

친환경성을 고려한 무동력 자동수문 개발

Development of Eco-Friendly Self-Controlled Gate

정광근*·이광야·김해도

Kwang Kun Chung, Kwang Ya Lee, Hae Do Kim

Abstract

It considered the population decrease and becoming older in age of the Rural area and operates by unmaned-non power which self-controlled gate developed. The operational principal used a buoyancy and when water level in the canal arrived to the set water level, in order for gate to be opened. The plate in order to fix to the shape in the canal which begs, it did in the quadrilateral and the rainfall it is sour intensively, canal bank comfort plate in order to ascend completely, it designed. The result which establishes Self-controlled gate, the gate upstream 1km until degree there was water level synergistic effect. It developed 4 as the research project and it established in Ah San city, and it establishes the Self-controlled gate of B3.2m×H2.4m size in Damyang and 100ha it does water supply in the rice field.

Key Words : Self-Controlled Gate, Buoyancy, Water Level, Canal bank

1. 개발배경

현재 우리의 농업이 당면한 과제는 크게 나누어서 이농현상에 따른 농업인력의 유출·고령화 문제 해결 및 생산비 절감에 따른 농산물가격의 국제경쟁력을 갖추는 것으로 들 수 있다. 그 중에서도 직접 농업을 담당하는 농업인의 농촌으로부터의 도시유출에 따른 일손부족 및 농업담당자의 고령화가 우리 농업의 현대화를 가로막는 큰 요인 중에 하나이며 특히 논농사에 있어서의 물관리라는 화두는 현재 21세기 물부족국가로 인식되는 우리의 용수사정상 그 이용을 위한 관리형태에 일대 전환을 요구받고 있는 실정이다. 이에 따라서 물관리에 있어서 가장 중요한 용수로 내의 수문의 운영과 이의 유지관리에 대한 일대 혁신이 필요하며 이를 위해 현재 농업기반공사에서는 물관리의 효율화를 위해 물관리자동화사업(TM/TC)을 추진 중에 있다. 그러나 이러한 물관리자동화를 위한 모든 설비도 막대한 초기투자과 지속적인 유지관리를 필요로 하고 있는 것도 사실이다. 여기서 필자는 이러한 물관리를 위한 수로내의 수문을 전기적 힘(Electric Power) 또는 인력에 의한 힘(Man Power)의 도움이 없이 수문을 작동시켜 적기적소에 적량의 용수를 공급하는 무동력 자동수문의 개발에 착안하였다. 본 무동력 자동수문은 ① 수문 작동에 있어서 외부동력의 도움을 받지 않고, ② 인력에 의한 유지관리를 최소화하며, ③ 수문 상류의 수심을 항상 일정하게 유지하여 수문 상류에서 분기된 수로로부터 용수가 일정한 수압을 유지하여 원거리까지 용수가 도달할 수 있어야 하고 ④ 항상 인력에 의한 수문 감시를 하지 않기 위하여 수문비에 오물이 끼어 오작동을 하는 현상을 막아야 하며 ⑤ 집중강우시나 수로내 외수유입시 수문이 통수에 방해가 되어

* 정회원·한국농촌공사 농어촌연구원·책임연구원·E-mail : kkchung@ekr.or.kr

** 정회원·한국농촌공사 농어촌연구원·책임연구원·E-mail : kylee@ekr.or.kr

*** 준회원·한국농촌공사 농어촌연구원·주임연구원·E-mail : searoad@ekr.or.kr

수로범람에 따른 논침수 등의 피해를 막을 수 있는 장치가 고안되어 있어야 한다라는 5가지 항목을 개발주요사항으로 연구에 착수하였다. 이하에서는 외국의 무동력 수문 개발 및 운영사례와 더불어 무동력 자동수문의 개발에 따른 작동원리, 설치효과, 시작기 및 개선사항 그리고 오물유입대책과 실용화를 위한 제안 등에 관하여 기술하기로 한다.

