

Cherepnov 송수기에 대한 배수제어방식의 실험적 특성

Experimental Characteristic of Drain Control to Cherepnov Water Lifter

박 성 천* · 이 강 일**
Park, Sung Chun · Lee, Kang Il

Summary

The purpose of this study was to suggest the experimental characteristic of the Cherepnov Water Lifter following the drain mode. The Cherepnov Water Lifter(CWL), which is powered by the potential energy of water, can be set to operate automatically when the water in a tank is drained. In this study, a CWL is constructed in the valve drain controlling mode(VCM) and the siphon drain controlling mode(SCM), and a pressure transducer is installed. It was found that, in the VCM, intake flow volume is proportional to both delivery flow volume and drain flow volume. In the SCM, intake flow volume is proportional to drain flow volume, and the average delivery rate is proportional to both efficiency and the water utilization ratio. Also, in the VCM, the water utilization ratio is 35~49%, efficiency is 62~90%, average delivery rate is 12.8~81.2cm³/s, and the average drain rate is 14.0~91.5cm³/s. On the contrary in the SCM, the water utilization ratio is 1.7~38%, efficiency is 3~58%, average delivery rate is 3.1~69.2cm³/s, and the average drain rate is shown as 114.5~183cm³/s. As a result of the water utilization ratio, efficiency, average delivery rate, and average drain rate are compared, the VCM is found to be superior and the more economical mode. However, the VCM requires manpower and electricity to operate the electronic machinery involved, while the SCM requires no manpower or electricity at all. An economic evaluation of these differences will be necessary in the future. Also, in the SCM, studies to improve water utilization ratio and efficiency, to find the optimum height of the siphon for decreasing the average drain rate, and to determine the radius of curvature of throat have to be conducted in advance, since a large flow rate is drained during the priming action of the siphon.

* 동신대학교 공과대학

** 대진대학교 공학부

키워드 : Cherepnov 송수기, 밸브배수제어방식(VCM), 사이폰배수제어방식(SCM), 효율, 압력변환기

I. 서 론

Cherepnov 송수기는 “물은 위에서 아래로 흐른다”라는 간단한 자연법칙을 응용하여 수면 아래 비워있는 수조(tank)내부에 물이 유입되면서 수조내의 공기를 압축하고, 이 압축공기가 압력수두(pressure head)로 작용하여 낮은 위치의 물을 보다 높은 위치로 송수하는 장치이다.

이 송수기의 특징은 첫째, 물이 가지고 있는 위치 에너지(potential energy)가 송수기의 동력원이 되어 물을 송수할 수 있으므로 전기 에너지(electric energy)나 화석 연료와 같은 에너지원을 공급할 필요가 없다. 즉, 이 송수기를 사용한다면 많은 전기에너지를 절약할 수 있을 것이다.

둘째, 구조가 단순하여 제작과 설치가 경제 적이며, 보수·유지관리가 용이하다. 셋째, 작동에 의한 소음이 거의 없기 때문에 주위의 환경에 소음공해를 발생하지 않는다.^{1,2)} 그러나 이 송수기는 일반적인 장소에 설치할 수 없는 지형적 조건에 제약을 받는다. 즉, 폭포나 가파른 급류, 댐 등 처럼 지형이나 수위가 갑작스럽게 변화되는 장소에서만 설치 가능 하다. 이 송수기는 물의 위치 에너지 변화에 의하여 얻어진 압축공기에 의해 작동되므로 물의 위치에너지 변화를 얻을 수 있는 유입수조에서 배수수조까지의 낙하고는 송수수조로부터 송수하고자 하는 높이(송수고)보다 더 커야한다. 따라서 수면아래 낮은 위치에 설치되는 배수수조는 송수의 동력원이 되는 압축공기를 얻으며 수조내로 유입한 물을 배수해야 하기 때문에 자연유하식으로 배수할 수 있는 지형적 조건을 갖추어야 한다.

물의 위치 에너지를 이용하는 이 송수기는 소련에서 Cherepnov³⁾란 이름으로 개발된 후 비교적 최근에 미국에 소개되면서 송수작동과정과 작동원리를 주로 해석적 방법으로 규명

되어 왔다. 수리학적 현상을 이해하는데는 해석적 방법도 중요하지만 그에 못지않게 중요한 것이 모형실험이다. 국내에는 1991년 전남대학교의 이관수, 이경훈, 박성천⁴⁾에 의하여 송수기의 밸브조작에 의한 실험적특성을 발표하면서 처음 소개되었다.

이 송수기는 물의 공급, 관개시설, 저낙차 소수력발전소 등에 사용할 수 있으며, 특히, 약 70%가 산악지형으로 이루어진 우리나라에서는 계단식 경작지의 관개시설 및 저낙차 소수력발전소의 낙차고의 증가를 위한 시설 등에 사용이 매우 유리한 조건이라 할 수 있다.

물이 가지고 있는 위치에너지에 의하여 작동되는 Cherepnov 송수기는 배수시기에 맞추어 배수수조의 물이 배수되어지면 자동으로 작동되어질 수 있다. 본 연구에서는 배수수조의 배수를 제어하는 방식으로 밸브배수제어방식과 사이폰배수제어방식을 실험에 의하여 그의 특성을 비교하고, Cherepnov 송수기의 효율적인 배수제어방식을 결정하여 실용화 할 수 있는 계기를 마련하기 위한 기초자료를 더욱 확충하는데 그 목적이 있다.

II. 작동과정과 배수제어방식

1. 송수기의 작동과정

Cherepnov 송수기는 Fig. 1의 밸브배수제어방식(valve drain controlling mode ; VCM)과 Fig. 2의 사이폰배수제어방식(siphon drain controlling mode ; SCM)에서와 같이 유입수조(intake tank), 송수수조(delivery tank), 배수수조(drain tank)와 급수관(feed pipe), 송수관(delivery pipe), 압력관(pressure pipe), 공기관(air pipe) 그리고 사이폰으로 구성된다.

