〈論　文〉

蟾津江 月流出量의 推計學的模型

Stochastic Modelling of Monthly flows for Somjin river

李　種　南*
Chong-nan Lee
李　弘　根**
Hong-keun Lee

Abstract

In our Koreans river basins there are many of monthly rainfall data, but unfortunately streamflow data needed are rare.

Analysing monthly rainfall data of Somjin river basin, the stochastic theory model for calculation of monthly streamflow series of that region is determined.

The model is composed of Box & Jenkins transfer function plus ARIMA residual models. This linear stochastic differenced time series equation models can adapt themselves to the structure and variety of rainfall, streamflow data on the assumption of the stationary covarience.

The flexibility of Box-Jenkins method consists mainly in the iterative technique of building an ARIMA model from observations and by the use of autocorrelation functions.

The best models for Somjin river basin belong to the general class:

$$Y_t=(\omega_0-\omega_1 B)C_i X_t+\varepsilon_t$$

Y_t monthly streamflow ,X_t : monthly rainfall, C_i :monthly run-off rate, ω_0, ω_1: transfer parameter, ε_t : residual

The streamflow series resulted from the proposed model is satisfactory comparing with the existing streamflow data of Somjin gauging station site.

要　旨

韓國河川流域의 降雨量觀測資料는 豊富하나 河川流量測定資料가 많고 蟾津江 流域內의 鴨綠과 松亭의 流量觀測記錄이 比較的長期間에 것이 있고, 流速測定을 많이 하고 있으므로 本流域資料를 가지고 月流出量系列의 模型式을 誘導하였다.

本模型式은 月降雨量記錄으로서 月流出量 算出式을 Box & Jenkins의 對替函數模型式에다 ARIMA의 殘差模型式을 加하여 誘導한 것이다. 또 旣 降雨量과 流出量 資料間에는 差分時系列이 定常共分散을 갖는다는 假定하에 模型式을 作成하였다.

自己相關 函數의 特性으로부터 ARIMA模型을 誘導함에도 먼저 計算式으로 各變數를 算出하고, 이 變數를 多少調整反復시켜 가장 正確한 융통성있는 Box & Jenkins 方式의 模型式을 作成하였다
蟾津江에서 가장 適正模型式을 다음과 같은 一般式으로 주어졌다.

여기서 $Y_t=(\omega_0-\omega_1 B)\ C_i X_t+\varepsilon_t$

Y_t 月流出量, X_t : 月降雨量, C_i : 月流出率, ω_0,ω_1 : 對替變數˘ ε_t : 殘差(任意誤差成分)

蟾津江水位觀測所의 旣 月流出量 記錄資料로서 月流出量系列의 滿足할만한 模型을 比較檢討 연구 作成하였다.

* 慶熙大學校 工科大學敎授
** 서울大學校 保健大學院 副敎授

1. 序 論

우리나라의 國土綜合開發과 高度의 經濟開發成長에 따라서，産業의 大型化와 重工業化，文化의 發展에 따른 人口增加 및 生活向上에 따른 工業用水와 生活用水의 急激한 需要가 되고 있으며， 한편으로 干拓事業과 灌漑改故善事業에 따른 農業用水의 需要增大는 水資源의効率的인 利用管理와 開發. 供給問題가 高潮되고 있으며 至急한 問題라고 하겠다.

特히 最近에 內陸 또는 臨海工業團地의 造成과 都市人口의 急成長增加와 生活向上，干拓 農耕地의 擴大로 因해 河口에서 淡水化計劃 및 多目的댐 築造計劃을 서두르고 있으며，長期需要 展望을 對備하고 있다. 水資源의 量的인 供給問題와 더불어 質的인 管理가 最近에 水質問題로 크게 擡頭되고 있으며，이를 解決하기 위한 가장 基本的이고 重要한 要素의 하나가 河川流出量의 正確한 推定이라 하겠다.

水資源管理는 그 目的에 따라 治水，利水 또는 併用의 경우로 나뉘며 治水를 위한 短期流出量은 댐의 餘水吐規模，河川堤防高，排水路斷面 等을 決定하기 위하여，그리고 利水를 위한 長期流出量은 貯水池容量，渴水期의 放流量，用水供給計劃 및 水質管理 等을 決定하기 위하여 必要하게 된다. 利治水를 위한 長短期流出計劃은 對象地點에서 長期間의 觀測記錄値를 使用하는 것이 가장 合理的이지만 대개의 경우 實際로 適用한 만큼의 長期觀測記錄値를 保有하고 있지 못한 實情이므로 이 長短期 流出量을 理論 및 經驗的인 方法에 의하여 推定 또는 豫測하는 方法이 開發되고 있다.

우리나라의 長期流出量 推定方法으로는 梶山氏[18]의 受水量 公式이 主로 使用되고 있으나 아직 滿足한 結果를 얻지 못하고 있는 實情이다. 最近 長期 流出機構解析 試圖를 하였던바，正確하고 使用 簡便한 長期河川 流出量式을 算出치 못하고 있다. 日帝時 朝鮮總督府의 技手였던 梶山(Kaziyama)氏가 우리나라 全河川流出量 記錄을 하나의 式으로 梶山受水量 公式을 現在까지 半世紀를 河川流出量으로 算出利用하고 있는 實情이다. 따라서 各 河川別로 또한 各 要素와 因子가 같은 流域別의 가장 適用이 잘 될 수 있는 河川流出量式을 至急히 誘導作成하여야 할 것이다.

最近에 朴成宇. 金泰喆[19)24)]의 硏究와 榮山江 大單位農業開發事業地區의 Tank Model에 依한 長期流出解析試圖가 있었으며，이는 劃期的인 發展이라 하겠으나 이들의 精度가 높은 高度의 流出機構解析上의 多樣한 構成因子와 要素의 推定 및 假定上의 여러 問題를 안고 있다. 本人이 韓國水文學會誌 14卷 2號(1981年 6月)에 河川 i月 流出量(Q_i)를 i의 降雨量(Pi)을 利用하여 $Q_i=(1-e^b)\sum_{j=0}^{\infty}P_{i-j}e^{ib}$의 算出誘導式[22)]을 作成報告한바 있으며，이는 Sherman의 Hydrograph Method Model의 理論을 基礎로 하여 展開한 것이다.

最近에 와서 電子計算機의 實用化 段階의 時期로 變換함에 媒介變數 水文解析(Parametric Hydrology)으로서 流出現象을 物理的인 變換 System으로 取扱하여 分析·綜合한 後 實測値와의 檢正을 거쳐 Methematical model을 確立하는 方法으로，이의 代表的 實用的 모델로는 Stanford Watershed Model[16)]이 있고，推計學的水文解析(Stochastic Hydrology)으로서 水文事象의 自然의 偶然法則에 支配받는 推計學的 成分을 統計的인 處理로 設定된 分布函數에 따라 模擬發生하여 非歷史性의 水文資料系列을 任意로 獲得하는 方法으로서 Box & Jenkins Model[1)]과 Thomas Fiering Model[10)] 等이 있다.

