

## 설계홍수량 산정을 위한 단위유량도의 합성방법 개발

(Development of Synthetic Unit Hydrograph for  
Estimation of Design Flood)

이 홍 래\*

이 종 국\*\*

서 병 하\*\*\*

---

### Abstract

---

In this study, more exact runoff phenomena of the watersheds were comprehended and the relationships between geographical factors of the selected watershed and the unit hydrograph characteristic variables representing runoff processes, were also established. Moreover, the estimation of the adequate design flood was presented, which is needed for the design of the hydrologic structures in the ungauged watersheds. And owing to these results, it is considered to be possible to execute the effective flood control projects of the river and the efficient water resources management.

---

### 국문 요약

---

본 연구에서는 국내에 어느 정도 축적된 단시간 수문자료를 사용하여, 정확한 유역의 유출현상을 파악하고 그 대상유역의 지형인자와 유출특성을 대표하는 단위유량도 특성변수와의 관계를 규명하여, 유출수문자료가 없는 대상유역, 즉 미계측 유역에서 수공구조물의 설계시에 적절한 설계홍수량 산정방법을 제시하여 하천의 효과적인 치수사업을 수행하여 효율적인 수자원관리를 도모할 수 있도록 하였다.

---

\* 연구원, 한국건설기술연구원, 수자원연구실

\*\* 위촉연구원, 한국건설기술연구원, 수자원연구실

\*\*\* 연구위원, 한국건설기술연구원, 수자원연구실

## 1. 서론

특정 대상유역에서 수공구조물의 적정한 규모결정을 위해 사용되어온 설계홍수량 산정용 경험식들은 그 구조의 지나친 단순화와 유출특성 수문곡선을 완전히 작성할 수 없다는 취약점 때문에 주요 수공구조물의 수문설계에서는 사용상 많은 제한이 있었다. 그러나, 1932년에 발표된 Sherman의 단위유량도이론은 유역의 완전한 유출특성수문곡선을 제시할 수 있으며, 그 적용성도 광범위하여 오늘날 각종 치수계획에 널리사용되고 있다. 그러나 이 방법은 그 대상유역에 관측된 강우, 유출자료가 있어 그 유역의 유출현상을 대표하는 단위유량도를 도출할 수 있어야 한다. 우리나라와 같이 단시간 수문자료가 충분하지 못한 경우에는 지형특성인자와 유출특성을 나타내는 단위유량도 인자와의 상관 관계로 표시되는 합성단위유량도의 개발이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 전국의 31개 대상유역별로 호우사상을 해석하여 대상유역의 대표단위유량도를 유도하였고, 이로 부터 Synder 방법과 HYMO 방법에 의해 합성단위유량도를 도출하였다. 또한 이 유도된 합성단위유량도는 국내 IHP 조사유역의 대표 단위유량도등과 비교, 검증하였다.

## 2. 단위유량도의 유도

### 2.1 대상유역의 선정

단위유량도유도를 위한 대상유역의 선정은 댐과 같은 수공구조물에 의한 인공적인 흐름의 조작이 없는 유역으로 자연상태의 흐름해석이 가능한 유역을 대상유역으로 결정하였다. 한강유역에 7개 대상유역, 낙동강유역에 13개 대상유역, 금강유역에 5개 대상유역, 섬진강유역과 영산강유역에 각각 3개 대상유역 등이 선정되어 총 31개 대상유역을 선정하였다. 각 대상유역명은 표 1과 같으며, 한강유역내 7개 대상유역의 위치는 그림 1과 같다.

그리고 대상유역의 지형인자 즉, 하도길이 유역출구에서 유역중심에 가장 가까운 하도까지의 길이, 유역면적 등과 같은 지형인자는 1/50000 지형도를 사용하여 구하였다.

표 1. 유역별 선정 대상유역명

유역명	대상유역명	소재
한강 유역	정선, 거운, 영월, 주천, 횡성, 간현, 홍천	7개
낙동강유역	봉화, 송리원, 월포, 산양, 점촌, 이안, 계산 선산, 동촌, 개진, 창리, 예림교, 용곡	13개
금강 유역	용담, 무주, 수통, 심천, 석화	5개
섬진강유역	구례, 압록, 송정	3개
영산강유역	마북, 남평, 나주	3개

