

CHEREPNOV送水機의 SIMULATION을 위한 數學的 모델 構成

朴 成 天*, 李 寬 洙**, 李 庚 焄***

1. 서 론

저지대에서 고지대로 양수 또는 송수할 때에는 관내부에 높은 압력이 필요하게 된다. 따라서, 외부에서 에너지를 공급받지 않아도 관내부에 높은 압력을 발생시킬수 만 있다면, 저지대에서 고지대로 양수할 수 있게 된다.

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)으로 이루어진 간단한 구조이다. 이 송수기는 수면 아래에 위치한 밀폐된 탱크로 물이 흘러 들어가면서 그 탱크안에 채워져 있는 공기를 압축하고 압축된 공기가 압력수두(pressure head)로 작용하여 물을 송수할 수 있는 원리를 이용하고 있다.

본 연구는 Cherepnov송수기의 수리학적 현상을 이론적 해석과 실험방법을 통하여 그 특성을 파악하고 적절한 흐름 방정식을 유도하여 모의 실험을 위한 수학적 모델을 구성하는데 그 목적이 있다.

2. 송수기의 구성과 작동과정

물의 위치에너지에 의하여 작동되는 Cherepnov송수기는 그림 1에서와 같이 일반적으로 5개의 관(pipe) 또는 호스(hose)에 연결된 3개의 탱크로 구성되고 송수기의 내부유체(물과 공기)의 흐름을 일정한 방향으로 유도하는 2개의 체크밸브(check valve)를 부착한 단순한 구조이다. 3개의 탱크는 각각 유입탱크(intake tank), 송수탱크(delivery tank), 배수탱크(drain tank)이며, 송수탱크와 배수탱크는 밀폐되어 있다.

*. 전남대학교 공업기술연구소 특별연구원

**. 전남대학교 공과대학 토목공학과 교수

***. 전남대학교 공과대학 토목공학과 조교수

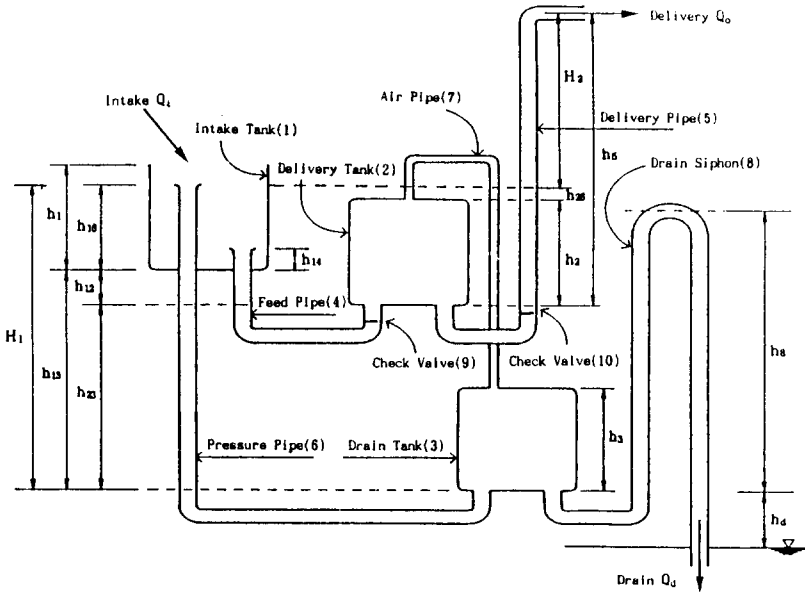


그림 1. Cherepnov송수기의 구성

이 Cherepnov송수기는 Siphon의 수리학적 특성을 이용하여 배수탱크내의 물을 배수제어하므로써 새로운 주기를 준비한다. 따라서, 이 송수기의 주기적 반복적 작동은 배수탱크내의 물을 적절한 시기에 배수를 시키므로써 이루지게 된다. Cherepnov송수기는 14개 단계의 초기과정과 9개 단계의 반복과정으로 작동되는데 초기과정은 제 1 주기를 이루며, 반복과정은 제 2, 제 3, ..., 제 n 주기를 이룬다.

