

고가수조식 급수배관망에서 층별 공급수량 예측

Prediction of Flow Rate in a Piping Network with Elevated Water Storage Tank

이 재 현

Jae-Heon Lee

한양대학교 공과대학 기계공학과



· 1949년생
· 공기조화·냉동공학을 강
의하고 있으며 시험, 조정,
평가(T. A. B.) 관련 부문
에 관심이 있다.

1. 서 론

공동주택 급수방식에 주로 사용되는 고가수조식 급수방식에서 종종 하층가구 급수량의 증가에 의해 상층가구의 급수부족 문제가 발생하는 경우가 있다. 이는 배관망 설계시 충분히 고려되어야 할 사항이지만 현재까지의 설계에 있어서는 주로 시공경험에서 축적된 자료에 의존하는 경우가 대부분이기 때문에 실시공이전에 이 문제에 대한 정확한 검토가 어려운 실정이다.

본 원고는 고가수조식 급수배관망에서 각 층의 가구에 공급될 수 있는 유량을 예측하도록 개발된 시뮬레이션 프로그램에 관한 것이다. 이 프로그램을 활용하여 설계된 배관망에 의해 각 층의 가구에 공급되는 수량을 예측함으로써 실시공 이전에 이에 대한 보완과 수정설계가 가능하게 할 수 있을 것이다.

2. 이론해석

2.1 기본방정식

본 원고에서의 프로그램은 하향 급수뿐만 아니라 상향 급수 배관망에서도 적용되나 지면 관계상 이 글에서의 이론적 논의는 하향 급수배관망에 한하고자 한다.

(1) 베르누이 방정식

n층 공공주택의 고가수조식 하향 급수배관망을 Fig.1에 개략적으로 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 고가수조에 저장된 물이 정수압의 차에 의해 주관(main pipe)과 지관(sub pipe)을 통해 각 층의 가구에 공급되게 된다. 이때 고가수조는 항상 일정수위 Z_m 를 유지하고 있다고 가정한다.

그림에서의 $V_m(i)$, $f_m(i)$ 및 $\sum K_m(i)$ 는 각각 i층과 (i+1)층 사이 주관에서의 속도, 마찰손실계수 및 부차손실계수의 합을 나타낸다. 또한 $L_m(i)$ 및 $D_m(i)$ 는 각각 i층과

