

錦江河口둑 洪水豫警報시스템 開發(Ⅱ)

— 시스템의 適用 —

Real-Time Flood Forecasting System For the Keum River Estuary Dam(Ⅱ)

— System Application —

鄭 夏 禹*·李 南 鎬**·金 顯 榮***·金 成 俊****
Chung, Ha Woo ·Lee, Nam Ho ·Kim, Hyun Young ·Kim, Seong Joon

Summary

This paper is to validate the proposed models for the real-time forecasting for the Keum river estuary dam such as tidal-level forecasting model, one-dimensional unsteady flood routing model, and Kalman filter models. The tidal-level forecasting model was based on semi-range and phase lag of four tidal constituents. The dynamic wave routing model was based on an implicit finite difference solution of the complete one-dimensional St. Venant equations of unsteady flow. The Kalman filter model was composed of a processing equation and adaptive filtering algorithm. The processing equations are second order autoregressive model and autoregressive moving average model. Simulated results of the models were compared with field data and were reviewed.

I. 序 論

本 報에서는 第1報에서 論議된 洪水豫警報를 위해 開發된 模型들의 應用에 대해 다루고자 한다. 實時間 洪水豫警報를 위해 使用되는 模型으로는 一次元 不定流模型의 境界條件으

로 使用되는 潮位를 豫測하는 模型, 河川의 主要 地點의 洪水位를 推定할 수 있는 一次元 不定流模型, 그리고 一次元 不定流模型의 境界條件으로 使用되는 上流 地點의 水位曲線을 豫測하는 Kalman filter 模型 등이 있다.

各 模型들의 應用性 檢討를 위해서 該當 地

* 서울大學校 農業生命科學大學
** 安城產業大學校
*** 農漁村振興公社
**** 서울大學校 農業開發研究所

키워드: 洪水豫警報, 一次元不定流, 實時間 潮位, 自記回歸模型, ARMA模型, Kalman-Filter

點의 實測 潮位曲線과 水文曲線을 蒐集하여 이를 模型의 模擬運營 結果와 比較하여 誤差를 分析하였다.

II. 潮位計算模型의 適用

1. 潮位資料

模型의 適用을 爲해 選定된 檢潮 記錄은 群山外港 檢潮所에서 測定한 1987年 7月 1日~ 7月 31日의 1個月間의 資料이다. 群山外港 檢潮所 位置는 緯度 35°58', 經度 126°38' 이다.

2. 調和常數

錦江 洪水豫警報 시스템의 運用에 必要한 地點은 錦江河口둑, 群山內港 및 外港인데 이들 各 地點에 對한 M2, S2, K1, O1 分潮의 調和常數인 半潮差(semi-range), 遲角(phase lag)은 各種 記錄들을 利用하여 決定하였는데, 그 結果는 Table-1과 같다.

Table-1. Harmonic constants of KUNSAN Outer Port

Class.	Constituents			
	M2	S1	K1	O1
Semi-range	219.7	81.6	34.2	25.7
Phase lag	81.8	125.7	272.1	243.8

3. 潮位의 模擬發生

模型을 利用하여 1987年 7月 1個月間의 潮位를 模擬發生시키고 그 結果를 實測潮位와 比較하고 그 中 一部分이 Fig. 1에 圖示되었는

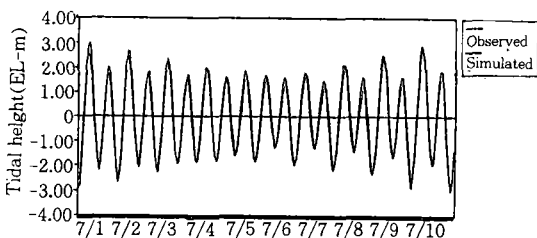


Fig. 1. Observed and simulated tidal water level at KUNSAN Outer Port

데, 豫測結果는 實測潮位와 比較的 잘 一致하는 것으로 나타났다. 實測 潮位와 豫測 潮位의 誤差分析을 한 結果, RMS 誤差는 0.327m/hr이었다.

