

저수지 복통 정기안전점검 사례

A Case Study for Safety Inspection of Reservoir Outlet Conduit

노 주 식*
Row, Joo Sik

1. 서 론

본 사례는 태풍 “루사”와 “매미”에 의한 홍수량을 복통을 이용하여 배제하는 과정에서 파손된 저수지 복통에 대한 정기안전점검 사례이다. 먼저 정기점검의 조사분석과정을 소개하고 이를 통하여 복통의 파손원인을 분석하고 제시한 보수보강 방안을 소개하고자 한다.

저수지와 같은 시설물은 이상홍수와 같은 자연재해에 대한 내 재해성능을 갖고 있어야 한다. 이를 위하여 복통을 설계할 경우 관개를 위한 취수의 본 기능 외에 이상홍수와 같은 유사시에 홍수배제를 할 수 있는 예비기능을 충분히 할 수 있도록 설계와 시공을 해야한다. 또한 유지관리에서도 유사시를 위한 사전 점검과 준비의 필요성을 본 사례를 통하여 제시하고자 한다.

2. 본 론

가. 점검대상지구 개요

- ◆위 치 : 강원도 소재
- ◆목 적 : 관개개선 지목변환, 생활용수 확보

◆면 적

- 유역 : 1,021ha, - 수혜 : 397ha,
- 만수 : 20.3ha (단위저수량 696mm)

◆주요공사

- 저수지 1개소(L=272m, H=45.4m),
구조 : 존형 필댐
- 취수탑 : D=5.0m, H=35.3m,
- 여수토 : L=48m, • 방수로 L=122m
- 복 통 : 2R=3.9m, L=196m
- 용수로 : 5조 18.57km
(간선 3조 16.03km, 지선 2조 2.54km)
- 이설도로 : 1조 1.82km

◆개발내용

- 총저수량 : 313.75만m³ (유효저수량 276.5만m³)
- 농업용수 : 196.5만m³
- 생활용수 : 5,250m³/일
(급수인구 : 15,000명, 350ℓ/1인/일)

◆사업효과

- 작부체계 개선 및 농지 이용을 제고
- 수자원(농업 및 생활용수 확보)
- 지역개발 및 발전여건 조성
- 증수량 : 334M/T

*농업기반공사 시설관리처(jsrow@karico.co.kr)

- ◆공사기간 : 1998 ~ 2005 (7개년)
- ◆사업비 : 25,320백만원(ha당 : 63,779천원), '04년까지 17,314백만원(68%)

나. 점검 목적

- 기능성 및 안전성 평가
- 보수·보강방안 타당성 검토
- 현지 여건에 부합되는 보수/보강계획 수립
- 재해예방과 농촌용수개발사업의 효율적인 추진 도모

다. 점검대상시설 : 저수지 복통 (2R=3.9m, L=196m)

라. 조사기간 : 2004. 5. 17 ~ 6. 25 (40일간)

마. 현지조사 내용

1) 측량조사

가) 제체 중·횡단측량

- 평균표고 : EL.190.27m (최대성토고 : 33.15m)
- 복통 중심선에서 제체 중심선까지 우회각 106°10'20" (직선기준 73°49'40")
- 평균기울기 : 상류부 1:3.0, 하류부 1:2.5

나) 복통 종단 및 중심선측량

- 평균기울기 : 1/100 {상류부(L=96m) 1/103, 하류부(L=100m) 1/95} ⇒ 상류부 기준으로 하류측 방향으로 경사각 형성
- 상류측 중심축에서 하류측 중심축까지 우회각 176°21'54" (직선기준 3°38'6")

⇒ 하류방향 좌측으로 평면각 형성

다) 복통 내공직경 측정

- 5.0m 간격(중심부 80m는 1.0m 간격)으로 6개 측선에 대하여 측정
- ⇒ 표준단면 대비, 천단높이 최대 14cm 축소, SL폭 최대 12~16cm 확대 변형

