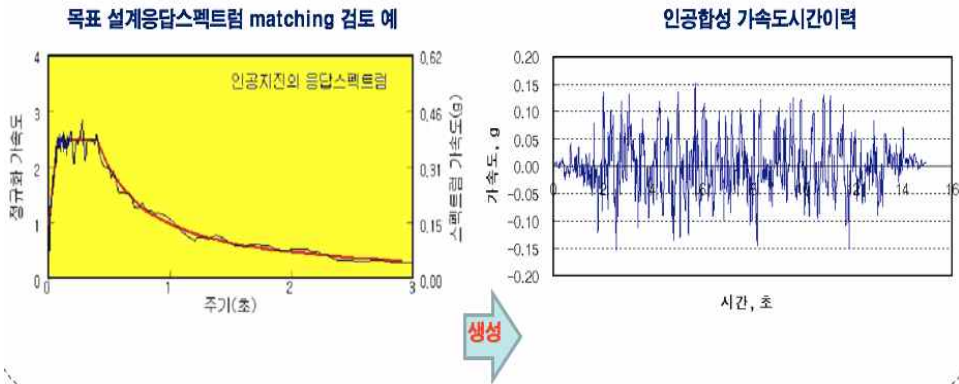
<그림 3-10> 토사지반의 가속도 표준설계응답스펙트럼

<표 3-12> 설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼 전이주기

구분	α_A (단주기스펙트럼 증폭계수)	전이주기(sec)		
		T_0	T_s	T_L
수 평	2.8	0.06	0.3	3

<표 3-13> 지반증폭계수

지반 분류	단주기 증폭계수, Fa			장주기 증폭계수, Fv		
	S ≤ 0.1	S = 0.2	S = 0.3	S ≤ 0.1	S = 0.2	S = 0.3
S2	1.4	1.4	1.3	1.5	1.4	1.3
S3	1.7	1.5	1.3	1.7	1.6	1.5
S4	1.6	1.4	1.2	2.2	2.0	1.8
S5	1.8	1.3	1.3	3.0	2.7	2.4



<그림 3-11> 설계응답스펙트럼으로부터 인공합성 지진파시간이력 생성 절차

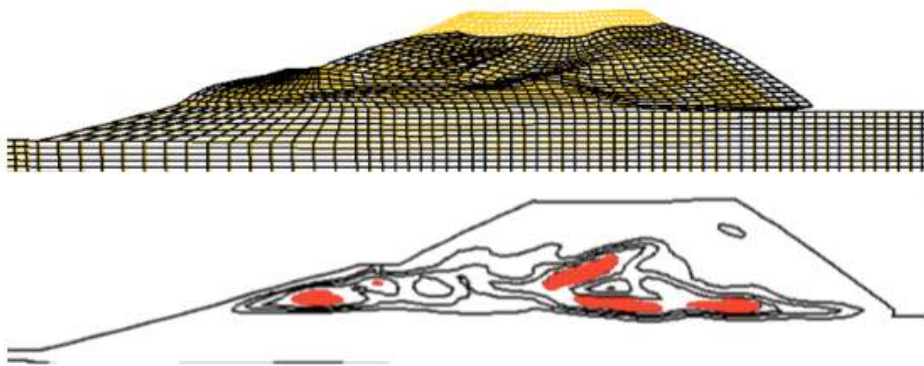
(5) 동적해석 설계법에 대한 내용 보완 및 설계 반영 보완

댐 내진설계와 마찬가지로 저수지 내진설계의 해석방법은 본 절 ③에서와 같이, 지진하중 수준은 증가시키되, 해석법상 안정성의 검토는 동적 소성해석을 수행하도록 하는 것이 국제적 추세이다. 이러한 이유로 댐설계기준(2011)의 경우에도, 동적소성해석을 토대로 안정성을 검토하도록 제시되어 있다. 그러므로 진도법에 의한 설계가 지나치게 보수적인 설계(성능평가의 경우에는 결코 적용해서는 안 되는 방법임)인 경우, 댐설계기준에서와 같이 동적 소성해석법을 적극 사용할 수 있도록 기준에 그 내용을 반영할 필요가 있다.

(나) Newmark 방식에 의한 댐 사면의 소성활동량을 계산하여 내진 안전성을 검토한다. 계산된 소성활동량이 0.3m 이내이면 댐 안전에 문제가 되지 않으며, 소성활동량 0.6m는 상당한 손상을 동반하는 허용가능한 소성변형량이다. 이때, 댐 전체 높이를 포함하는 활동면 및 댐체 상부에서의 활동면을 포함하여 검토한다. 만일, 소성활동량이 0.6m 이상이면 좀 더 정밀한 동적 소성해석을 실시하여 그 결과를 분석한다.

<그림 3-12> 댐설계기준(2011)에 제시된 동적소성해석법 내용 일부 발췌본

댐설계기준에 제시된 Newmark 방식에 의한 동적소성변형해석은 제체사면 지반의 강도감소가 15%이하인 경우에만 적용될 수 있는 방법으로서 근본적으로는 액상화가 발생하지 않을 것으로 예상되는 댐체에만 적용할 수 있는 방법이다. 저수지의 경우는, 엄선된 재료로 엄격한 시공관리에 의해 제체가 축조되고, 댐의 기초지반이 거의 대부분 암반지반인 국내 대댐의 경우와는 다를 수 있어, 액상화의 검토가 내진설계 내용이 바로 포함되게 하고, 동적해석시 미국대담회와 같이 유효응력해석에 기반한 동적소성변형해석(<그림 3-13> 참조)을 적용할 수 있도록 하는 내용을 보완할 필요가 있다.



<그림 3-13> 액상화를 고려한 동적소성변형해석 결과 예시

3.2.2. 방조제(해면간척)의 내진설계기준의 문제점 및 개선방향

1) 내진설계기준의 위상 및 관리 문제와 개선방향

댐설계기준의 경우, 설계기준의 변화와 최근 기술을 반영하여, 2001년, 2003년, 2005년, 2011년 순으로 지속적인 기준 개정이 이루어지고 있는 반면, 농업생산기반사업계획설계기준(필댐편)은 전신인 농지개량사업계획설계기준(댐편, 1982)이 1982년에 1차 개정된 이후 20년만인 2002년에 개정되고, 이 때에 필댐의 내진에 관한 내용이 추가되었다고 한다. 농업생산기반정비사업계획설계기준(해면간척편)의 경우, 1991년 이후 현재까지 개정이 이루어지지 않았으며, 당연 방조제의 내진에 관한 내용은 보완되지 않았다.

이러한 기준의 관리 정도로 판단하건데, 관리주체의 관리부서나 관리체계를 명확히 하여 주기적이며, 실효성 있는 내진설계기준이 지속적으로 보완 개정되도록 할 필요가 있다.

2) 내진설계기준 내용 상의 문제 및 개선방향 검토

(1) 설계지반운동 및 그 수준(설계진도) 결정하는 방법 부재

농업생산기반시설내진설계기준(필댐편)(농림부, 2002)과 마찬가지로 설계지반운동 및 그 수준(설계진도)를 결정하는 방법에 대한 기술 내용이 누락되어 있으므로, 필댐편과 마찬가지로 공통내진설계적용사항의 내용을 바탕으로 방조제 특성에 맞게 현행 농지개량사업계획설계기준(해면간척편)에 이를 추가 반영하여야 한다.

(2) 전체 내진설계기준 업데이트 필요

농지개량사업계획설계기준(해면간척편)(농림부, 1991)에 제시된 내진설계와 관련된 전반 설계 내용이 1991년 이후 전혀 업데이트가 되어 있지 않아, 현재의 기술 수준이나 유사기준을 바탕으로 재 기술해야 한다.

3.2.3. 양배수장의 내진설계기준의 문제점 및 개선방향

1) 내진설계기준의 문제와 개선방향

국내의 설계기준에는 취수장에 대한 내진설계기준이나 요령이 제시되지 않았다. 양배수장은 건축물, 지하구조물, 보/여수로, 관로 등으로 구성된 복합시설이기에 양배수장이 지진 후에 기능을 수행하기 위해서는 모든 요소가 목표 성능을 만족해야 한다. 이를 위해서는 각각에 대한 차별화된 기준 또는 요령이 필요하다. 단, 대다수의 시설물에 대한 내진설계방법은 타 기준에서 이미 제시되었으므로 이들을 새롭게 정의할 필요는 없으며 이들은 타 관련 기준과 연계하는 것이 적절할 것이다. 기존의 설계기준에 포함되지 않은 보/여수로에 대해서는 새로운 내진설계기준(요령)의 제시가 필요한 상황이다.

2) 기존 내진설계기준과 연계 내용

(1) 내진설계 대상시설물 및 연계 설계기준

- 건축구조물: 건축구조기준(2016)
- 건축구조물: 공동구 설계기준(KDS 11 44 00)
- 관로: 터널내진설계(KDS 27 17 00)

3) 보/여수로 내진설계요령

(1) 내진등급 및 평균재현주기

EM 1110-2-6053에는 Maximum Design Earthquake를 사용기간 초과확률 10%로 정의할 것을 권장한다. 사용기간이 50년일 경우, 이는 평균재현주기 500년에 상응한다. 반면 내진설계기준 공통적용사항에서는 내진 I등급의 시설물의 붕괴방지 지진의 평균재현주기는 1000년으로 제시된다. 취수탑의 설계 평균재현주기는 국내 기준을 준용하여 1000년으로 적용하였으며 내진 I등급으로 분류할 것을 제안하였다.

(2) 성능목표

설계지진 시 보/여수로에 상당한 변형과 부분적 손상이 발생하는 것은 허용할 수 있으나 통제되지 않는 저수 방출에 있어서도 안정성을 유지해야 한다.

(3) 해석방법

상대 부분 댐 내진설계 기준(KDS 54 17 00:2016)을 참고하여 작성하였다. 댐 내진설계 기준(KDS 54 17 00:2016)이 상세한 해설이 포함되어 있어 이를 기반으로 보/여수로 내진설계요령을 작성하였다. 댐 내진설계 기준과 동일하게 정역학적 그리고 동역학적 방법으로 각각 평가하는 요령을 제시하였다.

3.2.4. 취수장의 내진설계기준의 문제점 및 개선방향

1) 내진설계기준의 문제와 개선방향

국내의 설계기준에는 취수장에 대한 내진설계기준이나 요령이 제시되지 않았다. 취수장은 건축물, 지하구조물, 취수시설, 관로 등으로 구성된 복합 시설이기에 취수장이 지진 후에 기능을 수행하기 위해서는 모든 요소가 목표 성능을 만족해야 한다. 이를 위해서는 각각에 대한 차별화된 기준 또는 요령이 필요하다. 단, 대다수의 시설물에 대한 내진설계방법은 타 기준에서 이미 제시되었으므로 이들을 새롭게 정의할 필요는 없으며 이들은 타 관련 기준과 연계하는 것이 적절할 것이다. 기존의 설계기준에 포함되지 않은 취수탑과 보/여수로에 대해서는 새로운 내진설계기준(요령)의 제시가 필요한 상황이다.

2) 기존 내진설계기준과 연계 내용

(1) 내진설계 대상시설물 및 연계 설계기준

- 건축구조물: 건축구조기준(2016)
- 건축구조물: 공동구 설계기준(KDS 11 44 00)
- 관로: 터널내진설계(KDS 27 17 00)

3) 취수탑 내진설계요령

(1) 내진등급 및 평균재현주기

EM 1110-2-6053에는 Maximum Design Earthquake를 사용기간 초과확률을 10%로 정의할 것을 권장한다. 사용기간이 50년일 경우, 이는 평균재현주기 500년에 상응함. 반면 내진설계기준 공통적용사항에서는 내진 I등급의

시설물의 붕괴방지 지진의 평균재현주기는 1000년으로 제시된다. 취수탑의 설계 평균재현주기는 국내 기준을 준용하여 1000년으로 적용하였으며 내진 I등급으로 분류할 것을 제안한다.

(2) 성능목표

취수탑의 손상 모드는 휨 파괴, 전단 파괴, 활동, 전도, 모서리 국부 파괴 등이다. 취수탑은 지진이 발생하더라도 기능이 장시간 정지되어서는 안 된다.

(3) 해석방법

EM 1110-2-6053과 에 제시된 3가지 방법을 제시하였다. 정역학적 방법은 EM 1110-2-6053의 방법을 제시하였다. 응답스펙트럼법은 EM 1110-2-6053과 EM 1110-2-6060을 참고하여 정리하였다. 시간이력해석법은 EM 1110-2-6053과 EM 1110-2-6051을 참고하였다.

3.3 댐의 내진성능 향상 공법

3.3.1 지진 시 댐의 거동

1) 지진 시 댐의 거동 사례 분석

Seed et al(1987)은 미국, 일본, 남아메리카 및 러시아의 롤러다짐(Rolled fill) 및 물다짐공법(Hydraulic fill)에 의해 축조된 댐의 지진에 의한 파괴 사례와 피해에 대하여 조사하고 지진 시 댐의 거동에 관한 실측자료를 요약하여 다음과 같은 결론을 제시하였다.

- 물다짐공법으로 축조된 댐은 강진 시 등의 불리한 조건 시 파괴가 발생되기 쉽다.
- 적당한 사면경사와 조건이 좋은 기초지반에 건설된 댐들은 보통 수준의 지진(규모 6.5~7.0의 지진 가속도 0.2g까지)에 피해를 입지 않았다.
- 시공이 잘된 댐의 경우 최대가속도가 대략 0.2g까지의 보통 수준의 지진에 의해 피해를 입지 않고 내진성능을 확보한다.
- 점토 또는 암반기초상에 점성토로 축조된 댐은 규모(M) 8.5의 지진 가속도 0.35~0.8g의 강진에도 피해를 입지 않고 내진성능을 확보한다.
- 포화된 사질토로 축조된 댐에 강진이 발생 시, 피해 또는 파괴의 주된 원인은 체체 내의 간극수압의 증가이며 이로 인해 전단강도의 감소가 발생할 수 있다.
- 지진동이 끝나고 24시간 후에 발생하는 여러 파괴사례들은 지진에 의한 균열부에 파이핑이 발생되어 파괴되는 것으로 판단할 수 있다.

2) 지진 시 댐의 지진파 증폭 특성

댐은 토석이라는 입상체로 축조된 구조물로서 댐의 지진 시의 거동은 복잡하고 그 규모도 커서 모형진동시험에도 상사법칙의 한계가 있어 실제 댐의 실측기록에 의한 댐의 지진시 거동 파악이 매우 중요하다. 우리나라에서는 아직까지 지진에 의한 댐의 증폭 특성이 계측된 기록이 없으며, 일본에는 댐 기초지반에서 관측된 지진기록은 최대가속도가 250g정도가 지금까지의 최대기록으로 댐 체체재료가 큰 비선형성을 나타내는 정도

영역의 가속도기록이 관측된 예는 적다. 미국에는 최대가속도가 500gal에 가까운 강진동이 댐 현장 지반에서 관측된 바 있다. 이러한 사례들은 필댐의 응답증폭 비선형성을 나타내는 귀중한 기록으로 일본과 미국에서 관측된 댐 현장 지반 및 댐 체체에서 관측된 지반 가속도 기록은 종합하여 필댐의 지진 시 비선형응답특성을 평가하면 다음과 같다.

미국 및 멕시코 필댐의 기반과 댐정상부에서 관측된 주요한 지진기록(최대가속도)을 미국의 대학연구기관 및 정부기관으로부터 수집하였으며 최대가속도를 <표 3-14>에 나타내었다. 일본의 필댐에서 관측된 지진기록과 종합하여 <그림 3-14>~<그림 3-22>에 필댐의 기초와 정상부에서 관측된 최대가속도 값의 관계를 나타내었다. 흑색 심볼은 일본의 댐, 적색 심볼은 미국과 멕시코의 댐을 나타내고 있다.

<그림 3-14>, <그림 3-17>, <그림 3-20>에서 댐에 설치된 지진계측장치가 기반 중앙의 관측치인 경우는 전 3방향 성분에 있어서 기반최대가속도가 100~150gal 미만의 약진동일 때는 정상부 응답비는 3배 정도이며, 150gal 이상의 강진동이 입력된 경우는 응답비는 2배 정도로 감소한다. 이러한 것은 필댐의 체체가 흙이나 암석으로 축조되어 입력지진동이 커짐에 따라 재료감쇠가 커지기 때문에 생기는 응답 비선형성에 기인한다.

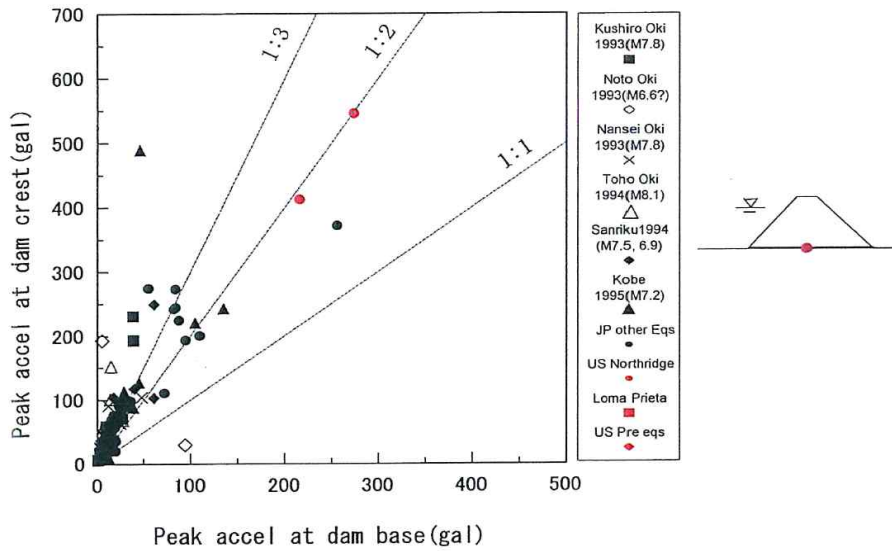
댐 양안과 하류지반 상에 설치된 지진계 관측치는 전 3방향 성분에 있어서 기반최대가속도가 100~150gal 미만의 약진동일 때는 정상부 응답비는 2배 정도이며, 150gal 이상의 강진동이 입력된 경우는 응답비는 1배 정도로 감소하여 그다지 응답증폭은 발생하지 않는 것으로 나타났다.

미국 댐의 기반 지진기록은 양안과 하류지반 상에서 관측된 것이 많은 것에 비해 일본의 기반지진기록은 댐 중앙에서 관측된 것이 많다. 댐 중앙에서의 관측된 지진파는 댐 체체와 기초의 지진시 동적상호작용에 의한 댐 체체내를 통과한 파동의 영향을 받은 소산파를 포함하고 있어 댐 현장의 자유장인 노출암에서의 관측지진파형과는 차이가 있음을 알 수 있다.

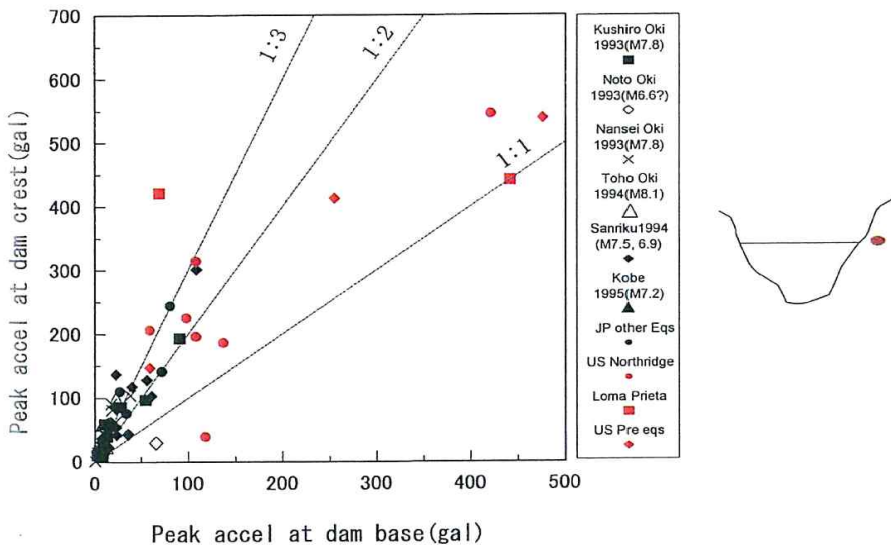
<표 3-14> 미국 및 멕시코 필댐의 기초와 정상부에서 관측된 지진 기록

	EQ name	date	M	D (km)	Dam	Type	H(m)	Alluvium thickness	L(m)	L/H	Peak Acceleration (gal)					
											base			crest		
											transverse	longitudinal	vertical	transverse	longitudinal	vertical
within	Northridge	01.17.1994	6.7	10	Los Angeles	ZE	39.6	0		0	274	314	127	545	421	382
	Northridge	01.17.1994	6.7	18	Lower Franklin No.2	GE	14.9			0	216			412		
abutment	Northridge	01.17.1994	6.7	10	Los Angeles	ZE	39.6	0		0	421	314	314	545	421	382
	Northridge	01.17.1994	6.7	53	Cogswell	FR	85	0	175	2.06	108	147	69	314	294	176
	Northridge	01.17.1994	6.7	68	Brea	E	26.5			0	98	78	78	225	137	88
	Northridge	01.17.1994	6.7	68	Orange County	E	31.4			0	108	108	49	196	186	88
	Northridge	01.17.1994	6.7	69	Puddingstone	E	43.3			0	59	49	20	206	118	69
	Northridge	01.17.1994	6.7	72	Carbon Canyon						137	137	59	186	108	78
	Northridge	01.17.1994	6.7	92	San Joaquin						118	137	69	39	39	20
	Loma Prieta	10.17.1989	7.1	1.7	Lexington	E	62.4	0	244	3.91	441	402	147	441	333	196
	Loma Prieta	10.17.1989	7.1	21	Leroy Anderson	ZR	71.6	0	422	5.89	69	78	49	421	314	157
	San Fernando	02.09.1971	6.6		Lower San	E			10.7		476			538		98
	San Fernando	02.09.1971	6.6		Fairmont	HE	37		1300	35.1	64.7	97.1	32.9			
toe	San Fernando	02.09.1971	6.6		Puddingstone	HE	45		300	6.67	69.7	53.6	37.8			
	Whittier Narrows	..1987	6		Cogswell	FR	85	0	175	2.06	59	59	59	147	137	137
	Sierra Madre	..1991	5.6		Cogswell	FR	85	0	175	2.06	255	294	225	412	480	470
toe	Northridge	01.17.1994	6.7	34	Santa Felicia	ZE	64.9			4.6	265	206	127	294	265	127
	Northridge	01.17.1994	6.7	39	Castaic	ZE	104		1470	14.2	206	225	196	235	343	235
	Northridge	01.17.1994	6.7	49	Whittier Narrows	E	17		5170	304	147	216	78	206	186	69
	Northridge	01.17.1994	6.7	51	Pyramid	ZR	118		327	2.78	29	29	39	186	167	108
	Northridge	01.17.1994	6.7	68	Brea	E	26.5			0	118	186	49	225	137	88
	Northridge	01.17.1994	6.7	69	Puddingstone	HE	45		300	6.67	49	39		206	118	69
	Northridge	01.17.1994	6.7	90	Prado						176	196	59	98	88	67

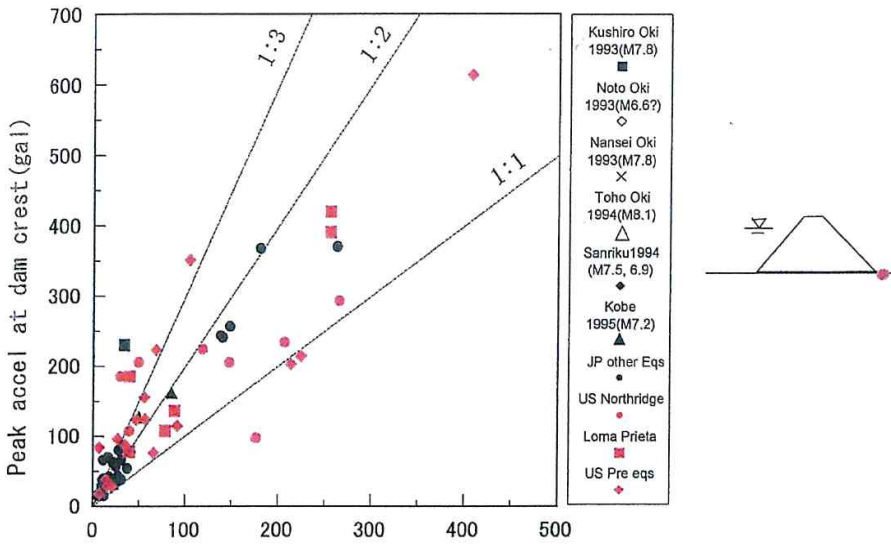
	EQ name	date	M	D(km)	Dam	Type	H(m)	Alluvium thickness	L(m)	L/H	Peak Acceleration (gal)	
											trans-verse	base
	Northridge	01.17.1994	6.7	141	Perris	ZE	39.6		3480	87.9	39	
	Loma Prieta	10.17.1989	7.1	27	San Justo	ZR	41.1			8.3	255	
	Loma Prieta	10.17.1989	7.1	21	Leroy Anderson	ZR	71.6	0	422	5.89	255	
	Loma Prieta	10.17.1989	7.1	55	San Luis		95.3		5580	58.6	39	
	Loma Prieta	10.17.1989	7.1	60	O'Neill	HE	21.3		4305	202	78	
	Loma Prieta	10.17.1989	7.1		Martinez		16.4		264	0	88	
	Loma Prieta	10.17.1989	7.1		Del Valle		67.6			3.91	39	
	San Fernando	02.09.1971	6.6		Santa Felicia	ZE	64.9			4.6	213	
	San Fernando	02.09.1971	6.6		San Antonio	ZE	49	65	1168	238		
		07.03.1973			El Infiernillo	R	148	0	340	2.3		
		08.01.1975	5.7	12	Oroville	ZE	235	0	1653	7.03	90.9	
	Morgan Hill	..1984	6.2		Leroy Anderson	ZR	71.6	0	422	5.89	407	
					Santa Felicia	ZE	64.9			4.6	224	
					El Infiernillo	R	148	0	340	2.3	104	
											68	
											55.5	
											55.9	
											46.9	
											26.2	
											6.2	
											34.5	
											65.6	
											14.5	
											15.2	
											6.9	



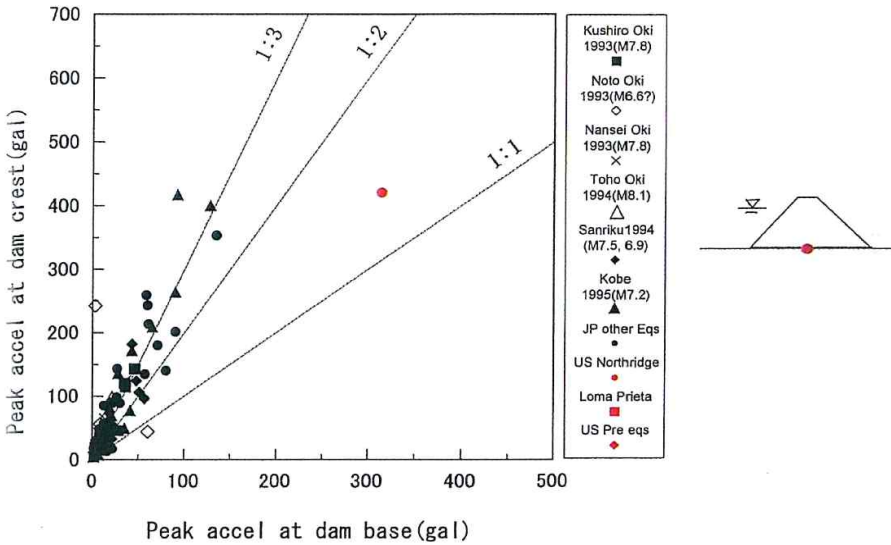
<그림 3-14> 필댐 기초 및 정상부 최대가속도에 의한
제체응답특성(댐축 직교성분, 기반: 댐 중앙)



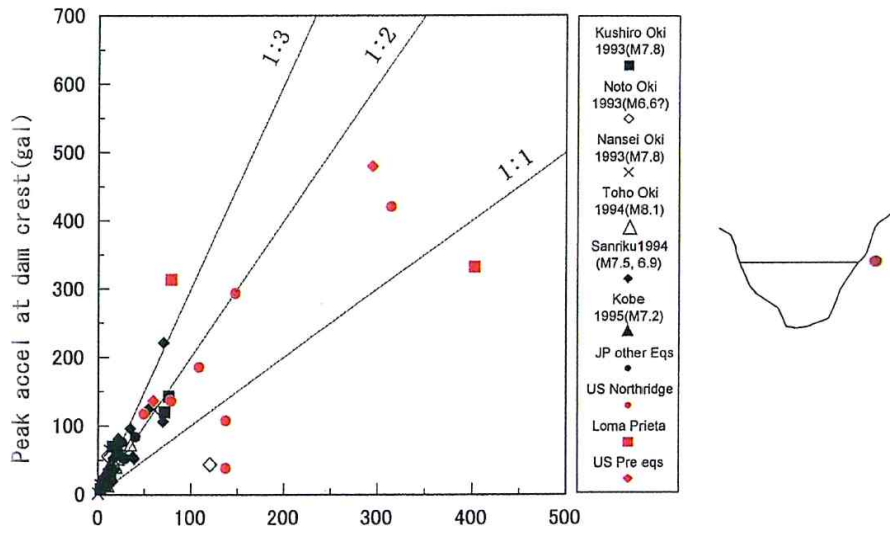
<그림 3-15> 필댐 기초 및 정상부 최대가속도에 의한
제체응답특성(댐축 직교성분, 기반: 댐 양안)



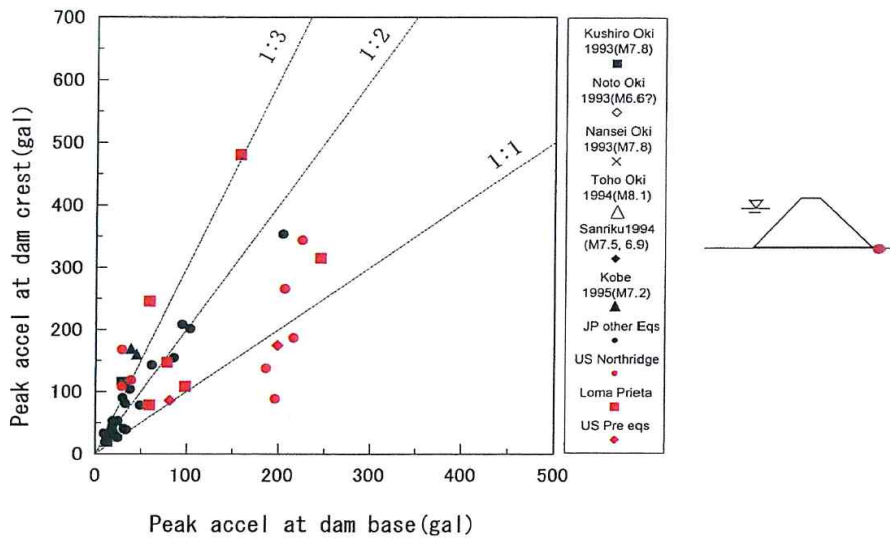
<그림 3-16> 필댐 기초 및 정상부 최대가속도에 의한
제체응답특성(댐축 직교성분, 기반: 하류지반)



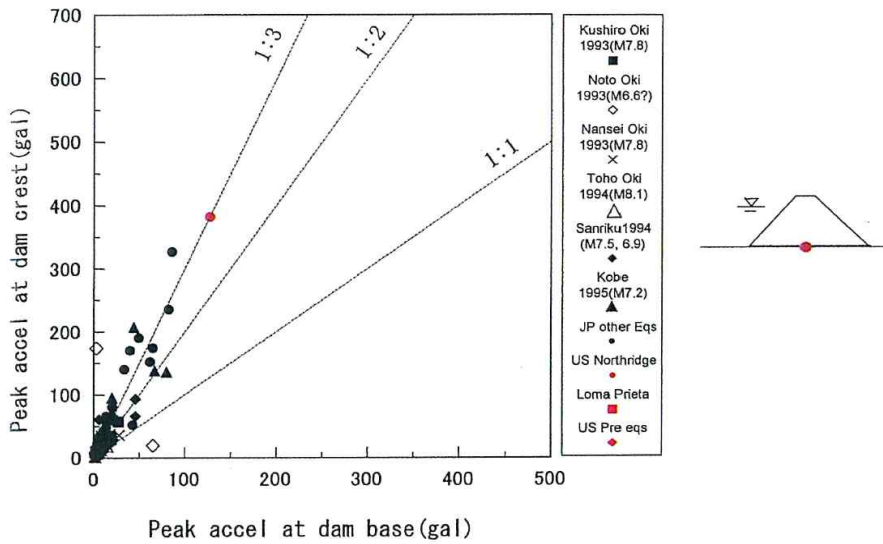
<그림 3-17> 필댐 기초 및 정상부 최대가속도에 의한
제체응답특성(댐축방향 성분, 기반: 댐 중앙)



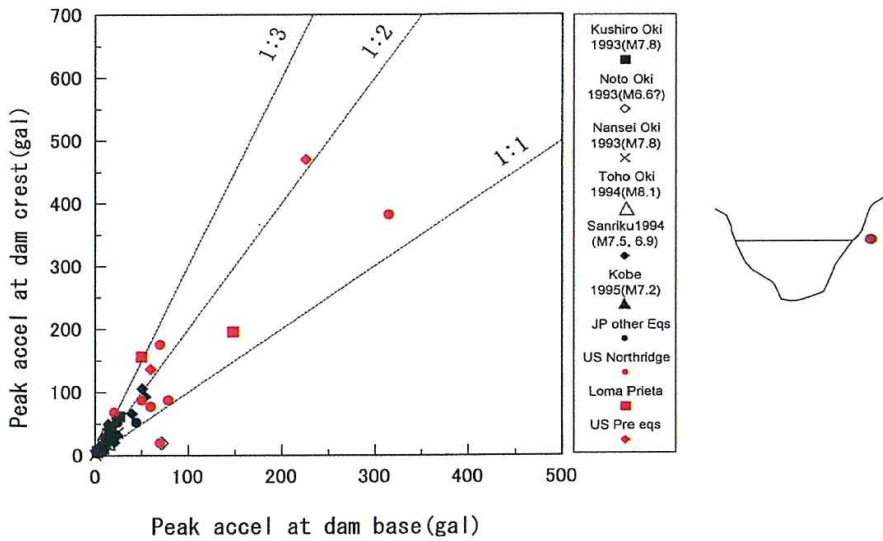
<그림 3-18> 필댐 기초 및 정상부 최대가속도에 의한
제체응답특성(댐축방향 성분, 기반: 댐 양안)



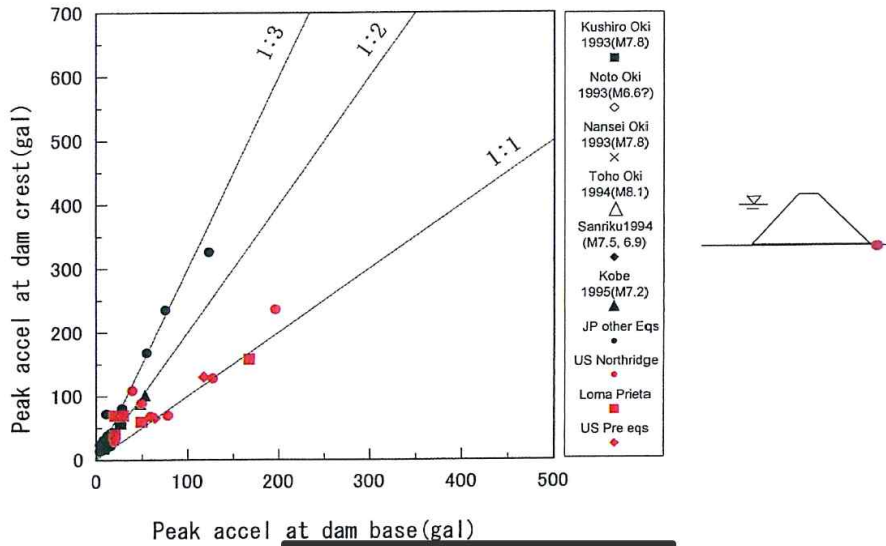
<그림 3-19> 필댐 기초 및 정상부 최대가속도에 의한
제체응답특성(댐축방향 성분, 기반: 하류지반)



<그림 3-20> 필댐 기초 및 정상부 최대가속도에 의한
제체응답특성(상하방향 성분, 기반: 댐 중앙)



<그림 3-21> 필댐 기초 및 정상부 최대가속도에 의한
제체응답특성(상하방향 성분, 기반: 댐 양안)



<그림 3-22> 댐 기초 및 정상부 최대가속도에 의한
제체응답특성(상하방향 성분, 기반: 하류지반)

3.3.2. 댐의 내진성능 향상 공법

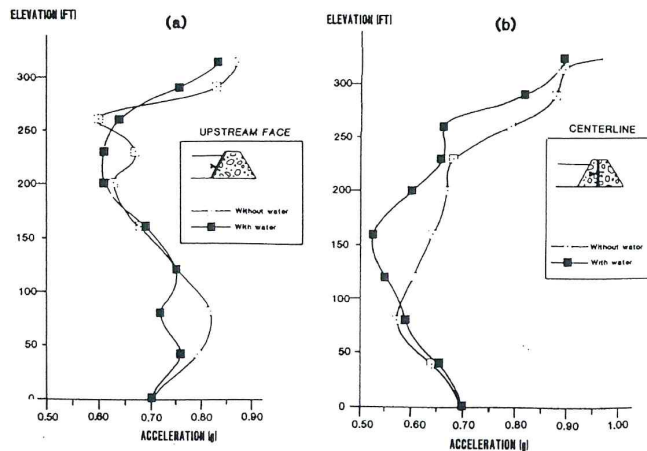
저수지 보강공법으로는 주로 차수보강공법이 주류를 이루고 있는 실정으로 주입공법과 심층혼합처리공법이 있다. 일반적으로 사용되고 있는 주입공법은 약액주입공법(chemical grouting) 및 고압분사주입공법(jet grouting)으로 대별할 수 있으며, 연약지반의 개량 및 구조물기초 지반보강 등에 적용되고 있다. 약액주입공법은 약액을 지반중에 주입 혹은 혼합하여 지반을 고결 또는 경화시킴으로써 지반강도 증대효과나 차수효과를 높일 수 있으며, 터널 굴진 시의 붕괴방지 및 흙막이공의 히빙방지, 흙막이벽의 토압감소, 도심지 근접시공에 있어서 인접건물의 언더피닝(under-pinning), 기초의 지지력 보강, 댐기초의 지수 등의 목적으로 활용되고 있다. 고압분사주입공법은 초고압분류수의 운동에너지를 지반을 세굴 파괴시켜 지중에 인위적인 공동을 형성시킨 후 경화재를 충전시키는 공법으로 연약지반의 지지력 보강, 히빙의 방지, 사면붕괴의 방지, 가설 구조물의 보호 및 언더피닝 등 다양한 목적으로 적용이 가능하다.

심층 혼합 처리 공법은 연약 지반 위에 흙 구조물이나 건축 구조물 등을 구축할 때 상부 구조물의 안정성 확보, 침하의 저감 등을 목적으로 심층에 다른 연약토를 석회나 시멘트 등의 개량재를 써서 혼합 처리하는 공법이다. 즉, 버

티컬 드레인(VERTICAL drain)공법이나 콤팩션 파일(Compaction Pile)공법이 물리적인 개량 원리에 근거한 공법인 것에 비해 심층 혼합 처리 공법은 화학적인 개량 원리에 근거한 공법이라고 할 수 있다. 심층 혼합 처리 공법은 고압 제트(jet)에 의해 분사 교반하는 방식과 교반 날개에 의해 기계적으로 강제 혼합하는 방식으로 크게 나눌 수 있다. 분사 교반 방식은 주변지반에 영향이 꽤 큰 편이고 니수 처리가 필요한 경우도 있다. 그리고 기계교반 방식은 주변 지반의 영향은 비교적 작으며 저공해 공법이다. 심층 혼합 처리 공법의 개량 원리는 개량재와 토중수 혹은 점토 입자와의 화학 반응, 또는 개량재 자체의 경화 반응을 이용해 연약토의 함수비 저하나 혼합을 꾀한다. 그 때문에 석회나 시멘트 등 사용하는 개량재에 따라 그 개량 원리(고결 원리)가 다르다. 대체로 석회계 개량재의 경우에는 생석회의 수화에 의한 발열·팽창 작용, 이온 교환 반응 등의 단기적 반응과 포졸란 반응에 대표되는 장기적 반응으로 나눌 수 있다. 한편, 시멘트계 개량재의 경우는 시멘트 수화 반응에 의한 응결·경화가 주체가 된다.

그러나, 주입공법과 심층혼합처리공법은 저수지 누수를 막기 위한 차수공법으로 내진 안정성을 향상 시키기 위한 내진보강공법으로 적용하기에는 미흡한 측면이 있다.

Gilles et al(1985)은 Rama 댐의 증폭 특성 연구에서 수압이 체체의 지진과 증폭 특성에 미치는 영향을 상류사면 및 체체 중앙부에서의 댐 높이에 따른 증폭특성을 <그림 3-23>과 같이 제시하였다.

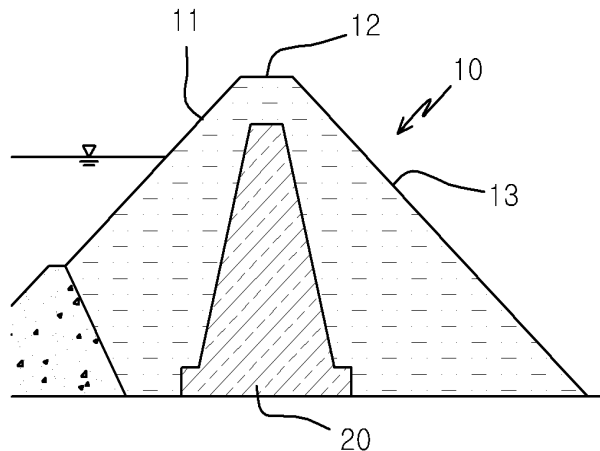


<그림 3-23> 필댐 가속도 응답의 동수압 영향

<그림 3-14>~<그림 3-22>에서 살펴본 바와 같이 필댐에서는 제체 기반에서의 지진파에 비해 정상부에서의 지진파의 기록이 1.5~3배정도 큰 값을 갖는 것으로 볼 때 지진 발생 시 제체에서의 취약부는 정상부가 될 가능성이 높다. 따라서 현재 운용 중인 저수지의 내진성능 향상을 위해서는 정상부 보강에 초점을 맞춰 경제적이고 효율적인 방법으로 내진성능을 향상시킬 필요가 있다.

최근 국내에서 제안된 저수지 보강공법으로 내진 안정성 보강과 관련하여 활용할 수 있는 기술로는 식생 CSG(Cemented Sand and Gravel)를 이용한 댐 제방의 보강 시공 방법이 있다. 이 기술은 흙으로 이루어진 댐의 제방 상부 표면에 CSG재료와 물을 혼합한 CSG혼합물을 포설한 다음 다짐하여 CSG층을 형성하고, 이에 씨앗과 배양토를 물과 혼합한 배양토혼합물을 분사한 배양토층을 형성함으로써 배양토층 씨앗이 발아된 식물의 뿌리가 CSG층에 활착되어 녹화가 이루어지도록 하는 등 시멘트의 사용량을 최소화하면서 댐 제방의 보강기능과 녹화기능을 제공하는 친환경적인 보강시공방법이다.

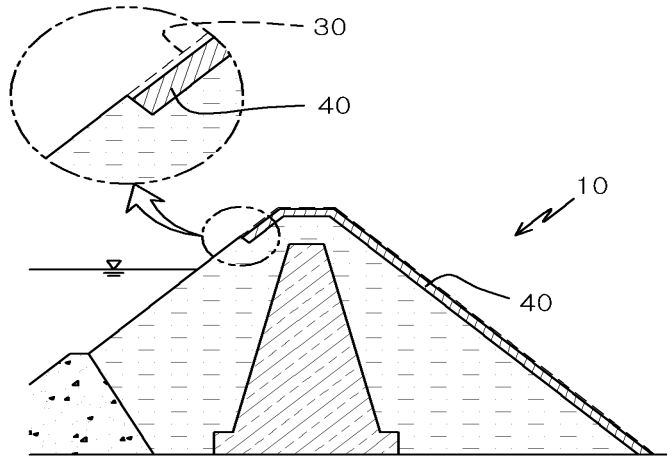
댐의 제방(10)은 중심에 코어(20)가 형성되고 흙으로 상기 코어를 덮는 구조를 갖는다. 상기 제방의 양측면으로는 경사면을 형성하여 저수의 하중에 의해 제방이 붕괴되는 것을 방지하도록 한다.



<그림 3-24> 식생 CSG를 이용한 댐 제방의 보강 시공 방법 개념도 1

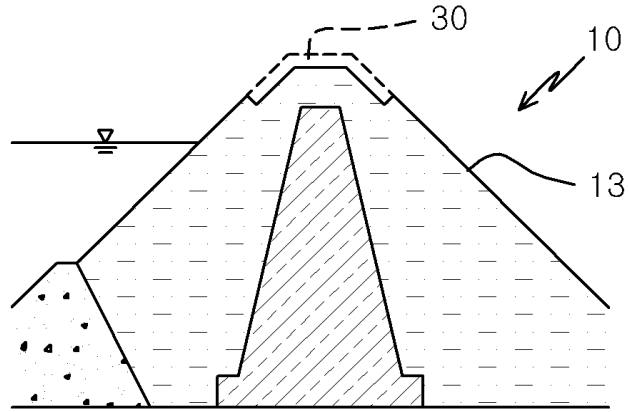
이 기술에 대해 보충하자면, 저수지 제방은 상부 즉, 제방 내측 만수위의 상부면(11)과, 제방 상단면(12)과, 외측 경사면(13)을 형성하는 흙을 일정깊이로 제거하는 개토단계가 이루어진다. 상기 개토된 영역(30)에는 CSG혼합물을 포설하는데 상기 포설되는 CSG혼합물은 개토단계 이전에 제조되거나, 개토단계 이후에 이루어져 개토된 흙을 포함하여 제조할 수 있다.

상기 CSG혼합물의 포설은 개토된 깊이 이상으로 이루어지며, 상기 다짐에 의해 포설된 CSG혼합물의 재료간 간격을 조밀하게 하여 CSG층(40)을 형성한다. 상기 CSG층은 다짐에 의해 두께가 줄어들어 개토된 영역(30)에 내포된다. 상기 CSG층(40)의 상부로 씨앗이 포함된 배양토혼합물을 분사하여 적층되도록 한다.



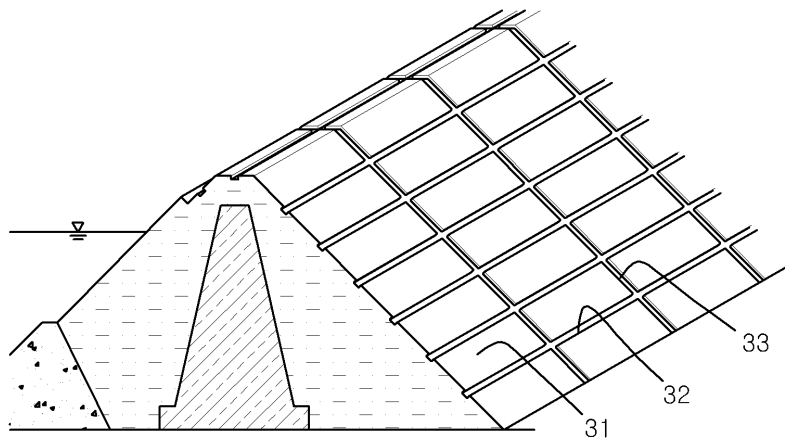
<그림 3-25> 식생 CSG를 이용한 댐 제방의 보강
시공 방법 개념도 2

상기 적층된 배양토혼합물은 어느 정도의 수분이 제거되면서 배양토층(50)이 형성된다. 이러한 구조로 시공된 제방은 배양토층에서 씨앗이 발아되어 성장하고, 일정수준 이상으로 성장된 식물은 CSG층으로 뿌리가 활착되어 식생이 이루어짐으로 월류하는 저수의 침투를 방지하면서 식생이 가능하다.



<그림 3-26> 식생 CSG를 이용한 댐 제방의 보강
시공 방법 개념도 3

또한, CSG층은 강도가 높기 때문에 생육되는 식물의 뿌리는 CSG층을 관통하는 방향으로 성장하지 않고 CSG층의 상측면 일정두께의 범위 내에서 측면으로 성장하게 된다. 이러한 식물뿌리는 CSG층을 관통하지는 못하지만 잔뿌리가 CSG층의 상층부에 활개되어 성장하여 상층부를 파지하고 있으므로 고착성이 향상된다.



<그림 3-27> 식생 CSG를 이용한 댐 제방의 보강 시공 방법
개념도 4

제4장 농업생산기반정비사업 계획설계기준 내진설계 기준 개정(안)

4.1. 저수지(필댐)의 내진설계기준 개정(안)

4.1.1. 저수지(필댐) 내진설계기준 주요 개정 내용

1) 현재 설계기준(필댐편)

“농업생산기반정비사업계획설계기준(필댐편)(2002, 농림부)”에 별도의 장도 아닌 절의 일부분으로서 내진설계 기준과 관련된 내용을 단 8페이지 분량(총 719페이지 중)으로만 기술하고 있다.

1982년에 1차 개정된 이후 20년 만인 2002년에 개정되고, 이 때에 필댐의 내진에 관한 내용이 포함되었고, 이후 개정은 이루어지지 않은 상태이다.

2) 현재 기준의 문제점 및 개정의 필요성

내진설계 기준에 대한 기준서에서의 체계도 불분명하고, 기술내용도 충분하지 못하기 때문에 체계적인 보완이 필요하며, 여기에 별도의 절로 기술되어 있는 “액상화의 검토” 내용을 포함하여 기술할 필요가 있다.

3) 주요 개정(안) 내용

현재	개정																							
<p>○ 기준 보완 : 당초 대상시설 기술 내용 높이 15m 이상인 총저수용량 50만톤 이상의 저수지 제체와 부속시설</p>	<p>○ 내진설계 대상시설 적용범위 : 이 기준은 필댐 및 부속시설의 내진성능을 확보하기 위하여 필요한 기준을 규정하는 것으로서 신설되는 총저수용량 30만톤 이상인 저수지와 부속시설의 내진설계에 적용한다. : 대상시설 적용 법적 근거 <표 4-1> 저수지(필댐)의 내진설계 대상</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">시설물</th> <th colspan="3">자연재해대책법</th> <th>지진재해 대책법</th> <th>지진화산재해 대책법</th> </tr> <tr> <th>'96.06</th> <th>'02.05</th> <th>'05.08-'07.11</th> <th>'09.03</th> <th>'16.01</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>농업생산 기반시설</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>저수지</td> <td colspan="2">저수용량 2천만톤 이상의 저수지</td> <td colspan="3">총저수용량 50만톤 이상이고 제방높이가 15m 이상인 저수지와 총저수용량 2,000만톤 이상인 저수지</td> </tr> </tbody> </table> <p>: 내진설계 대상시설 적용범위 조정 추진 중 : 농림축산부 (당초) 총저수용량 50만톤 이상이고 제방높이가 15m 이상인 저수지와 총저수용량 2,000만톤 이상인 저수지 (현재 변경추진 중) 총저수용량 30만톤 이상인 저수지 (변경) 총저수용량 30만톤 이상인 저수지와 부속시설</p>	시설물	자연재해대책법			지진재해 대책법	지진화산재해 대책법	'96.06	'02.05	'05.08-'07.11	'09.03	'16.01	농업생산 기반시설	○	○	○	○	○	저수지	저수용량 2천만톤 이상의 저수지		총저수용량 50만톤 이상이고 제방높이가 15m 이상인 저수지와 총저수용량 2,000만톤 이상인 저수지		
시설물	자연재해대책법			지진재해 대책법	지진화산재해 대책법																			
	'96.06	'02.05	'05.08-'07.11	'09.03	'16.01																			
농업생산 기반시설	○	○	○	○	○																			
저수지	저수용량 2천만톤 이상의 저수지		총저수용량 50만톤 이상이고 제방높이가 15m 이상인 저수지와 총저수용량 2,000만톤 이상인 저수지																					

○ 기준 수정

지진구역	행정구역		구역계수, Z
I	시	서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구광역시, 울산역시, 광주광역시	0.11
	도	경기도, 강원도 남부, 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 북동부	
II	도	강원도 북부, 전라남도 남서부, 제주도	0.07

○ 기준 부재

○ 지진구역

: 2013년 12월 소방방재청 고시 사항 반영

<표 4-2> 지진구역 및 지진구역계수(Z)

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 남부1)	
II	도	강원 북부2), 제주	0.07g
1)강원 남부 : 영월, 정선, 삼척, 강릉, 동해, 원주, 태백 2)강원 북부 : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천, 속초			

- 세종시 추가
- 전라남도는 모두 지진구역 I로 지정됨

○ 설계지반운동 및 수준

: 2017년 7월에 공표된 국민안전처의 “내진설계기준 공통적용사항”의 내용을 반영하여, 설계지진의 수준, 즉 설계진도를 결정하기 위해 저수지가 위치할 기초지반을 분류하는 지반분류체계를 기술하였고, 지반분류에 따른 표준설계응답스펙트럼과 전이주기를 제시하였고, 표준설계응답스펙트럼 곡선을 완성하기 위한 증폭계수를 제시하였다. 설계진도가 결정되고, 설계응답스펙트럼이 결정되면 이러한 설계응답스펙트럼과 적합도를 가지도록 인공합성지진파를 생성하며, 이러한 지진파를 동적해석을 위한 입력지진가속도 시간이력으로 이용하는 절차를 제시함

○ 기준 부재

: 기준안전율이 제시되어 있지 않음.

○ 진도법 적용시 활동 안전율 기준

: 지진 시 활동에 대한 최소 안전율을 댐설계기준(국토해양부, 2011)에 준하여 명기하였다.

<표 4-3> 댐의 안전율

구분	제체조건	저수위	지진	안전율		비고
				상류	하류	
1	완성직후 (간극수압최대)	바닥상태	있음	1.3	1.3	1) 상류측 비탈면의 하부준이 암석 등으로 되어 있어 간극압이 발생하지 않을 경우에 한함. 2) 수위는 보통 댐 높이의 45~50%를 적용하여 계산함
2	완성직후	일부저수 ¹⁾	없음	1.3	-	
3	평상시	설계홍수위	없음	1.2	1.2	
4	평상시	만수	있음	1.2	1.2	
5	평상시	일부저수 ²⁾	있음	1.15	-	
6	평상시	급강하	있음	1.2	-	

○ 기준 보완

○ 지진해석 방법과 절차

: 댐설계기준(국토해양부, 2011)의 내용을 차용하거나 수정하여 방법과 절차를 보완 기술함.

필댐 부속시설에 대한 동적해석법도 추가로 아래와 같이 언급 명시함.

4) 동역학적 검토

(1) 동역학적 설계법의 적용

① 최근에 건설되는 필댐은 해당 공학의 발전과 시공장비의 발달 등에 따라 점차 대형화 되고 있는 추세이다.

② 경험적인 방법인 진도법은 보수적인 관점에서 설계방법으로

	<p>채택되어 왔으나 적정 지진 규모와 기술적 조건이 충분히 고려되지 못했기 때문에 보다 과학적이고 이론적인 동적 해석기법의 적용이 필요하다.</p> <p>③ 특수한 구조의 댐을 신규로 내진 설계하거나, 기존 댐에 대한 내진성능을 평가하여 내진보강 설계를 하고자 하는 경우에는 진도법보다는 동적해석법을 적용하는 것이 타당하다.</p> <p>(2) 지진해석 방법과 절차</p> <p>① 설계지반운동과 지진하중으로 적용되는 시간이력하중은 본 기준 2.4 7)과 8)에 따라 생성하고, 상시만수위를 검토 수위로 하며 필요시 기타 낮은 수위 조건에서도 검토한다.</p> <p>② 제체나 기초지반에 액상화 발생 가능성이 없고, 과잉간극수압의 발생으로 인한 과도한 강도감소가 없는 경우에는 Newmark 방식에 의한 댐 사면의 소성활동량을 계산하여 내진 안전성을 검토한다. 계산된 소성활동량이 0.3m 이내이면 댐 안전에 문제가 되지 않으며, 소성활동량 0.6m는 상당한 손상을 동반하는 허용 가능한 소성변형량이다.</p> <p>③ 제체나 기초지반에 액상화 발생 가능성이 있고, Newmark 방식에 의한 댐 사면의 소성활동량이 0.6m 초과하는 경우에는 흙의 소성적 성질과 동적간극수압을 고려한 유한차분법이나 유한요소법을 사용한 동적 유효응력해석법을 설계에 적용한다.</p> <p>④ 부속시설의 동적해석법은 KDS 54 17 00 댐 내진 설계의 콘크리트 중력댐의 경우를 준용한다.</p>
--	--

○ 기준 보완

:

○ 액상화 검토

: 최신 내용으로 업데이트했고, 별도의 절로 되어 있던 내용을 필드 내진설계개정안에 함께 수록 기술함.

: 기준근거 KDS 11 50 25 기초내진 설계기준 또는 “구조물기초설계기준”

: 주요내용

5) 액상화 검토

(1) 액상화 검토 방법

(2) 절차와 방법

4.1.2. 저수지(필댐) 내진설계기준 개정(안)

1) 일반사항

(1) 적용범위

이 기준은 필댐 및 부속시설의 내진성능을 확보하기 위하여 필요한 기준을 규정하는 것으로서 신설되는 총저수용량 30만톤 이상인 저수지와 부속시설의 내진설계에 적용한다.

(2) 용어정의

- ① "감쇠"란 점성, 소성 또는 마찰에 의해 댐에 입력된 에너지가 소산되는 현상을 말한다.
- ② "기반암"란 전단파속도가 760m/s 이상인 지층을 말한다.
- ③ "내진성능수준"이란 설계지진에 대해 시설물에 요구되는 최소 성능수준을 말한다.
- ④ "설계지반운동"이란 내진설계를 위해 정의된 지반운동으로서 댐이 건설되기 전에 부지 정지작업이 완료된 지면에서의 지반운동을 말한다.
- ⑤ "액상화"란 포화된 사질토 등에서 지진동, 발파하중 등과 같은 충격하중에 의하여, 지반 내에 과잉간극수압이 발생하여, 지반의 전단강도가 상실되어 액체처럼 거동하는 현상을 말한다.
- ⑥ "위험도 계수"란 평균재현주기가 500년인 지진을 기준으로 하여, 평균재현주기가 다른 지진의 최대지반가속도를 상대적 비율로 나타낸 계수를 말한다.
- ⑦ "유효지반가속도"란 지진하중을 산정하기 위하여 국가지진위험지도나 행정구역을 기준으로 제시된 지반운동 수준을 말한다.
- ⑧ "응답스펙트럼"이란 지반운동에 대한 단자유도 시스템의 최대응답을 고유주기 또는 고유진동수의 함수로 표현한 스펙트럼을 말한다.
- ⑨ "응답(시간)이력해석"이란 지진의 지속시간 동안 각 시간단계에서의 구조물의 동적응답을 구하는 방법을 말한다.
- ⑩ "재현주기"란 지진과 같은 자연재해가 특정한 크기 이상으로 발생할 주기를 확률적으로 계산한 값으로, 일 년 동안에 특정한 크기 이상의 자연재해가 발생할 확률의 역수를 말한다.

- ⑪ "지반증폭계수"란 기반암의 스펙트럼 가속도(속도)에 대한 지표면의 스펙트럼 가속도(속도)의 증폭비율을 말한다.
- ⑫ "지진구역계수"란 지진구역 I과 II의 암반지반(s_1) 상에서 평균재현주기 500년 지진의 지반운동 가속도를 중력가속도 단위로 표현한 값을 말한다.
- ⑬ "지진위험지도"란 내진설계 등에 활용하기 위하여 정밀한 지진위험도(또는 지진재해도) 분석결과를 표시한 지도를 말한다.
- ⑭ "지진재해도"란 내진설계의 기초가 되는 지진구역을 설정하기 위하여 과거의 지진기록과 지질 및 지반특성 등을 종합적으로 분석하여 산정한 지진재해의 발생확률을 말한다.
- ⑮ "표준설계응답스펙트럼"이란 s_1 지반에서 평균재현주기 500년인 설계 지진에 대한 5% 감쇠비 단자유도 시스템의 설계응답스펙트럼을 말한다.

2) 지반운동 관련 기준

(1) 지진구역 및 지진위험도

- 지진구역은 <표 4-4>와 같이 지진구역 I 및 지진구역 II의 두 개의 지진구역으로 구분한다. 평균재현주기가 500년인 지진의 암반지반(S_1 지반)에서의 각 지진구역에서의 지진구역계수(Z)는 다음과 같다.

<표 4-4> 지진구역 및 지진구역계수(Z)

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 남부1)	

- 평균재현주기가 500년인 지진을 기준으로 하여, 평균재현주기가 다른 지진의 최대지반가속도를 상대적 비율로 나타내는 계수인 위험도계수(I)는 <표 4-5>와 같다.

<표 4-5> 위험도계수(I)

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

(2) 지반의 분류

- ① 지반분류는 기반암의 깊이(H)와 기반암 상부 토층의 평균 전단파속도 ($V_{s,soil}$)에 근거하여 <표 4-6>과 같이 $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ 의 6종류로 분류한다.

<표 4-6> 지반의 분류

지반 종류	지반종류의 호칭	분류기준	
		기반암 깊이, H (m)	토층 평균 전단파속도, $V_{s,soil}$ (m/s)
S1	암반 지반	1 미만	-
S2	얕고 단단한 지반	1~20 이하	260 이상
S3	얕고 연약한 지반		260 미만
S4	깊고 단단한 지반	20 초과	180 이상

- ② 기반암이란 전단파속도 760m/s 이상을 나타내는 지층을 말하며 기반암 깊이와 무관하게 토층 평균 전단파속도가 120m/s 이하인 지반은 지반으로 분류한다.

③ S_6 지반은 다음과 같은 조건의 지반이다.

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

④ 토층의 평균 전단파속도($V_{s,soil}$)는 탄성파시험 결과가 있을 경우 이를 우선적으로 적용한다.

⑤ 토층 평균 전단파속도($V_{s,soil}$)는 다음 식에 따라 결정한다.

$$V_{S,Soil} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}}} \quad \text{식 (4.1)}$$

여기서 : d_i = 기반암 깊이까지의 i 번째 토층의 두께, m

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

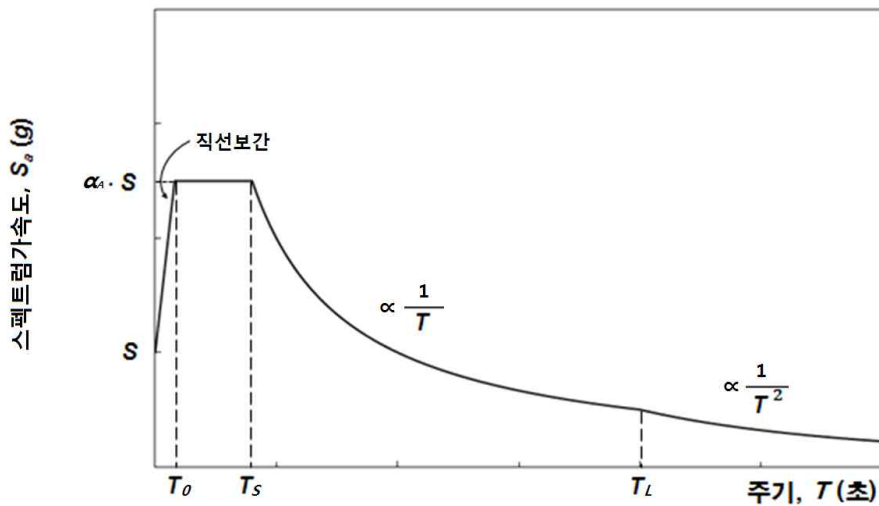
⑥ 전단파속도가 획득되지 않는다면 표준관입시험 관입저항치(SPT-N치)를 전단파속도로 변환할 수 있다. 변환에는 국내 지반에 대해 제안된 상관관계식(Sun, C. G., Cho, C. S., Son, M., & Shin, J. S. (2013). Correlations between shear wave velocity and in-situ penetration test results for Korean soil deposits. Pure and Applied Geophysics, 170(3), 271-281)을 활용할 수 있다. 표준관입시험 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.

(3) 설계지반운동의 정의와 고려 사항

- ① 설계지반운동은 구조물이 건설되기 전에 부지 정지작업이 완료된 지면에서의 지반운동으로 정의한다.
- ② ‘첨부. 국가지진위험지도’의 값은 유효지반가속도(S)이다.
- ③ 설계지반운동의 특성은 흔들림의 세기, 진동수 성분 및 지속시간으로 정의한다.
- ④ 설계지반운동은 통계학적으로 독립인 수평 2축 운동과 수직운동으로 정의한다.
- ⑤ 수직운동은 수평 2축 운동과 별도로 정의한다.

(4) 설계지반운동의 특성 표현

- ① 설계지반운동의 세기 및 진동수 성분은 기본적으로 응답스펙트럼으로 표현한다.
- ② 암반지반(s_1 지반) 설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼은 다음과 같다.
- ① 5 % 감쇠비에 대한 수평 설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼은 <그림 4-1>과 같다.



- ㉠ <그림 4-1>의 가속도 표준설계응답스펙트럼의 전이주기는 <표 4-7>과 같다.

<표 4-7> 가속도 표준설계응답스펙트럼 전이주기

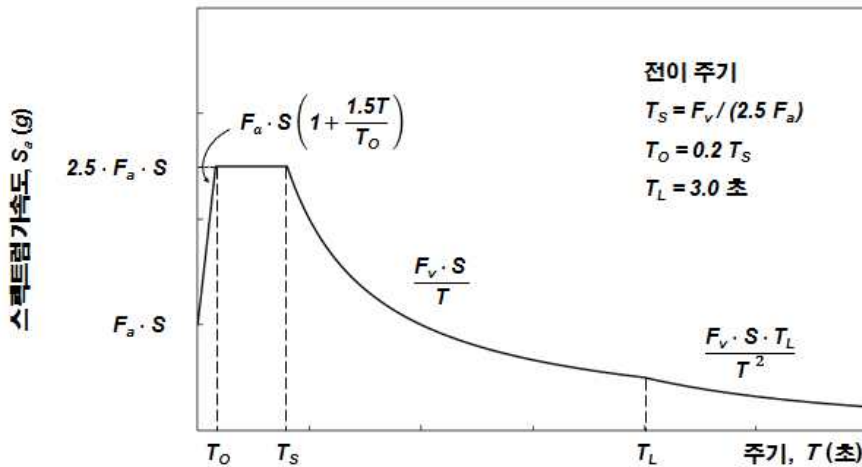
구분	α_A (단주기스펙트럼증폭계수)	전이주기(sec)		
		T_0	T_S	T_L
수평	2.8	0.06	0.3	3

- ㉡ 5% 감쇠비의 수직설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼은 수평설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼과 동일한 형상을 가지며, 최대 유효수평지반가속도에 대한 최대 수직지반가속도의 비는 0.77이다.
- ㉢ 수평 및 수직 설계지반운동의 가속도 표준응답스펙트럼의 감쇠비 (ξ , %단위)에 따른 스펙트럼 형상은 <표 4-8>에 제시한 감쇠보정계수 C_D 를 표준응답스펙트럼에 곱해서 구할 수 있다. 단, 감쇠비가 0.5%보다 작은 경우에는 적용하지 않으며 해당 구조물의 경우 응답(시간)이력해석을 권장한다.

<표 4-8> 감쇠보정계수(C_D)

주기(T , sec)	$T=0$	$0 \leq T \leq 0.06$	$0.06 \leq T$
	모든 감쇠비에 대해서 1.0	일 때, 1.0 일 때, 그 사이는 직선보간	

- ③ 토사지반($S_2 \sim S_5$ 지반) 설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼은 다음과 같다.
- ㉠ 토사지반인 S2, S3, S4, S5 지반의 5% 감쇠비에 대한 수평지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼은 <그림 4-2>로 정의한다. 지반증폭계수는 <표 4-9>와 같으며 유효수평지반가속도(S)의 값이 중간 값에 해당할 경우 직선보간하여 결정한다.
 - ㉡ 5% 감쇠비에 대한 S2~S5 지반의 수직지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼은 (1)에 있는 수평설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼과 같은 전이주기를 가지며, 최대 유효수평지반가속도에 대한 최대 유효수직지반가속도의 비는 공학적 판단에 의해 값을 결정할 수 있다.
 - ㉢ 토사지반에서 감쇠비에 따른 스펙트럼 형상은 해당 토사지반에 적합한 가속도시간이력을 이용하여 공학적으로 적절한 분석과정을 통해 결정할 수 있다.



<표 4-9> 지반증폭계수

지반 분류	단주기 증폭계수, Fa			장주기 증폭계수, Fv		
	S ≤ 0.1	S = 0.2	S = 0.3	S ≤ 0.1	S = 0.2	S = 0.3
S2	1.4	1.4	1.3	1.5	1.4	1.3
S3	1.7	1.5	1.3	1.7	1.6	1.5
S4	1.6	1.4	1.2	2.2	2.0	1.8
S5	1.8	1.3	1.3	3.0	2.7	2.4

- ④ <그림 4-1> 및 <그림 4-2>에서 유효지반가속도(s)는 지진하중을 산정하기 위한 지반운동수준으로 국가지진위험지도 또는 행정구역에 따라 결정한다. 다만, 국가지진위험지도를 이용하여 결정하는 경우, 행정구역에 따라 결정한 값의 80 % 보다 작지 않아야 한다.
- ⑤ 행정구역에 의한 방법으로 평균재현주기에 따른 유효지반 가속도(S)를 결정할 때는 지진구역계수(Z)에 각 평균재현주기의 위험도 계수(I)를 곱하여 식(4.2)와 같이 결정한다. 기초지반 분류에 따른 지반증폭계수는 <표 4-9>의 유효지반가속도 수준에 따른 단주기 증폭계수를 적용한다.

$$S = Z \times I \quad \text{식(4.2)}$$

여기서, Z : 지진구역계수

I : 위험도계수

⑥ $S_1 \sim S_6$ 지반의 경우, 표준설계응답스펙트럼 대신 부지고유의 지반응답 해석을 이용하여 결정한 스펙트럼을 사용할 수 있다.

⑦ 설계지반운동 시간이력

㉠ 지반 가속도, 속도, 변위 중 하나 이상의 이력으로 지반운동을 표현할 수 있다.

㉡ 3차원 해석이 필요할 때 지반운동은 동시에 작용하는 3개의 성분으로 구성하여야 한다.

㉢ 설계지반운동 시간이력은 암반지반에 대해 작성된 시간이력을 사용하여 지반응답해석을 통해 결정한다.

- ㉔ 부지에서 계측된 시간이력을 사용하는 것이 원칙이나, 필요시에는 대상 부지에서 예상되는 시간이력과 유사한 다른 지역에서 계측된 지반운동 시간이력 또는 다음 8)항에 기술하는 인공합성 지반운동 시간이력을 사용할 수 있다.
- ⑧ 인공합성 지반운동 시간이력
 - ㉕ 실제 기록된 지진 지반운동을 표준설계응답스펙트럼에 부합되도록 수정하거나 표준설계응답스펙트럼에 부합되도록 인공적으로 합성하여 생성하여야 한다.
 - ㉖ 지반운동의 장주기 성분이 댐의 거동에 미치는 영향이 중요하다고 판단될 경우에는 지진원의 특성과 국지적인 영향을 고려하여 시간이력을 생성하여야 한다.
 - ㉗ 인공합성 지반운동의 지속시간은 지진의 규모와 특성, 전파경로 및 부지의 국지적인 조건이 미치는 영향을 고려하여야 한다.
- ⑨ 해석 시 지반운동의 공간적 변화 특성이 응답에 큰 영향을 주는 경우에는 이를 반영하여야 한다.

3) 필댐의 내진설계

(1) 내진설계 방법

- ① 내진설계방법은 지진력을 지진계수에 의한 하중의 관성력과 동수압으로 대치하고 정역학적인 방법으로 해석하는 진도법과 지진파에 의한 댐의 응답을 구하여 동적인 파동으로 해석하는 동역학적 안정해석 방법이 있다.
- ② 정역학적 방법은 간편하고 안정적인 해석결과를 얻을 수 있는 장점이 있으나, 댐의 동적 특성을 고려하지 않고 구조물의 상호작용 관계인 설계진도와 최대 응답가속도의 관계가 명백하지 않다.
- ③ 최근 미국 등 내진 선진국에서는 동역학적 안정해석 방법이 많이 개발되어 설계에 적용하고 있다. 이 방법도 댐 설계에 적용할 때는 ㉠ 설계 지진파형의 설정, ㉡ 댐 축조재료의 동적인 응력왜곡 특성, ㉢ 해석 방법으로서의 3차원적 응답이나 지하 소산 규정, ㉣ 파괴 기준

및 파괴 현상의 모의 등의 명확한 규명이 필요한 문제점이 있어 그 적용에 신중해야 한다.

- ④ 우리나라의 경우 부족한 지진 해석자료 및 연구 결과로 동적해석법을 적용함에 있어서 여러 가지 불명확한 사항에 대한 가정이 불가피하므로, 진도법을 내진설계의 기본으로 한다. 다만, 진도법으로 설계된 댐 체 단면에 대하여 체체 액상화 검토를 비롯한 상세한 검토가 요구되는 경우에는 동역학적 해석방법에 의한 검토를 수행한다.

(2) 설계 지반운동 및 설계진도

① 설계지반운동

- ㉠ 지진해석을 위한 설계지반운동은 본 기준 2.3과 2.4를 따른다.
- ㉡ 설계지반운동은 수평 2축 방향 성분으로 정의되며 그 세기와 특성은 동일한 것으로 가정한다.
- ㉢ 지진의 수직운동의 영향을 무시할 수 없는 경우에는 이를 반영한다.
- ㉣ 댐의 내진설계를 할 때 댐 상류의 저수지 수위 및 수위의 변화상태에 따라 댐안전에 가장 불리한 방향으로 가진되는 경우를 상정하고 안정해석을 한다. 이때 해당 저수지 수위의 발생빈도가 특히 낮은 경우에는 그때의 적용 지진력을 조정할 수 있다.

② 설계진도

- ㉠ 우리나라의 지진구역을 <표 4-4>와 같이 설정한다. 평균재현주기 500년 지진지반운동에 해당하는 각 지진구역별 지진구역계수는 <표 4-4>로부터 산정한다.
- ㉡ 아래 「3) 내진등급과 설계지진 수준」에서 규정하는 설계지진의 평균재현주기로부터 2.4의 4)와 5)에 따라 유효지반가속도(S)를 결정한다. 경제적인 설계가 필요할 경우와 소성해석법이나 동적유효응력해석을 이용한 동적검토를 수행할 때, 기존 시설의 내진보강 설계를 위한 성능평가를 적용하고자 할 경우에 한해 국가지진위험 지도를 이용한 방법으로 유효지반가속도(S)를 산정할 수 있다.
- ㉢ 기초지반의 영향을 고려하기 위하여 <표 4-4>와 <표 4-9>를 이용하여 지반증폭계수를 결정한다.
- ㉣ 필댐이 균일형 흙댐인 경우 댐 형식별 활증계수 1.2를 적용한다.

㉞ 댐이 위치할 지점의 설계진도는 (2)에서 산정한 유효지반가속도 (S), 지반증폭계수, 댐 형식별 할증계수를 모두 곱한 값으로 한다.

③ 내진등급과 설계지진 수준

㉟ 댐의 내진등급은 <표 4-10>과 같이 댐의 중요도에 따라 내진 II등급 및 내진 I등급의 두 가지 등급으로 분류한다.

㊱ 댐은 <표 4-10>에서 내진 등급별로 규정된 평균재현주기를 갖는 설계지진에 대하여 설계한다.

<표 4-10> 댐의 내진 등급과 설계지진

내진등급	구 분	설계지진의 평균재현주기
내진 I등급 댐	<ul style="list-style-type: none"> · 사회, 안보, 경제적인 측면에서 특별한 댐으로 발주처가 지정하는 댐 · 총저수량 2천만톤 m³ 이상인 댐 	1,000년
내진 II등급 댐	<ul style="list-style-type: none"> · 총저수량 30만톤 이상인 댐 · 붕괴 시 하류 인명피해가 예상되는 댐 	500년

④ 지진하중

㉟ 지진 관성력은 댐 안정에 불리한 방향으로 작용하는 것으로 해석한다. 즉, 댐 본체는 상하류 방향의 수평지진력만을 고려하여 설계하며, 부속시설은 구조물의 특성에 따라 상하류 방향 또는 댐축 방향의 지진력을 선별적으로 고려하여 설계한다.

㊱ 지진 시 유체의 동압력뿐만 아니라 파랑고의 영향도 고려할 수 있다.

(3) 내진성능 수준 및 목표

① 내진성능수준

- ㉠ 댐의 내진성능수준은 ‘붕괴방지수준’으로 정의한다.
- ㉡ ‘붕괴방지수준’이란 설계지진 시 댐에 상당한 변형과 부분적 손상이 발생하는 것은 허용할 수 있으나 댐의 저수기능은 유지되어야 하며 통제 불가능한 저수량의 유출상태는 있어서는 안 되는 성능수준이다.

② 내진성능목표

- ㉠ (1) 내진성능목표는 내진등급별로 설계지반운동에 대한 내진성능수준으로 정의되며 <표 4-11> 을 따른다.

<표 4-11> 저수지(필댐)의 내진성능목표

	평균재현주기	내진성능수준	
		기능수행	붕괴방지
설계지진	50년		
	100년		
	500년		내진 II등급
	1000년		내진 I등급

(4) 내진설계

① 내진설계상의 주의점

- ㉠ 연약한 기초의 침하나 느슨한 모래 기초에 의한 액상화가 발생되지 않도록 충분한 기초 처리를 한다.
- ㉡ 콘크리트관, 철관 등의 피해는 암반위보다 토질기초위에서 더욱 크므로 물넘이 취수관 등의 중요한 구조물은 암반위에 설치되도록 설계한다.

- ㉔ 지진에 의한 진동 및 지진시의 단층이동에 의한 댐마루의 침하에 대비하여 충분한 여유고를 둔다.
- ㉕ 균열이 발생하기 어려운 재료에 의해 폭 넓은 트랜지션 존을 설치한다.
- ㉖ 제체의 중심부 부근에 직립 및 수평 드레인(drain)을 설치한다.
- ㉗ 배수층에는 충분한 단면을 주어 비록 지진시에 균열이 발생하여 제체 침투량이 증가해도 이것을 안전하게 장외로 배출시킬 수 있도록 한다.
- ㉘ 점토차수 존은 균열이 발생하기 어려운 소성이 있는 재료로 만들고 차수재 폭은 충분히 크게 한다.
- ㉙ 점토차수 존의 상류부에도 입도분포가 좋은 재료로 된 필터 존을 설치한다. 이것은 점토차수 존의 균열 스톱퍼(crack stopper)로서의 역할을 하기 때문이다.
- ㉚ 지진에 의하여 저수지에 발생한 과량이 제체를 월류해도 제체가 쉽게 침식당하지 않도록 댐마루를 보호한다.
- ㉛ 점토차수 존의 어버트먼트 암착부에 있어서 폭을 넓게 해둔다.
- ㉜ 주변 산의 사면이 지진시에 저수지내로 붕락하지 않도록 사면의 안정 대책공을 해 둔다.
- ㉝ 댐 붕괴시 하류 마을까지의 홍수도달시간이나 재해의 규모를 추정하는 동시에 피해를 최소화하기 위한 구체적 대책 등을 고려해 둔다.

② 설계 거동 한계

- ㉞ 재료의 항복과 영구변형은 허용될 수 있으나, 댐이 강도에는 영향이 없어야 하며, 제체 및 기초에 액상화가 발생하지 않아야 한다.
- ㉟ 제체의 사면활동이나 기초의 활동이 발생하지 않아야 하며, 제체에 과도한 침하가 발생하지 않아야 하고, 균열은 댐의 저수능력의 저하를 초래해서는 안 된다.
- ㊱ 지진으로 발생하는 수면파가 제체를 월류하거나 수리구조물, 부속구조물 및 양안의 붕괴나 누수에 의해 댐의 기능이 손상되어서는 안 된다.
- ㊲ 부속시설물의 구조재료는 탄성변형 한계 내에 있어야 하며, 수 시간 내에 정상작동 회복이 가능해야 한다. 이들 구조물에 대한 설계는 관련기준의 콘크리트 중력식 댐의 내진설계를 참조한다.

③ 정역학적 설계기준

설계에 적용하는 지진력은 작용 정하중에 대한 지진 관성력만 고려하고 동수압은 영향이 미미하므로 제외한다. 지진에 의한 파랑고는 필요한 경우에만 따로 고려한다.

㉠ 지진력

가) 진도법에 의한 정역학적 설계에서 필댐에 작용하는 지진력은 활동면 상의 체체 무게에 설계진도를 곱한 지진 관성력이며, 이 힘의 작용점은 활동면의 중심이며 작용 방향은 수평방향으로 하되 안정에 불리한 쪽으로 정한다.

나) 활동면에 연직으로 작용하는 동수압은 아주 작으므로 무시하며, 수직 관성력은 수평 지진관성력만을 적용하는 경우가 가장 불리하므로 적용하지 않는다.

㉡ 활동면법에 의한 지진시 사면안정 검토

가) 필댐의 내진설계에 있어 가장 중요한 부분은 사면안정 검토이다.

나) 활동면 위의 체체가 활동하도록 하는 힘은 정수압, 해당 체체의 자중, 활동면을 따라 작용하는 간극수압 및 수평 지진관성력이고, 이러한 외력에 저항하는 힘은 활동면에 연직으로 작용하는 반력과 활동면의 접선방향으로 작용하는 점착력과 마찰력이다.

다) 활동원의 중심에 대하여 외력의 모멘트에 설계 안전율을 곱한 값이 저항 모멘트를 초과하지 않으면 댐은 활동에 대하여 안전하다.

라) 사면안정 검토에 적용하는 지진관성력은 저수지의 수위 상태와 그 수위의 발생빈도 등을 고려하여 차등 적용한다.

마) 지진시 간극수압은 변화하지만 현재는 그 변화의 증감폭을 정량적으로 평가하기 어려워 설계자가 적절하게 판단한다.

바) 일반적으로 설계진도는 댐 저면에서 상부까지 같다고 가정한다.

사) 지진시 활동에 대한 최소 안전율은 <표 4-12>와 같다.

- ㉔ 부속시설에 대해서는 KDS 54 17 00 댐 내진 설계의 콘크리트 중력댐의 경우를 준용한다.

<표 4-12> 필댐의 안전율

구분	제체조건	저수위	지진	안전율		비고
				상류	하류	
1	완성직후 (간극수압최대)	바닥상태	있음	1.3	1.3	1) 상류측 비탈면의 하부준이 암석 등으로 되어 있어 간극압이 발생하지 않을 경우에 한함. 2) 수위는 보통 댐 높이의 45~50%를 적용하여 계산함
2	완성직후	일부저수1)	없음	1.3	-	
3	평상시	설계홍수위	없음	1.2	1.2	
4	평상시	만수	있음	1.2	1.2	
5	평상시	일부저수2)	있음	1.15	-	
6	평상시	급강하	있음	1.2	-	

③ 동역학적 검토

㉑ 동역학적 설계법의 적용

- 가) 최근에 건설되는 필댐은 해당 공학의 발전과 시공장비의 발달 등에 따라 점차 대형화 되고 있는 추세이다.
- 나) 경험적인 방법인 진도법은 보수적인 관점에서 설계방법으로 채택되어 왔으나 적정 지진 규모와 기술적 조건이 충분히 고려되지 못했기 때문에 보다 과학적이고 이론적인 동적 해석기법의 적용이 필요하다.
- 다) 특수한 구조의 댐을 신규로 내진 설계하거나, 기존 댐에 대한 내진성능을 평가하여 내진보강 설계를 하고자 하는 경우에는 진도법보다는 동적해석법을 적용하는 것이 타당하다.

