

GOVP1199700966

627.86

L293L

v.2. p.1

제 2 차년도
최종보고서

농업용 저수지의 안전관리와 노후화에 따른
재개발 대책 (Ⅱ)

Guidelines for Reservoir Safety and Maintenance
and
Development of Rehabilitation Methods of Degraded
Agricultural Reservoirs (Ⅱ)

서울대학교 농업생명과학대학

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “농업용 저수지의 안전관리와 노후화에 따른 재개발 대책에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

1996. 12.

주관연구기관명 : 서울대학교

총괄연구책임자 : 장 병 욱

협 동 연 구 원 : 김 무 열

송 창 섭

이 행 우

연 구 원 : 박영곤 우철웅

윤상묵 길상춘

전상옥 정종홍

강 성 원정윤

김성필 김강석

차경섭

요 약 문

I. 제 목

농업용 저수지의 안전관리와 노후화에 따른 재개발 대책

II. 연구개발의 목적 및 중요성

1. 연구개발의 목적

1) 기술적 측면

- ① 저수지에 대한 유지관리 지침의 정립 및 보완
- ② 저수지의 노후화 정도를 예측하고 그에 따른 대책공법을 수립
- ③ 저수지 안전도 평가를 통한 보수효과 예측
- ④ 호우성 집중강우에 대한 유수지로서의 기능강화 대책
- ⑤ 저수지의 노후화 평가를 통해 재해발생 예상 저수지의 대책 수립

2) 경제적 측면

- ① 수자원의 활용
- ② 효과적인 수자원 관리 대책 수립
- ③ 체체 및 구조물의 누수 방지 대책
- ④ 적절한 개보수 공법 개발
- ⑤ 개보수 및 투자순위 합리적 판정으로 예산 절감

2. 연구개발의 중요성

지난 100 여년 동안 지구상에는 무려 200 여개의 저수지(댐)가 붕괴되어 11,100 여명에 달하는 인명이 희생되었다. 이들 저수지(댐)의 붕괴 원인으로

는 부적합한 여수로로 월류됨으로써 파괴된 것이 전체의 34%이고 기초결함이 30%, 파이핑과 침투가 28% 등이다. 우리나라의 경우, 1961년 효기리에서 높이 15.6m의 저수지와 1980년에 충북 보은군 보청천 유역에서 소규모 소류지가 연쇄적으로 파괴된 적이 있다. 금년 7월에는 철원 및 연천 등 경기 북부지방에 내린 500mm 이상의 집중호우로 한탄강과 임진강의 범람하고 제방이 유실되어 많은 인명과 재산 피해가 발생하였고 특히 연천 소수력발전댐의 수문고장으로 댐이 붕괴되면서 1300여만 톤의 물이 한탄강으로 방류되면서 피해를 가중시켰다. 특히 지역내의 농업용 저수지도 붕괴의 직전까지 몰고 가 공포에 떨게 하였으며 저수지의 붕괴가 가져올 수 있는 재앙을 짐작케 했다. 이와같이 집중호우에 의해 붕괴위기를 맞았던 저수지, 또는 여러 가지 원인에 의해 노후화된 저수지는 반드시 안전도의 검토하여 붕괴로 인한 막대한 피해를 사전에 예방하는 것이 중요함은 더 이상 강조할 필요가 없다.

현재 우리나라의 기존 2,000 여개의 관개용 댐의 95% 이상이 흙댐이며, 기타 대·소규모의 댐이 산재하고 있는 바 이들의 예상하지 못한 붕괴로부터 발생하는 홍수파를 해석하는 수리학적 해석모형의 개발은 방재공학적인 면에서 매우 긴요하다 하겠다.

이상과 같은 저수지의 피해에 대한 원인과 그 대책을 구명하기 위하여 기존 시설의 노후화 정도를 조사하고 개수, 보수 및 유지관리를 위한 기준을 정립함으로써 안전하고 경제적으로 저수지를 유지관리하여 저수지 본래의 목적에 맞도록 해야 할 필요가 있으며 예상되는 피해를 최소화 할 필요성이 제기되고 있다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

1. 유지관리 지침의 정립 및 보완
 - 1) 1차년도 유지관리 지침의 보완
 - 2) 유지관리 지침의 정립

2. 저수지의 노후화 평가 및 기준 정립
 - 1) 저수지 노후화 평가 기준 정립
 - 2) 제체 및 구조물 각 부위에 대한 중요도 점수 산정
 - 3) 조사저수지(31개 저수지)에 대한 적용성 검토
 - 4) 고삼저수지에 대한 사례연구

3. 저수지의 안전도 평가시스템 개발 및 적용
 - 1) 안전도 평가시스템의 개발
 - 2) 조사저수지(31개 저수지)에 대한 적용성 검토
 - 3) 고삼저수지에 대한 사례연구

4. 저수지 개·보수 공법 개발
 - 1) 저수지 개·보수 공법 개발

5. 저수지 개·보수 기준의 정립 및 사례연구
 - 1) 저수지 개·보수 기준의 정립
 - 2) 저수지 개·보수에 대한 사례연구

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구결과

본 “농업용 저수지의 안전관리와 노후화에 따른 재개발 대책”의 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 1차년도에 정립된 농업용 저수지의 유지관리 지침을 보완하였다.
- 2) 농업용 저수지에 대한 노후화 평가 기준을 정립하고, 제체 및 구조물 각 부위에 대한 중요도를 매겨 현장조사된 31개 저수지에 적용하였고, 그 중 사례연구 저수지로 고삼저수지를 선정하여 정밀조사를 실시, 그 적용성을 검토하였다.
- 3) 농업용 저수지에 대한 안전도 평가 시스템을 개발하였고 고삼저수지를 대상으로 그 적용성을 검토하였다.
- 4) 노후저수지에 대한 개·보수 기준을 정립하였고, 이의 개보수 공법을 정리, 개발하였으며 국내외 사례연구를 요약, 정리하였다.
- 5) 1차년도 조사된 31개 저수지에 대한 현장조사 결과를 별책으로 요약, 정리하였다.

2. 활용방안

- 1) 기존 저수지의 노후화 진행 상황의 예측
- 2) 개보수 우선 순위 판정의 기준
- 3) 폐저수지의 재활용으로 정주환경 개선
- 4) 관리운영지침의 표준화 추진 자료

Summary

The research of "Guidelines for Reservoir Safety and Maintenance and Development of Rehabilitation Method of Degraded Agricultural Reservoirs" is authorized under the Agricultural Research Center and The Ministry of Agriculture to Seoul National University.

There are about 2,000 agricultural dams and reservoirs in Korea. Ninety five percent of the dams were constructed by earthfill and they were suffered severe damages or expected to repairs or rehabilitation. Therefore dams are evaluated and are identified their problems. Dams should be repaired before too late. Overall dam safety evaluation is required to guarantee the proper functions of the existing agricultural dams and reservoirs in time and to minimize the damage.

This research has done for its purposes and the results are as follows;

1. Development or modification of guidelines for maintenance of the existing agricultural reservoirs.
2. Suggestion of the method to evaluate its existing dams and reservoirs and to identify the problems by coding.
3. Suggestion of the methods to determine the requirement of repairs, operational restrictions, or renovations and rehabilitations.
4. Suggestion of techniques to rehabilitate the degraded agricultural dams and reservoirs.
5. Methods for improvement of retention capacity for flood.

6. Suggestion of alternatives to old or discarded agricultural reservoirs.
7. Development of Safety Evaluation System and its application to Kosam Reservoir.
8. Appended field investigation reports for 31 reservoirs in Kyunggi-Do.

The results of this research give the following applications;

1. Prediction to degree of deterioration of agricultural dams and reservoirs.
2. Criteria to judge whether the dams and reservoirs are repaired.
3. Methods to develop the old and degraded dams and reservoirs.
4. Standardization of management and maintenance of reservoirs.

This research gives the following benefits;

1. Better and more timely water supply due to better maintenance.
2. Conservation of water due to less breakdown of the dam and reservoir facilities and leakage through dams and reservoirs.
3. Save budget due to timely maintenance and renovation of dams and reservoirs.
4. Better budgeting and planning of works for repair, rehabilitation or renovation.

Contents

Chap 1. General	17
Sec 1. Introduction	17
Sec 2. Background of the Research	19
Sec 3. Purposes and Work Scopes	23
Sec 4. Purposes in detail	25
Sec 5. Personnels in the Research	27
Sec 6. Summary and Conclusion	28
Chap 2. Complement of Guidelines for Maintenance of Agricultural Reservoirs	29
Sec 1. Introduction	29
Sec 2. Maintenance of Facilities	29
Sec 3. Orientation of Guidelines for Reservoir Maintenance	32
sec 4. Guidelines for Maintenance of Reservoirs	36
sec 5. Safety Inspection and Maintenance of Reservoirs	41
sec 6. Summary and Conclusion	58
Chap 3. Degradation Evaluation of Agricultural Reservoirs	61
Sec 1. Introduction	61
Sec 2. Degradation of Embankment	62

Sec 3. Degradation of various Structures	73
Sec 4. Degradation of Others	77
Sec 5. Application for Other Reservoirs	85
Sec 6. Summary and Conclusion	86
Chap 4. Safety Evaluation of Agricultural Reservoirs	89
Sec 1. Introduction	89
Sec 2. Items and Criteria of Safety Evaluation for Reservoirs	90
Sec 3. Evaluation of Degree of Safety for Embankment and various Structures	92
Sec 4. Slope Stability Analysis for Reservoirs	95
Sec 5. Seepage Analysis	112
Sec 6. Classification of Downstream Hazards.....	122
Sec 7. Development of Safety Evaluation System	133
Sec 8. Summary and Conclusion	141
Chap 5. Case Study in Kosam Reservoir	143
Sec 1. Introduction	143
Sec 2. General Conditions	144
Sec 3. Result of Field Survey	146
Sec 4. Degradation Evaluation	160
Sec 5. Safety Evaluation	165
Sec 6. Summary and Conclusion	171

Chap 6. Development of Repair and Rehabilitation Methods of Degraded Reservoirs	173
Sec 1. Introduction	173
Sec 2. Present Conditions of the existing dams and Repair history	174
Sec 3. Maintenance of Reservoirs	179
Sec 4 Criteria of Repair Rehabilitation for Reservoirs	183
Sec 5. Diagnosis for Repair and Rehabilitation	187
Sec 6. Techniques of Repair and their characteristics.	197
Sec 7. Plan and Design for Repair and Rehabilitation of Reservoirs	207
Sec 8. Case Study of Repair and Rehabilitation	214
Sec 9. Summary and Conclusion	226
 Chap 7. Development of Diversion Methods for Degraded Reservoirs	 229
Sec 1. Introduction	229
Sec 2. Kinds and Properties of Diversion Methods	229
Sec 3. Diversion of Reservoirs	230
Sec 4. Problems and Countermeasures	231
Sec 5. Cases of Multipurpose Use of Degraded Reservoirs (Japan)	232
Sec 6. Summary and Conclusion	233
 Appendix	 235

목 차

제출문	1
요약문	2
SUMMARY	6
제 1 장 총론	17
제1절 서론	17
제2절 연구의 배경과 기본방향	19
1. 연구의 배경	19
2. 연구의 기본방향	20
제3절 연구의 목적과 범위	23
1. 연구의 목적	23
2. 연구의 범위	24
제4절 연구의 세부내용	25
1. 연구목표	25
2. 세부과제별 연구내용	26
제5절 연구진	27
제6절 요약 및 결론	28
제 2 장 농업용 저수지의 유지관리 지침의 보완	29
제1절 서론	29
제2절 유지관리시설	29
1. 계측시설	29
2. 관측시설	31
3. 조작 및 유지관리시설	32
제3절 유지관리 지침의 정립방향	32
1. 계획	32

	2. 연례보고 및 현장조사	33
	3. 정기적인 검사 및 관리	34
제4절	저수지 유지관리 지침 정립	36
	1. 일반	37
	2. 목적	37
	3. 용어의 정의	37
	4. 시설관리자의 임무	38
	5. 안전점검	39
	6. 정밀 안전진단	40
	7. 시설의 개보수	40
	8. 설계도서 등의 보관	40
제5절	저수지의 안전점검 및 관리	41
	1. 서론	41
	2. 제체부	41
	3. 구조물부	43
	4. 유지관리의 문제점	58
제6절	요약 및 결론	58
제 3 장	농업용 저수지의 노후도 평가	61
제1절	서론	61
제2절	제체부의 노후화	62
	1. 노후화 조사 및 방법	62
	2. 제체부 노후화 판정	70
	3. 제체부의 노후도	71
제3절	구조물의 노후화	73
	1. 노후화 조사 및 방법	73
	2. 구조물부 노후화 판정	73
	3. 구조물의 노후도	74
제4절	저수지 기타부분의 노후화	77
	1. 저수지 퇴사	77

2. 여수토의 홍수처리 능력	85
제5절 현장조사된 저수지에의 적용	85
1. 현장조사의 목적과 대상저수지 범위	85
2. 현장조사결과	86
3. 노후도 점수 산정	86
제6절 요약 및 결론	86
제 4 장 농업용 저수지 안전도 평가	89
제1절 서론	89
제2절 저수지 안전도 평가 항목 및 기준	90
1. 서론	90
2. 안전도 평가항목	91
제3절 제체 및 구조물 안전도 평가	92
1. 안전도 등급 가중치	92
2. 안전도 평가	93
제4절 저수지 사면안정 해석	95
1. 서론	95
2. 저수지 사면안정 해석법	95
3. 지진시의 사면안정해석	98
4. 사면안정해석 프로그램	101
5. 저수지 사면안정 해석 결과	104
6. 안전도 평가	109
제5절 침투류 해석	112
1. 서론	112
2. 침투이론	112
3. 유한요소 해석	119
제6절 하류피해분석	122
1. 서론	122
2. 저수지 결괴로 인한 유출홍수량 결정	122
3. 하도홍수추적	123

4. 하류피해의 산정 및 평가	124
5. 하류피해 평가 기준	132
제7절 안전도 평가 시스템 개발	133
1. 서론	133
2. 종합 안전도 평가 기준	133
3. 안전도 평가시스템의 기능	133
제8절 요약 및 결론	141
제 5 장 저수지 사례연구 (고삼저수지)	143
제1절 서론	143
제2절 일반현황	144
제3절 현장 조사 결과	146
1. 현장조사	146
2. 실내시험	155
3. 기타조사	157
제4절 노후도 평가	160
1. 제체부	160
2. 구조물부	161
3. 여수도 능력	162
4. 저수지 퇴사	164
5. 노후도 평가 결과	165
제5절 안전도 평가	165
1. 제체 및 구조물부의 안전도 평가	165
2. 사면안정평가	165
3. 침투류 해석	167
4. 하류피해	169
5. 평가시스템 적용	170
제6절 요약 및 결론	171

제 6 장 노후저수지 개보수 공법의 개발	173
제1절 서론	173
제2절 저수지의 노후상황 및 개보수 현황	174
1. 저수지의 노후 현황	174
2. 개보수 현황	176
제3절 저수지의 정비	179
1. 저수지의 재해요인	180
2. 정비의 필요성과 내용	182
제4절 저수지의 개보수 기준	183
1. 제체부	184
2. 구조물부	185
제5절 개보수를 위한 진단방법	187
1. 제체부	187
2. 구조물부	189
제6절 개보수 공법의 종류 및 특성	197
1. 개보수의 원인에 따른 분류	197
2. 개보수공법의 종류 및 특성	199
제7절 저수지의 개보수의 계획 및 설계	207
1. 계획수립의 방침	207
2. 수문계획	207
3. 주요 공사계획	208
4. 설계	209
제8절 개보수 사례 연구	214
1. 일반적인 예	215
2. 특수공법의 예	222
제9절 요약 및 결론	226
제 7 장 노후저수지 전용방법 개발	229
제1절 서론	229
제2절 전용방법의 종류 및 특성	229

1. 개요	229
2. 전용방법의 종류	229
제3절 저수지의 이용방법	230
1. 자원 및 환경적 이용	230
2. 공간이용	230
3. 상수원 이용	230
4. 문화적 이용	230
5. 매립을 통한 토지이용	231
제4절 문제점 및 대책	231
1. 홍수조절용 유수지	231
2. 유원지화, 공원화 등	231
3. 상수도원	232
제5절 노후저수지의 다목적 유효이용 예(일본)	232
제6절 요약 및 결론	233
부록	235

별책부록 : 32개 저수지 현황정리

제 1 장 총론

제 1 장 총론

제1절 서론

본 “농업용 저수지의 안전관리와 노후화에 따른 재개발 대책 (II)”는 경기도청에 의거 1995년 12월28일부터 1996년 11월30일까지 서울대학교 농업생명과학대학 부속 농업개발연구소에서 수탁 연구 과제로 수행되었다.

본 연구는 1차 년도에 조사한 경기도 내의 농업용 저수지 실태를 정리하여 안전도 평가의 자료로 삼고 저수지 노후화 평가를 통하여 저수지의 보수 효과와 재해가 발생 가능한 저수지에 대한 대책을 수립하므로서 재해를 미연에 방지하는 방안을 제시하며 노후화에 따라 기능회복이 요구되는 저수지에 대하여 개보수공법을 연구하고 농업용 용수원으로서의 기능을 상실한 저수지 처리공법을 개발하며, 기 제시한 유지관리지침을 보완하는 것을 목적으로 시도되었다.

수자원 장기종합계획에 의하면 1991년도를 기준으로 총 용수량은 약 282억 m^3 이 필요하며 그 중에서 농업용수량은 약 54%로 수자원 소요량의 절대우위를 차지하고 있다. 2000년 이후에는 이보다 약 17% 정도 증가하여 330억 m^3 이 소요되며, 농업용수는 약 8% 정도 증가한 164억 m^3 이 필요하게 될 것으로 전망된다. 더구나 농어촌에서의 용수의 수요는 보다 다양해져서 논농사, 밭농사 용수뿐만 아니라 생활용수, 공업용수, 축산용수, 수산용수 및 농촌관광용수 등 여러 가지 용도의 용수가 필요하게 될 것이다.

농업용 저수지는 서기 144년 제방수축과 서기 330년 전북 김제의 벽골지를 축조한 이래 식량생산을 위한 용수의 공급과 홍수와 한해에 대처하기 위하여 꾸준히 증축, 신축되어 1993년말 현재 농업용 저수지는 주수원공

15,154개소를 포함하여 18,229개소가 전국에 산재되어 있다. 그러나, 현재 운영되고 있는 저수지 중에서 약 90%인 16,407개소가 1970년대 이전에 축조된 것으로 시설의 기능이 부적절하고 노후화되어 있는 실정이다. 특히, 해방 전에 축조된 것이 약 55%로 토사의 퇴적으로 인한 내용적 감소 등의 원인에 의한 유효저수량의 부족으로 각종 용수의 공급이 원활하지 못한 상태에 있으며, 제방의 유실, 콘크리트 구조물의 부식 등 극히 노후화의 정도가 심하여 재해의 위험이 있을 것으로 판단된다.

또한 이러한 시설물들은 도시화에 의한 농지의 전용, 물리면적의 감소 등의 주변여건의 변화, 및 환경오염 등에 의하여 폐기되고 있으며, 각종 농업기반사업을 통하여 신설되고 있는데 최근 8년간의 통계를 보면 약 5,564개소가 새로 설치되었으며 7,484개소가 폐기되어 매년 약 240개소가 폐기되고 있는 실정이다. 그 중에서 농업용 저수지는 323개소가 새로 설치되었고 689개소가 폐기되어 매년 약 46개소가 폐기되고 있는 실정이며 이에 대한 대책이 시급히 연구되어야 할 과제이다.

따라서, 이러한 시설들이 제기능을 다하고 적절한 상태로 유지되고 있는지 또는 보다 효율성을 높여서 관리할 수 있는 방안이 있는지 등을 진단하고 자산의 가치와 능력을 보다 향상시키면서 더 나은 공익적인 기능을 유지하도록 해야 할 것이다.

본 장에서는 “농업용 저수지의 안전관리와 노후화에 따른 재개발 대책(II)”의 배경과 필요성, 연구의 목적, 범위, 세부 내용 및 추진 방법 등을 다루고, 본 연구의 과업과 참여 연구진 등을 정리하였다.

제2절 연구의 배경과 기본 방향

1. 연구의 배경

저수지의 붕괴로 인한 홍수는 일반적으로 해빙이나 강우로 인한 홍수보다 그 규모가 훨씬 크다. 저류되었던 많은 양의 물이 저수지의 붕괴로 인하여 짧은 시간동안에 하류로 방류되면 하류지역에 심각한 재산과 인명의 피해를 주게 된다. 이때에 홍수파로 인하여 막대한 양의 토사와 돌무더기들이 세굴, 운반, 퇴적되어 수로와 계곡의 자연 및 생활환경에 큰 변화를 초래하게 된다.

지난 100 여년 동안 지구상에는 무려 200 여개의 저수지(댐)가 붕괴되어 11,100 여명에 달하는 인명이 희생되었다. 이들 저수지(댐)의 붕괴 원인으로서는 부적합한 여수로로 월류됨으로써 파괴된 것이 전체의 34%이고 기초결함이 30%, 파이핑과 침투가 28% 등이다.

우리나라에서는 1961년 효기리에서 높이 15.6m의 저수지와 1980년에 충북 보은군 보청천 유역에서 소규모 소류지가 연쇄적으로 파괴된 적이 있다.

1996년 7월 철원 및 연천 등 경기 북부지방에 내린 500mm 이상의 집중호우로 한탄강과 임진강의 범람하고 제방이 유실되어 많은 인명과 재산 피해가 발생하였고 특히 연천 소수력발전댐의 수문고장으로 댐이 붕괴되면서 1300여만 톤의 물이 한탄강으로 방류되면서 피해를 가중시켰다. 특히 지역 내의 농업용 저수지도 붕괴의 직전까지 물고가 공포에 떨게하였으며 저수지의 붕괴가 가져올 수 있는 재앙을 짐작케 했다. 이와같이 집중호우에 의해 붕괴위기를 맞았던 저수지, 또는 여러 가지 원인에 의해 노후화된 저수지는 반드시 안전도를 검토하여 붕괴로 인한 막대한 피해를 사전에 예방하는 것은 말할나위 없이 중요하다.

현재 우리나라의 기존 2,000 여개의 관개용 댐의 95% 이상이 흙댐이며, 기타 대, 소규모의 댐이 산재하고 있는 바 이들의 예상하지 못한 붕괴로부터 발생하는 홍수피해를 해석하는 수리학적 해석모형의 개발은 방재공학적인 면에서 매우 긴요하다 하겠다.

이상과 같은 저수지의 피해에 대한 원인과 그 대책을 규명하기 위하여 기존 시설의 노후화 정도를 조사하고 개수, 보수 및 유지관리를 위한 기준을 정립하므로써 안전하고 경제적으로 저수지를 유지관리하여 저수지 본래의 목적에 맞도록 해야 할 필요가 있으며 예상되는 피해를 최소화 할 필요성이 제기되고 있다.

2. 연구의 기본 방향

본 연구는 농업용 저수지의 노후화에 따른 각종 피해를 방지하기 위하여 저수지의 안전도를 진단하고 유지관리지침을 정립하고 노후화된 저수지의 기능회복을 위한 적절한 대책을 수립하는데 목적이 있다. 따라서 본 연구의 기본 방향은 다음과 같은 내용을 포함한다.

가. 체계적인 유지관리 지침의 정립 및 보완

저수지의 유지관리가 불충분하면 기능 장애 및 더 나아가 붕괴 등의 재해를 일으킬 수 있다. 또한 새로운 농업용 저수지의 건설하기에는 많은 자원, 시간과 인력이 소요되며 적지를 찾는 것도 문제가 된다. 따라서 기존의 저수지를 효과적으로 개보수하는 기준과 체계적으로 유지관리할 수 있도록 하는 지침이 필요하다.

나. 저수지의 노후화 판정기준 정립

저수지는 건전한 관리에도 불구하고 시공 기술상의 부족, 축조 후의 홍

수, 지진 등 자연적 여건의 변화와 사회적 상황의 변화에 의해 노후화하게 된다. 따라서 안전도 검사를 통해 노후화 정도를 판정할 기준이 필요하다. 농촌의 도시화, 농업환경 변화 등에 의해 더 이상 저수지로서의 기능을 갖지 못하여 폐기 대상이 된 저수지에 대한 이용 방안이 강구되어야 하며 따라서 이의 판정기준을 확립할 필요가 있다.

다. 저수지의 안전도 평가시스템 개발 및 적용사례

저수지의 노후화는 누수량이나 침윤선, 제체단면 형상, 여수토 능력, 시설물의 약화뿐만 아니라 축조후 시간의 경과에 따른 약화, 축조기술의 수준 상승에 따른 기술수준의 상대적 저하, 환경변화에 따른 안전성 저하 등에 의하여 발생하는데 이에 대한 수리적, 구조공학적, 토질공학적인 안전성을 검토하는 방법을 개발하고 사례 연구를 통하여 적용성을 검토한다.

라. 저수지 기능회복을 위한 적절한 대책 수립

저수지 본래의 기능을 효과적으로 회복하기 위한 적절한 대책을 수립하는 것이 필요하다. 또한 수자원을 절약하는 기능 이외에도 저수지 붕괴 등의 재해를 방지하는 효과가 있으며 홍수조절 기능도 있다고 생각할 수 있다.

마. 용수원으로서의 기능을 상실한 저수지의 처리방법

최근의 대규모 지역사회 개발로 농어촌 정주생활 구도에 커다란 변화가 있으며 인구증가로 농촌의 도시화가 급속하게 진행되고 있으며 농업인구의 감소와 노령화, 농경지의 감소에 따른 농업 경영의 변화는 저수지에 대한 의존도를 감소시켰다. 우리나라에서 매년 폐기되고 있는 저수지는 46 여개소에 이르는 것으로 조사되었다. 이러한 변화는 유역내에 저수지의 기능에

여러가지 변화를 일으키고 있으며 이에 대한 대책이 시급하다.

바. 저수지의 노후화에 대한 대책

1945년 이전에 축조된 저수지가 전체의 55%이며 대다수의 저수지는 축조후 50~60년 이상 경과하였고 축조 당시 최대한의 기술로 축조되었지만 오늘날의 재료 역학적인 관점이나 토질 역학적인 기술로 볼 때 불완전하다고 할 수 있으며 일상적인 관리에도 불구하고 모든 저수지가 어느 정도의 기능 장애를 가지고 있다. 이로 인한 저수지 용수의 누수에 의한 경제적인 손실은 막대하며 노후화로 인한 저수지 결피는 인명과 재산에 막대한 피해를 줄 수 있으므로 이에 대한 대책이 필요하다.

사. 저수지 개보수 기술 개발

저수지는 농업용수의 확보를 위하여 축조된 것이므로 이러한 기본적인 목적을 위하여 정비하고 개보수하여야 한다. 농촌환경 변화에 따라 저수지 상류가 개발되어 토사의 유입이 늘고 저수용량이 감소되며 제체는 물론 취수시설이나 여수토 등이 노후화하여 여러가지 기능 저하를 일으키고 있다. 1990년의 경우만 보더라도 약 300건의 저수지 개보수가 이루어졌고 건당 개보수 비용은 7,000만원에 달하며 현재의 개발 추세로라면 개보수 대상이 되는 저수지의 숫자와 공사비는 계속적으로 늘어날 것으로 추산되고 있으며 따라서 저수지의 본래의 기능을 회복하기 위한 여러 가지 개보수 기술 개발이 필요하다.

제3절 연구의 목적과 범위

1. 연구의 목적

본 “농업용 저수지의 안전관리와 노후화에 따른 재개발 대책(Ⅱ)”의 연구 목적을 정리하면 다음과 같다.

가. 기술적 측면

- (1) 저수지에 대한 유지관리 지침의 보완
- (2) 노후화 정도를 예측하고 그에 따른 대책공법을 수립
- (3) 안전도 평가를 통한 보수효과 예측
- (4) 호우성 집중강우에 대한 유수지로서의 기능강화 대책
- (5) 저수지의 노후화 평가를 통해 재해발생 예상 저수지 대책 수립

나. 경제적 측면

- (1) 수자원 활용
- (2) 효과적인 수자원 관리 대책 수립
- (3) 누수 방지 대책
- (4) 적절한 개보수 공법 개발
- (5) 개보수 및 투자순위의 합리적 판정으로 예산 절감

다. 활용방안

- (1) 기존 저수지의 노후화 진행 상황의 예측
- (2) 개보수 우선 순위 판정의 기준
- (3) 폐저수지의 재활용으로 정주환경 개선

(4) 관리운영지침의 표준화 추진 자료

2. 연구의 범위

본 “농업용 저수지의 안전관리와 노후화에 따른 재개발 대책(Ⅱ)” 연구의 범위를 정리하면 다음과 같다.

- 가. 농업용 저수지의 유지관리 지침의 보완
- 나. 농업용 저수지의 노후화 평가 시스템의 개발
- 라. 사례 연구에 의한 안전도 평가 시스템의 적용성 검토
- 마. 저수지 기능회복을 위한 공법의 개발
- 바. 농업용 용수원의 기능을 상실한 저수지 전용방법의 개발

제4절 연구의 세부내용

1. 연구목표

연구개발 내용	현 황	목 표
농업용 저수지의 유지관리 지침의 보완	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유지관리실태 파악이 부재 ○ 관리 지침이 부재 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 각 부처별 관리 지침의 비교 검토 ○ 1차년도 저수지 관리 지침의 보완
농업용 저수지의 노후화에 따른 안전도 평가 시스템의 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 노후정도의 판정기준 부재 ○ 노후정도에 따른 안전도 평가기준 부재 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 노후도에 따른 안전도 평가 기준의 검토 및 정립 ○ 안전도 평가시스템의 개발
실용화		<ul style="list-style-type: none"> ○ 실제 유지관리에 대한 연구 내용의 적용 ○ 대표적인 노후저수지에 대한 종합적인 평가·진단 ○ 실용화 및 문제점
저수지 기능회복을 위한 공법의 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 누수로 인한 수자원 손실 ○ 제체 및 여수토의 규모가 부족 ○ 토사의 준설이 필요 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 누수방지 대책의 수립 ○ 제체 및 여수토의 보수 대책 수립 ○ 유입토사의 준설에 따른 문제점을 검토
저수지 전용방법의 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 방치되거나 매립되고 있는 상태 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 홍수방지를 위한 유수지로서의 활용 방안 ○ 농어촌 정주환경 요소로서의 재정립 방안 ○ 매립을 통한 토지이용계획 ○ 매립에 따른 문제점과 해결 방안

2. 세부과제별 연구내용

세 부 과 제 명	연 구 내 용
저수지 안전도 평가시스템의 개발 및 사례연구	<ul style="list-style-type: none"> ○ 저수지 노후 평가기준의 보완 ○ 저수지의 안전도 평가방법의 정립 ○ 안전도 평가시스템의 개발 ○ 사례연구에 의한 시스템 검증
저수지 기능회복을 위한 공법의 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유입토사의 준설에 따른 문제점 검토 ○ 누수방지대책의 수립 ○ 제체 및 여수토의 보수대책
농업용 용수원으로서의 기능을 상실한 저수지 전용방법의 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 홍수방지를 위한 유수지로서의 활용 방안 ○ 매립을 통한 토지이용 계획 ○ 공원화 ○ 매립에 따른 문제점과 해결방안

제5절 연구진

본 연구를 수행한 연구진과 그 주요업무를 정리하면 다음과 같다.

총괄책임 연구원	장 병욱	서울대학교 농업생명과학대학 교수	연구업무 총괄
협동 연구원	김 무열	아신건설주식회사 대표이사	현장자료 분석
	송 창섭	충북대학교 농과대학 조교수	개·보수공법 개발
	이 행우	농지개량조합연합회 기수	실험자료 분석
연구원	윤 상묵	서울대학교 대학원 박사과정	현장자료 분석
	박 영곤	서울대학교 대학원 박사과정	프로그램 개발
	우 철웅	서울대학교 대학원 박사과정	프로그램 개발
연구 보조원	길 상춘	서울대학교 대학원 석사과정	현장조사 및 분석
	전 상욱	서울대학교 대학원 석사과정	현장조사 및 분석
	정 종홍	서울대학교 대학원 석사과정	현장조사 및 분석
	강 성	서울대학교 대학원 석사과정	현장조사 및 분석
	원 정윤	서울대학교 대학원 석사과정	현장조사 및 분석
	김 성필	서울대학교 토질공학 연구실	실험 및 연구보조
	김 강석	서울대학교 토질공학 연구실	실험 및 연구보조
	차 경섭	서울대학교 토질공학 연구실	실험 및 연구보조

제6절 요약 및 결론

우리나라 대부분의 농업용 댐이나 저수지는 축조된지 오래되었고 노후화 되어 안정성에 문제가 많은 것으로 지적되고 있으며 이로 인한 피해가 예상되므로 피해를 최소화하기 위하여 안전하고 경제성 있는 대책을 강구하는 방안이 필요하다.

본 장에서는 “농업용 저수지의 안전관리와 노후화에 따른 재개발 대책”의 배경과 연구의 필요성, 연구의 목적, 범위, 세부내용, 추진 방법 및 참여 연구진을 정리하였으며 그 내용은 다음과 같다.

1. 본 연구는 기존 농업용 저수지의 안전성을 진단하고 효과적인 개보수 공법 개발 및 유지관리를 하기 위하여 추진되었다.
2. 노후저수지 평가시스템을 개발하며 농업용 저수지에 적용할 수 있는 프로그램을 개발하는 것을 목적으로 하고 있다.
3. 사례 연구(case study)를 통하여 프로그램의 응용성 검정을 실시한다.
4. 저수지 기능회복을 위한 적절한 대책공법과 농업용 용수원의 기능을 상실한 저수지 전용방법을 개발한다.
5. 유지관리 지침을 보완한다.
6. 본 연구는 1994년 12월28일부터 1996년 11월 30일까지의 기간 중에 실시하도록 계획하였으며 본 년도는 2차년도에 해당한다.
7. 본 연구의 연구진과 주요 업무내용을 정리하였다.

제 2 장 농업용 저수지의 유지관리 지침의 보완

제 2 장 농업용 저수지의 유지관리 지침의 보완

제1절 서론

저수지와 관련시설의 유지 및 안전관리에 관한 사항을 규정하여 시설을 체계적으로 관리하여 저수지의 기능을 보존하고 저수지 이용자의 편의와 효율을 높이기 위하여 육안 또는 장비를 사용하여 일상적으로 점검·정비하고, 필요한 경우 특별안전진단 등을 통하여 저수지의 기능을 유지 보전함으로써 시설의 재해예방과 기능증진을 도모하고자 한다.

따라서 저수지와 관련 시설물에 대한 유지 및 안전관리 계획을 수립하고 수행할 수 있도록 지침을 작성한다. 유지 및 안전관리 계획은 다음과 같은 사항을 포함한다.

1. 저수지와 관련 시설물의 유지 및 안전관리를 위한 조직, 인원, 장비에 관한 사항
2. 안전과 재해예방 및 경보체계등 방재관리에 관한 사항
3. 안전점검 및 정밀안전진단 실시계획
4. 긴급사항 발생시 조치 사항
5. 저수지와 관련시설의 유지 및 안전관리 계획
6. 기타

제2절 유지관리시설

1. 계측시설

댐 및 저수지의 안전성을 높이기 위하여 구조물이나 주변 원지반 등의

거동 및 상태를 정기적 또는 수시로 측정하기 위하여 계측시설을 설치하고, 저수지 유입량, 방류량, 기상상태 등의 관측을 위하여 관측시설을 설치하여야 한다. 저수지의 계측시설은 저수지의 규모, 중요도, 특수성 등을 고려하여 적합하게 설치한다. 계측시설은 컴퓨터를 이용한 자동기록장치를 설치하여 저수지 거동 분석을 하고 결과를 저수지 운영에 반영하게 한다. 계측기의 설치는 유지관리가 편리한 곳에 설치하고 충격이나 도난등으로부터 안전하도록 보호시설을 하여야 한다.

가. 제체

제체에 설치해야 할 시설을 들면 다음과 같다.

- (1) 누수량 측정장치 : 모든 저수지 제체에 삼각웨어 등을 설치하여 누수량, 탁도 및 침전물 등을 관찰한다. 제체 및 기초의 이상변형이나 균열, 파이핑 등이 발생하면 누수량이 급증하고 물이 흐려지는 경우가 있으므로 이러한 관측장치가 반드시 설치되어야 한다.
- (2) 변형량 측정장치 : 저수지의 자중 및 저수위 변동에 따른 수압의 변동 등으로 변형이 발생할 수 있으므로 이를 정확하게 측정하여 안전관리에 자료로 한다. 모든 댐에 댐마루 표면측정장치를 설치하고 필요한 곳에 기타 변형량 측정 장치를 설치한다. 침하 셀(cell), 경사계, 층별침하계 등이 사용된다.
- (3) 간극수압계 : 기초지반에 설치하여 기초지반의 침투성측정, 저수위 변화에 따른 지하수위 변화, 간극수압분포를 알 수 있도록 설치한다. 특히 침윤선을 측정하기 위하여 모든 흙댐에 설치하여야 하며 투수성이 높다고 생각되는 저수지의 어바트먼트(abutment) 주변과 저수지와 양안 접속부 등에 설치한다.
- (4) 수위 측정계 : 홍수위 및 저수위의 변화와 추이를 기록하기 위하여 설치한다.
- (5) 토압계 : 시공시 시공관리를 위하여 또는 급격한 방류 또는 만수시

저수지 용력과 수압의 변화를 측정할 수 있도록 설치한다.

나. 구조물부

구조물부에는 유지관리상 필요에 따라 다음과 같은 계측기를 설치한다.

- (1) 변형량 측정장치 : 구조물 이음부 등에 설치하여 부등침하 또는 수평 변위를 측정한다.
- (2) 경사계 : 구조물부의 변형을 측정하기 위하여 설치한다.
- (3) 지진계 : 큰 댐의 경우 제체의 안전 점검을 위해 설치한다.
- (4) 간극수압계 및 토압계 : 구조물 주변부의 변형과 공극수압의 변화를 측정할 수 있도록 설치한다.

2. 관측시설

저수지의 안전조작 및 유지관리를 위하여 수위, 유량, 강우량 등을 관측하기 위한 관측시설과 경보시스템 등을 설치해야 한다.

가. 강우량 관측시설 : 자기 우량계를 선정하는 것이 좋으며, 지역특성, 도록 적당한 위치에 설치한다.

나. 수위 관측시설 : 수위계는 설치장소, 정밀도, 용도 등을 고려하여 알맞는 기종을 선택하며 자기수위계를 설치하는 것이 바람직하다. 설치장소로는 물넘이의 영향을 피해 게이트에서 적어도 30m 이상 떨어진 위치가 좋으며 풍랑, 지형의 영향을 받지 않는 곳에 설치한다. 또한 홍수조절이나 용수공급을 관측하기 좋은 지점에 설치한다.

다. 수질 관측시설 : 필요에 따라 수질을 관측하며 관측장소로는 유입지점, 저수지내 및 방류지점을 선택한다.

라. 통신 및 경보시설 : 홍수시는 물론 위급시에 신속히 통보할 수 있는 무선전화 등 통신시설이 필요하며 저수지 방류에 따른 피해가 우려될 때 하천법 및 동시행령에 의거 사이렌 또는 경종을 발동할 수

있도록 경보장치를 설치한다.

3. 조작 및 유지관리시설

가. 조작 및 제어시설

물넘이 게이트, 취수장치 및 밸브등의 원격제어장치 : 악천후시 현지조작의 위험성과 확실한 취수조절등 정확한 물관리를 위하여 관리건물내에 조작할 수 있도록 원격제어장치를 설치하는 것이 좋다.

나. 전기시설

안전 관리를 위하여 예비발전시설, 무정전 전원장치 등이 필요하다.

다. 관리 시스템 및 관리소

관측시설, 방류시설, 취수시설, 경보시설, 기타 유지관리에 필요한 시설들의 조작 및 안전 운용을 위하여 관리시스템과 종합적인 물관리 시설을 설치해야 한다. 이러한 모든 관리 기능을 적절히 발휘하기 위하여는 관리소가 적절한 위치에 설치되어야 한다. 또 저수지내의 순시, 수온, 수질등의 측정을 위하여 차량 및 순시선등 지원시설을 필요로 한다.

제3절 유지관리 지침의 정립방향

1. 계획

가. 유지관리 계획의 내용

- (1) 현장 관리인의 보고 : 유지관리 및 보수가 필요한 곳에 대한 연례 보고가 예방적 차원에서 필요하다.
- (2) 정기적 조사 : 시, 군, 농조 등 관리 주체에 의한 공식적인 조사.
- (3) 유지관리 시스템 : 유지관리를 위한 조직, 규정, 계획, 예산, 보수작업

진행상황

나. 유지관리 계획의 이점

좋은 유지관리는 예방적 차원에서 다음과 같은 이점을 갖는다.

- (1) 저렴한 유지관리 비용
- (2) 비상상태 발생회수 감소
- (3) 예산 및 작업계획이 용이
- (4) 사고발생 감소와 미연에 방지
- (5) 전반적인 관리효율 증대
- (6) 저수지 물관리 효율 증대

2. 연례보고 및 현장조사

가. 현장조사 목적

좋은 유지관리 계획이나 예방적 유지관리 계획은 유지관리가 필요한 곳을 확인 또는 발견하는 것부터 시작한다. 이러한 곳의 발견은 연례보고나 정기점검(장비, 시설, 구조물에 따라 횡수 지정) 등으로부터 할 수 있다. 정기보고 이외에도 현장 관리인의 감시 또는 관리 과정에서 이상이 발견되면 보고하여 관리대상을 정할 수 있다.

나. 현장조사 참여자

현장조사 또는 관련 회의 참석범위는 저수지의 유지관리에 관련된 모든 사람으로 시·군, 농조 등 관련 감독관청과 현장 관리자이다. 이러한 회의는 상호간의 당면 문제의 이해와 예산 및 계획수립에 필요한 사항을 효과적으로 찾을 수 있다.

다. 현장조사 및 회의

현장조사는 모든 참석자가 저수지의 시설이나 관리조직의 유지관리 필요

성을 충분히 이해할 수 있도록 시행해야 하며, 발견된 결점과 가능한 모든 해결책에 대하여 논의해야 하며 지금까지의 유지관리 및 보수상황, 장래의 보수계획에 대해서도 논의를 해야 한다. 이러한 회의는 장래의 작업계획과 예산을 작성하는데 중요하다.

3. 정기적 검사 및 관리

가. 목적

유지관리 상태의 정기적인 검사는 각 시설이나 관리상태를 정확하게 평가하기 위한 것이며, 장기간 사용에도 적절한 기능을 발휘할 수 있도록 하기 위하여 시행하는 것이다. 이러한 조사는 가능한 편견없이 이루어지는 것이 필요하다.

검사는 계획을 세워 시행하여야 하며 그 내용은 다음과 같은 것을 포함할 수 있다.

(1) 투자된 자원의 보호

(가) 적절한 유지관리는 저수지 시설물의 사용 내구년한을 증대시킬 수 있다.

(나) 적절히 시행된 예방적 차원의 유지관리는 불필요한 유지관리 비용을 절감할 수 있다.

(다) 유지관리상의 문제점을 개선함으로써 저수지 시설물의 파괴를 미연에 방지할 수 있으며 관개는 물론 기타의 수자원 공급을 보장할 수 있다.

(2) 적절한 유지관리 방법임을 확신

(가) 유지관리 팀에게 저수지 시설을 경제적이며 효과적인 방법으로 유지관리하며 적절하게 물관리를 할 수 있도록 기술을 지원한다.

(나) 저수지 시설물의 적절하게 유지 관리할 수 있는 조건을 확보하여 줌으로서 불필요한 긴급 보수자금 사용을 줄일 수 있다.

(다) 물자원의 사용자에게 확실하게 물공급을 함으로서 수세 수입이 안정되어 재정계획을 수립할 수 있다.

(3) 유사한 저수지 시설물의 설계, 시공, 및 유지관리의 정보 제공

(가) 문제점과 관련된 계 자료를 검토하여 차후 공사 및 유지관리에 참고할 수 있다.

(나) 유지관리 목적에 맞는 재료 및 공산품, 새로운 재료를 도입하여 사용 가능성을 평가할 수 있다.

나. 조사

주요 조사는 팀을 구성하여 시행하며 중앙부서와 지방부서가 각각 6년마다 시행하여 그 결과보고서를 매 3년마다 작성한다. 이러한 조사의 대상은 먼저 관리 규정에 의해 작성하고 가능한 한 모든 시설을 대상으로 하며 시험과 운전 조작을 포함한다. 조사자는 사용할 종합적인 조사표(check list)를 작성하여야 한다.

조사팀의 구성은 팀장 1명과 2~3명의 조사자로 구성하며 조사자는 시설물의 운전조작이나 관리능력이 있는 사람과 콘크리트 구조와 댐구조 및 기계설비의 설계에 능통한 사람이어야 한다. 이들의 임무는 현장상황에 따라 결정된다.

조사자는 경험자에게 조사방법에 대하여 사전에 교육을 받아야 한다. 이러한 교육은 정기적으로 시행하여 일관성있는 평가를 할 수 있도록 훈련되어야 한다.

그 이외의 참관자로는 중앙부서의 관련자, 농조현장 관리자 등이 있으며 이들은 저수지의 문제점을 비롯하여 저수지에 관련된 전반적인 지식을 얻을 수 있게 된다.

다. 관리자의 안전 수칙

저수지와 관련 시설물의 유지 및 안전 관리자는 안전 우선으로 작업하여야 한다. 모든 작업은 작업계획을 세우고 모든 작업자에게 안전수칙을 주지시켜야 한다.

라. 작업계획의 중요성

저수지와 관련시설의 유지 및 안전관리를 위한 작업 계획은 가용 인원을 최대한 활용하며 기상상태를 고려하여 작업계획을 수립하여야 한다. 유지관리 계획은 연중 고르게 분산시켜 작업하도록 하는 것이 좋다.

마. 조사 및 유지관리 조사표 작성

저수지와 관련 시설물은 정기 검사와 보수를 하여야 한다. 저수지와 관련시설의 유지 및 안전관리를 효과적이며 간단한 방법에 의해 실시할 수 있어야 한다. 조사표 작성시 조사할 사항, 조사빈도, 조치 사항, 특이 사항 등을 조사표에 기록한다.

바. 조사 및 유지관리 기록 카드의 사용

저수지와 관련시설물의 검사 및 유지관리 자료를 기록 보관하기 위하여 개별 카드를 작성한다. 이 카드에는 점검자, 점검일시, 점검내용, 차기 점검시기, 수리내용 등을 기록한다.

제4절 저수지 유지관리 지침 정립

농업기반시설 관리규정(법률 제 4823호 94.12.22), 농업기반시설관리 규정(농림수산부 1995.4.), 시설의 유지 및 안전관리에 관한 규정(농림수산부령 제824호,95.6.23), 시설의 유지 및 안전관리 관련 규정(건설교통부) 및 기타 관련규정 중 저수지 관련 유지관련 지침을 소개한다.

1. 일반

농어촌 정비령이 제정 공포(법률 제4823호 1994.12.22) 됨에 따라 동법제 18조 및 동법 시행령 제 21조의 규정에 정하는 바와 같이 저수지와 관련시설의 유지 및 안전관리에 관한 사항을 규정(농림수산부령 제824호 95.6.23) 하여 시설을 체계적으로 관리하여 저수지의 기능을 보존하고 저수지 이용자의 편의와 효용을 높이기 위하여 일상적으로 점검하고 정비하는 등 저수지의 기능을 유지보전하는 것과 육안 또는 장비를 사용하여 안전점검 및 정밀 안전 점검 등을 강화하여 시설의 재해 예방과 기능 증진을 도모하고자 한다.

2. 목적

저수지와 관련시설물에 대한 유지 및 안전관리 계획을 수립하고 수행할 수 있도록 지침을 작성한다. 유지 및 안전관리 계획은 다음과 같은 사항을 포함한다.

- 1) 시설물 유지 및 안전관리체계
- 2) 저수지와 관련시설물의 유지 및 안전관리를 위한 조직, 인원, 장비에 관한 사항
- 3) 안전과 재해예방 및 경보체계 등 방재관리에 관한 사항
- 4) 안전 점검 및 정밀 안전진단 실시 계획
- 5) 유지 및 안전관리 비용, 예산확보에 관한 사항
- 6) 긴급사항 발생시 조치 사항
- 7) 저수지와 관련시설의 유지 및 안전관리 계획
- 8) 기타 시설물의 유지 및 안전관리계획에 필요한 사항

3. 용어의 정의

가. 1종시설 : 관개 면적 500ha 이상 또는 제당높이 20m 이상인 저수지

나. 2종시설 : 1종 이외의 시설

- 다. 시설관리자 : 농림수산부 장관으로부터 당해 시설물의 관리를 지정받아 관리하고 있는 시장, 군수, 구청장, 농어촌진흥공사 사장, 농지개발조합장을 말한다.
- 라. 유지관리 : 완공된 시설의 기능을 보전하고 시설물 이용자의 편의와 안전을 도모하기 위하여 일상적으로 점검, 정비하고 손상된 부분을 원상복구하는 등 시설의 기능유지보전에 필요한 활동을 하는 것.
- 마. 안전점검 : 경험과 기술을 갖춘 자가 육안 또는 점검기구 등에 의하여 시설에 내재되어 있는 결함사항을 조사하는 것.
- 바. 정밀안전진단 : 안전점검을 실시한 결과 시설의 재해예방 및 안전성 확보를 위하여 시설관리자가 필요하다고 인정하거나 1종시설의 물리적, 기능적 결함을 발견하고 이들 시설에 대한 신속하고 적절한 조치를 위하여 구조적 안정성 및 결함의 원인을 조사, 측정 및 평가를 하여 보수, 보강 등의 방안을 제시하는 것

4. 시설관리자의 임무

저수지와 관련 시설물의 관리자는 저수지의 기능을 보전하고 시설이용자의 편의를 위하여 항상 저수지의 시설을 점검하고 정비하여야 한다. 시설관리자는 긴급조치가 필요할 때는 신속한 조치를 취하고 각종 재해 및 사고등을 예방하여야 한다. 관리자가 관리하여야 할 사항은 다음과 같다.

- 가. 저수지 제당의 변형과 누수여부에 대한 조사확인 및 조치
- 나. 제당 사면보호용 사석의 유실, 이완에 대한 조사확인 및 조치
- 다. 제당에서의 가축방목, 퇴비적치, 토석채취 및 낚시 행위 금지
- 라. 유역내 오염물질 유입여부 확인 및 조치
- 마. 여수토 균열 및 누수확인 및 조치
- 바. 유역내 형질 변경 금지
- 사. 저수지 내용적 측정 및 매몰 토사 준설과 변동사항 기록보존

아. 저수위 변동사항 및 내용적의 변동사항

자. 취수장치의 권양기 조작상의 이상 유무 확인 및 정비

차. 저수지 부지와 호수면 관리에 따르는 금지행위, 사용료 징수 등 계약
부대 조건 이행

카. 폭우 홍수시 철저한 관측과 피해 예방 조치

타. 수문 조작에 필요한 기계, 기구 등 점검 정비

카. 홍수량 방류시 관계기관 및 하류 주민에게 사전 통보

파. 급수계획에 따른 적절한 용수 배분

하. 목적외 사용승인시 시설관리비 부과이행

5. 안전점검

관리자는 시설물의 기능 및 안전관리를 위하여 일상점검, 정기점검 및 긴급점검 등 안전점검을 실시하여야 한다. 일상점검은 운전조작 및 정비, 재해 및 위험여부 확인, 장애물제거 등을 실시하는 것을 말한다. 정기점검은 시설의 기능 보전과 재해를 예방하기 위하여 매년 영농기 전에 실시하는 것을 말한다. 긴급점검은 관리자가 공공의 안전이나 긴급보수 또는 보강이 필요한 때에 실시하는 것을 말한다. 따라서 일상점검은 분기별 1회 이상, 정기점검은 년 1회 이상, 긴급점검은 관리자가 필요하다고 판단되는 때 실시한다.

안전점검은 해당분야 기술자로 하여금 실시하게 하여야 한다. 관리자는 안전점검을 실시하고 그 결과표(부록참조)를 작성하여 비치하여야 하고 시설의 기능유지 및 안전상 재해 위험등이 있는 경우에는 즉시 필요한 응급조치를 취하여야 하며 정밀 안전점검이 요구되는 시설물에 대하여는 상부기관에 보고하여야 한다.

관리자는 안전점검을 실시한 결과, 시설의 기능유지 및 안전상 재해 발생이 우려되어 긴급보수 또는 보강이 필요한 시설에 대하여는 우선적으로 대책을 수립하고 상부기관에 보고하여야 한다.

6. 정밀 안전진단

정밀 안전진단 대상은 1종시설 및 시설관리자가 요청한 시설을 대상으로 한다. 또 1종시설 중 10년 이상된 시설은 5년마다 1회 이상 정기적으로 정밀 안전진단을 실시한다. 정밀 안전진단은 농어촌진흥공사 또는 시설안전관리에 관한 특별법에 대하여 전문기관으로 지정받은 자와 농어촌진흥공사와 공동으로 실시하게 한다.

진단절차는 시설관리자(시장 군수, 농조장)가 안전점검을 실시하고 정밀 안전진단 대상물에 대하여 당해연도 12월말까지 시, 도지사에게 보고한다. 시, 도지사는 다음연도 1월말까지 농림수산부장관에게 보고하고 장관은 정밀안전진단계획을 전문기관의 장(농어촌진흥공사 사장)에게 통보한다. 전문진단기관의 장은 당해연도 3월말 까지 정밀안전진단 실시계획을 장관에게 보고하며 장관은 실시계획을 확정, 시,도지사 및 진단전문기관의 장에게 통보하고, 전문진단기관의 장은 정밀안전진단 실시결과를 당해연도 12월말까지 시, 도지사 및 장관에게 제출한다. 단 긴급을 요할 때 시설관리자는 시,도지사를 거쳐 전문기관의 장에게 직접 요청할 수 있다.

7. 시설의 개보수

시설관리자는 유지관리로서 일상적인 점검이나 안전점검 또는 정밀안전점검 진단결과에 의거 개보수계획을 수립하여야 한다. 개보수 계획수립을 위하여 조사설계를 할 경우 제1종 및 제2종 시설의 안전점검은 정밀안전진단후에 실시한다. 시설관리자가 개보수사업을 할 경우 “농어촌 정비법”에 의하며 개보수사업의 시행 순위는 피해규모와 시급성을 고려하여 정한다.

8. 설계도서 등의 보관

시설관리자는 시설관리사항을 관리규정 별지에 의거 비치하고 설계도서 등 관련서류 및 주요 관리사항은 당해시설 폐기시까지 보관하여야 한다.

제5절 저수지의 안전점검 및 관리

1. 서론

유지관리는 저수지의 각부위의 관리에만 그치는 것이 아니고 유역 전체 상태를 숙지하고 있는 것이 중요하다. 특히 홍수시에 있어서는 신속한 조치를 취해야만 한다. 저수지시설물의 안전점검 및 평가는 다음과 같은 기준에 의하여 할 수 있다.

