

사이펀흐름 수리구조물의 활용 사례 소개

introduction



문 정 은

에스티아이씨앤디 상무
moonce@stikorea.co.kr



이 광 호

에스티아이씨앤디 부장
siphon@stikorea.co.kr



홍 기 원

에스티아이씨앤디 대표이사
stikorea@stikorea.co.kr

1. 서론

최근 지구온난화로 인한 이상기후로 국지성 집중호우나 돌발홍수 등이 빈번하게 발생하고 있으며 기존 여수로의 설계 홍수량을 뛰어넘는 큰 홍수의 발생으로 여수로의 홍수배제능력이 부족한 실정이다. 근래 국내에서 홍수배제능력을 증대시키기 위해 송석저수지, 미호저수지, 하동저수지, 우목저수지 등에 사이펀 여수로를 도입하여 여수로의 방류능력을 향상시킨 사례가 있으며 만수위 이하에서도 사이펀 흐름으로 방류가 가능하므로 사전방류 및 비상방류 목적으로 도입한 사례도 있다(정재상 외 3명, 2018). 사이펀 흐름의 수리구조물은 사이펀 여수로를 비롯하여 사이펀 취수시설(이태호 외 3명, 2017) 및 사이펀 비상방류

시설, 사이펀 지하수 방류시설 등 다양한 용도로 활용되고 있으며 특히 최근 긴급 재해대비 시설로 이동식 사이펀 긴급방류시설의 활용성이 높게 평가되고 있다(문수진 외 4명, 2023).

사이펀 흐름 수리구조물의 가장 큰 특징은 상대적으로 적은 공사비로 그림 1과 같이 제체나 구조물 상부에 관로를 설치하여 별도의 동력없이 수위차를 이용하여 자연유하 방식으로 방류할 수 있다는 것이다. 본 고에서는 사이펀 흐름의 수리구조물의 종류와 사이펀 유발 원리, 실제 적용 사례를 소개하고자 한다.

2. 사이펀흐름 수리구조물 개요

2.1 사이펀흐름 수리구조물 분류 및 특징

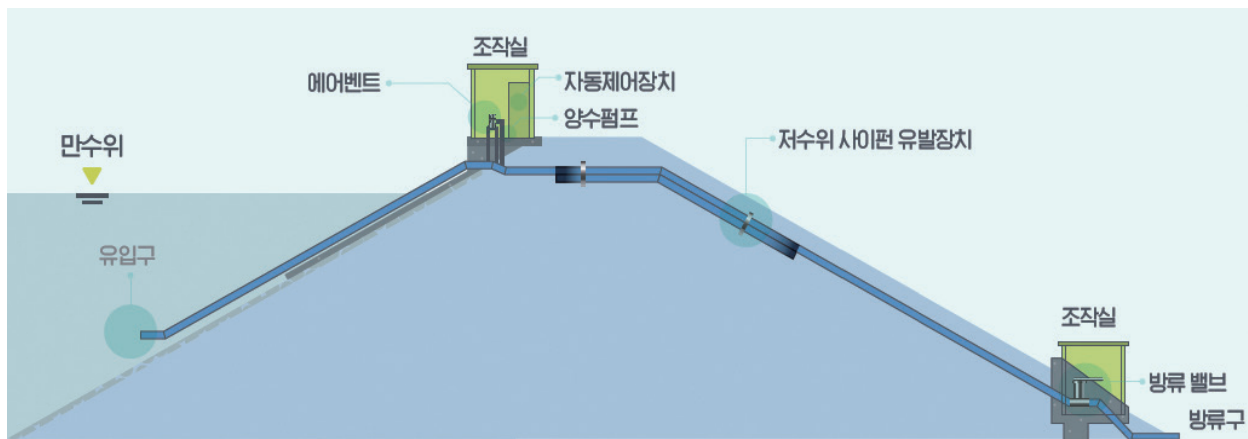


그림 1. 사이펀 취수/비상방류시설 개념도

사이펀흐름 수리구조물은 그 용도에 따라 표 1과 같이 사이펀 여수로, 사이펀 취수시설, 사이펀 비상방류시설 및 이동식 사이펀 긴급방류시설로 나뉠 수 있다.

