

## 자동제어 장치와 컴퓨터 프로그램을 이용한 수차 성능 실험

이경호<sup>o</sup>

<sup>o</sup>한라대학교 정보통신방송공학부

e-mail: khlee@halla.ac.kr<sup>o</sup>

## Performance Experiments of Waterwheel using the Automatic Control Devices and the Program

Kyong Ho Lee<sup>o</sup>

<sup>o</sup>School of Information & Communication Broadcasting Engineering, Halla University\*

### ● 요약 ●

본 논문에서는 좁은 수로에서의 3단계의 기울기와 2단계의 유량에서 수차의 흡수와 효율에 관한 실험을 수행하였다. 컴퓨터에 의하여 제어되는 자동화된 축소 실험 환경을 구성하고, 3단계의 기울기와 2단계의 유량 각각에 대하여 10단계의 흡수별 회전 효율 데이터를 취득하고, 취득한 데이터를 이용하여 회전 효율을 분석하고, 전에 실험한 다른 논문의 결과와 비교하여 잘못된 결과들을 찾아내고, 유사하게 현상들의 동일함을 확인하며, 수작업 실험에서 밝혀내지 못한 현상들을 추가하여, 컴퓨터의 이용효과를 확인하였다.

**키워드:** 시스템 구축(System Construction), 자료 취득(Data Acquisition), 제어시스템(Control System)

### I. 서론

본 연구에서는 수작업을 통하여 수행된 좁은 수로에서 수행된 수직 수차의 흡수 변화에 따른 회전 성능 12단계 실험을 컴퓨터 프로그램에 의하여 제어되는 자동화된 60단계로 실험하여, 수작업 실험에서 기록한 잘못된 결과들을 찾아내고, 유사하게 측정된 현상들은 동일함을 확인하고, 자동화된 세밀한 작업을 통하여 수작업 실험에서 밝혀내지 못한 현상들을 추가하여, 컴퓨터의 이용효과를 확인하였다.

### II. 비교 대상 연구

실험의 비교 대상 연구는 김동진 등이 수행한 ‘초소수력발전용 좁은 수로 고정형 수직수차 성능실험’이다.[1] 이 논문은 농수로와 같은 좁은 수로에 고정형 수직 수차를 설치하였을 때 경사도의 변화와 수차의 잠김 정도(흡수)에 따른 물의 미는 힘, 즉 수차 회전에 미치는 영향에 대하여 연구한 논문이다. 이 논문에서는 좁은 수로에 해당하는 축소 모형을 만들고[4][5] 계획한 수차를 만들어 수작업을 통하여 실험하되, 다만 수차 회전 자료만을 컴퓨터를 이용하여 수행하였다. 또한 연구에서 수로의 폭은 50mm, 수차의 폭은 35mm, 수로에 흐르는 물의 양은 465cm<sup>3</sup>/sec, 수로의 경사도는 2.5o, 3.25o, 4.0o 3단계에 수차의 잠김(흡수) 4단계로 실험을 하였다.

