

〈特輯 都市水害〉

# 우수관망설계

전 병 호\*

도시구역에서의 우수유출은 관망을 부설하여 효과적으로 배제시키게 된다. 그러므로 관망을 어떻게 설치할 것인가 하는 설계가 필요하게 된다. 우수관망의 이상적인 설계법은 최고의 경제성과 수리학적, 수문학적, 구조적으로 실질적이고 정확성을 갖는 설계법이어야한다. 그리하여 관망의 부설, 운영, 유지에 드는 막대한 비용을 줄이고, 불충분하고 부적절한 우수배제로 발생하는 유무형의 많은 손실들을 제거할 수 있게 된다. 개발기법으로 볼 때 다음과 같이 관로 흐름추적, 최적화, 불확실성과 위험도, 그리고 제한사항과 가정의 4가지 관점에서 살펴볼 수 있다.

### 가. 관로흐름추적(Sewer flow routing)

모든 강우는 유한기간 내리고 강우강도는 강우기간동안 거의 일정하게 내리는 것이 아니므로 관로흐름도 시간에 따라 변화한다. 일반적으로 관을 가득차서 흐르지 않을때는 비정상 부정류가 되며 관의 양끝에서 배수효과(backwater effect)를 발생시킨다. 이들 비정상 부정류의 배수효과까지를 고려한 수리학적 흐름추적 설계법은 full dynamic wave공식을 이용하여 만들어 질 수 있다. 그러나 이 경우는 큰 용량의 컴퓨터와 복잡한 계산과정과 시간을 요한다. 그래서 적용하기 쉽고 단순한 흐름추적법이 고려되기도 한다.

관로설계를 위한 이상적인 설계방법은 이용가능한 컴퓨터용량과 계산비용내에서 충분히 정확성을 주는 것이어야 한다. Yen과 Sevuk은 유입수문곡선을 관로흐름시간만큼 이동시켜 유출수문곡선을 모의하는 방법이나 비선형 Kinematic Wave 방법이 계산비용을 절감하면서도 적절한 결과를 보여준다는 것을 발표했다. 특히 시판중

인 파이프들은 계산상 얻어지는 모든 직경을 다 가지는 것이 아니므로 간략설계법은 우수관거설계에 유용하다는 것을 밝혔다. 그러므로 full dynamic wave 공식을 이용한 설계법은 대체적으로 간략법으로 설계된 내용을 최종적으로 점검하기 위해 쓰이는 것이 보통이다.

관로흐름추적은 수문학적 추적과 수리학적 추적으로 크게 나누어 생각할 수 있다.

#### 1) 수문학적 추적

이 방법은 저류를 고려한 연속방정식에 기초를 두고 있다.

$$I-Q = \frac{dS}{dt} \tag{1}$$

여기서 I와 Q는 관로로의 유입량과 관로로부터의 유출량이고, dS/dt는 저류량의 변화이다. Q와 S는 미지의 값이므로 I, Q와 S사이의 또다른 관계식이 필요하다. 이 두번째 관계식에 따라 여러 가지 형태의 추적방법이 성립된다. 예컨대, ILLUDAS(Illinois Urban Drainage Area Simulator)는 설계유량에 대응되는 등류수심을 구하기 위해 Manning공식을 적용한다.

$$Q = \frac{K_n}{n} AR^{2/3} S_o^{1/2} \tag{2}$$

여기서  $K_n$ 은 English단위계에서는 1.486, SI 단위계에서는 1.0의 값이 사용된다.

A와 R은 둘다 흐름깊이 h의 함수이다. 유수단면적이 계산되면 관 전체길이에 곱하여 저류량을 결정하게 된다.

위의 식(1)은 차분화법에 의해 다음과 같이 표시된다.

$$\frac{I_1 + I_2}{2} - \frac{Q_1 + Q_2}{2} = \frac{S_2 - S_1}{\Delta t} \tag{3}$$

\* 육군사관학교 토목과 교수 工博

여기서 첨자 1, 2는 시간간격  $\Delta t = t_2 - t_1$ 의 시작과 끝에서의 상태를 의미한다.

또다른 단순하나 실제적인 추적방법은 유입수문곡선을 지체시간(관로를 흐르는 시간)  $t_i$ 에 의해 단순 지체시켜 유출수문곡선을 결정하는 수문곡선 지체방법(hydrograph time lag method)이다.

$$t_i = L/V \quad (4)$$

여기서  $L$ 은 관의 길이이고  $V$ 는 관내 평균유속이다.