2.1 초기 과정

- 제 1단계 : 유입탱크로만 물이 유입되어 유입탱크 수위가 급수관의 유입구에 도달한다.
 - 제 2단계 : 급수관으로 유입하여 급수관의 수위가 송수탱크의 바닥에 도달한다.
 - 제 3단계 : 송수탱크로 물이 유입하여 송수관의 U자형 부분이 물로 채워진다.
 - 제 4단계 : 급수관의 전체가 물로 채워진다.
 - 제 5단계 : 송수탱크가 물로 채워지고 유입탱크의 수위가 압력관의 유입구에 도달한다.
 - 제 6단계 : 압력관으로 유입하여 압력관의 U자형 부분을 물로 채운다.
 - 제 7단계 : 배수탱크로 유입하여 배수사이펀의 U자형 부분이 물로 채워진다.
 - 제 8단계 : 송수관의 수위가 송수관의 유출구에 도달한다.
 - 제 9단계 : 압력관이 완전히 채워져 유입구가 물에 잠긴다.
 - 제 10단계 : 배수사이펀의 수위가 사이펀 마루에 도달한다.
 - 제 11단계 : 사이펀 마루위의 수심(위어의 수두)이 마중물 수두에 도달한다.
 - 제 12단계 : 배수탱크의 Black Water가 배출되고, 유입탱크의 수위가 하강하여 압력관의 유입구에 도달한다.
 - 제 13단계 : 송수탱크로 물이 유입될 조건을 형성한다.
 - 제 14단계 : 송수탱크의 수위는 상승하고, 배수사이펀의 사이펀작용은 멈춘다.
- 위의 14개 단계는 제 1주기를 이루고 반복과정을 위한 준비과정이 된다.

2.2 반복 과정

- 제 1단계 : 유입탱크의 수위가 상승하여 압력관의 유입구에 도달한다.
 - 제 2단계 : 배수탱크로 물이 유입될 조건을 형성한다.
 - 제 3단계 : 송수탱크의 물이 송수관의 유출구로 송수될 조건을 형성한다.
 - 제 4단계 : 송수가 이루어지며, 압력관의 유입구가 물에 잠긴다.
 - 제 5단계 : 배수사이펀의 수위가 사이펀 마루에 도달한다.
 - 제 6단계 : 사이펀 마루위의 수심이 마중물 수두에 도달한다.
 - 제 7단계 : 배수탱크의 물이 배출되고 유입탱크의 수위가 압력관의 유입구에 도달한다.
 - 제 8단계 : 송수탱크로 물이 유입될 조건을 형성한다.
 - 제 9단계 : 송수탱크의 수위는 상승하고, 배수사이펀의 사이펀작용은 멈춘다.
- 위의 9개 단계가 하나의 주기를 이루며 반복하여 제 2, 제 3, ..., 제 n주기를 이룬다.

3. 실험

Cherepnov송수기는 흐름을 가시적으로 확인할 수 있는 투명 또는 반투명한 재료를 사용하여 제작하였고, 탱크의 중량을 지지할 뿐만 아니라 탱크의 위치를 조정하거나 고정할 수 있는 탱크의 지지대는 고정가변식으로 제작하였다.

본 연구에서 사용한 압력변환기(pressure transducer)는 Strain Gage Type이며, 유입, 송수, 배수탱크의 아래면에 각각 1개씩을 연결하고 배수탱크의 위면에 1개를 연결하였다. 또한 자료획득장치(data acquisition system)은 12bit Resolution이며 프로그램내에서 유효한 최대 자료획득율이 4000 Samples/sec인 A/D변환기(analogue to digital convertor)와 IBM 호환성 콤퓨터 그리고 출력장치로 구성하였다.