이 연구는 Fukutomi 등이 ‘수차의 형식이 일정할 경우, 수차의 회전 성능은 유속을 결정하는 수로의 기울기와 수차의 잠김 정도

에 따라 달라진다[3].’는 내용을 참고하여 실험을 수행하였으며,

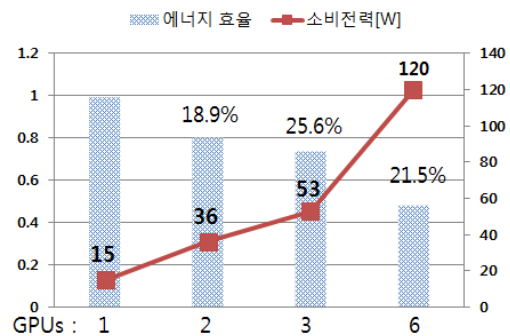


그림 1. 흡수 대비 펄스의 수차 성능 곡선

Fig. 1. Performance curve of water-wheel for the pulse versus draft

이 실험에서 그림 1과 같은 변화 그래프를 얻어내었다. 여기에서 수직축은 수차의 흡수, 수평축은 수차의 회전 성능으로 펄스 수를 나타낸다. 수차의 1회전마다 8개의 펄스가 발생하도록 구성하였으므로 수차의 회전수는 펄스 횟수를 8로 나눈 값이 된다. 그래프는 수로의 경사도에 의존적이지 않은 모두 뚜렷한 4개의 특성구간을 가짐을 보이고 있으며, 구간 1을 보면 중간 경사도에서 중간 경사도 3.25o에서 더 큰 경사도를 가진 4.0o 경사도 수로 보다 더 좋은 회전수를 보이고 있으며, 2.5o 경사도 구간 1에서는 흡수가 증가함에 따라 오히려 회전수가 감소하는 현상을 보이기도 한다.

### III. 자동화한 실험 환경

본 연구에서 구성된 실험환경은 비교 대상 실험 환경과 동일한 구조로 만들었다. 다만 폭이 80mm로 수로 및 수차를 150%로 키웠으며, 물의 양은 930 cm<sup>3</sup>/sec, 465cm<sup>3</sup>/sec 2단계로 하였다. 930cm<sup>3</sup>/sec를 같은 경사도 수로의 물높이로만 비교하면 비교 실험 환경의 125% 수준이다. 실험의 자동화를 위하여 구성된 장치 제어 회로의 기능은 컴퓨터와 통신기능, 수차의 높낮이 조절 및 수차의 회전상태파악 기능, 수차 높낮이 조절 및 높낮이 속도제어 기능, 수문개폐 기능 및 두 개의 펌프작동제어 기능으로 구성되어 있다. 통신기능은 COM 포트를 통하여 시리얼 통신을 하며 통신을 위해 구성된 자료교환 규약은 Table 1~3과 같다. 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 실험 환경에 구성된 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 관장하는 스위치가 있다. 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. 보드제어자료 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	

표 3. 보드상태자료 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
8	'.'	예약
9	'0'~'9'	수차 높낮이 제어를 수행한 Stepping Mortor 펄스 수
10	'0'~'9'	
11	'0'~'9'	
12	'0'~'9'	
13	0x03	Reserved
14	0x0D	Reserved
15	0x0A	Reserved

하드웨어 제어 프로그램은 C로 구성하였으며, 전체 실험을 관장하는 컴퓨터 프로그램에 의하여 통제된다. 전체 제어 및 자료 취득을 위한 프로그램은 마이크로소프트사의 MFC를 이용하여 구성하였다. 이렇게 구성된 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.

그림 2는 본 실험에서의 수차의 잠김 레벨을 표현한 그림이다. W.S.(Water Surface)은 수면, S.L.R.(Start Line of Revolution)은 수차회전경계선으로 수차가 상방으로 올라오며 회전한다 정지한 수위이다. I.D.(Initial Draft)는 수차의 초기흡수로 이 깊이에서 수차가 돌기 시작 되는 수위이다. S.L.R과는 스텝핑 모터에 보내진 10 pulse(본 실험의 수차 이동 최소 값 : 나사 회전 18o, 3/40mm)의 담을 경계로 안과 밖을 의미하는 차이를 갖는다. W.D.(Water Depth)은 수심, B.C.(Base of Canal)은 수로바닥, P.D.(Potential Draft / E.Z. Experiment Zone)은 데이터 측정 범위, D.I.(Draft Increment)은 흡수증분, S.M.(Safe Margin)은 수차보호공간으로 1mm로 설정하였다, Lv.(Level)은 수차 흡수 단계를 의미한다. 그림에서 수차(c)는 수차가 수면에 접하고 있는 상태를 표현하며 물의 힘이 수차를 돌리지 못하고 있다. (b)는 수차가 돌거나 멈추는 경계 S.L.R.에 있음을 의미한다. (a)는 수차가 흡수 레벨2에 있음을 의미하며, 물의 힘에 의해 들고 있음을 표현한다.

