

적정 유역출구 결정을 통한 GIUH 적용성 향상 연구

Determination of Outlet Location for GIUH Application in Un-Gauged Basins

양재모¹⁾, 주진걸²⁾, 김종훈³⁾
Jae Mo Yang, Jin Gul Joo, Joong Hoon Kim

요 지

Rodriguez-Iturbe and Valdes(1979)가 제안한 지형형태학적 순간단위도(Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph, GIUH)는 미계측유역에서 지형인자만으로 단위도를 구할 수 있는 장점이 있으나 최고차 하천길이에 따라 단위도의 첨두가 민감하게 영향을 받는다. 그렇기 때문에 적절한 유역출구의 선정이 중요하다. 본 연구에서는 미계측 유역에서 GIUH를 사용하여 단위도를 산정하는 경우, 유역출구를 결정할 수 있는 기준을 제시하고자 한다. IHP 대표유역인 평창강의 상안미 유역에 대하여 유역출구에서부터 최고차 하천길이를 줄여가며 12개 지점을 선정하였으며 GIUH식과 간략식을 사용하여 각 지점에서의 단위도를 산정하였다. 그 결과 최고차 하천의 길이가 11.02km, 총 유하길이의 67%이상인 지점의 단위도는 일정한 첨두값을 주었다. 그러나 최고차 하천의 길이가 이보다 짧은 지점에서는 단위도의 첨두가 150%-3,000% 크게 산정되었다. 본 연구를 통해 미계측유역에서 GIUH를 적용할 때 적절한 유역출구를 결정할 수 있는 기준이 제시될 것이며, 이를 통해 GIUH 모형의 정확성이 향상될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : GIUH, 간략식, 단위도, 유역출구, 최고차 하천

1. 서론

유역은 지역에 따라 각기 다른 크기, 모양, 경사, 하천의 형태 등의 요소들을 가지고 있다. 이런 요소들로 구성된 복잡한 형태의 시스템을 통과하면서 유출이 발생하게 되는데 이런 유출의 해석을 위해 여러 가지 방법들이 사용된다. 그 중 하나의 시스템이라 할 수 있는 유역을 지형형태학적인 구조로 생각을 하여 이것과 수문학적인 응답을 연결시켜 유출을 해석하려는 시도인 지형형태학적 순간단위도(Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph, GIUH)가 있다. GIUH는 지형인자만을 사용하여 단위도를 결정할 수 있는 장점이 있으나 최고차 하천길이에 따라 단위도의 첨두가 민감하게 영향을 받기 때문에 적절한 유역출구의 선정이 중요하다. 본 연구에서는 평창강 상안미 유역에 대하여 유역출구지점에서부터 최고차 하천길이를 줄여가며 12개 지점을 선정하였고 GIUH 유도식과 간략식을 사용하여 각 지점에서의 단위도를 산정하였으며 이를 통해 미계측 유역에서 GIUH를 사용하여 단위도를 산정할 때, 유역출구를 결정할 수 있는 기준을 제시하고자 하였다.

2. 지형형태학적 순간단위도(GIUH)

Rodriguez-Iturbe와 Valdes(1979)는 무한하게 많은 수의 물 입자가 유역 전반에 걸쳐 동시에 떨어졌을 때 각각의 물 입자가 유역의 출구에 도달하는 데 필요한 시간의 확률밀도함수를 유역출구

1) 정회원·고려대학교 공과대학 건축사회환경공학부 석사과정·E-mail: zerika@naver.com
2) 정회원·고려대학교 공과대학 건축사회환경공학부 박사수료·E-mail: civilguy97@hanmail.net
3) 정회원·교신저자 고려대학교 공과대학 건축사회환경공학부 교수·E-mail: jaykim@korea.ac.kr

에서의 수문곡선으로 가정하였다. 이를 바탕으로 유역출구에서의 순간단위도를 식 (1)과 같이 표현하였다.

$$IUH(t) = \frac{d\theta_{\Omega}(t)}{dt} = \sum_{i=1}^{\Omega} \theta_i(0) \cdot \frac{d\Phi_{i\Omega}(t)}{dt} \quad (1)$$

식 (1)에서 $\theta_i(0)$ 는 초기확률로 i 차 하천 또는 i 차 하천 유역에 임의의 물방울이 떨어질 확률을 의미한다. 초기확률은 전체유역면적에 대한 i 차 하천의 직접유출면적의 비율로 정의할 수 있으며 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta_i(0) = \frac{A_i^*}{A_T} \quad (2)$$

