

<論 文>

Disaggregation 模型에 의한 月流量의 推計學的 模擬發生  
A Stochastic Generation of Synthetic Monthly Flow by Disaggregation Model

朴 贊 寧\*  
Park, Chan young

徐 炳 夏\*\*  
Seoh, Byung ha

Abstract

Disaggregation model has recently become a major technique in the field of synthetic generation and the model is possibly one of the most widely accepted tools in stochastic hydrology.

The application of disaggregation model is evaluated with the streamflow data at the Waegwan and Hyunpung stage gauging station on the main stem of the Nakdong River.

The disaggregation process of annual streamflow data and the method of parameter estimation for the model is reviewed and the statistical analysis of the generated monthly streamflows such as computation of moment estimation of covariance and correlogram analysis is made.

The results, disaggregated monthly streamflow, obtained by Disaggregation Basic Model for single site are compared with the historical streamflow data and also with the other model, Thomas-Fiering Model.

The generated monthly streamflow data by two models have been investigated and verified by comparison of mean and standard deviation between the historical and generated data.

要 旨

추계 수문학 분야에서 중요한 기법으로 인정이 되어져 가고 있으며 점차 이용도가 높아져 가고 있는 분해모형(Disaggregation Model)을 국내 하천유량의 모의발생에 적용가능성을 파악하기 위해서 이 모형의 구조와 매개변수 산정 방법과 년유량을 월유량으로 분해시키고 발생유량 계열의 통계학적 분석을 실시하였으며 타모형과의 비교를 위해서 Thomas-Fiering 모형을 사용하여 그 결과들을 비교 검토하여 실무에 적용시킬 수 있는 가능성을 평가하였다.

1. 서 론

수자원 시스템의 정확한 분석을 통한 최적한 개발계획과 운영 및 설계를 위해서는 충분한 량의 수문자료를 필요로하는 것이 주지의 사실이나 실제로는 한정된

짧은 기간의 과거기록치가 대부분이므로, 수학적인 방법에 의해 이와같은 단기간의 자료로부터 통계학적 인자를 추출하고 자료의 추계학적 특성을 파악한 후 그 자료의 특성에 알맞는 방법에 의하여 장기간의 하천유량 자료를 얻어내어 보다 개선된 시스템분석을 실시하고자 하는 것이 하천유량을 모의발생시키는 중요한 목

\* 인하 공업전문대학 토목과 조교수

\*\* 인하 공업전문대학 토목과 교수

적이라 볼 수 있다.

이러한 목적으로 하천유량을 모의발생시키기 위한 여러가지 방법이 많은 사람들에 의해 연구 개발되어져 왔으며 유량자료 계열이 지니고 있는 수문학적 특성에 따라 각각 다른 추계학적 방법에 의해 유량자료를 모의발생 시키게 된다. 또한 하천유량 시계열 자료의 특성에 따라 여러가지의 수학적 모형들이 개발되어 수자원 개발계획에 적용되고 있다.<sup>1,2,3,4,5,6,7)</sup>

이와같은 수학적 모형들 중에서 앞으로 그의 적용이 활발하리라 예상되는 것으로 분해모형<sup>8,9)</sup>(Disaggregation Model)을 들 수 있는바 이 분해모형은 비교적 수문학적 시계열 모형법 중에서 아직까지 보편화 되어져 있지 않은 새로운 기법으로 볼 수 있다.

따라서 이 기법은 연구 개발 검토되어지고 있으며 보다 개선된 분해모형기법<sup>10,11)</sup>이 소개되고는 있으나 국내외적으로 실무에 실제적 적용이 많지 않아 보다 명확한 이 기법의 장단점을 서술하기에는 아직 이른감이 있으나 이 모형이 최근에 와서 시계열 모형의 주요한 기법으로 인정이 되어지고 있으며 또한 이 모형의 특징이 년유량을 필요로 하는 수 만큼의 계절유량으로 모의분해 발생시키는 모형이므로 년유량 자료를 4개의 계절 혹은 12개의 계절유량 즉 월유량으로도 분해시킬수 있으므로 년유량 자료만을 가지는 지역의 각종 수자원 개발계획에 필요한 월유량자료를 제공할 수 있는 장점을 지니고 있다.

따라서 본 연구에서는 분해모형을 표시하는 각종 모형방정식을 간단히 살펴보고 그 중에서 Valencia와 Schake<sup>12,13)</sup>에 의해 제안된 기본분해모형<sup>14,15)</sup>(Basic Model)을 사용하여 과거의 월유량자료를 통계분석하여 이 모형이 필요로 하는 수 만큼의 매개변수를 추정하고 년유량자료를 월유량자료로 분해시킨후 분해발생되어진 자료의 통계특성치를 실측유량 및 Thomas-Fiering 모형<sup>16)</sup>에 의해 발생된 월유량의 통계특성치와 서로 비교 분석하여 본 모형의 국내하천의 유량자료 확장 적용 가능성을 검토해 보고자 한다.

## 2. 모의발생 모형의 구조

### 2.1 분해모형(Disaggregation Model)

원래 이 모형은 Harms와 Campell<sup>17)</sup>에 의해서 개발이 되어졌으며 개발초기에 이 모형은 Thomas-Fiering 모형을 좀더 확장한 형태였고 그후 Valencia와 Schake에 의해 개선이 되었으며 Mejia와 Rousselle<sup>18)</sup>이 이 모형(Basic Model; Valencia and Schake)의 단점을 보다 개선한 진보된 형태의 모형(Extended Model)

을 제시하기에 이르렀으며 그후 Lane<sup>19)</sup>이 실무에 실제적 적용을 위한 컴퓨터 패키지의 개발등과 같은 많은 보완을 하였다.

분해모형의 특징은 년유량 자료를 기본(key)으로 하여 이를 계절 시계열 자료의 성분(sub)으로 분해하는 것으로서 이때 성분의 요소는 월자료가 될 수도 있으며 또한 분해된 월자료를 기본으로 하여 이를 보다 세분된 성분으로 분해할 수가 있다. 즉 자료를 분해할 경우 한 단계에서 한정되는 것이 아니고 분해된 자료가 여러단계로 다시 분해될 수 있으며 년유량 자료를 월유량자료로 까지 분해하는 과정을 표시해 보면 그림(1)과 같으며 여기서 3 단계에 걸친 분해과정을 통해서 월유량자료까지 분해될 수 있음을 알 수 있다.

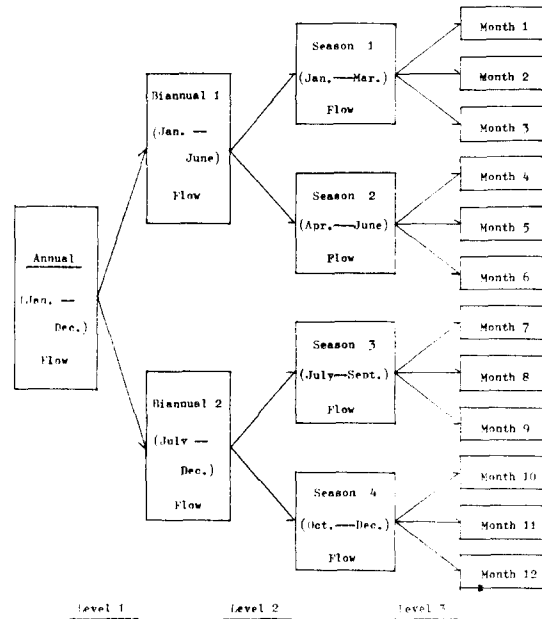


Fig. 1. Disaggregation Scheme in Various Stages.

