

농업용 관로 시스템에서 조정지 용량의 결정

Determination of Size of Regulating Pond in Irrigation Pipe Network

안 태 진*
Ahn. Tae-jin

1. 머리말

일반적으로 논관개 지구에서는 주펌프-저수조-간선관로-(조정지)-지선·지거관로-급수전으로 구성된 관로 시스템을 통하여 관개용수를 공급할 수 있으나, 우리 나라에서는 일부 간척사업지구에서 조정지를 두지 않는 관로 시스템을 도입하고 있는 실정이다. 저수조(Balancing tank)는 주펌프에서의 일정한 양수량 유지, 주펌프 고장시 대비, 빈번한 주펌프 작동의 방지, 일정한 저수조의 수위 유지로 인한 설계수두 유지 등의 목적으로 설치된다. 조정지(Regulating pond)는 수요량의 변화가 클 때 관로내 수두 변화를 최소화하거나, 관개 소구역에서 공급량과 수요량의 차이가 발생할 때 물공급이 중단되는 현상을 해결하는 기능을 갖고 있다. 그러나 설계지침의 결여, 조정지 운영에 관한 관측자료의 부재, 조정지 부지 확보 등의 어려움으로 우리 나라에서는 조정지를 도입하는데 주저하고 있는 실정이다. 조정지를 포함하지 않는 관로시스템에서는 압력수두를 적절히 유지하기 위하여 관로의 관경을 크게 할 필요로 인하여 관로 공사비를 증가시킨다. 조정지는 수요량의 변화에 관한 대처 뿐만 아니라 관로내 비정상 흐름(Unsteady flow)

조절, 관로내 압력 변화 조절 등의 효과를 얻을 수 있어 물관리 측면과 수리현상관리 측면에서 볼 때 아주 유리한 구조물이다. 따라서 조정지 규모 및 위치의 타당한 결정은 관로시스템 설계에 있어 매우 중요한 부분이라 할 수 있다.

2. 논관개 지구에서의 조정지 용량

관로시스템에서의 조정지의 규모와 위치는 1)물관리 2)수격압을 발생시키는 관로내 비정상 흐름 3)관로 시스템내 동수경사 조절 측면을 고려하여 결정하여야 한다. 수조내 수위변화의 폭은 조정지 상·하류측 관로의 수두변화에 영향을 주므로 저수압으로 관리되는 지구에서는 가능한한 수위 변화의 폭을 적게하여 운영 될 수 있도록 계획·설계되어야 한다. 조압수조 기능으로는 수조의 높이와 용량은 영향을 미치지만 상류측 관로가 유입되는 방향의 조정지 폭의 규모는 서징(Surging) 관리에 크게 영향을 미치지 않는다고 알려져 있다.

또한 부분적으로 관로가 동수경사선 이상으로 매설되거나 관로 운영시 동수경 사선 위로 있는 경우, 관로내 공기 발생으로 인하여 용수공급이 중단된다. 이러한 경우 용수공급을 원

* 환경대학교 농학부

활히 하기 위하여 동수경사선 위에 있는 관로 부분에 설치된 조정지는 접합정의 기능도 담당한다. Hirose(1997)는 다음 식(1)을 조정지 결정을 위한 공식으로 제안하였다.

$$V=3,600 \cdot T_{po} \cdot q \dots\dots\dots (1)$$

여기서 V : 조정지의 용량(m³)
 T_{po} : 조정지 체류시간 3~6시간
 q : 이양 후 최대 조용수량, 설계 용수량(m³/s)