Cherepnov 송수기의 주기적인 작동은 배수탱크에 채워진 물의 배수에 의하여 이루어지는데 밸브제어방식은 배수탱크에 채워진 물을 밸브의 조작에 의하여 배수시킴으로서 주기적

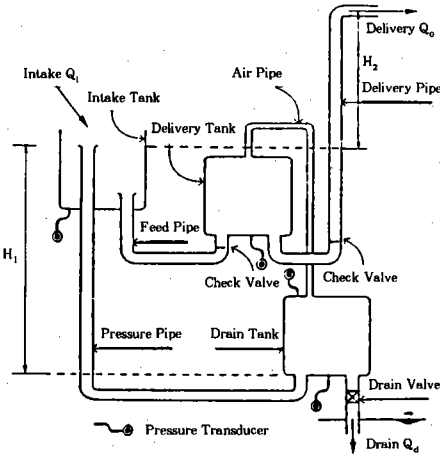


Fig. 1. The Cherepnov water lifter with the valve drain controlling mode(VCM)

으로 작동하며, 사이폰배수제어방식은 배수탱크에 채워진 물을 사이폰의 수리학적 현상에 의하여 주기적으로 작동되어진다. 밸브배수제어방식과 사이폰배수제어방식의 작동과정은 각각 Fig. 3과 Fig. 4에서 각 수조와 관의 수위변화로 보여준다.

Fig. 3의 밸브배수제어방식의 작동과정은 송수하고자 하는 물의 수면(water level)이 유입수조의 상단위치에 있다고 가정하여 살펴보면, 처음엔 유입수조로 유도된 물이 유입수조와 송수수조를 연결한 급수관을 통하여 송수수조로 유도되어 송수수조를 채운 후 급수관의 역지반(check valve)에 의하여 흐름이 중지된다(송수탱크 유입과정). 이 때 유입수조의 물은 다시 유입수조와 배수수조를 연결하는 압력관을 통하여 배수수조로 유도된다. 배수수조로 유도된 물은 배수수조 내에 있는 공기를 압축하고 이 공기압은 배수수조와 송수수조의 상단부에 연결된 공기관을 통하여 송수수조로 전달된다. 송수수조에 전달된 공기압은 송수수조의 물을 송수시킬수 있는 부가적인 압력수두(pressure head)로 작용한다(배수탱크 유입과정). 이때 공기압에 의하여 발생하는 압력수두가 송수수조 내의 물을 송수

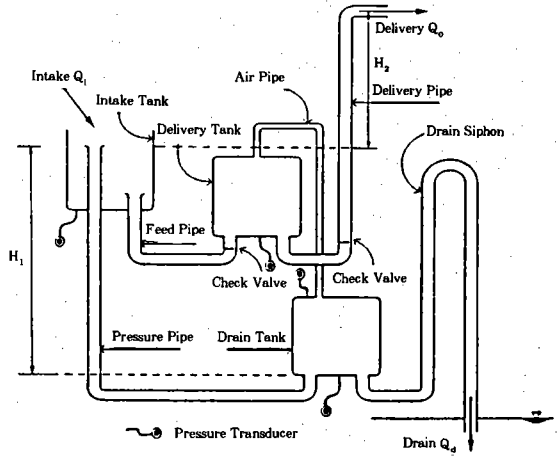


Fig. 2. The Cherepnov water lifter with the siphon drain controlling mode(SCM)

하는데 필요한 수두(head)보다 더 커지게 되면 송수수조의 물은 송수관으로 유도되어 송수가 시작된다(송수과정).

송수가 진행되어 완료될 무렵, 배수수조는 거의 물로 채워지게 된다(배수과정). 이로써 한번의 송수과정이 끝나고 새로운 송수과정을 준비하게 된다. 배수수조의 물이 배수되어 공기로 채워지는 동시에 새로이 송수할 물이 송수수조에 채워진다(배수완료과정 및 송수탱크 유입과정). 배수가 완료되고 송수수조가 채워지면 새로운 송수가 준비되며 위에서 설명한 송수과정이 반복되고 주기적으로 송수가 이루어진다.

Fig. 4의 사이폰배수제어방식의 작동과정은 밸브배수제어방식과 동일하나, 배수수조에 연결된 배수 사이폰(drain siphon)의 흐름과정이 포함된다. 배수 사이폰은 역U형 사이폰으로 사이폰의 수리학적 현상을 살펴보면, 우선 배수수조내의 압력이 커지게 되면 사이폰내의 수면이 상승하여 사이폰의 마루에 도달하여 단순한 웨어(weir)처럼 흐르게 된다. 이 때 사이폰내에 공기는 아직 남아있게 되고 이 순간에 물이 공기를 밀폐시키지 못하고 사이폰 목부에서의 압력이 대기압과 같기 때문에 물

