

논의 자동화 급수물꼬 개발

Development of Automatic Inlet in the Paddy Field

김 하 집*, 박 상 현*, 이 용 직*
Kim, Ha-jip, Park, Sang-hyun, Lee, Yong-jig

Abstract

An automatic inlet and a semi automatic inlet were developed for the optimal supply of irrigation water in the paddy field. The automatic inlet checks the water level in the paddy field and operates automatically by combination of two floats. In case of the semi automatic inlet, it was designed to open manually, however it is closed automatically by buoyance.

The flow characteristics of both inlets were tested through hydraulic experiments, and expermentally installed in paddy field. The results in the laboratory and the field study showed that the water level was approached closely to the designed level in the inlet, and it took from 10.2 to 15.4 hours to supply the paddy field with water depending on the head difference of 14cm to 40cm between inlet ditch and paddy field. It could be concluded that the automatic inlets developped in the study would be useful for the farmers to save irrigation water and manpower.

I. 서론

논 물관리는 농민이 급수물꼬 및 배수물꼬를 조작함으로써 이루어지며, 이러한 물꼬는 대부분 인력에 의해 작동된다. 근래 농업 노동력의 감소 등으로 인해 물꼬의 관리가 부실해지고 있으며 그 결과 많은 용수가 포장에서 낭비되고 있다. 이러한 물의 낭비를 막고 농민의 편의를 증대시키기 위하여 물꼬 관리에 필요한 인력을 최소화할 수 있는 자동식 물꼬의 개발이 필요하다.

자동식 물꼬는 논에서 필요한 담수위 만큼의 용수를 자동 혹은 반자동으로 수로에서 취수할 수 있으며 물꼬의 조작 및 관리에 필요한 인력을 현저히 줄일 수 있다. 자동식 물꼬는 정하우 외 5인(1995)에 의하여 이미 개발된 바 있으며, 기업체 등에 의해 연구개발 중에 있으나 아직 실용화 수준은 미흡한 편이다.

본 연구에서는 기존 물꼬들의 작동성, 사용 편의성, 내구성, 경제성을 개선하는 관점에서 개발하였다. 개발한 물꼬는 포장수위가 일정수위에 도달하면 자동으로 밸브를 폐쇄하는 반

* 농업기반공사 농어촌연구원

키워드: 자동화, 물관리, 물꼬

자동식 물꼬와 미리 설정한 담수위에 따라 자동으로 밸브의 개·폐가 이루어지는 자동식 물꼬의 두 가지 종류이다.

밸브의 작동에 소요되는 동력은 부력 및 수압을 이용하였으며 이물질의 유입 등 고장시 수리가 용이하도록 단순한 구조로 개발하였다. 물에 접하는 각 부품은 부식에 강하며, 충격 및 자외선 등의 외부조건에 견딜 수 있도록 폴리에틸렌을 사용하였다.

II. 개발의 필요성 및 현황

1. 개발의 필요성

포장에서의 급수물꼬는 농업 노동력 감소, 물 절약 요구 등으로 인하여 개선의 필요성이 증대되고 있으며 부분적인 개발과 보급이 이루어지고 있다.

농가의 인구는 '85년의 호당 4.4명에서 '98년에는 3.1명으로 30%가 감소하여 매년 2.3%씩

감소하고 있다. 또한 농가 인구 중 겸업농가 비율도 '98년에는 37%로 '85년의 21%에 비해 16%나 증가하고 있어 농업에 필요한 노동력을 감소시키고자 하는 노력이 영농의 전 분야에서 이루어지고 있다. 현재의 수동식 급수물꼬는 급수시간에 맞추어 조작, 관리하여야 하므로 인력 소모가 크며 적정 담수위에 도달하였을 때 물꼬를 닫지 못함으로써 용수의 손실이 발생하고 있다. 따라서 물꼬 조작 및 관리에 필요한 인력을 최소화할 수 있고 용수를 절약할 수 있는 자동식 물꼬의 개발이 요구되고 있다.

