

지형기후학적순간단위유량도를 이용한 미계측 소유역의 유출특성 분석 Runoff Characteristics Analysis using GCUH on Ungauged Small Basin

이상진* · 최 현** · 이배성*** · 정동국****

Lee, Sang Jin · Choi, Hyun · Lee, Bae Sung · Jeong, Dong Kug

要 旨

지형학적순간단위유량도 및 지형기후학적순간단위유량도를 이용하여 미계측 소유역의 특성을 분석하였다. 경북 감포지역 5km² 미만의 소유역을 중심으로 GIS 기법으로 수문특성인자를 도출하고, 지형학적순간단위유량도의 동역학적 매개 변수인 특성속도를 호우사상별로 추정하여 지형기후학적 순간단위유량도 및 기타 집중시간 경험식과 비교한 결과 Kerby 및 Brasby-Williams 공식이 소유역의 특성속도 산정공식으로 제시될 수 있는 것으로 분석되었다. 또한 확률 강우량으로부터 지형기후학적순간단위유량도의 첨두유량과 확률홍수량을 비교하는 방법과 여러 단위유량도 및 지형기후학적순간단위유량도에서 산정된 첨두유량을 실측자료와 비교한 결과 미계측 소유역의 적용 타당성이 확인되어 향후 돌발홍수 등 방재계획 수립 시 기준우량을 산정하는데 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 지형학적순간단위유량도, 지형기후학적 단위유량도, GIS, 돌발홍수, 방재

Abstract

Runoff Characteristics has been Analysis Using geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph(GIUH) and geomorphoclimatic unit hydrograph(GCUH) on an ungauged vary small basin about 5km² scale in Kyungbuk gampo area. First, we estimated hydrology Factor using Geographic Information System(GIS) tool and then, calculated the characteristic velocity using the real rainfall-runoff data. It is compared with several velocities derived from GCUH theory and several other concentration time formulae. Kerby and Braby-Williams seems to be more applicable as characteristic velocity formula. Second, We compared the GCUH peak discharge with the probable flood, also compared the unit hydrograph as like the Clark, the Nakayasu and the S.C.S and GCUH with the observed discharge using the real rainfall events. The comparison results showed that GCUH could be applicable on an ungauged vary small basin. We expected that the result can be used as for estimation of a flash flood standard rainfall as well as emergency management plan.

Keywords : GIUH, GCUH, GIS, flash flood, Emergency Management

1. 서 론

유역에 내리는 강우-유출 관계는 수자원의 이수 및 치수 측면에서 가장 중요한 사안 중의 하나지만 자연현상인 유역의 유출특성에 대하여 정확히 분석하는 일은 매우 어렵다. 또한 소하천 유역은 국가 또는 지방의 계획 관리하에 유지되고 있는 중·소·대규모 유역과는 달리 수위나 유량자료가 없는 미계측유역은 정확한 유출량 추정이나 홍수피해 경감을 위한 적절한 대책수립이 어렵다.

그러나 최근 GIS(Geographic Information System)의 발달은 정확한 지형정보를 이용한 각종 수리 해석을 가능케 하였다. 수문지형학(Hydrogeomorphology)은 Rodriguez-Iturbe(1971)가 유역의 지형학적 인자를 기초로 하여 순간단위유량도를 유도하는 방법을 제시하는 것을 시작으로 Rodriguez-Iturbe와 Gonzalez-Sanabria(1982)는 지형학적순간단위유량도(GIUH; Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph) 매개변수와 유효우량만으로 함수를 표시하는 지형기후학적순간단위유량도(GCUH; Geomor-

2006년 2월 20일 접수, 2006년 4월 6일 채택

* 정희원·한국수자원공사 수자원환경연구소 선임연구원 (sjlee@kowaco.or.kr)

