

# 榮山湖 運營을 위한 洪水豫報模型의 開發(II)

- 羅州下流流域에서의 洪水流出 推定 -

## River Flow Forecasting Model for the Youngsan Estuary Reservoir Operation( II )

- Simulating Runoff Hydrographs at Ungaged Stations -

朴 昌 彥\* · 朴 承 禹\*\*  
Park, Chang Eon · Park, Seung Woo

### Summary

This paper describes the applications of the SCS TR-20 hydrologic model for simulation of hourly inflow rates from sixty-six ungaged tributaries and subareas between the Naju station and the estuarine dam at the Youngsan River Basin. The model was tested for the ungaged conditions with fifteen storm events at Naju station. Hourly simulated runoff data were compared with the observed, and the results showed less correlations between the two data than those from TANK model. The coefficients of correlation ranged from 0.74 to 0.87. The curve numbers and time of concentration were defined from topographic data for each of sixty-six tributaries for the estuarine dam and used for TR-20 applications. The results were within an acceptable range of errors in simulating the inflow fluctuations for the flood forecasting at the estuarine dam.

### I. 緒 論

對象地區인 榮山江流域에서, 洪水追跡區間으로 流出量이 流入되는 流域은 羅州流域과 羅州下流流域으로 분류되어 진다.<sup>3)</sup> 羅州流域은 그 流出口인 羅州地點이 과거의 時間別 流出量 觀測資料가 존재하고, T/M施設이 설치되어 있어 實施間으로 流出量 觀測值가 수집

되는 計測流域이므로, 洪水流出模型의 媒介變數를 補正하여 流域特性에 맞는 精確한 洪水量 推定이 가능하다. 반면에, 羅州下流流域인 橫流入流域은 河川區間을 따라 小規模 流域들로 구성되며, 각 小流域別로 流出量 觀測資料가 수집될 수 없는 未計測流域이므로 媒介變數의 補正없이도 流出量 計算이 가능한 洪水流出模型이 적용되어져야만 한다.

\* 新丘專門大學 土木科

\*\* 서울大學校 農業生命科學大學

키워드 : 홍수예보모형, TR-20모형, 유출곡선지수

洪水豫警報를 위한 洪水流出模型의 條件<sup>3)</sup>들을 고려하여, 未計測流域인 橫流入流域들의 流出水文曲線 推定을 위하여 TR-20模型을 選定하였다. TR-20模型은 이미 많은 流域에 적용되어 그 適用性을 인정받은 模型으로서 榮山江 淡水湖에서의 洪水豫警報를 위한 洪水流出模型으로서 적절한 것으로 판단되었다.<sup>5)</sup>

본 研究의 目的은 榮山湖의 洪水豫警報를 위한 프로그램을 開發하고 그 適用性을 검토하여, 洪水狀況에서 實時間 豫報를 비롯한 효율적인 榮山湖 運營 및 管理가 이루어 질 수 있도록 하는데 있다. 이를 위하여, 第1報에서는 計測地點인 羅州地點에서의 洪水流出 推定을 위하여 構成되어진 TANK模型의 適用結果에 대하여 정리하였다.<sup>3)</sup>

본 報에서는 未計測地點에서의 洪水流出 推定을 위하여 선정된 TR-20模型의 構成과 그 適用結果를 분석하였으며, 第3報에서는 水理學的 洪水追跡模型과 淡水湖 內水位 計算模型에 대하여 상술할 예정이다.

## II. 模型의 構成

### 1. TR-20模型

美國의 土壤保全局(Soil Conservation Service, SCS)에서는 流出量 資料가 없는 경우에 流域의 土壤特性和 植生被服狀態 등에 대한 資料만으로도 直接流出量을 計算할 수 있는 SCS法을 소개하였다. 그리고, 여기에 河道洪水追跡과 貯水池 洪水追跡, 流出水文曲線의 合成 또는 分離 등이 가능하도록 模型을 구성하여 TR-20模型으로 개발하였다.<sup>5)</sup>

TR-20模型은 많은 實驗資料로 부터 模型內의 媒介變數를 쉽게 결정할 수 있게 함으로써, 美國을 비롯하여 未計測流域의 流出量 計算을 위하여 널리 이용되고 있다.