㉒ 지진해석 방법과 절차

- 가) 설계지반운동과 지진하중으로 적용되는 시간이력하중은 본 기준 2.4 7)과 8)에 따라 생성하고, 상시만수위를 검토 수위로 하며 필요시 기타 낮은 수위 조건에서도 검토한다.
- 나) 제체나 기초지반에 액상화 발생 가능성이 없고, 과잉간극수압의

발생으로 인한 과도한 강도감소가 없는 경우에는 Newmark 방식에 의한 댐 사면의 소성활동량을 계산하여 내진 안전성을 검토한다. 계산된 소성활동량이 0.3m 이내이면 댐 안전에 문제가 되지 않으며, 소성활동량 0.6m는 상당한 손상을 동반하는 허용 가능한 소성변형량이다.

다) 제체나 기초지반에 액상화 발생 가능성이 있고, Newmark 방식에 의한 댐 사면의 소성활동량이 0.6m 초과하는 경우에는 흙의 소성적 성질과 동적간극수압을 고려한 유한차분법이나 유한요소법을 사용한 동적 유효응력해석법을 설계에 적용한다.

라) 부속시설의 동적해석법은 KDS 54 17 00 댐 내진 설계의 콘크리트 중력댐의 경우를 준용한다.

④ 액상화의 검토

필댐이 느슨한 사질지반에 축조된 경우나 지진 등의 외력에 의하여 과잉간극수압의 상승에 의하여 전단강도가 저하될 것으로 예상되는 기초지반이나 제체에 대하여는 액상화에 대한 안정성을 검토한다.

㉠ 액상화를 검토하는 방법은 반복 삼축압축시험의 결과를 이용하는 방법, 동적해석(부지응답해석)을 적용하는 방법, 간편법 등이 있는데, 댐 규모, 안전도, 재료물성의 정확성, 붕괴시 피해 등을 고려하여 적절한 방법을 선정한다.

(2) 액상화의 가능성이 있다고 판단되는 경우에는 다음의 절차와 방법에 따라 흙의 액상화 저항력과 정적, 동적응력 조건을 고려한 검토를 수행한다.

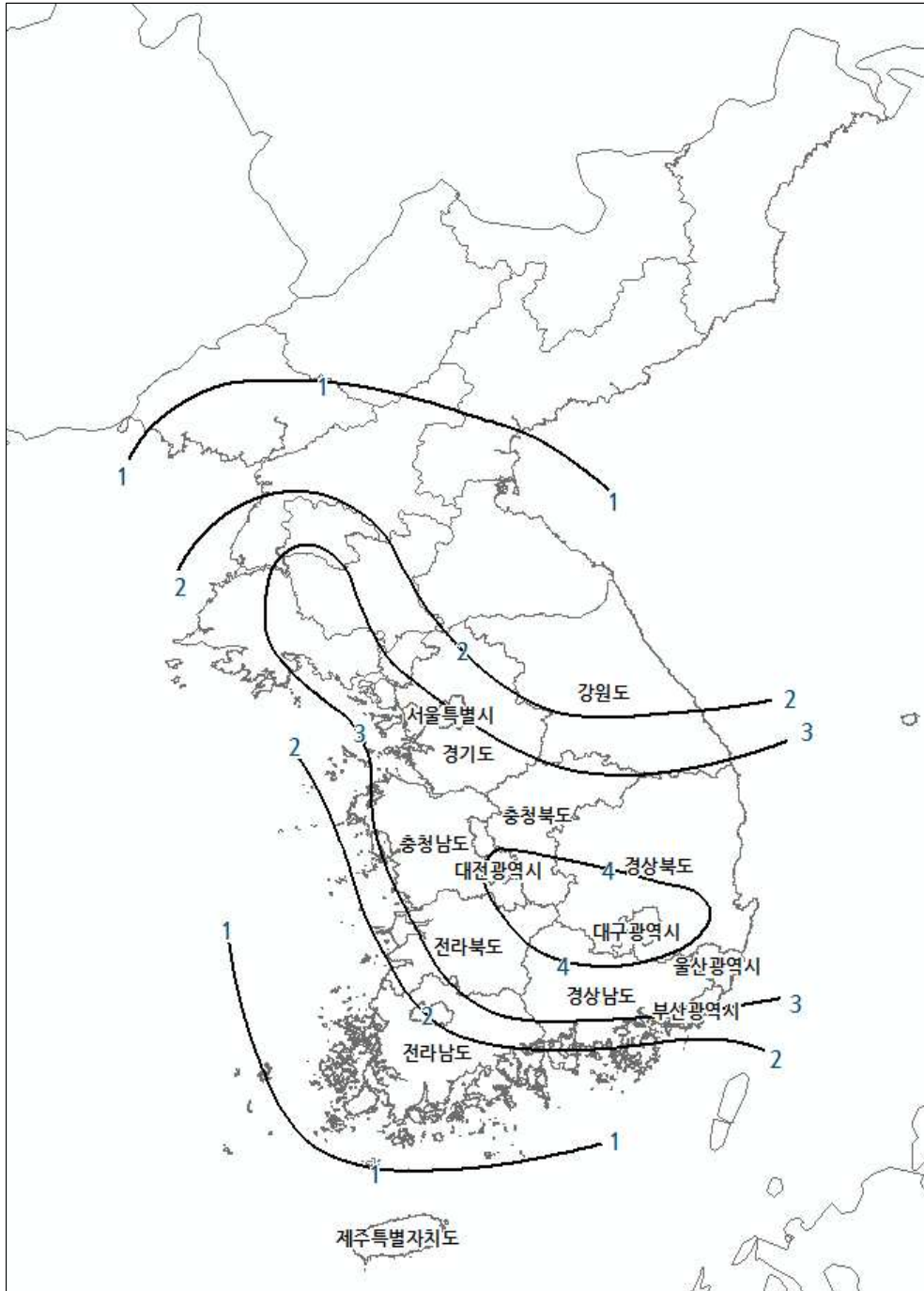
가) 제체 또는 기초지반 내의 상시 유효응력 또는 유효구속압 상태를 추정한다. 추정방법으로는 가) 댐 마루를 반무한의 지표면으로 가정하여 침윤선의 위치와 흙의 단위중량으로 구하는 방법, 나) 댐의 축조과정 및 담수 과정을 단계 모사한 수치해석을 통하여 구하는 방법이 있다.

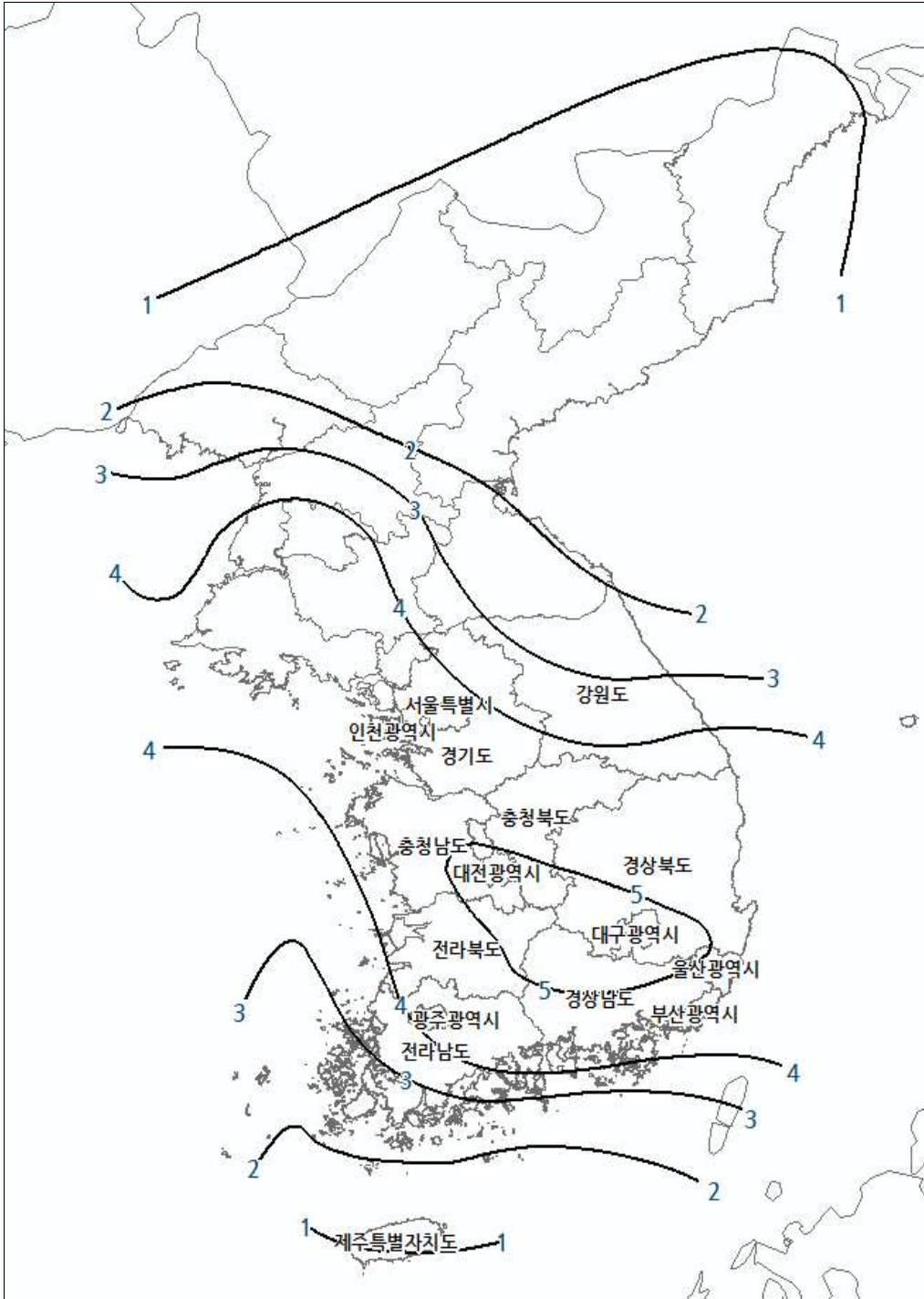
나) 제체 또는 기초지반의 지진시 작용응력을 산정한다. 이 방법에는 지진응답해석법이 적용된다. 유한요소법이나 유한차분법에 의한

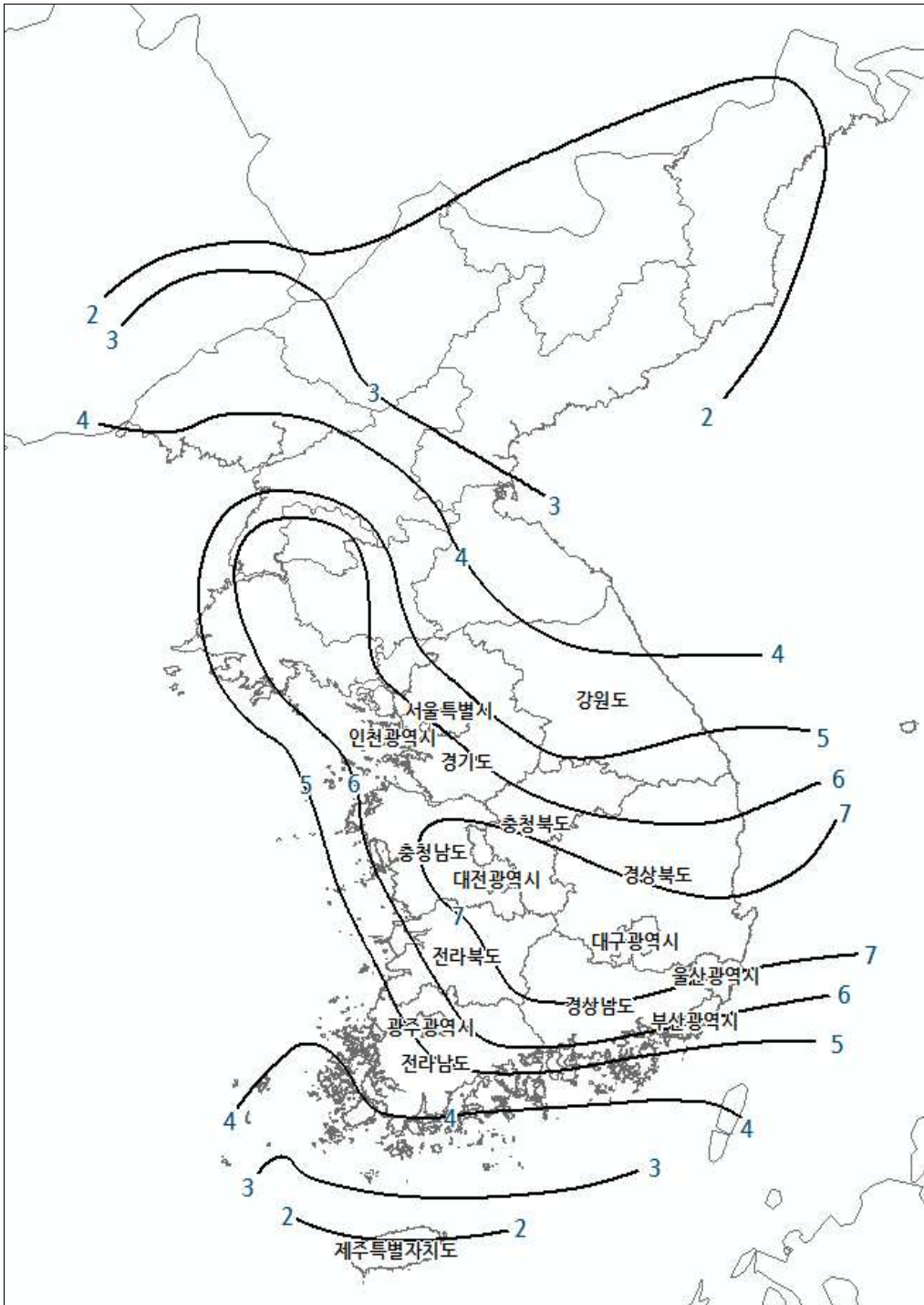
2차원 등가정적 지진응답해석을 적용하는 것이 타당하나, 기초조사나 개략적 분석을 위해 보정방법이 적용된 1차원 지진응답해석도 적용될 수 있다. 정밀한 결과 도출을 위해서는 비선형 2차원 동적해석법이 고려될 수 있다.

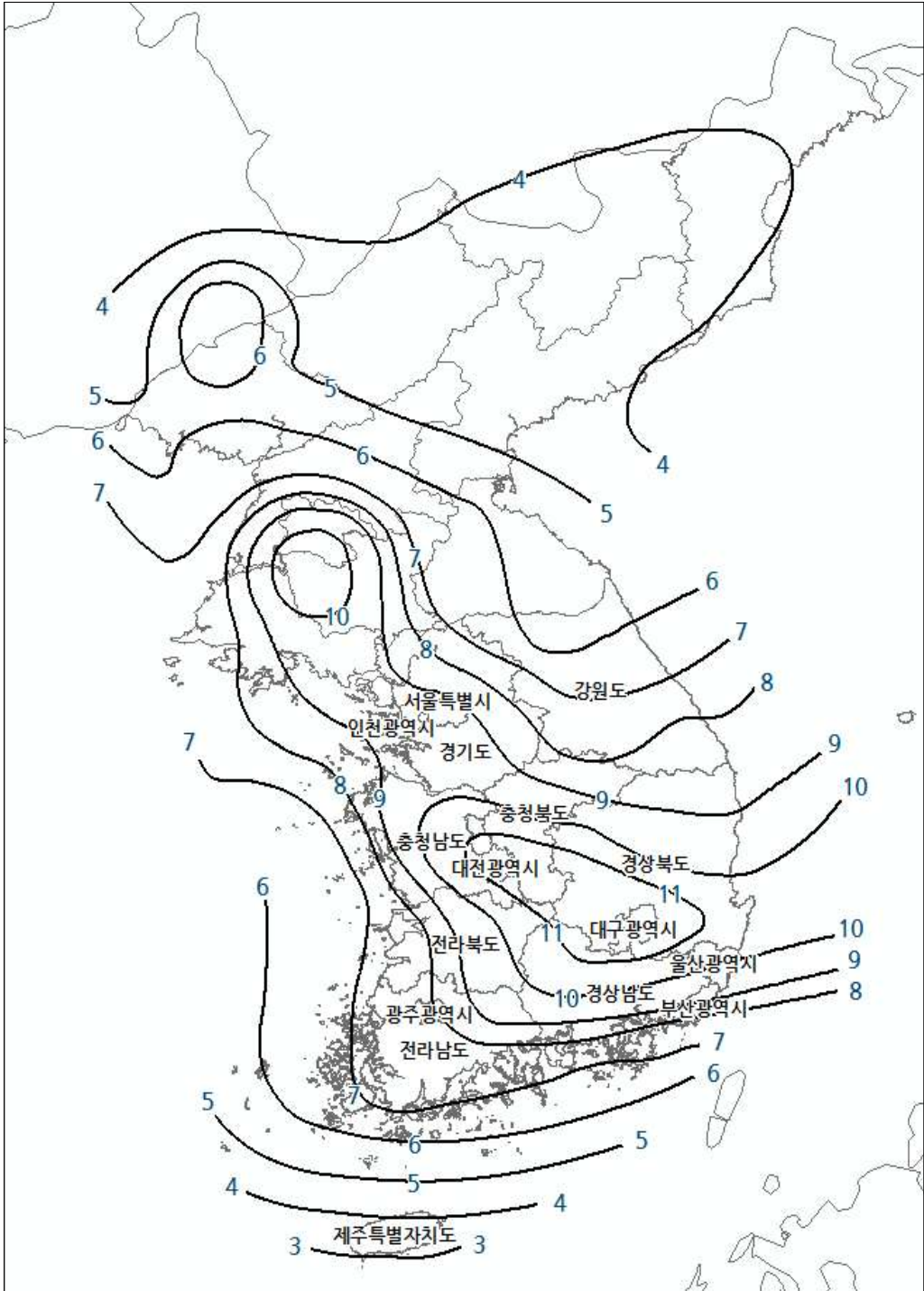
- 다) 흙의 액상화 저항응력을 ①에서 산정한 유효구속압으로 나눈 액상화 저항응력비는 반복삼축압축시험에 의해 구하는 것이 바람직하나, 평가 대상 지층에 대해 획득한 표준관입시험값과 전단과 속도 등으로부터 경험적으로 산정된 값을 적용할 수도 있다.
- 라) ④ ①항으로 산정한 유효구속압으로 ②항으로 구한 지진시 작용응력을 나누어 지진시 작용응력비를 구하고, 여기에 ③항으로 구한 지진시 저항응력비와 비교해서 액상화의 가능성을 판정한다.
- 마) ①~④의 절차 없이, 비선형 유효응력해석을 수행하여, 산정된 간극수압비로부터 댐 제체와 기초지반의 액상화를 직접적으로 판정하는 방법이 적용될 수도 있으나, 시간적 경제적 비용과 적용모델의 적합성에 대한 신중한 검토가 필요하다.

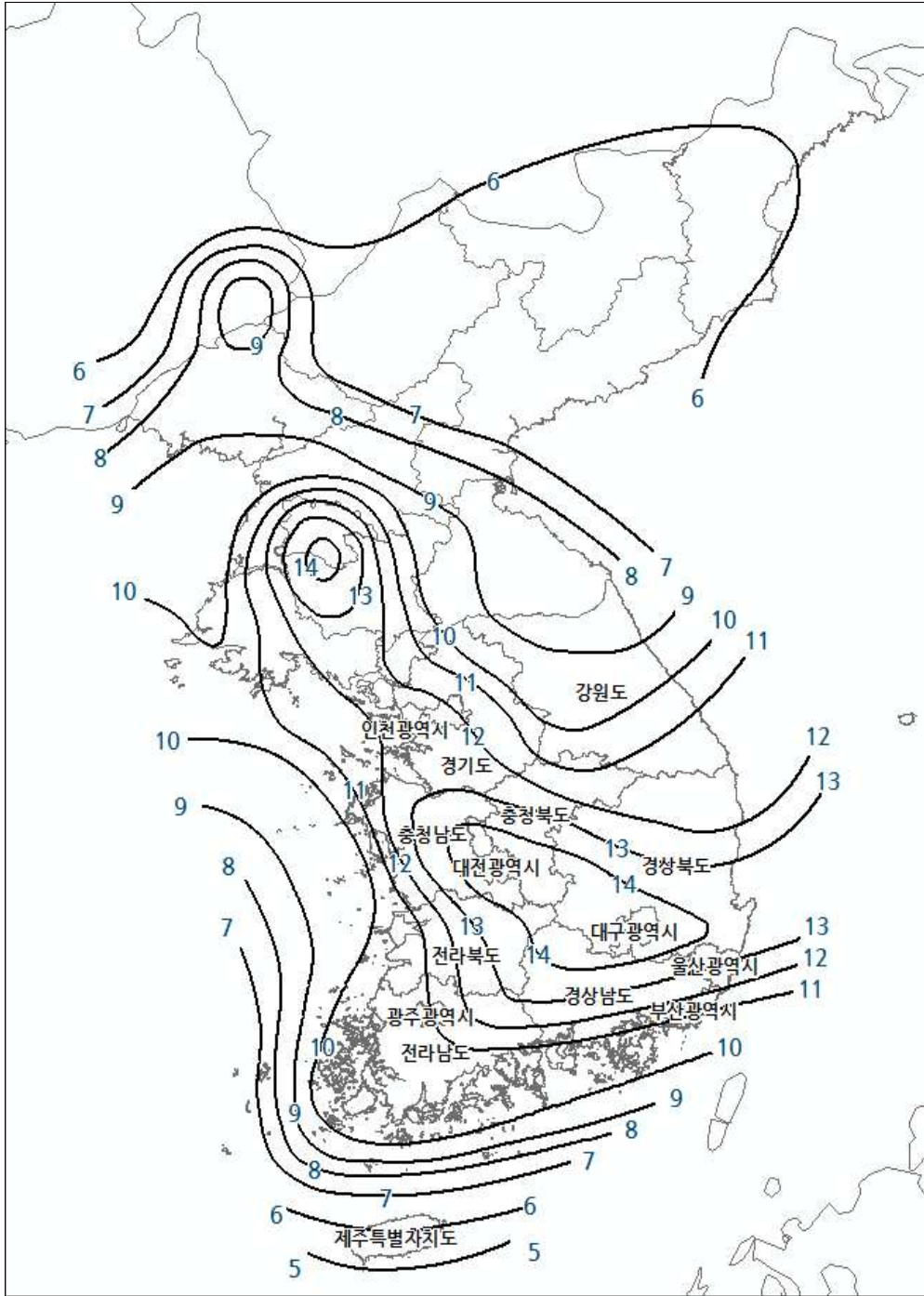
첨부. 국가지진위험지도 (소방방재청 공고 제2013-179호)

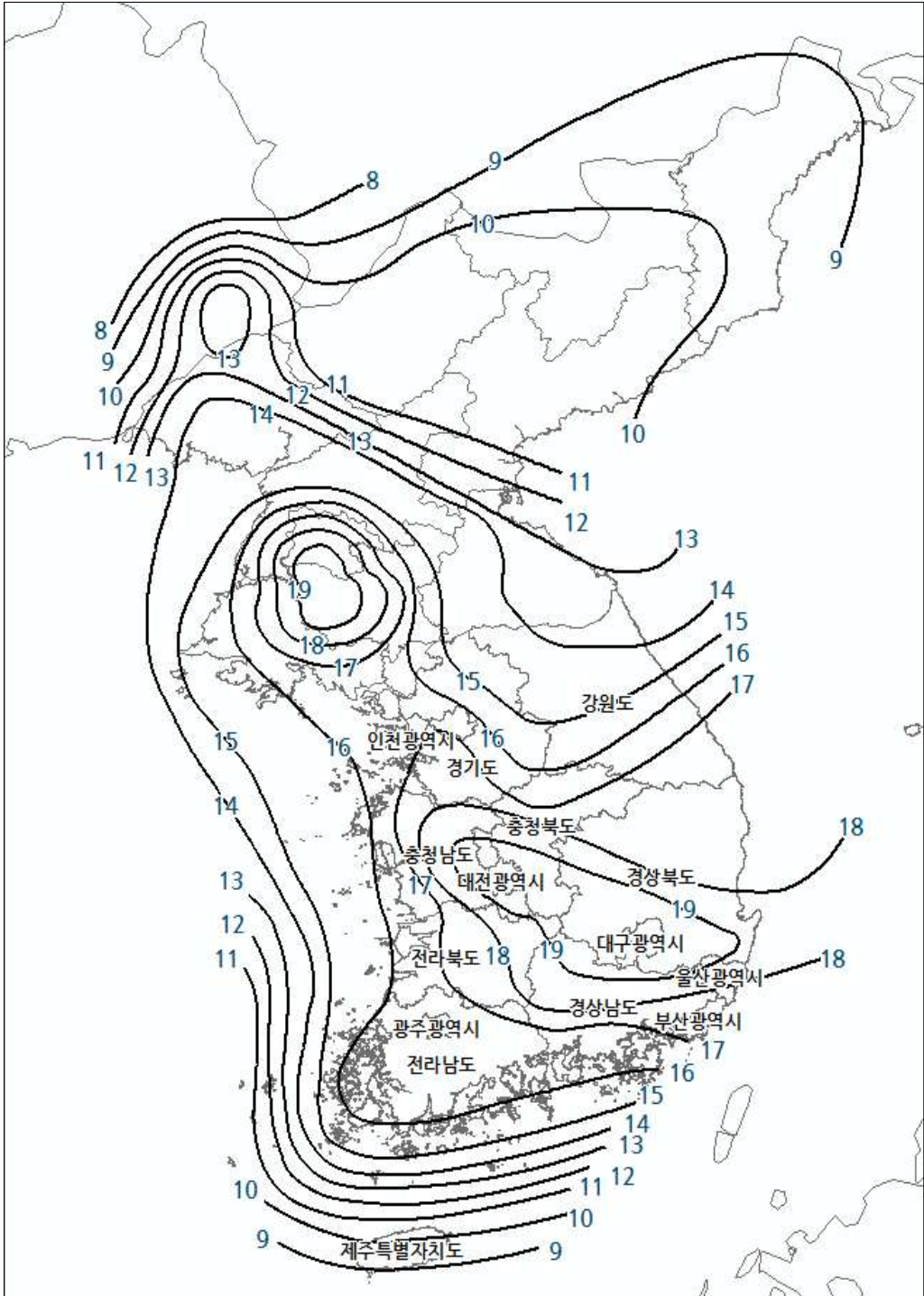


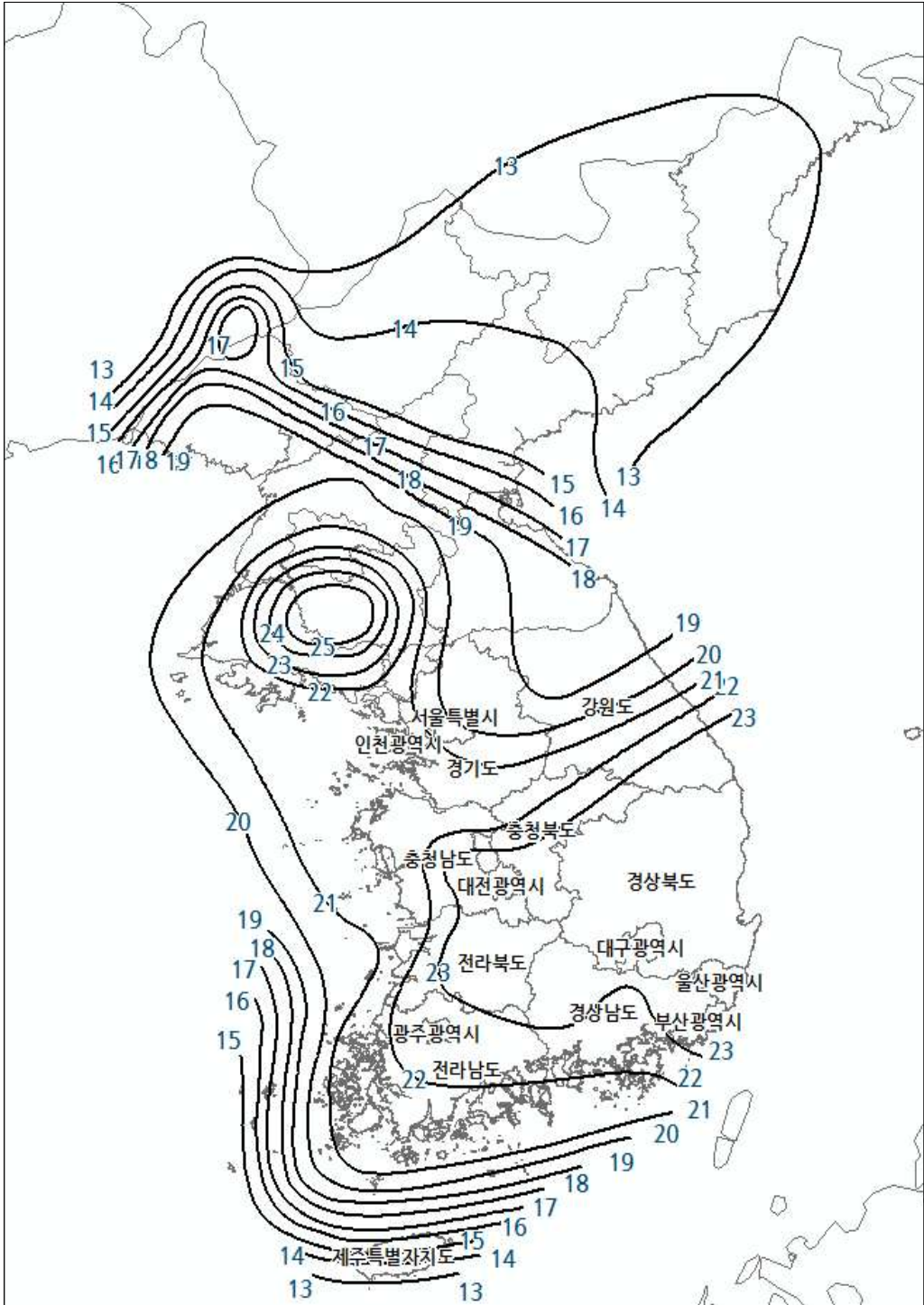












4.2. 방조제시설의 내진설계기준 개정(안)

4.2.1. 방조제시설 내진설계기준 주요 개정 내용

1) 현재 설계기준(방조제편)

“농지개량사업계획설계기준(해면간척편)(1991, 농림부)”에 내진설계내용이 일부 내용으로 포함되어 있고, 체계적으로 기술되어 있지 않다.

1991년 이후 현재까지 해당 기준의 개정 작업이 전혀 없어, 해당 기준에 포함된 내진설계관련 내용의 개정도 현재까지 이루어지지 않은 상태이다.

방조제 및 부속구조물의 내진설계의 필요성 언급, 내진설계의 원론적 절차, 내진설계를 위한 지반조사항목, 내진해석법 중 오래된 진도법, 액상화 판정법 등이 각기 다른 장, 절에 분산되어 기술되어 있고, 이 내용 또한 오랜 기간 개정이 되지 않아, 상당부분 업데이트가 필요하다.

2) 현재 기준의 문제점 및 개정의 필요성

현재 여러 장과 절에 분산되어 있는 방조제 내진설계와 관련된 내용을 하나의 절로 모아 기술하되 오래된 내용에 대한 보완과 많은 부분 현재 없는 부분에 대한 내용을 기술하여 개정할 필요가 있다.

현재 기준은 체계뿐만 아니라 내진설계기준이 반드시 갖추어야 할 많은 내용(내진등급, 내진성능목표, 설계지반운동의 설정, 내진해석 및 설계법 등)이 부족한 상태이다.

3) 주요 개정(안) 내용

현재	개정				
<p>○ 기준 부재 : 방조제의 내진등급에 대한 내용 전혀 없음.</p>	<p>○ 내진등급 정의 및 분류 : 방조제시설(방조제와 배수갑문)을 대상시설로 명시하고 해당시설을 항만구조물 등을 참고하여 내진 I등급으로 분류 정의함. : 방조제시설의 경우는 항만과 유사한 부지 위에 건설되는 것으로 간주되어 항만관련 설계기준서(항만 및 어항 설계기준해석(해양수산부, 2014) 또는 항만 및 어항시설의 내진설계표준서(해양수산부, 1999)에 의거함(해안구조물의 안전성평가방안, 한국시설안전기술공단, 2003). : 2000년에 발간된 “농업기반시설 내진성평가 자료집”에서는 1종 시설로 정의된 방조제를 내진 I등급 구조물로 구분.</p> <p><표 4-13> 방조제 시설의 내진 등급과 설계 지진</p> <table border="1" data-bbox="966 839 1653 1068"> <thead> <tr> <th data-bbox="966 839 1110 946">내진 등급</th> <th data-bbox="1110 839 1653 946">방조제 시설</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="966 946 1110 1068">내진 I 등급</td> <td data-bbox="1110 946 1653 1068"> <ul style="list-style-type: none"> 지진·화산재해대책법 시행령 제14조①항2호에 규정된 방조제 및 배수갑문 </td> </tr> </tbody> </table>	내진 등급	방조제 시설	내진 I 등급	<ul style="list-style-type: none"> 지진·화산재해대책법 시행령 제14조①항2호에 규정된 방조제 및 배수갑문
내진 등급	방조제 시설				
내진 I 등급	<ul style="list-style-type: none"> 지진·화산재해대책법 시행령 제14조①항2호에 규정된 방조제 및 배수갑문 				
<p>○ 기준 부재 : 내진성능수준에 대한 정의와 언급이 전혀 없음.</p>	<p>○ 내진성능수준의 정의 및 기술 : 내진성능수준을 붕괴방지수준으로 정의하고 성능수준에 대한 설명을 기술함</p>				

	<p>: ‘붕괴방지수준’이란 설계지진 시 방조제에 상당한 변형과 부분적 손상이 발생하는 것은 허용할 수 있으나 저수기능은 유지되어야 하며 통제 불가능한 저수량의 유출상태는 있어서는 안 되는 성능수준이다. 배수갑문은 구조적 손상은 경미한 수준으로 제한되어야 하며, 방조제 흙구조물의 영구변형으로 인하여 갑문 및 부속구조물이 탄성한계를 초과하여 소성거동하는 것은 허용되나 취성 파괴나 좌굴이 발생하여서는 안 된다.</p> <p>: 방조제 성능수준 정의는 댐설계기준의 댐의 성능수준에 근거</p> <p>: 배수갑문의 성능수준 정의는 해안구조물의 안전성평가방안(한국시설안전기술공단, 2003)에 근거</p>
<p>○ 기준 보완 및 부재</p> <p>: 지진구역의 구분이 1988년 기준에 따르며(한반도의 지진구역은 지진구역 0, 1,2의 3개의 지역으로 구분), 지진하중과 직결되는 설계응답스펙트럼의 정의 및 산정방법, 동적해석의 경우 필요한 지진시간이력 생성 방안 등에 대한 내용이 전혀 없음.</p>	<p>○ 설계지반운동 및 수준</p> <p>: 내진설계기준 공통적용사항(2017년 7월 1일, 국민안전처 공표)에 따라, 설계지반운동(설계응답스펙트럼 등) 및 그 크기를 설정하는 내용을 기술함.</p> <p>: 기준 본문 내 주요 기술 내용</p> <p>2. 지반운동 관련 기준</p> <p>2.1 지진구역 및 지진위험도</p> <p>2.2 지반의 분류</p> <p>2.3 설계지반운동의 정의와 고려 사항</p> <p>2.4 설계지반운동의 특성 표현</p>

<p>○ 기준 부재</p>	<p>○ 내진성능목표 설정 : 방조제시설(방조제, 배수갑문)은 공히 내진 I등급으로 설정하고, 붕괴 방지 수준의 1000년 재현주기 지진을 설계지진으로 설정함. : 방조제시설의 내진 I등급 설정 근거 2000년 발간된 “농업기반시설 내진성평가 자료집”에서 1종 시설로 정의된 방조제를 내진 I등급 구조물로 구분 : 붕괴방지 수준의 1000년 재현주기 지진을 설계지진으로 설정한 것은 방조제가 항만과 유사한 부지 위에 건설되는 것으로 간주되어 항만관련 설계기준서를 참고하여 설정함.</p>
<p>○ 기준 부재</p>	<p>○ 설계거동한계 설정 : 방조제와 배수갑문을 구분하여 붕괴방지수준에서의 구조물의 설계거동한계를 명시함. : ‘붕괴방지수준’이란 설계지진 시 방조제에 상당한 변형과 부분적 손상이 발생하는 것은 허용할 수 있으나 저수기능은 유지되어야 하며 통제 불가능한 저수량의 유출상태는 있어서는 안 되는 성능수준이다. 배수갑문은 구조적 손상은 경미한 수준으로 제한되어야 하며, 방조제 흙구조물의 영구변형으로 인하여 갑문 및 부속구조물이 탄성한계를 초과하여 소성거동하는 것은 허용되나 취성과피나 좌굴이 발생하여서는 안 된다.</p>

<p>○ 기준 보완 및 부재 : 진도법에 의한 설계 및 해석방법 등이 기술되어 있으나, 진도법의 적용방법 및 안정성 평가 기준에 대한 업데이트가 필요함.</p>	<p>○ 설계 및 지진해석 방법과 절차 : 방조제 제방과 배수갑문에 대한 진도법에 의한 설계 및 해석방법을 최근 업데이트된 적용방법과 안정성 평가 기준(방조제 제방의 경우 사면안전을)으로 기술하였음. 배수갑문의 경우에는 진도법과 동적해석법을 추가 기술하였음. : 방조제 내진설계 방법 주요 내용 1) 설계기본 2) 방조제 제방의 등가정적 해석 (1) 등가정적하중 산정 (2) 활동면법에 의한 지진시 등가정적 사면안정 검토 ※ 해안구조물의 안전성평가방안(한국시설안전기술공단, 2003) 내용에 근거함</p>
<p>○ 기준 부재 : 상세 내진설계기준이 없어 항만 및 어항시설의 내진설계서에서 일부 해당 내용을 준용하고 있는 정도이므로 별도의 내진설계기준 또는 방조제 기준에 포함하여 기술할 필요가 있음.</p>	<p>○ 배수갑문 내진설계 세부 내용 : 배수갑문에 대한 내진설계 세부 내용을 명기함 : 배수갑문 내진설계 방법 주요 내용 1) 설계기본 2) 배수갑문의 등가정적 해석 3) 배수갑문의 동적 해석 ※ 해안구조물의 안전성평가방안(한국시설안전기술공단, 2003) 내용에 근거함</p>

4.2.2 방조제시설 내진설계기준 개정(안)

1) 일반사항

(1) 적용범위

이 기준은 지진·화산재해대책법 시행령 제14조①항2호에 규정된 방조제 및 배수갑문의 내진설계에 적용한다. 그러므로 본 기준에서 방조제시설이라 함은 방조제와 배수갑문을 통칭한다.

(2) 용어정의

- ① "감쇠"란 점성, 소성 또는 마찰에 의해 댐에 입력된 에너지가 소산되는 현상을 말한다.
- ② "기반암"란 전단파속도가 760m/s 이상인 지층을 말한다.
- ③ "내진성능수준"이란 설계지진에 대해 시설물에 요구되는 최소 성능수준을 말한다.
- ④ "설계지반운동"이란 내진설계를 위해 정의된 지반운동으로서 댐이 건설되기 전에 부지 정지작업이 완료된 지면에서의 지반운동을 말한다.
- ⑤ "액상화"란 포화된 사질토 등에서 지진동, 발파하중 등과 같은 충격하중에 의하여, 지반 내에 과잉간극수압이 발생하여, 지반의 전단강도가 상실되어 액체처럼 거동하는 현상을 말한다.
- ⑥ "위험도 계수"란 평균재현주기가 500년인 지진을 기준으로 하여, 평균재현주기가 다른 지진의 최대지반가속도를 상대적 비율로 나타낸 계수를 말한다.
- ⑦ "유효지반가속도"란 지진하중을 산정하기 위하여 국가지진위험지도나 행정구역을 기준으로 제시된 지반운동 수준을 말한다.
- ⑧ "응답스펙트럼"이란 지반운동에 대한 단자유도 시스템의 최대응답을 고유주기 또는 고유진동수의 함수로 표현한 스펙트럼을 말한다.
- ⑨ "응답(시간)이력해석"이란 지진의 지속시간 동안 각 시간단계에서의 구조물의 동적응답을 구하는 방법을 말한다.
- ⑩ "재현주기"란 지진과 같은 자연재해가 특정한 크기 이상으로 발생할 주기를 확률적으로 계산한 값으로, 일 년 동안에 특정한 크기 이상의 자연재해가 발생할 확률의 역수를 말한다.

- ⑪ "지반증폭계수"란 기반암의 스펙트럼 가속도(속도)에 대한 지표면의 스펙트럼 가속도(속도)의 증폭비율을 말한다.
- ⑫ "지진구역계수"란 지진구역 I과 II의 암반지반(s_1) 상에서 평균재현주기 500년 지진의 지반운동 가속도를 중력가속도 단위로 표현한 값을 말한다.
- ⑬ "지진위험지도"란 내진설계 등에 활용하기 위하여 정밀한 지진위험도(또는 지진재해도) 분석결과를 표시한 지도를 말한다.
- ⑭ "지진재해도"란 내진설계의 기초가 되는 지진구역을 설정하기 위하여 과거의 지진기록과 지질 및 지반특성 등을 종합적으로 분석하여 산정한 지진재해의 발생확률을 말한다.
- ⑮ "표준설계응답스펙트럼"이란 s_1 지반에서 평균재현주기 500년인 설계 지진에 대한 5% 감쇠비 단자유도 시스템의 설계응답스펙트럼을 말한다.

2. 지반운동 관련 기준

(1) 지진구역 및 지진위험도

- 지진구역은 <표 4-4>와 같이 지진구역 I 및 지진구역 II의 두 개의 지진구역으로 구분한다. 평균재현주기가 500년인 지진의 암반지반(S_1 지반)에서의 각 지진구역에서의 지진구역계수(Z)는 다음과 같다.

<표 4-4> 지진구역 및 지진구역계수(Z)

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 남부1)	

- 평균재현주기가 500년인 지진을 기준으로 하여, 평균재현주기가 다른 지진의 최대지반가속도를 상대적 비율로 나타내는 계수인 위험도계수(I)는 <표 4-5>와 같다.

<표 4-5> 위험도계수(I)

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

(2) 지반의 분류

- ① 지반분류는 기반암의 깊이(H)와 기반암 상부 토층의 평균 전단파속도 ($V_{s,soil}$)에 근거하여 <표 4-6>과 같이 $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ 의 6종류로 분류한다.

<표 4-6> 지반의 분류

지반종류	지반종류의 호칭	분류기준	
		기반암 깊이, H (m)	토층 평균 전단파속도, $V_{s,soil}$ (m/s)
S1	암반 지반	1 미만	-
S2	얕고 단단한 지반	1~20 이하	260 이상
S3	얕고 연약한 지반		260 미만
S4	깊고 단단한 지반	20 초과	180 이상
S5	깊고 연약한 지반		180 미만

- ② 기반암이란 전단파속도 760m/s 이상을 나타내는 지층을 말하며 기반암 깊이와 무관하게 토층 평균 전단파속도가 120m/s 이하인 지반은 지반으로 분류한다.

3) S_6 지반은 다음과 같은 조건의 지반이다.

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

④ 토층의 평균 전단파속도($V_{s,soil}$)는 탄성파시험 결과가 있을 경우 이를 우선적으로 적용한다.

⑤ 토층 평균 전단파속도($V_{s,soil}$)는 다음 식에 따라 결정한다.

$$V_{S,Soil} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}}} \quad \text{식 (4.1)}$$

여기서 : d_i = 기반암 깊이까지의 i 번째 토층의 두께, m

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

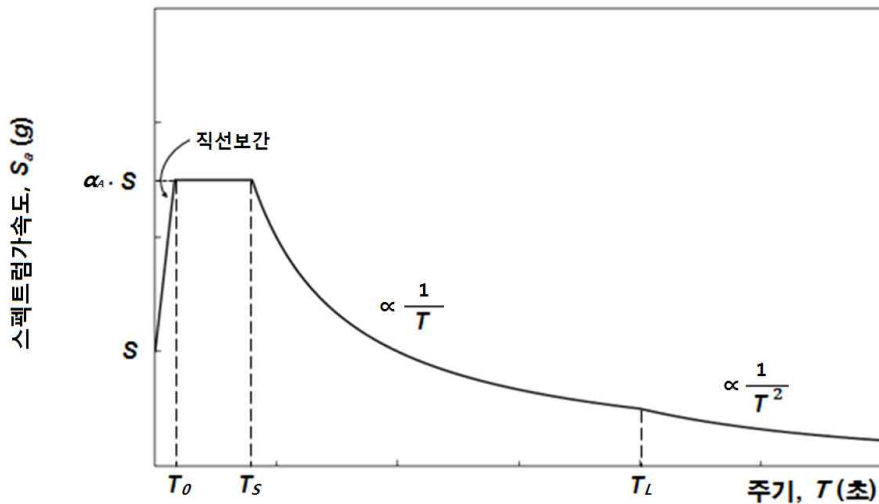
⑥ 전단파속도가 획득되지 않는다면 표준관입시험 관입저항치(SPT-N치)를 전단파속도로 변환할 수 있다. 변환에는 국내 지반에 대해 제안된 상관관계식(Sun, C. G., Cho, C. S., Son, M., & Shin, J. S. (2013). Correlations between shear wave velocity and in-situ penetration test results for Korean soil deposits. Pure and Applied Geophysics, 170(3), 271-281)을 활용할 수 있다. 표준관입시험 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.

(3) 설계지반운동의 정의와 고려 사항

- ① 설계지반운동은 구조물이 건설되기 전에 부지 정지작업이 완료된 지면에서의 지반운동으로 정의한다.
- ② ‘첨부. 국가지진위험지도’의 값은 유효지반가속도(S)이다.
- ③ 설계지반운동의 특성은 흔들림의 세기, 진동수 성분 및 지속시간으로 정의한다.
- ④ 설계지반운동은 통계학적으로 독립인 수평 2축 운동과 수직운동으로 정의한다.
- ⑤ 수직운동은 수평 2축 운동과 별도로 정의한다.

(4) 설계지반운동의 특성 표현

- ① 설계지반운동의 세기 및 진동수 성분은 기본적으로 응답스펙트럼으로 표현한다.
- ② 암반지반(S_1 지반) 설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼은 다음과 같다.
- ③ 5 % 감쇠비에 대한 수평 설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼은 <그림 4-1>과 같다.



- ㉠ <그림 4-1>의 가속도 표준설계응답스펙트럼의 전이주기는 <표 4-7>과 같다.

<표 4-7> 가속도 표준설계응답스펙트럼 전이주기

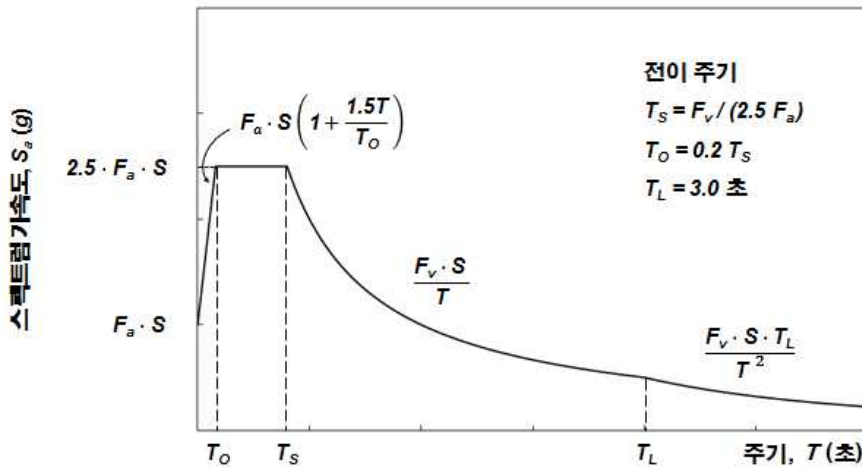
구분	α_A (단주기스펙트럼증폭계수)	전이주기(sec)		
		T_0	T_S	T_L
수평	2.8	0.06	0.3	3

- ㉡ 5% 감쇠비의 수직설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼은 수평설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼과 동일한 형상을 가지며, 최대 유효수평지반가속도에 대한 최대 수직지반가속도의 비는 0.77이다.
- ㉢ 수평 및 수직 설계지반운동의 가속도 표준응답스펙트럼의 감쇠비 (ξ , %단위)에 따른 스펙트럼 형상은 <표 4-8>에 제시한 감쇠보정계수 C_D 를 표준응답스펙트럼에 곱해서 구할 수 있다. 단, 감쇠비가 0.5%보다 작은 경우에는 적용하지 않으며 해당 구조물의 경우 응답(시간)이력해석을 권장한다.

<표 4-8> 감쇠보정계수(C_D)

주기(T , sec)	$T=0$	$0 \leq T \leq 0.06$	$0.06 \leq T$
	모든 감쇠비에 대해서 1.0	일 때, 1.0 일 때, 그 사이는 직선보간	

- ③ 토사지반($S_2 \sim S_5$ 지반) 설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼은 다음과 같다.
- ㉠ 토사지반인 S2, S3, S4, S5 지반의 5% 감쇠비에 대한 수평지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼은 <그림 4-2>로 정의한다. 지반증폭계수는 <표 4-9>와 같으며 유효수평지반가속도(S)의 값이 중간 값에 해당할 경우 직선보간하여 결정한다.
 - ㉡ 5% 감쇠비에 대한 S2~S5 지반의 수직지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼은 (1)에 있는 수평설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼과 같은 전이주기를 가지며, 최대 유효수평지반가속도에 대한 최대 유효수직지반가속도의 비는 공학적 판단에 의해 값을 결정할 수 있다.
 - ㉢ 토사지반에서 감쇠비에 따른 스펙트럼 형상은 해당 토사지반에 적합한 가속도시간이력을 이용하여 공학적으로 적절한 분석과정을 통해 결정할 수 있다.



<표 4-9> 지반증폭계수

지반 분류	단주기 증폭계수, Fa			장주기 증폭계수, Fv		
	S ≤ 0.1	S = 0.2	S = 0.3	S ≤ 0.1	S = 0.2	S = 0.3
S2	1.4	1.4	1.3	1.5	1.4	1.3
S3	1.7	1.5	1.3	1.7	1.6	1.5
S4	1.6	1.4	1.2	2.2	2.0	1.8
S5	1.8	1.3	1.3	3.0	2.7	2.4

- ④ <그림 4-1> 및 <그림 4-2>에서 유효지반가속도(s)는 지진하중을 산정하기 위한 지반운동수준으로 국가지진위험지도 또는 행정구역에 따라 결정한다. 다만, 국가지진위험지도를 이용하여 결정하는 경우, 행정구역에 따라 결정한 값의 80 % 보다 작지 않아야 한다.
- ⑤ 행정구역에 의한 방법으로 평균재현주기에 따른 유효지반 가속도(S)를 결정할 때는 지진구역계수(Z)에 각 평균재현주기의 위험도 계수(I)를 곱하여 식 (4.2)와 같이 결정한다. 기초지반 분류에 따른 지반증폭계수는 <표 4-9>의 유효지반가속도 수준에 따른 단주기 증폭계수를 적용한다.

$$S = Z \times I \quad \text{식(4.2)}$$

여기서, Z : 지진구역계수

I : 위험도계수

- ⑥ $S_1 \sim S_6$ 지반의 경우, 표준설계응답스펙트럼 대신 부지고유의 지반응답 해석을 이용하여 결정한 스펙트럼을 사용할 수 있다.
- ⑦ 설계지반운동 시간이력
 - ㉠ 지반 가속도, 속도, 변위 중 하나 이상의 이력으로 지반운동을 표현할 수 있다.
 - ㉡ 3차원 해석이 필요할 때 지반운동은 동시에 작용하는 3개의 성분으로 구성하여야 한다.
 - ㉢ 설계지반운동 시간이력은 암반지반에 대해 작성된 시간이력을 사용하여 지반응답해석을 통해 결정한다.

- ㉔ 부지에서 계측된 시간이력을 사용하는 것이 원칙이나, 필요시에는 대상 부지에서 예상되는 시간이력과 유사한 다른 지역에서 계측된 지반운동 시간이력 또는 다음 8)항에 기술하는 인공합성 지반운동 시간이력을 사용할 수 있다.
- ⑧ 인공합성 지반운동 시간이력
 - ㉑ 실제 기록된 지진 지반운동을 표준설계응답스펙트럼에 부합되도록 수정하거나 표준설계응답스펙트럼에 부합되도록 인공적으로 합성하여 생성하여야 한다.
 - ㉒ 지반운동의 장주기 성분이 댐의 거동에 미치는 영향이 중요하다고 판단될 경우에는 지진원의 특성과 국지적인 영향을 고려하여 시간이력을 생성하여야 한다.
 - ㉓ 인공합성 지반운동의 지속시간은 지진의 규모와 특성, 전파경로 및 부지의 국지적인 조건이 미치는 영향을 고려하여야 한다.
- ⑨ 해석 시 지반운동의 공간적 변화 특성이 응답에 큰 영향을 주는 경우에는 이를 반영하여야 한다.

3) 내진설계

(1) 내진설계의 기본 방향

- ① 본 기준은 「내진설계기준 공통적용사항(국민안전처, 2017)」의 성능수준목표에 기준하여 방조제시설에 대한 기술기준으로 작성된 것이므로, 기능수행수준과 붕괴방지수준에 대한 설계 기준을 제시하여야 한다. 그러나 기능수행수준을 정의하는 것과 같은 성능수준설계방법은 지진의 피해가 큰 강진지역에서도 현재 부분적으로 실행되고 있는 방법이므로, 성능수준설계방법을 기준으로 채택함에는 기술적으로 어려움이 있다. 그러므로 본 기준에서는 기능수행수준을 생략한 상태에서 붕괴방지수준에 대한 설계만을 하여도 내진설계가 만족됨을 허용하도록 한다.
- ② 방조제시설의 내진설계 시 많은 수치해석이 따르는 복잡한 설계절차를 제시한다는 것은 설계 실무자들에게 혼란을 야기하므로 가급적 간

단한 방법이 적용되도록 하였다.

- ③ 방조제시설은 연안지역의 연약지반을 기초로 하는 경우가 많은데, 특히 느슨한 사질토지반에 놓이는 경우에 대비한 시설물 기초의 액상화 평가가 필수적이라 할 수 있다.
- ④ 본 기준의 많은 부분은 항만 및 어항시설의 내진설계 기준을 차용하고 있으므로, 본 기준에서 제시되지 않은 부분은 해당 기준을 참조하도록 한다.

(2) 설계 지반운동 및 설계진도

① 설계지반운동

- ㉠ 지진해석을 위한 설계지반운동은 본 기준 2.3과 2.4를 따른다.
- ㉡ 설계지반운동은 수평 2축 방향 성분으로 정의되며 그 세기와 특성은 동일한 것으로 가정한다.
- ㉢ 지진의 수직운동의 영향을 무시할 수 없는 경우에는 이를 반영한다.
- ㉣ 방조제시설의 내진설계를 할 때 시설 상류의 수위 및 수위의 변화 상태에 따라 방조제 안전에 가장 불리한 방향으로 가진되는 경우를 상정하고 안정해석을 한다.

② 설계진도

- ㉠ 우리나라의 지진구역을 <표 4-14>와 같이 설정한다. 평균재현주기 500년 지진지반운동에 해당하는 각 지진구역별 지진구역계수는 <표 4-14>로부터 산정한다.
- ㉡ 아래 「3) 내진등급과 설계지진 수준」에서 규정하는 설계지진의 평균재현주기로부터 2.4의 4)와 5)에 따라 유효지반가속도(S)를 결정한다. 경제적인 설계가 필요할 경우와 소성해석법이나 동적유효응력해석을 이용한 동적검토를 수행할 때, 기존 시설의 내진보강 설계를 위한 성능평가를 적용하고자 할 경우에 한해 국가지진위험 지도를 이용한 방법으로 유효지반가속도(S)를 산정할 수 있다.
- ㉢ 기초지반의 영향을 고려하기 위하여 <표 4-16>과 <표 4-19>를 이용하여 지반증폭계수를 결정한다.
- ㉣ 방조제시설이 위치할 지점의 설계진도는 (2)에서 산정한 유효지반가속도(S)와 지반 증폭계수를 곱한 값으로 한다.

③ 내진등급과 설계지진 수준

- ㉠ 방조제시설의 내진등급은 <표 4-14>와 같이 내진 I등급으로만 분류한다..
- ㉡ 방조제시설은 <표 4-14>에서 내진 등급별로 규정된 평균재현주기를 갖는 설계지진에 대하여 설계한다.

<표 4-14> 방조제시설의 내진 등급과 설계지진

내진등급	방조제시설	설계지진의 평균재현주기
내진 I등급	지진·화산재해대책법 시행령 제14조①항2호에 규정된 방조제 및 배수갑문	1,000년

④ 지진하중

- ㉠ 지진 관성력은 방조제시설의 안정에 불리한 방향으로 작용하는 것으로 해석한다. 즉, 방조제 제방은 상하류 방향의 수평지진력만을 고려하여 설계하며, 배수갑문은 구조물의 특성에 따라 상하류 방향 또는 댐축 방향의 지진력을 선별적으로 고려하여 설계한다.
- ㉡ 지진 시 유체의 동압력뿐만 아니라 파랑고의 영향도 고려할 수 있다.

(3) 내진성능 수준 및 목표

① 내진성능수준

- ㉠ 방조제시설의 내진성능수준은 ‘붕괴방지수준’으로 정의한다.
- ㉡ ‘붕괴방지수준’이란 설계지진 시 방조제에 상당한 변형과 부분적 손상이 발생하는 것은 허용할 수 있으나 저수기능은 유지되어야 하며 통제 불가능한 저수량의 유출상태는 있어서는 안 되는 성능수준이다. 배수갑문은 구조적 손상은 경미한 수준으로 제한되어야 하며, 방조제 흙구조물의 영구변형으로 인하여 갑문 및 부속구조물이 탄성한계를 초과하여 소성거동하는 것은 허용되나 취성파괴나 좌굴이 발생하여서는 안 된다.

② 내진성능목표

- ㉠ 내진성능목표는 내진등급별로 설계지반운동에 대한 내진성능수준으로 정의되며 <표 4-15>를 따른다.

<표 4-15> 방조제시설의 내진성능목표

	평균재현주기	내진성능수준	
		기능수행	붕괴방지
설계지진	50년		
	100년		
	500년		
	1000년		내진 I등급

(4) 액상화 검토

① 검토의 필요성 및 검토 범위

- ㉠ 방조제시설은 연안지역의 연약지반을 기초로 하는 경우가 많은데, 특히 느슨한 사질토 지반에 놓이는 경우에 대비한 시설물 기초의 액상화 평가가 필수적이다.
- ㉡ 방조제의 경우, 제방형식인 경우에도 대부분의 축조재료의 입경이 매우 커 과잉간극수압의 발생이 어려운 것으로 간주하여 제체에 대한 액상화 검토는 생략하며 기초지반에 대한 액상화 검토만을 수행한다. 배수갑문의 경우도 시설물의 기초지반만을 대상으로 액상화를 검토한다.

② 액상화 평가 기준 및 평가방법

- 액상화 평가기준 및 평가방법은 KDS 11 50 25 기초내진 설계기준 또는 관련부처(국토교통부, 국토해양부 등)의 「구조물 기초설계기준」 등에 따른다.

(5) 방조제 내진설계

① 설계 기본

- ㉠ 방조제가 설치될 기초지반에 대한 액상화 안정을 우선 검토한다.
- ㉡ 정역학적 설계기준으로 등가정적해석에 기초한 안정성 평가기법을 내진설계 및 해석의 기본으로 하며, 동역학적 해석은 고려하지 않는다.

② 방조제 제방의 등가정적 해석

- 설계에 적용하는 지진력은 작용 정하중에 대한 지진 관성력만 고려하고 동수압은 영향이 미미하므로 제외한다. 지진에 의한 파랑고는 필요한 경우에만 따로 고려한다.

㉠ 등가정적하중 산정

가) 등가정적해석법에 의한 사면안정해석에서 사면 토체에 작용하는 등가정적하중(F_h)은 활동면 상의 체체 무게에 등가정적하중계수 (K_h)를 곱한 지진 관성력이며, 이 힘의 작용점은 활동면의 중심이며 작용 방향은 수평방향으로 하되 안정에 불리한 쪽으로 정한다.

$$F_H = K_h W = \frac{a_{h,\max}}{2} \frac{W}{g} \quad \text{식(4.3)}$$

여기서, K_h : 수평방향 등가정적하중계수

$a_{h,\max}$: 지표면 최대 수평가속도

W : 파괴토에의 무게

나) 식 (4.3)에서 등가정적하중계수를 결정하는 지표면 최대 수평가속도는 사면의 높이가 비교적 낮은 경우에는 제방저면(원지반)에서의 지표면 최대 수평가속도, 즉 3.2의 2)항에서 산정한 설계진도를 그대로 적용한다. 다만, 제방고가 낮더라도 제방이 놓이는 기초지반의 토층이 30m 이상인 경우에는 지진응답해석을 수행하여 확

특한 지표면 최대 수평가속도를 적용한다. 그리고 사면의 높이가 비교적 높은 경우에는 사면 체체 내의 지진가속도의 증폭특성이 고려되어야 하므로 반드시 사면 상부까지 지진응답해석을 수행하여 사면 바닥면(원지반)에서부터 사면 상부까지의 깊이별 최대가속도의 평균값을 지표면 최대 수평가속도 값으로 적용하는 것이 합리적이다.

㉠ 활동면법에 의한 지진시 등가정적 사면안정 검토

가) 방조제 제방의 내진설계에 있어 가장 중요한 부분은 등가정적 사면안정 검토이다.

나) 활동면 위의 체체가 활동하도록 하는 힘은 정수압, 해당 체체의 자중, 활동면을 따라 작용하는 간극수압 및 수평 지진관성력이고, 이러한 외력에 저항하는 힘은 활동면에 연직으로 작용하는 반력과 활동면의 접선방향으로 작용하는 점착력과 마찰력이다.

다) 활동원의 중심에 대하여 외력의 모멘트에 설계 안전율을 곱한 값이 저항 모멘트를 초과하지 않으면 제방은 활동에 대하여 안전하다.

라) 지진시 간극수압은 변화하지만 현재는 그 변화의 증감폭을 정량적으로 평가하기 어려워 설계자가 적절하게 판단한다..

마) 지진시 활동에 대한 안전율은 내외측 수위조건이 평균해면(해측)-관리수위(내측) 수위조건하에서 1.2 이상이어야 한다.

(6) 배수갑문 내진설계

① 설계 기본

㉠ 배수갑문이 설치될 기초지반에 대한 액상화 안정을 우선 검토한다.

㉡ 간편해석인 등가정적해석을 먼저 수행하고, 해석결과와 구조물의 설계 단면력을 비교하여 동적 안전성을 만족하지 못한다면, 추가로 동적해석을 수행하여 상세한 안전성을 확인한다.

② 배수갑문의 등가정적 해석

- ㉠ 대상구조물의 해석 대상 단면을 결정한 후 지진구역계수, 반응수정계수, 동적계수, 지반증폭계수, 위험도계수 등을 산정하여 관성력인 밀면 전단력을 계산한다.

$$V = \frac{A \cdot I \cdot C}{R} \cdot W \quad \text{식(4.4)}$$

여기서, V : 밀면전단력, A : 지진구역계수

I : 위험도계수

C : 동적계수(탄성지진응답계수)

$$C = \frac{S}{1.2\sqrt{T}} \leq 1.75 \quad \text{식(4.5)}$$

S : 지반증폭계수 R : 반응수정계수

T : 배수갑문의 기본진동주기는 RC 모멘트 저항골조로 보고 선정

$$T = 0.0731 \cdot (h_n)^{3/4} \quad \text{식(4.6)}$$

W : 구조물의 중량

- ㉡ 밀면 전단력을 이용하여 구조물의 각 부분에 작용하는 층지진하중을 산정하여 등가정적 해석을 실시한다. 층지진하중은 구조물의 각 층에 작용하는 하중으로 밀면전단력을 각 층의 위치로 분배한 값으로 다음과 같이 계산된다.

$$F_x = \left(\frac{W_x \cdot H_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot H_i^k} \right) \cdot V \quad \text{식(4.7)}$$

여기서, F_x : 구조물의 각 층에 작용하는 층지진하중

V : 밀면전단력

W_i : i 및 x 층의 구조물 중량

H_i : 구조물의 밀면으로부터 i, x 층까지의 높이

k : 높이가중지수

- ㉔ 해석을 수행할 때에 배수갑문 구조물은 해수의 영향을 받는 구조물이므로 해석시 정수압, 동수압, 조류력, 파랑하중 등을 고려하여 해석을 수행해야 한다.
- ㉕ 등가정적해석에 의한 배수갑문 구조물의 인장, 압축응력을 구조물의 허용인장, 압축응력과 비교하여 동적 안전성을 평가한다. 등가정적해석에 의한 구조물의 응력이 구조물의 허용응력을 넘지 않으면 안전성 평가를 완료한다. 그러나 그렇지 못하는 경우에는 동적해석에 의한 상세해석을 추가로 수행한다.

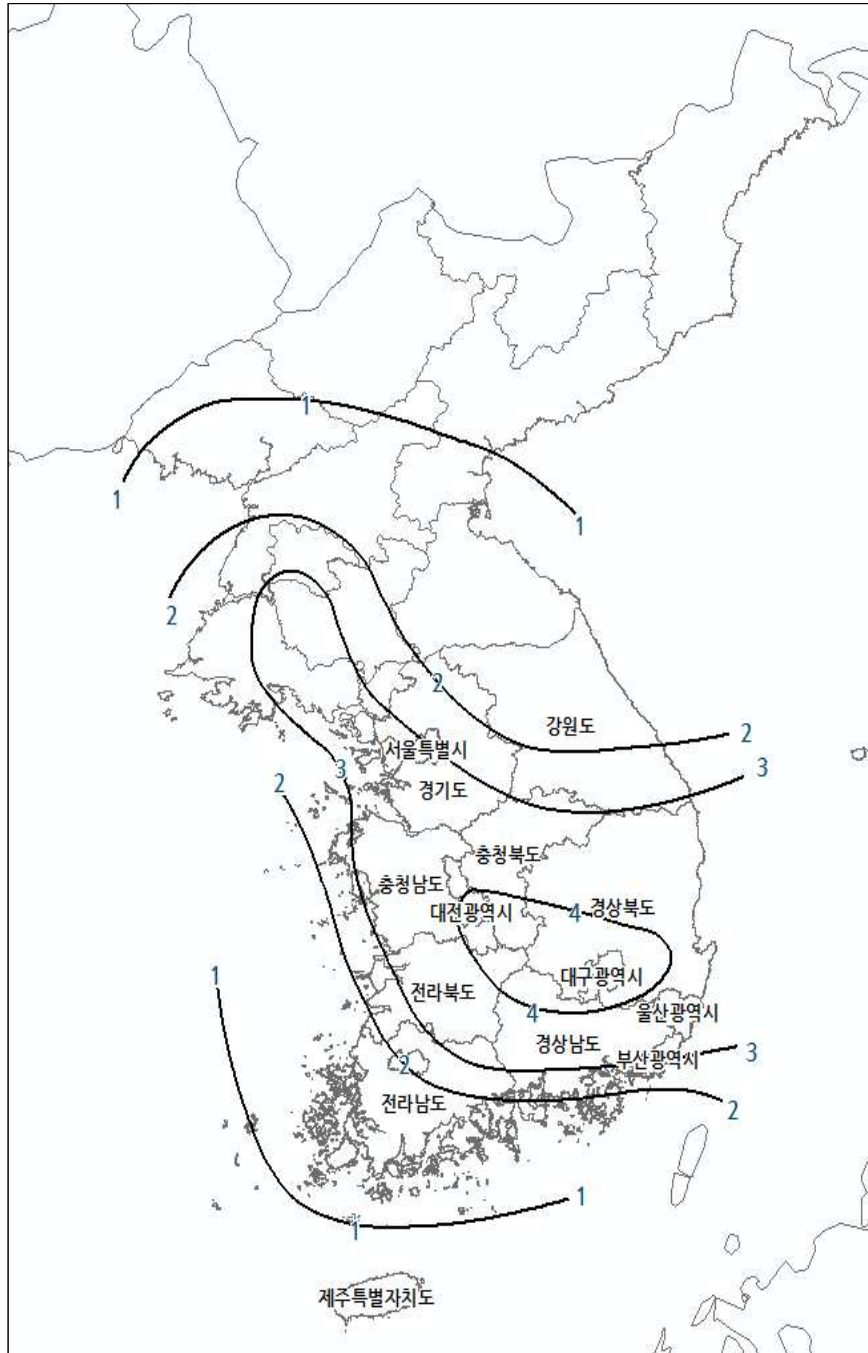
③ 배수갑문의 동적 해석

- ㉖ 배수갑문 등 부속구조물에 대한 동적 해석은 응답스펙트럼법과 시간이력해석법이 있다.

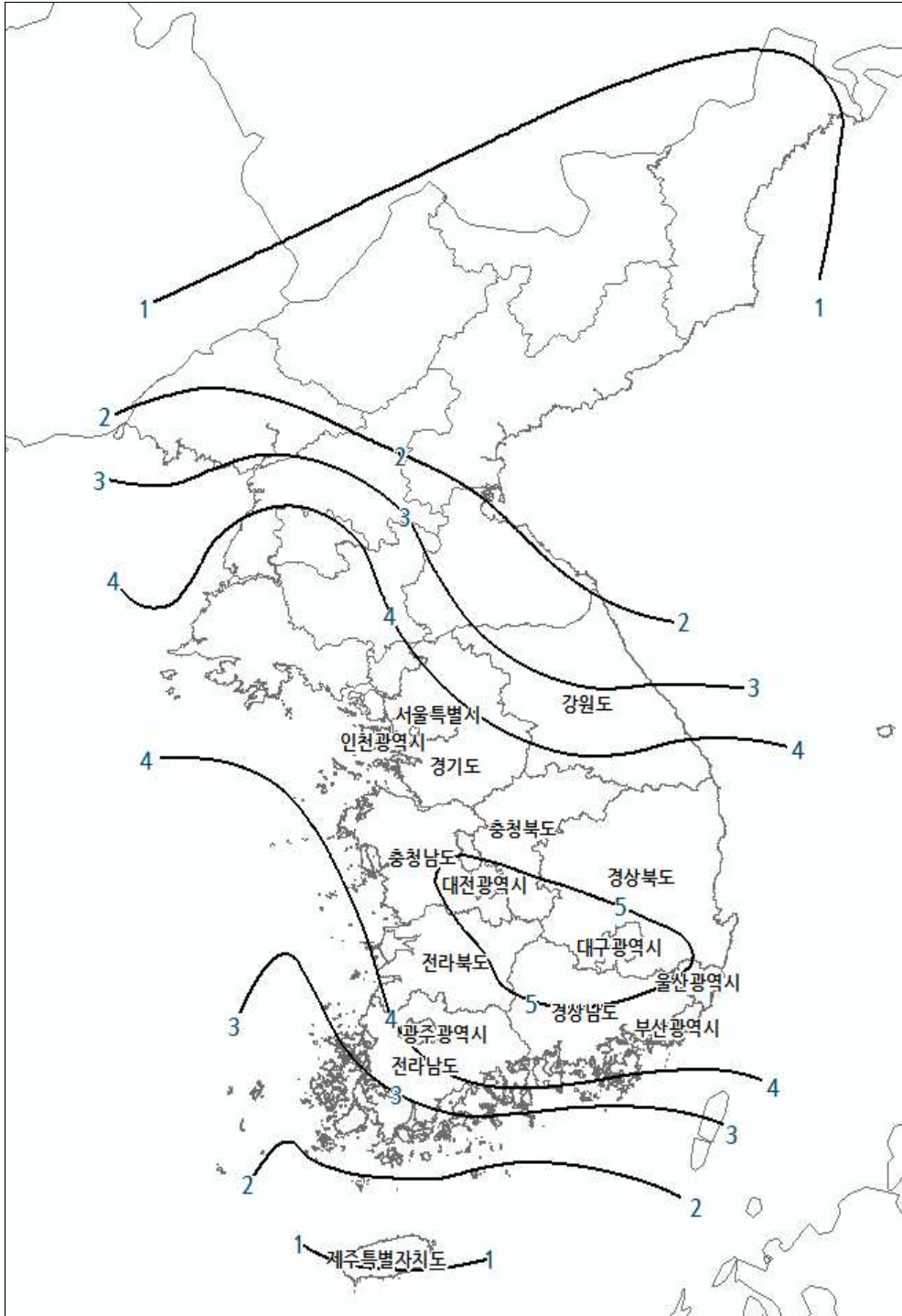
㉗ 해석 방법

- 가) 설계지반운동과 지진하중으로 적용되는 시간이력하중은 본 기준 2.4 7)과 8)에 따라 생성하여 사용한다.
- 나) 동적해석에서 수치모형은 관성력과 지반-구조물 상호작용에서의 부가적인 특성인 감쇠특성을 고려하여 모형화하여야 한다. 동적해석시 기반암 상부의 모든 지반과 구조물을 모델링하여 해석하거나 기반암에서 기초지반까지는 1차원 지반응답해석을 수행한 후 기초지반 상부를 모델링하여 해석할 수 있다. 지반을 포함한 구조물을 모델링한 후 3차원 지진해석을 실시하는 데에 있어 지반경계에서의 지진파의 반사를 억제시키기 위해 경계조건에 대한 고려가 반드시 필요하다.
- 다) 동적해석에서도 자연하중을 선정하여 해석시 고려해 주어야 한다.
- 라) 동적해석 상용 프로그램을 이용하여 구조물에 발생하는 응력을 검토하고 구조물의 단면력과 비교하여 안전성을 평가한다.
- 마) 동적해석에 의한 배수갑문 구조물의 인장, 압축응력을 구조물의 허용인장, 압축응력과 비교하여 동적 안전성을 평가한다. 동적해석에 의한 응력값이 구조물의 허용응력을 초과할 경우 단면 등을 재가정하여 구조물의 안정성을 재평가한다. 재평가의 결과가 동적 안전성을 만족할 경우 설계를 완료한다.

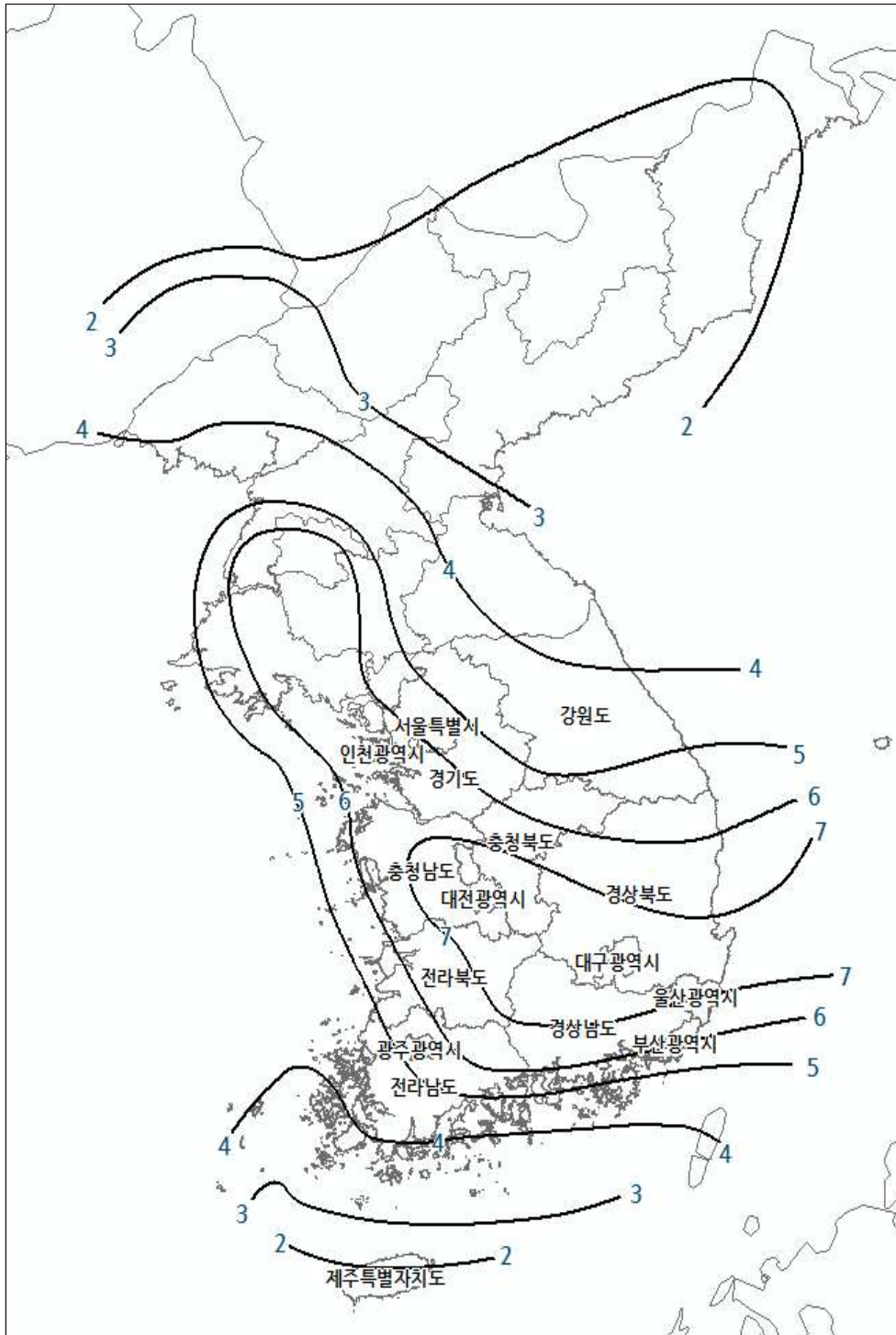
첨부. 국가지진위험지도 (소방방재청 공고 제2013-179호)



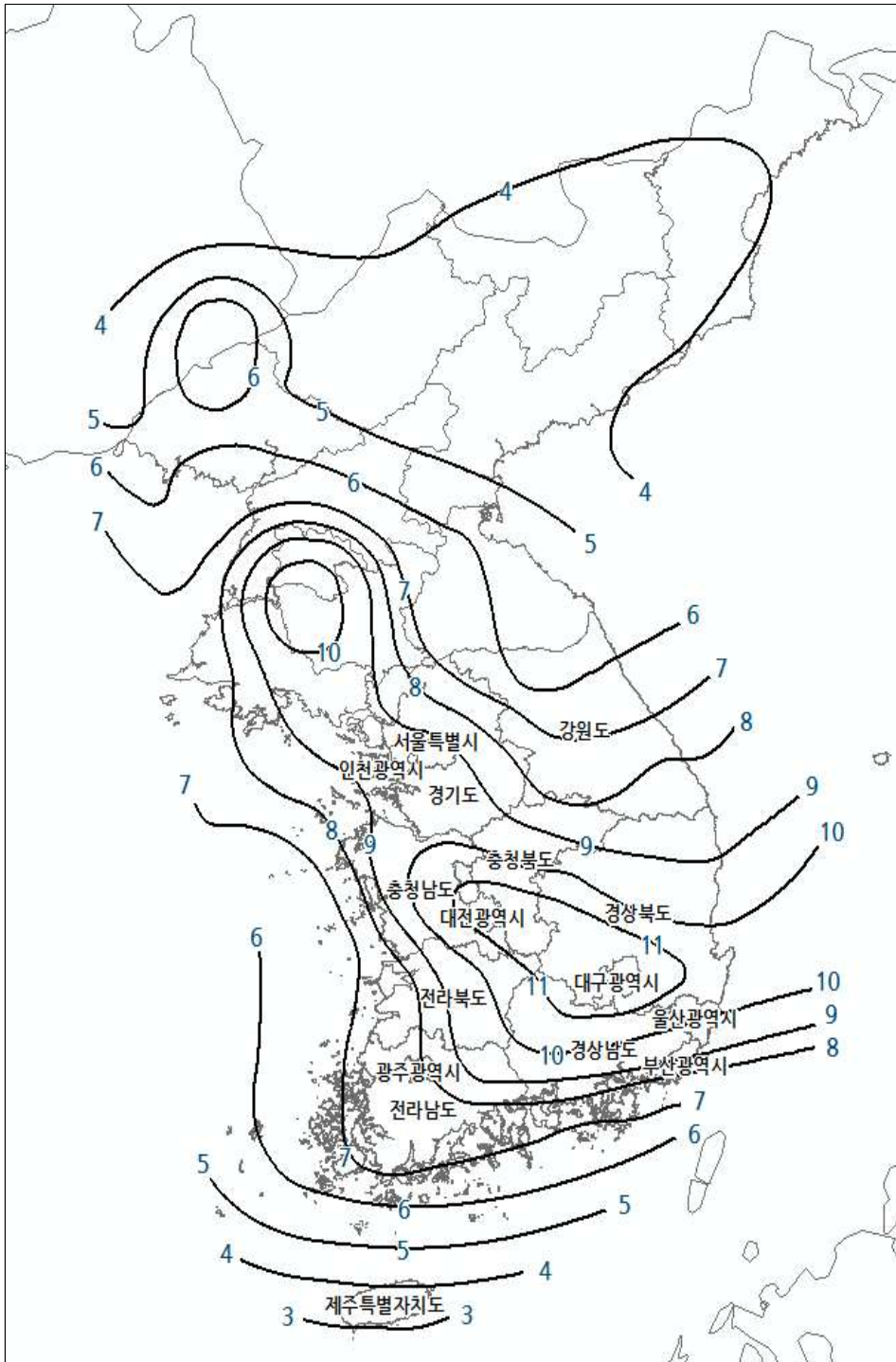
1. 재현주기 50년 국가지진위험지도 (%g)



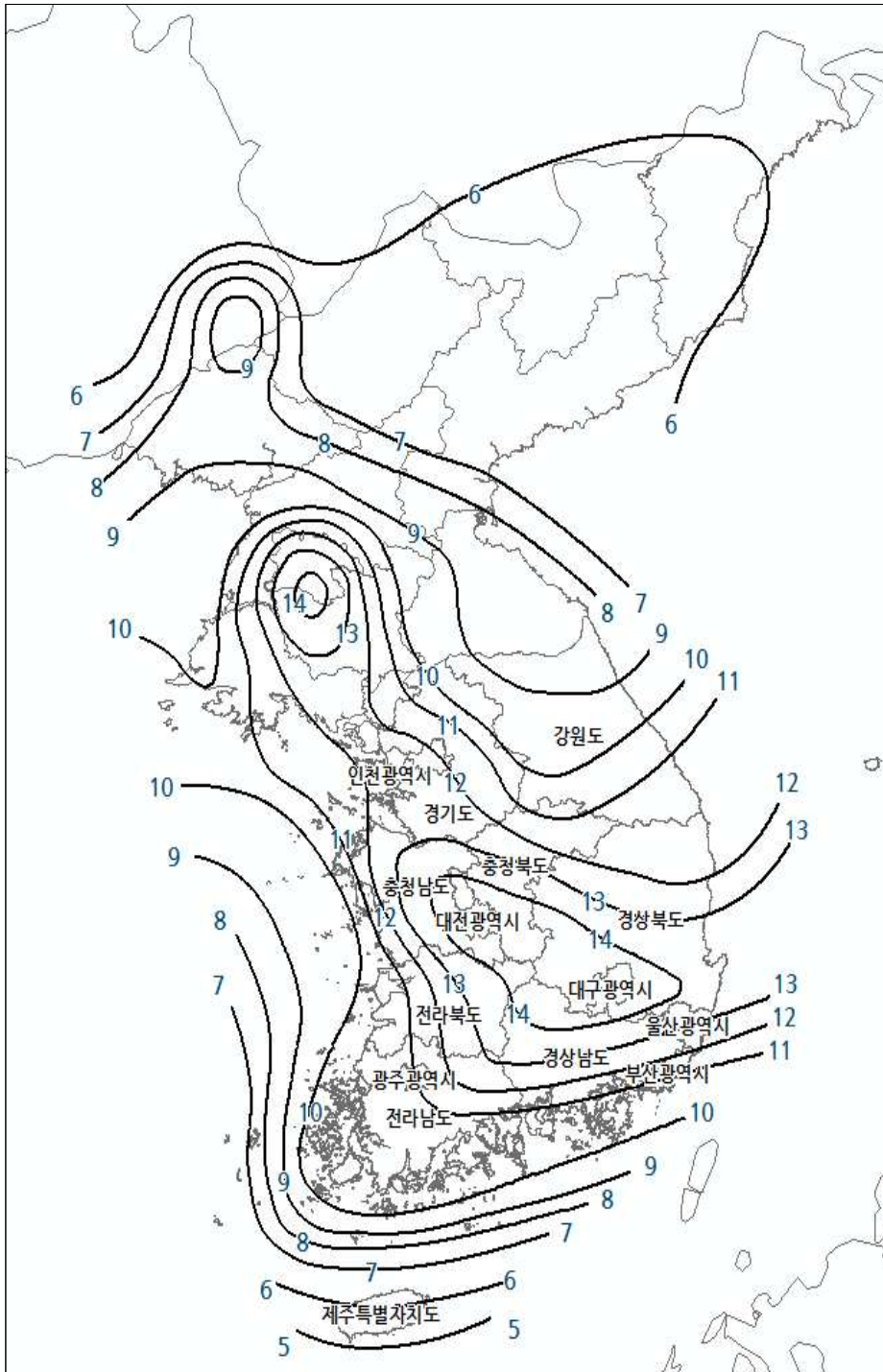
2. 재현주기 100년 국가지진위험지도 (%g)



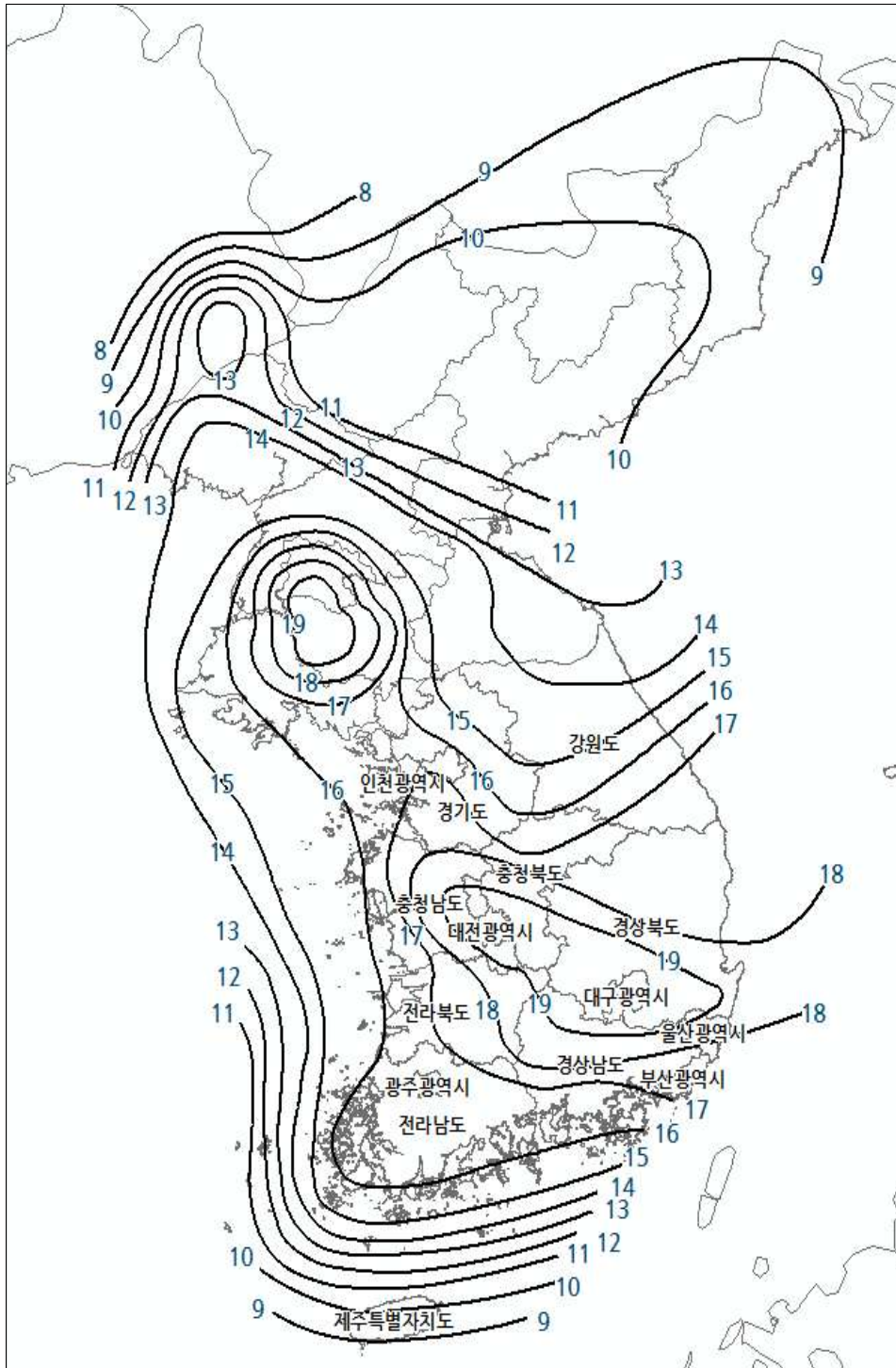
3. 재현주기 200년 국가지진위험지도 (%g)



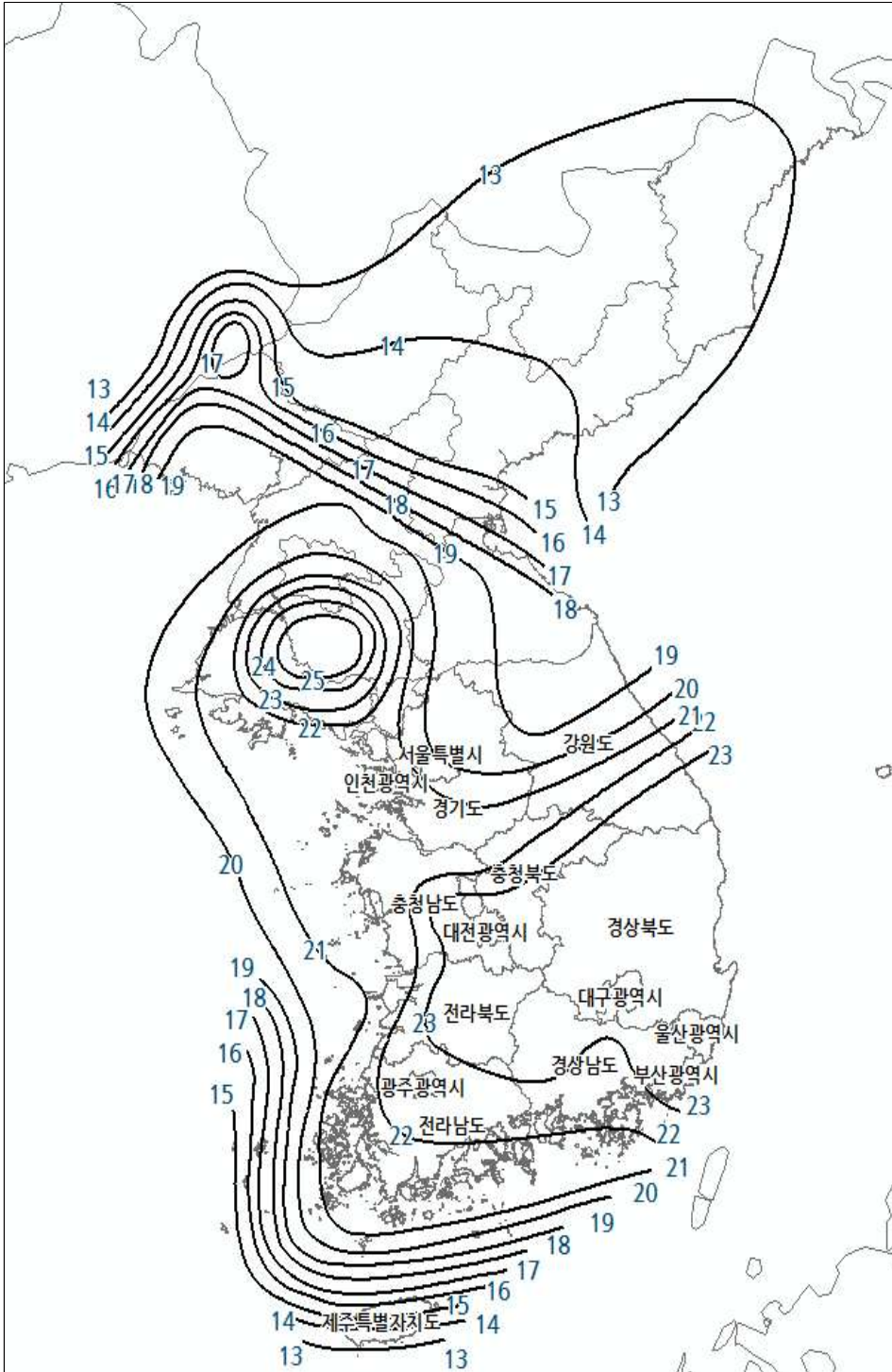
4. 재현주기 500년 국가지진위험지도 (%g)



5. 재현주기 1,000년 국가지진위험지도 (%g)



6. 재현주기 2,400년 국가지진위험지도 (%g)



7. 재현주기 4,800년 국가지진위험지도 (%g)

- 부록 1 -

저수지(필댐) 내진설계기준 신구대조표

농업생산기반	농업용댐	농업용 필댐설계
(KDS 67 00 00)	(KDS 67 10 00)	(KDS 67 10 20)

저수지(필댐) 내진설계기준 신규대조표

2017. 11.

