

여수로 수문개도 측정방식 연구

김기원, 황인광, 김주용, 송원일, **이진권**
한국수자원공사

A study on the measurement methods used on a gauge for a spillway gate

Ki-Won Kim, In-Kwang Hwang, Ju-Yong Kim, Won-Il Song, Jin-Kwon Lee
Korea Water Resources Corporation

Abstract - The spillway gate is the most important facility of the multi-purpose dam. we usually use various sensor and conversion technique to control the gate. In this study, we mathematically analyze the instrumental errors on the different winch types. And we will briefly explain the measurement methods used on a gauge for a spillway gate and the calculation method of the discharge water volume.

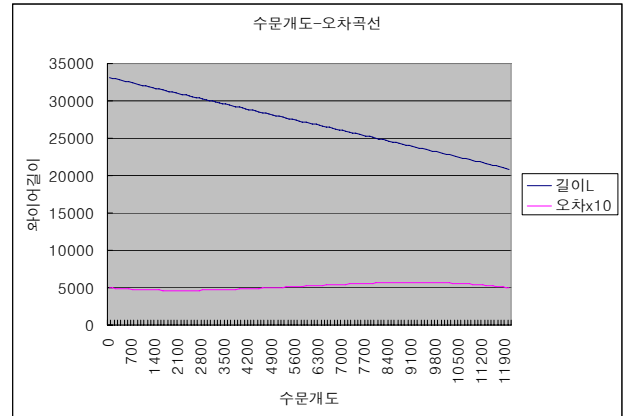
편차 dL: $dL = L - L1$

다음의 표는 엑셀을 이용하여 10cm 단위로 수문을 올려 들일때 수문개도에 대한 와이어로프의 길이의 변화를 계산한 일부이며, 최대 오차는 수문개도 9200mm에서 69.25mm 임을 알 수 있다.

개도 H	수문 Y	수문 θ	각도 Rad	길이 L	기준길이 L1	편차 L-L1
0	-5646.7	-0.3385	-0.0767	33138.2	33138.2	-0.004
100	-5546.7	-0.3323	-0.0705	33032.3	33036.0	-3.680
1400	-4246.7	-0.2524	0.00931	31674.3	31707.0	-32.70
9300	3653.2	0.21658	0.47838	23700.1	23631.0	69.15
9400	3753.2	0.22261	0.48441	23597.6	23528.7	68.92
12000	6353.2	0.38301	0.64481	20870.8	20870.8	-0.001

1. 서 론

다목적댐은 그 이름에 걸맞게 다양한 기능을 하고 있으며 이에 관련된 다양한 구조물과 설비들로 구성되어 있다. 그 중에서도 여수로는 물을 방류하기 위한 다목적댐의 상징적인 설비로써 그 중요성에 대해서는 더 이상의 언급이 필요 없다. 여수로는 기계적인 메커니즘에 의해 움직이거나 방류량을 조절하기 위해 세부적으로 이루어지는 사항에 대해서는 정확한 계측이 우선적으로 요구된다. 이에 본 연구에서는 여수로 수문의 대표적인 권양방식인 원주형 및 직선형 권양방식의 수학적 오차를 검토하여 좀 더 정확한 계측 및 제어에 활용하고 이를 검증하는 장치들과 측정된 값을 통하여 방류량을 계산하는 방법에 대해서도 간단히 언급하고자 한다.

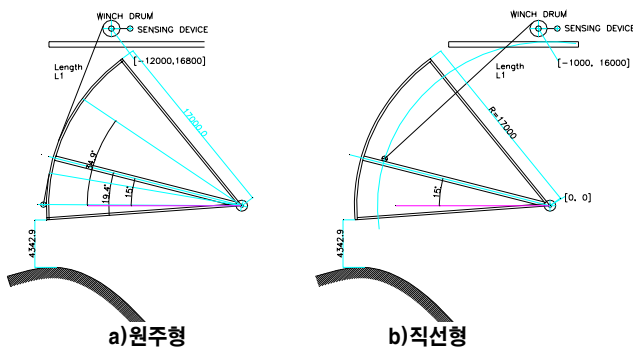


〈그림 2〉원주형의 수문개도 오차곡선

2. 본 론

2.1 여수로 수문 권양방식에 따른 오차 검토

수문에서 윈치드럼과 와이어 로프를 이용한 방식은 원주형 권양방식과 직선형 권양방식이 주로 사용되는데 각 방식에서 수문 인양높이에 대한 와이어로프의 감긴 길이를 분석해보면 다음과 같다.



