

복합배수관망에 있어서 선형 및 비선형 해석기법의 적용

Application of Linear and Nonlinear Analysis Technique on the Complex Water Distributing System

고 수 현* · 최 윤 영** · 안 승 섭***
Ko Soo Hyun · Choi Yun Young · Ahn Seung Seop

Abstract

In this study, optimal analysis of pipe network was performed using linear and non linear analysis method for complex real pipe network system of Mungyeong water purification field system which consists of 70 nodes and 86 elements. From the examination result of total flow which is distributed to each pipe, it is found that KYPIPE2 Model supplies less amount than NLAM.

It is known that dynamic water level and pressure head of KYPIPE2 Model and NLAM are nearly in accordance with each other from each method of the pipe network analyses, and appeared that both methods of analysis shows high reliable result since the distribution of dynamic water level for every node is in the short range of EL. 205.0m ~ EL. 210.0m besides the pressed dynamic water level. The analysis results of pressure in the methods of pipe network analysis for KYPIPE2 Model and NLAM are similar, and it is satisfactory result that the pressure distributions of both models are under the tab water design criterion of 5.0kgf/cm² besides the small part of highland.

I. 서 론

산업의 발달과 생활수준의 향상으로 인한 용수 수요량의 급증과 기상이변으로 인한 강수량의 계절적인 편차가 커짐으로써 풍수기를 제외하고는 갈수시에 용수부족으로 생활에 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다. 특히 부족한 용수량의 확보를 위하여 새로운 용수원의 개발이 시급한 실정에 있으나 현실적으로 수원지의 개발과 확보에 많은 어

려움이 있다. 그러므로 기 시설되어 있거나 신설 계획된 관로시스템을 합리적이고도 효과적으로 해석하므로써 제한된 수자원을 안전하고 신뢰성 있게 수요자에게 배분하는 것은 매우 중요한 사회적 인 요소이다.

관로시스템에 대한 연구는 관로시스템의 해석과 설계라는 두가지 주제로 나눌 수 있으며, 상수관망에서의 압력과 유량에 대한 정상류 해석을 위한 수리방정식들은 비선형 대수방정식으로서 각 관로

* 상주대학교 토목공학과
** 경북도립대학 토목환경학과
*** 경일대학교 도시정보지적공학과

키워드 : 복합배수관망, 선형 및 비선형분석,
KYPIPE2 모델, 비선형 모델, 동수두,
압력수두

에 대하여 미지의 유량의 항(項)으로 표시된 절점에서의 연속방정식과 폐합관로에서의 에너지 방정식으로 표시될 수 있다. 지금까지 관망해석을 위한 실무에서는 선형해석이론을 기초로 한 KYPIPE 모형이나 WaterCAD 모형 등을 주로 이용하고 있는 실정이나 비선형기법을 이용한 해석 사례는 극히 드문 실정이며, 국내외에서 연구된 관망해석에 관한 내용을 검토하면 다음과 같다.

국외의 연구를 살펴보면 관망설계법으로는 각 관로의 절점에서 연속방정식을 만족시키도록 유량을 가정한 다음, 수두손실과 유량의 관계식을 이용하여 가정된 유량을 보정해 나감으로서 각 폐합관로의 유량을 평형시키는 방법으로 현재까지도 가장 많이 사용되고 있는 방법 중의 하나인 Hardy Cross법이 1936년 Cross에 의해 발표된 후 McElroy (1949)는 Hardy Cross 방법의 단점을 개선하기 위한 방법으로 1차연립 근사해법을 이용한 관로시스템의 해석을 위한 유량법을 발표하였다. '50년대에는 주로 관로시스템의 해석방법을 개선하기 위한 것들이었으며, Martin & Peters(1963)는 Newton법에 의한 관로시스템의 해석방법, 유량법, 고차근사해석법의 하나인 연립 2차방정식법, 평균차근사법을 이용한 방법 및 엄밀해석법을 발표하였다. Rowell 등(1982)의 많은 연구자들은 각종 자료의 취득에서부터 관로시스템 해석에 이르기까지 여러 가지 공학적 문제의 해결을 위하여 컴퓨터를 응용함으로써 통합시스템 기법이 구축·개발되기 시작하였다.

국내의 연구에서는 김수경(1989)에 의하여 분기형의 가상관망에 대하여 선형계획법을 이용한 경제적 관망설계에 관한 연구가 있었으며, 전환돈 등(1994)은 실제 사업지구인 전남 해남군 간척사업지구의 관로시스템을 대상으로 선형계획법을 이용하여 관로시스템 해석을 실시한 바 있다. 또한 최근에 김주환(1996)은 최적화기법을 이용한 경제적 관망설계에서 비선형계획법의 이용 필요성을 제시하였고, 안승섭 등(1998)은 배수관망의 간선 배치에 따른 정류흐름해석과 비선형기법을 이용한 배수관망의 최적해석에 관한 방향을 제시한 바 있다.

