

부정류 수리모형을 이용한 관망 수리매개변수의 평가

이성준*, 김태영**, ○박남식***, 김상현****

1. 서 론

상수관망의 누수탐지 및 수리 매개변수의 검증을 위하여 실제 흐름에 적용할 수 있는 수리모형을 제작하였다(박남식외, 1999). 수리모형의 부정류 역산방법에 의한 누수탐지기법(Chen and Ligget, 1994)의 적용에 앞서 수리모형의 검증 및 매개변수를 조사하였다. 본 원고에서는 수리모형의 소개와 검증, 매개변수들의 산정에 대해 보고하고자 한다.

2. 본 론

2.1 관수로 수리모형

수리모형은 관로 시스템과 계측·제어 시스템으로 구성되어 있고 각 관 접합부에 유량 조절 밸브가 설치되어 있어 단일관 및 관망에 대해 실험 할 수 있도록 설계되었다.

2.1.1 관로 시스템

관로시스템은 내경 50mm, 총길이 336m인 PVC관과 양정 30m, 유량 900 l/min인 단단 볼류트 펌프(10hp, 1750rpm, 60Hz, 4P), 펌프의 토출압 변동을 흡수하여 정상상태를 유지하고 저수지 역할을 하는 압축 공기 탱크(air chamber)로 구성되었다. 관망 하류에는 유량 조절 밸브가 설치되어 있어 관망의 정상류 및 부정류 수치실험을 실시할 수 있도록 설계되었다.(그림 1)

2.1.2 계측 시스템

관로에서의 압력을 측정하는 관로 수압계(Lucas-Schaevitz, P9081-78A) 및 누수량을 측정하는 누수 수압계(Green-Sensor, P-500-I)는 그림 1에서 ■로 표시되어 있는 12군데 절점에 설치 가능하다. 하류 유량 조절 밸브 상류에는 전자유량계(정엔지니어링, 16Hz)가 설치되어 있어 관로내 흐르는 유량을 측정한다.

* 동아대학교 토목공학과 석사과정

** 동아대학교 토목공학과 석사과정

*** 동아대학교 토목공학과 부교수

**** 부산대학교 환경공학과 조교수

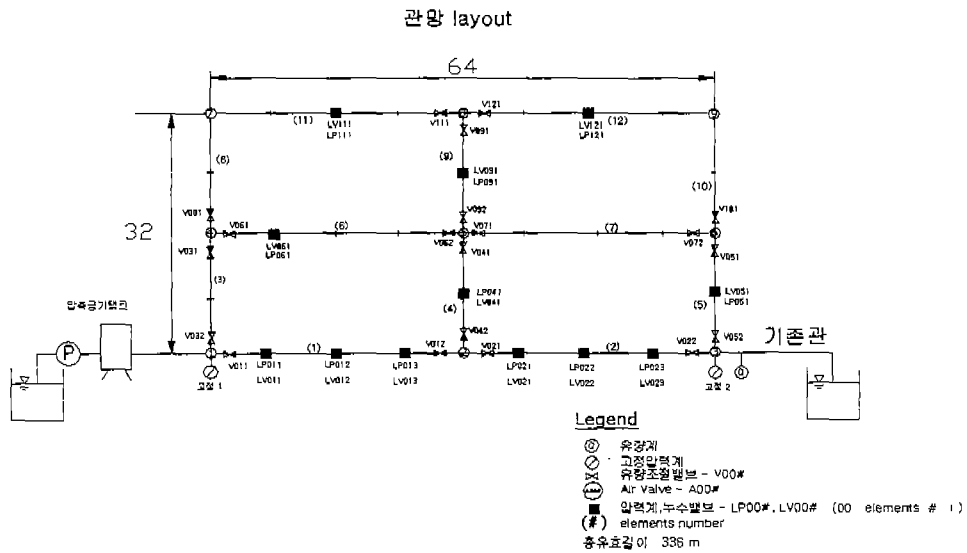


그림 1. 수리모형 layout

2.1.3 제어 시스템

제어 시스템(PLC)은 각종 외부기기의 제어기능을 하며, 연산기능 및 프로그램을 작성 할 수 있는 메모리를 갖춘 장치로서 관로내의 계측 시스템의 정밀한 압력계와 유량계로 부터 압력과 유량을 계측하여 이를 PC에 저장하는 기능을 하며, 누수조절과 펌프조절을 제어하도록 설계되었다.

