

사각형 개수로에서의 수차 흡수 변화에 따른 회전 효율 파악을 위한 시뮬레이션

이 경 호*, 박 회 완*

A Simulation to Find Rotation Efficiency according to the Draft Changes of Waterwheel in Open Rectangular Channel

Kyong-Ho Lee *, Hee-Wan Park *

요 약

본 논문에서는 사각형 개수로에서 수차 흡수 변화에 따른 회전 효율 파악을 위한 시뮬레이션을 수행하였다. 수차를 이용한 개수로 초소수력발전에서 수차의 최고 효율을 얻는 것은 매우 중요하나 개수로의 흐름에서 자유 수표면의 존재와 수로벽에 존재하는 마찰로 인하여 불균일한 유속 분포를 갖기 때문에 복잡한 요소로 인하여 이를 수학적으로 계산해 내지 못하고 있다. 본 논문에서는 실제와 비슷한 사각형 개수로 모형을 만들어 물리적 시뮬레이션을 수행하되 모형 환경에 자동 제어 장치를 부착하고 컴퓨터 프로그램을 통하여 2단계 유량 변화, 3단계 기울기 변화를 줄 수 있을 뿐 아니라 수로로 흐르는 물의 깊이를 잴 수 있게 하고, 물 깊이를 통한 10단계 흡수 변화에서 각 단계마다 30회씩 4회 시뮬레이션을 수행하고, 자료를 수집하고 분석하여 유량과 수로의 기울기, 흡수 변화에 따른 수차 회전 효율 특성의 다양한 경향을 확인하였다.

▶ Keywords : 시뮬레이션, 자동제어, 수차 흡수 변화

Abstract

In this paper, simulations were carried out to determine the efficiency of the rotation efficiency according to the draft of waterwheel in open rectangular channel. In the small hydroelectric generators to get the highest efficiency of waterwheel is very important. But the presence of various elements(free water surface flow, non-uniform velocity distribution because of the waterways wall friction etc) makes it difficult to create a mathematical formula. In this paper, we

•제1저자 : 이경호 •교신저자 : 박회완

•투고일 : 2013. 2. 14, 심사일 : 2013. 3. 19, 게재확정일 : 2013. 3. 26.

* 한라대학교 정보통신방송공학부(School of Information & Communication Engineering, Halla University)

made a scale model and perform a physical simulation where the draft, gradient and flux is variable. Scale modelling with 10-step draft, 3-step gradients and 2-step flux, as well were constructed then computerized automatic experimental system were configured to acquire the rotational efficiency vs. draft of itself. Rotational efficiency is analyzed as for the draft of waterwheel using the acquired data by varying the gradient and flux of canal. Reviewing the analyzed data, it is confirmed that phenomena of efficiency shown at previous and present experiment is similar and revealed that computerized system shows more sophisticated numerical figures.

▶ Keywords : Simulation, Automatic Control, Draft Changes of Waterwheel

I. 서론

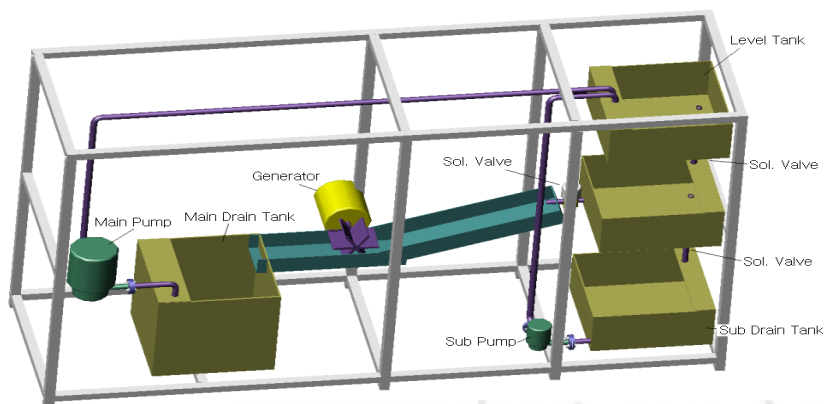
최근 신재생 에너지와 관련하여 관심과 많은 연구가 이루어지고 있다. 태양광 에너지, 풍력에너지, 연료전지 등과 함께 초소수력 발전이 이들이다. 기존의 대수력과는 달리 현재 초소수력에 대한 연구는 미미한 실정이다.[1]

본 논문은 농수로와 같은 사각형 개수로에서 수차를 이용한 발전을 할 때 수차의 최고 효율을 얻기 위한 연구의 일환으로 수행하였다. 개방형 개수로의 흐름에서 자유 수표면의 존재와 수로벽에 존재하는 마찰로 인하여 불균일한 유속 분포를 보이는 상황[2]으로 인하여 흘수에 따른 수차의 효율을 수학적으로 계산하지 못하고 있어 초소수력 발전에서 수차의 최고 효율을 찾지 못하고 있다. 이런 상황에서 최고 효율을 찾는 방법은 보통 계통 실험을 수행하여 추정하고 있다.