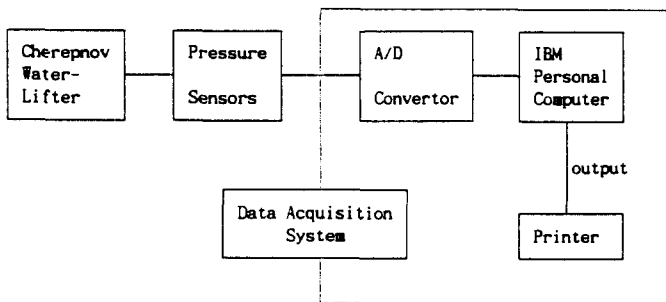


그림 2. 자료취득장치의 계통도

측정된 Data를 분석하고 그 결과를 ASCII code로 출력할 수 있고, 다른 Software Data file의 호환성을 갖도록 하였다. Cherepnov송수기의 각 탱크의 수위와 압력을 측정하기 위한 계통도는 그림 2와 같다.

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

표 1 Case 의 구분

CASE	탱크 직경 (cm)	관의 직경 (mm)
1	28	20
2	28	25
3	28	35
4	38	20
5	38	25
6	38	35

표 2 Mode의 구분

MODE	낙 하 고 (H ₁ , cm)	송 수 고 (H ₂ , cm)
1	153	75
2	153	105
3	153	135
4	188	135
5	188	105
6	188	75

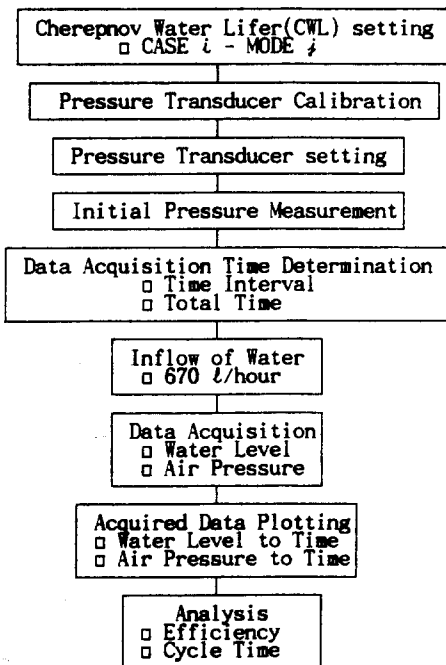


그림 3. 실험의 순서도

유입탱크의 위치는 210cm의 높이, 유입탱크와 송수탱크의 위치차는 20cm로 고정하여 190cm의 높이에 설치하였다. 그리고 실험의 종류는 표 1과 같이 탱크의 크기와 관의 직경에 따라 6개의 CASE로 구분하고, 6개의 CASE는 다시 표 2와 같이 낙하고(H₁)와 송수고(H₂)에 따라 각각 6개의 MODE로 구분하였다. 본 연구에서의 실험은 CASE1 MODE1(C1-M1)로 부터 CASE6 MODE6(C6-M6)까지 36가지(6x6=36)로 분류하여 실시하였으며, 실험의 진행은 그림 3과 같다.

송수기의 효율은 송수기 작동의 한 주 기중 송수탱크에서 송수되는 체적 V₂와 배수 탱크를 통하여 배수되는 체적 V₃, 그림 1에서와 같이 유입탱크내의 압력관 유입구에서 부터 배수탱크의 유출구까지의 위치차 H₁, 유입 탱크내의 압력관 유입구에서 부터 송수되는 송수관의 유출구까지의 위치차 H₂를 사용하여 Fessehaue³⁾가 정의한 송수기의 효율식인 식 (1)로 계산하였다.

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

4. 모의 실험

Siphon을 이용한 Cherepnov송수기의 수리학적 거동은 흐름현상의 변화에 의하여 23개의 단계로 구분하고, 구분된 23개의 단계에서 단계별로 적절한 연속방정식과 에너지방정식을 적용하여 송수기의 수리학적 거동현상을 수학적 방정식으로 표현하였다. 각 단계별로 방정식을 조합하고, 미분방정식으로 표현되는 연속방정식과 에너지방정식은 4차 Runge-Kutta 방법을 이용하여 수치적으로 해석하는 수학적 모델을 구성하였다. 그리고, 수학적 모델은

