

소규모 농업용 저수지의 노후도 및 안전도 평가

- 고삼 저수지에 대한 사례 연구 -

Evaluation of Degradation and Safety of Small Agricultural Reservoir

- Case Study for Kosam Reservoir in Kyungki Province -

장 병 옥* · 박 영 곤** · 우 철 응***
Chang, Pyoung Wuck · Park, Young Kon · Woo, Chull Woong

Summary

This study was performed to evaluate the degree of degradation and safety of a small agricultural reservoir, Kosam Reservoir, in Kyungki Province. Evaluation was done by the program developed by the authors. Results of the study are as follows :

1) Although many burrows were found in downstream side of embankment and cracks were found in wall joining spillway, it appeared that degree of degradation of embankment was in good conditions.

2) Compressive strengths of concrete of crest, side channel, chute floor of spillway were in poor condition. But it appeared that overall degree of degradation of structures was in medium condition based on the criteria of the evaluation system.

3) From the analysis of slope stability, safety factor of downstream slope was over 3.3 for the worst condition, such as flood and high water level and that of upstream slope was also over 3.6 for rapid drawdown. In case of earthquake, safety factors were over 2.5 for all conditions. Therefore embankment slopes of Kosam Reservoir were very stable for normal and earthquake condition.

4) As upon assumed failure of embankment of Kosam Reservoir, degree of damage was estimated to be very serious because of many loss of life and properties in the downstream area.

5) Overall grade of safety of Kosam Reservoir was in good condition. Therefore safety was considered to be "No problems" at the present time but further degradation may be proceeded partly and continuously as time goes by.

* 서울대학교 농업생명과학대학

** 서울대학교 농업개발연구소

*** 서울대학교 대학원

키워드 : 농업용 저수지, 노후도, 안전도, 사면안정, 하류피해

I. 서 론

대용량의 물을 저류하고 있는 저수지의 예기치 못한 파괴로부터 야기되는 피해정도는 일반적으로 해빙이나 강우로 인한 홍수 피해보다 그 규모가 훨씬 크다. 저류되었던 많은 양의 물이 댐이나 제체 등의 붕괴로 인하여 짧은 시간 동안에 하류로 방류되면 하류지역에 심각한 재산과 인명의 피해를 주게 되며, 이때 발생된 홍수파로 인하여 막대한 양의 토사와 사석들이 세굴, 운반, 퇴적되어 수로와 계곡의 자연 및 생활 환경에 큰 변화를 초래하게 된다.

지난 100여 년 동안 지구상에는 무려 200여 개의 저수지가 붕괴되어 약 11,100명에 달하는 인명이 희생되었다. 이들 저수지의 붕괴 원인을 보면 부적합한 여수로로 율류됨으로써 파괴된 것이 전체의 34%, 기초결함 30%, 파이핑과 침투가 28%, 기타원인이 8%이다³⁾. 또한 최근 15년간 우리 나라의 농지 및 수리시설물의 홍수피해는 농경지를 포함한 전체 피해액 중 절반 가까운 규모인 48.8%로 자연재해에 의해 수리시설물이 많은 피해를 입고 있는 실정이다¹⁴⁾.

우리 나라에서는 1961년 효기리에서 높이 15.6m의 저수지¹¹⁾와 1980년의 보은읍¹⁵⁾. 그리고 1987년 충남 지역의 소류지, 보 등이 연쇄적으로 파괴된 적이 있다¹⁴⁾. 또한 1996년 7월 철원 및 연천 등 경기 북부지방에 내린 500mm 이상의 집중호우로 한탄강과 임진강이 범람하고 제방이 유실되어 많은 인명과 재산 피해가 발생하였다. 특히 연천 소수력 발전댐의 수문 고장으로 댐이 붕괴되면서 1,300여만 m³의 물이 한탄강으로 방류되면서 피해를 가중시켰다. 또한 그 지역내의 농업용 저수지도 붕괴 직전까지 가서 주민들을 공포에 떨게 하였으며 저수지의 붕괴가 가져올 수 있는 재앙을 짐작케 했다.

이와 같이 집중호우에 의해 붕괴위기를 맞았던 저수지, 또는 여러 가지 원인에 의해 노후된 저수지는 반드시 안전도를 검토하여 붕괴로 인한 막대한 피해를 사전에 예방하는 것은 말할 나위 없이 중요하다. 저수지의 피해에 대한 원인과 그 대책을 규명하기 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.

