

〈論 文〉

설계홍수량 산정을 위한 합성단위유량도의 개발

Development of Synthetic Unit Hydrograph for Estimation of Design Flood

이 홍 래* 이 중 국** 서 병 하***
Lee, Hong Rae · Lee, Chong Kuk · Seoh, Byung Ha

Abstract

In this study, more exact runoff phenomina 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.

요 약

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

1. 서 론

특정 대상유역에서 수공구조물의 적절한 규모 결정을 위해 사용되어온 설계홍수량 산정용 경험식들은 그 구조의 지나친 단순화와 유출특성 수문곡선을 완전히 작성할 수 없다는 취약점 때문에 주요 수공구조물의 수문설계에서는 사용상 많

은 제한이 있었다. 그러나, 1932년에 발표된 Sherman(1932)의 단위유량도 이론은 유역의 완전한 유출특성수문곡선을 제시할 수 있으며, 그 적용성도 광범위하여 오늘날 각종 치수계획에 널리 사용되고 있다. 그러나 이 방법을 사용하기 위해서는 그 대상유역에 관측된 강우, 유출자료가 있어 그 유역의 유출현상을 대표하는 단위유량도를 도출할 수 있어야 한다. 따라서 우리나라

* 연구원, 한국건설기술연구원, 수자원연구소

** 위촉연구원, 한국건설기술연구원, 수자원연구소

*** 연구위원, 한국건설기술연구원, 수자원연구소

와 같이 단시간 수문자료가 충분하지 못한 경우에는 지형특성 인자와 유출특성을 나타내는 단위유량도 인자와의 상관관계로 표시되는 합성단위유량도의 개발이 필요하다. 본 연구에서는 전국의 31개 대상지점별로 호우사상을 해석하여 대상지점의 대표단위유량도를 유도하였고, 이로부터 Snyder 방법(1938)과 HYMO 방법(ARS, 1973)에 의해 합성단위유량도를 도출하였다. 또한 이 유도된 합성단위유량도는 국내 IHP 조사구역의 대표단위유량도(건설부, 1988)와 비교, 검증하였다. 그리고 본 연구에서 제시한 대상구역의 대표단위유량도와 합성단위유량도는 지속시간이 1시간짜리임을 밝혀둔다.

2. 대표 단위유량도 결정

2.1 대상지점의 선정

단위유량도 유도를 위한 대상지점의 선정은 댐과 같은 수공구조물에 의한 인공적인 흐름의 조작이 없는 유역으로서, 자연상태의 흐름해석이 가능한 유역을 대상지점으로 결정하였다. 한강유역에 7개, 낙동강유역에 13개, 금강유역에 5개, 섬진강유역과 영산강유역에 각각 3개 대상지점들을 선정하여 전국적으로 총 31개 대상지점을 선택하였다. 각 대상지점명은 표 1과 같으며 한강유역내 7개 대상지점의 위치는 그림 1과 같다. 그리고 대상지점의 지형인자 즉 하도길이, 유역출구에서 유역중심에 가장 가까운 하도까지의 길이, 유역면적, 유역경사 등과 같은 지형인자와

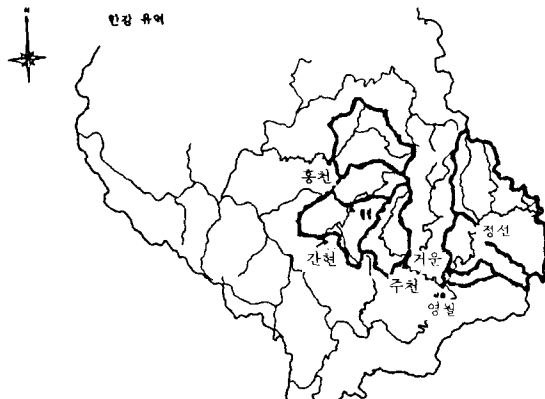


그림 1 한강유역의 대상지점 위치

표 1 유역별 선정대상지점명

유역명	대상지점명	소계
한 강	정선, 거운, 영월, 주천, 황성, 간현, 홍천	7개
낙동강	봉화, 송리원, 월포, 산양, 점촌, 이안, 계산, 선산, 동촌, 계진, 창리, 예림교, 용곡	13개
금 강	용담, 무주, 수통, 심천, 석화	5개
섬진강	구례, 압록, 송정	3개
영산강	마륵, 남평, 나주	3개

강우해석을 위한 Thiessen망작업 등은 1/50,000 지형도를 사용하여 구하였다.

2.2 수문자료의 정리

본 연구에서 단위유량도 유도를 위한 수문자료는 우선 수문조사년보를 통해 호우사상을 선정하여, 자기기록지의 보유 유무와 자료의 질을 고려하여 부정확한 자료는 버리고 비교적 정확한 수문자료가 기록된 호우사상을 결정하였다(Chow, 1988; U.S.B.R., 1965). 특별히 단위유량도 유도에 필요한 시간별 수문자료는 한강홍수통제소에서 '80년대 초부터 자기수량기록지와 자기수위기록지를 마이크로 필름(M/F)으로 보관하고 있어, 이를 사용하여 1시간 단위의 우량값과 수위값을 판독하였다. 또한 중앙기상대 산하 측후소와 관측소의 우량자료는 시간단위로 판독되어 전산화 되어 있어 이들 자료를 사용하였다. 31개 대상지점의 대표단위유량도를 결정하기 위해 최종적으로 선정된 호우사상의 수는 표 2와 같고,

