

평창강유역의 한계유출량 산정

Threshold Runoff Computations on Pyungchang River Basin

배덕효¹⁾, 최지혜²⁾, 장기호³⁾

1. 서 론

최근 전세계적으로 단시간 이내의 갑작스런 집중호우에 의한 돌발홍수(flash flood)로 많은 피해를 경험하고 있다. 우리나라도 예외는 아니며 96년 7월의 경기북부 및 강원 영서지방의 집중호우와 98년 7월의 지리산 일원의 집중호우가 대표적인 경우이다. 이에 따라 돌발홍수를 효율적으로 예측하여 그 피해를 최소화하려는 노력이 다각적으로 진행되고 있다. 그 대표적인 예가 돌발홍수 예보 시스템의 개발이며, 이 시스템은 기상학적 강우예보, 수문학적 토양수분의 변화 및 유출량 산정, 유역 고유특성 규명을 위한 지형정보로 구성되어 있다.

본 연구에서는 돌발홍수 예경보 시스템의 개념을 국내에 도입하고, 이를 시스템 가운데 수문분야의 중요한 요소중에 하나인 특정유역 소하천 범람의 시작단계에 해당하는 유출량을 나타내는 한계유출량(threshold runoff) 개념을 평창강 IHP 유역에 적용하여 국내에서의 적용 가능성을 검토하고자 한다.

2. 한계유출량과 돌발홍수능의 관계

돌발홍수란 100km^2 이내의 지형이 좁고 경사가 급한 유역에서 느리게 유역을 통과하는 호우, 동일한 국지지역 내에서 빠르게 움직이는 집중호우(2시간 동안 100mm 이상)나 태풍으로 인하여 짧은 시간(몇 분 또는 몇 시간) 내에 하천수위의 급격한 상승을 유발하는 홍수로 정의하고 있다. 돌발홍수는 실제 급격한 유속의 증가로 인하여 하천 지형을 파괴하고, 소하천 상의 교량 및 도로를 유실시키며, 또한 심각한 토사류(mud flow)를 유발하여 그 피해를 증가시키게 된다(배덕효, 1999).

이러한 돌발홍수의 기준을 제시할 돌발홍수능(FFG, Flash Flood Guidance)은 소하천에 특정시간 이내에 홍수가 일어나기 시작할 때의 강우량이며, 일반적으로 예측강우 지속시간 1, 3, 6시간에 대해 각 소유역별로 매일 1~2회 정도로 새로 갱신하여 구축한다. 돌발홍수능을 결정하기 위해 먼저 소하천의 둑을 월류시키거나 2년 빈도의 홍수량을 유발시키는 유효우량인 한계유출량을 산정하고 지역의 토양수분상태를 고려하기 위해 강우-유출 모형인 Sacramento 모형으로부터 강우예측 시간별(1, 3, 6시간) 강우-유출 곡선을 산정한다. 따라서 한계유출량에 해당하는 강우량을 강우-유출 곡선으로부터 결정하면 이때의 강우량이 돌발홍수능이 된다. 따라서 돌발홍수능을 예측강우와

1) 창원대학교 토목공학과, 부교수

2) 창원대학교 토목공학과, 석사과정

3) 기상연구소 예보연구실, 선임연구원

비교하여 이를 초과하는 경우 돌발홍수경보를, 약간 작은 경우에는 돌발홍수주의보를, 많이 작은 경우에는 돌발홍수해체를 하는 돌발홍수 예경보 체계를 갖추게 된다(Sweeney, 1992).

한계유출량이란 소하천에 제방을 월류하기 시작하는 유량으로 다음과 같이 산정된다.

$$T.R = \frac{Q_p}{q_{pr} \cdot A} \quad (1)$$

여기서, T.R은 한계유출량(in, cm)이며, Q_p 는 유역의 첨두홍수량(cfs, cms)이고, q_{pr} 은 단위도의 첨두홍수량(cfs/mi²/in, cms/km²/cm), A는 유역면적(km²)이다. Q_p 를 결정하는 방법에는 소하천의 제방을 월류하기 시작하는 유량을 Manning 공식으로부터 산정하며, 2년 빈도의 홍수량을 월류하는 홍수량으로 가정하여 산정한다. q_{pr} 를 결정하는 방법에는 Snyder 합성단위도법과 지형학적 순간단위도법(GIUH, Geomorphology Instantaneous Unit Hydrograph) 등이 있다. 따라서 한계유출량을 산정하는 여러 가지 방법으로 다음과의 네 가지가 있다(Carpenter와 Georgakatos, 1993).