2) 수리학적 추적

흐름이 중력만에 의하여 이루어질 때는 수학적 으로 일차원 수면과 방정식 혹은 Saint-Venant 방정식으로 알려진 한쌍의 쌍곡선 형태의 편미분 방정식으로 표현되어진다.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{gA} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\beta Q^2}{A} \right) + \cos \theta \frac{\partial h}{\partial x} - (S_0 - S_f) = 0 \quad (6)$$

kinematic-wave approximation  
 noninertia approximation  
 quasi-steady dynamic-wave approximation  
 dynamic-wave model

여기서  $A$ 는 흐름단면적,  $Q$ 는 유량,  $t$ 는 시간,  $x$ 는 관거방향의 거리,  $\beta$ 는 운동량 보정계수,  $g$ 는 중력가속도,  $\theta$ 는 관거연장축과 수평면 사이의 각,  $h$ 는 수위,  $S_0$ 는 하상경사,  $S_f$ 는 마찰경사이다.  $S_f$ 는 Manning공식이나 Darcy-Weisbach공식을 이용하여 풀이된다.

Saint-Venant공식의 복잡성때문에 많은 단순화 방법이 사용되며 공식(6)에 표시된 바와 같이 고려되는 항에 따라 kinematic wave, noninertia wave, quasi-steady dynamic wave approximation과 dynamic wave model이라 불리어진다.

Saint-Venant공식의 해석적해를 얻는 것은 현재로서는 불가능하므로 수치적으로 구하게 된다. 간략식을 포함한 이들 식들은 두가지 독립변수인 거리에 대한  $x$ , 시간에 대한  $t$ 와 종속변수로서의

$h$ 와  $Q$ 를 가지고 있다. 이들은 일반적으로 유한차분법인 Explicit방법이나 Implicit방법 또는 특성곡선법의 하나를 사용하여 해결하는 것이 가능하다.

3) Junction hydraulics

맨홀의 수리적 조건은 통상 에너지 방정식과 연속방정식에 의해 표현된다. 맨홀이나 junction에서의 연속방정식은

$$\sum Q_i + Q_r - Q_o = \frac{dS_m}{dt} = A_m \frac{dH}{dt} \quad (7)$$

여기서  $A_m$ 은 맨홀의 단면적,  $S_m$ 은 맨홀의 저류량  $Q_i$ 는 맨홀로 유입되는  $i$ 번째 관로의 유입량,  $Q_r$ 는 맨홀로 유입되는 해당 소유역의 표면유출량,  $Q_o$ 는 맨홀로부터 나가는 양, 그리고  $H$ 는 맨홀에서의 수위를 나타낸다.

맨홀에서는 운동량이나 힘의 변화 및 Vector관련성을 설명하기가 곤란하기 때문에 운동량 방정식은 거의 사용되지 않으며 통상 에너지 방정식

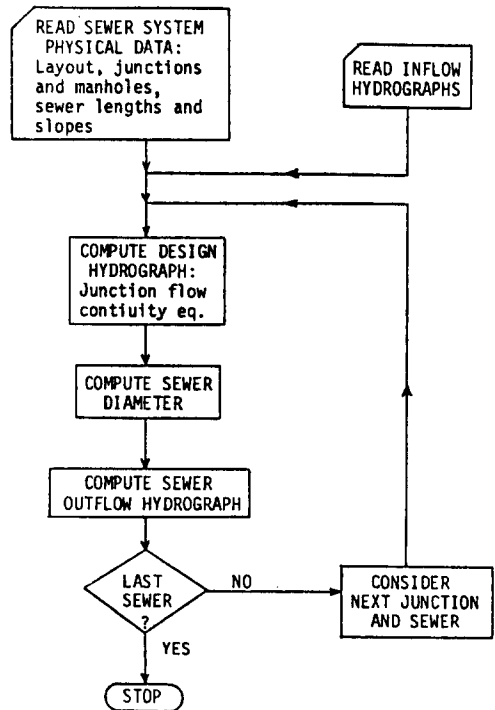


Fig. 1 Flow chart of Sewer Design using Hydrologic or Kinematic Wave Routing

에 의하여 표현되어지며 관로의 수위와 맨홀에서 수위관계를 설정할 수 있게 된다.