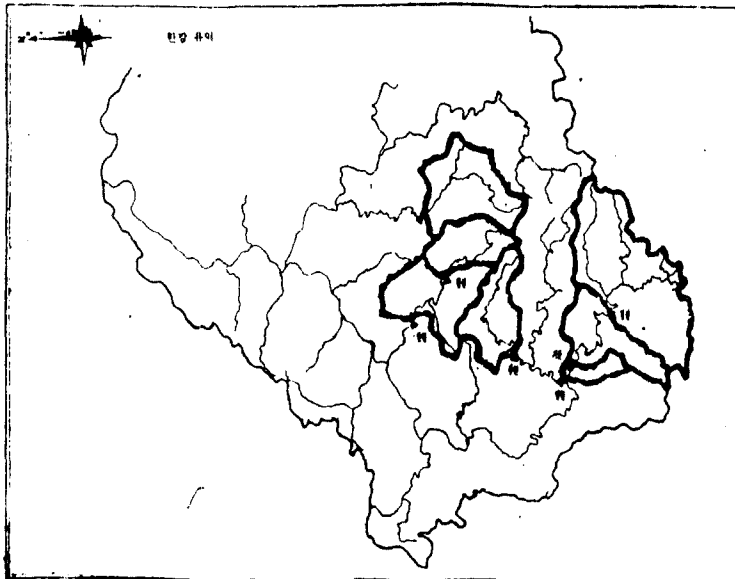


그림 1 한강유역의 대상유역 위치

## 2.2 수문자료의 정리

본 연구에서 단위유량도 유도를 위한 수문자료는 우선 수문조사년보를 통해 호우사상을 선정하였고, 자기기록지의 보유 유무를 고려하여 최종적인 호우사상을 결정하였다. 특별히 단위유량도 유도에 필요한 시간별 수문자료는 한강홍수통제소에서 '80년대 초부터 자기유량지와 자기수위지를 마이크로 필름(M/F)으로 보관하고 있으며, 중앙기상대의 측후소가 관측소 우량자료가 시간단위로 전산화 되어있어 이들 자료를 사용하였다. 한강유역의 대상유역별 선정된 호우사상을 표 2 와 같다.

### 2.3 수위-유량관계곡선의 선정

수위자료를 유량자료로 환원하기 위해서는 해당수위관측소의 수위-유량관계곡선이 필요하다. 따라서 각 대상구역별로 현재까지 발표된 수위-유량관계곡선식을 모두 정리하여 한 좌표평면상에 표시하여 변화 정도를 알아 보았다. 선정호우의 해당년도식을 사용하는 것을 원칙으로 하였으나, 단위유량도 유도과정에서 총강우량과 직접유출량의 관계, 즉 직접유출율의 적합성과 실측유량곡선과 계산유량곡선 등과의 관계를 검토하여 수위-유량곡선식의 정도를 판가름하였다.

표 2 한강구역의 대상구역의 선정호우사상

기간\수위관측소명	정선	거문	영월	주천	평성	간변	홍천
'80 8.25 - 8.29					○		
9. 5 - 9. 6					○		
'81 7. 1 - 7. 3				○	○		
8.25 - 8.28					○		
8.31 - 9. 2						○	
'82 8.13 - 8.15					○		
'83 7.19 - 7.22						○	
8.23 - 8.26	○						
9.10 - 9.13			○				
'84 6. 6 - 6. 9						○	
7. 3 - 7. 6	○			○			
8.15 - 8.19		○				○	○
8.31 - 9. 5		○		○	○		
'85 7.12 - 7.15		○					
8.10 - 8.12		○					○
8.16 - 8.19	○						
9.18 - 9.22	○	○					
'86 7.18 - 7.21		○					
9. 2 - 9. 4						○	
'87 6. 7 - 6.10			○			○	○
7.14 - 7.18			○			○	
7.21 - 7.25			○		○	○	
8. 3 - 7. 8			○				
년정호우사상 수	4	6	5	3	7	8	3

### 2.4 대상구역의 선정호우 해석

31개 대상구역의 선정된 호우를 미 공병단에서 개발한 UHLRO (Unit Hydrograph Loss Rate Optimization Program) 프로그램을 사용하여 해석하였다. 이 프로그램은 clark의 순간단위유량도 이론을 토대로 하여 작성되었고 손실우량은 지수곡선법을 사용하였다. 본 연구에서는 기저유출과 직접유출의 분리방법은 국내에 발표되어 있는

주지하수감소곡선식을 사용하였다.

