# 저류함수법의 매개변수 개선방안 연구

*김 치홍, **안 원식, ***홍 완택

## 1.0 서 론

홍수예경보 시스템의 유역 유출계산에 채택되고 있는 방법중의 하나가 저류함수법이다. 저류함수 모형은 저류상수 K, 지수 p, 지체시간 $Tl$등 3개의 모형변수를 갖고 있다. 현재 저류상수는 단일 값으로 사용되고 있으나 유출의 물리적 특성을 고려했을때 매홍수마다 이변수등이 달라지는 것이 보통이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 운동파 (Kinematic Wave)법과 저류함수법의 절충방안이 검토되었다.운동파법과 저류함수법은 모두 홍수유출해석에 자주 사용되는 방법이다. 운동파법은 유출현상의 물리적 특성을 반영하고 있는 반면, 계산이 저류함수법에 비해 복잡하고, 저류 함수법은 유출현상의 비선형성을 단순한 구조로 표현하는 집중정수계 모형으로 계산이 간단하다. 두 방법의 단점을 보완하여 유출의 물리적 특성을 고려하고 계산도 간편하도록 운동파법을 저류함수법으로 변환하는 방법이 일본의 토목연구소에서 검토되었다. 여기서는 기존의 저류함수법의 대안으로 일본의 토목연구소에서 개발한 방법을 한강유역에 적용해보고 그 효용성을 검토하고자 한다.

## 2.0 이론적 배경

운동파법은 사면상의 수심과 유량을 시 · 공간적으로 산정할 수 있는 분포정수계 모형이다. 사면상의 유출현상은 운동파 이론으로 모형화할 수 있다. 운동파 모형의 기본방정식은 다음 식으로 표시된다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = \gamma \qquad (0 < x < L) \qquad (2.1)$$

* 성균관대학교 토목공학과 대우교수
** 수원대학교 토목공학과 교수
*** 수원대학교 토목공학과 석사과정

$$q = \alpha h^{m} \tag{2.2}$$

$$S = \int_0^L h(x,t)dx \tag{2.3}$$

$$h = (x, 0) = 0, \qquad h(0, t) = 0 \tag{2.4}$$

여기서, t : 시간, $x$ : 사면 상류단으로 부터의 거리, $h$ : 수심, q : 사면 단위폭당 유량, s : 사면 단위폭당 저류량, $\gamma$ : 유효우량, L : 사면길이, $\alpha$, $m$ : 사면류 상수, 그리고 식 (2.4)는 각각 수심에 관한 초기조건과 경계조건이다. 식 (2.2)는 운동량 방정식이고 흐름을 어떤 평균 유속의 식으로 표현하는가에 따라 사면류 상수 $\alpha$, m은 다음과 같이 표시된다.

층 류 : $\alpha = g \cdot i/2\upsilon \qquad m = 3$ (2.5)

Manning : $\alpha = \sqrt{(i)}/n \qquad m = 5/3$ (2.6)

Chezy : $\alpha = c \cdot \sqrt{i} \qquad m = 3/2$ (2.7)

Darcy : $\alpha = k_e i/\lambda \qquad m = 1$ (2.8)

여기서, $\upsilon$ : 동점성 계수, g : 중력 가속도, $i$ : 사면 경사, $n$ = 등가조도, C : Chezy 계수, $\lambda$ : 표층토의 유효 간극율, $k_e$ : 표층토의 투수계수이다.

운동파법이 준물리 모형이라고 설명되는 이유는 모형변수의 물리적 의미가 명확한 데있다. 큰 홍수 (비유량이 大)시에는 표면유출이 지배적이므로 식 (2.5)~식 (2.7)이 적용 된다. 그러나 작은 홍수 (비유량이 小)에 있어서는 식 (2.8)의 중간 유출 모형이 사용 된다.
연속시간 $t_r$ 을 갖는 구형 강우파형 $\gamma$에 대한 운동파법의 이론해는 다음 식으로 주어 진다.

