

Siphon을 이용한 Cherepnov 送水機의 揚程 決定 A Determination of Discharge Head of the Cherepnov Water Lifter with Siphon

李 寬 洙* · 李 庚 焄** · 朴 成 天*** · 鄭 炳 健****
Lee, Kwan Soo · Rhee, Kyoung Hoon · Park, Sung Chun · Jeong, Byoung Kyen

Abstract

This paper presents an experimental study on the discharge head of Cherepnov water lifter that was continuously operated with the aid of the siphon. The energy used by the Cherepnov water lifter is derived from the potential energy of the water itself. The lifter consists of three interconnected tanks and five pipes, one of which is open and two others are hermetically sealed. The effects of varying operating parameters such as the tank and pipe size, the ratio between head of discharge and drop height were analyzed. As a result, factors that can maximize the efficiency and increase the average delivery rate were indentified. When the ratio between head of discharge and drop height is about 0.5, the efficiency of Cherepnov water lifter is maximized. In order to design the efficient Cherepnov water lifter, the discharge head of the Cherepnov water lifter should be assigned to be twice as much as the drop height. The effect of tank size on the efficiency is less than 5%, while the effect of the pipe size is not negligible. The larger the pipe size is, the more the efficiency increases.

요 지

본 연구는 siphon의 수리학적 현상을 이용하여 배수를 제어하는 Cherepnov 송수기의 효율적인 양정(유입수조의 수면과 송수관 출구의 위치차)을 결정하기 위한 실험적 연구이다. 본 송수기는 물 자체가 가지고 있는 위치에너지에 의하여 작동되어지며, 송수기의 구조는 상단 개구부를 갖는 1개의 수조와 밀폐된 2개의 수조, 5개의 관 그리고 2개의 역지반이 상호 연결되어 있다. 양정과 낙하고 비(H_2/H_1)의 변화에 대한 본 송수기의 수리학적 거동과 작동특성을 조사 연구하기 위하여 각 수조내의 수위와 압력변화를 측정하였으며, 송수기의 수조와 연결관의 직경이 송수기의 양정과 낙하고 비(H_2/H_1)에 미치는 영향을 분석하였다. 본 실험에 의

-
- * 전남대학교 공과대학 토목공학과 교수
 - ** 전남대학교 공과대학 토목공학과 조교수
 - *** 동신대학교 공과대학 환경공학과 전임강사
 - **** 순천공업전문대학 환경공업과 조교수

하여 송수기의 효율을 높일 수 있는 효율적인 양정은 낙하고의 약 1/2배정도 이었다. 따라서 효율적인 Cherepnov 송수기를 제작하기 위하여는 낙하고를 양정의 2배정도로 설계해야 할 것으로 판단된다. 수조크기가 효율에 미치는 영향은 5% 이하인 반면 관의 크기가 효율에 미치는 영향은 관크기에 따라 증가되었다.

1. 서 론

연료나 전기와 같은 외부 에너지의 공급이나 물에 압력에너지를 주는 펌프의 회전차와 같은 장치 없이 물이 압력이나 속도를 가질 수 있다면 물은 높은 곳으로 송출될 것이다. Cherepnov 송수기는 기계적 및 전기에너지의 제공 없이 물의 위치에너지만으로 물을 높은 곳으로 송출할 수 있는 장치이다.

Cherepnov 송수기는 물 자체가 가지고 있는 위치에너지를 동력원으로 하여 작동되는 경제성, 상단 개구부를 갖는 한개의 수조와 밀폐된 두개의 수조, 네개의 관 그리고 두개의 역지변이 상호 연결되어 있는 구조의 단순성, 오염원이 없어 수질의 변화를 초래하지 않는 불오염성, 작동시 소음을 발생하지 않는 무소음성의 특성을 가지고 있다. 본 연구에 이용된 Cherepnov 송수기는 siphon을 배수수조에 연결하여 siphon의 수리학적 특성으로 배수를 제어하므로써 주기적으로 작동되는 자동성을 가지고 있다.

