발 간 등 록 번 호
11-1543000-001984-01

2017

Research Report

재해대비 농업용저수지
취수시설 개선 연구(II)

A Study on the Improvement of Intake Facility
of Agricultural Reservoir for Disaster Prevention

농림축산식품부 한국농어촌공사

맨 앞장

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “재해대비 농업용저수지 취수시설 개선 연구” 과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2017년 12월

주관연구기관명 : 농어촌연구원
연 구 지 도 : 장중석, 오수훈
연 구 책 임 자 : 이태호
연 구 원 : 양영진
장은철
허 준
김현미

공동연구기관명 :
㈜에스티아이씨앤디
연 구 책 임 자 : 문정은
연 구 원 : 김영재
김경호
김경환
김동희
위촉연구자 :
㈜이산 박래건

< 요 약 >

Ⅰ. 제 목

재해대비 농업용저수지 취수시설 개선 연구(최종)

Ⅱ. 연구기간

2016. 02 - 2017. 12 (2년)

Ⅲ. 연구배경 및 목표

3.1 연구배경

과거 농업용저수지 축조는 기술적 수준이 낙후되고 예산의 부족으로 인해 복통을 공사 시 홍수배제 및 취수시설로 주로 활용해 왔으며, 복통은 주로 제체의 중앙부를 관통하여 설치되기 때문에 안전진단 시 제체의 주요한 결함요인 중 하나이다. 또한, 소규모 저수지에 설치된 복통은 내경이 800㎜미만으로 매우 작아 안전진단 및 보수보강이 어려워 제체 파괴의 주요한 원인이 되고 있다.

복통은 취수된 용수를 하류부 용수로에 도수하는 시설이므로 저수지 사수위보다 낮은 곳에 위치한다. 그리고 제당방향과 직각방향으로 제체를 관통하여 낮은 곳에 설치됨으로 우선 큰 토압을 받게 되며, 커튼그라우팅이 부실할 경우에는 복통 기초에도 양압력이 작용할 수 있다. 또한 제체가 토사와 서로 이질적인 재료인 콘크리트 구조물과 접하게 됨으로 접촉면을 따라 유로가 형성될 수 있는 취약점이 있다.

이러한 안전에 취약하고 노후화된 복통으로 인한 사고들로 인해 저수지 하부지역의 인명과 재산손실 등 경제적인 피해가 발생하고 있으며 이를 개선하기 위한 대책이 필요한 실정이다.

농업용저수지 중 제고 10m이하이고 총저수용량이 10만㎥이하인 저수지

는 14,036개소로서 전체 저수지의 81%에 달하고 있으며 이 저수지들에 대하여 복통 개보수공사에 대체 취수시설을 적용한다면 개착에 의한 콘크리트개거공법 또는 보수보강공법과 비교해 경제성은 물론 재해대비 안전성도 더 높을 것으로 판단된다.

따라서, 이러한 복통의 취약점을 개선하기 위한 대책으로 본 연구에서는 사이폰 대체공법을 제시하고자 한다.

3.2 연구목적

농업용저수지의 취수시설인 복통을 대체할 수 있는 취수공법인 사이폰에 의한 대체취수시설의 현장시험시공 및 설계지침(안)과 대체 취수공법의 시공 및 유지관리방안 제시

Ⅳ. 연구내용

가. 취수시설 설치현황 분석, 대체공법 시험시공 및 효용성 분석 (2016년, 1차년도)

1) 농업용저수지 취수시설 및 개보수 현황 검토
2) 농업용저수지 취수시설 문제점 및 대책
3) 취수시설 사이폰 대체공법 적용성 검토
4) 사이폰 취수시설 현장 시험시공(1)
5) 실내 수리모형실험(2)

나. 취수시설 대체공법 시험시공 모니터링 평가 및 설계지침(안) 마련 (2017년, 2차년도)

1) 시설 효용성 분석 및 유지관리를 위한 개선방안 제시
2) 사이폰 취수시설 현장 시험시공(2)
3) 실내 수리모형실험(2)
4) 현장적용, 대체공법 설계 및 시공지침(안) 마련

Ⅴ. 연구결과

본 연구과제에서는 전국에 걸쳐 산재되어 있는 17,339개소의 농업용저수지 중 취수시설로 복통이 설치되어 있는 소규모저수지를 대상으로 복통 및 사통을 대체할 수 있는 사이폰 공법의 적용성과 효율성을 분석하고, 설계기준, 시공 및 유지관리방안을 제시하고자 하였으며 사이폰여수로 현장조사, 사이폰취수시설 적용가능지구 선정, 사이폰 취수시설 현장시험시공 및 실내 수리모형실험을 통해 연구가 수행되었다.

본 농업용저수지 취수시설 개선방안 연구성과는 아래와 같다.

○ 농업용저수지 취수시설 및 개보수 현황

농업용저수지의 취수시설에 대한 일반적인 현황을 파악하였으며 농업용저수지의 대부분인 약 97%는 복통과 사통이 설치되어 있으며 복통의 평균직경이 약 0.4m로서 매우 작아 시설에 대한 안전진단 및 개보수시 어려운 것으로 판단되었다.

전국의 농업용저수지에 대한 개보수공법 적용현황을 파악해본 결과 한국농어촌공사의 8개 지역본부에서 시행한 복통 개보수공사에서 RPR, 강관압입추진, SGT브리스공법 등 총 26종에 대해서 다양하게 시행이 되고 있고 단일공법으로 강관압입공법이 30%를 차지하고 있다. 또한, 복합관제작공법류는 32%를 차지하여 대부분을 차지하고 있다.

지역별 복통 개보수공법 적용현황은 RPR공법은 전국적으로 모두 적용되고 있으며 강관압입공법은 7개 지역본부에서 적용되고 있어 지역적으로 가장 널리 사용되고 있었다.

복통의 단면형식별 개보수공법 적용현황을 파악해본 결과 총 15종류의 형식중 원형단면이 대부분이었으며 적용된 개보수공법은 단면형상의 특성상 강관압입공법이 대부분 적용되었다.

○ 농업용저수지 취수시설 문제점 및 대책

제체내부에 복통이 설치된 소규모 농업용저수지에서 시설이 노후화 되었을 경우 토공과 구조물의 접속부를 통한 파이핑 우려가 크고 이를 극복하기 위해 본 연구에서 제시된 사이폰 공법을 각각의 항목에 대해서 비교해 본 결과 시설운영시 복통의 기능(사전방류 및 취수)을 대신할 수 있으며

제체의 내측이 아닌 바깥부분에 설치되어 제체안정에 유리하고 유지관리 및 개보수가 용이하였다. 또한, 최초 작동시 펌프를 통한 기동이 필요하지만 그 이후로는 복통과 마찬가지로 밸브조작에 의해서 작동이 가능하여 큰 차이가 없었다.

사이폰 여수시설이 설치된 13개소의 저수지중 2개소에 대해서 현장조사를 실시한 결과 2개소 모두 홍수시 사이폰 작동으로 인한 방류는 잘 되고 있으나 70년대 중반에 콘크리트재질의 박스형으로 설치되어 사이폰 정지를 위한 공기변(에어벤트)의 작동이 불가능한 상태였다. 특히, 송석지의 경우는 당초에 설치된 3련의 사이폰에 추가적으로 2련을 설치한 경우로서 전면 여수토로 설치하는 것과 비교하여 70%이상 공사비가 절감되었다. 이는 사이폰의 장점을 활용한 사례라고 할 수 있다.

○ 취수시설 사이폰 대체공법 적용성 검토

사이폰공법을 소규모 농업용저수지에 대체 취수시설로 적용할 경우 발생될 수 있는 문제점 및 대책을 검토하였다. 기설복통을 제거한 후 사이폰 시공시 임시 사이폰 방류시설을 설치하여 가배수로 역할을 대체할 수 있었으며, 규모가 큰 여수로 사이폰시설에 작동하는 진동 및 소음에 대해서는 현장시험시공에서는 발생하지 않았다. 또한, 하류 유출부 세굴에 대해서는 유출부 밸브로 유량조절이 가능하고 유입부의 막힘 우려현상은 펌프가동을 통한 공기의 역방향 배출로 제거가 가능할 것으로 검토되었다.

사이폰 대체공법이 적용가능한 지구를 검토하기 위해 사이폰원리에 의한 한계높이를 고려하여 제체높이 10m이하, 총저수용량 10만㎥이하 및 수혜면적 30ha 이내 등의 선정조건을 결정하고 농업용저수지에 대해서 대상지구를 선정한 결과 공사관리 저수지 3,394개소중 1,480개소가 적용가능한 것으로 판단되었다.

또한, 유지관리를 고려한 사이폰 대체공법의 경제성을 검토한 결과 순공사비에서는 39% 절감되었고 유지관리비(관리비+개보수비)를 고려하더라도 27% 더 경제적인 것으로 검토되었다.

○ 사이폰 취수시설 시험시공

사이폰 취수시설을 실제 현장에 적용하기 위해 시험지구 1개소를 선정하여 설계 및 시공을 하였다. 직경 200㎜의 PE수도관을 융착하여 시공하였

다. 시공후 현장에서 작동여부를 테스트한 결과 원활하게 작동이 되었고 제수밸브 개폐도에 따라 개거의 유속을 측정하여 유량을 산출하였다. 설계, 시공 및 유지관리경험을 고려하여 사이폰 취수시설에 대한 9가지의 개선방안을 제시하였다.

○ 실내 수리모형 실험

현장시험시공에 대한 최적의 설계 및 이론적인 기초자료를 제공하고 사이폰 취수장치의 문제점 및 대책을 제시하기 위해 1/4 축척의 수리모형을 제작하여 유량계수 측정, 캐비테이션 발생 여부, 수위별 유출부 형상에 따른 유량변화 등에 대한 실험을 실시하였다.

실험결과 방류구 연장길이는 방류량에 큰 영향이 없으며 방류구의 형상에서는 곡관일 경우 수두차이가 줄어들어 직관에 비해 방류량이 크게 감소하는 결과를 나타냈다. 또한, 1열과 3열로 설치시 각각의 방류량은 큰 차이가 없었다. 유량계수는 직관인 경우 0.47, 곡관인 경우 0.44로 작게 나타났다. 현장과 실내모형실험에서 방류량을 비교한 결과 밸브를 조금 열었을 경우 버터플라이 밸브 후면의 와류현상이 커짐에 따라 오차가 12% 났지만 밸브를 더 열수록 점점 차이가 줄어들어 3% 정도로 감소하였다.

사이폰은 관수로이기 때문에 저수지 수면의 부유물이나 퇴적물이 관내나 입구부 폐쇄시 기능을 수행할 수 없다. 따라서, 유입부 막힘 가능성에 대하여 검토하기 위하여 유입부의 3차원 유속분포실험을 실시하였다.

실험결과 수두차 150㎝(원형 6.0m)에서 유입구에서 20㎝(원형 0.8m) 떨어진 지점의 최대유속은 10㎝/s(원형 0.2m/s)로 미미한 것으로 나타났으며 실제 부유물에 의한 유입부 막힘현상은 수두차가 매우 낮은 상태에서 발생하므로 실제 발생유속은 훨씬 작아 입구부 폐쇄 가능성은 매우 낮은 것으로 분석되었다.

사이폰은 작은 단면적으로 많은 유량을 배출할 수 있는데, 이는 사이폰 작동시 관내의 유속이 매우 빠르기 때문이다. 따라서, 고속의 수류를 용수로로 직접 토출시킬 경우 용수로의 설계유속을 초과하므로 이를 감세할 수 있는 집수정을 설치하고 용수로의 유속을 측정하였다.

사이폰 토출부에 집수정을 설치하고 용수로로 토출시킬 경우 집수정내에서 잠류상태가 되어 감세가 가능하며 용수로에서는 자연유하식으로 유하되므로 용배수로의 표준경사의 최대경사인 1/300보다 큰 1/200 경사에서도 최대 1.11m/s의 유속이 발생하여 콘크리트 수로의 허용유속인

1.5m/s이내인 것으로 나타났다.

여수로 용도의 사이폰은 고수위의 유량을 배출하는 역할을 수행하나, 취수시설 용도의 사이폰은 만수위에서 사수위의 유량을 언제나 하류로 공급할 수 있어야 하므로, 수위별 방류 가능여부와 사이폰의 초기 작동여부를 실험하였다.

사이폰이 만관된 상태에서는 실험 최대수두차인 170㎝(원형 6.8m)에서 최저 30㎝(원형 1.2m)까지 모든 수위의 범위에서 밸브조작을 통하여 공급이 가능한 것으로 나타났다.

사이폰이 만관된 상태에서는 실험 최대수두차인 170㎝(원형 6.8m)에서 최저 30㎝(원형 1.2m)까지 모든 수위의 범위에서 밸브조작을 통하여 공급이 가능한 것으로 나타났다.

사이폰의 초기작동이 가능한 수위를 알아보기 위하여 하류부 사이폰 관을 1열로 한 경우와 관성력을 증가시키기 위하여 2열로 한 경우, 3열로 한 경우로 구분하여 실험을 실시하였다.

실험결과 1열에서는 105㎝까지 사이폰 초기작동이 가능하였고, 2열로 연결된 조건에서는 85㎝까지, 3열로 연결된 조건에서는 80㎝까지 사이폰 초기작동이 가능하였다.

저수위에서 사이폰의 초기 작동이 어려우므로 이를 보완하기 위하여 진공펌프를 사용하는 방법과 양수펌프의 유입부를 사이폰에 직접연결하는 방법을 추가로 실험하였다. 실험결과 두 경우 모두 수두차와 관계없이 사이폰 작용의 유도가 가능하였으나, 양수펌프의 유입부를 사이폰에 직접연결하는 방법의 경우 초기 작동에 5~10분 정도로 시간이 많이 소요되었다. 그러나, 사이폰의 초기 작동은 연 1회 실시하는 것으로 양수펌프을 사용하는 방법도 충분히 가능할 것으로 판단된다.

따라서, 하류부 관을 2~3열로 하여 사이폰 작용을 유도하는 방법은 효율이 낮으므로 이동식 진공펌프나 양수펌프를 역방향을 설치하여 활용할 수 있도록 할 경우 초기 작동에 대한 문제점은 해결이 가능할 것으로 판단된다.

실제 유지관리를 하는 경우 사이폰 취수시설의 초기작동은 관개기 시작시 사이폰 작동 테스트 및 초기 만관상태를 유지하여야 원활한 용수공급이 가능할 것으로 판단되며, 가뭄으로 저수위가 매우 낮은 상태에서 초기가동이 필요할 경우에는 위와 같은 방법을 활용하여 문제점을 개선할 수 있

을 것이다.

○ 취수시설 대체공법 설계 및 시공 지침(안)

저수지 취수시설로의 신규 공법인 사이폰 취수시설을 현장에서 쉽게 설계 및 시공할 수 있도록 설계 및 시공지침(안)을 작성하였다.

현장적용 설계 및 시공지침(안)은 다음과 같은 목차로 구성하였다.

1. 사이폰 원리 : 대체공법의 사이폰 원리에 대한 설명
2. 설계 일반 : 설계시 유의사항, 사이폰 취수시설 적용 대상 저수지 규모
   - 소규모 농업용저수지로서 제체높이10m이하(사수위-제정표고 8m이하)
   - 총저수량 10만㎥이하, 수혜면적 30ha이하
3. 설계 순서 : 취수시설 구성 및 형식 → 수리계산 → 구조계산
4. 취수시설 구성 : 취수부 - 조절부 - 도수부
5. 취수시설 위치 : 취수시설의 설치위치에 대한 일반적인 조건
6. 수리설계 : 사이폰 수리계산, 사이폰 설계 제한조건 등
7. 구조설계 : 사이폰 관체 설계, 부압에 대한 구조 안정성 검토 등
8. 부대시설 설계 : 유입부 스크린 설계

또한, 설계 및 시공지침(안)의 부록으로 일반적인 소규모 저수지의 표준 제당의 규모를 설정하고, 이에 대한 설계 및 시공도면, 산출내역서를 제시하고, 현장 시공시 사이폰 관의 재료에 따라 강관을 적용할 경우, PE관을 적용할 경우의 시방서를 제시하였다.

summary

1. Title : A study on the improvement of intake facility of agricultural reservoir for disaster prevention

2. Research Period : February, 2016 ~ December, 2017

3. Background & purpose of study

- The conduit penetrates the body of the reservoir. Therefore, the conduit is a major defect factor in reservoirs.
- The conduit in reservoirs are very small, less than 800 ㎜ in diameter. The conduit in reservoirs are very small and difficult to safety inspection and maintenance.
- The intake facility is necessary to replace the function of the conduit in reservoirs. The intake facility is necessary review the facilities and improve the standards
- Damage to people and property is caused by the accident of the intake facility which is vulnerable to security and obsolete. Therefore, measures are needed to improve the problems of the intake facility.

4. Contents of study

4.1 Analysis the current status, field tests and applicability of intake facility for agricultural reservoir(2016, 1st year)

- The intake facility and current status of rehabilitation for the agricultural reservoir
- Problems and countermeasures of intake facility for the agricultural reservoir
- The applicability of siphon
- The trial construction of siphon
- The hydraulic model test of siphon

4.2 The monitoring of trial construction and improving design standards of intake facility for agricultural reservoir(2017, 2nd year)

- The monitoring of trial construction and suggestion for improvement on maintenance
- The hydraulic model test of siphon
- The improving design standards for siphon

5. Results of study

- Siphon is can replace the function of the intake facility(conduit) and easy to maintenance and repair.
- As The result of siphon trial construction, 9 improvement were suggested

- The results of the siphon economics review was 39% economical in net construction costs. And considering the maintenance cost, the siphon is 27% more economical than the conduit
- The results of the review of possibility area of the siphon showed that the height was less than 10m, the total capacity was less than 100,000㎥, and the benefit area was less than 30ha.
- Siphon is applicable to 1,480 sites in reservoir maintained by Korea Rural Community Corporation.
- Comparing the results of the hydraulic model test and the trial construction, the discharge flow amount was about 4% different
- Through the hydraulic model test and field test construction, it was confirmed that the siphon intake facility was operating smoothly
- Design and construction guideline for siphon intake facilities to be easily designed and constructed on site
- An appendix provides a design drawing of the siphon intake system for standard small reservoirs

< 목 차 >

제1장 서 론 ····· 1
제1절 연구배경 및 목적 ····· 1
1. 연구배경 및 필요성 ····· 1
2. 연구목적 ····· 1
제2절 연구범위 및 방법 ····· 2
1. 연구범위 ····· 2
2. 연구방법 ····· 2

제2장 농업용저수지 취수시설 및 개보수 현황 ····· 3
제1절 저수지 취수시설 ····· 3
1. 저수지 취수시설의 구성 ····· 3
2. 저수지 취수시설 현황 ····· 6
제2절 저수지 취수시설 개보수 현황 ····· 8
1. 저수지 취수시설 개보수 현황 ····· 8
2. 저수지 복통 개보수 현황 ····· 11

제3장 농업용저수지 취수시설 문제점 및 대책 ····· 16
제1절 농업용저수지 취수시설 문제점 및 대책 ····· 16
제2절 취수시설 대체공법 필요성 ····· 18

제4장 취수시설 사이폰 대체공법 ····· 21
제1절 사이폰 대체공법의 개요 ····· 21
1. 사이폰의 물리적 특징 ····· 21
2. 사이폰 관내 압력 ····· 24
3. 사이폰 작용의 한계 ····· 26
제2절 사이폰 여수시설 설치 사례조사 ····· 31

1. 사이폰 여수시설 일반현황 ····· 31
2. 고풍지 사례 ····· 33
3. 송석지 사례 ····· 33
제3절 사이폰 대체공법 적용 시 문제점 및 대책 ····· 36
제4절 사이폰 대체공법 적용가능지구 검토 ····· 37

제5장 취수시설 사이폰 대체공법 시험시공 ····· 43
제1절 송산저수지 현장시험시공 ····· 43
1. 대상지구 현황 ····· 43
2. 현장 시험시공 ····· 46
3. 현장실험 결과 ····· 50
제2절 신후평저수지 현장시험시공 ····· 53
1. 대상지구 현황 ····· 53
2. 현장 시험시공 ····· 55
3. 현장실험 결과 ····· 60

제6장 대체공법 실내수리모형 실험 ····· 62
제1절 수리모형 제작 ····· 62
1. 상사법칙 ····· 62
2. 모형제작 ····· 64
3. 계측장비 ····· 69
제2절 수리모형실험 결과 ····· 72
1. 방류량 실험 ····· 72
2. 관내 압력 측정 실험 ····· 84
3. 유입부 유속 실험 ····· 85
4. 유출부 감세 실험 ····· 90
5. 사이폰 수위별 작동 실험 ····· 92

제7장 취수시설 사이폰 대체공법 적용성 검토 ····· 97

제1절 사이폰 대체공법 적용검토 ·····98
제2절 사이폰 대체공법 경제성 검토 ·····104
1. 사통 및 복통 재설치 비용 ····· 104
2. 사이폰 대체공법 비용 ····· 105
3. 대체공법의 경제성 검토 ····· 106
제3절 설계시공 및 유지관리를 위한 개선방안 ·····109
1. 설계시공시 개선사항 ····· 109
2. 유지관리시 개선사항 ····· 110

제8장 취수시설 대체공법 설계지침(안) 및 시방서 ·····111
제1절 대체공법 설계지침(안) ·····111
1. 설계지침(안) ····· 111
2. 취수시설 대체공법 설계 및 시공도면 ····· 129
제2절 취수시설 대체공법 시방서 ·····137

제9장 결론 ·····138
참고문헌 ·····143

부 록 ·····144

[부록 1] 현장시험시공 시설물사진첩 ·····145

[부록 2] 취수시설 대체공법 유지관리지침 ·····165

<표 차례>

(표 2-1) 취수시설 구성 ····· 6
(표 2-2) 최근 5년간 일반개보수 사업현황 ····· 9
(표 2-3) 저수지 개보수 부분별 건수 ····· 9
(표 2-4) 저수지 연평균 개보수 비용 ····· 10
(표 2-5) 저수지별 평균 개보수 비용 ····· 11
(표 2-6) 저수지 복통 개보수공법 적용 분포 ····· 12
(표 2-7) CIPP공법의 세부공법적용 현황 ····· 12
(표 2-8) 복합관 보수 · 보강공법의 세부공법적용 현황 ····· 12
(표 2-9) 콘크리트 보수 · 보강공법의 세부공법적용 현황 ····· 12
(표 2-10) 각 지역별 복통 개보수 공법 적용 현황 ····· 14
(표 3-1) 복통과 사이폰 비교검토 ····· 20
(표 4-1) 사이폰 여수시설 설치 현황 ····· 32
(표 4-2) 송석지 물넘이 공법 비교검토 ····· 34
(표 4-3) 사이폰 대체공법 문제점 및 검토방안 ····· 37
(표 4-4) 제당높이별 농업용저수지 현황 ····· 38
(표 4-5) 총저수량별 농업용저수지 현황 ····· 39
(표 4-6) 수혜면적별 농업용저수지 현황 ····· 40
(표 4-7) 저수지 규모에 따른 조건별 저수지 수 ····· 41
(표 4-8) 사이폰 대체공법 적용가능지구 선정조건 ····· 42
(표 5-1) 송산지 주요제원 ····· 44
(표 5-2) 송산지 제체 제원 ····· 44
(표 5-3) 송산지 취수시설 제원 ····· 44
(표 5-4) 유속계 세부사양 ····· 51
(표 5-5) 제수밸브 개폐에 따른 통수단면적 변화 ····· 52
(표 5-6) 송산지 압력 및 유량계측 ····· 52
(표 5-7) 신후평지 주요제원 ····· 53
(표 5-8) 신후평지 제체 제원 ····· 53
(표 5-9) 신후평지 여수로 제원 ····· 54
(표 5-10) 신후평지 취수시설 제원 ····· 54
(표 5-11) 유속계 세부사양(Flo-Mate Model 2000) ····· 60

(표 5-12) 신후평지 압력 및 유량계측 ····· 61
(표 6-1) 모형 축척 ····· 64
(표 6-2) 전자기식 유량계 세부사양 ····· 70
(표 6-3) 압력계 시스템 세부사양 ····· 71
(표 6-4) 수리모형실험 조건 ····· 72
(표 6-5) 유량계수 검토결과(1) ····· 78
(표 6-6) 유량계수 검토결과(2) ····· 79
(표 6-7) 원형 환산 방류량 검토결과 ····· 80
(표 6-8) 실험 결과와 현장 관측값과의 비교 ····· 81
(표 6-9) 저수지 수위에 따른 방류량 변화 ····· 82
(표 6-10) 저수지 원형 환산 방류량 검토 결과 ····· 83
(표 6-11) 3차원 유향유속계 제원(ACM3-RS) ····· 87
(표 6-12) 용배수로의 표준경사 ····· 91
(표 6-13) 용수로 수로경사에 따른 용수로내 유속변화 ····· 92
(표 6-14) 수위별 사이폰 작동 실험 ····· 93
(표 6-15) 수위에 따른 사이폰 초기작동 ····· 94
(표 6-16) 상류관 공기량에 따른 작동 수량 ····· 94
(표 7-1) 사이폰 대체공법 문제점 및 대책방안 ····· 98
(표 7-2) 개보수 저수지 제원 ····· 104
(표 7-3) 취수시설 제원 ····· 105
(표 7-4) 항목별 취수시설 공사비 ····· 105
(표 7-5) 항목별 사이폰 대체공법 공사비 ····· 106
(표 7-6) 사이폰 대체공법 유지관리비 검토 사항 ····· 107
(표 7-7) 사이폰 대체공법 유지관리비를 고려한 총비용 검토 ····· 108
(표 8-1) 기존 취수시설(복통, 사통)의 문제점 ····· 113
(표 8-2) 사이폰 취수시설의 각부의 분류 ····· 115
(표 8-3) 유속계수 C의 값 ····· 119
(표 8-4) 굴절손실계수 ····· 121
(표 8-5) 체크밸브 및 플랩밸브의 손실계수 ····· 123
(표 8-6) 취수시설 표준사이펀(100,200,300A) 강관두께의 계산 ····· 127
(표 8-7) 배관용 탄소강관의 표준두께 ····· 127
(표 8-8) 토피별 토압과 윤압(2톤 트럭)의 계산치 ····· 128

(표 8-9) 휨 모멘트 계수 ····· 128
(표 8-10> PE관의 설계에 사용하는 여러 수치 ····· 128
(표 8-11) 취수시설의 기능 ····· 131
(표 8-12) 강관과 PE 관의 비교 ····· 131
(표 8-13) 관경별 수위대 방류량 ····· 132
(표 9-1) 사이폰 대체공법 설계지침(안) 적용저수지 ····· 142

<그림 차례>

<그림 2-1> 취수탑 전경 ····· 3
<그림 2-2> 사통 전경 ····· 4
<그림 2-3> 복통 전경 ····· 5
<그림 2-4> 저수지 복통의 직경과 연장에 따른 현황 ····· 7
<그림 2-5> 저수지 복통의 직경과 연장에 따른 현황 ····· 7
<그림 2-6> 저수지 종별 구분별 개보수 건수 ····· 10
<그림 2-7> 저수지 연평균 개보수 비용 ····· 10
<그림 2-8> 저수지별 평균 개보수 비용 ····· 11
<그림 3-1> 사통 유지관리상 취약점 ····· 17
<그림 3-2> 복통의 유지관리상 취약점 ····· 18
<그림 3-3> 취수시설 대체공법의 개념도 ····· 19
<그림 4-1> 사이폰 공법의 원리 ····· 21
<그림 4-2> 사이폰 개념도 ····· 22
<그림 4-3> 사이폰 관내 압력 산정 개념도 ····· 24
<그림 4-4> 사이폰 구조의 손실수두 발생위치 ····· 29
<그림 4-5> 고풍지 사이폰 현황 ····· 33
<그림 4-6> 송석지 사이폰 현황 ····· 35
<그림 4-7> 제당높이별 농업용저수지 현황 ····· 38
<그림 4-8> 총저수량별 농업용저수지 현황 ····· 39
<그림 4-9> 수혜면적별 농업용저수지 현황 ····· 40
<그림 5-1> 송산저수지 전경 ····· 45
<그림 5-2> 송산저수지 사이폰 대체공법 시험시공 평면도 ····· 46
<그림 5-3> 송산저수지 사이폰 대체공법 시험시공 단면도 ····· 47
<그림 5-4> 사이폰 대체공법 현장시험시공 순서 ····· 48
<그림 5-5> 사이폰 대체공법 현장시험 전경 ····· 50
<그림 5-6> 압력계 전경 및 상세도 ····· 51
<그림 5-7> 신후평저수지 전경 ····· 55
<그림 5-8> 신후평저수지 사이폰 대체공법 시험시공 평면도 ····· 56
<그림 5-9> 신후평저수지 사이폰 대체공법 시험시공 단면도 ····· 57
<그림 5-10> 사이폰 대체공법 현장시험시공 순서 ····· 58

<그림 5-11> 사이폰대체공법 현장시험 전경 ····· 60
<그림 5-12> 압력계 전경 및 상세도 ····· 61
<그림 6-1> 사이폰 수리모형 측면도 ····· 66
<그림 6-2> 사이폰 수리모형 평면도 ····· 67
<그림 6-3> 사이폰 수리모형 제작 및 설치도 ····· 68
<그림 6-4> 전자기식 유량계 구조도 ····· 69
<그림 6-5> 압력계 시스템 ····· 70
<그림 6-6> 수리모형실험 조건 개념도 ····· 72
<그림 6-7> 사이폰 유출구 형상 ····· 73
<그림 6-8> 사이폰 방류량 실험 결과 (3열, 50㎝) ····· 75
<그림 6-9> 사이폰 방류량 실험 결과 (3열, 100㎝) ····· 75
<그림 6-10> 사이폰 방류량 실험 결과 (3열, 150㎝) ····· 76
<그림 6-11> 사이폰 방류량 실험 결과 (3열, 50㎝, 곡관) ····· 76
<그림 6-12> 사이폰 평균 방류량 비교 (3열) ····· 77
<그림 6-13> 사이폰 평균 방류량 비교 (1열) ····· 77
<그림 6-14> 사이폰 압력계 설치 위치도 ····· 84
<그림 6-15> 사이폰 관내 압력 측정치 및 계산치 비교 결과 ····· 85
<그림 6-16> 유입부 유속측정을 위한 평면 측점 배치 ····· 86
<그림 6-17> 유입부 유속측정을 위한 종단 측점 배치 ····· 86
<그림 6-18> 종단3 단면 유속 벡터도 ····· 88
<그림 6-19> 평면4 단면 유속 벡터도 ····· 88
<그림 6-20> 3차원 유속분포 실험 전경 ····· 89
<그림 6-21> 중앙단면 유속분포의 원형환산 유속 ····· 89
<그림 6-22> 유출부 감세실험 전경 ····· 90
<그림 6-23> 초기작동 수리모형실험(좌:2열, 우:3열) ····· 94
<그림 6-24> 진공펌프를 활용한 초기작동 시험 ····· 95
<그림 6-25> 양수펌프를 활용한 초기작동 시험 ····· 96
<그림 7-1> 임시 사이폰 활용 사례 ····· 99
<그림 7-2> 시험시공 저수지 토출부 사진 ····· 101
<그림 7-3> 역방향 공기배출을 통한 막힘 현상 제거 ····· 102
<그림 7-4> 수심에 따른 월별 수온변화 ····· 103
<그림 8-1> 사이폰 개념도 ····· 112

<그림 8-2> 사이폰 취수시설의 구성도 ····· 114
<그림 8-3> 유입손실계수 ····· 120
<그림 8-4 > 만곡손실계수 ····· 121
<그림 8-5> 굴절손실계수(일 때) ····· 122
<그림 8-6> 스루스밸브의 손실계수 ····· 122
<그림 8-7> 버터플라이밸브의 손실계수 ····· 122
<그림 8-8> 사이폰 유입스크린의 형상 ····· 129
<그림 8-9> 소규모저수지 표준제당 ····· 130
<그림 8-10> 사이폰 취수시설 모식도 ····· 130
<그림 8-11> 취수시설 사이펀 종·평면도 ····· 134
<그림 8-12> 취수시설 사이펀 단면도 ····· 135
<그림 8-13> 취수시설 사이펀 상세도 ····· 136

제1장 서 론

제1절 연구배경 및 목적

1. 연구배경 및 필요성

과거 농업용저수지 축조는 기술적 수준이 낙후되고 예산의 부족으로 인해 복통을 공사 시 홍수배제 및 취수시설로 주로 활용해 왔으며, 복통은 주로 제체의 중앙부를 관통하여 설치되기 때문에 안전진단 시 제체의 주요한 결함요인 중 하나이다. 또한, 소규모 저수지에 설치된 복통은 내경이 800㎜미만으로 매우 작아 안전진단 및 보수보강이 어려워 제체 파괴의 주요한 원인이 되고 있다.

복통은 취수된 용수를 하류부 용수로에 도수하는 시설이므로 저수지 사수위보다 낮은 곳에 위치한다. 그리고 제당방향과 직각방향으로 제체를 관통하여 낮은 곳에 설치됨으로 우선 큰 토압을 받게 되며, 커튼그라우팅이 부실할 경우에는 복통 기초에도 양압력이 작용할 수 있다. 또한 제체가 토사와 서로 이질적인 재료인 콘크리트 구조물과 접하게 됨으로 접촉면을 따라 유로가 형성될 수 있는 취약점이 있다. 이러한 안전에 취약하고 노후화된 복통으로 인한 사고들로 인해 저수지 하부지역의 인명과 재산손실 등 결제적인 피해가 발생하고 있으며 이를 개선하기 위한 대책이 필요한 실정이다.

농업용저수지 중 제고 8m 미만이고 총저수용량이 10만㎥ 미만인 지구는 13,031개소로서 전체의 75%에 달하고 있으며 이 저수지들의 복통 개보수공사에 대체 취수시설을 적용한다면 개착에 의한 콘크리트개거공법 또는 보수보강공법과 비교해 경제성은 물론 재해대비 안전성도 더 높을 것으로 판단된다. 이러한 복통의 취약점을 개선하기 위한 대책으로 본 연구에서는 사이폰 대체공법을 제시하고자 한다.

2. 연구목적

농업용저수지의 취수시설인 복통을 대체할 수 있는 취수공법인 사이폰에 의한 대체취수시설의 현장시험시공 및 설계 및 시공지침(안)과 대체 취수공법의 유지관리방안 제시

제2절 연구범위 및 방법

1. 연구범위

현재 한국농어촌공사가 관리하는 농업용저수지 중에서 제체고 10m, 저수용량 100천㎥ 이하의 농업용저수지의 복통을 대체 할 수 있는 사이폰 공법 적용성과 효율성을 분석하고, 설계기준 및 시공방법을 제시하는 것을 연구의 범위로 설정하였다.

2. 연구방법

농업용저수지의 복통을 대체 할 수 있는 사이폰 공법에 대해 현장시험시공과 현장시험, 수리모형시험을 수행하여 개선연구를 수행하고자 한다.

가. 취수시설 설치현황 분석, 대체공법 시험시공 및 효용성 분석

1) 농업용저수지 취수시설 및 개보수 현황 검토
2) 농업용저수지 취수시설 문제점 및 대책
3) 취수시설 사이폰 대체공법 적용성 검토
4) 사이폰 취수시설 현장 시험시공
5) 실내 수리모형실험

나. 취수시설 대체공법 시험시공 모니터링 평가 및 설계지침(안) 제시

1) 시설 효용성 분석 및 유지관리를 위한 개선방안 제시
2) 현장적용, 설계 및 시공지침(안) 마련
3) 취수시설 대체공법 유지관리방안 마련

제2장 농업용저수지 취수시설 및 개보수 현황

제1절 저수지 취수시설

1. 저수지 취수시설의 구성

저수지에 가두어져 있는 물을 이용하기 위한 시설로서 취수부, 조절부, 도수부로 구성되며, 적시 적량의 취수를 용이하게 할 수 있도록 가장 적절한 조합이 되도록 선정한다. 취수설비는 취수구 본체와 각종 게이트류, 개폐장치, 스크린 등의 부속설비, 수위계 등으로 구성된다.

가. 취수부

저수지의 유수를 취수하기 위한 사통 또는 취수탑을 말한다.

취수탑은 보통 원형철근 콘크리트 탑에 여러 개의 밸브 또는 수문을 붙인 형식이 많으며, 사통의 주요부는 관체와 부속물인 밸브 및 게이트, 조작장치, 스크린, 관리용 계단 등으로 구성된다.

1) 취수탑(取水塔, intake tower)

저수지에서 물을 취수하기 위하여 설치하는 탑 모양의 구조물로서 저수지 수면아래에 수심별로 몇 개의 취수공(intake port)을 탑체에 설치하여 수위가 변할 때 어느 수위에서나 물을 취수할 수 있게 되어 있다.

<그림 2-1> 취수탑 전경

2) 사통(斜樋, inclined conduit)

저수지의 제체 상류사면이나 산의 양안 비탈면에 관로를 경사지게 설치하고 여기에 적당한 수심별 간격으로 취수공을 설치하여 취수하는 구조물이며, 사통의 말단은 복통(통관)이나 취수터널과 연결되어 급수된다.

<그림 2-2> 사통 전경

3) 복통(伏樋, outlet conduit, 통관)

저수지에서 취수시설에 설치된 취수공(문)을 통하여 들어온 물을 용수로에 연결, 공급시키기 위한 물길로 이용되며, 댐의 내부(밑)를 통과하는 콘크리트 구조의 암거 구조물을 말한다.

<그림 2-3> 복통 전경

나. 조절부

조절부는 취수량을 조절하기 위한 게이트 및 밸브류이며, 조절위치는 취수공부, 취수터널 또는 플러그(plug)부 압력관로의 입구, 중간 또는 출구부를 말한다.

1) 취수터널(temporary diversion tunnel, 임시배수터널)

댐 공사 시 기존 하천의 흐름을 다른 곳으로 전환시키기 위하여 댐의 양안(兩岸)에 설치한 터널로서, 댐체가 축조된 후에는 저수지에서 취수시설인 취수공(문)을 통하여 들어온 물을 용수로에 연결 공급하는 수로터널로 사용되는 구조물을 말한다.

다. 도수부

취수를 제외로 도수하기 위한 취수터널, 복통 등이 도수부에 해당된다. 여기서 취수터널은 제체 바깥의 원지반을 관통한 수로터널을 말하며, 복통은 제체하의 기초지반 내에 매설한 통관을 말한다.

(표 2-1) 취수시설 구성

구 성	항 목	분 류
취수부	종 류	· 사통, 취수탑, 기타(입통, 복통)
	구 조	· 철근콘크리트제, 철제, 기타
	취수 형식	· 월류형 : 완전월류형, 수중월류형 · 오리피스형 : 자유유출형, 수중유출형 · 표층취수형, 저수취수형
조절부	수문 위치	· 취수공부 · 취수터널 : 복통입구, 복통중간부, 복통출구
	수문 종류	· 게이트 : 슬루스게이트, 롤러게이트, 제트플로게이트 · 밸브 : 슬루스밸브, 버터플라이밸브, 콘밸브, 할로제트밸브 · 유량측정장치 : 전자유량계, 초음파유량계, 벤튜리미터
	조작 방법	· 권양기 : 스핀들식, 윈치식, 유압실린더식, 유압램식, 유압모터식 · 동력 : 인력식, 모터식, 엔진식 · 조작방법 : 현장조작, 원격조작, 전동조작, 수동조작
도수부	종 류	· 취수부 연결부 : 플러그 관로, 제외감세공, 개수로(제외) · 취수부 접속부 : 플러그 관로, 터널내감세공, 개수로(터널제외)
	제내유 로형식	· 압력형 · 비압력형

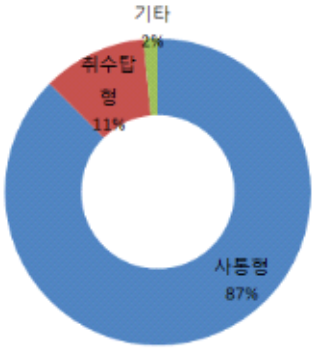
2. 저수지 취수시설 현황

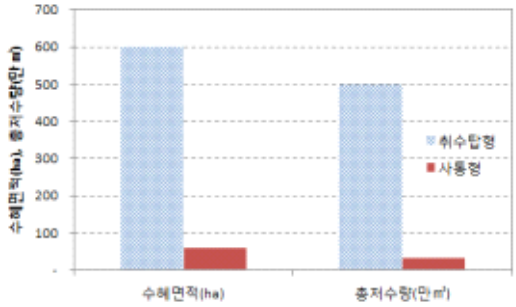
농업용 저수지 취수시설 현황을 살펴보기 위하여, 저수지별 세부시설 제원자료를 보유하고 있는 한국농어촌공사 관리저수지를 대상으로 취수시설 현황을 분석하였다.

가. 취수시설 종류별 분포

한국농어촌공사 관리 농업용저수지 3,394개를 대상으로 취수시설 형식을 분석해 본 결과 전체 저수지중 87%가 사통형 이었으며, 11%가 취수탑형, 기타가 2%로 나타났다.

취수탑형의 취수시설을 가진 농업용저수지는 평균 총저수량이 499만㎥, 수혜면적이 600ha로 농업용 저수지에서는 중대규모 이상의 저수지에 적용되었고, 대부분의 농업용 저수지는 사통형의 취수시설로 평균 총저수량은 33만㎥, 수혜면적 60ha로 소규모 저수지에 적용되고 있음을 알 수 있다.





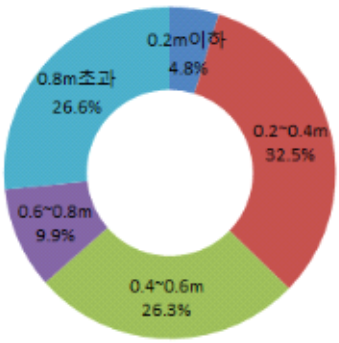
<취수시설 형식별 분포> <취수시설 형식별 저수지 규모>

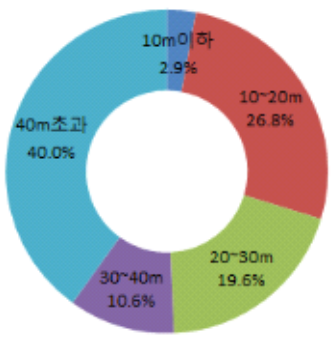
<그림 2-4> 저수지 복통의 직경과 연장에 따른 현황

나. 복통의 규모별 분포

한국농어촌공사에서 관리하는 사통과 복통이 설치된 농업용 저수지 중 복통직경에 따라 분류를 수행하였다. 직경 0.4m이하 저수지는 37.3%, 직경 0.4m~0.6m 저수지는 26.3%, 직경 0.6m~0.8m 저수지는 9.9%, 직경 0.8m를 초과하는 저수지는 26.6%로 나타났다.

복통 직경 0.8m이하의 저수지가 73.4%로 나타나 많은 저수지들이 복통의 직접 점검이 곤란한 것으로 나타났다. 또한 복통 연장에 따라 구분하면 연장 20m를 초과하는 복통이 70.3 %로 나타났으며 이는 많은 저수지들이 복통이 직경이 0.8m 이하이며 연장이 20m 이상으로 유지관리 상 어려움이 있는 것으로 나타났다.





<복통의 직경에 따른 현황> <복통의 연장에 따른 현황>

<그림 2-5> 저수지 복통의 직경과 연장에 따른 현황

제2절 저수지 취수시설 개보수 현황

1. 저수지 취수시설 개보수 현황

정부에서는 시설물이 노후, 파손 또는 기능이 저하된 수리시설 및 방조제시설을 보수·보강하여 재해를 예방하고, 흙수로 구조물화 및 시설을 개선하여 농업인의 영농편의를 제공하기 위하여 지속적으로 개보수 사업을 추진하고 있다.

수리시설 개보수 사업은 저수지 및 양·배수장 등 수리시설과 방조제시설 중 노후되거나 파손되어 기능이 저하된 시설물을 보수·보강하고, 과거 설계기준으로 설치되어 홍수배제능력 부족으로 집중호우, 태풍 및 해일 등 기상이변으로부터 재해의 우려가 있는 취약시설을 개보수하여 재해대비 능력을 강화하는 일반 개보수사업,

누수 등 재해에 취약한 저수지에 대해 긴급점검을 실시, 긴급 보수하여 재해예방 및 시설물 기능을 보전하는 시설안전진단,

저수지내 퇴적된 토사를 준설하여 당초 내용적을 확보하는 저수지 준설,

영농환경변화를 고려한 간이교량설치 및 교차로 정비와 흙수로 구조물화 등의 시설개선으로 농업인에게 영농편의 제공하는 영농편의시설 보강으로 구분하여 시행하고 있다.