- (1) Manning 공식 & Snyder 합성단위도법
- (2) Manning 공식 & GIUH
- (3) 2년 빈도 홍수량 & Snyder 합성단위도법
- (4) 2년 빈도 홍수량 & GIUH

본 연구에서는 첫 번째 방법인 Manning 공식과 Snyder 합성단위도법을 사용하여 한계유출량을 산정하고자 한다. 먼저 제방을 월류하는 유량을 산정하기 위한 Manning 공식은 다음과 같다.

$$Q_p = \frac{1.486}{n} S_c^{0.5} B_b \left[\frac{Y_b}{m+1} \right]^{0.38} \quad (2)$$

여기서, n은 Manning 초도계수이며, S_c 는 유역 하도경사(ft/ft), B_b 는 최대하폭(ft), Y_b 는 최대수심(ft)이다. m은 형상계수이며 구형단면인 경우 0, bowl-shaped은 0.2, 포물선 단면은 0.5, 삼각단면은 1.0, 역삼각단면은 1.5이다.

단위도의 첨두홍수량을 산정하기 위한 Snyder 합성단위도법은 Snyder가 미국 Appalachian Highland 지역의 연구결과 발표한 방법이다. 이 방법은 단위도의 기저시간(base time), 첨두유량(peak flow), 유역의 지체시간(basin lag time) 등 3개의 매개변수로 단위도를 정의하는 것이다.

유역의 지속시간이 t_r 인 유효우량 주상도의 중심과 첨두유량 발생시간의 차이인 지체시간 t_p 는 식 (3)과 같이 산정된다.

$$t_p = C_t [L \cdot L_c]^{0.3} \quad (3)$$

여기서, L_c 는 관측점으로부터 본류를 따라 유역의 중심에 가장 가까운 본류상의 점까지 측정한 거리(mi)이며 L 은 관측점으로부터 본류를 따라 유역경계선까지 측정한 거리(mi)이고, C_t 는 유역특성에 관계된 계수로서 경험상수이다. 그리고 단위면적당 첨두유량은

$$q_{pR} = \frac{640 C_p}{t_{PR}} \quad (4)$$

여기서, C_p 는 유역특성에 관계된 계수로서 경험상수이고, t_{PR} 은 지속기간 t_R 에 강우에 대한 유역의 지체시간을 나타내며 식(5)와 같은 식으로 표현된다. 그리고 t_R 과 t_p 는 식(6)의 관계를 가진다.

$$t_{PR} = t_p - \left[\frac{t_r - t_R}{4} \right] \quad (5)$$

$$t_r = \frac{t_p}{5.5} \quad (6)$$

Snyder의 합성단위도법을 적용하기 위해서는 유역의 각종 특성이 유출에 미치는 영향을 대표하는 계수 C_t , C_p 의 값을 실제로 결정하여 사용하는 것이 좋다. 계수 C_t 와 C_p 의 값을 단위도를 합성하고자 하는 미계측 유역 부근 혹은 이와 비슷한 유역 특성을 가진 계측된 유역에서 유도된 단위도를 사용하여 결정한다.