2. 제체부

가. 제체의 단면변화

	기 준	
	표면 균열 (균열방향에 유의)	상
	중	균열길이 1~5m, 제정의 10~50%
	하	균열길이 5m 이상, 제정의 50% 이상
내구성	상	다짐율 70% 이하
	중	다짐율 70~90%
	하	다짐율 90% 이상
침하 (정부 침하량)	상	정부 침하량 10cm 이하
	중	정부 침하량 10~50cm
	하	정부 침하량 50cm 이상
측방이동 (상부침하)	상	상부 침하량 10cm 이하
	중	상부 침하량 10~50cm
	하	상부 침하량 50cm 이상
휨(용기)	상	1% 이하
	중	1~5%
	하	5% 이상

나. 누수 및 배수 상태

		기 준	
위 치	상	-	
	중	소단~저부	
	하	소단 이상	
추정된 누수량	상	0.1 l/sec 이하	
	중	0.1~1.0 l/sec	
	하	1.0 l/sec 이상	
외관이나 변색된 부분	상	변색부분 없음. 변색면적 5 m ²	
	중	변색부분 소단~저부, 변색면적 5~15m ²	
	하	변색부분 소단 이상, 변색면적 15m ² 이상	
유출구의 침식	상	침식범위 10cm ² 이하	
	중	침식범위 10~50cm ²	
	하	침식범위 50cm ² 이상	
토우드레인과 배수정	상	토사유입깊이가 전체길이 10% 이하, 기능상태 양호	
	중	토사유입깊이가 전체길이 10~50%, 기능상태 가능	
	하	토사유입깊이가 전체길이 50% 이상, 기능상태 불능	

다. 제체와 구조물의 연결 부위

		기 준	
침윤상태	상	침윤 상태의 면적 5 m ² 이하	
	중	침윤 상태의 면적 5~15m ² 이하	
	하	침윤 상태의 면적 15m ² 이상	
균열, 조인트, 바닥부분 (위치, 길이, 탈락여부)	상	균열 길이 0~10cm, 균열 면적 0~100cm ²	
	중	균열 길이 10~30cm, 균열 면적 100~600cm ²	
	하	균열 길이 30cm 이상, 균열 면적 600cm ² 이상	
슬라이딩 (위치)	상	길이 1m 이하	
	중	길이 1~2m	
	하	길이 2m 이상	
식생	상	일년생 초	
	중	다년생 초	
	하	관목류 이상	
이동 징조 (측방이동, 융기)	상	없음	
	중	융기 0~50cm, 측방이동 0~30cm	
	하	융기 50cm 이상, 측방이동 30cm 이상	

라. 상·하류사면

		기 준	
사면보호 상태 (방괴석 상태 점검)	상	사면 전체의 0~10% 유실	
	중	사면 전체의 10~50% 유실	
	하	사면 전체의 50% 유실	
물가면의 침식상태 (제체와의 연결부위검토)	상	침식고가 0.0 ~ 0.5m	
	중	침식고가 0.5 ~ 2.0m	
	하	침식고가 2.0m 이상	
식물생태 (식생분포검토)	상	일년생 초	
	중	다년생 초	
	하	관목류 이상	
침하 (부분, 전체침하 검토)	상	침하 깊이 0.0~10.0cm 또는 제체의 변형 0.0~10.0%	
	중	침하 깊이 10.0~50.0cm 또는 제체 변형 10.0~50.0%	
	하	침하 깊이 50.0 cm 이상 또는 제체 변형 50.0% 이상	
찌꺼기 (부유물 두께)	상	부유물의 두께가 10cm 이하	
	중	부유물의 두께가 10~50cm	
	하	부유물의 두께가 50cm 이상	
동물의 굴 (두더지, 들쥐 등)	상	구멍 직경 0~1cm, 구멍 갯수 0~1개	
	중	구멍 직경 1~5cm, 구멍 갯수 2~4개	
	하	구멍 직경 5cm 이상, 구멍 갯수 5개 이상	

3. 구조물부

가. 콘크리트의 표면상태 조사

표 면 상 태	평 점
외관상 이상 없다.	1.0
이상은 확인되었지만, 표면적 또는 국부적인 현상으로, 내력에의 영향은 경미하다고 판단된다.	
이상현상은 상당한 범위에서 확인되고, 부분적으로는 심한 피해도 발생하고 있지만, 이상현상의 진행속도는 완만하고, 장기 하중에 대해서는 아직 여력이 있다고 판단된다.	0.5
변형이나 과대한 단면결손이 확인되고, 이상현상의 진행속도도 크다.	0.0

나. 콘크리트의 강도

콘크리트의 압축강도 (실측치와 설계치와의 관계)	평 점
실측치 \geq 설계치 + 표준편차	1.0
(설계치 + 표준편차) > 실측치 \geq (0.5 × 설계치 + 표준편차)	0.5
표준편차 < (0.5 × 설계치 + 표준편차)	0

다. 중성화 시험

평 점	1.0	0.8	0.6	0.4
남은 사용연수(t)	$t \geq 30$	$30 > t \geq 15$	$15 > t \geq 0$	$t < 0$

라. 철근의 녹

등급	점수	철근의 상태
I	0	검은 표면의 상태 또는 녹은 생겼지만 전체적으로 얇고 치밀한 녹으로, 콘크리트 면에 녹이 부착하여 있는 일은 없다.
II	1	부분적으로 떠오른 녹은 있지만 좁은 면적에 반점 모양으로 있다.
III	2	단면결손은 육안 관찰로는 확인할 수 없지만 철근의 전 둘레 또는 전 길이에 걸쳐 녹이 생겨있다.
IV	3	단면결손이 생겨있고 또 피복 콘크리트에 철근을 따라 균열이 발생되어 있다.

마. 각 부분별 진단

(1) 도수로 접근 수로 상태

		기	준
식생-접근주위의 장애물 상태 (나무, 관목류 등)	상	다년생, 일년생 초본식물	
	중	관목류 이상(수면침하여부)	
	하	물흐름에 방해가 될 정도의 식생 또는 기타 비정상적인 조건	
수로 부근의 슬라이딩	상	위치 여수토 5m 이내 길이 0.5m 이내	
	중	위치 여수토 5~10m , 길이 0.5~1.0m	
	하	위치 여수토 10m 밖, 길이 1.0m 이상	
접근 수로 주변의 사면 안정 (세굴 여부의 검토)	상	세굴 범위 0.5m 이하	
	중	세굴범위 0.5~1.0m	
	하	세굴범위 0.5~1.0m 이상	
사면 보호 상태	상	인공 돌붙임 이상	
	중	자연상태, 인공돌붙임 일부파손	
	하	사면 보호공의 파괴가 심한 상태, 심한세굴	
비교 : 취수부 및 방수부 유출수로에 대한 조사항목 및 판단기준은 위와 동일 기타 : 유출수로에 교량의 건설, 환경변화 등의 사항은 개별적으로 그 영향을 평가			

(2) Crest, Ogee

		기	준
균열	상	길이 1m 이하, 폭 0.5mm 이하, 균열 1개소 이하, 발생면적 2 m ² 이하	
	중	길이 1~5m, 폭 0.5~2mm, 균열 1~3개소, 발생면적 2~5m ²	
	하	길이 5m 이상, 폭 2 mm 이상, 균열 3개소 이상, 발생면적 5m ² 이상	
표면상태 및 연약화	상	표면 마무리가 약간 거칠어진 정도 이하, 파손된 곳 없음. 칼, 못 등으로 긁었을때 일부분만 표면 마무리 부분이 연약화	
	중	전반적으로 모르타르가 파손 또는 유실됨. 파손 1~3개소, 파손깊이 0~10cm, 면적 0~0.5m ² 파손된 곳에 노출된 골재,모래 등이 칼등으로 떨어져나옴	
	하	전반적으로 모르타르 파손 및 골재 노출된 부분이 많음 파손 3개소 이상, 파손깊이 10cm 이상, 면적 0.5m ² 이상 노출된 곳의 골재 및 모래가 손으로 쉽게 떨어져 나옴 변색되어 있다.	
백화현상	상	발생 2개소 이하, 면적 2m ² 이내, 강도저하 무시 가능 판단	
	중	발생 2~10개소, 면적 2~10m ² , 약간의 강도저하 판단	
	하	발생 10개소 이상, 면적 10m ² 이상, 상당히 심하게 발생	
철근노출 및 단면결손	상	철근노출부위가 없다. 파손된 부위가 작아 구조 내력에 문제가 없다.	
	중	철근노출 1~2개소, 면적 0.5 m ² 이내, 파손부위 커 구조내력에 영향이 있다.	
	하	철근노출 2개소 이상, 면적 0.5 m ² 이상, 과대한 파손으로 구조내력에 이상이 있다.	
압축강도	상	실측치 > (설계치 + 표준편차)	
	중	(설계치 + 표준편차) > 실측치 > (0.5×설계치 + 표준편차)	
	하	실측치 < (0.5×설계치 + 표준편차)	
누수	상	누수량 0~0.5 ℓ/ hr, 누수 2개소 이하	
	중	누수량 0.5~1 ℓ/ hr, 누수 2~10개소	
	하	누수량 1ℓ/ hr 이상, 누수 10개소 이상	
중성화	상	남은 구조물 수명이 100년 이상으로 추정	
	중	남은 구조물 수명 30~100년으로 추정	
	하	남은 구조물 수명 30년 이하로 추정	

(3) Apron

		기 준
균열	상	길이 1m 이하, 폭 0.5mm 이하, 균열 1개소 이하, 발생면적 2 m ² 이하
	중	길이 1~5m, 폭 0.5~2mm, 면적 2~10 m ² , 균열 1~5개소
	하	길이 5m 이상, 폭 2mm 이상, 균열 5개소 이상, 발생면적 10 m ² 이상
표면상태 및 연약화	상	표면 마무리가 약간 거칠어진 정도 이하, 파손 개소 이하 파손 크기 : 깊이 3cm 이하, 넓이 0.7m ² 이하 칼, 못 등으로 긁었을때 일부분만 표면마무리부분 연약화
	중	전반적으로 모르타르가 파손 또는 유실됨 파손 1~5개소, 파손크기 : 깊이 2~15cm, 면적 0.7~3m ² 파손된 곳에 노출된 골재, 모래 등이 칼등으로 떨어져 나옴
	하	전반적으로 모르타르 파손 및 골재 노출된 부분이 많음 파손 5개소 이상, 파손크기 : 깊이 15cm 이상, 면적 3 m ² 이상 노출 골재 및 모래가 변색되고 손으로 쉽게 떨어져 나옴
백화현상	상	발생 2개소 이하, 면적 2 m ² 이내, 강도저하 무시 가능 판단
	중	발생 2~10개소, 면적 2~10 m ² , 약간의 강도저하 판단
	하	발생 10개소 이상, 면적 10 m ² 이상, 상당히 심하게 발생
철근노출 및 단면결손	상	철근노출부위가 없다. 파손된 부위가 작아 구조 내력에 문제가 없다.
	중	철근노출 1~3개소, 면적 2 m ² 이내 파손부위 커 구조내력에 영향이 있다.
	하	철근 노출 3개소 이상, 면적 2 m ² 이상, 과대한 파손으로 구조내력에 이상이 있다.
바닥이동 이나 융기	상	없음
	중	이동 0~10cm, 구조물 밑부분이 일부분 공동화
	하	이동 10cm 이상, 구조물 전체적으로 공동화
압축강도	상	실측치 > (설계치 + 표준편차)
	중	(설계치 + 표준편차) > 실측치 > (0.5×설계치 + 표준편차)
	하	실측치 < (0.5×설계치 + 표준편차)
조인트	상	상태 양호
	중	이음재 파손, 누수흔적
	하	이음재 파손이 완전하며, 누수가 있고, 5cm 이상 벌어짐

(4) 제체방향 용벽

		기	준
균열	상	균열 1개소 이하, 길이 1m 이하, 폭 0.5mm 이하, 면적 2m ² 이하	
	중	길이 1~5m, 폭 0.5~2 mm, 균열 1~3개소 이하, 발생면적 2~5m ²	
	하	길이 5m, 폭 2 mm 이상, 균열 3개소 이상, 발생면적 5 m ² 이상	
표면상태 및 연약화	상	표면 마무리가 약간 거칠어진 정도 이하, 파손된곳 없음. 칼, 못 등으로 긁었을때 일부분만 표면 마무리부분이 연약화	
	중	전반적인 모르타르의 파손 또는 유실, 파손 1~3개소, 깊이 0~10cm, 면적 0~0.5m ² 파손된 곳에 노출된 골재, 모래 등이 칼등으로 떨어져 나옴	
	하	전반적으로 모르타르 파손 및 골재 노출된 부분이 많음 파손 3개소 이상, 파손깊이 10cm 이상, 면적 0.5m ² 이상 노출된 곳의 골재 및 모래가 변색되고 손으로 쉽게 떨어져 나옴.	
백화현상	상	발생 2개소 이하, 면적 2m ² 이내, 강도저하 무시 가능 판단	
	중	발생 2~10개소, 면적 2~10m ² , 약간의 강도저하 판단	
	하	발생 10개소 이상, 면적 10m ² 이상, 상당히 심하게 발생	
철근노출 및 단면결손	상	철근노출부위가 없다. 파손된 부위가 작아 구조 내력에 문제 없다	
	중	철근노출 1~2개소, 면적 0.5 m ² 이내, 파손부위 커 구조내력에 영향	
	하	철근노출 2개소 이상, 면적 0.5 m ² 이상, 파손 커서 구조내력에 이상	
압축강도	상	실측치 > (설계치 + 표준편차)	
	중	(설계치 + 표준편차) > 실측치 > (0.5×설계치 + 표준편차)	
	하	실측치 < (0.5×설계치 + 표준편차)	
침하	상	없음	
	중	침하량 0~10cm	
	하	침하량 10cm 이상	
이동	상	없음	
	중	이동 0~10cm	
	하	이동 10cm 이상	
조인트	상	상태 양호	
	중	이음재 파손, 누수흔적,	
	하	이음재 파손이 완전하며, 누수가 있고 5cm 이상 벌어짐	
중성화	상	구조물 수명이 100년 이상으로 추정	
	중	구조물 수명 30~100년으로 추정	
	하	남은 구조물 수명 30년 이하로 추정	
누수	상	누수량 0~0.5 l / hr , 누수개소 2곳 이하	
	중	누수량 0.5~1 l / hr , 누수개소 2~10곳 이하	
	하	누수량 1 l / hr 이상, 누수개소 10곳 이상	

(5) 제체반대 방향 용벽

		기	준
균열	상	길이 1m 이하, 폭 0.5mm 이하, 균열 1개소 이하, 면적 2 m ² 이하	
	중	길이 1~5m, 폭 0.5~2 mm, 균열 1~3개소 이하, 면적 2~5m ²	
	하	길이 5m 이상, 폭 2mm 이상, 균열 3개소 이상, 면적 5m ² 이상	
표면상태 및 연약화	상	표면 마무리가 약간 거칠어진 정도 이하, 파손된곳 없음 칼, 못 등으로 긁었을때 일부 표면 마무리부분이 연약화	
	중	전반적으로 모르타르가 파손 또는 유실됨 파손 1~3개소, 파손깊이 0~10cm, 면적 0~0.5m ² 파손된 곳에 노출된 골재, 모래 등이 칼 등으로 떨어져 나옴	
	하	전반적으로 모르타르 파손 및 골재 노출된 부분이 많음 파손 3개소 이상, 파손깊이 10cm 이상, 면적 0.5m ² 이상 노출된 골재 및 모래가 변색되고 손으로 쉽게 떨어져 나옴	
백화현상	상	발생 2개소 이하, 면적 2m ² 이내, 강도저하 무시 가능 판단	
	중	발생 2~10개소, 면적 2~10m ² , 약간의 강도저하 판단	
	하	발생 10개소 이상, 면적 10m ² 이상, 매우 심하게 발생	
철근노출 및 단면결손	상	철근노출부위가 없다. 파손 부위가 작아 구조내력 문제없다	
	중	철근노출 1~2개소, 면적 0.5 m ² 이내, 파손부위 커 구조내력에 영향	
	하	철근노출 2개소 이상, 면적 0.5m ² 이상, 과대한 파손으로 구조내력에 이상이 있다.	
압축강도	상	실측치 > (설계치 + 표준편차)	
	중	(설계치 + 표준편차) > 실측치 > (0.5×설계치 + 표준편차)	
	하	실측치 < (0.5×설계치 + 표준편차)	
침하	상	없음	
	중	침하량 0~10cm	
	하	침하량 10cm 이상	
이동	상	없음	
	중	이동 0~10cm	
	하	이동 10cm 이상	
조인트	상	상태 양호	
	중	이음재 파손, 누수흔적,	
	하	이음재 파손이 완전하며, 누수가 있고, 5cm 이상 벌어짐	
중성화	상	구조물 수명이 100년 이상으로 추정	
	중	구조물 수명 30~100년으로 추정	
	하	남은 구조물 수명 30년 이하로 추정	
누수	상	누수량 0~0.5 l / hr , 누수개소 2곳이하	
	중	누수량 0.5~1 l / hr , 누수개소 2~10곳이하남은	
	하	누수량 1 l / hr 이상, 누수개소 10곳이상	

(6) 급류부 용벽

		기 준
균열	상	길이 1m 이하, 폭 0.5mm 이하, 균열 1개소 이하, 면적 2 m ² 이하
	중	길이 1~5m, 폭 0.5~2 mm, 균열 1~3개소 이하, 면적 2~5m ²
	하	길이 5m 이상, 폭 2 mm 이상, 균열 3개소 이상, 면적 5 m ² 이상
표면상태 및 연약화	상	표면 마무리가 약간 거칠어진 정도 이하, 파손된곳 없음 칼, 못등으로 긁었을때 일부 표면마무리부분이 연약화
	중	전반적으로 모르타르가 파손 또는 유실됨 파손 1~3개소, 파손깊이 10 cm이하, 면적 0.5m ² 이하, 노출된 골재, 모래등이 칼등으로 떨어져 나옴
	하	전반적으로 모르타르 파손 및 골재 노출된 부분이 많음 파손 3개소 이상, 파손깊이 10 cm 이상, 면적 0.5 m ² 이상 노출된 골재 및 모래가 변색되고 손으로 쉽게 떨어져 나옴
백화현상	상	발생부위 2개소 이하, 면적 2 m ² 이내, 강도저하 무시 가능 판단
	중	발생부위 2~10개소, 면적 2~10m ² , 약간의 강도저하 판단
	하	발생부위 10개소 이상, 면적 10 m ² 이상, 매우 심하게 발생
철근노출 및 단면결손	상	철근노출부위 없다. 파손된 부위가 작아 구조 내력에 문제가 없다.
	중	철근노출 1~2개소, 면적 0.5 m ² 이내, 파손부위 커 구조내력에 영 향이 있다.
	하	철근노출 2곳이상, 면적 0.5 m ² 이상, 파대한 파손으로 구조내력에 이상이 있다.
누수	상	누수량 0~0.5 l/hr, 누수개소 2개소 이하
	중	누수량 0.5~1 l/hr, 누수개소 2~10곳
	하	누수량 1 l/hr, 누수개소 10곳 이상
압축강도	상	실측치 > (설계치 + 표준편차)
	중	(설계치 + 표준편차) > 실측치 > (0.5×설계치 + 표준편차)
	하	실측치 < (0.5×설계치 + 표준편차)
침하	상	없음
	중	침하량 0~10cm
	하	침하량 10cm 이상
이동	상	없음
	중	이동 0~10cm
	하	이동 10cm 이상
조인트	상	상태 양호
	중	이음재 파손, 누수흔적
	하	이음재 파손이 완전하며, 누수가 있고, 5cm 이상 벌어짐
중성화	상	구조물 수명이 100년 이상으로 추정
	중	구조물 수명 30~100년으로 추정
	하	남은 구조물 수명 30년 이하로 추정

(7) 급류부바닥

		기 준
균열	상	균열 1개소 이하, 길이 1m 이하, 폭 0.5mm 이하, 면적 2m ² 이하
	중	균열 1~5개소, 길이 1~5m, 폭 0.5~2mm, 면적 2~10m ²
	하	균열 5개소 이상, 길이 5m 이상, 폭 2mm 이상, 면적 10m ² 이상
표면상태 및 연약화	상	표면 마무리가 약간 거칠어진 정도 이하, 파손 3개소 이하, 파손깊이 3cm 이하, 넓이 0.7m ² 이하
	중	전반적인 모르타르의 파손 또는 유실, 노출된 골재, 모래 등이 칼 등으로 떨어져 나옴 파손 1~5개소, 파손깊이 2~15cm, 면적 0.7~3m ²
	하	전반적인 모르타르 파손 및 노출 골재 많음 파손 5개소 이상, 파손깊이 15cm 이상, 면적 3m ² 이상 노출된 골재 및 모래가 변색되고 손으로 쉽게 떨어져 나옴
백화현상	상	발생부위 2개소 이하, 면적 2m ² 이내, 강도저하 무시 가능 판단
	중	발생부위 2~10개소, 면적 2~10m ² , 약간의 강도저하 판단
	하	발생부위 10개소 이상, 면적 10 m ² 이상, 상당히 심하게 발생
철근노출 및 단면결손	상	철근노출부위가 없다. 파손된 부위가 작아 구조내력 문제가 없다
	중	철근노출 1~3개소, 면적 2m ² 이내, 파손부위 커 구조내력에 영향
	하	철근노출 3개소 이상, 면적 2m ² 이상, 파손이 구조내력에 영향
바닥이동 이나 용기	상	없음
	중	이동 10cm 이하, 구조물 밑부분이 일부분 공동화
	하	이동 10cm 이상, 구조물 전체적으로 공동화
침하	상	없음
	중	침하량 0~10cm
	하	침하량 10cm 이상
압축강도	상	실측치 > (설계치 + 표준편차)
	중	(설계치 + 표준편차) > 실측치 > (0.5×설계치 + 표준편차)
	하	실측치 < (0.5×설계치 + 표준편차)
누수	상	누수량 0~0.5 l/hr, 누수개소 2곳 이하
	중	누수량 0.5~1 l/hr, 누수개소 2~10곳 이하
	하	누수량 1 l/hr 이상, 누수개소 10곳 이상
조인트	상	상태 양호
	중	이음재 파손, 누수흔적
	하	이음재 파손이 완전하며, 누수가 있고, 5cm 이상 벌어짐
중성화	상	남은 구조물 수명이 100년 이상으로 추정
	중	남은 구조물 수명 30~100년으로 추정
	하	남은 구조물 수명 30이하로 추정

(8) 정수지 (측면벽 중심)

	기	준
균열	상	균열 1개소 이하, 길이 1m 이하, 폭 0.5mm 이하, 면적 2 m ² 이하
	중	길이 1~5m, 폭 0.5~2 mm, 균열 1~3개소, 면적 2~5m ²
	하	길이 5m 이상, 폭 2 mm 이상, 균열 3개소 이상, 면적 5 m ² 이상
표면상태 및 연약화	상	표면 마무리가 약간 거칠어진 정도 이하, 파손된 곳 없음. 칼, 못 등으로 긁었을때 일부 표면마무리부분이 연약화
	중	전반적으로 모르타르가 파손 또는 유실됨 파손 1~3개소, 파손깊이 10 cm 이하, 면적 0~0.5m ² 파손된 곳에 노출된 골재, 모래 등이 칼등으로 떨어져 나옴
	하	전반적으로 모르타르 파손 및 골재 노출된 부분이 많음 파손 3개소 이상, 파손깊이 10 cm 이상, 면적 0.5 m ² 이상 노출된 골재 및 모래가 변색되고 손으로 쉽게 떨어져 나옴
백화현상	상	발생부위 2개소 이하, 면적 2 m ² 이내, 강도저하 무시 가능 판단
	중	발생부위 2~10개소, 면적 2~10m ² , 약간의 강도저하 판단
	하	발생부위 10개소 이상, 면적 10 m ² 이상, 상당히 심하게 발생.
철근노출 및 단면결손	상	철근노출부위가 없다. 파손부위의 구조 내력에 영향 없다.
	중	철근노출 1~2개소, 면적 0.5 m ² 이내, 파손부위 커 구조내력에 영향
	하	철근노출 2개소 이상, 면적 0.5 m ² 이상, 파손으로 구조내력에 이상이 있다.
압축강도	상	실측치 > (설계치 + 표준편차)
	중	(설계치 + 표준편차) > 실측치 > (0.5×설계치 + 표준편차)
	하	실측치 < (0.5×설계치 + 표준편차)
조인트 연결부위	상	상태 양호
	중	이음재 파손, 누수흔적
	하	이음재 파손이 완전하며, 누수가 있고, 5cm 이상 벌어짐
중성화	상	남은 구조물 수명이 100년 이상으로 추정
	중	남은 구조물 수명 30~100년으로 추정
	하	남은 구조물 수명 30년 이하로 추정

(9) 유출수로

	기 준	
사면 보호 상태	상	인공 돌붙임 이상
	중	자연상태, 인공돌붙임 일부파손
	하	사면 보호공의 파괴가 심한 상태, 심한세굴
측사면 안정여부 (수로 부근의 슬라이딩)	상	위치 여수토 5m 이내, 길이 0.5 이내
	중	위치 여수토 5~10 m, 길이 0.5~1.0m
	하	위치 여수토 10m 밖, 길이 1.0m 이상
식생-접근주위의 장애물 상태 (나무, 버들가지, 관목류등)	상	다년생, 일년생 초본식물
	중	관목류 이상(수면침하여부)
	하	물흐름에 방해가 될 정도의 식생 또는 기타 비정상적인 조건

(10) 문비

	기 준	
콘크리트의 상태 및 강도	상	실측치 > (설계치 + 표준편차), 이상현상이 없다.
	중	(설계치+표준편차)>실측치>(0.5×설계치+표준편차) 이상현상이 존재하나 기능상 문제가 되지 않는다.
	하	실측치 < (0.5 × 설계치 + 표준편차), 이상현상이 심각하다.
누수	상	없음
	중	0~4.0 l/hr
	하	4.0 l/hr 이상
작동 상태	상	상태 양호
	중	일부 상태 불량
	하	기능 및 상태 불량
외부도장	상	상태 양호
	중	일부 불량
	하	불량

(11) 취수탑

	기 준	
균열	상	길이 1m 이하, 폭 0.5mm 이하, 균열 1개소 이하, 면적 2m ² 이하
	중	길이 1~5m, 폭 0.5~2mm, 균열 1~3개소, 면적 2~5m ²
	하	길이 5m 이상, 폭 2 mm 이상, 균열 3개소 이상, 면적 5 m ² 이상
표면상태 및 연약화	상	표면 마무리가 약간 거칠어진 정도 이하, 파손된곳 없음.
	중	전반적으로 모르타르가 파손 또는 유실됨 파손 1~3개소, 파손깊이 5cm이하, 면적 0.2m ² 이하
	하	전반적으로 모르타르 파손 및 골재 노출된 부분이 많음 파손 3개소 이상, 파손깊이 5cm 이상, 면적 0.2m ² 이상
백화현상	상	발생부위 2개소 이하, 면적 2 m ² 이내, 강도저하 무시 가능 판단
	중	발생부위 2~10개소, 면적 2~10m ² , 약간의 강도저하 판단
	하	발생부위 10개소 이상, 면적 10 m ² 이상, 상당히 심하게 발생
철근노출 및 단면결손	상	철근노출부위가 없고, 파손부위가 작아 구조 내력에 영향없다
	중	철근노출 0~1곳, 면적 0.1m ² 이내, 파손부위 커 구조내력에 영향 이 있다.
	하	철근 노출 1곳 이상, 면적 0.1m ² 이상, 과대한 파손으로 구조내력에 이상이 있다.
압축강도	상	실측치 > (설계치 + 표준편차)
	중	(설계치 + 표준편차) > 실측치 > (0.5×설계치 + 표준편차)
	하	실측치 < (0.5×설계치 + 표준편차)
작동상태	상	양호
	중	수문중 일부 작동 불량
	하	수문 작동 불량
권양장치 상태	상	양호
	중	-
	하	지지부분 파손, 작동 상태 불량
철물도색 및 부식상태	상	양호
	중	일부 녹발생, 부식된 곳 3곳 이내
	하	상당부위에 걸쳐 녹발생 및 부식된 곳 3곳 이상

(12) 연결교량

		기	준
피어상태 (균열,표 면상태)	상	수축균열폭 2mm 이하 소수, 균열 1 개소 이하, 발생면적 0.2m ² 이하 파손된 곳 없음, 이상현상이 구조내력이 영향 없다고 판단 철골구조물인 경우 녹이 없음	
	중	수축균열폭 2mm 이하 다수, 수축 균열폭 2mm 이상 소수, 휨이 없고, 폭이 2mm 이하이며, 국부적이다. 균열 1~3개소, 발생면적 0.2~ 0.4m ² , 파손깊이 0~5cm, 넓이 0~0.4m ² , 파손 3개소 이하, 이상현상 이 구조내력에 영향을 준다고 판단. 철골구조물인 경우 5개소 이하 녹 발생, 녹의 상태가 철골의 단면결손에는 영향 없음	
	하	수축이외의 균열 0.2mm 이상, 면적 0.4m ² 이상 균열 3개소 이상, 파손깊이 5cm 이상, 면적 0.4m ² 이상 파손 3개소 이상, 이상현상이 구조내력에 영향을 준다고 판단 철골구조물인 경우 5개소 이상 녹발생, 녹의 상태가 철골의 단면결손에 영향 미침	
슬래브의 표면상태 및 강도	상	균열폭 2mm 이하, 균열 1개소 이하, 면적 0.2m ² 이하, 파손된 곳 없음, 압축강도 상, 철골구조물인 경우 피복재가 일부분 벗겨짐	
	중	균열폭 2~5mm, 균열 1~3개소, 발생면적 0.2~0.4m ² 파손 깊이 0~5cm, 넓이 0~0.4m ² 파손개소 0~3곳 이상현상이 구조내력에 영향을 준다고 판단, 압축강도 중 철골구조물인 경우 전반적으로 피복재가 벗겨지고 일부분 녹발생	
	하	균열 0.2mm 이상, 발생면적 0.4m ² 이상, 균열 3개소 이상 파손깊이 5 cm 이상, 넓이 0.4m ² 이상, 파손 3개소 이상 압축강도 하, 이상현상이 구조내력에 영향을 준다고 판단. 철골구조물인 경우 전체적으로 녹발생	
변형	상	피어의 침하 없음, 교량 슬래브의 어긋남 없음	
	중	침하 0~4cm, 어긋남 0~4cm	
	하	침하 4cm 이상, 어긋남 4cm 이상	
교대 및 기타 지반상태	상	양호	
	중	이동, 침하, 균열, 파손 등 이상현상 존재	
	하	이동, 침하, 균열, 파손 등의 상태가 심각함	
철물의 상태	상	일부분 피복재 벗겨짐. 일부분 녹	
	중	전반적으로 피복재 벗겨짐. 상당부분 녹	
	하	전체적으로 녹 발생, 녹 발생부위 심한 곳 3 곳 이상	

(13) 통관

		기 준
균열	상	길이 1m 이하, 폭 0.5mm 이하, 균열 1개소 이하, 면적 2 m ² 이하
	중	길이 1~5m , 폭 0.5~2 mm, 균열 1~3개소 이하, 면적 2~5m ²
	하	길이 5m 이상, 폭 2mm 이상, 균열 3개소 이상, 면적 5m ² 이상
표면상태 및 연약화	상	표면 마무리가 약간 거칠어진 정도 이하, 파손된 곳 없음. 칼, 못 등으로 긁었을때 일부분만 paste부분이 연약화
	중	전반적으로 모르타르가 파손 또는 유실됨 파손 1~3개소, 파손깊이 0~10cm, 면적 0~0.5m ² 파손된 곳에 노출된 골재, 모래등이 칼 등으로 떨어져 나옴
	하	전반적으로 모르타르 파손 및 골재 노출된 부분이 많음 파손 3개소 이상, 파손깊이 10cm 이상, 면적 0.5m ² 이상 노출된 골재 및 모래가 변색되고 손으로 쉽게 떨어져 나옴
백화현상	상	발생부위 2개소 이하, 면적 2m ² 이내, 강도저하 무시 가능 판단
	중	발생부위 2~10개소, 면적 2~10m ² , 약간의 강도저하 판단
	하	발생부위 10개소 이상, 면적 10 m ² 이상, 상당히 심하게 발생.
철근노출 및 단면결손	상	철근노출부위가 없다. 파손된 부위가 작아 구조 내력에 문제가 없다.
	중	철근노출 1~2곳, 면적 0.5m ² 이내, 파손부위 커 구조내력에 영향이 있다.
	하	철근 노출 2곳 이상, 면적 0.5 m ² 이상, 과대한 파손으로 구조내력에 이상이 있다.
압축강도	상	실측치 > (설계치 + 표준편차)
	중	(설계치 + 표준편차) > 실측치 > (0.5×설계치 + 표준편차)
	하	실측치 < (0.5×설계치 + 표준편차)
누수	상	누수량 0~1 l/hr , 누수개소 2곳 이하
	중	누수량 1~3 l/hr , 누수개소 2~10곳 이하
	하	누수량 3 l/hr 이상, 누수개소 10곳 이상
Core 의 유실	상	코어재 유실 없음
	중	유실 10개소 이하, 1 l/hr 이하, 코어재의 유출흔적 보임
	하	유실 10개소 이상, 1 l/hr 이상, 코어재가 유출수로까지 흘러나와 쌓임

저수지의 유지관리작업의 내용을 요약하면 <표 2-1>과 같다.

<표 2-1> 유지관리작업의 내용

부 위	작업내용	
	평상시	이상시(특히, 홍수시)
전반	감시인의 결정 수량 수질의 파악 소규모의 보수 수난사고예방 잡석토사의 제거	강우량의 파악 수위상승, 부유물, 물의 색 감시 전반적인 변화상태의 감시 감시인과 수방체제와의 연락강화 응급자재의 준비
제체	년1회 이상의 제초 및 소각 누수의 감시, 경사면이용 경작금지	침윤선의 감시 절개(결과의 우려가 있는 경우)
여수도	토양등 장애물의 제거 하부 세굴감시	월류수심의 감시, 유목등 장애물 제거 주변산지붕괴의 감독
취수 시설	누수의 감시, 벨브등의 조작확인 방수로의 제체세굴감시	통관의 개방(방수) 방수에 의한 제체세굴감시
주변	주변임지의 벌채금지 유역의 사면붕괴현황의 파악	상류저수지의 상황감시 (중요저수지의 경우)

저수지의 관리의 구체적인 방안을 집약하면 다음과 같은 것을 들 수 있다.

- (가) 저수지 보전에 관한 조례의 제정
- (나) 방재상 조치가 필요한 저수지의 결정
- (다) 저수지의 점검 및 지도
- (라) 홍보활동, 호가 보급 활동
- (마) 우량 관리자의 표창
- (바) 연차 정비계획의 수립

4. 유지관리의 문제점

유지관리체제의 문제 이외에 도시근교를 중심으로 새로운 농업형태 요인에 의한 관리 문제가 발생된다. 이들은 본래 지역사회 전체의 문제로서 저수지의 관리자에만 부담시키는 성격의 것은 아니다.

- 가. 안전관리 : 저수지는 놀이 장소로 종종 사용되어 오고 있다. 따라서 물놀이 사고가 일어난다. 이에 대응하기 위하여 새롭게 방호책의 설치나 순찰의 강화, 자위수단으로서 보험가입 등이 필요하게 된다.
- 나. 환경관리 : 하수도가 정비되지 않아 우수와 오폐수가 분리되지 않은 지역에서는 유입되는 오폐수에 의한 수질오염이 진행된다. 또 폐유기물질이 집적하고 영양염류의 용출이 촉진된다. 게다가 생활하수의 찌꺼기의 투기와 함께 악취의 발생원인이 되고 나아가서는 저수지를 지역의 골치거리로 여기는 풍조가 발생할 것이다. 이 때문에 수질의 감시나 발생원 규제 등이 필요하게 되고 유기물질 준설도 의무화된다.
- 다. 재무관리 : 도시적 토지이용 중에는, 저수지는 토지로서의 자본적 의미를 지닌다. 따라서 소유자가 이용자와 다른 경우에는 저수지의 운용을 둘러싼 갈등이 발생한다.

제6절 요약 및 결론

본 장은 농업용 저수지의 유지 및 안전관리에 관한 사항을 조사하고 제시한 유지관리 지침을 보완하였다. 이 장에서 상술한 내용을 정리하면 다음과 같다.

1. 저수지의 기능을 유지·보전하고 재해예방과 기능증진을 위해 유지관리

지침을 작성하였다.

2. 저수지의 각부위의 점검 상태를 조사양식에 대하여 정리하였다.
3. 관측시설, 방류시설, 취수시설, 경보시설, 기타 유지관리에 필요한 시설들의 조작 및 안전 운용을 위하여 관리시스템과 종합적인 물관리 시설을 설치해야 한다.

제 3 장 농업용 저수지의 노후도 평가

제 3 장 농업용 저수지의 노후도 평가

제1절 서론

우리나라는 그동안 수도작 중심의 농정을 펼쳐왔으며 강수량도 하절기에만 집중되어 있어 물관리를 위하여 저수지가 많이 건설되었다. 하지만 기축조된 저수지의 건전한 관리에도 불구하고 치수와 이수의 기능을 상실하거나 열화(deterioration), 파괴되는 경우가 상당수 발생하였고 저수지 축조 후의 자연적, 사회적 상황의 변화에 의해 많은 저수지가 개보수를 필요로 하고 있다. 특히 최근에 축조된 저수지 이외에는 축조기술이 열악하며 주로 경험과 인력으로 건설된 것이므로 토질공학적인 관점으로 볼 때 불충분한 점이 많아 새로운 기술수준에 맞도록 보수해야만 한다.

저수지 붕괴가 일으키는 막대한 인명 및 재산상의 피해를 미연에 방지한다는 공공적 측면에서 불안정한 저수지 또는 노후화된 저수지를 관리한다는 것은 지극히 중요한 일이다. 이를 위해선 체계적이고 광범위한 노후저수지 대책사업이 필요하게 되는데 이는 관개용 저수지의 결괴, 누수 등을 방지하기 위하여 제체의 보강 및 부대시설에 대한 개보수공사를 하는 사업을 의미한다. 노후저수지 사업에서 선행되어야 하는 것은 노후평가를 위해 선행되어야 하는 저수지 선정문제이며 이를 위해선 노후 정도를 판단할 수 있는 근거 및 기준이 수립되어야 한다.

따라서 본 장에서는 저수지 제체부의 노후화를 판단할 수 있는 방법 및 기준을 제시하여 향후 저수지의 제체 노후화 판단에 대한 지표로 삼고자 한다.

제2절 제체부의 노후화

1. 노후화 조사 및 방법

저수지의 노후화를 판단하는 조사는 크게 1차조사와 2차조사로 나눌 수 있다. 1차조사는 현장에서 육안조사를 통하여 제체부의 식생분포, 균열, 누수, 침하상태 등을 조사하며, 제체부의 단면변화를 조사하기 위해 단면측량을 실시하는 측량조사 등이 포함된다. 2차조사는 현장에서 채집된 자료를 실내에서 조사분석하고 그 노후정도를 평가하는 작업 등이 포함된다. 이를 정리하면 <표 3-1>과 같다.

<표 3-1> 저수지 제체부 노후 조사 및 방법

구분	1차조사	2차조사
제체부	육안 조사	설계도면 비교분석
	현장 조사	노후도 분석
	측량 조사	물성시험
		지진계 자료 분석

가. 육안 조사

육안에 의해 저수지 노후 정도를 판별하는 것으로 제체의 균열, 누수, 침하, 식생 등의 상태를 면밀히 관찰·조사하는 것을 말한다.

나. 측량 조사

제체 중심에서 20m 간격으로 측점을 설치하여 종·횡단 측량을 실시한 후 최초의 설계된 도면과 비교하여 제체의 침하 및 변형 정도를 판별한다.

다. 현장조사

(1) 표준관입시험

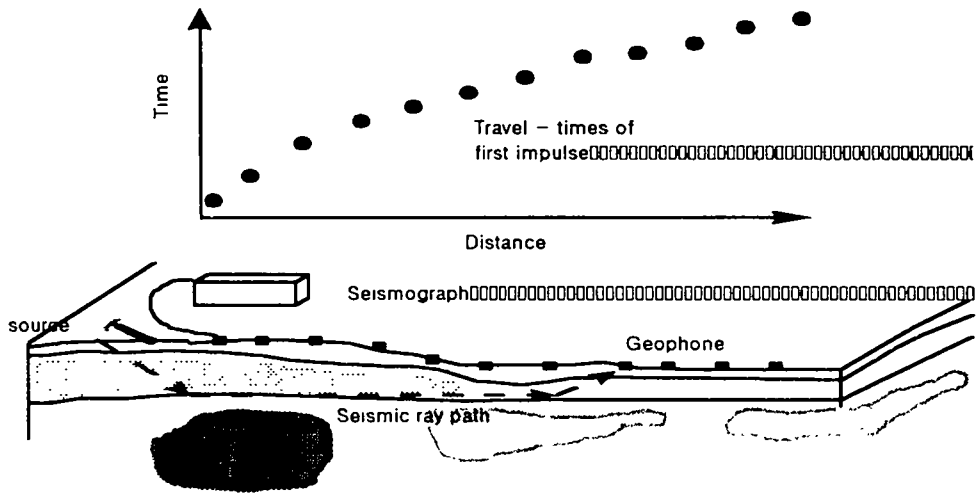
표준관입시험은 시추작업과 병행하여 토질층에서 KSF 2318 규정에 따라 시행하며 지표면 아래 1.5m에서 1.5m ~ 2.0m 간격으로 실시한다. 이때 30cm에 대한 관입저항치(N value)를 기록하며 관입시험시 split spoon sampler에 의해 채취된 시료는 시험캔(can)에 보관, 정리하고 관입시험결과는 시추주상도로 나타낸다.

(2) 탄성파 조사

탄성파 탐사는 지진파에 의한 지반의 탄성거동으로부터 지반의 종류, 지층 및 강성도를 알아내는 방법이다. 폭발이나 충격에 의해 생성된 지반진동은 지층을 따라 전파된다. 이때 발진원(source)에서 임의의 거리에 떨어져 있는 수신기(receiver or geophone)에 파가 도달되는 시간을 연속적으로 측정하여 지진파의 속도를 해석할 수 있으며 이에 수반하여 지표면 및 지반의 구조를 해석할 수 있다.

이러한 탄성파 탐사에는 보통 지진계(seismograph)가 이용된다. 이용되는 지진계는 제작사에 따라 다르나 대체로 작동원리가 비슷하다. 보통 트리거(trigger)에 의해 발진원의 격발시각이 정확히 지진계로 전달되고 곧어서 파(wave)가 지반을 통해 전달되다가 수 십 밀리초(millisecond)내에 수신기에 전달되며 이것은 다시 전기적 신호로 변환되고 증폭의 과정을 거치게 된다.

탄성파 탐사에서 가장 중요한 것은 파의 초동시간이므로 격발시간을 정확히 아는 것이 매우 중요한데, 트리거는 해머에 의한 타격시 해머에 부착되어 이 충격이 전기적 신호로 변환되어 지진계에 전달되어 초동시간을 매우 정확히 측정할 수 있다.



<그림 3-1> 탄성과 탐사의 개략도

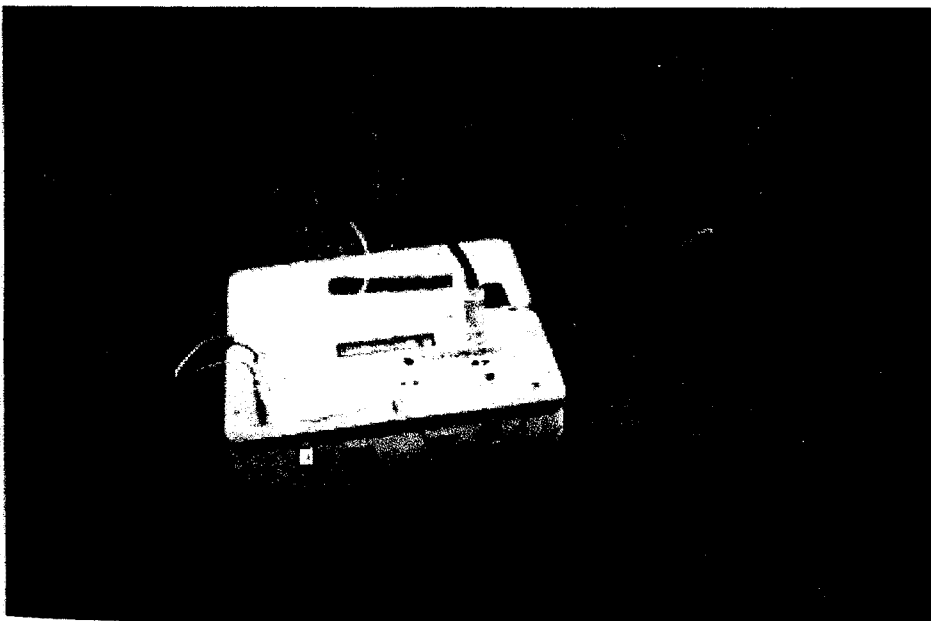
탄성과 탐사에 사용되는 파는 보통 P파로서 흔히 압축파(compression wave, primary wave)라고 한다. 탄성 매질에서 전달되는 파는 이외에도 S 파(shear wave, secondary wave)와 표면으로 전달되는 표면파인 R파(surface wave, rayleigh wave)가 있다. 그러나, 액체나 점성이 있는 매질에서는 S파는 전달되지 못하며 오직 P파만이 전달된다. 또, 그 속도에 있어 P 파가 가장 빨라서 항상 가장 먼저 도달하게 된다. 탄성과 탐사에서 P파가 사용되는 것도 바로 이러한 이유 때문이다. 이렇게 파와 매질의 특성을 이용한 지진파 탐사는 크게 1) 속도의 결정 2) 깊이의 결정 이라는 두 부류에 응용된다. 지진파의 속도는 물체의 경도나 다짐정도, 밀도가 클수록 증가한다. 예를 들면, 공기중의 음속은 약 1,100 ft/s이고 물의 음속은 약 5,000 ft/s이며 화강암은 약 17,000 ft/s이다. 그러므로, 지반중의 지진파 속도를 이용하여 이들 매질을 공학적으로 분류할 수 있다. <표 3-2>는 매질의 전형적인 파 속도값이다.

<표 3-2> 지중 매질의 전형적인 파 속도 값

매질	파 속도 (ft/s)
느슨한 흙 내지 다진 흙	1000 ~ 2000
느슨하고 습윤한 모래 또는 자갈	2000 ~ 3000
매우 단단히 다짐된 자갈	3000 ~ 4000
연약한 사암	5000 ~ 6000
단단한 사암	6000 ~ 10000
풍화된 이암	6000 ~ 10000
단단한 이암	10000 ~ 15000
화강암, 현무암, 반려암	15000 ~ 20000

탄성과 탐사는 장비가 비교적 간단하며 시험도 용이해서 지반공학뿐만 아니라 광산, 토목, 수문학, 지질학, 하수구설비, 고고학 등 많은 응용분야가 있다. 그러나, 그 결과의 정확한 해석에 있어서는 많은 경험이 축적되어 있어야 하는 문제점이 있다.

본 연구에 사용된 지진계는 BISON사의 지진계로 <그림 3-2>와 같다.



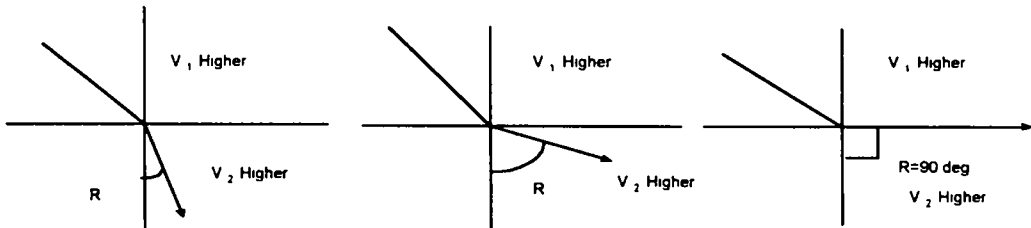
<그림 3-2> 본 연구에서 사용된 지진계(Seismograph)

(가) 원리 및 해석방법

탄성과 탐사법에 있어 가장 중요한 세 가지 원리가 있는데 다음과 같다.

- a. 지진계의 기능은 발진원에서의 초기 지진파의 개시 시간부터 수신기 (geophone)에 도달하기 까지의 경과시간을 측정하는 것이다.
 - b. 지진파는 서로 다른 매질을 통과할 때는 서로 다른 속도로 통과하게 된다. 이때 속도는 경도나 압밀정도, 다짐정도 등에 좌우된다.
 - c. 지진파는 하나의 매질에서 다른 매질로 통과할 때 굴절된다.
- 굴절량은 광학에서의 Snell's law에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

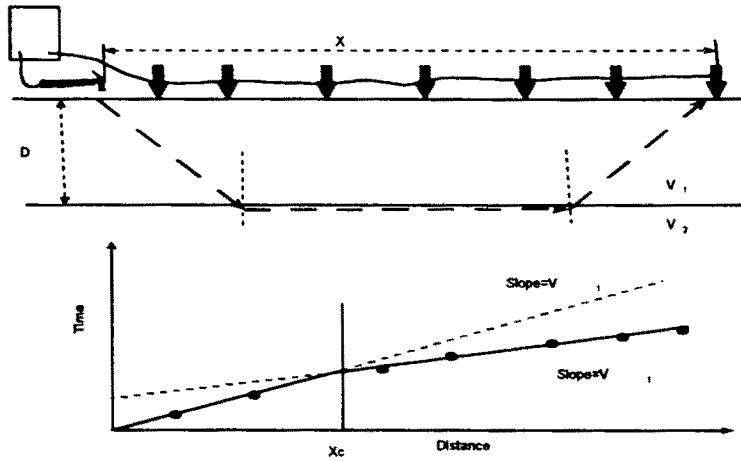
$$\frac{\sin(I)}{V_1} = \frac{\sin(R)}{V_2}$$



<그림 3-3> 지진파의 굴절

<그림 3-3>은 빠른 속도에서 낮은 속도로 통과할 때와 낮은 속도에서 빠른 속도로 통과하게 될 때의 굴절 방향을 보여주고 있다. 또한 경계면을 따라 굴절되어 진행하는 특정한 입사각 I_c 를 보여주고 있다. $R = 90^\circ$ 일 때 $\sin(90^\circ) = 1$ 이므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sin(I_c) = \frac{V_1}{V_2}$$



<그림 3-4> 대상 지반의 깊이 결정을 위한 굴절법

대상 지반의 두께는 다음과 같이 구할 수 있다. 먼저 <그림 3-4>와 같이 서로 다른 매질로 층이 이루어져 있는 지반이 있을 경우, 낮은 속도의 한 층이 두께 D의 형태로 빠른 속도의 매질 위에 놓여져 있다고 가정한다. 예를 들어 $V_1 = 2,000$ tf/s, 그리고 $V_2 = 5,000$ tf/s로 놓고, 직접파는 앞에서와 같은 진행과정을 보이고 기울기는 지표근처에서 V_1 의 속도를 가질 것이다. 또 굴절되어 다른 경로를 가지는 파는 다음과 같은 굴절각을 가진다.

$$\sin(I_c) = \frac{V_1}{V_2}$$

기하학적으로 이 경로를 따르는 세 개의 segment를 통한 경과시간을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$T = \frac{1}{V_2} x + 2D \frac{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_1 V_2}$$

T와 x의 그래프를 통해 이것은 원점을 통과하지 않는 기울기 V_2 의 직선임을 알 수 있다. 두 개의 선이 만나는 점의 거리를 x_c 로 놓으면,

$$x_c = 2D \sqrt{\frac{V_2 + V_1}{V_2 - V_1}}$$

이와 같은 원리로 지진계(Seismograph)에 의한 탄성과 탐사에서 읽은 파의 초동시간이 아래와 같다면, 속도는 주어진 두 개의 기울기와 같이 나타날 것이고 그 깊이는 다음과 같은 공식으로 구할 수 있다.

$$D = \frac{x_c}{2} \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}}$$

일반적으로 불연속면의 깊이를 추정하는 식은 다음과 같다.

$$D = \frac{x_c}{2} \sqrt{\frac{v_2 - v_1}{v_2 + v_1}}$$

여기서, D 는 불연속면의 깊이이고, x_c 는 속도차트에서 두 직선이 만나는 지점까지의 거리이며, v_1, v_2 는 각 층에서의 지진파의 속도이다.

(3) 현장투수시험

(가) 개요

지반의 투수특성은 흙의 구조골격에 따라서 달라지며 불교란 시료를 채취하기가 매우 어렵기 때문에 실내투수시험으로는 실제의 현장투수계수를 구하기가 매우 어렵다. 따라서, 지반의 교란이 비교적 적은 상태에서 행해지는 현장투수시험이 실내투수시험보다 신뢰성 있는 값을 얻을 수 있게 된다.

현장투수시험은 크게 양수시험과 주수시험으로 나눌 수 있다. 양수시험은 우물(시추공)에 의하여 대수층으로부터 지하수를 퍼 올려 그 양수량과 주변에 설치된 관측정에서의 수위저하량을 측정하고, 또 양수 정지후의 수위회복량을 측정하여 이들 결과로부터 투수성을 구하는 것이다. 이 방법에는 정상상태에서의 시험과 비정상상태에서의 시험이 있다. 주수시험은 파이프, 보어링구멍, 우물등에서 일정한 수두를 주어 지반중에 주수하여 주수시의 수두와 주수량으로부터 지반의 투수성을 구하는 것이다.

이들 현장투수시험은 지표면과 지중의 수압(hydraulic pressure)의 차(差)와 이로 인한 흐름의 측정을 응용한 것이다. 시추공 내로 물을 공급하게 되면 수압은 올라가게 될 것이며(주수시험), 물을 빼내게 되면 수압은 떨어질 것이다(양수시험).

이러한 시험들은 보통 시추공을 뚫는 과정에서 표준관입시험과 함께 시행되며, 현장에서 시추를 하게 되면, 이때 시추공내에서 행해질 수 있는 시험들은 표준관입시험과 베인전단시험, 투수시험, Packer(water absorption) 시험, 평판시험, pressuremeter test 등이 있다. 현장투수시험은 시추공내에서 수면이 평형상태를 이루기 전에 신속하게 진행되어야 한다.

(나) 시험방법(변수두 시험, Variable Head Test)

구체적인 현장투수시험의 방법들은 pumping-in test(Poen end cased hole), falling head packer test, constant head packer test, pumping-out test (single hole), pumping-out test (test well with piezometers), pumping-out test (IS method), pumping-out test (open pit or unlined hole), cylinder permeameter method, piezometer method 등이 있다.