본 연구팀은 노후저수지의 노후도 및 안전도 평가기준 정립을 위해 우선 경기도내 31개 저수지에 대한 현장답사를 실시하여 저수지의 제체부 및 구조물부의 외관 및 이력사항을 항목별로 세밀히 조사하였고 실내시험 결과를 분석한 후⁸⁾ 안전도 평가기준을 정립하였다. 본 연구에서는 그 가운데 평가가 필요하다고 판단되는 저수지 중의 하나인 기호농조 관할 고삼 저수지를 선정하여 본 연구팀이 제시한 안전도 평가 기준^{3,4,9)}에 의하여 노후도 및 안전도를 평가하고 그 적용성을 검토하고자 한다.

II. 대상 저수지 및 조사 방법

1. 대상 저수지

본 연구의 대상 저수지는 고삼 저수지로, 경기도 안성군 고삼면에 위치하고 있으며 기호농조에서 관할하고 있다. 준공 연도는 1963년으로 약 34년이 경과되었고 1991년 여수토에 5련의 문비를 신설한 바 있다. 고삼 저수지의 시설 제원은 Table 1과 같으며 저수지의 평면 및 단면도는 각각 Fig. 1, Fig. 2와 같다.

2. 조사 방법

조사는 Table 2에서 보는 바와 같이 현장조사인 1차 조사와 실험실에서 시험 및 분석을

Table 1. Status of Kosam Reservoir

Reservoir					Embankment			Spillway			
Watershed area (ha)	Benefitted area (ha)	Effective capacity ($\times 10^3 m^3$)	Flood area (ha)	Unit storage requirement (mm)	Type	Length (m)	Height (m)	Type	Length (m)	Discharge (m^2/s)	Flow depth (m)
7,100	3,123	15,150	277.2	500	Earth	193.5	16.6	Lateral	171.84	716.94	1.4

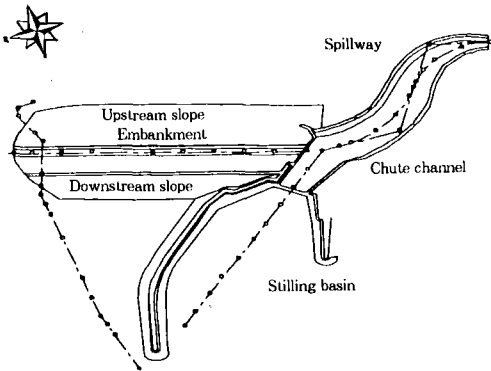


Fig. 1. Plan of Kosam Reservoir

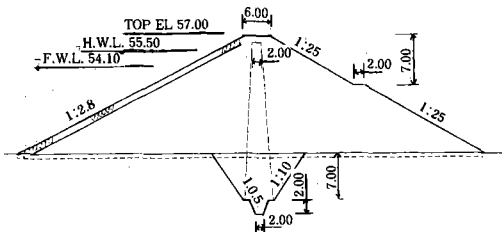


Fig. 2. Cross section of Kosam Reservoir

Table 2. Methods and examinations

Part	Primary exam.	Secondary exam.
Embankment	<ul style="list-style-type: none"> · Inspection by the naked eyes · Survey · Boring/Test pit · SPT · Groundwater level 	<ul style="list-style-type: none"> · Physical test (grain analysis, specific gravity, water content, LL, PL, etc)
Structures	<ul style="list-style-type: none"> · Inspection by the naked eyes · Concrete core · Non-destructive test 	<ul style="list-style-type: none"> · Uniaxial compression test

Table 3. Condition and judgements according to each symbol

Symbol	A	B	C
Condition	Highest rank	Medium rank	Lowest rank
Judgements	<ul style="list-style-type: none"> · Satisfactory · Good 	<ul style="list-style-type: none"> · Fair · Conditional-poor 	<ul style="list-style-type: none"> · Poor · Unsatisfactory

실시하는 2차 조사로 나누어 실시하였다⁸⁾. 1차 조사는 현장답사, 측량, 보링, 시굴, 표준관 입시험, 지하수위 측정, 코어채취, 반발경도시험(슈미트 해머) 등이며 2차 조사는 제체부의 경우 제당의 보링 및 시료 채취를 통한 각종 물성시험, 사면안정 해석 등과 구조물부의 경우 콘크리트 압축강도시험, 반발경도시험을 실시하였다. 1차 및 2차에 걸친 조사 결과를 바탕으로 저수지 각 부위별 노후도 및 안전도를 평가하였다.