따라서, 본 연구에서는 복합배수관망의 최적해석을 위하여 Newton-Raphson의 해석기법을 이용한 비선형 관망해석기법을 모형화 하고, 기존의 관로해석을 위하여 실무에서 많이 이용되고 있는 KYPIPE2 모형의 해석결과와 비교·검토하여 본 연구에서 제안된 비선형 해석기법의 적용성을 검토함으로써 향후 배수관망 설계시에 효율적으로 운영될 수 있도록 하고자 한다. 본 연구에서 제안된 모형은 경북 북부지역의 문경시에 대한 실제 배수관로 시스템을 적용하여 총유출량, 동수위 및 압력수두 등을 계산하고 압력분포도를 도시하여 기존의 선형모형과 비교 검토함으로써, 현재 각 지방자치단체에서 막대한 비용과 시간을 투자하여 구축하고 있는 상수도 관리시스템의 GIS 구축결과를 연계한 통합 관로해석 모형을 구축하는데 있어서 관로해석의 기본 모델로의 사용 가능성을 검토하고자 한다.

II. 배수관망 해석의 기본이론

관로시스템의 해석을 위해서는 관로의 길이, 연장 및 부속물의 수치적인 자료화가 필요하며, 주된 요소는 관의 단면과 관련된 사항이다. 관로 시스템에서 관의 연결점을 절점(node)이라고 하며, 절점은 2개 이상의 관이 연결된 접합절점(junction node)과 압력수두와 표고가 기지의 값으로 주어지는 고정수두절점(fixed grade node)으로 구분할 수 있다.

관로시스템에서 관단면의 수(p)는 다음 식 (1)에서 나타낸 바와 같이 접합절점의 수(j)와 폐합회로(primary loop)의 수(l), 고정수두절점의 수(f) 및 독립지역(separate zone)의 수(z)로 정의할 수 있다.

$$p = j + l + f - z \dots\dots\dots (1)$$

또한, 관로의 요소(elements)가 개별적으로 고려될 때, 각 절점에 연결된 관로요소들이 관로시스템내의 어느 곳에서나 유입유량이나 사용수량이

서로 평형을 이루어야 하므로 정확한 해석을 위해서는 각 요소와 요소들 사이의 상호작용을 고려해야 한다.

즉, 관로시스템에 대한 해석은 식 (2)~(4)에서 나타낸 바와 같이 유량(Q)방정식(The Flow Equations), 절점(H)방정식(the node equations) 및 회로(ΔQ)방정식(the loop equations)과 같은 비선형 연립방정식을 수립하여 해석하는 과정으로서, 해석방법에 따라서 선형해석기법과 비선형해석기법으로 구분된다.

$$Q_{in} - Q_{out} = Q_e \quad (j \text{ equations}) \dots\dots\dots (2)$$

$$\sum h_L = 0 \quad ; \quad = \sum E_p \quad (l \text{ equations}) \dots\dots\dots (3)$$

$$\Delta E = \sum h_L - \sum E_p \quad (f-1 \text{ equations}) \dots\dots\dots (4)$$

여기서, Q_{in} 과 Q_{out} 는 관로의 유입 및 유출량, Q_e 는 외부유입량이나 수요량(external inflow or demand), $\sum h_L$ 은 손실수두의 총합, $\sum E_p$ 는 양정고(pumping head), ΔE 는 고정수두절점(FGN, fixed grade node)간의 동수경사선(HGL, hydraulic grade line)의 차이를 나타낸다.

따라서, 본 연구에서는 복합배수관망의 해석을 위하여 선형 및 비선형해석기법을 이용하였다. 선형해석기법에는 여러 가지 방법이 있으나 최근에 개발되어 전세계적으로 널리 사용되고 있는 모형 중에서 미국 Kentucky 대학의 Wood에 의해 개발되어 수정·보완된 KYPIPE2 (Kentucky Pipe Network) 모형을 이용하였으며, 비선형해석기법으로는 주어진 방정식을 Newton-Raphson 수치해석기법을 이용하여 해석하였다.

1. 선형해석기법(KYPIPE2 모형)

KYPIPE2 모형은 관로시스템의 정상류에 대한 유량 및 수압계산을 위한 프로그램으로 1980년 미국 Kentucky 대학의 Don J. Wood에 의하여 개발된 모형으로서, 관로시스템 해석에서의 초기유량값을 가정하지 않으며 각 관로에 대한 절점유량방

정식과 에너지방정식을 선형화기법을 이용하여 전체 관망에 대한 행렬식을 만들어 Gaussian-Elimination법에 의하여 선형 연립방정식을 해석함으로써 전체관로의 유량과 수두를 계산한다.

이 모형의 특징으로는 저수조, 펌프, 밸브 등의 관로부속물을 고려하여 모든 형태의 관망을 해석할 수 있으며 해(solution)에 대한 수렴성이 양호하다. 또한 장래 수요량의 변화에 따른 배수지의 수위변화를 예측할 수 있는 확장기간모의(extended period simulation, EPS)기능을 가지고 있고 CFS(cubic feet per second), GPM(gallon per minute), MGD (Mega-gallon per day), SI (Syateme International) unit의 유량 단위를 선택하여 사용할 수도 있다. 최초의 모델인 KYPIPE1은 FORTRAN과 BASIC 언어로 작성된 두 종류가 있으며, 1991년에는 Haestad Methods Inc.에서 KYPIPE1에 PISET.EXE, FED.EXE 등의 일부 모듈을 추가하여 사용자의 편의를 향상시킨 KYPIPE2가 개발되어 관망해석에 널리 사용되고 있으며, 여기에는 화상처리를 통한 사용자 이용환경(GUI : graphic user interface)에 의한 입출력 및 자료 관리 기능이 추가되어 상업용 통합시스템으로 향상되었다.