분해모형의 모형방정식은 모두 수학적으로 비교적 간단한 선형방정식(linear equation)으로 표시가되고 이 분해모형은 크게 시변모형(temporal model)과 공간모형(spatial model)로 구분이 되고 시변모형은 다시 단일지점 및 다지점에 적용하는 모형방정식이 있는바 본 연구에서는 단일지점 해석용 모형(single site temporal disaggregation model)을 선택하였으며 전술한 각 분해모형의 모의발생 방정식을 살펴보면 다음과 같다.

2-1-1 기본모형(Basic Model)

분해모형의 기본모형 발생방정식의 일반식은 다음과 같이 표시된다.

$$Y=A \cdot X+B \cdot \varepsilon \dots \dots \dots (1)$$

여기서 년유량 자료를 계절유량의 값으로 분해하는 경우  $X$ 는 년유량이 되며  $Y$ 는 분해되는 계절유량의 값이며 계절유량의 함이  $X$ 가 되는 벡터(vector)로서 column matrix로 표시한다.

즉 분해모형은 선형모형 방정식의 집합으로서 년유량을 월유량으로 분해할 경우 12개의 선형방정식을 갖게된다. 예를 들어  $m$ 개 지역의 년유량을  $n$ 개의 계절유량으로 분해하고자 할 경우  $X$ 는  $(n \times 1)$ 의 벡터(vector)로 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_1 \\ \vdots \\ x_m \end{pmatrix} \dots \dots \dots (2)$$

또한 벡터  $Y$ 는  $(n \times 1)$ 의 계절유량 벡터로서  $m$ 개 지역의 년유량을 4개 계절의 유량으로 분해한다면 벡터  $Y$ 는 아래와 같은 칸뿔 매트릭스로 표시된다.

$$Y = \begin{pmatrix} y_{1,1} = y_1 \\ \vdots \\ y_{1,4} = y_4 \\ y_{2,1} = y_5 \\ \vdots \\ y_{2,4} = y_8 \\ \vdots \\ y_{m,4} = y_n \end{pmatrix} \dots \dots \dots (3)$$

$A$  및  $B$ 는 실측자료를 통계학적으로 분석하여 추정하는 매개변수로  $A$ 는  $(n \times m)$ 벡터로 표시되며  $B$ 는  $(n \times n)$ 벡터로 표시된다.

$\varepsilon$ 는 평균치가 0이고 표준편차가 1인 정규분포를 가지는 무작위 변량으로서 역시  $(n \times 1)$ 의 벡터로 표시된다.

2-1-2 확장모형(Extended Model)

확장모형 역시 수학적으로 간단한 선형 모형방정식으로 표시되며 기본모형을 좀더 확장한 형태로서 그 방정식을 표시하면 다음과 같다.

$$Y=A \cdot X+B \cdot \varepsilon+C \cdot Z \dots \dots \dots (4)$$

여기서  $Z$ 는 발생하고자 하는 수 만큼의 지난년도와 계절유량 자료의 값을 표시하는 벡터이고  $C$ 는 부가적인 매개변수이다. 즉 부가된 사항은 해당년도와 지난년도 계절 사이의 계절 공분산 값이 고려되어지는 것이며 그외 모든 항은 기본모형과 동일하다.

2-1-3 응축모형(Condensed Model)

이 모형방정식은 전술한 (4)식으로 표시되는 확장모형 방정식에서 매개변수 값의 일부를 0으로 취하고 (4)식을 보다 개선한 모형방정식으로 다음과 같이 표시한다.

$$Y_{\tau}=A_{\tau} \cdot X+B_{\tau} \cdot \varepsilon+C_{\tau} \cdot Y_{\tau-1} \dots \dots \dots (5)$$

여기서  $\tau$ 는 발생시킬 계절을 표시하는 것으로  $n$ 개의 계절유량을 산정하고자 할 경우  $n$ 개의 (5)식과 같은 방정식을 갖게된다.

2.2 Thomas-Fiering 모형

계절유량, 특히 월유량 자료의 모의발생에 주로 이용되는 Thomas-Fiering 모형은 단일지점 뿐만 아니라 다지점 해석을 위해서도 이용이 되며 이는 1차 Markov 형태의 모형으로서 단일변량 해석을 위한 모형발생 방정식<sup>20,21)</sup>은 다음과 같이 표시한다.

$$Q_{t,j}=\bar{Q}_j-b_j(Q_{t,j-1}-\bar{Q}_j)+\varepsilon \cdot S_j \sqrt{1-r_j^2} \dots \dots (6)$$

- 여기서,  $Q_j$  :  $j$  계절(월)의 모의발생유량
- $\bar{Q}_j$  : " 관측유량 평균치
- $S_j$  : " " "
- $r_j$  :  $j$  계절(월)과  $(j-1)$ 계절유량간의 계절상관계수
- $b_j$  : 계절유량의 상관식의 경사(slope)
- $\varepsilon$  : 평균치가 0이고 분산이 1인 정규 분포난수

이러 월유량 관측치로부터 각종 통계치가 산정되었던 이를 난수발생치와 함께 (6)식에 대입하므로써 모의발생 유량을 얻게되고 (6)식은 순환방정식(recursive equation)이므로 요구되는 크기 만큼의 월유량을 계속하여 얻을 수 있다.

3. 모의발생 과정 및 매개변수의 추정

본 연구에서는 전술한 바와같이 분해모형중 단일지점 해석을 위한 기본모형을 선정하여 이 모형방정식에서 사용되는 매개변수 추정방법과 이를 이용하여 월유량의 발생과정을 서술하고 타 모형과 비교를 위하여 선정된 Thomas-Fiering 모형의 유량발생과정을 살펴보면 다음과 같다.

3.1 분해모형의 구성

분해모형의 기본모형방정식은 전술한 (1)식으로 표시가 되며 이 모형방정식을 벡터의 항으로 표시하면

다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} y_{v,1} \\ y_{v,2} \\ \vdots \\ y_{v,n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} x_v + \begin{bmatrix} b_{1,1} & b_{1,2} & \dots & b_{1,n} \\ b_{2,1} & b_{2,2} & \dots & b_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ b_{n,1} & b_{n,2} & \dots & b_{n,n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{v,1} \\ \varepsilon_{v,2} \\ \vdots \\ \varepsilon_{v,n} \end{bmatrix} \dots (7)$$

여기서  $y$ 는 분해되어 발생되는 계절유량의 값이되며  $x$ 는 년유량 시계열 자료이다.

$a_i$  및  $b_{i,j}$ 가 유량자료로부터 결정해야 할 모형의 매개변수이고  $\varepsilon$ 는 평균값이 0이고 분산이 1인 정규 분포를 가지는 무작위 변량의 값이다.

또한 여기서 년유량자료를 모의분해시킬 각각의 계절유량의 항으로 표시하면

$$\left. \begin{aligned} y_{v,1} &= a_1 x_v + b_{1,1} \varepsilon_{v,1} \\ y_{v,2} &= a_2 x_v + b_{2,1} \varepsilon_{v,1} + b_{2,2} \varepsilon_{v,2} \\ y_{v,3} &= a_3 x_v + b_{3,1} \varepsilon_{v,1} + b_{3,2} \varepsilon_{v,2} + b_{3,3} \varepsilon_{v,3} \\ &\vdots \\ y_{v,n} &= a_n x_v + b_{n,1} \varepsilon_{v,1} + b_{n,2} \varepsilon_{v,2} + \dots + b_{n,n} \varepsilon_{v,n} \end{aligned} \right\} \dots (8)$$

와 같으며 분해된 계절유량의 합은 년유량과 같게 된다. 즉

$$\sum_{\tau=1}^n y_{v,\tau} = (a_1 + a_2 + \dots + a_n) x_v + (b_{1,1} + b_{2,1} + \dots + b_{n,1}) \varepsilon_{v,1} + (b_{2,2} + b_{3,2} + \dots + b_{n,2}) \varepsilon_{v,2} + \dots + b_{n,n} \varepsilon_{v,n}$$

와 같이 나타낼 수 있으며 또한 매개변수의 특징은,

$$\left. \begin{aligned} a_1 + a_2 + \dots + a_n &= 1 \\ b_{1,1} + b_{2,1} + \dots + b_{n,1} &= 0 \\ b_{2,2} + b_{3,2} + \dots + b_{n,2} &= 0 \\ &\vdots \\ b_{n,n} &= 0 \end{aligned} \right\} \dots (9)$$

의 값을 갖게된다.

