

강원도 유역의 유출 특성에 관한 연구 (소양강댐 유역 중심으로)

A Study on the Runoff Characteristics in Kangwon Watershed (So-yang River Watershed)

최한규* 백효선** 이민섭***
Choi, Han-Kyu Beak, Hyo-Sun Lee, Min-Seop

Abstract

This study is finding the most appropriate model of kangwondo watershed. To synthesize each hydrograph, It is found to several parameters which are used in existing hydrographes. then the synthestic hydrograph is compared and investigated with many hydrographes of the rivers in kanwondo.

These methods, Nakayasu , Clark , SCS are used to calculate the run-off of this watershed. When the calculated run-off is compared with real rating-curves, then it is found that the SCS method using the Clark's concentration time is the best way on this area having large watershed, long river length and gentle water slope, the Nakayasu method is more suitable on this area having small watershed, short river length and steep water slope. Also it is founded from analyzing run-off hydrographes, peak run-off and peak time that the Clark's method applied Kirpich's concentration time way is suitable in the area of kangwondo.

키워드 : 유출, 합성단위도, 도달시간, 지체시간

Kerwords : *run-off, synthestic hydrograph, concentration time, leg-time*

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

- * 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사
- ** 강원대학교 대학원 토목공학과 박사과정
- *** 강원대학교 대학원 토목공학과 석사과정

수자원은 인류가 생존하는데 있어서 필수적인 자원이며, 인류의 문명도 하천과 밀접한 관계를 가지고 발전하였다. 이러한 수자원은 인류에게 많은 혜택을 가져다주기도 하였지만, 홍수나 가뭄 등 심각한 자연재해를 입히기도 하였다. 이러한 수자원이 최근에는 산업의 고도성장 및 인구의 급속한 증가로 인해 수질 악화 및 수자원의 부족 등 여러

문제점이 나타나고 있다.

현재 우리 나라에서 사용되는 강우-유출 해석 방법들은 대부분 외국에서 개발되어 들어 온 방법들로서, 연구를 통해 국내 사용상의 문제점에 대해서 수정 보완하였다고 하여도 수정된 공식들은 소수에 불과하며 보완된 공식 또한 소수의 지역에 국한되고 있다.

따라서, 수문분석의 가장 좋은 방법은 실측된 수문자료를 바탕으로 실시하는 것이 가장 좋으나 이 또한 우리 나라의 여건으로는 아직까지 많은 자료들이 수집되어 있지 않아 분석의 정확성을 논하기 힘든 것이 현실이다.

이러한 여러 문제점으로 인하여 수문분석은 단순한 계산보다는 여러 공식을 이용하여 가장 타당하다고 생각되는 방법을 채택할 수 있는 기술적인 면을 요하게 되었다. 따라서 본 연구에서는 기존 공식들을 각각의 유역별로 대입하여 분석하여 이를 실제 수문사상과 비교함으로써 본 연구 지형인 강원도 유역의 하천유역에 적합한 유출모형의 개발 및 기존 방법의 적용시 중요한 요소가 어떠한 것인가를 명확히 함으로써 수문분석의 정확도를 높일 수 있도록 하는데 연구의 취지가 있다.[3]

2. 이론적 배경

2.1 SCS 모형

이 방법을 사용하여 단위도를 합성하기 위해서는 단위도의 첨두유량 Q_p 와 그의 발생시간 t_p 를 결정하여야 하며, 일단 Q_p , t_p 가 결정되면 다음 <그림 2.1>의 무차원곡선이나 이 그림을 만들기 위해 사용한 Q/Q_p , t/t_p 의 비율을 나타낸 <표 2.1>를 사용하여 단위도를 합성하면 된다. [1][2][5]

SCS에서는 Q_p 와 t_p 를 산정하기 위한 식을 다음과 같이 추천하고 있다

$$t_p = \frac{1}{2} t_r + t_g$$

$$Q_p = \frac{484A}{t_p}$$

여기서 t_p 는 강우시작시간으로부터 첨두유량 도달점까지의 시간(hr)이며, t_r 는 강우의 지속기간(hr)이며, t_g 는 우량의 질량중심으로부터 첨두유량 도달점까지의 시간, 즉, 유역의 지체시간(hr)이며, Q_p 는 첨두유량(ft^3/sec)이고, A는 유역면적(mi^2)이다. 유역면적은 t_g 에 가장 큰 영향을 주는 인자로서, SCS에서는 유역 면적이 작을 경우 2000acre(=8.09372km²)에서 t_g 를 결정하기 위한 공식

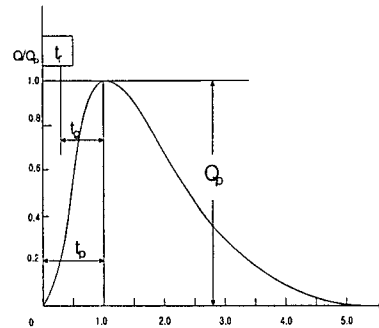
을 다음과 같이 제안하고 있다.

