

조화합성 및 조화회귀모형에 의한 월유출량의 모의발생

The Simulation for the Monthly Runoff by Harmonic Synthetic and Harmonic Regression Models

李 淳 赫* , 孟 昇 辰**
Lee, Soon-hyuk Maeng, Sung-jin

Abstract

This study was conducted to simulate long series of synthetic monthly flows by harmonic synthetic and harmonic regression models and to make a comparison of statistical parameters between observed and synthetic flows of six watersheds in Yeong San and Seom Jin river systems.

The results obtained through this study can be summarized as follows.

1. It was found that arithmetic mean values of synthetic monthly flows simulated by harmonic synthetic model are much closer to the results of the observed data in comparison with those of harmonic regression model in the applied watersheds.

2. The coefficients of variation, index of fluctuation for monthly flows simulated by harmonic synthetic model are appeared closer to those of the observed data in comparison with those of harmonic regression model in Yeong San and Seom Jin river systems.

3. Synthetic monthly flows were simulated for 100 years by harmonic synthetic model which is acknowledged as a suitable simulation model in this study.

4. It is desirable that comparative analysis with other simulation models including a multi-season first order Markov model is to be continued.

I. 서 론

근년 우리나라의 농업용수는 매년 그 사용량이 급증하고 있음은 주지의 사실이며 이의 해결을 위해서는 대규모 수리구조물의 설계 및 시공이

중요한 과제로 제시되고 있다. 우리나라는 현재 까지 저수지를 포함한 수공구조물의 이수를 위한 설계 계획에 절대적으로 필요한 장기연속 유출량 자료의 관측연수가 짧기 때문에 이를 가지고 장기간의 수문사상을 대표하기에는 부족하기 때문

* 충북대학교 농과대학
** 충북대학교 대학원
(한국수자원공사 수자원연구소 연구원)

키워드 : 평균치, 변동계수, 조화합성모형, 조화회귀모형, 모의발생 월유출량

에 관측된 자료의 통계학적 특성을 견지하면서 장기간의 자료를 인위적으로 발생시킬 수 있는 확률 통계학적 방법인 추계학적 모의발생 기법이 필요하게 되었고, 이와같은 추계학적 모의발생 기법에 의해 합성된 모의발생 월유출량을 비교·분석함으로써 적절한 모의발생 기법을 제시하는 것이 매우 중요하게 되었다.

이에 의해 모형의 본래 목적인 다양한 월유출량을 합성해 낼 수 있고 장기간 자료의 확보가 가능하게 됨으로써 저수지를 포함한 각종 수리구조물의 적정규모 결정과 합리적인 운영을 기할 수 있게 된다.

이에 본 연구에서는 영산강 및 섬진강의 6개 유역에 대한 월유출량을 수문자료로 하여 조화합성 모형 및 조화회귀모형에 의해 합성된 모의발생치를 실측치와 비교 분석함으로써 적절한 모의 발생모형을 제시하고 이에 의해 월유출량의 풍부한 모의발생을 가능케 함으로써 수자원의 합리적인 개발과 치수 및 이수 대책에 만전을 기하고자 한다.

II. 추계학적 수문모형의 이론 및 전산 프로그램의 구성

1. 조화합성모형

실측 월하천 유량자료를 다음과 같이 배열한 후 월별 평균치 및 표준편차를 구한다.^{16,28)}

q _{1.1}	q _{1.2}	q _{1.3}	q _{1.12}
q _{2.1}	q _{2.2}	q _{2.3}	q _{2.12}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
q _{i.1}	q _{i.2}	q _{i.3}q _{i,j}	q _{i.12}
—	—	—		—

평균치, m_i, m₁ m₂ m₃ m₁₂
 표준편차, S_i, S₁ S₂ S₃ S₁₂

여기서 q_{i,j}는 i년 j월 유출량

구해진 평균치, m_i의 값을 식(1)의 조화수, m*_t

에 적용시킨다.

$$m^*_t = \hat{\alpha}_0 + \sum_{r=1}^p (\hat{\beta}_r \cdot \cos \frac{2\pi r t}{12} + \hat{\gamma}_r \cdot \sin \frac{2\pi r t}{12}) + \varepsilon_t, \quad (p \leq 5) \quad (1)$$

여기서, $\hat{\alpha}_0 = \sum_t \frac{m_t}{12}$

$$\hat{\beta}_1 = \sum_t m_t \cos \frac{2\pi t}{12} / 6$$

$$\hat{\beta}_2 = \sum_t m_t \cos \frac{2\pi 2t}{12} / 6$$

⋮

$$\hat{\beta}_r = \sum_t m_t \cos \frac{2\pi r t}{12} / 6$$

$$\hat{\gamma}_1 = \sum_t m_t \sin \frac{2\pi t}{12} / 6$$

$$\hat{\gamma}_2 = \sum_t m_t \sin \frac{2\pi 2t}{12} / 6$$

⋮

$$\hat{\gamma}_r = \sum_t m_t \sin \frac{2\pi r t}{12} / 6$$

ε_t : 무작위변수

위와 같은 원리에 의거하여 표준편차 S_t의 조화수 S*_t 역시 식(2)와 같이 표시할 수 있다.

$$S^*_t = \hat{\alpha}'_0 + \sum_{r=1}^p (\hat{\beta}'_r \cdot \cos \frac{2\pi r t}{12} + \hat{\gamma}'_r \cdot \sin \frac{2\pi r t}{12}) + \varepsilon_t \quad (2)$$

여기서, $\hat{\alpha}'_0 = \sum_t \frac{S_t}{12}$

$$\hat{\beta}'_r = (\sum_t S_t \cos \frac{2\pi r t}{12}) / 6$$

$$\hat{\gamma}'_r = (\sum_t S_t \sin \frac{2\pi r t}{12}) / 6$$

식(1)과 식(2)에 의해서 구해진 조화수, m*_t와 S*_t를 사용하여 실측유량과 관련시킨 표준변량, Z_t를 식(3)에 의해 구할 수 있다.