본 연구에서도 실제와 비슷한 모형을 만들어 물리적 시뮬레이션을 수행하되 모형 환경에 자동 제어 장치를 부착하고 컴퓨터 프로그램을 통하여 제어하여, 자동으로 2단계 유량 변화, 3단계 기울기 변화에서 물깊이를 자동 측정하며, 측정된 물깊이를 이용하여 10단계 흘수 변화에서 각 단계마다 30회씩 4회 시뮬레이션을 수행하고, 자료를 수집하고 분석하여 유량과 수로의 기울기, 흘수 변화에 따른 수차 회전 효율 특성화 곡선을 추정하였다.

II. 관련 연구

최근 친환경적 에너지인 신재생에너지에 대한 관심이 크게 높아지고 있다. 정부도 저탄소 녹색 성장을 모토로 국가 에너지 기본 계획을 발표한 바 있으며, 다양한 이유로 신재생 에너지를 위한 다양한 연구가 진행되고 있다.



풍력 시뮬레이터는 정병창 등은 가변 토오크 입력형 시뮬레이터와 가변 풍속시 운전모드 전환을 고려한 이중여자 유도형 풍력 발전기의 시뮬레이터를 연구하였으며[3][4], 오승진 등은 풍력 발전과 관련하여 기존의 소프트웨어적 시뮬레이터가 풍력 발전에 있어서 자세한 동작 특성을 모의할 수 없었음에 전동기-발전기로 축소 모형을 제작하고 전동기가 토크를 발전기에 공급하는 풍력 발전 시뮬레이터를 개발하였다. 이를 통하여 풍속계에 의해 풍력발전시스템의 특성을 모의하고자 노력하였다[5].

작은 동력으로 발전할 수 있는 초소형 발전에 대한 연구로는 김홍관 등이 1.5kW급 풍력 발전기용 블레이드의 구조해석 및 구조 실험을 수행하였고[6], 서정민 등은 500w급 초소형 가스터빈을 설계하였다[7], 특히 이경호 등은 자전거를 이용한 1:3 기어비를 통해 입력으로 60RPM을 180RPM으로 만들어 최대 240V 350W 발전 능력을 보였다[8][9].

초소수력에 관한 연구로는 김동진 등이 좁은 수로에 고정적으로 설치하는 초소수력발전용 수차 발전기의 출력 성능을 평가하기 위한 실험을 수행하였다[1]. 그러나 이 연구는 대부분이 수작업을 통한 실험으로 수차로의 유입 유량 1단계, 유속 3단계, 흡수 레벨 4단계 총 12단계의 수차 효율을 분석하였으나 자동화를 통한 본 실험의 60 단계에 비하여 정밀도가 매우 떨어진 실험이며, 수작업을 통한 잘못된 측정 때문에 기인한 것으로 보이는 다수의 오류 부분이 발견되었다.

III. 모의실험환경

그림 1은 본 연구를 위하여 구성된 시뮬레이션 환경이다. 농수로와 같은 사각형 개수로 환경을 제어 장치를 통하여 유량의 변화와 수로 기울기의 변화를 줄 수 있으며, 물의 깊이를 재고 이를 바탕으로 수차 흡수의 변화를 줄 수 있으며, 이 제어장치는 시리얼 통신으로 컴퓨터 프로그램에 의하여 제어되며 측정된 자료는 컴퓨터로 전송된다. 실험 환경 구성은 Jack[10]과 Schneidre[11]를 참고하고 실제 주변 농수로를 참고하여 수차를 계획하고 같은 비율로 축소하여 구성하였다.

물리적 구성은 Main Pump, Sub Pump, Main Drain Tank, Sub Drain Tank, Level Tank, Main Supply Tank, Water Way, Water Wheel, Control Valve 등으로 Pump는 탱크 간 물의 이동을 목적으로 하며, Drain Tank는 수로를 흐른 물의 회수 위해, Level Tank는 수위 조절을 위해, Main Supply Tank는 실험을 위한 수위 구성을 목적으로 하며, 오버플로우에 대한 대책이 마련되어 있다. Water Way는 기울기 조절이 가능하여 다양한 유속을 구현

할 수 있다. 동 실험 환경에서 물의 순환은 1단계로 Main Drain Tank와 Sub Drain Tank로부터 Main Pump와 Sub Pump를 통해 Level Tank로 물이 공급되고, 2단계는 Level Tank에서 Main Supply Tank에 물이 공급되며, 동일한 수위 환경을 구성하기 위한 환경이 Level Tank에 구성되어 있으나, Main Supply Tank에는 또 한 번의 일정 수위 조절을 위해 Overflow 처리 모듈을 구성하였다. Overflow 처리 모듈을 지나는 물은 Sub Drain Tank로 돌아간다. 3단계는 이렇게 일정 수위를 유지하는 Main Supply Tank로부터 Water Way에 물이 공급되며, 공급된 물은 Water Way를 지나 Main Drain Tank로 돌아간다. 이런 구성을 통하여 Water Way에는 수량의 변동 없이 항상 일정량의 물이 흐르도록 함으로써 실험 환경이 일관성을 갖도록 하였다.