〈그림 1〉여수로 권양방식

2.1.1 원주형 권양방식

이 방식은 <그림 1>의 a)와 같이 와이어로프가 수문의 앞쪽에 설치되고 윈치드럼이 게이트 윈치의 법선방향에 설치되어 수문의 들어 올리는 길이에 비례하여 와이어로프의 감긴 길이가 수문의 반경과 들어 올린 각도에 비례, 직선적으로 변화하므로 계측오차가 적은 특징이 있다.

개도 H: 100mm 단위로 증가시킴

수문 Y: $Y = 17000 * \sin(-19.4 * 3.141592 / 180) + H$

수문 θ : $\theta = \text{ASIN}(Y / 17000)$

17000 = 수문의 반경

길이 L: $L = 11271 + 17000 * 2 * \pi * ((34.9 * \pi / 180) - (\theta - \theta_0)) / (2 * \pi)$

기준길이 L1: $L1 = 33138.23 - H / 12000 * (33138.23 - 20870.83)$

33138.23 = 개도 0일때 기준길이 L1,

20870.83 = 개도 12000일때 기준길이 L1

2.1.2 직선형 권양방식

이 방식은 <그림 1>의 b)와 같이 와이어로프가 수문의 뒤쪽에 설치되고 윈치드럼이 직선방향으로 설치되어 수문의 들어 올린 높이에 대하여 와이어로프의 길이 비는 비직선적인 특성을 지니게 된다.

아래의 표는 엑셀을 이용하여 10cm 단위로 수문을 올려 들일때 수문개도에 대한 와이어로프의 길이의 변화를 계산하였다.

개도 H: 100mm 단위로 증가시킴

수문 θ : $\theta = \text{ASIN}(y / 17000)$

$y = 17000 * \sin(-15 * 3.141592 / 180) + H$ (radian)

17000 = 수문의 반경

후크 X: $X = 16000 * \cos(\theta)$

16000 = 수문 후크A의 반경

후크 Y: $Y = 16000 * \sin(\theta)$

길이 L: $L = \sqrt{(\text{중심}_X - \text{후크}_X)^2 + (\text{중심}_Y - \text{후크}_Y)^2}$

윈치드럼의 중심은 수문중심에서 $X = -1000, Y = 16000$ 으로 가정

기준길이 L1: $L1 = 21931.7122 - H / 12000 * (21931.7122 - 12223.8165)$

21931.7122 = 개도 0일때 기준길이 L1,

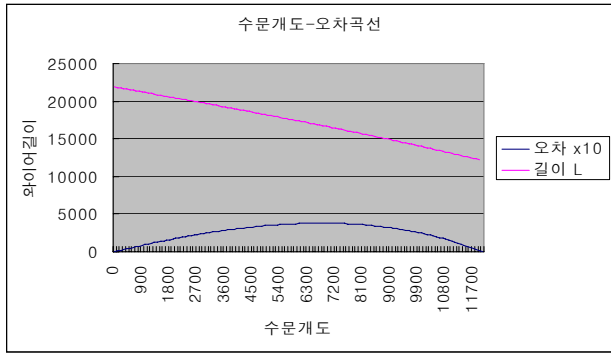
12223.8165 = 개도 12000일때 기준길이 L1

편차 dL: $dL = L - L1$

아래 표에서 보듯이 최대 오차는 수문개도 6700-6800mm 에서 378.9mm 임을 알 수 있다.

개도 H	수문 θ	후크 X	후크 Y	길이 L	기준길이 L1	편차 L-L1
0	-0.2618	16000	0	21931.7	21931.7	0
100	-0.2557	15999.7	97.358	21860.5	21850.8	9.770
1400	-0.1774	15943.0	1348.8	20927.2	20799.1	128.1

6700	0.13571	14752.4	6194.0	16890.4	16511.4	378.9
6800	0.14165	14715.3	6281.5	16809.5	16430.5	378.9
12000	0.46348	11973.0	10613.5	12223.8	12223.8	0