에스티아이씨앤디에서는 2009년 이후로 사이펀 관련 기술을 개발하고 사이펀흐름 수리구조물을 설계, 시공해오고 있다. 당사가 설계, 시공한 사이펀 수리

구조물을 적용한 저수지명과 사이펀관 직경을 표 1에 나타냈으며 당사 자료를 바탕으로 용도에 따른 사이펀흐름 수리구조물을 분류하고, 각각의 사이펀흐름 수리구조물의 사이펀관 직경 및 1련 방류량, 사이펀 유발 방식 등의 항목으로 정리하였다.

표 1. 사이펀 흐름 수리구조물 분류

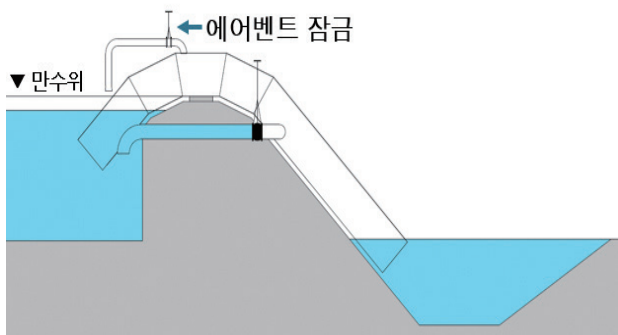
항목	사이펀 여수로	사이펀 비상방류시설	사이펀 취수시설	이동식 사이펀 긴급방류시설
사이펀 유발 방식	공기 혼입/연행에 의한 사이펀관내 음압 발생	방류밸브 개방 및 방류관 물배출에 따른 사이펀관내 음압발생		
사이펀 관 직경 (m)	1.0 ~ 3.0	0.3 ~ 1.0	0.2 ~ 0.3	0.25
사이펀 1련 방류량 (톤/초)	4.50 ~ 49.5	0.33 ~ 4.50	0.13 ~ 0.33	0.21
적용 저수지명 (직경m)	지평(1.3) 송석(1.6) 대가(2.0) 우목(1.5, 2.0) 미호(2.7, 3.0) 하동(3.0) 등	사호(0.3), 산턱골(0.3) 용하(0.3) 사산(0.45) 황청(0.35, 0.45) 왕암(0.6) 등	삼당(0.2) 대야(0.2) 성비(0.2) 추동(0.25) 단석(0.3) 월현(0.3) 등	낙생(0.25) 도리(0.25) 봉곡(0.25) 영수(0.25) 장산(0.25) 화산(0.25) 등

표 2. 사이펀 흐름 수리구조물의 장단점

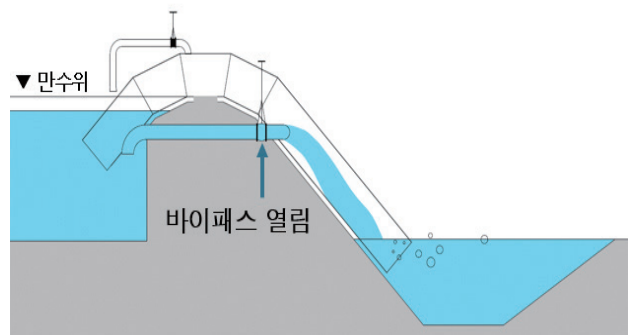
	항 목	내 용	설 명
장 점	유지 관리 및 개보수	개보수 용이	• 제체 손상 없음
			• 물빠지기, 가물막이 불필요
			• 공사기간 1주 소요 (공장 제작 후 현장 조립)
		유지관리 최소	• 밸브 외 동작부 없음 → 유지관리 최소화
			• 육상 보수/교체 가능 → 유지관리 용이
			• 유입구 막힘 해소 (펌프가압, 분리/교체 용이)
		취수/방류량 조절 용이	• 사이펀 연수 증가로 취수/방류 수량 조절
			• 기존 방류시설 활용 및 비용 최소화
	재해 대비	비상방류	• 사전방류 가능으로 홍수저류용량 확보, 치수능력 증대
		이동식 방류	• 재난지역 긴급설치(5시간내)로 재해 대응
단 점	저수위 취수	취수깊이 제한	• 최대 취수 깊이 8m 제한 (공동발생)