연구기관 : 한국농공학회

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
<p>1.4 용어의 정의</p> <p>4.4. 안정성 검토</p> <p>4.4.1 활동에 대한 안정성 검토</p> <p>4.4.4.1 활동에 대한 안전율 <표 4.4.-1> 필댐의 안전율</p> <p><u>4.4.3 액상화의 검토</u></p> <p><u>4.4.3.1 액상화 현상</u></p> <p><u>4.4.3.2 액상화의 검토 방법</u></p> <p><u>4.4.3.3 액상화 방지 대책</u></p> <p><u>4.4.5 필댐의 내진설계 및 방재공</u></p> <p><u>4.4.5.1 내진설계 방법</u></p> <p><u>4.4.5.2 설계 지반운동 및 설계진도</u></p> <p><u>4.4.5.3 내진등급과 설계지진 수준</u></p> <p><u>4.4.5.4 지진하중</u></p> <p><u>4.4.5.5 필댐의 내진설계</u></p> <p><u>4.4.5.6 정역학적 설계기준</u></p> <p><u>4.4.5.7 활동면법에 의한 지진시 사면안정 검토</u></p> <p><u>4.4.5.8 동적 설계</u></p>	<p>1.4 용어의 정의</p> <p>4.4. 안정성 검토</p> <p>4.4.1 활동에 대한 안정성 검토</p> <p>4.4.4.1 활동에 대한 안전율 <표 4.4.-1> 필댐의 안전율</p> <p><u>4.4.4. 필댐의 내진설계</u></p> <p><u>(1) 적용 시설</u></p> <p><u>(2) 기본개념</u></p> <p><u>4.4.4.1 내진설계 일반</u></p> <p><u>(1) 내진설계 기법</u></p> <p><u>(2) 설계지반 운동</u></p> <p><u>(3) 내진등급별 설계지진 수준</u></p> <p><u>(4) 기초지반의 분류</u></p> <p><u>(5) 지진하중</u></p> <p><u>(6) 내진성능 수준 및 목표</u></p> <p><u>4.4.4.2 필댐의 내진설계</u></p> <p><u>(1) 설계거동 한계</u></p> <p><u>(2) 정역학적 설계기준</u></p> <p><u>(3) 동역학적 검토</u></p> <p><u>(4) 액상화 검토</u></p>	<p>- 기존 기준은 내진설계 기준과 관련된 내용을 상세히 기술하지 못함.</p> <p>- 내진설계와 관련한 기술내용을 상세히 기술하였으며, 별도의 절로 기술되어 있는 “액상화의 검토” 내용을 포함하여 내진설계 기준에 대한 기준서로서의 체계를 명확히 함.</p>

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
<p>4.4.6. 매설계측 안정관리</p> <p>4.4.6.1 간극수압계</p> <p>4.4.6.2 토압계</p> <p>4.4.6.3 층별침하계</p> <p>4.4.6.4 수평변위계</p> <p>4.4.6.5 누수측정장치</p> <p>4.4.6.6 지진계</p> <p>4.4.6.7 암반변위 측정계</p> <p>4.4.6.8 전단변위 측정계</p>	<p>4.4.5. 매설계측 안정관리</p> <p>4.4.5.1 간극수압계</p> <p>4.4.5.2 토압계</p> <p>4.4.5.3 층별침하계</p> <p>4.4.5.4 수평변위계</p> <p>4.4.5.5 누수측정장치</p> <p>4.4.5.6 지진계</p> <p>4.4.5.7 암반변위 측정계</p> <p>4.4.5.8 전단변위 측정계</p> <p><u>첨부. 국가지진위험지도(소방방제청 공고 제2013-179호)</u></p>	
<p>1.4용어의정의</p> <p>(1)~(6) 생략</p> <p><u>(7)~(21)</u></p> <p><u><신설></u></p>	<p>1.4 용어정의</p> <p>(1)~(6) 기존 동일</p> <p><u>(7) "감쇠"란 점성, 소성 또는 마찰에 의해 댐에 입력된 에너지가 소산되는 현상을 말한다.</u></p> <p><u>(8) "기반암"란 전단파속도가 760m/s 이상인 지층을 말한다.</u></p> <p><u>(9) "내진성능수준"이란 설계지진에 대해 시설물에 요구되는 최소 성능수준을 말한다.</u></p> <p><u>(10) "설계지반운동"이란 내진설계를 위해 정의된 지반운동으</u></p>	<p>내진관련 용어정의 [추가]</p> <p>[신규]</p>

개편 설계기준 (2017년)	변 경	사유 및 근거
	<p><u>로서 댐이 건설되기 전에 부지 정지작업이 완료된 지면에서의 지반운동을 말한다.</u></p> <p>(11) <u>"액상화"란 포화된 사질토 등에서 지진동, 발파하중 등과 같은 충격하중에 의하여, 지반 내에 과잉간극수압이 발생하여, 지반의 전단강도가 상실되어 액체처럼 거동하는 현상을 말한다.</u></p> <p>(12) <u>"위험도 계수"란 평균재현주기가 500년인 지진을 기준으로 하여, 평균재현주기가 다른 지진의 최대지반가속도를 상대적 비율로 나타낸 계수를 말한다.</u></p> <p>(13) <u>"유효지반가속도"란 지진하중을 산정하기 위하여 국가지진위험지도나 행정구역을 기준으로 제시된 지반운동 수준을 말한다.</u></p> <p>(14) <u>"응답스펙트럼"이란 지반운동에 대한 단자유도 시스템의 최대응답을 고유주기 또는 고유진동수의 함수로 표현한 스펙트럼을 말한다.</u></p> <p>(15) <u>"응답(시간)이력해석"이란 지진의 지속시간 동안 각 시간단계에서의 구조물의 동적응답을 구하는 방법이다.</u></p> <p>(16) <u>"재현주기"란 지진과 같은 자연재해가 특정한 크기 이상으로 발생할 주기를 확률적으로 계산한 값으로, 일 년 동</u></p>	

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
	<p><u>안에 특정한 크기 이상의 자연재해가 발생할 확률의 역수를 말한다.</u></p> <p>(17) <u>"지반증폭계수"란 기반암의 스펙트럼 가속도(속도)에 대한 지표면의 스펙트럼 가속도(속도)의 증폭비율을 말한다.</u></p> <p>(18) <u>"지진구역계수"란 지진구역 I과 II의 암반지반(s_1) 상에서 평균재현주기 500년 지진의 지반운동 가속도를 중력가속도 단위로 표현한 값을 말한다.</u></p> <p>(19) <u>"지진위험지도"란 내진설계 등에 활용하기 위하여 정밀한 지진위험도(또는 지진재해도) 분석결과를 표시한 지도를 말한다.</u></p> <p>(20) <u>"지진재해도"란 내진설계의 기초가 되는 지진구역을 설정하기 위하여 과거의 지진기록과 지질 및 지반특성 등을 종합적으로 분석하여 산정한 지진재해의 발생확률을 말한다.</u></p> <p>(21) <u>"표준설계응답스펙트럼"이란 s_1 지반에서 평균재현주기 500년인 설계지진에 대한 5% 감쇠비 단자유도 시스템의 설계응답스펙트럼을 말한다.</u></p>	

개편 설계기준 (2017년)							변 경							사유 및 근거
4.4안정성검토 4.4.1활동에 대한안정성검토 4.4.4.1활동에 대한안전율 <표 4.4.-1> 필댐의 안전율							4.4안정성검토 4.4.1활동에 대한안정성검토 4.4.4.1활동에 대한안전율 <표 4.4.-1> 필댐의 안전율							[일부변경] 기존 필댐의 안전율은 2002년 개정 당시 2001년 개정된 댐설계기준의 내용을 따른 것으로, 2011년 댐설계기준이 개정되면서 필댐의 안전율 내용이 수정되었으므로, 이에 따라 필댐편에서의 안전율 기준 또한 개정된 댐설계기준에 근거하여 수정되어야 함 <근거> 댐설계기준(2011)
구분	제체조건	저수위	지진	안전율		비고	구분	제체조건	저수위	지진	안전율		비고	
				상류	하류						상류	하류		
1	완성직후	바닥상태	없음	1.3	1.3	1) 상류측 비탈면의 하부존이 암석 등으로 되어 있어 간극압이 발생하지 않을 경우에 한함. 2) 수위는 보통 댐높이의 45~50%를 취하여 계산함	1	완성직후 (간극수압최대)	바닥상태	있음	1.3	1.3	1) 상류측 비탈면의 하부존이 암석 등으로 되어 있어 간극압이 발생하지 않을 경우에 한함. 2) 수위는 보통 댐높이의 45~50%를 적용하여 계산함	
2	(간극압최대)	일부저수	"	1.3	-		2	완성직후	일부저수 ¹⁾	없음	1.3	-		
3		급강하	"	1.2	1.2		3	평상시	설계홍수위	없음	1.2	1.2		
4	평상시	만수	있음	1.2	1.2		4	평상시	만수	있음	1.2	1.2		
5		일부저수	"	1.15	-		5	평상시	일부저수 ²⁾	있음	1.15	-		
						6	평상시	급강하	있음	1.2	-			

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
<p>4.4.5 필댐의 내진설계 및 방재공</p> <p>(1) 필댐 및 부속시설의 <u>내진성 확보를 위해</u> 필요한 최소 요구조건을 만족하도록 신설되는 <u>높이 15 m 이상인 총 저수량 50만 m³ 이상의 댐 및 부속시설에 대하여 내진설계 및 방재공을</u> 적용한다.</p>	<p>4.4.4 필댐의 내진설계</p> <p>(1) 적용 시설</p> <p>① 필댐 및 부속시설의 <u>내진성능을 확보하기 위하여</u> 필요한 <u>기준을 규정하는 것으로서</u> 신설되는 총저수용량 30만톤 이상인 저수지 및 부속시설의 <u>내진설계에</u> 적용한다.</p> <p>(2) 기본 개념</p> <p>① <u>댐에 상당한 변형과 부분적 손상이 발생하는 것은 허용할 수 있으나 지진시 또는 지진 경과 후에도 댐의 저수기능은 유지되어야 하며 통제 불가능한 저수량의 유출상태는 있어서는 안된다.</u></p> <p>② <u>어느 경우에도 댐이 붕괴되지 않도록 댐체의 활동이나 전도를 방지하기 위한 충분한 안전율을 확보하여야 하며, 댐의 정상수명기간 내에 설계 지진력이 발생할 가능성은 희박한 것으로 본다.</u></p>	<p>[변경] 내진설계 대상시설의 적용 범위 확대</p> <p><근거> 지진화산 재해 대책 법 (2016.01)</p> <p>(농림축산부추진사항) 지진화산재해 대책법상 내진설계 대상시설 적용 범위 조정 추진중 (당초) 총저수량이 50만 m³ 이상이고 높이가 15m 이상인 저수지 (변경추진) 총저수량이 30만톤 이상인 저수지와 부속시설</p>

개편 설계기준 (2017년)	변 경	사유 및 근거
<p>4.4.5.1 내진설계 <u>방법</u></p> <p>(1) 지진시에는 댐 및 기초의 직접 파괴 이외에 저수지주변 또는 물넘이 사면의 활동이나 저수의 진동에 의한 간접 피해도 발생할 수 있기 때문에 이에 충분히 검토해야 한다.</p> <p>(2) 기본 개념</p> <p>① 댐에 상당한 변형과 부분적 손상이 발생하는 것은 허용할 수 있으나 지진시 또는 지진 경과 후에도 댐의 저수기능은 유지되어야 하며 통제 불가능한 저수량의 유출상태는 있어서는 안된다. 어느 경우에도 댐이 붕괴되지 않도록 댐체의 활동이나 전도를 방지하기 위한 충분한 안전율을 확보하여야 하며, 댐의 정상수명기간 내에 설계 지진력이 발생할 가능성은 희박한 것으로 본다.</p> <p>(3) 설계 방법</p> <p>① 내진설계방법은 지진력을 지진계수에 의한 하중의 관성력과 동수압으로 대치하고 정역학적인 방법으로 해석하는 진도법과 지진파에 의한 응답을 구하여 동적인 파동으로 해석하는 동역학적 안정해석 방법이 있다.</p> <p>② <u>댐 내진설계 방법은 정역학적 방법으로 해석하는 진도법을 기본으로 하고 있는데, 이미 경험적으로 안정적인</u></p>	<p>4.4.4.1 내진설계 <u>일반</u></p> <p><u>(1) 내진설계 기법</u></p> <p>① 내진설계방법은 지진력을 지진계수에 의한 하중의 관성력과 동수압으로 대치하고 정역학적인 방법으로 해석하는 진도법과 지진파에 의한 응답을 구하여 동적인 파동으로 해석하는 동역학적 안정해석 방법이 있다.</p> <p>② <u>정역학적 방법은</u> 간편하고 안정적인 해석결과를 얻을 수 있는 장점이 있으나 댐의 동적 특성을 고려하지 않</p>	<p>[일부변경] 동적해석법을 설계의 기본으로 정하지는 않지만, 상세검토가 요구되는 경우 동적해석에 의한 검토 가능성을 열어둠 <근거>댐 설계 기준(2011)</p> <p>[일부변경] 성능평가시나 동적해석법 적용시, 또는 경제적인 설계를 위하여, 국가지진위험 지도를 활용한 유효지반가속도를 산</p>

개편 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
<p><u>방법임이 입증되고 있다. 이 방법은</u> 간편하고 안정적인 해석결과를 얻을 수 있는 장점이 있으나 댐의 동적 특성을 고려하지 않고 지반과 구조물의 상호작용 관계인 설계진도와 최대 응답 가속도의 관계가 명백하지 않다.</p> <p>③ 선진국에서는 <u>지진파에 의한 응답을 구하여 동적인 파동으로 해석하는</u> 동역학적 안정해석 방법이 많이 개발되어 설계에 적용하고 있다. 이 방법도 댐 설계에 적용할 때는 ① 설계 지진파형의 설정, ② 댐 축조재료의 동적인 응력 왜곡 특성, ③ 해석방법으로서의 3차원적 응답이나 지하 소산 규정, ④ 파괴규준 및 파괴현상의 모의 등의 문제점이 있어 적용에 신중해야 한다.</p> <p>④ 특히, 우리 나라의 경우 <u>빈약한</u> 지진 해석자료 및 연구 <u>미흡으로</u> 여러 가지 불명확한 사항에 대한 가정이 <u>불가피하여 설계기준으로 동적 해석방법을 댐의 내진설계기준에 규정하기에는 무리가 따른다.</u></p> <p>4.4.5.2설계지반운동및설계진도 <u>(1) 설계지반운동</u></p>	<p>고 지반과 구조물의 상호작용 관계인 설계진도와 최대 응답 가속도의 관계가 명백하지 않다.</p> <p>③ <u>최근 미국 등 내진</u> 선진국에서는 동역학적 안정해석 방법이 많이 개발되어 설계에 적용하고 <u>있는데,</u> 이 방법도 댐 설계에 적용할 때는 설계 지진파형의 설정, 댐 축조재료의 동적인 응력 왜곡 특성, 해석방법으로서의 3차원적 응답이나 지하 소산 규정, 파괴규준 및 파괴현상의 모의 등의 문제점이 있어 적용에 신중해야 한다.</p> <p>④ 우리 나라의 경우 <u>부족한</u> 지진 해석자료 및 연구 <u>결과로 동적해석을 적용함에 있어서</u> 여러 가지 불명확한 사항에 대한 가정이 <u>불가피하므로, 진도법을 내진설계의 기본으로 한다. 다만, 진도법으로 설계된 댐체 단면에 대하여 제체 액상화 검토를 비롯한 상세한 검토가 요구되는 경우에는 동역학적 해석방법에 의한 검토를 수행한다.</u></p> <p><u>(2) 설계지반운동</u> <u>① 일반사항</u></p>	<p>정의 여지를 둬. <근거>댐 설계 기준(2011)</p> <p>[변경] 지진구역</p>

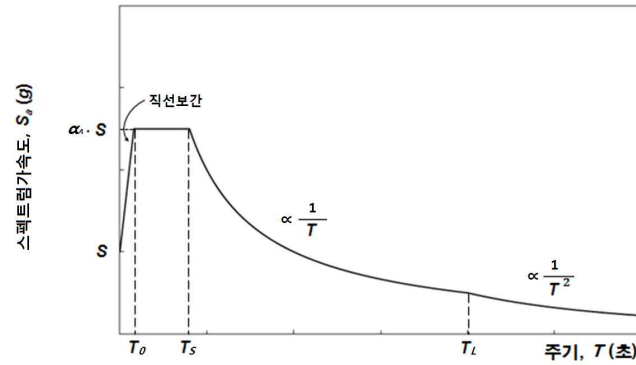
개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
<p>① 설계지반운동은 지표면에서의 자유장 운동으로 정의한다. 설계지반운동은 수평 2축 방향성분으로 정의되며 세기와 특성은 동일한 것으로 가정하고, 지진에 의한 수직 방향의 영향이 댐 안정에 영향을 주게 되는 경우는 이 방향의 지진력을 고려하여 하며 크기는 수평방향의 지반운동의 1/2로 본다. 또한, 댐의 내진설계 시에는 댐 상류의 저수지 수위 및 수위의 변화상태에 따라 댐 안전에 가장 불리한 방향으로 가진되는 경우를 상정하고 안정해석을 해야 한다.</p> <p>(2) 설계진도</p> <p>① 우리 나라의 지진구역을 아래 <표 4.4.-4>와 같이 설</p>	<p>가. 설계지반운동은 구조물이 건설되기 전에 부지 정지작업이 완료된 지면에서의 지반운동으로 정의한다.</p> <p>나. 설계지반운동은 통계학적으로 독립인 수평 2축 운동과 수직운동으로 정의한다.</p> <p>다. 수직운동은 수평 2축 운동과 별도로 정의하며 수직운동의 영향을 무시할 수 없는 경우에는 수직방향의 지진력을 고려하되 그 크기는 수평방향 지반운동의 1/2로 본다.</p> <p>라. 설계지반운동의 특성은 흔들림의 세기, 진동수성분 및 지속시간으로 정의한다.</p> <p>마. ‘첨부. 국가지진위험지도’의 값은 유효지반가속도(S)이다.</p> <p>바. 댐의 내진설계를 할 때 댐 상류의 저수지 수위 및 수위의 변화상태에 따라 댐안전에 가장 불리한 방향으로 가진되는 경우를 상정하고 안정해석을 한다. 이때 해당 저수지 수위의 발생빈도가 특히 낮은 경우에는 그때의 적용 지진력을 조정할 수 있다.</p> <p>② 설계진도</p> <p>가. 지진구역 및 지진위험도</p> <p>(가) 지진구역은 지진구역 I 및 지진구역 II의 두 개의 지</p>	<p>-세종시 추가, -전라남도는 모두 지진구역 I로 지정됨</p> <p><근거> 내진설계기준 공통적용 사항(국민안전처 공표안, 2017.07)</p>

개편 설계기준 (2017년)	변 경	사유 및 근거														
<p>정한다. 각 지진구역에서의 평균 재현주기 500년의 지진 지반운동에 해당하는 지진구역계수는 구역 I에서는 0.11, 구역 II에서는 0.07이다. 평균 재현주기별 최대 유효지반가속도의 중력가속도에 대한 비를 의미하는 위험도 계수는 평균 재현주기 500년일 때 1.0이며, 1,000년일 때는 1.4이다.</p> <p>② 필담 설계시 적용되는 설계진도는 지진 구역계수에 내진 등급별 설계지진의 평균 재현주기에 따른 위험도 계수, 지반계수 및 담 형식별 할증계수를 곱한 값에 중력가속도를 곱하여 구한다. 단, 지반계수와 담 형식별 할증계수는 정역학적 설계방법인 진도법에 의한 경우에만 적용한다.</p> <p>③ 그러나 위의 방법으로 산출된 설계진도가 0.2 g 이상이어서 우리 나라보다 지진규모나 발생빈도가 훨씬 높은 나라에서 적용하는 진도보다 과다하다고 판단되는 경우 설계자는 적용 설계진도를 0.2 g 이하로 조정할 수 있다.</p>	<p>지진구역으로 구분한다. 평균재현주기가 500년인 지진시암반지반(S_1 지반)의 각 지진구역에서의 지진구역계수(Z)는 <표 4.4-4>와 같다.</p> <p><표 4.4-4> 지진구역 및 지진구역계수(Z)</p> <table border="1" data-bbox="898 546 1599 861"> <thead> <tr> <th>지진 구역</th> <th colspan="2">행정구역</th> <th>지진구역 계수(Z)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">I</td> <td>시</td> <td>서울, 인천, 대전, 부산, 대구, 울산, 광주, 세종</td> <td rowspan="2">0.11g</td> </tr> <tr> <td>도</td> <td>경기, 충북, 충남, 경북, 경남, 전북, 전남, 강원 남부1)</td> </tr> <tr> <td>II</td> <td>도</td> <td>강원 북부2), 제주</td> <td>0.07g</td> </tr> </tbody> </table> <p>1)강원 남부 : 영월, 정선, 삼척, 강릉, 동해, 원주, 태백 2)강원 북부 : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천, 속초</p>	지진 구역	행정구역		지진구역 계수(Z)	I	시	서울, 인천, 대전, 부산, 대구, 울산, 광주, 세종	0.11g	도	경기, 충북, 충남, 경북, 경남, 전북, 전남, 강원 남부1)	II	도	강원 북부2), 제주	0.07g	
지진 구역	행정구역		지진구역 계수(Z)													
I	시	서울, 인천, 대전, 부산, 대구, 울산, 광주, 세종	0.11g													
	도	경기, 충북, 충남, 경북, 경남, 전북, 전남, 강원 남부1)														
II	도	강원 북부2), 제주	0.07g													

개편 설계기준 (2017년)		변경	사유 및 근거										
<p><u>〈표 4.4.-4〉 지진구역 구분</u></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>지진구역</th> <th>행정구역</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">I</td> <td>시</td> <td>서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시</td> </tr> <tr> <td>도</td> <td>경기도, 강원도남부(1), 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 북동부(2)</td> </tr> <tr> <td>II</td> <td>도</td> <td>강원도 북부(3), 전라남도 남서부(4), 제주도</td> </tr> </tbody> </table> <p>(주) : (1) 강원도 남부 : 영월, 정선, 삼척시, 강릉시, 동해시, 원주시, 태백시, (2) 전남 북동부 : 장성, 담양, 곡성, 구례, 장흥, 보성, 여천, 화순, 광양시, 나주시, 여천시, 여수시, 순천시 (3) 강원도 북부 : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천시, 속초시 (4) 전남 남서부 : 무안, 신안, 완도, 영광, 진도, 해남, 영암, 강진, 고흥, 함평, 목포시</p> <p>(나) <u>평균재현주기가 500년인 지진을 기준으로 하여, 평균 재현주기가 다른 지진의 최대지반가속도를 상대적 비율로 나타내는 계수인 위험도계수(I)는 <표 4.4.-5>와 같다.</u></p>				지진구역	행정구역	I	시	서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시	도	경기도, 강원도남부(1), 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 북동부(2)	II	도	강원도 북부(3), 전라남도 남서부(4), 제주도
지진구역	행정구역												
I	시	서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시											
	도	경기도, 강원도남부(1), 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 북동부(2)											
II	도	강원도 북부(3), 전라남도 남서부(4), 제주도											
			[신규] 2017년 7월에 공표된 국민안전처의 “내진설계기준 공통적용										

개편 설계기준 (2017년)	변 경	사유 및 근거														
	<p data-bbox="894 358 1193 385"><표 4.4-5> 위험도계수(I)</p> <table border="1" data-bbox="898 404 1595 563"> <thead> <tr> <th>재현주기</th> <th>50년</th> <th>100년</th> <th>200년</th> <th>500년</th> <th>1,000년</th> <th>2,400년</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>위험도 계수(I)</td> <td>0.4</td> <td>0.57</td> <td>0.73</td> <td>1.0</td> <td>1.4</td> <td>2.0</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="929 622 1595 952">(다) <표 4.4.-9>에서 규정하는 설계지진의 평균재현주기에 해당하는 위험도계수(I)(<표 4.4.-5> 참조)에 <표 4.4.-4>에 제시된 지진구역계수(Z)를 곱하여 유효지반가속도(S)를 결정한다. 경제적인 설계가 필요할 경우와 소성해석법이나 동적유효응력해석을 이용한 동적검토를 수행할 때, 기존 시설의 내진보강 설계를 위한 성능평가를 적용하고자 할 경우에 한해 국가지진위험지도를 이용한 방법으로 유효지반가속도(S)를 산정할 수 있다.</p> <p data-bbox="929 961 1595 1037">(라) 기초지반의 영향을 고려하기 위하여 <표 4.4-6>과 <표 4.4-7>을 이용하여 지반증폭계수를 결정한다.</p> <p data-bbox="929 1046 1595 1122">(마) 필댐이 균일형 흙댐인 경우 댐 형식별 할증계수 1.2를 적용한다.</p> <p data-bbox="929 1131 1595 1163">(바) 댐이 위치할 지점의 설계진도는 유효지반가속도(S)</p>	재현주기	50년	100년	200년	500년	1,000년	2,400년	위험도 계수(I)	0.4	0.57	0.73	1.0	1.4	2.0	<p data-bbox="1619 319 1827 731">사항”의 내용을 반영하여, 지반분류에 따른 표준설계응답스펙트럼과 전이주기를 제시하였고, 표준설계응답스펙트럼 곡선을 완성하기 위한 증폭계수를 제시하였다.</p> <p data-bbox="1619 744 1827 1156">설계진도가 결정되고, 설계응답스펙트럼이 결정되면 이러한 설계응답스펙트럼과 적합도를 가지도록 인공합성지진파를 생성하며, 이러한 지진파를 동적해석을 위한 입력지</p>
재현주기	50년	100년	200년	500년	1,000년	2,400년										
위험도 계수(I)	0.4	0.57	0.73	1.0	1.4	2.0										

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
	<p><u>와 지반증폭계수, 댐 형식별 할증계수를 모두 곱한 값으로 한다.</u></p> <p><u>(사) 이상의 방법으로 산출된 설계진도가 0.2g 이상이어서 우리나라보다 지진규모나 발생빈도가 훨씬 높은 나라에서 적용하는 진도보다 과다하다고 판단되는 경우 설계자는 적용 설계진도를 0.2g 이하로 조정할 수 있다.</u></p> <p><u>③ 설계지반운동의 특성 표현</u></p> <p><u>가. 설계지반운동의 세기 및 진동수 성분은 기본적으로 응답스펙트럼으로 표현한다.</u></p> <p><u>나. 암반지반(S_1 지반) 설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼은 다음과 같다.</u></p> <p><u>(가) 5 % 감쇠비에 대한 수평 설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼은 <그림 4.4.-2>와 같다.</u></p>	<p>진가속도 시간이력으로서 이용하는 절차를 제시함</p> <p><근거> 내진설계기준 공통적용사항(국민안전처 공표안, 2017.07)</p> <p>댐설계기준(2011)</p>



<그림 4.4-2> 가속도 표준설계응답스펙트럼(암반지반)

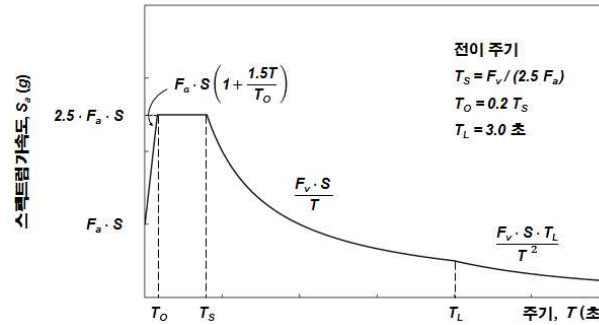
(나) <그림 4.4-2>의 가속도 표준설계응답스펙트럼의 전이주기는 <표 4.4-6>과 같다.

<표 4.4-6> 가속도 표준설계응답스펙트럼 전이주기

구분	α_A (단주기스펙트럼증폭계수)	전이주기(sec)		
		T_0	T_S	T_L
수평	2.8	0.06	0.3	3

개편 설계기준 (2017년)	변 경	사유 및 근거								
	<p>(다) 5% 감쇠비의 수직설계지반운동의 가속도 표준설계 응답스펙트럼은 수평설계지반운동의 가속도 표준설계 응답스펙트럼과 동일한 형상을 가지며, 최대 유효수평 지반가속도에 대한 최대 수직지반가속도의 비는 0.77이다.</p> <p>(라) 수평 및 수직 설계지반운동의 가속도 표준응답스펙트럼의 감쇠비(ξ, %단위)에 따른 스펙트럼 형상은 <표 4.4.-7>에 제시한 감쇠보정계수 C_D를 표준응답스펙트럼에 곱해서 구할 수 있다. 단, 감쇠비가 0.5%보다 작은 경우에는 적용하지 않으며 해당 구조물의 경우 응답(시간)이력해석을 권장한다.</p> <p><표 4.4.-7> 감쇠보정계수(C_D)</p> <table border="1" data-bbox="898 934 1599 1160"> <thead> <tr> <th>주기 (T, sec)</th> <th>$T = 0$</th> <th>$0 \leq T \leq 0.06$</th> <th>$0.06 \leq T$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C_D</td> <td>모든 감쇠비에 대해서 1.0</td> <td>$T = 0$일 때, 1.0 $T = 0.06$일 때, $\left(\frac{6.42}{1.42 + \xi}\right)^{0.48}$ 그 사이는 직선보간</td> <td>$\left(\frac{6.42}{1.42 + \xi}\right)^{0.48}$</td> </tr> </tbody> </table>	주기 (T , sec)	$T = 0$	$0 \leq T \leq 0.06$	$0.06 \leq T$	C_D	모든 감쇠비에 대해서 1.0	$T = 0$ 일 때, 1.0 $T = 0.06$ 일 때, $\left(\frac{6.42}{1.42 + \xi}\right)^{0.48}$ 그 사이는 직선보간	$\left(\frac{6.42}{1.42 + \xi}\right)^{0.48}$	
주기 (T , sec)	$T = 0$	$0 \leq T \leq 0.06$	$0.06 \leq T$							
C_D	모든 감쇠비에 대해서 1.0	$T = 0$ 일 때, 1.0 $T = 0.06$ 일 때, $\left(\frac{6.42}{1.42 + \xi}\right)^{0.48}$ 그 사이는 직선보간	$\left(\frac{6.42}{1.42 + \xi}\right)^{0.48}$							

개편 설계기준 (2017년)	변 경	사유 및 근거
	<p>다. 토사지반($S_2 \sim S_5$ 지반) 설계지반운동의 <u>가속도 표준설계응답스펙트럼은 다음과 같다.</u></p> <p>(가) 토사지반인 S2, S3, S4, S5 지반의 5% 감쇠비에 대한 <u>수평지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼은 <그 림 4.4-3>으로 정의한다. 지반증폭계수는 <표 4.4-8> 과 같으며 유효수평지반가속도(S)의 값이 중간 값에 해당할 경우 직선보간하여 결정한다.</u></p> <p>(나) 5% 감쇠비에 대한 S2~S5 지반의 수직지반운동의 가 <u>속도 표준설계응답스펙트럼은 수평설계지반운동의 가 속도 표준설계응답스펙트럼과 같은 전이주기를 가지 며, 최대 유효수평지반가속도에 대한 최대 유효수직지 반가속도의 비는 공학적 판단에 의해 값을 결정할 수 있다.</u></p> <p>(다) 토사지반에서 감쇠비에 따른 스펙트럼 형상은 해당 <u>토사지반에 적합한 가속도시간이력을 이용하여 공학적 으로 적절한 분석과정을 통해 결정할 수 있다.</u></p>	



<그림 4.4-3> 토사지반 수평지반운동의 가속도
 표준설계응답스펙트럼

<표 4.4-8> 지반증폭계수

지반 분류	단주기 증폭계수, Fa			장주기 증폭계수, Fv		
	S ≤ 0.1	S = 0.2	S = 0.3	S ≤ 0.1	S = 0.2	S = 0.3
S2	1.4	1.4	1.3	1.5	1.4	1.3
S3	1.7	1.5	1.3	1.7	1.6	1.5
S4	1.6	1.4	1.2	2.2	2.0	1.8
S5	1.8	1.3	1.3	3.0	2.7	2.4

라. <그림 4.4-2> 및 <그림 4.4-3>에서 유효지반가속도
 (S)는 지진하중을 산정하기 위한 지반운동수준으로 국
 가지진위험지도 또는 행정구역에 따라 결정한다. 다만,

개편 설계기준 (2017년)	변 경	사유 및 근거
	<p><u>국가지진위험지도를 이용하여 결정하는 경우, 행정구역에 따라 결정한 값의 80 % 보다 작지 않아야 한다.</u></p> <p><u>다. 행정구역에 의한 방법으로 평균재현주기에 따른 유효지반 가속도(S)를 결정할 때는 지진구역계수(Z)에 각 평균재현주기의 위험도 계수(I)를 곱하여 다음의 식과 같이 결정한다. 기초지반 분류에 따른 지반증폭계수는 <표 4.4.-8>의 유효지반가속도 수준에 따른 단주기 증폭계수를 적용한다.</u></p> $S = Z \times I$ <p><u>여기서 Z : 지진구역계수, I : 위험도계수</u></p> <p><u>바. $S_1 \sim S_6$ 지반의 경우, 표준설계응답스펙트럼 대신 부지고유의 지반응답해석을 이용하여 결정한 스펙트럼을 사용할 수 있다.</u></p> <p><u>사. 설계지반운동 시간이력</u></p> <p><u>(가) 지반 가속도, 속도, 변위 중 하나 이상의 이력으로 지반운동을 표현할 수 있다.</u></p> <p><u>(나) 3차원 해석이 필요할 때 지반운동은 동시에 작용하는 3개의 성분으로 구성하여야 한다.</u></p>	

개편 설계기준 (2017년)	변 경	사유 및 근거
	<p><u>(다) 설계지반운동 시간이력은 암반지반에 대해 작성된 시간이력을 사용하여 지반응답해석을 통해 결정한다.</u></p> <p><u>(라) 부지에서 계측된 시간이력을 사용하는 것이 원칙이나, 필요시에는 대상 부지에서 예상되는 시간이력과 유사한 다른 지역에서 계측된 지반운동 시간이력 또는 다음 아)항에 기술하는 인공합성 지반운동 시간이력을 사용할 수 있다.</u></p> <p>아. 인공합성 지반운동 시간이력</p> <p><u>(가) 실제 기록된 지진 지반운동을 표준설계응답스펙트럼에 부합되도록 수정하거나 표준설계응답스펙트럼에 부합되도록 인공적으로 합성하여 생성하여야 한다.</u></p> <p><u>(나) 지반운동의 장주기 성분이 댐의 거동에 미치는 영향이 중요하다고 판단될 경우에는 지진원의 특성과 국지적인 영향을 고려하여 시간이력을 생성하여야 한다.</u></p> <p><u>(다) 인공합성 지반운동의 지속시간은 지진의 규모와 특성, 전파경로 및 부지의 국지적인 조건이 미치는 영향을 고려하여야 한다.</u></p> <p>자. 해석 시 지반운동의 공간적 변화 특성이 응답에 큰 영향을 주는 경우에는 이를 반영하여야 한다.</p>	

개편 설계기준 (2017년)			변경	사유 및 근거																		
<p>4.4.5.3 내진등급과 설계지진 수준</p> <p>(1) 댐 내진 등급은 “<표 4.4.-5> 댐의 내진 등급과 설계지진”과 같이 댐의 중요도에 따라 내진 I 등급 및 내진 특등급의 두가지 등급으로 분류한다.</p> <p><표 4.4.-5> 댐의 내진 등급과 설계지진</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>내진 등급</th> <th>댐</th> <th>설계지진의 평균재현주기</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>내진 특등급 댐</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 사회, 안보, 경제적인 측면에서 특별한 댐으로 발주처가 지정하는 댐 • 법에 의하여 다목적 댐으로 분류한 댐 • 총저수량 2천만 m³ 이상인 댐 </td> <td>1,000 년</td> </tr> <tr> <td>내진 I 등급 댐</td> <td>높이 15m 이상이고 총저수량 50만 m³ 이상인 댐</td> <td>500 년</td> </tr> </tbody> </table>			내진 등급	댐	설계지진의 평균재현주기	내진 특등급 댐	<ul style="list-style-type: none"> • 사회, 안보, 경제적인 측면에서 특별한 댐으로 발주처가 지정하는 댐 • 법에 의하여 다목적 댐으로 분류한 댐 • 총저수량 2천만 m³ 이상인 댐 	1,000 년	내진 I 등급 댐	높이 15m 이상이고 총저수량 50만 m ³ 이상인 댐	500 년	<p>(3) 내진등급별 설계지진 수준</p> <p>① 댐의 내진등급은 댐의 중요도에 따라 내진 II등급 및 내진 I등급의 두 가지 등급으로 분류하며 <표 4.4.-9>와 같이 내진 등급별로 규정된 평균재현주기를 갖는 설계지진 수준을 적용하여 내진설계를 수행한다.</p> <p><표 4.4.-9> 댐의 내진 등급과 설계지진</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>내진 등급</th> <th>댐</th> <th>설계지진의 평균재현주기</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>내진 I 등급 댐</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 사회, 안보, 경제적인 측면에서 특별한 댐으로 발주처가 지정하는 댐 • 총저수량 2천만톤 이상인 댐 </td> <td>1,000 년</td> </tr> <tr> <td>내진 II 등급 댐</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • 총저수용량 30만톤 이상인 댐 • 붕괴 시 하류 인명피해가 예상되는 댐 </td> <td>500 년</td> </tr> </tbody> </table>	내진 등급	댐	설계지진의 평균재현주기	내진 I 등급 댐	<ul style="list-style-type: none"> • 사회, 안보, 경제적인 측면에서 특별한 댐으로 발주처가 지정하는 댐 • 총저수량 2천만톤 이상인 댐 	1,000 년	내진 II 등급 댐	<ul style="list-style-type: none"> • 총저수용량 30만톤 이상인 댐 • 붕괴 시 하류 인명피해가 예상되는 댐 	500 년	<p>[변경] 내진등급명칭 댐 설계기준에서 제시하는 댐의 등급에 따른 내진성능수준과 설계지진의 재현주기가 내진설계기준 공통적용사항 (국민안전처 공표, 2017년 7월)과 불일치함. 즉, 내진특등급 붕괴방지수준은 2400년 재현주기, 내진 I등급 붕괴방지수준은 1000년 재현주기 설계지진을 적용하여야 하나, 각각 1000년, 500년 재현주</p>
내진 등급	댐	설계지진의 평균재현주기																				
내진 특등급 댐	<ul style="list-style-type: none"> • 사회, 안보, 경제적인 측면에서 특별한 댐으로 발주처가 지정하는 댐 • 법에 의하여 다목적 댐으로 분류한 댐 • 총저수량 2천만 m³ 이상인 댐 	1,000 년																				
내진 I 등급 댐	높이 15m 이상이고 총저수량 50만 m ³ 이상인 댐	500 년																				
내진 등급	댐	설계지진의 평균재현주기																				
내진 I 등급 댐	<ul style="list-style-type: none"> • 사회, 안보, 경제적인 측면에서 특별한 댐으로 발주처가 지정하는 댐 • 총저수량 2천만톤 이상인 댐 	1,000 년																				
내진 II 등급 댐	<ul style="list-style-type: none"> • 총저수용량 30만톤 이상인 댐 • 붕괴 시 하류 인명피해가 예상되는 댐 	500 년																				

개편 설계기준 (2017년)	변 경	사유 및 근거
		<p>기 설계지진을 낮추어 적용. 이는, 정서적 개념에서 중요성을 고려하여 댐의 등급을 특등급과 I등급으로 명명하였으나, 실제 이에 상응하는 설계지진을 그대로 대응하면 설계지진력이 지나치게 커짐. 이를 감안하여 유례없이 댐설계기준만 이런 방식으로 낮춘 설계지진을 적용하고 있음. 댐설계기준을 근간으로 작성된 저수지내진설계기준도 이 점을 반영하</p>

개편 설계기준 (2017년)	변 경	사유 및 근거
		<p>여 오류가 발생한 것임.</p> <p>현재 특등급과 I등급으로 표기된 저수지의 내진등급을 원칙대로 I등급과 II등급으로 수정 명기하는 것이 바람직. 기존의 등급 명칭을 유지하는 것은 최근 내진설계기준 공통적용사항에도 부합되지 않으며, 과도한 설계지진력을 요구할 수 있기 때문임</p> <p><근거> 내진설계기준 공통적용사항 (국민안전처 공표, 2017.07)</p>

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거																												
	<p>(4) 기초지반의 분류</p> <p>① 지반분류는 기반암의 깊이(H)와 기반암 상부 토층의 평균 전단파속도($V_{s,soil}$)에 근거하여 <표 4.4.-10>과 같이 $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$의 6종류로 분류한다.</p> <p><표 4.4.-10> 지반의 분류</p> <table border="1" data-bbox="898 594 1599 1082"> <thead> <tr> <th rowspan="2">지반 종류</th> <th rowspan="2">지반종류의 호칭</th> <th colspan="2">분류기준</th> </tr> <tr> <th>기반암 깊이, H (m)</th> <th>토층 평균 전단파속도, $V_{s,soil}$ (m/s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>S1</td> <td>암반 지반</td> <td>1 미만</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>S2</td> <td>얇고 단단한 지반</td> <td rowspan="2">1~20 이하</td> <td>260 이상</td> </tr> <tr> <td>S3</td> <td>얇고 연약한 지반</td> <td>260 미만</td> </tr> <tr> <td>S4</td> <td>깊고 단단한 지반</td> <td rowspan="2">20 초과</td> <td>180 이상</td> </tr> <tr> <td>S5</td> <td>깊고 연약한 지반</td> <td>180 미만</td> </tr> <tr> <td>S6</td> <td colspan="3">부지 고유의 특성 평가 및 지반응답해석이 요구되는 지반</td> </tr> </tbody> </table>	지반 종류	지반종류의 호칭	분류기준		기반암 깊이, H (m)	토층 평균 전단파속도, $V_{s,soil}$ (m/s)	S1	암반 지반	1 미만	-	S2	얇고 단단한 지반	1~20 이하	260 이상	S3	얇고 연약한 지반	260 미만	S4	깊고 단단한 지반	20 초과	180 이상	S5	깊고 연약한 지반	180 미만	S6	부지 고유의 특성 평가 및 지반응답해석이 요구되는 지반			<p>[신규]기초 지반의 분류 체계 제시. 설계지진력의 크기 (설계진도)를 결정함에 있어, 댐기초 지반의 특성을 반영한 지반증폭계수를 결정하기 위해서는 우선적으로 기초지반을 분류하는 체계를 제시해 주어야함</p> <p><근거>내진설계기준 공통적용사항 (국민안전처 공표, 2017.07), 댐설계기준(2011)</p>
지반 종류	지반종류의 호칭			분류기준																										
		기반암 깊이, H (m)	토층 평균 전단파속도, $V_{s,soil}$ (m/s)																											
S1	암반 지반	1 미만	-																											
S2	얇고 단단한 지반	1~20 이하	260 이상																											
S3	얇고 연약한 지반		260 미만																											
S4	깊고 단단한 지반	20 초과	180 이상																											
S5	깊고 연약한 지반		180 미만																											
S6	부지 고유의 특성 평가 및 지반응답해석이 요구되는 지반																													

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
	<p>② <u>기반암이란 전단파속도 760m/s 이상을 나타내는 지층을 말하며 기반암 깊이와 무관하게 토층 평균 전단파속도가 120m/s 이하인 지반은 S_5 지반으로 분류한다.</u></p> <p>③ <u>S_6 지반은 다음과 같은 조건의 지반이다.</u> 가. 액상화가 일어날 수 있는 흙, 예민비가 8이상인 점토, 붕괴될 정도로 결합력이 약한 붕괴성 흙과 같이 지진 하중 작용 시 잠재적인 파괴나 붕괴에 취약한 지반 나. 이탄 또는 유기성이 매우 높은 점토지반(지층의 두께 > 3m) 다. 매우 높은 소성을 띤 점토지반(지층의 두께 > 7m이고, 소성지수(PI: Plasticity Index) > 75) 라. 층이 매우 두껍고 연약하거나 중간 정도로 단단한 점토(지층의 두께 > 36m) 마. 기반암이 깊이 50m를 초과하여 존재하는 지반</p> <p>④ <u>토층의 평균 전단파속도($V_{s,soil}$)는 탄성파시험 결과가 있을 경우 이를 우선적으로 적용한다.</u></p> <p>⑤ <u>토층 평균 전단파속도($V_{s,soil}$)는 다음 식에 따라 결정한다.</u></p>	

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
	$V_{S, Soil} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}}}$ <p>여기서 d_i = 기반암 깊이까지의 i 번째 토층의 두께, m V_{si} = 기반암 깊이까지의 i 번째 토층의 전단파속도, m/s</p> <p>⑥ 전단파속도가 획득되지 않는다면 표준관입시험 관입저항치(SPT-N치)를 전단파속도로 변환할 수 있다. 변환에는 국내 지반에 대해 제안된 상관관계식(Sun, C. G., Cho, C. S., Son, M., & Shin, J. S. (2013). <u>Correlations between shear wave velocity and in-situ penetration test results for Korean soil deposits</u>. <i>Pure and Applied Geophysics</i>, 170(3), 271-281)을 활용할 수 있다. 표준관입시험 시 단단한 암질에 도달하여 항타수가 50에 이르러도 30cm 깊이를 관입하지 못할 경우 50타수 이상의 N값은 선형적인 비례관계를 토대로 30cm</p>	<p>[신규]표준관입저항치를 활용한 전단파속도 근사 예측방법 제시. 기초지반의 분류방법이 토층의 전단파속도를 기준으로 하므로, 별도의 전단파속도 산정을 위한 현장시험이 수행되</p>

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
<p>4.4.5.4 지진하중</p> <p>(1) 지진시 댐에 발생하는 응력과 변형을 평가할 때에는 댐에 작용하는 사하중에 설계진도를 곱한 지진 관성력을 고려하여야 하며, 이 관성력의 작용방향은 댐의 안정성에 불리한 방향으로 작용하는 것으로 해석하여야 한다. 이는 유체의 동압력의 영향뿐만 아니라 수면과의 영향이 고려되어야 한다.</p>	<p><u>두께 관입 시 N값으로 환산한다. 이때 환산 N치의 최대값은 300이다. 적용한다.</u></p> <p>(5) 지진하중</p> <p>① 지진 관성력은 댐 안정에 불리한 방향으로 작용하는 것으로 해석한다. 즉, 댐 본체는 상하류 방향의 수평지진력만을 고려하여 설계하며, 부속시설은 구조물의 특성에 따라 상하류 방향 또는 댐축 방향의 지진력을 선별적으로 고려하여 설계한다.</p> <p>② 지진 시 유체의 동압력뿐만 아니라 파랑고의 영향도 고려할 수 있다.</p> <p>(6) 내진성능 수준 및 목표</p> <p>① 내진성능수준 가. 댐의 내진성능수준은 ‘붕괴방지수준’으로 정의한다. 나. ‘붕괴방지수준’이란 설계지진 시 댐에 상당한 변형과 부분적 손상이 발생하는 것은 허용할 수 있으나 댐의 저수기능은 유지되어야 하며 통제 불가능한 저수량의 유출상태는 있어서는 안 되는 성능수준이다.</p> <p>② 내진성능목표</p>	<p>지 않은 경우, 비교적 획득이 쉬운 표준관입저항치를 전단파속도로 환산하는 방법 제시</p> <p><근거>내진설계기준 공통적용사항 (국민안전처 공표, 2017.07)</p> <p>[신규]내진성능수준 및 목표 추가</p> <p><근거>댐설계기준 (2011), 내진설계기준 공통적용사항 (국민안전처 공표 안, 2017.07)</p>

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거																			
	<p><u>가. 내진성능목표는 내진등급별로 설계지반운동에 대한 내진성능수준으로 정의되며 <표 4.4.-11>을 따른다.</u></p> <p><u><표 4.4.-11> 필담의 내진성능목표</u></p> <table border="1" data-bbox="902 482 1590 768"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th rowspan="2">평균재현 주기</th> <th colspan="2">내진성능수준</th> </tr> <tr> <th>기능수행</th> <th>붕괴 방지</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">설계 지진</td> <td>50년</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>100년</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>500년</td> <td></td> <td>내진 II등급</td> </tr> <tr> <td>1000년</td> <td></td> <td>내진 I등급</td> </tr> </tbody> </table>		평균재현 주기	내진성능수준		기능수행	붕괴 방지	설계 지진	50년			100년			500년		내진 II등급	1000년		내진 I등급	
	평균재현 주기			내진성능수준																	
		기능수행	붕괴 방지																		
설계 지진	50년																				
	100년																				
	500년		내진 II등급																		
	1000년		내진 I등급																		
<p>4.4.5.5 필담의 내진설계</p> <p><u>(1) 필담은 형식에 따라 내진설계에 반영할 지진하중의 종류 및 적용범위가 조금씩 다르다.</u></p> <p><u>① 내진설계상의 주의점</u></p> <p><u>가. 내진 설계상의 일반적인 주의점은 다음과 같다.</u></p> <p>(가) 연약기초의 침하나 느슨한 모래 기초에 의한 액상화 현상을 일으키지 않도록 충분한 기초처리를 한다.</p>	<p>4.4.4.2 필담의 내진설계</p> <p><u>(1) 설계 거동 한계</u></p> <p><u>① 내진설계상의 주의점</u></p> <p>가. 연약한 기초의 침하나 느슨한 모래 기초에 의한 액상화가 발생되지 않도록 충분한 기초처리를 한다.</p> <p>나. 콘크리트관, 철관 등의 피해는 암반위보다 토질기초위</p>																				

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
<p>(나) 콘크리트관, 철관 등의 피해는 암반위보다 도 토질기초위에서 더욱 크기 때문에 물넘이 취수관 등의 중요한 구조물은 모두 암반위에 설치하도록 설계한다.</p> <p>(다) 지진에 의한 진동 및 지진시의 단층이동에 의한 댐마루의 침하에 대비하여 충분한 여유고를 둔다.</p> <p>(라) 균열이 발생하기 어려운 재료에 의해 폭 넓은 트랜지션 존을 설치한다.</p> <p>(마) 제체의 중심부 부근에 직립 및 수평 드레인(drain)을 설치한다.</p> <p>(바) 배수층에는 충분한 단면을 주어 비록 지진시에 균열이 발생하여 제체침투량이 증가해도 이것을 안전하게 장외로 배출시킬 수 있도록 한다.</p> <p>(사) 점토차수 존은 균열이 발생하기 어려운 소성이 있는 재료로 만들고 또한 차수재 폭은 충분히 크게 한다.</p> <p>(아) 점토차수 존의 상류부에도 입도배합이 좋은 재료로 된 필터 존을 설치한다. 이것</p>	<p>에서 더욱 크므로 물넘이 취수관 등의 중요한 구조물은 암반위에 설치되도록 설계한다.</p> <p>다. 지진에 의한 진동 및 지진시의 단층이동에 의한 댐마루의 침하에 대비하여 충분한 여유고를 둔다.</p> <p>라. 균열이 발생하기 어려운 재료에 의해 폭 넓은 트랜지션 존을 설치한다.</p> <p>마. 제체의 중심부 부근에 직립 및 수평 드레인(drain)을 설치한다.</p> <p>바. 배수층에는 충분한 단면을 주어 비록 지진시에 균열이 발생하여 제체 침투량이 증가해도 이것을 안전하게 장외로 배출시킬 수 있도록 한다.</p> <p>사. 점토차수 존은 균열이 발생하기 어려운 소성이 있는 재료로 만들고 차수재 폭은 충분히 크게 한다.</p> <p>아. 점토차수 존의 상류부에도 입도분포가 좋은 재료로 된 필터 존을 설치한다. 이것은 점토차수 존의 균열 스톱퍼(crack stopper)로서의 역할을 하기 때문이다.</p>	

개편 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
<p>은 점토차수 존의 균열 스톱퍼(crack stopper)로서의 역할을 하기 때문이다.</p> <p>(자) 지진에 의하여 저수지에 발생한 파랑이 제체를 월류해도 제체가 쉽게 침식당하지 않도록 댐마루를 보호한다.</p> <p>(차) 점토차수 존의 어버트먼트 암착부에 있어서 폭을 넓게 해둔다.</p> <p>(카) 제체의 침투수에 의한 포화부분이 될 수 있는 한 적게 되는 위치에 점토차수 존을 설치한다.</p> <p>(타) 주변 산의 사면이 지진시에 저수지내로 붕락하지 않도록 사면의 안정대책공을 해 둔다.</p> <p>(파) <u>만일 파괴되었을 때의</u> 하류 마을까지의 홍수도달시간이나 재해의 규모를 추정하는 동시에 피해를 극소화하기 위한 구체적 대책 등을 고려해 둔다.</p> <p>② 설계 거동 한계</p> <p><u>가. 필댐은 지진이 발생해도 붕괴되어서는 안되며, 다음과 같은 조건이 만족되어야 한다.</u></p>	<p>자. 지진에 의하여 저수지에 발생한 파랑이 제체를 월류해도 제체가 쉽게 침식당하지 않도록 댐마루를 보호한다.</p> <p>차. 점토차수 존의 어버트먼트 암착부에 있어서 폭을 넓게 해둔다.</p> <p>카. 제체의 침투수에 의한 포화부분이 될 수 있는 한 적게 되는 위치에 점토차수 존을 설치한다.</p> <p>타. 주변 산의 사면이 지진시에 저수지내로 붕락하지 않도록 사면의 안정 대책공을 해 둔다.</p> <p>파. <u>댐 붕괴시</u> 하류 마을까지의 홍수도달시간이나 재해의 규모를 추정하는 동시에 피해를 최소화하기 위한 구체적 대책 등을 고려해 둔다.</p> <p>② 설계 거동 한계</p> <p>가. 재료의 항복과 영구변형은 허용될 수 있으나, 댐이 강도에는 영향이 없어야 하며, 제체 및 기초에 액상화가 발생하지 않아야 한다.</p>	

개편 설계기준 (2017년)	변 경	사유 및 근거
<p>(가) 재료의 항복과 영구변형은 허용될 수 있으나, 댐의 강도에는 영향이 없어야 하며, 제체 및 기초에 액상화가 발생하지 않아야 한다.</p> <p>(나) 제체의 사면활동이나 기초의 활동이 발생하지 않아야 하며, 제체에 과도한 침하가 발생하지 않아야 하고, 균열은 댐의 저수능력의 저하를 초래해서는 안 된다.</p> <p>(다) 지진으로 발생하는 수면파가 제체를 월류하거나 수리구조물, 부속구조물 및 양안의 붕괴나 누수에 의해 댐의 기능이 손상되어서는 안 된다.</p>	<p>나. 제체의 사면활동이나 기초의 활동이 발생하지 않아야 하며, 제체에 과도한 침하가 발생하지 않아야 하고, 균열은 댐의 저수능력의 저하를 초래해서는 안 된다.</p> <p>다. 지진으로 발생하는 수면파가 제체를 월류하거나 수리구조물, 부속구조물 및 양안의 붕괴나 누수에 의해 댐의 기능이 손상되어서는 안 된다.</p> <p><u>라. 부속시설물의 구조재료는 탄성변형 한계 내에 있어야 하며, 수 시간 내에 정상작동 회복이 가능해야 한다. 이들 구조물에 대한 설계는 관련기준의 콘크리트 중력식 댐의 내진설계를 참조한다.</u></p>	<p>[일부수정] 부속시설의 설계거동 한계 추가 <근거> 댐설계기준(2011)</p>
<p><u>4.4.5.6</u> 정역학적 설계기준</p> <p><u>(1)</u> 설계에 적용하는 지진력은 작용 정하중에 대한 지진 관성력만 고려하고 동수압은 영향이 미미하므로 제외한다</p>	<p><u>(2)</u> 정역학적 설계기준</p> <p><u>① 일반사항</u></p> <p><u>가.</u> 설계에 적용하는 지진력은 작용 정하중에 대한 지진 관성력만 고려하고 동수압은 영향이 미미하므로 제외</p>	

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
<p>다. 지진에 의한 파랑고는 필요한 경우에만 따로 고려한다.</p> <p>① 지진력</p> <p>가. 진도법에 의한 정역학적 설계에서 필댐에 작용하는 지진력은 활동면 상의 제체 무게에 설계진도를 곱한 지진 관성력이며, 이 힘의 작용점은 활동면의 중심이며 작용 방향은 수평방향으로 하되 안정에 불리한 쪽으로 정한다.</p> <p>나. 활동면에 연직으로 작용하는 동수압은 아주 작으므로 무시하며, 활동면에 수직으로 작용하는 지진관성력은 수평 관성력의 1/2로 계산할 수 있으나 수평 지진 관성력을 적용하는 경우가 가장 불리하므로 실제로는 적용하지 않는다.</p> <p><u>4.4.5.7</u> 활동면법에 의한 지진시 사면안정 검토</p> <p>(1) 필댐의 내진설계에 있어 가장 중요한 부분은 사면안정 검토이다.</p> <p>(2) 활동면 위의 제체가 활동하므로 하는 힘은 정수압, 해당 제체의 자중, 활동면을 따라 작용하는 간극수압 및 수평 지진 관성력이고 이를 외력에 저항하려는 힘은</p>	<p>한다.</p> <p><u>나.</u> 지진에 의한 파랑고는 필요한 경우에만 따로 고려한다.</p> <p>② 지진력</p> <p>가. 진도법에 의한 정역학적 설계에서 필댐에 작용하는 지진력은 활동면 상의 제체 무게에 설계진도를 곱한 지진 관성력이며, 이 힘의 작용점은 활동면의 중심이며 작용 방향은 수평방향으로 하되 안정에 불리한 쪽으로 정한다.</p> <p>나. 활동면에 연직으로 작용하는 동수압은 아주 작으므로 무시하며, 수직 관성력은 수평 지진관성력만을 적용하는 경우가 가장 불리하므로 적용하지 않는다.</p> <p>③ 활동면법에 의한 지진시 사면안정 검토</p> <p><u>가.</u> 필댐의 내진설계에 있어 가장 중요한 부분은 사면안정 검토이다.</p> <p><u>나.</u> 활동면 위의 제체가 활동하도록 하는 힘은 정수압, 해당 제체의 자중, 활동면을 따라 작용하는 간극수압 및 수평 지진관성력이고, 이러한 외력에 저항하는 힘은 활동면에 연직으로 작용하는 반력과 활동면의 접선방</p>	

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
<p>활동면에 연직으로 작용하는 반력과 활동면의 접선방향으로 작용하는 점착력과 마찰력이다. 활동원의 중심에 대하여 외력의 모멘트가 저항 모멘트를 초과하지 않는 한 댐은 활동에 대하여 안정하다고 <u>판단하는 것이다</u>. 사면안정 검토에 작용하는 지진 관성력은 저수지의 수위 상태와 발생빈도 등을 고려하여 차등 적용한다. 지진 관성력 계산을 위한 체체의 무게와 같은 계산 방법에 의한다. 지진시 간극수압은 변화하지만 현재는 그 변화의 증감폭을 정량적으로 평가하기 어려워 설계자가 적절하게 판단한다. <u>Bishop법에 의한 사면안정 해석에서는 대체로 간극수압에 설계진도를 곱한 값을 적용하고 있다</u>. 일반적으로 설계진도는 댐 상부에서 저면까지 같다고 가정한다.</p>	<p>향으로 작용하는 점착력과 마찰력이다.</p> <p><u>다.</u> 활동원의 중심에 대하여 외력의 모멘트에 설계 안전율을 곱한 값이 저항 모멘트를 초과하지 않으면 댐은 활동에 대하여 안전하다.</p> <p><u>라.</u> 사면안정 검토에 적용하는 지진관성력은 저수지의 수위 상태와 그 수위의 발생빈도 등을 고려하여 차등 적용한다.</p> <p><u>마.</u> 지진시 간극수압은 변화하지만 현재는 그 변화의 증감폭을 정량적으로 평가하기 어려워 설계자가 적절하게 판단한다.</p> <p>바. 일반적으로 설계진도는 댐 저면에서 상부까지 같다고 가정한다.</p> <p><u>④ 부속시설</u></p> <p><u>가. 부속시설은 KDS 54 17 00 댐 내진 설계의 콘크리트 중력댐의 경우를 준용한다.</u></p>	<p>[수정]‘Bishop법’ 특정 해석법 삭제. 사면해석법 중 다양한 해석법이 인정되며, 특정해석법을 굳이 기술할 필요 없음.</p> <p><근거>댐설계기준(2011)</p>

개편 설계기준 (2017년)	변 경	사유 및 근거
<p><u>4.4.5.8 동적 설계</u></p> <p>(1) 최근에 건설되는 필댐은 해석법의 발전과 시공장비의 발달 등에 따라 점차 대형화되고 있는 추세이다. <u>과거</u> 경험적인 방법인 진도법은 보수적으로 채택되어 왔으나, 적정지진 규모와 경제적인 조건이 충분히 고려되지 못했기 때문에 보다 과학적이고 이론적인 동적해석 기법의 적용이 필요하다.</p> <p>(2) <u>이러한 동적인 방법은 축제재료의 비선형 거동특성이 고려한 비선형 모델링 방법을 사용하거나 타당성이 입증된 단순화된 방법으로 해석해야 한다.</u></p> <p>(3) <u>부속 구조물의 응답은 비선형 거동특성을 고려할 수 있는 해석법에 의해서 해석하고 일반 구조물의 지진 응답 해석법을 준용한다.</u></p> <p>(4) 동적해석에서 일반적으로 선형적 방법을 응력해석에 이용하고 있으나 면밀한 검토를 위하여 단계적 해석이 사용되어야 하며, 흙의 소성적 성질과 동적 간극수압을 고려하며, 주로 유한차분법이나 유한요소법을 사용하여 해석한다.</p>	<p>(3) <u>동역학적 검토</u></p> <p>① <u>동역학적 설계법의 적용</u></p> <p><u>가.</u> 최근에 건설되는 필댐은 해당 공학의 발전과 시공장비의 발달 등에 따라 점차 대형화 되고 있는 추세이다.</p> <p><u>나.</u> 경험적인 방법인 진도법은 보수적인 관점에서 설계방법으로 채택되어 왔으나 적정 지진 규모와 기술적 조건이 충분히 고려되지 못했기 때문에 보다 과학적이고 이론적인 동적 해석기법의 적용이 필요하다.</p> <p><u>다.</u> 특수한 구조의 댐을 신규로 내진 설계하거나, 기존 댐에 대한 내진성능을 평가하여 내진보강 설계를 하고자 하는 경우에는 진도법보다는 동적해석법을 적용하는 것이 타당하다.</p> <p>② <u>지진해석 방법과 절차</u></p> <p><u>가.</u> <u>설계지반운동과 지진하중으로 적용되는 시간이력하중은 본 기준에 제시된 설계지반운동 및 인공합성 지반운동 시간이력 작성방법에 따라 생성하고, 상시만수위를 검토 수위로 하며 필요시 기타 낮은 수위 조건에서도 검토한다.</u></p>	<p>[일부변경] 동역학적 설계 및 검토방법의 상세를 추가, 체체 및 기초지반이 액상화 평가를 위한 동적해석법 또는 검토방안 추가. 부속시설 동적해석법 참조 문구 추가</p> <p><근거>댐설계기준(2011)</p>

개편 설계기준 (2017년)	변 경	사유 및 근거
	<p><u>나. 제체나 기초지반에 액상화 발생 가능성이 없고, 과잉 간극수압의 발생으로 인한 과도한 강도감소가 없는 경우에는 Newmark 방식에 의한 댐 사면의 소성활동량을 계산하여 내진 안전성을 검토한다. 계산된 소성활동량이 0.3m 이내이면 댐 안전에 문제가 되지 않으며, 소성활동량 0.6m는 상당한 손상을 동반하는 허용 가능한 소성변형량이다.</u></p> <p><u>다. 제체나 기초지반에 액상화 발생 가능성이 있고, Newmark 방식에 의한 댐 사면의 소성활동량이 0.6m 초과하는 경우에는 흙의 소성적 성질과 동적간극수압을 고려한 유한차분법이나 유한요소법을 사용한 동적 유효응력해석법을 설계에 적용한다.</u></p> <p><u>③ 부속시설</u></p> <p><u>가. 부속시설의 동적해석법은 KDS 54 17 00 댐 내진 설계의 콘크리트 중력댐의 경우를 준용한다.</u></p>	

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
<p><u>4.4.3.2</u> 액상화의 검토 <u>방법</u></p> <p>(1) 액상화를 검토하는 방법은 반복 삼축압축시험의 결과를 이용하는 방법과 동적 응력조건을 바탕으로 모의 해석하는 방법, 간편법 등이 있는데, 댐 규모, 안전도, 재료<u>상수</u>의 정확성, <u>과괴</u>시 피해 등을 고려하여 적절한 방법을 선정한다. <u>제체나 기초지반의 토질은 일반적으로 한정되어 있으나 특히 액상화에 강한 흙 즉 점착성이 큰 흙의 유무 또는 다른 토질과의 혼합에 의한 토질개량에 대해서 검토한다. 다른 양질재료를 얻기 어려운 경우에는 입도시험 또는 반복삼축 압축시험 등에 의해 액상화의 난이를 검토한다. 액상화 가능성이 있다고 판단되는 경우에는 다음과 같은 검토를 한다.</u></p> <p>(2) 흙을 치밀하게 다질수록 액상화의 저항력이 증가하므로 시공상 가능한 다짐도의 검토, 다짐도(지반인 때는 N치)와 액상화의 관계를 반복 삼축 압축시험 또는 유사재료의 자료 등으로 검토한다. 액상화의 가능성이 있다고</p>	<p>(4) 액상화의 검토</p> <p><u>필요성이 느슨한 사질지반에 축조된 경우나 지진 등의 외력에 의하여 과잉간극수압의 상승에 의하여 전단강도가 저하될 것으로 예상되는 기초지반이나 제체에 대하여는 액상화에 대한 안정성을 검토한다.</u></p> <p>① 액상화를 검토하는 방법은 반복 삼축압축시험의 결과를 이용하는 방법, 동적해석(부지응답해석)을 적용하는 방법, 간편법 등이 있는데, 댐 규모, 안전도, 재료<u>물성</u>의 정확성, <u>붕괴</u>시 피해 등을 고려하여 적절한 방법을 선정한다.</p> <p>② 액상화의 가능성이 있다고 판단되는 경우에는 다음의 절차와 방법에 따라 흙의 액상화 저항력과 정적, 동적응력 조건을 고려한 검토를 수행한다.</p> <p><u>가. 제체 또는 기초지반 내의 상시 유효응력 또는 유효구속압 상태를 추정한다. 추정방법으로는 댐 마루를 반무한 의 지표면으로 가정하여 침윤선의 위치와 흙의 단위중량으로 구하는 방법과 댐의 축조과정 및 담수 과정을 단계 모사한 수치해석을 통하여 구하는 방법이 있다.</u></p> <p><u>나. 제체 또는 기초지반의 지진시 작용응력을 산정한다. 이 방법에는 지진응답해석법이 적용된다. 유한요소법이나</u></p>	<p>[일부변경] 기존의 원론적인 내용(액상화의 정의 등) 삭제. 액상화 방지대책은 성능향상 및 보수보강의 내용이므로 삭제. 검토방안에 집중하여 보다 상세하게 기술. 지진시 액상화 저항응력 및 발생응력 산정 최신 내용 보완</p> <p><근거> Design Standards No. 13 Embankment Dams, USBR, 2015</p>

개편 설계기준 (2017년)	변 경	사유 및 근거
<p><u>판단되는 경우에는 다음 1) 2) 3)항목을 추정하여 흙의 액상화 저항력과 정적, 동적응력 조건을 고려한 해석을 한다.</u></p> <p><u>(3) 체체 또는 기초지반내의 지진전의 응력상태를 추정한다. 이 추정방법으로는 가) 댐 마루를 반무한의 지표면으로 가정하여 침유면의 위치와 흙의 단위체적중량으로부터 유효구속압을 구하는 방법, 나) 댐의 축조과정~저수를 고려하여 유한요소법에 의한 유효응력을 구하는 방법이 시행되고 있다.</u></p> <p><u>(4) 체체 또는 기초지반의 지진시 작용응력상태를 추정한다. 이 방법에는 가) 기존 연구성과를 실용화하는 방법, 나) 유한요소법에 의한 지진응답해석법 등이 시도되고 있다.</u></p> <p><u>(5) 흙의 액상화 응력비는 반복삼축압축시험에 의해 구하는 것이 바람직하다. 이 경우 압밀 조건으로서는 가) 등방압밀조건, 나) 비등방압밀조건이 있다.</u></p> <p><u>(6) 상기 2)항에 있어서 나)를 채용할 경우에는 비등방압밀조건으로 시험하는 것이 바람직하다. 물론 액상화응력비는 τ_{IN} / σ_{co} (여기서 τ_{IN} : n회의 반복재하회수로 액상화할 때의 동적전단응력, σ_{co} : 초기 평균유효구속</u></p>	<p><u>유한차분법에 의한 2차원 등가정적 지진응답해석을 적용하는 것이 타당하나, 기초조사나 개략적 분석을 위해 보정방법이 적용된 1차원 지진응답해석도 적용될 수 있다. 정밀한 결과 도출을 위해서는 비선형 2차원 동적해석법이 고려될 수 있다.</u></p> <p><u>다. 흙의 액상화 저항응력을 가.에서 산정한 유효구속압으로 나눈 액상화 저항응력비는 반복삼축압축시험에 의해 구하는 것이 바람직하나, 평가 대상 지층에 대해 획득한 표준관입시험값과 전단파속도 등으로부터 경험적으로 산정된 값을 적용할 수도 있다.</u></p> <p><u>라. 가.항으로 산정한 유효구속압으로 나.항으로 구한 지진시 작용응력을 나누어 지진시 작용응력비를 구하고, 여기에 다.항으로 구한 지진시 저항응력비와 비교해서 액상화의 가능성을 판정한다.</u></p> <p><u>마. 가.~라.의 절차 없이, 비선형 유효응력해석을 수행하여, 산정된 간극수압비로부터 댐 체체와 기초지반의 액상화를 직접적으로 판정하는 방법이 적용될 수도 있으나, 시간적 경제적 비용과 적용 모델의 적합성에 대한 신중한 검토가 필요하다.</u></p>	

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
<p><u>압)로 나타낼 수 있다.</u> <u>(7) 1)항에 의해 구한 유효구속압과 2)항에 의해 구한 지진시 작용응력으로부터 지진시의 응력비를 구하고 여기에 3)항에 의하여 구한 응력비와 비교해서 1 이 넘는지 여부에 의해 액상화의 가능성을 판정한다.</u></p> <p><u>4.4.3.3 액상화 방지 대책</u> <u>(1) 액상화의 가능성이 있는 지반이나 체체에 대해서는 상대밀도를 증가시키거나 치환, 드레인의 설치 등 충분한 대책을 강구한다.</u> <u>(2) 액상화 대책으로는 ① 다짐에 의하여 상대밀도를 증대, ② 액상화하기 어려운 흙으로 치환, ③ 상재하중의 증가와 지하수위를 저하, ④ 드레인으로 간극수압의 소산 촉진 등이 있다.</u></p>		
<p>4.4.6 매설계측 안정관리 4.4.6.1 간극수압계 4.4.6.2 토압계 4.4.6.3 층별침하계</p>	<p>4.4.5 매설계측 안정관리 4.4.5.1 간극수압계 4.4.5.2 토압계 4.4.5.3 층별침하계</p>	

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
<p>4.4.6.4 수평변위계 4.4.6.5 누수측정장치 4.4.6.6 지진계</p> <p><u>1) 지진 발생시 댐체의 진진응답을 해명하기 위하여 침투부의 기초압반면, 중간표고부 및 댐 정상부 혹은 댐 경사면에 설치한다.</u></p> <p>4.4.6.7 암반변위 측정계 4.4.6.8 전단변위 측정계</p>	<p>4.4.5.4 수평변위계 4.4.5.5 누수측정장치 4.4.5.6 지진계</p> <p><u>(1) 댐의 지진응답을 계측하기 위한 지진계의 설치 위치와 종류, 개수 및 관리방법은 이 설계기준의 목적을 달성할 수 있도록 지반동역학 전문가와 협의하여 결정한다.</u></p> <p><u>(2) 지반운동과 댐의 응답을 계측할 수 있도록 댐의 기초부, 최대단면 정상부, 양안부 등에서 계측하며, 댐의 기초부에 계측기기의 설치가 곤란할 경우에는 기초 깎려리 또는 인근 암반에 설치한다.</u></p> <p>4.4.5.7 암반변위 측정계 4.4.5.8 전단변위 측정계</p>	<p>[일부변경] 지진계 설치 위치 및 종류, 개수, 관리방법 명확화 <근거> 댐설계기준(2011)</p>

- 부록 2 -

방조제 내진설계기준 신규대조표

농업생산기반 (KDS 67 00 00)	해면간척 (KDS 67 65 00)	해면간척 방조제 설계 (KDS 67 65 15)
--------------------------	------------------------	-------------------------------

방조제 내진설계기준 신규대조표

2017. 11.