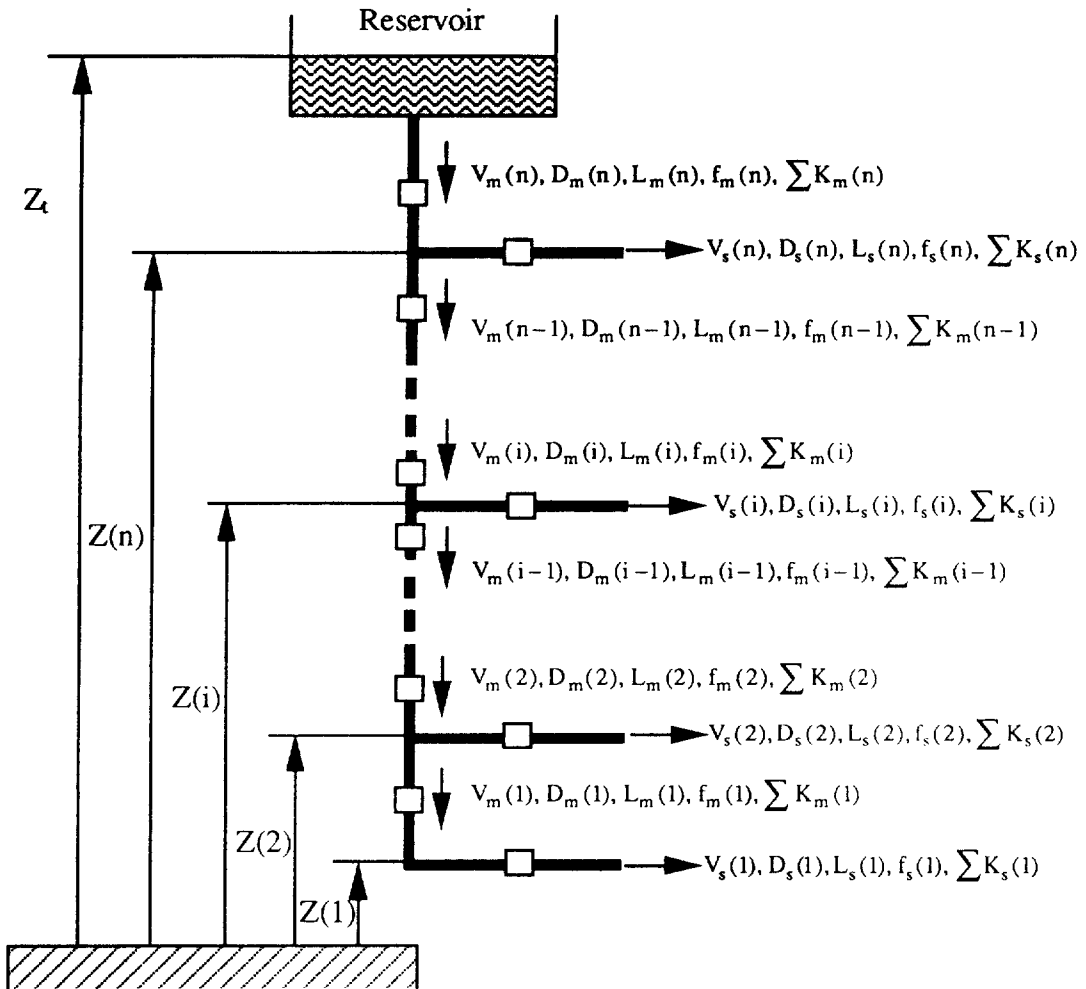


Fig. 1 Schematic of the downward water supply circuit with reservoir :

Symbol \square means the valves, fittings etc.

(i+1)층 사이 주관의 길이 및 직경이다. $V_s(i)$, $f_s(i)$, $\sum K_s(i)$ 및 $Z(i)$ 는 각각 i층 지관에서의 속도, 마찰손실계수, 부차손실계수의 합 및 높이이다. $L_s(i)$ 및 $D_s(i)$ 는 각각 i층 지관의 길이 및 직경이다. n층 즉 최상층에서의 (n+1)층은 고가수조를 뜻한다. 이러한 기호설명을 참고하여, 고가수조의 수면과 최상층인 n층 수도밸브 출구 사이의 유로에 베르누이 방정식을 적용하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{V_m^2(n)}{2g} \left[f_m(n) \frac{L_m(n)}{D_m(n)} + \sum K_m(n) \right] + \frac{V_s^2(n)}{2g} \left[f_s(n) \frac{L_s(n)}{D_s(n)} + \sum K_s(n) + 1 \right] - [Z_t - Z(n)] = 0 \quad (1)$$

일반적으로 고가수조와 i층 지관 출구사이에 베르누이 방정식은 아래와 같다.

$$\frac{V_m^2(n)}{2g} \left[f_m(n) \frac{L_m(n)}{D_m(n)} + \sum K_m(n) \right]$$

$$\begin{aligned}
 &+ \frac{V_m^2(n-1)}{2g} [f_m(n-1) \frac{L_m(n-1)}{D_m(n-1)} \\
 &+ \sum K_m(n-1)] \\
 &+ \dots \\
 &+ \frac{V_m^2(i+1)}{2g} [f_m(i+1) \frac{L_m(i+1)}{D_m(i+1)} \\
 &+ \sum K_m(i+1)] + \frac{V_m^2(i)}{2g} [f_m(i) \frac{L_m(i)}{D_m(i)} \\
 &+ \sum K_m(i)] + \frac{V_s^2(i)}{2g} [f_s(i) \frac{L_s(i)}{D_s(i)} \\
 &+ \sum K_s(i+1)] - [Z_i - Z(i)] = 0 \tag{2}
 \end{aligned}$$

실제관로에서는 하나의 층 즉 i 층과 $i+1$ 층 사이에서 관경의 변화가 있을 수 있으므로 여러개의 속도가 존재할 수 있다. 그러므로 (2)식은 아래와 같이 확장되어 사용된다.