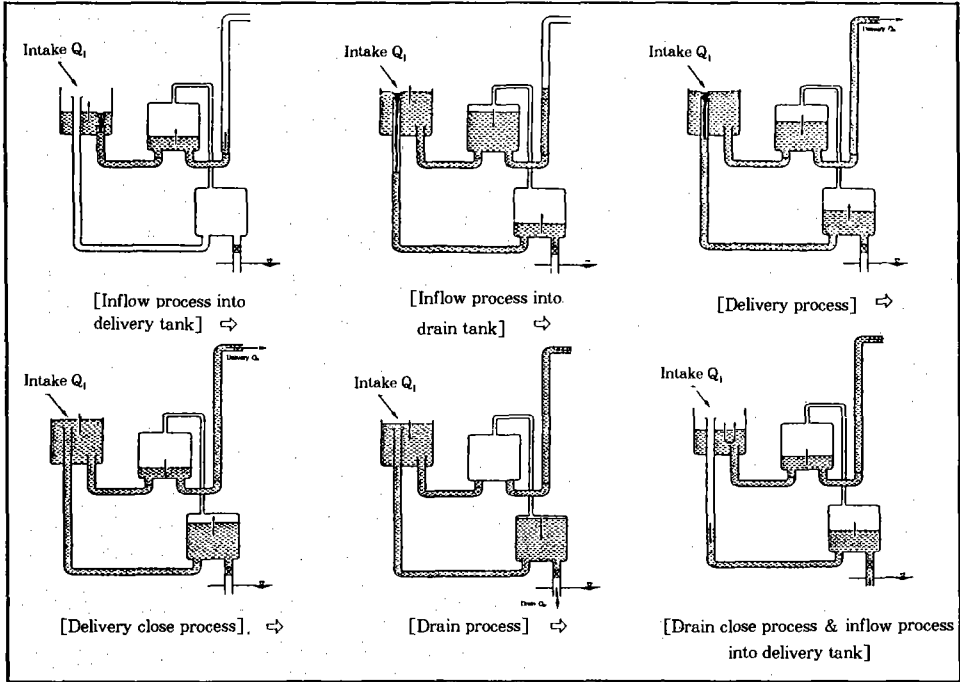


Fig. 3. The hydraulic status of the VCM Cherepnov water lifter

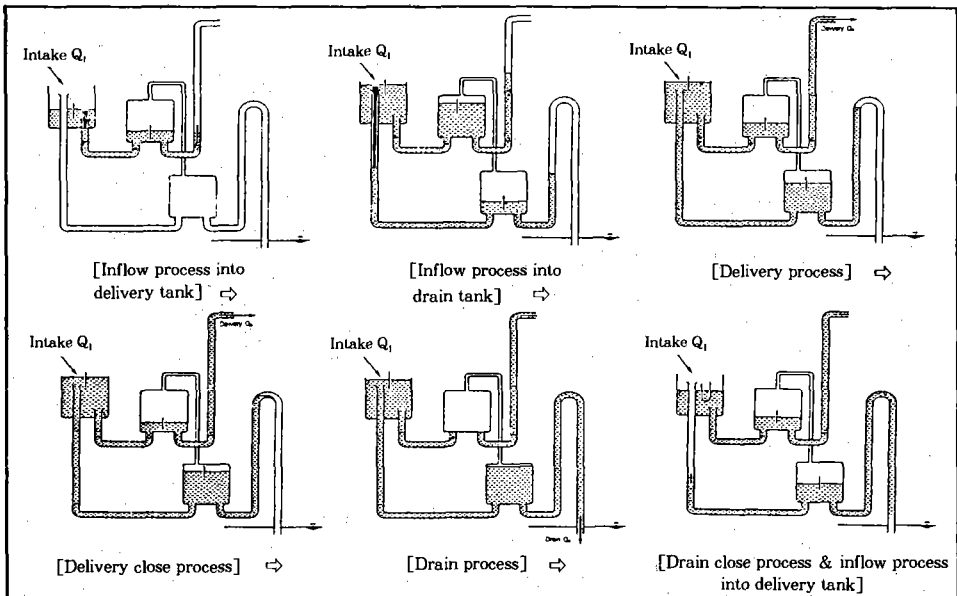


Fig. 4. The hydraulic status of the SCM Cherepnov water lifter

마중(priming action)은 이루어지지 않는다. 배수수조내의 압력이 더욱 증가하면 마루를

넘어 흘러가는 배수량은 증가할 것이고 이 물은 하류부에서 물막(water curtain)을 형성하

기 위하여 반대벽을 때리며 흐르게 된다. 사이폰내의 공기는 이 물막에 의하여 사이폰 마루 위의 공간(crown)에 갇히게 되고 이 공기는 물에 실려 재빨리 유출구로 배출된다. 물막에 갇힌 공기가 완전히 배출되면 black water(공기에 접하지 않은 물)에 의해서 사이폰 작용이 이루어지게 되고 사이폰 관이 전부 물로 채워져서 관수로의 흐름처럼 흐르게 되며 수조의 물은 배수된다. 끝으로, 유입구를 밀폐하지 못하도록 수면이 유입구보다 아래로 내려가 유입구 속으로 공기가 빨려들어가서 공기면적이 일정한 체적까지 증진되면 이 사이폰의 작용은 파괴되어 흐름이 급작스럽게 끝나게 된다.

2. 배수제어방식

Cherepnov 송수기는 3개의 수조와 4개 또는 5개의 관, 그리고 2개의 역지변(check valve)으로 구성된 단순한 구조의 송수기로 유입과정, 송수과정, 배수과정이 주기적으로 이루어지면서 보다 높은 위치로 송수하게 된다. 이때 송수과정이 끝나고 배수과정이 이루어지기 위하여는 배수수조내의 물을 배수시키기 위한 조작이나 수리학적 현상을 이용하는 장치가 마련되어야 한다.

배수제어방식으로는 Fig. 1에서와 같이 배수수조 하단에 밸브를 부착하여 밸브의 개폐 조작에 의하여 배수를 제어하는 방식과 Fig. 2에서와 같이 배수수조 하단에 사이폰을 연결하여 사이폰의 수리학적 현상으로 배수를 제어하는 방식으로 구분할 수 있다.

밸브의 조작에 의한 배수제어방식은 개폐의 조작을 인력이나 기계 또는 전자기계를 이용할 수 있는데 인력에 의한 조작은 배수시기를 직접판단하여 밸브를 개폐하는 방법으로 송수기 작동시 인력이 반드시 필요하게 되며 대용량의 송수기에는 어려움이 따른다. 반면에 기계 또는 전자기계에 의한 조작은 배수시기를

판단할 수 있는 감지기(sensor)와 배수밸브(drain valve)를 개폐시켜 주는 기계 또는 전자기계를 송수기에 설치하여야 한다.

사이폰에 의한 배수제어방식은 사이폰의 수리학적 현상에 의하여 배수가 제어되는 방식으로 사이폰의 수리학적 특성이 작동과정에 미치는 영향을 해석하는데는 어려움이 따르나 인력이나 기계적 장치가 필요치 않으며 사이폰은 유연한 관을 이용하여 사이폰의 만곡부를 제작할 수 있으므로 제작과 설치가 용이하고 보수·유지관리가 쉽다.

III. 송수기 제작과 실험

1. 송수기 제작

물이 가지고 있는 위치에너지에 의하여 작동되는 Cherepnov 송수기는 배수를 제어함으로서 송수과정이 주기적으로 이루어져 작동되며 그 구조는 Fig. 1과 Fig. 2에서와 같이 몇 개의 관(pipe) 또는 호스(hose)로 연결된 3개의 수조(tank)로 이루어져 있으며, 이들 3개의 수조에 연결된 관 또는 호스에는 송수기 내부의 유체(물과 공기)의 흐름을 일정한 방향으로 유도하기 위한 2개의 역지변이 부착된 형태로 단순한 구조이다. 밸브배수제어방식의 Cherepnov 송수기에서는 Fig. 1에서와 같이 배수수조에 배수밸브가 연결되고, 사이폰배수제어방식의 Cherepnov 송수기에서는 Fig. 2에서와 같이 배수수조에 사이폰이 연결되어 있는 것이 두 배수제어방식의 구조적 차이이다.

