

# Nakayasu 합성단위유량도 개선에 관한 연구

## The Study of Improvement on Nakayasu Synthetic UH

윤태훈\* · 김인동\*\*

### 1. 서론

강우-유출기록이 없는 미계측유역의 설계홍수량 산정에서는 단위유량도를 작성할 수 없으므로 이에 대한 대안으로 주로 이용되고있는 방법이 먼저 강우자료를 빈도분석하여 확률강우량을 결정한 뒤 이를 대상유역의 특성인자로부터 합성된 단위도에 적용하여 홍수량을 결정하는 합성단위유량도법이며 현재 국내에서는 주로 Nakayasu방법, SCS(Mockus,1957)방법, Snyder(Snyder,1938)방법 및 HYMO(ARS,1973, Williams, 1975 & James et al.,1987)방법 등의 방법이 이용되고 있다. 그러나 현재 우리 나라에서 실무에 적용되고 있는 합성단위유량도는 주로 외국에서 수문기상특성과 유역특성의 지상, 지질학적 인자가 상이한 유역자료를 이용하여 개발되었고 Nakayasu방법 역시 일본내 여러 유역에서 유도된 단위도의 특성변수와 유역의 지형학적 특성변수로 개발되었다. 따라서 우리나라에서 이들 합성단위유량도를 적용함에는 먼저 당위성이 검토되어야 하나 현재로서는 부분적으로 검토되어 있는 상황이다. Snyder 방법은 1974년 건설부에서 한강, 금강 및 낙동강유역에 대하여 합성단위유량도의 매개변수를 제시한 바 있으며, Snyder와 HYMO 방법은 1989년 한국건설기술 연구원에서 31개 유역자료를 이용하여 합성단위유량도를 검토한 바 있다.

본 연구의 목적은 현재 우리 나라에서 많이 이용되고 있는 Nakayasu 합성단위유량도의 매개변수를 우리나라 강우-유출 및 유역특성으로부터 도출하여 이들로 부터 유도된 합성단위유량도와 대표단위유량도와 비교를 통하여 당위성을 검토함에 있다.

### 2. Nakayasu 합성단위유량도의 이론

Nakayasu(中安)는 일본 내의 20여 개의 하천에 대한 특정 지속시간의 단위유량도를 유도할 수 있는 종합 단위유량도를 개발하였다. 이 때 단위유량도는 상승부곡선과 하강부곡선으로 나누어 작도되며 지속시간  $t_r$  (hr)인  $R_0$ (mm)의 유효우량으로 인한 단위도는 다음과 같은 식에 의해 작도된다.

$$\text{상승부곡선 : } \frac{Q}{Q_p} = \left[ \frac{t}{t_p} \right]^{2.4} \quad (1)$$

$$\text{하강부곡선 : } 0.3 \leq \frac{Q}{Q_p} < 1.0 \text{ 일 때 } \frac{Q}{Q_p} = [0.3] \frac{t-t_k}{t_k} \quad (2)$$

$$(0.3)^2 \leq \frac{Q}{Q_p} < 0.3 \text{ 일 때 } \frac{Q}{Q_p} = [0.3] \frac{t-t_k+0.5 t_k}{1.5 t_k} \quad (3)$$

$$(0.3)^3 \leq \frac{Q}{Q_p} < (0.3)^2 \text{ 일 때 } \frac{Q}{Q_p} = [0.3] \frac{t-t_k+1.5 t_k}{2.0 t_k} \quad (4)$$

여기서  $Q_p$ (m<sup>3</sup>/sec)는 단위유량도의 첨두유량이며  $Q_p$ (m<sup>3</sup>/sec)는 강우시점으로부터의 임의 시간 t(hr)에서의 유량이고,  $t_k$ ,  $1.5 t_k$ ,  $2.0 t_k$ 는 유량이  $Q_p$ 에서  $0.3 Q_p$ 로,  $0.3 Q_p$ 에서  $(0.3)^2 Q_p$ 로, 그리고  $(0.3)^2 Q_p$ 에서  $(0.3)^3 Q_p$ 로 각각 감소하는데 걸리는 시간을 나타낸다. 또  $t_p$ 는 첨두유량 지속시간(hr),  $t_g$ 는  $0.8 t_R$ 의 시각으로부터 첨두유량 발생시간까지인 첨두유량 지체시간(hr)이다.