** 연결저자·정희원·경남대학교 토목공학과 전임강사 (hehoi@kyungnam.ac.kr)

*** 한국수자원공사 수자원환경연구소 위촉연구원 (beasung@hannam.ac.kr)

**** 한남대학교 토목환경공학과 교수 (dkjeong@hannam.ac.kr)

phoclimatic Instantaneous Unit Hydrograph)를 유도하여 오늘날까지 발전해 오고 있다. 미계측 소유역의 유출분 석은 Sherman의 단위유량도법이 간략한 지형 및 수문과 정의 묘사를 통해 널리 사용되었으며 이후 GIS기법이 발전하면서 이와 연계한 연구가 다수 수행되었다(강인준(1998), 정인균(2003), 안상진(2003), 최현(2004, 2005)). 돌발홍수능(flash flood guidance)은 미국의 국립기상청(National Weather Service)이 70년대 중반에 처음 도입하였으며, 토양이 완전 포화상태에서 소하천의 범람을 야기하는데 요구되는 유효유량인 한계유출량(threshold runoff)과 토양습윤을 모의할 수 있는 연속유출모형을 이용하여 소유역에 홍수가 발생하는데 요구되는 강우량을 산정하였다.

본 연구에서는 5km²미만의 소유역을 중심으로 GIS 기법으로 활용하여 수문특성인자를 도출하고, 지형학적순간단위유량도의 동역학적 매개변수인 특성속도를 호우 사상별로 추정하였다. 또한 확률 강우량으로부터 지형기후학적순간단위유량도의 첨두유량과 확률홍수량을 비교하는 방법과 단위유량도(Clark, SCS, Nakayasu) 및 지형기후학적순간단위유량도에서 산정된 첨두유량을 실측자료와 비교·분석하여 미계측 소유역의 지형기후학적순간 단위유량도의 적용 타당성을 검토하고자 한다.

2. 기본이론

2.1 지형학적 순간단위유량도

Rodriguez-Iturbe등이 제안한 하천망의 무작위성 확률론적 이론에 따라 지형학적순간단위유량도(GIUH ; Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph)의 첨두유량 q_p 와 첨두도달 시간 t_p 를 산정하는 식은 식 (1)과 식 (2)와 같다.

$$q_p = \frac{1.31}{L_\Omega} R_L^{0.43} V \tag{1}$$

$$t_p = \left(\frac{0.44L_\Omega}{V}\right) \left(\frac{R_B}{R_A}\right)^{0.55} R_L^{-0.38} \tag{2}$$

여기서 V는 예상 첨두속도로 유속과 관련된 동역학적 매개변수(m/s)이며, L_Ω 는 최고차수의 하도연장(km)이며, 첨두유량 q_p 과 첨두도달시간 t_p 의 단위는 각각 hr^{-1} 과 hr 이다.

2.2 지형기후학적 순간단위유량도

Rodriguez-Iturbe(1982)등은 지형학적순간단위유량도의 유속산정의 개선을 위해 유속은 평균 유효 강우강도 i_r 과 지속시간 t_r 에 종속된다는 원리 아래 지형기후학적순간

단위유량도(GclUH; Geomorphoclimatic Instantaneous Unit Hydrograph)는 식 (3), 식 (4), 식 (5), 식 (6)과 같다.

$$q_p = \frac{0.871}{I_i^{0.4}} \tag{3}$$

$$t_p = 0.585 I_i^{0.4} \tag{4}$$

$$I_i = \frac{L_\Omega^{2.5}}{(i_r A_\Omega R_L a_\Omega^{1.5})} \tag{5}$$

$$a_\Omega = \frac{S_\Omega^{0.5}}{(n b_\Omega^{2/3})} \tag{6}$$

여기서 S_Ω 는 5차 하천의 주하도 평균경사(%), b_Ω 는 5차 하천의 평균폭(m), n 은 최고차 하천의 조도계수이다. 강우강도 i_r 이고 지속시간 t_r 인 지형기후학적순간단위유량도의 첨두유량 Q_p (m³/s)와 첨두도달시간 T_p (hr)는 식 (5)와 식 (6)을 이용하여 식 (7)과 식 (8)과 같은 지형기후학적순간단위유량도식으로 나타낼 수 있다.

$$Q_p = 2.42 \frac{i_r A_\Omega t_r}{I_i^{0.4}} \left(1 - \frac{0.218 t_r}{I_i^{0.4}}\right) \tag{7}$$

$$T_p = 0.585 I_i^{0.4} + 0.75 t_r \tag{8}$$

3. 대상유역 적용

3.1 유역특성

경북 갑포지역에 위치하고 있는 무명천유역의 면적은 3.674km², 유로연장 4.64km의 미계측 소유역으로 유역의 평균 폭은 0.75km이며, 하천경사는 1/35에서 1/55이다.