A_i^* : i 차 하천유역의 직접유출면적(direct drained area)

A_T : 전체 유역면적

식 (1)의 $\Phi_{ij}(t)$ 항은 강우입자가 i 차 하천에서 j 차 하천으로 이동하는 천이확률 p_{ij} 와 평균대기 시간의 역수 λ_i 의 함수로 나타낼 수 있으며, Rodriguez-Iturbe와 Valdes(1979)는 3차 하천에 대하여 각 변수들을 길이비, 면적비, 분기비, 1차 하천의 평균길이 및 특성속도로 나타내었다. 함대헌 등(2008)은 식 (1)을 4차 하천에 대하여 유도하였으며, 본 연구에서는 함대헌 등(2008)이 유도한 결과를 사용하여 단위도를 산정하였다. 또한 Rodriguez-Iturbe와 Valdes(1979)는 GIUH의 손쉬운 적용을 위하여 침투와 침투발생시간을 식 (3)과 같은 간략식으로 나타내었다.

$$q_p = \frac{1.31}{L_{\Omega}} R_L^{0.43} v \quad (3a)$$

$$t_p = \frac{0.44L_{\Omega}}{v} \left(\frac{R_B}{R_A}\right)^{0.55} R_L^{-0.38} \quad (3b)$$

L_{Ω} : 최고차 하천 길이

v : 대상유역의 유속

3. 대상유역 및 유역출구지점 선정

3.1 대상유역

본 연구의 대상유역으로는 국제수문개발계획(IHP)의 대표유역인 평창강의 상안미 유역으로 선정하였다. 평창강유역은 남한강수계, 충주호 상류유역의 서강으로 합류되는 주천강, 평창강유역으로 강원도 영월군, 평창군에 위치한다. 그림 1는 평창강 상안미 유역을 나타내고 있다.

3.2 유역출구지점 선정

그림 1처럼 4차 하천출구로부터 4차 하천의 시작점인 두 개의 3차 하천이 만나는 지점까지 상류로 이동하며 12개 지점을 선정하였다. 각 지점에서 유역을 구분하여 각 유역에 대하여 하천망도 및 지형자료를 획득하였다. 국가 수자원관리 종합정보시스템에서 제공하는 공간해상도 30m × 30m의 1:5,000 DEM을 사용하였으며, ArcView 3.2 프로그램과 Extension(Hec-GeoHms 1.1)을 사용하여 유역을 구분하고 지형 매개변수를 산정하였다. 각 유역별로 산정한 지형매개변수를 표 1에 나타내었다.

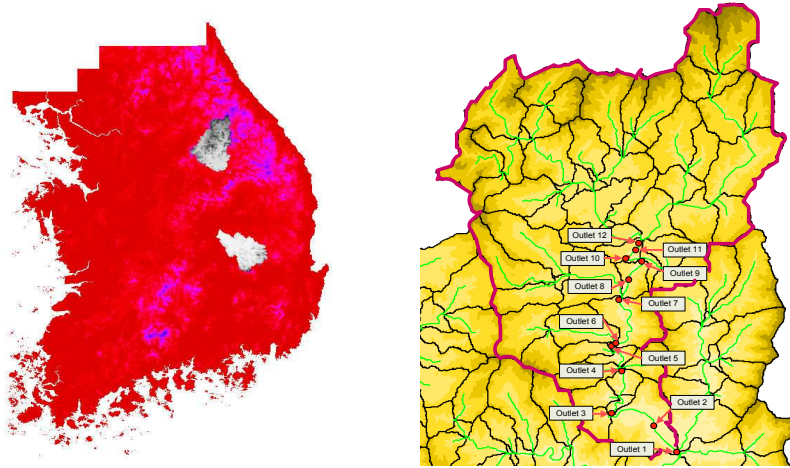


그림 1. 대상유역 (평창강 상안미)

4. 적용 및 분석결과

각 유역출구에 따라 유역의 순간단위도를 GIUH 유도식과 간략식을 통해 구하였으며 표 1은 순간단위도를 결정하기 위해 필요한 지형인자와 침투, 침투발생시간이다. 또한 그림 2에는 GIUH 유도식과 간략식의 침투와 침투발생시간을 비교하여 나타내었다.