$a_i$  및  $b_{i,j}$ 는 진출한 바와같이 매개변수인데 매개변수  $a_i$ 의 수는 분해하고자 하는 계절의 수와 같고  $b_{i,j}$ 의 수는 (7)식에서 보는데와 같이 정방향렬을 이루므로 분해하고자 하는 계절수의 제곱과 같게 된다.

이와같이 분해모형은 수학적으로는 매우 간단한 식으로 표시되지만 산정해야 할 매개변수의 수가 막대함을 들 수 있다. 그러나 유량의 모의분해에 사용되어지는 필요한 최소의 실제 매개변수의 수는 다음 식<sup>22)</sup>에 의해서 산정할 수 있다.

$$P_n = n + \frac{n(n+1)}{2} = \frac{n^2}{2} + \frac{3}{2}n \dots (10)$$

여기서  $n$ 는 분해하고자 하는 계절의 수이며  $P_n$ 은 총 매개변수의 수이다. 예를들면 년유량을 월유량으로 모의발생하기 위한 매개변수의 수는 90개에 이르며 이

것이 이 모형의 큰 약점이라 할 수 있다.

실측된 자료를 이용하여 매개변수를 추정하는 방법은 일반적으로 모멘트법<sup>8)</sup>을 사용하는데 이 방법은 적용의 간편성을 들 수는 있지만 매개변수 산정법의 최선책으로서는 볼 수 없다. 그러나, 아직까지 이 모형에 실질적 적용을 위한 보다 정교한 모형변수 산정법이 개발되어져 있지 않으므로 모멘트법이 현재까지 그대로 사용되어지고 있다.

이 모형에서 결정해야 할 매개변수는 진출된 (1)식 및 (7)식으로 표시된 모형방정식의 매개변수 매트릭스  $A$ 와  $B$ 를 계산하여 그 요소를 구하는 것으로 다음 식<sup>15,22)</sup>에 의해서 구하게 된다.

$$A = S_{YX} \cdot S_{XX}^{-1} \dots (11)$$

$$\begin{aligned} BB^T &= S_{YY} - S_{YX} \cdot S_{XX}^{-1} \cdot S_{XY} \\ &= S_{YY} - A \cdot S_{XY} \dots (12) \end{aligned}$$

이들 (11), (12)식을 이용하면 매개변수 매트릭스  $A$ ,  $B$ 의 요소들을 시계열  $X$ ,  $Y$ 의 공분산(covariance) 매트릭스로부터 추정할 수 있다. 공분산 매트릭스의 계산은 매트릭스의 요소를 개별적으로 산정하는 방법과 공분산 요소를 동시에 함께 산정하는 방법이 있는 바 후자를 택하여 공분산 매트릭스 산정과정<sup>8)</sup>을 표시하면 다음과 같다.

$$S_{XX} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N [X_i \cdot X_i^T] \dots (13)$$

$$\begin{aligned} S_{YY} &= \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N [Y_i \cdot Y_i^T] \\ &= \begin{bmatrix} y_{i,1} \\ y_{i,2} \\ \vdots \\ y_{i,j} \end{bmatrix} [y_{i,1} \ y_{i,2} \ \dots \ y_{i,j}] \dots (14) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{XY} &= \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N [X_i \cdot Y_i^T] \\ &= \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N [x_i] [y_{i,1} \ y_{i,2} \ \dots \ y_{i,j}] \dots (15) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{YX} &= \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N [Y_i \cdot Y_i^T] \\ &= \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \begin{bmatrix} y_{i,1} \\ y_{i,2} \\ \vdots \\ y_{i,j} \end{bmatrix} [x_i] \dots (16) \end{aligned}$$

여기서,

$S_{XX}$  : 년유량 시계열 자료간의 공분산 매트릭스

$S_{YY}$  : 월유량 " "

$S_{XY}$  : 년유량과 월유량 자료와의 공분산 매트릭스

$S_{YX}$  : 월유량과 년유량 " "

가 되며  $N$  및  $j$ 는 각각 자료의 기록년수와 분해하고자 하는 계절의 수, 즉 여기서는 월로써  $j=12$ 가 된다. 또한  $x_i$  및  $y_i$ 는 과거의 기록치 즉 관측된 월유량과 년유량을 후술되는 방법에 의해서 변환(transformation)하여 표준화시킨 자료계열이다.

3.2 매개변수의 추정

자료가 변환이 되어 표준화(standardization)가 된 후 (13), (14), (15)식 및 (16)식에 의해 공분산 매트릭스의 값이 산정이 되고 이를 (11)식에 대입함으로써 모형의 매개변수  $A$ 의 요소를 비교적 간단히 얻을 수 있으나 매개변수  $B$ 의 요소는 (12)식을 풀 때에 매개변수  $B$ 의 행렬과 그 전치(transpose)행렬을 곱한 값이 (12)식의 결과이므로 이를 이용하여 다시 매개변수  $B$  매트릭스의 요소를 추정하게 된다. 매개변수  $B$ 의 추정방법은 Young과 Pisano, Lane, Valencia와 Schake 그리고 Gray Bill 등이 제안<sup>8,22,23,24,25</sup>한 방법이 있는 바 그 절차를 살펴보면 다음과 같다. 여기서 매개변수  $B$ 의 요소를

$$B = \begin{bmatrix} b_{1,1} & 0 & \dots & 0 \\ b_{2,1} & b_{2,2} & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ b_{n,1} & b_{n,2} & \dots & b_{n,n} \end{bmatrix} \dots \dots \dots (17)$$

이라하면

$$BB^T = D = S_{YY} - AS_{XX} = \begin{bmatrix} b_{2,1}^2 & b_{1,1}b_{2,1} & b_{1,1}b_{3,1} & \dots & b_{1,1}b_{n,1} \\ b_{2,1}b_{2,1} & b_{2,1}^2 + b_{2,2}^2 & b_{2,1}b_{3,1} + b_{2,2}b_{3,2} & \dots & b_{2,1}b_{n,1} + b_{2,2}b_{n,2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n,1}b_{2,1} & b_{n,1}b_{2,1} + b_{n,2}b_{2,2} & \dots & \dots & \sum_{i=1}^n b_{n,i}^2 \end{bmatrix} \dots \dots \dots (18)$$

가 된다. 여기서 매개변수  $B$  행렬의 요소들은 다음 식들에 의해서 추정하게 된다.

$$b_{i,j} = d_{i,j} / b_{j,j} \dots \dots \dots (19) \quad (j=1, i=1, 2, 3 \dots n)$$

$$b_{i,j} = \left( d_{i,j} - \sum_{k=1}^{j-1} (b_{i,k})^2 \right)^{1/2} \dots \dots \dots (20) \quad (j=2, 3, 4 \dots n-1, i=j+1, j+2, \dots n)$$

여기서,

- $b_{i,j}$  : 매트릭스  $B$ 의 요소
- $d_{i,j}$  : 매트릭스  $D$ 의 요소
- $n$  : 매트릭스  $B$ 와  $D$ 의 크기(size)

