

# 수로 관개 시스템의 자동화(Ⅱ)

## Automation of Canal Irrigation Systems(Ⅱ)

Jean Goussard\*

오 영 환\*\*, 정 병 호\*\*\*, 김 주 창\*\*\* 역  
 Oh, Young-hwan Cheong, Byeong-ho Kim, Ju-chang

### 3. 분산형 자동조절의 원리

#### 3.1 정의

분산자동조절 원리는 수위변동에 따라 수로의 각 조절장치가 순차적으로 작동하여 자동으로 수위를 조절하도록 개발된 것으로 중앙자동조절에도 적용할 수 있다.

분산자동조절 원리는 일반적으로 두 가지 광의의 개념 중 하나를 따른다.

- 상류수위조절(Upstream control)은 상류에서 하류로 또는 공급자 쪽에서 이용자 쪽으로 조절장치가 상류수위 변화에 자동대응하여 순차적으로 작동한다.

- 하류수위조절(Downstream control)은 하류에서 상류로 또는 이용자 쪽에서 공급자 쪽으로 조절장치가 하류수위 변화에 자동대응하며 순차적으로 작동한다.

상대수위조절(Related level control)로 불리는 제3의 개념은 조절구조물 상하류 수위차에 따라 대응 방향과 관계없이 조절장치가 작동되는 것으로 특정 경우에 쓰인다.

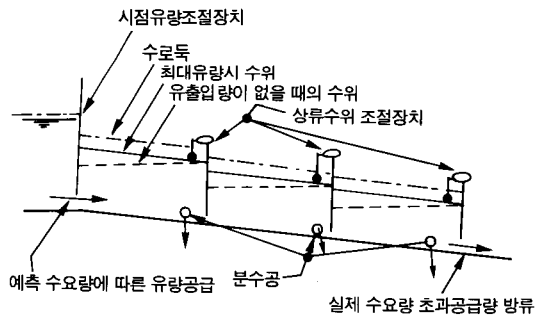
두가지 개념을 혼합할 수도 있다. 수위조절에 따라 상류조절과 하류조절을 혼합한 혼합조절(Mix-

ed control) 방식이 있고, 또 다른 원리에 따라 작동하는 조절장치가 직렬로 배열하여 사용하는 것, 예로 간선수로는 상류수위조절 그리고 지선 이하의 수로는 하류수위조절 방식을 취하는 경우가 있다.

#### 3.2 상류수위조절(Upstream Control)

상류수위자동조절을 채택하는 수로는 일반적으로 계획된 유량을 수동 또는 자동취입공으로 취수하고 자동으로 상류수위를 일정수위로 유지시켜 주는 일련의 일정 상류수위 조절장치를 갖는다.

그러므로 수로구간의 시점에 도달된 유량이 하류측의 수요량을 초과하면 수위가 상승하게 되어 이 구간의 하단에 설치된 조절장치를 조정하여 통



〈그림-2〉 자동상류수위조절

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

\*\* 농어촌진흥공사 국제협력처

\*\*\* 농어촌진흥공사 농어촌연구원

과유량을 늘려 상류수위를 계획수위로 유지시킨다. 반대로 공급량이 수요량에 미치지 못하면 조절장치를 통과하는 유량을 줄여 상류수위를 유지시킨다. 이러한 상류수위조절은 근접조절의 경우에만 효과적으로 운영될 수 있다.

상류수위조절 시스템을 운영하는 곳의 공급유량은 수원공 관리기관에서 결정하므로 필요한 유량을 공급받기 위하여 이용자와 공급자간에 긴밀한 협조체제를 유지하여야 한다. 관리기관에 의한 방류량의 조절은 수자원이 부족하거나, 수요자들이 혼란되어 있지 않거나, 물을 과소비하는 경향이 있는 지구에 유리한 관리방법이다.

상류수위조절 수로구간은 하단의 일정수위를 축으로 수위가 유지되기 때문에 정류(Steady flow) 상태가 되려면 수로구간내 물의 유입량을 증가시켜야 한다. 따라서 유입수량이 증가하면서 구간내 최초 및 최종곡선 사이의 빼기용적만큼 채워 주게 되므로 수로내의 수위를 안정시키는 시간이 상당히 길어진다. 이와 같은 특성 때문에 수동 혹은 자동 상류수위조절 수로는 관리를 위한 여유저류량을 갖지 못하게 된다.

유량변화에 따른 수위안정에 필요한 시간은 이론적으로는 Saint Venant 공식을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션으로 예측할 수 있지만 실제로는 수로의 조도, 조절장치의 유량계수와 같은 확실하게 규명되지 못한 입력자료들에 지대한 영향을 받게 되어 복잡한 계산결과가 실제 현상과는 차이가 있으므로 유량변화와 수면곡선사이 용적의 비율로 수위안정시간을 계산하는 간단한 방법을 사용할 수도 있다.

**상류수위조절의 장점 :**

- 최대유량 통과시 수로내의 수면은 수로바닥과 평행하다. 따라서 상류수위조절은 낙차공을 포함하는 수로 등 어떠한 수로구간에도 이용될 수 있으며 재래식 시스템의 현대화에도 쉽게 적용할 수 있다.
- 수위의 정확한 조절로 수로의 여유고를 최소화 할 수 있으며, 수위를 거의 일정하게 유지하는 조절장치의 바로 상류에 일정유량 취수시설의 설치 가능하다.

• 일정상류수위조절은 단순한 기술의 이용으로 가능하다.

수로내의 여유수량 부족과 유량변화시 수위안정이 느껴지는 단점은 :

- 유량변화에 대한 대처능력이 부족하고 느린 조정시간은 수원공에서의 취수계획시 고려하여야 한다.
- 분수관을 통한 용수의 공급량과 농민의 수요량 사이에 차이가 발생할 경우 관리손실 또는 용수 부족량이 커질 수 있다. 용수의 초과공급시에는 수로 말단부에서의 무효방류 발생으로 물이 낭비되거나 수로제방을 월류하는 경우가 발생하고 용수 공급량 부족시에는 하류에서 시작하여 상류쪽으로 용수부족이 발생한다. 용수부족의 위험도를 줄이기 위하여 수원공에서의 예측수요량 보다 보통 5~10% 더 많이 방류하면, 관리손실량이 전체 방류량의 15~20%나 되지만 이러한 관리손실을 보통 50%에 이르는 수동조절시의 관리손실에 비하여 크게 개선된 것이다.

40년 전 알제리아에서 자동상류수위조절 시스템을 처음 사용한 후 물관리 현대화의 시작 또는 일부로 전세계에서 이용되고 있다. 알제리아의 사업 지구에서는 자동조작수문과 여러 종류의 조절장치 및 다양한 관리기술이 이용되었다.

**3.3 하류수위조절(Downstream Control)**

**3.3.1 일반적인 특성**

하류수위조절은 수원공의 조절장치와 각 수로의 조절장치가 가까운 하류의 수위에 관련된다는 여러 가지 이론에 근거를 둔다. 하류수위의 변화는 상류쪽으로 조절장치를 순차적으로 반응시켜 시스템의 유입량을 조절하게 되며, 하류수위조절은 근접조절은 물론이고 원거리조절에도 사용할 수 있다.

용수 수요량의 변화에 따른 자동하류수위조절은:

- 수요량만큼 물을 공급받을 수 있어 관개용수 최적이용과 작물 생산량의 증가 및 재배작물의 다양화를 가능하게 한다. 지선수로까지 하류수위 조절로 할 수도 있고 간선수로만 하류수위조절로 하

고 지선수로 이하는 치밀한 계획에 의한 상류수위 조절로 운영할 수도 있다.

- 용수공급계획을 미리 잘 필요성을 일부 또는 완전히 제거하고 용수사용자와 용수공급자간 상호 연락의 필요성이 줄어든다.

- 관리손실을 % 이내로 최소화 한다.

용수의 수요량 변화에 대한 하류수위 조절수로의 능력과 반응시간은 상류부의 용수공급가능량, 수로의 통수능력, 수로내의 저류량 및 관리방법에 따라 좌우된다. 따라서,

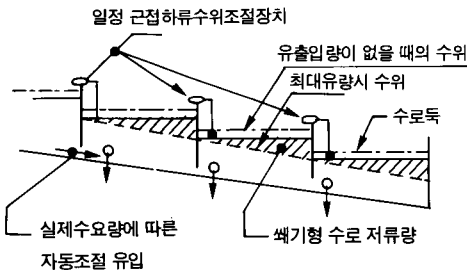
- 수로와 저류시설의 설계 및 관리방식의 결정은 용수의 수요량과 그 발생가능성에 대한 현실적인 가정에 근거하여 시행해야 한다.

