

관수로 부정류 수리모형의 설계

○ 서 현명*, 노 진식**, 박 남식***, 김 학용****

1. 서론

상수관망의 누수 탐지와 수리 매개변수의 검증을 위하여 최근에 개발된 부정류 역산방법(Chen and Ligget, 1995)의 실제 흐름에 대한 적용성을 검증하기 위하여 수리모형실험을 계획하였다. 이를 위하여 부정류 수리모형이 요구되는데 기존의 부정류 수리모형(예: Plint and Partners. Ltd, 1983)은 관망의 수격압을 oscilloscope에 도시하는 정도에 그치는 초보적 수준이다. 따라서 본 연구에서는 누수가 있는 관로에서 부정류에 대한 정밀한 수리실험을 수행할 수 있는 수리모형을 설계하였다. 본 원고에서는 그 설계 과정을 보고하고자 한다.

2. 관수로 수리모형

수리모형은 크게 관로 시스템과 제어 및 계측 시스템으로 구성하며 관로는 단일관과 복합관에 대하여 설계를 한다.

2.1. 관수로 부정류 수리 모형의 설계기준

접근방법으로는 관수로에서의 정상류와 부정류 흐름에 대한 정밀한 수치실험으로 관로, 계측기 및 제어기기를 결정하는 것이 중요하다. 모형관로는 거친 관 난류를 만들기 위해 관경, 관 표면, 유량, 펌프용량을 고려하고 압력 파의 왕복 시간을 지정하기 위하여 관재질, 관길이를 고려하며 경계조건을 명확하게 한다. 계측 시스템은 빠른 응답이 필요하며 탐지 가능 최소 누수량과 운영 압력 범위를 설정 해야한다. 제어 시스템은 이산 제어와 연속 제어로 설계를 한다

2.2. 단일관 수리모형의 구성

관로 표면 가공은 e (조도계수) ≈ 0.5 mm, D (직경)=50 mm하여 R_e 수가 10^5 이상 되도록 하여

* 동아대학교 토목공학과 석사과정

** 동아대학교 건설기술연구소 특별 연구원

*** 동아대학교 토목공학과 조교수

**** 한일네트워크 엔지니어링 대표

관로내에서 f (마찰계수)를 일정하게 유지하도록 한다. 일반적으로 관수로 내 압력과 전파속도 $a=1000\text{m/sec}$ 이므로 이에 해당하는 관 길이를 설계하는데 어려움이 있어 관 재질을 pvc관으로 하고 관 길이는 100m이상으로 한다. 단일관과 복합관에서의 흐르는 정상상태의 유량을 산정하기 위해서 관망의 정상류 흐름에 대한 비선형 행렬식 방법(Brebbia and Ferrante, 1983)을 사용하여 단일관의 경우 300 ℓ/min, 복합관의 경우 900 ℓ/min의 유량이 흐르도록 설계 한다. 펌프는 양정 30 m, 유량 900 ℓ/min인 단단 볼류트 펌프 (10hp, 1750 rpm, 60Hz, 4P)를 사용한다. 이 펌프를 사용하면 거친관 난류에서 천이난류에 이르기 까지 광범위한 흐름을 생성할 수 있다. 펌프에 의해 초기 수두를 제공하여 물을 압축공기 탱크(air chamber)에 유입하고 불규칙한 토출압을 정상상태로 바꾸어 저수지 역할을 하는 압축공기 탱크를 설치한다. 그 기능은 다음과 같다. ①상류 경계의 수두 경계조건을 조절 ②불규칙한 펌프 토출압 흡수 ③ 하류밸브조작으로 인한 수격압 흡수.