가. 일반 개보수 사업 현황

저수지 취수시설 개보수는 노후되거나 파손되어 기능이 저하된 취수시설을 보수·보강하고, 재해의 우려가 있는 취약시설을 개보수하여 재해대비 능력을 강화하는 일반 개보수사업에 포함된다고 볼 수 있다.

최근 5년간 일반개보수 사업현황을 살펴보면 연평균 5,035억원, 649개 지구의 개보수가 추진되고 있으며, 지구당 평균사업비는 7.8억원이다.

(표 2-2) 최근 5년간 일반개보수 사업현황

연도별	예산 (억원)	계 (지구수)	준공	신규	계속	지구당 사업비
'12	3,485	703	166	116	421	5.0
'13	4,529	638	157	100	381	7.1
'14	4,585	571	142	90	339	8.0
'15	7,853	744	305	292	147	10.6
'16	4,723	587	211	148	228	8.0
평균	5,035	649	196	149	303	7.8

※ 2016년 수리시설개보수사업평가보고서

나. 취수시설 개보수 현황

일반개보수 사업현황에는 저수지 외에 양수장 등 수원공, 방조제 등이 포함되어 있고, 저수지에 대한 개보수 사업내용도 제당, 물넘이, 방수로, 취수시설, 부대시설이 모두 포함되어 있기 때문에 취수시설에 대한 개보수 사업비와 내용만 정리하였다.

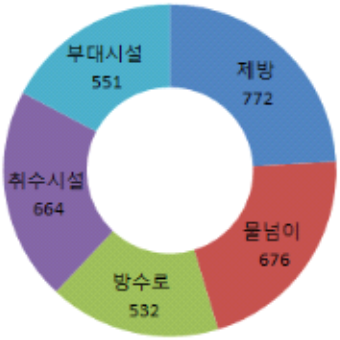
현재까지 추진된 개보수 사업현황을 살펴보기 위하여 1987년부터 2016년까지 최근 30개년간 농업기반시설관리시스템(RIMS)에 등록된 개보수 사업현황을 자료를 조사하였으며, 이중 취수시설에 대한 사업비가 있는 개보수 사업자료를 분석하였다.

1987년부터 2016년까지 30년간 저수지 취수시설에 대한 개보수 건수는 1,643건으로 이중 1종시설이 671건, 2종시설이 972건으로 나타났다.

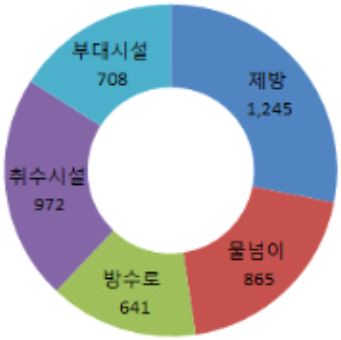
(표 2-3) 저수지 개보수 부분별 건수

구 분	합계 (개소)	저수지 부분별 건수(개소				
		제당	물넘이	방수로	취수시설	부대시설
합 계	2,436	2,017	1,541	1,173	1,636	1,259
1종시설	1,043	772	676	532	664	551
2종시설	1,393	1,245	865	641	972	708

※ 저수지별 부분개보수의 중복허용



<1종 저수지>

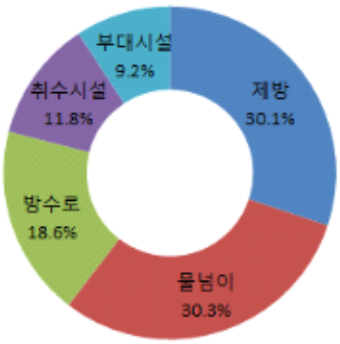


<2종 저수지>

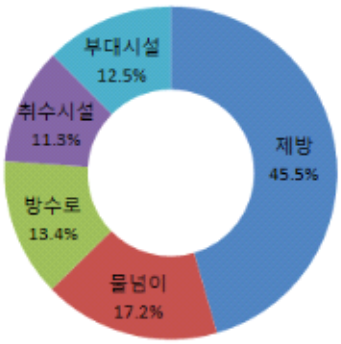
<그림 2-6> 저수지 종별 구분별 개보수 건수

(표 2-4) 저수지 연평균 개보수 비용

구 분	합계 (백만원)	개보수 부분별(백만원)				
		제당	물넘이	방수로	취수시설	부대시설
합 계	92,976	33,010	23,908	15,607	10,791	9,662
1종시설	60,497	18,224	18,327	11,244	7,109	5,593
2종시설	32,480	14,786	5,581	4,363	3,682	4,068



<1종 저수지>

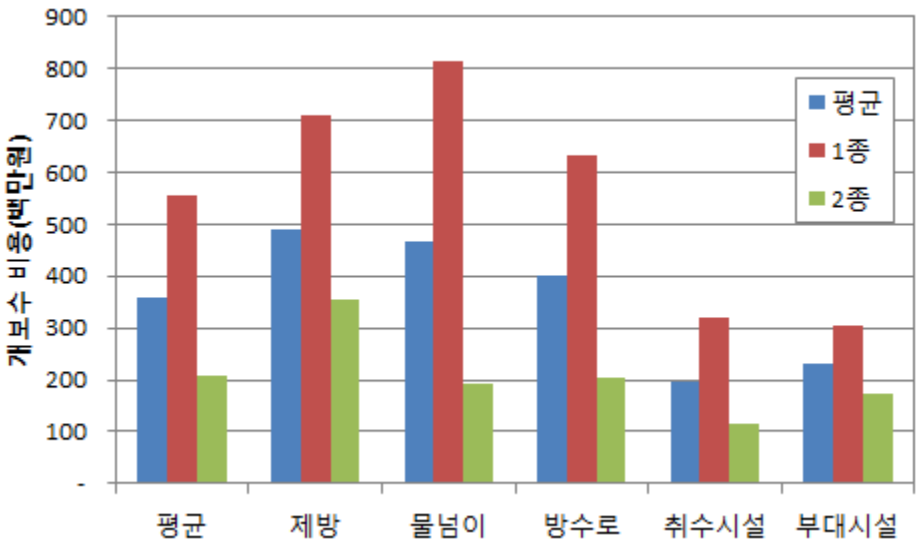


<2종 저수지>

<그림 2-7> 저수지 연평균 개보수 비용

(표 2-5) 저수지별 평균 개보수 비용

구 분	합계 (백만원)	개보수 부분별(백만원)				
		제당	물넘이	방수로	취수시설	부대시설
합 계	1,145	491	465	399	198	230
1종시설	1,740	708	813	634	321	305
2종시설	699	356	194	204	114	172



<그림 2-8> 저수지별 평균 개보수 비용

2. 저수지 복통 개보수 현황

8개 지역본부에서 422개소의 저수지 복통 개보수를 시행하였으며, 대표적으로 RPR공법, 강관압입 추진공법, SGT브리스공법 등 26종에 이르고 있다. (표 2-6)는 각 지역별 복통 개보수공법 적용 분포를 나타낸다.

(표 2-6) 저수지 복통 개보수공법 적용 분포

구분	CIPP	복합관 제작	콘크리트 보수보강	강관압입	기타	계
적용수	89	136	23	127	47	422
비율(%)	21.09	32.23	5.45	30.09	11.14	100

가. 저수지 복통 개보수공법 공법별 적용현황

저수지 복통 보수·보강에 적용된 공법은 CIPP공법, 복합관 제작공법, 콘크리트보수·보강공법, 강관압입공법 등이 있다. 각 공법별 적용현황은 (표 2-7) ~ (표 2-8)과 같이 조사되었다.

(표 2-7) CIPP공법의 세부공법적용 현황

구분	계	SETec	D-INS	턴영	Ace 비굴착	TRL	연질튜브보강	E-ALS	AL	반전노즐	ITL
적용횟수	89	25	15	16	6	8	4	11	1	1	2
적용율(%)	100	28	17	18	7	9	4	12	1	1	2

(표 2-8) 복합관 보수·보강공법의 세부공법적용 현황

구분	계	RPR	S.M.R	하트SPR	SGT 브리스	W.R.C
적용횟수	136	80	2	4	48	2
적용율(%)	100	59	1	3	35	1

(표 2-9) 콘크리트 보수·보강공법의 세부공법적용 현황

구분	계	리프리트	SL	P.S.M.D	MDF	Prewetting	GFRC
적용횟수	23	1	8	3	9	1	1
적용율(%)	100	4	35	13	39	4	4

나. 저수지 복통 개보수공법 지역별 적용현황

한국농어촌공사 8개지역 본부에서 422개소의 저수지 복통 보수·보강공사를 시행한 공법을 살펴보면 RPR공법, 강관압입 추진공법, SGT브리스 공법 등 26종에 이르고 있다.

지역별로는 전남지역이 13종류의 공법으로 가장 많은 종류의 공법을 적용하였고 다음으로는 충남 1종류, 경남 9종류, 전북 8종류로 그 뒤를 잇고 있다. 반면 경기지역은 2종류, 강원지역은 3종류의 공법만을 적용한 것으로 나타났다.

27종류의 공법중 8개 지역본부 전체에서 적용된 공법은 RPR공법이 유일하고 강관압입추진공법은 경기지역을 제외한 7개 지역본부에서 적용되었다.

422개소의 저수지 중 가장 많이 적용된 공법은 강관압입추진공법으로 127개소에 이르고 있어 전체의 30%를 차지하였고 다음으로는 RPR공법으로 80개소에서 시행되어 2개의 공법이 전체의 절반에 가까운 18%를 차지하는 것으로 나타났다.

한번만 적용된 공법을 제외하고 한 지역본부에서만 적용된 공법은 W.R.C공법, S.M.R공법, Ace비굴착공법, 콘크리트누수 신축이음공법 4종류이며 W.R.C공법과 S.M.R공법, 콘크리트누수 신축이음공법은 경남에서, Ace비굴착공법은 충남에서만 적용하였다.

8개지역 중 4개지역 이상에서 적용된 공법은 RPR공법, 강관압입추진공법, SETec공법, D-INS공법, MDF공법 등 5종류이다.

보수·보강이 많이 시행된 지역에서 공법의 적용 종류도 다양한 것으로 나타났으나 일부 공법은 특정지역에만 사용된 경향을 나타났다. 지역본부별 공법적용 현황은 (표 2-10)과 같다.

(표 2-10) 각 지역별 복통 개보수 공법 적용 현황

지역 / 공법	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	계	비고
계	18	27	26	42	80	110	38	81	422	
SETec			2			14	2	7	25	CIPP (89)
D-INS			2	1		10		2	15	
턴영					1	15			16	
Ace비굴착				6					6	
TRL				7		1			8	
연질튜브보강				3				1	4	
E-ALS				1		10			11	
AL				1					1	
반전노즐					1				1	
ITL					1	1			2	
RPR	10	9	2	10	6	15	17	11	80	복합관 (136)
S.M.R								2	2	
하트SPR				1	2	1			4	
SGT브리스					12	36			48	
W.R.C								2	2	
리프리트								1	1	콘크리트 (23)
SL	1					1	6		8	
P.S.M.D			1			1	1		3	
MDF				3	1		2	3	9	
Prewetting				1					1	
GFRC						1			1	
강관압입		10	3	3	55	2	4	50	127	강관압입
기 타	7	8	16	5	1	2	6	2	47	기 타
공법적용수	2	2	5	11	8	13	6	9	22	

다. 저수지 복통 개보수공법 형식별 적용현황

복통의 형식은 15종류로 파악되었으며 원형이 245개소로 가장 많고 다음으로는 마제형이 118개소, BOX형이 24개소이며 그 외 형식은 한자리수에 머무르고 있다.

가장 개소수가 많은 원형단면에서는 17종류의 보수·보강공법이 시행되었는데 그중 강관압입추진공법이 109개소, SGT브리스공법이 36개소에서 시행되어 대부분을 차지하였고, 마제형 단면에서는 16종류의 보수·보강공법이 시행되고 그중 RPR공법이 39개소, SETec공법이 10개소, SGT브리스 공법이 10개소에서 시행된 것으로 나타났다. BOX형은 특별한 공법에 치우치지 않고 적용된 공법이 고르게 분포된 것으로 나타났다.

공법기준으로 살펴보면, 가장 많이 시행된 강관압입추진공법이 9개의 복통형식에서 127회 시행되었고, 그중 원형단면에서 109회, 마제형에서 6회가 실시되어 2개의 단면형식에서 강관압입추진공이 시행된 것을 알 수 있다. 다음으로 많이 시행된 RPR공법은 7개의 복통형식에서 80회 시행되었고, 그중 마제형단면에서 39회, 원형단면에서 26회 시행되었다.

세 번째로 많이 시행된 SGT브리스공법은 4개의 복통형식에서 48회 시행되었으며 그중 원형단면에서 36회, 마제형단면에서 10회 시행되어 2개의 단면형식에서 대부분 적용되었다.

이어서 SETec공법, 턴영공법, D-INS공법 순으로 공법이 적용되었고, 그 외 공법은 1~9회의 적은 회수만 적용되었다.

따라서 단면형식으로 볼 때는 원형, 마제형, BOX형식이 많은 것을 알 수 있고, 공법으로 볼 때는 강관압입추진, RPR공법, SGT브리스공법, SETec공법, 턴영공법, D-INS공법이 많이 적용된 것으로 나타났다.

제3장 농업용저수지 취수시설 문제점 및 대책

제1절 농업용저수지 취수시설 문제점 및 대책

소규모 농업용저수지의 취수시설은 대부분 사통을 통해 수량을 조절하고 복통으로 방류하는 방식으로 이 중 복통은 제체를 관통하는 구조적 취약성으로 인해 제체 안전관리에 중대한 결함으로 지목되고 있다.

현재 농업생산기반정비사업 계획설계기준(필댐편, 2002)에서도 “복통은 가능하면 터널로 하는 것이 바람직하다.”라고 되어있지만 경제성 등의 이유로 대부분 복통으로 시공되고 있다.

복통의 단면은 시공 후 유지관리를 고려해 직경 800㎜이상으로 하도록 설계기준에 명시되어 있으나 축조연대가 오래된 시설물의 복통 직경은 대부분 800㎜ 미만으로 유지관리 안전진단 및 보수보강이 어려운 실정이다.

여기서는 소규모 농업용저수지 취수시설의 대부분을 차지하고 있는 사통과 복통의 구조적으로 자주 발생되는 결함사항과 유지관리 상의 문제점을 설명하고자 한다.

가. 사통

사통은 수중 구조물로서 하층부는 수압이 크며 상층부 만수위부분은 동절기 수면동결로 인하여 빙압과 동결융해가 반복되는 영향을 받는다.

사통은 내측 제체사면의 경사를 따라 간격을 두고 취수공이 설치된다. 취수공으로 사출되는 오리피스형태의 물줄기는 유속이 세기 때문에 내벽에 세굴을 일으킬 수 있으며, 취수공의 주물이나 문비 등이 부식될 경우 누수가 발생된다.

또한, 취수공의 최하단부의 경우 토사의 퇴적으로 문비의 작동이 어려울 수 있으며, 문비의 개방은 가능하더라도 개방시 토사나 퇴적물이 문비 사이에 끼일 경우 완전개폐가 어려워 지속적인 누수가 발생하는 경우도 있다. 사통의 주요 누수원인은 다음과 같다.

1) 콘크리트의 균열 등에 의한 누수
2) 취수공의 주물 및 취수문 부식 등
3) 취수문사이에 퇴적물 등 이물질 끼임

<사통 스핀들 부식>

<사통 스핀들 받침대 골재노출>

<그림 3-1> 사통 유지관리상 취약점

나. 복통

복통은 취수시설의 일부분으로서 취수된 물을 용수로에 도수하는 시설로서 대부분 저수지 제체 저부 기초지반에 제체와 수직방향으로 매설된다. 구조물은 마제형, 반원구형, BOX형 등 현장타설 콘크리트로 시공되거나, 흄관, 철관 등 공장제품을 연결, 시공하는 경우가 많다.

복통은 제체의 큰 토압과 수압을 받으므로 구조적으로 안전해야 되며 누수가 일어나지 않도록 설계·시공되지만 흄관 등은 이음부가 취약한 부분이며 현장타설 구조물도 누후화 및 시공불량 등 취약부분이 발생된다.

복통은 자체의 구조적인 안전도 중요하지만 토사와의 접촉부 누수가 파이핑 현상으로 커질 경우에는 제당붕괴의 가장 큰 원인이 된다.

또한, 복통은 약 100일간의 관개기간동안 경지에 관개용수를 공급하다가 비관개기인 동절기에는 혹한에 노출됨으로써 관개기 동안 콘크리트 조직내부 공극으로 스며든 물이 동절기에 동결하는 현상(동해)이 발생하여 동결압에 의한 콘크리트 균열발생 등 성능저하 현상이 나타날 수 있다.

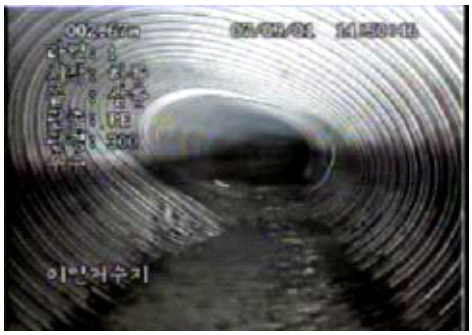
복통은 저수지 시공기간에 임시 방수로로 사용하고 난 후에는 큰 수리단면이 요구되지 않아 작은 단면일 수도 있지만 사후 유지관리를 위해 최소 0.8m 이상의 관경을 갖도록 설계기준에 규정을 두고 있다. 그러나 유지관리를 위해서는 더 큰 단면이 필요한 것으로 파악되고 있다. 오래된 소규모 저수지에서는 규정 이하의 작은단면인 복통이 많으며 보수·보강의 큰 걸림돌이 되고 있다.

복통 손상의 원인은 아래와 같다.

1) 관접합부 이음불량에 의한 누수

2) 콘크리트 노후화로 인한 누수, 박락, 박리, 균열 등
3) 관체의 변형으로 인한 내력저하
4) 토사 유출로 인한 제방단면 유실
5) 제체 접합부의 차수벽설치 불량에 의한 외부 토사 접착부
6) 단면이 적어 유지관리 및 원 단면 보수·보강공사 시행곤란 등
7) 제당 높이기에 따른 토압증가로 구조적 내력 부족

<복통 흄관 누수 및 점토유출>



<복통내부 관눌림 현상>

<복통관체 열화 이음부 점토유출>

<복통 천정부 균열 및 누수>

<그림 3-2> 복통의 유지관리상 취약점

제2절 취수시설 대체공법 필요성

앞서 설명한 바와 마찬가지로 과거 농업용저수지 축조는 기술적 수준이 낙후되고 예산의 부족으로 인해 복통을 공사 시 홍수배제 및 취수시설로 주로 활용해 왔으며, 복통은 주로 제체의 중앙부를 관통하여 설치되기 때문에 안전진단 시 제체의 주요한 결함요인 중 하나로 지적되고 있다.

또한, 소규모 저수지에 설치된 복통은 내경이 800㎜미만으로 매우 작아

안전진단 및 보수보강이 어려워 제체 파괴의 주요한 원인이 되고 있다.

복통은 취수된 용수를 하류부 용수로에 도수하는 시설이므로 저수지 사수위보다 낮은 곳에 위치한다.

복통은 제당방향과 직각방향으로 제체를 관통하여 낮은 곳에 설치됨으로 우선 큰 토압을 받게 되며, 커튼그라우팅이 부실할 경우에는 복통 기초에도 양압력이 작용할 수 있다.

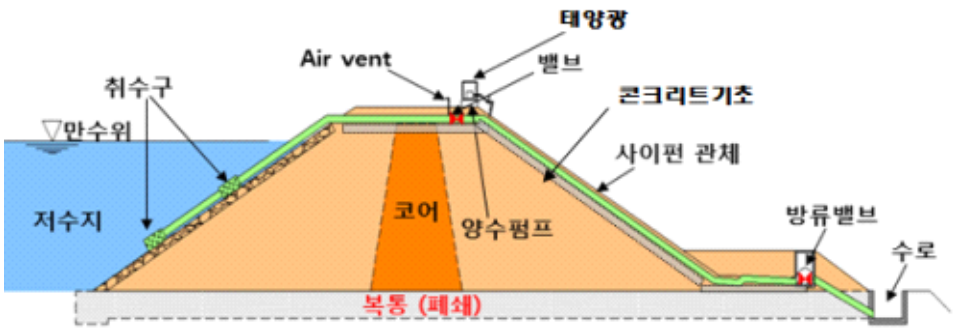
또한 제체가 토사와 서로 이질적인 재료인 콘크리트 구조물과 접하게 됨으로 접촉면을 따라 유로가 형성될 수 있는 취약점이 있다. 이러한 안전에 취약하고 노후화된 복통으로 인한 사고들로 인해 저수지 하부지역의 인명과 재산손실 등 결제적인 피해가 발생하고 있으며 이를 개선하기 위한 대책이 필요한 실정이다.

가. 취수시설 대체공법

취수시설 대체공법은 기존 사통과 저수지 제체를 관통하고 있는 복통으로 이어지는 취수구조물을 사이폰을 활용하여 저수지 제체를 관통하지 않고, 저수지 제체에 영향을 주지 않으면서 하류부로 취수하는 방법이다.

사이폰 현상을 활용하면 제체를 관통하지 않고도 제체의 형상에 따라 관로를 매설하여 하류부로 용수를 취수할 수 있으며, 이 경우 복통을 활용하지 않아도 되므로 복통을 폐통하거나, 제거하여 복통이 있으므로 발생 가능한 누수, 붕괴 등 재해위험을 근본적으로 해결할 수 있다.

아래 그림은 취수시설 대체공법을 개념적으로 설명한 것으로 사이폰의 작동원리 및 구조는 다음 장에서 자세히 설명할 것이다.



<그림 3-3> 취수시설 대체공법의 개념도

나. 복통취수와 사이폰 대체공법의 비교

농업용저수지 중 제고 10m 이하고 총저수용량이 10만㎥ 이하인 지구는 14,036개소로서 전체의 81%에 달하고 있으며 이 저수지들의 복통 개보수 공사에 대체 취수시설을 적용한다면 개착에 의한 콘크리트 개거공법 또는 보수보강공법과 비교해 경제성은 물론 재해대비 안전성도 더 높을 것으로 판단된다. (표 3-1)은 취수시설로의 복통과 사이폰의 특징을 비교, 검토한 것이다.

크게 취수시설의 시공성, 제체 안정성, 시설경제성, 유지관리 분야를 각 취수시설의 특징에 따라 검토한 결과, 개보수 등 공사 시행시 시공성은 사이폰 취수시설이 제체 외부에 설치되므로 시공이 용이하고, 설치기간이 짧은 장점이 있다.

또한, 사이폰이 제체 안정성 측면과 시설 경제성 측면에서도 제체 하부를 관통하지 않고 설치할 수 있으므로 구조적인 안정성 측면에서 유리하고, 경제적일 것으로 판단된다.

다만, 유지관리 측면에서는 초기 작동시 펌프가 필요하고, 제수밸브 조작시 제체 하부에서 조작하여야 하므로 유지관리 측면의 단점은 있다.

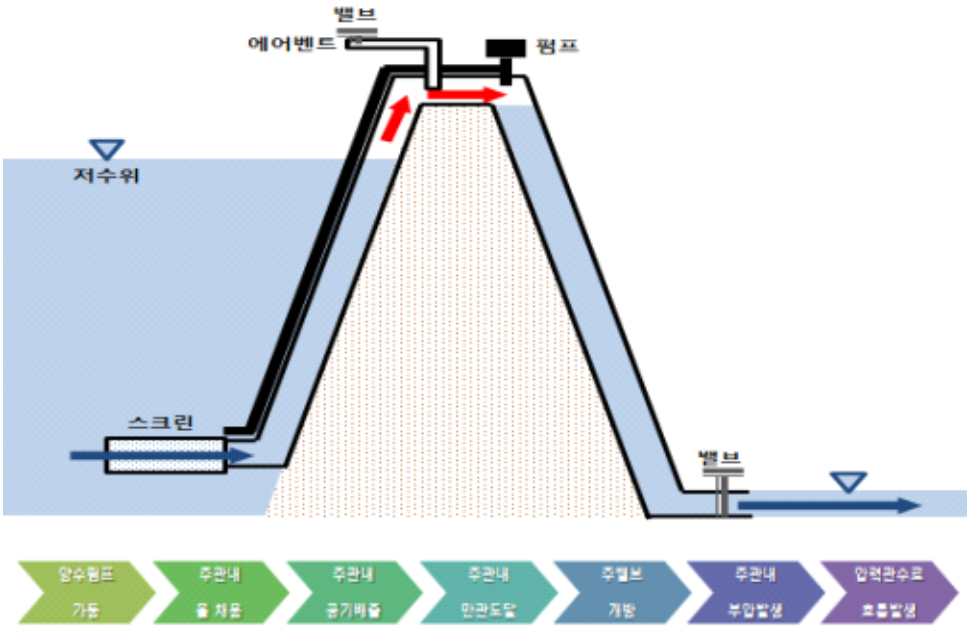
(표 3-1) 복통과 사이폰 비교검토

항목		복통	사이폰
시공성	사전 방류	가능	가능
	개보수	제체 내부에 설치되어 불리	제체 외부에 설치되어 용이
	공사 용이성	접속부 구간에 대한 시공여건 불리	시공이 용이하고 설치기간이 짧음
제체 안정성		제체 하부를 관통하므로 불리	상관없음
시설 경제성		사이폰에 비해 공사비 높음	공사비가 낮으며 유지관리 비용 등을 고려하면 경제적
유지관리	초기 작동	전기장치가 없고 수동조작 가능	최초 작동 시 펌프 필요 그 후 전원없이 작동 가능
	용이성	제체 하부에 설치되어 불리	제체외부 설치도 가능하며 얕게 매설되어 유지관리 용이

제4장 취수시설 사이폰 대체공법

제1절 사이폰 대체공법의 개요

사이폰의 기본원리는 진공으로 흡입력에 의해 방류를 유도하는 것이다. 작동기전은 양수펌프 가동을 통하여 저수지 토출부 관로에서 부터 물을 채우면서 관로내의 공기를 에어벤트로 배출시킨다. 사이폰 목부까지 수위가 상승하게 되면, 펌프작동을 중단하고 에어벤트 밸브를 잠가 관로내를 진공상태로 만든 뒤, 하류부 밸브를 개방하면 방류가 이루어짐과 동시에 유입관내부의 잔여 공기가 배출되면서 사이폰이 작동되어 저수지의 물을 방류하게 된다.

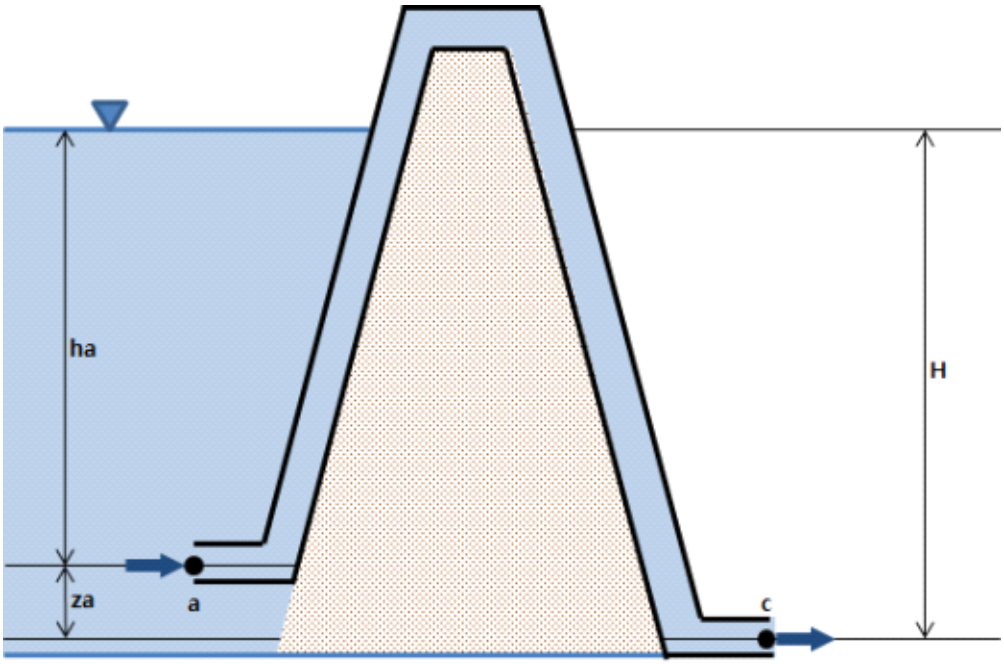


<그림 4-1> 사이폰 공법의 원리

1. 사이폰의 물리적 특징

유체가 높은 곳에서 낮은 곳으로 관수로를 통해 이동할 때 관수로 일부가 에너지선(Energy line)보다 높은 경우 이를 사이폰(Siphon)이라 한다.

사이폰에서 에너지선보다 위에 위치하는 관수로 내 압력은 대기압보다 낮은 부압이 발생하며, 대기압과 부압과의 차압을 이용하여 낮은 곳의 유체를 끌어올려 관수로를 통과하여 흐르게 할 수 있다(여운철, 1994). 사이폰에 대한 개략적인 개념도는 아래 그림과 같다.



<그림 4-2> 사이폰 개념도

위와 같은 사이폰 수로에서는 Bernoulli 방정식이 성립한다. 따라서 영역 ⓐ점과 ⓒ점 사이에는 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$\frac{v^2}{2g}+z+\frac{P}{\gamma}=\text{const.} \qquad (4\text{-}1)$$

여기서, v는 유속, g는 중력가속도, z는 기준점으로부터 해당지점까지의 높이, P는 압력, γ는 물의 비중을 뜻한다. <그림 4-1>에서 지점 ⓐ과 지점 ⓒ에 위의 식 (4-1)을 적용하면 다음 식과 같다.

$$z_a + h_a = \frac{V^2}{2g} + H_{lac} = H \qquad (4\text{-}2)$$

위 식에서, V는 사이폰 유출구에서의 유속을 뜻하며, h_a는 지점 ⓐ에서 대상 지점과 자유수면 사이의 거리를 나타낸다. 그리고, H_l은 관내 손실수두를 뜻한다.

가. 사이폰 내에서의 유속

사이폰 내에서의 유속은 앞에서 설명한 바와 같이 Bernoulli 방정식을 이용하여 계산할 수 있으며, 관내의 손실수두 H_{lac}은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$H_{lac} = \frac{V^2}{2g}(f_i + f_{lac} + f_b) \qquad (4\text{-}3)$$

여기서, H_l는 전체 손실수두, f_i는 유입손실수두, f_{lac}는 마찰손실수두, f_b는 곡관손실수두 이다.

식(4-2)에서 $f_i + f_{lac} + f_b$를 K_{ac}로 놓고 유속 V에 대하여 정리하면 아래 식(4-4)으로 나타낼 수 있으며, 손실수두와 하류부 수두차를 계산하면 사이폰 내의 유속을 계산할 수 있다.

$$V = \sqrt{\frac{2gH}{1 + K_{ac}}} \qquad (4\text{-}4)$$

나. 사이폰의 유량계수

사이폰 내에서의 유속은 앞에서 설명한 바와 같이 Bernoulli 방정식을 이용하여 계산할 수 있으나, 수리모형실험이나 실측자료를 통하여 유량계수를 통해 근사화 하여 나타낼 수 있다.

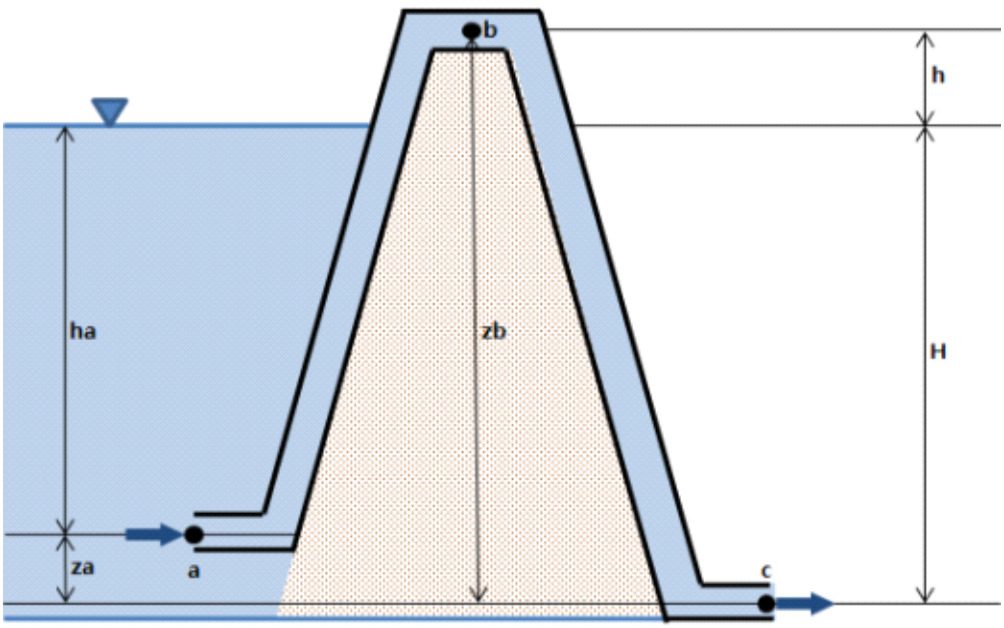
$$V = \sqrt{2g(H - H_{lac})} \qquad (4\text{-}5)$$

$$Q = AV = \frac{\pi}{4} D^2 \sqrt{2g(H - H_{lac})} \approx C\frac{\pi}{4} D^2 \sqrt{2gH} \quad (4\text{-}6)$$

여기서, Q는 유량, A는 사이폰 관수로의 단면적을 뜻한다. 식 (4-5)에서 관내 마찰 등에 의한 손실수두 H_{lac}은 식의 단순화를 위해 유량계수 C를 이용하여 근사화 할 수 있다. 본 연구에서는 수리모형실험을 통해 사이폰의 방류량을 계측하고 이를 이용하여 유량계수 C를 제시한다.

2. 사이폰 관내 압력

사이폰 관수로 내에서는 에너지 선보다 높은 곳에서 부압이 작용한다. 따라서, 이론적으로 사이폰 관수로 내에 작용할 수 있는 최대 부압은 대기압과 동일하다. 농업용 취수시설을 위해 사이폰을 설치할 때 플라스틱 종류의 관에서는 사이폰 내부의 강한 부압에 의해 관이 파손될 수 있다. 따라서, 사이폰 관내 압력의 예측은 매우 중요하다. 사이폰 관내 부압 예측을 위한 개념도는 아래 <그림 4-3>과 같다.



<그림 4-3> 사이폰 관내 압력 산정 개념도

위 그림에서 z_a와 z_b는 기준점에서 각각 지점 ⓐ, 지점 ⓑ까지의 높이를 뜻하며, h는 수면에서 관 상단 ⓑ지점까지의 높이를 나타낸다. 다음식과 같은 Bernoulli 방정식은 지점 ⓐ, 지점 ⓑ에서 일정하므로

$$\frac{P_a}{\gamma}+\frac{V_a^2}{2g}+z_a=\frac{P_b}{\gamma}+\frac{V_b^2}{2g}+z_b+H_{lab}=\text{const.} \tag{4-7}$$

여기서, 지점 ⓐ에서의 압력수두P_a/γ는 h_a이고 속도수두는 $V_a^2/2g$는 0이며 H_{lab}는 지점 ⓐ~ⓑ에서 손실수두로 아래와 같이 나타 낼 수 있다. 따라서, 식(4-7)을 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{P_b}{\gamma}=-\frac{V_b^2}{2g}-(z_b-h_a-z_a)-H_{lab} \tag{4-8}$$

$$H_{lab}=\frac{V_b^2}{2g}(f_i+f_{lab}+f_b) \tag{4-9}$$

여기서, $z_b-h_a-z_a$는 <그림 4-5>에서 h로 나타낼 수 있고, 식(4-9)를 식(4-8)에 대입하여 정리하면 식(4-10)과 같다.

$$\frac{P_b}{\gamma}=-h-\frac{V_b^2}{2g}(1+f_i+f_{lab}+f_b) \tag{4-10}$$

식(4-10)에서 $f_i+f_{lab}+f_b$를 K_{ab}로 놓고, ⓑ점의 압력 P_b에 대하여 정리하면 다음과 같은 식이 성립한다.

$$P_b=\gamma[-h-\frac{V_b^2}{2g}(1+K_{ab})] \tag{4-11}$$

따라서, 수리모형 실험을 통해 유량을 계측하면 손실수두를 알 수 있으며, 이를 통해 압력 P를 예측할 수 있다. 본 연구에서는 전 절에서 기술한 사이폰 유량과 본 절에서 제시한 사이폰 관내 압력에 대해 수리모형실험을 수행하여 이론식과 비교함으로써, 향후 저수지 취수시설에 사이폰을 적용할 경우의 한계치 등 설계방안을 제시한다.

3. 사이폰 작용의 한계

사이폰은 관수로의 일부구간이 에너지선 보다 높게 위치하기 때문에 에너지선 보다 높은 구간에는 부압이 발생되고, 최대 부압의 발생위치에서의 압력은 절대영압 이하가 될 수 없으므로, 사이폰 작동이 지속되는 동안 가능한 최대 부압 수두는 대기압 P_a에 해당하는 수두이다.

$$\frac{P_b}{\gamma}=\frac{1.013\times10^5}{9.8\times1,000}=-10.337m \qquad (4\text{-}12)$$

이론적으로는 식(4-12)의 값이 사이폰 작용이 될 수 있는 한계압력수두이나, 실제로는 사이폰 내부에 흐르는 물의 포화수증기압 보다 작거나 같아지면 유체 중에 포함되어 있는 공기나 기체가 분리되게 되므로 이론치보다는 작은 $P_b/\gamma=-8m$ 정도를 한계치로 사이폰을 설계하는 것이 일반적이다.

가. 사이폰 작용 최대 높이($h_{\max}$)

저수지 내측에서 사이폰 작용으로 최대로 끌어 올릴 수 있는 높이는 <그림 4-5>의 ⓐ 지점과 ⓑ 지점의 높이 차로 이를 통하여 기존 저수지에 사이폰 취수시설의 적용이 가능한 지를 판단할 수 있다.

ⓐ 지점과 ⓑ 지점에 Bernoulli 방정식을 적용하면 식(4-10)을 유도할 수 있으며, 식(4-11)의 ⓑ 지점은 $P_b/\gamma\geq-8m$을 만족해야 한다. 따라서, 아래 식(4-13)의 부등식을 만족해야 한다.

$$-8 \leq -h - \frac{V_b^2}{2g}(1+f_i+f_{lab}+f_b) \quad (4\text{-}13)$$

여기서 f_i, f_{lab}, f_b 손실수두는 상수이고, V_b가 0일 때 h가 최대가 되므로 식(4-13)을 아래와 같이 바꿀 수 있다.

$$h \leq -8 \quad (4\text{-}14)$$

따라서, $h_{\max}$는 8이 된다.

결국, 이는 사이폰 취수시설을 저수지에 적용할 경우 취수할 수 있는 한계 높이가 8m가 된다는 의미이므로 제정위로 사이폰을 설치하여 취수하는 경우 저수지의 사수위에서 제정까지의 높이차가 8m이하가 되어야 한다는 뜻이 된다.

또한, 과거 기존에 설치된 다양한 사이폰식 물넘이의 설계 및 시공사례를 연구한 “기존문헌의 사이폰식 물넘이 설계 및 시공사례”(1994, 여운철)에서도 여수시설인 사이폰의 최대 수두차이를 7~8m 이하로 제한하는 것이 안전하다고 서술하고 있으며, 취수시설의 경우 여수시설처럼 큰 규모의 사이폰 시설이 아니므로 최대 수두차이를 8m이하로 제한하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

나. 사이폰 작용 최대 수두차($H_{\max}$)

사이폰은 상하류의 수두차가 커질수록 유속수두가 커지게 되므로, 사이폰 상단부의 부압은 점점 커지게 된다. 따라서, 내측 수위가 일정하게 유지된다 하더라도 사이폰 작용이 가능한 토출부의 위치에 한계가 존재하게 된다.

한계부압을 나타내는 식(4-13)의 부등식과 사이폰 내 유속을 나타내는 식(4-4)를 연립하면 다음 식(4-15)로 나타낼 수 있으며, 이 식을 상하류 수두차 H에 대하여 정리하면 식(4-17)과 같다.

$$-8 \leq -h - \frac{2gH}{(1+K_{ac})}\frac{1}{2g}(1+K_{ab}) \quad (4\text{-}15)$$

$$h-8 \leq -\frac{(1+K_{ab})}{(1+K_{ac})}H \tag{4-16}$$

$$H \leq (8-h)\frac{(1+K_{ac})}{(1+K_{ab})} \tag{4-17}$$

식 (4-17)이 최대가 되려면 h가 0일 때 이므로 $H_{\max}$는 식(4-18)과 같이 된다.

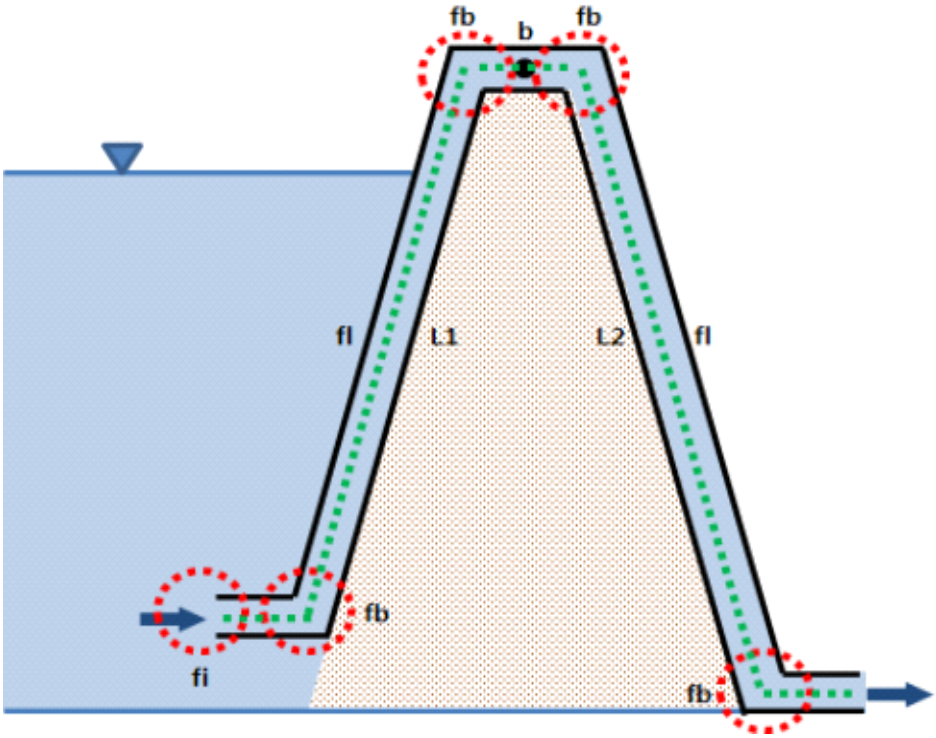
$$H_{\max} = 8\frac{(1+K_{ac})}{(1+K_{ab})} \tag{4-18}$$

식(4-18) 은 사이폰 작용을 위한 최대수두차 $H_{\max}$가 한계수두 8m에 사이폰내 전손실수두와 부압의 발생위치까지의 손실수두 비에 따라 달라진다는 것을 나타낸다.

$$H_{\max} = 8\frac{(1+f_i+f_{lac}+f_{bac})}{(1+f_i+f_{lab}+f_{bab})} \tag{4-19}$$

일반적인 소규모 저수지의 사이폰 구조에서 $H_{\max}$의 개략적인 값을 추정하기 위하여 손실수두을 일반화하면 <그림 4-4>와 같다. 식(4-19)에서 유입손실수두는 f_i는 공통적으로 발생하게 되며, 만곡손실인 f_b는 만곡부 각도와 횟수에 따라 달라지는데 ⓑ 점까지의 만곡횟수는 2회, 출구까지는 4회이고 각도는 동일하므로 $f_{bac} \fallingdotseq 2f_{bab}$ 가 된다.

