

時系列模型에 의한 月流量的 模擬發生에 관한 研究

A Study on the Generation of Monthly Flows by Stochastic Time-Series Models

沈 在 鉉

(한국지방행정연구원 책임연구원)

< 目 次 >

I. 序 論

II. 適用 模擬發生 模型

III. 資料摘出

IV. 分析結果의 考察

V. 基本 統計量의 解析

VI. 結 論

I. 序 論

물은 인간생활에서 없어서는 안될 중요한 자원으로 최근들어 계속되는 산업화와 도시화 현상에 따라 그 수요는 기하급수적으로 늘어나고 있다. 또한 해마다 심화되고 있는 環境汚染現象에 의하여 氣象變動이 일어나 강우량이 증가되어 홍수피해의 위험성 역시 가중되고 있는 실정이다. 따라서 水資源의 이용이라는 利水의인 차원 뿐만 아니라 洪水防禦라는 治水의인 차원에서 대규모의 다목적댐 등을 비롯한 水工構造物이 계획, 신설 및 보강되고 있다. 이러한 수공구조물이 세워지고 그 機能(利水 및 治水)을 발휘할 수 있는 기간을 耐用年限이라 하며, 내용연한 이내에 수공구조물이 안전하게 운용될 수 있는 지 여부를 판단하는 것은 수공구조물의 계획에서 필수적인 요소라 할 수 있다. 이러한 판단기법에는 과거의 水文資料를 기초로 한 統計的 解析技法이 사용되는데, 크게 매년 最大值 水文資料로부터 再現期間에 따른 水文量을 구하는 頻度解析(Frequency Analysis)의 개념과 수문자료를 時系列的으로 파악하는 推計學的인 解析(Stochastic Analysis)으로 분류할 수 있다.”

1) 심재현, “월수문사상의 모의발생을 위한 추계학적 모형의 비교”, 제33회 수공학 연구발표회 논문 초록집, 한국수문학회, pp. 40~49, 1991.

降水나 洪水와 같은 水文事象은 자연계에 있어서 確率的인 因子에 의하여 많은 영향을 받고 있으며, 우리 나라의 경우 대부분의 관측자료가 충분하지 못하기 때문에 短期間의 해석만이 가능하므로, 짧은 관측자료로부터 수공구조물의 耐用年限 이상까지의 장기간 수문사상을 模擬發生하기 위한 수학적 모형의 이용이 필요하다고 하겠다.²⁾

時系列 模型에는 관측치가 이전 관측치들에 의해 영향을 받는다는 가정하에 해석하는 Time Domain Approach와 여러 개의 sine파와 cosine파의 조합으로 이루어진다고 가정하여 해석하는 Frequency Domain Approach로 분류되며³⁾ 해당 관측지점의 자료만으로 해석하는 一變量(univariate) 解析과 해당구역 여러 지점의 관측자료가 한 지점의 관측치에 영향을 주는 것으로 고려하는 多變量 혹은 多地點(multivariate or multisite)해석으로 분류할 수 있다. * 일변량 수문시계열에 의한 해석은 독립적인 단일 지점만의 통계량에 의한 해석이기 때문에 유역전반에 걸친 수공시스템의 계획, 설계에는 불합리한 점이 많다. 이는 각 지점들 간의 시간적, 공간적 共線形性(colinearity)이 缺如되어 있기 때문인 것으로 생각되며, 이를 보완하기 위해서는 다변량 해석이 필요하다. 다변량 해석을 위한 시간적 공선형성을 유지하기 위해서는 각 지점의 수문관측자료가 동시에 측정될 것이 요망되며, 공간적인 공선형성이 유지되기 위해서는 같은 降水事象에 의해 영향을 받는 동일구역의 관측자료가 수집되어야 하며, 母數形態의 行列式이 유도되기 때문에 일변량 해석에 비하여 복잡한 계산이 필요하다.⁴⁾

본 연구에서는 月流量資料를 模擬發生하기 위하여 Time Domain Approach의 모형중 AR(1), AR(2), ARMA(1,1) 의 세가지 모형을 FORTRAN Program으로 구성하였으며, 각 시계열 모형이 해당 수문사상을 적절하게 구현해 줄 수 있는지의 여부를 파악하고,

* 多變量이란 용어는 統計學에서는 해석하고자 하는 變量이 여러개일 때를 의미하지만 水文時系列 解析에서는 같은 變量을 여러 지점에 대하여 함께 해석할 때 사용하기도 한다. 따라서 본 연구에서는 一變量이라는 용어와 통일시키기 위해 多變量 解析이라 칭하기로 한다.

- 2) Roesner, L. A. and Yevjevich, V., "Mathematical Models for Time Series of Monthly Precipitation and Monthly Runoff", Hydrology Paper, No. 15, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 1966; Srikanthan, R. and McMahon, T. A., "Stochastic Generation of Monthly Streamflow", Journal of Hydraulics Division, ASCE, Vol. 108, NO. HY3, pp. 419~441, 1982; Stedinger, J. R., "Estimating Correlations in Multivariate Streamflow Models", Water Resources Research, Vol. 17, No. 1, pp. 200~208, 1981.
- 3) Box, G. P. and Jenkins, G. M., Time Series Analysis, forecasting and control, pp. 23~34, Holden-Day, 1976; Kottegoda, N. T., Stochastic Water Resources Technology, pp. 145~154, Macmillan Press, 1980.
- 4) 심재현, "다변량 AR(1) 모형에 의한 월유량의 모의발생에 관한 연구 -남한강 상류 유역을 중심으로-", 연세대 석사학위논문, 1986; Bras, R. L. and Rodriguez-Iturbe, L., Random Functions and Hydrology, pp. 92~147, Addison Wesley, 1985; Yevjevich, V., Stochastic Process in Hydrology, pp. 71~78, Water Resources Publication, 1972.

전술한 共線形성을 數值化하여 多變量 模型이 一變量 模型에 비해 水文時系列에서의 적용에서 우수한 것을 파악하는데 목적을 두었다.

