

CYBERNET V3.0을 이용한 서울시 상수도 관망해석

최태용^{1)*}, 이근채²⁾, 장석환³⁾, 구자용⁴⁾, 박상우⁵⁾

1. 서론

배수관망의 수리학적 해석은 관의 구경, 유속계수, 관망의 유입수량과 유출수량을 부여하여 각 관로에서의 유량과 손실수두를 구하는 것이다. 그리하여 관망의 각 점에서 동수두가 당초 계획하였던 최소허용동수압(2.5kg/cm²) 이상으로 충분한가를 확인하고, 관경이 과대 혹은 과소하지 않는가를 조사하는 것이다.

본 연구에서는 CYBERNET V3.0을 이용하여 서울시의 관망해석을 시도하고자 하며 서울시의 전역을 39개의 배수지 블록으로 구분하였다. 본 연구에서 사용한 해석 프로그램은 KYPIPE III와 CYBERNET V3.0으로 1972년에 소개된 KYPIPE와 1991년에 발표된 KYPIPE II와는 달리 KYPIPE III(1996) 프로그램에서는 관로시스템을 일체로 해석하기 위한 구체적인 시도가 이루어 졌고 사용자들이 손쉽게 프로그램에 접근할 수 있도록 배려하였다. CYBERNET 프로그램은 Windows 프로그램을 이용한 GUI 환경하에서 자료의 입력, 자료의 수정, 프로그램 실행 등이 이루어지도록 되어 있다.

또한 입력 자료는 제목, 시스템 기초자료, 관로자료, 격점자료 펌프 특성자료, 압력밸브자료, 확장기간 모의자료 배수지자료 등으로 구성되어 있다. 결과의 출력은 전반적인 계산결과를 보여주는 출력과일과 출력결과를 이용하여 각 격점의 지반고와 압력수두의 변화를 보여 줄 수 있도록하는 그래픽 처리 등의 출력결과 처리기능으로 이루어져 있다. CYBERNET V3.0은 미국의 Haestad Methods사에서 관망구성과 배수관망해석을 위해 Auto-CAD기능을 부가시켜 개발한 프로그램으로 이 프로그램은 KYPIPE III에서 입력한 자료인 관로자료, 격점자료 등을 바로 사용할 수 있다.

2. 배수관망 해석

2.1 관망이론 방정식

본 CYBERNET의 관망해석 이론은 상수도관망의 관로와 관망의 비선형연립방정식의

-
- 1) 서울시립대학교 환경공학과 석사과정
 - 2) 서울시 상수도 사업본부 토목주사
 - 3) 대전대학교 토목공학과 조교수
 - 4) 서울시립대학교 환경공학과 조교수
 - 5) 서남대학교 토목공학과 부교수

연속방정식(절점방정식) at node I

$$\sum_{k=1}^{m_i} Q_{ki} = Q_{ei}$$

Q_{ki} = flow into node i from node k

Q_{ei} = external demand at node i

m_i = number of pipes connected to node i

에너지방정식과 연속방정식을 결합

$$\sum_{k=1}^{m_i} \text{sign}(H_k - H_i) \left(\frac{|H_k - H_i|}{K_k} \right)^{1/n} = Q_{ei} \quad (j \text{ equation})$$

j개의 미지수 (H)

j개의 방정식 \leftrightarrow compared to p (= j + l + f - 1)

다) 관망방정식 (Loop Equation : ΔQ)

node equations와는 반대로, 첫 번째 해에 대해 연속방정식이 성립되도록 에너지방정식을 구성하는 방법. 이후로는 계속 연속방정식이 만족될 수 있도록 유량을 조절해 주게 되는데 이를 각 폐합회로의 각 관에서의 유량에 보정유량을 더해 줌으로써 가능하다.

2.2 대상선정

본 연구에서는 배수관망 해석에 대한 이해를 돕기 위해 서울시내 하나의 지역배수지를 선정하여, 관망해석을 시도하고자하며 그 대상은 비교적 급수구역이 좁고 대상 관로 숫자가 적은 서울시 신월배수지를 예로 들었다.

