

수로 관개 시스템의 자동화(Ⅲ)

Automation of Canal Irrigation Systems(Ⅲ)

Jean Goussard*

이 영 일,** 정 병 호,***

Lee, Young-il Cheong, Byeong-ho

6. 분산 자동수문 및 관련장비

6.1 일반사항

수동조절장치는 단순하다는 장점은 있지만 수위의 조절이 관개지구의 관리에 필요한 만큼 정확하지 않을 수도 있고 근접상류수위조절 시스템에만 적합하는 등, 분산자동조절에 필요한 요구조건을 모두 만족시키지 못하므로 동적조절(Dynamic regulation)의 필요성이 대두된다.

동적조절장치는 유량조절 단면을 계속 기계적으로 조절하는 수문과, 일정한 조절 원리를 가진 자동조절장치로 구성된다. 일반적인 조건에서 인력으로 조작하지 않아도 항상 조절장치가 반응할 수 있어야 하므로 전기, 중력, 정수압 등의 영구적인 동력이 필요하다. 전력 이용시의 조절장치는 전동기, 전기 또는 전자 컨트롤러에 의해 작동된다. 중력이나 수압 이용시는 일반적으로 부표(Float)와 평형추 장치로 수문이 조작 조절된다.

동력조절장치(Motorised Regulators)

- 필요한 전력은 공공송전 시스템에서 모터, 조절장치, 센서 등에 까지 송전되거나 충전용 전지에 의해 확보되어야 한다.

- 신뢰도(Reliability)는 전력공급의 확실성, 구성장비의 관리 표준화 및 예비부품의 확보 가능성

과 밀접한 관련이 있다. 또한, 기후조건 및 낙뢰의 위험 등에 대한 전기 및 전자부품의 민감도와도 관련이 있다.

- 수리시설 현대화 사업에는 상태가 좋은 기존 수문의 전부 또는 일부를 동력화하여 재사용할 수 있다. 분산자동 시스템과 중앙통제조절 방식도 단계적으로 도입할 수 있다.

- 시스템의 구성(근접, 원거리 혹은 중앙집중)이나 조절 논리에 제한이 없다.

자기조절장치(Self-Operating Regulators)

- 유체기계적(Hydro-mechanically)으로 작동되는 자기조절장치는 외부동력 없이 작동된다. 조절을 쉽게하기 위하여 추가로 전동기, 전기 또는 전자조절 시스템을 사용하는 경우에도 소용량의 전력으로 할 수 있다.

- 조작의 신뢰성이 높으며 관리가 간단하다. 조절시스템을 전기장치와 결합할 경우 동력의 공급이 중단된 후에도 조절의 효율성이 낮아지기는 하지만 수문이 자동으로 작동될 수 있도록 설계할 수 있다.

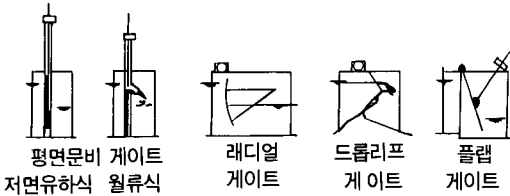
- 유체기계적 자동수위조절 시스템은 조절장치의 직상류 혹은 직하류의 수위에 따라서 반응하기 때문에 근접수위조절에 적합하다. 그러나, 이 시스템은 전자조절장치나 일부장치를 추가하면 원거리

* Ingénieur E.C.P., Irrigation and Water Supply Engineering Adviser

** 농어촌진흥공사 전산실

*** 농어촌진흥공사 농어촌연구원

조절 및 통합조절(Master supervisory control)에도 이용이 확대될 수 있다.



〈그림-18〉 수로 조절수문

6.2 재래식 유량조절 수문

6.2.1 일반사항

유량조절 수문에 관하여는 관련 서적이거나 자료가 많으므로 본 장에서는 수로의 수위 및 유량 조절과 관련된 수문의 일반적인 사항에 대하여 설명한다.

수로 시스템의 조절에 가장 많이 사용되는 수문의 형태는 평면 문비(Plane leaf) 게이트와 래디얼 게이트이다 <그림-18>. 사용 빈도가 비교적 적은 드롭리프(Drop-leaf) 게이트와 플랩(Flap) 게이트에 대하여도 설명한다.

누수방지용 수문 외에 수로조절을 위하여 사용되는 수문을 통한 소량의 누수는 일반적으로 중요하게 고려하지 않는다.

6.2.2 리프 게이트(Leaf Gates)

가장 흔히 사용되는 리프 게이트는 슬라이드 게이트이며 평면의 사각형 문비(Leaf)는 부착된 베어링과 같이 수문틀을 따라 직접 미끄러져 오르내린다. 수문이 크거나 수두(Head)가 높은 경우에는 수문조작에 소요되는 힘을 감소시키기 위하여 바퀴나 롤러 베어링을 사용할 수 있다.

리프 게이트는 서페이스 게이트(Surface gate)나 오리피스(Orifice)로도 사용된다. 서페이스 게이트는 수문의 위나 아래로 물이 흐르게 할 수 있으며 수문의 위로 물이 흐르게 할 때는 수문을 두 부분으로 나누어 윗쪽 문을 내려 아랫쪽 문과 겹치게 한다.

리프 게이트의 특징은 다음과 같다.

- 설계와 제작이 쉽다.
- 스크류, 선반 및 톱니바퀴, 권양장치와 같은 단순한 조작설비로 작동이 가능하다.
- 수문의 크기가 작아지고 수압이 문비의 전 높이에 걸쳐 넓게 분포되므로 비교적 단기간에 쉽게 설계할 수 있고, 지지구조물이 필요한 경우에도 저항도 재료로 제작이 가능하다.
- 수문의 자중외에 정수압으로 인한 베어링의 마찰과 월류시에는 문비위로 작용하는 동하중을 견디어야 하므로 리프 게이트는 비교적 견고한 조작설비가 필요하다.

6.2.3 래디얼 게이트(Radial Gates)

하류 트러니온(Trunnion)에 중심을 둔 암(Arms)으로 지지되는 커브형 문비(Leaf)로 구성된 래디얼 게이트는 서페이스 게이트나 오리피스로 사용하기에 적합하다. 래디얼 게이트는 구조상의 제약 때문에 일반적으로 문의 아래로 물이 흐르게 하며 수문의 특징은 다음과 같다.

- 리프 게이트보다 설계와 제작이 어렵다.
- 게이트의 회전운동은 케이블이나 체인권양장치(Hoist)로 게이트 문비가 쉽게 움직일 수 있도록 연결시키거나 설비자체가 축에 연결되는 조작설비를 요한다.
- 상하류 방향으로 수문이 커지므로 지지구조도 확대되어 트러니온에 큰 하중이 집중되므로 설계에 주의를 요한다.
- 문비에 작용하는 정수압이 힌지선(Hinge-line)을 통하므로 수문의 균형은 수두에 영향을 받지 않는다. 수문이 받게 되는 마찰력도 작아지므로 슬라이드 게이트 보다 작은 동력으로 작동된다. 또한, 대부분의 경우 중력만으로 수문을 닫을 수 있다.

6.2.4 드롭리프 게이트(Drop-leaf Gates)

문비 아래 끝을 축으로 작동하는 월류형 드롭리프 게이트(Bascule gates로도 알려져 있음)는 높이에 비해 폭이 넓은 수문에 적합하다.

수문의 폭과 높이의 비율이 5이하일 경우, 드롭리프 게이트의 문비에는 주로 굽힘력(Bending)이 작용하므로, 게이트의 설계와 시공이 비교적 쉬워

저 월류 슬라이드 게이트를 대신하여 사용되기도 한다. 그러나 수문의 폭과 높이의 비율이 5보다 커지면 회전 영향이 증가한다.

조작설비에 작용하는 하중은 주로 월류수의 동수압(Hydrodynamic thrust)이므로 하중과 문비의 위치와 수두의 관계가 복잡해지므로 보통 수리 모형 시험을 하여 결정한다.

수문의 폭이 대단히 넓은 경우에는 드롭리프 게이트 대신에 물을 채우는 고무댐을 사용할 수 있다.

6.2.5 플랩 게이트(Flap Gates)

플랩 게이트는 배수 플랩 밸브와 비슷하며 문비 상단의 2개의 측면 수평 힌지를 축으로 하류측으로 회전하는 평면 문비로 구성된다. 문이 닫힌 상태에서는 마루와 지지 구조물의 바닥과 옆벽에 대해 수직으로 문비가 멈춰있게 된다.

주로 문비에 가해지는 동수압에 의하여 수문이 작동되고 문비의 위치와 상하류의 수위차에 따라 달라진다.

6.2.6 월류식(Overshot)과 저면유하식

(Undershot)식 서페이스 게이트의 비교

월류식과 저면유하식 서페이스 게이트를 통한 흐름은 매우 다르다.

● 월류수문의 부유물은 쉽게 통과시키나 침전물을 생기게 한다. 그러므로 침전물을 씻어내기 위하여 수문을 약간 올릴 수 있도록 하거나 상류에 침사지의 설치가 필요하다. 수문 아래로 물이 흐르는 경우, 침전물의 퇴적은 적으나 부유물을 정기적으로 제거하거나 상부수문이 전도되어 부유물이 통과할 수 있는 가동보(Moveable weir)를 설치한다.