지형정보구축 및 연산은 Arcview 등 GIS Tool과 30m 격자를 가지는 수치표고모형(Digital Elevation Model, DEM)을 이용하여 유역특성인자를 산정하였다. 그림 1은 DEM에 의하여 형성된 소유역의에 대한 수치표고모형과 3차원 지형을 나타내며, 소유역의 유역면적 및 유로연장 등 지상학적 인자는 표 1과 같다. CN 산정을 위하여 구분한 토양형을 분석하면 대부분 A형으로서 95%를 차지하며 나머지는 C형이었으며, B형 및 D형 토양형은 나타나지 않았다. 토지이용상태는 대부분 산림지로서 92%를 차지하고 나머지는 논과 밭으로 구성되어 있다. 그림 2는 유역의 토양 및 토지이용 현황도이다.

토양종류 및 토지이용상태를 기초로 산정한 CN(Curve Number)값은 표 2와 같이 AMC-II의 조건에서 58.0이며 AMC-III 조건에서는 76.0였는데 안전적인 측면을 고려하여 홍수시에는 선행강우로 인하여 유역이 충분히 포화되어 있다고 가정하여 AMC-III 조건의 CN값 76.0으로 결정하였다.

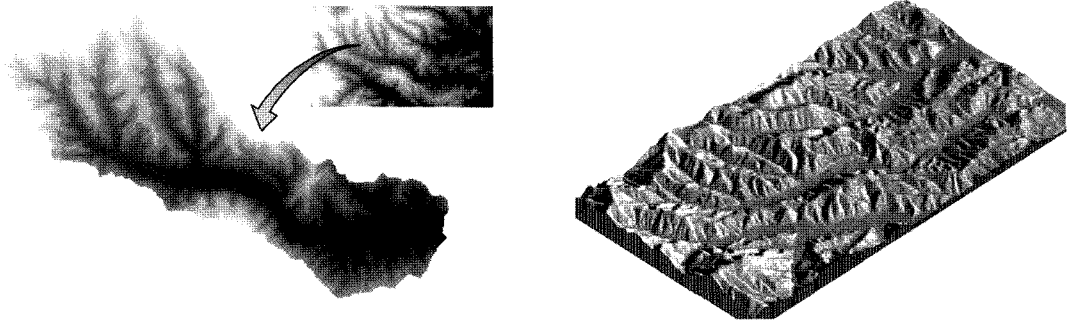


그림 1. DEM 도와 3차원 지형도

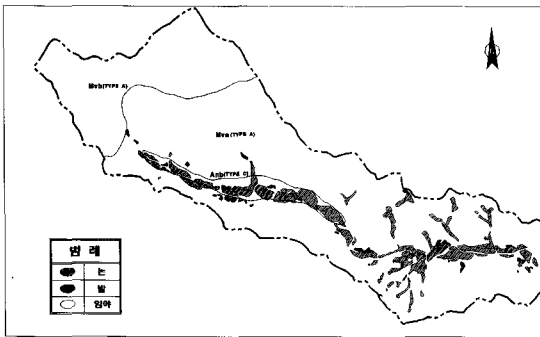


그림 2. 토지이용 현황도

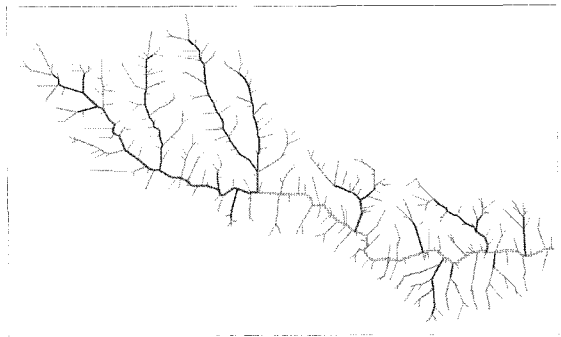


그림 3. 하천망 추출

표 1. 소유역의 지상학적 인자

유역면적(km ²)	유로연장(km)	유역 평균폭(km)	유역 형상계수	평균유로경사
3.67	4.64	0.79	0.17	0.02

표 2. 연구대상 유역의 CN

토양군 토지이용	Type A		Type C		이용별 총면적 (천m ²)	AMC-II 조건 평균 CN값
	면적(천m ²)	CN값	면적(천m ²)	CN값		
논	180.6	67.0	88.7	85.0	269.3	72.9
밭	19.5	63.0	3.2	83.0	22.7	65.8
산림지	3,291.6	56.0	86.4	86.0	3,378.0	56.8
계	3,491.7	56.6	178.3	85.4	3,670.0	58.0