위에서 언급한 방법들에 대한 계산절차중 간단한 방법의 Flow Chart와 주요 설계 모델들이 그림 1과 표 1에 수록되어 있다.

**나. 최적화(System optimization)**

일반적으로 사용된 우수관망 설계모델들은 대부분이 최소비용을 고려하지 않는 단순 수리학적 기법만을 사용하였으나 큰 용량의 컴퓨터 개발과 함께 많은 최적화 설계법이 제안되고 있다.

최적화 기법에 포함되는 주안점은 다음과 같다.

1) 최적화의 목적은 물리적, 경제적, 사회적, 환경등의 제약 범위내에서 가장 비용이 적게 들면서 최대유익을 주는 설계법을 찾는 것이다. 이상적으로 유익의 측정은 피해를 감소시키는 것은 물론 건강을 위한 환경개선이나 인류생활의 개선, 위험도 제거등을 포함한다. 비용은 설치비용 뿐만 아니라 운용과 유지를 위한 비용까지를 포함한다.

**TABLE 1** Summary of Sewer Hydraulic Design Models

Model	Sewer System Input	Sewer Hydraulics	Junction Hydraulics	Backwater Effect Considered	Design Sequence in Network	Output	Ref.
Rational	Individual inlet peak discharges	None	None	No	Individually Starting from upstream	Sewer diameters and design discharges	Yen et al. (1974). ASCE and WPCF(1969)
Sum-of-Peak Flow	Inlet peak discharges	No routing, no time lag of discharges	Continuity equation	No	Cascading	Sewer diameters and design discharges	Yen and Sevuk (1975)
Hydrograph Time Lag	Inlet hydrographs	No routing, time lag of hydrographs	Continuity equation	No	Cascading	Sewer diameters and design discharges	Yen and Sevuk (1975)
Chicago Hydrograph	Inlet hydrographs	Storage routing or time-offset without routing	Continuity equation	No	Cascading	Sewer diameters and design hydrographs	Tholin and Keifer(1960)
TRRL	Inlet hydrographs	Reservoir routing lagged by time of travel	Continuity equation	No	Cascading	Sewer diameters and basin runoff hydrograph	Watkins(1963)
ILLUDAS	Inlet hydrographs	Reservoir routing lagged by time of travel	Continuity equation	No	Cascading	Sewer diameters and design hydrographs	Terstriep and Stall(1974)
Kinematic Wave	Inlet hydrographs	Nonlinear kinematic wave routing	Continuity and dynamic equations	Upstream only	Cascading	Sewer diameters, discharge hydrographs and depth	Yen and Sevuk (1975)
EPA SWMM	Inlet hydrographs	Improved nonlinear kinematic wave routing	Continuity equation	Upstream and partial downstream	Cascading	Sewer diameters, design hydrographs and flow velocities	Metcalf & Eddy et al. (1971). Huber et al. (1975)
ISS	Inlet hydrographs	Dynamic wave (St. Venant eqs.) routing	Continuity and dynamic equations	Both up-stream and downstream	Y-segment sequence	Sewer diameters and discharge, depth and velocity graphs	Yen and Sevuk (1975); Sevuk et al (1973)

2) 최적화는 관로뿐만 아니라 맨홀이나 junction과 관거매설비용은 물론 부수적인 모든 시설까지를 포함하는 전체 관망체계에 적용되는 개념이다. 그러므로 최소비용을 요하는 최적화는 시설의 하나 하나의 모든 요소에 대하여 모두 최소비용이라는 것을 의미하는 것은 아니다. 예컨대, 경사를 크게하면 하나의 관거는 작은 직경으로 설계되므로 적은 비용을 가져다 줄 수 있으나 전체 관망들을 고려할 때는 이것이 최적화에 장애를 줄 수 있다.

3) 최적화의 목적이 최소비용으로 최대이익을 주는 설계를 하는 것이므로, 시설물 설치와 피해계산을 위한 비용합수나 운용과 유지비의 계산을 위한 비용합수등이 최적화 설계프로그램에 미리 준비되어야 할 것이다.

4) 최적화 설계기법은 개별관리나 맨홀의 크기 결정에 추가하여 가능하다면 damage 비용까지도 포함하고 관거의 경사와 맨홀의 위치(layout)는 물론 pumping system등에 관한 사항도 고려되어야 한다.