연구기관 : 한국농공학회

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
<p><u>1. 방조제의 노선과 형식</u></p> <p><u>1.1</u> 설계의 기본방침 <u>1.2</u> 방조제 노선선정시의 고려사항 <u>1.3</u> 방조제의 분류와 형식의 선정</p> <p>3.2.6 <u>내진에 대한 안정성 검토</u> <u>(1) 제체에 대한 내진설계</u> <u>(2) 액상화 판정</u></p>	<p><u>1. 일반사항</u> <u>1.1 목적</u> <u>1.2 적용범위</u> <u>1.3 참고기준</u> <u>1.4 용어의 정의</u> <u>1.5 설계의 기본방침</u> <u>1.6 방조제의 노선 선정시의 고려사항</u> <u>1.7 방조제의 분류와 형식의 선정</u></p> <p>3.2.6 <u>방조제 시설의 내진설계</u> <u>(1) 적용 시설</u> <u>(2) 기본 개념</u> 3.2.6.1 <u>내진설계 일반</u> <u>(1) 내진설계의 기본방향</u> <u>(2) 설계지반운동</u> <u>(3) 내진등급별 설계지진 수준</u> <u>(4) 기초지반의 분류</u> <u>(5) 지진하중</u> <u>(6) 내진성능 수준 및 목표</u> 3.2.6.2 <u>방조제 시설의 내진설계</u></p>	<p>- 오래된 내용에 대한 보완과 아예 기준에 기술되지 않은 부분을 신규로 기술함.</p> <p>- 현재 기준은 체계뿐만 아니라 내진설계기준이 갖추어야 할 많은 내용(내진등급, 내진성능목표, 설계지반운동의 설정, 내진해석 및 설계법 등)이 부재한 상태임.</p>

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
	<p>(1) 일반사항 (2) 방조제 시설의 내진설계 (3) 배수갑문의 내진설계 (4) 액상화의 검토</p> <p>첨부. 국가지진위험지도(소방방재청 공고 제2013-179호)</p>	
<p><u>1. 방조제의 노선과 형식</u></p>	<p>1. 일반사항</p> <p>1.1 목적 - 내용 없음</p> <p>1.2 적용범위 - 내용 없음</p> <p>1.3 참고 기준 - 내용 없음</p> <p>1.4 용어의 정의</p> <p>(1) "감쇠"란 점성, 소성 또는 마찰에 의해 댐에 입력된 에너지가 소산되는 현상을 말한다.</p> <p>(2) "기반암"이란 전단파속도가 760m/s 이상인 지층을 말한다.</p> <p>(3) "내진성능수준"이란 설계지진에 대해 시설물에 요구되는 최소 성능수준을 말한다.</p>	<p>[신규] 용어의 정의 추가 <근거>내진설계 기준공통적용사항 (국민안전처 공표안, 2017.07)</p>

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
	<p>(4) "설계지반운동"이란 내진설계를 위해 정의된 지반운동으로서 방조제가 건설되기 전에 부지 정지작업이 완료된 지면에서의 지반운동을 말한다.</p> <p>(5) "액상화"란 포화된 사질토 등에서 지진동, 발파하중 등과 같은 충격하중에 의하여, 지반 내에 과잉간극수압이 발생하여, 지반의 전단강도가 상실되어 액체처럼 거동하는 현상을 말한다.</p> <p>(6) "위험도 계수"란 평균재현주기가 500년인 지진을 기준으로 하여, 평균재현주기가 다른 지진의 최대지반가속도를 상대적 비율로 나타낸 계수를 말한다.</p> <p>(7) "유효지반가속도"란 지진하중을 산정하기 위하여 국가 지진위험지도나 행정구역을 기준으로 제시된 지반운동 수준을 말한다.</p> <p>(8) "응답스펙트럼"이란 지반운동에 대한 단자유도 시스템의 최대응답을 고유주기 또는 고유진동수의 함수로 표현한 스펙트럼을 말한다.</p> <p>(9) "응답(시간)이력해석"이란 지진의 지속시간 동안 각 시간단계에서의 구조물의 동적응답을 구하는 방법을 말한다.</p> <p>(10) "재현주기"란 지진과 같은 자연재해가 특정한 크기 이상으로 발생할 주기를 확률적으로 계산한 값으로, 일 년</p>	

개편 설계기준 (2017년)	변 경	사유 및 근거
	<p><u>동안에 특정한 크기 이상의 자연재해가 발생할 확률의 역수를 말한다.</u></p> <p>(11) <u>"지반증폭계수"란 기반암의 스펙트럼 가속도(속도)에 대한 지표면의 스펙트럼 가속도(속도)의 증폭비율을 말한다.</u></p> <p>(12) <u>"지진구역계수"란 지진구역 I과 II의 암반지반(s_1) 상에서 평균재현주기 500년 지진의 지반운동 가속도를 중력가속도 단위로 표현한 값을 말한다.</u></p> <p>(13) <u>"지진위험지도"란 내진설계 등에 활용하기 위하여 정밀한 지진위험도(또는 지진재해도) 분석결과를 표시한 지도를 말한다.</u></p> <p>(14) <u>"지진재해도"란 내진설계의 기초가 되는 지진구역을 설정하기 위하여 과거의 지진기록과 지질 및 지반특성 등을 종합적으로 분석하여 산정한 지진재해의 발생확률을 말한다.</u></p> <p>(15) <u>"표준설계응답스펙트럼"이란 s_1 지반에서 평균재현주기 500년인 설계지진에 대한 5% 감쇠비 단자유도 시스템의 설계응답스펙트럼을 말한다.</u></p>	

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
<p>1.1 설계의 기본방침 <생략></p> <p>1.2 방조제 노선 선정시의 고려사항 <생략></p> <p>1.3 방조제의 분류와 형식의 선정 <생략></p>	<p>1.5 설계의 기본방침 <좌동></p> <p>1.6 방조제의 노선 선정시의 고려사항 <좌동></p> <p>1.7 방조제의 분류와 형식의 선정 <좌동></p>	
<p>3.2.6 <u>내진에 대한 안정성 검토</u></p> <p>(1) <u>제체에 대한 내진설계</u> <u>제체의 안정성에 영향을 미치는 동하중으로는 지진력 차고 하중, 파력 등이 있다.</u> <u>지진에 의한 제체 및 기초지반의 안정은 지진에 대한 기록치와 현장의 지반 및 토질상태 또한, 진앙지(震央地)에 관한 자료와 흙의 동적시험자료 등 여러 가지 자료에 의해 별도의 안정성 검토가 필요하다.</u> <u>우리나라는 아직 내진설계를 위한 자료가 충분치 않고 또한 강도 및 발생빈도가 적어 제체 또는 지진 지반의 동적해석은 생략하거나 간략법에 의한 여유확보라는 의미로 안정성을 고려하고 있으나 특히 하이드로릭필공법으로 축조한 규모가 큰 방조제의 경우는 보다 정확</u></p>	<p>3.2.6 <u>방조제 시설의 내진설계</u></p> <p>(1) <u>적용 시설</u></p> <p>① <u>이 기준은 지진·화산재해대책법 시행령 제14조①항2호에 규정된 방조제 및 배수갑문의 내진설계에 적용한다. 본 기준에서 방조제 시설이라 함은 방조제와 배수갑문을 통칭한다.</u></p> <p>(2) <u>기본 개념</u></p> <p>① <u>방조제 시설에 상당한 변형과 부분적 손상이 발생하는 것은 허용할 수 있으나 지진시 또는 지진 경과 후에도 저수기능은 유지되어야 하며 통제 불가능한 저수량의 유출상태는 있어서는 안된다.</u></p> <p>② <u>어느 경우에도 방조제 시설이 붕괴되지 않도록 댐체의 활동이나 전도를 방지하기 위한 충분한 안전율을 확보하여야 하며, 방조제 시설의 정상수명기간 내에 설계</u></p>	<p>[신설] 내진설계 대상시설의 적용 범위 확대 <근거> 지진화산재해대책법 (2016.01) 기본개념 추가 <근거>댐설계기준(2011), 해안구조물의 안전성평가방안(한국시설안전기술공단, 2003)</p>

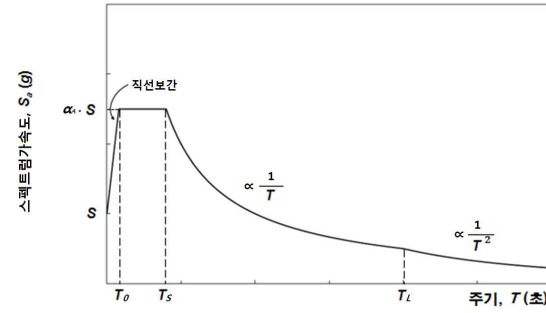
개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
<p><u>한 내진설계를 필요로 한다. 제체 또는 지반의 내진설계는 국내의 경우 일반적으로 진도법에 의한다.</u></p> <p><u>근래에는 설계 진도를 높여서 적용하는 사례가 많다. 원자력발전소의 경우에는 0.2이상의 값을 택한 예가 있다. 지진에 대한 영향이 심할 것으로 판단되는 경우 계측자료 또는 모의자료를 통해 별도의 동적 해석을 할 수 있으며 여기에 적용되는 대표적인 해석 프로그램으로 SHAKE (SEED 및 Schnabel, 1972)가 있다.</u></p>	<p><u>지진력이 발생할 가능성은 희박한 것으로 본다.</u></p> <p>3.2.6.1 내진설계 일반</p> <p>(1) 내진설계의 기본 방향</p> <p>① 본 기준은 「내진설계기준 공통적용사항(국민안전처, 2017)」의 성능수준목표에 기준하여 방조제 시설에 대한 기술기준으로 작성된 것이므로, 기능수행수준과 붕괴방지수준에 대한 설계 기준을 제시하여야 한다. 그러나 기능수행수준을 정의하는 것과 같은 성능수준설계방법은 지진의 피해가 큰 강진지역에서도 현재 부분적으로 실행되고 있는 방법이므로, 성능수준설계방법을 기준으로 채택함에는 기술적으로 어려움이 있다. 그러므로 본 기준에서는 기능수행수준을 생략한 상태에서 붕괴방지수준에 대한 설계만을 하여도 내진설계가 만족됨을 허용하도록 한다.</p> <p>② 방조제 시설의 내진설계 시 많은 수치해석이 따르는 복잡한 설계절차를 제시한다는 것은 설계 실무자들에게 혼란을 야기하므로 가급적 간단한 방법을 적용한다.</p> <p>③ 방조제 시설은 연안지역의 연약지반을 기초로 하는 경우가 많은데, 특히 느슨한 사질토지반에 놓이는 경우</p>	

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
	<p><u>에 대비한 시설물 기초의 액상화평가가 필수적이라 할 수 있다.</u></p> <p>④ <u>본 기준의 많은 부분은 항만 및 어항시설의 내진설계 기준을 차용하고 있으므로, 본 기준에서 제시되지 않은 부분은 해당 기준을 참조하도록 한다.</u></p> <p>(2) <u>설계지반운동</u></p> <p>① <u>일반사항</u></p> <p>가) <u>설계지반운동은 구조물이 건설되기 전에 부지 정지작업이 완료된 지면에서의 지반운동으로 정의한다.</u></p> <p>나) <u>설계지반운동은 통계학적으로 독립인 수평 2축 운동과 수직운동으로 정의한다.</u></p> <p>다) <u>수직운동은 수평 2축 운동과 별도로 정의하며 수직운동의 영향을 무시할 수 없는 경우에는 수직방향의 지진력을 고려하되 그 크기는 수평방향 지반운동의 1/2로 본다.</u></p> <p>라) <u>설계지반운동의 특성은 흔들림의 세기, 진동수성분 및 지속시간으로 정의한다.</u></p> <p>마) <u>‘첨부. 국가지진위험지도’의 값은 유효지반가속도(S)이다.</u></p>	<p>[신규] 설계지반운동의 정의</p> <p><근거> 내진설계기준 공통적용사항(국민안전처 공표안, 2017.07)</p>

개편 설계기준 (2017년)	변 경	사유 및 근거														
	<p>바) 방조제 시설의 내진설계를 할 때 방조제 내·외측 수위의 변화상태에 따라 방조제 안전에 가장 불리한 방향으로 가진되는 경우를 상정하고 안정해석을 한다.</p> <p>② 설계진도</p> <p>가) 지진구역 및 지진위험도</p> <p>㉞ 지진구역은 지진구역 I 및 지진구역 II의 두 개의 지진구역으로 구분한다. 평균재현주기가 500년인 지진시 암반지반(S_1지반)의 각 지진구역에서의 지진구역계수(Z)는 <표 3.2.-1>과 같다.</p> <p><표 3.2.-1> 지진구역 및 지진구역계수(Z)</p> <table border="1" data-bbox="906 806 1609 1151"> <thead> <tr> <th>지진 구역</th> <th colspan="2">행정구역</th> <th>지진구역 계수(Z)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">I</td> <td>시</td> <td>서울, 인천, 대전, 부산, 대구, 울산, 광주, 세종</td> <td rowspan="2">0.11g</td> </tr> <tr> <td>도</td> <td>경기, 충북, 충남, 경북, 경남, 전북, 전남, 강원 남부¹⁾</td> </tr> <tr> <td>II</td> <td>도</td> <td>강원 북부²⁾, 제주</td> <td>0.07g</td> </tr> </tbody> </table> <p>1)강원 남부 : 영월, 정선, 삼척, 강릉, 동해, 원주, 태백 2)강원 북부 : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천, 속초</p>	지진 구역	행정구역		지진구역 계수(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	<p>[신규] 지진구역 <근거> 내진설계기준 공통적용사항(국민안전처 공표안, 2017.07)</p>
지진 구역	행정구역		지진구역 계수(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													

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거														
	<p data-bbox="937 358 1609 515">㉔ 평균재현주기가 500년인 지진을 기준으로 하여, 평균재현주기가 다른 지진의 최대지반가속도를 상대적 비율로 나타내는 계수인 위험도계수(I)는 <표 3.2.-2>와 같다.</p> <p data-bbox="900 570 1209 598"><표 3.2.-2> 위험도계수(I)</p> <table border="1" data-bbox="904 617 1609 777"> <thead> <tr> <th>재현주기</th> <th>50년</th> <th>100년</th> <th>200년</th> <th>500년</th> <th>1,000년</th> <th>2,400년</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>위험도계수(I)</td> <td>0.4</td> <td>0.57</td> <td>0.73</td> <td>1.0</td> <td>1.4</td> <td>2.0</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="950 838 1609 1163">㉕ <표 3.2.-6>에서 규정하는 설계지진의 평균재현주기에 해당하는 위험도계수(I)(<표 3.2.-2> 참조)에 <표 3.2.-1>에 제시된 지진구역계수(Z)를 곱하여 유효지반가속도(S)를 결정한다. 경제적인 설계가 필요할 경우와 소성해석법이나 동적유효응력해석을 이용한 동적검토를 수행할 때, 기존 시설의 내진보강 설계를 위한 성능평가를 적용하고자 할 경우에 한해 국가지진위험지도를 이용한 방법으로 유효지반가속도(S)를 산정할 수</p>	재현주기	50년	100년	200년	500년	1,000년	2,400년	위험도계수(I)	0.4	0.57	0.73	1.0	1.4	2.0	
재현주기	50년	100년	200년	500년	1,000년	2,400년										
위험도계수(I)	0.4	0.57	0.73	1.0	1.4	2.0										

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
	<p><u>있다.</u></p> <p>㉠ 기초지반의 영향을 고려하기 위하여 <표 3.2-5>와 <3.2.-7>을 이용하여 지반증폭계수를 결정한다.</p> <p>㉡ 방조제 시설이 위치할 지점의 설계진도는 유효지반가속도(S)와 지반증폭계수를 곱한 값으로 한다.</p> <p>③ 설계지반운동의 특성 표현</p> <p>가) 설계지반운동의 세기 및 진동수 성분은 기본적으로 응답스펙트럼으로 표현한다.</p> <p>나) 암반지반(S_1 지반) 설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼은 다음과 같다.</p> <p>㉢ 5 % 감쇠비에 대한 수평 설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼은 <그림 3.2.-2>와 같다.</p>	<p>[신규] 설계지반운동의 특성 표현 <근거> 내진설계기준 공통적용 사항(국민안전처 공표안, 2017.07) 반영</p>



<그림 3.2.-2> 가속도 표준설계응답스펙트럼(암반지반)

ⓐ <그림 3.2.-2>의 가속도 표준설계응답스펙트럼의 전이 주기는 <표 3.2.-3>과 같다.

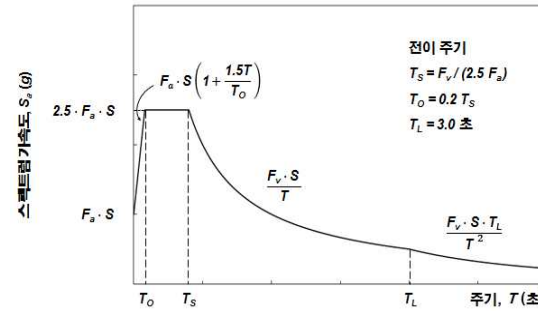
<표 3.2.-3> 가속도 표준설계응답스펙트럼 전이주기

구분	α_A (단주기스펙트럼증폭계수)	전이주기(sec)		
		T_0	T_S	T_L
수평	2.8	0.06	0.3	3

ⓑ 5% 감쇠비의 수직설계지반운동의 가속도 표준설계응답 스펙트럼은 수평설계지반운동의 가속도 표준설계응답

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거								
	<p style="text-align: center;"><u>스펙트럼과 동일한 형상을 가지며, 최대 유효수평지반 가속도에 대한 최대 수직지반가속도의 비는 0.77이다.</u></p> <p>㉔ 수평 및 수직 설계지반운동의 가속도 표준응답스펙트럼의 감쇠비(ξ, %단위)에 따른 스펙트럼 형상은 <표 3.2.-4>에 제시한 감쇠보정계수 C_D를 표준응답스펙트럼에 곱해서 구할 수 있다. 단, 감쇠비가 0.5%보다 작은 경우에는 적용하지 않으며 해당 구조물의 경우 응답(시간)이력해석을 권장한다.</p> <p style="text-align: center;"><표 3.2.-4> 감쇠보정계수(C_D)</p> <table border="1" data-bbox="904 762 1605 989"> <thead> <tr> <th>주기 (T, sec)</th> <th>$T = 0$</th> <th>$0 \leq T \leq 0.06$</th> <th>$0.06 \leq T$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C_D</td> <td>모든 감쇠비에 대해서 1.0</td> <td>$T = 0$일 때, 1.0 $T = 0.06$일 때, $\left(\frac{6.42}{1.42 + \xi}\right)^{0.48}$ 그 사이는 직선보간</td> <td>$\left(\frac{6.42}{1.42 + \xi}\right)^{0.48}$</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">다) 토사지반($S_2 \sim S_5$ 지반) 설계지반운동의 가속도 표준설계 응답스펙트럼은 다음과 같다.</p> <p>㉔ 토사지반인 S2, S3, S4, S5 지반의 5% 감쇠비에 대한</p>	주기 (T , sec)	$T = 0$	$0 \leq T \leq 0.06$	$0.06 \leq T$	C_D	모든 감쇠비에 대해서 1.0	$T = 0$ 일 때, 1.0 $T = 0.06$ 일 때, $\left(\frac{6.42}{1.42 + \xi}\right)^{0.48}$ 그 사이는 직선보간	$\left(\frac{6.42}{1.42 + \xi}\right)^{0.48}$	
주기 (T , sec)	$T = 0$	$0 \leq T \leq 0.06$	$0.06 \leq T$							
C_D	모든 감쇠비에 대해서 1.0	$T = 0$ 일 때, 1.0 $T = 0.06$ 일 때, $\left(\frac{6.42}{1.42 + \xi}\right)^{0.48}$ 그 사이는 직선보간	$\left(\frac{6.42}{1.42 + \xi}\right)^{0.48}$							

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
	<p><u>수평지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼은 <그림 3.2.-3>으로 정의한다. 지반증폭계수는 <표 3.2.-5>와 같으며 유효수평지반가속도(S)의 값이 중간 값에 해당할 경우 직선보간하여 결정한다.</u></p> <p>㉔ <u>5% 감쇠비에 대한 S2~S5 지반의 수직지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼은 수평설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼과 같은 전이주기를 가지며, 최대 유효수평지반가속도에 대한 최대 유효수직지반가속도의 비는 공학적 판단에 의해 값을 결정할 수 있다.</u></p> <p>㉕ <u>토사지반에서 감쇠비에 따른 스펙트럼 형상은 해당 토사지반에 적합한 가속도시간이력을 이용하여 공학적으로 적절한 분석과정을 통해 결정할 수 있다.</u></p>	



<그림 3.2-3> 토사지반 수평지반운동의 가속도
표준설계응답스펙트럼

<표 3.2.-5> 지반증폭계수

지반 분류	단주기 증폭계수, Fa			장주기 증폭계수, Fv		
	S ≤ 0.1	S = 0.2	S = 0.3	S ≤ 0.1	S = 0.2	S = 0.3
S2	1.4	1.4	1.3	1.5	1.4	1.3
S3	1.7	1.5	1.3	1.7	1.6	1.5
S4	1.6	1.4	1.2	2.2	2.0	1.8
S5	1.8	1.3	1.3	3.0	2.7	2.4

㉠ <그림 3.2-2> 및 <그림 3.2-3>에서 유효지반가속도(S)는 지진하중을 산정하기 위한 지반운동수준으로 국가 지진위험지도 또는 행정구역에 따라 결정한다. 다만,

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
	<p><u>국가지진위험지도를 이용하여 결정하는 경우, 행정구역에 따라 결정한 값의 80 % 보다 작지 않아야 한다.</u></p> <p>㉞ <u>행정구역에 의한 방법으로 평균재현주기에 따른 유효지반 가속도(S)를 결정할 때는 지진구역계수(Z)에 각 평균재현주기의 위험도 계수(I)를 곱하여 다음의 식과 같이 결정한다. 기초지반 분류에 따른 지반증폭계수는 <표 3.2.-5>의 유효지반가속도 수준에 따른 단주기 증폭계수를 적용한다.</u></p> $S = Z \times I$ <p><u>여기서 Z : 지진구역계수, I : 위험도계수</u></p> <p>㉞ <u>$S_1 \sim S_6$ 지반의 경우, 표준설계응답스펙트럼 대신 부지 고유의 지반응답해석을 이용하여 결정한 스펙트럼을 사용할 수 있다.</u></p> <p>㉞ <u>설계지반운동 시간이력</u></p> <p>㉠ <u>지반 가속도, 속도, 변위 중 하나 이상의 이력으로 지반운동을 표현할 수 있다.</u></p> <p>㉡ <u>3차원 해석이 필요할 때 지반운동은 동시에 작용하는 3개의 성분으로 구성하여야 한다.</u></p>	

개편 설계기준 (2017년)	변 경	사유 및 근거
	<p>㉔ <u>설계지반운동 시간이력은 암반지반에 대해 작성된 시간이력을 사용하여 지반응답해석을 통해 결정한다.</u></p> <p>㉕ <u>부지에서 계측된 시간이력을 사용하는 것이 원칙이나, 필요시에는 대상 부지에서 예상되는 시간이력과 유사한 다른 지역에서 계측된 지반운동 시간이력 또는 다음 아)항에 기술하는 인공합성 지반운동 시간이력을 사용할 수 있다.</u></p> <p>㉖ <u>인공합성 지반운동 시간이력</u></p> <p>㉗ <u>실제 기록된 지진 지반운동을 표준설계응답스펙트럼에 부합되도록 수정하거나 표준설계응답스펙트럼에 부합되도록 인공적으로 합성하여 생성하여야 한다.</u></p> <p>㉘ <u>지반운동의 장주기 성분이 댐의 거동에 미치는 영향이 중요하다고 판단될 경우에는 지진원의 특성과 국지적인 영향을 고려하여 시간이력을 생성하여야 한다.</u></p> <p>㉙ <u>인공합성 지반운동의 지속시간은 지진의 규모와 특성, 전파경로 및 부지의 국지적인 조건이 미치는 영향을 고려하여야 한다.</u></p> <p>㉚ <u>해석 시 지반운동의 공간적 변화 특성이 응답에 큰 영향을 주는 경우에는 이를 반영하여야 한다.</u></p>	

개편 설계기준 (2017년)	변 경	사유 및 근거						
	<p>(3) 내진등급별 설계지진 수준</p> <p>① 방조제 시설의 내진등급은 내진 I등급으로만 분류하며 <표 3.2.-6>과 같이 내진 등급별로 규정된 평균재현주기를 갖는 설계지진 수준을 적용하여 내진설계를 수행한다.</p> <p><표 3.2.-6> 방조제 시설의 내진 등급과 설계지진</p> <table border="1" data-bbox="904 587 1609 814"> <thead> <tr> <th data-bbox="904 587 996 694">내진 등급</th> <th data-bbox="1000 587 1464 694">방조제 시설</th> <th data-bbox="1468 587 1609 694">설계지진의 평균재현주기</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="904 696 996 814">내진 I 등급</td> <td data-bbox="1000 696 1464 814"> <ul style="list-style-type: none"> 지진·화산재해대책법 시행령 제14조①항2호에 규정된 방조제 및 배수갑문 </td> <td data-bbox="1468 696 1609 814">1,000 년</td> </tr> </tbody> </table>	내진 등급	방조제 시설	설계지진의 평균재현주기	내진 I 등급	<ul style="list-style-type: none"> 지진·화산재해대책법 시행령 제14조①항2호에 규정된 방조제 및 배수갑문 	1,000 년	<p>[신규]</p> <p>: 방조제시설(방조제와 배수갑문)을 대상시설로 명시하고 해당시설을 항만구조물 등을 참고하여 내진 I등급으로 분류 정의함.</p> <p>: 방조제시설의 경우는 항만과 유사한 부지 위에 건설되는 것으로 간주되어 항만관련 설계기준서(항만 및 어항 설계기준해석(해양수산부, 2014) 또는 항만 및 어항 시설의 내진설계</p>
내진 등급	방조제 시설	설계지진의 평균재현주기						
내진 I 등급	<ul style="list-style-type: none"> 지진·화산재해대책법 시행령 제14조①항2호에 규정된 방조제 및 배수갑문 	1,000 년						

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
	<p>(4) 기초지반의 분류</p> <p>① <u>지반분류는 기반암의 깊이(H)와 기반암 상부 토층의 평균 전단파속도($V_{s,soil}$)에 근거하여 <표 3.2.-7>과 같이 $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$의 6종류로 분류한다.</u></p>	<p>표준서(해양수산부, 1999)에 의거함(해안구조물의 안전성평가방안, 한국시설안전기술공단, 2003). : 2000년에 발간된 “농업기반시설 내진성평가 자료집”에서는 1종 시설로 정의된 방조제를 내진 I등급 구조물로 구분.</p> <p>[신규] 기초지반의 분류 <근거> 내진설계 기준 공통적용사항(국민안전처공표안, 2017.07) 반영</p>

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거																												
	<p data-bbox="904 312 1199 340"><u><표 3.2.-7> 지반의 분류</u></p> <table border="1" data-bbox="904 358 1613 802"> <thead> <tr> <th rowspan="2">지반 종류</th> <th rowspan="2">지반종류의 호칭</th> <th colspan="2">분류기준</th> </tr> <tr> <th>기반암 깊이, H (m)</th> <th>토층 평균 전단파속도, $V_{s,soil}$ (m/s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>S1</td> <td>암반 지반</td> <td>1 미만</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>S2</td> <td>얕고 단단한 지반</td> <td rowspan="2">1~20 이하</td> <td>260 이상</td> </tr> <tr> <td>S3</td> <td>얕고 연약한 지반</td> <td>260 미만</td> </tr> <tr> <td>S4</td> <td>깊고 단단한 지반</td> <td rowspan="2">20 초과</td> <td>180 이상</td> </tr> <tr> <td>S5</td> <td>깊고 연약한 지반</td> <td>180 미만</td> </tr> <tr> <td>S6</td> <td colspan="3">부지 고유의 특성 평가 및 지반응답해석이 요구되는 지반</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="938 861 1609 985">② <u>기반암이란 전단파속도 760m/s 이상을 나타내는 지층을 말하며 기반암 깊이와 무관하게 토층 평균 전단파속도가 120m/s 이하인 지반은 S_5 지반으로 분류한다.</u></p> <p data-bbox="938 1005 1456 1039">③ <u>S_6 지반은 다음과 같은 조건의 지반이다.</u></p> <p data-bbox="964 1057 1609 1170">㉔ <u>액상화가 일어날 수 있는 흙, 예민비가 8이상인 점토, 붕괴될 정도로 결합력이 약한 붕괴성 흙과 같이 지진 하중 작용 시 잠재적인 파괴나 붕괴에 취약한 지반</u></p>	지반 종류	지반종류의 호칭	분류기준		기반암 깊이, H (m)	토층 평균 전단파속도, $V_{s,soil}$ (m/s)	S1	암반 지반	1 미만	-	S2	얕고 단단한 지반	1~20 이하	260 이상	S3	얕고 연약한 지반	260 미만	S4	깊고 단단한 지반	20 초과	180 이상	S5	깊고 연약한 지반	180 미만	S6	부지 고유의 특성 평가 및 지반응답해석이 요구되는 지반			
지반 종류	지반종류의 호칭			분류기준																										
		기반암 깊이, H (m)	토층 평균 전단파속도, $V_{s,soil}$ (m/s)																											
S1	암반 지반	1 미만	-																											
S2	얕고 단단한 지반	1~20 이하	260 이상																											
S3	얕고 연약한 지반		260 미만																											
S4	깊고 단단한 지반	20 초과	180 이상																											
S5	깊고 연약한 지반		180 미만																											
S6	부지 고유의 특성 평가 및 지반응답해석이 요구되는 지반																													

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
	<p>㉞ 이탄 또는 유기성이 매우 높은 점토지반(지층의 두께 > 3m)</p> <p>㉟ 매우 높은 소성을 띤 점토지반(지층의 두께 > 7m이고, 소성지수(PI; Plasticity Index) > 75)</p> <p>㊱ 층이 매우 두껍고 연약하거나 중간 정도로 단단한 점토(지층의 두께 > 36m)</p> <p>㊲ 기반암이 깊이 50m를 초과하여 존재하는 지반</p> <p>④ 토층의 평균 전단파속도($V_{s,soil}$)는 탄성파시험 결과가 있을 경우 이를 우선적으로 적용한다.</p> <p>⑤ 토층 평균 전단파속도($V_{s,soil}$)는 다음 식에 따라 결정한다.</p> $V_{S,Soil} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}}}$ <p>여기서</p> <p>d_i = 기반암 깊이까지의 i 번째 토층의 두께, m</p> <p>V_{si} = 기반암 깊이까지의 i 번째 토층의 전단파속도, m/s</p>	

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
	<p>⑥ <u>진단파속도가 획득되지 않는다면 표준관입시험 관입저항치(SPT-N치)를 진단파속도로 변환할 수 있다. 변환에는 국내 지반에 대해 제안된 상관관계식(Sun, C. G., Cho, C. S., Son, M., & Shin, J. S. (2013). <i>Correlations between shear wave velocity and in-situ penetration test results for Korean soil deposits. Pure and Applied Geophysics, 170(3), 271-281</i>)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.</u></p> <p>(5) <u>지진하중</u></p> <p>① <u>지진 관성력은 방조제 시설의 안정에 불리한 방향으로 작용하는 것으로 해석한다. 즉, 방조제 제방은 상하류 방향의 수평지진력만을 고려하여 설계하며, 배수갑문은 구조물의 특성에 따라 상하류 방향 또는 축 방향의 지진력을 선별적으로 고려하여 설계한다.</u></p> <p>② <u>지진 시 유체의 동압력뿐만 아니라 파랑고의 영향도 고려할 수 있다.</u></p>	<p>[신규]표준관입저항치를 활용한 진단파속도 근사 예측방법 제시. 기초지반의 분류방법이 토층의 진단파속도를 기준으로 하므로, 별도의 진단파속도 산정을 위한 현장시험이 수행되지 않은 경우, 비교적 획득이 쉬운 표준관입저항치를 진단파속도로 환산하는 방법 제시 <근거>내진설계기준 공통적용사항(국민안전처 공표, 2017.07)</p>

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
	<p>(6) 내진성능 수준 및 목표</p> <p>① 내진성능수준</p> <p>㉞ 방조제 시설의 내진성능수준은 ‘붕괴방지수준’으로 정의한다.</p> <p>㉟ ‘붕괴방지수준’이란 설계지진 시 방조제 시설에 상당한 변형과 부분적 손상이 발생하는 것은 허용할 수 있으나 저수기능은 유지되어야 하며 통제 불가능한 저수량의 유출상태는 있어서는 안 되는 성능수준이다.</p> <p>㊱ 배수갑문은 구조적 손상은 경미한 수준으로 제한되어야 하며, 방조제 흡구조물의 영구변형으로 인하여 갑문 및 부속구조물이 탄성한계를 초과하여 소성거동하는 것은 허용되나 취성파괴나 좌굴이 발생하여서는 안 된다.</p> <p>② 내진성능목표</p> <p>㉞ 내진성능목표는 내진등급별로 설계지반운동에 대한 내진성능수준으로 정의되며 <표 3.2.-8>을 따른다.</p>	<p>[신규]</p> <p>: 방조제 성능수준 정의는 댐설계기준의 댐의 성능수준에 근거</p> <p>: 배수갑문의 성능수준 정의는 해안구조물의 안전성평가방안 (한국시설안전기술공단, 2003)에 근거</p>

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거																						
	<p><u><표 3.2.-8> 방조제 시설의 내진성능목표</u></p> <table border="1" data-bbox="909 399 1611 636"> <thead> <tr> <th rowspan="2">설계 지진</th> <th rowspan="2">평균재현주기</th> <th colspan="2">내진성능수준</th> </tr> <tr> <th>기능수행</th> <th>붕괴방지</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>50년</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>100년</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>500년</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>1000년</td> <td></td> <td>내진 I등급</td> </tr> </tbody> </table>	설계 지진	평균재현주기	내진성능수준		기능수행	붕괴방지		50년				100년				500년				1000년		내진 I등급	
설계 지진	평균재현주기			내진성능수준																				
		기능수행	붕괴방지																					
	50년																							
	100년																							
	500년																							
	1000년		내진 I등급																					
	<p><u>3.2.6.2 방조제 시설의 내진설계</u></p> <p><u>(1) 일반사항</u></p> <p><u>① 방조제가 설치될 기초지반에 대한 액상화 안정을 우선 검토한다.</u></p> <p><u>② 정역학적 설계기준으로 등가정적해석에 기초한 안정성 평가기법을 내진설계 및 해석의 기본으로 하며, 동역학적 해석은 고려하지 않는다.</u></p> <p><u>(2) 방조제 시설의 내진설계</u></p> <p><u>설계에 적용하는 지진력은 작용 정하중에 대한 지진 관성력만 고려하고 동수압은 영향이 미미하므로 제외한다.</u></p>	<p>[수정] 최신 설계법 및 절차의 적용</p> <p><근거> 해안구조물의 안전성 평가방안(한국시설안전기술공단, 2003), 항만 및 어항시설의 내진설계표준서(해양수산부, 1999)</p>																						

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
	<p><u>지진에 의한 파랑고는 필요한 경우에만 따로 고려한다.</u></p> <p>① <u>등가정적하중 산정</u></p> <p>② <u>등가정적해석법에 의한 사면안정해석에서 사면토체에 작용하는 등가정적하중(Fh)은 활동면 상의 체체 무게에 등가정적하중계수(Kh)를 곱한 지진 관성력이며, 이 힘의 작용점은 활동면의 중심이며 작용 방향은 수평방향으로 하되 안정에 불리한 쪽으로 정한다.</u></p> $F_H = K_h W = \frac{a_{h, \max}}{2} \frac{W}{g}$ <p><u>여기서, K_h : 수평방향 등가정적하중계수</u></p> <p><u>$a_{h, \max}$: 지표면 최대 수평가속도</u></p> <p><u>W : 파괴토의 무게</u></p> <p>④ <u>위 식에서 등가정적하중계수를 결정하는 지표면 최대 수평가속도는 사면의 높이가 비교적 낮은 경우에는 제방저면(원지반)에서의 지표면 최대 수평가속도, 즉 설계지반운동에서 산정한 설계진도를 그대로 적용한다. 다만, 제방고가 낮더라도 제방이 놓이는 기초지반의 토층이 30m 이상인 경우에는 지진응답해석을 수행하</u></p>	

개편 설계기준 (2017년)	변 경	사유 및 근거
	<p><u>여 획득한 지표면 최대 수평가속도를 적용한다. 그리고 사면의 높이가 비교적 높은 경우에는 사면 체체 내의 지진가속도의 증폭특성이 고려되어야 하므로 반드시 사면 상부까지 지진응답해석을 수행하여 사면 바닥면(원지반)에서부터 사면 상부까지의 깊이별 최대가속도의 평균값을 지표면 최대 수평가속도 값으로 적용하는 것이 합리적이다.</u></p> <p>② <u>활동면법에 의한 지진시 등가정적 사면안정 검토</u></p> <p>㉠ <u>방조제 제방의 내진설계에 있어 가장 중요한 부분은 등가정적 사면안정 검토이다.</u></p> <p>㉡ <u>활동면 위의 체체가 활동하도록 하는 힘은 정수압, 해당 체체의 자중, 활동면을 따라 작용하는 간극수압 및 수평 지진관성력이고, 이러한 외력에 저항하는 힘은 활동면에 연직으로 작용하는 반력과 활동면의 접선방향으로 작용하는 점착력과 마찰력이다.</u></p> <p>㉢ <u>활동원의 중심에 대하여 외력의 모멘트에 설계 안전율을 곱한 값이 저항 모멘트를 초과하지 않으면 제방은 활동에 대하여 안전하다.</u></p> <p>㉣ <u>지진시 간극수압은 변화하지만 현재는 그 변화의 증감폭을 정량적으로 평가하기 어려워 설계자가 적절하게 판단한다..</u></p>	

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
	<p>㉞ <u>지진시 활동에 대한 안전율은 내외측 수위조건이 평균해면(해측)-관리수위(내측) 수위조건하에서 1.2 이상이어야 한다.</u></p> <p>(3) <u>배수갑문의 내진설계</u></p> <p>① <u>설계 기본</u></p> <p>㉟ <u>배수갑문이 설치될 기초지반에 대한 액상화 안정을 우선 검토한다.</u></p> <p>㊱ <u>간편해석인 등가정적해석을 먼저 수행하고, 해석결과와 구조물의 설계 단면력을 비교하여 동적 안전성을 만족하지 못한다면, 추가로 동적해석을 수행하여 상세한 안전성을 확인한다.</u></p> <p>② <u>배수갑문의 등가정적 해석</u></p> <p>㉟ <u>대상구조물의 해석 대상 단면을 결정한 후 지진구역계수, 반응수정계수, 동적계수, 지반증폭계수, 위험도계수 등을 산정하여 관성력인 밑면 전단력을 계산한다.</u></p> $V = \frac{A \cdot I \cdot C}{R} \cdot W$	<p>[신규] 등가정적 해석법 및 동적 해석법 추가</p> <p><근거> 해안구조물의 안전성 평가방안(한국시설안전기술공단, 2003)</p>

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
	<p>여기서, V : 밑면전단력</p> <p>A : 지진구역계수</p> <p>I : 위험도계수</p> <p>C : 동적계수(탄성지진응답계수)</p> $C = \frac{S}{1.2\sqrt{T}} \leq 1.75$ <p>S : 지반증폭계수</p> <p>T : 배수갑문의 기본진동주기는 RC 모멘트 저항골조로 보고 선정</p> $T = 0.0731 \cdot (h_n)^{3/4}$ <p>R : 반응수정계수</p> <p>W : 구조물의 중량</p> <p>㉔ 밑면 전단력을 이용하여 구조물의 각 부분에 작용하는 층지진하중을 산정하여 등가정적 해석을 실시한다. 층지진하중은 구조물의 각 층에 작용하는 하중으로 밑면전단력을 각 층의 위치로 분배한 값으로 다음과 같이 계산된다.</p>	

개편 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
	$F_x = \left(\frac{W_x \cdot H_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot H_i^k} \right) \cdot V$ <p>여기서, F_x : 구조물의 각 층에 작용하는 층지진하중 <u>V : 밀면전단력</u> <u>W_i, W_x : i 및 x 층의 구조물 중량</u> <u>H_i, H_x : 구조물의 밀면으로부터 i, x 층까지의 높이</u> <u>k : 높이가중지수</u></p> <p>㉔ 해석을 수행할 때에 배수갑문 구조물은 해수의 영향을 받는 구조물이므로 해석시 정수압, 동수압, 조류력, 파랑하중 등을 고려하여 해석을 수행해야 한다.</p> <p>㉕ 등가정적해석에 의한 배수갑문 구조물의 인장, 압축 응력을 구조물의 허용인장, 압축응력과 비교하여 동적 안전성을 평가한다. 등가정적해석에 의한 구조물의 응력이 구조물의 허용응력을 넘지 않으면 안전성 평가를 완료한다. 그러나 그렇지 못하는 경우에는 동적해석에 의한 상세해석을 추가로 수행한다.</p> <p>③ 배수갑문의 동적 해석</p>	

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
	<p>㉗ 배수갑문 등 부속구조물에 대한 동적 해석은 응답스펙트럼법과 시간이력해석법이 있다.</p> <p>㉘ 해석 방법</p> <p>㉘-1 설계지반운동과 지진하중으로 적용되는 시간이력하중은 본 기준 2.4 7)과 8)에 따라 생성하여 사용한다.</p> <p>㉘-2 동적해석에서 수치모형은 관성력과 지반-구조물 상호작용에서의 부가적인 특성인 감쇠특성을 고려하여 모형화하여야 한다. 동적해석시 기반암 상부의 모든 지반과 구조물을 모델링하여 해석하거나 기반암에서 기초지반까지는 1차원 지반응답해석을 수행한 후 기초지반 상부를 모델링하여 해석할 수 있다. 지반을 포함한 구조물을 모델링한 후 3차원 지진해석을 실시하는 데에 있어 지반경계에서의 지진파의 반사를 억제시키기 위해 경계조건에 대한 고려가 반드시 필요하다.</p> <p>㉘-3 동적해석에서도 자연하중을 선정하여 해석시 고려해 주어야 한다.</p> <p>㉘-4 동적해석 상용 프로그램을 이용하여 구조물에 발생하는 응력을 검토하고 구조물의 단면력과 비교하여 안전성을 평가한다.</p> <p>㉘-5 동적해석에 의한 배수갑문 구조물의 인장, 압축응</p>	

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
	<p><u>력을 구조물의 허용인장, 압축응력과 비교하여 동적 안전성을 평가한다. 동적해석에 의한 응력값이 구조물의 허용응력을 초과할 경우 단면 등을 재가정하여 구조물의 안전성을 재평가한다. 재평가의 결과가 동적 안전성을 만족할 경우 설계를 완료한다.</u></p>	
<p><u>(2) 액상화 판정</u></p> <p><u>흙 구조물(제체) 혹은 기초지반을 구성하는 흙이 지진력에 의한 간극수압의 발생에 따라 토립자 사이의 전단강도를 상실하는 현상을 액상화라 한다.</u></p> <p><u>사질지반에 축조되는 방조제는 액상화에 의해 제체의 안정성이 급격히 저하하는 경우가 있으므로 축조지점의 액상화에 대해 충분한 검토를 해야 한다. 사질지반의 액상화 조사법은 다음 2가지 방법이 있으며 일반적으로 사용에 간편한 간이법과 상세한 조사가 필요할 때 하는 엄밀법의 2가지 방법이 있다.</u></p> <p><u>① 간이법</u></p> <p><u>모래지반의 액상화 가능성은 과거·액상화 사례나 이에 대한 각종 검토결과를 참고하여 판정하는 것이 바람직하다.</u></p> <p><u>이 방법은 주로 N치에 의해 판정하며 그 상세한 설법은</u></p>	<p><u>(4) 액상화의 검토</u></p> <p><u>㉔ 검토의 필요성 및 검토 범위</u></p> <p><u>㉑ 방조제 시설은 연안지역의 연약지반을 기초로 하는 경우가 많은데, 특히 느슨한 사질토지반에 놓이는 경우에 대비한 시설물 기초의 액상화 평가가 필수적이다.</u></p> <p><u>㉒ 방조제의 경우 대부분의 축조재료의 입경이 매우 커 과잉간극수압의 발생이 어려운 것으로 간주하여 제체에 대한 액상화 검토는 생략하며 기초지반에 대한 액상화 검토만을 수행한다.</u></p> <p><u>㉓ 배수갑문의 경우도 시설물의 기초지반만을 대상으로 액상화를 검토한다.</u></p> <p><u>㉔ 액상화 평가 기준 및 평가방법</u></p> <p><u>㉑ 액상화 평가기준 및 평가방법은 KDS 11 50 25 기초내진 설계기준 또는 관련부처(국토교통부, 국토해양부 등)의 「구조물 기초설계기준」 등에 따른다.</u></p>	<p>[변경] 액상화 평가 기준 및 방법의 일반 내용을 삭제하고 방향만을 요약 제시하고, 상세한 사항은 전문 기술 기준을 참조토록 함.</p> <p><근거> 기초내진설계기준, 구조물기초설계기준을 참조.</p>

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
<p><u>구조물기초설계기준(건설부 1986)을 참고하여 조사결과와 액상화 가능성이 있으면 이에 대한 대책을 강구해야 한다.</u></p> <p><u>가) 액상화 간이에측법 (케이스I)</u> <u>원지반면에서 깊이 10m이내의 포화각질토층은 표준관입시험의 N치가 10m이하 균등계수(V_c)가 6이하 입도분포곡선의 D_{20}이 0.04~0.5mm 범위에 있을 때 액상화가 용이하며 내진계산상 지지력을 무시하는 토층으로 취급한다.</u></p> <p><u>단, D_{20}이 상기의 범위이외라도 0.004~1.2mm 범위의 입경은 액상화가능성이 있으므로 주의를 요한다.</u></p> <p><u>나) 액상화 간이에측법 (케이스II)</u> <u>「액상화의 위험성과 N치」는 상대밀도를 표준관입시험의 N치로 표시하여 지하수위가 대략 지표면에서 2~3m의 깊이에 있을 때 진도 0.2g 정도의 지진시 액상화를 일으키는 한계 N치를 Seed와 Idriss의 연구결과를 토대로 그린 것이다. 그림에서 N치가 A의 범위에 있으면 액상화 가능성은 적고 C의 범위에 있으면 그 위험성은 매우 높고 또 B의 범위에 있으면 지반이나 지진동와 특성에 좌우되므로 판정을 내리기가 곤란하다.</u></p>		

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
<p><u>따라서 이와 같은 지반은 액상화 방지대책을 수립하거나 보다 상세한 검토를 해야 한다.</u></p> <p><u>다) 액상화 간이에측법 (케이스III)</u></p> <p><u>입도분포 및 N치에 의한 방법으로 액상화를 예측하는 경우 한계 N치 이하일 때는 액상화 발생의 우려가 있다.</u></p> <p><u>구조물의 건설대상지반은 다양하므로 각 조건을 적용할 때 이들이 유도된 과정을 잘 이해하여 적절하게 적용하도록 유의해야 한다.</u></p> <p><u>방조제는 진도법에 의해 내진설계를 하는 경우가 많은데 이 경우 제체의 내진설계에 고려하는 지진동과 액상화에 대한 지반의 안정검토시에 고려하는 지진동을 대략 같은 것이 되도록 하려면 설계진도와 지진동의 최대가속도의 대응함수가 필요하게 된다.</u></p> <p><u>라) 액상화 간이에측법 (케이스 IV)</u></p> <p><u>액상화 저항계수(F)를 산정하여 $F \leq 1$인 경우는 액상화가 발생하며 $F \geq 1$인 경우는 액상화가 발생하지 않는다고 판정하는 방법이다.</u></p> <p><u>②) 엄밀 판정법</u></p> <p><u>방조제의 액상화 가능성에 대하여 보다 상세한 조사가</u></p>		

개정 설계기준 (2017년)	변경	사유 및 근거
<p><u>필요하다고 판단될 때는 현지에서 채취한 교란되지 않은 시료를 이용하여 토질시험을 하거나 현지의 지반조사를 실시하여 동적해석에 의해 액상화 발생여부를 판정하는 것이 더욱 정확하다.</u></p> <p><u>다만, 동적실내시험을 실시하기 곤란한 경우는 같은 종류의 지반에서의 상위조사결과를 이용하여 액상화 발생여부를 판정하는 경우도 있다.</u></p>		

- 부록 3 -

농업생산기반정비사업계획설계기준
(필댐편 내진설계기준 개정)

- 신구대조표-

농업생산기반정비사업계획설계기준

필댐의 내진설계

신구대조표

2017. 11.

연구기관 : 한국농공학회

기존 설계기준 (2002년)	변경	사유 및 근거
<p>4.9. 안정성 검토 4.9.1 활동에 대한 안정성 검토 가. 활동에 대한 안전을</p> <p><u>4.9.3 액상화의 검토</u> 가. 액상화 현상 나. 액상화의 검토 방법 다. 액상화 방지 대책</p> <p><u>4.9.5 필댐의 내진설계</u> 가. 내진설계 방법 1) 기본개념 2) 설계방법 나. 설계 지반운동 및 설계진도 1) 설계지반운동 2) 설계진도 3) 내진등급과 설계지진 수준 4) 지진하중</p>	<p><u>1.1.3 용어의 정의</u></p> <p>4.9. 안정성 검토 4.9.1 활동에 대한 안정성 검토 가. 활동에 대한 안전을</p> <p><u>4.9.4 필댐의 내진설계</u> 가. 내진설계 일반 1) 기본개념 2) 내진설계 기법 3) 설계지반운동 4) 내진등급별 설계지진 수준 5) 기초지반의 분류 6) 지진하중 7) 내진성능 수준 및 목표</p> <p>나. 필댐의 내진설계 1) 설계거동 한계 2) 정역학적 설계기준 3) 동역학적 검토 4) 액상화 검토</p>	<p>- 기존 기준은 내진설계 기준과 관련된 내용을 상세히 기술하지 못함.</p> <p>- 내진설계와 관련한 기술내용을 상세히 기술하였으며, 별도의 절로 기술되어 있는 “액상화의 검토” 내용을 포함하여 내진설계 기준에 대한 기준서로서의 체계를 명확히 함.</p>

기존 설계기준 (2002년)	변 경	사유 및 근거
<p><u>다. 댐의 내진설계</u> <u>1) 내진설계상의 주의점</u> <u>2) 설계 거동 한계</u> <u>라. 정역학적 설계기준</u> <u>1) 지진력</u> <u>2) 활동면법에 의한 지진시 사면안정 검토</u> <u>마. 동적 설계</u></p> <p><u>4.9.6. 매설계측 안정관리</u> (1)~(5) 생략 (6) 지진계 (7)~(8) 생략</p>	<p><u>4.9.5. 매설계측 안정관리</u> (1)~(5) 생략 (6) 지진계 (7)~(8) 생략</p> <p><u>첨부. 국가지진위험지도(소방방재청 공고 제2013-179호)</u></p>	
<p><u><신설></u></p>	<p><u>1.1.3 용어의 정의</u> <u>(1) "감쇠"란 점성, 소성 또는 마찰에 의해 댐에 입력된 에너지가 소산되는 현상을 말한다.</u> <u>(2) "기반암"란 전단파속도가 760m/s 이상인 지층을 말한다.</u> <u>(3) "내진성능수준"이란 설계지진에 대해 시설물에 요구되는</u></p>	<p>내진관련 용어정의 [추가] [신규]</p>

기존 설계기준 (2002년)	변 경	사유 및 근거
	<p><u>최소 성능수준을 말한다.</u></p> <p>(4) <u>"설계지반운동"이란 내진설계를 위해 정의된 지반운동으로서 댐이 건설되기 전에 부지 정지작업이 완료된 지면에서의 지반운동을 말한다.</u></p> <p>(5) <u>"액상화"란 포화된 사질토 등에서 지진동, 발파하중 등과 같은 충격하중에 의하여, 지반 내에 과잉간극수압이 발생하여, 지반의 전단강도가 상실되어 액체처럼 거동하는 현상을 말한다.</u></p> <p>(6) <u>"위험도 계수"란 평균재현주기가 500년인 지진을 기준으로 하여, 평균재현주기가 다른 지진의 최대지반가속도를 상대적 비율로 나타낸 계수를 말한다.</u></p> <p>(7) <u>"유효지반가속도"란 지진하중을 산정하기 위하여 국가지진위험지도나 행정구역을 기준으로 제시된 지반운동 수준을 말한다.</u></p> <p>(8) <u>"응답스펙트럼"이란 지반운동에 대한 단자유도 시스템의 최대응답을 고유주기 또는 고유진동수의 함수로 표현한 스펙트럼을 말한다.</u></p> <p>(9) <u>"응답(시간)이력해석"이란 지진의 지속시간 동안 각 시간 단계에서의 구조물의 동적응답을 구하는 방법을 말한다.</u></p> <p>(10) <u>"재현주기"란 지진과 같은 자연재해가 특정한 크기 이상</u></p>	

기존 설계기준 (2002년)	변 경	사유 및 근거
	<p><u>으로 발생할 주기를 확률적으로 계산한 값으로, 일 년 동안에 특정한 크기 이상의 자연재해가 발생할 확률의 역수를 말한다.</u></p> <p>(11) <u>"지반증폭계수"란 기반암의 스펙트럼 가속도(속도)에 대한 지표면의 스펙트럼 가속도(속도)의 증폭비율을 말한다.</u></p> <p>(12) <u>"지진구역계수"란 지진구역 I과 II의 암반지반(s_1) 상에서 평균재현주기 500년 지진의 지반운동 가속도를 중력가속도 단위로 표현한 값을 말한다.</u></p> <p>(13) <u>"지진위험지도"란 내진설계 등에 활용하기 위하여 정밀한 지진위험도(또는 지진재해도) 분석결과를 표시한 지도를 말한다.</u></p> <p>(14) <u>"지진재해도"란 내진설계의 기초가 되는 지진구역을 설정하기 위하여 과거의 지진기록과 지질 및 지반특성 등을 종합적으로 분석하여 산정한 지진재해의 발생확률을 말한다.</u></p> <p>(15) <u>"표준설계응답스펙트럼"이란 s_1 지반에서 평균재현주기 500년인 설계지진에 대한 5% 감쇠비 단자유도 시스템의 설계응답스펙트럼을 말한다.</u></p>	

기존 설계기준 (2002년)							변 경							사유 및 근거
4.9안정성검토 4.9.1활동에 대한안정성검토 가.활동에 대한안전율							4.9안정성검토 4.9.1활동에 대한안정성검토 가.활동에 대한안전율							[일부변경] 기존 필댐의 안전율은 2002년 개정 당시 2001년 개정된 댐설계기준의 내용을 따른 것으로, 2011년 댐설계기준이 개정되면서 필댐의 안전율 내용이 수정되었으므로, 이에 따라 필댐면에서의 안전율 기준 또한 개정된 댐설계기준에 근거하여 수정되어야 함 <근거> 댐설계기준(2011)
표 4.9.1 필댐의 안전율							표 4.9.1 필댐의 안전율							
구분	제체조건	저수위	지진	안전율		비고	구분	제체조건	저수위	지진	안전율		비고	
				상류	하류						상류	하류		
1	완성직후 (간극압최대)	바닥상태	없음	1.3	1.3	1) 상류측 비탈면의 하부존이 암석 등으로 되어 있어 간극압이 발생하지 않을 경우에 한함. 2) 수위는 보통 댐 높이의 45~50%를 취하여 계산함	1	완성직후 (간극압최대)	바닥상태	있음	1.3	1.3	1) 상류측 비탈면의 하부존이 암석 등으로 되어 있어 간극압이 발생하지 않을 경우에 한함. 2) 수위는 보통 댐 높이의 45~50%를 적용하여 계산함	
2		일부저수	"	1.3	-		2	완성직후	일부저수 ¹⁾	없음	1.3	-		
3		급강하	"	1.2	1.2		3	평상시	설계홍수위	없음	1.2	1.2		
4	평상시	만수	있음	1.2	1.2	4	평상시	만수	있음	1.2	1.2			
5		일부저수	"	1.15	-	5	평상시	일부저수 ²⁾	있음	1.15	-			
6	평상시	급강하	있음	1.2	-	6	평상시	급강하	있음	1.2	-			

기존 설계기준 (2002년)	변경	사유 및 근거
<p>4.9.3액상화의검토</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p>필댐이 느슨한 사질지반에 축조된 경우나 지진 등의 외력에 의하여 과잉 간극수압의 상승에 의하여 전단 강도가 저하될 것으로 예상되는 기초지반이나 제체에 대하여는 액상화에 대한 안정성을 검토한다.</p> </div> <p>가. 액상화 현상</p> <p>필댐의 축조지반이 모래나 실트 등으로 구성되어 횡하중에 의하여 과잉간극 수압이 증가하여 유효응력을 초과할 것으로 예상되는 곳에서는 반드시 액상화에 대한 안정성을 검토한다.</p> <p>제체 또는 기초지반을 구성하고 있는 흙이 느슨한 경우 지진력에 의하여 과잉간극수압이 발생하여 토립자 사이의 전단강도를 상실하는 것을 액상화라 한다. 액상화에 관계하는 인자를 들면 다음과 같다.</p> <p>① 토질조건 : 토질, 점토, 다짐도</p> <p>② 정적응력조건 : 지진력의 유효구속압의 크기, 비등방성 등</p>	<p><삭제></p>	

기존 설계기준 (2002년)	변 경	사유 및 근거
<p>③ 동적응력조건 : 지진력 (하중의 크기, 계속시간 및 방향)</p> <p>액상화의 기구는 완전하게 규명되지는 않았으나 모래나 실트로 구성된 흙이 포화상태로 되고, 또한 느슨하게 쌓인 상태에서 지진력이 가해지면 체적이 수축되는 것과 같이 되므로 그에 따라 간극수압이 상승하여 간극수가 배출될 때까지 토립자가 간극수중에 일시적으로 뜬 상태로 되어 토립자간의 전단강도가 상실되는 것으로 해석할 수 있다. 따라서 사질토로 근대적 공법으로 치밀하게 다짐을 하면 제체에서의 완전 액상화 발생은 거의 생각할 수 없다. 그러나 느슨한 사질지반상에 축조된 경우 또는 과잉간극수압의 상승에 의해 전단강도가 저하될 것으로 예상되는 때에는 기초지반이나 제체의 액상화에 대해서 검토하여 충분히 안전하도록 설계할 필요가 있다.</p> <p>나. 액상화의 검토 방법</p> <p>액상화를 검토하는 방법은 반복 삼축압축시험의 결과를 이용하는 방법과 동적 응력조건을 바탕으로 모의 해석하는 방법, 간편법 등이 있는데, 댐 규모, 안전도, 재료상수의 정확성, 파괴시 피해 등을 고려하여 적절한 방법을 선정한</p>		

기존 설계기준 (2002년)	변 경	사유 및 근거
<p>다. 제체나 기초지반의 토질은 일반적으로 한정되어 있으나 특히 액상화에 강한 흙 즉 점착성이 큰 흙의 유무 또는 다른 토질과의 혼합에 의한 토질개량에 대해서 검토한다. 다른 양질재료를 얻기 어려운 경우에는 입도시험 또는 반복삼축 압축시험 등에 의해 액상화의 난이를 검토한다. 액상화 가능성이 있다고 판단되는 경우에는 다음과 같은 검토를 한다.</p> <p>흙을 치밀하게 다질수록 액상화의 저항력이 증가하므로 시공상 가능한 다짐도의 검토, 다짐도(지반인 때는 N치)와 액상화의 관계를 반복 삼축 압축시험 또는 유사재료의 자료 등으로 검토한다. 액상화의 가능성이 있다고 판단되는 경우에는 다음 1) 2) 3)항목을 추정하여 흙의 액상화 저항력과 정적, 동적응력 조건을 고려한 해석을 한다.</p> <p>1) 제체 또는 기초지반내의 지진전의 응력상태를 추정한다. 이 추정방법으로는 가) 댐 마루를 반무한의 지표면으로 가정하여 침유면의 위치와 흙의 단위체적중량으로부터 유효구속압을 구하는 방법, 나) 댐의 축조과정~저수를 고려하여 유한요소법에 의한 유효응력을 구하는 방법이 시행되고 있다.</p> <p>2) 제체 또는 기초지반의 지진시 작용응력상태를 추정한다.</p>		

기존 설계기준 (2002년)	변 경	사유 및 근거
<p>이 방법에는 가) 기존 연구성과를 실용화하는 방법, 나) 유효요소법에 의한 지진응답해석법 등이 시도되고 있다.</p> <p>3) 흙의 액상화 응력비는 반복삼축압축시험에 의해 구하는 것이 바람직하다. 이 경우 압밀 조건으로서는 가) 등방압밀조건, 나) 비등방압밀조건이 있다.</p> <p>상기 2)항에 있어서 나)를 채용할 경우에는 비등방압밀 조건으로 시험하는 것이 바람직하다. 물론 액상화응력비는 $\tau_{IN} / \sigma_{\infty}$ (여기서 τ_{IN} : n회의 반복재하회수로 액상화할 때의 동적전단응력, σ_{∞} : 초기 평균유효구속압)로 나타낼 수 있다.</p> <p>4) 1)항에 의해 구한 유효구속압과 2)항에 의해 구한 지진시 작용응력으로부터 지진시의 응력비를 구하고 여기에 3)항에 의하여 구한 응력비와 비교해서 1 이 넘는지 여부에 의해 액상화의 가능성을 판정한다.</p> <p>다. 액상화 방지 대책</p> <p>액상화의 가능성이 있는 지반이나 체체에 대해서는 상대밀도를 증가시키거나 치환, 드레인의 설치 등 충분한 대책을 강구한다.</p> <p>액상화 대책으로는 ① 다짐에 의하여 상대밀도를 증대,</p>		

기존 설계기준 (2002년)	변경	사유 및 근거
<p>② 액상화하기 어려운 흙으로 치환, ③ 상재하중의 증가와 지하 수위를 저하, ④ 드레인으로 간극수압의 소산 촉진 등이 있다.</p> <p>[참고]입도와 액상화의 가능성</p> <p>(1) 입도와 액상화 저항력의 관계 이 관계는 상당히 많은 시험에 의해 구할 수 있다. 예를 들면 점토함유량 10%이하, 평균입경 $D_{50} = 0.075\sim 2.00$ mm (특히 $D_{50} = 0.15\sim 1.0$mm), 균등계수 10 이하 (특히 5 이하)가 되고 지표면하 15~20 m 깊이 이내에 있는 모래층인 때에는 액상화의 검토를 한다. 또는 액상화의 가능성이 있는 흙에 대해서 그림 4.9.23에서 입도범위를 제시하고 있다.</p> <p>(2) 상대밀도와 액상화의 가능성 Seed 등은 포화사질지반의 액상화 가능성에 대하여 실내시험, 현지조사, 동적해석 등을 하여 표 4.9.4의 관계를 제시하였다.</p>		<p>[삭제]입도와 액상화 저항력의 관계와 상대밀도와 액상화 가능성의 관계는 기술된 바와 같이 참고사항일 뿐이며, 해당 내용 자체가 최신 내용이 아니며, 현재는 국내외에서는 전혀 인용되고 있지 않은 사항이므로, 설계자에게 혼돈을 줄 수 있으므로 삭제하는 것이 바람직함.</p>

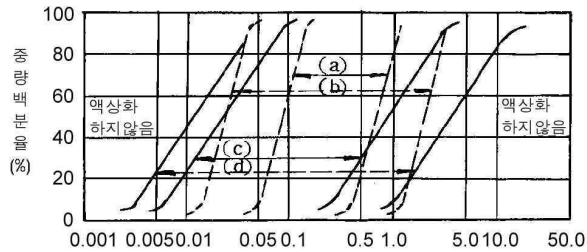
기존 설계기준 (2002년)

변 경

사유 및 근거

표 4.9.4 상대밀도와 액상화의 가능성

최대지반 면가속도(1)	액상화가 가장 일어나기 쉽다(2)	액상화가 토질과 지진력에 좌우된다(3)	액상화가 가장 일어나기 어렵다(4)
0.10g	$D_r < 33$	$33 < D_r < 54$	$D_r > 54$
0.15g	" < 48	$48 < " < 73$	" > 73
0.20g	" < 60	$60 < " < 85$	" > 85
0.25g	" < 70	$70 < " < 92$	" > 92



- (a) 균등계수가 작은 모래, 특히 액상화 하기 쉽다.
- (b) 균등계수가 작은 모래, 액상화의 가능성이 있다.
- (c) 균등계수가 큰 모래, 특히 액상화 하기 쉽다.
- (d) 균등계수가 큰 모래, 액상화의 가능성이 있다.

그림 4.9.23 액상화 가능성이 있는 흙의 입도분포

기존 설계기준 (2002년)	변경	사유 및 근거
<p>4.9.5 필댐의 내진설계</p> <p>필댐 및 부속시설의 내진성 확보를 위해 필요한 최소 요구조건을 만족 하도록 신설되는 높이 15m 이상인 총 저수량 50만^m³ 이상의 댐 및 부속시설에 대하여 내진설계를 적용한다.</p>	<p>4.9.4 필댐의 내진설계</p> <p>필댐 및 부속시설의 내진성 확보를 위해 필요한 기준을 규정하는 것으로서 신설되는 총저수량 30만톤 이상인 저수지 및 부속시설의 내진설계에 적용한다.</p>	<p>[변경] 내진설계 대상시설의 적용 범위 확대 <근거> 지진화산 재해대책법 (2016.01) (농림축산부추진 사항) 지진화산 재해대책법상 내진설계 대상 시설 적용범위 조정 추진중 (변경추진) 총저수량이 30만톤 이상인 저수지와 부속시설</p>

기존 설계기준 (2002년)	변경	사유 및 근거
<p>가.내진설계 방법 지진시에는 댐 및 기초의 직접 파괴 이외에 저수지주변 또는 물넘이 사면의 활동이나 저수의 진동에 의한 간접 피해도 발생할 수 있기 때문에 이에 충분히 검토해야 한다.</p> <p>1)기본 개념 댐에 상당한 변형과 부분적 손상이 발생하는 것은 허용할 수 있으나 지진시 또는 지진 경과 후에도 댐의 저수기능은 유지되어야 하며 통제 불가능한 저수량의 유출상태는 있어서는 안된다. 어느 경우에도 댐이 붕괴되지 않도록 댐체의 활동이나 전도를 방지하기 위한 충분한 안전율을 확보하여야 하며, 댐의 정상수명기간 내에 설계 지진력이 발생할 가능성은 희박한 것으로 본다.</p> <p>2)설계 방법 내진설계방법은 지진력을 지진계수에 의한 하중의 관성력과 동수압으로 대치하고 정역학적인 방법으로 해석하는 진도법과 지진파에 의한 응답을 구하여 동적인 파동으로 해석하는 동역학적 안정해석 방법이 있다. <u>댐 내진설계 방법은 정역학적 방법으로 해석하는 진도법을 기본으로 하고 있는데, 이미 경험적으로 안정적인 방법이 입증되고 있다. 이 방법은</u> 간편하고 안정적인 해석결</p>	<p>가.내진설계 일반</p> <p>1)기본 개념 댐에 상당한 변형과 부분적 손상이 발생하는 것은 허용할 수 있으나 지진시 또는 지진 경과 후에도 댐의 저수기능은 유지되어야 하며 통제 불가능한 저수량의 유출상태는 있어서는 안된다. 어느 경우에도 댐이 붕괴되지 않도록 댐체의 활동이나 전도를 방지하기 위한 충분한 안전율을 확보하여야 하며, 댐의 정상수명기간 내에 설계 지진력이 발생할 가능성은 희박한 것으로 본다.</p> <p>2)내진설계 기법 내진설계방법은 지진력을 지진계수에 의한 하중의 관성력과 동수압으로 대치하고 정역학적인 방법으로 해석하는 진도법과 지진파에 의한 응답을 구하여 동적인 파동으로 해석하는 동역학적 안정해석 방법이 있다. <u>정역학적 방법은</u> 간편하고 안정적인 해석결과를 얻을 수 있는 장점이 있으나 댐의 동적 특성을 고려하지 않고 지반과 구조물의 상호작용 관계인 설계진도와 최대 응답 가속도의 관계가 명백하지 않다.</p>	<p>[일부변경] 동적 해석법을 설계의 기본으로 정하지는 않지만, 상세검토가 요구되는 경우 동적해석에 의한 검토 가능성을 열어둠 <근거> 댐 설계 기준(2011)</p> <p>[일부변경] 성능평가시나 동적 해석법 적용시, 또는 경제적인 설계를 위하여, 국가지진위험지도를 활용한 유효지반가속도를</p>

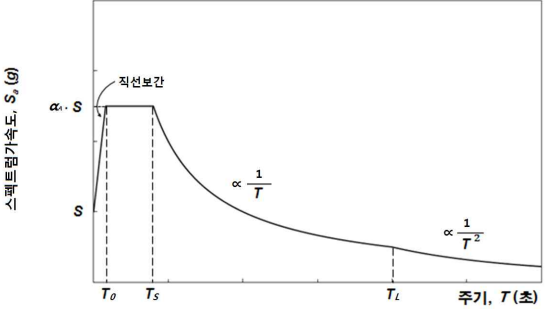
기존 설계기준 (2002년)	변경	사유 및 근거
<p>파를 얻을 수 있는 장점이 있으나 댐의 동적 특성을 고려하지 않고 지반과 구조물의 상호작용 관계인 설계진도와 최대 응답 가속도의 관계가 명백하지 않다.</p> <p>선진국에서는 <u>지진파에 의한 응답을 구하여 동적인 파동으로 해석하는</u> 동역학적 안정해석 방법이 많이 개발되어 설계에 적용하고 <u>있다</u>. 이 방법도 댐 설계에 적용할 때는 ① 설계 지진파형의 설정, ② 댐 축조재료의 동적인 응력 왜곡 특성, ③ 해석방법으로서의 3차원적 응답이나 지하 소산 규정, ④ 파괴규준 및 파괴현상의 모의 등의 문제점이 있어 적용에 신중해야 한다.</p> <p><u>특히, 우리 나라의 경우 빈약한 지진 해석자료 및 연구 미흡으로</u> 여러 가지 불명확한 사항에 대한 가정이 <u>불가피하여 설계기준으로 동적 해석방법을 댐의 내진설계기준에 규정하기에는 무리가 따른다.</u></p> <p>나. 설계지반운동및설계진도 1)설계지반운동 설계지반운동은 <u>지표면에서의 자유장 운동으로 정의한다. 설계지반운동은 수평 2축 방향성분으로 정의되며 세기와 특성은 동일한 것으로 가정하고, 지진에 의한</u></p>	<p><u>최근 미국 등 내진</u> 선진국에서는 동역학적 안정해석 방법이 많이 개발되어 설계에 적용하고 <u>있는데</u>, 이 방법도 댐 설계에 적용할 때는 설계 지진파형의 설정, 댐 축조재료의 동적인 응력 왜곡 특성, 해석방법으로서의 3차원적 응답이나 지하 소산 규정, 파괴규준 및 파괴현상의 모의 등의 문제점이 있어 적용에 신중해야 한다.</p> <p>우리 나라의 경우 <u>부족한</u> 지진 해석자료 및 연구 <u>결과로 동적해석을 적용함에 있어서</u> 여러 가지 불명확한 사항에 대한 가정이 <u>불가피하므로, 진도법을 내진설계의 기본으로 한다. 다만, 진도법으로 설계된 댐체 단면에 대하여 체제 액상화 검토를 비롯한 상세한 검토가 요구되는 경우에는 동역학적 해석방법에 의한 검토를 수행한다.</u></p> <p>3)설계지반운동 가)일반사항 설계지반운동은 <u>구조물이 건설되기 전에 부지 정지작업이 완료된 지면에서의 지반운동으로 정의하며, 통계학적으로 독립인 수평 2축 운동과 수직운동으로 정의한다.</u></p>	<p>산정의 여지를 둬. <근거> 댐 설계 기준(2011)</p>

기존 설계기준 (2002년)	변경	사유 및 근거
<p><u>수직방향의 영향이 댐 안정에 영향을 주게 되는 경우는 이 방향의 지진력을 고려하여 하며 크기는 수평방향의 지반운동의 1/2로 본다.</u></p> <p>또한, 댐의 내진설계 시에는 댐 상류의 저수지 수위 및 수위의 변화상태에 따라 댐 안전에 가장 불리한 방향으로 가진되는 경우를 상정하고 안정해석을 <u>해야 한다.</u></p> <p>2)설계진도 우리 나라의 지진구역을 아래 표 4.9.6과 같이 설정한다. 각 지진구역에서의 평균 재현주기 500년의 지진 지반운동에 해당하는 지진구역계수는 구역 I에서는 0.11, 구역 II에서는 0.07이다. 평균 재현주기별 최대 유효지반가속도의 중력가속도에 대한 비를 의미하는 위험도 계수는 평균 재현주기 500년일 때 1.0이며, 1,000년일 때는 1.4이다.</p>	<p><u>수직운동은 수평 2축 운동과 별도로 정의하며 수직운동의 영향을 무시할 수 없는 경우에는 수직방향의 지진력을 고려 하되 그 크기는 수평방향 지반운동의 1/2로 본다.</u></p> <p><u>설계지반운동의 특성은 흔들림의 세기, 진동수성분 및 지속시간으로 정의한다.</u></p> <p><u>‘첨부. 국가지진위험지도’의 값은 유효지반가속도(S)이다.</u></p> <p>또한, 댐의 내진설계를 할 때 댐 상류의 저수지 수위 및 수위의 변화상태에 따라 댐안전에 가장 불리한 방향으로 가진되는 경우를 상정하고 안정해석을 <u>한다. 이때 해당 저수지 수위의 발생빈도가 특히 낮은 경우에는 그때의 적용 지진력을 조정할 수 있다.</u></p> <p>나)설계진도 (1)지진구역및지진위험도 지진구역은 지진구역 I 및 지진구역 II의 두 개의 지진구역으로 구분한다. 평균재현주기가 500년인 지진시 암반지반(S_1 지반)의 각 지진구역에서의 지진구역계수(Z)는 표 4.9.5와 같다</p>	

기존 설계기준 (2002년)	변 경	사유 및 근거																									
<p>필댐 설계시 적용되는 설계진도는 지진 구역계수에 내진 등급별 설계지진의 평균 재현주기에 따른 위험도 계수, 지반계수 및 댐 형식별 할증계수를 곱한 값에 중력가속도를 곱하여 구한다. 단, 지반계수와 댐 형식별 할증계수는 정역학적 설계방법인 진도법에 의한 경우에만 적용한다.</p> <p>그러나 위의 방법으로 산출된 설계진도가 0.2 g 이상이면 우리 나라보다 지진규모나 발생빈도가 훨씬 높은 나라에서 적용하는 진도보다 과다하다고 판단되는 경우 설계자는 적용 설계진도를 0.2 g 이하로 조정할 수 있다.</p> <p>표 4.9.6 지진구역 구분</p> <table border="1" data-bbox="133 827 836 1163"> <thead> <tr> <th>지진 구역</th> <th colspan="2">행 정 구 역</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">I</td> <td>시</td> <td>서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구 광역시, 울산광역시, 광주광역시</td> </tr> <tr> <td>도</td> <td>경기도, 강원도남부⁽¹⁾, 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 북동부⁽²⁾</td> </tr> <tr> <td>II</td> <td>도</td> <td>강원도 북부⁽³⁾, 전라남도 남서부⁽⁴⁾, 제주도</td> </tr> </tbody> </table>	지진 구역	행 정 구 역		I	시	서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구 광역시, 울산광역시, 광주광역시	도	경기도, 강원도남부 ⁽¹⁾ , 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 북동부 ⁽²⁾	II	도	강원도 북부 ⁽³⁾ , 전라남도 남서부 ⁽⁴⁾ , 제주도	<p>표 4.9.5 지진구역 및 지진구역계수(Z)</p> <table border="1" data-bbox="904 793 1609 1115"> <thead> <tr> <th>지진 구역</th> <th colspan="2">행 정 구 역</th> <th>지진구역 계수(Z)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">I</td> <td>시</td> <td>서울, 인천, 대전, 부산, 대구, 울산, 광주, 세종</td> <td rowspan="2">0.11g</td> </tr> <tr> <td>도</td> <td>경기, 충북, 충남, 경북, 경남, 전북, 전남, 강원 남부¹⁾</td> </tr> <tr> <td>II</td> <td>도</td> <td>강원 북부²⁾, 제주</td> <td>0.07g</td> </tr> </tbody> </table> <p>¹⁾ 강원 남부 : 영월, 정선, 삼척, 강릉, 동해, 원주, 태백 ²⁾ 강원 북부 : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천, 속초</p>	지진 구역	행 정 구 역		지진구역 계수(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	
지진 구역	행 정 구 역																										
I	시	서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구 광역시, 울산광역시, 광주광역시																									
	도	경기도, 강원도남부 ⁽¹⁾ , 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 북동부 ⁽²⁾																									
II	도	강원도 북부 ⁽³⁾ , 전라남도 남서부 ⁽⁴⁾ , 제주도																									
지진 구역	행 정 구 역		지진구역 계수(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																								

기존 설계기준 (2002년)	변 경	사유 및 근거														
<p>(주) : (1) 강원도 남부 : 영월, 정선, 삼척시, 강릉시, 동해시, 원주시, 태백시, (2) 전남 북동부 : 장성, 담양, 곡성, 구례, 장흥, 보성, 여천, 화순, 광양시, 나주시, 여천시, 여수시, 순천시 (3) 강원도 북부 : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천시, 속초시 (4) 전남 남서부 : 무안, 신안, 완도, 영광, 진도, 해남, 영암, 강진, 고흥, 함평, 목포시</p>	<p>평균재현주기가 500년인 지진을 기준으로 하여, 평균재현주기가 다른 지진의 최대지반가속도를 상대적 비율로 나타내는 계수인 위험도계수(I)는 표 4.9.6과 같다.</p> <p>표 4.9.6 위험도계수(I)</p> <table border="1" data-bbox="904 957 1580 1116"> <thead> <tr> <th>재현주기</th> <th>50년</th> <th>100년</th> <th>200년</th> <th>500년</th> <th>1,000년</th> <th>2,400년</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>위험도계수(I)</td> <td>0.4</td> <td>0.57</td> <td>0.73</td> <td>1.0</td> <td>1.4</td> <td>2.0</td> </tr> </tbody> </table>	재현주기	50년	100년	200년	500년	1,000년	2,400년	위험도계수(I)	0.4	0.57	0.73	1.0	1.4	2.0	<p>[변경] 지진구역 -세종시 추가, -전라남도는 모두 지진구역 I로 지정됨 <근거> 내진설계기준 공통적용사항(국민안전처 공표안, 2017.07)</p>
재현주기	50년	100년	200년	500년	1,000년	2,400년										
위험도계수(I)	0.4	0.57	0.73	1.0	1.4	2.0										

기존 설계기준 (2002년)	변 경	사유 및 근거
	<p><u>표 4.9.10에서 규정하는 설계지진의 평균재현주기에 해당하는 위험도계수(I)(표 4.9.6 참조)에 표 4.9.5에 제시된 지진구역계수(Z)를 곱하여 유효지반가속도(S)를 결정한다.</u></p> <p><u>경제적인 설계가 필요할 경우와 소성해석법이나 동적유효응력해석을 이용한 동적검토를 수행할 때, 기존 시설의 내진보강 설계를 위한 성능평가를 적용하고자 할 경우에 한해, 표 4.9.10에서 규정하는 설계지진의 평균재현주기에 해당하는 국가지진위험지도를 이용한 방법으로 유효지반가속도(S)를 산정할 수 있다.</u></p> <p><u>기초지반의 영향을 고려하기 위하여 표 4.9.7과 표 4.9.8을 이용하여 지반증폭계수를 결정한다.</u></p> <p><u>필댐이 균일형 흙댐인 경우 댐 형식별 할증계수 1.2를 적용한다.</u></p> <p><u>댐이 위치할 지점의 설계진도는 유효지반가속도(S)와 지반증폭계수, 댐 형식별 할증계수를 모두 곱한 값으로 한다.</u></p> <p><u>이상의 방법으로 산출된 설계진도가 0.2g 이상이어서 우리나라보다 지진규모나 발생빈도가 훨씬 높은 나라에서 적용하는 진도보다 과다하다고 판단되는 경우 설계자는 적용 설계진도를 0.2g 이하로 조정할 수 있다.</u></p>	

기존 설계기준 (2002년)	변경	사유 및 근거
	<p>다) 설계지반운동의 특성 표현</p> <p>(1) 설계지반운동의 세기 및 진동수 성분은 기본적으로 응답스펙트럼으로 표현한다.</p> <p>(2) 암반지반(S_1 지반) 설계지반운동의 가속도 표준설계 응답스펙트럼은 다음과 같다.</p> <p>5 % 감쇠비에 대한 수평 설계지반운동의 가속도 표준설계 응답스펙트럼은 그림 4.9.24와 같다.</p>  <p>그림 4.9.24 가속도 표준설계 응답스펙트럼(암반지반)</p> <p>그림 4.9.24의 가속도 표준설계 응답스펙트럼의 전이 주기는 표 4.9.7과 같다.</p>	

기존 설계기준 (2002년)	변 경	사유 및 근거													
	<p data-bbox="904 316 1456 344"><u>표 4.9.7 가속도 표준설계응답스펙트럼 전이주기</u></p> <table border="1" data-bbox="904 362 1605 504"> <thead> <tr> <th data-bbox="904 362 981 454" rowspan="2">구분</th> <th data-bbox="981 362 1257 454">α_A (단주기스펙트럼증폭계수)</th> <th colspan="3" data-bbox="1257 362 1605 408">전이주기(sec)</th> </tr> <tr> <th data-bbox="1257 408 1373 454">T_0</th> <th data-bbox="1373 408 1489 454">T_S</th> <th data-bbox="1489 408 1605 454">T_L</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="904 454 981 504">수평</td> <td data-bbox="981 454 1257 504">2.8</td> <td data-bbox="1257 454 1373 504">0.06</td> <td data-bbox="1373 454 1489 504">0.3</td> <td data-bbox="1489 454 1605 504">3</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="973 563 1611 993"><u>5% 감쇠비의 수직설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼은 수평설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼과 동일한 형상을 가지며, 최대 유효수평지반가속도에 대한 최대 수직지반가속도의 비는 0.77이다. 수평 및 수직 설계지반운동의 가속도 표준응답스펙트럼의 감쇠비(ξ, %단위)에 따른 스펙트럼 형상은 표 4.9.8에 제시한 감쇠보정계수 C_D를 표준응답스펙트럼에 곱해서 구할 수 있다. 단, 감쇠비가 0.5%보다 작은 경우에는 적용하지 않으며 해당 구조물의 경우 응답(시간)이력해석을 권장한다.</u></p>	구분	α_A (단주기스펙트럼증폭계수)	전이주기(sec)			T_0	T_S	T_L	수평	2.8	0.06	0.3	3	<p data-bbox="1632 321 1835 1157">[신규] 2017년 7월에 공표된 국민안전처의 “내진설계기준 공통 적용 사항”의 내용을 반영하여, 지반분류에 따른 표준설계응답스펙트럼과 전이주기를 제시하였고, 표준설계응답스펙트럼 곡선을 완성하기 위한 증폭계수를 제시하였다. 설계진도가 결정되고, 설계응답스펙트럼이 결정되면 이러한 설계응답</p>
구분	α_A (단주기스펙트럼증폭계수)		전이주기(sec)												
	T_0	T_S	T_L												
수평	2.8	0.06	0.3	3											

기존 설계기준 (2002년)	변경	사유 및 근거								
	<p data-bbox="904 319 1213 351">표 4.9.8 감쇠보정계수(C_D)</p> <table border="1" data-bbox="904 371 1599 683"> <thead> <tr> <th data-bbox="904 371 1020 436">주기 (T, sec)</th> <th data-bbox="1023 371 1219 436">$T = 0$</th> <th data-bbox="1222 371 1418 436">$0 \leq T \leq 0.06$</th> <th data-bbox="1421 371 1599 436">$0.06 \leq T$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="904 439 1020 683">C_D</td> <td data-bbox="1023 439 1219 683">모든 감쇠비에 대해서 1.0</td> <td data-bbox="1222 439 1418 683">$T = 0$일 때, 1.0 $T = 0.06$일 때, $\left(\frac{6.42}{1.42 + \xi}\right)^{0.48}$ 그 사이는 직선보간</td> <td data-bbox="1421 439 1599 683">$\left(\frac{6.42}{1.42 + \xi}\right)^{0.48}$</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="952 742 1609 820">(3) 토사지반($S_2 \sim S_5$ 지반) 설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼은 다음과 같다.</p> <p data-bbox="962 831 1609 1033">토사지반인 S2, S3, S4, S5 지반의 5% 감쇠비에 대한 수평지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼은 그림 4.9.25로 정의한다. 지반증폭계수는 표 4.9.9와 같으며 유효수평지반가속도(S)의 값이 중간 값에 해당할 경우 직선보간하여 결정한다.</p> <p data-bbox="962 1044 1609 1160">5% 감쇠비에 대한 S2~S5 지반의 수직지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼은 수평설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼과 같은 전이주기를 가지며,</p>	주기 (T , sec)	$T = 0$	$0 \leq T \leq 0.06$	$0.06 \leq T$	C_D	모든 감쇠비에 대해서 1.0	$T = 0$ 일 때, 1.0 $T = 0.06$ 일 때, $\left(\frac{6.42}{1.42 + \xi}\right)^{0.48}$ 그 사이는 직선보간	$\left(\frac{6.42}{1.42 + \xi}\right)^{0.48}$	<p data-bbox="1632 364 1831 817">스펙트럼과 적합도를 가지도록 인공합성지진파를 생성하며, 이러한 지진파를 동적해석을 위한 입력지진가속도 시간이력으로 이용하는 절차를 제시함</p> <p data-bbox="1632 831 1831 1115"><근거> 내진설계기준 공통적용사항(국민안전처 공표안, 2017.07), 댐 설계기준 (2011)</p>
주기 (T , sec)	$T = 0$	$0 \leq T \leq 0.06$	$0.06 \leq T$							
C_D	모든 감쇠비에 대해서 1.0	$T = 0$ 일 때, 1.0 $T = 0.06$ 일 때, $\left(\frac{6.42}{1.42 + \xi}\right)^{0.48}$ 그 사이는 직선보간	$\left(\frac{6.42}{1.42 + \xi}\right)^{0.48}$							

기존 설계기준 (2002년)

변경

사유 및 근거

최대 유효수평지반가속도에 대한 최대 유효수직지반가속도의 비는 공학적 판단에 의해 값을 결정할 수 있다. 토사지반에서 감쇠비에 따른 스펙트럼 형상은 해당 토사지반에 적합한 가속도시간이력을 이용하여 공학적으로 적절한 분석과정을 통해 결정할 수 있다.

