<論 文>

單位流量圖合成을 위한 Snyder 계수의 調整

(Revision of Snyder's Coefficient for Synthesizing Unit Hydrograph)

鮮 于 仲 皓*
Sonu, Jung ho

高 永 燦**
Koh, Young chan

Abstract

The synthetic unit hydrograph is commonly used for the derivation of a design hydrograph. The existing Snyder's equation for the syntheses of unit hydrograph was found to give relatively a flat hydrograph in comparison with observed hydrograph and a revision is required. HEC-1 model is used to simulated observed hydrograph in the South Han River basin and results are used as an input for the regression. The basin is subdivided into small drainage areas and the synthesized hydrograph is routed through channels. After the calculated hydrographs are compared with observed one, the synthesized hydrograph of each subbasisn is revised and the new Snyder's equation is derived. The revised equation gives rapid increase of discharge in rising limb and larger peak.

要 旨

유역 추적에 자주 쓰이는 합성 단위 유량도 방법의 일종인 Snyder 방법에 있어서의 계수를 남한강 수계에서 재조정하는 과정을 제시하였다. 그 과정은, 과거의 조사에서 구한 남한강 수계의 Snyder 공식에서 초기값을 구한 다음, 이 값을 HEC-1 모델에 적용시켜 계수를 재조정한 후에 그 계수로부터 Snyder의 개선공식을 구하게 된다. 이와 같은 과정으로 구한 개선 공식은 기존 공식에 비해 계산 수문 곡선의 첨두 유량의 크기가 커지게 되며, 첨두 유량에 도달하는 기울기도 기존 공식보다 급격하게 되는 특성을 가지게 된다. 또한 첨두 유량이 발생하는 시간을 결정하여 주는 지체 시간이 기존 공식에 비해 개선 공식에서 작게 되기 때문에 첨두 유량이 발생되는 시간도 개선 공식을 사용하게 되면 기존 공식을 사용한 경우보다 더 빨라지게 된다.

1. 서 론

設計水文曲線을 구하기 위한 방법의 하나로서 單位流量圖를 사용한다. 單位流量圖는 流域의 線型性 가정에 根據를 두고 있는 단점이 있기는 하나 방법의 간편성과 비교적 정확한 결과로 인하여 많이 사용되고 있다. 어느 특정지역의 단위유량도 유도는 실측된 강우자료와 유량자료로 부터 구하는 것이 일반적인 例이나 미계측 지역의 단위유량도는 여러 방법에 의하여 合成하기도 한다.

合成單位流量圖를 구하는 方法으로서 Snyer에 의한 공식은 실무에서 많이 사용되고 있으며 한국 유역에 대한 수정공식은 이미 유도된 바가 있다.[1] 그러나 한강유역에서 Snyder형의 공식은 유도 당시 충분한 자료가 없어 시유량 자료를 일유량으로부터 추정하여 사용하였으므로 다소의 오차가 초기 유도 당시로부터 예견되었으며 남한강 유역의 경우 실제 적용하여 본 결

* 서울大學校 工大 교수
** 서울大學校 土木工學科 박사과정

과 관측된 첨두 유량보다 훨씬 작게 됨을 알 수 있었다. 이는 流域特性의 時間에 따른 可變性 때문에 기인한다고도 볼 수 있으나(特히 과거 10年동안의 森林効果) 公式의 誘導 당시 不充分한 資料에 더 큰 原因이 있음을 알 수 있다. 그러나 漢江流域의 경우 1974년에 준공된 漢江洪水統制所가 約 10年 동안 가동됨으로 인하여 몇 개 地點에는 충분한 時雨量 및 時流量의 資料을 얻을 수 있었다. 그러나 北漢江流域은 一聯의 貯水地群으로 인하여 資料로 부터 單位圖를 誘導할 수 없기 때문에 本 研究의 범위는 南漢江에 局限시켰다.

