

1.1 하천유량

1.1.1 서론

- 하천유량(streamflow)이란 하천수로상의 어떤 단면을 통과하는 단위시간당 수량으로 이수 와 치수의 목적변수이므로 정확한 하천유량 자료는 대단히 중요
- 하천유량(discharge)을 직접 연속적으로 측정한다는 것은 어려운 일이므로 비교적 측정이 용이한 하천수위를 연속적으로 측정하여 수위-유량관계에 의해 유량으로 환산하여 사용
- 수문시스템(hydrologic system)에서 강수는 시스템의 입력변수이고 증발·증산은 손실출력, 침투와 침투 및 지하수 유출은 과정변수 그리고 하천유량은 시스템 출력이므로 강수-유출관계 의 분석 혹은 모형화에 있어서 정확한 하천유량 자료의 획득은 필수적인 전제조건

1.1.2 하천수위의 측정

- 하천수위 : 임의의 기준면으로부터 측정한 하천수표면의 표고
- 하천 수위계(Stage gage)의 종류
 - ① 보통 수위계 : 준척 수위계, chain tape, 부표, 전기 테이프, 압력수위계
 - 관측시간 : 08:00와 20:00의 평균수위 = 일 평균수위
 - ② 자기 수위계
 - 부표식 수위계 : 수위변동에 따라 부표 동작하여 수위 연속기록
 - Analog 수위계 : 연속적으로 그래프에 기록하는 방식
 - Digital 수위계 : 숫자 형식으로 측정자료를 기록하는 방식
 - ③ 무선기록계(Telemeter, T/M) : 전화, 라디오, 인공위성 등의 통신매체를 이용하여 홍수 와 갈수시 등의 임의 시간간격마다 수위 측정
 - 예) 한강홍수통제소의 한강홍수예경보 시스템
 - ④ 최고치 수위계
 - 치수면에서 홍수시의 최고수위 측정 수위계
 - 실무에서 사용, 시설 및 운영비 저렴, USGS 개발

1.1.3 유속계측정에 의한 하천유량의 산정

- 하천수위기록은 수위-유량관계곡선에 의해 유량기록으로 환산되므로 수위와 유량의 동시 관측에 의해 수위-유량관계곡선의 수립이 필요하며 관측점에서의 하천횡단은 계속 변화하므로 매년 몇 차례에 걸친 유량 실측의 시행이 필요
- 하천유량은 직접 측정할 수 없으므로 통상 유속계에 의해 관측단면의 여러 소구간에서의 연직방향 점유속들을 실측하여 연속방정식에 의해 유량을 계산

가. 유속의 측정방법

- 부자에 의한 측정

수면, 수중 및 봉부자 등을 투하하여 일정구간을 유하하는 시간을 측정하여 평균유속을 산출:
수면부자는 0.85, 수중 및 봉부자는 1.0으로 보정하여 평균유속으로 환산

- 회전식유속계(current meter)에 의한 측정
 - 점유속의 측정에 가장 많이 사용되는 회전식유속계(current meter)의 대표적인 기종은 미국 지질조사국(USGS)의 Price meter
 - 현재는 유속이 바로 표시되는 계기가 주종이나 과거 기종의 경우 한번 회전시마다 소리가 나도록 되어 있고 이를 이용하여 초당 회전수를 구한 후 $V = A + BN$ 로 유속 산정
 - 여기서 V 는 유속(m/sec), A 와 B 는 유속계의 검정상수, N 은 초당회전수
 - 유속계 검정상수는 검정(calibration)에 의해 결정하게 되며 검정은 유속계를 정수 중에 위치시키고 일정한 거리를 일정한 속도로 이동시킬 때의 이동속도 측정과 컵의 회전횟수를 동시에 측정하여 시행
- 화학적 희석법(dilution method)에 의한 측정
 - 소금, 색소 등과 같이 하천수에는 존재하지 않으며 물과 화학반응을 일으키지 않는 물질을 주입해 평균유속을 측정하는 방법
 - 희석법 중 일정을 주입방법은 농도가 C_0 의 추적용액을 일정한 q 로 주입하기 시작해서 하류단에서의 농도가 일정하게 될 수 있도록 충분한 기간동안 주입을 계속한 후 하류단에서 시료를 채취하여 질량보존원리 $QC_1 + qC_0 = (Q + q)C_2$ 를 적용
 - 여기서, Q 는 구하고자 하는 유량, C_1 는 상류단의 농도, C_2 는 하류단의 농도

$$Q = \frac{C_0 - C_2}{C_2 - C_1} q \quad \text{에서} \quad C_0 \gg C_2 \text{이므로} \quad Q = \frac{C_0}{C_2 - C_1} q$$

