

河川 日流出量の 実時間豫測

Real-time Forecasting of Daily Stream Flows

鄭 夏 禹* · 李 南 鎬** · 朴 承 禹*
Chung, Ha Woo · Lee, Nam Ho · Park, Seung Woo

Summary

An adaptive algorithm was applied to forecast daily stream flows in real time using rainfall data. A three-component tank model was selected to simulate the flows and its time-variant parameters were self-calibrated with updated data using a parameter optimization scheme, golden section search method. The resulting adaptive model, APTANK, was applied to six watersheds, ranging from 0.47 to 33.62 km² size and the simulated daily streamflows were compared with the measured. The simulation results were in good agreement with the field data. APTANK is found to be applied to real-time flow simulation purposes such as a tool for irrigation water resources management and operations. The model is particularly good to simulate streamflows on dry days as compared to wet days having runoff-induced precipitation.

1. 緒 論

水質源시스템의 管理에는 시스템의 現在와 未來의 狀態에 관한 豫測에 根拠를 둔 短期運用計劃이 요구된다.⁴⁾ 특히 貯水池나 河川을 用水源으로하는 灌溉組織의 日別操作을 위해서는 貯水池流域이나 河川流域의 流出量에 대한 正確한 短期豫測이 必要하다.

河川流出量은 流域의 特性因子와 氣象學의 要素에 의해 決定되는데, 流域과 같은 自然시

스템의 特性과 氣象因子의 特性은 一定하지 않고 時間的 空間的으로 變化한다. 따라서 既存의 降雨-流出量 資料로부터 流域의 流出特性을 定義하여 流出量을 豫測하는데는 많은 誤差를 發生시킬 수 있을 것이다. 이에 따라 實時間에 얻어지는 降雨, 流量資料로부터 未來의 流出量을 豫測하여 豫測의 信賴度を 增大시키는 것이 바람직하다. 最近에는 on-line 시스템의 活用으로 實時間에 水文資料를 얻을 수 있어 이를 利用한 河川流出 豫測技法들이 開發應用되고 있

* 서울大學校 農科大學

** 서울大學校 農業開發研究所

키워드: 適應模型, 豫報, 實時間, 탱크模型, 媒介變數의 最適化, 流出量

다. 이와 같이 實時間資料를 利用하여 다음 時間段階의 情報를 豫測하는 것을 實時間豫測이라 한다.

Cluckie, et al⁴⁾은 降雨-流出의 實時間豫測을 위한 on-line 媒介變數 補正方法으로서 順次計算法, 循環最自乘法, Kalman filtering 等에 대해 論議하고 그 結果를 比較 分析하였다. Marivoet와 Vandewiele⁷⁾은 降雨-流出解析의 基本模型으로는 降雨와 溫度의 時系列資料를 入力으로 하는 確定論的 概念模型을 導入하였고 實時間 適用을 위해서는 概念模型과 自己回歸模型의 結果들을 組合한 改善된 模型을 開發하여, 對象流域에 適用한 바 있다.

Simposon¹²⁾은 流出에 대한 實時間豫測을 目的으로 두개의 單純한 自動補正模型을 開發하였는데, 이는 回歸模型과 修正單位流量函法이다. 回歸模型은 總괄型으로 5개의 變數를 갖는 多重回歸模型으로 여기서 이들 變數들은 單位時間의 實測流量變化, 累加降雨量, 降雨時間指數, 流域의 土壤水分狀態 및 初期流量으로 構成하였다. 修正 單位流量函法은 Sherman¹¹⁾에 의해 提示된 單位流出函의 基本概念과 實測流量을 利用하여 單位流出函을 결정하는 것으로 過去의 記錄을 利用하여 初期水分狀態에서 流出媒介變數를 정하고, 實時間에 얻어지는 資料를 利用하여 이들 媒介變數를 調整하는 방법이다. 이들 模型은 複雜한 流域模型의 結果보다 正確한 豫測結果를 보였다. Ludwig⁶⁾은 水文學的 處理過程이 간단한 流域模型의 豫測精度를 높이기 위한 適應修正方法의 必要性을 고찰하였으며, 이와 같은 方法에는 誤差修正法과 適應 最適技法 등이 있다. 前者는 Marivoet 등과 같이 流出豫測에 따른 殘差의 時系列 解析을 實施하고 殘差를 豫測하는 ARMA 模型 等이고, 後者는 豫測誤差를 利用하여 最適 媒介變數의 組合을 구하는 方法이다. 또한 Rodemacher⁹⁾도 河川流出量 豫測과 貯水池 操作을 위한 適應修正方法의 適用에 대해 연구하였는데, ARIMA 模型의 使

用을 提案하고 있다.