大部分의 推計學的 水文解析으로 時系列은 降雨，河川流出量，氣溫等의 變數의 對한 單一變化의 推計學的模型으로 分析하고 있다. 이러한 實例를 適用한 것은 Kashyap & Rao[6)](1976), Clarke[2)](1973), Hipel et al[4)](1977), Hino[5)](1976), McLeod[6)](1977), Mckercchar & Delleur[7)](1974) 等이 있다.

本 硏究는 月流出量과 月降雨量의 旣往의 實記錄 系列數値로부터 對替函數模型(Transfer function model)分析法을 利用하는 式을 誘導하고저 한 것이다.

本式은 旣知의 月間의 降雨記錄으로부터 月河川流出量을 算出하는 式이 되며，對象 河川으로서 流量觀測과 流量測定을 比較的 많이 한 蟾津江을 選定하여 誘道하였다.

이런 까닭에 旣知의 月降雨量記錄値의 正確한 選定에 依하여 對替相關關係에 따라 正確한 月流量을 算出하게 되는 것이다.

本 方法은 Box & Jenkins의 方法論을 適用시켰으며 中·短期 資料로서도 河川流出量을 算出하는 誘導式을 作成할 수 있도록 하였다.

式이 簡便하고 다루기 쉬운 Box & Jenkins方法으로서 相關函數를 利用하여 觀測記錄으로부터 ARIMA 模型式을 반복技法에 의하여서 構成誘導하였다.

2. 流域槪況과 水文資料

蟾津江流域은 우리나라 4大江 流域의 하나로써 總流域面積은 4,896.5km²이며 本流 流路延長은225.3km이다. 流域內 土地資源을 보면 農耕地面積이 944.2km²

로써 流域面積의 19.3%에 該當되며 林野面積이 3,574.4km²로 流域面積에 73%에 達하여 산이 많다.

流域內 年平均 降雨高는 1,314.3mm이며 流出高는 706.5mm로서 流出率이 約 53.75%에 該當한다.

蟾津江流域內이 雨量觀測所는 11個所로(建設部 所管 大路 450km²當 1個地點 程度가 되고 있다.

水位觀測所로는 11個所이나 長期間流量이 測定된 곳으로는 松亭과 鴨綠水位·流量觀測所의 2個所이다. 또한 蟾津江댐에서도 發電所使用水量과 貯水池水位變化로서 河川流出量을 算出할 수가 있다.

松亭과 鴨綠의 兩水位流量觀測所는 1962年부터 現在까지 長期連續하여 流量測定을 하고 있으나, 1962年에서 1965年間은 年 10個의 水位流量測定하였고 精度가 낮아서 1966年 以後現在까지의 流量測定資料로서 流量分析이었다. 그러나 最近에 와서 松亭水位·流量觀測所는 1979年 以後에, 그리고 鴨綠水位·流量觀測所는 1977年 下半期 以後에 河床變化가 빈번히 發生하여, 水位·流量關係曲線(Rating Curve)에서의 變化가 甚하였으므로 流量分析値를 精度가 높은 誘導公式 作成을 爲하여 棄却시켰다. 한편 蟾津江댐의 貯水池 操作과 流域變更發電記錄의 分析은 建設部에서 算出發表한 것이 있다.

雨量觀測記錄은 10個雨量觀測所 資料를 引用하였으며, 本 資料는 建設部에서 調査하여 發刊한 韓國水文調査年報[23]에서 蒐集하여, 各流量觀測所別 面積雨量을 算出하였다.

流域內의 各觀測所位置圖는 그림 1과 같으며, 各流量觀測所의 面積雨量과 流出量을 分析整理한 數值를 年度別로 集計한 것이 表1이다.

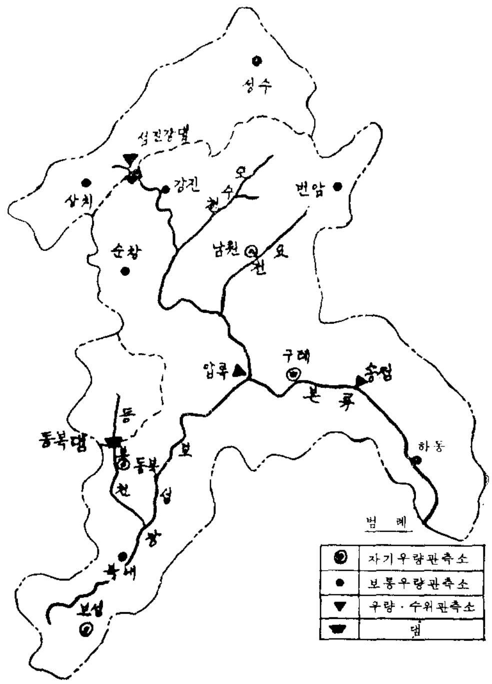

그림 1 流域圖

表 1 流量觀測所 面積雨量高 및 流出高

관측소 / 구분 / 년	송정		압록		섬진강댐		비고
	강우량	유출량	강우량	유출량	강우량	유출량	
66	1,365.3	708.0	1,366.3	872.0	1,407.4	759.7	단위 : mm
67	975.4	343.7	954.3	406.6	975.5	394.8	송정관측소의 유출
68	984.2	314.2	1,005.7	364.0	1,112.7	510.1	율 0.538
69	1,739.8	1,171.4	1,768.4	1,326.7	1,813.2	1,201.2	
70	1,470.4	864.9	1,412.2	1,136.3	1,433.6	799.1	압록관측소의 유출
71	1,234.3	723.4	1,235.3	1,083.6	1,285.6	720.4	율 0.612
72	1,759.0	1,182.5	1,628.8	1,241.2	1,660.2	1,015.2	
73	1,306.3	795.9	1,321.8	721.4	1,315.4	497.9	섬진강댐의 유출
74	1,608.9	977.9	1,538.2	778.5	1,555.4	1,079.2	율 0.525
75	1,458.5	835.3	1,580.1	707.5	1,445.6	581.6	
76	1,080.1	468.2	1,095.7	486.1	1,100.8	524.3	
77	884.3	287.2	-	-	862.5	301.2	
78	1,219.9	512.1	-	-	-	-	
평균	1,314.3	706.5	1,355.1	829.4	1,330.7	698.7	