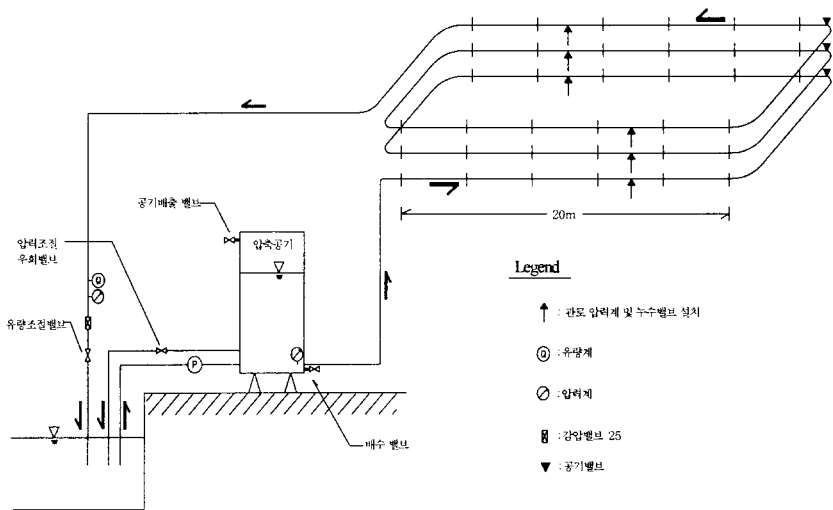


그림 1. 단일 관 수리모형의 Layout

위 그림 1.은 펌프에 의해 수두를 제공하여 압축공기 탱크(air chamber)에 유입되면 불규칙한 토출압을 흡수함으로써 저수지 역할을 하게 되어 물을 정상상태로 공급할 수 있다. 또한 관로에서는 누수밸브에 의해 누수를 발생시킬 수 있으며 정밀한 압력계와 유량계로 특정지점에서의 시간에 따라 변하는 압력과 유량을 측정할수 있고 관로 하류부에 유량 조절밸브를 조절하여 부정류를 야기시킬 수 있는 설계이다.

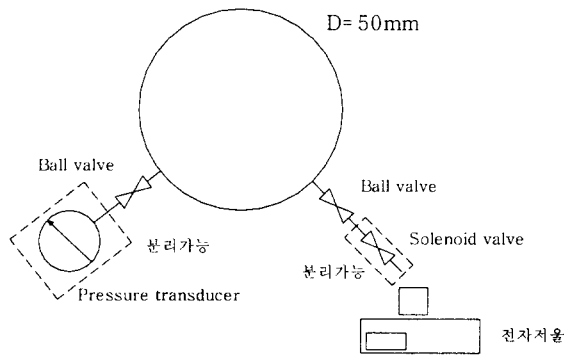


그림 2. 수압계와 누수밸브 Layout

그림 2는 관로에서의 수압계와 누수밸브를 나타낸 것으로 Ball valve로 누수량을 조절하며 Solenoid valve의 이산 제어로 누수의 유무를 조절한다. 누수가 발생할때는 전자저울로 누수량을 측정하며 누수발생지점의 시간에 따른 압력변화는 Ball valve에 연결된 압력계로 측정한다.

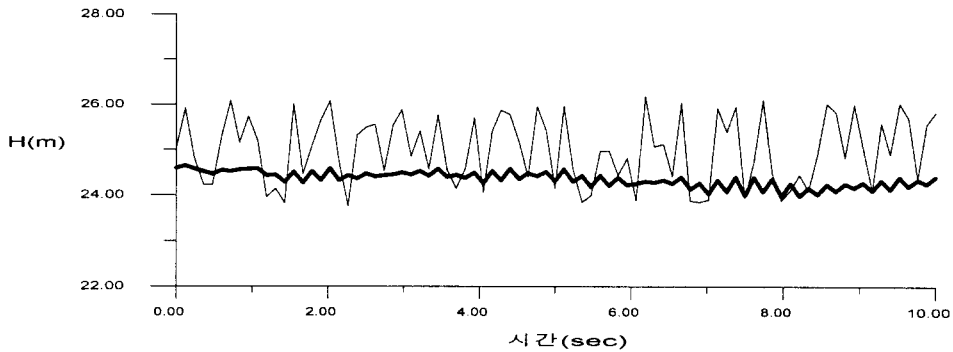


그림 3. 압축공기 탱크의 감쇄효과 (— : 펌프 토출수두, — : 압축공기 탱크 내 수두)

그림 3은 가상 압축공기 탱크를 설계하여 수치모형실험을 한 결과 불규칙한 펌프 토출압을 흡수함을 보여준다.

2.3 관망 수리모형의 구성

관 재질은 단일관 수리모형과 같이 pvc관으로 하고 그림3.과 같이 8개의 관과 5개의 절점으로 구성된 관망으로 설계한다. 이에 따른 관망의 제원은 표1에서 보여준다. 관망의 제원에 따른 절점 1,5에서 유출입량은 $0.014147\text{m}^3/\text{s}$ 가 흐르도록 설계한다. 하류 절점5의 유출량을 경계조건으로 하여 유출량을 조절함으로써 부정류를 야기시킬 수 있다.

