태양광 전동수문 시범사업

- Pilot Project of Solar Energy Flood Gate -

이종남*, 정광근, 이광야, 김해도
Lee, Jong Nam*·Chung, Kwang Kun·Lee, Kwang Ya·Kim, Hea Do

Abstract

The solar energy floodgate which discusses will minimize a quotient bringing up for discussion friction resistance and it will do to write a disturbance power, with the base which will reach it will be able to use the solar power unit in order. It is a plan which to magnification supply the practicality and will give proof will the effort with the irrigation facility of the farming village. Magnification supply of the solar energy floodgate which it sees hazard the stack supervisor and the possibility the use against the farmer and the easy frost does the monitoring against and the work which it complements is necessary.

1. 사업배경

WTO 체제의 출범에 따라 우리의 농업은 무한경쟁시대에 돌입하였다. 특히 영세하며 조방적 작업을 하는 우리 농업이 무한경쟁시대를 살아가기 위해서는 농작업의 생력화 및 저비용화를 통한 경쟁력 강화가 시급하다. 특히 2001년도를 기준으로 우리의 주식인 쌀생산의 경우에 경지 10a 당 총생산비 중 노력비가 차지하는 비율이 21.6%를 차지하고 있으며 이 중 직접비용(토지 및 자본용역비등 간접경비 제외분) 내에서 노력비가 차지하고 있는 비중은 43.1%로서 인력 고소비 중심의 작업구조이다. 또한 이와 같이 노력비 절감이 요구되고 있는 상황에서 쌀생산을 위한 노동력 투하시간을 보면 526시간/ha로서 이 중 물관리에 투입되는 시간이 68시간/ha이다. 따라서 물관리의 노력절감을 위한 수리시설물의 전동화는 우리 농업의 경쟁력 강화를 위한 필수적인 요인이라고 할 수 있다. 여기서 물관리는 용수공급을 위한 수문조작이라고 할 수 있으며 수문의 대부분은 수동식이고 일부 전동화된 수문 또한 설치를 위해서는 막대한 초기투자비용이 필요하다. 현재 물관리자동화사업(TM/TC)으로 인하여 수문이 전동화되어 보급되고 있는 추세이나 주로 간선부에 집중 설치되고 있는 실정이며 그 외 수문의 조작이 많은 지선부 및 일부 전기인입이 어려운 지역 등에서는 여전히 수동식 수문을 사용하고 있는 실정이다. 그리고 전동수문 또한 재질 및 지수방식 등의 문제에 의해 과다한 중량의 문비를 제작하게 되고 이를 작동시키기 위하여 많은 전력을 소모하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 현장 또는 원격지에서 전동식으로 수문개폐를 행하며, 수문의 재질 및 지수방식의 개선을 통하여 수문비 경량화를 이룩하고 이에 따라 구동장치의 소형화를 달성하여 소규모 전력을 자체 생산할 수 있는 태양광을 이용, 수문운영에 따른 전력소비도 자체적으로 해결 가능한 수문을 개발하기에 이르렀다. 따라서 본고에서는 개발된 태양광 전동수문의 특징과 시범사업을 골자로 소개하기로 한다.

2. 수문 작동 토오크 조사

태양광 전동수문을 개발하기 위하여 현재 보급되어 있는 수문의 문제점을 파악하고 이에 대한 대처방안을 수립하여 수문 개발을 하였다. 일반 수문의 특징과 문제점을 파악하기 위하여 첫 번째는 수문의 종류 및 특징과 문제점을 조사하고 두 번째는 소재특성에 관하여 조사를 하였다. 일반적으로 수문은 권양방식에 따라 개폐축이 스크류 형태로 되어 개폐핸들에 의해 상·하로 개폐되는 스크류식과 웜기어에 의해 문비가 상·하로 개폐되는 웜기어식, 재크의 왕복운동에 의해

2005년 한국농공학회 학술발표회 논문집(2005년 10월 28일)

