

원주천의 하천형태학적 및 수리학적 특성연구

A Study on Stream Morphologic and Hydraulic Characteristics of Wonju Stream

최 홍 식*
Choi, Hung Sik

Abstract

The stream morphologic characteristics of Wonju stream with small watershed are developed with a regular correlation referred to the Horton-Strahler's laws of stream order. Using Manning's formula and the discharges simulated by NWS-PC rainfall-runoff model that has been applied to the adjacent basin for model calibration and verification, the hydraulic characteristics at Wonju bridge are investigated. The peak discharge and the time to peak of unit hydrograph are analyzed by the calculated geomorphologic parameters. Rather primitive as this study is, these results are provided to be used for geomorphologic instantaneous unit hydrograph of ungaged basins including this study area. Through the reestablishment of rating curve and hydrograph with continuous field observations, the hydrologic and hydraulic characteristics of Wonju stream must be presented.

요 지

소하천 수계인 원주천의 지형학적 특성은 Horton-Strahler의 하천 차수법칙에 따라 일정한 규칙을 갖고 발달하였다. 이미 인접 유역에의 적용을 통해 모형의 검정과 검증이 이루어진 강우-유출 모형인 NWS-PC 모형에 의해 모의발생한 일유량과 Manning 식의 적용결과로 원주교 지점에서의 수리특성을 분석하였다. 산정된 원주천의 형태학적 특성계수에 의한 단위유량도의 첨두유량 및 이의 발생시간을 분석하였다. 비록 이같은 연구가 초기단계 연구이기는 하나, 이 결과는 원주천을 포함한 미계측 유역의 유출해석에 중요한 수단인 지형학적 순간단위 유량도 해석의 자료로 제공될 것이다. 아울러 지속적인 현장관측에 의한 수위-유량곡선의 보완과 수문곡선의 작성을 통해 원주천 유역의 수문·수리학적 특성의 규명이 이루어져야 한다.

* 상지대학교 이공과대학 토목공학과 조교수

1. 서 론

유역은 크고 작은 하천망으로 구성되는 수계를 가지며 이 수계는 기후학적 인자(climatic factor) 및 지형학적 인자(physiographic factor)의 영향을 받아 변화하고, 기후학적 인자인 강수에 의해 끊임없이 침식, 운반, 퇴적의 작용을 받아 평형상태를 이루며 계속적으로 변화하고 있다. 그러므로 하천의 형태학적 특성은 그 유역의 지형학적 및 기후학적 인자의 영향을 받아 변화하므로 이들 인자는 서로 밀접한 상관성을 가진다고 볼 수 있다. 또한 유역과 수로망에 관한 정량적 상관 표현은 수문학적 상사성에 주된 역할을 하게 된다.

앞서의 상관성은 어떤 유역내 강우-유출과정의 유역응답을 얻는 수문곡선 요소로, 하천의 치수는 물론 하천의 이수적 측면인 친수공간의 확보, 하천용수의 이용에 대한 기초적 연구자료의 확보를 위해 매우 필요하다. 지방하천인 원주천은 유역면적 약 155 km², 유로장 25.4 km의 중소유역으로 직할하천인 섬강과 합류하여 남한강을 따라 한강에 이르는 상류하천이다. 팔당에 이르는 남한강 수계내 원주천이 유입하는 섬강 유역은 1,631 km²으로 가장 크고, 그에 따른 인구 역시 원주천이 가로지르는 원주를 중심으로 276,820 명으로 가장 많다(이길성 등, 1993). 따라서 섬강에 가장 큰 오염부하를 가져올 가능성이 큰 원주천의 하천형태학적 및 수리적 특성의 규명은 필요하다.