2. 급수물꼬의 현황

급수물꼬의 개발 및 이용의 유형은 밸브형, 마개형, 자동형으로 구분될 수 있으며 이들의 구조 및 특징은 <Table 1>과 같다. 밸브형은 공업용 밸브의 외형 및 재료를 농업용으로 변형하여 생산하는 것으로서 기능적인 면에서는 공업용과 거의 동일하다. 밸브형은 마개형과 같이

<Table 1> Characteristics of existing inlets

Types of inlet	Structures and characteristics	Application	Advantages and disadvantages
Valve type	<ul style="list-style-type: none"> ○Structure is similar to industrial valve but the material and style are modified for agricultural purpose ○Operation : manual 	Pipe network Open channel	<ul style="list-style-type: none"> ○Advantages <ul style="list-style-type: none"> - Water leaking is prevented - Operation is simple ○Disadvantages <ul style="list-style-type: none"> - Cost is expensive
Plug type	<ul style="list-style-type: none"> ○Water supplying is controlled ○Operation : manual 	Open channel	<ul style="list-style-type: none"> ○Advantages <ul style="list-style-type: none"> - Structure is simple and is seldom troubled ○Disadvantages <ul style="list-style-type: none"> - Application is not easy for high water pressure condition
Automatic type	<ul style="list-style-type: none"> ○Water supplying is automatically controlled by buoy sensor and buoy ○Operation : automatic 	Pipe network Open channel	<ul style="list-style-type: none"> ○Advantages <ul style="list-style-type: none"> - Labour requirement is not much - Water is economized ○Disadvantages <ul style="list-style-type: none"> - Cost is expensive - Holes can be easily clogged

주) 정하우외 5인, 1995. 자동물꼬개발, 한국농공학회지

수동으로 조작되며 급수 차단력이 뛰어나고 누수방지 효과가 커서 현재 관수로 지구에서 주로 이용되고 있다. 밸브형 물꼬로는 슬루스밸브, 버터플라이, 나이프 게이트 밸브 등이 있다. 마개형은 폴리에틸렌 마개를 사용하여 급수구를 개폐하는 것으로써 구조가 간단하여 고장이 적으며 가격도 저렴하나 용수로와 필지와의 고저차가 큰 곳 혹은 관수로 등 수압이 큰 경우에는 사용하기 어려우며 수동으로 조작된다. 마개형 물꼬로는 현재 급수개폐기가 있다.

자동형은 밸브에 자동개폐기능을 부여하여 인력에 의하지 않고 자동으로 급수를 조절할 수 있는 형식으로 부자(Float) 혹은 건전지 등을 이용하여 일정 포장담수심 또는 수로의 수위를 감지하여 원하는 수위에 급수개폐기가 조작되도록 한 것이다.

부자를 사용한 자동형 물꼬의 개발은 서울대학교, 농업기반공사 등에서 개발하였으며 정하우 외 5인(1995)에 의해 개발된 부자식 자동물꼬의 경우 1개의 부표를 사용하여 담수심 감지, 밸브 자동 개·폐를 수행하도록 개발되었으며 밸브의 폐쇄유지를 위하여 영구자석을

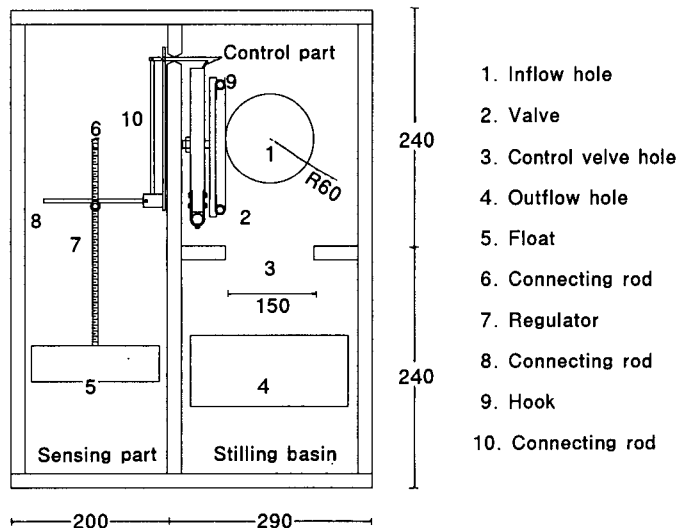
사용하였다.

농업기반공사에서 개발한 자동물꼬는 2개의 부표를 사용하여 담수심 감지 및 밸브의 자동 개·폐를 수행하며, 급수 중 밸브의 개도 상태 유지를 위하여 영구자석을 사용하였고, 밸브가 부력을 지니고 있어 개방시 상류수압의 영향을 극복하도록 개발되었다.

