

Muskingum - Cunge 방법에 의한 한강의 홍수 추적

1. 서론

한강은 우리나라에서 가장 중요한 하천의 하나이며 특히 한강 본류는 수도권 「서울」 지역을 관통하여 흐르면서 홍수의 가장 예민한 영향을 받는다.

이 한강 본류는 남·북한강의 합류점으로 부터 시작되며 한강 본류의 홍수는 남한강과 북한강의 홍수에 직접적인 영향을 받는다.

남한강의 홍수는 상류 영월 지점부터 하류 양평지점까지의 하도에 연하여 발생하며 이 홍수 추적은 1985년 현재까지 상류로부터 영월, 단양, 충주, 목계, 부론, 여주 등의 주요 홍수 계산점 및 Control Point를 통하여 행해지고 있다.

1975년 부터 지금까지 남한강 및 한강 전체에 대한 홍수 예정보를 위한 홍수추적 방법으로 지류함수법을 사용하고 있으나 실시간 변동에 따른 보다 정확한 홍수추적 결과와 추적 계산 시간의 단축을 가져올수 있는 하도 홍수 추적 방법의 개선이 요하게 되었다.

홍수추적 문제의 주요한 요소를 보면 ① 계산 홍수 Peak 발생시간 및 규모의 설추치와의 일치성, ② 계산 홍수 수문곡선 형태의 설추수문곡선과의 일치성 ③ 지류유입 계산 방법의 개선, ④ 하도의 수리특성 변화에 따른 계 계수의 정확도, ⑤ 각종 입력 자료의 정확도 등이다.

본 연구는 남한강 본류 충주-목계-부론-여주 지점과 한강 본류의 고안-연도교 지점에 대하여 diffusive wave model을 사용한 Muskingum-Cunge 추적 방법을 사용한 결과와 기존 지류함수법에 의한 추적결과와 비교함으로써 실시간 변동하에서의 홍수추적의 정확성을 높이기 위한 것이며 연구결과 만족한 성과를 거두었다.

Muskingum 함수 추적 방정식은

$$Q_{n+1} = C_1 I_n + C_2 I_{n+1} + C_3 Q_n \quad \text{-----}(7)$$

2. Muskingum - Cunge (MUSK) 방법

파속 C로 전파되는 홍수파 유량 Q에 대한 kinematic wave 방. 은 식 (1)과 같이 정의할수 있다.

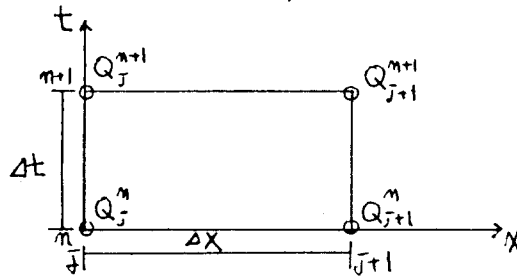
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + C \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad \text{-----}(1)$$

(1)식을 x-t 평면에서 Finite difference form으로 나타내면

$$\frac{x(Q_J^{n+1} - Q_J^n) + (1-x)(Q_{J+1}^{n+1} - Q_{J+1}^n)}{\Delta t} + C \frac{Y(Q_{J+1}^n - Q_J^n) + (1-Y)(Q_{J+1}^{n+1} - Q_J^{n+1})}{\Delta x} = 0 \quad \text{-----}(2)$$

여기서

- X, Y = 가중 인자
- Δx = 하도 추적 구간
- Δt = 시간 구간
- C = 파속 (상수)



< MUSK 방법의 도식화 >

(2)식에서 Y = 0.5로 하면,

$$\frac{Q_J^n + Q_J^{n+1}}{2} - \frac{Q_{J+1}^n + Q_{J+1}^{n+1}}{2} = \frac{\frac{\Delta x}{C} x Q_J^n + (1-x) Q_{J+1}^n - \frac{\Delta x}{C} x Q_J^{n+1} + (1-x) Q_{J+1}^{n+1}}{\Delta t} \quad \text{-----}(3)$$

여기서 한 time step이 증가하면 (3)식의 좌변은 I - O이고

$$S = \frac{\Delta x}{C} [X \cdot I + (1-x)O] \quad \text{-----}(4)$$

$$K = \frac{\Delta x}{C}$$

여기서 I = 유입량, O = 유출량, K = 재현되는 홍수량의 전파시간
일때 우변은 ds/dt 가 된다.

