

## 〈論 文〉

# CHEREPNOV送水機의 數學的모델 개발

## Development of Mathematical Model for the Cherepnov Water Lifter

李 寬 洙\*, 李 庚 焄\*\*, 朴 成 天\*\*\*  
LEE Kwan Soo, RHEE Kyung Hoon and PARK Sung Chun

**Abstract**□ This paper presents a mathematical model which simulates the Cherepnov water lifter, that can lift water without the use of external energy such as electricity.

A theoretical study was conducted to reveal the characteristics of the Cherepnov water lifter that was continuously operated with the aid of the siphon. The mathematical model was composed of the continuity equation and energy equation, and was coded using FORTRAN language.

In this study, the governing flow equation of the lifter were derived and the computer programs of the equations were worked out. The accuracy of the theoretical equations and their solutions was checked by laboratory experimentation. The mathematical model that simulate the Cherepnov water lifter is appeared to be good to predict the behavior of Cherepnov water lifter. Therefore, the mathematical model and the simulation method used in this study could be used in designing of the Cherepnov water lifter.

**요 지 :** 본 연구는 Siphon을 배수제어장치로 이용한 Cherepnov송수기의 거동을 예측할 수 있는 수학적모델을 구성하는데 목적이 있다. Cherepnov송수기의 작동과정은 23단계로 이루어진다. 송수기의 각 단계별 작동과정은 에너지방정식과 연속방정식을 이용하여 표현하였고 또 이를 계산하기 위하여 전산프로그램을 작성하였다.

본 연구의 결과로 얻어진 전산프로그램은 실험조건과 동일한 수리학적 조건 및 기하학적 조건을 입력하여 실행할 수 있었으며 그 결과는 실험에 의한 각 탱크의 수위곡선, 공기압곡선, 효율과 작동주기를 잘 재현하였다. 따라서 본 연구에서 구성한 수학적모델은 Cherepnov송수기를 설계하고자 할 때 송수기의 제원등을 검토하는데 유용하게 사용될 수 있으리라 판단되었다.

### 1. 序 論

Cherepnov송수기는 연료나 에너지의 공급없이 물 자체의 위치에너지(potential energy)를 이용하여 관내부에 높은 압력을 발생시켜 물을 송수할 수 있는 송수기이다. 이 송수기는 1개의 개방된 탱크(tank)와 2개의 밀폐된 탱크 그리고, 5개의 관(pipe)과 2개의 체크밸브(check valve)로 이루어

진 간단한 구조이다.

Cherepnov송수기는 물공급, 관개시설, 배수, 그리고 저낙차 수력발전소의 낙차고를 증가하기 위하여 사용될 수 있고, 이 송수기는 물이 가지고 있는 위치에너지가 동력원으로 사용되므로 전기에너지(electric energy)를 절약하고 보존할 수 있다<sup>6)</sup>. 또한, 이 송수기의 단순성 때문에 제작과 설치가 경제적이며, 안정성 때문에 보수, 유지관리가 용이하다. 그리고, 이 송수기는 작동에 의한 소음이 거

\* 전남대학교 공과대학 토목공학과 교수

\*\* 전남대학교 공과대학 토목공학과 조교수

\*\*\* 동신대학교 공과대학 환경공학과 전임강사

의 없기 때문에 소음공해를 발생하지 않는 불요염성이다. 반면에, 이 송수기는 높은곳까지 물의 일부를 올리는데 필요한 에너지를 얻기 위해 보다 아래에 위치하는 배수탱크내의 물을 배수탱크 아래로 배수해야 하기 때문에 폭포나 가파른 급류, 댐 등에서 처럼 지형이나 수위가 갑작스럽게 변화되는 장소에서 만이 설정될 수 있는 설치장소의 지형적 제약을 받고 있다<sup>5)</sup>. Cherepnov송수기는 주기적인 송수를 위하여 배수를 주기적으로 제어해야하는데 배수를 제어하는 방법으로는 밸브를 이용하는 방법과 Siphon을 이용하는 방법이 있다<sup>3)</sup>. 본 연구에서는 제작과 유지관리가 용이한 Siphon의 수리학적 거동을 이용하여 배수를 제어하였다.

물의 위치에너지(potential energy)를 사용하는 이 송수기는 소련에서 Cherepnov Water Lifter<sup>1)</sup>란 이름으로 처음 개발되어서 비교적 최근에 소개되었으며, 1966년 Arnovich와 Shtaerman<sup>1)</sup>은 Cherepnov송수기의 간결한 이론과 송수기의 효율 계산식을 정립하여 발표하였다. 그 이후 Cherepnov송수기의 연구는 대부분 미국의 University of Missouri-Columbia에서 진행되었다. 1979년 Liu와 Fessehaue<sup>8)</sup>는 Cherepnov송수기를 이론적으로 연구하여 소개한 이래 1982년 Fessehaue<sup>5)</sup>는 Cherepnov송수기의 수리학적 이론과 실험적 연구에 의하여 Cherepnov송수기의 변형을 시도하였고, Arnovich와 Shtaerman<sup>1)</sup>에 의한 송수기의 효율계산식을 수정하여 정립하였다. 1983년 Liu와 Geekie<sup>9)</sup>는 저낙차 소수력에서의 Cherepnov송수기의 사용에 대한 경제성을 연구하여 실용가능성을 제시하였다.

또한, 국내에서는 1991년 이 경훈<sup>12)</sup>이 배수밸브 개폐에 의하여 배수를 제어하여 작동되는 Cherepnov송수기의 실험적 연구를 수행하였고, 1991년 이 관수, 이 경훈, 박 성천<sup>13)</sup>은 Cherepnov송수기의 실험으로 수리학적 특성을 연구한 바 있다.

지금까지의 연구는 주로 배수밸브의 개폐에 의하여 제어되는 Cherepnov송수기의 이론적 및 실험적 연구이었다. 본 연구는 Siphon을 배수 제어장치로 이용한 Cherepnov송수기의 수리학적 거동을 여러 단계로 나누고 각 단계를 에너지방정식과 연

속방정식에 의하여 흐름방정식을 유도하여 모의실험을 할 수 있는 수학적모델을 구성하는데 목적이 있다.

## 2. Cherepnov 송수기

### 2.1 구성

Siphon을 배수 제어장치로 이용하는 Cherepnov 송수기는 Fig. 1에서와 같이 3개의 탱크에 5개의 관으로 연결되고 2개의 체크밸브(check valve)가 급수관과 송수관에 부착된 단순한 구조이다.