### 2. SCS 降雨-流出 解析法

流域에서의 流出量은 總降雨量과 保留水量(retention storage)에 의해서 결정되며, 實際保留水量(actual retention)은 總降雨量을 뺀 값으로서 정의된다. 그러나 실제로 降雨初期에 발생하는 일정한 량의 降雨初期損失量(initial abstraction)은 流出現象으로 연결되지 않으므로 SCS에서는 다음과 같은 降雨-流出關係式을 假定하였다.

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{P+2.8S} \dots\dots\dots(1)$$

여기서, S=最大潛在保留水量(potential maximum retention, mm), Q=直接流出量에 해당하는 有效雨量(effective rainfall, mm), P=豪雨중 總雨量(precipitation, mm)등 이다.

식(1)의 해석을 위하여 流域의 土壤과 土地利用 및 處理狀態 등 水文學的 土壤-被服形의 性質을 고려하여 한 流域의 流出能力을 표시하는 流出曲線指數 CN(runoff curve number, CN)이라는 변수를 다음과 같이 S의 函數로 정의함으로써 流出에 미치는 S의 效果를 간접적으로 고려하였다.

$$S = \frac{(25,400)}{CN} - 254 \dots\dots\dots(2)$$

### 3. 流域의 洪水追跡

SCS에서는 流域의 洪水追跡을 위하여 無次元單位圖(dimensionless unit hydrograph)를 개발하여 流域의 特性에 관계없이 적용될 수 있도록 하였는데, 尖頭流量 發生時間  $t_p$ 와 尖頭流量  $q_p$ 는 다음과 같다.

$$t_p = \frac{2}{3} t_c \dots\dots\dots(3)$$

$$q_p = \frac{11.04 AQ}{t_c} \dots\dots\dots(4)$$

여기서,  $q_p$ =尖頭流量( $m^3/s$ ), A=流域面積( $km^2$ ), Q=有效雨量(mm)이다.

#### 4. 河道의 洪水追跡

TR-20模型의 河道區間 洪水追跡은 '凸型追跡法(convex routing method)을 사용하였는데 그 식은 아래와 같다.

$$Q_{t+\Delta t} = (1-C)Q_t + C I_t \dots\dots\dots(5)$$

여기서,  $Q_{t+\Delta t}$  =  $t + \Delta t$  시간에서의 下流地點의 流出量,  $Q_t$  =  $t$  시간에서의 下流地點의 流出量,  $I_t$  =  $t$  시간에서의 上流地點으로 부터의 流入量,  $C$  = 追跡係數(routing coefficient,  $0 \leq C \leq 1$ ) 등이다.

#### 5. 貯水池 洪水追跡

貯水池 洪水追跡은 貯水池 流入水文曲線으로부터 流出水文曲線을 찾아내는 것이므로 貯溜函數는 식(6)과 같이 정의될 수 있다.

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2}(I_1 + I_2) \Delta t + (S_1 - \frac{1}{2} Q_1 \Delta t) \\ & = S_2 + \frac{1}{2} Q_2 \Delta t \dots\dots\dots(6) \end{aligned}$$

여기서,  $I$  = 流入量,  $Q$  = 流出量,  $\Delta t$  = 追跡時間間隔,  $S$  = 貯溜量이며, 식(6)의 解析을 위하여 貯溜指示法(storage-indication method)을 사용하였다.

#### 6. 模型의 構成

未計測地點의 洪水流出 推定을 위하여 構成된 TR-20模型은 Fig.1과 같이 構成되었으며, 계산과정을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 計算調節變數, 流域特性資料 등의 入力資料를 읽는다.
- (2) 流域別 面積降雨量을 時間別로 계산한다.
- (3) 單位圖 時間間隔과 水文曲線의 計算時間間隔을 결정한다.
- (4) SCS 單位圖法을 이용하여 流域의 洪水追跡을 실시한다.

- (5) 貯溜指示法을 이용하여 貯水池 洪水追跡을 실시한다.
- (6) 凸型追跡法에 의하여 河道 洪水追跡을 실시한다.
- (7) 小流域이 合流하는 地點에서는 水文曲線을 合成한다.
- (8) 필요한 地點의 流出水文曲線을 정리하여 出力한다.

