

관수로 시스템의 분수량 조절에 관한 연구

A study on Discharge Control of Valves in Irrigation Pipeline System

김 영 화*

Kim, Young-hwa

Abstract

In this research the valve-opening calculation program for operation of valve was developed to determine the valve-openings corresponding to discharges in pipeline system. Personal Computers can be used for hydraulic calculations of the steady flow condition of pipeline.

This program was verified by the experimental pipeline system with 282m length and 0.1m diameter.

1. 서 론

농업용수에 있어서 용지매수의 어려움이나, 수질오염 등으로 인하여 관개용 수로를 관로화하는 추세에 있다. 관수로에서 분수량은 버터플라이밸브 등의 유량조절 특성이 뛰어난 밸브를 사용하고 있으나, 분수량을 조절하기 위하여 밸브를 조작하면 다른 분수공의 유량 및 압력이 변동하는 현상이 발생한다. 이러한 관수로의 수리학적 특성 때문에 규모가 커질수록 분수량 설정을 위한 밸브개도 관리가 용이하지 않다. 따라서 분수량의 설정에 필요한 밸브개도를 프로그램에 의하여 미리 검토할 수 있다면, 관리자의 물관리 노력을 상당히 경감시킬 수 있다.

鬼塚, 内藤²⁾³⁾⁴⁾는 관수로에서 송수계의 물관리는 공급주도형이 적절함을 지적하였고, 吉野⁵⁾는 송수계 내의 조정지의 역할 및 설계 용량결정방법을 제시하였다. 또한 白石²⁾은 균등분수를 위하여 밸브에 의한 유량제어(압력제어)의 필요성을 제시하였다.

본 연구에서는 분수공의 물관리를 효율적으로 실시할 수 있는 밸브개도 계산기법 연구를 통하여, 분수공별로 목표 분수량을 공급하기 위해서 설정하는 밸브개도를 수리학적으로 계산할 수 있는 알고리즘 및 프로그램을 개발하였다. 이 프로그램은 실험장치에 의하여 검증하였으며, 그 결과 밸브개도 및 분수량 계산에 관수로의 저항계수 및 밸브손실계수에 측정치를 사용하였을 때 좋은 결과를 나타내었다.

* 농어촌진흥공사 농어촌연구원

〈Table 1〉 The program of decision support system

Program list	Function
Input program	Inputting required discharges of diversion works
Head loss calculation program	Calculating head loss of pipeline
Valve opening calculation program	Calculating valve openings corresponding to discharges
Discharge calculation program	Calculating discharges corresponding to valve openings
Print program	Print the calculated valve openings and discharges

II. 분수관리지원 프로그램

1. 프로그램의 구성

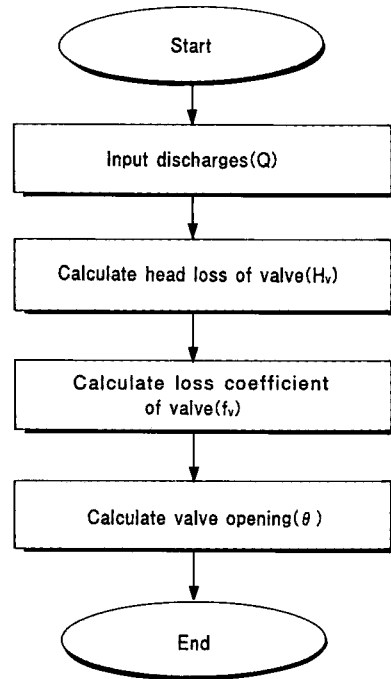
분수량 관리를 위한 프로그램은 분수량의 입력 프로그램, 정상류 해석 프로그램, 밸브개도의 계산 및 입력 프로그램, 계산 결과의 인쇄 프로그램으로 구성되어 있다.

2. 밸브개도의 계산

관리자가 목표분수량을 공급하기 위해서는 분수공 별로 밸브개도를 결정하여 설정해야하나 밸브조작을 하면 관로유량이 변동하기 때문에 분수량에 대응된 밸브개도를 결정하는데 상당한 어려움이 있다. 이와 같은 밸브개도는 관수로의 수리계산에 의하여 계산이 가능하며 〈Fig. 1〉에 그 계산 순서를 나타내었다.