여기서 j_m 및 j_s 는 각각 하나의 층에서의 주관의 분지(segment)갯수 및 지관의 분지갯수이다.

$$\begin{aligned}
 &\sum_{j=0}^{j_m} \left\{ \frac{V_m^2(n,j)}{2g} [f_m(n,j) \frac{L_m(n,j)}{D_m(n,j)} \right. \\
 &+ K_m(n,j)] \Big\} + \sum_{j=0}^{j_m} \left\{ \frac{V_m^2(n-1,j)}{2g} \right. \\
 &[f_m(n-1,j) \frac{L_m(n-1,j)}{D_m(n-1,j)} + K_m(n-1,j)] \Big\} \\
 &+ \dots \\
 &+ \sum_{j=0}^{j_m} \left\{ \frac{V_m^2(i+1,j)}{2g} [f_m(i+1,j) \right. \\
 &\frac{L_m(i+1,j)}{D_m(i+1,j)} + K_m(n+1,j)] \Big\} \\
 &+ \sum_{j=0}^{j_m} \left\{ \frac{V_m^2(i,j)}{2g} [f_m(i,j) \frac{L_m(i,j)}{D_m(i,j)} \right. \\
 &+ K_m(i,j)] \Big\} + \sum_{j=0}^{j_m} \left\{ \frac{V_s^2(i,j)}{2g} \right. \\
 &[f_s(i,j) \frac{L_s(i,j)}{D_s(i,j)} + K_s(i,j)] \Big\} + \frac{V_s^2(i,j)}{2g} \\
 &- [Z_i - Z(i)] = 0 \tag{3}
 \end{aligned}$$

(2) 연속방정식

고수조로부터의 공급유량(Q_t)은 각 층에 공급되는 유량($Q(i)$)의 합과 같으므로 다음과 같은 식이 성립한다.

$$\begin{aligned}
 Q_t &= Q(n) + Q(n-1) + \dots \\
 &+ Q(i) + \dots + Q(2) + Q(1) \tag{4}
 \end{aligned}$$

(4)식은 아래와 같이 상세히 기술될 수 있다.

$$\begin{aligned}
 &\frac{\pi(D_m(n,j))^2}{4} V_m(n,j) = \frac{\pi(D_s(n,j))^2}{4} V_s(n,j) \\
 &+ \frac{\pi(D_s(n-1,j))^2}{4} V_s(n-1,j) + \dots \\
 &+ \frac{\pi(D_s(i,j))^2}{4} V_s(i,j) + \dots \\
 &+ \frac{\pi(D_s(2,j))^2}{4} V_s(2,j) \\
 &+ \frac{\pi(D_s(1,j))^2}{4} V_s(1,j) \tag{5}
 \end{aligned}$$

2.2 각종손실 계수

식 (2)에서 알 수 있듯이 베르누이 방정식을 풀기 위해서는 관의 마찰손실계수(f)와 부차손실계수(K)를 알고 있어야 한다. 밸브류 및 접속 기구등의 배관재에 대한 부차손실 계수는 제작자에 의하여 그 값이 제시되게 되어있기 때문에 본 원고에서는 그 대표적인 값을 나열할 것이며 프로그램 사용자는 이들 중 적절한 값을 선정하여 프로그램 작동시 입력시켜야 한다. 90°밴드의 형상 및 수조-지관 연결형태의 구체적 선정도 배관망에 따라 다를 수 있으므로 이에 관련된 부차손실계수 값은 프로그램 사용자가 프로그램 작동시 입력시켜 주어야 한다. 그러나 관마찰 손실계수, T형 밴드의 부차손실계수, 그리고 관의 급 확대 급축소에 의한 부차손실계수는 공통적으로 적용될 수 있으므로 프로그램 내부에서 계산되게 하였으며 사용자가 정의해 줄 필요는 없다.