2) 외관조사

- Arch
 - No.09+01~No.16+08 : 종방향 균열
 - No.12+00~No.14+00 : 박락, 종방향 균열폭 및 개소 확대(cw=0.1~5.0mm)
- 어깨
 - 우측 No.12+01~05, No.13+08 ~ No.14+00 : 경사균열(cw=0.2~2.0mm)
 - 좌측 No.12+10~No.13+10 : 균열, 박락
 - 우측벽
- 상류부 횡방향 균열 다수 (cw = 0.2 ~ 0.9mm)
- No.12+00~No.14+00 : 균열, 박락, 철근노출 및 변형, 누수
- 좌측벽
- 상류부 횡방향 균열 다수 (cw = 0.3 ~ 0.5mm)
- Invert
- No.10+08~No.15+10 : 종방향 균열 (cw=0.4~5.0mm)
- No.13+05~17 : 중앙부 세굴, 주철근 노출

3) 재료조사

가) 반발경도시험

- 추정식 143~178kgf/cm²(평균 169kgf/cm² : 설계기준강도 210kgf/cm²의 80%)

나) 초음파시험

- 표면법 "D" 등급 판정 ⇒ 내부결함 추정

다) 중성화시험

- 전체 중성화 깊이 2~10mm, 손상부위 7~10mm

라) 철근탐지조사

- 배근간격 : 종 160~320mm, 횡 190 ~ 300mm (설계도면 : 종횡 250mm)
- 피복두께 : 종 27 ~ 133mm, 횡 24 ~ 135mm (설계도면 : 종횡 60~80mm)

마) 콘크리트 코아시험

- 압축강도 109~180kgf/cm²(6개 공시체 평균 150kgf/cm² : 설계기준강도 210kgf/cm²의 71%)

4) 지질조사

가) 댐마루 축선

- 전기비저항 403~21,446Ωm : 미담수상 태로 제체내 공극 비어있음(사질토성분)
- 복통주변 지반의 과포화대는 관찰되지 않음

나) 댐우안 축선

- 전기비저항 550~24,300Ωm : 상부토사층 제체우안 소계곡 유입수(복류수)로 포화
- 얇은 기초암반이 소계곡측 지하수(복류수)의 유하를 막고 복통 측으로 유도
⇒ 복통 우측 어깨~측벽에 포화대 형성. 파손부위를 따라 복통 내로 유입

5) 관련 사진

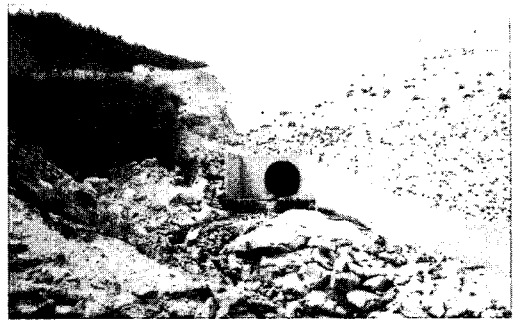


사진 1. 문제지구 저수지 복통 유출부 전경

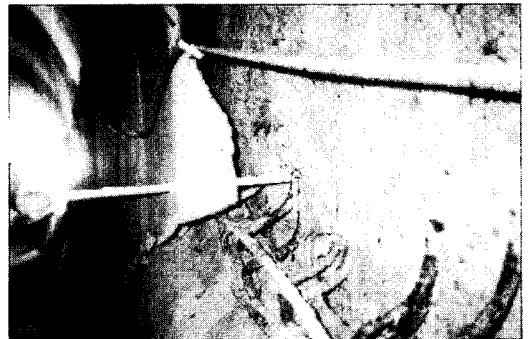


사진 2. No.12+15~No.13+00 우측벽 박락, 철근 노출 및 변형



사진 3. No.13+10 박락, 철근 겹이음부의 변형

바. 시설물 분석·평가

1) 시설물 성능분석

가) 기능성 검토

- 복통 배제통수량 : 200년 빈도 81.39m³/s
⇒ coffer dam 최고 내수위 EL.162.21m, 계획고(EL.164.00m) 대비 1.79m 여유고
- 복통 수리검토 : 평면각 고려 제체 중심선 직하 우측벽에 작용하는 수충격 검토
⇒ 제체 시공중 최고수위로 추정되는 '02 태풍 "루사"시 0.138kgf/cm²
⇒ 최악의 조건인 만수위 상정시 0.195kgf/cm²
- 굴절부에서 내외측 및 상하측에서 사출되는 고속흐름이 서로 간섭효과, 진동을 동반하는 와류현상 발생, 복합적 요인에 의해 콘크리트 압축강도 저하 등 손상 발생

