

산지하천의 집중강우에 따른 유출특성에 관한 연구

강상혁* · 최종인** · 박종영***

The Runoff Characteristics due to Heavy Rainfall in Mountainous River

Sang-Hyeok Kang* · Jong-In Choi** · Jong-Young Park***

요 약

본 연구에서는 현재 홍수설계에 적용되고 있는 Huff 방법이 집중호우사상에까지 확장 적용될 가능성이 있는지를 확인하고자 하였다. 이를 위해 2006년 7월 집중강우가 발생한 평창 오대천 유역을 중심으로 집중강우에 의한 실측 강우량과 이를 Huff방법에 의해 설계 강우량으로 환산하고 유출량을 산출하고 또한 홍수위로 환산하여 흔적 수위와 비교하였다. 비교 결과 설계강우에 의해 산출된 홍수량은 실제 발생했던 실제 집중강우를 적용하였을 경우의 첨두홍수량에 비해 1/2정도에 불과한 작은 값을 보였다. 또한 실제 집중호우에 의해 발생한 홍수량은 단시간에 발생한 강우사상임에도 불구하고 적용대상유역의 150년 빈도 홍수량에 근접하는 것으로 나타났다.

주요어 : 산지하천, 집중호우, Huff방법, 설계유량

ABSTRACT : In this study, we investigated the application of extending the Huff's method to design discharge being used at present up to the event of concentrated rainfall. As our field study site, we selected Odae Cheon basin in Pheongchang, which was affected by concentrated rainfall in July 2006. Actual concentrated rainfall and design rainfall derived from the Huff's method were used to calculate the discharge and storm water levels, which were compared with the directly measured water-level marks of storm discharges. The results showed that the peak storm discharge from the torrential rainfall was twice higher than the design rainfall. The short term discharges from concentrated rainfall closely corresponded to

*주저자, 강원도립대학, 강사(kang7231@hanmail.net)

**강원대학교 건설공학부, 교수

***자연과 사람

the rainfall discharges of 150 years storm frequency.

Keywords : mountainous river, heavy rainfall, Huff's method, design discharge

1. 서론

산간부를 흐르는 중소하천에 인접하는 유역에서는 도시하천과는 다르게 일반적으로 치수시설의 정비 수준이 낮아 호우시에는 하천 범람에 의해 침수라든가 유출피해의 발생 위험성이 높다(강상혁, 2001; 野口正人, 2001)

또한 토석류 위험 계류 및 급경사지 붕괴 위험지역이 존재하는 경우가 많고 호우 발생시에는 산사태, 토석류 등의 토사재해 발생 위험성도 존재한다. 이러한 지역에 대해서는 지형적인 특징에 의해 국소적인 호우가 발생하기 쉽고 더욱이 하천의 수위 상승이 급격하게 발생하기 쉽다(川池健司 외, 2001). 이와 같은 집중호우는 그 예측 및 관측이 어렵고 그에 따른 하천 홍수를 사전에 예측하여 유역 주민에 대하여 초기의 단계에서 피난권고, 피난지시 등의 피난 정보를 전달하는 것이 곤란한 경우가 많다(淺田純作 외, 2001; 田村隆雄 외, 2006).

하천 구조물의 설계에 있어서도 종래부터 Huff의 누가곡선 방법을 이용하고 있으나 이는 실제 국지적인 집중호우를 반영하고 있지 못하다는 지적이 대두되고 있다(박종영, 2007). 따라서 본 연구에서는 2006년 7월 평창 오대천 집중호우를 대상으로 설계홍수량과 집중호우에 의한 홍수

량을 비교, 검토함으로써 산지 중소하천 유역 주민의 호우재해에 대한 인적 피해 경감을 위해 필요한 수문정보를 제공하고자 한다.