日野²¹⁾ 등은 流出成分을 分離해서 降雨를 逆算하여 流出을 豫測하는 方法도 提示하였다. Kalman이 狀態空間概念을 導入하여 1960년에 發表한 Kalman filtering 技法은 最近에는 水資源管理分野에 널리 適用되고 있다. 初期의 Kalman filtering 理論은 模型이 定常的이라는 假定에서 出發하여 非定常的 경우인 模型의 媒介變數가 時間적으로 變化할 때에는 이 filter의 成果를 期待할 수 없기 때문에 이를 극복하기 위한 適應 Kalman filtering 技法들이 開發되었다. 우리나라에서는 榮山江流域²⁰⁾과 南漢江流域²¹⁾에 Kalman filtering을 利用해서 流出解析을 實施한 바 있다.

이와 같은 流出의 實時間豫測은 洪水의 豫警報를 註目的으로 하여 많이 使用되어 왔다. 그러나 灌溉組織의 操作을 目的으로 하는 경우에는 最大洪水流出보다는 低水流量과 平水流量을 包含한 日別 總流出量의 豫測이 더 重要한 意味를 갖는다고 할 수 있을 것이다.

따라서 본 研究은 Sugawara¹³⁾에 의해 開發되었으며 適用이 간편한 利點을 갖고 있고 低水流出量과 平水流出量의 精確한 推定方法으로 알려진 탱크模型의 基本概念을 導入하고, 模型의 일부 媒介變數를 實測 降雨-流出量 資料를 利用하여 自動補正 하므로써 日別 流出量 豫測의 信賴度를 높일 수 있는 適應技法을 開發하여 그 應用性을 檢討하는데 목적을 두었다.

II. 模型의 開發

1. 탱크 模型

가. 模型의 構成

탱크模型이란 降雨量에서 河川流量을 誘導하기 위해 Sugawara에 의해 開發되었는데 Black Box 模型이며, 洪水의 低水流出의 解析에 使用된다. 이는 탱크의 個數와 配列方法을 組合하여 降雨-流出關係를 模型化하고 있다.

탱크의 側面에는 流出孔이 있고 底面에는 浸透孔을 갖는데, 流出孔으로부터의 流出은 河川 流量을 나타내고 浸透孔에서의 浸透量은 지중으로의 浸透를 나타내며 模型에서는 다음 탱크로 移動한다. 이때 流出高 $Q(t)$ 와 浸透高 $I(t)$ 는 貯溜高의 $ST(t)$ 의 函數로 式(1)과 式(2)로 表示된다.

$$Q(t) = \alpha \times (ST(t) - H) \dots\dots\dots (1)$$

$$I(t) = \beta \times ST(t) \dots\dots\dots (2)$$

여기서 α 는 流出孔의 流出係數, β 는 浸透孔의 浸透係數이다. 만약에 $ST(t) > H$ 이면 貯溜高의 變化率은 式(3)과 같은데, 여기서 $R(t)$ 는 降雨量, $E(t)$ 는 증발산量이다.

$$dS/dt = R(t) - E(t) - Q(t) - I(t) \dots\dots\dots (3)$$

河川의 日流量解析에 使用되고 있는 탱크模型의 典型的인 탱크의 組合은 4단 직렬조합인데, 각 탱크는 流域의 流出現象을 각 流出成分別로 概念化하고 있다. 第1段 탱크는 地表流出을 表現하고, 第2段 탱크는 中間流出成分을 表現한다. 그리고 準基底流出成分은 第3段 탱크에서 基底流出成分은 第4段 탱크에서 表現된다. 그러나 우리나라의 灌溉用 貯水池의 약 89%가 流域面積 100 km 以下의 小規模라는 점에 着眼하여 金等^{16, 17)}은 小流域의 流出遲滯時間이 짧고 流出의 감쇄部分의 기울기가 急하다는 點을 勘案하여 제4段 탱크를 생략하여 模型의 單純化를 試圖한바 있다. 本 研究에서도 이와같이 單純化된 模型을 導入하여 應用이 간편하도록 하였는데, 이때 제1, 2, 3段 탱크는 각각 地表, 中間 및 基底流出을 概念化하고 있다.