이들 방법 중 제체부의 코어부에 대한 투수시험을 시행하기 위해 적절한 방법이 선택되었다. 먼저 시추공내의 물을 충분히 빼내고 이때 수면이 평형상태에 이르기 위해 상승하게 되는데 이 속도를 측정함으로써 시추공 주변 흙의 투수를 측정하게 된다. 이런 방법은 변수두시험에 해당한다. 변수두 투

수시험을 통해 투수계수를 계산하기 위해 제시된 아래의 식은 정상류상태를 가정한 것이다(Hvorslev, 1951).

$$k = \frac{A}{F(t_2 - t_1)} \log_e \frac{H_1}{H_2}$$

여기서,

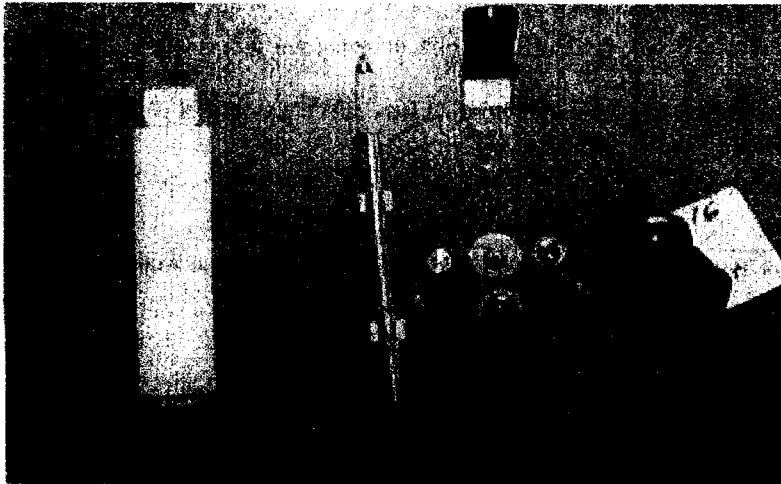
k = 흙의 투수계수

$$F = \text{intake factor, } F = \frac{2\pi L}{\log_e [(L/D) + \sqrt{1 + (L/D)^2}]}$$

H_1 = 시간 t_1 에서 측정한 수두

H_2 = 시간 t_2 에서 측정한 수두

A = 케이싱의 단면적



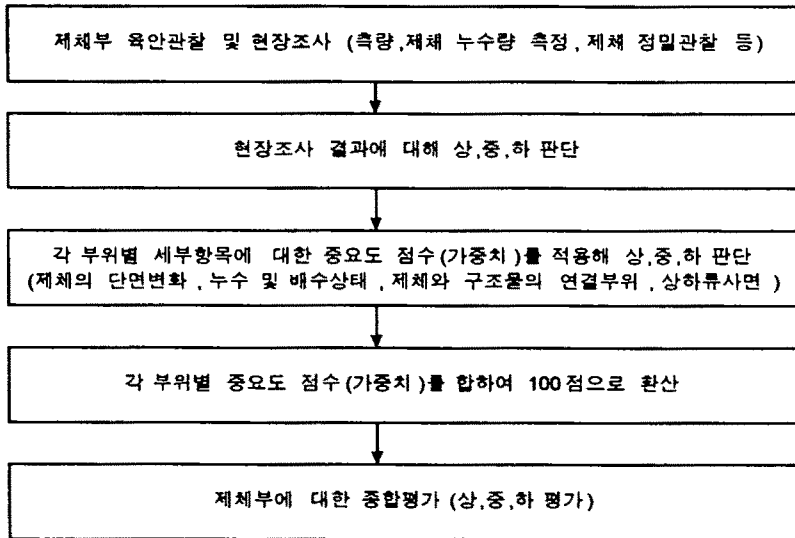
<그림 3-5> 지하수위계

2. 제체부 노후화 판정

제체의 노후화는 시간의 경과에 따른 제체의 열화, 단면변화 등으로 인해 각종 안전 문제를 야기시킬 수 있다. 저수지의 노후화를 판단하는 절차

는 <그림 3-6>과 같다.

<그림 3-6>에 의하면, 먼저 축조 당시 설계된 단면과 현재의 측량결과를 바탕으로 단면변화의 정도를 판단하고 제당정부에 대한 표면균열, 내구성, 침하, 측방이동, 용기 등을 현장조사 및 육안관찰을 통해 노후정도를 조사한 후 문헌 및 설문조사를 통해 정립한 노후도 평가기준에 의해 제체부의 노후도를 판정한다. 노후도가 판정되면 각 부위에 대한 중요도 점수를 반영하여 각 부위별 노후도 점수를 산출하여 최종적으로 제체부에 대한 노후도 점수를 산출한다.



<그림 3-6> 제체 노후화 판단절차

3. 제체부의 노후도

제체부의 노후화를 판정하는 기준으로 각 부분별 중요도 점수를 부가하고 이를 곱하여 총계를 합산한 뒤 100점으로 환산하여 제체부의 노후화 정도를 판단하는 지표로 한다. <표 3-3>은 노후정도를 나타내는 상, 중, 하에 대한 점수영역(환산점수)을 나타내고 있으며 <표 3-4>는 제체 주요부분 및 세부항목에 대한 중요도 점수가

다.

<표 3-3> 제체 중요도 점수

노후등급	상	중	하
환산점수(100)	90 이상	70 ~ 90	70 미만

<표 3-4> 제체 상중하 환산점수

제체부항목	세 부 항 목	중요도 점수(가중치)*
상류사면	사면보호상태(방괴석 상태)	5
	물가면의 침식상태(제체와 Site의 연결부위)	3
	식생상태(식생분포 등)	2
	침하(부분침하,전체침하)	4
	찌꺼기와 부유물	1
	(동물의) 굴	3
하류사면	제체이동징조(측방이동)	5
	침윤상태나 습윤지역(습윤상태)	5
	식생분포(식물생태)	3
	구멍	2.5
	사면보호상태(폐물임)	3
양안부	침윤상태	4
	균열, 조인트,바닥부분	4
	슬라이딩	4
	식생	1
	이동징조(측방이동,움기)	5
제체단면변화	표면균열(균열방향)	3.5
	내구성(다짐정도)	3
	침하(정부침하량)	4
	측방이동(상부침하)	4
	휨(움기)	4
침윤과 배수상태	침윤위치	5
	추정된 누수량	4
	외관이나 변색된 부분	3
	누수지점의 침식	4
	Toe Drain과 배수정 상태	4

* 중요도 점수(가중치)

1 : 중요하지 않다

2 : 그렇게 중요하지 않다

3 : 중요하다

4 : 상당히 중요하다

5 : 매우 중요하다

제3절 구조물의 노후화

1. 노후화 조사 및 방법

구조물의 노후화를 판단하는 조사는 제체부 조사와 마찬가지로 크게 1차 조사와 2차조사로 나눌 수 있다. 1차조사는 표에서 보는 바와 같이 현장조사인 1차조사와 실험실에서 실험 및 분석을 실시하는 2차조사로 나눌 수 있다. 1차조사는 육안관찰, 코어채취, 반발경도시험 등이 포함되어 있고 2차조사는 콘크리트의 열화정도를 측정하는 중성화시험, 기존구조물의 실강도를 측정하는 반발경도시험 그리고 현장에서 채취한 코어로부터 실험실에서 하는 압축강도시험 등을 들 수 있다.

<표 3-5> 저수지 구조물부 노후 조사 및 방법

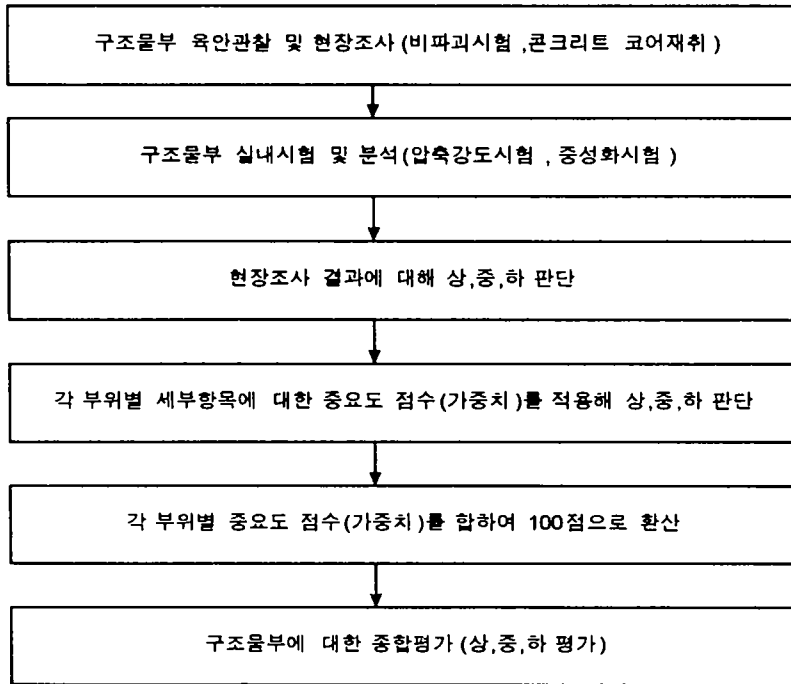
구분	1차조사	2차조사
제체부	육안조사 콘크리트 코어채취 반발경도시험	압축강도시험 중성화시험

2. 구조물부 노후화 판정

구조물부의 노후화는 제체부와 마찬가지로 시간의 경과에 따른 각 구조물의 콘크리트 열화로 인한 균열, 강도저하 등을 가져오며 이로 인해 아주 큰 재해를 일으킬 수 있다. 저수지 구조물부의 노후화를 판단하는 방법은 <그림 3-7>과 같다.

<그림 3-7>에 의하면, 먼저 구조물부의 현장관찰 및 코어채취, 비파괴 강도시험 등을 통하여 구조물의 노후정도나 단면변화의 정도를 판단하고 이를 실험실에서 중성화 및 압축강도시험을 실시하여 구조물부의 압축강도를 측정한 후 문헌 및 설문조사를 통해 본 연구에서 정립한 노후도 평가기준에 의해 구조물부의 노후도를 판정한다. 노후도가 판정되면 각 부위에 대한 노

후도 지수를 반영하여 중요도 점수를 산출하여 최종적으로 구조물 전체에 대한 노후도 점수를 산출한다.



<그림 3-7> 구조물부 노후화 판단절차

3. 구조물의 노후도

구조물의 노후화 정도를 판정하는 기준은 제체부와 마찬가지로 각 부분별 중요도 점수를 부가하고 이를 곱하여 총계를 합산한 뒤 100점으로 환산하여 구조물부 노후화 정도를 판단하는 지표로 한다. <표 3-6>은 노후 정도를 나타내는 상, 중, 하에 대한 점수영역(환산점수)을 나타내고 있으며 <표 3-7>은 구조물 주요부분 및 세부항목에 대한 중요도 점수이다.

<표 3-6> 구조물의 중요도 점수

노후등급	상	중	하
환산점수(100)	90 이상	70 ~ 90	70 미만

<표 3-7> 구조물부 각부위의 노후화 환산점수

구조물부 항목	세 부 항목	중요도 점수(가중치)
도수로 접근수로 상태	식생-접근수로의 장애물 상태	2
	수로부근의 슬라이딩 위치	4
	접근수로 주변의 사면안정(세굴)	3
	사면보호상태	4
Crest 및 Ogee부분	균열	4
	표면상태 및 연약화	3
	백화현상	2
	단면결손	4
	압축강도	3.5
	누수	5
	중성화 깊이	2
Apron 부분	균열	3
	표면상태 및 연약화	3
	백화현상	1.5
	단면결손	4
	바닥이동이나 융기	4
	압축강도	3.5
재체방향 옹벽	조인트 부위	4
	균열	3
	표면상태 및 연약화	2
	백화현상	2
	단면결손	3
	압축강도	3
	침하	4
	이동	5
	조인트연결부위	5
중성화	2	
누수	3.5	
재체반대방향 옹벽	균열	3
	표면상태 및 연약화	2
	백화현상	2
	단면결손	3
	압축강도	3
	침하	4
	이동	5
	조인트 연결부위	5
	중성화	2
누수	3.5	

(계속)

구 조 물 부 항 목	세 부 항 목	중요도 점수(가중치)
금류부 옹벽	균열	3
	표면상태 및 연약화	2
	백화현상	2
	단면결손	3
	압축강도	3
	침하	4
	이동	5
	조인트 연결부위	5
	중성화	2
	누수	3.5
금류부 바닥	균열	3
	표면상태 및 연약화	3
	백화현상	2
	단면결손	4
	압축강도	3
	침하	3
	이동	3
	조인트 연결부위	4
	중성화	2
	누수	2
정수지	균열	2
	표면상태 및 연약화	2
	백화현상	1
	단면결손	2
	압축강도	2
	침하	1.5
	조인트 연결부위	3
	중성화	1
유출수로	사면보호	3
	측사면 안정여부	3
	식생이나 기타 장애물	3
문비	콘크리트 상태 및 강도	4.5
	누수	3.5
	수문상태 및 작동상태	5
	외부도장	1

(계속)

구조물부항목	세부항목	중요도 점수(가중치)
취수탑	균열	3.5
	표면상태 및 연약화	3
	백화현상	2
	단면결손	3.5
	압축강도	3
	작동상태	5
	권양장치 상태	5
	철물도색 및 부식상태	1
	연결교량	피어의 상태(균열,표면상태)
슬래브의 표면상태 및 강도		3
변형정도		3
슬래브와 보의 구조적인 상태		4
철물의 상태		2
통관	균열	5
	표면상태 및 연약화	2.5
	백화현상	2.5
	단면결손	3
	압축강도	3.5
	누수	4
	코아재의 유실	4

* 중요도 점수(가중치)

1 : 중요하지 않다

2 : 그렇게 중요하지 않다

3 : 중요하다

4 : 상당히 중요하다

5 : 매우 중요하다

제4절 저수지 기타 부분의 노후화

1. 저수지 퇴사

가. 저수지 퇴사에 의한 내용적 변화

저수지의 유지관리 측면에서 빼놓을 수 없는 사항은 저수지의 내용적을

감소시키는 퇴사량을 정확히 예측하는 일이다. 지금까지 저수지 퇴사문제에 관한 연구는 주로 구미지역에서 많이 이루어졌으며 대부분이 유역으로부터의 토사유출량을 그 과정과 관련된 유역의 특성과 연관지어 전개되어 왔다. 저수지내 퇴사에 영향을 미치는 주요인자는 ① 유역의 식생피복 ② 토양의 성질 ③ 강수 및 유출 ④ 유역의 형태 ⑤ 토지이용상태 ⑥ 농경방법 ⑦ 저수지의 운영조작방법 등이다.

실제로 저수지의 퇴사량은 파괴나 노후화에 따른 안전도 평가에 큰 영향을 미치지 않는 않지만 퇴사량이 크게 증가했을 경우에는 저수지의 용량이 감소하게 되어 저수지 본래의 목적이나 운영에 지장을 초래할 수 있다.

나. 저수지 퇴사 추정 방정식

저수지내 퇴사에 영향을 미치는 인자는 여러가지가 있으나 그중에서도 유역면적과 초기저수지 용량, 유역의 지형 및 지질 등이 지배적인 인자로 알려져 있다. 우리나라 관개용 저수지에 대한 연구에서 단위유역면적당 연평균저수지퇴사율 S_y ($m^3/year/km^2$)은 저수용량-유역면적비라든가 유역평균경사 또는 유역의 연평균 강우량과 상관시켜 산정하는 방법이 발표되었는데, 이를 식으로 표시하면 다음과 같다.

$$S_y = K_1(C/A)n_1 \quad (3-1)$$

$$S_y = K_2Sn_2 \quad (3-2)$$

$$S_y = K_3Pn_3 \quad (3-3)$$

여기서 C 는 초기 저수지용량($ha \cdot m = 10^4 m^3$)이며 A 는 유역면적(km^2), S 는 유역평균경사, F 는 유역의 평균강우량(mm)이고 $K_1, K_2, K_3, n_1, n_2, n_3$ 는 유역특성에 관계되는 상수이다. 그러나 이들 식은 자료가 미비한 경우에 좋은 결과를 얻을 수가 없다.

Malcolm과 Small Wood는 미주동부지역의 저수지 퇴사연구에서 유역의 개발과정별로 유역군을 분류하여 연퇴사율, $Q_s(m^3/year)$ 과 유역면적, $A(km^2)$ 간의 관계를 다음과 같이 설정하여 양호한 상관성을 얻었다. 즉,

$$Q_s = aA^b \quad (3-4)$$

여기서 a, b 는 상수이다.

이상과 같은 연구결과를 토대로 Q_s 와 앞에서 정의한 바 있는 A, C, F, S 등의 변수간의 최적상관관계를 얻기 위해 다선형회귀분석(multiple linear regression)을 실시한 결과 다음 식과 같은 형태의 함수관계가 가장 높은 상관성을 나타내었다.

$$Q_s = KA^\alpha (C/A)^\beta \quad (3-5)$$

여기서 K, α, β 는 상수이며 C/A 는 초기저수지용량-유역면적비로서 저수지의 토사포축효율의 지표이다.

Brown에 의하면 저수지 토사포축효율, $E_t(\%)$ 는 C/A 와 다음과 같은 관계를 가진다.

$$E_t = 100 \left[1 - \frac{1}{1 + k(C/A)} \right] \quad (3-6)$$

여기서 k 는 0.046~1.0의 값을 가지는 상수이며 통상의 설계조건하에서 $k=0.1$ 이 추천되어 있다.

(3-6)에서 C/A 의 단위는 acre-feet/mile²의 단위를 갖으며 이를 ha·m/km²단위로 바꾸고 $k=0.1$ 의 값을 사용하여 (3-6)을 다시 쓰면 (3-7)과 같다.

$$E_t = 100 \left[1 - \frac{1}{1 + 2.1(C/A)} \right] \quad (3-7)$$

최종적으로 선택한 다선형회귀방정식의 형태는 다음과 같다.

$$Q_s = KA \alpha E_t \beta \quad (3-8)$$

여기에서는 저수지의 토사포착효율(trap efficiency)에 따른 퇴사율의 변동사항 고려하여 국내 113개 관개용저수지의 퇴사실측자료를 사용하여 저수지 퇴사량과 유역면적 및 저수지의 포착효율간의 상관관계를 맺는 다중선형회귀모형을 구한 윤(1981)의 다중선형회귀 방정식(multiple linear regression equation)을 이용하기로 하였다. 그 식은 아래와 같다.

$$Q_s = 1334.08 \times A \times 0.8 \times E_t \times 6.2668 \quad (3-9)$$

여기서 상관계수(r)=0.9223

Q_s : 연평균저수지 퇴사량($m^3/year$)

C : 初期貯水池用量($ha \cdot m$)

A : 流域面積(km^2)

E_t : 貯水池 土砂捕促效率(소수점 숫자 사용)

이 이외의 인자인 F (유역의 평균강우량), S (유역평균경사)등을 회귀분석에 포함시켜 보았으나 상관관계를 크게 높이지 못했다. 113개 저수지의 토사포착효율의 평균치는 약 95.9%이다.

이 식으로 평가하면 유역면적이 크면 비유사량은 감소하고 작으면 증가한다.

다. 저수지 내용적의 변화

(1) 퇴사추정식의 수정 (유역내의 인자(식생피복)의 차이에 따른 수정)

식 (4-9)는 C/A (단위 유역면적당 초기 저수지 용량)에 의해서 퇴사량을 계산하는 방식이므로 유역의 어떤 인자(식생피복)가 변화되었을 때 이를 고려할 수 없기 때문에 이 식에 식생피복의 영향을 고려하여 퇴사량의 변화를 추정하고자 한다.

윤(1981)이 다중선형회귀에 의해 구한 저수지 퇴사량공식은 하천유로부에서의 퇴적과 저수지내 퇴적의 두 영역으로 나누어 양적으로 해석이 가능하므로 본 연구에서는 이 방법을 수정하여 적용한다.

만약 위의 식에 의해 구한 저수지 퇴사량을 수정할 필요성이 생긴다면 다음과 같은 과정을 따른다.

(가) 저수지유역에 대한 1:5,000 지도를 이용하여 저수지 유역을 하천지류에 따라서 지도상에서 소유역으로 나눈다.

(나) 각 소유역에 대한 면적(a_i)과 초기저수지 용량(C)과 포착율(E_i)은 그대로 사용하여 평균토사유출량을 구한다.

(다) 소유역의 평균토사유출량의 합(q_n)을 구한다. <표 3-8>은 각 유역에 적용된 계수이다.

<표 3-8> 유역토사유출량 산정

소유역	유역면적 (km ²)	평균토사유출량 (m ³ /yr)
1	a_1	q_{r_1}
2	a_2	q_{r_2}
3	a_3	q_{r_3}
.....
합계		

(라) 작부체계에 따른 토양유실량의 비를 각각 구한다. 이는 USLE 식에 적용할 작부체계에 따른 토양유실량의 실측자료(1977-1982)를 통하여 구한 값들을 <표 3-9>로 나타냈다. 여기서 비율이란 나지전일 때를 100%로 할 때의 값들이다.

<표 3-9> 각종 작부체계별 토양유실량 <농촌진흥청 농업기술연구소>

작부체계	나지전	목초, 잔디	밭벼	옥수수, 밀·콩
비율(%)	100	13	35.2	41

(마) 식생이 변한 지역에서 작부체계에 따른 유실량의 비(α)를 구한다.

$$\alpha = \frac{\text{변화후의 식생피복에 대한 유실량}}{\text{변화전의 식생피복에 대한 유실량}}$$

(바) 식생이 변한 지역이 하나의 소유역의 크기보다 작다면 <표 3-9>에서의 작부체계별 유실량 계수는 식생변화의 면적비를 곱해서 수정한다.

$$\alpha' = \frac{\text{식생변화 면적}}{\text{소유역의 면적}} \times \alpha$$

(사) 식생이 변한 지역이 하나의 소유역의 크기보다 커서 몇개의 소유역에 걸쳐 있다면 소유역별로 각각 계수를 수정한다.

(아) 전유역에 대한 퇴사량(Q_s)에서 소유역의 평균토사유출량의 합(q_r)를 빼면 이의 차는 하천유로부터 저수지까지 이동하는 동안 퇴적된 양(C_s)이다.

$$C_s = Q_s - q_r$$

(자) 인자가 변화한 소유역에서 면적비에 대한 기여값을 구한다.

$$P(\text{기여값}) = \frac{a_i}{A} \times C_s$$

(차) 이 P 값을 소유역의 토사유출량(q_r)에서 위에서 구한 P 값을 아래에 대입하면 저수지에서 소유역의 변화에 의한 저수지 퇴사량의 변화값

(q_s')을 알 수 있다.

$$q_s' = (q_r - P) \times \alpha'$$

(카) 총 변화퇴사량(Q_s')은 q_s' 에 나머지 소유역들만의 퇴사량을 합해서 구한다.

$$Q_s' = q_s' + (Q_s - q_s)$$

(타) 이 퇴사량은 단위가 ($m^3/year$)이므로 저수지 축조후부터 지금까지 쌓인 퇴사량은 다음과 같이 구한다.

$$Q_s \times (\text{유역피복상태가 변하기 전까지의 경과년수}) \\ + Q_s' \times (\text{유역피복상태가 변한 후의 경과년수})$$

(2) 내용적의 변화추정

다중 회귀식으로 구한 퇴사량으로 저수지 내용적의 변화를 알 수 있고 농업용저수지의 본래의 기능인 하류지역의 물리면적에 관개를 하는 능력을 비교할 수 있어 저수지 퇴사부분에 대한 평가를 할 수 있다.

위에서와 같이 구한 저수지 축조후부터의 총퇴사량을 이용하여 현재 저수지용량을 아래와 같이 구한다.

$$\text{현재 저수지 용량} = \text{초기저수지용량} - \text{저수지 경과기간동안의 총퇴사량}$$

(3) 관개면적을 고려한 저수지 용적의 산정방법

계산방법에는 3가지가 있는데 계산식 산정법, 도식 산정법, 약산법이다.

여기에서는 약산법을 이용하려고 한다.

약산법: 연속한천일수를 기준으로 하여 개략적인 내용적을 산정하는 경우에 사용하는 방법이며, 연속한천일수로서는 10년빈도의 값을 채용하는데 5mm이하는 무강우로 취급한다.

$$Q = M + N + L + (d \times q) - W - a$$

여기서, Q : 계산된 저수지 용적

M : 못자리용수 (= 800 mm × 관개면적/20)

N : 이양 용수 (= 170.4 mm × 관개면적)

L : 연속한천기간중의 저수지 손실량

(= 5 mm × 80일(못자리시기+연속한천일수) × 평균저수면적)

d : 연속한천기간일수 (= 40일)

q : 계획지구답의 1일 조용수량 (= 순용수량 × 1.2)

W : 같은 기간중의 담면적유효우량 (보통은 0)

a : 같은 기간중의 저수지로의 유입량(mm)

라. 저수지 퇴사 노후화 평가기준

상류측에서의 지속적인 토사 운반으로 저수지가 당초 설계된 내용적을 유지하지 못하고 그 내용적이 줄어들게 되었을 경우 그 저수지는 저수지로서의 기능을 다하지 못하게 되며, 이렇게 퇴사로 인해 노후화된 저수지에는 준설이 필요하게 된다. 저수지 평가에 대한 기준은 다음과 같다.

<표 3-10> 저수지 퇴사 평가기준

조사항목	노후등급	평가기준
현 저수지용량(P)과 계산된 저수지용량(C)의 비교	상	P가 C보다 10년 이상 남았을때
	중	남은 년수에서 P가 C보다 6~10년 정도 남았을때
	하	$P \leq C$ (준설 요함) 또는 5년 이하일때

2. 여수토의 홍수처리능력

여수토의 홍수처리능력은 제체 및 구조물의 결괴에 관계된 아주 중요한 요소이다. 이를 평가하기 위한 기준은 다음과 같다.

<표 3-11> 여수토 홍수능 평가기준

노후등급	평 가 기 준
상	모든 설계홍수량을 배제할 수 있는 경우
중	설계 홍수량을 모두 배제하지는 못하지만 안전에 위협이 있을 경우 추가시설 가능
하	물넘이가 설계홍수량을 배제할 수 없어 추가시설이 필요

제5절 현장조사된 저수지에의 적용

1. 현장조사의 목적과 대상저수지 범위

현장조사는 저수지 설계시에 수반되는 광범위한 여러 조사는 사실상 불가능하기 때문에 저수지 안전에 위협이 되는 구조물부, 제체부에 중점을 두어 조사하였다. 또한 저수지를 실제 관리하는 현장 관리인에게 해당 저수지의 제반 문제점을 청취하여 이를 기록·정리하였으며 현장조사이외에 현장에서 채취한 흙과 콘크리트 코어를 사용한 실내 시험을 통하여 자료를 얻었다.

본 절에서는 앞 절에서 소개된 평가기준과 점수를 현장조사된 저수지에 적용하여 그 적용성을 검토하였으며 현장상태와 점수화된 지수와의 관계를 규명하고 이를 노후도 평가의 지표로 삼기위해 그 적용성을 검토하였다.

본 연구에서는 경기도내 저수지로 한정하였고, 조사의 효율성을 높이기 위해 물리면적이 크고 오래된 저수지를 각 농조별로 선별하여 31개 저수지를 선정하였다.

2. 현장조사결과

31개 저수지를 조사분석한 결과는 <표 3-12>와 같다. 여기서 제체부 및 구조물부의 상중하 평가결과는 제2장의 유지관리기준에 의거하여 현장조사 결과에 대해 평가하였다.

3. 노후도 점수 산정

<표 3-12>를 바탕으로 노후도 점수(제체부 및 구조물부)를 산정하면 <표 3-13>과 같다.

제6절 요약 및 결론

본 장에서는 농업용 저수지의 노후화 판단기준 및 노후도 점수화를 정립 하였으며 현장조사된 저수지의 결과를 바탕으로 각각에 대한 노후도 평가를 실시하였고 그 내용을 요약하면 다음과 같다.

1. 제체 및 구조물부의 노후도 조사방법을 요약·정리하였다.
2. 제체 및 구조물부의 중요도 점수 영역은 상의 경우 90점 이상, 중의 경우 70 ~ 90점, 하의 경우는 70점 미만에 해당된다.
3. 제체 및 구조물부의 세부항목에 대한 노후도 점수를 산정하였다.
4. 저수지 기타 부분으로 여수토의 홍수능과 저수지 퇴사에 대한 노후화 판단기준을 제시하였다.
5. 고삼저수지를 포함한 31개 저수지 검토결과, 제체부의 경우 하등급을 받은 저수지는 없었으며 중등급의 경우 10개 저수지가 이에 해당하였다. 구조물부의 경우 하등급의 저수지는 파주농조의 기산저수지, 수화농조의 낙생저수지, 수화농조의 덕우저수지, 기호농조의 마둔저수지, 기호농조의 청용저수지가 이에 해당하였고 중등급의 저수지는 9개 저수지에 해당하였다.

<표 3-12> 현장조사 결과 총괄표

농조	저수지명	제체부					구조물		여수토능력	하류피해				준설필요년도
		정정부	상류사면	하류사면	연결부위	침윤배수	관리상태	여수토부		취수부	총저수량 m ³ (×1000)	높이 m	침투홍수량 m ³ /sec	
수화	왕송	중상	중상	중상	상상	상상	중상	중상	상	1,977	4.8	2174.66	6.5	2021
	원천	중상	중상	중상	상상	상상	중상	중상	상	2,028	11.2	2574.09	4	2075
	덕우	중상	중상	중상	상상	상상	중상	중상	상	1,980	11.4	2566.05	4	2113
	동방	중상	중상	중상	상상	상상	중상	중상	하	1,080	5.7	1339.46	3.5	2048
	낙생	중상	중상	중상	상상	상상	중상	중상	상	1,490	17.2	2734.25	5	2112
기호	금광	중상	중상	중상	하상	상상	상상	상상	상	10,590	21	5342.98	4	2172
	고삼	중상	중상	중상	중상	상상	상상	중상	상	15,224	17	3614.17	9	2161
	이동	중상	중상	중상	중상	상상	상상	중상	상	17,290	18	4017.28	18	2247
	장계	중상	중상	중상	중상	상상	상상	중상	중상	896	23	2451.88	6	2226
	기흥	중상	중상	중상	중상	상상	상상	중상	상	10,728	14	2523.57	18	2095
	청용	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	1,599	25	3414.88	6	2126
	마둔	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	3,507	24	4955.13	11	2121
홍안	백운	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	1,629	14	2579.32	6	2145	
파주	기산	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	910	22	2116.65	5	2149
	봉암	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	931	18	2211.02	6.5	2090
	원당	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	1,114	25	2850.32	8	2077
	신암	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	389	24	1650.29	7	2141
	덕계	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	677	26	2266.04	3	2210
광주	도척	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	789	17	1978.08	3	2111
	홍중	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	517	9	1165.06	3	2059
	용풍	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	732	8	1307.02	4	2018
연천	백화	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	1,677	13	2521.85	5.5	2207	
육안조사														
포천	산정	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	1,074	26	2854.08	4.5	2159
	기산	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	748	21	2140.63	4.5	2123
	금주	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	1,379	20	2836.47	4	2320
양평	고모	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	3,550	30	5573.86	4	2322
	오남	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	560	13	1457.29	3.5	2230
강화	인산	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	1,138	16	2304.69	5.3	2279
	국화	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	4,689	21	5342.98	5.8	2425
	길정	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	2,980	37	5617.40	5	2449
여주	장흥	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	2,980	37	5617.40	5	2449	
이천	성호	중상	중상	중상	중상	중상	중상	중상	926	9	1559.22	3	2018	

<표 3-13> 현장조사 저수지에 대한 노후도 점수화 결과

일련번호	조사 저수지	평 가				농조명
		제체부		구조물부		
		점수	등급	점수	등급	
1	고모	95	상	80	중	포천
2	고삼	93	상	88	중	기호
3	국화	90	상	92	상	강화
4	금광	93	상	95	상	기호
5	금주	92	상	86	중	포천
6	기산	86	중	75	하	파주
7	기산	83	중	93	상	포천
8	기홍	93	상	92	상	기호
9	길정	93	상	92	상	강화
10	낙생	88	중	79	하	수화
11	덕계	82	중	84	중	파주
12	덕우	95	상	78	하	수화
13	도척	90	상	87	중	광주
14	동방	93	상	88	중	수화
15	마둔	80	중	75	하	기호
16	백운	98	상	86	중	홍안
17	백학	95	상	92	상	연천
18	봉암	89	중	96	상	파주
19	성호	91	상	91	상	이천
20	신암	97	상	98	상	파주
21	오남	84	중	86	중	양평
22	왕송	85	중	90	상	수화
23	용풍	95	상	90	상	광주
24	원당	92	상	96	상	파주
25	원천	96	상	96	상	수화
26	이동	93	상	86	중	기호
27	인산	94	상	94	상	강화
28	장계	97	상	95	상	기호
29	장흥	91	상	95	상	여주
30	청용	87	중	78	하	기호
31	홍중	89	중	92	상	광주

- * 상 : 노후도 지수가 90이상으로 노후정도가 덜 되어 있는 경우
- 중 : 노후도 지수가 80이상으로 중간 정도의 노후 정도를 보이고 있는 경우
- 하 : 노후도 지수가 80미만으로 노후정도가 심하여 안전에 우려가 있어 필요한 조치 등이 필요한 경우

제 4 장 농업용 저수지 안전도 평가

제 4 장 농업용 저수지 안전도 평가

제1절 서론

안전도 평가의 목적은 구조 및 조작 안전에 관련된 댐의 상태를 결정하는 것이다. 즉, 댐이 구조적 안전과 운영상의 안전에 대하여 그 상태를 파악하고 대책을 세우도록 하는 것을 말한다. 따라서, 저수지의 안전도는 현재 상태뿐만 아니라 모든 구성 요소의 과거 이력, 현재 상태 및 장래의 추이를 종합하여 평가하고 판단하여야 할 것이다.

저수지의 안전도 평가에 있어서 고려하여야 할 저수지의 과거 이력은 여러 가지가 있을 수 있겠으나 기본적으로는 설계자료를 바탕으로 하여 보수 이력, 운전기록, 준설 기록 등이 포함될 수 있다. 저수지의 현재 상태에 대한 조사는 댐 및 부속 구조물과 기계장치가 예상대로 일을 수행하고 있는가를 알아내기 위하여 실시된다. 여기에는 댐 체체에 대한 구조적 분석을 포함하여 현지조사를 통하여 파괴된 부분, 예상치 못했던 이동, 비정상적인 누수, 기계 및 전기장치의 결함, 그리고 댐의 안전에 관련된 다른 모든 사항을 조사하여야 한다. 장래의 추이로는 구조물의 노후화 속도, 퇴사량 및 저수지 유역의 수문학적 변화 등을 포함하여야 한다.

이러한 다양한 분야에 대한 조사 결과로부터 전체적인 저수지의 안전도에 대한 결론을 도출하기 위해서는 조사 결과의 종합적 평가 기법이 요구된다. 이러한 종합적 분석결과는 건설부의 댐시설 안전기준에서도 제시된 바와 같이 가중치 평가법을 적용하는 것이 일반적이다. 건설부 댐시설 안전기준에는 사력댐 및 콘크리트 댐에 대한 안전등급 결정기준은 제시되어 있으나 대부분의 농업용 저수지의 축조방식인 흙댐에 대한 기준은 제시되어 있지 않다. 저수지 결괴시 발생하는 막대한 인명과 재산피해, 이후 이를 복구하는데 걸리는 시간과 노력에 비추어 볼 때 저수지 안전도의 평가를 위한

합리적 기준 설정의 중요성과 필요성은 말할 나위 없이 중요하다. 뿐만 아니라 세계 각국의 저수지 결과 사례(문헌)와 우리나라의 저수지 결과 사례에 비추어 볼 때 합리적인 평가를 위한 기준에 대한 정립이 절실히 요구된다.

저수지의 안전도와 노후도는 상당히 밀접한 관련을 갖는다. 즉, 노후화된 저수지는 그 안전도가 그렇지 않은 저수지보다 낮을 것이라는 점은 명백하다. 다만, 저수지의 노후화 평가에는 포함되나 안전도 평가에는 고려되지 않아도 되는 항목이 존재하며 그 반대인 경우도 있다.

따라서, 이 장에서는 농업용 저수지의 안전도 평가에 필요한 평가 항목을 정의하고 이에 따른 안전 등급 평가기준을 설정하며 이를 적용한 안전도 평가 시스템을 개발하였으며 본 연구에서 조사된 31개 저수지에 대하여 평가시스템을 적용하여 안전도 평가를 수행하였다.

제2절 저수지 안전도 평가 항목 및 기준

1. 서론

본 연구의 목적은 보다 합리적인 저수지 안전도 평가를 위한 평가항목 및 그 기준을 제시하여 저수지의 안전도 평가를 위한 기술적 기준을 제시하고 유지관리에 일조하는데 있다.

현장 조사 결과를 이용하여 저수지의 안전도 평가를 수행함에 있어 각각의 저수지의 안전도를 객관적으로 정량화 할 수 있는 기법이 요구된다. 저수지의 안전도 평가의 방법으로는 충분한 지식 베이스나 풍부한 경험을 바탕으로 한 퍼지이론(fuzzy theory)이나 전문가시스템(expert system)을 응용하는 방법과 현장조사 및 실내시험을 통한 평가 등이 그 대표적인 예이다. 그러나 우리나라에서는 충분한 지식 베이스가 구축되어 있지 않기 때문에 이러한 방법을 응용하기는 어려운 실정이다.

본 연구에서는 전장에서 노후화 평가에서와 같이 현장답사를 통한 조

사 및 자료 조사 결과를 이용하여 논리적이고 합리적인 방법으로 안전도 평가를 하기 위해 저수지를 구조물부와 제체부로 크게 나누고 각 세부항목에 대해 가중치를 설정하였다. 또한, 안전도 평가에서 중요한 부분중의 하나인 하류피해에 대한 평가기준을 포함하였다.

본 연구의 안전도 평가시스템을 이용함으로써 직관에 의존하기 쉬운 안전도 평가를 보다 객관적인 관점에서 수행할 수 있다. 또한 본 연구의 안전도 평가방법이 아직은 완전하다 할 수 없으므로 이에 대한 지속적인 연구, 수정 및 보완이 이루어져야 하겠다.

2. 안전도 평가항목

흙댐의 안전도 평가에 있어서 요구되는 현장조사 항목은 전술한 노후도 평가를 위한 현장조사에서 포함되어 있다. 따라서, 노후화 평가결과를 안전도 평가에 활용할 수 있다. 다만, 노후도 평가에서 사용된 가중치와 안전도 평가에 있어서의 가중치는 각각의 평가항목이 기능적 노후화와 구조적 노후화에 기여하는 정도가 다르기 때문에 달리 적용하여야 한다.

저수지의 안전도 평가를 위해서는 현장 조사결과에서 얻을 수 있는 저수지 구성 요소에 대한 평가 외에도 저수지 제체의 사면안정 및 침투에 대한 평가가 요구된다. 저수지의 사면안정 및 침투류 해석은 통상 저수지의 설계에서 기본적으로 수행되는 작업이기는 하나 저수지가 노후화됨에 따라 발생된 제체의 변형, 제체 토성의 차이, 제체의 열화 등 여러 요인에 의해서 설계시와는 다를 수 있다. 따라서, 저수지의 현재 상태의 사면안정 및 침투해석이 필요하다.

또한 저수지의 안전도는 그 구조적인 절대적 안전도라는 의미 외에도 각각의 저수지가 갖는 사회 경제적 역할 및 위치가 고려되어야 한다. 이는 미개척국을 비롯한 선진 외국에서 널리 적용되고 있는 개념으로서 개개 댐의 결괴를 가정하고 이때 발생 가능한 사회, 경제적 손실을 기준으로 설정하고 있다.

이와 같이 저수지의 안전도 평가를 위한 대항목으로는 제체 및 구조물의 안전도, 사면안정, 침투류 해석 및 하류피해 분석이 포함된다. 각각의 항목에는 이에 따른 소항목이 있으며 이는 각각 해당 절에서 기술하였다. 저수지 안전도 평가 대항목을 요약하면 다음의 <표 4-1>과 같다.

<표 4-1> 저수지 안전도 평가 대항목

평가항목	평가방법	비고
제체 및 구조물	현장조사	
사면안정	사면안정해석 및 분석	
침투류	침투해석 및 분석	
하류피해	자료조사 및 분석	

제3절 제체 및 구조물 안전도 평가

1. 안전도 등급 가중치

제체 및 구조물의 여러 평가 부분의 가중치는 각 항목간의 상대적인 값으로 결정되며 각 항목간의 총점은 100점 만점으로 환산하였다. 가중치는 참고문헌과 여러 전문가의 의견 및 본 연구참여자들의 평가 결과를 기초로 하였다.

제체 및 구조물의 안전도 평가항목은 노후화 평가항목과 대부분 일치하고 있다. 다만, 일부 항목은 저수지의 기능적 노후화에 해당되므로 제외하였으며 각각의 가중치는 구조적 노후화에 기여하는 정도를 고려하였다. 제체 및 구조물의 안전도 등급 가중치는 다음 <표 4-2>와 같다.

<표 4-2> 제체 및 구조물의 안전도 등급 가중치

원인	가중치	비고
1. 제체부	46	
a. 상류사면	7.8	
b. 하류사면	9.2	
c. 양안부	10.6	
d. 제체 단면변화	9.6	
e. 침윤과 배수상태	8.8	
2. 구조물	54	
a. 도수로 접근수로상태	3.8	
b. Crest 및 Ogee	4.6	
c. Apron 부분	3.8	
d. 제체방향 옹벽	3.8	
e. 제체 반대방향 옹벽	3.8	
f. 급류부 옹벽	3.8	
g. 급류부 바닥	3.8	
h. 정수지	2.6	
i. 유출수로	3.8	
j. 문비	6.6	
k. 취수탑	4.6	
l. 연결교량	2.6	
m. 통관	6.4	

2. 안전도 평가

본 연구에서 조사된 31개 저수지의 제체 및 구조물부의 안전도를 <표 4-2>의 가중치로서 안전도를 평가한 결과는 <표 4-3>과 같다. 이를 살펴보면 평균 91, 표준편차는 3.7점으로서 분석결과의 편차가 매우 작게 나타났다. 안전도 점수는 노후화 평가에서와 마찬가지로 90점 이상을 상, 80점 이상을 중, 80점이하를 하로 평가하였다.

안전도 평가결과, 안전도는 모든 저수지에서 “중”이상으로 나타나고 있어 제체 및 구조물부의 안전도 면에서 불안정한 상태에 있는 저수지는 없는 것으로 판단되었다.

<표 4-3> 제체 및 구조물부 안전도 평가결과

저수지명	제체부	구조물부	합계	안전도
고모	44.2	45.0	89.2	중
고삼	43.4	48.4	91.8	상
국화	42.0	50.5	92.5	상
금광	43.3	52.4	95.7	상
금주	42.9	48.9	91.8	상
기산(파주)	39.8	42.5	82.3	중
기산(포천)	39.2	51.7	90.9	상
기홍	43.1	51.0	94.1	상
길정	43.7	50.3	94.0	상
낙생	42.1	45.3	87.4	중
덕계	38.7	47.1	85.8	중
덕우	44.3	51.3	95.6	상
도척	41.5	48.6	90.1	상
동방	43.6	47.8	91.4	상
마둔	37.5	43.8	81.3	중
백운	45.7	48.4	94.1	상
백학	44.2	48.0	92.2	상
봉암	41.3	49.7	91.0	상
성호	42.4	47.4	89.8	중
신암	45.5	51.0	96.5	상
오남	38.8	46.2	85.0	중
왕송	39.4	46.9	86.3	중
용풍	44.1	46.9	91.0	상
원당	43.0	49.9	92.9	상
원천	44.9	49.1	94.0	상
이동	43.7	48.4	92.1	상
인산	44.0	48.6	92.6	상
장계	45.5	49.4	94.9	상
장흥	42.5	48.8	91.3	상
청용	41.2	51.2	92.4	상
홍중	41.3	50.7	92.0	상

제4절 저수지 사면안정 해석

1. 서론

저수지의 안전도 평가에 있어서 사면안정에 대한 분석은 가장 중요한 항목중의 하나이다. 본 절에서는 사면안정 해석의 일반이론, 지진시의 저수지 사면안정 문제의 해석 방법 그리고 사면안정 해석조건을 검토하였으며 이를 조사된 31개 저수지 중 자료확보가 가능한 27개 저수지의 사면안정 분석을 수행하였다. 또한, 사면안정해석 결과를 이용하여 저수지의 사면안정성을 평가할 수 있는 기준을 마련하였다.

2. 저수지 사면안정 해석법

사면의 안정성은 이른바 안전율 (factor of safety)을 근거로 하여 판단하고 있다. 안전율이란 주어진 활동면에 대해 흙의 전단강도를 현재의 전단응력으로 나눈 값이다. 따라서 이론상으로는 산정된 안전율이 1.0 보다 크면 사면은 안전한 것이 되지만 실제에 있어서는 안전율이 허용안전율 이상 되어야 그 사면은 안전하다고 판정한다.

저수지의 경우에는 저수지 수위 및 지진여부에 따라서 여러 가지 하중조건이 발생할 수 있으며 발생 가능한 모든 경우를 고려하여야 한다.

가. 전응력해석과 유효응력해석

간극수압의 거동은 사면안정에 큰 영향을 미치는데, 이러한 간극수압의 고려여부에 따라 사면안정해석은 전응력해석과 유효응력해석법으로 나눌 수 있다. 전응력해석방법은 비배수강도시험으로 얻은 강도정수를 써서 해석하는 방법이며, 간극수압은 고려하지 않는다. 유효응력해석법은 유효응력으로 얻은 강도정수와 간극수압을 써서 해석하는 방법이다.

전응력해석은 단기안정해석(short term condition)또는 완공직후(end of

construction)의 조건에 적용하며, 유효응력해석은 장기안정해석(long term condition)조건에 적용한다. 간극수압은 침투상태에 따라 달라지며 유선망이나 기타 침투해석방법으로 결정할 수 있다. 수위급강하(rapid drawdown)조건이나, 사면이 어떤 하중조건에서 압밀된 후 하중조건이 급변하여 배수가 될 시간이 없는 경우에는 전용력방법으로 안정해석을 실시한다.

나. 안정해석 단계

흙댐에서 안정성 검토를 수행해야 할 세 가지 주된 단계는 다음과 같다.

- ① 시공완료 직후
- ② 급격한 수위강하 : 수위강하가 일정기간동안 지속적으로 상당량 진행되었을 때 상류부 사면의 안전율이 감소된다. 이의 요인으로는 체체에 대해 저항하는 물의 정수역학적 힘의 소산과 체체내의 간극수압 변화 시간의 부족 때문이다.
- ③ 장기간의 안정성: 만수위가 되어 체체 상부로 월류되는 심각한 경우

본 연구에서는 이미 건설된 지 상당시일이 경과된 저수지를 대상으로 사면안정을 수행하고 있는 바, 해석조건을 홍수위시, 만수위시, 수위급강하시로 나누어 해석하고 각각에 대해 지진을 고려한 사면안정 해석을 추가하였다.

다. 한계평형이론

가장 일반적으로 사용되고 있는 사면안정해석 방법은 한계평형이론에 근거를 둔 절편법(method of slices)이다. 한계평형법(limit equilibrium method)은 활동면을 따라 파괴가 일어나려는 순간에 있는 토체의 안정성을 해석하는 것이다. 한계평형방법에 의한 사면안정해석은 본질적으로 부정정 문제인데, 이의 해결을 위해 힘의 평형과 모멘트의 평형에 관한 몇 가지 가정을 도입하게 된다. 이러한 가정의 도입을 통해 정역학적 이론을 통해 손

쉽게 해를 구할 수 있다. 한계평형해석법은 절성토 사면의 안정해석에 널리 사용되고 있으며, 이 방법의 유용성과 신뢰성은 현재까지 축적된 경험을 통하여 잘 알려져 있다.

사면안정해석방법을 고안할 때 설정한 가정의 차이 때문에 여러 해석방법의 결과가 서로 다를 수 있으나 각 해석방법으로 구한 안전율의 수치적 차이에 관한 연구결과에 의하면 그 차이는 그렇게 크지 않다. 다만 예외로 Fellenius방법은 다른 방법에 비해 60%까지 차이가 날 수도 있다.

(1) Fellenius 방법

절편법 가운데 가장 간단한 방법이다. 이 방법에서 각 절편의 저면에 작용하는 수직력은 수직방향의 힘의 평형조건으로 결정한다. 그리고 각 절편의 측면에 작용하는 힘의 합력은 절편의 저면과 평행한 방향을 작용한다고 가정한다. 이 방법을 이용한 안전해석 결과는 보수적이고 오차는 안전측이다. 간극수압이 커질수록 오차가 증가하게 되며, 현재 특수한 경우를 제외하고는 이 방법은 사용되고 있지 않다.

(2) Bishop의 간편법

이 방법은 편리성, 결과의 정확성 등으로 인해 절편법 중 가장 널리 사용되고 있는 방법이다. 이 방법은 가상 회전중심을 사용함으로써 비원호활동면에 대해서도 적용할 수 있다. 이 방법은 수직력의 평형조건과 모멘트 평형조건을 이용한다. 그리고 절편간에 작용하는 힘이 없다고 가정한다.

(3) Janbu의 간편법

Janbu는 Bishop의 방법을 비원호 활동면까지 확장해서 수평력과 모멘트의 평형조건으로 사면의 안정성을 해석하였다. 절편간의 전단력은 없다고 가정한다. 그리고 모든 절편에 걸쳐 수직력과 수평력의 평형조건을 만족하게 된다. Bishop의 간편법이 수평력의 평형조건을 만족하지 않는 것에 반해

이 방법은 모멘트 평형조건을 만족하지 않는다.

3. 지진시의 사면안정해석

지진으로 인한 흙댐의 파괴유형은 매우 다양하게 나타난다. 흙댐에 대한 지진의 영향은 단순히 해석적 방법을 바탕으로 한 설계보다는 보통 보수적인 값이나 안전율을 사용하여 보완하고 있다. 사면에 대한 동적 안정 검토 시에는 사용된 사면해석 방법에 의해 얻어진 안전율에만 의존하기 보다 축적된 경험과 적절한 판단을 바탕으로 관련된 사면의 모든 파괴 가능성들을 배제할 수 있도록 주의가 요구된다.

지진과 같은 동하중에 의한 사면 불안정 원인은 크게 다음의 두 가지로 나눌 수 있는데, 첫째, 동하중으로 인한 지반내 전단응력의 증가, 둘째 동하중에 의한 지반재료의 강도 감소 또는 유실이다. 지반재료의 강도 감소 또는 유실은 동하중으로 인하여 포화된 지반 내에 유발되는 과잉간극수압이 주된 요인이며 그 외 침투강도에 비해 잔류강도가 작은 지반의 경우 반복하중으로 인한 사면 지반의 변형이 계속 축적됨으로써 상응하는 지반의 강도가 잔류강도에 다다른 경우에 해당된다. 특히 지반재료 중 과잉간극수압 발생으로 인하여 지반의 강도가 완전히 손실되는 지반(액상화 가능 지반)의 경우에는 이를 고려한 사면의 안정성 검토가 요구될 뿐 아니라 유발된 과잉간극수압의 소산효과 등을 고려한 사면안정 검토가 요구된다.

가. 유사정적 해석방법(Pseudostatics Method)

유사정적 해석방법은 흙댐의 지진에 의한 안정성 평가시 통상적인 해석방법으로 오래 전부터 적용되어 왔다. 유사정적 해석방법에서 한계평형방법은 지진시 지중가속도로 인한 내부 포텐셜을 나타내기 위해 수평과 수직의 정적 지진력을 포함하도록 수정된다. 이 수평/수직의 수평력은 활동예상체의 무게와 지진계수(seismic coefficient) k_h 와 k_v 만큼씩 비례하는 것으로 가정한다. 보통 지진력은 수평방향으로만 작용한다고 추정하기 때문에 $k_v=0$ 으로

하며 활동체의 내부 힘 $k_h W$ 을 포함한 계산을 수행한다. 유사정적해석방법의 이용시 적절한 지진계수를 선택하는 것은 매우 중요하다. 지진계수를 첨두지중가속도(peak ground acceleration)로 선택할 수도 있으나 지나치게 보수적인 값을 선택하게 되어 비경제적인 경우가 될 수도 있다.

나. 지진계수의 선택

유사정적 방법을 이용하여 사면의 동적 안정을 해석하기 위해서는 동하중 효과를 고려하기 위한 유사정적 하중산정시 이용되는 지진계수 k_h 값의 결정과 주어진 동하중으로 인하여 유발되는 지반내의 응력 및 변형을 적절히 고려한 지반의 강도산정이 가장 큰 문제이다. 기존 사면들의 동하중에 대한 실제 거동 사례들을 토대로 결정된 경험과 판단에 근거한 계수를 보면, 미국의 경우 약 0.1~0.15g 일본의 경우 약 0.15~0.25g 범위의 값을 이용하고 있다. 국내의 경우 ‘농지개발사업계획설계기준 댐편’에서 제체 및 기초지반의 설계조건에서 지진력에 대해 설계진도의 기준량을 제시하면서 ‘댐의 정적 구조계산 및 제체의 비월류부의 높이 산정에 쓰이는 설계진도의 기본량은 제시된 값 이상으로 해당 댐의 실정에 따라서 정하도록 한다(이하 생략)’라고 제시하고 있다. 제시된 강도 기준은 다음과 같다.

<표 4-4> 지진력에 대한 설계진도 기준량

댐 형식	强震帶 지역	弱震帶 지역
중력식 콘크리트 댐	0.12	0.10
아치식 콘크리트 댐	0.24	0.20
제체가 대체로 균일재료에 의한 것	0.15	0.12
월 댐		
기타의 것	0.12	0.10

또한, ‘지진시의 제체의 관성력은 댐의 자중에 제체의 설계진도를 곱한

값으로 하고, 제체에 수평으로 작용하는 것으로 한다' 라고 하여 다음과 같은 식을 제시하였다.

$$I = W \cdot K \quad (4-1)$$

여기서, I : 지진시의 제체의 관성력(t/m^3)

W : 제체의 자중 (t/m^3)

K : 제체의 설계진도

<표 4-4>에서 제시하고 있는 설계진도는 (4-1)에서 알 수 있듯이 사면 안정의 해석에서 사용되는 수평지진계수로서 우리나라는 약진대에 속하고, 또한 제체부에 코어가 있는 경우가 대부분이며 제체를 구성하는 흙은 대부분 균질하므로 지진계수를 0.12g로 사용하는 것이 합당하다.

<표 4-5>는 국외에서 기존에 흙댐에 대해 적용하였던 수평지진계수 값과 최소 안전율 값을 나타내고 있다.

<표 4-5> 국외의 수평지진계수 값과 최소안전율 값

댐	국가	수평지진계수	최소안전율
Aviemore	New zealan	0.1	1.5
Bersemisnoi	Canada	0.1	1.25
Digma	Chile	0.1	1.15
Globocica	Yugoslavia	0.1	1.0
Karamauri	Turkey	0.1	1.2
Kisenygma	Japan	0.12	1.15
Mica	Canada	0.1	1.25
Misclcubo	Japan	0.12	-
Netzahualcoyote	Mexico	0.15	1.36
Oroville	USA	0.1	1.2
Paloma	Hile	0.12 to 0.2	1.25 to 1.1
Ramganga	India	0.12	1.2
Tercan	Turkey	0.15	1.2

4. 사면안정해석 프로그램

가. 해석프로그램의 종류

사면안정해석 프로그램에는 많은 종류가 있는데, STABR, STABGM, SLOPE8R, PCSTABL5M, UTEXAS, MALE, PC-SLOPE, STABRD 등이 그것이다. 각 해석프로그램의 해석이론 및 해석방법은 다음 <표 4-6>과 같다. 또한, 각 해석프로그램의 사용상 특징을 <표 4-7>, 안전율 계산방법을 <표 4-8>, 프로그램의 가정 및 한계평형조건을 <표 4-9>에 각각 요약하였다.

