

수리시설의 효율적인 운영 및 관리를 위한 저수지 사통수문개발 Development of Reservoir's gate for efficient operation and control of facilities

정광근*, 이광야**, 김해도***

Kwang Kun Chung, Kwang Ya Lee, Hae Do Kim

요 지

지구온단화와 이상기후에 의해 시설물 피해가 나날이 증가하고 있으며, 농촌의 인구감소 및 고령화에 의해 이러한 집중강우등에 대한 대처도 어려운 실정이다. 현재 전국에서 농업용수 공급을 위해 사용하고 있는 농업용 저수지는 17,882개소로서 이 중 축조한지가 35년 이상 경과된 저수지가 15,856개소로서 88.7%나 차지하고 있다. 이러한 현상은 저수지를 구성하고 있는 각종 부대시설의 노후화로 귀결되며 농업용수의 낭비 및 효율적인 운영을 위해서는 시설의 현대화가 필수적이라고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 저수지에서 물을 직접 공급하는 시설인 사통수문을 대상으로 현대화를 이룩하고 또한 사용동력도 대체에너지를 이용하기 위한 방안을 제시하였다. 사통수문의 수문비는 수중의 압력을 효율적으로 분산시킬 수 있는 원형수문비와 수중에서도 사용동력을 가장 적게 할 수 있는 밸브형을 기준으로 개발을 하였으며, 수문비와 구동부를 연결하는 작동 룯드의 힘전달을 최소화하기 위하여 유니버설 조인트를 볼밸브형으로 개발하였다. 이에 따라서 작동용 룯드의 길이가 길어져도 수문비에 걸리는 작동모멘트를 최소화하여 태양광을 이용한 동력사용이 가능해졌다. 특히 수중에서 움직이는 특성을 감안하여 원형 수문비의 경우에는 수문비와 수문틀 사이에 마찰력을 감소시키기 위하여 수문틀측을 약간 경사지게 가공을 하고 중간에 볼 베어링을 부착시켜 수문개폐가 원활토록 지수부의 구조변화를 하였다. 또한 농업용수공급시 수류와 함께 유입되는 저수지 내 오물을 차단하기 위하여 수문의 전면에 스크린을 설치하였으며 토사퇴적으로 인하여 수문 작동의 방해가 되지 않도록 하기 위하여 토목구조물을 설치하였다. 그리고 동력전달을 효율적으로 하기 위하여 Solar Unit으로부터 나오는 전기를 충전기에서 밧데리로 축전을 시키고 완전 충전 후에는 나머지 전기는 방전이 되도록 회로를 구성하였다. 사통수문 자원조사 결과에 의하면 현재 저수지에 물공급을 하는 수문은 취수탑 형식이 70% 이상을 차지하고 있으며 나머지 30%의 사통수문 중 원형수문비가 98% 이상을 차지하고 있다. 현재 대체에너지를 사용하는 저수지 사통수문은 없는 것으로 조사되었으며 전력을 사용하는 사통도 조사결과에 의하면 20% 이내로 나타났다. 이러한 결과는 향후 수리시설 개보수시 적은 예산으로 사업을 시행하는 경우 사통수문의 설치방향의 지표가 될 것으로 판단되며 수리시설의 운영·관리에 대한 새로운 대안으로 제시할 수 있다.