나. 媒介變數의 推定

單純化된 탱크模型의 配列은 Fig. 1과 같은데, 이 模型의 媒介變數는 總13個로서 構成되어 있다. 이들 媒介變數는 時不變 媒介變數와 時變 媒介變數로 區分할 수 있을 것이다. 時不變 媒介變數로는 流出孔係數 A_{11} , A_{12} , A_2 , A_3 , 流

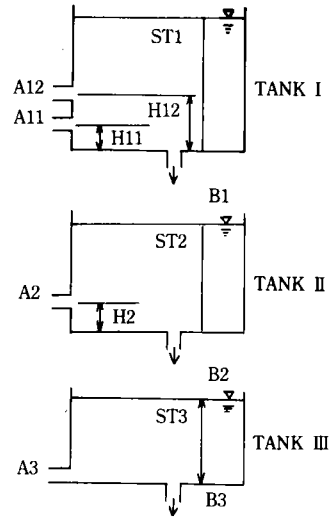


Fig. 1. Structure of a simplified tank model.

出孔高이 H_{11} , H_{12} , H_2 및 삼투孔係數 B_1 , B_2 , B_3 등이 있고 時變媒介變數로는 탱크의 貯溜高 ST_1 , ST_2 , ST_3 를 들 수 있다. 10개의 時不變 變數들은 模型의 適用전에 補正이 完了되면 常數로 固定되는데, 이들의 補正에는 過去의 降雨-流出 資料를 利用하거나^{15, 23~27)} 過去의 實測資料가 없는 流域에서도 媒介變數의 推定이 가능하도록 媒介變數와 流域特性因子와의 關係를 考慮한 回歸關係式이 開發되어 이를 利用할 수 있도록 했다. 反面에 3個의 貯溜高는 模型의 構造의 特性에 의해 時間적으로 變化한다.

2. 適應模型

灌溉組織의 日別操作을 위해서는 任意의 時間에 대한 流出豫測이 필요한데, 탱크模型을 適用하는 데는 문제점이 있다. 즉, 流域의 初期水分狀態를 나타내는 貯溜高는 流出을 결정하는 가장 중요한 媒介變數인데, 앞에서 살펴본 바와 같이 탱크模型의 3개 貯溜高는 時間적으로 變化하기 때문에 任意의 時間에 적합한 初期貯溜高를 지정하기 어렵다. 따라서 任意의 時間의 貯溜高에 대한 適正初期值 지정이 가능하고 또한 流出이 精度를 높일 수 있는 適應模型이 필요

하다.

가. 模型의 構成

短期流出解析을 위해서는 水理學的 要素를 包含한 模型의 媒介變數들이 決定論的으로 變化한다고 假定하고, 一定時間別로 얻어지는 資料로부터 그 時間에 대한 最適 媒介變數 값을 補正하여 다음 時間에 대한 豫測을 하게 된다.

Fig. 2는 본 研究에 適用된 適應技法의 節次를 圖示하고 있다. 任意的 時間인 t日에 대한 流出 豫測을 위해서는 t-1日의 實測流出量 $Y_m(t-1)$ 과 最適化 技法을 사용하여 模型의 媒介變數를 補正하고, 補正된 媒介變數를 이용하여 t日의 流出量 $Y_f(t)$ 를 豫測한다. 이때 媒介變數의 補正은 t-1日의 豫測에 使用된 媒介變數값과 t-1日의 豫測誤差 $E(t-1)$ 를 考慮해서 t-1日의 실측값이 계산되도록 最適媒介變數의 組合을 구하는 것이다. 그 후 t日에 대한 實測值 $Y_m(t)$ 가 入力되면 $Y_f(t)$ 와 比較 檢討한 후 t+1日에 대한 豫測에 앞서 $Y_m(t)$ 를 利用하여 模型의 媒介變數를 補正하게 된다.

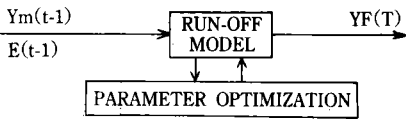


Fig. 2. Schematic description of adaptive algorithm.