表 -2 松亭流量觀測所 流域面積降雨高 X_t

單位：mm

年＼月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	計	備考
1966	13.9	62.5	148.4	112.4	128.0	147.4	184.9	365.4	64.6	61.6	64.5	11.7	1,365.3	
67	23.3	31.3	79.6	117.3	31.9	225.0	173.1	76.3	57.5	12.4	121.4	26.3	975.4	
68	14.5	23.6	84.6	57.8	50.0	69.1	69.8	290.8	98.1	137.5	60.0	28.4	981.2	
69	66.0	59.0	25.6	234.1	145.0	86.0	305.9	358.6	389.9	1.5	23.0	45.2	1,739.8	
70	12.7	60.4	15.6	101.3	94.0	153.7	422.7	211.3	250.9	108.3	24.3	15.2	1,470.4	
71	66.4	50.2	40.1	48.1	63.2	240.7	317.8	215.8	125.5	21.0	30.5	15.0	1.234.3	
72	80.8	27.9	165.1	75.3	157.2	93.1	482.0	366.8	84.4	29.5	152.3	44.6	1,759.0	
73	62.2	37.0	18.3	175.7	201.6	59.8	194.0	230.4	179.9	86.7	30.5	30.2	1,306.3	
74	28.9	36.1	66.1	174.0	228.1	145.6	482.7	213.7	56.2	111.1	27.9	38.5	1,608.9	
75	20.3	23.1	54.0	176.0	150.1	161.8	401.7	112.6	191.2	82.6	40.8	44.4	1,458.5	
76	23.0	115.6	55.8	136.5	83.7	173.3	86.8	270.5	29.2	45.2	26.1	34.4	1,080.1	
77	4.8	3.2	69.2	191.2	101.7	81.5	85.1	166.3	67.4	7.9	73.0	33.0	884.3	
78	12.8	49.3	43.8	25.7	2.3	459.9	178.2	265.8	52.1	72.9	38.1	19.0	1,219.9	
計	429.6	579.2	866.2	1,625.4	1,436.7	2,096.9	3,384.7	3,144.3	1,646.9	778.2	712.4	385.9	17,086.4	年平均 1,314.3mm
平均	33.05	44.55	66.63	125.03	110.52	161.30	260.36	241.87	126.69	59.86	54.80	29.69	1,314.34	

※ 本流域은 蟾津江 流域中에서 蟾津江多目的댐 및 同福댐 流域을 除外한 流域內의 降雨高(同福댐은 1969年以後 포함)

表 -3 松亭流量觀測所地點 流出高 Y_t

單位：mm

年 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	計	備 考
1966	11.9	16.6	75.0	51.6	42.1	25.3	156.5	214.4	86.6	9.4	10.2	8.4	708.0	
67	5.7	5.3	9.6	25.9	4.7	46.4	144.6	12.1	14.2	6.8	56.1	12.3	343.7	
68	14.3	10.1	22.1	26.5	6.9	5.1	3.4	116.6	30.2	43.6	21.1	14.3	314.2	
69	23.1	48.8	19.6	99.3	79.8	12.9	192.3	310.6	316.1	50.0	8.4	10.5	1,71.4	
70	6.6	11.0	13.1	48.0	29.2	44.8	323.6	95.4	207.3	52.4	24.2	9.3	864.9	
71	16.6	22.6	19.4	14.2	13.5	86.8	245.7	196.6	57.3	28.9	13.5	8.0	723.4	
72	12.7	23.3	89.6	6.87	101.1	15.1	417.8	260.9	62.1	28.6	69.0	41.8	1.182.5	
73	42.6	31.3	12.4	101.5	129.7	30.3	53.9	188.7	114.4	40.8	27.8	22.5	795.9	
74	20.6	14.6	31.7	81.1	146.4	66.2	345.8	112.0	75.6	53.5	14.8	15.6	977.9	
75	9.8	7.9	15.1	89.7	82.6	32.2	254.6	138.2	107.2	58.7	25.3	14.3	835.3	
76	13.8	44.5	31.0	39.1	64.6	103.4	15.9	89.2	32.9	12.6	8.8	12.4	468.2	
77	17.8	6.9	11.0	90.4	38.1	25.1	22.7	40.7	13.1	7.5	7.6	6.3	287.2	
78	9.9	13.2	12.8	3.4	0.9	176.8	119.4	124.0	19.2	9.2	13.1	10.2	512.1	
計	205.4	256.1	362.4	731.4	739.6	670.4	2,295.4	1,899.7	1,136.2	402.3	299.9	185.9	9,184.7	年平均 706.5mm
平 均	15.80	19.70	27.88	56.26	56.89	51.57	176.57	146.13	87.40	30.95	23.07	14.30	706.52	
流出率	0.477	0.442	0.418	0.450	0.515	0.320	0.678	0.604	0.690	0.517	0.421	0.482	0.538	

※ 本流出高는 蟾津江 多目的댐 및 同福댐(1969年以後)의 洪水時의 洪水越流量을 除外한 것임(實自己流域內 유출고)

表 - 1과 같이 松亭水位·流量觀測所의 流域面積은 4,477Km²이다. 그러나 蟾津江 多目的댐의 流域面積이 763km²이며, 貯水容量이 370×10⁶m³과 同福댐 流域面積이 187km²이고 貯水池容量 92×10⁶m³인 두 큰 댐의 流域內의 河川의 흐름은 東津江과 榮山江에 流域變更에 의하여 他河川으로 流出시키고 있으므로 松亭水位·流量觀測所의 河川물의 流出시키는 實域面積은 3,527 km²(同福댐 操作은 1969年 以後여서, 1966年에서 1968年間의 實流域面積은 3,714km²임)가 되는 것으로, 面積降雨量(高)도 이 流域內 것을 算出하였다.

鴨綠水位·流量觀測所의 流域面積은 2,448km²이나, 蟾津江 多目的댐의 流域面積을 除外한 實流域面積은 1,685km²가 된다. 이 流域內의 面積雨量을 算出하였다. 그리고 蟾津江 多目的댐은 任實郡 江津面 玉井理에 位置하며 流域面積은 763km²에 達한다.

이 3곳의 日別 流出量記錄을 分析算出하며, 月別流出量과 月別面積雨量을 算出한 記錄을 年度別로 合計한 對比表는 表-1과 같다.

表·1에서 보는 바와 같이 鴨錄水位·流量觀測所의 流出率은 61.2%이며, 우리나라의 各河川의 流出率보다도 大體로 上廻하고 있다. 特히 1969年부터 1972年間의 河川流出率은 79.2% 程度로 너무나 어처구니없이 큰 記錄値가 되어 本 觀測所의 流量測定에 많은 問題點과 誤差가 커서 이 資料에 依한 流出量公式 誘導를 하지 않는 것으로 하였다.

蟾津江 多目發댐의 流出量 算出記錄은 流出率 52.5%로 適當한 數値이나 建設部(M.O.C) 發表 記錄値이나, 面積雨量과 流量의 年度別의 流出率의 起伏이 좀 있는 것 같으며, 이를 再檢討하기 爲하여는 長期間의 記錄文書를 찾아서 日日 再分析調整과 補完은 적지 않은 作業과 技術이 要하며, 또한 完全補完 여부도 確信치 못하였다. 따라서 本硏究 誘導對象 水位·流量은 松亭地點의 것을 使用하였고 그 面積降雨高의 流出高의 分析記錄은 表 - 2와 表 -3과 같다.

蟾津江 다목적댐과 同福댐의 洪水時의 餘水吐 越流量은 適正히 算出하여 實流量에서 除함으로써 本表의 流出量高의 數値는 오로지 實 本流域內에 依한 河川流出量高가 되는 것이다. 따라서 精度가 높을 流出量高 記錄値는 1966年에서 1978年까지의 13個年間의 數値를 採擇하기로 하고 適正式을 誘導分析하는데 引用하고저 한다.