원주천의 수문 및 기상자료는 원주교 지점의 수위 관측과 원주 기상대에 의한 기상관측이 이루어지고 있고, 현재 건설기술연구원 수문자료 관리시스템(HISS)을 통해 이용이 가능하다. 그러나 원주천이 가지는 중요성에도 불구하고 유량관측 및 강우-유출에 대한 검토가 전무한 실정이고, 인근 섬강 및 남한강 수계의 비유량자료를 이용한 추정치로부터 제반 설계를 하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 원주천 소유역이 가지는 각종 형태학적 특성을 정량적으로 분석하여 이들 값이 수계내에서 여하히 변동하는가를 규명하였다. 원주교 지점의 수리특성을 인접 유역에의 적용을 통하여 검증된 강우-유출 모형에 의해 모의발생시킨 일유량과 Manning 식에 의해 계산된 값을 이용하여 분석하고,

유량관측은 실시치 않았으나 수위는 관측되고 있는 원주교 수위 관측지점에서 수위-유량 관계곡선을 분석하였다. 아울러 하천의 형태학적 특성계수를 이용한 원주천의 지형학적 순간단위유량도와 그에 따른 단위 수문곡선의 첨두유량과 이의 발생시간을 분석하였다. 이 결과로 원주천의 장기적 하상 변동추세를 형태학적 이론에 입각하여 분석할 수 있는 기초의 마련과, 수계내 각종 수리학적 특성 인자를 도출하여 원주천의 치수 및 이수에 관한 제반 설계의 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

2. 수문지형학의 기본법칙

2.1 하천 지형법칙

하천차수의 결정은 Horton(1945)의 이론을 Strahler(1957)가 수정한 방법이 가장 많이 쓰이고, 이는 유원(source)에서 시작하는 하천을 1차하천으로 하고, 같은 차수의 하천이 만나서 다른 하천을 이룰 경우에만 차수가 증가하고 차수가 서로 다를 경우는 차수가 높은 하천의 차수를 유지하는 하천차수 결정방법이다. 하천차수와와의 관계식은 하천차수 법칙(the law of stream order), 평균하천길이 법칙(the law of stream length), 평균하천경사 법칙(the law of stream slope)과 Schumm(1956)에 의해 제안된 유역면적 법칙(the law of drainage area)으로 관계식은 아래와 같다. 이에 관한 국내 최근 연구로 이정식 등(1987)은 지형학적 인자를 이용하여 지형학적 단위 수문곡선을 해석하고, 전민우와 조원철(1992)은 지형학적 인자와 프랙탈 차원의 특성을 정리하였다.

$$N_u = R_b^{a-u} \quad (1)$$

$$L_u = L_1 R_i^{u-1} \quad (2)$$

$$S_u = S_1 R_s^{u-1} \quad (3)$$

$$A_u = A_1 R_a^{u-1} \quad (4)$$

여기서 N_u, L_u, S_u 및 A_u 는 각각 u 차 하천의 개수, 평균수로길이, 평균수로경사 및 유역면적이다. Ω 는 유역내 하천의 최고차수이고, R_b, R_l, R_s 및 R_a 는 각각 하천 분기율(bifurcation ratio), 하천길이비(stream length ratio), 하천 함몰도(stream concavity) 및 유역 면적비(stream area ratio)로 다음과 같다.

$$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}} \quad (5)$$

$$R_l = \frac{L_u}{L_{u+1}} \quad (6)$$

$$R_s = \frac{S_u}{S_{u+1}} \frac{Y_u/L_u}{Y_{u+1}/L_{u+1}} \quad (7)$$

$$R_a = \frac{A_u}{A_{u+1}} \quad (8)$$

여기서 Y_u 는 u 차 하천의 평균 표고차이다. 이와 같은 하천지형법칙은 유역의 토질상태, 지형, 지세 등의 지질학적특성과 기상인자에 의해 다양한 형태로 발달된 하천수계에 대해 적용 가능하다(Eagleson, 1970).