3개의 탱크는 각각 유입탱크(intake tank), 송수탱크(delivery tank), 배수탱크(drain tank)라 하며, 송수탱크는 유입탱크 하단에 위치되고, 배수탱크는 송수탱크 아래에 위치된다. 이때 유입탱크와 배수탱크의 위치차( $H_1$ )는 송수고( $H_2$ )보다 더 크게 된다. 탱크를 연결하는 5개의 관은 급수관(feed pipe), 압력관(pressure pipe), 공기관(air pipe), 송수관(delivery pipe), 배수사이펀관(drain siphon pipe)이며, 물이나 공기의 흐름을 유도하는역할을 한다. 그리고 급수관과 송수관에는 물의 역류를 방지하기 위하여 송수탱크의 부근에 각각 체크밸브가 부착되어있다.

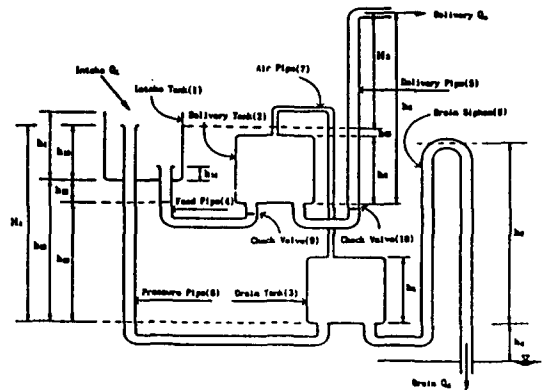


Fig. 1 The configuration of the Cherepnov water lifter

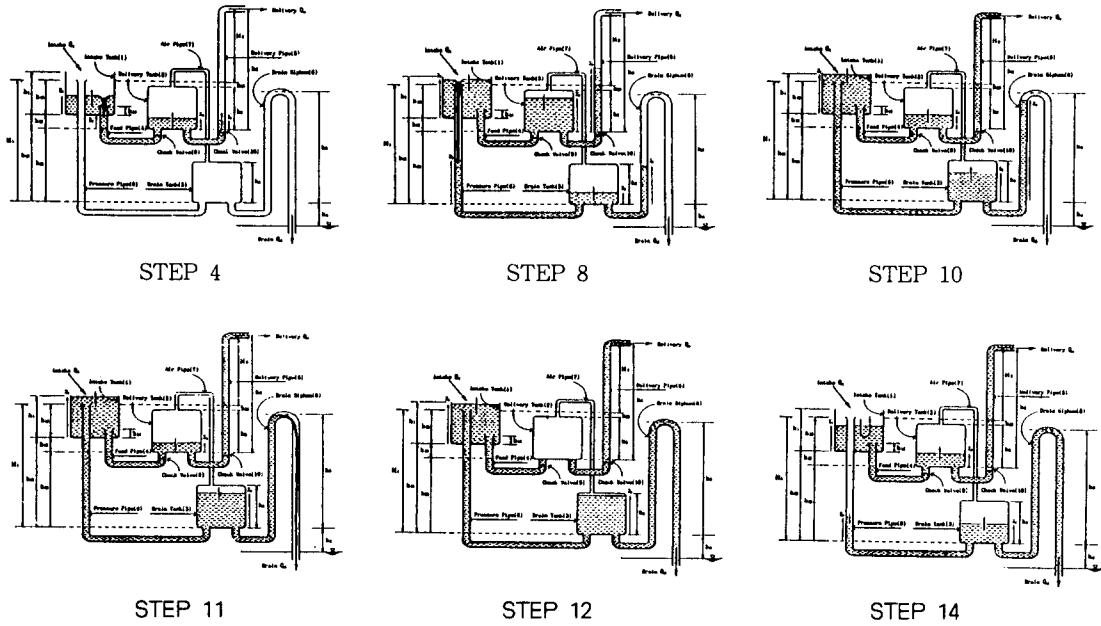


Fig. 2 The hydraulic status of the Cherepnov water lifter.

## 2.2 작동과정

작동과정을 간략히 살펴보면, 유입탱크로 유입되는 물이 송수탱크와 배수탱크를 차례로 채운다. 물이 배수탱크를 채움으로서 송수탱크와 배수탱크 그리고 공기관에 있는 공기를 압축시키게 되고 압축된 공기는 송수탱크의 물을 높은위치까지 밀어올리게 된다. 공기를 압축시키는데 사용된 배수탱크의 물을 배수시킴으로서 하나의 주기를 끝마치고 또 하나의 새로운 주기를 준비한다. 이 작동과정을 수위의 변화로 나타내면 Fig. 2와 같다.

본 Cherepnov송수기의 작동과정은 23개의 단계로 이루어지며 23개의 단계는 다시 초기과정과 반복과정으로 나누어진다. 초기과정은 제 1주기로서 14개의 단계로 이루어지며 주기적 반복작동을 준비하는 과정이다. 반복과정은 제 2, 제 3, ..., 제 n 주기로서 9개의 단계로 이루어지며 9개의 단계가 하나의 주기로 주기적 반복작동을 하게 된다.

### 2.2.1 초기 과정

14개의 단계가 순차적으로 진행되어 제 1주기가 이루어진다. 단계 13과 14는 다음주기에서 높은위치로 송수할 물을 채우면서 배수탱크의 물이 배수하기 때문에 제 1주기가 끝나면서 제 2주기를 준비하게 된다.

- 단계 1 : 모든 탱크가 비워져 있는 상태에서 유입탱크(1)로 물이 유입되어 유입탱크(1)의 내부에 있는 급수관(4)의 유입구 높이인  $h_{14}$ 의 수위까지 채워진다.
- 단계 2 : 급수관(4)로 유입하여 급수관(4)의 수위가 송수탱크(2)의 바닥에 도달한다.
- 단계 3 : 송수탱크(2)로 물이 유입하여 송수관(5)의 U자형 부분이 물로 채워진다.
- 단계 4 : 급수관(4)의 전체가 물로 채워진다.
- 단계 5 : 송수탱크(2)가 물로 채워지고 유입탱크(1)의 수위가 상승하여 압력관(6)의 유입구에 도달한다.
- 단계 6 : 압력관(6)으로 유입하여 압력관(6)의 U자형 부분을 물로 채운다.
- 단계 7 : 배수탱크(3)로 물이 유입하여 배수사이펀(8)의 U자형 부분이 물로 채워진다.