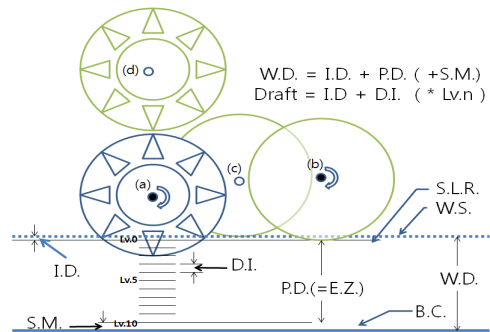


그림 2. 흡수 레벨 개념도

Fig. 2. A conceptual sketch of Draft level

일반적인 물 깊이는 W.D로 하겠으나, 본 실험에서는 I.D.에서 S.M.을 제외한 범위 즉 E.Z.이다. I.D.는 수차가 물에 잠겨 회전하는 상태에서 수차를 프로그램에 의하여 상승시키며, 매 상승 단계마다 일정시간 대기하여 물의 흐름에 영향을 받지 않아 수차가 회전을 멈추는 상태의 수위이다. I.D.는 수면보다 아래에 위치하며 본 실험에서는 이곳을 기점으로 깊이를 측정하게 된다. 최종 단계의 진행 값은 10펄스로 18o 씩 물속에서 나오면서 찾도록 되어 있다. 또한 Scan 레벨이 낮을수록 수차 정지 대기 시간이 적게 되고 scan 레벨이 클수록 대기시간은 길어져서 관성에 의한 회전을 막을 수 있었다. 수로바닥 인식은 실험 장비의 보호를 위해 수로 바깥으로 바닥 표면 위 1mm 위치에 하한 경계 스위치를 달아 수

차가 이 위치에 도달하면 스위치가 실험 장치에 하한을 통보하도록 구성하여 통보되는 시점을 바닥으로 하였다.

#### IV. 자료 취득 및 분석

본 실험에서는 비교 대상 실험에서 발견한 수차 효율의 특이한 현상의 존재를 확인하기 위하여 실험 환경을 자동화하고 실험하여 자료를 취득한 것이다. 경사도는 비교 실험과 같은 3단계이나 홀수는 10단계, 유량은 2단계로 하였다. 물의 깊이와 홀수 결정은 자동화된 기계적 측정을 통하여 수행하였으므로 비교 실험보다 매우 정밀할 것이나 S.L.R.의 결정은 수차가 물속에서 나온다 회전을 멈추는 곳으로 하였으므로 측정된 물깊이의 의미가 비교 실험과는 조금 다를 수 있다. 실험 시간은 비교 실험과 같이 1회 계속시간 300초씩 수행하되 30회씩 4회 수행하여 총 120회 수행하고 얻은 값에서 양극단의 불편 값 10%를 제거한 100회 실험에 대한 평균 값이다. 불편 값의 제거는 평균 결정에 큰 영향을 미치지 않았다.

그림 3은 본 실험의 결과로 P는 물의 공급을 의미하며, P2는 P1보다 두 배의 물이 공급됨을 표시한다. S는 경사도를 의미하며, S2, S3, S4가 2.5o, 3.25o, 4.0o를 의미한다. 가장 홀수가 깊은 것이 level 10이며, level 1은 측정된 물 표면에서 10%정도 들어간 곳이다. 수직 축은 회전수, 수평축은 홀수 레벨로 숫자가 클수록 수차가 깊이 잠긴 것이다. 그래프에서 P2S4, P2S3를 보면 비교 실험과 같이 홀수가 큰 곳에서 회전수가 줄어드는 것을 볼 수 있으며, 특히 P2S3은 홀수가 큰 곳에서 매우 급격히 줄어드는 것을 볼 수 있다. 또 중간 경사도인 P2S3은 P2S2와 P2S4 중간에 위치하고 있으나 홀수가 낮은 곳에서는 P2S4와 근접하고 홀수가 깊은 곳에서는 P2S2와 근접하는 특징을 보이고 있으나, 근접할 뿐 회전 효율의 역전 현상의 교차 현상은 보이지 않는 차이를 보인다. 그러나 중간 지점에서 회전수에 큰 차이를 보이다가 홀수가 적은 부분이나 깊은 부분에서 근접하고 있음은 유사하여, 전체적으로 70% 정도가 유사한 특징을 보이고 있다고 할 수 있다.