또한, 가장 큰 마찰손실수두 f_l은 관직경 d에 반비례하고, 관길이 l에 비례하게 되는데, 소규모 저수지 구조상 유출부와 유입부의 표고차와 약간의 경사도 차이가 있을 뿐 구조가 대칭이므로 개략적으로 $f_{lac} \fallingdotseq 2f_{lab}$로 추정해 볼 수 있다.



<그림 4-4> 사이폰 구조의 손실수두 발생위치

유입손실수두는 마찰손실수두와 만곡손실수두보다는 상대적으로 작으므로 식(4-19)에 이를 적용하여 개략적으로 식을 일반화 하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$H_{\max} \fallingdotseq 8\frac{2(f_{lab}+f_{bab})}{(f_{lab}+f_{bab})}=16 \qquad (4\text{-}20)$$

따라서, 일반적인 제당높이 10m정도의 소규모 저수지에서 사이폰을 이용한 취수시설을 설치할 경우 최대 수두차는 약 16m 정도가 될 것으로 추정할 수 있다.

또한, 앞서 사이폰 작용 최대수두차 검토시 설명한 바와 같이 과거 기존에 설치된 다양한 사이폰식 물넘이의 설계 및 시공사례를 연구한 “기존 문헌의 사이폰식 물넘이 설계 및 시공사례”(1994, 여운철)를 살펴보면 저

수지 만수위와 사이폰 유출구 표고와의 수두차는 13m 이내로 정함이 안전하다고 서술하고 있으므로, 손실수두의 크기에 따라 변동은 있으나 13m를 최대 수두차로 정하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

그러나, 최대 수두차 H_{max}는 한계 높이에서 토출시켜 개수로로 연결하는 방식으로 극복 할 수 있으므로 최대 수두차가 16m 이상이 되더라도, 구조적으로 시설설치가 완전히 불가능 한 것은 아니다.

제2절 사이폰 여수시설 설치 사례조사

1. 사이폰 여수시설 일반현황

사이폰 원리를 이용한 여수시설의 경우 우리나라에서 12개소의 댐 및 저수지에 설치되어 있으며 여수로의 용도로 설치되어 있다.

대부분 댐 및 저수지의 제당높이를 높이지 않고 홍수대비 방류능력 확장방안으로 시공되었으며, 지형적 여건의 어려움으로 인해 여수토 확장이 어려울 때 시공되었다. 사이폰 여수시설은 별도의 구동장치가 필요 없어 유지관리가 유리하며, 낙차가 클수록 방류능력이 커지기 때문에 제당고가 높은 댐 및 저수지에 활용되었다.

과거에 설치된 우목지, 고풍지, 학곡지 등 7개소의 사이폰은 박스형 콘크리트 사이폰, 로 공사비 절감 등의 측면에서 설치하였으나 일정수위 이상이 되면 사이폰이 동시에 작동되어 다량의 유출수가 하류하천으로 방류되어 범람에 의한 침수피해가 발생하였다.

또한, 과거에 설치된 콘크리트 사이폰의 경우 에어벤트의 막힘이나 작동불량으로 인해 사이폰이 형성된 후 저수지 내수위가 유입구 수위 이하로 떨어지지 않을 경우 홍수에 의한 흐름이 정지되지 않았다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 최근에는 하류부의 범람이 우려될 경우 쉽게 방류를 쉽게 멈출 수 있고 사이폰이 순차적으로 작동하여 하류부의 첨두홍수량을 줄일 수 있도록 원형 강관 사이폰이 설치되고 있다. 또한 에어벤트를 만수위에 맞추어 설치하므로 상시만수위에서 자동정지가 가능하도록 시공했다.

현재는 에어벤트 벨브와 바이패스 밸브 조절로 사전방류도 가능하며 이러한 기능을 활용한 저수지가 지평지, 송석지 등이다 (표 4-1)은 사이폰 여수시설 설치현황을 나타낸 것이다.

(표 4-1) 사이폰 여수시설 설치 현황

저수지	위치	규모	재 질	비고
대가지	경남 고성	ø2.0m × 9련	철관	
도순지	전북 익산	ø1.6m × 5련	FRP	
우목지	충남 공주	□3m×3m×4련	콘크리트	
고풍지	충남 서산	□2.5m×2.5m×7련	콘크리트 사이폰	
도갑지	전남 영암	□2.0m×2.0m×3련	콘크리트(72년준공)	여수토로 변경공사중 ('16.9월경 공사착수 예정)
학지	강원 철원	ø1.2m × 1련 ø1.8m × 17련	FRP	
우천지 (학곡지)	강원 원주	□3m×3m×4련 ø1.5m × 1련 ø2.0m × 4련	콘크리트 철관 철관	
송석지	충남 예산	□2m×2m×3련 ø1.6m × 2련	콘크리트(기존) 철관(추가)	시공완료
지평지	경북 상주	ø1.3m × 3련	철관('13년 완료)	둑높이기사업으로 시공
하동호	경남 하동	ø3.0m × 복층×9련	철관	
미호지	충북 청주	ø0.7m × 2련 ø2.7m × 1련 ø3.0m × 17련	철관 철관 철관	
낙덕	전북 순창	ø1.0m × 1련	철관(소수력발전)	
금전	전남 화순	øm × 6련	철관	둑높이기 사업으로 여수토로 변경 완료

2. 고풍지 사례

충남 서산의 고풍지의 경우 1973년에 비상여수토로 설치되었으며 낙차는 7.5m, 방류유량은 289㎥/s로서 홍수시 2.5m×2.5m 크기의 박스형 콘크리트 사이폰 7련이 동시에 작동하여 저수지 하부의 하천이 범람하는 등의 문제가 있었으며, 사이폰 에어벤트의 고장으로 작동 중 중지도 불가능한 문제점이 있었다. 이 사이폰의 경우 작동의 문제가 아닌 필요할 경우에 작동을 중지할 수 있는 에어벤트의 재설치가 필요하다. <그림 4-5>는 고풍지 사이폰 여수로 현황이다

<내측수면 현황>

<유출부>

<유입부>

<에어벤트>

<그림 4-5> 고풍지 사이폰 현황

3. 송석지 사례

충남 예산의 송석지의 경우 1976년도에 3련의 박스형 콘크리트 사이폰

이 설치되어 홍수량 배제에 활용 중에 있으나, 최근 기후변화로 인한 홍수량 증가(125.88㎥/s)로 배제능력이 부족하여 사이폰 철거 후 여수로 신설 등 여러 가지 방안을 검토했으나 기존 사이폰 옆에 암반사면 절취로 인한 공사비 과다문제로 신규 사이폰 2련을 추가로 설치하는 것으로 최종 결정되었다. 이로 인해 공사비를 절감하면서 사이폰을 통해 방류되는 홍수방류시기를 조절하기 위해 유입구 높이를 다르게 하여 설치하게 되어 하류하천에 대한 첨두홍수량을 줄일 수 있어 방류하천 단면을 줄일 수 있었다. (표 4-2)은 송석지 물넘이 공법에 대한 검토이며, <그림 4-6>는 송석지 사이폰 여수로 현황이다

(표 4-2) 송석지 물넘이 공법 비교검토

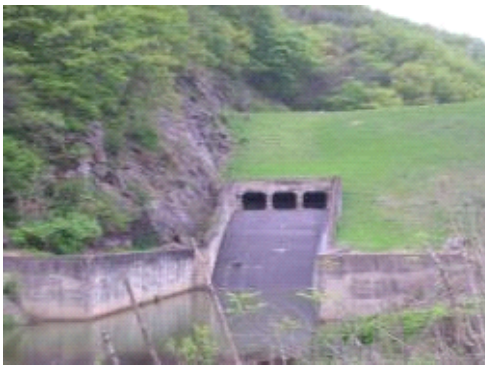
구 분	당 초(사이폰)	검토1안	비 고
계획내용	○ 기설 사이폰이용 ・(B)2.0×(H)2.0m×3련 ・웨어마루 : EL115.5m ○ 사이폰 추가설치 ・(D)1.6m×2련 ・웨어마루 : EL115.5m	○ 기설사이폰 철거 ○ 측수로신설 ・물넘이 L=60.00m ・제당성토 H=1.0m ・도로성토 L=2.0km	
제정고	EL.118.50m	EL.119.00m	
만수위	EL.115.50m	EL.115.50m	
홍수위	EL.115.80m	EL.116.50m	
홍수량	125.88㎥/s	125.88㎥/s	
장 점	・타공법에 비해 경제적 ・기초지반 보강 불필요 ・사전홍수조절이 가능	・유지관리가 편리하다	
단 점	・지속적인 유지관리 필요 ・사이폰조작 인력 필요	・사업비과다 소요 ・사전홍수조절이 어려움 ・지형적인 제약이 많음 ・홍수위 상승에 따른 제당 성토 및 용지매수 필요 ・농가 및 축사가 인접하여 민원발생 소지 있음	
추정사업비	16억원	60억원	

<기존 사이폰 에어벤트 설치>

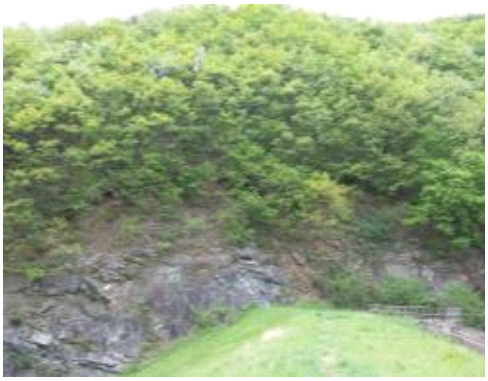
<산규 사이폰 설치>

<사이폰 에어벤트 및 바이패스 장치>

<하류하천 현황>



<기존 사이폰 설치현황(3련)>



<제당 산측 전경>

<그림 4-6> 송석지 사이폰 현황

제3절 사이폰 대체공법 적용 시 문제점 및 대책

사이폰 대체공법을 통해 복통을 대체 하는 취수시설 설치 및 사용을 위해서는 해결해야 할 몇 가지 문제점이 있다. 우선 시공시 문제점으로 기설복통 제거 후 사이폰 시공 시 가배수로의 역할을 대신할 시설이 필요하다는 점이고, 대표적으로 사이폰 작동시 발생되는 진동, 소음 등에 대한 안정성을 확보하는 것이다.

또한, 이외에도 관수로 형태에서 필연적으로 발생하는 유입부 막힘방지, 토출부 유속에 대한 하류부 세굴, 작물 냉해방지를 위한 온수취수, 복통에서는 가능한 홍수기 사전방류, 사수위까지의 용수취수 가능여부 등에 대한 검토 및 대책이 마련되어야 한다.

홍수를 배제해야 하는 대규모 여수로 사이폰은 작동시 진동, 소음, 충격, 캐비테이션 등이 발생하지만 본 연구의 대상은 제체 높이 10m, 저수량 100천㎥ 이하 저수지로 여수로를 대체할 사이폰이 아닌 복통을 대체할 사이폰 공법으로 진동, 소음, 충격, 캐비테이션 등의 발생은 미미할 것으로 판단되며, 이는 현장시험시공 및 수리모형실험을 통하여 확인할 예정이다.

또한, 기설 복통제거 후 사이폰 시공 시 가배수로 역할의 수행은 시공 전이나 시공 중 가체절, 또는 임시 사이폰을 통해 사전방류, 홍수배제를 실시함으로써 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

사이폰 유출부의 고속의 유출수에 대한 감세는 집수정을 통하여 잠류상태를 유지하는 방안이 있을 수 있으며, 사수위까지의 용수취수 가능여부는 현장시험시공 및 수리모형실험을 통하여 확인할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 사이폰 취수시설 대체공법에서 발생 가능한 다양한 문제점들을 현장시험시공과 실내 수리모형실험을 통하여 시험하고, 문제점에 대한 대책을 제시할 예정이다.

또한, 기술적인 문제를 발생시키지는 않지만 현장에서 적용할 경우 유지관리 상 불편사항 등에 관하여는 현장시험시공을 통한 실제 용수공급시 유지관리상 문제점에 대한 대책방안도 제시할 예정이다.

(표 4-3)은 사이폰 대체공법 시행시 문제점 및 대책검토 방안에 대하여 정리한 것이다.

(표 4-3) 사이폰 대체공법 문제점 및 검토방안

구 분	문 제 점	검 토	비 고
시공중	·기설 복통 제거후 사이폰 시공시 가배수로 기능 필요	·복통제거 및 사이폰 시공중 사전방류 방안검토	
사용중	·작동시 펌프이용으로 불편	·유지관리 방안 검토	
	·작동중 진동, 소음, 충격, 캐비테이션 발생 가능성	·수리모형실험 및 현장시험시공을 통해 현상 발생여부 확인 ·진동, 소음, 충격 : 현장측정 ·캐비테이션 : 실내실험시 육안관찰(아크릴투명재질)	시험시공 수리모형 실험확인
	·홍수전 사전방류 가능여부	·사전방류 가능여부 검토	
	·개보수, 준설시 사수위까지 수위저하 가능	·사이폰 작동한계수위 검토	수리모형 실험확인
	·하류 유출부 세굴	·사이폰 유량조절 방안 검토 ·사이폰 고속 유출수량 감세 방안 검토	시험시공 수리모형 실험확인
	·쓰레기에 의한 유입부 막힘	·유입부 유속 검토 및 쓰레기 유입방지 방안 검토	수리모형 실험확인
	·온수취수 가능여부	·온수취수 방법 및 소규모 저수지 필요성 검토	

제4절 사이폰 대체공법 적용가능지구 검토

취수시설 사이폰 대체공법의 적용성을 검토하기 위하여, 우리나라의 농업용저수지 현황과 농업용저수지의 제당높이 등 일반제원 분석을 통하여 사이폰 대체공법이 적용이 가능한 지구를 검토하였다.

가. 농업용저수지 현황

사이폰 대체공법의 적용이 가능한 저수지의 수를 개략적으로 알아보기

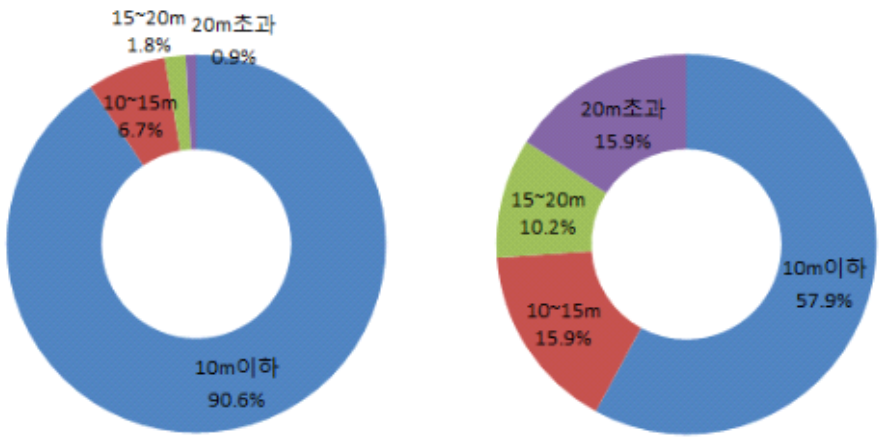
위하여 사이폰의 한계치와 연관성이 높은 제당높이 등 저수지 제원별 전국 농업용저수지 현황을 농업생산기반정비사업 통계연보(2017)를 통하여 분석하였다.

우리나라에는 모두 17,339개의 농업용저수지가 있으며, 이중 중·대규모 저수지인 3,394개소는 한국농어촌공사가 관리하고 있고, 나머지 소규모 저수지는 시군 등 지자체에서 관리하고 있다.

(표 4-4)는 농업용저수지 제당높이별 현황을 나타낸 것으로서 전체 농업용저수지의 84.2%인 14,598개소가 제당높이 10m이하로 나타났으며, 이중 한국농어촌공사 관리 저수지는 1,966개소로 나타났다.

(표 4-4) 제당높이별 농업용저수지 현황

구분	총개소	10m이하	10～15m	15～20m	20m초과	비고
전체	17,339 (100.0%)	14,598 (84.2%)	1,481 (8.5%)	594 (3.4%)	666 (3.8%)	
지자체	13,945 (100.0%)	12,632 (90.6%)	940 (6.7%)	248 (1.8%)	125 (0.9%)	
공사	3,394 (100.0%)	1,966 (57.9%)	541 (15.9%)	346 (10.2%)	541 (15.9%)	



<지자체관리 저수지> <공사관리 저수지>

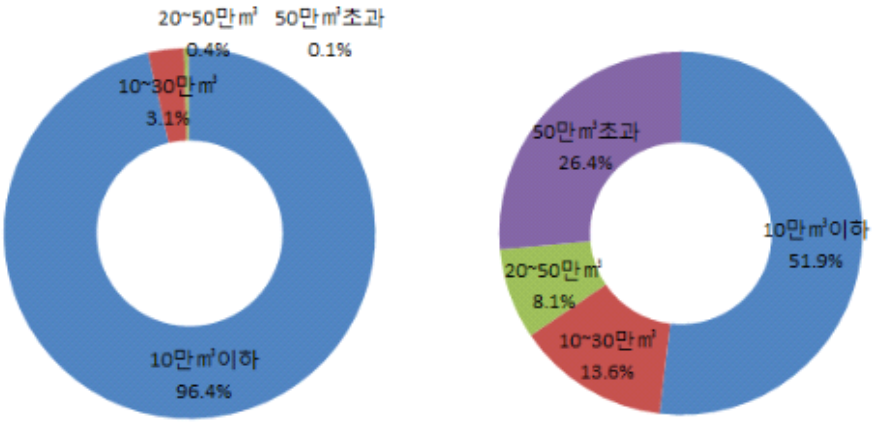
<그림 4-7> 제당높이별 농업용저수지 현황

지자체 관리 저수지는 전체 13,945개 중 90.6%인 12,632개가 제당높이 10m이하의 소규모 저수지로 나타났으며, 중·대규모 저수지를 관리하는 한국농어촌공사 관리 저수지 중에서도 57.9%가 10m이하로 나타났다.

(표 4-5)는 농업용저수지 총저수량별 현황을 나타낸 것으로서 전체 농업용저수지의 87.7%인 15,204개소가 총저수량 10만㎥이하로 나타났으며, 이중 지방자치단체에서 관리하는 저수지가 13,443개소로 대부분을 차지하고 있고, 한국농어촌공사가 관리하는 저수지는 1,761개소로 나타났다.

(표 4-5) 총저수량별 농업용저수지 현황

구분	총개소	10만㎥이하	10~30만㎥	30~50만㎥	50만㎥초과	비고
전체	17,339 (100.0%)	15,204 (87.7%)	896 (5.2%)	331 (1.9%)	908 (5.2%)	
지자체	13,945 (100.0%)	13,443 (96.4%)	434 (3.1%)	56 (0.4%)	12 (0.1%)	
공사	3,394 (100.0%)	1,761 (51.9%)	462 (13.6%)	275 (8.1%)	896 (26.4%)	



<지자체관리 저수지> <공사관리 저수지>

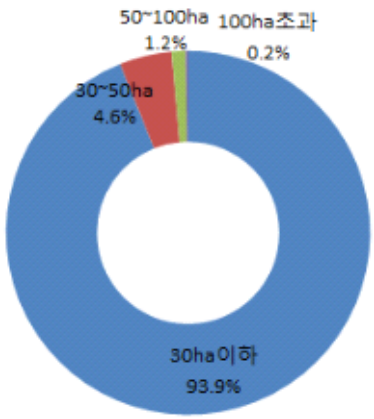
<그림 4-8> 총저수량별 농업용저수지 현황

(표 4-6)는 전국 농업용저수지 수혜면적별 현황을 나타낸 것이다.

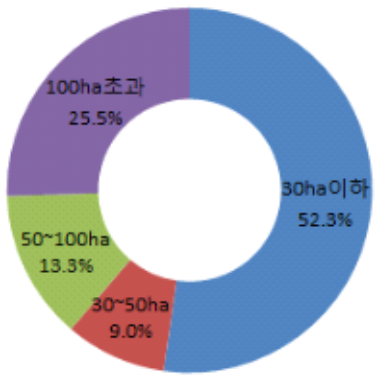
전체 농업용저수지의 85.8%인 14,870개소가 수혜면적 30ha이하로 나타났으며, 수혜면적이 10ha 이하인 저수지도 20,051개로 전체 농업용저수지의 반 이상인 58.0%로 나타났다.

(표 4-6) 수혜면적별 농업용저수지 현황

구분	총개소	30ha이하	30~50ha	50~100ha	100ha초과	비고
전체	17,339 (100.0%)	17,870 (85.8%)	951 (5.5%)	623 (3.6%)	895 (5.2%)	
지자체	13,945 (100.0%)	13,096 (93.9%)	646 (4.6%)	173 (1.2%)	30 (0.2%)	
공사	3,394 (100.0%)	1,774 (52.3%)	305 (9.0%)	450 (13.3%)	865 (25.5%)	



<지자체관리 저수지>



<공사관리 저수지>

<그림 4-9> 수혜면적별 농업용저수지 현황

농업용 저수지의 규모를 가늠할 수 있는 제당높이, 총저수량, 수혜면적을 종합적으로 살펴 볼 때 제당높이 10m, 총저수량 10만㎥, 수혜면적 30ha를 기준으로 소규모 저수지를 구분할 경우, 지방자치단체 저수지의 약90%, 한국농어촌공사 관리 저수지의 약 50%, 전체저수지의 약 85% 정도가 소규모 저수지로 분류되는 것을 알 수 있다.

나. 사이폰 대체공법 적용가능 지구

사이폰 대체공법을 적용하기 위하여는 먼저, 기본적으로 저수지의 제당높이가 이론적인 사이폰의 최대높이 이하이어야만 하고, 사이폰 작동시 문제점으로 판단되는 소음, 진동이 없는 소규모 저수지여야 장기간 가동시에도 저수지 제체에 영향을 주지 않을 것이다.

또한, 본 연구의 목적은 사통과 복통으로 연결된 취수구조의 개선을 통하여 복통 누수의 위험을 제거하는 것이므로 대상 저수지가 사통과 복통으로 되어 있어야 한다.

따라서, 사이폰 대체공법 적용가능 지구는 사이폰 작용의 최대 높이가 이론적으로 10m이하이어야 하며, 사이폰 작동시에도 소음과 진동이 없을 정도로 소규모 시설이어하며 사통과 복통구조로 되어 있는 시설이 될 것이다.

실무적으로 사이폰 작용이 가능한 최대높이는 손실수두 등을 감안하여 8m이하로 보는 것이 일반적이나 실제 사이폰 작용 높이는 제당높이보다 작은 사수위에서 제정까지의 높이이므로 제당높이를 10m이하인 조건으로 검토하여도 큰 무리는 없을 것으로 판단된다.

따라서, 앞서 농업용저수지의 통계분석 시 적용했던 소규모 농업용저수지의 구분 기준인 제당높이 10m이하, 총저수량 10만㎥이하, 수혜면적 30ha를 기준으로 조건을 조합하여 사이폰 취수시설 적용가능 저수지수를 살펴보았다.

(표 4-7) 저수지 규모에 따른 조건별 저수지 수

구분	총개소	H<=10m, S<=10만㎥	H<=10m, A<=30ha	H<=10m, S<=10만㎥, A<=30ha	비 고
전체	17,339 (100%)	14,036 (81.1%)	13,641 (78.7%)	13,521 (78.0%)	
지자체	13,945 (80.4%)	12,466 (71.9%)	12,104 (69.8%)	12,041 (69.4%)	
공사	3,394 (19.6%)	1,597 (9.2%)	1,537 (8.9%)	1,480 (8.5%)	

※ H : 제당높이(m), S : 총저수량(천㎥), A : 관개면적(ha)

(표 4-8)은 사이폰 작동이 가능한 절대적인 조건인 제당높이 10m이하인 저수지를 대상으로 총저수량 10만㎥이하, 수혜면적 30ha 조건을 중복적용하여 해당되는 저수지의 수를 살펴본 것이며, ( )안의 내서는 전체저수지에 대한 해당조건의 저수지의 비율을 나타낸 것이다.

제당높이가 10m이하이고 저수량이 10만㎥이하인 저수지는 전체 저수지 17,339개소 중 14,036개소로 81.1%이며, 제당높이가 10m이하이고 수혜면적이 30ha이하인 저수지는 13,641개로 78.7%, 세가지 조건을 모두 만족하는 저수지는 78.0%로서 제당높이 10m이하의 저수지는 소규모 저수지로 여러 가지 조건을 중북하여 검토하여도 비율에는 큰 차이를 나타내지 않는 것으로 나타났다.

(표 4-8) 사이폰 대체공법 적용가능지구 선정조건

구 분	선 정 조 건
저수지높이	제당높이 10m이하(제정표고-사수위, 8m이하)
총저수량	총저수량 10만㎥이하
수혜면적	30ha이하
취수형식	사통과 복통을 연결하여 취수하는 저수지

실제 사이폰 취수시설의 적용가능 여부를 판단하기 위하여는 여기에 취수형식이 사통형식인지, 취수높이인 사수위에서 제정까지의 높이차가 실무적인 사이폰의 최대작동 높이 8m이내인지를 추가 검토하여야 하지만 지방자치단체에서 관리하고 있는 저수지는 저수지별 취수형식, 제정표고, 사수위 등 세부적인 저수지 자료가 없어 검토가 곤란하다.

세부 제원자료가 있는 공사관리 저수지를 대상으로 위의 3가지 조건을 만족하는 저수지 중 취수형식이 사통형식이고, 취수높이인 사수위에서 제정까지의 높이차가 실무적인 사이폰의 최대작동 높이 8m이내인지를 검토한 결과 1,480개소 중 89.4%인 1,323개소가 조건에 적합한 것으로 나타났다.

따라서, 지방자치단체에서 관리하고 있는 저수지의 경우 세부제원이 없어 통계분석은 어려우나 비슷한 비율일 것으로 가정하면, 사이폰 대체공법의 적용가능 지구는 전체 농업용저수지의 약 70%정도인 12,000여개의 저수지에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

제5장 취수시설 사이폰 대체공법 시험시공

사이폰 대체공법이 저수지 취수시설인 복통을 대체할 수 있는 효과적인 공법인지 확인하고, 유지관리상 문제점이 없는지, 사이폰의 특징인 소음, 진동 등을 직접 확인하기 위하여 현장시험시공을 실시하였다.

대체공법의 시험시공 저수지를 결정하기 위하여 저수지 규모, 제원, 시설물상태 등을 고려하였으며, 소규모 저수지로 현재 복통과 사통의 상태가 불량하고 개보수 수행 후 5년 이상 경과한 저수지로 한정하였다.

또한, 현장 시험시공이 용이하도록 저수지의 제정에 사이폰 설치를 위한 장비의 진입이 가능한지 포장상태와 외제의 사석유무도 고려하였다.

실제로 저수지에 사이폰 취수시설의 시험시공을 실시하고, 시험시공된 사이폰으로 수위조건에 따른 유출유량 측정을 수행하여 현재 복통에 대한 대체 가능여부를 분석하였다. 또한, 용수공급시기에 사이폰 취수시설을 활용하여 용수를 공급하므로서 소규모 저수지의 취수시설로서 유지관리상 문제점 및 개선사항이 있는지에 대하여도 검토하였다.

현장 시험시공은 경북 칠곡에 있는 송산저수지와 충북 괴산에 있는 신후평저수지 2개소를 선정하여 시험시공을 실시하였다.

제1절 송산저수지 현장시험시공

1. 대상지구 현황

첫 번째 취수시설 사이폰 대체공법 시험시공 대상지는 송산저수지로 1947년에 준공된 저수지로서 지리적으로는 경상북도 칠곡군에서 동쪽으로 약 12.6km 지점에 위치하며, 행정구역상으로 경상북도 칠곡군 동명면 송산리에 위치하고 있다. 송산저수지의 댐 형식은 댐 중심에 불투수존을 갖고 있는 존형 필댐이며, 댐 높이는 15.0m, 댐 길이는 100.0m이다.

송산저수지의 유역면적은 73.0ha로 간접유역은 없으며 유역내 마을로는 칠곡군 동명면 송산리를 포함하고 있다.

총 저수량 2.3㎥ 규모의 소규모 저수지로 동명면 송산리 일대에 걸친 12.0ha의 농경지에 농업용수를 공급하기 위한 취수시설로 사통이 있고, 취수한 물은 복통을 통하여 공급되고 있다. (표 5-1) ~ (표 5-3)은 송산저수지 제원이다.

(표 5-1) 송산지 주요제원

명칭	유역 면적 (ha)	관개면적(ha)		유역 배율	홍수 면적 (ha)	만수 면적 (ha)	사수 면적 (ha)	홍수위 (EL.m)	만수위 (EL.m)	사수위 (EL.m)	댐마루 최저표고 (EL.m)
		준공	수혜								
송산	73	12.0	12.0	6.1		2.4	-	128.68	127.84	123.57	129.81

(표 5-2) 송산지 제체 제원

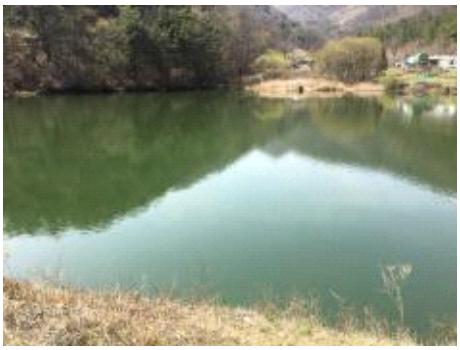
저 수 량			제 체				사면 기울기	
단위 (㎜)	총 (만㎥)	유효 (만㎥)	형식	높이 (m)	길이 (m)	댐마루 폭 (m)	상류측 (1:n)	하류측 (1:n)
191	2.3	2.3	필댐 [존형]	15.0	100.0	2.7	1:1.7 [사석]	1:1.7 [떼]

(표 5-3) 송산지 취수시설 제원

사 통			복 통		
구 조	규 격 (m)	공 수 (공)	형 식	규 격 (m)	연 장 (m)
스루스게이트	D=3.0	1공	원형	D=0.2	35.0

현장시험시공 대상지인 송산저수지는 2012년 정밀안전진단 결과가 C등급인 저수지로 제체여유고와 사석여유고가 부족하여 하류사면에 소량의 침투수가 유출되는 것으로 나타났다. 취수시설인 복통과 사통은 2006년에 개보수를 실시하였으며 정밀안전진단 결과 상태는 양호한 것으로 나타났으나 실제 사통 작동 시 어려움이 있는 것으로 조사되었다. 또한 실무자가 사이폰 대체공법에 대하여 실제 사용한 경험이 있었으며, 이에 따라 송산저수지를 사이폰 대체공법 시험시공 대상지로 선정하였다 <그림 5-1>은 송산저수지 전경이다.

<제체 전경>



<상류부 전경>

<하류부 전경>

<집수정>

<사통>

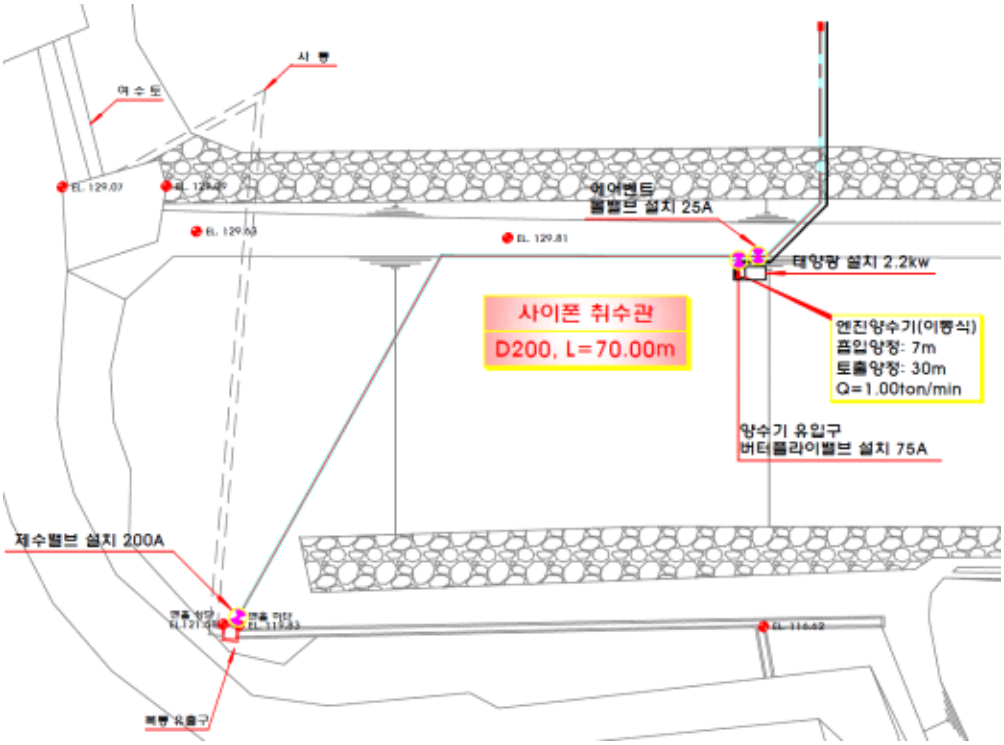
<개거>

<그림 5-1> 송산저수지 전경

2. 현장 시험시공

가. 시험시공 계획

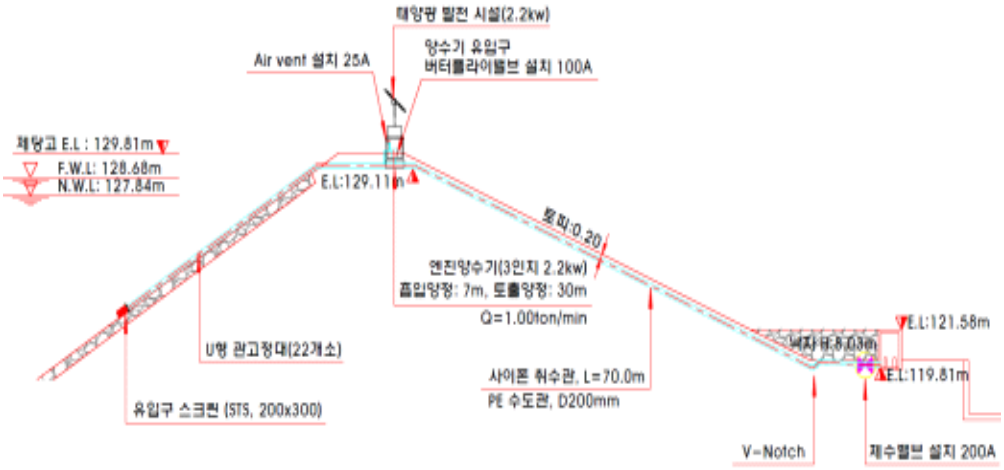
송산저수지 사이폰 대체공법 현장시험시공은 제체 중앙 상류부에 사이폰 유입부를 설치하고 제당에 펌프함을 설치하였으며, 제당을 따라 관 이동 후 제당 좌측부에서 집수정에 연결하였다. <그림 5-2>은 송산저수지 사이폰 대체공법 현장시공 평면도이다.



<그림 5-2> 송산저수지 사이폰 대체공법 시험시공 평면도

사이폰 대체공법 현장시험 대상지인 송산저수지는 제체 높이가 15.1 m로 홍수위는 제당에서 1.13m, 만수위는 1.97m 아래로 나타났다. 사이폰 유입구는 제당에서 6.32m 아래에 설치하였으며 이물질이 유입되는 것을 방지하기 위해 유입구 스크린을 설치하였다. 제당 위에 양수기 펌프와 펌프함을 설치하였고 태양광 판넬 설비를 설치하여 자체적으로 전원을 공급할 수 있도록 하였다. 제당에서 10m 아래에 있는 집수정까지 사이폰관을

연결하였으며, 재수밸브를 설치하여 유출량을 조절할 수 있도록 하였다. <그림 5-3>은 송산저수지 사이폰 대체공법 시험시공 단면도를 나타낸다.

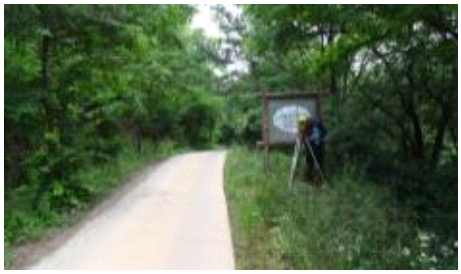


<그림 5-3> 송산저수지 사이폰 대체공법 시험시공 단면도

나. 시험시공 방법

취수시설 사이폰 대체공법 시험시공은 “저수치 제체 측량 - 터파기 - PE관 설치 - PE관 버트융착 - 양수 펌프 및 에어벤트관 설치 - 토출부 연결 및 제수밸브 설치 - 제체 되메우기 - 전원공급장치 설치 - 계측기 설치” 순으로 시공되었으며, <그림 5-4>은 송산저수지 시험시공 순서를 나타낸다.

광파기로 측량 수행 후 굴착위치 확인 후 백호로 표토제거 후 굴착을 수행하였으며, 사이폰관은 내구성이 우수하고 단기 충격시 저항성 및 복원성이 우수한 수도용 PE관을 선정하여 시공하였다. PE관의 연결은 수밀성이 양호하고 내밀성이 우수한 버트융착접합을 적용하였다. 압력계는 현장시험시공 후 현장시험 시 최대압력을 확인할 수 있도록 최대 부압 위치에 설치하였으며 유출구에 200A 제수밸브를 설치하여 유출량 조절이 가능하게 하였다. 사이폰 시공 후 관 상단은 플레이트 콤팩트 다짐, 관 주위는 래머다짐을 수행하여 기존제체 상태로 복구하였다.



<기준점 세팅(광파기)>

<측량(광파기)>

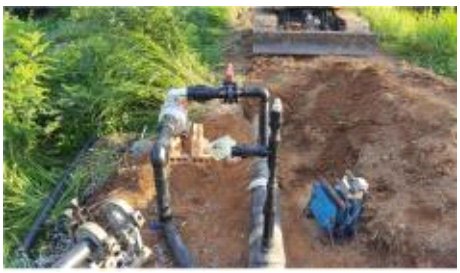
<터파기(경사부)>

<터파기(토출부)>

<버트웅착>

<PE 수도관 설치>

<양수 펌프 설치>



<에어밴트관 설치>

<토출부(브이노치부) 연결>

<제수밸브(200A)설치>

<되메우기>

<전원공급장치 설치>

<시공 완료(유입부)>

<시공완료(토출부)>

<시공 완료(계측기)>

<시공완료(전원공급장치)>

<그림 5-4> 사이폰 대체공법 현장시험시공 순서

3. 현장실험 결과

사이폰 대체공법 현장시공 후 제수밸브 개폐도에 따른 관의 압력과 유출 유량계측을 위해 현장시험을 수행하였다. 제수밸브 핸들 회전수에 따라 제당에 설치되어있는 압력계와 개거에 유속계를 설치하여 측정하였다.

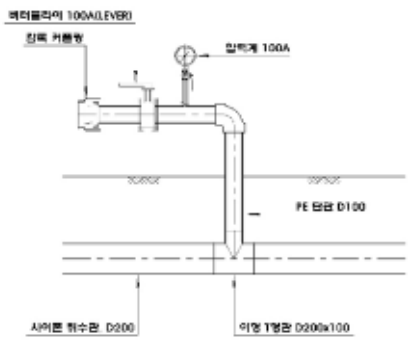
제수밸브의 회전수는 최대일 때 27회 였으며, 5회 단위로 5회, 10회, 15회, 20회, 25회, 27회 일 때 압력과 유속을 측정하였다. 현장시험시공시 설치한 유량조절용 제수밸브는 버터플라이 밸브로서 (표 5-5)는 핸들회전수에 따른 버터플라이 밸브의 통수단면적의 변화를 나타낸 표이다.

<그림 5-5>은 사이폰 대체공법 현장시험 전경이며, (표 5-4)는 유속계 세부사양, <그림 5-6>은 압력계 전경과 상세도를 나타낸다.

<그림 5-5> 사이폰 대체공법 현장시험 전경

(표 5-4) 유속계 세부사양

항 목	내 용
Detecting method	Optical pulse count type.
Measuring range	±3 ~ ±200 ㎝/s
Measurement error	within ± 3㎝ /s
Propeller	ϕ 20 ㎜
	Made of Polypropylene
Pulse / rotation	20
Rod	5 × 10㎜(Oval)
	Brass Ni-plating
Protection ring	Dia ϕ 28㎜
Overall length	Approx.680㎜
Weight	Approx.220g
Working temperature	0 — 40 ℃ (Not to be frozen)
Waterproof connector withstanding pressure	2kg/㎝2 (20m)



<그림 5-6> 압력계 전경 및 상세도

사이폰 대체공법 현장시험 수행 후 제수밸브 개폐도에 따른 압력과 유속은 (표 5-5)와 같다.

(표 5-5) 제수밸브 개폐에 따른 통수단면적 변화

구 분	핸들 회전수							비 고
	0	5	10	15	20	25	27	
통수단면적 (㎠)	0	60	173	241	288	312	314	
통수면적비 (%)	0	28.7	55.0	76.6	91.8	99.3	100.0	

(표 5-6) 송산지 압력 및 유량계측

구 분	저수지 수 위 (EL,m)	토출부 수 위 (EL,m)	만 관 작동시 설계값	핸들 회전수						비 고
				5	10	15	20	25	27	
압 력 (Kpa)	125.10	120.03	-65.3	-38.3	-45.3	-51.1	-57.2	-63.1	-64.6	
유 량 (㎥/s)			0.0827	0.0154	0.0308	0.0462	0.0616	0.077	0.0831	

송산저수지의 사이폰 취수시설 현장시험시공 결과 사이폰 작동을 위하여 태양광 발전을 이용한 전기모터 가동이 원활히 수행되었으며, 유출구 제수밸브를 닫은 상태에서 양수펌프를 가동시키는 경우 초기작동까지 5~7분정도가 소요되었다.

초기 사이폰 작동이 완료되어 만관상태를 유지하면서, 하류부 제수밸브의 조작에 따라 유량을 조절하여 급수가 가능하였다. 송산저수지의 경우 하류부에 콘크리트 집수정이 위치하여 사이폰의 토출구를 집수정 안으로 설치하였는데, 집수정의 수문조작을 통하여 잠류상태를 유지하며 토출부 고속 수류에 대한 감세도 가능한 것으로 판단된다.

시험시공결과 기존 사통과 동일하게 제수밸브의 개폐에 따라 유량조절이 가능하였으며, 제수밸브가 저수지 제당 사면 아래에 설치되어 조작시 불편함은 있으나 취수시설로의 기능은 원활히 수행이 가능하였다.

제2절 신후평저수지 현장시험시공

1. 대상지구 현황

취수시설 사이폰 대체공법 시험시공 대상지는 신후평저수지로 1945년에 준공된 저수지로서 지리적으로는 충청북도 괴산군에서 남쪽으로 약 18.4km 지점에 위치하며, 행정구역상으로 충청북도 괴산군 청천면 후평리에 위치하고 있다. 신후평저수지의 댐 형식은 댐 중심에 불투수존을 갖고 있는 존형 필댐이며, 댐 높이는 6.7m, 댐 길이는 120.0m이다.

신후평저수지의 유역면적은 114.0ha로 간접유역은 없으며 유역내 마을로는 괴산군 청천면 후평리를 포함하고 있다.

총 저수량 1.5만㎥ 규모의 소규모 저수지로 청천면 후평리 일대에 걸친 35.0ha의 농경지에 농업용수를 보충공급하기 위한 취수시설이나, 현재는 약 11.7ha의 농경지에 농업용수를 공급하고 있다. 신후평저수지는 취수시설로 사통이 있고, 취수한 물은 복통을 통하여 공급되고 있다. (표 5-7) ~ (표 5-10)은 신후평저수지 제원이다.