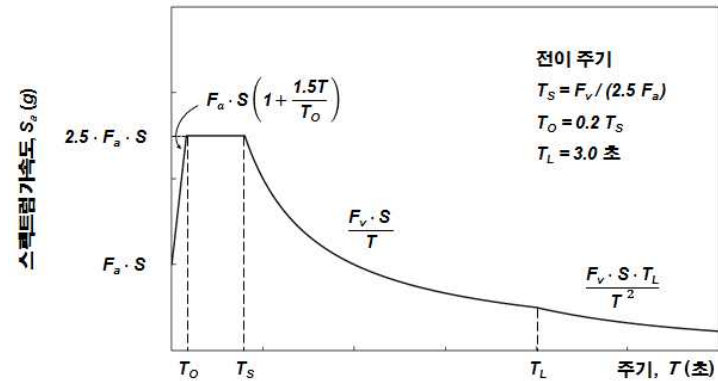


그림 4.9.25 토사지반 수평지반운동의 가속도
표준설계응답스펙트럼

기존 설계기준 (2002년)	변 경	사유 및 근거																																									
	<p data-bbox="904 312 1155 340"><u>표 4.9.9 지반증폭계수</u></p> <table border="1" data-bbox="904 358 1609 609"> <thead> <tr> <th rowspan="2">지반 분류</th> <th colspan="3">단주기 증폭계수, Fa</th> <th colspan="3">장주기 증폭계수, Fv</th> </tr> <tr> <th>S ≤ 0.1</th> <th>S = 0.2</th> <th>S = 0.3</th> <th>S ≤ 0.1</th> <th>S = 0.2</th> <th>S = 0.3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>S2</td> <td>1.4</td> <td>1.4</td> <td>1.3</td> <td>1.5</td> <td>1.4</td> <td>1.3</td> </tr> <tr> <td>S3</td> <td>1.7</td> <td>1.5</td> <td>1.3</td> <td>1.7</td> <td>1.6</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>S4</td> <td>1.6</td> <td>1.4</td> <td>1.2</td> <td>2.2</td> <td>2.0</td> <td>1.8</td> </tr> <tr> <td>S5</td> <td>1.8</td> <td>1.3</td> <td>1.3</td> <td>3.0</td> <td>2.7</td> <td>2.4</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="952 628 1609 828">(4) 그림 4.9.24 및 그림 4.9.25에서 유효지반가속도(S)는 지진하중을 산정하기 위한 지반운동수준으로 국가지진 위험지도 또는 행정구역에 따라 결정한다. 다만, 국가지진 위험지도를 이용하여 결정하는 경우, 행정구역에 따라 결정한 값의 80 % 보다 작지 않아야 한다.</p> <p data-bbox="952 841 1609 1081">(5) 행정구역에 의한 방법으로 평균재현주기에 따른 유효지반 가속도(S)를 결정할 때는 지진구역계수(Z)에 각 평균재현주기의 위험도 계수(I)를 곱하여 다음의 식과 같이 결정한다. 기초지반 분류에 따른 지반증폭계수는 표 4.9.9의 유효지반가속도 수준에 따른 단주기 증폭계수를 적용한다.</p> <p data-bbox="977 1140 1137 1167"><u>$S = Z \times I$</u></p>	지반 분류	단주기 증폭계수, Fa			장주기 증폭계수, Fv			S ≤ 0.1	S = 0.2	S = 0.3	S ≤ 0.1	S = 0.2	S = 0.3	S2	1.4	1.4	1.3	1.5	1.4	1.3	S3	1.7	1.5	1.3	1.7	1.6	1.5	S4	1.6	1.4	1.2	2.2	2.0	1.8	S5	1.8	1.3	1.3	3.0	2.7	2.4	
지반 분류	단주기 증폭계수, Fa			장주기 증폭계수, Fv																																							
	S ≤ 0.1	S = 0.2	S = 0.3	S ≤ 0.1	S = 0.2	S = 0.3																																					
S2	1.4	1.4	1.3	1.5	1.4	1.3																																					
S3	1.7	1.5	1.3	1.7	1.6	1.5																																					
S4	1.6	1.4	1.2	2.2	2.0	1.8																																					
S5	1.8	1.3	1.3	3.0	2.7	2.4																																					

기존 설계기준 (2002년)	변 경	사유 및 근거
	<p><u>여기서 Z : 지진구역계수, I : 위험도계수</u></p> <p><u>(6) $S_1 \sim S_6$ 지반의 경우, 표준설계응답스펙트럼 대신 부지고유의 지반응답해석을 이용하여 결정한 스펙트럼을 사용할 수 있다.</u></p> <p><u>(7) 설계지반운동 시간이력</u> <u>지반 가속도, 속도, 변위 중 하나 이상의 이력으로 지반운동을 표현할 수 있다.</u> <u>3차원 해석이 필요할 때 지반운동은 동시에 작용하는 3개의 성분으로 구성하여야 한다.</u> <u>설계지반운동 시간이력은 암반지반에 대해 작성된 시간이력을 사용하여 지반응답해석을 통해 결정한다.</u> <u>부지에서 계측된 시간이력을 사용하는 것이 원칙이나, 필요시에는 대상 부지에서 예상되는 시간이력과 유사한 다른 지역에서 계측된 지반운동 시간이력 또는 다음 (8)항에 기술하는 인공합성 지반운동 시간이력을 사용할 수 있다.</u></p> <p><u>(8) 인공합성 지반운동 시간이력</u> <u>실제 기록된 지진 지반운동을 표준설계응답스펙트럼에</u></p>	

기존 설계기준 (2002년)	변 경	사유 및 근거
	<p><u>부합되도록 수정하거나 표준설계응답스펙트럼에 부합되도록 인공적으로 합성하여 생성하여야 한다.</u></p> <p><u>지반운동의 장주기 성분이 댐의 거동에 미치는 영향이 중요하다고 판단될 경우에는 지진원의 특성과 국지적인 영향을 고려하여 시간이력을 생성하여야 한다.</u></p> <p><u>인공합성 지반운동의 지속시간은 지진의 규모와 특성, 전파경로 및 부지의 국지적인 조건이 미치는 영향을 고려하여야 한다.</u></p> <p><u>(9) 해석 시 지반운동의 공간적 변화 특성이 응답에 큰 영향을 주는 경우에는 이를 반영하여야 한다.</u></p>	
<p>3) 내진등급과 설계지진수준 <u>댐 내진 등급은 표 4.9.7과 같이 댐의 중요도에 따라 내진 I 등급 및 내진 특등급의 두가지 등급으로 분류한다.</u></p>	<p>4) 내진등급별 설계지진 수준 <u>댐의 내진등급은 댐의 중요도에 따라 내진 II등급 및 내진 I등급의 두 가지 등급으로 분류하며 표 4.9.10과 같이 내진 등급별로 규정된 평균재현주기를 갖는 설계지진 수준을 적용하여 내진설계를 수행한다.</u></p>	<p>[변경] 내진등급 명칭 댐설계기준에서 제시하는 댐의 등급에 따른 내</p>

기존 설계기준 (2002년)			변 경			사유 및 근거
표 4.9.7 댐의 내진 등급과 설계지진			표 4.9.10 댐의 내진 등급과 설계지진			
내진 등급	댐	설계지진의 평균재현주기	내진 등급	댐	설계지진의 평균재현주기	
내진 특등급 댐	<ul style="list-style-type: none"> • 사회, 안보, 경제적인 측면에서 특별한 댐으로 발주처가 지정하는 댐 • 법에 의하여 다목적 댐으로 분류한 댐 • 총저수량 2천만 m³ 이상인 댐 	1,000 년	내진 I등급 댐	<ul style="list-style-type: none"> • 사회, 안보, 경제적인 측면에서 특별한 댐으로 발주처가 지정하는 댐 • 총저수량 2천만톤 이상인 댐 	1,000 년	
	내진 I등급 댐	높이 15m 이상이고 총저수량 50만 m ³ 이상인 댐		500 년	내진 II등급 댐	<ul style="list-style-type: none"> • 총저수량 30만톤 이상인 댐 • 붕괴 시 하루 인명피해가 예상되는 댐

기존 설계기준 (2002년)	변경	사유 및 근거
		<p>정서적 개념에서 중요성을 고려하여 댐의 등급을 특등급과 I등급으로 명명하였으나, 실제 이에 상응하는 설계지진을 그대로 대응하면 설계지진력이 지나치게 커짐. 이를 감안하여 유례없이 댐설계기준만 이런 방식으로 낮춘 설계지진을 적용하고 있음. 댐설계기준을 근간으로 작성된 저수지 내진설</p>

기존 설계기준 (2002년)	변경	사유 및 근거
		<p>계기준도 이 점을 반영하여 오류가 발생한 것임.</p> <p>현재 특등급과 I등급으로 표기된 저수지의 내진등급을 원칙대로 I등급과 II등급으로 수정 명기하는 것이 바람직. 기존의 등급 명칭을 유지하는 것은 최근 내진설계기준 공통적용사항에도 부합되지 않으며, 과도한 설계지진력을 요구할 수</p>

기존 설계기준 (2002년)	변경	사유 및 근거																												
	<p>5)기초지반의 분류</p> <p>가) 지반분류는 기반암의 깊이(H)와 기반암 상부 토층의 평균 전단파속도($V_{s,soil}$)에 근거하여 표 4.9.11과 같이 $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$의 6종류로 분류한다.</p> <p>표 4.9.11 지반의 분류</p> <table border="1" data-bbox="904 636 1605 1136"> <thead> <tr> <th rowspan="2">지반 종류</th> <th rowspan="2">지반종류의 호칭</th> <th colspan="2">분류기준</th> </tr> <tr> <th>기반암 깊이, H (m)</th> <th>토층 평균 전단파속도, $V_{s,soil}$ (m/s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>S1</td> <td>암반 지반</td> <td>1 미만</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>S2</td> <td>얕고 단단한 지반</td> <td rowspan="2">1~20 이하</td> <td>260 이상</td> </tr> <tr> <td>S3</td> <td>얕고 연약한 지반</td> <td>260 미만</td> </tr> <tr> <td>S4</td> <td>깊고 단단한 지반</td> <td rowspan="2">20 초과</td> <td>180 이상</td> </tr> <tr> <td>S5</td> <td>깊고 연약한 지반</td> <td>180 미만</td> </tr> <tr> <td>S6</td> <td colspan="3">부지 고유의 특성 평가 및 지반응답해석이 요구되는 지반</td> </tr> </tbody> </table>	지반 종류	지반종류의 호칭	분류기준		기반암 깊이, H (m)	토층 평균 전단파속도, $V_{s,soil}$ (m/s)	S1	암반 지반	1 미만	-	S2	얕고 단단한 지반	1~20 이하	260 이상	S3	얕고 연약한 지반	260 미만	S4	깊고 단단한 지반	20 초과	180 이상	S5	깊고 연약한 지반	180 미만	S6	부지 고유의 특성 평가 및 지반응답해석이 요구되는 지반			<p>있기 때문임</p> <p><근거> 내진설계기준 공통적용사항(국민안전처 공표, 2017.07)</p> <p>[신규]기초 지반의 분류 체계 제시. 설계지진력의 크기(설계진도)를 결정함에 있어, 댐기초지반의 특성을 반영한 지반증폭계수를 결정하기 위해서</p>
지반 종류	지반종류의 호칭			분류기준																										
		기반암 깊이, H (m)	토층 평균 전단파속도, $V_{s,soil}$ (m/s)																											
S1	암반 지반	1 미만	-																											
S2	얕고 단단한 지반	1~20 이하	260 이상																											
S3	얕고 연약한 지반		260 미만																											
S4	깊고 단단한 지반	20 초과	180 이상																											
S5	깊고 연약한 지반		180 미만																											
S6	부지 고유의 특성 평가 및 지반응답해석이 요구되는 지반																													

기존 설계기준 (2002년)	변경	사유 및 근거
<p>4)지진하중</p> <p><u>지진시 댐에 발생하는 응력과 변형을 평가할 때에는 댐에 작용하는 사하중에 설계진도를 곱한 지진 관성력을 고려하여야 하며, 이 관성력의 작용방향은 댐의 안정성에 불리한 방향으로 작용하는 것으로 해석하여야 한다. 이는 유체의 동압력의 영향뿐만 아니라 수면과의 영향이 고려되어야 한다.</u></p>	<p><u>나) 기반암이란 전단파속도 760m/s 이상을 나타내는 지층을 말하며 기반암 깊이와 무관하게 토층 평균 전단파속도가 120m/s 이하인 지반은 S_5지반으로 분류한다.</u></p> <p><u>다) S_6 지반은 다음과 같은 조건의 지반이다.</u></p> <p><u>(1) 액상화가 일어날 수 있는 흙, 예민비가 8이상인 점토, 붕괴될 정도로 결합력이 약한 붕괴성 흙과 같이 지진하중 작용 시 잠재적인 파괴나 붕괴에 취약한 지반</u></p> <p><u>(2) 이탄 또는 유기성이 매우 높은 점토지반(지층의 두께 > 3m)</u></p> <p><u>(3) 매우 높은 소성을 띤 점토지반(지층의 두께 > 7m이고, 소성지수(PI; Plasticity Index) > 75)</u></p> <p><u>(4) 층이 매우 두껍고 연약하거나 중간 정도로 단단한 점토(지층의 두께 > 36m)</u></p> <p><u>(5) 기반암이 깊이 50m를 초과하여 존재하는 지반</u></p> <p><u>라) 토층의 평균 전단파속도($V_{s,soil}$)는 탄성파시험 결과가 있을 경우 이를 우선적으로 적용한다.</u></p> <p><u>마) 토층 평균 전단파속도($V_{s,soil}$)는 다음 식에 따라 결정한다.</u></p>	<p>는 우선적으로 기초지반을 분류하는 체계를 제시해 주어야함 <근거>내진설계기준 공통적용사항(국민안전처 공표, 2017.07), 댐설계기준(2011)</p>

기존 설계기준 (2002년)	변경	사유 및 근거
	$V_{S,Soil} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}}}$ <p>여기서</p> <p>d_i = 기반암 깊이까지의 i 번째 토층의 두께, m</p> <p>V_{si} = 기반암 깊이까지의 i 번째 토층의 전단파속도, m/s</p> <p>바) 전단파속도가 획득되지 않는다면 표준관입시험 관입저항치(SPT-N치)를 전단파속도로 변환할 수 있다. 변환에는 국내 지반에 대해 제안된 상관관계식(Sun, C. G., Cho, C. S., Son, M., & Shin, J. S. (2013). <u>Correlations between shear wave velocity and in-situ penetration test results for Korean soil deposits. Pure and Applied Geophysics</u>, 170(3), 271-281)을 활용할 수 있다. 표준관입시험 시 단단한 암질에 도달하여 항타수가 50에 이르러도 30cm 깊이를 관입하지 못할 경우 50타수 이상의 N값은 선형적인 비례관계를 토대로 30cm 두께 관입 시 N값으로 환산한다. 이때 환산 N치의 최대값은 300이다. 적용한다.</p>	<p>[신규]표준관입저항치를 활용한 전단파속도 근사 예측방법 제시. 기초지반의 분류방법이 토층의 전단파속도를 기준으로 하므로, 별도의 전단파속도 산</p>

기존 설계기준 (2002년)	변 경	사유 및 근거
	<p>6)지진하중 <u>지진 관성력은 댐 안정에 불리한 방향으로 작용하는 것으로 해석한다. 즉, 댐 본체는 상하류 방향의 수평지진력만을 고려하여 설계하며, 부속시설은 구조물의 특성에 따라 상하류 방향 또는 댐축 방향의 지진력을 선별적으로 고려하여 설계한다.</u> <u>지진 시 유체의 동압력뿐만 아니라 파랑고의 영향도 고려할 수 있다.</u></p> <p>7)내진성능 수준 및 목표 가)내진성능수준 <u>댐의 내진성능수준은 ‘붕괴방지수준’으로 정의한다.</u> <u>‘붕괴방지수준’이란 설계지진 시 댐에 상당한 변형과 부분적 손상이 발생하는 것은 허용할 수 있으나 댐의 저수기능은 유지되어야 하며 통제 불가능한 저수량의 유출상태는 있어서는 안 되는 성능수준이다.</u></p> <p>나)내진성능목표 <u>내진성능목표는 내진등급별로 설계지반운동에 대한 내진성능수준으로 정의되며 표 4.9.12를 따른다.</u></p>	<p>정을 위한 현장시험이 수행되지 않은 경우, 비교적 획득이 쉬운 표준 관입저항치를 전단파속도로 환산하는 방법 제시 <근거>내진설계기준 공통적용사항(국민안전처 공표, 2017.07) [신규]내진성능수준 및 목표 추가 <근거>댐설계기준(2011), 내진설계기준 공통적용사항(국민안전처 공표안, 2017.07)</p>

기존 설계기준 (2002년)	변 경	사유 및 근거																						
	<p><u>표 4.9.12 필댐의 내진성능목표</u></p> <table border="1" data-bbox="909 353 1590 639"> <thead> <tr> <th rowspan="2">설계지진</th> <th rowspan="2">평균재현주기</th> <th colspan="2">내진성능수준</th> </tr> <tr> <th>기능수행</th> <th>붕괴방지</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>50년</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>100년</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>500년</td> <td></td> <td>내진 II등급</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1000년</td> <td></td> <td>내진 I등급</td> </tr> </tbody> </table>	설계지진	평균재현주기	내진성능수준		기능수행	붕괴방지		50년				100년				500년		내진 II등급		1000년		내진 I등급	
설계지진	평균재현주기			내진성능수준																				
		기능수행	붕괴방지																					
	50년																							
	100년																							
	500년		내진 II등급																					
	1000년		내진 I등급																					
<p>다. 필댐의 내진설계 <u>필댐은 형식에 따라 내진설계에 반영할 지진하중의 종류 및 적용범위가 조금씩 다르다.</u></p> <p>1) 내진설계상의 주의점 <u>내진 설계상의 일반적인 주의점은 다음과 같다.</u></p> <p>가) 연약기초의 침하나 느슨한 모래 기초에 의한 액상화 현상을 일으키지 않도록 충분한 기초처리를 한다.</p> <p>나) 콘크리트관, 철관 등의 피해는 암반위보다도 토질기초위에서 더욱 크기 때문에 물넘이 취수관 등의 중요한 구조물은 모두 암반위에 설치하도록 설계</p>	<p>나. 필댐의 내진설계</p> <p>1) 설계 거동 한계</p> <p>가) 내진설계상의 주의점</p> <p>(1) 연약한 기초의 침하나 느슨한 모래 기초에 의한 액상화가 발생되지 않도록 충분한 기초처리를 한다.</p> <p>(2) 콘크리트관, 철관 등의 피해는 암반위보다 토질기초위에서 더욱 크므로 물넘이 취수관 등의 중요한 구조물은 암반위에 설치되도록 설계한다.</p>	<p>[일부수정] 부속 시설의 설계거동한계 추가 <근거> 댐설계기준(2011)</p>																						

기존 설계기준 (2002년)	변 경	사유 및 근거
<p>한다.</p> <p>다) 지진에 의한 진동 및 지진시의 단층이동에 의한 댐마루의 침하에 대비하여 충분한 여유고를 둔다.</p> <p>라) 균열이 발생하기 어려운 재료에 의해 폭 넓은 트랜지션 존을 설치한다.</p> <p>마) 제체의 중심부 부근에 직립 및 수평 드레인(drain)을 설치한다.</p> <p>바) 배수층에는 충분한 단면을 주어 비록 지진시에 균열이 발생하여 제체침투량이 증가해도 이것을 안전하게 장외로 배출시킬 수 있도록 한다.</p> <p>사) 점토차수 존은 균열이 발생하기 어려운 소성이 있는 재료로 만들고 또한 차수재폭은 충분히 크게 한다.</p> <p>아) 점토차수 존의 상류부에도 입도배합이 좋은 재료로 된 필터 존을 설치한다. 이것은 점토차수 존의 균열 스톱퍼(crack stopper)로서의 역할을 하기 때문이다.</p> <p>자) 지진에 의하여 저수지에 발생한 파랑이 제체를 월류해도 제체가 쉽게 침식당하지 않도록 댐마루를</p>	<p>(3) 지진에 의한 진동 및 지진시의 단층이동에 의한 댐마루의 침하에 대비하여 충분한 여유고를 둔다.</p> <p>(4) 균열이 발생하기 어려운 재료에 의해 폭 넓은 트랜지션 존을 설치한다.</p> <p>(5) 제체의 중심부 부근에 직립 및 수평 드레인(drain)을 설치한다.</p> <p>(6) 배수층에는 충분한 단면을 주어 비록 지진시에 균열이 발생하여 제체 침투량이 증가해도 이것을 안전하게 장외로 배출시킬 수 있도록 한다.</p> <p>(7) 점토차수 존은 균열이 발생하기 어려운 소성이 있는 재료로 만들고 차수재 폭은 충분히 크게 한다.</p> <p>(8) 점토차수 존의 상류부에도 입도분포가 좋은 재료로 된 필터 존을 설치한다. 이것은 점토차수 존의 균열 스톱퍼(crack stopper)로서의 역할을 하기 때문이다.</p> <p>(9) 지진에 의하여 저수지에 발생한 파랑이 제체를 월류해도 제체가 쉽게 침식당하지 않도록 댐마루를 보호한다.</p>	

기존 설계기준 (2002년)	변경	사유 및 근거
<p>보호한다.</p> <p><u>차)</u> 점토차수 존의 어버트먼트 암착부에 있어서 폭을 넓게 해둔다.</p> <p><u>카)</u> 제체의 침투수에 의한 포화부분이 될 수 있는 한 적게 되는 위치에 점토차수 존을 설치한다.</p> <p><u>타)</u> 주변 산의 사면이 지진시에 저수지내로 붕락하지 않도록 사면의 안정대책공을 해 둔다.</p> <p><u>파)</u> 만일 파괴되었을 때의 하루 마을까지의 홍수도달 시간이나 재해의 규모를 추정하는 동시에 피해를 극소화하기 위한 구체적 대책 등을 고려해 둔다.</p> <p>2)설계거동한계</p> <p><u>필댐은 지진이 발생해도 붕괴되어서는 안되며, 다음과 같은 조건이 만족되어야 한다.</u></p> <p><u>가)</u> 재료의 항복과 영구변형은 허용될 수 있으나, 댐의 강도에는 영향이 없어야 하며, 제체 및 기초에 액상화가 발생하지 않아야 한다.</p> <p><u>나)</u> 제체의 사면활동이나 기초의 활동이 발생하지 않아야 하며, 제체에 과도한 침하가 발생하지 않아야 하고, 균열은 댐의 저수능력의 저하를 초래해</p>	<p><u>(10)</u> 점토차수 존의 어버트먼트 암착부에 있어서 폭을 넓게 해둔다.</p> <p><u>(11)</u> 제체의 침투수에 의한 포화부분이 될 수 있는 한 적게 되는 위치에 점토차수 존을 설치한다.</p> <p><u>(12)</u> 주변 산의 사면이 지진시에 저수지내로 붕락하지 않도록 사면의 안정 대책공을 해 둔다.</p> <p><u>(13) 댐 붕괴시</u> 하루 마을까지의 홍수도달시간이나 재해의 규모를 추정하는 동시에 피해를 최소화하기 위한 구체적 대책 등을 고려해 둔다.</p> <p>나)설계거동한계</p> <p><u>(1)</u> 재료의 항복과 영구변형은 허용될 수 있으나, 댐의 강도에는 영향이 없어야 하며, 제체 및 기초에 액상화가 발생하지 않아야 한다.</p> <p><u>(2)</u> 제체의 사면활동이나 기초의 활동이 발생하지 않아야 하며, 제체에 과도한 침하가 발생하지 않아야 하고, 균열은 댐의 저수능력의 저하를 초래해서는 안 된다.</p>	

기존 설계기준 (2002년)	변 경	사유 및 근거
<p>서는 안된다.</p> <p>다) 지진으로 발생하는 수면파가 제체를 월류하거나 수리구조물, 부속구조물 및 양안의 붕괴나 누수에 의해 댐의 기능이 손상되어서는 안된다.</p>	<p>(3) 지진으로 발생하는 수면파가 제체를 월류하거나 수리구조물, 부속구조물 및 양안의 붕괴나 누수에 의해 댐의 기능이 손상되어서는 안 된다.</p> <p>(4) <u>부속시설물의 구조재료는 탄성변형 한계 내에 있어야 하며, 수 시간 내에 정상작동 회복이 가능해야 한다. 이들 구조물에 대한 설계는 관련기준의 콘크리트 중력식 댐의 내진설계를 참조한다.</u></p>	
<p>라. 정역학적 설계기준</p> <p>설계에 적용하는 지진력은 작용 정하중에 대한 지진 관성력만 고려하고 동수압은 영향이 미미하므로 제외한다. 지진에 의한 파랑고는 필요한 경우에만 따로 고려한다.</p> <p>1) 지진력</p> <p>진도법에 의한 정역학적 설계에서 필댐에 작용하는 지진력은 활동면 상의 제체 무게에 설계진도를 곱한 지진 관성력이며, 이 힘의 작용점은 활동면의 중심이며 작용 방향은</p>	<p>2) 정역학적 설계기준</p> <p>가) 일반사항</p> <p>설계에 적용하는 지진력은 작용 정하중에 대한 지진 관성력만 고려하고 동수압은 영향이 미미하므로 제외한다. 지진에 의한 파랑고는 필요한 경우에만 따로 고려한다.</p> <p>나) 지진력</p> <p>진도법에 의한 정역학적 설계에서 필댐에 작용하는 지진력은 활동면 상의 제체 무게에 설계진도를 곱한 지진 관성력이며, 이 힘의 작용점은 활동면의 중심이며 작용 방향은</p>	

기존 설계기준 (2002년)	변 경	사유 및 근거
<p>수평방향으로 하되 안정에 불리한 쪽으로 정한다.</p> <p>활동면에 연직으로 작용하는 동수압은 아주 작으므로 무시하며, 활동면에 수직으로 작용하는 지진관성력은 수평 관성력의 1/2로 계산할 수 있으나 수평 지진 관성력을 적용하는 경우가 가장 불리하므로 실제로는 적용하지 않는다.</p> <p>2) 활동면법에 의한 지진시사면안정검토</p> <p>필댐의 내진설계에 있어 가장 중요한 부분은 사면안정 검토이다.</p> <p>활동면 위의 제체가 활동하^{므로} 하는 힘은 정수압, 해당 제체의 자중, 활동면을 따라 작용하는 간극수압 및 수평 지진 관성력이고 이를 외력에 저항하려는 힘은 활동면에 연직으로 작용하는 반력과 활동면의 접선방향으로 작용하는 점착력과 마찰력이다. 활동원의 중심에 대하여 외력의 모멘트가 저항 모멘트를 초과하지 않는 한 댐은 활동에 대하여 안정하다고 판단하는 것이다. 사면안정 검토에 작용하는 지진 관성력은 저수지의 수위 상태와 발생빈도 등을 고려하여 차등 적용한다. 지진 관성력 계산을 위한 제체의 무게와 같은 계산 방법에 의한다. 지진시 간극수압은 변화</p>	<p>수평방향으로 하되 안정에 불리한 쪽으로 정한다.</p> <p>활동면에 연직으로 작용하는 동수압은 아주 작으므로 무시하며, 수직 관성력은 수평 지진관성력만을 적용하는 경우가 가장 불리하므로 적용하지 않는다.</p> <p>다) 활동면법에 의한 지진시사면안정검토</p> <p>필댐의 내진설계에 있어 가장 중요한 부분은 사면안정 검토이다.</p> <p>활동면 위의 제체가 활동하^{도록} 하는 힘은 정수압, 해당 제체의 자중, 활동면을 따라 작용하는 간극수압 및 수평 지진관성력이고, 이러한 외력에 저항하는 힘은 활동면에 연직으로 작용하는 반력과 활동면의 접선방향으로 작용하는 점착력과 마찰력이다.</p> <p>활동원의 중심에 대하여 외력의 모멘트에 설계 안전율을 곱한 값이 저항 모멘트를 초과하지 않으면 댐은 활동에 대하여 안전하^다.</p> <p>사면안정 검토에 적용하는 지진관성력은 저수지의 수위 상태와 그 수위의 발생빈도 등을 고려하여 차등 적용한다. 지진시 간극수압은 변화하지만 현재는 그 변화의 증감폭</p>	

기존 설계기준 (2002년)	변 경	사유 및 근거
<p>하지만 현재는 그 변화의 증감폭을 정량적으로 평가하기 어려워 설계자가 적절하게 판단한다. <u>Bishop법에 의한 사면안정 해석에서는 대체로 간극수압에 설계진도를 곱한 값을 적용하고 있다.</u> 일반적으로 설계진도는 댐 상부에서 저면까지 같다고 가정한다.</p>	<p>을 정량적으로 평가하기 어려워 설계자가 적절하게 판단한다. 일반적으로 설계진도는 댐 저면에서 상부까지 같다고 가정한다. 라)부속시설 <u>부속시설은 KDS 54 17 00 댐 내진 설계의 콘크리트 중력 댐의 경우를 준용한다.</u></p>	<p>[수정]‘Bishop법’ 특정 해석법 삭제. 사면해석법 중 다양한 해석법이 인정되며, 특정 해석법을 굳이 기술할 필요없음. <근거>댐설계기준(2011)</p>
<p>마.동적설계</p> <p>최근에 건설되는 댐은 해석법의 발전과 시공장비의 발달 등에 따라 점차 대형화되고 있는 추세이다. <u>과거</u> 경험적인 방법인 진도법은 보수적으로 채택되어 왔으나, 적정 지진 규모와 경제적인 조건이 충분히 고려되지 못했기 때문에 보다 과학적이고 이론적인 동적해석 기법의 적용이 필요하다.</p>	<p>3)동역학적 검토 가)동역학적설계법의 적용</p> <p>최근에 건설되는 댐은 해당 공학의 발전과 시공장비의 발달 등에 따라 점차 대형화 되고 있는 추세이다. 경험적인 방법인 진도법은 보수적인 관점에서 설계방법으로 채택되어 왔으나 적정 지진 규모와 기술적 조건이 충분히 고려되지 못했기 때문에 보다 과학적이고 이론적인 동적 해석기법의 적용이 필요하다. <u>특수한 구조의 댐을 신규로 내진 설계하거나, 기존 댐에</u></p>	<p>[일부변경] 동역학적 설계 및 검토방법의 상세를 추가, 체제 및 기초지반이 액상화 평가를 위한 동적해석법 또는 검토방안 추가. 부속시</p>

기존 설계기준 (2002년)	변 경	사유 및 근거
<p><u>이러한 동적인 방법은 축제재료의 비선형 거동특성이 고려된 비선형 모델링 방법을 사용하거나 타당성이 입증된 단순화된 방법으로 해석해야 한다.</u></p> <p><u>부속 구조물의 응답은 비선형 거동특성을 고려할 수 있는 해석법에 의해서 해석하고 일반 구조물의 지진응답 해석법을 준용한다.</u></p> <p>동적해석에서 일반적으로 선형적 방법을 응력해석에 이용하고 있으나 면밀한 검토를 위하여 단계적 해석이 사용되어야 하며, 흙의 소성적 성질과 동적 간극수압을 고려하며, 주로 유한차분법이나 유한요소법을 사용하여 해석한다.</p> <p><u>동적해석을 위해 이용 가능한 상용프로그램은 FLAC (ITASCA Consulting Group Inc.), FLUSH(NISEE), DYANA-SWANDDYNE II(O.C.Zienkiewicz and A.H.C Chan) 등이 소개되고 있다.</u></p>	<p><u>대한 내진성능을 평가하여 내진보강 설계를 하고자 하는 경우에는 진도법보다는 동적해석법을 적용하는 것이 타당하다.</u></p> <p>나)지진해석방법과절차</p> <p><u>설계지반운동과 지진하중으로 적용되는 시간이력하중은 「3) 설계지반운동 다) 설계지반운동의 특성 표현 (7)과 (8)」에 따라 생성하고, 상시만수위를 검토 수위로 하며 필요시 기타 낮은 수위 조건에서도 검토한다.</u></p> <p><u>제체나 기초지반에 액상화 발생 가능성이 없고, 과잉간극수압의 발생으로 인한 과도한 강도감소가 없는 경우에는 Newmark 방식에 의한 댐 사면의 소성활동량을 계산하여 내진 안전성을 검토한다. 계산된 소성활동량이 0.3m 이내 이면 댐 안전에 문제가 되지 않으며, 소성활동량 0.6m는 상당한 손상을 동반하는 허용 가능한 소성변형량이다.</u></p> <p><u>제체나 기초지반에 액상화 발생 가능성이 있고, Newmark 방식에 의한 댐 사면의 소성활동량이 0.6m 초과하는 경우에는 흙의 소성적 성질과 동적간극수압을 고려한 유한차분법이나 유한요소법을 사용한 동적 유효응력</u></p>	<p>설 동적해석법 참조 문구 추가 <근거> 댐 설계 기준(2011)</p>

기존 설계기준 (2002년)	변경	사유 및 근거
	<p><u>해석법을 설계에 적용한다.</u></p> <p>다)부속시설 <u>부속시설의 동적해석법은 KDS 54 17 00 댐 내진 설계의 콘크리트 중력댐의 경우를 준용한다.</u></p>	
	<p>4)액상화의 검토 <u>필댐이 느슨한 사질지반에 축조된 경우나 지진 등의 외력에 의하여 과잉간극수압의 상승에 의하여 전단강도가 저하될 것으로 예상되는 기초지반이나 제체에 대하여는 액상화에 대한 안정성을 검토한다.</u></p> <p>가) 액상화를 검토하는 방법은 반복 삼축압축시험의 결과를 이용하는 방법, 동적해석(부지응답해석)을 적용하는 방법, 간편법 등이 있는데, 댐 규모, 안전도, 재료물성의 정확성, 붕괴시 피해 등을 고려하여 적절한 방법을 선정</p>	<p>[일부변경] 기존 의 원론적인 내용(액상화의 정의 등) 삭제. 액상화 방지대책은 성능향상 및 보수보강의 내용이므로 삭제. 검토방안에 집</p>

기존 설계기준 (2002년)	변 경	사유 및 근거
	<p>한다.</p> <p>나) <u>액상화의 가능성이 있다고 판단되는 경우에는 다음의 절차와 방법에 따라 흙의 액상화 저항력과 정적, 동적응력 조건을 고려한 검토를 수행한다.</u></p> <p>(1) <u>제체 또는 기초지반 내의 상시 유효응력 또는 유효구속압 상태를 추정한다. 추정방법으로는 댐 마루를 반무한의 지표면으로 가정하여 침윤선의 위치와 흙의 단위중량으로 구하는 방법과 댐의 축조과정 및 담수 과정을 단계 모사한 수치해석을 통하여 구하는 방법이 있다.</u></p> <p>(2) <u>제체 또는 기초지반의 지진시 작용응력을 산정한다. 이 방법에는 지진응답해석법이 적용된다. 유한요소법이 나 유한차분법에 의한 2차원 등가정적 지진응답해석을 적용하는 것이 타당하나, 기초조사나 개략적 분석을 위해 보정방법이 적용된 1차원 지진응답해석도 적용될 수 있다. 정밀한 결과 도출을 위해서는 비선형 2차원 동적해석법이 고려될 수 있다.</u></p> <p>(3) <u>흙의 액상화 저항응력을 (1)에서 산정한 유효구속압으</u></p>	<p>중하여 보다 상세하게 기술. 지진시 액상화 저항응력 및 발생응력 산정 최신 내용 보완</p> <p><근거> Design Standards No. 13 Embankment Dams, USBR, 2015</p>

기존 설계기준 (2002년)	변 경	사유 및 근거
	<p><u>로 나눈 액상화 저항응력비는 반복삼축압축시험에 의해 구하는 것이 바람직하나, 평가 대상 지층에 대해 획득한 표준관입시험값과 전단파속도 등으로부터 경험적으로 산정된 값을 적용할 수도 있다.</u></p> <p><u>(4) (1)항으로 산정한 유효구속압으로 (2)항으로 구한 지진시 작용응력을 나누어 지진시 작용응력비를 구하고, 여기에 다.항으로 구한 지진시 저항응력비와 비교해서 액상화의 가능성을 판정한다.</u></p> <p><u>(5) (1)~(4)의 절차 없이, 비선형 유효응력해석을 수행하여, 산정된 간극수압비로부터 댐 제체와 기초지반의 액상화를 직접적으로 판정하는 방법이 적용될 수도 있으나, 시간적 경제적 비용과 적용 모델의 적합성에 대한 신중한 검토가 필요하다.</u></p>	
<p>4.9.6매설계측안정관리 (1)~(5) <생략></p>	<p>4.9.5매설계측안정관리 (1)~(5) <생략></p>	<p>[일부변경] 지진</p>

기존 설계기준 (2002년)	변 경	사유 및 근거
<p>(6)지진계 <u>지진 발생시 댐체의 진진응답을 해명하기 위하여 침투부의 기초압반면, 중간표고부 및 댐 정상부 혹은 댐 경사면에서 설치한다.</u></p> <p>(7)~(8) <생략></p>	<p>(6)지진계 <u>댐의 지진응답을 예측하기 위한 지진계의 설치 위치와 종류, 개수 및 관리방법은 이 설계기준의 목적을 달성할 수 있도록 지반동역학 전문가와 협의하여 결정한다.</u> <u>지반운동과 댐의 응답을 예측할 수 있도록 댐의 기초부, 최대단면 정상부, 양안부 등에서 예측하며, 댐의 기초부에 예측기기의 설치가 곤란할 경우에는 기초 갤러리 또는 인근 암반에 설치한다.</u></p> <p>(7)~(8) <생략></p>	<p>계 설치 위치 및 종류, 개수, 관리방법 명확화 <근거> 댐 설계 기준(2011)</p>

- 부록 4 -

농업생산기반정비사업계획설계기준
(해면간척편 내진설계기준 개정)

- 신구대조표-

농업생산기반정비사업계획설계기준

해면간척편 내진설계

신구대조표

2017. 11.

연구기관 : 한국농공학회

기존 설계기준 (1991년)	변 경	사유 및 근거
<p>3.3.2 제체의 안정</p> <p>바. <u>내진에 대한 안정성 검토</u></p> <p>1) <u>제체에 대한 내진설계</u></p> <p>2) <u>액상화 판정</u></p>	<p>3.3.2 제체의 안정</p> <p>바. <u>방조제 시설의 내진설계</u></p> <p>1) <u>내진설계 일반</u></p> <p>(1) <u>적용 시설 및 기본 개념</u></p> <p>(2) <u>내진설계의 기본방향</u></p> <p>(3) <u>설계지반운동</u></p> <p>(4) <u>내진등급별 설계지진 수준</u></p> <p>(5) <u>기초지반의 분류</u></p> <p>(6) <u>지진하중</u></p> <p>(7) <u>내진성능 수준 및 목표</u></p> <p>2) <u>방조제 시설의 내진설계</u></p> <p>(1) <u>일반사항</u></p> <p>(2) <u>방조제 시설의 내진설계</u></p> <p>(3) <u>배수갑문의 내진설계</u></p> <p>(4) <u>액상화의 검토</u></p> <p><u>첨부. 국가지진위험지도(소방방재청 공고 제2013-179호)</u></p>	<p>- 오래된 내용에 대한 보완과 아예 기준에 기술되지 않은 부분을 신규로 기술함.</p> <p>- 현재 기준은 체계뿐만 아니라 내진설계기준이 갖추어야 할 많은 내용(내진 등급, 내진성능목표, 설계지반운동의 설정, 내진해석 및 설계법 등)이 부재한 상태임.</p>

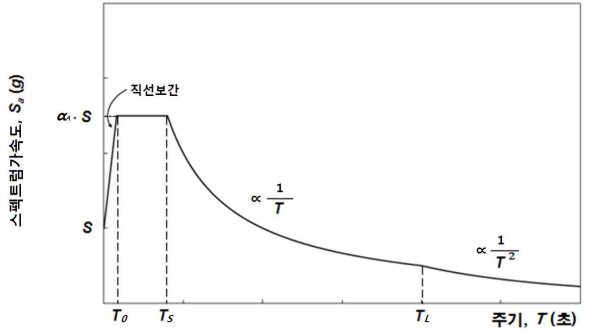
기존 설계기준 (1991년)	변 경	사유 및 근거
<p>3.3.2제체의안정 <u>바. 내진에 대한안정성검토</u></p>	<p>3.3.2제체의안정 <u>바. 방조제시설의내진설계</u> <u>1)내진설계일반</u> <u>(1)적용시설및기본 개념</u> <u>이 기준은 지진·화산재해대책법 시행령 제14조①항2호</u> <u>에 규정된 방조제 및 배수갑문의 내진설계에 적용한</u> <u>다. 본 기준에서 방조제 시설이라 함은 방조제와 배수</u> <u>갑문을 통칭한다.</u> <u>방조제 시설에 상당한 변형과 부분적 손상이 발생하는</u> <u>것은 허용할 수 있으나 지진시 또는 지진 경과 후에도</u> <u>저수기능은 유지되어야 하며 통제 불가능한 저수량의</u> <u>유출상태는 있어서는 안된다.</u> <u>어느 경우에도 방조제 시설이 붕괴되지 않도록 댐체의</u> <u>활동이나 전도를 방지하기 위한 충분한 안전율을 확</u> <u>보하여야 하며, 방조제 시설의 정상수명기간 내에 설</u> <u>계 지진력이 발생할 가능성은 희박한 것으로 본다.</u></p>	<p>[신설] 내진설계 대상시설의 적용 범위 확대 <근거> 지진화산 재 해 대 책 법 (2016.01) 기본개념 추가 <근거> 댐설계기준(2011), 해안구조물의 안전성평가방안(한국시설 안전 기술 공 단, 2003)</p>

기존 설계기준 (1991년)	변 경	사유 및 근거
<p>1)제체에 대한 내진설계</p> <p><u>제체의 안정성에 영향을 미치는 동하중으로는 지진력 차 량하중, 파력 등이 있다.</u></p> <p><u>지진에 의한 제체 및 기초지반의 안정은 지진에 대한 기록 치와 현장의 지반 및 토질상</u></p> <p><u>태 또한, 진앙지(震央地)에 관한 자료와 흙의 동적시험자 료 등 여러 가지 자료에 의해</u></p> <p><u>별도의 안정성 검토가 필요하다.</u></p> <p><u>우리나라는 아직 내진설계를 위한 자료가 충분치 않고 또 한 강도 및 발생빈도가 적어 제체 또는 지진 지반의 동적 해석은 생략하거나 간략법에 의한 여유확보라는 의미로 안정성을 고려하고 있으나 특히 하이드로릭필공법으로 축조한 규모가 큰 방조제의 경우는 보다 정확한 내진설계 를 필요로 한다.</u></p> <p><u>제체 또는 지반의 내진설계는 국내의 경우 일반적으로 진 도법에 의한다. 진도법은 식(3.102)과 같이 지진가속도 α 를 중력가속도 g로 나눈 값을 수평가속도 Kh로 하여 이 값의 대소로 지진력을 평가하되 식(3.102) 수평진도에 자 중 W를 곱한 값을 지진하중으로 하여 이 지진하중이 수 평방향에 정적으로 작용하는 것으로 평가한다.</u></p>	<p>(2)내진설계의 기본 방향</p> <p><u>본 기준은 「내진설계기준 공통적용사항(국민안전처, 2017)」의 성능수준목표에 기준하여 방조제 시설에 대한 기술기준으로 작성된 것이므로, 기능수행수준과 붕괴방지수준에 대한 설계 기준을 제시하여야 한다. 그러나 기능수행수준을 정의하는 것과 같은 성능수준 설계방법은 지진의 피해가 큰 강진지역에서도 현재 부분적으로 실행되고 있는 방법이므로, 성능수준설계 방법을 기준으로 채택함에는 기술적으로 어려움이 있 다. 그러므로 본 기준에서는 기능수행수준을 생략한 상태에서 붕괴방지수준에 대한 설계만을 하여도 내진 설계가 만족됨을 허용하도록 한다.</u></p> <p><u>방조제 시설의 내진설계 시 많은 수치해석이 따르는 복잡한 설계절차를 제시한다는 것은 설계 실무자들에 게 혼란을 야기하므로 가급적 간단한 방법을 적용한 다.</u></p> <p><u>방조제 시설은 연안지역의 연약지반을 기초로 하는 경 우가 많은데, 특히 느슨한 사질토지반에 놓이는 경우 에 대비한 시설물 기초의 액상화평가가 필수적이라 할 수 있다.</u></p>	

기존 설계기준 (1991년)	변 경	사유 및 근거												
<p style="text-align: center;">$K_h = \alpha / g$ (3.102)</p> <p style="text-align: center;">$I = K_h W$ (3.103)</p> <p style="text-align: center;">여기서, I: 정적 수평지진하중</p> <p>일반적으로 강성이 높고 전체가 일체로 진동하는 지표구조물의 경우 식 3.103을 적용하며 지진력의 특성상 수직진도는 수평진도의 1/2값을 취한다.</p> <p>설계진도의 적용사례는 표 3.26과 같으며 근래에는 설계진도를 높여서 적용하는 사례가 많다. 원자력발전소의 경우에는 0.2이상의 값을 택한 예가 있다. 지진에 대한 영향이 심할 것으로 판단되는 경우 계측자료 또는 모의자료를 통해 별도의 동적 해석을 할 수 있으며 여기에 적용되는 대표적인 해석 프로그램으로 SHAKE (SEED 및 Schnabel, 1972)가 있다.</p> <p>표 3.26 우리나라 댐의 내진 통계치</p> <table border="1" data-bbox="137 952 819 1153"> <thead> <tr> <th>구조물별</th> <th>적용개소</th> <th>설계진도</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>필댐</td> <td>소양강댐</td> <td>0.10</td> </tr> <tr> <td>"</td> <td>영산강 I 단계 4개댐</td> <td>0.05</td> </tr> <tr> <td>방조제</td> <td>영산강 II 단계 하구둑</td> <td>0.10</td> </tr> </tbody> </table>	구조물별	적용개소	설계진도	필댐	소양강댐	0.10	"	영산강 I 단계 4개댐	0.05	방조제	영산강 II 단계 하구둑	0.10	<p>본 기준의 많은 부분은 항만 및 어항시설의 내진설계 기준을 차용하고 있으므로, 본 기준에서 제시되지 않은 부분은 해당 기준을 참조하도록 한다.</p> <p>(3)설계지반운동</p> <p>가)일반사항</p> <p>설계지반운동은 구조물이 건설되기 전에 부지 정지작업이 완료된 지면에서의 지반운동으로 정의한다.</p> <p>설계지반운동은 통계학적으로 독립인 수평 2축 운동과 수직운동으로 정의한다.</p> <p>수직운동은 수평 2축 운동과 별도로 정의하며 수직운동의 영향을 무시할 수 없는 경우에는 수직방향의 지진력을 고려하되 그 크기는 수평방향 지반운동의 1/2로 본다.</p> <p>설계지반운동의 특성은 흔들림의 세기, 진동수성분 및 지속시간으로 정의한다.</p> <p>‘첨부. 국가지진위험지도’의 값은 유효지반가속도(S)이다. 방조제 시설의 내진설계를 할 때 방조제 내·외측 수위의 변화상태에 따라 방조제 안전에 가장 불리한 방향으로 가진되는 경우를 상정하고 안정해석을 한다.</p>	<p>[신규] 설계지반운동의 정의</p> <p><근거> 내진설계 기준 공통적용사항(국민안전처공표안, 2017.07)</p>
구조물별	적용개소	설계진도												
필댐	소양강댐	0.10												
"	영산강 I 단계 4개댐	0.05												
방조제	영산강 II 단계 하구둑	0.10												

기존 설계기준 (1991년)	변 경	사유 및 근거														
	<p>나)설계진도</p> <p>① 지진구역 및 지진위험도</p> <p><u>지진구역은 지진구역 I 및 지진구역 II의 두 개의 지진구역으로 구분한다. 평균재현주기가 500년인 지진시암반지반(S_1지반)의 각 지진구역에서의 지진구역계수(Z)는 표 3.26과 같다.</u></p> <p>표 3.26 지진구역 및 지진구역계수(Z)</p> <table border="1" data-bbox="900 714 1595 1119"> <thead> <tr> <th>지진구역</th> <th colspan="2">행정구역</th> <th>지진구역계수(Z)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">I</td> <td>시</td> <td>서울, 인천, 대전, 부산, 대구, 울산, 광주, 세종</td> <td rowspan="2">0.11g</td> </tr> <tr> <td>도</td> <td>경기, 충북, 충남, 경북, 경남, 전북, 전남, 강원 남부¹⁾</td> </tr> <tr> <td>II</td> <td>도</td> <td>강원 북부²⁾, 제주</td> <td>0.07g</td> </tr> </tbody> </table> <p>1)강원 남부 : 영월, 정선, 삼척, 강릉, 동해, 원주, 태백 2)강원 북부 : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천, 속초</p>	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	<p>[신규] 지진구역 <근거> 내진설계 기준 공통적용사항(국민안전처공표안, 2017.07)</p>
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													

기존 설계기준 (1991년)	변 경	사유 및 근거														
	<p><u>평균재현주기가 500년인 지진을 기준으로 하여, 평균 재현주기가 다른 지진의 최대지반가속도를 상대적 비율로 나타내는 계수인 위험도계수(I)는 표 3.27과 같다.</u></p> <p><u>표 3.27 위험도계수(I)</u></p> <table border="1" data-bbox="900 568 1595 696"> <thead> <tr> <th>재현주기</th> <th>50년</th> <th>100년</th> <th>200년</th> <th>500년</th> <th>1,000년</th> <th>2,400년</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>위험도계수(I)</td> <td>0.4</td> <td>0.57</td> <td>0.73</td> <td>1.0</td> <td>1.4</td> <td>2.0</td> </tr> </tbody> </table> <p><u>표 3.31에서 규정하는 설계지진의 평균재현주기에 해당하는 위험도계수(I)(표 3.27 참조)에 표 3.26에 제시된 지진구역계수(Z)를 곱하여 유효지반가속도(S)를 결정한다. 경제적인 설계가 필요할 경우와 소성해석법이나 동적유효응력해석을 이용한 동적검토를 수행할 때, 기존 시설의 내진보강 설계를 위한 성능평가를 적용하고자 할 경우에 한해, 표 3.31에서 규정하는 설계지진의 평균재현주기에 해당하는 국가지진위험지도를 이용한 방법으로 유효지반가속도(S)를 산정할 수 있다. 기초지반의 영향을 고려하기 위하여 표 3.30과 표 3.32</u></p>	재현주기	50년	100년	200년	500년	1,000년	2,400년	위험도계수(I)	0.4	0.57	0.73	1.0	1.4	2.0	
재현주기	50년	100년	200년	500년	1,000년	2,400년										
위험도계수(I)	0.4	0.57	0.73	1.0	1.4	2.0										

기존 설계기준 (1991년)	변경	사유 및 근거
	<p>를 이용하여 지반증폭계수를 결정한다.</p> <p>방조제 시설이 위치할 지점의 설계진도는 유효지반가속도(S)와 지반증폭계수를 곱한 값으로 한다.</p> <p>다)설계지반운동의 특성 표현</p> <p>설계지반운동의 세기 및 진동수 성분은 기본적으로 응답스펙트럼으로 표현한다.</p> <p>암반지반(S_1 지반) 설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼은 다음과 같다.</p> <p>5 % 감쇠비에 대한 수평 설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼은 그림 3.99와 같다.</p>  <p>그림 3.99 가속도 표준설계응답스펙트럼(암반지반)</p>	<p>[신규] 설계지반운동의 특성 표현</p> <p><근거> 내진설계기준 공통적용사항(국민안전처공표안, 2017.07) 반영</p>

기존 설계기준 (1991년)	변 경	사유 및 근거													
	<p data-bbox="981 316 1593 385"><u>그림 3.99의 가속도 표준설계응답스펙트럼의 전이주기는 표 3.28과 같다.</u></p> <p data-bbox="896 444 1445 471"><u>표 3.28 가속도 표준설계응답스펙트럼 전이주기</u></p> <table border="1" data-bbox="900 491 1586 632"> <thead> <tr> <th rowspan="2">구분</th> <th rowspan="2">α_A (단주기스펙트럼중폭계수)</th> <th colspan="3">전이주기(sec)</th> </tr> <tr> <th>T_0</th> <th>T_S</th> <th>T_L</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>수평</td> <td>2.8</td> <td>0.06</td> <td>0.3</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="971 694 1593 893"><u>5% 감쇠비의 수직설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼은 수평설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼과 동일한 형상을 가지며, 최대 유효수평지반가속도에 대한 최대 수직지반가속도의 비는 0.77이다.</u></p> <p data-bbox="971 906 1593 1160"><u>수평 및 수직 설계지반운동의 가속도 표준응답스펙트럼의 감쇠비(ξ, %단위)에 따른 스펙트럼 형상은 표 3.29에 제시한 감쇠보정계수 C_D를 표준응답스펙트럼에 곱해서 구할 수 있다. 단, 감쇠비가 0.5%보다 작은 경우에는 적용하지 않으며 해당 구조물의 경우 응답(시간)이력해석을 권장한다.</u></p>	구분	α_A (단주기스펙트럼중폭계수)	전이주기(sec)			T_0	T_S	T_L	수평	2.8	0.06	0.3	3	
구분	α_A (단주기스펙트럼중폭계수)			전이주기(sec)											
		T_0	T_S	T_L											
수평	2.8	0.06	0.3	3											

기존 설계기준 (1991년)	변 경			사유 및 근거								
	<p style="text-align: center;">표 3.29 감쇠보정계수(C_D)</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th data-bbox="898 399 1014 488">주기 (T, sec)</th> <th data-bbox="1014 399 1155 488">$T = 0$</th> <th data-bbox="1155 399 1427 488">$0 \leq T \leq 0.06$</th> <th data-bbox="1427 399 1591 488">$0.06 \leq T$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="898 488 1014 655">C_D</td> <td data-bbox="1014 488 1155 655">모든 감쇠비에 대해서 1.0</td> <td data-bbox="1155 488 1427 655">$T = 0$일 때, 1.0 $T = 0.06$일때, $\left(\frac{6.42}{1.42 + \xi}\right)^{0.48}$ 그 사이는 직선보간</td> <td data-bbox="1427 488 1591 655">$\left(\frac{6.42}{1.42 + \xi}\right)^0$</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">토사지반($S_2 \sim S_5$ 지반) 설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼은 다음과 같다. 토사지반인 S2, S3, S4, S5 지반의 5% 감쇠비에 대한 수평지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼은 그림 3.100으로 정의한다. 지반증폭계수는 표 3.30과 같으며 유효수평지반가속도(S)의 값이 중간 값에 해당할 경우 직선보간하여 결정한다. 5% 감쇠비에 대한 S2~S5 지반의 수직지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼은 수평설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼과 같은 전이주기를 가지며, 최대 유효수평지반가속도에 대한 최대 유효수직지</p>			주기 (T , sec)	$T = 0$	$0 \leq T \leq 0.06$	$0.06 \leq T$	C_D	모든 감쇠비에 대해서 1.0	$T = 0$ 일 때, 1.0 $T = 0.06$ 일때, $\left(\frac{6.42}{1.42 + \xi}\right)^{0.48}$ 그 사이는 직선보간	$\left(\frac{6.42}{1.42 + \xi}\right)^0$	
주기 (T , sec)	$T = 0$	$0 \leq T \leq 0.06$	$0.06 \leq T$									
C_D	모든 감쇠비에 대해서 1.0	$T = 0$ 일 때, 1.0 $T = 0.06$ 일때, $\left(\frac{6.42}{1.42 + \xi}\right)^{0.48}$ 그 사이는 직선보간	$\left(\frac{6.42}{1.42 + \xi}\right)^0$									

기존 설계기준 (1991년)	변 경	사유 및 근거
	<p>반가속도의 비는 공학적 판단에 의해 값을 결정할 수 있다.</p> <p>토사지반에서 감쇠비에 따른 스펙트럼 형상은 해당 토사지반에 적합한 가속도시간이력을 이용하여 공학적으로 적절한 분석과정을 통해 결정할 수 있다.</p> <div data-bbox="898 583 1593 953" style="text-align: center;"> <p style="text-align: right;">전이 주기 $T_s = F_v / (2.5 F_a)$ $T_0 = 0.2 T_s$ $T_L = 3.0$ 초</p> </div> <p>그림 3.100 토사지반 수평지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼</p>	

기존 설계기준 (1991년)	변 경	사유 및 근거																																									
	<p data-bbox="896 316 1141 344">표 3.30 지반증폭계수</p> <table border="1" data-bbox="896 362 1586 646"> <thead> <tr> <th rowspan="2">지반 분류</th> <th colspan="3">단주기 증폭계수, F_a</th> <th colspan="3">장주기 증폭계수, F_v</th> </tr> <tr> <th>$S \leq 0.1$</th> <th>$S = 0.2$</th> <th>$S = 0.3$</th> <th>$S \leq 0.1$</th> <th>$S = 0.2$</th> <th>$S = 0.3$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>S2</td> <td>1.4</td> <td>1.4</td> <td>1.3</td> <td>1.5</td> <td>1.4</td> <td>1.3</td> </tr> <tr> <td>S3</td> <td>1.7</td> <td>1.5</td> <td>1.3</td> <td>1.7</td> <td>1.6</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>S4</td> <td>1.6</td> <td>1.4</td> <td>1.2</td> <td>2.2</td> <td>2.0</td> <td>1.8</td> </tr> <tr> <td>S5</td> <td>1.8</td> <td>1.3</td> <td>1.3</td> <td>3.0</td> <td>2.7</td> <td>2.4</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="973 710 1595 1163"> 그림 3.99 및 그림 3.100에서 유효지반가속도(S)는 지진하중을 산정하기 위한 지반운동수준으로 국가지진 위험지도 또는 행정구역에 따라 결정한다. 다만, 국가지진위험지도를 이용하여 결정하는 경우, 행정구역에 따라 결정한 값의 80 % 보다 작지 않아야 한다. 행정구역에 의한 방법으로 평균재현주기에 따른 유효지반 가속도(S)를 결정할 때는 지진구역계수(Z)에 각 평균재현주기의 위험도 계수(I)를 곱하여 다음의 식과 같이 결정한다. 기초지반 분류에 따른 지반증폭계수는 표 3.30의 유효지반가속도 수준에 따른 단주기 증폭계수를 적용한다. </p>	지반 분류	단주기 증폭계수, F_a			장주기 증폭계수, F_v			$S \leq 0.1$	$S = 0.2$	$S = 0.3$	$S \leq 0.1$	$S = 0.2$	$S = 0.3$	S2	1.4	1.4	1.3	1.5	1.4	1.3	S3	1.7	1.5	1.3	1.7	1.6	1.5	S4	1.6	1.4	1.2	2.2	2.0	1.8	S5	1.8	1.3	1.3	3.0	2.7	2.4	
지반 분류	단주기 증폭계수, F_a			장주기 증폭계수, F_v																																							
	$S \leq 0.1$	$S = 0.2$	$S = 0.3$	$S \leq 0.1$	$S = 0.2$	$S = 0.3$																																					
S2	1.4	1.4	1.3	1.5	1.4	1.3																																					
S3	1.7	1.5	1.3	1.7	1.6	1.5																																					
S4	1.6	1.4	1.2	2.2	2.0	1.8																																					
S5	1.8	1.3	1.3	3.0	2.7	2.4																																					

기존 설계기준 (1991년)	변 경	사유 및 근거
	<p>$S = Z \times I$ 여기서 Z : 지진구역계수, I : 위험도계수</p> <p>$S_1 \sim S_6$ 지반의 경우, 표준설계응답스펙트럼 대신 부지고유의 지반응답해석을 이용하여 결정한 스펙트럼을 사용할 수 있다.</p> <p>① 설계지반운동 시간이력</p> <p>㉔ 지반 가속도, 속도, 변위 중 하나 이상의 이력으로 지반운동을 표현할 수 있다.</p> <p>㉕ 3차원 해석이 필요할 때 지반운동은 동시에 작용하는 3개의 성분으로 구성하여야 한다.</p> <p>㉖ 설계지반운동 시간이력은 암반지반에 대해 작성된 시간이력을 사용하여 지반응답해석을 통해 결정한다.</p> <p>㉗ 부지에서 계측된 시간이력을 사용하는 것이 원칙이나, 필요시에는 대상 부지에서 예상되는 시간이력과 유사한 다른 지역에서 계측된 지반운동 시간이력 또는 인공합성 지반운동 시간이력을 사용할 수 있다.</p> <p>② 인공합성 지반운동 시간이력</p>	

기존 설계기준 (1991년)	변 경	사유 및 근거
	<p>㉗ <u>실제 기록된 지진 지반운동을 표준설계응답스펙트럼에 부합되도록 수정하거나 표준설계응답스펙트럼에 부합되도록 인공적으로 합성하여 생성하여야 한다.</u></p> <p>㉘ <u>지반운동의 장주기 성분이 댐의 거동에 미치는 영향이 중요하다고 판단될 경우에는 지진원의 특성과 국지적인 영향을 고려하여 시간이력을 생성하여야 한다.</u></p> <p>㉙ <u>인공합성 지반운동의 지속시간은 지진의 규모와 특성, 전파경로 및 부지의 국지적인 조건이 미치는 영향을 고려하여야 한다.</u></p> <p>③ <u>해석 시 지반운동의 공간적 변화 특성이 응답에 큰 영향을 주는 경우에는 이를 반영하여야 한다.</u></p>	

기존 설계기준 (1991년)	변 경	사유 및 근거						
	<p>(4)내진등급별 설계지진 수준</p> <p><u>방조제 시설의 내진등급은 내진 I등급으로만 분류하며 표 3.31과 같이 내진 등급별로 규정된 평균재현주기를 갖는 설계지진 수준을 적용하여 내진설계를 수행한다.</u></p> <p>표 3.31 방조제 시설의 내진 등급과 설계지진</p> <table border="1" data-bbox="898 594 1586 820"> <thead> <tr> <th data-bbox="898 594 991 706">내진 등급</th> <th data-bbox="991 594 1483 706">방조제 시설</th> <th data-bbox="1483 594 1586 706">설계지진 의 평균재현 주기</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="898 706 991 820">내진 I 등급</td> <td data-bbox="991 706 1483 820"> <ul style="list-style-type: none"> 지진·화산재해대책법 시행령 제14조①항2호에 규정된 방조제 및 배수갑문 </td> <td data-bbox="1483 706 1586 820">1,000 년</td> </tr> </tbody> </table>	내진 등급	방조제 시설	설계지진 의 평균재현 주기	내진 I 등급	<ul style="list-style-type: none"> 지진·화산재해대책법 시행령 제14조①항2호에 규정된 방조제 및 배수갑문 	1,000 년	<p>[신규]</p> <p>: 방조제시설(방조제와 배수갑문)을 대상시설로 명시하고 해당시설을 항만구조물 등을 참고하여 내진 I등급으로 분류 정의함.</p> <p>: 방조제시설의 경우는 항만과 유사한 부지 위에 건설되는 것으로 간주되어 항만관련 설계기준서(항만 및 어항 설계기준해석 (해양수산부, 2014) 또는 항만 및 어항시설의</p>
내진 등급	방조제 시설	설계지진 의 평균재현 주기						
내진 I 등급	<ul style="list-style-type: none"> 지진·화산재해대책법 시행령 제14조①항2호에 규정된 방조제 및 배수갑문 	1,000 년						

기존 설계기준 (1991년)	변 경	사유 및 근거
		<p>내진설계표준서 (해양수산부, 1999)에 의거함 (해안구조물의 안전성평가방안, 한국시설안전기술공단, 2003).</p> <p>: 2000년에 발간된 “농업기반시설 내진성평가 자료집”에서는 1종 시설로 정의된 방조제를 내진 I등급 구조물로 구분.</p>

기존 설계기준 (1991년)	변경	사유 및 근거																												
	<p>(5)기초지반의 분류</p> <p><u>지반분류는 기반암의 깊이(H)와 기반암 상부 토층의 평균 전단파속도($V_{s,soil}$)에 근거하여 표 3.32와 같이 $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$의 6종류로 분류한다.</u></p> <p><u>표 3.32 지반의 분류</u></p> <table border="1" data-bbox="898 621 1591 1109"> <thead> <tr> <th rowspan="2">지반종류</th> <th rowspan="2">지반종류의 호칭</th> <th colspan="2">분류기준</th> </tr> <tr> <th>기반암 깊이, H (m)</th> <th>토층 평균 전단파속도, $V_{s,soil}$ (m/s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>S1</td> <td>암반 지반</td> <td>1 미만</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>S2</td> <td>얕고 단단한 지반</td> <td rowspan="2">1~20 이하</td> <td>260 이상</td> </tr> <tr> <td>S3</td> <td>얕고 연약한 지반</td> <td>260 미만</td> </tr> <tr> <td>S4</td> <td>깊고 단단한 지반</td> <td rowspan="2">20 초과</td> <td>180 이상</td> </tr> <tr> <td>S5</td> <td>깊고 연약한 지반</td> <td>180 미만</td> </tr> <tr> <td>S6</td> <td colspan="3">부지 고유의 특성 평가 및 지반응답해석이 요구되는 지반</td> </tr> </tbody> </table>	지반종류	지반종류의 호칭	분류기준		기반암 깊이, H (m)	토층 평균 전단파속도, $V_{s,soil}$ (m/s)	S1	암반 지반	1 미만	-	S2	얕고 단단한 지반	1~20 이하	260 이상	S3	얕고 연약한 지반	260 미만	S4	깊고 단단한 지반	20 초과	180 이상	S5	깊고 연약한 지반	180 미만	S6	부지 고유의 특성 평가 및 지반응답해석이 요구되는 지반			<p>[신규] 기초지반의 분류</p> <p><근거> 내진설계기준 공통적용사항(국민안전처공표안, 2017.07) 반영</p>
지반종류	지반종류의 호칭			분류기준																										
		기반암 깊이, H (m)	토층 평균 전단파속도, $V_{s,soil}$ (m/s)																											
S1	암반 지반	1 미만	-																											
S2	얕고 단단한 지반	1~20 이하	260 이상																											
S3	얕고 연약한 지반		260 미만																											
S4	깊고 단단한 지반	20 초과	180 이상																											
S5	깊고 연약한 지반		180 미만																											
S6	부지 고유의 특성 평가 및 지반응답해석이 요구되는 지반																													

기존 설계기준 (1991년)	변 경	사유 및 근거
	<p><u>기반암이란 전단파속도 760m/s 이상을 나타내는 지층을 말하며 기반암 깊이와 무관하게 토층 평균 전단파속도가 120m/s 이하인 지반은 S_5 지반으로 분류한다.</u></p> <p><u>S_6 지반은 다음과 같은 조건의 지반이다.</u></p> <p>㉔ <u>액상화가 일어날 수 있는 흙, 예민비가 8이상인 점토, 붕괴될 정도로 결합력이 약한 붕괴성 흙과 같이 지진하중 작용 시 잠재적인 파괴나 붕괴에 취약한 지반</u></p> <p>㉕ <u>이탄 또는 유기성이 매우 높은 점토지반(지층의 두께 > 3m)</u></p> <p>㉖ <u>매우 높은 소성을 띤 점토지반(지층의 두께 > 7m 이고, 소성지수(PI: Plasticity Index) > 75)</u></p> <p>㉗ <u>층이 매우 두껍고 연약하거나 중간 정도로 단단한 점토(지층의 두께 > 36m)</u></p> <p>㉘ <u>기반암이 깊이 50m를 초과하여 존재하는 지반</u></p> <p><u>토층의 평균 전단파속도($V_{s,soil}$)는 탄성파시험 결과가 있을 경우 이를 우선적으로 적용한다.</u></p> <p><u>토층 평균 전단파속도($V_{s,soil}$)는 다음 식에 따라 결정한다.</u></p>	

기존 설계기준 (1991년)	변 경	사유 및 근거
	$V_{S, Soil} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}}}$ <p>여기서</p> <p>d_i = 기반암 깊이까지의 i 번째 토층의 두께, m</p> <p>V_{si} = 기반암 깊이까지의 i 번째 토층의 전단파속도, m/s</p> <p>전단파속도가 획득되지 않는다면 표준관입시험 관입저항치(SPT-N치)를 전단파속도로 변환할 수 있다. 변환에는 국내 지반에 대해 제안된 상관관계식(Sun, C. G., Cho, C. S., Son, M., & Shin, J. S. (2013). <u>Correlations between shear wave velocity and in-situ penetration test results for Korean soil deposits</u>. Pure and Applied Geophysics, 170(3), 271-281)을 활용할 수 있다. 표준관입시험 시 단단한 암질에 도달하여 향타수가 50에 이르러도 30cm 깊이를 관입하지 못할 경우 50타수 이상의 N값은 선형적</p>	<p>[신규]표준관입저항치를 활용한 전단파속도 근사 예측방법 제시. 기초지반의 분류방법이 토층의 전단파속도를 기준으로 하므로, 별도의 전단파속도 산정을 위한 현장시험이</p>

기존 설계기준 (1991년)	변 경	사유 및 근거
	<p><u>인 비례관계를 토대로 30cm 두께 관입 시 N값으로 환산한다. 이때 환산 N치의 최대값은 300이다.</u></p> <p>(6)지진하중</p> <p><u>지진 관성력은 방조제 시설의 안정에 불리한 방향으로 작용하는 것으로 해석한다. 즉, 방조제 제방은 상하류 방향의 수평지진력만을 고려하여 설계하며, 배수갑문은 구조물의 특성에 따라 상하류 방향 또는 축 방향의 지진력을 선별적으로 고려하여 설계한다.</u></p> <p><u>지진 시 유체의 동압력뿐만 아니라 파랑고의 영향도 고려할 수 있다.</u></p> <p>(7)내진성능 수준 및 목표</p> <p>가)내진성능수준</p> <p><u>방조제 시설의 내진성능수준은 ‘붕괴방지수준’으로 정의한다.</u></p> <p><u>‘붕괴방지수준’이란 설계지진 시 방조제 시설에 상당한 변형과 부분적 손상이 발생하는 것은 허용할 수 있으나 저수기능은 유지되어야 하며 통제 불가능한 저수량의 유출상태는 있어서는 안 되는 성능수준이다.</u></p>	<p>수행되지 않은 경우, 비교적 획득이 쉬운 표준관입저항치를 진단파속도로 환산하는 방법 제시</p> <p><근거>내진설계기준 공통적용사항(국민안전처 공표, 2017.07)</p> <p>[신규]</p> <p>: 방조제 성능수준 정의는 댐설계기준의 댐의 성능수준에 근거</p> <p>: 배수갑문의 성능수준 정의는 해안구조물의 안</p>

기존 설계기준 (1991년)	변 경	사유 및 근거																			
	<p><u>배수갑문은 구조적 손상은 경미한 수준으로 제한되어야 하며, 방조제 흙구조물의 영구변형으로 인하여 갑문 및 부속구조물이 탄성한계를 초과하여 소성거동하는 것은 허용되나 취성파괴나 좌굴이 발생하여서는 안 된다.</u></p> <p>나)내진성능목표 <u>내진성능목표는 내진등급별로 설계지반운동에 대한 내진성능수준으로 정의되며 표 3.33을 따른다.</u></p> <p><u>표 3.33 방조제 시설의 내진성능목표</u></p> <table border="1" data-bbox="904 779 1599 1067"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th rowspan="2">평균재현주기</th> <th colspan="2">내진성능수준</th> </tr> <tr> <th>기능수행</th> <th>붕괴방지</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">설계지진</td> <td>50년</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>100년</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>500년</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1000년</td> <td></td> <td>내진 I등급</td> </tr> </tbody> </table>		평균재현주기	내진성능수준		기능수행	붕괴방지	설계지진	50년			100년			500년			1000년		내진 I등급	<p>전성평가방안(한국시설안전기술공단, 2003)에 근거</p>
	평균재현주기			내진성능수준																	
		기능수행	붕괴방지																		
설계지진	50년																				
	100년																				
	500년																				
	1000년		내진 I등급																		

기존 설계기준 (1991년)	변 경	사유 및 근거
	<p>2)방조제시설의내진설계</p> <p>(1)일반사항</p> <p><u>방조제가 설치될 기초지반에 대한 액상화 안정을 우선 검토한다.</u></p> <p><u>정역학적 설계기준으로 등가정적해석에 기초한 안정성 평가기법을 내진설계 및 해석의 기본으로 하며, 동역학적 해석은 고려하지 않는다.</u></p> <p>(2)방조제 시설의 내진설계</p> <p><u>설계에 적용하는 지진력은 작용 정하중에 대한 지진 관성력만 고려하고 동수압은 영향이 미미하므로 제외한다. 지진에 의한 파랑고는 필요한 경우에만 따로 고려한다.</u></p> <p>가)등가정적하중산정</p> <p><u>등가정적해석법에 의한 사면안정해석에서 사면토체에 작용하는 등가정적하중(Fh)은 활동면 상의 체체 무게에 등가정적하중계수(Kh)를 곱한 지진 관성력이며, 이 힘의 작용점은 활동면의 중심이며 작용 방향은 수평방향으로 하되 안정에 불리한 쪽으로 정한다.</u></p>	<p>[수정] 최신 설계법 및 절차의 적용</p> <p><근거> 해안구조물의 안전성평가 방안 (한국시설안전 기술 공 단, 2003), 항만 및 어항시설의 내진 설계표준서 (해양수산부, 1999)</p>

기존 설계기준 (1991년)	변 경	사유 및 근거
	$F_H = K_h W = \frac{a_{h, \max}}{2} \frac{W}{g}$ <p>여기서, K_h : 수평방향 등가정적하중계수</p> <p>$a_{h, \max}$: 지표면 최대 수평가속도</p> <p>W : 파괴토의 무게</p> <p>위 식에서 등가정적하중계수를 결정하는 지표면 최대 수평가속도는 사면의 높이가 비교적 낮은 경우에는 제방저면(원지반)에서의 지표면 최대 수평가속도, 즉 설계지반운동에서 산정한 설계진도를 그대로 적용한다. 다만, 제방고가 낮더라도 제방이 놓이는 기초지반의 토층이 30m 이상인 경우에는 지진응답해석을 수행하여 획득한 지표면 최대 수평가속도를 적용한다. 그리고 사면의 높이가 비교적 높은 경우에는 사면 체체 내의 지진가속도의 증폭특성이 고려되어야 하므로 반드시 사면 상부까지 지진응답해석을 수행하여 사면 바닥면(원지반)에서부터 사면 상부까지의 깊이별 최대가속도의 평균값을 지표면 최대 수평가속도 값으로 적용하는 것이 합리적이다.</p>	

기존 설계기준 (1991년)	변 경	사유 및 근거
	<p>나) 활동면법에 의한 지진시 등가정적 사면안정 검토</p> <p><u>방조제 제방의 내진설계에 있어 가장 중요한 부분은 등가정적 사면안정 검토이다.</u></p> <p><u>활동면 위의 제체가 활동하도록 하는 힘은 정수압, 해당 제체의 자중, 활동면을 따라 작용하는 간극수압 및 수평 지진관성력이고, 이러한 외력에 저항하는 힘은 활동면에 연직으로 작용하는 반력과 활동면의 접선방향으로 작용하는 점착력과 마찰력이다.</u></p> <p><u>활동원의 중심에 대하여 외력의 모멘트에 설계 안전율을 곱한 값이 저항 모멘트를 초과하지 않으면 제방은 활동에 대하여 안전하다.</u></p> <p><u>지진시 간극수압은 변화하지만 현재는 그 변화의 증감폭을 정량적으로 평가하기 어려워 설계자가 적절하게 판단한다..</u></p> <p><u>지진시 활동에 대한 안전율은 내외측 수위조건이 평균 해면(해측)-관리수위(내측) 수위조건하에서 1.2 이상이어야 한다.</u></p>	

기존 설계기준 (1991년)	변 경	사유 및 근거
	<p>(3)배수갑문의 내진설계</p> <p>가)설계기본 <u>배수갑문이 설치될 기초지반에 대한 액상화 안정을 우선 검토한다.</u> <u>간편해석인 등가정적해석을 먼저 수행하고, 해석결과와 구조물의 설계 단면력을 비교하여 동적 안전성을 만족하지 못한다면, 추가로 동적해석을 수행하여 상세한 안전성을 확인한다.</u></p> <p>나)배수갑문의 등가정적해석 <u>대상구조물의 해석 대상 단면을 결정한 후 지진구역계수, 반응수정계수, 동적계수, 지반증폭계수, 위험도계수 등을 산정하여 관성력인 밀면 전단력을 계산한다.</u></p> $V = \frac{A \cdot I \cdot C}{R} \cdot W$ <p><u>여기서, V : 밀면전단력</u> <u>A : 지진구역계수</u> <u>I : 위험도계수</u> <u>C : 동적계수(탄성지진응답계수)</u></p>	<p>[신규] 등가정적 해석법 및 동적 해석법 추가 <근거> 해안구조물의 안전성평가 방안(한국시설안전 기술공단, 2003)</p>

기존 설계기준 (1991년)	변경	사유 및 근거
	$C = \frac{S}{1.2\sqrt{T}} \leq 1.75$ <p>S : <u>지반증폭계수</u> T : <u>배수갑문의 기본진동주기는 RC 모멘트 저항골조로 보고 선정</u></p> $T = 0.0731 \cdot (h_n)^{3/4}$ <p>R : <u>반응수정계수</u> W : <u>구조물의 중량</u></p> <p><u>밀면 전단력을 이용하여 구조물의 각 부분에 작용하는 층지진하중을 산정하여 등가정적 해석을 실시한다. 층지진하중은 구조물의 각 층에 작용하는 하중으로 밀면전단력을 각 층의 위치로 분배한 값으로 다음과 같이 계산된다.</u></p> $F_x = \left(\frac{W_x \cdot H_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot H_i^k} \right) \cdot V$	

기존 설계기준 (1991년)	변 경	사유 및 근거
	<p>여기서, F_x : 구조물의 각 층에 작용하는 층진하중 V : 밀면전단력 W_i, W_x : i 및 x 층의 구조물 중량 H_i, H_x : 구조물의 밀면으로부터 i, x 층까지의 높이 k : 높이가중지수</p> <p>해석을 수행할 때에 배수갑문 구조물은 해수의 영향을 받는 구조물이므로 해석시 정수압, 동수압, 조류력, 파랑하중 등을 고려하여 해석을 수행해야 한다.</p> <p>등가정적해석에 의한 배수갑문 구조물의 인장, 압축응력을 구조물의 허용인장, 압축응력과 비교하여 동적 안전성을 평가한다. 등가정적해석에 의한 구조물의 응력이 구조물의 허용응력을 넘지 않으면 안전성 평가를 완료한다. 그러나 그렇지 못하는 경우에는 동적해석에 의한 상세해석을 추가로 수행한다.</p> <p>다) 배수갑문의 동적 해석</p> <p>① 배수갑문 등 부속구조물에 대한 동적 해석은 응답스펙트럼법과 시간이력해석법이 있다.</p>	

기존 설계기준 (1991년)	변 경	사유 및 근거
	<p>② 해석 방법</p> <p><u>설계지반운동과 지진하중으로 적용되는 시간이력 하중은 본 기준에 제시된 설계지반운동 및 인공합성 지반운동 시간이력 작성방법에 따라 생성하여 사용한다.</u></p> <p><u>동적해석에서 수치모형은 관성력과 지반-구조물 상호작용에서의 부가적인 특성인 감쇠특성을 고려하여 모형화하여야 한다. 동적해석시 기반압 상부의 모든 지반과 구조물을 모델링하여 해석하거나 기반압에서 기초지반까지는 1차원 지반응답해석을 수행한 후 기초지반 상부를 모델링하여 해석할 수 있다. 지반을 포함한 구조물을 모델링한 후 3차원 지진해석을 실시하는 데에 있어 지반경계에서의 지진파의 반사를 억제시키기 위해 경계조건에 대한 고려가 반드시 필요하다.</u></p> <p><u>동적해석에서도 자연하중을 선정하여 해석시 고려해 주어야 한다.</u></p> <p><u>동적해석 상용 프로그램을 이용하여 구조물에 발생하는 응력을 검토하고 구조물의 단면력과 비교하여 안전성을 평가한다.</u></p>	

기존 설계기준 (1991년)	변 경	사유 및 근거
	<p><u>동적해석에 의한 배수갑문 구조물의 인장, 압축응력을 구조물의 허용인장, 압축응력과 비교하여 동적 안전성을 평가한다. 동적해석에 의한 응력값이 구조물의 허용응력을 초과할 경우 단면 등을 재가정하여 구조물의 안정성을 재평가한다. 재평가의 결과가 동적 안전성을 만족할 경우 설계를 완료한다.</u></p>	
<p>2)액상화 판정</p> <p><u>흙 구조물(체체) 혹은 기초지반을 구성하는 흙이 지진력에 의한 간극수압의 발생에 따라 토립자 사이의 전단강도를 상실하는 현상을 액상화라 한다. 사질지반에 축조되는 방조제는 액상화에 의해 체체의 안정성이 급격히 저하하는 경우가 있으므로 축조지점의 액상화에 대해 충분한 검토를 해야 한다. 사질지반의 액상화 조사법은 다음 2가지 방법이 있으며 일반적으로 사용에 간편한 간이법과 상세한 조사가 필요할 때 하는 엄밀법의 2가지 방법이 있다.</u></p> <p><u>가) 간이법</u></p> <p><u>모래지반의 액상화 가능성은 과거·액상화 사례나 이에</u></p>	<p>(4)액상화의 검토</p> <p>가)검토의필요성및검토범위</p> <p><u>방조제 시설은 연안지역의 연약지반을 기초로 하는 경우가 많은데, 특히 느슨한 사질토지반에 놓이는 경우에 대비한 시설물 기초의 액상화 평가가 필수적이다. 방조제의 경우 대부분의 축조재료의 입경이 매우 커 과잉간극수압의 발생이 어려운 것으로 간주하여 체체에 대한 액상화 검토는 생략하며 기초지반에 대한 액상화 검토만을 수행한다.</u></p> <p><u>배수갑문의 경우도 시설물의 기초지반만을 대상으로 액상화를 검토한다.</u></p>	<p>[변경] 액상화 평가 기준 및 방법의 일반 내용을 삭제하고 방향만을 요약제시하고, 상세한 사항은 전문 기술 기준을 참조토록 함.</p> <p><근거> 기초내진 설계기준, 구조물 기초설계기준를 참조.</p>