<표 4-6> 해석프로그램의 해석이론 및 해석방법

프로그램	해석방법	해석이론
STABR	Bishop 간편법, Fellenius 방법	한계평형이론
STABGM	Bishop 간편법, Fellenius 방법	한계평형이론
SLOPE8R	Spencer 방법	한계평형이론
PCSTABL5M	Bishop 간편법, Janbu 간편법, Spencer 방법	한계평형이론
UTEXAS	Spencer 방법	한계평형이론
PC-SLOPE	Fellenius 방법, Bishop 간편법, Janbu 간편법, Lowe-Karafiath, Morgenstern and Price, Corps of Engineers	한계평형이론
MALE	Morgenstern and Price	한계평형이론
STABRD	Fellenius 방법, Bishop 간편법	한계평형이론

<표 4-7> 해석프로그램의 사용상 특징

프로그램	가상활동면	최소안전	외부하중	간극수압의 적용	
		을 활동면 추정 유무	적용 기능 유무	정수압 유무	간극수압 계수 유무
STABR	원호	○	×	○	×
STABGM	원호	○	×	○	×
SLOPE8R	비원호	×	×	○	×
PCSTABL5M	원호, 비원호, Block	○	○	○	○
UTEXAS	원호, 비원호, Block	○	○	○	○
PC-SLOPE	원호, 비원호, Block	○	○	○	○
MALE	비원호	×	×	○	○
STABRD	원호	○	×	○	×

<표 4-8> 해석프로그램의 안전율 계산방법

프로그램	안전율 계산방법			
	사용자 지정	사용자 지정	임의 발생	임의 발생
	활동면 안전율 산정(원호)	활동면 안전율 산정(비원호)	최소 안전율 산정(원호)	최소 안전율 산정(비원호)
STABR	○	×	○	×
STABGM	○	×	○	×
SLOPE8R	×	○	×	×
PCSTABL5M	○	○	○	○
UTEXAS	○	○	○	○
PC-SLOPE	○	○	○	○
MALE	×	○	×	×
STABRD	○	×	○	×

<표 4-9> 해석프로그램의 가정 및 한계평형조건

프로그램	가 정 (X, E : 절편력의 수직, 수평 성분)	한계평형조건		
		모멘트	수직력	수평력
STABR	절편력의 합력은 각 절편의 바닥에 평행	○	×	×
STABGM	절편력의 합력은 수평방향	○	×	×
SLOPE8R	절편축력은 수평방향	○	○	○
PCSTABL5M	$X/E = \lambda f(x)$	○	○	○
UTEXAS	X/E 는 모든 사면에 대해 일정	○	○	○
PC-SLOPE	$X/E = \lambda f(x)$	○	○	○
MALE	절편축력은 사면 기울기와 평행	○	○	×
STABRD	절편축력은 활동면과 사면기울기의 평균	×	○	○

나. 사용된 프로그램(PCSTABL5M)

(1) 프로그램의 배경

PCSTABL5M은 Carpenter(1986)가 Purdue대학의 Siegel(1975)에 의해 개발된 STABL을 Spencer방법까지 해석할 수 있도록 수정보완한 프로그램이다. 본 프로그램은 2차원 한계평형방법에 의하여 사면파괴에 대한 안전율을 계산한다. 사면 불안정에 대한 안전율 계산은 원호 파괴면에 적용할 수 있는 Bishop 간편법, 일반형상의 파괴면에 적용할 수 있는 Janbu 간편법, 원호와 일반형상의 파괴면에 적용할 수 있는 Spencer 절편법을 이용하여 구한다.

(2) 특이사항

PCSTABL5M은 위험한 파괴면과 이 파괴면에 대한 안전율의 결정을 위하여 가상파괴면을 임의적으로 나타내는 것이 특이 사항이며, 다른 특징은 다음과 같다.

가. 균질하지 않은 흠사면

나. 흠의 전단강도가 일정하지 않는 사면

다. 인장균열이 있는 사면

라. 상재하중, 집중하중이 작용하는 사면

마. 의사 정적지진하중이 작용하는 사면

바. 지하수위가 있는 사면

사. Tie back 하중이 작용하는 사면에 대하여 해석할 수 있으며, 전단에 의해 발생하는 과잉간극수압의 영향도 고려할 수 있다.

본 프로그램의 가상활동면의 형상으로는 원호, 비원호, Block 활동면이 있으며, 임의 발생 활동면에서 최소안전율을 구하는 방법 또는 주어진 가상 파괴면의 좌표를 명시하여 안전율을 구하는 방법을 이용하여 해석되어지며, 좌표축에서 수평인 X축은 오른쪽으로 갈수록 증가하고 수직인 Y축은 위쪽으로 갈수록 증가한다. 또한 본 프로그램은 그래픽(graphic) 기능도 가지고 있어 사면의 형상과 계산결과인 임계면을 볼 수 있으며, 입력데이터가 잘못 입력될 경우 적절한 에러메시지(error message)가 나와 쉽게 잘못된 입력데이터를 수정할 수 있는 장점도 있다.

5. 저수지 사면안정 해석 결과

가. 해석조건

흙댐에 대해 Janbu의 간편법을 이용하여 사면안정해석을 수행하였다. 홍수위와 만수위 그리고 수위 급강하시의 사면안정해석을 수행하였으며, 각각의 경우에 대해 지진의 영향을 고려한 해석을 추가하였다. '농지개량사업계획설계기준 댐편'에서는 홍수위시에는 지진의 영향을 고려하지 않아도 되는 것으로 제시되어 있으나 이 경우에 발생가능한 최악의 조건이므로 이에 대해서도 해석을 실시하였다.

나. 입력자료

(1) 토질정수

사면안정해석에는 습윤단위중량, 포화단위중량, 유효점착력, 유효마찰과 같은 토질정수가 필요하다. 이러한 토질정수는 해당 저수지의 토질조사결과로부터 구하여야 하나 이를 위해서는 불교란 시료의 채취 및 실내시험이 요구된다. 특히, 제당 및 코어는 일반적인 보링으로는 불교란 시료를 채취할 수 없기 때문에 블록 샘플링(block sampling)을 실시하여야 하므로 저수지의 손상을 피할 수 없다. 더구나, 본 연구에서와 같이 저수지의 안전도를 비교적 간편하게 판단하기 위해서 시간과 비용의 제한으로 인해 이러한 토질 조사를 실시하기는 어렵다. 따라서, 토질정수를 1) 표준관입시험 등의 sounding 시험을 통하여 추정하거나 2) 공사시의 시험자료를 토대로 판정하거나 3) 교란시료의 토질분류에 의거하여 일반적인 토질정수 값을 추정하여 사용하는 것이 불가피하다.

대부분의 저수지에서 공사시의 시험자료를 구하기는 어려웠으며 고삼저수지에 대한 보오링 결과로부터 얻은 제체부와 코어부의 통일분류법에 의한 분류와 그에 따른 제 성질을 제시하고 있는 국내문헌인 '농지개량사업계획 설계기준 댐편'에 의거하여 다음 <표 4-10>과 같이 적용하였다. 사면안정을 수행한 대상 저수지의 단면형상에 대한 제원은 생략하겠다.

<표 4-10> 사면안정 해석을 위한 토질정수

부위	토질정수 (t/m^3)	습윤단위중량 (t/m^3)	포화단위중량 (t/m^3)	유효점착력 (t/m^3)	유효마찰각 (degree)
제체부	2.011	2.011	2.261	5.2	33.6
코어부	2.027	2.027	2.027	8.8	25.1

(2) 지진계수

국내에서의 지진계수에 대한 기준인 '농지개량사업계획 설계기준 댐편'에

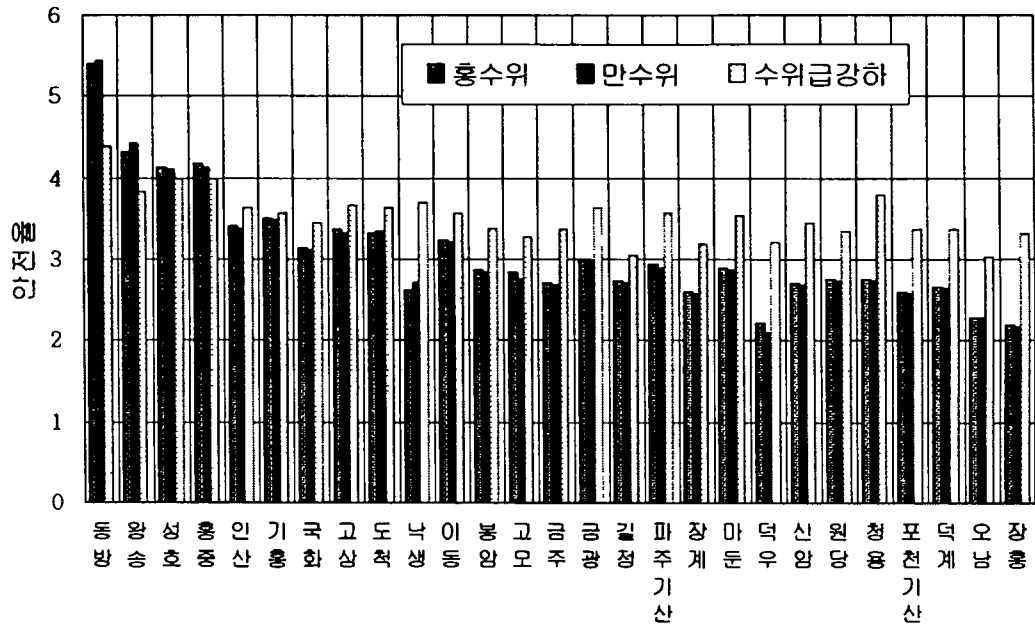
서 우리나라의 대부분이 약진대에 속하고, 또한 제체부가 코어가 있는 경우가 대부분이며 대체로 균일한 재료에 의한 것이므로 지진계수를 0.12g 로 정하였다.

(3) 가정

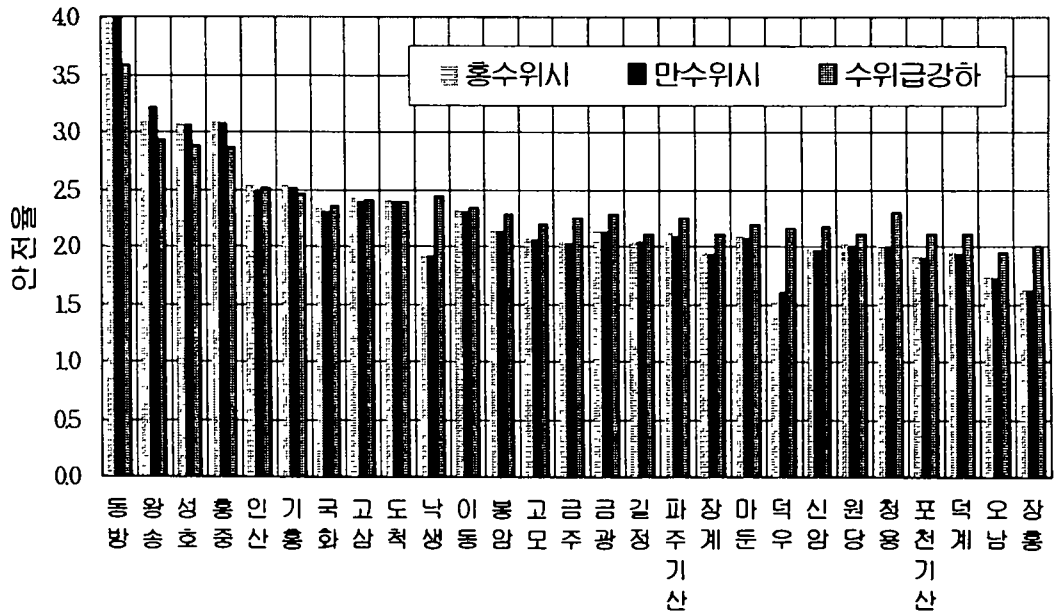
해석대상 저수지 중 기초지반에 대한 자료와 함께 각종 수위자료를 구할 수 없는 경우, 동일한 가정을 도입하여 해석을 수행하였다. 즉, 제체부의 기초에 관해서는 제체 기초부 5m 아래에 암반층이 있는 것으로 가정하였다. 또한, 수위급강하는 수위가 홍수위까지 도달된 후 급격하게 강하되는 경우를 의미하므로 조사된 저수지들의 자료를 종합하여 수위강하는 5m가 일어나는 것으로 가정하였으며 이는 대부분의 저수지에서 적합한 것으로 사료된다. 그리고 홍수위 또는 만수위의 자료가 없는 저수지에 대해서는 홍수위와 만수위의 차이를 1m 로 가정하였다. 흙댐에서의 사면안정해석을 위해서는 침윤선을 확정하는 것이 요구되며 이는 저수지 제당의 투수특성, 코어유무 등 여러 가지 조건에 따라 달라진다. 조사된 대부분의 저수지는 코어는 물론이고 제체의 토질 특성을 파악할 수 없었으며 결과적으로 적절한 침투해석은 불가능하였다. 따라서 모든 저수지에 대해 침투해석을 수행하지 않고 고삼저수지에 대한 침투류해석을 통해 얻은 결과를 이용하여 저수지가 이와 유사한 흐름을 보이면서 제체단면치수에 비례한다고 가정하였다.

다. 해석결과

본 연구의 대상 저수지인 31개 저수지 중 각종 제원을 파악할 수 있는 27개 저수지에 대해 사면안정을 수행한 결과 계산된 사면의 최소안전율을 다음의 <그림 4-1><그림 4-2>와 <표 4-11>에 제시하였다. 이는 저수지의 배열순서는 최대제당고가 낮은 것에서부터 높은 저수지 순서로 배열한 한 것이다.



<그림 4-1> 지진 불고려시 각 저수지의 사면안정 해석결과



<그림 4-2> 지진고려시 각 저수지의 사면안정해석 결과

<표 4-11> 사면안정해석 결과 안전율

	지진불고려			지진고려		
	홍수위	만수위	급강하	홍수위	만수위	급강하
동방	5.402	5.446	4.373	3.958	3.994	3.577
왕송	4.308	4.418	3.840	3.083	3.211	2.938
성호	4.125	4.107	3.989	3.076	3.061	2.879
홍중	4.164	4.138	3.988	3.094	3.072	2.868
인산	3.415	3.354	3.624	2.520	2.481	2.504
기홍	3.503	3.472	3.575	2.530	2.503	2.451
국화	3.127	3.105	3.453	2.327	2.302	2.357
고삼	3.350	3.320	3.656	2.414	2.391	2.396
도척	3.322	3.333	3.639	2.396	2.379	2.380
낙생	2.620	2.708	3.693	1.915	1.908	2.447
이동	3.234	3.210	3.553	2.319	2.301	2.331
봉암	2.864	2.844	3.379	2.143	2.128	2.273
고모	2.838	2.762	3.268	2.068	2.051	2.190
금주	2.705	2.682	3.358	2.039	2.020	2.244
금광	2.996	2.968	3.633	2.147	2.123	2.273
길정	2.734	2.716	3.051	2.036	2.043	2.097
파주기산	2.933	2.893	3.571	2.118	2.088	2.250
장계	2.593	2.580	3.182	1.945	1.935	2.11
마둔	2.889	2.860	3.534	2.087	2.065	2.189
덕우	2.209	2.109	3.204	1.534	1.594	2.152
신암	2.702	2.686	3.449	1.983	1.971	2.177
원당	2.749	2.733	3.340	2.015	2.002	2.111
청용	2.756	2.732	3.781	1.997	1.979	2.292
포천기산	2.592	2.570	3.368	1.908	1.890	2.112
덕계	2.660	2.641	3.372	1.940	1.925	2.104
오남	2.286	2.267	3.022	1.736	1.721	1.947
장흥	2.180	2.168	3.312	1.629	1.620	2.001

라. 결과 분석

지진을 고려하지 않을 경우 홍수위시, 만수위시, 수위급강하시 모든 저수지에서 모두 2.0을 넘는 안전율을 보이고 있다. 또한 지진을 고려한 경우의 홍수위시, 만수위시, 수위급강하시 안전율 또한 모든 저수지가 1.5 를 넘는 안전율을 보이고 있다. 저수지의 운용과정에서 사면안정 문제가 제기될 수 있는 수위급강하 조건에서의 사면안정 안전율은 지진을 고려하지 않은 경우 모든 저수지가 3.0 부근에 존재하고 있으며 지진을 고려한 경우에도 안전율이 2.0을 넘고 있어 수위급강하에 의한 상류측 사면파괴의 우려는 대상 저수지 모두에서 없는 것으로 나타났다. 다음의 <표 4-12>는 안전율의 평균, 표준편차, 최소, 최대값을 제시하고 있다.

<표 4-12> 사면안정해석 결과 안전율

	지진불고려시			지진고려시		
	홍수위시	만수위시	수위급강하	홍수위시	만수위시	수위급강하
평균	3.08	3.07	3.53	2.26	2.25	2.36
표준편차	0.72	0.74	0.30	0.53	0.54	0.35
최대값	5.40	5.45	4.37	3.96	3.99	3.58
최소값	2.18	2.11	3.02	1.53	1.59	1.95

6. 안전도 평가

27개 저수지에 대한 사면안정 결과를 통해 사면안정의 측면에서 안전도 평가를 수행하였다. 사면안정에 대한 안전율은 사면의 조건과 구조물에서의 중요도 등으로 인해 일괄적인 기준을 적용할 수 없으나 대부분의 사면에서 안전율의 기준을 1.5로 취하고 있으며 특히 수위급강하시의 안전율은 1.2로 취하고 있다. 따라서 지진을 고려하지 않은 경우 안전율의 최소값을 1.5와 1.2로 정하고 지진을 고려한 경우에는 20%를 감한 1.3과 1.15로 정하였다. 안정해석을 통해 얻은 안전율의 평균과 표준편차에 따라 ‘상’, ‘중’, ‘하’, ‘위험’의 4단계로 대상저수지의 사면안정 안전도평가를 수행하고자 한다. ‘상’

등급은 안전율의 (평균+표준편차) 이상의 안전율을, '중' 등급은 (평균+표준편차~평균-표준편차)의 범위를, 그리고 '하' 등급은 (평균-표준편차~최소안전율)의 범위에 있는 안전율을 의미하게 된다. 최소안전율 이하의 안전율을 보이는 저수지에 대해서는 위험이라는 등급을 주어 즉각적인 대처가 필요함을 강조하였다. 각 해석조건별로 평균과 표준편차를 적용한 구체적인 각 평가등급의 기준은 다음의 <표 4-13>과 같다.

<표 4-13> 사면안정 안전도 평가 등급 기준

	지진을 고려하지 않은 경우			지진을 고려한 경우		
	홍수위	만수위	수위급강하	홍수위	만수위	수위급강하
상	3.8 이상	3.8 이상	3.8 이상	2.8 이상	2.8 이상	2.7이상
중	2.5 ~ 3.8	2.3 ~ 3.8	3.2 ~ 3.8	1.7 ~ 2.8	1.7 ~ 2.8	2.0 ~ 2.7
하	1.5 ~ 2.5	1.5 ~ 2.3	1.2 ~ 3.2	1.3 ~ 1.7	1.3 ~ 1.7	1.2~ 2.0
위험	1.5 이하	1.5 이하	1.2 이하	1.3 이하	1.3 이하	1.2 이하

각 저수지별로 해석조건별 안전도 평가를 수행한 결과를 다음의 <표 4-14>에 제시하였다. 이를 보면 대부분의 저수지에서 해석조건에 상관없이 거의 동일한 등급을 보이고 있으며 몇몇 저수지에서만 지진시의 해석결과가 여타 조건과 차이를 보이는 것으로 나타났다.

또한, 앞서 언급한 바와 같이 지진을 고려한 홍수위 조건은 실제 거의 발생가능성이 없으므로 이에 대한 해석결과를 안전도 평가에 포함시키는 것은 불합리하다. 따라서 저수지의 사면안전도는 지진을 고려한 홍수위시를 제외한 모든 경우중 가장 나쁜 안전도를 전체 안전도로 판단하였다.

분석결과, 길정, 장계, 덕우, 오남, 장흥저수지가 사면안정에 대하여 비교적 불안정한 상태이나 위험한 상태는 아닌 것으로 판단되었다.

<표 4-14> 해석조건별 안전도 평가 결과

저수지명	지진불고려			지진고려			종합안전도
	홍수위	만수위	수위급강하	홍수위	만수위	수위급강하	
동방	상	상	상	상	상	상	상
왕송	상	상	상	상	상	상	상
성호	상	상	상	상	상	상	상
홍중	상	상	상	상	상	상	상
인산	중	중	중	중	중	중	중
기홍	중	중	중	중	중	중	중
국화	중	중	중	중	중	중	중
고삼	중	중	중	중	중	중	중
도척	중	중	중	중	중	중	중
낙생	중	중	중	중	중	중	중
이동	중	중	중	중	중	중	중
봉암	중	중	중	중	중	중	중
고모	중	중	중	중	중	중	중
금주	중	중	중	중	중	중	중
금광	중	중	중	중	중	중	중
길정	중	중	하	중	중	중	하
파주기산	중	중	중	중	중	중	중
장계	중	중	하	중	중	중	하
마둔	중	중	중	중	중	중	중
덕우	하	하	하	하	하	중	하
신암	중	중	중	중	중	중	중
원당	중	중	중	중	중	중	중
청용	중	중	중	중	중	중	중
포천기산	중	중	중	중	중	중	중
덕계	중	중	중	중	중	중	중
오남	하	하	하	중	중	하	하
장흥	하	하	중	하	하	하	하

제5절 침투류 해석

1. 서론

흙댐에서는 저수시에 제체, 기초암반 그리고 저수지 주변 지반을 통하여 끊임없는 침투현상이 일어나고 있다. 이 침투류는 공극수압 및 양압력을 발생시켜 파이핑 및 코어재료의 전단강도 저하 등 흙댐의 안정성을 손상시킨다. 즉, 흙과 돌로 구성된 흙구조물에서 침투류는 구조물의 안정에 큰 영향을 미친다. 특히 제체에서 침투류에 의한 하류사면의 세굴 문제, 제체내의 누수 문제 등은 제체의 안정상 대단히 중요한 연구 과제이다. 침투거동은 제체 재료 자체의 입도분포, 다짐정도, 균질성 등 수많은 요소에 의해 영향을 받는다. 또한 이것은 외적인 요소 즉, 수면의 위치, 시간에 따른 수위 변화, 강우 등 여러 가지 환경요인에 의해서도 크게 영향을 받는다.

침투류의 해석은 도해적인 방법, 시험적인 방법, 수치 해석적인 방법 등이 있으나 이들 대부분의 방법들은 포화영역 즉, 자유수면 아래만 고려하여 해석하고 있다. 그러나 침투거동을 보다 정확히 해석하기 위해서는 비포화영역 즉, 자유수면 윗부분에서의 거동도 함께 고려해야 한다. 실제 이 부분에서의 침투거동이 상당히 크다는 사실은 이미 많이 증명되어 왔다. 비포화영역까지 고려하면 침투거동해석은 그 방법에 있어서 단순히 포화영역만 고려한 통상의 해석보다 복잡하고 어렵다. 그러나 다양한 수치해석이 발전된 현재에는 해석의 복잡성은 별로 문제가 되지 않는다. 이 방법은 해석영역의 초기 및 경계조건의 복잡한 변화가 있는 경우라 해도 비교적 용이하게 적용할 수 있다.

따라서, 본 조사 저수지의 제체에 대한 침투거동 해석은 포화영역 뿐만이 아니라 비포화영역에서의 침투거동을 고려하였다.

2. 침투이론

가. Darcy의 법칙

중력작용에 의해 물이 흠 속을 흐를 때 유량을 계산하는 가장 기본이 되는 Darcy의 식은 다음과 같이 표현된다.

$$q = kiA \tag{4-2}$$

$$v = ki$$

여기서,

q : 단위시간당 침투유량(cm^3/s)

k : 투수계수(cm/s)

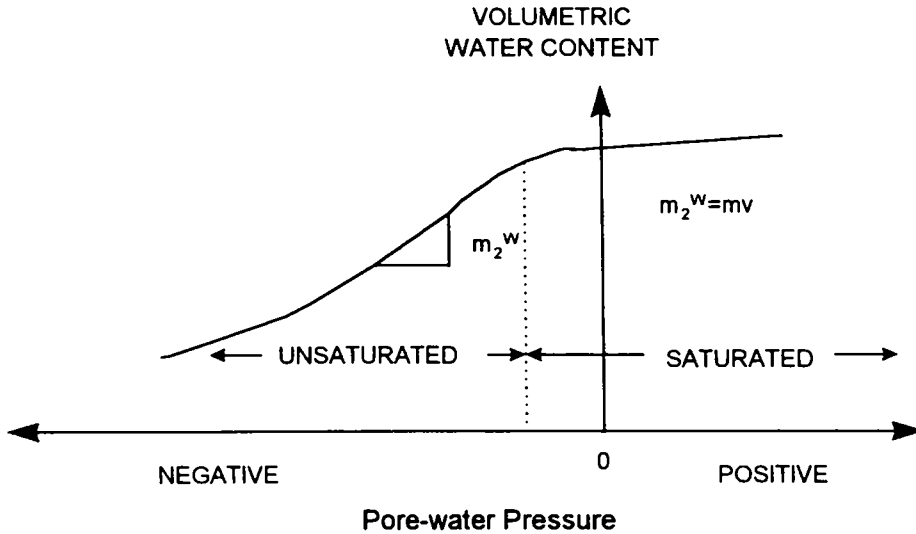
i : 동수경사

(4-2)에서 단위시간당 침투유량 q 는 동수경사와 비례함을 알 수 있다. Darcy의 법칙은 원래 포화토에 대해 유도된 것이지만 후에 불포화토에 대한 흐름에도 적용할 수 있음이 밝혀졌다. 그 유일한 차이는 불포화 조건에서의 투수계수는 더 이상 일정하지 않다는 것이며, 함수량에 따라 투수계수가 변한다는 것이다. 함수량과 투수계수 양자는 공극수압의 함수이다. 따라서 이 양자의 값 사이에도 임의의 관계가 존재한다. 일반적으로 함수량이 감소할수록 불포화토의 투수계수는 감소한다.

나. 체적함수비 특성곡선

물이 흠속을 통과할 때는 임의의 양이 흠구조물내에 저류될 수 있다. 이 저류된 양은 공극수압의 함수이며 흠의 특성에 대한 함수이다. 침투류 분석에 있어 이와 같이 흐름의 저류부분은 토립자의 전체체적에 대한 비로서 나타낼 수 있다. 이 비를 일컬어 체적함수비라 하고, 물의 체적을 전체 체적으로 나눈 것으로 정의한다. <그림 4-3>은 체적함수량과 공극수압 사이의 일반적인 관계를 나타낸 저류곡선(storage curve)이다. 여기서 공극수압이 감소하면(즉, (-)값으로 되면) 함수량은 감소하고, 공극수압이 증가하면 체적함수량 또한 증가한다. 곡선의 경사는 m_2^w 로 정의되는데, 이는 공극수압 변화

에 따른 흙에 의해 저류된 함수량의 변화율을 나타낸다.

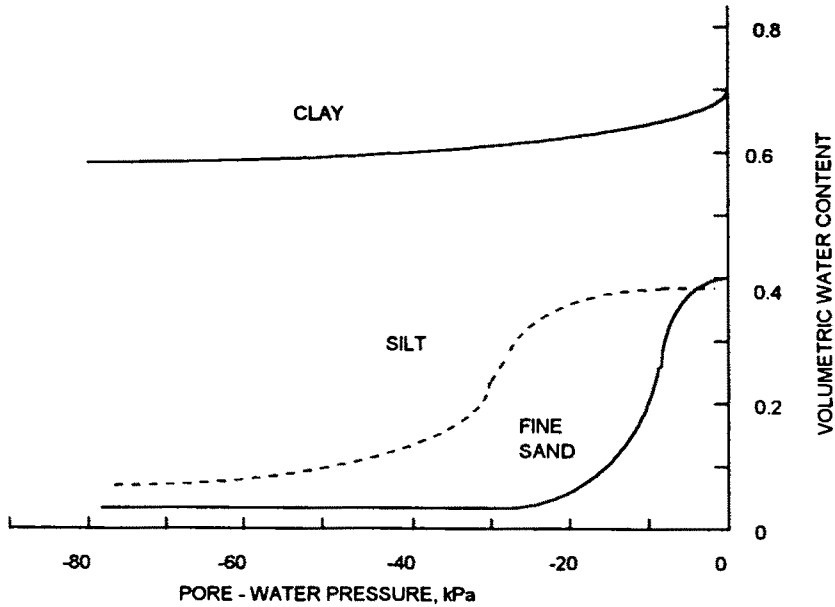


<그림 4-3> 체적 함수비와 공극수압의 관계

함수량에 대한 가장 큰 변화는 일반적으로 비교적 낮은 (-)공극수압에서 발생하며, 임의의 점 이상에서의 공극수압에 대한 감소는 비교적 작은 함수량 변화만을 가져온다.

함수량의 변화는 또한 (+)공극수압의 변화에 대해서도 일어날 수 있다. 이 부분에서의 경사는 m_v 로 나타내며, 고전적인 토질역학 포화압밀이론에서 정의하는 체적변화계수와 동일하다.

<그림 4-4>는 가는모래, 실트, 점토에 대해 Ho(1979)가 얻은 실제 저류곡선(storage curve)이다. 그림에서 점토 곡선은 다른 곡선들보다 훨씬 선형적임을 알 수 있는데, 이는 흙의 특성이 저류특성에 크게 영향을 미침을 보여준다. 즉, 점토는 체적함수비가 크고 비포화영역에서도 거의 직선에 가깝다. 그러나 가는 모래는 비포화 상태가 되면 체적함수비는 갑작스럽게 감소한다. 실트는 점토와 모래의 중간정도의 특성곡선을 보인다.



<그림 4-4> 모래, 점토, 실트에 대한 저류곡선

다. 불포화토의 투수계수 특성곡선

불포화토의 투수계수는 (-)공극수압의 함수이다. 일반적으로 투수계수는 공극수압이 (-)로 갈수록 감소한다. 따라서, 불포화 영역을 지나가는 물의 흐름을 모델링하기 위해서는 투수계수와 공극수압의 관계를 정의하는 것이 필요하다.

투수계수와 공극수압의 관계를 정의하는데에는 여러 가지 방법이 있는데, 그 중의 하나는 Gardner(1958)가 제시한 방법이다. 그는, 투수계수와 공극수압의 관계를 다음과 같이 나타내었다.

$$k = \frac{k_0}{1 + a|h|^n} \quad (4-3)$$

여기서,

k_0 : 포화된 투수계수

h : (-)공극수압 수두

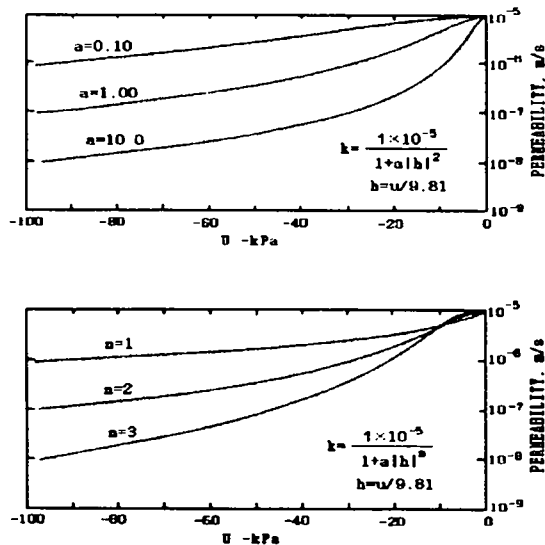
n : 무차원 상수

a : 상수

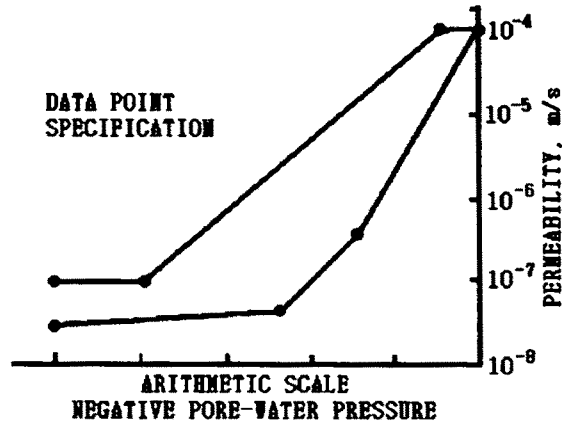
<그림 4-5>는 상수 "a"와 "n"의 여러 가지 값에 대한 Gardner 함수이다. 여기서 상수 "a"는 투수계수가 떨어지기 시작하는 점을 조절하고 상수 "n"은 함수의 기울기를 지배한다.

두 번째 방법은 <그림 4-6>과 같이 선택된 데이터 점들 사이의 미소 선형 관계로서 투수계수를 나타내는 것이다. 이 방법은 많은 데이터의 입력을 요구하지만 Gardner 접근보다도 훨씬 유연하다. 특정 흡에 대한 투수계수 함수는, 투수계수와 저류특성 양자가 공극수압의 함수이기 때문에 그에 대한 저류곡선으로부터 만들어질 수 있다. 저류곡선을 만드는 것은 여러 공극수압 단계별로 투수계수를 측정하는 것만큼 복잡하지 않으며, 투수계수 함수를 정하는 일은 Green과 Corey에 의해 제시된 방법에 의해 저류곡선으로부터 함수를 계산함으로써 단순화시킬 수 있다.

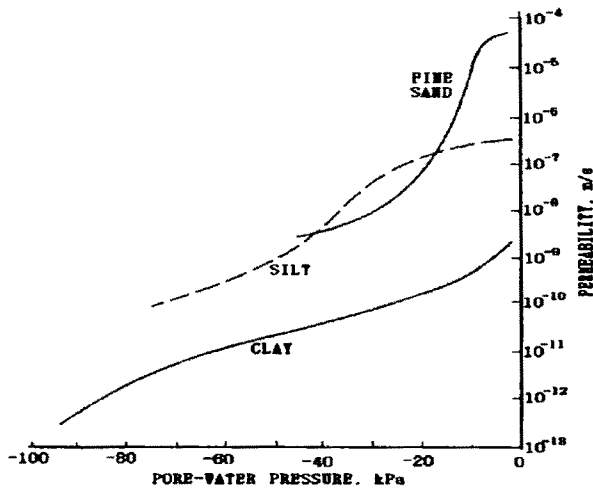
<그림 4-7>은 Green과 Coery(1971)에 의해 만들어진 함수를 보여준다.



<그림 4-5> Gardner 형의 투수계수 함수



<그림 4-6> 투수계수와 (-) 공극수압의 관계



<그림 4-7> 공극수압 저류곡선으로부터 계산된 투수계수함수

라. 지배방정식

주어진 시간내에 임의점에서의 요소체적에 입력되는 흐름(flux)과 배출되는 흐름의 차이는 체적함수량의 변화와 같다. 다시 말하면, x와 y방향으로의 흐름의 변화율과 외부에서 작용된 흐름량의 합은 체적함수비의 시간에 대한 변화율과 같다. 이것을 식으로 쓰면 다음과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + q = \frac{\partial (V_w/V)}{\partial t} \quad (4-4)$$

여기서,

h : 전체 수두

k_x, k_y : x, y방향으로의 투수계수

q : 작용하는 외부경계 흐름양(flux)

V_w : 요소체적내의 물의 체적

V : 요소의 전체체적

V_w/V : 체적함수비

t : 시간

물의 흐름이 정상상태라면 한 요소에 입출력되는 수량은 항상 동일하다. 따라서 방정식의 우항은 결과적으로 0이 되며 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + q = 0 \quad (4-5)$$

불포화 영역에서 체적함수비는 응력상태와 흙의 성질에 따라 변화한다. 불포화도에 대한 응력상태는 변수($\sigma - u_a$)와 ($u_a - u_w$)로 나타낼 수 있다. 여기서 σ 는 전응력을, u_a 는 공극공기압을, u_w 는 공극수압을 나타낸다. 만일 침투가 발생하는 동안 전응력은 변화가 없고 공극수압은 대기압과 같다면 체적함수비의 변화는 ($u_a - u_w$)에 의해 지배된다. 또 체적함수비의 변화는 침투매체의 투수특성을 표시하는 계수 m_2^w 와 관련되므로 이것을 함께 쓰면 다음 식과 같다.

$$\frac{V_w}{V} = m_2^w(u_a - u_w) \quad (4-6)$$

여기서, m_2^w 는 공극수압에 대한 체적함수비의 기울기로서, 이 계수의 변화는 <그림 4-3>과 같다.

체적함수비에 대한 시간의 변화는 다음 식과 같다.

$$\frac{\partial(V_w/V)}{\partial t} = m_2^w \frac{\partial(U_a - U_w)}{\partial t} \quad (4-7)$$

한편 전수두는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$h = \frac{U_w}{\rho g} + y \quad (4-8a)$$

$$U_a = \rho g h - y \quad (4-8b)$$

여기서, ρ : 물의 밀도

g : 중력가속도

h : 위치수두

따라서 위의 관계를 대입하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + q = \rho g m_2^w \frac{\partial h}{\partial t} \quad (4-9)$$

3. 유한요소 해석

가. 지배방정식의 매트릭스 형태 표시

지배방정식을 매트릭스 형태로 나타내면 다음과 같다.

$$[C]\{\dot{H}\} + [S]\{H\} = \{Q\} \quad (4-10)$$

여기서, $[C]$: 요소의 특성 매트릭스

$[S]$: 요소의 저류 매트릭스

$\{\dot{H}\}$: 요소 절점에서의 시간에 대한 변화율

$\{H\}$: 요소 절점에서의 벡터

$\{Q\}$: 절점에서의 흐름 벡터

요소의 특성 매트릭스 $[C]$ 는 다음과 같다.

$$[C] = \int_V [B]^T [k] [B] dV \quad (4-11)$$

여기서, $[k]$ 는 투수계수 매트릭스이고, $[B]$ 는 요소 및 요소내의 전체수두 분포에 사용된 모델의 모양과 크기의 함수인 요소내의 gradient로 정의된다.

저류매트릭스 $[S]$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$[S] = \int_V [M]^T \lambda [M] dV \quad (4-12)$$

여기서, $[N]$ 는 형상함수 매트릭스이다.

정상상태인 경우 전체 수두의 시간에 따른 변화율은 0이며 유한요소 방정식은 다음과 같이 감소된다.

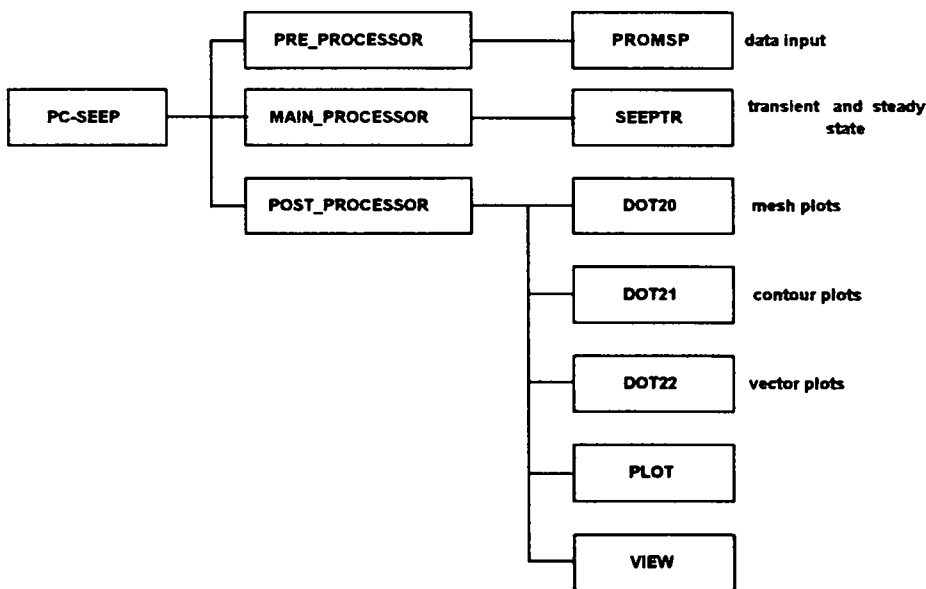
$$[C](H) = \{Q\}$$

(4-13)

나. 전산프로그램

포화흐름 또는 불포화 흐름 문제의 수치해석을 위해 개발된 프로그램은 많이 있다. 그중 대표적인 것은 SEEP, FLUMP, UNSAT2, PC-SEEP 등이다.

본 제체분석에 사용된 프로그램은 PC-SEEP이다. PC-SEEP은 유한요소법으로 프로그래밍되어 있으며 간단한 1차원 포화흐름은 물론 복잡한 2차원 해석, 시간에 따른 포화-불포화 흐름의 해석까지도 해석할 수 있다. 이 프로그램은 3개의 프로세서로 구성되어 있는데 첫째는, 입력자료 파일을 만들고 편집하는 기능을 가진 프로그램, 둘째는 정상침투 및 transient 흐름에 대한 해석을 위한 프로세서, 셋째는 mesh, contour 및 속도벡터를 dot-matrix로 그릴 수 있는 프로그램이다. <그림 4-8>는 PC-SEEP 프로그램의 구성을 도식적으로 나타낸 것이다.



<그림 4-8> PC-SEEP의 프로그램 구성

제6절 하류피해 분석

1. 서론

본 연구의 목적은 저수지의 결괴로 인한 하류의 피해를 추정하고 이를 통해서 비상시 예상 피해 지역의 주민대피 등을 위한 예경보 시스템을 신속히 발동할 수 있게 하며 저수지 개·보수 등의 정책결정에 반영토록 하기 위함이다.

저수지 결괴시 하류로 방류되는 홍수파를 해석하기 위해서는 정확하고 방대한 하천자료가 필요하므로 이를 정확히 해석하기란 매우 어려운 문제이다. 본 연구에서는 미국 개척국(USBR)에서 제시한 경험식을 이용하여 대략적인 예상 피해 지역의 범위를 추정하고 이 범위내의 침수피해면적, 예상 인명피해, 하류지역의 산업화정도를 추정하였다. 또 경기도 관내 31개 저수지를 대상으로 이를 적용하여 그 결과를 분석하였고 이를 바탕으로 저수지 결괴시 발생하는 하류지역의 피해를 합리적으로 산정하고 평가할 수 있는 기준을 제시하였다.

2. 저수지 결괴로 인한 유출홍수량 결정

가. 흙댐의 파괴특성

흙댐의 파괴특성은 댐 자체를 구성하고 있는 토립자의 침식에 의한 점진적인 파괴가 그 특징이다. 월류에 의한 파괴의 경우 댐의 높이와 저수지의 수위차가 대략 0.5m 이내가 되면 댐 마루의 가장 약한 하류단이 침식됨으로써 파괴가 시작되고 이때에 발생하는 강한 유속으로 세굴이 급격히 증가되다가 파괴부의 침식성이 작은 자연 지반에 이르면 중지된다.

일반적으로, 침투 유출홍수량에 영향을 미치는 가장 큰 변수는 파괴부의 형태와 크기와 파괴 지속시간이라고 알려져 있다. Fread(1981)에 의하면 파괴 지속시간은 댐의 저류면적, 폭, 높이의 함수이며 흙댐의 경우는 대략 0.1

내지 3.0 시간이라고 한다. 또, 파괴부의 형태와 크기에 대해서는 불확실한 면이 많으나 비교적 규칙적인 사다리꼴로 보아 측벽경사와 폭을 적절히 선택하여 일반화 시킬 수 있다. 기존에 결괴된 저수지의 자료로부터 파괴부의 폭은 댐 높이의 1 내지 3 배라고 한다.

나. 저수지의 붕괴로 인한 침투 유출홍수량

저수지 결괴시 발생하는 침투 유출홍수량은 흙댐의 독특한 파괴특성으로 인하여 그 양을 정확히 추산하기란 매우 어렵다. 따라서, 침투 유출홍수량의 결정에는 기존의 자료를 바탕으로 한 간이 모형에서부터 수리학적 이론과 수치해석이 요구되는 복잡한 모형에 이르기까지 다양하다. 본 연구에서는 간이 모형인 미국 개척국이 제시한 경험식을 사용하였으며 이 식은 기존에 결괴된 댐에서의 실측치를 사용하여 만든 경험식이다. 또 이 간이모형을 국내 외의 저수지 결괴사례에 적용하고 실측치 및 수치모형을 통해 결정한 값과 상호 비교하여 실무적인 측면에서의 정확도와 효율성을 확인하였다.(1차년도 보고서 참조)

$$Q_{\max} = 75D^{1.85} \quad (4-14)$$

여기서, Q_{\max} 는 침투 유출홍수량(ft³/s)이고 D 는 결괴시 저수지의 수위(ft)이다.

3. 하도홍수추적

결괴된 저수지에서 단시간 내에 유출된 홍수파의 전달 형태는 하도의 조건이 매우 복잡하고 흐름의 상태의 변화가 심하여 정확히 추산하기는 매우 어렵다. 결괴된 저수지의 하류의 한 지점에서 임의 시간의 침투홍수량과 이것에 의한 피해지역을 결정하는 방법에는 복잡한 수치모형을 이용하는 방법과 기존의 자료를 근거로 하여 만든 간이모형을 이용하는 방법이 있다.

수치모형¹⁾의 경우 침투 유출홍수량의 결정방법의 차이, 하류의 조도계

수, 손실유량, 수로의 흐름을 1차원으로 해석하는 등 수리적으로 부적합한 점이 많고 여러 가지 제약조건이 있으므로 경우에 따라서는 매우 큰 오차를 내포할 수도 있다.

본 연구에 사용된 것은 미국 개척국의 경험식으로 임의 지점의 홍수량을 결괴된 저수지로부터의 거리에 따른 지수함수의 형태로 표시한 것이다. 또 저수지의 입지를 고려할 수 있도록 하여 평지 또는 산지에 따라 아래의 각각의 식을 사용하게 되어 있다.

$$\text{평지 ; } Q_x = 10^{(\log 75D^{1.6} - aX)}, \text{ if } S/D > 40 \quad (4-15)$$

$$\text{산지 ; } Q_x = 10^{(\log 370DS^{0.5} - aX)}, \text{ if } S/D < 40 \quad (4-16)$$

여기서,

Q_x 는 저수지로부터 X 마일 떨어진 지점에서의 첨두홍수량(ft^3/s)

S 는 최고 수위에서의 저류량(acre-feet)

D 는 최고수위에서 하상까지의 높이(ft)

4. 하류피해의 산정 및 평가

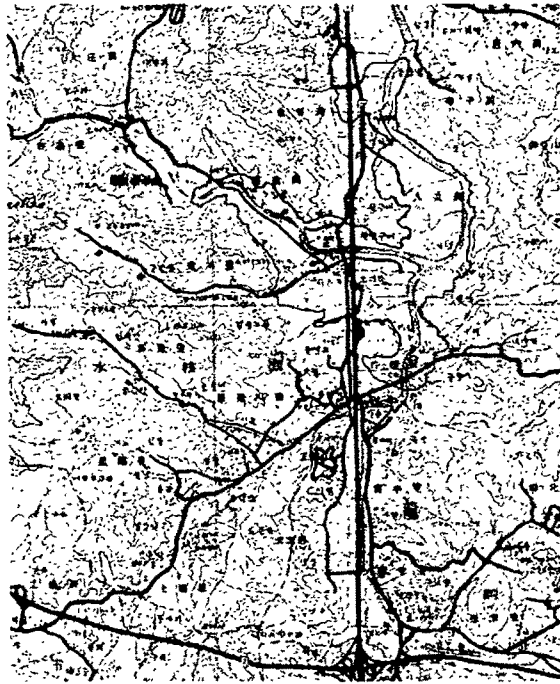
가. 하류피해 평가 방법

저수지의 결괴로 인한 예상피해범위의 추정은 기술적인 면 뿐만 아니라 사회 경제적인 면을 고려하여야 하므로 매우 복잡하다. 본 연구에서는 아래의 절차에 따라 예상피해범위를 추정하였다.

- ㉔ 전술한 미국 개척국의 경험식을 이용하여 첨두 유출홍수량을 산정하고 전 항의 하도홍수추적식으로부터 임의 시간과 지점의 첨두홍수량

1) SMPBK(미국기상청, 1989), DBFW(Dam Break Flood Wave, 1985), HEC-1(Hydrologic Engineering Center) 등

을 산정하여 1:50000 지도에 도시하여 예상침수피해도를 작성한다.

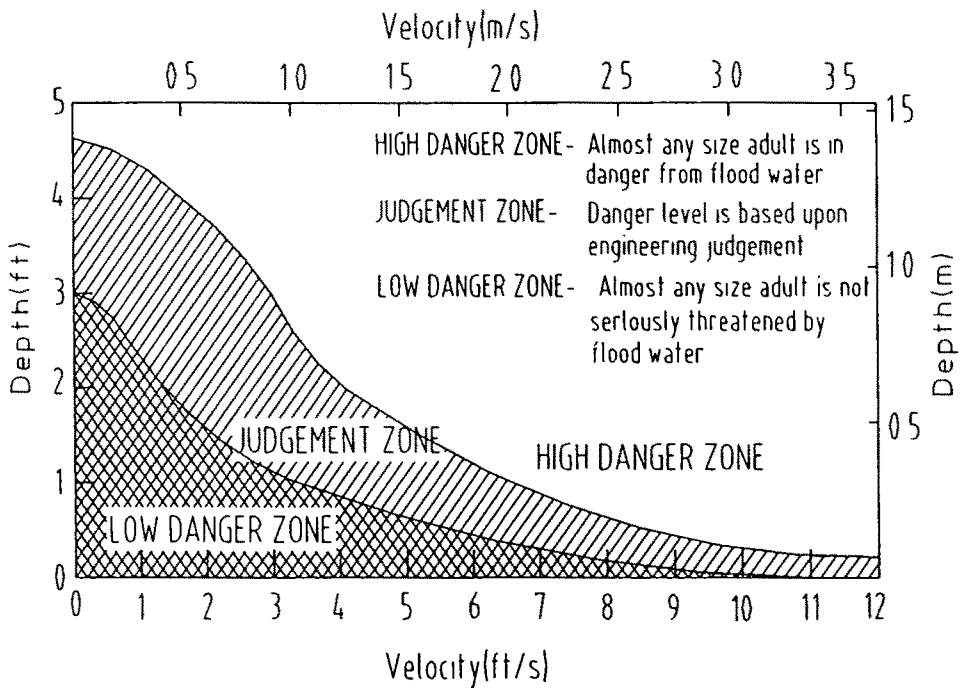


<그림 4-9> 예상침수피해도(예 : 낙생저수지)

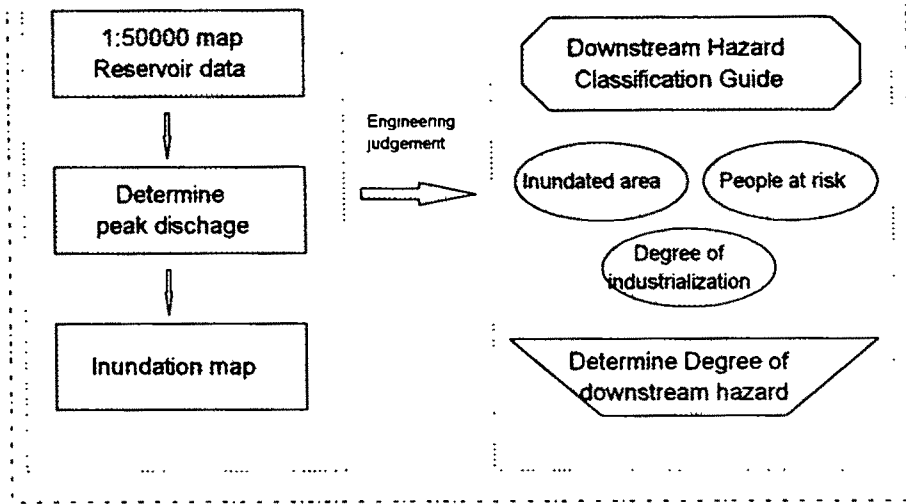
- ㉔ ㉓에 의해 예상피해범위의 총 면적을 구하고 이에 해당되는 행정구역을 동.리 단위까지 추정한다. 이때 좀 더 정밀한 지도나 자료를 이용하면 좋고 보통 1:50000 지도나 행정도를 이용하면 쉽다.
- ㉕ 도시된 예상피해범위를 임의의 구간으로 나누어 그 폭과 단면적을 산정하고 계산된 침투홍수량으로부터 그 구간의 담수심과 유속을 구한다. 이때 구간을 더 조밀하게 나누면 보다 정확한 값을 얻을 수 있다.
- ㉖ 구해진 담수심과 유속으로, 각 구간마다 DOWNSTREAM HAZARD CLASSIFICATION GUIDE(USBR)에 따라 위험수준을 결정한다.
- ㉗ 위에서 구해진 위험수준에 따라 HIGH DANGEROUS ZONE의 범위와 범위안의 인구를 추정하며 이를 PAR(People At Risk)라 한다. 이때 정확한 인구를 파악하기 어려우므로 면적비로 인구를 추정하는 방

법도 사용하였다.

- ㉞ 예상피해범위의 피해의 정도는 저수지 결괴로 인한 경제적 손실을 의미한다. 경제적 피해는 공업, 상업, 농업 등 제반 경제 단위의 피해를 종합하여야 하며 방대한 경제 사회적 자료가 요구된다. 따라서, 이를 간략하게 추정하기 위해서 지역의 지방세입을 기준으로 설정하였다. 만일 더 자세한 자료가 있을 때는 그것을 이용할 수도 있을 것이다.



<그림 4-10> 하류위험도 분류기준(USBR)



<그림 4-11> 하류피해 평가 절차 모식도

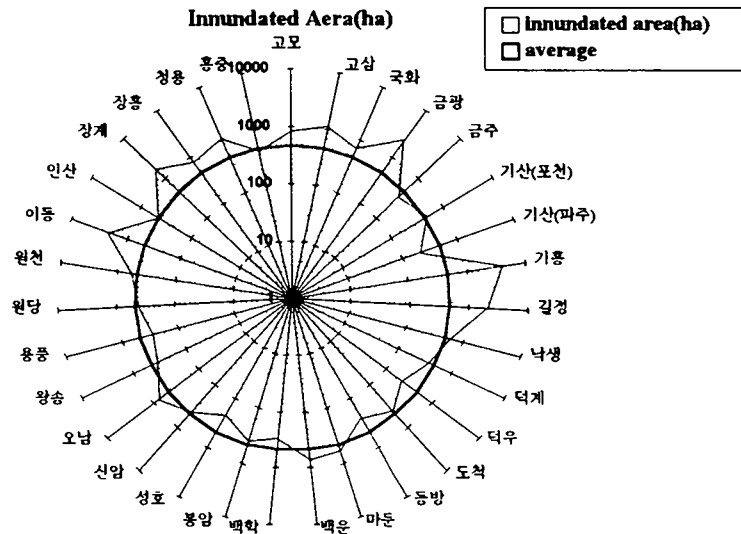
전술한 절차로 경기도 관내 31개 저수지에 대해서 예상되는 피해를 1) 전체 침수면적(ha) 2) 위험에 처한 인구(PAR) 3) 산업화 정도로 구분하여 그 각각에 대한 등급을 결정하였다. 각각의 등급은 조사 대상 저수지의 항목에 대한 평균값과 표준편차를 구하여 (평균+표준편차) 이상을 A, (평균-표준편차)에서 (평균+표준편차)를 B, (평균-표준편차) 이하를 C로 구분하였다. 여기서 A는 그 피해의 정도가 매우 큰 것을 말하고 B는 보통 수준이며 C는 피해의 정도가 비교적 적은 것을 말한다.

<표 4-15> 하류피해 평가를 위한 등급

등급	내용	비고
A	피해의 정도가 매우 심각하고 위험함	> (평균 + 표준편차)
B	상당히 피해가 발생하고 위험함	(평균 - 표준편차) ~ (평균 + 표준편차)
C	비교적 피해의 정도가 적음	< (평균 - 표준편차)

나. 예상 침수면적

경기도 관내 31개 저수지의 결괴시 예상되는 전체 침수면적을 1:50000 배율의 지도에서 구하고 해석상 특이지점을 제외한 나머지 저수지로 분석을 실시한 결과 평균은 약 470ha, 표준편차는 약 190ha로 나타났으며 조사 대상 저수지 중 12개소는 A, 15개소는 B, 4개소는 C에 해당하였다.