- 단계 8 : 송수관(5)의 수위가 송수관(5)의 유출구에 도달한다.
- 단계 9 : 압력관(6)이 완전히 채워져 유입구가 물에 잠긴다.
- 단계 10 : 배수사이펀(8)의 수위가 사이펀 마루에 도달한다.
- 단계 11 : 사이펀 마루위의 수심(위어의 수두 ;  $H_w$ )이 마중물 수두( $H_p$ )에 도달한다.
- 단계 12 : 배수사이펀(8)에서 마중물이 형성되어 배수탱크(3)의 Black Water(대기에 접하지 않은 물)가 배출되고, 유입탱크(1)의 수위가 하강하여 압력관(6)의 유입구에 도달한다.
- 단계 13 : 송수탱크(2)로 물이 유입될 조건을 형성한다.
- 단계 14 : 송수탱크(2)의 수위는 상승하고, 배수사이펀(8)의 사이펀작용은 멈춘다.

### 2.2.2 반복 과정

9개의 단계가 하나의 주기를 이루면서 반복 작동하여 제 2, 제 3, ..., 제 n주기를 이룬다. 초기과정의 단계중 몇개의 단계가 제외되고 조정되어져 반복과정이 이루어진다.

- 단계 1 : 유입탱크(1)의 수위가 상승하여 압력관(6)의 유입구에 도달한다.
- 단계 2 : 배수탱크(3)로 물이 유입될 조건을 형성한다.
- 단계 3 : 송수탱크(2)의 물이 송수관(5)의 유출구로 송수될 조건을 형성한다.
- 단계 4 : 송수가 이루어지며, 압력관(6)의 유입구가 물에 잠긴다.
- 단계 5 : 배수사이펀(8)의 수위가 사이펀 마루에 도달한다.
- 단계 6 : 사이펀 마루위의 수심이 마중물 수두  $H_p$ 에 도달한다.
- 단계 7 : 배수탱크(3)의 물이 배수사이펀(8)을 통하여 배출되고 유입탱크(1)의 수위가 하강하여 압력관(6)의 유입구에 도달한다.
- 단계 8 : 송수탱크(2)로 물이 유입될 조건을 형성한다.
- 단계 9 : 송수탱크(2)의 수위는 상승하고, 배수사

이펀(8)의 사이펀작용은 멈춘다.

## 3. 컴퓨터 모의실험

### 3.1. 모델의 구성

Siphon을 이용한 Cherepnov송수기의 수리학적 거동은 언급한 바와 같이 흐름현상의 변화에 의하여 23개의 단계로 구분하고, 구분된 23개의 단계에서 각각의 단계에 식(2-1)의 연속방정식과 식(2-2)의 에너지방정식을 적용하여 송수기의 수리학적 거동현상을 예측할 수 있는 수학적모형을 구성하였다.

$$\frac{dZ}{dt} = \frac{Q}{A} \quad (2-1)$$

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + H_L \quad (2-2)$$

$$H_L = (\sum k + f \frac{l}{d}) \frac{V^2}{2g} \quad (2-3)$$

여기서,  $Z$ 는 수위,  $Q$ 는 유량,  $A$ 는 단면적,  $P$ 는 압력,  $V$ 는 유속,  $\gamma$ 는 단위중량,  $g$ 는 중력가속도,  $H_L$ 는 손실수두의 합,  $k$ 는 여러 형상변화에 의한 손실계수,  $f$ 는 마찰손실계수,  $l$ 는 관의길이,  $d$ 는 직경이다.

각 단계별로 미분방정식으로 표현되는 연속방정식과 에너지방정식은 4차 Runge-Kutta방법 (Fourth order Runge-Kutta method)을 이용하여 수치모형을 구성하였다. 그리고, 수치모형은 FOTRAN언어를 사용하여 작성하였다.

### 3.2 프로그램의 개요

본 모의실험을 위한 프로그램은 입력부, 실행부, 출력부로 구성되어 있다. 입력부는 방정식의 해를 구하기 위한 자료를 입력하는 부분이며, 실행부는 방정식의 해를 구하기 위한 계산부분이다. 또한 출력부는 계산된 방정식의 해를 출력하는 부분이다.

그리고, 본 모의실험을 위한 프로그램의 실행부는 초기과정과 반복과정으로 구분하여 구성되어 있

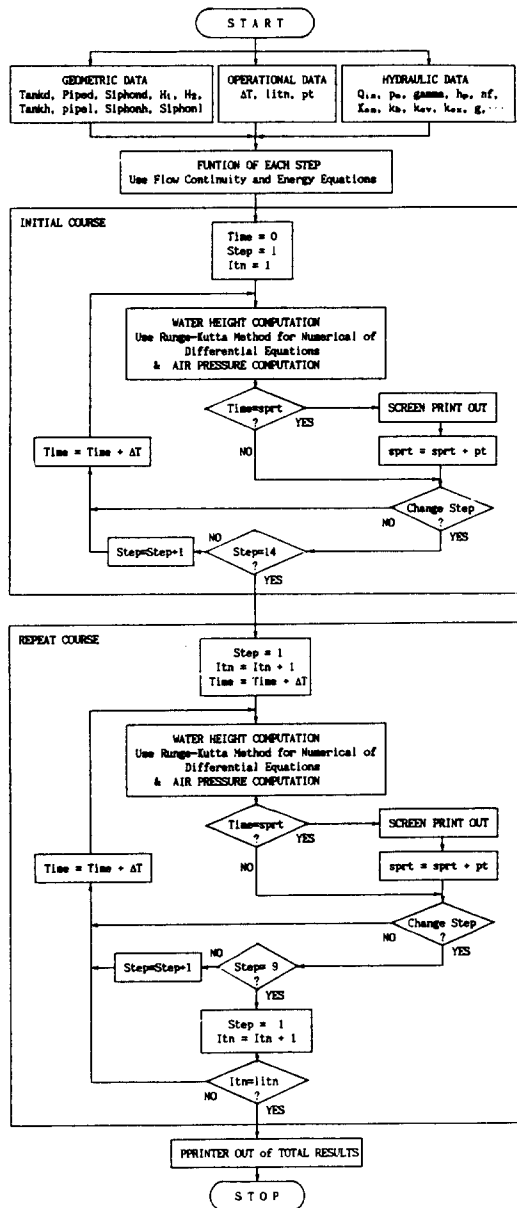


Fig. 3 The flow chart of the Cherepnov water lifter Simulation Program

다. 초기과정은 본 송수기의 작동이 주기적으로 반복작동하기 위한 준비과정으로서 14개의 단계로 구성되어 있으며 Cherepnov송수기의 제 1주기를 이루는 과정이다. 반복과정은 9개의 단계로 구성되어 있으며 반복과정의 첫 주기는 Cherepnov송수