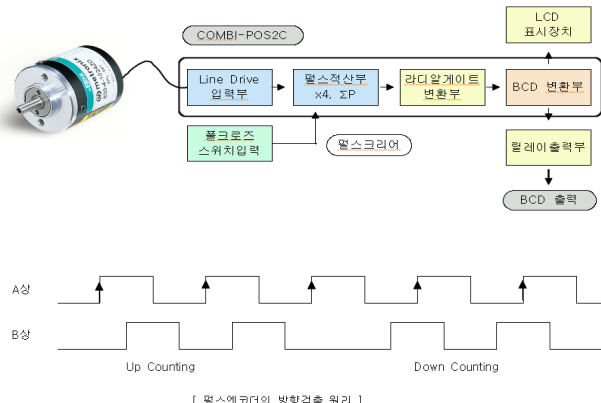
〈그림 3〉직선형의 오차곡선

2.2 수문개도측정방법

여수로 수문개도의 정확한 측정을 위해서는 오차의 기계적인 오차와 더불어 정밀한 측정방법이 요구된다. 이번 절에서는 정밀도가 뛰어난 펄스엔코더 방식과 기존의 캠방식의 단점을 보완한 직선변위 수문리미트 검출장치에 대해 간단히 언급하고자 한다.

2.2.1 펄스엔코더를 이용한 개도측정방법

펄스엔코더의 구성은 발광소자와 수광소자, 가는 선이 그려진 회전원판, 증폭부로 구성되며 회전원판이 회전하면 선이 수광소자 위를 지나가는 순간 빛의 밝기가 변하고 이를 증폭하여 하나의 펄스를 출력한다. 현재 사용하고 있는 R/D 컨버터는 축이 1회전할 때 10cm의 변위를 검출하므로 여기에 1회전 당 1000개의 펄스가 출력되는 엔코더를 사용하면 4배 회로에서 4000펄스로 증가되어 1 펄스당 최소분해능 (dx)는 $dx = 100\text{mm} / 4000 = 0.025\text{mm}$ 으로 매우 정밀한 측정이 가능하다.



〈그림 4〉펄스엔코더를 이용한 수문개도장치 구성도

위 그림에서 Up Counting은 A상이 상승할 때 B상이 Low인 상태이고, Down Counting은 A상이 상승할 때 B상이 High인 상태를 알 수 있다. 펄스엔코더의 출력방식은 1) TTL방식, 2) Open Collector 방식, 3) Line Driver 방식이 있으며, Line Driver란 출력신호를 정신호(Va)와 부신호(Vb)로 구성된 1쌍의 신호간에 어느 쪽의 신호가 높은지에 따라 전송된 값을 결정하므로 동상 제거비(CMRR)이 매우 높아 고속의 정확한 펄스의 전송에 사용된다. 따라서 수문개도장치에는 외란에 강한 Line Driver형식을 사용한다.

이 방식의 특징은

- 1) 빛을 이용한 비접촉방식으로 장시간 사용으로 인한 마모가 없음
- 2) 축 회전량이 바로 디지털형태의 펄스로 출력되어 노이즈에 강하며 온도변화에 영향을 받지 않음.
- 3) 펄스수를 적산하여 기계계수를 곱하여 수문 개도값을 연산하므로 회전당 펄스수가 4000펄스로 매우 정밀한 계측이 가능함.

2.2.2 직선변위 수문리미트 이용한 개도검출

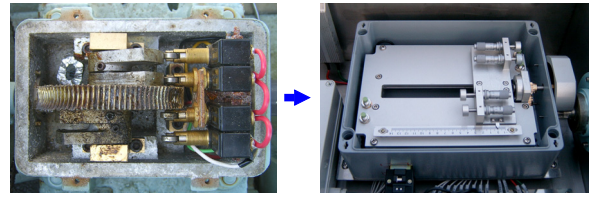
〈그림 3〉의 b)와 같이 기존 수문의 폴크로즈와 로프슬래, 풀오픈, 오버트레블 신호를 기계식 캠과 리미트 스위치를 이용하여 조정하기 위하여 미세하게 캠의 위치를 조정하기가 어려워 여러차례 수문을 들었다 내렸다 하는 동작을 반복하게 되는 불편함이 있었다. 이를 보완하기 위하여 직선변위 수문리미트장치를 도입하였으며, 직선변위검출에 사용하는 리드 스크류의 피치가 1.5mm를 사용하고 3:2 기어로 감속하므로 수

문의 10cm회전을 1mm로 감속하게 된다.