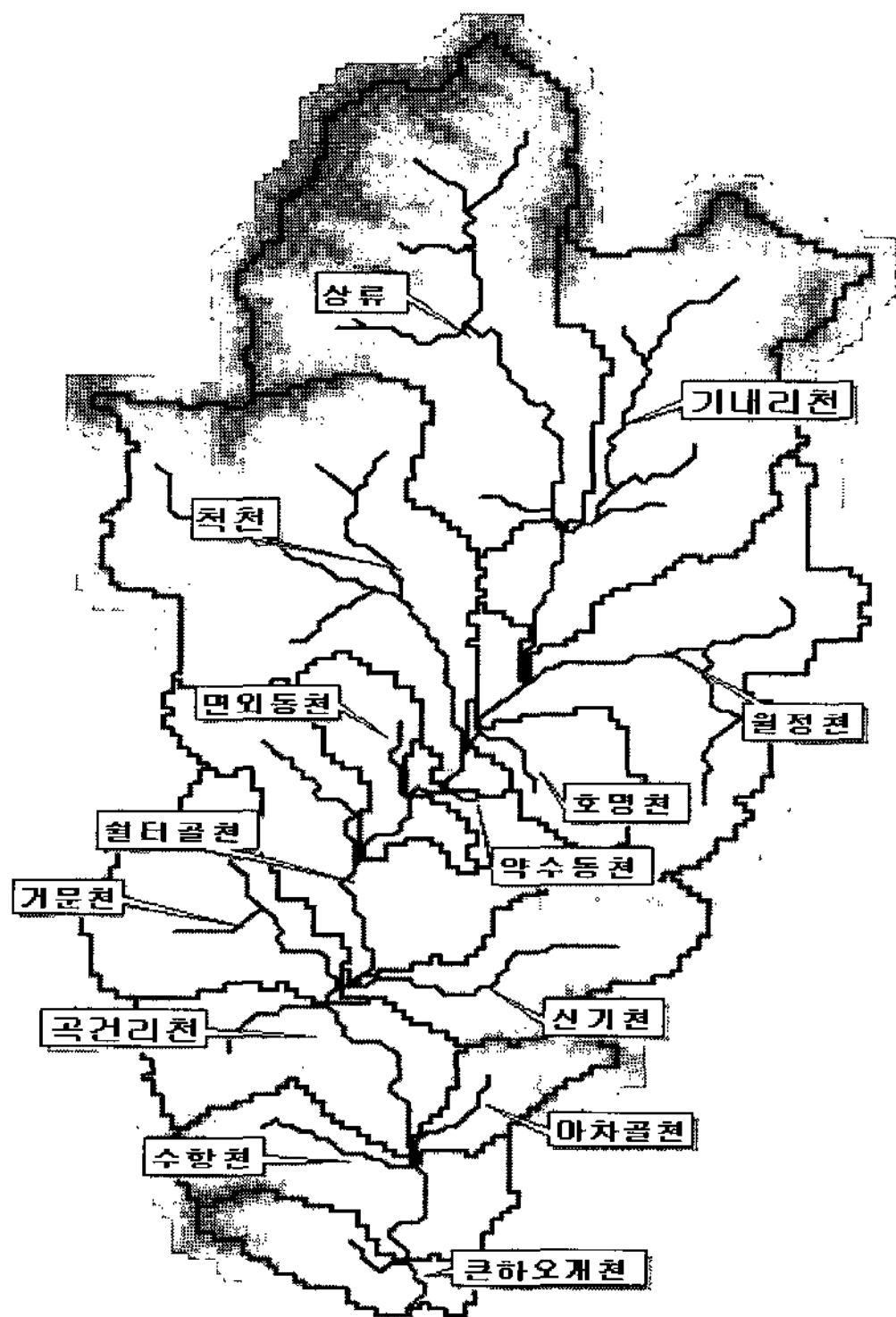
2. 유역 현황

오대천 유역은 북측으로는 오대산맥의 오대산 비로봉(EL.1563.1m), 두노봉(EL.1421.9m), 동대산(EL.1433.5m), 노인봉(EL.1338.1m), 동측으로는 황명산(EL.1407.3m), 용산(EL.1027.5m), 백석봉(EL.1170.1m), 남측으로는 하봉(EL.1380.3m), 서측으로는 백석산(EL.1364.6m), 잠두산(EL.1243.2m), 백적산(EL.1141.2m)을 분수령으로 구분된다.

행정구역으로는 북측은 강릉시 및 홍천군과 시 군계를 이루고, 동측은 평창군 도암면과 정선군 북평면, 남측은 정선군, 서측은 정선군 대화면, 평창군 용평면과 접해 있는 유역으로써 유역내 행정관청은 강원도 평창군 진부면, 도암면, 정선군 북평면 등 1도 2군 3개의 면을 점하고 있으며 동경 128°30'~128°40'과 북위 37°25'~37°49'에 위치하고 있다.

하천수계로는 한강수계 제1지류이며, 지방2급 하천인 오대천은 평창군 진부면 중앙을 관류하는 하천이고 오대천으로 직접 유입되는 소하천으로는 설터골천, 한산동천, 면외동천, 호명천, 약수동천, 운송

골천, 송정천, 윗쌀면이천, 아랫쌀면이천, 아람치골천, 내동산천, 거문천, 신기천, 마평제1천, 수향천, 마랑치골천, 막동천, 장전천, 병내천 등 총 28개 하천이다. 면외동천으로 유입되어 오대천으로 유입되는 하천은 하진부천 1개소이며, 지방2급인 척천에 유입되어 오대천으로 유입되는 하천은 억두동천, 탐동제1천, 상두일1천 등 3개소이며, 탐동제1천에 유입되어 척천을 거쳐 오대천으로 유입되는 하천은 사태골천, 활산목이천 등 2개소이며, 거문천에 유입되어 오대천으로 유입되는 하천은 능골천, 지령동천 등 2개소이며, 넘은곡건천은 능골천, 거문천을 거쳐 오대천으로 유입되는 유역현황을 가진다. 주요 소하천 현황은 [그림 1]과 같다.