핵심용어 : 저수지 사통수문, 태양광, 밸브, 유니버설 조인트, 룯드 암

Key words : Reservoir's gate, Solar energy, Valve, Universal joint, Rod-arm

* 정회원 한국농촌공사 농어촌연구원 E-mail : kkchung@ekr.or.kr

** 정회원 한국농촌공사 농어촌연구원 E-mail : kylee@ekr.or.kr

*** 정회원 한국농촌공사 농어촌연구원 E-mail : searoad@ekr.or.kr

1. 서론

21세기 물부족국가로 분류되고 있는 우리나라의 용수이용량은 증가하는 추세에 있다. 수자원개발이 한계를 드러내고 대체수자원개발도 여의치 못한 현실점에서 용수이용량을 1965년에는 51.2억 m³에서 2011년에는 374억m³으로 730%나 증가될 것으로 예상되고 있어 물부족의 도래와 함께 심각성을 알 수 있다. 특히 인구증가와 더불어 경제적 발전에 따른 국민위생환경의 향상은 생활용수의 급격한 증가(1965년 대비 2011년은 86억m³이 증가)를 초래하였으며 경지정리 및 기계화 농업으로 대표되는 대규모 용수사용농업으로의 전환으로 인하여 용수사용이 나날이 증가추세에 있는 농업용수도 총이용량에 대한 비율은 1965년 대비 2011년에는 절반으로 감소가 예상되나 절대량은 117.2억m³(262%)이나 증가하는 것으로 예상하였다. 이렇듯 물사용증가라는 시대적 요청에도 불구하고 물은 부족해 가고 있으며 이 중 우리가 사용하는 전체 물사용량의 50%를 차지하는 농업용수는 용수이용량의 부족분을 보충해주어야 하는 시대적 요구에 대해 상당한 부담으로 작용할 것으로 판단된다. 그러나 이러한 농업용수에 있어서 관개를 위한 시설에서의 물손실이 대단히 많은 것이 사실이며 특히 주수원공인 저수지의 수문으로부터의 물손실도 간과할 수 없는 것이 사실이다. 특히 저수지를 살펴보면 농업용수를 전담하여 공급하는 주수원공 및 보조수원공이 전체 저수지의 98.7%인 17,644개소에 이른다. 그러나 이러한 저수지가 시설노후화 현상이 뚜렷하여 1972년 이전 축조 저수지가 15,856개소로서 88.7%에 이르고 30년 이내에 축조된 저수지는 2,026개소로서 11.3%에 불과하다.

표 1. 축조연대별 전국 저수지 현황

(단위 : 개소)

축조연대	주수원공	보조수원공	부속시설	계
1945년 이전	7,543	1,965	140	9,648
1946년 ~ 1966년	3,212	499	45	3,756
1967년 ~ 1971년	2,215	215	22	2,452
1972년 ~ 1976년	647	71	8	726
1977년 ~ 1981년	497	62	12	571
1982년 ~ 1986년	282	25	5	312
1987년 이후	374	37	6	417
계	14,770	2,874	238	17,882

이러한 노후화된 저수지에서 물손실이 많이 일어나는 곳은 사통수문이며 이 수문을 현대화시키는 것이 물손실과 더불어 현재 수리시설 관리인력의 부족 및 고령화를 극복할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 저수지 사통수문의 전동화 및 친환경에너지인 태양광을 접목시키는 방법에 대해서 제안을 하고자 한다.

2. 태양광 사통수문개발

2.1 사통수문설계를 위한 구조계산

사통수문의 특징은 항상 물 속에 잠겨있기 때문에 수압을 받으며 이러한 것이 저항으로 작용하여 수문의 개폐에 부하를 준다. 따라서 수문을 작동시키는 전동기의 크기와 이에 따른 Solar

Unit의 규모를 결정하기 위해서는 수문비에 걸리는 하중을 계산하여야 한다.

$$W_T = (W_P + W_{SP} + W_R + W_{CO}) \times 110\% \quad (1)$$

여기서, W_T : 수문총하중(kg), W_P : 정수압하중(kg), W_{SP} : Skin Plate 하중(kg),

W_R : 작동용 Rod arm 하중(kg), W_{CO} : 지수부 하중(kg)이다.

안전한 수문설계를 위해 온도변화, 바람, 오물등 외압으로 인하여 가해질 수 있는 부하를 감안하여 수문총하중의 110%로 설계를 한다.

다음으로 수문작동에 있어서 수문하중 외에 부하로 작용하는 것은 수문작동시 수문비와 수문틀 사이의 지수를 위한 지수재에 의한 마찰력을 고려해야 한다. 다음 식으로 계산한다.

$$P_{FS} = \frac{W_P}{A_{FS}} \quad (2)$$

여기서, P_{FS} : 접촉면 압력(kg/m²), A_{FS} : 지수재와 문틀의 마찰접촉면적(m²)이다.

따라서 수문작동에 부하로 작용하는 수문총하중과 마찰면 압력을 고려한 전동구동부 모터를 선정하기 위해서는 모터의 소요동력을 산출해야 하며 이는 다음 식으로 계산한다.

$$P_{MR} = \frac{K \cdot W_{FPTotal} \cdot V_m}{60 \cdot 102\eta} \quad (3)$$

여기서, P_{MR} : 모터소요동력(Kw), K : 동력여유율. 통상적으로 1.2를 채택,

$W_{FPTotal}$: 마찰접촉면 압력을 고려한 수문 총하중(kg), V_m : 모터 권양속도(m/min.),

η : 동력효율. 통상적으로 85%를 적용한다.