(표 5-7) 신후평지 주요제원

명칭	유역면적(ha)	관개면적(ha)		유역배율	홍수면적(ha)	만수면적(ha)	사수면적(ha)	홍수위(EL.m)	만수위(EL.m)	사수위(EL.m)	댐마루 최저표고(EL.m)
		준공	수혜								
신후평	114.0	35.0	35.0	3.25	0.8	0.8	-	189.18	188.04	184.54	190.18

(표 5-8) 신후평지 제체 제원

저수량			제체				사면 기울기	
단위(㎜)	총(만㎥)	유효(만㎥)	형식	높이(m)	길이(m)	댐마루 폭(m)	상류측(1:n)	하류측(1:n)
43.1	1.51	1.51	필댐 [존형]	6.7	120.0	3.5	1:1.8 [사석]	1:1.8 [떼]

(표 5-9) 신후평지 여수로 제원

설계홍수량 (㎥/s)	여수토				방수로			
	여수토 형식	언체 높이 (m)	월류 수심 (m)	여수토 길이 (m)	재료	형식	길이 (m)	평균폭 (m)
1.6	측수로식	1.3	0.5	7.0	콘크리트	슈트식	31.4	5.7

(표 5-10) 신후평지 취수시설 제원

사통			복통		
구조	규격 (m)	공수 (공)	형식	규격 (m)	연장 (m)
스루스게이트	D=2.0	1공	원형	D=0.6	20.0

현장시험시공 대상지인 신후평저수지는 2종 저수지로 2015년 정밀안전점검 결과가 C등급인 저수지로 전체적으로 부분적인 결함은 있으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없는 것으로 나타났다. 취수시설인 사통은 개폐에 문제가 없으며 콘트리트 받침대 표면 손상이 있으나 기능에 문제는 없는 것으로 판단하였다.

복통은 CCTV조사결과 면벽 균열과 표면 박락이 있고 관체 이음부 이격과 경미한 파손이 있는 것으로 조사되었다.

신후평저수지는 준공년도가 오래되었고, 제체가 10m미만인 일반적인 소규모 농업용저수지로 본 연구의 현장시공대상으로 적정할 것으로 판단되어 신후평저수지를 사이폰 대체공법 시험시공 대상지로 선정하였다. <그림 5-7>은 신후평저수지 전경이다.

<제체 전경>

<상류부 전경>

<하류부 전경>

<여수토방수로>

<사통>

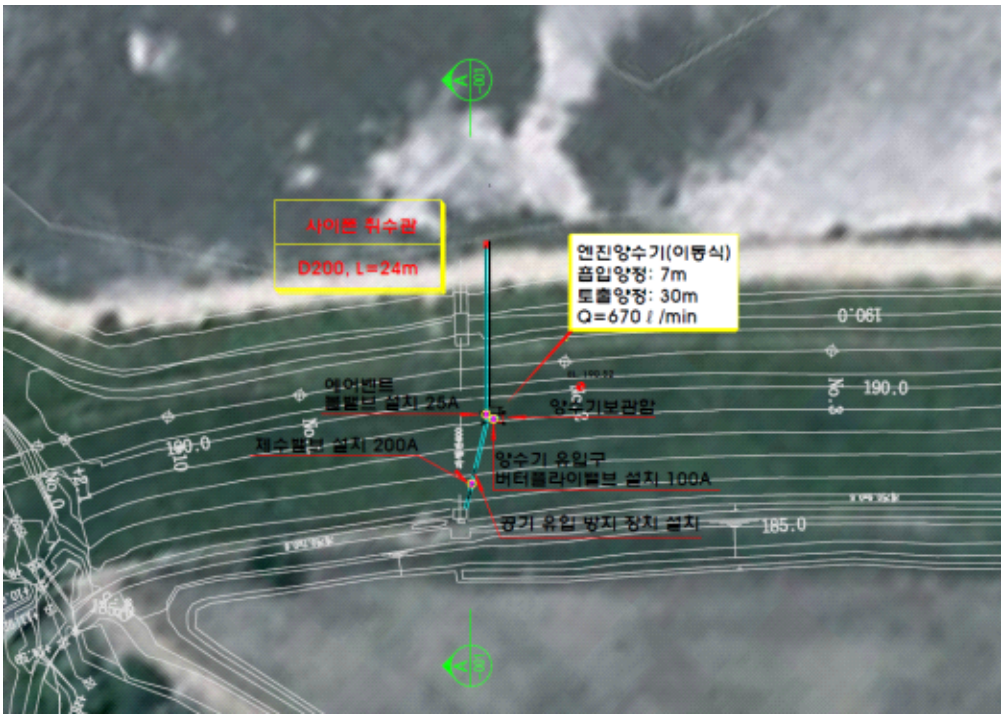
<개거>

<그림 5-7> 신후평저수지 전경

2. 현장 시험시공

가. 시험시공 계획

신후평저수지 사이폰 대체공법 현장시험시공은 제체 중양 상류부에 사통조작부 옆에 사이폰 유입부를 설치하고 제당에 펌프함을 설치하였으며, 제당을 넘어 하류부로 관 매설 후 제당 중앙부 하단에서 용수로와 연결되는 복통의 토출부에 연결하였다. <그림 5-8>은 신후평저수지 사이폰 대체공법 현장시공 평면도이다.

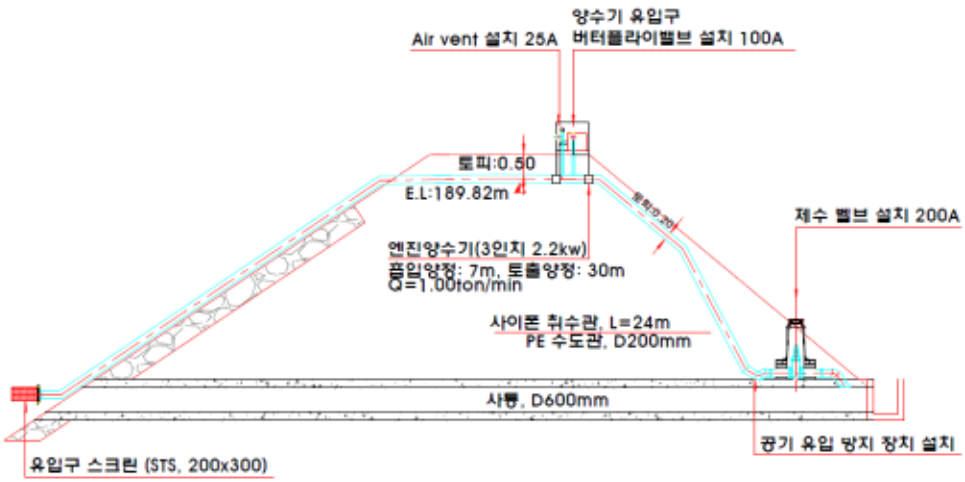


<그림 5-8> 신후평저수지 사이폰 대체공법 시험시공 평면도

사이폰 대체공법 현장시험 대상지인 신후평저수지는 제체 높이가 6.7 m로 홍수위는 제당에서 1.0m, 만수위는 2.14m 아래로 나타났다. 사이폰 유입구는 제당에서 6.30m 아래에 설치하였으며 이물질이 유입되는 것을 방지하기 위해 유입구 스크린을 설치하였다.

앞서 시험시공한 송산저수지와의 시설의 차이는 신후평저수지의 경우에는 제당 위에 엔진양수기와 펌프함을 설치하여, 엔진양수기를 사용하여 사이폰의 초기가동을 할 수 있도록 하였는데, 이는 초기가동을 위한 다양한 방법을 적용하므로서 유지관리의 용이성을 살펴보기 위한 것이다.

제당에서 7m 아래에 있는 복통의 토출부까지 사이폰관을 연결하였으며, 복통과 직각으로 사이폰관을 연결하여 복통 토출부에서 감세후 용수로로 유입되도록 하였다. 또한 하단부에는 제수밸브를 설치하여 유출량을 조절할 수 있도록 시공하였다. <그림 5-9>는 신후평저수지 사이폰 대체공법 시험시공 단면도를 나타낸 것이다.



<그림 5-9> 신후평저수지 사이폰 대체공법 시험시공 단면도

나. 시험시공 방법

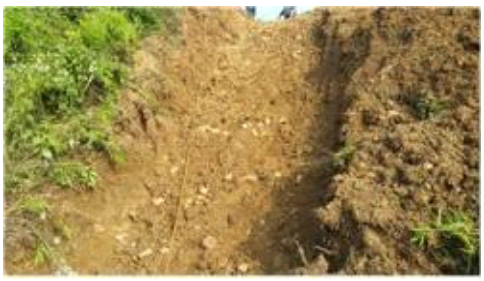
신후평저수지 취수시설 사이폰 대체공법 시험시공은 “저수치 제체 측량 - 터파기 - 토출부 제수밸브 설치 - PE관 설치 - 토출부 연결 - PE관 버트융착 - 취입부 연결 - 제체 되메우기 - 양수 펌프 및 에어벤트관 설치 - 계측기 설치” 순으로 시공되었으며, <그림 5-10>은 신후평저수지 시험시공 순서를 나타낸다.

광파기로 측량 수행 후 굴착위치 확인 후 백호로 표토제거 후 굴착을 수행하였으며, 사이폰관은 내구성이 우수하고 단기 충격시 저항성 및 복원성이 우수한 수도용 PE관을 선정하여 시공하였다.

PE관의 연결은 수밀성이 양호하고 내밀성이 우수한 버트융착접합을 적용하였다. 현장시험 시 사이폰 작용에 따른 부압을 확인할 수 있도록 압력계를 사이폰 상단에 설치하였으며 유출구에 200A 제수밸브를 설치하여 유출량 조절이 가능하게 하였다. 사이폰 시공 후 다짐을 수행하여 기존제체 상태로 복구하였다.

<PE수도관 자재입고>

<제수 밸브 등 자재입고>



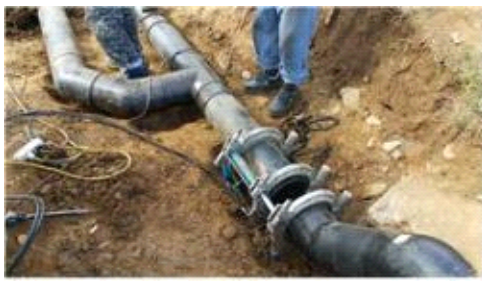
<터파기(경사부)>

<터파기(토출부)>

<토출부(브이노치부) 연결>

<제수밸브(200A)설치>

<버트웅착>



<PE 수도관 설치>

<에어밴트관 설치>

<양수 펌프 설치>

<되메우기(제당부)>

<되메우기(경사부)>

<시공 완료(유입부)>

<시공완료(제당부)>

<시공 완료(토출부)>

<시공완료(계측기)>

<그림 5-10> 사이폰 대체공법 현장시험시공 순서

3. 현장실험 결과

사이폰 대체공법 현장시공 후 제수밸브 개폐도에 따른 관의 압력과 유출 유량측정을 위해 현장시험을 수행하였다. 제수밸브 핸들 회전수에 따라 제당에 설치되어있는 압력계와 개거에 유속계를 설치하여 측정하였다.

제수밸브의 회전수는 최대일 때 27회 였으며, 5회 단위로 5회, 10회, 15회, 20회, 25회, 27회 일 때 압력과 유속을 측정하였으며, 송산저수지에 설치된 밸브와 동일한 밸브이다.

<그림 5-11>은 사이폰 대체공법 현장시험 전경이며, (표 5-11)은 유속계 세부사양, <그림 5-12>는 압력계 전경과 상세도를 나타낸다.

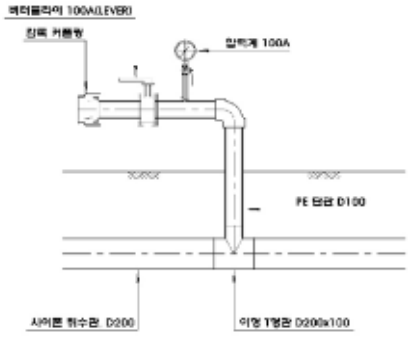
<개폐도에 따른 압력측정>

<개폐도에 따른 유속측정>

<그림 5-11> 사이폰대체공법 현장시험 전경

(표 5-11) 유속계 세부사양(Flo-Mate Model 2000)

항 목	내 용
Detecting method	Electromagnetic
Measuring range	-0.15 ~ +6 m/s
Measurement accuracy	within ± 2%
Power Requirements	Two D cells
Weight	3lb 9 oz with case 20ft of cable 2lb 10oz without sensor and cable
Working temperature	0 ~ 72 ℃ (Not to be frozen)



<그림 5-12> 압력계 전경 및 상세도

사이폰 대체공법 현장시험 수행 후 제수밸브 개폐도에 따른 압력과 유속은 (표 5-12)와 같다.

(표 5-12) 신후평지 압력 및 유량계측

구 분	저수지 수 위 (EL,m)	토출부 수 위 (EL,m)	만 관 작동시 설계값	핸들 회전수						비 고
				5	10	15	20	25	27	
압 력 (Kpa)	188.04	183.88	-32.2	-18.0	-26.0	-29.5	-30.0	-31.0	-31.5	
유 량 (m^3/s)			0.096	0.037	0.067	0.075	0.081	0.088	0.089	

신후평저수지의 사이폰 취수시설 현장시험시공 결과 엔진양수기를 통한 초기가동은 원활히 수행되었으며, 유출구 제수밸브를 닫은 상태에서 양수펌프를 가동시키는 경우 초기작동까지 1분정도가 소요되었다.

송산지와 마찬가지로 초기 작동 후 제수밸브의 조작에 따라 유량을 조절하여 급수가 가능하였으며, 신후평저수지는 집수정은 없으나 복통 말단에 사이폰 토출구를 직각으로 연결하여 고속 수류를 감세할 수 있었고, 취수시설로의 기능을 원활히 수행할 수 있었다.

제6장 대체공법 실내수리모형 실험

제1절 수리모형 제작

1. 상사법칙

사이폰 수리모형실험을 위해서는 축소모형을 제작해야 한다. 실험을 위한 축소모형은 원형에서의 물리적 현상을 동일하게 재현할 수 있게 제작하여야 하며, 이를 위해 상사법칙을 적용해야 한다.

사이폰은 공기와 물이 혼합된 흐름이 발생하므로 물의 점성과 관련된 Reynolds 수를 고려해야 하며, 표면장력에 따른 Webber 수도 고려해야 한다. 또한 관내 압력 또한 중요하므로 Euler 수도 고려해야 한다. 또한 중력에 지배를 받으므로 Froude 수도 고려해야 한다.

이와 같이 사이폰 여수로는 물의 표면장력과 점성의 영향에 매우 민감하므로 축소모형 제작에 따른 축척 효과가 다른 모형에 비해 크게 발생한다(Ettema et al., 1982). 이에 Wattington and Ali(1976)는 사이폰 수리모형실험을 위한 축소모형의 축척은 1/30 이하로 제작하여야 한다고 언급하였다.

따라서, 본 연구에서는 사이폰 수리모형실험을 위해 1/4 축척을 적용하였다. 그리고, 관내 공기 혼입량은 매우 적다고 가정하여 Froude 상사를 적용하였다. Froude의 상사법칙은 원형과 모형에서 Froude 수가 같다는 가정에서 출발한다. 이를 수식으로 나타내면 다음 식 (6-9) 및 식 (6-10)과 같다.

$$(F_r)_R = 1 \tag{6-9}$$

$$\frac{(F_r)_P}{(F_r)_M} = \frac{\dfrac{V_P}{(g_P L_P)^{1/2}}}{\dfrac{V_M}{(g_M L_M)^{1/2}}} = 1 \tag{6-10}$$

여기서 $(F_r)_R$은 Froude 수의 축척, V_M은 모형의 유속, V_P 는 원형의 유속, L_M 은 모형의 길이, L_P 는 원형의 길이, g_M은 모형의 중력가속도, g_P는 원형의 중력가속도를 각각 나타낸다.

식 (6-10)에서 원형과 모형에서 중력가속도는 동일하므로 다음 식 (6-11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$(F_r)_R = 1 \tag{6-9}$$

$$V_R = \frac{V_P}{V_M} = [\frac{L_P}{L_M}]^{1/2} \tag{6-11}$$

여기서 V_R은 속도의 축척이며, L_V는 길이의 수직 축척이다.

흐름의 연속방정식으로부터 유량의 축척 Q_R 을 유도하면 다음 식 (6-12)와 같다.

$$Q_R = A_R V_R = L_H L_V {L_V}^{1/2} = L_H {L_V}^{3/2} \tag{6-12}$$

여기서 A_R은 통수단면적의 축척이며, 시간 축척 T_R은 식 (6-13)과 같다.

$$T_R = \frac{L_H}{V_R} = \frac{L_H}{{L_V}^{1/2}} = L_H {L_V}^{-1/2} \tag{6-13}$$

식(6-11), (6-12), (6-13)은 왜곡모형일 경우의 Froude 상사법칙에 의한 모형축척을 나타내며 다음 식 (6-14)~(6-17)과 같이 정리된다.

$$V_R = {L_V}^{1/2} \tag{6-14}$$

$$T_R = \frac{L_H}{V_R} = L_H / {L_V}^{1/2} \tag{6-15}$$

$$Q_R = V_R L_H L_V = L_H {L_V}^{3/2} \quad (6\text{-}16)$$

$$n_R = \frac{L_V^{3/2}}{L_H^{1/2}} \quad (6\text{-}17)$$

여기서, L_H는 수평축척, L_V는 수직축척, T_R은 시간축척, n_R은 조도(Chezy 계수)축척이다. 수평축척의 L_H와 수직 축척 L_V가 4인 정상모형으로 결정하였을 때 각 수리인자의 모형 대 원형비는 (표 6-1)과 같이 계산된다. 모형의 왜곡으로 인한 변형은 없으며, 사이폰 모형은 표면이 매끈한 아크릴을 사용하여 조도계수의 변화를 최소화하였다.

(표 6-1) 모형 축척

구 분	기 호	모형과 원형의 비
수평축척	L_H	4
수직축척	L_V	4
유 속	${L_V}^{1/2}$	2
유 량	${L_H L_V}^{3/2}$	32
시 간	${L_H L_V}^{-1/2}$	2
면 적	${L_H}^2$	16
체 적	${L_H}^2 L_V$	64
Froude 수	1	1.0
조 도	${L_V}^{3/2} {L_H}^{-1/2}$	4

2. 모형제작

저수지 취수시설 용도의 사이폰 모형 제작을 위해 모형 축척은 1/4로 결정하였다. 일반적으로 사이폰 여수로의 경우 관내에 대기압 이상의 부압이 작용하지는 않으므로 상류 수위와 유출구의 수두차가 10m 이하로 예측할 수 있다. 본 연구에서는 상류 수위와 유출구의 수두차를 약 7m로

가정하여 모형을 설계하였다.

소규모 저수지 취수시설용 사이폰 관로의 일반적인 지름이 약 10~30㎝ 정도면 충분할 것으로 판단되고, 현장 시험시공한 사이폰이 지름 20㎝인 점을 고려하여, 관수로 지름 20㎝를 기준으로 모형을 제작하였다.

다열의 사이폰 수로 설치를 고려하여 3열의 사이폰 관수로를 배치하였으며, 사이폰 관 내 압력 측정을 위해 중앙 사이폰 관수로에 압력계 5기를 설치하는 것으로 계획하였다.

사이폰의 수로의 경사는 일반적인 저수지 제당 경사를 고려하여 상류측은 1:1.5, 하류측은 1:2를 적용하였다. 사이폰 수리모형의 설계 도면은 다음 <그림 6-1> 및 <그림 6-2>와 같다.

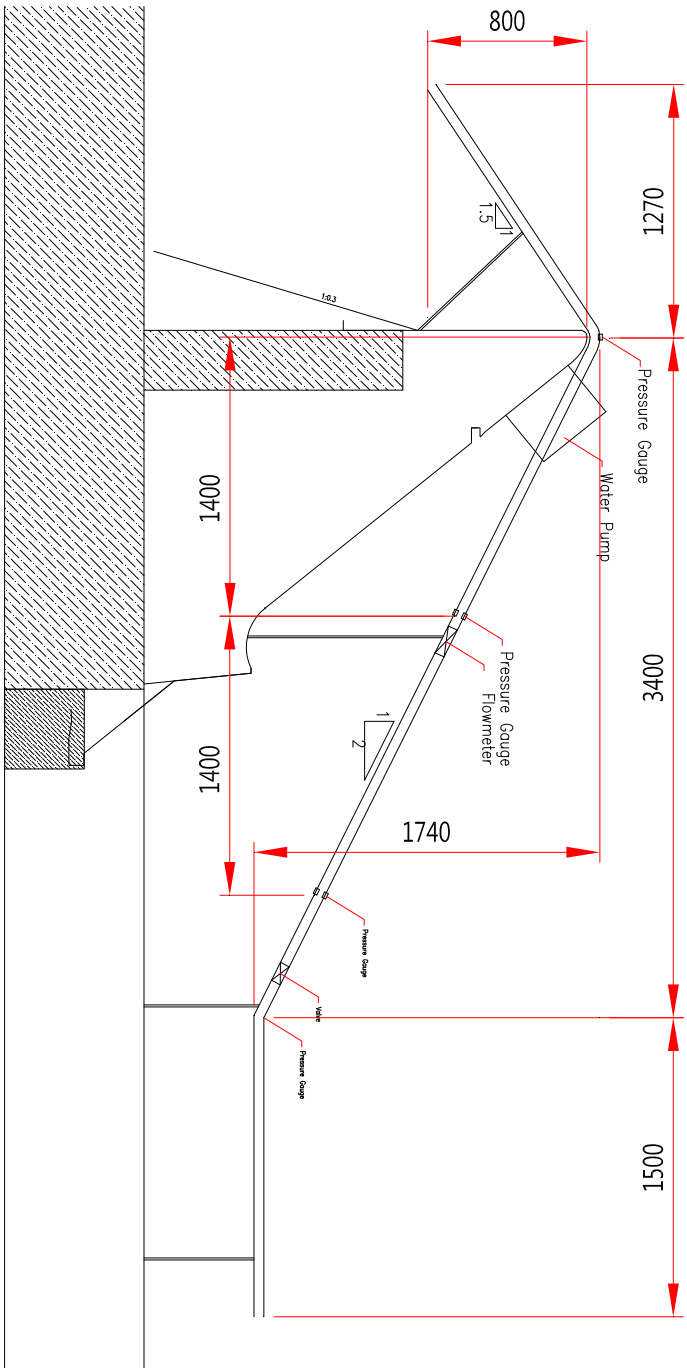
사이폰 수리모형은 내부 관내의 흐름을 육안으로 관측하여 캐비테이션 발생, 원활한 사이폰 작용 등을 확인 할 수 있도록 투명한 아크릴로 제작하였다. 그리고 시험시공을 실시한 저수지 취수시설과 동일한 작동 매커니즘을 갖도록 설계하여 각 사이폰 관수로에 펌프와 사이폰 작동을 멈추기 위한 Air Vent를 설치하였으며, 사이폰 관 내 유량 계측을 위하여 각 사이폰 관수로에 관수로와 동일한 지름의 유량계를 설치하였다. 사이폰 수리모형 제작 및 설치 사진은 <그림 6-3>과 같다.

또한, 초기에 설치한 다열의 사이폰을 통하여 기본적인 유량, 관내압력, 유입부 유속실험을 완료한 후, 추가실험을 위하여 3열의 사이폰 중 1개의 모형을 보완하여 추가 실험을 실시하였다

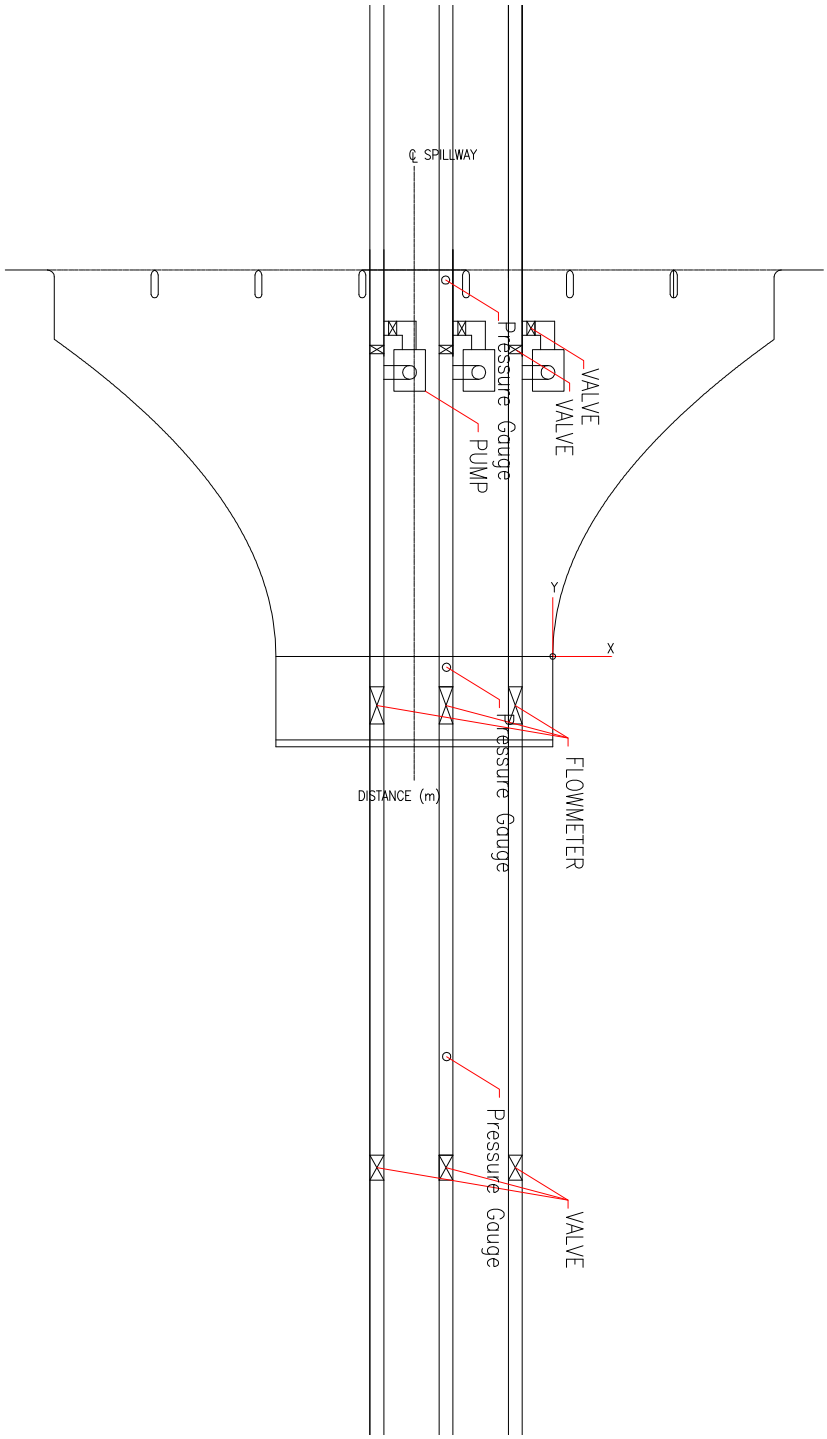
추가 실험을 실시하기 위한 사이폰에는 현장 시험시공한 버터플라이 밸브의 물리적 작동 메커니즘을 나타낼 수 있도록 개도비를 정밀 재현 할 수 있는 밸브를 설치하였고, 유출부 감세효과를 측정하기 위하여 집수정 모형과 수로부 모형을 제작하였다.

최초 모형에서는 모형 제작시부터 기본적으로 사이폰 유입부와 유출부의 높이차가 94㎝로 수심이 낮아 수두차가 거의 없는 경우의 유량변화를 실험 할 수 없었으나, 추가로 모형 보완시에는 사이폰 유입부를 유출부 높이까지 연장하여 수두차가 거의 없는 경우의 유량변화를 실험 할 수 있도록 하였다.

<그림 6-4> 및 <그림 6-5>는 추가로 보완된 사이폰의 설계도면을 나타낸 것이며, <그림 6-6>은 보완된 사이폰 수리모형의 설치 사진을 나타낸 것이다.

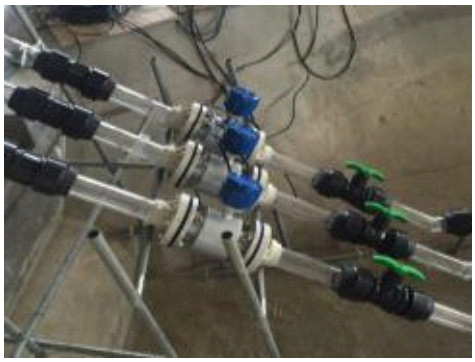


<그림 6-1> 사이폰 수리모형 측면도



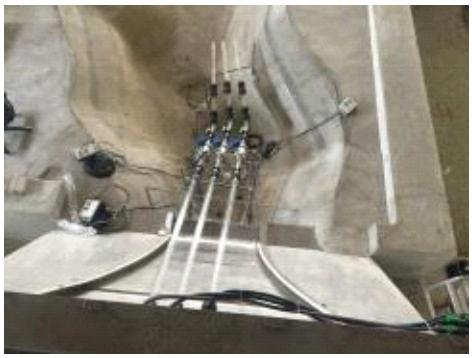
<그림 6-2> 사이폰 수리모형 평면도

<펌프 설치>



<유량계 및 밸브 설치>

<사이폰 상류측>



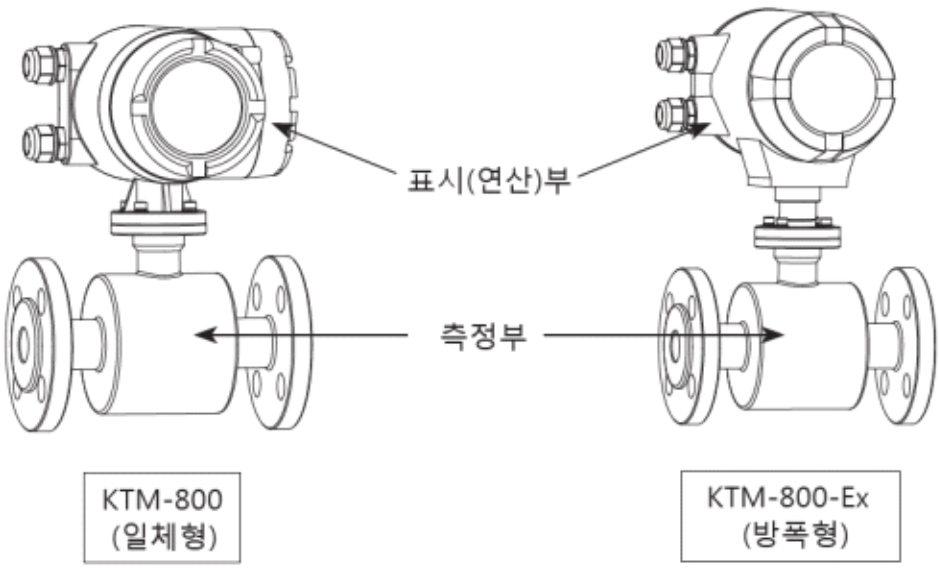
<사이폰 하류측>

<사이폰 설치 전경(전체)>

<그림 6-3> 사이폰 수리모형 제작 및 설치도

3. 계측장비

본 사이폰 수리모형실험 수행을 위해 전자기식 유량계와 압력계가 사용되었다. 전자기식 유량계는 KTM-800 Ex 유량계를 활용하였다. KTM-800 Ex 유량계의 구조도와 세부사양은 아래 그림 및 표와 같다.



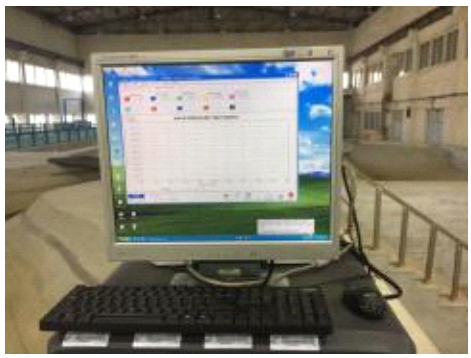
<그림 6-4> 전자기식 유량계 구조도

(표 6-2) 전자기식 유량계 세부사양

항 목	내 용
Connection	- Standard JIS(KS) Flange
Size	- 200A
Measured Fluid	- Liquid
Flow Range	- (0.005 ~ 112926.96) m^3/h
Power	- AC 110/220V, DC 24V
Frequency	- (50 ~ 60) Hz
Display	- LCD Display with back light - Flowrate : 5-digit Display - Totalizer : 9-digit Display
Output	- Analog : DC 4-20 mA - Pulse : Open collector Pulse - Digital : RS485
Accuracy	- ±0.5 % F.S

압력계 시스템은 WT-P020 센서 5기를 활용하였다. 센서의 지름은 18㎜로 관내 벽면과 일치시켜 설치하여 압력계 센서가 사이폰 관수로 흐름에 영향을 주지 않도록 설치하였다. 압력계 시스템 사진 및 세부사양은 아래 그림 및 표와 같다.

<압력계>



<압력계측 시스템>

<그림 6-5> 압력계 시스템

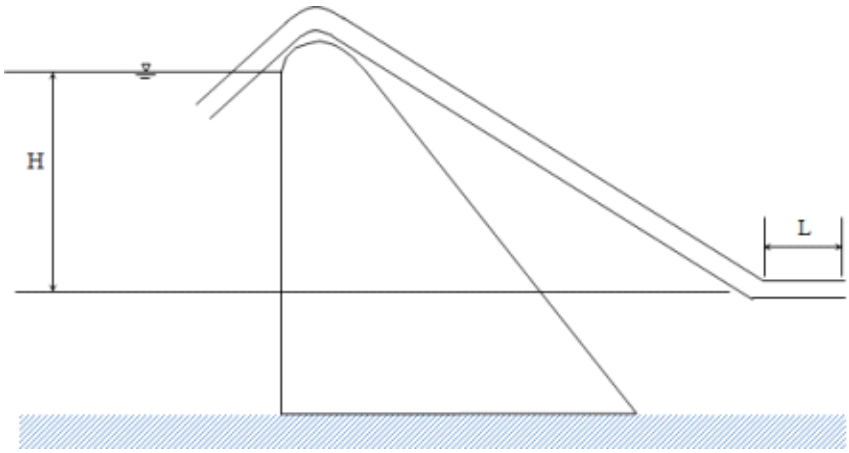
(표 6-3) 압력계 시스템 세부사양

품 목	세 부 사 양	
압력 센서부	측정 범위	0.2 kg/㎠
	측정 차원	압력 측정을 위한 벡터 동압 측정
	응답 주파수	4.6 KHz
	자동 보정	대기압 보정, 온도 보정 급격한 기압 및 온도변화에 데이터 변화가 절대 없어야 함 납품업체 현장 검증(계측기를 통한 검증)
	센서 크기 및 형태	지름 18 ㎜ × 길이 25 ㎜
	케이싱 재질	스테인레스 304
	센서	반도체 스트레인게이지
	오버로드	150%FS/℃
	리니어 성능	0.5 % FS
	반복 성능	0.2 % FS
	온도에 따른 성능	0.05 FS/℃ (0-40℃)
	작동 온도	0 - 75℃
	케이블 길이	지름 4 ㎜ x 10 m
압력계 앰프부	앰프 크기	105 ㎜ x 75 ㎜ x 70 ㎜
	출력	1 - 5 V
	전원	12 - 24 VDC
	리니어 성능	0.05 % FS/℃
	정밀도	0.02 % FS
	출력 샘플수	50 KHz
	브리지 볼트	5/10 VDC
	무게	400 g
	스판 조정	가능
	영점 조정	가능

제2절 수리모형실험 결과

1. 방류량 실험

사이폰 수리모형의 방류량 실험을 위해 다양한 저수지 수위 조건과 유출구 형상에 대해 실험을 수행하였다. 실험에 대한 개념도와 실험 조건은 다음과 같다. 아래 그림에서 H는 저수지 수면과 사이폰 유출구와의 높이 차를 뜻하며, L은 유출구 관수로 길이를 나타낸다.



<그림 6-6> 수리모형실험 조건 개념도

(표 6-4) 수리모형실험 조건

구 분	실 험 조 건
사이폰 관로 수	1열, 3열
유출구 형상(L)	직관 : 50 ㎝, 직관 : 100 ㎝ 직관 : 150㎝, 곡관 : 50 ㎝
저수지 수위(H)	106.5 ㎝, 116.5 ㎝, 126.5 ㎝, 136.5 ㎝, 146.5 ㎝, 156.5 ㎝, 166.5 ㎝
계	2 × 4 × 7 = 56 Case

사이폰 관로 수는 1열과 3열 두가지를 실험 조건으로 선정하였다. 사이폰 관로 수가 3열일 경우에는 각각의 사이폰 유입구로 들어가는 수류의 상호간섭에 의해 유입유량이 감소할 수 있다. 이와 같은 현상에 대해 검토하기 위해 다열 사이폰 수로에 대한 실험조건을 추가하였다. 다열 사이폰 수로에서 각 사이폰 수로의 간격은 4D를 적용하여 20㎝로 설정하였다. 여기서 사이폰의 직경 D = 5㎝이다.

사이폰 수리모형의 유출구 형상은 일반적으로 적용할 수 있는 직선형과 유출구에서의 공기 혼입을 방지할 수 있는 곡선관로를 실험 대상으로 선정하였다. 직선형 유출구의 경우 유출구의 길이에 따른 효과를 예측하기 위해 유출구의 길이를 50㎝, 100㎝, 150㎝로 차등을 두었다.

일반적으로 유출구에서 공기가 혼입될 경우 사이폰 작동이 정지할 수 있다. 따라서, 유출구를 위로 구부려 설치하는 곡선관로는 유출구의 공기 혼입을 방지하고, 이에 따른 사이폰 작동이 정지하는 현상을 막을 수 있다. 사이폰 유출구 형상은 아래 그림을 참고할 수 있다.

<직관>

<곡관>

<그림 6-7> 사이폰 유출구 형상

사이폰 수리모형의 방류량 실험 결과는 <그림 6-10> ~ <그림 6-15>에 나타내었다. 먼저 <그림 6-10> ~ <그림 6-13>은 사이폰 3열 가동시 각 사이폰 관로에서 방류량을 나타낸 그림이다.

사이폰 관로는 저수지 전면에서 사이폰을 봤을 때 왼쪽부터 # 1, # 2, # 3로 구분하였다. 각 그림에서 사이폰 # 3의 방류량이 전반적으로 작게 계측되었는데, 이는 # 3 사이폰의 유입구가 다른 사이폰에 비해 약 5㎝ 낮게 설치되었기 때문이다.

전반적으로 저수지 수심이 높을수록 사이폰을 통한 방류량이 커지는 현상이 적절하게 잘 나타남을 확인할 수 있다.

<그림 6-14>는 사이폰 3열 가동시 평균 방류량을 나타낸 그림이다. 그림에서 사각형 심볼은 방류구 형상이 직관 50 ㎝인 경우이며, 삼각형 심볼은 직관 100 ㎝인 경우, 역삼각형 심볼은 직관 150 ㎝인 경우이다. 마지막으로 원형 심복은 방류구가 약 45도 각도로 위로 향하는 곡관 50 ㎝인 경우이다.

본 그림에서 볼 때 방류구 형상이 직관 50 ㎝인 경우가 가장 방류량이 크고 곡관 50㎝ 인 경우가 방류량이 가장 작게 나타났다.

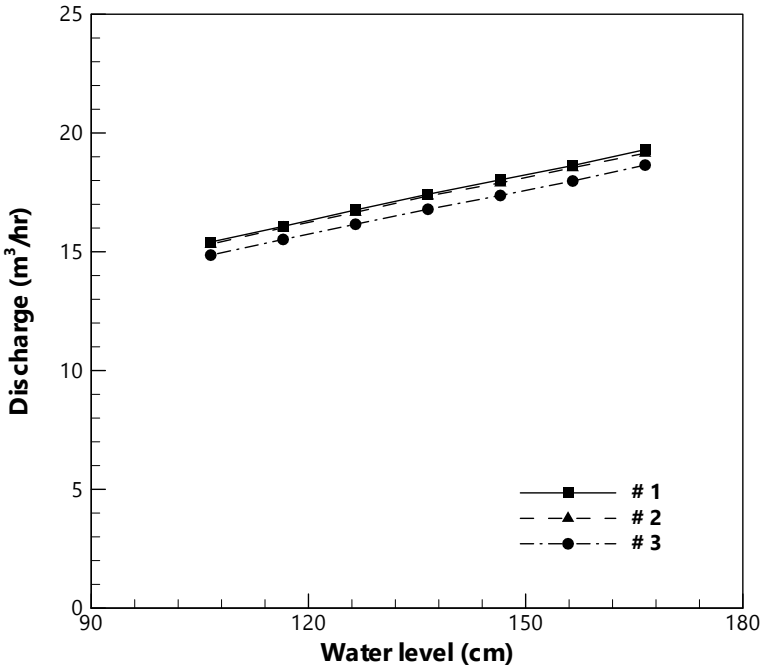
직관의 길이가 길어질수록 유량이 감소하는 경향을 보이는데, 이는 방류구 길이가 길어짐에 따른 관로 마찰손실수두가 증가하기 때문이다. 반면 곡관의 경우에는 방류량이 크게 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 곡관 유출구의 높이가 직관에 비해 높은 곳에 위치하므로 사이폰의 상하류 수두차가 작아져 유속이 감소하고, 이에 따라 방류량이 직관인 경우에 비해 크게 감소하는 것으로 나타났다.

<그림 6-15>는 사이폰 1열 가동시 방류량을 나타낸 그림이다. 실험 결과는 사이폰 3열 가동시 평균방류량(<그림 6-13>)과 거의 동일하게 나타났다. 따라서, 사이폰을 다열로 설치한 경우에도 유량에 미치는 영향은 없는 것으로 나타났다.

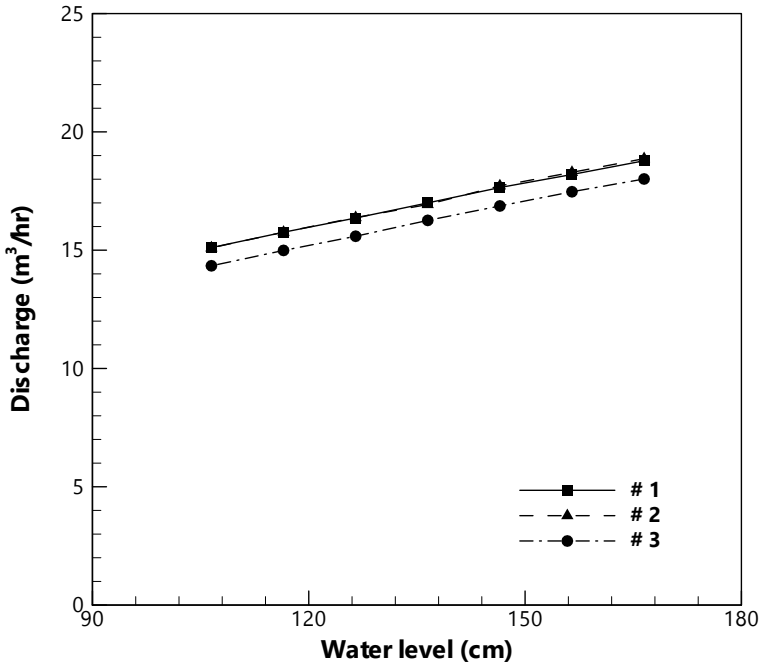
사이폰 1열 가동시에도 3열 가동시와 마찬가지로 유출구가 직관이고 짧은 경우에 방류량이 크게 측정되었으며, 유출구가 곡관인 경우에는 방류량이 작게 측정되었다. <그림 6-10>에서 <그림 6-16>의 측정 결과는 각 실험 조건에 대한 방류량 규모 비교를 위해 모두 실내모형 스케일에서의 결과를 나타낸 것이다.

수리모형실험을 통해 계측된 사이폰 방류량을 식 (6-3)을 이용한 이론결과와 비교를 통해 유량계수를 산정하였다.