$$t_g = \frac{L^{0.8}(S+1)^{0.7}}{1900Y^{0.5}}$$

<표 2.1> SCS무차원 단위도의 시간별 증거

t/t_p	Q/Q_p	t/t_p	Q/Q_p
0	0	1.8	0.390
0.1	0.030	1.9	0.330
0.2	0.100	2.0	0.280
0.3	0.190	2.2	0.207
0.4	0.310	2.4	0.147
0.5	0.470	2.6	0.107
0.6	0.660	2.8	0.077
0.7	0.820	3.0	0.055
0.8	0.930	3.2	0.040
0.9	0.990	3.4	0.029
1.0	1.000	3.6	0.021
1.1	0.990	3.8	0.015
1.2	0.930	4.0	0.011
1.3	0.860	4.5	0.005
1.4	0.780	5.0	0
1.5	0.680		
1.6	0.560		
1.7	0.460		

여기서, L은 하천의 총연장(ft), Y는 유역의 평균경사(%), S는 SCS의 유효우량산정법에서의 표토층의 최대 잠재저류량(inch)으로서 $S = (1000/CN) - 10$ 의 관계를 가진다. 여기서 CN은 유출곡선지수이다.



<그림 2.1> SCS의 무차원 단위 유량도

2.2 Nakayasu 모형

일본의 Nakayasu에 의한 무차원 수문곡선법으로 일본내 여러 유역에서 유도된 단위도의 특성변수와 유역의 지형학적 특성 변수간의 관계를 조사하여 <그림 2.2>와 같은 무차원 수문곡선을 작성하고 이를

이용하여 특정 지속 시간의 단위 유량을 합성 할 수 있도록 만들어진 것이다. [7]

Nakayasu에 의한 단위도 합성방법은 단위도의 상승부 및 하강부로 나누어지고, Q_{max} 는 다음과 같이 표현된다.

$$Q_{max} = 0.2778 \times \frac{A R_0}{(0.3 T_1 + T_{0.3})}$$

상승부 곡선

$$\frac{Q}{Q_p} = \frac{t}{t_p}^{2.4}$$

하강부 곡선

$$0.3 \leq \frac{Q}{Q_p} \leq 1.0 \quad \frac{Q}{Q_p} = (0.3)^{\frac{t-t_p}{t_k}}$$

$$0.09 \leq \frac{Q}{Q_p} \leq 0.3 \quad \frac{Q}{Q_p} = (0.3)^{\frac{t-t_p+0.5t_k}{1.5t_k}}$$

$$0.3^3 \leq \frac{Q}{Q_p} \leq 0.09 \quad \frac{Q}{Q_p} = (0.3)^{\frac{t-t_p+1.5t_k}{2t_k}}$$

첨두유량 도달시간 t_p 는 첨두유량 지체시간 t_g 에 따라 다음과 같이 결정된다.

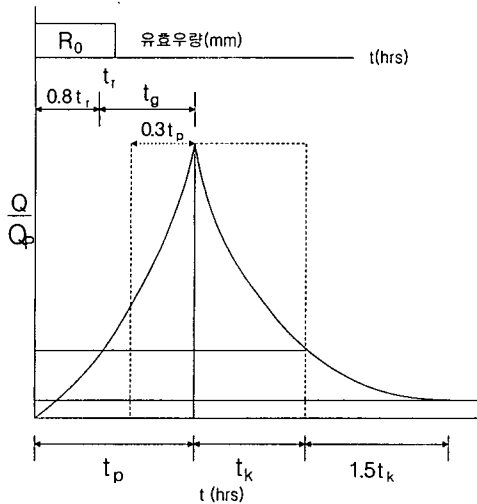
$$t_p = 0.8 t_r + t_g$$

t_g 또는 t_k 는 유역의 면적, 유로연장, 유로경사, 유역형상 등 유출에 영향을 미치는 인자들로 예상되며, Nakayasu는 다음과 제시 하였다.

$$L < 15\text{km 일 때, } t_g = 0.21 L^{0.7}$$

$$L > 15\text{km 일 때, } t_g = 0.4 + 0.058L$$

$$t_k = 0.47 (AL)^{0.25}$$



<그림 2.2> Nakayasu 합성 단위도

2.3 Clark 모형

Clark의 방법은 유역의 도달시간-누가면적관계를 사용하여 자연하천유역에 내리는 순간단위유량으로 인한 유역출구에서의 직접유출수문곡선인 순간단위유량을 유도하는 방법으로 강우로 인한 유수의 전이뿐만 아니라 유역의 저류효과도 고려하므로 자연유역에의 적용에 적합한 방법이다. [6]

(1) 기본개념

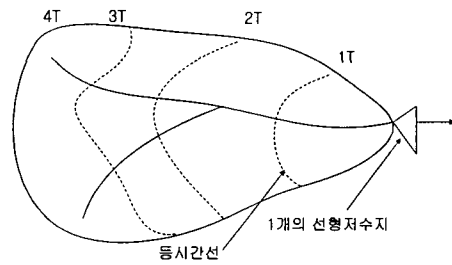
Clark의 유역추적법은 <그림 2.3>과 같이 해당 유역의 출구에 1개의 선형 저수지가 있다고 가정하여 유역 전반에 걸쳐 순간적으로 내린 단위 유량(1mm)으로 인한 유수가 단순전이에 의해 저수지에 유입하여 저수지의 추적과정을 통하여 유역의 홍수를 추적함으로써 유역의 순간단위 유량을 계산하는 것이다.