고려되고 있는 관망체계 전체에 최소비용을 주는 최적화 설계는 고려 요소에 따라 크게 다음과 같이 구분할 수 있다.

1) 맨홀의 위치등 미리 정해진 관망 배열을 가지고 최적의 관로 경사와 크기를 결정하는 경우.

2) 관망배열 즉 맨홀의 위치결정(layout)을 위한 최적화 경우.

3) 관망배열, 관 경사와 관 크기등을 동시에 최적화하는 경우.

4) 관의 크기만을 최적화하는 경우.

이들 방법은 해당 구역의 필요에 따라서 선택 사용하게 되며, 최적화 설계모델중의 하나인 ILSD(Illinois Least-Cost Sewer System Design Model)에 대한 설명이 표 2에 수록되어 있다.

**다. 불확실성과 위험도(Uncertainties and risks)**

불확실성은 우수관망체계에 포함되는 모든 개념과 모든 인자들에 포함된다. 관망설계자들은 항상 미래에 발생할지도 모를 불확실성 문제에 직면한다. 과거 기록이나 경험은 단지 미래에 대한 예견의 지침일 뿐이다. 그럼에도 불구하고 이들 불확실성은 최적화 설계에 고려되어야 한다. 실제로 설계를 위해 허용된 최대 위험수준내에서 최대 이익과 최저 비용을 주는 설계가 이루어져야 한다.

이상적인 설계에서는 최소한 아래의 불확실성은 고려되어야 한다.

1) 수문학적 불확실성 : 관경 결정에 필요한 유입수문곡선의 정확도 여부, 설계에 고려한 강우강도보다 더 큰 홍수가 발생할 확률, 그리고 설계대상구역의 설계후 이루어진 자연조건의 변화 등에 따른 불확실성이 여기에 해당된다.

2) 수리학적 불확실성 : 관거나 맨홀등을 흐르는 우수의 주력에 포함되는 불확실성이다. 특히,

**TABLE 2** Least-Cost Sewer System Design Models: ILSD Models

Model	Design	Optimization Technique	Hydraulics	Considering Risks	Input
ILSD-1	Sewer diam. crown elevations. manhole depths.	DDDP	Hydrograph time lag and Manning's formula	No	Sewer layout, ground elevations, min soil cover, acceptable max and min velocities, cost functions, time and space increments for routing computations, optimization parameters
ILSD-2	Sewer diam. crown elevations. manhole depths	DDDP	Hydrograph time lag and Manning's formula	Yes	Same as above, in addition, design service life, risk-safety factor relationship

Manning 공식이나 Bernoulli 공식과 같은 단순 공식이 사용된다면, 비정상류흐름을 모의하는데 따라 발생할 수 있는 부정확성, 상하류단의 배수효과, 관내 압력류흐름(surge flow), 유입·유출시와 연결부 에너지 손실등이 고려되어야 한다.

3) 재료의 불확실성 : 관망설계시 사용되는 재료의 불균질성에 대한 문제로서 관의 직경, 관의 강도, 관의 표면조도등이 일정하지 않는데 따라 발생할 수 있는 문제점들에 대한 고려를 의미한다.

4) 시설의 불확실성 : 관의 매설위치 등 실제 부설위치와 계산치와의 차이, 관아래 토질의 안정성, 관 상부의 하중이 관에 미치는 영향, 관과 관을 연결할 때의 정확성 여부에 따른 문제점들이다.

5) 비용의 불확실성 : 시설물 설치비, 시설의 운용과 유지 등에 드는 비용 산정의 정확성 여부에 따른 문제점들이다.

6) 기타의 불확실성 : 관망설계시 고려한 수명년한, 설계재현기간, 고려된 위험도 수준등의 정확성 여부에 따른 문제점 등이다.

위험도-안전계수곡선(risk-safety factor curve)은 설계지역에 대하여 확률이론을 적용하여 만들어질 수 있다. 위험도는 강우유출량  $Q_R$ 이 관로의 유통능력(sewer capacity)  $Q_c$ 를 초과하는 율을 의미하며, 안전계수는 예상 관유통능력이 설계유량을 초과하는 율로 정의된다.

$$SF = \bar{Q}_c / Q_R \quad (8)$$

여기서  $\bar{Q}_c$ 는 불확실성에 따른 random variable  $Q_c$ 의 예상 평균값을 뜻하고,  $Q_R$ 는 설계유량(peak discharge)을 의미한다. 그림 2는 위험도-안전계수 관계의 예를 보여준다.