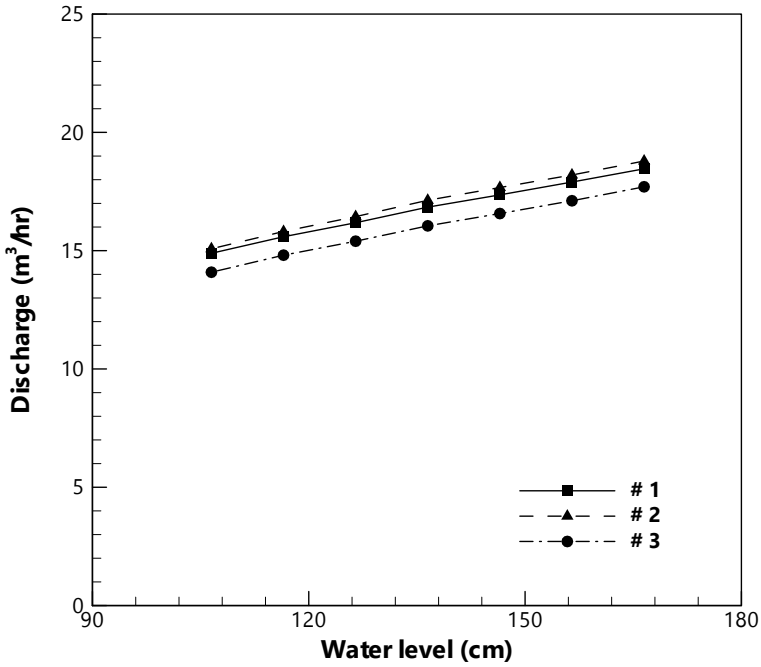
이론식과 비교를 통해 각 실험조건별 산정된 유량계수는 아래 (표 6-5)와 같다. 유량계수는 대부분의 경우 0.47로 검토되었으며, 방류구가 곡관인 경우에는 0.44로 약간 낮게 검토되었다. (표 6-6)에서는 원형 스케일에서 수리모형실험을 통해 계측한 방류량을 나타내었다. 사이폰 상·하류 수위차는 4.26 ~ 6.66m이다.



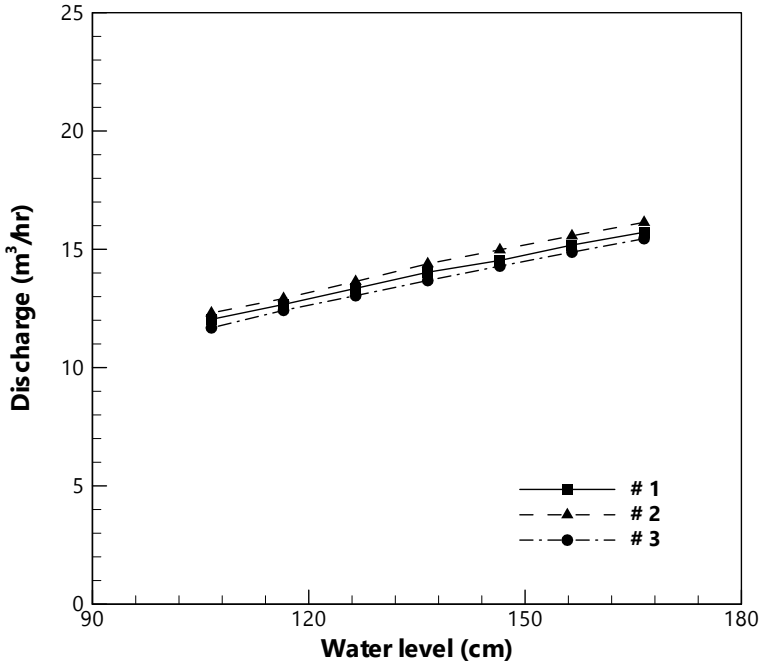
<그림 6-8> 사이폰 방류량 실험 결과 (3열, $L = 50\,\mathrm{cm}$)



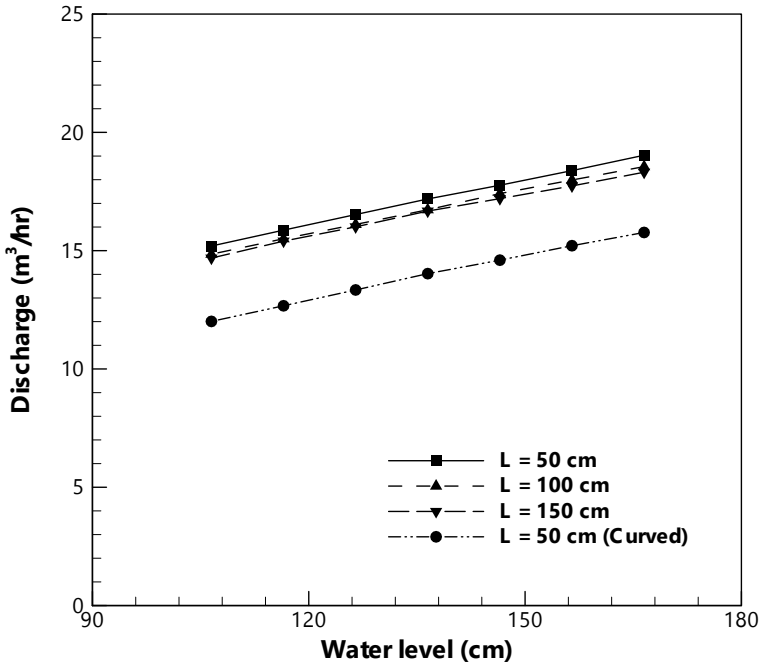
<그림 6-9> 사이폰 방류량 실험 결과 (3열, $L = 100\,\mathrm{cm}$)



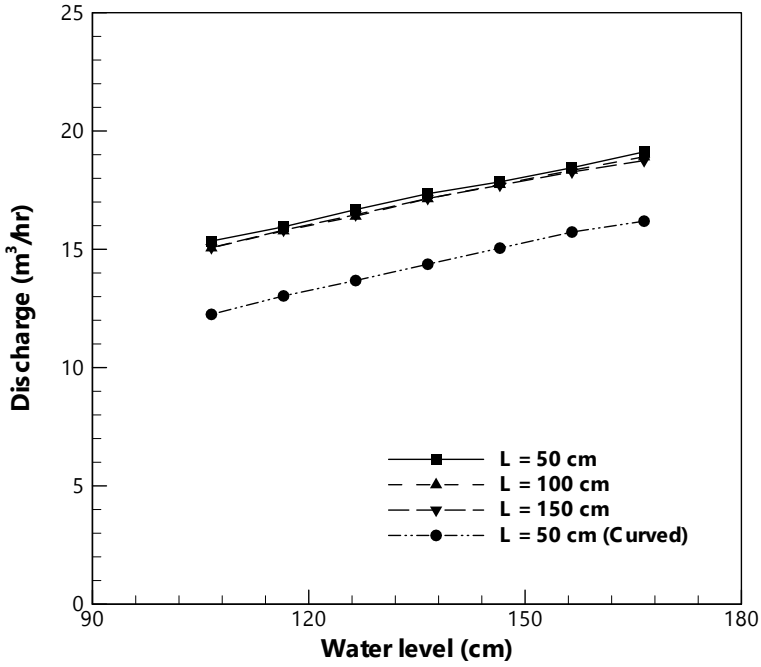
<그림 6-10> 사이폰 방류량 실험 결과 (3열, $L = 150\,\mathrm{cm}$)



<그림 6-11> 사이폰 방류량 실험 결과 (3열, $L = 50\,\mathrm{cm}$, 곡관)



<그림 6-12> 사이폰 평균 방류량 비교 (3열)



<그림 6-13> 사이폰 평균 방류량 비교 (1열)

(표 6-5) 유량계수 검토결과(1)

구분	수위 (㎝)	직관 (L=50 ㎝)			직관 (L=100 ㎝)		
		계측 (㎥/h)	계산 (㎥/h)	유량계수 (C)	계측 (㎥/h)	계산 (㎥/h)	유량계수 (C)
3열 (#1)	166.5	19.3	40.39	0.48	18.78	40.39	0.46
	156.5	18.63	39.16	0.48	18.2	39.16	0.46
	146.5	18.03	37.89	0.48	17.65	37.89	0.47
	136.5	17.42	36.57	0.48	17	36.57	0.46
	126.5	16.76	35.21	0.48	16.36	35.21	0.46
	116.5	16.07	33.79	0.48	15.76	33.79	0.47
	106.5	15.41	32.31	0.48	15.11	32.31	0.47
	평균			0.48			0.47
3열 (#2)	166.5	19.15	40.39	0.47	18.87	40.39	0.47
	156.5	18.54	39.16	0.47	18.29	39.16	0.47
	146.5	17.9	37.89	0.47	17.72	37.89	0.47
	136.5	17.35	36.57	0.47	16.93	36.57	0.46
	126.5	16.66	35.21	0.47	16.38	35.21	0.47
	116.5	16.01	33.79	0.47	15.76	33.79	0.47
	106.5	15.32	32.31	0.47	15.1	32.31	0.47
	평균			0.47			0.47
3열 (#3)	166.5	18.65	39.78	0.47	18.01	39.78	0.45
	156.5	17.98	38.53	0.47	17.47	38.53	0.45
	146.5	17.37	37.23	0.47	16.87	37.23	0.45
	136.5	16.79	35.89	0.47	16.26	35.89	0.45
	126.5	16.16	34.50	0.47	15.59	34.50	0.45
	116.5	15.52	33.05	0.47	14.99	33.05	0.45
	106.5	14.86	32.31	0.47	14.34	32.31	0.45
	평균			0.47			0.45
1열	166.5	19.12	40.39	0.47	18.91	40.39	0.47
	156.5	18.45	39.16	0.47	18.34	39.16	0.47
	146.5	17.85	37.89	0.47	17.74	37.89	0.47
	136.5	17.35	36.57	0.47	17.14	36.57	0.47
	126.5	16.68	35.21	0.47	16.4	35.21	0.47
	116.5	15.95	33.79	0.47	15.78	33.79	0.47
	106.5	15.35	32.31	0.48	15.06	32.31	0.47
	평균			0.47			0.47

(표 6-6) 유량계수 검토결과(2)

구분	수위 (cm)	직관 (L=150 cm)			곡관 (L=50 cm)		
		계측 (m^3/h)	계산 (m^3/h)	유량계수 (C)	계측 (m^3/h)	계산 (m^3/h)	유량계수 (C)
3열 (#1)	166.5	18.46	40.39	0.46	15.72	37.24	0.42
	156.5	17.90	39.16	0.46	15.18	35.90	0.42
	146.5	17.36	37.89	0.46	14.53	34.51	0.42
	136.5	16.84	36.57	0.46	14.03	33.06	0.42
	126.5	16.18	35.21	0.46	13.35	31.54	0.42
	116.5	15.59	33.79	0.46	12.67	29.95	0.42
	106.5	14.89	32.31	0.46	12.04	28.26	0.43
	평균						0.42
3열 (#2)	166.5	18.79	40.39	0.47	16.14	37.24	0.43
	156.5	18.20	39.16	0.46	15.57	35.90	0.43
	146.5	17.67	37.89	0.47	14.98	34.51	0.43
	136.5	17.13	36.57	0.47	14.39	33.06	0.44
	126.5	16.44	35.21	0.47	13.64	31.54	0.43
	116.5	15.81	33.79	0.47	12.92	29.95	0.43
	106.5	15.08	32.31	0.47	12.31	28.26	0.44
	평균			0.47			0.43
3열 (#3)	166.5	17.70	39.78	0.44	15.49	36.57	0.42
	156.5	17.11	38.53	0.44	14.94	35.20	0.42
	146.5	16.57	37.23	0.45	14.38	33.78	0.43
	136.5	16.05	35.89	0.45	15.18	32.30	0.47
	126.5	15.40	34.50	0.45	14.15	30.74	0.46
	116.5	14.81	33.05	0.45	12.46	29.11	0.43
	106.5	14.09	31.53	0.45	11.75	27.37	0.43
	평균			0.45			0.44
1열	166.5	18.75	40.39	0.46	16.19	37.24	0.43
	156.5	18.27	39.16	0.47	15.73	35.90	0.44
	146.5	17.71	37.89	0.47	15.05	34.51	0.44
	136.5	17.15	36.57	0.47	14.37	33.06	0.43
	126.5	16.46	35.21	0.47	13.68	31.54	0.43
	116.5	15.81	33.79	0.47	13.03	29.95	0.44
	106.5	15.07	32.31	0.47	12.25	28.26	0.43
	평균			0.47			0.44

(표 6-7) 원형 환산 방류량 검토결과

구분	수위차 (m)	방류량 (㎥/s)			
		직관 (L=2m)	직관 (L=4m)	직관 (L=6m)	곡관 (L=2m)
3열 (#1)	6.66	0.172	0.167	0.164	0.140
	6.26	0.166	0.162	0.159	0.135
	5.86	0.160	0.157	0.154	0.129
	5.46	0.155	0.151	0.150	0.125
	5.06	0.149	0.145	0.144	0.119
	4.66	0.143	0.140	0.139	0.113
	4.26	0.137	0.134	0.132	0.107
3열 (#2)	6.66	0.170	0.168	0.167	0.143
	6.26	0.165	0.163	0.162	0.138
	5.86	0.159	0.158	0.157	0.133
	5.46	0.154	0.150	0.152	0.128
	5.06	0.148	0.146	0.146	0.121
	4.66	0.142	0.140	0.141	0.115
	4.26	0.136	0.134	0.134	0.109
3열 (#3)	6.66	0.166	0.160	0.157	0.138
	6.26	0.160	0.155	0.152	0.133
	5.86	0.154	0.150	0.147	0.128
	5.46	0.149	0.145	0.143	0.135
	5.06	0.144	0.139	0.137	0.126
	4.66	0.138	0.133	0.132	0.111
	4.26	0.132	0.127	0.125	0.104
1열	6.66	0.170	0.168	0.167	0.144
	6.26	0.164	0.163	0.162	0.140
	5.86	0.159	0.158	0.157	0.134
	5.46	0.154	0.152	0.152	0.128
	5.06	0.148	0.146	0.146	0.122
	4.66	0.142	0.140	0.141	0.116
	4.26	0.136	0.134	0.134	0.109

수리모형실험 결과의 검증을 위해 실내 모형실험결과와 현장 시험시공 지구에서 압력식 유속계를 이용하여 관측한 유속, 유출 수로에서의 수위 및 수로 단면을 이용하여 산출한 유량과 비교하였다.

현장에 설치된 밸브는 버터플라이 밸브로 실내 모형에서도 동일한 메커니즘을 가진 모형 밸브를 제작하여 모형을 보완한 뒤 모형의 밸브 개도별 방류량을 측정하였다.

방류량 검증은 실내 모형실험과 현장 시험시공 모두 동일한 밸브 개폐비에 대한 유량을 비교하였으며 밸브 개폐비가 5/27, 10/27, 15/27, 20/27, 27/27일 경우에 대하여 유량을 측정하였다.

현장에서 유량을 측정할 당시의 저수지 수위와 유출구의 수두차는 4.16m이다. 관측유량과 실험유량의 원형 환산값은 아래 (표 6-8)에서 비교하였다.

비교 결과 밸브 개폐비가 5/27인 경우에는 실험값과 관측값의 오차율이 11.9%로 비교적 크게 나타났으나, 개폐비가 27/27인 경우에는 실험값과 관측값의 오차율은 3.2%로 거의 일치하는 결과가 산출되었다.

(표 6-8)에서 확인할 수 있듯이 밸브를 닫을수록 오차가 조금씩 커지는 것으로 나타나고 있으며, 이는 버터플라이 밸브가 닫힐수록 관내 밸브 후면에서 발생되는 와류현상이 커짐으로 인해 차이가 나타나는 것으로 판단된다.

(표 6-8) 실험 결과와 현장 관측값과의 비교

밸브 개폐비	개도율 (%)	관측유량 (m^3/s)	실험유량 (m^3/s)	오차율(%)
5/27	28.7	0.037	0.042	11.9
10/27	55.0	0.067	0.073	8.2
15/27	76.6	0.075	0.081	7.4
20/27	91.8	0.081	0.085	4.7
25/27	99.3	0.088	0.091	3.3
27/27	100.0	0.089	0.092	3.2

(표 6-9)는 저수지 수위에 따른 방류량 변화를 나타낸 것으로 버터플라이 밸브를 100% 개방한 상태에서 최대 수위에서 최저 수위까지의 방류량 변화를 측정하였다.

저수지 수위는 10㎝ 단위로 낮추어 가면서 수두차에 의한 방류량 변화와 이론적인 계산 유량과 비교해본 결과 실험값과 이론값의 오차율은 5.5% 이하로 거의 일치하는 결과가 산출되었다.

(표 6-9) 저수지 수위에 따른 방류량 변화

수위 (㎝)	직관 (L=100 ㎝)		
	계측(㎥/h)	계산(㎥/h)	오차율(%)
170	15.13	15.50	2.42
160	14.58	15.04	3.07
150	14.11	14.56	3.12
140	13.59	14.07	3.41
130	13.05	13.56	3.75
120	12.70	13.03	2.51
110	11.65	12.15	4.12
100	10.27	10.80	4.91
90	10.08	10.46	3.66
80	9.70	10.01	3.12
70	9.09	9.34	2.65
60	8.32	8.66	3.95
50	7.10	7.43	4.38
40	6.36	6.64	4.18

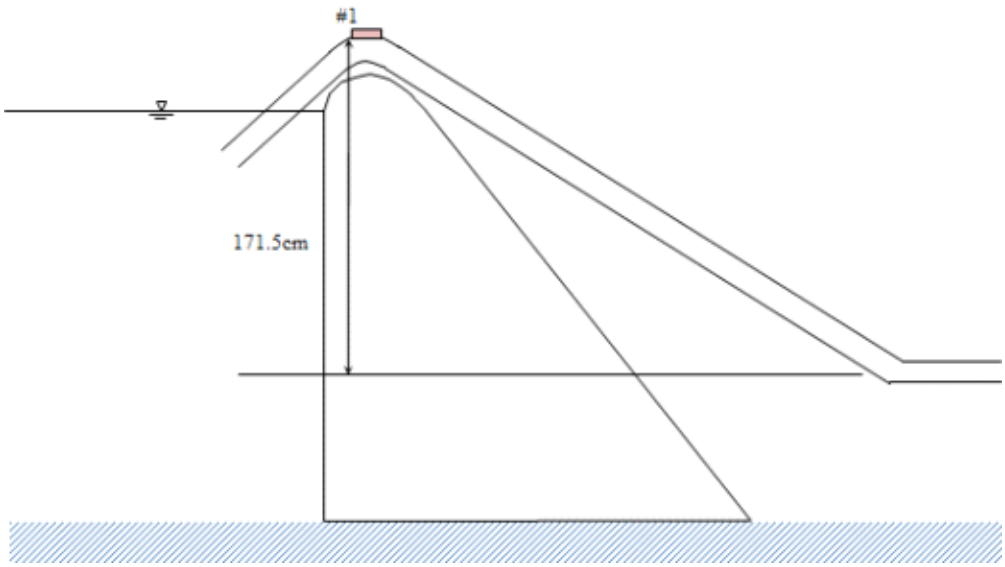
(표 6-10)은 실험모형의 유량 및 수위차를 원형의 유량과 수위차로 환산한 것으로서 실험모형 사이폰의 직경이 5㎝이고, 모형의 길이의 축척이 1/4이므로, 실제 저수지에 직경 20㎝ 사이폰을 설치하여 작동시킬 경우 상하류 수두차에 의하여 실제 취수할 수 있는 유량이 (표 6-10)과 같으며, 수두차에 따른 유량이 다음과 같이 변화된다는 것을 나타낸다.

(표 6-10) 저수지 원형 환산 방류량 검토 결과

상하류 수두차		직관 (L=4m)		비 고
모형(m)	원형(m)	모형(㎥/s)	원형(㎥/s)	
1.7	6.8	0.004203	0.134	
1.6	6.4	0.00405	0.130	
1.5	6.0	0.003919	0.125	
1.4	5.6	0.003775	0.121	
1.3	5.2	0.003625	0.116	
1.2	4.8	0.003528	0.113	
1.1	4.4	0.003236	0.104	
1.0	4.0	0.002853	0.091	
0.9	3.6	0.0028	0.090	
0.8	3.2	0.002694	0.086	
0.7	2.8	0.002525	0.081	
0.6	2.4	0.002311	0.074	
0.5	2.0	0.001972	0.063	
0.4	1.6	0.001767	0.057	

2. 관내 압력 측정 실험

사이폰 관수로 내 압력 측정 실험을 수행하였다. 사이폰에서 에너지선보다 높은 곳에 위치하는 관수로 내 압력은 대기압보다 낮은 부압이 발생한다. 일반적으로 사이폰 수로에서 압력이 가장 낮은 곳은 저수지 제체 상부에서 사이폰이 꺾이는 부분이며, 따라서 본 지점에 압력계를 설치하여 부압을 계측하였다. 그리고, 이를 앞 절에서 기술한 이론식에 의한 예측치와 비교하였다. 사이폰 관내 압력 측정 위치는 다음 그림과 같다.



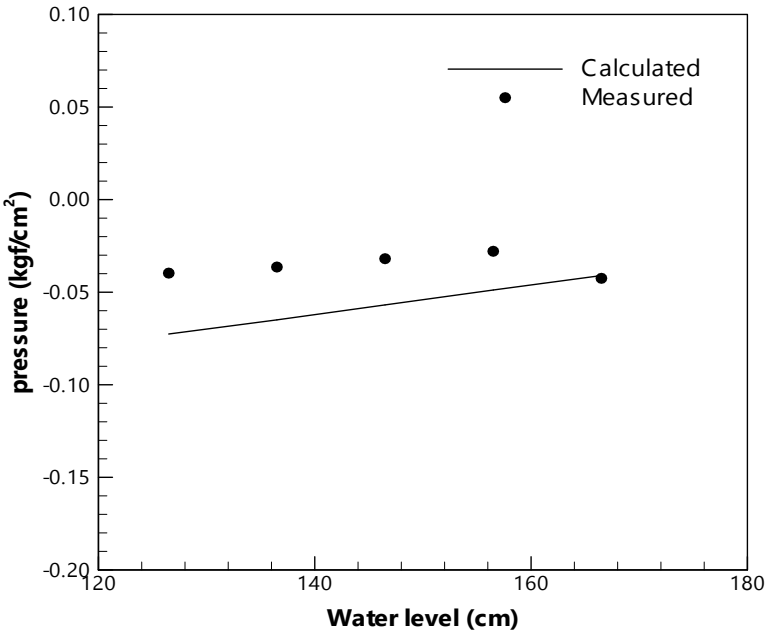
<그림 6-14> 사이폰 압력계 설치 위치도

관내 압력 측정 실험은 저수지 수위가 각각 106.5 ㎝, 116.5 ㎝, 126.5 ㎝, 136.5 ㎝, 146.5 ㎝ 인 조건에 대해 수행하였다. 이는 원형에서 수두차 6.66 m, 6.26 m, 5.86 m, 5.46 m, 5.06m인 경우이다.

사이폰 관내 압력을 예측하기 위해 식 (6-8)을 적용하였다. 식 (6-8)에서 유출구의 유속 V는 계측한 유량과 사이폰 단면적을 이용하여 계산할 수 있으며 수두 손실 H_l도 계측한 유량과 유입구 수위를 이용하여 계산할 수 있다.

실험을 통해서 계측한 관내 압력과 계산한 압력은 아래 <그림 6-15>와 같다. 그림에서 사이폰 관내 압력은 대기압을 0으로 가정했을 경우 약

-0.04 ~ -0.06kgf/㎠의 범위로 계측되었다. 실험을 통한 압력 측정치는 계산치와 유사한 경향을 보이긴 하지만 대체로 계산치보다 더 크게 나타났는데, 이는 이론식이 관내 난류 형성 정도나 곡선 부위에서 수류의 상향 관성력 영향을 고려하지 못하기 때문인 것으로 판단된다. 수리모형실험을 통한 관내 압력은 원형에서 -156.9hPa ~ -235.4hPa의 범위이며, 이는 -0.14 ~ -0.21기압과 같다.



<그림 6-15> 사이폰 관내 압력 측정치 및 계산치 비교 결과

3. 유입부 유속 실험

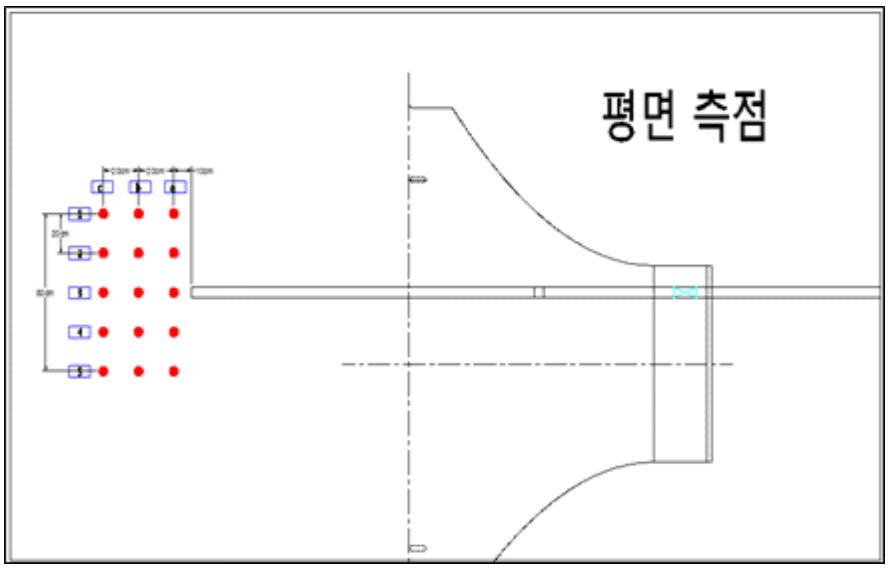
사이폰 현상을 활용한 취수시설은 관수로이기 때문에 일반적으로 저수지 수면의 부유물이나 퇴적물이 관수로 내로 유입하여 관 내부 또는 입구가 폐쇄될 경우 그 기능을 수행할 수 없다.

부유물이나 퇴적물의 관수로 내 유입은 사이폰 입구부에서 발생하는 유속이 크면 클수록 관 입구의 폐쇄 가능성이 높기 때문에 사이폰 입구부의 발생유속은 유입부 막힘 가능성을 판단하는데 대단히 중요하다.

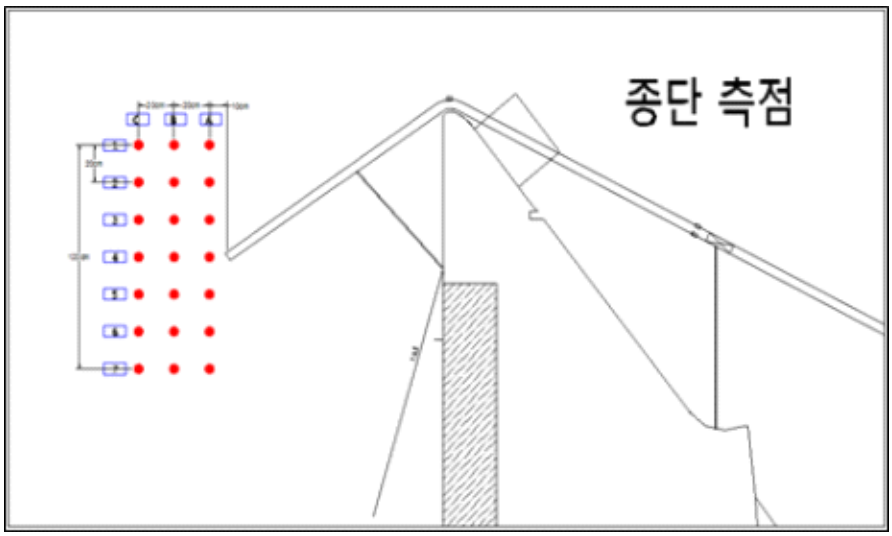
따라서, 수리모형실험을 통하여 사이폰 유입부 유속과 유향의 발생을 3

차원으로 검토하였고, 이러한 검토는 용수공급시 부유물에 의한 막힘현상 검토와 사수위까지 취수시 유입부의 공기유입으로 사이폰 현상이 종료되는 것을 막기 위한 한계치를 검토하기 위하여 시행하였다

<그림 6-16>, <그림 6-17>은 사이폰 유입부의 3차원 유속분포 실험을 위한 평면 및 종단측점의 배치도를 나타낸 것이다.



<그림 6-16> 유입부 유속측정을 위한 평면 측점 배치



<그림 6-17> 유입부 유속측정을 위한 종단 측점 배치

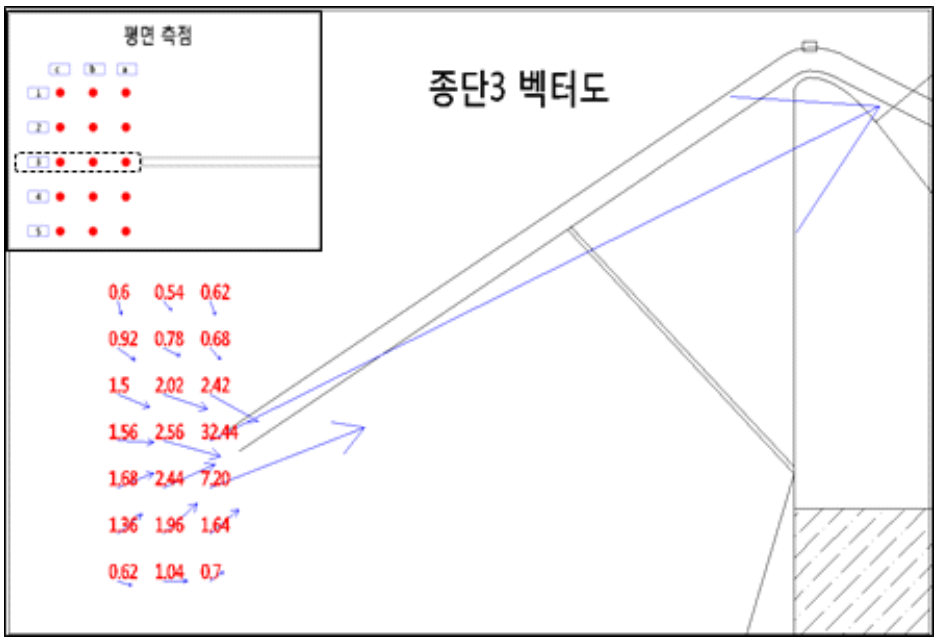
사이폰 작동시 유입부 유속분포 실험을 통한 유입부 막힘 가능성을 검토하기 위하여 사이폰 입구부에서 10㎝를 이격한 뒤, 평면 및 종단으로 각 측점별 20㎝ 간격으로 총 105개의 관측점을 배치하였다.

또한, 모형 상 최대유량 및 유속이 발생할 수 있도록 상하류의 수두차는 150㎝로 하였으며, 관측기기는 3차원 유향유속계(ACM3-RS)를 사용하였다.

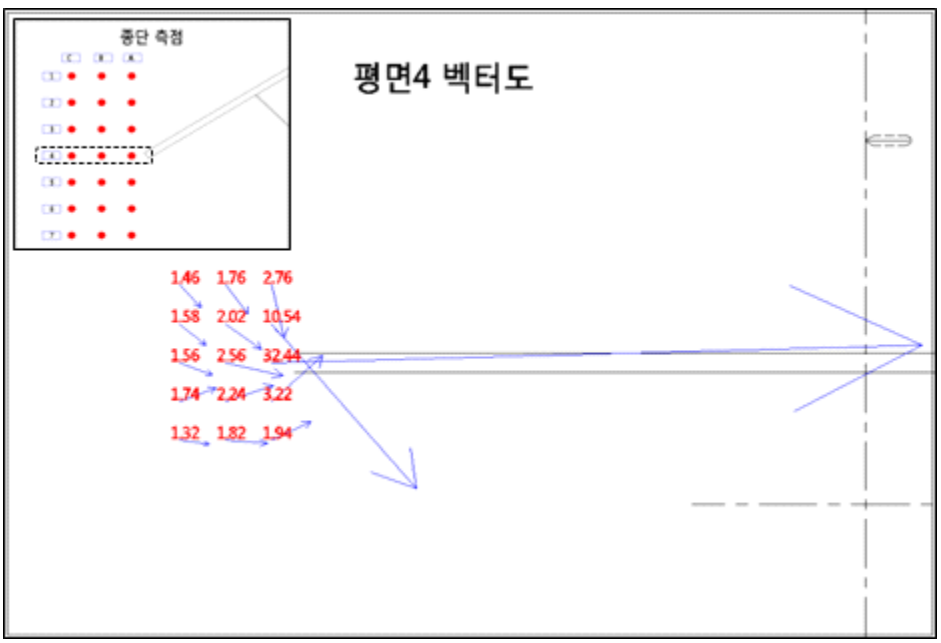
(표 6-11) 3차원 유향유속계 제원(ACM3-RS)

항 목	내 용
센서 Type	전자식
측정 항목	X,Y,Z 3축 유속
측정 범위	±250cm/s in 3 axis
정 확 도	±2% or 0.5cm/s
반 응 도	0.1cm/s
제 로 점	within 0.1cm/s
인 터 벌	0.05, 1, 5 sec
샘플링 레이트	15~60Hz(Depend to num)
디지털 출력	RS232-C
아날로그 출력	-1V to +1V
전 원	DC12V
크 기	Max 34(D) x 420(L)㎜
센서 지름	20D ㎜ spherical
케 이 블	Ø6㎜ Ployurethane 6 conductors

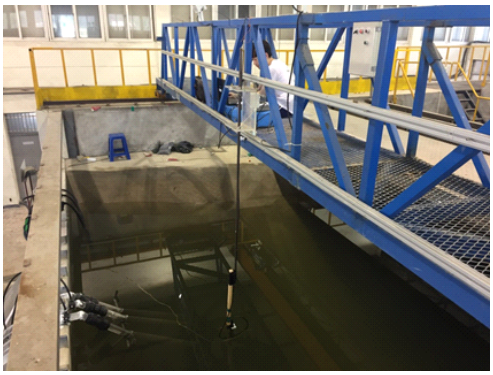
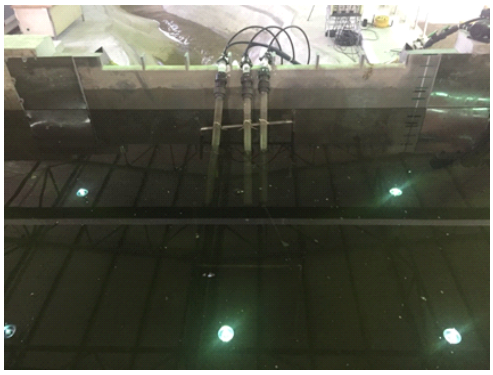
검토결과, 사이폰 입구에서 10㎝ 떨어진 위치에서 32.4㎝/s의 최대유속이 발생하였으며, 최대유속 발생위치에서 20㎝만 떨어져도 약 10㎝/s이하로 유속이 감소되는 것으로 나타났다.



<그림 6-18> 종단3 단면 유속 벡터도



<그림 6-19> 평면4 단면 유속 벡터도

<그림 6-20> 3차원 유속분포 실험 전경

	2.4㎝/s (↑20㎝)	
10.5㎝/s (←20㎝)	32.4㎝/s	3.2㎝/s (→20㎝)
	7.2㎝/s (↓20㎝)	

(모형)

	0.07m/s (↑0.8m)	
0.21m/s (←0.8m)	0.65m/s	0.06m/s (→0.8m)
	0.14m/s (↓0.8m)	

(원형)

<그림 6-21> 중앙단면 유속분포의 원형환산 유속

<그림 6-21>은 사이폰 유입구로부터 상하좌우로 최대 유속이 발생하는 지점을 정리한 것이다. 각 지점은 최대유속이 발생하는 지점으로부터 상하좌우로 각각 20㎝ 떨어진 지점의 유속으로 최대유속 발생지점으로부터 20㎝ 떨어져도 급격하게 유속이 떨어지는 것을 알 수 있다.

중앙지점을 기준으로 하단의 유속이 7.2㎝/s로 상단의 유속 2.4㎝/s보다 빠른 것을 알 수 있는데 이는 사이폰의 방향이 상단부에서 하단부로 위치하고 있어 유향이 상방향으로 발생되기 때문이다.

좌측과 우측은 평면적으로 실험모형이 정밀하게 대칭일 경우 비슷하게 측정되어야 할 것으로 판단되나, 좌측 유속이 우측유속보다 크게 측정된 것은 실험모형의 제작시 방향이 약간 좌측으로 기울어져 있기 때문으로

생각된다.

모형의 유속을 원형으로 환산할 경우 최대 유속은 0.65m/s이며, 최대 유속 발생위치로부터 0.8m 상부에서 발생되는 유속은 0.07m/s로 나타났다. 이는 부유물을 관수로 내로 유도하는 상부에서 사이폰 입구쪽의 아래쪽 방향으로 발생하는 유속은 0.8m 정도만 떨어지더라도 급격히 저하되어 큰 영향을 주지 않는 다는 것을 알 수 있다.

4. 유출부 감세 실험

사이폰은 작동시 작은 단면적으로 많은 유량을 배출할 수 있는데 이는 사이폰 작동시 관내 유속이 매우 빠르고 유출부에서는 위치수두가 모두 유속수두로 변경되어 방출되기 때문이다.

따라서, 사이폰 유출부의 유속은 수두가 클수록 빨라지게 되는데 사이폰 유출부를 용수로에 직접 토출시킬 경우 용수로의 설계유속보다 빠른 고속의 수류로 용수로에 피해가 발생하므로 이를 감세하기 위한 방안을 검토하기 위하여 모형실험을 실시하였다.

유출부 감세실험을 위하여 기존 모형을 보완하여 사이폰 토출부에 집수정과 용수로 모형을 제작하여 연결하고, 사이폰 작동시 용수로내에서 발생하는 유속을 측정하였다.

<그림 6-22> 유출부 감세실험 전경

농업생산기반정비사업계획설계기준(수로편)에서는 수로의 유속은 토사가 퇴적되지 않고 수로에 수중식물이 자라지 못하는 최소유속과 수로단면

을 구성하는 재료가 유수에 의해 침식을 일으키지 않으며 수리학적으로 흐름이 불안정한 상태가 발생하지 않는 최대유속의 범위 내에 있어야 한다.고 제시하고 있다.

수로의 최소유속은 일반적으로 실트(silt) 및 그 보다 큰 입경의 부유토사가 적은 경우에는 0.45~0.90m/s의 평균유속이 있으면 부유토사의 퇴적을 일으키지 않고, 또 유수를 현저하게 방해하는 식물의 생육도 평균유속이 0.7 m/s 이상이면 방지할 수 있다.

또한, 최대허용평균유속은 수로의 구성재료에 따라 다르나, 두꺼운 콘크리트(18 ㎝정도)에서는 3.0 m/s, 얇은 콘크리트(10 ㎝정도)에서는 1.5 m/s 정도를 최대허용평균유속으로 하고 있다.

현재 설계기준상 수로의 표준경사는 (표 6-12)와 같이 간선수로의 경우 1/3,000~1/5,000, 지선수로의 경우 1/1,000~1/3,000, 지거수로의 경우 1/300~1/1,000로 되어 있다.

(표 6-12) 용배수로의 표준경사

구 분	용·배수로		
	간선수로	지선수로	지거수로
기 울 기	$\frac{1}{3,000} \sim \frac{1}{5,000}$	$\frac{1}{1,000} \sim \frac{1}{3,000}$	$\frac{1}{300} \sim \frac{1}{1,000}$

주) "설계계산요령"(농어촌진흥공사, 1999, p270) 참조

일반적인 소규모 저수지의 토출부 용수로의 폭은 0.5m로 수로의 경사를 1/1,000~1/100까지 변화시켜가면서 용수로에서의 사이폰에서 토출 후 집수정을 통과한 용수로 모형에서의 유속변화를 살펴보았다.

실험결과 집수정 모형을 통과하여 용수로로 유하하는 경우, 용배수로 최대 경사인 1/300보다도 큰 1/200 경사에서도 최대 1.11m/s의 유속이 발생되어 얇은 콘크리트 수로의 최대 유속 1.5m/s이내인 것으로 나타났다.

결과를 살펴보면, 수로와 직각으로 연결된 집수정을 통과할 경우 사이폰에서 토출되는 유속이 감세되므로 토출부 유속이 하류부 수로의 유속에는 영향을 주지 않으며, 수로내에서의 유속은 수로의 경사의 영향을 받아 자연유하 되는 것을 알 수 있다.

(표 6-13) 용수로 수로경사에 따른 용수로내 유속변화

수위 (㎝)	경사(1/1000)		경사(1/500)		경사(1/200)		경사(1/100)		비 고
	유속 (m/s)	유량 (㎥/s)	유속 (m/s)	유량 (㎥/s)	유속 (m/s)	유량 (㎥/s)	유속 (m/s)	유량 (㎥/s)	
170	0.93	0.134	0.98	0.135	1.11	0.135	1.87	0.135	
160	0.9	0.130	0.90	0.131	1.22	0.130	1.83	0.130	
150	0.87	0.125	0.93	0.127	1.04	0.125	1.82	0.126	
140	0.84	0.121	0.89	0.121	1.02	0.121	1.79	0.121	
130	0.81	0.116	0.87	0.116	1.00	0.117	1.78	0.116	
120	0.80	0.113	0.86	0.115	0.95	0.113	1.75	0.115	
110	0.77	0.104	086	0.104	0.91	0.104	1.75	0.106	
100	0.75	0.091	0.85	0.092	0.89	0.094	1.74	0.095	
90	0.75	0.090	0.83	0.090	0.88	0.090	1.68	0.090	
80	0.74	0.086	0.80	0.086	0.87	0.089	1.66	0.088	
70	0.72	0.081	0.74	0.081	0.85	0.081	1.59	0.082	
60	0.64	0.074	0.72	0.075	0.80	0.074	1.58	0.075	
50	0.56	0.063	0.65	0.065	0.78	0.066	1.55	0.066	
40	0.53	0.057	0.61	0.056	0.77	0.055	1.50	0.056	

5. 사이폰 수위별 작동 실험

여수로 용도의 사이폰은 고수위의 유량을 배출하는 역할을 수행하나, 취수시설 용도의 사이폰은 만수위에서 사수위의 유량을 언제나 하류로 공급할 수 있어야 하며, 이에 대한 신뢰성이 확보되어야 한다.

취수시설 용도의 사이폰은 만수위 상태에서는 펌프를 이용하여 하류부의 관로를 만관시키므로서 관로내 공기를 최소화 하여 사이폰 작용이 가능하나, 저수지의 수위가 낮아질수록 관로내의 남은 공기량이 많아져 초기 사이폰 작용이 어려워 질 수 있다.

따라서, 상하류 수위차에 따른 초기 구동 가능여부와 그 한계값을 알아보기 위하여 상류수위 조건별로 사이폰 작동을 수리모형실험하였다.

가. 수위별 사이폰 작동 실험

일반적인 소규모 농업용저수지는 관개기전 만수위를 유지하다가 이앙이 종료되는 6월경 저수위가 가장 낮고, 홍수기를 거치면서 수위가 다시 만수위로 상승하는 형태를 보이게 된다. 따라서, 관개기 사이폰 초기작동을

위하여 사이폰을 만관시킨 상태에서 하류단의 제수밸브의 개방과 폐쇄를 통하여 원활하게 저수지 수위별로 유량조절이 가능한지를 실험하였다.

모형의 최고수위인 170㎝에서 토출부와 동일한 표고까지 10㎝까지 단계별로 낮추면서 제수밸브의 개방과 폐쇄를 반복하여 원활한 용수공급이 가능한지를 실험한 결과 모든 수위에서 사이폰 상태가 유지되면서 원활하게 용수공급이 가능한 것으로 모형실험결과 나타났다.

(표 6-14) 수위별 사이폰 작동 실험

구분	상하류 수두차(㎝)							비 고
	160	140	120	100	80	60	40	
유량(㎥/hr)	14.58	13.59	12.70	10.27	9.70	8.32	6.36	
작동여부	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	

나. 수위별 사이폰 초기작동 실험

다음은 앞서 실험한 방식과 동일하게 모형의 최고수위인 170㎝에서 최저수위인 30㎝까지 10㎝까지 단계별로 낮추면서 실험하되, 사이폰이 만관이 아닌 상태에서 초기 사이폰 작용이 가능한지를 판단하기 위하여, 현장의 사이폰 구동방법과 동일하게 수위별로 하류부 제수밸브 Close → 펌프작동 → 하류부 만관 → 에어밴트 개방후 폐쇄(초기작동상태 유지) → 하류부 제수밸브 Open → 사이폰 작용 가능여부를 확인하였다.

실험조건은 하류부 사이폰 관을 1열로 한 경우와 관성력을 증가시키기 위하여 하류부 사이폰 관을 2열로 한 경우, 3열로 한 경우로 구분하여 실험을 실시하였다.