● 수문이 어떤 개방 상태에 있을 때 고정된 위치에서 정상 작동범위내에서 일정유량의 변화에 대한 유효 수두(월류식 수문은 월류수심, 저면유하식 수문은 상하류 수위차)의 변화는 저면유하식 수문이 월류식 수문 보다 3배가 넘는다. 그러므로 동일한 유효 수두하에 월류식 수문이 상류수위 조절에 사용될 때 저면유하식 보다 수문조절을 자주 하지 않아도 된다.

● 저면유하식 수문으로 조절되는 유량은 하류수위의 변화에 영향을 받지만 월류식 수문에 의해 조절되는 유량은 잠류상태로 되지 않으면 하류수위와 관련이 없다.

● 월류식 수문의 단점은 정상작동 수두에서 통과유량이 작은 점이다. 잠류를 피하기 위하여 문비가 아래로 움직일 수 있는 길이는 최대 유량 통과시 수위차의 1.5배를 초과할 수 없으며, 겹쳐지는 월류식 수문의 경우 윗쪽 문비의 이동거리는 전체 문비 높이의 반으로 제한된다. 따라서 일정한 유량, 수위차 및 상류수심에 대해 유효수두차가 상류수심의 약 40% 또는 50% 보다 작은 경우 월류식 수문의 폭이 저면유하식 수문 보다 크게 된다. 수두차가 상류수심의 10%이면 필요한 월류식 수문의 폭은 저면유하식 수문 보다 최소한 5배나 된다. 그러므로 수두가 비교적 클 경우에만 월류식 수문이 경제적으로 이용될 수 있다.

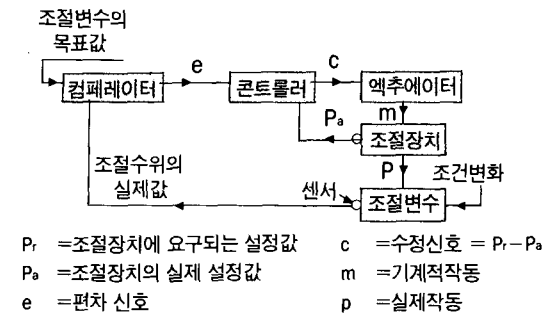
6.3 자동조절장치

6.3.1 일반적인 원리

수로의 자동조절장치는 수문조절에 요구되는 조정값과 실제조정의 차이를 센서가 감지하여 신호를 조절 시스템에 보내면 조절 시스템에서 수정명령을 조절장치로 전달하여 다시 조절을 반복하는 피드백(Feedback) 또는 폐쇄 루프(Closed loop) 조정원리를 사용한다<그림-19>.

조절명령은 다음의 사항을 고려한다.

- 조정값과 목표값의 편차
- 크기와 기간으로 나타낸 이전 편차의 누계효과



<그림-19> 수문의 피드백 조절 시스템도

• 편차의 시간적 변화율

조절관계를 다음과 같은 일반 수학적식으로 표시할 수 있다.

$$Pr = K_1 e + K_2 \int_0^T e dt + K_3 \frac{de}{dt}$$

여기서

- Pr = 조절장치에 요구되는 설정값
- e = 입력 신호 즉 목표값과 조정된 값의 편차
- K₁, K₂, K₃ = 명령신호에 조정된 상태를 나타내는 입력값 결정계수
입력값은 각각 비례조정, 재조정(Reset), 조정율(Rate) 모드로 나타낸다.
- de, dt = 편차와 시간의 미분양
- T = 시간

목표값 Pr을 실제값 Pa와 비교하여 차이가 있을 경우에는 수정 명령(Pr-Pa)이 조절장치로 보내진다.

조정을 너무 자주하거나 특히, 조절시스템이 작은 목표값과 조절값의 편차내에서 계속 반복작동되는 것을 막기 위하여 목표값과 조정값의 허용조정범위(데드 밴드, Dead band)를 정하고 데드 밴드를 초과하는 경우에만 조정작업이 시작된다.

6.3.2. 일반적인 조절 모드

조절시스템이 조정값의 차이에 반응하는 방법은 위의 세가지 입력 모드(K₁, K₂, K₃)의 가중치에 따라 정해지며 가장 일반적인 세 모드의 조합방법은 아래와 같다.

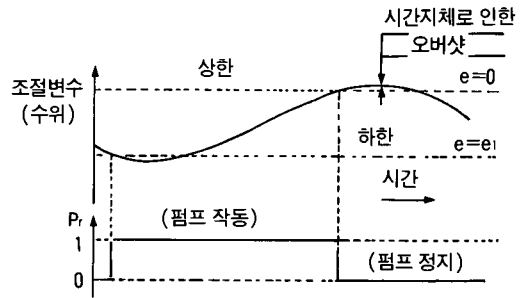
On-Off 자동조절

이 경우는 조절장치가 작동을 중지하여 조정값이 영일 때(e=0, Pr=Closed 또는 Off)와 조절장치가 가동중일 때(e=e_i, Pr=Open 또는 On) 수문의 조정값이 0과 e_i 사이에서 조정(Pr=K₁e, K₂=K₃=0)되는 비례 조정의 특별한 경우이다<그림-20>.

조정값의 잦은 변동과 정해진 범위 이상의 오버

샷(Overshot) 양을 감소시키기 위하여 조정범위를 비교적 넓게 하며 조정값이 목표값으로 조정되는 시간이 비교적 길다.

이 조절방식은 간단하나 정확도가 낮으므로 일반적으로 수로의 수문조절에는 적합하지 않고 수위에 따라 작동이 시작되고 중단되는 펌프의 조절에 자주 사용된다.



<그림-20> 대표적인 2위치 조절

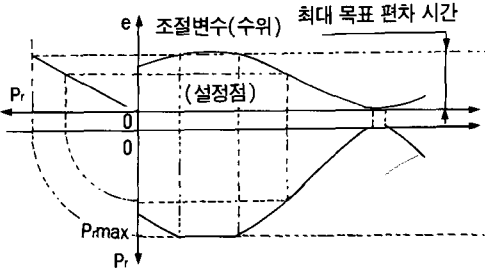
(정해진 수위에 따라 자동으로 On/Off되어 저수지의 수위를 일정 한계내에 유지시키는 펌프조절)

비례조정

정상적인 비례조정에서는 조정값이 조절장치의 설정값과 직접적인 관계가 있다. 그러므로 조정값은 목표값과 조절장치의 한계위치에 의해 정해지는 값과의 사이에 있게 된다<그림-21>. 조정값과 목표값의 최대 편차는 비례조정계수(K₁)가 커지면 감소하는 반면, 비례조정계수가 작아지면 조절의 안정성은 커진다. 이러한 비례자동조절은 정확도와 안정성이 상충되는 점을 고려하여 적절히 이용하여야 한다.

따라서 단순비례조절은 정확한 수위조절이 필요하지 않은 양수장에 물을 공급하는 수로의 조절이나 조정값을 자주 바꾸지 않아도 되는 넓은 저수면적을 가진 저수지의 수위조절에 사용될 수 있다. 그러나 안정성을 해치지 않고 조정값과 목표값의 최대 차이를 줄이기 위한 조치를 취할 수도 있다. 이러한 조치중에 시스템의 반응을 지연시키거나 무디게 하여 시스템 안전성을 증가시키거나 리셋

(Reset)모드로 조정값을 재수정하는 방법이 있다.



〈그림-21〉 비례 조절

플로우팅조절

플로우팅조절은 허용조절 범위를 감안한 재조정 (Reset)의 특별한 경우로 조절장치의 설정값은 조정값의 편차가 주어진 한계값을 초과하는 시간과 그 편차의 크기에 비례하여 변한다.

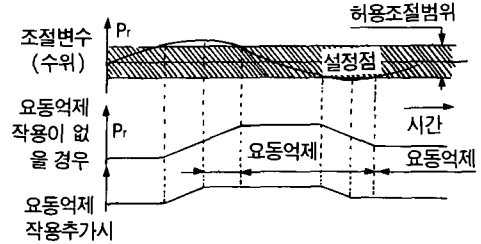
부표조절의 가장 간단한 형태는 일정속도 플로우팅조절(Constant-speed floating control)이다. 조정값이 허용조절 범위 이내로 조정되어 있는 동안은 조절장치가 동작을 멈추고 허용조절범위를 초과할 때 작동하기 시작하여 허용조절 범위 이내로 조정될 때까지 일정한 속도로 작동하며, 목표값과 차이가 나는 쪽으로 조정된다(그림-22a).

조절장치의 작동속도는 중요하다. 너무 빠르면 과도한 수정과 큰 동요가 생기고, 반대로 너무 느리게 작동되면 조정이 너무 늦게 끝나 목표값과의 차이가 오래 지속되고 과조정되기도 하여 장시간 동요가 반복될 위험이 있다. 수요량이 급격히 변하거나 반응시간이 긴 시스템에서 특히 위험이 크다.

조정값이 허용조정 범위 쪽으로 조정되기 시작할 때 수정작용을 억제하는 요동억제(Anti-hunt) 작용을 추가하여 과조정의 위험을 줄일 수 있다. 대안으로서 조절장치를 계속 작동시키기 보다 작동시간 간격을 두고 그 사이에 최적 평균속도(단일속도)로 작동될 수 있게 하는 일련의 작동시간을 선택할 수 있다. 작동단계 사이의 간격은 조정값의 편차에 따라 다르게 할 수 있다.