2. 비선형해석모형 (Non-linear Analysis Model)

본 연구에서는 관로시스템의 비선형해석모형을 수립하기 위하여 비선형관망의 거동을 나타내는 전체 시스템 방정식은 Hazen-Williams공식을 사용하였으며, 식(5)과 같이 나타낼 수 있다.

$$K(H)H = C \dots\dots\dots (5)$$

식 (1)에서 K 는 관망의 특성행렬로써 미지의 절점수두에 의존하고, H 는 관로시스템의 수두벡터이며, C 는 관로시스템의 사용수량이다. 비선형 시스템 해석을 위한 단계는 절점수두의 초기치 가정단계, 방정식의 시스템과 절점수두를 이용한 행

렬 K의 계수계산단계, 절점수두의 새로운 조합에 따른 시스템 방정식의 해석단계 및 각 단계에서의 사전 절점수두의 비교단계와 같이 개략적으로 4단계로 구분할 수 있으며, 계산결과와의 비교에서 오차가 발생하면 행렬계산단계부터 반복하여 연산을 수행하게 된다.

또한, 이 방법에 따른 연속해의 수렴과정을 Fig. 1과 같이 수두 H와 유량 C의 관계로 나타낼 수 있으며, 수두에 대한 초기치 H^0 를 결정한 후에 수두와 유량의 계수 k^1 을 그 유량수준에 따라서 계산한다. 이 계수를 사용하면 C의 값을 알 수 있고, 수두의 새로운 값 H^1 을 계산 할 수 있으므로 근사치 H^1 은 새로운 계수 k^2 를 계산하는데 사용된다.

본 연구에서는 계산과정에서 해의 수렴효과를 높이기 위하여 비선형 방정식이나 다른 비선형 문제의 해를 찾기 위해서 자주 사용되는 기법인 Newton-Raphson 방법을 사용하였으며, 해석의 과정은 Fig. 2에서 나타낸 바와 같이 먼저 초기해 H^1 을 가정한 후 이 값을 사용하여 C^1 을 계산한다. 이때 계산과정중의 계산값과 실제값의 차이 ΔC^1 는 식 (6)과 같이 정의할 수 있다.

$$\Delta C^1 = C - C^1 \dots\dots\dots(6)$$

식 (6)과 같은 차이를 수정하기 위하여 식 (7)과 같이 시스템을 해석하며, 수정된 수두는 식 (8)과 같다.

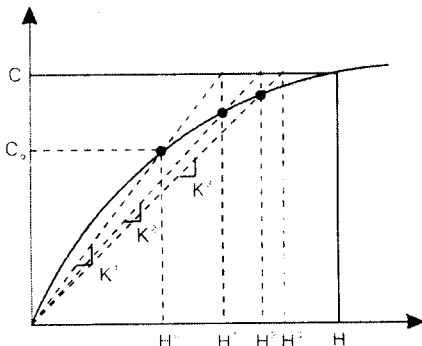


Fig. 1 Iterative procedure

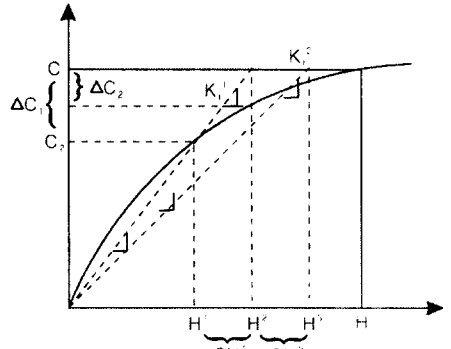


Fig. 2 Newton-Raphson procedure

$$k_t^1 \cdot \Delta H^1 = \Delta C^1 \dots\dots\dots(7)$$

$$H^2 = H^1 + \Delta H^1 \dots\dots\dots(8)$$

식 (8)에 의해 계산된 수두는 접선계수(tangent coefficient) k_t^2 를 계산할 때 사용되며, 이러한 과정은 허용오차 내로 수렴할 때까지 반복 계산한다.

III. 배수관망의 해석

본 연구에서는 상수도 관망의 설계시 큰 영향을 미치는 인자인 각 요소별 용수 수요량과 압력 및 절점별 고도(elevation)을 고려한 배수관망의 최적 설계의 방안을 제시하기 위하여, 선형 및 비선형 알고리즘을 사용하였다. 연구에 사용된 선형해석 기법으로는 기존에 개발되어 관망설계에 많이 사용되고 있는 KYPIPE2 모형을 이용하였으며, 비선형해석기법(non-linear analysis method : NLAM)은 Newton-Raphson의 방정식을 수치해석기법으로 이용하여 해석하였다.

