

농업용 수리시설의 태양광 시스템 적용

Application of Solar Energy System for Agricultural Facility

정광근*·이광야·김해도

Kwang Kun Chung, Kwang Ya Lee, Hea Do Kim

Abstract

In order to solve the problem of the existing gate it developed the solar energy gate. The solar energy gate quotient a friction force from the area contact which will call improved with line contact and it diminished. Because of the result, The operation power of the gate came to be small and the small-sized of the motor was possible. From the small-sized of the motor, the solar energy system introduction was possible and the expense for the production establishment of the gate was diminished. From KRC in 2005 demonstration it establishes the solar energy gate in nationwide 50 places and characteristic the monitoring efficiently.

Key Words : Solar Energy, Facility, Flood Gate, Pilot Project

1. 머리말

WTO 체제의 출범에 따라 우리의 농업은 무한경쟁시대로 돌입하였다. 영세하며 조방적 작업을 하는 우리 농업이 무한경쟁시대를 살아가기 위해서는 농작업의 생력화 및 저비용화를 통한 경쟁력 강화가 시급하다. 특히 2001년도 기준으로 우리 주식인 쌀 생산의 경우 경지 10a 당 소요되는 총생산비 중 노력비가 차지하는 비율이 21.6% 이며, 이 중 직접비용(토지 및 자본 용역비등 간접경비 제외분) 내에서 노력비가 차지하고 있는 비중은 43.1%로서 인력 고소비 중심의 작업구조라는 것을 알 수 있다. 또한 이와 같이 인력 고소비 중심의 작업구조에서 쌀 생산 노동력 투하시간을 보면 526시간/ha으로서 이 중 물관리에 투입되는 시간이 68시간/ha을 차지한다. 이와 같은 상황을 타개하기 위해서는 물관리의 노력절감을 위한 수리시설물의 자동화가 필수적으로, 이를 위해서는 반드시 전동화가 이루어져야 하며 우리 농업의 경쟁력 강화를 위한 가장 시급한 요인이라고 할 수 있다. 여기서 물관리란 대부분이 용수공급을 위한 수문 조작이라고 말할 수 있다. 현재 농업용으로 사용하는 수문의 대부분은 수동식이고 일부 전동화된 수문 또한 설치를 위해서는 전기 인입공사 등 막대한 초기 투자비용이 필요하다. 현재 수리시설물개보수사업 및 물관리 자동화사업(TM/TC)의 추진으로 전동 수문의 보급이 확대되고 있는 추세이나, 이는 주로 간선부에 집중 설치되고 있으며 그 외 빈번히 사용하는 지선부 및 일부 전기인입이 어려운 지역 등에서는 여전히 수동식 수문을 사용하고 있는 실정이다. 또한 현재 보급되고 있는 전동수문은 재질 및 지수방식 등의 문제로 인해 과도한 중량의 문비가 제작되고 있어 이를 작동시키기 위해서는 많은 전력을 소모하게 된다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 수문의 재질 및 지수방식의 개선을 통하여 수문비의 경량화와 구동장치의 소형화를 달성하고 소규모 전력을 자체 생산할 수 있는 태양광을 이용하여, 수문개폐에 따른 전력소비도 자체적으로 해결한 전동수문을 개발하였으며 이에 대한 현장적용을 위하여 농림부의 수리시설 개보수 시범사업을 통하여 전국 50개소에 설치·운영하고 현장성능을 모니터링하고 있다.

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

2. 현 황

2.1 농업용 수문의 문제점

농업용으로 사용하는 수문은 그 기능에 따라서 수원공이 저수지일 경우 취수탑 및 사통의 취수문, 하천일 경우 취입수문, 그리고 간선수로나 지선수로의 분수문, 제수문, 방수문, 말단포장의 급수물꼬, 배수물꼬, 배수로 말단부의 배수문 또는 배수갑문 등으로 나눌 수 있으며, 사용형태는 각 기능에 맞추어서 수문의 개도조절 및 운영을 하고 있다. 또한 권양방식에 따라 개폐축이 스크류 형태로 되어 개폐헨들에 의해 상·하로 개폐되는 스크류식과 웜기어에 의해 문비가 상·하로 개폐되는 웜기어식, 잭의 왕복운동에 의해 문비와 연결된 핀이 상·하 운동을 하면서 개폐되는 핀잭식으로 나누고 있다. 이 중 스크류식은 스펀들을 스크류에 장착시켜서 돌리면서 수문 개폐를 행하는데 스크류의 마모 및 부식에 의해 작동이 곤란한 경우가 생길 수 있으며 웜기어 형식은 기어부분의 작동장치를 움직이는데 있어서 다칠 위험성과 더불어 힘전달을 2차에 걸쳐 행하기 때문에 수문 개폐속도가 늦고 더 큰 힘이 소요된다. 핀잭식은 사용하기가 간단한 형태이나 수문 작동을 위한 주변장치를 별도로 만들어서 장착시켜야 하는 문제가 있다. 권양력의 차이를 나타내는 수문형태별 개폐 토크의 현장조사 데이터는 표 1과 같다.