II. 資料摘出

종래의 流況 시뮬레이션으로서는 근년의 급격한 유역의 개발, 수공구조물의 존재로 流量 母集團 자체에 非定常성을 일으켜 자료의 안정성에 문제가 생기고 있다. 따라서 본 연구에서는 流況調節構造物이 아직 축조되지 않고 있는 南漢江 上流流域을 대상유역으로 하였으며, 丹陽, 平昌, 寧越, 旌善의 4개 관측지점을 선정하였다.⁵⁾ 본 연구에서 사용된 월유량자료는 韓國水文調查年報⁶⁾, 韓國水文調查書⁷⁾, 韓國河川調查書에서 일수위 자료를 수집, 水位-流量 關係曲線으로부터 摘出した 月平均 時系列이다.⁸⁾ 해당 지점의 자료년수는 1962~1987년까지의 26년간의 자료이며, 각 지점마다 28개의 결측치가 있었다. 월별 시계열 자료의 보완은 자료계열의 분산을 최소화하여 同質性(homogeneity)를 갖도록 해야 하며, 많은 자료에서의 소수 缺測値는 월별 평균치로 보완할 수 있으나 짧은 기록년수에서 생겨난 결측치를 보완하기 위해서 Fourier 분석기법을 사용하였다. 월유량자료는 특히 偏差가 심하기 때문에 原時系列에 自然代數를 취하였으며 보완에 사용한 모형은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.⁹⁾

$$Z(t) = Z_T(t) + Z_F(t) + Z_R(t) \text{----- (1)}$$

여기서 $Z(t)$ 는 原時系列에 自然代數를 취한 時系列, $Z_T(t)$ 는 傾向成分, $Z_F(t)$ 는 주기성분, $Z_R(t)$ 는 無作爲 成分의 時系列을 의미한다.

傾向成分(trend component)은 일반적으로 다음과 같은 1차 식으로 가정한다.

$$Z_T(t) = a + b(t - \mu_t) \text{----- (2)}$$

여기서 각 계수는 다음 식으로 구한다.

-
- 5) 심재현, 전계서, 1986; _____, "월유량에 대한 일변량 및 다변량 AR 모형의 비교", 한국수문학회지, 제23권 제1호, 1990. 3; _____, "多變量 AR(1) 模型에 의한 月流量 模擬發生", 제29회 수공학연구발표회 논문초록집, 한국수문학회, pp.171~181, 1987.
- 6) 건설부, 한국수문조사년보, 1972~1987.
- 7) 건설부, 국제수문조사서, 우량, 수위편, 1962~1978.
- 8) 건설부, 국제수문개발계획 (IHP) 대표유역 연구조사보고서, 1982~1985.
- 9) 심재현, 전계서, 1987.

$$\begin{aligned} \mu_t &= \frac{\sum_{j=1}^N t_j}{N} \\ a &= \frac{\sum_{j=1}^N Z(j)}{N} \quad \text{-----} \quad (3) \\ b &= \frac{\sum_{j=1}^N t_j Z(j) - N \mu_t a}{\sum_{j=1}^N t_j^2 - N \mu_t^2} \end{aligned}$$

週期成分 (periodic component)은 다음과 같은 Fourier 級數의 형태이다.

$$Z_F(t) = \sum_{k=1}^h (A_k \sin(\frac{2\pi kt}{w}) + B_k \cos(\frac{2\pi kt}{w})) \quad \text{-----} \quad (4)$$

w는 주기를 나타내며, 월자료에서는 12, 일자료에서는 365가 된다. 또한 h는 調和數 (harmonic number)로 w/2가 되어, k번째 조화수의 주기성분 계수 A_k, B_k는 다음 식으로 구한다.

$$A_k = \frac{2}{N} \sum_{j=1}^N \phi_j \sin(\frac{2\pi kt}{w}), \quad B_k = \frac{2}{N} \sum_{j=1}^N \phi_j \cos(\frac{2\pi kt}{w}) \quad \text{-----} \quad (5)$$

여기서 $\phi_j = Z(j) - Z_T(j)$ 로 원자료에서 경향성분을 제거한 계열이다.

無作為成分 (random component)은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$Z_R(t) = z_n \cdot \sigma_z^2 \quad \text{-----} \quad (6)$$

여기서 σ_w^2 는 無作為成分의 分散, Z_n은 N(0, 1)의 正規分布 變量을 의미한다.

Ⅲ. 基本 統計量의 解析

1. 正規性 (normality)

자료의 특성분포가 정규분포에 적합한 지를 판단하는 방법중 하나로 본 연구에서는 歪曲度技法을 사용하였다.¹⁰⁾

10) Adamowski, K. and Smith, A. F., "Stochastic Generation of Rainfall.", Journal of Hydraulics Division, ASCE, Vol. 98, NO. HY11, pp. 1935~1945, 1972; Yevjevich, V., et al, op. cit., 1980; Yevjevich, V., op. cit., 1972.

$$g = \frac{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (X_t - \mu)^3}{\left[\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (X_t - \mu)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \text{----- (7)}$$

여기서 g 는 시계열 X_t 에 대한 歪曲度係數이며, N 은 자료수, μ 는 평균이다. 윗 식을 컴퓨터 상에서 계산할 때 유발되는 切斷誤差(truncation error)를 고려하여 다음과 같이 변환하여 프로그램을 구성하였다.

$$\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (X_t - \mu)^2 = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N X_t^2 - \mu^2 \text{----- (8)}$$

$$\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (X_t - \mu)^3 = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N X_t^3 - \frac{3\mu}{N} \sum_{t=1}^N X_t^2 + 2\mu^3 \text{----- (9)}$$

만약 시계열이 정규분포를 만족한다면 다음과 같은 信賴限度(confidence limit) 내에 포함되어야 한다.¹¹⁾

$$\left[-U_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{6}{N}}, U_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{6}{N}} \right] \text{----- (10)}$$

$U_{1-\frac{\alpha}{2}}$ 는 標準正規分布에서 $1-\frac{\alpha}{2}$ 에 해당하는 값이다.

2. 定常性(stationarity)

통계학적으로 자료가 정상성을 가진다는 것은 시계열 X_t 의 통계적 특성이 임의의 遲滯數(lag) k 에서의 X_{t-k} 에서도 동일하다는 것으로 이를 強定常性(strict stationarity)이라 하며, 일반적으로 2차 모멘트까지 정상성을 가진다고 가정하는 데 이를 弱定常性(weakly stationarity)이라 한다. 본 연구에서는 약정상성을 가진 시계열로 변환시키기 위하여 Young-Pisano의 定常化 技法을 사용하였다.¹²⁾

$$Z = \frac{X_{v,m} - \mu_m}{\sigma_m} \text{----- (11)}$$

여기서 v 는 자료년수, m 은 월을 나타내며 정상화된 $Z_{v,m}$ 계열은 평균 0, 분산 1의 정규분포에 근사하게 된다. 만약 근사하지 않는 경우 다시 윗 식을 사용하게 되는데

12) Ledolter, J., "The Analysis of Multivariate Time Series Applied to Problems in Hydrology", Journal of Hydrology, Vol. 33, pp.99~121, 1977.

