

<論文>

河川流量的 水文學的 模擬技法에 關한 研究(I)

—貯水池의 Range 決定에 關한 研究—

A study on the hydrological generation of streamflow

—A study on the Range determination of reservoir—

崔 漢 圭*

Choi Han Kuy

崔 榮 博**

Choi Young Bak

金 治 弘***

Kim Chi Hong

ABSTRACT

For the determination of a reservoir capacity Rippl's mass-curve method has long been used with the past river flow data assuming the same flow records will be repeated in the future. In this study the synthetic generation methods of Thomas-Fiering type and harmonic analysis were used to synthetically generate 50 years of monthly river inflows to three single-purpose reservoirs (Chuncheon, Chungpyong, Hwacheon) and three multi-purpose reservoirs(Soyang, Andong, Daichung). The generated sequences of monthly flows were analyzed based on the range concept, and hence the so-determined ranges for single-purpose and multi-purpose reservoirs were correlated with the number of monthly flow subseries, resulting an empirical equation of the Feller's type.

(1) Single-purpose reservoir

$$R_n = 2.8357 I \sqrt{n}$$

(2) Multi-purpose reservoir

$$R_n = 2.5145 I \sqrt{n}$$

where, R_n : Range($m^3/S-M$)

n : periodic(12 months,.....120 months)

I : Input mean ($m^3/S-M$)

In Korea, the monthly inflow data generation will be fit to the Thomas-Fiering type, and this paper shows that the periodic range is easily calculated without the Rippl's mass-curve method as shown above formula.

<要 旨>

本 論文에서는 우리나라의 3個 單一目的댐(春川, 清平, 華川)과 3個 多目的댐(昭陽, 安東, 大清)의 月 流下量 資料를 Thomas-Fiering 法과 調和函數法으로 50年間 模擬發生하여 限界容量의 概念에 의하여 解析하였으며 周

* 本學會編輯委員 江原大學校 工大 土木工學科 助教授 工博

** 本學會顧問 水原大學 學長 工博 技術士

*** 本學會理事 成均館大學校 工大土木工學科 教授 技術士

期別(月數) 單一目的 貯水池와 多目的 貯水池의 限界容量을 決定하였다. 그 結果 다음과 같은 Feller 型의 公式을 얻었다.

(1) 單一目的 貯水池

$$R_n = 2.8357 I \sqrt{n}$$

(2) 多目的 貯水池

$$R_n = 2.5145 I \sqrt{n}$$

그러므로 우리나라의 各 地點에서의 月流下量은 Thomas-Fiering 法이 적합하며 Rippl의 累加曲線法에 의하지 않고 위의 公式에 의하여 周期別 限界容量을 쉽게 구할 수 있다.

1. 序 論

貯水池는 옛부터 用水 需要에 대한 供給을 充足시키는 手段으로서 自然界의 물의 不均衡을 調節하는 役割을 하는 重要한 人工築造物이다. 과거 3000~4000年間 人間은 여러 地點에 貯水池를 築造하는 經濟的인 方法을 發展시켜 왔으며 用水 需要의 目的에 맞는 貯水池의 最適 크기를 決定하는 方法은 주로 經驗과 技術의 人 판단에 근거를 두었던 것이다. 그리하여 統計學의 方法에 의해 貯水池容量 問題를 分析하는 經驗的인 方法이 1883年 Rippl에 의하여 提唱되었으며 지금까지 주로 使用되어 왔다. 流入量累加曲線에 의한 Rippl의 方法은 流入(Input)과 流出(Output)을 時間의 函數로 假定하였으며, 資料의 記錄期間과 동일한 將來의 期間 동안 물 부족 現象이 일어나지 않기 위한 最小 必要貯水容量을 구할 수 있도록 되어 있다.

