

수로 관개 시스템의 자동화(1)

Automation of Canal Irrigation Systems(1)

Jean Goussard*

김 형 돈,** 정 병 호***역

Kim, Hyeong-don, Cheong, Byeong-ho

서 론

현재 55억의 세계 인구는 2025년에 50% 이상 증가하여 약 85억이 될 것으로 추정된다. 지난 수십년 동안 인구증가에 따른 식량수요에 대비하여 주로 농지를 넓혀 왔으나 세계 각지의 경작가능지가 점차 줄어들어 농지의 확장도 한계에 도달하였다. 세계 식량생산의 1/3이상을 관개에 의존하고 있으나 관개를 위한 수자원도 이미 대부분 개발되어 추가개발이 어렵고 관개 이외의 용수수요도 급격히 증가하여 용수간의 경쟁도 더욱 심해지고 있다. 그러므로 앞으로는 주로 단위 경지면적당 생산량을 높여 증가하는 식량수요를 대처하여야 한다.

지금까지 개발한 관개지구중 생산성이 높은 지구도 많지만 아직도 기대치에 미치지 못하는 지구도 허다하며 비효율적인 물관리가 이러한 지구의 생산성 저하에 주요 원인이 되고 있다. 국제관개배수위원회(ICID)의 수리시설 현대화 및 보강 분과위원회는 관개자동화로 물관리를 개선하려는 분과위원회 실무위원인 저자의 요청을 받아들여 관개수로의 자동화에 대한 개념 및 기술 검토와 관개수로조직의 자동화(Automation of Canal Irrigation Systems)에 대하여 저술하도록 하였다.

현재 설계중인 관개지구나 기존 관개지구의 자동화를 계획하는 설계자, 관리자, 이용자에게 지침으로 사용될 본서는 다음의 2장으로 구성되었다.

- 제1장 개념편은 자동화의 장점, 자동화하기 쉬운 조절업무, 관리시스템의 구성 및 각종 자동조절 이론과 방법에 대하여 설명한다.
- 제2장 설비편은 수동조절장치, 자동조절기능을 부착한 재래식 수문, 자동수문, 측정센서, 통신장비, 종합통제소의 hardware 등 자동화 시설·장비의 종류와 제1장에서 설명한 자동화 이론의 적용기술에 대하여 설명한다.

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

** 농어촌진흥공사 조사설계처

*** 농어촌진흥공사 농어촌연구원

제 1 장 개 념

1. 자동화 : 관개조직의 운영개선을 위한 효율적인 방법

1.1 수로조직 운영

1.1.1 목적

관개조직은 재배하는 작물이 필요한 시기에 물을 공급할 수 있도록 포장의 급수공에 필요한 양을 전달하여야 한다.

1.1.2 문제점

위의 목적은 다음의 두가지 이유로 실제로 달성하기 어렵다.

첫째, 농민들이 관개수의 부족을 염려하여 양을 부풀려 요구하거나 기존의 기상자료나 예보치를 근거로 관개담당기관에서 관개량을 결정하기 위한 작물의 필요수량을 추정하기 때문이다. 후자의 경우 추정치와 실제의 필요수량은 기상예보기간, 예측치의 갱신빈도, 기상조건의 변화, 작물의 생육기간 등에 따라 차이가 난다.

둘째, 작물의 필요수량을 충족시키기 위하여 수원공에서 관개손실을 고려한 물을 간선수수로 흘려보내 각 지선수로에서 필요한 시간에 필요한 양을 취수할 수 있게 하여야 한다. 동시에 지선수로는 각 분수관에서 필요한 유량을 안정적으로 분수함은 물론 과다취수로 지거수로를 월류하는 일이 발생하지 않도록 적정수위를 유지하여야 한다. 그러나 수로 시점에서 분수하는 지점까지 수로가 길어져 통과하는 시간이 늘어나면 모든 수로에서 필요한 유량이 흐르도록 하는 것은 거의 불가능해진다. 또한 한곳 이상의 수원에서 여러 갈래의 수로로 받아들여 물을 공급하거나 조절지를 두는 경우는 유량조절이 더욱 어려워진다.

1.1.3 해결 방법

근래에는 전자 및 컴퓨터기술을 이용한 기술개발로 재래식 물관리 방법을 개선하여 필요수량에 근접한 양을 관개할 수 있게 되었다. 사용하는 기술에 따라 차이가 있겠지만 공급수량을 필요수량에 근접시키는 효율적인 조절시스템은 다음 사항을 포함한다.