이 外에 赤城, 광천 水觀測所의 若干의 流量測定資料는 있으나 별로 도움이 안되며 檢討對象에서 처음부터 除外시켰다.

表 -2의 月降雨資料로서 蟾津江 松亭流域의 月降雨量 自己相關函數 ρ_k (k는 月數)는 그림 2와 같으며, ρ_k의 數値는 當負數로 波形變化되고 있으며 時系列 推計數的으로 誘導를 할 수 있는 것이다. 또한 우리나라의 降雨量과 河川流出量이 月別變化는 年間 豊水期와 渴水期에 週期的으로 變化되고 있어 모든 流域이 時系列推計學的으로 誘導할 수 있을 것으로 본다.

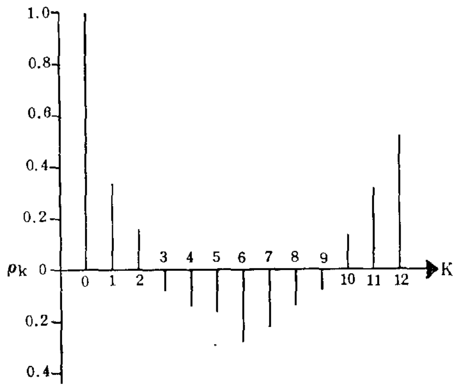

그림 2 自己相關函數의 추정圖

3. 推計學的模型式 誘導

月間의 水文系列의 大部分은 季節패턴이 變化됨을 보이며, Kashap & Rao (1976)은 月間의 現象變化와 平均値의 영향을 重視하였다. 旣往의 공들여 作成된 數個의 文獻으로서 推計學的 單一化模型이 매우 잘 利用되고 있으며, Thomas & Fering[10](1962), Galati et al[3] (1975), Clarke[2](1973), Torelli & Chow[9](1972) 等이 있다.

推計學的 成分과 週期的 分離에 基準을 두어 Yevjevich[13][14](1972)에 依하여 作成되었던 것이 더욱 많이 適用되고 있다.

確定論的 成分을 代替函數模型(Transfer Function Model)에다 任意誤差(Random error)를 合한 것을 推計學的模型(Stochastic Model)[1][11]式으로 한 것이다.

月流出量(本量을 高인 mm와 量인 m³/sec를 말함) 系列(Y_t)과 月降雨量系列(X_t) 資料로서 上記 模型式을 作成하였으며, 月間變化 係數를 삽입하며, 模型基本式으로 만든 것이다. 다음과 같다.

$$Y_t = V(B)\dot{X}_t + N_t \quad \cdots\cdots(1)$$

여기서 $C_iX_t = \dot{X}$로서 C_i는 i月의 流出率을 말하며, 따라서 윗式은 X_t와 Y_t間은 여과과정의 理論에 따른 것이며, Box & Jenkins에 詳述되었으며[1], 여기서 結

果式만을 說明한다(旣 本 理論式의 入力數値가 長期여과과정에서 出力數値는 모든 損失을 고려치 않고 同一한 出力數値로 나온다는 것임).

過去의 入力 및 出力數値가 여과 과정에서 同一하다는 線型模型은 아래와 같이 쓸 수 있다(여기서 入力은 降雨量, 出力은 流出量으로 代置 언급함).

$$(1-\delta_1 B-\cdots\cdots-\delta_r B^r)\ Y_t=(\omega_0-\omega_1 B-\cdots\cdots-\omega_s B^s)\dot{X}_t \cdots\cdots(2)$$

또는 $\delta(B)Y_t=\omega(B)\dot{X}_t$

Backward shift operater B는 $BY_t=Y_{t-1}$

$B^r Y_t=Y_{t-r}$

여기서 δ_r 및 ω_s는 係數이고 B^r는 $\dfrac{Y_{t-r}}{Y_t}$ 및 B^s는 $\dfrac{\dot{X}_{t-s}}{\dot{X}_t}$는 Backward shift operator라 부르며, r s 時期前의 各 入出力數値가 現在에 미치는 入·出力數値의 比率로서, 現在數値는 過去數値의 어떤 比率의 영향이 加해지고 있다는 것이다.

또한 代案으로 入·出力數値間에서 線型여과는 直結關係가 있다고 말할 수 있을 것이다. 따라서

$$Y_t=v_0\dot{X}_t+v_1\dot{X}_{t-1}+v_2\dot{X}_{t-1}\cdots\cdots=v(B)\dot{X}_t\cdots\cdots\cdots(3)$$

여기서 $v(B)$는 아래와 같은 代替函數(transfer function)이며

$$v(B)=v_0+v_1B+v_2B^2+\ \cdots\cdots(4)$$

두 多項式의 比率로 表示할 수 있다.

$$v(B)=\omega(B)/\delta(B)=\omega(B)\delta^{-1}(B)\ \cdots\cdots(5)$$

따라서 $Y_t=v(B)\dot{X}_t=(\omega(B)/\delta(B))X_t$로서 代替函數模型인 確定論的 成分은 다음과 같다.

$$Y_t=\frac{(\omega_0-\omega_1B-\omega_2B^2\cdots\cdots)}{(1-\delta_1B-\delta_2B^2\cdots)}\dot{X}_t\ \cdots\cdots(6)$$

任意誤差成分 N_t는 推計學的 模型으로서 上記理論과 같이 하여

$$N_t=\Phi^{-1}(B)\theta(B)a_t\cdots\cdots(7)$$

이며, a_t는 白色雜音[24](white noise)이라 稱한다.

따라서 推計學的 模型式은 아래와 같이 된다.

$$Y_t=\frac{(\omega_0-\omega_1B-\omega_2B^2\cdots\cdots)}{(1-\delta_1B-\delta_2B^2\cdots\cdots)}\dot{X}_t+\frac{(1-\theta_1B-\theta_2B^2\cdots\cdots)}{(1-\Phi_1B-\Phi_2B^2\cdots\cdots)}a_t\ \cdots\cdots(8)$$

(8)式의 模型은 Box & Jenkins 저 Time Series Analysis. Forecasting and Contral의 第 2,3,11章에서 式을 引用한 것이다.

(8)式에서 Ubertini는 伊太利 河川에서 流域面積 3,000km²以內 6個河川의 月降雨量公式誘導과정에서 1次自已相關係數로 誘導하였다. 따라서 우리나라의 河川流出量 性格과 伊太利河川의 本유사모형式에서 봐서 2次自已相關係數以內로서 適正할 것으로 볼 수 있으며, 또한 Ubertini는 $\delta(B)$에는 無關한 것으로 하여 다음 式으로 調整이 되었다.

$$Y_t=(\omega_0-\omega_1B-\omega_2B^2)X_t+\frac{1-\theta_1B-\theta_2B^2}{1-\Phi_1B-\Phi_2B^2}a_t\cdots\cdots(9)$$

로 하여 上記式을 어느 것으로 誘導한다.