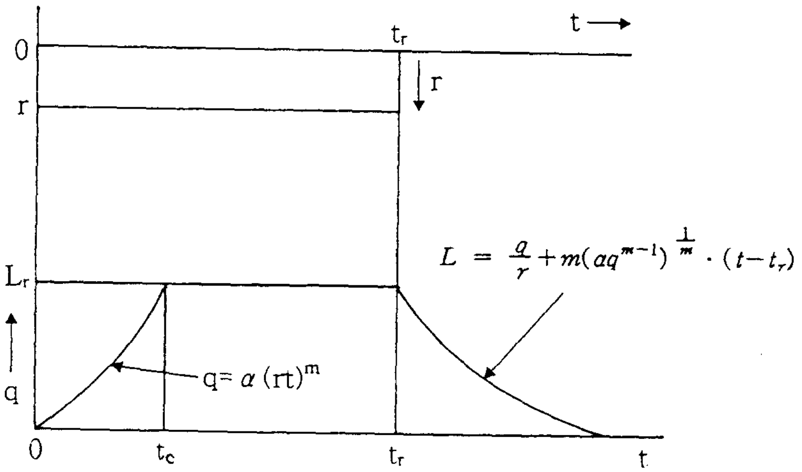
$t_r > t_c = \left(\frac{L\gamma^{1-m}}{\alpha}\right)^{\frac{1}{m}}$ 일 때

$$h(x, t) = \begin{cases} \left(\gamma \frac{x}{\alpha}\right)^{\frac{1}{m}} & 0 \le x \le \alpha\, r\, m-1\ tm \\ \gamma t & \alpha\, r\, m-1\ tm \le x \le L \end{cases} \qquad 0 \le t \le t_c$$

$$h(x, t) = \left(\gamma \frac{x}{\alpha}\right)^{\frac{1}{m}} \qquad 0 \le x \le L \qquad t_c \le t \le t_r$$

$$x= \alpha h(x,t)^{m-1} \left[ \frac{h(x,t)}{\gamma} + m(t-t_r) \right] \qquad 0 \le x \le L, \qquad t > t_r \tag{2.9}$$

여기서, $t_c$는 도달시간이고, $t_r$은 강우의 지속시간이다. 식 (2.9)에 의해 사면상의 수심분포가 구해지므로 사면말단에서의 수문곡선은 식 (2.2)에 의해 q (L, $t$) = $\alpha$ $(L,\ t)^m$ 로 계산된다. 그 결과는 <그림-1>과 같이 나타난다. 식 (2.1), 식 (2.2)에 의한 운동파법은 분포정수계 모형이기 때문에 저류함류법에 비하여 계산이 복잡하다. 따라서, 운동파법의 정확성과 저류함수법의 적용의 간편성을 고려한 새로운 전개 과정의 정립이 필요하다. 지금 유효강우강도 $\gamma$이 공간적으로 변하지 않는다고 가정하여 식 (2.1)의 양변을 $x$=0 로 부터 L의 범위에서 적분하면 식 (2.10) ~ (2.11)과 같다.




<그림-1> 사면 말단에서의 수문곡선

$$\frac{d}{dt} \int_0^L h(x,t)\,dx + \int_0^L dq = \int_0^L \gamma\,dx \tag{2.10}$$

$$\frac{d}{dt} \int_0^L h(x,t)\,dx + q(L,t) - q(0,t) = \gamma L \tag{2.11}$$

식 (2.11)의 q(L, t)는 사면 말단에서의 유량으로 그림 2.1과 같다. q(0, t)는 사면 상류단에서의 유량이므로 식 (2.2), 식 (2.4)으로 부터 q(0, t) = 0 이 성립한다. 식 (2.3)을 식 (2.11)에 대입하면 다음과 같이 저류함수법의 연속방정식에 해당하는 식을 얻는다.

$$\frac{ds}{dt} = \gamma L - q(L, t) \tag{2.12}$$

식 (2.9)의 사면상의 수심분포를 식 (2.3)에 대입하면 사면상의 저류량의 이론치가 얻어진다. 따라서 식 (2.3)의 적분치를 사면말단의 유량 q(L, t)를 써서 표시할 수 있다면 저류방정식을 유도한 것이 된다. 즉, 운동파법의 저류함수법으로의 변환이라 함은 곧 식 (2.3)의 적분치를 가장 적합한 q(L, t)의 함수형으로 표시하는 것이다. 여기서는 저류량 ~ 사면 말단유량 (s - q) 곡선을 표현하는 저류방정식으로 (식 2.13)을 택하였다.