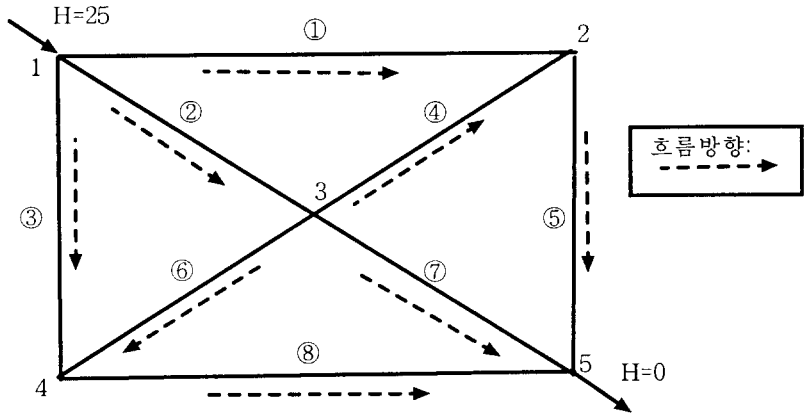


그림 4. 관망의 Layout

표 1. 관망의 제원 (PVC관)

관번호	상류절점	하류절점	길이(m)	관경(m)	Darcy fator
1	1	2	60	0.05	0.04
2	1	3	50	0.05	0.04
3	1	4	60	0.05	0.04
4	2	3	50	0.05	0.04
5	2	5	60	0.05	0.04
6	3	4	50	0.05	0.04
7	3	5	50	0.05	0.04
8	4	5	60	0.05	0.04

2.4 계측 및 제어 시스템

계측 및 제어 시스템은 크게 자료획득과 장치 제어부분으로 나누어질 수 있으며 모식도는 그림 5에 보여준다.

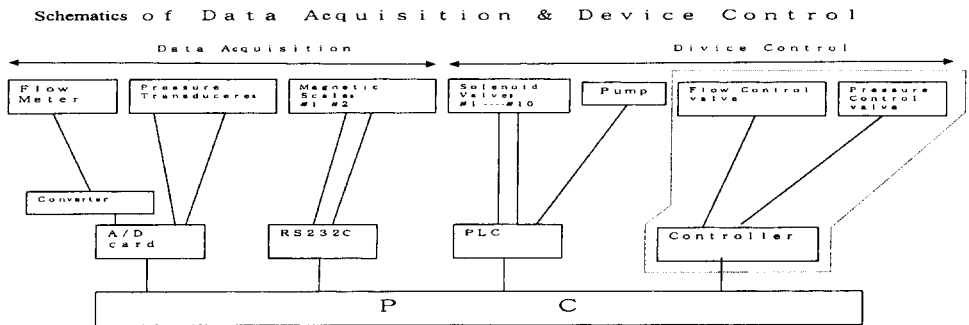


그림 5. 계측 및 제어 시스템 모식도

부정류 수리모형은 제어 시스템의 이산 제어로 초기에 누수가 존재할 경우 연속제어를 통해 관로내에서 부정류를 야기시켜 정밀한 압력계와 유량계로 특정지점의 유량과 압력을 계측하여 이를 PC에 저장하여 INVCHAR를 사용한 역산 기법으로 누수 탐지를 한다.

2.4.1 계측 시스템의 구성

압력계 위치는 압력 조절 탱크에 1개, 하류부 유량 조절 밸브 상류에 1개, 관로 20m 간격마다 1개씩 설치를 한다. 압력계의 사양을 정하기 위하여 단일관과 복합관에서 발생할 수 있는 관로내 최대 상승 수격압(kgf/cm²)을 산정하여야 한다. 이를 위해 가상 단일관과 복합관을 만들어 초기 정상 상태의 유량과 수두를 구하여 부정류 전산모델인 INVCHAR를 통한 수치모형실험을 하여 밸브 폐쇄시간에 따른 수격압을 구한다. INVCHAR에서는 하류 절점의 유출량을 경계조건으로 하여 유출량을 조절함으로써 하류밸브조작을 대신할 수 있다. 압력계의 오차를 산정하기 위해서 가상 복합관에서 INVCHAR를 통한 수치모형실험으로 작은 누수가 있을 때와 없을 때 탐지가 가능한 최소 압력 변화를 구한다.