표 2 대상지점별 선정호우수

유역명	대상지점명	선정호우수	유역명	대상지점명	선정호우수
한 강	정 선	4	낙동강	봉 화	6
	거 운	6		송 리원	5
	영 월	5		월 포	4
	주 천	3		산 양	2
	황 성	7		점 촌	5
	간 현	8		이 안	3
	홍 천	3		계 산	2
금 강	용 담	6	영산강	마 륵	3
	무 주	2		남 평	4
	수 통	5		나 주	9
	심 천	6			
	석 화	1			
섬진강	구 례	4			
	압 록	7			
	송 정	10			

이중에서 한강유역의 대상지점별 선정호우사상의 기간을 표시하면 표 3과 같다.

표 3 한강유역의 대상지점별 선정호우기간

기간\수위관측소명	정선	거울	영월	주천	황성	간현	홍천
'80 8.25~8.29					○		
9. 5~9. 6					○		
'81 7. 1~7. 3				○	○		
8.25~2.28					○		
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			○				
선정호우사상 수	4	6	5	3	7	8	3

2.3 수위-유량관계곡선식의 선정

수위자료를 유량자료로 환원하기 위해서는 해당 수위관측소의 수위-유량관계곡선식이 필요하다. 따라서 각 대상지점 별로 현재까지 발표된 수위-유량관계곡선식을 모두 정리하여 한 좌표 평면상에 표시하여 변화 정도를 알아 보았다(그림 2 참조). 수위-유량관계곡선식이 여러개 발표된 수위관측소에 대해서는 선정호우의 해당 년도식을 사용하는 것을 원칙으로 하였으나, 단위 유량도 유도과정에서 총강우량과 직접유출량의 관계, 즉 직접유출율의 적합성과 실측유량곡선과 계산유량곡선 등과의 관계를 검토하여 수위-유량곡선식의 정도를 판가름하였다. 예로써 그림 3의 송리원수위관측소의 수위-유량관계곡선식을 검토해 보면 상시유량에서는 식의 형태가 서로

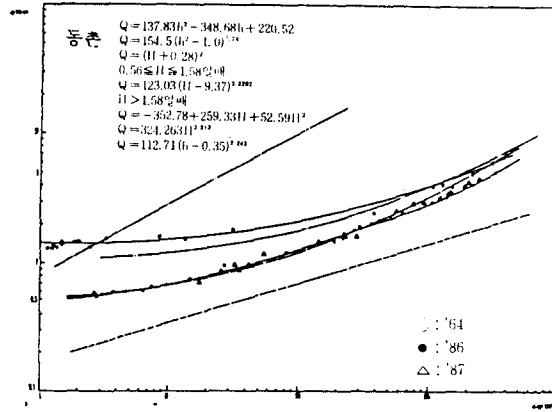


그림 2 동촌수위관측소의 수위-유량관계곡선식

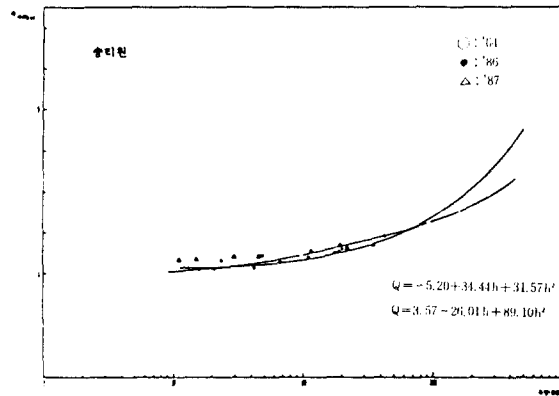


그림 3 송리원수위관측소의 수위-유량관계곡선식

비슷하나 900CMS 이상의 홍수량에서는 많은 차이를 보이고 있다. 이런 경우 동일 홍수위에 대해 환산된 유량값은 '83년도 식이 '82년도 식보다 크게 나타나며 이런 경우 유출계수가 지나치게 커지거나 1을 상회하는 경우가 발생하여, 송리원수위관측소에서의 유량환산은 년도에 관계없이 '82년도 식을 사용하였다.

2.4 대상지점의 선정호우 해석

31개 대상지점별로 단위유량도 결정을 위해 선정된 각 호우는 미 공병단(1966)에서 개발한 UHLRO(Unit Hydorgraph Loss Rate Optimization Program) 프로그램을 사용하여 해석하였다. 이 프로그램은 Clark의 순간단위유량도 이론

을 토대로 하여 작성되었고 손실우량은 지수곡선법을 아래와 같이 표현하고 있다.

$$\left. \begin{aligned} ALOSS &= (AK + DLTK)PRCP^{ERAIN} \\ DLTK &= 0.2 DLTKR \left(1 - \frac{CUML}{DLTKR}\right)^2 \\ AK &= STRKR / (RTIOL^{0.1CUML}) \end{aligned} \right\} (1)$$