- 용수의 수요량은 간선수로의 관리기관이나 물의 과소비 억제방법을 충분히 훈련받은 사용자에게 의해 조작되는 분수공으로만 급수되도록 제한하여야 한다.

하류수위조절하에서는 용수의 공급이 수요에 미치지 못하면 용수부족은 상류에서 시작하여 하류로 진행하면서 발생한다.

**3.3.2 근접하류수위조절(Close Downstream Control)**

근접하류수위조절 수로는 수원공구간을 포함한 각 구간 상단부의 하류수위를 자동으로 일정하게 유지시켜 주는 조절장치를 갖는다.



〈그림-3〉 근접하류수위자동조절

수로구간의 상단부에 설치된 조절장치를 통한 용수의 공급이 하류부의 수요를 초과하게 되면 그 구간의 수위가 상승하게 되고, 이러한 상승은 조절장치를 작동해 유량을 감소시켜 그 구간의 수위가

목표수위를 넘지 않도록 조정한다. 반대로 용수의 수요가 그 구간의 공급을 초과하게 되어 수위가 낮아지면 조절장치를 통한 유입량이 증가하여 수위를 상승시킨다.

상류단의 일정수위를 축으로 구간내의 수위가 유지되기 때문에 정류상태가 되려면 수로구간내 물의 유입량을 감소시켜야 한다. 그리고 최초 및 최종 수면곡선사이의 썰기용적은 하류의 수요량 변동에 즉시 대응할 수 있는 저류량이 된다. 이 저류량의 크기에 따라서 조절장치 사이의 최소거리가 결정 된다.

경험적으로 최대설계유량에 따른 수요량 변화에 충분히 대응하기 위한 최소저류용량은 아래 식에 의한 계산값 이상이어야 한다.

$$\frac{Q}{2} \times T$$

여기서

$$T = \frac{L}{(gd)^{0.5} + V} + \frac{L}{(gd)^{0.5} - V}$$

여기서

Q = 수로구간의 최대수량

L = 수로구간의 길이

d = 최대유량시의 수로단면적 / 수로의 수면폭

V = Q / 최대유량시의 수로 단면적

g = 중력 가속도

상류수위조절과 비교한 근접하류수위조절의 일반적인 장점 :

- 정확한 수위조절로 일정유량 취수장치를 설치하기 쉬워진다. 특히 조절장치의 하류 가까이에 이를 설치할 수 있다.
- 일정하류수위조절은 단순한 기술의 이용으로 가능하다.

근접하류수위조절의 단점 :

- 각 수로구간의 최고수위는 유량이 없을 때의 수위와 일치하며 이 수위는 상류부 조절장치의 목표수위와 같게 된다. 이러한 수위를 유지하기 위하여 수로둑은 수평이 되어야 하고 따라서 수로건설비가 추가된다. 그러므로 근접하류수위조절방식의

사용은 일반적으로 종단기울기가 km당 20~30cm를 초과하지 않는 수로로 제한되며 재래식 수로시스템의 현대화에 사용하기 어렵다. 하류로부터 상류로의 수리적 전달은 연속적으로 상류흐름(Sub-critical flow)이 되어야 하기 때문에 낙차공이나 유량측정플럼 같은 구조물이 있는 구간에는 적용할 수 없다.

이러한 이유로 근접하류수위자동조절은 주로 서유럽의 프랑스와 북부 아프리카의 모로코, 알제리아, 튀니지아의 새로운 수로 시스템에 사용되었다.

### 3.3.3 원거리하류수위조절(Distant Downstream Control)

원거리하류수위조절은 수로독을 높이거나 조절장치의 여유고를 키우지 않고 재래식으로 상류수위를 조절하는 기존수로에 하류수위조절 원리를 적용하기 위하여 개발되었다. 원거리하류수위조절하의 각 수로구간 상단부의 조절장치는 그 구간의 수위를 유지하도록 프로그램되어 자동조절되는 동시에 하류부 조절장치와 취수공의 필요수량 변화

에 즉시 반응한다. 용수수량의 변화는 대부분 조절장치와 가까운 지점, 그리고 1개 이상의 원거리 지점의 연속적인 수위변화를 통하여 조절장치에 감지된다. 원거리하류수위조절 시스템은 각 구간 하단수위를 일정하게 유지하거나 그 구간의 수로내 물의 량을 일정하게 유지하도록 설계할 수 있다.

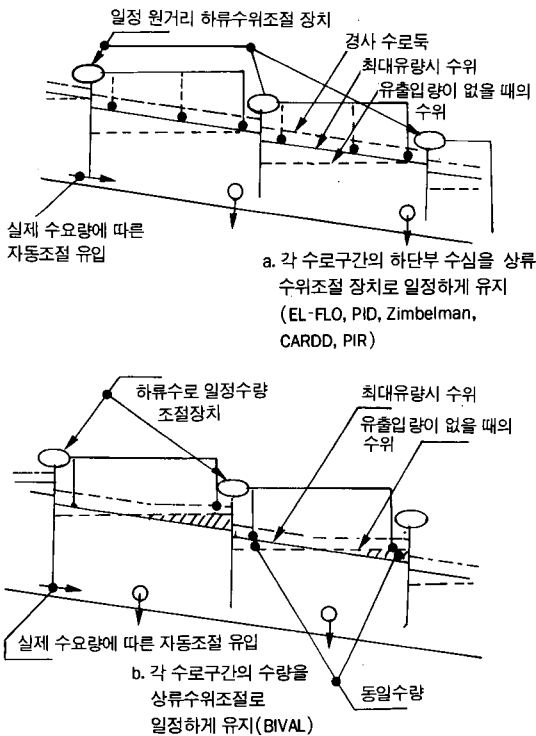
#### 일정수위조절(Constant Level)

각 구간 하단부의 수면을 정해진 목표수위로 유지시키는 시스템으로 <그림-4a>이 시스템은 어떤 종단 기울기를 가지는 수로에도 사용할 수 있다. 수로내 관리용 여유수량은 없어도 그 구간 상단부의 조절장치가 하단부의 수위변화에 즉각 반응할 수 있다. 그러나 용수의 유입 또는 유출 전후의 수면차이에 해당하는 수로내 수량변화를 보충하는데 시간이 걸린다. 유속 또는 조절장치 통과유량 증가로 조정시간을 줄일 수 있으나 수로 하단부의 조절장치 조정에도 시간이 소요된다. 이 방법은 한 구간 또는 전체시스템의 불안정을 야기시킬 수 있으므로 수위조절 높이를 조정속도와 수로의 안정성을 고려하여 정한다. 개발되었거나 개발중인 5가지의 일정수위조절 방식을 아래에서 설명한다.

EL-FLO RESET(Electronic Filter Level Offset plus Reset) 방식은 미 개척국에 의해 설계되었으며 수로구간 하단부의 수위만을 입력하여 사용한다. 수위를 정해진 대로 일정하게 유지하는 것은 Offset항과 Reset항을 포함한 연산식으로 할 수 있다. 안정을 위하여 수위감지 시스템에 원래는 수압식을, 현재는 전자식 필터를 삽입하여 수위를 측정한다.

각 조절장치를 위하여 연산식의 각 실행모드에는 적절한 여유계수, 그리고 필터에는 시간계수를 고려하여야 하며, 안전운영에 필수적인 이러한 상수의 결정은 수로시스템내의 부정류 흐름에 대한 수학적 시뮬레이션으로 할 수 있다.

1975년에 완공된 수로길이 34km, 유량 14m<sup>3</sup>/s, 그리고 11개 조절시설이 설치된 캘리포니아 Corning 수로에 이 방식이 적용되었다. 수로의 첫 구간 하단부의 수위에 의해 자동적으로 제어되는 양수장에서 용수를 양수공급하며, 중력식 분수공과 수



<그림-4> 자동원거리 하류수위 조절

로에 근접한 양수장들을 통하여 관개구역에 급수하였다. 조절시스템은 평균 요구수량의  $\pm 50\%$  범위내에서 관리되었다. 수동제어와 비교한 주요 이점은 관리손실을 최소한의 수준으로 줄인 점이다.

PID방식(비례, 적분 및 도함수)은 상기에서 언급한 EL-FLO방식과 같은 이론에 근거하나 비례(Offset)와 적분(Reset)항 이외에 도함수항을 포함하고 있으며 EL-FLO 방식에서와 같이 필요상수는 수학적 시뮬레이션을 통하여 결정한다.

이 방식은 1970년대 프랑스의 용역회사 Sogreah사가 수로길이 37km, 도수구간 통수량  $278\text{m}^3/\text{s}$ 인 이라크의 Kirkuk-Adhain 간선수로에 사용하였다.