제체부 및 구조물부 각 부위의 노후도는 상, 중, 하 등급^{3,4,9,20)}으로 나누어 평가되었고

상은 'A', 중은 'B', 하는 'C'로 표기하였다. 각 등급에 대한 개괄적인 판단근거는 Table 3과 같다.

III. 결과 및 고찰

1. 노후도 평가

가. 제체부

제체의 변형도를 평가하기 위해 제체 측량을 실시하였는데 그 결과 제체 부분에 대한 변형은 약간의 측방 이동 및 침하가 발생한 것 이외에는 당초 설계단면과 거의 변화가 없

는 것으로 나타났다. 또한 제체를 구성하고 있는 흙의 성질을 알아보기 위해 제체부의 구성요소 즉, 제체 표면부(crust)와 코어부(core)의 두 부분으로 나누어 토질시험을 실시하였다. 여기서 제체 표면부에 대한 시료채취는 제당위에서 직접 보링을 실시하여 시료를 채취하였고 코어부는 제당 표면에서 1m 아래의 시료를 채취하였다. 시험 결과는 Table 4와 같으며 입도분포곡선은 Fig. 3과 같다.

제체 중심에서 20m 간격으로 측점을 설치하여 침하, 유실, 균열, 누수, 붕괴, 식생 등을 조사하였으며 평가기준⁹⁾에 의해 제체부의 각 부위의 노후도를 평가하였다. 부분별 조사 내용에 대한 결과를 요약하면 Table 5와 같다. 여기서 고삼 저수지의 하류사면은 동물의 굴 등과 같은 구멍들이 많이 존재하여 훼손 정도가 심하다는 것을 알 수 있으며, 또한 교대 부위에 균열 및 조인트가 많이 존재하여 저수지의 안전에 큰 영향을 미칠 수 있다고 판단된다.

Table 4. Physical properties of soils from crust and core part of embankment

Part	W (%)	LL (%)	PL (%)	Gs	USCS
Crust	18.8	37	26	2.68	SM
Core	22.4	33	22.4	2.63	CL

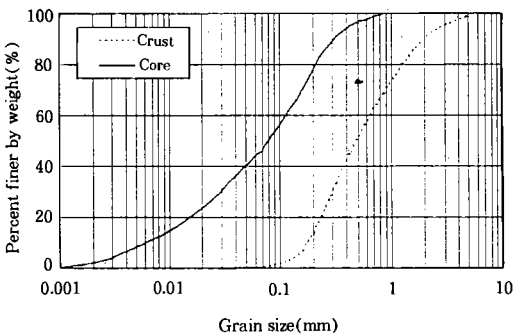


Fig. 3. Grain size distribution curves of soils from crust and core of embankments

Table 5. Degradation evaluation of embankment parts of Kosam Reservoir

Part	Item	Rating
Upstream face	Slope protection	A
	Erosion	A
	Vegetation	A
	Settlement	B
	Debris	A
	Burrows	A
Downstream face	Signs of movement	B
	Seepage or wet areas	A
	Vegetation	B
	Burrows	C
Wall joining spillway	Slope protection	A
	Seepage	A
	Cracks, joints and bedding planes	C
	Sliding	A
Crest	Vegetation	A
	Signs of movement	A
	Surface cracking	A
	Compaction	A
	Settlement	A
	Lateral movement	A
Seepage and drainage	Camber	A
	Location(s)	A
	Estimated flow(s)	A
	Color(staining)	A
	Erosion of outfall	A
	Toe drain and relief wells	A

나. 구조물부

고삼 저수지 구조물부의 콘크리트 각 부위에 대한 반발경도 시험에 의한 일축압축강도와 코어채취에 의한 일축압축강도는 Fig. 4와 같다. 그림에서 콘크리트 강도는 여수토 에이프런에서 55.1kgf/cm²로 가장 작고, 취수탑 상판에서 196kgf/cm²로 가장 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