1. 연구대상지역의 선정 및 자료수집

본 연구에서는 선형 및 비선형 해석기법을 이용한 복합배수관망의 최적해석을 위하여 배수계통이 명확히 규명되어 있고, 매설관로의 재원과 경과년

Table 1(a) Geometry data and pipe network system data

Pipe Number	Node Number		Length (m)	Diameter (mm)	Pipe Number	Node Number		Length (m)	Diameter (mm)	Remarks
	Start	End				Start	End			
1	0	1	70.0	500.0	44	23	24	320.0	80.0	
2	1	2	120.0	350.0	45	24	25	120.0	300.0	
3	2	3	30.0	250.0	46	24	26	180.0	80.0	
4	3	4	30.0	350.0	47	24	27	240.0	80.0	
5	4	5	120.0	100.0	48	26	27	120.0	150.0	
6	5	6	120.0	350.0	49	27	28	120.0	350.0	
7	6	7	120.0	100.0	50	28	29	120.0	350.0	
8	7	8	120.0	350.0	51	29	30	120.0	350.0	
9	8	9	120.0	100.0	52	30	31	120.0	350.0	
10	9	10	120.0	350.0	53	31	32	120.0	350.0	
11	10	11	120.0	100.0	54	32	33	120.0	350.0	
12	11	12	120.0	350.0	55	33	34	120.0	350.0	
13	12	13	120.0	100.0	56	34	35	120.0	350.0	
14	13	14	120.0	350.0	57	35	36	120.0	350.0	
15	14	15	120.0	100.0	58	36	37	120.0	350.0	
16	15	16	120.0	350.0	59	37	38	120.0	350.0	
17	16	17	120.0	100.0	60	38	39	120.0	350.0	
18	17	18	120.0	350.0	61	39	40	120.0	350.0	
19	18	19	120.0	100.0	62	40	41	120.0	350.0	
20	19	20	120.0	350.0	63	41	42	120.0	350.0	
21	20	21	120.0	100.0	64	42	43	120.0	350.0	
22	21	22	120.0	350.0	65	43	44	120.0	350.0	
23	22	23	120.0	100.0	66	44	45	120.0	350.0	
24	23	24	120.0	350.0	67	45	46	120.0	350.0	
25	24	25	120.0	100.0	68	46	47	120.0	350.0	
26	25	26	120.0	350.0	69	47	48	120.0	350.0	
27	26	27	120.0	100.0	70	48	49	120.0	350.0	
28	27	28	120.0	350.0	71	49	50	120.0	350.0	
29	28	29	120.0	100.0	72	50	51	120.0	350.0	
30	29	30	120.0	350.0	73	51	52	120.0	350.0	
31	30	31	120.0	100.0	74	52	53	120.0	350.0	
32	31	32	120.0	350.0	75	53	54	120.0	350.0	
33	32	33	120.0	100.0	76	54	55	120.0	350.0	
34	33	34	120.0	350.0	77	55	56	120.0	350.0	
35	34	35	120.0	100.0	78	56	57	120.0	350.0	
36	35	36	120.0	350.0	79	57	58	120.0	350.0	
37	36	37	120.0	100.0	80	58	59	120.0	350.0	
38	37	38	120.0	350.0	81	59	60	120.0	350.0	
39	38	39	120.0	100.0	82	60	61	120.0	350.0	
40	39	40	120.0	350.0	83	61	62	120.0	350.0	
41	40	41	120.0	100.0	84	62	63	120.0	350.0	
42	41	42	120.0	350.0	85	63	64	120.0	350.0	
43	42	43	120.0	100.0	86	64	65	120.0	350.0	
44	43	44	120.0	350.0	87	65	66	120.0	350.0	
45	44	45	120.0	100.0	88	66	67	120.0	350.0	
46	45	46	120.0	350.0	89	67	68	120.0	350.0	
47	46	47	120.0	100.0	90	68	69	120.0	350.0	
48	47	48	120.0	350.0	91	69	70	120.0	350.0	
49	48	49	120.0	100.0	92	70	71	120.0	350.0	
50	49	50	120.0	350.0	93	71	72	120.0	350.0	
51	50	51	120.0	100.0	94	72	73	120.0	350.0	
52	51	52	120.0	350.0	95	73	74	120.0	350.0	
53	52	53	120.0	100.0	96	74	75	120.0	350.0	
54	53	54	120.0	350.0	97	75	76	120.0	350.0	
55	54	55	120.0	100.0	98	76	77	120.0	350.0	
56	55	56	120.0	350.0	99	77	78	120.0	350.0	
57	56	57	120.0	100.0	100	78	79	120.0	350.0	
58	57	58	120.0	350.0	101	79	80	120.0	350.0	
59	58	59	120.0	100.0	102	80	81	120.0	350.0	
60	59	60	120.0	350.0	103	81	82	120.0	350.0	
61	60	61	120.0	100.0	104	82	83	120.0	350.0	
62	61	62	120.0	350.0	105	83	84	120.0	350.0	
63	62	63	120.0	100.0	106	84	85	120.0	350.0	
64	63	64	120.0	350.0	107	85	86	120.0	350.0	
65	64	65	120.0	100.0	108	86	87	120.0	350.0	
66	65	66	120.0	350.0	109	87	88	120.0	350.0	
67	66	67	120.0	100.0	110	88	89	120.0	350.0	
68	67	68	120.0	350.0	111	89	90	120.0	350.0	
69	68	69	120.0	100.0	112	90	91	120.0	350.0	
70	69	70	120.0	350.0	113	91	92	120.0	350.0	
71	70	71	120.0	100.0	114	92	93	120.0	350.0	
72	71	72	120.0	350.0	115	93	94	120.0	350.0	
73	72	73	120.0	100.0	116	94	95	120.0	350.0	
74	73	74	120.0	350.0	117	95	96	120.0	350.0	
75	74	75	120.0	100.0	118	96	97	120.0	350.0	
76	75	76	120.0	350.0	119	97	98	120.0	350.0	
77	76	77	120.0	100.0	120	98	99	120.0	350.0	
78	77	78	120.0	350.0	121	99	100	120.0	350.0	
79	78	79	120.0	100.0	122	100	101	120.0	350.0	
80	79	80	120.0	350.0	123	101	102	120.0	350.0	
81	80	81	120.0	100.0	124	102	103	120.0	350.0	
82	81	82	120.0	350.0	125	103	104	120.0	350.0	
83	82	83	120.0	100.0	126	104	105	120.0	350.0	
84	83	84	120.0	350.0	127	105	106	120.0	350.0	
85	84	85	120.0	100.0	128	106	107	120.0	350.0	
86	85	86	120.0	350.0	129	107	108	120.0	350.0	
87	86	87	120.0	100.0	130	108	109	120.0	350.0	
88	87	88	120.0	350.0	131	109	110	120.0	350.0	
89	88	89	120.0	100.0	132	110	111	120.0	350.0	
90	89	90	120.0	350.0	133	111	112	120.0	350.0	
91	90	91	120.0	100.0	134	112	113	120.0	350.0	
92	91	92	120.0	350.0	135	113	114	120.0	350.0	
93	92	93	120.0	100.0	136	114	115	120.0	350.0	
94	93	94	120.0	350.0	137	115	116	120.0	350.0	
95	94	95	120.0	100.0	138	116	117	120.0	350.0	
96	95	96	120.0	350.0	139	117	118	120.0	350.0	
97	96	97	120.0	100.0	140	118	119	120.0	350.0	
98	97	98	120.0	350.0	141	119	120	120.0	350.0	
99	98	99	120.0	100.0	142	120	121	120.0	350.0	
100	99	100	120.0	350.0	143	121	122	120.0	350.0	