하류구간에서 상대수위조절과 함께 사용하면 용수의 무효방류나 부족없이 도수로 용량의  $\pm 15\%$  까지 조절할 수 있다.

Zimbelman 방식은 미국에서 California Aqueduct의 연구에 쓰인 부정류 수치 시뮬레이션을 사용하여 1981년 개발되었다. 조절논리는 수로구간 하단부의 수위만 입력하는 방식을 사용하지만 이 경우 논리에 중점을 두었으며, 각 조절장치의 작동은 수위, 수위변화 및 변화방향의 함수로 된다. 현재까지 이 방법이 실제로 사용되지는 않았다.

수요량 신속공급을 위한 수로자동화(CARD, Canal Automation for Rapid Demand Deliveries) 방식은 미개척국(USBR)의 부정류 시뮬레이션 프로그램의 일부로 1983년 미국에서 처음 개발되었다. 조절 변수는 수로구간 하단부의 수위이며 거리에 따라 3~5지점의 수위를 입력한다.

전 구간의 수위변화를 고려한 이 방식은 조절장치의 조정시간과 대상구간 하단부의 수위변화에 요하는 지체시간을 줄이기 위하여 개발 되었으며 조절논리는 수리적 현상의 수학적 시뮬레이션 보다 수위에 대한 간단한 선형회귀식에 기초하였다.

본 조절이론의 적정성은 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 확인되었으며 조절장치의 조정속도, 측정빈도와 같은 관리상의 변수를 구하는 데도 사용되었다. 이 방식은 현재 California Polytechnic State University, UMA Engineering Ltd.(캐나다) 및 Alberta Agricultural Department에 의해 추가적 실험과 개발이 진행중에 있다.

PIR(Proportional, reset and delay) 방식은 최근 프랑스의 Societe du Canal de Provence et d'Amenagement de la Region Provencale에 의해 개발되었으며 대상구간 상류부 조절장치의 작동과 그 결과로 하단부에 생기는 영향 사이의 지체로 인한 어려움은 없앨 목적으로 개발되었다.

이 방식은 조절변수의 실제값을 따르는 것이 아니고 실제값을 감지하지 못한 상태에서 이전의 조절에서 유도해낸 예상치에 따라 조절장치의 조절에 의한 즉시 변화를 가정한 이론적 장래수위(지체가 없을 경우의 모델)와 이전의 수위변화를 이용하여 구한 이론적 현재 수위(지체가 있을 경우의 모델)를 계산할 수 있는 단순화된 모형을 이용하여 계산한다.

예측논리는 감지기로 부터 전달된 실제수위와 이론적인 현재수위(지체가 있을 경우의 모델)의 차이로 교정한 장래의 목표수위(지체가 없을 경우의 모델)를 유지하기 위하여 조절장치를 조정하는 비례논리와 적분논리를 합성한 것이다.

이 부정류해석의 완전한 시뮬레이션 모형은 수로구간내의 지체반응을 포함한 수리적인 거동에 대한 기능규명, 예측논리의 조정 및 모의조작하의 PIR 조절장치 시험을 위하여 사용된다.

#### 일정용량조절(Constant Volume)

Sogreah는 1960년대 BIVAL이란 이름으로 한 수로구간내의 물을 일정량으로 유지하는 조절방식을 개발하여 특허를 받았다.

이 방식의 목적은 수로구간의 유량변화에 대한 반응 시간과 관리 여유저수량을 최소화하기 위한 것이다. 그 구간의 상단부와 하단부에서 동시에 수위변화가 진행하여 대략 중간지점에서 일정한 수위를 유지하도록 각 구간 상단부의 조절장치로 조정한다. 유량이 변화하면서 수위는 유량흐름이 전혀 없는 수평수위와 수로바닥의 기울기와 평행한 수위를 가지는 최대유량 사이를 한계로 변화한다 <그림-4b>. 각 구간내 물의 량은 항상 일정하게 유지되므로 일정수위지점 하류부에서의 +운영저류량은 상류부의 운영저류량과 같다. 그러므로 수요량의 변화를 추가 저류없이 보충할 수 있고 반응시간을 최소화할 수 있으며, 또한 안정성을 높일 수

있다. 이 조절방식은 중간지점 하류부의 수로독을 수평으로 시공하여야 한다.

자동조절의 논리는 목표수위와 중간지점의 실제 수위의 차이를 입력하여 비례로 작동시키는 것이며 특정수위점의 위치, 비례증감계수, 조절장치의 조정 및 측정간격과 같은 변수는 수로 시스템에 대한 수학적 시뮬레이션으로 결정한다.

Mali에 있는 Sahel Canal-Fala de Modolo System은 1983년 부터 BIVAL 방식으로 조절되어 왔으며, 이 수로 시스템은 두 수로구간의 총 길이가 약 124km, 유량은 75m<sup>3</sup>/s, 하류부 100km의 수로 기울기는 4cm/km로 매우 완만하다. 수위조정에 약 1주일이 걸리고 조절장치는 매 24시간 마다 조정되어 빈번한 분비조작은 필요하지 않아 조절시스템의 자동화는 연기되었다. 조절장치들은 유량표를 사용하여 수동전화나 무선으로 송신한다. BIVAL 방식의 적용 이전에는 이와 같은 긴 수로의 상류수위 수동조절은 대단히 어려웠으며 관리손실량이 총 공급수량의 약 50%나 되어 배수로가 막히기도 하였다. 비록 단순한 형식이지만 일정용량조절 방법의 적용으로 용수수요량 배분의 신뢰도를 높이고 관리손실을 최소화 하였다.

**3.4 상대수위조절(Related Level Control)**

상대수위조절의 개념은 수로의 상류부에 조절지가 없이 상류조절 및 하류조절이 필요하지 않은 수로시스템에 대유량이 직접 공급되는 대수로의 운영상 문제점을 해결하기 위하여 고안되었다. 예로는 최대전력 발전시 수력발전소에 연결된 수로,

Off-peak 전기를 이용하는 양수장으로 부터 공급되는 수로, 유량조절이 큰 단계별로 이루어지는 수로 등이 있다.

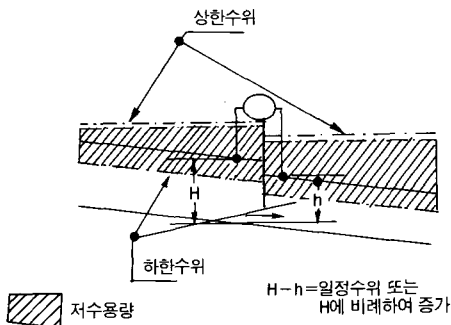
위와 같은 조건하에서는 수로자체에 저수하는 것이 필요하며 공급이 수요를 초과하는 기간 동안 여러 구간에 나누어 저수된 물이 수요가 공급을 초과할 때 사용되며 이와 같은 연속저류구간의 상단부 조절장치를 인접 상류수위와 하류측정지점 수위간의 수위차가 일정하게 유지되도록 조정하므로서 목적을 달성할 수 있다. 이 측정지점은 하류구간의 시점부나 말단부 어디든지 택할 수 있다(그림-5). 특수한 경우에는 목표수위차를 상류수위의 선형함수가 되도록 하여 변경할 수 있다.

수로독의 높이 결정에 이용되는 최고수면의 기울기와 모양은 하류구간 수위 측정점의 위치와 저류가능량에 대한 유입시간에 관련되므로 각 경우별로 결정되어야 한다. 하류구간 수위측정지점이 시점부에 있으면 그 지점의 최고수위에 대해 흐름이 없을 때의 수평수면이 수면의 상부한계가 된다. 말단부에 있는 경우는 시점부가 최고수위이고 최대유량이 흐를 때의 수면이 상부한계가 된다.

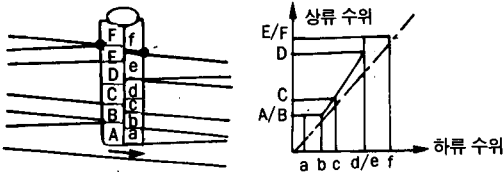
이러한 조절방식은 큰 수위차 때문에 수로의 시점부에서는 분수하지 않아야 하며 그외 구간의 중력식 분수공도 이러한 유량변화에 적절히 작동될 수 있도록 설계되어야 한다.

상대수위조절은 1955 이후 수많은 사업에 사용되었다. 1955~1961년에 건설된 프랑스의 Bas Rhone 수로는 75m<sup>3</sup>/s를 양수하여 두 지선수로에 유량 61.5m<sup>3</sup>/s와 13.5m<sup>3</sup>/s로 분배한다. 주양수장에서 양수계획과 분수를 위한 소양수장에서 수요량의 차이를 조정하기 위하여 상대수위조절을 사용하였다.