고삼 저수지의 여수토, 취수탑, 문비, 여수토 옹벽, 급류부, 통관 등 구조물의 내구성을 평가하기 위해 변형, 침식, 박리, 백태, 누수 등을 점검하였고 각 부위별 조사항목^{1,9,20)}에

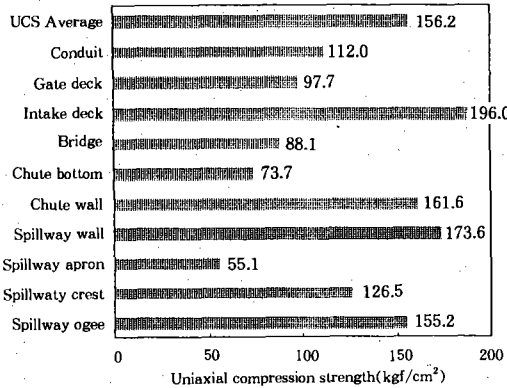


Fig. 4. Uniaxial compression strength at each part of structures

대한 결과를 정리하면 Table 6과 같다. 여기서 여수토 각 부위의 압축강도는 대체로 ‘C’ 등급이며, 여수토 정부와 제방측 벽면에서 누수가 되고 있다. 또한 고삼 저수지의 경우 구조물 부위 중에서 제방측 벽면이 가장 상태가 나쁜 것으로 나타났다.

2. 안전도 평가

저수지의 안전도 평가는 저수지 하류 및 상류사면의 안정, 현장투수시험으로 인한 저수지 제체부와 코어부의 투수계수에 대한 평가, 그리고 저수지 결괴시의 하류피해 정도를 평가하였다.

가. 사면안정 평가

사면안정해석 프로그램인 STABL5M을 이용하여 고삼 저수지에 대해 대해 홍수위와 만수위 그리고 수위 급강하시의 사면안정해석을 수행하였다. 각각의 경우에 대해 지진의 영향을 고려한 해석을 추가하였다.

사면안정해석에 필요한 토질정수 즉, 습윤단위중량, 포화단위중량, 유효점착력, 유효마찰각은 보링을 통해 얻은 제체부와 코어부의 통일분류법에 의한 분류와 그에 따른 제 성질은 Table 7과 같고 제체수위와 지진계수는

Table 8과 같다¹⁰⁾

위의 조건들을 이용하여 사면안정해석을 수행한 결과 안전율은 Table 9와 같다.

Table 9와 같이 고삼 저수지는 홍수위, 만수위에 대해 하류측 사면은 모두 3.3을 넘는 안전율을 보이고 있으며 저수지 운용과정에서 파괴되기 쉬운 수위급강하시의 상류측 사면의 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 상태를 알 수 있다.

나. 제체부 투수계수

제체 부위별 투수계수의 계산은 현장투수시험을 통해 얻은 수치를 사용하였는데 저수지 제체에 대한 투수계수와 그 기준은 Table 10과 같다. 코어재의 투수계수는 투수계수 기준치⁶⁾보다 적으며 따라서 코어재는 적절한 재료로서 이용되어 다져진 상태이다.

다. 하류피해 추정

저수지의 하류피해 추정은 미 개척국의 경험식¹⁹⁾을 사용하여 침투 유출홍수량을 산정하고 하도 홍수 추정식으로부터 임의시간과 지점의 침투 홍수량을 산정하여 1 : 50,000 지도에 도시하여 예상침수 피해도를 작성하였다. 고삼 저수지가 붕괴할 경우 홍수파는 약 3개면에 걸쳐 영향을 미치게 되며 그 범위는 하류로 약 9km까지 Fig. 5와 같다. 저수지 결괴시 예상되는 하류지역의 피해는 피해 지역내의 인구 즉, PAR(People At Risk)을 추정하고 그 경제적 손실을 계산하였는데 그 결과, 예상 침수면적이 1,100ha이고 인명피해는 1,238명, 지방세입 측면에서의 산업 피해액은 약 8,764백만원으로 나타났으며 그 정도는 “심각”한 것으로 판정되었다.