기의 제 2주기를 이루게 된다. 반복과정의 첫 주기가 끝나면 다시 9개 단계의 반복과정을 실행하여 Cherepnov송수기의 제 3주기를 이루게 된다. 즉, 반복과정은 9개 단계가 하나의 주기를 형성하고, 하나의 주기가 끝나면 다시 반복과정의 9개 단계가 또하나의 주기를 형성하는 것으로 계속적으로 반복실행하는 과정이다.

Fig. 3에서와 같이 프로그램의 입력자료는 기하학적 입력자료와 수리학적 입력자료 그리고 작동 입력자료로 구분하였고, 기하학적 입력자료는 Cherepnov송수기를 구성하고 있는 각 탱크와 관 그리고 사이폰에 대한 직경 및 높이, 길이와 같은 기하학적인 요소이며, 수리학적 입력자료는 유입량, 물의 단위중량, 형상변화에 의한 손실계수등과 같은 수리학적인 요소이다. 또한, 작동 입력자료는 미분방정식의 수치해석을 위한 충분시간, 주기의 반복수, 출력시간과 같은 프로그램의 작동에 사용되는 요소이다.

초기과정은 2장에서 언급한 단계 1부터 단계 14로 구성된 반복적 작동을 위한 준비과정으로 송수기 작동주기의 제 1주기에 해당하는 과정이다. 이 과정에서는 각 단계별로 시간의 충분(ΔT)에 대한 각 탱크와 각 관들의 수위와 압력의 변화를 수치계산한다. 수치계산된 각 탱크의 수위와 압력, 각 관들의 수위가 주어진 출력시각에 따라 출력이 되도록 하였고, 각 단계별로 그 단계가 끝나야 할 조건(수위나 압력)을 입력하였으며 이 입력된 단계의 끝나는 조건이 만족되면 그 단계가 시작한 시각과 끝나는 시각을 출력하여 주고, 그 단계가 수행한 시간과 그단계의 끝나는 시각에 각 탱크의 수위와 각 관의 수위를 출력하도록 하였다. 주어진 단계별 조건의 만족에 따라 단계 14가 끝나면 Cherepnov 송수기의 제 1주기를 이루게 되고, 제 1주기에 대한 송수기의 특성치(효율, 평균 양수량, 주기시간)가 계산되며, 초기과정은 끝나고 반복과정에 의한 반복적이고 주기적인 작동을 할 수 있는 준비가 끝난다.

앞서 2장에서 언급한바와 같이 반복과정은 단계 1부터 단계 9로 9개의 단계로 구성되어 있고, 초기과정에서와 같이 각 탱크의 수위와 압력, 각 관들의 수위를 시간에 따라 충분하면서 수치해석하

고, 주어진 출력시각에 따라 출력하면서 프로그램을 실행하도록 하였다. 이 9개의 단계가 작동되면 송수기의 제 2주기가 이루어지고 제 2주기에 대한 송수기의 특성치(효율, 평균 양수량, 주기시간)가 계산되어 출력되어진다. 그리고, 송수기의 제 3주기는 다시 시작된다.

제 3주기의 시작은 제 2주기에서와 같이 반복과정의 단계 1에서 부터 단계 9을 작동되면서 이루어진다. 이 주기에서도 역시 출력시각에 대한 각 탱크의 수위 및 압력과 각 관들의 수위가 수치계산되어 출력되고 송수기의 특성치가 계산되어 출력된다.

위의 설명에서와 같이 본 프로그램의 주기는 단계의 증가로 이루어지고 각 단계는  $\Delta T$ (증분시간)의 증가로 이루어진다. 따라서, 본 프로그램의 실행은 주기의 횟수로 제어할 수 있고, 실행을 제어하기 위한 제어주기는 Data 입력부에서 입력하여 주었다. 프로그램의 실행중 주기의 횟수가 증가되다가 증가된 주기의 횟수가 주어진 프로그램의 실행 제어주기와 동일하면 프로그램은 계산수행을 멈추고 각 주기에 대한 송수기의 특성치와 단계별로 끝난 시각, 단계별 작동시간, 그리고, 단계별로 끝난 시각에 대한 각 탱크의 수위 및 압력, 각관의 수위가 출력되어지면 프로그램의 실행이 끝난다.

#### 4. 실험

Cherepnov송수기는 흐름을 가시적으로 확인할 수 있는 투명아크릴원통과 반투명비닐호스를 사용하여 제작하였으며 탱크의 중량을 지지할 뿐만 아니라 탱크의 위치를 조정하거나 고정하기 위한 탱크의 지지대는 고저 가변식으로 제작하였다.

탱크내의 수위를 측정하기 위한 압력변환기 (pressure transducer)는 유입탱크, 송수탱크, 배수탱크의 아래면에 각각 1개씩을 연결하고 배수탱크내의 공기압력을 측정하기 위한 압력변환기는 배수탱크의 위면에 1개를 연결하였다.

Cherepnov송수기의 각 탱크의 수위와 압력을 측정하기 위한 계통도는 Fig. 4와 같다.

실험은 유입탱크로의 유입량을 시간당 670 ℓ ( $1861 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{sec}$ )로 일정하게 유지하고, 유입

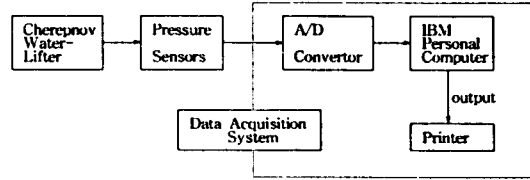


Fig. 4 The block diagram of the data acquisition System

탱크의 위치는 210cm의 높이, 유입탱크와 송수탱크의 위치차는 20cm로 고정하여 190cm의 높이에 설치하였다. 그리고 실험의 종류는 Table 1에서와 같이 탱크의 크기와 관의 직경에 따라 6개의 CASE로 구분하고, CASE로 구분되는 6가지조건 중 각 조건을 Table 2에서와 같이 낙하고(H<sub>1</sub>)와 송수고(H<sub>2</sub>)에 따라 6개의 MODE로 다시 구분하였다.