2.3 풀이방법

지금까지의 논의에 의하여 식(3)과 같은 베르누이 방정식과 식(5)와 같은 연속방정식이 세워졌다. 이때 구해야 할 미지수는 $V_s(1), V_s(2), \dots, V_s(n-1), V_s(n), V_m(n)$ 등 $n+1$ 개이고 방정식의 갯수는 베르누이 방정식 n 개와 연속 방정식을 합하여 $n+1$ 개이므로 이론적으로 방정식의 해가 구해질 수 있다. 이들 방정식은 V^2 항을 포함하는 비선형 연립방정식이므로 본 원고에서

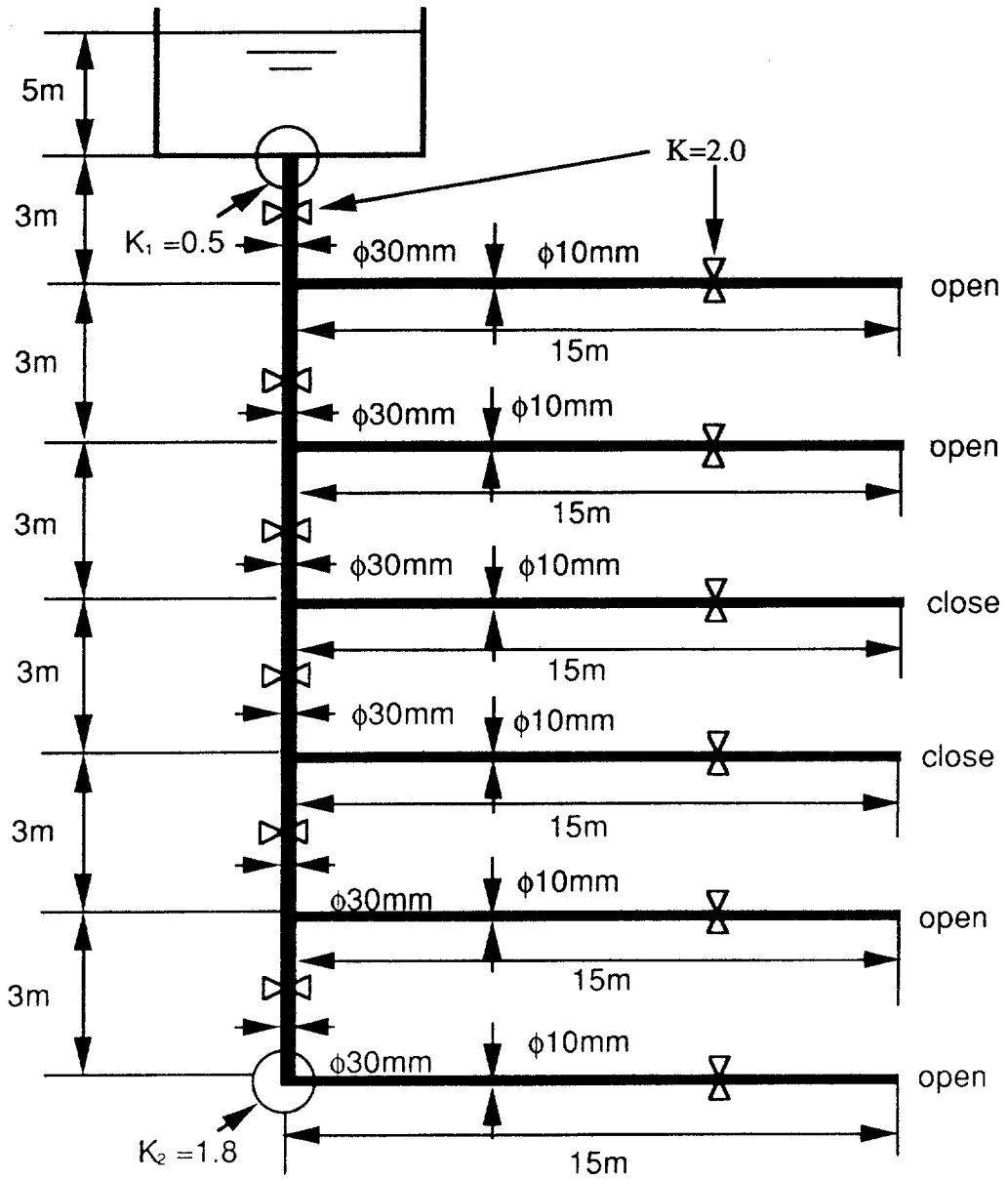


Fig. 2 예제 관로

는 Multi-Dimensional Secant Method (Broydn's Method)에 의하여 해를 구하였다. 연립방정식 풀이 후에 나타나는 오차 (Flow Rate Error), ϵ 은 연속 방정식을 이용하여 계산한 것으로서 주관에서의 유량과

지관에서의 총 유량차이를 나타내며 아래 식과 같이 정의한다.

$$\epsilon(\%) = \frac{Q_t - \sum_{i=1}^n Q(i)}{Q_t} \times 100 \quad (6)$$

2.4 프로그램의 구성

프로그램의 전반적인 구성은 사용자가 손쉽게 사용할 수 있도록 프로그램에 필요한 데이터를 입력하는 부분과 입력한 데이터를 이용하여 필요한 상수값들을 구하고 베르누이 방정식과 연속방정식의 형태를 만드는 부분과 만들어진 비선형 연립방정식의 해를 구하는 부분으로 크게 나눌 수 있다.

3. 프로그램의 운용에

본 프로그램은 1개 수조에 1개 주관이 연결된 최고 30층까지의 고층 건물 급수 시스템에 적용될 수 있다. 이 프로그램을 사용자가 이용할 때 사용자의 이해를 돕기 위한 상세한 내용을 예제를 통하여 알아보기로 한다.

3.1 예제관로