1955년 건설된 모로코 Triffa 수로의 경우는 일정유량을 계속하여 수로에 공급하나 관개는 하루 중 정해진 시간에만 실시하기 때문에 상대수위조절방식을 채택하였다. 이 방법은 10개 수로구간에 계속하여 물을 공급하고 관개시 물이 줄어 주기적으로 수로의 물이 증가하고 감소하도록 상하류 수위차이에 따라 자체로 작동하는 수문으로 조정하는 것이다. 상류수위가 상한 혹은 하한에 도달하면 조절방식이 자동으로 바뀐다.



<그림-5> 상대수위조절



상류수위 상승의 연속조절 단계

- 최저 상류수위(일정 상류수위 A/B)
- 일정 수위차(B-b, C-c)
- 수위 상승시의 수위차(C-c, D-d)
- 일정 하류수위(d/e)
- 최고 상류수위(일정 상류수위 E/F)

<그림-6> 상대수위조절과의 혼합조절 예

상대수위조절의 다른 예는 앞에서 설명한 이라크의 Kirkuk-Adhaim 간선수로이다. 37km의 급경사 도수로 하류에 유량 232m<sup>3</sup>/s, 130m<sup>3</sup>/sec이고 길이는 각각 22km인 2개의 수로구간에서 최대유량의 15%에 해당하는 용수의 수요공급 차이를 조절한다. 이 경우 조절시스템은 각 구간 상단부 조절장치의 인접 상류수위와 그 하류구간 하단부 수위의 차이를 자동으로 일정하게 유지시킨다.

**3.5 분산자동조절의 병행결합(혼합조절)**

혼합조절(혹은 합성조절)은 조절장치의 인접 상류수위에 따라 조절이론을 선택하여 자동조절하는 방법을 말한다. 이 방법은 단일 조절이론만을 사용하기 어려운 수로의 운영을 위하여 고안되었다.

상대수위조절과 합친 혼합조절 시스템이 <그림-6>에 설명되어 있다.

이 방법의 전형적인 예로는 하류수위는 중간정도로 유지하고 상류수위를 상하한 범위내에 유지되도록 조절하는 것을 들 수 있다. 수원으로부터의 용수공급량 부족시 전 구간의 저수량을 최저로 유지하기 위하여 상류수위조절로 운영하고, 공급초과시도 월류를 방지하기 위하여 상류수위조절을 채택함으로써 초과유량을 하류로 방출하게 한다. 평상시는 하류수위 조절로 운영한다. 이 방법은 피크 발전시 발전소로부터 용수를 공급받는 모로코의 Beni Moussa 수로시스템의 간선수로에 사용하였다. 이와 비슷한 방법이 Triffa 수로에 사용되었다. 여기에는 한 조절단계가 더 있는데 상류수위가 하류수위조절 상한선과 상부안전 한계내에 있

을 경우 상대수위조절로 운영하는 것이다. 이 단계의 경우 초과 공급수량을 하류로 방류하여 버리지 않고 각 구간에 나누어 저수한다.

**3.6 분산 자동조절의 연속결합**

수로시스템의 특성에 따른 조절방법의 결합으로 수로공사비를 줄일 수 있고 관리가 쉬워진다. 이 경우 아래의 원칙을 따라야 한다.

- 적용원리는 상류수위조절이나 근접하류수위조절과 같이 가능한한 단순하여야 한다.
- 하류수위조절은 완경사 수로구간에 적합하며 특히 간선수로의 하류수위조절이 유리하다.
- 하류수위조절은 수로의 경사가 급하거나 분수시설이 없는 간선수로에 적합하며 이 경우 상류에서의 공급량과 하류에서의 수요량 차이를 조절하기 위한 저수기능이 필요하다. 상류수위 조절은 계획급수의 경우에도 적합하다.

일반적인 결합방법은 아래와 같다.

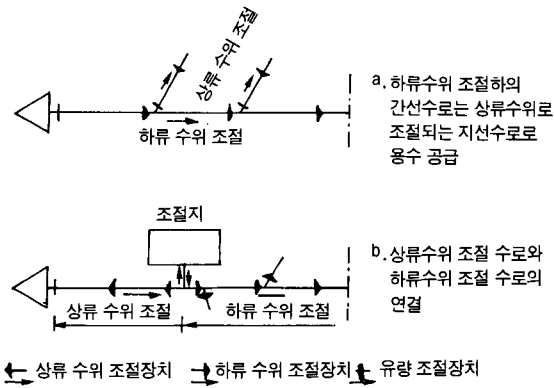
하류수위조절 수로가 상류수위조절 수로로 물을 공급받는 경우 : 상류수위조절 수로로 부터의 수요일이 상류수로의 용량이나 가용수자원을 초과하지 않으면 보충저류시설이 없어도 상류수로가 수요량을 충족시킬 수 있다.

간선과 가능한 지선을 모두 하류수위조절로 그 이하의 수로는 상류수위조절로 하는 결합으로 하여 전시스템을 관리하는 기관이 운영하면 좋다<그림-7a>. 이런 결합은 물소비를 엄격하게 조절할 수 있을 뿐만 아니라 운영이 쉽고 효율적이다.

상류수위조절 수로가 하류수위조절 수로로 물을 공급하는 경우 : 계획관개나 예측수요량에 근거한 상류수위조절 수로의 공급수량은 하류수위조절 수로 시점구간의 실제 수요량과 정확하게 일치하지 못하므로 두 구간의 중간지점에서 조절용량이 필요하다. 이러한 조절용량은 일반적으로 조절지로부터 공급받지만 때로는 상대수위 조절하의 수로 구간으로부터도 공급받는다<그림-7b>.

토사 퇴적의 위험을 최소화하기 위하여 조절지를 연결시키지 않기 때문에 조절지의 지형적인 조건은 수로보다 높거나 낮을 수 있으며 이런 경우 조절지의 유입부나 유출부에서 양수한다.

모로코의 Doukkala 간선수로는 상류수위조절

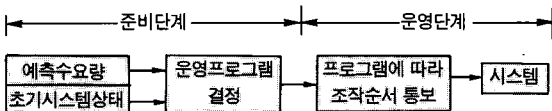


〈그림-7〉 상류수위조절과 하류수위조절의 연속 결합

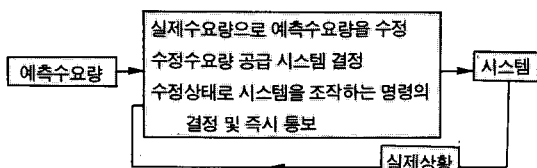
루프(Open-loop)로 운영된다.

수로로 부터 하류수위조절 수로로 용수를 공급한다. 이 수로의 상류구간은 개략적인 예측수요량을 상류수위 자동조절로 공급받고 하류부는 근접하류수위조절로 운영된다. 이 두 시스템의 접합부에는 수로에 병행하여 중력흐름으로 양방향으로 연결되는 조절지가 있다.

다른 예로는 최근에 개량된 모로코의 Beni Amir 수로를 들 수 있다. 이 사업의 목적은 분수관이 없는 수로구간의 하단에 조절지를 두고 이 수로구간을 상류수위 자동조절로 하고 분수관이 있는 지선수로 구간만을 근접하류수위조절하여 투자비용을 최소화하기 위한 것이다. 하단부에 조절지를 두고 자동상류수위 조절을 하는 구간과 근접하류수위 조절을 하는 구간을 교대로 배치할 수도 있다.



a. 계획조절 : 12시간 또는 24시간간격으로 운영되는 개발루프



b. 실시간 조절 : 수분 또는 수시간 간격으로 운영되는 폐쇄루프

〈그림-8〉 중앙자동조절방식의 개념

## 4. 중앙자동조절의 방법 이론

### 4.1 고려사항

분산자동조절과 같이 중앙자동조절도 아래의 두 가지 방법으로 접근할 수 있다.

- 계획조절은 예측수요량을 공급할 수 있도록 프로그래밍하여 조절장치를 관리한다. 분산상류수위 조절 수로에서와 같이 계획조절도 공급자에게 우선권이 주어지고 조절시스템도 〈그림-8a〉와 같이 관리자는 미리 정해진 단계에서만 개입하는 개방
- 실시간조절은 수요량의 변화에 시스템이 즉시 반응하는 것을 목적으로 하며 분산하류수위조절과 같이 사용자에게 우선권이 주어진다. 〈그림-8b〉와 같이 정상적인 조건에서는 관리자의 개입이 요구되지 않는 폐쇄루프(Closed-loop)로 운영된다.