- 수위, 유속, 유량을 조절하기 위한 수문 등의 시설

- 상류수위조절(Upstream control) 또는 동적조정(Dynamic regulation)이 가능하도록 간지선수로의 조절구조물을 설치하고 조작지침 수립

- 순환(Rotation) 또는 청구(On-demand) 등의 관개방법 이용

1.2 재래식 수동조절

전통적으로 간지선수로의 조절구조물은 각 지구의 수로감시원이 지정된 구역을 순회하며 수동으로 조작하였다. 전 지구의 수로조직을 적절하게 조작하기 위해서 일반적으로 넓은 관개지역의 전반적인 관개상황을 파악하여야 하나 이러한 수동식 조작은 일부 지역의 현황 자료에만 의존하므로 실제로 수로감시원들이 전 지구의 복잡한 관리인사를 파악하는 것은 불가능하다. 수동식조작의 다른 단점은 헌신적으로 모든 구조물을 계속 감시하면서 농민들의 부당한 요구를 뿌리치고 규정대로 수로시설을 조작할 수 있는 수로감시원을 구하기 어려운 점이다.

따라서 수동조절방식으로는 수로의 유량조절 구조물을 부정확하고 시간에 맞지 않게 조절하게 되며 유량측정과 관측이 부정확하거나 틀리는 경우도 허다하다. 대부분의 관개사업지구에서 이러한 조절로 인하여 발생하는 손실에 삼투손실을 더하여 수로의 관개효율이 낮아지면 관개의 신뢰도 및 조직의 적용성이 떨어지고 관개수의 균등배분도 어려워진다. 이러한 상황은 다음과 같은 문제를 야기한다.

- 수확량 감소로 농민들의 불만과 영농의욕을 저하시킨다.

- 배수불량과 토양 염분축적의 주 원인이 되어 환경에 피해를 주게 된다.

- 농업수익의 감소와 수자원의 낭비로 수자원의 부족을 초래하고 수자원 이용에 추가비용이 소요되어 경제적 손실을 초래한다.

1.3 자동화의 일반적인 특징과 장점

위의 문제점들은 대부분의 경우에 불가피한 것이라고 생각하고 있으나 인력에 의존하는 조작과

정을 자동화하므로써 그 중의 여러가지 문제점을 해결할 수 있다. 이러한 자동화는 설계와 시공단계에 비용이 추가되지만 관개조직의 효율향상과 수익의 증가로 이러한 추가비용이 정당화된다. 자동화의 장점은 :

- 관개효율을 10% 이상 증가시키며 절약된 물로 작물의 토지이용율(Cropping intensity)이나 관개면적을 늘릴 수 있다. 소비수량이나 단위용수량이 줄면 저수지, 수로, 양수장의 규모를 줄일 수 있으므로 공사비의 절감도 가능하며 양수에 필요한 에너지도 감소시킬 수 있다.

- 수리시설의 조작이 간단하게 되어 관리인원이 줄어들고 관리의 경험이 적어도 된다. 이러한 관점에서 자동화는 조작과 유지관리가 어려운 복잡한 시설이 반드시 필요한 것은 아니다.

- 수로의 수위를 쉽게 조절하여 과잉급수로 제방을 월류하거나 수로내의 급속한 수위변화를 사전에 방지할 수 있다.

- 정확한 물을 공급하여 배수불량이나 염분의 축적을 방지할 수 있으며 급수량에 따른 수세부과가 가능해져 농민들이 자발적으로 물의 소비를 줄이도록 유도할 수 있다.

- 급수에 대한 신뢰도가 높아지고 균등배분이 가능해져 농민들 스스로 필요이상의 물을 확보하려는 관행이 없어지게 되고 농민과 물관리 기관과의 사이를 밀접하게 해준다. 이러한 분위기하의 적정물관리로 농민에게 더많은 혜택이 돌아가고 관리비는 줄어들며 농민들의 유지관리 참여도를 높게 될 것이다.

- 자동화시스템의 종류에 따라서 필요한 물을 어느때든지 이용할 수 있는 시스템도 있으며 이러한 청구(On-demand) 급수방법은 관개계획에 따라 관개하는 다른 급수방법보다 발전된 방법으로 작물이 필요한 용수량을 원하는 시간과 기간동안 취수할 수 있도록 조정할 수 있게 되어 고수확 품종의 선택이 쉬워진다.

자동화하려는 지구에서 고려하여야할 두가지 단점은 :

- 자동조절장치중에 재래식장치 보다 물을 몰래 훔치거나 잘못 조작할 가능성이 높은 것도 있다.

이러한 경우 시설에 울타리를 치거나 조작실을 지어 외부인이 마음대로 조작할 수 없도록 하거나 또는 교육을 통하여 해결할 수 있을 것이며 이러한 문제도 위에서 설명한 시설관리에 대한 신뢰도와 밀접한 연관이 있다.