정 등이 개발한 부자식 자동물꼬와는 물꼬의 동력을 외부동력이 아닌 자연적인 힘을 이용한다는 것과 밸브의 개방이나 폐쇄상태 유지를 위해 영구자석을 사용한 공통점이 있으나 구조나 작동상 차이가 있다

Ⅲ. 자동물꼬의 개발

본 연구에서 개발한 물꼬는 반자동식과 자동식의 두 가지 종류이다. 반자동식 물꼬는 인력으로 물꼬를 개방하되 포장 담수위가 일정 수위에 도달하면 자동으로 밸브가 닫히는 형식이며 자동식 물꼬는 설정된 포장의 최저 담수심과 최고 담수심에 따라 자동으로 개폐되는 형식이다.



(Fig. 1) Concept of semi-automatic inlet(unit : mm)

1. 반자동물꼬

반자동물꼬는 인력에 의해 개방하고 물이 유입되어 담수위가 설정수위까지 상승하면 물꼬에 부착된 부표의 부력에 의해 밸브가 자동으로 폐쇄된다. 따라서 본 연구에서 개발한 반자동 물꼬의 개·폐는 인력과 수력을 혼합한 반자동방식이다. 반자동물꼬는 <Fig. 1>과 같이 용수가 유입되는 유입구, 유입된 용수가 유출구로 이동되는 것을 제어하는 흐름조절부, 논의 수위를 감지하여 밸브를 동작시키는 수위 감지부, 유출된 용수에 의해 논의 세굴을 방지하는 정수지부로 구성되었다.

반자동물꼬의 조작은 수위감지부의 조정나사를 급수하고자 하는 높이로 고정한 후 인력으로 밸브를 회전시키면 밸브상단이 부력전달부의 고리와 연결되어 고정되고 유입구로부터 용수가 유입된다. 유입된 용수는 중간유출구를 통하여 정수지에서 감세된 후 유출구를 통하여 논으로 배출된다.

반자동물꼬의 작동은 <Fig. 2>에서와 같이 4단계로 이루어지며 각 단계별 작동상황은 아래와 같다.

1단계 : 담 내의 물이 마른 상태에서 수동으로 밸브를 회전시켜 급수시작 단계

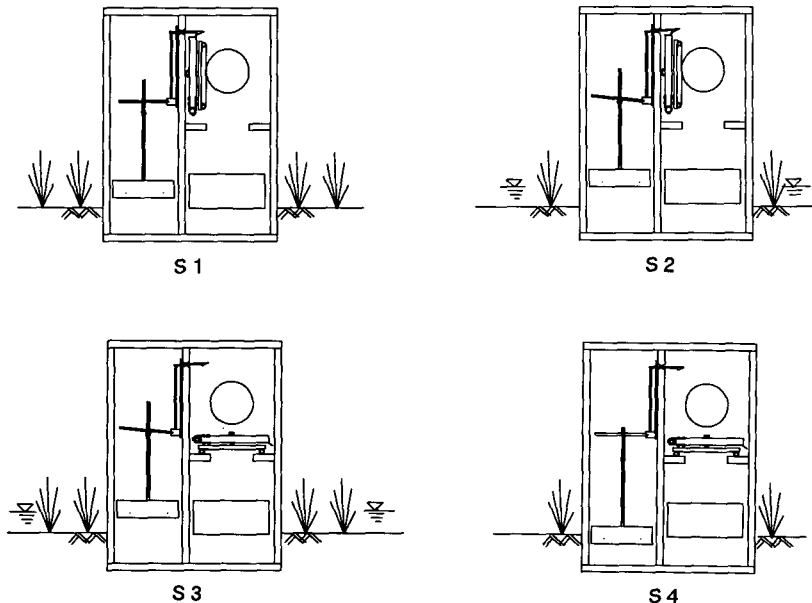
2단계 : 급수가 진행되어 설정수심에 도달하여 조정나사가 부력전달봉을 상승시키고 있는 단계