對替函數模型과 白色雜音의 各係數(Parameter)는 式誘導過程에서 記述한다.

上記와 같은 代替函數模型式을 誘導함에 있어서, 各月別의 氣溫, 蒸發, 植物의 含水, 灌漑事業, 土質學的要素, 相對濕度 等의 各 因子와 要素等의 作用으로서 月降雨高 $X_t^{(i)}$가 月流出高 Y_t에 많은 事前 損失要因을 內包하고 있다. 따라서 月流出高에 直接 미치는 月降雨高를 $C_iX_t=\dot{X}_t^{(i)}$로 算出하여 代置하여야 할 것이다. 따라서 式의 型은

$$Y_t=V(B)X_t^{(i)}+N_t=V(B)C_tX_t+N_t\ \cdots\cdots(10)$$

이 된다. (여기서 i는 i月를 말하며, C_i는 i月의 有效降雨高 係數임).

代替函數 模型의 各函數(Parameter) 決定에서 對替函數模型은 $\dot{X}_t^{(i)}$인 不變數値를 單純化시켜 推計學的과정으로 誘導할 수 있다[1),11),12)] 이는 $\dot{X}_t^{(i)}$가 一般線型模型 ARIMA 模型을 代替한다고 想定하여

$$\omega(B)\delta^{-1}(B)X_t^{(i)}=\alpha_t\ \cdots\cdots(11)$$

가 되고, 또한 Y_t를 同一하게 變化시켜

$$\omega(B)\delta^{-1}(B)Y_t=\beta_t\ \cdots\cdots(12)$$

上記 두 式을 얻을수 있으며, α_{t-k}와 β_t를 곱하여 平均한 數値인 $\gamma_{\alpha\beta}(k)=E(\alpha_{t-k}\cdot\beta_t)=\dfrac{1}{n}$로서 다음 式을 算出할 수 있다.

$$v_k=\frac{\gamma_{\alpha\beta}(k)}{\sigma_\alpha^2}\cdots\cdots(13)$$

여기서 $k=0,1,2\cdots$

δ의 函數를 零이라 하여 無視하고 式 (9)에서, ω_0, ω_1,ω_2의 係數를 (14)式서 計算한다.

$$\left.\begin{aligned}\omega_0&=v_0\\\omega_1&=v_1\\\omega_2&=v_2\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(14)$$

(14)式의 係數를 더욱 簡略式으로 거의 近似人한 數値를 算出하는 方式은 上記의 (11) 및 (12)式에서 $\delta^{-1}(B)\fallingdotseq1$로 하여 求하면 된다.

여기서 $\omega(B)=1-\omega_1B-\omega_2B^2\cdots$에서 $\omega_1,\omega_2\cdots$의 變數를 $\dot{X}_t^{(i)}$로 하여 自已相關(Autocorrelation) ρ를 算出하고 ω를 計算한다.

白色雜音은 任意誤差項 N_t로서 電算機로 算出되며, 또는 任意反復計算에 依하여 計算할 수 있다. 白色雜音 a_t는 $E[a_t]=0$, Variance $\mathrm{Var}[a_t]=\sigma_a^2$로 autocovariance function

$\gamma_k = E[a_t \cdot a_{t+k}] = \begin{cases} \sigma_a^2 & k=0 \\ 0 & k \neq 0 \end{cases}$ 이여야 한다.

任意誤差項 N_t와 白色雜音과의 相關關係數

$$N_t = \Phi_1 N_{t-1} + \cdots \Phi_p N_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} \cdots - \theta_q a_{t-q} \cdots\cdots \quad (15)$$

이다.

따라서 任意誤差 N_t로서 $\Phi_1 \cdots \Phi_p$를 算出할 수 있다.

N_t는 t月의 一定數値로서 (15)式에서 反復計算에 依하여 上記條件에 맞도록 $\Phi_1 \cdots \Phi_p$ 및 $\theta_1 \cdots \theta_q$를 (9)式의 Y_t 計算結果値와 實測値가 가장 近似할 때까지 調整하여 函數를 試算에서 決定한다. 따라서 $N_t = \frac{\theta(B)}{\Phi(B)} a'$의 ARMA 模型式의 各 parameter를 算出할 수 있다.

白色雜音 a_t는 無作數 變量이다.

여기서 C_i를 求하는 方法으로서 여러 方法이 考慮할 수 있으나 3가지 案을 들어 各己 對替函數 模型式을 算出하여 比較한다.

(i) 첫번째 案

各 月別의 流出高와 降雨高를 方眼紙에 푸롯트하여 가장 良好한 $Y_t^{(i)} = C_i X_t^{(i)} = \dot{X}_t^{(i)}$ 되도록 C_i의 式을 作成하였으며(혹은 最小自乘法을 利用하여도 可함), $X_t^{(i}$의 係數式은 다음과 같았다.

$Y_t^{(i)}$는 i月만의 月流出高이고 Y_t는 各月의 流出高를 총하며, 各 i月別의 C_i係數를 算出(또는 곡선上 plot)하기 위하여 $Y_t^{(i)}$와 $X_t^{(i)}$의 관계 검토한다.

$$\left.\begin{aligned}
\dot{X}_t^{(1)} &= 7.5 + 0.250 X_{1,t} \cdots\cdots 1月 \\
\dot{X}_t^{(2)} &= 0.5 + 0.274 X_{2,t} \cdots\cdots 2月 \\
\dot{X}_t^{(3)} &= 0.0029 X^2_{3,t} + 9.5 \cdots 3月 \\
\dot{X}_t^{(4)} &= 0.536(X_{4,t} - 20) \cdots\cdots 4月 \\
\dot{X}_t^{(5)} &= 0.619(X_{5,t} - 20) \cdots\cdots 5月 \\
\dot{X}_t^{(6)} &= 0.394(X_{6,t} - 30) \cdots\cdots 6月 \\
\dot{X}_t^{(7)} &= 0.881(X_{7,t} - 60) \cdots\cdots 7月 \\
\dot{X}_t^{(8)} &= 0.803(X_{8,t} - 60) \cdots\cdots 8月 \\
\dot{X}_t^{(9)} &= 0.904(X_{9,t} - 30) \cdots\cdots 9月 \\
\dot{X}_t^{(10)} &= 0.517 X_{10,t} \cdots\cdots\cdots\cdots 10月 \\
\dot{X}_t^{(11)} &= 7.5 + 0.284 X_{11,t} \cdots 11月 \\
\dot{X}_t^{(12)} &= 5.0 + 0.313 X_{12,t} \cdots\cdots 12月
\end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots (16)$$

윗 係數式을 引用하여 誘導하였던 式은 아래와 같다(但, 任意誤差 N_t는 除外한 式임)

$$Y_t = (0.919 + 0.084B)\dot{X}_t^{(i)} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (17)$$

(17)式은 $\Sigma Y_t = 9,182.4 \mathrm{m^3/sec}$, 殘差乘 $\Sigma(Y_{t0} - Y_t) = 76,229.2$, 決定係數 $R^2 = 0.913$이었다(Y_{t0}는 實河川流出高임).