- 여기에서
- ALOSS = 시간간격 동안의 잠재손실율(mm/hr)
- AK = 초기손실계수
- CUML = 각 시간 간격에서 발생한 손실량
- DLTK = 누적손실(CUML) 중 초기손실량(DLTKR)이 발생하는 기간 동안의 손실계수 증가량
- STRKR = 지수 감소 곡선상에서의 시점 손실계수
- RTIOL = 누적 손실량의 차가 10mm 이상되는 구간에서 지수감소곡선상의 손실계수비
- ERAIN = 유역의 평균강우손실특성에 미치는 영향을 나타내는 강우손실함수의 지수(0.0~1.0)

각 지점에서 개개의 호우사상에 맞는 최적의 매개변수를 구하여 입력하는 것이 지극히 바람직하나 실제로 이것을 정확히 측정한다는 것이 매우 어렵고 또한 이것을 실제로 얻을 수 있는 방법은 극히 제한되어 있다. 이런점을 고려하여 본 연구에서는 유출해석의 기본입력자료를 강우와 유출에 두고 다른 매개변수들을 최적화에 의해 측정을 수행하였다. UHLRO 프로그램에서 최적화 과정을 통해 매개변수 등을 추정할 때 강우의 손실율매개변수의 초기치는 다음과 같다.

표 4 매개변수의 초기값

매개변수	STRKR	ERAIN	DLTKR	RTIOL
초기값	0.2	0.5	0.5	2.0

또한, 기저유출과 직접유출을 분리하는 과정에서 3개의 매개변수를 선정하였다. 이 매개변수는

기저유출의 초기유량(STRTQ), 수문곡선의 감소곡선상에서 지수함수적으로 유량이 감소하기 시작할 때의 유량(QRCSN) 및 지수함수의 기울기라 볼 수 있는 감소비(RTIOR) 등이다.

각 매개변수의 관계를 식으로 표시하면 다음과 같다.

$$Q = Q_0(RTIOR)^{-n} \Delta t \dots\dots\dots (2)$$

- 여기서,
- Q₀ = STRTQ 또는 QRCSN
- n Δt = 감소가 시작된 이후의 시간

본 연구에서 STRTQ는 선정 호우기간의 초기에 강우가 없는 경우의 유량값으로 하였고, 수문곡선의 하강부의 유량값에 대한 침투유출량의 일정비로서 나타내는 QRCSN값은 0.3 이하값으로 추천된바 0.25로 취하여 분석하였다. RTIOR값은 주지하수 감소곡선이 제시된 한강유역, 낙동강유역, 금강유역 및 섬진강유역에 대해서는 0.9747, 0.9805, 0.9828 및 0.9792값은 각각 사용하였고, 아직 주지하수 감수곡선이 연구발표되지 않은 영산강 유역에 대해서는 0.98의 값을 사용하였다. 표 5는 영산강유역내 니주 대상지점 85-6-26 호우의 해석 결과이고, 그림 5는 섬진강유역의 구례대상지점 86-9-20 호우의 해석결과이다.

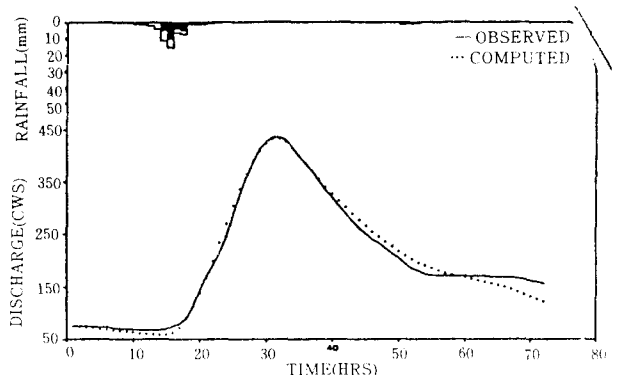


그림 4 니주 대상지점의 관측수문곡선과 계산수문곡선(85-6-23)

표 5 영산강유역내 대상지점별 선정효율의 해석결과

지정명	유역면적	선정효율	시제시간	침투수량	기저시간	중강수량	유표침투량	계산침투후량	관측침투유량
아복	666.5	85-6-23	7.14	80	56	217.94	143.60	836	966
		85-6-25	7.49	110	72	57.82	30.86	327	325
		85-8-10	10.60	140	38	109.82	38.82	548	666
남평	484.3	83-7-11	5.23	100	30	101.36	60.55	411	479
		85-8-13	4.45	190	24	95.97	45.23	781	1019
		85-9-2	4.92	210	19	154.68	77.13	821	1306
		85-9-18	4.07	190	27	157.00	66.06	1131	1498
나부	1964.9	83-9-11	11.28	180	133	60.83	21.94	422	418
		84-6-7	14.33	210	100	72.49	11.05	239	253
		84-7-5	11.18	210	113	121.91	86.74	1537	1608
		84-9-2	13.16	240	86	142.68	85.94	1488	1497
		84-9-8	13.85	140	150	31.60	23.37	379	371
		85-6-26	12.28	250	83	50.85	52.54	1144	1284
		85-7-3	16.17	170	138	52.65	25.53	432	436
		85-9-18	12.88	240	86	156.22	101.71	2130	2260