3.2 지형학적 순간단위유량도 매개변수 산정

대상유역은 유역면적 5km²이하의 소유역으로 그림 3과 같이 Horton 치수에 의한 하천망을 추출하여 지형학적순간단위유량도의 매개변수를 산정하였다. 유역의 특성치를 지리정보시스템으로 각각 산정하여 정리하면 표 3과 같으며, 해당유역의 지형형태학적 특성을 그래프로

나타내면 그림 4와 같다. 한편 유출수문곡선의 첨두치와 그 모양을 결정하는 유역의 특성인자는 폭 함수(width function)로 가능한데 그림 5와 같이 유역의 폭함수(N(x))는 출구로부터 거리 x만큼 떨어진 지점에서의 하천 연결수로써 유역 고유의 지형형태학적인 유역의 특성을 반영한다.

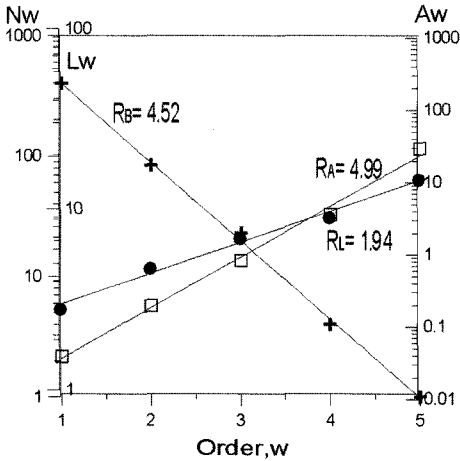


그림 4. 유역의 지형형태학적 특성

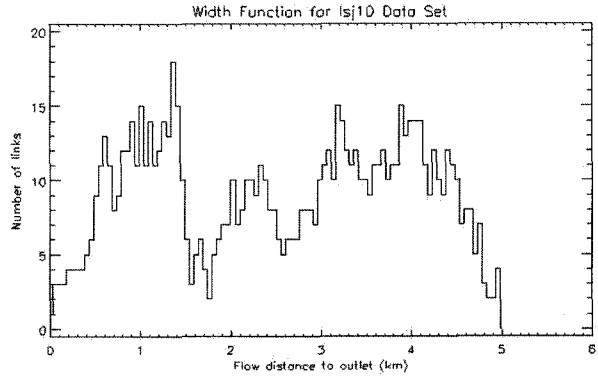


그림 5. 유역의 폭함수

표 3. 지형기후학적단위유량도 매개변수

유역면적 A_{Ω}	최고차하천 평균경사 S_{Ω}	최고차하천 평균연장 L_{Ω}	분기율 R_B	연장비 R_L	면적비 R_A	조도계수 n
3.67km ²	0.03	4.76km	4.52	1.94	4.99	0.033

표 4. 강우사상별 지형학적순간단위유량도 및 지형기후학적순간단위유량도의 특성속도

사상 No.	첨두유량 (m ³ /s)	첨두시간 (Hr)	특성속도 (m/s)		
			첨두유량	첨두시간	GCUH
1	20.2	14	0.215	0.116	0.184
2	7.2	6	0.096	0.271	0.089
3	8.1	5	0.072	0.325	0.081
4	18.4	10	0.162	0.162	0.140

4. GIUH & GCUH 특성속도 분석

4.1 특성속도 비교

2004년 하반기에 발생한 4개의 강우사상을 대상으로 식 (1), 식 (2)를 이용하여 지형학적순간단위유량도의 특성속도를 계산하고 지형기후학적순간단위유량도의 특성속도와 비교하였다. 지형기후학적순간단위유량도의 특성속도를 산정하는데 필요한 변수인 하폭의 결정은 결과에 상당한 영향을 줄 수 있는데 수문학적 안정성 확보 및 치수능력 증대방안 수립보고서(한국수자원공사, 2003)에 수록된 유역 하류부 하천 중·형단측량 이외의 본류구간 하천단면자료가 없다. 따라서 위의 보고서와 현장조사를 통하여 평균하폭을 결정하였다. 표 4에 나타난 각 강우사상에 대한 두 개의 특성속도값은 산술평균하여 대표 값으로 산정하고 이를 지형기후학적순간단위유량도의 특성속도

와 비교하였다. 전반적으로 지형학적순간단위유량도의 특성속도가 지형기후학적순간단위유량도 보다 약간 큰 경향을 나타내고 있는 것으로 분석되었으나 정확한 특성속도 도출을 위해서는 더 많은 강우사상이 필요할 것으로 판단된다.