**라. 제한사항과 가정 (Constraints and assumptions)**

위에서 언급한 것에 부가해서 설계시 포함시켜야 할 많은 제한사항과 가정이 있으며 기존의 여러 설계모델에서 통상 사용된 이들 요소는 다음과 같다.

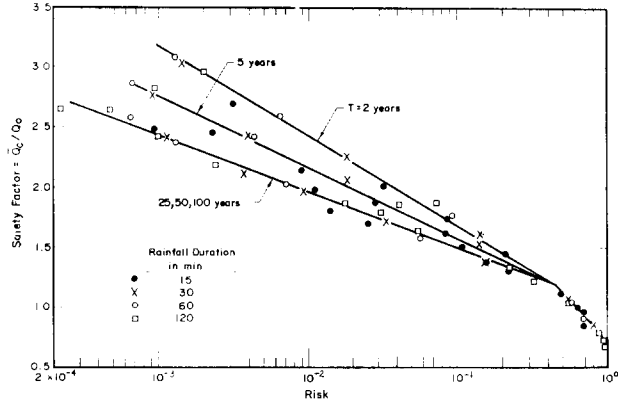


Fig. 2 Risk-Safety Factor Relationship for Sewer Design at Urbana Illinois

1) 관로흐름은 중력에 의해 이루어진다. (gravity flow)

2) 관거는 직경 8인치 이상의 파이프들이 통상 사용되며, 이보다 작은 치수를 위해서는 관거 대신에 수로(gutter)가 사용된다. 구입 가능한 상업용관은 8, 10, 12인치와 15인치부터 30인치까지는 3인치 간격, 36인치부터 120인치까지는 6인치 간격으로 된 관경들이 있다.

(mm단위로는 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 750, 800, 900, 1,000, 1,100, 1,200, 1,350, 1,500, 1,650, 1,800)

3) 관경의 선택은 계산상 설계유량에 대응되는 관경을 정하여 이와같거나 같은 치수가 없을시 이보다 큰 직경중 가장 작은 치수를 선택한다. 예컨대, 980mm 직경의 관이 필요하다면 1000mm 직경의 관에 선택되어진다. 이는 구입가능한 980mm 상업용관이 없기 때문이다. (원형관이 아닐 경우도 이와 비슷하다.)

4) 매설되는 관은 관위에 덮이는 흙이나 상부의 하중때문에 파손되지 않아야 하고, 동파되지 않아야 하므로 최소 피복두께가 정해져야 한다.

5) 크기가 다른 관들이 junction에서 연결될 때에는 관의 윗부분이 접하도록 설치하는 방법(crown alignment)이나 관의 중심과 중심이 접하도록 설치하는 방법(centerline alignment) 등이 사용된다.

6) 관로 내부에 모래를 포함한 이물질들이 영

구 잔류하는 것을 막기위해 최소 흐름속도가 고려되어야 하며 통상 최소 만관유속으로는 0.6m/sec(2fps)가 고려된다.

7) 관내 유속이 너무 크면, 관벽파괴(scour)등의 불필요한 효과가 발생되므로, 관내 최대유속도 통상 제한되며 일반적으로 3m/sec(10fps)가 사용된다. 그러나 이 최대 유속은 강철관이나 콘크리트관의 질여하에 따라 증가될 수 있다.

8) 맨홀이나 junction에 연결되는 하류쪽 관로의 직경은 상류쪽 관로의 직경보다 통상 작지 않아야 한다.

9) 관망은 tree-type으로 구성되며, 흐름은 하류방향으로 모여진다. 즉, 맨홀로의 유입관은 여러개 일 수 있으나 유출관은 1개인 것을 의미하며, 최종출구는 역시 하나를 뜻한다. 그러나 최근에는 이들 개념에 추가하여 폐쇄형관로도 고려되고 있으며 최종출구도 하나가 아닌 여러개가 고려되기도 한다.

10) 관경을 결정하기 위해 필요한 실제유량은 합리식등에 의한 최대유출량이나 유입수문곡선의 최대유량이 된다.

마. 참고사항

앞에서 살펴본 4가지 기본관점외에 설계시 고려되거나 해석시에 사용될 수 있는 새로운 기법이나 고려사항들을 열거하면 다음과 같다.

