

〈論 文〉

雨水管網의 單純化와 管路配置의 影響分析 (Effect of the Simplification and Composition in Sewer Networks)

전 병 호* 이 종 태** 윤 재 영***
JUN Byong-Ho, LEE Jong Tae and YOON Jae Young

Abstract □ Simplified sewer networks have been used to simulate runoff hydrographs for urban watersheds since configurations of sewer networks in urban area are commonly so complex that it is too cumbersome to simulate them as what they are. If they were to be simulated without any simplification, it is not likely that satisfactory results are obtained due to accumulation of numerous little errors. Even for the well-known models widely used in everyday practices it is not appropriate to simulate everything in the watershed as what they are. In resolving these problems, it is common practice to simplify network configurations so as to be fitted to the models for runoff hydrograph simulation. In case of network simplification, hydraulic and hydrologic characteristics of the watersheds should be carefully taken into consideration to derive meaningful results. On the bases of these considerations, this study analyzes simulation outputs using simplified networks and compares them, as well as investigates the methods to make hydraulically sound simplification of sewer networks.

요 지 : 도시구역에서의 관망의 배열은 통상 매우 복잡하기 때문에 있는 그대로를 모의하기에는 많은 번거로움이 수반되며, 있는 그대로를 모의한다고 하더라도 작은 오차들이 누적되어 좋은 결과를 기대하기 어려운 경우가 많다. 또한 합리적인 모형으로 실무에 많이 사용되는 모형일지라도 유역의 있는 그대로를 모의하기에는 부적절한 경우가 있기 마련이다. 이같은 경우에 유역의 관망배열은 유출 수문곡선을 모의하기 위하여 그 모형에 적합하도록 단순화 시키는 것이 보통이다. 그러나 이같이 관망을 단순화시킬 경우라도 좋은 결과를 이끌어 내기 위하여는 유역내의 수리·수문학적인 특성을 빠짐없이 고려하여 단순화시키야 한다. 본 연구는 이런 관점을 고려하여 단순화시킨 모의결과를 비교분석하고, 수리학적으로 어떻게 단순화 시키는 것이 합리적인가를 살펴보고자 한다.

1. 序 論

도시구역의 유역 출구에서의 유출량(특히 유수지로의 유입량)산정을 위해 유출모의 모형을 이용할 때 복잡한 유역내의 관망 전체를 이용하는 것이 곤란하거나 혼란을 초래할 수 있으므로 유역내의 관망을 단순화 하여 주요 간선 관망만을 이용하여

유출량을 모의하는 경우가 발생한다. 특히 각 맨홀로 유입되는 표면유출량을 계산하기 위해서는 소구역의 면적크기, 유역경사, 유로 길이, 유역형상, 토양(표면)조건등 다양한 자료를 필요로 하게 되는바 이들 자료를 유역을 세분화하여 구하는 것이 번거롭고 때로는 부정확한 자료 수집의 원인이 되기도 한다.

유출 모의 모형에 따라서는 맨홀과 맨홀사이의

* 육군사관학교 토목공학과 교수
** 경기대학교 토목공학과 교수
*** 육군사관학교 토목공학과 연구조교

연결에 단 하나의 관로만을 허용하는 것이 일반적이나 경우에 따라서는 실제로 몇개의 관로로 형성되기도 하며 이같은 상황은 특히 유역의 하류부에서 일어나는 경우가 많다. 또한 두개 이상의 관로가 하나의 맨홀로부터 분지되어 나가는 경우에 대한 유출 모의가 불가능한 모형에서는 그림 1에서 보는바와 같이 분지 맨홀을 단일 맨홀로 분리하여 해석할 필요가 발생하기도 한다.

이와같이 유역내에 매우 복잡하게 배치된 관망을 설계하거나 설계모형을 이용하여 해석을 실시할 경우 관로의 생략, 관로의 합성, 접합점의 집약등을 통한 관망의 간략화 기법이 이용될 수 있다.