이를 fitted Z_t 계열이라 한다.¹³⁾

3. 週期性(periodicity)

일반적으로 시계열은 주기성과 무작위성 성분의 線形的 組合으로 가정하며 주기성분은 平均, 標準偏差, 系列相關係數 등에서 나타나므로 Fourier 해석을 통해 보정하게 된다. 월별 평균에 대한 주기성분은 다음 식으로 나타낼 수 있다.¹⁴⁾

$$\mu_m = \mu + \sum_{k=1}^h [A_k \cos(\frac{2\pi km}{\omega}) + B_k \sin(\frac{2\pi km}{\omega})] \text{ ----- (12)}$$

h 는 조화수로 보통 $\omega/2$, $(\omega-1)/2$ 를 택하며, 調和係數 A_k, B_k 는 다음식으로부터 구한다.

$$\begin{aligned} A_k &= \frac{2}{\omega} \sum_{m=1}^{\omega} \mu_m \cos(\frac{2\pi km}{\omega}) \\ B_k &= \frac{2}{\omega} \sum_{m=1}^{\omega} \mu_m \sin(\frac{2\pi km}{\omega}) \text{ ----- (13)} \\ \mu &= \frac{1}{\omega} \sum_{m=1}^{\omega} \mu_m \end{aligned}$$

위와 마찬가지로 월별 표준편차는 다음과 같이 나타내어진다.

$$\sigma_m = \sigma + \sum_{k=1}^h [sA_k \cos(\frac{2\pi km}{\omega}) + sB_k \sin(\frac{2\pi km}{\omega})] \text{ ---- (14)}$$

윗 식의 sA_k, sB_k 는 식(13)에서 ω 대신 σ 를 대입하면 구할 수 있다. 위와 같은 식들을 사용하여 기본통계량의 주기성분을 보정하면 계산 통계량이 母集團의 특성을 나타낸다고 볼 수 있다.

4. 無作為性(randomness)

자연현상을 구현할 때 수식으로 나타낼 수 없는 무작위성을 等確率性和 不規則性을 가진 均等亂數(uniform random number)로 컴퓨터 상에서 모의발생하는 데, 본 연구에서는 混合型 合同法(mixed congruential method)을 사용하였다.¹⁵⁾

13) Matalas, N. C., "Mathematical Assessment of Synthetic Hydrology", Water Resources Research, Vol. 3, No. 4, pp.937~945, 1967.

14) Yevjevich, v., Salas, J.D., and Delleur, J.W., op.cit., 1980.

15) 심재현, 전제서., 1986.

$$X_{n+1} = (aX_n + c) \text{ mod}(m) \text{ ----- (15)}$$

여기서 X_{n+1} 은 aX_n+c 를 정수 m 으로 나눈 나머지를 의미하며, 본 연구에서는 AT&T에서 추천한 $a=210$, $c=3$, $m=220$, $X_1=566387$ 의 값을 사용하였다.

5. 相關性(correlation)

k 만큼 遲滯된 時系列의 自體變量間에 존재하는 상관성의 척도를 自己相關係數 (autocorrelation coefficient)라 하며 다음과 같이 정의한다.¹⁶⁾

$$\gamma_k = \frac{\sum_{t=1}^{N-k} (X_t - \mu) \cdot (X_{t+k} - \mu)}{\sum_{t=1}^N (X_t - \mu)^2} \text{ ----- (16)}$$

月流量과 같이 주기성을 가진 시계열의 月別 相關係數 $\gamma_{k,m}$ 는 다음과 같다.

$$\gamma_{k,m} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{v=1}^N (X_{v,m} - \mu_m) \cdot (X_{v,m-k} - \mu_{m-k})}{S_m \cdot S_{m-k}} \text{ ----- (17)}$$

여기서 m 은 월, S_m 은 m 월의 표준편차를 나타낸다.

또한 i, j 지점간의 지체수 k 에 대한 相互相關係數(cross correlation coefficient) γ_k^{ij} 는 다음 식으로 구한다.

$$\gamma_k^{ij} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{v=1}^N (X_{v,m}^{(i)} - \mu_m^{(i)}) \cdot (X_{v,m-k}^{(j)} - \mu_{m-k}^{(j)})}{S_m^{(i)} \cdot S_{m-k}^{(j)}} \text{ ----- (18)}$$

16) Yevjevich, v., Salas, J. D., and Delleur, J. W., op. cit., 1980.

IV. 適用 模擬發生 模型

1. 一變量 1次 自己回歸模型(univariate AR(1) model)

v를 년수, m을 월이라 하면 다음과 같은 모형으로 나타내어 진다.¹⁷⁾

$$Z_{v,m} = \phi_1(m) \cdot Z_{v,m-1} + \sigma_m \cdot \varepsilon_{v,m} \text{ ----- (19)}$$

$$\sigma_m = \sqrt{1 - \phi_1^2(m)} \text{ ----- (20)}$$

여기서 $\phi_1(m)$ 은 식(17)의 $\gamma_{1,m}$ 으로 대치할 수 있는 媒介變數이며, σ_m 은 無作為成分, $\varepsilon_{v,m}$ 은 標準正規亂數이다.

2. 一變量 2次 自己回歸模型(univariate AR(2) model)

$$Z_{v,m} = \phi_1(m) \cdot Z_{v,m-1} + \phi_2(m) \cdot Z_{v,m-2} + \sigma_m \cdot \varepsilon_{v,m} \text{ ---- (21)}$$

윗 식의 매개변수 $\phi_1(m)$, $\phi_2(m)$ 은 다음 식으로 구한다.¹⁸⁾

$$\phi_1(m) = \frac{\gamma_{1,m} - \gamma_{1,m-1} \cdot \gamma_{2,m}}{1 - \gamma_{1,m-1}^2} \text{ ----- (22)}$$

$$\phi_2(m) = \frac{\gamma_{2,m} - \gamma_{1,m} \cdot \gamma_{1,m-1}}{1 - \gamma_{1,m-1}^2} \text{ ----- (23)}$$

$$\sigma_m = 1 - \sum_{k=1}^2 \phi_k(m) \cdot \gamma_{k,m} \text{ ----- (24)}$$

-
- 17) Adamowski, K. and Smith, A. F., "Stochastic Generation of Rainfall.", Journal of Hydraulics Division, ASCE, Vol.98, NO. HY11, pp.1935~1945, 1972; Pinkayan, S. and Khaleel, R., "A Multivariate Mathematical Model of Monthly River Flow", Mathematical Models in Hydrology, Symposium, Vol.1, pp.279~288, No.100, UNESCO/IAHS Publication, 1974.
- 18) Rao, R. A. and Kashyap, R. L., "Stochastic Modeling of River Flows", IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. AC-19, No.6, pp.874~881, 1974.