### III. 模型의 應用

#### 1. 羅州地點에의 適用

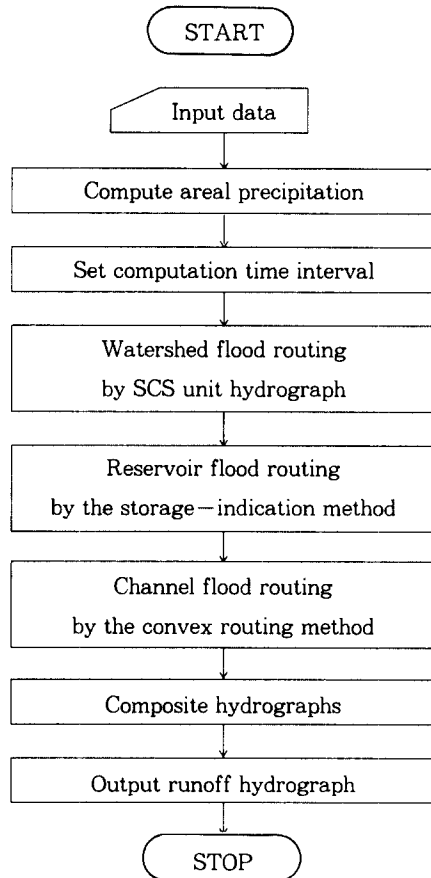


Fig. 1. Flow chart of the TR-20 model

가. 流域水文特性 分析

TR-20模型은 羅州流域 以下の 流出量 觀測值가 存在하지 않는 流域에 대하여 적용되어질 것이다. 그러나 TR-20模型의 適用性을 分析하기 위하여 流出量 觀測值가 存在하는 羅州流域에 適用하여 그 結果를 比較하도록 하였다.

羅州流域은 4개댐과 8개 수위관측소가 위치하는 지점을 中心으로 12개의 小流域으로 分割되었으며 各 小流域에 對한 流域特性을 分析하였다. Fig.2는 이들 小流域을 포함하는 羅州流域의 模式圖로서 11개의 하도 홍수추적구간이 존재하였으며, 光州流域이 340.17km<sup>2</sup>로서 流域面積이 가장 컸고 光州댐 流域이 41.30km<sup>2</sup>로서 가장 적었는데 그 平均은 171.56km<sup>2</sup>였다. 流域面積과 本流長, 標高差등은 1/50,000 平面圖로 부터 면적 및 곡선거리 계산기인 SUM set digitizer에 의해서 測定하였다.

貯水池 洪水追跡區間은 담양댐과 光州댐등 2개 地點에 對하여 실시하도록 하였는데 各 貯水池에 對한 貯溜指示曲線을 計算하기 위하여 水位-內容積 關係를 定理하였다. 또한, 11개 河道 洪水追跡區間에 對하여 河道區間的 距離와 幅, 傾斜 등을 榮山江河川整備計劃 (1989)<sup>1)</sup>의 縱橫斷 測量資料로 부터 얻었다.

나. 流出曲線指數의 調整

TR-20模型의 基本理論인 SCS方法은 小流域을 對象으로 開發되어진 方法이므로 羅州流域과 같은 큰 流域에 적용할 경우에는 流出曲線指數에 對한 調整이 必要하다. 尹(1991)<sup>4)</sup>의 研究에서도 우리나라의 大部分의 流域들이 中大流域으로 構成되므로 이들에의 適用을 위해서는 流出曲線指數를 增加시켜야 하며 이를 위하여 식(7)을 提案하였다.

$$CN_s = a \cdot CN_{II} + (1-a) \cdot CN_{III} \dots \dots \dots (7)$$

여기서, a는 0 < a < 1의 範圍이며, CN<sub>s</sub>는 調整된 AMC-II 條件에서의 CN값이며, CN<sub>II</sub>와 CN<sub>III</sub>는 SCS法에 의하여 算出되어지는

AMC-II 條件과 AMC-III 條件에 對한 CN값이다. 尹(1991)은 그의 研究結果에서 우리나라의 中, 大流域의 適用을 위하여 a=0.3을 提案한 바 있다.