표 3 영산강유역내 대상유역별 선정호우의 해석결과

지점명	유역면적 (km <sup>2</sup> )	선정호우	지체시간 (Tp)	원두유량 (Qp)	기저시간 (B)	총유량 (ΣI)	유효강유량 (Re)	제산침투유량 (Qpc)	관측침투유량 (Qpo)
마북	686.5	85-6-23	7.14	80	56	237.94	143.60	836	955
		85-6-27	7.49	110	72	57.52	30.86	377	325
		85-8-10	10.60	140	8	179.82	38.82	548	626
남평	824.3	83-7-11	5.23	160	30	107.36	60.55	411	479
		85-8-13	4.45	190	24	95.97	45.23	781	1049
		85-9-2	4.92	210	19	154.08	77.13	821	1325
		85-9-18	4.07	190	26	157.00	66.06	1131	1496
나주	1964.9	83-9-11	11.28	180	133	80.83	21.94	422	418
		84-6-7	14.53	210	130	72.49	11.65	239	253
		84-7-5	11.15	210	113	121.31	86.74	1537	1508
		84-9-2	13.16	240	86	142.08	85.94	1408	1497
		84-9-8	13.85	140	130	31.60	23.37	379	371
		84-9-26	12.28	250	85	82.85	52.54	1144	1234
		85-7-3	15.17	170	128	82.65	25.53	432	433
		85-9-18	12.68	240	86	152.22	101.71	2130	2369

본 연구에서 사용한 수문자료는 1시간단위 우량자료이므로, 단위유량도의 지속시간은 모두 1시간 짜리이다. 표 3은 영산강유역의 대상유역별로 선정된 호우사상을 해석한 결과이며 그림 2는 나주의 대상유역 85-6-23 호우의 해석결과이고, 그림3은 구례 대상유역의 86-9-20 호우의 해석결과이다.

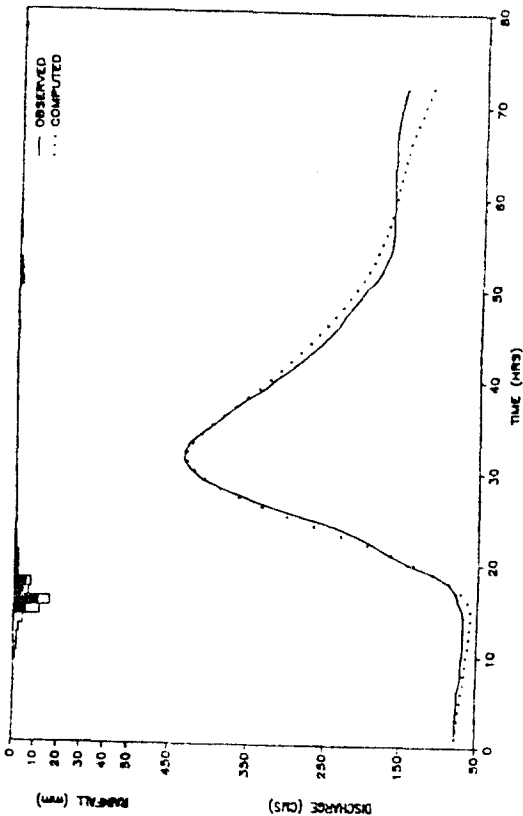


그림 2

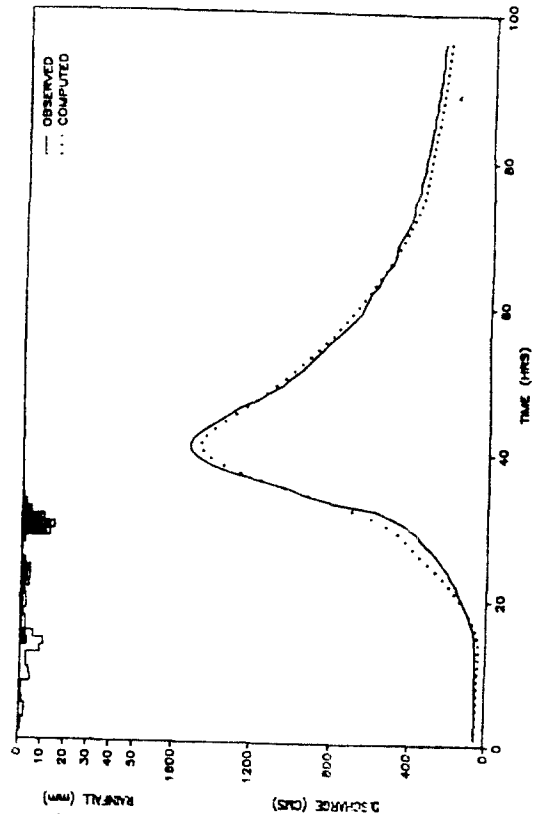


그림 3

## 2.5 대상유역별 대표단위유량도의 결정

각 호우사상에서 구한 단위유량도를 기본으로 하여 그 유역의 대표단위유량도를 결정하는 방법은 각 단위도의 첨두유량과 첨두유량발생시간을 평균하여 단위도의 모양을 스케치하는 단순평균법과 각 단위유량도의 첨두유량 발생시간을 먼저 평균하고 이에 각 단위유량도의 첨두발생시간을 일치시킨 후 각 시각에서의 중앙값으로 단위유량도를 결정하는 첨두시간조정 중앙값법 (median peak aligned method) 그리고 1976년 Reed에 의해 개발된 방법으로 평균, 체적, 분산계수, 왜곡도 및 peakedness 등과 같은 통계적 계수 등을 형상요소로 하여 대표단위유량도의 형상을 결정하는 방법등이 있다. 1981년 영국의 Institute of Hydrology 에서는 위의 방법등을 상호비교한 결과 해석방법의 편리성과 정확성등을 고려하여 첨두시간조정중앙값법을 추천하고있다. 연구에서도 이 방법을 사용하여 31대상유역의 대표단위유량도를 결정하였다. 그림4는 남평대상유역의 대표단위유량도를 결정한 것이다.