### 4.2 계획중앙자동조절(Scheduled Centralised Automatic Control)

#### 4.2.1 원리

계획중앙자동조절은 상류수위조절방식의 개량형으로 생각할 수 있다. 예측필요수량, 기상예보치 등의 자료를 중앙컴퓨터에 입력, 이미 저장되어 있는 통계, 경제 자료와 같이 처리하여 Set points를 결정하고 일반적으로 24시간인 예측기간 중에 필요한 조절구조물의 조정을 결정한다. 이 프로그램은 현장으로부터의 정보에 따라 하루에 한두번씩 수정된 후 컴퓨터에서 조절장치로 명령을 전달한다.

자료처리 프로그램은 수로시스템의 부정류흐름을 수학모형으로 시뮬레이션하고 유량, 저수량, 수위, 또는 양수장의 동력비 등의 특정 매개변수를 최적화한다.

수학적 시뮬레이션은 계산이 대단히 복잡하여 대용량의 컴퓨터와 장시간의 계산이 필요하므로 새로운 자료로 자주 반복계산하기 어려워 상황변화에 즉시 대처할 수 있는 유연성이 부족하다. 시뮬레이션의 정확성은 유량계수, 수로단면과 조도 등 수로의 퇴적 및 수초의 성장에 따라 변할 수 있는 입력자료의 질에 따라 달라진다. 그러므로 계획중앙자동조절은 주로 대지구에 수로가 구조물화되고 철저히 유지 관리되는 간선수로에만 사용되나,



이 경우에도 시뮬레이션을 위한 자료의 처리에 시간이 걸리고 계산 결과도 정확하지 못하기 때문에 근접자동조절기로 조절장치에 대한 미세조정을 자주 하여야 한다.

계획중앙자동조절 시스템을 단독으로 사용하면 조절장치의 설정점에 대한 조정을 최적화하고 종합하여 반응시간을 최소화할 수 있지만 미리 정해진 급수계획을 따르는 조절방법에 있게 마련인 유연성 부족 문제를 극복할 수는 없다.

#### 4.2.2 이론

현재까지는 계획중앙자동조절의 실제적 이용이 유량조절 또는 수문조절의 개념에 기초를 두고 있다.

##### 유량조절(Controlled Volume)

미개척국(USBR)에서 개발된 이론으로 다음과 같은 목표를 가진다.

- 각 수로구간에서 흐르고 있는 물 용적의 변화를 최소화하여 유량의 변화에 소요되는 시간을 최소화한다(일정유량조절과 같음).

- 하류로 흐르는 유량의 변화에 영향을 받는 구간의 모든 조절장치를 동시에 조정하여 전 시스템의 반응시간을 최소화하므로써 전 구간의 반응시간은 한 구간의 반응시간과 같게 한다.

이 이론은 상하 안전한계수위내에서의 경우를 제외하고는 수위를 정확하게 조절할 수 없으므로 일정유량을 취수하기 위해서는 분수공의 빈번한 조정이 요구된다.

유량조절 이론은 미국의 캘리포니아 대수로(California Aqueduct)의 자동조절에 이용되고 있다. 이 수로는 길이 710km, 시점유량 430m<sup>3</sup>/s, 양수장과 조절구조물을 가진 여러 수로구간으로 구성되며 생활용수 및 농업용수를 공급하고 있다.

하루에 한번씩 24시간 전에 물의 공급신청서가 중앙관리소에 전달되면 컴퓨터는 조절장치와 양수기의 가동계획을 시뮬레이션하여 양수장의 전력소비량 최소화 전력공급망의 과부하 방지에 필요한 동력 및 전기요금에 관한 인자들을 밝혀낸다. 물 공급의 유연성 부족은 저수지에서 물을 공급받는 생활용수 이용자에게는 거의 문제가 되지 않는다. 그러나 전체수량의 30% 정도를 연간 사용하는 농

업용수 이용자는 유연성 부족으로 어려움을 당하며, 특히 여름에는 필요수량이 증가하기 때문에 어려움이 더 크다.

##### 수문조절(Gate Stroking)

이 방법을 개발한 미개척국(USBR)의 H. Falvey씨는 연속적 또는 여러번의 비연속적 방법으로 수문을 움직여 수로내의 수위나 유량을 미리 정해진 대로 조절하는 것이라고 정의하였다.

수로의 한 지점에서 유량과 수위는 독립적으로 변하는 것이 아니므로 그 중 하나를 조절인자로 선정하며 실제적으로는 수로내의 정해진 수위를 유지하기 위하여 수문을 조정한다.

각 구간 하류의 유량, 수위 및 각 분수공의 취수량을 정하고 하류에서 상류로 가면서 각 구간에서의 수위와 유량을 계산한다. 각 조절장치를 통과하는 계산유량, 인접 상류수위(설정치)와 하류수위(계산치)를 이용하여 시간함수로 수문의 개도조정을 결정한다. 이러한 수문조정은 대단히 복잡하여 변속조절시스템을 이용하여야 한다.

수문조절은 각 수로구간 하단부의 수위를 비교적 정확하게 조절할 수 있는 이점이 있으나 조절이 복잡하고 변속조절비용이 추가되는 단점도 있다.

미국 중앙 아리조나 수리사업지구의 Granite Reef Aqueduct에 이러한 수문조절방법을 사용하고 있다. 이 수로의 시점유량은 86m<sup>3</sup>/s, 길이는 310km로 1986년에 통수를 시작하였다. 이 수로에는 시점에 1개, 중간부에 3개의 양수장이 있고 11~16km의 간격으로 양수장을 off-peak 비수기에만 가동하기 위하여 도수구간은 저류지역할을 하도록 설계되었다. 중앙조절시스템은 양수장, 조절수문과 분수공을 포함한 총 82개의 구조물을 제어 감시하고 온도, 기압, 수위, 수문개도 등 32,000개의 자료를 처리한다. 예측필요수량이 하루에 두 번씩 입력되고 조절시스템이 더욱 민감하게 반응하도록 하기 위하여 조절프로그램은 매시간 변화를 수용하도록 수정하였다.

미국의 중앙 네브라스카 공공전력관개지구의 Phelps Canal에도 수문조절이 사용되고 있으며, 1980년 중반에 통수를 시작한 이 수로는 시점유량이 40m<sup>3</sup>/s, 총연장은 97km이다. 수로상류측 61km

구간의 12개 조절장치가 분산원거리하류수위조절과 수문조절식 중앙조절 방식의 결합으로 운영되고 있다.

위의 두 사업지구에서 수로용량과 비교하여 유량의 변화는 수문조작방식으로 중앙조절하고, 작은 유량변화나 중앙조절에 따라 생기는 오차는 분산자동조절하는데, 이러한 시스템을 중앙감시조절하의 분산자동조절이라고 한다.

### 4.3 실시간 중앙자동조절(Real-Time Centralised Automatic Control)

#### 4.3.1 조절원리

실시간 중앙자동조절의 목적은 중앙통제소의 제어나 감시하에 필요수량을 즉시 운반, 공급하기 위한 것이며 관리자의 개입은 비상시에만 허용된다. 사용자에게 대한 유일한 제한은 공급최대유량에 대한 것이다.

이러한 목적은 이론상 자동으로 연속적으로 운영되는 폐쇄루프의 근접하류수위 조절논리를 채택한 중앙조절시스템으로 달성될 수 있다. 그러나 실제로 이러한 시스템은 수평수로독을 가진 수로에서만 적용이 가능하며 이 경우에도 분산자동근접하류수위조절과 중앙감시를 결합한 더 간단한 시스템 보다 나을 것이 없다.

특히 경사진 수로는 가능한 유량변화에 즉각적으로 대응할 수 있는 충분한 저류량을 갖지 못하므로 조절장치를 유량변화 발생 전에 미리 변화에 대비할 수 있어야 한다. 실시간 중앙자동조절의 가장 중요한 인자는 각 분수관에서의 수요량을 정확하게 예측하는 것이나 저장된 자료를 자동처리하고 최신정보에 의해 갱신하여 구한 예측수요량을 근거로 각 구간의 흐름 상태를 결정하며 어떤 수요량 변화에도 최적대응할 수 있게 하는 것이다. 이 경우의 흐름 상태는 단기예측기간 뿐만 아니라 저류지에서 공급지점까지의 이동시간을 고려한 장기예측기간에 대해서도 파악되어야 한다. 이 단계에서는 자동폐쇄루프가 작동하여 실시간 측정으로 구한 실제상황에 의해 예측으로 부터 유도한 최적상태를 달성하는데 필요한 조절장치의 조정을 결정한다.