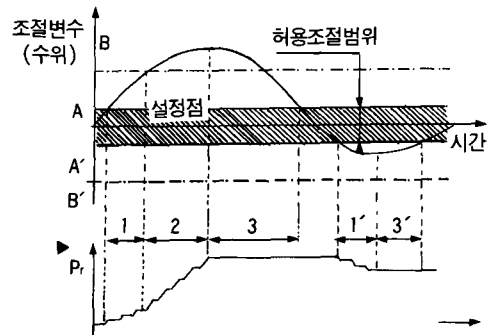
그렇더라도, 조정값의 변동에 따른 조절장치의 반응의 지체나 수정작용에 대한 조정값의 반응의

지체에서 생기는 불안정의 위험을 완전히 제거하기는 실제로 불가능하다. 그러므로 일반적으로 자동위치 조절 및 자동근접수위 조절에만 플로우팅조절을 사용된다.



a. 일정속도 플로우팅 조절

〈그림-22a〉 플로우팅 조절



b. 요동억제 작용을 추가한 두가지 속도 플로우팅 조절

〈그림-22b〉 갑작스런 동요에 대한 비례조절과 비례-리셋 결합조절의 반응 비교 (하류수위 조절)

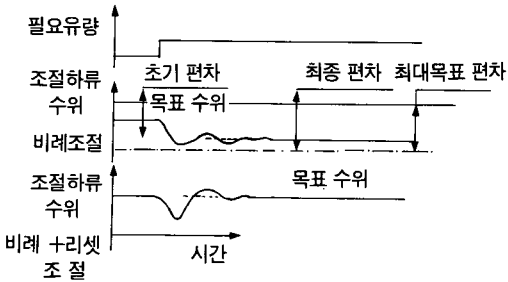
비례조절+재조정 또는 비율조절

재조정과 비례조절의 결합은 근본적으로 비례조절에 목표값과 조정값의 잔여 편차를 추가로 비례 수정하는 것이다.

결합모드에서의 조정값의 초기 편차는 비례모드에서의 초기편차와 비슷하나, 그 후에는 적절한 재조정계수(K_2)의 사용으로 재조정모드가 효과적으로 작동하여 최종 잔여차이(Final residual offset)를 최소화한다(그림-23).

조절장치의 설정값이 편차 변동율의 함수로 조절되는 비율모드(Rate mode)는 조정값의 신속한

변화에 빠르게 반응하기 위하여 사용되며, 비율모드는 항상 비례모드 또는 비례모드+제조절모드와 함께 사용되며 단독으로는 사용되지 않는다.



〈그림-23〉 갑작스런 동요에 대한 비례조절과 비례 리셋 결합조절의 반응 비교 (하류수위 조절)

6.3.3 조절능력

기계 및 전자기계 장비의 데이터 처리능력은 조정값이 조정값에 상수를 곱한 것이나 둘 이상의 조정값을 더하여 정해진 값을 넘어갈 때 상태변화를 일으키도록 하는 정도로 제한된다. 그러므로 이러한 장비는 On/Off조절, 비례조절 및 단속도 또는 다속도 플로우팅조절과 같이 단순, 초보적인 작용을 하는 조절모드에만 사용한다. 복잡한 논리에 따라 종합, 분리 또는 다양한 처리가 요구되는 조절에는 아날로그나 디지털 전자조절장치가 필요하다. 실제로는 마이크로 컴퓨터의 급속한 발달로 아날로그 조절장치는 대부분 더 이상 이용되지 않게 되었다.

데이터 처리능력의 제한으로 전자기계 조절장치는 예를 들어, 유속과 수심으로 부터 유도되는 단면적을 곱하여 유량을 계산하는 수로의 경우나 수두의 지수함수로 계산되는 웨어나 오리피스스의 유량계산과 같이 많은 변수와 관련함수의 입력이 필요한 유량의 조절에는 직접 사용할 수 없다. 그러므로 전자기계 조절장치는 관계용 도수로의 자동 수위 또는 자동위치 조절에만 사용이 제한된다.

6.3.4 전자기계 조절장치

On/ Off 조절장치

On/Off조절장치는 펌프로 수위를 조절하는데

주로 사용되며 수위가 작동범위의 한계치에 이르면 수위 센서가 펌프를 On/Off시킨다. 센서의 종류와 센서와 펌프간의 거리에 따라 다양하게 구성할 수 있다. 예를 들면 트립바(Trip bar)나 캠(Cam)으로 저수지 스위치와 고수위 스위치를 작동시키는 부표를 이용할 수 있고, 또는 부표가 릴레이(Relay)에 연결된 포텐시옴터(Rotary potentiometer)를 작동시키게 할 수도 있다. 종합 마이크로 스위치를 가진 2개의 부표로 구성된 On/Off 시스템이 흔히 사용된다. 여러개의 펌프가 있을 경우에는 수위가 낮아짐에 따라 작동하는 펌프수가 점차 증가하도록 센서를 배치할 수 있다.

비례조절장치

원칙적으로 전자기계식 비례작동조절 장치는 실제 설정점과 조정값($P_i=K_i e$)의 특별 편차에 대해 요구되는 조절장치의 설정점을 비교하고 그 차이를 조정하도록 조절장치에 수정명령을 전송하는 장치를 가진다. 이러한 과정은 기계적, 전자기계적 또는 전기적으로 처리될 수 있다.

위치조절에서 편차 e는 목표위치로서 수동으로 조절된다. 수위조절에서의 편차 e는 실제수위와 목표수위와의 차이이다. 원할 경우 제2차동장치를 설치하여 편차의 영점(Zero point)을 설정함으로써 목표값을 조정할 수 있다.

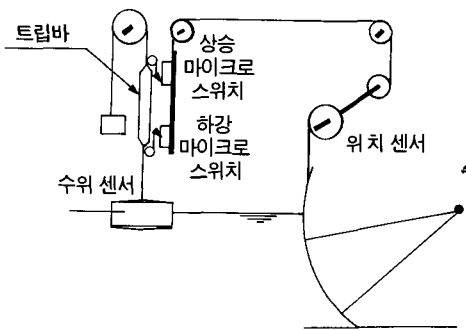
비례조절장치의 3가지 형식은 :

- 기계적인 컴페레이터(Comparator)를 가진 수위조절장치는 부표형의 수위센서와 위치센서를 가지며, 센서로 감지된 자료는 전송되어 기계적으로 비교된다. 상승 스위치와 하강 위치를 게이트와 연결된 이동 크로스헤드(Crosshead)에 부착하여 부표 케이블에 연결된 트립바에 의해 작동시키거나(그림-24) 위치센서와 수위센서로 감지된 자료가 변환되어 미동기어를 회전시키고 이것이 다시 출력샤프트(Shaft)로 가서 캠에 의해 스위치를 작동시킨다.

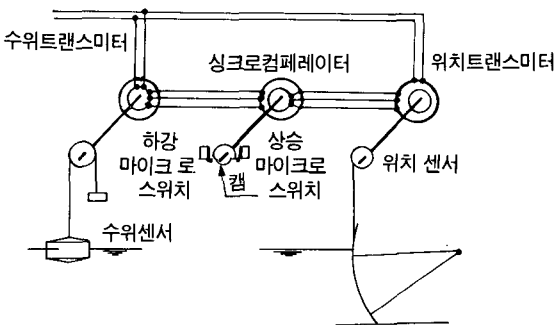
- 싱크로 트랜스미터(Synchro-transmitters)를 가진 수위(위치)조절장치에서는 수위센서(또는 목표위치 선택장치)와 위치센서로 감지된 자료가 싱크로 트랜스미터로 변환 입력된다. 두개의 트랜스미터는 싱크로 컴페레이터에 전기적으로 연결

되며 샤프트는 조절스위치를 움직이는 캠(Cam)에 연결되어 있다(그림-25).

●포텐시오펜트릭(Potentiometric) 수위(위치)조절장치에서는 수위센서(또는 목표위치 선택장치)와 위치센서는 각각 회전 또는 선형 포텐시오미터를 작동하며 센서로 부터의 출력신호는 수문모터 시동장치 릴레이를 조정하는 갈바노미터 또는 미동릴레이의 형태로 컴퓨터에 입력된다.