문비와 연결된 핀이 상·하 운동을 하면서 개폐되는 핀재크식이 나누고 있다. 이 중 스크류식은 스핀들을 스크류에 장착시켜서 돌리면서 수문개폐를 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 수문개폐속도가 늦고 더 큰 힘이 소요된다. 재크식은 사용하기가 간단한 형태이나 수문작동을 위한 주변장치를 별도로 만들어서 장착시켜야 하는 문제가 있다. 상기에서 기술한 3가지 형태의 수문 개폐토르크(스핀들 또는 핸들을 돌리는 힘)를 조사해 보면 표 1과 같다. 표 1에서 나타낸 바와 같이 스크류식이 수문개폐에 드는 힘이 가장 적으며 핸들회전시 토르크도 가장 적다. 이에 반해 웜기어식은 힘이 많이 들어가며, 핀 재크식은 소요힘이 중간정도이나 개폐토르크가 큰 경향이 있다. 여기서 웜기어식의 소요력이 크게 나타난 이유는 부식이 가장 큰 원인이다. 또한 각각의 수문에 대해 설치비를 비교해 보면 스크류식이 부대비용까지 합쳐서 종류에 따라 30～300만원, 웜기어식이 50～500만원, 핀 재크식이 1,000～3,000만원 정도 든다. 상기의 수문조사결과 수문재질에 따른 부식현상과 더불어 지수부의 마찰력이 큰 원인으로 수문권양에 막대한 힘을 소요한다는 문제점을 발견하였다. 두 번째로 수문의 소재특성을 조사한 결과 각각의 소재에 따라 비중, 인장강도, 가격을 중심으로 살펴보면 표 2와 같다. 표로부터 비중면으로 보면 철재와 스텐레스가 가장 크며 인장강도는 스텐레스가 가장 크다. 열에 대한 변형온도는 알루미늄이 가장 크고 부식성에는 철재가 강하고 가격도 철재 및 FRP가 가장 저렴한 것으로 조사되었다. 따라서 상기의 모든 조건을 고려하여 수문 본체는 철재강판을 소재로 하고 부식방지를 위한 특수 코팅법(Zinc Metalizing)을 채택하며 권양장치부(스크류등)는 스테인레스로 하고 지수부는 MC 나일론을 선정하여 수문 개발을 행하였다.

(a) 스크류식 수문 **(b) 웜기어식 수문** **(c) 핀 재크식 수문**

사진 1. 권양방식에 따른 수문의 종류

표 1. 수문 종류별 개폐토르크

구 분	재 질	개 폐 토 크		
		소요력(kg)	스핀들의 반경(m)	토르크(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
핀재크식	철 재	5～7	0.7	3.5～4.9

3. 태양광 전동 수문 개발

본 태양광 전동 수문의 개발에 있어서 수문의 시험을 통해 나타난 문제점을 중심으로 수문의 전동화에 가장 큰 장애요인으로 작용하는 수문비 권양력의 소형화, 동력전달메카니즘의 효율화, 수문의 유지관리를 위한 수문 도장에 관하여 개발중점을 두었다.

1) 수문비 구조

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

2005년 한국농공학회 학술발표회 논문집(2005년 10월 28일)

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 미끄럼마찰계수가 금속과 금속간보다는 금속과 비금속, 특히 금속과 합성수지사이가 더 큰 것에 착안하여 철강과 폴리에틸렌으로 하여 만들었으며 이에 따라 권양력이 감소하고 모터가 소형화되었으며 태양광 전기를 이용할 수 있게 되었다.

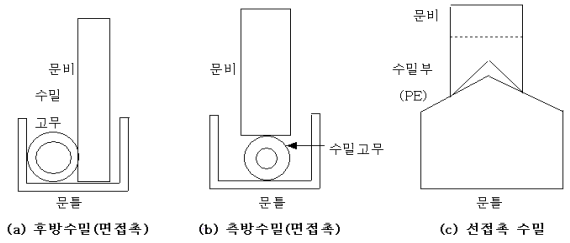

그림 1. 지수의 종류 **사진 2. 선접촉식 지수부**

2) 동력 발생 시스템

일반적으로 사용하고 있는 수문의 동력은 농업용 전기로서 한전에서 공급하고 있는 교류전기이다. 교류전기란 전기가 흐를 경우 분당 극성(+, -)이 60회가 바뀌며 흐르는 전기로서 전압은 통상 단상 220Volts, 삼상 380Volts로 나누어서 사용하고 있다. 또한 분당 바뀌는 극성의 수량은 주파수로서 표시되며 우리나라의 경우에는 60Hz(극성이 분당 60회가 바뀜)를 사용하고 외국의 예로서 일본의 경우에는 50Hz를 사용한다. 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 집열판등을 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
내중압	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

3) 동력 전달 시스템(충전기)