밸브손실수두는 전체손실 수두에서 마찰손실 및 기타손실수두를 제외한 값으로 식으로 나타내면 식(1)과 같이 계산할 수 있다.

$$\Delta H_v = H_0 - H_i - \sum_{j=0}^{nc} \Delta H_{cj} - \sum_{k=1}^{mc} \Delta H_{pk} \dots\dots\dots (1)$$



〈Fig. 1〉 Calculating flow of valve opening

- 여기서, ΔH_v : 밸브손실수두(m)
 H_i : 분수공의 말단수두(m)
 H_0 : 상류측의 수두(m)
 ΔH_{cj} : 마찰손실수두(m)
 ΔH_{pk} : 기타손실수두 (m)

- i : 분수공을 나타내는 첨자
- j : 관로구간을 나타내는 첨자
- k : 기타손실수두를 나타내는 첨자
- nc : 관로구간의 수
- na : 기타손실의 개소수

밸브손실수두 계산은 관망계산을 응용하면 고도로 복잡한 관수로 시스템에서도 용이하게 계산할 수 있다. 밸브의 손실수두와 손실계수의 관계는 식(2)와 식(3)으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta H_v = f_v \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (2)$$

- 여기서, ΔH_v : 밸브손실수두(m)
- f_v : 밸브손실계수(m)
- v : 평균유속(m/s)
- g : 중력가속도 (=9.8m/s²)

$$f_v = \frac{2g \Delta H_v}{v^2} \dots\dots\dots (3)$$

밸브의 개도(θ)와 손실계수(f_v)의 관계는 밸브 종류에 따라 제조회사에서 자료로 제시된다. 밸브개도를 구하기 위해서는 개도와 손실계수의 관계를 특성식으로 작성할 필요가 있다. 밸브의 특성식은 손실계수(f_v)와 개도(θ)의 관계식으로, 본 논문에서는 직선근사가 가능한 구간에서 다음 식(4)를 작성하였다.

$$f_v = \alpha \times 10^{\beta\theta} \dots\dots\dots (4)$$

여기서, α, β 는 밸브의 특성치로 구하는 상수이다.

α, β 를 구하는 방법은 개도 θ , 때 손실계수 f_v 를 식(4)에 대입하여 log로 변환하면 α, β

에 관한 연립방정식으로 된다. 이 연립방정식을 풀면 α, β 를 구할 수 있으며 밸브의 종류에 따라서 다른 값을 나타낸다.

밸브개도 θ (%)는 식(4)를 변형한 식(5)로 구할 수 있다.

$$\theta = \frac{\log(f_v) - \log(\alpha)}{\beta} \dots\dots\dots (5)$$

III. 실험장치에 의한 검증

1. 장치개요

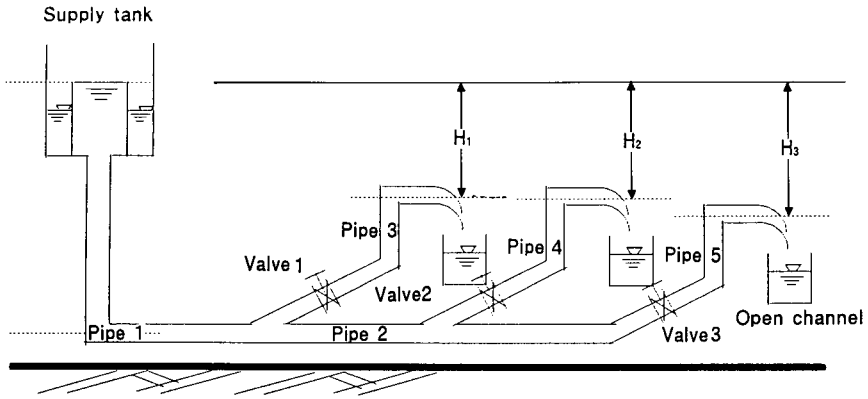
<Fig. 2>의 실험시설은 정수두 탱크에서 말단까지 자연압으로 송수하는 폐쇄형 관수로이며, 시설규모는 관경 0.1m, 관길이 282m로 실험시설로는 큰 규모이다. 관중은 염화비닐관을 사용하였다.

말단에서는 <Fig. 2>와 같이 관내의 용수를 공중으로 방류하는 형식을 취하였다. 말단에서 공중으로 방류하는 경우 수위경계는 관로 중심이 되며, 관로 중심에서 정수두 탱크의 수면까지의 낙차가 각각 $H_1=3.733m$, $H_2=3.898m$, $H_3=3.89m$ 이다.

<Table 2>는 <Fig. 2>의 관경, 관길이, 곡관(엘보) 개소 등 시스템 제원을 나타내고 있다. 분수공 밸브는 <Fig.4>에 나타난 밸브를 사용하였으며, 이 밸브는 개도를 12단계로 설정 가능한 구경 100mm의 수동식 버터플라이 밸브이다.