〈그림-24〉 기계적 컴퓨터를 가진 비례조절장치(상류 수위조절)



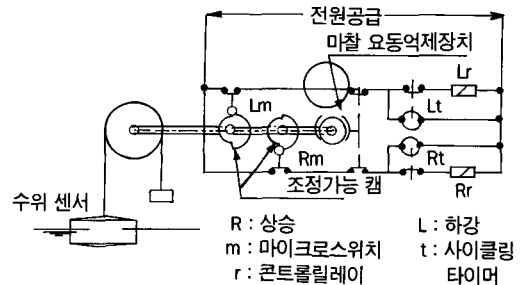
〈그림-25〉 싱크로 트랜스미터와 컴퓨터를 가진 비례조절장치(상류 수위조절)

단속도 및 다속도 플로우팅조절 장치

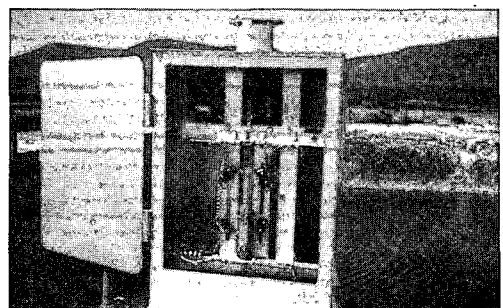
On/Off조절과 같이 수위가 허용조정범위(Dead band) 밖으로 나갈 때만 모터를 가동하여 조절 장치의 상태를 변화시키는데는 일정속도 플로우팅조절이 필요하다. 필요한 조절장치의 상태(상승, 중지, 하강)는 일반적으로 조절센서에 의

해 작동되는 캠으로 조정이 시작된다. 시작 단계에서는 타이머로 모터 스타터 릴레이를 주기적으로 작동하고 중지시킨다. 필요한 곳에서는 마찰 클러치와 추가스위치를 설치하여 동요를 억제할 수 있다.

미국의 개척국(USBR)에서 수위조절장치로 개발한 리틀맨(Little-man) 계열은 이러한 조절장치의 대표적인 것이다(그림-26과 사진 1). 리틀맨 조절장치는 약 1.5cm의 허용조정범위를 가지며 큰 수로의 근접 상하류 수위조절에 성공적으로 이용되었다. 그러나 수정작용의 시작과 수정결과가 원거리의 센서에 도달되는 시간 사이의 지체로 생기는 불안정성 때문에 원거리 하류수위조절에는 적합하지 않다.



〈그림-26〉 캠작동 리틀맨 플로우팅 조절장치



(Photo : USBR)

〈사진 1〉 트립바형 리틀맨 조절장치

6.3.5 전자조절장치

아날로그와 특히 디지털 컴퓨터는 많은 양의 데이터와 복잡한 논리를 처리할 수 있으므로 어떠한 논리나 조절모드에도 적용하여 자동조절을 가능하게 한다.

계속적으로 데이터를 받아서 처리하는 아날로그와 전자기계 컴퓨터와 달리 디지털 조절장치는 주기적으로 데이터를 모아서 처리한다. 수로의 분산 자동처리에 이용할 수 있는 3가지 전자조절장치는 :

- 잘 프로그램되어 있는 시중에서 구할 수 있는 포터블 마이크로 컴퓨터
- 산업용 조절장치
- 수로에 이용하기 위해 특별히 설계된 조절장치

포터블 마이크로 컴퓨터

마이크로 컴퓨터를 조절기로 사용하기 위하여 다음사항이 고려되어야 한다.

- 작고 튼튼한 하드웨어
- 수학적, 논리적인 기능(데이터를 취득, 저장, 조절논리)수행 프로그램
- 조절 프로그램, 데이터 저장, 처리결과를 수용하는 충분한 메모리 용량
- 프로그램에 조절변수와 목표값을 입력하고 저장된 데이터의 표시 등에 필요한 키보드, 모니터 등의 운영자 인터페이스
- 주전원으로 부터 전력공급이 중단되었을 때에도 꼭 필요한 작업을 계속할 수 있고 데이터를 보호할 수 있는 충분한 용량의 배터리
- 중앙집중 혹은 원격조절 시스템으로 통합(모뎀 또는 통신 인터페이스 추가) 가능성
- 센서로 부터의 신호와 조절장치로 보내지는 신호가 아날로그 신호일 때에 아날로그/디지털 및 디지털/아날로그 인터페이스 필요

위의 조건을 만족시켜 주는 비싸지 않은 포터블 마이크로 컴퓨터를 시중에서 구할 수 있으나 수로의 자동조절에의 이용은 아직 실험단계이다. 특히, 이러한 마이크로 컴퓨터는 대부분의 관계계획에 필요한 조건보다 훨씬 쉬운 조건에서 운영되도록 설계되어 있다. 악천후와 고온다습한 상태에서 조절장치의 신뢰도와 수명을 확보하는데 필요한 보호장치들은 현장시험을 거친 후 사용되어야 한다.

CARDD(Canal Automation for Rapid Demand Deliveries)사업의 일환으로 메모리 용량이

32 Kilobyte인 Tandy100 컴퓨터를 시험설치 하였다(3.3.3 장). 이러한 시도를 통해 CARDD 소프트웨어의 개발을 완결하기 위하여 상류조절 논리를 이용하여 하드웨어의 성능을 평가하게 될 것이다.

산업용 조절장치

산업자동화에 의하여 여러가지 조절장치가 개발되었으며, 이러한 장치는 일반적으로 온도, 압력, 유량, 수위, 속도, 무게와 같은 물리적인 변수를 조절한다. 이 장치들은 프로그램을 할 수 있거나 비례조절, 재조절을 겸한 비례비율조절, 플로우팅조절 등의 조절원리에 따라 미리 프로그램이 되어 있으며 극도의 악조건하에서도 작동되도록 설계된 것도 있다.

수로 시스템에 산업용 조절장치의 이용은 매력적이기는 하지만 복잡한 논리에 따라 작동할 수 있고 프로그램이 가능한 조절장치는 비교적 고가이기 때문에 중요한 조절 구조물에만 사용된다. 기초적인 조절 논리에 따라 미리 프로그램된 조절장치는 값이 싸나 수로조절이 불안정하게 되는 위험을 극복하기 위하여 조절 장치는 넓은 범위에 걸쳐 조절되도록 변수를 조정할 수 있고 진폭감소, 시간지연 및 요동억제의 기능을 가져야 한다. 이러한 기능이 미리 프로그램된 산업용 조절장치는 별로 없다.

특별설계된 조절장치

시중에는 수로조절에 적합한 장비가 거의 없기 때문에 많은 이용자들이 그들의 특별한 요구를 충족시키는 아래의 두 범주의 조절장치를 개발하였다.

- 미리 정의된 단일기능 조절장치
- 미리 프로그램된 여러가지 기능과 여러가지 모드를 갖춘 조절장치

단일기능 조절장치 :

미리 결정된 방식에 따라 수위와 같은 단일변수를 조절하기 위한 단일기능 조절장치가 설계된다. 운영자 인터페이스는 조절수위와 조절인자(조절량, 허용조정범위, 시간지연 등)의 목표값을 수정

하는 것에 한정된다. 통신 인터페이스를 사용하는 경우는 극히 적다. 이러한 조절장치는 저가이나 설계된 특수 상황에만 사용이 한정된다.

원거리 하류수위조절을 위해 1970년대 초에 USBR에서 개발하여 3.3.3 장에서 소개한 EL-FLO 리셋 조절장치는 이러한 타입이다(그림-27 및 사진 2). 비례 및 재조절 방식의 아날로그 조절기는 입력신호(수위)의 변화를 여과하고 자체시키는 트랜지스터 장비와 중앙경보 시스템과 연결된 오작동 감지 장치로 되어있다. 지금으로서는 이것이 구식 기술이지만 마이크로프로세서에 바탕을 둔 디지털 조절장치를 설치하는 것은 쉬운 일이다.

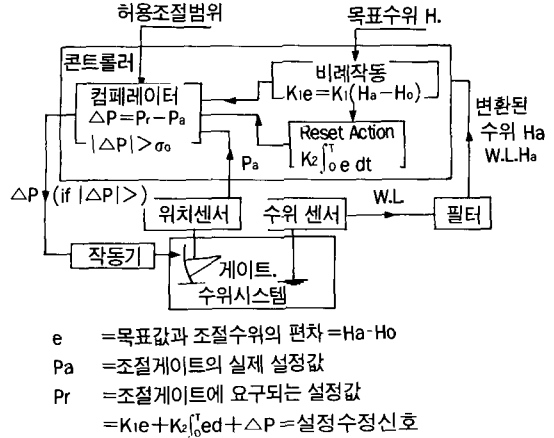
또한, 단일기능형은 USBR에서 제작한 마이크로 프로세서를 바탕으로 하는 리틀맨 조절장치가 있는데 전자기계 조절장치와 같은 작용을 한다(6.3.4 절)

다가능 조절장치 :

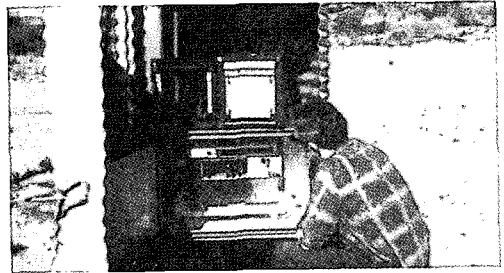
다가능 및 다모드 조절장치는 수로조절 뿐만 아니라 원격조절, 데이터 저장, 통신 등의 여러가지 일을 할 수 있도록 설계되었다. 각 장치는 마이크로 프로세서를 가지는 중앙처리장치(CPU), 필요한 기능을 위한 회로보드(PCB's), 전원공급 블럭 및 운영자 인터페이스 등을 포함한다. 최신 조절장치는 표준회로보드를 사용, 모듈단위로 설계하여 사용자의 필요에 따라 환경이 설정될 수 있도록 한다. 모듈설계는 수정에도 편리하다. 통합 소프트웨어는 표준 프로그램을 주로 하지만 필요한 경우 특별 프로그램을 포함할 수 있다.