* : 2.0kw Booster, ** : 0.4kw Boost

Table 1(b) Geometry data and pipe network system data

Node Number	External Demand (m ³ /Day)	Node Elevation (EL.m)	Connecting Pipes	Node Number	External Demand (m ³ /Day)	Node Elevation (EL.m)	Connecting Pipes
1	7100.00	190.00	1	36	79.92	157.00	13
2	53.54	185.00	2	37	77.72	156.00	56
3	53.88	182.00	4	38	13.00	155.00	57
4	93.95	173.00	11	39	45.50	154.00	60
5	93.07	169.00	14	40	45.50	153.00	63
6	93.00	165.00	16	41	50.26	152.00	65
7	68.35	159.00	17	42	50.26	151.00	67
8	68.35	155.00	18	43	119.00	150.00	68
9	68.35	151.00	31	44	77.36	149.00	70
10	68.35	147.00	24	45	77.36	148.00	72
11	68.35	143.00	12	46	77.36	147.00	74
12	68.35	139.00	7	47	77.36	146.00	78
13	68.35	135.00	28	48	77.36	145.00	79
14	68.35	131.00	15	49	77.36	144.00	80
15	68.35	127.00	33	50	77.36	143.00	81
16	68.35	123.00	16	51	77.36	142.00	82
17	68.35	119.00	36	52	77.36	141.00	83
18	68.35	115.00	33	53	77.36	140.00	84
19	68.35	111.00	37	54	77.36	139.00	85
20	68.35	107.00	41	55	77.36	138.00	
21	68.35	103.00	10	56	77.36	137.00	
22	68.35	99.00	33	57	77.36	136.00	
23	68.35	95.00	44	58	77.36	135.00	
24	68.35	91.00	45	59	77.36	134.00	
25	68.35	87.00	46	60	77.36	133.00	
26	68.35	83.00	47	61	77.36	132.00	
27	68.35	79.00	48	62	77.36	131.00	
28	68.35	75.00	49	63	77.36	130.00	
29	68.35	71.00	50	64	77.36	129.00	
30	68.35	67.00	51	65	77.36	128.00	
31	68.35	63.00	52	66	77.36	127.00	
32	68.35	59.00	53	67	77.36	126.00	
33	68.35	55.00	54	68	77.36	125.00	
34	68.35	51.00	55	69	77.36	124.00	
35	68.35	47.00	56	70	77.36	123.00	
36	68.35	43.00	49	71	77.36	122.00	
37	68.35	39.00	51	72	7		

먼저, Fig. 4는 각 절점에 대한 수학적 특성치를 입력자료에 대한 분석결과치와 비교하여 도시한 것으로서, 동수위는 정수장의 고정절점수두가 표고 208.00m일 때 절점 No. 1은 표고 207.89m이고, 최고점은 No. 27로서 표고 257.57m이었으며 최저점은 절점 No. 48로서 표고 203.79m로 분석되었다. 그리고 수지상 부분의 말단지점 중에서 절점 No. 34, 35, 39 및 69에서의 동수위는 각각 표고 206.16m, 207.55m, 207.14m 및 204.55m로 분석되었다.