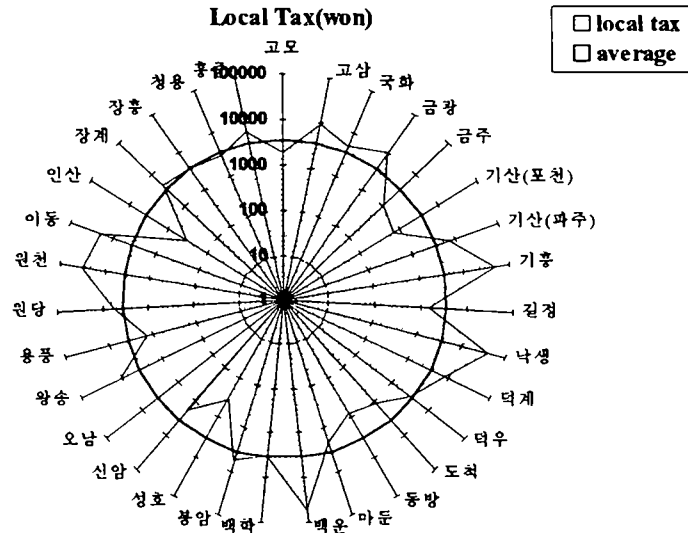


<그림 4-12> 조사 대상 저수지에 대한 예상침수면적 검토

다. 예상되는 피해 인구의 추정

여기서 피해 인구라고 하는 것은 “위험에 처한 인구”, 즉 PAR(people at risk)의 개념으로 예상 피해 지역내에서 인명 피해를 입을 수 있는 가능성을 가진 인구라는 뜻이다. 저수지 피해의 산정에서 가장 중요한 항목중에 하나인 이 항목은 이후 저수지의 이상조건과 같은 비상사태에 있어 신속한 예경보 시스템의 가동과 함께 신속한 주민소개로 인명피해를 최소화하는 데 매우 중요할 것이다.

용하는 것이 좀 더 정확한 평가와 피해액을 합리적으로 추정할 수 있을 것이나 그렇지 않을 때는 이 방법이 유용한 방법이 될 것이다. 이 항목의 분석에 사용된 자료는 일부를 제외하고 1995년 발행된 각 시군의 “통계연보”를 기준으로 한 것이다.



<그림 4-14> 조사 대상 저수지에 대한 산업화 정도 검토

분석결과는 전술한 바와 같이 A, B, C로 구분하였는데, 여기서 A는 상당히 산업화 된 지역으로 이러한 지역에서 저수지가 결괴될 경우 그 피해액의 규모는 매우 커 질 것이다. B는 비교적 산업화 된 지역으로 농업과 공업, 기타 산업 등이 혼재된 형태로서 조사 대상 저수지 중 가장 많은 비율을 차지한다. C는 순수 농업지역으로 저수지의 결괴시 농지의 피해 외에는 직접 피해가 적어 비교적 그 피해액의 규모가 적다고 할 수 있는 지역이다.

분석 결과 평균은 3,570백만원이고 표준편차는 2,830백만원이며, 조사 대상 저수지의 11개소가 A, 16개소가 B, 4개소가 C에 해당하였다. <표 4-16>과 <표 4-17>은 위의 결과를 도표화하여 정리한 것이다.

<표 4-16> 조사 대상 저수지에 대한 평가 결과

항목	평가등급			비고
	A	B	C	
침수면적	12개소	15개소	4개소	
PAR	12개소	15개소	4개소	
산업화정도	11개소	16개소	4개소	

<표 4-17> 조사 대상 저수지의 하류피해 등급

저수지	면적등급	PAR등급	산업화등급	종합등급
고모	A	A	B	A
고삼	A	B	A	A
국화	A	A	B	A
금광	A	A	A	A
금주	B	B	B	B
기산(포천)	B	B	C	B
기산(파주)	C	B	A	B
기홍	A	A	A	A
길정	A	B	B	B
낙생	B	A	A	A
덕계	B	A	A	A
덕우	C	C	B	C
도척	B	B	B	B
동방	C	C	C	C
마둔	B	B	B	B
백운	A	A	A	A
백학	B	C	B	B
봉암	B	B	B	B
성호	C	C	C	C
신암	B	B	B	B
오남	A	A	A	A
왕송	B	A	A	A
용풍	B	B	B	B
원당	B	B	B	B
원천	B	A	A	A

주) 종합등급은 다음의 하류피해 평가기준에서 언급

등급A : 피해가 심각함, 등급B : 피해가 상당함, 등급C : 피해가 적음

<표 4-17> 조사 대상 저수지의 하류피해 등급 (계속)

저수지	면적등급	PAR등급	산업화등급	종합등급
이동	A	B	A	A
인산	B	B	C	B
장계	A	B	B	B
장흥	A	B	B	B
청용	A	A	B	A
홍중	B	A	B	A

주) 종합등급은 다음의 하류피해 평가기준에서 언급

등급A : 피해가 심각함, 등급B : 피해가 상당함, 등급C : 피해가 적음

5. 하류피해 평가 기준

이상의 결과와 함께 다음과 같이 저수지 결괴시 발생하는 하류지역의 피해를 산정하고 평가할 수 있는 기준을 제시한다. 본 연구에서 제시된 기준은 절대적인 것은 아니며 저수지 유지관리의 측면에서는 실무적으로 빠른 시간내에 하류지역의 피해상황을 예상하고 평가하는데 일조할 것으로 사료된다. 다음의 <표 4-18>은 하류피해 평가를 위한 기준이다.

<표 4-18> 저수지 결괴시 하류피해 평가를 위한 기준

항 목	평가	기 준	비 고
예상침수면적	A	660 (ha) 이상	1:50000도상
	B	280 ~ 660 (ha)	
	C	280 (ha) 이하	
PAR	A	2300 명 이상	통계연보기준
	B	200명 ~2300 명	
	C	200 명 이하	
산업화 정도	A	6400 백만원 이상	지방세입기준
	B	800 ~6400 백만원	
	C	800 백만원 이하	

하류피해의 정도는 위의 침수면적, PAR 및 산업화 정도를 종합적으로

판단하여야 한다. 여기서, 침수면적 및 산업화의 정도는 재산피해이지만 PAR은 인명피해를 대상으로 하고 있으므로 가장 중요한 항목이다. 따라서, 하류피해를 기준으로 한 저수지의 중요도를 다음과 같은 기준으로 평가하였으며 이를 위 <표 4-17>에 수록하였다.

- PAR 항목의 등급이 가장 높은 경우 : PAR 등급
- PAR 외의 등급이 높은 경우
 - 동일한 등급이 2회 이상 존재하는 경우 : 해당 등급
 - 등급이 모두 다른 경우 : B 등급으로 평가

제7절 안전도 평가 시스템 개발

1. 서론

저수지는 여러 구조적 구성요소 및 기능을 포함하고 있어 이의 종합적 안전도를 평가한다는 것은 매우 어려운 문제이다. 그러나, 저수지의 유지관리의 차원에서 보면 여러 저수지중 상대적으로 안전관리에 주의가 요구되는 저수지가 무엇인지를 안다는 것은 유지관리, 안전관리, 보수 등에 긴요하게 활용될 수 있으므로 저수지의 개개 요소 및 기능 분석과 더불어 저수지에 대한 종합적인 안전도의 평가 필요성 있다.

따라서 본 연구에서는 앞서 개발된 저수지 안전도 평가를 위한 요소인 체계 및 구조물부에 대한 안전도 평가, 저수지 사면안정분석 및 하류피해 분석 결과를 종합하여 저수지 전체의 안전도를 평가할 수 있도록 안전도 평가 기준을 정립하였으며 이를 이용하여 저수지 안전도 평가 시스템을 개발하였다.

2. 종합 안전도 평가 기준

제체 및 구조물부, 사면안정 분석 및 하류피해의 안전도 평가는 각각 앞서 그 기준을 제시한 바 있다. 저수지의 종합안전도의 평가를 위해서는 구조적 안전과 관련되어 있는 제체 및 구조물부와 사면안정해석 결과가 저수지의 중요도에 앞서 고려되어야 한다. 또한, 제체 및 구조물부 혹은 사면안정해석결과에서 둘중의 하나가 안전하지 않은 것으로 나타난다면 저수지의 안전성을 보장할 수 없다. 저수지 종합안전도 평가기준은 다음과 같다.

저수지의 안전도를 정성적으로 우수, 양호, 불량 및 위험의 4 등급으로 분류하였으며 이는 대략 <표 4-19>와 같은 상태를 의미하는 것으로 이해되어야 한다.

<표 4-19> 종합안전도 평가기준 및 저수지 상태

안전등급	우수(Fair)	양호(Good)	불량(Poor)	위험(Danger)
판단기준	모든 항목이 “상” 인 경우	모든 항목이 “중” 이상인 경우	1개 항목이 “하”로 평가된 경우	2개 모두에서 “하”로 평가된 경우
안전상태	특별한 사건이 없는한 설계수명을 발휘할 것으로 판단된다.	현재 안정성에 문제는 없으나 안정상의 열악화가 다소 진행되었거나 진행될 조짐을 보인다.	부분적으로 안정성에 문제가 존재하므로 보수계획을 수립하여야 한다.	전체적인 안정성에 문제가 있어 긴급한 보수를 필요로 한다.

이러한 기준을 적용하여 조사된 31개 저수지에 대한 종합 안전도 평가를 수행하였다. 그 결과, 길정, 덕우 및 장계저수지에서 종합안전도가 “불량”으로 나타나고 있어 보수가 필요한 것으로 판단되었다. 다만, 덕우저수지는 저수지 중요도가 B 급이므로 길정 및 장계저수지를 우선적으로 보수하여야 할 것이다.

<표 4-20> 제체 및 구조물부 안전도 평가결과

저수지명	제체 및 구조물	사면안정	하류피해	종합안전도	비고
고모	중	중	A	양호	
고삼	상	중	A	양호	
국화	상	중	A	양호	
금광	상	중	A	양호	
금주	상	중	B	양호	
기산(파주)	중	중	B	양호	
기산(포천)	상	중	B	양호	
기흥	상	중	A	양호	
길정	상	하	B	불량	보수대책필요
낙생	중	중	A	양호	
덕계	중	상	A	양호	
덕우	상	하	C	불량	
도척	상	중	B	양호	
동방	상	상	C	우수	
마둔	중	중	B	양호	
백운	상	상	A	우수	
백학	상	상	B	우수	
봉암	상	중	B	양호	
성호	중	상	C	양호	
신암	상	중	B	양호	
오남	중	중	A	양호	
왕송	중	상	A	양호	
용풍	상	상	B	우수	
원당	상	중	B	양호	
원천	상	상	A	우수	
이동	상	중	A	양호	
인산	상	중	B	양호	
장계	상	하	B	불량	보수대책필요
장흥	상	중	B	양호	
청용	상	중	A	양호	
홍중	상	상	A	양호	

3. 안전도 평가시스템의 기능

안전도 평가시스템은 제체, 구조물 및 부대시설의 안전도를 노후화 평가 시스템의 데이터 베이스를 이용하여 산정하고, 사면안정 분석을 실행하며, 사면안정해석 및 하류피해 분석결과를 데이터 베이스로 유지 관리할 수 있도록 하였다. 본 연구에서 개발된 안전도 평가 시스템의 기능을 요약하면 <표 4-21>과 같다. 본 연구에서 개발한 저수지 안전도 평가시스템은 크게 다음의 두 가지 시스템으로 구성되어 있다.

<표 4-21> 안전도 평가시스템의 기능

분 야	기 능
제체 및 구조물	안전도 평가 데이터 베이스관리
사면안정해석	사면안정해석결과의 도형화 : 활동원호보기 사면안정해석결과의 분석 및 보고서 출력 사면안정해석결과의 평가 데이터 베이스관리
하류피해	하류피해 결과 분석 및 보고서 출력 하류피해 결과 평가 및 등급산정 데이터 베이스관리
종합결론	종합안정도 평가 분석결과 보고서 출력
기타	GUI (Graphic User Interface) WINDOWS application 분석 데이터 베이스 유지관리 완전한 도움말 system

가. 사면안정해석 시스템 (SLOPE)

저수지의 사면안정 분석은 앞서 소개한 사면안정 프로그램을 사용하였으나 이 프로그램은 실제 문제의 적용에 있어서 재료상수의 선정, 단면자료의 구성, 입력자료의 생성 등에 많은 어려움이 있다. 따라서 이러한 문제를 해결할 수 있도록 하기 위하여 입력자료를 자동으로 생성할 수 있는 전처리 프로그램(Pre-Processor)를 개발하였다. 또한, 사면안정해석을 프로그램 내에서 수행할 수 있도록 하였으며 해석결과를 이용하여 활동원호, 출력결과를 곧바로 확인할 수 있도록 하는 후처리 프로그램을 개발하였다.

다음 <그림 4-15>, <그림 4-16>은 각각 사면안정해석 P/G (SLOPE)에서 STABL을 호출하여 해당 저수지의 사면안정분석을 실시하고 있는 화면과 해석결과를 분석하여 활동원호를 WYSIWYG로 표현한 결과를 보여주고 있다.

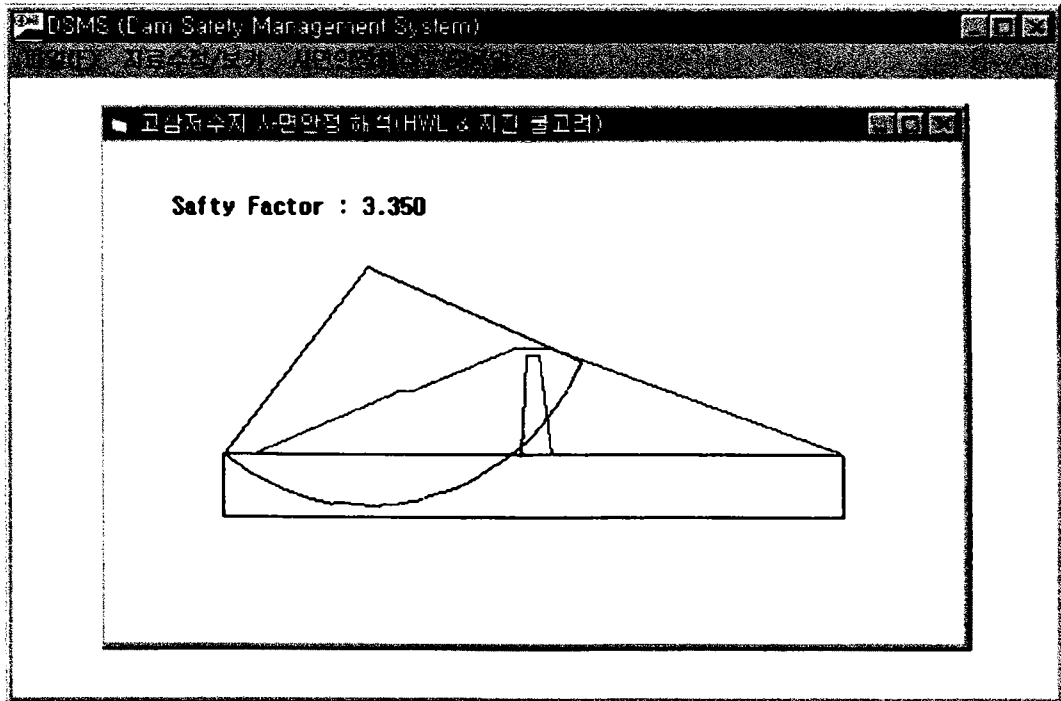
나. 댐 안전도 평가시스템 (DSMS, Dam Safety Management System)

댐 안전도 평가시스템(DSMS)은 앞서 제체부 및 구조물부의 조사결과, 사면안정해석 및 침투해석결과 그리고 하류피해 결과를 검색하고 이를 종합하여 해당 저수지의 종합적 안전도를 평가하도록 개발하였다.

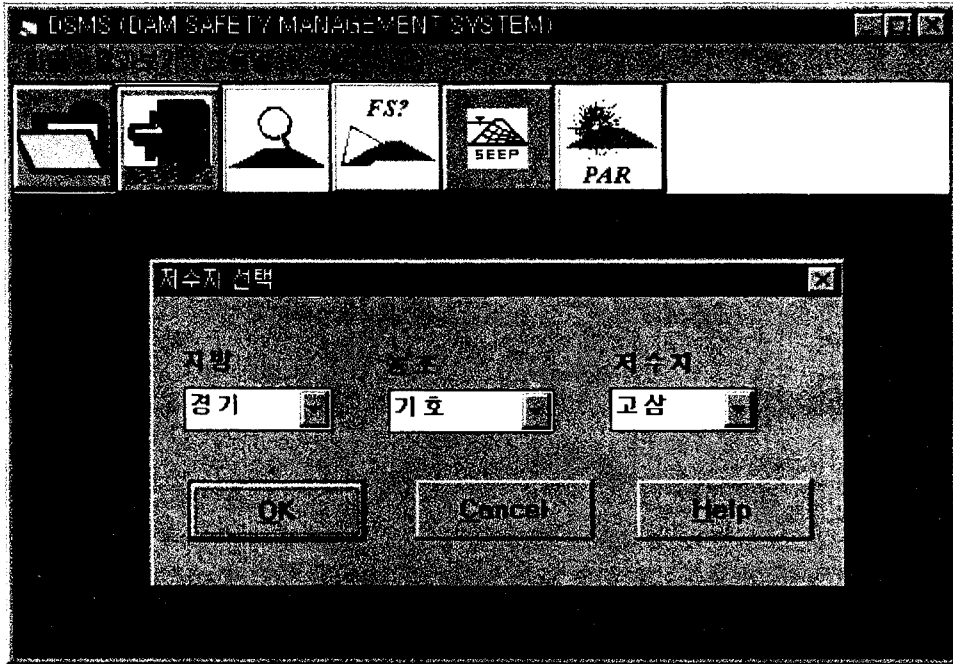
프로그램은 사용자 편의성을 높이기 위하여 필요한 기능을 ICON으로 표현하여 쉽게 사용할 수 있도록 하였으며 도움말을 완비하여 각각의 안전도 평가기준을 참고할 수 있도록 하였다. <그림 4-17>은 저수지 안전도 평가시스템의 초기화면이며 <그림 4-18>은 하류피해정도 검색화면, <그림 4-19>는 본 연구의 저수지 안전도 평가 시스템의 도움말 화면이다.



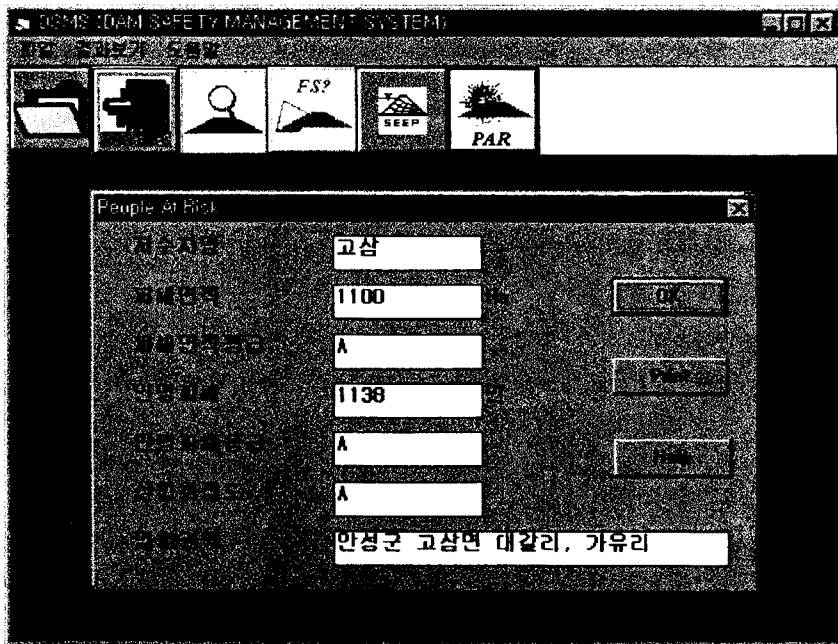
<그림 4-15> 사면안정분석 실행 화면



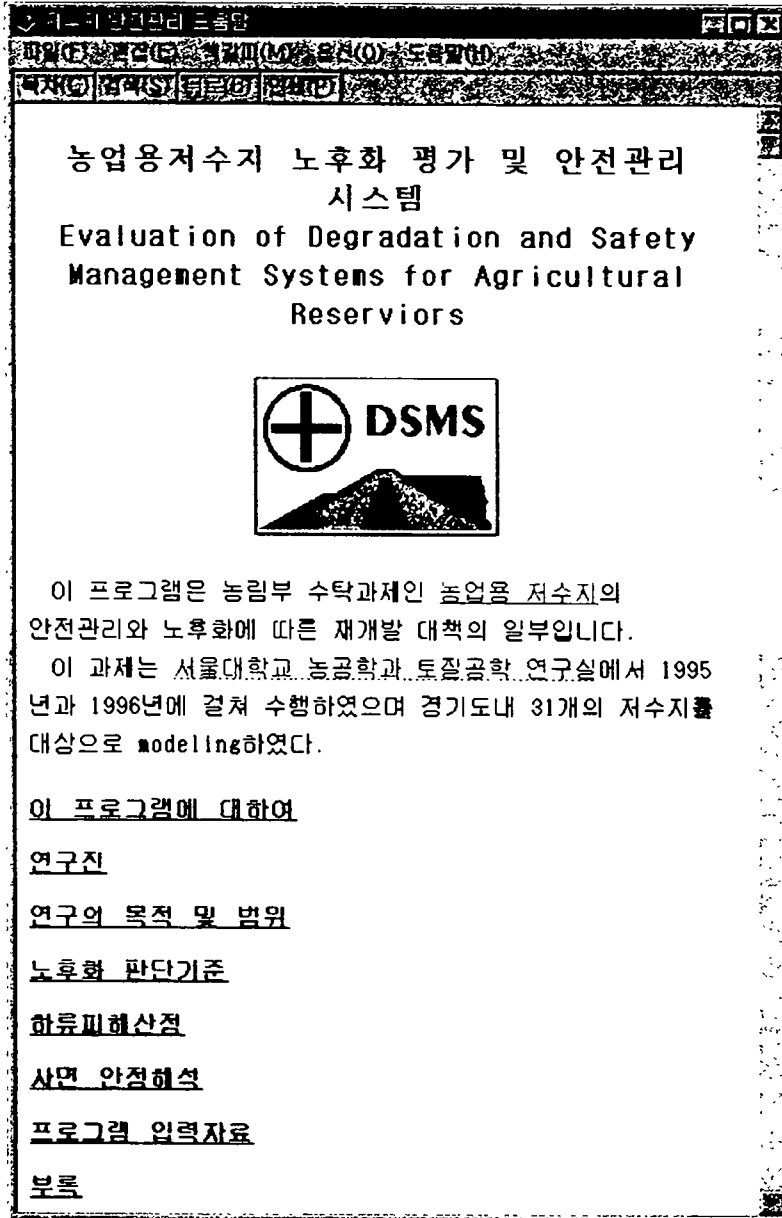
<그림 4-16> 저수지 활동원호 보기



<그림 4-17> 저수지 안전도 평가시스템(DSMS) 초기 화면



<그림 5-18> 하류피해정도 검색 화면



<그림 4-19> DSMS의 도움말 SYSTEM

제8절 요약 및 결론

본 장에서는 농업용 저수지의 안전도 평가를 위하여 제체 및 구조물부의 안전도 평가, 사면안정분석, 침투류해석, 하류피해 분석의 방법을 기술하고 이를 적용하여 조사된 저수지의 안전도 평가를 수행하였으며 이를 분석하여 각각의 평가항목에 대한 안전도 평가기준과 종합평가 기준을 제시하였다. 개발된 농업용 저수지의 안전도 평가 기준을 적용하여 안전도 평가를 수행할 수 있는 안전도 평가 시스템을 개발하였다. 본 장에서의 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 농업용 저수지의 안전도 평가를 위해 제체 및 구조물부의 안전도 평가, 사면안정분석, 침투류 해석 그리고 하류피해 분석을 실시하였다.
2. 각각의 평가항목에 대한 안전도 평가기준을 제시하였다.
3. 제체 및 구조물부의 안전도 평가결과, 안전도는 모든 저수지에서 “중” 이상으로 나타나고 있어 제체 및 구조물부의 안전도 면에서 불안정한 상태에 있는 저수지는 없는 것으로 판단되었다.
4. 사면안정 분석결과, 위험으로 분류되는 저수지는 없었으며 길정, 장계, 덕우, 오남, 장흥저수지가 사면안정에 대하여 비교적 불안정한 상태인 것으로 나타났다.
5. 하류피해 분석결과, 13개 저수지가 A 등급으로 나타나고 있어 결괴시 상당한 하류피해가 예상되었다.
6. 저수지의 종합 안전도를 평가한 결과, 길정저수지와 장계저수지가 가장 열악한 상태에 있는 것으로 나타났으며 하류피해도 심각할 것으로 예상되므로 이 두 저수지는 정밀안전진단 및 보수보강 대책의 수립이 필요한 것으로 나타났다.
7. 사용자 편의성을 갖춘 저수지 안전도 평가시스템을 개발하였다.

제 5 장 저수지 사례연구 (고삼저수지)

제 5 장 저수지 사례연구 (고삼저수지)

제1절 서론

본 연구에서 개발한 노후도 및 안전도 평가방법의 적용성을 검토하기 위해 시범저수지를 선정하고 정밀조사와 분석을 실시하여 노후도 및 안전도를 평가하였다. 조사에서는 우선 경기도내 31개 저수지에 대한 현장답사를 실시하여 저수지의 제체부 및 구조물부의 외관 및 이력사항을 항목별로 세밀히 조사, 분석한 후 그 가운데 평가가 필요하다고 판단되는 저수지 중의 하나인 기호농조 관할 고삼저수지를 선정하였다.

정밀조사는 <표 5-1>에서 보는 바와 같이 현장조사인 1차조사와 실험실에서 시험 및 분석을 실시하는 2차조사로 나눌 수 있다. 1차조사는 현장답사, 측량, 보링, test pit, SPT 시험, 지하수위 측정, 지진계 시험, 코어채취, 반발경도시험 등이 포함되어 있으며 2차조사는 제체부의 경우 제당 보링 결과 및 시료 채취를 통한 물성시험, 제체의 침투류 및 사면안정 해석 등을 들 수 있고 구조물부의 경우 콘크리트의 열화정도를 측정하는 중성화시험, 기존구조물의 실강도를 측정하는 반발경도시험 그리고 현장에서 채취한 코어로부터 실험실에서 압축강도시험을 하는 코어시험을 들 수 있다. 1차 및 2차에 걸친 조사분석 결과를 본 연구에서 개발한 안전도 평가시스템에 적용하여 저수지의 안전도를 최종적으로 평가하였다.

<표 5-1> 저수지 조사 구분 및 방법

구분	1차조사	2차조사
제체부	제체 육안관찰(균열,누수)	물성시험(액성,소성,수축시험,입도
	제체 측량	분포,비중,함수비시험 등)
	보링/Test Pit	지진계 시험분석
	표준관입시험(SPT시험)	
	지하수위 측정(침윤선 측정)	
구조물부	지진계 시험	
	구조물부 육안관찰	압축강도시험
	(균열,누수)	중성화 시험
	콘크리트 코어 채취	
	반발경도시험	

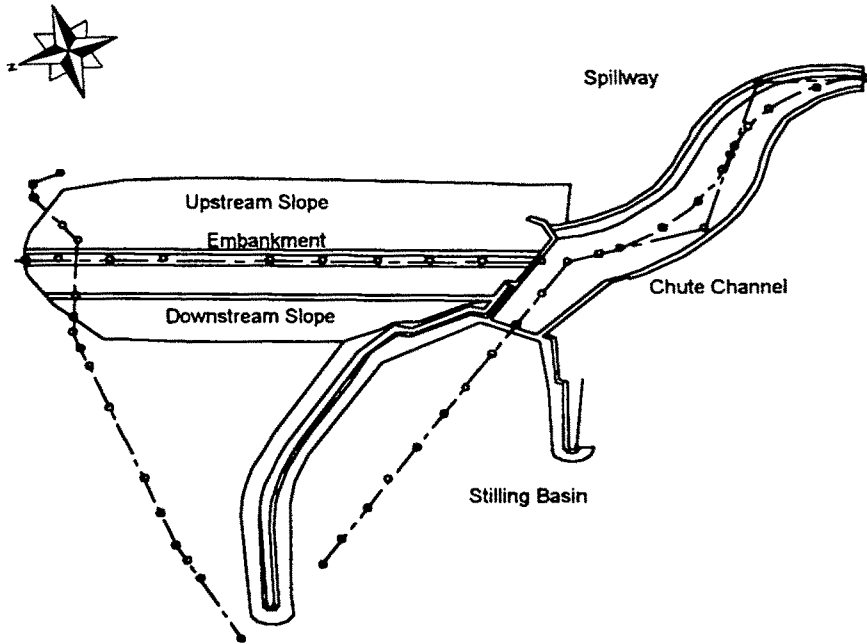
제2절 일반현황

고삼저수지는 경기도 안성군 고삼면에 위치하고 있으며 시설관리자는 기호농지개량조합에 하고 있으며 준공년도는 1963년으로 약 33년이 경과된 저수지로서 물리면적은 3,123ha이다. 고삼 저수지의 시설제원은 <표 5-2>와 같으며 저수지의 평면 및 단면도는 각각 <그림 5-1>, <5-2>에 제시하였다.

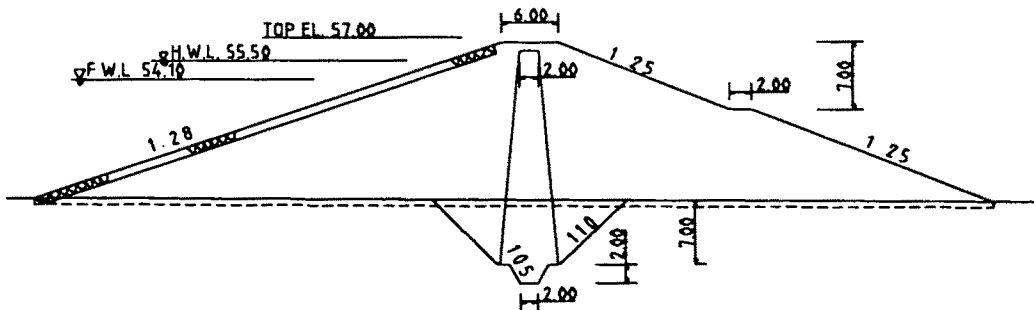
지형적으로는 경기도 남부지역에 위치하고 있는 저수지로, 저수지 북쪽으로는 높이 234.6 m의 금병산이, 326 m의 경수산이, 북동쪽으로는 465 m의 구봉산, 415.2 m의 달기봉, 남동쪽으로 223.8 m의 감투봉이 위치하고 있어 낮은 구릉성산지로 둘러 싸여 있으며, 남쪽으로 안성읍의 평야지대가 있다. 그간의 보수이력으로는 여수토에 5련의 문비를 신설한 바 있으며 사업비는 1,354(천원)이다.

<표 5-2> 고삼 저수지 제원

저수지제원					제체형식			물넘이형식			
유역 면적 (ha)	몽리 면적 (ha)	유효저 수량 (천 m ³)	만수 면적 (ha)	단위저 수량 (mm)	제체 형식	제당 연장 (m)	제당 최대고 (m)	여수토 형식	연장 (m)	홍수량 (m ³ /sec)	일류 수심 (m)
7,100	3,123	15,150	277.2	500	토언제	193.5	16.6	측구식	171.84	716.94	1.4



<그림 5-1> 고삼 저수지 평면도



<그림 5-2> 고삼 저수지의 단면

제3절 현장 조사 결과

1. 현장조사

가. 제체부

제체중심에서 20m 간격으로 측점을 설치하고 종·횡단 측량을 실시하고 침하, 유실, 균열, 누수, 붕괴 등을 조사하였으며 2장에 제시된 기준에 의해 노후도를 평가하였다. 부분별 조사내용은 다음과 같다.

(1) 상류사면

조사항목	조사내용	평가
사면보호 상태 (방괴석 상태 점검)	3군데 방괴석 이탈 (70m, 71m, 100m 지점)	상
물가면의 침식상태 (제체와 Site 연결부위검토)	방괴석이 많이 흐트러져 있는 상태	상
식물생태(식생분포검토)	일년생 식물이 2군데 분포(극히 일부)	상
침하 (부분침하, 전체침하)	4군데 침하(KSE-1, 2, 3, 4)	중
찌꺼기(부유물 두께)	1군데(KSE-6)	상
동물의 굴(두더지, 들쥐 등)	없음	상
비 정상적인 조건 (기타조건)	91년 홍수이후 저수지 탁수상태가 계속됨 -> 상류측 골재 채취, 기타 화학적인 분석 要!	

(2) 하류사면

조사항목	조사내용	평가
제체 이동 징조 (측방 이동 유추 검토)	소단 아래 중앙부가 블록한 상태 91년 홍수이후 복토	중
침윤상태나 습윤지역 (습윤상태 점검)	없음	상
식물생태	일년생 및 다년생 풀 다수분포	중
구멍	제체부 옹벽방향 7-8 곳 구멍 발견 제체부 소단아래 40m 지점 => 구멍 2곳 발견 제체부 소단아래 40m 지점 바로 위 => 구멍 1곳 발견	하
사면 보호 상태(떼붙임)	중간, 전체적으로 양호한 편	상
비 정상적인 조건 (기타 조건상태)	취수탑부 하류사면 sliding 2×2×0.4m 세굴 1 개 소 토구축 누수로 통관주변이 세굴, 침하 + sliding발생 -> 보수시급	

(3) 교대부분 → 제체와 연결부위 검토

조사항목	조사내용	평가
침윤상태	없음	상
균열, 조인트, 바닥부분 (위치, 길이, 탈락여부)	제체와 여수로 연결옹벽부분 => 균열, 누수현상	하
슬라이딩(위치)	없음	상
식생	1년생 풀 다수분포	상
이동 징조(측방이동, 융기)	없음	상

(4) 정정부

조사항목	조사내용	평가
표면 균열(균열방향에 유의)	없음	상
내구성	양호	상
침하(정부 침하량)	없음	상
측방이동(상부침하)	없음	상
휨(응기)	없음	상
비 정상적인 조건 (기타조건)	91년 장마 후 그라우팅 실시, 정정부 180 ~ 200m 부근에 8군데 발견, 제체부 옹벽 방향(1m 떨어진 곳) 침하깊이 15cm 가량	

(5) 침윤과 배수상태

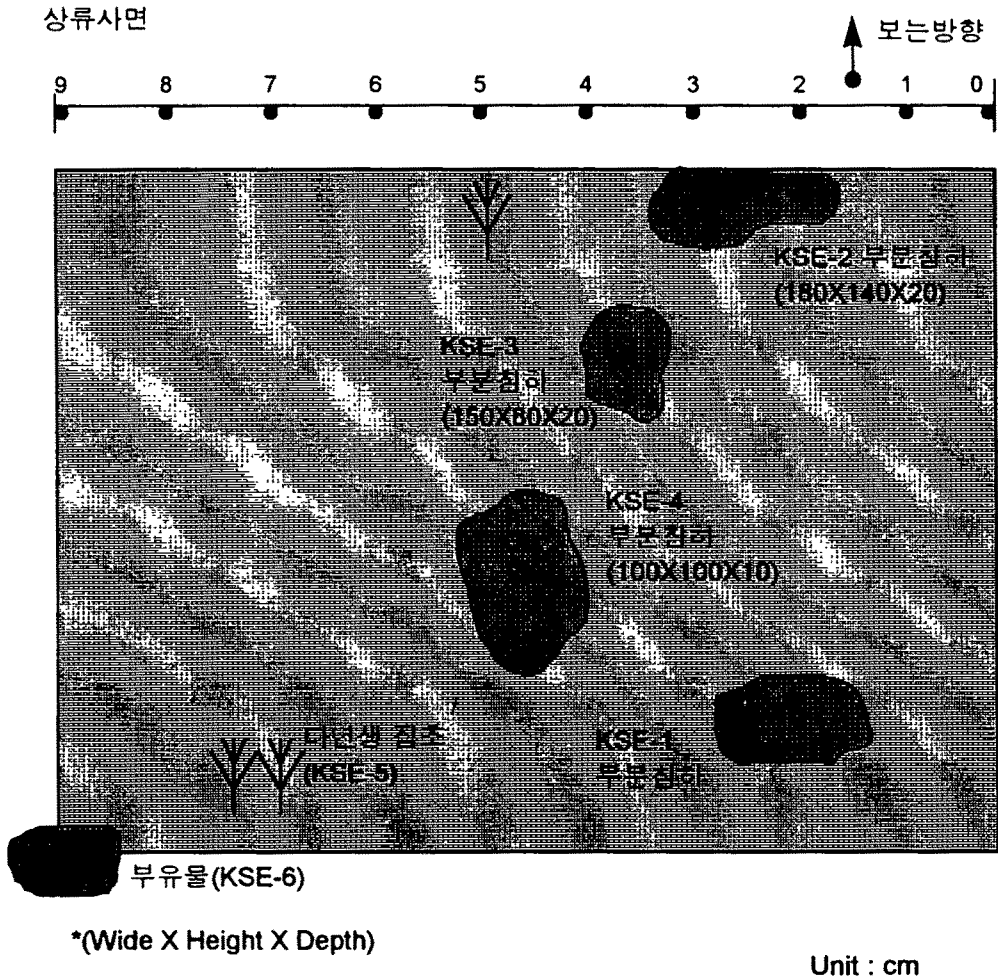
조사항목	조사내용	평가
위치	없음	상
추정된 누수량	없음	상
외관이나 변색된 부분	없음	상
유출구의 침식	없음	상
Toe Drain과 배수정	없음	상

(6) 관리 상태

조사항목	조사내용
외관 파악	양호
관리인 상주여부	있음
점검 횟수	수시점검

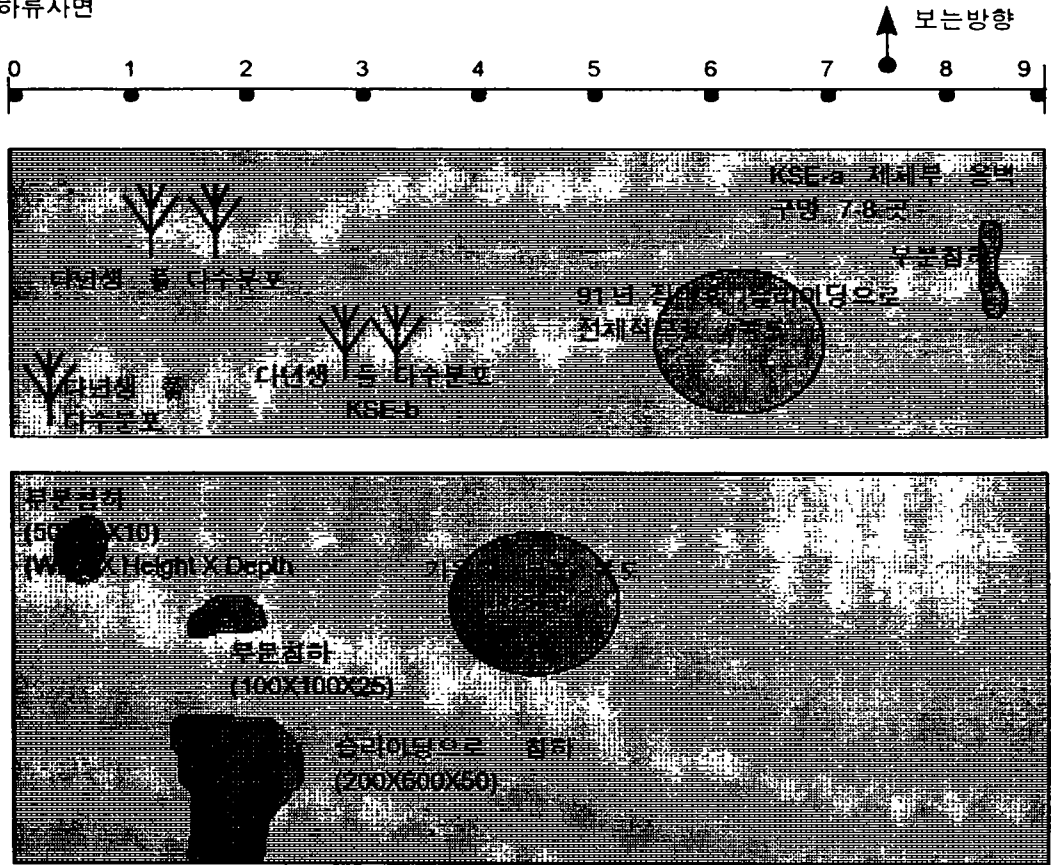
(7) 제체균열 및 침하도

제체의 상·하류사면의 균열 및 침하상태를 도식적으로 나타내면 아래와 같다.



<그림 5-3> 상류사면 균열 및 침하상태

하류사면



Unit : cm

<그림 5-4> 하류사면 균열 및 침하상태

또한 제체의 변형도를 평가하기 위해 제체부분을 측량하였는데 그 결과 제체부분에 대한 변형은 약간의 측방이동 및 침하가 발생한 것 이외에는 당초 설계단면과 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 측량결과를 표로 정리하면 다음과 같다.

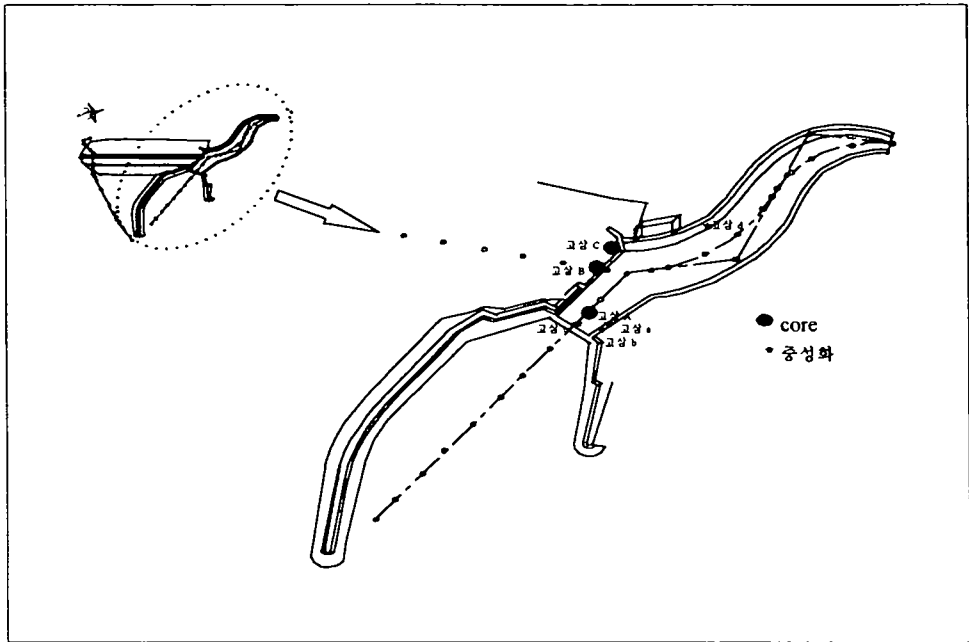
<표 5-3> 제체측량에 의한 침하분석 결과

위치	측량 결과	비고
STA 0+00	<ul style="list-style-type: none"> ○ 여성토 : 60cm 정도 ○ 토구측 침하 : 40 - 50cm 발생 ○ 측방이동 : 20cm 정도 	
STA 2+00	<ul style="list-style-type: none"> ○ 여성토 : 80cm 정도 ○ 하류사면 침하 : 20cm 정도 ○ 측방이동 : 40cm 정도 ○ 여성토 : 80cm 정도 	
STA 4+00	<ul style="list-style-type: none"> ○ 소단부분 침하 : 20cm 정도 ○ 측방이동 : 없음 ○ 여성토 : 60cm 정도 	
STA 6+00	<ul style="list-style-type: none"> ○ 소단, 하류측 사면침하 : 10 - 20cm 정도 ○ 측방이동 : 없음 ○ 여성토 : 80cm 정도 	
STA 8+00	<ul style="list-style-type: none"> ○ 사면침하 : 없음 ○ 측방이동 : 없음 	

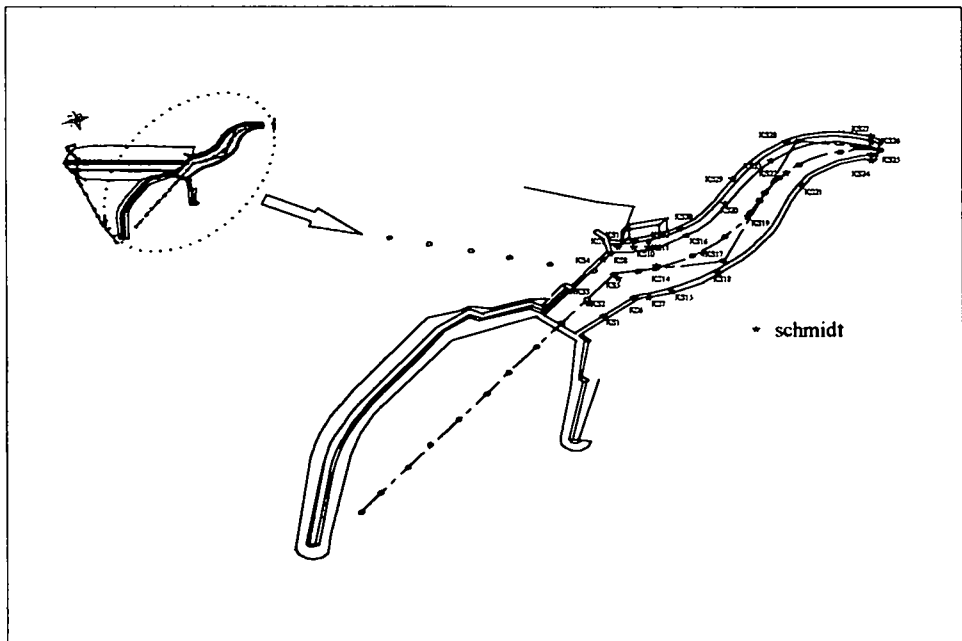
나. 구조물부

고삼저수지의 여수토, 취수탑, 문비, 여수토 옹벽, 급류부, 통관 등 구조물의 내구성을 평가하기 위해 변형, 침식, 박리, 백태, 누수 등을 점검하였으며 반발경도시험, 중성화 시험, 코어채취 등을 실시하였다.

반발경도법 조사, 현장중성화시험, 코어채취 위치는 <그림 5-5>, <그림 5-6>와 같으며 각각에 대한 결과는 다음과 같다.



<그림 5-5> 코어 및 중성화 시험 위치



<그림 5-6> 반발경도시험 위치

(1) 반발경도법 조사 및 결과

반발경도법에 의한 조사위치 및 시험결과는 <표 5-4>와 같다.

(2) 코어 채취 및 슈미트 해머 값

코어번호	위치	타격각도	슈미트해머 값	추정 압축강도
고삼A	정수지부근 여수토 바닥	-80(°)	28 24 26 22 24	103.5 (kg/cm ²)
			28 24 26 26 24	
			29 26 26 26 30	
			28 28 24 27 28	
			22 30 28 24 24	
고삼B	제체부 옹벽(구옹벽)#1	0(°)	32 46 30 39 37	138.7
			37 33 29 31 45	
			29 16 40 40 36	
			44 31 37 45 30	
			45 49 31 29 31	
고삼C	제체부 옹벽(구옹벽)#2	0(°)	45 47 45 40 50	226.3
			45 44 48 46 42	
			39 46 38 38 40	
			46 50 45 48 41	
			42 41 43 44 42	

(3) 현장 중성화 시험 및 결과

시험번호	위치 및 설명	중성화 깊이(mm)	비고
고삼a	정수지 부근의 산쪽옹벽 (92년 재시공한 옹벽)#1	1.0	
고삼b	정수지 부근의 산쪽옹벽 (92년 재시공한 옹벽)#2	6.0	
고삼c	여수토 바닥(정수지 부근)	1.5	
고삼d	문비쪽 물넘이 하단 부분	6.5	

<표 5-4> 반발경도법에 의한 시험결과

구조물부위별	반발경도	압축강도 (kg/cm ²)	평균압축강도 (kg/cm ²)	표준편차	노후화평가	비고
여수토	Crest	29.7	107.4	126.51	34.39	하
		37.8	174.8			
		28.5	97.3			
	Ogee	39.8	191.2	155.15	22.13	중
		35.3	154.2			
		33.9	142.4			
		32.7	132.8			
		28.5	97.7			
		25.4	71.9			
	Apron	19.7	24.6	55.11	30.96	하
		24.8	66.6			
		18.5	14.7			
24.8		66.6				
취수탑	42.6	215.0	195.98	21.12	중	
	36.8	166.5				
	41.6	206.4				
	27.9	92.5				
연결교량	26.8	83.7	88.12	4.38	하	
	26.8	83.7				
문비	기둥	45.8	240.9	242.84	1.90	상
		46.2	244.7			
	상판	28.0	93.6	97.71	4.09	하
		29.0	101.8			
	문비앞 Crest	27.2	87.2	87.2	0.00	하
		27.2	87.2			
	문비앞 Ogee	42.8	216.5	181.09	25.36	중
		37.0	168.4			
35.8	158.4					
여수토옹 벽	양안부	34.5	147.2	147.23	0.00	중
		36.3	162.7			
	여수토 좌측	40.3	195.9	173.57	23.21	중
		35.0	151.6			
	41.6	206.6				
	34.9	151.1				
급류부	옹벽	31.4	121.8	161.61	33.58	중
		41.8	208.3			
		38.1	177.1			
	바닥	33.5	139.2	73.67	12.13	하
		27.1	85.8			
		24.2	61.5			
통관	28.7	99.5	111.98	12.50	하	
	31.7	124.5				

전체적으로 콘크리트 부재의 중성화가 심하게 진행되지 않은 것으로 판단되며 채취한 코어에 의한 중성화 시험결과와 기존의 데이터와 비교 검토가 필요하다.

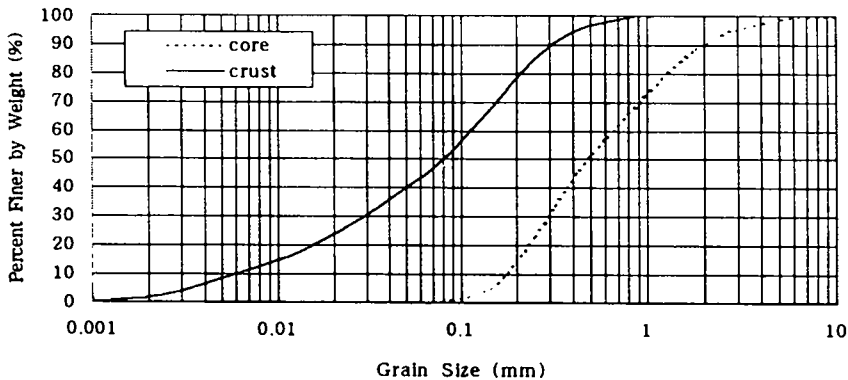
2. 실내시험

가. 제체부 물성시험

제체를 구성하고 있는 흙의 성질을 알아보기 위해 제체부의 구성요소 즉, 제체표면부(crust)와 코어부(core) 두 부분으로 나누어 토질시험을 실시하였다. 여기서 제체표면부에 대한 시험은 제당위에서 직접 보링을 실시하여 시료를 채취하여 시행하였고 코어부는 제당위 1m 아래의 시료를 채취하여 실시하였다. 시험내용 및 결과는 <표 5-5>와 같으며 입도분포곡선은 <그림 5-7>와 같다.

<표 5-5> 제체부 물성시험 결과

부분	함수비(%)	액성한계 (%)	소성한계 (%)	비중	USCS
제체 crust	18.8	37	26	2.68	SM
제체 core	22.4	33	22.4	2.63	CL



<그림 5-7> 입도분포곡선

나. 구조물부 시험

(1) 콘크리트 압축강도 시험

코어번호	공시체길이 (mm)	공시체 직경 (mm)	보정계수	압축강도 (kg/cm ²)	외관상 특이사항	비 고
고삼A	165.1	101.0	0.97	188.8		여수토 바닥
고삼B	154.2	100.9	0.96	115.2	골재분리	제체 옹벽
고삼C	90.8	100.6	0.79	152.1		제체 옹벽

(2) 코어에 의한 중성화 시험 결과 및 분석

코어번호	평균중성화 깊이(mm)	남은 사용 년한(year)			중성화속도 (mm/year)	비 고
		추천식	비례식	공식		
고삼A	0.97	10627	10628	10624	0.24	여수토 바닥
고삼B	8.23	1217	1218	1185	0.25	제체 옹벽
고삼C	4.87	3478	3478	3445	0.15	제체 옹벽

(3) 현장 중성화 시험 결과 및 분석

코어번호	평균중성화 깊이(mm)	남은 사용 년한(year)			중성화속도 (mm/year)	비 고
		추천식	비례식	공식		
고삼a	1.00	9999	10000	9996	0.25	
고삼b	6.00	2083	2083	2053	0.2	
고삼c	1.50	4444	4444	4444	0.375	
고삼d	6.50	1775	1775	1745	0.22	

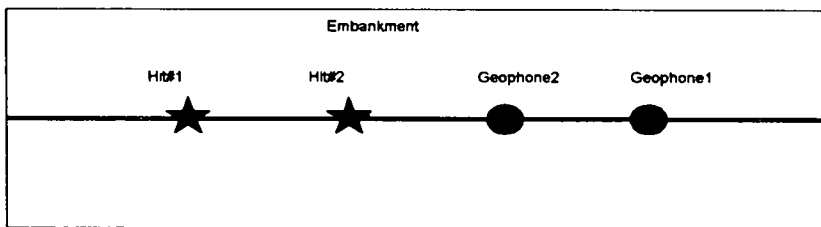
3. 기타조사

가. 표준관입시험

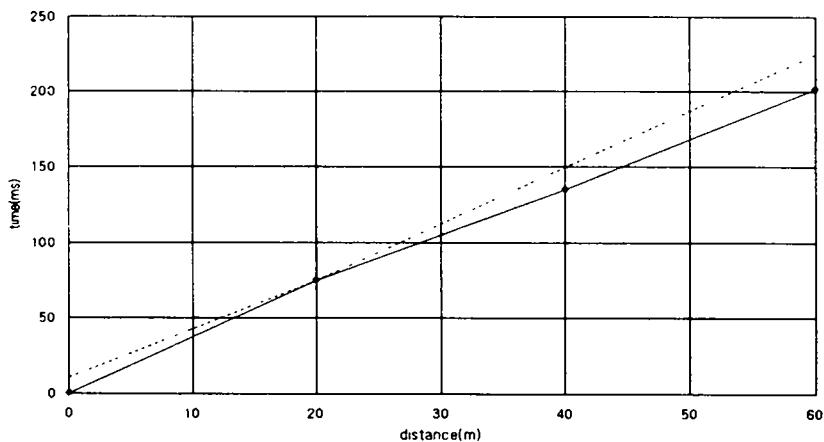
표준관입시험은 시추작업과 병행하여 토질층에서 KSF 2318규정에 따라 시행하였으며 지표면 아래 1.5m에서 1.5m ~2.0m 간격으로 실시하였다. 관입시험결과는 부록에 기록하였다.