그러나 一般的으로 流出量과 用水 需要의 推計學的인 性質 때문에 確定論的인 개념으로 貯水池의 必要貯水容量을 決定할 수 없다는 것은 사실이다^{1,2)}. 그러므로 우리나라 Dam地點에서 流量의 模擬發生에 가장 적합한 모델을 찾아내고 周期別 Range를 決定하는 方法을 究明하고자 한다.

2. 基本 理論

2-1. 流量에 사용된 모델

本 研究에 있어서 流量推定에 사용된 모델은 다음 2가지이다.

(1) Thomas-Fiering 모델^{12), 13), 15)}

이 모델은 가장 간단한 型으로서 非正常時系列을 위한 一般的인 多秀節 모델이며 여러 個의 線性回歸方程式을 포함하고 月流量 資料를 利用할 경우에는 12個가 된다. 즉, 이용 가능한 12年 동안의 觀測流量이 있다면

12個의 1月 流量과 12個의 12月 流量이 추출되고, 1月 流量은 12月 流量과 回歸分析되며, 마찬가지로 2月 流量은 1月 流量과 回歸分析된다. 이와같은 方法이 各月의 流量에 대해 反復되며 그 式은 다음과 같다.

$$q_{i+1} = \bar{q}_{j+1} + b_j(q_i - \bar{q}_i) + N_i S_{i+1} \sqrt{1-r_j^2} \quad (2-1)$$

$$r_j = \frac{\sum_{i=1}^N (q_{ij} - \bar{q}_j)(q_{ij+1} - \bar{q}_{j+1})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (q_{ij} - \bar{q}_j)^2 (q_{ij+1} - \bar{q}_{j+1})^2}}$$

여기서 q_i 와 q_{i+1} 은 어떤해의 i 번째와 $i+1$ 번째 月流量이고, \bar{q}_j 와 \bar{q}_{j+1} 은 각각 j 번째와 $j+1$ 번째 月平均流量이다. r_j 는 j 번째와 $j+1$ 번째달의 lag-one 系列相關係數이고 $b_j = r_j \frac{S_{j+1}}{S_j}$ 로 하여 相關式의 slope라 부른다.

또 S_j 와 S_{j+1} 은 각각 j 번째와 $j+1$ 번째 月流量의 標準偏差이고, N_i 는 平均이 0이고 分散이 1인 正規分布로 變換된 $N(0, 1)$ 의 Random Number이다.

(2) 調和函數 모델^{12), 14), 15)}

어떤 特定한 月에 記錄된 全流出量의 分散이 平均流出量과 어떤 重要한 關係를 가지지 않을 때 sine 및 cosine函數와 같은 간단한 周期函數는 자주 利用되는 函數이다. 이것을 Fourier級數로 전개할 수 있으며¹⁷⁾, 그들의 一般的인 式은 다음과 같다.

$$q_i = \bar{q} + A_1 \cos 2\pi i/12 + B_1 \sin 2\pi i/12 + \epsilon_i$$

여기서 q_i 는 i 월의 流量이고, \bar{q} , A_1 , B_1 은 資料로부터 구해지는 常數이며, ϵ_i 는 平均이 0이고 固定分散이 σ_ϵ^2 인 正規分布이며, ϵ_i 값은 0을 제외한 모든 k 값에 대해 ϵ_{i-k} 와 相互無相關한 無作為 變數로 假定하며 다음과 같이 4變數를 구할 수 있다.

\bar{q} : N 個月 記錄值의 平均流量

$$A_1 = \left(\frac{2}{N}\right) \sum_{i=1}^N q_i \cdot \cos(2\pi i/12)$$

$$B_1 = \left(\frac{2}{N}\right) \sum_{i=1}^N q_i \cdot \sin(2\pi i/12)$$

$$\sigma_\epsilon^2 = \left(\sum_{i=1}^N (q_i - \bar{q})^2 - (A_1^2 + B_1^2)N/2\right) / (N-3) \quad \text{검토}$$

2-2 限界容量(Range)