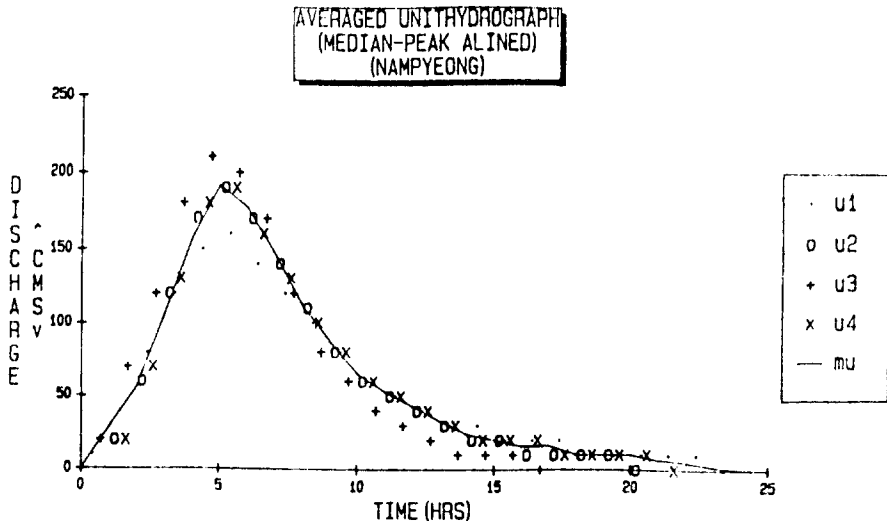


그림 4 남평유역의 대표단위유량도

## 3. 합성단위유량도의 유도

### 3.1 합성단위유량도의 이론

본 연구에서는 합성단위유량도 방법 중에서 국내에서 일치기 연구된바 있는 Snyder 합성단위유량도와 1972년 미 농무성에서 개발한 HYMO 합성단위유량도 방법을

사용하여 각각 합성단위유량도를 유도하였다. Snyder합성단위유량도에서는 단위유량도의 지체시간과 첨두유량 및 기저시간 등과 같은 단위유량도의 특성인자와 유역의 지형인자와의 상관관계를 수립하였다.

$$t_p = C_t (L \cdot L_c)^m$$

$$q_p = C_p \frac{2.778}{t_p^a} \quad (1)$$

$$T = 3 + (t_p/24)$$

여기에서,  $t_p$ 는 지체시간(hr),  $q_p$ 는 단위면적당첨두유량( $m^3/sec/Km^2$ ),  $T$ 는 기저시간(day)이며  $L$ 은 하도길이(Km),  $L_c$ 는 유역출구에서 유역중심에 가장 가까운 하도까지의 하도길이(Km),  $C_t$ ,  $C_p$ ,  $m$  등은 상수이다. 이처럼 Snyder 이론은 단위도의 시작과 끝점 그리고 첨두유량의 크기와 시각 등 3개점만으로 단위도의 형상을 제시하므로 이를 보완하기 위해 미 공병단에서는 첨두유량의 50%와 75%에 해당하는 단위유량도의 시간폭을 첨두유량과의 관계로 나타내었다. 본 연구에서는 첨두유량의 25% 되는 시간폭을 추가하여 유도하였다. (그림 5 참조)