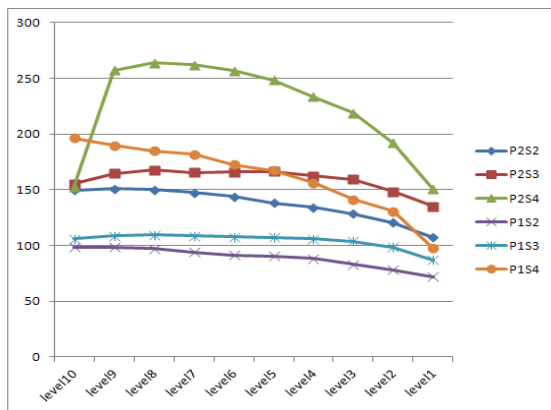


그림 3. 홀수 대비 펄스의 회전 성능 곡선

Fig. 3. Performance curve of water-wheel for the revolution versus draft

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 있으며, 특징은 경사도 S2와 S3에서의 모습이 둘 다 홀수가 깊지 않은 절반부 쪽이 수차의 회전수 간격이 넓다가 홀수가 깊을 때 근접하고 있음이 유사하며, 경사도 P2S4의 홀수가 깊은 곳을 제외하면 S3와 S4에서는 둘 다 홀수가 깊을수록 수차의 회전수가 점점 큰 차이를 보이고 있는 모습도 유사하다. 결론적으로 유량의 변화가 다르더라도 경사도와 홀수의 변화가 수차 효율의 변화를 주도하고 있음을 알 수 있었다. 대상 실험과 본 실험의 비교 분석은 다음과 같다. 1) 개수로의 유속 분포[2]를 보면 수로의 횡단면을 바탕으로 하여 볼 때 x축으로 수로 폭 중간, y 축으로 I.D. 15% 아래를 중심으로 할 때 가장 빠른 유속을 보이며, 이 후 부터는 대략 수로면과 유사한 형태로 유속이 느려진다. 실험 1의 3.25도 경사도의 홀수가 낮은 위치에서 수차의 회전수가 4.00o 경사도의 회전수를 능가하는 것은 두 기울기 모두 구간 1단계에서 동일한 분포를 가질 것이므로 개수로의 유속 분포로도 설명할 수 없으며, 특별한 이유가 없는 한 경사도가 심하면 수차로의 유체 유입 에너지가 커짐에 따라 회전 성능이 향상되어 회전 속도가 증가할 것이라는 상식에도 위배됨을 실험 2를 통하여 확인하였다. 따라서 3.25o 경사도 저 홀수에서 4.00o의 저 홀수 구간 보다 더 많은 펄스가 나온 것은 저 홀수에서 물의 힘이 부족하여 수차를 '밀다 못 밀다' 하는 상황에서 무게 중심이 불균일한 수차로 인하여 1/8만큼의 역회전이 발생하면 펄스로 기록될 수 있어 이것이 더 많은 펄스를 기록하게 된 것으로 해석된다.