나. 媒介變數의 補正

時變媒介變數인 貯溜高들은 탱크模型에서의 流出計算에 가장 重要하다. 그러나 既存模型에서는 補正段階에서 初期值만을 指定하는 關係로 豫測誤差에 人爲的으로 敏感하게 反應을 하지 못하고, 長期間에 걸쳐 誤差를 調整하게 된다. 따라서 3個의 時變媒介變數를 今日의 實測日 流量에 符合되도록 最適化 技法을 應用하여 自動 補正을 實施하고 補正된 媒介變數를 使用하여 來日의 流出量을 豫測하게 된다.

最適 媒介變數의 組合을 구하기 위해 黃金分

割法^{2,8,10}을 사용하였다. 이는 函數의 最小 혹은 極小點을 구하는 방법인데, 各 反復의 경우에 區間幅을 黃金分割比 0.618로 減少시키면서 解를 찾는 것이 特徵이다. 이와 같은 最適化 問題의 目的函數는 다음과 같다.

$$J(x) = \min \sum (Y_m - Y_f)^2 \dots\dots\dots (4)$$

III. 模型의 應用

1. 対象流域

模型의 適用을 위한 研究対象 流域은 과거에 탱크模型이 適用된 記錄이 있는 6個 지점을 選定하였다. 對象流域의 位置, 流域面積, 土地利用狀態 및 使用資料의 期間 등은 Table-1과 같다. 選定된 流域은 京畿道 華城郡의 半月 #1, #3, #5, 및 #8 流域, IHD의 代表流域인 京畿道 龍仁郡의 雲鶴 #6 流域, IHP의 代表流域으로 慶北 軍威郡의 渭川 #5 流域이다.

탱크模型의 適用에는 流域面積과 土地利用狀態와 같은 流域特性因子들이 必要하다. Table-1에서 보는 바와 같이 流域面積의 크기는 0.47 km² (半月 #5)에서 33.62 km² (渭川 #5)까지 分布되어 있다. 土地利用率은 山林地帶의 比率이 가장 큰데 40~90%의 값을 보이고 畚과 田은 各各 3~30%, 5~22%이다.

1986年의 半月 4個 流域, 1968年의 IHD 1個 流域과 1987年의 IHP 1個流域에서 實測된 降雨-流出量資料가 流出量模型의 檢定과 應用에 利用되었다.

2. 模型의 適用

模型의 適用性을 檢討하기 위하여 첫째 適用期間의 實測 및 豫測總流出量과 이들의 相對誤差를 計算하고, 둘째 日別流出量에 대한 實測值와 豫測值의 RMS 誤差를 計算하고, 셋째 이들 誤差들을 탱크模型의 豫測結果에 따른 誤差들과 比較하였다.

Table-1. Summary of watershed characteristics and data used.

Chassification		Banweol				Woonhak	Wiecheon
		#1	#3	#5	#8	#6	#5
Location		Kyunggi, Hwaseong				Kyunggi Yongin	Kyungbuk Gunwie
Watershed Area(km ³)		2.75	4.8	0.47	3.7	9.2	33.62
Land Use (%)	paddy	30	7	15	17	8	3
	Upland	22	5	9	8	7	6
	Woods	40	87	73	66	84	90
	Others	8	1	3	9	1	1
Records Used	Years	'86	'86	'86	'86	'68	'87
	Purpose	V,A/C	V,A/C	V,A/C	A/C	V,A/C	V,A/C

Note : V=Model Verification

A/C=Model Application & Comparison

모델의 檢定을 위해서 半月 #1, #3, #5 流域, 雲鶴 #6 流域 및 渭川 #5 流域의 實測 水文資料가 利用된다. 탱크모델의 유역별 매개 변수는 13개이며 金 등^{16,17)}에 의해 제시된 回歸 關係式을 이용하여 결정하였는데 Table-2와 같고, 適應모델의 경우에는 10개의 時不變 媒介 變數는 Table-2와 같은 값을 適用하였고, 3개의 時變 媒介變數 ST1, ST2, 및 ST3는 日別로

補正하였다.