따라서, 본 연구에서의 실험은 CASE1 MODE1 (C1-M1)로 부터 CASE6 MODE6(C6-M6)까지 36가지(6×6=36)로 분류하여 실시하였으며, CASE와 MODE별 실험진행은 Fig. 5에 나타난 바와 같이 실험하였다.

Table 1 The case number classified by the physical dimensions of the cherepnov water lifter

CASE NO.	Diameter of Tank(cm)	Diameter of Pipe(mm)
CASE 1	28	20
CASE 2	28	25
CASE 3	28	35
CASE 4	38	20
CASE 5	38	25
CASE 6	38	35

Table 2 The mode number classified by th drop and delivery heads

MODE NO.	Drop Heads (H <sub>1</sub> , cm)	Delivery Heads (H <sub>2</sub> , cm)
MODE 1	153	75
MODE 2	153	105
MODE 3	153	135
MODE 4	188	135
MODE 5	188	105
MODE 6	188	75

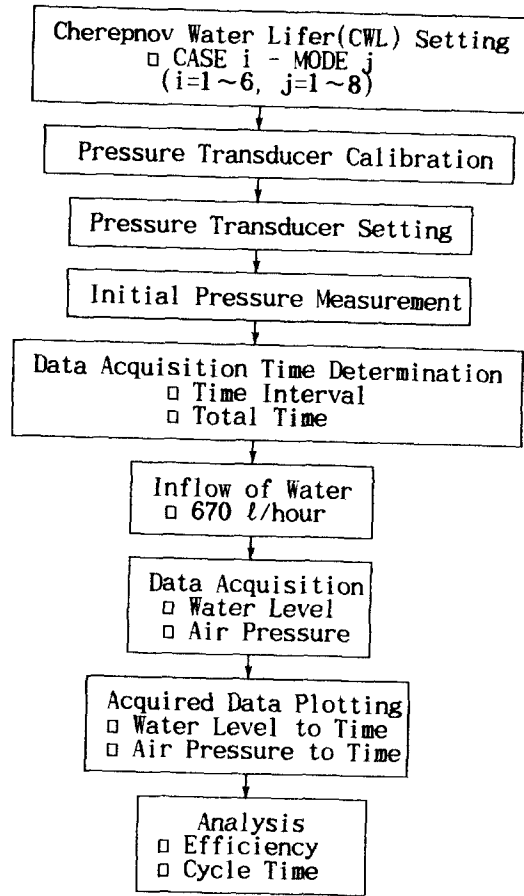


Fig. 5 The flow chart of experimental procedure

### 5. 결과의 비교 및 분석

실험에 의하여 측정기록된 C3-M5와 C6-M2의 시간에 대한 공기 압력변화는 Fig. 6(a)와 Fig. 7(a)에 나타내었고, 각 탱크의 수위는 측정된 압력을 압력수두( $Z=P/\gamma$ )에 의하여 계산하고, 시간에 대한 각 탱크의 수위변화를 Fig. 6(c)와 Fig. 7(c)에 나타내었다.

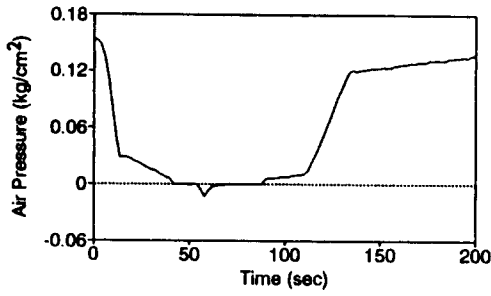
그리고, 각 실험조건별로 측정기록한 압력자료로부터 환산한 송수탱크의 수위를 가지고 송수량의 체적과 배수량의 체적을 구하고, 공기압력변화곡선의 임의 최소 압력치로부터 다음의 최소 압력치까지의 시간을 한 주기로 하여 송수기의 효율과 평균 송수량을 계산하였다.

컴퓨터 모의실험과 실험에서 사용된 36가지의 실험조건은 동일한 조건으로 실시하기 위하여 탱크의 크기 및 높이, 관의 크기 및 길이, 각 탱크의 위치차와 같은 기하학적 자료와 유입량, 물의 단위중량, 대기압과 같은 수리학적 자료를 동일하게 프로그램에 입력하고, 프로그램의 실행에 필요하는 증분시간( $\Delta T$ ), 실행 제어 주기와 같은 작동자료를 입력하여 각 CASE와 MODE에 대한 36가지의 모의실험을 실시하였다. 실험 결과와 본 컴퓨터 모의실험의 결과는 Table 3과 같다.

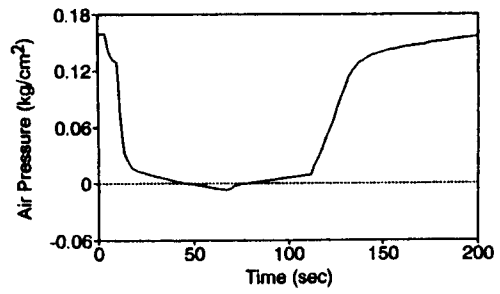
그리고, C3-M5와 C6-M2에 대하여 컴퓨터 모의실험에 의하여 수치계산된 배수탱크내의 압력변화는 각각 Fig. 6(b)와 Fig. 7(b)에서와 같고, 각 탱크의 수위변화는 각각 Fig. 6(d)와 Fig. 7(d)에서와 같다.

Fig. 6와 Fig. 7에서 비교하여 보면, 실험에 의한 압력변화곡선(a)는 압력이 변화할 때 급변화하는 반면에 모의실험에 의한 압력변화곡선(b)는 더 완만한 변화를 보이고 있다. 또한, 실험에 의한 수위변화곡선(c)의 배수탱크의 수위가 음의 값으로 나타나는데 이는 배수 siphon의 작용이 끝나면서 배수탱크내의 압력이 부압으로 되기 때문이며, 실험과 모의실험의 결과 수위변화곡선은 약 3% 정도의 오차를 보이는 부분도 있으나 각 탱크의 수위곡선의 교차점등은 대체적으로 잘 재현하여 주었다.