표 1. 수문 종류별 개폐 토크

구 분	재 질	개 폐 토크		
		소요력(kg)	스핀들의 반경(m)	토크(kgf·m)
스크류식	철 재	4 ~ 9.5	0.2	0.8 ~ 1.9
웜기어식	철 재	8 ~ 39	0.4	3.2 ~ 15.6
핀잭식	철 재	5 ~ 7	0.7	3.5 ~ 4.9

표 1에서 보면 3가지 형태의 수문 개폐 토크(스핀들 또는 헨들을 돌리는 힘) 중 스크류식이 수문개폐에 드는 힘이 가장 적으며 헨들회전시 토크도 가장 적다. 이에 반해 웜기어식은 힘이 많이 들어가며, 핀잭식은 소요력이 중간정도이나 개폐 토크가 큰 경향이 있다. 여기서 웜기어식의 소요력이 크게 나타난 이유는 부식이 가장 큰 원인이다. 또한 지수부의 형태에 따른 마찰력이 수문 권양에 막대한 힘을 소요시킨다는 문제점을 발견하게 되었고 적은 동력으로도 수문개폐가 용이하도록 하기 위해서는 지수부의 개선과 소동력 운영 수문을 개발하여 보급하는 것이 시급하다는 것을 알 수 있었다.

2.2 태양광 전동수문의 특징

본 태양광 전동 수문의 개발에 있어서 각종 조사 및 시험을 통해 나타난 문제점을 중심으로 수문의 전동화에 가장 큰 장애요인으로 작용하는 수문비 권양력의 소형화와 동력전달 메카니즘의 효율화 및 유지관리를 위한 수문 도장에 관하여 개발중점을 두었다.

2.2.1 수문비 구조(Skin plate structure)

수문의 권양력을 결정하는 가장 큰 요인은 수문비(Skin Plate)의 중량과 수밀을 위한 지수부의 형태이다. 이 중 수문비의 중량은 재질에 따라 많이 좌우되는 종속적인 요인이기 때문에 수문의 설치위치나 기능에 따라 다를 수가 있다. 그러나 두 번째인 수밀을 위한 지수부의 형태는 지수부의 재질과 더불어 형태에 있어서도 권양력에 많은 영향을 준다. 따라서 기존의 면지수에서 선지수로의 형태변환을 통하여 문비권양시 마찰력을 감소시키고 지수를 위한 수문비와 프레임의 재질 또한 보통 미끄럼 마찰계수가 금속과 금속간보다는 금속과 비금속, 특히 금속과 합성수지 사이가 더 큰 것에 착안하여 철강과 폴리에틸렌으로 제작한 결과 권양력이 감소하게 되어 모터가 소형화됨에 따라 태양광 전기를 이용할 수 있게 되었다.

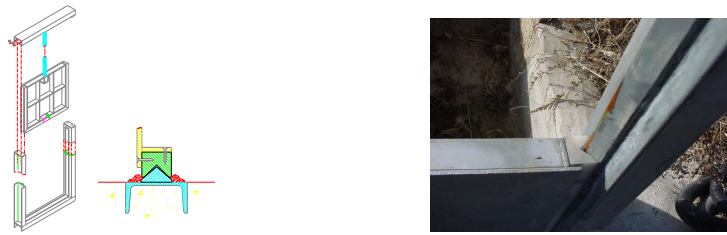


그림 1. 선접촉식 지수부

2.2.2 동력 발생 시스템(Solar power system)

일반적으로 사용하고 있는 수문의 동력은 농업용 전기로서 한전에서 공급하고 있는 교류전기이다. 교류전기는 한전에서 공급하기 때문에 매우 일반적인 전기로서 가정용, 산업용, 농업용으로 구분하고 있으며 어느 장소이든 전기인입이 가능하지만 원격지나 또는 적은 개소의 장소에서 동력을 필요로 할 때는 전기인입비용이 많이 투자되기 때문에 경제성을 고려할 필요가 있다. 따라서 소형화된 모터를 작동원으로 하고 있는 수문의 경우에는 태양광에 의해 공급받는 직류전기를 사용하는 것이 효과적이라고 할 수 있다. 직류전기는 극성이 바뀌지 않고 흐르는 전기를 말하며 주파수가 존재하지 않고 전압만이 존재하는 특성이 있다. 본 직류전기를 사용하기 위해서는 태양광 집열판 등을 설치하여 전원을 공급받아야 하며 이를 DC모터에 연결하여 사용해야 한다. 태양광 집열판은 시중에 나와 있는 것이 많으나 나지에 설치하는 관계로 열이나 외부로부터의 충격에 견딜 수 있는 것을 선택해야 한다.