한편 discretized kinematic wave eq. 의 수리확산 계수 μ_n 은

$$\mu_n = C \Delta x (\frac{1}{2} - X) \quad \text{-----}(5)$$

이고

(5)식을 convection-diffusion eq. 의 physical diffusion coeff.

$\mu = \frac{q_0}{2S_0}$ 와 match 시키면

$$x = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{q_0}{S_0 C \Delta x} \right) \quad \text{-----}(6)$$

이 된다.

여기서

$$C_0 = \frac{\Delta t}{k} + 2(1-x)$$

$$C_1 = (\frac{\Delta t}{k} + 2x) / C_0$$

$$C_2 = (\frac{\Delta t}{k} - 2x) / C_0$$

$$C_3 = [2(1-x) - \frac{\Delta t}{k}] / C_0$$

이다.

Courant number C를 파속율 (ratio of celerities)로 정의하면

$$C = \frac{C}{\left(\frac{\Delta x}{\Delta t}\right)} = C \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad \text{-----}(9)$$

또한 cell Reynolds 수 D를 확산율 (ratio of diffusivities)

로서 정의하면

$$D = \frac{(q_0 / 2S_0)}{(C \Delta x / 2)} = \frac{q_0}{S_0 C \Delta x} \quad \text{-----}(10)$$

이 되어 식(8)을 다시 쓰면

$$C_0 = 1 + C + D$$

$$C_1 = (1 + C - D) / C_0$$

$$C_2 = (-1 + C + D) / C_0$$

$$C_3 = (1 - C + D) / C_0$$

가 된다.

차분 유입이 있을시의 Muskingum-Cunge 추적 방정식은

$$Q_{j+1}^{n+1} = C_1 Q_j^n + C_2 Q_j^{n+1} + C_3 Q_{j+1}^n + Q_L \quad \text{-----}(12)$$

여기서

$$Q_L = \frac{2CqLt}{\frac{t}{k} + 2(1-x)} \quad \text{-----}(13)$$

$C = x/t$ 이고 $K=t$ 와 $z=0$ 의 조건에 대해서는

$$Q_L = \frac{29Lx}{3} \quad \text{----- (14)}$$

매개변수의 계산을 위하여

격자점 (\bar{j}, n) 에서 c 와 q 값은

$$C_{\bar{j}, n} = \frac{dQ}{dA} \Big|_{\bar{j}, n} = \frac{1}{B} \frac{dQ}{d\bar{j}} \Big|_{\bar{j}, n} \quad \text{----- (15)}$$

$$q_{\bar{j}, n} = \frac{Q}{B} \Big|_{\bar{j}, n} \quad \text{----- (16)}$$

여기서 Q = 유량, A = 하도단면적, B = 하폭, \bar{j} = 홍수위 라고 하면 c 와 q 를 결정하는 방법에는

- ① 2격자점 (\bar{j}, n) , $(\bar{j}+1, n)$ 의 평균값을 사용하는 방법
 - ② 3격자점 (\bar{j}, n) , $(\bar{j}+1, n)$, $(\bar{j}, n+1)$ 의 평균값을 사용하는 방법
 - ③ 4격자점 (\bar{j}, n) , $(\bar{j}+1, n)$, $(\bar{j}, n+1)$, $(\bar{j}+1, n+1)$ 의 평균값을 사용하는 방법
- 등이 있다.

3. 해 법

① 하천 홍수 유량 (홍수위, 홍수유량) 및 유수단면의 수리학적 제 특성치 계산

$$Q = \alpha A^\beta, \quad W = a_1 A^{b_1}, \quad Y = a_2 Q^{b_2}, \quad \text{reach length, slope}$$

여기서

$$Q = \text{유량}, \quad A = \text{유수 단면적}, \quad Y = \text{수위}, \quad W = \text{하폭},$$

$\alpha, \beta, a_1, b_1, a_2, b_2 =$ 홍수구간내 Control Point 의 제 특성을 나타내는 상수

② 초기 조건으로 각 Control Point 의 초기유량과 경계조건으로 최상류 지점의 유입량을 time step수 만큼 읽는다.