가 되며 Lane에 의한 방법으로 매트릭스의 요소를 구하면  $k < i$  일 때에는

$$b_{k,i} = 0 \dots \dots \dots (21)$$

가 되고  $k \geq i$  이거나  $d_{i,i} - \sum_{j < i} (b_{i,j})^2 \leq 0$  일 경우 매트릭스  $B$ 의 요소는 (18)식에 의해서 산정하게 된다. 또한  $k \geq i$  이고  $d_{i,j} - \sum_{j < i} (b_{i,j})^2 > 0$  일 경우  $B$ 의 요소는 다음과 같다.

$$b_{k,i} = \frac{d_{k,i} - \sum_{j < i} b_{i,j} b_{k,j}}{\left( d_{i,i} - \sum_{j < i} (b_{i,j})^2 \right)^{1/2}} \dots \dots \dots (22)$$

(7)식에서 무작위변량의 값은 난수발생프로그램<sup>26)</sup>을 사용하여 등분포 난수를 발생시키고 이를 Box Müller<sup>27)</sup>방법에 의하여 평균값이 0이고 표준편차가 1인 정규분포로 다음식에 의하여 변환시킨다.

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{v,1} &= (-2|n x_1|)^{1/2} \cdot \cos(2\pi x_2) \\ \varepsilon_{v,2} &= (-2|n x_1|)^{1/2} \cdot \sin(2\pi x_2) \\ &\vdots \\ \varepsilon_{v,n-1} &= (-2|n x_{n-1}|)^{1/2} \cdot \cos(2\pi x_n) \\ \varepsilon_{v,n} &= (-2|n x_{n-1}|)^{1/2} \cdot \sin(2\pi x_n) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (23)$$

여기서  $x_1, x_2 \dots x_n$ 은 발생된 등분포난수이고  $\varepsilon_{v,1}, \varepsilon_{v,2} \dots \varepsilon_{v,n}$ 은 변환된 변량의 값이다.

이와 같이 (23)식에 의해 변환된 난수를 (7)식에 넣고 분해하고자 하는 년유량을 입력 시킴으로서 분해된 모의계절유량의 발생값을 얻을 수 있다.

3.3 Thomas-Fiering 모형의 구성

전술한 (6)식으로 표시되는 계절유량 발생에 많이 이용되어지는 Thomas-Fiering 모형의 유량발생에 필요한 각종 통계치는 다음 식들에 의해 표준유량으로부터 계산이 된다.

$$\bar{Q}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_{i,j} \dots \dots \dots (24)$$

$$S_j = \left( \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (Q_{i,j} - \bar{Q}_j)^2 \right)^{1/2} \dots \dots \dots (25)$$

$$R_j = \frac{\sum_{i=2}^N (Q_{i-1,j} - \bar{Q}_j) (Q_{i,j} - \bar{Q}_j)}{\left( \sum_{i=2}^N (Q_{i-1,j} - \bar{Q}_j)^2 \cdot \sum_{i=2}^N (Q_{i,j} - \bar{Q}_j)^2 \right)^{1/2}} \dots \dots \dots (26)$$

$$B_j = \frac{S_j}{S_{j-1}} \cdot R_j \dots \dots \dots (27)$$

여기서  $\bar{Q}_j, S_j, R_j$  및  $B_j$ 는 각각 과거관측자료의 평균치, 표준편차, 상관계수 그리고 상관식의 경사이며  $j=1, 2, \dots 12$ 월이고  $N$ 는 자료의 크기(년)이다. 그리고

유량시계열 자료의 모의발생에 필요한 k 차 계열상관 계수를 다음 식에 의하여 산정한다.

$$r_k = \frac{\sum_{i=1}^{N-k} (Q_i - \bar{Q}_i)(Q_{i+k} - \bar{Q}_i)}{\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q}_i)^2} \dots\dots\dots(28)$$

4. 자료의 처리 및 결과분석

4.1 자료의 분석 및 처리

본 연구에서 사용한 유량자료는 낙동강 본류에 위치한 왜관 지점의 38년(1925~1977)간의 자료와 현풍지점의 33년(1924~1970)간의 월유량 실측자료를 분석 대상으로 하였으며 본 월유량 자료의 추계학적 특성을 파악 하고서 Correlogram 분석을 행하였으며 그 결과 자료는 수문학적인 지속성을 가지는 정상시계열 자료임이 확인 되었고 유량자료의 적정 확률분포형은 대수 정규분포임이 밝혀졌다.

그러므로 분해모형의 적용을 위하여서는 다음 절차에 의해 자료를 변환 및 표준화 하여야 함은 물론이다. 자료의 변환으로 다음과 같은 식에 의하는 경우가 많다.<sup>28)</sup>

$$Q_t = \text{Log}(q_t + c) \dots\dots\dots(29)$$

$$Q_t = (q_t + c)^e \dots\dots\dots(30)$$

(t = 1, 2, \dots, N)

여기서  $Q_t$  및  $q_t$ 는 각각 변환후와 전의 유량시계열 자료를 표시하고 c와 e는 매개변수이며 N는 자료의 크기(년)를 나타낸다.

본 연구에서는 (29)식에 의해 자료를 대수변환(logarithmic transformation)하고 그 결과로 얻어진 시계열 자료를 다음 식으로 표준화 시켜서 모의발생에 이용하였다.

$$x_T = \frac{Q_T - \bar{Q}_T}{S_T} \dots\dots\dots(31)$$

여기서  $x_T$ 는 표준화된 자료계열이며  $Q_T$  및  $\bar{Q}_T$ 는 각각 (29)식에 의해 대수변환된 자료계열과 그 평균치이며  $S_T$ 는 표준편차이다.

(31)식에 의해 자료가 표준화되면 (13), (14), (15)식 및 (16)식에 의해 공분산 매트릭스의 값을 산정 하여 이를 (11)식에 대입함으로 매개변수 A의 요소를 얻게된다.

또한 매개변수 B의 추정은 전술한 (12)식을 이용하고 (18)식~(22)식을 사용함으로 매개변수 B 매트릭스

의 요소를 추정하게 된다.

그리고 (n×1)의 벡터인 무작위 변량의 값은 전술한 난수발생프로그램을 이용 난수를 발생시키고 이를 (23)식에 대입함으로 필요로 하는 난수의 값을 얻게된다.

이를 전술된 (7)식 혹은 (8)식에 입력시킴으로서 소요의 계절유량 모의발생값을 얻게되는데 이는 유량의 대수치이므로 다음식에 의해 실제유량을 얻게된다.

$$Q_{v,n} = \text{EXP}(q_{v,n}) \dots\dots\dots(32)$$

본 연구에서는 전술된 2개 지역의 과거 실측치중 일부를 각각 사용하여 모형의 매개변수를 결정하고 그 나머지 년유량자료를 월유량자료 계열로 모의분해시켜 실측된 월유량 자료와 비교분석 하였다. 또한 월유량 자료계열을 하나의 시계열로 간주하고 실측치 및 모의발생된 유량의 Correlogram을 작성하였으며 아울러 표준화시킨 월자료에 대한 Correlogram도 작성하여 그 결과치를 비교 분석하였다.

그리고 타모형과의 비교를 위해 적용된 Thomas-Fiering 모형에 의한 결과치도 동시에 비교하였으며 통계특성치로서는 1차 및 2차 모멘트인 평균치와 표준편차를 비교 검토 대상으로 하였다.