Cherepnov 송수기는 소련에서 처음 개발되어 비교적 최근에 미국에 소개되었으며 국내에는 이관수 등(1991)에 의하여 처음 소개되었다. 지금까지의 연구는 송수기의 작동과정과 작동원리를 해석적 방법으로 규명하였고, 작동과정의 특성 및 송수기의 효율 증진의 방안을 실험적으로 모색하였으며, 실험적 기초자료를 확보하여 수학적 모델을 개발하였다. 본 연구에서는 주기적으로 자동작동되는 Cherepnov 송수기를 이용하여 낮은 곳의 물을 높은 곳으로 송출하고자 할 때 양정과 낙하고의 변화에 따라 송수기의 효율이 변하게 된다. 따라서 실험을 통하여 siphon에 의하여 배수를 제어하는 Cherepnov 송수기의 수리학적 특성을 규명하여

효율을 극대화할 수 있는 양정을 낙하고와 비교하여 실험적으로 규명하는데 연구의 목적이 있다.

2. Cherepnov 송수기의 구조 및 작동

2.1 Cherepnov 송수기의 구조

siphon을 이용하여 물의 위치에너지에 의하여 자동 작동되는 Cherepnov 송수기는 그림 1에서와 같이 5개의 관 또는 호스(hose)로 연결된 3개의 수조로 만들어져 있으며, 송수기 내부의 유체(물과 공기)의 흐름을 일정한 방향으로 유도하기 위하여 2개의 역지변(check valve)이 관 또는 호스에 부착된 형태로 만들어진 단순한 구조이다.

그림 1에서와 같이 세개의 수조중 유입수조는 Cherepnov 송수기에 유입되는 물을 처음 받아 들이는 수조로서 아랫면에 급수관(feed pipe)과 압력관(pressure pipe)이 연결되어 있고 수조내에는 각각의 유입부가 설치되어 있다. 그리고 송수수조는 송수되어질 물을 받아 들이는 수조로서 아랫면에는 급수관과 송수관(delivery pipe), 윗면에는 공기관(air pipe)이 연결되어 있다. 마지막으로 배수수조는 수조내의 공기를 압축하여 증가된 공기압을 송수수조로 전달하며, 또한 송수가 끝났을 때 공기를 압축시키기 위해 사용된 물을 배수시키는 수조로서 아랫면에는 압력관과 배수사이폰(drain siphon)관, 윗면에는 공기관이 연결되어 있다. 그리고 역지변은 송수수조로 유입된 물이 다시 역류하는 것을 방지하기 위하여 송수수조 부근의 급수관에 설치하고 또한, 송수수조에서 유출된 물이 다시 수조로 역류되는 것을 방지하기 위하여 송수수조 부근의 송수관에 설치되어 있다.

2.2 Cherepnov 송수기의 작동

이 송수기는 주기적이고 반복적으로 자동작동하는데 한 주기를 유입과정과 송수과정, 그리고 배수과정으로 나누어 살펴보면 다음과 같다.

유입과정으로는 송수(또는 양수)하고자 하는 물의 수면(water level)이 유입수조의 위치에 있다고 가정하면 처음엔 물이 유입수조로 유입되어 급수관의 유도구 높이(그림 1의 h_{14})와 압력관의 유도구 높이(그림 1의 h_{16})에 따라 차례로 송수수조와 배수수조로 유입된다.

송수과정은 배수수조의 수위가 상승하면서 수조내

의 공기는 압축되어지고 압축된 공기의 압력은 공기관을 통하여 송수수조로 전달된다. 송수수조에 전달된 압축공기의 압력은 송수수조 내에 있는 물을 송수시킬수 있는 부가적인 압력수두(pressure head)로 작용한다. 압력수두가 송수수조 내의 물을 송수할 때 필요한 수두(head)보다 더 커지면 송수수조 내의 물은 송수수조에 연결된 송수관(delivery pipe)을 통하여 송수가 시작된다. 송수가 진행되어 송수수조 내의 물이 전부 송수될 무렵, 배수수조는 물로 가득 채워지게 된다. 이때 송수기는 송수과정이 끝나고 새로운 송수과정을 준비하게 된다.