실시간 중앙자동조절은 상류조절과 하류조절의 두 개념을 통합한 것이다. 상류조절 특히 계획중앙자동조절에서 수요량의 예측을 하고, 하류조절에서는 자동적으로 그리고 거의 연속적으로 수로의 실제 및 필요상황 사이의 어긋남을 감지하고 보정하여 수로의 상황이 수요량 변화에 적절히 대응할 수 있도록 하는 것이다.

수요량 변화에 대한 시스템의 대응은 폐쇄루프의 처리주기에 따라서 개선된다. 실제로 적절한 주기는 10분에서 수시간 정도로 이 시간 안에 수리현상의 시뮬레이션을 완료할 수 없으므로 단순화한 계산방법의 사용이 필요하다. 시뮬레이션 결과가 정확하지 못한 점은 자료의 입력주기를 짧게 조정하여 개선할 수 있다. 그러나 단순화해서 사용하는 방법의 유효성을 확보하기 위하여 이런 조절 시스템을 개발하거나 수정하는데 전체 시뮬레이션을 시행할 필요가 있다.

처리과정은 여러개의 분리된 과업으로 이루어져 있기 때문에 프로그램을 여러개의 모듈로 나누어 작성하여 후속으로 어떤 수정을 하는 것이나 특수기능을 입력조절로 전환하는 것을 쉽게 하여야 한다.

#### 4.3.2 조절이론

현재까지 큰 규모로는 두가지 방법의 실시간 중앙자동조절이 프랑스에서 이용되었다. 즉 CACG (Compagine d'Aménagement des Coteaus de Gascogn)가 개발한 방법이 있고 SCP(Societe de Canal de Provence et d'Aménagement de la Region Provencale)가 개발한 동적조절 방법이 있다.

#### CACG 방법

이 방법은 하천수계의 여러 저수지와 하천흐름을 중앙관리하기 위하여 고안되었다. 즉 유량이 상류저수지에서 공급되는 도수로와 하류저수지에 의해 증가 또는 조절되는 경우를 관리하기 위한 것이다. 수로나 하천에는 조절장치가 설치되지 않고 상류수위조절의 개념에 기초하며 자동계산된 예측수요량과 시스템의 현재 상황에 따라 저수지나 도수로로 부터 물을 방류한다. 그리고 정확한 수위조절을 목적으로 하지는 않는다.

CACG 방법은 어떤 경사수로에도 이용할 수 있다. 비교적 적은 장비와 비용으로 운영된다. 조절 프로그램은 시스템 수리상황의 그래프표시, 자료 취득, 조절점의 자동변환을 위한 여러가지 기능모듈과 세가지 운영모듈로 구성된다. 운영모듈은 매 3시간마다 가동되고 다음의 것들로 구성된다.

- 저장된 기본자료와 잠재증발산량, 강우량 등의 실시간 또는 최근자료를 이용하여 각 수문지점에서의 필요수량을 예측한다.

- 예측수량과 하천유지수를 충족할 수 있도록 각 도수로와 저수지의 공급지점에서 전달시간을 고려하여 필요방류량을 계산한다. Saint Venant 공식에 근거한 추적모델은 개방루프로 운영되는 단순화된 형태이다.

- 전 시스템의 중요지점에서의 실제 하천유량을 입력한 실시간 자료에 근거해 계산방류량을 조정하여 예측수량과 실수량의 차이, 갑작스런 강우로 인한 유입량, 추적모델의 부정확한 점 등을 보완한다. 폐쇄루프로 운영되는 이 모듈은 수문이나 밸브의 작동을 관장하는 조절장치에 필요한 조정값을 전달한다.

CACG 방법의 적용대상인 프랑스의 Neste System은 총저수량 4천8백만톤인 8개 저수지와 17개 강의 상류를 연결하는 총 29km, 통수량 14m<sup>3</sup>/s의 도수로, 그리고 하류 4개 대하천에 설치된 총 5천2백만톤의 저수량을 갖는 댐 등으로 구성된다. 이 시스템은 농업용수, 20만 주민의 음용수, 총 15만 ha의 농지에 대한 양수관개용수를 공급하며 1,500개 이상의 지점에서 분수된다. 하천을 따라 설치된 100개 수위관측소, Garonne강 홍수경보소 및 우량관측소에서 전달되는 자료를 중앙관리소의 마이크로 컴퓨터로 처리한다. 홍수경보소의 무선망을 제외하고 모든 자료와 명령어는 자동전환시스템을 통하여 공중전화망으로 전달된다.

이러한 비교적 단순한 실시간 자동조절 시스템을 저수시설과 함께 이용함으로써 수요량을 충족시키고 수질보전에 필요한 최소하천유지수를 공급하게 하며 관개기에 관리손실을 50% 이상 줄일 수 있게 되었다. 75일이 넘는 관개기간 동안 매주 인력으로 유량을 조절하던 종래시스템의 도수효율 60%에서 이 시스템의 도입으로 도수효율이 약

90%로 높아졌다.

### 동적조절(Dynamic Regulation)

1971년 SCP에서 처음으로 고안된 동적조절은 수요예측변화, 분수공을 통한 실제급수, 각 수로구간의 수위와 조절장치의 조정 등 실제상황에 따른 수로시스템의 전반적인 물관리의 최적화로 정의된다. 시스템내의 모든 물은 어느 지점에서든 예측수량을 즉시 공급해 줄 수 있는 산재된 저장수로 생각하며 짧은 운영주기를 갖는 자동폐쇄루프 형태로 시스템이 조절된다. 실시간 수리계산은 크게 단순화하였다. 즉 시스템내의 흐름을 추적하는 대신 변하는 유량을 정류(Steady flow)의 연속으로 가정하며 초기 개발단계에서 수리현상을 시뮬레이션하여 결정한 단순화된 계산식과 표를 이용하여 계산하였다.

조절논리는 물의 배분과 조절장치의 재설정 등의 전통적인 방법에 근거하며 고장이나 긴급시에는 시스템이 자동대응하도록 프로그램되어 있다. 동적조절은 15% 이내의 수평수로들 구간이 필요하며 따라서 경사도 수로에 사용할 때 추가되는 공사비는 비교적 많지 않다. 이 방법은 관수로, 양수장, 조절지, 발전소를 포함하는 수로시스템에 사용할 수 있다.

관리자와 시스템간의 대화 정기적인 보고사항 인쇄, 데이터베이스 저장 등을 하는 기능모듈외에 이 프로그램은 다음의 운영모듈을 포함한다.

- 4~40초 간격으로 현재 값을 갱신하기 위하여 외부 자료원으로 부터 자료를 전송받아 관리하는 자료수집

- 15분 간격으로 자료를 검색하며 이상자료의 발견이나 고장시에는 경보장치가동

- 조절모듈은 15분간격으로 예측수량을 충족시키는데 필요한 각 구간의 물 용적을 상류구간으로 가면서 계산하고, 그것을 하류구간으로 가면서 실시간 자료를 이용하여 구한 현재의 각 구간 실제 물 용적과 비교한다. 다음에 각 구간 시점에서 다음 운영 사이클중의 수문개방정도에 따라 계산 용적과 실제 용적간의 차이를 보정하는데 필요한 유량을 계산한다.

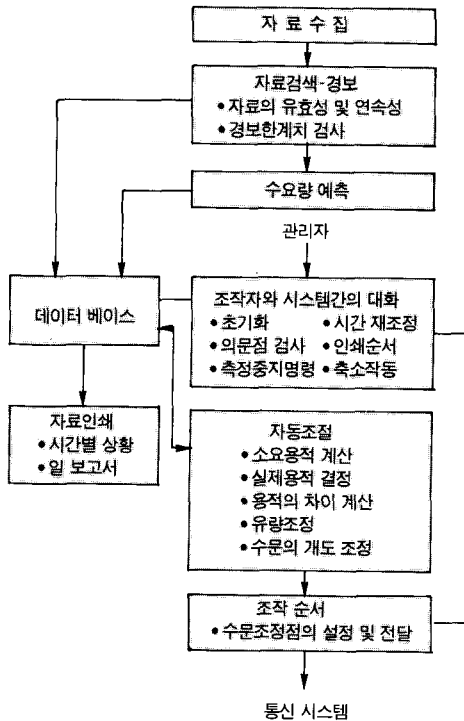
- 조정을 요하는 수문에 개폐량을 전송하며 정

확하게 조정되었는지를 검사하고 오조작이 발견되면 경보장치 작동

동적조절의 세가지 예를 들면 다음과 같다.

프랑스의 Canal de Provence System은 1965년에 공사를 시작하여 1989년에 완공된 중력 도수 시스템으로 총연장 105km의 간선 및 4개 지선과 130km의 압력관수로 및 터널로 구성되어 있다. 이 시스템은 농업용수, 도시생활용수, 공업용수를 거의 같은 비율로 나누어 공급하며 최대설계유량은 40m<sup>3</sup>/s이다.