수조들은 투명한 아크릴원통에 투명한 아크릴판을 윗면과 아래면으로 부착하여 각 수조의 수위변화를 가시적으로 확인할 수 있도록 제작하였다. 3개의 수조중 유입수조는 유입된 물의 수면이 대기에 충분히 접할 수 있도록 윗면을 개방하여 제작한 반면 송수수조와 배수수조는 누수나 압축공기의 누출을 방지하기 위하여 윗면 또는 아래면의 아크릴판과 원통

의 밀착부위에 실리콘을 도포한 후 볼트와 너트를 사용하여 윗면과 아래면을 긴장시켜 완전 밀폐되도록 제작하였다. 또한, 각 수조의 수위와 공기압의 변화를 측정하기 위하여 각 수조의 아래면과 배수수조의 윗면에는 압력변환기(pressure transducer)을 연결할 수 있는 동계 밸브를 부착하고, 또한 각 수조의 윗면과 아래면에는 각 관들을 연결할 수 있는 PVC 소켓을 부착하여 제작하였다.

각 연결관들도 수조에서와 같이 각 연결관들의 물 흐름변화를 가시적으로 확인할 수 있는 반투명한 비닐호스를 사용하여 제작하고, 관들의 연결부위는 누수나 공기의 누출이 발생되지 않도록 완전 밀폐시켰다.

역지벤은 송수수조의 물이 유입수조로 역류되는 것을 방지하고, 송수관의 물이 송수수조로 역류되는 것을 방지하기 위하여 송수수조

부근의 급수관과 송수관에 각각 부착하였으며, 본 송수기의 제작에 사용된 제원은 Table 1에서와 같다.

2. 실험방법

각 수조(유입, 배수 및 송수수조)의 수위변화와 배수수조의 공기압변화를 측정하기 위하여 설치된 압력변환기를 자료획득장치(data acquisition system)의 A/D변환기(analog-to-digital converter)와 IBM 호환성 컴퓨터를 연결하여 시간에 따라 각 수조의 수위와 배수·송수수조의 압력을 측정 기록하였으며, 시간에 대한 각 수조의 수위와 압력의 변화를 도시하고 한 주기내에서 일어나는 각 행정간의 연관성을 조사한다.

본 연구에 사용된 A/D변환기는 12비트(bit)의 최대 자료획득률이 4,000 samples/s이다. 이러한 기능을 충분히 이용하여 원활한 실험을 진행하기 위하여 베이직(BASIC)언어를 사용하여 메뉴선택 방식으로 쉽게 이용할 수 있는 프로그램을 작성하였다. 이 프로그램은 측정시간 간격에 따라 자료를 측정기록하며, 측정된 자료를 화면에 나타낼 수 있을 뿐만 아니라 측정된 자료를 분석하고 그 결과도 ASCII code로 출력할 수 있도록 하고, 다른 소프트웨어와 호환성을 갖도록 하였다. 시간에 따라 변하는 수위와 압력을 기존방식의 액주계를 이용하여 측정하기는 대단히 어렵기 때문에 본 연구에서는 시간에 따라 변하는 송수기의 수위와 압력을 용력변형측정형(strain gauge type)의 압력변환기를 Fig. 5와 같이 자료획득장치에 연결하여 측정하였다.

본 실험의 진행과정은 Cherepnov 송수기를 조립하여 압력변환기를 부착하기 전에 먼저 압력변환기의 검정(calibration)을 실시한 후 각 수조에 부착하여 각 수조의 초기압력을 측정한다. 초기압력은 수조내의 물을 완전히 배수시킨 다음 대기압 상태하에서의 압력을 측

Table 1. Physical dimensions of Cherepnov water lifter used in the experiments

	Physical dimensions (mm)
Tank	Plate acryl $\phi=10$ (transparency)
	Bolt L=410
	Nut, Silicon
Intake tank Delivery tank	Cylinder acryl $\phi=280, 380$ (transparency) t=10, L=330
Drain tank	Cylinder acryl $\phi=280, 380$ (transparency) t=10, L=380
Connecting pipe	Silicon
Feed pipe	Pressure vinyl hosepipe (semitransparency) $\phi=20, 25, 35$
Delivery pipe	PVC valve socket $\phi=20, 25, 35$
Pressure pipe	
Air pipe	Vinyl hose (semitransparency) $\phi=16$
	Copper valve socket $\phi=16$
Valve & siphon	PVC ball valve $\phi=35$
Check valve	Copper swing mode $\phi=20, 25, 35$
Siphon	Pressure vinyl hosepipe (semitransparency) $\phi=25$

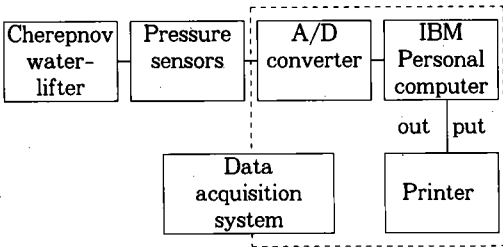


Fig. 5. Block diagram of data acquisition system

정한다. 그리고 송수기를 작동하여 시간에 따라 계속적으로 압력과 수위를 측정하였다.

3. 실험조건

실험에 의하여 두 배수제어방식의 각 특성을 비교하기 위하여 실험조건은 동일하게 사용하였다. 본 연구에서 사용된 실험조건으로는 다양한 송수율(delivery rate; Q_2)과 효율(efficiency; η) 및 이수율(water utilization ratio; V_2/V_3)의 자료를 확보하기 위하여 Table 2와 Table 3에서와 같이 수조의 직경(tank diameter; D_T), 관의 직경(pipe diameter; D_P), 낙하고(drop height; H_1), 송수고(delivery height; H_2)로 나누어 설정하였다. 우선 유입수조로의 유입량(Q_1)은 시간당 670 ℓ 로 일정하게 유지한다. 수조의 위치는 유입수조를 기준면으로 부터 210cm의 위치에 고정하고 송수수조를 유입수조와 위치차 20cm로 설정하여 기준면으로부터 190cm의 위치에 고정하며, 배수수조의 위치는 낙하고(H_1 ; 송수기의 배수수조 상단에서 유입수조내의 압력관 유도구 상단까지의 높이)와 관계가 되는데 낙하고를 153cm와 188cm의 2수준으로 고정하기 위하여 배수수조를 기준면으로부터 75cm와 40cm로 이동시키는 조건을 사용하였다. 또한, 송수고(H_2 ; 유입수조내의 압력관 유도구상단에서 송수관 출구까지의 높이)를 75cm, 105cm, 135cm의 3수준으로 사용하였으며, 수조직경과 관직경의 실험조건은 수조

직경(D_T)을 직경 28cm와 38cm의 2수준으로 구분하고 다시 각 수조에 따라 관직경(D_P)을 20mm, 25mm, 35mm의 3수준으로 구분하였다.