$$Z_t = (q_t - m^*_t) / S^*_t \quad (3)$$

원활화 과정으로 인해 표준변량, Z_t 의 합이 영으로 되지 않기 때문에 일반적으로 계속적인 수정이 필수적이며, 이 과정을 위해서 표준변량, Z_t 의 평균치인 m_z 와 그 표준편차, S_z 를 계산함으로써 식(4)와 같은 수정변량, W_t 가 구해진다.

$$W_t + (Z_t - m_z) / S_z \quad (4)$$

다음 W_t 의 지체1자기 상관계수(Lag-one Autocorrelation Coefficient), ρ_1 을 다음의 식(5)에 의해 구한다.

$$\rho_1 = \frac{C_1}{C_0} \quad (5)$$

$$\text{여기서, } C_1 = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N-1} (W_t - \bar{W})(W_{t+1} - \bar{W})$$

$$C_0 = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N-1} (W_t - \bar{W})^2$$

이어서 잔차(Residual), $\varepsilon(t)$ 를 식(6)에 의거하여 계산한다.

$$\varepsilon(t) = W_t - \rho_1 W_{t-1} \quad (6)$$

잔차의 평균치, ε_m 과 그 표준편차, ε_s 를 계산한 후 잔차수열 $E(t)$ 가 정규분포(1,0)에 만족되는 값을 구한 후 최종적으로 소기하는 모의발생을 위한 수정변량 W^* 를 식(7)에 의해 구한다.

$$W^*_t = \rho_1 W_{t-1} + E(t) \quad (7)$$

또한 모의발생을 위한 표준변량 Z^* 는 식(8)과 같이 정리될 수 있다.

$$Z^*_t = m_z + S_z W^*_t \quad (8)$$

따라서 조화합성모형에 의해 모의발생하고자 하는 일반식은 식(9)와 같이 유도된다.

$$q^*_t = m^*_t + S^*_t Z^*_t \quad (9)$$

2. 조화회귀모형

어느 특정월에 관측된 총유출량과 평균유출량 간에 변화가 유의한 관계를 갖지 않는 경우에는 다음의 식(10)과 같은 회귀모형식으로 단순화하여 월유출량을 모의발생시킬 수 있다.¹⁶⁾

$$y_t = \alpha + \beta_1 \cos 2\pi t / 12 + \gamma_1 \sin 2\pi t / 12 + \varepsilon_t \quad (10)$$

여기에서 y_t 는 t 월의 유출량이며 α , β_1 및 γ_1 은 각각 실측 월유출량으로부터 구해지는 상수이다. 그리고 ε_t 는 다음과 같은 가정하에서의 임의의 변량이다. 즉, 그 첫째로 통계특성의 평균이 영이고 단위분산, σ^2_{ε} 이어야 하며 둘째로 ε_t 는 ε_{t-k} ($k \neq 0$)와 상관되지 않는다.

따라서 상기 2개 가정하에 α , β_1 , γ_1 및 σ^2_{ε} 의 4개 상수 및 임의변량 추정치인 $\hat{\alpha}_0$, $\hat{\beta}_1$, $\hat{\gamma}_1$ 및 $\hat{\sigma}^2_{\varepsilon}$ 의 값이 최소자승법에 의해서 다음의 식(11), (12), (13) 및 (14)에 의해 추정될 수 있다.

$$\hat{\alpha}'_0 = \bar{y} = \sum_{t=1}^N \frac{y_t}{N} \quad (11)$$

$$\hat{\beta}'_1 = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N y_t \cos \frac{2\pi t}{12} \quad (12)$$

$$\hat{\gamma}'_1 = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N y_t \sin \frac{2\pi t}{12} \quad (13)$$

$$\hat{\sigma}^2_{\varepsilon} = \left\{ \sum_{t=0}^N (y_t - \bar{y})^2 - (\hat{\beta}'_1{}^2 + \hat{\gamma}'_1{}^2)N / 2 \right\} / (N-3) \quad (14)$$

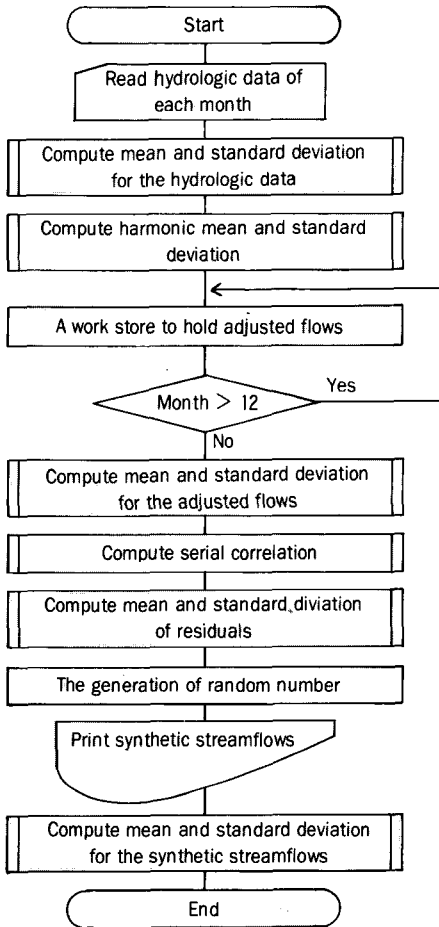
서로 다른 해의 같은 달에 있어서 부분적으로 월유출량의 변화가 크게 되면 무작위 성분 간의 분산이 매우 커지는 결과를 가져오므로 이 문제를 해결하기 위해서는 월유출량에 대수를 취한 다음의 식(15)을 취함으로써 해결될 수 있다.

$$\log y_t = \alpha + \beta_1 \cos 2\pi t / 12 + \gamma_1 \sin 2\pi t / 12 + \varepsilon_t \quad (15)$$

3. 전산프로그램의 구성

가. 조화합성모형

전술한 조화합성모형은 월유출량과 같은 수문 자료와 조화수 m^* , S^* 및 표준변량 Z^* 를 기초식으로 한 조화합성모형의 모의발생식을 근간으로 하여 프로그램을 개발하였고 이에 관한 흐름도는 <Fig. 1>과 같다.