(2) 시간-면적 주상도의 작성

유역출구 지점의 유출량에 기여하는 시간구간별 배수면적을 표시하는 주상도를 시간-면적 주상도(time-area histogram)라 하며 이는 유역출구까지의 홍수 도달시간이 동일한 점을 연결하는 등시간선을 그려 전유역의 몇 개의 소유역으로 구분한 후 작성하게 된다.

등시간선(等時間線)에 의한 소유역 구분을 위해서는 전유역의 홍수도달시간 t_c 를 결정하여야 하며 실제 유출 수문곡선이 있을 경우는 수문곡선을 이용하여 결정하나, 미계측 유역일 경우 Kraven, Rizha 등의 실험공식을 사용할 수 있다.

전 유역의 도달시간(t_c)이 결정되고 나면 유로길이(L)를 t_c 로 나누어서 유역의 평균유속(V)을 계산할 수 있으며, 유로에 따른 홍수유출의 평균유속을 유역내의 경사를 고려하여 등시간선을 구한다.



<그림 2.3> 선형저수지 모형

(3) 유역추적에 의한 순간 단위유량의 유도

유역에 순간적으로 내리는 단위유량으로 인해 유역 출구지점 저수지로 유입되는 등시간 구간 Δt 시간동안 유입하는 홍수량은 다음식으로 표시된다.

$$I_i = \frac{1}{0.36} \frac{A_i}{\Delta t}$$

여기서, I_i 는 시간구간 I에서 유입량(m³/sec)이

며, A 는 1번째 시간구간에 포함되어 있는 소유역 면적(km²)이다.

선형 저수지 가정에 따르면 저류상수(K)와 저류량(S) 및 유출량(O)의 관계는 다음과 같이 표현된다.

$$S = KO$$

여기서 저류량(S)는 [m³/sec · hr], 유출량(O)은 [m³/sec], 저류상수(K)는 [hr]의 단위를 가진다.

이 식을 저류방정식에 대입하고, 계산시간 구간 Δt 단위별로 유출량을 계산하는 식으로 정리하면, 다음과 같은 식이 나온다.

$$O_2 = m_0 I_2 + m_1 I_1 + m_2 O_1$$

여기서 I_1, I_2 는 시간 구간 Δt 의 시점 및 종점 시각에서의 유입량이고, O_1, O_2 는 각각 유출량을 표시한다. 또한 m_0, m_1, m_2 는 다음의 식들로 구할 수 있다.

$$m_0 = \frac{0.5\Delta t}{K + 0.5\Delta t}$$

$$m_1 = \frac{0.5\Delta t}{K + 0.5\Delta t}$$

$$m_2 = \frac{K - 0.5\Delta t}{K + 0.5\Delta t}$$

초기 유출량 $O_1 = 0$ 으로 시작하여 유역추적을 하기 위해서는 저류상수(K)의 결정이 필수적이다.

(4) 저수지의 저류상수의 산정

해당 유역의 실측 수문곡선자료가 있는 경우에는 다음 <그림 2.4>과 같이 실측 수문곡선의 변곡점에서의 직접 유출량 Q_T 를 그점에서 그은 접선경사 (dQ/dt)로 나누어 줌으로써 구할 수 있다.

$$K = - \frac{Q_T}{(dQ/dt)_T}$$

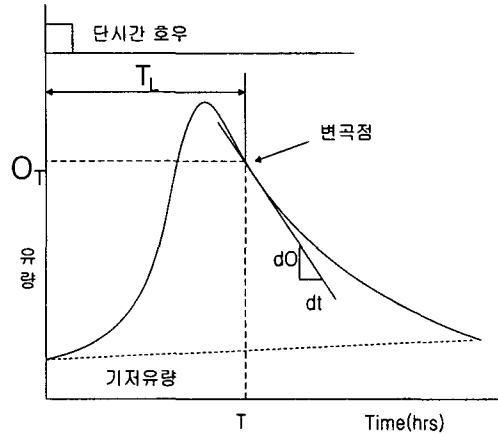
그러나, 미계측 유역에 적용하기 위해서는 다음과 같은 식을 적용하여 저류상수 K를 결정하여야 한다.

$$K = C \sqrt{\frac{L}{S}}$$

여기서, C는 0.5 - 1.4의 수치를 가지는 상수이며, L은 유로연장(km), S는 유로경사(%)이다.

경험공식에 의한 K값의 추정에는 사용하는 공식에 따라 그 값이 크게 차이가 생기므로 공식이 유도된 지역에 국한하여 사용하는 것이 원칙이며 다른 유역에 적용시에는 주의가 필요하다.