표 1. 대상유역의 지형인자, q_p , t_p

Outlet Number	R_B	R_L	R_A	\bar{L}_1 (km)	\bar{L}_2 (km)	\bar{L}_3 (km)	\bar{L}_4 (km)	V (m/s)	Derived Eq.		Simple Eq.	
									q_p (hr^{-1})	t_p (hr)	q_p (hr^{-1})	t_p (hr)
1	3.29	2.18	3.90	2.22	5.12	8.94	24.64	0.998	0.077	5.1	0.074	7.3
2	3.29	2.10	3.87	2.22	5.12	8.94	22.04	0.998	0.084	4.7	0.082	6.7
3	3.26	1.96	3.82	2.28	5.12	8.94	17.99	0.998	0.098	4.2	0.097	5.7
4	3.23	1.80	3.78	2.33	5.12	8.94	13.80	0.998	0.119	3.7	0.122	4.5
5	3.12	1.69	3.68	2.40	5.12	8.94	11.41	0.998	0.135	3.4	0.144	3.8
6	3.02	1.65	3.56	2.49	5.10	8.94	11.02	0.998	0.138	3.4	0.147	3.7
7	3.02	1.72	3.52	2.49	5.10	8.94	6.43	0.998	0.125	3.7	0.257	2.1
8	2.87	1.32	3.37	2.22	4.91	8.94	4.61	0.998	0.257	2.1	0.32	1.7
9	2.87	1.15	3.36	2.22	4.91	8.94	2.92	0.998	0.335	1.7	0.476	1.1
10	2.74	0.95	3.24	2.35	5.44	8.94	1.66	0.998	0.429	1.3	0.772	0.7
11	2.74	0.77	3.23	2.35	5.44	8.94	0.85	0.998	0.543	0.9	1.377	0.4
12	2.74	0.63	3.23	2.35	5.44	8.94	0.42	0.998	0.62	0.6	2.557	0.2

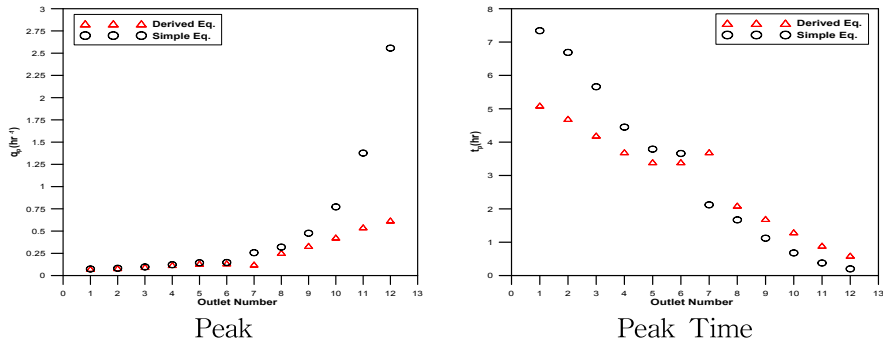


그림 2. 유도식과 간략식의 첨두, 첨두시간

유역출구지점에 따라 첨두는 GIUH유도식과 간략식 모두 최고차 하천이 짧아짐에 따라 증가하는 경향이 있으며 특히 Outlet No.7 이후로 급격히 증가함을 알 수 있었다. 또한 첨두발생시간의 경우 모두 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 면적에 의한 첨두의 증가 효과를 줄이기 위해 출구지점별 유역면적을 곱한 첨두는 표 2와 같다.

표 2. 유도식과 간략식 첨두, 첨두시간에 면적을 곱한 결과

Outlet Number	L_{Ω} (km)	$q_p * A_i$ by Derived Eq.	$q_p * A_i$ by Simple Eq.
1	24.64 (100%)	3.09 (100%)	2.97 (100%)
2	22.04 (89%)	3.30 (107%)	3.22 (109%)
3	17.99 (73%)	3.73 (121%)	3.69 (124%)
4	13.80 (56%)	4.42 (143%)	4.53 (153%)
5	11.41 (46%)	4.77 (155%)	5.09 (172%)
6	11.02 (45%)	4.53 (147%)	4.82 (163%)
7	6.43 (26%)	3.95 (128%)	8.13 (274%)
8	4.61 (19%)	6.89 (223%)	8.58 (289%)
9	2.92 (12%)	8.90 (288%)	12.64 (426%)
10	1.66 (7%)	10.76 (349%)	19.37 (653%)
11	0.85 (3%)	13.52 (438%)	34.28 (1156%)
12	0.42 (2%)	15.42 (500%)	63.61 (2145%)