(표 6-15)에서 보는 바와 같이 실험결과 1열에서는 수두차 105㎝까지 사이폰 초기작동이 가능하였고, 100㎝이하가 될 경우 사이폰의 초기작동이 어려운 것으로 나타났다. 또한, 하류부 사이펀이 2열로 연결된 조건에서는 수두차 85㎝까지 사이폰 초기작동이 가능하였고, 3열로 연결된 조건에서는 수두차 80㎝까지 사이폰 초기작동이 가능하였다.

따라서, 사이폰 취수시설의 초기작동은 관개기 시작시 사이폰 작동 테스트 및 초기 만관상태를 유지하여야 원활한 용수공급이 가능할 것으로 판단된다.

<그림 6-23> 초기작동 수리모형실험(좌:2열, 우:3열)

(표 6-15) 수위에 따른 사이폰 초기작동

수두차 (㎝)	1열의 경우			2열의 경우			3열의 경우		
	유량 (㎥/hr)	시간 (s)	초기 작동	유량 (㎥/hr)	시간 (s)	초기 작동	유량 (㎥/hr)	시간 (s)	초기 작동
120	11.7	25	OK						
115	11.4	27	OK						
110	11.1	30	OK						
105	**10.8**	**45**	**OK**	10.8	40	OK	10.4	45	OK
100	1.9	∞	NG	10.4	45	OK	10.2	45	OK
95	측정X	∞	NG	10.0	50	OK	10.0	45	OK
90				9.7	60	OK	9.6	45	OK
85				9.3	80	OK	9.2	60	OK
80				**8.9**	**110**	**OK**	8.9	90	OK
75				2.2	∞	NG	**8.0**	**120**	**OK**
70				1.5	∞	NG	3.2	∞	NG
65				측정X	∞	NG	1.9	∞	NG
60							측정X	∞	NG

(표 6-16) 상류관 공기량에 따른 작동 수량

구분	최소 초기작동 가능수두		상류측 사이폰 관내 공기량		하류측 사이폰 관내 수량	
	모형(㎝)	원형(m)	모형(㎤)	원형(㎥)	모형(㎤)	원형(㎥)
1열	105	4.2	2,441	0.117	6,673	0.320
2열	80	3.2	3,326	0.160	10,601	0.509
3열	75	3.0	3,503	0.168	14,193	0.681

사이폰의 초기작동 시간을 살펴보면 1열 일 경우 사이폰 초기작동이 원활한 110㎝이상의 수두차의 경우에는 30초 이내에 만관이 되어 원활할 작동이 가능하였으나, 수두차 105㎝에서는 사이폰 초기작동에 45초가 소요되었고, 수두차 100㎝에서는 사이폰 관이 만관이 되지 않는 것으로 나타났다.

하류관을 2열, 3열로 하는 경우에는 가운데 위치한 주관내 공기가 배출되다가 하부에 연결된 2열, 3열 연결부에서 다시 상승하는 등 효율적인 공기 배출이 이루어지지 않아 사이폰 초기작동이 되는 시간은 1열인 경우보다 더 많이 소요되는 것으로 실험결과 나타났다.

다. 진공펌프를 이용한 사이폰 초기작동 실험

양수펌프를 통하여 하류 사이폰에 물을 채워 사이폰 초기작동을 하는 경우 수두차가 100㎝이하로 작을 경우에는 사이폰 초기작동이 원활히 되지 않으므로 첨두부에 양수펌프가 아닌 진공펌프를 이용하여 사이폰 초기작동여부를 실험하였다.

진공펌프를 활용한 경우에는 수위별로 하류부 제수밸브 Close → 에어벤트 Close → 진공펌프 작동 → 상·하류부 만관 → 펌프 작동중지 → 하류부 제수밸브 Open → 사이폰 작용 가능여부를 확인하였다.

진공펌프를 활용할 경우에는 초기 작동시부터 상류의 물이 하류 사이폰 관으로 채워지면서 서서히 만관이 되었으며, 하류부 제수밸브를 Open 하면서 사이폰 작용이 원활히 유지되었다.

<그림 6-24> 진공펌프를 활용한 초기작동 시험

진공펌프를 활용할 경우에는 수두차와 관계없이 사이폰 관을 만관으로 유지할 수 있어 사이폰 작용을 유발하는 데는 문제가 없었으나, 만관 후

진공펌프 내로 물이 유입되게 되므로 만관 시 진공펌프 가동을 중단하고 물의 유입을 차단하여야 한다.

그러나, 진공펌프를 사용할 경우에는 수두차와 관계없이 사이폰 작용을 유발할 수 있으므로 초기가동에 대한 문제점은 진공펌프를 사용할 경우 해결이 가능할 것으로 판단된다.

진공펌프를 활용하여 초기 작동실험을 한 결과 모든 수위에서 원활하게 초기 사이폰 작동이 가능했으나, 진공펌프는 오일을 이용하여 진공상태를 유지하게 되므로 진공펌프내로 물이 유입되지 않도록 지속적으로 모니터링 하여야 하는 단점이 있다.

실험결과 진공펌프를 사용하여 사이폰 작용을 유도할 경우 소규모 펌프로도 초기 작용이 가능하여 양수펌프를 사이폰에 직접 연결하여 진공펌프와 같은 기능을 수행하는 지를 추가로 실험하였다.

<그림 6-25>는 실험실에서 하류부 사이폰을 만관시켜 사용하던 양수펌프의 흡입부를 사이폰에 직접 연결하여 수리모형실험을 시행한 것이다.

<그림 6-25> 양수펌프를 활용한 초기작동 시험

실험결과 기존 실험에 사용하던 양수펌프의 흡입부를 저수지가 아닌 사이폰에 직접 연결하여 가동하는 경우에도 진공펌프와 같이 수두차에 관계없이 초기작동이 가능한 것으로 나타났다. 다만 양수펌프의 흡입부를 사이폰에 직접 연결한 경우 펌프의 효율이 떨어져 시간이 많이 소요되는 단점이 있으나 사이폰 작용을 위해 연 1회 사용하게 되므로 초기 많은 시간이 소요되더라도 사용에 문제점은 없는 것으로 판단된다.

따라서, 사이폰의 초기 작동의 경우 이동식 진공펌프를 활용하거나, 양수펌프를 역방향으로 연결할 수 있도록 할 경우, 저수위시 사이폰의 초기 작동에 대한 문제점은 해결이 가능할 것으로 판단된다.

제7장 취수시설 사이폰 대체공법 적용성 검토

저수지에 기존에 사용되지 않는 방식의 취수방식을 도입하여 새로운 시설을 설치하는 경우 다양한 사항을 검토하여야 한다. 또한 이러한 검토사항에 문제점이 있을 경우 해결방안을 마련해야 하며, 해결방안이 없을 경우 전반적으로 적용을 재검토 할 필요성이 있다.

본 연구에서는 취수시설 사이폰 대체공법의 적용성을 검토하기 위하여, 세가지 측면에서 적용성 검토를 진행하였다.

첫째는, 사이폰 취수시설의 기술적인 면에 대한 검토로서 사이폰의 이론적인 검토를 통하여 취수가 가능한 저수지 사수위에서 제당까지의 높이, 저수지 만수위와 토출부와 최대 수두차를 알아보았다. 이러한 이론적인 한계를 통하여 사이폰 대체공법이 적용 가능한 저수지의 제체높이 등 저수지의 한계 제원을 결정할 수 있었다.

또한, 사이폰 관내의 유량, 유속, 압력 등 수리상태 및 사이폰 작동한계치, 토출부의 감세현상 등을 검증하기 위하여 수리모형을 제작하고 수리모형 실험을 실시하였으며, 취수시설 사이폰 대체공법이 저수지 취수시설인 복통을 대체할 수 있는 효과적인 공법인지 현장에서 확인하고, 여수시설로 사이폰을 활용할 때 발생되는 문제점인 소음, 진동 등이 취수시설로 설치할 경우 어느 정도 발생하는지 직접 확인하기 위하여 소규모 저수지 현장 2곳에 현장 시험시공을 실시하였다.

둘째로, 취수시설로의 사이폰이 기술적으로 문제점이 없고 효과적인 공법이라고 하더라도 경제적으로 기존 사통과 복통을 개보수 하는 것보다 지나치게 많은 비용이 소요될 경우 적용이 어려울 수 있다.

따라서 기술적 검토와 더불어 기존 사통과 복통을 개보수하는 비용과 사이폰 취수시설 대체공법의 적용시 비용을 비교 검토하여 대체공법의 경제성을 검토하였다.

마지막으로는 사이폰 취수시설의 유지관리 측면의 내용을 검토하여 실제로 운영시 유지관리 측면의 문제점을 살펴보고 개선사항을 마련하기 위하여, 실제 시험시공한 사이폰의 가동을 통하여 용수를 공급하므로서 실제 사이폰 취수시설을 운영시 발생 가능한 상황을 재현하여 개선점을 제시함으로서 대체공법의 적용성을 종합적으로 검토하였다.

제1절 사이폰 대체공법 적용검토

앞서도 언급한 바가 있으나, 사이폰 대체공법을 통해 복통을 대체 하는 취수시설 설치 및 사용을 위해서는 해결해야 할 몇 가지 문제점이 있다. 우선 시공시 문제점으로 기설복통 제거 후 사이폰 시공 시 가배수로의 역할을 대신할 시설이 필요하다는 점이고, 대표적으로 사이폰 작동시 발생되는 진동, 소음 등에 대한 안정성을 확보하는 것이다.

또한, 이외에도 관수로 형태에서 필연적으로 발생하는 유입부 막힘방지, 토출부 유속에 대한 하류부 세굴, 작물 냉해방지를 위한 온수취수, 복통에서는 가능한 홍수기 사전방류, 사수위까지의 용수취수 가능여부 등에 대한 검토 및 대책이 마련되어야 한다.

(표 7-1)은 사이폰 대체공법 시행시 문제점 및 대책검토 방안에 대하여 정리한 것이다.

(표 7-1) 사이폰 대체공법 문제점 및 대책방안

구 분	문 제 점	대 책
시공중	·기설 복통 제거후 사이폰 시공시 가배수로 기능 필요	·시공중 가체절과 임시 사이폰을 이용한 사전방류를 통해 홍수량 배제
사용중	·작동시 펌프이용으로 불편	·최초 작동시 펌프이용하고 두 번째부터는 밸브로만 작동
	·작동중 진동, 소음, 충격, 캐비테이션 발생 가능성	·수리모형실험 및 현장시험시공을 통해 현상 발생여부 확인후 방안마련 ·진동, 소음, 충격 : 현장측정 ·캐비테이션 : 실내실험시 육안관찰
	·홍수전 사전방류 가능여부	·밸브에 의한 사이폰 작동으로 임의 수위까지 방류가능
	·개보수, 준설시 사수위까지 수위저하 가능	·유입관 설치위치가 사수위이므로 수위저하 가능
	·하류 유출부 세굴	·밸브제어로 유량조절가능 ·신규 집수정내로 유출구를 설치한 후 감세하여 방류
	·쓰레기에 의한 유입부 막힘	·쓰레기 유입방지를 위한 스크린을 제작하여 설치
	·온수취수 가능여부	·대체공법이 적용가능한 대상 저수지는 수심이 얕아 냉수 취수우려 없음

본 연구에서는 사이폰 취수시설 대체공법에서 발생 가능한 다양한 문제점들을 현장시험시공과 실내 수리모형실험을 통하여 시험하고, 문제점에 대한 대책을 제시할 예정이다.

또한, 기술적인 문제를 발생시키지는 않지만 현장에서 적용할 경우 유지관리 상 불편사항 등에 관하여는 현장시험시공을 통한 실제 용수공급시 유지관리상 문제점에 대한 대책방안도 제시할 예정이다.

가. 가배수로

저수지의 복통은 저수지 제체 시공 중 가배수로의 기능을 겸하게 되며, 제체의 시공이 완료되면 이를 취수시설로 활용하게 된다. 사이폰 취수시설의 경우 기존의 복통을 제거하고 공사를 시행해야 하므로 저수지로 유입되는 수량의 배제를 위하여 가배수로의 역할을 수행할 별도의 시설이 필요하게 된다.

시공 중 가배수로 역할을 할 시설로는 기설 복통제거 후 임시 사이폰을 통해 사전방류, 홍수배제를 실시함으로써 해결할 수 있을 것으로 판단된다. 임시 사이폰을 활용한 저수량의 배제는 소규모 저수지의 저수량 배제에 많이 활용되어 왔으며, 본 사이폰 시공시 재활용도 가능할 것으로 판단된다. <그림 7-1~2>는 기존 저수지의 저수량 배제시 임시 사이폰 활용 사례를 보여준 것이다.

<그림 7-1> 임시 사이폰 활용 사례

나. 사이폰 초기가동

사이폰은 관수로로서 관내가 만관상태로 진공상태가 유지되어야 작동이 가능하나, 겨울철에는 사이폰 관을 만관상태로 유지할 경우 동파의 위험이 있으므로 사이폰 관내의 물을 배제할 필요성이 있다.

따라서, 급수기가 되면 다시 관내를 만관상태로 만들고, 사이폰 작동이 가능토록 진공상태를 유지하여야 하므로 1년에 한번은 관개기 시작 전 펌프를 활용하여 관내에 물을 채워 넣어 사이폰 작용이 가능한 상태를 만들어야 한다.

일단 사이폰 작용이 가능한 상태가 되면 하류부의 제수밸브만으로 급수가 가능하며, 제수밸브의 개폐도에 따라서 유량 조절이 가능하게 된다.

따라서, 사이폰 초기가동은 유지관리상 1년에 한번정도 조작이 필요하며, 사통에 비하여 유지관리측면에서는 번거로울 수 있으나, 문제점은 아니므로 유지관리 지침을 통하여 관리가 가능하다.

다. 진동·소음·충격

사이폰 관의 진동, 소음, 충격은 사이폰 여수로에서 큰 문제점으로 지적되어 왔다. 다만, 지속적인 기술개발을 통하여 대용량의 사이폰에서도 이를 극복할 수 있으나 진동이나 소음을 저감시키기 위한 별도의 시설이 필요하게 되어 구조가 복잡해 지고, 설치비가 증가하는 단점이 있다.

취수시설로 사용하는 소규모 사이폰에서도 사이폰 여수로와 같은 문제점이 발생하는 지 확인하고 동일한 문제점이 발생할 경우 해결방안을 마련하기 위하여 수리모형실험 및 현장 시험시공을 통해 현상 발생여부 확인 하였다.

사이폰 작동시 진동, 소음, 충격은 현장에서 측정하고, 캐비테이션은 아크릴 투명재질로 제작한 실내 모형실험시 육안으로 관찰하여 발생여부를 확인하였다.

시험시공한 송산저수지 및 신후평 저수지의 사이폰 작동시 진동, 소음, 충격을 측정한 결과, 소음이나 진동, 충격은 발생하지 않았다.

따라서, 홍수를 배제해야 하는 대규모 여수로 사이폰은 작동시 진동, 소음, 충격, 캐비테이션 등이 발생하지만 본 연구의 대상은 제체 높이 10m, 저수량 100천㎥ 이하의 소규모 저수지로 여수로를 대체할 사이폰이 아닌 복통을 대체할 사이폰 공법으로 진동, 소음, 충격, 캐비테이션 등의 발생

우려는 없을 것으로 판단된다.

라. 사전방류

사이폰 대체공법 적용시에도 사수위까지 사이폰 유입부를 설치하여 사수위까지 저수량의 배제가 가능하므로 충분한 사전방류가 가능할 것으로 판단된다.

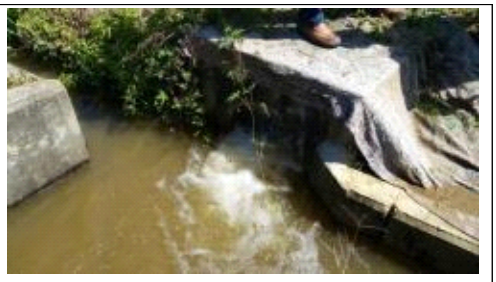
마. 유출부 세굴

사이폰은 위치수두를 토출부에서 모두 속도수두로 전환하여 토출되므로 토출부의 유속이 빠르다. 따라서, 토출유량을 그대로 용수로에 연결할 경우 설계유속을 초과하게 되므로 용수로와 연결전 빠른 유속을 감세하여 방류 할 필요성이 있다.

현장 시험시공한 송산저수지의 경우 사이폰 토출구를 기존에 설치된 집수정내에 연결하여 토출시킨 결과 콘크리트 집수정내에서 감세가 되며, 곧 수류가 잠류로 바뀌어 용수로로 유입되는 것을 알 수 있었다.

신후평 저수지의 경우 사이폰의 토출구를 복통의 말단부 용수로 연결부와 직각으로 연결하여 복통의 말단부에서 감세되도록 설치하였다. 용수로가 직접 연결되어 있어 적정 유량이 방류되면, 신후평 저수지도 용수로의 수위가 상승하면서 복통의 토출부가 잠류상태로 바뀌어 유입되는 것으로 나타났다. <그림 7-2>는 송산저수지와 신후평저수지의 방류시 잠류상태로 용수로로 유입되는 사진이다.

<송산저수지 집수정>



<신후평저수지 토출부>

<그림 7-2> 시험시공 저수지 토출부 사진

유출부 집수정 모형을 제작하여 실내 실험한 결과 집수정내부에서 감세

되어 용수로로 자연스럽게 유출되는 것을 알 수 있었으며, 콘크리트 표면에 수류 충돌시 초기 동수압의 계산결과도 충분한 강도를 갖는 것으로 분석되었다.

유출부 유량은 밸브로 조절이 가능하므로 서서히 방류시 충격을 최소화할 수 있으며, 방류 후 곧 잠류로 바뀌게 되므로 고속 수류에 대한 영향을 충분히 감세할 수 있을 것으로 판단된다.

다만, 콘크리트는 재료의 특성상 인장강도를 갖지 못하므로 지속적인 수류 충돌시 콘크리트 표면의 박피 등 우려가 있어 설계시 수류의 충돌부위를 철판 또는 스테인리스로 보강하도록 설계지침(안)에 수록하였다.

바. 유입부 막힘

사이폰 유입부의 막힘 현상에 관하여는 수리모형실험을 통한 최대 수두차에서의 사이폰 유입분포 실험에서도 나타났듯이 유입구를 기준으로 0.8m정도만 이격 하더로도 흡입유속이 현저하게 감소하게 되므로 설치시 사수위에 이를 고려하여 설치할 경우 부유물에 의한 유입부 막힘현상은 나타나지 않을 것으로 판단된다.

또한, 사이폰 유입부에 쓰레기 유입방지를 위한 스크린을 제작하여 설치하도록 설계지침(안)에 제시하였으며, 만일 유입부 막힘현상이 발생하였을 경우 사이폰 펌프 가동을 통한 역방향 공기배출을 통하여 막힘현상의 해결이 가능할 것으로 판단된다. <그림 7-3>은 역방향 공기배출을 통하여 막힘 현상을 해결하는 것을 시연한 것이다.

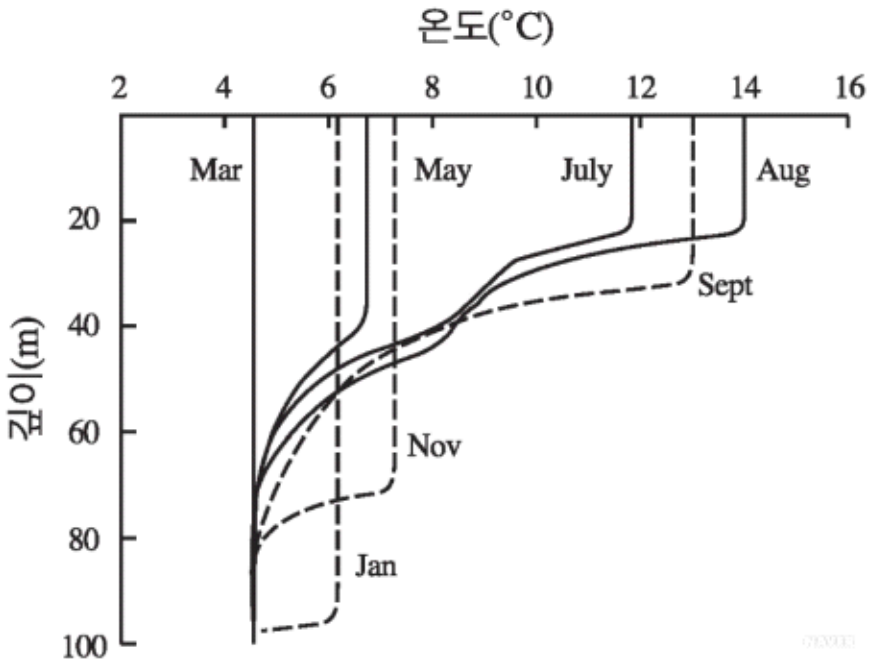
사이폰 펌프 가동을 통한 역방향 공기배출 방법은 사이폰 취수시설 유지관리 지침에 수록하여 유지관리자가 손쉽게 이를 가동하여 작동할 수 있도록 하였다.

<그림 7-3> 역방향 공기배출을 통한 막힘 현상 제거

사. 온수 취수

수심이 깊은 저수지의 경우 수심에 따른 수온의 변화가 커 깊은 곳에 위치한 취수공을 통하여 취수한 용수를 공급할 경우 작물의 냉해에 대한 우려가 있다. 따라서, 일반적으로 수심이 깊은 저수지에 설치된 취수탑과 사통의 경우 수심에 따라 취수문 및 취수공을 설치하여 가급적 온수를 취수할 수 있도록 시설을 하고 있다.

하지만, 금번 연구대상 저수지는 저수지 제당높이 10m미만으로 실제 취수하는 높이는 수면에서 최대 8~6m 정도로 수심이 깊지 않아 냉수 취수에 따른 냉해의 우려가 없다.



<그림 7-4> 수심에 따른 월별 수온변화

아. 사수위 용수취수

사이폰은 하류의 토출부와 수두차가 있는 경우 취수가 가능하므로, 설계지침(안)에 제시된 내용과 같이 토출부가 사수위보다 낮을 경우 사수위 가지 용수 취수가 가능하며, 기본적으로 취수시설의 토출부는 사수위보다 낮은 곳에 설치하게 되므로 사수위까지의 용수취수는 문제가 없으며, 사수위까지의 용수취수 가능여부는 수리모형실험을 통하여 확인한 바 있다.

제2절 사이폰 대체공법 경제성 검토

취수시설 사이폰 대체공법을 적용할 경우의 취수시설의 경제성 검토는 시설의 설치비와 각 취수시설의 유지관리비를 합산한 총 비용을 비교하여 검토하였다.

시설의 설치비는 사이폰 취수시설을 설치할 경우 기존 취수시설을 사용하지 않고 신규 취수시설을 사용하는 것이므로, 기존 취수시설인 사통과 복통을 제거하고 재설치하는 비용과 비교 검토할 필요성이 있으며, 사이폰 대체공법의 목적이 복통의 구조적인 위험성을 제거하는 것이므로 복통을 재설치 할 때 복통의 제거가 가능한 개착공법을 통하여 재설치하는 경우와 비교하여야 적정한 평가가 가능할 것으로 판단된다.

또한, 향후 10년간의 유지관리비와 보수비는 유지관리를 위한 인건비와 시설의 내용연수에 따른 교체비 등을 고려하였다.

일반적인 토목시설공사에서 공사비는 공사여건, 공사시기, 현장상황에 따라 큰 차이가 나는 것이 보통이다. 따라서, 시설의 규모가 동일하다 하더라도 시설물의 개보수에 동일한 비용이 든다고 할 수는 없다.

하지만, 사이폰 대체공법의 경제성을 비교 검토하기 위하여 소규모 저수지중 최근 개착공법을 통하여 개보수를 시행한 저수지를 대상으로 공사비명세서 상의 사통 및 복통을 재설치 비용과 사이폰 대체공법 시공비용을 비교 검토하였다.

1. 사통 및 복통 재설치 비용

대상저수지는 저수량 4.5만㎥의 제체 높이 11.3m의 소규모 저수지로서 기존 취수시설인 사통과 복통을 재설치 하였으며, 세부제원은 (표 7-2)와 같다.

(표 7-2) 개보수 저수지 제원

저 수 량		제 체				사면 기울기	
총 (만㎥)	유효 (만㎥)	형식	높이 (m)	길이 (m)	댐마루폭 (m)	상류측 (1:n)	하류측 (1:n)
4.5	4.5	필댐 [존형]	11.3	210	3.6	1:2.5 [사석]	1:2.0 [떼]

(표 7-3) 취수시설 제원

구 분	사 통			복 통		
	연장(m)	규격(m)	공수(공)	형식	규격(m)	연장(m)
개보수(전)	15	D=0.24	1공	원형	D=0.5	43.2
개보수(후)	15	D=0.30	1공	원형	D=1.0	49.2

취수시설인 사통 및 복통 재설치 비용은 크게 공사를 시행하기 위한 가체절, 토공, 사통설치, 복통설치, 토출부 설치, 기타 공사비로 구분할 수 있다.

개보수는 개착공법을 통하여 기존 복통을 제거하고, 신규로 복통을 재설치하는 것으로 계획하였으며, 사통도 D=0.24m에서 D=3.0m으로 재설치하였다. 개보수 사업비 명세서를 통한 취수시설의 항목별 공사비를 분류하면 (표 7-4)와 같다.

가체절은 작업공간의 유수침투를 막기 위한 흙쌓기 및 헐기, 톤마대 쌓기 및 헐기, 배수를 위한 PE하수관 부설 등의 비용이며, 토공은 제체를 굴착하고 성토 다짐하는 비용이 주가 된다.

복통과 사통 설치비는 시설 설치를 위한 콘크리트 타설, 강관 부설 및 접합, 토출부는 용수 이용을 위한 토출부 분수문 설치 등의 비용이다.

(표 7-4) 항목별 취수시설 공사비

구 분	합계	가체절	토공	복통	사통	토출부	기타
취수시설 (천원)	139,936	12,791	28,433	55,374	37,293	6,044	-

2. 사이폰 대체공법 비용

취수시설 사이폰 대체공법은 저수지 제체를 따라서 사이폰 작용을 할 수 있는 관로를 매설하는 것으로 대체공법의 시공은 저수지 제체의 표토를 제거하고 관을 매설할 경로를 따라 얕게 굴착한 뒤, 관 재료에 따라서

융착 또는 용접을 통하여 관로를 연결하는 것이다.

취수시설 사이폰 대체공법을 적용할 경우 공사비는 크게 가체철, 토공, 사이폰설치, 토출부설치, 기타로 구분할 수 있으며, 복통을 재설치 하는 경우 기존 복통을 배수시설로 활용할 수 있으나, 사이폰의 경우는 기존 복통을 제거하므로 임시배수시설이 별도로 필요하다.

사이폰 대체공법을 적용하더라도 가체절, 토공, 토출부는 공통적인 사항이라 큰 차이가 없다. 또한, 기존 복통과 사통의 철거비는 사통 및 복통을 재설치 하는 경우나 사이폰을 설치하는 경우에도 동일하게 필요하므로 별도로 공사비에는 포함시키지 않았다. (표 7-5)는 항목별 사이폰 대체공법의 공사비를 나타낸 것이다.

(표 7-5) 항목별 사이폰 대체공법 공사비

구 분	합계	가체절	토공	임시배수	사이폰	토출부	기타
사이폰 (천원)	85,973	12,791	28,433	3,657	35,048	6,044	-

임시배수시설은 사이폰 대체공법을 시공할 경우 추가로 필요한 비용으로 저수지로 유입되는 수량을 저수지 외로 배제하는데 필요한 시설 비용이다. 공사기간동안에는 저수지로 유입되는 수량을 지속적으로 외부로 배제시켜야 하는데 이는 임시로 사이폰 관을 설치하여 배제할 수 있으며, 밸브를 설치하여 유량을 조절할 수 있다.

사이폰 공사비는 주로 사이폰 관로를 제작하는 비용이며, 여기에 사이폰 시동을 위한 펌프와 밸브설치비가 추가로 소요된다.

3. 대체공법의 경제성 검토

앞서 설명한 개착공법을 통한 사통 및 복통 재설치비용, 사이폰 취수시설 설치비용, 또한 향후 각 시설의 유지관리에 필요한 비용 등을 종합하여 사이폰 대체공법과 복통에 대한 경제성 분석을 수행하였다.

경제성 부분에서 사이폰 대체공법과 복통의 차이점은 펌프 가동을 위한 전원이 필요한 부분이며, 현장여건에 달라질 수 있으나 일반적으로 농업용저수지가 전기공급이 어려운 곳에 건설되어 있으므로 태양광시설을 설

치하는 것으로 비교하였다.

다만, 태양광 시설을 설치할 경우에는 태양광 시설에 대한 지속적인 유지관리가 필요하며, 신후평저수지와 같은 엔진양수기나 수동펌프 사용시에는 태양광 시설에 대한 유지관리는 필요하지 않으므로 유지관리 측면에서의 유불리는 현장여건에 따라 결정하여야 할 것으로 판단된다. 엔진양수기나 수동펌프 사용시에는 현재 평가한 비용보다 공사비용이 더 절감되므로 경제성 측면에서는 더 유리할 것이다.

사이폰 대체공법에 태양광시설을 설치 시, 전기공급이 가능하여 전기료가 발생한다 해도 사이폰의 경우 최초 작동 시에만 전기가 필요하므로 그 차이는 미미할 것으로 판단된다.

인건비 부분에 있어서 평상 시에는 복통과 같은 인건비가 소요되나, 연 1회 사이폰 펌프 가동과 연 2회의 기기점검이 필요할 것으로 판단된다. 보수비는 사이폰 대체공법의 경우 관의 내구연한이 50년으로 반영구적이므로 보수비가 필요치 않은 것으로 나타났으며, 태양광패널, 배터리 등의 전기장치의 유지관리비용이 추가될 것으로 판단된다. (표 7-6)는 사이폰 대체공법 유지관리비 검토 사항에 대해 나타냈다.

(표 7-6) 사이폰 대체공법 유지관리비 검토 사항

구분	전기료	작동인건비	보수비
사이폰	· 태양광 (설치비에 포함)	· 사이폰 가동 : 1회/년(10분) · 기기점검 : 2회/년(30분) · 평상시 : 복통과 같음	· 펌프장치 고장 수리비, 관 내구성 저하 보수비
복통	· 수동조작으로 전기료 없음	· 항상 밸브조작만으로 작동	· 기계장치 파손 보수비 · 누수, 외압에 의한 보수비
금액차이	· 없음	· 인건비 20% 증가	· 개별장치 내구연한 고려
비고	· 사이폰 최초 작동시 펌프를 사용하나 태양광으로 작동 또는 미미한 전기료 발생	· 사이폰 최초 작동 시 업무량을 고려 인건비 20% 상승	· 관 내구성은 모두 50년 이상으로 반영구적이며 내구성보다 외부적 요인에 의한 파손 우려 · 전기장치의 유지관리 비용 추가

(표 7-7)은 사이폰 대체공법 시공 후 유지관리비를 고려하여 총비용 검토한 것이다. 순공사비의 경우 복통 설치 시 139,936천원, 사이폰 대체공법 설치 시 85,973천원으로 나타났으며, 관리비의 경우 복통은 21,000천원, 사이폰 대체공법은 사이폰 가동과 기기점검 인건비를 고려하여 20%를 가산하여 25,200천원으로 산정하였다.

보수비는 복통의 경우 보수비가 없는 것으로 산정하였고, 사이폰 대체공법은 전기장치와 관련된 유지관리비용 6,133천원을 산정하였다. 순공사비와 유지관리비를 포함한 총 비용은 복통은 160,936천원, 사이폰 대체공법은 117,306천원으로 사이폰 대체공법이 복통보다 43,630천원의 비용 감소가 있는 것으로 나타났다.

(표 7-7) 사이폰 대체공법 유지관리비를 고려한 총비용 검토

구 분		순공사비	관리비 (10년)	보수비 (10년)	계 (천원)	비 고
복통 재설치	소계(A)	139,936	21,000	0	160,936	계절직 7개월 *20%
	가체절	12,791				
	토 공	28,433				
	복통설치	55,374				강관 D1000㎜, 49.2m
	사통설치	37,293				
	토출부설치	6,044				
	기 타					
사이폰 설치	소계(B)	85,973	25,200	6,133	117,306	
	가체절	12,791				
	임시배수시설	3,657				PE관 D150㎜
	토 공	28,433				
	사이폰설치	35,048		6,133		PE관 D150㎜*2련
	토출부설치	6,044				
	기 타					
차 이	금액(B-A)	-53,963	4,200	6,133	-43,630	
	비율(B/A)	61%	120%		73%	

※ 사이폰 대체공법 보수비 : 태양광패널 20년, 펌프 10년, 인버터 7년, 배터리 4년 후 교체하는 것으로 계상함.

제3절 설계시공 및 유지관리를 위한 개선방안

사이폰 대체공법 현장 시험시공을 통한 설계, 시공 경험과 현장시험 후 취수시설의 조작 등 관리경험을 통한 유지관리를 위한 개선사항을 설계 및 시공 부분과 유지관리 부분을 구분하여 설명하면 다음과 같다.

1. 설계시공시 개선사항

가. 펌프 개선사항

유출구 측 제수밸브를 닫은 상태에서 양수펌프 작동 시 5~7분, 제수밸브를 열어둔 상태에서 양수펌프 작동 시 1시간 30분 정도 소요되는 것으로 나타났다. 제수밸브를 닫은 상태에서 펌프를 작동시키는 것이 효율적이며, 펌프용량의 경우 현장여건에 따라 설치해야 될 것으로 판단된다.

나. 제수밸브 조작을 위한 밸브핸들 개선 필요

제수변조작을 위한 밸브핸들이 너무 크고 무거워 이동 및 조작이 어려운 것으로 나타났다. 제수밸브의 경우 집수정 근처 사이폰관에 설치함으로 지하에 설치하게 되어 밸브핸들이 필요하며, 외부에 밸브핸들이 설치되어 있으면 관리자 외의 사람이 작동시킬 가능성이 있으므로 밸브핸들의 간소화와 보관장소 또는 시건장치가 필요할 것으로 판단된다.

다. 이물질 등으로 인한 유입구 막힘 현상 해결책 필요

펌프 역방향 흐름을 활용하여 유입구의 침전물 등 막힘현상에 대한 해결방법을 관리자가 숙지할 수 있게 유지관리매뉴얼 등을 작성하여 기재할 필요가 있을 것으로 판단된다.

라. 사이폰 대체공법의 주 용도에 따라 배관직경 결정 필요

현장시험시공 대상지인 송산저수지에는 직경 200 ㎜의 PE관을 설치하였으나 소규모 저수지의 경우 저수용량 및 수혜면적에 따라 직경 200 ㎜ 이하의 관을 설치해도 될 것으로 판단되며, 비상 방류시설이 없는 저수지는 사이폰 대체공법 설계 및 시공 시 관의 직경을 확대하거나 관을 2열

또는 3열로 설계 및 시공하여 방류시설로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

마. 태양광시설의 설치 여부

펌프 전력공급 시설 설치여부는 전기공급 등의 현장여건과 펌프형식(엔진식, 전력식, 건전지 등)에 따라 효율적인 것으로 결정해야 한다.

바. 유입구 설치방안

송산저수지 현장시험시공 시 유입구 설치방법을 저수지 사면을 따라 밀어 넣는 방식을 사용하여 시공품질 확보에 어려움이 있었으며, 유입구 길이에 따른 크레인 등을 통한 설치비의 반영이 필요하다.

사. 밸브 및 펌프실 반영

밸브 및 펌프가 노출될 경우 훼손 가능성이 있으므로 현장여건에 맞게 펜스, 또는 박스형구조물 등 밸브 및 펌프의 훼손을 방지할 수 있는 방법의 설계반영이 필요할 것으로 판단된다.

2. 유지관리시 개선사항

가. 밸브의 전동화 필요

사이폰 취수시설의 경우 제수밸브가 제체의 하단부에 위치하여, 제정에 조작밸브가 있는 사통에 비하여 유지관리가 불편하므로 이에 대한 전동화를 추진할 경우, 유지관리가 보다 용이해 질 수 있다.

다만, 지구별 현장여건에 따라 전동화 추진시 설치비용, 향후 유지관리 비용, 사용빈도 등을 고려하여 도입여부를 결정할 필요가 있다.

나. 유지관리자의 교육 필요

소규모 저수지 현장의 유지관리자는 대부분 수리시설관리원으로 인근에서 경작을 하고 있는 농민이 맡고 있는데 고령이며 새로운 시설의 활용에 익숙하지 않다.

따라서, 시험시공지구에서도 기존의 관행대로 사통을 통하여 취수를 하는 경향을 보이는데 어느 정도 익숙해 질 때 까지는 지속적으로 활용을 할 수 있도록 유지관리자 교육이 병행되어야 할 것으로 판단된다

제8장 취수시설 대체공법 설계지침(안) 및 시방서

사이폰 취수시설 대체공법은 기존의 취수시설의 설치기준과는 상이한 점이 있으므로, 실제 현장의 설계에 활용하기 위하여는 사이폰 대체공법에 대한 한계점, 장단점, 문제점에 대한 처리방안 등에 대한 취수시설 대체공법 설계지침이 필요하다.

따라서, 이번 장에서는 표준화된 소규모 저수지에 대한 취수시설 대체공법의 기본적인 설계지침에 대하여 기술하였으며, 사이폰 시설은 기본적으로 관수로 설계의 수리계산을 적용하고 있으므로 농업용 관수로 설계기준을 참고할 수 있다.

또한, 사이폰 취수시설 대체공법의 사이폰 관로의 시공시 필요한 시방서를 제시하여 사이폰 취수시설 대체공법의 현장 시공시 유의사항을 손쉽게 알아 볼 수 있도록 하였다.

제1절 대체공법 설계지침(안)

1. 설계지침(안)

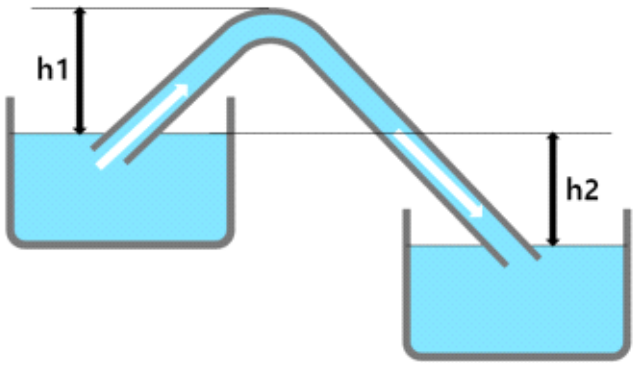
취수시설은 저수지로부터 물을 취수하기 위한 제반 시설을 말하며, 저류수를 관개용수 등에 이용하려면 적합한 취수시설을 설치한다. 특히 관개용 댐은 수량 및 수질은 물론 온수취수를 위하여 저수지 표층의 온수를 취수할 수 있도록 적당한 취수방법을 고려해야 한다.

취수시설을 설계함에 있어 우선 취수탑과 사통을 결정한 후 지형여건을 고려하여 가배수로를 선택하고 취수목적과 취수량에 의해 위치와 형식을 선정한다. 일반적으로 댐높이 30m 이상은 취수탑과 가배수로, 30m이하는 사통과 복통으로 결정할 수 있다.

그중에서 복통은 주로 제체 하부를 관통하여 설치되어 있고, 이종 재료 인접부의 누수 및 복통 내부 균열 등의 이유로 제체 안전성을 해치는 주요 결함요인으로 지적되었다. 따라서 복통에 의한 취수시설을 대체할 수 있는 사이펀 취수시설을 실무에 활용할 수 있는 목적으로 본 설계지침(안)을 제시하였다

가. 사이폰 원리

수면보다 높은 장애물을 넘어서 물을 방류하기 위한 역U자관으로 <그림 8-1>과 같이 관이 진공상태일 때 대기압에 의해 물을 h1까지 올릴 수 있다는 토리첼리의 정리를 이용 h2의 수두차를 이용하여 방류하는 원리이다.



<그림 8-1> 사이폰 개념도

나. 설계 일반

1) 설계시 유의사항

① 편리하고 안정적인 용수공급이 가능할 것
② 원칙적으로 저수지의 표면 온수의 취수가 가능할 것
③ 취수기구가 복잡하지 않을 것
④ 유지관리가 편리할 것
⑤ 유수 때문에 진동 또는 진공 등이 발생하지 않는 구조로 할 것
⑥ 누수로 인한 사고위험이 없어야 하며 유사시 비상방류가 가능할 것

2) 기존 취수시설(사통, 복통)의 문제점

일반적으로 댐높이 30m 이상은 취수탑과 가배수로, 30m 이하는 사통과 복통으로 이루어졌으나 사통과 복통으로 이루어진 취수시설에서 다음 (표 8-1)과 같은 문제점이 있다.

(표 8-1) 기존 취수시설(복통, 사통)의 문제점

사 통	복 통	유 지 관 리
·취수문 이물질 걸림 ·문비, 스핀들 부식 및 변형 ·문비 누수 발생	·내부 균열에 의한 토사 유출 ·제체 누수로 인한 저수지 붕괴 원인 제공	·수리시 가물막이 또는 저수지 수위를 낮춰야 함 ·잦은 고장 및 유지관리 곤란

3) 사이폰 취수시설 가능 저수지 규모

사이폰의 유입구와 제당의 높이차가 이론적인 수치인 10.34m를 초과할 경우 사이폰 작동이 불가능하다. 따라서 손실수두 등을 고려할 경우 저수지 제당높이와 사수위 차가 7~8m이하의 저수지에서만 적용이 가능하다.

이러한 제한사항을 고려하여 본 설계지침(안)은 다음과 같은 조건을 만족하는 소규모 저수지에 적용한다.

① 제당높이가 10m 이하인 저수지(사수위-제당표고 8m 이하)

② 총저수량이 10만㎥ 이하, 수혜면적이 30ha이하인 저수지

③ 취수시설이 사통과 복통의 연결로 되어 있는 저수지

다. 취수시설 설계순서

사이폰 취수시설의 설계절차는 수리설계와 구조설계로 구분된다.

1) 사이폰 취수시설의 구성 및 형식 선정

① 사이폰 설치 가능여부를 판단한다.

② 취수구 및 방류부의 위치를 선정한다.

③ 취수의 규모를 결정한다.

2) 수리계산

취수구의 위치를 배치하고 사이폰의 유량 및 관경을 결정한다.

3) 구조계산

① 사이폰 관내 부압발생에 따른 구조적 안정성을 검토한다.

② 양수펌프, 공기구멍(air-vent), 방류조절밸브 등 부대시설에 대한 설계를 한다.

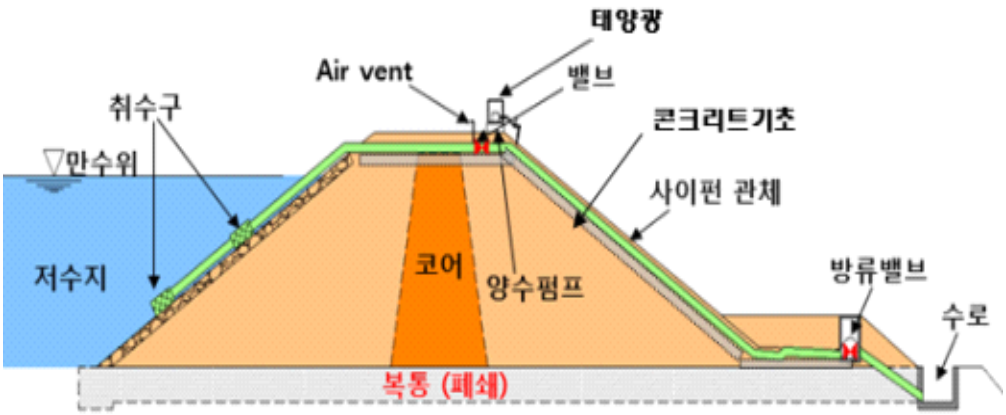
라. 취수시설 구성

사이폰은 취수구부, 조절부, 도수부로 구성되며, 적시 적량의 취수를 용

이하게 할 수 있도록 가장 적절한 조합이 되도록 선정해야 한다. 사이폰은 사이폰 본체와 각종 밸브류, 양수펌프, 공기구멍(air-vent), 조작판넬, 각종 경보 및 보안장치에 의하여 구성된다. 각 부별 구성요소는 다음과 같다.