Hirose는 일본 Toyama 현 관개지구에 설치되어 있는 Ranjo, Yasukawa 및 Inokuchi 조정지(Regulating pond)의 조정지 체류시간(T_{po})을 실측한 자료를 수집하였으며, 조정지 설치 내역과 실측결과는 다음 <표-1>과 <표-2>와 같다. <표-1>의 이양용수량과 이양 후 용수량을 이용하여 Ranjo, Yasukawa 및 Inokuchi 조정지의 관개구역에서의 단위용수량을 계산하면, 단위이양용수량은 각각 0.00628 m³/s/ha, 0.00665m³/s/ha 및 0.00513m³/s/ha이고, 이양 후 단위용수량은 각각 0.00422m³/s/ha, 0.00449m³/s/ha 및 0.0032m³/s/ha이다. 1983년부터 1987년까지 Ranjo 조정지에서 관측된 연평균 체류시간은 2.9시간에서 6.2시간 범위내에 있었으며, 연평균 체류시간의 평균치는 4.1시간이었다. Yasukawa 조정지에서 1987년부터 1990년까지 관측된 연평균 체류시간은 2.5시간에서 3.2시간 범위내에 있으며 연평균 체류시간의 평균치는 2.9시간이었다. Inokuchi 조정지에서 1986년과 1987년에 관측된 연평균 체류시간은 각각 7.1시간과 4.6시간이었다. <표-2>에서 보는 바와 같이 설계시 체류시간은 6시간으로 하였지만 실제 조정지 운영시(1983~1990) 관측된 연평균 체류시간의 평균치는 2.9~5.9시간이었다. 실측 체류시간과 조정지 용

량과의 관계는 관개면적이 크거나 단위용수량이 클수록 체류시간은 작아지는 경향을 보여주고 있다. 따라서 우리도 조정지를 설치하여 관측된 자료를 근거로 타당한 조정지 용량 결정 방법을 제시하여야 할 것이다.

우리 나라 농업기반사업설계기준에 의한 용수로의 설계유량은 단위 이양용수량과 이양 후 단위용수량 중 큰 값으로 결정하고 있으며, 이양용 수량이 용수로의 설계유량이 되는 경우가 많다. 그런데 각 단위용수량의 공식을 살펴보면 이양용수량은 이양일수를 고려하므로, 즉 소관개 구역으로 구분하므로 간단관개의 개념이 포함되어 있으나, 이양 후 단위용수량 공식은 연속관개의 개념이 포함되어 있다. 조정지 용량 산정공식인 식(1)에서는 이양 후 용수량을 포함하고 있음을 유의하면, 이양기에서의 체류시간은 상당히 짧아짐을 예상할 수 있다. 그러나 식(1)에서 q는 이양 후 순별 최대 용수량인 설계용수량이므로 약 10일간 지속되는 용수량이다. 그러므로 조정지의 설계체류시간을 3시간으로 한다면 이양기에는 3시간보다 짧지만, 최대 필요수량이 요구되는 10일간을 제외한 나머지 관개기간의 체류시간은 3시간보다 상당히 길어져 소구역별 물 관리는 탄력적으로 운영될 것이다.

FAO(1989)는 저수조의 용량 결정에 있어서 다음과 같은 3가지 방법을 제시하였다.

첫째, 우리 나라 발관개 사업지구와 같이 용수량과 관개면적이 소규모이고, 관로시스템이 독립적으로 운영되어 펌프와 저수조가 각각 하나인 경우에 다음 식(2)를 제안하였다. 이 경우 펌프는 압력감지기(Pressure sensor regulation)에 의하여 운용된다.

$$V = Q \cdot T \dots\dots\dots (2)$$

여기서 V는 저수조의 용량(m³)이고, Q는 설

〈표 - 1〉 조정지 설계 내역과 실측 체류시간

설계내용 조정지명	관개면적 (ha)	이양용수량 (Q, m³/s)	이양 후용수량 (q, m³/s)	용량계산(V, m³)	설계용량 (V, m³)
Ranjo	83.6	0.525	0.353	$q \cdot 6 \cdot 3,600=7,625$	7,680
Yasukawa	123.3	0.820	0.554	$q \cdot 6 \cdot 3,600=11,966$	12,140
Inokuchi	63.1	0.324	0.203	$q \cdot 6 \cdot 3,600=4,385$	4,450