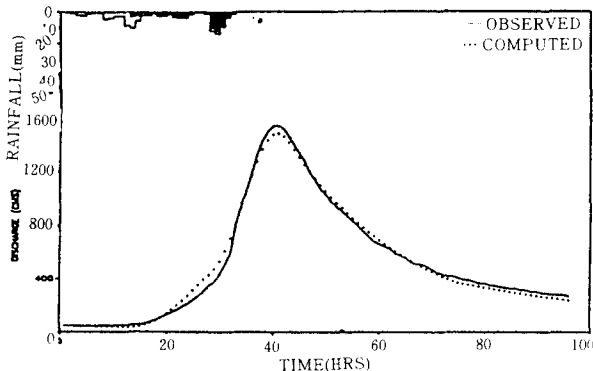


그림 5 구례 대상지점의 관측수문곡선과 계산수문곡선(86-9-20)

2.5 대상지점별 대표단위유량도의 결정

각 호우사상으로부터 구한 단위유량도를 기본으로 하여 그 유역의 대표단위유량도를 결정하는 방법은 각 단위유량도의 침투유량과 침투유량발생시간을 평균하여 단위유량도의 모양을 스케치하는 단순평균법과 각 단위유량도의 침투유량 발생시간을 먼저 평균하고 이에 각 단위유량도의 침투발생시간을 일치시킨 후 각 시각에서의 중앙값으로 단위유량도를 결정하는 침투시간조정중앙값법(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(Reed, 1981)에서는 위의 방법 등을 상호 비교한 결과, 해석방법의

편리성과 상대적인 정확성 등을 고려하여 침투시간조정중앙값법(median peak aligned method)을 추천하고 있다. 본 연구에서도 이 방법을 사용하여 31개 대상지점의 대표단위유량도를 결정하였다. 그림 6은 영산강유역 남평대상지점의 대표단위유량도를 침투시간조정중앙값법(median peak aligned method)에 의해 결정된 것으로 U_1, U_2, U_3, U_4 는 표 4에 수록된 선정효율 해석 결과에 의한 단위유량도를 나타내며(연도순) m_u 는 침투시간조정중앙값법(median peak aligned method)에 의해 결정된 대표단위유량도를 나타낸다. 이렇게 결정된 대표단위유량도의 적합성 여부를 판정하기 위해, 31개 대상지점 단위유량도의 면적을 검토한 결과 0.98~1.13 사이의 값을 나타내었다.

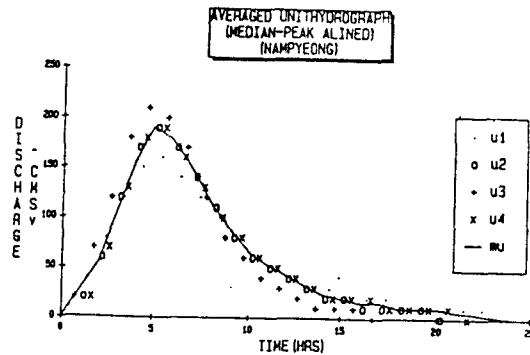


그림 6 남평지점의 대표단위유량도

3. 합성단위유량도의 유도

3.1 합성단위유량도의 이론

본 연구는 합성단위유량도 방법 중 국내에서 연구된바 있는 Snyder 합성단위유량도(건설부, 1976)와 1972년 미 농무성에서 개발한 HYMO 합성단위유량도방법(ARS, 1972)을 사용하여 각각 합성단위유량도를 유도하였다. Snyder합성단위유량도(Snyder, 1938)에서는 단위유량도의 지체시간과 첨두유량 및 기저시간 등과 같은 단위유량도의 특성인자와 유역의 지형인자와의 상관관계를 다음식들과 같이 수립하였다.

$$\left. \begin{aligned} t_p &= C_t(L \cdot L_c)^m \\ q_p &= C_p \frac{2.778}{t_p^a} \\ T &= 3 + (t_p/24) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

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 유역 중심에 가장 가까운 하도까지의 하도길이(Km), C_t , C_p , m 등은 상수이다. 이처럼 Snyder 이론은 단위도의 시작과 끝점 그리고 첨두유량의 크기와 시작 등 3개점만으로 단위도의 형상을 제시하므로 이를 보완하기 위해 미 공병단(U.S. Army Corps, 1959)에서는 첨두유량의 50%와 75%에 해당하는 단위유량도의 시간폭을 첨두유량과의

관계로 나타내었다. 본 연구에서는 첨두유량의 25%되는 시간폭을 추가하여 유도하였다(그림 7 참조).

HYMO 무차원단위유량도는 Snyder방법과는 달리, 임의 유역에 대한 단위유량도의 완전한 분포형을 제시해 줄 수 있다. 즉, Williams와 Hann(1973)은 무차원단위유량도를 2변수 감마분포형으로 아래와 같이 제시하였다(그림 8 참조).