일반적으로 기초관망의 단순화는 관망계산을 용이하게 하는 반면에 간략화에 의한 계산결과는 실제치와 비교할 때 당연히 오차를 가져오게 된다. 이런 관점에서 관망의 단순화 방안은 관망을 단순화시켜 해석하면서도 그 오차를 최소화 할수 있어야 하므로 관망의 단순화에 대한 필요성과 타당성이 함께 이루어질 때 가능하며 단순화의 한 예가 그림 1에 주어져 있다.

2. 管路의 省略

관로의 생략은 도시유역에서 유역내의 간선 관망(major pipe network)을 설계할 경우와 지선 관로(minor pipe)를 제외하고 유역유출을 모의하고자할 경우등에 사용될 수 있다. 관로들을 이렇게 단순화함으로써 각 맨홀로 유입되는 소구역의 수를 줄여, 작업을 단순화 시킬수 있으며 비슷한 특성을 갖는 면적들에 대한 유역의 특성을 분석하므로써 분석의 정도를 높여 줄 수 있다. 그러나 실제 현상 대신 단순화시킨 관망배치에 의한 해석은 실제 현상으로 나타나는 결과와 다른 오차를 제공하게 된다. 아주작은 지선과 같은 관로까지도 그대로 두고 계산하는 경우라도 작은 소구역의 유역 특성을 조사분석 하는데 따른 오차가 발생하게되며 작업량이 많아지는 단점때문에 실무와 실제 적용시에는 관망배치의 단순화가 이루어지게 된다.

일반적으로 관로가 부설되면 부설되기 이전보다 맨홀로 유입되는 속도를 증가시켜 주게 되므

로 마치 유역을 집약시켜 놓은 효과를 가져다 준다. 그러므로 관로를 생략하게 되는 소구역에 대하여는 그 소구역의 맨홀로 유입되는 표면유출 수문곡선 작성에 이 상황을 고려하여야 한다. 생략되는 관로의 크기, 경사, 위치 등에 따라 고려 중인 소구역의 도달시간, 직접연결 불투수면적 및 직접연결 투수면적등이 달라지고 유입 수문곡선도 변한다.

이와같이 관로를 생략할 경우에는 마치 도시화가 더 이루어진 지역처럼 유입 수문곡선이 변하게 된다 (전병호 1988a). 그러나 유역특성을 변화시키는 정도는 적용하고자 하는 유출(설계)모의 모형에 따라 달라지게 되므로 모형 사용자는 그 모형의 많은 적용 경험을 통하여 그 모형의 특성을 충분히 파악하고 있어야 한다.

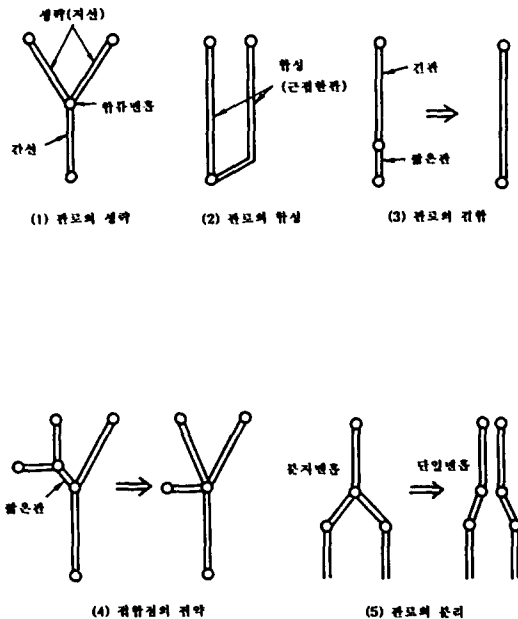


그림 1. 관망의 단순화 방법

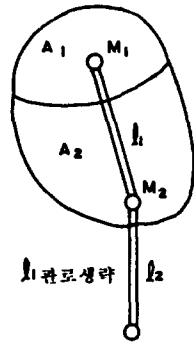


그림 2. 관로의 생략

그림 2에서 l_1 관로가 생략되는 경우 A1유역은 A2유역에 삽입되게 되지만 A1유역은 도면상의 위치가 아닌 맨홀 M2에 근접되게 위치한 것으로 간주되어야 한다. 또한 l_2 관로의 직경은 A1과 A2유역 모두를 고려하여 결정된 것이므로 직경을 변경시켜 단순화시킬 필요는 없다.