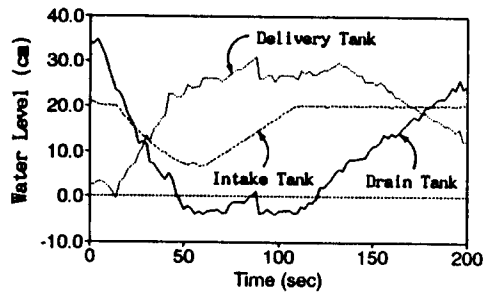
실험과 모의실험에 의한 송수기의 수리학적 특성치인 효율을 각 CASE별로 Table 3과 Fig. 8~Fig. 13에 비교하여 나타내었다. 이 결과 MODE 3은 6가지의 MODE중 낙하고 153cm와 송수고 135cm로서 가장 나쁜조건이기 때문에 송수기의 효율이 가장 낮게 나타나고 있으며 각 CASE별로 MODE 3을 제외한 5가지의 MODE의 송수기 효율은 유사하게 나타나고 있다. 또한, Table 3과 Fig. 8과 Fig. 13에서와 같이 모의실험에 의한 송수기의 특성치는 실험에 의한 특성치보다 다소 크게 나타나고 있으나 실험에 의한 특성치를 잘 재현하여 주고 있는 것을 알 수 있었다. 따라서, 본 모의실험을 위한 수학적모델은 Cherepnov송수기의 수리학적 거동과 특성치를 재현하는 모의실험을 위한 모델로서 적합성을 인정할 수 있었다.



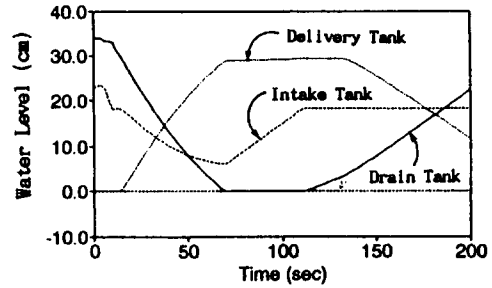
(a) The measurement of air pressure



(b) The simulation of air pressure

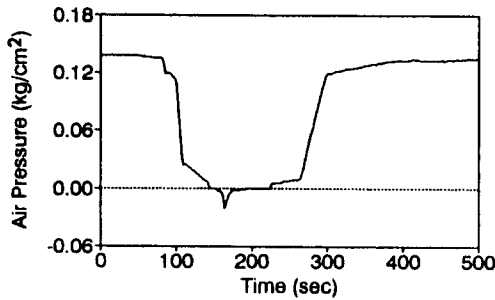


(c) The measurement of water level

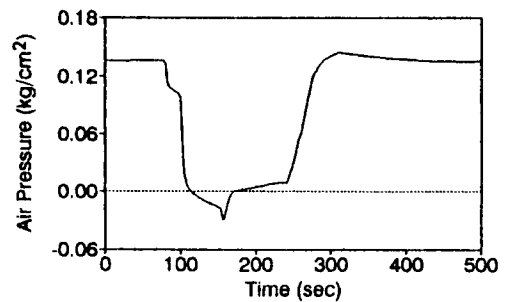


(d) The simulation of water level

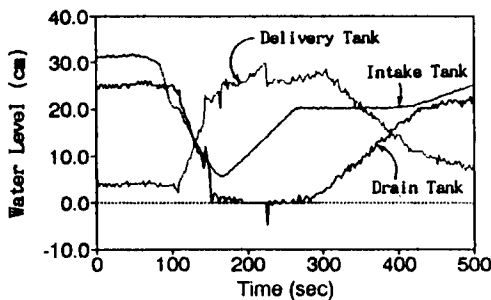
Fig. 6 The experiment and the simulation results for the Cherepnov water lifter : CASE3 MODE5



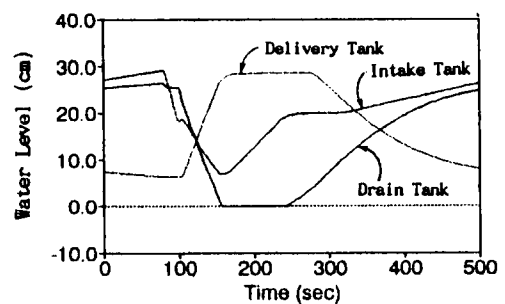
(a) The measurement of air pressure



(b) The simulation of air pressure



(c) The measurement of water level



(d) The simulation of water level

Fig. 7 The experiment and the simulation results for the Cherepnov water lifter : CASE6 MODE2