나. 유량의 계산

- 유속측정 절차
 - 통수단면을 하천 횡단측량으로 결정한 후 여러 개의 등간격의 연직단면으로 분할하되 한 소단면이 총유량의 10% 이상을 포함하도록 해서는 안됨
 - 한 연직면에서의 유속분포는 하천바닥에서 영이고 수표면 부근에서 최대인 포물선 형태를 가지므로 평균유속은 2점법을 주로 사용하며 수심이 얇은 곳은 1점법을 사용

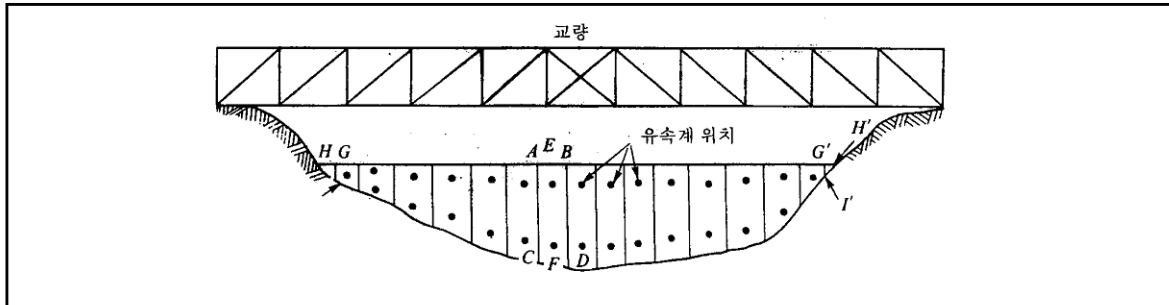
$$1\text{점법: } V_m = V_{0.6} \quad 2\text{점법: } V_m = \frac{1}{2} (V_{0.2} + V_{0.8})$$

$$3\text{점법: } V_m = \frac{1}{4} (V_{0.2} + 2V_{0.6} + V_{0.8})$$

여기서 V_m 은 평균유속, $V_{0.2}$, $V_{0.6}$, $V_{0.8}$ 는 각 수면으로부터 수심 20%, 60%, 80% 만큼 아래에 있는 점의 점유속

- 소 연직단면별 유량을 합산하여 $Q = \sum_{i=1}^N A_i V_{mi}$ 으로 총유량을 산정

여기서 Q 는 총유량, A_i 는 소구간별 면적, V_{mi} 소구간별 평균유속, N 은 구간수



< 유속계에 의한 측정 절차 >

1.1.4 수면경사-단면적법에 의한 침투 하천유량의 추정

- 대홍수시 점유속 측정에 의한 침투홍수량의 산정은 큰 하천에서는 실질적으로 불가능한 경우가 많으며 이 경우 간접적인 방법인 수면경사-단면적법(slope-area method)으로 추정
- 수면경사-단면적법은 하천의 유량을 수면경사 및 하천횡단면과 연관시켜 수리학적 관계를 이용하는 방법으로 홍수발생 직후 홍수흔적(flood marks)의 조사가 필요
- 수면경사-단면적법의 이론적 배경

- 하천유량의 추정은 Manning 공식 $Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} = K S^{1/2}$ 으로 이루어지며 이때 A 는 단면적(m^2), R 은 동수반경(m), n 은 조도계수, $K = AR^{2/3}/n$ 는 통수능(conveyance)임.