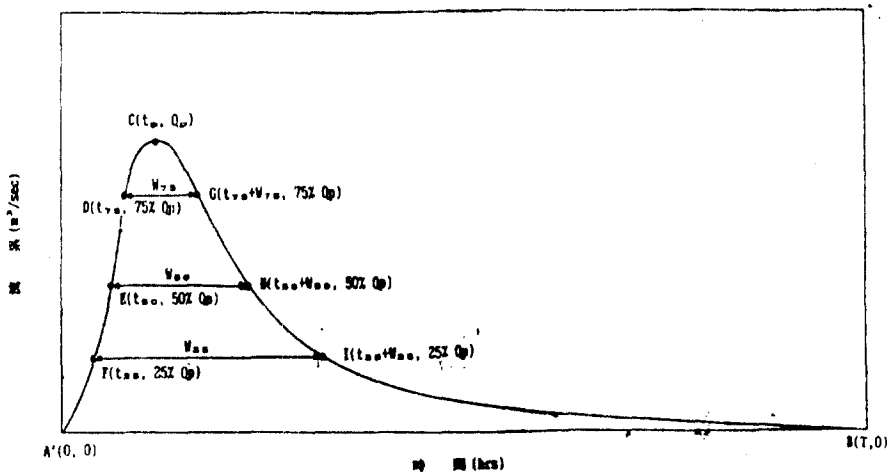


그림 5 Snyder의 합성단위유량도

HYMO의 무차원단위유량도는 Snyder 방법과는 달리, 임의 유역에서의 유출특성곡선인 단위유량도의 완전한 분포형을 제시해 줄수 있다. 즉, Williams와 Hann은 무차원단위유량도를 2변수 감마분포형으로 아래와 같이 제시하였다. (그림 6 참조)

$0 \leq t \leq t_0$  일때

$$q = qp [t/tp]^{(n-1)} \exp[(1-n) (t/tp-1)]$$

$t_0 \leq t \leq t_1$  일때

$$q = q_0 \exp(t_0-t/k) \quad \text{----- (2)}$$

$t_1 \leq t$  일때

$$q = q_1 \exp (t_1-t/k_1)$$

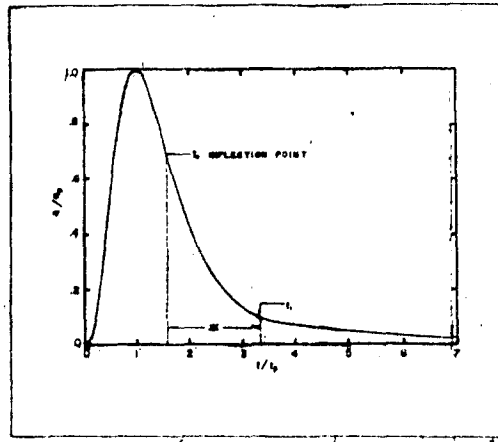


그림 6 HYMO의 무차원단위유량도

여기에서,  $q$ 는 임의의 시각  $t$ 에서의 유량 ( $m^3/sec$ ),  $qp$ 는 첨두유량( $m^3/sec$ ),  $n$ 은 무차원 형상 매개변수이다.  $t_0$ 는 변곡점 발생시각이며,  $t_1 = t_0 + 2k$  로 정의된다.

$K$ 는 감소상수(hr)이며,  $K_1$ 은 2차 감소상수이다. 무차원 형상계수  $n$ 은 아래와 같이  $K$ 와  $t_0/tp$ 의 함수로 관계지을 수 있다.

$$K = \frac{-tp (t_0/tp)^{n-1}}{(n-1) [ (t_0/tp)^{n-2} - (t_0/tp)^{n-1} ]} \quad \text{----- (3)}$$

그리고, 
$$t_0/tp = 1 + (1/n-1)^{1/2} \quad \text{----- (4)}$$

이 윗식을 비선형방정식 해법인 뉴우튼방법을 사용하여  $n$ 값을 구한다. 또한 첨두유량 ( $qp$ )은 아래와 같이 구할 수 있다.

$$qp = \frac{0.28A}{B tp} \quad \text{----- (5)}$$



여기에서, B는 유역매개변수로 다음식에 의해 구할 수 있다.

$$B = E + \left(\frac{q_0}{qp}\right) \left[ \left(\frac{K}{tp}\right) \left(1 - \frac{q_1}{q_0}\right) + \left(\frac{q_1}{q_0}\right) \left(\frac{K_1}{tp}\right) \right] \quad (6)$$

(6) 식에서 E는 무차원 단위유량도의 원점에서 변곡점(t0)까지의 면적이므로 무차원 단위 유량도식을 적분하여 구할 수 있다. 위와 같이 HYMO이론은 K와 tp가 결정되면 그 유역의 단위유량도를 계산할 수 있으므로 이 두변수를 다음과 같은 유역특성인자로 표시하였다.

$$K = 5.95 (A)^{0.231} (L/W)^{0.124} (SLP)^{-0.777}$$

$$tp = 1.44 (A)^{0.422} (L/W)^{0.133} (SLP)^{-0.46}$$

여기에서, L은 유로연장, W는 평균유역폭(A/L), SLP는 유역의 표고차(m)를 하도의 길이(Km)로 나눈 경사 (mm/Km)이다. 1987년 William은 변수최적화를 통해 HYMO모델의 변수조정을 아래와 같이 실시하여 보다 향상된 결과를 얻었다.