本 研究는 南漢江 流域에 대하여 HEC-1을 使用하여 既存의 Snyder 係數를 調整하는데 目的이 있다. 本作業을 위하여 HEC-1 模型을 使用한 理由는 비록 漢江統制所의 資料가 時雨量으로 記錄되어 있으나 水位資料를 流量으로 變換시키기 위한 水位—流量曲線이 充分치 못하기 때문에 HEC-1을 사용하여 流量水文曲線을 合成한 다음 이를 下流로 追跡하여 流量資料가 있는 點에서 實測値와 計算値를 비교검토하기 위하여서다. 이와 같이 南漢江流域을 數個의 小流域으로 區分하여 이들 各流域에서 單位流量圖를 유도한 다음 이를 단위유량도와 地形因子間의 회기 分析에 따라 Snyder의 係數를 誘導하는 方法을 使用하였다.

2. 單位流量圖의 合成을 위한 Snyder 方法

單位流量圖는 주어진 流域에 대하여 한개만이 存在한다는 단위 유량도의 기본 가정에 根據하여 Snyder는 單位流量圖의 첨두 유량과 지형인자 또는 첨두유량 발생시간과 지형인자간에는 하나만의 관계가 成立된다는 가정하에 이를 유도하였다. 그림 2.1에서 보는 바와 같이 Snyder 方法은 t_l, Q_P와 기저 시간(T)이 결정되면 이 3個의 값으로 부터 單位流量圖의 면적이 1이 되도록 개략 그림을 그릴 수 있음을 제시하여 주고 있다.

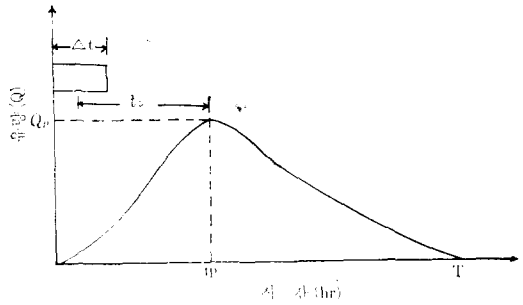

Fig. 2.1 Snyder 方法을 위한 단위도

이들 단위도의 형상은 유역의 지형인자에 의하여 영향을 받으며 유역이 선형이며 시간불변성을 갖고 있다면 단위도의 첨두 유량의 크기와 발생하는 시간 또는 기저시간 등은 지형인자 특히 하천의 길이와 유역의 형상에 영향을 받는다.[3] 이들의 관계식은 物理的인 現象次元에서 형성된다기 보다는 Black Box형의 회기분석에 의하여 형성이 되기 때문에 이들 관계식으로부터 物理的 현상을 설명할 수는 없다. Snyder가 제시한 원公式은 아래 식(2.1)~(2.3)에 나타내었다.

$$t_l = C_t (L \cdot L_C)^{0.3} \quad \cdots\cdots(2.1)$$

여기서, t_l=유역의 지체시간(hr)=$t_p - 0.5\Delta t$

C_t=유역의 형상에 따른 계수

L=하천의 길이($mile$)

L_C=유역 출구로부터 유역 중심과 가장 가까운 하천 지점까지의 길이($mile$)

$$Q_P = \frac{645 \cdot C_P \cdot A}{t_l} \quad \cdots\cdots(2.2)$$

여기서, Q_P=첨두유량(ft^3/sec)

C_P=유역의 형상에 따른 계수

A=유역면적($mile^2$)

t_l=유역의 지체시간(hr)

$$T = 3 + t_l/8 \quad \cdots\cdots(2.3)$$

T=기저시간($days$)

위에 기술된 식들은 Snyder가 English 단위계를 이용하여 구한 식들로써 식(2.2)의 645는 단위를 맞추기 위한 상수이고, 또한 t_l을 구한 상태에서는 식(2.3)은 자연히 구할 수 있으므로 실제 필요한 식은 식(2.1)과 식(2.2)가 된다.