Fig.2는 고가수조식 6층 건물의 하향 급수 배관망을 각각 모델링한 것이다. 배관망에서 관의 종류는 조도가 0.046mm인 강관이고 물의 온도는 10℃이다. 각층에 대한 주관의 직경, 각층 주관의 길이, 각층 지관의 직경 및 지관의 길이는 각각 30.0mm, 3.0mm, 10.0mm, 15.0mm이다. 여기서 1층 주관의 길이와 함은 1층 지관 높이에서 2층 지관 높이까지의 거리이다. 마지막으로 6층 주관 길이와 함은 6층 지관과 수조 바닥사이의 거리를 뜻하게 된다. 수조에서 주관으로 유입되는 접속부에서의 손실계수 K_1 은 0.5이고 1층 90° 밴드의 손실계수 K_2 는 1.80이다. 추가적으로 각층 주관과 지관에 각각 스윙체크밸브(손실계수 2.0)를 하나씩 부착하였다. 마지막으로 이 배관망에서는 급수 이용자가 해당층의 급수를 원하지 않는 경우를 고려하여 3층과 4층의 지관출구는 잠그는 것으로 한다.

상향급수 배관망 해석의 경우, 1층 주관 길이와 함은 리턴관 바닥을 기준한 1층 지관의 높이를 뜻하고 2층 주관 길이와 함은 1

층 지관 높이와 2층 지관 높이와의 차이를 뜻한다. 따라서 최상층 지관과 수조바닥사이의 거리는 별도로 입력시켜 주어야 한다.

3.2 프로그램의 설치

(1) 시스템 조건

본 원고에서 제시하는 프로그램은 PIPE 프로그램이라 부르기로 하며, 이 프로그램을 사용하려면 다음과 같은 하드웨어 시스템이 구성되어야 한다.

- IBM PC 386(Coprocessor 부착) 또는 PC486 이상 기종
- VGA 칼라 모니터
- 4MB 이상의 메모리
- MS-DOS 3.3 이상
- 2 Mbyte 이상의 Hard Disk

(2) PIPE 프로그램 디스켓의 구성

파일

ARJ.EXE

INSTALL.BAT

PIPE.ARJ

(3) 설치방법

- ① 드라이브 A:\에 디스켓을 넣고 installa 혹은 B:\에 디스켓을 넣고 B:\installb를 친다.
- ② 루트 디렉토리 안에 PIPE란 디렉토리가 새로 만들어 졌는지 확인한다.
- ③ C:\PIPE 디렉토리 안에 다음의 8개 파일이 있는지 확인한다.