- 자동조절은 기본적으로 수로내의 유량을 변화시키는 것이 쉬워져 수로에 토사퇴적의 위험성이 높아지므로 이러한 위험성이 큰 곳에는 자동화를 하지 않는 것이 좋을 것이며, 자동화설비를 위험성이 적은 곳에만 계획할 수도 있다.

어느 지구에나 적용할 수 있는 이상적인 자동화 시스템은 존재하지 않는다. 자동화에 대한 수 많은 이론, Software, 장비 중에 특정지구의 기술적, 경제적, 사회적 여건에 부합되는 것을 선택하여 그 지구에 가장 적합한 시스템을 설계하여야 한다. 필요한 경우는 자동화를 점진적, 단계적으로 도입할 수 있다. 계획단계이든 운영중인 지구이든, 선진국이든 후진국이든, 관개를 새로이 도입하거나 오랜 관개 전통을 가진 곳이든 세계의 거의 모든 관개지구에서 어느 정도까지는 자동조절을 할 수 있다.

자동화한다고 해서 관개조직의 능력개선을 위한 물리적 또는 제도적인 조치가 없어서는 안되며 반대로 이러한 조치들이 별다른 효과를 보지 못하는 경우에도 자동화와 연결이 되면 효과가 확대된다.

2. 조절시스템의 구성

2.1 자동화하기 쉬운 조절작업

개수로의 유량조절을 자동화할 수 있는 부분은

- 위치조절
- 유량조절
- 감시기능
- 조작명령전달
- 조절점과 조작명령 발생

자동위치조절은 데이터의 처리과정이나 조작자가 정한 특정점에서 조절수문 같은 장치를 자동적으로 운반하고 관리하는 것이다.

자동유량조절은 수위나 수위차, 유량이나 총유출량을 자동으로 조절하는 것이다. 이러한 조절은 처리하는 자료에 따라 고정식이나 변환식을 선택

한다. 이러한 조절의 예는 수로의 한구간에서 상류의 수위를 조절하는 것이다.

수로구간의 수리상태를 유량으로 조절하는 것이 위치를 조절하는 것 보다 훨씬 쉽다. 그러나 많은 경우에 자동조절되지 않는 인자와 자동조절되는 인자간에 관계가 추가로 발생하기 때문에 복잡하게 되기 쉬워 유량이 시간에 따라 변하는 경우에 특히 수로내의 흐름이 불안정하게 되기 쉽고 흐름의 안정성이 예민도와 정확도 보다 중요하게 간주되는 경우가 많다. 개개의 시설이나 중앙통제소에서 유량을 조절한다.

자동감시는 수로조직내에서 일어나는 상황을 계속 또는 정기적으로 자료를 수집하고 중앙통제소로 전달하는 것이므로 중앙조절시스템의 중요한 부분이며 정보를 쉽게 입수하는 장점이 있고 지역조절시스템(Systems controlled locally)의 안전지표로 이용할 수 있다.

자동조작명령의 전달은 조절장치에 전달될 조작명령과 조절 값을 결정하고 조절장치에 전달하기 위하여 시스템의 현황과 필요수량에 관한 자료를 정해진 규칙에 따라 자동적으로 컴퓨터 처리하는 것이다. 이러한 과정은 조절규칙과 시스템의 설정수준에 따라 정해진 초단위에서 24시간까지의 간격으로 중앙통제시스템의 핵심부에서 처리된다.

일반적으로 이러한 과정의 프로그램은 수로조직의 수리적 거동을 시뮬레이션하는 수학적모형을 포함한 발전된 시스템으로 물수량 예측치를 실시간 자료로 바꾸어 준다.

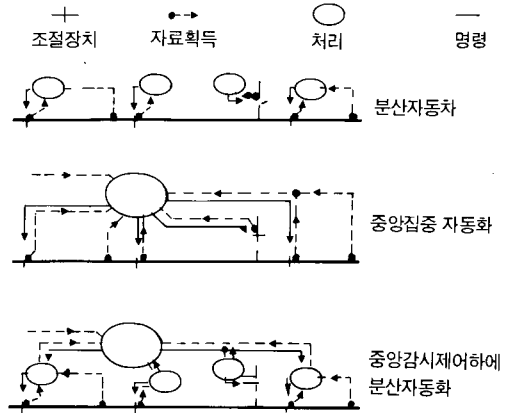
2.2 시스템의 구성

2.2.1 개요

수로시스템의 조절위치(개개의 조절단위, 종합통제소 혹은 절충식)에 따라 자동시스템을 다음과 같이 분류한다.