1) 동일 결절선(INL)의 이용

관망체계를 신속히 파악하기 위하여 맨홀들에 번호를 부여하는데 INL(isonodal lines)이라고 불리는 가상선이 사용된다. 관망의 최종출구에서부터 시작하여 출구를 첫번째 선으로 하고, 이 출구에 연결된 관의 상류맨홀을 두번째 선으로 하며, 두번째 선상에 있는 맨홀에 연결된 관의 상류맨홀들을 세번째 선으로 하는 등 이 작업을 최상류단의 맨홀까지 계속하면 이 가상선들이 INL이 된다. INL의 번호 부여는 그림 3에서 보여주는 바와 같이 최상류단(즉, 맨 마지막번째 선)으로 부터 시작하여 관망출구(첫번째선)로 나아가면서 부여된다. 이것은 계산이 상류쪽에서 하류쪽으로 가며 수행되기 때문이다. INL을 사용하게 되면 계산의 순서를 용이하게 하며, 간편

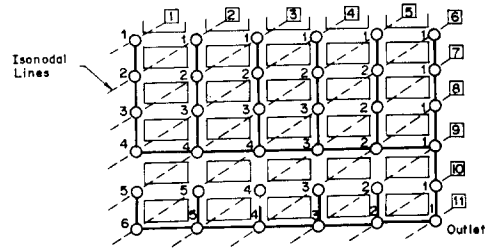


Fig. 3 Isonodal Lines for a Sewer System.

하게 입력 데이터를 작성할 수 있도록 해주며, 맨홀이나 관로가 추가될지라도 추가되는 입력 데이터만 먼저 작성된 데이터 뒤에 첨가하는 것으로 쉽게 처리할 수 있는 등의 이점이 있다.

2) 중첩분할기법(overlapping segment technique)

관망에서의 흐름추적을 할 경우, 단순기법이 아닌 배수효과등을 고려한 비정상류흐름으로 처리할 때는 모든 관로에서의 흐름해석이 매 계산 시간단계에서 동시적(simultaneous)으로 이루어져야 하는데 이것은 큰 용량의 컴퓨터를 요구하게 된다. 때로는 PC를 사용하는 등의 작은 용량

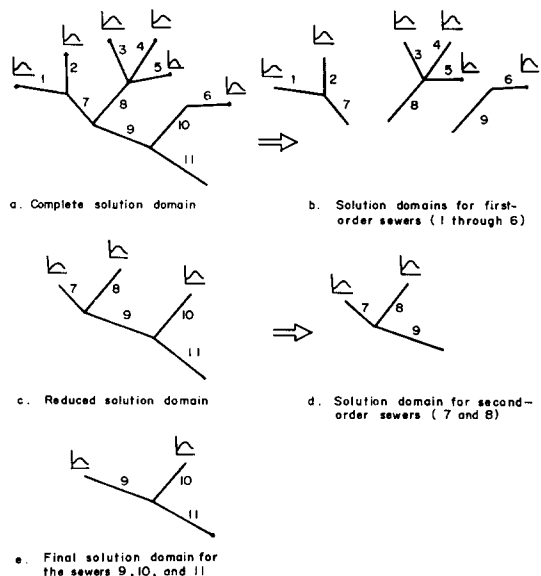


Fig. 4 Solution by Method of Overlapping Segments.

으로 계산을 요할때는 점진적인 중첩분할기법 (successive overlapping segment technique)이 사용된다. 그림 4는 중첩법을 이용한 해석방법을 도시해주고 있다. 그림 4에서 중간에 위치하는 관로인 7, 8, 9, 10관로들은 중첩법에 의해 두번 계산되며, 두번중 나중에 계산되는 값이 해당 관로의 결과로서 채택된다. 때로는 중간 관로가 짧다든지 하는 경우의 배수효과가 전체해석에 미칠 영향을 고려하여 2중 중첩방법(double overlapping segment technique)이 적용되기도 한다. 이 중첩방법의 개념은 해석 대상구역이 너무 커서 가용한 컴퓨터 용량으로 계산이 불가능할시 대상 영역을 두세개의 소유역으로 분할하여 해석할 때 도 적용될 수 있다.