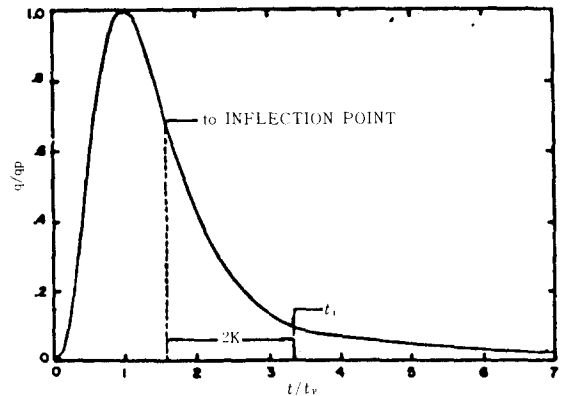


그림 8 HYMO의 무차원단위유량도

$$\left. \begin{aligned} 0 \leq t \leq t_0 \text{ 일때} \\ q &= q_p [t/t_p]^{(n-1)} \exp[(1-n)(t/t_p - 1)] \\ t_0 \leq t \leq t_1 \text{ 일때} \\ q &= q_0 \exp(t_0 - t/k) \\ t_1 \leq t \text{ 일때} \\ q &= q_0 \exp(t_1 - t/k_1) \end{aligned} \right\} (4)$$

여기에서, q 는 임의 시작 t 에서의 유량(m^3

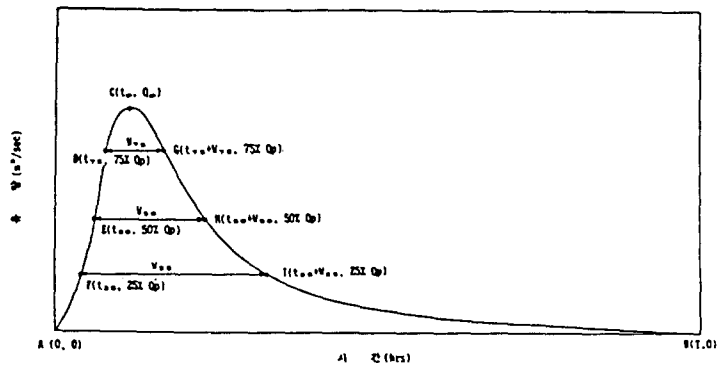


그림 7 Snyder의 합성단위유량도

/sec), q_p 는 침투유량(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. 무차원형상계수 n 은 아래와 같이 K 와 t_0/t_p 항으로 관계지을 수 있다.

$$K = \frac{-t_p(t_0/t_p)^{n-1}}{(n-1)[(t_0/t_p)^{n-2} - (t_0/t_p)^{n-1}]} \dots\dots\dots(5)$$

$$\text{그리고, } t_0/t_p = 1 + (1/n-1)^{1/2} \dots\dots\dots(6)$$

여기에서 비선형방정식 해법인 뉴우튼방법을 사용하여 n 값을 구한다. 또한 침투유량 (q_p)은 아래와 같이 구할 수 있다.

$$q_p = \frac{0.28A}{B t_p} \dots\dots\dots(7)$$

여기에서, B 는 유역매개변수로 다음식에 의해 구할 수 있다.

$$B = E + \left(\frac{q_0}{q_p}\right) \left[\left(\frac{K}{t_p}\right) \left(1 - \frac{q_1}{q_0}\right) + \left(\frac{q_1}{q_0}\right) \left(\frac{K_1}{t_p}\right) \right] \dots\dots(8)$$

(6)식에서 E 는 무차원 단위유량도의 원점에서 변곡점(t_0)까지의 면적이므로 무차원 단위 유량도식을 적분하여 구할 수 있다. 위와 같이 HYMO이론은 K 와 t_p 가 결정되면 그 유역의 단위 유량도를 계산할 수 있으므로 이 두변수를 다음과 같은 유역 특성인자로 표시하였다.

$$\left. \begin{aligned} K &= 5.95(A)^{0.231}(L/W)^{0.124}(SLP)^{-0.777} \\ t_p &= 1.44(A)^{0.422}(L/W)^{0.133}(SLP)^{-0.46} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(9)$$

여기에서, L 은 유로연장, W 는 평균유역폭 (A/L), SLP 는 유역의 표고차(m)를 하도의 길이(km)로 나눈 경사(mm/km)이다. 1987년 Williams은 변수최적화를 통해 HYMO모델의 변수 조정을 아래와 같이 실시하여 보다 향상된 결과를 얻었다(Williams. 1987).

유역경사 < 5%인 경우

$$\left. \begin{aligned} t_p &= 0.97(A)^{0.4}(HT)^{-0.2}(L)^{0.2} \\ K &= 4.50(A)^{0.4}(HT)^{-0.8}(L)^{0.4} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(10)$$

3.2 합성단위유량도의 유도

Snyder형 합성단위유량도의 유도를 위해 31개 대상 유역을 전체로 하여 합성단위유량도를 유도하였다. 합성단위유량도의 이론은 단위유량도의 특성변수와 해당유역 지형인자와의 관계를 규명하는 것이므로, 해당 지형특성이 고려된다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 유역별로 분리하여 관계식을 제시 하는것 보다 하나로 합하여 해석하는 방법을 택하였다. 우선 지체시간(t_p)과 지형인자($L \cdot L_c$)와의 관계는 그림 9와 같고, 회귀 분석식은 다음과 같다.

$$t_p = 0.4964(L \cdot L_c)^{0.3789} \dots\dots\dots(11)$$

또한, 단위면적당 침투유량과 지체시간과의 관계도 아래와 같이 유도하였고, 전대수지상에 표시하면 그림 10과 같다.

$$q_p = 1.1791 / t_p^{-0.8961} \dots\dots\dots(12)$$

그리고, 기저시간과 지체시간과의 관계도 아래 식과 같이 유도하였다.