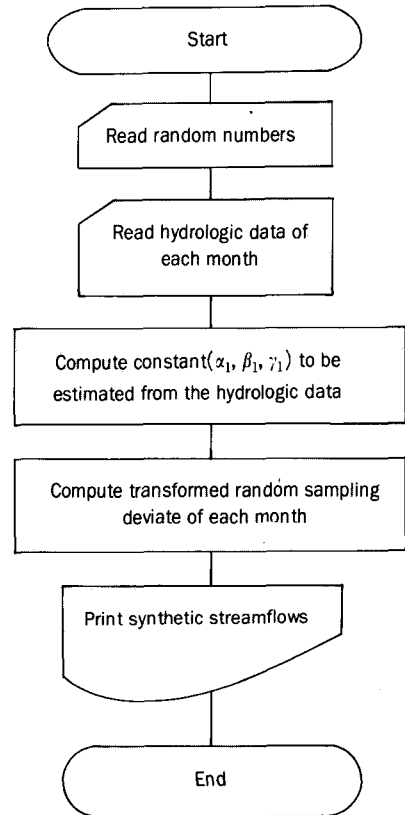


<Fig. 1> Flow chart of harmonic synthetic model

나. 조화회귀모형

조화회귀모형은 4개 상수 및 임의변량 중 실측 월유출량 자료로부터 구해지는 상수인 α , β_1 , γ_1 과 단위분산인 σ^2 의 추정식을 근간으로 하여 모의발생 프로그램을 개발하였고 이에 관한 흐름도는

<Fig. 2>와 같다.



<Fig. 2> Flow chart of harmonic regression model

Ⅲ. 기본수문자료 및 분석 방법

1. 기본수문자료

본 분석에 사용된 대상유역은 영산강 수계의 나주, 마륵 및 남평의 3개 유역과 섬진강 수계의 적성, 압록 및 송정의 3개 유역 도합 6개 유역을 선정하였으며, 수문자료는 해당유역에 부응하는 수위-유량곡선(Stage-Discharge Curve)에 의해 계산된 월유출량 자료를 사용하였다.^{2,12)}

본 분석 대상유역의 유역특성은 <Table 1>과 같으며 여기에서 유역면적은 576.2~4,255.7km²의 범위를 나타내고 있으며, 주하천장은 29.0~188.3km에 이르고 평균폭은 10.33~27.41km이며 형상계수는 0.079~0.685의 범위를 나타내고 있다.

〈Table 1〉 Watershed physical characteristics for the applied watersheds

River	Watershed	Area(km ²)	Length of main stream(km)	Average basin width(km)	Shape factor	Observed duration(yrs)	Location
Yeong San	Naju	2,058.72	75.1	27.41	0.365	1963~1987 25	Long. 126° 44' Lati. 35° 01'
	Mareug	683.96	56.0	12.21	0.218	1963~1987 (25)	Long. 126° 50' Lati. 35° 09'
	Nampyeong	576.20	29.0	19.87	0.685	1963~1987 (25)	Long. 126° 51' Lati. 35° 02'
Seom Jin	Songyeong	4,255.70	188.3	22.60	0.120	1963~1986 (24)	Long. 127° 34' Lati. 35° 10'
	Aprong	2,447.50	162.3	15.08	0.093	1963~1986 (24)	Long. 127° 22' Lati. 35° 11'
	Jeongseong	1,350.80	130.8	10.33	0.079	1973~1986 (14)	Long. 127° 34' Lati. 35° 10'

2. 분석 방법

가. 대상유역별 월유출량 자료의 기본통계치 분석

조화합성모형 및 조화회귀모형을 사용하여 월유출량의 모의발생을 시도하는데 기본적으로 필요한 기본 통계치인 평균치(\bar{Q}_i), 표준편차(S_i), 왜곡도 계수(C_s) 및 변동계수(C_v)를 다음의 식 (16), (17), (18) 및 (19)에 의해 유역별로 구하였다.

$$\bar{Q}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Q_{i,j} \quad (16)$$

$$S_i = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (Q_{i,j} - \bar{Q}_i)^2} \quad (17)$$

$$C_s = \frac{\frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{j=1}^n (Q_{i,j} - \bar{Q}_i)^3}{S_i^3} \quad (18)$$

$$C_v = \frac{\bar{Q}_i}{S_i} \quad (19)$$

나. 통계특성치의 비교

조화합성모형 및 조화회귀모형의 모의발생 방정식에 의해 모의발생된 월유출량의 통계 특성치를 실측치의 통계 특성치인 평균치, 표준편차 및 변동계수와 비교 분석하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 월유출량 자료의 기본통계치 분석

영산강 및 섬진강 수계에 대한 실측 월유출량의 평균치, 표준편차, 왜곡도 계수 및 분산계수 등의 기본통계치를 각 유역별로 구한 결과는 〈Table 2〉 및 〈Table 3〉과 같다. 〈Table 2〉에서 보는 바와 같이 영산강의 3개 유역 전체에 걸쳐 표준편차, S_i 는 0.49~124.89, 왜곡도 계수, C_s 와 변동계수, C_v 는 각각 0.44~4.79 및 0.53~2.67의 범위를 나타내고 있으며 섬진강의 송정, 압록, 적성 3개 유역에 걸친 표준편차는 〈Table 3〉에서 보는 바와 같이 4.94~202.22, 왜곡도 계수와 변동계수는 각각 -0.41~2.79 및 0.56~1.42의 범위를 나타내고 있다.

이상의 결과를 종합해 보면 영산강 및 섬진강 유역 공히 평균치와 표준편차가 연중 6월~9월 사이에 크게 나타났다.