최초로 DC 24Volts 출전지용 충전기를 개발할 당시에는 축전을 시키는 능력만을 위주로 생각하여 회로를 완성하였으나 그 결과 축전과 태양광으로부터 발생되는 전기를 효율적으로 사용하기에는 많은 문제점이 드러났다. 특히 축전효율이 75% 정도밖에 미치질 못하고 또한 수문개폐작동에 드는 전력을 배터리로만 하는 방식으로 개발하였기 때문에 동력사용의 효율화를 기하지 못하였으며 수문의 작동 및 작동습관에 대한 검토를 한 결과 충전용량의 부족등 배터리에 전기를 모으는

역할로서 한정하는 것에 문제가 있다는 것을 발견하였다. 따라서 좀 더 효율적인 축전방법과 수문 작동시 태양광을 직접 이용하는 방법에 착안점을 두어 설계 및 제작을 하였다. 그 결과 새로 보완한 충전기의 최대입력전압은 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 조치였으며 따라서 아침 및 흐린 날이 계속된 후의 수문작동의 곤란성을 극복할 수 있다. 수문이 사용되는 현장(농지, 간척지, 산간지등)을 감안하여 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 현장에서의 가장 큰 애로점이 될 것으로 예상되었던 전기회로의 온도변화 민감도를 해결하였으며 마지막으로 배터리에 과충전을 하게 되면 배터리 자체에 손상을 주기 때문에 배터리를 오래 동안 사용할 수 있도록 과충전방지회로를 채택하여 배터리를 보호할 수 있도록 하였다.

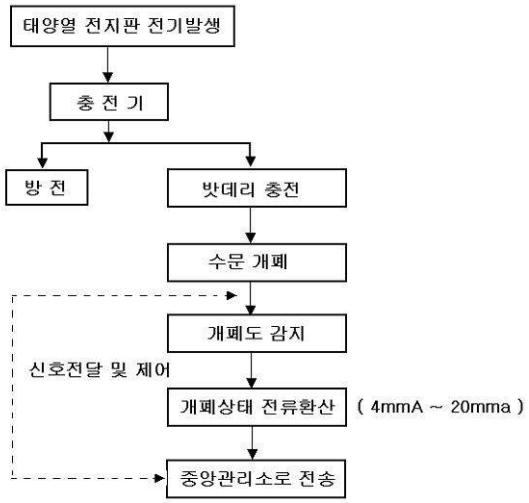

그림 2. 작동 메커니즘

4) 구동시스템

구동장치의 상태를 살펴보면 최초 태양광 전동 수문을 제작하였을 때 구조계산을 통하여 나타난 모터의 용량은 DC 24Volts의 200Watt였으며 감속기의 감속비율은 1/50이었다. 그러나 사용을 해 본 결과 수동으로 수문을 작동할 때 핸들을 많이 회전시켜야 하는 부담감과 함께 핸들 운전시 많은 힘이 들어가는 단점이 있기 때문에 이의 해결이 시급한 문제였다. 이러한 점을 보완하기 위하여 감속기의 감속비율은 1/30으로 하여 수문의 핸들 1회 조작시 수문의 권양길이를 높임과 동시에 핸들 1회전당 5mm의 핏치 사각나사를 사용함으로서 핸들 1회전당 권양길이 5mm가 되도록 하였다. 또한 모터축과 감속기를 직접 연결함으로서 수동조작시 적은 힘으로도 운전이 가능하도록 하였으며 감속기의 구동부 나사는 녹방지 및 마찰력을 감안하여 인청동을 사용하였고 원활한 핸들의 조작을 위하여 핸들감속기 1/10을 부착시켰다. 또한 노출되는 스크류는 STS 304 Round Bar를 사용 가공하여 외관상 깨끗하고 녹을 방지하는 기능을 추가하였다.

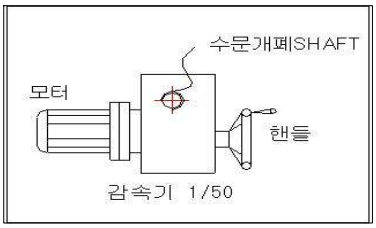

그림 3 감속기 개선 도면

5) 신호전달시스템

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. 그 외에도 모터에 회전수 카운터를 달아서 감지된 회전수를 프로그램에 의해 개도율로 환산하여 그 데이터를 송신하는 시스템도 있으나 모터가 고속회전을 하여 이를 감지할 수 있는 센서는 너무 고가이며 또한 모터의 관성력을 제어하면서 정확하게 카운터를 할 수 있는 센서는 아직 존재하지 않는다. 따라서 상기와 같은 문제점을 보완하기 위하여 수문개폐 Stroke 즉, 분수문의 경우 500mm, 제수문의 경우 330mm로 맞추어서 수문비 뒷부분에 장착하여 데이터를 컨트롤 판넬에 보내도록 하여 해결을 하였다. 그리고 또한 센서를 수문비 뒤쪽이 아니라 수문의 스크류 부분에 장착시켜서 외부로의 노출을 방지함과 동시에 보호할 수 있도록 하는 장치도 개발하여 장착하였다.