다음으로 절점별 압력은 최저치가 절점 No. 26의 1.44kgf/cm²부터 최대치 절점 No. 30의 6.21kgf/cm²까지 분포를 나타내고 있으며, 수지상부분의 말단지점중에서 절점 No. 34, 35, 39 및 69에서는 각각 1.62kgf/cm², 3.96kgf/cm², 5.11kgf/cm² 및 1.70kgf/cm²으로 분석되었다. 즉, 압력에 대한 분석결과

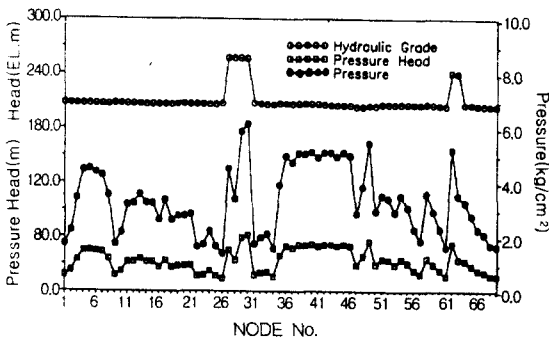


Fig. 4 Result of pipe network analysis by KYPIPE2 model for hydraulic grade, pressure head, pressure

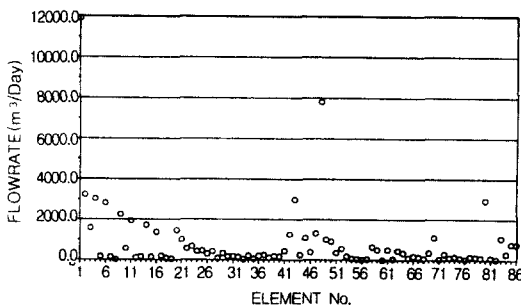


Fig. 5 Result of flowrate analysis by KYPIPE2 model

우리나라 상수도시설 기준에서 제시하고 있는 동수압 1.5~5.0kgf/cm²와 최소동수압 1.5kgf/cm²의 기준으로 볼 때 충족시키는 것으로 분석되었다.

마지막으로, KYPIPE2 모형에 의한 관로시스템 해석 결과 절점별 용수수요량을 고려한 각 관로별 유출량은 Fig. 5에 나타난 바와 같이 계산공급량이 절점별 수요량과 오차없이 배분되었다.

나. 비선형계획법(NLAM)

비선형계획법에 의한 관망의 해석을 위하여 사용된 문경정수장 계통은 69개(정수장 제외)의 절점과 86개의 element로 구성된 복합형 관로시스템으로서, 1개의 배수지(No. 0)에서 용수량을 공급하고 각 절점에서 용수수요량 만큼의 수량이 유출되고 있는 실정이므로 이를 모형의 입력자료(Table 1(a)~(b))를 사용하였다. 또한, 선형계획법에서 검토된 바와 같은 각 절점(node)과 관로(element)에 대한 수리학적 특성치를 검토하였다.

각 절점에 대한 내용은 동수위 및 압력에 관한 항목을 검토하고, 각 관로에 대해서는 수요량에 대한 관로별 유출량을 검토하였으며, 그 결과는 Table 3 및 Fig. 6~7과 같았다. Fig. 6은 NLAM 모형을 이용한 각 절점에 대한 분석결과치를 나타낸 것으로서, 동수위는 정수장의 고정절점수두가 표고 208.00m일 때 절점 No. 1은 표고 207.89m이고, 최고점은 절점 No. 27로서 표고 257.55m, 최저점은 절점 No. 48로서 표고 203.72m로 분석되었다. 그리고 수지상부분의 말단지점중에서 절점 No. 34,

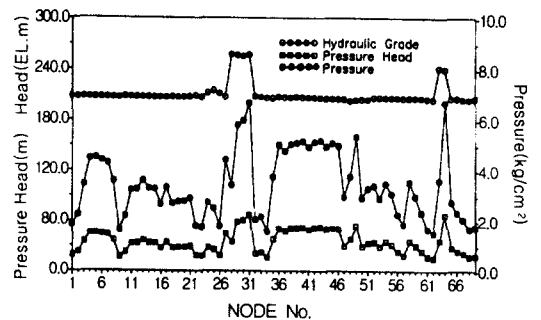


Fig. 6 Result of pipe network analysis by NLAM for hydraulic grade, pressure head and pressure

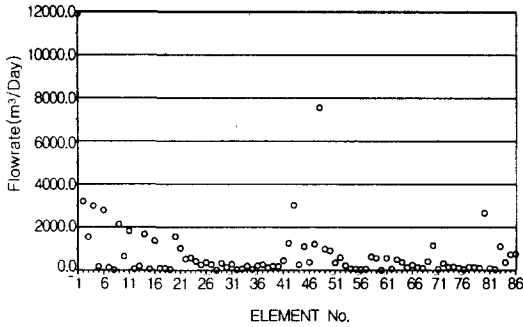


Fig. 7 Result of flowrate analysis by NLAM

35, 39 및 69에서는 각각 표고 205.93m, 207.56m, 207.03m 및 204.55m로 분석되었다.

또한, 절점별 압력은 최저치가 절점 No. 26에서 1.50kgf/cm², 최대치가 절점 No. 30에서 6.21kgf/cm²의 분포를 나타내고 있으며, 수지상부분의 말단지점중에서 절점 No. 34, 35, 39 및 69에서는 각각 1.60kgf/cm², 3.96kgf/cm², 5.10kgf/cm² 및 1.71kgf/cm²으로 분석되었다. 즉, 압력에 대한 분석결과는 우리나라 상수도시설기준에서 제시하고 있는 동수압 1.5~5.0kgf/cm²와 최소동수압 1.5kgf/cm²를 비교적 충족하고 있는 것으로 분석되었다. 분석 동수압이 4.0kgf/cm²를 초과하는 절점부근은 관로의 표고가 150~223m 정도이면서 주거지 밀집지역에 해당되고, 문경정수장 계통관로에서 용수공급시 기준압력인 관측 동수압 2.0~5.0kgf/cm²의 범위는 거의 충족하는 것으로 분석되었다.