2. 각 모형별 월유출량의 모의발생

가. 조화합성모형

대상유역별로 조화합성모형에 필요한 통계학적 매개변수인 평균치의 조화수 m^* , 표준편차의 조화수 S^* 를 구한 결과는 〈Table 4〉와 같고, 각 유역별로 조화합성모형에 의해 모의발생 초년도 1월

<Table 2> Basic statistics of historic streamflow in Yeong San river

Watershed	Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Statistics												
Naju	\bar{Q}_j	15.02	19.81	25.27	40.31	45.43	74.87	176.78	102.12	91.58	26.40	20.34	15.33
	S_j	8.00	12.26	25.19	30.98	39.71	110.80	124.89	76.77	75.26	17.61	15.91	9.27
	C_s	0.92	0.81	2.55	1.63	1.20	3.16	0.47	1.17	1.39	1.76	2.37	1.35
	C_v	0.53	0.62	1.00	0.77	0.87	1.48	0.71	0.75	0.82	0.67	0.78	0.60
Mareug	\bar{Q}_j	9.60	10.35	11.09	17.80	16.53	26.53	46.25	31.82	29.44	11.96	9.65	8.21
	S_j	8.32	8.46	9.65	13.05	15.91	31.09	31.63	28.35	31.30	12.88	10.06	8.98
	C_s	1.38	1.30	1.62	0.95	2.40	1.97	0.51	1.70	1.98	2.52	2.77	2.27
	C_v	0.87	0.82	0.87	0.73	0.96	1.17	0.68	0.89	1.06	1.08	1.04	1.09
Nampyeong	\bar{Q}_j	1.23	3.80	6.03	11.83	16.57	22.76	45.41	33.89	30.00	4.33	2.90	0.67
	S_j	2.87	10.14	12.80	10.05	15.61	29.58	31.45	21.23	25.30	4.63	4.78	0.49
	C_s	4.79	4.44	3.69	1.58	1.09	2.25	0.63	0.44	0.88	1.64	3.05	3.12
	C_s	2.33	2.67	2.12	0.85	0.94	1.30	0.69	0.63	0.84	1.07	1.65	0.73

\bar{Q}_j : Observed mean monthly discharge (m^3/s)

S_j : Standard deviation (m^3/s)

C_s : Coefficient of skewness

C_v : Coefficient of variation

<Table 3> Basic statistics of historic streamflow in Seom Jin river

Watershed	Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Statistics												
Song-jeong	\bar{Q}_j	19.81	28.84	35.23	87.38	91.71	121.10	287.43	245.60	163.60	51.51	31.12	24.43
	S_j	12.56	21.89	38.25	75.00	101.70	150.10	202.22	185.78	152.00	46.43	26.20	19.02
	C_s	0.99	0.81	2.22	1.22	1.76	2.27	0.17	1.43	1.02	1.61	1.85	1.17
	C_v	0.63	0.76	1.09	0.86	1.11	1.24	0.70	0.76	0.93	0.90	0.84	0.78
Aprog	\bar{Q}_j	18.57	27.06	32.31	54.48	50.79	79.15	190.88	118.74	94.18	29.48	22.49	18.07
	S_j	18.10	18.92	28.65	42.06	48.79	112.50	133.43	88.81	97.46	20.70	19.05	12.60
	C_s	1.85	0.29	2.36	1.05	1.18	2.79	0.17	0.84	1.88	0.95	1.77	1.36
	C_v	0.97	0.70	0.89	0.77	0.96	1.42	0.70	0.75	1.03	0.70	0.85	0.70
Jeog-seong	\bar{Q}_j	7.34	8.20	10.18	16.61	14.86	26.67	47.98	35.57	31.13	10.52	7.98	8.01
	S_j	5.02	4.94	7.65	9.34	13.45	29.57	37.22	21.85	37.01	7.41	6.00	6.30
	C_s	1.95	0.98	1.16	-0.41	1.16	2.12	0.72	0.38	2.52	0.67	0.93	1.24
	C_s	0.68	0.60	0.75	0.56	0.90	1.11	0.78	0.61	1.19	0.70	0.75	0.79

\bar{Q}_j : Observed mean monthly discharge (m^3/s)

S_j : Standard deviation (m^3/s)

C_s : Coefficient of skewness

C_v : Coefficient of variation

<Table 4> Statistical parameters for the harmonic synthetic model in the applied watersheds

River	Water-shed	Para-meters	Month											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Yeong San	Naju	m_t^*	7.05	27.77	17.31	48.27	37.46	82.83	168.82	110.09	83.62	34.37	12.37	23.29
		S_t^*	5.39	14.86	22.58	33.58	37.10	113.43	122.29	79.37	72.66	20.21	13.30	11.87
	Ma-reug	m_t^*	8.27	11.67	9.76	19.13	15.21	27.85	44.92	33.14	28.12	13.29	8.32	9.53
		S_t^*	7.98	8.79	9.31	13.39	15.57	31.42	31.29	28.69	30.96	13.21	9.72	9.32
	Nam-pyeong	m_t^*	-0.75	5.88	3.89	13.84	14.41	24.82	43.29	35.91	27.80	6.37	0.88	2.70
		S_t^*	1.47	11.47	11.37	11.42	14.21	30.97	30.12	22.66	24.01	5.84	3.22	2.04
Seom Jin	Song-jeong	m_t^*	14.06	35.17	29.59	93.50	86.15	127.02	281.54	251.64	158.09	57.63	26.02	30.50
		S_t^*	10.16	25.35	35.45	77.81	98.61	153.01	199.31	188.49	148.76	49.35	23.98	22.26
	Aprog	m_t^*	11.31	33.80	25.52	61.41	43.77	85.73	183.92	125.67	87.18	35.82	15.22	24.49
		S_t^*	14.14	23.31	24.78	46.29	44.77	116.79	129.36	92.94	93.38	25.30	15.11	16.91
	Jeog-seong	m_t^*	6.18	9.36	9.02	17.77	13.70	27.83	46.83	36.73	29.97	11.67	6.82	9.17
		S_t^*	2.78	7.18	5.40	11.58	11.20	31.81	34.97	24.10	34.76	9.65	3.75	8.54

<Table 5> Harmonic synthetic equations for the simulation of January streamflow at the first year.