3. 一變量 ARMA(1,1) 模型(univariate ARMA(1,1) model)

$$Z_{v,m} = \Phi_1(m) \cdot Z_{v,m-1} + \theta_m \cdot \varepsilon_{v,m-1} + \varepsilon_{v,m} \text{ ----- (25)}$$

윗 식에서 매개변수 $\Phi_1(m)$, θ_m 은 식(17)의 상관계수를 다음과 같이 연립하여 구할 수 있다.¹⁹⁾

$$\gamma_{2,m} = \gamma_{1,m} \cdot \Phi_1(m) \text{ ----- (26)}$$

$$\gamma_{1,m} = \frac{(1 - \theta_m \cdot \Phi_1(m)) \cdot (\Phi_1(m) - \theta_m)}{1 + \theta_m^2 - 2 \cdot \Phi_1(m) \cdot \theta_m} \text{ ----- (27)}$$

4. 多變量 1次 自己回歸模型(multivariate AR(1) model)

$$Z_t = A_1 Z_{t-1} + B E_t \text{ ----- (28)}$$

여기서 A_1 , B 行列은 식(18)의 相互相關係數를 母數로 갖는 $n \times n$ 行列이며, n 은 지점의 갯수를 의미한다.²⁰⁾

$$A_1 = M_1 M_0 \text{ ----- (29)}$$

$$D = B B^T = M_0 - A_1 M_1^T \text{ ----- (30)}$$

따라서 遲滯數 k 에 대한 지점별 相互相關係數의 行列群을 나타내는 M_k 行列은 다음과 같이 정의한다. 식에서 T 는 轉置行列(transpose matrix)를 의미한다.

$$M_k = E[Z_t Z_{t-k}^T] \\ = \begin{bmatrix} \gamma_k^{11} & \gamma_k^{12} & \gamma_k^{13} & \dots & \gamma_k^{1n} \\ \gamma_k^{21} & \gamma_k^{22} & \gamma_k^{23} & \dots & \gamma_k^{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \gamma_k^{n1} & \gamma_k^{n2} & \gamma_k^{n3} & \dots & \gamma_k^{nn} \end{bmatrix} \text{ ----- (31)}$$

19) Yevjevich, v., Salas, J.D., and Delleur, J.W. op.cit., 1980.

20) Fiering, M. B., "Multivariate Techniques for Synthetic Hydrology", Journal of Hydraulics Division, ASCE, Vol. 90, NO. HY5, pp. 43~60, 1964.

5. 多變量 2次 自己回歸模型(multivariate AR(2) model)

$$Z_t = A_1 Z_{t-1} + A_2 Z_{t-2} + B E_t \text{ ----- (32)}$$

여기서 A_1, A_2, B 行列은 다음과 같은 복잡한 行列式的 연산을 통해 구한다.²¹⁾

$$A_1 = [M_1 - M_2 M_0^{-1} M_1^T] [M_0 - M_1 M_0^{-1} M_1^T]^{-1} \text{ ----- (33)}$$

$$A_2 = [M_2 - M_1 M_0^{-1} M_1] [M_0 - M_1^T M_0^{-1} M_1]^{-1} \text{ ----- (34)}$$

$$D = B B^T = M_0 - [A_1 M_1^T + A_2 M_2^T] \text{ ----- (35)}$$

6. 多變量 ARMA(1, 1) 模型(multivariate ARMA(1, 1) model)

$$Z_t = A Z_{t-1} + B E_t - C E_{t-1} \text{ ----- (36)}$$

여기서 A, B, C 行列은 다음과 같은 복잡한 行列式的 연산을 통해 구한다.²²⁾

$$M_0 = A M_1^T + B B^T - C B^T A^T + C C^T \text{ ----- (37)}$$

$$M_1 = A M_0 - C B^T \text{ ----- (38)}$$

$$M_2 = A M_1 \text{ ----- (39)}$$

$$A = M_2 M_1^{-1} \text{ ----- (40)}$$

$$B B^T + C C^T = F = M_0 - M_2 M_1^{-1} M_1^T + [M_2 M_1^{-1} M_0 - M_1] [M_2 M_1^{-1}]^T \text{ -- (41)}$$

$$C B^T = M_2 M_1^{-1} M_0 - M_1 = G \text{ ----- (42)}$$

$$(B + C)(B + C)^T = F + G + G^T \text{ ----- (43)}$$

$$(B - C)(B - C)^T = F - G - G^T \text{ ----- (44)}$$

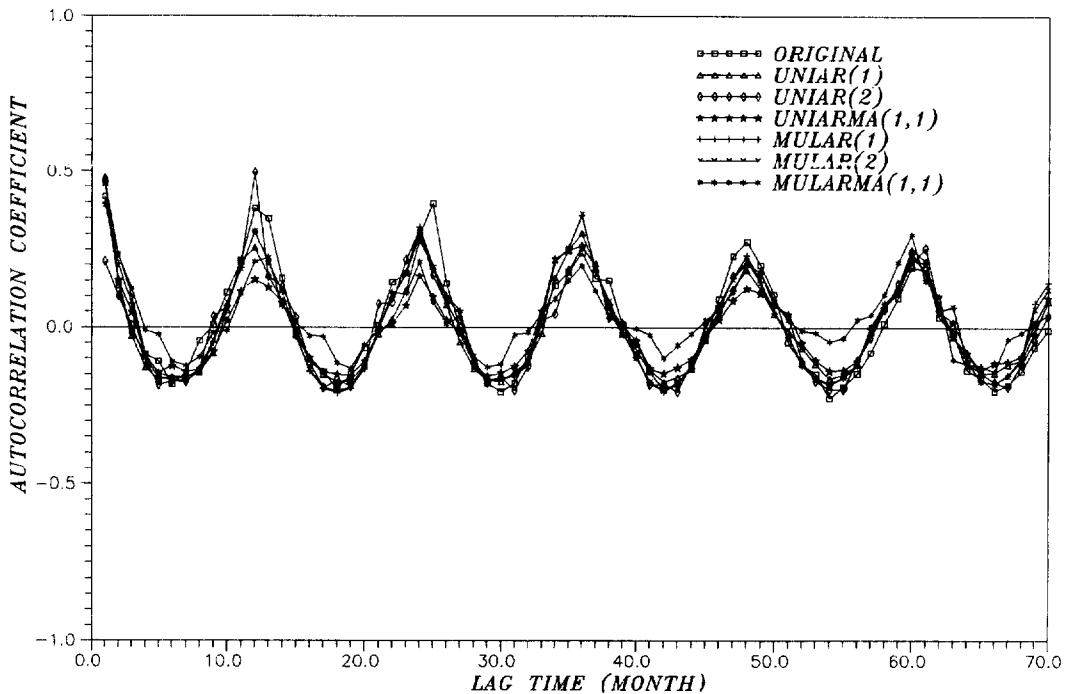
21) Yevjevich, v., Salas, J.D., and Delleur, J.W., op.cit., 1980.

22) Young, G.K. and Pisano, W.C., "Operational Hydrology Using Residuals", Journal of Hydraulics Division, ASCE, Vol.94, NO.HY4, pp.909~923, 1968.

V. 分析結果의 考察

1. 地點別 分析

월유량의 週期성을 판별하기 위해 自己相關係數를 구하여 지체수별로 도시한 그림을 (correlogram)이라 하며, <그림 1>은 4개 지점중 旌善地點에 대한 correlogram을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 12개월 주기가 뚜렷하였으며 이러한 현상은 4개 지점에서 모두 나타났다. 따라서 正常성이 없는 時系列로 판명되어 이를 정상화시키는 자료변환이 필요하였다.