관로의 생략에 대한 효과를 검토하기 위하여 Test Run유역 (Fourth Street 유역, Yen et al. 1984)에 적용하였으며 12개 전체관로 구성과 8개 간선관로 구성에 의한 유출모의 결과를 비교분석하였다.

이 유역은 면적이 31.5에이커이며, 유역은 다시 12개의 소구역으로 분할되어 있고, 관망이 매설되어 있으며 유역내에 포장이 안된 부분의 토질은 SCS 토양형중 C형에 속하며 유역도와 토지이용상태 (건물, 도로, 잔디등)는 그림 3에 표시되어 있다. 유역에 적용할 선행 토양 함수조건은 홍수 통제 측면에서 AMC-III를 사용하였고, 강우 강도식은 잠정적으로 서울시에서 사용한 공식 (이원환 1980)을 그대로 적용하였다. 유출분석을 위하여 ILLUDAS (Terstriep and Stall 1974)와 ILSM (Yen et al. 1984)의 두가지 모델을 고려하였고, 등분포 강우와 삼각형 분포강우 (최대 강우 발생시간은 강우지속시간의 1/3 지점 고려)를 함께 검토하였다.

해석결과 출구지점에서 최대유량을 주는 시간은 등분포 강우시 10분, 삼각형 분포 강우시 15분이었고 이들 결과(재현기간3년)는 표 1에 수

록하였다. 출구지점에서의 유출수문곡선으로 무차원 도표를 작성하면 그림 4와 같다. 이 도표에서 무차원량을 표시하기 위하여 첨두유량과 첨두유량 발생시간에 대한 시간을 표시하였다. 또한 재현 기간과 유출계수 관계는 그림 5에 수록하였다.

이 유역은 12개의 소구역으로 이루어져 있으나, 홍수통제라는 면에서는 유역 전체의 출구지점에서 첨두유량이 얼마가 되는가에 관심이 있으므로 각 소구역 자체로는 첨두유량이 아닌 경우가 있게 된다. 그러므로 만일 유역의 어느 중간지점 (또는 어느 맨홀)에서의 홍수 범람 관계를 알고자 하면 그 지점을 출구지점으로하여 유출관계를 해석하여야 할 것이다.