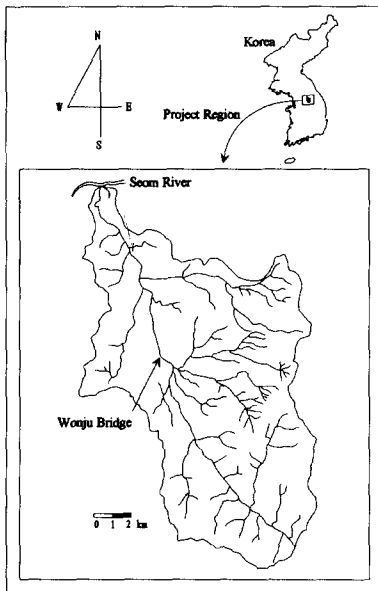


Fig. 1. Watershed of Wonju Stream

원주천 유역 수계(Fig. 1)에 대한 앞서의 식을 적용하기 위해 1:50,000 지형도를 사용하여 하천차수와 그에 따른 하천수, 평균하천길이, 평균하천경사 및 평균유역면적은 Table 1에서와 같다.

이들 관계를 반대수지에 표시하면 Fig. 2와 같이 하천차수에 따른 하천수, 평균하천길이, 평균하천경사 및 평균유역면적은 직선적 관계로 나타나, Horton-Strahler의 차수법칙에 따라 일정한 규칙성을 가지고 발달된 수계임을 볼 수 있다.

Table 1. Morphological Characteristics of Wonju Stream

stream order	1	2	3	4
stream number, N	87	18	4	1
ave. stream length, L(km)	1.60	2.54	6.83	13.33
ave. stream slope, S	0.09	0.03	0.022	0.0027
ave. area, A(km ²)	0.97	6.81	35.53	155.18

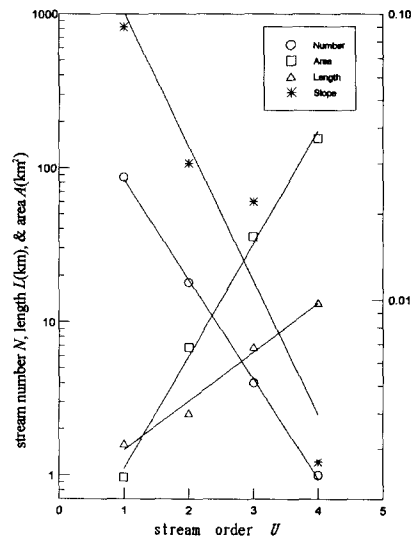


Fig. 2. Horton's Stream Order Ratios of Wonju Stream

원주천의 분기율, 하천연장비, 하천함몰도 및 유역면적비는 각각 4.4, 2.09, 2.95 및 5.41로 나타났다. 분

기울은 일반적으로 3에서 5사이의 값을 가지며, 하천 길이비는 일반적으로 1.5에서 3.5사이의 값이고, 하천면적비는 일반적으로 3과 6사이의 값을 가진다. 따라서 원주천은 일반적인 하천형태학적 특성을 가지고 있다. 이들 값은 지형학적 순간 단위유량도에서 침투유량, q_p 와 이의 발생시간 t_p 의 계산을 통해 일정강우 i (cm/hr)의 tr (hr) 지속시간을 가진 단위유량도의 침투유량, Q_p (m³/s)와 이의 발생시간, T_p (hr)을 타 유역간 분기율 값을 비교하여 수립된 계산식은 다음과 같다(Rodriguez-Iturbe 등, 1979).

$$\frac{Q_p}{Q_e} = t_p \cdot q_p \left(1 - \frac{t_p \cdot q_p}{4}\right) \quad (9)$$

$$q_p = \frac{1.31}{L_p} R_i^{0.43} v \quad (10)$$

$$T_p = t_p + t_r \left(1 - \frac{q_p \cdot t_p}{2}\right) \quad (11)$$

$$t_p = 0.58 \left(\frac{R_i}{R_a}\right)^{0.55} / q_p \quad (12)$$

여기서 Q_e (m³/s)는 평형유량으로 강우 i 와 유역면적 A (km²)의 곱이고, L_p (km)는 최고 하천차수의 길이이고, v 는 동적 매개변수인 유하 속도로 유로장과 유역의 도달시간과의 관계를 가진다.