(ii) 둘째 案

各月別流 出高에 對하여 降雨高와 土壤水分 함유에 依한 土壤水分流出高로서 同歸方程式[23]을 作成하였으며, 土壤水分流出高를 前月의 流出高 $Y_{i-1,t}$로 代置利用하여 算出하였다. 前案과 같이 $Y_t^{(i)} = C_i X_t^{(i)} = \dot{X}_t^{(i)}$로서 $Y_t^{(i)} = X_t^{(i)} = a_i + b_i X_{i,t} + c_i Y_{i-1,t}$로 풀이하고($Y_t^{(i-1)}$와 $Y_{i-1,t}$는 同一함) 이를 整理하면 다음과 같다.

$$\left.\begin{aligned}
\dot{X}_t^{(1)} &= 1.50 + 0.123 X_{1,t} + 0.746 Y_{12,t} \cdots\cdots\cdots 1月 \\
\dot{X}_t^{(2)} &= -10.06 + 0.369 X_{2,t} + 0.840 Y_{1,t} \cdots\cdots 2月 \\
\dot{X}_t^{(3)} &= -22.27 + 0.543 X_{3,t} + 0.694 Y_{2,t} \cdots\cdots 3月 \\
\dot{X}_t^{(4)} &= -15.54 + 0.510 X_{1,t} + 0.277 Y_{3,t} \cdots\cdots 4月 \\
\dot{X}_t^{(5)} &= -21.39 + 0.853 X_{5,t} - 0.329 Y_{4,t} \cdots\cdots 5月 \\
\dot{X}_t^{(6)} &= -29.00 + 0.436 X_{6,t} + 0.190 Y_{5,t} \cdots\cdots 6月 \\
\dot{X}_t^{(7)} &= 19.34 + 0.863(X_{7,t} - 80) + \\
&\quad 0.046 Y_{6,t} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots 7月 \\
\dot{X}_t^{(8)} &= -61.21 + 0.688 X_{8,t} + 0.230 Y_{7,t} \cdots\cdots 8月 \\
\dot{X}_t^{(9)} &= -26.08 + 0.760 X_{9,t} + 0.114 Y_{8,t} \cdots\cdots 9月 \\
\dot{X}_t^{(10)} &= -1.96 + 0.253 X_{10,t} + 0.150 Y_{9,t} \cdots 10月 \\
\dot{X}_t^{(11)} &= -8.15 + 0.430 X_{11,t} + 0.242 Y_{10,t} \cdots 11月 \\
\dot{X}_t^{(12)} &= -3.66 + 0.334 X_{12,t} + 0.331 Y_{11,t} \cdots 12月
\end{aligned}\right\} (18)$$

윗 係數式을 引用하여 誘導하였던 式은 아래와 같다(但, 任意誤差 N_t는 除外한 式임).

$$Y_t = (0.934 + 0.061B + 0.038B^2) X_t \cdots\cdots\cdots\cdots (19)$$

上記式의 13個年間의 總流出量 $\Sigma Y_t = 9,200.1 \mathrm{m^3/sec}$, 殘差乘 $\Sigma(Y_{t0} - Y_t)^2 = 77,768.2$, 決定係數 $R^2 = 0.911$이였다.

(iii) 셋째 案

이 案은 일단 月降雨高가 全部河川流出을 한다고 하여 代替函數模型式을 誘導하여 算出되는 計算河川 月流出高 Y_t'는 月實流出高보다 큰값을 갖는다. 即

$$Y_t^{(i)\prime} = V(B) X_t = Y_{t0}^{(i)} / C_i \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (20)$$

여기서 $Y_t^{(i)\prime}$는 計算 i月流出高 $Y_{(i)}^{t0}$는 實 i月河川流出高이다. 따라서 $C_i = Y_{t0}^{(i)} / Y_t^{(i)\prime}$의 관계에서 各月別 補正係數 C_i가 算出된다.

여기에다 6月, 7月, 8月, 및 9月은 河川流出量中 一部가 農業用水로 또한 夏期에 生活用水 等이 增加될 것으로 灌漑用水高라 稱하고 d_i(mm)를 減하는 式을 作成한다. 따라서 이 式은 다음과 같다.

$$Y_t = (0.627 + 0.109B)\ C_t X_t - d_i \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (21)$$

上記式은 일단 任意誤差 N_t는 除外한 것이며 各 i月別의 C_t 및 d_t는 다음과 같다.

(17)式에 의한 13個年間의 總流出量 $\Sigma Y_t = 9,183.6 \mathrm{m^3/sec}$, 殘差乘 $\Sigma(Y_{t0} - Y_t)^2 = 79,089.7$, 決定係數 $R^2 = 0.909$이었다.

灌漑用水高 d_i는 本流域의 耕地面積의 全流域面積에 25% 程度이며 이 中에 約 17%는 논이고 8%는 밭으로 推定되며, 灌漑所要用水高를 논은 1,300mm, 밭은

表 -4 各 i月別 補正係數

i月 / 係數	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
C_i	0.659	0.625	0.598	0.657	0.686	0.805	1.364	1.206	1.363	0.642	0.568	0.582
d_i	—	—	—	—	—	40	70	70	60	—	—	—

250mm로 보고 配分하였다.

以上의 3個案을 보건데 決定係數는 大同小異하나, 計算式中 誘導過程이 容易하고 이 中에서 精度가 比較的 높은 첫째案을 擇하기로 하였으며, 伊太利河川의 Ubertini. L (1977) 月河川流出高 誘導式과 Box & Jenkins의 代替函數模型式이 이와 類似한 式으로 誘導되었다 하여 이를 많이 참조한 것이다.

任意誤差項 $N_t[Y_t-(\Phi_0-\Phi_1B)X_t]$로서 前記 (15)式의 試算式 또 Computer에 依하여 算出하였으며 따라서, 松亭地點 月流出量의 推計學的 模型式은 最終的으로 다음과 같은 式이 誘導되었다.

$$Y_t=(0.919+0.084B)X_t+\frac{1}{1-0.319B}a_t \qquad \cdots\cdots(22)$$

이 式은 松亭地點의 月降雨高에 對한 月流出高의 式이 되며, 여기에다 洪水時의 蟾津江 多目的댐 및 同福댐(1969年以後)의 洪水越流高를 加算하며 松亭地點의 實流出高가 된다.

$$\left(\text{但 } B=\frac{\dot{X}_{t-1}}{\dot{X}_t}\text{ 또는 } B=\frac{a_{t-1}}{a_t}\right)$$

計算에 依한 各 parameter의 數値를 조금씩 變化시키면서 數次試算을 하여, 더욱 精數가 높은 式으로서 最終的으로 確定시킨다.

R^2은 回歸方程式으로 解析될 수 있는 分散의 程度를 나타내며 $R>0.9$이면 高精度이고, $0.8<R<0.9$는 普通精度이며, $R<0.8$이면 低精度로 判斷하고 있다. 따라서 本式은 아주 高精度라 하겠다.