사진 3 수문 개폐감지 센서

또한 기존의 수문개폐도 정보에 관해서는 모터의 회전수를 가운트하여 이를 100%로 환산하여 그 정보를 보냈으나 새롭게 R/I 컨넥터(전류값을 저항치로 바꾸는 장치)를 사용하여 수문개폐정보를 전달하는 체계로 바꾸었다. 이 방법은 기존의 수문개폐에 대한 정보를 센서로부터 전달받아서 이를 개도율로 변화시켜 주제어실로 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(4～20mmA)로 변환되어 그 값이 주제어실로 전송되도록 하였다.

6) 부식방지를 위한 모재 피복

보통 태양광 전동 수문의 경우 약 6개월의 관개시기(대략 4월～9월)시기 중에는 물속에 잠겨있으면서 작동을 해야 한다. 따라서 오랜 기간 사용을 위해서는 산화방지(부식방지)의 방법이 중요하다. 통상 수문의 도장은 페인트도장, 에폭시도장, 아연도금등을 사용해 온 것이 지금까지의 도장방법이었지만 상기 도장방법들의 경우 시간이 지난 다음 재도장을 해야 하는 등 유지관리에 많은 신경을 써야만 한다. 따라서 아연등과 같은 물질을 용융하여 고압분사를 시켜 모재에 완전히 밀착시키는 메탈라이징 공법을 사용하여 수문의 부식방지에 노력하며 유지관리상에도 경제성(페인트공법 비교 약 2.3배)을 추구하였다. 다음 표 5에 메탈라이징과 페인트공법에 관한 특징을 나열하였

다.

7) 태양광 전동수문 제작

상기 시스템에 의해 26개 타입 172개 모델을 표준화하여 설계제작을 하였고 현장에 설치하였다.

사진 4. 농어촌연구원과 경북 칠곡에 설치된 태양광 전동수문

4. 태양광 전동수문 시범사업

상기에서 논한 태양광 전동수문에 대해 농림부에서는 2005년도 수리시설개보수 시범사업으로서 전국 50개 지역에 50대의 태양광 전동수문을 7억원의 예산을 투입하여 시범적으로 확대보급하고 있다. 시범사업에 있어서는 농업기반공사의 27개 지사의 협조를 얻어서 제수문, 분수문, 방수문, 하천취입수문등 다양한 기능의 수문을 (B0.5m～H0.5m)～(B2.0m～H2.0m)의 크기로 설치하고 있다. 본 시범사업의 목적은 태양광 전동수문의 실용성과 경제성 그리고 유지관리의 용이성을 현장에서 확인하고 이를 토대로 보완하여 확대 보급하는데 있다.

5. 고찰

본고에서 논한 태양광 전동수문은 지수부의 마찰저항을 최소화하여 소요동력을 적게 하였고 이를 토대로 태양광을 동력원으로 사용할 수 있도록 하였으며 일반전기인입이 어려운 지역을 대상으로 보급하여 최근 고령화 및 일손부족에 면해있는 농촌의 수리시설관리에 대한 노력을 절감시키고 이를 농림부의 시범사업을 통하여 그 실용성을 입증하고 확대보급에 노력할 예정이다.

본 태양광 전동수문의 확대보급을 위해서는 관리자 및 수혜농민에 대한 사용과 편이성에 대한 모니터링을 하여 보완하는 작업이 필요하다.

〈참고자료〉

1. G.A. Leonards(1962) : “Chapter 11. Culvert and Conduits”, Foundation Engneering, McGRAW-HILL BOOK COMPANY, Inc., pp. 965～999
2. United States Patent : SLUICE GATE ASSEMBLY, 4028896, 1977
3. United States Patent : SLUICE GATE ASSEMBLY WITH EXTRUDABLE SEAL, 4070863, 1978