限界容量은 貯水池의 溢流와 空虛 現象을 막기 위해 必要한 貯水容量으로서 解析되고 있다¹¹⁾. 이와같은 限界容量의 概念은 다음과 같다^{3),9),10)}.

$$Z_i = X_i - \bar{X}_n$$

$$S_i = \sum_{j=1}^n Z_i : i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2-3)$$

$$M_n = \max(0, s_1^+, s_2^+, \dots, s_n^+) \quad (2-4)$$

$$m_n = \min(0, s_1^-, s_2^-, \dots, s_n^-) \quad (2-5)$$

$$R_n = M_n - m_n \quad (2-6)$$

s_i = 累加合 또는 部分的인 合

M_n = 最大部分의 合 또는 過剩分

m_n = 最小部分의 合 또는 不足分

R_n = 部分的인 合의 限界容量

X_i = 流入量

X_n = 周期別 平均流入量

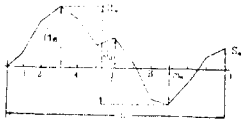


그림 2-1 貯水容量의 過剩(M_n), 不足(m_n), 限界容量(R_n)

그런데 資料의 模擬發生을 통하여 限界容量의 統計的인 分布를 決定하기 위한 理論的인 解析은 다음과 같다⁵⁾. Z_t 時系列을 2次 Markov모델로 표시하면

$$z_t = a_1 z_{t-1} + a_2 z_{t-2} + n_t \quad (2-7)$$

$$\text{또는 } n_t = z_t - a_1 z_{t-1} - a_2 z_{t-2} \quad (2-8)$$

$$n_1 = z_1, n_2 = z_2 - a_1 z_1, n_3 = z_3 - a_1 z_2 - a_2 z_1, \dots$$

$$n_4 = z_4 - a_1 z_3 - a_2 z_2, \dots$$

이제 $s_{i,z} = \sum_{t=1}^i z_t$ 와 $s_{i,n} = \sum_{t=1}^i n_t$ 라 하면 n_t 의 오른쪽항은

$$s_{i,n} = z_i + (1-a_1)z_{i-1} + (1-a_1-a_2)\sum_{t=1}^{i-1} z_t + (1-a_2)z_1 \quad (2-9)$$

매우 큰 i 에 대하여 式 (2-9)의 끝항은 매우 작아 무시할 수 있으므로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$s_{i,n} \sim (1-a_1-a_2)s_{i,z}$$

$$\text{또는 } s_{i,z} = \frac{s_{i,n}}{(1-a_1-a_2)} \quad (2-10)$$

만일 처음에 z_t 를 m 次 Markov모델로 표시하면 式 (2-7)로부터

$$z_t = \sum_{j=1}^m a_j z_{t-j} + n_t \quad (2-11)$$

로 되어 式 (2-10)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$s_{i,z} = \frac{s_{i,n}}{(1-\sum_{j=1}^m a_j)} \quad (2-12)$$

Markov의 從屬모델을 限界容量의 推定에 利用할 때 平均과 分散은 獨立的인 過程을 이루는 各各의 近似값의 函數로 表示될 수 있다. 그러므로 m 次 Markov모델에 대한 期待限界容量(Expected Range)은

$$E(R_n) = 2\beta\sqrt{\frac{2n}{\pi}} = 1.5958\beta\sqrt{n} \quad (2-13)$$

$$Var(R_n) = \beta^2 4n(l_n^2 - 2/\pi) = 0.2181\beta^2 n \quad (2-14)$$

$$\text{여기서 } \beta = \frac{s}{(1-\sum_{j=1}^m a_j)} \quad (2-15)$$

그런데 2次 Markov모델을 생각하면 式 (2-15)는 다음과 같다.

$$\beta = \frac{s}{[1-(a_1+a_2)]} \quad (2-16)$$

$$s = [1-a_1^2-a_2^2 - \frac{2a_1^2 \cdot a_2}{(1-a_2)}]^{1/2} \quad (2-17)$$

3. 研究 및 分析

本 研究를 위하여 春川, 淸平, 華川 등 3개 單一目的의 堰과 昭陽, 安東, 大清 등 3개 多目的의 堰을 선정하여 研究하였으 며, 各 堰에서의 流量資料는 春川堰 建設誌, 昭陽堰¹⁸⁾ 工事誌¹⁹⁾, 安東堰 工事誌²⁰⁾ 등과 各 堰에서 實測한 流量資料를 사용하였으며, 그 概況은 表 3-1과 같다.