본 모델에 의해 모의發生된 日流出量과 實測한 日流出量을 比較한 結果가 Fig. 3~Fig. 5에 圖示되어 있다. Fig. 3은 半月 #3, Fig. 4는 위천 #5, Fig. 5는 운학 #6에 대한 結果이다. Table-3에는 이들 각 流域에 대한 模型別 相對 誤差와 RMS 誤差를 表示하고 있다. Table-3에서 보는바와 같이 總流出量에 대한 相對誤差는 適應 모델의 경우에 8~12%를 나타내고 있는 반면 탱크모델에 의한 結果는 6~37%의 誤差를 보이고 있다. 日別 流出量을 比較한 RMS 誤差는

Table-2. Tank model parameters.

Para- meter	Banweol				Woonhak	Wiecheon
	#1	#3	#5	#8	#6	#5
A11	0.085	0.14	0.11	0.10	0.136	0.155
A12	0.26	0.18	0.21	0.22	0.186	0.175
A2	0.3	0.19	0.23	0.22	0.209	0.20
A3	0.0035	0.0075	0.0065	0.007	0.0073	0.0082
H11	5	5	5	5	5	5
H12	41	50	12	46	61	82
H2	2	5	2	3	4.2	4
B1	0.4	0.36	0.5	0.38	0.315	0.27
B2	0.31	0.18	0.26	0.28	0.191	0.14
B3	0.025	0.02	0.05	0.022	0.021	0.01
ST1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ST2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ST3	80	105	5	0.0	0.0	190

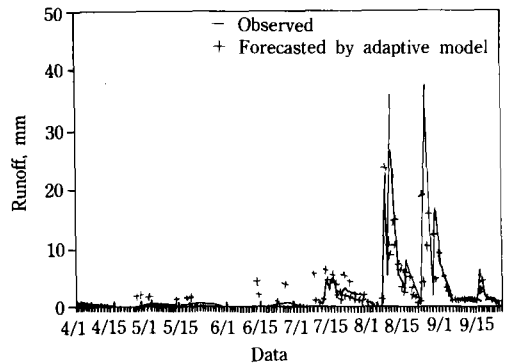


Fig. 3. Observed and forecasted daily runoffs, Banweol #3(1986).

Table-3. Relative error and RMS error of forecasted runoff vs. observed runoff.

(unit : mm)

Item		Banweol	Banweol	Banweol	Woonhak	Wiecheon
		# 1	# 3	# 5	# 6	# 5
Observed runoff		275	382	418	398	640
Adaptive model	Predicted runoff (Error,%)	305 (10.9)	352 (7.9)	384 (8.1)	446 (12.1)	713 (11.4)
	RMS error	2.1	3.05	4.16	6.3	3.62
Tank model	Predicted runoff (Error,%)	300 (9.1)	332 (13.1)	315 (24.6)	545 (36.9)	679 (6.0)
	RMS error	2.11	3.23	4.45	6.61	6.88

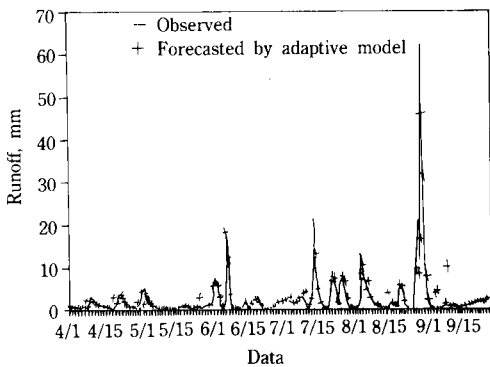


Fig. 4. Observed and forecasted daily runoffs, Wiecheon #5(1987).

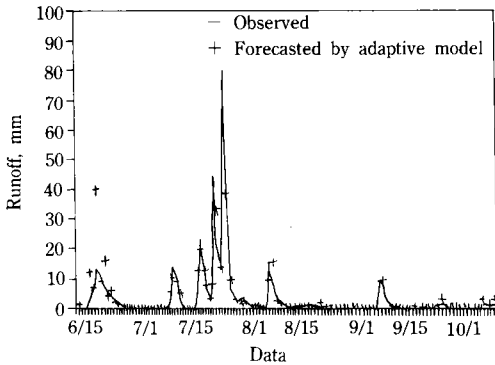


Fig. 5. Observed and forecasted daily runoffs, Woonhak #6(1968).