Model	River	Watershed	Equations
Sim(HS)	Yeong San	Naju	$q_1^* = 7.05 + 5.39 \cdot Z_1^*$
		Mareug	$q_1^* = 8.27 + 7.98 \cdot Z_1^*$
		Nampyeong	$q_1^* = -0.75 + 1.47 \cdot Z_1^*$
	Seom Jin	Songjeong	$q_1^* = 14.06 + 10.16 \cdot Z_1^*$
		Aprog	$q_1^* = 11.31 + 14.14 \cdot Z_1^*$
		Jeogseong	$q_1^* = 6.18 + 2.78 \cdot Z_1^*$

Sim(HS) : Simulated equations derived by harmonic synthetic model
 Z_1^* : Standard variate of January

분 모의발생식만을 표본 예로 나타낸 결과는 <Table 5>와 같다.

나. 조화회귀모형

각 유역별로 조화회귀모형에 필요한 상수 α , β

<Table 6> Harmonic regression equations for the simulation of January streamflow at the first year.

Model	River	Watershed	Equations
Sim(HR)	Yeong San	Naju	$q_1 = 1.46 - 0.32 \times \cos(\frac{2\pi}{12}) - 0.22 \times \sin(\frac{2\pi}{12}) + t_1 \cdot 0.41$
		Mareug	$q_1 = 1.46 - 0.26 \times \cos(\frac{2\pi}{12}) - 0.13 \times \sin(\frac{2\pi}{12}) + t_1 \cdot 0.42$
		Nampyeong	$q_1 = 0.61 - 0.74 \times \cos(\frac{2\pi}{12}) - 0.37 \times \sin(\frac{2\pi}{12}) + t_1 \cdot 0.55$
	Seom Jin	Songjeong	$q_1 = 1.59 - 0.41 \times \cos(\frac{2\pi}{12}) - 0.29 \times \sin(\frac{2\pi}{12}) + t_1 \cdot 0.62$
		Aprog	$q_1 = 1.44 - 0.36 \times \cos(\frac{2\pi}{12}) - 0.22 \times \sin(\frac{2\pi}{12}) + t_1 \cdot 0.56$
		Jeogseong	$q_1 = 1.03 - 0.26 \times \cos(\frac{2\pi}{12}) - 0.18 \times \sin(\frac{2\pi}{12}) + t_1 \cdot 0.43$

Sim(HR) : Simulated equations derived by harmonic regression model

t_1 : Standard normal random variate of January

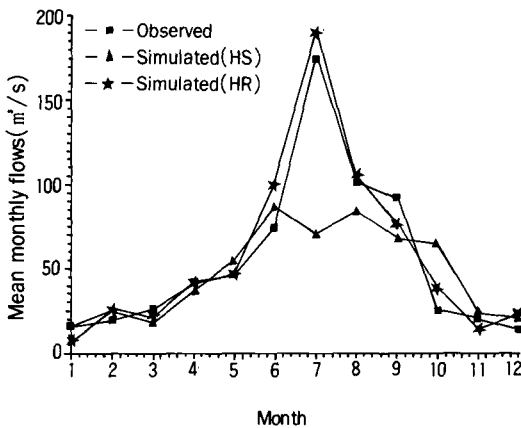
q_1 : q_1 should be transformed into Q_1 which is equalized to 10^{q_1}

및 γ_1 을 각각 실측 월유출량으로 부터 구하고 이에 따른 각 유역별 모의발생 초년도 1월분 조화회귀 모의발생식을 표본 예로 나타낸 결과는 <Table 6>과 같다.

3. 통계 특성치의 비교

실측 월유출량 자료와 조화합성 모형 및 조화회귀 모형에 의해 100년간 모의발생된 월유출량의 통계특성치 중 평균치, 표준편차 및 변동계수를 각 유역별로 분석 비교하였으며, 그 표본 예로 영산강의 남평유역과 섬진강의 적성유역에 대한 결과는 <Table 7> 및 <Table 8>과 같다.

각 수계별 대상유역에 있어서 실측 월유출량의 월별 평균치와 각 모형에 의해 모의발생된 월유출량의 월별 평균치를 비교해 보면 영산강 수계에서는 조화합성모형이 0.37~311.94%, 조화회귀모형은 0.73~146.74% 범위의 상대 오차를 나타내었고, 섬진강 수계에서는 조화합성모형이 1.30~46.58%, 조화회귀모형은 4.50~216.15% 범위의 상대 오차를 나타내었다. 그리고 이들 2개 모형에 의해 모의발생된 월유출량의 월별 평균치를 대상유역별로 실측 월유출량의 월별 평균치와 함께 도시한 결과는 <Fig. 3>~<Fig. 8>과 같다. 여기에서 특히 장마기인 6, 7월의 각 모형에 의해 모의발생된



<Fig. 3> Comparison between the mean of observed and synthetic streamflows at Naju watershed in Yeong San river

월유출량의 평균치를 실측 월유출량의 평균치와 비교한 결과 영산강 수계에서는 조화합성모형과

<Table 7> Relative error for the statistics of observed and synthetic streamflows at Nampyeong watershed in Yeong San river