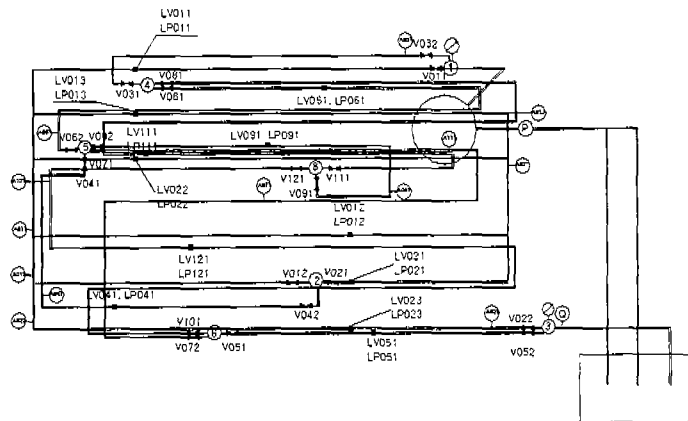


그림 2. 수리모형의 도면

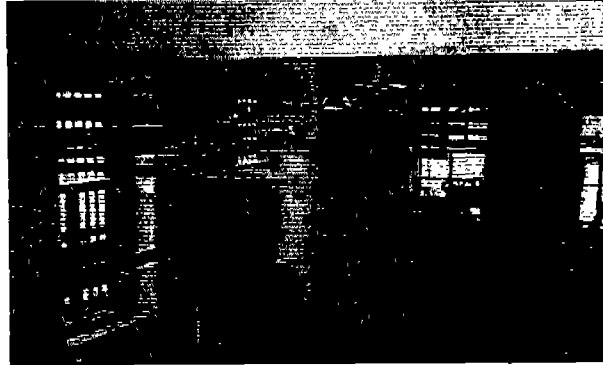


그림 3. 관로 수리모형

2.2 오리피스공식 지수 a 값 조사

부정류 역산방법에 의한 누수탐지기법(Invchar, 1994)에서 누수량 산정시 사용되는 오리피스유량 공식 ($Q = CA(2gh)^a$, $a=0.5$)에서 a 의 값을 조사하였다. T.Tucciarelli(1999)는 a 값을 1.18이라 하였으며 Germanopoulos(1985)의 논문에서는 실험에 의해 누수에서는 a 값이 1.0보다 큰 값을 가진다고 하였다. 이에 a 값을 산정하기 위하여 수리모형에 의한 실험을 하였다.

2.2.1 수리모형에 의한 a 값 조사

a 값 산정을 위하여 오리피스 유량공식에 \log 값을 취하면 다음과 같은 형태의 식을 유도할 수 있다.

$$\log Q = a \log h + C \quad (1)$$

여기서, C 는 유량계수와 누수면적을 포함하는 상수

식 (1)에서 누수지점의 누수면적을 실험횟수에 관계없이 일정하게 하면 누수면적과 유량계수가 일정한 상수항이 된다. 따라서 a 값은 누수량과 압력 수두의 변화에 대한 함수가 되어 수두변화에 대한 유량의 비로써 나타난다.

그림 1의 누수절점(LV051)에서 누수량을 측정하고 LV051과 동일 지점인 관로절점(LP051)에서 압력 수두를 측정하였다. 압력 수두 변화에 의해 관말에 위치한 유량조절 밸브의 개도를 변화시켰다.

표 1은 하류 유량 조절 밸브 개도변화에 따른 누수절점(LV051)의 누수량과 관로절점(LP051)의 압력수두를 나타낸다.

표 1. 누수절점(LV051)에서의 누수량과 관로절점(LP051)의 압력수두

실험번호	하류유량조절 밸브개도 (τ)	누수절점(LV051)	관로절점(LP051)
		누수량(cms)	압력수두(m)
1	1(완전개방)	4.600E-05	5.305
		4.600E-05	5.172
		4.588E-05	5.305
		4.574E-05	5.322
		4.617E-05	5.324
4	0.5(50%개방)	6.307E-05	9.544
		6.341E-05	9.578
		6.358E-05	9.434
		6.359E-05	9.591
		6.355E-05	9.560

오르티스 공식의 적용 결과

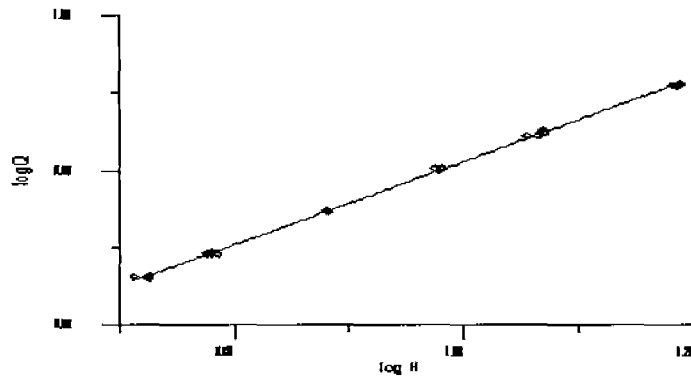


그림 4. 압력수두 분포에 따른 누수량

그림 4.은 각각의 하류 유량 조절 밸브 개도에 대한 압력수두와 누수량 사이의 관계를 나타내는데 선형화 시킨 직선의 기울기는 약 0.536을 나타내었다. 즉, a값은 0.536정도로 조사되었다.

2.3 마찰계수의 조사

그림1의 관망 layout에서 관번호(3)→(8)→(11)→(12)→(10)→(5)을 연결하는 단일관로에서 마찰계수 및 minor loss계수를 조사하였다. 관로 수압계 설치가 가능한 절점 5군데(고정1, LP111, LP121, LP051, 고정2)를 절점으로 하여 조사하였다.