3단계 : 고리와 밸브와의 연결이 풀려 밸브가 중간유출구를 차단하고 흐름조절부로 유입된 용수의 무게로 밸브가 중간유출구를 완전히 차단

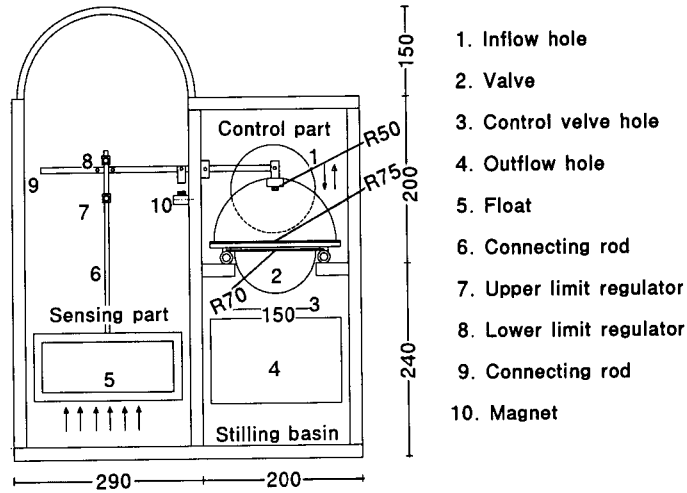
4단계 : 담수심이 줄어든 상태로 인력으로 밸브의 개방이 필요한 단계

2. 자동물꼬

자동물꼬는 반자동물꼬의 수동 개방장치를 자동화한 것으로써 논의 설정 담수심에 따라 차단 밸브의 개방과 폐쇄가 자동으로 작동하도록 개발하였다. 자동물꼬는 <Fig. 3>과 같



<Fig. 2> Working principle of the semi-automatic inlet



<Fig. 3> Concept of automatic inlet (unit : mm)

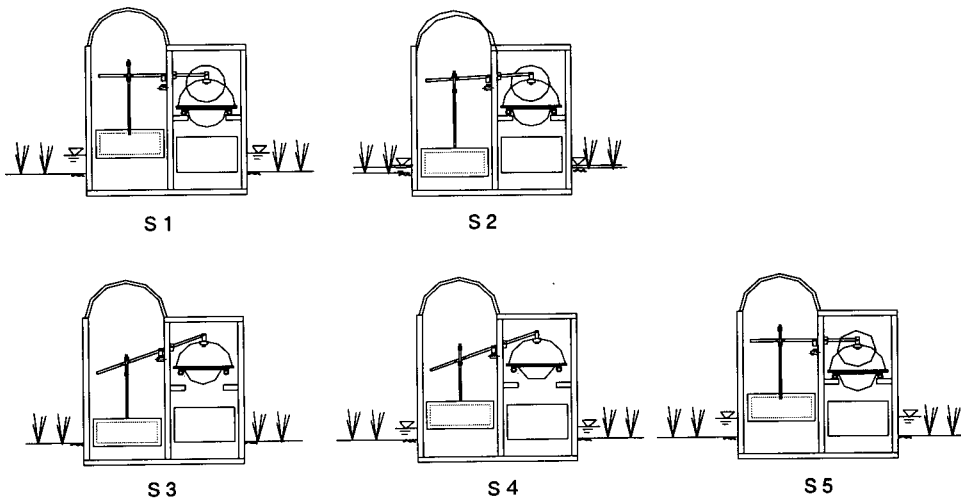
이 용수가 유입되는 유입구, 유입된 용수가 유출구로 이동되는 것을 제어하는 흐름조절부, 논(閘)의 수위를 감지하여 밸브를 동작시키는 수위 감지부, 유출된 용수에 의해 논(閘)의 세굴을 방지하는 정수지부로 구성되며 부표와 밸브가 동시에 부력을 갖는 특징이 있다.

자동물꼬의 조정은 수위감지부의 상·하한 나사를 목표로 하는 상한 및 하한담수심으로 조정하면 논에 물이 없거나 담수심이 조정된

하한수심 이하로 내려가면 부표가 하강하고 밸브를 상승시켜 용수가 유입된다.

유입구로 유입된 용수는 중간유출구를 통하여 정수지로 배출되며 정수지에서 감세된 용수는 유출구를 통하여 논으로 유출된다. 이때 개방된 밸브는 유입수의 통과기간동안 중간유출구가 완전히 개방되어 통수단면이 충분히 유지되도록 영구자석으로 고정된다.

논의 수위가 상승하여 조정된 상한수심에



<Fig. 4> Working principle of the automatic inlet

이르면 부표의 부력에 의해 개방유지장치(영구자석)가 이탈되고 차단밸브의 무게에 의하여 밸브가 하강하여 중간유출구를 차단하며, 잔여 공간으로 유입된 용수에 의해 밸브가 용수공급을 완전 차단한다.

자동물꼬의 작동은 <Fig. 4>에서와 같이 6 단계로 이루어지며 각 단계별 작동상황은 다음과 같다.