Table 6. Degradation evaluation of structure parts of Kosam Reservoir

(Spillway)

Part		Item	Rating	Part		Item	Rating
Control	Crest	Cracks	B	Chute	Left wall	Cracks	A
		Surface condition	A			Surface condition	A
		Efflorescence	A			Efflorescence	A
		Damage by rusted steel bar	A			Damage by rusted steel bar	A
		Compressive strength	C			Compressive strength	B
		Leakage	C			Settlement	A
		Neutralization	A			Movement(offsets)	A
Side channel	Floor	Cracks	A		Floor	Joints	A
		Surface condition	A			Neutralization	A
		Efflorescence	A			Leakage	A
		Damage by rusted steel bar	A			Cracks	A
		Movement	A			Surface condition	B
		Compressive strength	C			Efflorescence	A
		Joints	A			Damage by rusted steel bar	A
	Right wall including chute right wall	Cracks	A	Stilling basin	Compressive strength	C	
		Surface condition	C		Settlement	A	
		Efflorescence	C		Movement	A	
		Damage by rusted steel bar	A		Joints	A	
		Compressive strength	C		Neutralization	A	
		Settlement	A		Leakage	A	
		Movement(offsets)	A		Cracks	A	
	Joints	B	Surface condition		A		
	Neutralization	A	Efflorescence		A		
	Leakage	C	Damage by rusted steel bar		A		
	Left wall	Cracks	A		Outlet channel	Compressive strength	A
		Surface condition	A			Settlement	A
		Efflorescence	A			Joints	A
		Damage by rusted steel bar	A			Neutralization	A
Compressive strength		B	Slope protection	A			
Settlement		A	Stability of side slopes	A			
Movement(offsets)		A	Vegetation or other obstructions	A			
Joints		A					
Neutralization		A					
Leakage	A						

(Outlet works)

Part	Item	Rating	Part	Item	Rating
Intake tower	Cracks	A	Bridge	Bridge bearings	A
	Surface condition	A		Structural condition	A
	Efflorescence	A		Metal condition	A
	Damage by rusted steel bar	A	Conduit	Cracks	A
	Compressive strength	B		Surface condition	A
	Operation condition	A		Efflorescence	A
	Hoist equipment	A		Damage by rusted steel bar	A
Protective coating	A	Compressive strength	A		
Bridge	Condition of piers	A	Leakage	A	
	Condition of roadway slab surfade	B	Loss of core material	A	

Table 7. Soil parameters for slope stability analysis

Part	Wet unit weight (t/m ³)	Saturated unit weight (t/m ³)	Effective cohesion (t/m ³)	Effective friction angle (degree)
Crust	2.011	2.261	5.2	33.6
Core	2.027	2.027	8.8	25.1

Table 8. Water levels and seismic acceleration for slope stability analysis

Embankment crest elevation (m)	Flood water level (m)	Full water level (m)	Max. height (m)	Seismic acceleration
57.0	55.5	54.1	16.6	0.12g

Table 9. Safety factors of embankment slope

Case	No earthquake	Earthquake
Flood water level	3.35	2.54
Full water level	3.32	2.51
Rapid drawdown	3.66	2.55

Table 10. In-situ permeability coefficients of Kosam Reservoir's embankment

Part	In-situ permeability coefficient (m/s)	Criteria of permeability (m/s)
Crust	3.52×10^{-7}	—
Core	1.37×10^{-8}	1×10^{-7}

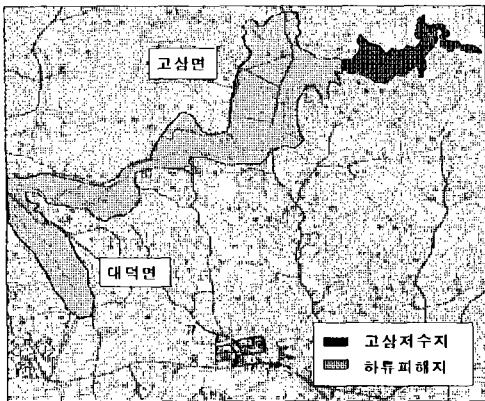


Fig. 5. Estimated damage area in case of failure of embankment of Kosam Reservoir

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 소규모 농업용 저수지에 대한 노후도 및 안전도 평가를 위해 기호농조 관할 저수지인 고삼 저수지를 선정하여 제체 및 구조물부의 각 세부항목에 대해 정밀조사를 실시하였다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 고삼 저수지의 제체부는 하류사면에 구멍이 많이 존재하고 제체연결 부위에 균열, 조인트가 존재하는 불량한 상태이므로 계속적인 관찰이 필요하다. 제체부에 대한 노후도 정도는 전체적으로 양호한 상태이다.