2. 무동력 자동수문 개발

2.1 작동원리 및 특징

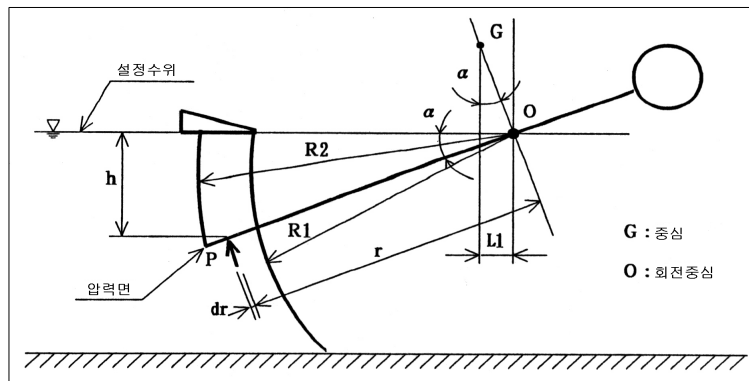


그림 1. 무동력 자동수문 작동 원리도

무동력 자동수문이 작동원리를 보면, 우선 수로내 유량이 증가를 하면 a) 게이트의 상류수면이 상승하고 b) 게이트의 압력면에 작용하는 수압이 증가하면서 c) 개방 모멘트가 커지며 게이트가 상승한다. 또한 수로내 유량이 감소하는 경우에는, a) 게이트의 상류수면이 하강하고 b) 게이트의 압력면에 작용하는 수압이 감소하여 c) 폐쇄 모멘트가 커지게 되어 게이트가 내려간다. 상기의 일련의 동작을 무동력으로 함으로서 상류수위를 일정하게 유지한다.

2.2 수문설치에 따른 수로의 최대통수능력 검토

기존 수로에 무동력 자동수문을 설치할 때 가장 문제가 되는 것은 수로가 본래 가지고 있는 설계유량 및 최대통수유량이 유입되었을 때 설치되어 있는 무동력 자동수문에 의해 통수단면의 축소 및 통수방해를 초래하여 무동력 자동수문 상류부에서 월류(overflow)를 초래하고 이에 따라서는 침수에 따른 작물피해 등을 야기시킬 소지가 있다. 따라서 신규수로에 설치할 때에는 무동력 자동수문의 수리적 특성을 감안하여 수로단면을 결정하면 되지만 기존에 설치되어 있는 수로에 무동력 자동수문을 설치할 때에는 반듯이 수문설치에 따른 수로내 영향을 검토해야 한다. 이러한 영향을 검토하기 위한 일반적인 수리적 방법으로는 무동력 자동수문의 작동특성에 기인하여 수로바닥에서부터 들어 올려지는 형태의 작동방법을 상정한 인상수문 특성 검토 중 수문이 작동하여 유지수심을 안정되게 유지할 때까지의 유출을 자유유출로서 검토하고 유지수심이 안정되어 수문을 기준으로 상류부와 하류부의 수두차가 적어질 때에는 수중유출로서 해석하여 검토한다. 우선 수문이란 수로나 댐의 정부에 설치하여 유량이나 수위를 조절하는데 이용되며 인상수문(slucice gate)이나 테인터수문(tainter gate)등의 종류가 있다. 수문의 유량계수는 그 종류에 따라 다르고 수문 선단부의 형상에 따라서도 달라지며 그 유황은 오리피스와 닮은 점이 많다. 여기서 아래의 그림 2와 그림 3는 인상수문으로 유출하는 흐름의 상황을 나타낸 것이며 이 중 그림 2는 수문으

로부터의 유출수맥이 사류상태를 축류하면서 자유유출(free flow)하는 경우로 하류가 상류이면 도수에 의하여 하류수위에 이른다. 하류의 수위가 증가하면 도수점은 수문에 가까워지고 하류수심이 수문이 개방높이보다 커지면 유출수맥은 하류수면 밑으로 잠겨져서 그림 3과 같아진다. 이 상태를 수중유출(submerged outflow)이라고 한다. 인상수문의 해석에 있어서 사류수면은 수문 선단부를 떠나서 축류한 뒤 밀면의 마찰저항 때문에 수심은 증가해 가는데 이 수축단면의 수심을 $C_c a$ 라고 하면 (C_c 는 수축계수), Bernoulli의 식에 의해 수문 상류쪽의 수심과 유속을 h_0, v_0 , 수축단면의 유속을 v 라고 하면,

$$h_0 + \frac{v_0^2}{2g} = C_c a + \frac{v^2}{2g} \quad (1)$$

이 되며 $Q = B h_0 v_0 = B C_c a v$ 를 써서 v_0, v 를 윗식에 대입하면

$$Q = B C_c a \sqrt{\frac{2g(h_0 - C_c a)}{1 - \left(\frac{C_c a}{h_0}\right)^2}} \quad (2)$$

가 된다. 수축계수 C_c 의 값은 $C_c = 0.61 \sim 0.64$ 정도이다. 윗식에 유량계수 C 를 도입하면,

$$Q = B C a \sqrt{2g h_0} \quad (3)$$

따라서, 식(3)을 변형하면 식(4)가 된다.