표 2. 태양광 전지판 사양

작동온도	-40℃ ~ +80℃	Cell 타입	단결정
내충압	60m/sec.	Cell 수량	36개
내전압	50μA	최대출력	50Watt
외곽치수	(W942×H502)mm	최대전압	17.1Volt
중량	6.5kg	최대전류	2.93A
Cell 치수	(W100×H100)mm	단락전류	3.17A

2.2.3 동력 전환 및 충전(Transferring Power and Charge)

태양광으로부터 발생하는 전기를 효율적으로 사용하기 위하여 충전방법과 수문작동시 태양광을 직접 이용하는 방법에 착안점을 두어 설계 및 제작한 결과, 충전기의 최대 입력전압은 34.2Volts, 배터리 충전전압은 26.5Volts이며 과충전 방지회로를 채택하여 배터리 충전전압 이상으로 충전이 되지 않도록 하였고, 보완충전기는 DC 24Volts로 들어오는 전압을 배터리에 직접 충전시키고 또한 수문 작동시 동력원으로서 직접 모터에 전력을 공급하는 역할을 추가하였다. 이는 한정된 배터리의 전기용량을 효율적으로 이용하기 위하여 태양열을 직접 이용함과 동시에 모자라는 전력만을 배터리에서 공급받도록 취한 조치로서 아침 및 흐린 날이 계속된 후의 수문작동의 곤란성을 극복할 수 있다. 4계절의 온도변화에 민감한 전기회로의 단점을 보완하기 위해 전기회로도 안에 전열장치 및 에폭시 코팅을 하고 외부를 청동 케이스로 보호하여 -30℃ ~ +60℃까지의 온도변화에 견딜 수 있도록 함으로서 전기회로의 온도변화 민감도를 해결하였으며, 배터리 과충전에 따른 자체 손상방지와 장기사용을 위해 과충전 방지회로를 채택하여 배터리를 보호할 수 있도록 설계하였다.

2.2.4 구동시스템(Operating system)

구동장치의 상태를 살펴보면 수동으로 수문을 작동할 때 핸들을 많이 회전시켜야 하는 부담감과 함께 핸들 운전시 많은 힘이 들어가는 단점을 해소하기 위하여 감속기의 감속비율은 1/30으로 하여 수문의 핸들 1회 조작시 수문의 권양길이를 높임과 동시에 핸들 1회전당 5mm의 핏치 사각나사를 사용함으로써 핸들 1회전당 권양길이가 5mm가 되도록 하였다. 또한 모터축과 감속기를 직접 연결함으로써 수동조작시 적은 힘으로도 운

전이 가능하도록 하였고, 감속기의 구동부 나사는 녹방지 및 마찰력을 감안하여 인칭동을 사용하였으며 원활한 핸들의 조작을 위하여 핸들감속기 1/10을 부착시켰다. 또한 노출되는 스크류는 STS 304 Round Bar를 사용하여 외관상 깨끗하고 녹방지 기능을 추가하였다.

2.2.5 신호전달시스템(Signal transfer system)

수문의 상태를 알려주는 신호전달시스템의 기본이 되는 수문 개폐도 감지 센서에 대해서는 수문이 열리는 최상단과 수문이 닫히는 최하단에 부착하여 이를 감지하여 개도율 1%와 100%를 알 수 있게 하였다.

또한 기존의 수문개폐도 정보에 관해서는 모터의 회전수를 카운트하여 이를 100%로 환산하여 그 정보를 보냈으나 새롭게 R/I 컨택터(전류값을 저항치로 바꾸는 장치)를 사용하여 수문개폐정보를 전달하는 체계로 바꾸었다. 이 방법은 기존의 수문개폐에 대한 정보를 센서로부터 전달받아서 이를 개도율로 변화시켜 주 제어실로 보내는 역할을 PLC가 담당하였으나 이 PLC는 온도에 민감하여 기능이 정지되거나 에러를 발생시키기 쉬우며, 센서의 변위가 5mm이고 위치별로 저항값이 변화하여 센서에 의해 감지된 저항값을 전선을 통하여 컨트롤 판넬로 입력시켜 입력된 저항값은 저항치를 전류치로 변화시켜 주는 저항-전류변환기에 의해 전류치(4~20mA)로 변환되어 그 값이 주 제어실로 전송되도록 하였다.