2.2 하천연장과 유역면적

Schumm(1956)에 의해 제안된 유역면적 법칙과 더불어 본류부 연장과 유역면적과의 관계식은 아래와 같이 표현된다. Mandelbrot(1982)는 이 관계식을 설명하면서 프랙탈(fractal) 이론을 수문지형학에 적용을 처음 제안 하기도 하였다.

$$L = aA^b \quad (13)$$

이때 a 및 b 는 회귀분석을 통해 구하는 계수로 원주천 유역은 다음과 같다.

$$L = 8.38A^{0.92} \quad (14)$$

일반적으로 b 의 값은 아주 큰 유역을 제외하고 0.5 이상의 값을 가지게 되어 유역의 형상은 면적이 커짐에 따라서 더욱 길쭉한 모형을 갖는 것으로 추정된다(고영찬, 1996). 자주 인용되는 주하천 길이와 유역면적의 관계식은 Gray(1961)의 식으로 $a=1.4$, $b=0.568$ 이다. 앞서의 유역면적비에서와 같이 원주천의 경우 유역 형상계수, A/L^2 이 0.24로 면적에 비해 수계가 길게 발달되어 있어 a 및 b 의 값이 보통 하천수계보다 크게 나타났다. 참고로 낙동강은 $a=2.38$, $b=0.517$ (Water Resources Planning in the Nakdong River Basin, 1968)이고, 한강은 $a=2.095$, $b=0.5397$ (윤용남, 1973)이고, 갑천수계는 $a=1.3295$, $b=0.6167$ (안상진 등, 1977)이다.

2.3 비례 하천 차수 (proportional stream order)와 유역면적

유역면적은 하천의 수원지점으로부터 하류방향으로 갈수록 점차 증가된다. Schumm(1956)에 의해 제안된 유역면적 법칙에서 하천차수는 정수치만 가지게 되어 이는 수계의 구성양상을 불연속으로 표현하고 있어 합류점에서만 수계발달상을 서술할 뿐 나머지 합류점과 합류점간의 변동은 고려치 못하는 결점이 있다. 그래서 Horton-Strahler 하천차수 결정법을 다음과 같이 수정한 비례하천차수(U_p)를 통해 연속적인 수계발달의 설명이 가능하다.

$$U_p = U_i + U_x = U_i + \frac{N_{ix} - N_{is}}{N_{if} - N_{is}} \quad (15)$$

여기서 U_i 는 Horton의 방법에 의한 하천차수, U_x 는 임의점 x 에서 하천차수, N_{ix} 는 수계에 있어 임의점 x 의 상류에 있는 1차하천의 총수, N_{is} 는 x 점이 위치한 하천차수 U_i 가 시작되는 점의 상류에 있는 1차하천의 총수, N_{if} 는 x 점이 위치한 하천의 차수 U_i 가 끝나는 점의 상류에 있는 1차 하천의 총수이다. 원주천의 경우 비례하천차수와 유역면적의 관계는 Table 2 및 Fig. 3에서와 같다.