배수과정으로는 배수수조내의 물은 배수수조 아

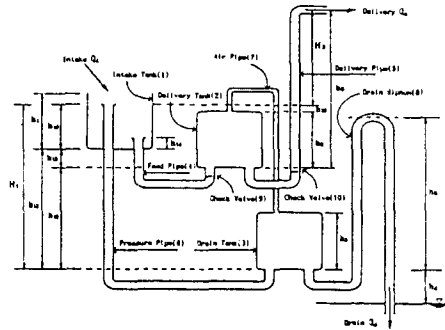


그림 1. Cherepnov 송수기의 모형도

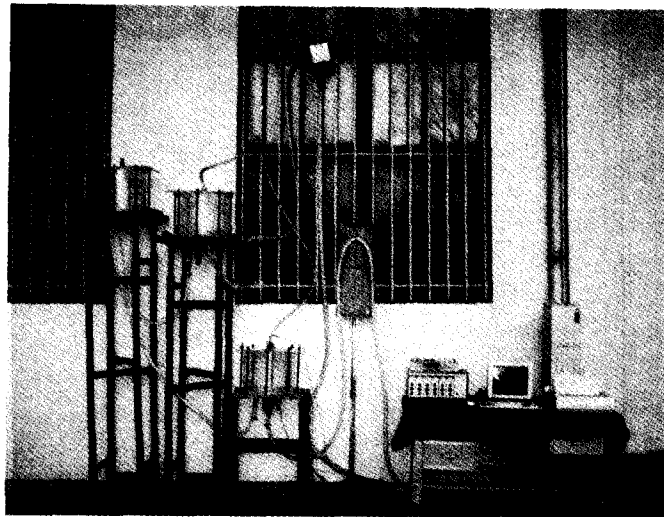


그림 2. Cherepnov 송수기의 모형과 자료획득장치

래로 연결된 배수 siphon의 마루를 넘어 흐르고, 사이폰 마루위의 수위를 상승시켜서 마침내 사이폰 작용을 일으키게 된다. 배수수조내의 물은 사이폰 작용에 의하여 배수되면서 배수수조의 수위는 점점 하강하고 배수수조는 다시 공기로 채워지기 시작한다. 송수수조는 물로 다시 채워져 새로운 주기를 준비하게 되고, 사이폰작용이 끝나면서 배수수조내의 물이 전부 배수되어 한 주기가 끝나고 다음 주기를 준비한다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

본 실험을 위한 Cherepnov 송수기는 그림 2와 표 1에서와 같이 투명아크릴원통 또는 판, 반투명 비닐 호스를 사용하여 수위의 변화를 가시적으로 확인할 수 있도록 제작하였다. 수조는 원통(높이 33 cm)에 2개의 판(윗, 아랫판)을 사용하여 제작하는데, 유입수조는 유입된 물의 수면이 대기압에 접할 수 있도록 제작하고, 송수수조와 배수수조는 원통과 판사이에서의 누수나 공기의 누출이 없도록 실리콘과 보울트 및 너트를 사용하여 완전 밀폐된 수조로 제작하였다.

본 연구에서 사용된 압력변환기는 Strain Gage Type이고, 자료획득장치(data acquisition system)은 12비트 해상도이며 프로그램내에서 유

표 1. Cherepnov 송수기의 제원

구성명	직경	재료 및 특성	투명정도
수 조	28cm 38cm	아크릴원통 및 판(t=1cm)	투 명
급 수 판, 압 력 판, 송 수 판,	20mm 25mm 35mm	압력 비닐호스	반투명
역 지 변	20mm 25mm 35mm	동제품	반투명
공 기 판	16mm	압력 비닐호스	반투명
사 이 폰	25mm	압력 비닐호스	반투명
P.T.연결관	5mm	비닐호스	투 명
보울트, 너트, 실리콘, 고무링, 밸브류, ……			

표 2. 실험에 이용된 수조와 관의 직경

구 분	수조의 직경 (cm)	관의 직경 (cm)
Case1	28	2.0
Case2	28	2.5
Case3	28	3.5
Case4	38	2.0
Case5	38	2.5
Case6	38	3.5

표 3. 낙하고와 양정의 실험치

구 분	낙하고(H ₁) (cm)	양정(H ₂) (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

효한 최대 자료획득율이 4000 samples/sec인 A/D변환기(analogue to digital convertor)와 IBM 호환성 컴퓨터 그리고 출력장치로 그림 2에서와 같이 구성하였다.