그리고 上記式의 ω_0, ω_1, ϕ의 算出係數를 任意로 조금씩 조정 반복하여 더욱 精度가 높아지면 이 係數들을 修正하여 誘導式을 調整할 수가 있다.

本式 誘導中에 確定論的成分만으로 決定係數가 相當히 우수하면 경우에 따라서는 任意誤差成分을 加算하지 않고 作成하여도 可하리라고 본다.

確定論的成分의 誘導順序

本式의 誘導過程上에서 任意誤差成分에 對하여는 上述한 것과 많은 硏究書籍 및 論文이 있어 省略하고 確定論的成分의 誘導過程만을 簡略記述한다.

(i) 月降雨高(X_t)의 平均差 算出한다. $\dot{X}_t-\mu=\tilde{x}_t$ μ는 平均値

(ii) 1,2次 相關係數 및 A.R의 parameter ϕ_1, ϕ_2算出

$$\rho_1=\frac{E(\tilde{x}_1\cdot\tilde{x}_{t1})}{\sqrt{E\tilde{x}_t^2\cdot E\tilde{x}_{t-1}^2}} \text{ 및 } \rho_2=\frac{E(\tilde{x}_t\cdot\tilde{x}_{t-2})}{\sqrt{E\tilde{x}_t^2\cdot E\tilde{x}_{t-2}^2}}$$

$$\oint_1=\frac{\rho_1(1-\rho_2)}{1-\rho_1^2} \text{ 및 } \oint_2=\frac{\rho_2-\rho_1^2}{1-\rho_1^2}$$

(by Yule·Walker 式)

(iii) 自己回路模型作成

$$(1-\oint_1\frac{X_{t-1}}{X_t}-\oint_2\frac{X_{t-2}X_t}{X_t}X_t=\alpha_t$$

$$(1-\oint_1\frac{Y_{t-1}}{Y_t}-\oint_2\frac{Y_{t-2}}{Y_t})\ Y_t=\beta_t \text{ 計算하고}$$

$$\sigma_\alpha^2=E\alpha_t^2=\frac{1}{n}\sum\alpha_t^2 \text{ 또는}$$

$$\sigma_\alpha^2=E\tilde{\alpha}_t^2=\frac{1}{n}\sum\tilde{\alpha}_t^2 \ [\alpha_t=d_t-\mu,\quad \tilde{\beta}=\beta_t-\mu, \text{ 但 } \mu$$

는 平均數値]

(v) 交叉共分散(Cross covariance) 算出

$\gamma_{\alpha\beta}(K)=E(\alpha_{t-K}\cdot\beta_t)$式 또는

$\gamma_{\alpha\beta}(K)=E(\tilde{\alpha}_{t-K}\cdot\tilde{\beta}_t)$를 $K=0,1,2$로 하여 $\gamma_{\alpha\beta}(0)$, $\gamma_{\alpha\beta}(1), \gamma_{\alpha\beta}(2)$를 算出하고

δ項을 無視하며 計算치 않는다.

(vi) 各 Parameter 係數 算出

$$\omega_0=\frac{\gamma_{\alpha\beta}(0)}{\sigma_\alpha^2},\quad \omega_1=\frac{\gamma_{\alpha\beta}(1)}{\sigma_\alpha^2},\quad \omega_2=\frac{\gamma_{\alpha\beta}(2)}{\sigma_2^2}$$

의 係數를 算出하고

$Y_t=(\omega_0-\omega_1B-\omega_2B^2)\dot{X}_t$式에 代入 誘導하며, 計算結果, 實河川流出高와 Y_t計算値의 差가 있으면 parameter를 조금씩 조절하여 同一하여질 때까지 試算하여 調整한다.

流域面積이 적을 경우는 1次相關係數만을 求하며 ($\oint_1$만 計算하고 $\oint_2$는 無視하여 零으로 한다) ω_0 및 ω_1만을 算出하여 $Y_t=(\omega_0-\omega_1B)X$가 된다.

大體的으로 全期間月別 實流出高 누계 $\sum Y_t$와 全期間月別降雨高 누계 $\sum\dot{X}_t$의 比 $\hat{Y}_t/\dot{X}_t=\gamma$는 $\gamma\fallingdotseq\omega_0-\omega_2$가 大體로 近似하게 됨을 알 수 있다.

白色雜音計算으로는 任意誤差項의 N_t는 旣知數로서 (15)式의 函數 $\Phi_1,\Phi_2,\cdots$와 $\theta_1,\theta_2\cdots$는 反復試算을 하여 前記說明과 같이 計算하며 決定하는 것이다. 지세한 文獻은 別紙 參考文獻 1의 Box & Jenkins著 "Time Series analysis forcasting and control"의 Chapter 3

를 參照할 것이다.

4. 梶山(Kaziyama)의 受水量公式과의 比較

우리나라에서 1929年부터 現在까지 使用하고 있는 梶山受水量公式이 있다.

梶山受水量公式을 誘導하는데는 前記河川流出高와 降雨高를 長期間(最長記錄이 12個年임)에 調査結果로서 月降雨量과 流出量曲線은 雙曲線이라는 假定으로 降雨量에 對한 受水量(流出量) 公式을 誘導하였으며 1927年 以來에 現在까지 오래동안 使用하고 있다.

松亭地點의 表(2) 및 表(3)의 月降雨量과 月流出量의 資料를 引用하여서 算出한 忠州地點의 月間의 梶山受水量公式은 (26)式과 같다.

$$Y_t=\sqrt{X_t^2+(140.6+10.2)^2}-140.6\pm E \quad \cdots\cdots(23)$$

Y_t : 流出量(mm) X_t : 降雨量(mm)

E : 月別更正數値

이를 分析檢討하면 다음과 같다.

本式을 引用하여 1966年에서 1978年間의 流出量을 算出하였던바 計算流出量은 實測流出量에 比較하여 算術模型式보다 本 梶山受水量式의 計算流出量의 差가 크며, 特히 月別平均流出量의 差는 더욱 크다.

梶山受水量式은 雙曲線函數를 갖는다는 것과 無雨月에도 a값만한 流出量이 있고, 流域內의 最大 침투량이 K값을 가진다는 것을 수긍할 수는 있다.

그러나 問題點으로 다음 몇가지를 朴成宇 教授는 들었다.

첫째로, a와 K의 값을 單純히 算術平均하여 算出하는 것은 석연치 못하며,

둘째로, a값을 求하기 爲한 無雨月의 降雨量을 어느 範圍內로 할 것인가는 애매하며,

세째로, 月別降雨量에 對한 月別流出量의 更正數値 E가 우리나라 全國河川에 同一하게 使用한다는 것은 모순이라는 것이며,

네째로, 流域의 大小를 莫論하고 그 달 降雨量이 달에 河川流出量으로 算出하는 函數關係는 많은 모순을 가져오며, 誤差는 큰 것이다.

또한 全國河川은 同一性格을 갖는 것으로 하여, 各因子는 多樣하며, 千差萬別할 것이나 一律的으로 取扱하여 受水量式을 誘導한 것은 지나친 것으로 볼 수 있고 下合理하다. 그리고 實測流出量과 計算流出量과의 差異도 月間流出量의 時系列 模型式보다 梶山受水量式이 相當히 크다.