수로는 폭 80mm로 수차의 구성은 폭 56mm, 반경은 200mm로 대략 수로 폭의 70% 수로 깊이의 250%로, 날개의 중심을 45° 절곡한 8개의 날개로 모두 아크릴로 구성하였다.

제어보드상의 기능은 컴퓨터와 통신기능, 수차의 높낮이 조절 및 수차의 회전상태파악 기능, 수차 높낮이 조절 및 높낮이 속도제어 기능, 실험 환경에 부착된 6개의 수문개폐 기능 및 두 개의 펌프작동제어 기능으로 구성되어 있다. 통신기능은 COM 포트를 통하여 시리얼 통신을 하며 통신을 위해 구성된 자료교환 규약은 표 1~3과 같다.

모든 제어 장치의 움직임은 스텝핑 모터를 통해 수행된다. 구성된 회로에서 주어지는 신호에 의해 정 또는 역회전하여 움직임을 제어하되, 장치별 움직임 병행제어가 가능하도록 구성하였다. 또한 스텝핑 모터에 가해지는 펄스를 기록 관리하여 모든 움직임 상태를 파악한다. 또한 속도 제어는 구성된 회로 상의 4개의 스위치를 이용하여 조절 속도를 0~15까지 16단계로 조절한다.

수로에 흐르는 유량을 제어하기 위하여 전기적 제어가 가능한 솔레노이드 밸브를 부착하였으며, 이를 이용하여 수문의 개폐 기능을 수행하여 유량을 제어할 수 있다. 수차의 회전 감지를 위해 수차 축 끝에 7mm 정도의 날개를 달았고, 이 날개는 축이 돌면 함께 돌아 발광, 수광 소자로 구성된 사이를 지나가며 통신을 개폐하므로 이 개폐 상태를 측정하여 회전을 감지하도록 하였다. 그 밖에 펌프의 작동 상태를 관장 제어하는 스위치가 있다.

본 실험의 실질적 주관자인 소프트웨어 구성은 컴퓨터 외부에서 하드웨어를 제어하기 위한 프로그램과 컴퓨터 내부에서 전체 실험을 관장하는 프로그램으로 구성된다.

표 1. 통신 설정

Table 1. Set for the communication

속성	설정 값
flow control	None
baud rate	9600 bps
parity bit	None Parity
Stop bit	1 Stop bit

표 2. 보드의 제어 자료 설정

Table 2. Set for the board control data

Byte 번호	값	비고
0	0x02	Reserved / STX
1	0x44	Reserved
2	'-' / '+'	+ : Up - : Down
3	'0'~'9'	수차 높낮이 제어를 위해 Stepping Mortor에 보내는 펄스 수
4	'0'~'9'	
5	'0'~'9'	
6	'0'~'9'	
7	0x03	Reserved / ETX

표 3. 보드의 상태 자료 설정

Table 3. Set for the board status data

Byte 번호	값	비고
0	0x02	Reserved
1	'A'	Reserved
2	'-'	Reserved
3	'0' / '1'	수차 회전 상태 0 : 발광, 수광 차단 1 : 발광, 수광 허용
4	'-'	예약
5	'0' / '1'	수차 이동 상한 확인 0 : 이동 범위 내 1 : 수차 이동 상한 도달
6	'-'	예약
7	'0' / '1'	수차 이동 하한 확인 0 : 이동 범위 내 1 : 수차 이동 하한 도달

단계 1: 사전 준비 : 수행할 다이얼로그 원도유가 통신 메시지를 받을 수 있도록 실험 환경 설정. (실험 회수, 기울기 단계, 단계별 실험 시간, 펌프 제어 등.)