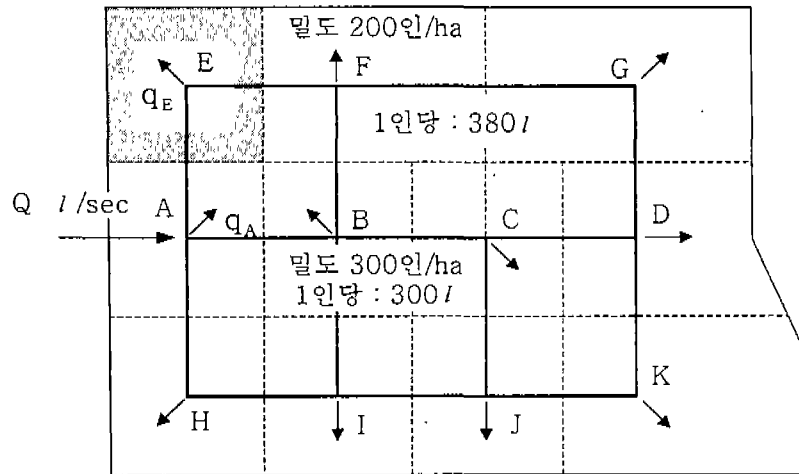


그림1. 관망 격점의 분담급수량

그림과 같이 관망결점에 분당 급수량이 정해지면 관망내의 각 격점의 유입·유출수량이 정해지며, 물론 이때에 유출수량의 합계가 유입수량과 같도록 가정하고, 이 지도의 격점에 지반고를 기입하여 유효동수두를 구한다.