3.1 실험방법

실험조건으로 유입량은 시간당 670ℓ (1861 × 10⁷m³/sec)로 일정하게 유지하고, 유입수조의 위치는 210 cm의 높이에, 송수수조는 유입수조와의 위치차를 20 cm로 하여 190 cm의 높이에 설치하였다. 그리고 실험조건은 표 2와 같이 수조와 관의 직경에 따라 6개의 경우(Case)로 구분하고 각 경우는 다시 표 3에서와 같이 6개의 형식(Mode)로 구분하였다. 따라서 실험은 36가지(6 × 6 = 36)로 분류하여 실시하였다.

실험의 진행은 위의 실험조건에 따라서 각 압력 변환기에 대한 검정(calibration)을 실시하여 압력 변환기의 각각에 대하여 보정계수를 결정하고, 3개의 수위 측정용 압력변환기는 각 수조의 아랫면에, 1개의 공기압력 측정용 압력변환기는 배수수조의 윗판에 연결하여, 송수기가 작동되는 동안의 압

력변화량이 초기상태에서 부터 측정될 수 있도록 먼저 각 압력변환기의 초기압력을 측정하였다. 이때 초기압력은 수조내의 물을 완전히 배출시킨 다음 대기압 상태하에서 측정하였다. 그리고, 자료 획득 장치의 데이터수집 시간간격과 데이터수집을 위한 전체시간을 결정하고, 송수기를 작동하여 결정된 데이터수집 시간동안 각 수조의 압력을 4개의 압력변환기에 의하여 측정 기록하였다. 유입수조의 수위 변화량은 유입수조의 아래에서 측정된 압력으로 구하고, 송수 및 배수수조의 수위 변화량은 송수 및 배수수조의 아랫면에서 측정된 압력에서 배수수조의 위판에서 측정된 압력을 감하여 구할 수 있다.

수집한 데이터를 시간변화에 대한 각 수조의 수위 변화량과 공기압력 변화량을 도시하여 공기압력의 변화량에 대한 곡선중 임의의 최소압력에서 다음의 최소압력까지의 시간을 송수기의 작동주기로 하였다. 또한, 송수기의 효율은 Fessehaye(1982)가 식 (1)과 같이 정의한 송수기의 효율식을 이용하여 계산하였다.

$$\eta = \frac{V_2(H_1 + H_2)}{(V_2 + V_3)H_1} \quad (1)$$

여기서, V_2 와 V_3 는 각각 송수기 작동의 한 주기 중 송수수조에서 송수되는 체적과 배수수조를 통하여 배수되는 체적이다. 또한, H_1 는 그림 1에서와 같이 유입수조내의 압력관 유입구에서 부터 배수수조의 유출구까지의 수두차이고, H_2 는 유입수조내의 압력관 유입구에서 부터 송수되는 송수관의 유출구까지의 수두차이다.

4. 실험 결과 및 분석

실험에 의하여 측정기록된 압력자료중 공기압력 변화는 그림 3과 4의 (a)에 나타낸 바와 같이 $Z = P/\gamma$ 에 의하여 각 수조의 수위로 환산한 수조 수위의 변화는 그림 3과 4의 (b)에 나타내었다. 여기서 Z 는 압력수두, P 는 수압, γ 는 물의 단위중량이다. 그리고, 각 경우와 형식별로 측정기록된 압력자료를 환산한 송수수조의 수위로 부터 송수량과

배수량을 구하고, 공기압력자료로 부터 임의의 최소 압력치로부터 다음의 최소압력치까지의 시간을 한 주기의 시간으로 하여 송수기의 효율과 평균 송수량을 계산하였다. 각 경우와 형식별로 계산한 송수기의 효율과 평균 송수량은 표 4와 같다.

4.1 양정의 영향

양정은 그림 1에서와 같이 유입수조의 압력관 유도구 상단에서 송수관의 유출구 상단까지의 높이 (H_2)로서 75cm, 105cm, 135cm의 3가지 조건을 이용하고 낙하고(H_1) 153cm 와 188cm을 이용하여 양정과 낙하고의 비(H_2/H_1)로서 0.4, 0.49, 0.56, 0.69, 0.72 그리고, 0.88에 대하여 송수기의 수리학적 특성치를 분석하였다.