단계 2: 통신 환경 설정 및 통신 시작 : COM 포트를 통해 시리얼 통신을 위한 기본 값 설정. (흐름제어, 전송속도, 패리티 비트, 스톱 비트 설정)

단계 3: 초기화 : 실험에 관여된 장비들의 개별 정상 작동 파악 및 통합 작동 파악. (통신 기능 이용 파악.)

```

단계 4: 실험 :
while( 설정된 실험 회수가 남아있는 동안 )
{
    for(유입량=0; 유입량<제한량; 유입량+=유입단위)
    {
        for(수로각=0;수로각<제한각;수로각+=측정단위)
        {
            물깊이 측정;
            유속 측정;
            유량 계산;
            물깊이, 유속, 유량 기록;
            for( 잠김=0; 잠김<물깊이; 잠김+=잠김측정단위)
            {
                time = 측정 시간;
                while( time )
                {
                    수차 회전 변화 평가;
                }
            }
        }
    }
}
    
```

그림 2. 프로그램 구조
Fig. 2. Program structure

이렇게 구성한 프로그램은 부착된 하드웨어 제어 보드와 통신 설정, 제어보드 및 주변 장치들의 상태 파악, 실험 회수 및 기울기 단계 설정, 단위별 시험 시간 설정, 레벨 단계 설정, 펌프 및 수문 제어, 물표면 찾기를 비롯한 물깊이, 유속, 유량 측정 등 실험의 전체 제어 및 자료 취득에 필요한 기능을 수행한다.

컴퓨터 외부에서 제어보드에 구성된 하드웨어 제어 프로그램은 C로 구성하였으며, 컴퓨터 내부에서 제어 장치를 통제하고 자료를 수집하는 등 전 실험을 관장하는 프로그램은 MFC로 구성하였다. 본 실험이 수행되는 총체적 프로그램 수행 모습은 그림 2와 같다.

IV. 자료 취득 및 분석

1. 자료 취득 환경

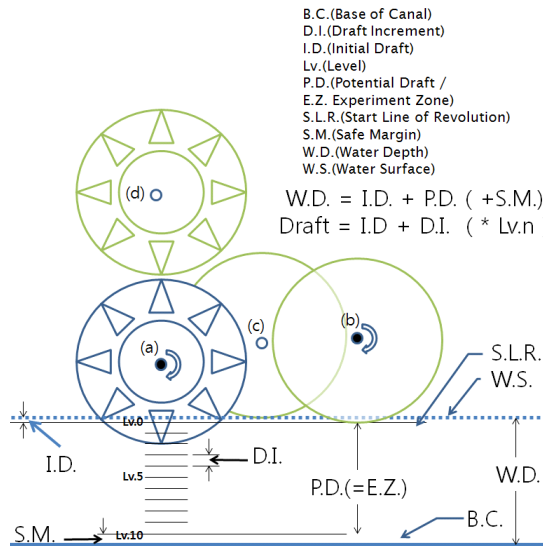


그림 3. 수차 흡수 레벨
Fig. 3 Draft level of waterwheel

그림 3은 수차의 잠김 레벨을 표현한 그림으로 W.S.은 수면을 나타내며, S.L.R.은 수차회전경계선으로 수차가 상방으로 올라오며 회전하다 정지한 수위이다. I.D.(Initial Draft)는 수차의 초기흡수로 이 깊이에서 수차가 돌기 시작 되는 수위이다. S.L.R.과는 스테핑 모터에 보내진 10 pulse(나사 회전 180, 3/40mm)의 답을 경계로 안과 밖을 의미하는 차이를 갖는다. W.D.은 수심, B.C.은 수로바닥, P.D.와 E.Z.는 데이터 측정 범위, D.I.은 흡수증분, S.M.은 수차보호공간으로 1mm로 설정하였다, Lv.는 수차 흡수 단계를 의미한다.

그림에서 수차(c)는 수차가 수면에 접하고 있는 상태 표현 하나 물의 힘이 수차를 돌리지 못함을 의미하며, (b)는 수차가 돌거나 멈추는 경계 상에 있음을 의미한다. (a)는 수차가 흡수 레벨2에 있음을 의미하며, 물의 힘에 의해 돌고 있음을 표현한다.

실험을 위한 물깊이의 측정과 수차 잠김 단계를 결정하기 위한 수위의 결정은 매우 중요하다. I.D.는 수차가 물에 잠겨 회전하는 상태에서 수차를 단계별로 상승시키며, 매 상승 단계마다 일정시간 대기하여 물의 흐름에 영향을 받지 않아 수

차가 회전을 멈추는 상태의 수위이다. I.D.는 수면보다 아래에 위치하며 본 실험에서는 이곳을 기점으로 깊이를 측정하게 된다.

실험에 이용된 유량은 930cm³/sec와 465cm³/sec 두 가지로 구성하였다. 수로의 경사도는 4.0o, 3.25o, 2.5o로 설정하였다. 이는 [1]의 설정과 같게 한 것이며, 동 논문에서 육안으로 경사도를 조절하며 유속이 빠르고 느리게 보이는 부분과 두 개의 중간 경사도를 설정한 것이라고 하며, 이 기틀기 설정은 실제 수로에서는 마찰 계수 때문에 다른 값으로 설정된다.