3-1 流量分析

春川堰, 淸平堰, 華川堰, 昭陽堰, 安東堰, 大清 등 6個堰의 實測流量 資料를 Thomas-Fiering모델과 調和 函數모델에 의하여 50年間 模擬發生한 流量과 實測流量의 差動累加曲線(Differential mass Curve)은 그림

<表 3-1> 流量資料

區 分	春 川	淸 平	華 川	昭 陽	安 東	大 淸
流 量 資 料	1967.10~ 1981.9(14)	1967.10~ 1981.9(14)	1967.10~ 1981.9.(14)	1974.10~ 1981.9(7)	1963.10~ 1971.9(8)	1968.10~ 1974.9(6)
流 域 面 積	4,841km ²	10,051km ²	4,063km ²	2,703km ²	1,581km ²	4,134km ²
總貯水容量	150×10 ⁶ m ³	185.5×10 ⁶ m ³	1023×10 ⁶ m ³	2900×10 ⁶ m ³	1248×10 ⁶ m ³	1475×10 ⁶ m ³
有效貯水容量	110×10 ⁶ m ³	82.6×10 ⁶ m ³	658×10 ⁶ m ³	2250×10 ⁶ m ³	1000×10 ⁶ m ³	1025×10 ⁶ m ³

3-1과 같으며 各 項의 流入量의 平均值와 標準偏差는 表 3-2와 같다.

〈表 3-2〉 平均值와 標準偏差
단위 : m³/S-M

모델		春川	淸平	華川	昭陽	安東	大清
平均值	實 測	113.7	232.3	95.5	61.9	27.5	79.8
	T F 모델	129.2	253.0	112.0	73.5	33.6	83.9
	調和 모델	129.4	260.6	160.4	72.8	43.9	179.4
標準偏差	實 測	76.3	159.8	65.2	42.6	25.9	47.7
	T F 모델	81.2	159.9	73.2	46.6	29.0	45.7
	調和 모델	85.7	164.7	185.9	44.4	55.1	182.2

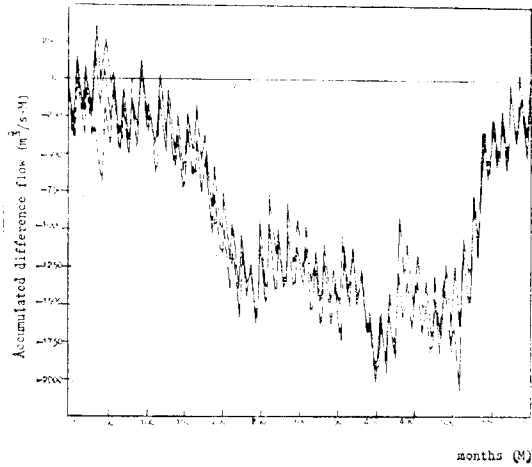


Fig.3-1. Flow mass - curve (soyang)