[그림 1] 연구대상지의 주요 수계 현황

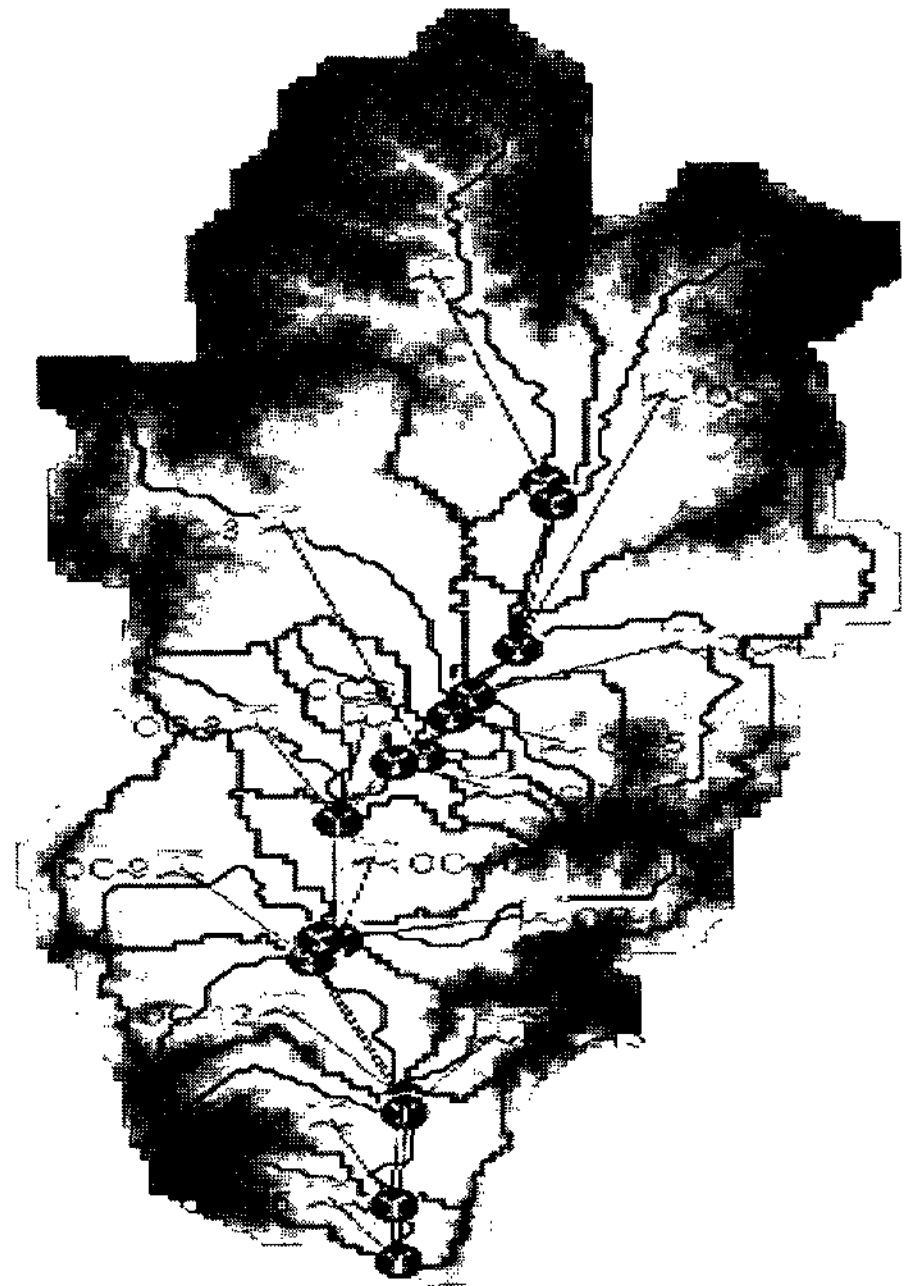
3. 유역 정보의 추출

강우에 따른 유출 해석을 위해서는 수문 모형에 필요한 각종 유역 인자의 도출이 필요하다. 유역의 수문자료는 유역 내 등고선 수치지도 1:25000 수치지도 9도엽의 각각에 대하여 수계망(2112), 표고점(7127), 등고선(7111, 7114)을 추출한 후 이를 하나로 합병하여 Arcview의 3D Analyst Extension을 이용하여 TIN을 생성하고 이를 다시 10×10격자망으로 변환하여 오대천 유역의 DEM을 구축하였다. DEM자료를 이용하여 Flow direction 과정을 수행함으로써 가장 급한 경사방향의 하류셀이 각각의 지형상에 대해 정의되며 그 결과 각각의 셀에서 유출구까지 단일 경로가 결정된다. 이러한 과정들은 가지를 뺀 모양의 Cell-network망을 생성하며 유역흐름 시스템의 경로를 나타내고, Flow direction 과정을 수행하였다. Flow accumulation 과정은 각각의 셀에 유입되는 상류방향의 셀 수를 계산하게 되며 셀 면적을 곱하면 유역면적과 동일하게 된다. Flow accumulation 과정을 수행한 후, 각 셀에 할당된 상류방향의 셀 개수에 대해 사용자가 경계값을 지정함으로써 하천을 추출하게 된다. 하천 네트워크망에 기초하여 하천이 모이는 합류점을 찾게 되며 이러한 합류점은 유역의 유출구로 지정된다. 유출구를 중심으로 경사방향을 역 추적하여 유역을 형성하게 된다. 이러한 과정을 수행하여 추출된 각각의 유역과 하천은 격자자료이며 유역과 하천에 대한 지형적 수문학적 매개변수들을 입력하기 위해서는