S.L.R.을 찾는 알고리즘은 찾는 속도를 고려하여 SCAN 스케줄링과 2분 검색 변경 방법으로 구성하였다. 따라서 처음에는 큰 폭으로 진행하나 I.D.을 지나면 되돌아올 때는 1/3 정도의 작은 폭으로 진행하면서 S.L.R.을 찾도록 하였다. 최종 단계의 진행 값은 1.8o 씩 10펄스로 물속에서 나오면서 찾도록 되어 있다. 또한 Scan 레벨이 낮아수록 수차 정지 대기 시간이 적게 하고 scan 레벨이 클수록 대기시간은 길어져서 관성에 의한 회전을 막을 수 있었다.

2. 물 표면 찾기와 물 깊이 측정

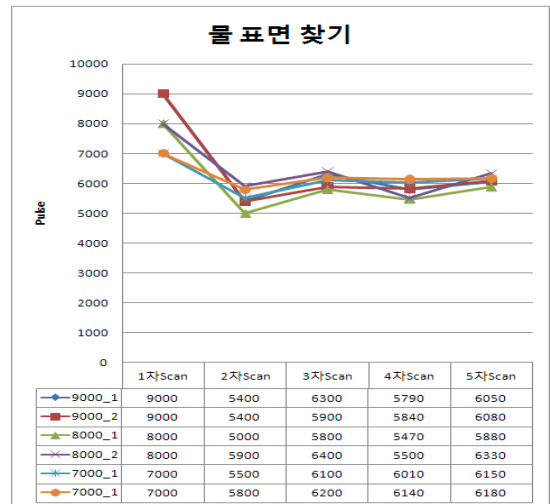


그림 4의 (a)는 구현된 프로그램에 의해 수차가 물의 표면 으로서 수차 회전 경계선을 찾는 과정을 보여주고 있다. 프로

그림은 우선 수로바닥을 찾은 후, 1차 Scan부터 1000, 300, 100, 30, 10pulse 단위로 움직이며 수차 회전 경계선을 찾는다. 이렇게 하면서 동시에 물깊이도 측정한다. 도표는 각기 다른 3곳에서 각각 2회씩 출발하여 수차 회전 경계선 찾기를 수행한 상태를 보여주며, 최종 종착점이 유사한 곳으로 집중되고 있고, 기계적 장치로서 제 기능을 수행하고 있음을 보여주고 있다. 최종 정착점이 한 곳으로 집중하지 않음은 일렁이는 물의 특성 때문에 발생하는 자유도이다.

그림 4의 (b)는 5분 간격으로 물표면 찾기를 수행한 120회의 결과에 보조선을 그어 물표면 찾기(물 깊이 측정)가 거의 직선의 결과를 보이고 있음을 보여주는 도표이다. 도표에서 보는 바와 같이 물의 일렁임 등에 의해 일부 불편 자료가 발생함을 볼 수 있으며, 이런 이유로 자료 정제 과정을 거친다.

3. 취득 자료의 정제

표 4는 120회 물깊이 측정 데이터를 이용하여 만든 표이다. No Trim 부분은 정제 하지 않은 자료를 이용하여 구성한 내용이며, Trim 부분은 자료 정제 과정으로 불편 데이터를 제거하기 위해 양극단 10회씩 총20회를 제거하고 평균을 물깊이로 하였다. 표를 보면 상위 10회 하위 10회의 불편 자료를 제거하였을 경우 분산과 표준 편차, 변동계수, 범위는 거의 40%~30%나 축소되고 있으나 평균은 거의 변동이 없음(0.08% 변동)을 볼 수 있다. 즉 불편 자료의 제거가 평균에 영향을 주지 않음을 알 수 있다.

표 4 물 깊이 측정 자료(120회 수행분)
Table 4 Water Depth Measured Data(120 Trials)

Scan 구분	치수	1차	2차	3차	4차	5차
		(1000펄스)	(300펄스)	(100펄스)	(30펄스)	(10펄스)
No Trim	평균	7933.33	5473.33	6451.67	5684.67	6058.08
	분산	398879.55	268694.68	140669.47	340154.51	103240.83
	표준 편차	631.57	518.36	375.06	583.23	321.31

4. 자료의 취득

표 5 유량과 기울기 출수에 따른 회전 성능
Table 5 Number of revolutions by level, draft, flux

	P2S2	P2S3
level10	149.8	155.2
level9	150.7	164.5
level8	150.1	167.7
level7	147.4	165.6
level6	143.8	165.8
level5	138.3	166.3
level4	134.0	162.6
level3	128.4	159.3
level2	120.4	148.3
level1	107.1	135.2