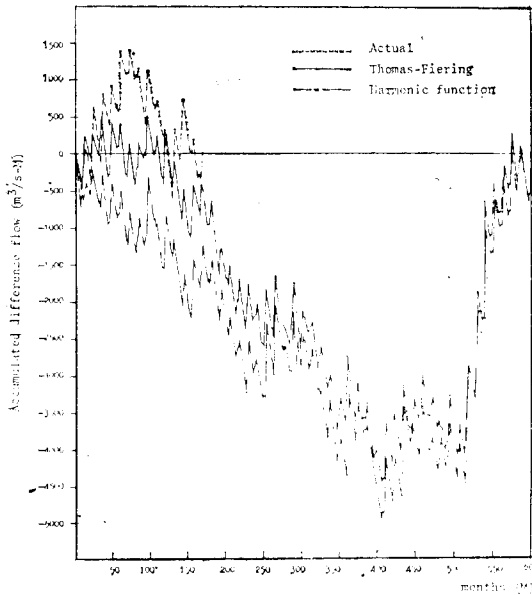


Fig.3-1. Flow mass - curve (Chungcheong)

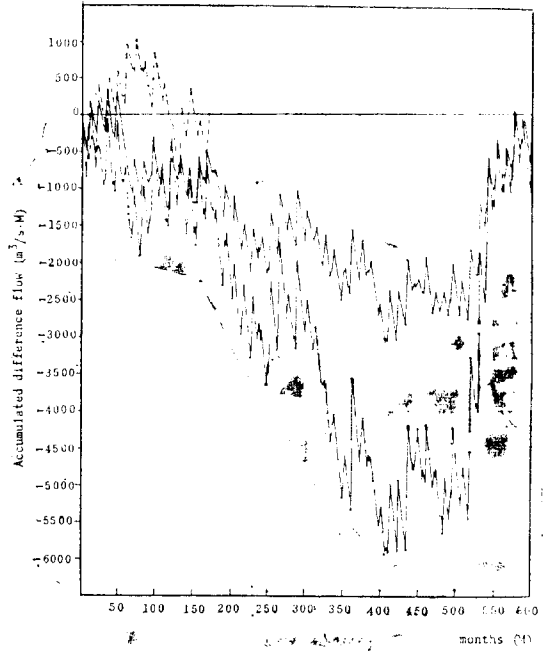


Fig.3-1 Flow mass - Curve (Whacheon)

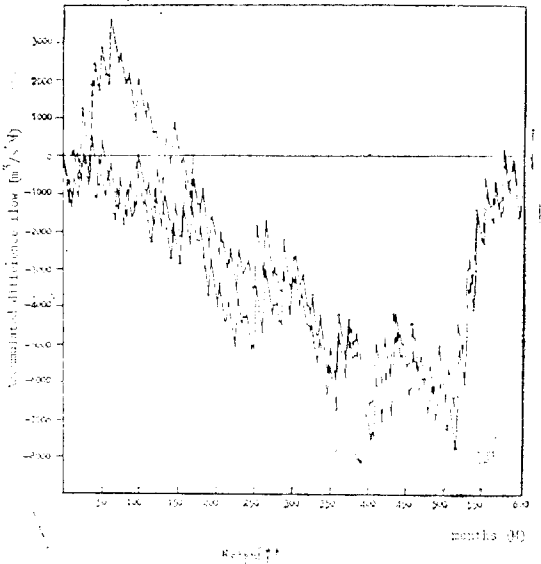


Fig.3-1. Flow mass - curve (Chunggyeong)

<表 3-3> $E[R_n]$ 과 $V_{ar}[R_n]$ 의 값

區分	春川	清平	華川	單一目的貯水池	昭陽	安東	大清	多目的貯水池
β 값	1.8699	1.7378	1.7232	1.7770	1.5959	1.5553	1.5760	1.5757
$E[R_n]$	$2.9840\sqrt{n}$	$2.7732\sqrt{n}$	$2.7499\sqrt{n}$	$2.8357\sqrt{n}$	$2.5467\sqrt{n}$	$2.4819\sqrt{n}$	$2.5150\sqrt{n}$	$2.5145\sqrt{n}$
$V_{ar}[R_n]$	$0.7626n$	$0.6587n$	$0.6476n$	$0.6887n$	$0.5555n$	$0.5276n$	$0.5417n$	$0.5415n$