〈표 - 2〉 조정지의 관측 체류시간

조정지명	분 류	연 도	연평균	연평균체류
			체류시간(h)	시간의평균치(h)
Ranjo		1983	3.5	4.1
		1984	4.5	
		1985	3.8	
		1986	6.2	
		1987	2.9	
Yasukawa		1987	3.2	2.9
		1988	3.2	
		1989	2.6	
		1990	2.5	
Inokuchi		1986	7.1	5.9
		1987	4.6	

계용수량(m³/h)이며, T는 시간간격(hour)으로서 펌프의 정지기간을 말한다. 식(2)와 같이 소규모 관개지구에서의 저수조 용량은 설계용수량과 펌프정지기간에 영향을 받는다. 펌프정지기간은 펌프의 모터(Motor)와 작동기(Starter)의 특성을 고려하여 결정하며, 일반적으로 10분에서 20분 정도이다. 식(2)는 펌프의 정지기간과 설계용수량을 함께 고려하여 소규모 지구에서의 저수조는 저수조와 조정지 기능을 동시에 수행함을 알 수 있다.

둘째, 단일 펌프와 연결된 저수조의 용량은 다음 식(3)으로 결정하며 펌프는 저수조의 수위(Water level regulation)에 따라 운영된다.

$$V = T \cdot q_{po} / 4 \dots\dots\dots (3)$$

여기서 V는 저수조의 용량(m³)이고, q_{po} 는 펌프의 양수량(m³/h)이며, T는 시간(hour)으로서 펌프의 양수량으로 저수조 용량을 채우는데 소요되는 시간이다. 펌프의 가동 및 정지의 빈도수는 저수조의 규모와 수요량의 변화에 따라 영향을 받는다. 빈번한 펌프의 가동과 정지는 펌프, 관로 부속물 등에 악영향을 주므로 저수조의 용량은 주어진 시간에 주어진 회수만 운행되는 규모로 하여야 한다.

셋째, 여러 펌프와 연결된 저수조의 용량은 다음 식(4)로 결정하며 이 때도 펌프는 저수조의 수위에 따라 운영된다.

$$V = T \cdot q_p / 4 \dots\dots\dots (4)$$

여기서 V는 저수조의 용량(m³)이고, q_p 는 펌프의 최대 양수량(m³/h) 또는 동일한 펌프용량이면 펌프 하나의 양수량이며, T는 시간으로서 펌프가 두 대이면 두 대의 양수량으로 저수조 용량을 채우는데 소요되는 시간이다.

두 번째와 세 번째 방법은 주로 펌프의 용

량에 따라 저수조의 규모가 결정됨을 알 수 있다. 다음 <표-3>은 펌프 규모별 펌프의 허용 가동수를 보여주고 있다. 두 번째와 세 번째 방법에서 펌프는 저수조의 수위에 따라 운영되며, 이 방법은 다음과 같은 장점이 있다. 관로내 압력수두의 변화를 작게 할 수 있고, 저수조의 규모가 최소이어서 정교한 관로 부속물을 설치할 필요가 없으며, 저수조가 펌프에 인접하여 있으면 경제적인 시스템이 된다. 단점으로는 저수조가 펌프로부터 멀리 설치되면 비경제적인 시스템이 된다.

<표-3> 펌프 규모별 펌프의 허용가동수

펌 프(hp)	1시간내 펌프의 최대 가동 수	펌프 가동의 최소시간간격(h)
< 50	10	6
50-200	6	10
200-400	3	20
>400	1	60

3. 발판개 지구에서의 조정지 용량

우리 나라 발판개 지구에서는 관정-펌프-저수조-관로-분수전으로 구성된 관수로시스템을 통하여 관개용수를 공급하고 있다. 발판개 지구내 저수조는 수요량의 급격한 변화에 적극 대처하여 용수 사용량을 원활히 공급하고, 수중 펌프의 빈번한 가동과 중단에 의한 펌프의 손상과 전력손실을 방지하기 위하여 설치하고 있다. 현재 저수조의 규모는 관정의 채수량이 설계용수량에 비하여 많은 경우에는 2시간분의 용수량을 저수할 수 있는 규모로 결정하고, 채수량이 설계용수량보다 적은 경우에는 4시간분을 저수할 수 있는 규모로 결정하고 있다. 기설 발판개 지구 26개 지구 실