이때, $S = \frac{h_L}{L}$ 으로 S 는 마찰경사(에너지선의 경사)이고 L 의 구간길이(m), 한 구간의 평균 통수능은 양단면의 기하평균을 사용하므로 최종적인 유량추정식은 $Q = \sqrt{K_1 K_2} S^{1/2}$

- 마찰손실수두는 에너지방정식에서 $h_L = (y_1 - y_2) + (1 - k) \Delta h_v$ 와 같이 유도됨

여기서 h_L 은 두 단면간의 마찰손실수두(m), y 는 수면표고(m), k 는 단면변화로 인한 가감속 보정계수(가속 : 0, 감속 : 0.5), Δh_v 는 두 단면간의 속도수두차 ($a V_1^2/2g - a V_2^2/2g$)임.

속도속도차에서 V 는 평균유속(m/sec), a 는 에너지 보정계수 $a = \frac{\sum (k_i^3/A_i^2)}{K_T^3/A_T^2}$ 이고 침자 t

는 횡단면을 몇 개로 세분했을 경우의 각 소단면, T 는 횡단면 전체를 의미

- 수면경사-단면적법에 의한 홍수유량의 추정의 성패는 적절한 하천구간의 선정 및 n 값의 선택에 좌우되므로 하천구간은 가급적 직선적인 선형을 가지면서 통수단면의 변화가 작을수록 좋고 홍수흔적이 남는 직선구간이 없을 경우에는 확대부보다는 축소부가 좋으며 횡단면은 3개 이상 채택

1.1.5 수위-유량 관계곡선

- 수위관측점에서 하천수위와 그에 상응하는 하천유량을 동시에 측정하여 상당기간 동안의 자료를 수집하면 수위와 유량간의 관계를 표시하는 점정곡선을 얻을 수 있으며 이를 수위-유량 관계곡선(stage-discharge relation curve) 혹은 Rating Curve

- 수위-유량 관계곡선은 회귀분석 등에 의하여 수위-유량 관계곡선식의 형태로 나타낼 수 있으며 통상 h 는 실측수위(m), H 는 변환수위(m)로 표시되며 수면표고는 실측수위에 영점표고를 더하여 계산

- Rating curve를 작성하기 위하여 관측을 실시할 경우에는 홍수, 평수, 저수로 나누어 측정 회수를 고르게 관측해야 하며, 저수유량의 관측은 연간 36회 이상을 원칙으로 하고 홍수유량 관측은 수위변동에 유의하여 가능한 한 많이 관측

- 자연하천에 있어서 수위관측 결과는 분산이 작은 단순관계를 갖지 않고 loop형 수위-유량 관계(loop rating curve)를 가지며 같은 수위라도 상승시 유량이 하강시 유량보다 큼

- 자연하천에서 loop형 수위-유량 관계가 발생하는 이유

- 준설, 세굴, 퇴적 등에 의한 하도의 인공 및 자연적 변화

- 하류부에 댐 또는 지류와의 합류점이 있어서 발생하는 배수효과(backwater effect) 및 이와 반대로 분류점이 있어서 발생하는 저하효과(drawdown effect)