4.2 Correlogram의 비교

하천 월유량 발생을 위한 모형으로서 적용 가능 한지를 평가하기 위해서 본 연구에 검토되어진 분해모형에 의해 모의분해 발생된 자료의 신빙성을 검사하기 위해서 전술된 2개 지점의 실측자료의 수문학적 지속성을 표시하는 Correlogram과 발생된 유량의 Correlogram을 서로 비교 검토하였다.

왜관지점의 38년간의 월유량 자료를 사용하여 Disaggregation 모형과 Thomas-Fiering 모형으로 각각 발생시킨 자료를 이용하여 (28)식에 의해 차수(Lag) 50까지 취해 Correlogram을 작성한 결과 그림 2와 같으며 역시 현풍지점의 33년간에 대한 Correlogram을 작성한 결과가 그림 3에 표시되어 있으며 실측유량에 대한 Correlogram도 동시에 비교되어 있다.

그림 (2)에 표시된 모형별 Correlogram과 실측 월유량의 Correlogram을 관찰해 보면 그 파형이나 진폭에는 미소한 차이가 있으나 전반적으로 공통적인 것은 예상되는 바와 같이 12개월을 주기로 하여 동일한 파가 반복됨을 알 수 있다. 이것은 월유량이 확실히 1년 주기를 가지며 계절변동성분이 있음을 뜻하며 이와 같이 월유량은 주기성분을 가지고 있으므로 유량자료가 정상 시계열이 아닌 비정상 시계열임을 뜻한다.

또한 본 연구에 적용한 Disaggregation 모형 및

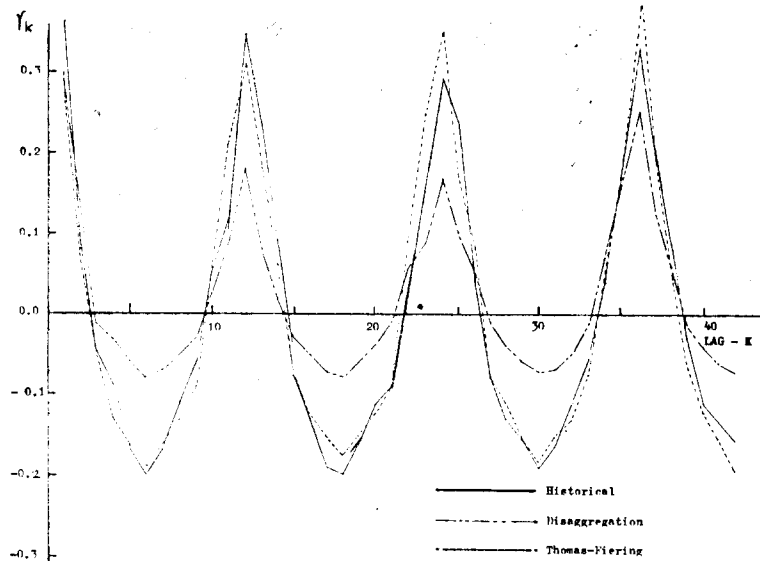


Fig. 2. Correlograms for Monthly Streamflow at Waegwan

Thomas-Fiering 모형으로 각 월유량을 발생시키더라도 2개 모형 모두 실측 월유량의 주기성을 잘 재현시켜줄 수 있으며 그림 (3)에서 보는 바와 같이 현 풍지점의 경우 2개 모형의 계열상관도의 파형과 진폭이 실측유량자료의 Correlogram 모형과 거의 유사함을 알 수 있다. Correlogram의 길이는 그 시계열 자료길이의 10% 정도까지는 신뢰성이 있는 것으로 보고 2개지역 모두 자료의 길이가 40년 이내이므로  $k=50$  까지 취하여 Correlogram을 작성하여 이로부터 자료에 대한 계절성분(주기성분)이 있음을 확인을 하였으므로 이같은 주기성분을 제거하여 정상 시계열화 한후 이에 대한 Correlogram을 비교하기 위해 전술한 (31)식에 의하여 유량자료의 변환 즉 자료의 표준화를 시행하여 이로부터 구한 왜관 및 현풍지점의 Correlogram을 작성한 것이 그림 (4) 및 (5)이다.

여기에 각 지점의 실측 계절유량(왜관 38년;  $N=456$ , 현풍 33년;  $N=396$ )에 대해 계산한 95% 신뢰한계치는 모두  $-0.09 \leq \gamma_k \leq 0.09$ 의 값을 가지며 이를 그림 (4) 및 (5)에 표시하였으며 또한 표준화 시킨 자료의 Lag-1 계열상관계수  $\gamma_2$  값이 계열 상관계수상에서 신뢰한계치 밖에 위치하고 그 외의  $\gamma_k$  값이 거의 신뢰한계치 내에

위치하면 그 시계열은 수문학적 지속성을 가지는 정상 시계열로 판단하게 된다. 그림 (4)와 (5)에서 볼 수 있는 바와 같이 Disaggregation 모형에 의해 발생된 월유량의 계열상관도는 실측 월유량의 계열상관도와 마찬가지로  $\gamma_1$  및  $\gamma_k$ 가 95% 신뢰한계치 보다 훨씬 커서 강한 상관성을 나타내고 있으며 수문학적인 지속성을 가지는 정상시계열의 Correlogram 형태를 보이고 있고 자료의 표준화로 인한 계열상관도의 파동은 상당히 감소되어 대개  $k=6 \sim 7$ 에서부터 대부분이 95%의 신뢰 한계 범위내에 들어가 있으므로 이에 해당하는 유량계열은 지속성을 갖는 확정성분과 우연의 Random 성분으로 구성되는 정상 시계열이라 할 수 있으며 Disaggregation 모형은 모의발생 모형으로서 실측자료의 지속성과 우연성을 대체로 원만하게 대표해 주고 있다고 볼 수 있다.

#### 4.3 통계특성값의 비교

적용된 모의발생 모형의 적정여부를 평가하기 위하여 양 모형에 의해 발생되어진 월유량계열의 통계특성치로 1차 및 2차 모멘트인 평균값과 표준편차를 산정하고 실측유량의 통계특성치를 산정하여 표 1에 그