GIUH 유도식과 간략식에 의해 산정된 첨두의 값은 평창강 상안미 유역의 경우 Outlet No.7 이상에서 급격하게 증가가 나타난다. 면적효과를 줄인 결과 또한 어느 정도 비율은 줄어들었지만 전과 비슷한 경향을 보인다. 이것은 Outlet No.7 부근을 유역출구로 결정한 후 부터는 대상유역이 왜곡되어 유출해석이 잘 이루어지지 못하고 있다는 것이다. 따라서 앞의 결과를 재확인하기 위해 첨두에 영향을 가장 많이 끼치는 하천길이를 기준으로 하여 길이비의 가정에 의한 유역의 왜곡도를 확인하고자 하였다. 식 (4)는 길이비의 가정이고 이를 변형한 식 (5)를 이용하여 각 차수별 하천을 1차하천의 길이를 매개변수로 하여 총 유하길이를 구하였고 실제의 총 유하길이를 비교하였다.

$$R_L = \frac{L_2}{L_1} = \frac{L_3}{L_2} = \frac{L_4}{L_3} \quad (4)$$

$$Total\ Stream\ Length \equiv L_1 + L_2 + L_3 + L_4 = L_1 + R_L L_1 + R_L^2 L_1 + R_L^3 L_1 \quad (5)$$

그림 3은 길이비로 구한 총 유하길이를 실제 총 유하길이를 나타낸 그래프이며 Outlet No.7까지는 길이비를 통해 구한 총 유하길이가 실제의 유하길이를 비슷한 양상을 보이고 있으나 Outlet

No.7이상부터 유역출구로 선정된 경우에는 대상유역의 값이 확연히 달라지고 있는 것을 볼 수 있었다.

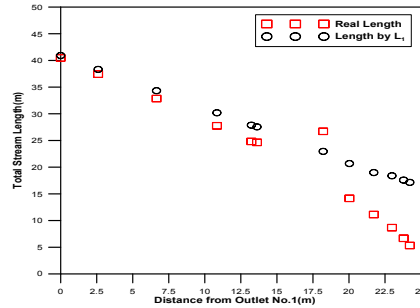


그림 3. 대상유역의 실제 유하길이와 L_1 으로 구한 유하길이

5. 결론

유도식의 경우 Outlet No.1를 기준으로 한 비율이 Outlet No.7(면적 곱하지 않은 결과 : 162%, 면적 곱한 결과 : 128%)까지 증가량이 작았으며 간략식의 경우 Outlet No.6(면적 곱하지 않은 결과 : 199%, 면적 곱한 결과 : 163%)까지 증가량이 작았다. 또한 길이비의 가정을 통해 구한 총 유하길이와 실제의 유하길이의 경우 Outlet7 이후로부터 큰 차이를 보이며 이것은 보정전의 유도식과 간략식의 첨두증가량이 커지는 경계점과 일치한다. 따라서 평창강 상안미 유역에서 첨두에 면적을 곱한 값을 기준으로 Outlet No.1이 비율이 150% 이하인 곳을 대상유역의 유역출구로 선정하였을 시 유도식은 최고차 하천길이가 6.43km(Outlet No.7)까지 선정가능하며 간략식의 경우 최고차 하천길이가 13.80km(Outlet No.4)까지 적정유역출구로 선정가능하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업인 자연과 함께하는 하천복원기술개발 연구(ECORIVER21)(06 건설핵심B01)의 연구비 지원에 의해 수행 되었습니다

참고 문헌

1. 김남원 (1998). 미계측 유역의 확률홍수량 추정을 위한 동역학적 홍수빈도모형개발. 박사학위 논문, 강원대학교, pp. 118-121.
2. 주진걸, 함대현, 전환돈, 이정호, 김중훈 (2008). “3, 4차 하천에서의 GIUH 유도식과 간략식에 의해 산정된 순간단위도의 비교연구.” 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제41권, 제11호, pp. 1107-1121.
3. 함대현, 주진걸, 전환돈, 김중훈 (2008). “4차 하천에서의 GIUH의 유도 및 초기확률의 보정에 관한 연구.” 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제41권, 제2호, pp. 229-239.
4. 한국수자원관리 종합정보 홈페이지
(<http://www.wamis.go.kr>)
5. Rodriguez-Iturbe, I., and Valdes, J. (1979). "The Geomorphologic Structure of Hydrologic Response." Water Resources Research, Vol. 15, No. 6, pp.1409-1420