<그림 1> 旌善地點의 原系列과 模擬發生系列의 correlogram

또한 原時系列에 대하여 식(10)을 사용하여 歪曲度係數를 구한 결과 모두 非正規성을 나타내는 큰 편차를 보이고 있었다. 따라서 정상성과 정규성을 가지는 資料로 변환하기 위해 自然代數를 취하고, 식(11)을 사용하여 Fitted Z_t series로 변환시킨 결과, 4개 지점 모두 오차 3% 미만의 $N(0, 1)$ 의 계열로 적합시킬 수 있었다. 그리고 資料年限內에 母集團과 相異한 週期성을 제거하기 위하여 식(12)~(14)의 Fourier 해석을 통해 자료를 補整하였다.

위와 같은 절차를 거친 변환자료를 사용하여 각각의 일변량 모형에 적용하기 위하여 상관 계수를 모수로 가지는 각 모형의 계수들을 구하였다. <표 1>~<표 3>은 일변량 AR(1), AR(2), ARMA(1, 1) 모형의 모수를 표로 나타낸 것이다.

<표 1> 일변량 AR(1) 모형의 모수 $\theta_1(m)$

지점명 월	단 양	정 선	영 월	평 창
1	0.1161	0.3084	0.4545	0.6800
2	0.8075	0.5673	0.7822	0.7997
3	0.8275	0.2164	0.7517	0.8200
4	0.6067	0.5877	0.4016	0.8477
5	0.7954	0.4816	0.7581	0.7606
6	0.6401	-0.0108	0.5231	0.5918
7	0.5760	0.3005	0.6033	0.3062
8	0.2998	0.2650	0.3321	0.2119
9	0.3037	0.5334	0.3180	0.6470
10	0.5075	0.5371	0.3873	0.5984
11	0.7947	0.6811	0.3546	0.6440
12	0.6029	0.7003	0.9035	0.6959

<표 2> 일변량 AR(2) 모형의 모수 $\theta_1(m)$, $\theta_2(m)$

지점명 월	단 양		정 선		영 월		평 창	
	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_1	ϕ_2
1	0.0975	0.0309	0.4584	-0.2143	0.3293	0.1385	0.4194	0.3745
2	0.8006	0.0596	0.5394	0.0903	0.8560	-0.1623	0.7862	0.0199
3	0.7788	0.0603	0.2226	-0.0108	0.6393	0.1437	0.8123	0.0096
4	0.5568	0.0603	0.5699	0.0822	0.2283	0.2305	0.9252	-0.0945
5	0.7280	0.1112	0.3481	0.2272	0.7222	0.0893	0.3748	0.4551
6	0.8536	-0.2684	-0.0512	0.0839	0.4746	0.0641	0.6711	-0.1043
7	0.5353	0.0634	0.3006	0.0091	0.6124	-0.0173	0.3635	-0.0970
8	0.2375	0.1082	0.2717	-0.0220	-0.1111	0.7346	0.0537	0.5166
9	0.2422	0.2051	0.4861	0.1785	0.2624	0.1674	0.6362	0.0508
10	0.5845	-0.2535	0.4264	0.2075	0.2942	0.2930	0.2418	0.5512
11	0.9018	-0.2110	0.6000	0.1509	0.3079	0.1206	0.5127	0.2194
12	0.4886	0.1439	0.6938	0.0096	0.8904	0.0370	0.4718	0.3479

〈표 3〉 일변량 ARMA(1, 1) 모형의 모수 $\phi_1(m)$, $\theta(m)$

월	단 양		정 선		영 월		평 창	
	ϕ_1	θ	ϕ_1	θ	ϕ_1	θ	ϕ_1	θ
1	0.7726	0.0728	0.3463	0.0419	0.9595	0.0596	0.9800	0.0392
2	0.1889	0.0122	0.4525	-0.1709	0.2898	-0.1009	0.6935	-0.0138
3	0.8329	0.0170	0.5333	0.0344	0.8565	0.0496	0.8039	-0.0492
4	0.8587	0.0292	0.3497	-0.0840	0.7012	-0.0840	0.7834	-0.0379
5	0.6950	-0.0881	0.8964	0.0801	0.5003	0.0021	0.6160	0.0041
6	0.6413	0.0020	0.7629	-0.0828	0.8102	0.0165	0.6864	0.1467
7	0.7050	0.0956	0.4196	-0.0117	0.5022	-0.1604	0.3860	0.0881
8	0.8172	0.0946	0.2249	-0.0431	0.7102	0.0360	0.5158	0.0386
9	0.9144	0.0331	0.5761	0.0598	0.8003	0.0599	0.2869	0.0599
10	-0.1498	0.0027	0.8099	0.0037	0.9979	0.1500	0.1825	0.0500
11	0.3104	0.0310	0.6948	0.0255	0.6763	0.0753	0.8172	0.0083
12	0.8827	0.0827	0.6884	-0.0233	0.3904	-0.0233	0.9366	0.1436

2. 多地點 分析

전술한 각 지점별 해석을 기초로 多變量 模型化를 위해 相互相關係數 系列로 나타나는 母數行列을 구하였으며, 이를 丹陽, 旌善, 寧越, 平昌 순서의 行列群으로 나타낸 것이 〈표 4〉이다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 각 相關係數들이 비교적 큰 값으로 나타난 것은 다변량 모형의 적용 타당성을 보이는 것으로 생각된다.

〈표 4〉 遲滯數別 相互相關係數의 母數行列群

$$M_0 = \begin{bmatrix} 1.0000 & 0.2689 & 0.2904 & -0.0280 \\ 0.2689 & 1.0000 & 0.0667 & -0.0601 \\ 0.2904 & 0.0667 & 1.0000 & 0.3012 \\ -0.0280 & -0.0601 & 0.3012 & 1.0000 \end{bmatrix}$$

$$M_1 = \begin{bmatrix} 0.6469 & 0.1661 & 0.1591 & -0.0964 \\ 0.2831 & 0.4792 & -0.0981 & -0.1692 \\ 0.2206 & -0.1441 & 0.5977 & 0.1606 \\ -0.0816 & -0.1466 & 0.1706 & 0.6476 \end{bmatrix}$$

$$M_2 = \begin{bmatrix} 0.4370 & 0.1913 & 0.1302 & -0.1168 \\ 0.2523 & 0.3197 & -0.1161 & -0.1541 \\ 0.2288 & -0.1148 & 0.4808 & 0.1430 \\ -0.1038 & -0.1832 & 0.1510 & 0.5147 \end{bmatrix}$$

또한 위의 결과를 다변량 AR(1) 모형의 母數行列群으로 변환한 것이 <표 5>, 다변량 AR(2)의 母數行列群은 <표 6>, 다변량 ARMA(1, 1)의 母數行列群은 <표 7>에 나타내었다. <표 5>~<표 7>을 비교해 보면 다변량 AR(1), AR(2)의 母數값이 큰 수치를 나타내어 적용 타당성을 입증해 주는 반면, 다변량 ARMA(1, 1) 모형의 母數群중 移動平均의 母數群인 C 行列의 수치가 작은 값을 나타낸 것은 본 연구에서 사용한 자료에서는 移動平均 成分이 自己回歸成分에 비하여 상대적으로 작다는 것을 의미한다.