우리 나라의 경우는 K값에 대한 상세한 연구가 거의 없는 편이므로, 통상 도달시간(t_c)을 저류상수와 거의 비슷하다는 가정하에 도달시간을 저류상수로 사용하고 있는 실정이다. [4]



<그림 2.4> 단시간 호우로 인한 수문곡선

2.4 도달시간 산정 공식

2.4.1 도달시간 개념

홍수도달시간(time of concentration)은 유역의 최원점에 내린 비가 유역출구에 도달하는데 소요되는 시간으로 유역 모든 지점에서 유출에 영향을 주는 시간이므로 주어진 강우강도에 의해 발생하는 유출량은 최대가 발생하는 시간이 된다. 이러한 초기손실(intial loss)을 모두 만족하면서 동일 강도의 호우가 전유역에 걸쳐 최소한 홍수 도달시간이상 발생하여야 한다.

2.4.2 도달시간 산정 공식

(1) kirpich 공식

$$t_c = 3.976 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

(2) Rizha 공식

$$t_c = 0.833 \frac{L}{S^{0.6}}$$

(3) Kraven 공식

$$t_c = 0.444 \frac{L}{S^{0.515}}$$

(4) Kerby 공식

$$t_c = 36.225 \frac{(L \cdot N)^{0.467}}{S^{0.2335}}$$

(5) California 공식

$$t_c = 60 \left(\frac{11.9 L^3}{H} \right)^{0.385}$$

(6) Federal 공식

$$t_c = 1.8(1.1 - C) \frac{L^{0.5}}{S^{0.333}}$$

본 논문에서는 여러 공식들중 위에서 언급한 공식들을 본 유역들에 적용하여 분석하였다.

2.5 지체시간 산정 공식

2.5.1 지체시간의 개념

지체 시간은 유효우량의 주상도의 중심에서 직접 유출 수문 곡선의 중심까지의 시간차이다. 순간 단위도의 경우 지체시간은 단위도의 1차 모멘트로 정의되며, 단순 선형 저수지로 순간 단위도를 정의 할 경우 저수지의 저류상수 K 는 지체시간과 동일하게 쓰인다.

2.5.2 지체시간 산정 공식

(1) Clark 공식

$$T_L = K \frac{L}{\sqrt{S}}$$

(2) Linsley 공식

$$T_L = \frac{KL\sqrt{A}}{\sqrt{S}}$$

(3) Synder 공식

$$t_p = C_t (L_{ca}L)^{0.3}$$

(4) SCS 공식

$$t_p = \frac{L w^{0.8} (1000/CN-9)^{0.7}}{1900 S_0^{0.5}}$$

2.6 상관성 이론

상관관계란 변수와 변수간의 관계로 둘 또는 그 이상의 변수들에 있어서 한 변수가 변동함에 따라 다른 변수가 어떻게 변동하는 것과 같은 변동의 연관성 정도 즉, 변동의 크기의 정도와 방향을 말한다.

공분산(Covariance)은 두 변수의 값이 각각의 평균으로부터 떨어져있는 정도를 나타내는 특성치로서 $C_{ov} = (X, Y)$ 로 표시하며 다음과 같이 표시된다.

$$S_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \mu_X)(Y_i - \mu_Y)}{N-1}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^N (X_i Y_i - \mu_X \mu_Y)}{N-1}$$

위와 같은 공분산으로는 두 변수간의 측정단위에 따라 그 값이 달라지며 그 방향만을 알수 있지만, 측정단위에 관계없이 두 변수의 관련성을 알기 위해서는 단위를 표준화하여 두 변수간의 단위에 관계없이 그 관계를 알 수 있어야 한다. 따라

서, 공분산을 두 변수의 표준 편차의 곱으로 나누어 표준화한 것을 상관계수(correlation coefficient)라고 하고 다음과 같이 표현된다.

$$r_{XY} = \frac{S_{XY}}{S_X S_Y}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

이와 같은 상관계수는 다음과 같은 성질을 가지고 있다.

- (1) 상관계수는 두 변수들 간의 선형관련성의 정도를 나타내는 척도이다.
- (2) 상관계수는 -1에서 1사이의 값을 가진다.
- (3) 두 변수가 상관성이 전혀 없는 경우 0의 값을 가진다.
- (4) 상관계수 값이 ±1일 때 완전 상관이라고 하며, 0보다 큰 경우에는 양의 상관관계, 0보다 작은 경우 음의 상관관계라고 한다.
- (5) 높은 상관관계를 가진다고 해서 필수적으로 두 변수들 간에 인과관계를 가지는 아니다. 즉, 다시 말하면 상관계수는 두 변수들간의 상대적인 선형관련성의 척도가 되는 것이다.

3. 유역현황

본 연구는 소양강댐 상류 유역의 본류 3개지점인 인북천, 내린천, 북천과 양구 수입천을 대상으로 하였다.

<표 3.1> 유역현황

하천명		유로 연장 (km)	유로 면적 (km ²)	유로 경사	CN 값
본류	지류				
북한강	수입천	40	276.4	0.0193	65
소양강	내린천	80	1062.3	0.009	71
	인북천	63	529.5	0.0137	67
	북천	31	287.8	0.0348	64

4. 분석

실측 수문곡선과 여러 매개변수를 이용하여 합성된 단위도를 비교하는데는 다음과 같은 첨두홍수량 및 Peak Time, 단위도간의 상관성 및 매개변수들 간의 상관성등을 분석하여 실시하였다.