이런 장치는 유량의 직접조절, 여러가지 변수에 따른 조절 및 원거리 하류수위조절과 같은 복잡한 논리를 필요로 하는 분산조절을 위하여 독립적으로 사용할 수 있고, 또는 중앙감시조절 시스템하의 원격터미널장치(RTU's)로 조절에 사용할 수 있다.

다가능 조절장치로 특별히 설계된 예로는 1980년대 초에 미국의 Scipar사에서 캘리포니아주 Coachella 수로의 상류부 78km에 10셋트의 조절기로 자동조절(근접 및 원거리)하기 위하여 개발한 스마트 리모트(Smart Remotes) 원격터미널



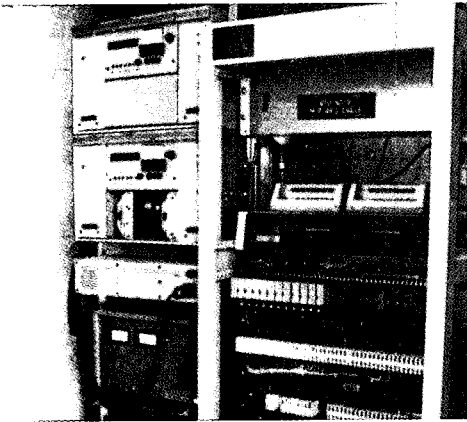
〈그림-27〉 비례+리셋모드 수위조절장치 (EL-FLO+리셋)



〈사진 2〉 EL-FLO+리셋 조절장치

장치가 있다. 집중조절 및 분산자동조절을 결합하여 중앙관리소의 전산시스템으로 수로를 조작하고 감시한다. 〈사진 3〉은 Coachella 시스템의 스마트 리모트(Smart Remote) 원격터미널 장치를 보여주고 있다.

스마트 리모트 원격터미널 장치는 일정유량(상하류 수위 및 수문의 개도 등의 입력 자료), 수문의 위치, 시간 계획에 따른 조작, 수위의 플로우팅 조절 등의 4가지 방법 중 한방법으로 조절수문을 자동조절한다. 처음 3가지 방법은 중앙관리소에서 조절모드와 설정점을 입력할 수 있다. 수위조절은 현지에서만 가능하며 안전을 위하여 수로내의 수위가 비정상적인 높이에 도달하여야 자동으로 작동된다. 스마트 리모트의 핵심은 마이크로 프로세서와 적합한 PCB이다. 외부 전원공급은 배터리에 의해 보장된다.

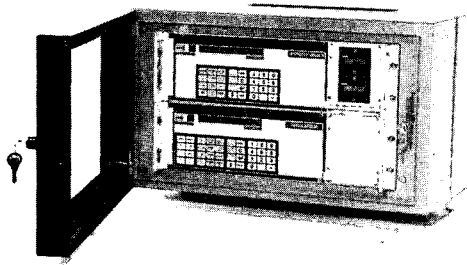


〈사진 3〉 스마트 리모트 원격 터미널 장치

모듈로 설계된 조절장치는 1980년대 초에 Alsthom-Fluides가 개발한 MODUVAR와 비슷한 시기에 Control Microsystem(캐나다)사에서 개발한 TeleSAFE 원격조절측정 장치가 있다.

MODUVAR는 데이터를 수집, 저장할 수 있으며 통신 및 조절기능도 가진다. 기본적인 구성요소는 배터리와 충전장치를 갖춘 전원 공급 블럭, CPU, 시계, 메모리 및 키보드와 문자, 숫자 표시 장치 등의 사용자 인터페이스를 포함한다. 아날로그 및 디지털 입출력 카드, 비례-리셋 및 조절을 제어카드, 모뎀카드, 음성 합성기 및 소형 프린터 등을 선택하여 추가할 수 있다.

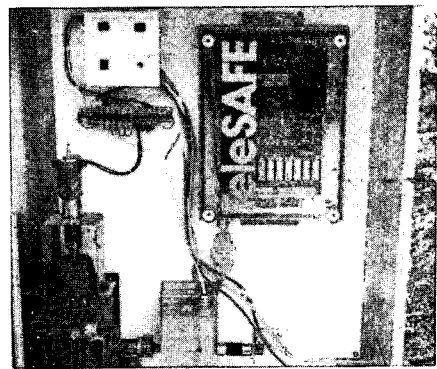
종합적인 인간-기계의 대화용 소프트웨어로 컴퓨터에 익숙치 않은 사람도 조절의 시작과 진단을 사용자 인터페이스의 일부분 만으로 할 수 있다. 측정과 조절장치를 결합한 2개의 MODUVAR로 구성된 조절장치를 〈사진 4〉에서 보여준다.



〈사진 4〉 조절과 측정장치를 갖춘 MODUVAR

TeleSAFE조절장치는 표시장치를 가지며 인터페이스는 선택사항인 것 이외에는 MODUVAR 조절장치와 디자인이 매우 비슷하다. 그러므로 조절의 시작과 진단을 위하여 인간-기계간의 인터페이스나 PC가 추가로 필요하다.

그러나 TeleSAFE는 특정 기능이 필요한 경우 PC와 BASIC 같은 언어를 사용하여 사용자가 프로그램할 수 있다. 캘리포니아주 Yellow County의 홍수조절 및 수자원보존 지구의 수로에 설치되어 있는 TeleSAFE 조절장치를 〈사진 5〉에서 볼 수 있다.



〈사진 5〉 TeleSAFE 조절장치

7. 분산자동 : 자동수위조절 자체 작동수문

7.1 일반적인 고려사항

자체작동수문은 수동이나 동력작동장치가 중력이나 정수압력으로 작동되는 평형추와 부표이용 시스템으로 대체된 것으로 설명할 수 있다.

자체작동수문의 문비를 움직이게 하는 하중은 문비의 자중, 평형추의 무게, 문비와 부표에 가해지는 수압이다. 정류상태하의 문비의 위치는 다음의 경우에 고정된다.

선형(Linearly)이동 문비의 경우 : $|F_G + F_{HY}| < F_F$

축선회 문비의 경우 : $|C_G + C_{HY}| < C_F$

여기서 F_G , F_{HY} , F_F 는 각각 사하중(자중, 평형추), 수하중(정수압, 부표의 부력) 및 마찰력의 이동방향의 합력이다. C_G , C_{HY} , C_F 는 각각 힌지선 주

위의 대응하는 토크(Torque)이다. F_G 는 일정하고 C_G 는 문비의 위치에 따라 변하며 F_{HY} , C_{HY} , F_P , C_P 는 문비의 위치와 또는 문비와 부표에 작용하는 수위에 따라 변한다.

자체작동수문의 설계는 수위 또는 수위차로 표시되는 조정값의 차이에 따라 조절수문의 위치로만 정의되는 평형관계를 유지하기 위한 장치를 결정하는 것이다. 이러한 관계는 마찰력이 다른 작용력에 비해 무시할 정도일 때에만 성립된다. 그러므로 마찰력이 사하중과 같은 경우 슬라이드 게이트를 자체작동수문으로 하는 것은 비실용적 이므로 실제로 모든 자체작동수문은 축선회 문비형 수문이며 이러한 수문도 특히 측면(Side sill)에서 발생하는 마찰 토크를 최소로 감소시켜 다음의 평형조건이 효율적으로 달성되도록 하여야 한다.

$$C_C + C_{HY} = 0$$

위의 토크는 수문의 위치와 수위만의 대수함수 또는 삼각함수로 되므로 기본적으로 비례조절에만 국한된다 ($P_r = K_i e$).

자체작동 축선회 문비 게이트는 힌지선에 대한 동수압의 작용선 위치에 따라 두가지 일반형이 있다.

- 동수압의 합력이 힌지선을 통과하지 않는 경우 : 플랩 게이트와 드롭리프 게이트에 발생하는 수력 토크는 문비 양측면의 수위나 문비 위치의 함수이다. 이 경우 수위와 수문의 위치간의 균형은 평형추에 의해서만 성립된다. 설계상 중요한 문제는 정확도와 안정성 확보와 관련하여 적절한 조절비를 가지는 평형추를 배치하는 것이다.

- 동수압이 힌지선을 통과하는 경우 : 래디얼 게이트에는 수력 토크가 발생하지 않으며 수문을 조절하기 위하여 부표를 사용하여 토크를 가지도록 수위를 추가로 올릴 필요가 있다. 충분한 비례량을 가지도록 조절하기 위하여 문비의 사하중에 대하여 균형을 취하고 전체의 토크를 조절하기 위하여 일반적으로 평형추도 필요하다.

부표 시스템은 조절수위에 따라 부표가 게이트와 일체로 되어 있으면 직접 조절되고 조절위치에 따라 정해진 대로 수위가 변하면 간접 조절된다. 후자의 경우 부표는 별도의 우물에 설치되어 우물

에 급수 및 배수에 따라 목표수위가 조절되는 위치 조절 보조 모터 역할을 한다. 이런 시스템을 누출 조절(Controlled leak) 시스템이라 한다.

그러므로 자체작동 수문은 다음과 같이 구분할 수 있다.