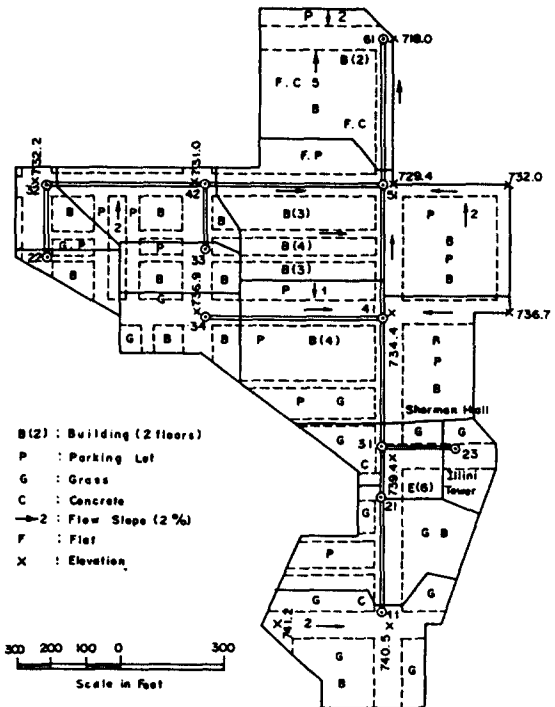


그림 3. Fourth Street 유역

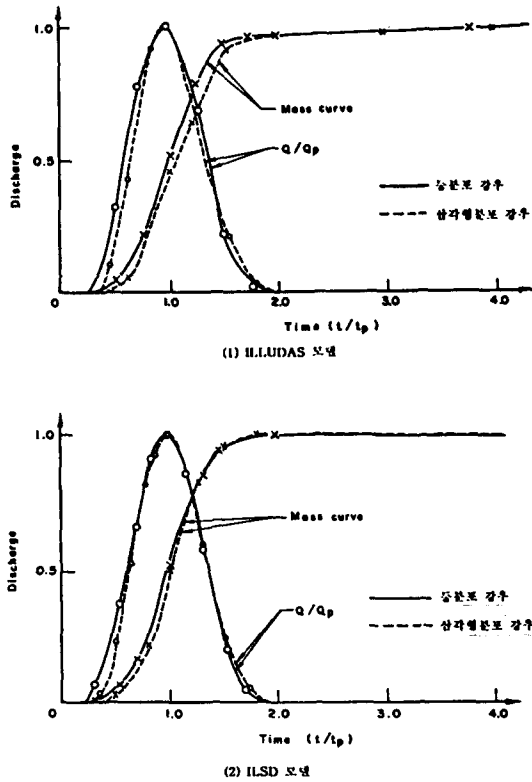


그림 4. 무차원 수문곡선

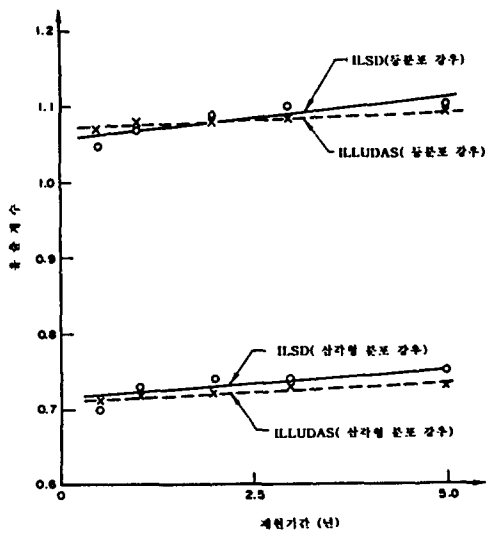


그림 5. 재현기간-유출계수관계

표 1. 침투유량

관로 번호	등 분포 강우시 침투 유량(fps)		삼각형 분포 강우시 침투 유량(fps)	
	ILLUDAS	ILSD	ILLUDAS	ILSD
11	6.8	8.4	8.6	10.2
21	6.7	10.2	8.0	12.0
22	3.1	3.4	4.1	4.1
23	2.9	3.2	4.0	4.1
31	4.3	5.3	5.8	6.7
32	3.7	4.1	4.6	4.6
33	5.4	5.4	7.3	6.7
34	5.1	5.7	6.9	7.2
41	23.5	23.4	28.5	26.9
42	8.9	9.1	11.6	10.8
51	24.7	24.0	30.4	27.6
61	11.9	11.9	16.7	15.7
출구Qp	103.0	100.6	125.2	123.6
유출율(%)	67	68	69	71
유출 계수	0.70	0.69	1.04	1.03

* 침투유량은 출구지점에서 최대 침투유량이 될 때의 값임.

유역내 관로의 영향을 조사하기 위하여 앞에서 검토된 본래 유역의 관로망을 그대로 사용한 경우에 덧붙여 관로의 2/3 정도를 없애고, 하류부에 4개의 관로만 있다고 가정한 경우에 대하여도 검토하였다. 그러므로 맨홀 11, 21, 23, 31, 34에 영향을 주던 소구역들은 맨홀 41로 유입되는 유역으로 바뀌게 되고, 맨홀 22, 32, 33은 맨홀 42로 유입되는 유역으로 바뀌게 되며, 이들 두 경우에 대한 결과는 표 2에 주어져 있다.

이 유역에 대한 ILLUDAS모델과 ILSD모델에 의한 침투유량은 비슷한 결과를 보여주고 있다. 관로가 있을 때에는 없을 때보다 침투유량이 증가하고, 이에 따라 유출계수도 증가하는 현상(건설부 1988, 전병호 1989)을 볼 수 있다. 그러므로 ILLUDAS 나 ILSD 또는 이와 유사한 모델들에 의해 침투유량을 구하는 것이 아닌 경우이거나, 관로를 고려하지 않는 단순 합리식방법 또는 RRL 방법(Chow 1964)이 적용될 때에는 관로가 있는 지역에 대하여 없을 때 보다 높은 유출 계수가 적용되어야 함을 알 수 있다.