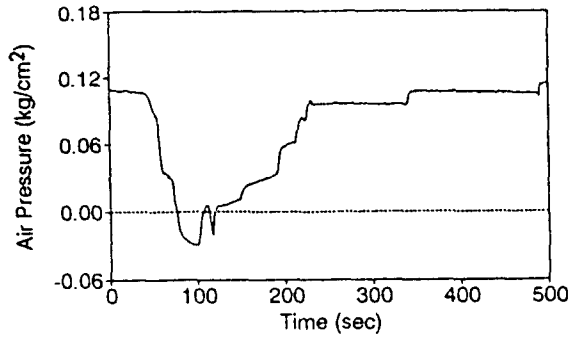
양정과 낙하고의 비(H_2/H_1)에 대한 송수기의 효율은 그림 5와 같이 양정과 낙하고의 비가 0.5근처에서 최대효율이 나타나 있다. 즉, 양정은 낙하고의 약 0.5배로 하였을 때 송수기의 효율이 최대에 접근하고 양정과 낙하고의 비가 0.4 또는 약 0.7인 경우는 약 0.5일 경우의 효율에 비하여 10~15%의 감소를 나타냈으나 약 0.9일 경우는 약 0.5일 경우의 효율에 비하여 약 50%정도가 감소되는 것을 알 수 있었다.

양정과 낙하고의 비에 대한 송수기의 평균 송수량은 그림 6에서와 같이 양정과 낙하고의 비가 0.4, 0.5, 0.56 즉 0.5부근에서는 10% 미만의 비소한 평균 송수량을 나타내고 있으나 약 0.7과 약 0.9에서는 30%와 50%로 현저히 감소되는 것을 알 수 있었다.

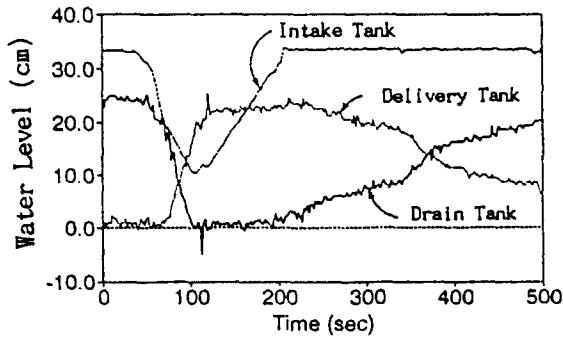
4.2 수조직경의 영향

수조직경의 영향은 관의 직경 20mm, 25mm, 35mm의 3종류에 대하여 수조직경 28cm와 38cm의 2종을 이용하여 양정과 낙하고의 비(H_2/H_1)로서 송수기의 효율을 분석하였다.

표 4와 그림 5에서와 같이 관의 직경 20 mm(경우 1, 경우 4)에서, 수조 직경에 대한 송수기의 효율은 수조직경 28cm(경우 1)가 수조직경 38cm(경우 4)에 비하여 크기는 40% 이상 효율이 감소되는 것을 알

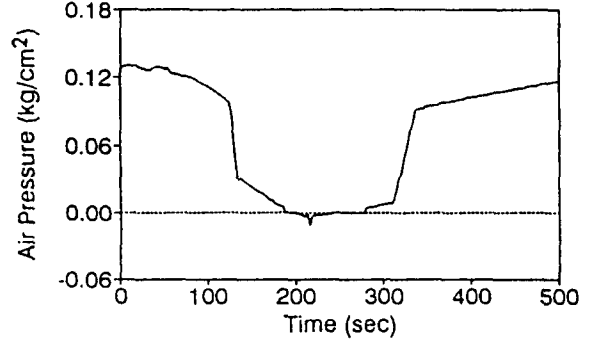


(a) 공기압의 변화

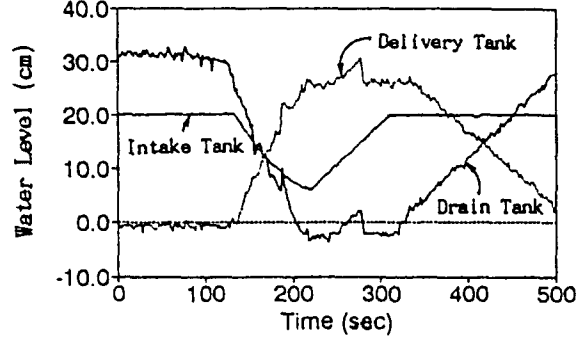


(b) 각 수조의 수위변화

그림 3. 송수기의 공기압과 각 수조의 수위변화
(경우 1-형식 1)