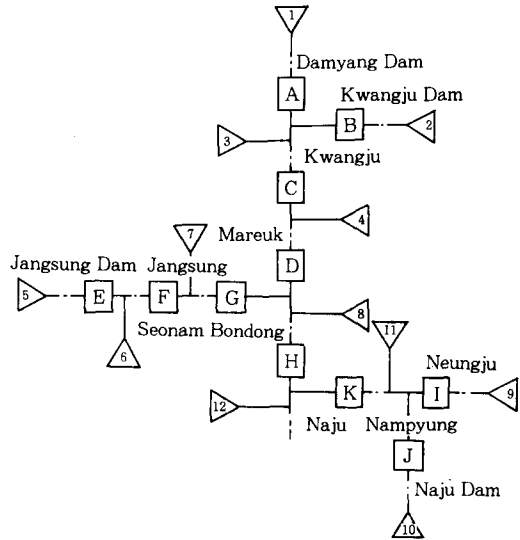


Fig. 2. Schematic diagram of the Naju watershed for application of the TR-20 model

羅州流域에 對한 TR-20模型의 適用을 위하여 本 研究에서도 調整CN을 計算하도록 하였다. SCS의 降雨-流出 關係式인 式(2)를 最大 潛在保留水量 S에 對하여 定理하여 流出曲線指數 CN에 對하여 표시하면 式(8)과 같다.

$$CN_0 = \frac{25,400}{254 + 5P + 10Q - 10(Q^2 + 1.25QP)^{1/2}} \dots \dots (8)$$

式(8)에 의하여 15개 豪雨事象<sup>3)</sup>에 對한 CN<sub>0</sub>를 計算하면 Table-1과 같다. 여기서 流出量은 流出水文曲線으로 부터 初期流出量만큼을 基底流出로 분류하여 直接流出量으로 算定하였다. Table-1의 計算된 CN<sub>0</sub>는 各各 다른 AMC條件에 의한 값이므로 이를 AMC-II 條件에 對하여 換算하여 CN<sub>s</sub>로 定理하였는데 平均 83으로 推定되었다. 이는 流域特性資料

로부터 算定되어진 流域平均 CN값 69보다는 매우 큰 값이며 AMCIII 條件에서의 流域平均 값 85보다는 적은 값이었다.

Table-1에서 計算되어진 推定 CNs의 平均 값 83으로부터 各 小流域別 CN값을 調整하기 위하여 식(7)의 a를 0.2로 하여 식(9)를 適用하기로 하였다.

$$CN_s = 0.2CN_{II} + 0.8CN_{III} \dots\dots\dots(9)$$

다. TR-20模型의 適用結果

選定된 15個 降雨事象 중 降雨量이 많은 TP13, TP21, TP32, TP43 등 4個의 豪雨事象에 대하여 羅州流域에 TR-20模型을 適用하여 그 結果를 比較하였다.

Table-2는 TR-20模型에 의한 結果 중에서

**Table-1. CN values calculated by observed runoff data for the Naju watershed**

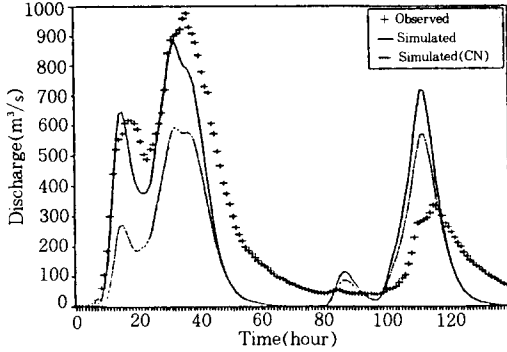
Precipitation events	Precipitation (mm)	Total direct runoff (mm)	AMC	CN <sub>0</sub>	CN <sub>s</sub>
T13	79.56	08.20	I	75	88
T14	97.40	48.91	III	80	63
T16	140.05	70.33	II	74	74
T20	157.94	109.98	I	83	93
T21	233.57	144.49	I	71	86
T22	71.10	37.50	III	86	71
T27	107.94	40.50	I	71	86
T29	93.84	50.07	I	82	92
T32	203.44	130.67	I	76	89
T33	140.88	62.57	I	70	85
T35	111.31	51.32	I	76	89
T43	286.10	138.76	I	57	75
T44	81.62	49.06	I	87	95
T45	97.20	45.02	III	78	61
T46	88.60	61.04	I	90	96
Mean	139.37	76.57			83
Standard deviation	62.35	38.43			11