2. 실험방법

<그림-2>와 같은 장치에 정수두 탱크에서 물을 공급하고 각 파이프 말단에 용적 0.0659m³의 수조를 두고 Stop watch를



<Fig. 2> Outline of experimental pipeline

<Table 2> Dimentions of experimental pipeline system

Pipe No.	Diameter (mm)	Pipe length L(m)	Valve No.	Minor head loss factor
1	100	45.99	-	Inlet, Elbow 90 ° × 9, Valve = 3
2	100	120.06	-	Elbow 90 ° × 4, Elbow 45 ° × 2
3	100	3.66	1	Elbow 90 ° × 3, Outlet
4	100	2.99	2	Elbow 90 ° × 3, Outlet
5	100	116.09	3	Elbow 90 ° × 3, Outlet

사용하여 유량을 측정하였다. 밸브의 손실은 밸브 1개씩 상하류 25cm 지점에 직경 0.02m의 투명한 Manometer를 설치하여 실험하고, 엘보의 경우는 4개의 엘보에서 각각 엘보 상하류 40cm 지점에 직경 0.02mm의 투명 Manometer를 설치하며 손실수두를 측정하였다.

실험은 밸브 3개를 동시에 주어진 개도로 열고 개도별 유량을 측정하였으며, 유속계수 측정은 수평직선으로 배치된 50m 관로에서 상하류단에 0.02m Manometer를 설치하여 측정하였다.

3. 저항계수의 검토

가. 검토방법

관수로의 저항계수는 Hazen-Williams식의 유속계수, 곡관손실계수, 밸브손실계수 이외에 기타손실로서 유입, 유출손실계수 등이 있다. 프로그램에 사용하는 저항계수는 기타손실을 제외한 유속계수, 곡관손실계수, 밸브손실계수를 검토한다.

나. 저항계수 측정

유속계수는 관로의 직선구간에서 손실수두와

유량을 측정하여 식(6)으로 구한다.

$$C = 3.59 \cdot H_c^{-0.54} \cdot D^{-2.63} \cdot Q \cdot L^{0.54} \dots\dots\dots (6)$$

- 여기서 C : 유속계수
- H_c : 관로손실수두(m)
- D : 관경(m)
- Q : 유량(m³/s)
- L : 관길이(m)

곡관손실계수 f_b는 굴곡부 손실수두(m)의 측정 값과 유속(m/s)을 사용하여 식(7)로 구하였다.

$$f_b = \frac{2g\Delta H_b}{v^2} \dots\dots\dots (7)$$

- 여기서, g : 중력가속도(m/s²)
- ΔH_b : 곡관손실수두(m)
- v : 유속(m/s)

밸브손실계수 f_v는 밸브 상하류의 손실수 두를 측정하여 식(8)로 구하였다.

$$f_v = \frac{2g\Delta H_v}{v^2} \dots\dots\dots (8)$$

여기서, ΔH_v : 밸브손실수두(m)

다. 측정결과 및 고찰

유속계수는 유속이 0.4~0.9m/s일 때 145 ~155의 범위에 있으며 평균값은 150이었다. 유속계수의 평균값 150은 염화비닐관의 일반적 인 값¹⁾과 같다.

곡관손실계수는 농업용 관수로 설계시공지침¹⁾ 을 보면 1.12이나 측정치는 이보다 약간 큰 1.5를 보였다. 측정치의 유속범위는 0.47~ 0.88m/s이었으며 유속의 대소에 의하여 차이는 거의 없었다.

버터플라이밸브의 개도와 손실계수의 측정결 과는 <Fig. 4>에 나타내었다. 그림에서 보는 바 와 같이 측정치와 제조회사(Asahi valve)의 기술자료⁶⁾ 값을 비교하면 개도 25%~65% 사 이에서 상당한 차이가 있다. 프로그램에 사용할 밸브의 특성식은 밸브 1, 2, 3이 같은 종류이기 때문에 측정치의 평균치를 사용하여 작성하였다.

4. 프로그램의 검증

가. 검증방법

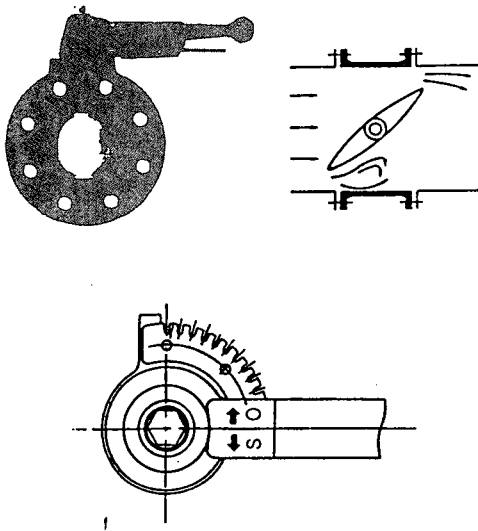
프로그램은 분수량과 밸브개도의 계산정도를 비교하여 검증한다. 분수량의 계산정도는 실험시설에서 측정한 분수량을 프로그램에서 구한 값과 비교하여 검토하고, 밸브개도의 계산정도는 실험시설에서 설정한 개도를 프로그램으로 구한 값과 비교하여 검토한다. 이 때,