사각형 개수로에서의 수차 출수 변화에 따른 회전 효율 파악을 위한 자료 취득은 유사한 실험의 [1]을 참조하여 수로 기울기는 일차 하였으나, 유량은 동일 유량과 2배의 유량 2단계로, 출수는 4단계가 아닌 10단계로 설정하였다. 1회 계측 시간 300초씩 수행하되 30회씩 4회 수행하여 총 120회 수행하고, 얻은 값에서 양극단의 불편 값 10%를 제거한 100회 실험에 대한 평균을 취득하였다. 30회씩 수행한 각 자료에서의 평균값들도 통합자료와 유사한 결과를 보이고 있으며, 불편 값의 제거도 자료의 정제에서 보인 바와 같이 평균에 큰 영향을 미치지 않았다.

표 5는 실험의 결과로 얻은 값으로 P는 물의 공급을 의미하며, P2는 930m3으로 P1보다 두 배의 물이 공급됨을 의미한다. S는 경사도를 의미하며, S2, S3, S4가 각각 2.5o, 3.25o, 4.0o를 의미한다. level은 출수로 가장 깊은 출수가 level 10이며, level 1은 측정된 물 표면에서 10%정도 들어간 곳이다.

5. 실험 결과 분석

그림 5는 실험의 결과로 얻은 값을 이용하여 표현한 회전 성능 곡선이다. 그래프에서 P2S4, P2S3를 보면 출수가 큰 곳에서 회전수가 줄어드는 것을 볼 수 있으나 이를 제외하면 유량이 많은 P2 시리즈(P2S2, P2S3, P2S4)의 변화의 모습과 유량이 P2의 반인 P1 시리즈(P1S2, P1S3, P1S4)의 변화의 모습은 전체적으로 유사한 모습을 볼 수 있다. S2와 S3에서의 모습이 둘 다 출수가 깊지 않은 전반부 쪽이 수차의 회전수 간격이 넓다가 출수가 깊을 때 근접하고 있으며, P2S4의 출수가 깊은 곳을 제외하면 S3와 S4에서는 둘 다 출수가 깊을수록 수차의 회전수가 점점 큰 차이를 보이고 있는 모습도 유사하다. P2S4가 출수가 깊을 때 성능이 줄어드는

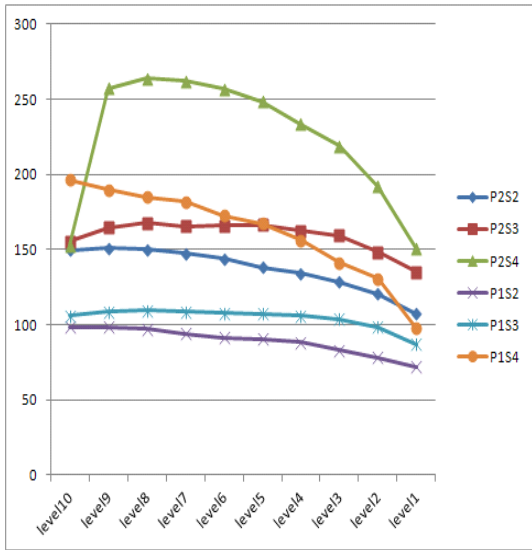


그림 5. 흘수 변화에 따른 수차 회전 성능곡선
Fig. 5 Performance curve of water-wheel according to the draft changes

이유는 입력되는 유량을 소화하지 못하여 발생하는 와동이 원인으로 이를 감안하면 P1S4와 유사함을 알 수 있다. 즉 유량의 변화가 다르더라도 경사도와 흘수의 변화가 수차 효율의 변화를 주도하고 있음을 알 수 있으며, 흘수 변화에 따른 회전 성능 특성화 곡선이 있음을 알 수 있다.

본 실험은 [1]을 모태로 수행한 실험으로, 두 실험을 비교하기 위해 [1]을 '실험 1'로 본 실험을 '실험 2'로 표현하여 두 실험 환경을 비교하여 정리하면 아래와 같다.

	실험 1	실험 2
물표면	목측	자동화 수차회전 정지점
물 깊이 측정	자를 이용한 목측	바닥에서 자동화 수차 회전 정지점

아울러 실험 결과를 비교 분석하면 다음과 같다.

1) 실험 1의 3.25o 경사도의 흘수가 낮은 위치에서 수차의 회전수가 4.00o 경사도의 회전수를 능가하는 것은 잘못된 결과로 보인다.