RUNP.BAT

PLOT.EXE

PIPE.EXE

DBOS.EXE

DBOS.LIB

INPUT.DAT

INPUT.ORI

KILL_DBO.COM

- ④ 만약 시스템의 어떤 다른 응용프로그램(예:HWP2.0등)을 위하여 High Memory 혹은 EMM386를 사용하고 있다면 루트 디렉토리 즉, C:\안의

표1. 예제관로에 대한 입력 데이터문의 구조

Downward (=1), Upward (=2), (11)
 1
 Floor Number (12) (ex, 06 for 6th floor)
 06
 Default Length Between Each Floors [m] (F10.7)
 3.0
 Pipe Roughness? [mm] (F10.7) Steel=0.046, PVC=0.005, Copper=0.0015
 0.046
 Water Temperature [degree C] (F10.7)
 10.0
 Water level in reservoir [m] (F10.7)
 5.0
 Height from top floor to water tank. If downward, type 0.0 [m] (F10.7)
 0.0
 Default No. of segment in main pipe for each floor (I1)
 1
 Default No. of segment in sub pipe for each floor (I1)
 1
 Default Dia. of segment in main pipe for each floor (mm) (F10.7)
 30.0
 Default Dia. of segment in sup pipe for each floor (mm) (F10.7)
 10.0
 Default Length of segment in main pipe for each floor (m) (F10.7)
 3.0
 Default Length of segment in sub pipe for each floor (m) (F10.7)
 15.0
 Default Loss coeff. of segment in main pipe for each floor(F10.7)
 2.0
 Default Loss coeff. of segment in sub pipe for each floor((F10.7)
 2.0

CONFIG.SYS파일을 열어
 SYS과 EMM386.SYS 앞에 REM을
 첨가하여 해당 SYS FILE을 무력화
 시켜야 한다.

3.3 프로그램의 운용

(1) 자료파일(INPUT.DAT)의 작성

하향 급수 배관망의 경우에 대한 입력방
 법을 알아보자. 우선 사용자는 원하는 배관
 시스템에 관한 입력 데이터 파일(INPUT.
 DAT)을 작성하여야 한다. 이 파일의 작성을
 돕기 위하여 공급된 프로그램내에는 IN-
 PUT.DAT(=INPUT.ORI)이라는 예제 파
 일이 들어 있다. 이 입력 데이터 파일은

Floor	1	2	3	4	5	6
Seg.No.	1	1	1	1	1	1

Number of segment in Sub pipe

Floor	1	2	3	4	5	6
Seg.No.	1	1	1	1	1	1

Dia. of each segment in main pipe for each floor [m]

Floor	1	2	3	4	5	6
Diameter.	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030

Dia. of each segment in sub pipe for each floor [m]

Floor	1	2	3	4	5	6
Diameter.	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010

Length of segment in main pipe for each floor

Floor	1	2	3	4	5	6
Length	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0

Length of segment in sub pipe for each floor

Floor	1	2	3	4	5	6
Length	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0

Loss coeff. of each segment in main pipe

Floor	1	2	3	4	5	6
Loss coeff	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.5

Loss coeff. of each segment in sub pipe

Floor	1	2	3	4	5	6
Loss coeff	3.8	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