2.3.1 마찰계수 산정을 위한 수리모형 실험

5개의 절점과 4개의 관으로 이루어진 단일관로의 마찰계수 산정을 위하여 3번의 실험을 실시하였다. 각각의 실험에 대해 측정된 관로 압력수두 및 유량은 아래 표 2과 같다.

표 2. 각 실험에서 측정된 압력수두 및 유량

실험 번호	유량 (CMS)	고정1	LP111	LP121	LP051	고정 2
		압력수두(m)	압력수두(m)	압력수두(m)	압력수두(m)	압력수두(m)
1	0.004857	20.989	14.586	10.357	5.550	1.828
2	0.004857	20.951	14.573	10.350	5.550	1.827
3	0.004857	20.904	14.548	10.340	5.540	1.826

표 3. 관망제원

관번호	상류절점	하류절점	길이(m)	절점번호	관로표고(m)
1	고정1	LP111	48	고정1	0.0
2	LP111	LP121	32	LP111	0.282
3	LP121	LP051	40	LP121	0.0
4	LP051	고정2	8	LP051	0.0
				고정2	0.419

그림 2.의 수리모형의 도면에서 보는 바와 같이 실제 관망 수리모형은 많은 Elbow 와 T-Junction을 가지고 있다. 이들 각각의 부속물의 minor loss계수들을 산정하는 것은 불가능하다. 따라서 표 2.의 실험에 의한 결과들이 만족될 수 있는 최적의 minor loss계수와 마찰계수를 조사하기 위해 유전자 알고리즘을 사용하였다.

2.3.2 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘은 자연선택의 법칙의 유전적인 메카니즘에 기초한 탐색 알고리즘이다. 세대를 거듭함에 따라 개체(결정변수)들의 교배와 돌연변이에 의해 최적의 해에 수렴하고 전세대의 생존자(우수개체)로부터 새로운 개체들의 집합이 형성된다.

변수를 유한한 길이의 2진수 값의 기호열로 부호화 하여 그 기호열을 대상으로 최적화 작업을 수행하게 된다. 목적함수는 최적화하고자 하는 함수로써 각 개체의 적합도를 평가하는 기반이 된다. 즉, 각 개체에 대한 계산수두와 측정수두의 차가 작을수록 적합도가 좋은 것이고 계산수두와 측정수두의 차가 최소일 때 최적해로 선택되어진다.

2.3.3 마찰계수 산정을 위한 전산모델

마찰계수를 산정하고자 하는 관망은 PVC관으로 관에서의 마찰계수는 거의 동일할 것으로 예상된다.

따라서 각 관에서의 minor loss계수들의 합과 마찰계수를 결정변수로 하여 계산수두와 측정수두의 차가 가장 작을 때가 최적해로 선택되게 하였다. 조사된 마찰 계수와 minor loss계수는 아래 표 4와 같다.

표 4. 각 관에서 산정된 minor loss계수

1번관의 minor loss계수들의 합	2번관의 minor loss계수들의 합	3번관의 minor loss계수들의 합	4번관의 minor loss계수들의 합	마찰계수
8.682	7.221	6.362	8.760	0.0113

표 5. 계산 수두 손실 및 측정 수두 손실

	계산된 수두 손실(m)	측정된 수두 손실(m)		
		1번째 실험	2번째 실험	3번째 실험
1번관	6.0919	6.1210	6.0959	6.0729
2번관	4.5089	4.5110	4.5040	4.4909
3번관	4.8043	4.8070	4.8020	4.7990
4번관	3.2989	3.3030	3.3020	3.2960

3. 결론

본 연구는 관수로 부정류 역산기법의 수리모형에 대한 적용에 앞서 수리 매개변수들의 조사를 목적으로 이루어졌다. 이러한 수리 매개변수들의 조사를 기반으로 부정류 역산기법의 실제흐름에 대한 적용성 검증, 현장 시험 주의점 및 착안점 개발, 관망에서의 누수탐지를 위해 부정류 수리모형을 실험함으로써 상수관망의 누수평가와 탐지기법 개발을 도모 할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문은 한국과학재단 지정 환경기술·산업개발 연구센터(RRC-IETI)의 지원(과제번호 99-10-02-99-A-3)에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 박남식, 서현명, 김상현, 김학용, (1999). '누수탐지 기법의 검증을 위한 부정류 수리모형 실험', 1999년도 대한 토목학회 논문집(III), pp.197-200.
2. Wylie, E.B. and V.L. Streeter(1993). "Fluid Transients in Systems." Prentice Hall.
3. Liggett, and Chen, Inverse Transient Analysis in Pipe Network, J. of Hydr. Engr., ASCE, Vol. 120, No. 8, pp934-955, (1994).
4. T. Tucciarelli, A. Criminisi, and D. Termini (1999) "Leak analysis in pipeline systems by means of optimal valve regulation" J. of Hydraulic Engineering.
5. Germanopoulos, G. (1985) "A technical note in the inclusion of pressure dependent demand and leakage terms in water supply network models." Civ. Engrg. Sys., 2, 171-179.