표 2. 유역내 관로의 영향

구 분	등분포 강우		삼각형분포 강우		
	ILLUDAS	ILSD	ILLUDAS	ILSD	
12개 관로	강우지속(분)	10.0	10.0	15.0	15.0
	첨두유량(cfs)	103.0	100.6	125.2	123.6
	유출율(%)	67	68	6	71
	유출계수	0.70	0.69	1.04	1.03
4개 관로	강우지속(분)	10.0	10.0	18.0	18.0
	첨두유량(cfs)	93.4	92.9	109.7	111.6
	유출율(%)	62	62	65	66
	유출계수	0.64	0.63	1.00	1.02

3. 管路의 合成

관로의 합성은 앞에서 언급한 바와 같이 맨홀과 맨홀 사이에 여러개 관로가 있을 경우에 모의 모형 적용을 위해 하나의 관로로 해석할 필요가 있을 때가 그 하나이다. 때로는 V형 유역이면서 좌우측 면적이 크게 다르고 두개의 관로가 평행으로 부설되어 있으면서 이 두 관로를 하나의 관로로 단순화 시켜 해석할 경우가 있을 수 있다.

이 때에는 관로길이가 같더라도 관경은 큰 관의 것 만을 고려하여서는 안되며 합성되어지는 관로들을 모두 고려하여 계산상 사용하게 되는 관경을 증가시키는 방법에 의하여 처리할 수 있다. 또한 유역 특성의 분석도 관로의 생략에서 처럼 관로의 효과를 충분히 고려하여야 한다.

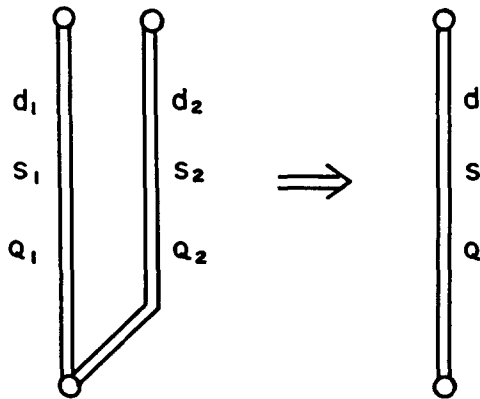


그림 6. 관로의 합성

그림 6의 관로 합성의 경우에

$$Q = Q_1 + Q_2 \tag{1}$$

$$Q = \pi d^2 V / 4 \tag{2}$$

$$Q_1 + Q_2 = \frac{\pi}{4} d_1^2 V_1 + \frac{\pi}{4} d_2^2 V_2 \tag{3}$$

이들 관계로부터

$$d^2 V = d_1^2 V_1 + d_2^2 V_2 \tag{4}$$

여기에 Darcy-Weisbach 공식을 적용하면

$$h_c = f \frac{l}{d} \frac{V^2}{2g} \tag{5}$$

$$S = \frac{h_c}{e} = \frac{f V^2}{2gd} \tag{6}$$

공식 4와 공식 6으로부터

$$d^2 \left[\frac{2gds}{f} \right]^{1/2} = d_1^2 \left[\frac{2gd_1 s_1}{f_1} \right]^{1/2} + d_2^2 \left[\frac{2gd_2 s_2}{f_2} \right]^{1/2} \tag{7}$$

만일 \$f = f_1 = f_2\$ 라면

$$d^{5/2} s^{1/2} = d_1^{5/2} s_1^{1/2} + d_2^{5/2} s_2^{1/2} \tag{8}$$

관경 \$d_1\$ 이 관경 \$d_2\$ 보다 클 경우 \$d_2\$ 관로를 \$d_1\$ 관로에 합성시키면

$$d^{5/2} s_1^{1/2} = d_1^{5/2} s_1^{1/2} + d_2^{5/2} s_2^{1/2} \tag{9}$$

$$d = [d_1^2 + (S_2/S_1)^{0.5} + d_2^2]^{0.4} \tag{10}$$

그러므로 합성 관로의 직경 \$d\$ 는 공식 10을 적용하여 계산하고 사용하므로써 최대 유출량을 증가시킬 수 있다.