3) DDDP기법의 이용

그림 5에서 보는바와 같이 하나의 관로로 맨홀과 맨홀을 연결하는 방법(즉, 관의 양끝단의 부설위치)에 따라 관로의 경사는 변경되게 되며, 이에따라 관내유속이 달라지므로 설계유량에 맞는 관의 크기도 달라진다. 물론 이것들 중의 어느 하나만이 전체관망의 비용을 최소화하는데 적합할 것이다. 그러므로 관망의 최적화 설계를 위

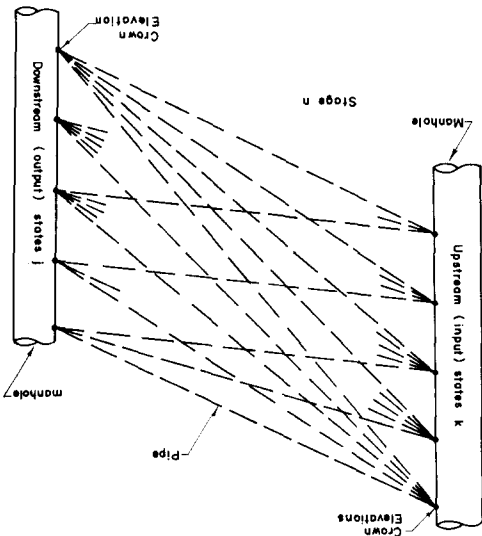


Fig. 5 Possible Combinations of Upstream and Downstream Crown Elevations for a Sewer.

해서는 비록 어느 하나의 관로 부설에는 비용이 더 많이 사용되더라도 관망 전체에 드는 비용이 작게되는 각 관로들의 연결방법을 찾아야 한다. 일반적 프로그램으로도 이 최적의 방법은 결정될 수 있으나 Mays와 Yen(1975)은 optimization기법으로 DDDP(discrete differential dynamic programming)기법을 사용하는 것이 일반적으로 사용되는 DP(dynamic programming)기법보다 더 좋다는 것을 제시하였다. DDDP는 초기계산 시도선으로 부터 개선된 시도선을 찾아나가는 하나의 반복기법으로 DP의 주된 제한점인 상태변수의 수효와 분할수준에 대한 제한을 극복한 기법으로 대형관망 시스템이나 여러가지 수자원 시스템 해석에도 매우 효과적인 방법이라는 것이 증명되어 있다.

4) Preissmann Slot이용

일반적으로 관망설계시 관경은 중력에 의한 흐름으로서 설계유량을 처리할 수 있도록 하는 것이 보통이다. 그러나 설계시의 유역조건은 항상 변할 수 있으므로 이미 부설된 기존의 관망중 일부는 압력류흐름으로 해석되어야만 할 때도 있게 된다. 이와같이 압력류흐름이 포함되면 그림 6의 원형관 흐름에서 보는바와 같이 매우 복잡한 해석구간이 형성된다. 아울러 전체관망을 해석시 각 해석시간대에 어느 관로가 압력류 흐름상태인가를 구분하여 적용공식을 달리해 주어야 하는 번거로움이 수반되기 마련이다. 이런 번거로움을 줄이기 위하여 원형관의 상단부에 좁고 긴 가상관이 있다고 가정하으로서, 개수로 흐름과 압력류 흐름을 구분함이 없이 모든 관로흐름을 항상 개수로 흐름만으로 생각할 수 있고, 적용공식도 개수로 흐름에 대한 Saint-Venant공식만을 이용하여 문제를 편리하게 해결할 수 있다. 이때 사용되는 가상관은 일명 Preissmann Slot이라고도 불리며, 그림 7과 같이 전체 관로의 상단에 걸쳐 분포되는 것으로 가정한다. 가상관의 폭은 매우 좁은 것으로 가정하여 가상된 관에 의한 체적이 전체계산에 영향을 주지 않도록 고려되어야 한다. 그러나 가상관이 너무 좁으면 계산상 안정성

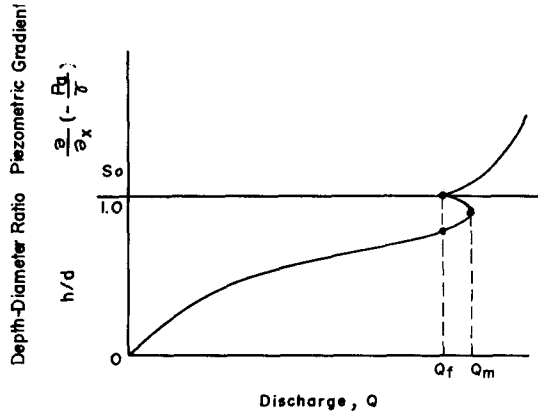


Fig. 6 Discharge Rating Curve for Steady Flow in a Circular Pipe.