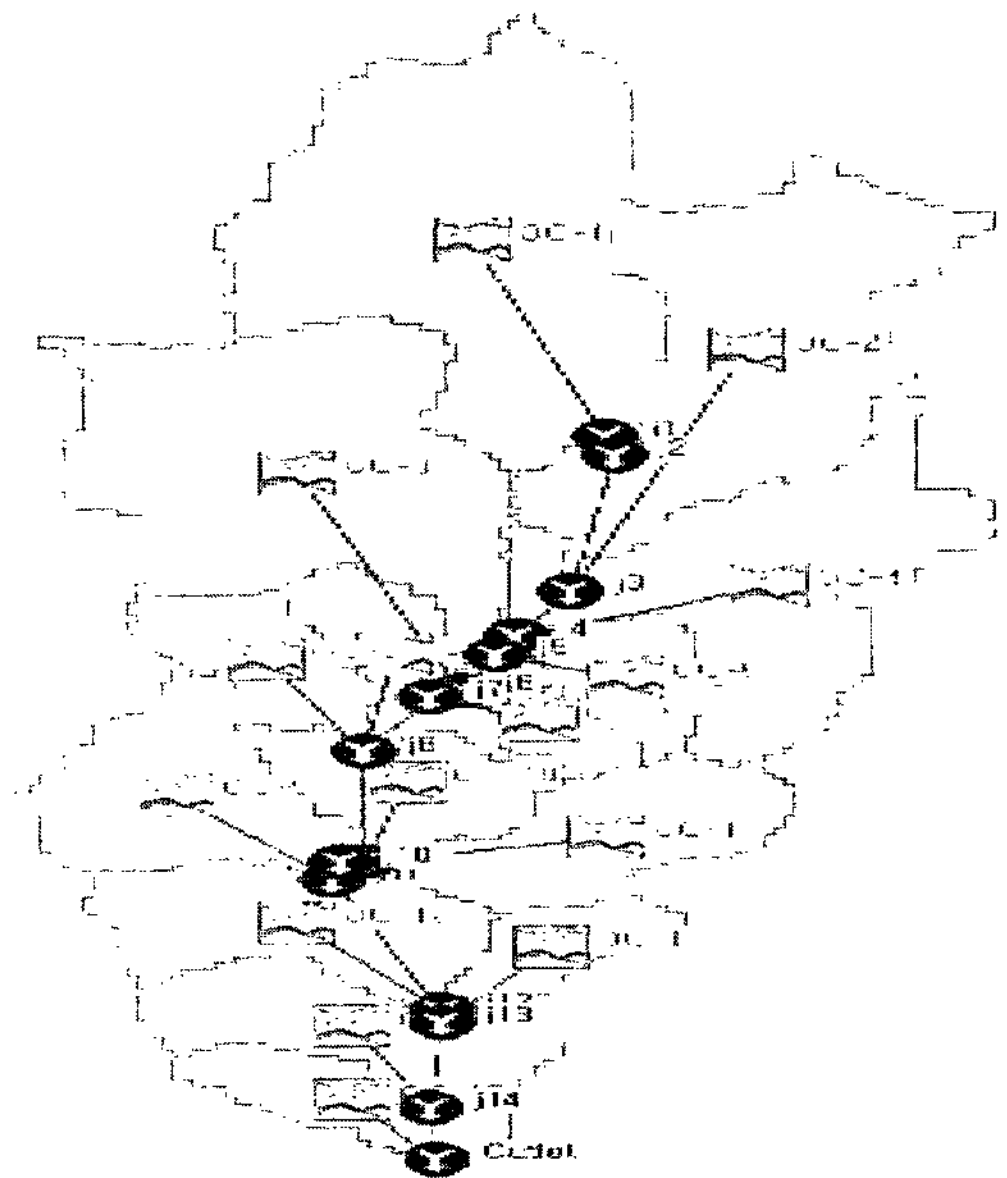
벡터화 되어야 한다. 격자를 벡터로 전환하여 하천과 유역에 대한 벡터도면을 생성하게 된다. 소유역을 선추적할 때, 각각의 소유역이 하나의 폴리곤에 의해서 표현되는 것이 중요하다. 한편, 수문모형을 이용하여 강우-유출을 모의하기 위해 필요한 매개변수들은 <표 1>에 나타난 바와 같이 소역역에서의 유역면적, 하천의 길이, 최장수로의 경사, 하상경사 등이 있다. 이와 같은 과정을 수행하여 유역처리 과정을 단계별로 HEC-HMS의 유역 모델을 구성하는 중요 단계를 [그림 2~3]에 나타내었다.

<표 1> 평창 오대천유역의 유역특성

대상 유역명	면적 (km ²)	유로연장 (km)	하상경사 (m/m)
상 류	61.926	16.638	0.047
기내리천	44.988	16.302	0.047
월정천	36.233	13.385	0.045
호명천	9.361	5.898	0.109
척천	52.194	15.049	0.053
약수동천	4.984	4.765	0.130
면외동천	9.395	7.227	0.039
설터골천	23.234	10.891	0.040
신기천	18.015	9.353	0.069
거문천	20.844	8.252	0.065
곡건리천	19.497	10.100	0.070
아차골천	6.937	6.202	0.128
수향천	17.712	9.518	0.089
큰하오개천	9.294	6.753	0.129



[그림 2] HEC-GeoHMS에서 완성된 오대천 유역 모식도



[그림 3] HEC-HMS로 import한 오대천 유역 모식도

4. 적용 모형의 이론적 고찰

4.1 특성 방정식과에 의한 홍수추적

본 홍수류 계산을 위한 사면류에 관한 kinematic wave법의 기초식은 다음과 같다 (高崎忠勝 외 2006).

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r_e \quad (0 \leq x \leq L) \quad (1)$$

$$q = \alpha h^m \quad (2)$$

여기서 t 는 시간, x 는 사면 상류단으로부터의 거리, h 는 수심, q 는 사면의 단위 폭당 유량, r_e 는 유효강우, L 은 사면장, α, m 은 각각 흐름의 형상을 결정하는 계수로써 다음의 Manning의 저항법칙을 이용하여 사면류 정수를 구한다.

$$\alpha = \frac{\sqrt{i}}{N}, m = \frac{5}{3} \quad (3)$$

여기서 i 는 사면구배, N 은 사면의 조도 계수

4.2 사면 하류단 홍수류의 도착

어느 지점 n 에서 누적 거리 X_n 이 사면장 L 을 초과하는 경우, 즉 $X_n > L$ 또는 $X_{n-1} \leq L$ 이 된 경우에 해당된다. 이 경우 우수류는 시점 $n-1 \sim n$ 의 기간내에 사면 하류단에 도착해 있는 것이 된다. $J=n-1$ 의 시점에 있어서 우수류의 선단과 하류단

과의 거리 Δx_e 는 다음과 같이 된다.