\* 한양대학교 토목공학과 교수

\*\* 한양대학교 토목공학과 석사과정

中安은 산지에서 유출하는 하천에 대하여 다음과 같은 경험식을 제안하였다.

$$L \leq 15\text{km 일 때 } t_g = 0.21 L^{0.7} \quad (5)$$

$$L > 15\text{km 일 때 } t_g = 0.4 + 0.058L \quad (6)$$

$$t_k = 0.47 (AL)^{0.25} \quad (7)$$

여기서 L은 하천의 최대 유로연장(km)이고 A는 유역면적(km<sup>2</sup>)이며  $t_g = t_p - 0.8 t_R$  이다.

강우지속시간  $t_R$ (hr), 유효강우량  $R_o$ (mm)인 단위유량도 아래의 순 면적인 직접유출용적은 식(1)~(4)를 적분하면 구할 수 있고 이것을 유역면적A(km<sup>2</sup>)와  $R_o$ 의 관계로부터 구한  $0.2778 R_o A$ 와 같게 놓으면 다음과 같다.

$$\int_0^\infty Q dt \cong Q_p (0.3 t_p + t_k) = 0.2778 R_o A \quad (8)$$

$$Q_p = \frac{0.2778 R_o A}{0.3 t_p + t_k} \quad (9)$$

### 3. 대상유역과 강우-유출 자료

본 연구의 대상유역의 선정은 우선 댐과 같은 인공적인 흐름 조작이 없는 자연상태로 유출자료를 구할 수 있는 유역으로서 지역분포의 다양화와 다량의 자료를 수집할 수 있으면서 우리 나라 대부분의 유역의 강우와 수위-유량관계곡선의 시간기록이 있는 유역을 대상으로 하였다. 이들은 한강유역에 14개 낙동강 유역에 28개, 금강유역에 11개, 영산강유역에 7개, 섬진강유역에 7개로서 총 67개 유역이다. 이 자료들은 한국건설기술연구원에서 각 유역에 대한 대표단위유량도를 분석하여 보고한 수자원 관리기법 개발 연구 조사 보고서(1993, 건설부)자료와 시험유역의 운영 및 수문특성 조사 연구 -합성단위도 개발을 중심으로- 보고서(2000, 한국건설기술연구원)자료를 토대로 도출하여 작성하였다

### 4. 유역특성과 합성단위유량도의 매개변수 상관

#### 1) 상승부곡선에서의 지수보정

대표단위유량도의 자료를 이용하여 식(1)을 식(10)으로 변형하면 상수값s는 대표단위유량도의 상승부곡선의 좌표점인 시간 t 및 유량 Q를 각각 첨두시간  $t_p$ 와 첨두유량  $Q_p$  즉  $Q/Q_p$ 와  $t/t_p$ 로 무차원화하여 도시하면 그림1.과 같고 이 둘을 상관분석한 결과 1.1779으로 추정되었다. 이들은 식(11)로 표현되고, 이 때 상관계수는 0.8468으로 어느 정도 괜찮은 상관관계로 추정되었으며 각 유역별로 상관분석한 결과는 표 1과 같다

$$\log\left[\frac{Q}{Q_p}\right] = s \left[ \log\left[\frac{t}{t_p}\right] \right] \quad (10)$$

$$\frac{Q}{Q_p} = \left[\frac{t}{t_p}\right]^{1.1779} \quad (11)$$

표1. 상승부  $\frac{Q}{Q_p} = \left(\frac{t}{t_p}\right)^{2.4}$  곡선 지수보정

	$\frac{Q}{Q_p} = \left(\frac{t}{t_p}\right)^a$ 에서의 a값	상관계수 R
전체	1.1779	0.8468
한강	0.7912	0.8627
낙동강	1.2561	0.8656
금강	1.0716	0.9095
섬진강	1.5921	0.8238
영산강	1.4493	0.9080