Basic Statistics		\bar{Q}_i		S_i		C_v	
M	Obs & Sim	CV	RE	CV	RE	CV	RE
1	obs	1.23		2.87		2.23	
	sim(HS)	1.40	13.8	1.21	57.84	0.86	63.09
	sim(HR)	1.40	13.8	2.39	16.72	1.72	22.87
2	obs	3.80		10.14		2.67	
	sim(HS)	9.98	162.63	8.79	13.31	0.88	67.04
	sim(HR)	2.54	33.16	3.04	70.02	1.95	26.97
3	obs	6.03		12.80		2.12	
	sim(HS)	9.18	52.24	6.61	48.36	0.72	66.04
	sim(HR)	2.42	33.16	2.13	83.36	0.88	58.49
4	obs	11.83		10.05		0.85	
	sim(HS)	13.32	12.60	7.04	29.95	0.53	37.65
	sim(HR)	9.38	20.71	15.44	53.63	1.65	94.12
5	obs	16.57		15.61		0.94	
	sim(HS)	15.27	7.85	13.13	15.89	0.86	8.51
	sim(HR)	21.18	28.42	25.27	61.88	1.19	26.60
6	obs	22.76		29.58		1.30	
	sim(HS)	33.49	47.14	26.18	11.49	0.78	40.00
	sim(HR)	38.86	70.74	34.29	15.92	0.88	32.31
7	obs	45.41		31.45		0.69	
	sim(HS)	35.46	21.91	26.87	14.56	0.76	10.14
	sim(HR)	30.29	33.30	39.33	25.06	1.29	86.96
8	obs	33.89		21.23		0.63	
	sim(HS)	31.81	6.00	22.27	4.90	0.70	11.11
	sim(HR)	31.72	6.40	52.99	149.60	1.67	165.08
9	obs	30.00		25.30		0.84	
	sim(HS)	28.20	6.00	19.23	23.99	0.68	19.05
	sim(HR)	21.29	29.63	39.02	54.23	1.83	117.86
10	obs	4.33		4.63		1.07	
	sim(HS)	5.97	37.88	4.45	3.89	0.75	29.91
	sim(HR)	8.98	107.39	10.01	116.20	1.12	4.67
11	obs	2.90		4.78		1.65	
	sim(HS)	2.82	2.76	2.55	46.65	0.90	45.45
	sim(HR)	2.12	26.90	2.77	42.05	1.31	20.61
12	obs	0.67		0.49		0.73	
	sim(HS)	2.72	311.94	1.96	95.92	0.71	2.74
	sim(HR)	1.24	85.07	1.27	159.18	1.03	41.10

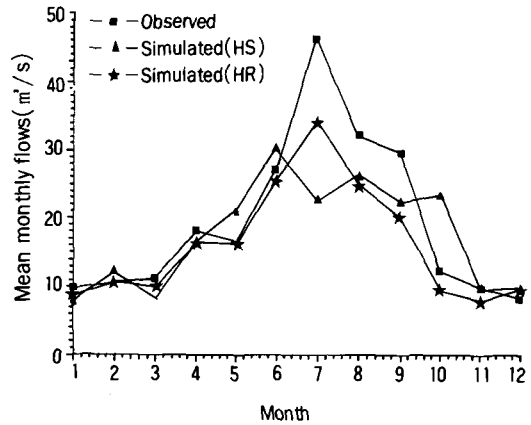
M : Month
 Obs & Sim : Observed & simulated flows.
 obs : Observed flows
 sim(HS) : Simulated by Harmonic synthetic model
 sim(HR) : Simulated by Harmonic regression model
 CV : Calculated value
 RE : Relative error

<Table 8> Relative error for the statistics of observed and synthetic streamflows at Jeogseong watershed in Seom Jin river

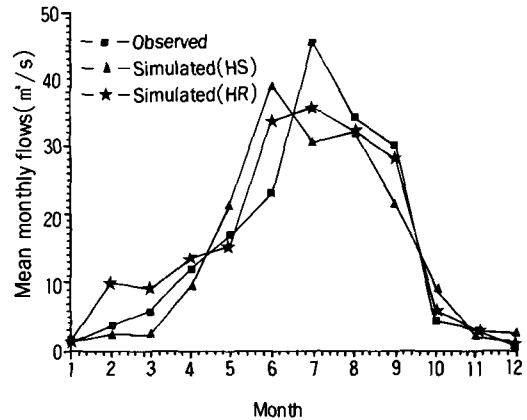
M	Basic Statistics	\bar{Q}_i		S_j		C_v	
		CV	RE	CV	RE	CV	RE
1	obs	7.34		5.02		0.68	
	sim(HS)	6.44	12.26	2.7	46.22	0.42	38.24
	sim(HR)	5.20	29.16	4.22	15.94	0.81	19.12
2	obs	8.20		4.94		0.60	
	sim(HS)	9.86	20.24	6.09	23.28	0.62	3.33
	sim(HR)	12.79	55.98	12.08	144.53	0.95	58.33
3	obs	10.18		7.65		0.75	
	sim(HS)	8.41	17.39	4.89	36.08	0.58	22.67
	sim(HR)	9.09	10.71	6.70	12.42	0.74	1.33
4	obs	16.61		9.34		0.56	
	sim(HS)	16.02	3.55	7.68	17.77	0.48	14.29
	sim(HR)	13.47	18.90	22.49	140.79	1.67	198.21
5	obs	14.86		13.45		0.90	
	sim(HS)	12.11	18.51	10.01	25.58	0.83	7.78
	sim(HR)	21.85	47.04	18.24	35.61	0.84	6.67
6	obs	26.67		29.57		1.11	
	sim(HS)	30.55	14.55	23.98	18.90	0.78	29.73
	sim(HR)	27.87	4.50	21.07	28.75	0.76	31.53
7	obs	47.98		37.22		0.78	
	sim(HS)	37.78	21.26	18.56	50.13	0.49	37.18
	sim(HR)	15.54	67.61	7.80	78.04	0.50	35.90
8	obs	35.57		21.85		0.61	
	sim(HS)	29.74	16.39	22.51	3.02	0.76	24.59
	sim(HR)	31.66	10.99	38.86	77.85	1.23	101.64
9	obs	31.13		37.01		1.19	
	sim(HS)	27.89	10.41	17.31	53.23	0.62	47.9
	sim(HR)	23.06	25.92	25.08	32.23	1.09	8.40
10	obs	10.52		7.41		0.70	
	sim(HS)	12.47	18.54	6.25	15.65	0.50	28.57
	sim(HR)	24.33	131.27	21.32	181.72	0.88	25.71
11	obs	7.98		6.00		0.75	
	sim(HS)	5.35	32.96	1.63	72.83	0.30	60.00
	sim(HR)	9.76	22.31	9.43	57.17	0.97	29.33
12	obs	8.01		6.30		0.79	
	sim(HS)	8.98	12.11	5.60	11.11	0.62	21.52
	sim(HR)	10.06	25.59	7.40	17.46	0.74	6.33

M : Month
 Obs & Sim : Observed & simulated flows.
 obs : Observed flows
 sim(HS) : Simulated by Harmonic synthetic model
 sim(HR) : Simulated by Harmonic regression model
 CV : Calculated value
 RE : Relative error

조화회귀모형이 각각 2.86~47.14%와 13.00~70.74% 범위의 상대오차를 나타내었고 섬진강 수계에서는 조화합성모형과 조화회귀모형이 각각 5.03~22.10%와 4.50~126.14% 범위의 상대오차를 나타내었다.