1971년 SCP가 처음으로 이 지구를 대상으로 동적조절방법을 개발하였다. 현재 33개 조절수문, 24개 방수문, 4개 양수장 및 2개 수력발전소의 관리는 모니터링하고 동적조절하며 양수장 34개소는 모니터링만 한다. 99개 원격소(Remote Terminal Unit, RTU)에서 주로 수위, 유량, 압력, 수문개도 등 220종의 측정, 900점의 상황표시(open/closed, on/off) 및 800개의 경보표시 자료가 각종 전자장치를 통하여 수집된다.



〈그림-9〉 동적조절 :구성 및 조절프로그램의 주요 모듈

이 지구는 동적조절방법으로 운영되어 24시간 동안의 수요량을 15% 이내의 정밀도로 예측할 수 있고, 수로내의 저류능력이 적고 평균 8시간의 추적시간이 걸리는데도 관리손실 없이 수요량을 보급할 수 있었다. 시스템의 신뢰도가 대단히 높고 중앙통제소의 가동률이 99% 이상이었다.

유고슬라비아의 Stretzevo 관개시스템과 최근에 건설된 모로코의 Rocade 수로에도 동적조절시스템을 적용하고 있다.

## 제 2 장 설 비(Equipment)

### 5. 분산자동(Distributed Automation) 수동조절장치(Passive Regulators)

#### 5.1 일반사항

수동조절장치는 별도의 조정없이 수위, 유량 및 분수비율을 주변조건에 관계없이 허용치 이내로 정확하게 자동조절하는 구조물이나 장치를 말한다. 이러한 조절인자의 목표치를 변경할 경우 수동조절장치의 가동요소(Movable element)로 조정이 가능하다. 수동조절장치는 목표치를 유지하기 위하여 조절장치의 설정치를 조정하여야 하며 동적조절장치와 달리 매우 간단한 것이 장점이다.

#### 5.2 수동수위조절장치

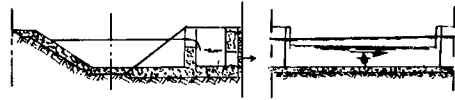
##### 5.2.1 장정웨어(Long Crested Weir)

상류수위 자동조절장치로 고정웨어를 사용할 수 있으며 웨어는 최대유량 통과시 하류로부터 잠류되지 않고 상류 분수공의 가동에 필요한 최소수두를 유지할 수 있는 높이로 설치되어야 한다. 또한 최대유량통과시 상류수위는 수로의 여유고 이내로 유지되고 인접조절장치의 가동에 영향을 미치지 않으며 분수공의 만족한 관리가 가능한 한계내에 있어야 한다.

이러한 조건을 만족하기 위하여 최대유량 통과시 웨어의 허용월류심은 작고 언정의 길이는 길어야 하므로 오리부리 또는 대각선형 웨어가 사용된다 <그림-10>.



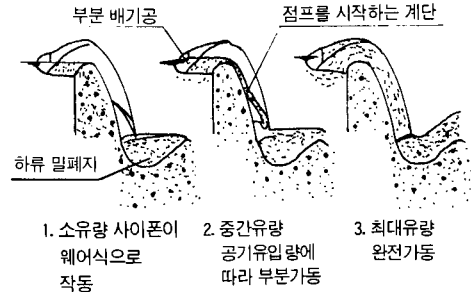
〈그림-10〉 상하류수위조절을 위한 장정웨어



〈그림-11〉 수로 물넘이

장정웨어는 효과적인 침사지가 되며 유사량이 많은 곳에서는 수로 말단부에 배수문과 함께 설치하여 주기적으로 침전토사를 씻어내고 유지관리를 위한 수로내의 배수, 수인성질병 억제 등에 이용한다. 목표수위의 변경이 필요한 경우에는 장정웨어의 언정에 각관판을 설치하여 조정한다.

웨어를 조절수문과 함께 병행설치하면 혼성 제수장치가 되어 유리하다. 이 경우 유량의 변화가 클 때는 수문을 사용하고 수문조정 사이의 작은 유량변화는 목표수위를 웨어로 조정한다. 이런 조정을 “Cruise control”이라 부르며 혼성조정장치는 다음과 같은 장점을 갖는다.



〈그림-12〉 안전사이폰

- 상류에서 하류로 순차적으로 작동하는 웨어만의 조절과 비교하여 이러한 조절장치는 유량 변화가 클 경우 수문과 웨어를 동시 또는 종합조정하므로써 수로내의 수위안정 시간이 짧다.

- 수문 개도설정을 인력으로 시작하는 수문식 상류수위조절 방법과 비교하여 정확도와 신뢰도가 앞서며 수문조정의 빈도와 조작자의 업무량도 줄어든다. 이 혼성방법은 수문개도설정을 자동으로 하는 경우에도 효과적이며 중앙조절시스템의 경우에도 통신량 및 중앙관리소의 자료 처리량을 줄여 주는 효과가 있다.

5.2.2 수위제한장치

수위제한장치는 수위조절이 잘못될 경우 수위의 자유상승으로 수로독을 월류하는 것을 방지하기 위하여 필요하며, 구간의 수위가 정상작동 조건하에서 최고수위를 나타내는 지점에 설치된다. 이 장치는 수위가 한계수위를 넘으면 작동되며 웨어의 월류량이 설계유량에 이를 때까지 수위의 추가상승을 허용할 수 있도록 충분한 수로의 여유고가 필요하다.

〈그림-11〉과 같이 수로의 측면에 수로의 중심선과 평행하게 웨어를 설치하여 수위조절장치로 혼

히 사용한다. 지형적인 여건이 언정을 길게하기 어려운 경우 하류쪽으로 충분한 낙차가 있으면 〈그림-12〉와 같은 사이폰을 사용할 수도 있다.

안전사이폰이 자동으로 가동되려면 자기진공기능을 가져야 한다. 설계유량에 도달하기 전에 수위의 최대상승은 사이폰의 진공유발장치에 따라 다르며 갑작스런 유량변동으로 인한 진동을 피하기 위하여 사이폰을 일진공 또는 무진공 상태로 만들 수 있어야 한다. 이 경우 공기를 배출시키는 동안의 유량은 상류수위가 높아지면서 증가한다. 최대통수량은 사이폰의 조절단면인 배출오리피스 면적과 상하류 수위차이에 의하여 결정된다. 같은 최대통수량과 상류수위상승을 가지는 사이폰의 폭은 웨어 폭의 1/10~1/50 정도로 좁아진다.

안전사이폰은 현장에서 콘크리트나 철재로 설치되며 통수량이 초당 50리터에서 1.5m<sup>3</sup>/s 이내인 경우에는 조립식 철재구조물이 사용되기도 한다. 최대유량을 통과시키기 위하여 여러개의 사이폰이 설치하기도 한다.

5.3 수동유량조절장치

5.3.1 분수장치

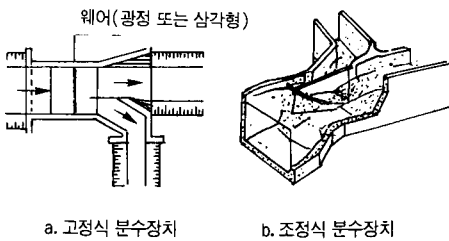
분수장치의 목적은 접근유량이나 상하류의 수위

와 관계없이 정해진 비율대로 물을 분수하기 위한 장치이다.

분수장치로는 언정의 폭을 유량의 비율대로 나눈 광정웨어가 이용된다. 웨어를 통한 흐름이 사류인 경우 웨어가 잠류상태로 되지 않으면 하류의 조건과는 관계없이 작동한다. 상하류간의 최소수두차가 어떤 값을 넘어야 잠류가 발생하지 않는다.

이런 분수장치는 <그림-13>과 같이 고정식 또는 조정식이 있다. 고정분수장치는 분기수로의 수에 구애 받지 않으며 일반적으로 콘크리트 구조물로 설치한다. 분기수로 사이의 벽은 유입부의 수축현상으로 인한 와류의 발생을 최소화하기 위하여 가능한 얇게 하여야 한다.

조정분수장치는 두 수로 분기점의 하류에 축의 중심을 둔 수직벽으로 수로간의 유량비율을 바꿀 수 있게 한다. 가동수직판을 핸들이나 핀으로 상류단의 횡단빔에 걸리도록 하며 원하는 비율로 유량을 분수하도록 조정할 수 있다.



<그림-13> 분수장치

사하라 사막의 오아시스에서 관개용수를 여러 곳의 야자수 포장에 급수하기 위하여 다수의 분기수로를 갖는 고정식분수장치의 일종인 “Kasria (빳)”라 불리는 장치를 일찍부터 수세기동안이나 사용해 왔다는 것은 흥미있는 일이다.