모터의 용량이 결정되면 이를 구동시키는 전력량을 결정하여야 하는데 본 연구에서는 태양광을 이용한 전기로 구동하는 시스템이기 때문에 Solar Unit으로부터 발생된 전기를 축전시키는 배터리의 용량결정이 선행되어야 한다. 배터리는 많은 회사에서 제공하고 있으나 태양광 전용 배터리를 사용하는 것이 바람직하며 선택한 배터리의 충전시간을 검토하기 위한 계산으로서 우선 수문개폐를 하는데 필요한 1일 사용 충전류량을 구하면 다음과 같다.

$$A_{UD} = A_{MO} \cdot T_{MO} \quad (4)$$

여기서, A_{UD} : 1일 사용 충전류량(A), A_{MO} : 선택 모터 구동전류량(A),

T_{MO} : 1일 모터사용시간(min./1day)이다.

다음으로 1일 사용 전류량 충전시간은 다음과 같다.

$$T_A = \frac{A_{UD}}{A_{CSA}} \quad (5)$$

여기서, T_A : 1일 사용 전류량 충전시간(hour),

A_{CSA} : Solar Unit 제조회사가 제공한 시간당 충전 전류량(A)이다.

마지막으로 배터리의 규격을 결정한 후 이 배터리를 효율적으로 충전시키기 위한 Solar Unit의 규격을 결정하기 위해 다음 식을 사용한다.

$$SP_d = P_{MR} \cdot 150\% \quad (6)$$

여기서, SP_d : 적정 전력 태양광 전지판(Watt)이다.

또한 상기 식(31)에서 구한 적정 전력 태양광 전지판의 전력에 의해서 선택된 사양의 최대전류로 1일 사용 전류량을 나눠서 1일 3시간 이내일 때 적정 전력 태양광 전지판을 채택하며 이를 만족하지 않을 시에는 다시 다른 종류를 선택하여 계산을 한다.

이상으로 태양광을 동력원으로 사용하는 사통수문의 구조설계계산법을 제시하였으나 여기에는

비상시 사용이 가능한 수동핸들의 감속비 검토와 수문 자체의 안전성을 위한 정역학적 해석은 제시하지 않았으나 일반적인 해석으로서 생략을 하였다.

2.2 사통수문 장치 개발

사통수문은 취수구인 원형 수문과 문틀, 작동용 랫드, 모터와 감속기가 달린 구동부, 구동부와 랫드를 연결하는 유니버설 조인트, 수문을 제어하는 제어반이 들어있는 제어함, 구동전력을 공급하는 태양광 시스템으로 구성되어 있다.

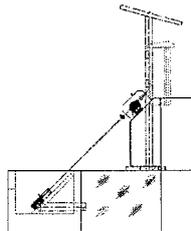


그림 1. 사통수문 설치도

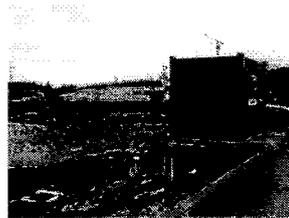
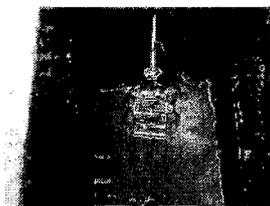
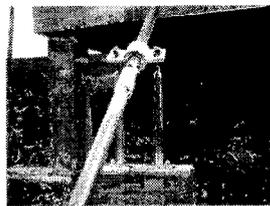


사진 1. 사통수문 설치 전경

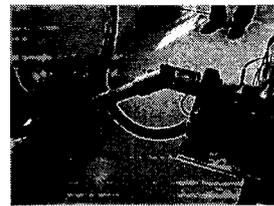
우선 본 사통수문의 개발에 있어서 수문은 상시 수압을 받는 수문의 특징을 고려하여 수문의 비틀림등 변형방지를 위해 힘의 중심이 중앙으로 향하도록 원형수문비를 제작하였고, 버터플라이 밸브를 사용하여 용수공급을 적절하게 할 수 있도록 하였다. 또한 수문비 전면에는 스크린을 설치하여 일정크기 이상의 오물이 수문을 통하여 수로로 유입되지 않도록 하였다. 작동용 랫드는 축연장 10m 정도이기 때문에 수문작동시 휨현상등이 발생할 여지가 있기 때문에 랫드 받침대 역할을 하는 토목구조물을 세워 후렌지로 연결하였으며, 모터의 회전운동을 수문작동의 수직운동으로 변환시키기 위해 랫드와 구동 모터축과의 연결을 해 주는 유니버설 조인트를 볼 베어링을 넣어서 새롭게 개발하여 장착하였으며 이에 따라서 수문의 작동성능이 더더욱 원활해졌다.