4.2 경험공식과 지형학적순간단위유량도의 특성속도 비교

집중시간의 산정식으로 많이 사용되고 있는 기존의 경험식을 적용하여 지형기후학적순간단위유량도의 특성속도를 산정하고 비교함으로써 지형학적순간단위유량도에 의한 특성속도의 객관성 여부를 판별하고자 하였다. 그런데 기존의 집중시간 경험식은 최대 홍수파의 평균유속으로 이것은 운동파 이론에 따른 파속이므로 유역 평균 유속을 구하기 위하여 수로의 단면을 구형으로 가정할

표 5. 경험공식별 지형학적순간단위유량도의 특성속도

경험식	공식	특성속도	경험식	공식	특성속도
Kerby	$t_c = 0.6044(\text{Ln})^{0.467}/S^{0.2533}$	0.589	Carter	$t_c = 0.0978L^{0.6}S^{-0.3}$	2.262
김남원	$t_c = 0.76A^{0.38}$	1.304	Brasby-Williams	$t_c = 0.24L/(A^{0.1}S^{0.2})$	0.812
Kirpich	$t_c = 0.0663L^{0.77}/S^{0.385}$	1.897	Johnstone-Corss	$t_c = 0.0542(L/S)^{0.5}$	1.330
Riziha	$t_c = 0.0139L/S^{0.6}$	2.947	-	-	-

표 6. 일 최대 확률강우량

(단위 : mm)

빈도	2년	5년	25년	50년	100년	200년	χ^2 한계치	χ^2
산정방법								
정규분포	108.5	151.6	198.1	213.6	227.6	240.3	12.59	21.43
Log-Normal(2변수)	98.2	143.1	215.1	246.4	278.4	311.3	12.59	41.71
Log-Normal(3변수)	100.1	145.7	212.9	240.5	267.9	295.4	11.07	12.57
Pearson Type-III	97.8	144.9	216.2	245.3	274.0	302.3	11.07	9.71
Log-Pearson Type-III	96.2	142.0	223.5	262.0	303.4	348.0	11.07	4.29
Gumbel	100.4	149.7	223.4	254.0	284.3	314.5	12.59	10.57

경우 표 4의 집중시간 경험식과 유로연장으로 산정된 파속의 3/5를 적용하여 평균유속을 결정하였다. 표 5는 경험공식별 지형학적순간단위유량도 특성속도를 나타낸 것으로 t_c , L , I , t_g 는 각각 집중시간(hr), 유로연장(km), 강우강도(mm/hr), 첨두유량의 지체시간(hr)이다. 지형학적순간단위유량도 및 지형기후학적순간단위유량도, 기타 집중시간 산정공식에서 구한 유역특성속도를 비교한 결과 각 공식별로 차이가 다소 큰 것으로 나타나고 있으나 Kerby 및 Brasby-Williams 공식 등이 비교적 실측치와 근사하였다.

5. 확률홍수량 비교

5.1 확률강우량

확률강우량의 산정은 실측 연최대 유량계열의 통계치리에 의한 직접적인 방법과 강우로부터 산정하는 간접적인 방법이 있으며 대상유역은 미세측 유역이므로 간접방법으로 확률강우량을 산정하기 위하여 강우 빈도분석을 실시하였다. 유역 인근에 위치한 경주 우량관측소의 63개년(1914~1941년, 1963~1997년)에 걸친 일최대 강우자료를 이용하여 정규분포, Log-Normal(2변수), Log-Normal(3변수), Iwai, Pearson Type-III, Log-Pearson Type-III, Gumbel 분포 등 7가지 수문통계학적 방법으로 비교 검토하고, 산정된 값의 적정성을 판단하기 위하여 Chi-Square(χ^2) 검정 방법을 이용하여 각 분포형의 적합도를 분석하였다. 그 결과 정규분포법과 Log-Normal(2변수, 3

변수)법은 부적합한 분포형으로 분석되었으며, 그 외 분포형은 모두 χ^2 의 값이 95% 신뢰도 기준의 한계치내로 분석되었다. 산정방법별 일최대 확률강우량 산정결과는 표 6과 같다.