IV. 실험결과 및 분석

송수기의 작동과정을 실험조건을 바꾸면서 자료획득장치의 A/D변환기와 IBM 호환성 컴퓨터로 시간의 변화에 따라 각 수조의 압력 변화를 측정하여 각 수조의 수위는 다음식에 의하여 환산하였다.

$$Z = P/\gamma \dots\dots\dots (1)$$

여기서, Z 는 압력수두(m)

P 는 수압(t/m^2)

γ 는 물의 단위중량(t/m^3)

각 수조의 수위와 압력의 시간에 대한 변화를 Fig. 6과 Fig. 7에 나타내었으며, 공기압력의 변화에 대한 곡선중 임의의 최소압력에서 다음의 최소압력까지의 시간을 송수기의 작동 주기로 하였다. 또한, 송수기의 효율은 Fessehaye가 식 (2)와 같이 정의한 송수기 효율의 계산식¹²⁾을 이용하여 계산하였으며, 그 결과는 Table 2와 Table 3에서와 같다.

$$\eta = \frac{V_2(H_1 + H_2)}{(V_2 + V_3)H_1} \dots\dots\dots (2)$$

여기서, η 는 송수기의 효율(%)

V_2 은 한 주기의 송수용량(m^3)

V_3 는 한 주기의 배수용량(m^3)

H_1 은 낙하고(m)

H_2 은 송수고(m)

송수기에 유입된 유입용량중에서 얼마의 용량이 송수되어 보다 고지대에서 이용될 수 있는지를 나타내는 이수율(water utilization

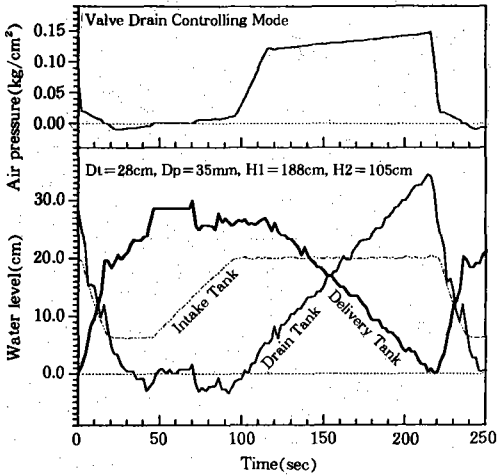


Fig. 6. The variation of the air pressure and the water level (VCM)

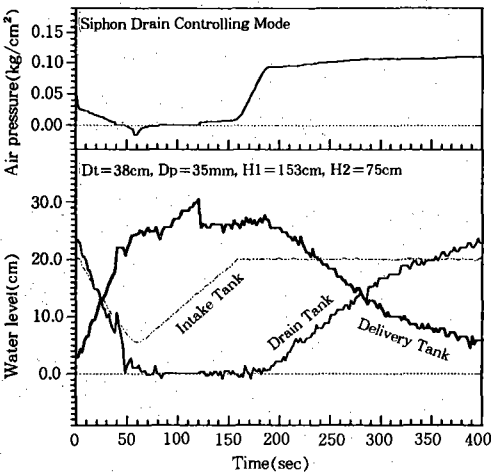


Fig. 7. The variation of the air pressure and the water level (SCM)

ratio)은 하나의 주기당 송수용량(delivery volume ; V_2)과 유입용량(Intake volume ; V)의 비(V_2/V)로서 계산하였으며, 송수율(delivery flow rate ; Q_2)은 한 주기에 송수된 송수용량(V_2)을 하나의 주기시간(cycle time ; T)으로 나누어 나타냈으며(V_2/T), 배수율(drain flow rate ; Q_3)은 한 주기에 배수된 배수용량(drain volume ; V_3)을 하나의 주기

시간(T)으로 나누어 나타냈다(V_3/T). 배수제어 방식에 따라서 이수율, 효율, 송수율, 배수율, 그리고 유입용량, 송수용량, 배수용량의 상호관계를 규명하고, 보다 효율적인 배수제어 방식을 결정하기 위하여 이수율, 효율, 송수율의 상호관계, 송수율-배수율관계, 유입용량-송수용량관계를 분석하였다.

1. 이수율과 송수기 효율

Table 2에서와 같이 밸브배수제어 방식은 이수율이 35~49% 그리고 효율이 62~90%로 나타나는 반면에 Table 3에서와 같이 사이폰 배수제어 방식은 이수율이 1.7~38% 그리고 효율이 3~58%로 나타났다. 또한, 배수제어 방식에 상관없이 이수율과 효율은 Fig. 8에서와 같이 상호 양의 상관관계를 가지고 있으나, 밸브배수제어 방식이 사이폰배수제어 방식보다 고이수율과 고효율을 갖는 것으로 나타났다. 이수율이 높다는 것은 일정량을 송수하는데 필요한 동력원(공기압력)을 생산하는데 소모되는 배수량이 보다 적은량이 필요하다는 의미이므로 밸브배수제어 방식이 사이폰배수제어 방식보다 더 경제적인 배수제어 방식이 될 수 있다.

2. 평균 송수율과 효율 및 이수율

평균송수율과 송수기의 효율 및 이수율의 관계는 밸브배수제어 방식의 경우, Fig. 9에서와 같이 평균송수율의 변화에 무관하게 효율과 이수율이 피모양으로 일정값을 유지하는 반면, 사이폰배수제어 방식의 경우, Fig. 10과 같이 평균송수율의 증가에 효율과 이수율이 증가되는 경향으로 나타났다.