- 평형추로 작동되는 드롭 게이트와 플랩 게이트
- 수위에 따라 직접 부표로 작동되는 래디얼 게이트
- 간접수위로 조절되는 부표작동수문, 주로 래디얼 게이트

기계적인 균형 시스템에 의존하는 자체작동수문에서 특히 위험한 것은 힌지선의 어느 한쪽에 무게를 추가하여 불법으로 개조하거나 고의로 무엇을 끼워넣는 등으로 수문의 균형이 깨지는 것이다. 그러므로 보호함이나 보호망의 설치가 필요하다.

7.2. 평형추로 작동되는 드롭리프 게이트와 플랩 게이트

조절값(상류수위 H , 하류수위 h , 또는 상하류 수위차 $H-h$)과 비례조절계수(K_i) 또는 수문의 한계위치 도달점에서의 차이가 정해지면 평형추 시스템으로 부터의 토크는 다음식으로 정해진다.

$$P = P_r = K_i e \text{와 } C_C + C_w + C_{HY} = 0$$

여기서

e = 조절값의 편차

P = $e=0$ 에 대한 균형위치에 해당하는 게이트 문비의 현재 설정

P_r = 비례조절을 위하여 게이트 문비의 요구되는 설정

C_C = 평형추 시스템으로 부터의 토크

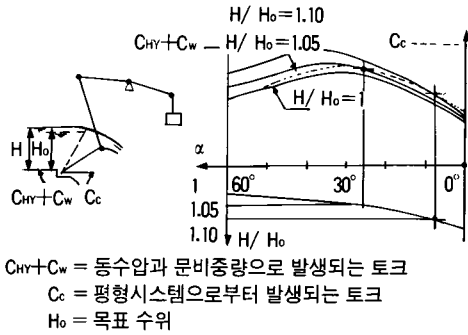
C_w = 문비 위치 P 의 함수로 문비 사하중으로 부터의 토크

C_{HY} = 계산이나 모형시험으로 결정되는 P , H 및 h 의 함수인 수력토크

C_C 는 P 만의 함수일 수 있기 때문에 C_{HY} 는 P 와 e (또는 P/K_i)만으로 정해져야 하나 문비가 하류 수위에 영향을 받지 않을 때에만 가능하다. 플랩 게이트와 드롭리프 게이트의 자동조절은 수문 전

체가 하류수위 보다 높을 때의 상류수위 조절에만 적용된다. 이 경우 C_{HY} 를 H_0+P/K_1 (H_0 는 목표수위)의 함수로 나타낼 수 있게되어 C_w 는 기지수가 되므로 C_c 를 유도할 수 있다. 실제로 정확히 비례(K_1 이 일정) 조절되는 평형추를 만들기는 어려우며 비례조절 논리는 작동범위내에서 P_i 이 e 의 증가함수가 되는 관계는 유사비례모드로 바뀐다.

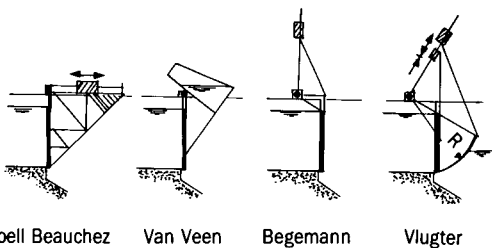
평형추로 작동되는 드롭리프 게이트에 있어 토크, 수문의 개도 및 상류수심간의 대표적인 관계는 <그림-28>과 같다.



<그림-28> 평형추로 작동되는 드롭리프 게이트 : 토크, 수문의 개도 및 상류 수심간의 관계

비교적 설계는 간단하지만 평형추를 가진 수문은 단점이 있다. 안정상 상류수위의 변화범위를 수문 높이의 10~15% 보다 더 높이 조절할 수 없다. 하류수위의 영향을 없애기 위하여 최소한 문비높이의 낙차가 필요하다. 마찰 영향을 최소로 감소시켜야 하며 양옆의 씰(Seal)은 문이 대개는 완전히 닫힌 상태에서만 유효한 것도 단점이다.

문비의 형태와 도르레(Pulley)나 레버(Lever)로 작동되는 평형추 및 힌지선에 따라 평형추로 작



<그림-29> 평형추로 작동되는 플랩게이트

동되는 드롭리프 및 플랩 게이트의 설계는 여러가지이다. <그림-29>는 물이 문비밑으로 흐르는 평형추로 작동되는 여러 플랩 게이트를 보여준다. Vlugter형 플랩 게이트는 굴곡된 하류쪽 스킨플레이트를 가진 문비가 힌지선의 중심으로 조정되어 하류 수위와는 독립적으로 작동된다.

7.3 수위에 따라 직접 부표로 작동되는 래디얼 게이트

이 형식의 조절장치는 래디얼 게이트 문비, 평형추, 그리고 조절수위에 따라 작동되는 단일부표 또는 상류 및 하류수위에 따라 작동되는 2개의 부표로 구성된다. 이론적인 조절 및 평형관계는 다음식으로 표시된다.

$$P=P_r=K_1e, C_c+C_w+C_{HY}=0$$

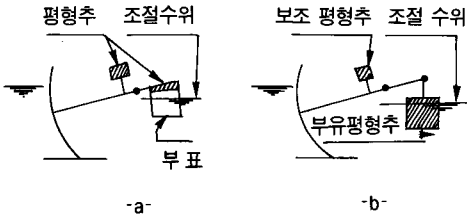
이 경우 수력토크 C_{HY} 는 부표시스템의 작동으로만 발생하며 문비의 위치와 조절값의 차이 e 에 따라 변한다. 조절값은 상류수위, 하류수위 또는 상하류 수위의 함수일 수도 있다.

실제로 $P_r=K_1e$, 또는 P_i 이 e 의 증가함수인 경우를 만족시키기 위하여 필요한 평형추와 부표의 모양이나 크기 또는 배치는 선택의 여지가 거의 없도록 극도로 제한된다. 정확한 조절이 되도록 입력값 결정계수값이 충분히 커야 하며 요동억제 장치가 필요할 수도 있는 것도 제약요인이다. 부표의 모양이 너무 복잡하여 제조가 어렵고 비용이 높아 지지 않아야 하며 정확도와 안정성을 해치는 이동 및 마찰영향을 최소화하기 위하여 부품간의 기계적인 연결을 가능한 단순하게 해야한다. 이러한 조절장치는 허용편차의 변화를 인정하고 수문과 지지구조물을 소형화하여 경제적인 구조물이 되도록 하여야 한다.

지금까지는 <그림-30a>와 같이 평형추와 부표가 수문의 프레임에 단단히 고정되어 있는 장치가 실용단계로까지 발전되었다. 이러한 수문이 정확한 크기로 설치되면 e 는 문비의 각도 편차(Angular deviation)의 사인값에 비례한다.

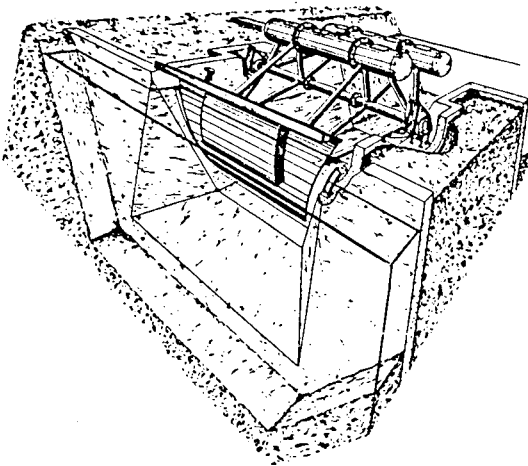
래디얼 게이트에도 사용될 수 있으나 현재까지는 실린더 게이트에만 사용되어온 두번째 장치는

로커암(Rocker arm)을 사용한다. 이 로커암의 한 끝은 매달려있는 수문셔터의 무게에 연결되고 다른 한끝은 조절수위 아래에 일부 잠긴채 물에 떠있는 수직평형추 무게에 연결되어 있다. 암 자체에 있는 보조평형추에 의해서도 토크가 발생된다. 이 장치에서 조절은 유사비례조절이 되어 e는 로커암 각도의 사인과 탄젠트의 선형함수가 된다. <그림-30b>는 래디얼 게이트 조절에 사용된 조절장치를 보여준다.



<그림-30> 수위에 따라 직접 부표로 작동되는 래디얼 게이트 조절장치

직접 수위에 의하여 부표로 작동되는 대표적인 래디얼 게이트로는 Neyrpic 게이트가 있다. 이 수문은 약 40년전에 프랑스의 Neyrpic사에서 처음 개발하였으며 지금은 Alsthom-Fluides사에서 생산하고 있다. 이 수문은 세계 각지의 관개사업지구에서 성공적으로 사용되었으며 다음의 3가지 조절은 리중 한가지를 채택, 표준화되어 생산되고 있다.