4.1 첨두홍수량 비교

최한규, 백효선, 이민섭

본 연구에서는 대상 유역에서의 유출량 산정을 위한 적합한 방법을 선정·제시함에 있다. 이를 제시하기 위한 분석방법중 먼저 합성단위도의 침

두 홍수량을 실측수문곡선과 비교하여본 결과는 다음 <표 4.1> ~ <표 4.4>와 같이 나타난다.

<표 4.1> 내린천 유역의 침두 홍수량 비교

내린천	수문곡선	nakayasu	clark						scs			
			kirpich	kraven	rziha	califonia	kerby	federal	synder	linsly	clark	scs
6.24	148.18	297.37	250.09	347.26	177.96	231.10	238.27	352.56	200.49	478.04	263.07	411.68
7.06	348.51	468.15	345.91	466.90	269.34	324.08	332.89	482.15	278.75	728.04	335.21	566.25
8.14	646.20	438.63	326.52	496.19	260.30	305.83	313.01	506.79	298.10	804.84	348.11	622.63
7.28	310.46	315.80	267.44	343.59	208.87	251.84	257.71	348.36	226.92	431.11	269.26	376.63
8.18	431.77	759.86	643.15	870.68	468.85	596.87	614.37	884.33	519.92	1122.10	665.53	1000.54
7.22	244.81	437.88	351.06	500.75	253.34	324.75	334.21	512.09	278.34	698.55	359.86	590.83
7.29	279.84	518.50	390.78	565.23	282.92	361.23	372.23	578.19	312.94	823.44	400.80	658.46
8.03	285.05	103.09	94.38	109.15	83.06	91.15	92.38	110.32	87.36	144.47	97.42	124.36
8.19	279.84	404.58	298.11	431.86	221.45	277.02	285.30	439.61	241.23	652.48	303.79	512.35
9.12	696.94	743.64	652.56	821.00	514.22	614.36	629.85	828.41	554.35	968.67	657.53	895.84

<표 4.2> 인북천 유역의 침두홍수량비교

인북천	수문곡선	nakayasu	clark						scs			
			kirpich	kraven	rziha	califonia	kerby	federal	synder	linsly	clark	scs
6.25	182.16	242.37	210.26	303.12	167.68	210.13	181.91	294.07	136.02	416.27	256.53	300.26
8.14	368.93	327.83	233.97	384.53	197.06	233.90	208.92	355.62	178.42	826.32	286.50	364.91
8.18	164.04	449.43	420.32	567.08	354.61	420.19	377.23	553.28	304.86	835.53	494.10	579.11
9.18	487.38	573.57	535.08	708.26	456.97	534.88	480.74	693.19	431.53	516.41	621.17	702.26
8.19	93.09	98.00	88.97	118.43	76.26	88.94	80.50	116.20	67.99	147.61	100.83	114.78

<표 4.3> 수입천 유역의 침두홍수량비교

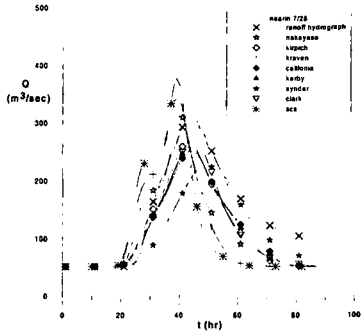
수입천	수문곡선	nakayasu	clark						scs			
			kirpich	kraven	rziha	califonia	kerby	federal	synder	linsly	clark	scs
8.18	95.51	142.59	133.91	208.95	128.11	147.65	110.72	167.39	93.70	411.16	189.28	175.30
9.18	374.59	335.85	342.02	446.70	331.13	367.80	285.56	402.39	227.00	522.18	426.63	410.49
8.24	131.20	237.54	204.88	367.57	185.07	237.49	148.45	276.98	101.17	632.12	323.12	290.16
9.12	53.97	79.65	77.82	103.35	74.97	83.35	68.74	91.83	62.73	114.92	96.57	92.93

<표 4.4> 북천 유역의 침두홍수량비교

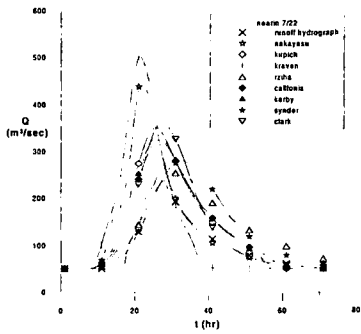
북천	수문곡선	nakayasu	clark						scs			
			kirpich	kraven	rziha	califonia	kerby	federal	synder	linsly	clark	scs
7.29	181.83	69.60	84.97	105.46	86.20	93.62	68.44	93.98	53.79	122.86	99.30	87.67
8.19	175.31	43.01	47.75	55.33	47.84	50.09	42.09	50.05	35.83	66.95	52.02	48.52
8.24	489.33	246.45	273.18	528.96	287.63	345.23	179.65	348.52	122.01	642.28	433.62	317.38

4.2 합성단위도의 비교

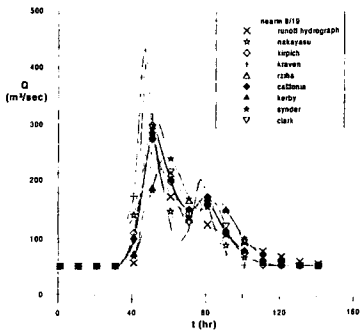
실제 호우로 인한 수문곡선과 각각의 합성단위 유량도의 형상을 비교하여 봄으로써 어떤방법이 가장 유사한지를 알아보기위해서 작도한 결과 다음 <그림 4.1> ~ <그림 4.9>와 같이 나왔다. 또한 각 방법들에 대한 오차 정도를 비교한 결과 <표 4.5> ~ <표 4.8>과 같이 나왔다.