Table 2. Proportional Stream Order and Drainage Area

U_p	3.41	4.00	4.16	4.42	4.51
A(km ²)	41.19	96.25	118.39	145.73	155.18

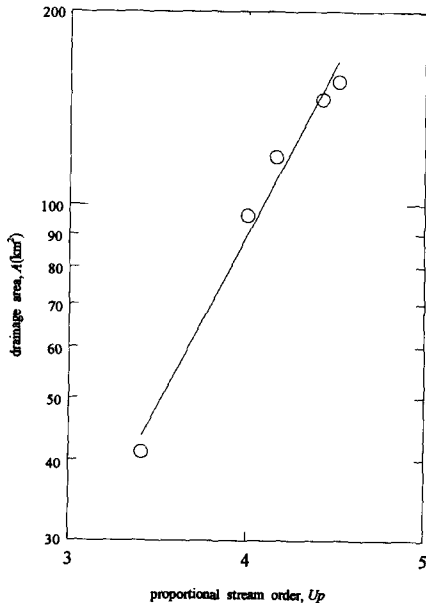


Fig. 3. Proportional Stream Order and Drainage Area

3. 원주천의 수리특성

3.1 분석방법

원주교 수위표 지점의 유출량 분석을 위하여 미국 국립기상국의 NWS-PC 모형을 이용한 한강 수계 다목적 하류 연속유출 모형과 동력학적 하도추적모형 연구(이상호 등, 1995) 결과로부터 기상학적 및 지형학적 동질성이 있다고 판단되는 원주천과 인접한 간현 수위관측소에 대한 NWS-PC 모형의 토양함수상태 관련 매개변수 추정결과와 원주 기상대 강우 및 잠재 증발산량을 이용하여 유출을 모의 하였다. 본 연구자료는 간현지구 매개변수 추정이 1986~1988년에 관측한 유량을 토대로 한 것이어서 그 중 최근의 자료인 1988년 자료로 선정하였다.

또한 원주교 지점의 단면 형상은 Fig. 4에서와 같이 저수로 폭이 약 40.5 m, 양 제방간의 폭은 약 100.7 m인 복합단면의 형태로 수위표 영점 수위는 EL.

120.046 m이다. 이 지점의 상·하류의 에너지경사 0.00534 및 Manning의 조도계수 0.03은 원주천 하천 정비 기본계획 보고서(1994)에서 값을 인용하여 최대 통수능 및 수위-유량 관계식을 작성하였다. 아울러 원주천의 하천형태학적 특성값 R_b , R_l 및 R_a 를 이용한 원주천의 1 cm/hr의 일정강우로 1시간 지속시간을 가진 단위유량도의 침투홍수량 및 침투시간을 분석하였다.

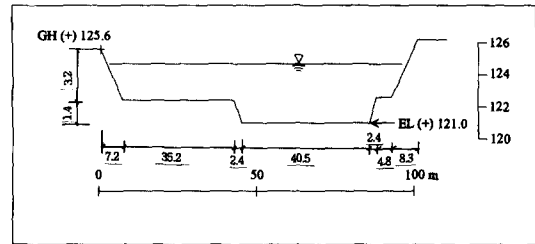


Fig. 4 Cross Section at Wonju Bridge

3.2 NWS-PC 모형의 개요

NWS-PC 모형(Tabois III 등, 1986)은 크게 토양함수 상태 계산(SAC-SMA) 모형과 흐름에 대한 추적모형으로 구분된다. SAC-SMA의 모형 분류는 확정론적(deterministic), 집중 입력(lumped input), 집중 매개변수(lumped parameter)모형에 속하며, 이는 수문 순환과정의 토지부분(land phase)에서 입력된 강우를 하도 흐름의 유입량으로 변환시킨다. 흐름에 대한 추적모형의 기능은 하도 유입량을 유역 또는 소유역 출구의 유출로 추적하며 운동과 추적법이나 단위도-Muskingum 방법의 조합을 사용한다.

SAC-SMA 토양 함수상태 모의모형은 강수에 의한 투수 및 불투수 영역과 유역을 상층부(upper zone)와 하층부(lower zone)으로 구분한다. 상층부는 상부 토양층과 차단 저류지를 나타내고, 하층부는 토양수분체나 지하수체를 표시한다. 상/하층의 수분은 자유로이 이동할 수 있는 자유수와 토양입자에 부착된 부착수(tension water)로 이루어진다. 그리고 하층수의 지하수는 장기간의 기저유출을 모의하는 기저 자유수와 상대적으로 최근에 발생한 강우에 의

해 나타나는 보조 자유수로 존재한다. 모형에서 고려하는 물 배분의 개념은 먼저 부착수 성분이 채워지고 난후 자유수 성분이 공급되는 것이다. 부착수는 증발산에 의해서만 탈수(depletion)되며 자유수는 침투와 증발산에 의해 탈수된다. 상층부에서 하층부로 이동하는 침투(percolation) 현상은 상층부 가용부분과 하층부 수분 부족량의 함수이다.