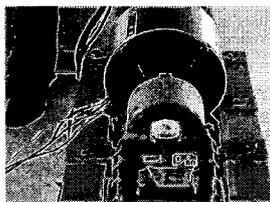
(a) 수문비와 스크린



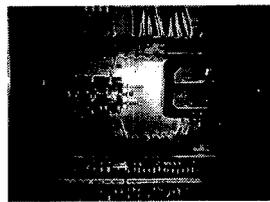
(b) 랫드 및 후렌지



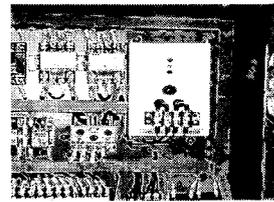
(c) 유니버설 조인트



(d) 수문개폐감시장치



(e) PLC



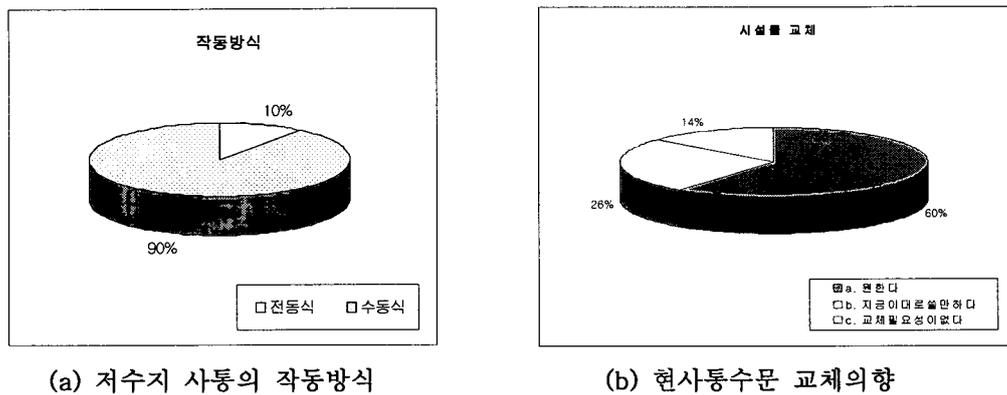
(f) 충전기

사진 2. 개발부품 전경

또한 수문비의 정확한 개폐를 감지하기 위하여 부식등의 문제로 인하여 오작동이 많았던 기존의 점접식 리미트 스위치 방식을 배제하고 모터 후면에 모터의 회전수에 의한 자장의 킬런트를 감지하여 수문의 개폐 및 과부하를 감지하도록 엔코더를 장착하였으며, 수문 제어를 위해 PLC를 개발하여 부착함으로써 수문의 작동상황 및 상태를 항상 파악할 수 있게 되었고 과충전시 밧데리의 수명이 단축되는 현상을 방지하기 위하여 과충전방지 회로를 넣은 충전기등을 개발하여 사통수문을 제작, 충남 합덕 백미저수지에 2기를 설치하였다.

2.3 사통수문의 현황 파악을 위한 설문조사

사통수문의 개발과 실용화 보급을 위한 설문조사에서는 다음과 같은 결과를 도출하였다.



그래프 1. 사통수문 현황 파악을 위한 설문조사 결과

상기 그래프 1에서 알 수 있듯이 현재 보급되어 있는 사통수문은 90% 이상이 수동식으로 되어 있어서 작동 및 운영에 대단히 곤란한 점이 많은 것을 알 수 있으며 시설물 교체 의향을 보면 60% 이상이 교체를 원하는 것으로서 현재의 작동방식에 대한 불만이 있는 것으로 조사되었으며 따라서 향후 사통수문의 현대화를 위해 본 연구에서 개발된 태양광을 이용한 사통수문의 보급전망은 밝을 것으로 판단된다.

3. 결론

본 개발연구에 있어서 사통수문의 현대화를 위한 개발의 일환으로서 수문의 안전성과 작동성을 감안하여 밸브형을 개발하였으며, 작동의 원활성을 확보하기 위하여 구동부와 작동용 로드를 연결하는 유니버설 쏘인트를 볼베어링 방식으로 개발하였다. 또한 구동을 위한 전력을 태양광 이용을 위해 충전기의 회로를 과방전방지로 설계하였으며 수문의 정확한 개폐를 위해 모터축과 연결하여 엔코더를 이용, 수문의 상하운동을 제어하도록 하였다. 이후 실용화를 위해서는 장비의 제어 및 작동상황을 알 수 있도록 하는 부분이 추가되어야 하며 이의 정확한 성능검증도 필요하다.

끝으로 이 개발연구는 농특세로서 수행한 연구결과임을 밝히며 연구개발에 참여한 연구진에게 감사의 말씀을 전한다.