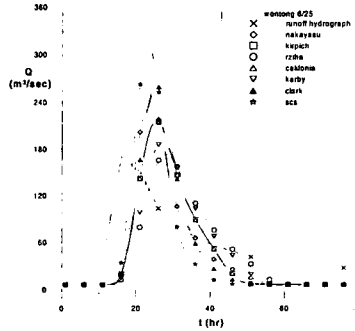
<그림 4.1> 내린천 caes 1



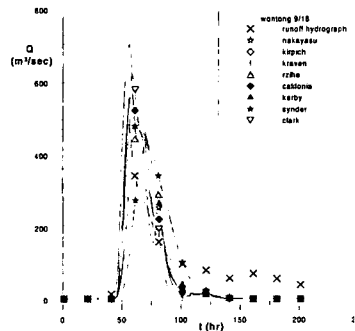
<그림 4.2> 내린천 caes 2



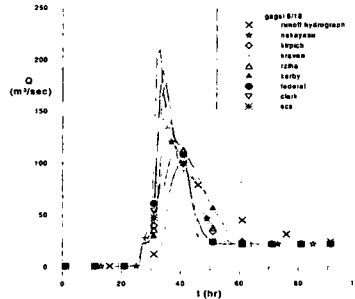
<그림 4.3> 내린천 caes 3



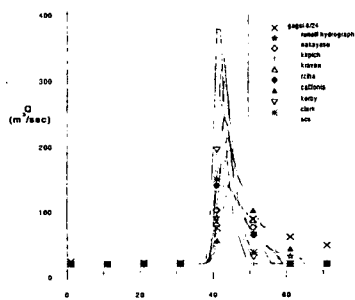
<그림 4.4> 인북천 caes 1



<그림 4.5> 인북천 case 2

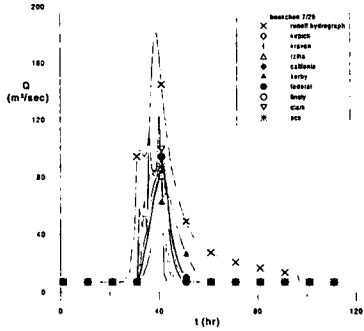


<그림 4.6> 수입천 case 1

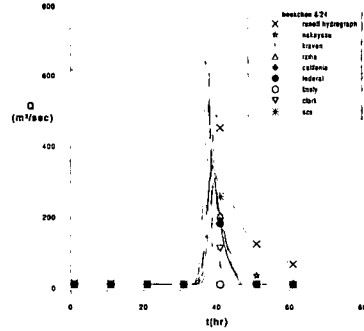


<그림 4.7> 수입천 case 2

최한규, 백효선, 이민섭



<그림 4.8> 북천 case 1



<그림 4.9> 북천 case 2

<표 4.5> 북천 유역의 오차 제곱

북천	nakayasu	clark						scs			
		kirpich	kraven	rziha	califonia	kerby	federal	synder	linsly	clark	scs
7.29	1027.84	2404.01	2492.73	2406.99	2441.22	2297.48	2442.02	2004.02	2552.00	2473.51	2423.52
8.19	1548.50	1604.53	1822.11	1618.14	1684.28	1470.98	1689.79	1478.45	1897.37	1778.11	1631.35
8.24	7050.57	6679.20	14621.96	6802.51	7705.65	7962.31	7857.29	12179.50	23256.88	10611.55	6492.64

<표 4.6> 내린천 유역의 오차 제곱

내린천	nakayasu	clark						scs			
		kirpich	kraven	rziha	califonia	kerby	federal	synder	linsly	clark	scs
case1	8797.88	8584.72	7607.30	6770.50	8009.12	8266.45	10908.90	7607.30	13350.52	9052.01	12228.91
case 2	26803.64	26351.35	28050.62	24838.77	25903.72	26124.59	28164.38	25321.72	32840.67	26280.75	29782.31
case3	4873.13	8019.30	4731.88	15721.71	9418.83	8945.52	4923.83	16888.70	14758.03	8019.30	6378.82
case4	3216.12	1738.89	5505.32	2365.01	1570.47	1603.17	5834.77	2341.91	11553.95	1587.43	7692.53
case5	8779.50	5756.08	19137.38	6282.99	4742.39	5131.86	20131.31	8674.01	43396.43	7489.51	28380.34
case6	6818.86	3242.74	12603.87	2111.71	2390.40	2692.41	13357.94	2893.22	29001.41	3261.96	18913.07
case7	3084.77	1240.55	6726.90	1261.39	829.56	980.21	7194.14	1914.20	17942.79	1509.76	10648.94
case8	2290.64	1103.00	3314.60	527.90	875.81	952.90	3499.26	588.67	7280.40	935.74	4840.47
case9	2237.87	671.52	4063.83	593.84	479.59	532.70	4356.81	699.28	10492.32	640.19	6462.19
case10	4289.10	2359.19	8587.67	3452.87	2040.90	2139.35	9174.08	3612.19	20581.78	2301.86	12489.75