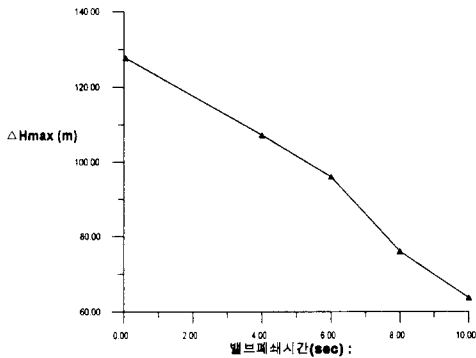


그림 6. 단일관에서 밸브폐쇄시간에 따른 최대 상승 수격압

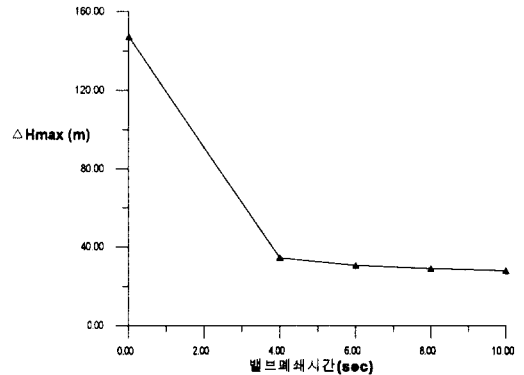


그림 7. 복합관에서 밸브폐쇄시간에 따른 최대 상승 수격압

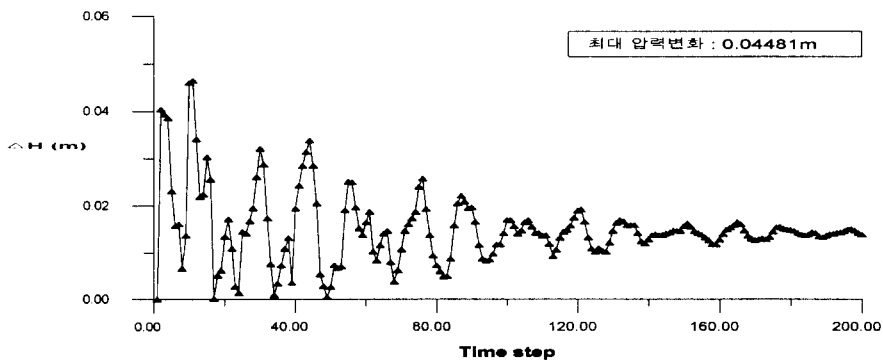


그림 8. 작은 누수가 있을 때와 없을 때 압력변화.(누수율 :0.017%)

그림 6, 7, 8을 보아 압력계의 범위는 0-7bar, 정확도는 0.05%, 1000Hz (Lucas-Schaevitz, P9081-78A)의 압력계를 선택한다. 유량계는 정엔지니어링 전자유량계(16Hz)를 선택하여 하류부 유량 조절 밸브 상류에 설치한다. 또한 INVCHAR는 작은 누수까지 탐지가능하므로 누수량계는 전자저울 (0-3kg, 0.5g)선택하여 설치한다.

2.4.2 제어 시스템의 구성

누수조절(solenoid valve)과 펌프조절은 이산 제어를 하며 유량조절 밸브와 압력조절 밸브는 연속제어를 하도록 설계한다.

3. 결론

본 연구에서는 관수로에서 천이흐름을 해석하여 원할한 현장 적용 시험을 위한 예비실험으로 관수로 부정류 수리모형을 설계하였다. 부정류 해석의 적용을 위하여 가상 복합관을 설계하여 역산기법의 수치모형실험으로 누수탐지를 하여 그 수렴성이 우수함을 알수 있었다. 결론적으로 역산기법의 실제 흐름에 대한 적용성 검증, 현장 시험 주의점 및 착안점 개발, 관망에서의 누수탐지를 위해 부정류 수리모형을 설계함으로써 상수관망의 누수평가와 탐지기법 개발에 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- Brebbia, C. A. and A. J. Ferrante, A. J., Computational Hydraulics, Butterworth Co., (1983)
- Liggett, J.A. and Chen, L.C., Inverse Transient Analysis in Pipe Network, J. of Hydr. Engr., ASCE, Vol. 120, No. 8, 934-955, (1994).
- Roberson, J.A., Cassidy, J.J and Chaudhry, M.H., Hydraulic engineering, Houghton Mifflin Co., Boston, Mass., (1988).
- Wylie, E.B. and Streeter, V.L., Fluid Transients in System, Prentice-Hall, Inc., (1993)