流出量 觀測值가 존재하는 남평, 마룩, 羅州 지점에 대하여 適用結果를 比較하였는데, 計算된 水文曲線과 觀測된 水文曲線사이의 決定係數는 0.55~0.84의 範圍내에 있었으며, RMS誤差는 下流인 羅州地點에서 253~938 m<sup>3</sup>/s로서 TANK模型에 의한 結果보다는 다소 큰 값을 보였다.

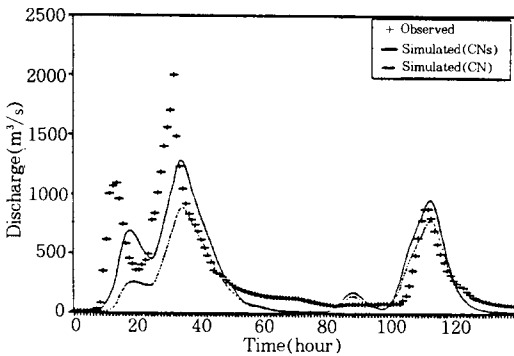
Fig. 3은 TP21 豪雨事象에 대한 남평지점에서의 計算値와 觀測値를 比較한 結果로서 調整되기 전의 CN값에 의한 計算結果와 같이 比較하였는데, CN값을 調整함으로써 觀測値에 다소 接近하고 있음을 알 수 있었다. Fig.4는 마룩지점에 대한 比較結果로서 남평지점의 結果와 비슷한 양상을 보였으나 다른 觀測地點보다는 觀測資料에 잘 일치하고 있는 것을 알 수 있었다. 또한, Fig.5는 羅州지점에 대한 計算結果로서, TANK模型에 의한 計算結果와 같이 比較하였는데 媒介變數의 補正없이 CN값만 증가시켜 計算하였으므로 TANK模型에 의한 計算結果에는 미치지 못하였다.

**Table-2. Comparison of observed and simulated hydrographs by the TR-20 model**

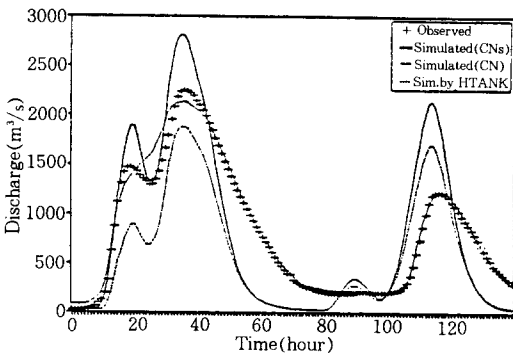
Precipitation events	Stations	R <sup>2</sup>	RMS error (m <sup>3</sup> /s)	Total runoff(mm)		
				Observed, A	Simulated, B	B/A
TP13	Nampyung	0.6577	46.95	58.6	37.1	0.65
	Mareuk	0.7893	96.18	121.1	79.9	0.66
	Naju	0.5660	252.95	100.7	83.9	0.83
TP21	Nampyung	0.6595	148.55	300.1	264.9	0.88
	Mareuk	0.7348	114.78	198.8	164.3	0.83
	Naju	0.7533	333.53	200.7	194.2	0.97
TP32	Mareuk	0.8374	126.28	141.1	61.5	0.44
	Naju	0.7932	938.36	127.9	69.0	0.54
TP43	Mareuk	0.6339	156.77	131.3	200.4	1.53
	Naju	0.5534	435.77	136.3	188.1	1.38