<표 4.7> 인북천 유역의 오차 제곱

인북천	nakayasu	clark						scs			
		kirpich	kraven	rziha	califonia	kerby	federal	synder	linsly	clark	scs
6.25	2682.55	2880.16	3439.38	2838.80	2881.03	2818.55	3504.13	3475.28	5029.82	3650.54	3887.42
8.14	3476.82	3939.01	2880.74	5502.63	3943.85	4900.98	2613.43	8411.55	15192.95	3828.72	3381.35
8.18	3995.64	4847.72	6282.22	5764.38	4851.02	5294.53	5883.19	8920.64	15250.09	5073.12	5809.61
9.18	9644.28	9196.92	18191.80	7880.78	13606.70	9646.63	26305.18	5635.39	30260.22	12200.57	16982.32
8.19	265.90	211.95	522.81	188.58	211.80	185.35	469.01	296.55	1124.90	289.61	470.41

<표 4.8> 수입천 유역의 오차 제곱

수입천 잔차 제곱합	nakayasu	clark						scs			
		kirpich	kraven	rziha	califonia	kerby	federal	synder	linsly	clark	scs
8.18	541.96	541.86	1678.37	430.22	774.58	184.61	1096.92	98.88	3343.32	1258.05	1046.48
9.18	2505.34	2514.16	4561.16	2441.57	2782.84	2556.07	3326.19	4268.76	7327.21	3596.77	3234.03
8.24	634.44	590.77	3636.32	473.40	973.55	269.73	1694.18	658.43	10845.86	2226.78	1679.71
9.12	572.36	590.85	804.02	565.25	641.49	478.90	703.75	292.70	1064.28	736.89	700.82

4.3 상관성 분석

4.3.1 수문곡선의 상관성

앞에서 산정된 홍수량 및 매개변수에 대하여 통계적인 방법으로 유사성을 알아보기 위하여 분석을 실시하였다.

다음은 각 방법으로 산정된 값들을 각 관측된 수문곡선과 비교하여 그 상관성을 나타낸 것으로 <표 4.9> ~ <표 4.12>는 이를 나타낸다

<표 4.9> 내린천의 상관계수

	NAKAYASU	clark						scs			
		kirpich	kraven	rziha	califonia	kerby	federal	synder	linsly	clark	scs
case 1	0.159	0.023	-0.239	-0.245	-0.032	-0.012	0.280	-0.239	0.414	-0.029	0.315
case 2	-0.455	-0.496	-0.400	-0.618	-0.524	-0.512	-0.395	-0.594	-0.310	-0.506	-0.361
case 3	0.961	0.885	0.951	0.672	0.853	0.863	0.947	0.632	0.774	0.885	0.917
case 4	0.824	0.945	0.688	0.944	0.969	0.961	0.668	0.923	0.38	0.958	0.572
case 5	0.948	0.98	0.863	0.832	0.972	0.975	0.848	0.79	0.596	0.949	0.772
case 6	0.762	0.958	0.623	0.877	0.976	0.971	0.589	0.835	0.161	0.978	0.449
case 7	0.896	0.985	0.797	0.892	0.989	0.988	0.777	0.857	0.472	0.974	0.68
case 8	0.581	0.788	0.463	0.892	0.825	0.813	0.439	0.881	0.148	0.826	0.317
case 9	0.79	0.952	0.68	0.912	0.964	0.962	0.656	0.905	0.32	0.965	0.536
case 10	0.935	0.968	0.876	0.942	0.972	0.971	0.867	0.94	0.714	0.969	0.822

<표 4.10> 인북천의 상관계수

	NAKAYASU	clark						scs			
		kirpich	kraven	rziha	califonia	kerby	federal	synder	linsly	clark	scs
case 1	0.659	0.592	0.771	0.459	0.591	0.511	0.740	0.185	0.840	0.590	0.686
case 2	0.808	0.767	0.883	0.627	0.767	0.683	0.888	0.341	0.631	0.790	0.847
case 3	0.872	0.888	0.7	0.739	0.51	0.663	0.099	0.755	0.37	0.855	0.758
case 4	0.948	0.92	0.936	0.848	0.92	0.879	0.945	0.678	0.731	0.937	0.947
case 5	0.854	0.895	0.716	0.909	0.895	0.913	0.748	0.797	0.47	0.85	0.751