(a) 공기압의 변화



(b) 각 수조의 수위변화

그림 4. 송수기의 공기압과 각 수조의 수위변화
(경우 6-형식 4)

표 4. Cherepnov송수기의 실험조건에 따른 효율과 평균송수율의 실험결과

Case / Mode	유입량 V (m³)	송수량 V ₂ (m³)	배수량 V ₃ (m³)	효율 η (%)	평균 송수율 (m³/hr)	
1	1	0.1046	0.01416	0.09044	20.18	0.09072
	2	0.0767	0.00862	0.06808	18.96	0.07533
	3	0.1846	0.00308	0.18152	3.14	0.01117
	4	0.0942	0.00862	0.08558	15.73	0.06133
	5	0.1031	0.01354	0.08956	20.48	0.08803
	6	0.1195	0.01385	0.10565	16.22	0.07769
2	1	0.0406	0.01416	0.02644	48.53	0.23383
	2	0.0413	0.01047	0.03083	40.25	0.16978
	3	0.0335	0.00493	0.02857	25.25	0.09860
	4	0.0450	0.01170	0.03330	42.53	0.17405
	5	0.0473	0.01539	0.03191	48.13	0.21813
	6	0.0454	0.01601	0.02939	46.52	0.23621
3	1	0.0495	0.01785	0.03165	54.72	0.24605
	2	0.0413	0.01206	0.02924	49.22	0.19555
	3	0.0432	0.00695	0.03625	30.29	0.10781
	4	0.0428	0.01225	0.03055	49.19	0.19181
	5	0.0449	0.01682	0.02808	54.61	0.25122
	6	0.0465	0.01615	0.03035	48.56	0.23256

Case / Mode	유입량 V (m³)	송수량 V ₂ (m³)	배수량 V ₃ (m³)	효율 η (%)	평균 송수율 (m³/hr)	
4	1	0.1139	0.02268	0.09122	29.69	0.13342
	2	0.1161	0.01701	0.09909	24.70	0.09814
	3	0.0860	0.00363	0.08237	7.75	0.02828
	4	0.1362	0.01837	0.11783	23.17	0.09036
	5	0.1359	0.02516	0.11174	28.86	0.12407
	6	0.1381	0.02490	0.11783	25.22	0.12079
5	1	0.0912	0.02813	0.06307	45.96	0.20664
	2	0.0871	0.02279	0.06431	44.14	0.17535
	3	0.0968	0.01445	0.08235	28.09	0.10001
	4	0.0919	0.02166	0.07024	40.48	0.15786
	5	0.0960	0.03005	0.06595	48.77	0.20968
	6	0.0971	0.02949	0.06761	42.48	0.20338
6	1	0.0834	0.03010	0.05330	58.38	0.26210
	2	0.0860	0.02630	0.06094	51.57	0.20494
	3	0.0804	0.01438	0.06706	33.67	0.11983
	4	0.0991	0.02756	0.07154	47.82	0.18649
	5	0.0778	0.03210	0.04570	58.71	0.25795
	6	0.0864	0.03210	0.05430	51.99	0.24901