나) 안전성 검토

- 복통 구조해석 : 해석단면 No.12+00 및 No.14+00
⇒ Arch 및 측벽 내력부족
⇒ 실제 복통 손상부분과 일치
- 같은 손상이 복통 상류측 동일 토피고에서 발생하지 않은 것으로 보아 구조해석상의 하중조합 이외의 하중이 복통 하류측에 복합적으로 작용

2) 시설물 평가

가) 시설물 상태평가

주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수/보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정해야 하는 상태인 "D" 등급으로 평가

나) 시설물 안전성 평가

복통 전체를 단일 구조체로 보아 좌우 측벽

에서 나타나는 최저 안전율을 고려한 "D" 등급으로 평가

사. 시설물 종합평가

1) 복통 손상원인 검토

가) 수리적인 측면

- (1) 복통 만류 : '02(루사) 및 '03(매미) 태풍시 2차례 만류 추정
⇒ 추정 최고수위가 복통 직경의 1.5배 이상
⇒ 관수로 흐름에 따른 복잡한 흐름의 변화가 구조적인 내력부족과 상호작용하여 콘크리트 손상에 단초 제공
- (2) 복통 굴절부 이하에 수충격 등 이상 수리현상 발생
⇒ 제체 중심부의 평면각 및 경사각 형성 지점에서 수류 및 부유물 등에 의한 충격력과 단면 내외/상하측 흐름의 상호 간섭에 의한 진동발생
⇒ 만류에 의한 관수로 흐름시 고속흐름과 함께 연행공기 유입, 부압발생
⇒ 수충격, 진동, 부압 등에 의하여 콘크리트에 손상 발생

나) 구조적인 측면

- (1) 단면부족 : 현재의 상재하중 및 압축강도로 구조해석
⇒ 주요 손상구간인 No.12+00~No.14+00 구간은 두께 및 철근량 부족
⇒ 토피고가 같은 상류측에서는 동일한 손상이 발생하지 않은 것으로 판단할 때 구조해석상의 하중조합 이외의 하중이 하류측에 복합적으로 작용
⇒ 수위상승으로 인한 만류시 평면각과 경사각으로 굴절된 하류측에 수충격,

- 진동, 부압 등 계량화가 난이한 하중 작용
- ⇒ 부족한 단면에 의한 내력부족 상태에서 예상하지 못한 수리현상에 의한 이상 하중이 작용하여 콘크리트에 손상 발생
- (2) 편토압 발생 : 복통 상부 성토형상의 차이
- ⇒ 암반경사가 급한 우안의 경우
 - : 성토공간 협소, 암반사면 및 복통 측벽에 의한 마찰력으로 성토지반의 자중이 하부로 제대로 전달되지 않아 복통 측벽에 대한 토압 감소, 상재하중에 의한 복통의 측방변형에 대한 저항력 감소
- ⇒ 암반경사를 무시할 수 있는 좌안의 경우
 - : 넓은 성토공간, 하부로 전달되는 성토 하중이 우안에 비해 상대적으로 크게 작용하여 복통측벽에 대한 토압의 상대적 증가
- ⇒ 복통 좌우안 암반경사 차이에 의한 편토압과 이에 따른 내부변형의 상대적 불균형으로 복통 구조안전성 저하, 콘크리트에 손상 발생
- 다) 설계/시공적인 측면
- (1) 설계변경시 복통 단면 축소 : Dam site 변동에 따른 설계변경
 - ⇒ 제체높이 34.3m에서 45.4m로 11.1m 증가, 복통 두께 1.0m에서 0.5m로 0.5m 감소
 - ⇒ 단면부족에 따른 내력부족으로 콘크리트에 손상 발생
- (2) 제체 중심선에 평면각과 경사각 시공 : 완화곡선 미설치
 - ⇒ 제체 중심선을 기준으로 하류방향 좌측으로 3°38'6"의 평면각 시공