3. 적용대상지역의 수문특성 분석

대상지역인 평창강 유역은 계방산(EL. 1577.4m)에서 발원하여 남한강으로 유입되는 남한강 상류에 위치하는 한강의 제 1지류이며 북으로는 홍천강, 동으로는 오대천, 서로는 남한강 수계의 섬강과 인접한 산지성 고지대의 유역을 형성하고 있다. 유역 최하류에 위치한 방림 수위관측소 상류의 유역면적은 527.83km^2 이고 유로연장은 51.85 km 이다. 그림 1과 같이 유역 내에는 방림을 포함한 하반정, 상안미, 백옥포, 장평, 이목정 등 6개의 수위관측소와 방림, 가평, 계춘, 대화, 신리, 유천, 등매, 용정, 계방, 홍정 등 11개의 강우관측소가 설치되어 1981년 10월부터 운영되고 있다. 건설부에서 운영하는 강우관측소에서는 매년 4월에서 10월까지 자기기록기와 보통우량계를 이용하여 강수량을 측정하고, 동절기인 10월부터 다음해 3월까지는 보통우량계에 의해 일 강수량만을 측정하고 있다(전기연, 1991).

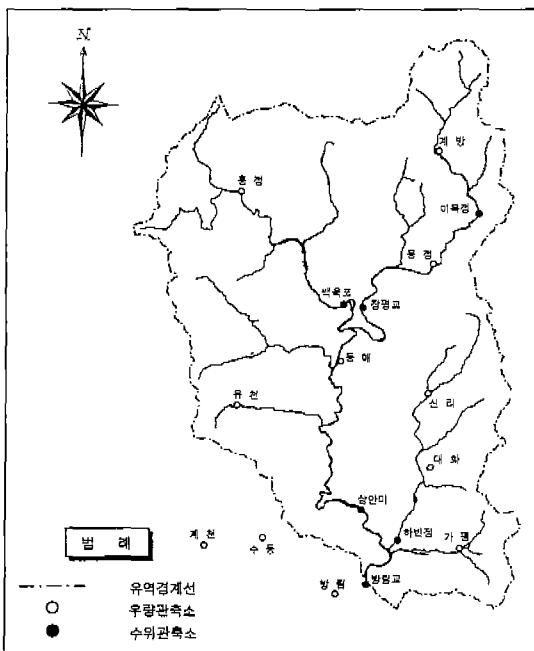


그림 1. 평창강 유역도

한계유출량 산정을 위한 수문특성을 분석하기 위해 GIS 프로그램중에서 Arc/Info, ArcView GIS Tool을 이용한다. 수문특성 분석과정은 대상지역인 평창강 유역의 등고 Theme으로부터 TIN(불규칙삼각망)을 생성한후 DEM(Digital Elevation Model)으로 변환한다. 변환한 DEM으

로부터 하도의 흐름을 계산한 데이터를 이용하여 유역경계를 추출하고 유역면적(A), 유로연장(L), 유역중심거리(L_c), 유역하도경사(S_c) 등의 수문특성 값을 계산한다. 그 계산 결과는 표 1과 같다.

표 1. 평창강 유역의 유역특성인자

소유역 유역인자	이목정	장평	백옥포	상안미	하반정	방림
유역면적 A(km^2)	55.77	104.22	143.93	386.12	85.87	527.83
유로연장 L(km)	16.95	25.95	22.95	44.20	19.30	51.85
유역중심거리 $L_c(\text{km})$	7.20	15.60	11.25	26.50	7.25	28.20
유역하도경사 S_c	0.02037	0.01248	0.01159	0.00810	0.01315	0.00745
최대하폭 $B_b(\text{m})$	28.00	54.80	58.11	119.70	40.01	121.70
최대수심 $Y_b(\text{m})$	1.118	4.051	2.843	3.425	1.825	6.879

4. 대표단위도 산정

단위도 유도를 위한 첫단계는 기저유량과 직접유출을 수평직선분리법으로 분리하여 직접유출량의 시간적 변화를 나타내는 직접유출수분곡선과 우량의 시간적 변화를 나타내는 우량주상도를 동일한 시간축을 사용하여 작성한다. 다음에는 직접유출수분곡선 아래의 면적을 적분하여 총 직접유출용적(m^3)을 구한 후 유역면적으로 나누어 cm 로 표시되는 총직접유출량을 산정한다. 이 때 직접유출량의 크기와 유효우량을 같게 하여 φ -index 법으로 유효우량의 지속기간을 결정한다. 다음 직접유출수분곡선의 종거리를 cm 로 표시한 유효우량으로 나누어 단위도의 종거리를 구한다. 이 곡선이 유효우량의 지속기간과 동일한 지속기간을 가지는 단위도가 된다.