3. 평균 송수율과 평균 배수율

밸브배수제어 방식은 Table 2에서와 같이 평균송수율이 12.8~81.2cm³/s, 평균배수율이 14.0~91.5cm³/s로 나타나 송수율과 배수율

Table 2. The experimental condition and result of the VCM cherepnov water lifter

Tank diameter D_T (cm)	Pipe diameter 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 η (%)	Water utilization ratio V_2/V (%)	Cycle time T (s)	Delivery rate Q_2 (cm^3/s)	Drain rate Q_3 (cm^3/s)
28	20	153	75	0.03315	0.01625	0.01690	73.05	49.02	548	29.653	30.839
			105	0.03058	0.01481	0.01577	81.67	48.43	708	20.918	22.274
			135	0.01376	0.00592	0.00784	80.98	43.02	428	13.832	18.318
		188	135	0.03500	0.01468	0.02032	72.06	41.94	468	31.368	43.419
			105	0.02764	0.01307	0.01557	71.12	45.64	552	23.678	28.207
			75	0.02592	0.01293	0.01299	69.78	49.88	478	27.050	27.176
28	25	153	75	0.03514	0.01667	0.01847	70.69	47.44	236	70.636	78.263
			105	0.03192	0.01457	0.01735	76.97	45.65	240	60.708	72.292
			135	0.01618	0.00563	0.01055	65.50	34.80	276	20.399	38.225
		188	135	0.03195	0.01549	0.01646	83.30	48.48	254	60.984	64.803
			105	0.03452	0.01644	0.01808	74.22	47.62	248	66.290	72.903
			75	0.03606	0.01759	0.01847	68.24	48.78	228	77.149	81.009
28	35	153	75	0.03945	0.01900	0.01945	73.64	49.41	234	81.197	83.120
			105	0.02735	0.01340	0.01395	82.62	48.99	216	62.037	64.583
			135	0.01808	0.00868	0.00940	90.37	48.01	150	57.867	62.667
		188	135	0.03800	0.01768	0.02032	79.37	46.53	272	65.000	74.706
			105	0.03686	0.01654	0.02032	69.93	44.87	222	74.505	91.532
			75	0.03832	0.01800	0.02032	65.71	46.97	224	80.357	90.714
38	20	153	75	0.0200	0.00933	0.01067	69.52	46.65	524	17.805	20.363
			105	0.02599	0.01158	0.01441	75.13	44.56	904	12.810	15.940
			135	0.01145	0.00548	0.00597	90.09	47.86	426	12.864	14.014
		188	135	0.02709	0.01010	0.01699	64.06	37.28	788	12.817	21.561
			105	0.03387	0.01355	0.02032	62.35	40.01	904	14.989	22.478
			75	0.03066	0.01385	0.01681	63.19	45.17	844	16.410	19.917
38	25	153	75	0.03374	0.01655	0.01719	73.10	49.05	376	44.016	45.718
			105	0.03146	0.01528	0.01618	81.90	48.57	460	33.217	35.174
			135	0.01546	0.00716	0.00830	87.18	46.31	300	23.867	27.667
		188	135	0.03784	0.01752	0.02032	79.55	46.30	440	39.818	46.182
			105	0.03711	0.01712	0.01999	71.90	46.13	390	43.897	51.256
			75	0.03719	0.01709	0.02010	64.29	45.95	380	44.974	52.895
38	35	153	75	0.03602	0.01621	0.01981	67.06	45.00	506	32.036	39.150
			105	0.03111	0.01422	0.01689	77.08	45.71	478	29.749	35.335
			135	0.02006	0.00813	0.01193	76.29	40.53	350	23.229	34.086
		188	135	0.02267	0.01017	0.01250	77.08	44.86	416	24.447	30.048
			105	0.03776	0.01744	0.02032	71.98	46.19	510	34.196	39.843
			75	0.03630	0.01644	0.01986	63.36	45.29	480	34.250	41.375

의 비는 0.53~0.99의 비율로 분석되며, 사이
폰배수제어방식은 Table 3에서와 같이 평균송

수율이 3.1~69.2 cm^3/s , 평균배수율이 114.5
~183 cm^3/s 로 송수율과 배수율의 비는 0.017

Table 3. The experimental condition and result of the SCM cherepnov water lifter

Tank diameter D_T (cm)	Pipe diameter 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 η (%)	Water utilization ratio V_2/V (%)	Cycle time T (s)	Delivery rate Q_2 (cm^3/s)	Drain rate Q_3 (cm^3/s)
28	20	153	75	0.1046	0.01416	0.09044	20.18	13.54	562	25.196	160.925
			105	0.0767	0.00862	0.06808	18.96	11.24	412	20.922	165.243
			135	0.1846	0.00308	0.18152	3.14	1.67	992	3.105	182.984
		188	135	0.0942	0.00862	0.08558	15.73	9.15	506	17.036	169.130
			105	0.1031	0.01354	0.08956	20.48	13.13	554	24.440	161.661
			75	0.1195	0.01385	0.10565	16.22	11.59	642	21.573	164.564
28	25	153	75	0.0406	0.01416	0.02644	48.53	34.88	218	64.954	121.284
			105	0.0413	0.01047	0.03083	40.25	25.35	222	47.162	138.874
			135	0.0335	0.00493	0.02853	25.25	14.72	180	27.389	158.500
		188	135	0.0450	0.01170	0.03330	42.53	26.00	242	48.347	137.603
			105	0.0473	0.01539	0.03191	48.13	32.54	254	60.591	125.630
			75	0.0454	0.01601	0.02939	46.52	35.26	244	65.615	120.451
28	35	153	75	0.0495	0.01785	0.03165	54.72	36.06	266	67.105	118.785
			105	0.0413	0.01206	0.02924	49.22	29.20	222	54.324	131.712
			135	0.0432	0.00695	0.03625	30.29	16.09	232	29.957	156.250
		188	135	0.0428	0.01225	0.03055	49.19	28.62	230	53.261	132.826
			105	0.0480	0.01682	0.03118	54.61	35.04	258	65.194	120.853
			75	0.0465	0.01615	0.03035	48.56	34.73	250	64.600	121.400
38	20	153	75	0.1139	0.02268	0.09122	29.69	19.91	612	37.059	149.052
			105	0.1161	0.01701	0.09909	24.70	14.65	624	27.260	158.798
			135	0.0860	0.00363	0.08237	7.75	4.22	462	7.857	178.290
		188	135	0.1362	0.01837	0.11783	23.17	13.49	732	25.096	160.970
			105	0.1359	0.02516	0.11174	28.86	18.51	730	34.466	153.068
			75	0.1381	0.02490	0.11783	25.22	18.03	742	33.558	158.801
38	25	153	75	0.0912	0.02813	0.06307	45.96	30.84	490	57.408	128.714
			105	0.0871	0.02279	0.06431	44.14	26.17	468	48.697	137.415
			135	0.0968	0.01445	0.08235	28.09	1.49	520	27.788	158.365
		188	135	0.0919	0.02166	0.07024	40.48	23.57	494	43.846	142.186
			105	0.0960	0.03005	0.06595	48.77	31.30	516	58.236	127.810
			75	0.0971	0.02949	0.06761	42.48	30.37	522	56.494	129.521
38	35	153	75	0.0834	0.03010	0.05330	58.38	36.09	448	67.188	118.973
			105	0.0860	0.02630	0.06094	51.57	30.58	462	56.926	131.905
			135	0.0804	0.01438	0.06706	33.67	17.89	432	33.287	155.231
		188	135	0.0990	0.07144	0.07154	47.82	27.84	532	51.805	134.286
			105	0.0834	0.03210	0.05130	58.71	38.49	448	71.652	114.509
			75	0.0864	0.03210	0.05430	51.99	37.15	464	69.181	116.875

~0.63의 비율로 분석되었다.