기존 설계기준 (1991년)	변 경	사유 및 근거
<p><u>대한 각종 검토결과를 참고하여 판정하는 것이 바람직하다. 이 방법은 주로 N치에 의해 판정하며 그 상세한 설법은 구조물기초설계기준(건설부 1986)을 참고하여 조사결과와 액상화 가능성이 있으면 이에 대한 대책을 강구해야 한다.</u></p> <p>① 액상화 간이에측법 (케이스 I) <u>원지반면에서 깊이 10m이내의 포화각질토층은 표준관입시험의 N치가 10이하 균등계수(V_c)가 6이하 입도분포곡선의 D_{20}이 0.04~0.5mm 범위에 있을 때 액상화가 용이하며 내진계산상 지지력을 무시하는 토층으로 취급한다.</u> <u>단, D_{20}이 상기의 범위에외라도 0.004~1.2mm 범위의 입경은 액상화가능성이 있으므로 주의를 요한다.</u> <u>이 밖에 간이법으로 판정하는 경우 다음과 같은 사층은 검토대상이 된다.</u></p> <p>㉠ <u>지표면에서 깊이 15~20m 이내의 사층 유효상재압이 대략 $20t/m^2$이상일 때는 액상화 가능성이 드물고 만일 액상화하는 경우가 있어도 지표면이 급경사를 이루고 있어 지반 전체가 활동하는 경우를 제외하고</u></p>	<p><u>나) 액상화평가기준및평가방법</u> <u>액상화 평가기준 및 평가방법은 KDS 11 50 25 기초내진 설계기준 또는 관련부처(국토교통부, 국토해양부 등)의 「구조물 기초설계기준」 등에 따른다.</u></p>	

기존 설계기준 (1991년)	변 경	사유 및 근거
<p>는 지표근처에 있는 구조물에 직접적인 피해를 주는 경우는 적다.</p> <p>㉠ 순수한 사층에서 입경이 균일한 중립사층 입도분석 결과 실트 및 점토의 함유량이 대략 10%이하 평균입경이 대략 $D_{50} = 0.075 \sim 2.0\text{mm}$ 특히, $D_{50} = 0.15 \sim 1.0\text{mm}$의 중립사에 속하며 균등계수 $U_c < 10$인 입경이 균일한 모래의 경우가 액상화의 위험성이 높다. 특히 $U_c < 5$인 경우는 위험성이 매우 높다고 한다.</p> <p>㉡ 지하수위 아래의 포화사층 진술한 바와 같이 전단변형시에 간극수압이 급격히 상승하여 액상화의 원인이 된다. 다만 지하수위 보다 약간 윗부분의 모래도 진동시에는 수위상승에 의해 포화되어 액상화하는 2차적인 현상도 확인되고 있다.</p> <p>㉢ 지반이 느슨하여 N치가 그림 3.2.1의 위험범위에 있는 사층 액상화가 발생하는 모래의 상대밀도는 대략 75%이하이다.</p> <p>② 액상화 간이예측법 (케이스 II) 그림 3.99의 「액상화의 위험성과 N치」는 상대밀도를 표준관입시험의 N치로 표시하여 지하수위가 대략 지표면</p>		

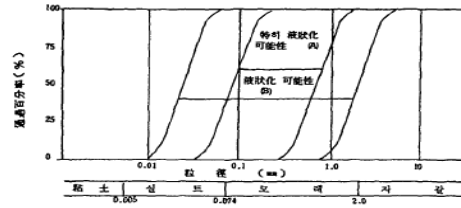
기존 설계기준 (1991년)	변 경	사유 및 근거
<p>에서 2~3 m의 깊이에 있을 때 진도 0.2g 정도의 지진시 액상화를 일으키는 한계 N치를 Seed와 Idriss의 연구결과를 토대로 그린 것이다. 그림에서 N치가 A의 범위에 있으면 액상화 가능성은 적고 C의 범위에 있으면 그 위험성은 매우 높고 또 B의 범위에 있으면 지반이나 지진동와 특성에 좌우되므로 판정을 내리기가 곤란하다. 따라서 이와 같은 지반은 액상화 방지대책을 수립하거나 보다 상세한 검토를 해야 한다.</p> <p>③ 액상화 간이예측법 (케이스 III)</p> <p>입도분포 및 N치에 의한 방법으로 액상화를 예측하는 경우 한계 N치 이하일 때는 액상화 발생의 우려가 있다. 입도분포가 그림 3.98a)의 범위에 대한 한계 N치는 그림 3.99의 직선(A)를 이용하고 그림 3.98b)의 범위에 대한 한계 N치는 그림 3.99의 직선(B)를 이용한다.</p> <p>구조물의 건설대상지반은 다양하므로 그림 3.98 및 그림 3.99을 조건을 적용할 때 이들이 유도된 과정을 잘 이해하여 적절하게 적용하도록 유의해야 한다.</p> <p>그림 3.99에서 점선은 지반의 상대밀도가 약 80%인 경우이며 그 이상의 사질지반은 액상화 가능성이 거의 없다.</p>		

기존 설계기준 (1991년)	변 경	사유 및 근거
<p><u>따라서 대상지반의 N치가 직선(A)와 점선사이의 범위에 있을 경우는 액상화 가능성이 적다고 판정해도 좋다. 직선(B)는 사층의 진동수가 직선(A)의 경우보다도 매우 적다. 따라서 직선(B)에 의해 액상화 예측을 할 때는 신중히 해야한다.</u></p> <p><u>그림 3.99의 한계 N치는 지진동의 최대가속도의 함수이다. 방조제는 진도법에 의해 내진설계를 하는 경우가 많은데 이 경우 제체의 내진설계에 고려하는 지진동과 액상화에 대한 지반의 안정검토에 고려하는 지진동을 대략 같은 것이 되도록 하려면 설계진도와 지진동의 최대가속도의 대응함수가 필요하게 된다.</u></p>		

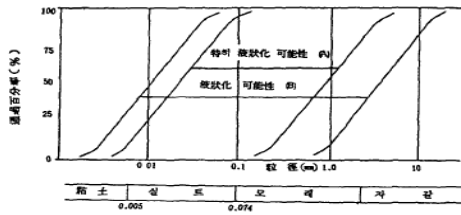
기존 설계기준 (1991년)

변경

사유 및 근거



(a) 均等係數가 작은 모래



(b) 均等係數가 큰 모래

그림 3.98 液狀化 가능성이 있는 모래의 粒度分布

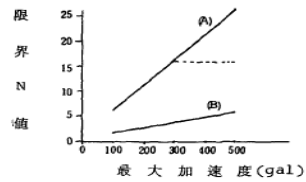
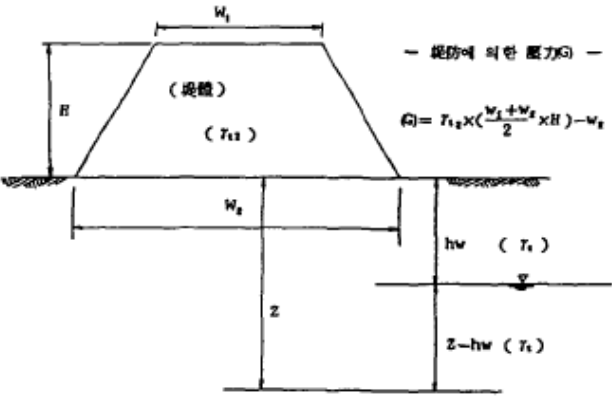


그림 3.99 액상화에 대한 한계 N치와 지반최대가속도

기존 설계기준 (1991년)	변 경	사유 및 근거
<p>④ 액상화 간이에측법 (케이스 IV)</p> <p>액상화 저항계수(F)를 산정하여 $F \leq 1$인 경우는 액상화가 발생하며 $F \geq 1$인 경우는 액상화가 발생하지 않는다고 판정하는 방법이다. 즉 F의 산정식은 다음과 같다.(그림 3.100 참조)</p>  <p style="text-align: center;">그림 3.100 해설도</p>		

기존 설계기준 (1991년)	변경	사유 및 근거
<p> $F = \frac{R}{L}$ </p> <p> 여기서, F : 液狀化 抵抗係數 R : $(R_1) + (R_2)$ (動的剪斷粒度) (tf/m²) (R_1) : N치와 有効上載壓 (σ_v')의 함수로 표시한 動的剪斷粒度 (그림 3.101 참조) (R_2) : 平均粒徑 (D_{50})과 R_2의 함수로 표시한 動的剪斷粒度 (그림 3.102 참조) </p> <p> L : 地震荷重 { $L = (1.0 - 0.15 Z) \times \frac{\sigma_v}{\sigma_v'} \times 0.18$ } (tf) Z : 地表面에서 대상지점까지의 깊이 (m) ($Z > h_w$) σ_v : 總上載壓 { $\sigma_v = \gamma_{t1} h_w + \gamma_t (Z - h_w)$ } (tf/m²) σ_v' : 有効上載壓 { $\sigma_v' = \gamma_{t1} h_w + (\gamma_t - 1) (Z - h_w)$ } (tf/m²) γ_{t1} : 地下水面 이상의 단위체적중량 (tf/m³) γ_t : 地下水面 이하의 단위체적중량 (tf/m³) h_w : 原地盤에서 地下水面까지의 깊이 (m) </p> <p> 필요한 경우 동적(지반반발계수) K치는 공내 재하시험 및 진동항타시험에 의해 구할 수 있으며 N치와 상관성이 있으므로 부득이 구할 수 없는 경우에는 N치에서 추정할 수 있다. </p>		

기존 설계기준 (1991년)

변 경

사유 및 근거

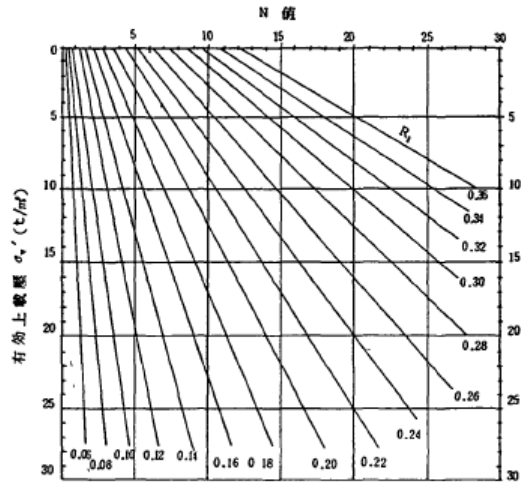
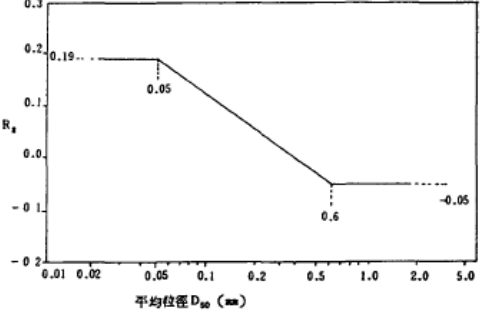


그림 3.101 R_1 (N 치, σ_v 와 R_1 과의 관계)

기존 설계기준 (1991년)	변경	사유 및 근거
 <p>그림 3.102 R_2 (D_{50}과 R_2와의 관계)</p> <p><u>엄밀 판정법</u></p> <p><u>방조제의 액상화 가능성에 대하여 보다 상세한 조사가 필요하다고 판단될 때는 현장에서 채취한 교란되지 않은 시료를 이용하여 토질시험을 하거나 현장의 지반조사를 실시하여 동적해석에 의해 액상화 발생여부를 판정하는 것이 더욱 정확하다.</u></p> <p><u>다만, 동적실내시험을 실시하기 곤란한 경우는 같은 종류의 지반에서의 상세조사결과를 이용하여 액상화 발생 여부를 판정하는 경우도 있다.</u></p> <p><u>(액상화의 엄밀판정방법에 대해서는 전문서적을 참고)</u></p>		

II 편

저수지 등 농업생산기반시설 내진점검 매뉴얼 개발

「농업생산기반시설」 저수지의 내진점검 매뉴얼

2017. 11



농림축산식품부
Ministry of Agriculture,
Food and Rural Affairs

농림축산식품부



한국농어촌공사

< 목 차 >

I . 매뉴얼의 목적	1
1.1 매뉴얼의 목적	1
1.2 저수지의 안전대책의 필요성	1
1.3 매뉴얼의 목적	1
1.4 매뉴얼의 활용 방법	2
II . 지진에 관련된 기본사항	3
2.1 저수지의 붕괴 매커니즘	3
2.2 호우 · 지진에 의한 저수지의 붕괴 매커니즘	4
III 일상 점검	6
3.1 관리포인트	6
3.2 제체	8
3.3 여수로	10
3.4 취수시설	13
IV 지진시에 저수지 임시점검에서 점검할 사항	15
4.1 지진의 피해원인	15
4.2 지진의 피해 양상	15
4.3 지진 규모별 상황 관리	16
4.4 지진 규모 확인 포인트	18
V 비상시 대응	21

5.1 긴급체제의 정비	21
5.2 지진시 [지진 발생 후]	23
5.3 응급조치	24
VI 점검 체크 시트	25
6.1 저수지 검사 체크 일반 사항	25
6.2 저수지의 기본 정보	26
6.3 각 시설의 체크 포인트	27
6.4 저수지 점검 기록 송신 양식	37
6.5 저수지 지진 피해 사례	39

1.1 매뉴얼의 목적

- 본 매뉴얼은 지진재난과 관련하여 저수지의 각종 재해 예방 및 피해 확인을 위한 점검 및 참고 자료로 활용함으로써 신속, 정확, 안전한 농업생산기반시설 정책 방향이 제시되어 효과적인 지진재해 대책이 실행되도록 하기 위하여 작성되었다.

1.2 저수지 지진 안전대책의 필요성

- 저수지 주변에는 도시화와 혼주화가 진행되고 있는 곳도 많아지면서 인명 및 재산 사고의 위험성이 증가하고 있다.
- 이러한 가운데 최근 들어 자주 발생되고 있는 지진에 대비하여 저수지 시설 관리자의 안전 관리에 대한 의식을 높일 필요성과 지진에 대한 이해와 관계기관 간의 연계 및 협조체계 등이 중요해지고 있다.
- 저수지의 관리·소유자는 안전시설이 주변 주민의 이용 및 관리자의 시설 관리에 안전을 확보하고 생명을 지키는 데 매우 중요하다. 또한 주기적인 저수지의 점검 및 정비 관리를 통해 재해를 미연에 예방하고 안전대책을 마련하고 대비하여 피해를 최소화할 필요성이 있다.

1.3 매뉴얼 활용을 위한 저수지 상태 점검

- 저수지 특징을 파악하여 매뉴얼을 활용하여 최선의 상태를 유지한다.
- 먼저 우리가 관리하는 저수지를 점검해 보자
 - ① 여수로에 흙을 쌓아 놓지는 않았습니까?

- ② 저수지와 여수로에 토사나 쓰레기가 쌓여 있지 않습니까?
 - ③ 제체 상류 사면이나 여수로 유입부 부근에 유목, 쓰레기가 없습니까?
 - ④ 제체 및 관리용 도로가 보이지 않을 정도로 초목 등이 우거져 있지 않습니까?
 - ⑤ 제체 일부가 침하하거나 튀어 나오지 않았습니까?
 - ⑥ 통관(복통) 주위에서 누수는 없습니까?
 - ⑦ 수문조작 핸들이나 게이트는 제대로 작동하고 있습니까?
 - ⑧ 저수지에 어떤 생물이 서식하고 있는지 알고 있습니까?
- ①과 ②는 재해와 연결될 가능성이 있으며, ④는 지진 발생 시 재난 대응에 지장을 줄 수 있다. ⑤부터 ⑦까지는 노후화의 신호이므로 재해에 대비하여 주의할 필요가 있다. 여기서 ④의 조건까지 겹치게 되면 제체 상태를 파악할 수 없는 상태가 되어 매우 위험하다. ⑧은 재해시 수위 저하나 저수지 변화를 알 수 있는 근거가 된다.
- 본 매뉴얼에서는 이와 같은 저수지 관리에 관한 포인트를 정리하였다.

1.4 매뉴얼 활용 방법

- 저수지의 내진점검 매뉴얼은 저수지 관리자가 시설의 노후화가 빠르게 진행되고 있는 저수지에 대한 특징을 파악하고 주기적인 점검을 통해 지진으로 발생할 수 있는 재해의 영향을 최소화하는데 활용할 수 있도록 함을 원칙으로 한다.
- 저수지 내진 점검 매뉴얼은 지진 재해 대비 교육이나 홍보, 현장 점검 시, 본 매뉴얼에 게재된 내용이 전파되어 농업생산기반시설 및 인근 주민을 안전하게 지킬 수 있도록 함을 원칙으로 한다.

2.1 저수지의 붕괴 메커니즘

- 최근 자연 재해로 인한 저수지의 피해는 2002년 태풍 루사의 상륙과 2016년의 경주 지진에 의한 피해가 두드러지고 있다. 최근의 기후변화는 일 강수량과 시간 강수량이 증가하는 경향을 나타내고 있으며 지역에 따른 편차가 큰 국지성 호우가 많아지는 추세를 보이고 있다. 또한 최근 들어 지진은 경상북도 지방을 중심으로 중규모 지진이 발생하고 있기 때문에 이러한 재해 관련 대책을 마련하여 발생할 수 있는 지진 등에 대한 대비를 강화할 필요가 있다.
- 지진에 의한 피해 상황을 보면 농업용 댐·저수지는 제당 축 방향의 균열·함몰이나 여수로 손상, 관수로는 관주변의 지반 함몰, 누수, 액상화에 의한 구조물 손상이 발생하고 있다.
- 우리는 지진에 의한 피해가 상대적으로 적기 때문에 일본 사례를 보면 지진이 발생한 시기에 저수지의 피해 규모는 매우 커지는 것을 알 수 있다.

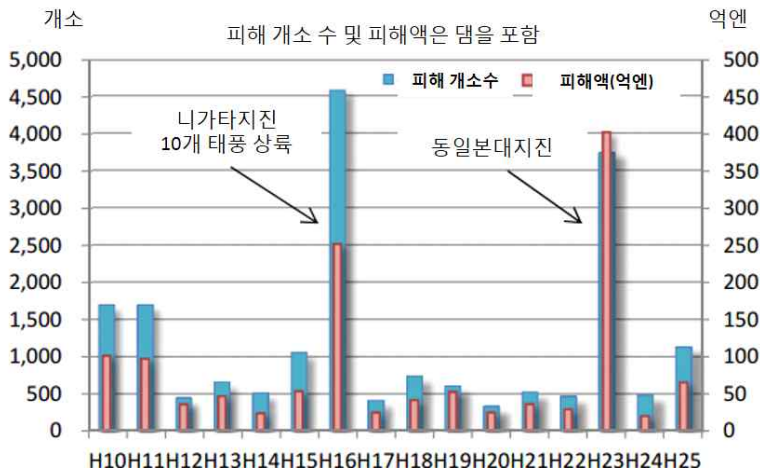
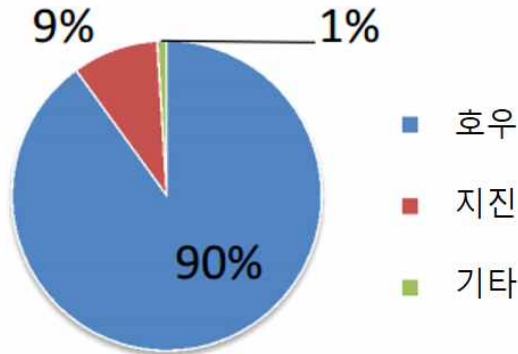


그림 2-1 저수지의 피해 추이 (일본 사례)



2004년부터 2011년까지의 자료

그림 2-2 저수지의 피해 원인 (일본의 피해 사례)

2.2 호우 · 지진에 의한 저수지의 붕괴 메커니즘

- 저수지의 제체에는 저류되어 있는 물이 침투를 한다. 물이 스며들면 흙 입자 사이에 물이 들어가 흙이 이동하기 쉬운 상태로 되어 약해지게 된다. 또한 저수지 물이 제체를 월류하면 월류수에 의해 제체가 침식되어 매우 위험하다.
- 폭우나 지진은 이 상태를 악화시키는 방향으로 작용하기 때문에 저수지는 붕괴될 수 있다.

구분	재해 형태	피해 메커니즘
침투 파괴		<ul style="list-style-type: none"> ▶ 제체 내부의 열화로 물을 차단하는 기능이 저하하면 저수위가 상승했을 때 제체 중 수압 상승과 강도가 떨어지면서 파괴. ▶ 또한 제체내에 상류에서 하류로 향하는 물길의 생겨서 파괴.
활동 파괴		<ul style="list-style-type: none"> ▶ 저장된 물과 강우가 제체에 침투하여 제체 내부의 수분 함량이 증가하여 제체 법면부 강도가 저하하여 법면부에서 미끄러움이 발생하면서 파괴.
월류 파괴		<ul style="list-style-type: none"> ▶ 호우로 저수위가 급격히 상승하여 제체를 넘어 흐르기 시작하면 하류 사면을 유하하면서 파괴. ▶ 또한 저수위 상승으로 제체내의 수압도 상승하여 강도가 떨어져 파괴.

그림 2.3 호우로 인한 저수지의 재해 형태

- 집중 강우 (시간 강우량 100mm 이상)에 의해 붕괴된 노후 저수지 사례를 그림 2.4에 나타내었다. 앞으로 제체 마루부에서 집중 호우로 붕괴하는 노후 저수지가 증가할 것으로 우려되고 있다.



그림 2.4 호우로 인한 저수지 제체의 붕괴


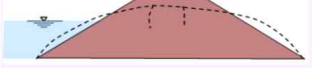
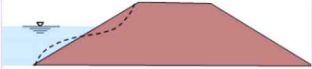
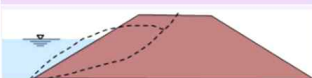

구분	재해 형태	재해 메커니즘
균열		<ul style="list-style-type: none"> ▶ 제체 상부 등에 크랙(균열)이 발생. ▶ 제체 상하류 방향으로 발생하는 크랙(균열)은 물길이 될 수 있으며 특히 주의가 필요.
침하		<ul style="list-style-type: none"> ▶ 제체 형상은 거의 유지하고 크랙(균열) 등을 수반하면서 제체가 침하하는 경우. ▶ 대부분 연약한 지반에서 발생.
사면붕괴		<ul style="list-style-type: none"> ▶ 제체 사면의 상단이 침하하고 하부가 부풀어 오르는 변형이 발생
사면 활동		<ul style="list-style-type: none"> ▶ 지진동에 의해 제체 사면에 활동(슬라이딩)이 발생하는 경우
붕괴		<ul style="list-style-type: none"> ▶ 제체나 지반이 크게 변화하고 붕괴하는 경우. ▶ 붕괴는 제체 및 기초 지반의 액상화에 의해 발생.

그림 2.5 지진으로 인한 저수지의 재해 형태

III 일상 점검

3.1 관리 포인트

- 일상 관리는 조기에 시설의 이상을 발견하고 붕괴나 자연재해를 미연에 방지하기 위한 수단이다.
- 불의의 사고를 방지하기 위한 작업은 혼자하지 말고 반드시 2명 이상이 실시한다.

3.1.1 상류의 산림 상황

- 저수지 상류의 산림이 벌채되고, 태풍에 의해 쓰러진 나무 등이 방치된 상태로 있는 경우는 저수지에 유입되는 수량이 일시적으로 집중되고, 유입되는 유목이나 쓰레기가 증가하여 위험을 초래할 수 있다.
- 이들은 여수로의 배수능력을 넘어선 유량의 유입 및 쓰레기에 의한 폐색을 야기하고, 제체의 붕괴로 이어질 가능성이 있다.

- 따라서 1년에 1회 이상, 저수지 상류의 산림 상황을 관찰하여 염려되는 상황이 있으면 관련기관과 협의한다.

3.1.2 제체의 풀베기와 검사

- 제체의 풀베기를 실시하여 제체 사면 변화나 누수 등의 변화를 쉽게 찾을 수 있도록 한다.
- 저수지의 만수시에 풀베기를 하고 풀베기 후는 제체 점검을 실시한다.

3.1.3 여수로 청소

- 호우시 제체에서 물이 넘치면 붕괴할 가능성이 있다. 여수로의 토사와 유목은 바로 제거하고 저수량을 늘리기 위해 흙이나 돌 등을 쌓아 놓지 않도록 한다.

3.1.4 저수 및 취수

- 저수지의 저수위를 급상승 또는 급강하 시키면 제체를 침투하는 물이 원인이 되어 제체가 손상되거나 사면이 활동할 수 있다. 장기간 담수 시키고자 할 때는 한 번에 만수까지 저류하지 말고 누수 등을 확인하면서 서서히 저수하도록 한다. 반대로 수위를 낮출 때도 긴급 방류의 경우를 제외하고 사통을 위에서 아래로 순서대로 낮추도록 한다.
- 또한 권양기, 게이트, 사통 덮개 등은 정기적으로 윤활유 주유 및 청소 등을 실시하고, 시설 작동에 이상이 있으면 즉시 검사하고 수리한다.

3.1.5 낙수

- 여수로와 사통, 복통, 제체 상류 측의 사석 등의 검사를 위해 관개기 종료 후에 1회는 저수지의 물을 낮춘다. 이 경우는 저수의 저수 상황을 판단하여 실시한다.

3.2 제체

- 제체의 점검을 정기적으로 실시하고 사면의 함몰, 균열, 배부름 등의 상태 변화 및 누수를 놓치지 않도록 점검을 실시한다.
- 저수지의 붕괴는 상태 변화의 진행이나 누수량이 증가하는 상태는 호우 또는 지진 등으로 일어나는 것이 일반적이다. 제체 사면의 형상 변화나 누수를 간과하지 않는 것이 중요하다.
- 따라서 제체의 점검은 만수기에 적어도 매년 1회 (적설 지역에서는 해빙시기) 실시한다.
- 만일 상태 변화를 확인한 경우에는 즉시 관련기관과 협의하여 필요한 대책을 강구한다.
- 또한 형상 변화는 매번 검사시 형상 변화 부분을 스케치하거나 사진을 촬영하여 제체 평면도에 기록해 두면 그 형상의 변형이 진행성인지 판단하는 데 도움이 된다.

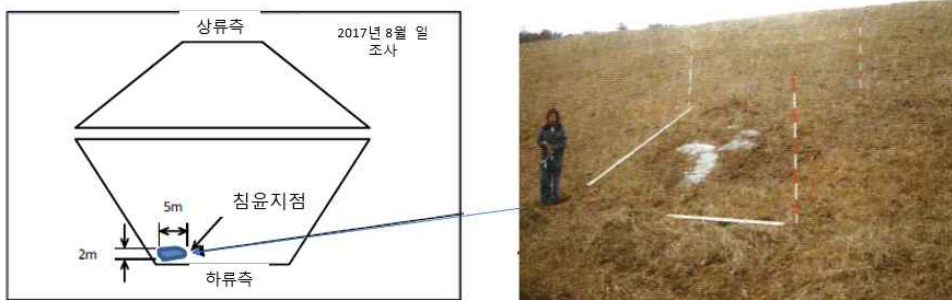


그림 3.1 변형 지점의 조사 스케치 및 사진 촬영

- 특히 누수는 저수지 붕괴로 이어질 우려가 있으므로 다음과 같은 상황에 유의하는 것이 중요하다.
 - 흙이 섞인 탁한 물이 새고 있다 (특히 위험한 경우가 많다).
 - 누수 양이 증가하거나 누수 개소가 제체 하류 사면 높은 위치로 변화하고 있다.
 - 저수지 제체 하류 측에 물이 새는 구멍이 있다.
 - 저수지에 물이 저류되지 않는다.

- 호우시에도 홍수가 여수토를 넘지 않는다.
- 취수하고 있지 않는데, 복통에서 물이 새고 있다.
- 누수를 확인하는 경우는 다음의 값을 참고로 하면서 누수 개소의 물을 펌프병이나 메스실린더 등으로 지속적으로 측정하는 것이 중요하다.

<누수량 기준>

- 제체 100m당 60리터 / 분 이하, 1일 총 저수량의 0.005% 이하

■ 제체 사면의 나무를 벌채하고 풀베기를 정기적으로 실시한다.

- 제체 사면의 나무는 누수의 원인이 되는 경우가 있기 때문에 벌채 및 발근을 한다.
- 발근한 부분은 제체와 같은 흙으로 다져서 되메우기 한다.
- 제체의 풀베기는 제체 변형이나 누수 등의 제체의 형상 변화를 쉽게 찾을 수 있는 것과 연결된다. 따라서 1년에 한 번 이상은 풀베기를 하고 신속하게 제체의 상태 변화를 확인한다.
- 깎은 잔디가 제체를 덮은 상태라면 제체 표면의 모습을 잘 볼 수 없기 때문에 깎은 잔디는 제거하고 풀베기 후는 사면을 잘 다져준다.
- 두더지와 멧돼지 등이 판 구멍이 있으면 물이 나와 있는지 확인하고 제체와 같은 흙으로 다져서 묻는다.

■ 제체의 하류 측에 설치되어 있는 배수로는 청소를 정기적으로 실시한다.

- 제체를 구성하는 흙과 흙 사이에 미세한 간극이 있다. 이 미세한 틈새에 물이 침입하여 다져지지 않은 곳 등의 약한 부분에 물이 고이기 쉽다. 따라서 작은 토립자가 조금씩 흘러면서 연속적으로 큰 틈(물길)이 생기게 된다.
- 제체의 하류측에 배수로가 설치되어 있는 저수지에서는 정기적으로 수로를 청소하고 토사가 흘러나오고 있지 않은지 확인하는 것이 중요하다. 배수로에 흘러나온 토사의 색깔이 주위 흙의 색과 다르거나, 쌓이는 토사량이 갑자기 증가하거나 한 경우에는 즉시 관련기관과 협의한다.

- 제체의 최약 부분이 될 수 있는 부분을 파악하고, 특히 주의해 검사한다.
- 흙을 성토한 제체에서는 사통과 복통 지반과의 접합부가 약한 부분 (흙이 흐르기 쉬운 지점)이다.
- 또한 제체 승상이나 사통 및 복통의 보수 이력이 있는 저수지는 신규 제체의 다짐 정도 및 재료 흙의 차이에 따라 그 경계 부분이 약한 부분이 될 가능성이 높다. 따라서 제체 검사에서는 이러한 부분의 점검을 철저히 하는 것이 중요하다.
- 또한 과거의 개수 공사에 관한 자료 (제체, 사통 및 복통의 개수 이력)를 확인하는 것이 필요하다.
- 흙탕물 및 지반 사면에서 물이 제체를 침식하고 있는지를 확인한다.
- 법선 드레인 (하중 블록, 사석 블록 등)의 변형이나 누수 여부를 확인한다.
- 법선 드레인은 제체에 침투한 강우 및 저류수를 신속하게 배출하는 것으로, 제체 내부에 침투한 물의 수위를 저하시켜 제체의 안정성을 유지하는 중요한 시설이다. 제체가 불안정한 상태인 경우는 법선 드레인에 변형이 나타나는 경우가 있으므로 잘 확인해야 한다.
- 또한 법선 드레인에서 나오는 누수에 토사가 섞여 있거나 일부에서 다량의 누수가 나타나는 경우는 제체에 이상이 생긴 것으로 생각되므로 즉시 관련기관과 협의한다.

3.3 여수로

- 여수로의 월류 단면 내 및 월류 위어에서 하류의 수로에 장애물 (유목이나 토사 등)이 있으면 신속하게 청소하기
- 저수지의 여수는 호우시 상류에서 발생하는 홍수를 안전하게 하류로 흐르게 하는 곳이다. 따라서 월류 단면 내에 장애물이 있으면 저수지가 넘치는 원인이 되므로 위험하다. 따라서 일상적인 관리에서는 여수로의 토사와 유목 등의 장애물을 바로 제거하고, 여수로 유입부 부근이나 제체 상류 사면 그리고 저수면에 있는 유목, 나무 가지와 쓰

레기 등은 제거해야 한다.

- 또한 여수로 하류의 수로가 터널 구조이거나 수로 상부에 교량이 존재하는 경우에는 유목 등에 의해 흐르는 물을 방해할 수 있으므로 장애물은 즉시 철거해야 한다.



그림 3.2 월류 단면 (파란색 음영 부분)



그림 3.3 여수로 하류수로의 예

- 여수로 유입부에 흙 등을 쌓지 않도록 한다.
- 저수지의 저수량을 늘릴 목적으로 여수로 유입부에 흙 등을 쌓는 것은 여수로의 유하 능력을 현저히 저하시킨다.
- 홍수시 저수지에서 흘러나온 물이 제체 위로 넘칠 경우 붕괴 위험이 있으므로 절대로 접근해서는 안 된다.



그림 3.4 여수로 유입부

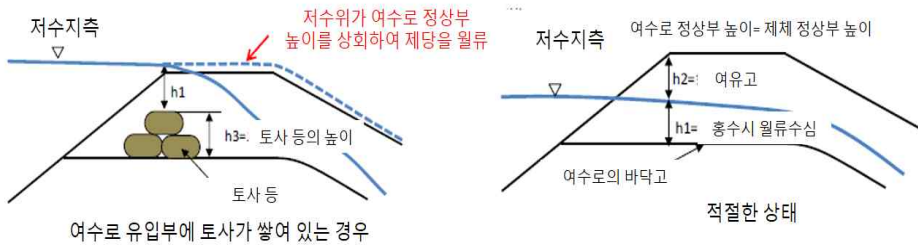


그림 3.5 홍수시 수위의 차이

- 제체 상류 사면의 여수로 주변이 침식되어 있지 않은지 낙수시에 검사한다.
- 여수로와 제체 또는 지반의 경계부는 토사가 씻겨, 변형 (열화)하기 쉬운 취약부가 될 가능성이 있다. 낙수시에 제체 상류 사면의 여수로 주변이 침식되어 있지 않은지를 점검하는 것이 중요하다.

- 다음의 경우는 대책을 고려해야 한다.
 - 여수로가 너무 작아서 비가 내릴 경우 흘러넘칠 것 같다.
 - 방수로의 물이 제체를 세굴할 가능성이 있다.

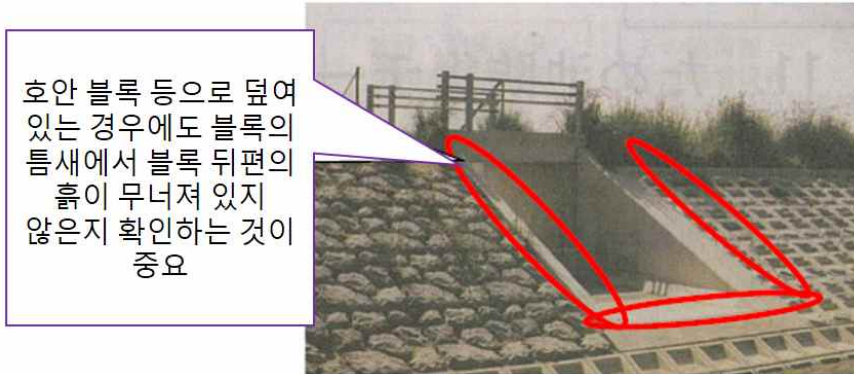


그림 4.6 여수로 (저수지 수면 부분)

3.4 취수시설

- 권양기, 게이트, 사통 덮개 등은 정기적으로 윤활유 주유 및 청소 등을 실시하여 시설의 작동에 이상이 있을 경우 신속하게 점검, 수리한다.
- 권양기, 게이트, 사통 뚜껑 등이 제대로 작동하지 않으면 취수에 지장이 생기는 것 외에 홍수나 지진 등의 비상사태에 저수지의 수위를 낮출 수 없게 되는 경우가 있다. 정기적으로 윤활유 주유 및 청소 등을 실시하고, 부식 상태에 주의하고 시설의 작동에 이상이 있을 경우 신속하게 점검, 수리하는 것이 중요하다.
- 취수 게이트를 폐쇄했음에도 불구하고 복통 출구에서 흙탕물이 나오는 상태 변화를 놓치지 않도록 한다.
- 취수 시설의 재료는 석재나 콘크리트 등이 이용되고 있으며, 성질이 다른 재료의 경계부가 형상 변화 (열화)의 진행이 이루어지는 취약부이다. 취수 게이트가 전체 닫힌 상태에서 흙탕물이 나오고 있는 상황

은 복통 주변부의 흙이 흐르고 있을 수 있다. 일상의 관리는 흙탕물이 나오지 않는지 확인하는 것이 중요하다. 또한 낙수 후 검사에서 복통 안으로 사람이 들어가 작업하는 경우 작업의 안전을 확보하면서 복통 내에서 육안 점검을 실시하는 것도 중요하다.



그림 3.7 복통 출구 (제체 하류)

- 낙수시에 제체 상류 사면의 취수 시설 주변이 침식되지 않았는지 검사한다.
- 취수시설이 제체에 설치되어 있는 경우 성질이 다른 재료의 경계부인 취수시설 주변부가 형상 변화 (열화)가 진행되는 취약부이므로 낙수시에 취수시설 주변이 침식되지 않았는지 점검하는 것이 중요하다.



그림 3.8 취수시설

IV

지진시에 저수지 임시점검에서 점검할 사항

4.1 지진의 피해 원인

- 직접 피해는 지진발생에 따른 제체파괴, 지반파괴, 구조물 붕괴 등 1차 피해를 입은 경우를 말한다.
- 연계 피해는 직접 피해에 따른 교통 두절, 유해물질 유출, 하류부 침수 등 2차 피해를 말한다.

구분	직접피해	연계피해
제체 파괴	제체 균열/파괴	하류 지역 하천, 가옥, 농경지 도로 파손 등 2차 피해
	침수, 매몰	교통두절, 인명 및 재산 피해
지반 파괴	지반변형/붕괴/액상화	건물 등 시설물의 2차 붕괴
	산사태, 매몰	교통두절, 인명피해
구조물 붕괴	건물 부분 침수/손실/반파/전파	인명피해, 이재민의 발생 하류지역 다중밀집시설 대형사고
	저수지 붕괴	저수지 붕괴, 하류지역 침수 등
	여수로 파괴	하천범람, 세굴, 저지대 침수 등
	복통 붕괴	하천범람, 농경지 침수 등

4.2 지진 피해 양상

- 지각에서 장시간 쌓인 에너지가 순간적으로 방출되면서 지진 발생



- 지반 및 제체의 흔들림으로 인명 및 재산상 피해 발생
- 지진으로 인해 제체 및 저수지 구조물 붕괴로 다량의 누수 및 유출로 인한 침수, 세굴, 파손으로 인한 2차 피해 발생



- 다수의 인명 및 재산 피해로 사회적·경제적으로 광범위한 영향 초래
- 지진으로 인한 1차 피해뿐만 아니라 2차적 원인으로 인한 피해 발생
- 민가 및 농경지, 축사 등의 침수로 하수처리 곤란 등에 따른 전염병 발생 가능성 증대

4.3 지진 규모별 상황 관리

4.3.1 비상대책본부 구성 기준

- 국내에서 발생한 지진 규모 4.0~4.9(해역 4.5 ~ 5.4)에서는 비상대책 본부를 1단계로 운영하고, 규모 5.0이상(해역 5.5이상)에서는 비상대책본부를 2단계로 운영한다.
- 비상대책본부는 상황에 따라 농림축산식품부, 한국농어촌공사, 각 지자체별로 구성하여 운영한다.

구 분	구 성 기 준	
자체대응	지진	◦ 규모 3.5 ~ 3.9(해역 4.0~4.4)
1단계	지진	◦ 규모 4.0 ~ 4.9(해역 4.5~5.4)
	지진해일	◦ 해저지진(규모 7.0 이상)이 발생하여 예상 파고가 0.5m ~ 1.0m 미만 발생시
2단계	지진	◦ 규모 5.0 이상(해역 5.5 이상)
	지진해일	◦ 해저지진(규모 7.0 이상)이 발생하여 예상 파고가 1.0m 이상 발생시

4.3.2 지진 규모 확인

- 1시간 이내

4.3.3 지진 규모별 상황관리 기준

구 분	1단계	2단계
규모	◦ 규모 4.0 ~ 4.9(해역 4.5~5.4)	◦ 규모 5.0 이상(해역 5.5 이상)
비상대책 본부장	◦ 한국농어촌공사 유지관리 이사	◦ CEO
대응조직	◦ 비상대책본부(비상대책반)	◦ 비상대책본부(비상대책반)
근무범위	◦ 진앙지로부터 반경 100km 이내	◦ 전국

- 자체 대응 규모의 지진 발생 시에는 본사 통합지진감시시스템을 통해 SMS 상황 전파 및 모니터링을 실시한다.
- 1단계 운영 중 재난 발생 및 중앙사고수습본부(농림축산식품부) 설치 시에는 한국농어촌공사의 비상대책본부장을 CEO로 격상한다.
- 1단계 대응 규모의 지진 발생시 진앙지로부터 반경 100km이내에 일부 시설(예, 관로 등)만 포함되는 경우에도 한국농어촌공사 해당 본부와 지사는 위기대응을 실시한다.
- 한국농어촌공사의 위기종료 상황이라도 농림축산식품부 비상근무시에는 비상대책본부 지속 운영(단, 근무형태는 탄력적 운영)한다.

4.3.4 저수지의 외관 점검 [1차 점검]

- 3시간 이내

4.3.5 상세한 외관 점검과 계측에 의한 점검 [2차 점검]

- 24시간 이내에 점검하여 그 결과를 보고한다.

4.4 지진 규모 확인 포인트

4.4.1 Step 1 : 지진 규모의 확인

- 지진이 발생하면 지진계측기의 지진동 기록에서 먼저 지진의 크기를 확인한다. 지진계측기가 없는 저수지는 기상청 지진정보를 활용한다. 지진 규모 3.5 ~ 3.9(해역 4.0~4.4)는 자체 대응을 실시하며, 규모 4.0 ~ 4.9(해역 4.5~5.4)는 비상대책본부를 1단계로 운영한다. 최근 일본의 기록 상황을 보면 저수지에서 150gal 이상을 기록한 지진의 경우는 저수지 이외의 지역에서 상당한 피해를 주고 있다. 이러한 점에서 100gal ~ 150gal 이상의 값을 저수지의 지진계가 기록한 경우는 매우 강한 지진동을 받았다고 생각하는 편이 좋다. 따라서 저수지도 어떤 변위 또는 이상 발생 가능성이 있다.
- 또한 지진 기록에서 주의해서 볼 점은 제체 정상부의 가속도는 증폭되어 저수지 기초 보다 큰 값을 나타낸다. 저수지 기초는 거의 흔들리지 않는데 제체 정상부가 크게 흔들리는 경우 예를 들어, 댐 기초의 기록이 25gal 정도에서도 제체 정상부의 기록은 300gal을 초과하는 경우가 있다. 이러한 경우는 저수지 기초의 기록이 작다고 해서 안심해서는 안 되며 제체 정상부 구조물 주변에 대해서는 특히 꼼꼼한 점검이 필요하다.

4.4.2 Step 2 : 저수지의 외관 점검 (1차 점검)의 포인트

- 지진 기록을 확인하면, 우선, 외관 검사에 의한 1차 점검을 실시한다. 이 검사는 우선 육안 점검이 중심이다. 지진시 저수지의 변화는 상당히 심각한 상태의 손상이 아니라면 저수지 제체의 외형은 인식 할 수 없는 경우가 많다.
- 과거의 지진으로 확인할 수 있었던 형상 변화는 다음과 같은 곳에서 발생하기 쉬우니 점검이 필요하다.
 - 제체 표면. 특히 연결부의 단차

- 제체 정상부 포장의 균열과 교량부의 주변 토사와의 접합부의 단차
- 제체 정상부 울타리 및 조인트 부분의 균열이나 단차 또는 보수재 및 코킹 재료의 박리.
- 수문, 여수로 및 제체 축 방향 변형
- 게이트의 변형. 특히 각주부, 수문의 변형
- 갤러리(검사랑) 조인트 부분의 보수재 및 코킹 재료의 박리
- 제체 정상부의 균열, 제체 축 방향 균열
- 제체 정상부의 침하 및 상하류면에 슬라이딩(활동)
- 이외에도 저수지에서 주요 관심 지점에 대해 주의 깊게 관찰
 - ※ 작은 변형이라도 놓치지 않도록 주요 관심 지점을 꼭 확인해야 한다.

4.4.3 Step 3 : 상세한 외관 점검 및 측정에 의한 점검 (2차 점검) 포인트

- 2차 검사에서는 상세한 외관 검사 및 측정에 의한 검사가 있다.
 - 자세한 외관 검사에 대한 포인트는 앞에서 설명한 것과 같다.
 - 2차 검사에서 중요해지는 것은 측정 데이터에 의한 점검이다.

■ (1) 누수량

- 누수량은 지금까지의 경험으로 지진 후에는 일시적으로 상승하는 것으로 알려져 있다. 일반적으로 저수지의 누수량은 담수 시간과 밀접한 관계가 있다. 평상시는 침투 경로가 다양한 퇴적물에 의해 막힘을 일으키고, 누수량은 감소한다. 그러나 지진이 발생하면 제체가 진동하여 막힘이 빠지거나 새로운 침투 경로가 형성되기도 하여 누수량은 증가한다. 지진 후 누수 양이 조금 늘었다고 해서 즉시 저수지가 위험한 상태가 되는 것은 아니다. 따라서 그 변화 상황을 냉정하게 판단하는 것이 중요하다.
- 따라서 지진시·지진 후 저수 정도에 상당하는 보통시 누수량에 비해 누수되는 양이 증가하고 있다면 주의가 필요하다, 또한 지진 후 시간이

지나면서 누수 양이 점점 증가해가는 경향이라면 위험하다. 이러한 판단을 하기 위해서는 평소의 누수 양을 파악하고 있어야 한다. 누수량은 저수지의 수압에 영향을 받으므로 저수 정도와 명백한 상관관계가 있다. 따라서 정상 상태의 상관도를 정리해 두는 것이 중요하다.

- 또한 누수량은 갤러리(검사랑)와 관측실에서 직접 육안검사 하도록 한다. 이 때 육안으로 물의 탁도에 대해서도 확인해야 한다. 누수량이 증가 할 때 물이 탁해지는 경우가 많다. 탁도를 확인하고, 안개가 매우 심한 경우는 주의를 요한다. 이상이 감지되면 즉시 상부 기관에 보고하고 긴급 수위 저하 등의 조치 여부를 전문가의 상담하여 결정한다.
- 한편, 다소 누수량이 증가하고 있지만 과거의 누수량 기록 (저수 정도와 상관관계를 취한 기록)과 비교해서 그 이하의 수준인 경우 즉시 문제가 되는 누수가 아닐 수 있으므로 주의를 요한다. 그러나 이상 기록이 발생했을 경우에는 지속적으로 변화를 주시하도록 하고 전문가와 상의하여 후속조치를 결정하도록 한다.

■ (2) 변형

- 변형은 특히 필댐의 경우 크게 변화하는 경우가 있다. 기준 측량을 지진 후에 실시하여 제체 침하, 상하류에 높이 차 등 그 변화를 확인한다.
- 지진이 없는 상태에서도 저수지에서는 이러한 변화가 천천히 일어난다. 지진의 흔들림에 의한 침하·변형에 대한 형상 변화를 숙지하고 주의 깊게 관찰한다. 침하·변형량이 기존 관측 자료와 비교하여 문제가 없는 수준이면 즉시 문제가 되는 수준은 아니라고 생각해도 좋다. 그러나 제체의 정상부 가장자리에 큰 균열이 생겨 함께 침하가 발생하고 있거나, 상하류면에 활동 파괴가 보인다거나 변형 현상이 발생하고 있는 경우는 매우 문제이다. 이러한 경우는 적절한 보고와 더불어 전문가에게 상담하고 필요한 경우에는 긴급 수위 저하 등의 조치를 하도록 한다.

4.4.4. 일상 점검시 지진에 대한 마음가짐

- 지진시 확인 사항은 항상 평상시에 비해 변화했는지 여부를 확인하는 것이다. 즉, 항상 평상시의 상태를 알고 있지 않으면 그 변화를 알 수 없기 때문에 현재의 상황을 알 수 있도록 관리자는 조사와 관측을 통해 현상을 파악하여야 한다.
- 지진 발생 후에는 현장에 가서 어떤 변화 및 변형이 있는지를 조사한다.
 - 예를 들어, 제당의 높이 변화 및 변형, 보수재의 박리 및 탈락 흔적 등. 이러한 변화는 관리자에게 꼭 확인하여 변화를 파악한다.
 - 항상 현장 점검시 지진시에 변화 할 것 같은 곳에 대해서는 디지털 카메라 및 모바일 폰 등으로 사진을 찍어 기록을 남겨 둔다.
- 일반적으로 저수지 관리자는 지진에 대한 대응 경험이 거의 없고 부족하다. 따라서 이러한 관리 사항을 명확하게 숙지하여 점검할 수 있도록 할 필요가 있다.

V

비상시 대응

5.1 긴급체제의 정비

- 호우 및 지진 등에 의한 재해에 대비하여 정보 연락 체제를 정비한다.
- 현지에서 행동할 때는 안전을 위해 반드시 2명 이상 행동한다.
- 호우 및 지진 등 재해의 가능성이 예상되는 경우는 저수지 방재 관점에서 감시 및 긴급 점검 등의 지원과 더불어 원활한 관계 기관과 연락할 수 있는 체제가 필요하다. 따라서 평소부터 비상 인력과 필요한 자재를 확보하고 농림축산식품부와 시도 및 지자체와 협의하여 비상 연락처를 정리해 두는 등 체제를 정비 해둔다.

○ 다음은 방재 체제와 지진시 행동 예이다.

- 방재체제는 농림축산식품부 관계기관에 따라 공동 대응하는 부분과 각 기관별 대응 체계를 수립하여 실시한다.

표 5.1 관계기관의 방재체제의 예

저수지 관리자 (한국농어촌공사)	지자체	농림축산식품부, 시도
본사, 유지관리 담당	담당과 담당자	담당과 담당자
일상 관리	상담, 진단	지도, 진단
비상시 관리	긴급체제	긴급체제
- 감시		
- 긴급 점검		

- 지진시 행동 흐름도

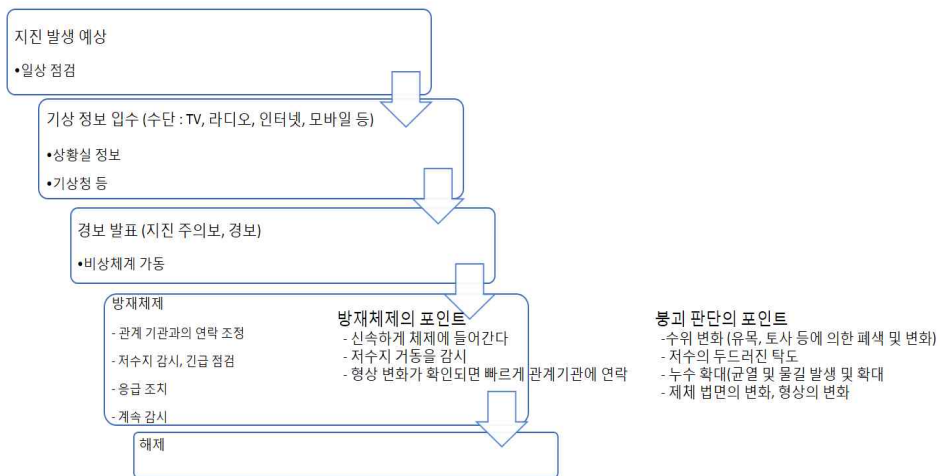


그림 5.1 지진시 행동 및 조치 사항

5.2 지진시 [지진 발생 후]

- 약진이 있었을 경우는 충분히 자신의 안전에 주의하면서 저수지의 점검을 실시, 점검 결과를 신속하게 유관 기관에 보고하고 관계 지자체에 연락한다.
- 저수지와 가까운 기상대에서 진도 4 이상의 지진 발생시는 제체 높이 15m 이상의 저수지에 대해 신속하게 육안으로 외관을 점검하여 그 결과를 관계기관에 즉시 연락한다. 이상이 없는 경우에도 보고를 한다. 진도 5 이상의 경우는 제체 높이 10m 이상의 저수지 등에 대해 같은 방법으로 대응한다.

① 긴급 점검 (24 시간 이내에 신속하게)

- 제체 전체 확인 (균열, 붕괴, 단차 등)
- 제체와 여수로 확인 (누수, 균열, 붕괴, 단차 등)
- 여수로의 장애물
- 주변 지반의 단차 및 균열 확인
- 유역의 지반 붕괴, 산사태 등

② 피해의 발견

- 저수지의 제체에 균열, 누수 등의 피해가 발생했을 경우 신속하게 농림축산식품부, 지자체, 소방서 등에 보고하고, 하류 위험지역에 해당하는 주민들에게 대피 준비를 시킨다.
- 또한 기상 정보와 유입수 상황 등으로부터 위험수위 이상으로 수위가 상승할 경우 붕괴 우려가 있는 것으로 판단 된 경우, 유관기관에 그 상황을 전달하고 제체의 절개 등 응급대응을 검토한다. (지자체는 대피 명령을 검토한다.)

③ 계속 검사 (1주 기준)

- 비교적 강한 지진의 경우 발생 직후 피해가 인정되지 않더라도 일정 기간이 경과 한 후에 피해가 발생할 수 있다. 따라서 이 때문에 1주일 이내에 긴급 점검과 마찬가지로 육안 검사를 하고 이상이 있으면 농림축산식품부, 지자체 등 유관기관에 연락한다.

5.3 응급조치

■ 지진시의 감시 또는 긴급 점검을 실시하여 붕괴가 예상되는 경우 하류 지역의 안전 확보를 위하여 관리자 수준에서 가능한 응급조치를 실시.

- 지진시 저수지 모니터링 또는 긴급 점검으로 제체의 현저한 변형 등에 의해 붕괴가 예상되는 경우에는 즉시 유관 기관 등에 연락을 실시하고, 또한 하류 지역의 안전을 확보하기 위하여 관리자는 가능한 응급조치를 취한다.

① 긴급 방류

- 저수지 제체에 지진에 의한 활동, 균열, 누수 등의 이상이 발생하면 관리자는 2차 재해를 방지하기 위해 긴급 방류를 실시하여 안전한 수위까지 낮춘다. 이때 수위 급강하에 의한 제체 상류 사면의 활동(슬라이딩)과 하류 수로가 넘칠 우려가 있으므로 방류량에 주의한다.
- 긴급 방류할 경우 하류 주민 및 농림축산식품부, 지자체 등 관계 기관과 충분히 연락하여 긴밀하고 충분한 협의를 실시한다.

② 응급 대책

- 저수지 제체 사면에 활동(슬라이딩), 침하, 균열, 함몰, 붕괴, 부풀음, 누수 등의 변형이 확인 된 경우, 농림축산식품부 및 지자체, 관계 마을이나 방재 기관에 신속하게 연락한다.
- 관리자는 지자체, 소방서 등과 연계하여 모래주머니, 줄, 말뚝 등 미리 준비한 방재 기구 및 응급 자재를 이용하여 저수지 현장에서 시트 등을 이용 흙쌓기 등 피해 확대를 방지하기 위한 응급대책을 실시한다.

※ 안전한 수위는 "상시 만수위 - 2.0m"와 "상시 만수위 - (저수심 × 1 / 3)"을 비교하여 이 중 높은 수위를 하루에 낮추어야 할 기준으로 하지만 활동(슬라이딩), 균열, 누수 등의 상황에 따라 판단한다.

※ 수위 저하에 상당한 시일이 걸릴 경우 또는 취수 시설이 손상된 경우 지자체 등의 협력을 얻어 펌프에 의한 배수를 실시한다.

6.1 저수지 검사 체크 일반 사항

- 일상 점검 작업으로 확인하는 구체적인 포인트를 정리
- 점검 전에 기본 정보의 정리, 보수 이력 등을 확인
 - 이 체크 시트는 저수지의 일상 점검 작업에서 확인 할 때의 구체적인 포인트를 정리한 것이다.
 - 또한 이 체크 시트는 지진이 발생했을 때 긴급 점검 시트로 사용할 수 있다.
 - 검사 전에 저수지의 기본 정보를 정리하고 특히 과거에 실시한 보수 자료를 조사하고 제체 여수로 및 취수시설의 보수 내역을 확인한다.
 - 보수한 위치는 변형 (열화)에 대한 약점 부분이 될 가능성이 있으므로 보수 부분이 있으면 점검시에 보수 부위에 변형이 없는지 주의 깊게 점검한다.
 - 검사는 육안 검사를 기본으로 한다. 수중에 있는 사통이나 게이트 등 육안 확인이 어려운 구조물의 경우는 저수지의 낙수시기에 점검하는 등 가능한 범위에서 대응한다. 해당 항목의 변형이 새로 확인된 경우에는 지자체 등 관련 기관에 상담한다.
 - 또한 이 체크 시트에 없는 사항도 안전 문제로 의심되는 현상을 보인 경우 농림축산식품부 및 지자체에 문의한다.
- 또한 변형이 확인 된 곳은 변형 부분의 크기 측정과 사진 촬영을 하는 등 기록으로 남긴다. 이후에도 계속해서 점검을 하여 시간에 따른 변화와 저수량의 변동 상태를 확인한다.

6.2 저수지의 기본 정보





저수지 기본 정보 시트



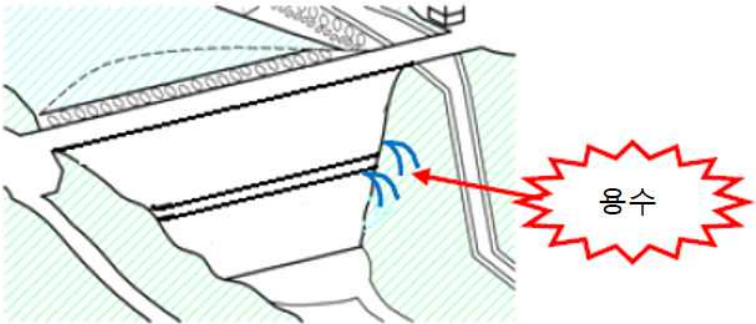

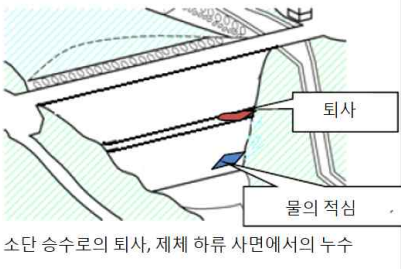
작성 연월일: 2017년 11월 일


시설 명칭							
시설 관리자명							
시설 소재지							
목적 (해당 기호에 ○)		A: 관개, D:방재, F:치수, W:상수도, I: 공업용수, P: 발전, S: 소방, R:레크리에이션, O:기타					
시설 제원	제체	제당 높이 (m)		상류사면 경사		총 저수량 (천 m ³)	
		제체 정상부 폭 (m)		하류 사면 경사			
		제체 높이 (m)		집수면적 (km ²)		수해면적 (ha)	
	여수로	구조 형식		취수 시설	구조 형식		
		설계 유량 (m ³ /s)			설계 취수 량 (m ³ /s)		
	복통	직경 (m) or 중×횡 치수 (m)		상시 만수위 수심(m)		제체 축제 완료년도	
		재질		설계 홍수위 수심(m)			
	점검 상황	검사 상황 (해당 사항에 ○ 표시)					
1. 관리자 상주 (관리동) / 2. 정기적으로 순회 (빈도:) / 3. 비정기적으로 순회 (1 년에 회 정도) / 4. 기타							
제체 및 부대시 설의 보 수 이력	제체 및 부대시설의 보수 이력						
	보수·완료 연도	보수 위치 및 수량					

6.3 각 시설의 체크 포인트

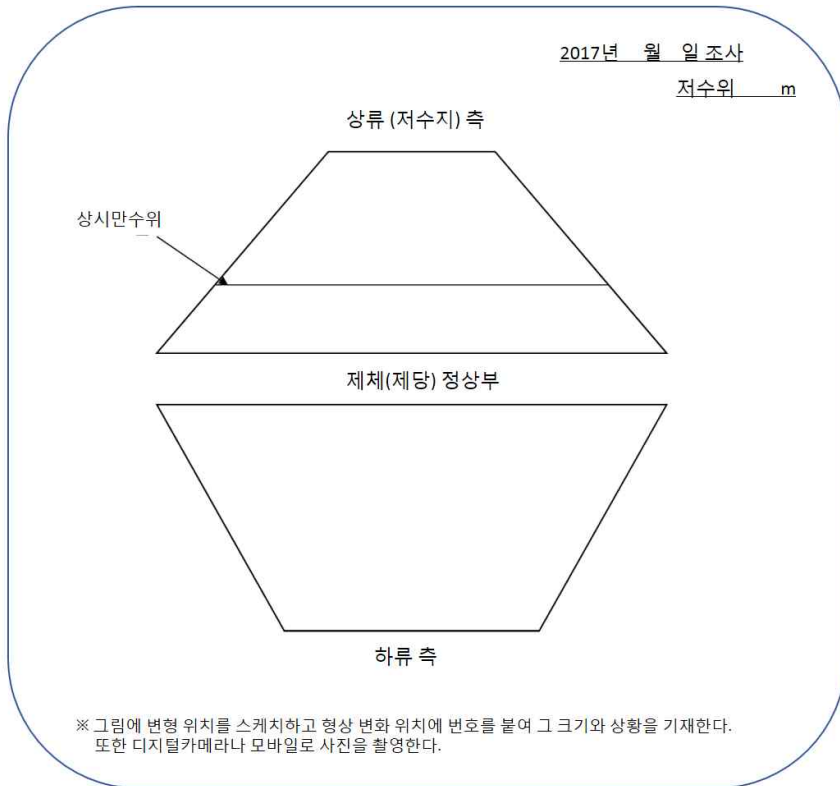
6.3.1 제체

No.	형상 변화
①	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>사진: 제체 상류 사면의 함몰</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>사진: 제체 하류 사면의 균열</p>  </div> </div> <p>제체 사면에 "함몰"이나 「균열」, 「부풀음」이 발생하는 부분이 있다.</p> <p>체크 란 : <input style="width: 100%;" type="text"/></p>
②	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>사진: 제체 사면 블록의 손상</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>사진: 제체 사면의 침식</p>  </div> </div> <p>제체 상류 사면의 사석 재료, 블록 등에 손상 및 침식 부분이 있다.</p> <p>체크 란 : <input style="width: 100%;" type="text"/></p>

No.	형상 변화
③	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>사진 : 제체 하류 사면에서의 식생변화</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>사진 : 제체 하류 사면에서 이끼류의 번성</p>  </div> </div> <p>제체의 하류 사면에 습윤한 토양을 좋아하는 "고사리" "머위" "이끼류"가 무성하는 등 식생 변화가 보인다.</p> <p>체크 란 : <input type="text"/></p>
④	 <p>제체 상류 사면의 사석 재료, 블록 등에 손상 및 침식 부분이 있다.</p> <p>체크 란 : <input type="text"/></p>
⑤	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>사진 : 제체 하류 경계에서의 누수</p>  </div> <div style="text-align: center;">  <p>소단 승수로의 퇴사, 제체 하류 사면에서의 누수</p> </div> </div> <p>제체 상류 사면의 사석 재료, 블록 등에 손상 및 침식 부분이 있다.</p> <p>체크 란 : <input type="text"/></p>

No.	형상 변화
⑥	 <p data-bbox="481 645 889 678">접속 도로의 배수에 의한 제체의 침식</p>
	<p data-bbox="285 687 916 720">접속 도로에서의 배수에 의한 제체의 침식이 보인다.</p> <p data-bbox="358 749 1085 782">체크 란 : <input type="text"/></p>

○ 제체 사면의 형상 변화 기록(스케치)



○ 제체 사면의 형상 변화 기록(사진)

제체 사면의 형상 변화 기록(사진)

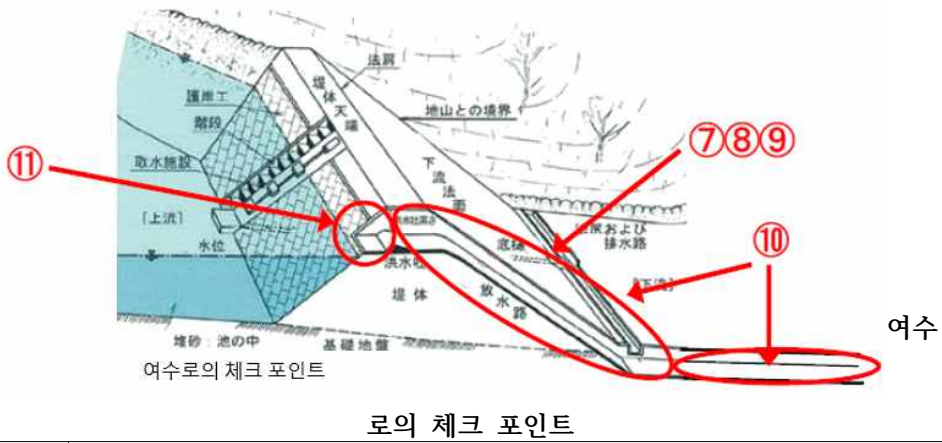
2017년 월 일 조사

※ 변형 위치의 사진을 첨부




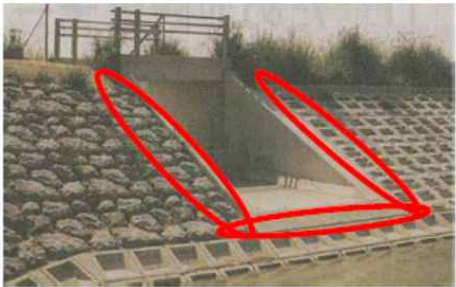


6.3.2 여수로

<점검 위치도>

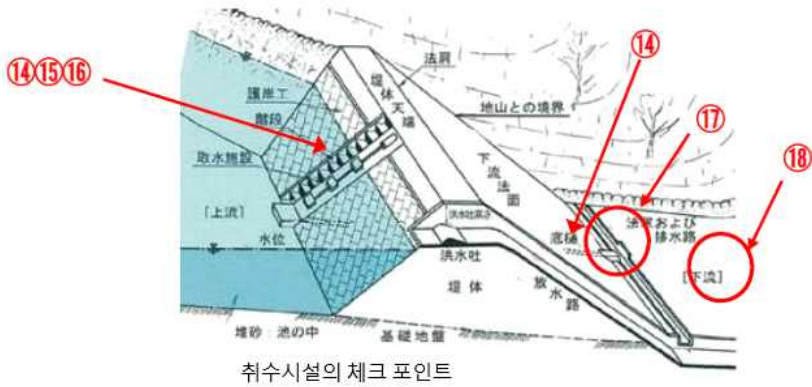


No.	형상 변화
⑦	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="308 898 706 1168"> <p>사진: 수로측 벽 균열부분에서 누수</p> </div> <div data-bbox="740 898 1131 1168"> <p>사진: 부재의 손상 및 철근의 노출</p> </div> </div> <p>수로 콘크리트 표면의 균열에서 누수가 보인다. 또한 철근이 노출되어 있는 부분이 있다.</p> <p>체크 란 : <input type="text"/></p>
⑧	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="308 1323 706 1613"> <p>사진: 수로벽의 단차 및 부풀음</p> </div> <div data-bbox="740 1323 1131 1613"> <p>사진: 이음매 변형에 의한 측벽부의 손상</p> </div> </div> <p>수로 벽 끝 부분이 튀어나왔거나, 또한 수로 안쪽에 굴곡이 보인다.</p> <p>체크 란 : <input type="text"/></p>

No	형상 변화
⑨	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>사진 :수로 바닥의 손상</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>사진 :수로 바닥의 깨짐 및 변형</p> </div> </div> <p>수로의 바닥과 측벽 사이에 심한 변형이나 손상이 보인다.</p> <p>체크 란 : <input style="width: 100%;" type="text"/></p>
⑩	<div style="text-align: center;">  <p>사진 :잡초의 번성</p> </div> <p>여수로내 또는 그 하류 수로에 식물이 무성하다.</p> <p>체크 란 : <input style="width: 100%;" type="text"/></p>
⑪	<div style="text-align: center;">  <p>사진 :콘크리트와 제체 경계의 간극 및 틈새 형성</p> </div> <p>콘크리트 (여수로)와 제체 경계에 틈이 보인다.</p> <p>체크 란 : <input style="width: 100%;" type="text"/></p>

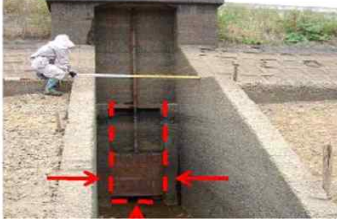


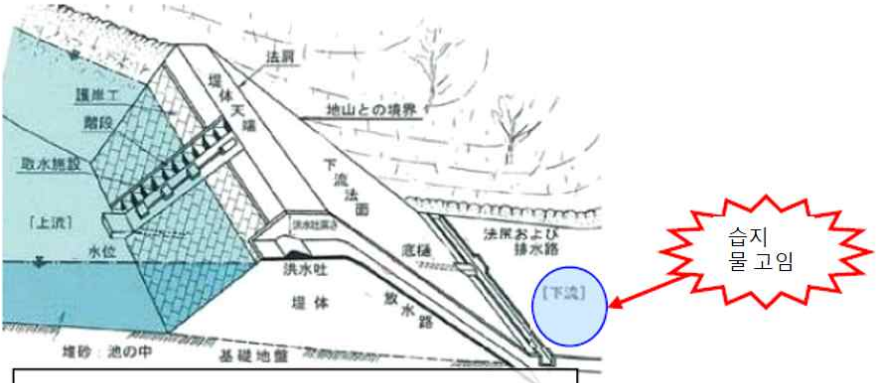
6.3.4 취수시설

<점검 위치도>



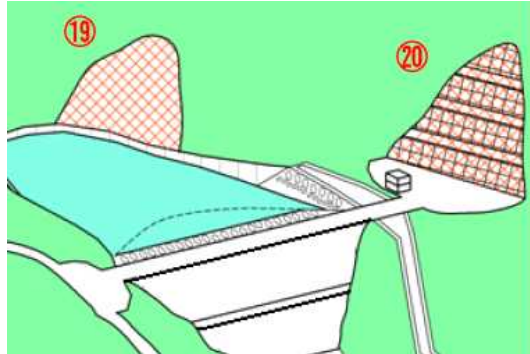
취수시설의 체크 포인트

No	형상 변화	
⑭	<p>사진 : 사통의 변형 및 손상</p> 	<p>사진 : 복통 저판 및 측벽에 조개류의 부착</p> 
<p>사통이 손상되어 있다. 복통이 파손되거나 통수 저해를 야기하고 있다.</p> <p>체크 란 : <input type="text"/></p>		
⑮	<p>사진 : 사통 측면 제체 토사의 유실</p> 	<p>사진 : 사통과 제체 경계의 간극</p> 
<p>콘크리트 (사통)과 제체의 경계에 틈이 보인다.</p> <p>체크 란 : <input type="text"/></p>		

No	형상 변화
⑩	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;"> <p>사진 : 수문 주변의 누수</p>  </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;"> <p>사진 : 취수부 주변에 토사 및 쓰레기의 퇴적</p>  </div> </div> <p>게이트 주위에 누수가 생기거나 주변에 토사와 쓰레기가 쌓여 있다.</p> <p>체크 란 : <input style="width: 100%;" type="text"/></p>
⑪	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;"> <p>사진 : 탁수의 유출</p>  </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;"> <p>복통내 사람의 진입이 가능하면 안전에 유의하고 복통 내 탁수 유출 지점을 찾는다.</p> </div> </div> <p>취수문을 전폐하고 있음에도 불구하고 복통 출구에서 흙탕물이 나오고 있다.</p> <p>체크 란 : <input style="width: 100%;" type="text"/></p>
⑫	 <p>사진 : 하류 지반에 물 고임 현상</p> <p>하류 지반에서 습지와 웅덩이가 보인다.</p> <p>체크 란 : <input style="width: 100%;" type="text"/></p>

6.3.5 저수지 내, 제체 주변의 사면

<점검 위치도>



저수지 내, 제체 주변 사면의 체크 포인트

No	형상 변화
<p>①9</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div data-bbox="281 813 655 1083"> <p>사진 : 저수지 사면의 붕괴</p> </div> <div data-bbox="692 813 1108 1083"> <p>저수지 사면에서의 용수 및 균열</p> </div> </div> <p>저수지에서 대규모 사면 붕괴, 연속적인 균열과 용수가 발생하는 부분이 있다.</p> <p>체크 란 : <input style="width: 500px; height: 20px;" type="text"/></p>
<p>②0</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div data-bbox="281 1271 655 1532"> <p>사진 : 제체 부근의 사면 (붕괴 후)</p> </div> <div data-bbox="692 1271 1108 1532"> <p>사진 : 제체 근접 사면공의 손상 및 용수</p> </div> </div> <p>제체에 근접한 사면에서 연속적인 균열이나 용수가 발생하는 부분이 있다.</p> <p>체크 란 : <input style="width: 500px; height: 20px;" type="text"/></p>

6.4 저수지 점검 기록 송신 양식

※이 페이지를 복사하여 이용해 주시기 바랍니다.

보낸 날짜 : 2017년 월 일

받는 사람		보낸 사람	
연락처	Tel: Fax.: e-mail:	연락처	Tel: Fax.: e-mail:

[용건] <저수지의 지진에 의한 변형에 관한보고>

이 저수지에 대한 점검결과 다음과 같은 변형을 확인 했으므로 보고합니다.

관측 날짜 : 년 월 일	날씨 :	기록자 이름 :
저수지 수위 (수심) :	m	

해당되는 곳에 ○ 표기

변형 부분과 내용		체크 란
제체	① 제체 사면에 「함몰」이나 「균열」, 「부풀음」이 발생하는 부분이 있다.	
	② 제체 사면의 사석재, 돌 쌓기 블록 등에 손상과 침식 부분이 있다.	
	③ 제체의 하류 사면에 습윤 토양을 좋아하는 "고사리", "머위", '이끼류'의 무성 등 식생의 변화가 보인다.	
	④ 제체의 경계부에서 용수가 보인다.	
	⑤ 제체의 하류 사면과 소단의 배수로에서 물이 새거나 용수, 퇴사가 보인다.	

	⑥ 연결 도로의 배수에 의한 제체의 침식이 보인다.	
여수로	⑦ 수로 콘크리트 표면의 균열에서 용수가 보인다. 또한 철근이 노출된 부분이 있다.	
	⑧ 수로 벽 끝부분이 튀어 나오거나 또한 수로 안쪽에 굴곡이 보인다.	
	⑨ 수로의 바닥과 측벽에 심한 깎임이 보이거나 손상이 보인다.	
	⑩ 여수로 내 또는 그 하류 수로에 식물이 무성하게 보인다. ※	
	⑪ 콘크리트 (여수로)와 제체의 경계에 틈 (간극)이 보인다.	
관측시설	⑫ 비도 내리지 않는데 누수 양이 최근 들어 급증한다. / 누수에 탁수가 생겼다.	
	⑬ 제체내 수위 측정 값이 지금까지의 경향과 다른 값을 보여 주었다.	
취수시설	⑭ 사통이 손상되어 있다. 복통이 손상되어 통수 저해를 야기하고 있다. ※	
	⑮ 콘크리트 (사통)와 제체의 경계에 틈 (간극)이 보인다.	
	⑯ 게이트 주위에 누수가 생기거나 주변에 토사와 쓰레기가 쌓여 있다. ※	
	⑰ 취수 게이트를 전폐했음에도 불구하고 복통 출구에서 흙탕물이 나오고 있다.	
	⑱ 하류 지반에서 습지와 웅덩이가 보인다.	
저수지 내, 제체 주변의 사면 및 사면	⑲ 저수지에서 대규모 사면의 붕괴와 연속적인 균열·용수가 발생하는 부분이 있다.	
	⑳ 제체에 근접한 사면에서 연속적인 균열·용수가 발생하는 부분이 있다.	
기타 특이 사항		

주의 사항

위에서 「※」가 붙어있는 항목이 확인된 경우 즉시 유목이나 식물, 쓰레기 등을 제거한다.

6.5 저수지의 지진 피해 사례



여수토 측벽의 전도

제체의 균열

여수토 측벽의 전도

제체의 균열

산비탈 붕괴

(写真提供: 国際航業株式会社・株式会社バスコ)

- 제체의 누수가 아니라 취수 시설에서 방류 수위를 저하시킴.
- 조사 결과 제체, 여수토의 균열 등을 확인.



尾村저수지 제방 하단부의 누수

外野第一저수지의 함몰

外野第一저수지 함몰 지점에서의 누수



여수토 벽의 파손



좌안 사면의 변위와 조작실의 경사



취수관 파손으로 저수가 직접 유입



제체 내측 경사면 사석의 변형

「농업생산기반시설」 방조제의 내진점검 매뉴얼

2017. 11



농림축산식품부
Ministry of Agriculture,
Food and Rural Affairs

농림축산식품부



한국농어촌공사

< 목 차 >

I . 매뉴얼의 목적	1
1.1 매뉴얼의 목적	1
1.2 방조제 지진 및 지진해일(쓰나미)안전대책의 필요성 · 1	
1.3 매뉴얼 활용을 위한 방조제 상태 점검	1
1.4 매뉴얼의 활용 방법	2
II . 지진과 지진해일(쓰나미)에 관련된 기본사항	3
2.1 방조제의 붕괴 매커니즘	3
2.2 지진 · 지진해일(쓰나미)에 의한 방조제의 피해 매커니즘 · 5	
III 방조제 및 배수갑문의 관리	12
3.1 방조제의 관리	12
3.2 배수(갑문)의 관리	13
IV 점검	15
4.1 점검 종류 및 목적	15
4.2 방조제	17
4.3 배수갑문	19
V 지진시에 방조제 임시점검에서 점검할 사항	21
5.1 지진의 피해원인	21
5.2 지진 피해 양상	22

5.3 지진 규모별 상황 관리	23
5.4 지진 규모 확인 포인트	24
VI 비상시 대응	28
6.1 긴급체제의 정비	28
6.2 지진시(지진 발생 후)	30
6.3 응급조치	31
VII 점검 체크 시트	32
7.1 방조제 검사 체크 일반 사항	32
7.2 방조제의 기본 정보	33
7.3 각 시설의 체크 포인트	34
7.4 방조제 점검 기록 송신 양식	44
7.5 점검 시트	46

1.1 매뉴얼의 목적

- 본 매뉴얼은 지진 및 지진해일(쓰나미) 재난과 관련하여 방조제의 각종 재해 예방 및 피해 확인을 위한 점검 및 참고 자료로 활용함으로써 신속, 정확, 안전한 농업생산기반시설 정책 방향이 제시되어 효과적인 지진 및 지진해일(쓰나미) 재해 대책이 실행되도록 하기 위하여 작성되었다.

1.2 방조제 지진 및 지진해일(쓰나미) 안전대책의 필요성

- 최근 들어 자주 발생되고 있는 지진에 대비하여 방조제 시설 관리자의 안전 관리에 대한 의식을 높일 필요성과 지진 및 지진해일(쓰나미)에 대한 이해와 관계기관 간의 연계 및 협조체계 등이 중요해지고 있다.
- 방조제의 관리자는 안전시설이 해안 주변 주민의 이용 및 관리자의 시설 관리에 안전을 확보하고 생명을 지키는 데 매우 중요하다. 또한 주기적인 방조제의 점검 및 정비 관리를 통해 재해를 미연에 예방하고 안전대책을 마련하고 대비하여 피해를 최소화할 필요성이 있다.

1.3 매뉴얼 활용을 위한 방조제 상태 점검

- 방조제는 먼저 지형조건 등의 특징을 파악하고 매뉴얼을 활용하여 최선의 상태를 유지한다.

- 먼저 우리가 관리하는 방조제를 점검해 보자
 - ① 방조제에 사석은 이탈되지 않았는가?
 - ② 방조제와 하구둑 및 수문에 토사나 쓰레기가 쌓여 있지 않는가?
 - ③ 방조제와 하구둑 및 수문 상류 사면이나 수문 유입부 부근에 유목, 쓰레기는 없는가?
 - ④ 방조제 및 관리용 도로가 보이지 않을 정도로 초목이나 풀 등이 우거져 있지 않는가?
 - ⑤ 방조제 일부가 침하하거나 변형되지 않았는가?
 - ⑥ 하구둑 및 수문 주위에서 누수는 없는가?
 - ⑦ 수문조작 핸들이나 게이트는 제대로 작동하고 있는가?
 - ⑧ 방조제에 어떤 생물이 서식하고 있는지 알고 있는가?
 - ⑨ 계절에 따른 흐름과 파랑의 변화는 숙지하고 있는가?
 - ⑩ 유입 배수로의 정비 상태는 양호한가?

- ①과 ③은 재해와 연결될 가능성이 있으며, ④는 지진 발생 시 재난 대응에 지장을 줄 수 있다. ⑤부터 ⑦까지는 노후화의 신호이므로 재해에 대비하여 주의할 필요가 있다. 여기서 ④의 조건까지 겹치게 되면 방조제 상태를 파악할 수 없는 상태가 되어 매우 위험하다. ⑨와 ⑩은 재해시 흐름 변화나 방조제 변화를 알 수 있는 근거가 된다.
- 본 매뉴얼에서는 이와 같은 방조제 관리에 관한 포인트를 정리하였다.

1.4 매뉴얼 활용 방법

- 방조제의 내진점검 매뉴얼은 방조제 관리자가 시설의 노후화가 빠르게 진행되고 있는 방조제에 대한 특징을 파악하고 주기적인 점검을 통해 지진 및 지진해일(쓰나미)로 발생할 수 있는 재해의 영향을 최소화하는데 활용할 수 있도록 함을 원칙으로 한다.
- 방조제 내진 점검 매뉴얼은 지진 및 지진해일(쓰나미) 재해 대비 교

육이나 홍보, 현장 점검 시, 본 매뉴얼에 게재된 내용이 전파되어 농업생산기반시설 및 인근 주민을 안전하게 지킬 수 있도록 함을 원칙으로 한다.

II

지진과 지진해일(쓰나미)에 관련된 기본사항

2.1 방조제의 붕괴 메커니즘

- 최근 자연 재해로 인한 방조제 피해는 태풍의 상륙에 의한 피해가 두드러지고 있다. 최근의 기후변화는 일 강수량과 시간 강수량이 증가하는 경향을 나타내고 있으며 지역에 따른 편차가 큰 국지성 호우가 많아지는 추세를 보이고 있다.
- 또한 최근 들어 봄 가뭄의 지속과 높아진 해수면 온도의 영향으로 태풍도 대형화되어 진로에 따라 막대한 피해를 주고 있으며 최근 들어 경상북도 지역을 중심으로 중규모 지진이 발생하고 있어 이러한 지진으로 인해 발생할 수 있는 피해에 대한 대비를 강화할 필요가 있다.
- 우리나라는 지진·해일에 의한 피해가 상대적으로 적기 때문에 일본 사례를 보면 지진이 발생한 시기에 지진해일(쓰나미)이 발생하여 방조제의 더 큰 피해를 야기하고 있다.
- 지진해일(쓰나미)에 의한 피해 상황을 보면 농업용 방조제는 제방의 붕괴, 제방주변 지반 함몰, 누수, 액상화에 의한 구조물 손상이 발생하고 있다.
- 이 장에서는 일본의 동북지방 태평양 앞바다 지진과 그에 따른 해일에 의한 방조제 등의 피해사례를 분석하였으며 Kumatani 등(2011,2013)의 보고와 효고현 남부 지진에 의한 방조제 등의 피해는 Inatomi 등(1997)의 자료를 참조하였다.

- 특히 2011년4월 30일 발생한 일본 동북지역 지진은 그림 2-1 및 2-2와 같이 엄청난 지진해일(쓰나미)을 일으켜 주변 지역에 많은 피해를 입혔다.