표 2는 사이펀흐름 수리구조물의 장단점을 나타낸다. 사이펀 흐름 수리구조물은 대기압보다 낮아지는 영역이 존재하는 관수로로서 관과 밸브로 구성되는데 밸브의 움직이는 동작부가 없어 고장이 없으며 유지관

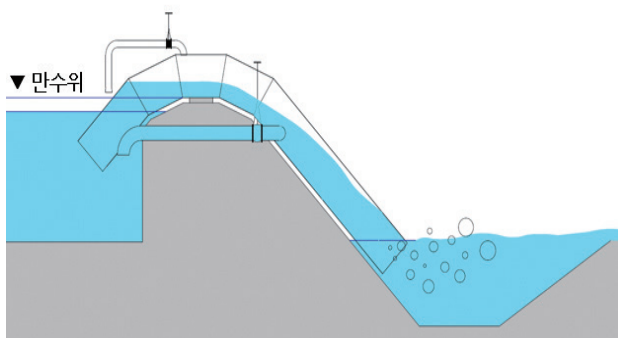
리가 용이하다. 특히 관경이 작고 저수위까지 유입구가 내려가 있는 사이펀 취수시설은 저수지의 침전물로 유입구가 막히는 사례가 종종 발생한다. 이 경우, 방류 밸브를 닫고 펌프로 가압하여 유입구에서 역세 흐름을



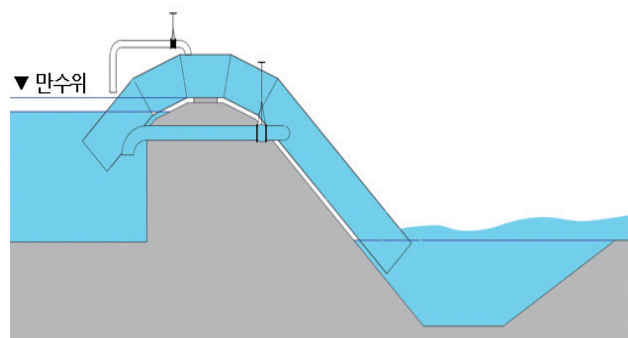
(a) 사전방류전 초기상태



(b) 사이펀 관내 공기배출 시작



(c) 음압발생으로 관내 수위 증가



(d) 사이펀 흐름 형성

그림 2. 공기흡입/연행의 사이펀 유발 방식

만들어 유입구 막힘을 손쉽게 해결할 수 있다. 저수지 수위가 낮아져 취수 깊이가 커지면 사이펀흐름 수리구조물 내부에 더 큰 음압이 발생하는데 음압이 너무 커지면 공동현상이 발생하여 사이펀 흐름을 유지할 수 없게 되고 이러한 이유로 최대 취수 깊이가 제한되는 단점이 있다.

2.2 사이펀 작동 원리

당사에서 설계하는 사이펀흐름 수리구조물의 사이펀 유발방식은 두가지로서 그림 2, 그림 3에 나타났다.