평균송수량과 평균배수량과의 관계는 Fig. 11

에서와 같이 상호 양의 상관관계를 가지고 있는 반면에 사이폰배수제어방식의 경우, Fig. 12와

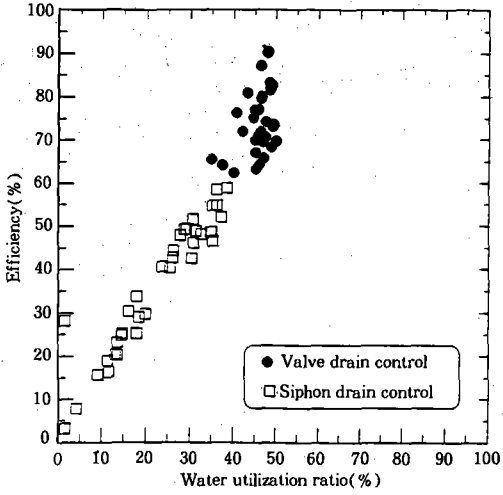


Fig. 8. Relation between efficiency and water utilization ratio

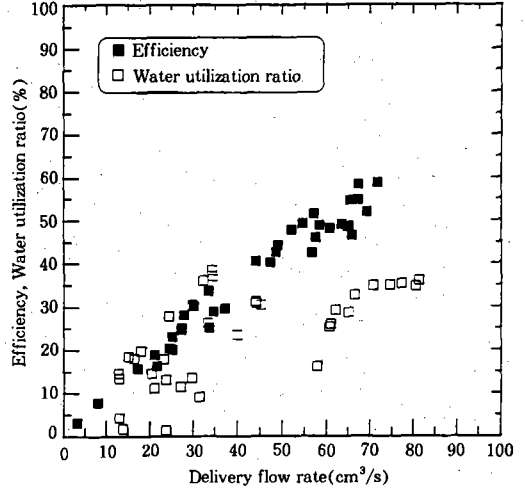


Fig. 10. Relation between average delivery rate and efficiency, water utilization ratio (SCM)

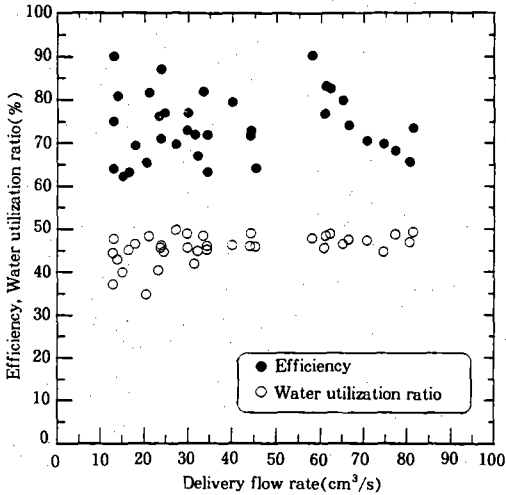


Fig. 9. Relation between average delivery rate and efficiency, water utilization ratio (VCM)

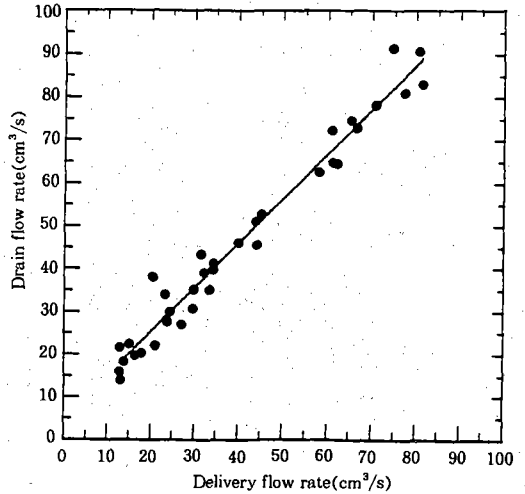


Fig. 11. Relation between delivery rate and drain rate (VCM)

같이 상호 음의 상관관계를 갖는 것으로 나타났다. 이는 적은 양밖에 송수하지 못하는 경우에는 배수수조의 압력이 사이폰의 물마중을 이루기에 부족하게 되어 이 물마중과정에서 많은양의 물이 배수되어지기 때문으로 판단된다. Fig. 11과 Fig. 12을 비교하여 보면, 밸브

배수제어방식은 송수가 끝나고 배수시기에 맞춰 밸브를 조작하여 배수하기 때문에 거의 정비례에 근접하지만 사이폰배수제어방식은 사이폰작용이 완전히 이루어지는 과정에서 많은양의 물이 배수되어지면서 사이폰작용이 이루어지기 때문으로 판단된다.

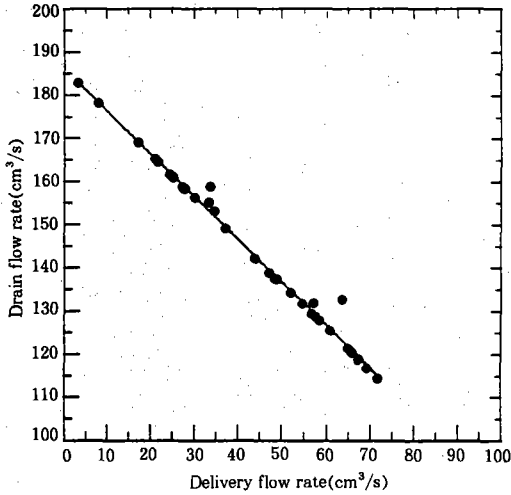


Fig. 12. Relation between delivery rate and drain rate (SCM)