III. 一次元不定流模型의 適用

1. 流域의 分割

公州 下流流域에 對한 流域分割은 一次元不定流 洪水追跡模型의 實時間 適用을 前提로 하여 小流域別 橫流入量 計算이 可能하도록 하였다. 公州 下流區間의 最大 支川인 論山川도 流域內에 T/M 水位觀測所가 계획되어 있지 않아 이 支川으로 부터의 流出도 橫流入量 處理하였다. 分割된 小流域은 總 57 個이다.

一次元 不定流模型을 利用한 洪水流出解析에는 小流域別 橫流入量 計算이 必要하다. 橫流入量計算을 爲한 流域의 地相特性因子로는 流域面積, 流路長 및 流域平均傾斜 등이 있다. 이들 特性因子들은 1/50,000 地形圖 및 錦江 洪水綜合整備計劃(1988, 建設部)을 利用하여 分析하였는데, 그 結果는 Table-2와 같다.

2. 河道의 分割 및 斷面

本 模型의 適用을 爲해 使用된 區間은 公州 水位標 地點에서 河口둑 까지의 84.98km이며, 本 川에서의 支點番號는 上流로부터 下流 쪽으로 부여한다. 上流境界는 公州地點으로 하여 No. 1로 하고 下流境界는 河口둑地點으로 No. 60으로 하였는데 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 各 區間의 距離는 약 0.5~2.5km로 하였다. 模型의 支配方程式의 解를 얻는데 必要한 河道의 幾何學的 要素는 水位에 따른 幅이 주어지면 模型 內에서 處理토록 되어 있는데 各 斷面의 水位別 水面幅을 建設部의 錦江水系 綜合整備計劃(1988)에 의거 決定하였다.

3. Thiessen 網圖

보다 正確한 流出量을 計算하기 爲해서는

Table -2. Sub-watershed characteristics

No.	AREA (km ²)	STREAM LENGTH (km)	SLOPE (m/km)	No.	AREA (km ²)	STREAM LENGTH (km)	SLOPE (m/km)	No.	AREA (km ²)	STREAM LENGTH (km)	SLOPE (m/km)
1	165.41	29.25	1.93	20	2.87	2.00	10.00	39	6.98	4.00	14.85
2	16.05	9.50	10.61	21	14.73	7.20	5.01	40	1.44	1.70	32.22
3	284.21	41.00	2.33	22	5.27	3.30	6.06	41	23.83	7.60	8.89
4	6.57	4.85	6.28	23	1.00	0.80	25.00	42	13.12	6.60	11.32
5	36.00	14.50	7.85	24	2.49	2.50	7.20	43	4.12	4.10	6.98
6	2.02	1.00	24.13	25	38.15	14.40	1.90	44	19.53	8.00	3.73
7	3.38	2.70	10.18	26	23.41	10.00	2.04	45	13.06	9.00	3.27
8	45.33	11.85	4.30	27	11.42	6.90	4.45	46	5.24	2.70	8.94
9	5.14	1.20	30.73	28	7.84	3.50	5.71	47	158.72	24.20	1.00
10	56.50	15.75	6.57	29	118.20	24.00	1.78	48	31.35	4.50	2.00
11	251.93	52.25	2.16	30	1.75	2.30	18.57	49	96.29	21.00	1.64
12	3.24	2.75	6.28	31	9.04	6.60	4.06	50	11.98	3.30	7.54
13	71.03	17.25	4.55	32	2.06	3.10	23.66	51	8.68	3.40	12.36
14	162.89	26.50	1.69	33	2.60	2.30	17.20	52	7.12	2.00	9.00
15	3.71	2.30	15.83	34	1.78	2.60	11.06	53	8.64	4.00	4.25
16	5.87	3.10	7.84	35	18.72	9.50	5.51	54	27.48	6.00	1.00
17	8.70	3.70	5.17	36	41.38	13.50	3.52	55	10.00	2.70	1.50
18	31.73	13.30	2.63	37	1.38	1.20	14.00	56	9.81	2.25	1.50
19	44.42	14.20	2.90	38	3.87	3.10	13.82	57	666.21	66.45	1.85