$$\Delta x_e = L - X_{n-1} \quad (4)$$

사면 하류단에 있어서 사면 단위폭당 유량을 q_e , 시점 $n-1$ 로부터 우수류의 사면하류단까지의 도달 소요시간 Δt_e 는 이 Δx_e 를 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$r_{en} \neq 0 \text{의 경우,} \\ q_e = q_{n-1} + r_{en} \Delta x_e \quad (5)$$

$$\Delta t_e = \frac{h_e - h_{n-1}}{r_{en}} = \frac{1}{\alpha^{1/m} r_{en}} (q_e^{1/m} - q_{n-1}^{1/m}) \quad (6)$$

$$r_{en} = 0 \text{의 경우,} \\ q_e = q_{n-1} \quad (7)$$

$$\Delta t_e = \frac{\Delta x_e}{m \alpha^{1/m} q_e^{1/m} \left(1 - \frac{1}{m}\right)} \quad (8)$$

따라서 이 우수류가 사면 상류단을 시각 i 에 출발했다고 하면 사면 하류단에 도달하는 시각 T_e 는 이하와 같이 된다.

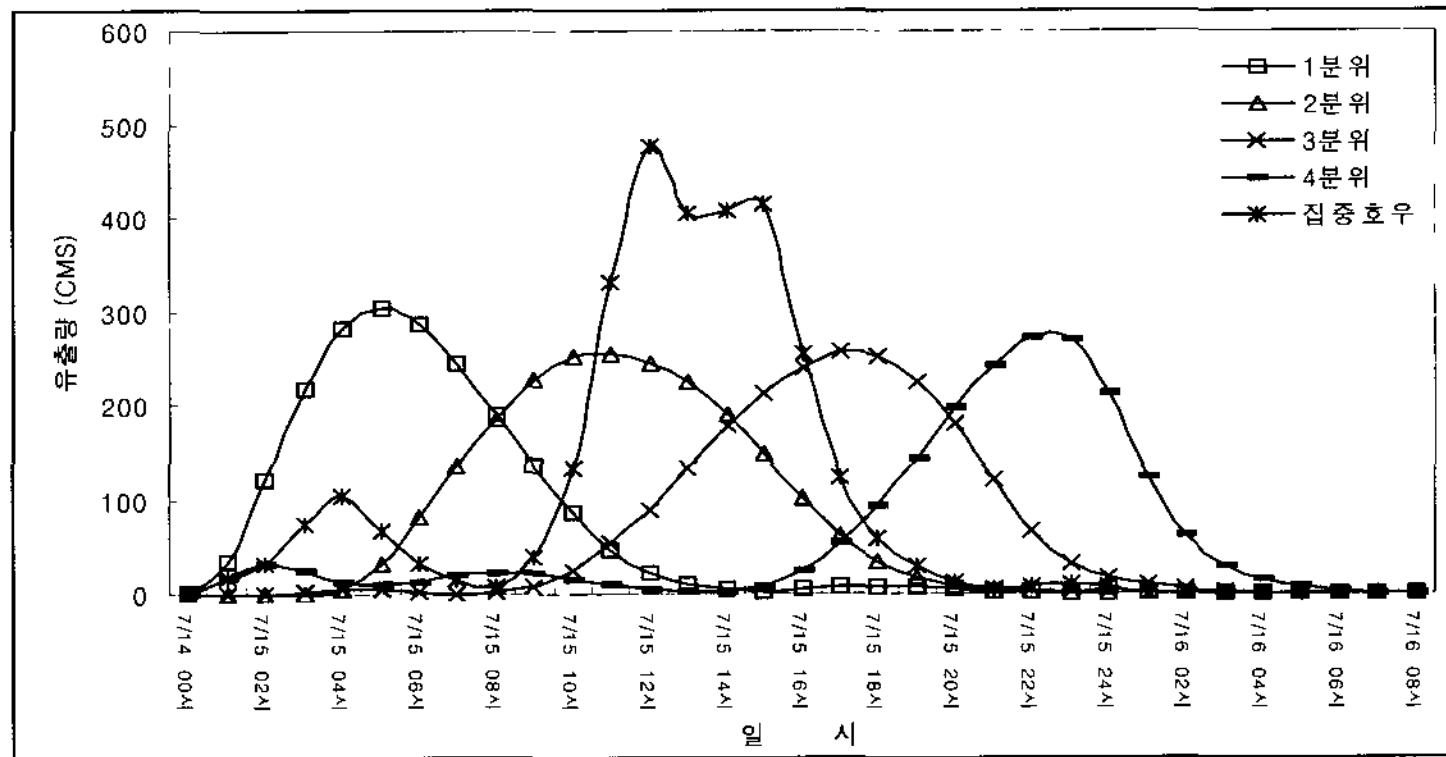
$$T_e = (i + n - 1) \Delta t + \Delta t_e \quad (9)$$