5.3.2 일정유량조절장치 : 일반특성

일정유량조절장치는 목표유량으로 조절된 후의 상하류 수위에 어떤 변화가 있어서 추가 조정없이 목표유량을 허용범위 이내가 되게 조절하는 장치이다. 수동조정장치의 사용은 추가유량측정장치, 피드백(Feed-back) 장치 및 외부 전력공급 등 더

욱 종합적인 조절을 요하는 동적조절의 복잡함을 피하면서도 자동적으로 조절을 유지하는 이점이 있다.

이러한 장치의 특성은 :

- 최대유량통과시 최소의 상하류 수위차가 요구된다.

- 유량을 목표유량으로 유지할 때 상류수위 변화의 허용범위는 대개 목표치의 ±5% 또는 ±10% 이내로 유지된다.

소요되는 최소수두에 대한 상류수위 허용변화 비율은 수두손실로서 그 특정장치의 효율성을 나타낸다. 상류수위의 변화가 허용범위를 넘어설 경우는 일정하류수위조절장치를 사용하여 수위를 허용범위내로 유지시킬 수 있다. 이러한 장치를 하는 것이 동적유량조절장치를 설치하는 것보다 쉬운 경우가 있다.

수동유량조절장치로는 :

- 웨어
- 오리피스
- 웨어와 오리피스의 조합 등이 있다.

5.3.3 일정유량조절장치 : 웨어식

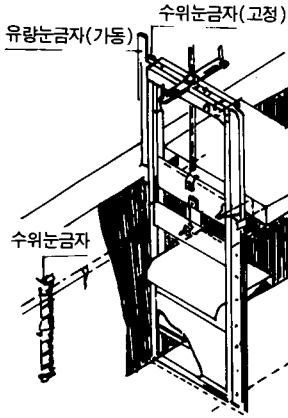
웨어의 수리학적 원리에 의하면 5%의 유량변화는 3.3%의 수두변화를 발생시킨다. 유량이 10% 변하면 수두는 6.7% 변한다. 잠류발생을 제한하는 최소수두차는 웨어 언정 수두의 2/3이상이다. 웨어로 유량을 조절할 때 상하류 수두차가 30cm일 경우 유량을 ±5% 이내로 유지하려면 상류수위의 허용변화량은 3cm에 불과하다.

웨어식 조절장치는 아래의 두가지 방법으로 설치된다.

- 웨어언정의 높이 조정 : 이 경우 조절장치는 Romijn gate<그림-14>와 같은 가동웨어가 된다. 그러나 목표유량이 최대유량 보다 작아지면 웨어의 수두는 줄어들고 상류수위 허용변화량도 줄어들게 된다. 예를들면 통과유량이 최대 유량의 50%이고, 최대수두가 45cm이면 웨어의 월류수두는 28cm가 되며 유량의 변화가 ±5%이면 수두변화는 2cm 이내이다. 그러므로 가동웨어는 잘 작동

되는 수위조절장치 가까이에 위치할 때만 적합하다.

• 웨어언정의 유효장 조정 : 이 방법은 여러개의 샤테문을 가진 구간으로 웨어를 만든 것이다. 샤테를 열고 닫아 목표유량을 통과시키며 샤테의 크기



<그림-14> 로민 게이트(Romijn Gate)

는 웨어 폭에 비례하여 정한다. 이러한 여러개의 샤테문을 가진 유량조절장치는 미리 정한 특성을 갖는 표준조립식 철재부재로 제작, 설치될 수 있다.

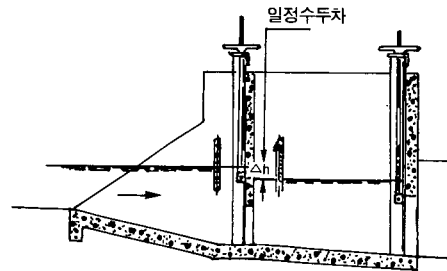
**5.3.4 일정유량조절장치 : 오리피스형**

오리피스에 있어서는 5%의 유량변화에 대해 10%의 수두가 변한다. 그리고 10%의 유량변화에 대해서는 20%의 수두가 변한다. 최소수두차는 오리피스작동범위내의 하한계에서 오리피스에 작용하는 수두와 같다. 상류수위의 허용변화량은 웨어형 조절장치의 3배나 되며, 최소수두차에 대한 상류수위 허용변화량의 비율도 2배가 넘는다. 수위 허용변화량이 아주 작더라도 수두가 충분하면 오리피스에 의한 실제적 유량조절이 가능하다. 예를 들면 최소수두차가 30cm이고 유량을 목표유량의 ±5% 이내로 유지할 경우 6.6cm의 상류수위 변동을 허용할 수 있다.

간단한 오리피스형 조절장치는 관의 하단에 배수문을 붙인 것이다. USBR에서 개발, 표준화한

잠류오리피스 분수관은 <그림-15>와 같으며 특징은 :

- 짧은 유입수로
  - 상류수직벽에 사각형 오리피스와 슬라이드 게이트
  - 정수지
  - 하류수직벽에 원형잠류오리피스와 상류면의 슬라이드 게이트
  - 하류수로와 오리피스를 연결하는 관
- 상류수문은 사각형 오리피스의 크기를 조절하고 하류수문은 사각형 오리피스 상하류 수두차를 일정한 값, 보통 6cm로 유지하도록 작동한다. 이 분



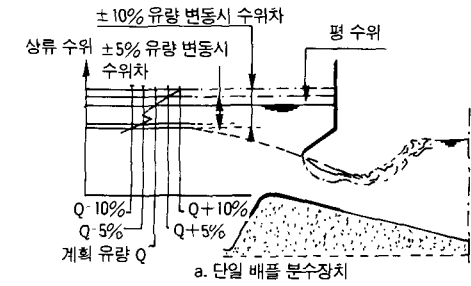
<그림-15> 일정수위잠류 오리피스 2중분수관, USBR형

수관에서는 검정된 도표에 따라 사각형 오리피스의 크기를 바꾸고 하류수문을 조정하여 일정수두차를 유지시키면 변동된 통과유량을 구할 수 있다.

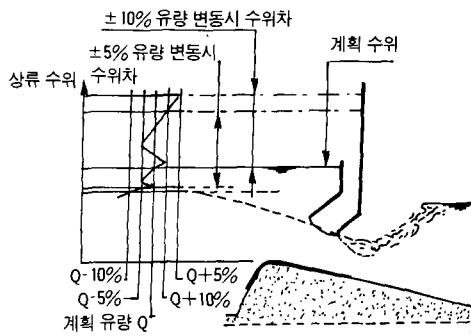
**5.3.5 일정유량조절장치 : 조합형**

조합형은 상류수위가 크게 변동해도 연속적으로 수리상황이 변동되어 유량조절의 기능을 유지하는 수동유량조절장치를 말한다.

- 저수위시는 유량을 팽정웨어로 조절
- 수위가 상승하면 설치된 배플(Baffle)로 흐름을 웨어흐름에서 오리피스흐름으로 변화시킨다. 이 경우 수위증가에 따른 유량증가는 웨어의 경우보다 작다.
- 수위가 계속 상승하면 오리피스의 통수량을 제한하는 부차적인 흐름이 발생하여 수위증가에 따른 유량증가는 더욱 둔화된다.



a. 단일 배플 분수장치



b. 이중 배플 분수장치

<그림-16> 배플분수장치의 작동원리

이러한 원리를 이용한 수많은 장치가 개발되었으며 그중 가장 잘 알려진 배플분수장치<그림-16>는 오래동안 전세계에서 널리 사용되고 있다.

<다음 호에 계속>

역자 약력

오 영 환



- 1981. 건국대학교 농과대학 농공학과 졸업
- 1988. 벨지움 Leuven 대학교 M.S.
- 현재 농어촌진흥공사 국제협력처 과장

정 병 호



- 1991. 서울대학교 농과대학 농공학과 졸업
- 1977. 화란 국제수리공학과정 수료
- 1981. 미국 캘리포니아대학교 석사
- 1992. 미국 유타주립대학교 공학박사
- 현재 농어촌진흥공사 농어촌연구원 수석연구원
- KCID 이사 / 편집, 학술분과위원 / 국제회의 유치 및 준비분과위원

김 주 창



- 1960. 서울대 농과대학 농공학과 졸업
- 1966. 화란 국제수리공학과정 수료
- 1983. 강원대 대학원 석사
- 현재 농어촌진흥공사 농공기술연구소 수리시험장장
- KCID 이사 / 편집, 학술분과위원회 부위원장