<그림-31> 부표로 작동되는 일정상류수위 유지를 위한 AMIL 게이트

- 일정상류수위 유지를 위한 AMIL 게이트<그림-31>

- 일정하류수위 유지를 위한 AVIS(서페이스) 및 AVIO(오리피스) 게이트<그림-32>

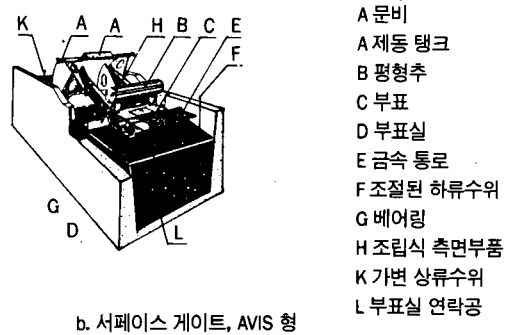
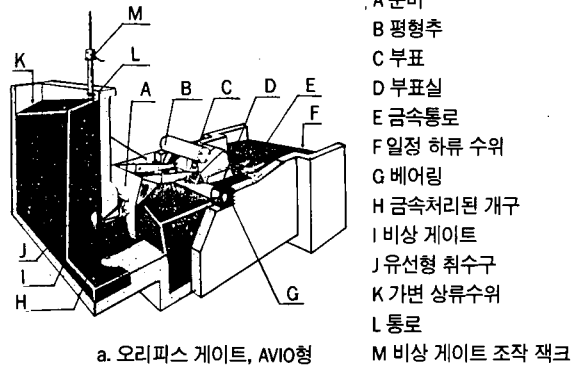
- 상하류 부표 우물의 일정수위차 유지를 위한 혼합 또는 복합 게이트<그림-33>

이러한 수문은 여러가지 공통점이 있다.

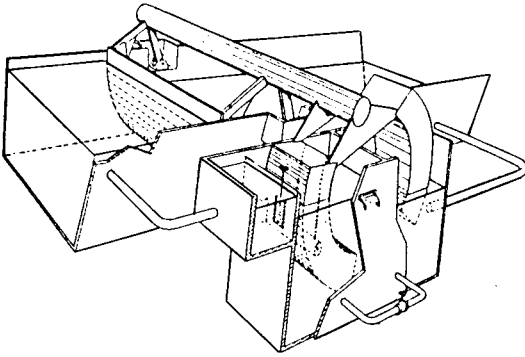
- 평형추와 부표는 문비와 합쳐져 있다. 부표는 AMIL의 경우 문비의 상류면에, AVIS 및 AVIO 게이트에는 힌지 하류 게이트 암의 연장부에 설치되어 있다. 혼합게이트에는 부표가 양측 우물의 어느 한쪽에 설치된다.

- 슬루스 부분은 사다리꼴이다. 수문이 닫힌 상태에서도 누수가 발생한다.

- 조절값의 설정점(Set point)이 AMIL, AVIS, AVIO 게이트는 힌지선에, 그리고 혼합게이트는 5~15cm의 조절범위를 갖도록 효과적으로 고정된다.



<그림-32> 부표로 작동되는 일정하류수위 게이트, AVIO 및 AVIS 형



〈그림-33〉 2개의 대립부표를 가진 수문, 혼합형

조절논리는 $\sin n = Kie$ 이다. 여기서, n 은 $e=0$ 가 되는 균형위치로부터 수문의 각도편차이다. 최대조절값편차는 수문의 형식과 크기에 따라 수문 높이의 약 3% 또는 4%(예를 들면 1.5cm ~ 15cm)가 되며 평형추를 조정하여 수정할 수 있다. 불안정하게 되지 않도록 수문에 오일충격 흡수기(AMIL) 또는 유압식 억제 장치 등의 요동억제장치를 붙인다.

AMIL계 수문의 설계유량은 각 수문의 수위차가 10cm와 1m일 때 $181/s \sim 55m^3/s$ 범위내에 있다.

AVIS계 수문의 최대 유량은 각 수문의 수위차가 6cm와 33cm일 때 $8001/s \sim 60m^3/s$ 범위내에 있다. 최대 허용 수위차는 각각 40cm와 1.1m이다.

AVIO계 수문의 설계유량은 각 수문의 수위차가 각각 13cm와 73cm일 때 $85l/s \sim 42m^3/s$ 범위내에 있다. 이 경우 최대허용 수위차는 1.1m와 5.6m이다.

이와 같이 AMIL, AVIS, AVIO 게이트의 설정점은 설치된 후 효과적으로 고정된다. 현재 현지 또는 원격조절장치로 상당한 범위에 걸쳐 설정점이 조정될 수 있는 ACTA계 수문을 개발중에 있다. 이러한 조정은 벌러스트(Ballast)의 양을 바꾸어, 즉 예를 들어, 물주머니 벌러스트의 경우 부피나 위치를 바꾸면 가능해진다. 이와 같은 방법으로 설정점을 게이트 높이의 약 1/3에 해당되는 범위까지 조정할 수 있다. 설정점의 수정 시스템에만 전원을 공급받고 게이트는 자체로 작동한다. 전원 공급이나 통신이 중단되는 경우에는 중단되는 순간에 조정된 대로 수문은 계속 자동으로 작동한다.

혼합게이트의 경우 각 부표우물이 수문의 직상류와 직하류 수로에 직접 연결되어 우물의 수위는 수로의 수위를 나타내며 때로는 웨어나 오리피스 를 통하여 간접적으로 연결되거나 우물끼리 연결되며 이 경우 우물의 수위는 수로수위의 함수로 정의된다. 혼합게이트는 조절장치가 조정될 수 있는 곳에서 활용성이 커지므로 상관수위조절(3.4절)과 혼합조절(3.5절)에 특히 적합하다. 혼합게이트계 수문의 20cm의 수위차에 대한 최대 유량은 약 $8m^3/s \sim 50m^3/s$ 범위내이며 최대 허용 수두차는 약 1m ~ 3.5m, 적정작동에 필요한 최소 수두차는 15cm이다.

7.4 간접수위로 조절되는 부표로 작동되는 수문

간접수위로 부표에 의해 작동되는 수문은 부표와 또는 평형추에 기계적으로 연결된 게이트 문비 통상 래디얼 게이트와 조절값의 편차에 따라 부표우물의 수위가 자동적으로 조정되는 물조절 시스템으로 구성된다. 이 수문의 부유 평형추 시스템 〈그림-34〉과 물조절 시스템은 게이트 문비의 위치에 조절값을 연관시키는 단일 루프(Loop)로 만들기 위하여 우물의 수위를 통해 연결된 2개의 개방조절 루프로 생각할 수 있다.

따라서 아래의 두 관계가 결합되어 조절논리가 된다.

- 수문위치와 시스템 평형식으로 유도되는 우물수위의 차 z 와의 관계
- 우물수위의 차 z 와 조절값의 차 e 의 관계

일반적으로 부유 평형추가 수직힘만 받을때 토크의 평형방정식 $C_c + C_w + C_{Hy} = 0$ 은 부유 평형추에 작용하는 힘의 평형방정식, $F_c + F_w + F_{Hy} = 0$ 과 같은 것이다.

여기서

F_c = 부유 평형추의 자중, 상수

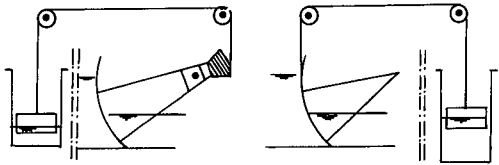
F_w = 시스템의 모든 이동부분의 자중으로 발생하는 힘으로, 수문의 각도편차나 부표의 선형편차 j 의 함수로 자체로 수문 각도편차의 삼각함수이다.

F_{HY} = 일정수평면의 부유 평형추에 대한 부력으로 침수심 i 만의 함수.

수직방향 부표 평형추의 평형 방정식은 다음과 같다(그림-35).

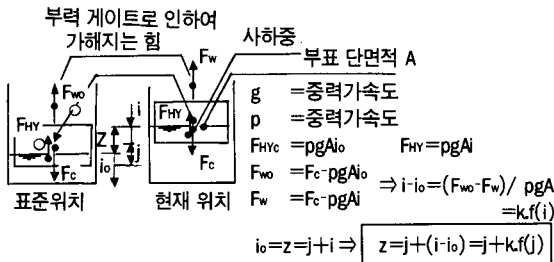
$$z = j + k \cdot f(j)$$

여기서 $k \cdot f(j)$ 는 부유평형추의 침수심 변화를 나타낸다. k 는 시스템 부품의 크기, 물리적 특성,



a. 게이트를 열기 위해서는 우물의 수심을 증가시키고 달을 때는 수심을 감소시킨다.
b. 게이트를 열기 위해서는 우물의 수심을 감소시키고 달을 때는 수심을 증가시킨다.

〈그림-34〉 부유평형추에 의해 작동되는 래디얼 게이트의 두가지 기본형 (우물의 수심을 조절하는 시스템은 나타내지 않았음)



〈그림-35〉 부유평형추에 의한 수문조작 : 부표우물의 수위 변화와 평형추의 이동관계

상대적 배치에 따른 상수이다.

부유평형추 및 연결장치의 설계시 다음 사항을 확인하여야 한다.