5.2 단위유량도

홍수 도달시간이 짧은 유역을 감안하여 단위유량도의 단위시간을 0.25시간으로 하여 1mm의 유효우량에 대한 단위유량도를 구하였다. 그림 6과 같이 Nakayasu의 종합 단위유량도법, SCS의 무차원 단위유량도법 및 Clark의 유역 추적법으로 구한 단위유량도를 비교한 결과 단위유량도의 첨두유량은 SCS 방법이 가장 크고 Nakayasu 방법이 가장 작으며 Clark 방법은 앞의 두 방법의 중위의 값에 해당하는 크기로 나타났다. Clark의 방법으로 단위유량도를 유도함에 있어서 필요한 매개변수인 도달시간(Tc)과 저류상수(K)는 각각 Rziha공식과 Clark공식을 이용하였다.

5.3 강우의 시간별 분포

강우의 시간적 분포를 분석하기 위하여 지역별 양상 및 실제 시간별 강우분포를 잘 반영하여 최근 국내에서 많이 사용하고 있는 Huff 방법을 적용하였으며, 누가분포 자료는 인근지역인 포항관측소의 50% 누가계열치를 사용하였다. 그림 7은 HUFF의 4분위 무차원 누가우량곡선을 나타내고 있다.

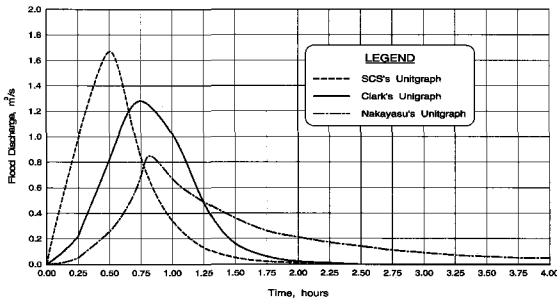


그림 6. 단위유량도(Clark, Nakayasu, SCS)

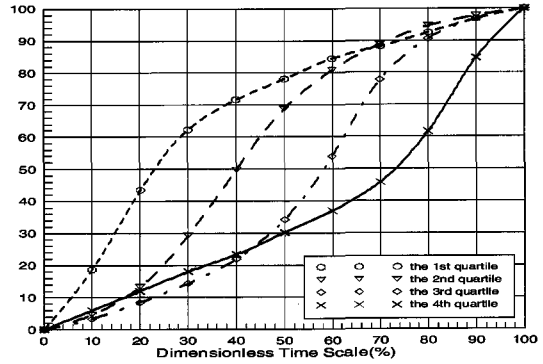


그림 7. HUFF의 4분위 무차원 누가우량곡선

표 7. 빈도별 확률홍수량 및 지형기후학적순간단위유량도 침두유량 비교

빈 도	확률홍수량 (m ³ /s)	지형기후학적순간단위유량도		비 율
		침두유량(m ³ /s)	침두시간(hr)	
25년	43.2	47.47	11.2	0.91
50년	52.6	57.17	11.2	0.92
100년	62.5	66.49	10.8	0.94
200년	73.1	77.76	10.8	0.94

표 8. 빈도별 확률홍수량 및 단위유량도 별 침두유량 비교

빈 도 (년)	확률홍수량 (m ³ /s)	침두유량(m ³ /s) 및 비율			
		S.C.S		Nakayasu	
25년	43.2	48.4	1.12	28.9	0.67
50년	52.6	59.5	1.13	35.6	0.68
100년	62.5	71.4	1.14	42.9	0.69
200년	73.1	84.3	1.15	50.8	0.69

5.4 확률홍수량 산정 및 지형기후학적순간단위유량도의 침두유량 비교

확률홍수량은 단위도에 빈도별 유효우량을 적용하여 직접 유출량을 산정하고 여기에 기저유량을 가산하여 구하게 된다. 그러나, 대상 유역은 5km²이하의 소규모 유역으로 연평균 유출량이 0.065m³/s이며 월 최대 유출량이 0.820m³/s에 불과하므로 기저유량을 고려하지 않고 직접 유출량을 그대로 홍수량으로 보았으며 Clark 방법으로 구한 단위유량도에 빈도별 유효우량을 곱하여 확률홍수량을 산정하였다.