$$h_0 = \frac{Q^2}{2g B^2 C^2 a^2} \quad (4)$$

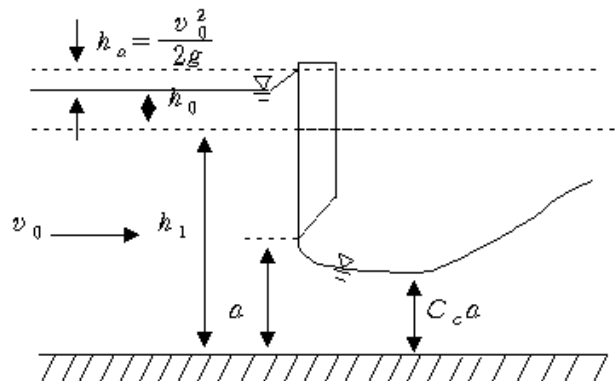


그림 2. 인상수문의 자유유출

다음으로는 인상수문 유출 중 수중유출에 관하여 해석을 하는 수순에 대해 논하면 수중유출의 경우에는 유출수가 수축단면보다 하류에서 분류처럼 넓어지고 소용돌이도 형성되므로 에너지손실

이 생긴다. 그림 3에서 나타낸 바와 같이 수축단면을 ①이라 할 때 유출수는 $C_c a$ 사이를 속도 v 로 흘러 윗층의 표면소용돌이 영역의 물은 근사적으로 정지하고 압력은 정수압분포를 따른다고 가정하면 ①~② 구간에서 에너지손실은 적으므로 단위폭 당의 유량을 $q = Q/B$ 라고 하면 Beroulli의 식은 다음과 같다.

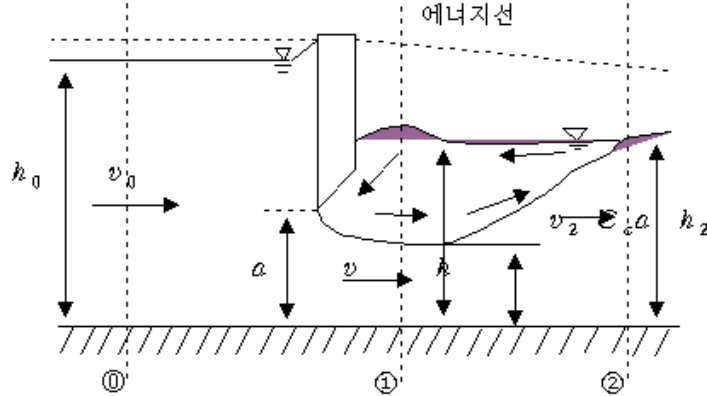


그림 3. 인상수문의 수중유출

$$h_0 + \frac{q^2}{2gh_0^2} = h + \frac{q^2}{2g(C_c a^2)} \quad (5)$$

상기에서 논한 인상수문의 자유유출 및 수중유출의 식을 이용하여 계산한 결과 우리의 농업용 수로에 적용을 하는 무동력 자동수문의 형태는 상폭대비 저폭비율이 100%에 수문의 개도율도 65%가 되는 방향으로 하는 것이 수로의 통수 및 긴급시 수로범람을 방지할 수 있는 방법이다.

2.3 무동력 자동수문 시작기 개발

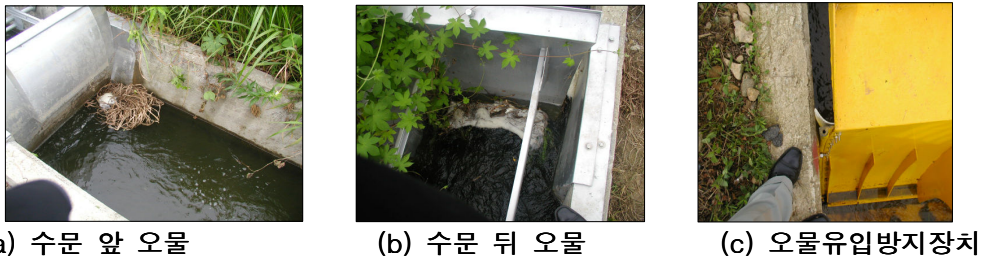
상기에서 논한 작동원리 및 수로에의 영향검토를 통하여 1999년 8월부터 2003년5월에 걸쳐서 총 4대의 무동력 자동수문의 시작기를 제작하였으며 2002년7월에는 농업기반공사 담양지사에 1대를 실용화하였다. 다음 표 1에는 개발한 무동력 자동수문의 제원과 그 모습을 그림 4에 수록하였다. 또한 무동력 자동수문을 설계하기 위한 수문구조계산은 지면관계상 생략하기로 한다.