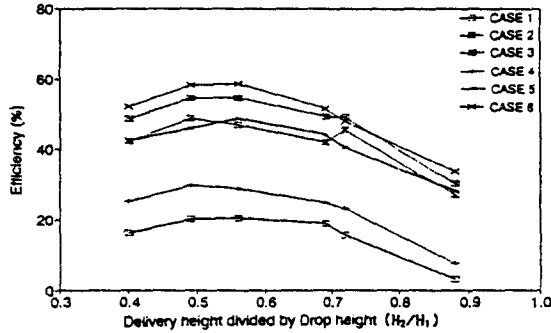


그림 5. 양정과 낙하고의 비에 대한 효율

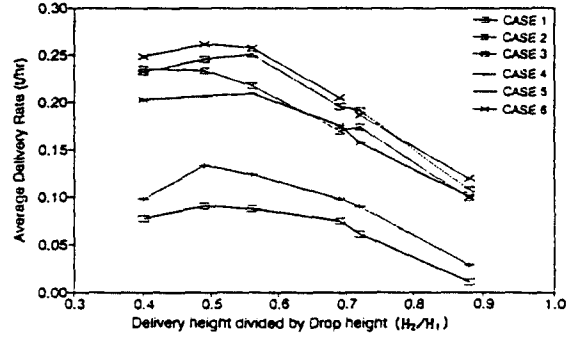


그림 6. 양정과 낙하고의 비에 대한 평균송수율

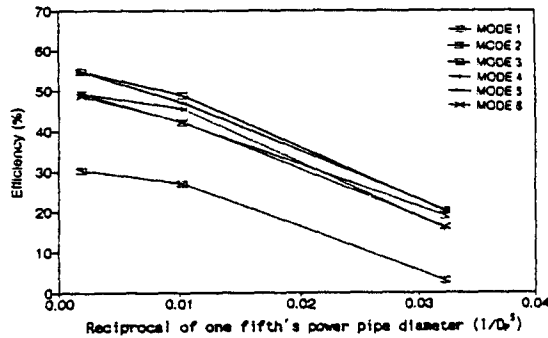


그림 7. 관 직경에 대한 송수기 효율 (수조직경 28cm)

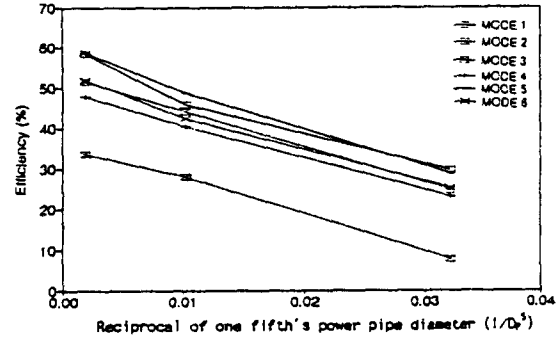


그림 8. 관 직경에 대한 송수기 효율 (수조직경 38cm)

수 있었다. 이는 수조에서 관으로 유입할 때의 유선이 수조직경 38cm에서 보다 수조직경 28cm에서가 더 많은 방해물을 받는 것으로 판단된다. 또한, 관의 직경 25mm(경우 2, 경우 5)와 관의 직경 35mm(경우 3, 경우 6)에서와 같이 수조직경 28cm(경우 2, 경우 3)와 38cm(경우 5, 경우 6)에 대하여 송수기의 효율이 5%이만의 차이로 비슷한 효율을 나타내었으며, 이에 수조의 직경은 송수기의 효율에 크게 영향이 없는 것을 알 수 있었다.

4.3 관 직경의 영향

관은 3개의 수조를 상호 연결하여 흐름을 유도하는 관으로 물의 유입과 유출을 유도하는 급수관, 송수관, 그리고, 압력관을 말한다. 3개의 연결관은 동일한 직경의 관을 사용하였으며 사용된 관의 직경은 20mm, 25mm, 35mm의 3가지 종류이다. 관의 직경에 대한 영향은 수조직경 2종에 대하여 각각 분석하였다.

표 4와 그림 5에서와 같이 수조직경 28 cm(경우 1, 경우 2, 경우 3)에 대하여 20mm(경우 1)의 관을 사용할 때의 효율은 25mm(경우 2)의 관을 사용할 때의 효율에 비하여 약 60% 정도 감소하였고, 25mm(경우 2)의 관을 사용할 때의 효율이 35mm(경우 3)의 관을 사용할 때의 효율에 비하여 약 20% 감소 되는 것을 알 수 있었다.

그리고, 수조직경 38 cm(경우 4, 경우 5, 경우 6)의 실험에서 양정과 낙하고의 비에 대한 송수기의 효율은 20mm(경우 4)의 관을 사용할 경우가 25mm(경우 5)의 관을 사용할 경우보다 약 40% 정도 감소하고 있으며, 25mm(경우 5)의 관을 사용할 경우가 35mm(경우 6)의 관을 사용할 경우보다 약 20% 정도 감소되는 것을 알 수 있었다.