2.1~6.3 mm 인데 탱크模型에 의한 RMS 誤差는 2.11~6.88 mm의 값을 나타내고 있어, 각 流域別로 適應模型에 의한 結果가 탱크模型 結果와

比較할 때 약간 작은 誤差를 記錄함을 알 수 있다. Fig. 3~Fig. 5에 圖示되어 있는 特徴은 降雨에 의해 流出量이 급변하는 洪水初期에는 誤差가 보이나 洪水流出 減殺期와 底水流出인 경우에는 豫測值가 實測值에 比較的 잘 一致하고 있다는 것이다.

3. 模型의 應用

가. 無降雨日에 대한 豫測

灌溉組織의 短期 運營에 必要한 情報은 洪水流出量 보다는 底水 流出量이라 할 수 있고 또한 대부분의 경우 降雨가 發生된 경우는 灌溉의 必要性이 減少되기 때문에, 無降雨日에 대한 模型의 挙動은 중요한 의미를 갖는다. 6個 流域에서 降雨가 없는 날들의 豫測結果에 대한 RMS 誤差를 計算하고, 전체 分析期間에 대한 RMS 誤差와 比較한 結果가 Table-4에 表示되었는데 탱크模型에 의한 結果도 나타나 있다. 全期間에 대한 RMS 誤差는 1.64~6.30 mm의 값을 보이는 반면 無降雨日에 대한 RMS 誤差는 0.72~3.32 mm의 減少한 값을 보이고 있다. 雲鶴 #6의 경우는 6.30 mm, 1.26 mm로서 無降雨日에 대한 豫測 정도가 5배 정도, 半月 #1과 #3 流域의 경우는 약 3배 정도 增加하였음을 Table-4의 誤差 減少率인 B/D 값에서 알 수 있다. 또한 A/C는 탱크模型의 誤差減少率을 나타내는 것으로 適應模型의 B/D값과 比較할때 약간 작은 값을

Table-4. Summary of model responses in case of Inclusive/exclusive rainy days.

Watersheds	RMS Error				(B)	(A)
	Rainy-day Inclus.		Rainy-day Excls.			
	Tank model(A)	Adaptive model(B)	Tank model(C)	Adaptive model(D)	(D)	(C)
Banweol #1	2.11	2.10	1.05	0.72	2.92	2.01
Banweol #3	3.23	3.05	2.39	0.96	3.18	1.35
Banweol #5	4.45	4.16	3.66	2.77	1.50	1.22
Banweol #8	2.27	1.64	1.45	1.04	1.58	1.57
Woonhak #6	6.61	6.30	3.35	1.26	5.00	1.97
Wiecheon #5	6.88	3.62	11.29	3.32	1.09	0.61

보이고 있는데, 이는 適應模型을 使用했을 때 탱크模型을 使用한 경우 보다 無降雨日의 流出量을 더 正確하게 豫測하고 있음을 뜻한다.

나. 模型의 應用性

탱크模型의 媒介變數가 最適值에서 이탈되었거나 流域내에서 比較의 容量이 큰 貯水池와 같은 流出調節 機能이 있어 豫測된 總流出量과 日別 流出量이 實測值과 一致하지 않는 경우에 適應模型의 挙動分析을 통하여 模型의 柔軟性を 檢討하였다. 이와같은 分析을 위해서 半月 #3 流域은 檢定에 使用된 媒介變數 중 流出孔의 4개의 流出계수 값을 각각 1/2로 減少시킨 경우이고, 半月 #8 流域은 370 ha 중에 流域面積 116 ha를 갖는 貯水池를 包含하고 있는 경우이다. 이상의 경우에 대한 適應模型과 탱크模型의 挙動結果가 Table-5에 整理되어 있다.

1) 總流出量

適應模型의 경우 豫測相對誤差가 15%와 63%이고 탱크模型은 41%와 169%를 나타내고 있는데, 媒介變數와 補正이 適切치 못한 半月 #3 流域의 경우에 適應模型은 탱크模型에 의한 結果와 比較할 때 상당히 正確하게 豫測하고 있음을 알 수 있다. 특히 流域내에 貯水池를 內包하고 있는 半月 #8 流域의 경우에 適應模型에 의한 相對誤差는 63%로서 상당히 큰 값을 보이나 탱크模型의 169%와 比較할 때, 適應模型이 상당한 정도까지 誤差를 減少할 수 있는

Table-5. Comparison of responses of adaptive model & tank model.