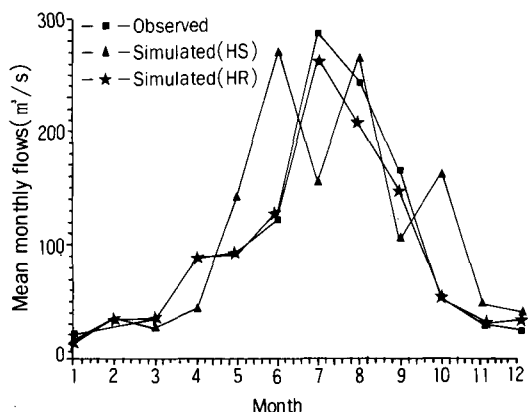


<Fig. 4> Comparison between the mean of observed and synthetic streamflows at Mareug watershed in Yeong San river

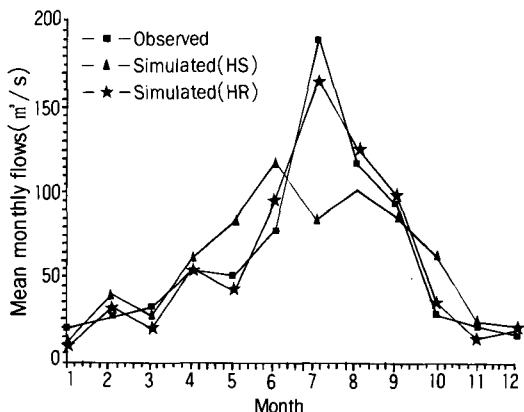


<Fig. 5> Comparison between the mean of observed and synthetic streamflows at Nam-pyeong watershed in Yeong San river

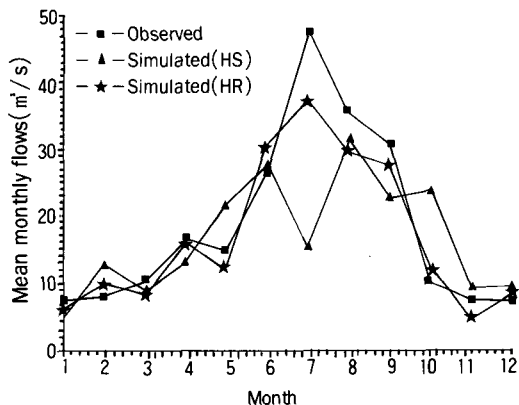
이상의 <Fig. 3>~<Fig. 8>에서 볼 수 있는 바와 같이 영산강 및 섬진강 수계에서는 공히 조화합성모형에 의해 모의발생된 월유출량의 평균치가 조화회귀모형에 의해 모의발생된 월유출량의 평균



〈Fig. 6〉 Comparison between the mean of observed and synthetic streamflows at Songjeong watershed in Seom Jin river



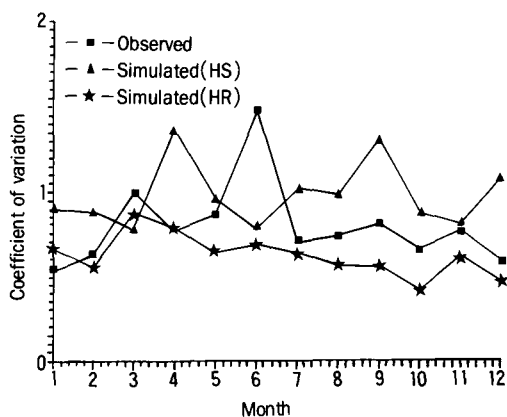
〈Fig. 7〉 Comparison between the mean of observed and synthetic streamflows at Aprong watershed in Seom Jin river



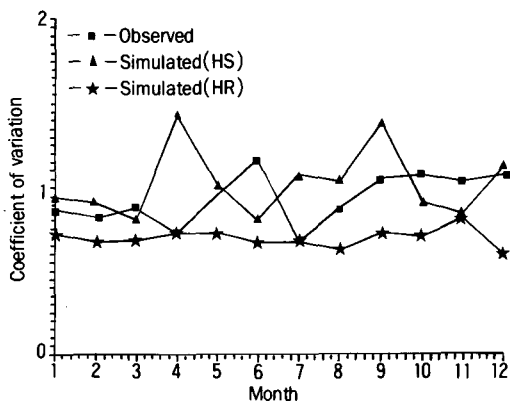
〈Fig. 8〉 Comparison between the mean of observed and synthetic streamflows at Jeogseong watershed in Seom Jin river

치에 비해 실측 월유출량의 평균치에 보다 접근하고 있음을 보여주고 있다. 또한, 조화합성모형 및 조화회귀모형에 의해 모의발생된 월유출량의 변동계수를 실측 월유출량의 것과 유역별로 비교한 결과 영산강 수계의 나주유역은 2.60~77.92%, 마륙유역은 0~94.52%, 남평유역은 2.74~165.08%, 섬진강 수계의 송정유역은 1.83~137.18%, 압록유역은 0~142.67%로 그리고, 적성유역은 1.33~198.21% 범위의 상대오차를 나타내었다.