2.2.6 부식방지를 위한 모재 피복(Coating)

보통 태양광 전동 수문의 경우 약 6개월의 관개시기(대략 4월~9월)시기 중에는 물 속에 잠겨있으면서 작동해야 하므로 문비등 철재류의 산화방지(부식방지)의 방법이 매우 중요하다. 수문의 도장 방법에는 페인트도장, 에폭시도장, 아연도금 등이 있으나 이들 방법은 일정시간이 지나면 재도장을 해야 하는 등 유지관리에 많은 문제점이 발생된다. 따라서 수문의 부식방지와 경제성(페인트공법 대비 약 2.3배)을 고려하여 메탈라이징공법(아연등과 같은 물질을 용융하여 고압분사를 시켜 모재에 완전히 밀착시키는 공법)을 채택하였다.

3. 시범사업 추진

3.1 지구 선정

본 태양광 전동수문 시범사업의 실용성 및 확대보급을 위한 성능 파악을 위해 전국 8개도의 다양한 현장을 대상으로 하는 기본원칙을 정하였다. 이 기본원칙을 구성하는 조건으로서는 ① 물관리자동화사업(TM/TC)과의 연계성을 중시하여 태양광 전동수문의 특징인 원격지에 대한 제어가 가능한 지역, ② 농어촌 관광지역으로서 많은 농민과 시민들이 사용하는 모습을 보고 개발된 수리시설물의 이해도를 높일 수 있는 지역, ③ 접근도도가 용이한 지역으로서 설치와 관리 및 운영이 편리한 지역, ④ 농촌마을종합개발 대상지역으로서 실제로 농사를 짓는 농민들이 편리함을 몸으로 느낄 수 있는 지역 등을 고려하여 한국농촌공사 각 도본부에서 추천한 지역을 대상으로 평가하여 전국 50개소의 시범지구를 선정하였다.

3.2 전동수문의 특징

태양광 전동수문 시범사업에서 제작·설치하는 수문의 특징은 그림 2에서 나타낸 바와 같다.

그림 2의 (a)에서 알 수 있듯이 선정된 수문은 하천 취입보 및 저수지 상류에 취수문 7개소, 용수로 간지선에 분수문이 11개소, 제수문이 20개소, 방수문이 12개소로서 태양광(일반전기를 포함) 전동으로 대체하기를 원하는 수문으로서는 제수문이 40%로서 가장 많으며, 수동수문으로서는 작동하기가 대단히 곤란한 방수문이 24%, 작동이 가장 빈번한 분수문이 22%를 차지하고 있다. 여기서 특기할 만한 것으로서는 하천의 취입보에서 취수를 하는 취수문을 선정한 곳이 14%를 차지하고 있으며 이는 삼방지수로서 개발된 태양광 전동수문이 사방지수로의 사용가능성이 있다는 것을 알 수 있는 좋은 예가 되었다. 또한 그림 2의 (b)에서 선정된 수문의 크기별 경향을 보면 수문비 면적 1.0㎡(B1.0m×H1.0m)미만이 6개소(12%), 1.0㎡~2.25㎡(B1.0m×H1.0m~B1.5m×H1.5m)미만이 37개소(74%), 2.25㎡~2.89㎡(B1.5m×H1.5m~B1.7m×H1.7m)미만이 5개소(10%), 2.89㎡(B1.7m×H1.7m)이상인 2개소(4%)였다. 여기서 태양광 전동으로 사용하기에 알맞은 크기인

B1.0m×H1.0m ~ B1.5m×H1.5m가 많이 선정되었으며 B1.7m×H1.7m 이상의 크기를 갖는 것은 4%에 불과했다.