그림 2는 사이펀 여수로 사전방류시 사이펀 유발방식을 설명하는데 방류구에 밸브가 없는 것으로 구별된다. 유입구 및 방류구가 물에 잠겨있는 상태에서 에어벤트 밸브를 잠금으로서 사이펀관 내부를 외부 대기와 단절시키고 닫힌 공간을 만들게 된다. 그 후 바이패스 밸브를 열면 바이패스를 통과한 물이 하류 수조의 물과 충돌하면서 사이펀관 내부의 공기가 물에 혼입되고 방류흐름과 함께 외부로 공기가 빠져나가는 공

기연행이 발생한다(그림2 b). 이러한 현상이 지속되면 사이펀 관 내부의 공기가 빠져나가 음압이 형성되면서 사이펀 관내 수위가 상승하고 그림 2 c와 같이 사이펀 목부를 넘는 흐름이 나타난다. 이후 더 많은 유량이 수조의 물과 충돌하며 더 많은 공기가 빠져나가게 되고 최종적으로 압력관수로의 사이펀 흐름을 형성하게 된다. 수조의 물과 충돌하는 유량이 많을수록 충돌 속도가 클수록 공기혼입 및 공기연행이 많이 발생하며 빠르게 사이펀을 유발할 수 있다.

그림 3은 사이펀 비상방류시설, 취수시설, 이동식 긴급방류시설에서 사용되는 사이펀 유발방식을 설명한다. 이 방식은 방류밸브와 양수펌프가 있는 것으로 구별된다. 유입구가 저수지에 잠겨있는 상태에서 에어벤트를 열고 방류밸브를 닫은 후 양수펌프를 가동하여 사이펀 관에 저수지의 물을 넣으면 방류관이 물에 가득차게 된다. 이후 더 많은 물을 넣으면 목부를 넘어 유입관으로 흘러서 저수지로 들어가게 되고 그림 3 a와 같은 상태가 된다. 이후 에어벤트를 닫아 외부 대기