<표 5> 多變量 AR(1) 模型의 母數行列群

$$A = \begin{bmatrix} 0.6498 & -0.0128 & -0.0054 & -0.0773 \\ 0.2126 & 0.4275 & -0.1616 & -0.0889 \\ 0.1062 & -0.2135 & 0.5892 & -0.0267 \\ -0.0355 & -0.0980 & -0.0061 & 0.6425 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0.7584 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.1021 & 0.8328 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.2121 & 0.2049 & 0.7148 & 0.0000 \\ 0.0978 & 0.1141 & 0.2115 & 0.7074 \end{bmatrix}$$

<표 6> 多變量 AR(2) 模型의 母數行列群

$$A_1 = \begin{bmatrix} 0.6387 & -0.0563 & -0.0163 & -0.0432 \\ 0.1895 & 0.3949 & -0.1302 & -0.1069 \\ 0.0333 & -0.2177 & 0.5189 & -0.0219 \\ -0.0092 & -0.0320 & -0.0535 & 0.5472 \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} -0.0014 & 0.0981 & 0.0469 & -0.0424 \\ 0.0333 & 0.0602 & -0.0361 & 0.0365 \\ 0.1166 & 0.0176 & 0.1091 & 0.0116 \\ -0.0231 & -0.0831 & 0.0583 & 0.1395 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0.7519 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0984 & 0.8309 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.2037 & 0.2025 & 0.7024 & 0.0000 \\ 0.1053 & 0.1149 & 0.2075 & 0.6955 \end{bmatrix}$$

〈표 7〉 多變量 ARMA(1, 1) 模型의 母數行列群

$$A = \begin{bmatrix} 0.5401 & 0.2300 & 0.0992 & -0.0412 \\ 0.2067 & 0.5502 & -0.1668 & 0.0381 \\ 0.0923 & 0.0184 & 0.7996 & 0.0936 \\ -0.0387 & -0.0792 & 0.0632 & 0.8162 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0.8124 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ -0.1369 & 0.7308 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0966 & 0.1179 & 0.5373 & 0.0000 \\ 0.0341 & 0.0110 & 0.0148 & 0.5455 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} -0.0007 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0132 & 0.0464 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0628 & 0.1683 & 0.0891 & 0.0000 \\ 0.0045 & 0.0193 & 0.1430 & 0.1019 \end{bmatrix}$$

3. 模擬發生

Ⅲ 절에서 언급한 각각의 모형을 사용하여 월유량을 모의발생하였는데, 발생년수는 100년으로 정하였으며 亂數의 初期值 影響이나 각 모형에서의 初期值를 假定한 것에 대한 偏倚性 (biasedness)를 고려하여 前半部 50년의 수치를 제거한 나머지 後半部 50년의 模擬發生系列을 채택하였다. 각각의 모형별 모의발생치와 원자료계열의 기본통계량을 지점별로 비교한 것이 표 〈표 8〉~〈표 11〉이다. *표에서 알 수 있는 바와 같이 각 지점에 대하여 전반적으로 일변량 모형에 의한 모의발생결과에 비하여 다변량 모형에 의한 결과가 양호한 수치를 나타내고 있다. 또한 다변량 모형중에서는 각 지점별로 상이한 결과를 나타내어 적정 모형을 판단하기는 어려우나 AR(1), AR(2) 모형이 ARMA(1, 1) 모형에 비해 양호한 결과를 보이고 있다. 이는 〈그림 1〉에서 다른 모형에 의한 correlogram의 결과에 비하여 다변량 ARMA(1, 1) 모형의 相關係數系列이 차이를 보이는 것을 입증해 준다고 파악된다. 또한 각 지점별로 살펴보면 缺測值가 7~8개가 존재했던 丹陽, 平昌地點의 模擬發生 結果가 缺測值가 없었던 寧越, 2개 존재하던 旌善地點에 비해 전반적으로 오차가 큰 것으로 파악되었다.

* 표에서 Model 1은 Univariate AR(1), Model 2은 Univariate AR(2), Model 3은 Univariate ARMA(1, 1), Model 4는 Multivariate AR(1), Model 5는 Multivariate AR(2), Model 6은 Multivariate ARMA(1, 1) 모형을 의미한다.

〈표 8〉 丹陽地點의 原系列과 模擬發生系列間的 基本統計量 比較

월	통계량			월	통계량			
	원자료	평균	표준편차		원자료	평균	표준편차	왜곡도
1	원자료	16.04	20.52	7	원자료	319.27	214.27	1.186
	Model1	15.54	24.24		Model1	303.68	210.73	1.065
	Model2	12.64	16.65		Model2	261.05	210.71	1.450
	Model3	11.74	9.63		Model3	312.75	231.84	1.237
	Model4	11.75	9.98		Model4	319.15	243.98	1.372
	Model5	14.60	15.92		Model5	367.57	332.75	1.310
	Model6	12.69	11.19		Model6	319.14	255.35	1.261
2	원자료	29.93	35.95	8	원자료	286.43	299.43	2.800
	Model1	33.90	66.64		Model1	267.37	214.69	1.685
	Model2	20.14	20.47		Model2	233.08	164.96	1.790
	Model3	25.85	32.70		Model3	272.89	237.42	1.959
	Model4	26.02	34.02		Model4	272.01	232.47	1.865
	Model5	39.72	71.31		Model5	343.37	395.04	2.330
	Model6	37.77	66.93		Model6	291.60	257.24	1.572
3	원자료	44.01	40.28	9	원자료	223.11	210.05	1.065
	Model1	53.54	65.29		Model1	251.26	427.30	4.302
	Model2	24.79	14.89		Model2	168.74	225.14	2.530
	Model3	54.33	64.25		Model3	240.86	377.87	4.488
	Model4	53.81	61.64		Model4	237.01	367.71	4.474
	Model5	83.08	144.59		Model5	359.24	758.29	5.300
	Model6	64.30	105.34		Model6	233.99	322.89	3.880
4	원자료	75.75	56.16	10	원자료	49.58	50.85	1.776
	Model1	99.70	122.67		Model1	41.52	45.07	3.142
	Model2	55.23	32.62		Model2	59.93	50.73	1.600
	Model3	98.57	115.46		Model3	43.17	51.15	2.977
	Model4	99.65	122.08		Model4	45.93	59.93	3.421
	Model5	147.42	284.48		Model5	56.63	81.31	2.950
	Model6	106.66	158.88		Model6	53.54	81.71	4.040
5	원자료	105.89	100.03	11	원자료	23.36	30.60	3.177
	Model1	131.66	125.44		Model1	18.98	18.51	1.835
	Model2	74.40	87.71		Model2	40.16	53.17	3.910
	Model3	121.68	108.28		Model3	19.35	19.63	1.697
	Model4	122.10	107.35		Model4	20.63	22.83	1.928
	Model5	166.41	182.88		Model5	26.87	36.73	2.350
	Model6	119.60	100.00		Model6	23.42	30.47	2.894
6	원자료	141.17	118.56	12	원자료	15.86	19.96	1.957
	Model1	205.06	247.67		Model1	12.21	12.29	1.425
	Model2	121.65	145.89		Model2	14.19	16.51	2.150
	Model3	200.35	259.86		Model3	12.71	13.88	1.714
	Model4	197.30	256.13		Model4	13.16	14.94	1.816
	Model5	301.63	475.48		Model5	17.80	26.22	2.770
	Model6	219.83	254.89		Model6	13.43	16.05	1.980