나. 탄성과 탐사

지오폰 배열 및 시험위치는 <그림 5-8>과 같으며, 속도그래프는 <그림 5-9>와 같다.



<그림 5-8> 지오폰 배열 및 시험위치



<그림 5-9> 속도 그래프

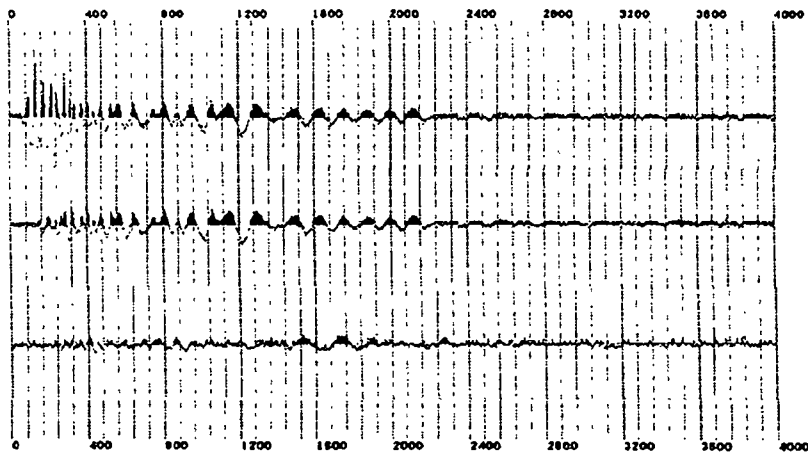
지진파의 속도는 그 층의 밀도와 다짐정도 등에 의해 달라진다. 본 조사의 분석 결과, 두 층의 불연속면으로 인하여 속도차트의 기울기가 변하고 있다.

<표 5-6> 지진파 속도에 따른 깊이 계산

속도차트에서 두 직선이 만나는 점까지의 거리 x_c	상층의 지진파 속도	하층의 지진파 속도	계산된 깊이
20 m	266.7 m/s	314.9 m/s	2.88 m

따라서 계산된 불연속면의 깊이는 2.88 m이다.

이 깊이는 제정에서 코어부분까지의 깊이로 판단되며, 보오링을 통해 확인된 깊이가 1.7 m 인 것을 감안하면 비교적 근사한 값이다.



<그림 5-10> 탄성과 탐사결과(현장자료)

다. 현장투수시험

지하수위 측정은 표준관입시험을 실시한 후 <그림 3-5>와 같은 장비를

이용하여 곧바로 측정되었다. 본 조사에 사용된 장비는 센서와 연결된 감지기, 1m씩 표시된 케이블, 케이블이 감겨있는 릴 등으로 이루어져 있으며 굴착에 의해 지하수위가 정상상태를 유지하는데 얼마의 시간이 소요되는지 매 시간마다 지하수위를 측정함으로써 제체부의 투수상태 또한 측정할 수 있었다.

고삼저수지의 시추공에서 측정한 현장 지하수위의 시간별 측정결과는 다음과 같다.

<표 5-7> 시간별 지하수위 측정 결과 (단위:m)

시간	공 번호	B-1	B-2
15 : 00		6.7	-
16 : 40		4.9	-
17 : 41		-	4.5
17 : 43		-	3.0
17 : 45		-	3.3
17 : 48		-	3.4
18 : 45		4.7	-

<표 5-7>에서 주어진 측정결과를 이용하여 변수두 투수시험의 투수계수 계산공식을 이용하여 투수계수를 계산하였다. 계산과정과 값은 다음의 <표 5-8>과 같다.

<표 5-8> 현장투수계수 계산 결과

항 목	공 번호	B-1	B-2
공경 (D), (m)		0.0746	0.0746
길이 (L), (m)		7	7
길이/공경 (L/D)		93.8212	93.8212
Intake Factor F		8.4023	8.4023
케이싱 단면적(m^2)		0.0044	0.0044
투수계수 k		1.37×10^{-6} cm/sec	3.47×10^{-5} cm/sec

보통 불투수층이라고 하면 1×10^{-5} cm/sec 이하인 것을 말한다. 투수계수와 입도분포 즉, 세립분(0.074mm이하) 함유율간의 관계는 거의 직선적인 반비례관계에 있다. 불투수층의 1×10^{-5} cm/sec의 투수계수를 확보하기 위해서는 재료의 세립분 함유율은 8% 이상이어야 한다. 제체부분의 불투수층인 코어부분의 투수계수는 보통 1×10^{-5} cm/sec 이하인 것으로 되어있다. 현장 투수시험의 결과를 통해 고삼저수지의 코어부분의 투수계수는 B-2공의 경우 기준치보다 다소 높은 것으로 나타났다. 이는 이 부분이 과거 심한 누수와 침하로 인해 여성토를 실시한 바 있다는 기록을 반영하는 것이기도 하다. 그리고, 이 부분에 대한 표준관입시험에서 상당히 낮은 N치를 보여준 것과는 연관성이 있는 것으로 판단된다.

제4절 노후도 평가

1. 제체부

제체중심에서 20m 간격으로 측점을 설치하여 종·횡단측량을 실시하고 침하, 유실, 균열, 누수, 붕괴, 식생 등을 조사하였으며 평가기준에 의해 각

제체부의 노후 등급을 평가하였다. 부분별 조사내용 결과를 요약하면 <표 5-9>와 같다.

<표 5-9> 고삼저수지 제체부의 노후도

상류사면		하류사면		교대부분(제체연결부위)	
조사항목	등급	조사항목	등급	조사항목	등급
사면보호/방괴석	상	제체이동징조	중	침윤상태	상
물가면의 침식상태	상	침윤/습윤지역	상	균열,조인트,바닥	하
식물생태	상	식물생태	중	슬라이딩(위치)	상
침하(부분,전체침하)	중	구멍	하	식생	상
찌꺼기(부유물 두께)	상	사면보호/떼붙임	상	측방이동/움기	상
동물의 굴	상	비 정상적인 조건	-		
비 정상적인 조건	-				

정정부		침윤과 배수상태	
조사항목	등급	조사항목	등급
표면균열/균열방향	상	위치	상
내구성	상	추정된 누수량	상
침하(정부 침하량)	상	외관/변색된 부분	상
측방이동(상부침하)	상	유출구의 침식	상
휨(움기)	상	Toe Drain/배수정	상
비 정상적인 조건			

2. 구조물부

고삼저수지의 여수토, 취수탑, 문비, 여수토 옹벽, 급류부, 통관 등 구조물의 내구성을 평가하기 위해 변형, 침식, 박리, 백태, 누수 등을 점검하였으며 반발경도시험, 중성화시험, 코어채취 등을 실시하였다. 각 부분별 조사내용 결과를 요약하면 <표 5-12>와 같다.

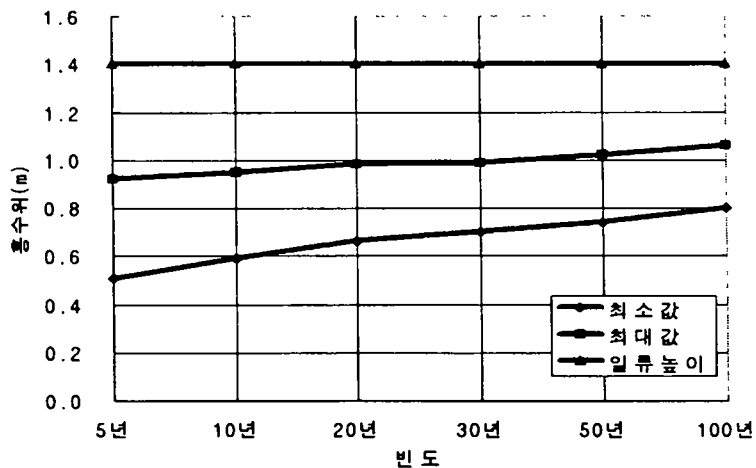
3. 여수토능력

각 빈도별 홍수위의 최소·최대값을 보면 <표 5-11>과 같다.

<표 5-11> 고삼저수지 여수토 능력 계산 내역

빈도	최소값(m)	최대값(m)	일류높이(m)
5년	0.51	0.92	1.4
10년	0.59	0.95	1.4
20년	0.66	0.98	1.4
30년	0.70	0.99	1.4
50년	0.74	1.02	1.4
100년	0.80	1.06	1.4

<표 5-10>에서 보는 바와같이 여수토의 홍수량배제능력은 전체적으로 안전하다고 판단된다. 설계일류높이보다 빈도별 최고홍수위가 낮게 위치하기 때문에 별다른 조치를 취할 필요가 없다.



<그림 5-11> 고삼저수지 설계홍수 비교

<표 5-12> 고삼저수지 구조물부의 노후도

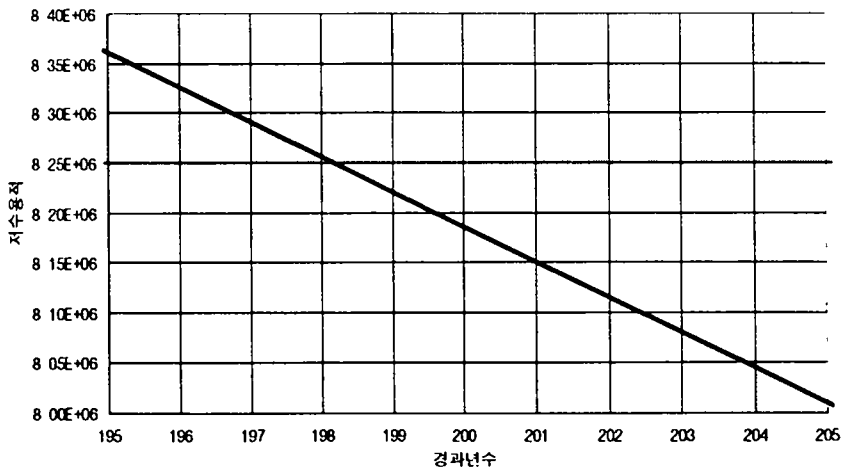
항목	세부항목	등급	항목	세부항목	등급	항목	세부항목	등급	
도수로 접근수 로상태	식생/도수로상태	상	급류 부 옹벽	균열	상	취수 탑	균열	상	
	슬라이딩 위치	상		표면/연약화	상		표면/연약화	상	
	사면안정/세굴	상		백화현상	상		백화현상	상	
	사면보호상태	상		단면결손	상		단면결손	상	
Crest+ Ogee부 분	균열	중		압축강도	중		압축강도	중	
	표면/연약화	상		침하	상		작동상태	상	
	백화현상	상		이동	상		권양장치 상태	상	
	단면결손	상		조인트 연결부위	상		철물도색/부식상태	상	
	압축강도	하		중성화	상		피어상태	상	
	누수	하		누수	상		슬래브 표면/강도	중	
	중성화 깊이	상	균열	상	변형정도	상			
Apron 부분	균열	상	급류 부 바닥	표면/연약화	중	연결 교량	슬래브와 보 구조	상	
	표면/연약화	상		백화현상	상		철물의 상태	상	
	백화현상	상		단면결손	상		균열	상	
	단면결손	상		압축강도	하		표면/연약화	상	
	바닥이동/융기	상		침하	상		백화현상	상	
	압축강도	하		이동	상		단면결손	상	
	조인트 부위	상		조인트연결부위	상		압축강도	상	
제체방 향 옹벽	균열	상		정수 지	중성화	상	통관	누수	상
	표면상태/연약화	하			누수	상		코아재의 유실	상
	백화현상	하			균열	상			
	단면결손	상	표면/연약화		상				
	압축강도	하	백화현상		상				
	침하	상	단면결손		상				
	이동	상	압축강도		상				
	조인트연결부위	중	침하		상				
	중성화	상	조인트연결부위		상				
누수	하	중성화	상						
제체반 대방향 옹벽	균열	상	유출 수로	사면보호	상				
	표면/연약화	상		측사면 안정	상				
	백화현상	상		식생/장애물	상				
	단면결손	상	문비	콘크리트/강도	중				
	압축강도	중		누수	하				
	침하	상		수문/작동상태	상				
	이동	상		외부도장	상				
	조인트연결부위	상							
	중성화	상							
	누수	상							

4. 저수지 퇴사

고삼저수지의 경우 관개면적을 고려한 저수지 용적이 정(+)의 값을 가지므로 해당년의 저수지 용적이 필요저수량보다 적은 해를 산정하여 준설계획년으로 정하면 198년이 경과한 2161년에 준설이 필요하다.

<표 5-13> 고삼저수지 준설필요년도 계산

유역면적 (km ²)	저수지용량 (m ³)	포충률 (%)	연간퇴적량 (m ³ /yr)	관개면적을 고려한 필요저수지용량(m ³)
71.00	15,224,000	97.83	35,189.1	8,250,515
경과년수	연 도	퇴적된 저수지용량 - 필요저수량 (m ³)		
193	2156	181,996		
194	2157	146,807		
195	2158	111,618		
196	2159	76,429		
197	2160	41,240		
198	2161	6,051		
199	2162	-29,138		
200	2163	-64,328		
201	2164	-99,517		
202	2165	-134,706		
203	2166	-169,895		



<그림 5-12> 고삼저수지 준설년도

5. 노후도 평가 결과

고삼저수지에 대한 각 항목별 평가 등급을 정리하면 <표 5-14>와 같다.

<표 5-14> 고삼저수지 항목별 평가등급

조사 저수지	평 가				여수도 능력	저수지 퇴사	농조명
	제체부		구조물부				
	접수	등급	접수	등급			
고삼	93	상	88	중	상	상	기호

제5절 안전도 평가

1. 제체 및 구조물부의 안전도 평가

제체와 구조물부의 조사결과를 이용하여 고삼 저수지의 종합적인 안전도를 개발된 항목별 안전도 평가 기준 및 종합안전도 평가 기준으로 평가를 실시하였다. 그 결과, 고삼저수지의 제체 및 구조물부의 안전도는 “상”으로 평가되었으며 노후도 평가 결과와 유사한 결과를 주고 있다.

2. 사면안정평가

사면안정해석 프로그램인 STABL5M을 이용하여 고삼저수지에 대해 대해 홍수위와 만수위 그리고 수위 급강하시의 사면안정해석을 수행하였다. 각각의 경우에 대해 지진의 영향을 고려한 해석을 추가하였다. ‘농지개량사업계획설계기준 댐편’에서는 홍수위시에는 지진의 영향을 고려하지 않아도 되는 것으로 나와 있으나 이 조건에 대해서도 해석을 실시하였다.

사면안정해석에 필요한 토질정수 즉, 습윤단위중량, 포화단위중량, 유효점착력, 유효마찰각은 보오링을 통해 얻은 제체부와 코어부의 통일분류법에 의한 분류와 그에 따른 제 성질을 제시하고 있는 국내문헌인 ‘농지개량사업계획설계기준 댐편’에 의거하여 다음의 <표 5-15>와 같이 적용하였다. 고삼

저수지의 제원은 <표 5-16>과 같다.

<표 5-15> 고삼저수지 사면안정해석을 위한 토질 정수

부위	토질정수 (t/m^3)	습윤단위중량 (t/m^3)	포화단위중량 (t/m^3)	유효점착력 (t/m^2)	유효마찰각 (degree)
제체부	2.011	2.261	2.261	5.2	33.6
코어부	2.027	2.027	2.027	8.8	25.1

<표 5-16> 고삼저수지 제원

제정표고(m)	홍수위(m)	만수위(m)	최대제당고(m)	지진가속도
57.0	55.5	54.1	16.6	0.12g

이상 제시된 조건들을 이용하여 사면안정해석을 수행한 결과 계산된 안전율은 다음과 같다.

<표 5-17> 사면안정 분석 결과

수위 조건	지진 조건	지진 불고려	지진 고려
홍수위(H.W.L.)		3.350	2.535
만수위(F.W.L.)		3.320	2.511
수위 급강하시		3.656	2.547

<표 5-17>과 같이 고삼저수지는 홍수위, 만수위에 대해 하류측 사면은 모두 3.3을 넘는 안전율을 보이고 있으며 저수지 운용과정에서 파괴되기 쉬운 수위급강하시의 상류측사면의 안전율도 3.6을 넘는 수치를 보이고 있어 안정된 상태에 있다. 각각의 조건에 대해 지진을 고려하여 사면안정해석을

수행한 결과도 모든 조건에서 2.5를 넘는 안전율을 보이고 있어 지진에 대해서도 충분히 안정된 상태임을 알 수 있으며 안전도 평가결과는 “중”으로 나타났다.

3. 침투류 해석

침투해석을 수행한 고삼저수지의 제체에 대해 유한요소 해석을 위한 mesh를 삼각형망으로 작성하여 다음 <그림 5-13>에 제시하였다. 각 해석단계에 대한 해석은 수위가 만수위일 때 이 만수위에 의한 정상침투가 발생하였을 때의 침투거동을 고찰하였다.

저수지의 만수위 표고 및 포화시의 제체부위별 투수계수는 다음과 같다. 제체부위별 투수계수는 현장투수시험을 통해 얻은 수치를 사용하였다.

<표 5-18> 고삼저수지 침투분석 재료상수

저수지명	만수위 표고 (m)	투수계수 (m/sec)	
		제체부	코어부
고삼	55.50	3.52×10^{-7}	1.37×10^{-8}

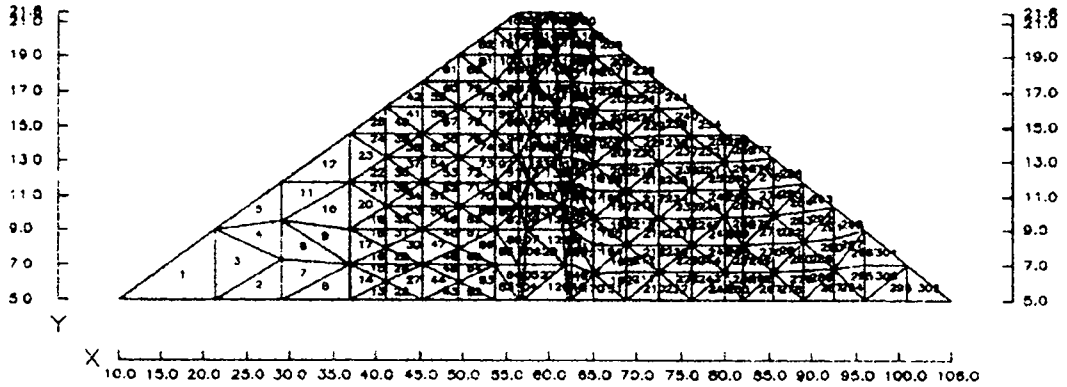
PC-SEEP을 통해 고삼저수지에 대한 침투해석결과는 다음의 <그림 5-14>와 같다.

FINITE ELEMENT MESH

Project : Kosom Reservoir

Comment : Steady-state seepage analysis of a zoned dam

Date : 13 Aug 1996



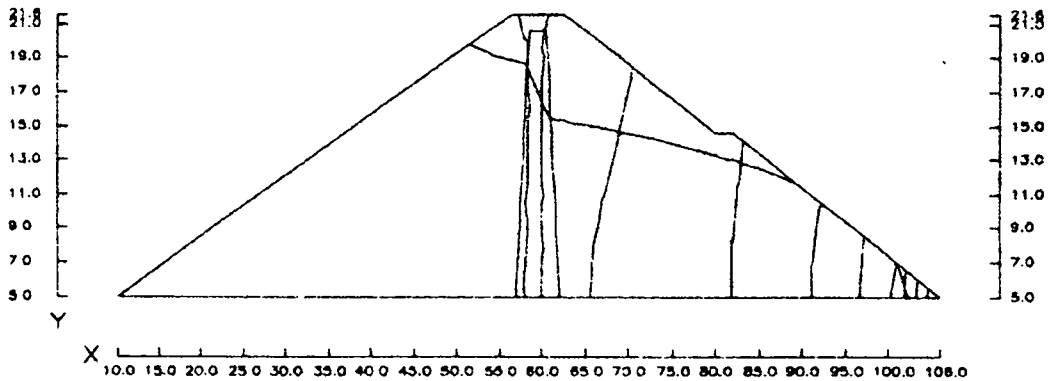
<그림 5-13> 유한요소 해석 Mesh

TOTAL HEAD PLOT

Project : Kosom Reservoir

Comment : Steady-state seepage analysis of a zoned dam

Date : 13 Aug 1996



<그림 5-14> 고삼저수지 침투해석 결과(전수두)

4. 하류피해

저수지 붕괴시 약 3개면에 걸쳐 홍수파가 미치며 그 범위는 약 9km까지이다. 저수지 결괴시 홍수파의 범위는 그림과 같으며, 구체적인 사항은 다음 표에 나와 있다. 고삼 저수지는 총저수량이 15,224,000 m³이고 저수지 높이가 17m이며 피해예상범위는 저수지 하류 약 9km까지 미치는 것으로 나타났다. 다음은 고삼저수지 하류피해 영역을 나타내고 있다.



<그림 5-15> 고삼저수지 예상 침수 피해도

<표 5-19> 고삼저수지 총저수용량, 제고 및 침투홍수량

저수지명	총저수용량(천m ³)	높이(m)	침투홍수량(m ³ /s)
고삼저수지	15,224	17	3614

고삼저수지는 저수지 결괴시 예상되는 하류지역의 피해를 분석한 결과, 예상 침수면적이 1,100 (ha)이고 인명피해는 1,238명, 지방세입으로 본 산업화 정도는 8,764백만원으로 나타났으며 종합등급은 A로 평가되었다. 다음 표는 고삼저수지의 하류피해 산정 결과이다.

<표 5-20> 고삼저수지 하류피해 산정 결과

저수지명	침수면적 (ha)	면적등급	피해인구 (PAR)(인)	PAR 등급	지방세입 (백만원)	산업화 등급	종합등급
고삼	1,100	A	1,138	B	8,764	A	A

5. 평가시스템 적용

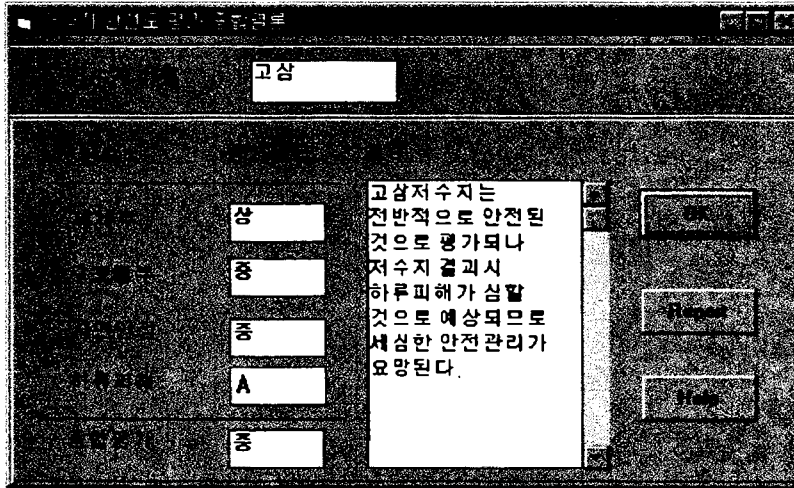
이상과 같이 고삼저수지에 대한 각종 정밀조사를 수행한 결과 고삼저수지에 대한 평가를 다음과 같이 내릴 수 있다.

<표 5-21> 고삼저수지 평가 시스템 적용 결과

구분	제체부	구조물부	사면안정	하류피해	종합평가
고삼	상	중	상	A	양호

따라서, 고삼저수지에 대한 전체적인 평가는 중으로 판정내릴 수 있다. 다음 <그림 5-16>은 고삼저수지에 대한 안전도 평가 시스템의 적용하여 얻

은 종합결론이다.



<그림 5-16> 안전도 평가시스템 종합결론

제6절 요약 및 결론

본 장에서는 노후도 평가 기준의 적용성을 검토하기 위해 현장 조사된 31개의 저수지 가운데 구조물부 및 제체부 상태가 불량한 저수지 중 하나인 고삼저수지를 선정하여 각 세부항목에 대한 정밀조사를 시행하였다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 고삼저수지의 제체부는 하류사면에 구멍이 많이 존재하며 제체연결부 위에 균열, 조인트가 존재하여 불량한 상태이므로 지속적인 관찰이 필요하다. 제체부에 대한 노후도 점수는 93점으로 전체적인 등급은 상에 해당한다.
2. 고삼저수지의 구조물부는 제체표면부(crest)와 오지(ogee)부분, 에이프런(apron), 급류부 바닥, 문비 부분에서 콘크리트의 압축강도가 하의

등급을 보이고 있다. 구조물부에 대한 노후도 점수는 88점으로 전체적인 등급은 중에 해당한다.

3. 고삼저수지의 여수토 능력은 전체적으로 안전하며 설계일류높이보다 빈도별 최고홍수위가 낮게 위치하기 때문에 특별한 조치를 취할 필요가 없을 것으로 판단된다.
4. 고삼저수지의 퇴사상태는 현재부터 198년이 경과한 2161년에 준설이 필요할 것으로 예상된다.
5. 제체 및 구조물부의 안전도 평가 결과, 안전도는 “상”으로 평가되었으며 사면안정분석결과는 “중”으로 평가되었다.
6. 하류피해를 평가한 결과, 고삼저수지의 하류피해는 A 등급으로서 저수지의 결괴시 상당한 인명 및 재산 피해가 예상된다.
7. 종합 안전도 평가 결과, 고삼저수지의 안전도는 “양호”로 나타났으며 현재 안전상의 우려는 없으나 부분적으로 열악화가 진행되고 있는 것으로 판단되었다.

제 6 장 노후저수지 개보수 공법의 개발

제 6 장 노후저수지 개보수 공법의 개발

제1절 서론

농업용 저수지는 건전한 관리에도 불구하고 축조후 시간의 경과에 따라 노후저수지로 진행하게 되며, 이러한 노후저수지는 자연적, 사회적 상황의 변화에 따라 시급한 개보수를 필요로 하게 된다. 노후화의 판단은 앞 절에서 언급한 누수량, 제체의 단면형상, 여수토 능력, 기타 시설물의 약화 등이 시간의 경과에 따른 능력저하나 안정성의 결여 뿐만 아니라 기술수준의 향상으로 인한 안정성의 상대적인 저하, 환경변화에 따른 안정성의 저하, 저수지의 기능성, 하류의 피해정도 등 종합적으로 이루어져야 한다.

현재 우리나라에는 약 18,200 여개의 저수지가 각지에 산재하여 농조 및 시군에서 관할하고 있으나, 그 중에서 약 55 %가 1945년 이전에 축조된 저수지이다. 또, 경기도에는 약 470여개의 저수지가 있는데, 이 중에서 약 41% 정도의 저수지가 1945년 이전에 축조되어 개수 또는 보수가 필요한 상태이다.

최근 지방자치단체에 의한 지역개발은 기존의 저수지의 관리 및 운영에 큰 변화를 초래하고 있다. 우선 유역의 개발에 따른 유출물이나 홍수도달시간의 변화가 촉진되어 홍수량이 일반적으로 증가하는 경향을 나타낸다. 이에 따라 종래의 여수토 등의 시설기능이 이에 대응하지 못하고 결괴 등의 위험을 내포하게 된다. 또한 오탁수의 유입도 발생하며, 유사 등의 증가는 저수용량의 감소 뿐만 아니라 취수시설에도 영향을 미친다. 하류지역의 개발에 따라 결괴시 피해도 급격하게 증가하며 인명의 피해를 초래하는 경우도 있다. 이것은 저수지의 방재는 지역사회 전체의 문제인 동시에 여수토나 방수로 등에 이에 상응하는 대책이 필요하게 됨을 의미한다.

한편, 지역의 개발 등으로 농지의 감소에 따른 농업경영의 변화에 의한

관개수원으로서의 의존성이 작아지면서 종래까지 세밀한 유지관리가 행해지던 저수지가 자칫하면 방치되는 경향을 초래할 수 있다. 이처럼 지역개발과 관련하여 장기적으로 저수지의 정비계획을 충분히 검토할 필요가 있으며, 정비에 대해서는 이용자인 농민의 입장에서 검토하여 단지 유수지로서의 기능적인 측면을 강조하는 단기적인 정비가 아니라, 실질적인 정비가 이루어지도록 주의를 기울여야 할 것이다.

본 장에서는 경기도의 저수지를 대상으로, 저수지를 크게 제체부와 구조물부 등의 2개 부분으로 나누어 노후화의 원인에 따른 개·보수 공법의 특성과 계획, 설계 등을 검토하여 장래의 계획과 공법선정에 중점을 두어 연구하였다.

제 2 절 저수지의 노후상황 및 개보수 현황

1. 저수지의 노후 현황

경기도의 저수지는 약 470 개 정도이며, 이를 농조와 시·군에서 관리하고 있다. 관리인이 상주하는 곳도 있지만 상당수의 저수지는 근처의 영농민 또는 지역민이 자신의 일을 하면서 관리인의 임무를 겸하는 경우가 많았다. 따라서 관리인이 상주하는 경우에는 제체, 취수시설 등의 관리상태가 비교적 양호한 반면, 관리인이 상주하지 않는 경우에는 시설의 관리상태가 비교적 취약한 실정이다. 또한 최근 도시인들의 소득수준의 향상에 따른 여가활동 및 식생활의 취향이 달라지면서 많은 저수지내에 낚시터 또는 양식장을 허가하여 제체로의 출입이 자유로워지면서 제체의 노후화가 더욱 촉진되었으며 실제 방괴석 등의 교란상태가 심각한 경우도 있었다. 이러한 인위적인 문제외에도 시간의 경과에 따른 자연적인 노후증상도 발견할 수 있는데, 경기도의 저수지는 비교적 최근에 축조된 것이 많이 있으나, 약 41% 정도가 해방전에 축조되어 노후현상이 심각하여 계속 보수를 행하고 있는 곳도 있

었다. <표 6-1>은 경기도내 저수지의 축조년도별 분포를 나타내고 있다. 표에서 알 수 있듯이 약 67% 이상이 축조된 지 30년이 경과하여 저수지의 체체뿐만 아니라 각 구조물의 상태를 조사하여 노후정도를 판정하고 보수를 해야 한다.

<표 6-1> 준공년도별 저수지 현황(경기도, 1993년 현재)

준공년도 합 계	'45 이전	'46~'66	'67~'71	'72~'76	'77~'81	'82~'86	'87~'93
470 개소	193 개소	122 개소	56 개소	40 개소	27 개소	17 개소	15 개소
100 %	41 %	26 %	12 %	8 %	6 %	4 %	3 %

또한, 각 저수지는 건전한 관리하에서도 시공상의 문제점뿐만 아니라 지역개발에 따른 유출량의 증가로 종래의 여수토 능력으로 홍수위를 처리하지 못하는 경우도 있으므로 이에 대한 검토가 필히 수반되어야 할 것이다.

본 연구에서는 1차년도에서 언급한 바와 같이 대표적인 32개소 저수지를 선정하여 노후도, 유지관리상태 및 개보수에 대한 조사를 실시하였다. <표 6-2>는 조사대상 저수지의 축조 후 경과된 년수를 정리한 것이다. <표 6-3>은 전년도 및 최근에 수행한 현장조사 결과를 요약한 것으로, 경기도내의 약 32개소 저수지에 대하여 제체부, 구조물부, 취수시설, 하류피해 등을 조사하여 취합한 것으로 표에서 알 수 있듯이 상당수의 저수지가 노후 또는 보수를 요하는 것으로 나타나고 있다. 이 조사의 결과는 전년도에 규정한 조사표와 기준에 의거하여 장래의 보수계획과 공사의 우선순위를 정하는 자료로서 활용할 수 있을 것이다. 하류피해의 경우 상중하의 평가를 할 수 없기 때문에 A를 피해정도가 큰 것, B를 보통수준의 것, 그리고 C를 피해정도가 비교적 적은 것으로 그 정도를 표시하였다.

<표 6-2> 조사대상 저수지의 축조 경과년수

경과년 개소	5년 미만	5~ 9년	10~ 14년	15~ 19년	20~ 24년	25~ 29년	30~ 34년	35~ 39년	40~ 44년	45년 이상	소계
저수지수	1	2	3	7	5	1	2	4	1	6	32
비율(%)	3	6	9	22	16	3	6	13	3	19	100

<표 6-3> 경기도내 저수지 노후도 조사결과

부위별 구분	제 체 부			구조물부			하류피해		
	상	중	하	상	중	하	C	B	A
저수지수	21	10	0	14	12	5	3	14	14
비율(%)	67.7	32.3	0	45.2	38.7	16.1	9.6	45.2	45.2

조사결과 전체의 약 16% 정도가 보수·보강을 요하는 것으로 나타났으며, 이는 장래의 계획에 중요한 지표가 될 것이다.

2. 개보수 현황

경기도내 14개의 농조 저수지 중 조사대상 32개 저수지에 대해 보수이력을 정리하여 개보수 횟수로 <표 6-4>에 나타내었다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 비교적 관리상태 등이 좋아서 보수를 한 번도 행하지 않은 곳도 많지만 이 중에는 관리대상에 기록되지 않은 점을 감안하면 최소 1~2회 정도의 보수를 행한 이력을 가지고 있다고 보는 것이 타당할 것이다. 또, 저수지에 따라서는 4~5회 정도의 보수 또는 보강공사를 행한 곳이 있는데, 이것은 주로 축조 후 경과년수가 30년 이상된 저수지에서 나타나고 있다.

따라서 경기도 내의 저수지는 2/3 정도가 1회 이상의 보수이력을 가진 것으로 판단할 수 있다.

<표 6-4> 저수지 개·보수 횟수별 분포

회수 개소수	무보수	1 회	2 회	3 회	4 회	5 회	소 계
저수지수(개소)	10	8	6	2	5	1	32
비율(%)	31	25	19	6	16	3	100

<표 6-5>는 조사대상 저수지의 보수이력을 바탕으로 부위별 보수내역을 정리한 것이다. 표에서 알 수 있듯이 주된 보수 부위는 제체부에서는 누수 방지를 위한 제체그라우팅, 여수토부에서는 홍수위를 적시에 배제하기 위한 여수토의 확장 또는 게이트 설치, 취수부에서는 주로 취수탑, 문비의 노후에 따른 작동고장을 수리한 것으로 나타나고 있다. 이는 저수지의 관리면에서, 사전에 재해를 방지하는 측면보다 저수지 기능상 문제가 발생한 후에 이를 수습하는 측면에서 관리 및 보수를 행하고 있는 것을 의미하고 있다. 그리고, 저수지의 문제점은 주로 여수토부에서 발생하고 있는데, 이는 콘크리트의 노후 또는 시공 부주의에 의한 균열 또는 침하에서 기인하는 것으로 조사되고 있다.

<표 6-5> 저수지 개·보수 부위별 분포

부위		보수건수	비율 (%)	
			부위별비율	전체비율
제체부	사석보호공	1	2	25
	단면승상	3	5	
	그라우팅	6	11	
	단면보수	3	5	
	제체옹벽	1	2	
여수토부	옹벽	7	12	32
	확장·게이트	9	16	
	방수로	2	4	
취수시설	취수탑	5	9	25
	문비	5	9	
	복통·사통	4	7	
퇴사준설		1	2	2
기타		9	16	16

<표 6-6>은 보수를 행한 22개소 저수지를 대상으로 최초의 보수 또는 보강공사를 행한 기간을 검토한 것으로, 저수지 축조 후에 몇 년이 경과한 후에 보수를 행하였는가를 조사한 것이다. 표에서 보듯이 주로 첫 번째 보수공사를 행한 것은 축조 후 20~30년이 경과한 후가 가장 많이 나타나는데, 이는 콘크리트 구조물의 내구연한과 거의 일치하고 있어 주로 여수토부의 보강 또는 보수공사가 이루어지고 있음을 의미한다. 또, 약 14% 정도의 저수지는 축조 후 5년 이내에 보수를 행한 것도 있는데 이는 시공상의 문제점을 나타내고 있어 철저한 시공관리와 품질관리에 유념하여야 할 것으로 판단된다.

<표 6-6> 축조 후 최초로 개·보수를 행한 경과년 수

경과년	5년	5~	10~	15~	20~	25~	30~	35~	40~	45년	소계
개소	미만	9년	14년	19년	24년	29년	34년	39년	44년	이상	
저수지수	3	2	2	1	4	3	1	2	2	2	22
비율(%)	14	9	9	5	18	14	5	9	9	9	100

<표 6-7>은 보수를 행한 저수지의 연간 보수금액을 조사한 것이다. 주로 연간 보수금액은 저수지 1개소당 약 5천만원에서 5억원 정도가 소요되고 있는 것을 알 수 있다. 물론 대형 저수지의 게이트, 제체보강공사의 경우에는 20억 이상의 공사비를 필요로 하는 경우도 있다.

<표 6-7> 연간 개·보수 비용

(단위 : 백만원)

금액	1	5	10	50	100	500	1,000	1,500	2,000	2,000	소계
	미만	미만	미만	미만	미만	미만	미만	미만	미만	이상	
보수 건수	5	7	3	8	6	15	0	4	2	2	52
비율 (%)	10	13	6	15	11	29	0	8	4	4	100

제3절 저수지의 정비

다른 농업용 시설의 재해와 비교하여, 저수지의 재해는 제방 등이 파괴된 경우와 같이 피해의 크기가 현저한 것이 특징이다. 즉, 단순한 저수지 시설만의 재해가 아니고 저류수가 일시에 대량으로 방류되기 때문에 하류에 큰 2차피해를 초래하기 때문에 사회적인 영향도 극히 크다.

저수지의 재해는 외견상으로 예측이 곤란하고 지형이나 유역의 조건, 제체의 구조, 강우의 분포형 등의 복잡한 조합으로 해서 그 발생 상황은 일정치 않으므로, 충분한 계획을 수립하고 정기적인 조사를 통하여 저수지의 상태변화를 파악하여야 한다. 이러한 정기적인 조사를 통하여 저수지 결과로 인한 재해방지와 수자원의 절약 등의 목적으로 저수지의 재해요인에 대한 정비가 중요하다.

1. 저수지의 재해요인

가. 저수지의 부위별 재해요인

<표 6-8>은 저수지 재해의 주된 원인을 요약한 것이다. 명확하게 원인이 규명되는 여수토의 배제부족이나 제체의 여유고 부족을 제외한 다른 원인은 여러 원인들의 조합으로 발생하기 때문에 어떤 특정한 요인으로 규정하는 것은 곤란하다. 또, 이러한 시설적인 요인외에 주변의 산이나 기초지반의 변화, 관리의 불충분 등의 인위적인 요인도 무시할 수 없다.

<표 6-8> 저수지의 재해요인

부 위		재 해 요 인
제 체	하류사면	<ul style="list-style-type: none"> ○ 사면구배의 부족 ○ 다짐, 차수, 배수시설의 불량으로 인한 침출 ○ 재료의 불균일, 접합부 불량, 건조에 의한 균열 ○ 여수토의 능력부족에 의한 월류 ○ 통관의 침출 등
	상류사면	<ul style="list-style-type: none"> ○ 사면구배의 부족 ○ 사면보호공의 불완전 ○ 통관의 부식 및 노후, 침출수에 의한 것
여 수 토		<ul style="list-style-type: none"> ○ 배제능력의 부족(단면협소, 관리불충분) ○ 유입토사의 퇴적에 의한 저수지 내용적의 감소
취 수 시 설		<ul style="list-style-type: none"> ○ 약화(부식, 노후, 결손, 관리불충분)
주 변 기 초		<ul style="list-style-type: none"> ○ 주변의 산사태 ○ 기초지반의 변질(액상화, 파이핑 현상 등)

나. 구조물부의 콘크리트 열화 원인

열화의 원인규명은 체계적 진단과정의 기본이 되는 것으로 각 단계에서 행해야 할 진단사항을 결정할 중요한 인자가 되는데 시공시 발생사고, 건조수축, 온도변화, 콘크리트의 수분흡수, 철근의 부식, 화학반응, 동결융해, 충격파, 마모(침식), 불량한 설계세목, 설계상 잘못 등의 11가지로 나눌 수 있

다.

시공시 발생하는 균열은 대부분 재료의 불량이나 시공관리의 불량으로부터 발생한다. 그 대표적인 원인은 하부구조의 침하, 거푸집의 변형, 공사중 발생하는 진동, 건조수축의 시작, 콘크리트 버팀대의 변형, 콘크리트의 완전양생전 거푸집의 제거 등을 들 수 있고 이러한 원인은 대부분 공사초기에 발생하므로 초기균열로 분류되고 있다.

건조수축은 장시간 경과후 발생하는 현상으로 건조수축에 의하여 체적의 변화가 일어나면 구조물에 균열이 발생하게 되어 강도가 저하하게 된다.

온도의 변화는 대기온도의 변화와 구조물 내부온도의 변화를 들 수 있다. 대기온도의 변화는 구조체의 형상이나 체적을 변화시킬 수 있으며 그러한 변화들이 구조물에 의하여 구속된다면 인장응력이 발생되고 따라서 구조물의 균열이 발생한다. 구조물의 내부온도 변화는 주로 양생중인 콘크리트에 의해 발생하는 수화열 등을 말하며 이것 역시 체적의 변화를 가져올 수 있어 균열을 발생시킨다.

정도에 차이는 있지만 모든 콘크리트는 투수성이며 따라서 콘크리트의 수분흡수에 의한 결함의 발생은 주로 동일 구조물에서 부분적으로 수분흡수량의 차이에 의해 발생한다.

철근콘크리트 구조물에서 여러 원인에 의해 콘크리트가 떨어져 나가고 철근이 노출될 경우 철근이 부식하게 된다. 대표적인 철근부식은 화학작용에 의한 부식과 전기적 작용에 의한 부식을 들 수 있다. 화학적 작용에 의한 부식은 물과 공기에 의한 산화작용에 의한 부식이며, 전기적 작용은 존재하는 수분이 염분을 포함하고 있는 경우 전기적 유도체가 되어 갑작스런 철근의 부식반응을 일으키게 되는 전기적 반응을 의미한다. 알카리-골재 반응이란 콘크리트의 가장 유해한 화학적 반응으로 시멘트 속의 알카리와 골재의 활성실리카 성분의 반응이다. 그 반응은 수산화물과 골재 속의 실리카 무기물이 접촉함으로써 시작된다. 반응이 시작되면 알카리-실리카 겔이 형성되고 골재의 부피변화를 일으킴으로써 무한대의 부피팽창을 유발시키게

된다. 그 결과 열화의 기본증상들인 균열, 박리, 표면붕괴가 일어나게 된다. 중성화는 공기 중의 이산화탄소에 의해 콘크리트 표면에서부터 산화되어 알카리성이 소실되는 현상을 말한다. 콘크리트의 중성화가 철근표면에 이르게 되면 철근은 부식하기 쉬운 상태가 된다.

동결융해는 콘크리트가 수분을 흡수하고 외부 온도가 빙점에 도달하게 되면 그 수분은 얼게 되고 그 결과 빙압이 발생되어 콘크리트 표면에 표면붕괴현상이 발생하게 된다. 또 콘크리트 표면의 온도가 빙점이상으로 올라가게 되면 그 균열표면은 박리를 일으키게 된다.

충격파의 대표적인 예는 사고에 의한 충격과 교통수단에 의한 진동 등을 들 수 있다.

마모는 콘크리트의 중성화보다 더욱 일반적인 현상이라 할 수 있는데 주로 물의 흐름과 직접적으로 맞닿는 부분이나 자동차가 직접 통과하는 부분 등에서 마찰이나 충격에 의해 발생하게 된다.

설계세목 불량 of 대표적인 예는 요각의 코너부분, 단면의 갑작스런 변화, precast slab연결부, 처짐, 결점 속의 물고임, 부적당한 배수, 시공이음, 재료와 단면들의 부적합성을 들 수 있다.

설계상의 잘못은 구조의 부적합, 계산의 부적합 등을 들 수 있고 이것은 요구되는 저항능력의 부족으로 인하여 균열을 발생시키는 직접적인 원인이 된다.

2. 정비의 필요성과 내용

가. 정비의 필요성

정비는 이미 제 기능을 다한 저수지의 재해를 미연에 방지하는 것을 주목적으로 하고 있지만, 이 외에도 수자원의 절약, 홍수조절기능에 의한 하류의 방재 등 지역민의 안전을 도모하는 효과도 있다.

또한, 최근 지역의 개발에 따른 하류지역의 피해예상이 날이 갈수록 증대하고 있기 때문에 이에 대한 대책수립이 필요하다.

나. 정비의 내용

노후화에 따른 노후저수지 또는 정비를 요하는 저수지로 분류된 경우에는 그에 따른 대책을 강구하고 저수지의 상황, 주변조건 등을 감안하여 정비공사의 내용을 설정하여야 하는데 주로 다음과 같은 내용을 조합해서 행해지고 있다.

- 1) 제체의 누수방지를 위한 축성토공사 등과 이에 수반되는 토공공사
- 2) 제체의 단면부족을 해소하기 위한 제체의 광폭 등의 성토공사, 사면 보호공사 및 제당 증축
- 3) 여수토의 협소를 해소하기 위한 월류단면 확대 및 노후화에 따른 보강공사
- 4) 통관, 취입관 등 취수시설의 대체공사
- 5) 안전관리상 필요한 각종 계측정비 및 대체시설 등의 개수 또는 신설공사
- 6) 저수지의 내용적 확보를 위한 준설공사 또는 토사유입방지공의 신설공사

제4절 저수지의 개보수 기준

노후저수지의 판단기준에 준하여 조사결과가 중 또는 하로 판정된 경우에 있어서 상세한 세부조사의 필요성이 있는 저수지를 대상으로 행한 세부조사의 결과로부터 다음과 같은 기준에 의거하여 저수지의 전체 또는 부분적인 개보수 여부를 판단하게 된다. 그러나, 앞 절에서 언급한 바와 같이 저수지의 재해가 발생할 원인이 명확한 경우를 제외하고는, 기술자에 의한 고도의 판단에 의존하는 경우가 많으므로 개보수 기준의 적용에 세심한 주의를 기울여야 한다.

1. 제체부

제체부의 노후는 여러 원인에 의하여 발생하게 되는데, 제체의 재료적인 특성을 감안하여 기준을 정하는 것이 일반적이다. 그러나, 아직 우리나라의 경우 이에 해당하는 명확한 조사나 기준의 제시가 없고 현장의 상태와 지역민의 요구에 의해서 농조 또는 시·군에서 시행하고 있다.

저수지의 제체가 본래의 기능적인 측면에서 당초의 목적을 이룰 수 없는 경우와 장래에 발생가능성이 있는 재해를 사전에 방지한다는 측면에서 앞에서 규정된 노후화 판단기준을 적용하여 개보수기준을 정하였다.

가. 제체의 기능적인 측면

제체의 기능적인 측면에서 고려하는 경우에는, 주로 누수량을 기준으로 정하는 것이 일반적이며 누수량은 누수되는 곳에 메스실린더 등을 설치하여 시간당 또는 분당 누수량을 측정하여 환산하게 된다. 대량의 누수가 있는 곳에서는 삼각웨어 등을 설치하여 측정하기도 한다. 보오링 등에 의한 현장의 토질상태, 다짐상태, 현장투수상태, 누수경로의 확인 등을 수반하며, 통관 등의 취수시설의 노후에 따른 사항도 검토하여야 한다.

- 1) 제체길이 100 m당 누수량이 1.0 l/sec 인 경우, 동수구배가 1 이상, 침출고 1.0 m 이상, 투수계수 1×10^{-3} cm/sec 이상인 경우
- 2) 누수량이 저수지 유입량의 1.0 % 이상인 경우
- 3) 1일 누수량이 총저수량의 0.05 %를 초과하는 경우
- 4) 일정 저수위에서 누수량의 변화가 한달에 10 % 이상 증가하여 파이프의 위험이 있는 경우
- 5) 유입토사의 퇴적으로 하류지역의 소비수량을 충족시키지 못하는 경우

나. 재해방지 측면

장래 발생가능한 재해를 방지하는 측면에서 볼 때, 효과적으로 판단할

수 있는 근거가 아주 미약한 실정이다. 그러나 최근 지역의 발전 가능 속도와 주변의 개발상태, 지질상태 등을 고려할 때, 주로 단면의 변형상태와 하류피해 정도를 기준으로 판단하는 것이 타당할 것이다.

- 1) 당초 단면과 비교하여 면적변형율이 5% 이상인 경우
- 2) 여수토의 능력이 설계홍수량의 1.2배를 미치지 못하는 경우
- 3) 결괴시 하루지역에 인명피해가 예상되는 경우
- 4) 기술자의 판단에 의해서 특히 대재해의 위험이 있다고 판단되는 경우

2. 구조물부

구조물은 기능적인 측면과 사용적인 측면 그리고 조사결과 및 원인의 추정 결과에 따라 콘크리트의 내구성, 방수성, 내력, 대인안전성, 기밀성 및 미관 등을 고려하여 보수·보강 여부를 판단하고 이에 따른 적절한 개보수 방법을 결정하게 된다. 여기서 취급하는 콘크리트 균열은 주로 시공중 또는 사용중 발생한 균열을 의미하며, 화재, 지진 등에 따른 내력저하의 회복을 포함하지 않는다.

구조물의 개보수 필요여부를 판정하는 경우에는 크게 대상부재에 의하여 판정하는 경우와 내구성 또는 방수성에 의해 판정하는 경우가 있으며 판단은 아래와 같다.

가. 대상부재에 의한 판정

- 1) 대상부재가 구조부재가 아닌 경우에는 아래 나, 라, 마 따른다.
- 2) 대상부재가 구조부재일 경우에는 아래 나, 다, 라, 마에 따른다.

나. 내구성 또는 방수성으로 보수의 필요여부를 판정하는 경우

조사에 의해 얻은 균열 폭을 <표 6-9>와 조합하여 보수의 필요여부를 판정한다. 단, 균열 폭이 <표 6-9>에 (A)와 (B)의 중간이 될 경우에는 기술

자의 판단에 의해 보수여부를 판정한다. 또, 이 경우에는 균열 폭 뿐만 아니라 균열의 원인, 깊이, 밀도, 패턴 등을 종합하여 판단한다.

다. 내력으로 보강의 필요 여부를 판정할 경우

내력 저하가 염려될 경우에는 기술자의 판단에 의하는 것을 원칙으로 한다. 단, 구조형식이 단순하여 손상 정도가 명확한 경우에는 신뢰할 수 있는 방법으로 보강의 필요여부를 판정해도 된다.

라. 대인 안전성으로 보수 필요여부를 판정하는 경우

대인 안전성이 문제가 될 경우에는 기술자의 판단에 따르는 것을 원칙으로 한다. 단, 균열에 기인하는 박리, 표면붕괴 등의 정도가 명확한 경우에는 「보수 要」라고 판정한다.

마. 그 밖의 기능으로 보수의 필요 여부를 판정하는 경우

기밀성, 미관 등에 의해 보수 필요 여부를 판정하는 경우에는 기술자의 판단에 따른다.

<표 6-9> 보수의 필요 여부에 관한 균열 폭의 한도

구 분	환경 기타요인	내구성에서 본 경우			방수성에서 본 경우
		심하게	중 간	완만하게	
(A) 보수를 필요로 하는 균열 폭(mm)	대	0.4 이상	0.4 이상	0.6 이상	0.2 이상
	중	0.4 이상	0.6 이상	0.8 이상	0.2 이상
	소	0.6 이상	0.8 이상	1.0 이상	0.2 이상
(B) 보수가 불필요한 균열 폭(mm)	대	0.1 이하	0.2 이하	0.2 이하	0.05 이하
	중	0.1 이하	0.2 이하	0.3 이하	0.05 이하
	소	0.2 이하	0.3 이하	0.3 이하	0.05 이하

주: 1) 그 밖의 요인(대,중,소)이란 콘크리트 구조물의 내구성 및 방수성에 미치는 유해성 정도를 제시하며, 아래 요인의 영향을 종합하여 정한다. 균

열의 깊이, 패턴, 덮개두께, 콘크리트 표면피복의 유무, 재료, 배(조)합
이어치기 등

주: 2) 주로 철근의 녹의 발생조건 관점에서 본 환경

제5절 개보수를 위한 진단방법

1. 제체부

제체부의 개보수를 위한 진단은 앞 절에서 설명한 노후화 판단을 위한 조사방법에 준하여 실시하게 되는데, 각 부분별 노후화 정도의 조사결과를 바탕으로 중 또는 하에 속하는 노후 저수지중에서 기술자의 판단에 따라 상세조사를 할 필요성이 있는 저수지에 대해 실시한다.

가. 누수량 및 누수경로의 추정

제체의 누수는 크게 제체내, 제체와 기초사이, 제체 양쪽 끝의 접촉부, 취수시설의 주변, 기초지반, 접속된 산으로부터의 누수 등으로 분류할 수 있으며, 수온법, 색소 또는 염분법, 전기탐사법 등으로 누수경로를 추정할 수 있다.

누수량은 누수되는 곳에 메스실린더 등을 설치하여 분당 또는 시간당 누수량을 측정하여 환산하게 된다. 그러나, 대량의 누수가 있는 곳에서는 삼각 웨어 등을 설치하여 측정하기도 한다. 또, 제체를 보오링하는 경우에는 제체의 현장투수계수를 구하여 계산할 수도 있다. 그러나 이러한 경우에는 제체의 상태, 다짐정도, 토질상태, 현장조건 등 제조건을 고려하여 종합적으로 판단하여야 한다. 통관 또는 사통 등 취수시설에서의 누수는 취수시설을 잠근 상태에서 누수되는 양을 측정하게 된다. 또, 출입이 가능한 곳에서는 직접 현장에서 육안으로 누수부위의 상태 및 누수상태, 파손여부를 판단하는 것이 좋다.

이상과 같은 방법에 의해서 측정된 누수량과 누수경로 등을 바탕으로 개 보수기준 또는 노후화 판단기준을 적용하여 개보수여부 및 개보수방법 등을 판단하게 된다.

나. 제체의 단면부족

제체 단면의 부족은 안전과 직접적인 관계가 있으므로 사전에 저수지에 대한 자료를 검토하여 당초의 단면과 변형 후의 단면을 비교할 수 있는 방법을 강구하여야 한다. 일반적인 방법은 제당의 중심선을 기준으로 하여 제당의 종·횡단면을 측량하여 당초의 저수지 단면과 비교하게 된다. 이때, 가능하면 취수시설의 복통 또는 사통이 지나는 단면은 반드시 포함되도록 4~5 지점을 정하는 것이 좋다. 또, 이러한 측점은 장래의 변형여부를 추정하기 위하여 정확한 지점을 표시하는 것이 좋다. 여성토 또는 주변 진입도로와의 연결등으로 성토고가 높아진 경우에 제정 폭, 소단고 및 폭, 사면구배 등을 계산할 때 반드시 이러한 사항을 고려하여야 한다. 또, 제정고가 15 m 이상인 경우에는 상·하류사면에 대하여 사면안정에 대한 검토를 고려하여야 한다.

이상과 같은 측량, 계산, 조사결과를 종합적으로 검토하여 기준을 적용하여 보수여부를 판단하게 된다.

다. 여수토

여수토의 홍수위 배제능력은 상·하류의 직접적인 피해와 직결된다. 과소설계의 경우는 상류의 침수 및 하류의 피해로 이어지고 과대설계는 재료의 낭비 및 공사비의 상승을 초래하게 되므로 여수토 능력의 판단은 신중한 검토가 요구된다. 설계홍수량의 계산 및 유출률은 주변의 지질, 식생분포, 개발상태, 장래의 발전 가능성 등 종합적인 판단을 요구하므로 전문가의 자문이 필요하다. 최근 강우는 매년 증가하는 경향을 보이고 있으며, 강우형태 또한 국지적인 집중호우를 보이므로 개발에 따른 유출률의 추정에는 많은

자료의 검토가 필요하다.