**Fig. 3. Observed and simulated hydrographs for the Nampyung station (1985. 6. 23. 0 : 00~6.29. 0 : 00)**



**Fig. 4. Observed and simulated hydrographs for the Mareuk station (1985.6.23. 0 : 00~6.29. 0 : 00)**



**Fig. 5. Observed and simulated hydrographs for the Naju station (1985.6.23. 0 : 00~6.29. 0 : 00)**

以上的 結果들을 볼때, TR-20模型은 流量觀測值가 존재하지않는 未計測流域에 適用되어지

는 模型으로서 만족하여야 하며, 對象流域인 榮山江流域의 경우 TR-20模型이 適用되어져야 하는 流域은 水理學的 洪水追跡이 이루어지는 榮山江河川의 橫流入流域으로서 그 流域面積이 260km<sup>2</sup>以下로 平均 20.76km<sup>2</sup> 정도로서 小流域인 것을 감안하면 適用性이 높을 것으로 判斷되었다. 이것은 羅州流域에 대한 適用結果에서 流域面積이 683.96km<sup>2</sup>이고 상대적으로 작은 小流域들로 이루어져 있는 마죽지점에서 計算值가 流域面積이 2058.72km<sup>2</sup>이고 流域面積이 다소 큰 小流域이 包含되어 있는 羅州地點의 計算值보다 훨씬 觀測值와 가깝게 나타남으로써 分割된 流域面積이 적을수록 TR-20模型의 適用性은 상대적으로 높을 것으로 判斷되기 때문이다.

## 2. 橫流入流域에의 適用

### 가. 流域水文特性 分析

水理學的 洪水追跡이 실시되어질 流域은 背水現狀이 고려되어야 하는 羅州以下의 流域이다. 그래서, 榮山江 하구둑부터 羅州 水位觀測所가 위치하고 있는 羅州橋地點까지를 對象河川으로 정하고 그 주변의 橫流入流域을 총 66개로 분할하였다.

橫流入流域의 流域面積은 最小 0.04km<sup>2</sup>에서부터 最大 259.35km<sup>2</sup>까지 범위로 분포되었는데, 그 평균은 20.76km<sup>2</sup>였다. 流路長과 流域傾斜는 1/50,000 平面圖를 이용하여 SUM set로 測定하였으며, 流路長의 平均은 4.39km였다. CN값은 面積平均값이 78로서 羅州流域의 CN값보다 훨씬 큰 것으로 나타났으며, 到達時間은 平均 1.1時間 이었다.

榮山江 河川을 橫流入量이 유입되는 지점을 河道區間으로 구분하여 66개 河道區間으로 분할하였으며, 각 河道區間에 대한 河道特性資料는 1989년에 建設部에 榮山江 河川整備計劃<sup>1)</sup>과 함께 실시된 縱橫斷 測量結果를 이용하였는데, 각 河道區間的 延長은 0.088km~3.800km

범위로서 平均 948.60m, 總延長은 62.61km였다. 또 바닥標高로부터 河道傾斜를 계산하도록 하였는데, 역경사가 많은 구간에서 발생하였다.

나. 橫流入量 算定

羅州支點으로 부터 榮山江 하구둑까지의 하천에 대한 水理學的 洪水追跡을 위하여 먼저 TR-20模型에 의해 橫流入量을 산정하기로 하였다. 그러나 榮山江 下流流域에서도 CN값을 조정해 주어야 할 필요가 있을 것으로 판단되어 淡水湖 內水位資料로 부터 淡水湖 流入量을 역산하여 榮山江 流域의 總流出量을 개략적으로 산출하여 조정 CN값을 계산하도록 하였다.

淡水湖의 內水位는 排水閘門을 닫고 있을 때는 淡水湖 流入量 만큼 水位가 증가되므로 內水位資料를 이용하면 流入量을 계산할 수 있을 것으로 판단되어 排水閘門 개방시를 제외한 시간에 대하여 淡水湖 流入量을 산정하였다. Fig.6은 15개 降雨事象에 대하여 淡水湖 流入量을 추정하여, 그 중에서 일부를 그

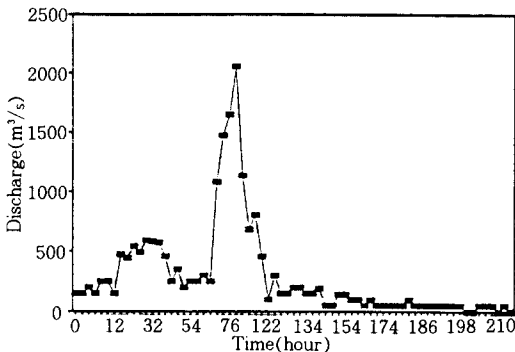


Fig. 6. Calculated hydrographs for the Naju downstream watershed (1984. 7. 10.~7.16)

림으로 나타낸 것으로서 排水閘門 개방으로 인하여 계산이 되지 않은 구간은 개략적으로 연결하여 流出水文曲線을 완성하고 初期 流出量 만큼의 基底流出을 제외하여 總流出量으로 산정하였다.