마지막으로, 절점별 용수수요량을 고려한 각 관로별 유출량은 Fig. 7에서 나타낸 바와 같이 계산 공급량이 절점별 수요량과 오차없이 배분되었다.

3. 배수관망의 해석기법에 의한 비교분석

본 연구에서 사용된 해석기법별 분석결과는 관로별 유량공급량과 절점별 동수위, 압력수두 및 압력에 대하여 검토한 결과는 거의 차이를 나타내고 있지 않으나 반복계산횟수에서 KYPIPE2 모형이 6회, NLAM 모형이 12회로 나타나 NLAM 모형이 계산시간에 있어 KYPIPE2 모형보다 긴 것으로 분석되었다. 하지만 모형의 시뮬레이션에 있어

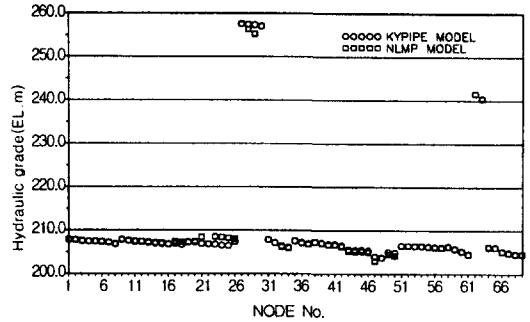


Fig. 8 Comparison of hydraulic grade by each method

중요한 요소인 입력·출력자료의 활용면에서 NLAM이 편리하도록 모형화하므로써 향후 지리정보시스템과 연계시킨 통합 관로해석에 유용하게 이용될 수 있을 것으로 판단되며, 항목별로 비교 분석한 결과는 다음과 같다.

가. 동수위(Hydraulic Grade)의 비교분석

사용된 해석방법별 동수위를 비교한 결과 Fig. 8에서 나타낸 바와 같이 절점 No. 1~20까지와 No. 30~69까지는 KYPIPE2 모형과 NLAM 모형에 의한 해석 결과가 거의 일치하고 절점 No. 21~29에서는 NLAM 모형의 해석결과와 미소한 차이가 있었다. 그러나 동수위 분석 결과의 전체적인 경향을 검토할 때, KYPIPE2 모형 및 NLAM 모형이 거의 유사한 결과치로 분석되었다.

나. 압력(Pressure)의 비교분석

본 연구에서 배수관망의 해석방법중에서 가장 중요한 요소인 압력에 대한 분석치를 비교 검토한 결과는 Fig. 9에서 나타낸 바와 같이 절점별 압력에 있어 절점 No. 1~20까지와 No. 30~69까지는 KYPIPE2 모형과 NLAM 모형에 의한 해석결과가 거의 유사하게 분석되고 있다. 그러나 절점 No. 21~29에서는 동수위의 해석결과치와 유사하게 KYPIPE2 모형과 NLAM 모형의 분석결과에서 미소하게나마 두 해석방법에 있어 차이를 보이고 있으며 NLAM 모형이 압력에 대해 상대적으로 높은 결과치를 나타내었다.

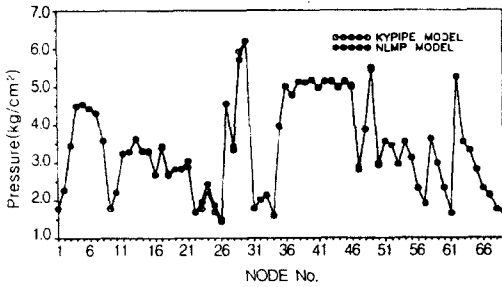


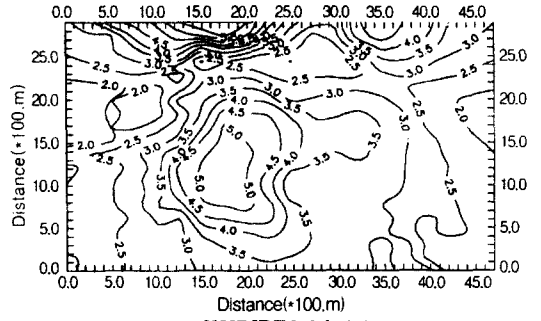
Fig. 9 Comparison of pressure by each method

다. 결과 및 고찰

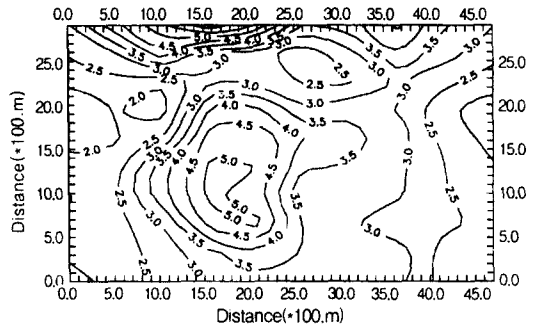
본 연구에서 선형해석기법과 비선형해석기법을 이용한 실제 복합배수관망에 대한 두 해석기법의 결과치를 비교한 결과는 다음과 같다.