梶山公式에 依한 13個年間의 殘差乘 $\Sigma(Y_{t0}-Y_t)=119,527.9$로서 決定係數 $R^2=0.869$로서 前記式들보다 決定係數가 相當히 低下되며, 月別流出高도 5~30%(特히 6月이 最大)로서 利用하는 많은 차질을 가져온다.

5. 結 論

蟾津江流域內에서 資料의 精度가 比較的 높은 松亭水位·流量觀測所의 月流出量의 推計學的模型式을 誘導하였다. 이는 Box & Jenkins의 代替函數模型(Transfer function model)과 ARIMA 模型으로 構成된 것이다.

月流出高(量)系列 推定을 爲한 式으로 確定論的成分과 任意誤差를 加한 것이며 $Y_t=(0.919+0.084B_x)\dot{X}_t+\frac{1}{1-0.319B}$이며, 代替函數模型만으로도 決定係數 $R^2=0.913$여서 精度가 相當히 높다.

上記 流出高(量)公式은 各 變數의 中·短期 觀測資料로부터도 相當히 高度의 精度를 갖는 月流出量 系列을 推定할 수 있을 것으로 보인다. 計算에 依한 各 parameter 數値를 多少 變更하면서 數次試算에 依하여 더욱 精度가 높은 式으로 最終 確定시켜야 한다.

우리나라 河川에서 2次自己相關係數이내 만으로 하여 月別 河川流出高算出式은

$$Y_t=(\omega_0-\omega_1B-\omega_2B^2)\dot{X}_t+\frac{1-\theta_1B-\theta_2B^2}{1-\phi_1B-\phi_2B^2}a_2$$

로 相當히 精度가 높은 式으로 利用될 것이다. 이는 Ubertini[11),12)]의 伊太利式과 섬진강의 송정지점 流出高式에서 추정된다. 月別降雨高는 月別更正係數 C_i를 月別降雨高 X를 곱한 $\dot{X}_t=C_iX_t$로서 式을 誘導하여 주는 것이 용이하다.

梶山(Kaziyama) 受水量公式은 相當히 精度가 낮으며, 舊公式으로는 利用價値가 적다.

따라서 推計學的 理論인 代替函數模型으로 誘導되는 本式의 誘導方式에 依하여, 우리나라 各 河川의 流出量公式을 誘導作成함으로써 이를 利用하여 水資源의 最適運營體系를 樹立하여 나갈 것을 期待한다.

本 研究는 韓國科學團의 研究費 支援에 依하여 遂行하였으며 심심한 謝意를 表하는 바입니다.

參 考 文 獻

1) Box, G.E.P. & Jenkins, G.M. (1970): "*Time Series Analysis Forecasting and Control*". Hol-

den·Day, S. Francisco (Rev. edit. 1976).

2. Clarke, R.T. (1973): "*Mathematical models in hydrology*". Irrigation and Drainage paper, No. 19, FAO, Rome.
3. Gallati, M.; Matone, U.; Moisello, U. & Natale, L. (1975): "*Modello stocastico afflussi-deflussi utilizzato per lavalutazione della potenza garantita di un impianto idroelettrico*". Idrotecnica, No. 2, pp. 69～80.
4. Hipel, K.W.; McLeod, A.I. & Lenox, W.C. (1977): "*Advances in Box-Jenkins Modelling-1. Model Construction*". Water Resources Research, vol. 13, No. 3, pp. 567～575.
5. Hino, M. (1976): "*Prediction of flood and streamflow by modern control and stochastic theories*". In: Stochastic Processes in Water Resources Engineering (Proceedings of the 2nd IAHR Symposium Stochastic Hydrology, Lund, Sweden), W.R.P., Fort Collins, Colorado, pp. 115～140.
6. Kashyap, R.L. & Rao, A.. (1976): "*Dynamic stochastic modelstrom empirical data*". Mathematics in Science and Engineering, vol. 122, Academic Press, New York.
7. McKerchar, A.I. & Delleur, J.W. (1974): "*Application of Seasonal Parametric Linear Stochastic Models to Monthly Flow Data*" Water Resources Research, vol. 10, No. 2, pp. 246～255.
8. McLeod, A.I.; Hipel, K.W. & Lennox, W.C. (1977): "*Advance in Box-Jenkins Modelling-2 Applications*". Water Resources Research, vol. 13, No. 3, pp. 577～586.
9. Torelli, L. & Chow, (1972): "*Test of stationarity of hydrologic time series*". Proceedings of International Symposium Uncertainties in Hydrologic and Water Resources System, Tucson.
10. Thoas, H.A. & Fiering, M.B. (1962): "*Mat hematical synthesisis of streamflow sequences for the analysis of river basin by simulation*". Harvard Unversity Press, Massachusetts.
11. Ubertini, L. (1977): "*Modelli statistici di afflussie deflussi mensili*". Annali". Annali Facolta Agraria, Universita di Perugia, vol. 32～33, pp. 730～750.
12. Ubertini, L. (1978): "*Modelli Box-Jenkins per la stima e la previsione di serie idrologiche* In: Metodologie statistiche per l'analisi delle serie idrologiche (Atti Seminario Progetto Finalizzato Conservazione Suolo), C.N.R., Perugia, pp. 155～194.
13. Yevjevich, V. (1972): "*Structural Analysis of Hydrologic Time Series*". Hydrology Paper, No. 56, Colorado State University, Collins.
14. Yevjevich, V. (1972): "*Stochastic Processes in* "*Hydrology*". W.R.P., Fort Collins, Colorado. pp. 68～164.
15. Ray K. Linseley. Jr, "*Hydrology for engineers*". 2nd Ed, Mcgraw-Hill Lid. pp. 257～286, pp. 374～398, 1975.
16. *Symposium*, "*The Hydrological characteristics of river basin*", Tokyo, Japan, pp. 217～226, p. 741, 1975.
17. U.S.B.R, "*Design of small dam*", A water resources technical publication. pp. 527～544, 1977.
18. 朴成宇, "우리나라에 現存하는 몇개의 水文學的公式에 對한 批判", 農業土木學會誌, Vol. 2-2, pp. 19～26, 1959.
19. 朴成宇, "河川의 流況에 關한 水文學的 研究", 韓國農工學會誌, Vol. 16-2, pp. 78～93, 1974.
20. 尹龍男, "水文學", 淸文閣, 1975.
21. 韓相麒, "統計學", 集賢社, pp. 161～175, 1976.
22. 李種南, "南漢江水系의 月降雨量과 月流出量의 時系列 算術模型", 韓國水文學會誌, 14-2, pp. 71～79, 1981.
23. 建設部, "韓國水文調査年報", 1962～1981.
24. 金泰喆 · 鄭夏禹, "多重回歸分析에 依한 河川流出量의 推計學的 推定에 關한 研究", 農工學會誌, 22-3, pp. 75～87, 1980.