표 7은 지형기후학적순간단위유량도를 적용하여 산정한 침두유량과 확률홍수량과 비교한 것이다. 확률홍수량은 지형기후학적순간단위유량도의 침두유량에 비해 0.91~0.94의 비율로 백분율로 표시하면 -9.0~-6.0% 범위내에

그 유사성을 확인 할 수 있었다. 표 8은 확률홍수량과 단위유량도별 침두유량과의 관계를 나타낸 것이다. S.C.S, Nakayasu 단위유량도에 의한 침두유량은 확률홍수량과의 비율이 각각 1.12~1.15, 0.67~0.69의 범위로 지형기후학적순간단위유량도에 의한 침두유량 비(0.91~0.94)보다 다소 과대 또는 과소 산정되어 미계측 소유역에도 지형기후학적순간단위유량도 적용 타당성이 있는 것으로 분석되었다.

5.5 실측 강우사상 분석

2004년 9월에 발생한 2개의 강우사상을 이용하여 지형기후학적순간단위유량도와 Nakayasu의 종합 단위유량도법, SCS의 무차원 단위유량도법 및 Clark의 유역 추적에 의한 순간단위유량도에 의한 홍수수문곡선과 실측자

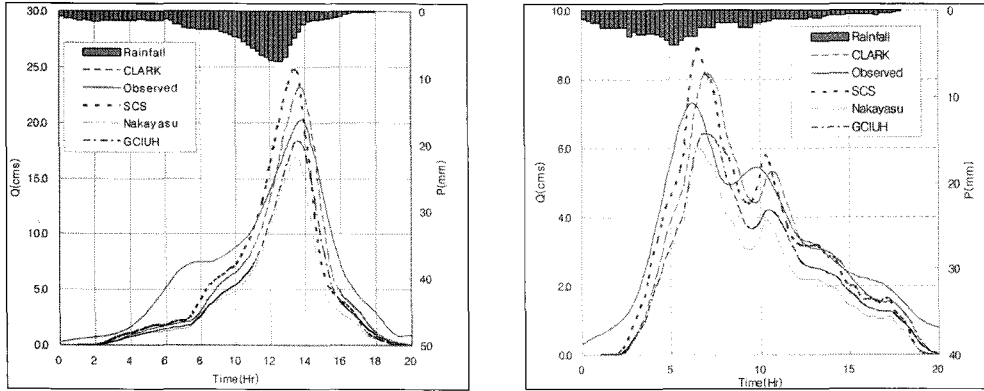


그림 8. 단위유량도별 홍수수문곡선

료와 비교하였다. 유량관측은 대상유역 출구지점에 설치되어있는 10×5m 크기의 구형콘크리트 암거에서 프로펠러식 하천유속계인 BMF-002(영국 Velpert)를 사용하여 시간별 유량을 산정하였다.

그림 8과 같이 2004년 9월의 결과는 SCS방법, Clark방법, 실측값, 지형기후학적순간단위유량도, Nakayasu방법 크기의 순으로 나타났으며, 지형기후학적순간단위유량도를 적용하여 산정한 강우량과 Clark단위유량도를 이용한 방법이 관측치와 가장 근사하였고 상대적으로 SCS단위유량도와 Nakayasu단위유량도는 다소 또는 과대평가된 것으로 분석되었다. 단위유량도법(Clark방법, Nakayasu방법, SCS방법)을 이용하여 산정된 첨두유량 변화율은 관측치를 기준으로 0.01~0.65로 지형기후학적순간단위유량도로 산정된 결과(0.07~0.67)와 근사함을 확인할 수 있으며, 첨두시간에 대한 편차(0.41~0.71)는 거의 없는 것으로 나타나 지형기후학적순간단위유량도에 의한 분석이 미계측 소유역의 유출특성을 비교적 잘 반영하는 것으로 판단된다.