한 유역을 대표하는 단위도를 작성하기 위해서는 지속기간이 각기 다른 수개의 호우사상으로부터 단위도를 유도한 후 S-곡선법으로 지속기간을 통일시켜 같은 지속기간에 대한 여러 개의 단위도를 얻어 단위도의 첨두유량의 평균값과 첨두유량의 발생시간의 평균값을 구하여 대표단위도의 첨두유량점 좌표를 결정한 후, 다른 단위도의 모양과 비슷하게 단위도 아래의 면적이 1 cm^2 가 되도록 스케치한다. 평창강 유역의 90년~98년 일사상으로부터 산정한 대표단위도는 그림 2와 같다. 단위도의 첨두홍수량의 경우 유역출구인 방림유역이 가장 많은 것으로 산정되었고 단위도의 지속기간이 짧을수록 첨두홍수량이 크게 나타났다.

대표단위도가 결정되면 식(3), 식(4)으로부터 C_p 와 C_t 를 산정할 수 있고 산정된 값은 표 2와 같다. C_p 의 경우 0.12~0.25, C_t 의 경우 0.63~2.69의 범위를 나타냈다.

표 2. Snyder 유역특성인자

소유역 계수	이목정	장평	백옥포	상안미	하반정	방림
C_p	1hr	0.12	0.14	0.12	0.14	0.15
	3hr	0.19	0.22	0.15	0.17	0.13
	6hr	0.22	0.14	0.22	0.22	0.25
C_t	1hr	0.90	0.76	0.81	0.65	0.87
	3hr	1.79	1.52	1.21	0.97	1.31
	6hr	2.69	2.29	2.42	1.62	2.62