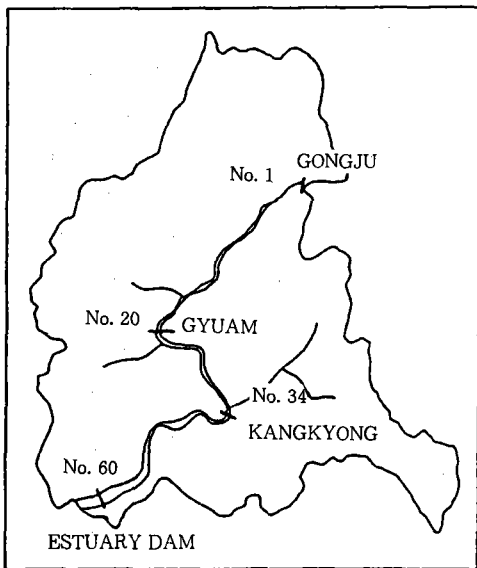


Fig. 2. River index

特定 豪雨에 대한 流域平均降雨量의 正確한 計算이 必要하다. 公州下流 地域의 14個 T/M 雨量觀測所別 Thiessen 多角形을 그린 Thiessen 網圖를 Fig. 3과 같이 作成하였다. 또한 이를 利用하여 57個 小流域에 대한 T/M 雨量觀測所別 Thiessen 係數를 구하였다.

4. 水文資料

模型의 適用에 使用된 期間은 1987年 7月 22日 부터 7月 28日 까지의 7日間 168時間으로서 上流 境界條件으로는 Fig. 4와 같은 公州 地點의 時間別 洪水水位記錄을 使用하였고 下流 境界 條件은 同期間의 群山外港의 潮位를 河口 獨에 대한 潮高比-潮時差에 依해 補完하여 使用하였는데 Fig. 5와 같다. 小流域으로 부터의 橫流入量 計算에는 14個 雨量 觀測地點의 時間別 降雨記錄을 使用하였다.

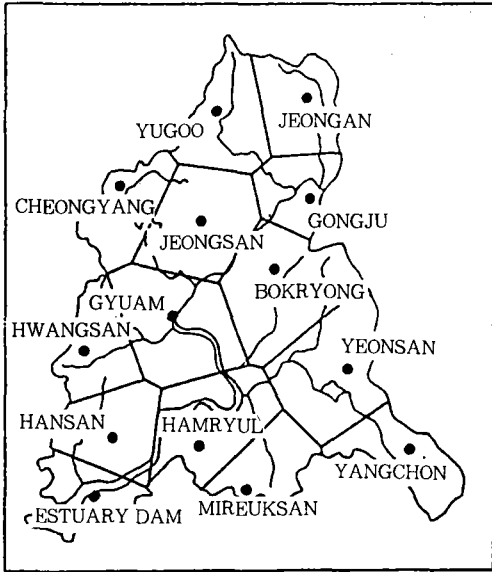


Fig. 3. Thiessen network

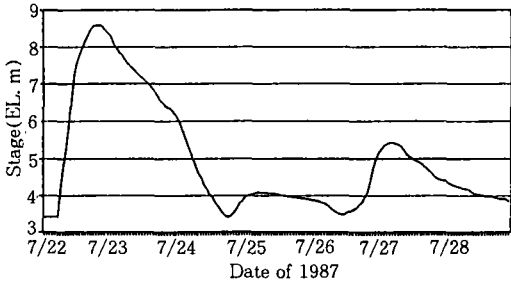


Fig. 4. Upstream boundary condition (GONGJU)

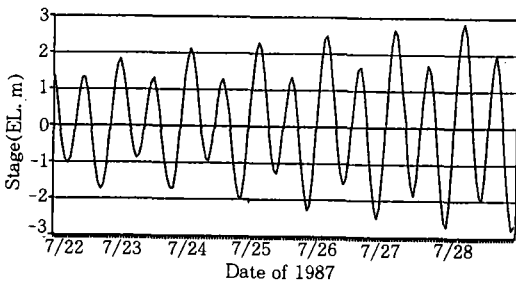


Fig. 5. Downstream boundary condition (Outer estuary)