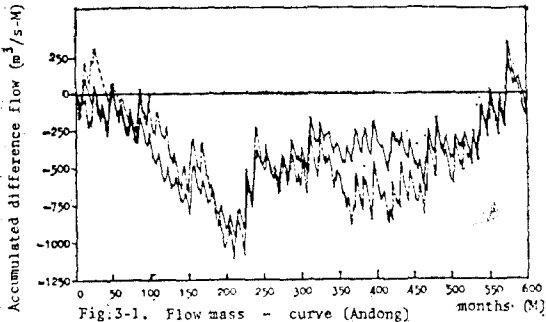


Fig. 3-1. Flow mass - curve (Andong) months (M)

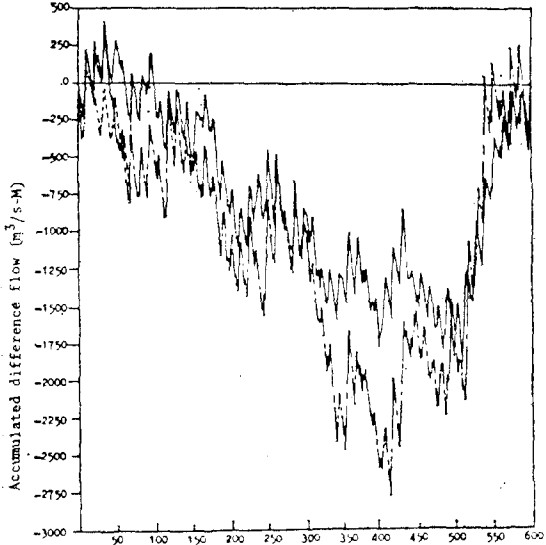


Fig. 3-1. Flow mass - curve (Daichung) months (M)

그림 3-1에서 보는 바와 같이 春川, 清平 및 昭陽댐은 Thomas-Fiering 모델과 調和函數 모델에 의한 計算流量이 實測流量과 거의 비슷하며 華川, 安東 및 大清댐은 Thomas-Fiering 모델보다 調和函數 모델에 의한 計算流量이 實測流量보다 크게 나타났다. 또한 表 3-2에서 보는 바와 같이 調和函數의 모델보다는 Thomas-Fiering 모델이 流量의 模擬發生에 더 적합하다고 사료된다.

3-2 限界容量(Range)分析

春川, 清平, 華川, 昭陽, 安東, 大清 등 6개댐의 1년 2년, 3년, ……10년 周期의 限界容量을 구한 結果 6~7년 周期에서 限界容量은 安定을 이루며, 式 (2-16)에 의하여 各 項에서 구한 β 값과 式 (2-13)과 式 (2-14)에 의하여 구한 $E[R_n]$ 과 $V_{ar}[R_n]$ 의 값은 表 3-3과 같다.

表 3-3에서 보는 바와 같이 期待限界容量(Expected Range)은 單一目的貯水池에서는 $E[R_n]=2.8357\sqrt{n}$, 多目的貯水池에서는 $E[R_n]=2.5145\sqrt{n}$ 로 貯水池 群別로 뚜렷한 차이가 있다. 그러므로 이 公式에 의하여 貯水池 設計 및 運營에서 n (月의 數)만 알면 限界容量(Range)은 $E[R_n]X$ 平均流入量에 의하여 簡單하게 구할 수 있다. 그러므로 單一目的貯水池와 多目的貯水池의 各各의 限界容量은 다음과 같다.