1단계: 담수심이 충분한 상태로 밸브가 폐쇄된 상태

2단계: 담수심이 줄어들어 하한설정수심에 이른상태(하한조정나사와 연결봉이 접하기까지는 닫힌상태 유지)

3단계: 하한조정나사가 연결봉을 하강시켜 급수시작

4단계: 급수진행단계(급수 중 상한설정수심까지는 개방상태 유지)

5단계: 급수가 진행되어 상한조정나사가 연결봉을 상승시켜 급수정지 단계

3. 자동물꼬의 수리계산

자동물꼬는 용수로와 중간 유출구의 수두차와 밸브의 구경에 따라 밸브가 받는 수압은 서로 다르며 거리 l_1 , l_2 에 따라 밸브를 개방시키

는 힘이 틀려진다. 따라서 <Fig. 5>에서와 같이 밸브를 열기 위한 힘을 P, 부표의 무게를 P_1 , 부표의 부력을 P'_1 , 밸브에 작용하는 수압을 P_2 , 밸브의 무게를 P_3 라 하면 $P = P_1 - P'_1$ 으로 나타낼 수 있고 P_1 , P'_1 , P_2 , P_3 의 관계는 다음과 같다

$\Sigma M_0 = 0$ 에서

$$(P \times l_1) - (P_2 \times l_2) - (P_3 \times l_2) = 0$$

$$(P_1 \times l_1) - (P'_1 \times l_1) - (P_2 \times l_2) - (P_3 \times l_2) = 0$$

이며, 여기서 $P = P_1 - P'_1$ 이다.

$$P'_1 = w_0 \times V_1 = w_0 \times (a \times b \times h_1)$$

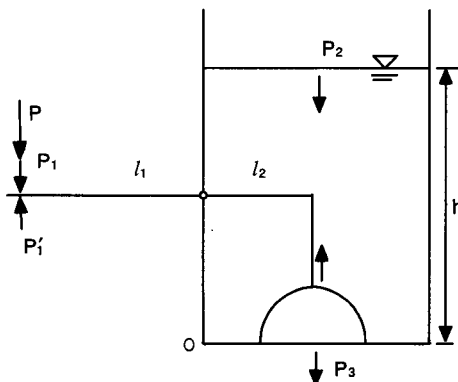
$$P_2 = w_0 \times [(\pi r^2 h) - (\frac{4}{6} \pi r^3)]$$

$$P_3 = W$$

위식을 풀이하면

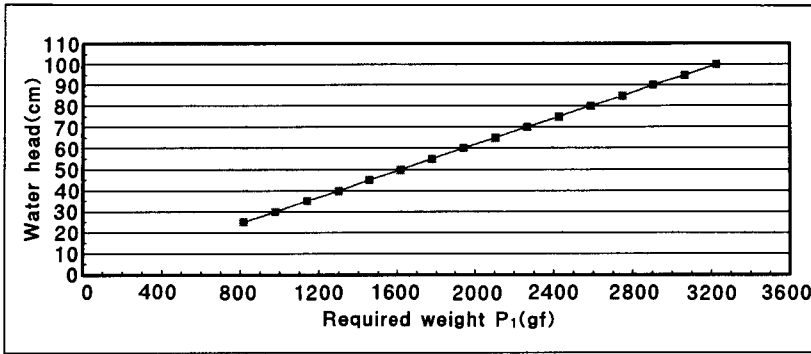
$$(P_1 \times l_1) - (w_0 a b h_1) l_1 - [(\pi r^2 h) - (\frac{4}{6} \pi r^3)] \times w_0 l_2 - (W \times l_2) = 0$$

$$\therefore P_1 = \frac{ [[(\pi r^2 h) - (\frac{4}{6} \pi r^3)] w_0 l_2 + W l_2] }{ l_1 } + w_0 a b h_1 \dots\dots\dots (1)$$



- P = Force to open the valve
- P_1 = Weight of float
- P'_1 = Buoyance of float
- P_2 = Water pressure to the valve
- P_3 = Valve weight

<Fig. 5> Power in the automatic inlet



〈Fig. 6〉 Relation between water levels and required weights to open the valve

식 (1)에서

- w_0 = 물의 단위중량
- V = 밸브 상반부의 체적
- V_1 = 홀수에 의한 부표의 체적
- h_1 = 부표의 잠김수심 (1cm)
- a = 부표의 폭 (12cm)
- b = 부표의 길이 (18cm)
- h = 밸브에 작용하는 수두
- r = 밸브의 반지름 (8.5cm)
- l_1 = P_1 의 작동거리 (15cm)
- l_2 = P_3 의 작동거리 (8.5cm)
- W = 밸브의 무게 (1.5kg)

식(1)에서 나타낸 P_1 은 밸브를 개방시키는 데 소요되는 순수부표의 무게를 나타낸다. 밸브의 구경과 l_1, l_2 를 일정하게 하고 부표의 잠김수심(홀수)를 1cm로 유지하여 수두 h 에 따