$$T = 0.80 + 5.01(t_p/24) \dots\dots\dots(13)$$

Snyder합성단위유량도를 보완하기 위한 W_{25} , W_{50} , W_{75} 와 이것이 시작되는 시각 t_{25} , t_{50} , t_{75} 의 관계식도 아래와 같이 각각 구하였으며 이를 전대수지상에 표시하면 그림 11과 같다.

$$\left. \begin{aligned} W_{25} &= 3.8093(q_p)^{-0.9599} \\ W_{50} &= 2.9273(q_p)^{-0.8557} \\ W_{75} &= 2.1849(q_p)^{-0.7091} \\ t_{25} &= 0.2121(L \cdot L_c)^{0.3107} \\ t_{50} &= 0.3201(L \cdot L_c)^{0.3297} \\ t_{75} &= 0.4951(L \cdot L_c)^{0.3187} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(14)$$

여기에서 지체시간(t_p)과 지형인자($L \cdot L_c$)와의 관계와 침투유량(q_p)과 지체시간(t_p)과의 관계해석에서 각 유역별로 구분하는 것과 전유역을 하

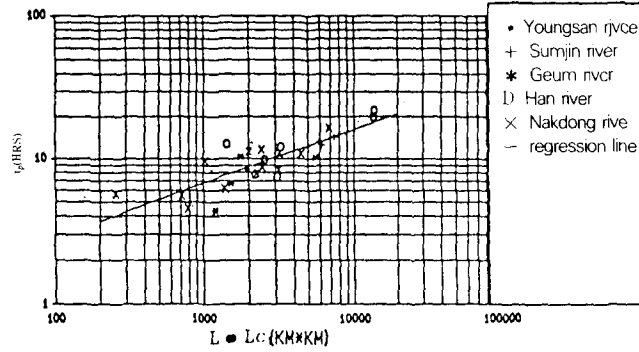


그림 9 $t_p \sim L \cdot L_c$ 의 관계 (전국)

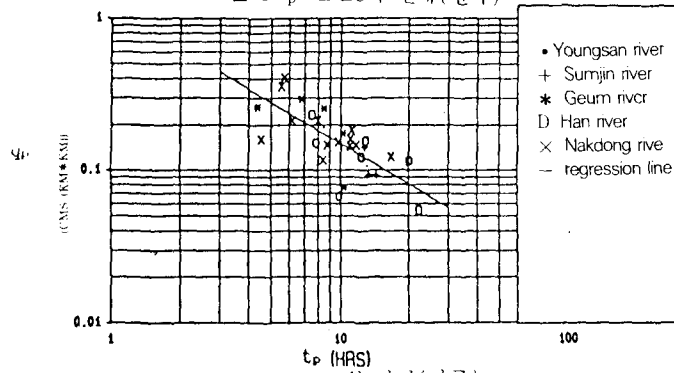


그림 10 $q_p \sim t_p$ 의 관계 (전국)

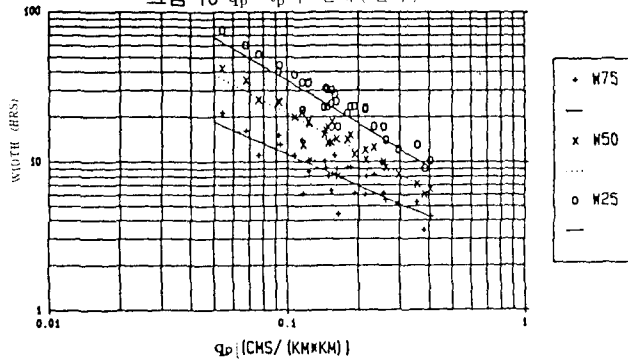


그림 11 $q_p \sim W_{25}, W_{50}, W_{75}$ 의 관계 (전국)

나로 해석한 상관식과의 상관계수는 표 6, 7에 각각 수록하였다. 각 유역별로 구분하는 것보다 전체유역을 하나로 해석하는 경우가 보다 나은 상관성을 보이고 있다. 이는 각 자료에 내포되어 있는 오차와 자료의 증가에 따른 보완에 의한 것으로 사료되며 그림 9, 10에서 각각 보는 바와 같이 유역별로 어떤 구분이 발생하지 않는것으로 보아 전체유역을 하나로 해석하는 것이 바람직하

리라 판단된다.

HYMO합성단위유량도 유도를 위해 31개 대상 지점 대표단위유량도의 변곡점을 구하여야 하는데 단위유량도의 변곡점을 결정하는 여러 방법 중 하나의 대표 단위유량도로부터 변곡점을 구하기 위해 각 대표단위유량도를 전대수지상에 나타내어 그림 12와 같이 감소부의 기울기가 변화하는 변곡점 K를 구하였다. 유역의 지형인자 A,

표 6 $t_p \sim L \cdot L_c$ 의 관계식과 상관계수

유역명	관 계 식	상관계수
한 강 유역	$t_p = 0.5478(L \cdot L_c)^{0.5247}$	$r = 0.7315$
낙동강유역	$t_p = 0.6958(L \cdot L_c)^{0.3398}$	$r = 0.7783$
금 강 유역	$t_p = 0.3183(L \cdot L_c)^{0.4398}$	$r = 0.5422$
섬진강유역	$t_p = 0.2607(L \cdot L_c)^{0.3398}$	$r = 0.7241$
영산강유역	$t_p = 0.00397(L \cdot L_c)^{0.3398}$	$r = 0.9265$
전 체 유역	$t_p = 0.4964(L \cdot L_c)^{0.3398}$	$r = 0.8046$