Snyder가 위의 식들을 유도하는데 있어서 단위 유효 강우의 지속시간 Δt가 $t_l/5.5$일 경우에 구하였음으로, 임의의 Δt 시간에 의해 조정된 유역의 지체시간 t_l에 대하여 다음과 같은 관계식을 제시하였다.

$$t_l = t_{sl} + 0.25(\Delta t - t_{sl}/5.5) \quad \cdots\cdots(2.4)$$

t_{sl}=조정된 유역의 지체시간(hr)

t_{sl}=유역의 지체시간($\Delta t = t_{sl}/5.5$)(hr)

Δt=단위 유효 강우의 지속시간(hr)

식(2.4)에서 t_l, 즉 $\Delta t = t_l/5.5$일 경우의 지체시간을 Snyder의 표준 지체시간이라고 하는데 우리가 임의의 Δt에 대한 유역에서 구한 t_l에 대하여 Snyder의 표준 지체시간인 t_{sl}을 구하려면 식(2.4)를 t_{sl}에 대하여 정리하면 된다.

$$t_{sl} = 1.048\ (t_l - 0.25\Delta t)^{(4)}$$

$$= 1.048(t_p - 0.75\Delta t) \quad \cdots\cdots(2.5)$$

여기서, t_p=첨두 유량이 발생하는 시간(hr)

3. Snyder 계수의 재조정

미국 공병단의 Hydrologic Engineering Center에서 나온 HEC-1 모델을 이용하여 Snyder 계수를 재조정하는 대상 지역은 13번 유역부터 26번 유역까지의 남한강 수계이다. (그림 3.1) 남한강 수계는 충주댐 건설이전 까지는 자연 수계로 볼 수 있기 때문에 댐 건설이전의 자료를 가지고 Snyder 계수를 구하는데 있어서, 기존의 댐들이 많은 북한강 수계에 비하여 자료의 왜곡도가 작은 장점을 가지고 있다. 이 模型의 運營을 위한 流域의 모식도는 그림(3.2)에 보인 바와 같다. 그림(3.2)에서 平昌江流域의 平昌 上流地點의 流域인 13번 유역의 수문곡선은 남한강 본류와의 合流地點까지 河道追跡을 實施하여 이를 남한강본류의 수문곡선과 合流시키며 동시에 平昌地點下流와 酒川流域에 해당하는 14번 소유역의 수문곡선을 合流시킨다. 이와 같이 南漢江 本流의 Ⓐ地點에서 구한 수문곡선은 다시 Ⓑ地點까지 流道를 따라 追跡을 시키며 Ⓐ點과 Ⓑ點 사이의 유역으로 부터의 水文曲線을 合하므로서 Ⓑ點에서의 水文曲線을 계산하게 된다. 이와 같은 방법으로 각 소유역의 수문곡선을 구하고 이를 적절하게 하도 추적을 실시하므로서 본 연구의 최종 하류지점인 여주 수

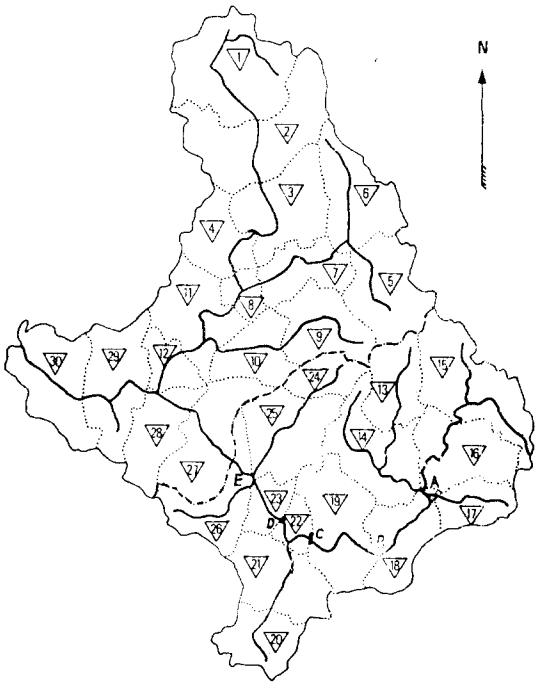

Fig. 3.1. 한강 유역 분할도[2]