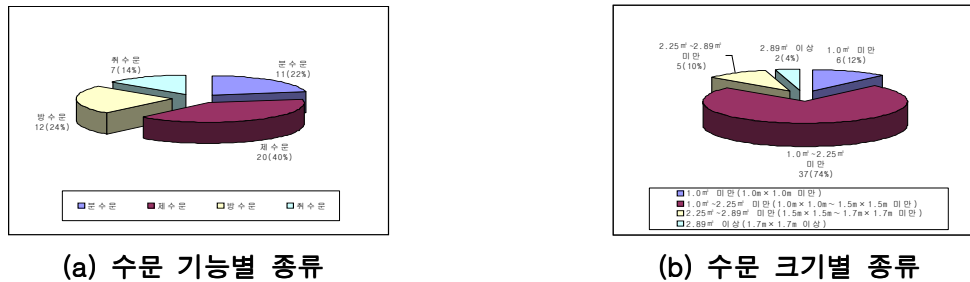


그림 2. 설치대상수문 종류

3.3 전동수문의 설계·제작 및 설치

태양광 전동수문은 농업기반공사 8개 도본부(제주 제외)에서 추천한 대상지를 지구선정 원칙에 의해 선정하고, 수문설치 지점을 현지 방문하여 수문의 제원과 설치시 문제점을 파악하여 제원별로 수문 구조계산을 행하고 각 부문별 설계를 실시하였다. 또한 각분야의 전문가로 구성된 기술소위원회를 개최하여 설계 및 설치 사양을 결정하였고, 결정된 사양과 구조계산에 의한 설계도를 바탕으로 공장에서 제작된 수문은 공장내 실내성능시험(부분별 성능 및 총조립에 의한 작동성능)을 거쳐서 현장에 설치하고, 사양에 따라 검수를 거친 후 현장 모니터링(지수성, 작동성, 운영용이성, 설문조사)을 하여 문제점 및 보완점을 도출하였다. 여기서 구조계산은 Solar Unit의 용량결정, 수문구조계산, 모터용량 결정 등에 대하여 실시하였고, 설계는 태양광 전동수문의 28개 타입 196개 표준도로부터 산출하고 현장조사 및 검수, 현장 모니터링은 각 지사와 농어촌연구원이 함께 실시하였으며, 실내성능시험 및 현장설치는 제작회사와 농어촌연구원이 공동으로 실시하였다.

4. 적용효과 및 향후 추진 계획

금번 태양광 전동수문 시범사업으로 제작·설치된 수문은 50대에 불과하여 전국에서 사용하고 있는 수많은 수문에 비해서 아주 미미하나 현재 일손부족과 고령화 문제로 인하여 수리시설물의 운영 및 관리에 대단히 어려움을 겪고 있는 우리 농촌의 실정에 비추어 보면 향후 우리 농업의 시설물 현대화 및 운영·관리에 대한 선진적 지표를 제시하였다는데 큰 의미를 부여할 수 있다. 특히 노후화된 수문 또는 작동이 곤란한 수동수문이 대부분인 현 농촌을 볼때 전동화와 작동용이성을 같이 갖춘 태양광 전동수문으로 교체할 경우 시설물의 운영·관리인력이 획기적으로 절감되고, 홍수 또는 집중강우시 신속하게 수문을 개폐함으로써 농경지의 침수피해를 경감시킬 수 있다. 또한 향후 전동화된 기기를 바탕으로 수문개폐에 대한 정보를 디지털화(Digitalization)하여 데이터를 계측하고 제어할 수 있도록 무선 송·수신기능을 부여하고 이러한 데이터를 저장, 송수신등을 담당하는 원격소장장치(RTU)에 필요한 전원공급 방안을 고안한다면 물관리자동화사업(TM/TC)과의 연계를 도모할 수 있으며, 현재 고갈상태인 화석연료 대체에너지로서 자연 중에 풍부하게 존재하는 태양광을 동력원으로 이용함으로써 운영비용의 절감은 물론 기후변화협약에 대응할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

이러한 장점을 지닌 태양광 전동수문은 그 특성상 댐, 하천, 저수지, 양·배수장, 농업용 용·배수로, 산업용 수로, 정수장, 하수처리장 등 다양한 분야와 대규모 평야지, 산간지, 또는 원격지와 같은 다양한 지형에 사용할 수 있기 때문에 그 적용범위는 대단히 넓다고 할 수 있다. 그러나 예산상의 문제, 유지관리인의 사용경험의 부족, 시설관리자 및 설계자의 인식부족, 홍보부족 등으로 실제 현장적용을 확산하는데 많은 어려움이 있다.



(a) 충청북 음성지사 수문 (b) 전남 광주지사 수문 (c) 경북 예천지사 수문

그림 3. 현장에 제작·설치된 수문

따라서 향후 이러한 문제점을 극복하기 위하여 행정부처에서 실시하는 EM(Excellent Machine)과 같은 국가인증제도를 활용하여 그 기술의 우수성을 공인 받고, 미래 농업의 나아갈 방향지표 및 물관리의 과학화라는 과제로서 대국민 및 행정부처, 지방자치단체에 대한 홍보활동을 강화하여야 할 것이다.