2. 고삼 저수지의 구조물부는 여수토 정부와 측수로 바닥, 제방측 벽면, 급류부 바닥 부분에서 콘크리트의 압축강도가 'C' 등급을 보이고 있다. 구조물부에 대한 노후도 정도는 전체적으로 중간정도에 해당한다.

3. 제체부의 사면안정 분석결과 홍수위, 만수위에 대해 하류측 사면은 모두 3.3을 넘는 안전율을 보이고 있으며, 수위급강하시의 상류측 사면의 안전율도 3.6을 넘어 안정된 상태이다. 지진을 고려했을 경우 모든 조건에서 2.5를 넘는 안전율을 보이고 있어 지진에 대해서도 충분히 안정된 상태이다.

4. 제체 파괴시의 잠재적 하류피해를 평가한 결과, 고삼 저수지의 하류피해는 “피해가 심각”한 정도로 저수지의 결괴시 상당한 인명 및 재산 피해가 예상된다.

5. 고삼 저수지의 안전도는 전체적으로 볼 때 “양호”로 나타났으며 현재 안전상의 우려는 없으나 부분적으로 노후화가 진행되고 있는 것으로 판단되었다.

참 고 문 헌

1. 건설부, 1994, 댐시설 유지관리 기준.
2. 농림부, 농어촌진흥공사, 1996, 농업생산

기반정비사업 통계연보.

3. 농림부, 1995, 농업용 저수지의 안전관리와 노후화에 따른 재개발 대책(I), 농림수산특정사업보고서.
4. 농림부, 1996, 농업용 저수지의 안전관리와 노후화에 따른 재개발 대책(II), 농림수산특정사업보고서.
5. 농림수산부, 1995, 농업기반시설관리규정.
6. 농수산부, 1982, 농지개발사업계획 설계기준 -댐편-.
7. 농어촌진흥공사, 1990, 농업토목 수리시설물 안전도 평가시스템 개발(I), 연구보고서.
8. 장병욱, 송창섭, 박영곤, 우철웅, 원정윤, 1997, 경기도내 농업용 저수지의 제체 및 구조물의 노후도 조사 연구, 한국농공학회지, 39(4), pp. 90-97.
9. 장병욱, 송창섭, 박영곤, 우철웅, 김성필, 1997, 농업용 저수지의 노후화 판단 기준의 정립에 관한 연구, 한국농공학회 학술발표논문집, pp. 271-276.
10. 장병욱, 원정윤, 박영곤, 우철웅, 1997, 지진시 흙댐의 높이와 안전율에 대한 해석, 한국농공학회 학술발표논문집, pp. 290-295.
11. 조선일보, 1961년 7월 14일자 자료
12. 한건연, 이종태, 이원환, 1985, Earth Dam의 파괴로 인한 유출수문곡선의 해석, 대한토목학회논문집, 5(2), pp. 41-50.
13. 한건연, 1990, 댐의 파괴형태와 하도부 양상에 따른 홍수파의 전달특성 해석에 관한 연구 -급격한 댐 파괴와 마른하도를 중심으로-, 한국수문학회지, 23(3), pp. 467-476.
14. 한국관개배수위원회, 1996, 한국수리사.
15. 한국일보, 1980년 7월 24일자 자료.
16. 岩態健, 松藤良佑, 案浦徳治, 1991, 曲#ダム堤改良工事, 土と基礎, 96(6), pp. 73-77.
17. 塚本健二, 渡辺正雄, 1968, 老朽タメ池事業(その1), 農業土木學會誌, 36(9), pp. 612-617.
18. Robert B. Jansen, 1983, Dams and Public Safety, United States Department of the Interior.
19. United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, 1989, Policy and Procedures for Dam Safety Modification Decisionmaking, Denver, Colorado.
20. United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, 1983, Safety Evaluation of Existing Dams (SEED), A Water Resources Technical Publication, Denver, Colorado.