- 분산자동화
- 중앙자동화
- 중앙감시조절을 받는 분산 자동화

〈그림-1〉은 이 세가지의 자동시스템을 설명한다.



〈그림-1〉 자동조절시스템

2.2.2 분산자동조절

분산자동조절하의 시스템은 특정 유량조절 시설과 결합되거나 인접하여 위치한 자동화 장치로 조절되며 각 장치는 하나의 시설이나 하나의 수로구간만을 통제한다. 이러한 조절장치는 인력조절지역안에 설치하여 독립적으로 사용되거나 종합조절망의 일부분으로 사용된다. 개별독립장치로 계획한 경우에도 한 위치에서의 유량변화는 수로내의 흐름을 통하여 순차적으로 다른 장치에 전달된다. 이러한 흐름은 증가 또는 감소하기도 하고 상류 또는 하류로 전달되기도 한다. 이러한 흐름의 수리학적 전달은 비교적 속도가 느리지만 전달에 별도의 장비가 필요하지 않고 연속되는 조절장치를 상류에서 하류 또는 하류에서 상류로 연결하여 주는 믿을 수 있는 확실한 조절장치이다.

분산자동조절장치의 장단점과 유량의 변화에 대한 순차적인 반응은 :

- 각 장치는 설치된 지점이나 인접상하류 구간에서 자료를 받아들이고 처리한다. 그러므로 통신장비가 필요없어 통신두절등의 고장에 대한 염려가 없다. 반대로 수로를 운영관리하는 기관이 직접 감시조절할 수가 없다.

- 처리할 자료나 명령어도 두세가지 뿐이며 대부분의 경우 수위나 유량등의 한가지 인자에 의해 조절된다. 그러므로 분산자동조절은 단순한 조절규칙이나 기술을 반복 적용하면 된다.

- 유량의 변화를 수로내의 흐름으로 전달하는

데는 시간이 걸리며 수로의 저류상태에 관한 정보를 전달하는 것이 더 빠르나 수로가 이러한 규칙을 적용할 수 있는 조건을 갖춘 경우에 이용이 가능하다.

• 연속수로구간에서의 유량변화에 따른 조절구조물의 순차적인 조작은 시간이 걸리기 때문에 수로내의 흐름이 불안정해지기 쉽다. 특히 수로조각이 복잡하거나 갑작스런 유량변동이 있는 곳에는 수학적 모형을 이용하여 안정성을 점검하여야 한다.

이와같은 특성은 적정조절장치의 측정센서 위치에 상당한 영향을 받는다. 조절장치에서 가까운 거리에서 측정하는 경우는 근접(Close)조절 또는 지역(Local)조절시스템이라고 하며 예로는 상류에 고정수위를 유지시키는 자동부자수문(Self-operating float gate)이 있다. 원거리(Distant)조절은 조절장치가 설치된 곳에서 상류나 하류로 어느 정도 떨어진 위치에서 측정한 자료를 사용하며 예로는 하류 수로구간의 끝에서 고정수위를 자동 유지시키는 기계, 전기 또는 전자 수문조절장치가 있다.

근접조절은 자료의 통신이나 별도의 명령이 없이 간단한 조작규칙이나 조절장비(Hardware)가 필요하며 외부 동력원도 필요하지 않다. 반대로 이러한 단순한 조절규칙은 다양한 변화에 대처하기는 어려우며 수로의 물리적 특성에 의해서만 조절될 뿐이다.

원거리조절은 조절장치에서 떨어진 곳의 상황을 감시하는 기능을 가지므로 변화에 대한 반응시간이 감소하고 수로의 물리적 특성에 따른 영향을 적게 받는 장점이 있다. 그러나 근접조절과 비교하여 조절규칙이 복잡하고 조절지점의 변화와 그 영향을 정확히 인식하고 반응하는 것이 비교적 빨라 조절의 신속도 및 정확도는 개선되지만 과잉반응이나 불안정한 수리현상이 발생할 수도 있다. 조절규칙은 정확도와 안정성을 가질 수 있도록 주로 수학적 모형을 이용한 시뮬레이션을 통하여 찾아낸다. 원거리조절은 자료전달 장치와 외부로부터 전원이 공급되어야 하며 조절장치를 조작하는 시설이 필요하므로 고장으로 인한 시스템의 작동이 중단될 위험성이 높은 등 단점도 있다.