③ 홍수위 계산

$$Y = a_2 Q^{b_2}$$

④ Muskingum - Cunge 공식에서의 제 매개변수 계산

단위폭당 유량;

$$q_0 = \frac{1}{3} \left(\frac{Q_j^1}{W_j} + \frac{Q_{j+1}^1}{W_{j+1}^1} + \frac{Q_j^2}{W_j^2} \right)$$

파속출;

$$c = \frac{1}{3} \left(\frac{\beta_j \cdot Q_j^1}{A_j^1} + \frac{\beta_{j+1} \cdot Q_{j+1}^1}{A_{j+1}^1} + \frac{\beta_j \cdot Q_j^2}{A_j^2} \right)$$

courant number;

$$C = c \frac{\Delta t}{\Delta x}$$

Cell Reynolds 수;

$$D = \frac{q_0}{S \cdot c \Delta x}$$

Muskingum - Cunge 추적 방정식의 계수;

$$C_0 = 1 + C + D$$

$$C_1 = (1 + C - D) / C_0$$

$$C_2 = (-1 + C + D) / C_0$$

$$C_3 = (1 - C + D) / C_0$$

⑤ 홍수유량, 유수단면적, 및 수면폭 계산

$$Q_{j+1}^2 = C_1 Q_j^1 + C_2 Q_j^2 + C_3 Q_{j+1}^1$$

$$W = a \cdot A^{b_1}$$

$$A = (Q/\alpha)^\beta$$

⑥ 실시간에 따른 추적 계산

⑦ 홍수위 및 홍수유량에 대한 추적결과 기어

4. 적용 및 고찰

4.1 홍수추적 하천 시스템

삼한강은 상류의 오대천과 승천이 합류되어 형성되며 영월 수위 관측소 지점에서 평창강과 합류, 이 지점으로부터 실제 하도 홍수 추적이 시작되며 이는 하류로 홍수가 유하하면서 관양-충주-목계-부론-여주 증지의 홍수 계산 및 예 정보 지점을 갖는 자연적 하천 유하 시스템을

가지고 있었다.

한편, 충주댐의 담수 시작으로 단양, 충주 지점 등은 충주댐의 유입 특성에 의하여 1985년 부타의 홍수기 유출 현상은 과거와는 완전히 달라질 것이며 충주 지점은 이미 84년 9월 홍수부터 그 기록이 중단된 상태이다.

또한 영월 지점도 충주댐의 저수지 유입수의 특성을 규명하기 위한 유역 특성을 대별할 수는 있어도 남한강의 과거 자료와의 상관성은 상설되어 가고 있다.

1979년 부터 1984년 사이의 주요 홍수 기록상에는 대부분 추적 구간내의 지류유입 현상이 있으며 실제 홍수기 유출 현상은 이 지류유입의 영향이 없는 경우는 극히 적다.

지류유입의 영향은 당해 지역의 강우현상 및 이에 따른 유역의 유출상과와 남한강 상류 지점에서의 홍수현상과 조합되어 나타나며 특히 충주 지점과 목계 지점 사이의 팔천 유입과 부론과 여주지점 사이의 섬강 유입은 중, 소 홍수에서는 남한강 본류 홍수에 큰 영향을 미친다.

한편 남한강과 북한강의 합류로 이루어지는 한강 본류는 북한강의 5개 댐 및 큰 완공되는 남한강내의 충주댐 조절에 따라 최종 Control Point인 인도교 지점의 수위를 크게 변화시키고 있고 한강 본류의 한강 종합개발 사업으로 인한 하도의 저류상대는 고안-인도교간의 수위-유량 관계를 변화시키고 있다. 1퍼므로 실시간 홍수추적 시스템은 충주-여주, 고안-인도교에 대하여 설치 하며 충주-여주간에는 팔천, 섬강 및 3개 소유역에 의한 지류유입을 고려하였다.

4.2 실시간 홍수추적

Program MUSK 에 의한 실시간 홍수 추적을 위한 세 매개 변수를 선정하기 위하여 추적 구간내의 하도 특성과 홍수제산점의 유수 단면에 대한 수리적 특성을 구하였다.