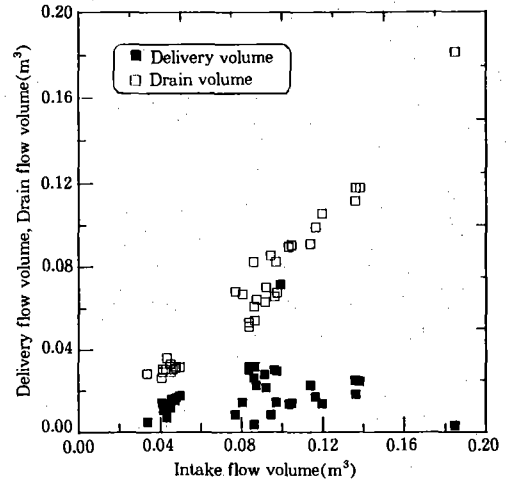


Fig. 14. Relation between intake volume and deliver volume, drain volume (SCM)

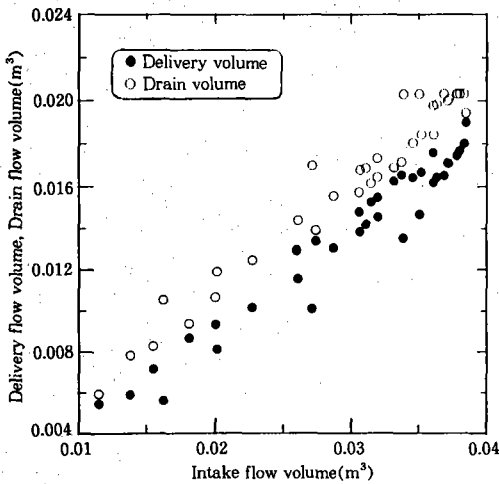


Fig. 13. Relation between intake volume and deliver volume, drain volume (VCM)

4. 유입용량과 송수용량 및 배수용량

유입용량과 송수용량 및 배수용량의 관계는 밸브배수제어방식의 경우, Fig. 13에서와 같이 상호 양의 상관관계를 가지고 있는 것으로 나타났으며 사이폰배수제어방식의 경우, Fig. 14와 같이 배수용량은 유입용량의 변화에 대하여 양의 상관관계를 나타낸 반면에 송수용량

은 유입용량의 변화에 상관없이 일정하게 유지되는 것으로 나타났다. 이는 송수가 완료된 직후 배수가 이루어지기 위해서는 사이폰의 작용이 바로 이루어져야 하는데 이 사이폰작용이 이루어지는 과정에서 많은 시간이 소요되어 이 시간동안 유입된 물의 많은량이 배수로 이어지기 때문으로 판단된다.

V. 결 론

물이 가지고 있는 위치 에너지에 의하여 작동되는 Cherepnov송수기는 배수시기에 맞추어 배수수조의 물이 배수되어지면 자동으로 작동되어질 수 있다. 본 연구에서는 밸브배수 제어방식과 사이폰배수제어방식의 송수기를 제작하여 압력변환기를 부착하고 송수기의 작동과정을 자료획득장치에 의하여 3개 수조의 수위와 배수·송수수조의 압력의 변화를 측정하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을수 있었다.

밸브배수제어방식에서는 유입용량이 송수용량 또는 배수용량과 양의 상관관계가 있으나, 평균송수율은 효율 또는 이수율과 무관한 것

으로 나타났다. 그리고 사이폰배수제어방식에서는 배수용량이 유입용량과 그리고 평균송수율이 효율과, 평균송수율이 이수율과 양의 상관관계가 있지만 송수용량이 유입용량과 무관한 것으로 나타났다. 또한, 밸브배수제어방식은 이수율이 35~49%, 효율이 62~90%, 평균송수율이 12.8~81.2cm³/s, 평균배수율이 14.0~91.5cm³/s으로 분석된 반면 사이폰배수제어방식은 이수율이 1.7~38%, 효율이 3~58%, 평균송수율이 3.1~69.2cm³/s, 평균배수율이 114.5~183cm³/s으로 나타나 이수율, 효율, 평균송수율, 평균배수율을 비교하여 볼 때 밸브배수제어방식이 사이폰배수제어방식보다 모두 우월하여 밸브배수제어방식이 보다 경제적인 배수제어방식으로 판단된다. 그러나 밸브배수제어방식은 인력이나, 전자기계의 사용, 그리고 전자기계를 위한 전력이 요구되어 지나 사이폰배수제어방식은 인력이나 전력이 전혀 요구되지 않으므로 이에 대한 경제성 평가가 필요할 것이다. 또한 사이폰배수제어방식은 사이폰의 물마중작용시 많은량의 물이 배수되는 관계로 이수율과 효율의 향상 또는 평균배수율의 저감을 위한 사이폰의 최적높이 또는 마루부의 최적곡률반경등을 먼저 결정하는 연구가 보다 선행되어야 할 것으로 판단된다.

본 연구는 1996년도 동신대학교 학술 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Liu, H. and Fessehaye, M.(1983), 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.
2. Liu, H. and Fessehaye, M.(1979), A Water Lifter that Needs No Energy or Fuel Supply, Proceeding of 6th Annual UMR-DNR Conference on Energy, Rolla, Missouri, p. 136-138.
3. Arnovich, G. V., and Shtaerman, E. Y. (1966), On the Theory of the Cherepnov Water Lifter, Mekhnika Zhidhosti Gaze, Vol. 1, No. 1, p. 176-178.
4. 이관수, 이경훈, 박성천(1991), 위치에너지를 이용한 송수기의 특성에 관한 실험적 연구, 대한 토목학술발표회 개요집, p. 419~422.
5. 박성천(1994), 실험에 의한 Cherepnov송수기의 특성, 박사학위논문, 전남대학교.
6. 이관수, 이경훈, 박성천(1995), Cherepnov송수기의 수학적모델 개발, 한국수문학회지 제28권 제1호, p. 121-132.
7. 이경훈, 박성천, 문병석(1995), 물의 위치에너지를 이용하여 작동되는 Cherepnov양수장치에 관한 연구, 한국수문학회지 제28권 제1호, p. 145-152.
8. Chow, V. T.,(1989), Open Channel Hydraulics, McGraw-Hill Book Co., New York.
9. John A. Roberson and Clayton T. Crowe (1980), Engineering Fluid Mechanics, Washington State University, Pullman, p. 84-124.
10. BHRA(1975), Design and Operation of Siphons and Siphon Spill Ways, Conference Proceeding, British Hydraulic Research Association, London, England.
11. Chai, s. y.(1985), Unsteady Flow Through Siphon, St. M. University of Missouri.
12. Fessehaye, M.(1982), Theoretical and Experimental Investigation on the Hydraulics of Cherepnov Water Lifters, Ph. D. Dissertation, University of Missouri.