[2]에 의한 개수로의 유속 분포를 보면 수로의 횡단면을 바탕으로 하여 볼 때 x축으로 수로 폭 중간, y 축으로 물표면의 15% 아래 지점이 가장 빠른 유속을 보이며, 이 후 부터는 대략 수로면과 유사한 형태로 유속이 느려진다. 두 수로 기울기 모두 구간 1 단계에서 동일한 유속 분포를 가질 것이므로 개수로의 유속 분포로도 이 현상을 설명할 수 없으며, 특별한 이유가 없는 한 경사도가 심하면 수차로의 유체 유입 에너지가 커짐에 따라 회전 성능이 향상되어 회전 속도가 증가할 것이라는 상식에도 위배된다.

따라서 본 연구에 의하여 나타난 결과로 대체되어야 한다. 실험 1에서의 오류 즉 3.25o 경사도 저 흘수에서 4.00o의 저 흘수 구간 보다 더 많은 회전 성능이 나온(펄스가 측정) 것은 저 흘수에서 물의 힘이 부족하여 수차를 '밀다 못 밀다' 하는 상황에서 수차의 무게 중심 불균일 등의 이유로 수차의 좁은 공간에서 왕복하는 진동이 발생하면 다수의 펄스로 기록될 수 있어 이것이 더 많은 펄스를 기록하게 된 것으로 해석된다.

2) 실험 1의 2.50o 경사도 구간 1에서 흘수가 적은 곳이 흘수가 깊은 곳보다 더 큰 펄스 수가 더 많이 나오는 현상도 1)에서 설명한 대로 수차의 역회전이 만든 상황으로 해석된다.

3) 실험 1의 4.00o 경사도 구간 3에서 급격한 회전수의 증가를 발견할 수 있으나 실험 2를 미루어 보건데 비교적 큰 증가는 하나 급작스런 증가는 없을 것으로 사료된다. 이는 추가 실험을 통하여도 확인하였다.

4) 실험 1의 구간3과 구간4 사이에서 변곡점이 생기는 것을 보고하였으나 그 원인에 대하여 밝히지 않고 있다.

실험 2에서도 흘수 레벨 80% 전후에서 변곡점이 발생하는 경우를 볼 수 있으며, 이 이유는 수차가 물의 흐름을 방해하는 작용으로 인해 다양한 유속 분포를 갖는 물의 흐름에서 와동이 발생하고 에너지의 작용 방향이 분산되면서 물이 빨리 빠져나가지 못하게 하며 물이 쌓이면서 발생하는 현상으로 보인다. 이는 유량이 크고 유속이 빠른 P2S4에서 육안으로 명확히 확인된다.

5) 실험 1의 2.50o 경사도와 3.25o 경사도를 보면 경사도가 가장 낮은 2.50o 경사도가 3.25o 경사도 보다 수차 효율의 변화가 심한 것은 실험 1의 2.50o 경사도 구간1을 제외하면 두 실험 세 개의 결과에서 유사함을 보이고 있다. 이는 유속과 흘수에 다른 특성화 곡선으로 볼 수 있다.

6) 앞에서 지적한 부분을 제외하면 두 실험에서 모두 중간 단계인 3.25o 경사도는 흡수가 낮을 때는 2.50o 경사도와 거리가 있고 4.00o 경사도에 근접한 회전수를 보이고 있으며, 흡수가 높을 때는 반대로 2.50o 경사도와 근접하며 4.00o 경사도에 거리가 있는 회전수를 보이고 있다. 이 또한 유속과 흡수에 따른 특성화 곡선으로 볼 수 있다. 따라서 유량이 많고 경사가 급할 때는 수차가 물의 흐름을 방해하는 저항으로 작용하여 와동이 발생하고 회전수가 급격히 줄기 때문에 흡수 80% 근방에서 좋은 수력 에너지를 얻을 수 있고, 경사가 중간 단계일 경우는 흡수 40~90%대가 최적의 유사한 에너지를, 경사도가 낮을 때에는 90%대외에서 좋은 에너지를 얻을 수 있는 것으로 해석된다. 또한 유량이 적을 때는 경사도가 중간이거나 낮을 수로에서는 유량이 많은 경우와 유사하나, 경사도가 급한 경우는 와동 발생 확률이 적어 가능한 흡수를 깊게 할 때 좋은 에너지를 얻을 수 있다고 해석된다.

7) 흡수가 깊은 상태에서 수로 경사도의 증가는 선형적으로 회전수를 증가시키는 것이 아니라 갑자기 크게 증가하는 상태를 확인할 수 있다. 실험 1의 구간 3, 4 사이가 그렇고, 실험 2의 P1 시리즈의 흡수 레벨 20~100%, P2 시리즈의 20~90% 범위를 보면 확인할 수 있다. 이는 수로 경사도에 브레이크 포인트가 있는 것으로 보인다.