Table-3은 AMC-II 조건에서의 추정 CN값

Table-3 CN values calculated by runoff data for the Naju downstream watershed

Precipitation events	Precipitation (mm)	Total runoff (mm)	AMC	Youngsan river watershed		Naju downstream watershed
				CNo	CNs	CNs
TP13	55.36	84.03	I	74	88	95
TP14	107.16	79.12	III	90	78	71
TP16	134.27	78.18	II	79	79	74
TP21	343.96	200.31	I	60	78	71
TP22	123.43	78.59	III	84	85	87
TP27	83.52	25.68	I	72	87	92
TP29	77.12	35.12	I	82	92	100
TP20	159.29	122.26	I	87	95	88
TP32	201.31	108.61	I	69	85	100
TP33	149.22	56.10	I	64	81	79
TP35	115.87	49.15	I	73	87	93
TP43	285.75	149.86	I	60	78	71
TP44	83.41	47.72	I	86	95	100
TP45	69.37	36.56	III	86	71	55
TP46	89.06	40.69	I	79	91	100
Mean					85	87
Stand. dev.					7	17

인데, 이미 추정 CN값이 83으로 계산되어진 羅州流域의 CN값을 인정하고, 전체 榮山江流域의 CN값이 평균 85가 되도록 榮山江 下流流域만의 CN를 다시 계산하였다. 그결과 榮山江 下流流域의 平均 推定CN값은 87인 것으로 계산되었다. 이 결과로 부터 조정CN의 計算公式를 유도하면 羅州流域에서와 같은  $a = 0.2$ 인 식(7)과 같이 구성되었다. 식(7)을 이용하여 66개 小流域에 대한 조정 CN값을 계산한 결과, 그 面積平均 CN값을 87로서 平均 推定CN값과 비슷하게 보정되었음을 알 수 있었다.

IV. 結 論

榮山湖의 洪水豫警報와 排水閘門의 操作 및 運用을 위하여 洪水豫報 프로그램을 개발하였

으며, 未計測流域의 洪水流出 推定을 위하여 TR-20模型을 선정하여 그 適用性을 분석한 결과를 要約하면 다음과 같다.

1. 羅州地點 下流의 未計測流域의 洪水流出을 계산하기 위하여 TR-20模型을 선정하고, 榮山江 河川으로의 時間別 橫流入量을 推定할 수 있도록 하였다.

2. TR-20模型의 적용성을 분석하기 위하여 羅州地點을 대상으로 流出量觀測值로 부터 流出曲線指數를 조정하여 流出量을 계산한 결과, 기타 媒介變數를 보정하지 않은 조건에서 決定係數가 0.55~0.79로서 榮山江의 未計測流域에 적용가능한 것으로 판단되었다.

3. 羅州地點에서 榮山江 하구둑까지의 河川에 대하여 水理學的 洪水追跡을 실시하기 위하여 TR-20模型에 의하여 橫流入量을 계산하였다.

## 參 考 文 獻

1. 建設部, 1989, 榮山江水系 綜合整備計劃.
2. 朴昌彥, 1994, 榮山湖 運營을 위한 洪水豫報模型의 開發, 서울大學校 大學院 博士學位 論文.
3. 朴昌彥, 朴承禹, 1994, 榮山湖 運營을 위한 洪水豫報模型의 開發( I )—羅州地點의 洪水流出 推定—, 韓國農工學會誌, 第36卷 第4號 pp.95-102.
4. 윤태훈, 1991, 有效雨量 算定을 위한 曲線番號方法의 適用性, 韓國水文學會誌, 24(2), pp.97-108.
5. McCuen, R. H., 1982, A Guide to Hydrologic Analysis Using SCS Methods, Prenticehall, Inc.