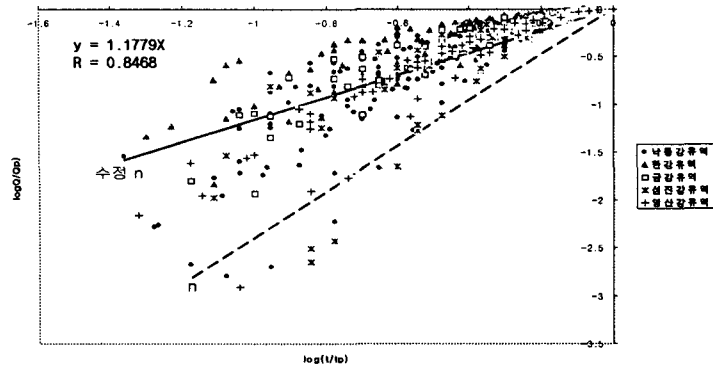


그림 1. 상승부 곡선상에서 (Q/Qp)와 (t/tp)의 상관관계

식(11)의 지수값 1.1779는 식(1)의 값 2.4에 비하여 1.2221이나 작은 값으로 추정되었으며 이것은 시간 t에 대한 상승부곡선상의 유량이 작게 계산된다는 것을 의미한다.

2)  $t_k$ 와 AL에서의 보정

67개지점에 대한  $t_k$ 는 각각의 대표단위유량에서 도출해낼수 있으면 얻어진  $t_k$ 와 AL를 곱하여 Log를 취하면 그림 2. 와 같고 이들 자료를 이용하여 회귀분석하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있으며, 이 때 상관계수는 0.5382로 그렇게 좋은 상관관계는 보이지 못하였다. 또한 각 유역별로 상관분석한 결과는 표 2와 같다.

표2.  $t_k$ 와 AL에서의 보정

	$t_k = a(AL)$ 에서의 a, b값		상관계수 R
	a	b	
전체	3.4498	0.1327	0.5382
한강	5.4388	0.1185	0.6172
낙동강	2.5811	0.1603	0.6774
금강	5.5055	0.0774	0.5183
섬진강	0.2123	0.3285	0.9214
영산강	0.1621	0.4169	0.9741

전체유역에 대한  $t_k$ 와 AL에서의 보정식은 식 (12)와 같다.

$$t_k = 3.4498 (AL)^{0.1327} \tag{12}$$

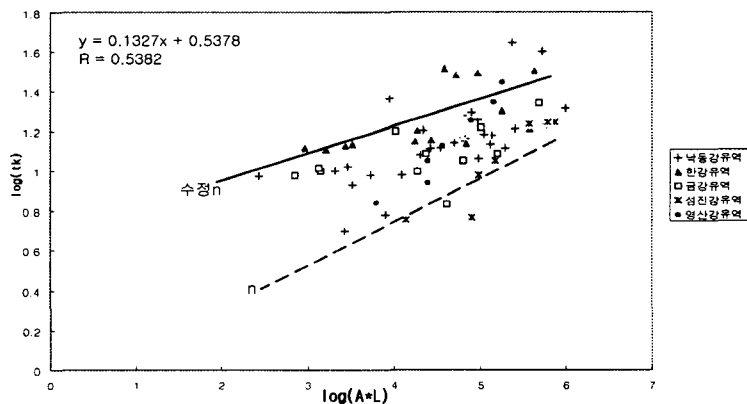


그림 2.  $t_k$ 와 AL에서의 상관관계

### 3) $Q_p$ 식의 계수보정

첨두유량  $Q_p$ 식의 계수조정된 첨두유량 방정식은 식 (13)의 적분을 나타내는 우변의 첫째항에 식 (11)을 대입하고 적분하여 정리하면 식 (14)와 같고 유역별로 나타내면 표 3와 같다.