6. 결 론

지형(기후)학적 순간단위유량도를 활용하여 미계측 미소유역의 특성을 분석한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

1. GIS Tool을 활용하여 수문특성인자를 도출하고, 지형학적순간단위유량도의 동역학적 매개변수인 특성속도를 강우사상별로 추정하였다. 2004년 하반기에 발생한 4개의 강우사상을 대상으로 얻어진 두 개의 특성속도는 산술평균하여 대표값을 산정한 후 지형기후학적순간단위유량도의 특성속도와 비교한 결과 전반적으로 지형학적순간단위유량도의 특성속도는 지형기후학적순간단위유량도보다 다소 크게 나타나는 것으로 분석되었다.

2. GIS 기법으로 산정되는 지형기후학적순간단위유량도의 첨두유량과 확률홍수량을 비교하는 방법과 단위유량도(Clark, SCS, Nakayasu) 및 지형기후학적순간단위유량도에서 산정된 첨두유량을 실측자료와 비교·분석하여 미계측 소유역의 지형기후학적순간단위유량도 적용 타당성을 검토하여 돌발홍수 기준선정이 가능함을 알 수 있었다.

3. 집중시간 산정식으로 많이 사용되고 있는 기존의 경험식을 적용하여 지형기후학적순간단위유량도의 특성속도를 산정하고 비교함으로써 지형학적순간단위유량도에 의한 특성속도의 객관성 여부를 판별하였다. 지형학적순간단위유량도, 지형기후학적순간단위유량도 및 Kerby, 김남원, Kirpich, Rizih, Carter, Brasby-Williams, Brasby-Williams 등 기타 집중시간 산정공식에서 구한 유역특성속도를 비교한 결과 각 공식별로 차이가 다소 큰 것으로 나타나고 있으나 Kerby 및 Brasby-Williams 공식 등이 비교적 실측치와 근사함을 알 수 있었으며 GIS기법으로 유출산정에 효율적임을 알 수 있었다.

참고문헌

- 강인준, 최 현, 이병걸, 김홍태, 1998, "합천댐 유역의 Horton 수계망 형성과 지형지 특성에 관한 연구", *대한토목학회 학술발표회 논문집(IV)*, 대한토목학회, pp. 505-508.
- 정인균, 김성준, 2003, "효과적인 하도망 추출을 위한 DEM전처리 방법 비교", *대한토목학회논문집*, 대한토목학회, 제 23권, 3-D호, pp. 393-400.
- 안상진, 김영호, 2003, "WMS를 이용한 강우-유출해석", *대한토목학회논문집*, 대한토목학회, 제23권, 4-B호, pp. 261-270.
- 최현, 강인준, 홍순현, 2004, "지형학적순간단위유량도 분석을 위한 EOC 스테레오 영상 활용", *대한원격탐사학회지*, 대한원격탐사학회, 제 20권, 2호, pp. 91-102.

5. 최현, 남광우, 2005, "산악에서 돌발홍수예측을 위한 지리정보 시스템의 적용", *대한원격탐사학회지*, 대한원격탐사학회, 제 21권 제 4호, pp. 317-327.
6. Huff, F.A., 1967, "Time distribution of rainfall in heavy storms", *Water Resources Research*, Vol. 3, No. 4, pp. 1007-1019.
7. Valdes J.B., Y Fiallo and I. Rodriguez-Iturbe, 1979, "A Rainfall-runoff analysis of the geomorphologic IUH", *Water Resour. Res.*, No. 15, pp. 1412-1434.
8. Rodriguez-Iturbe, I.M.G., Sanabria G., Camaano, 1982 "A Geomorphoclimatic theory of the instantaneous unit hydrograph", *Water Resources Research*, Vol. 18 No. 4, pp. 886-887.
9. Strahler, A. N., 1950, "Davis's concept of slope development viewed in the light of recent quantitative investigations", *Annals of the Association of American Geographers* 40, pp. 209-13.
10. Tarboton D.G., B.R.Brass, I.Rodriguez-Iturbe, 1988, "The fractal nature of river networks", *Water Resources Research*, Vol. 24, No. 8 pp. 1317-1322.
11. Rodriguez-Iturbe, I., D. R. Dawdy, and L. Garcia, 1971, "Adequacy of Markovian Model with Cyclic Components for Stochastic Streamflow Simulation", *Water Resources Research*, Vol. 7, No. 5, pp. 1127-1143.