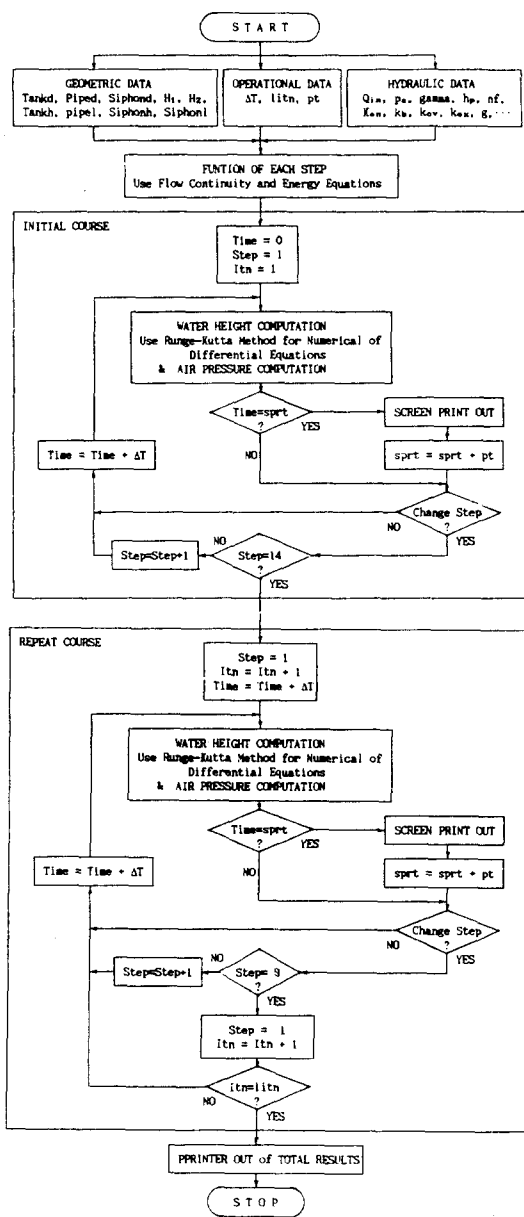


그림 4. 모의실험의 흐름도

그림 6에서의 (a)와 (b)를 비교하여 보면, 측정에 의해서 나타난 압력곡선은 부압이 짧은 시간내에 나타나고 있으나 모의 실험에 의한 압력곡선은 좀 더 긴시간 동안 부압이 발생하였다. 그리고, 36가지의 실험측정에 의한 수위곡선과 압력곡선은 모의 실험에 의하여 다소 국소적으로 잘 재현하지 못한 부분도 있으나 대체적으로 잘 재현하여 주고 있는 것을 알 수 있었으며, 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 수학적 모델의 전산 프로그램은 Cherepnov송수기의 수리학적 거동과 특성치를 재현하는 모의실험을 위한 모델로서 적합성을 인정할 수 있었다.

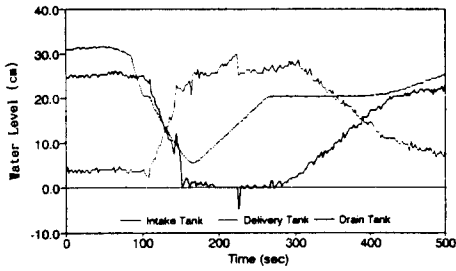
포트란(FOTRAN)언어를 사용하여 수리학적 거동현상과 특성치를 재현할 수 있는 프로그램으로 전개하였다.

Cherepnov송수기의 수리학적 거동현상의 모의 실험을 위한 수학적 모델의 흐름도는 그림 4와 같다.

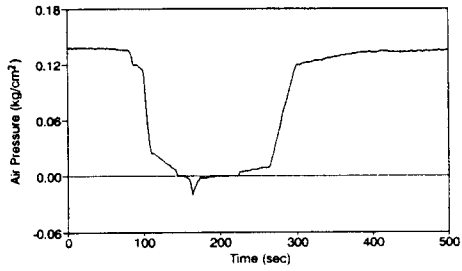
5. 실험과 모의 실험의 비교고찰

모의 실험은 실험에서 사용된 CASE, MODE별 36가지의 조건과 동일하게 실시하였다. 실험과 모의 실험에 의한 CASE와 MODE별 36가지의 효율과 주기는 표 5.1과 같이 나타내었다.