8) 실험 2의 P1S4와 P2S2, P2S3를 살펴보면 흡수 레벨에 낮은 단계에서는 유량이 큰 것이 수차의 회전수에 더 큰 영향을 미치고 있으나, 흡수 레벨이 클 경우 유량보다 수로의 경사도가 더 큰 영향을 미치고 있음을 볼 수 있다. 이는 유입 에너지가 상수의 무게를 가진 수차를 미는 브레이크 포인트가 있음을 의미하는 것으로 해석된다.

V. 결론

본 연구에서는 사각형 개수로에서 수차의 흡수 변화에 따른 회전 효율 파악을 위한 시뮬레이션으로 좁은 수로 축소 모델을 구성하고, 정확한 실험 진행을 위해 전자 기계 장치를 부착하고, 또 자동제어 및 자료 수집을 수행하는 컴퓨터 프로그램을 만들어, 이 자동화된 실험 환경에서 유입 유량 2단계, 수로 경사도 3단계, 수차 잠김 10단계, 총 60단계에서 수로의 경사도와 유량의 변화, 수차 잠김 변화에 따른 수차의 회전 효율을 실험하였고, 자료를 확보하여, 5배의 정밀한 결과로 수작업으로 수행한 다른 실험 결과와 비교 분석하여, 수작업 실험에서의 오류 부분을 밝히고, 유사 부분의 확인 및 추가 분석 정리하였다.

본 연구의 결과는 향후 사각형 개수로를 이용한 초소수력

발전기를 구성하여 발전할 경우 참조할 수 있을 것으로 사료되며 또한 이번 실험을 통하여 알아낸 특성화 곡선의 성질을 파악하기 위한 다양한 연구가 필요한 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] D. J. Kim, K. H. Lee, K. C. Ann, B. H. Kim, C. W. Lee, "Experiments on Efficiency of Standing Type Waterwheel with Narrow Canal for Micro/Small Scale Hydro Power Plant", KSMPE, Vol. 11, No. 5, pp. 104-108, 2012.
- [2] J. S. Lee, "Water Resource Engineering", goomibook, pp. 282-293, 2008.
- [3] B. C. Jung, S. H. Song, D. H. Rho, D. R. Kim, "A Wind Turbine Simulator with Variable Torque Input", KIEE, Vol. 51, No. 8, pp. 467-474, 2002.
- [4] B. C. Jung, S. H. Song, D. J. Sim, "A Wind Turbine Simulator for Doubly-Fed Induction-type Generator with Automatic Operation Mode Change during Wind Speed Variation", KIPE, Vol. 11, No. 4, pp. 349-360, 2006.
- [5] S. J. Oh, M. Y. Cha, J. W. Kim, J. G. Jung, B. M. Han, B. H. Jang, "Development of Hardware Simulator for DFIG Wind Power System Composed of Anemometer and Motor-Generator Set", KIPE, Vol. 16, No. 1, pp. 11-19, 2011.
- [6] H. K. Kim, J. H. Lee, S. M. Jang, G. W. Kang, "Structural Analysis and Testing of 1.5kW Class Wind Turbine Blade", Journal of fluid machinery, Vol. 13, No. 4, pp. 51-57, 2010.
- [7] J. M. S대, B. S. Choi, J. Y. Park, C. H. Park, Y. I. Kim, "Design of 500W Class UMG for Power Generation", Journal of the KIMST, Vol. 14, No. 6, pp. 1207-1214, 2011.
- [8] K. H. Lee, "Implementation of Educational Game to Accompany Exercising and Generating", KSCI, Vol. 15, No. 12, pp. 47-55, 2010.
- [9] K. H. Lee, "Implementation of Serious Game Environment to Reflect Exercise using Human Power Generation System", KSCI(winter conference), Vol. 19, No. 1, pp.175 - 178, 2011.
- [10] Jack, J.F., 1984, "Small and mini hydro-power

systems", Mc Graw Hill, New York.

- [11] Schneider, D., 1977, Fluid driven power producing apparatus. U.S. Patent-4049300.

저 자 소개



이 경 호

1991: 한국방송통신대학교 이학사.

1994: 한국과학기술원 공학석사.

2008: 단국대학교 공학박사

현 재: 한라대학교

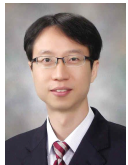
정보통신방송공학부 교수

관심분야: 게임, 패턴인식, HCI,

디지털 신호처리,

컴퓨터 기술 응용

Email : khlee@halla.ac.kr



박 희 완

1997: 동국대학교 컴퓨터공학과 학사.

1999: 한국과학기술원 전산학과 석사.

2010: 한국과학기술원 전산학과 박사.

현 재: 한라대학교

정보통신방송공학부 교수.

관심분야: 프로그램 난독화, 역공학,

악성코드 분석,

소프트웨어 워터마킹,

정적 및 동적 분석 등

Email : heewanpark@halla.ac.kr