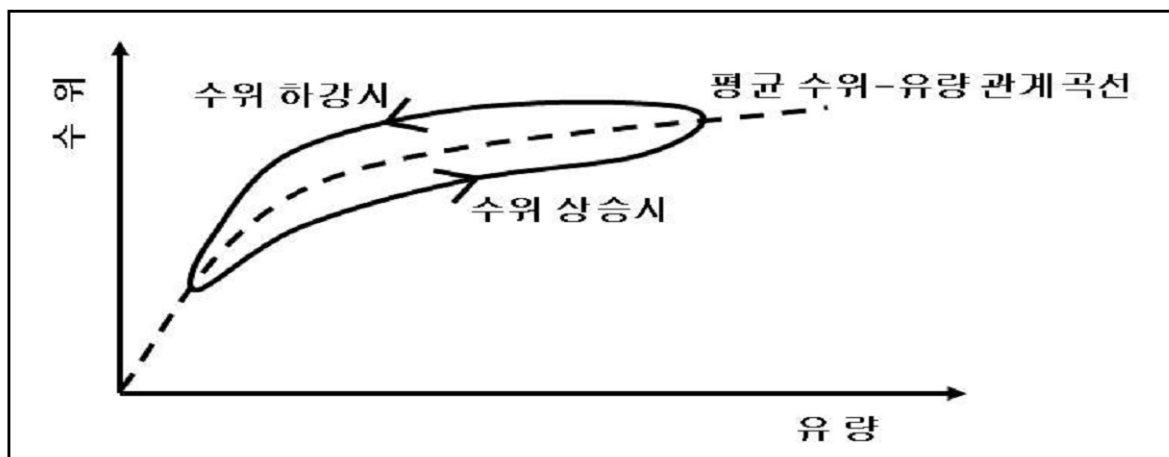
- 홍수시 수위의 급상승 및 강하

- 하도의 초목 및 얼음의 효과 등

- 큰 홍수가 발생하면 하천수위가 높아지고 유속이 빨라지며 유량측정에 장애가 되는 부유물(debris) 등으로 유량의 실측이 매우 곤란하여 고수위에 해당하는 유량은 그 관측점의 수위-유량관계곡선을 다음과 같은 방법으로 연장하여 추정

- 전대수지법 : 멱함수(power function) $Q = a(g - z)^b$ 로 가정

- Stevens 방법 : Chezy의 평균유속공식 이용



< 수위-유량 관계곡선(loop rating curve) >

1.1.6 하천유량 자료의 획득

가. 하천유량의 단위

- 유량의 단위는 m^3/sec (혹은 cms)로 관측단면을 단위시간(1초)에 통과하는 물의 체적
- 비유량(specific discharge)은 유량측정 단면에서의 유량을 그 유역의 유역면적으로 나눈 것으로 $\text{m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$ 의 단위를 가지며 크기가 다른 유역의 유출률을 비교하는데 편리하게 사용되며 유역면적이 커질수록 비유량은 작아지는 경향
- 유출고(runoff depth)는 총유출량을 유역면적으로 나눈 것으로 mm의 단위

나. 수문곡선

- 수문곡선(hydrograph)은 하천의 어떤 단면에서의 유량 혹은 수위의 시간에 따른 변화를 표시하는 곡선으로 유량의 경우에는 유량수문곡선(discharge hydrograph) 수위의 경우에는 수위수문곡선(stage hydrograph)이라 부르며 일반적으로는 유량수문곡선을 의미

1.1.7 하천유량의 변동성 및 유형곡선

가. 하천 정상관측에서 이루어지는 수위의 종류

- 갈 수 위: 355일 이상 지속되는 수위
- 저 수 위: 275일 이상 지속되는 수위
- 평 수 위: 185일 이상 지속되는 수위
- 풍 수 위: 95일 이상 지속되는 수위
- 최고수위: 기록 최고수위

나. 유형곡선

- 유형곡선은 매년 일유량자료를 크기순으로 정렬하고, 동일 순위의 유량을 전체기간에 대해 평균하여 산정한다. 그 중에서 연중 355일, 275일, 185일, 95일 이상 지속되는 유량(작은 값에서 큰 값으로 정렬할 때 355번째, 275번째, 185번째, 95번째에 해당)을 갈수량, 저수량, 평수량, 풍수량으로 정의
- 갈수량은 평균갈수량, 기준갈수량, 10년빈도 7일 갈수량 등으로 구분되며, 이 중 평균갈수량이 가장 크고 그 다음이 기준갈수량이며 10년빈도 7일 갈수량이 가장 작음
 - 평균갈수량은 과거 자연상태에서 관측한 유량자료를 매년마다 크기 순으로 나열하여 355일을 유지할 수 있는 갈수량 계열을 작성한 후 이를 평균하여 산출
 - 기준갈수량은 갈수량 계열을 빈도해석하여 10년빈도 갈수량으로 산출
 - 10년빈도 7일 갈수량은 7일간 연속유량을 구하여 평균한 후 가장 작은 평균유량을 그 해의 최저 7일 갈수량으로 하고 이 최소치계열의 10년빈도 갈수량으로 산출