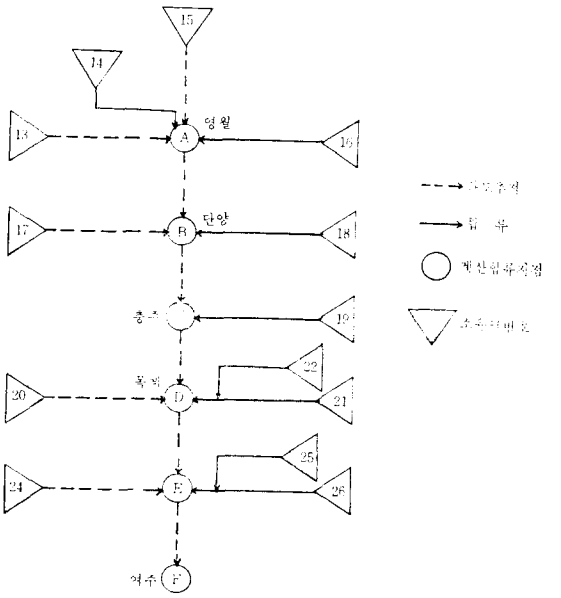

Fig. 3.2. 남한강유역 모식도

위표지점까지의 수문곡선을 추적하게 된다. 계산의 合流點(Summing Point)인 Ⓐ~Ⓕ까지의 지점은 모두 수위표지점들로서 이들지점에서는 수위—유량곡선을 사용하여 실측치와 계산치를 비교할 수 있도록 하였다. 그러나 몇개지점(특히 단양, 목계등)에서의 계산 결과는 항상 오차라고 인정되어질만한 일정한 경향을 나타내주고 있으므로 이들 지점에서의 비교 검토는 정량적인 것보다는 정성적인 검토를 실시하였다. 주로 계산치와 실측치의 비교는 여주지점에서 실시하였다. 또한 계산하는데 있어서 총 강우량을 유효강우량으로 분리하는 방법은 SCS Curve number 법을 이용하였고, 합류점까지의 하도 추적은 Muskingum 방법을 사용하였다.

Snyder 계수를 재조정하는 방법을 Flow Chart로 설명하면 그림 3.3와 같다.

남한강 수계의 13번 유역부터 26번 유역까지의 면적 (A)과 L, Lc를 이용하여 t_p와 Q_p를 구하는데 사용된 기존 공식은 다음과 같다.

$$t_p = 1.444(L \cdot Lc)^{0.304} \quad \cdots\cdots (3.1)$$

$$Q_P = \frac{0.752}{t_p^{0.752}} \cdot A$$

여기에서 L과 Lc는 km, A는 km^2, t_p는 hr, Q_P는 m^3/sec의 단위를 갖는다. 식(3.1)은 Δt를 2시간으로 하여 계산된 식이기 때문에 임의의 Δt시간에 대해서

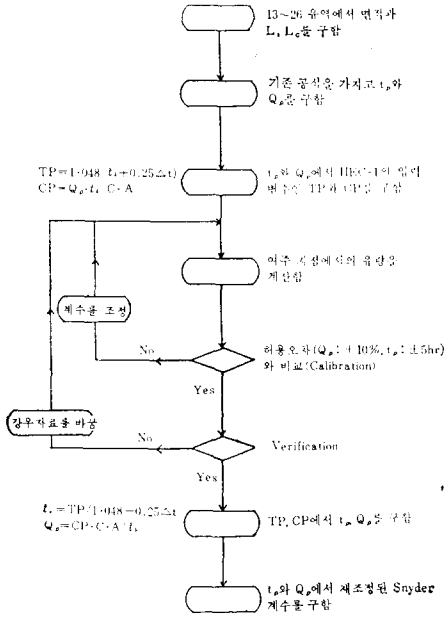

Fig. 3.3 Flow chart

관계식을 알기 위하여, 식(3.1)을 구할 때 사용한 자료로[1] 다음과 같은 t_l에 대한 관계식을 구하였다.

$$t_l = 1.194(L \cdot L_c)^{0.320} \quad \cdots\cdots(3.2)$$

$$Q_P = \frac{0.649}{t_l^{0.716}} \cdot A$$

식(3.2)를 Snyder가 제시한 식(2.1)과 식(2.2)에 대해 비교하면 형태가 조금 다른 것을 알 수 있는데, 이것은 식(3.2)를 구할 때 더 좋은 관계식을 얻기 위하여 2변수선형 회귀 분석을 사용했기 때문이다.