5. 결과 및 고찰

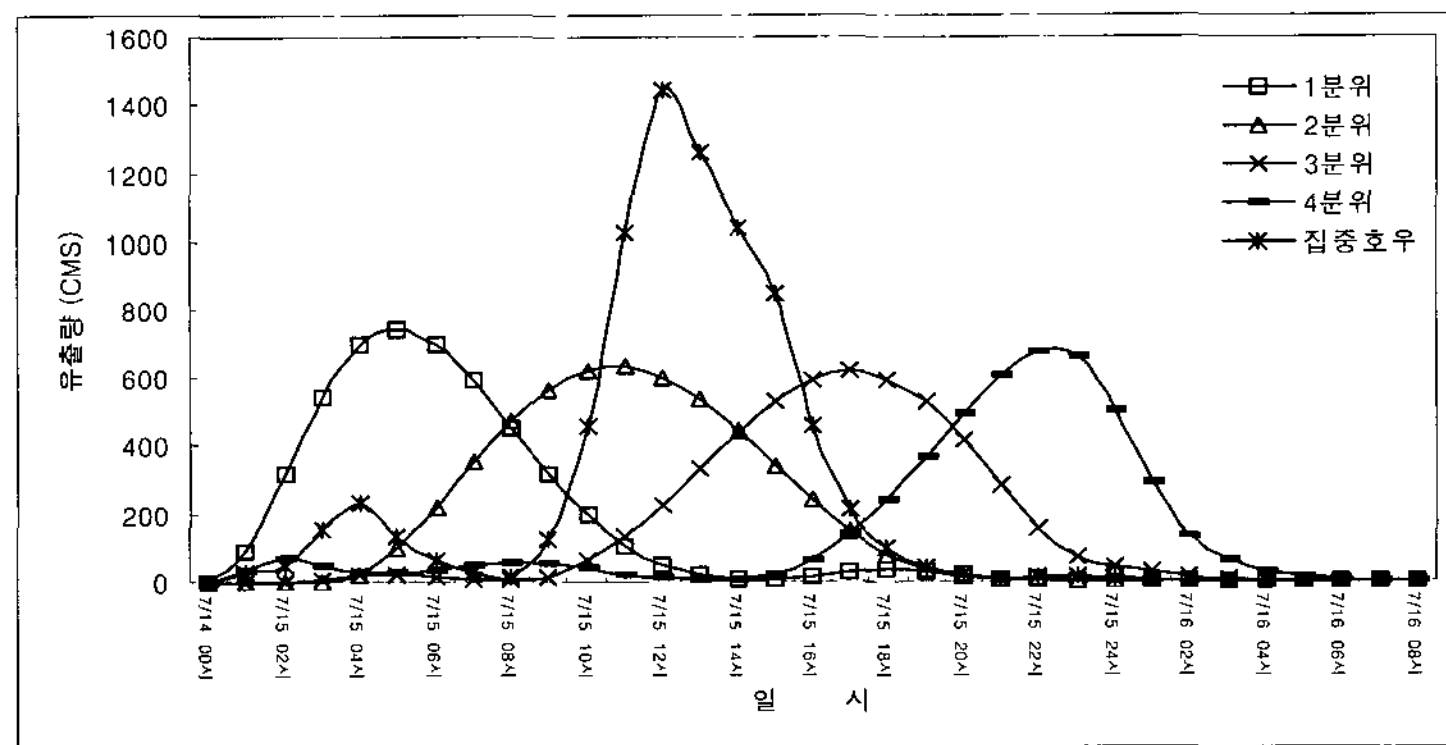
5.1 홍수유량의 계산

집중강우를 적용하였을 경우의 홍수유출량과 집중강우의 누계강우량을 Huff방

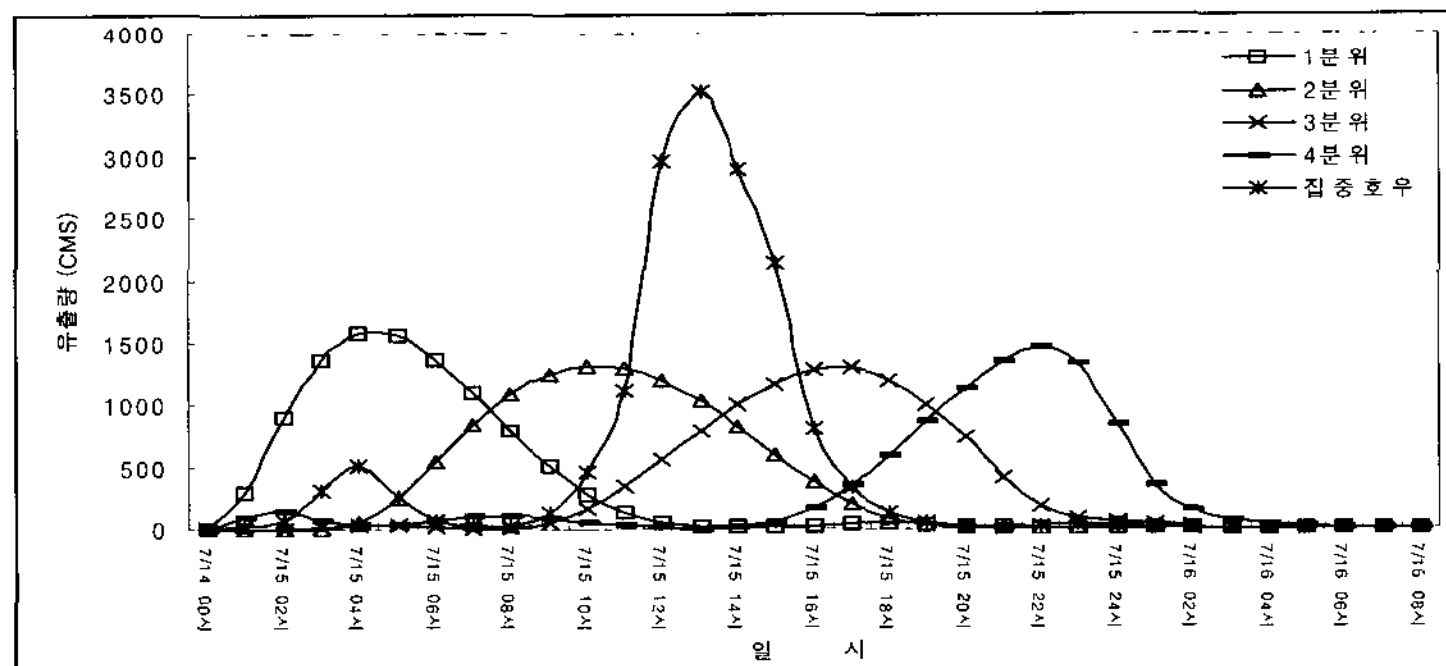
법을 적용하였을 경우의 각 분위에 대해 유역의 상류에서 하루단까지 발생한 홍수 유출량을 비교하면 [그림 4]와 같다. [그림 4]에서 나타난 바와 같이 Huff의 분위별 홍수유량은 누가 강우를 시간적으