또, 여수토는 주로 콘크리트 구조물로 축조되는 것이 일반적이므로 시간의 경과에 따른 구조물의 노후판단은 구조물부에서 언급되는 기준을 따라 시행하게 된다.

라. 퇴사

배사지 등이 설치된 대형 댐의 경우에는 홍수위 배제시에 어느 정도 퇴사의 배제가 가능하다. 그러나, 소규모 농업용 저수지의 경우에는 일반적으로 배사지가 거의 설치되어 있지 않으므로 시간의 경과에 따라 상류로부터 유입되는 토사를 배제할 수 있는 효과적인 방법이 없다. 따라서, 상류 측의 개발에 따른 유출률의 증가는 저수지 내의 토사유입을 증가시키는 요인이 되므로 상류측의 개발을 억제하거나 토사유실을 막을 수 있는 방법을 강구하는 것이 좋다.

상류측에서 유입되는 토사량은 앞 절에서 언급한 방법에 의해서 퇴사량을 추정하고 이것을 바탕으로 하류지역의 개발상태, 용수의 수급상태, 경지의 개발 등을 고려하여 필요수량과 저수량을 비교하여 준설여부를 판단하게 된다.

2. 구조물부

구조물의 진단방법은 주로 열화에 의한 균열의 정도를 판정하여 개보수 여부를 판정하게 된다. 이와같이 구조물 진단을 위한 조사는 표준조사와 상세조사에 의해 이루어진다.

가. 육안에 의한 진단방법

육안에 의한 진단방법은 육안에 의하여 콘크리트의 노후화 상태를 외관상태로 조사하는 방법을 말한다. 이 방법에서는 구조물을 육안으로 조사하기도 하지만, 균열자(crack scale), 자 등을 이용하여 간단한 치수를 측정하

기도 하며, 칼이나 못으로 콘크리트의 표면을 긁어서 표면경도를 조사하기도 한다. 균열에 대해서는 균열의 방향, 길이, 폭 등을 조사하며 박리나 표면 붕괴에 대해서는 표면결합 부분의 형상 크기나 발생위치를 조사한다. 또한 골재의 노출상태 및 표면에서 떨어진 시멘트 풀이나 모르타르의 두께를 측정하기도 한다. 이러한 방법으로 조사된 자료에 대한 측정기준은 <표 6-10>과 같다.

<표 6-10> 육안에 의한 표면상태의 평가

표 면 상 태	판 정
외관상 거의 이상이 없다.	안전
이상은 확인되었지만 표면적 또는 국부적인 현상으로 내력에의 영향은 경미하다고 판단된다.	구조상 거의 문제없음
이상현상이 상당한 범위에서 확인되고, 부분적으로는 심한 피해도 발생하고 있지만 이상현상의 진행속도는 완만하고 장기하중에 대해서는 아직 여력이 있다고 판단된다.	내구성의 부족
변형이나 과대한 단면결손이 확인되고 이상현상의 진행속도도 크다.	내구성 결여

나. 물리적 진단방법

코어를 채취하여 행하는 물리적 시험에는 동결융해시험과 압축강도 측정 시험이 있다.

(1) 동결융해시험

동결초기의 팽창은 미세균열에서의 직접적인 얼음의 팽창(9%)에 의한 것이다. 동결로 인한 주된 팽창과정은 다음과 같다. 모세관에서 얼음이 생성 되면 체적이 증가하게 되어 잔류수를 압축시킨다. 이 때 자유영역인 인접공극까지의 거리가 멀면 모관이 주위 재료에 응력을 유발하는데 모관으로부터의 응력이 중첩되면 응력이 커져서 시멘트 풀의 인장강도를 초과함으로써

열화가 발생한다. 동결융해시험에 의한 내구성의 예측 및 진단방법에는 KSF 2456이 있다.

시험방법은 공시체를 소정의 양생기간(14일 기준)후 $6\pm 3^{\circ}\text{C}$ 에서 1차 주파수 시험을 한 후, 무게의 측정은 KSF 2437(공명진동에 의한 콘크리트의 동탄성계수, 동전단 탄성계수 및 동포아슨 비의 시험방법)에 따라 실시한다. 이 때 함수량은 동결융해 사이클이 개시될 때까지 일정하게 유지시킨다. 36 사이클이 초과하지 않는 범위에서 동결상태의 공시체를 용해수에 넣고 용해상태로 꺼내 $6\pm 3^{\circ}\text{C}$ 온도의 조건하에서 1차 주파수 시험, 무게 측정 후 다시 위의 과정을 반복하여 각 공시체가 300 사이클이 될 때까지 시험을 계속한다. 동결융해 사이클이 계속되지 못할 때 수분손실 방지를 위하여 공시체를 동결상태로 저장한다. 이 시험에서 내구성지수(300사이클)가 60 이상이면 충분히 내구적이며 200사이클의 내구성지수가 80 이상이면 안전하다고 판단한다.

또한 굳지 않은 콘크리트의 용적에 관한 시험방법으로는 콘크리트의 공기량을 측정하는 KSF 2449 시험방법이 있다. 이 시험으로부터 내구성의 판단은 동결융해를 받는 콘크리트의 경우, 공기량이 25mm 골재에 25 % 이상이면 양호한 것으로 판단한다.

언급된 내용을 포함하여 세계 각국에서 행해지고 있는 동결융해시험방법과 동해에 기인한 진단방법을 정리하면 <표 6-11>와 같다.

<표 6-11> 동해에 기인하는 열화의 진단방법

종 류	시험법	판단기준	비 고
동결 융해 시험	ASTM C 666 A법 (KSF 2456 급속 동결융해시험의 A 법과 유사)	- 내구성지수(300사이클)가 60 이상이면 충분히 내 구적임 - 200사이클의 내구성지수 가 80이상	- 재료비교시험(실제의 구조 물 내구성 예측은 고려되 지 않음) - 심한 자연조건의 내동결성 의 평가에 이용.
	ASTM C 666 B법 (KSF 2456 급속동 결융해시험의 B법 과 유사)		- 재료비교시험(실제의 구조 물 내구성 예측은 고려되 지 않음) - A법에 비해 실험조건이 상당히 약한 상태임 - 건축재료 마감재료 등에 사용.
	미개척국의 방법	- 500사이클에서 파괴되지 않으면 양호	- 조합을 정해서 골재의 품 질을 판정에 사용 - 국내에서 거의 접근하지 않음
	ASTM C 671		- 국내에서 거의 없음.
	RILEM 한계포화 함수도법		- 국내의 시험실적이 거의 없음.
공기량의 측정 (굳지않은 콘크리트의 용적에 관한 시험방법)	KSF 2449	- 동결융해작용을 받은 콘 크리트시 25 mm 골재 에 5%이상 - R.C.의 AE 콘크리트의 공기량 3~6%	- cf. JASS 5 내동해성과의 상관성이 높음. - 간단히 측정됨.
기포조직의 측정 (경화 콘크리트)	ASTM C 457	- 기포간격계수 250 μ m 이하	- 내동해성과의 상관성은 공 기량보다도 양호
안정성시험	JIS A1121	- (미개척국) 50사이클에서 8%이하, (모래) 10% 이 하의 골재 검취하도록 함	- 내동해성과의 상관성은 그 다지 좋지 않음

(2) 콘크리트 압축강도시험

콘크리트의 압축강도 시험은 슈미트 해머에 의한 비파괴 시험과 현장에
서 채취한 코어를 사용하는 방법이 있는데, 주로 간단한 구조물인 경우에는

비파괴 시험으로, 중요도가 큰 구조물은 채취한 코어로 압축강도를 측정하게 되며, 이 강도를 바탕으로 실측한 강도와 설계치를 비교하여 개보수 여부를 판단한다.

코어에 의한 시험방법은 다음과 같은 점에 유의하여야 한다.

- ① 공시체의 지름 또는 한 변의 치수는 굵은골재 최대치수의 3배 이상을 원칙으로 하고, 2배 이하가 되지 않도록 한다.
- ② 코어의 양단면은 콘크리트 강도시험용 공시체 만드는 법에 따라 캐핑(capping)한다.
- ③ 공시체의 높이가 지름의 2배 이상이 되지 않는 경우에는 보정계수에 따라 보정한다.
- ④ 코어를 채취할 수 없는 경우에는 비파괴시험으로 하는데, 대표적으로 슈미트 해머, 초음파 전파속도에 의한 복합시험 등을 행하는데, 이 때에는 시험결과가 건습정도, 재령, 측정각도 등에 따라 영향을 받게 되므로 주의해야 한다.

다. 화학적 진단방법

구조물의 화학적 진단방법은 중성화 시험, 알카리 반응시험, 염화물에 관한 시험 등이 있다.

(1) 중성화 시험

중성화 시험은 콘크리트를 철근의 위치까지 부분적으로 쪼개고 페놀프탈레인 1% 용액을 사용하여 중성화 깊이를 측정하여 내구연한 등을 판단하게 된다. 주로 중성화는 폭 넓은 균열을 따라 진행하게 되는데, 때에 따라서는 철근 피복 콘크리트 전체가 중성화되어 있지 않더라도 철근을 따라서 중성화가 진전하여 녹이 슬게 되는 경우가 있으므로 이러한 곳에서는 엄격한 환경하에서 균열을 초기에 보수하여야 한다.

(2) 염화물에 관한 시험

콘크리트 내의 염화물 함유량은 코어에서 시료를 뽑아 경화 콘크리트 내의 염분 분석 시험방법 또는 경화 콘크리트의 배합에 관한 시험자료를 바탕으로 콘크리트 내의 염소이온 함유량을 측정함으로써 구할 수 있다.

이 시험에 있어서 주의해야 할 점은, 염소이온의 측정방법보다 오히려 시료의 채취 및 이온의 추출조건이다. 시료의 채취시 모르타르를 채취하느냐 또는 콘크리트를 채취하느냐를 명확히 하는 것이 중요하다. 또, 추출조건으로서는 탄산나트륨을 용제로써 800℃에서 용해되는 것에서 부터 20℃에서 용출되는 것까지 있다. 따라서, 시험의 목적에 맞게 선택할 필요가 있다.

그외에 사용된 골재가 알칼리에 반응하는 경우를 대비하여 콘크리트 내의 반응성 골재의 유무를 검토하여야 한다. 주로 다음과 같은 경우는 알칼리 반응골재에 기인하는 균열일 가능성이 있다.

- ① 무근콘크리트에서 불규칙적인 망상의 균열이 발생하는 경우
- ② 철근콘크리트, PS 콘크리트에서 강재에 따른 균열이 발생하는 경우
- ③ 균열부에서 백색 또는 투명한 젤물질이 침출하는 경우

이와같은 현상이 보일 경우에는 아래와 같은 조사를 할 필요가 있다.

- ① 균열조사(발생패턴, 밀도, 발견시기, 진행성의 유무 등)
- ② 균열조건조사(건습, 일조, 염분 등)
- ③ 채취코어에 의한 조사(gel, sol, 반응 링의 확인, 해방팽창량 및 잔존 팽창량 등)
- ④ 편광현미경 관찰, X-선 회절시험, 골재안의 반응성 광물의 판정 등
- ⑤ 전자현미경 관찰(콘크리트 내의 반응 생성물의 판정)
- ⑥ 시공기록조사(사용골재의 산지와 종류, 시멘트의 종류 등)

라. 비파괴시험

비파괴 시험은 구조물의 손상이 없이 콘크리트의 강도 및 재료적인 결함

등을 조사할 수 있는 방법이지만 신뢰성에서 문제가 있는 경우가 있으므로 그 사용에는 상당한 주의를 요한다. 일반적으로 사용되는 방법은 표면타격법, 음향적 방법, 전기적 방법, 방사선 및 중성자법, 국부파쇄법, 자기법, 조합법 등이 사용되며, <표 6-12>는 각종 비파괴 시험법의 용도 및 장·단점을 보여주고 있다.

<표 6-12> 비파괴시험법의 용도 및 장단점

	종류	직접측정장치	간접측정장치	장점	단점
타격법	슈미트해머법	반발경도측정	압축강도	측정 간편	측정이 콘크리트 면에 제한 동일지점에 적용 불가
	음향법	공진법	공시체의 공명 진동수	동탄성계수, 동전단 탄성계수, 포아송비, 동결융해저항성, 압축강도	측정 간편 반복 적용 가능
음향법	음속법	초음파의 전파속도 충격파의 전파속도 표면파의 전파속도	콘크리트의 두께 콘크리트 내부 결함 동탄성계수의 측정 압축강도측정	측정물 형상, 치수 제약 적음 반복적용 가능	단독적용시 강도추정 정도가 비교적 좋지 않음
	전기법	전기저항 측정 유전율 측정 자연전기전위 측정	콘크리트의 두께, 밀도, 함수율 측정 콘크리트의 내부 철근의 부식상태 추정	측정이 비교적 용이 동일 공시체의 반복적용 가능	측정정도가 비교적 좋지 않음
천자기법	자기법	철근의 존재에 따른 자기의 변화	철근탐사	측정 비교적 용이 반복적용 가능	원철근의 경우 탐사곤란 깊이 묻힌 철근 탐지가 곤란
	방사선중성자법	방사선투과상황측정	내부결함탐사 철근탐사	콘크리트의 내부상황이 직접 관찰됨	방사선에 따른 위험수반장치가 대형
중성자법	중성자의 감쇄상황	콘크리트 함수량 측정 단위시멘트량 측정	측정정도가 비교적 좋음	방사선에 따른 위험수반장치가 대형	
	관입법	관입깊이 측정	압축강도의 추정	측정 용이	화약사용으로 위험수반 시험 후 보수가 필요
국부파쇄법	인발법	사전에 콘크리트에 설치한 볼트의 인발내력 측정	압축강도의 추정	압축강도 추정이 비교적 좋음	콘크리트 타설전 준비 시험 후 보수가 필요
	국부압축법	측정에 의한 국부의 압축내력 측정	압축강도의 추정	강도 추정정도가 비교적 좋음	시험이 곤란 시험 후 보수가 필요
조합법	음속-슈미트해머법	초음파 음속과 반발경도 측정	압축강도의 추정	단독적용시보다 강도 추정정도가 좋음	강도판정식이 확립되어 있지 않음
	음속-음파감쇄율법	초음파의 음속과 감쇄율 측정	압축강도의 추정	음속법보다 강도추정 정도가 좋음	감쇄율의 추정이 곤란
	동탄성계수 대수감쇄율법	동탄성계수와 대수감쇄율 측정	압축강도의 추정	동탄성계수 측정 보다 강도추정정도가 좋음	측정물의 형상, 치수에 제약을 받음
기타	Microwave 흡수법	수증 감쇄율 추정	함수율 추정	측정 용이	측정정도가 좋지 않음
	표면흡수성 측정법	물 흡수속도, 흡수량 측정	공극률로부터 동결융해저항성 추정	특별한 장비가 불필요	수평부재의 윗면에 적용
	수화도 공극율법	수은압으로 공극률 측정 화학분석으로 수화도 측정	압축강도의 추정	콘크리트 조각으로 강도 추정 가능 강도추정 강도가 좋음	측정곤란
	음향방사법	하중재하시 콘크리트 내부의 발생음 제측	품질추정 하중재하 이력 추정	과거의 하중재하 이력 추정 가능	추정곤란 측정장치가 고가

제6절 개보수공법의 종류 및 특성

저수지의 개보수공법은 노후화의 형태에 따라 결정되어야 하지만 저수지가 노후화됨에 따라 재해의 원인이 뚜렷하지 않은 경우가 많다. 공법의 선정도 단일공법에 의하기 보다는 2~3 가지의 공법을 병행하여 시행하는 경우가 많다. 개보수를 고려하게 되는 저수지의 노후화의 원인으로 다음과 같은 것을 들 수 있다.

(1) 내외사면의 붕괴

사면구배의 부족, 사면보호공의 불완전, 다짐의 불충분, 드레인이 충분치 않아 침윤선이 하류사면에 침출되는 것에 의한 붕괴, 증축 또는 승상의 경우 시공의 불충분함으로 인해 제체의 신·구 부분의 부등침하 및 침수에 의한 것, 파이핑 등에 의한 제체의 일부 滲脫에 의한 것, 배수시설·구조의 불충분, 제체의 양안부분에서의 침출, 노후화 등에 의한 제체의 부분적 침하, 통관으로부터의 침출 등에 의해 붕괴하는 것 등을 들 수 있다.

(2) 여수토의 결괴

여유고의 부족, 단면부족, 관리의 불충분 등에 의한 것.

(3) 제체의 파괴

제체의 월류, 제체의 누수, 통관으로부터의 누수 등에 의한 것

(4) 기타

토사유입에 의한 저수능력의 감소, 산사태 등에 의한 일시적인 수위 상승에 의해 제체가 파괴되는 것.

1. 개보수공법의 원인에 따른 분류

가. 제체의 단면 부족

제체의 여유고가 부족하거나 제체단면이 부족하여 구조상 불안정한 것 등이 있다. 여유고 부족에 의한 것은 여수토 단면을 확폭하여 계획홍수위의 저하를 도모하거나 제체를 증축 또는 승상한다. 제체단면부족에 대해서는

파랑에 의한 상류사면 보호공의 파손, 사면침식, 우수, 누수 등에 의한 하류 사면의 침식 등에 의해 제체가 약체화되는 것, 또는 정부폭 부족, 사면구배가 급경사이기 때문에 불안정해지는 것 등이 있다. 여기에 사용될 수 있는 공법으로는 축성토(상고)공법과 함께 상하류 사면보호공법, 경사면 개보수공법, 법면보호사석 보강공법과 같은 것을 들 수 있다.

나. 제체 및 주변 누수

제체내, 제체와 기초지반 혹은 양안과의 경계, 통관주변, 기타 여수토 기초로부터의 누수 등이 있다. 이 가운데 제체로부터의 파이핑 현상을 발생시킬 수 있는 누수는 특히 긴급조치를 취할 필요가 있다. 또, 침윤선이 높기 때문에 하류사면의 아래쪽이 팽윤되어 있는 상태도 누수에 준한 것이다. 여기에 사용될 수 있는 공법으로는 그라우팅공법, 경사형 코어 및 축성토공법, 표면차수벽공법, 지하연속벽공법, 전면포장공법 및 기초 지반 개량을 들 수 있다.

다. 여수토

과거에 축조된 저수지는 대부분이 현재의 기준에 적합하지 않는 통수단면을 갖는 것이 많다. 지금까지 결피저수지중에서 여수토 능력부족에 의한 제체월류에 의해 결피되는 예가 많았던 것이 그 이유이며 그 만큼 여수토의 기능은 제체의 안전에 특히 중요하다. 따라서 노후화되고 파손된 것, 단면이 부족한 것 등을 개보수해야 된다. 여기에 사용될 수 있는 공법으로는 여수토 확장공법, 보강공법 같은 것을 들 수 있다.

라. 취수시설 및 통관

취수시설, 통관, 문비, 밸브 등의 개보수 및 보강공법은 취수시설이 노후화되고, 저통이 파손되어 있는 경우, 그리고 취수문을 닫아도 물이 새는 경우, 사통 부근 제체가 침식되거나 기초지반의 부동침하에 의해 문비, 밸브

조작이 곤란한 것 등에 대한 대책공법으로 사용할 수 있다.

마. 퇴사문제

저수지를 축조하면 상류측의 하천유역이 변화하여 퇴사현상이 일어나게 된다. 퇴사현상은 모래 및 자갈 등의 골재원이 되는 이점도 있으나 저수능력 감소로 인하여 저수지 본래의 목적인 이수 및 홍수조절, 방재기능을 저하 또는 상실하게 하며 퇴사가 계속되면 저수지 부속 구조물의 기능 장애를 일으키기도 한다. 또한 홍수위가 상승하여 상류지역의 피해를 유발할 수도 있다. 이러한 퇴사문제는 저수지 축조이전에 취할 수 있는 대책과 퇴사가 발생한 저수지에 대한 대책으로 나눌 수 있으나 여기에서 다루는 내용은 후자로 준설공사, 배사공 설치, 계류 및 호안정비 공사 등을 고려할 수 있다.

2. 개보수공법의 종류 및 특징

가. 축성토공법

축성토공법은 축조부의 중앙부에 경사형 점토 코어를 설치하여 차수하고 근처에서 구득하기 쉬운 재료에 의하여 성토·승상하는 공법이다. 코어재료로는 통일분류법에 의해 GC, SC, CL, GM, SM, CH가 재료로서 적합하며, 일반적으로 0.05 mm이하의 입자를 15~20% 함유한 입도가 좋다.

축성토는 주로 하류측에 시공하며 성토두께는 최소수평폭을 1.5~3.0 m로 하여 시공기계 운행상 지장이 없는 정도의 폭으로 한다. 축성토의 굴삭폭과 깊이는 지질조사 결과로부터 결정한다. 구제체와의 접합부는 구제체를 0.5~1.0 m간격으로 계단을 두어 다짐을 충실히 할 수 있게 하고 수위급강하시 상류사면의 활동을 방지한다. 코어위의 흙 두께는 1.0~2.0 m이어야 코어를 보호한다. 불투수성 지반까지 굴삭하며, 기초가 깊은 경우에는 그라우팅 공법, 차수공법 등을 검토한다. 시공에 대해서는, 사면붕괴가 일어나기 쉽기 때문에 충분히 전압을 하고, 하단에 무거운 재료로 압성토를 실시하는 것이 좋다.

나. 지수벽 또는 지수 트렌치

불투수성 지반이 낮으면 지수트렌치를 굴착하여 불투수성 재료로 흙쌓기를 하지만, 불투수층이 깊은 경우 지하연속벽 등을 고려해 볼 수 있다. 지수연속벽은 두께 60cm 정도의 트렌치를 파고 고농도의 슬러리를 순환시켜 슬러리 벽을 만들거나 강널말뚝을 타설하여 시공한다. 수평지수공법으로 저수지의 바닥 등에 현장아스팔트 뿔어붙이기, 우레탄 고무시트를 포설하는 특수블랭킷공법도 있다. 또한 토목섬유(예, Polyethylene film) 등을 포설하여 차수한 시공에도 있다.

다. 상류면 사면보호공

보호공이란 파랑에 의해 제체가 침식되고, 저수위 급강하시에 재료가 유출되지 않도록 보호하는 것이다. 보호공은, 주로 사석, 장석, 콘크리트 블럭 등에 의하여 표면차수벽형을 설치하여 사면 보호와 지수를 겸할 수도 있다. 부근에서 손쉽게 구할 수 있는 재료를 사용할 수 있도록 검토할 필요가 있다. 보호공으로 가장 많이 사용하는 것은 사석이지만, 유용암 등을 부근에서 얻을 수 없을 경우 콘크리트 블럭이 이용된다. 콘크리트 블럭은 6~8 개/m², 25~30 kg/개로 표면은 평탄하지 않는 것이 좋다. 블럭하부에는 20~30 cm 두께로 空張으로 한다. 보호공 하단은 콘크리트 등에 의한 이탈 등을 방지하기 위해 소단을 두며, 사석을 실시하는 것이 요망된다.

<표 6-13> 축성토와 그라우팅 공법과의 비교

사항	축성토공법	그라우팅공법
누수 상황	제체로부터의 누수가 전반적이고 누수량이 많은 경우	① 누수경로가 명확하고 누수량이 적어 1개소에 모여 있는 경우 ② 누수가 지산과의 접촉부 혹은 저통 등의 구조물 주변인 경우
제체 단면	① 단면부족 또는 여유고 부족으로 제체의 단면정형증축을 동시에 시공하는 경우 ② 사면보호공과 동시에 시공하는 경우	제체단면이 그 상태 그대로 止水만을 목적으로 하는 경우
제고	비교적 낮은 경우	비교적 높은 경우(개략 10m이상)
코어	부근에 적당한 점토가 있는 경우	재료의 입수가 곤란한 경우
시공 일수	시공일수가 짧은 경우	년중 가능
시공 년도	1년내에 시공가능	2~3년이상 상태를 볼 필요가 있다
효과	효과가 확실	2~3년이상 상태를 볼 필요가 있다
공비	적산이 용이	예정액의 견적이 곤란
기타	① 사통 등의 이설을 수반 ② 점토코어를 사용하기 때문에 누수문제가 해결된다 ③ 시공이 용이	① 고도의 숙련기술을 요구 ② 제체가 도로 등을 겹하고 있는 경우는 不適 ③ 비교적 지진에 약하다

라. 그라우팅 공법

제체를 보수하는 방법으로 가장 확실한 방법은 위에서 언급한 축성토 공법이다. 축성토공법과 그라우팅 공법을 비교하여 <표6-13>에 정리하였다. 그러나, 공사비, 시공 제조건, 효과, 주변의 재료구득 등을 검토하여 다음과 같은 경우에는 그라우팅 공법을 검토하는 것이 타당하다.

- ① 코어용 흙을 현장 부근에서 필요량 만큼 확보할 수 없는 경우
- ② 제체 용적이 크고, 굴착, 성토량이 상당히 많다고 예상되는 경우
- ③ 시공기간에 제약을 받는 경우
- ④ 축조시의 지수공법이 중심코어형이라고 생각되는 경우

또한, 그라우팅 공법의 특징은 다음과 같다.

- ① 그라우팅은 넓은 장소에 포설되기 때문에 그 효과의 판정이 어려워 숙련자에 의해 시공되어야 한다.
- ② 일반적인 것은 압력을 저수압×1.5 한도로 하고, 정압정량 0.02 l/min/m가 되게 종결한다.
- ③ 공동이 예상되는 경우에는, 먼저 모래 등으로 채우고 그 전후를 모르타르를 주입하여 고결시킨다.
- ④ 투수계수가 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ cm/sec의 경우, 모르타르를 주입하는 것이 좋고, 간극이 적은 경우 시멘트에 벤토나이트 또는 점토, 점토와 벤토나이트를 혼합하여 주입하는 것이 좋다. 유속이 빠르거나 채우는 작업이 곤란한 경우에는 약액주입이 있지만 비용이 높기 때문에 이용되지 않는다.
- ⑤ 침윤선 하류면 침출이 일정수위 이상으로 나타날 경우 제체 하부는 양호하다고 판단되기 때문에 그 저수위와 침출면이 만나는 선의 약 2m 아래까지 제정으로부터 그라우팅을 행하는 것이 효과적이다.

마. 제체보강 공법

- ① 측성토와 증축공을 동시에 시행하는 경우에 증축고는 2m 이하인 경우가 많으며 구저수지의 코어를 연결하여 설계한다.
- ② 제정폭에 여유가 없는 경우에는 임의의 측면사면에 성토를 실시한다. 측성토와 동시 시공하는 경우에는 당연히 상류측 사면에 성토하는 것이 좋다. 그렇지 않은 경우 사면의 성토를 상류측 또는 하류측에 시공하는 것에 대한 결정은 공사시기와 저수지의 담수시기, 지형 등에 의해 결정한다.
- ③ 어떠한 경우에도 접합부의 止水를 확실히 하여야 하며 새로이 연결되는 부분의 안정성을 충분히 확보하기 위하여 계단식으로 성토하고 충분히 다지는 것이 필요하다. 특히 하류측 사면성토에는 배수공 등을 동시에 설계

하여, 침투수를 빠르게 제거하는 것이 필요하다. 성토사면을 급하게 하여야 할 경우에도 구저수지의 사면에 얇은 재료를 넓게 포설하는 공법은 절대적으로 피하는 것이 좋다.

바. 여수토 개량공법

여수토의 개량공사는 통수능력이 부족하여 개량하는 경우가 대부분이며 상당한 공사비를 필요로 하기 때문에 배제기능이 확실하고 안전하며 경제적이고 유지관리가 용이한 공법을 선정해야 한다. 이 때문에 직접개보수로 방식이 좋으나 부득이 한 경우 관수로 형식을 택하기도 하나 이 때는 충분한 유량의 여유를 주어 설계하도록 한다. 때로는 간단히 하류방수로를 깎아 배제능력을 크게 하는 방법, 양안 혹은 제체의 일부를 낮춰 비상여수토의 기능을 얻는 방법 등도 검토한다.

조절식 여수토는 완전한 유지관리 및 원활한 수문 조작이 기대될 수 있는 경우에 사용하고 그렇지 않을 경우에는 비조절식을 택하는 것이 원칙이다.

비조절식 여수토에는 개보수로 형식으로 자유낙하식, 월류식, 옆도랑식, 슈우트식이 있고 특히 홍수배제능력 증대방법으로는 여수토연장방안, 일류수심증대방안, 일류유속증대방안등이 있으며, 관수로 형식으로는 터널식, 선굴식, 암거식, 사이편식이 있으며, 조절식물넘이에는 힌지보, 슬루스 게이트, 롤러게이트, 테인터게이트, 고무댐 등이 있다.

형식의 선정에는 조절시설의 유량특성, 기상, 홍수의 빈도와 특성, 방류에 대한 제약, 유지관리의 가능성 등에 의해 결정된다.

여수토 개보수에 있어 일반적인 유의사항은 다음과 같다.

- ① 여수토가 제체에 있는 경우 여수토 기초로부터의 누수에 주의하고 울석 등은 넣지 않는다.
- ② 설계홍수량에 대해 이상홍수량(설계홍수량×1.2)에 대해서도 능력을

검토해야 한다.

- ③ 방류수로에 접속하는 감쇄공 및 하류배수로와의 연결 등에 대해서는 제체에 대한 안전성을 검토하여 설계한다.
- ④ 설계홍수량의 월류수심은 대체로 0.8 m 정도이다.
- ⑤ 여수토의 조절부, 방류수로 등은 지형에 맞게 직선형으로, 방류수로의 단면은 장방형으로 하는 것이 좋다. 유수가 상류부분에서는 반경이 수면폭의 10배 이상 되도록 하는 것이 좋고, 만곡부는 수위상승에 대해서도 충분한 여유가 있어야 한다.
- ⑥ 방류수로의 원지반과의 접촉부에서는 배수구, 물뽑기 및 양안절토(암)의 붕괴에 대해서도 충분히 검토해야 한다.

각공법의 특성을 살펴보면 다음과 같다.

- ① 슬루스 게이트 : 철제판 또는 목재로 만든 문비형식으로 수위차가 크지 않을 때 사용한다.
- ② 롤러 게이트 : 문비를 개폐할 때 물의 충격으로 생기는 마찰계수를 작게하기 위하여 문비가 넓고 수압이 적은 경우 롤러를 부착하여 설치하며 누수를 방지하기 위하여 수밀고무 또는 목재를 붙여 사용한다.
- ③ 테인터 게이트 : 강철로 만든 원호형의 문비와 핀으로 구성되며 보기등으로 지지된다. Roller gate 보다 무게가 가볍고 공사비가 저렴하다. 결점으로는 길이가 긴 문비를 만들 수 없다.
- ④ 기타 : 그외의 공법으로 고무댐, 여수토 연장공법, 일류수심 증대공법, 일류유속 증대공법 등이 있다.

사. 취수시설 개보수공법

(1) 저통의 개보수

개보수의 정도에 의해 많은 공법이 있지만 반드시 비교설계 등을 행하는

것이 필요하다. 특히 제체의 개보수와 함께 실시되는 경우가 많기 때문에 이러한 공법과 연관하여 검토해야 한다. 저통이 저수지의 최대 약점이 되는 예가 많으므로 설계 및 시공에 많은 주의를 해야 한다. 또한 저통이 2~3개 소로 나뉘어 있는 경우는, 장래의 유지관리 등도 고려하여 될 수 있는 대로 통합하는 것이 좋다.

① 개착공법 : 제고가 낮은 경우는, 제체를 개착하여 구시설을 제거하고 신시설로 하는 방법이 일반적이며 경제적이고 시공도 용이하다. 재료는 일반적으로 흙관으로, 철근콘크리트로 하고 구경은 취수공의 3~4배가 적당하며 통상 400~600 mm 이상으로 한다. 기초처리에 있어서는, 집중응력을 발생시키는 말뚝기초 등의 부분적인 고정대는 원칙적으로 좋지 않다.

관체의 이음부는 부동침하의 염려가 없는 암반등에 놓는 경우를 제외하고 신축이음구조로 한다. 통관의 침투수를 방지하기 위해 수밀한 플라스틱을 사용하여 관체와 고정되어 있지 않은 지수벽을 만들어야 한다.

② 압입공법 : 제고가 높아 개착공법에 의할 경우 토량이 많게 되는 경우에는, 압입공법(Pipe Jacking), 양안에 터널을 뚫는 방법이 유리한 경우가 많다. 이러한 경우는 지질조사를 충분히 실시할 필요가 있다. 이때, 구저통은 완전히 폐쇄해야 한다.

(2) 사통의 개보수

취수는 사통형식으로 전면적 개보수하는 것이 많지만 지형, 수리관행 등으로 간단히 취수탑 형식의 것으로 하는 경우도 많다. 이러한 것은 구시설, 저통과의 관계 등으로부터 공사방법이 제한되지만 장래의 유지관리를 고려하여 결정한다. 사통의 형식은 원칙적으로 양호한 지반에 만들지만 부득이 제체상에 만들 경우 제체의 압밀침하에 대처할 수 있는 구조로 한다. 일반적으로 흙관 등을 철근콘크리트로 전부 보강하고, 그 구경은 취수공의 1.5~2배로 하며 취수공의 배치, 형상은 취수량, 관리등을 고려하여 결정한다. 관내의 부압에 대처하기 위해 충분히 공기공을 만들어 둔다. 사통과 저통부분

의 접합은 충분히 주의하여야 한다.

아. 퇴사 대책공법

저수지내의 퇴적토사부분의 방제대책으로는 준설, 굴착, 분류사용에 의한 활용 등 적극적인 방법과 배사문, 배사관, 개보수로 등을 이용한 배제 방법과 계류공사 등을 들 수 있다.

(1) 준설 및 굴착공법

준설 및 굴착은 갈수기를 이용하여 육상굴착하는 방법으로 자갈 모래 등 골재의 채취를 겸해 실시할 수 있다. 대규모 저수지에서는 준설선을 이용하여 준설, 굴착, 운반, 분류등 시스템화 하여 처리할 수 있다. 분류된 자갈 모래 등은 골재로 이용할 수 있으며, 실트질이 많은 흙인 경우 객토용으로도 사용 가능하다.

(2) 배사공법

제체를 통한 퇴사배제는 제체 부근에 퇴적토사의 입도에 따라 각기 다른 방법을 사용할 수 있다. 특히 자갈등 입도가 큰 경우 용수로를 통한 홍수 배사방법과 배사관에 의한 방법을 사용할 수 있다. 배사관을 이용할 때 배사관을 이동 또는 연장하면서 배사관 전면의 퇴적토사를 와류로 만들어 배사할 수 있다. 퇴적된 실트나 점토는 사이편식 배사법 또는 월류배사법도 사용할 수 있다.

(3) 溪流工法

저수지 상류의 유역 보전, 관리 등에 의해 유입토사를 조절하는 것이 선결 문제이며 상류측 하도에서 조절 방지 대책으로 溪流工事 즉 호안공, 사방댐, 밀다짐공 등을 건설할 수 있다. 저수지 상류에서 퇴사를 막기 위해 시행할 수 있는 적극적인 방법으로 침사제로서의 사방댐, 복합댐, 식생울타리를 설치할 수 있고 공사비가 고가인 결점이 있으나 퇴사를 바이패스(Bypass)로 배제하면 홍수시 토사유입을 방지하여 토사조절에 효과가 있는 물론 홍수시 임시 물넘이로 겸용될 수 있어 저수지 안전에 기여할 수 있

다. 또한 적합한 배사시설을 설치하여 제외로 빼내는 방법을 사용할 수 있다.

제7절 저수지의 개보수의 계획 및 설계

1. 계획수립의 방침

현황조사 결과로부터 그 대책을 검토하는 것이 계획에서 행해야 하며, 계획수립에 있어서는 다음과 같은 사항에 유의하여야 한다.

- ① 기술적, 경제적 제조건에 의한 종합판단 결과에 의하여 가장 타당한 안을 선정한다.
- ② 각 계획안에 대한 설계시공, 공사비에 대하여 유효 적절한 근거를 아주 명확히 한다.
- ③ 저수지 개보수시 미개보수 시설에 대해서도 동시에 검토해야 한다.
- ④ 시설의 계획, 설계에 있어서는 장래의 유지관리 등을 고려해야 한다.
- ⑤ 시공기간은 비관개시기(가을~봄)에 실시되는 것이 많음을 고려하여 시공방법을 검토한다.
- ⑥ 계획설계는 각 기준에 의한다.
- ⑦ 국토보전의 방재입장에서 고려하여 비효과적인 사업에 대하여는 별도의 계획을 수립한다.
- ⑧ 주변의 발전, 장래의 계획을 고려하여 검토한다.

2. 수문계획

노후 저수지의 제체단면 또는 여수토의 능력을 검토하기 위한 설계홍수량의 산출은 설계강우량으로부터 구하는데, 설계강우량은 100년 확률강우 또는 기왕의 최대강우량 중에서 큰 쪽의 1.2배 정도이다. 100년 확률강우량(일강우량, 24시간 강우량)의 입수는 한정되기 때문에 장기자료로부터 임의

의 방법에 의해 구하지만 근접지역의 타사업 등과도 비교검토하여야 한다.

3. 주요 공사계획

계획에 있어서는 각 부분에 따라 세밀한 정도를 필요로 하며, 계산수량에 의한 공사비 등을 비교하여 검토한다.

가. 제체로부터의 누수방지

제체로부터의 누수방지 공법은 일반적으로 축성토 공법과 그라우팅 공법이 있다. 어느 것을 채용하는가에 대해서는 양자의 특징비교, 수리관행상의 이유 등을 고려하여 결정한다. 단순히 근접지역의 실적 예를 참고하여 결정하는 것은 무리를 수반한다. 그러나, 근접지역의 시공단가 등을 비교·검토하여 경제성을 반드시 고려하여 설계하여야 한다.

기타 공법으로 아스팔트계, 폴리에틸렌계, 염화비닐계 등의 얇은 막을 늘려 지수효과를 기대하는 것도 있지만 시공실적이 적다. 시공의 용이성으로 장래에 많이 이용될 가능성도 있지만 현시점에서는 내구성(파손), 저수위의 급변화 등에 대하여 결점이 있다.

따라서, 앞 절에서 언급된 누수방지를 위한 각종 공법을 비교·검토하여 현장조건과 부합하는 공법의 선정이 되도록 계획한다.

나. 제체의 증축

여유고의 부족을 보완하는 제체의 증축은 일반적으로 축성토 공법과 병행하여 승상하는 경우가 많은데, 이 때에는 앞서 설명한 승상의 세부사항을 검토하여 계획한다.

다. 여수토의 개보수

종래의 저수지 대부분은 여수토가 극단적으로 작거나 긴 경우가 많지만, 유역의 유출률의 변화, 강우강도의 증가 등 장래 유출량의 변화를 고려하여

개보수할 필요가 있다. 여수토의 개보수는 지형, 현시설의 상황, 개보수정도 등에 의해 일률적이지는 않지만, 설계기준을 참고하여 계획한다. 때에 따라서는 사이판 등의 별도의 구조물이나 테인터케이트 등의 설치 등도 검토하여 종합적으로 판단하여 계획한다.

라. 취수시설

사통, 복통의 보수에 대해서는 제체를 절개하여 구관을 제거하고 신관을 재설치하는 방법, 압입공법, 관내에 직경이 작은 관을 삽입하는 방법 등이 있다. 관의 경사는 종래의 구조적인 측면 뿐만아니라 유지관리 측면도 고려하여 구조를 계획한다. 또한, 현재의 취수시설 개보수공사의 시공실적 등을 참고한다.

4. 설계

높이 15 m 이상의 저수지에 대해서는 안정계산을 행한 결과에 의하여 검토하지만 15 m 이하의 저수지는 반드시 안정계산을 할 필요는 없다. 설계시에는 설계기준을 참고하고 저수지의 개보수에 대해서는 다음의 사항을 유의하여야 한다.

① 제체의 표준단면 결정

총저수량은 종전의 총저수량을 원칙으로 한다. 단, 장래의 개발계획이나 용수의 수급계획이 확립되어 수요를 충족하지 못하는 경우는 추정된 총저수량을 기준으로 제체단면을 결정한다.

- i) 총저수량으로부터 상시만수위를 결정한다.
- ii) 상시만수위에 홍수 월류수심을 더하여 설계홍수위를 결정한다.
- iii) 설계홍수위에 여유고를 더하여 제정표고를 결정한다.
- iv) 제고, 제체재료 및 기초지반의 상황으로부터 제정폭, 댐의 형식, 사면구배를 결정한다.

② 여유고의 결정

여유고가 부족한 경우에는 단순히 증축만을 계획하지 말고 여수토의 월류수심 등도 함께 검토하여야 한다.

i) 풍파고가 1.0 m 미만인 경우

$$\text{여유고} = 0.05 H + 1.0 \text{ (m) 이상}$$

여기서 H는 기초지반으로부터 설계홍수위까지의 높이(m)

따라서, 제고가 5.0 m미만의 저수지에서는 홍수량이 적은 것에 대해 최소 1.0 m로 할 수 있다.

ii) 풍파고가 1.0 m이상인 경우

$$\text{여유고} = 0.05 H + 1.0 \text{ (m)}$$

③ 제정폭의 결정

$$\text{제정폭} = 0.2 H + 2.0 \geq 3.0 \text{ m}$$

따라서, 제고가 5.0 m 미만의 댐에 대해서는 최소 3.0 m로 할 수 있다.

④ 사면구배의 결정

아래의 규정을 적용하되, 상류측은 2~3할 정도, 하류측은 2~2.5할로 하는 것을 원칙을 한다. 그러나, 제고가 10 m이하인 경우에도 1.5할 이하는 좋지 않다. 또한, 제체가 전단저항이 적은 재료 등으로 축조된 경우 및 지반이 나쁜 경우에는 3할이상으로 하고 압성토 등을 설계하여 안정성을 확보하여야 한다.

i) 제고가 10 m미만의 저수지

$$\text{상류구배 } n = 0.06 H + 1.5 \text{ 할}$$

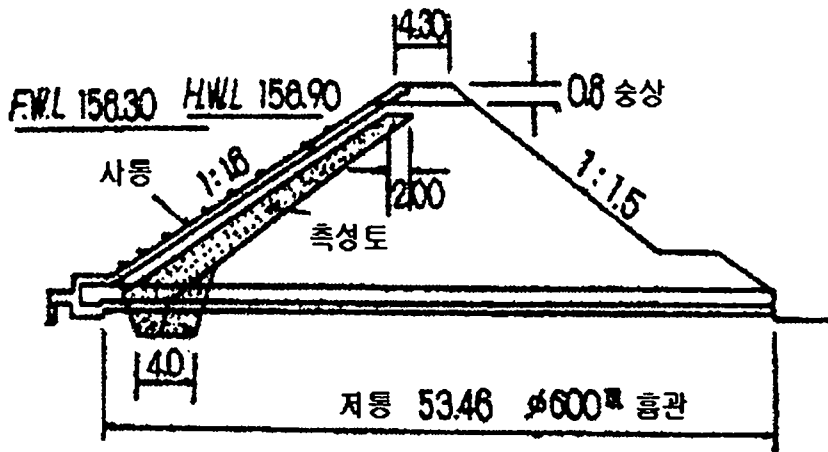
ii) 제고가 10~15 m의 저수지

$$\text{상류구배 } n = 0.18 H + 0.3 \text{ 할}$$

iii) 하류구배는 2.0 ~ 2.5할로 고려한다.

⑤ 축성토 공법의 표준단면 및 제원

축성토형의 표준단면은 다음에 나타난 바와 같지만, 각 부분의 제원은 제체의 규모, 축제재료, 기초지반의 상황 등을 고려하여 결정한다.



<그림 6-1> 축성토공법의 표준단면

⑥ 상류사면 보호공

제정으로부터 저수위의 1/2까지를 원칙으로 하고, 방호공의 하단에는 소단을 설치하여 세굴, 활동을 방지한다. 따라서 방괴석이 약한 곳이나 저수위 수위변동이 심한 곳에는 하단까지 방호공을 넣는 것이 좋다.

- i) 장블럭공 : 1/2 저수위 ~ 설계홍수위 + 풍파고
- ii) 장지 : 설계홍수위 + 풍파고 ~ 제정
- iii) 파지보호공은 장블럭 9 cm를 사용한다.
- iv) 필터의 두께는 15 cm로 한다.

⑦ 여수토

개보수하는 경우의 여수토 정부는 종래의 만수위까지로 한다. 즉, 여수토의 하류배수로에 대해서는 제체에 지장을 미치는 경우에 개보수하는 것을 원칙으로 한다. 또, 주변의 여전상 여수토의 확대가 불가능한 곳에서는 게이트 또는 사이펀 등에 대한 것도 검토하여야 한다.

계획에서 전술한 바와 같이 제체 상류면에 불투수성 코어용토를 잇는 축성토 공법과 제당축상에 행하는 그라우팅 공법이 대표적이다. 이러한 공법의 선택에 있어서는 공사비, 시공 제조건, 효과에 의해 이루어지지만 시공상황을 확실하게 확인할 수 있는 축성토 공법이 효과적이다.

그라우팅을 검토하는 경우의 판단근거는 코어용 재료가 현장부근에서 필요량을 확보하지 못하는 경우, 제체 용적이 크고, 굴삭, 성토량이 상당히 많다고 판단되는 경우, 시공기간에 제약되는 경우, 축조시 지수공법이 중심코어형이라고 생각되는 경우 등에 한하며, 이들 공법의 비교는 <표 6-13>을 참고하기 바란다.

코어용 재료는 통일분류법에 의해 GC, SC, CL, GM, SM, CH가 재료로서 적당하며, 이것은 일반적으로 0.05 mm이하의 입자를 15~20% 함유하는 입도가 좋다. 점토, 실트, 모래, 사력의 혼합물이 가장 효과적이다.

가. 제체의 증축

- ① 축성토와 증축공을 동시에 시행하는 경우에 증축고는 2 m 정도이하는 경우가 많으며, 구저수지의 코어를 연결하여 설계한다.
- ② 제정폭의 여유가 없는 경우에는 임의의 측면사면에 복부성토를 실시한다. 축성토와의 동시 시공의 경우에는 당연히 상류측 복부성토에 의하지만 복부를 상류측으로 할 것인지, 하류측으로 할 것인지의 여부는 저수지 낙수기간, 지형 등에 의하여 결정한다.
- ③ 어떠한 경우에도 접합부의 차수는 확실하게 하고, 새로이 연결되는 부분의 안정성을 충분히 확보하는 것이 필요하다. 특히, 하류측 복부

성토에는 배수공 등을 설계, 침투수를 빠르게 배수하여야 한다. 성토 사면을 급하게 할 경우에는 구저수지의 사면에 얇은 재료를 넓게 포설하는 일은 절대적으로 피해야 한다.

나. 여수토

- ① 여수토의 확장공사는 상당한 공사비를 필요로 하기 때문에 최소한의 공법을 검토하여야 한다. 이 때문에 하류방수로로 깎아 배제능력을 크게 하는 방법, 산사태 또는 제체의 일부를 낮추어 비상여수토의 기능을 얻는 방법 등도 검토하여야 한다. 여수토의 개보수에 있어 일반적인 유의사항은 다음과 같다.
- ② 여수토가 제체에 있는 경우, 여수토 기초로부터 누수에 주의하고 울석 등은 넣지 않는다.
- ③ 설계 홍수량에 대해 이상홍수량(설계홍수량×1.2)에 대하여 능력을 검토하는 일
- ④ 방수로에 접촉하는 감쇄공 및 하류배수로와의 취급에 대해서는 제체에 대한 안정성을 검토하여 설계한다.
- ⑤ 설계홍수량의 월류수심은 대체로 0.8 m 정도이다.
- ⑥ 여수토의 조절부, 방수로 등은 지형에 맞게 직선형으로, 방수로는 장방형이 요망된다. 유수가 상류상태의 부분에서는 반경은 수면 폭의 10배 이상, 만곡부는 수위상승에 대해서도 충분히 검토하여야 한다.
- ⑦ 방수로의 양안 측벽부에 있어서는 배수구, 물뿜기 및 양안절토(암)의 붕괴에 대해서도 충분히 검토하여야 한다.

다. 취수시설

(1) 복통의 개보수

개보수의 정도에 따라 많은 공법이 있지만 반드시 비교설계 등을 행하는 것이 필요하다. 특히, 복통이 2~3 개소로 나뉘어 있는 경우는 장래의 유지

관리 등도 고려하여 될 수 있는 한 통합하는 것이 좋다.

① 개착공법 : 제고가 낮은 경우 제체를 개착하여 구시설을 제거하고 신 시설로 하는 방법 등이 일반적이며 또한 경제적이고 시공도 용이하다. 재료는 일반적으로 흙관으로 철근 콘크리트로 하고 구경은 취수공의 3~4배가 적당하며, 통상 400~600 mm 이상으로 한다. 기초처리에 있어서는 집중응력을 발생시키는 말뚝기초 등의 부분적인 고정대는 원칙적으로 좋지 않다. 관체의 조인트는 부등침하의 염려가 없는 암반 등에 놓는 경우를 제외하고 수축조인트로 하는 관절구조로 한다. 복통의 침투수를 방지하기 위해 수밀한 플라스틱을 사용하여 관체와 고정되어 있지 않은 지수벽을 만드는 것이 필요하다.

② 압입공법 : 제고가 높아서 개착공법으로는 토량이 많게 될 경우 압입 공법, 양안에 터널을 뚫는 방법이 유리하다. 이러한 경우에는 지질조사를 충분히 실시할 필요가 있다. 또한 구통관은 완전히 폐쇄시켜야 한다.

(2) 사통의 개보수

취수는 사통형식으로 전면적으로 개보수하는 것이 많지만, 지형, 수리관행 등으로 간단히 취수탑 형식의 것으로 하는 경우가 많다. 이러한 것은 구 시설, 복통과의 관계 등으로부터 한정되지만 장래의 유지관리를 고려하여 결정한다. 사통의 형식에 있어서 일반적인 유의사항은 다음과 같다. 원칙적으로 양안의 양호한 지반에 만들지만 부득이 하게 제체상에 만들 경우 제체의 압밀침하에 대처할 수 있는 구조로 한다. 일반적으로 흙관 등을 철근콘크리트로 보강하고 그 구경은 취수공의 1.5~2.0로 한다. 취수공의 배치, 형상은 취수량, 관리 등을 고려하여 결정한다. 관내의 부압에 대처하기 위해 충분한 공기공을 만들어 둔다. 사통과 복통의 박스부분의 접합은 충분히 주의하여야 한다.

제8절 개보수 사례연구

현재 실시 중인 공법의 경향은 누수방지 공법으로서 축성토 공법이 약 75%를 차지하고 있으며, 여수토는 슈트식 여수토가 약 90%, 복통의 개보수에 있어서는 약 95%가 굴착공법이다. 또, 복통의 개착공법 중에서 약 75%가 축성토 공법과 병행하고 있다. <표 6-14>는 현재 일본에서 개보수한 저수지의 원인별 보수경향을 보여주고 있다.

<표 6-14> 원인별 개보수 보강의 경향(145 지수대상)

공법 구분		저수지수	비율(%)	
누수방지	축성토공	87	71	
	그라우팅공	27	22	
	그라우팅 + 축성토	6	5	
	기 타	2	2	
호안	블 록	97	53	
	기 타	87	47	
여수토	축구식	15	54	
	급류식	13	46	
취수시설	취수형식	사통	111	89
		복통	13	10
		기타	1	1
	복 통	개착	114	95
		압입	1	1
		기타	5	4

1. 일반적인 예

가. 축성토 공법

(1) 대규모 노후저수지(兵庫縣, 高室地區)

i) 개요 :

- 수익면적 52 ha, 상정피해액 150 ha(326,600 천엔), 공기 41~42년, 총 사업비 37,700 천엔

- 저수지 규모 : 제고 13.5 m, 제장 106 m, 저수량 425 천 m^3 , 유역 85 ha

- 기초 : 석영반암, 사력질 점토,

- 축조 경과년수 : 약 300 년

ii) 노후 현상조사

- 제체의 전사면 침식, 제체 하류사면으로부터 전면적으로 누수(12 ℓ /sec), 복통의 부식에 의한 제체함몰(응급공사 실시). 이 때문에 저수능력의 감소 초래

- 조사 : 보링 12 개소, 투수시험 9 개소, 표준관입시험 4 개소, 토질시험 1식 실시, 현 제체의 토질, 중축 등의 검토, 기초지반의 확인 등을 기초자료로 활용

iii) 계획 :

- 개보수기간 : 11 월 ~ 3 월의 갈수기를 채택

- 재료 : 저수지 부근에서 흙과 기타 재료를 구득

- 호안 : 블럭으로 보강

- 통관 : 기설 3 개소를 1개소로 통합, 제체 개착에 의한 흙관의 매설과 터널공법과의 공사비 비교결과로부터 우안양안에 터널을 건설하고 이에 사통을 신설함.

- 여수로 : 배수능력이 부족하기 때문에 좌안양안에 이설하고 말단수로와 연결

iv) 설계시공 :

- 제체의 설계치수는 낮은 댐기준에 의거하여 <그림 6-2>와 같다.

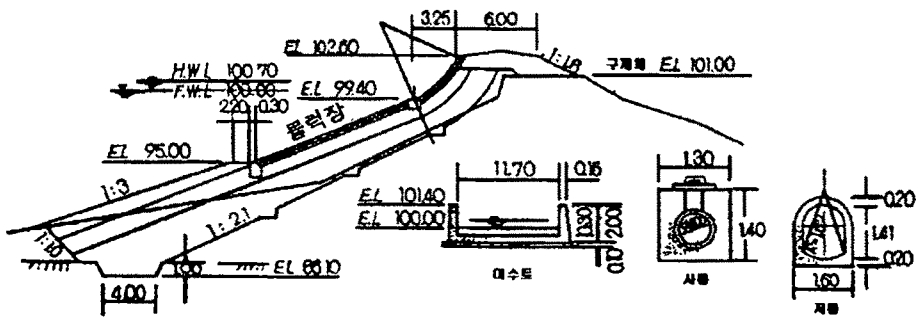
- 시공은 기계시공으로 하고 크렘셜 0.3 m^3 (17.0 m^3/h)으로 파고, 2 t 덤프트럭으로 사토

축제토는 토취장에서 트랙터 셔블 1.3 m^3 (15.8 m^3/h)으로 굴삭하여 2 t 덤프트럭으로 운반하여, 5 t 불도우저로 0.2 m 두께로 포설하여 15 t 로울러로 두께 0.12 m가 되도록 다짐을 한다.

복통은 취수량 0.16 m³/s로, 사통은 흡관 ϕ 500 mm 콘크리트로 하고 취수공은 ϕ 250mm, 복통의 터널은 최소단면으로 하고 굴삭은 1.6 m/min의 콤팩터를 사용하며, 버럭처리는 0.6 m³의 토운차 2대로 하였다. 구통관의 그라우팅으로 폐쇄하였다.

여수토는 계획 강수량 55.1 mm/h, 유출량 80 %, 홍수량 12.6 m³/s, 월류수심 0.7 m, 장방형 단면의 철근콘크리트 슈트 형식의 여수토로 한다.

그 외 가설공사로는 가설도로, 믹싱 플랜트 등을 만들었으며, 공기는 2년으로 첫해는 취수시설공사를 실시하고, 다음 해는 여수토 공사를 실시한다. 시공으로는 용토전압이 동절기에 있기 때문에 작업일수의 제약을 받으며, 가설도로의 결빙으로 인한 미끄럼, 채토자의 변경(용지보상 문제) 등의 문제가 있다.