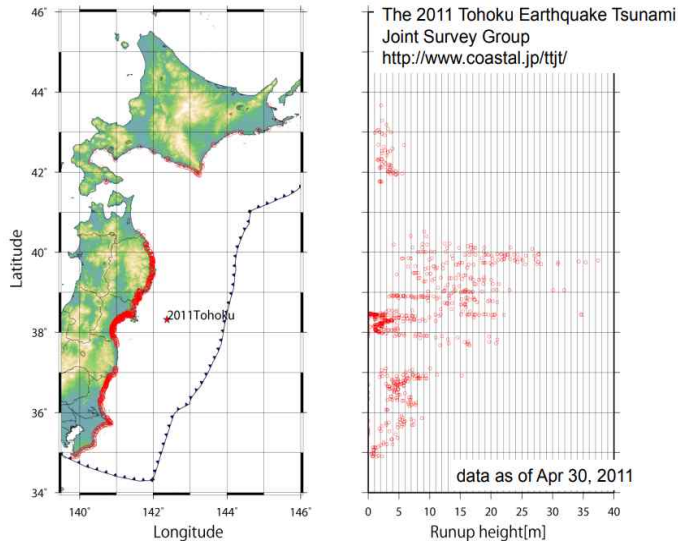


그림 2-1 도호쿠지진의 피해지역과 지진해일 런업 높이 (일본의 피해 사례)

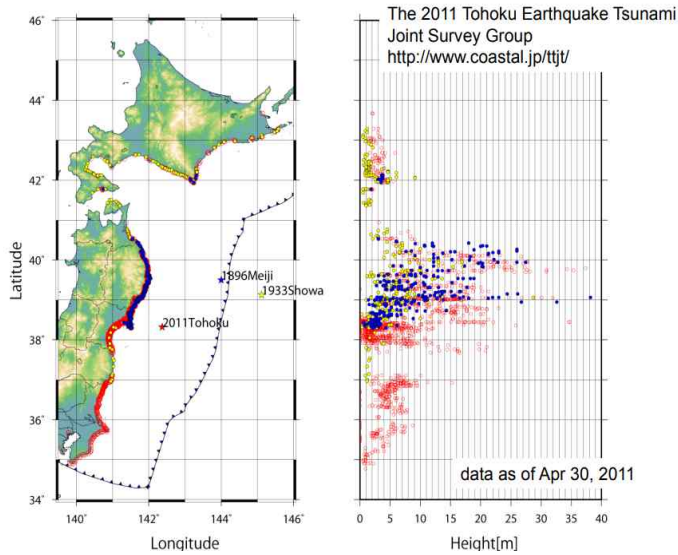


그림 2-2 1896년 메이지지진, 1935년 쇼와지진, 2011년 도호쿠지진의 피해지역과 지진해일 런업 높이 (일본의 피해 사례)

2.2 지진·해일(쓰나미)에 의한 방조제 등의 피해 메커니즘

○ 지진·해일(쓰나미)에 의한 방조제 등의 피해는 다음과 같다.

(1) 지진해일(쓰나미)에 의한 피해

- ▶ 지진해일(쓰나미)에 의한 방조제 등의 피해는 제체의 결손 (피복면 박리 등 포함), 제체 주변 지반의 유출 및 수충부 세굴, 방조제의 붕괴 또는 이들의 복합적인 피해로 나타난다.
- ▶ 바다측 제체의 활동이 발생한 곳도 있는데 이는 파도에 의한 쓸림 피해로 추측된다.
- ▶ 방조제 등에 피해는 없지만 방조제 외측에 위치한 주차장 등 도로 피해가 발생하기도 한다.

○ 이러한 피해는 제1파인 압파에서 제방 피해가 집중되었다. 이러한 원인은 크게 다음의 3가지의 영향이 가장 큰 것으로 조사되었다.

- ▶ 해일의 크기 (월류 수심)
- ▶ 제방에 접근 (모래 폭)
- ▶ 제방의 구조

○ 전형적인 피해는 그림 2-3과 같이 제방 뒤 사면의 연속 블록 피복공이 월류수에 의해 유실되는 등 사면바닥 세굴, 제방마루 보호공·뒷사면 제체가 침식을 일으켜 반파되는 도중에 피해가 멈춘 경우이다.

○ 아오모리현 구간의 월류수심은 흔적조사 결과 0.5~2.5m 정도로 추정된다.

○ 가장 피해가 심각한 것은 그림 2-4의 리쿠젠타카타 해안처럼 제방이 전파하고 해안선이 크게 후퇴한 경우이다. 이러한 제방의 파괴 사례는 이외에도 이와테현의 越喜来 해안, 片岸 해안, 船越南 해안 등에서 나타났다.

○ 해안선 후퇴는 일어나지 않았지만 노다 해안, 明戸 해안, 撰待 해안, 타로 어항 해안, 황금 바닷가 해안, 大槌 어항 해안, 兩石 어항 해안 등에서 제방 등이 파괴되었다.



그림 2-3 제방 뒷사면 피복공의 유실 (一川目 지구 해안)



그림 2-4 파도시의 붕괴 (下甫嶺 해안)

- 미야기현의 石巻평야 이남에서는 제방의 파손과 파괴가 곳곳에서 발생하였으며, 야마모토 해안 제방은 파괴된 뒤에 해안선이 후퇴되었다. 치아가 빠진 것과 같은 제방 파손이 발생하였고 파도시에 흐름 집중되어 큰 세굴 흔적을 남겼다.
- 제방의 사면선단에서는 파도에 의한 흐름이 집중되어 큰 세굴 흔적을 보였다 (그림 2-5).



지진해일(쓰나미) 이전 (나토리 해안)



그림 2.5 지진해일(쓰나미) 이후 (나토리 해안)

- 평야 제방 피해의 특징은 제방 뒤에 큰 세굴 흠이 발생하고 뒷 사면 피복공과 마루부 보호공이 세굴 흠 뒤로 흘러들어 사면 피복공이 면도칼 모양으로 파괴되었다. 이 잔존하는 사면 피복공은 전면의 모래 유실을 방지하고, 백사장은 쓰나미 후의 파랑에 의해 이가 빠진 부분의 파손 부분으로 변형 또는 이동하여 폐색되었다. (그림 2-6).
- 仙台(센다이)평야에서는 월류 수심이 2 ~ 6m 정도로 추정된다.



지진해일(쓰나미) 직후 (요시다 해안)



그림 2.6 제방 뒤 사면 피복공 피해 (요시다 해안)

(2) 지진에 의한 피해

- ▶ 블록쌓기식의 직립 호안 등은 지진에 의해 한 곳이 손상되어 그 결과 전체가 크게 붕괴에 이르는 경우가 있다.
- ▶ 말뚝식기초로 된 흙벽은 활동이나 전도는 발생하지 않지만 침하로 인한 피해가 발생할 수 있다.

○ 지진동에 의한 제방의 피해 상황

- 방조제 함몰과 깊은 균열의 발달 등 비교적 규모가 큰 피해의 주요인은 "액상화"이다
- 액상화에 의한 제방 피해 형태의 사례
 - 제방 상단부 함몰 형 (그림 2.7)
 - 사면 바닥부 측방 유동 형 (그림 2.8), (그림 2.9)
 - 함몰과 측방 유동 혼합 형 (그림 2.10)
 - 원호 활동 형(그림 2.11)
- 측방 유동 형식의 재해 사례
 - "포화 영역"의 액상화

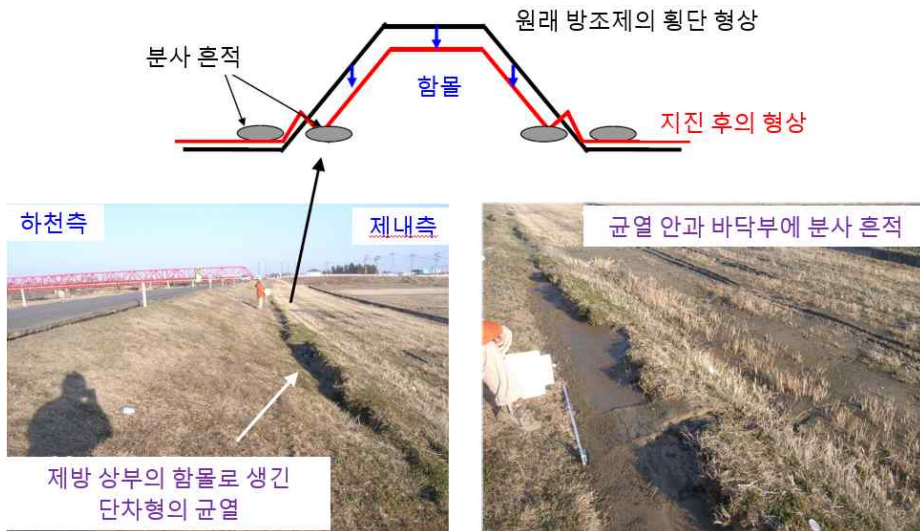


그림 2.7 제방 상단부 함몰 형



그림 2.8 사면 바닥부 축방 유동 형



그림 2.9 사면 바닥부 축방 유동 형



그림 2.10 함몰과 측방 유동 혼합 형



그림 2.11 원호 활동 형

3.1 방조제의 관리

- 지진과 지진해일(쓰나미) 등 재해에 대비하고 대응하기 위하여 관리통제소를 설치하여 조위 및 기상변화를 기록 유지하고 수시 점검을 실시하여 기능에 이상이 없도록 조치하는 등 적절한 대책을 강구한다.
- 방조제의 관리통제소는 가급적 배수문에 인접하여 설치하며 방조제의 제원 설계조위 등을 기록 유지하고 기상변화 예상 및 안전에 위험을 초래할 수 있다고 판단될 경우 출입통제 등 적절한 조치를 취해야 한다.
- 방조제의 안전관리를 위하여 방조제 내에는 관리상 필요한 시설 이외에는 원칙적으로 일절의 추가 시설을 해서는 안된다.
- 또한 유지관리상 필요하다고 인정되는 해측의 공유수면과 최소안전 활동권 반경내의 형질변경, 양식장 등을 허가해서는 안된다.
- 조작 및 관리시설은 방조제와 그 부속시설을 조작 관리하기 위하여 필요한 부대시설로서 배수문, 어도, 제염설비 등의 가동을 위한 조작실과 시설물 관리사무실, 시설물 경비를 위한 청원경찰 초소 및 숙소, 관리인숙소 및 이들 시설의 부속설비인 창고, 우물 기타 편의시설들을 위치 규모, 현지여건 장래의 변화 등 제반조건을 고려하여 배치 운영한다.
- 방조제는 조위변화 및 파도에 직접 영향을 받으므로 축조형태의 취약점 및 설계 제원을 숙지하고 수시 관찰 및 점검을 실시하여 점검 내용을 기록 비치해야 한다.
- 지진 및 지진해일(쓰나미) 등의 발생으로 이상이 있을 때는 긴급조치를 실시한 후 즉시 전문가로 하여금 진단을 실시토록 하여 항구적인 대책을 수립한다.
- 방조제의 점검 세목은 별도의 점검 항목을 작성하여 수시 및 정기 점검을 실시해야 한다. 일반적인 점검 기준은 표 3.1과 같다.

표 3.1 방조제의 일반적인 점검 기준

구분	점검 사항	점검 시기	비고
조위	조위변화 측정	일상	조위 측정기기 사용
내수위	내수위 측정	일상	수위 측정기기 사용
방조제 제정 및 도로	균열 여부 점검	수시 및 정기 정밀점검	
	세굴, 침하 및 변형여부		
	배수처리의 적정 유무		
해측 사면	침식 축조재료 이탈 유무	"	
	파이핑 작용 발생 유무	"	
	침하, 용기로 인한 활동 유무	"	
해측 지반	용기의 유무	"	
	압사석의 유실유무	"	
내측사면	누수, 파이핑 발생 유무	"	
	균열, 용기 및 활동 유무	"	
	침식, 보호공의 이탈, 식생상태	"	
내측 지반	누수, 파이핑 발생 유무	"	
기타	방조제 및 인근 주변의 무단 점유 유무	일상	

3.2 배수(갑문)의 관리

- 배수(갑)문은 항시 조작이 가능할 수 있도록 관리하여야 하며, 방조제와 그 부대 시설물의 기능유지 및 방조제의 안전을 위하여 필요한 경우 적절한 개폐를 행해야 한다.
- 배수갑문 시설의 지속적인 기능 유지를 위하여 관리책임자를 지정하여야 한다. 또한 관리시설의 규모 및 중요성, 재해의 위험정도, 주요 안전관리 대책 시설 및 시설물의 특성 등을 고려하여 적절한 관리를 할 수 있도록 관리자는 관리요령을 숙지하여야 하며, 수시 점검 및 정기 점검을 실시하고 그 기록을 유지 보존해야 한다.
- 또한 지진 및 지진해일(쓰나미) 등 비상시의 대책 등을 강구하여 시설물의 기능이 항시 유지될 수 있도록 조치해야 한다.

○ 배수(갑)문의 조작 시기

- 배수문은 방조제의 안전 및 수위, 수질의 적절한 관리를 위하여 다음 경우에 조작해야 한다.
 - ① 담수호의 수위관리
 - ② 담수호의 수질관리상 필요한 경우
 - ③ 방조제 배수문의 기능에 문제가 발생하여 보수가 필요한 경우
 - ④ 배수문의 부속시설로 설치된 통선문, 어도 등 기타 특수한 경우의 일부 개폐
 - ⑤ 기타 필요하다고 인정될 경우

○ 배수(갑)문의 조작

- 필요시 배수문 및 그 부대시설의 조작을 할 때는 조작요령에서 정해진 순서에 따라 조작하고 가동시간, 배제량, 기타 필요한 사항을 기록 유지해야 한다.
- 이때에 해측의 각종 어업권 및 시설물 등에 피해가 발생되지 않도록 유의하여야 하며 불가피하다고 판단될 때에는 사전 조치를 강구해야 한다.
- 특히 제염을 위한 부대시설의 조작에는 해측 오염으로 인한 피해 가능성 여부 등 세밀한 검토를 한 후 조작해야 한다.
- 어도나 통선문이 설치된 경우는 별도의 체크리스트를 작성하여 배수문에 준하여 시행하고 각 지구별 여건을 고려 운용해야 한다.

표 3.2 배수문의 일반적 점검 기준

구 분	점 검 사 항	점검 기간
수전설비	변압기, 연단기(連斷器), 수전기	작동전 및 주간
조작설비	조작반, 원격제어반, 개폐지시계	
비상전원	비상 발전기	
수문설비	권양기, 게이트, 와이야 상태	
부대설비	조명설비, TV 카메라, 기타구조물	

4.1 점검 종류 및 목적

- 점검은 현재의 각 위치에서 변형의 유무와 정도를 파악하기 위해 실시하고 최초 점검, 세부 점검, 사후 점검, 정기 점검으로 분류된다.
- 최초 점검
 - 최초 점검은 사전 상태 파악을 위한 조사 (소정의 보호 기능의 확인, 설계 도서 및 수리 등의 이력, 피해 내역에 관한 조사 및 변형이 일어나기 쉬운 부분의 추출 등)로서 점검 실시 대상이 되는 기간과 일정 구간을 설정하고, 1차 점검에 준하는 점검, 필요에 따라 2차 점검에 준하는 점검을 실시한다.
 - 또한 구조 단면 등의 정보가 없는 시설 (건설 연도를 알 수 없는 시설, 단면도 등이 없는 시설 등)에 대해서는 최초 점검시에 가능한 한 자세한 정보를 수집한다.
 - 일상 관리는 조기에 시설의 이상을 발견하고 붕괴나 자연재해를 미연에 방지하기 위해 수행한다.
 - 불의의 사고를 방지하기 위해 반드시 2명 이상이 실시한다.
- 세부 점검
 - 세부 점검은 정기 점검 등에서 확인된 중점 점검 장소 (지형 등으로 변형이 일어나기 쉬운 장소, 실제로 변형이 확인된 부분 등)의 감시 및 시설의 보호 기능, 배후지 및 이용자의 안전에 영향을 미치는 새로운 변형 부분 등을 발견하는 것을 목적으로 실시한다.
- 사후 점검
 - 사후 점검은 지진, 해일, 고조 등의 발생 후, 시설의 보호 기능에 영향을 주는 변형의 발생 유무를 파악하기 위해 실시한다.

표 4.1 점검 등의 개요

	사전 상태 파악을 위한 조사		세부 점검	1차 점검	2차 점검
	열화, 피해를 받기 쉬운 위치 추출	시공 · 점검 관련 기록 조사			
목적	시설 전체의 변형이 일어나기 쉬운 부분 추출 효율적이고 효과적인 점검 실시	시설 전체 변형 진전 파악 장기 수명화 계획의 수립·변경	보호 기능과 배후지 이용자의 안전에 영향을 미치는 큰 변형의 발견 효율적이고 효과적인 점검 실시	시설의 보호 기능에 영향을 미치는 변형 파악 (제방 상부 침하 등) 시설 전체 변형의 유무 파악 2차 점검·응급 조치 등의 실시 필요성 판단 장기 수명화 계획의 수립·변경	시설 건전도 파악, 장기 수명화 계획의 수립·변경 대책의 검토
내용	설치 정보의 파악 (평면도, 항공사진, 위성사진 등) 피해 내용 파악	이력 조사 (소정의 보호 기능의 확인·시공·보수·점검 등의 이력)	육상에서 육안으로 근접 육안 정기 점검 등의 후에 변상의 진전을 모니터링 하고 새로운 변형 발견을 위해 중점적이고 개괄적으로 실시	콘크리트 부재의 큰 변형이나 제방 상부 등 확인 육상에서 육안 점검 등	근접 육안 간이 측정 필요에 따라 추가 조사
간격	-	-	수 회 / 1년	1회 정도 / 5년 (일반적 순찰 등으로 이상이 발견 된 경우에는 그 때마다)	1회 정도 / 5년 (일반적 순찰 등으로 이상이 발견 된 경우에는 그 때마다)
실시 시기	수선 등의 시공 시 또는 최초 점검시 큰 지형적인 변화가 생긴 경우	수선 등의 시공 시 또는 최초 점검시 큰 지형적인 변화가 생긴 경우	해안의 이용이 예상되는 연휴 전이나 지역 특성을 고려하여 설정	지역 특성을 고려하여 설정 (동계 파랑 후 태풍기 전후 등)	1차 점검 결과에 따라 필요하다고 판단된 경우
실시 범위	대상 시설의 전체 연장	대상 시설의 전체 연장	정기 점검 등에서 확인된 중점 점검 지정 (지형 등으로 변형이 일어나기 쉬운 장소 실제로 변형이 확인된 부분 등) 등의 감시 그 이외 시설의 전체 개관	대상 시설의 전체 연장을 대상으로 하지만, 대체로 5년에 일순하도록 순차적으로 실시. 또한 감사의 실시에 있어서 특히 중요한 부분은 매년 실시하는 것이 바람직.	1차 검사에서 필요하다고 판단된 부분. (대표 단면에 서의 실시도 가능)

○ 정기 점검

· - 1차 점검

1차 점검은 시설의 보호 기능에 영향을 주는 변형을 파악하기 위해서 제방 상부의 침하 등을 확인하고, 시설 전체의 변형 유무를 파악하며, 응급조치 등의 필요성 판단 및 2차 점검을 실시해야 하는 장소를 선별 할 목적으로 실시한다.

· - 2차 점검

2차 점검은 구조물의 부위 및 부재마다의 변형 상황을 파악하고 건전도 평가와 필요한 대책을 검토하기 위해 실시한다.

4.2 방조제

■ 방조제의 점검을 정기적으로 실시하고 해측 및 내측 사면의 함몰, 균열, 배부름, 사석의 이탈 등의 상태 변화 및 누수 여부 등을 점검한다.

○ 방조제의 붕괴는 상태 변화의 진행이나 누수량이 증가하는 상태는 파랑 또는 지진 및 지진해일(쓰나미) 등으로 일어나는 것이 일반적이다. 방조제 사면의 형상 변화나 누수를 간과하지 않는 것이 중요하다.

○ 따라서 방조제의 점검은 간조기에 적어도 매년 1회는 실시한다.

○ 만일 상태 변화를 확인한 경우에는 즉시 지자체 등 유관기관에 상담하여 필요한 대책을 강구한다.

○ 또한 형상 변화는 매번 검사시 형상 변화 부분을 스케치하거나 사진을 촬영하여 방조제 평면도에 기록해 두면 그 형상의 변형이 진행성인지 판단하는 데 도움이 된다.

○ 특히 지진 등으로 인한 누수는 방조제 붕괴로 이어질 우려가 있으므로 다음과 같은 상황에 유의하는 것이 중요하다.

- 흙이 섞인 탁한 물이 새고 있다 (특히 위험한 경우가 많다.).

- 누수 양이 증가하거나 누수 개소가 방조제 사면 높은 위치로 변화하고 있다.

- 방조제 내측에 액상화 현상이 발생하고 있다.
- 방조제의 사석 변형이 진행되고 이탈과 위치의 이동이 진행되고 있다.
- 방조제에서 물의 흐름과 같은 현상이 발생하고 있다.

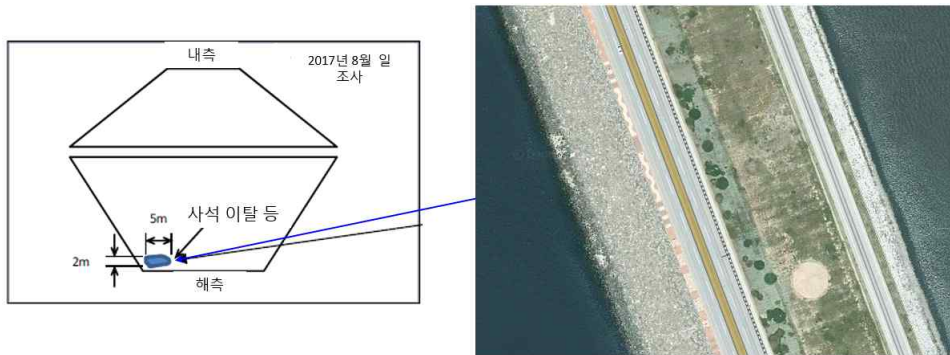


그림 4.1 사석 이탈 등 변형 지점의 조사 스케치 및 사진 촬영

- 방조제 사면의 쓰레기는 정리하고 풀베기를 정기적으로 실시한다.
- 방조제 사면의 쓰레기는 정리하고 다른 구조물과의 경계는 사석 변형의 원인이 되는 경우가 있기 때문에 주의하여 관찰한다.
- 방조제 내측의 풀베기는 방조제 변형이나 누수 등의 방조제의 형상 변화를 쉽게 찾을 수 있는 것과 연결된다. 따라서 1년에 한 번 이상은 풀베기를 하고 신속하게 방조제의 상태 변화를 확인한다.
- 짙은 풀이 방조제를 덮은 상태라면 방조제 표면의 모습을 잘 볼 수 없기 때문에 짙은 풀은 제거하고 풀베기 후는 사면을 잘 다져준다.
- 방조제의 내측에 설치되어 있는 도로 및 배수로는 청소를 정기적으로 실시한다.
- 방조제를 구성하는 흙과 흙 사이에 미세한 간극이 있다. 이 미세한 틈새에 물이 침입하여 다져지지 않은 곳 등의 약한 부분에 물이 고이기 쉽다. 따라서 작은 토립자가 조금씩 흐르면서 연속적으로 큰 틈(물길)이 생기게 된다.

○ 방조제 내측에 배수로가 설치되어 있는 방조제에서는 정기적으로 수로를 청소하고 토사가 뿜어 나오고 있지 않은지 확인하는 것이 중요하다. 배수로에 흘러나온 토사의 색깔이 주위 흙의 색과 다르거나, 쌓이는 토사량이 갑자기 증가하거나 한 경우에는 즉시 유관기관에 상담한다.

■ 방조제의 최악 부분이 될 수 있는 근고공 부분을 파악하고, 특히 주의해 검사한다.

○ 파도의 영향이 많은 방조제 지점은 방조제 근고공과 피복 사석의 접합부가 약한 부분으로 지진이나 지진해일(쓰나미)의 영향에 주의한다.

○ 또한 방조제의 개보수 이력이 있는 방조제는 신규 방조제의 보수 정도 및 사력 재료의 차이에 따라 그 경계 부분이 약한 부분이 될 가능성이 높다. 따라서 방조제 검사에서는 이러한 부분의 점검을 철저히 하는 것이 중요하다.

○ 또한 과거의 개수 공사에 관한 자료 (방조제, 배수갑문의 개수 이력)를 확인하는 것이 필요하다.

■ 흙탕물 및 지반 사면에서 물이 제체를 침식하고 있는지를 확인한다.

■ 하중 블록, 사석 블록 등의 변형이나 누수 여부를 확인한다.

○ 방조제 내측 도로나 배수로에서 나오는 누수에 토사가 섞여 있거나 일부에서 다량의 누수가 나타나는 경우는 방조제에 이상이 생긴 것으로 생각되므로 즉시 유관기관 등에 상담한다.

4.3 배수갑문

■ 배수갑문에 장애물 (유목이나 토사 등)이 있으면 신속하게 청소한다.

○ 배수갑문은 조류 및 파랑으로부터 방조제를 지키기 위해 수량을 조절하는 곳이다. 따라서 흐름 단면 내에 장애물이 있으면 방조제 및 배수갑문 등 관련 시설 파손의 원인이 되므로 위험하다. 따라서 일상적

인 관리에서는 배수갑문 등의 장애물을 바로 제거하고, 배수갑문 유입부 부근이나 방조제 사면에 있는 유목, 나무 가지와 쓰레기 등은 제거해야 한다.

- 또한 배수갑문 등 수문이 FRP 등인 경우에는 유목 등에 의해 염해를 입을 수 있으므로 장애물은 즉시 철거해야 한다.

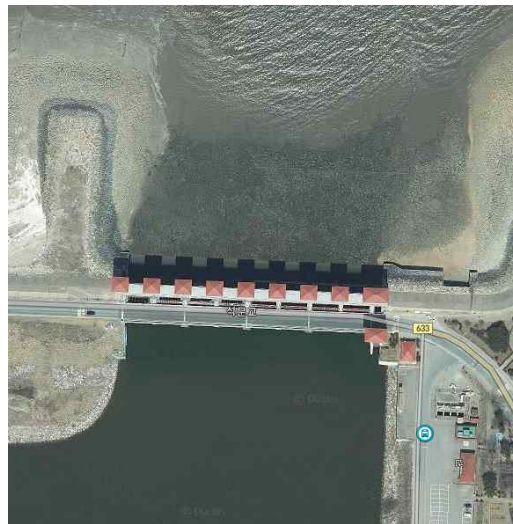


그림 4.2 배수갑문 등 수문 주변의 정비

5.1 지진의 피해 원인

- 직접 피해는 지진발생에 따른 제방파괴, 지반파괴, 방조제 구조물 파손 및 붕괴 등 1차 피해를 입은 경우를 말한다.
- 연계 피해는 직접 피해에 따른 교통 두절, 유해물질 유출, 방조제 주변 농경지 침수 및 시설물 파손 등 2차 피해를 말한다.
- 특히 방조제는 주로 간척지가 조성된 하류 하천에 위치하여 지진 발생 시 지진해일(쓰나미) 발생에 따른 위험에 노출되어 있다. 방조제의 배수문이 작동하지 않을 경우 방조제 안쪽의 농경지 및 시설물 피해가 크므로 주의가 필요하다.

구 분	직접피해	연계피해
방조제 파괴	방조제 균열/파괴	주변 하천, 가옥, 농경지 침수, 시설물 파손 및 도로 파손 등 2차 피해
	침수, 매몰	교통두절, 인명 및 재산 피해
지진해일 내습	지진해일 내습	인명피해, 시설물 붕괴, 선박피해
지반 파괴	지반변형/붕괴/액상화	방조제 주변 건물 등 시설물의 2차 붕괴
	도로, 제방 함몰 및 균열, 매몰	교통두절, 인명피해
구조물 붕괴	방조제 부속 구조물의 손실/반파/전파	인명피해, 이재민의 발생 주변지역 다중밀집시설 대형사고
	방조제 부속 구조물의 붕괴	주변 농경지 침수 등
	방조제 주변 배수문 등 파괴	제방 범람, 세굴, 저지대 침수 등
	배수문 미작동	방조제 범람, 농경지 침수 등

5.2 지진 피해 양상

- 지각에서 장시간 쌓인 에너지가 순간적으로 방출되면서 지진 발생



- 지반 및 방조제의 흔들림으로 인명 및 재산상 피해 발생
- 지진으로 인해 방조제 구조물 붕괴로 다량의 누수 및 유출로 인한 침수, 세굴, 파손으로 인한 2차 피해 발생



- 다수의 인명 및 재산 피해로 사회적·경제적으로 광범위한 영향 초래
- 지진으로 인한 1차 피해뿐만 아니라 2차적 원인으로 인한 피해 발생
- 민가 및 농경지, 연안 시설 등의 침수로 하수처리 곤란 등에 따른 전염병 발생 가능성 증대

- 수심이 깊은 바다에서 규모 7.0 이상의 지진 발생으로 지진해일(쓰나미) 생성



- 해안가 주변 및 연안 방조제 주변 주민 및 시설물 피해가 예상
- 신속한 지진해일(쓰나미) 발생사실 전파로 피해 최소화에 주력



- 다수의 인명피해로 사회적·경제적으로 광범위한 영향을 초래
- 지진해일로 인한 1차 피해뿐만 아니라 2차적 원인으로 인한 피해 발생(저지대에 위치한 농업 시설물 피해 등)
- 저지대 농경지, 시설물 침수 등으로 하수처리 및 배수 곤란으로 전염병 발생 가능성 증대

5.3 지진 규모별 상황 관리

5.3.1 비상대책본부 구성 기준

- 국내에서 발생한 지진 규모 4.0~4.9(해역 4.5 ~ 5.4)에서는 비상대책 본부를 1단계로 운영하고, 규모 5.0이상(해역 5.5이상)에서는 비상대책 본부를 2단계로 운영한다.
- 비상대책본부는 상황에 따라 농림축산식품부, 한국농어촌공사, 각 지자체별로 구성하여 운영한다.

구 분	구 성 기 준	
자체대응	지진	◦ 규모 3.5 ~ 3.9(해역 4.0~4.4)
1단계	지진	◦ 규모 4.0 ~ 4.9(해역 4.5~5.4)
	지진해일	◦ 해저지진(규모 7.0 이상)이 발생하여 예상 파고가 0.5m ~ 1.0m 미만 발생시
2단계	지진	◦ 규모 5.0 이상(해역 5.5 이상)
	지진해일	◦ 해저지진(규모 7.0 이상)이 발생하여 예상 파고가 1.0m 이상 발생시

5.3.2 지진 규모 확인

- 1시간 이내

5.3.3 지진 규모별 상황관리 기준

구 분	1단계	2단계
규모	◦ 규모 4.0 ~ 4.9(해역 4.5~5.4)	◦ 규모 5.0 이상(해역 5.5 이상)
비상대책 본부장	◦ 한국농어촌공사 유지관리 이사	◦ CEO
대응조직	◦ 비상대책본부(비상대책반)	◦ 비상대책본부(비상대책반)
근무범위	◦ 진앙지로부터 반경 100km 이내	◦ 전국

- 자체 대응 규모의 지진 발생 시에는 본사 통합지진감시시스템을 통해 SMS 상황 전파 및 모니터링을 실시한다.
- 1단계 운영 중 재난 발생 및 중앙사고수습본부(농림축산식품부) 설치 시에는 한국농어촌공사의 비상대책본부장을 CEO로 격상한다.
- 1단계 대응 규모의 지진 발생시 진앙지로부터 반경 100km이내에 일부 시설(예, 관로 등)만 포함되는 경우에도 한국농어촌공사 해당 본부와 지사는 위기대응을 실시한다.
- 한국농어촌공사의 위기종료 상황이라도 농림축산식품부 비상근무시에 비상대책본부 지속 운영(단, 근무형태는 탄력적 운영)한다.

5.3.4 방조제의 외관 점검 [1차 점검]

- 3시간 이내

5.3.5 상세한 외관 점검과 계측에 의한 점검 [2차 점검]

- 24시간 이내에 점검하여 그 결과를 보고한다.

5.4 지진 규모 확인 포인트

5.4.1 Step 1 : 지진 규모의 확인

- 지진이 발생하면 지진계측기의 지진동 기록에서 먼저 지진의 크기를 확인한다. 지진계측기가 없는 방조제는 기상청 지진정보를 활용한다. 지진 규모 3.5 ~ 3.9(해역 4.0~4.4)는 자체 대응을 실시하며, 규모 4.0 ~ 4.9(해역 4.5~5.4)는 비상대책본부를 1단계로 운영한다. 최근의 기록 상황을 보면 방조제에서 150gal 이상을 기록한 지진의 경우는 방조제 이외의 지역에서 상당한 피해를 주고 있다. 이러한 점에서 100gal ~ 150gal 이상의 값을 방조제의 지진계가 기록한 경우는 매우 강한 지진동을 받았다고 생각하는 편이 좋다. 따라서 방조제도 어떤 변위 또는 이상 발생 가능성이 있다.
- 또한 지진 기록에서 주의해서 볼 점은 방조제 정상부의 가속도는 증폭

되어 방조제 기초 보다 큰 값을 나타낸다. 방조제 기초는 거의 흔들리지 않는데 방조제 정상부가 크게 흔들리는 경우 예를 들어, 방조제 기초의 기록이 25gal 정도에서도 방조제 정상부의 기록은 300gal을 초과하는 경우가 있다. 이러한 경우는 방조제 기초의 기록이 작다고 해서 안심해서는 안 되며 방조제 주변에 대해서는 액상화 현상 등에 대해 특히 꼼꼼한 점검이 필요하다.

5.4.2 Step 2 : 방조제의 외관 점검 (1차 점검)의 포인트

- 지진 기록을 확인하면, 우선, 외관 검사에 의한 1차 점검을 실시한다. 이 검사는 우선 육안 점검이 중심이다. 지진시 방조제의 변화는 상당히 심각한 상태의 손상이 아니라면 방조제 제체의 외형은 인식 할 수 없는 경우가 많다. 이 때 지진 발생에 따른 피복 사석의 변위 및 이동에 주의하여 관찰한다.
- 과거 지진으로 확인할 수 있었던 형상 변화는 다음과 같은 곳에서 발생하기 쉬우니 점검이 필요하다.
 - 방조제 표면. 특히 연결부의 단차 및 지진에 의한 지각 변동에 따른 단차
 - 방조제 정상부 포장의 균열과 교량부의 주변 지역과의 접합부 단차
 - 방조제 정상부 및 접합부 균열이나 단차 또는 보수재 및 코킹 재료의 박리
 - 수문, 배수갑문 및 방조제 축 방향 변형
 - 수문의 변형. 특히 각주부 문의 변형
 - 방조제 해측 및 내측 사면 부분의 사석 재료의 박리.
 - 방조제 정상부의 균열. 방조제 축 방향 균열
 - 방조제 정상부의 침하 및 내외측 사면에서 슬라이딩(활동)
 - 방조제 내측 도로 및 배수로 부분에서의 액상화 현상
 - 이외에도 방조제 주요 관심 지점에 대해 주의 깊게 관찰한다.
- ※ 작은 변형이라도 놓치지 않도록 주요 관심 지점을 꼭 확인한다.

5.4.3 Step 3 : 상세한 외관 점검 및 측정에 의한 점검 (2차 점검) 포인트

- 2차 검사에서는 상세한 외관 검사 및 측정에 의한 검사가 있다.
 - 자세한 외관 검사에 대한 포인트는 앞에서 설명한 것과 같다.
 - 2차 검사에서 중요해지는 것은 측정 데이터에 의한 점검이다.

■ (1) 누수량

- 누수량은 지금까지의 경험으로 지진 후에는 일시적으로 상승하는 것으로 알려져 있다. 일반적으로 방조제의 누수량은 조석 간만의 차 및 파랑과 밀접한 관계가 있다. 평상시는 침투 경로가 다양한 퇴적물에 의해 차단되어 누수량은 적다. 그러나 지진이 발생하면 방조제가 진동하여 막혔던 퇴적물이 빠지거나 새로운 침투 경로가 형성되어 누수량은 증가한다. 지진 후 누수 양이 조금 늘었다고 해서 즉시 방조제가 위험한 상태가 되는 것은 아니다. 따라서 그 변화 상황을 냉정하게 판단하는 것이 중요하다.
- 따라서 보통시 누수량에 비해 지진 발생 후 누수되는 양이 증가하고 있다면 주의가 필요하다, 또한 지진 후 시간이 지나면서 누수 양이 점점 증가해가는 경향이라면 위험하다. 이러한 판단을 하기 위해서는 평소의 누수 양을 파악하고 있어야 한다. 누수량은 방조제의 수압에 영향을 받으므로 저수 정도와 명백한 상관관계가 있다. 따라서 정상상태의 상관도를 정리해 두는 것이 중요하다.
- 또한 누수량은 내측 도로 및 배수로에서 직접 육안검사 하도록 한다. 이 때 육안으로 물의 탁도에 대해서도 확인해야 한다. 누수량이 증가할 때 물이 탁해지는 경우가 많다. 탁도를 확인하고, 안개가 매우 심한 경우는 주의를 요한다. 이상이 감지되면 즉시 상부 기관에 보고하고 긴급 수위 변화 등의 영향에 따른 안전 여부를 전문가와 상담한다.
- 한편, 다소 누수량 또는 유량변화가 있지만 과거의 누수량 기록 (수위 정도와 상관관계를 취한 기록)과 비교해서 그 이하의 수준인 경우

즉시 문제가 되는 누수가 아닐 수 있으므로 주의를 요한다. 그러나 이상 기록이 발생했을 경우에는 지속적으로 변화를 주시하도록 하고 전문가와 상의하여 후속조치를 결정하도록 한다.

■ (2) 변형

- 변형은 특히 방조제 해측 사석의 경우 크게 변화하는 경우가 있다. 기준 측량을 지진 후에 실시하여 방조제 침하, 내외측의 단차 등 그 변화를 확인한다.
- 지진이 없는 상태에서도 방조제에서는 이러한 변화가 천천히 일어난다. 지진의 흔들림에 의한 침하·변형에 대한 형상 변화를 숙지하고 주의 깊게 관찰한다. 침하·변형량이 기존 관측 자료와 비교하여 문제가 없는 수준이면 즉시 문제가 되는 수준은 아니라고 생각해도 좋다. 그러나 방조제의 정상부 가장자리 및 내측 도로에 큰 균열이 생겨 함께 침하가 발생하고 있거나, 방조제 내외측 사면에서 활동 파괴를 보인다거나 변형 현상이 발생하고 있는 경우는 매우 문제이다. 이러한 경우는 적절한 보고와 더불어 전문가에게 상담하고 필요한 경우에는 긴급 조치를 하도록 한다.

5.4.4. 일상 점검시 지진에 대한 마음가짐

- 지진시 확인 사항은 항상 평상시에 비해 변화했는지 여부를 확인하는 것이다. 즉, 항상 평상시의 상태를 알고 있지 않으면 그 변화를 알 수 없기 때문에 현재의 상황을 알 수 있도록 관리자는 조사와 관측을 통해 현상을 파악하여야 한다.
- 지진 발생 후에는 현지에 가서 어떤 변화 및 변형이 있는지를 조사한다.
 - 예를 들어, 방조제의 높이 변화 및 변형, 피복석의 박리 및 위치 이동 등. 이러한 변화는 관리자에게 꼭 확인하여 변화를 파악한다.
 - 항상 현장 점검시 지진시에 변화 할 것 같은 곳에 대해서는 디지털 카메라 및 모바일 폰 등으로 사진을 찍어 기록을 남겨 둔다.
- 또한 방조제가 위치한 지점에서의 지진은 항상 지진해일(쓰나미)을 동

반하는 경우가 많다. 따라서 지진 및 지진해일(쓰나미)에 대한 이해와 대처방법 등을 숙지하여 피해를 최소화할 수 있도록 하여야 한다.

- 일반적으로 방조제 관리자는 지진에 대한 대응 경험이 거의 없고 부족하다. 따라서 이러한 관리 사항을 명확하게 숙지하여 점검할 수 있도록 할 필요가 있다.

VI

비상시 대응

6.1 긴급체제의 정비

- 지진 및 지진해일(쓰나미) 등에 의한 재해에 대비하여 정보 연락 체제를 정비한다.
- 현지에서 행동할 때는 안전을 위해 반드시 2명 이상 행동한다.
- 지진 및 지진해일(쓰나미) 등 재해의 가능성이 예상되는 경우는 방조제 방재 관점에서 감시 및 긴급 점검 등의 지원과 더불어 원활한 관계 기관과 연락할 수 있는 체제가 필요하다. 따라서 평소부터 비상인력과 필요한 자재를 확보하고 농림축산식품부와 시도 및 지자체와 협의하여 비상 연락처를 정리해 두는 등 체제를 정비 해둔다.
- 다음은 방재 체제와 지진시 행동 예이다.
 - 방재체제의 예

표 6.1 관계기관의 방재체제의 예

방조제 관리자 (한국농어촌공사)	지자체	농림축산식품부, 시도
본사, 유지관리 담당	담당과 담당자	담당과 담당자
일상 관리	상담, 진단	지도, 진단
비상시 관리	긴급체제	긴급체제
- 감시		
- 긴급 점검		

- 지진시 행동 흐름도

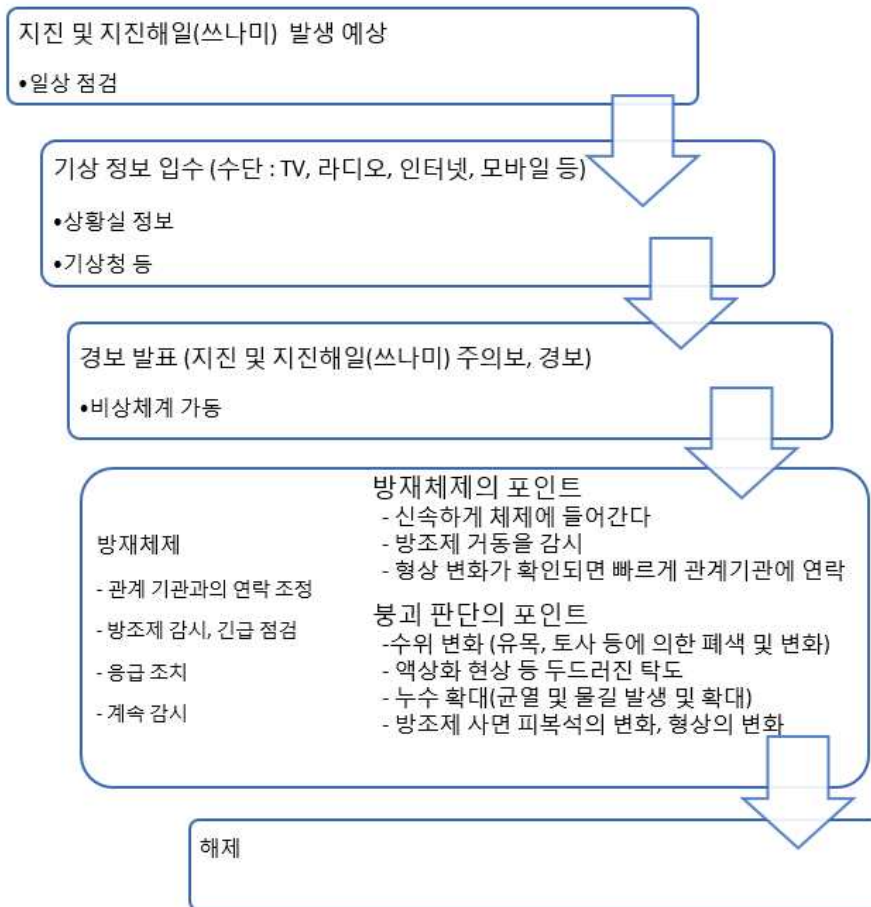


그림 6.1 지진시 행동 및 조치 사항

6.2 지진시 [지진 발생 후]

- 약진이 있었을 경우는 충분히 자신의 안전에 주의하면서 방조제의 점검을 실시, 점검 결과를 신속하게 유관 기관에 보고하고 관계 지자체에 연락한다.
- 방조제와 가까운 기상대에서 진도 IV이상의 지진 발생시는 방조제에 대해 신속하게 육안으로 외관을 점검하여 그 결과를 관계기관에 즉시 연락한다. 이상이 없는 경우에도 보고를 한다. 진도 V이상의 경우는 모든 방조제 등에 대해 같은 방법으로 대응한다.

① 긴급 점검 (24 시간 이내에 신속하게)

- 방조제 전체 확인 (균열, 붕괴, 사석이탈, 액상화, 단차 등)
- 방조제와 배수갑문 및 수문 등 확인 (누수, 균열, 붕괴, 단차 등)
- 방조제 및 배수갑문의 장애물
- 주변 지반, 도로 및 배수로의 단차 및 균열 확인
- 방조제 붕괴에 따른 해수유입 등

② 피해의 발견

- 방조제의 균열, 사석 이탈, 누수, 액상화 등의 피해가 발생했을 경우 신속하게 농림축산식품부, 지자체, 소방서 등에 보고하고, 필요할 경우 주변 위험지역에 해당하는 주민들에게 대피 준비를 시킨다.
- 또한 기상 정보와 해수 상황 등으로부터 위험수위 이상으로 해수가 유입될 우려가 있는 것으로 판단 된 경우, 유관기관에 그 상황을 전달하고 응급대응을 검토한다.

③ 계속 검사 (1주 기준)

- 비교적 강한 지진의 경우 발생 직후 피해가 인정되지 않더라도 일정 기간이 경과 한 후에 피해가 발생할 수 있다. 따라서 이 때문에 1주일 이내에 긴급 점검과 마찬가지로 육안 검사를 하고 이상이 있으면 농림축산식품부, 지자체 등 유관기관에 연락한다.

6.3 응급조치

■ 지진시의 감시 또는 긴급 점검을 실시하여 붕괴가 예상되는 경우 인근 지역의 안전 확보를 위하여 관리자 수준에서 가능한 응급조치를 실시.

- 지진시 방조제 모니터링 또는 긴급 점검으로 방조제의 현저한 변형 등에 의해 붕괴가 예상되는 경우에는 즉시 유관 기관 등에 연락을 실시하고, 또한 인근 지역의 안전을 확보하기 위하여 관리자는 가능한 응급조치를 취한다.

① 긴급 붕괴방지

- 방조제에 지진에 의한 활동, 균열, 누수, 액상화 등의 이상이 발생하면 관리자는 2차 재해를 방지하기 위해 긴급 해수 유입방지 대책을 실시한다. 이때 수위 급변에 따른 방조제 사면의 활동(슬라이딩)과 해수 유입 우려가 있으므로 유입량에 주의한다.
- 해수가 긴급 유입되는 경우 인근 주민 및 농림축산식품부, 지자체 등 관계 기관과 충분히 연락하여 긴밀하고 충분한 협의를 실시한다.

② 응급 대책

- 방조제 사면에 활동(슬라이딩), 침하, 균열, 함몰, 붕괴, 부풀음, 누수 등의 변형이 확인 된 경우, 농림축산식품부 및 지자체, 인근 마을이나 방재 기관에 신속하게 연락한다.
- 관리자는 지자체, 소방서 등과 연계하여 모래주머니, 줄, 말뚝 등 미리 준비한 방재 기구 및 응급 자재를 이용하여 방조제 현장에서 시트 등을 이용 흙쌓기 등 피해 확대를 방지하기 위한 응급대책을 실시한다.

7.1 방조제 검사 체크 일반 사항

- 일상 점검 작업으로 확인하는 구체적인 포인트를 정리
- 점검 전에 기본 정보의 정리, 보수 이력 등을 확인
 - 이 체크 시트는 방조제의 일상 점검 작업에서 확인 할 때의 구체적인 포인트를 정리한 것이다.
 - 또한 이 체크 시트는 지진이 발생했을 때 긴급 점검 시트로 사용할 수 있다.
 - 검사 전에 방조제의 기본 정보를 정리하고 특히 과거에 실시한 보수 자료를 조사하고 방조제 및 배수갑문 등 수문의 보수 내역을 확인한다.
 - 보수한 위치는 변형 (열화)에 대한 약점 부분이 될 가능성이 있으므로 보수 부분이 있으면 점검시에 보수 부위에 변형이 없는지 주의 깊게 점검한다.
 - 검사는 육안 검사를 기본으로 한다. 수중에 있는 근고공이나 피복사 석이나 수문 등 육안 확인이 어려운 구조물의 경우는 가능한 범위에서 대응한다. 해당 항목의 변형이 새로 확인된 경우에는 지자체 등 관련 기관에 상담한다.
 - 또한 이 체크 시트에 없는 사항도 안전 문제로 의심되는 현상을 보인 경우 농림축산식품부 및 지자체에 문의한다.
- 또한 변형이 확인 된 곳은 변형 부분의 크기 측정과 사진 촬영을 하는 등 기록으로 남긴다. 이후에도 계속해서 점검을 하여 시간에 따른 변화와 유량의 변동 상태를 확인한다.
- 액상화 현상이 확인 된 곳은 액상화 지점의 크기 측정과 사진 촬영을 하는 등 기록으로 남긴다. 이후에도 계속해서 점검을 하여 시간에 따른 크기 변화와 상태의 변동 상태를 확인한다.

7.2 방조제의 기본 정보

방조제 기본 정보 시트

작성 연월일: 2017년 8월 일

방조제 명칭							
방조제 관리자명							
방조제 소재지							
목적 (해당 기호에 ○)		A: 관개, D:방재, F:치수, W:상수도, I: 공업용수, P: 발전, S: 소방, R:레크리에이션, O:기타					
시설 제원	방조제	방조제 높이 (m)		해측 사면 경사		평균해수면 높이(m)	
		방조제 정상부 폭 (m)		내측 사면 경사			
		방조제 길이 (m)		집수면적 (km ²)		유역면적 (ha)	
	배수 문	구조 형식		배수 시설	구조 형식		
		통수 유량 (m ³ /s)			설계 배수 량 (m ³ / s)		
점검 상황	검사 상황 (해당 사항에 ○ 표시)						
	1. 관리자 상주 (관리동) / 2. 정기적으로 순회 (빈도:) / 3. 비정기적으로 순회 (1 년에 회 정도) / 4. 기타						
방조제 및 부대 시설의 보수이력	방조제 및 부대시설의 보수 이력						
	보수·완료 연도	보수 위치 및 수량					

7.3 각 시설의 체크 포인트

7.3.1 방조제

<점검 위치도>

방조제의 체크 포인트



야기항 주변 지역의 유실 지점 및 호안 블록과 소파공 피해 구간

No

방조제 및 소파공 유실

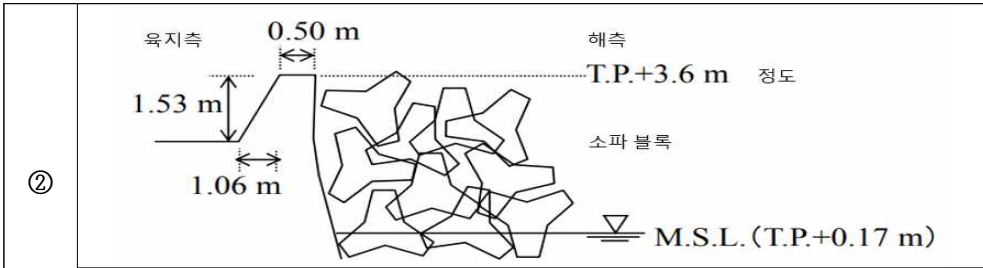
①



호안 블록

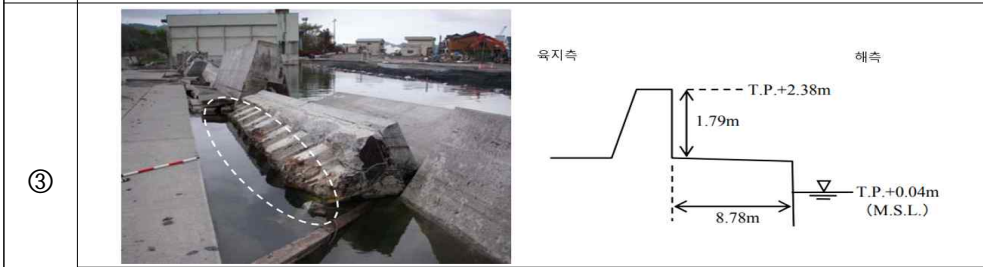
방조제 보호 소파공의 유실 부분이 있다.

체크 란 :



해측 소파블록의 유실 부분이 있다.

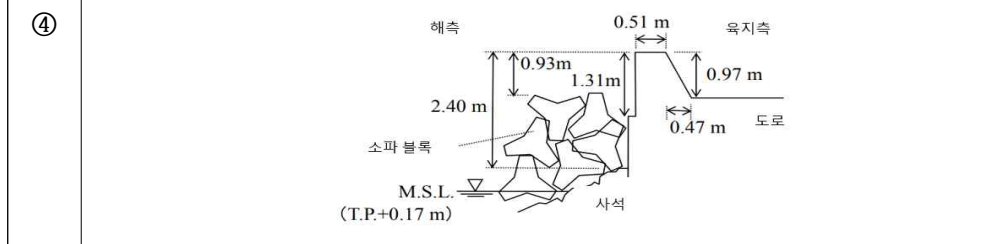
체크 란 :



방조제 파손 부분이 있다.

체크 란 :

No. 방조제 상부 손상 및 붕괴



방조제 상부의 손상 및 붕괴 부분이 있다.

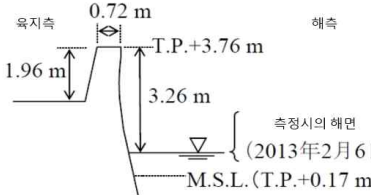

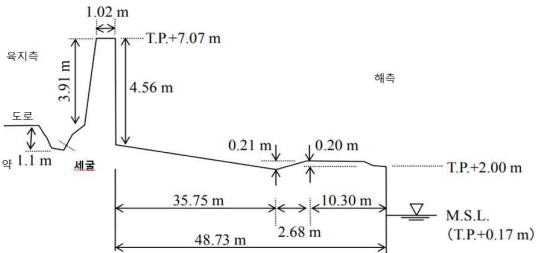


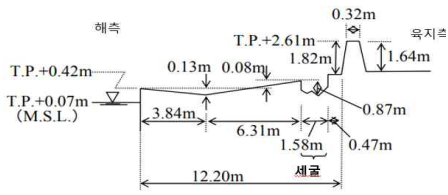
체크 란 :


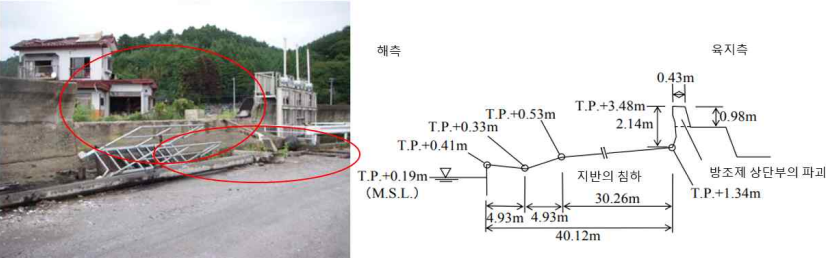

⑤


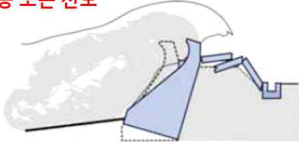

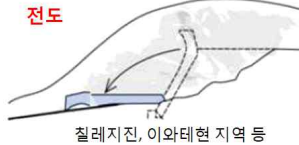




방조제 상부 손상과 육지부 지반의 세굴이 보인다.

체크 란 :

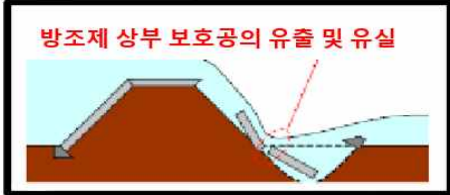
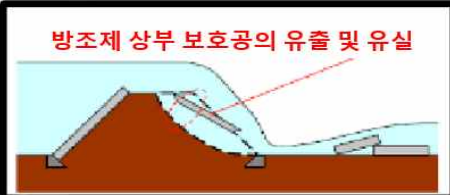

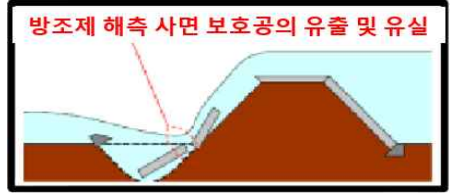

No.	호안의 균열과 파손
⑥	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 1;">  </div> </div> <p>지진해일(쓰나미)에 의한 호안의 파손 및 균열</p> <p style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">체크 란 :</p>
No.	육지부 지반의 세굴
①	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 1;">  </div> </div> <p>육지측 흉벽 뒷면(도로와 방조제 사이)에 세굴 부분이 있다.</p> <p style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">체크 란 :</p>
②	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 1;">  </div> </div> <p>육지측 방조제 뒷면(도로와 방조제 사이)에 세굴 부분이 있다.</p> <p style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">체크 란 :</p>

No.	바다측 바닥보호공의 침하
①	 <p>The photograph shows a concrete structure at the sea side with some debris. The cross-section diagram shows a structure with a top width of 0.54m and a total length of approximately 30m. The sea level (해측) is at T.P.+0.03m (M.S.L.). The structure's top is at T.P.+2.95m, and the ground level at the land side (육지측) is at T.P.+1.48m. The structure height is 2.02m.</p>
	<p>바다측 바닥보호공의 침하가 보인다.</p> <p>체크 란 : <input type="text"/></p>
②	 <p>The photograph shows a structure with a collapsed top section circled in red. The cross-section diagram shows a structure with a top width of 0.43m and a total length of 40.12m. The sea level (해측) is at T.P.+0.19m (M.S.L.). The structure's top is at T.P.+0.41m, T.P.+0.33m, T.P.+0.53m, and T.P.+3.48m. The ground level at the land side (육지측) is at T.P.+1.34m. The structure height is 0.98m. The diagram also indicates '지반의 침하' (ground settlement) and '방조제 상단부의 파괴' (collapse of the top part of the structure).</p>
	<p>방조제 상단부의 파괴 및 바다측 바닥보호공의 침하가 보인다.</p> <p>수문과의 연결부분에서의 파괴가 보인다.</p> <p>체크 란 : <input type="text"/></p>
③	 <p>The photograph shows a structure with ground settlement on the sea side circled in red. The cross-section diagram shows a structure with a top width of 0.51m and a total length of 7.55m. The sea level (해측) is at T.P.+0.01m (M.S.L.). The structure's top is at T.P.+2.27m. The ground level at the land side (육지측) is at T.P.+0.86m. The structure height is 1.69m. The diagram also indicates '상부' (top) and '지반의 부등침하' (uneven settlement).</p>
	<p>바다 쪽 지반의 부등침하가 보인다.</p> <p>체크 란 : <input type="text"/></p>


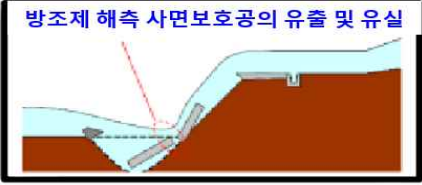

No.	지진해일(쓰나미)에 의한 방조제 피해 패턴
	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;"> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center; color: red;">방조제 상부의 파괴</p> <p style="text-align: center;">압파</p>  <p style="text-align: center; font-size: small;">북해도 남서지진, 북해도 해안 지역 등</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center; color: red;">활동 또는 전도</p>  <p style="text-align: center; font-size: small;">북해도 남서지진, 북해도 해안 지역 등</p> </div> </div> <div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center; color: red;">세굴</p>  <p style="text-align: center; font-size: small;">칠레지진, 이와테현 지역 등</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center; color: red;">전도</p>  <p style="text-align: center; font-size: small;">칠레지진, 이와테현 지역 등</p> </div> </div> <div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;">인파</p>  <p style="text-align: center; color: red; font-size: small;">방조제 상부의 파괴</p> <p style="text-align: center; font-size: x-small;">난카이지진,와카야마현 지역 등</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center; color: red;">세굴</p>  <p style="text-align: center; font-size: small;">칠레지진, 미야기현 지역 등</p> </div> </div>
①	<p>지진 및 지진해일(쓰나미)의 영향에 의한 붕괴는 다양하게 발생</p> <ul style="list-style-type: none"> - 다른 구조물과의 연결부 등 구조의 약점을 갖는 부분에서 피해가 발생한다. - 흙벽 등에서는 방조제가 전단 파괴되는 부분이 있다. - 수문(튼튼한 시설) 주변의 피해가 많다. - 육지부 수문과 배수갑문은 파도에 의한 피해가 많이 발생한다. - 지진해일(쓰나미)이 수렴되는 지점은 피해가 심각하다. - 유사한 지형에서도 방조제의 방향에 따라 피해 규모가 다르게 나타나는 등 재해 상황에 차이가 발생한다. - 같은 방조제 구역 내에서도 재해 형태가 장소에 다르게 나타나는 특징이 있다. <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px; width: fit-content;"> <p>체크 란 :</p> </div>

7.3.2 방조제 피해 패턴

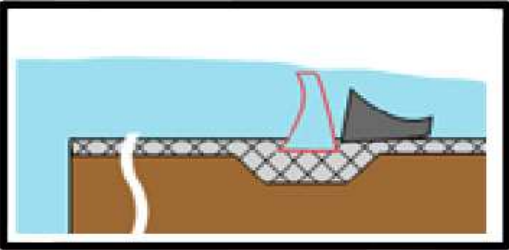
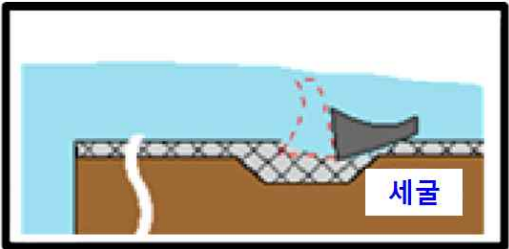
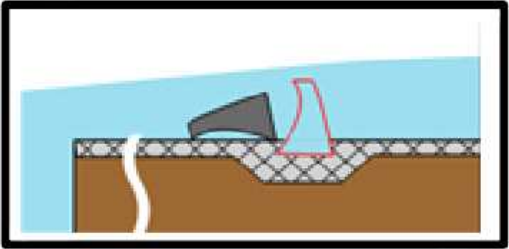
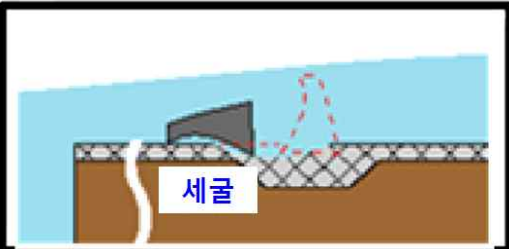
○ 지진해일(쓰나미)의 영향에 의한 방조제 피해 패턴

파의 형태	방조제 피해 패턴
압파	<p>- 압파에 의한 육지 쪽 사면의 세굴 피해</p>  <p>방조제 상부 보호공의 유출 및 유실</p>
	<p>- 압파에 의한 방조제 상부 및 사면 보호공의 피해</p>  <p>방조제 상부 보호공의 유출 및 유실</p>
	<p>- 압파에 의한 방조제 상부 보호공의 파괴</p>  <p>방조제 상부 보호공의 파괴</p>
인파	<p>- 인파에 의한 바다 쪽 사면의 세굴 파손 피해</p>  <p>방조제 해측 사면 보호공의 유출 및 유실</p>
	<p>- 인파에 의한 방조제 상부의 파괴</p>  <p>방조제 상부 보호공의 파괴</p>

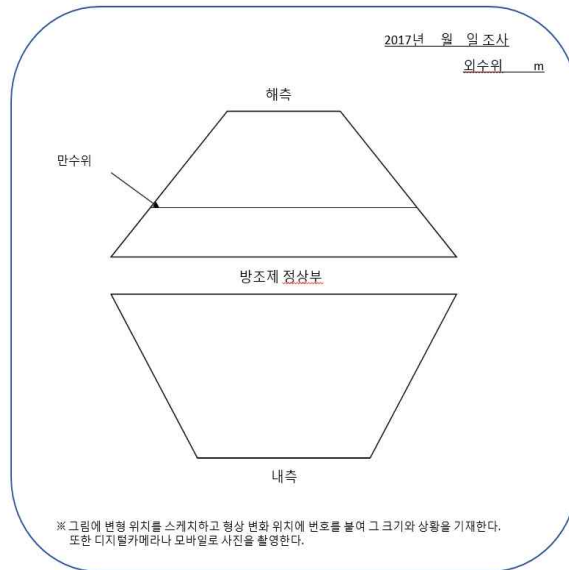
○ 지진해일(쓰나미)의 영향에 의한 호안의 피해 패턴

파의 형태	호안의 피해 패턴
<p>압파</p>	<p>- 압파에 의한 상부 보호공의 파괴</p> 
<p>인파</p>	<p>- 인파에 의한 바다 쪽 사면의 세굴 파손 피해</p>  <p>- 인파에 의한 방조제 상부의 파괴</p> 

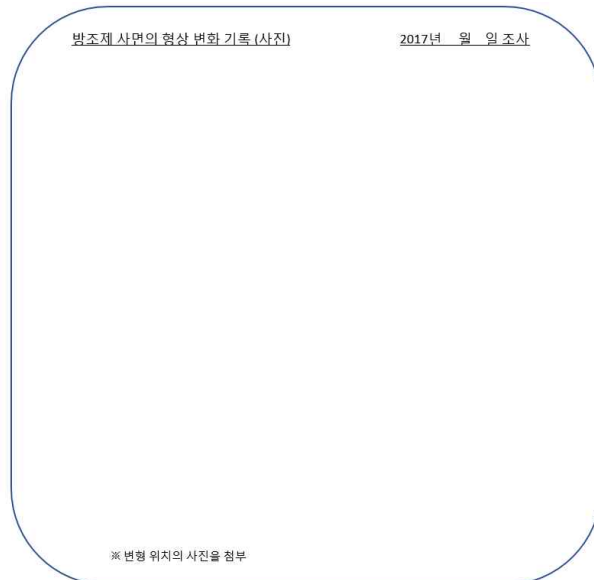
○ 지진해일(쓰나미)의 영향에 의한 흉벽의 피해 패턴

파의 형태	흉벽의 피해 패턴
압파	<p>- 압파에 의한 제체의 전도 또는 활동</p> 
	<p>- 압파에 의한 제체 배후의 세굴로 인한 피해</p> 
인파	<p>- 인파에 의한 제체의 전도 또는 활동</p> 
	<p>- 인파에 의한 제체 전면의 세굴로 인한 피해</p> 

○ 방조제 사면의 형상 변화 기록(스케치)



○ 방조제 사면의 형상 변화 기록(사진)



7.4 방조제 점검 기록 송신 양식

※이 페이지를 복사하여 이용해 주시기 바랍니다.

보낸 날짜 : 2017년 월 일

받는 사람		보낸 사람	
연락처	Tel: Fax.: e-mail:	연락처	Tel: Fax.: e-mail:

[용건] <방조제의 지진에 의한 피해에 관한 보고>

방조제에 대한 점검 결과 다음과 같은 피해를 확인 했으므로 보고합니다.

관측 날짜 : 년 월 일	날씨 :	기록자 이름 :
방조제 피해 길이 : m		

해당되는 곳에 ○ 표기

변형 부분과 내용		체크 란
방조제	① 방조제 사면에 「함몰」 이나 「균열」, 「부풀음」 이 발생하는 부분이 있다.	
	② 방조제 사면의 피복공, 블록 등에 손상과 침식 부분이 있다.	
	③ 방조제의 도로 또는 배수로에 흙탕물 또는 물이 뿜어 나오는 현상이 보인다.	
	④ 방조제와 도로의 경계부에서 용수가 보인다.	
	⑤ 방조제의 육지부 사면과 소단의 배수로 또는 유수지에서 물이 새거나 용수, 퇴사가 보인다.	
	⑥ 육지 연결 도로에서 제체의 침식이 보인다.	
	⑦ 바다 쪽 사면의 사석의 이탈이나 변형이 보인다.	
	⑧ 바닥보호공 부분에서 세굴이 보인다.	
배수갑문,	⑨ 수로 콘크리트 표면의 균열에서 용수가 보인다. 또	

수문 등	한 철근이 노출된 부분이 있다.	
	⑩ 배수갑문 또는 수문 경계부분에서 튀어 나오거나 또는 굴곡이 보인다.	
	⑪ 배수갑문 또는 수문 바닥과 측벽에 심한 세굴이 보이거나 손상이 보인다.	
	⑫ 배수갑문 또는 수문 주변 수로에 식물이 무성하게 보인다. ※	
	⑬ 콘크리트와 방조제의 경계에 틈 (간극)이 보인다.	
	⑭ 수문 주위에 누수가 생기거나 주변에 토사와 쓰레기가 쌓여 있다. ※	
관측시설	⑮ 비도 내리지 않는데 누수 양이 최근 들어 급증한다. / 누수에 탁수가 생겼다.	
	⑯ 방조제내 수위 측정 값이 지금까지의 경향과 다른 값을 보여 주었다.	
방조제 내, 제체 주변의 사면	⑰ 방조제에서 사면의 붕괴와 연속적인 균열·용수가 발생하는 부분이 있다.	
	⑱ 방조제 바닥 사면에서 연속적인 균열·용수가 발생하는 부분이 있다.	
기타 특이 사항		

주의 사항

위에서 「※」가 붙어있는 항목이 확인된 경우 즉시 유목이나 식물, 쓰레기 등을 제거한다.

7.5 점검 시트

○ 순찰용 점검 시트 1

순찰용 점검시트
순찰기록시트

【개요기입란】						
방조제이름			조사연월일:		기후:	
			지구방조제명		순찰자소속	
					순찰자이름	
【순찰결과기입란】						
각항목에대하여해당하는변형및형상변화유무를체크하십시오.(예: ■또는○)						
중점점검장소	점검위치	유	무	변형및형상변화	비고	
중점점검위치	중점점검지점 ①	방파공 (홍벽은제제공)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	부재 뒷면까지 도달시킬 수있는 균열이나 금이 발생하였는가 (폭 5mm 정도 이상).	
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	제체의큰이동이나결손이있고,이음매의틈이나차이가크다.	
		제정피복공 (쇄파공포함)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	부재뒷면까지도달시킬수있는균열이나금이발생하였는가(폭5mm정도이상).	
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	물이고일정도의침하나함몰이있는가?	
		사면피복공	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	부재뒷면까지도달시킬수있는균열이나금이발생하였는가(폭5mm정도이상).	
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	물이고일정도의침하나함몰이있는가?		
	안쪽사면피복공	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	부재뒷면까지도달시킬수있는균열이나금이발생하였는가(폭5mm정도이상).		
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	물이고일정도의침하나함몰이있는가?		
	사빈	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	광범위한백사장에절벽과같은단을형성하고있는가.		
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	두드러진해안선의후퇴나해안선후퇴에따른제체기초부노출이있다.		
~	~					
중점점검지점 ○	방파공 (홍벽은제제공)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	부재뒷면까지도달시킬수있는균열이나금이발생하였는가(폭5mm정도이상).		
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	제체의큰이동이나결손이있고,이음매의틈이나차이가크다.		
	제정피복공 (쇄파공포함)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	부재뒷면까지도달시킬수있는균열이나금이발생하였는가(폭5mm정도이상).		
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	물이고일정도의침하나함몰이있는가?		
사면피복공	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	부재뒷면까지도달시킬수있는균열이나금이발생하였는가(폭5mm정도이상).			

	안쪽사면피복공	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	물이고일정도의침하나함물이있는가?	
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	부재뒷면까지도달시킬수있는균열이나금이발생하였는가(폭5mm정도이상).	
	사빈	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	물이고일정도의침하나함물이있는가?	
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	광범위한백사장에절벽과같은단을형성하고있는가. 두드러진해안선의후퇴나해안선후퇴에따른제체기초부노출이있다.	
일전구간No.○ 에서가장형상 변형이진행되 고있는구간	방파공 (홍벽은제제공)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	부재뒷면까지도달시킬수있는균열이나금이발생하였는가(폭5mm정도이상).	
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	제체의큰이동이나결손이있고,이음매의틈이나차이가크다.	
	제정피복공 (쇄파공포함)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	부재뒷면까지도달시킬수있는균열이나금이발생하였는가(폭5mm정도이상).	
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	물이고일정도의침하나함물이있는가?	
	사면피복공	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	부재뒷면까지도달시킬수있는균열이나금이발생하였는가(폭5mm정도이상).	
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	물이고일정도의침하나함물이있는가?	
	안쪽사면피복공	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	부재뒷면까지도달시킬수있는균열이나금이발생하였는가(폭5mm정도이상).	
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	물이고일정도의침하나함물이있는가?	
사빈	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	광범위한백사장에절벽과같은단을형성하고있는가. 두드러진해안선의후퇴나해안선후퇴에따른제체기초부노출이있다.		
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
~			~		
기타 지점 (No.)	방파공 (홍벽은제제공)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	부재뒷면까지도달시킬수있는균열이나금이발생하였는가(폭5mm정도이상).	
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	제체의큰이동이나결손이있고,이음매의틈이나차이가크다.	
	제정피복공 (쇄파공포함)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	부재뒷면까지도달시킬수있는균열이나금이발생하였는가(폭5mm정도이상).	
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	물이고일정도의침하나함물이있는가?	
	사면피복공	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	부재뒷면까지도달시킬수있는균열이나금이발생하였는가(폭5mm정도이상).	
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	물이고일정도의침하나함물이있는가?	
	안쪽사면피복공	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	부재뒷면까지도달시킬수있는균열이나금이발생하였는가(폭5mm정도이상).	
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	물이고일정도의침하나함물이있는가?	
사빈	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	광범위한백사장에절벽과같은단을형성하고있는가. 두드러진해안선의후퇴나해안선후퇴에따른제체기초부노출이있다.		
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
~			~		

【다음정기점검예정기입란】

다음정기점검실시예정연월일: 년 월실시에정

○ 순찰용 점검 시트 2

순찰용시트(2)

(순찰에서 사진에 기록하는 형상변화 및 변위는 「형상변화순위가 a인 부재」를 기본으로 한다.)

조사지점		지구지점명		건설연도	
순찰자성명		순찰자소속		조사연월일	

	조사지점
전체 평면도	

해안지구 등의 해안지구 해안지구 등의 해안지구 해안지구 등의 해안지구 해안지구 등의 해안지구 해안지구 등의 해안지구 해안지구 등의 해안지구 해안지구 등의 해안지구 해안지구 등의 해안지구 해안지구 등의 해안지구 해안지구 등의 해안지구	해안지구 등의 해안지구 해안지구 등의 해안지구 해안지구 등의 해안지구 해안지구 등의 해안지구 해안지구 등의 해안지구	중점점검지점①	중점점검지점②	중점점검지점③	중점점검지점④	기타	
		공중					
		사진					
		형상변위 및 순위					
		건전도, 양호도	건전도평가 ○	건전도평가 ○	건전도평가 ○	건전도평가 ○	건전도평가 ○
		형상변형및변위지점개요	형상변형및변위지점개요	형상변형및변위지점개요	형상변형및변위지점개요	형상변형및변위지점개요	
해안지구 등의 해안지구 해안지구 등의 해안지구 해안지구 등의 해안지구 해안지구 등의 해안지구 해안지구 등의 해안지구 해안지구 등의 해안지구 해안지구 등의 해안지구 해안지구 등의 해안지구 해안지구 등의 해안지구 해안지구 등의 해안지구	해안지구 등의 해안지구 해안지구 등의 해안지구 해안지구 등의 해안지구 해안지구 등의 해안지구 해안지구 등의 해안지구 해안지구 등의 해안지구 해안지구 등의 해안지구 해안지구 등의 해안지구 해안지구 등의 해안지구 해안지구 등의 해안지구	일정구간 No.○	일정구간 No.○	일정구간 No.○	일정구간 No.○	일정구간 No.○	
		공중					
		사진					
		형상변위 및 순위					
		건전도, 양호도	건전도평가 ○	건전도평가 ○	건전도평가 ○	건전도평가 ○	건전도평가 ○
			형상변형및변위지점개요	형상변형및변위지점개요	형상변형및변위지점개요	형상변형및변위지점개요	형상변형및변위지점개요

○ 전체 그림 기입 시트

전체그림기입시트

지점명		지구제방명		일정구간		시설명		건설연도	-		
점검자이름		점검자소속				점검을실시한전체범위		No.		~	

	조사지점
일정구간	-
전체평면도	

단면도	계획제당고(여유고를포함한시공제당고):(DLorTP)=0.00m 기능상필요한제당고(여유고를포함하지않은제당고):(DLorTP)=0.00m

					지않은경우.		S=
	균열	부재뒷면까지 도달하는 균열이나금이 발생한 경우(폭5mm 정도이상).	여러방향으로폭수mm 정도의균열이있지만, 뒷면까지 도달하지 않는 경우.	한방향으로폭수mm 정도의균열이있지만, 뒷면까지 도달하지 않는 경우.	1mm 이하의 균열이 발생하거나 균열이 발생하지 않은 경우.		L=
	이음매, 연결부의 상황	이음매, 연결부의 변형(차이)가크고 재체토사의 유출이보인 경우.	이음매, 연결부에서 물의 침투가 있는 경우.	이음매, 연결부에서 변형은 있으나, 물의 침투가 없는 경우.	이음매, 연결부에서 약간의 변형, 단차, 간극을 보이거나, 단차, 각극이 없는 경우.		B=
	박리·손상	광범위하게 손상 또는 유출이 있는 경우.	표면뿐만 아니라 부재의 심부까지 박리 손상이 미치고 있는 경우.	넓은 범위에 걸쳐서 표면의 박리 손상이 발생한 경우.	극히 소규모의 박리·손상되어 있거나 박리 손상이 발생하지 않은 경우.		H=
							D=
							L=
							S=
사면피복공	침하·함몰	함몰이 있는 경우.	침하에 의한 뒤틀림이 두드러진 경우.	-	부분적인 침하가 보이거나, 침하가 나타나지 않은 경우.		L=
	균열	부재 뒷면까지 도달하는 균열이나금이 발생한 경우(폭5mm 정도 이상).	여러 방향으로 폭수mm 정도의 균열이 있지만, 뒷면까지 도달하지 않는 경우.	한 방향으로 폭수mm 정도의 균열이 있지만, 뒷면까지 도달하지 않는 경우.	1mm 이하의 균열이 발생하거나 균열이 발생하지 않은 경우.		S=
	이음매, 연결부의 상황	이음매, 연결부의 변형(차이)가 크고 재체토사의 유출이 보인 경우.	이음매, 연결부에서 물의 침투가 있는 경우.	이음매, 연결부에서 변형은 있으나, 물의 침투가 없는 경우.	이음매, 연결부에서 약간의 변형, 단차, 간극을 보이거나, 단차, 각극이 없는 경우.		L=
	박리·손상	광범위하게 손상 또는 유출이 있는 경우.	표면뿐만 아니라 부재의 심부까지 박리 손상이 미치고 있는 경우.	넓은 범위에 걸쳐서 표면의 박리 손상이 발생한 경우.	극히 소규모의 박리·손상되어 있거나 박리 손상이 발생하지 않은 경우.		B=
내측사면피복공	침하·함몰	함몰이 있는 경우.	침하에 의한 뒤틀림이 두드러진 경우.	-	부분적인 침하가 보이거나, 침하가 나타나지 않은 경우.		H=
	균열	부재 뒷면까지 도달하는 균열이나금이 발생한 경우(폭5mm 정도 이상).	여러 방향으로 폭수mm 정도의 균열이 있지만, 뒷면까지 도달하지 않는 경우.	한 방향으로 폭수mm 정도의 균열이 있지만, 뒷면까지 도달하지 않는 경우.	1mm 이하의 균열이 발생하거나 균열이 발생하지 않은 경우.		L=
	이음매, 연결부의 상황	이음매, 연결부의 변형(차이)가 크고 재체토사의 유출이 보인 경우.	이음매, 연결부에서 물의 침투가 있는 경우.	이음매, 연결부에서 변형은 있으나, 물의 침투가 없는 경우.	이음매, 연결부에서 약간의 변형, 단차, 간극을 보이거나, 단차, 각극이 없는 경우.		B=
							H=

	박리·손상	인경우. 광범위하게 손상 또는 유출이 있는 경우.	표면뿐만 아니라 부재의 심부까지 박리 손상이 미치고 있는 경우.	넓은 범위에 걸쳐서 표면의 박리 손상이 발생한 경우.	각극이 없는 경우. 극히 소규모의 박리·손상되어 있거나 박리 손상이 발생하지 않은 경우.	D= L= S=
소파공	이동·산란 및 침하	소파공 단면이 블록 1층분이 이상 감소한 경우.	소파공 단면이 감소한 경우(블록 1층미만).	소파블럭의 일부가 이동, 산란, 침하한 경우.	약간의 변위가 보이거나, 형상변화가 없는 경우.	L= S=
	블록의 손상	파손블록이 1/4 이상인 경우.	파손블록이 1/4 미만인 경우.	약간의 파손블록이 있는 경우.	약간의 균열이 있거나, 균열이 발생하지 않은 경우.	n=
사빈, 백사장	침식·퇴적	침식에 의해 기초공이 떠올라 제체 토가 이미 유출하고 있는 경우. 침식에 의해 전면의 백사장이 사라지고 기초공하단. 지수널말뚝이 노출한 경우. 예방·호안등의 보호기능이 손상될 정도로 예방·호안등 전면의 모래 침식이 진행되고 있다고 인정되는 경우.	예방·호안등의 보호기능이 앞으로 손상될 것으로 가정할 정도로 예방·호안등 전면의 모래 침식이 진행되고 있다고 인정되는 경우.	해안선의 후퇴 또는 연안 침식이 인정되는 경우.	약간의 형상변화가 있거나 형상변화가 없는 경우.	W= D.L.
배수공	연결부의 간격, 상대이동량	전도 또는 결손이 있는 경우.	이동에 따른 이음부의 각격이 크고, 정점이 이음부에서 물의 침투가 있는 경우.	이음부의 변형은 있으나, 물의 침투가 없는 경우.	이음부에서 약간의 변형, 단차, 틈이 보이거나, 단차, 간극이 보이지 않는 경우.	B= H= D=

※ 「필요에 따라 실시하는 항목」 및 기타 부재(근고공등)는 실제 점검 내용 에 따라 적절히 추가한다.