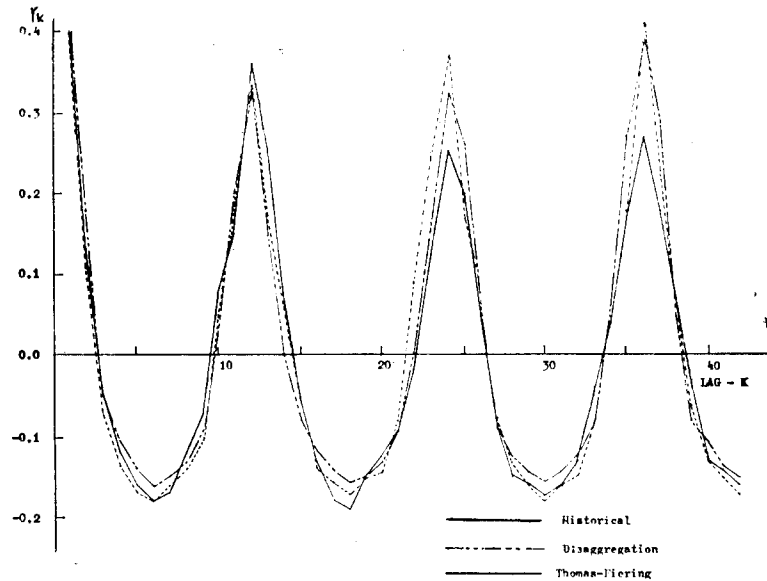


Fig. 3. Correlograms for Monthly Streamflow at Hyunpung

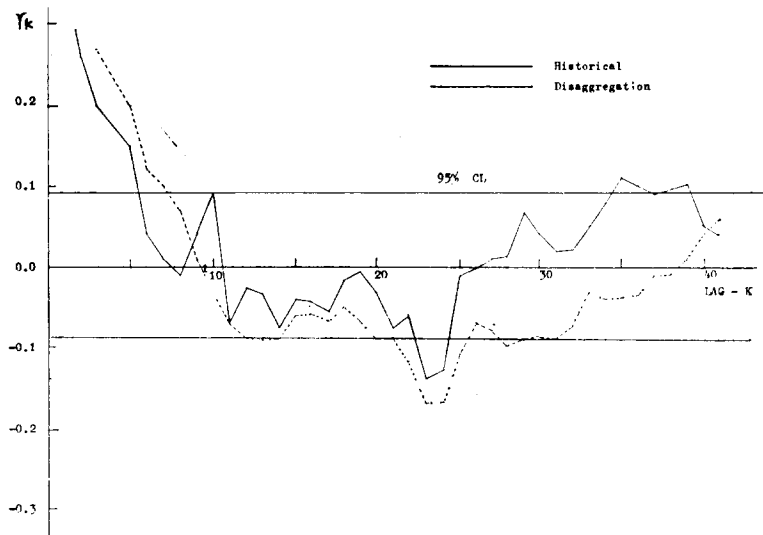


Fig. 4. Correlograms for Standardized Monthly Streamflow at Waegwan



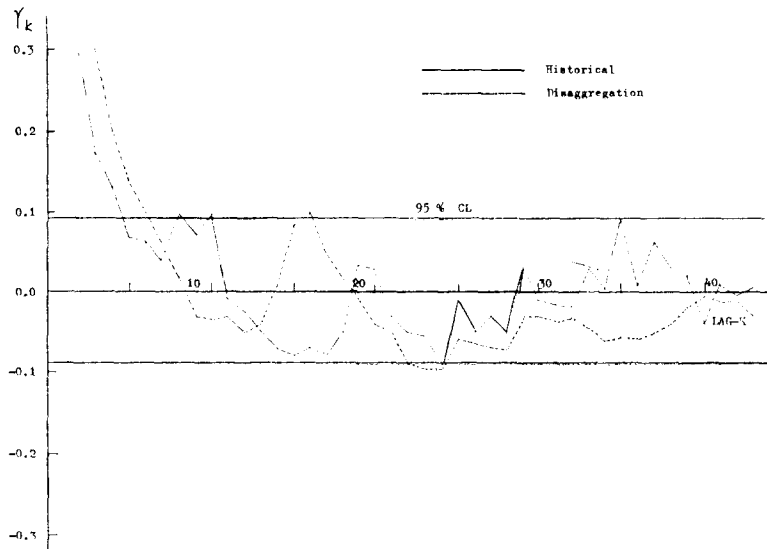


Fig. 5. Correlograms for Standardized Monthly Streamflow at Hyunpung

값을 나타 냈으며 Disaggregation 모형에 의해 년유량을 월유량으로 분해하기 위하여 실측 유량자료를 통계 분석하여 모형의 매개변수  $A$  및  $B$ 의 값을 정리하여 표 (2), (3) 및 (4)에 표시하였다. 표 (1)에서 왜관지역의 경우 Disaggregation 모형에 의한 통계특성치를 실측유량의 통계치와 비교한 상대오차를 보면 평균값은 0.0%~41. %의 상대오차를 나타내고 표준편차의 경우는 5.1%~226.7%을 나타내고 있다. 평균값 중 7월을 제외하면 대략 10% 내외의 대체로 양호한 편으로 3월의 경우는 실측치와 동일한 값으로 접근되고도 있으나 표준편차의 경우는 분해모형의 결과치가 Thomas-Fiering 모형보다 상대오차의 값이 큰 것으로 나타났다.

현풍지점의 통계특성치를 표시한 표 1를 보면 평균값은 0.6%~74.1%의 상대오차를 나타내고 있으며 7월, 8월 및 9월을 제외한 나머지 월에서는 상대오차가 약 5% 이내로 실측값에 상당히 접근하고 있으나 역시 표준편차의 상대오차가 기대하는 것 만큼의 결과를 주지 못하고 있다.

Thomas-Fiering 모형에 의한 통계특성치인 평균치와 표준편차는 표 1에 나타난 바와 같이 Disaggregation 모형의 통계특성치 보다 약간 양호한 상대오차 범위를

보이고 있다. 즉 전반적으로 Disaggregation 모형에 의해 월유량을 발생시켰을 경우가 Thomas-Fiering 모형 보다 평균치에서는 약간 양호하나 표준편차는 Thomas-Fiering 모형에 의한 값이 실측치의 통계특성치에 더 근접함을 알 수 있다. 표 (2)는 실측유량자료 계열에서 산정한 왜관 및 현풍지점의 모형 매개변수  $A$ 의 값이 지점별로 각각 분해시킨 계절의 수(월)만큼 표시되어 있으며 왜관의 경우  $A3(7월)$ 과 현풍은  $A8$ 의 값이 가장 큰 값을 나타내고 있는 바 이는 실측유량자료에서 각각 7월 및 8월 유량이 그 지점에서 가장 큰 값을 가진다는 것을 뜻한다.

또한 표(3)과 (4)에 각 지점별 매개변수  $B$ 의 값이 수록되어져 있으며 년유량을  $n$ 개의 계절유량으로 모의분해 발생시키는데에 필요한 실제적 매개변수  $B$ 의 수와 그 값이 표시되어져 있으며 왜관의 경우 7, 8, 9란(column) 및 12란은 그 값이 0임을 알 수 있다.

### 5. 결 론

년유량 자료를 이용하여 월유량 자료로 모의발생하기 위하여 Disaggregation 모형의 유량발생 과정을 전개하고 이 모형을 낙동강의 왜관 및 현풍지점에 적용

Table 1. Statistics of Historical and Synthetic Streamflow (unit : m<sup>3</sup>/sec. day)