- $j=0$ 에 대한 평형식이 만족되어야 한다.
 - 안정을 위하여 함수 $z=j+k \cdot f(j)$ 는 수문 이동 범위내에서 계속 증가한다.
 - 부유평형추는 완전히 물에 잠기거나 물밖으로 나오지 않아야 한다.
 - 부유평형추의 수평단면이 충분한 마찰력으로 그 위치에서의 영향이 전체 평형추 이동거리에 대해 영향을 적게 미쳐야 한다.
- 부표우물의 수위는 조절누출장치를 설치하여 자

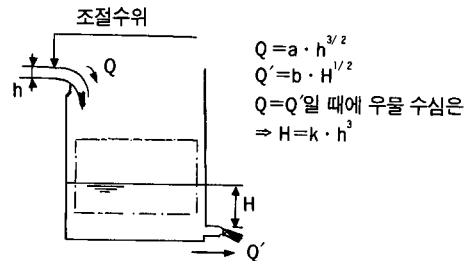
동조절할 수 있으며 우물의 바닥 유출구로 부터의 유출량은 유출구의 수두와 횡단면에 따라 정해진다는 원리를 이용한다. 우물을 통해 계속적으로 물이 유출되면 우물의 수위는 배출량이 유입량과 같아지는 수위가 될 것이다. 수위는 유입량 및 배출구의 단면적에 따라 변할 것이다. 이러한 기술은 이 수위 변화를 조절값의 변화에 관련시키는 것이다.

이런 장치를 하면 부표우물의 유입구와 유출구의 수두차는 부유평형추의 이동에 해당하는 우물의 수위변화 보다는 약간 크고, 수문 자체의 작동 수두차 보다는 상당히 크다. 그러므로 부표우물은 분리되어 높게 설치된 급수장치에서 물을 공급받거나 수로의 수위 보다 낮은 배수로로 물을 유출시켜야 한다. 부표우물의 유입구와 유출구는 적정 대응속도로 연속하여 유출량이 최소가 되도록 설계한다. 이런 장치가 막혀서 작동되지 않는 위험을 최소화하기 위하여 입구에 스크린을 설치하거나 청소를 위해 우물바닥에 접근로를 만들든지 청소 시설을 한다.

조절누출 방법으로 자동작동하는 방법은 사이드셀을 갖춘 재래식 래디얼 게이트에 적용할 수 있다. 드롭리프 게이트에도 이 방법이 사용되었다. 드롭리프 게이트에 적용한 경우는 평면형의 부유평형추를 사용하면 게이트 문비에 연결하기 쉬워지고 정확도와 안정성도 향상된다.

이러한 조절누출 시스템의 사용은 부표우물을 설치하기 때문에 수문의 구조가 커지기 쉽다.

조절누출 장치로는 Danaidean시스템과 DAC L(Dual Acting Controlled Leak)시스템이 있



〈그림-36〉 Danaidean well : 조절된 수위와 우물수심과의 관계

다.

Danaidean 조절

우물의 유출구는 일정단면의 오리피스 형태이고 유입구는 조절되는 수위에 따라 상류 또는 하류수로에 직접 연결되어 있으며 유입량은 고정웨어로 조절한다. 정류상태(Steady state)에서 오리피스의 수두(Head)는 웨어 수두의 3승에 비례한다(그림-36). 조절값의 변화와 우물수위의 상관변화(비례계수)의 관계는 웨어와 오리피스의 특성에 달려 있다. 우물의 크기를 적정하게 하면 우물의 조건은 수로자체의 조건을 확대하여 나타낼 수 있으며, 조절값의 비교적 작은 차이(1cm~5cm)로 안정적으로 수위를 비례 자동조절을 가능하게 해준다.

실제로, 배수 오리피스는 작은 슬루스 게이트나 밸브로 구성되며 이들을 조절하면 비례계수를 수정할 수 있어 조정을 최대로 할수 있게 된다. 이와 비슷하게 유입부의 웨어에 가동마루(Movable crest)를 설치하여 조절수위의 설정점을 조절할 수 있다.

Danaidean 조절은 일정상류 수위조절과 일정하류 수위조절에 모두 이용할 수 있다. 그러나 수두 차이가 커야 하기 때문에 낙차가 큰 상류수위조절일 경우에만 우물의 유출량이 하류수로로 들어갈 수 있다.

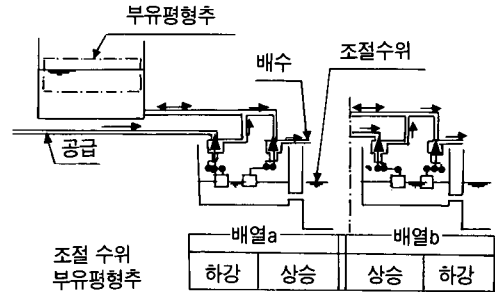
Danaidean 시스템은 1930년대에 프랑스의 Neyrpic사와 1940년대에 미국의 USBR과 Armco사에서 개발하였다. 프랑스에서는 수위에 의해 직접작동이 선호되는 수로조절장치 보다는 홍수조절용 수문과 플로우트 밸브에 주로 이용되었다. 이 시스템은 미국의 캘리포니아주 Tranquility and Imperial관개지구, 아리조나주 Mohawk 관개배수지구, 콜로라도주의 북부 수자원보전 지구에서 수로의 수위조절에 이용되었다. 일본의 마루시마회사도 Danaidean 시스템 수문을 설치하였다.

DACL 조절

DACL 조절장치는 Danaidean 시스템에서 조절 수위에서 부표우물로 물을 직접 공급하여야 하는

제한성을 해소하기 위하여 아리조나주 피닉스에 있는 미국 농무부 물보전실험소(US Water Conservancy Laboratory)에서 1985년 처음으로 개발하였다.

DACL 시스템(그림-37)에서 부표우물은 저압력으로 상류수로나 높은 위치에 분리된 수원으로부터 물을 공급받는다. 우물로의 유입수와 우물로부터의 유출수는 조절수위에 의해 작동되는 플로우트 밸브에 의해 조절된다. 밸브의 부표는 수위차에 따라 반응하도록 배치하며 밸브는 반대방향으로 이동한다. 부표우물의 수위변화는 감지된 수위차를 보정하면서 수문을 작동시킨다.



〈그림-37〉 DACL(2중 작용 조절누출) 조절

이러한 조절은 부표조절이 되어 조절수위가 설정점으로 돌아올 때까지 게이트의 움직임을 계속 수정한다. 밸브의 반대작용 때문에 우물의 채움과 배수에 비례한 속도로 수문이 조정되므로 조절값의 차가 크면 클수록 조정속도는 빨라진다.

현재까지 DACL 시스템은 시험적으로만 적용되었다. Danaidean 조절과 비교할 때 허용 차이를 1cm 또는 그 이하로 할 수 있어 정확도가 앞서며 대응시간을 단축하고 유출량을 적게할 수 있다. 시스템의 배치도 간단하며 특히 하류수위조절에 배치가 더욱 쉬워진다. 그러나 DACL 시스템은 플로우트 밸브를 설치하기 위해 추가로 우물이 필요하다. 밸브는 기계장치로 Danaidean 시스템에 사용되는 수동장치(Passive devices)보다 신뢰도가 부족하다. 더우기 설정점을 조정하려면 플로우트 밸브 조립장치를 수직으로 움직여야 하므로 이동하기 쉽게 연결하여야 한다. 시스템이 높은 곳의

분리수원에 의존할 때 특히 양수(Pump)의 경우 시스템의 신뢰성이 고려되어야 한다.

일정 수위차를 유지하기 위하여 조절누출의 원리를 적용할 수 있다. 이 경우 비교되고 있는 수위의 한쪽에 잠긴 부표를 빔의 각단에 붙여 빔을 선회시켜서 밸브를 움직임으로써 부표우물의 유입과 유출이 조절된다. 그러므로 수도차는 부표조절방법으로 조절된다. 피봇 빔의 균형을 조정하여 조정값의 차를 조절할 수 있을 것이다.

국부적인 전자자동조절 장치나 중앙통제소와 연결된 원격터미널장치에 의해 조절되는 전동수문이나 전동밸브를 통해 부표우물의 유입과 유출을 조절하는데 이 방법을 적용함으로써 이용분야를 확대할 수 있다. 수로의 수문은 수압식으로 작동될 수 있으므로 보조조절 시스템에만 동력이 필요하다. 이러한 장치는 원거리 분산하류조절과 중앙집중식 자동조절 시스템에 유리하다.

국부적인 조절장치나 원격터미널장치(RTU)에 이르는 통신 시스템의 고장시 게이트의 동작은 선택된 조절누출 시스템에 의존한다. 모터로 작동되는 유입웨어를 구비한 Danaidean시스템의 경우에는 고장전의 마지막 지시에 따라 조절이 계속된다.

그러나 DACL 시스템의 경우에는 조절능력이 상실되어 수문은 통신이 중단될 때의 위치에 그대로 있거나 완전히 닫히거나 열리게 된다.

역자 약력

이 영 일



- 1973. 서울대학교 농과대학 농공학과 졸업
- 1981. 화란 국제농업센터(IAC) 토지배수 과정 연수
- 1988. 미국 Pennsylvania주립대학교 대학원 M.S.
- 현재 농어촌진흥공사 전산실 전산개발부장

정 병 호



- 1969. 서울대학교 농과대학 농공학과 졸업
- 1977. 화란 국제수리공학과정 수료
- 1981. 미국 캘리포니아대학교 석사
- 1992. 미국 유타주립대학교 공학박사
- 1994. 매콩유역 베트남 야수프다목적사업 예비타당성 용역단장
- 현재 농어촌진흥공사 농어촌연구원 수석연구원
- KCID 편집·학술분과위원 / 국제회의 유치 및 준비분과위원