單一目的 貯水池

$$R_n = 2.8357I\sqrt{n}$$

多目的 貯水池

$$R_n = 2.5145I\sqrt{n}$$

<表 3-4> 限界容量

단위 : m^3/sec

周期(年)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		春川	經驗值 1,336	1,903 1,889	3,033 2,313	3,461 2,671	3,872 2,986	4,333 3,271	4,360 3,534	4,360 3,778	4,360 4,007
清平	經驗值 2,431	3,909 3,438	5,281 4,210	6,070 4,862	7,070 5,435	6,070 5,954	6,802 6,431	6,802 6,875	6,802 7,292	6,802 7,687	
華川	經驗值 1,067	1,602 1,508	2,218 1,847	2,463 2,133	2,463 2,385	2,824 2,613	2,824 2,822	2,824 3,017	2,824 3,200	2,824 3,373	
昭陽	經驗值 648	969 917	1,309 1,123	1,385 1,297	1,500 1,450	1,576 1,588	1,629 1,716	1,752 1,834	1,752 1,945	1,832 2,050	
安東	經驗值 288	549 408	621 500	621 577	621 645	621 707	678 763	678 816	831 865	832 912	
大清	經驗值 731	940 1,034	1,234 1,267	1,491 1,463	1,660 1,635	1,804 1,791	1,828 1,935	1,828 2,068	1,828 2,194	1,823 2,313	

여기서 R_n : 限界容量($m^3/S-M$)
 I : 平均 流入量($m^3/S-M$)
 n = 周期(月の 數)

또한 限界容量의 經驗値와 解析値는 表 3-4와 같다
 그린데 그림 3-2에서 보는 바와 같이 經驗値와 解析
 値의 誤差는 약 12% 정도이다.

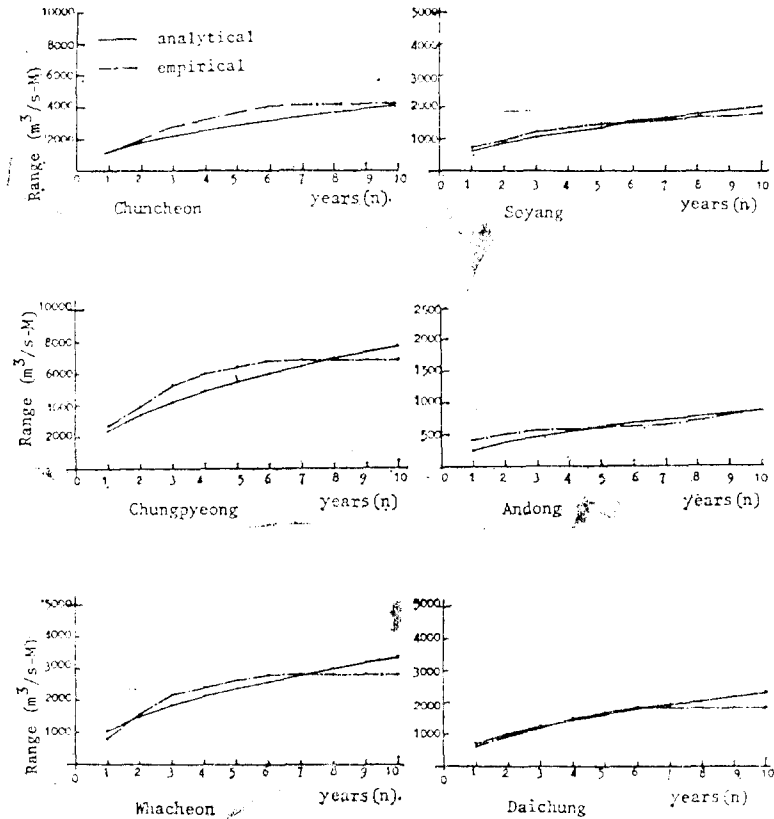


Fig 3-2. Periodic range

4. 結 論

過去 月流下量 記錄에 의거한 Rippl의 經驗的 理論인 累加曲線法에 의한 必要貯水容量 決定方法은 過去의 月流下量 記錄의 再現性이 全無한 關係로 矛盾된 方法임을 알 수 있다. 그러므로 우리나라 既設의 單一目的댐 3個地點과 多目的댐 3個地點을 對象으로 댐地點의 河川流量을 Thomas-Fiering 모델과 調和函數 모델에 의하여 50年間 月別流下量을 模擬發生 시켜본 結果 調和函數모델보다는 Thomas-Fiering 모델에 의하여 模擬發生된 流量이 實測流量에 더 가깝게 산출되었으며 다음과 같이 우리나라 單一目的 및 多目的댐에 대한 限界容量을 구하는 公式을 얻었다.