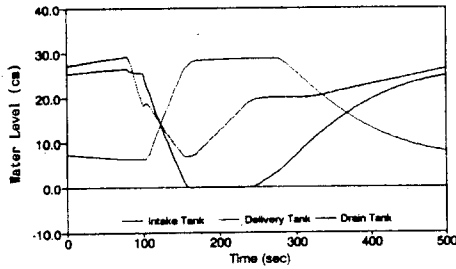
실험에 의하여 측정 기록된 각 탱크의 수위변화와 배수탱크내의 압력변화는 각각 그림 5와 그림 6의 각(a)에서와 같고, 모의 실험에 의하여 수치 계산된 각 탱크의 수위와 배수탱크의 압력변화는 각각 그림 5와 그림 6의 각(b)에서와 같다. 그림 5에서의 (a)와 (b)를 비교하여 보면 유입탱크의 최고수위와 송수탱크의 최저수위에서 약 3%의 오차를 보였으나 송수탱크의 최고수위, 유입탱크와 배수탱크의 수위 곡선의 교차점, 유입탱크의 최저수위, 유입탱크의 수위곡선이 배수탱크의 수위곡선과의 교차점등은 잘 재현하여 주었다.



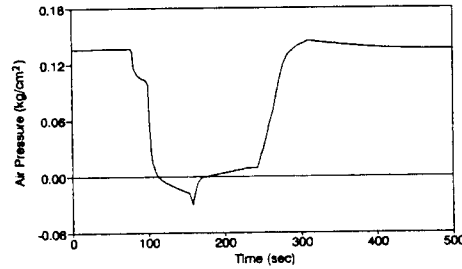
(a) The measurement of water level



(a) The measurement of air pressure



(b) The simulation of water level



(b) The simulation of air pressure

그림 5. 실험과 모의 실험에 의한 각 탱크의 수위와 공기압

6. 결 론

본 연구는 Cherepnov송수기를 제작하여 송수실험을 거쳐 Cherepnov송수기의 특성을 파악하였고, 송수기의 작동상태를 모의할 수 있는 수학적 모델을 구성하였다.

1) 수학적 모델에 의한 모의 실험은 Cherepnov송수기의 수리학적 거동을 전체적으로 잘 재현할 수 있었으며, 모의 실험에 의한 Cherepnov송수기의 수리학적 특성치는 실험에 의한 특성치에 거의 근접하였다.

2) 본 수학적 모델에 의하여 모의 실험하고 그 결과를 설계에 응용한다면 효율적이고 경제적인 방식으로 Cherepnov송수기를 설계할 수 있을 것으로 판단된다.

3) 연속적인 작동을 위해 Cherepnov송수기에 연결한 Siphon의 최적 형태(높이와 마루부의 곡률 반경, 등) 결정, Cherepnov송수기 구조의 변형을 시도하는 연구를 계속하여 수행하고자 한다.

- 참고 문헌 -

1. John A. Roberson, Clayton T. Crowe, "Engineering Fluid Mechanics," Washington State University, Pullman, 1980, pp. 84 ~ 124.
2. Fessehaye, M., "Theoretical and Experimental Investigation on the Hydraulics of Cherepnov Water Lifters," Ph.D. Dissertation, University of Missouri, 1982, pp.16~59.
3. 이 경 훈, "물의 위치에너지를 이용하여 작동되는 양수기에 관한 연구," 1990년도 한국학술진흥재단 자유공모과제 학술연구조성비 결과보고서, 전남대학교, 1991, 17 pages.
4. 박 성 천, 이 경 훈, 이 관 수, "위치에너지를 이용한 양수기의 특성에 관한 실험적 연구," 대한토목학회학술발표회 개요집, 1991, pp.419 ~422.