$$\int_0^{\infty} Q dt = \int_0^{t_p} Q_p \left[ \frac{t}{t_p} \right]^{2.4} dt + \int_{t_p}^{t_k} Q_p [0.3] \frac{t-t_p}{t_k} dt$$

$$+ \int_{t_k}^{2.5t_k} Q_p [0.3] \frac{t-t_p+0.5t_k}{1.5t_k} dt + \int_{2.5t_k}^{4.5t_k} Q_p [0.3] \frac{t-t_p+1.5t_k}{2.0t_k} dt$$

$$= Q_p (0.3 t_p + t_k) = 0.2778 R_o A \quad (13)$$

$$Q_p = \frac{0.2778 R_o A}{0.4527 t_p + t_k} \quad (14)$$

표3.  $Q_p$ 식의 계수보정

	$Q_p = \frac{0.2778 R_o A}{(a)t_p + t_k}$ 에서의 a값
전체	0.4527
한강	0.5033
낙동강	0.4425
금강	0.4666
섬진강	0.3986
영산강	0.4173

### 4) $t_g$ 와 L에서의 보정

유로연장 L과 지체시간  $t_g$ 간의 회귀분석은 식(5) 및 (6)을 이용하여 전체지점의 경우 67개중에서 61개가  $L > 15\text{km}$ 이며, 6개가  $L < 15\text{km}$ 이나 전체를 같이 분석하여 표 4와 그림 3으로 나타내었다.

표4.  $t_g$ 와 L에서의 보정

	$t_g = a + bL$ 에서의 a, b값		상관계수 R
	a	b	
전체	4.3125	0.0653	0.7294
한강	3.6194	0.082	0.8912
낙동강	2.7407	0.0954	0.6657
금강	4.2547	0.0628	0.9187
섬진강	4.4963	0.0362	0.6082
영산강	-2.8608	0.2613	0.9437

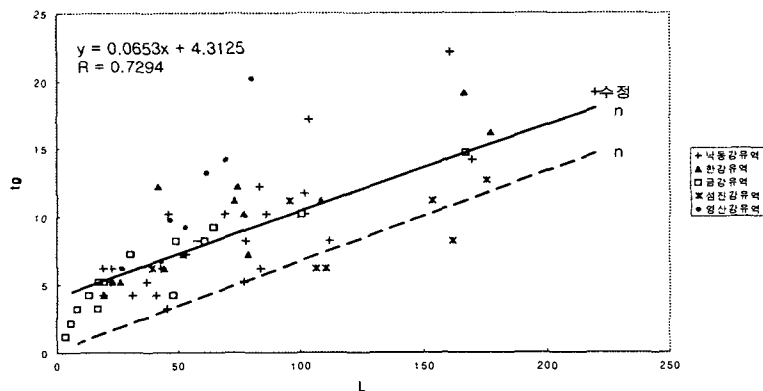


그림 3.  $t_g$ 와 L에서의 상관관계

표 4에서 나타난 바와 같이 전체지점에 대한 상관계수는 비교적 좋은 상관관계를 가지며 Nakayasu의 기울기와 비교해보면 약간 크게 나타났다.

### 5. 우리나라 전역과 유역별로 합성단위유량도의 매개변수 동질성조사

회귀분석을 이용하여 얻은 1시간 합성단위유량도와 대표단위유량도를 비교하기 위하여 각 수계별로 지점을 뽑아 아래 그림과 같이 도시하였다. 아래 그림에 도시된 각각의 합성단위유량도는 수정 Nakayasu가 Nakayasu연구 결과보다 훨씬 더 개선된 값을 보여주었다.