<Table 3> Calculation condition

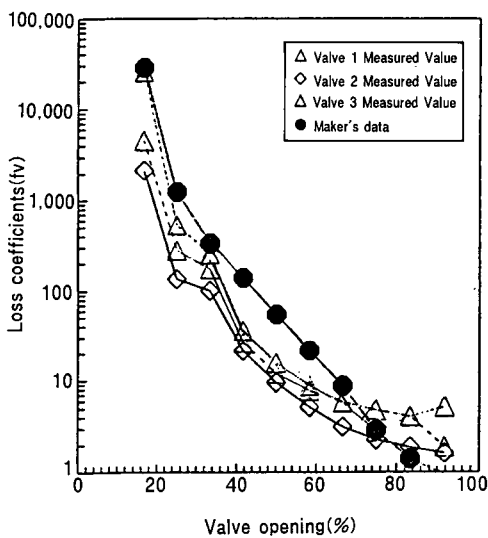
Case	Hazen-Williams' C	Loss coefficient of valve	Loss coefficient of elbow
1	150 (Design criteria value)	Technical report value	1.12 (Design criteria value)
2	150 (Measured value)	Measured value	1.50 (Measured value)

주) Design criteria : Design criteria of irrigation pipeline
 Technical report value : Technical report of Asahi valve

분수량과 밸브개도의 계산정도는 유속계수, 밸브손실계수, 곡관손실계수가 영향을 미치기 때문에 설계기준 및 제조회사에서 제공하는 기술자료의 값을 사용했을 때와 측정치를 사용했을 때를 비교한다. 저항계수에 의한 검토조건은 <Table 3>에 나타내었다.



<Fig. 3> Valve details

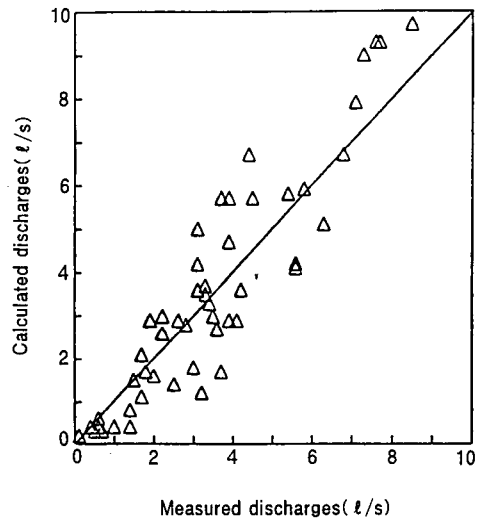


<Fig. 4> Loss coefficients of valves

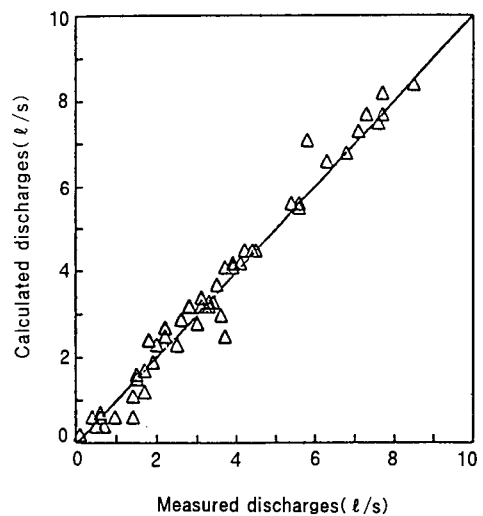
나. 검증결과 및 고찰

1) 분수량

<Fig. 5>는 유속계수, 밸브손실계수, 곡관손실계수에 <조건 1>을 사용했을 때의 분수량의 계산결과이며 중간부분에서 측정치와 차이가



<Fig. 5> Comparison between the measured and calculated discharges in case 1



<Fig. 6> Comparison between the measured and calculated discharges in case 2

확연하다. <Fig. 6>은 유속계수, 밸브손실계수, 곡관손실계수에 <조건 2>를 사용했을 때이나 분수량이 대각선상에 일정하게 분포한 좋은 결과를 나타내고 있다.