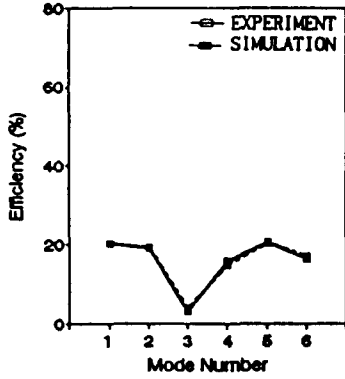


Fig. 8 The experiment and the simulation results for CASE 1

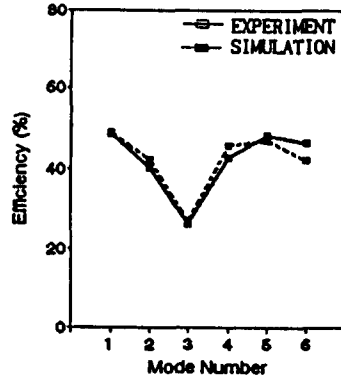


Fig. 9 The experiment and the simulation results for CASE 2

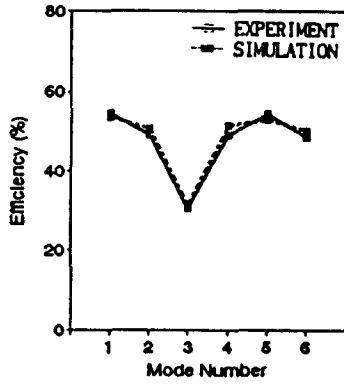


Fig. 10 The experiment and the simulation results for CASE 3

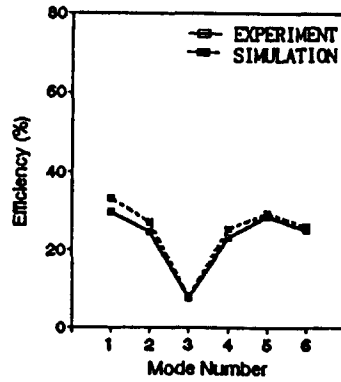


Fig. 11 The experiment and the simulation results for CASE 4

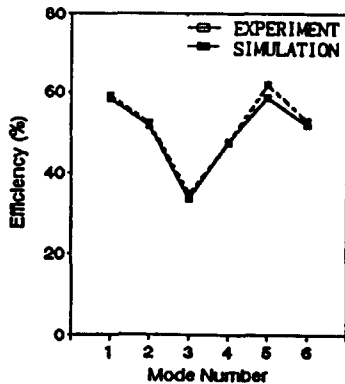


Fig. 12 The experiment and the simulation results for CASE 5

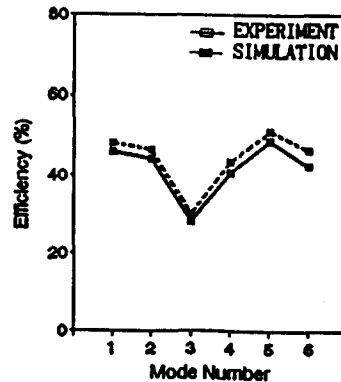


Fig. 13 The experiment and the simulation results for CASE 6

Table 3 The experiment and the simulation results for the Cherepnov water lifer

CASE NO.	MODE NO.	RUN NO.	Tahk Diam. $D_T$ (cm)	Pipe Diam. $D_P$ (mm)	Drop Height $H_1$ (cm)	Delivery height $H_2$ (cm)	Intake Volume $V$ ( $m^3$ )	Delivery Volume $V_2$ ( $m^3$ )	Drain Volume $V_3$ ( $m^3$ )	Efficiency $\eta$ (%)	Cycle Time (sec)	Average Delivery Rate ( $m^3/hr$ )
1	1	A	28	20	153	75	0.1046	0.01416	0.09044	20.18	562	0.09072
		B					0.1035	0.0140	0.0895	20.10	556.00	0.09065
	2	A	28	20	153	105	0.0767	0.00862	0.06808	18.96	421	0.07533
		B					0.0726	0.0083	0.0643	19.24	389.97	0.07662
	3	A	28	20	153	135	0.1846	0.00308	0.18152	3.14	992	0.01117
		B					0.1760	0.0040	0.1720	4.23	945.63	0.01523
	4	A	28	20	188	135	0.0942	0.00862	0.08558	15.73	506	0.06133
		B					0.0923	0.0078	0.0845	14.60	495.96	0.05662
	5	A	28	20	188	105	0.1031	0.01354	0.08956	20.48	554	0.08803
		B					0.1069	0.0140	0.0929	20.36	574.37	0.08774
	6	A	28	20	188	75	0.1195	0.01385	0.10565	16.22	642	0.07769
		B					0.1154	0.0140	0.1014	16.92	620.00	0.08129
2	1	A	28	25	153	75	0.0406	0.01416	0.02644	48.53	218	0.23383
		B					0.0419	0.0137	0.0282	48.84	225.26	0.25068
	2	A	28	25	153	105	0.0413	0.01047	0.03083	40.25	222	0.16978
		B					0.0415	0.0099	0.0316	42.10	223.04	0.15979
	3	A	28	25	153	135	0.0335	0.00493	0.02853	25.25	180	0.09860
		B					0.0330	0.0044	0.0286	27.04	177.52	0.08923
	4	A	28	25	188	135	0.0450	0.01170	0.03330	42.53	242	0.17405
		B					0.0439	0.0109	0.0330	45.53	235.99	0.16628
	5	A	28	25	188	105	0.0473	0.01539	0.03191	48.13	254	0.21813
		B					0.0463	0.0143	0.0320	46.95	248.78	0.20693
	6	A	28	25	188	75	0.0454	0.01601	0.02939	46.52	244	0.23621
		B					0.0460	0.0153	0.0307	42.16	247.21	0.22281
3	1	A	28	35	153	75	0.0495	0.01785	0.03165	54.72	266	0.24605
		B					0.0472	0.0170	0.0302	53.79	253.58	0.24234
	2	A	28	35	153	105	0.0413	0.01206	0.02924	49.22	222	0.19555
		B					0.0391	0.0118	0.0273	50.95	209.85	0.20243
	3	A	28	35	153	135	0.0432	0.00695	0.03625	30.29	232	0.10781
		B					0.0377	0.0063	0.0314	31.65	202.80	0.11183
	4	A	28	35	188	135	0.0428	0.01225	0.03055	49.19	230	0.19181
		B					0.0436	0.0131	0.0305	51.68	234.03	0.20151
	5	A	28	35	188	105	0.0449	0.01682	0.02808	54.61	258	0.25122
		B					0.0449	0.0153	0.0296	53.03	241.22	0.22801
	6	A	28	35	188	75	0.0465	0.01615	0.03035	48.56	250	0.23256
		B					0.0456	0.0164	0.0292	50.34	244.96	0.24102