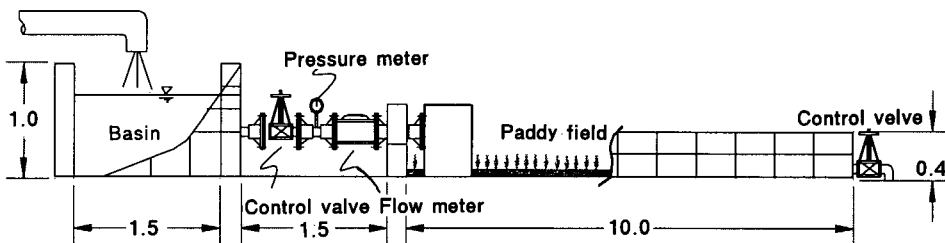
른 P_1 을 구하면 〈Fig. 6〉과 같다.

〈Fig. 6〉에서 나타난 P_1 값은 초기에 밸브를 움직여주기 위한 힘을 표시한 것으로 부표의 무게에 해당하며 수두 h 가 50cm~1m일 경우 필요한 부표의 무게는 약 1,600g~3,200g이다. 이러한 분석을 근거로 자동물꼬의 실물 제작에 사용한 부표 무게는 안전과 생산성을 고려하여 3kg으로 제작하였다.

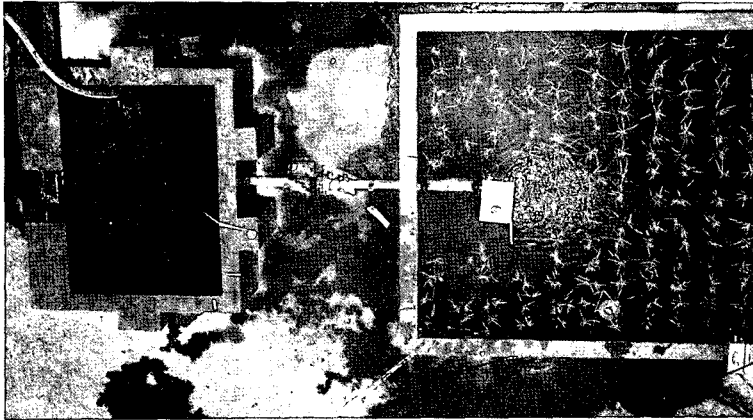
4. 자동물꼬의 수리모형시험

자동물꼬의 급수량 및 기계적 작동능력을 검증하고 보완하기 위하여 농업기반공사 농어촌연구원의 수리시험장에서 수리모형시험을 실시하였다.

시험모형은 〈Fig. 7〉과 같이 일정수위를 유지할 수 있는 저수조와 논의 역할을 하는 담수조로 구성하였으며, 저수조와 담수조는 제수밸브, 압력계, 유량계 등으로 연결하였고 담수



〈Fig. 7〉 Hydraulic tests



〈Photo 1〉 View of hydraulic tests

조에는 시험용 물꼬와 담수심 측정을 위한 수위계를 설치하였다<Photo 1>.

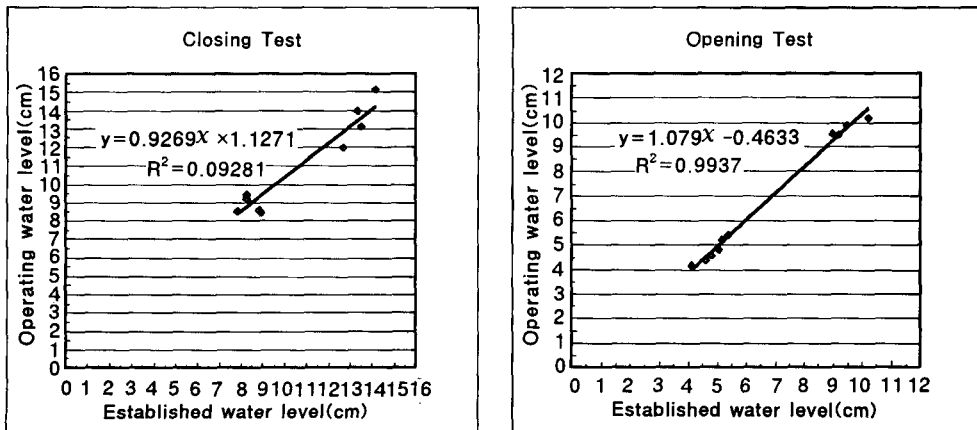
가. 수위조절시험

물꼬의 설정수위에 따른 작동상태를 시험하기 위하여 저수조의 수두를 14cm~40cm의 범위로 변화시키고 물꼬의 상한수위를 8cm~14cm, 하한수위를 4cm~10cm까지 설정수위를 변화시키면서 시험한 결과 상한수위(닫힘)의 경우 설정수위와 작동수위의 오차는 0.2cm~1.2cm로 나타났고, 하한수위(열