만일 두 관로의 경사가 같거나 비슷하다면 관경 \$d\$ 를 구하는 공식은 다음과 같다.

$$d = [d_1^2 + d_2^2]^{0.4} \tag{11}$$

새로운 관로에서의 유속은 다음 공식으로 계산할

수 있다.

$$t = l/V$$

$$= (f/2gds)^{1/2} l \quad (12)$$

여기서 관경 d는 d₁보다 크므로 공식 12에서 구해지는 관로 흐름시간 t는 감소하게 되므로 두개의 관로를 합성할 경우에 관경을 증가시켜 모의 모형을 해석하는 것은 그 타당성을 가질 수 있다.

4. 管路의 結合

그림 1에서와 같이 관로의 길이가 매우 짧으면 서 맨홀과 맨홀을 연결하는 경우에는 이 관로를 다른 관로의 일부로 결합시켜 해석할 수 있다. 이 경우는 관로의 생략과 비슷하나 관로의 길이는 두 관로의 관경과 길이등을 고려하여 결정하게 된다.

$$t = t_1 + t_2 \quad (13)$$

$$l/V = l_1/V_1 + l_2/V_2 \quad (14)$$

$$l = \frac{V}{V_1} l_1 + \frac{V}{V_2} l_2 \quad (15)$$

공식 6으로부터 $V = (2gds/f)^{1/2}$ 이므로

$$V_1 = \left(\frac{d_1 S_1}{dS} \right)^{1/2} V \quad (16)$$

$$V_2 = \left(\frac{d_2 S_2}{dS} \right)^{1/2} V \quad (17)$$

공식 15에 공식 16과 공식 17을 적용하고 $d = d_1$ 이 사용되는 점을 고려하면

$$l = (S/S_1)^{1/2} l_1 + (d_1 S/d_2 S_2)^{1/2} l_2 \quad (18)$$

여기서

$$S = (l_1 S_1 + l_2 S_2) / (l_1 + l_2) \quad (19)$$

만일 두 관로의 경사 S₁과 S₂가 같거나 비슷하다면 (즉 $S = S_1 = S_2$)

$$l = l_1 + (d_1/d_2)^{1/2} l_2 \quad (20)$$

관로 결합의 경우에는 공식 18이나 공식 20을 이용하여 관로 길이를 변경시켜 모의 모형에 적용시키는 방법과 단순히 두 관로의 길이를 더하여 적용하고 표면 유출 모의시에 관로 결합의 오차가 보정되도록 고려하는 방법이 사용될 수 있다.

이같이 관망을 단순화시켜 모의하는 경우에는 적용모형의 특성을 잘 파악하여 실제유역에서 발생하는 유출모의에 가깝도록 각종 특성인자들을 고려해 줄수 있는 수리.수문학적인 지식이 요구된다.

5. 管路의 配置

도시유역의 우수관망 설계에서는 가장 단순하게 사용되는 모형으로 관로의 길이와 경사가 결정된 상태에서 관의 직경을 결정하는 경우가 있다. 이 경우는 맨홀의 위치가 결정되고 관로의 경사도 지표면의 상태에 따라 미리 결정하게 되며 ILLUDAS 모델이 이에 속한다.

이보다 진일보한 모형으로는 맨홀의 위치는 미리 결정되지만 관로의 경사는 일정한 범위내에서 결정해 주면서 관로 직경을 결정해 주는 방법이다. 이때 관로의 매설 가능 깊이는 지표면에 너무 가까이 있으면 관로가 파손되거나 겨울철에 동파될 수 있는 점과 너무 깊이 매설되면 유역의 상류쪽에서는 별로 문제가 없으나 매설비용이 증가될 것이며 특히 유역의 하류 지역에서는 하천으로 방류할 수 없는 깊이에 맨홀이 위치하는 문제가 발생하게 된다. 그러므로 매설 가능 범위는 유역에 따라 달라지게 될 것이다. 이 경우의 관로 경사와 관경은 통상 전체 관망 가설 비용을 작게 해주는 값들을 선택하여 설계하게 되며 ILSD모형이 이에 속한다.