(1) 單一目的댐

$$R_n = 2.8357I\sqrt{n}$$

(2) 多目的댐

$$R_n = 2.5145I\sqrt{n}$$

그러므로 이상의 研究 結果로부터 貯水池의 計劃 및 設計時 그 地點의 水文學的 資料(月別 流下量)에 의하여 Thomas-Fiering法으로 50年間의 月別 流下量을 豫測하고, 그 結果를 이용하여 周期別 限界容量을 구할 수 있다. 그러나 本 研究은 어디까지나 純粹 水文學的의 立場에서 研究分析된 것이므로 貯水池 下流의 經濟的 社會的 側面을 考慮한 研究가 앞으로 계속되기를 희망한다.

謝 辭

本 研究은 1981年度 文敎部 學術研究助成費에 의하여 完成된 論文으로 研究費를 支給해 준 文敎部當局에 感謝를 드립니다.

REFERENCE

1. Yevjevich, V.M., "Fluctuations of Wet and Dry Years, Part II : Analysis by Serial Correlation," Hydrology Papers, Vol. 1, No. 4, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 1964.
2. Fiering, M.B., "Stream Flow Synthesis, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1967.
3. Yevjevich, V.M., "The Application of Surplus, Deficit and Range in Hydrology, Hydrology Papers, Vol.1, No.10, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 1965.
4. Gomide, F.L.S., "Range and Deficit Analysis Using Markov Chains," Hydrology paper No. 79, Colorado State University, Fort Collins, Colorado 1975.
5. Salas-la Cruz' J.D., "Range Analysis for Storage Problems of periodic-Stochastic Processes," Hydrology Papers, Vol.3, No. 57, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 1972.
6. Moran, P.A.P., "A Probability Theory of Dams and Storages Systems," Aast. J Appl. Sci., Vol.5, pp.116~124, 1954.
7. Moran, P.A.P., "A Probability Theory of Dams and Storage System: Modification of Release Rules," Aust. J. Appl. Sci., Vol. 6, pp.117~130, 1955.
8. Yevjevich. V.M., "Strucural Analysis of Hydrologic Time Series," Hydrology, Papers, Vol.3, No.56, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, pp.1~59, 1972.
9. Yevjevich, V.M., "The Application of Surplus, Deficit, and Range in Hydrology," Colorado State University Hydrology Paper No. 10, Fort Collins, Colorado, Sep. 1965.
10. M.M. Siddiqui., "The Asymptotic Distribution of the Range and other Functions of Partial Sums of Stationary Process." Water Resources Research Vol.12, No.6, pp.1271~1276, 1976.
11. Kedar Nath Mutreja., Reservoir Capacity for Periodic-Stochastic Input and Periodic Output," Hydrology Paper No.86, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 1976.
12. R.T. Clarke., "Mathematical Models in Hydrology," Irrigation and Drainage Paper Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1973.
13. Barbara, B. Jackson., "Synthetic Stream Flows," American Geophysical Union Washington, DC, 1971.
14. Vujika. Yevjevich., "Stochastic Processes in Hydrology," Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, U. S. A. pp. 131~210. 1972.
15. George Fleming., "Computer Simulation Techniques in Hydrology," Elsevier. pp.263~272, 1975.
16. Siegmund Brandt., "Statistical and Computational Methods in Data Analysis," North-Holland, pp.20~131, 1978.
17. 岩井重久, "應用水文統計學" 森北出版株式會社, pp.137~147, 1970.
18. 韓國電力株式會社, "春川水力發電所建設誌", pp.50~60, 1966.
19. 建設部, "昭陽江 多目的増工事誌", pp.16~49, 1974.
20. 建設部, "安東多目的増工事誌", pp.15~51.