[범례]

형상변형현상	단위	계측표기(기호)
방호높이의부족	(m)	표고(D.L.)
균열	(m)	길이(L)
	(m)	최대균열폭(B)
박리, 손상	(m)	직경(L)
	(m)	단경(S)
철근의부식	(m)	길이(L)
이음매의간극, 상대이동량	(m)	변위(B)
	(m)	단차(H)
	(m)	간극(D)
침하, 함몰	(m)	직경(L)
	(m)	단경(S)
침식, 퇴적	(m)	폭(W)
	(m)	표고(D.L.)
이동, 산란및침하	(m)	직경(L)
	(m)	단경(S)
블록파손	(개)	개수(n)

■ 소파공




-

■ 사빈, 백사장

■ 배수공

○ 형상 변화 사진 시트

형상변화사진시트

방조제 명	지구방조제명	일정구간	시설명	점검자이름
점검자소속		점검을실시한전범위		No. ~ No. 구간No.
손상상황사진[검사위치에 체크한다.예 ■.형상변화,사진No.를()에기입한다]				
<input type="checkbox"/> 방조제 <input type="checkbox"/> 사면 피복공 <input type="checkbox"/> 소파공 <input type="checkbox"/> 배수공	<input type="checkbox"/> 제체 상부 피복공 <input type="checkbox"/> 내측사면 피복공 <input type="checkbox"/> 사빈, 백사장	<input type="checkbox"/> 방조제 <input type="checkbox"/> 사면 피복공 <input type="checkbox"/> 소파공 <input type="checkbox"/> 배수공	<input type="checkbox"/> 제체 상부 피복공 <input type="checkbox"/> 내측사면 피복공 <input type="checkbox"/> 사빈, 백사장	<input type="checkbox"/> 방조제 <input type="checkbox"/> 사면 피복공 <input type="checkbox"/> 소파공 <input type="checkbox"/> 배수공
형상변화 () 사진No. ()		형상변화 () 사진No. ()		형상변화 () 사진No. ()
				
<input type="checkbox"/> 방조제 <input type="checkbox"/> 사면 피복공 <input type="checkbox"/> 소파공 <input type="checkbox"/> 배수공	<input type="checkbox"/> 제체 상부 피복공 <input type="checkbox"/> 내측사면 피복공 <input type="checkbox"/> 사빈, 백사장	<input type="checkbox"/> 방조제 <input type="checkbox"/> 사면 피복공 <input type="checkbox"/> 소파공 <input type="checkbox"/> 배수공	<input type="checkbox"/> 제체 상부 피복공 <input type="checkbox"/> 내측사면 피복공 <input type="checkbox"/> 사빈, 백사장	<input type="checkbox"/> 방조제 <input type="checkbox"/> 사면 피복공 <input type="checkbox"/> 소파공 <input type="checkbox"/> 배수공
형상변화 ()		형상변화 ()		형상변화 ()

○ 중점 점검 지점 작성 시트

중점점검지점(작성예)

중점점검지점시트

방조제명	_	지구방조제명	_	건설연도	_
------	---	--------	---	------	---

중점 점검 지점	

중점 점검 지점	해안의지형과구조물의배치등에의해열화나재해가발생하기쉬운지점	<u>중점 점검 지점①</u>		<u>중점 점검 지점②</u>		<u>중점 점검 지점③</u>		<u>중점 점검 지점④</u>	
		사진, 도면 등		사진, 도면 등		사진, 도면 등		사진, 도면 등	
		건전도 평가		건전도 평가		건전도 평가		건전도 평가	
		형상변형 순위	공중	형상변형 순위	공중	형상변형 순위	공중	형상변형 순위	공중
		피해지점의 개요		피해지점의 개요		피해지점의 개요		피해지점의 개요	
	각일정구간에서 가장형상변화(피해)가진전되고있는곳(구간)	<u>일정 구간 No.○</u>		<u>일정 구간 No.○</u>		<u>일정 구간 No.○</u>		<u>일정 구간 No.○</u>	
		형상변형 순위		형상변형 순위		형상변형 순위		형상변형 순위	

「농업생산기반시설」 양배수장의 내진점검 매뉴얼

2017. 11



농림축산식품부
Ministry of Agriculture,
Food and Rural Affairs

농림축산식품부



한국농어촌공사

< 목 차 >

I . 매뉴얼의 목적	1
1.1 매뉴얼의 목적	1
1.2 양배수장 지진 안전대책의 필요성	1
1.3 매뉴얼 활용을 위한 양배수장 상태 점검	2
1.4 매뉴얼 활용 방법	3
II . 지진에 관련된 기본사항	4
2.1 지진 발생 현황	4
2.2 지진에 의한 양배수장의 붕괴 매커니즘	8
III 일상 점검	11
3.1 관리포인트	11
3.2 양배수장의 구성	12
3.3 펌프장	14
3.4 사전조사	16
3.5 현지답사	22
IV 지진 시에 양배수장 임시점검에서 점검할 사항	25
4.1 지진의 피해원인	25
4.2 지진의 피해 양상	26
4.3 지진 규모별 상황 관리	26
4.4 지진 규모 확인 포인트	28
V 비상시 대응	31

5.1 긴급체제의 정비	31
5.2 지진 시 [지진 발생 후]	32
5.3 응급조치	33
VI 점검 체크 시트	35
6.1 양배수장 검사 체크 일반 사항	35
6.2 양배수장의 기본 정보	35
6.3 양배수장의 주요 점검 항목	38
6.4 양배수장 시설에서 요구되는 기능	39
6.5 각 시설의 체크 포인트	41
6.6 양배수장 점검 기록 송신 양식	45
VII 양배수장의 지진 및 지진해일(쓰나미) 피해 사례 ·	48
7.1 양배수장 수문의 파손 및 유실	48
7.2 배수장 주변 수문의 손상 및 붕괴	50
7.3 배수장의 파손과 붕괴	51
7.4 배수장의 펌프시설 손상 및 파손	53
7.5 배수장 주변의 침하, 액상화 및 균열	55
7.6 배수장 주변 관수로의 누수 및 도로의 파손	56
7.7 지진해일(쓰나미)에 의한 배수장 주변 시설의 파괴 ·	57
7.8 배수장 주변 시설의 파손 및 붕괴	58

1.1 양배수장 점검 매뉴얼의 목적

- 본 매뉴얼은 지진재난과 관련하여 양배수장의 각종 재해 예방 및 피해 확인을 위한 점검 및 참고 자료로 활용함으로써 신속, 정확, 안전한 농업생산기반시설 정책 방향이 제시되어 효과적인 지진재해 대책이 실행되도록 하기 위하여 작성되었다.
- 또한 본 매뉴얼은 양배수장 설비의 점검 · 정비 · 갱신 등의 유지 관리의 실시 방침을 제시하여 설비의 신뢰성을 확보하면서 효율적인 양배수장 유지 관리를 실현하는 것을 목적으로 한다.

1.2 양배수장 지진 안전대책의 필요성

- 양배수장 주변에는 도시화의 진행과 하우스재배단지가 많아지면서 인명 및 재산 사고의 위험성이 증가하고 있다.
- 또한 양배수장은 지금까지 건설되어 온 시설이 많고 20년 이상 경과하고 향후 노후화에 대한 대응이 과제가 될 시설이 해마다 증가하여 유지 관리 비용도 증가하고 있다. 따라서 양배수장의 유지관리는 더욱 효율화를 요구하고 있으며, 양배수장 설비의 신뢰성을 확보하면서 효율적으로 점검 · 정비 · 갱신 등을 실시하는 유지관리의 실현이 급선무가 되고 있다.
- 한편 최근 들어 자주 발생되고 있는 지진에 대비하여 양배수장 시설 관리자의 안전 관리에 대한 의식을 높일 필요성과 지진과 지진해일(쓰나미)에 대한 이해와 관계기관 간의 연계 및 협조체계 등이 중요해지고 있다.

- 따라서 양배수장의 관리·소유자는 안전시설이 주변 농민의 이용 및 관리자의 시설 관리에 안전을 확보하고 생명을 지키는 데 매우 중요하다. 또한 주기적인 양배수장의 점검 및 정비 관리를 통해 재해를 미연에 예방하고 안전대책을 마련하고 대비하여 피해를 최소화할 필요성이 있다.

1.3 매뉴얼 활용을 위한 양배수장 상태 점검

- 관할 지역의 양배수장 특징을 파악하여 유사시에 지진 또는 지진해일 (쓰나미)이 발생하였을 경우 매뉴얼을 활용하여 최선의 상태를 유지한다.
- 먼저 우리가 관리하는 양배수장을 점검해 보자
 - ① 양배수장 취수구와 유입수로에 흙이 쌓여 있지는 않습니까?
 - ② 양배수장 유입수로에 잡초가 무성하거나 쓰레기가 쌓여 있지 않습니까?
 - ③ 양배수장 유입부 및 유출부 주변에 유목, 잡초, 비닐 등 쓰레기가 없습니까?
 - ④ 양배수장 및 관리용 도로가 보이지 않을 정도로 초목이나 잡초 등이 우거져 있지 않습니까?
 - ⑤ 양배수장 일부가 침하하거나 부등침하 현상이 발생하지 않았습니까?
 - ⑥ 양배수장 유입 및 유출 관로 주위에서 누수는 없습니까?
 - ⑦ 수문조작 핸들이나 센서는 제대로 작동하고 있습니까?
 - ⑧ 양배수장의 전기 및 통신 설비의 운용 방법은 알고 있습니까?
 - ⑨ 양배수장 주변 하천의 유량 변화 상태를 잘 파악하고 있습니까?
- ①과 ③은 재해와 연결될 가능성이 있으며, ④는 지진 발생 시 재난 대응에 지장을 줄 수 있다. ⑤부터 ⑦까지는 노후화의 신호이므로 재

해에 대비하여 주의할 필요가 있다. 여기서 ④의 조건까지 겹치게 되면 제체 상태를 파악할 수 없는 상태가 되어 매우 위험하다. ⑧은 재해 시 양배수장 운영 방법을 다양화하는 것을 알 수 있는 근거가 된다. ⑨는 지진해일(쓰나미) 발생 시 양배수장을 위험으로부터 보호할 수 있는 방법을 찾을 수 있는 자료가 된다.

- 본 매뉴얼에서는 이와 같은 양배수장 관리에 관한 포인트를 정리하였다.

1.4 매뉴얼 활용 방법

- 양배수장의 내진점검 매뉴얼은 양배수장 관리자가 시설의 노후화가 빠르게 진행되고 있는 양배수장에 대한 특징을 파악하고 주기적인 점검을 통해 지진으로 발생할 수 있는 재해의 영향을 최소화하는데 활용할 수 있도록 함을 원칙으로 한다.
- 특히 우리나라는 지진 발생 후 이어지는 지진해일(쓰나미)이 발생한 경우가 드물어 이에 대한 기본 지식을 숙지하여 유사시에 양배수장 관리에 유용하게 활용하고 피해를 최소화하는데 목적이 있다.
- 양배수장 내진 점검 매뉴얼은 지진 재해 대비 교육이나 홍보, 현장 점검 시, 본 매뉴얼에 게재된 내용이 전파되어 농업생산기반시설 및 인근 주민을 안전하게 지킬 수 있도록 함을 원칙으로 한다.

2.1 지진 발생 현황

- 최근 들어 지진은 경상북도 지방을 중심으로 중규모 지진이 다발하고 있기 때문에 이러한 재해 관련 대책을 마련하여 발생할 수 있는 지진 등에 대한 대비를 강화할 필요가 있다.
- 지진 발생에서 전파까지 관련된 용어를 정리하면 그림 2-1과 같다.

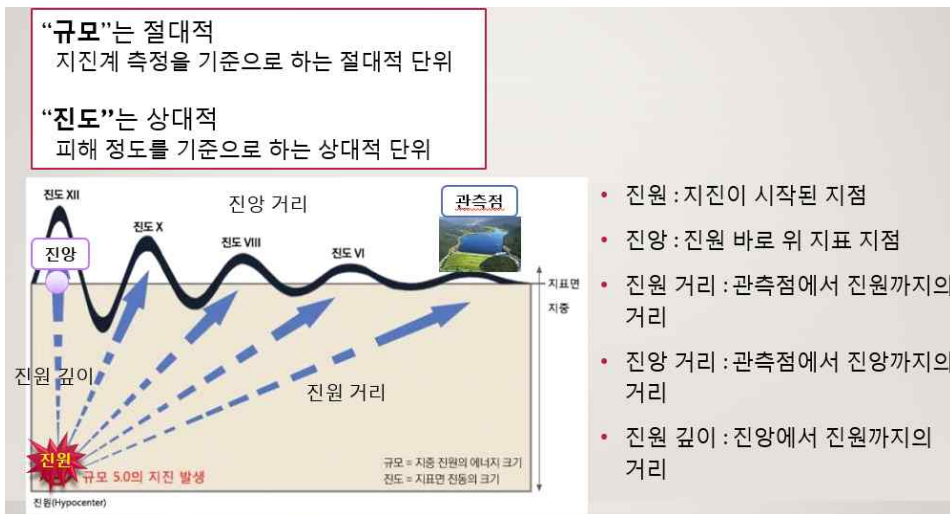


그림 2-1 지진 관련 용어 정리

- 1978년부터 2016년까지 우리나라 주변에서 발생한 지진을 정리하면 다음과 같은 특징을 보이고 있다.
 - 주로 바다와 인접한 지역에서 많이 발생
 - 전체적으로는 한국의 중심부에서 동쪽에서부터 서쪽까지 균일하게 분포함. 최근에는 동해 쪽에서 많이 발생 (표 2-1).
 - 그림 2-2와 같은 규모 5.0~6.0지점 (붉은 점)은 농업기반시설에 대한 지진대비 능력을 갖추어야 함.

- 9.12 경주에서와 같이 규모 5.0이상의 지진이 연속적으로 발생한 것은 이례적인 현상으로 한반도 대지진 발생 가능성이 커졌음.
- 지진이 육지뿐 아니라 동해, 남해, 서해 모든 지역의 해역에서 발생하는 경향을 보이고 있어 지진해일(쓰나미)에 대한 대책도 마련할 필요가 있음.

표 2-1 지진 규모별 발생 상황

No.	규모 (M)	발생 연월일	진원시	위도 (°N)	경도 (°E)	발생지역
1	5.8	2016. 9. 12.	20:32:54	35.77	129.18	경북 경주시 남남서쪽 8km 지역
2	5.3	1980. 1. 8.	08:44:13	40.2	125.0	평북 서부 의주-삭주-귀성 지역 (북한 평안북도 삭주 남남서쪽 20km 지역)
3	5.2	2004. 5. 29.	19:14:24	36.8	130.2	경북 울진군 동남동쪽 74km 해역
3	5.2	1978. 9. 16.	02:07:05	36.6	127.9	충북 속리산 부근지역 (경북 상주시 북서쪽 32km 지역)
5	5.1	2016. 9. 12.	19:44:32	35.76	129.19	경북 경주시 남남서쪽 9km 지역
5	5.1	2014. 4. 1.	04:48:35	36.95	124.50	충남 태안군 서격렬비도 서북서쪽 100km 해역
7	5.0	2016. 7. 5.	20:33:03	35.51	129.99	울산 동구 동쪽 52km 해역
7	5.0	2003. 3. 30.	20:10:52	37.8	123.7	인천 백령도 서남서쪽 88km 해역
7	5.0	1978. 10. 7.	18:19:52	36.6	126.7	충남 홍성군 동쪽 3km 지역
10	4.9	2013. 5. 18.	07:02:24	37.68	124.63	인천 백령도 남쪽 31km 해역
10	4.9	2013. 4. 21.	08:21:27	35.16	124.56	전남 신안군 흑산면 북서쪽 101km 해역
10	4.9	2003. 3. 23.	05:38:41	35.0	124.6	전남 신안군 흑산면 서북서쪽 88km 해역
10	4.9	1994. 7. 26.	02:41:46	34.9	124.1	전남 신안군 흑산면 서북서쪽 128km 해역

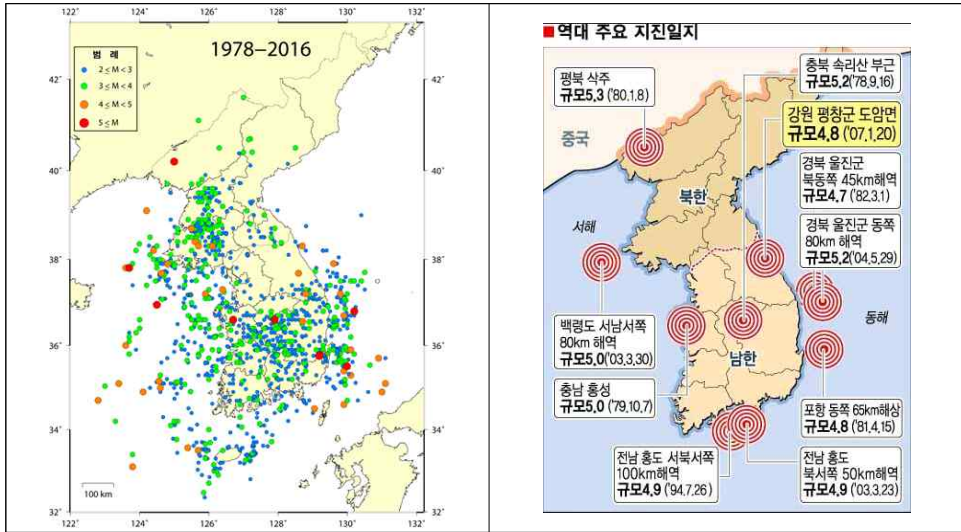


그림 2-2 1978년부터 2016년까지 발생한 지진 발생 분포도

- 우리는 지진·해일에 의한 피해가 상대적으로 적기 때문에 일본 사례를 보면 지진이 발생한 시기에 양배수장의 피해 규모는 매우 커지는 것을 알 수 있다. 따라서 지진 발생 후 계속되는 여진 및 지진해일(쓰나미)에 주의할 필요가 있다.
 - 특히 구조물의 피해에 영향을 주는 수준의 강진이 발생한 경우 해안 지역과 하천주변에 위치한 양배수장은 지진해일(쓰나미)에 의한 침수 피해에 주의하여 피해를 최소화 하여야 한다.
- 지진·해일에 의한 피해 상황을 보면 양배수장은 양배수장 주변의 지하 침하 및 함몰, 침수, 액상화에 의한 구조물 손상이 발생하고 있다.
- 일본 동북지역 2011년 지진에서 가마이시 앞바다에서는 지진해일(쓰나미) 제 1파가 최대 7파까지 현저한 해일로 관측되고 있다. 이 때 해일 높이가 15시 12분에 기록한 6.7m 최대를 기록하고 있으며 이 높이의 쓰나미가 해안(수심 15m)에서 13m 정도 증가하였다. (그림 2-3)
 - 해일 봉의 높이는 제 1파가 돌출하고 제 2-7파에서 점차 낮아졌다.
 - 제 4-7파는 제 1~3파와는 다른 형태로 50분 정도의 주기로 파도가 반복되면서 피해를 주었다.



그림 2-3 지진해일(쓰나미)에 의한 침수 피해 상황



그림 2-4 지진해일(쓰나미) 이전과 이후의 배수시설 전경 비교

2.2 지진에 의한 양배수장의 붕괴 메커니즘

- 양배수장은 대부분 하천과 연안 주변에 위치해 있다. 지진으로 인한 양배수장의 붕괴는 단층이 양배수장 주변에 위치해 있거나 주변 지역을 지나는 단층이 있어 간접적으로 지반침하와 균열이 발생하는 것이 일반적이다. 유입 도수로와 용수로 및 배수로의 붕괴는 양배수장의 기능을 상실하게 하는 원인이 되기도 한다.
- 또한 지진으로 양배수장이 주변이 침식되거나 붕괴되면 균열을 통해 물이 유입되거나 누수가 발생하며 침수가 발생하여 양배수장은 기능을 상실하게 된다. (그림 2.5)



그림 2.5 지진으로 인한 양배수장 주변의 재해 형태

- 지진이 발생하면 연안에 가까운 하천을 따라 지진해일(쓰나미)이 상류 방향으로 진행하면서 양배수장 침수 등 피해를 입힌다.
- 지진해일(쓰나미)은 농경지를 관통하는 하천을 따라 역류해 먼저 하천 제방에 피해를 준다. 제방 주변의 해일은 소상 상황에 따라 파제와

제방 사면 침식 등의 피해를 주며 강을 따라 다시 낮은 곳으로 물이 흘러 배수로를 따라 역류하게 된다. 이 때 대부분의 배수장은 침수된다. 이 때의 흐름은 “높은 유속과 단시간의 흐름 작용”으로 주변지역을 초토화 시키는 특징을 보인다.



그림 2.6 지진해일(쓰나미)로 인한 양배수장 주변의 재해 형태



그림 2.7 지진해일(쓰나미)로 인한 배수장의 붕괴 및 취락 배수시설의 파손

- 2100년 3월 11일에 발생한 동일본대지진 및 지진해일(쓰나미)에 의한 농업지역의 피해 상황을 정리하면 다음과 같은 특징을 보였다.

- 막대한 피해를 받은 센다이평야(仙台平野) 남부의 사례를 보면 직선으로 평탄한 지형이 지속되는 해안선에 홍수 시 대비하여 다수 배치된 배수장의 대부분이 파손되어 피해를 입었으며 담수 피해가 계속되었다.
- 지진해일(쓰나미)에 의한 침수 수심은 나토리시 해안에서 4~6m, 와타리 정 · 야마모토초 해안에서 6~12m에 달했다. 침수거리는 나토리시에서 5km, 야마모토초에서 4km까지 가옥 붕괴와 잔해, 자동차의 산란 및 인적 피해 등 막대한 피해를 입었다.
- 이 지역의 지진해일(쓰나미)에 의한 농지피해 면적은 총 5,147ha이며 재해 전 농지의 80%가 농지 피해를 입었다.
- 재해로부터 1년이 경과된 후의 농지복구 면적 비율은 38%이며, 배수 시설의 복구 지연에 따른 배수환경 미비로 인해 충분한 제염 효과를 얻을 수 없는 것으로 보고되었다.
- 또한 배수 유역 전역에서 평균 40cm 정도의 지반 침하가 발생한 것으로 나타났다. 그리고 지하수 환경의 유동 정체 현상에 의해 지하수의 염분농도가 지진 이후에 상승된 상태로 유지되고 있는 점, 해수 침투에 의해 배수로가 염수화 하는 경향도 보고되었다.



그림 2.8 지진해일(쓰나미)로 인한 배수장 및 주변 농경지의 침수

3.1 관리 포인트

- 일상 관리는 조기에 양배수장 시설의 이상을 발견하고 붕괴나 자연재해를 미연에 방지하기 위한 수단이다.
- 불의의 사고를 방지하기 위한 작업은 혼자하지 말고 반드시 2명 이상이 실시한다.

3.1.1 양배수장 주변 하천 및 농경지 상황

- 양배수장 상류의 산림이 벌채되고, 태풍에 의해 쓰러진 나무 등이 방치된 상태로 있는 경우는 하천으로 유입되어 양배수장의 취수구를 막는 장애물로 작용할 수 있다. 유입되는 유목이나 쓰레기의 증가는 양배수장에 위험을 초래할 수 있다.
- 양배수장에 유입되는 쓰레기는 하천 유량의 흐름을 방해하고 수로를 폐색하고, 양수기 및 터빈 파손의 요인이 될 수 있으므로 바로 제거한다.
- 따라서 1년에 1회 이상, 양배수장 상류의 산림 및 하천 상황을 관찰하여 염려되는 상황이 있으면 관계기관과 협의한다.

3.1.2 양배수장 주변의 풀베기와 검사

- 양배수장 주변의 풀베기를 실시하여 양배수장 유입 수로의 변화나 누수 등의 변화를 쉽게 찾을 수 있도록 한다.
- 양배수장 주변은 홍수기 이전에 풀베기를 하고 풀베기 후는 양배수장 주변의 점검을 실시한다.

3.1.3 침사지 및 유수지 청소

- 호우 시 양배수장 유입부에 토사 및 쓰레기가 쌓이면 물의 유입을 방해하여 양배수장 작동에 영향을 줄 수 있다. 양배수장 유입부 침사지 및 유수지의 토사와 유목, 비닐, 유입 쓰레기 등은 바로 제거한다.

3.1.4 양배수기 시설의 작동 점검

- 권양기, 게이트, 제진기 등은 정기적으로 윤활유 주유 및 청소 등을 실시하고, 시설 작동에 이상이 있으면 즉시 검사하고 수리한다.

3.2 양배수장의 구성

- 양배수장은 펌프 시설 등의 「시설 기계 설비」를 중심으로 「콘크리트 시설」과 「건물」 등 다른 기능을 가진 여러 시설·설비로 구성되어 있다. (그림 3.1)

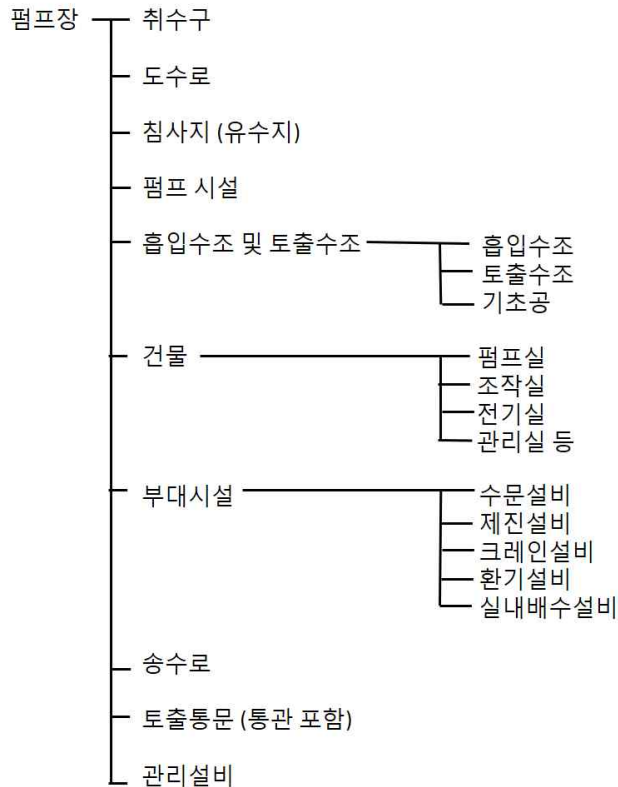


그림 3.1 양배수장의 구성

- 양배수장은 「유출입 설비」, 「시설 기계 설비」, 「콘크리트 시설」과 「건물」 등으로 구성되어 있어 각 시설과 설비에 대한 점검 항목은 표 3.1과 같은 내용에 대해 점검해야 한다.

표 3.1 양배수장의 각 시설 및 설비의 점검 항목

시설 · 설비명	점검 항목
도수로	<ul style="list-style-type: none"> ○ 퇴사 ○ 누수, 균열 ○ 부동 침하
흡입 수조 토출 수조	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지반 침하 ○ 퇴사 수위 ○ 누수, 균열
건물	<ul style="list-style-type: none"> ○ 바닥면의 침하, 경사 ○ 벽면의 균열 ○ 기둥, 보, 철근 교차지점의 균열, 변형, 손상, 부식 ○ 지붕의 균열, 변형
부대 시설 (밸브 설비, 제진설비)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 변형, 마모, 부식 ○ 진동, 소음 ○ 퇴사
취수구 침사지 토출통문	<ul style="list-style-type: none"> ○ 결손, 균열 ○ 퇴사
송수로	<ul style="list-style-type: none"> ○ 진동, 소음 ○ 균열, 파손 ○ 부동 침하
펌프 설비 중 감시 설비 및 전기 설비	<ul style="list-style-type: none"> ○ 계기 표시, 작동 상황 ○ 진동, 소음 ○ 절연 상태 ○ 예비품 보유 현황

3.3 펌프장

- 이 중 양·배수장의 펌프 설비는 주로 펌프 주로 원동기·동력 전달 장치·보조 기기 설비 등의 장치 및 이들을 구성하는 기기·부재, 부품의 집합체이며, 이들이 각각의 역할을 하여 시설 전체 기능을 발휘하고 있다. 따라서 계층적 시스템의 특징을 바탕으로 체계적으로 구성 요소를 정리해 두어야 한다.
- 양·배수장의 펌프 설비는 주로 펌프의 다른 동력을 공급하는 주 원동기·동력 전달 장치, 용·배수를 송수하는 관로·밸브류 및 운전에는 필요한 냉각수 등을 공급하는 보조 기기 설비로 구성되어 있다. 따라서 양·배수장별로 형식에 따라 구성 기기 및 부재가 다르므로 그 특징을 잘 파악해 두어야 한다.
- 펌프 설비를 구성하는 기기·부재 부품은 수질과 유하물 등의 주변 환경, 시설의 사용 상황 등에 따라 특징적인 저하를 나타내므로 이러한 특징을 이해하고, 설비의 구조상 중요한 부위에 주의하면서 합리적이고 적절한 기능이 보전될 수 있도록 검토 할 필요가 있다. 또한 펌프 시설에서 합리적인 기능 보전을 실시하는데 시설 설치자와 시설 관리자의 협력을 도모하는 것이 중요하다.
- 펌프 설비의 기능에는 용·배수 기능과 용·배수량 조절 기능이 있다. 이러한 기능을 충분히 발휘시키기 위해서는 펌프 설비를 구성하는 기기·부재, 부품의 변형, 손상, 마모 등에 대한 성능 관리를 하는 것이 중요하며, 정기적인 기능 진단을 할 필요가 있다.
- 펌프 설비의 기능 진단에 특히 유의해야 한다. 진단 항목은 베어링 (베어링) 부분이며, 비정상적인 진동, 온도 상승 등을 간과하면 베어링뿐만 아니라, 베어링 고장으로 임펠러의 회전 떨림의 원인 그것이 펌프 케이싱 등의 손상으로 이어진다. 케이스가 손상을 받으면 모든 설비를 교체해야한다. 이러한 문제가 발생하지 않도록 예방이 필요하다.
- 또한 베어링은 다른 부위의 손상 등의 원인이 있는 경우에도 그 결과가 베어링의 발열과 진동이 되어 나타나기 때문에 이상한 징후를 발견한 경우 빠른 대책이 필요하다.

- 축 부분에 세라믹 베어링을 사용하는 경우 (특히 횡축 펌프)는 사전에 문제의 징후를 발견하기 어렵기 때문에 정기적인 교환이 필요하다. 또한 교환하는 펌프 부품 제작에 오랜 기간이 소요되기 때문에 주의가 필요하다. 케이스는 기능에 지장을 주는 균열 등의 손상이 발생해도 잡을 수 없는데다 임펠러와 주축을 세트로 정밀 조정을 실시하기 때문에 케이스만 교체할 수 없으므로 주 펌프 전체를 업데이트 하는 등의 대책이 필요하다.
- 펌프 설비는 필요한 양을 필요한 양정까지 송수하는 기능을 발휘할 수 없게 되는 상황을 방지하기 위해 마감 운전을 통해 전 양정의 저하 상태를 확인하는 방법과 압력계 또는 진공계 (토출 압력 - 흡입 압력 = 전 양정) 및 유량계를 이용한 Q-H 곡선과 펌프 효율 등에 대해 설계 시와 비교하여 성능 저하 상황을 파악해 두어야 한다.
- 또한 일반 관리에서 전력량과 용·배수량에 두드러진 징후가 보일 때는 빠른 대책이 필요하다.
- 펌프설비 등의 시설 기계 설비는 토목 시설과 달리 다수의 기기·부재 등으로 구성된 집합체이기 때문에 시설의 기능 유지, 나아가서 설비의 수명 연장을 도모하기 위해서 일상 관리의 기기·부자재 등의 적절한 점검·정비가 필요하다.

3.4 사전조사

- 사전 조사에서는 시설의 상황과 문제점 등을 파악하기 위해 시설 관리자의 사전 기존 자료 수집 및 청취 조사 등을 실시한다.

표 3.2 양·배수장 각 시설 및 설비의 사전조사표

1. 지구 및 설비의 개요	
항 목	내 용
사업명	○○○○ 사업
지구명	○○ 지구
양·배수장명	○○ 배수장
설치 장소	○○ 도 ○○군 ○○면 ○○지구
관리자명	한국농어촌공사 ○○지사
시공사업자	
시공 비용	
설치 연월일	
설비 개요 (주요 기기 사양)	1. 주 펌프 2. 주 원동기 3. 동력 전달장치 4. 보조 설비 5. 수문 설비 6. 제진 설비 7. 건물
2. 점검 및 정비 실적	

실시 연월	번호	대상 기기	점검 정비 내용	실시자

3. 기기 및 부품 드의 정비 실적

실시 연월	번호	대상 기기	정비 내용	사유	수량

4. 고장 및 작동 불량 등의 기록

발생 연월일	고장 원인	수리 공기	고장 전의 증후	내용	교체 부품 내역

5. 사고 기록

발생 연월일	원인	내용	대응 조치

6. 관리 및 조작 체제



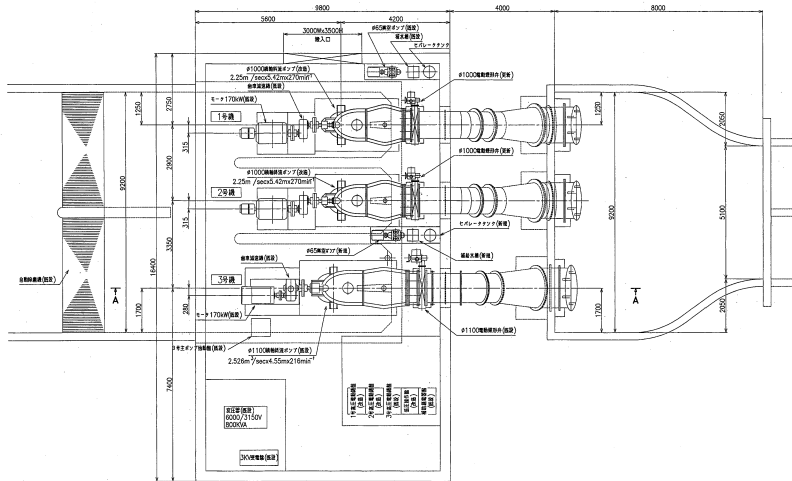
7. 기타 특기 사항



8. 전경 사진



펌프 설비 전체도
[평면도]



펌프 설비 전경 사진



그림 3.2 양배수장의 설비 전체도 및 설비 전경 사진

표 3.3 양·배수장 각 시설 및 설비의 이상 유무 사전조사표

정리 번호		조사 연월 일	○○○○년 ○○월 ○○일
지구명	○○ 지구	기입자	○○○
시설명	○○ 배수장	전회 점검 실시 연월일	
항목	이상 유무, 내용		이상 지점
구조상의 열화	주 펌프	1. 이상 있음 ① 외관에 이상이 나타나는 (녹, 균열, 볼트·너트의 풀림 등) ② 비정상적인 진동·소음이 발생하고 있다 ③ 베어링이 과열되고 있다 ④ 기름 및 그리스가 새고 있다 ⑤ 물이 새고 있다 ⑥ 기타 이상을 나타냄. () 2. 이상 없음 【특이 사항 기입】	
	전동기 (내연기관)	1. 이상 있음 ① 외관에 이상이 나타나는 (녹, 균열, 볼트·너트의 풀림 등) ② 비정상적인 진동·소음이 발생하고 있다 ③ 베어링이 과열되고 있다 ④ 기름 및 그리스가 새고 있다 ⑤ 약취가 난다 ⑥ 기타 이상을 나타냄. () 2. 이상 없음 【특이 사항 기입】	
	보조 기기류	1. 이상 있음 ① 외관에 이상이 나타나는 (녹, 균열, 볼트·너트의 풀림 등) ② 비정상적인 진동·소음이 발생하고 있다 ③ 베어링이 과열되고 있다	

		④ 기름 및 그리스가 새고 있다 ⑤ 약취가 난다 ⑥ 기타 이상을 나타냄. () 2. 이상 없음 【특이 사항 기입】	
	밸브류	1. 이상 있음 ① 제대로 작동하지 않음 (밸브가 완전히 닫히지 않는 등) ② 노후화가 현저함 (밸브 시트에서의 누수 등) ③ 조작성이 떨어지고 있다 (조작력이 비정상적으로 큼 등) ④ 기타 이상을 나타냄 () 2. 이상 없음 【특이 사항 기입】	
	전기 기기	1. 이상 있음 ① 외관에 이상이 나타남 (표면 및 기반내 기기 변색 등) ② 계기류가 정상적으로 작동하지 않음 ③ 비정상적인 진동·소음이 발생하고 있다 ④ 과열로 인한 이상이 나타남 (절연물 열화, 변형, 왜곡 등) ⑤ 약취가 난다 ⑥ 기타 이상을 나타냄 () 2. 이상 없음 【특이 사항 기입】	
	토출량, 양수량	1. 이상 있음 ① 소정의 토출량을 확보 할 수 없다 ② 토출량이 안정되지 않음 (관리가 어렵다) ③ 기타 이상을 나타냄 () 2. 이상 없음 【특이 사항 기입】	

정기 점검 실시 유무	1. 정기적으로 실시 (이전 실시 일 : 2017년 8월 30일) 점검·정비 기록의 유무 (주기 : ○○에 1 회)	
	2. 비정기적으로 실시 (이전 실시일 : 2016년 ○ 월 ○ 일) 3. 미실시 【특이 사항 기입】 매일 순회 (외관) 정기 점검 계획에 따라 실시하고 있음.	

3.5 현지답사

- 현지답사는 현지 조사의 실시 순서 등을 결정하기 위해 사전 조사에서 얻은 정보를 바탕으로 현장에서 현장 조건 등의 필요한 사항을 파악한다. 현지답사는 운전 중인 상황 확인이 매우 중요하기 때문에 조사의 실시시기는 시설 관리자와 충분한 조정이 필요하다.

3.5.1 답사 방법

- ① 육안으로 시설 전체를 관찰하고, 열화의 유무나 안전의 내용·정도를 개략적으로 파악한다.
- ② 기능 저하 요인 파악을 위한 수질, 잡목, 쓰레기 등 주변의 환경 조건 등을 조사한다.
- ③ 현지 조사에 앞서 보이지 않는 부분을 확인하고 가설의 필요성 유무, 작동 확인에 필요한 전원의 확보 여부, 진단 가능 시기, 압력계 등 계기류의 정확성 등을 파악한다.

3.5.2 현지 답사시 설문

- 현지답사 시 시설 관리자 및 작업자에 대해 실시하고자 하는 양배수장 설비의 설문 내용 (예) 은 표 3.4와 같다.
- 또한 현지답사에서는 정량 측정 등의 현지 조사가 가능한지 확인한다.
- 특히 펌프 케이싱 개방, 통수에 의한 운전 여부와 운전이 가능한 경우는 허용 시간을 확인하는 것도 중요하다.

표 3.4 양·배수장 각 시설 및 설비의 현지답사 표 예)

정리 번호		조사 연월 일	○○○○년 ○○월 ○ ○일
지구명	○○ 지구	기입자	○○○
시설명	○○ 배수장		
사진 정리 No.	No. ○-○ ~ ○-○		
이상 등 현지 확인	설비 명칭		
	이상 내용 (현지 확인)	이전 문진 조사 내용에 추가 등 없음	
	설비 명칭		
	이상 내용 (현지 확인)		
환경 조건	퇴사 상황	특히 문제 없음	
	수질 상황	배수로이기 때문에 물은 탁함	
	기타		
가설 의 필요 성	올림 설비	천장 주행 크레인이 설비되어 있으며, 특히 필요 없음.	
	발판		
	물 교환공		
	기타		

진단 시기	전 기 공 급 기간	연중 공급 가능
	통수 가부	연중 통수 가능
	진단 시기	비관개기인 10월~3월이면 진단 가능
현장 조건 의 제약 사항	동작 확인 가부	연중 전기 공급이 되기 때문에 비관개기에도 가능
	불 가시부	
	기타	
필요 한 안전 대책		
<p>【특이 사항 기입】</p>		

4.1 지진의 피해 원인

- 직접 피해는 지진발생에 따른 제방파괴, 지반파괴, 양·배수장 구조물 파손 및 붕괴 등 1차 피해를 입은 경우를 말한다.
- 연계 피해는 직접 피해에 따른 교통 두절, 유해물질 유출, 양·배수장 주변 농경지 침수 및 시설물 파손 등 2차 피해를 말한다.
- 특히 배수장은 주로 하류 하천에 위치하여 지진 발생시 지진해일(쓰나미) 발생에 따른 위험에 노출되어 있다. 배수장이 작동하지 않을 경우 제방 안쪽의 농경지 및 시설물 피해가 크므로 주의가 필요하다.

구 분	직접피해	연계피해
제방 파괴	제방 균열/파괴	주변 하천, 가옥, 농경지 침수, 시설물 파손 및 도로 파손 등 2차 피해
	침수, 매몰	교통두절, 인명 및 재산 피해
지진 해일 내습	지진해일 내습	인명피해, 시설물 붕괴, 선박피해
지반 파괴	지반변형/붕괴/액상화	양·배수장, 건물 등 시설물의 2차 붕괴
	도로, 제방 함몰 및 균열, 매몰	교통두절, 인명피해
구조물 붕괴	양·배수장 부분 침수/손실/반파/전파	인명피해, 이재민의 발생 주변지역 다중밀집시설 대형사고
	양·배수장 붕괴	주변 농경지 침수 등
	양·배수장 주변 배수문 등 파괴	하천범람, 세굴, 저지대 침수 등
	배수장 미작동	하천범람, 농경지 침수 등

4.2 지진 피해 양상

- 지각에서 장시간 쌓인 에너지가 순간적으로 방출되면서 지진 발생



- 지반 및 제체의 흔들림으로 인명 및 재산상 피해 발생
- 지진으로 인해 제체 및 저수지 구조물 붕괴로 다량의 누수 및 유출로 인한 침수, 세굴, 파손으로 인한 2차 피해 발생



- 다수의 인명 및 재산 피해로 사회적·경제적으로 광범위한 영향 초래
- 지진으로 인한 1차 피해뿐만 아니라 2차적 원인으로 인한 피해 발생
- 민가 및 농경지, 축사 등의 침수로 하수처리 곤란 등에 따른 전염병 발생 가능성 증대

- 수심이 깊은 바다에서 규모 7.0 이상의 지진 발생으로 지진해일(쓰나미) 생성



- 해안가 주변 및 연안 하천 주변 주민 및 시설물 피해가 예상
- 신속한 지진해일(쓰나미) 발생사실 전파로 피해 최소화에 주력



- 다수의 인명피해로 사회적·경제적으로 광범위한 영향을 초래
- 지진해일로 인한 1차 피해뿐만 아니라 2차적 원인으로 인한 피해 발생(저지대에 위치한 농업 시설물 피해 등)
- 저지대 농경지, 시설물 침수 등으로 하수처리 및 배수 곤란으로 전염병 발생 가능성 증대

4.3 지진 규모별 상황 관리

4.3.1 비상대책본부 구성 기준

- 국내에서 발생한 지진 규모 4.0~4.9(해역 4.5 ~ 5.4)에서는 비상대책 본부를 1단계로 운영하고, 규모 5.0이상(해역 5.5이상)에서는 비상대책 본부를 2단계로 운영한다.
- 비상대책본부는 상황에 따라 농림축산식품부, 한국농어촌공사, 각 지자체별로 구성하여 운영한다.

구 분	구 성 기 준	
자체대응	지진	◦ 규모 3.5 ~ 3.9(해역 4.0~4.4)
1단계	지진	◦ 규모 4.0 ~ 4.9(해역 4.5~5.4)
	지진해일	◦ 해저지진(규모 7.0 이상)이 발생하여 예상 파고가 0.5m ~ 1.0m 미만 발생시
2단계	지진	◦ 규모 5.0 이상(해역 5.5 이상)
	지진해일	◦ 해저지진(규모 7.0 이상)이 발생하여 예상 파고가 1.0m 이상 발생시

4.3.2 지진 규모 확인

- 1시간 이내

4.3.3 지진 규모별 상황관리 기준

구 분	1단계	2단계
규모	◦ 규모 4.0 ~ 4.9(해역 4.5~5.4)	◦ 규모 5.0 이상(해역 5.5 이상)
비상대책 본부장	◦ 한국농어촌공사 유지관리 이사	◦ CEO
대응조직	◦ 비상대책본부(비상대책반)	◦ 비상대책본부(비상대책반)
근무범위	◦ 진앙지로부터 반경 100km 이내	◦ 전국

- 자체 대응 규모의 지진 발생 시에는 본사 통합지진감시시스템을 통해 SMS 상황 전파 및 모니터링을 실시한다.
- 1단계 운영 중 재난 발생 및 중앙사고수습본부(농림축산식품부) 설치 시에는 한국농어촌공사의 비상대책본부장을 CEO로 격상한다.

- 1단계 대응 규모의 지진 발생시 진앙지로부터 반경 100km이내에 일부 시설(예, 관로 등)만 포함되는 경우에도 한국농어촌공사 해당 본부와 지사는 위기대응을 실시한다.
- 한국농어촌공사의 위기종료 상황이라도 농림축산식품부 비상근무시에는 비상대책본부 지속 운영(단, 근무형태는 탄력적 운영)한다.

4.3.4 양·배수장의 외관 점검 [1차 점검]

- 3시간 이내

4.3.5 상세한 외관 점검과 계측에 의한 점검 [2차 점검]

- 24시간 이내에 점검하여 그 결과를 보고한다.

4.4 지진 규모 확인 포인트

4.4.1 Step 1 : 지진 규모의 확인

- 지진이 발생하면 지진계측기의 지진동 기록에서 먼저 지진의 크기를 확인한다. 지진계측기가 없는 양·배수장은 기상청 지진정보를 활용한다. 지진 규모 3.5~3.9(해역 4.0~4.4)는 자체 대응을 실시하며, 규모 4.0~4.9(해역 4.5~5.4)는 비상대책본부를 1단계로 운영한다. 최근의 기록 상황을 보면 양·배수장에서 150gal 이상을 기록한 지진의 경우는 양·배수장 이외의 지역에서 상당한 피해를 주고 있다. 이러한 점에서 100gal ~ 150gal 이상의 값을 양·배수장의 지진계가 기록한 경우는 매우 강한 지진동을 받았다고 생각하면 된다. 따라서 양·배수장도 어떤 변위 또는 이상 발생 가능성이 있다.
- 또한 지진 기록에서 주의해서 볼 점은 양·배수장 건물의 가속도는 증폭되어 양·배수장 기초 보다 큰 값을 나타낸다. 양·배수장 기초는 거의 흔들리지 않는데 양·배수장 건물과 관이 크게 흔들리는 경우 양·배수장 기초의 기록이 작다고 해서 안심해서는 안 되며 양·배수장 주

변에 대해서는 액상화 현상 등에 대해 특히 꼼꼼한 점검이 필요하다.

4.4.2 Step 2 : 양·배수장의 외관 점검 (1차 점검)의 포인트

- 지진 기록을 확인하면, 우선, 외관 검사에 의한 1차 점검을 실시한다. 이 검사는 우선 육안 점검이 중심이다. 지진 시 양·배수장의 변화는 상당히 심각한 상태의 손상이 아니라면 양·배수장의 기능은 인식할 수 없는 경우가 많다. 이 때 지진 발생에 따른 펌프시설의 이음부와 관과의 연결부에 대해 주의하여 관찰한다.
- 특히 연안에 가까운 배수장의 경우 하천의 수위변화를 관찰하여 지진해일(쓰나미)에 의한 피해를 최소화하도록 노력한다.
- 과거의 지진으로 확인할 수 있었던 양배수장의 피해는 다음과 같은 곳에서 발생하기 쉬우니 점검이 필요하다.

- 양·배수장 구조물과 시설의 접합부. 특히 연결부의 단차 및 지진에 의한 지각 변동에 따른 단차
- 양·배수장 주변 포장의 균열과 시설부의 주변 지역과의 접합부 단차
- 양·배수장과 연결 수로 등 접합 및 연결 부분의 균열이나 단차 또는 시설 및 재료의 박리
- 연결관, 배수통문 및 양·배수장 축 방향 변형
- 밸브의 변형. 특히 기초부의 이탈, 나사의 돌출 및 이탈
- 양·배수장 기초 재료의 박리
- 양·배수장 주변의 균열. 양·배수장 축 방향 균열
- 양·배수장 주변의 침하 및 하천 제방 사면에서 슬라이딩(활동)
- 양·배수장 내측 도로 및 배수로 부분에서의 액상화 현상
- 배수장은 피해 후 조기 복구 측면에서 중요한 점검 사항임.

많은 해안 배수장에서 대파에 가까운 피해를 낸 것으로부터 배수장 건물의 내파성을 우선적으로 점검 할 필요가 있음.

- 지진해일(쓰나미) 파력은 현재 평가 방법이 검토되고 있으며, 크게 나누어 정수압 형과 항력 형이 사용되고 있어 이에 대한 검토 필요.
- 이외에도 양·배수장의 주요 관심지점에 대해서는 주의 깊게 관찰
 - ※ 작은 변형이라도 놓치지 않도록 주요 관심지점을 꼭 확인해야 한다.

4.4.3 Step 3 : 상세한 외관 점검 및 측정에 의한 점검 [2차 점검] 포인트

- 2차 검사에서는 상세한 외관 검사 및 측정에 의한 검사가 있다.
 - 자세한 외관 검사에 대한 포인트는 앞에서 설명한 것과 같다.
 - 2차 검사에서 중요한 것은 측정 데이터에 의한 점검이다.

4.4.4. 일상점검 시 지진에 대한 마음가짐

- 지진 시 확인 사항은 항상 평상시에 비해 변화했는지 여부를 확인하는 것이다. 즉, 항상 평상시의 상태를 알고 있지 않으면 그 변화를 알 수 없기 때문에 현재의 상황을 알 수 있도록 관리자는 조사와 관측을 통해 현상을 파악하여야 한다.
- 지진 발생 후에는 현지에 가서 어떤 변화 및 변형이 있는지를 조사한다.
 - 예를 들어, 양·배수장의 단차 및 변형, 관수로의 이탈 및 위치 이동 등. 이러한 변화는 관리자에게 꼭 확인하여 변화를 파악한다.
 - 항상 현장점검 시 지진 시에 변형이 발생할 것 같은 곳에 대해서는 디지털 카메라 및 모바일 폰 등으로 사진을 찍어 기록을 남겨 둔다.
- 또한 양·배수장이 위치한 지점에서의 지진은 항상 지진해일(쓰나미)을 동반하는 경우가 많다. 따라서 지진 및 지진해일(쓰나미)에 대한 이해와 대처방법 등을 숙지하여 피해를 최소화할 수 있도록 하여야 한다.
- 일반적으로 양·배수장 관리자는 지진에 대한 대응 경험이 거의 없고 부족하다. 따라서 이러한 관리 사항을 명확하게 숙지하여 점검할 수 있도록 할 필요가 있다.

5.1 긴급체제의 정비

- 지진 및 지진해일(쓰나미) 등에 의한 재해에 대비하여 정보 연락 체제를 정비한다.
- 현지에서 행동할 때는 안전을 위해 반드시 2명 이상 행동한다.
- 지진 및 지진해일(쓰나미) 등 재해의 가능성이 예상되는 경우는 양배수장 방재 관점에서 감시 및 긴급 점검 등의 지원과 더불어 원활한 관계 기관과 연락할 수 있는 체제가 필요하다. 따라서 평소부터 비상인력과 필요한 자재를 확보하고 농림축산식품부와 시도 및 지자체와 협의하여 비상 연락처를 정리해 두는 등 체제를 정비 해둔다.
- 다음은 방재 체제와 지진 시 행동 예이다.
 - 방재체제의 예

표 5.1 관계기관의 방재체제의 예

양배수장 관리자 (한국농어촌공사)	지자체	농림축산식품부, 시도
본사, 유지관리 담당	담당과 담당자	담당과 담당자
일상 관리	상당, 진단	지도, 진단
비상시 관리	긴급체제	긴급체제
- 감시		
- 긴급 점검		

- 지진 시 행동 흐름도

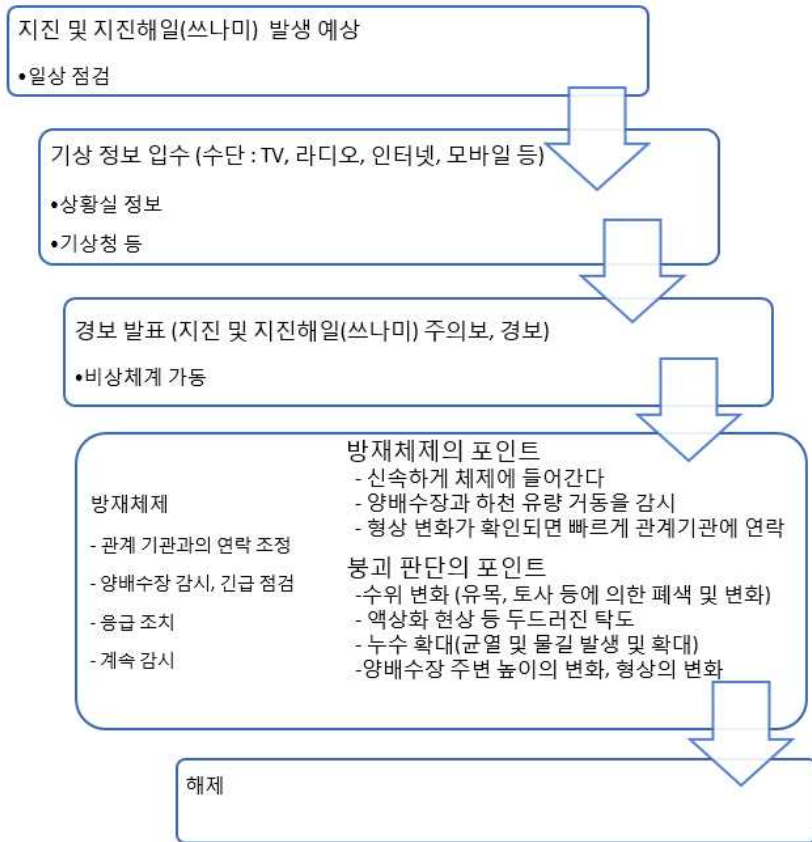


그림 5.1 지진 시 행동 및 조치 사항

5.2 지진 시 [지진 발생 후]

- 약진이 있었을 경우는 충분히 자신의 안전에 주의하면서 양배수장의 점검을 실시, 점검 결과를 신속하게 유관 기관에 보고하고 관계 지자체에 연락한다.
- 양배수장과 가까운 기상대에서 진도 4 이상의 지진 발생 시는 양배수장에 대해 신속하게 육안으로 외관을 점검하여 그 결과를 관계기관에 즉시 연락한다. 이상이 없는 경우에도 보고를 한다. 진도 5 이상의 경우는 모든 양배수장 등에 대해 같은 방법으로 대응한다.

5.2.1 긴급 점검 (24 시간 이내에 신속하게)

- 양배수장 전체 확인 (균열, 붕괴, 관이탈, 액상화, 단차 등)
- 양배수장과 부대시설 및 배수통관 등 확인 (누수, 균열, 붕괴, 단차 등)
- 양배수장 및 유입수로, 배수통문의 장애물
- 주변 지반, 하천 제방, 도로 및 배수로의 단차 및 균열 확인
- 하천 제방 붕괴에 따른 해수유입 등

5.2.2 피해의 발견

- 양배수장 주변의 균열, 관련 시설의 이탈, 펌프시설의 이상, 누수, 액상화 등의 피해가 발생했을 경우 신속하게 농림축산식품부, 지자체, 소방서 등에 보고하고, 필요할 경우 주변 위험지역에 해당하는 주민들에게 대피 준비를 시킨다.
- 또한 기상 정보와 해수 상황 등으로부터 위험수위 이상으로 해수가 유입될 우려가 있는 것으로 판단 된 경우, 유관기관에 그 상황을 전달하고 응급대응을 검토한다.

5.2.3 계속 검사 (1주 기준)

- 비교적 강한 지진의 경우 발생 직후 피해가 인정되지 않더라도 일정기간이 경과 한 후에 피해가 발생할 수 있다. 따라서 이 때문에 1주일 이내에 긴급 점검과 마찬가지로 육안 검사를 하고 이상이 있으면 농림축산식품부, 지자체 등 유관기관에 연락한다.

5.3 응급조치

- 지진 시의 감시 또는 긴급 점검을 실시하여 붕괴가 예상되는 경우 인근 지역의 안전 확보를 위하여 관리자 수준에서 가능한 응급조치를 실시.
- 지진 시 양배수장 및 주변 하천 수위변화 모니터링 또는 긴급 점검

으로 양배수장의 현저한 변형 등에 의해 붕괴가 예상되는 경우에는 즉시 유관 기관 등에 연락을 실시하고, 또한 인근 지역의 안전을 확보하기 위하여 관리자는 가능한 응급조치를 취한다.

① 긴급 붕괴방지

- 양배수장에 지진에 의한 하천 제방의 활동 및 붕괴, 균열, 단차 발생, 펌프의 이상, 누수, 액상화 등의 이상이 발생하면 관리자는 2차 재해를 방지하기 위해 긴급 해수 유입방지 대책을 실시한다. 이때 수위 급변에 따른 배수통관을 통한 해수 유입 우려가 있으므로 유입량에 주의한다.
- 해수가 긴급 유입되는 경우 인근 주민 및 농림축산식품부, 지자체 등 관계 기관과 충분히 연락하여 긴밀하고 충분한 협의를 실시한다.

② 응급 대책

- 양배수장 주변 하천 제방의 활동(슬라이딩), 주변 기초지반의 침하, 균열, 함몰, 붕괴, 부풀음, 누수 등의 변형이 확인 된 경우, 농림축산식품부 및 지자체, 인근 마을이나 방재 기관에 신속하게 연락한다.
- 관리자는 지자체, 소방서 등과 연계하여 모래주머니, 줄, 말뚝 등 미리 준비한 방재 기구 및 응급 자재를 이용하여 양배수장 현장에서 시트 등을 이용 흙쌓기 등 피해 확대를 방지하기 위한 응급대책을 실시한다.

6.1 양배수장 검사 체크 일반 사항

- 일상 점검 작업으로 확인하는 구체적인 포인트를 정리
- 점검 전에 기본 정보의 정리, 보수 이력 등을 확인
 - 이 체크 시트는 양배수장의 일상 점검 작업에서 확인 할 때의 구체적인 포인트를 정리한 것이다.
 - 또한 이 체크 시트는 지진이 발생했을 때 긴급 점검 시트로 사용할 수 있다.
 - 검사 전에 양배수장의 기본 정보를 정리하고 특히 과거에 실시한 보수 자료를 조사하고 펌프시설, 제진시설, 지반기초, 배수로 및 부대시설의 보수 내역을 확인한다.
 - 보수한 위치는 지진 취약지점이 될 가능성이 있으므로 보수 부분이 있으면 점검 시에 보수 부위에 이상이 없는지 주의 깊게 점검한다.
 - 검사는 육안 검사를 기본으로 한다. 수중에 있는 관수로나 게이트 등 육안 확인이 어려운 구조물의 경우는 양배수장의 가동이 없는 시기에 점검하는 등 가능한 범위에서 대응한다. 해당 항목의 이상이 새로 확인된 경우에는 지자체 등 유관 기관에 상담한다.
 - 또한 이 체크 시트에 없는 사항도 안전 문제로 의심되는 현상을 보인 경우 농림축산식품부 및 지자체에 문의한다.
- 또한 이상이 확인 된 곳은 이상 부분의 크기 측정과 사진 촬영을 하는 등 기록으로 남긴다. 이후에도 계속해서 점검을 하여 시간에 따른 변화와 가동 상태를 확인한다.

6.2 양배수장의 기본 정보

- 양배수장의 기본 정보는 표 3.2~4와 같은 점검표에 의해 사전에 각

항목에 대해 주요 점검을 실시한다. 양배수장의 기본 정보는 표 6.1과 같이 정리하여 둔다.

표 6.1 양배수장 기본 정보 시트

양배수장 기본 정보 시트

작성 연월일: 2017년 11월 일

항 목		내 용					
사업명		○○○○ 사업					
지구명		○○ 지구					
양·배수장명		○○ 배수장					
설치 장소 (소재지)		○○ 도 ○○군 ○○면 ○○지구					
관리자명		한국농어촌공사 ○○지사					
목적(해당 기호에 ○)		A: 관개, P:양수장, D:배수장, W:상수도, I: 공업용수, E: 발전, S: 소방, O:기타					
설비 개요 (주요 기기 사양)		○ 주 펌프					
		○ 주 원동기					
		○ 동력 전달장치					
		○ 보조 설비					
		○ 수문 설비					
		○ 제진 설비					
		○ 건물					
시설 제원	주 펌프	양정		마력		양수량 (m ³ /hr)	
		전원 공급 방식		작동 방식			

	주 원동기	형식		제작사		용량	
	동력 전달 장치	형식		방식			
	보조 설비	구조 형식		취수 및 배수 시설	구조 형식		
		설계 유량 (m ³ /s)					
	수문설비	직경 (m) or 종×횡 치수 (m)		조작방식		작동유무	
	제진설비	작동 방식		작동유무			
건물	기초		지붕				
점검 상황	검사 상황 (해당 사항에 ○ 표시)						
	1. 관리자 상주 (관리동) / 2. 정기적으로 순회 (빈도:) / 3. 비정기적으로 순회 (1 년에 회 정도) / 4. 기타						
펌프실 및 부대 시설의 보수 이력	제체 및 부대시설의 보수 이력						
	보수·완료 연도	보수 위치 및 수량					

6.3 양배수장의 주요 점검 항목

- 특히 점검은 양배수장 뿐 아니라 주변의 주요 점검 장소에 대한 내용도 함께 표 6.2와 같이 점검한다.
- 점검 대상은 표 6.2와 같이 연안 지역의 경우 농업 지역의 광역 방재, 배수시설 계통 및 농지로 크게 3가지 항목으로 나누어 체계적으로 점검한다.
- 지진해일(쓰나미)의 발생 가능성은 수십 년 ~ 백 년 이상의 장기 대책이기 때문에 재해에 대한 대비와 위기감이 떨어지는 경향이 있다. 따라서 평상시는 발생하지 않지만 만약에 해일이 발생했을 경우에 대한 예상을 하여 점검 내용을 사전 점검과 재해 발생 후의 사후 검사의 두 가지를 고려해 점검한다.
- 상시 점검은 재해발생시의 준비를 위한 검사이며, 재해발생 이후의 사후 검사는 신속한 복구를 위하고 2차 재해방지 대책의 점검에 초점을 맞추고 있다.
- 또한 농지의 염해 장기화 및 배수시설 계통 피해 관계는 그 복구와 밀접하게 관련이 있으므로 농지 배수 및 광역 배수 간의 관계를 고려하면서 점검을 실시한다. 농지는 생활 기반으로, 농업 활동을 위한 빠른 복구는 경제성을 포함한 지역 전체의 부흥에 연결되기 때문에 해일 침수 후 빠른 회복을 목적으로 검사를 실시한다.

표 6.2 주요 점검 장소의 기본적인 틀

점검 대상		점검 항목	
		사전 점검	사후 점검
광역 방재		해안 보전 시설 농지의 재해 감소 효과 피난 계획 경보 시스템 과거 해일 정보 정리	경보 시스템 피난 경로 확보 안전 확보 해안 보전 시설 피해 상황 파악
배수 시설 계통	배수장	기계 분야의 내수 화 전원 의 확보, 펌프 배치, 비상 시 개구부 확보	전원 상태, 배수 기능 상황, 필요 배수량, 잔해 유입 상 황, 파손 된 곳
	수문, 통문	자연 배수 기능 확보 잔해 제거 도로 확보	잔해 상황, 파손 상황, 작동 상태, 배수 기능
	배수로	자연 배수 기능 확보, 침 식 방지 공사	잔해 상황, 파손 상황, 배수 기능
농지		제염 계획 소형 배수로, 배수관 배수 기능 염수 침입 상황	염해 실태 제염을 위한 물 확보 소형 배수로 · 암거 배수 기능 염수 침입 상황

6.4. 양배수장 시설에서 요구되는 기능

○ 양배수장 시설은 다음과 같은 기능이 요구된다.

6.4.1 배수펌프 시설

- (1) 저주파에서도 확실하게 시작하여 연속 운전에서 안정적으로 운전할 수 있을 것.
- (2) 수위 변화에 확실하게 대응할 수 있을 것.
- (3) 비상용 설비로 외부 요인에 영향을 받지 않고 운전을 계속 할 수 있을 것.
- (4) 지진과 지진해일(쓰나미) 등의 재해에 안전할 것.

6.4.2 양수펌프 시설

- (1) 고 빈도의 시동에 견디고 장시간 안정적으로 운전할 수 있을 것.
- (2) 다양한 수요 및 수량 변화에 대응이 확실할 것.
- (3) 뛰어난 경제성으로 운전이 가능할 것.
- (4) 지진과 지진해일(쓰나미) 등의 재해에 안전할 것.

- 그러기 위해서는, ① 양배수장 점검 작업이 용이하고, ② 필요한 측정 파라미터를 얻기 쉽고, ③ 정비·갱신 등의 보전이 가능한 구조 및 장비 구성이 중요하다. 특히 지진과 지진해일(쓰나미) 등의 재해에 안전하도록 하기 위해서는 점검, 정비 등이 용이하여야 한다.

6.4.3 양배수장 유지관리 기본 사항

- 양배수장 시설을 양호한 상태로 유지하고 정상적인 기능을 보장하기 위해 적절하고 효율적·효과적인 유지 관리를 하여야 한다.
- 양배수장 설비의 유지 관리는 해당 펌프 설비의 설치 목적, 장비 등의 특성, 설치 조건, 운영 형태 등을 고려하여 내용의 최적화에 노력하고 효과적으로 예방과 사후 보전을 구분하여 계획적으로 실시하여야 한다.
- 양배수장의 일반적인 유지 관리에서는 "실제 작업"→ "검사"→ "정상적으로 실시하는 정비·수리"→ "실제 작업"을 반복한다.
- 정상적으로 실시하는 정비·수리 내용은 검사 결과에 따라 적절히 실시하는 청소, 급유 공급, 조정, 수리, 부품 교체 등이며 연도의 보전 계획에 포함 된 범위의 것이다. 사용과 운전 등에 의한 설비의 열화가 발생하면 장치·기기 단위의 정비와 갱신의 필요성을 점검하여 대처한다.
- 그 필요성을 평가하기 위해 검사 결과 및 기타 필요한 정보를 바탕으로 건전도 평가를 실시하고 정비·갱신 등의 방안 등을 마련하고 실시 시기를 결정한다. 재해발생시 문제가 되지 않도록 빠르게 대처한다.

6.5 각 시설의 체크 포인트

6.5.1 배수장의 주요 재해

○ 배수장에서 발생되고 있는 주요 재해 내용은 표 6.3과 같다.

표 6.3 배수장의 주요 재해 내용

시설 명칭	주요 피해 내용
배수장	침하 (25 ~ 112cm)
펌프 설비	○ 펌프, 모터, 전기 설비, 보조 기기의 침수, 파손, 유출 ○ 야외 중유 탱크의 침수, 파손
제진기	○ 사이클로 모터의 침수 ○ 권양기의 침수, 파손, 유출
수문, 게이트	○ 스피들의 손상 유출 ○ 권양기의 침수 ○ 관리 교량의 파손
토출 통관	○ 균열 ○ 신축 조인트의 파손 ○ 관 하단의 공동화 ○ 토사에 의한 막힘
흡입 탱크 및 토출관	○ 잔해, 해일 토사의 유입, 퇴적
건물	○ 건물의 유출 ○ 창문 손상 ○ 반입 문 손상 ○ 지붕 방수 시트의 손상 ○ 잔해, 해일 토사의 유입, 퇴적 ○ 화장실, 휴게실 등 파손

- 지진해일(쓰나미)에 의한 배수장 파괴에 이르는 과정을 분류하면 직접 해일을 받아 수압이나 부유하는 잔해물의 충격을 받은 펌프시설 공간과 지형 조건 등으로 해일이 감소한 상태에서 침수되어 해일 토사가 퇴적된 펌프시설 공간으로 나눌 수 있다.
- 직접 해일을 받은 양배수장 공간은 입지 조건이나 건물의 구조 그리고 부유 물체에 따라 피해 정도가 다르고, 해일의 물과 토사에 의한 영향은 침수 깊이에 따라 피해 정도가 크게 다르므로 이를 점검한다.

○ **지반 침하**

- 양배수장에서 지진 발생에 따른 특징은 지각 변동에 의한 지반 침하 발생이다. 지각 변동에 의해 양배수장 주변은 전자 기준점에서 1~2m의 침하가 확인되고 있다.
- 일본 동북지역 지진 후 국토지리원 전자 기준점이 공표된 후 배수장의 고도를 GPS측량으로 측정한 결과 25~112cm의 침하가 확인되었다.
- 특히 배수장의 배수 시설은 대부분 감조 하천에 위치해 있다. 이러한 지역은 외부 수위가 불변인 반면, 지반 침하에 의해 내부 수위가 낮아지는 특징을 보인다. 따라서 펌프의 실 양정이 커지고 토출량은 감소하게 된다. 펌프설계 시에 만들어진 "예상 성능 곡선도"에서 구하면, 배수 능력 저하 비율은 평균 10%, 최대 약 25%로 나타나고 있다.
- 따라서 지반침하가 발생한 지점이 없는지 주의 깊게 관찰하여야 한다.

○ **침수 방지**

- 배수장의 펌프 설비는 가동·제어하려면 주 원동기 계통 기기의 많은 센서류, 모터 등이 침수된 경우에 사용할 수 없게 된다. 따라서 펌프 설비는 기기·부품의 방수 대책이 필요하다. 특히 복구에 소요되는 비용 구성을 감안할 때 센서류의 방수화 및 장비 교체의 용이성 등은 신중히 고려해야 한다.

- 배수장은 해일에 의해 기기가 침수하고 가동할 수 없는 상태가 되고 있다. 계기 공간의 본질 안전을 보장하기 위해 위험한 지역 및 중요 지역은 최대 클래스의 해일에 대비한 높이에 설치하거나 제방을 구축하는 방법을 생각하여야 한다. 그러나 토목 구조의 비용, 입지, 시공 방법 및 펌프로 흡입 성능 등을 감안하면 현실적으로 불가능하므로 설계에 반영하여 해일 수준을 상정 한 후, 건물의 RC화, 방수 채용 등을 검토한다.

6.5.2 양배수장 주요 점검 사항

1. 방수화, 침수 대책

- 대규모 지진과 해일에도 배수장 기능을 제대로 발휘시키기 위해서는 방수문의 설치, 배전반, 조작반의 위치를 높이는 등 시설의 방수화 대책이 필요하다. 이러한 문제가 예상되는 지점은 사전에 점검하여 대책을 마련한다.

2. 전원의 확보

- 한전 공급 전원이 장기간 복구할 수 없는 상태가 계속되고 자가 발전기도 침수로 사용할 수 없고 가설 발전기의 배치 및 반입도 어려운 경우가 발생할 수 있으므로 이에 대한 사항을 사전에 검토해 둔다.
- 자가 발전기는 가장 높은 곳 (원동기 바닥 높이보다 높은 위치)에 설치하고, 가설 발전기는 미리 건설 업체 및 임대 업체와 재해 발생에 따른 사용 협정을 체결해 둔다.

3. 자연 배수 기능 확보

- 기계 배수 기능이 손상되면 믿고 의지할 수 있는 것은 자연 배수 방법이다. 일반적으로 배수 시설이 감소 하천의 경우 간만의 영향으로 게이트 조작이 번잡하므로 기계 배수에 의지하고 있다. 무동력으로 개폐하는 게이트의 경우는 해일 후에도 손상 없이 가동한 경우 자연 배

수가 유지되어 큰 담수 피해를 피할 수 있다. 자연 배수 기능을 최대한 확보할 수 있는지를 점검한다.

4. 배수장 구조

- 흡수 탱크와 냉각 탱크는 개구부가 작고 유입된 잔해나 해일로 쌓인 토사 제거에 상당한 기간을 필요로 한다. 또한 흡수조 내에 유입된 이물질이 펌프가 흡입하여 샤프트가 파손되는 사고도 발생한다. 흡입 탱크는 전면의 제진 장치를 제거하지 않으면 내부에 기계를 반입 할 수 없는 구조로 되어 있는 시설이 대부분이다. 일상의 보안과 관리 측면에서 개구부가 작은 쪽이 유리하게 작용하지만, 해일 피해 측면에서는 큰 개구부를 확보 할 필요가 있다. 이 점은 양배수장의 지형 및 위치에 따라 신중하게 검토하여 적용한다.

5. 건물 구조

- 해일을 직접 받은 기계의 피해 상황을 건물 구조로 분류하면 철골조, 목조는 전체 손상, RC조는 창문, 반입 문, 지붕 방수 시트의 손상 정도가 큰 것으로 보고되고 있다. 구조적인 차이에서 발생하는 벽면의 강도 차이에 따라 현저하게 차이를 나타내고 있다. 해일의 수압 및 부유물의 충격은 RC구조가 우수하고, 내부 장비의 손상을 경감하게 해 준다.

6.6 양배수장 점검 기록 송신 양식

※이 페이지를 복사하여 이용해 주시기 바랍니다.

보낸 날짜 : 2017년 월 일

받는 사람		보낸 사람	
연락처	Tel: Fax.: e-mail:	연락처	Tel: Fax.: e-mail:

[용건] < 양배수장의 지진 및 지진해일(쓰나미)에 의한 재해에 관한 보고 >

이 양배수장에 대한 점검결과 다음과 같은 재해를 확인 했으므로 보고합니다.

관측 날짜 : 년 월 일	날씨 :	기록자 이름 :
양배수장 주변 하천 수위 (수심) :	m	

해당되는 곳에 ○ 표기

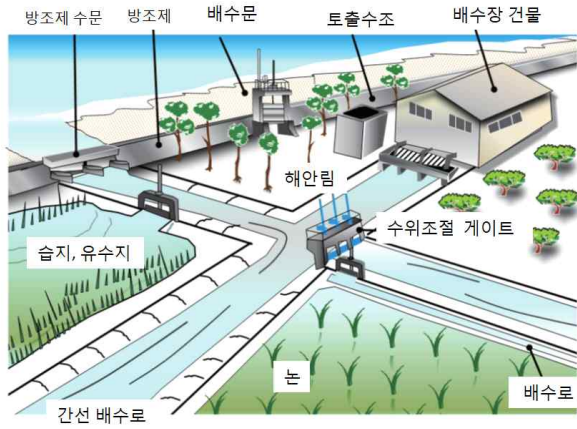
변형 부분과 내용		체크 란
양배수장	① 양배수장 주변 하천 사면에 「함몰」이나 「균열」, 「부풀음」이 발생하는 부분이 있다.	
	② 양배수장 주변 사면의 사석재, 돌 쌓기 블록 등에 손상과 침식 부분이 있다.	
	③ 양배수장의 배수구 사면에 습윤 토양을 좋아하는 "고사리", "머위", '이끼류'의 무성 등 식생의 변화가 보인다.	
	④ 양배수장의 경계부에서 용수가 보인다.	
	⑤ 양배수장의 하류 사면과 소단의 도로에서 물이 새거나 용수, 퇴사가 보인다.	
	⑥ 연결 도로의 배수에 의한 지반의 침식이 보인다.	

펌프설비	⑦ 펌프설비 주변 콘크리트 표면의 균열이나 철근 노출 부분이 있다.	
	⑧ 펌프 주변이 튀어 나오거나 또한 연결부에 굴곡이 보인다.	
	⑨ 펌프 바닥과 측벽에 심한 손상이 보인다.	
	⑩ 펌프가 침수되어 작동되지 않는다.	
	⑪ 펌프에 토사 및 쓰레기가 유입되어 작동되지 않는다.	
	⑫ 배전반, 조작반, 펌프가 잠겨 전원공급이 제대로 이루어지지 않는다.	
	⑬ 모터 측정값이 지금까지의 경향과 다른 값을 보여 주었다.	
제진시설 수문, 게이트	⑭ 사이클로 모터의 침수로 시설이 작동되지 않는다.	
	⑮ 권양기의 침수, 파손으로 제진시설 및 수문 등이 제대로 작동하지 않는다.	
	⑯ 게이트 주위에 누수가 생기거나 주변에 토사와 쓰레기가 쌓여 있다. ※	
흡입관, 토출관, 토출통관	⑰ 토출통관이 손상되어 토사에 의한 막힘 등 통수 저해를 야기하고 있다.	
	⑱ 건물과 흡입관, 토출관의 경계에 틈 (간극)이 보인다.	
	⑲ 토출 게이트를 전폐했음에도 불구하고 투출통관 출구에서 흙탕물이 나오고 있다.	
	⑳ 관 주변에 균열이 있거나 관 하단의 공동화 현상이 보인다.	
	㉑ 신축 조인트의 파손이 보인다.	
양배수장 주변의 수로 및 침사지	㉒ 양배수장 접근수로에서 지반 침식이나 균열이 발생하는 부분이 있다.	
	㉓ 양배수장에 근접한 지점에서 연속적인 균열·용수가 발생하는 부분이 있다.	
기타 특이 사항		

주의 사항

위에서 「※」가 붙어있는 항목이 확인된 경우 즉시 유목이나 식물, 쓰레기 등을 제거한다.

2017년 월 일 조사
주변 하천 수위 _____ m



※그림에 재해발생 위치를 스케치하고 지반침하 등 위치에 번호를 붙여 그 크기와 상황을 기재한다.
또한 디지털카메라나 모바일로 사진을 촬영한다.

양배수장 주변의 상태 변화 기록 (사진)

2017년 월 일 조사

※ 변형 위치의 사진을 첨부

VII

양배수장의 지진 및 지진해일(쓰나미) 피해 사례

<점검 위치도>

양배수장의 체크 포인트

仙台平野沿岸部(名取市・岩沼市)の被災状況

雨上排水機場【国営】
施設内には多量の土砂、流木やゴミが流入。

寺野排水機場【国営】
排水機場ゲート部には多量の流木が堆積。農政局と東北地方振興局が土物改良区と調整を繰り返して、支障物を除去し、ゲート稼働が可能となった。

黒の巻排水機場【国営】
津波が2階付近まで到達。施設には多量の流木及び土砂が流入し、稼働停止。

名取川地区

凡 例
排水区域

資料：東北農政局作成

배수장 주변 지역의 수문 피해 구간

No. **7.1 수문의 파손 및 유실**

①



수문 손상

배수장 주변 수문의 파손 및 유실 부분이 있다.

체크 란 :

②



토출수문의 손상

하천 제방쪽 토출수문의 개폐불능 부분이 있다.

체크 란 :

③






권양기 고장, 폐쇄 가능

토출수문의 손상 권양기 고장 부분이 있다.

손상은 있으나 가동은 되는 경우

체크 란 :

No.	7.2 배수장 주변 수문의 손상 및 붕괴
④	 <p data-bbox="573 859 875 888">바다쪽 토출수문의 손상.</p> <p data-bbox="292 894 806 923">배수장 주변 토출수문의 손상 부분이 있다.</p> <p data-bbox="292 933 799 966">손상은 있으나 작동에는 이상이 없는 경우</p> <p data-bbox="367 981 1087 1020">체크 란 : <input type="text"/></p>
⑤	 <p data-bbox="292 1613 1136 1642">배수장 쓰레기 및 잡목유입으로 수문 손상과 작동불량 부분이 보인다.</p> <p data-bbox="367 1667 1087 1705">체크 란 : <input type="text"/></p>

No.	7.3 배수장의 파손과 붕괴
①	 <p data-bbox="275 859 847 923">배수장 건물의 침수 지진해일(쓰나미)로 배수장이 침수 부분이 있다.</p> <p data-bbox="351 942 1081 977">체크 란 : <input type="text"/></p>
②	 <p data-bbox="275 1590 979 1620">지진해일(쓰나미)로 배수장 목조 건물의 파손 부분이 있다.</p> <p data-bbox="351 1663 1081 1698">체크 란 : <input type="text"/></p>

No.	배수장의 파손과 붕괴
③	 <p data-bbox="275 871 1071 948">지진해일(쓰나미)에 의한 배수장의 파손 지진해일(쓰나미)에 의한 배수장 건물의 유리창 파손 부분이 있다.</p> <p data-bbox="351 962 1081 1000">체크 란 : <input type="text"/></p>
④	 <p data-bbox="275 1547 1071 1624">배수장 건물이 사라짐 배수장 건물이 지진해일(쓰나미)에 쓸려가 사라진 부분이 있다.</p> <p data-bbox="351 1667 1081 1705">체크 란 : <input type="text"/></p>



No.	7.4 배수장의 펌프시설 손상 및 파손
①	 <p data-bbox="275 896 954 929">지진해일(쓰나미)로 펌프장의 손상 및 파손 부분이 있다.</p> <p data-bbox="351 944 1081 981">체크 란 : <input type="text"/></p>
②	 <p data-bbox="275 1539 916 1572">지진해일(쓰나미)로 펌프장의 심한 파손 부분이 있다.</p> <p data-bbox="351 1613 1081 1649">체크 란 : <input type="text"/></p>

No.	배수장의 파손과 붕괴
③	 <p>지진해일(쓰나미)로 펌프장의 심한 펌프의 손상과 파손 부분이 있다.</p> <p>체크 란 : <input type="text"/></p>
④	 <p>배수장 건물이 지진해일(쓰나미)에 쓸려가고 펌프의 기초부의 이탈 부분이 있다.</p> <p>체크 란 : <input type="text"/></p>

No.	7.5 배수장 주변의 침하, 액상화 및 균열
①	 <p data-bbox="655 832 989 890">사진 : 농지의 균열 및 단차</p> <p data-bbox="275 938 1030 973">지진으로 펌프장 주변 농지의 균열 및 단차 발생 부분이 있다.</p> <p data-bbox="351 987 1081 1025">체크 란 : <input type="text"/></p>
②	 <p data-bbox="655 1508 1016 1566">지진으로 인한 농지의 액상화</p> <p data-bbox="275 1586 975 1620">지진으로 양배수장 주변에 액상화 현상 발생 부분이 있다.</p> <p data-bbox="351 1653 1081 1692">체크 란 : <input type="text"/></p>

No.	7.6 배수장 주변 관수로의 누수 및 도로의 파손
③	<div data-bbox="359 343 1075 821" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="614 826 1057 865" data-label="Caption"> <p>지진으로 인한 관수로의 파손과 누수</p> </div> <div data-bbox="275 900 1133 975" data-label="Text"> <p>지진으로 인해 펌프장 주변 농경지 관수로의 손상과 파손 부분이 있다. 파손 부분에서 누수 발생 지점이 있다.</p> </div> <div data-bbox="351 991 1081 1025" data-label="Text"> <p>체크 란 : <input type="text"/></p> </div>
④	<div data-bbox="359 1051 1075 1576" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="703 1541 1016 1572" data-label="Caption"> <p>지진으로 인한 도로의 파손</p> </div> <div data-bbox="275 1599 961 1632" data-label="Text"> <p>지진으로 배수장 주변 도로의 파손 및 붕괴 부분이 있다.</p> </div> <div data-bbox="351 1673 1081 1707" data-label="Text"> <p>체크 란 : <input type="text"/></p> </div>

No.	7.7 지진해일(쓰나미)에 의한 배수장 주변 시설의 파괴
①	 <p data-bbox="500 821 1074 865">지진해일(쓰나미)로 인한 농지의 매몰 및 유실</p> <p data-bbox="275 894 1149 927">지진해일(쓰나미)로 인한 펌프장 주변 농지의 매몰 및 유실 부분이 있다.</p> <p data-bbox="351 942 1081 977">체크 란 : <input type="text"/></p>
②	 <p data-bbox="528 1493 1074 1526">지진해일(쓰나미)로 인한 수로의 잔해 물질 퇴적</p> <p data-bbox="275 1561 1159 1632">지진해일(쓰나미)로 발생한 잔해 물질과 유목이 유입수로에 퇴적된 부분이 있다.</p> <p data-bbox="351 1676 1081 1711">체크 란 : <input type="text"/></p>

No.	7.8 배수장 주변 시설의 파손 및 붕괴
③	 <p data-bbox="504 838 1067 877">지진해일(쓰나미)로 인한 배수장 부대시설의 파손</p> <p data-bbox="278 923 1094 958">지진해일(쓰나미)로 인해 배수장 주변 부대시설의 파손 부분이 있다.</p> <p data-bbox="353 973 1081 1008">체크 란 : <input type="text"/></p>
④	 <p data-bbox="504 1534 1071 1568">지진해일(쓰나미)로 인한 배수장 주변시설의 손상</p> <p data-bbox="278 1603 1149 1638">지진해일(쓰나미)로 인해 배수장 주변 시설의 손상 및 손실 부분이 있다.</p> <p data-bbox="353 1676 1081 1711">체크 란 : <input type="text"/></p>

□ 참고문헌

- Swaisgood, J.R. (2003). Embankment dam deformations caused by earthquakes, *Proc. 2003 Pacific Conference on Earthquake Engineering*, Seattle, Washington.
- US Bureau of Reclamation and US Army Corps of Engineers (2015). Best practices in dam and levee safety risk analysis—methods to evaluate seismic risks for embankments, Ver.4.0, July.
- US Army Corps of Engineers (USACE) (2009), “Internal erosion toolbox”.
- US Bureau of Reclamation (2015) Design standards No.13 Embankment Dams.
- 국토해양부 (2011). , 댐설계기준 pp. 223-224
- 농림부 (2002) 농업생산기반정비사업계획설계기준(필댐편)
- 농림수산부 (1991) 농지개량사업계획설계기준(해면간척편)
- 해양수산부 (2014) 항만 및 어항 설계기준해석
- 해양수산부 (1999) 항만 및 어항시설의 내진설계표준서
- 국민안전처 (2017) 내진설계기준 공통적용사항 공표안
- 한국시설안전기술공단 (2003) 해안구조물의 안전성평가방안
- Korea National Emergency Management (NEMA) (2013). Nation Earthquake Harzard Map, NEMA announcement No. 2013-179.
- Pell, S. and Fell, R. (2003). Damage and cracking of embankment dams by earthquake and the implications for internal erosion and piping, *Proc. 21st Internal Congress on Large Dams*, Montreal, ICOLD, Paris Q83-R17, Paris.
- Terry R. West, "Geology Applied to Engineering"
- Gutenberg, B and Richter, C. F (1956) Magnitude and energy of earthquakes, *Annals of Geophysics*, Vol.53, N.1., February 2010, p.7-12.

- 하익수, 이수권, 임정열, 정영훈 (2016). 여유고만으로 추정된 국내 재해위험 저수지의 지진시 파괴확률, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.36, No.3,p.451-461.
- ICOLD Bulletin 148 (2010) Selecting seismic parameters for large dams guideline.

주 의

이 보고서는 농림축산식품부 농촌개발시험연구사업으로 한국농어촌공사 농어촌연구원으로부터 연구비를 지원받아 한국농공학회에서 수행한 연구보고서입니다.

■ 발 행 처

연구과제명 : 농업생산기반시설 내진설계기준개정 연구

발 행 일	2017. 11
발 행 인	손 재 권
발 행 처	(사)한국농공학회
주 소	서울특별시 강남구 테헤란로7길 22-0 (역삼동) 전 화 02 - 562 - 3627 FAX 02 - 565 - 6821

- 이 책의 내용을 무단 전재하거나 복사하면 법에 저촉됩니다.
단, 이 책의 출처를 명시하면 인용이 가능합니다.