RESULT

Outlet Velocity [m/s] (1) = 2.5

Outlet Velocity [m/s] (2) = 2.5

Outlet Velocity [m/s] (3) = 0.0

Outlet Velocity [m/s] (4) = 0.0

Outlet Velocity [m/s] (5) = 1.8

Outlet Velocity [m/s] (6) = 1.6

Water Pressure [mmAq] (1) = 325.2

Water Pressure [mmAq] (2) = 312.2

Water Pressure [mmAq] (3) = 0.0

Water Pressure [mmAq] (4) = 0.0

Water Pressure [mmAq] (5) = 172.4

Water Pressure [mmAq] (6) = 132.5

Flow Rate [lpm] (1) = 11.9

Flow Rate [lpm] (2) = 11.7

Flow Rate [lpm] (3) = 0.0

Flow Rate [lpm] (4) = 0.0

Flow Rate [lpm] (5) = 8.7

Flow Rate [lpm] (6) = 7.6

Total flow rate [lpm] = 39.8

Flow rate error [%] = 0.0

여기서, Velocity[m/s](1), Water Pressure[mmAq](1) 및 Flow rate [lpm] (1)은 각각 1층 지관출구에서의 유속, 수압 및 유량을 뜻한다.

3.5 그래프 작성

사용자가 C:\PIPE>RUNP 명령어로 프로그램을 작동시켰을 때는 Fig.3에 보이는 바와 같이 계산 결과로 나온 유량 혹은 수압 분포를 그래프로 볼 수 있다. 만약 그래프 출력만 다시 보고자 할때는 C:\PIPE>에서 아래의 절차를 따른다.

- ① C:\PIPE>dbos
- ② C:\PIPE>plot

3.6 실행중의 에러메세지

본 프로그램의 실행에는 물리적으로 타당한 입력자료의 구성이 요구된다. 사용자의 입력자료가 잘못되었을 경우에는 다음중 하나에 해당 될 것이며, 프로그램의 실행중 에러메세지를 디스플레이 한다. 따라서 사용자는 입력자료 파일(INPUT.DAT)를 재작성하거나 입력데이터 수정을 다시 실시하여야 한다.

① Error #001

주관의 지름이 지관의 지름보다 작다. 따라서 각 층의 주관과 지관의 이음부에서 주관의 지름이 지관의 지름보다 크도록 입력 자료를 수정하여야 한다.

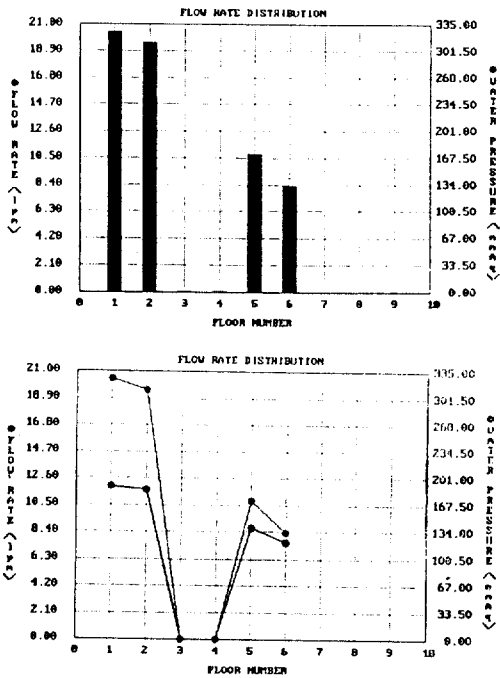


Fig. 3 Display of flow rate and water pressure for example network

② Error #002

상향 급수 배관망에서 최상층부터 수조바닥까지의 높이가 0.0[m]로 되어 있다. 따라서 입력자료를 수정하여 0.0[m]보다 높도록 하여야 한다.

③ Error #003

하향 급수 배관망에서 각 층간의 높이는 각 층 주관 각 분지의 관길이의 합과 다르다. 따라서 이 두량이 같도록 입력자료를 수정하여야 한다.

④ Error #004

상향 급수 배관망에서 1층을 제외한 나머지 층에서, 각 층간의 높이는 주관 각 분지의 관길이의 합과 서로 다르다. 따라서 이 합이 같도록 입력자료를 수정하여야 한다.

⑤ Error #005

상향 급수 배관망에서 1층 주관 각 분지의 길이의 합이 건물의 높이, 최고층에서 수조바닥까지의 높이 그리고 1층의 높이를 더한 값보다 크지 않다. 따라서 입력자료에서 이를 시정하여야 한다.