즉 유량대 면적, 유수 단면적 때 수면폭, 수위대 유량 관계식들의 저수와 저수, 하상의 평균평사, 추적 구간상 등 최근에 실측 하천의 지형 및 횡단면 자료와 Rating Curve 의 수정보환, 제 작성등을 분석하였으며 이의 결과는

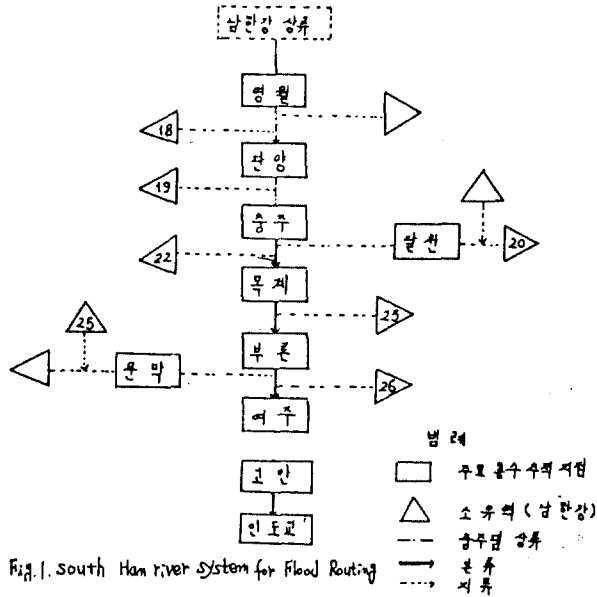


Fig. 1. South Han river system for Flood Routing

표 2.1, 2.2 와 같다.

표 2.1 Program MUSK 시 제 상수

	$Q = \alpha A^m$		$B = u_1 A^{b_1}$		$H = a_2 Q^{b_2}$		SL	DX
	α	β	a_1	b_1	a_2	b_2		
충주	0.1036	1.4260	222.5697	0.0698	0.0763	0.5294	0.0015	16.5
목계	0.1485	1.5536	5.7089	0.5670	0.1912	0.4548	0.0007	24.5
부론	0.0460	1.4905	44.8429	0.2879	0.1546	0.4709	0.0005	12.25
여주	0.0007	1.9949	193.1344	0.1145	0.2593	0.3956	0.0005	
고안	0.012	1.7735	93.9442	0.1344	0.131	0.442	0.0004	38700
인도교	0.0003	1.9854	424.9561	0.076	0.056	0.5160	0.0003	0

표 2.2 Rating Curve 식

지점	관계식	지점	관계식
충주	$Q = 129.1247 H^{1.889}$	문막	$Q = 26.968 H^{3.1063}$
달천	$Q = 181.2382 H^{1.6743}$	여주	$Q = 30.3374 H^{2.5276}$
목계	$Q = 37.9758 H^{2.7985}$	고안	$Q = 99.2089 H^{2.2618}$
부론	$Q = 52.65 H^{2.1237}$	인도교	$Q = 266.6723 H^{1.9380}$

표 2.3 에서와 같이 1979년부터 1984년에 걸쳐 거점본 홍수출 령하여 추적하였다.

표 2.3 홍수발생 시기별, 관측점별 점점 홍수위 기록

홍수 발생 시기	수위관측소 및 점점 홍수위			
	충주	여주	고안	인도교
1979. 6.25. 0:00~6.29. 0:00	7.57	9.1	9.8	7.86
1980. 7.22. 0:00~7.25. 0:00	8.6	9.6	9.99	7.7
1981. 7.2. 0:00~7.5. 0:00	6.44	7.78	8.4	6.9
1982. 8.28. 0:00~8.30. 0:00	4.82	6.15	6.4	4.99
1984. 9.1. 0:00~9.4. 0:00		8.85	13.3	11.1

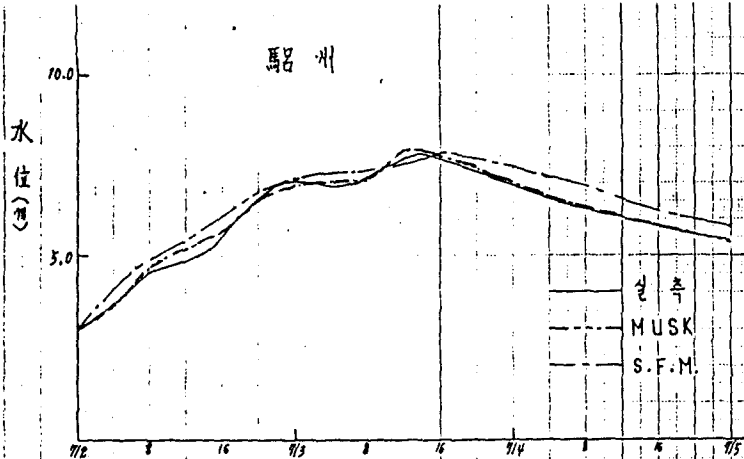


Fig. 2.1 時間 (1981年 7月 2日 00時 ~ 7月 5日 00時)