〈표 9〉 旌善地點의 原系列과 模擬發生系列間의 基本統計量 比較

년	통계량			월	통계량				
	평균	표준편차	왜곡도		평균	표준편차	왜곡도		
1	원자료	7.78	5.93	1.462	7	원자료	77.17	49.63	0.620
	Model1	9.95	7.17	1.596		Model1	84.96	68.98	1.049
	Model2	7.44	8.07	2.890		Model2	91.41	106.20	3.010
	Model3	9.17	6.22	0.922		Model3	95.24	101.21	2.319
	Model4	9.13	6.28	1.200		Model4	97.64	106.92	2.576
	Model5	11.01	9.40	1.830		Model5	99.01	94.22	1.430
	Model6	8.79	5.49	1.000		Model6	91.91	86.58	2.066
2	원자료	10.72	6.66	1.511	8	원자료	71.61	47.08	0.465
	Model1	11.54	9.01	4.499		Model1	78.17	87.18	3.656
	Model2	10.57	8.17	1.900		Model2	98.93	68.89	2.000
	Model3	10.92	8.32	3.464		Model3	68.47	51.64	2.158
	Model4	10.83	7.93	3.274		Model4	68.24	50.64	2.108
	Model5	11.81	11.22	5.110		Model5	85.57	115.34	4.120
	Model6	10.46	5.46	1.704		Model6	68.37	50.32	1.954
3	원자료	18.64	17.09	3.455	9	원자료	72.87	84.99	3.327
	Model1	18.45	11.14	1.500		Model1	77.51	88.50	3.311
	Model2	19.88	13.92	1.160		Model2	56.04	66.75	3.610
	Model3	17.58	8.97	1.051		Model3	65.28	45.11	1.068
	Model4	17.48	8.68	0.975		Model4	66.16	48.32	1.681
	Model5	19.28	11.75	1.320		Model5	88.12	117.94	3.860
	Model6	16.95	7.81	1.262		Model6	67.65	48.71	1.380
4	원자료	40.39	32.21	2.062	10	원자료	30.92	38.88	2.190
	Model1	43.79	37.69	2.435		Model1	37.60	59.94	4.366
	Model2	45.98	26.64	0.800		Model2	33.78	33.61	1.820
	Model3	42.71	33.33	1.808		Model3	34.77	70.75	5.506
	Model4	42.28	32.26	1.859		Model4	34.36	68.62	5.179
	Model5	47.45	43.75	2.090		Model5	45.94	86.04	4.250
	Model6	40.44	28.09	1.862		Model6	31.04	48.44	4.692
5	원자료	33.00	21.20	1.052	11	원자료	13.91	13.90	2.311
	Model1	36.64	21.90	1.656		Model1	13.45	12.17	2.622
	Model2	55.38	58.37	2.670		Model2	21.85	24.77	3.200
	Model3	34.88	17.78	1.337		Model3	11.63	8.00	0.905
	Model4	35.02	17.65	1.434		Model4	11.61	7.83	0.792
	Model5	39.27	26.71	1.780		Model5	14.18	12.63	1.610
	Model6	34.47	18.47	2.582		Model6	11.72	7.61	0.844
6	원자료	41.44	31.58	1.777	12	원자료	8.56	8.35	1.989
	Model1	32.58	22.87	1.383		Model1	7.98	6.02	1.573
	Model2	50.21	50.01	3.320		Model2	6.90	5.28	1.460
	Model3	37.03	28.29	1.372		Model3	7.52	6.28	2.264
	Model4	37.90	29.37	1.380		Model4	7.62	6.88	2.933
	Model5	37.81	27.31	0.950		Model5	8.96	8.54	2.650
	Model6	35.84	24.83	1.460		Model6	7.54	5.66	2.252

〈표 10〉寧越地點의 原系列과 模擬發生系列間的 基本統計量 比較

월	통계량			월	통계량				
	원자료	평균	표준편차		원자료	평균	표준편차	왜곡도	
1	원자료	57.32	33.27	2.237	7	원자료	283.82	215.50	1.944
	Model1	54.49	24.39	1.022		Model1	300.18	222.40	1.392
	Model2	50.07	22.41	0.780		Model2	346.04	237.89	1.510
	Model3	56.59	25.70	0.844		Model3	305.30	243.57	1.638
	Model4	56.26	25.76	0.921		Model4	306.22	236.23	1.451
	Model5	59.34	35.37	1.140		Model5	374.31	367.41	1.970
	Model6	56.26	24.47	1.162		Model6	296.06	199.90	1.353
2	원자료	57.42	24.92	0.491	8	원자료	220.24	193.87	3.455
	Model1	55.57	25.44	1.403		Model1	242.83	193.74	1.942
	Model2	57.53	23.19	0.430		Model2	228.94	195.21	2.790
	Model3	54.50	23.86	1.231		Model3	248.68	228.11	2.871
	Model4	54.13	22.99	0.931		Model4	246.72	228.79	3.264
	Model5	60.55	37.90	1.730		Model5	283.64	304.39	3.110
	Model6	54.36	20.87	0.970		Model6	232.58	165.73	2.413
3	원자료	81.50	36.74	0.731	9	원자료	190.97	112.33	0.930
	Model1	78.04	37.71	1.302		Model1	202.29	119.62	1.338
	Model2	92.57	32.52	0.920		Model2	203.86	117.69	1.100
	Model3	79.93	39.92	1.096		Model3	196.20	102.10	1.208
	Model4	79.17	38.37	0.956		Model4	196.53	105.53	1.764
	Model5	84.21	50.81	0.920		Model5	228.55	180.64	2.320
	Model6	78.54	34.37	0.912		Model6	196.35	100.41	2.126
4	원자료	154.04	89.17	0.737	10	원자료	92.35	48.68	2.383
	Model1	158.70	78.44	0.738		Model1	86.47	42.33	0.962
	Model2	165.63	114.09	1.860		Model2	91.33	45.97	1.090
	Model3	159.06	103.66	2.584		Model3	87.28	39.88	0.747
	Model4	156.96	101.43	2.574		Model4	88.21	41.61	0.901
	Model5	170.99	114.49	1.540		Model5	95.16	61.06	1.260
	Model6	152.97	80.30	1.685		Model6	89.54	37.67	1.008
5	원자료	116.70	61.66	1.816	11	원자료	80.28	57.28	1.677
	Model1	126.79	55.68	1.211		Model1	74.74	48.66	1.584
	Model2	107.05	68.53	1.980		Model2	88.01	74.77	2.440
	Model3	126.70	54.01	1.352		Model3	74.18	50.23	1.280
	Model4	125.09	51.18	1.069		Model4	75.61	50.03	1.093
	Model5	131.56	67.37	1.650		Model5	87.46	70.21	1.360
	Model6	122.48	46.32	1.306		Model6	75.39	46.08	1.053
6	원자료	119.86	128.02	3.102	12	원자료	67.23	41.71	1.680
	Model1	112.73	80.64	1.611		Model1	67.28	38.71	0.831
	Model2	111.92	55.19	0.780		Model2	57.95	34.89	0.570
	Model3	110.86	79.50	1.416		Model3	71.11	47.05	1.264
	Model4	108.36	73.02	1.029		Model4	71.89	50.01	1.607
	Model5	124.41	100.20	1.430		Model5	88.55	82.18	1.850
	Model6	105.36	59.38	0.789		Model6	70.94	45.02	1.782