$$s = k_1 q^{p1} + k_2 \frac{d}{dt}(q^{p2}) \tag{2.13}$$

$$\frac{ds}{dt} = \gamma - q \tag{2.14}$$

Manning 의 평균 유속공식을 적용하여

$$k_1 = 2.823(n/\sqrt{i})^{0.6} A^{0.24} = 2.823 f_c A^{0.24} \tag{2.15}$$

$$k_2 = 0.2835 \quad k_1^2 \overline{\gamma}^{-0.2648} \tag{2.16}$$

$$p_1 = 0.6 \tag{2.17}$$

$$p_2 = 0.4648 \tag{2.18}$$

여기서, S : 저류고 (mm), q : 유출고 (mm/hr), $\gamma$ : 유효우량 (mm/hr), t : 시간 (hr), $k_1$, $k_2$, $p_1$, $p_2$ : 모형변수, A : 유역면적 (㎢), $\overline{\gamma}$ : 평균유효강우강도(mm/hr)이다.

모형변수 $k_1$, $k_2$는 윗 식에서 보는 바와 같이 $(n/\sqrt{i})^{0.6}$ = (fc)에 의해 결정되어 진다.

식 (2.15)에 표시된 $(n/\sqrt{i})^{0.6}$는 기술한 바와 같이 fc로서 $n$은 등가조도, $i$는 사면경사이다. fc 값의 범위는 개략 1.0 - 2.0로 추정되며 이것만 결정된다면 모든 모형변수가 결정되어 유출계산이 가능하게 된다. fc 값은 기왕의 홍수자료로부터 분리된 우량(유역 평균우량) 유량 (직접 유출고) 자료를 이용하여 결정한다. fc 값을 변화시켜 가면서 결정된 모형 변수를 이용하여 유출계산을 실시하고 평가함수의 값이 최소일 때의 모형변수값을 최적모형변수로 한다.

3.0 모형의 검증

본모형의 검증은 한강홍수 예경보 시스템에서 이용하고있는 한강유역내 수위표 지점중 유출이 인위적으로 조절되지않고 댐의 영향을 받지않는 북한강 상류의 화천댐유역과 소양강댐 유역에 대해 적용하였다

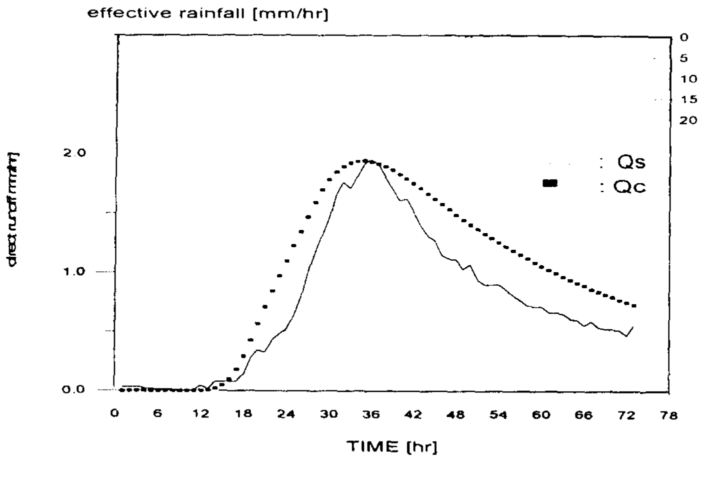
또한 선정된 홍수사상은 화천댐 유역은 87.7.21~7.24 이며, 소양강댐 유역은 .90.9.10~9.13이다