표 1. 무동력 자동수문 시작기 제원

제 원	제1호	제2호	제3호	제4호	담양간선 수문
수로크기	W0.6m×H0.6m	W1.0m×H1.0m	W1.0m×H1.0m	W1.0m×H1.0m	W3.2m×H2.4m
수문크기	W0.58m×H0.56m 저폭 : 0.4m	W0.98m×H0.96m 저폭 : 0.7m	W0.98m×H0.96m 저폭 : 0.9m	W0.98m×H0.96m 저폭 : 상폭동일	W3.1m×H2.2m 저폭 : 3.0m
유지수심	0.38m	0.8m	0.8m	0.45m	1.6m
특징	쇼크업쇼바 부착	지수판 부착	지수대 부착	지수장치 없음	지수대 부착



(a) 제1호기 (b) 제2호기 (c) 제3호기
그림 4. 무동력 자동수문 개발 시작기 및 실용화 제품



(a) 수문 앞 오물 (b) 수문 뒤 오물 (c) 오물유입방지장치
그림 5. 수문 주위 오물 및 유입방지장치

3.5 이물질 방지대책

수문비의 오작동에 주된 요인으로서 수문 측면에 오물이 끼이는 현상을 들 수 있다. 오물끼임 현상의 메커니즘을 설명해 보면 수문이 완전히 폐쇄되어 있을 때는 수문 앞에 수로의 정해진 수위까지 물이 차오르다가 일정수위에 도달하여 부력발생에 의해 수문이 열리기 시작하면 수문비의 하단 및 양측면에 틈이 생기며 그 틈 사이로 물이 빠져나가기 시작한다. 따라서 물이 빠져나가는 틈 사이로 유속이 발생하며 이에 따라 물 위에 떠 있는 오물이 이 유속에 따라 틈 사이로 몰려나간다. 일부는 틈 사이로 나아가서 수문의 하류로 흘러나가기기도 하지만 일부는 틈사이에 끼어서 다른 오물의 통행을 방해한다. 이러한 현상이 장시간 반복이 되면 수문비와 측면사이에 오물이 축적되어 수문비가 작동을 못하게 된다. 또 일부의 오물 특히 무거운 오물 등은 수문 앞에 모여 있다가 수문비에 유수가 부딪히고 부딪힌 유수가 수문 하단부로 내려가면서 오물 등을 끌어당겨 수문비 하단으로부터 오물이 통과되어 수문 하류쪽으로 흘러나가게 하는 경우도 있다. 이러한 모든 경우에 수문 하류로 흘러간 오물은 일단 수문 하류의 와류현상 때문에 일정시간 모여 있다가 다른 수류에 의해 완전히 수문 하류로 흘러 나간다. 경우에 따라서는 수로 옆의 토지에서 자라나는 풀 등이 오물과 엉켜서 오물을 집적시키고 수문의 작동을 방해하는 경우도 많다. 이러한 경우에는 인력에 의한 오물처리를 해야 한다. 그러나 반대로 생각하면 수문 하단부 및 측면에서 빠른 유속이 발생하기 때문에 오히려 작은 오물이 빠져나가는 데는 유리한 조건이 될 수도 있다. 그러나 오물의 종류 및 크기가 워낙 다양하기 때문에 이들을 모두 제거하거나 아니면 중간에서 처리할 수 있도록 고안하는 것은 원천적으로 불가능하다. 따라서 수문비 측면에 유입방지구조를 대어서 수문에 오물이 끼이는 현상을 방지하는 대책을 세웠으며 이에 따라 수문비에 오물이 끼이는 현상을 막을 수 있었다.

4. 실용화를 위한 제언

본 무동력 자동수문은 동력식 수문의 초기 투자비용과 운영동력비등을 절약할 수 있으며 운영에 따른 인력절감을 기대할 수 있다. 또한 수로말단부까지 용수를 효율적으로 공급할 수 있기 때문에 우리 농업의 경쟁력 강화에도 일조를 할 수 있을 것이다. 그러나 현재 수문은 기시공된 수로에 설치하기 때문에 수문 고유의 특성에 맞게 표준화를 하기가 힘든 실정이다. 따라서 현재 개발 중인 표준도는 기설치 수로규격에 맞게 개발을 하고 있으나 앞으로는 수문의 규격에 맞는 수로의 표준화를 시도할 수 있도록 노력할 예정이다. 이러한 점이 해결되면 무동력 자동수문을 시스템적으로 운영을 할 수 있으며 이에 따라 실용화에도 적극 적용할 수 있을 것이다.