5. 模型의 適用

上記와 같은 條件에서 一次元 不定流 洪水

追跡模型을 利用하여 규암, 江景 地點에서의 水位를 豫測하고 各 水位觀測地點에서의 實測 水位와 比較를 함으로써 本 模型의 適用性을 檢討하였다. Fig. 6은 규암지점에 대한 時間別 實測水位와 模型에 의한 推定值와를 比較하여 보여주고 있는데 RMS 誤差는 0.292m/hr의 값을 나타내고 있다. Fig. 7은 江景地點에 대한 豫測值를 實測值와 比較한 結果를 圖示하고 있는데, 이 地點의 RMS 誤差는 0.412m/hr로서 규암지점 보다는 豫測精度가 떨어지는 것으로 나타났다.

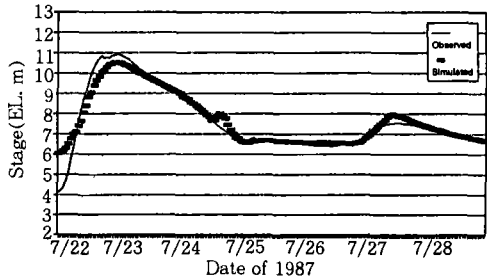


Fig. 6. Observed and simulated hydrographs at GYUAM

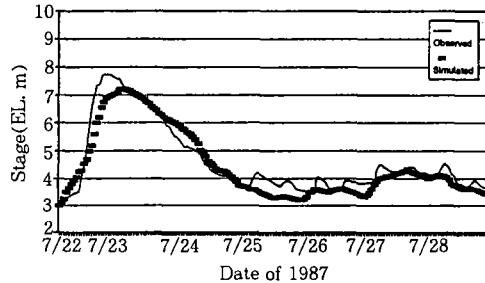


Fig. 7. Observed and simulated hydrographs at KANGKYONG

IV. Kalman-filter 模型의 適用

1. AR-KALMAN 模型

AR(2)를 시스템方程式으로 한 AR-KALMAN 模型의 適用을 위해 1987年 7月 25日 16時부터 1987年 7月 27日 11時 까지의 江景

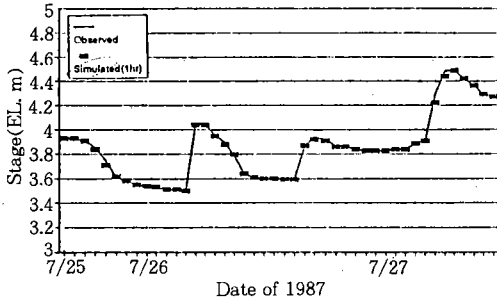


Fig. 8. Observed and simulated hydrographs by AR-KALMAN model at KANGK-YONG(1hr ahead)

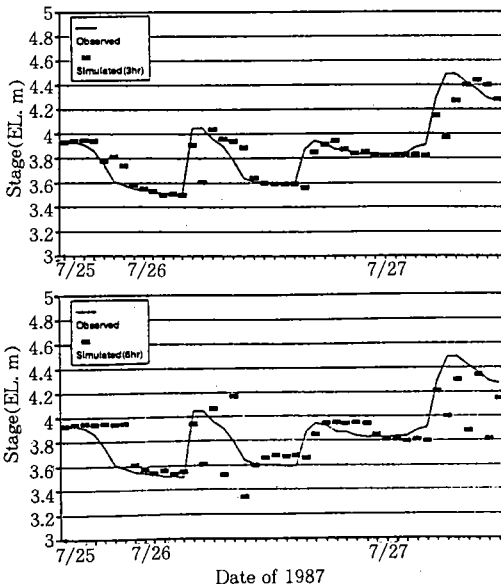


Fig. 9 Observed and simulated hydrographs by AR-KALMAN model at KANG-KYONG(3hr & 6hr ahead)

地點의 實測 水位記錄을 使用하였다. 江景 地點의 $t-2$ 時間과 $t-1$ 時間에서의 實測水位를 利用해서 t 時間의 水位를 豫測하고 이 結果를 江景 地點의 實測水位와 比較하였다. t 時에 1 時間后($t+1$ 時)의 江景水位를 豫測하고 다시 $t+1$ 時의 實測水位를 利用하여 $t+2$ 時의 水位를 豫測하고 이를 實測水位와 比較한 結果는 Fig. 8과 같은데 豫測值가 實測值와 잘 一致하는 것으로 나타났다. Fig. 9는 3時間 및

6時間后에 대한 水位를 豫測하고 實測值와 比較 結果를 보이고 있는데, 豫測時間의 增加에 따라 豫測誤差가 커지는 현상을 나타내고 있다.