3.3 NWS-PC 모형의 적용 및 수리특성 고찰

Fig. 5는 NWS-PC 모형의 적용에 따른 1988년 4월에서 10월까지의 원주천 원주교 수위표 지점의 수문곡선 및 강우량과 잠재 증발산량도이다. 1988년은 다른 해보다 비교적 적은 강우량이였다. 원주교 수위표 지점의 유역면적은 원주천 유역의 62% 정도인 96 km²이다. 모의 발생에 의한 최대 일유출량은 47.3 m³/s이고, 원주천의 기저 유출량은 약 0.5 m³/s 정도로 인근 섬강 및 남한강 수계의 비유량에 의해 산정한 결과(원주시 하수도 재정비 기본계획(안), 1993)와 비교하여 볼때 저수량과 평수량 사이의 값

으로 나타났다(Table 3).

수위표 위치인 원주교 지점의 좌안 제방고 높이를 El. 125.6m 로 할시 여유고 1.0m 이하인 El. 124.6m에서의 Manning 식을 이용한 최대 통수량은 1,197.6 m³/s 이고, 이 때 수리수심은 2.66 m, 통수단면적 2,256.4 m², 유속은 4.67 m/s 으로 나타났다. Fig. 6은 Manning 식에 의한 원주교 수위표 지점에서의 영점표고(El. 120.046)를 기준으로한 수위, $h(m)$ 에 따른 유량, $Q(m^3/s)$ 의 관계식으로 $Q=7.64h^{3.32}$ 이고, 이에 따른 상관계수는 0.98이다. 이 수위-유량관계식은 수심, h 의 값이 약 1.2m 이상 4.5m 이하의 범위에서 적용 가능하나, 지속적인 수위 및 유량의 실측을 통해서 보완해야 할 문제로 지적된다.

Table 3. Discharges at Wonju Bridge Station (after Wonju, 1993)

classification	drought water	low water	average	high water	remark
discharge (m ³ /s)	0.223	0.428	0.794	1.783	

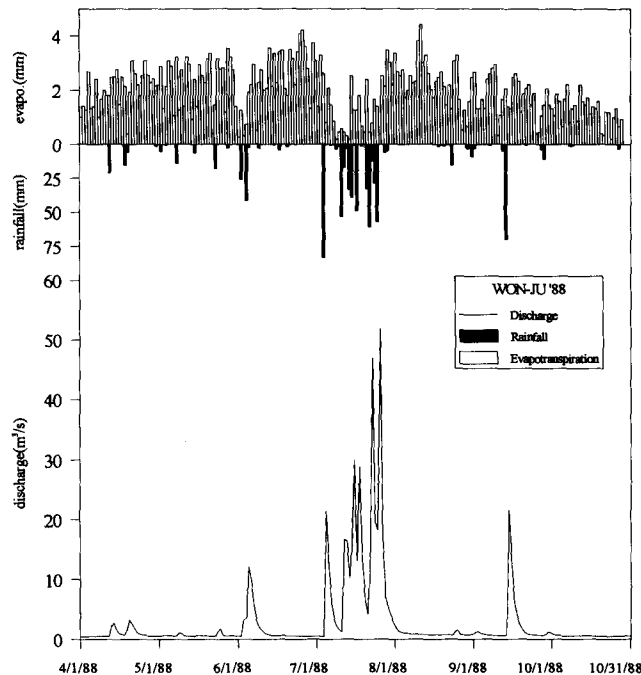


Fig. 5. Daily Hydrograph, Rainfall, and Potential Evapotranspiration

Table 4. Peak Discharge and its Time of UH of Wonju Stream

classification velocity(m/s)	Rodriguez-Iturbe						mod.-Snyder
	0.75	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	
Q_p (m ³ /s)	43.62	58.16	87.20	116.30	145.40	174.50	42.46
T_p (hr)	5.62	4.34	3.06	2.41	2.03	1.78	5.21