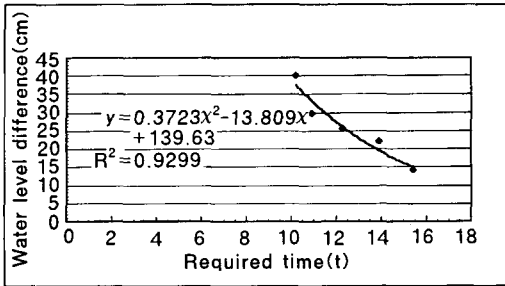
림)의 경우 0~0.6cm의 오차가 발생하였다. 자동물꼬의 설정수위에 대한 닫힘과 열림의 시험결과는 <Fig. 8>와 같다.

나. 급수량 시험

자동물꼬의 수두별 급수량은 저수조와 담수조의 수두차를 14cm~40cm의 범위에서 시험한 결과 0.0027m³/s~0.0041m³/s로 나타났다. 이 유량으로 100m×30m의 논에 5cm 담수 할 경우로 환산할 때의 소요시간은 10.2시간에서 15.4시간이 소요된다. 자동물꼬의 급수시간 측



〈Fig. 8〉 Test results of automatic inlet



<Fig. 9> Relations between required time and water level difference

정결과를 100m×30m의 논에 급수할 경우로 환산하면 <Fig. 9>과 같다.

5. 현장시험

자동 및 반자동물꼬의 급수량 및 설정수위별 물꼬 작동상태를 현장에서 시험하기 위하여 경기도 용인시의 이동지구에 설치하였다. 자동 및 반자동 물꼬는 포장의 담수심에 따라 작동이 이루어지므로 포장의 균평도가 일정해야 하나 이동지구의 경우 포장 균평도가 ±5cm으로 되어 있어 포장평균높이와 부표부의 최저단이 일치되도록 설치하였고, 경운, 이앙 및 탈곡시 농기계의 주행에 의한 파손을 방지하기 위하여 논두렁 사면 안쪽에 설치하여 망

실을 방지하였다<Photo 2, 3>.

나. 성능시험

물꼬의 현장성능시험은 자동물꼬의 경우 2000년 4월에 현장 설치하여 현재 시험중에 있으며 여기에서는 시험 완료한 반자동 물꼬에 대해서 분석하고자 한다.

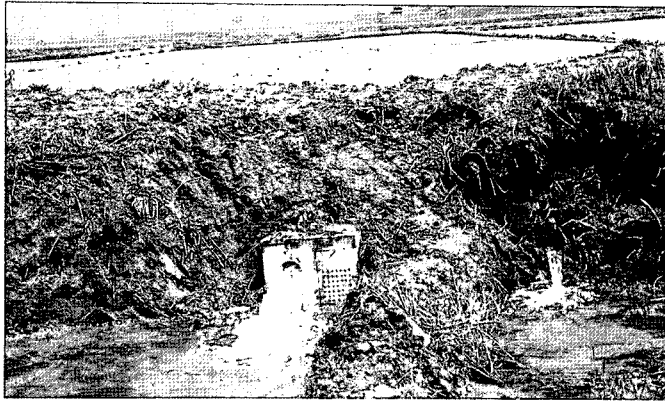
반자동 물꼬의 현장성능시험은 설정수위별 작동상태와 급수량에 대하여 실시하였으며 설정 수위별 작동상태의 경우 1.0cm~7.0cm의 범위로 수위를 설정하여 시험한 결과 0~0.7cm의 오차가 발생하였고 설정수위별 시험 결과는 <Fig. 10>과 같다.