<표 4.11> 수입천의 상관계수

	NAKAYASU	clark						scs			
		kirpich	kraven	rziha	califonia	kerby	federal	synder	linsly	clark	scs
case 1	0.743	0.758	0.391	0.806	0.673	0.907	0.564	0.938	0.167	0.521	0.59
case 2	0.943	0.937	0.796	0.943	0.915	0.944	0.876	0.815	0.637	0.86	0.884
case 3	0.873	0.884	0.514	0.901	0.83	0.918	0.735	0.703	0.102	0.704	0.765
case 4	0.298	0.281	0.13	0.308	0.237	0.398	0.19	0.616	0.068	0.174	0.199

<표 4.12> 북천의 상관계수

	NAKAYASU	clark						scs			
		kirpich	kraven	rziha	california	kerby	federal	synder	linsly	clark	scs
case 1	0.896	0.21	0.183	0.209	0.198	0.21	0.198	0.013	0.168	0.187	0.021
case 2	0.742	0.609	0.313	0.59	0.49	0.85	0.483	0.942	0.237	0.369	0.568
case 3	0.972	0.915	0.436	0.9	0.805	0.934	0.974	0.602	0.182	0.628	0.896

4.3.2 매개변수의 분석

단위도를 합성하는데 있어서 여러 매개변수가 사용되며 그중에서 지체시간의 산정은 단위도에 가장 큰 예민도를 보이므로, 지체시간에 대한 분석을 통하여 강원도 지역의 소하천에 적합한 식을 도출하기 위하여, 통계적인 방법으로 그 경향을 보기위해 분석을 실시하였으며, 그 결과는 다음 <표 4.13>과 같다.

먼저 내린천의 경우에는 여러 가지 방법중 Clark의 지체시간을 이용하여 SCS의 방법으로 수문곡선을 비교한 것이 가장 상관성이 큰 것으로 밝혀졌다.

인북천의 경우에는 여러 가지 방법중 Clark의 지체시간을 이용하여 SCS의 방법으로 비교한 것이 가장 상관성이 큰 것으로 밝혀졌다.

수입천의 경우에는 여러 가지 방법중 SCS의 지체시간을 이용하여 SCS의 방법으로 수문곡선을 비교한 것이 가장 상관성이 큰 것으로 밝혀졌다.

마지막으로 북천의 경우에는 SCS의 지체시간을 이용하여 SCS의 방법으로 수문곡선을 비교한 것이 가장 상관성이 큰 것으로 밝혀졌다.

이상에서 본 바와 같이 여러 가지 방법중 본 대상유역에 대해서는 SCS의 지체시간을 이용하여 SCS의 방법으로 수문곡선을 합성한 것이 실측수문곡선과 가장 상관성이 크다는 것을 알수 있었다.

<표 4.13> 매개변수의 오차계급

방법	내린천	인북천	북천	수입천	
Nakayasu	9.5481	6.5025	3.24	2.2801	
SCS	Synder	9292.16	90.25	61.9369	34.4569
	linsly	23.4256	27.8784	16.8921	12.25
	clark	16.4836	0.09	2.4964	4.8841
	Scs	9.4249	3.8025	1.2321	15.1991

5. 결론

본 연구를 통해 강원도 지역(소양강댐유역)의 소하천에 대한 유출량산정 및 유출수문곡선을 비교하여본 결과 다음과 같은 결론을 얻을수 있었다.

1. 강원도 지역의 소하천들에 대한 홍수 유출수문

곡선을 작성시 그 유역면적 및 유로연장이 비교적 크고 유로경사가 완만한 지형일 경우에는 지체시간 산정공식중 Clark의 공식을 이용하여 SCS 방법으로 단위도를 산정하는 것이 가장 좋은 방법임을 볼 수 있었다.

2. 비교적 유역면적이 적고, 유로연장이 짧으며, 유로경사가 심한 지형일수록 Nakayasu 방법으로 단위도를 산정하는 것이 가장 적합함을 볼 수 있었다.

3. 홍수유출수문곡선과 합성단위도의 첨두홍수량 및 Peak Time의 비교를 통하여 살펴본 결과 Kirpich의 도달시간을 적용하여 Clark의 방법으로 단위도를 산정하는 것이 가장 적합하였다.

참 고 문 헌

- [1] 이홍래 등, 수문모형 평가에 관한 연구 -강우·유출모형중심으로-. 연구보고서, 건기연 92-WR-111-2, 한국건설기술연구원, 1993.
- [2] 정성원 등, 시험유역의 운영 및 수문특성 조사·연구 -합성 단위도 개발을 중심으로-. 연구보고서, 건기연 2000-092, 한국건설기술연구원, 2000.
- [3] 백효선, "적정 합성단위도 선정을 위한 유역반응계수의 적용에 관한 연구", 강원대학교 토목공학과 석사학위논문, 2000.
- [4] Ven Te Chow, David R. Masdment, Larry W. Mays, *Applied hydrology*, MacGraw-Hill Book Company, 1988.
- [5] MxCuen. R. H., *A guide to hydrologic analysis SCS method*, Prentice-Hall, 1982.
- [6] 윤석영·홍석영, "Clark모형의 매개변수 산정방법 개선", 토목학회 논문집 제 15권 제 5호, pp 1287-1300, 1995
- [7] 고재웅, "우리나라 홍수량 공식들의 비교연구", 토목학회논문집 제8권 제 1호, pp 113-125, 1988.