[그림 4a] 오대천 상류 유출량 수문곡선



[그림 4b] 오대천 중류(월정천) 유출량 수문곡선



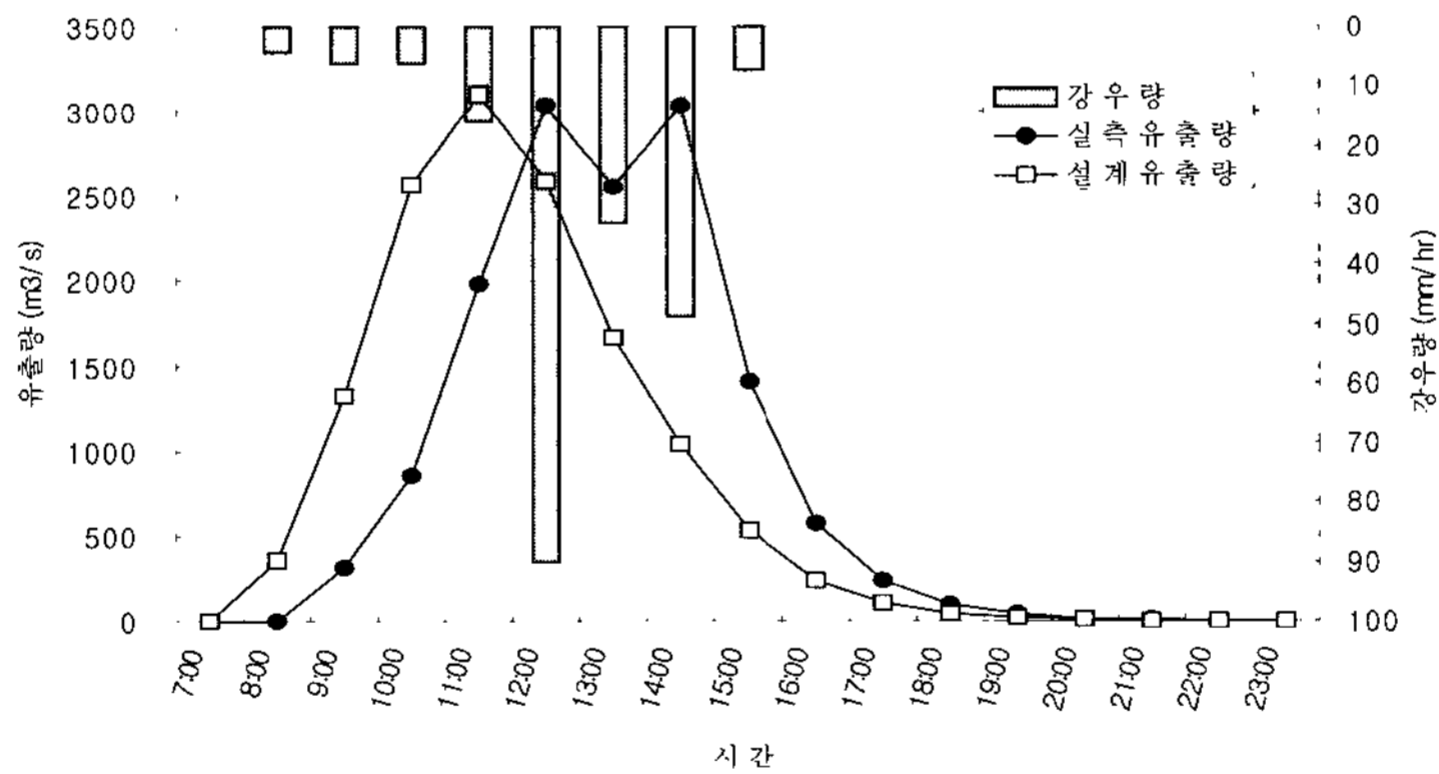
[그림 4c] 오대천 하류(수향천) 유출량 수문곡선

로 분포시킴으로 분위별 일정한 홍수 파형을 나타내는 것과 달리 집중호우는 유역의 포화상태에서 중간유출과 표면 유출이 일시에 발생하게 되므로 홍수파형은 급격한 상승곡선과 하강 수문곡선을 그리게 된다. 이와 같은 홍수파형은 침투유량에도 영향을 미치게 되는데 집중강우에 의한 침투홍수량은 3229.4m³/sec인 반면에 Huff방법의 각 분위별 설계우량을 적용하였을 경우는 1619.5m³/sec, 1348.8m³/sec, 1330.1m³/sec, 1490.3m³/sec로 집중호우와는 현저하게 차이가 나는 것으로 나타났다. 그러나 유역 하류단에서 Huff의 24시간 확률

강우량의 분포가 아닌 이 지역 강우경향인 2분위에 해당하는 강우량과 실측 강우량과의 비교에서는 [그림 5]와 같이 유사한 유출량이 산출되는 것으로 나타났다.

5.2 산정유출량과 빈도홍수량 비교

집중강우를 적용하여 산정된 지점별 산정유출량에 따른 빈도 홍수량을 비교·분석하기 위해 『평창 오대천하천정비기본계획(1996)』 및 『평창(오대천, 송천유역)수해방지 종합진단 보고서(2004)』를 이용하였다. 이를 토대로 비교 결과는 <표 2>과 같다.