이때 마이크로미터 헤드를 사용하여 1/100mm 단위로 조정하므로 미세 조정에 따른 최소 수문의 열려지는 량 dx는

$$dx = 1/100 * 100 / 1.0 = 1.0 \text{ mm}$$

이다. 따라서 1차 회전축과 감속기어열에서 발생하는 백래쉬 등 기계적인 오차를 무시한다고 가정할 때 실제 수문의 열려지는 량에 대한 최소 미세조정 량은 1.0 mm 이다.



a) 기존 캠방식 리미트장치

b) 직선변위방식 리미트장치

〈그림 3〉직선변위 수문리미트 검출장치

2.3 방류 조건표의 보간

수문개도가 정확히 측정되었다면 방류량계산을 위해서는 방류조건표를 이용한다. 댐의 구조물의 조건에 따라 방류계수가 달라지므로 별도의 계산은 하지 않고 이미 작성된 방류조건표를 이용하여 표시되지 않은 저수위와 개도값에서 방류량을 생성하는 식을 도출하도록 한다.

저수위	1.0m	2.0m	3.0m	4.0m	5.0m	6.0m	7.0m
68.00	70.4	86.3	117.0				
69.00	81.0	91.3	180.9	219.8			
70.00	91.0	156.6	224.9	274.7	309.1		
71.00	100.4	172.0	248.3	329.5	382.2	394.8	

만일 저수위 69.3m, 수문개도 1.7m 인 경우 방류량을 계산하면 방류량은 저수위 방향을 1차 직선보간하고 수문개도 방향으로 2차 직선보간하여 산출한다.

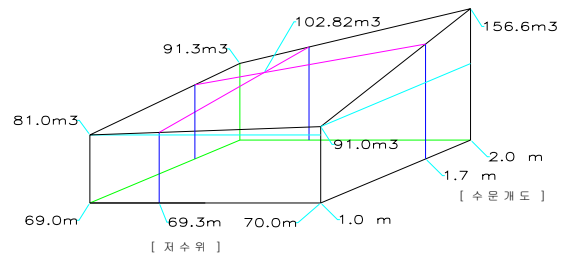
우선 저수위방향으로 보간하면 저수위 69.0과 70.0 줄에서 수문개도 1.5m의 전후 개도 1.0m와 2.0m의

보간을 먼저 구하면

$$Q_{69.1} = (69.3 - 69.0) / (70.0 - 69.0) * (91.0 - 81.0) + 81.0 = 84.0$$

$$Q_{69.2} = (69.3 - 69.0) / (70.0 - 69.0) * (156.6 - 91.3) + 91.3 = 110.89$$

$$Q_{69.1.7} = (1.7 - 1.0) / (2.0 - 1.0) * (110.89 - 84.0) + 84.0 = 102.823$$



〈그림 5〉방류량 2차보간 개념도

3. 결 론

다목적댐의 여수로 권양방식에 따른 수문개도를 수학적으로 세밀하게 고찰해 봄으로써 오차의 범위와 오차의 형태를 파악할 수 있었으며 이와 연계하여 개도측정방법 및 방류조건표를 보간하여 봄으로써 여수로의 동작부터 이에 의한 방류량까지 정리해 볼 수 있었다. 위의 결과에서 보듯이 권양방식에 따라 오차범위가 다름을 확인 할 수 있었으며 이 오차값은 보다 정확한 방류량 계산을 위해서는 반드시 교정되어야 할 것으로 생각된다. 하지만 위의 오차계산은 단순히 수학적으로 계산된 값이기 때문에 신뢰성을 얻기 위해서는 이를 교정하기 위한 개도 측정장치의 변환프로그램 적용 및 현장에 맞는 개도검출장치를 채택, 설비에 적용하여 좀 더 신뢰성 있는 데이터를 취득해야 할 필요가 있다고 본다.

〔참고문헌〕

- [1] "DAE CHEONG MULTI-PURPOSE DAM PROJECT", 현대건설, 1980.11
- [2] 박선호, "FA 센서 응용백과1", 영진출판사, 1991, 11
- [3] 하재현, "유체역학", 성문사, 1977, 2
- [4] <http://www.fao.org/docrep/X5744E/x5744e09.htm>