적용결과 추정된 매개변수 $k_1, k_2$의 최적치는 (표-1)과 같다

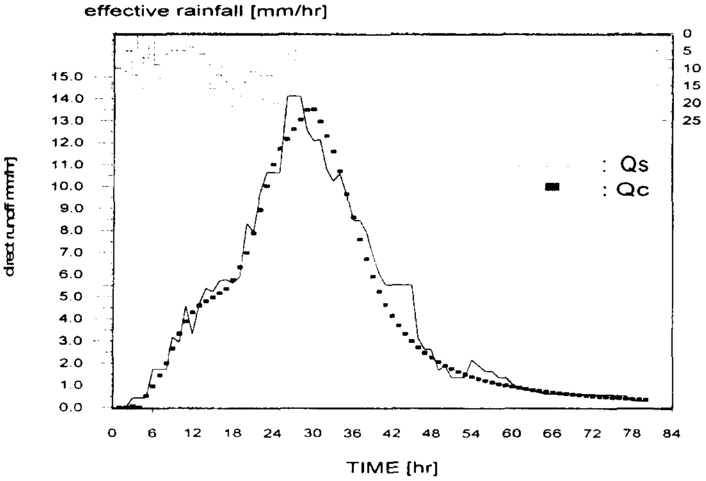
< 표-1 >

| 유 역 명 | 매개변수 | | 유역면적(㎢) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| | $k_1$ | $k_2$ | | |
| 화 천 댐 | 64.6 | 543.5 | 4,064 | |
| 소양강댐 | 32.8 | 118.6 | 2,676 | |

<그림-2>와 <그림-3>은 최적모형변수에 의해 모의된 결과를 실측치와 비교 도식한것이다




<그림-2> 최적모형변수에 의해 모의된 결과와 실측치 비교




<그림-3> 최적모형변수에 의해 모의된 결과와 실측치 비교

4.0 결 론

우리나라의 홍수예경보 시스템(System)으로서 유역유출 계산으로 사용되는 방법중 저류함수법과 Kinematic Wave법을 절충, 보완한 일본토목연구소에서 연구 개발된 방법을 이용하여 한강유역에 적용해 본 결과 본모형은 저류함수법에 있어 문제가되는 지체시간 *Tl*에 대해 고려치않고 매개변수 $k_1, k_2$만가지고 유출해석이 가능하므로 홍수 예경보 시스템에서 효율적인 이용이 가능할 것으로 판단 되었다.

5.0 참고문헌

- 이원환, 김재한 "기저유출 분리를 위한 강우와 함수공선간의 상관해석", 한국 수문학회지, 제 18권, 제 1호, 1985. 3. PP 85-94
- 안상진 "수문학", 구미서관, 1990. 8. PP 265-291

ㅇ 윤용남 "공업수문학", 청문각, 1993. 1. PP 332-357

ㅇ Chow, V., T., "Applied Hydrology", Mcgrow-Hill Book CO., New York, N.Y., 1988.

ㅇ 남궁달 "저류함수법에 의한 강우-유출모형의 변수추정", 한국수문학회지, 제 18권, 제 2호, 1985. 6 PP 175-185

ㅇ 이순탁, 이영화 "선형-비선형 홍수유출 모델의 비교연구",.한국 수문학회지, 제 19권, 제 3호, 1985. 6. PP 267-276

ㅇ 지홍기, 남선우, 이순탁 "하천유출 예측을 위한 강우-유출 모델", 한구 수문학회지, 제 19권, 제 4호, 1986. 12. PP 347-354

ㅇ 윤태훈 "홍수예보 모형", 한국 수문학회지, 제 14권, 제 2호, 1981. 6. PP 4-13

ㅇ 심순보 "최적화 기법에 의한 저류함수 유출 모형의 자동 보정", 대한 토목학회 논문집, 제 12권, 제 3호, 1992. 9. PP 127-137

ㅇ 한국 수자원공사 "충주댐 및 소양강댐 유역 1990년 대홍수의 수문학적 분석", 수자원연구소 1992.

ㅇ 한국 수자원공사 (산업기지 개발공사) "다목적댐 홍수유출 해석 연구 (저류함수법), Nippon Koei Co. Ltd, 1985

ㅇ 건설부, 한강홍수통제소 "한강홍수예경보" 1990.

ㅇ 건설부, 한강홍수통제소 "한강홍수예경보 유출 및 상수분석 보고서" 1980.

ㅇ 건설부, 한강홍수통제소 "한강수계 유출 프로그램 개선방안" 1991.