〈표 11〉 平昌地點의 原系列과 模擬發生系列間的 基本統計量 比較

통계량		평 균	표준편차	왜곡도	통계량		평 균	표준편차	왜곡도
월					월				
1	원자료	15.75	9.47	0.440	7	원자료	58.86	29.89	0.588
	Model1	17.18	19.01	4.272		Model1	65.92	31.51	0.686
	Model2	8.36	7.89	2.860		Model2	56.91	32.85	1.020
	Model3	17.27	16.78	3.334		Model3	61.91	28.95	0.707
	Model4	17.58	18.18	3.937		Model4	62.53	30.45	0.920
	Model5	23.86	42.40	5.410		Model5	70.58	44.39	1.550
	Model6	17.23	16.93	3.609		Model6	60.56	28.42	1.166
2	원자료	15.56	9.51	0.715	8	원자료	56.86	41.34	0.928
	Model1	17.51	15.29	2.376		Model1	54.78	40.15	1.318
	Model2	24.84	21.37	1.750		Model2	56.55	41.75	1.420
	Model3	17.50	14.10	1.418		Model3	59.32	50.38	2.119
	Model4	18.50	15.27	1.215		Model4	59.25	51.51	2.212
	Model5	24.40	28.02	2.190		Model5	63.98	57.87	1.650
	Model6	17.46	14.22	1.669		Model6	55.70	40.57	1.417
3	원자료	17.17	11.26	0.258	9	원자료	41.54	38.23	1.994
	Model1	22.84	26.77	3.909		Model1	49.39	50.78	2.799
	Model2	37.55	28.83	2.750		Model2	53.78	53.77	2.680
	Model3	23.68	23.68	1.850		Model3	52.60	49.21	1.941
	Model4	24.20	24.94	1.917		Model4	51.62	45.90	1.762
	Model5	37.46	63.35	4.060		Model5	64.94	79.62	2.920
	Model6	22.45	22.22	2.082		Model6	48.14	40.70	1.704
4	원자료	25.49	19.31	0.592	10	원자료	20.19	13.61	0.469
	Model1	32.95	32.29	1.892		Model1	24.36	19.96	1.503
	Model2	50.01	84.83	3.280		Model2	13.66	8.82	1.240
	Model3	35.00	36.40	2.085		Model3	25.43	27.24	3.419
	Model4	34.68	34.09	1.805		Model4	24.95	25.66	2.660
	Model5	44.46	50.87	2.100		Model5	32.99	38.13	2.630
	Model6	31.14	26.95	1.488		Model6	24.13	22.00	2.203
5	원자료	21.42	18.70	2.135	11	원자료	16.94	12.31	0.593
	Model1	19.20	12.94	0.989		Model1	21.83	25.10	2.373
	Model2	13.53	12.59	2.070		Model2	16.98	16.84	2.240
	Model3	19.92	13.88	1.274		Model3	21.05	23.71	2.788
	Model4	20.09	14.15	1.189		Model4	21.82	26.59	3.283
	Model5	21.39	18.96	1.600		Model5	33.11	58.37	4.080
	Model6	19.44	13.16	1.092		Model6	20.06	20.57	2.392
6	원자료	25.10	19.05	2.107	12	원자료	14.13	10.76	0.636
	Model1	22.99	16.27	1.769		Model1	17.82	20.61	2.700
	Model2	25.13	21.13	2.880		Model2	14.28	13.68	1.980
	Model3	22.29	15.48	1.368		Model3	17.77	19.31	2.677
	Model4	23.28	17.31	1.554		Model4	17.91	20.19	3.177
	Model5	27.19	26.42	2.360		Model5	26.93	44.23	4.080
	Model6	22.41	16.00	1.604		Model6	17.07	19.23	3.203

VI. 結 論

본 연구는 一變量 및 多變量 AR(1), AR(2), ARMA(1, 1) 모형을 사용하여 南漢江 上流 4개 관측지점의 月 平均流量의 統計的 特性을 파악하고, 模擬發生한 결과를 비교한 것으로 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 각 대상지점의 月流量 事象의 適定分布型은 自然代數化와 Young-Pisano의 殘差技法을 적용한 결과 代數正規分布에 적합되었다.
2. 실측 월유량과 모의발생한 월유량의 correlogram을 비교한 결과, 모두 12개월의 주기가 뚜렷하고 非正常時系列임을 알 수 있었다.
3. 각 모형에 의해 얻어진 모의발생 결과와 관측 시계열의 기본통계량을 비교한 결과, 일변량 모형에 비해 다변량 모형의 결과가 精確度가 높았으며 대상 지점들의 流量事象에서는 移動平均成分이 自己回歸成分에 비해 상대적으로 작음을 알 수 있었다.
4. 모의발생치들을 지점별, 모형별로 비교한 결과, 결측치가 많거나 적더라도 연속적으로 결측된 丹陽, 平昌地點의 결과가 缺測值가 거의 없는 寧越, 旌善地點의 결과에 비해 精確度가 떨어지는 것을 확인할 수 있었다.
5. 同一水系, 同一流域內的 資料解析에 있어서는 비록 資料年數가 제한되어 觀測資料와 母集團간의 持續性이 차이가 있더라도 共線形性을 고려하는 多變量 模型의 적용이 합리적이 라는 사실을 數值的으로 확인할 수 있었다.