| Month | Models         | Stations   |      | Hyunpung |   |                    |      | Waegwan |      |                    |       |
|-------|----------------|------------|------|----------|---|--------------------|------|---------|------|--------------------|-------|
|       |                | Statistics |      | Mean     |   | Standard Deviation |      | Mean    |      | Standard Deviation |       |
|       |                |            |      |          | % |                    | %    |         | %    |                    | %     |
| Jan.  | Historical     |            |      | 1374.9   |   | 1032.3             |      | 980.0   |      | 1231.7             |       |
|       | Disaggregation |            | 0.6  | 1383.0   |   | 701.2              | 32.1 | 883.7   | 9.3  | 559.1              | 45.6  |
|       | Thomas-Fiering |            | 0.0  | 1374.4   |   | 981.3              | 4.9  | 979.5   | 0.1  | 1088.3             | 5.5   |
| Feb.  | Historical     |            |      | 1784.0   |   | 2077.4             |      | 1353.9  |      | 1539.5             |       |
|       | Disaggregation |            | 1.8  | 1815.6   |   | 374.4              | 81.9 | 1190.9  | 8.7  | 762.8              | 50.5  |
|       | Thomas-Fiering |            | 13.8 | 2029.8   |   | 1821.8             | 12.3 | 1476.0  | 13.2 | 1433.6             | 6.9   |
| Mar.  | Historical     |            |      | 2599.9   |   | 3167.7             |      | 2704.4  |      | 3090.6             |       |
|       | Disaggregation |            | 0.9  | 2623.3   |   | 937.8              | 70.4 | 2704.5  | 0.0  | 2047.6             | 33.7  |
|       | Thomas-Fiering |            | 3.2  | 2517.2   |   | 3109.1             | 1.8  | 2702.3  | 0.1  | 3011.9             | 2.5   |
| Apr.  | Historical     |            |      | 5549.3   |   | 5770.6             |      | 4551.6  |      | 4501.9             |       |
|       | Disaggregation |            | 1.5  | 5467.0   |   | 3453.7             | 40.2 | 4233.8  | 7.0  | 3136.6             | 30.3  |
|       | Thomas-Fiering |            | 15.7 | 4679.1   |   | 5324.3             | 7.7  | 3949.6  | 13.2 | 4290.1             | 4.7   |
| May.  | Historical     |            |      | 4571.0   |   | 5009.5             |      | 3691.5  |      | 3005.1             |       |
|       | Disaggregation |            | 1.5  | 4493.9   |   | 2820.1             | 43.7 | 3863.3  | 4.6  | 3907.6             | 30.0  |
|       | Thomas-Fiering |            | 14.9 | 3892.6   |   | 5002.9             | 0.1  | 3225.5  | 12.6 | 2921.1             | 2.8   |
| June  | Historical     |            |      | 3633.9   |   | 5787.9             |      | 3084.5  |      | 4371.6             |       |
|       | Disaggregation |            | 3.3  | 3753.5   |   | 1995.7             | 65.5 | 3060.7  | 0.8  | 2539.4             | 41.9  |
|       | Thomas-Fiering |            | 14.5 | 3106.2   |   | 6133.6             | 6.0  | 2695.9  | 12.6 | 4630.2             | 5.9   |
| July  | Historical     |            |      | 24470.5  |   | 29896.6            |      | 16005.2 |      | 12046.2            |       |
|       | Disaggregation |            | 46.4 | 35829.2  |   | 34569.7            | 65.4 | 22645.7 | 41.5 | 39359.7            | 226.7 |
|       | Thomas-Fiering |            | 7.1  | 26215.6  |   | 20631.7            | 1.3  | 17052.1 | 6.5  | 11909.6            | 90.8  |
| Aug.  | Historical     |            |      | 17945.5  |   | 18490.4            |      | 12552.1 |      | 11806.8            |       |
|       | Disaggregation |            | 74.1 | 31247.5  |   | 35675.2            | 92.9 | 12994.3 | 3.5  | 13322.6            | 12.8  |
|       | Thomas-Fiering |            | 2.2  | 17559.4  |   | 17399.5            | 5.9  | 12006.0 | 4.4  | 11327.5            | 4.1   |
| Sep.  | Historical     |            |      | 14900.6  |   | 12195.4            |      | 10367.4 |      | 10365.6            |       |
|       | Disaggregation |            | 36.9 | 20393.5  |   | 19653.7            | 91.2 | 9794.9  | 5.5  | 6876.2             | 33.7  |
|       | Thomas-Fiering |            | 3.0  | 14456.9  |   | 12465.4            | 2.2  | 9902.9  | 4.5  | 10675.7            | 3.0   |
| Oct.  | Historical     |            |      | 4872.7   |   | 5394.5             |      | 2265.9  |      | 2076.4             |       |
|       | Disaggregation |            | 5.4  | 5137.9   |   | 3241.1             | 39.9 | 2521.5  | 8.8  | 1971.3             | 5.1   |
|       | Thomas-Fiering |            | 9.8  | 4393.7   |   | 5206.3             | 3.5  | 2575.0  | 6.9  | 1954.2             | 5.9   |
| Nov.  | Historical     |            |      | 2271.4   |   | 2554.8             |      | 1520.5  |      | 1159.1             |       |
|       | Disaggregation |            | 4.4  | 2172.0   |   | 864.3              | 66.2 | 1326.7  | 12.8 | 743.9              | 35.9  |
|       | Thomas-Fiering |            | 15.2 | 1926.9   |   | 2763.3             | 8.2  | 1353.7  | 11.0 | 1237.2             | 6.7   |
| Dec.  | Historical     |            |      | 1617.8   |   | 1215.3             |      | 1470.6  |      | 2045.2             |       |
|       | Disaggregation |            | 3.9  | 1554.2   |   | 460.1              | 62.1 | 1306.1  | 11.2 | 682.6              | 66.6  |
|       | Thomas-Fiering |            | 7.6  | 1740.0   |   | 1331.6             | 9.6  | 1742.2  | 18.5 | 2282.0             | 11.6  |

**Table 2. Parameter A**

| Parameter<br>Station | A (1)  | A (2)  | A (3)  | A (4) | A (5) | A (6)  | A (7) | A (8) | A (9) | A (10) | A (11) | A (12) |
|----------------------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| Waegwan              | -0.987 | -0.678 | 0.020  | 0.209 | 0.069 | -0.018 | 0.991 | 0.938 | 0.527 | 0.132  | -0.086 | -0.116 |
| Hyunpung             | -0.638 | -0.634 | -0.303 | 0.113 | 0.287 | 0.052  | 0.926 | 1.212 | 0.433 | 0.096  | -0.215 | -0.329 |

**Table 3. Parameter B (Waegwan Station)**

| b  | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7     | 8     | 9     | 10     | 11    | 12    |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| 1  | 0.383  | —      | —      | —      | —      | —      | —     | —     | —     | —      | —     | —     |
| 2  | 0.346  | 0.324  | —      | —      | —      | —      | —     | —     | —     | —      | —     | —     |
| 3  | 0.011  | 0.130  | 0.453  | —      | —      | —      | —     | —     | —     | —      | —     | —     |
| 4  | 0.028  | -0.048 | 0.316  | 0.307  | —      | —      | —     | —     | —     | —      | —     | —     |
| 5  | -0.242 | 0.074  | 0.190  | 0.012  | 0.357  | —      | —     | —     | —     | —      | —     | —     |
| 6  | 0.053  | -0.042 | 0.180  | -0.044 | 0.143  | 0.365  | —     | —     | —     | —      | —     | —     |
| 7  | -0.154 | -0.186 | -0.297 | -0.276 | -0.653 | -0.089 | 0.000 | —     | —     | —      | —     | —     |
| 8  | -0.005 | -0.260 | -0.355 | -0.113 | -0.097 | -0.182 | 0.000 | 0.000 | —     | —      | —     | —     |
| 9  | -0.154 | -0.049 | -0.316 | -0.142 | -0.052 | -0.130 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | —      | —     | —     |
| 10 | -0.110 | -0.071 | -0.118 | 0.005  | 0.337  | 0.090  | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.005  | —     | —     |
| 11 | -0.069 | 0.076  | 0.014  | 0.136  | 0.073  | -0.021 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.017  | 0.000 | —     |
| 12 | -0.086 | 0.051  | -0.068 | 0.116  | -0.108 | -0.033 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -0.002 | 0.000 | 0.000 |

**Table 4. Parameter B (Hyunpung Station)**

| b  | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7     | 8     | 9      | 10    | 11    | 12    |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 1  | 0.457  | —      | —      | —      | —      | —      | —     | —     | —      | —     | —     | —     |
| 2  | 0.060  | 0.218  | —      | —      | —      | —      | —     | —     | —      | —     | —     | —     |
| 3  | 0.444  | 0.201  | 0.273  | —      | —      | —      | —     | —     | —      | —     | —     | —     |
| 4  | 0.137  | 0.107  | 0.135  | 0.411  | —      | —      | —     | —     | —      | —     | —     | —     |
| 5  | 0.113  | 0.108  | -0.035 | 0.158  | 0.216  | —      | —     | —     | —      | —     | —     | —     |
| 6  | -0.110 | -0.183 | 0.020  | -0.074 | -0.099 | 0.312  | —     | —     | —      | —     | —     | —     |
| 7  | -0.352 | -0.257 | -0.349 | -0.399 | -0.211 | 0.073  | 0.000 | —     | —      | —     | —     | —     |
| 8  | -0.081 | -0.052 | -0.337 | -0.282 | -0.111 | -0.286 | 0.000 | 0.000 | —      | —     | —     | —     |
| 9  | -0.080 | 0.054  | -0.099 | -0.014 | 0.063  | -0.046 | 0.000 | 0.000 | -0.405 | —     | —     | —     |
| 10 | -0.083 | 0.016  | 0.132  | 0.101  | 0.060  | -0.129 | 0.000 | 0.000 | -0.082 | 0.000 | —     | —     |
| 11 | -0.040 | 0.007  | 0.163  | 0.154  | 0.044  | -0.066 | 0.000 | 0.000 | 0.391  | 0.000 | 0.000 | —     |
| 12 | -0.065 | -0.217 | 0.097  | 0.036  | 0.038  | 0.082  | 0.000 | 0.000 | 0.095  | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