태조사에 의하면, 저수조의 저수량을 관정의 채수량으로 나눈 저수조의 평균 저수시간은 3시간으로 설계기준의 2~4시간 범위내이나 2시간 이하인 경우도 26지구 중 10지구로 나타나 일반적으로 저수조가 소규모로 되어 있음을 알 수 있다. 따라서 저수조 및 수중펌프의 작동시스템이 수중펌프에 의한 과부하, 수위계 센서 불량에 의한 저수조의 월류 등의 고장이 자주 발생하였다고 보고되었다(농림수산부, 1996).

또한 송·급수 관로는 엘보와 같은 연결부의 이탈 등으로 누수가 발생하였으며 수압부족으로 인한 급수 불량 지역이 있다.

우리 나라 발판개 지구의 관개면적은 소규모이나, 관개면적이 비교적 큰 경우에는 몇 개의 구역으로 구분하여 독립적인 관수로 시스템으로 계획하고 있다. 발판개 지구의 저수조는 대규모 관개지구에 설치하는 조정지의 기능도 포함하고 있으므로 발판개 지구 저수조 설계시 적용하는 두 가지 조건 중에서 설계용수량의 4시간분을 저수하는 규모로 하는 것이 타당하리라 판단된다.

4. 상수도에서의 배수지 용량

상수도 시스템에서의 배수지 기능은 관개지구 조정지와 유사하며 배수지의 용량은 수요량의 변화 폭에 영향을 받는다. 미국에서는 대략 최대 일수요량의 15%~30% 정도를 추천하고 있으며, 우리 나라 상수도 시설기준(건설부, 1992)에 의하면 배수지의 용량은 계획 1일 최대 급수량의 8~12시간분을 표준으로 하고, 적어도 6시간을 공급할 수 있는 용량으로 하고 있다(McGhee, 1991). 또한 상수도 시설기준에서는 시간 최대 급수량을 일 총급수량에 대한 백분율로 대도시 5.41%, 중도시 6.25%, 농촌 8.3%를 기준으로 하고 있다.

5. 맺는 말

근래의 상업용 관로시스템 수리해석 프로그램에는 수요량의 변화에 따른 저수조의 수위 변화와 관로의 수두를 해석할 수 있는 기능인 EPS(Extended Period Simulation)이 포함되어 있어 결정된 저수조 용량과 위치, 관로 설계내역에 관하여 시공 후 예상되는 관로내 압력, 저수조 수위 변동 등을 검토할 수 있다. 저수조나 조정지 설계시 연행공기에 의하여 관로내 공기가 발생하지 않도록 유의하여야 한다. 수조에 의한 연행공기를 방지하기 위해서는 수조내 월류벽을 설치하여 연행공기를 최소화하는 방법, 수조내 관로로 부터의 수심을 충분히 유지시키는 방법, 수조 연결관로 관경의 약 10배되는 위치에 통기공을 설치하는 방법을 도입할 수 있다(농어촌진흥공사, 1989). 또한 관로내 수증공기의 분리현상이나 공동현상에 의한 공기발생은 동수경사선을 가능한 한 높이거나 공기변을 설치, 고속류의 제어 등으로 방지할 수 있다.

참고문헌

1. 농림수산부, 농어촌진흥공사, 1996. 발기반정비사업 개발 유형 연구(I).
2. 농어촌진흥공사, 1989. 농업용 관수로설계 시공 지침.
3. 건설부, 1992. 상수도 시설기준.
4. FAO Irrigation and Drainage Paper NO. 44, 1988. Design and Optimization of Irrigation Distribution Networks. FAO of the UN.
5. Hirose, Shin-ichi., 1997. Determination of the Capacity of Regulating Pond in Pipeline Irrigation System, Rural and Environmental Engineering, NO. 33, pp.56~78.
6. McGhee, T. J., 1991. Water Supply and Sewerage, McGraw-Hill, Inc..