2) 실험 1의 4.00o 경사도 구간 3에서 급격한 회전수의 증가를 발견할 수 있으나 실험 2를 미루어 보건데 증가는 하나 그 정도의 급작스런 증가는 없을 것으로 사료된다. 단 구간3과 구간4 사이에서 변곡점이 생기는 것과 같이 홀수 레벨 80% 전후에서 변곡점이 발생하는 것은 알 수 있으며, 이 이유가 유속이 빠르다 수차가 물의 흐름을 방해하는 작용으로 인해 발생하는 와동이 막힘 현상을 야기하고 따라서 물이 빨리 빠져나가지 못하게 하며 물이 쌓이면서 발생하는 현상으로 보인다. 3) 실험 1의 2.50o 경사도 구간 1에서 홀수가 적은 곳이 홀수가 깊은 곳보다 더 큰 펄스 수가 더 많이 나오는 현상도 1)에서 설명한 대로 수차의 역회전이 만든 상황과 유사하다. 4) 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 실험에서 유사한 결과를 보이고 있다.

5) 앞에서 지적한 부분을 제외하면 두 실험에서 모두 중간 단계인 3.25o 경사도는 홀수가 낮을 때는 2.50o 경사도와 거리가 있으며 4.00o 경사도에 근접한 회전수를 보이고 있으며, 홀수가 높을 때는 반대로 2.50o 경사도와 근접하며 4.00o 경사도에 거리가 있는 회전수를 보이고 있다고 해석되어, 유량이 많고 경사가 급할 때는 수차가 물의 흐름을 방해하는 저항으로 작용하여 와동이 발생하고 회전수가 급격히 줄기 때문에 홀수 80% 근방에서 좋은 수력 에너지를 얻을 수 있고, 경사가 중간 단계일 경우는 홀수 40~90% 대가 최적의 유사한 에너지를, 경사도가 낮을 때에는 90%내외에

서 좋은 에너지를 얻을 수 있는 것으로 해석된다. 유량이 적을 때는 경사도가 중간이거나 낮은 수로에서는 유량이 많은 경우와 유사하나, 경사도가 급한 경우는 와동 발생 확률이 적어 가능한 출수를 갖게 할 때 좋은 에너지를 얻을 수 있다. 6) 출수가 깊은 상태에서 수로 경사도의 증가는 선형적으로 회전수를 증가시키는 것이 아니라 갑자기 크게 증가하는 상태를 확인 할 수 있다. 그림 1의 구간 3, 4 사이가 그렇고, 그림 3의 P1 시리즈의 출수 레벨 20~100%, P2 시리즈의 20~90% 범위를 보면 확인할 수 있다. 이는 수로 경사도에 브레이크 포인트가 있는 것으로 보인다. 7) 그림 3의 P1S4와 P2S2, P2S3를 살펴보면 출수 레벨에 낮은 단계에서는 유량이 큰 것이 수차의 회전수에 더 큰 영향을 미치고 있으나, 출수 레벨이 클 경우 유량보다 수로의 경사도가 더 큰 영향을 미치고 있음을 볼 수 있다. 이는 유입에너지가 상수의 무게를 가진 수차를 미는 브레이크 포인트가 있음을 의미하는 것으로 해석된다.

## V. 결 론

본 연구에서는 좁은 수로 축소 모델을 구성하고, 자동화된 실험을 위하여 전자 기계 장치를 부착하고, 컴퓨터 프로그램을 만들어 자동화된 실험 환경을 구성하고, 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 실험하고, 자료를 확보하여, 수작업으로 수행한 근사한 다른 실험 결과와 비교 분석하여, 컴퓨터 장비를 이용한 자동화 실험이 훨씬 정밀하고 정확할 수 있음과 함께, 수작업 실험에서의 오류 부분을 밝히고, 유사 부분의 확인과 함께 결과를 추가 분석 정리하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] D.J.Kim, K.H.Lee, K.C.An, 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 Resources Engineering", Gumi-Press, pp.282-293. 2008.
- [3] J. Fukutomi, Y. Nakase, M. Ichimoya and H. Ebisy, Unsteady fluid forces on a blade in a cross-flow turbine. JSME International Journal, Vol. 38, No. 3, pp.404-410. 1995,
- [4] Jack, J.F., "Small and mini hydro-power systems", Mc Graw Hill, New York. 1984,
- [5] Schneider, D., Fluid driven power producing apparatus. U.S. Patent-4049300. 1977, 353, 1996.