현재 학계에서 시도하고 있는 모형은 관로의 경사, 관로의 직경과 맨홀의 위치까지도 결정해 주는 방법이다. 관로의 경사와 직경은 앞에서 언급된 방법들과 같이 결정해 주게 되며 맨홀은 가능한 여러 가지 위치들이 입력된 상태에서 어떤 위치의 맨홀을 이용하는 것이 비용을 가장 작게 만드는 최적의 설계인가를 판단하므로써 결정하는 것이다.

우리나라에서는 관로의 길이와 관로의 경사가 주어진 상태에서 관로의 직경을 결정하는 가장 단순

한 방법이 주로 사용되고 있는 실정이다. 관로의 경사까지를 고려하는 최적 설계방법은 관로의 가격, 관로를 매설하기 위하여 흙을 파고 관을 묻는 매설 비용, 맨홀 가격등 공사에 드는 모든 비용이 입력되어야 한다. 우리나라도 예전과는 달리 시간당 노임등 전반적으로 공사 비용이 규격화 될 수 있는 단계에 와 있으므로 최적 설계 방법을 적극적으로 검토하고 활용하여야 할 것이다.

비록 가장 단순한 방법이 이용될 경우, 맨홀의 위치가 결정되어 있다고 하더라도 맨홀과 맨홀을 연결하는 방법에는 그림 7에서 보는 바와 같이 여러가지 형태가 가능할 수 있다. 그러나 실제 유역에서 선택 가능한 방법은 이들 중 어느 하나 뿐일 수도 있고 둘 혹은 셋일 수도 있다. 이것은 실제 유역 지표면 경사 때문에 배치가 불가능하거나 가설비용을 크게 증가 시킬 수 있기 때문이다.

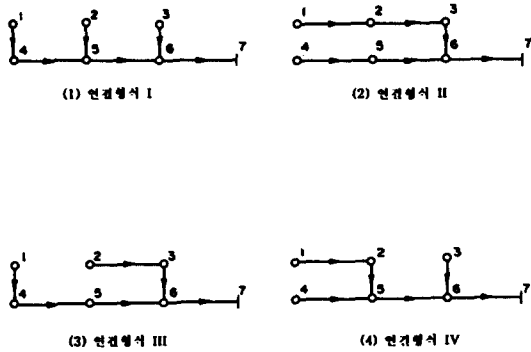


그림 7. 관로 연결 방법

표 3. 가상 관로의 제원(그림 7)

관로연결	관로길이(m)	관로경사(m/m)	관로폭(m)	Manning조도계수
1-4	200	0.0001	0.65	0.015
2-5	200	0.0001	0.65	0.015
3-6	200	0.0001	0.65	0.015
1-2	200	0.0004	0.65	0.015
2-3	200	0.0004	0.65	0.015
4-5	200	0.0004	0.65	0.015
5-6	200	0.0006	0.65	0.015
6-7	200	0.0004	2.00	0.015

그림 7에 주어진 관로에 대한 제원을 표 3에 주어진 경우로 가정하여 Akan등(1983)은 중첩 분할기법 (overlapping segment technique) 과 음차분법 (implicit finite scheme)을 이용하여 해석(전병호 1988b)한 결과, 출구(outlet)에서의 수문곡선은 그림 8과 같으며 연결형식 I의 침투 유량이 연결형식 II의 침투유량보다 크게 나타났다. 그림 7의 유역에서 지배 소유역들은 표면 유출 길이 200 m, 수로 (gutter) 길이 400 m 되는 불투수 사각형 유역들로 가상하였으며, 강우강도 20 mm/hr 와 강우 지속시간 60분을 적용하였다.