- ⇒ 상류측 종단 기울기 1/103, 하류측 1/95로 단일경사가 아닌 시공
- ⇒ 복통 만류시 평면각과 경사각에 의한 와류현상으로 콘크리트에 손상 발생
- (3) 철근 이음위치 부적절 : 최대 휨응력 발생위치에 철근이음 시공
 - ⇒ 최대 인장응력이 발생하는 Spring line 부근에 이음 설치로 콘크리트에 손상 발생
 - ⇒ 철근 이음위치에 최대 휨응력이 발생하여 콘크리트에 손상 발생
- (4) 콘크리트 시공관리 미흡 : 압축강도 등 품질 미흡
 - ⇒ 코아압축강도 시험결과 설계기준 강도의 71%인 평균 150kgf/cm² 발현
 - ⇒ 초음파시험결과 부분적 내부결함이 있어 보수 또는 보강을 요하는 "D" 등급
 - ⇒ 철근 배근간격 및 피복두께 불규칙
 - ⇒ 콘크리트 강도저하 및 품질 불균질 등으로 인해 콘크리트에 손상 발생
- (5) 제체 우안 소계곡측 배수처리 미흡 : 복통내 누수의 원인
 - ⇒ 제체 우안도로 외측의 계곡수 배수불량
 - ⇒ 정체된 계곡수가 복통 측으로 복류/침투하여 복통 손상부위를 통해 복통내로 유입

2) 시설물 종합평가

- (1) 시설물 상태평가 결과 복통 Span별 상태평가 등급은 "B"~"D"에 해당하나 주요 손상부위는 복통 및 제체 전체의 구조 안전성에 영향을 미칠 수 있으므로 종합 상태는 "D" 등급으로 평가
- (2) 시설물 안전성 평가결과 Arch는 "B", 좌우측벽은 "D", Invert는 "B"에 해당하나

복통 전체를 단일 구조체로 보아 좌우 측벽에서 나타나는 최저 안전율을 고려, 종합상태는 "D" 등급으로 평가

- (3) 제체, 복통, 여수로 시설 등이 유기적으로 연결되어 기능을 발휘하는 필담은 어느 한 시설의 안전성 결여가 전체 시설물의 기능성 및 안전성에 영향을 미치며 특히, 담 상하류부를 관통하는 암거식 복통의 경우 복통 구조체의 안전성 결여는 제체 파손을 유발할 수 있으므로 본 저수지 복통의 종합평가는 시급한 보수/보강을 요하는 "D"등급으로 평가

아. 시설물 보수·보강 방안

1) 주요 보수/보강 대상 구간

No.10+00~No.15+00 (5개 Span)

2) 공통사항

- (1) 보강대상 구간은 복통의 구조안전성을 고려하여 먼저 보수를 시행하고, 복통 배면공동을 처리할 수 있는 압밀그라우팅의 선행 필요
- (2) 보수공법은 균열, 재료분리/박락, 누수 등에 적용하는 공법 채택
⇒ 표면처리공법, 주입공법, 폴리머 콘크리트 패칭공법, 폴리우레탄 수지 주입공법 등
- (3) 보강공법은 철근콘크리트 또는 원형관을 사용하여 복통 전단면을 보강하는 공법 중 현지 여건을 고려하여 선정
- (4) 저수지 담수 이후의 복통 상류부는 정수압과 침투수 등에 의한 콘크리트 손상이 담수 이전보다 심해질 수 있으므로 이에 대비한 보수/보강 공법의 추가 적용도 필요

3) 보강공법

진단결과에 따라 본지구의 복통 피해구간에 대한 보수·보강공법은 아래와 같이 2개 안을 제시하여 현장 여건에 맞는 공법을 채택하도록 하였다.

- 제1안 : 철근콘크리트 구조로 복통 전단면 보강
- 제2안 : 원형관으로 복통 전단면 보강

3. 결론

본 지구에서 발생한 복통 손상원인은 설계, 시공, 품질관리 등 전반적인 과정에 문제가 있어 발생되었으며, 특히 태풍 "루사"와 "매미"에 의한 홍수 시 과도한 홍수량을 배제하는 과정에서 직접적인 영향을 받은 것으로 분석되었다. 복통의 본 기능 외에 유사시 홍수량 배제를 위하여 사용될 경우를 위하여 설계 시 여유단면과 특히 만곡부 등 이상수류의 수충격이 발생할 가능성이 있는지 검토와 대책이 필요하다. 또한 복통 시공 시 철저한 품질관리와 복통시공 후 양생이 끝나면 가능한 조속한 시간 내에 성토피복을 충분히 해 주는 것이 구조물의 내구성을 위하여 꼭 필요하다. 또한 유사시 홍수배제를 할 경우를 대비하여 기존 저수지의 복통의 품질 상태를 늘 점검하고 이 상태를 고려하여 홍수량의 배제량을 허용범위 내로 조절하는 시설물 유지관리 지혜가 필요하다는 결론을 얻었다.