CASE NO.	MODE NO.	RUN NO.	Tahk Diam. D <sub>T</sub> (cm)	Pipe Diam. D <sub>P</sub> (mm)	Drop Height H <sub>1</sub> (cm)	Delivery height H <sub>2</sub> (cm)	Intake Volume V (m <sup>3</sup> )	Delivery Volume V <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> )	Drain Volume V <sub>3</sub> (m <sup>3</sup> )	Efficiency η (%)	Cycle Time (sec)	Average Delivery Rate (m <sup>3</sup> /hr)
4	1	A	38	20	153	75	0.1139	0.02268	0.09122	29.69	612	0.13342
		B					0.1114	0.0248	0.0866	33.17	598.35	0.14921
	2	A	38	20	153	105	0.1161	0.01701	0.09909	24.70	624	0.09814
		B					0.1131	0.0182	0.0949	27.14	607.56	0.10784
	3	A	38	20	153	135	0.0860	0.00363	0.08237	7.75	462	0.02828
		B					0.0811	0.0031	0.0783	8.15	435.77	0.03158
	4	A	38	20	188	135	0.1362	0.01837	0.11783	23.17	732	0.09036
		B					0.1358	0.0201	0.1157	25.47	729.62	0.09917
	5	A	38	20	188	105	0.1359	0.02516	0.11174	28.86	730	0.12407
		B					0.1351	0.0255	0.1096	29.38	725.87	0.12647
	6	A	38	20	188	75	0.1381	0.02490	0.11783	25.22	742	0.12079
		B					0.1374	0.0257	0.1117	26.13	738.35	0.12531
5	1	A	38	25	153	75	0.0912	0.02813	0.06307	45.96	490	0.20664
		B					0.0924	0.0298	0.0626	48.06	496.70	0.21599
	2	A	38	25	153	105	0.0871	0.02279	0.06431	44.14	468	0.17535
		B					0.0882	0.0242	0.0639	46.31	473.75	0.18389
	3	A	38	25	153	135	0.0968	0.01445	0.08235	28.09	520	0.10001
		B					0.0989	0.0140	0.0849	30.12	531.21	0.09488
	4	A	38	25	188	135	0.0919	0.02166	0.07024	40.48	494	0.15786
		B					0.0961	0.0243	0.0718	43.45	516.36	0.16942
	5	A	38	25	188	105	0.0960	0.03005	0.06595	48.77	516	0.20968
		B					0.0970	0.0318	0.0652	51.03	521.10	0.21969
	6	A	38	25	188	75	0.0971	0.02949	0.06761	42.48	522	0.20338
		B					0.0993	0.0331	0.0662	46.57	533.52	0.22335
6	1	A	38	35	153	75	0.0834	0.03010	0.05330	58.38	448	0.26210
		B					0.0838	0.0333	0.0505	59.14	450.34	0.26620
	2	A	38	35	153	105	0.0860	0.02630	0.06094	51.57	462	0.20494
		B					0.0883	0.0274	0.0609	52.34	474.23	0.20800
	3	A	38	35	153	135	0.0804	0.01438	0.06706	33.67	432	0.11983
		B					0.0812	0.0150	0.0662	34.83	436.33	0.12376
	4	A	38	35	188	135	0.0991	0.02756	0.07154	47.82	532	0.18649
		B					0.1002	0.0273	0.0726	47.39	538.59	0.18248
	5	A	38	35	188	105	0.0778	0.03210	0.04570	58.71	448	0.25795
		B					0.0840	0.0333	0.0507	61.81	421.34	0.26561
	6	A	38	35	188	75	0.0864	0.03210	0.05430	51.99	464	0.24901
		B					0.0862	0.0326	0.0537	52.82	463.34	0.25329

[Note] A : The experiment results B : The simulation results

## 6. 결 론

본 연구는 Cherepnov송수기의 작동과정을 23개의 단계로 분석하여 처음 14개의 단계는 주기적작동을 준비하는 초기과정이고 다음의 9개 단계는 주기적이고 반복적으로 작동하는 반복과정으로 나누고 각 단계별로 에너지방정식과 연속방정식에 의하여 흐름방정식을 유도하여 수학적모형을 구성하였다.

그리고 실험과 수학적모형에 의한 모의실험의 결과를 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Cherepnov송수기의 수리학적 거동(각 탱크의 수두와 공기압 변화)을 수학적 모델에 의하여 재현할 수 있었으며, 실험과 수학적 모델의 오차는 5% 이내 이다.
- 2) 본 연구의 결과로 얻어진 수학적모델의 결과를 Cherepnov송수기를 설계 설치하는데 응용하여 효율적이고 경제적인 방식으로 Cherepnov송수기를 설계할 수 있을 것으로 판단되었다.
- 3) 앞으로 본 과제는 Cherepnov송수기의 연속적인 동작을 위하여 제어장치로 사용된 Siphon의 높이와 마루부의 곡률반경등의 결정과 Siphon이외의 장치를 모색하여 Cherepnov송수기 구조의 변형을 시도하는 연구를 계속 수행하여야 한다.

## 감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 1991년도 박사학위논문 지원과제 연구비에 의하여 수행한 연구의 일부로서 연구비를 지원하여 주신 한국과학재단에 깊이 감사드립니다.

## 參 考 文 獻

1. Arnovich, G.V., Shtaerman, E.Y., "On the Theory of the Cherepnov Water Lifter," Meklanika Zhidosti i Gaza, Vol.1, No.1, Jan/Feb. 1966, pp. 176-178.
2. BHRA, "Design and Operation of Siphons and Siphon Spill Ways," Conference Proceeding,

British Hydraulic Research Association, London, England, 1975.

3. Chai, S.Y., "Unsteady Flow Through Siphon," St.M. University of Missouri, June 1985.
4. Chow, V.T., "Open Channel Hydraulics," McGraw-Hill Book Co., New York, 1989. pp. 116-123.
5. Fessehaye, M., "Theoretical and Experimental Investigation on the Hydraulics of Cherepnov Water Lifters," Ph.D. Dissertation, University of Missouri, 1982, pp.16-59.
6. John A. Roberson, Clayton T. Crowe, "Engineering Fluid Mechanics," Washington State University, Pullman, 1980, pp. 84-124.
7. Liu, H., and Fessehaye, M., "A Theoretical and Experimental Investigation of the Cherepnov Water-Lifter," A Report for the U.S. DOE Contact No. DE-FC07-80ID-12206, University of Missouri, January 1983.
8. Liu, H., and Fessehaye, M., "A Water Lifter That Needs No Energy or Fuel Supply," Proceedings of the 6th Annual UMR-DNR Conference on Energy, Rolla, Missouri, Oct. 1979, PP.136-138
9. Liu, H. and Geekie, R., "The Economics of Cherepnov Water Lifter for Low Head Hydropower," A Report for the U.S. DOE Contact No. DE-FC07-80ID-1226, University of Missouri, January 1983.
10. 박성천, "실험에 의한 CHEREPNOV 송수기의 특성", 전남대학교 대학원 박사학위논문, 1994, pp. 94-112.
11. 이관수, 이경훈, 박성천, "CHERPNOV 송수기의 SIMULATION을 위한 수학적모형 구성", 제 36회 수공학 연구발표회논문집, 1994, pp. 417-422.
12. 이경훈, "물의 위치에너지를 이용하여 작동되는 양수기에 관한 연구," 1990년도 한국학술진흥재단 자유공모과제 학술연구조성비 결과보고서, 전남대학교, 1991, 17 pages.
13. 이경훈, 이관수, 박성천, "위치에너지를 이용한 양수기의 특성에 관한 실험적 연구," 대한토목학회 학술발표회 개요집, 1991, pp. 419-422.

(접수 : 10월 22일)