유역경사 < 5% 인 경우

$$tp = 0.97 (A)^{0.4} (HT)^{-0.2} (L)^{0.2} \quad (7)$$

$$K = 4.50 (A)^{0.4} (HT)^{-0.8} (L)^{0.4}$$

### 3.2 합성단위유량도의 유도

Snyder 형 합성단위유량도의 유도를 위해 31개 대상유역을 전체로하여 합성 단위유량도를 유도하였다. 합성단위유량도의 이론은 단위유량도의 특성변수와 해당 유역 지형인자와의 관계를 규명하는 것이므로, 지형특성이 고려된다고 할 수있다. 따라서 유역별로 분리 하는것 보다 하나로 합하여 해석하는 것이 바람직 하겠다. 우선 지체시간과 지형인자(L·Lc)와의 관계는 그림 7과 같고, 회귀분석식은 다음과 같다.

$$tp = 0.4964 (L \cdot Lc)^{0.3789} \quad (8)$$

또한, 단위면적당 첨두유량과 지체시간과의 관계도 아래와 같이 유도하였고, 전대수 지상에 표시하면 그림 8와 같다.

$$qp = 1.1791/tp^{-0.8961} \quad (9)$$

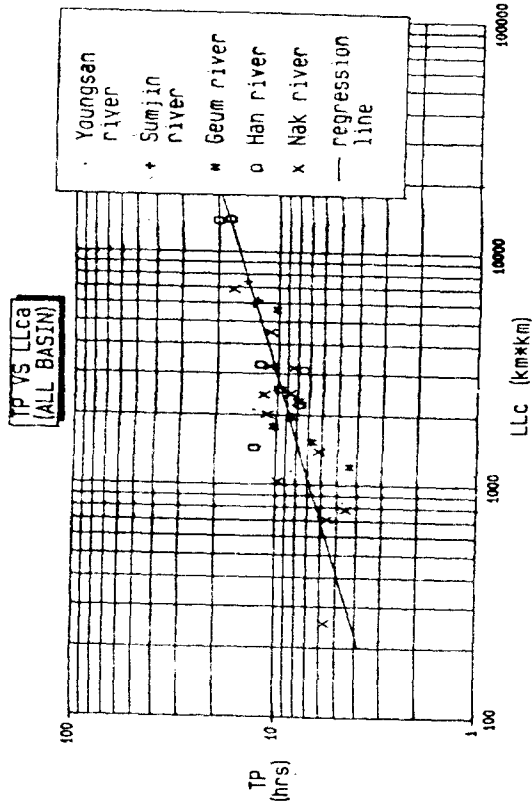


그림 7  $tp \sim L \cdot Lc$  의 관계

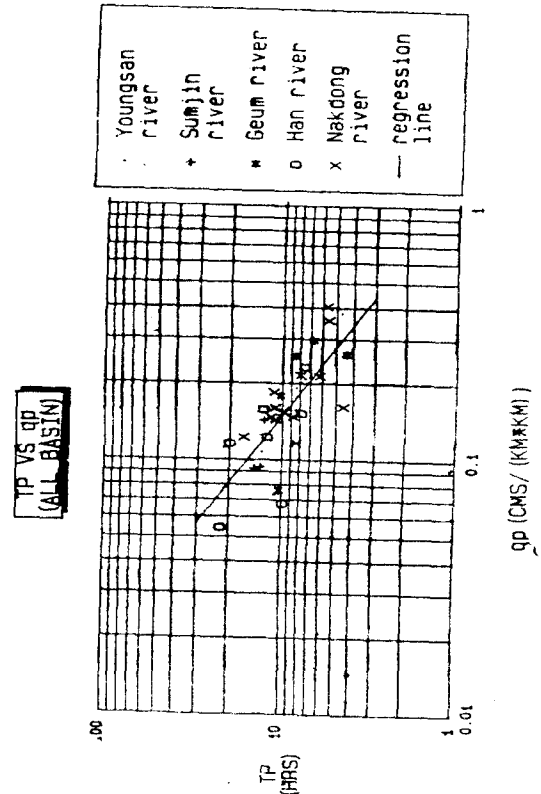


그림 8  $qp \sim tp$  의 관계

그리고, 기저시간과 지체시간과의 관계도 아래식과 같이 유도하였다.

$$T = 0.80 + 5.01 (tp/24) \quad \text{—————} \quad (10)$$

Snyder 방법을 보완하기 위한 W25, W50, W75와 이것이 시작되는 시각  $t_{25}, t_{50}, t_{75}$  를 아래와 같이 각각 구하였다.