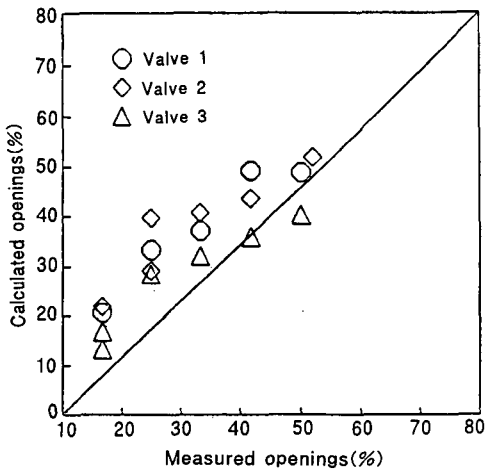
<Fig. 5>와 <Fig. 6>의 차이는 밸브 손실계수 및 곡관 손실계수의 측정치와 기술자료의 값의 차에 의하여 발생한 결과이다. 그리고, 곡관손실계수가 근소한 차이를 보이고 있었던 점, 밸브 손실계수가 상당한 차이를 보이고 있었던

것을 고려하면 분수량의 차이는 대부분 밸브에서 발생되었다는 것을 알 수 있다.

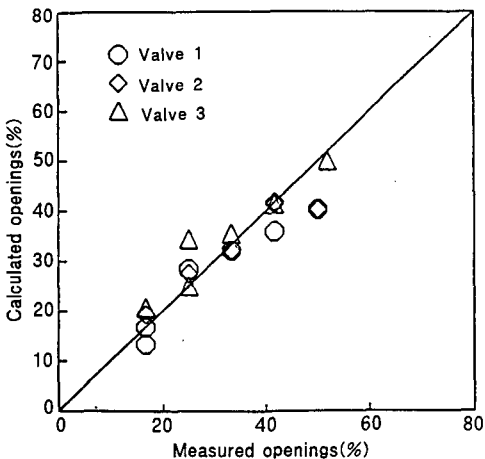
2) 밸브개도

<Fig. 7>은 프로그램에 <조건 1>의 저항계수를 사용하였을 때의 밸브개도의 계산결과이나 계산개도가 전체적으로 크다. 이는 관로의저항계수가 실제보다 적은 수치가 사용되었기 때문이다.

<Fig. 8>은 <조건 2>의 저항계수에 측정치를 사용하여 개도를 계산한 값이나 <조건 1>에 비하여 양호한 결과를 나타내고 있다.



<Fig. 7> Comparison between the measured and calculated valve openings in case 1



<Fig. 8> Comparison between the measured and calculated valve openings in case 2

IV. 결론

관수로의 분수량을 관리할 때 필요한 밸브개도를 계산할 수 있는 프로그램을 개발하여 실험장치에 의하여 검증하였으며, 본 연구 내용의 결론은 다음과 같다.

1. 밸브의 특성식에 의한 밸브개도 계산식을 작성하여 분수량에 대한 밸브개도를 수리학적 으로 계산할 수 있는 프로그램을 개발하였다.

2. 분수량 및 밸브개도의 계산정도는 프로그램에 사용하는 밸브손실계수 및 곡관손실계수에 측정치를 사용하여 높일 수 있었다.

이 계산방법은 관망해석법을 응용하여 개발 하였으므로 관수로 시스템에 적용이 용이하다.

이 연구는 필자가 일본 농림수산성 농업공학연구소의 특별연구원으로 근무하면서 실시한 연구로 연구추진에 지원을 아끼지 않은 농업공학연구소의 嵯崎 所長, 大西 博士, 加藤 室長에게 이 지면을 빌어서 감사 드립니다.

참고문헌

- 1) 농업진흥공사 1989. 농업용관수로 설계시 공지침, pp.123.

- 2) 전지농업진흥회 1988. 파이프라인
- 設計, 施工, 管理 -, pp.37~42.
- 3) 鬼塚 廣太郎 1984. 팜폰드를 포함하는 펌프송수계에 있어서의 물관리상의 문제점과 대책, 農土誌 52(4), pp.31~41.
- 4) 內藤克美 1984. 직렬로 배열된 조정지를 포함하는 관로계의 물관리상의 문제점과 대책, 農土誌 52(10), pp.31~41.
- 5) 吉野秀雄 1990. 관개용수로에 있어서 조정기능의 강화에 관한 연구, 農業土木試驗所報告, 제29号, pp.49~72.
- 6) 旭有機材工業株式會社, アサヒAVバルブ 總合技術資料.
- 7) 農林水産省構造改善局 1988. 土地改良事業計劃設計基準 파이프라인, pp.47.