<그림 6-2> 제체의 실제 단면도

(2) 노후저수지(福井縣, 佐生地區)

- 코어에 벤토나이트 혼입 예

제고 12.5 m, 제장 65 m, 저수량 37천 m³, 저수지 경과연수 약 350년, 기초지질은 점토.

약 50년전에 취수시설 증축 등의 보수를 실시하고 있지만 근년에는 누수가 극심해졌고, 복통의 일부가 침하하여 취수불능이 되었다. 제체는 점토분이 작은 사질토이며 근방지역에서도 코어용 재료를 얻을 수 있기 때문에 코

어용 재료로서 벤토나이트를 5% 혼입한다. 여수토의 증축은 취수시설의 개 보수(개착법), 여수토의 보강개보수를 병행하여 40~41년 2개년간 총사업비 6,151 천엔을 들여 실시하였다.

- 벤토나이트 혼입에 의한 토질시험은 다짐시험, 변수위투수시험, 입도시험을 실시하였으며, 시료는 점토분을 적게 함유하고 미사가 많은 입경분포를 가지는 사양토로 하며, 벤토나이트를 배합하여 투수계수를 10^{-7} cm/sec로 하는데는 중량비로 약 3%의 배합을 요한다. 다짐시험으로부터 최적함수비 19.1 %, 최대건조단위중량 1.74, 실시에 있어서는 충분히 혼합하고 최적함수량이 되도록 제체성토시공을 실시하는 것이 요망된다. 시공의 결과는 양호하였다.

나. 그라우팅 공법

그라우팅 공법은 누수의 경로가 명확하거나 누수된 곳이 1~2 개소 그리고 주변에서 쉽게 코어재를 구득할 수 없는 경우에 채택하는 공법이다. <표 6-15>는 일본에서 제체 보강을 위하여 행한 그라우팅의 예를 보여준다.

<표 6-15> 댐의 제체보강 그라우팅 예

댐 명	제고 (m)	그라우팅 심도 (m)	최 대 주입압 kg/cm ²	m당 주입량 (kg/m)	보오 링 연장 m	보오 링공 사비 천엔	주 입 공사비 천엔	보수전 투수량	보수후 투수량	보 오 링 공 수
당 마	21.3	25.0	5	752	2,893	3,478	6,082	--	$3.1 \times 10^{-9} \sim 8.5 \times 10^{-10}$	--
궁택호	18.5	27.5	5	222	5,371	1,586	12,608	270	3	284
신 덕	24.0	28.0	3	79	366.5	289	380	--	--	30
죽 절	17.2	24.8	2.5	63	462.5	200	310	--	3.9×10^{-9}	26
도창지	32.2	30.8	5	171	1,935	1,826	2,904	$1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-6}$	--	91
창 교	31.5	39.5	5	Ce133 Be138	8,731	4,360	23,833	$7 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-6}$	302
유한지	29.0	27.0	5	Ce88.85 Be88.67	1,705	788	2,322	$1.2 \times 10^{-2} \sim 5 \times 10^{-6}$	$5.8 \times 10^{-5} \sim 8 \times 10^{-7}$	70
역뢰지	27.35	34.0	성토5 암반15	400	2,245	4,280	9,020	1.5×10^{-4}	1.03×10^{-6}	--
대마원	26.0	12.0 20.8	2	Ce194.5 Be96.7	1,885	951	2,203	$10^{-4} \sim 10^{-6}$	--	--
암 부	23.0	암반 3	15	147.6	298.1	138	463	$4 \times 10^{-6} \sim 4 \times 10^{-7}$	--	19
적 판	15.1	21.2	5	287.7	1,048	--	--	$1.3 \times 10^{-3} \sim 2.3 \times 10^{-4}$	$1.4 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-6}$	74
서대곡	15.1	19.0	4	170.8	1,895	--	--	2.14×10^{-4}	$1.9 \times 10^{-6} \sim 8.4 \times 10^{-7}$	235
세 천	14.3	13.0	5	642	467.5	119	359	--	--	41

(1) 일반예(福島縣 · 中富地區)

i) 개요 :

- 수익면적 : 200 ha, 공기 40년 ~ 41년, 총사업비 6,672 천엔
- 저수지 규모(균일형) : 제고 10 m, 제장 243 m, 저수량 522 천m³
- 기초 : 옹회암
- 축조경과년수 : 약 290 년

ii) 노후 현상과 조사

- 明治 초기에 제체의 전면, 제체성토 등의 개보수를 실시하였고, 그 후에도 몇번의 개보수를 실시하고 있지만, 제체로부터의 누수는 하류사면의

중간부근부터 전반적으로 침윤하여 8 l/s에 달한다. 제체단면에서는 여유고 부족이 확인되는 것을 제외하고는 문제가 없다.

- 조사는 침윤선(3측선) 투수시험을 행하였지만 침윤선은 하류사면에 연하고 제체의 투수계수는 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ cm/sec정도이다.

iii) 계획 :

- 제체 단면이 크고 파제공(콘크리트)도 충분하며, 유역이 작고(120 ha) 수로에 의해 관개기까지 저수하고 있는 상황이므로 저수 중에도 공사를 할 수 있는 그라우팅 공법으로 하였다.

iv) 설계시공 :

- 그라우팅 주입간격은 1.5 ~ 2.0 m, 열간격은 2.0 m의 2열로 하고 주입심도는 기초압반대 1.5 m까지 주입한다. 재료는 시멘트이며 m당 주입량은 토사부 4대, 암반부 4대, 주입공수 187 공, 주입장은 토사부 1.172 m, 암반 294 m, 주입압은 주입로드의 선단에서 저수압의 1.5배로 한다. 시공은 2년으로 나누었는데, 그 효과를 볼 때까지 시공했기 때문에 완전히 지수의 효과를 발휘하고 있다.

(2) 점토, 벤토나이트 그라우팅 예(香川縣, 逆水池)

제고 22 m, 제장 88 m, 저수량 447 천 m^3 , 경과년수 약 300년인 저수지로 누수량은 45 l/s이다. 공법, 공기의 비교로부터 그라우팅공으로 결정했지만, 제체의 토질시험, 투수계수의 결과는 건조밀도 1.37 t/ m^3 , 공극율 45.6 %, 투수계수 $10^{-2} \sim 10^{-4}$ cm/sec으로 지극히 다공으로 되어 있기 때문에 점토와 벤토나이트를 혼입하여 그라우팅을 실시키로 하였다.

적정함수비 상태에의 제체토의 토질시험 결과에서는 투수계수 10^{-6} cm/sec, 건조밀도 1.69 t/ m^3 , 공극율 34 %이기 때문에 제체를 이 공극율 이하로 함으로써 불투수층을 형성하는 방법으로부터 제체 건조밀도 25%층, 즉 350 kg/ cm^3 을 주입한다. 공간격은 1.5 m, 열간격은 0.75 m, 2열로 하였다. 시공 후 투수계수의 실측 결과로는 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ cm/sec이므로 1열을 추가 주입

하여 최종적으로 기초암반부와 함께 시멘트 주입을 실시한 결과 투수계수는 $10^{-6} \sim 10^{-7} \text{cm/sec}$ 이 된다. 시공 결과로부터 점토는 공극을 채우고 있으며 시멘트 주입결과도 지수벽을 형성하고 있다. <표 6-16>은 계획과 실적의 대비를 보여준다.

<표 6-16> 점토, 벤토나이트 그라우팅 시공 사례의 계획과 실적

종별	주입총연장	m당 주입량		비고
		계획	실적	
시멘트	1,190.8 m	8 대	7 대	암반부분을 포함
벤토나이트	3,527.6	2 대	1 대	
점토	3,527.6	300 kg	150 kg	

다. 취수시설의 예

i) 개요 : 제고 10.5 m, 제장 341 m, 저수량 135 천 m^3 의 균일형으로, 축조 후 34년을 경과하고 있다. 기초는 모래 및 점토이다. 제체 하류부근으로부터 누수가 있으며 사통 및 복통에 균열이 발생했다. 조사결과는 제체 상층부가 연약하여 N치가 5~7, 투수계수가 10^{-3}cm/sec 정도이지만 하층부는 N치가 10~15, 투수계수는 10^{-6}cm/sec 이다.

이 때문에 제체의 단면부족을 보강하기 위하여 축성토 공법과 함께 증축하였고 취수시설을 개보수하였다.

ii) 계획 : 구복통은 $\phi 450 \text{ mm}$ 콘크리트관이 있지만 지반침하로 인해 파손되어 누수의 원인이 되기 때문에 관리의 편의를 위해 $\phi 700 \text{ mm}$ 콘크리트 흡관을 사용하고 기초는 콘크리트 파일 $\phi 300 \text{ mm}$, 길이 $l = 5.0 \text{ m}$ 로 지지한다. 흡관의 접합은 고무패킹 컬러로 하고 부등침하에 대처하기 위하여 10 m 정도의 프렉키 셔블조인트를 사용하였다. 사통은 $\phi 350 \text{ mm}$ 콘크리트 흡관로 하고 복통과의 접합부는 박스로 설계, 토사토 피복으로 설계하였다. 공사비는 개착부분의 개보수를 포함하여 약 7,000 천엔이다.

2. 특수공법의 예

가. 누수방지법

(1) 폴리필름에 의한 예(長野縣)

i) 개요 : 제고 34 m, 제장 246 m, 저수량 62 천 m^3 , 만수면적 2.4 ha, 기초는 토사, 경과년수는 34년의 저수지이다. 구하천에 점토에 의한 바닥리닝(두께 10~15 cm)를 실시했지만, 근년에 이르러서는 누수가 많아지고 있다. 양질의 점토를 다량으로 얻을 수 없기 때문에 폴리에틸렌 필름에 의한 누수방지를 계획했다.

ii) 설계시공 : 흑색의 필름(폭 6.0 m, 두께 0.15, 0.20 m)을 이중으로 매설하고 그 접합은 열처리 한다. 필름의 보호는 상하 5 cm의 모래를 포설하고 저수지내에는 현장토 30 cm로 피복한다. 제체사면은 필름억제와 파랑침식 방지를 위하여 윗가지 위에 모르타르를 흡착하고 양안부는 필름억제로 콘크리트 벽을 사용하여 구배 1:5, 복토(30cm), 활동을 방지키 위해 중간벽을 만든다. 기설 구조물의 경우에는 점토에 의해 억제시킨다. 공기배출구, 배수구를 저수지내에 여러 개 만든다. 사업량은 호안공(콘크리트벽) 796 m, 필름 22,250 m^2 , 흡착공 1,050 m^2 으로, 공기 2년, 사업비는 16,150 천엔이 된다.

(2) 아스팔트패널에 의한 예(新潟縣·國中西部地區)

제고 8.2 m, 제장 132 m, 저수량 55 천 m^3 의 저수지이지만 지진 후 누수(21 l/s)가 많아 누수방지와 사면보호의 목적으로 아스팔트패널공으로 설계하였다. 첫해에는 제체의 성토를 완료하고 다음 해에는 사면보호를 실시하였지만 아스팔트 패널의 상부와 하부에 제체와의 막분리가 생겼으며, 제체 내부에 침투수가 저유되었다. 이러한 원인은 제체 다짐의 불충분, 사면의 기울기가 급한 것 등이 고려되며 1:2.5 이상이 안전하다고 사료된다. 사면 피

복공은 $1,377 \text{ m}^2$, 공사비는 3,800 천엔이다.

(3) 모르타르 흡착에 의한 예(靜岡縣・上蘆田地區)

제고 6.0 m, 제장 340 m, 저수량 40 천 m^3 의 저수지로, 축성토에 사용되는 코어용 재료가 얻어지지 않아 본 방법을 계획하였다. 여유고의 부족에 대해서는 콘크리트 파라페트에 의하였다.

나. 기초처리

(1) MIP, RGP에 의한 예(山梨縣, 龍々池地區)

저수지 바닥에서 0.9~2.0 m상부에 부식층 (축제시의 표토는 불완전, 축제 후 130년)이 있으며 공동화하고 있으며, 제체중의 초목근을 차단하고 저수중에 있어서도 공사지장이 없어 비교적 용이하게 효과를 확인할 수 있기 때문에 MIP 공법을 채용했으며, 파일은 ϕ 0.30 m로, 0.05 m의 오버랩 길이를 취하고, 1 m당 4분 시공을 하였고, 심도는 저수지 하부 1 m까지로 하였다.

(大阪府, 白旗池)

제고 15.7 m, 제장 103 m의 저수지이지만, 제체기초가 $10^{-3} \sim 10^{-4} \text{ cm/sec}$ 의 사질토이며 코어용 재료와의 비교를 행한 결과 공기의 25일 단축, 공사비는 코어 환산액으로 4,000 엔/ m^3 정도이므로 MIP공법을 채용하였다.

모르타르 배합은 1:3, 물-시멘트비는 55%, 시멘트 200 kg, 플라이애쉬 60 kg, 사용기계는 MIP 기계형태, 시공진도 80 m/일이다. 복통을 통과할 경우 모래로 치환한 다음 파일을 타설하였다. 총 파일길이는 1,640 m, 총본수 437 본, 연장 56.2 m 구간의 사업량으로 준비를 포함하여 24일간에 완료되었다.

(北海道, 地藏澤地區)

RPG에 의해, 제체기초의 지수벽으로 한 것으로, 시행구간 116 m, 평균 3.5 m/분을 10일간에 시공하였다.

(2) 그라우팅(愛知縣, 里廻間池地區)

제체는 안정되어 있지만 기초가 사질흙으로, 투수계수가 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ cm/sec, 그 층의 두께는 3.5~4.5 m이므로, 외법면 부근에서 파이핑현상을 일으키고 있다. 파이핑에 대한 안정성을 검토한 결과 그라우팅에 의한 지수벽을 형성시키며, 시멘트, 벤토나이트를 2:1 배합의 주입액을 만들어 4 l/min이하는 12 배액 사용, 4~10 l/min은 10배액, 25 l/min은 8배액으로 하여 최종 2배액으로 만들며 최종압력은 2 kg/cm^2 으로 하였다. 지수효과는 양호하였다.

다. 복통의 개보수에

(1) 현시설을 이용한 개보수 예

i) 강관의 삽입 예(北海道, 武德地區)

복통은 $\phi 0.9 \text{ m}$ 의 마제형, 철근콘크리트 구조물이 있지만 여러 개의 균열이 있으며(소화 4년 완성), 제체 중심부근에서는 일부침하가 일어나고 있기 때문에 내구력이 충분히 있고, 시공이 용이한 점 등으로 현 터널 내부에 $\phi 750 \text{ mm}$, $t = 8 \text{ mm}$ 의 스파이럴 강관을 삽입하고 그 주변에는 모르타르를 주입한다.

ii) 강제링 공법의 예(長崎縣, 郭公尾地區)

복통은 흡관(경과년수 14년, $\phi 800 \text{ mm}$)으로 중앙부근에 금이 가 있으며 접합부의 어긋남을 일으키고 있기 때문에 복통 주변에 그라우팅(제체의 누수방지는 그라우팅)을 실시하고, 모르타르 침출방지 및 접합부분의 보강을 병행하고 복통 내부보강 링공법으로 한다.

폭 20 cm, 외경 78.8 cm, 두께 9 mm의 강제 링 2 개를 볼트로 연결하고 관내에 삽입한 후 패킹용 고무호스를 양단 2중으로 말아 볼트로 연결하여 시공완료한다. 주변에 그라우팅을 실시하였지만 링을 제거하면 주입 모

르타르가 접합부까지 완전히 침입하여 누수도 보강링과 병행하여 완전히 없게 하였다. 시공이 간단하고 취급이 자유로우며 관리상 유리하지만 $\phi 600$ mm 이상이 되지 않으면 시공할 수 없는 단점이 있다.

iii) 기타

복통의 바닥기초가 불량하기 때문에 단면에 여유가 있어 구콘크리트를 깎아내고 U자형 개거를 삽입한 예(石川縣, 新宮地區), 석조(연석적, 아치와 저부는 콘크리트)로 누수가 많기 때문에 4 m마다 5 공(아치부 1공, 측벽부 2공, 바닥부 2공)의 시멘트 그라우팅(깊이 0.7 m, 평균 2 kg/cm^2 으로 복통 1 m당 시멘트 15.6 대)를 실시한 예(鳥取縣, 天神野地區) 등이 있다.

(2) 압입공법(大阪府, 白旗池)

제고 15.7 m, 제장 103 m, 旗수량 360 천 m^3 , 200년 경과와 저수지로, 터널법, 개착법, 압입법을 비교한 결과(개착에 비해 공비는 40 %, 공기는 60 % 감소하며, 터널은 암이 나쁘다) 압입공법이 유리하였다. 복통 연장 63.2 m중에 36.5 m를 압입하고 나머지는 26.7 m는 제체의 일부를 개착하여 압입비를 절감하였다. 압입은 하류측으로부터 최단거리로 방향을 정하고 계획구배가 되도록 레일재를 고정하고, 지압 콘크리트는 조강시멘트를 사용한다. 제체는 사질흙으로 순조롭게 압입하였지만, 중앙부는 연암이어서 굴착할 때 관방향의 편심을 방지하고, 또 지압점을 중앙하부에 놓고 윗방향으로 압입하여 계획구배 1/20를 유지할 수 있었다.

최종 지압력은 104 t(유압잭 100 t 사용), 압입속도 2.4 m/일, 굴착토량 1.9 m^3 /일이다. 관외주의 공극부의 그라우팅 충전율, 관의 코킹등이 염려되었는데 만수후에 관내에 들어가서 점검을 실시한 결과 누수는 없었다.

(3) 라이닝 플레이트 법(北海道, 日進地區)

제고 23.6 m, 제장 172.8 m의 중심코어형이지만 각 공법을 비교한 결과

지보공과 라이닝을 병행하는 라이닝 플레이트 공법에 의하고, 내경 1,800 mm, 두께 6 mm의 원형단면으로 하였다. 라이닝 플레이트는 코어케이트 파이프 모양의 일종의 플레이트주변에 프렌지를 달아 굴착진행중에 조립과 병공할 수 있어, 굴착(손으로 굴착), 조립, 매설 순으로 시공하였다. 본 지구에서는 제체(사질점토 N치 20) 내를 굴착하기 위하여, 하류측에서는 물이 많고 지보공이 필요하며 시공이 곤란하다. 조인터는 특수 발포체에 아스팔트를 가공한 것을 볼트로 연결하고 라이닝 플레이트 완공 후에 플레이트의 마모방지, 토사의 유출이 원활하도록 고려하였고, 언버트 콘크리트를 타설하여 사전에 플레이트에 설치된 그라우트 니플로부터 매설그라우트(시멘트밀크주입)를 실시하고 누수방지를 하였다.

제10절 요약 및 결론

본 장에서는 노후저수지의 개보수를 위한 공법의 개발에 따른 여러 문제점을 논의하고 그에 따른 제반사항을 언급하였으며, 요약하면 다음과 같다.

1. 경기도 내의 저수지는 약 41 %가 1945년 전에 축조되어 축조 후 50년 이상이 경과되어 노후도가 심한 것으로 조사되고 있으며, 대표적인 32개소의 저수지를 대상으로 조사한 결과 약 16%가 노후되어 보수 또는 개보수가 필요한 것으로 나타났다.
2. 조사대상 저수지의 대부분은 약 70 % 정도가 1회 이상의 보수한 이력을 가지며, 보수의 주된 부위는 여수토부가 가장 많고 제체부와 취수시설은 비슷하며, 퇴사준설의 이력은 아주 적은 것으로 조사되고 있다.
3. 축조 후 문제의 발생으로 인한 최초의 보수는 주로 축조 후 약 20년이 경과한 것이 가장 높은 분포를 보이고 있는데, 이는 저수지의 축조 후 약 15~20년이 경과한 후에는 반드시 정밀진단이 필요한 것으로

판단된다.

4. 보수액은 매년 증가하고 있으나 주로 1개소당 약 5억원정도가 소요되는 것으로 나타났다.
5. 저수지의 개보수 기준은 제체부와 구조물부로 구분하여 제시하였으며, 제체부는 기능적인 측면과 재해방지 측면에서 고려하여 설정하였고, 구조물부는 대상부재와 내력, 대인안전성을 고려하여 설정하였다.
6. 진단방법은 현재까지 사용되고 있거나 또는 장래 가능한 방법을 열거하고, 각 방법의 약술 및 특징, 장·단점을 요약하여 제시하였다.
7. 저수지의 개보수 공법은 제체부와 구조물부의 열화에 따른 보수·보강방법을 구분하여 정리하였으며, 제체부의 주된 공법인 축성토 공법과 그라우팅 공법의 특성을 요약·정리하였다. 또, 구조물부는 보수·보강 방법과 그에 따른 재료의 선정 및 재료의 특성 등을 정리하였다.
8. 노후화된 저수지의 개보수를 위하여 계획의 수립에서 설계, 시공에 이르는 과정을 정리하고 각 단계의 유의사항과 설계방법 등을 정리하였다.
9. 고삼저수지를 대상으로 정밀조사한 결과를 바탕으로 개보수계획 및 설계 등 사례를 연구하였으며, 외국의 보수사례를 요약하였다.

이상과 같은 결과를 바탕으로 저수지의 개보수는 지역의 조건과 주민의 요구도 뿐만 아니라 장래의 개발계획 등을 고려하여 계획하여야 하며, 경제적인 면도 고려하여 공법을 선정하여야 할 것이다. 또한, 수화열에 따른 균열의 발생을 절감하기 위해서는 공사에 앞서 다음과 같은 점을 고려하여야 한다.

- 수화열이 적은 시멘트를 사용한다.(예를 들면, 중용열 시멘트, 혼합시멘트 등)
- 단위시멘트량을 가능한 줄인다. 그러기 위해서는 적당한 혼화재를 사

용한다. 슬럼프를 가능한 낮추며, 필요이상으로 과대한 강도를 요구하지 않는 등의 주의가 필요하다.

- 적당한 팽창성 혼화재의 사용을 검토한다.
- 콘크리트의 치기온도를 낮추기 위해서는 시공시기, 시각 등을 배려하여 가능하면 특별한 냉각방법을 강구한다.
- 온도상승의 억제 및 건조수축의 절감을 위해 적당히 살수양생을 한다.
- 부재두께, 콘크리트의 발사, 리프터 등을 배려하여 수화열이 내부에 과도로 축적되지 않도록 한다.
- 경간이 긴 구조물에는 신축이음을 적당한 간격으로 설치하여 균열을 그 부분으로 처리한다.

제 7 장 노후저수지 전용방법 개발

제 7 장 노후저수지 전용방법 개발

제1절 서론

저수지는 건전한 관리에도 불구하고 시공 기술상의 부족, 축조 후의 홍수, 지진 등 자연적 여건의 변화와 도시화에 의한 농지의 전용, 물리면적의 감소 등의 주변여건의 변화, 및 환경오염 등에 사회적 상황의 변화에 의해 노후화하게 된다. 따라서 평가를 통하여 농업용저수지로서의 제기능을 다하지 못하고 방치 또는 폐기되고 저수지를 판정할 필요가 있다. 더 이상 저수지로서의 기능을 갖지 못하여 폐기 대상이 된 저수지에 대한 전용 방안이 연구되어야 한다.

제2절 전용방법의 종류 및 특성

1. 개요

저수지는 원래 그 목적이 전답 등에 용수원으로 건설되었으나 환경적, 사회적 변화에 의하여 하류지역이 도시화된 경우 농업용 저수지로서의 기능은 감소하게 된다. 이러한 경우 저수지를 적절히 이용하기 위한 계획을 수립하여야 한다.

2. 전용방법의 종류

농업용 저수지로서의 기능은 감소 또는 저하된 저수지의 이용방법은 지리적, 지역적, 환경적, 사회적 특성을 고려하여 종합적으로 검토되어야 한다. 전용방법으로는 홍수조절 및 하천유수조절등 자원 및 환경적이용, 유원지, 공원화등 관광용으로의 공간이용, 상수원으로의 이용, 문화적이용 및 매립등을 통한 택지화 등 토지이용을 들 수 있다.

제3절 저수지의 이용방법

1. 자원 및 환경적 이용(홍수조절)

저수지는 우수지로서의 기능과 기후 또는 환경적 완충기능을 살려 이용할 수 있다. 우리나라와 같이 하절기에 집중호우가 몰려 있는 경우 저수지는 홍수조절 역할을 할 수 있다. 일시적인 방류로 인한 하류지역의 침수피해를 줄이고 갈수기에는 저류수를 계획적으로 방류하여 하천의 수량을 조절함으로써 환경적 이용이 가능하다.

또한 저수지가 존재함으로써 기후를 완화시키는 역할을 할 수 있다. 물은 비열이 크기 때문에 대기 온도의 변화에 둔감하여 여름에는 시원함을 겨울에는 온화한 바람을 제공한다.

2. 공간이용(유원지 또는 공원화 등)

저수지의 공간적 이용은 저수지내와 그 주변으로 나누어 생각할 수 있다. 저수지내의 이용은 양식장, 보트장 및 낚시터로의 이용을 들 수 있다. 저수지의 주변은 산책로를 조성하여 하이킹, 바이킹 및 조깅 등을 할 수 있도록 하며 캠핑시설과, 각종 놀이기구를 설치하여 지역 주민에게 공원 및 휴식공간으로 제공할 수 있다.

3. 상수원 이용

농업용저수지로의 기능인 용수원 기능은 감소되었더라도 지역주민에게 상수원으로 이용할 수 있으므로 이러한 차원에서의 이용을 고려할 수 있다. 또한 화재시 방화수로의 이용도 가능하다.

4. 문화적이용

우리나라의 저수지는 그 기원이 오래되었고 그 지역 주민들과 애환을 같

이하에 왔기 때문에 생활터전의 일부로서 애착을 가지고 있다. 저수지에 따른 신앙이나 전설 등 문화적, 정서적 유산을 발굴하여 후세에 전수하는 것도 가치가 있다.

5. 매립을 통한 토지이용

유역면적의 감소, 하류지역의 농경지감소 등으로 더 이상 농업용 수원의 기능이 상실된 저수지의 경우 주택난 등 사회적 욕구에 의해 저수지를 매립하고 택지화하는 방안을 들 수 있다. 매립은 생태계의 변화를 초래하고 환경적 영향이 크며 그에 따른 부작용이 크기 때문에 환경적, 사회적 영향을 고려하고 지역 주민의 정서 등을 고려하여 신중히 검토하여야 할 사항이다. 거액의 투자에 의해 축조된 저수지를 근시안적인 정책이나 사회 변화에 부응하여 가볍게 평가하는 일은 없어야 한다. 저수지는 기능적인 면만을 고려하거나 경제적인 면만 고려하여 평가할 수 없는 것이므로 매립과 같은 최후의 수단보다는 저수지의 기능을 되살리는 노력과 함께 저수지는 주변을 잘 정비하고 레저시설을 만들어 관광지로의 개발하는 것이 바람직하다.

제4절 문제점 및 대책

1. 홍수조절용 유수지

홍수조절용 저수지는 홍수기에는 수위를 강하시켜 홍수에 대비해야 한다. 수위가 상승되어 있는 저수지 주변의 경관은 좋으나 홍수기 이외의 시기에는 저수지 수위가 하강하여 저수지 주변의 모습이 흉하게 보인다. 또한 이 부분의 식생은 고사할 가능성이 있어 이에 대한 환경적인 고려가 강구되어야 한다.

2. 유원지화, 공원화 등

저수지를 유원지화할 경우 저수지 주변 음식점등으로 부터 흘러 들어오

는 각종 생활폐수가 저수지의 오염을 가중시킨다. 이에 대한 대책으로 저수지 상류에 하수종말처리장을 건설하고 생활폐수를 분리하여 처리함으로써 상수원으로서의 저수지를 보호할 수 있다. 또한 많은 행락 인파가 모여들기 때문에 저수지의 제방 및 각종관리시설 등이 손괴될 우려가 있어 저수지 안전에 막대한 지장을 줄 수 있기 때문에 이에 대한 특별한 관리가 요구된다.

3. 상수도원

저수지 상류의 개발 특히 경기도 지방의 저수지 상류에는 골프장이 많이 들어서 있어 농약을 과다 사용하고 축산폐수, 각종 공장폐수등으로 부터 저수지가 부영양화된다. 부영양화는 물속에 N, P 등의 화합물이 많이 포함될 경우 발생하며 이 때 물속에 프랑크톤, 조류등이 다량을 발생하여 수원지로서의 기능을 상실케 한다 우리나라에서의 수질관리 기준은 BOD, COD를 중심으로하여 N, P 를 관리하고 있다. 저수지 상류에 하수종말처리장을 건설하고 우수와 오폐수를 분리하여 처리함으로써 상수원으로서의 저수지를 보호할 수 있다.

제5절 노후저수지의 다목적 유효이용 예(일본)

일본의 경우 농업용 용수목적 이외의 저수지 이용에 대하여 靜岡縣에서 조사한 바에 따르면(昭和 60년도) 전체 760 개소의 약 7%인 51개소에서 각종 이용이 이루어지고 있다.

<표 7-1> 저수지 전용현황(일본, 靜岡縣農地森林部,1986)

항목	총계	공공 이용 내역					낙시터	양어장
		보트장	광장	휴게소	산책로	유원지		
현재이용	51	4	5	8	13	2	40	4
장래희망	50	19	10	31	28	10	40	4
계	91	23	15	39	41	12	80	8

<표 7-1>에서 볼 수 있듯이 이용 내역으로는 낙시터가 가장 많아 40개소, 그 다음이 산책로 13 개소, 벤치나 정자 등을 설치하여 휴게소로 이용하는 곳이 8 개소, 광장 5 개소, 보트장 4 개소, 양어장 4 개소, 유원지가 2 개소등으로 되어 있다. 또한 장래 이용을 희망하는 저수지가 50여 개소에 이르고 있으며 그 내역은 낙시터 40 개소, 휴게소 31 개소, 산책로 28 개소, 보트장 19 개소, 광장등 놀이시설 10 개소 등이며 장래의 이용에 대한 관심이 상당히 활발한 것으로 나타났다.

제6절 요약 및 결론

본 장에서는 노후저수지의 전용방법 개발의 종류 및 문제점을 논의하고 그에 따른 제반사항을 언급하였으며, 노후저수지 전용사례로서 일본의 예를 간략히 설명하였다. 본 장의 내용을 간략히 요약하면 다음과 같다.

1. 노후저수지 전용방법으로는 홍수조절 및 하천유수조절 등 자원 및 환경적이용, 유원지, 공원화 등 관광용으로의 공간이용, 상수원으로의 이용, 문화적 이용 및 매립 등을 통한 택지화 등 토지이용을 들 수 있다.
2. 노후저수지 전용에 따른 문제점은 홍수조절용 유수지로 만들 경우,

유원지 및 공원화를 할 경우 그리고 상수도원으로 이용할 경우 등에
수반된다.

3. 노후저수지의 다목적 유효이용 예로 일본의 노후저수지 전용사례 및
현황을 보였다.

부 록

콘크리트의 균열조사, 보수·보강지침(일본)

제 1 장 총 칙

1.1 적용범위

(1) 이 지침은 현장 시공에 따른 콘크리트 구조물에 발생한 균열에 대한 일반적으로 주장하는 조사, 원인추정, 보수·보강 필요여부의 판정, 보수 및 보강 요령을 제시한 것이다.

(2) 이 지침에서 대상으로 하는 균열은 콘크리트 시공중 통상 사용상태 하에서 발생한 것으로 한다.

(3) 이 지침에서는 화재 및 지진에 따른 구조물의 내력 저하의 회복을 목적으로 한 행위를 포함하지 않는다.

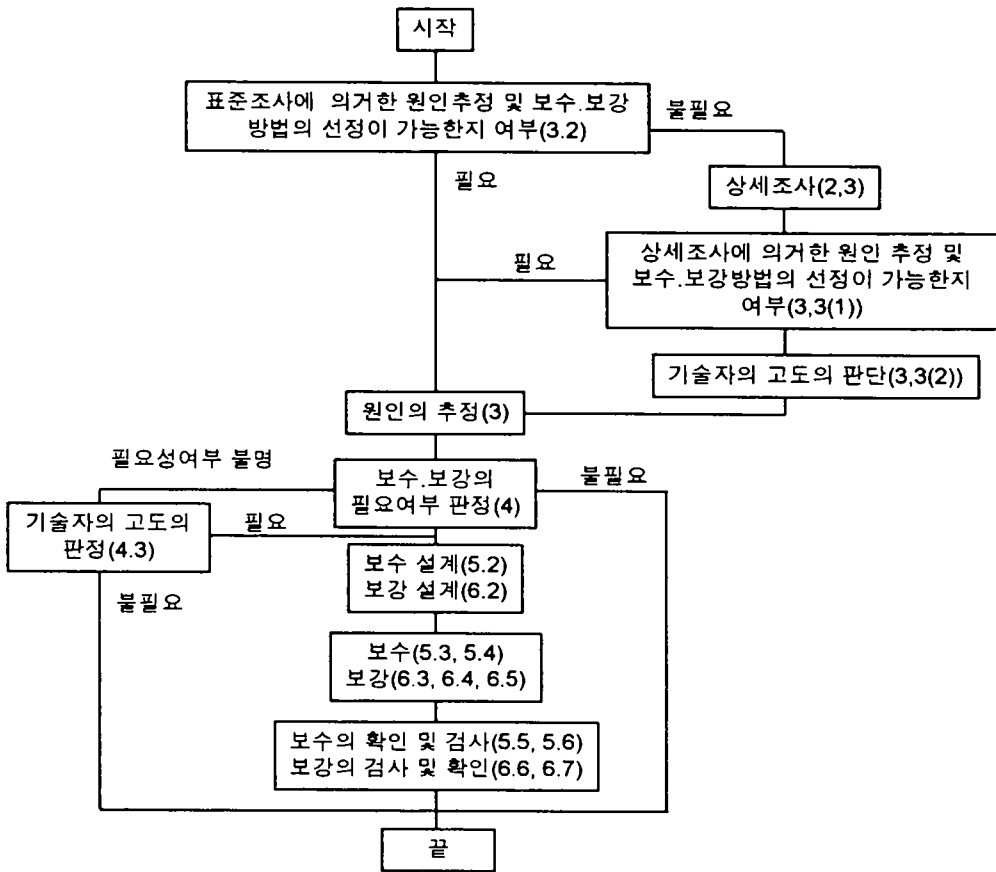
1.2 조사와 보수·보강의 순서

조사와 보수·보강의 일반적인 순서는 <그림 A-1>에 따른다.

1.3 용어

이 지침에 쓰이는 용어를 다음과 같이 규정한다.

- (1) 보수 ... 균열의 발생에 의해 손상된 콘크리트 구조물의 내구성, 방수상 등 내력 이외의 기능을 회복시키는 것을 목적으로 한 행위



<그림 A-1> 균열의 조사와 보수·보강의 순서도

- (2) 보강 ... 균열의 발생에 의해 콘크리트 구조물의 내력저하를 회복시키는 일을 목적으로 하는 행위
- (3) 구조부재 ... 구조계산을 수반하여 설계된 콘크리트 부재
- (4) 균열폭 ... 콘크리트 표면에 균열방향으로 직교하는 폭
- (5) 기술자 ... 콘크리트 주임기사(사단법인, 일본 콘크리트 공학협회가 실시하는 콘크리트주임기사시험에 합격하고 등록한 자) 또는 콘크리트에 관하여 이와 동등 이상의 공학적 식견·기술·경험을 가졌다고 인정할 수 있는 자

제 2 장 조 사

2.1 총 칙

(1) 조사는 구조물에 발생하는 균열의 원인추정, 보수, 보강의 필요 여부 판정 및 보수·보강 방법의 선정 자료를 얻는 것을 목적으로 한다.

(2) 조사에는 표준조사와 상세조사가 있다.

2.2 표준조사

표준조사는 2.1의 목적으로 행해지는 것으로 그 결과는 <그림 A-1>의 순서도에 제시한 것과 같이 이용된다.

표준조사는 다음 내용을 포함하는 것을 원칙으로 한다.

- a. 균열의 현상조사(패턴, 폭, 길이, 관통의 유무, 이물충진의 유무 등)
- b. 균열부위(주변)의 조사(표면의 건습상태, 오염, 박리, 박락 등)
- c. 균열의 경과조사(발생, 발견시기, 성장경과 등)
- d. 장해의 현상조사(누수, 풍화, 철근의 녹, 부재의 굴절, 미관손상 등)
- e. 장해의 경과조사(장해의 발생, 발생시기, 그 변화 상황 등)
- f. 설계도서류의 조사(설계도, 구조계산서 등)
- g. 시공기록의 조사(사용재료, 배(조)합, 다져넣기, 양생방법, 공정, 관리 시험자료, 지반의 상황, 형틀의 종류, 환경조건 등)
- h. 구조물의 사용, 환경상태의 조사(사용시의 하중조건, 습도·온도조건
의 변화, 입지조건 등)

2.3 상세조사

(1) 상세조사는 표준조사의 범위에서는 원인추정, 보수·보강의 필요여부의 판정 및 보수·보강방법의 선정이 불가능한 경우에 실시하며 그 결과는

그림 1의 순서도에 제시한 것과 같이 이용된다.

상세조사에는 아래 (2), (3)에 기술한 일반적인 조사 및 기술자의 판단자료로 하는 조사가 있다.

(2) 일반적인 조사로서는 다음과 같은 것이 있다

- a. 콘크리트의 열화도의 조사(콘크리트의 분석을 포함)
- b. 철근 열화도의 조사
- c. 단면상태의 설계도와의 조합
- d. 하중조건 실태조사(설계도와 계산서의 재검을 포함)
- e. 지반조사(침하, 측방변위 등)
- f. 누수경로의 조사
- g. 균열의 상세조사(패턴, 폭의 변동상황, 깊이 등)
- h. 구조물의 사용조건 및 환경조건의 조사

(3) 기술자의 판단자료로 활용할 조사에는 상기 외에 다음과 같은 것이 있다.

- a. 콘크리트의 간극율 시험
- b. 콘크리트안의 반응성 골재
- c. 콘크리트의 현미경 관찰 등
- d. 구조물의 재하시험(변형, 응력, 균열 폭의 변화 등)
- e. 구조물의 진동시험

제 3 장 원인추정

3.1 총칙

- (1) 균열의 원인추정은 보수·보강의 필요여부 판정자료를 얻기 위함을 목적으로 한다.
- (2) 균열발생의 원인은 주로 <표 A-1>에 나타난 것과 같다.
- (3) 원인을 추정하는 순서는 2.2에 나타난 표준조사에 기초를 두는 것과 2.3에 나타난 상세조사에 기초를 두는 것이 있다.

3.2 표준조사에 의한 원인 추정

- (1) 균열발생의 원인 추정은 표준조사의 결과와 <표 A-1>을 조합하여 행한다.
- (2) 표준조사의 결과로는 원인 추정이 곤란한 경우에는 3.3에 따른다.

3.3 상세조사를 기초로 한 원인 추정

- (1) 표준조사의 결과로도 원인추정이 어려운 경우에는 상세조사의 결과와 <표 A-1>을 짜맞추어 원인을 추정한다.
- (2) 상세조사의 결과로도 원인추정이 어려운 경우에는 기술자의 고도의 판단에 따른다.

<표 A-1> 균열발생원인

종류	중분류	소분류	기 호	원 인
A 재 료	사용재료	시멘트 골재	A1 A2 A3 A4 A5 A6	시멘트의 이상응결 시멘트 수화열 시멘트 이상팽창 골재에 함유되어 있는 점토분 저품질의 골재 반응성 골재
	콘크리트		A7 A8 A9	콘크리트안의 염화물 콘크리트의 침하, 블리이딩 콘크리트의 건조수축
B 시 공	콘크리트	비비기 운반 다져넣기 다짐 양생 이어치기	B1 B2 B3 B4 B5 B6 B7 B8 B9 B10	혼화재료의 불균일한 분산 장시간 비비기 펌프압송시의 배합의 변경 부적당한 다져넣기 순서 급속한 다져넣기 불충분한 다짐 경화전 진동과 재하 초기 양생중의 급속한 건조 초기동해 부적당한 이어치기의 처리
	철근	배근	B11 B12	배근의 흐트러짐 덮개두께의 부족
	거푸집	거푸집 지보공	B13 B14 B15 B16	거푸집의 부풀음 누수(거푸집에서, 노반에서) 거푸집의 초기 제거 지보공의 침하
C 사 용 · 환 경	물리적	온도 · 습도	C1 C2 C3 C4 C5	환경온도 · 습도의 변화 부재양면의 온도 · 습도의 차이 동결융해의 반복 화재 표면가열
	화학적	화학작용	C6 C7 C8	산 · 염류의 화학작용 중성화에 의한 내부 철근의 녹 침입염화물에 의한 내부 철근의 녹
D 구 조 · 외 력	하중	연구하중 · 장기하중 동적하중 · 단기하중	D1 D2 D3 D4	설계하중이내의 영구하중 · 장기하중 설계하중을 초과한 영구하중 · 장기하중 설계하중이내의 동적하중 · 단기하중 설계하중을 초과하는 동적하중 · 단기하중
	구조설계		D5	단면 · 철근량 부족
	지지조건		D6 D7	구조물의 부등침하 동상
E 기 타				기타

제 4 장 보수 · 보강의 필요 여부의 판정

4.1 총칙

보수 · 보강의 필요여부 판정은 조사결과 및 원인추정 결과에 따라 콘크리트 구조물의 내구성, 방수성, 내력, 대인안전성, 기밀성 및 미관 등을 고려하여 4.2 또는 4.3에 의해 행한다.

4.2 조사 및 원인 추정 결과에 의거한 판정

(1) 조사 및 원인 추정결과에 기인하여 보수 · 보강의 필요여부를 판정할 경우에는 아래에 따른다.

(2) 대상부재에 의한 판정

대상부재가 구조부재가 아닐 경우에는 아래 (3), (5), (6)에 따른다.

대상부재가 구조부재일 경우에는 아래 (3), (5), (6)에 따르는 외에 (4)에 따른다.

(3) 내구성 또는 방수성으로 보수의 필요여부를 판정하는 경우

조사에 의해 얻은 균열 폭을 <표 A-2>와 조합하여 보수의 필요여부를 행한다. 단, 균열 폭이 표 2에 (A)와 (B)의 중간이 될 경우에는 4.3절에 의해 보수여부를 판정한다. 또, 이 경우에는 균열 폭뿐만 아니라 균열의 원인, 깊이, 밀도, 패턴 등을 종합하여 판단한다.

(4) 내력으로 보강의 필요 여부를 판정할 경우

내력 저하가 염려될 경우에는 4.3에 의하는 것을 원칙으로 한다. 단, 구조형식이 단순하여 손상 정도가 명확한 경우에는 신뢰할 수 있는 방법으로 보강의 필요여부를 판정해도 된다.

(5) 대인 안전성으로 본 보수 필요여부를 판정하는 경우

대인 안전성이 문제가 될 경우에는 4.3에 따르는 것을 원칙으로 한다. 단, 균열에 기인하는 박리, 각락 등의 정도가 명확한 경우에는 「보수요」라고 판정한다.

(6) 그 밖의 기능으로 보수의 필요 여부

기밀성, 미관 등에 의해 보수 필요 여부를 판정하는 경우에는 4.3절에 따른다.

<표 A-2> 보수의 필요 여부에 관한 균열 폭의 한도

구 분	환경 기타요인	내구성에서 본 경우			방수성에서 본 경우
		심하게	중 간	완만하게	
(A) 보수를 필요로 하는 균열 폭(mm)	대	0.4 이상	0.4 이상	0.6 이상	0.2 이상
	중	0.4 이상	0.6 이상	0.8 이상	0.2 이상
	소	0.6 이상	0.8 이상	1.0 이상	0.2 이상
(B) 보수를 필요로하지 않는 균열 폭(mm)	대	0.1 이하	0.2 이하	0.2 이하	0.05 이하
	중	0.1 이하	0.2 이하	0.3 이하	0.05 이하
	소	0.2 이하	0.3 이하	0.3 이하	0.05 이하

주: 1) 그 밖의 요인(대,중,소)이란 콘크리트 구조물의 내구성 및 방수성에 미치는 유해성 정도를 제시하며, 아래의 요인의 영향을 종합하여 정한다. 균열의 깊이, 패턴, 덮개두께, 콘크리트 표면피복의 유무, 재료, 배(조)합, 이어치기 등

주: 2) 주로 철근의 녹의 발생조건 관점에서 본 환경

4.3 기술자의 고도 판단에 의한 판정

기술자는 조사, 원인추정 및 구조계산 등으로 얻어진 결과에 의거하여 보수·보강의 필요 여부를 판정한다.

제 5 장 보수방법

5.1 총칙

균열보수는 조사, 원인추정 및 보수의 필요여부 판정에 기인하여 보수목적에 가장 적합한 방법을 채용한다.

5.2 보수설계

보수에 있어서는 균열의 원인, 보수범위와 규모, 환경조건, 안전, 공사기간, 경제성 등을 고려하여 계획한 보수목적이 달성되도록 보수설계하고 적절한 보수재료, 보수공법, 보수시기를 선정한다.

5.3 보수공법

(1) 균열의 보수공법에는 다음의 a~d가 있다.

- a. 표면처리공법
- b. 주입공법
- c. 충전공법
- d. 그 밖의 공법

(2) 보수재료에는 다음의 a 및 b가 있다.

- a. 수지계 재료

수지계 재료는 접합성, 내수성이 우수하여 균열의 상태 및 채용하는 공법에 적합한 것

- b. 시멘트계 재료

시멘트계 재료는 체적 변화가 적고 시공성, 내구성이 뛰어나 균열의 상태 및 채용하는 공법에 적합한 것.

5.4 보수공사

보수공사는 보수설계에 의거하여 충분한 보수효과를 얻을 수 있도록 설계한다.

5.5 보수의 검사

보수의 검사는 보수공사 중 종료시에 보수가 설계대로 행하여 졌는지의 여부에 대해 행한다.

5.6 보수효과의 확인

보수공사 완료후 필요에 따라 적절한 방법으로 보수효과의 확인을 행한다.

제 6 장 보강공법

6.1 총칙

균열발생으로 내력이 저하된 콘크리트 구조물의 보강에 있어서의 조사, 원인추정 및 보강의 필요 여부 판정에 기인하여 보강의 목적에 가장 적합한 방법을 채용한다.

6.2 보강설계

(1) 보강에 있어서는 균열의 원인, 하중조건, 소요내력, 보강의 범위와 규모, 환경조건, 안전, 공사기간, 경제성, 관리의 용이성 등을 고려하여 계획한 보강목적이 달성되도록 보강방법, 보강시기 및 보강재료를 선정하고 단면 및 부재의 설계를 행한다.

(2) 보강된 부재내력의 산정은 구조의 형식, 부재단면의 제원 및 재료의 역학적 특성에 의거하여 적절한 방법을 행한다.

(3) 보강된 부재의 안전성은 내력 및 작용하중을 적절히 결정하여 확인

한다.

6.3 보강공법

보강공법에는 다음의 a~e가 있다.

- a. 강판접합공법
- b. 프리스트레싱공법
- c. 단면의 증가공법
- d. 부재의 증설공법
- e. 기 타

6.4 보강재료

보강재료는 보강공법에 따라서 적절한 것을 선정한다.

(1) 강재

강판, 철근, H형강, I형강, PC강재 등의 보강재료는 소요품질을 지녀 채용하는 공법에 적합한 것으로 본다.

(2) 수지계 재료

수지계 재료의 품질은 소요강도, 강성, 적합성, 내구성이 우수하여 균열의 상태 및 채용하는 공법에 적합한 것으로 본다.

(3) 시멘트계 재료

시멘트계 재료의 품질은 체적변화가 적고, 소요의 강도, 강성, 유동성, 내구성이 우수하고 이미 설치된 콘크리트의 뛰어난 일체성을 지녀 채용하는 공법에 적합한 것으로 본다.

6.5 보강공사

보강공사는 보강설계를 기준으로 하여 충분한 보강효과를 얻을 수 있도록 실시한다.

6.6 보강의 검사

보강의 검사는 보강공사중 또는 완료시에 보강설계대로 이루어졌는지에 대해 행한다.

6.7 보강효과의 확인

보강공사 완료 후에 필요에 따라 적절한 방법으로 보강효과의 확인을 행한다.

시추주상도 BOREHOLE LOG

96.07.19

조 사 명 PROJECT	고삼저수지 정밀조사			시 추 번 호 HOLE NO.	B-2 (1 of 1)
위 치 LOCATION	0+120	좌 표 COORDINATES	X: Y:	표 고 ELEVATION	M
시 추 각 도 ANGLE		시 추 구 경 HOLE DIA.	BX	지 하 수 위 G. W. L	M
사 용 장 비 DRILL		시 추 자 DRILLER		조 사 자 INSPECTOR	원정운

심 도 DEPTH	표 고 ELEVATION	층 후 THICKNESSES	케 이 심 CASES	주 상 도 SAMPLING	지 층 설 명 (DESCRIPTION OF MATERIAL)	시료 SAMPLING	TCR / ROD	시료 SAMPLING	투 수 계 수 PERMEABILITY cm/sec 10 ⁻³ 10 ⁻⁴ 10 ⁻³ 10 ⁻² BLOWS 표준관입시험 (S. P. T) /30cm 10 20 30 40 50
				BX	황토색, 실트질 다소 섞인 sand				
1.90 (-1.90)	1.90			OP	황토색, 자갈(4cm)이 다소 포함	D1		21	
						D2		10	
						D3		2	
						D4		14	
9.00 (-9.00)	7.10				시 추 종 료 (End of Boring)	D5		27	

범례 LEGEND

- | | | |
|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| D 교란 시료
DISTURBED SAMPLE | U 불교란 시료
UNDISTURBED SAMPLE | C 암석 코마
CORE SAMPLE |
| L 시료 없음
LOST SAMPLE | d 데니슨 샘플러
DENISON SAMPLER | p 피스톤 샘플러
PISTON SAMPLER |

SEOUL NATIONAL UNV

시 주 주 상 도 BOREHOLE LOG

96.07.19

조 사 명 PROJECT	고삼저수지 정밀조사			시 수 번 호 HOLE NO.	B-1 (1 of 1)
위 치 LOCATION	0+060	좌 표 COORDINATES	X: Y:	표 고 ELEVATION	M
시 수 각 도 ANGLE		시 주 구 경 HOLE DIA.	BX	지 하 수 위 G. W. L	M
사 용 장 비 DRILL		시 수 자 DRILLER		조 사 자 INSPECTOR	원정운

심 도 DEPTH	표 고 ELEVATION	층 후 THICKNESS	케 이 상 CORRELATION	주 상 도 CORRELATION	지 층 설 명 (DESCRIPTION OF MATERIAL)	코 아 회 수 % TCR / ROD	시 료 형 태 및 번 호 SAMPLER TYPE & NO.	투 수 계 수 cm/sec (PERMEABILITY) 10 ⁻³ 10 ⁻⁴ 10 ⁻³ 10 ⁻²	표 준 관 입 시 험 (S. P. T) BLOWS / 30cm
			BX	[Pattern]	실트질 섞인 sand				
1.70 (-1.70)	1.70			OP	자갈 다소 섞인 점토		D1		13
							D2		19
							D3		32
9.00 (-9.00)	7.30				시 주 종 료 (End of Boring)		D4		18

범 례 LEGEND

- | | | |
|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| D 교 란 시 료
DISTURBED SAMPLE | U 불 교 란 시 료
UNDISTURBED SAMPLE | C 암 석 코 아
CORE SAMPLE |
| L 시 료 없 음
LOST SAMPLE | d 데 니 슨 샘플 러
DENISON SAMPLER | p 피 스톤 샘플 러
PISTON SAMPLER |

SEOUL NATIONAL UNV

조사저수지 _____
 조사 일자 _____
 조 사 자 _____

상류사면

조 사 항 목	조 사 내 용
사면보호 상태 (방괴석 상태 점검)	
돌가면의 침식상태 (제체와 Site 연결부위검토)	
식물생태 (식생분포검토)	
침하 (부분침하, 전체침하 검토)	
짜꺼기 (부유물 두께)	
동물의 굴 (두더지, 들쥐 등)	
비 정상적인 조건 (기타조건)	

하류사면

조 사 항 목	조 사 내 용
제체 이동 징조 (축방 이동 유추 검토)	
침윤상태나 습윤지역 (습윤상태 점검)	
식물생태	
구멍	
사면 보호 상태 (때벌임)	
비 정상적인 조건 (기타 조건상태)	

교대부분 (제체와 연결부위 검토)

조 사 항 목	조 사 내 용
침윤상태	
균열, 조인트, 바닥부분 (위치, 길이, 탈락여부)	
슬라이딩 (위치)	
식생	
이동 징조 (속방이동, 용기)	

정정부

조 사 항 목	조 사 내 용
표면 균열 (균열방향에 유의)	
내구성	
침하 (경부 침하량)	
속방이동 (상부침하)	
침(용기)	

침윤과 배수상태

조 사 항 목	조 사 내 용
위치	
추정된 누수량	
외관이나 변색된 부분	
유출구의 침식	
Toe Drain과 배수정	

관리 상태

조 사 항 목	조 사 내 용
외관 파악	
관리인 상주여부	
점검 횟수	

저수지 구조물별 평면도 및 단면도

(슈미트 챔어, Core채취장소, 균열, 단면결손, 세굴위치, 백화현상, 곰재노출, 기타 목적에 의한 관찰사항 기록)

구조물 명칭 : _____

도 면 명 칭 : _____

Core 채취에 의한 압축강도 시험

채취장소			채취장소 번호		
공시체의 번호			보정계수 (H/D)		
지름	No.1		높이	No.1	
	No.2			No.2	
	Mean			Mean	
단면적			최대하중		
압축강도			철근의 유무/상태		
공시체의 겉모양, 파괴상태, 마감재, 방수제등의 유무 및 종류, 이물질 여부, 다짐이나 분리 상태등 특기사항 및 Sketch :					
압축강도의 평가 및 Comment:					

중성화 시험

중성화 깊이	No.1		구조물의 남은 사용년수
	No.2		
	No.3		남은 사용년수에 따른 평가
	Mean		

Core 채취장소에 대한 슈미트 해머 시험

공시체의 번호 :	슈미트 해머에 의한 압축강도
	평가 및 Core채취에 의한 강도와와의 비교

도수로 접근수로 상태

조 사 항 목	관 찰 결 과	판 단
식생-접근수로의 장애물 상태 (나무, 버들가지 등)		
수로부근의 슬라이딩		
접근수로 주변의 사면 안정 (세굴여부의 검토)		
사면보호상태		

특이사항 및 참고사항

(여백 : 구조물 명칭)

조 사 항 목		조 사 결 과	판 정	비고 (가중치)
콘크리트의 표면 상태	균열			
	골재노출			
	백화현상			
	단연결손			
	동해여부			
	철근노출			
기 타 조사항목	침하/위험지역			
	이동의 징조			
	철근의 녹 평가			
	조인트 연결부위			
	배수상태			
	퇴매움상태			
	누수여부/누수량			
	Seepage Drain			
	교량의 구조적 상태			
	교량의 지지력			
	교량 철물의 상태			
	기타 전반적인 상태			

슈미트 해머에 의한 강도 추정

특정위치 No.	측정위치 No.	측정위치 No.	측정위치 No.
평균 압축 강도		표 준 편 차	
압축강도의 평가			

특이사항 및 참고사항 기록

유출수로

조 사 항 목	조 사 결 과	판 정	비고 (가중치)
사 면 보 호			
측사면 안정여부			
식생/기타 장애물			

문비

조 사 항 목	조 사 결 과	판 정	비고 (가중치)
상 태			
권 양 장 치			
조 작 횟 수			
조절 통제 기구			

특이사항 및 참고사항기록