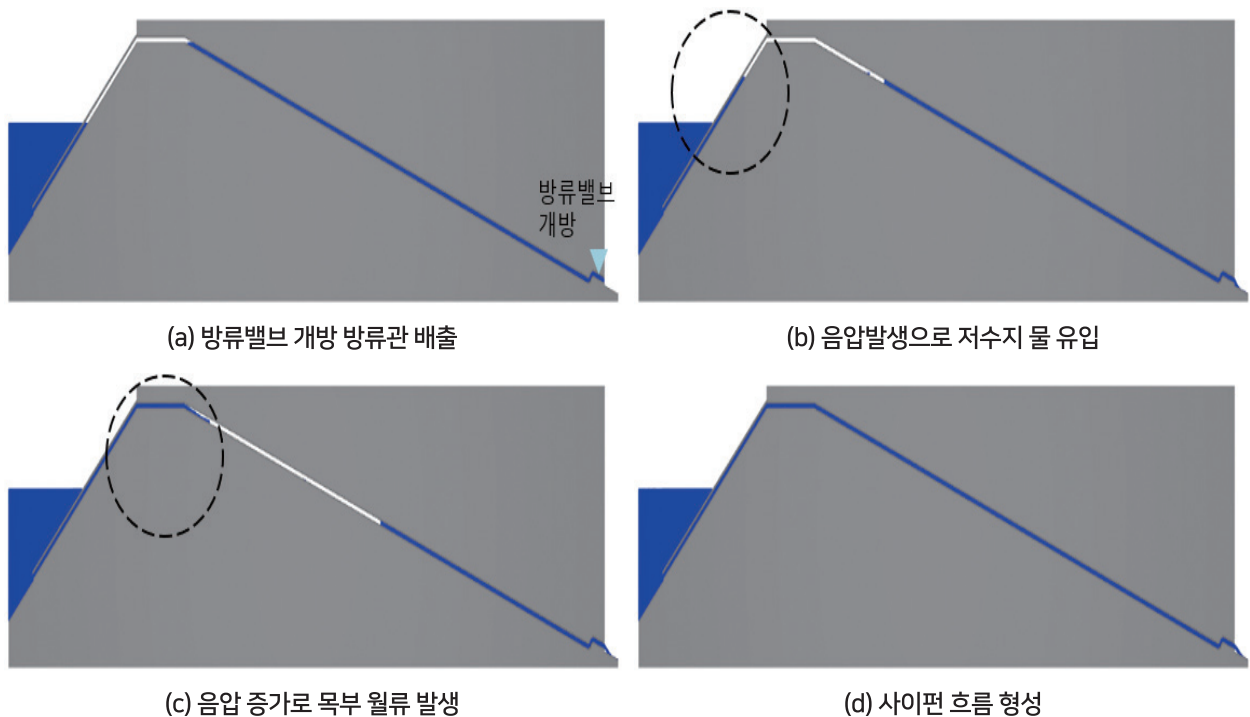


그림 3. 방류밸브 개방 및 방류관 배출의 사이펀 유발 방식

와 단절시키고 방류밸브를 열면 방류관의 물이 자중에 의해 외부로 빠져나가며 관내 음압을 형성하게 되고 그에 따라 유입구를 통해 저수지의 물이 들어오게 된다(그림3 b). 방류관의 물이 연속적으로 빠져나가며 음압이 증가하면 유입구를 통과한 물은 사이펀 목부를 넘어가고(그림3 c) 이후 사이펀 흐름을 형성하게 된다. 이 방식은 저수지의 수위가 높을수록 방류관의 길이가 길수록 사이펀 유발이 용이하게 된다.

3. 사이펀흐름 수리구조물 활용 사례

3.1 사이펀 여수로 활용 사례

그림 4는 미호지와 우목지 사이펀 여수로 방류 사례를 나타낸다. 미호지 사이펀 여수로는 직경 3.0m*17련, 2.7m*1련, 0.7m*2련으로 구성되어 있으며 2014년 12월에 준공되었다. 2017년 7월 16일 청주 기상대 관측 290.2mm의 집중 호우 발생하고 이후 미호지 수위가 급격히 상승하여 오후 1시, 만수위(EL.61.0m)보다 낮은 수위 EL. 60.84m에서 관경 0.7m 사이펀(3.0톤/초)*2련으로 사전방류를 시작하였다. 오후 4시반경, 수위가 EL. 61.12m로 상승하여 관경 2.7m 사이펀(55톤/초)을 추가로 방류하기 시작하였다. 이후 오후 8시경, 만수위 이하로 수위가 감소하였으며 다

음날 7월 17일 오후 2시에 사이펀 방류를 중지하였다. 사이펀 최대 방류량 61톤/초, 저수지 최고수위는 EL.61.12m를 기록하였다.

우목지 사이펀 여수로는 직경 2.0m*2련, 1.5m*1련으로 구성되어 있으며 2020년 12월에 준공되었다. 그림 4 b는 2020년 9월 4일 우목지 직경 2.0m 사이펀(25.5톤/초)을 시험방류한 사진으로 사이펀에서 방류된 유량은 넓게 퍼지며 정수지로 흘러들어가 안정적으로 하류로 방류되는 모습을 나타낸다.

3.2 사이펀 취수/비상방류시설 활용 사례

삼당소류지 사이펀 취수시설은 직경 200mm, 길이 64m의 사이펀 관로로 2021년 3월에 준공하였다. 그림 5에 나타난 것과 제체 상단부터 제외지 영역의 사이펀 관로는 동결심도 깊이로 매설하고 기존의 복통 출구로 방류되도록 설치하였다. 제체 위로 관로를 매설하므로 노후된 제체를 훼손하지 않고 취수시설로서의 기능을 원활히 수행하고 있다.

왕암저수지 사이펀 비상방류시설은 직경 600mm, 길이 74m의 사이펀 관로로 최대 방류량은 1,72톤/초이며 2022년 9월에 준공하였다. 그림 6에 나타난 것과 제체 상단부터 제외지 영역의 사이펀 관로는 동결심도 깊이로 매설하고 여수로 정수지 직전 도류부에 방

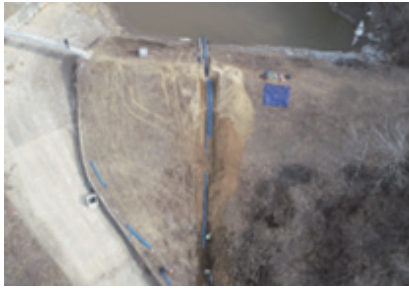


(a) 미호지 사전방류(2017년 7월)



(b) 우목지 시험방류 (2020년 9월)

그림 4. 사이펀 여수로 방류 사례



사이펀 취수시설 시공



사이펀 취수시설 시공 완료



방류

그림 5. 삼당소류지 사이펀 취수시설 설치 사례



그림 6. 왕암저수지 사이펀 비상방류시설 설치 사례



그림 7. 아곡저수지 사이펀 비상방류시설 설치 사례

류하도록 설치 하였다.