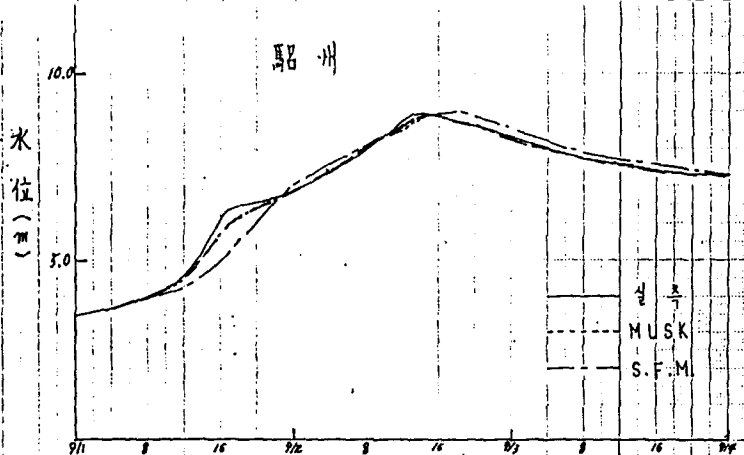


Fig. 2.2 時間 (1984年 9月 1日 00時 ~ 9月 4日 00時)

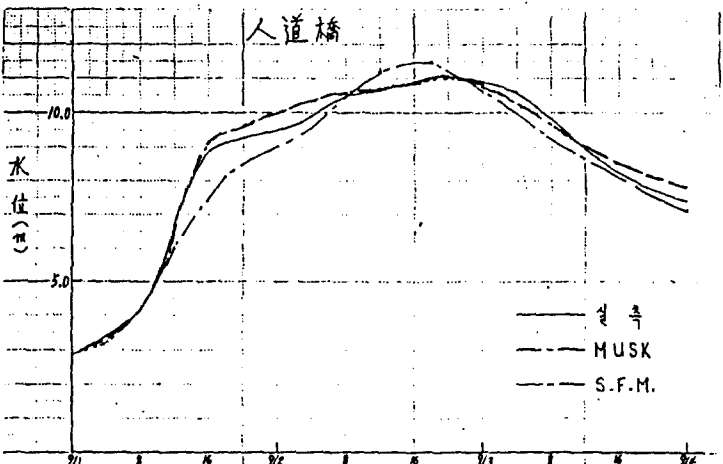


Fig. 2.3 時間 (1984年 9月 1日 00時 ~ 9月 4日 00時)

5. 결과 분석 및 결론

표 2.3의 발생 홍수에 대해 충주-무제-부론-여주 지점간의 홍수 추적 결과를 Fig. 2-3에 나타내었으며 실측과 비교하여 본 결과 홍수 Peak 발생시간은 거의 정확하게 일치하며 Peak 규모도 실측에 가까웠다.

Muskingum - Cumge 추적방법은 Δx 와 Δt 가 작을수록 정확하며 $\Delta x = 100 \text{ km}$ 이내, $\Delta t = 3600 \text{ sec}$ 범위에서 사용 가능하나 $\Delta x = 10 \sim 30 \text{ km}$ 이내, $\Delta t = 3600 \text{ sec}$ 를 사용하는 것이 보다 정확한 추적 결과를 나타낼 수 있었다.

남한강 및 한강 부류에 대한 물시간 변동에 따른 홍수 추적 정도를 개선하기 위하여 Variable Parameter diffusion 방법을 채용한 Muskingum - Cumge 홍수 추적법을 사용한 결과 Peak 시간 및 규모가 실측에 접근했으며 현행의 저류함수법에 의한 추적결과와 비교하여 불때 홍수 Peak 발생 시간 및 규모와 홍수추적 수문곡선 형태면에서도 MUSK 에 의한 추적 결과가 그 정확도를 크게 향상시켰음을 판단할 수 있었다.