IV. 결론

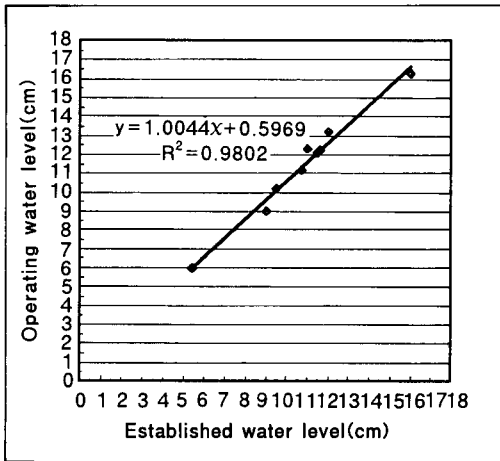
농촌의 농업 인구 감소, 고령화 및 겸업화에 따라 농민에 의한 물꼬의 조작 및 관리가 부실화되어 물 손실이 발생하는 가운데 물 수요의 증대에 따른 농업용수의 절약과 물꼬 관리 인력의 절감 및 편의성이 요구되고 있다. 이를 위해 포장의 효율적인 급수관리를 위해서 논으로의 용수공급을 자동으로 차단 또는 공급할 수 있도록 자동물꼬를 개발하고 실내 및 현장성능시험을 실시하였다. 연구의 결과를 요



<Photo 2> Installation of semi-automatic inlet in field



〈Photo 3〉 Semi-automatic inlet and existing inlet



〈Fig. 10〉 Field test results of semi-automatic inlet

약하면 다음과 같다.

1. 자동물꼬의 개발은 반자동식, 자동식에 대해 실시하였으며, 반자동식 물꼬는 체크밸브의 원리를 이용하여 개방시에는 수동, 폐쇄시에는 자동으로 작동하는 물꼬이고, 자동식 물꼬는 반자동식 물꼬를 보완한 것으로서 설정 담수심에 따라 밸브의 개방과 폐쇄가 자동으로 작동하도록 개발하였다.

2. 개발 물꼬에 대한 작동성능시험은 실내수리시험과 현장설치를 통한 현장시험으로 구분하여 실시하였다. 실내 수리시험은 설정수위에

따른 물꼬의 작동상태를 조사하였으며 시험결과 자동식 물꼬의 경우 설정수위와 작동수위의 오차는 단협의 경우 1cm 정도로 나타났고, 열림의 경우 0.6cm 정도로 나타났다. 현장시험은 지구특성에 따라 시공편의성, 작동상황 및 급수량 등을 조사한 결과 실제 현장에서도 실내시험의 결과와 같이 양호한 작동상황을 보였다.

3. 자동물꼬의 급수량은 수두차 14cm~40cm의 범위에서 시험한 결과 0.0027m³/s~0.0041m³/s로 나타났다. 이 유량을 100m×30m의 논에 5cm 담수 할 경우로 환산하면 소요시간은 15.4시간에서 10.2시간이 소요된다.

4. 자동물꼬의 실용화를 위해서는 농민의 농업용수 절약에 대한 인식이 수반되어야 하며 농업용수의 청결유지, 대량생산을 위한 부품의 규격화, 현장설치에 따른 세부기준 마련 등이 요구된다.

개발된 자동물꼬는 농민이 직접 물꼬를 조작하지 않아도 일정수위가 되면 자동으로 급수가 차단되므로 물꼬관리의 소요시간 및 인력이 절감되는 등 급수관리에 편의를 제공할 수 있고 필요 이상의 물이 논에 유입되는 것을 차단하여 주므로 포장에서의 물 손실을 크게 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 농림부 농림기술관리센터의 연구지원에 의하여 수행된 것임.

참고문헌

1. 농림부, 1999. 농림통계연보.
2. 농림수산부, 농어촌진흥공사, 1991~1993. 농어촌 용수의 개발 및 최적이용모형화 연구(I~III).
3. 한국관개배수위원회, 농어촌진흥공사, 1997. 물 2,000년.
4. 농어촌진흥공사, 1998. 물관리자동화를 위한 수리시설물 현대화.
5. 농어촌진흥공사, 한국관개배수위원회, 1997. 아시아 물2000년- 농어촌용수 수급과 효율적 관리.
6. 농어촌진흥공사 농어촌연구원, 1995. 수리시설 물관리의 문제점과 개선방안 연구.
7. 농어촌진흥공사, 1994. 경지정리 설계실무.
8. 농어촌진흥공사, 1994. 물관리 제어방식 기술 지침.
9. 농어촌진흥공사, 1995~1997. 집중물관리시스템 실용화 연구.
10. 정하우, 이남호, 김성준, 최진용, 한병근, 김대식, 1995. 자동물꼬의 개발, 한국농공학회지, Vol. 37, pp.49~54.
11. 농지개량조합연합회, 1996. 농업용수관리.