$$\begin{aligned} W25 &= 3.8093 (qp)^{-0.9599} & t_{25} &= 0.2121 (L \cdot Lc)^{0.3107} \\ W50 &= 2.9273 (qp)^{-0.8557} & t_{50} &= 0.3201 (L \cdot Lc)^{0.3297} \quad \text{—————} \quad (11) \\ W75 &= 2.1849 (qp)^{-0.7091} & t_{75} &= 0.4951 (L \cdot Lc)^{0.3187} \end{aligned}$$

HYMO 합성단위유량도 유도를 위해 31개 대상유역 대표단위유량도로 부터 변곡점을 구하여야 하는데 이를 위해 각 대표단위유량도를 전대수지상에 나타내어 그림 9과 같이 변곡점 K를 구하였다. 유역의 지형인자 A, HT, L 등과  $tp$  및 K와의 관계를 단계 별 회귀분석을 실시한 결과 다음과 같은 결과를 유도하였다.

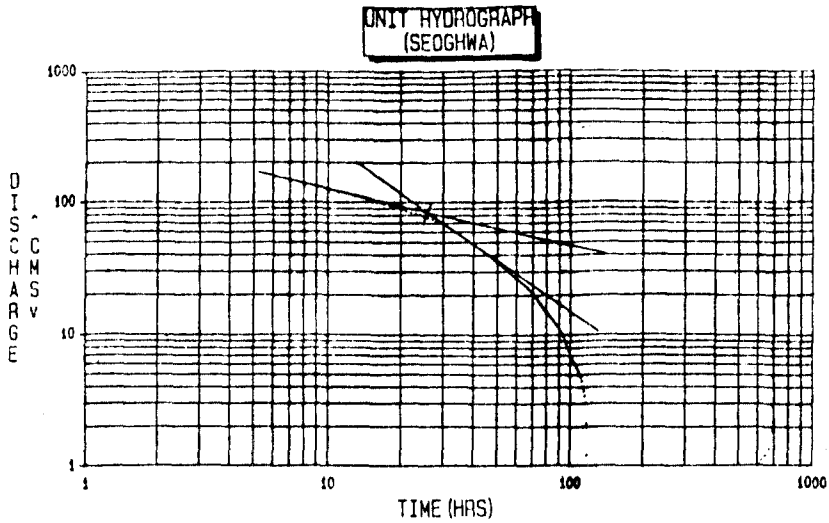


그림 9 변곡점 결정도

$$K = 4.1725 (HT)^{-0.2752} (L)^{0.5957} \quad \text{————— (12)}$$

$$tp = 0.5937 (A)^{0.2096} (L)^{0.3115}$$

HYMO 이론에 의하면 지체시간(tp)과 감소상수(K)는 유역면적(A), 표고차(HT) 및 하도 길이(L) 등의 변수로 나타내었는데 본 연구에서는 (12)식의 경우처럼 유역면적(A), 표고차(HT) 및 하도길이(L)로 상관식을 나타내는 경우가 가장 작은 추정치 표준오차를 나타냈다.

#### 4. 검증

본 연구에서 유도한 Snyder 합성단위유량도와 HYMO 합성단위유량도의 적합성 여부를 검토하기 위해 다년간 연구조사를 통해 대표단위유량도를 보완해온 IHP 조사 지역인 방림유역, 산계유역, 무성유역을 검증유역으로 선정하였다. IHP 조사유역의 단위유량도는 지속시간이 2시간이므로 본 연구 결과를 지속시간 2시간으로 보정하여 비교, 검토하였다. 또한 국내에서 많이 사용되고 있는 나카야스(中安)종합단위유량도도 같이 상호 비교할 수 있도록 그림 10~12과 같이 동일좌표축에 모두 표시하였다.

COMPARISON OF UNITHYDROGRAPH  
(BANGRIM)

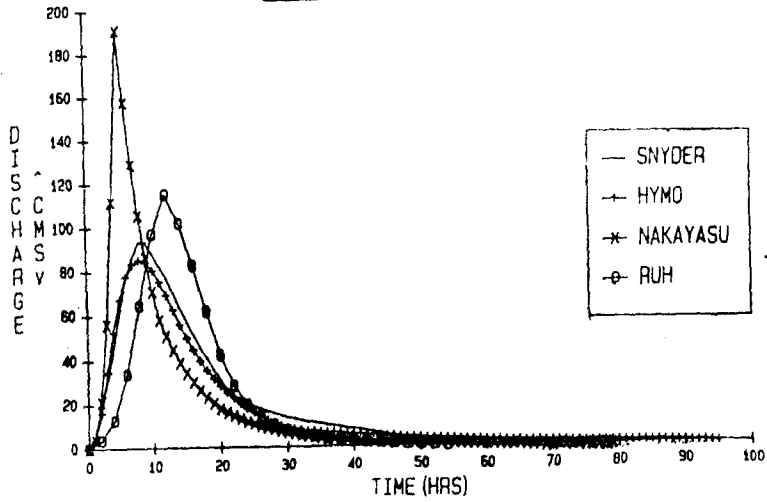


그림 10 방림유역 단위유량도비교

COMPARISON OF UNITHYDROGRAPH  
(SANGYE)