(unit : mm)			
Watershed name		Banweol #3	Banweol #8
Runoff	Observed	382	113
	Adaptive model	323	184
	(Error, %)	(15)	(63)
	Tank model	226	304
	(Error, %)	(41)	(169)

것으로 사료된다.

2) 日別 流出量

適應模型의 경우, 탱크模型에 의한 豫測結果와 比較할 때 상당히 改善된 結果를 보이고 있다. Fig. 6과 Fig. 7에 實測 日流出量과 각 模型에 의한 豫測值의 日變化가 圖示되어 있다.

이상의 結果에서 보면 適應模型은 實時間에 얻어지는 流出資料를 이용하여 河川의 日流出量을 豫測하는데 有用하게 活用할 수 있을 것으로 판단된다.

IV. 要約 및 結論

實測氣象資料와 河川流出量資料를 이용하여 灌溉用水로 使用되는 下川日流出量의 實時間豫測을 위해 탱크模型의 基本알고리즘을 利用한 適應模型을 開發하고, 이를 6個 流域에 適用하고 그 應用性を 檢討한 結果는 다음과 같다.

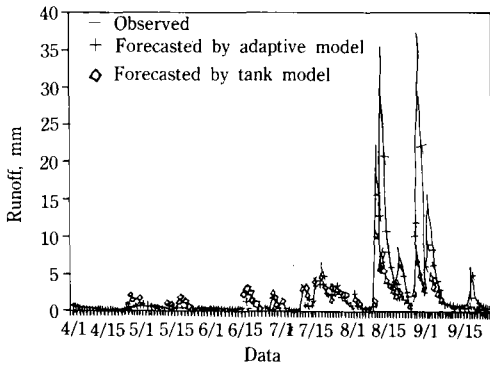


Fig. 6. Observed and forecasted daily runoffs by adaptive model and tank model, Banweol #3 with parameters modified(1986).

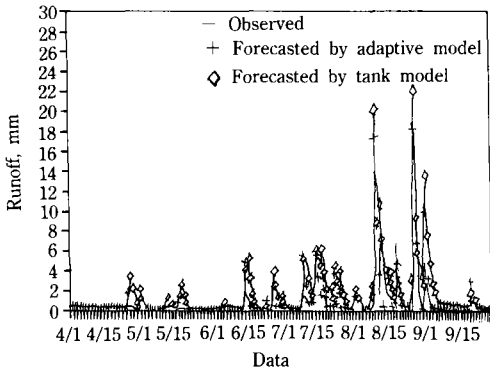


Fig. 7. Observed and forecasted daily runoffs by adaptive model and tank model, Banweol #8(1986).

- 1) 適應模型에 의한 總流出量 豫測의 相對誤差는 8~12%의 값을 보였다.
- 2) 日別流出量 豫測의 경우 適應模型에 의한 結果와 實測值를 對比할 때 RMS 誤差는 2.1 mm~6.3 mm의 範圍를 보였으며, 탱크模型과 比較할 때 상당히 改善된 效果를 보였다.
- 3) 無降雨日에 대한 豫測의 程度는 降雨일을 포함한 경우에 比해 높았다.
- 4) 補正된 媒介變數가 最適值에서 이탈되었거나 다른 이유로 流出豫測이 不正確한 경우에도 豫測에 活用할 수 있는 水準까지 誤差에 민감한

반응을 갖는 柔軟性을 보이고 있으므로 본 適應模型은 日流出量의 豫測에 活用해도 좋은 것으로 판단된다.