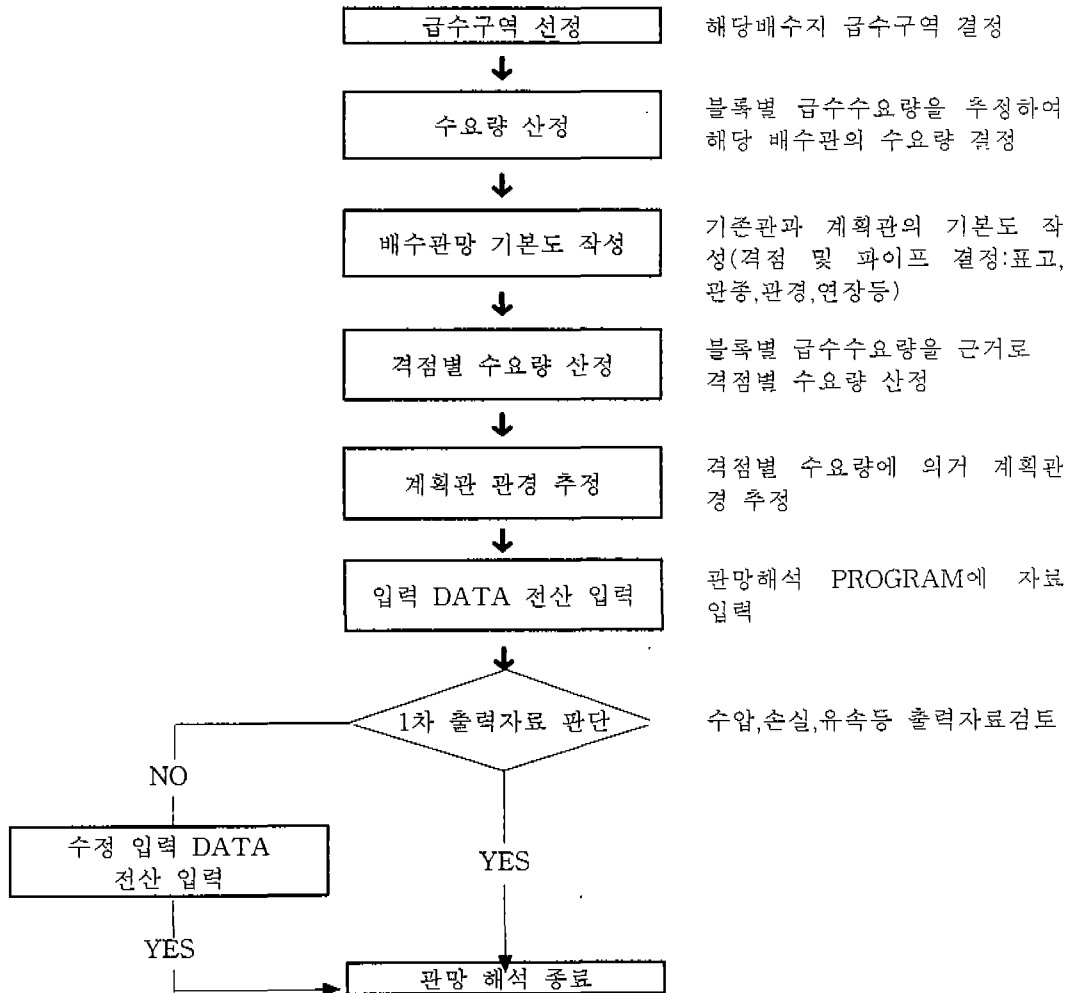


그림2. 배수관망 해석흐름도

2.3 관망구성

신월배수지에 대한 급수구역 선정은 서울특별시 수도정비기본계획을 근간으로 하였으며 블록별 급수수요량 산정에 관해서는 신월배수지 격점별 유량추정(2011년)을 참고로하여 다음과 같이 결정 하였다..

가) 급수면적

서울특별시 상수도 배관망도(1/3,000)를 활용하여 디지털구적기로 실측하였다.

나) 동별 일최대급수량

양천구 상수도 수요량 추정 참고

다) 블록명

배수지별 급수구역을 기초로 하여 관련수도사업소와 함께 검토하고 조정하여 블록을 확정하였고 블록명을 정하였다.

라) 동면적 대비(%)

$$\frac{\text{해당 블록 면적}}{\text{해당 동별 급수면적}} \times 100(\%)$$

마) 블록별 최대급수량

$$(\text{동별 일최대급수량} \times \text{블록 동면적 대비}) \div 100$$

바) 관련 격점 번호

해당 블록 급수를 위한 가정된 유출점

유출량 결정은 서울시 전체의 시간최대 급수량이 정해져도 지역배수지블록내 인구 밀도나 1인당 사용수량은 블록에 따라 다르므로 각 배수 블록마다 시간 최대급수량을 구해야 한다. 지역배수지블록별 지도를 작성하고 블록별 소요되는 시간최대급수량을 산정한 뒤 이 값을 블록별 유입격점에 소요 유출량으로 입력한다.

$$\text{계획 시간최대급수량(m}^3/\text{시)} = \frac{\text{계획 1일최대급수량(m}^3/\text{일)}}{24} \times K$$

K = 시간최대급수 Factor

배수관망 중 관망계산에 넣어야 할 간선배수관의 노선을 결정할때 주요 간선배수관은 루우 프상으로 배치하여 수압을 균등화하고 비상시 상호지원을 위하여 각각의 지역배수지를 연결하는 간선도 고려한다. 이와 같이 하여 간선배수관망이 정해지면 이 지도로부터 각각의 배수관이 부담할 소블록별 급수량을 산출한다. 엄밀히 말해서 배수관의 유량은 급수장치가 설치된 곳을 지나면서 감소되는 것은 명백하나 본 프로그램 적용에서는 제외 하였다.

배수관에서 유출되는 유량은 모두 배수관의 교점인 관망의 격점(Junction node)으로만 유출되는 것이라고 가정하여 계산한다. 결국 그림 1과 같이 격점을 중심으로 그 격점에서 교차되는 배수관의 중앙까지의 구역을 그 분담면적으로 하고, 이 면적 내 계획인구를 구해 1인당 시간최대급수량을 곱해서 급수량은 산출한다. 이것을 1/sec 단위로 환산한 것이 그 격점의 유출량이다.

3. 적용결과

기존의 서울시 상수도 기본계획에 의거한 신월배수지의 관망 계획을 CYBERNET으로 검증한 결과 관로 3개지점 (P-13, P-14, P-17)에서 관경보정이 필요한 것으로 나타났다. 당초 관경이 100mm로 계획되어 있으나, 500mm로 보정되어야만 하며 그 결과는 표1과 같다.