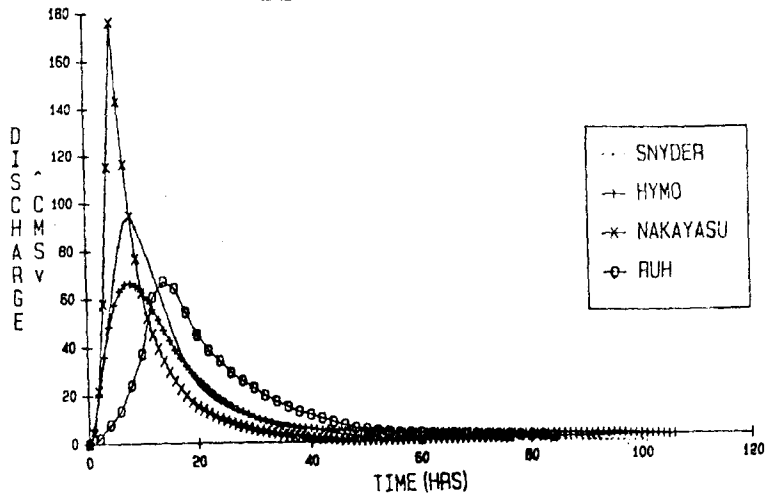


그림 11 산계유역 단위유량도비교

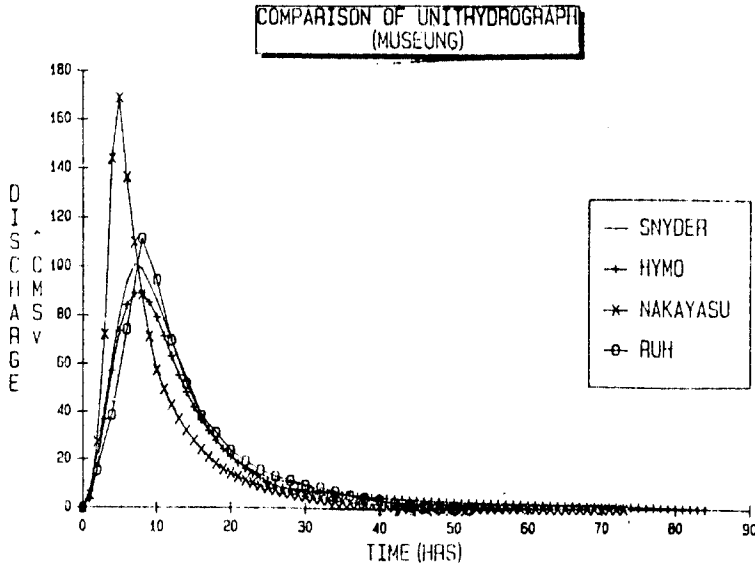


그림 12 무성유역 단위유량도비교

## 5. 결론

본 연구결과에 의하면 국내에서 많이 사용하고 있는 나카야스(中安) 종합단위 유량도는 실측단위유량도보다 첨두유량값이 매우 크며, 지체시간도 빨리 나타나고 있는 경향을 볼 수 있는데, 이는 나카야스(中安) 종합단위유량도가 일본지역의 단위 유량도를 근거로 한 경험공식이므로 일본지형의 특성이 나타나는 것으로 사료된다. 따라서, 이 방법을 활용할 때는, 이 방법의 계약조건과 계수특성을 국내 조건에 맞도록 보완해야 할 것이다.

Snyder방법과 HYMO방법은 대체로 비슷한 합성단위유량도를 제시하고 있는데 Snyder 합성단위유량도는  $Q_p$ 가 HYMO방법보다 다소 크게 나타나, 수공구조물의 설계 개념으로는 어느 정도 안전하다고 할 수 있으며, HYMO방법은 나카야스(中安) 방법처럼 단위유량도의 분포형을 제시해주며, 사용하기에 편리한 잇점이 있다. 결론적으로 본 연구에서 제시한 합성단위유량도식은 우리나라 5대강 유역내 대상유역에서 유도된 대표단위유량도를 사용하여 제시되었으며, 사용자는 단위유량도를 유도하고자하는 미 계측유역의 지형특성을 우선 조사하여 적용성 여부를 판단해야 할 것이다. 그리고 대표단위유량도를 결정할 경우 해당 수공구조물의 중요성과 안전성등을 종합적으로 검토하여 설계목적에 부합되도록 결정하여야 할 것이다.