2. ARMA-KALMAN 模型

ARMA(1, 1)을 시스템 方程式으로 한 ARMA-Kalman 模型의 適用을 위해 1987年 7月 25日 16時 부터 7月 27日 11時 까지의 公州-규암, 公州-江景 地點의 實測水位記錄을 使用하였다.

公州地點의 t 時間의 實測水位를 入力資料로 利用하여 규암地點의 水位를 豫測하여 규암地點의 實測水位와 比較하였다. 이때 규암地點의 $t-1$ 時間의 實測水位가 考慮된다. t 時에 1 時間后의 규암地點의 水位를 豫測하고 다시 규암 地點의 $t+1$ 時의 實測水位를 利用하여 $t+2$ 時의 水位를 豫測하고 實測水位와 比較한 結果는 Fig. 10과 같다. 1 時間后에 대한 水位 豫測은 거의 實測值에 一致하는 것으로 나타났다. 3 時間, 6 時間 및 12 時間后에 대한 水位를 豫測하고 實測值와 比較한 것이 各各 Fig. 11에 圖示되어 있는데, 豫測時間이 增加할수록 豫測值가 實測值에서 벗어나고 있음을 보이고 있다.

公州-江景의 境遇도 公州地點의 實測水位를 入力資料로 하여 江景地點의 水位를 豫測하도록 하였다.

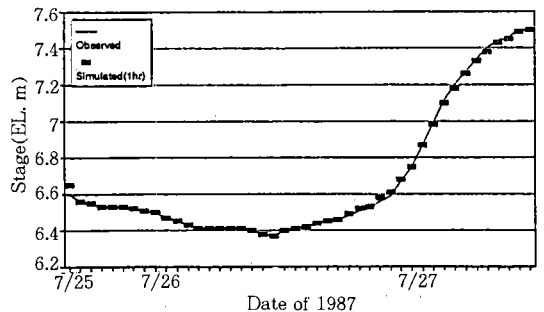


Fig. 10. Observed and simulated hydrographs by ARMA-KALMAN model at GYUAM(1hr ahead)

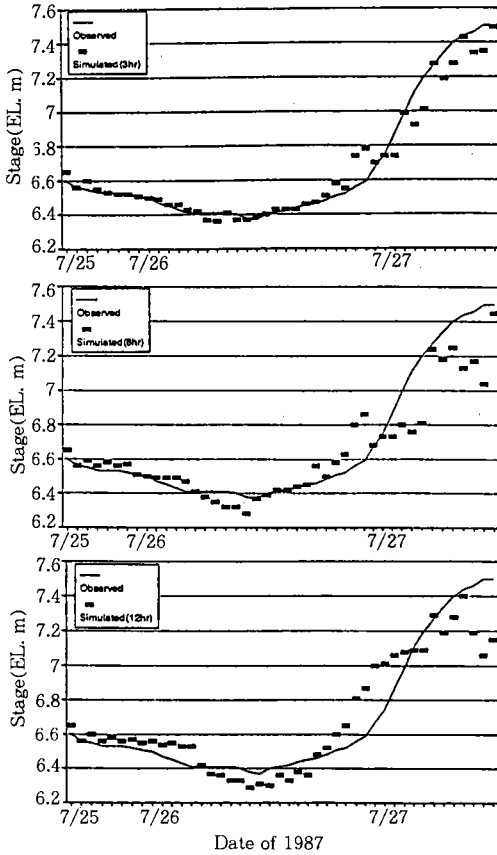


Fig. 11. Observed and simulated hydrographs by ARMA-KALMAN model at GYUAM(3hr, 6hr, & 12hr ahead)

V. 要約 및 結論

錦江 下流地域에서 發生하는 洪水를 早期에 豫警報하고 錦江河口둑을 合理的으로 運營하는 것을 目的으로 開發한 模型들을 適用한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 調和常數를 利用한 潮位 豫測方法을 利用하여 潮位를 豫測하였으며, 그 適用性을 檢討한 結果 使用이 可能한 것으로 判斷되었는데, 이 方法은 洪水追跡模型의 下流 境界條件의 設定에 使用토록 하였다.