1) 취수부는 저수지의 유수를 취수하기 위한 시설로서 취수목적에 따라 다수의 취수구를 이용하는 형식과 부력장치를 이용한 취수구 형식으로 구분된다. 사이펀의 주요부는 관체와 부속물인 밸브, 에어벤트, 스크린, 펌프 등으로 구성된다.
2) 조절부는 취수량을 조절하기 위한 밸브류이며, 조절위치는 사이펀 관체 출구부에 위치한다. 조작은 사용빈도가 낮으므로 이동식 구동장치(펌프)를 우선 고려하여 설치하며 비상시에는 수동으로 조작이 가능하도록 한다.
3) 도수부는 취수를 제외로 도수하기 위한 시설로 사이펀은 관체가 댐체를 통과하지 않고 제체 상단을 통과하여 저수지 하류사면을 따라 설치하는 시설로 관체 끝단에 설치되는 제수밸브를 지나 수로에 바로 도수하는 방식이다.

취수시설의 각부의 구조, 기능 등을 분류하면 다음 (표 8-2)와 <그림 8-2>와 같다.



<그림 8-2> 사이폰 취수시설의 구성도

(표 8-2) 사이폰 취수시설의 각부의 분류

구 성	항 목	분 류
취 수 부	종 류	· 사이폰, 에어벤트, 양수펌프
	사 이 폰 구 조	· 강관, PE관 등
	취 수 형 식	· 사이폰형 · 표층취수형, 저수취수형
	취 수 방 식	· 양수펌프 : 초기 사이폰현상을 유발하기 위한 물채움 장치 · 에어벤트 : 외부공기를 개폐하는 역할(OPEN 멈춤, CLOSE 작동)
조절부	위 치	· 사이폰관체 토출부
	종 류	· 밸브 : 제수밸브
	조 작 방 법	· 동력 : 인력식, 모터식, 엔진식 · 조작 : 현장/원격조작, 전동/수동조작
도수부	위 치	· 조절부와 수로 연결구간
	종 류	· 관로, 개수로
	유 로 형 식	· 압력형, 비압력형

마. 취수시설의 위치

1) 취수부의 위치는 저수지의 계획평면도, 부근의 지질도와 현장조사를 통하여 정하며, 기본적인 위치조건은 다음과 같다.

① 필요수량을 모두 취수할 수 있고 그 조절이 쉬운 곳

② 부유물 및 토사의 유입이 적은 곳

③ 사이폰 관체 및 부속시설물을 지지할 수 있는 지반조건을 가진 곳

④ 유지관리가 편리한 곳

2) 구조물의 기초조건은 유수에 의해 세굴되지 않고 사이폰의 자체중량에 의해 압밀침하로 인한 변형, 파괴 등이 생기지 않는 곳으로 한다. 가능하면 양질의 원지반에 설치하는 것이 바람직하고 부득이한 경우 저수지 제체 내 설치도 가능하나 충분한 지지력 확보와 제체의 안정성을 고려하고 복구계획을 수립하여야 하며 제체 정상부에 설치시 중심코아부에 대한 손상이 가지 않도록 최대 50cm 이내로 굴착 깊이를 조정하여야 한다. 또한 매설구간은 매설표지판을 설치하여 다른 공사 및 안전점검시 굴착 등에 의한 피해가 발

생하지 않도록 한다.

바. 취수시설 수리설계

1) 취수공(유입구)의 수리계산

① 사이폰 취수공(유입구) 배치시 고려사항

사통이나 취수탑의 경우 취수공의 배치시 온수취수가 필요한 경우에는 온수층을 고려하여 다수의 취수공을 배치할 수 있으며, 저수지의 수위-저수량곡선을 참고하여 각각의 취수공(유입구)의 간격을 결정할 수 있다. 다만 사이폰은 사통과 달리 다련식으로 유입구를 높이차를 두고 배치할 수 있다.

② 취수공(유입구)의 표고 결정

유입구는 사수위까지의 유량을 충분히 취수할 수 있는 표고에 설치하여야 하며, 온수취수 및 원활한 공급을 위하여 다련식의 취수공을 설치할 때 각각의 취수공의 높이는 내용적 곡선에 의하여 일정량의 수량을 결정하여 선정한다.

2) 설계취수량의 결정

① 설계취수량 결정원칙

댐의 저수위와 취수량의 관계에서 가장 엄격한 조건을 만족하는 취수조건을 결정한다. 이때 하천의 정상적인 기능유지를 위하여 방류량을 포함하는 경우도 있다.

② 설계취수량 산정

취수부에 있어서 전수두를 H, 각종 손실계수를 f_i(고수위시는 취수부 스크린손실, 웨어손실, 취수관로내 마찰손실, 취수관로 입구손실, 마찰손실, 출구손실, 게이트손실 등, 저수위시는 고수위시의 손실중 웨어손실, 취수관로내 마찰손실을 제외함)라 하면 다음관계식을 얻는다.

여기서, 마찰손실 $f = \lambda \frac{l}{D}$, λ:마찰손실계수, l:관로장, D:직경이다.

$$H = \Sigma f_i V_i^2 / 2g$$

여기서, V_i : 각 부분의 평균유속, a_i : 각 부분의 단면적

또, $\sqrt{\Sigma(\frac{f_i}{a_i^2})=\frac{1}{K}}$ 로 놓으면, $K=Q/\sqrt{2gH}$ 식이 $Q_a=K_{\max}\sqrt{2gH_{\min}}$ 과 같이 표현된다.

여기서 K는 각 구조물의 크기, 배치에 의해서 정해지는 양이며, 유량에 관계 없는 양이다.

과거 자료에서 K가 최대가 되는 Q, H의 조합을 구하면, 이것이 설계조건이 된다. 갈수년에 대하여 과거의 자료에서 Q, H의 조합, 즉 K의 년간 변화곡선을 구하고, K의 최대치 $K_{\max}$을 결정한다. 최저수위 $H_{\min}$로 $K_{\max}$를 만족하도록 설계유량 Q_a를 결정한다.

또, $K_{\max}=1/\sqrt{\Sigma(f_i/a_i^2)}$ 식을 만족하도록 각부의 단면적, 길이 등의 치수를 결정한다.(농업생산기반정비사업계획설계기준_필댐편)

3) 사이폰 취수시설의 설계 제한조건

① 저수지의 수위가 감소하면 제당까지의 상승 높이가 커지므로 가동시 사이폰 발생 및 안정적인 운영을 위해서 이를 고려한 충분한 하강높이를 가져야 한다.

※ 사이폰 현상이 발생하기 위해서는 유입부에서 댐 마루까지 물을 끌어올릴 수 있어야 하며, 이 상태에서 상류측 관 내부의 물 부피보다 하류측 관 내부의 물 부피가 커야 역류 발생을 방지하고 안정적인 운영을 할 수 있다. 그러므로 하강높이는 끌어올리는 물 높이에 해당하는 부피와 역류를 방지할 수 있는 상류관 물의 부피의 합 보다 더 커야 하며, 또한 사이폰 발생 초기 관 내부의 공기도 부압이 되면서 그 체적이 팽창하므로 공기의 팽창도 고려한 총 부피를 구하고 관 직경을 바탕으로 필요한 하강높이가 필요 (일반적인 소규모 저수지에서 최초 사이폰 작동을 위하여는 저수지수면과 토출부 수두차가 4m이상이 되어야 함)

② 사이폰의 토출구는 반드시 사수위 아래에 위치하여야 한다.

③ 사이폰 작용에 의한 흐름을 안정적으로 유지하기 위해서는 사이폰 취수시설내 압력을 공동현상이 발생하지 않는 압력 이상으로 설계해야 한다.

④ 공동현상은 이론적으로 포화증기압(상온에서 절대압 2.3kPa)보다 낮은 압력에서 발생하나, 사이폰여수로의 경우, 대기압의 0.8배 크기의 허용음압을 작동한계로 적용하므로 사이폰 취수시설도 이를 만족하도록 설계할 수 있다. (USBR Design of Small dams)

⑤ 상하류의 수위차에 의해 유속이 결정되며, 수위차 상승에 따라 취수시설내 부압이 커지므로 최저압력이 허용음압보다 작지 않도록 설계해야 한다.

⑥ 사이폰 목에서의 한계 부압수두는 이론적으로 절대영압(absolute zero pressure)인 수주 -10.34m이나 안전을 위한 설계치로 -8m를 사용하는 것이 보통이다.(수리학 - 기초와 응용, 윤용남 저)

4) 사이폰 손실수두 산정

관수로 내에서의 흐름은 내부마찰이나 유입, 유출, 단면변화, 형상변화, 기타 각종 수로구조물 등에 의해 에너지 손실이 발생하며 이에 따라 수두가 감소하게 되므로 관수로의 수리설계에서는 이러한 손실수두를 고려해야 하며, 손실수두에 대한 설계기준은 농업생산기반정비사업계획설계기준 관수로 편을 참고할수 있으며, 대표적인 손실수두는 다음과 같다.

① 마찰손실수두

관수로 흐름의 에너지 손실과 유속과의 관계를 나타내는 식으로는 Darcy-Weisbach식, Hazen-Williams식 및 Manning공식이 이용된다.

○ Darcy-Weisbach 식

균일한 관수로의 마찰손실수두는 Darcy-Weisbach 식으로 표시된다.

$$h_f = f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g}$$

여기서, h_f : 마찰손실수두(m)　　f : 마찰손실계수

L : 관수로의 길이(m)　　D : 관의 직경(m)

V : 평균유속(㎧)　　g : 중력가속도(m/s^2)

마찰손실계수 f는 레이놀즈수(Re=VD/μ)와 관벽의 상대조도(k/D)에 따라 달라진다. 여기서 μ는 물의 동점성계수, k는 절대조도이다.

○ Hazen-Williams 공식

직관의 마찰 손실수두 계산을 위한 Hazen-Williams 공식은 미국 상수도 표준공식으로 관망의 수리해석에 많이 사용된다.

$$V = 0.84935 C R^{0.63} I^{0.54} = 0.35464 C D^{0.63} I^{-0.54}$$

$$Q = 0.27853 C D^{2.63} I^{0.54} \qquad D = 1.626 C^{-0.38} Q^{0.38} I^{-0.21}$$

$$I = h_f / L = 10.67 C^{-1.85} D^{-4.87} Q^{1.85}$$

여기서, V : 평균유속(m/s) C : 유속계수(표 8-3참조)
R : 경심(m) I : 동수경사(h/L)
D : 관의 직경(m) h_f : 마찰손실수두(m)
Q : 유량(m^3/s) L : 관수로의 길이(m)

○ Manning 공식

Manning 공식은 개수로 흐름에 많이 사용되며 원형단면인 경우 Darcy-Weisbach 마찰손실계수와의 관계는 다음과 같다.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}, \qquad f = \frac{124.5 n^2}{D^{1/3}}$$

여기서, n = Manning의 조도계수

(표 8-3) 유속계수 C의 값

관 종(내면의 상태)	유 속 계 수		
	최대치	최소치	표준치
주철관(도장없음)[1]	150	80	100
강 관(도장없음)[1]	150	90	100
콜타르 도장관(주철)[1]	145	80	100
타르예폭시도장관(강)[2]	-	-	130
모르터 라이닝관(강·주철)	150	120	130
원심력철근 콘크리트관	140	120	130
로울러전압철근 콘크리트관	140	120	130
프리스트레스트 콘크리트관	140	120	130
경질 염화비닐관[3]	160	140	150
경질 폴리에틸렌관[3]	170	130	150
강화 플라스틱 복합관[3]	160	-	150

주) 1. 경년변화 고려
2. 도장방법은 공업규격에 준하고 도장두께 0.5mm 이상으로 함이 바람직함. 또한 현장 도장일때에는 시공관리가 충분치 못한 경우에는 이것을 적용하지 않음
3. 150mm 이하는 140 적용

② 유입·유출 손실수두

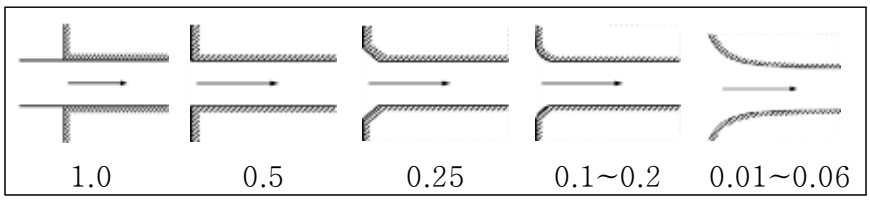
○ 유입 손실수두

수로 또는 저수지에서 관수로로 물이 유입되는 경우와 같이 접근유속을 무시할 수 있는 정수면에서의 유입에 의한 손실수두는 다음과 같다.

$$h_i = f_i \frac{{V_2}^2}{2g}$$

여기서 h_i : 유입손실수두(m)　　V_2 : 유입 후의 평균유속(m/s)

g : 중력가속도(m/s^2)　　f_i : 유입손실계수(그림 1-3)



<그림 8-3> 유입손실계수

○ 유출 손실수두

유출에 의한 유출손실계수(f_o)는 일반적으로 1.0을 취한다.

$$h_o = f_o \frac{{V_2}^2}{2g}$$

③ 만곡 및 굴절에 의한 손실수두

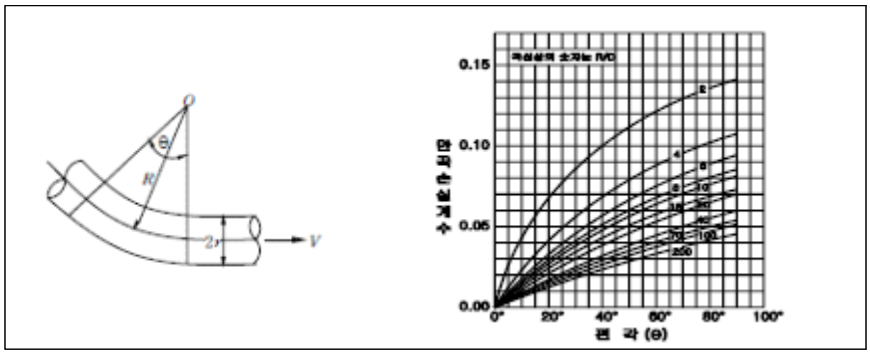
관수로의 방향이 변하면 수류의 단면이 부분적으로 확대되거나 축소되어 손실수두가 발생하게 된다.

○ 만곡 손실수두

$$h_b = f_b \frac{{V_2}^2}{2g}$$

만곡 손실계수 f_b는 실험에 의하여 정한다. Weisbach는 f_b가 관의 반지름 r과 곡률반경 R, 그리고 굴절각 Θ에 따라서 변화한다고 생각하고 다음과 같은 실험식을 제안하였다.

$$h_b = 0.131 + 1.847(\frac{r}{R})^{3.5}\frac{\theta^o}{2g}$$



<그림 8-4 > 만곡손실계수

f_b의 값은 만곡의 곡률반경(R)과 관직경(D)의 비인 R/D과 편각(α)에 의해 정해지는 손실계수이다. 일반적으로 관수로의 만곡에 의한 손실수두를 가능한 한 작게 하기 위해서는 R/D를 크게 하는 것이 바람직하며 적어도 4.0 이상이 되어야 한다.

○ 굴절 손실수두

$$h_{be} = f_{be}\frac{V^2}{2g}$$

여기서 h_{be} : 굴절에 의한 손실수두(m)　　V : 평균유속(m/s)

g : 중력가속도(m/s^2)　　f_{be} : 굴절 손실계수

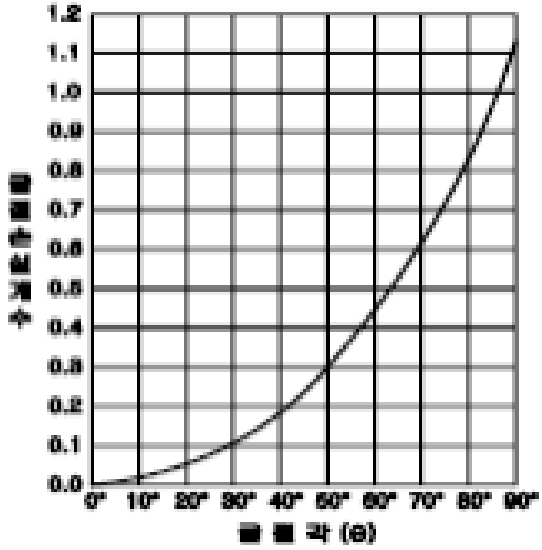
f_{be}의 값은 레이놀즈수(Re)와 굴절각(α) 등에 의해 정해지는 손실계수이다. 굴절에 의한 손실수두는 다음 식으로 구한다.

$$h_{se} = f_{sb}\frac{V^2}{2g} \qquad f_{sb} = 0.946\sin^2\frac{\theta}{2} + 2.05\sin^4\frac{\theta}{2}$$

여기서, f_{sb} : 굴절손실계수,　　Θ| : 굴절각

(표 8-4) 굴절손실계수

α(°)	15	30	45	60	90	120
f_{be}	0.022	0.073	0183	0365	0.990	1.800

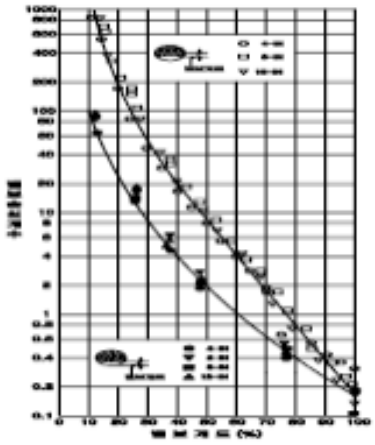


<그림 8-5> 굴절손실계수($R_e = 25 \times 105$ 일 때)

④ 밸브에 의한 손실수두

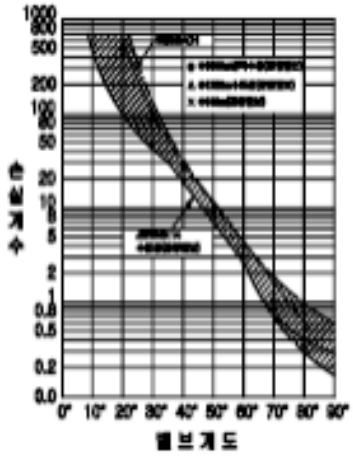
$$h_v = f_v \frac{V^2}{2g}$$

밸브에 의한 손실계수 f_v는 밸브의 종류에 따라 다르므로 사용하는 밸브의 특성을 조사하여 결정한다.



<그림 8-6> 스루스밸브의 손실계수

주: 관과 밸브의 직경이 같고 밸브 하류가 만류인 경우에 대한 것임



<그림 8-7> 버터플라이밸브의 손실계수

(빗금 친 부분)

(표 8-5) 체크밸브 및 플랩밸브의 손실계수

종류 / 관경 (mm)	체크밸브					플랩 밸브
	스윙식 (일매)	스윙식 (이매)	급폐식	리프트식	스프링식	
100	1.32		1.30	1.43	7.32	
125	1.29		1.28	1.41	6.98	
150	1.27		1.25	1.39	6.63	
200	1.21		1.20	1.34	5.95	
250	1.16		1.15	1.29	5.27	
300	1.11		1.10	1.25	4.58	
350	1.05		1.05	1.20	3.90	
400	1.00		1.00			
450		0.99	0.95			
500		0.98	0.90			
600		0.96	0.80			
700		0.94	0.70			
800		0.92	0.60			0.92
900		0.90	0.50			0.89
1,000		0.88	0.40			0.85

사. 취수시설 구조설계

1) 사이폰 관체

① 관체에 작용하는 외력은 관내에 진공이 생길 때의 부압, 빙압, 관의 경사에 의한 추력, 지지력 등이 있으며 이중에서 특히 주의할 것은 부압이다.

② 부압을 방지하기 위해서는 공기구멍(air-vent)을 설치하며, 사이폰 관내 부압 발생에 따른 응력이 관의 항복응력보다 낮아야 한다.

③ 저수지내에 설치되는 관은 부력이 발생하기 쉬우므로 덧씌움 콘크리트나 앵커로 고정시켜야 한다.

2) 사이폰 토출부

① 기존 복통 배출구에 사이폰 토출구를 연결 또는 수로구조물을 신설할수 있다. 또한 토출구는 반드시 사수위 아래에 설치하여 사수위까지 배출이 가능하도록 하여야 한다.

② 토출부 연결 또는 신설시 유의할 점은 고속방류수에 대한 콘크리트부재 등의 수압과 더불어 마모침식의 문제이다. 일반적으로 댐의 방류에는 방류설비에서나 취수설비에서도 상당한 고속류가 나타나므로 이에 대한 유리관리를 위하여 구조설계 및 재료 선택면에서 고려할 필요가 있다.

- 수류에 의한 동수압(사출수가 충돌하는 판의 경우)

$$P = CW_0\frac{V^2}{2g}A$$

여기서, P : 동수압의 총량(판의 항력)(t), C : 항력계수로 사출수가 판에 충돌하여 직각으로 유향을 바꾸는 경우 0.5, 역방향으로 튕겨서 되돌아 오는 경우 1.0, 임팩트박스(impact box)의 충격판과 같은 경우도 안전측을 채택하여 C=1.0 W_0 : 물의 단위중량(tf/㎥), V : 사출수의 유속(㎧), g : 중력가속도(㎧/s²), A : 사출수가 충돌하는 면적(㎡)

- 고속류에 의한 마모침식

일반적으로 콘크리트 수로의 허용 최대유속은 3 m/s이고, 방수로 등에서 일시적 유수인 경우는 이것의 1.5배(4.5m/s) 이내로 되어 있다. 그러나 댐 수리시설에서는 이것보다 훨씬 유속이 크게 되므로 콘크리트의 두께를 늘리거나 철근, 기타의 방법으로 보강할 필요가 있다. 특히 취수시설에서는 기능상으로도 토사류를 동반하는 예도 있으므로 주의를 요한다. 수로구조물의 마모, 충격 대책으로는 신규 수로에 설치될 경우 유속을 감쇄할 수 있는 감세공 설치나 고강도 콘크리트 타설 등의 방법이 있으며, 기존 구조물에는 콘크리트 표면 내마모층을 형성하기 위해 철판을 설치할 수 있으며 특히 녹방지를 고려하여 스테인레스로 설치하는 것이 바람직하다.

3) 사이폰 관내 부압발생에 따른 구조 안정성

사이폰 관두께 선정시 외압과 내압을 각각 고려하여야 하며 농업생산기반정비사업계획설계기준_관수로현 제5장 관체의 구조설계를 참조하였다.

- 강관

매설강의 두께는 내압, 외압, 부등침하, 지진하 등을 고려하여야 하며 최소 두께 이상이어야 한다. 한 강 제작상의 두께에 한 허용오차는 ±50μm이하로 하고 두께 결정에는 고려하지 않는다. 강 두께 설계시 외압과 내압을 각각 고려하여 구한다.

(가) 최소 두께

관의 호칭지름 D = 1,350㎜ 이하일 경우

$t = D/288mm$

관의 호칭지름 D = 1,350㎜ 초과할 경우

$t = (D+508)/400mm$

(나) 내압에 의한 두께

관내수압(동수압 + 수격압, 혹은 정수압) 2가지 에서 큰 값을 용하여 산출한다.

$t = (p \cdot d)/\sigma_{sa}$

여기서, t : 두께(㎜ p: 내수압(N/㎠)

d : 의 내경(㎜) σsa : 의 허용응력(137.2kN/㎠)

(다) 외압에 의한 두께

외압에 의한 두께 계산은 상수도시설기에 부합되고 다음사항을 수하여야 한다.

(1) 토질조사 결과에 따른 주요 구간별 표 토질정수, 경제성 시공성을 고려하여 체 설계구간의 부분에 용할 수 있는 지반의 토질정수를 기으로 하여 트럭하(도로구간 등 필요시)을 포함한 외부하에 따라 두께를 결정하여야 하며, 이때 고려한 토질정수가 확보되도록 시방서에 시공법 품질리 기을 규정하여야 한다.

(2) 상기 (1)항의 기지반이 트럭하이 없는 개활지 등으로서 로

의 침하는 없을 것으로 상되나, 자연함수비가 높은 토질이고 일반인 다짐리가 곤란한 토질의 경우에는 토피의 과도한 침하이에 따른 주변구조물의 악향 등을 고려하여 시방서에 시공법 품질리기을 규정하여야 한다.

(3) 상기 (1), (2)항의 용기에 부합되지 않는 암반, 하, 국부 트럭하 발생구간, 로의 침하가 발생할 수 있는 연약지반 등에 해서는 각 조건별로 별도 책을 수립하여야 한다.

(4) 강 매설후 되메우기, 토압 통과차륜 등 외압에 의한 내도장 손상을 방지하기 하여, 이들 량에 의한 강의 원주방향 체변형율은 경의 5% 미만, 시멘트 모르터라이닝인 경우 경의 3% 이내이어야 한다.

(5) 외압에 의한 부의 휨응력은 허용응력 이하이어야 한다.

(6) 관로노출에 의한 대기압 또는 수중횡단으로 상재하중을 받는 경우에, 외압은 다음 이하가 되도록 하여야 하고, 안전율은 1.5~2.0으로 한다

$P_e = 34.3 \times 10^{-7}(t/D)^3 (\mathrm{N/cm^2})$

t/D가 0.023 이상이고 파괴외압 Pe가 4.02kN/㎠ 이하인 경우 (소성파괴)

$P_e = 6{,}100(t/D) - 98 (\mathrm{N/cm^2})$

(7) 대기에 노출되는 강관을 교량형식으로 지지하고자 할 때 그 지지형식이 새들(Saddle)또는 링 거어더(Ring Girder)인가에 따라 그 지지부의 응력을 검토하여야 한다.

(라) 부압에 의한 관두께

사이펀은 관내 부압이 작용하므로 부압에 대한 관두께를 다음과 같이 산정할수 있다.

$$\left|P_o - P_i\right|_{\max} \le f_o P_c$$

$$P_c = \frac{P_y \times P_e}{\sqrt{P_y^2 + P_e^2}}, \qquad P_y = 2S(\frac{t}{D}), \qquad P_e = 2E\frac{(\frac{t}{D})^3}{(1 - V^2)}$$

여기서, f_o = 붕괴계수, 0.7 이음매가 없거나 or ERW 파이프의 경우

P_c = 파이프의 붕괴압력, psi

P_y = 항복압력, psi

P_e = 파이프의 탄성붕괴 압력, psi

E = 파이프의 탄성계수, psi

M = 포아송 비(0.3 강철의 경우)

(표 8-6) 취수시설 표준사이펀(100,200,300A) 강관두께의 계산

D	mm	300		200		100	
t	mm	2.4	2.5	1.6	1.7	0.8	0.9
Do	mm	314	305	211.7	203.4	109	101.8
t/Do		0.022	0.008	0.027	0.008	0.041	0.009
Py	kPa	6242.0	2295.1	7737.4	2340.2	11559.6	2475.4
Pe	kPa	4869.9	242.1	9275.2	256.6	30929.8	303.7
Pc	kPa	3839.6	240.7	5941.5	255.1	10828.1	301.5
Pa	kPa	71.2	80.2	71.2	85.0	71.2	100.5
IPo-PiI	kPa	78.4	78.4	78.4	78.4	78.4	78.4
결 과		NG	OK	NG	OK	NG	OK

(표 8-7) 배관용 탄소강관의 표준두께

관경(mm)	300	200	100
두께(t)	7.0	5.85	4.5

* 300A 두께 계산결과 최소 2.5t 이상의 두께로 산정하면 부압에 견딜수 있으며, 표1-7과 같이 배관용 탄소강관의 일반 두께는 7.0t로 최소두께에 비해 상당히 안정적인 것으로 관두께를 선택할 수 있다.

- 수도용 폴리에틸렌관(PE관)

수도용 폴리에틸렌관의 설계내압 1.0Mpa(약 10.2㎏/㎠ : 사용압력 0.75Mpa에 수격압 0.25Mpa를 고려한 내압에 상당)으로 50년 후

의 안전율이 2가 되도록 관두께가 설계되어 있다. 수도용 폴리에틸렌관의 적용범위를 사용압력 0.75Mpa로 정하고 있으,며 수격압 0.25Mpa 이하이면 안전율 2이상이 확보되는 것으로 된다. 수도용 폴리에틸렌관의 외압에 대한 휨응력에 한 허용치는 인장항복의 세기에 한 안전율을 2.5로 한다.

(표 8-8) 토피별 토압과 윤압(2톤 트럭)의 계산치

토피(mm) / 토압·윤압	0.6	0.9	1.2	1.5
토압 $Pe(N/㎟)$	0.0108	0.0162	0.0216	0.0270
윤압 $Pe(N/㎟)$	0.0701	0.0491	0.0378	0.0307
합계 $Py = Pe + Pt$	0.0809	0.0653	0.0594	0.0577

(표 8-9) 휨 모멘트 계수

휨모멘트 계수	지지각	60°		90°	
	관 위치	관 상단	관 바닥	관 상단	관 바닥
K_1		0.132	0.223	0.120	0.160
K_2		0.079	0.011	0.079	0.011

(표 8-10) PE관의 설계에 사용하는 여러 수치

호칭지름(mm)	관두께중심반경(mm)	단면계수(㎟/mm)	단면2차모멘트(㎟/mm)	호칭지름(mm)	관두께중심반경(mm)	단면계수(㎟/mm)	단면2차모멘트(㎟/mm)
40	22.00	2.667	5.333	150	77.70	15.36	73.73
50	27.75	3.375	7.594	200	102.3	22.04	126.7
75	41.55	5.802	17.11	250	126.4	33.61	238.6
100	53.45	8.402	29.83	300	150.5	48.17	494.0

아. 부대시설

1) 스크린

① 스크린은 저수지내의 먼지, 유목, 기타부유물이 취수사이폰 유입구멍에 유입되지 않도록 설치하는 것이다.

② 스크린의 재질은 녹방지를 감안하여 스테인레스로 하여야 한다.

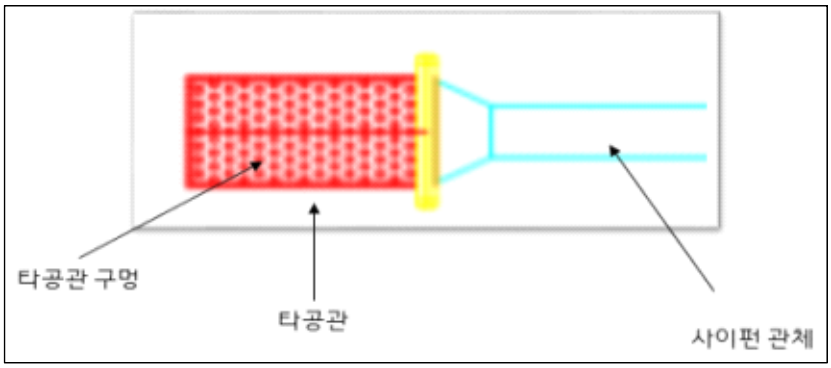
③ 스크린 구조는 취수 사이폰 유입부에 타공관을 설치하는 것으로 설치관체 단면적에 4배이상(참고문헌 미국 농림부 설계자료)이 되도록 설계한다.

예) 200A 관체 설치시

200관 : A = 0.2*0.2*3.14/4 = 0.031㎡

타공관 : 0.031 x 4 = 0.124㎡

∴ 타공관내 구멍 면적은 총합이 0.124㎡가 넘도록 설계하고, 타공관내 구멍의 지름은 보통 3~5cm로 천공한다.



<그림 8-8> 사이폰 유입스크린의 형상

④ 스크린에 붙은 이물질 등은 에어밴트밸브와 방류밸브를 잠그고 취수용 양수펌프를 가동 저수지로 공기를 배출시켜 제거한다.

2. 취수시설 대체공법 설계 및 시공도면

농업용저수지는 복통을 홍수배제 및 취수시설로 주로 사용해 왔으며, 복통은 저수지 제체의 중앙부를 주로 관통하여 설치되기 때문에 복통의 누수로 인한 제체의 안정성 확보가 문제가 되므로, 복통으로서의 취수를 대체할 수 있는 사이폰 취수시설을 실무에 바로 적용할 수 있는 표준제원, 재료 및 관경 등에 대한 기준 마련과 설계도면 및 설계서 작성을 제시한다.

가. 표준제당의 설정

1) 표준제당 제원

① 표준제당의 기초통계자료는 농어촌공사 관리 저수지중 총저수용량 10만톤이하, 제정높이 10m이하이고, 관개면적 30ha이하인 저수지 1,480개소를 대상으로 하였다.

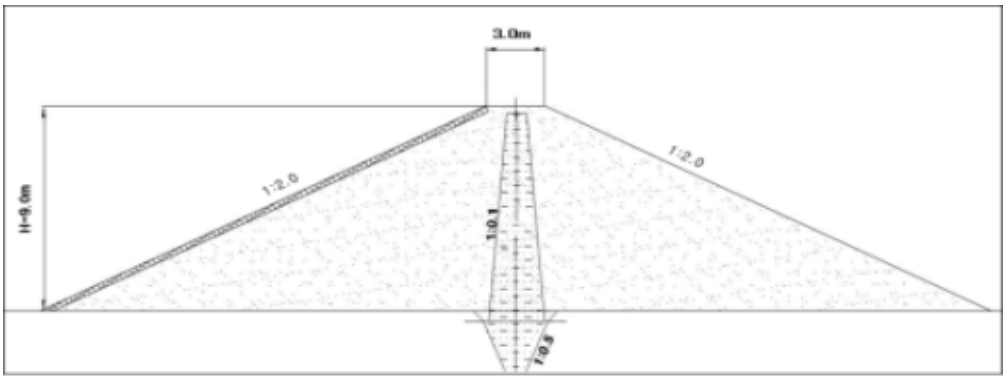
② 상류, 하류 사면경사, 제정폭은 평균값으로 할 경우 실제 저수지와 차이가 발생하므로 현재 소규모 농업용저수지의 빈도수가 가장 높은 제원을 적용하였다.

③ 소규모저수지 표준제당

○ 제당높이 - 10m이내

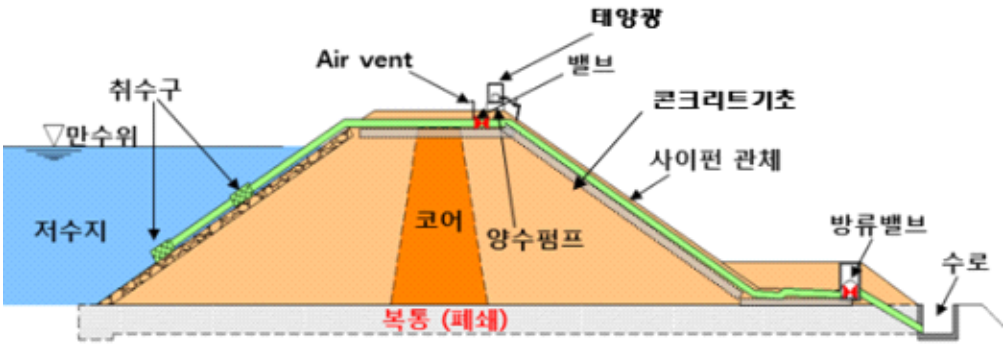
○ 제당폭 - 3m

○ 사면기울기 - 내측 1 : 2.0 외측 1 : 2.0



<그림 8-9> 소규모저수지 표준제당

2) 취수시설 구성



<그림 8-10> 사이폰 취수시설 모식도

(표 8-11) 취수시설의 기능

항 목	품명	주요 기능
사이폰 관체	강관, PE관	○ 방류관
취수구	스크린, 유입관	○ 온수취수등 수위별 유입구 이물질 유입 방지막
콘크리트기초	콘크리트	○ 사이폰관체 설치용 기초바닥
양수펌프	전동식, 엔진식	○ 초기 사이폰 현상 유발 유량 공급장치
에어밴트	관체, 밸브	○ 외부공기를 개폐하는 역할 에어벤트 열기 : 사이폰 멈춤 에어벤트 닫음 : 사이폰 작동
방류조절밸브	관체, 밸브	○ 사이폰의 작동 및 방류량을 조절하는 역할
태양광	전원공급장치	○ 전동 양수펌프 전원 공급 장치

3) 관종의 선정

관종 선정은 관에 작용하는 내압 외압에 대한 안전성, 환경 및 시공조건 등을 감안하여 최적의 관종을 선정해야 하다. 안전성은 내압(수압)과 외압에 의하여 결정되는 것으로 어떤 경우에도 견디는 강도를 갖는 관종과 관두께가 되어야 한다. 환경조건으로는 매설장소의 지반상황에 따라서 특수한 접합이나 시공방법을 검토하고 이형관, 보호공이나 부식방지 등에 대하여도 검토하여야 하며, 주변 지하매설물의 상황 등 시공조건도 고려할 필요가 있다.

기본적으로 부압에 견딜 수 있는 재료인 강관으로 하는 것이 바람직하며 현장여건에 따라 PE관을 사용할 수도 있다.

(표 8-12) 강관과 PE 관의 비교

구 분	장 점	단 점
강관	○ 현장여건에 따라 설치 가능 ○ 용접으로 기밀, 수밀성이 우수함 ○ 관내 부압에 대한 안정성 확보 ○ 기온에 따른 변형 동파 우려 적음 ○ 내구연한 30년이상	○ 부식 우려가 높음 ○ 공사비가 높음
PE관	○ 부식 발생이 없음 ○ 강관에 비해 공사비가 적음 ○ 내구연한 30년이상	○ 이형관의 규격화로 현장여건에 따른 설치가 어려움 ○ 열변형이나 동파 우려가 많음 ○ 재질이 가벼워 부력 및 미끄럼 방지장치가 필요

4) 관경 표준사례 선정

(표 8-13) 관경별 수위대 방류량

낙 차 별(H)	관경별 방류량(㎥/sec)			비고
	100mm	200mm	300mm	
1.0m	0.007	0.038	0.107	
2.0m	0.009	0.054	0.151	
3.0m	0.011	0.066	0.185	
4.0m	0.013	0.076	0.213	
5.0m	0.015	0.085	0.238	
6.0m	0.016	0.093	0.238	
7.0m	0.017	0.100	0.261	
8.0m	0.019	0.107	0.282	

① 설계시 관경의 설정

(표 8-13)의 수위대 방류량표를 참조하여 계획방류량에 현장 낙차(H)에 해당하는 관경 설정

ex) 해당 저수지 낙차(m) : 만수위(9.0m) - 토출부(1.0m) = 8.0m
해당 저수지 계획방류량(최대, 최소, 필요)을 낙차 8.0m일 때 가능한 관경으로 결정

② 사이폰의 유량 계산

사이폰 유량공식을 적용하여 표 1-8의 방류량 값을 계산하면 다음과 같다.