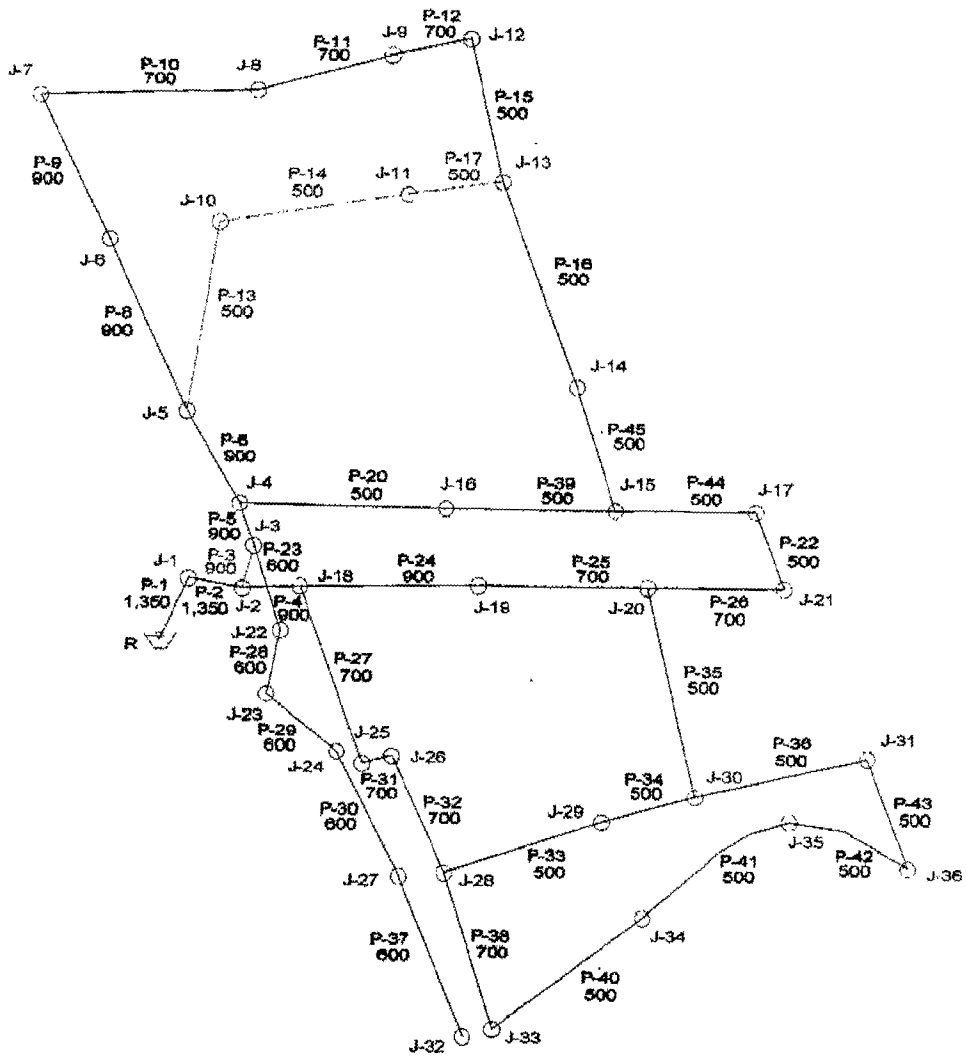


그림3. 신월배수지 배수관망도(2001년)

표1. 신월배수지 관망해석결과 (초기계획치)