먼저, 동수위를 비교한 결과 전체적인 격점의 해석 결과가 거의 일치하고 있으며 가압구간(node 26, 61)의 전·후 격점에 있어서도 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다. 그리고 절점 21~29까지는 두 모델에 있어 미소한 차이를 보이고 있으나 그 차이 폭이 전체적인 동수위의 크기로 볼 때는 매우 작은 것으로 나타났다. 한편, 일부 고지대인 절점 26 및 절점 61에서 가압한 경우의 동수위를 제외하고는 두 해석기법의 전체적인 격점에 대한 동수위 분포치가 표고 205.0~210.0m 내에서 거의 미소한 차이폭을 보이고 있는 것으로 분석되었다.

다음으로 배수관망의 해석방법 중에서 가장 중요한 요소의 하나인 압력에 대한 결과는 Fig. 10의 압력분포도에서 보는 바와 같이 KYPIPE2 모형과 NLAM 모형에 의한 해석결과가 거의 유사하게 분석되고 있다. 그리고 절점 No. 26 부근에서는 KYPIPE2 모형과 NLAM 모형의 분석결과에서 미소하게나마 두 해석방법에 따른 차이를 보이고 있는데 이것은 이 지역이 비교적 고지대에 속하므로 인해 절점 26에서 2.0kW 용량의 펌프를 따로 설치하였기 때문인 것으로 판단된다. 하지만 두 모형에 대한 분석치의 차이폭이 0.1~0.3kgf/cm² 이내로서 매우 미소함을 알 수 있다.



a. KYPIPE2 Model



b. NLAM Method

Fig. 10 Comparison of pressure distribution by each method

IV. 결 론

본 연구에서는 문경시 정수장계통의 70개 절점과 86개 element로 구성된 복합형 실제관로시스템을 대상으로 선형 해석기법과 비선형 해석기법을 이용하여 최적 관망설계를 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 관망의 해석방법별 동수위와 압력수두를 비교한 결과 KYPIPE2 모형과 NLAM 모형이 거의 일치하게 분석됨을 알 수 있었으며, 가압한 경우의 동수위를 제외하고는 두 해석기법의 전체적인 격점에 대한 동수위 분포치가 표고 205.0~210.0m 내에 존재하는 작은 차이폭을 보이고 있는 것으로 분석되어 높은 신뢰도를 나타내었다.

2) 배수관망의 해석방법 중에서 압력에 대한 결과는 KYPIPE2 모형과 NLAM 모형에 의한 해석

결과가 거의 유사하게 분석되었으며, 원활한 용수 공급을 위해 일부 고지대에 가압한 경우를 제외하면 압력분포가 상수도 설계기준인 5.0kgf/cm^2 이내로서 만족할 만한 결과치를 나타내었다.

3) 각 방법에 따른 해석결과와 더불어 문경정수장 계통의 운영지침에서 제시하고 있는 압력의 기준값($2\sim 5\text{kgf/cm}^2$)을 두 모형에서 비교한 결과, 계산값의 정확도는 NLAM 모형과 KYPIPE2 모형이 모두 우수한 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구에서 적용된 NLAM 모형과 현재 각 지방자치단체에서 막대한 비용과 시간을 투자하여 구축하고 있는 상수도 관리시스템의 GIS 구축결과를 연계한 통합 관로해석 모형을 구축한다면 향후 관로시스템에서의 부정류해석, 최적관로의 설계 및 상수관로의 유지보수기법의 개발 등으로 확장 발전시키는데 유용하게 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 김수경, 1989, 수지상관망의 경제적설계에 관한 연구, 원광대학교대학원, 석사학위논문.
2. 김주환, 1996, 최적화기법을 이용한 경제적관망설계 연구(1차년도), 한국수자원공사.
3. 박노삼, 안승섭, 권재섭, 정봉교, 1999, 비선형 해석기법을 이용한 배수관망의 최적해석, 대한상수도학회지, 제 13권 제 4호, pp.111~122.
4. 이증석, 박노삼, 김지화, 최윤영, 안승섭, 1999, 배수관망의 간선배치에 따른 정류흐름 해석, 대한상수도학회지, 제 13권 제 3호, pp.73~82.
5. 전환돈, 김태균, 김중훈, 윤용남, 1994, 선형계획법을 이용한 분기형 관망시스템의 최적 설계, 한국수자원학회지, 제 27권, 제 3호, pp. 135~1444.
6. 문경시, 1998, 문경상수도 확장 기본 및 실시 설계보고서.
7. 이양규, 1999, 최신 상·하수도공학, 보문당.
8. Martin, D.W., and Peters, G., 1963, The Applications of Newton's Method to Network Analysis by Digital Computer, Journal of IWE, Vol. 17, pp. 115~129.
9. McElroy, M.S., 1949, Pipeline Network Flow Analysis Using Ordinary Algebra, JAWWA, Vol. 41, No. 5, pp. 422~428.
10. Rowell, W.F. and Barnes, J.W., 1982, Obtaining Layout of Water Distribution System, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 108, No. HY1, Jan..
11. Seaty, T.L. and J.Bram, Nonlinear Mathematics, p.58, McGraw-Hill.
12. Wood, D.J., 1991, KYPIPE2 User's Manual, Comprehensive Computer Modeling of Pipe Distribution Networks, University of Kentucky, Lexington, Kentucky.
13. 磯田和男, 大野 豊, FORTRANによる 數値解析ハンドブック, 昭和57年, pp.421~428, オーム社.