하여 그 결과를 실측치의 통계특성치와 비교하였으며 Thomas-Fiering 모형에 의한 모의발생 결과와도 비교 검토한 바 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Disaggregation 모형으로 발생시킨 월유량계열과 Thomas-Fiering 모형을 이용해서 얻은 자료계열의 correlogram 을 검토한 결과 모두 실측유량계열과 동일한 주기성을 확실히 보이고 있다.

2) Disaggregation 모형에 의해 발생된 월유량계열의 표준화 단계를 거친 자료의 Correlogram 역시 대체로 실측유량 계열과 마찬가지로 지속성이 있는 것으로 나타났다.

3) 적용된 2개 모형에 의해 발생되어진 자료계열과 실측자료계열의 통계특성치를 서로 비교해보면 분해모형에 의한 결과치들이 실측값에 많이 접근하고 있으므로 하천의 월유량 발생모형으로 적용해도 큰 무리가 없을 것으로 사료된다.

4) Disaggregation 모형은 년유량을 단계별로 모여 분해시킬 수 있는 모형이므로 계절(월)자료가 빈곤한 지역에서의 각종 수자원 개발계획에 필요로 하는 월유량 자료를 제공해 줄 수 있는 유용한 모형으로 평가될 수 있다고 본다.

5) 본 연구에 적용된 기본분해모형은 매개변수의 수가 너무 많기 때문에 보다 정확한 매개변수와 추정에는 많은 과거 실측자료를 필요로 하는 약점이 있다. 확장모형과 응축모형을 적용하면 이러한 약점이 보완 될 것으로 사료되는 바 이에 대한 연구가 필요하다고 생각된다.

### 참 고 문 헌

- Ronser, L.A., Yevjevich, V.M. (1966) *Mathematical Models for Time Series of Monthly Precipitation and Monthly Runoff*, Hydrology paper No.15, Colorado State University. pp.1—59.
- Charles, T. Hann (1979) *Statistical Method in Hydrology*, Iowa State University Press Ames. pp. 289—311.
- 李舜鐸(1974) 河川流量的 模擬發生에 關한 推計學的 研究 박사학위논문, 고려대학교 대학원, 토목공학과
- 徐炳夏, 尹龍男, 姜瑄沅(1979) Bivariate Analysis 에 依한 月流量的 模擬發生에 關한 研究, 韓國水文學會誌 제12권 제 2 호
- 姜瑄沅, 徐炳夏, 朴贊寧(1981) 河川 月流量的 推計學的 模擬發生에 關한 研究, 인하대학교 산업과학
- 기술연구소 논문집 제 8 권
- 尹龍男, 全時永(1985) ARMA(1, 1) 多季節模型에 의한 河川流量的 模擬發生, 韓國水文學會誌 18권 1 호
- 尹龍男, 李殷泰(1985) 河川流量的 模擬發生을 위한 Monte Carlo 方法과 Autoregressive 方法의 比較 韓國水文學會誌 18권 4 호
- Salas, J.D., Dulleur, J.W., Yevjevich, V. and Lane, W.I. (1980) *Applied Modeling of Hydrologic Time Series Water Resources Publication*, pp.92—99, 421—460.
- Idem (1973) *Disaggregation Process in Stochastic Hydrology*, Water Resurces Res. 9(3): 580—5.
- Stedinger, J.R. (1983) *Advanced in Disaggregation Modeling*, Presented at the fall meeting of the American Geophysical Union, December. 5—9, 1983, Sanfransico, California.
- Santos, E.G. and Salas, J.D. (1983) *A Parsimonius Step Disaggregation Model for Operational Hydrology*. Presented at the fall meeting of the American Geophysical Union, December 5—9, 1983, Sanfransico, California
- Valencia, D., Garcia, J. and Berdugo, M.T. (1983) *Disaggregation Models in Hydrology-An Evaluation Presented at the fall meeting of the American Geophysical Union*, December 5—9, 1983, Scnfransisco, California
- Tao, P.C., and Delleur, J.W. (1976) *Multiseason, Multiyear Synthesis of Hydrologic Time Series by Disaggregation*. Jour. Water Resour. Res. 12.6 pp.1303—1312.
- Dabid, D. Major and Robert L. Lenton (1979) *Applied Water Resources System Planning*, Prentice-Hall, Inc., pp.108—111.
- Rafael, L. Bras and Ignacio Rodriguez-Iturbe (1985) *Random Functions and Hydrology*, Addison-Wesley Publishng Company, pp.147—154, p. .95—99.
- Fiering, M.B. (1964) *Multivariate Techniques for Synthetic Hydrology*, Proc., A.S.C.E., Vol. 90, HY5, pp.43—60.
- Harms, A.A and Capbell, T.H. (1967) *An Extension to the Thomas Fiering model for the sequential generation of streamflow*. Jour. Water

- Resour. Res. 3, 3, pp.653—661.
18. Mejia, J.M. and Rousselle, J. (1976) *Disaggregation Models in Hydrology revisited*. Jour. Water. Resour. Res. 12, 2, pp.185—186.
  19. Lane, W.L. (1979) *Applied Stochastic techniques user manual, Division of Planning Thchnical Services*, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado, December.
  20. Fiering, M.B. and Jackson, B.B., *Synthetic Streamflows, American Geophysical Union, Water Resources Monograph, 1*, 1971.
  21. Thomas, H.A., and Fiering, M.B., *Mathematical Synthesis of Streamflow Sequences for the Analysis of River Basins by Simulation*, In "Design of Water Resources Systems" by Maas, A. et.al., Harnard University Press, Cambridge, Mass., 1980.
  22. Danial, P. Loucks, Jerg R. Stedinger and Douglas A. Haith (1981) *Water Resourcess Systems Planning and Analysis*, Prentice-Hall, Inc, pp. 301—309.
  23. Young, G.K., and Pisano, W.C. (1968) *Operational Hydrology using residuals*. Jour. Hyd. Div. ASCE, 94, 4 pp.909—923.
  24. Valencia, D., and Schaake, J.C. (1972) *A Disaggregation Model for Time Series Analysis and Synthesis*, Cambridge, Mass. M.I.T. Technical Report 149
  25. Graybill, F.A. (1969) *Introduction to Matrices in Statistics*. Wadsworth Publishing Co., California.
  26. Brice Carnahan, Luther, H.A., James O. Wilker (1969) *Applied Numerical Methods*, John Wiley and Sons, Inc. pp.545—551.
  27. Box, G.E.P., andüller, M.E. (1958) *A Note on the Generation of Random Normal Deviates*, Ann. Math., Statist., Vol. 29, pp.610—611.
  28. Yevjevich, V.M., (1972) *Probability and Statistics in Hydrology*, Water Resources Publications Fort Collins, Colorado.