관번호	연장 (m)	관경 (cm)	유속계수	유량 (l/m)	손실수두 (m)	동수경사 (m/m)
1-FG	390.0	135.0	100.00	1003.20	0.19	0.49
2	110.0	135.0	100.00	1003.20	0.05	0.49
3	150.0	90.0	110.00	590.34	0.17	1.11
4	120.0	90.0	100.00	412.86	0.08	0.69
5	80.0	90.0	100.00	394.74	0.05	0.63
6	350.0	90.0	100.00	281.56	0.12	0.34
8	445.0	90.0	100.00	181.04	0.07	0.15
9	440.0	90.0	100.00	142.79	0.04	0.10
10	590.0	70.0	100.00	110.54	0.12	0.20
11	345.0	70.0	100.00	83.69	0.04	0.12
12	165.0	70.0	100.00	65.84	0.01	0.08
13	440.0	50.0 (10.0)	110.00	78.77	0.21 (77.7)	0.47 (176.6)
14	490.0	50.0 (10.0)	110.00	50.72	0.10 (0.00)	0.21 (0.00)
15	430.0	50.0	100.00	25.34	0.03	0.07
16	600.0	50.0	100.00	-13.49	0.01	0.02
17	265.0	50.0 (10.0)	110.00	13.97	0.01 (77.1)	0.02 (291.1)
20	520.0	50.0	100.00	78.24	0.29	0.55
22	235.0	50.0	100.00	-69.06	0.10	0.44
23	250.0	60.0	100.00	195.60	0.31	1.24
24	485.0	90.0	100.00	220.12	0.10	0.21
25	430.0	70.0	100.00	189.52	0.24	0.55
26	370.0	70.0	100.00	87.96	0.05	0.13
27	510.0	70.0	100.00	169.04	0.23	0.45
28	180.0	60.0	100.00	159.45	0.15	0.85
29	270.0	60.0	100.00	159.45	0.23	0.85
30	365.0	60.0	100.00	123.75	0.19	0.53
31	45.0	70.0	100.00	169.04	0.02	0.45
32	330.0	70.0	100.00	144.29	0.11	0.33
33	420.0	50.0	100.00	74.75	0.21	0.51
34	240.0	50.0	100.00	-7.75	0.00	0.01
35	630.0	50.0	100.00	62.26	0.23	0.36
36	485.0	50.0	100.00	-23.93	0.03	0.06
37	480.0	60.0	100.00	13.80	0.00	0.01
38	470.0	70.0	100.00	43.43	0.02	0.04
39	365.0	50.0	100.00	44.94	0.07	0.20
40	480.0	50.0	100.00	43.43	0.09	0.19
41	305.0	50.0	100.00	23.93	0.02	0.06
42	570.0	50.0	100.00	23.93	0.04	0.06
43	350.0	50.0	100.00	-23.93	0.02	0.06
44	440.0	50.0	100.00	-4.56	0.00	0.00
45	250.0	50.0	100.00	-49.49	0.06	0.24

4. 결론

본 연구는 CYBERNET v3.0을 이용하여 서울시의 기존의 상수도 급수계획을 평가하여 각 구역별 배수지의 관망의 적용 및 계획의 타당성 검증을 실시할 수 있는 과정을 추적해 보았다. 그 결과 신월배수지의 경우 45개 관로의 기존계획의 관중 3개의 관로의 관경계획이 수정되어야 함을 알 수 있었다.

또한, CYBERNET의 장점 중 하나인 수치지도를 이용하여 AUTOCAD 및 그래픽기능까지 활용할 수 있으므로 상수도 관망해석에 적극 활용이 가능하다고 판단된다.

이와 같은 방법으로 서울시의 39개 배수구역별 관망해석을 통하여 관로계획의 검증 및 보완이 가능하다고 판단되며, 상수도 종합정보시스템 구축에 필요한 자료를 제공할 수 있으리라 라고 판단된다.

참 고 문 헌

1. 서울특별시 수도정비기본계획, 서울특별시상수도사업본부 2000.
2. 김종훈, 「Optimal Rehabilitation/Replacement Model for Water Distribution Systems」, 1992
3. 박선명, 「상수도 송배수관로의 설계법과 계산예」, 1995
4. 서울시상수도사업본부, 「1996년도 상수도통계연보」, 1996
5. 서울시상수도사업본부, 「1997년도 상수도통계연보」; 1997
6. 서울시상수도사업본부, 「1998년도 상수도통계연보」, 1998
7. 서울시상수도사업본부, 「1999년도 상수도통계연보」, 1999
8. 서울시상수도사업본부, 「2000년도 상수도통계연보」, 2000
9. University of Kentucky, 「KYPIPE3 TOTAL MODELING PACKAGE」, 1996
10. 한국수자원학회, 「제5회 수공학 워크샵 교재」, 1997
11. State Public Health & Environmental Managers, 「Recommended Standards For Water Works」, 1992
12. Haestad Press, 「ESSENTIAL HYDRAULICS & HYDROLOGY」, 1998
13. AWWA, 「Water Distribution」 1994
14. 김원배, 「상수도유량표」, 건설문화사, 1981
15. Haestad Press, 「CYBER NET FOR WINDOWS v3.0」 1997