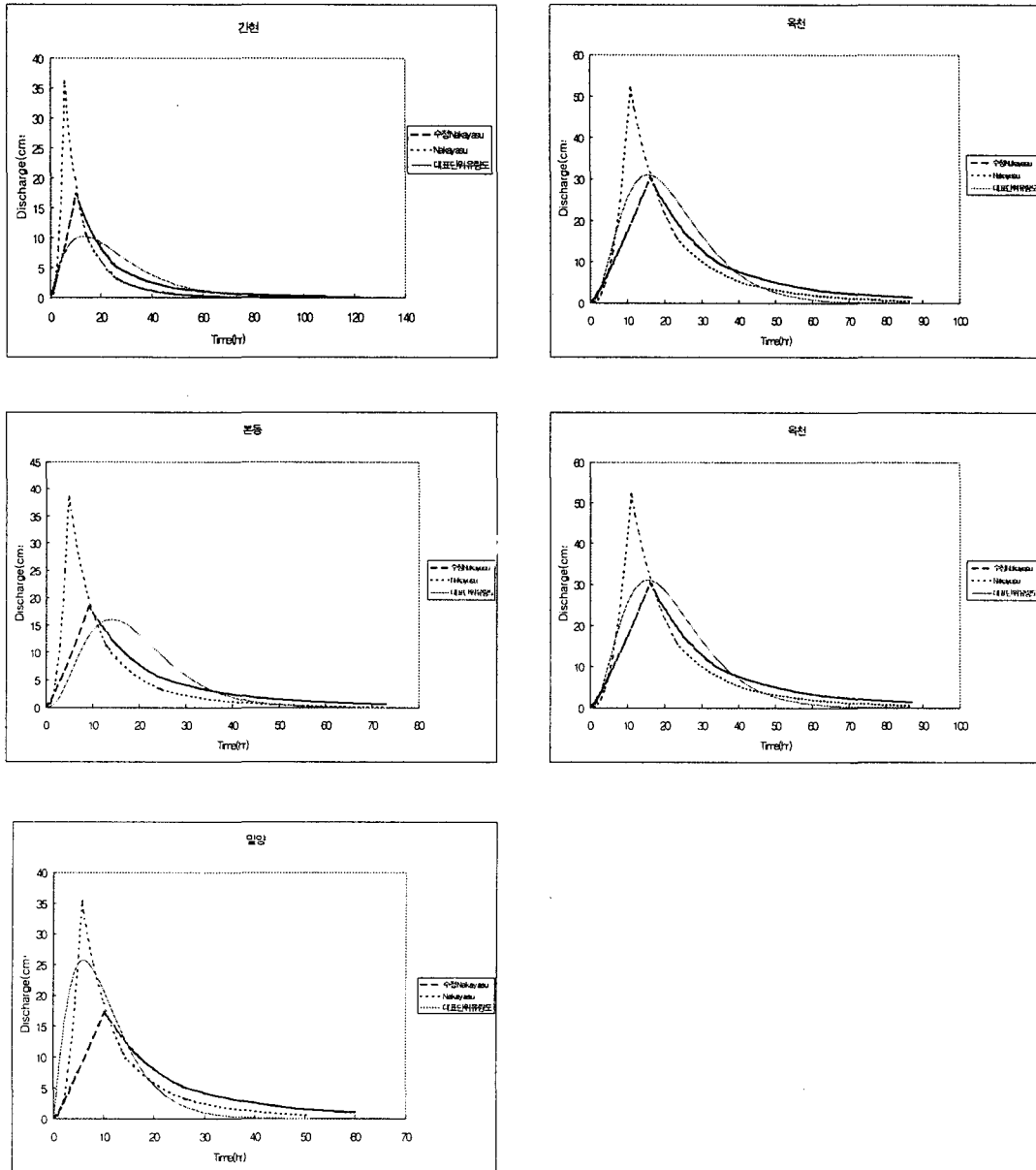


그림 4. 대표단위유량도와 합성단위유량도의 비교

침투시간과 침투유량은 표5, 6과 그림5, 6에서 나타나는 바와 같이 대부분의 지점에서 수정Nakayasu가 Nakayasu보다 더 대표단위도에 근접한 것으로 분석되었다.