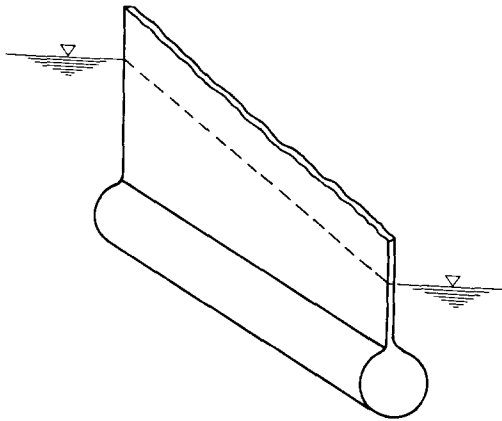


Fig. 7 Schematic of Preissmann Slot.

문제가 대두되고, 너무 넓으면 정확성을 잃게 되는 어려움이 있으나 최근의 연구들에서 만족할만한 가상관이 가정되고 있다.

##### 5) Sparse matrix기법

관망해석에서 Dynamic wave 공식을 유한차분화하여 이용할 때, 배수효과를 고려할 수 있는 implicit방법이 주로 많이 사용되며, 주어진 시간에서 동시해(simultaneous solution)를 얻기 위해서는 sparse mode기법이 사용된다. 이것은 관망의 관저와 맨홀이나 junction에서의 지배방정식이 band matrix형태이면서도 band내에도 zero 값을 갖는 항들이 많은 sparse asymmetric mat-

rix의 형태를 갖기 때문이다. 관망해석이 이런 특수 matrix형태를 갖기 때문에 계산시간을 줄이기 위한 많은 연구들이 이루어지고 있으며, Gupta와 Tanji(1977)에 의한 'EQSOLV'부프로그램이나 IMSL Library를 이용하는 것이 편리하다.

##### 바. 적용 설계방법의 선택

합리식 방법은 가장 직접적이고 간단한 설계법 이면서도 좋은 결과를 주기 위한 계수선택에 인 간의 판단과 경험을 요구하게 된다. 아무튼 이 방법에 의한 설계가 불만족스러울 때 그것은 방법 그 자체의 결점이라기 보다는 사용자의 부적 절한 계수선택에서 기인된다고 볼 수 있다. 수문 학적 추적법을 쓰는 관로설계 모델과 선형 Kinematic wave 추적법에 의한 결과는 비슷한 결과를 준다. 이것은 부분적으로 상업용관의 분 리와 추적방법의 유사성 때문이다. 높은 정도를 요하지 않는 많은 경우에 수문곡선지체시간 방법 은 만족할만한 설계를 제공해 준다.

이런 관점에서 볼 때, 가장 적합한 설계방법의 선택은 설계규모, 요구되는 정확도, 가용한 컴퓨 터 시설능력, 컴퓨터사용비등을 포함하는 인자들 에 달려있다고 볼 수 있다. 일반적으로 복잡한 방법일수록 비용은 많이드나 정도는 높고, 단순 계산법을 사용한 방법일수록 비용은 적게들고 정 도는 낮아진다. 아무튼 상업용관이 모든 크기의 것 을 가지는 것이 아니므로 때때로 단순계산법이 적은 컴퓨터용량과 비용으로 계산되는 이점에 부 가해서 배수효과가 심각하지 않다면 요구되는 정 도에 부합시키기도 한다. 그러므로 적용설계 방 법은 고려해야 할 여러가지 인자들을 생각하여 선택하게되며 일반적으로 정확도가 요구되는 경 우라도 단순방법에 의한 결과와 비교 검토하여 설계상의 잘못을 발견할 수도 있는 것이다.

이에 추가하여, 미국을 비롯한 선진 여러나라 의 각 대학이나 연구소에서는 각각 고유의 관망 설계모델을 개발하였으며 여러해 또는 십수년에 걸친 연구를 통해 모델을 수정해 나가고 있는바, 우리나라도 우리 특성에 맞는 고유모델을 수립하 기 위한 노력과 연구지원이 절실히 요구된다.