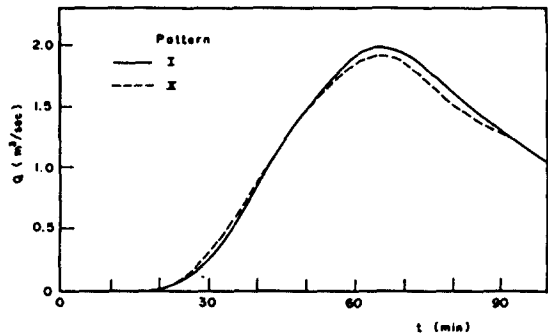


그림 8. 관로 연결 효과

앞의 관로 연결 결과는 단순히 하나의 예에 불과하지만 최적 설계를 이루기 위해서는 이와같이 관로 연결 방법에 따른 효과를 검토 할 필요성도 간과할 수 없는 것이다. 또한 유역의 특성에 따라서는 설치 가능한 맨홀의 위치가 다양할 때에, 과연 어느 위치에 맨홀을 설치하는가에 따라서도 전체 우수 배제관망 설계와 공사에 드는 비용은 달라지게 된다. 그러므로 도시 유역의 우수 배제관망을 가설하기 위하여는 여러가지 경우에 대한 총 공사비를 비교 검토하여 최적의 방안을 채택하도록 하여야 할 것이다.

6. 結論 및 提言

도시유역에 적용되는 설계모형이나 해석모형 모두 해당 유역을 있는 그대로 재현할 수는 없는 것이며, 필연적으로 유역 및 관망의 단순화를 실시하

여 분석하게 되므로, 이들 단순화가 어떠한 영향을 가져올 것인가 하는 수리·수문학적 지식은 모형을 올바르게 적용하는데 크게 도움이 될 것이다.

관로가 있을 때에는 없을 때보다 침투유량이 증가하고 유출계수도 증가하므로 유역내의 많은 관로 중에서 일부를 생략하여 유출을 모의하는 경우에는 이와같은 수문학적인 현상을 고려하여 타당성 있는 각종 특성인자들을 고려해 주어야 한다.

이와 아울러 적용하고자 하는 모형이 결정되면 우선적으로 그 모형이 가지는 특성과 고려사항등에 관심을 갖고 모형을 사용하여야 하며, 반복 적용하여 봄으로서 그 모형을 자신의 것으로 만들어야 할 것이다. 이 경우 적용모형 자체가 가지는 특성을 정확히 알기 위하여는 모형의 모의 결과와 실측치를 비교해 보는 것이 당연하지만 현실적으로 우리나라에서는 도시 수문량에 대한 조사가 거의 전무한 실정이므로 모형을 이해하는데 큰 어려움이 있다. 도시 수문량의 측정은 어느 개인에 의하여 이루어질 수 있는 것이 아니므로 국가의 적극적인 뒷받침하에 장기적인 수문량 관측과 기록, 보관 및 정리가 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 <KOSEF 90-0700-05>, '도시홍수 재해방지를 위한 내수처리 시스템분석 및 설계기법의 개발'중 제2세부연구 과제인 '도시유역의 홍수유출 배제를 위한 우수관거 설계와 흐름해석에 관한 연구' 연구성과(1992.

9)의 일부분임을 밝히며 동재단의 배려에 감사드립니다.

參 考 文 獻

1. 건설부 (1988) 방재종합대책 중장기 계획 조사보고서, 건설부
2. 이원환 (1980) 도시하천 및 하수도 개수계획상의 계획강우량 설정에 관한 추계학적 해석, 대한토목학회지, 제 28권 4호
3. 전병호 (1988a) 도시 개발에 따른 수해가중 영향 분석 및 대책연구, 전기연
4. 전병호 (1988b) 유출과 부정류 관수로 흐름계산에 관한 연구, 한국과학재단
5. 전병호 (1989) 도시유출 분석 및 모형화 연구, 전기연
6. Akan A.O. and B.C. Yen (1983) Hydrologic Changes Associated with Urbanization, Proceedings of the XX IAHR Congress, Moscow, USSR
7. Chow V.T. (1964) Handbook of Applied Hydrology, McGraw-Hill
8. Terstriep and Stall (1974) The Illinois Urban Drainage Area Simulation, ILLUDAS, Illinois State Water Survey
9. Yen, B.C., S.T. Cheng, B.H. Jun, M.L. Voorhees, H.G. Wenzel and L.W. May (1984) Illinois Least-Cost Sewer System Design Model : ILSD-1&2 User's Guide, Research Report 188, U. of Illinois

(접수 : 2월 5일)