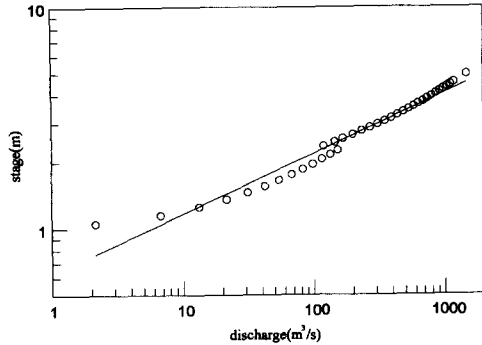


Fig. 6. Generated Rating Curve at Wonju Bridge

앞서 분석한 원주천의 형태학적 특성계수인 R_b , R_i 및 R_a 를 이용한 1 cm/hr의 일정강우로 1시간 지속시간을 가진 단위유량도의 첨두홍수량 및 첨두시간을 유하속도별로 분석하여, Snyder 방법을 남한강 수계에 적용을 통하여 수정한 식(고영찬, 1996)과 비교한 결과는 Table 4에서와 같다.

하천 형태학적 특성계수를 이용한 지형학적 순간 단위유량도를 통한 단위유량도의 첨두유량 및 이의 발생시간은 Table 4에서 보듯이 유역의 유하속도에 의해 크게 지배됨을 알 수 있다. 수정 Snyder 방법에 의한 첨두유량과 이의 발생시간을 비교할 때 원주천의 유하속도는 0.75 m/s로 평가되며, 이는 유역의 상류에서 하류출구까지의 도달시간은 약 9.4 시간이 소요된다. Snyder 방법의 수정식은 남한강의 직할하천 이상 큰 유역에의 적용을 통해서 얻은 관계식임을 감안할 때 소유역에 이의 적용은 다소 무리가 있음이 인정된다. 따라서 기존에 널리 사용되고 있는 방법에 의한 첨두유량 발생시간은 Clark의 유역추적법에서 약 2.5 시간, 중안(Nakayasu)에 의한 방법으로는 약 3.0 시간으로 나타났다. 두 방법에 의한 원주천 유역의 유하속도는 형태학적 특성 인자에 의한 계산시 유하속도를 약 1.75 m/s 정도의 값에 해당되고, 그 도달

시간은 약 4시간으로 추정된다. 원주천 유역의 평균 경사가 0.01673, 본류부 유로장 25.4 km를 이용하여 자연하도와 도시유역에 적용가능한 Carter의 방법(McCuen 등, 1984)에 의한 도달시간은 4.7시간으로 나타났다. 그러나 Carter 방법의 사용은 유역면적이 약 20 km² 이하, 유로장이 11 km 이하, 유역경사 0.5 % 이하이고 Manning의 조도계수 값이 0.013에서 0.025인 유역에 적용하여 얻은 식임을 고려할 때 이 식에 의한 도달시간의 산정은 다소 차이가 있으나 비슷한 값을 얻을 수 있었다.

4. 결 론

소하천 수계인 원주천의 지형학적 특성을 Horton-Strahler의 하천 차수에 따른 하천수, 평균 하천길이, 평균 하천경사법칙과 Schumm(1956)에 의해 제안된 평균 유역면적법칙을 분석하여 유역의 특성을 나타내는 분기율, 하천연장비, 하천함몰도 및 유역면적비를 산정하였다. 그 결과 원주천은 일정한 규칙을 갖고 발달하였음을 알 수 있었다. 아울러 하천연장과 유역면적 관계식의 유도 결과 원주천은 타 하천유역에 비교하여 유역면적에 비해 유로장이 길게 발달해 있음을 확인하였고, 비례하천차수와 유역면적을 분석하였다.

건설기술연구원 수문자료 관리시스템(HISS)의 기상자료인 강우량과 잠재증발산량을 이용하여 이미 인접 유역에의 적용을 통해 모형의 검증과 검증이 이루어진 강우-유출 모형인 NWS-PC 모형에 의해 모의발생한 일유량의 분석과, 원주교 수위표 지점에서 하천의 종.횡단면과 하상의 조도계수를 이용한 Manning식으로부터 수리특성 분석과 수위-유량 관계식을 구하였다. 아울러 하천의 형태학적 특성계수를 이용한 원주천 단위유량도의 첨두유량 및 이의 발생시간을 분석하였고, 그 결과 원주천의 유역의 유하속도와 도달시간을 추정하여 보았다.