식(3.2)를 이용하여 남한강 수계의 강우 자료가 기록되는 시간 간격인 1시간(즉, $\Delta t = 1hr$)에 대하여 Snyder의 t_p와 Q_P를 구하면 표 3.1과 같다.

HEC-1모델을 이용하여 Snyder방법의 유역 추적을 행하는데 있어 필요한 입력 변수는 TP, CP가 되는데 이 값은 다음 식에서 구해지게 된다.

$$TP = 1.048(t_p - 0.75 \cdot \Delta t) \quad \cdots\cdots(3.3)$$

$$CP = Q_P \cdot \frac{t_p - 0.5 \cdot \Delta t}{C \cdot A}$$

Table. 3.1 남한강 수계의 유역에서 구한 Snyder의 t_p, Q_P

유역번호	면 적 (km^2)	L(km)	Lc(km)	t_p(hr)	Q_P (m^3/sec)
13	674	49.8	23.8	12.0	77.1
14	1107	102.3	41.8	17.8	92.4
15	1478	76.8	20.8	13.2	155.8
16	994	92.3	51.3	18.4	82.1
17	502	45.8	25.3	11.9	56.9
18	828	59.3	25.5	12.9	87.5
19	1117	70.8	22.3	13.1	118.6
20	676	74.3	21.8	13.2	43.3
21	951	66.8	27.8	13.8	79.2
22	234	25.8	8.0	7.1	69.1
23	348	53.3	20.5	11.7	88.8
24	450	37.8	13.3	9.2	62.5
25	1044	56.3	18.3	11.5	103.4
26	774	43.8	17.3	10.5	63.8

여기에서 C는 단위를 맞추어 주기 위한 변환 계수로써 미터 단위계에서는 2.78이라는 값을 갖게 된다. 또한 식(3.3)에서 알 수 있듯이 TP는 첨두 유량이 발생하는 시간을 결정하여 주는 값이고, CP는 첨두 유량의 크기를 결정하는 값이다. 따라서 Δt를 1시간으로 하여 표 3.1에서 구한 각 유역의 면적, t_p, Q_p를 이용하여 HEC-1모델의 입력 변수인 TP, CP를 구하면 다음과 같다.

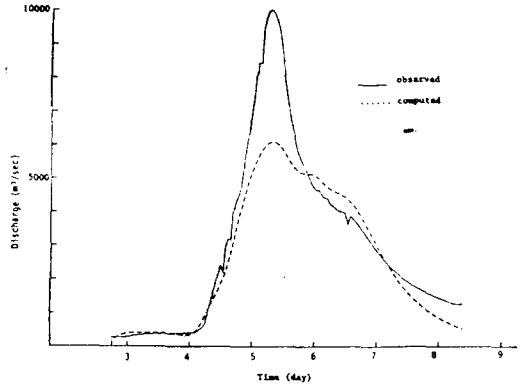

Fig. 3.4 계산치와 관측치의 수문곡선 비교 (1979.8.2~8.8)

Table. 3.2 HEC-1 모델의 입력 변수 TP, CP

유 역 번 호	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
TP	11.79	17.87	13.05	18.50	11.69	12.73	12.94	13.05	13.68	6.95	11.48	8.86	11.27	10.22
CP	0.47	0.52	0.48	0.53	0.47	0.48	0.48	0.48	0.49	0.40	0.46	0.43	0.46	0.45