표 7 $q_p \sim t_p$ 의 관계식과 상관계수

유역명	관 계 식	상관계수
한 강 유역	$q_p = 0.7127(t_p)^{0.5747}$	$r = 0.5314$
낙동강유역	$q_p = 0.7078(t_p)^{0.3398}$	$r = 0.5801$
금 강 유역	$q_p = 1.3704(t_p)^{0.4398}$	$r = 0.4387$
섬진강유역	$q_p = 375.87(t_p)^{0.3398}$	$r = 0.5020$
영산강유역	$q_p = 2.5673(t_p)^{0.3398}$	$r = 0.9988$
전 체 유역	$q_p = 1.1791(t_p)^{0.3398}$	$r = 0.7447$

HT, L 등과 t_p 및 K와의 관계를 단계별 회귀분석으로 실시한 결과 다음과 같은 결과를 유도하였다.

$$\left. \begin{aligned} K &= 4.1725(HT)^{-0.2752}(L)^{0.5957} \\ t_p &= 0.5937(A)^{0.2096}(L)^{0.3115} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(15)$$

HYMO이론(Williams, 1987)에 의하면 지체시간(t_p)과 감소상수(K)는 유역면적(A), 표고차(HT) 및 하도길이(L)등의 변수로 나타내었는데

본 연구에서는 표 7, 8에 나타난 것처럼 감소상수(K)는 표고차(HT)와 하도길이(L)로, 지체시간(t_p)은 유역면적(A)과 하도길이(L)로 각각 상관식을 나타내는 경우가 가장 적은 추정치 표준오차를 나타냈다.

표 8 단계별 다중회귀분석의 추정치 표준오차(K)

종속변수	독립변수	추정치 표준오차
K	A, HT, L	0.1628
K	HT, L	0.1601
K	L	0.1671

표 9 단계별 다중회귀분석의 추정치 표준오차(t_p)

종속변수	독립변수	추정치 표준오차
t_p	A, HT, L	0.1187
t_p	A, L	0.1177
t_p	L	0.1187

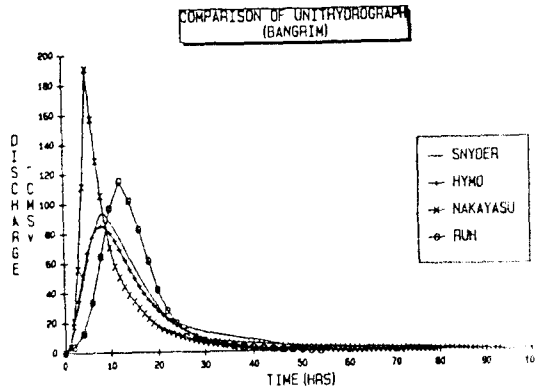


그림 13 방림지점 단위유량도 비교

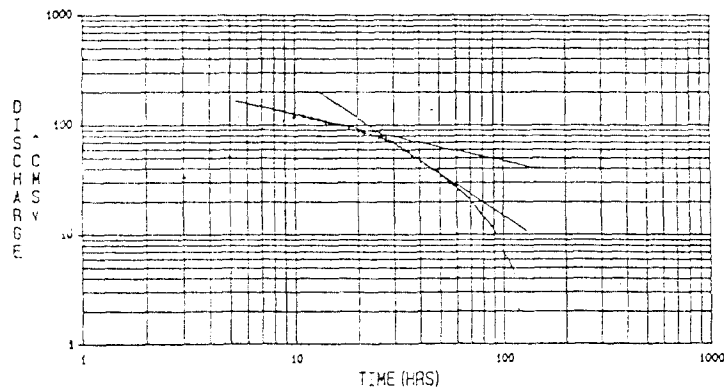


그림 12 변곡점 결정도(석화지점)