관경:200A, 제당높이:EL.10.0m, 만수위:EL.9.0m, 사수위:EL.2.0m, 토출부:EL.1.0m 일 때,

$Q = AV$

여기서, Q : 유량, A:단면적, V:유속

손실수두식을 계산하여 도출한 손실수두값을 적용,

K_{sc}:0.5(입구손실), K_b:1.065(곡관손실), $f\frac{L}{D}$:10.538(마찰손실)

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = (3.14159 \text{ x } 0.2\text{m x } 0.2\text{m}) / 4 = 0.031\,\text{㎡}$$

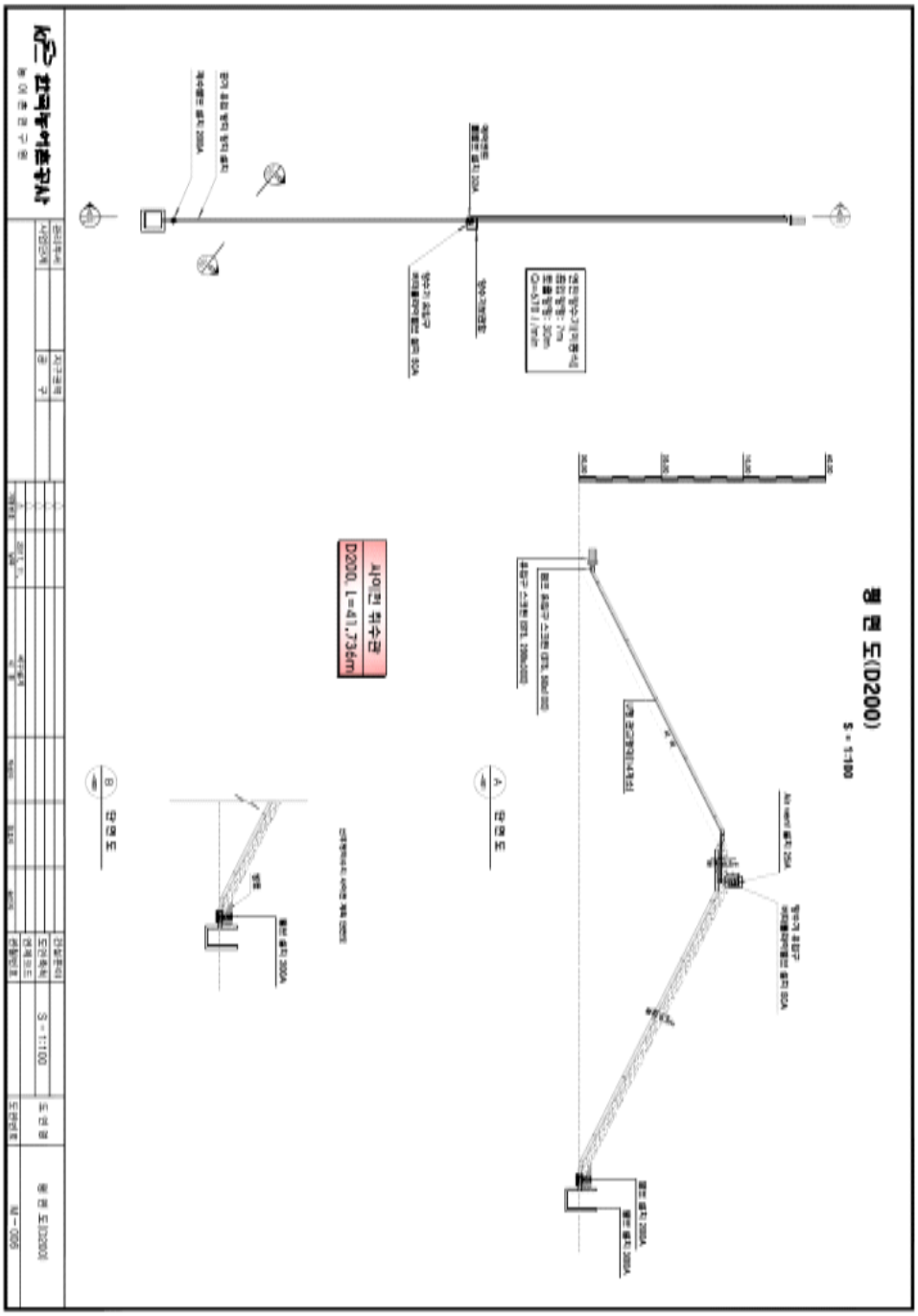
$$V = \sqrt{\frac{2gH}{K_{sc} + K_b + K_{se} + f\frac{L}{D}}}$$

$$= \sqrt{(2 \times 9.8 \times 8)/(0.5 + 1.065 + 1 + 10.538)} = 3.459 m/s$$

$\therefore$ Q= 0.031㎡ x 3.459m/s = 0.107㎥/s

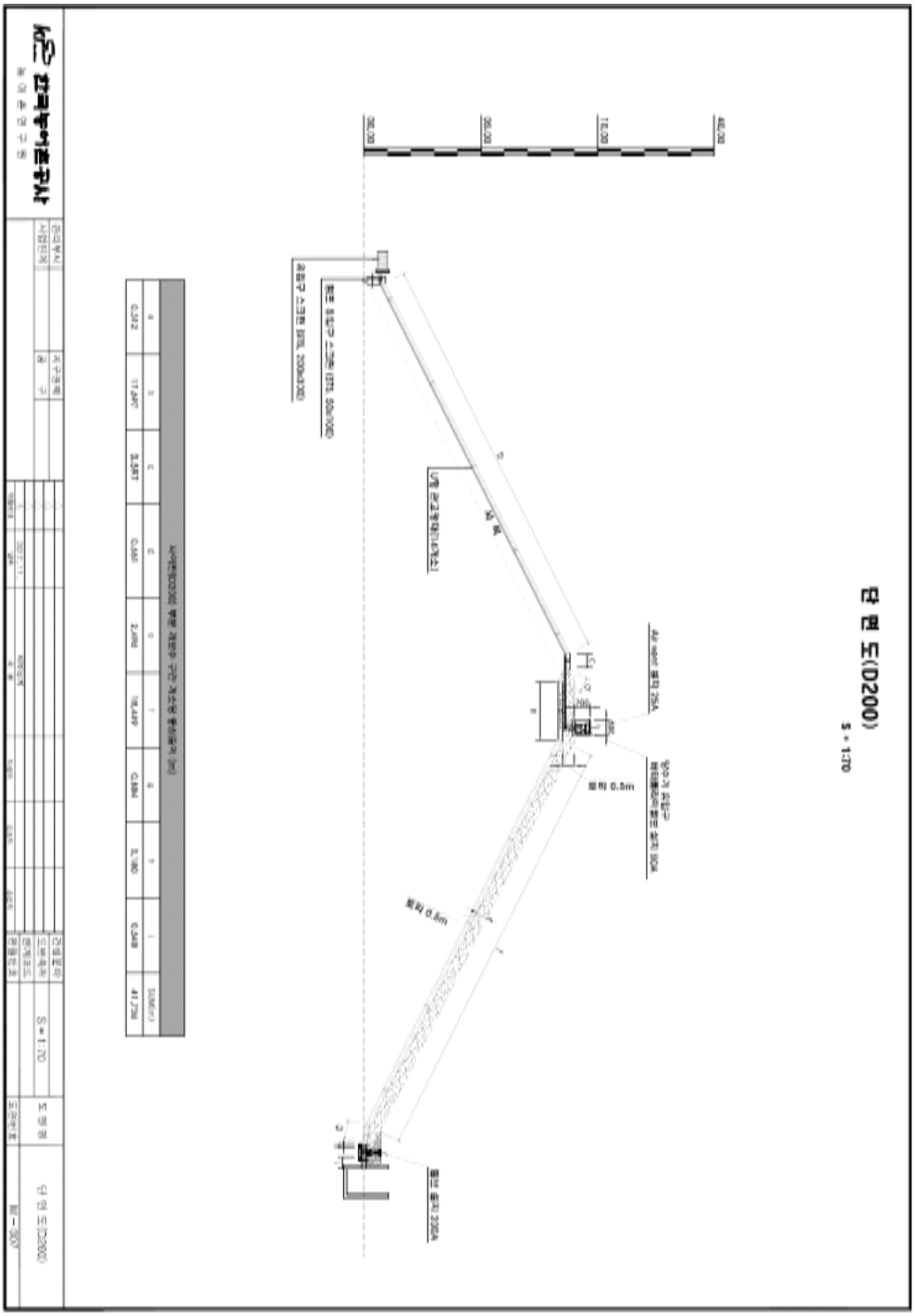
나. 설계 및 시공도면

1) 평면도



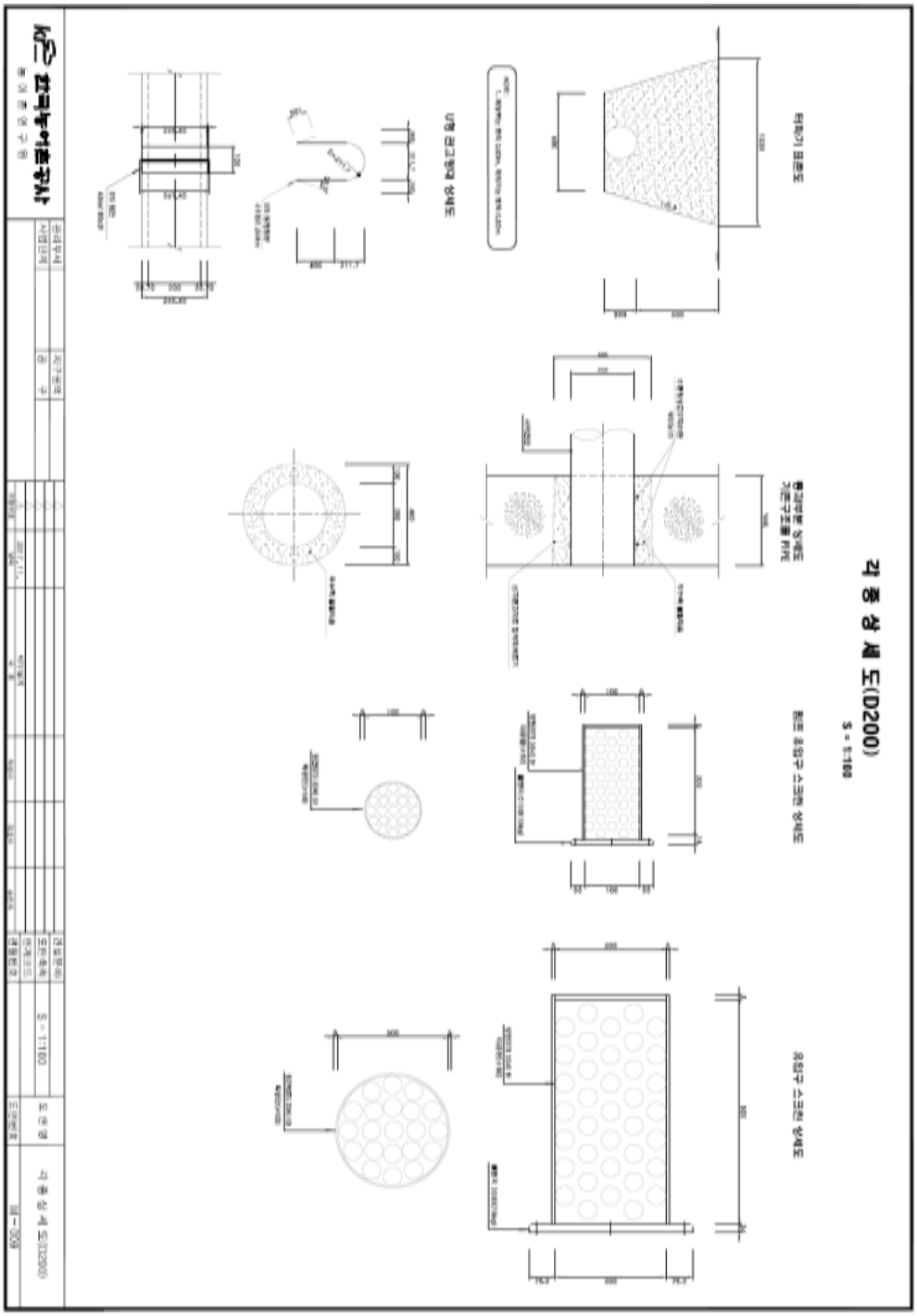
<그림 8-11> 취수시설 사이펀 종·평면도

2) 단면도



<그림 8-12> 취수시설 사이펀 단면도

3) 상세도



<그림 8-13> 취수시설 사이펀 상세도

제2절 취수시설 대체공법 시방서

취수시설 대체공법 시방서는 취수시설 대체공법 사이펀시공에 관련된 공사도급계약서 및 설계도서 등의 내용에 대하여 통일적인 해석 및 운영을 기하고, 기타 필요한 사항을 정하여 계약의 적정한 이행을 보장함을 목적으로 한다. 또한 수량산출서, 일위대가, 내역서등은 취수시설 대체공법 사이폰 공사에 적용할 수 있도록 제시하였다.

대체공법 시방서는 사이펀 관의 재료에 따라 시공방법이 상이하므로 강관시방서와 PE관시방서로 구분하였으며, 강관 시방서의 경우 제작시방서, 설치시방서, 도장시방서로 구분하였다.

대체공법 시방서의 세부내역은 [부록3] 에 수록하였다.

제9장 결론

본 연구과제에서는 전국에 걸쳐 산재되어 있는 17,401개소의 농업용저수지 중 취수시설로 복통이 설치되어 있는 소규모저수지를 대상으로 복통 및 사통을 대체할 수 있는 사이폰 공법의 적용성과 효율성을 분석하고, 설계기준, 시공 및 유지관리방안을 제시하고자 하였으며 사이폰여수로 현장조사, 사이폰취수시설 적용가능지구 선정, 사이폰 취수시설 현장시험시공 및 실내 수리모형실험을 통해 연구가 수행되었다.

본 농업용저수지 취수시설 개선방안 연구성과는 아래와 같다.

○ 농업용저수지 취수시설 및 개보수 현황

농업용저수지의 취수시설에 대한 일반적인 현황을 파악하였으며 농업용저수지의 대부분인 약 97%는 복통과 사통이 설치되어 있으며 복통의 평균직경이 약 0.4m로서 매우 작아 시설에 대한 안전진단 및 개보수시 어려운 것으로 판단되었다.

전국의 농업용저수지에 대한 개보수공법 적용현황을 파악해본 결과 한국농어촌공사의 8개 지역본부에서 시행한 복통 개보수공사에서 RPR, 강관압입추진, SGT브리스공법 등 총 26종에 대해서 다양하게 시행이 되고 있고 단일공법으로 강관압입공법이 30%를 차지하고 있다. 또한, 복합관제작공법류는 32%를 차지하여 대부분을 차지하고 있다.

지역별 복통 개보수공법 적용현황은 RPR공법은 전국적으로 모두 적용되고 있으며 강관압입공법은 7개 지역본부에서 적용되고 있어 지역적으로 가장 널리 사용되고 있었다.

복통의 단면형식별 개보수공법 적용현황을 파악해본 결과 총 15종류의 형식중 원형단면이 대부분이었으며 적용된 개보수공법은 단면형상의 특성상 강관압입공법이 대부분 적용되었다.

○ 농업용저수지 취수시설 문제점 및 대책

제체내부에 복통이 설치된 소규모 농업용저수지에서 시설이 노후화 되었을 경우 토공과 구조물의 접속부를 통한 파이핑 우려가 크고 이를 극복하기 위해 본 연구에서 제시된 사이폰 공법을 각각의 항목에 대해서 비교해 본 결과 시설운영시 복통의 기능(사전방류 및 취수)을 대신할 수 있으며

제체의 내측이 아닌 바깥부분에 설치되어 제체안정에 유리하고 유지관리 및 개보수가 용이하였다. 또한, 최초 작동시 펌프를 통한 기동이 필요하지만 그 이후로는 복통과 마찬가지로 밸브조작에 의해서 작동이 가능하여 큰 차이가 없었다.

사이폰 여수시설이 설치된 13개소의 저수지중 2개소에 대해서 현장조사를 실시한 결과 2개소 모두 홍수시 사이폰 작동으로 인한 방류는 잘 되고 있으나 70년대 중반에 콘크리트재질의 박스형으로 설치되어 사이폰 정지를 위한 공기변(에어벤트)의 작동이 불가능한 상태였다. 특히, 송석지의 경우는 당초에 설치된 3련의 사이폰에 추가적으로 2련을 설치한 경우로서 전면 여수토로 설치하는 것과 비교하여 70%이상 공사비가 절감되었다. 이는 사이폰의 장점을 활용한 사례라고 할 수 있다.

○ 취수시설 사이폰 대체공법 적용성 검토

사이폰공법을 소규모 농업용저수지에 대체 취수시설로 적용할 경우 발생될 수 있는 문제점 및 대책을 검토하였다. 기설복통을 제거한 후 사이폰 시공시 임시 사이폰 방류시설을 설치하여 가배수로 역할을 대체할 수 있었으며, 규모가 큰 여수로 사이폰시설에 작동하는 진동 및 소음에 대해서는 현장시험시공에서는 발생하지 않았다. 또한, 하류 유출부 세굴에 대해서는 유출부 밸브로 유량조절이 가능하고 유입부의 막힘 우려현상은 펌프가동을 통한 공기의 역방향 배출로 제거가 가능할 것으로 검토되었다.

사이폰 대체공법이 적용가능한 지구를 검토하기 위해 사이폰원리에 의한 한계높이를 고려하여 제체높이 10m이하, 총저수용량 10만㎥이하 및 수혜면적 30ha 이내 등의 선정조건을 결정하고 농업용저수지에 대해서 대상지구를 선정한 결과 공사관리 저수지 3,394개소중 1,480개소가 적용가능한 것으로 판단되었다.

또한, 유지관리를 고려한 사이폰 대체공법의 경제성을 검토한 결과 순공사비에서는 39% 절감되었고 유지관리비(관리비+개보수비)를 고려하더라도 27% 더 경제적인 것으로 검토되었다.

○ 사이폰 취수시설 시험시공

사이폰 취수시설을 실제 현장에 적용하기 위해 시험지구 1개소를 선정하여 설계 및 시공을 하였다. 직경 200㎜의 PE수도관을 융착하여 시공

하였다. 시공후 현장에서 작동여부를 테스트한 결과 원활하게 작동이 되었고 제수밸브 개폐도에 따라 개거의 유속을 측정하여 유량을 산출하였다. 설계, 시공 및 유지관리경험을 고려하여 사이폰 취수시설에 대한 9가지의 개선방안을 제시하였다.

○ 실내 수리모형 실험

현장시험시공에 대한 최적의 설계 및 이론적인 기초자료를 제공하고 사이폰 취수장치의 문제점 및 대책을 제시하기 위해 1/4 축척의 수리모형을 제작하여 유량계수 측정, 캐비테이션 발생 여부, 수위별 유출부 형상에 따른 유량변화 등에 대한 실험을 실시하였다.

실험결과 방류구 연장길이는 방류량에 큰 영향이 없으며 방류구의 형상에서는 곡관일 경우 수두차이가 줄어들어 직관에 비해 방류량이 크게 감소하는 결과를 나타냈다. 또한, 1열과 3열로 설치시 각각의 방류량은 큰 차이가 없었다. 유량계수는 직관인 경우 0.47, 곡관인 경우 0.44로 작게 나타났다. 현장과 실내모형실험에서 방류량을 비교한 결과 밸브를 조금 열었을 경우 버터플라이 밸브 후면의 와류현상이 커짐에 따라 오차가 12% 났지만 밸브를 더 열수록 점점 차이가 줄어들어 3% 정도로 감소하였다.

사이폰은 관수로이기 때문에 저수지 수면의 부유물이나 퇴적물이 관내나 입구부 폐쇄시 기능을 수행할 수 없다. 따라서, 유입부 막힘 가능성에 대하여 검토하기 위하여 유입부의 3차원 유속분포실험을 실시하였다.

실험결과 수두차 150㎝(원형 6.0m)에서 유입구에서 20㎝(원형 0.8m) 떨어진 지점의 최대유속은 10㎝/s(원형 0.2m/s)로 미미한 것으로 나타났으며 실제 부유물에 의한 유입부 막힘현상은 수두차가 매우 낮은 상태에서 발생하므로 실제 발생유속은 훨씬 작아 입구부 폐쇄 가능성은 매우 낮은 것으로 분석되었다.

사이폰은 작은 단면적으로 많은 유량을 배출할 수 있는데, 이는 사이폰 작동시 관내의 유속이 매우 빠르기 때문이다. 따라서, 고속의 수류를 용수로로 직접 토출시킬 경우 용수로의 설계유속을 초과하므로 이를 감세할 수 있는 집수정을 설치하고 용수로의 유속을 측정하였다.

사이폰 토출부에 집수정을 설치하고 용수로로 토출시킬 경우 집수정내에서 잠류상태가 되어 감세가 가능하며 용수로에서는 자연유하식으로 유하되므로 용배수로의 표준경사의 최대경사인 1/300보다 큰 1/200 경사에

서도 최대 1.11m/s의 유속이 발생하여 콘크리트 수로의 허용유속인 1.5m/s이내인 것으로 나타났다.

여수로 용도의 사이폰은 고수위의 유량을 배출하는 역할을 수행하나, 취수시설 용도의 사이폰은 만수위에서 사수위의 유량을 언제나 하류로 공급할 수 있어야 하므로, 수위별 방류 가능여부와 사이폰의 초기 작동여부를 실험하였다.

사이폰이 만관된 상태에서는 실험 최대수두차인 170㎝(원형 6.8m)에서 최저 30㎝(원형 1.2m)까지 모든 수위의 범위에서 밸브조작을 통하여 공급이 가능한 것으로 나타났다.

사이폰의 초기작동이 가능한 수위를 알아보기 위하여 하류부 사이폰 관을 1열로 한 경우와 관성력을 증가시키기 위하여 2열로 한 경우, 3열로 한 경우로 구분하여 실험을 실시하였다.

실험결과 1열에서는 105㎝까지 사이폰 초기작동이 가능하였고, 2열로 연결된 조건에서는 85㎝까지, 3열로 연결된 조건에서는 80㎝까지 사이폰 초기작동이 가능하였다.

저수위에서 사이폰의 초기 작동이 어려우므로 이를 보완하기 위하여 진공펌프를 사용하는 방법과 양수펌프의 유입부를 사이폰에 직접연결하는 방법을 추가로 실험하였다. 실험결과 두 경우 모두 수두차와 관계없이 사이폰 작용의 유도가 가능하였으나, 양수펌프의 유입부를 사이폰에 직접연결하는 방법의 경우 초기 작동에 5~10분 정도로 시간이 많이 소요되었다. 그러나, 사이폰의 초기 작동은 연 1회 실시하는 것으로 양수펌프을 사용하는 방법도 충분히 가능할 것으로 판단된다.

따라서, 하류부 관을 2~3열로 하여 사이폰 작용을 유도하는 방법은 효율이 낮으므로 이동식 진공펌프나 양수펌프를 역방향을 설치하여 활용할 수 있도록 할 경우 초기 작동에 대한 문제점은 해결이 가능할 것으로 판단된다.

실제 유지관리를 하는 경우 사이폰 취수시설의 초기작동은 관개기 시작시 사이폰 작동 테스트 및 초기 만관상태를 유지하여야 원활한 용수공급이 가능할 것으로 판단되며, 가뭄으로 저수위가 매우 낮은 상태에서 초기가동이 필요할 경우에는 위와 같은 방법을 활용하여 문제점을 개선할 수 있을 것이다.

○ 취수시설 대체공법 설계 및 시공 지침(안)

저수지 취수시설로의 신규 공법인 사이폰 취수시설을 현장에서 쉽게 설계 및 시공할 수 있도록 설계 및 시공지침(안)을 작성하였다.

현장적용 설계 및 시공지침(안)은 다음과 같은 목차로 구성하였다.

1. 사이폰 원리 : 대체공법의 사이폰 원리에 대한 설명
2. 설계 일반 : 설계시 유의사항, 사이폰 취수시설 적용 대상 저수지 규모

(표 9-1) 사이폰 대체공법 설계지침(안) 적용저수지

구 분	선 정 조 건
저수지높이	제당높이 10m이하(제정표고-사수위, 8m이하)
총저수량	총저수량 10만㎥이하
수혜면적	30ha이하
취수형식	사통과 복통을 연결하여 취수하는 저수지

3. 설계 순서 : 취수시설 구성 및 형식 → 수리계산 → 구조계산
4. 취수시설 구성 : 취수부 - 조절부 - 도수부
5. 취수시설 위치 : 취수시설의 설치위치에 대한 일반적인 조건
6. 수리설계 : 사이폰 수리계산, 사이폰 설계 제한조건 등
7. 구조설계 : 사이폰 관체 설계, 부압에 대한 구조 안정성 검토 등
8. 부대시설 설계 : 유입부 스크린 설계

또한, 설계 및 시공지침(안)의 부록으로 일반적인 소규모 저수지의 표준 제당의 규모를 설정하고, 이에 대한 설계 및 시공도면, 산출내역서를 제시하고, 현장 시공시 사이폰 관의 재료에 따라 강관을 적용할 경우, PE관을 적용할 경우의 시방서를 제시하였다.

참고문헌

1. 여운철. 1994. 사이폰식 물넘이 설계 및 시공사례. (재)한국농지개발연구소
2. 박환철, 2011, 사이폰을 활용한 댐체 안정 및 하휴하천 재해대비방안, 한국수자원학회논문집
3. 김재영, 2013. 농업용저수지 사이폰 설치에 따른 홍수피해 예방효과, 경북대학교
4. 김진식 외. 2015. 저수지 시설의 노후현상과 보수보강공법 적용방안 연구. 농어촌연구원
5. 2015. 마전산묵지구(재해대비) 수리시설개보수사업 설계서, 농어촌공사
6. 2015. 만수지구 개보수사업 설계서, 농어촌공사
7. 2015. 농업생산기반 정비사업 통계연보, 농림축산식품부
8. 농업생산기반정비사업계획설계기준_필댐편. 2002. 농림부
9. 농업생산기반정비사업계획설계기준_관수로편. 2002. 농림부
10. USBR Design of Small dams
11. 수리학 - 기초와 응용, 2013. 윤용남 저

부 록

[부록 1] 현장시험시공 시설물사진첩

[부록 2] 취수시설 대체공법 유지관리 지침

별책부록

1. 취수시설 대체공법 설계 표준도면

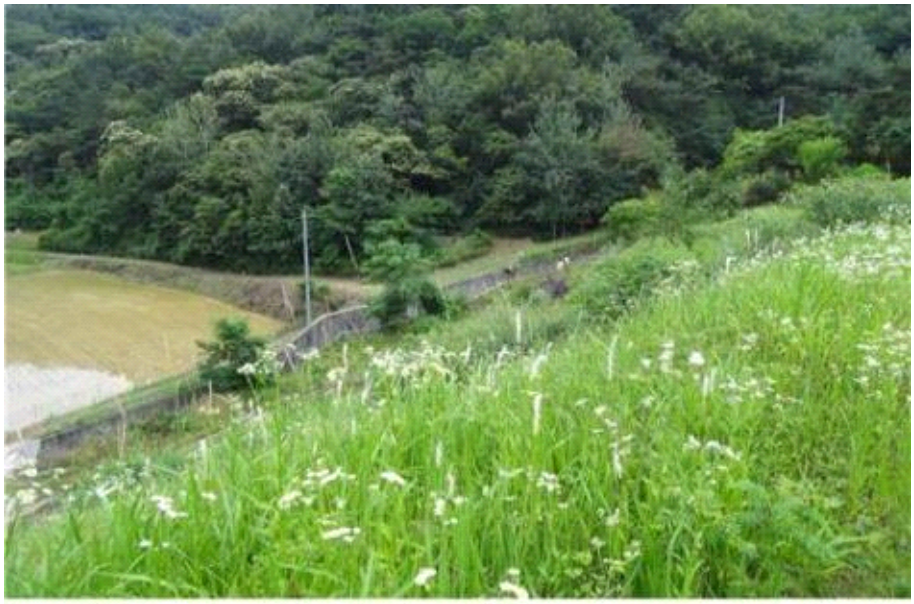
2. 취수시설 대체공법 물량산출서 및 내역서

3. 취수시설 대체공법 시방서

[부록 1] 현장시험시공 시설물사진첩

1. 경북 칠곡군 송산저수지

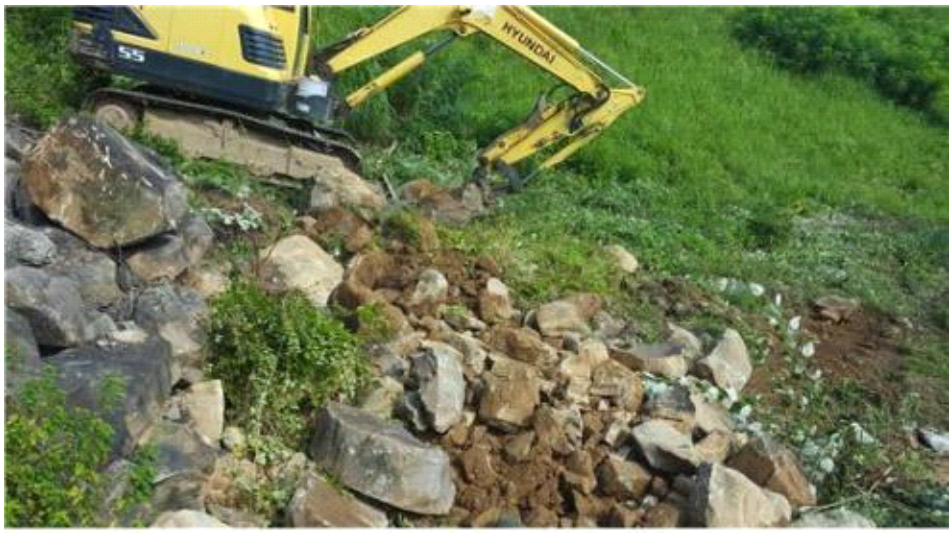
촬 영 일 자	2016. 07.
촬 영 내 용	제체 시공전



촬 영 일 자	2016. 07.
촬 영 내 용	토출부 시공전

촬 영 일 자	2016. 07.
촬 영 내 용	PE 관 자재 현장 입고

촬 영 일 자	2016. 07.
촬 영 내 용	PE 관 부속자재 현장 입고



촬 영 일 자	2016. 07.
촬 영 내 용	토출부 터파기

촬 영 일 자	2016. 07.
촬 영 내 용	제당 경사부 터파기

촬 영 일 자	2016. 07.
촬 영 내 용	PE관 버트융착

촬 영 일 자	2016. 07.
촬 영 내 용	PE 관 설치

촬 영 일 자	2016. 07.
촬 영 내 용	제수밸브 보호통 설치

촬 영 일 자	2016. 07.
촬 영 내 용	유출부 설치

촬 영 일 자	2016. 07.
촬 영 내 용	유출부 설치후 되메우기 완료

촬 영 일 자	2016. 07.
촬 영 내 용	제당부 배관 및 펌프, 밸브설치

촬 영 일 자	2016. 07.
촬 영 내 용	유입부 스크린등

촬 영 일 자	2016. 07.
촬 영 내 용	유입부 관 고정 및 설치완료

촬 영 일 자	2016. 07.
촬 영 내 용	전원장치 기초 설치

촬 영 일 자	2016. 07.
촬 영 내 용	전원장치 및 대체공법 설치 완료

촬 영 일 자	2016. 08.
촬 영 내 용	압력 계측1

촬 영 일 자	2016. 08.
촬 영 내 용	압력 계측2

촬 영 일 자	2016. 08.
촬 영 내 용	유속 계측

2. 충북 괴산군 신후평저수지

촬 영 일 자	2017. 07.
촬 영 내 용	제체 시공전

촬 영 일 자	2017. 07.
촬 영 내 용	토출부 시공전

촬 영 일 자	2017. 07.
촬 영 내 용	PE 관 자재 현장 입고

촬 영 일 자	2017. 07.
촬 영 내 용	PE 관 부속자재 현장 입고

촬 영 일 자	2017. 07.
촬 영 내 용	토출부 터파기

촬 영 일 자	2017. 07.
촬 영 내 용	제당 경사부 터파기

촬 영 일 자	2017. 07.
촬 영 내 용	PE관 버트융착

촬 영 일 자	2017. 07.
촬 영 내 용	PE 관 설치

촬 영 일 자	2017. 07.
촬 영 내 용	제수밸브 보호통 설치

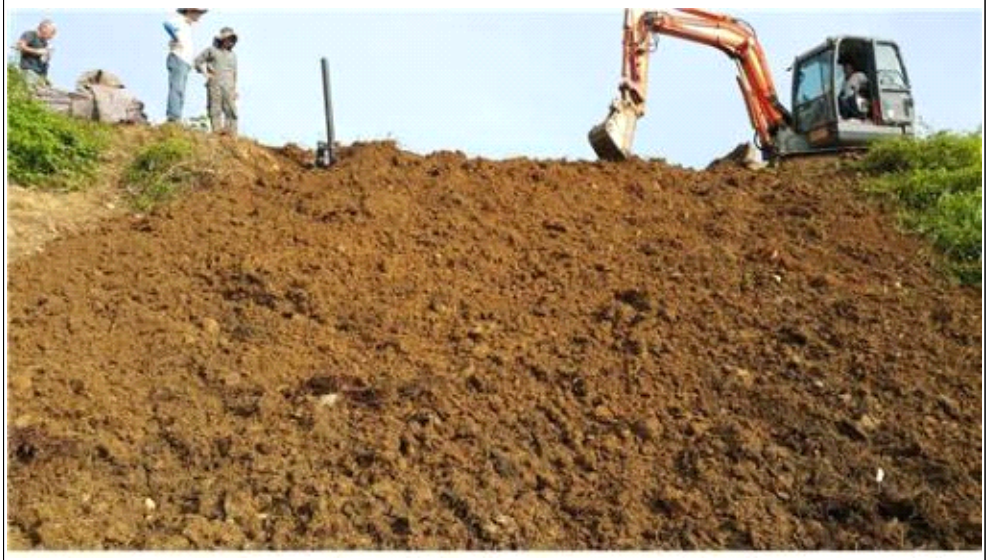
촬 영 일 자	2017. 07.
촬 영 내 용	유출부 설치

촬 영 일 자	2017. 07.
촬 영 내 용	유출부 설치후 되메우기 완료

촬 영 일 자	2017. 07.
촬 영 내 용	제당부 배관 및 펌프, 밸브설치

촬 영 일 자	2017. 07.
촬 영 내 용	유입부 스크린등

촬 영 일 자	2017. 07.
촬 영 내 용	유입부 관 고정 및 설치완료



촬 영 일 자	2017. 07.
촬 영 내 용	경사부 되메우기

촬 영 일 자	2017. 07.
촬 영 내 용	펌프, 에어벤트, 계측기 외함 설치완료

촬 영 일 자	2017. 08.
촬 영 내 용	압력 계측1

촬 영 일 자	2017. 08.
촬 영 내 용	압력 계측2

촬 영 일 자	2017. 08.
촬 영 내 용	유속 계측1

촬 영 일 자	2017. 08.
촬 영 내 용	유속 계측2

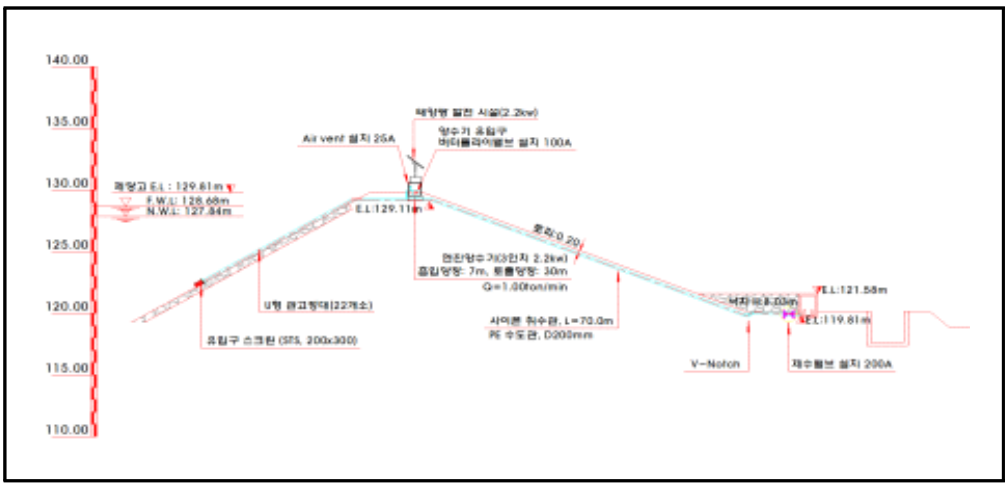
[부록 2] 취수시설 대체공법 유지관리지침

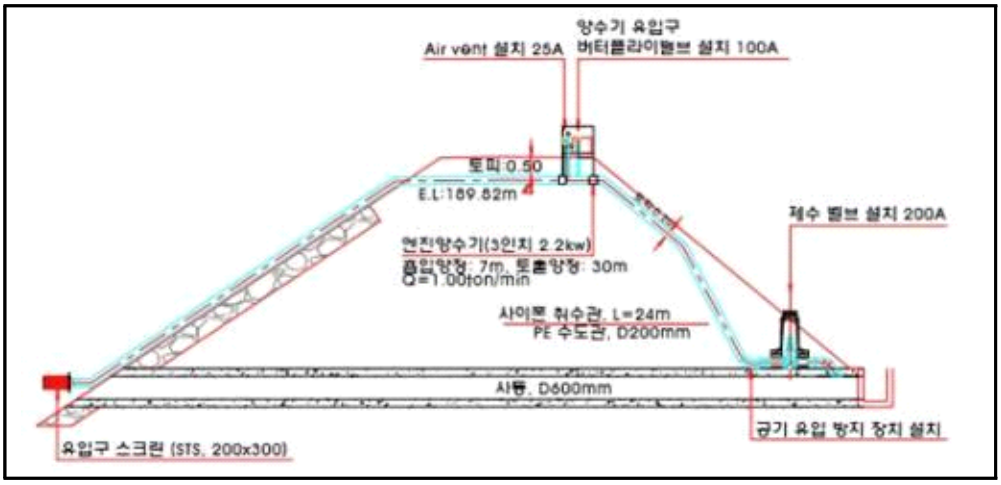
1. 목 적

저수지 취수시설인 복통을 대체할 수 있는 사이폰 현상을 이용한 취수시설 대체공법 실용화를 위해 시험시공 현장에 설치한 사이폰 취수시설의 효과적인 유지관리 방법을 제시하여 현장에서 손쉽게 사이폰 취수시설을 운영할 수 있도록 하는데 목적이 있음

2. 사이폰 사양 및 작동원리

가. 사양 및 각부 기능





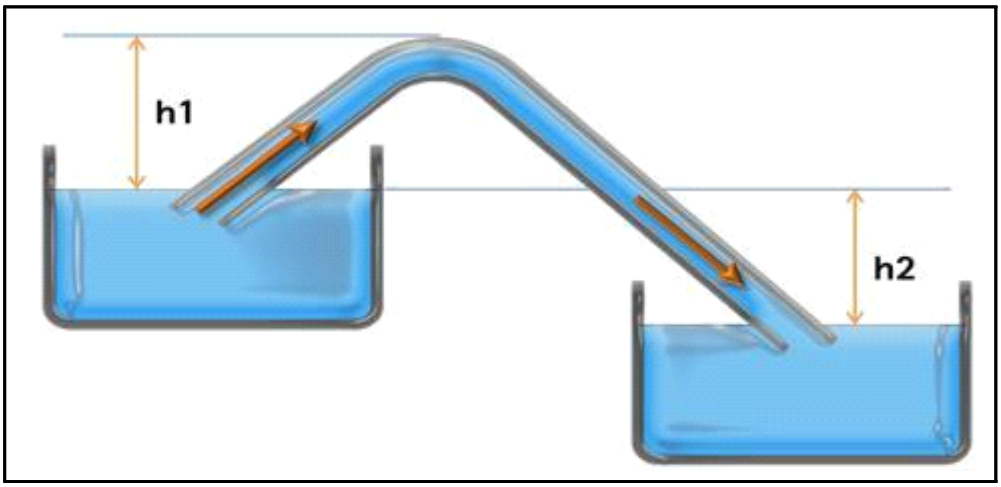
사이폰 단면도(상 송산지, 하 신후평지)

사이폰 사양 및 기능

구 분	규 격	주요 기능
사이폰	- 직경: D200㎜ - 재질: PE수도관	-D200㎜, 만수위시 0.103㎥/s 방류
전동 양수펌프	- 직경: D75㎜ - 전동식, 2kw,1.0ton/min	- 초기 사이폰 현상을 유발시키기 위한 유량 공급 장치
에어밸브	- 직경: D75㎜ - 밸브 25A	- 외부공기를 개폐하는 역할 - 에어벤트 열기 : 사이폰 멈춤 - 에어벤트 닫음 : 사이폰 작동
제수밸브	- 직경: D200㎜ - 밸브 200A	- 사이폰의 작동 및 방류량을 조절하는 역활
태양광	- 500w, 배터리12v - 인버터 8.5Kw	- 전동 양수펌프 전원 공급 장치

나. 사이폰 작동원리

관이 진공상태일 때 대기압에 의해 물을 h1(10m)까지 올릴 수 있다는 토리첼리의 정리에 따라 h2의 수두차를 이용하여 방류한다. 저수지에 사이폰 현상을 유발하도록 제당 위로 관을 거치 또는 설치하여 방류하는 공법이다.

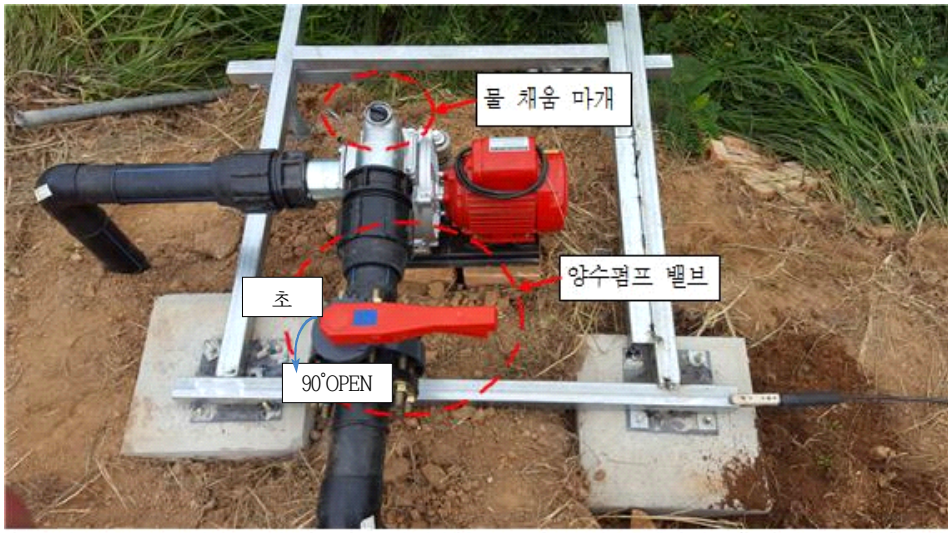


3. 작동 방법 및 운영

가. 사이폰 작동

1) 송산저수지 초기 작동방법

1단계 :양수펌프 물채움 및 양수펌프 밸브 OPEN 90°



2단계 : 에어밴트 볼밸브 OPEN

3단계 : 제수밸브 CLOSE

4단계 : 컨트롤러 전원버튼(녹색) ON / 차단기 ON

5단계 : 볼밸브로 물 배출이 없어짐을 확인후 밸브 CLOSE

6단계 : 컨트롤러 OFF / 양수펌프밸브 CLOSE

7단계 : 제수밸브 OPEN후 압력계확인 / 사이폰 만관작동

사이폰 멈춤 : 에어밴트 볼밸브 OPEN

2) 신후평저수지 초기 작동방법

1단계 : 양수펌프 물채움 및 양수펌프 밸브 OPEN 90′

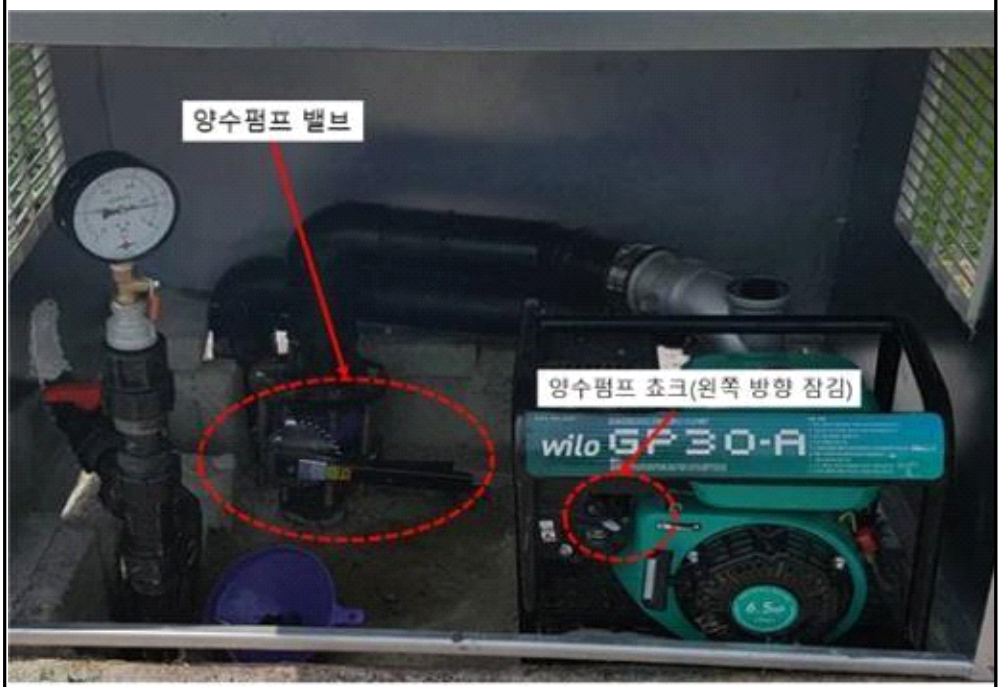
2단계 : 에어밴트 볼밸브 OPEN

3단계 : 제수밸브 CLOSE

4단계 : 양수펌프 시동 => 손잡이 당김

5단계 : 함외측 에어밴트로 물 배출이 없어지면 함내측 볼밸브 CLOSE

사이폰 작동 6단계 (양수펌프 쵸크 잠금 / 양수펌프 밸브 CLOSE 0‘)



7단계 : 제수밸브 OPEN후 부압계확인 / 사이폰 만관작동

사이폰 멈춤 (에어밴트 볼밸브 OPEN)

나. 사이폰 운영

○ 사이폰 취수시설은 관개기 시작시기(3월중) 초기 년1회 취수가 가능하도록 가동시킨 후 토출부 제수밸브의 조작으로 상시운영

○ 관개기가 종료(겨울철)되면 에어밴트 밸브를 OPEN하여 사이폰 작동중지 및 양수펌프내 토출마개를 OPEN하여 펌프내 채움물 배출(사이폰 관내 동파방지)

다. 사이폰 점검

○ 사이폰 취수시설은 홍수대비 목적이 아닌 농업용수 취수가 주기능임을 감안하여 점검시기는 농업용수 공급 이전인 1/4분기 중 밸브 및 양수펌프의 작동상태를 점검 필요

○ 점검방법은 밸브류(제수밸브, 에어벤트)의 완벽한 100% 열림, 닫힘 상태, 펌프기동상태를 확인 및 점검

○ 초기상태 확인

- 바이패스 : 닫힘, 에어벤트 : 열림을 확인
- 양수펌프 기동 여부를 확인

라. 사이폰 유입구 이물질 제거방법

○ 에어밴트 볼밸브 및 제수밸브 CLOSE

○ 양수펌프 밸브 OPEN 및 양수펌프 시동ON

○ 부압계(압력변화) 확인

→ 사이폰 관에 물이 채워지면서 관의 공기가 압축된다.

○ 양수펌프 시동OFF 및 양수펌프 밸브 CLOSE

○ 에어밴트 볼 밸브개방

→ 볼 밸브를 개방하면 관내 압축공기가 개방한 볼밸브 및 유입부로 배출되면서 유입부의 이물질이 배출

마. 시설물의 관리

○ 각종 시설의 자물쇠, 열쇠는 보안담당자 또는 관리자 책임 하에 시건장치 함을 만들어 항시 사용 가능하게하고 수시로 관계자는 그 점검을 실시하여 시설물 보안에 만전을 기한다.

참 여 연 구 원

목 차	소속	참여자
1장 서론	농어촌연구원	이태호 전상옥
2장 농업용저수지 취수시설 개보수 현황	농어촌연구원	양영진 허 준
3장 농업용저수지 취수시설 문제점 및 대책	농어촌연구원	이태호, 양영진 오승환
4장 취수시설 사이폰 대체공법 적용성 검토	농어촌연구원	이태호, 양영진 전상옥
5장 취수시설 사이폰 대체공법 시험시공	㈜에스티아이씨앤디	문정은, 이상진 이광호
6장 대체공법 실내수리모형 실험	농어촌연구원	장은철, 양영진 정재상
7장 결론	농어촌연구원	이태호, 양영진 전상옥

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부로부터 연구비를 지원받아 한국농어촌공사 농어촌연구원에서 수행한 연구보고서입니다.

2. 이 보고서의 내용은 연구원의 공식견해와 반드시 일치하는 것은 아닙니다.

■ 발 행 처

연구과제명 : 재해대비 농업용저수지 취수시설 개선(Ⅱ)	
발 행 일	2017. 12
발 행 인	장 중 석
발 행 처	한국농어촌공사 농어촌연구원
주 소	경기도 안산시 상록구 해안로 870
	전 화 031 - 400 - 1805
	FAX 031 - 409 - 1794

■ 이 책의 내용을 무단 전재하거나 복사하면 법에 저촉됩니다.
단, 이 책의 출처를 명시하면 인용이 가능합니다.