Table. 3.3. 조정된 입력 변수 TP, CP

유 역 번 호	13	14	15	16	17	18	15	20	21	22	23	24	25	26
TP	10.02	13.49	12.79	14.88	9.09	9.97	12.70	11.09	11.63	5.91	9.76	7.53	9.58	8.69
CP	0.54	0.59	0.58	0.60	0.52	0.53	0.58	0.55	0.56	0.46	0.53	0.49	0.53	0.52

Table. 3.4. 남한강 유역의 CP,TP,L,Lc,A

유역번호 / 지형인자	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
CP	0.54	0.59	0.58	0.60	0.52	0.53	0.58	0.55	0.56	0.46	0.53	0.49	0.53	0.52
TP	10.02	13.49	12.79	14.88	9.09	9.97	12.70	11.09	11.63	5.91	9.76	7.53	9.58	8.69
L(km)	49.8	102.3	76.8	92.3	45.8	59.3	70.8	74.3	66.8	25.8	53.3	37.8	56.3	43.8
Lc(km)	23.8	41.8	20.8	51.3	25.3	25.5	22.3	21.8	27.8	8.0	20.5	13.3	18.3	17.3
A(km^2)	674	1107	1478	994	502	828	1117	676	951	234	348	450	1044	774

표 3.2에 있는 TP와 CP를 초기치로 하여 26번 유역의 출구인 여주지점의 수문 곡선을 계산한 결과를 그림으로 나타내면 다음과 같다(그림 3.4).

그림 3.4을 보면 계산된 수문 곡선은 관측 수문 곡선에 비하여 첨두 유량이 발생되는 시간은 비슷하지만

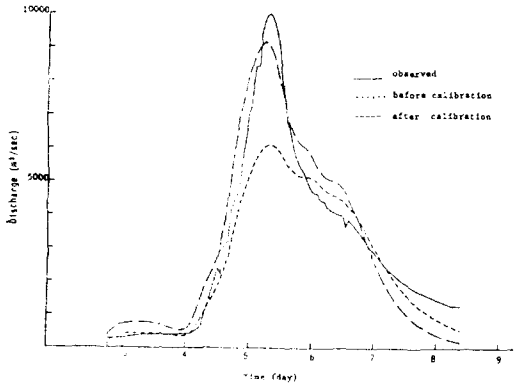

Fig. 3.5 Calibration 전과 후의 수문곡선 비교 (1979.8.2~8.8)

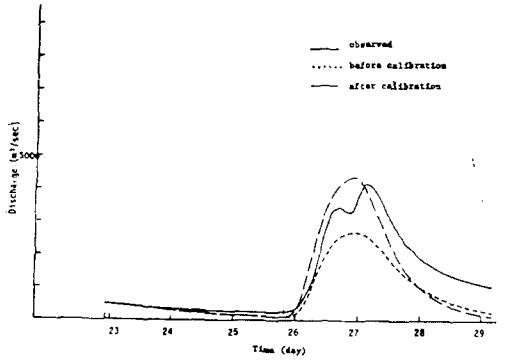

Fig. 3.6 Calibration 전과 후의 수문곡선 비교 (1980.8.22~8.29)

첨두 유량의 크기가 상당히 작음을 알 수 있었다. 이 문제를 해결하기 위하여 시산법(trial and error method)을 이용하여 TP와 CP를 조정한 결과 다음과 같은 계산 수문 곡선을 얻게 되었다(그림 3.5).

조정된 TP와 CP는 표 3.3과 같고, 그 값을 다른 강우 자료에 적용하여 계산한 수문 곡선은 다음과 같다. (그림 3.6, 그림 3.7)

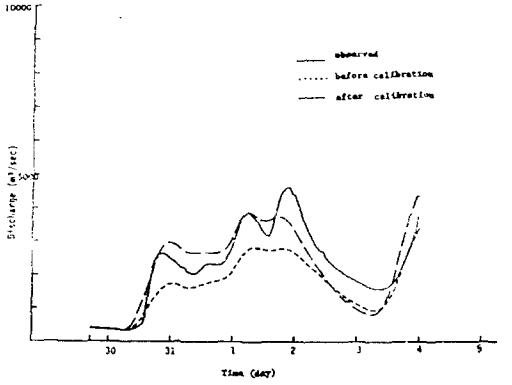

Fig. 3.7 Calibration 전과 후의 수문곡선 비교 (1981.8.29~9.4)