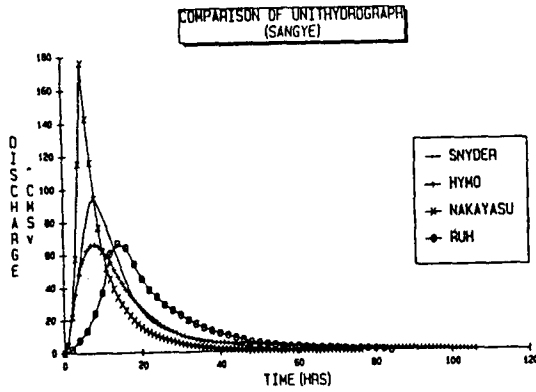


그림 14 산계지점 단위유량도 비교

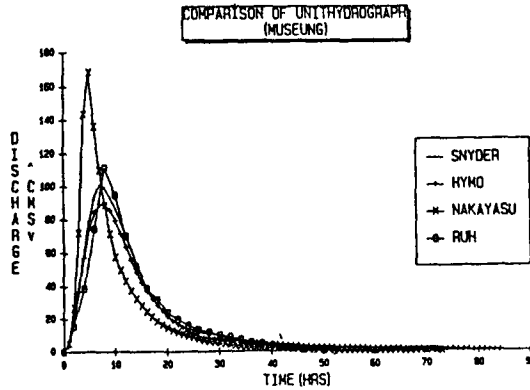


그림 15 무성지점 단위유량도 비교

4. 검 증

임의 지점에 대한 유출을 나타내는 정확한 단위유량도를 결정하기는 용이한 일이 아니다. 그러나 장기간 정확한 수문관측을 통해 단위유량도를 보완하면 어느 정도 참값에 가까운 값을 구할 수 있을 것이다. 본 연구에서 유도한 Snyder합성 단위유량도와 HYMO 합성 단위유량도의 적합성 여부를 검토하기 위해 다년간 연구조사를 통해 대표단위유량도를 보완해온 IHP조사지역인 방림지점, 산계지점, 무성지점을 검증구역으로 선정하였다. 검증방법은 상기 3개 지점의 지형인자를 본 연구결과에 적용하여 Snyder형과 HYMO형 합성 단위유량도를 각각 도출하였고, 이를 실측수문자료로부터 결정한 단위유량도(건설부, 1988)와 비교하였다. IHP조사구역의 단위유량도는 지속

시간이 2시간 이므로 본 연구결과를 지속시간 2시간으로 보정하여 비교하였고 또한 국내에서 많이 사용되고 있는 나카야스(中安)종합단위유량도(윤용남, 1980; 佐藤勝夫, 1982)의 적합성 여부를 검토할 수 있도록 그림 13~15와 같이 동일 좌표축에 본 연구결과로 구한 Snyder합성 단위유량도, HYMO 합성 단위유량도 그리고 나카야스(中安) 종합 단위유량도 등을 실측 단위유량도와 함께 표시하여 그 차이 정도를 알아 보았다.

5. 결 론

본 연구결과에 의하면 국내에서 많이 사용하고 있는 나카야스(中安)종합 단위유량도는 실측 단위유량도보다 첨두유량값이 매우 크며, 지체시간도 빨리 나타나고 있는 경향을 볼 수 있는데, 이는 나카야스(中安) 종합 단위유량도가 일본지역의 단위유량도를 근거로 한 경험공식이므로 일본지역의 유출특성에 기인하는 것으로 사료된다. 따라서, 이 방법을 활용할 때는, 이 방법의 제약조건과 계수특성을 국내 조건에 맞도록 보완해야 할 것이다.

본 연구에서 제시한 Snyder방법과 HYMO방법에 의한 합성 단위유량도는 대체로 비슷한 합성 단위유량도를 제시하고 있는데 Snyder합성 단위유량도는 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 Snyder 및 HYMO합성 단위유량도식은 우리나라의 미계측유역에 단위유량도 유도를 위한 식으로 사용될 수 있을 것이다. 이 결과는 우리나라 5대강 유역내 대상지점에서 유도된 대표 단위유량도를 사용하여 제시되었으므로 이 대표 단위유량도의 정확성 향상을 위한 보완작업은 앞으로도 더 많은 수문자료가 축적되면 계속 정기적으로 이루어져야 할 것이다.

본 연구 결과를 미계측유역의 단위유량도 유도에 사용할 경우, 사용자는 단위유량도를 유도

하고자하는 미 제측유역의 지형특성을 우선 조사하여 적용성 여부를 판단해야 하며 Snyder형 (11~14식)과 HYMO형 (15식)에 의한 합성단위유량도중 하나를 미제측유역의 대표단위유량도로 결정할 경우 해당 수공구조물의 중요성과 안전성등을 종합적으로 검토하여 설계목적에 부합되도록 최종 결정하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 건설부(1988)국제수문개발계획(IHP)대표유역연구조사보고서, 건설부, 한국
2. 건설부(1976)홍수량 추정을 위한 합성단위유량도 유도의 연구조사보고서, 건설부, 서울
3. 윤용남(1980)공업수문학, 청문각, 서울, pp224-290.
4. Agricultural Research Service(1973)HYMO:Problem-Oriented Computer Language for Hydrologic Modeling(ARS-S-9), U.S. Department of Agriculture.
5. Booman, D.B., D.W. Reed(1981)Derivation of a Catchment Average Unit Hydrograph, Institute of Hydrology, Report No. 71
6. Chow, V.T., D.R., Maidment, W.M. Larry(1988)Applied Hydrology, Mc-Graw Hill, pp. 201-213
7. Hydrologic Engineering Center(1966)Unit Hydrograph & Loss Rate Optimization, U.S. Army Corps of Engineering.
8. Sherman, L.K.(1932)Streamflow from rainfall by unit-graph method, Engineering News-Record, Vol.109,pp501-505.
9. Snyder, F.F.(1938)Synthetic unit-graphs, Transaction of American Geophysical Union, Vol. 19,pp447-454.
10. U.S. Army Corps of Engineers(1959)Flood Hydrograph Analysis and Computations, Engineering and Design Manual (EM11110-2-1405), U.S.Government Printing Office .
11. United States Department of the Interior Bureau of Reclamation(1965)Hydrology Branch Division of Project Planning. Unitgraph Procedures, U.S.B.R.
12. Williams, J. R., W. P. James, P. W. Winsor(1987)Synthetic unit hydrograph, ASCE, Journal of Water Resources Planning and Management, Vol, 113, No.1
13. 佐藤勝夫(1982)洪水流出計算法, 山海堂, 日本, pp. 138-143