아곡저수지 사이펀 비상방류시설은 직경 200mm, 길이 30m의 사이펀 관로로 최대 방류량 0.11톤/초이며 2021년 11월에 준공하였다. 그림 7에 나타난 것처럼 유입부에서부터 측벽 상단을 따라 설치하였으며 정수지 시작부분에 방류되도록 설치하였다. 여수로 측벽상단에 설치되므로 매설되는 부분이 없어 제체에 무관하게 설치가 가능하다.

3.2 이동식 사이펀 긴급방류시설 활용 사례

그림 8과 그림 9는 이동식 사이펀 긴급방류시설 적용사례를 나타낸 것이다. 길이 3.5m의 고압호스 양단에 킥커플러(캠록)를 적용한 여러 개의 관을 조립하여 사이펀 관로를 설치할 수 있도록 하였으며, 저수지 수심 정보가 없어도 사이펀관로의 설치가 용이하도록 유입구 부근에 부유체를 장착하였다. 화산저



그림 8. 화산저수지 이동식 사이펀 긴급방류시설 설치 사례



그림 9. 장산저수지 이동식 사이펀 긴급방류시설 설치 사례

수지(그림 8)의 경우 수면 EL.115.42m에서 제체상단 까지 6.2m의 높이차이고 방류구는 수면보다 낮아야 하므로 사이펀 관로의 길이가 길어져 총 17개의 관 을 조립하여 설치하였다. 장산저수지(그림 9)는 수면 EL.212.86m에서 제체상단까지 2.64m로 총 10개의 관을 조립하여 설치하였으며 설치 소요시간은 2시간 반으로 짧았다. 이동식 사이펀 긴급방류시설은 타 사이펀호름 수리구조물과 달리 조립 설치 및 이동이 가능하고 최소 시간에 설치, 가동이 가능하다는 장점이 있다.

4. 맺음말

이상으로 사이펀호름 수리구조물의 개요와 특징, 활용사례를 살펴보았다. 사이펀호름 수리시설물은 큰 토목공사없이 제체나 구조물의 상부로 사이펀 관로를 설치하므로 설치에 제약이 없고, 상하류 수두차에 의한 유속이 형성되므로 작은 단면적으로 많은 유량을 배출할 수 있으며 사전방류가 가능한 수리구조물로서 그 활용성이 높다고 할 수 있다. 지구 온난화로 인한 이상기후로 여수로의 설계 홍수량을 뛰어넘는 큰

홍수가 발생하고 있어 기존 여수로의 홍수배제능력이 부족한 실정이다. 특히 국내 중소형 저수지의 상당 부분이 노후된 저수지이므로 제체 손상없이 홍수배제능력을 키울 수 있는 사이펀흐름 수리구조물을 중소형 저수지의 치수능력확대 사업에 활용하는 것이 바람직 하리라 생각한다.

참고문헌

정재상, 장은철, 장정렬 (2018) 공기량 조절용 Air

Slot이 설치된 사이펀 여수로의 방류량 예측식 개발, 한국농공학회 학술대회 초록집, 2018권 133

문수진, 정창삼, 최병한, 김승욱, 장대원 (2023) 이상기후대비 노후저수지 홍수 대응을 위한 사전방류 기술개발 및 평가, 한국수자원학회 논문집, v.56 no.11, pp.775 - 784

이태호, 양영진, 장은철, 허준 (2017) 재해대비 농업용 저수지 취수시설 개선연구, 한국농공학회 학술대회 초록집, 2017권 p48