앞에서 구한 자료를 가지고 남한강 수계에서 Snyder 합성 단위 유량도의 개선 공식을 유도하는데 사용되는 t_l과 Q_P와의 관계식은 다음과 같이 구할 수 있다. 그 방법은 남한강 수계에서 조정된 HEC-1 모델의 입력 변수 TP와 CP를 가지고 다시 역으로 t_l과 Q_P를 구하여 회귀분석을 실시하면 되는데, 그에 필요한 각 유역의 *CP, TP, L, Lc, A*를 다시 정리하면 표 3.4와 같다.

표 3.4의 TP와 CP를 이용하여 t_l과 Q_P를 구하는 관계식은 다음과 같다.

Table. 3.5. 남한강 유역의 t_l,Q_P,Q_P,/A,L,Lc

지형인자 \ 유역번호	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
t_l(hr)	9.31	12.62	11.95	13.95	8.42	9.26	11.87	10.33	10.85	5.39	9.06	6.94	8.89	8.04
Q_P(m^3/s)	108.6	143.8	199.4	118.8	86.1	131.7	151.7	100.0	136.4	55.5	56.5	88.3	173.0	139.1
Q_P/A	0.161	0.130	0.135	0.120	0.172	0.159	0.136	0.148	0.143	0.237	0.163	0.196	0.166	0.180
L·Lc	1185	4276	1597	4735	1158	1512	1578	1619	1857	206	1092	502	1030	757

$$t_l=\frac{TP}{1.048}-0.25\cdot\Delta t \qquad \cdots\cdots(3.4)$$
$$Q_P=\frac{CP}{t_l}\cdot C\cdot A$$

식(3.4)는 식(3.3)을 각각 t_l과 Q_P에 대하여 정리한 식으로써 식(3.3)에서와 같이 C는 단위를 맞추어 주기 위한 변환 계수로써 2.78이 된다.

식(3.4)에서 구한 t_l과 Q_P를 유역 특성인 L, Lc, A와 regression 하는데는 $L\cdot Lc$와 Q_P/A가 필요하게 된다. (표 3.5)

표 3.5의 자료를 가지고 t_l과 $L\cdot Lc$, Q_P/A와 t_l로써 회귀분석을 하면 다음과 같은 Snyder의 개선 공식을 구할 수 있으며, 상관 계수 r은 각각의 식에 따라 0.95 이상의 좋은 값을 갖게 된다.

$$t_l=1.071(L\cdot Lc)^{0.306} \qquad r=0.9541 \qquad \cdots\cdots(3.5)$$
$$Q_P=\frac{0.778}{t_l^{0.708}}\cdot A \qquad r=0.9993$$

식(3.5)는 과거의 조사에서 구한 기존공식인 식(3.2)에 비교되는 것이며, Δt를 2시간으로 하여 구한 기존 공식인 식(3.1)과 비교하기 위하여, Δt를 2시간으로 하여 구한 개선 공식은 다음과 같다.

$$t_p=1.489(L\cdot Lc)^{0.274} \qquad r=0.9533 \qquad \cdots\cdots(3.6)$$
$$Q_P=\frac{1.013}{t_p^{0.708}}\cdot A \qquad r=0.9990$$

앞에서 설명한 바와 같이 위의 식들은 Snyder가 제시한 식인 식(2.1)과 식(2.2)과 비교하여 볼때 형태가 약간 다른 변형식임을 알 수 있다. 따라서 과거의 자료와 현재의 자료를 가지고 식(2.1)과 식(2.2)의 형태와 같은 Snyder의 원형식을 구하면 기존 공식과 개선 공식은 다음과 같이 표시된다.