參 考 文 獻

1. Anderson, M. C. & T. P. Burt, 1985, Hydrological Forecasting, John Wiley & Sons, pp. 604.
2. Beightler, C. S. et al, 1979, Foundation of Optimization Prentice-Hall, pp. 487.
3. Box, G. E. P. & G. M. Jenkins, 1970, Time Series Analysis, Forecasting and Control, San Francisco, Holden-Day Inc.
4. Cluckie, I. D., D. A. Harwood & R. Harpin, 1980, Three Systems Approaches to Real-time Rainfall Runoff Froecasting, Hydrological forecasting, Proc. of the Oxford Symposium, IAHS-AISH Publ. No. 129, pp. 389 - 396.
5. Kalman, R. E., 1960, A new approach to linear filtering and prediction problems, Trans. ASME., J. Basic Eng. Vol. 82.
6. Ludwig, K., 1980, Derivation of Optimal Flood Forecast Models from River Basin Models for Planning Purposes, Hydrological Forecasting, Proc. of the Oxford Symposium, IAHS-AISH Publ. no. 129, pp. 433-443.
7. Marivoet, J. L. & G. L. Vandewiele, 1980, A Real Time Rainfall-Runoff model, Hydrological Forecasting, Proc. of the Oxford Symposium, IAHS-AISH Publ. no. 129, pp. 409-418.
8. Press, W. H. et al, 1986, Numerical Recipes, Cambridge Univ. Press, pp. 818.
9. Rademacher, O., 1980, Combined Application of Adaptive Correction Methods for Discharge Forecasts and Reservoir Regulation, Hy-

- drological Forecasting, Proc. of the Oxford Symposium, IAHS-AISH Publ. No. 129, pp. 485-490.
10. Reklaitis, G. V., et al, 1983, Engineering Optimization Methods and Applications, John Wiley & Sons, pp. 684.
 11. Sherman, L. K., 1932, Streamflow from Rainfall by Unit-graph Method. Engineering News-Record, Vol. 108, pp. 501-505.
 12. Simpson, R. J., T. R. Wood and M. J. Hamlin, 1980, Simple Self-correcting Models for Forecasting Flows on Small Basins in Real Time, Hydrological Forecasting, Proc. of the Oxford Symposium, IAHS-AISH Publ. No. 129, pp. 433-443.
 13. Sugawara, M. and F. Maruyama, 1956, A Method of Prevision of the River Discharge by means of a Rainfall Model, Symposia darcy, International Assoc. of Scientific Hydrology, Pub. No. 42, pp. 71-76.
 14. Wood, E. F. and P. E. O'Connel, Real-Time Forecasting, Chap. 15, Hydrological Forecasting, Edited by M. G. Anderson and T. P. Burt. John Wiley and Sons Ltd, pp. 505 - 558.
 15. 菅原正己, 1978, 流出解析法, 水文學講座7, 共立出版株式會社
 16. 金顯榮, 朴承禹, 1988, 灌溉用貯水池의 日別流入量과 放流量의 모의 발생(I), 韓國農工學會誌, 30(1), pp. 50-62.
 17. _____, _____, 1986, 流域特性에 따른 탱크模型 媒介變數의 變化, 韓國農工學會誌, 28(2), pp. 42-52.
 18. 農水産部, 農業振興公社, 1984, 榮山江 開發誌(Ⅱ段階, 農業綜合開發), pp. 75-78.
 19. _____, _____, 1983, 錦江 河口연 水文調査報告書.
 20. 李元煥, 李英錫, 1986, Kalman Filter에 의한 Online 流出豫測, 大韓土木學會論文集, Vol. 6(No. 2), pp. 57-65.
 21. 日野幹雄, 金治弘, 1984, 降雨 데이터를 필요로 양하는 洪水豫報, 韓國水文學會, Vol. 17(No. 4), pp. 269-272.
 22. 徐丙夏, 姜珩沅, 1985, 洪水 豫警報를 위한 河川 流出의 水文學的 豫測, 韓國水文學會, Vol. 18(No. 2), pp. 153-161.
 23. 永井明博, 角屋睦, 1983, 長短期雨用貯留型 流出 모델의 最適同定, 京都大學 防災研究所年報 第26号, pp. 261-272.
 24. _____, _____, 1980, タソクモデル의 最適同定法에 關する 基礎的檢討, _____, 第23号, pp. 239-247.
 25. _____, _____, 中搗章雅, 曾令木克英, 1980, 長期流出 タソクモデル의 實用的同定法考察, _____, 第23号, pp. 249-261.
 26. _____, _____, 1978, 流出モデル 定數 最適化平法, _____, 第22号, pp. 209-224.
 27. _____, _____, 1979, 洪水流出モデル의 適用比較, _____, 第21号, pp. 235-224.
 28. 韓相昱, 鄭鍾壽, 1976, 榮山江의 長期 流出量에 關한 考察, 韓國農工學會誌, Vol. 18, No. 3.