2.2.3 중앙자동조절

중앙자동조절은 수로의 유량을 조절하는데 사람이 개입하지 않고 필요한 모든 조작규칙을 이용하여 중앙통제실에서 자동조절하는 것이다. 이 방식은 :

- 수리 및 기상자료, 필요수량, 기계 및 전기장치의 현황정보 입수
- 측정지점의 자료를 중앙통제실로 전송
- 조절장치의 설정을 요구에 따라 조정하기 위하여 전달된 자료의 처리
- 관련자료의 양과 다양한 인자의 상호작용에 따른 복잡성 때문에 위의 과정을 단순화
- 조절장치에 적절한 명령전달
- 전달된 명령에 따라 조절장치를 조작

사용하는 기술에 따른 다양한 중앙조절장치가 있으나 대부분의 시스템은 용수의 예측수요에 따라 조절장치를 자동적으로 매 24시간 마다 수정하고 수로를 감시하는 기능을 가진다. 더 발전된 시스템은 자료의 입수, 처리, 명령을 동시에 처리하여 거의 실시간 조작을 가능하게 한다.

중앙자동조절시스템의 장점은 :

• 자료의 입수와 처리를 중앙집중화하는 것은 어느 시간이나 전 수로조각에서의 용수 수요량에 대한 정보를 알 수 있어 필요한 명령을 원하는 조절구조물에 보내어 즉시에 조절할 수 있게 한다. 순차적인 조절과 비교하여 유량의 변화를 원하는 대로 조정하는데 필요한 시간이 대단히 줄어든다. 긴 수로의 경우에는 유량변화에 대응하는 시간이 1/25까지 줄어들기도 한다.

• 컴퓨터처리는 발전되고 대단히 효율적인 조절규칙, 사업지구의 특별한 필요성에 맞출 수 있으며 실시간 또는 미리 정해진 시간간격에 따라 조절이 가능하다.

• 중요한 기능의 전부 또는 일부의 자동화는 자료입력, 필요한 지시, 만족할 만한 조작을 위한 감독업무를 줄여주며 조절이 되지 않거나 비상상황에 적절한 조치를 취하기가 용이하다.

중앙자동조절시스템의 단점은 :

- 측정지점, 통신시설, 조절장치와 중앙통제실

에 외부로부터 전력을 공급받아야 하며

- 비교적 복잡한 통신기술, 전산장비, 유지관리
에 전문기술이 필요하며

- 일반적으로 조작의 신뢰도를 높이기 위하여
전원, 중앙컴퓨터 및 통신채널을 이중으로 하여 비
상사태에 대비하여야 하며

- 장비와 개념의 복잡성은 개수로의 수리공학,
자동화, 전산학, 통신시스템 등의 관련분야 전문가
로 구성된 여러 팀에 의한 설계 및 설치를 요한다.

2.2.4 중앙감시조절하의 분산자동조절

중앙감시조절하의 분산자동조절은 앞에서 설명
한 두 시스템의 장점을 취하고 단점을 최소화하기
위하여 분산조절과 중앙감시 및 조절시스템을 합
친 것이다.

이 시스템의 특성과 역할은 시스템의 중앙집중
화의 정도에 따라 달라진다. 예로는 수로구조물의
조절은 분산자동시스템 방법을 택하고 감시와 비
상조절은 중앙통제소에서 하는 것이다. 조절구조
물에 명령을 발생하고 전달하기 위하여 감시과정
을 컴퓨터로 처리하면 중앙집중도를 높일 수 있다.

중앙자동시스템과 비교하여 중앙감시조절하의
분산자동조절시스템은 통신 및 컴퓨터용량을 줄일
수 있으며 통신이 두절되는 경우에도 중앙집중화
가 적게 된 시스템은 정상적인 조작을 계속할 수
있으며, 중앙집중화가 많이 된 시스템은 통신이 두
절되기 전에 정해진 조작규칙에 따라 조작이 계속
된다. 또한 자체조작수문을 이용하면 단전이 될 경
우에도 시스템 운영상의 문제를 감소시킬 수 있다.

분산자동조절시스템과 비교하면 중앙감시장치
로 시스템 조작을 개선시킬 수 있으며 비상상황 발
생시 원격조정이 가능한 경우에 특히 시스템의 안
전성을 높일 수 있다. 중앙감시조절하의 분산자동
조절시스템은 시스템의 적용성을 향상시키며 조절
인자를 순차적조절에서 동시조절방식으로 바꿀 수
있는 조절규칙을 가지는 중앙컴퓨터를 이용하면
시스템의 대처능력을 향상시킬 수 있다.

〈다음 호에 계속〉

역자 약력

김 형 돈



- 1991. 서울대학교 농업생명과학대학 농공
학과 졸업
- 1993. 서울대학교 대학원 농학석사
- 현재 농어촌진흥공사 조사설계사

정 병 호



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