(기존 공식)

$$t_l=1.451(L\cdot Lc)^{0.3} \qquad \cdots\cdots(3.7)$$
$$Q_P=\frac{1.498}{t_l}\cdot A$$

(개선 공식)

$$t_l=1.116(L\cdot Lc)^{0.3} \qquad \cdots\cdots(3.8)$$
$$Q_P=\frac{1.448}{t_l}\cdot A$$

앞에서 구한 개선 공식이 기존 공식에 비하여 어떤 특징을 가지고 있는지 알아 보기 위하여 정리하면 표 3.6과 같다.

Table. 3.6 개선 공식과 기존 공식의 비교

	개 선 공 식	기 존 공 식
t_l로 구한식	$t_l=1.071(L\cdot Lc)^{0.306}$ $Q_P=\frac{0.778}{t_l^{0.708}}\cdot A$	$t_l=1.194(L\cdot Lc)^{0.320}$ $Q_P=\frac{0.649}{t_l^{0.716}}\cdot A$
t_p로 구한식 ($\Delta t=2hr$)	$t_p=1.489(L\cdot Lc)^{0.274}$ $Q_P=\frac{1.013}{t_p^{0.708}}\cdot A$	$t_p=1.444(L\cdot Lc)^{0.304}$ $Q_P=\frac{0.752}{t_p^{0.752}}\cdot A$
Snyder의 원형식	$t_l=1.116(L\cdot Lc)^{0.3}$ $Q_P=\frac{1.448}{t_l}\cdot A$	$t_l=1.451(L\cdot Lc)^{0.3}$ $Q_P=\frac{1.498}{t_l}\cdot A$

개선 공식과 기존 공식을 비교하면 개선 공식에서 구한 t_l이 기존 공식에서 구한 t_l보다 상당히 작아짐을 알 수 있다. 따라서 t_l로 부터 구하는 Q_P는 개선 공식이 기존 공식에 비하여 커짐을 알 수 있는데, 이로 인하여 개선 공식으로 계산된 수문 곡선은 그림 3.5~그림 3.7에서와 같이 기존 공식으로 계산된 수문 곡선에 비하여 첨두 유량의 값도 커지게 되고 또한 첨두 유량에 도달하는 기울기도 급격해지게 된다.

4. 결 론

남한강 수계를 대상 수계로 하여 HEC-1 모델을 이용하여 기존의 Snyder 공식을 재조정한 결과 표 3.6과 같은 개선 공식을 얻을 수 있었다. 본 논문에서 구한 개선 공식은 기존 공식에 비해 계산 수문 곡선의 첨두 유량 크기가 커지게 되며, 첨두 유량에 도달하는 기울기도 급격하게 되는 특성을 가지고 있다. 따라서 남한강 수계나 이와 비슷한 유역 특성을 갖는 수계에

있어서 개략적인 유출량을 계산하는데 앞에서 구한 Snyder의 개선 공식을 사용할 수 있으며, 보다 정밀한 유출량을 계산하기 위하여 대상 수계에 적합한 Snyder 계수를 찾아내는 작업에 있어서는 개선 공식에서 나온 값을 초기 값으로 하여 본 논문에서 행한 작업과 동일한 방법으로 작업해 나가면 그 대상 수계에 적합한 Snyder 계수를 찾아낼 수 있게 된다.

〈감사의 글〉

본 연구는 1985년도 문교부 학술연구조성비에 의하여 연구되었으며 연구비 지원에 감사 드린다.

참고 문헌

1. 건설부, 합성 단위 유량도 유도의 연구 조사 보고서, 1974年 12月, pp. 189—198.
2. 건설부, 충주 다목적 댐 건설에 따른 한강 홍수 예경보 프로그램 개선 중간 보고서, 한강 홍수 통제소, 1984年 12月
3. 선우 중호, 수문학, 동명사, 1983, pp. 116—121, pp. 187—193, pp. 286—290.
4. US Army Corps of Engineers, HEC-1 Flood Hydrograph Package Users and Programmers Mannual, Hydrologic Engineering Center(HEC) Sep., 1981.
5. Viessmann, W., et. al., Introduction to Hydrology, Harper & Row Publishers Inc., 1977, pp. 231—244.