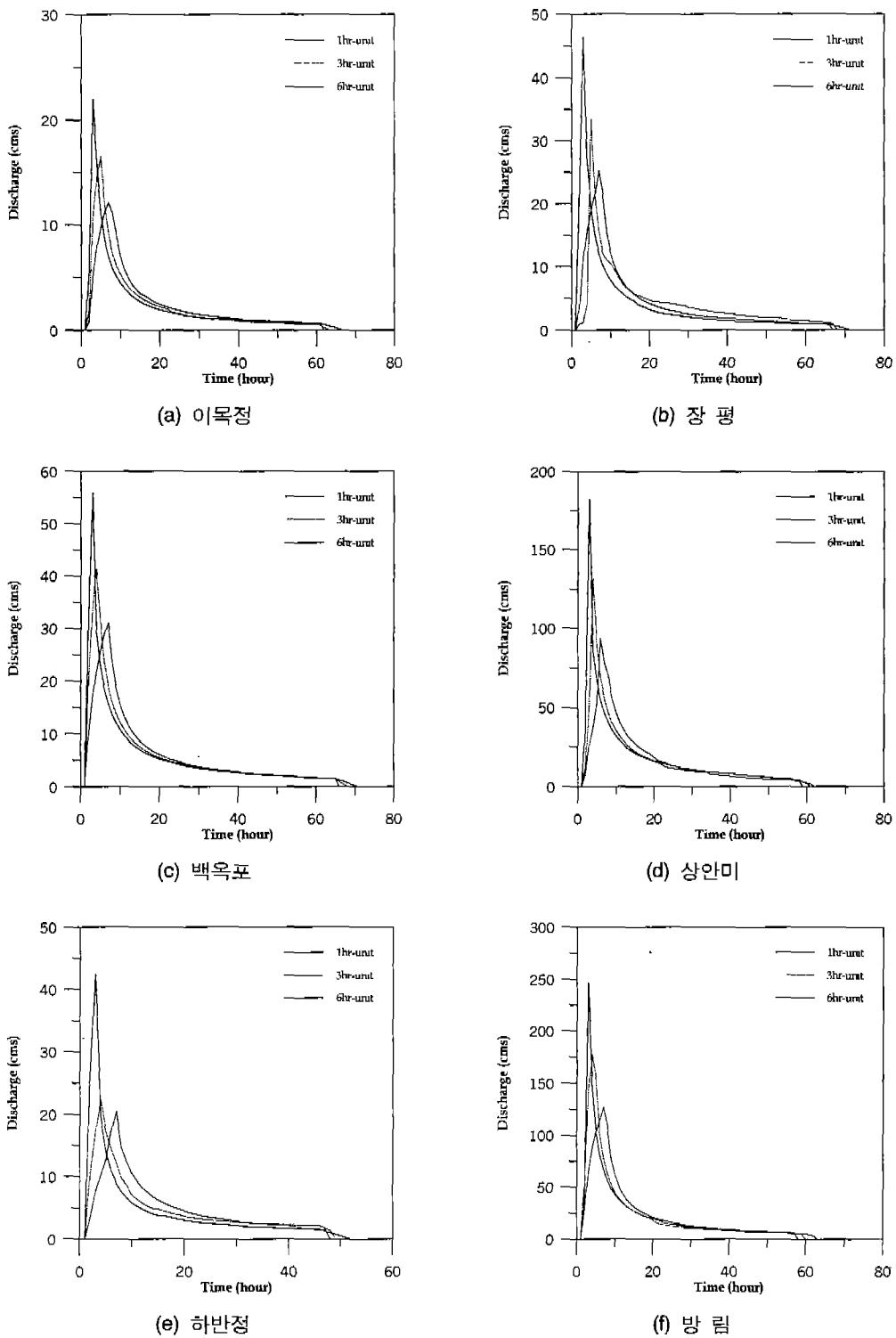


그림 2. 평창강 유역 대표단위도

4. 한계유출량 산정

수문분야의 중요한 요소중에 하나인 특정유역 소하천 범람의 시작단계에 해당하는 유출량을 나타내는 한계유출량을 평창강 IHP 유역에 적용하여 식 (1)로부터 산정한 결과는 표 3과 같다.

표 3. 예측강우시간별 한계유출량

한계유출량		소유역	이목정	장평	백옥포	상안미	하반정	방령
Threshold Runoff (mm)	1hr	19.736	39.909	27.353	23.743	18.233	26.336	
	3hr	25.869	42.365	35.215	30.998	29.770	34.312	
	6hr	34.948	52.615	48.021	40.926	35.724	36.664	

5. 결 론

본 연구에서는 평창강 유역의 돌발홍수능을 결정하기 위한 한계유출량을 산정하였다. 이를 위해 하도특성에 따른 제방을 월류하는 상태의 유량을 산정하기 위해 Manning 공식을 사용하였고, 단위도의 첨두유량을 산정하기 위해 Snyder 합성단위도법을 사용하여 한계유출량을 산정하였다. Snyder 합성단위도법을 사용하기 위해서는 Snyder 계수인 C_p , C_t 를 산정해야 하는데, 이를 위해 실제 평창강유역의 대표단위도를 유도하여 산정하였고, 그 범위는 C_p 의 경우 0.12~0.25, C_t 의 경우 0.63~2.69의 범위로 나타났다. 이에 따른 한계유출량은 유역출구인 방령지역이 지속시간 1시간인 경우 26.3mm, 3시간인 경우 34.3mm, 6시간인 경우 36.7mm로 나타났다.

감사의 글

이 연구는 과학기술부에서 시행하는 중점국가연구개발사업의 하나인 자연재해방제기술개발사업으로 수행된 것입니다(2000-J-ND-01-B-11).

참고문헌

- 배덕호 (1999). “홍수 및 수문관리”, 물리학과 첨단기술, 제8권 제6호, p. 9~14.
한국건설기술연구원 (1991). 평창강 유역의 수문특성조사, 연구보고서, 건기연.
Carpenter, T. M. and K. P. Georgakakos (1993). "GIS-based Producer in Support of Flash Flood Guidance", IIHR Report No. 366.
Sweeney, T. L. (1992). "Modernized Areal Flash Flood Guidance", NOAA Technical Memorandum NWS HYDRO44.