2. 公州下流 流域을 57個의 小流域으로 區分하여 各 小流域別 流域面積, 流路長, 流域平均傾斜 등이 調査 分析되었고, 14個 T/M 雨

量觀測所에 대한 Thiessen 網圖가 作成되어 小流域別 Thiessen 係數가 決定되었다.

3. 洪水의 河道追跡을 위한 水理學的 方法인 一次元 不定流模型을 適用하기 위해 公州水位表 地點에서 河口둑까지를 59個 區間으로 區分하여 各 地點別 斷面의 幾何學的 要素가 整理되었다.

4. 一次元 不定流模型을 公州-河口둑 區間에 適用하고 主要地點에서의 實測水位와 比較한 結果 使用可能한 것으로 나타났다.

5. Kalman filter 技法을 利用하여 主要地點에서의 洪水位를 豫測하였으며, 그 適用性을 檢討한 結果 短期間에 대한 豫測에는 使用이 可能한 것으로 나타났다. 시스템 方程式으로는 AR(2)와 ARMA(1,1)이 利用되었다.

6. 本 研究는 實測 流出量 資料가 制限된 상황에서 이루어 졌으나, 앞으로 建設部와 農漁村振興公社의 洪水豫警報施設로 부터 얻어지는 많은 資料를 이용한 프로그램의 適用性 檢討가 要求된다.

參 考 文 獻

1. Box, C. P. and D. M. Jenkins, 1976, Time series analysis-forecasting and control, Holden-day.
2. Colon, R. and G. F. McMahon, 1987, BRASS MODEL : Application to Savannah River System Reservoirs, ASCE, J. of Water Resources Planning and Management, 113(2) : 177-190.
3. Gradowczyk, M. H., P. M. Jacovkis, A. Tamush, and F. M. Diaz, 1980, A Hydrological Forecasting Model of the Uruguay River Basin System, Hydrological Forecasting, Proc. of the Oxford Symposium, IAHS-AISH Publ. No. 129 : 517-524.
4. Kuo, J. T., N. S. Hsu, W-s. Chu, S. Wan

- and Y. L. Lin 1990, Real-time Operation of Tanshui River Reservoirs, ASCE, J. of Water Resources Planning and Management, 116(3) : 349-361.
5. Lambert, A. O. and M. J. Lowering, 1980, Flow Forecasting and Control on the River Dee, Hydrological Forecasting, Proc. of the Oxford Symposium, IAHS-AISH Publ. No. 129 : 517-524.
 6. Orr, C. H., M. A. Parker, and S. T. Tennant, 1990, Implementation of On-line Control Scheme for City Water System, ASCE, J. of Water Resources Planning and Management, 116(5) : 708-726.
 7. Randle, T. J., 1983, User's guide to the DWOPER(Dynamic Wave Operational Model), USBR.
 8. Shen, H. W., 1979, Modeling of rivers, John Wiley & Sons.
 9. Unver, O., L. W. Mays, and K. Lansey, Real-time Flood Management Model for Highland lake System, ASCE, J. of Water Resources Planning and Management, 113(5) : 620-638.
 10. 建設部, 1988, 錦江水系綜合整備計劃(I), (II).
 11. 建設部, 1989, 錦江洪水豫警報 프로그램 開發 最終報告書, 漢江洪水統制所.
 12. 建設部, 漢江洪水統制所, 1988, 錦江洪水豫警報施設基本計劃 綜合報告書.
 13. 農業振興公社, 1983, 錦江(I)地區 河口堰 水文調查報告書.
 14. 鄭夏禹, 李南鎬, 1990, 錦江(I)地區 洪水豫警報 프로그램 開發, 서울大學校 農業開發研究所.
 15. 佐藤勝夫, 1982, 洪水流出計算法, 山海堂.