이상에서와 같이 관의 직경이 작아질수록 효율이 크게 감소하는 것은 Darch-Weisbach의 마찰 손실수두공식에 따라 마찰에 의한 에너지손실이 D_p^{-5} 에 비례하므로 관의 직경이 작아질수록 에너지 손실은 커지기 때문인 것으로 판단된다. 그림 7과 그

림 8은 D_p^{-5} 의 변화에 대한 송수기의 효율을 나타낸 그림으로 D_p^{-5} 이 증가될수록 마찰에 의한 에너지 손실이 커지고 마찰에 의한 에너지 손실이 클수록 흐름은 방해로 더 많이 받기 때문에 효율은 크게 감소되는 것을 알 수 있었다.

5. 결 론

물의 위치에너지에 의하여 작동되는 Cherepnov 송수기에 siphon을 이용하여 배수를 제어할 수 있는 모형을 제작하였다. 이용된 장치는 4개의 압력 변환기를 Cherepnov 송수기에 설치하고 A/D 변환기와 IBM 호환성 컴퓨터로 구성된 자료획득장치를 이용하여 수조내의 수위와 압력을 측정 기록하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) siphon의 작용에 의하여 연속적으로 작동되는 Cherepnov 송수기의 효율과 평균송수율은 양정(H_2)과 낙하고(H_1)의 비(H_2/H_1)가 약 0.5일때 가장 높게 나타났고 양정과 낙하고의 비가 이 보다 크거나 작으면 감소한다. 따라서, Cherepnov 송수기의 낙하고는 양정의 약 2배로 설계하면 효율이 가장 높을 것으로 판단된다.
- 2) 송수기를 구성하는 수조의 직경은 송수기의 효율에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며, 수조를 연결하는 관의 직경이 커지면 효율은 커지고 관의 직경이 작아지면 효율은 크게 감소한다.
- 3) Cherepnov 송수기의 주기는 배수제어장치의 종류에 따라서 다를 수 있으므로 주기를 단축시킬 수 있는 배수장치에 대한 연구가 필요하다고 생각된다.

참 고 문 헌

- 이관수, 이경훈, 박성천 (1991). "위치에너지를 이용한 양수기의 특성에 관한 실험적 연구." 대한토목학회학술발표회 개요집, pp. 419-422.
- 이관수, 이경훈, 박성천 (1993). "Siphon을 이용한

Cherepnov 송수기의 특성에 관한 실험적 연구." 전남대학교 공업기술연구소지, 35집, pp. 99-108.

- 박성천 (1994). "실험에 의한 Cherepnov 송수기의 특성," 박사학위논문, 전남대학교.
- 이관수, 이경훈, 박성천 (1995). "Cherepnov 송수기의 수학적 모델개발." 한국수자원학회지, 제 28권, 제 1호, pp. 121-131.
- 이경훈, 박성천, 문병석 (1995). "물의 위치에너지를 이용하여 작동되는 Cherepnov양수장치에 관한 실험 연구." 한국수자원학회지, 제 28권, 제 1호, pp. 145-152.
- Arnovich, G.V., and Shtaerman, E.Y. (1966). "On the theory of the Cherepnov water lifter." *Mekhnika Zhidhosti i Gaze*, Vol. 1, No. 1, pp. 176-178.
- Fessehaye, M. (1982). "Theoretical and experimental investigation on the hydraulics of Cherepnov water lifters," Ph.D. dissertation, University of Missouri.
- 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.
- Wolf, S. (1983). *Guide to electronic measurements and laboratory practice*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Chai, S.Y. (1985). "Unsteady flow through siphon," Master's thesis, University of Missouri.
- Daugherty, R.L., Franzini, J.B., and Finnemore, E.J. (1985). *Fluid mechanics with engineering applications*. McGraw-Hill Book Co., New York.
- Chow, V.T. (1989). *Open channel hydraulics*. McGraw-Hill Book Co., New York.
- Fox, J.A. (1989). *Transient flow in pipes, open channels and sewers*. John Wiley & sons.

(접수: 1995년 8월 23일)