표5. 각지점에서의 침투유량의 비교

	대표단위유량도	Nakayasu	수정Nakayasu
본동	16.1025	38.3923	18.3026
옥천	31.0608	52.0192	30.3968
임하	33.015	44.3952	23.4838
간현	10.2604	35.7906	17.4398
밀양	25.6513	35.1878	17.217

표6. 각지점에서의 침투시간의 비교

	대표단위유량도	Nakayasu	수정Nakayasu
본동	14	4.7740	9.1363
옥천	15.5	10.8935	16.0261
임하	12.5	7.0850	11.7378
간현	13	5.5071	9.9617
밀양	6	5.6450	10.1171

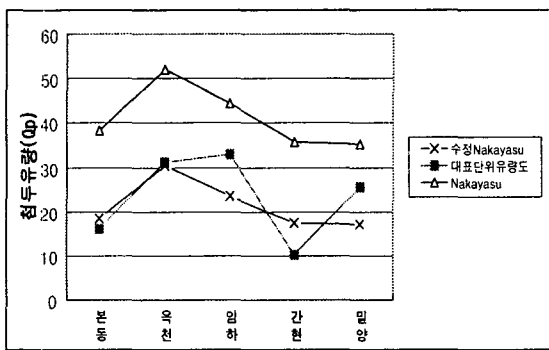


그림 5. 대표단위도와 합성단위도의  $Q_p$  비교

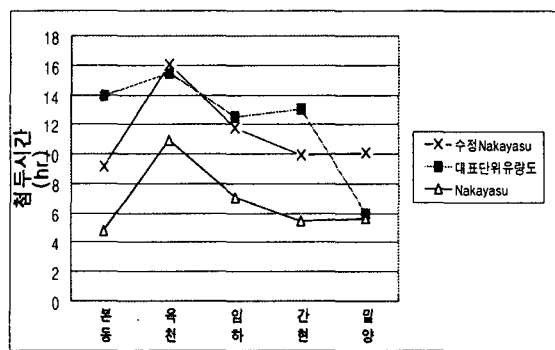


그림 6. 대표단위도와 합성단위도의  $t_k$  비교

## 5. 맺음말

우리나라의 67개의 유역에 대한 Nakayasu 및 수정 Nakayasu 형 합성단위유량도를 대표단위유량도와 비교 검토한 결과 대표단위유량도의 자료로부터 회귀분석하여 기존의 Nakayasu의 합성단위유량도를 우리나라 유역특성에 맞는 수정 Nakayasu형의 합성단위유량도의 상승곡선식의 지수, 지체시간에 대한 방정식의 상수,  $t_k$ 와 AL간의 방정식의 지수 및 침투유량의 계수를 개선하였으며 개선된 값으로부터 얻은 합성단위유량도는 전체 유역이나 수계별에서 Nakayasu의 합성단위유량도 보다는 대표단위유량도에 훨씬 더 접근하였다.

## 참고문헌

1. 건설부, (1993), 수자원 관리기법개발 연구조사 보고서
2. 한국건설기술연구원, (2000), 시험유역의 운영 및 수문특성 조사연구 -합성단위도 개발을 중심으로
3. 한국건설기술연구원, (1989), 설계홍수량 산정을 위한 단위유량도의 합성방법 개발 연구보고서
4. 건설부, (1992), 국제수문계발계획 연구보고서, 국내 기존 합성단위유량도의 비교분석
5. 전시영, (1994) 한국수문학회지 (국내기존 합성단위유량도의 비교분석)Vol.27 NO. 2
6. 윤태훈, (1997) 응용수문학 청문사
7. Mockus, V. (1957), "Use of Storm and Water shed Characteristics in Synthetic Hydrograph Analysis and Application", Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture Soil Conservation Service.
8. Snyder, F. (1938), "Synthetic Unit Graphs", trans. Am. Geophys. Union, Vol. 19, PP. 447-454.
9. Willams, J. R.(1975), "HYMO Flood Routing", Journal of Hydrology, Vol. 26, pp. 17-27