[그림 5] Huff의 2분위 설계강우량과 실측강우에 따른 유출량

<표 2> 산정유출량과 빈도홍수량 비교

단위: m³/sec

산정지점	빈도별재현기간(년)						실적홍수 집중강우
	30	50	80	100	150	200	
오대천상류	640.0	710.0	780.0	810.0	868.0	908.0	477.42
병내,비안	1020.0	1140.0	1250.0	1300.0	1395.5	1461.7	1031.3
월정천	1290.0	1440.0	1580.0	1650.0	1769.1	1854.1	1533.8
척천	1670.9	1850.0	2024.8	2104.6	2250.7	2353.8	2133.4
면외동천	1756.9	1941.2	2127.4	2209.7	2362.6	2470.5	2256.8
한산동천	1800.1	1986.9	2177.7	2261.1	2432.3	2544.1	2259.2
거문천	2036.9	2254.6	2460.0	2569.7	2757.9	2885.7	2654.8
수향천	2186.9	2422.2	2636.4	2750.1	2949.8	3084.8	3120.2
장전천	2496.9	2751.4	3007.8	3135.1	3359.3	3513.0	3229.4

산정유출량과 빈도홍수량을 비교·분석한 결과 상류는 <표 2>과 같이 급한 하상경사로 인해 유출이 빠르게 진행되어 30~80년 빈도의 홍수유출량을 나타낸 반면, 유출이 유역하류로 진행됨에 따라 완만한 하상경사로 인해 유출속도의 저하, 유출량의 급격한 증가로 인하여 100~150년 빈도에 가까운 홍수량을 나타냈다. 이는 단시간에 발생한 강우사상임에도 불구하고 유출이 유역하류로 진행됨에 따라 도달시간이 짧아지고, 지체시간이 길어짐으로써 빈도홍수량이 크게 나타나는 것으로 보여진다.

6. 결 론

본 연구에서 집중호우가 발생했던 오대천 유역을 중심으로 설계강우와 집중강우에 의해 산정된 홍수량을 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 유역에 실제 발생한 집중강우를 적용하였을 경우 유역하류(큰하오개천 합류지점)의 첨두홍수량은 3229.4m³/sec로 나타났고, Huff방법을 적용했을 때 각 분위에 따른 첨두홍수량은 집중강우를 적용하였을 경우의 첨두홍수량보다 최소 2배의 차이를 보였다. 이와 같은 차이를 보이는 가장 큰 이유는 집중 강우는 선행강우로 인하여 유역이 포화상태에 이르러 집중강우가 발생함으로써 일시에 대규모 유량이 발생하는데 비해 Huff방법은 일정한 시간 간격동안 강우량을

분산시킴으로 집중강우의 크기가 작아짐에 기인하는 것으로 보인다.

2. 산정유출량과 빈도홍수량을 비교·분석한 결과 상류보다 하류의 빈도 홍수유출량이 큰 것으로 나타났는데 이는 유출이 유역하류로 진행됨에 따라 도달시간이 짧아지고, 지체시간이 길어짐으로써 빈도홍수량이 크게 나타나는 것으로 볼 수 있다.

이상의 결과로부터 현재 실무에서 널리 사용하고 있는 다양한 설계강우 적용방법은 집중호우에 의해 발생하는 홍수유출특성을 제대로 반영하지 못하고 있음을 확인 할 수 있었다. 따라서 향후 집중호우가 빈번하게 발생하는 산지 유역의 수공구조물 설계에 있어서는 현재 확률강우에 의한 설계보다는 기왕실적을 기준으로 목표치를 설정하여 보완하여 각종 정보에 따른 대응책을 모색하는 것도 급격한 수위상승으로부터 인명피해를 줄이는 유효한 방법이 될 수 있다.

참고문헌

- 강상혁, 2001, “GIS를 활용한 도시화의 평가 및 수해피해 경감을 위한 정보제공의 필요성에 관한 연구”, 한국GIS학회, 제9권(3), 413-423.
- 박종영, 2007, “집중강우와 설계강우의 유출특성에 관한 비교연구”, 강원대학교 산업대학원, 석사학위 논문.
- 평창군, 1996, 『평창 오대천하천정비기본계획(1996)』
- 평창군, 2004, 『평창(오대천, 송천유역)수해방

- 지 종합진단 보고서(2004)』
- 野口正人, 姜相赫, 川正司郎, 2001, “洪水危機管理에 있어서 住民에의 情報傳達의 役割-2000년의 東海豪雨災害에 대한 事例의 檢證”, 京都大學 防災研究所 研究發表會 (종합II)
- 淺田純作, 片田敏孝, 岡島大介, 小葉竹重機 외, 2001, “홍수피해에 관한 정보제공과 그의 주민이해에 관한 연구”, 일본토목학회 수공학논문집, 제45권, 37-48.
- 田村隆雄, 端野道夫·橋 大樹, 2006, “일반 중
소하천에도 적용가능한 우량, 수위 데이터
를 이용한 유출해석 모형 인자의 동정
수법”, 일본토목학회 수공학논문집, 제50
권, 355-360.
- 高崎忠勝, 土屋十圀, 2006, “도시중소하천에 있
어서 집중호우시의 홍수 유출특성”, 일본
토목학회 수공학논문집, 제50권, 343-348.
- 川池健司, 井上和也, 戶田圭一, 中井勉, 2001,
“토사유출이 급경사 도시범람 해석에 미
치는 영향”, 일본토목학회 수공학논문집,
제45권, 883-888.