비록 이같은 연구가 초기단계 연구이기는 하나, 원주천의 지형특성 인자의 분석결과는 원주천을 포함한 미계측 유역의 유출해석에 중요한 수단인 지형학적 순간단위 유량도 해석의 자료로 제공될 것이다. 아울러 지속적인 현장관측에 의한 수위-유량 관계식의 보완과 이를 이용한 원주천의 수문곡선의 실측을 통한 소유역인 원주천의 제반 수문·수리학성 특성의 규명이 이루어져야 한다.

감사의 글

본 연구는 1995년도 상지대학교 교내 연구비지원에 의해 수행되었으며, 강우-유출모형의 제공 및 연구 수행에 도움을 아끼지 않은 부경대학교 이상호 박사께 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

고영찬 (1996). "하천차수를 고려한 프랙탈 차원의 산정 및 적용," 박사학위논문, 서울대학교.

안상진, 윤용남, 강관원 (1977). "소하천 수계의 유역특성에 관한 연구." 한국수문학회지, 제10권, 제1호, pp. 71-77.

원주시하수도 재정비 기본계획(안). (1993). 원주시.

원주천 하천정비 기본계획 보고서. (1994). 원주시.

윤용남 (1973). "한강수계의 하천형태학적 특성과 빈도 유량과 상관성." 대한토목학회지, 제12권, 제1호, pp. 46-59.

이길성 등 (1993). "수도권 광역상수도 5단계 타당성조사 및 기본계획." 연구보고서, 서울대학교 토목공학과 수공학연구소.

이상호 등 (1995). "한강수계 다목적댐 하류 연속유출 모형과 동력학적 하도추적 모형 연구(2차년도)." WRRU-WR-95-2, 한국수자원공사 수자원연구소.

이정식, 김재환, 이원환 (1987). "지형학적 순간단위도에 의한 침투유량의 강우-유출 선형해석." 대한토목학회논문집, 제7권, 제1호, pp. 55-64.

전민우, 조원철 (1992). "지형도 축척에 따르는 하천 수

로망과 본류 하천길이에 관한 Fractal Dimension." 대한토목학회논문집, 제12권, 제4-1호, pp. 97-106.

Eagleson, P.S. (1970). *Dynamic hydrology*. McGraw-Hill, New-York.

Gray, D.M. (1961). "Interrelationships of watershed characteristics." *J. Geophysical Res.*, Vol. 66, No. 4, pp. 1215-1223.

Horton, R.E. (1945). "Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology." *Geological Society of America Bull.*, Vol. 56, pp. 275-370.

Mandelbrot, B.B. (1982). *The fractal geometry of nature*. W. H. Freeman, New York.

McCuen, R.H., Wong, S.L., and Rawls, W.J. (1984). "Estimation urban time of concentration." *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, Vol. 110, No. 7, pp. 887-904.

Rodriguez-Iturbe, I., Devoto, G., and Valdes, J.B. (1979). "Discharge response analysis and hydrologic similarity: The interrelation between the geomorphologic IUH and the storm characteristics." *Water Resour. Res.*, Vol. 15, No. 6, pp. 1435-1444.

Schumm, S.A. (1956). "Evolution of drainage systems and slopes in baldlands at Perth Amboy, New Jersey." *Geological Society of America Bull.*, Vol. 67, pp. 597-646.

Strahler, A.N. (1957). "Quantitative analysis of watershed geomorphology." *Transactions, A.G.U.*, Vol. 38, pp. 913-920.

Tabios III, G., Obeysekera, J.T., and Salas, J.D. (1986). *Hydrology and water resources program*. Colorado State Univ., Fort Collins, Colorado.

Water Resources Planning in the Nakdong River Basin, Vol. III. (1968). UNDP Nakdong River Basin Survey Team.

(집수: 1996년 10월 31일)