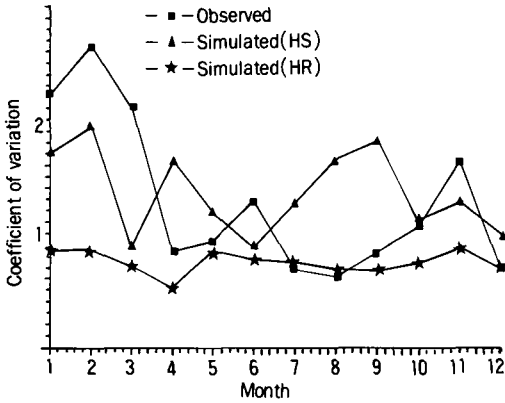
특히, 장마기인 6, 7월의 조화합성모형 및 조화회귀모형에 의해 모의발생된 월유출량의 변동계수



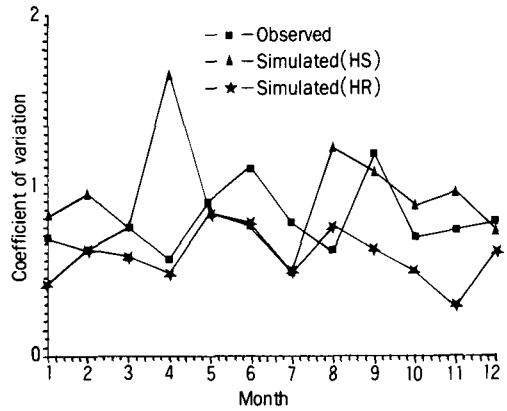
〈Fig. 9〉 Comparison between variation of observed and synthetic streamflows at Naju watershed in Yeong San river



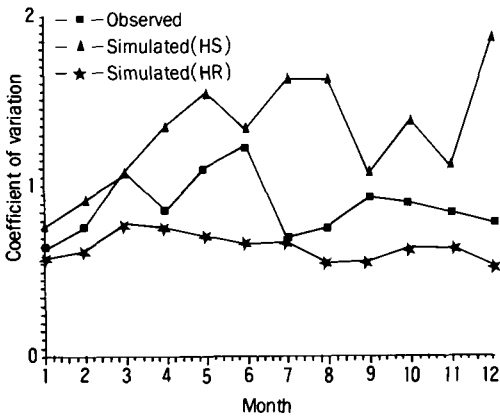
〈Fig. 10〉 Comparison between variation of observed and synthetic streamflows at Mareug watershed in Yeong San river



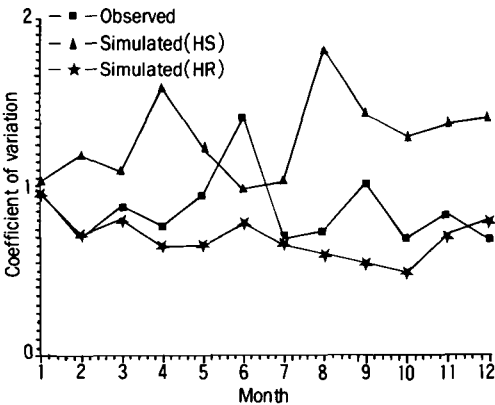
〈Fig. 11〉 Comparison between variation of observed and synthetic streamflows at Nam-pyeong watershed in Yeong San river



〈Fig. 14〉 Comparison between variation of observed and synthetic streamflows at Jeongseong watershed in Seom Jin river



〈Fig. 12〉 Comparison between variation of observed and synthetic streamflows at Songjeong watershed in Seom Jin river



〈Fig. 13〉 Comparison between variation of observed and synthetic streamflows at Aprong watershed in Seom Jin river

를 실측 월유출량의 것과 비교하면 영산강 수계에서 조화합성모형은 0~52.70%, 조화회귀모형은 30.77~86.96% 범위의 상대오차를 나타내었고 섬진강 수계에서 조화합성모형은 4.29~46.77%, 조화회귀모형은 7.26~131.43% 범위의 상대오차를 나타내었다. 각 모형에 의해 모의발생된 월유출량과 실측 월유출량의 변동계수 변화를 대상유역별로 도시한 결과는 〈Fig. 9〉~〈Fig. 14〉와 같다.

이상의 결과를 종합하면 조화합성모형에 의해 모의발생된 월유출량의 평균치와 하천유량 변화의 지표가 되는 변동계수가 영산강 및 섬진강 수계에서 공히 조화회귀모형에 의한 것 보다 관측치에 보다 접근되는 좋은 결과를 보여 주고 있다.

V. 결 론

본 연구에서는 영산강과 섬진강 수계의 6개 유역을 대상으로 월유출량에 관한 조화합성모형 및 조화회귀모형의 적용으로 모의발생시킨 합성월유출량을 실측치와 비교 검토하였으며 이에 대한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 모의발생된 월유출량과 실측치간의 평균치를 비교 분석한 결과 영산강과 섬진강 수계는 조화합성모형에 의해 모의발생된 월유출량의 평균치가 조화회귀모형의 결과에 비해 일반적으로 실측치에 보다 더 접근됨을 보여주고 있다.

2. 모형별로 모의발생된 월유출량의 유량변화 지표인 변동계수의 변화를 실측치에 대해 비교한 결과 조화합성모형에 의한 변동계수가 조화회귀모형에 비해 실측치의 값에 보다 더 근접되는 양상을 보여 주고 있다.

3. 본 연구에서 적정모의발생모형으로 판정된 조화합성모형에 의해 100년간의 월유출량을 모의 발생 시켰다.

4. 앞으로 본 연구에서 수행된 2개 모형과 다계절 1차 Markov 모형을 위시한 타 모의발생 모형과의 비교 분석이 수행됨이 바람직 하다고 사료 된다.

참고문헌

1. 박찬령, 서병하, 1986. Dissagregation모형에 의한 월유량의 추계학적 모의발생, 한국수문학회지, Vol. 19, No. 2, pp. 167~179.
2. 산업기재개발공사, 1987. 섬진강유역조사보고서.
3. 서병하, 윤용남, 강관원, 1979. Bivariate Analysis에 의한 월유량의 모의발생에 관한 연구, 한국수문학회지, Vol. 12, No. 2, pp. 63~69.
4. 윤용남, 1988. 공업수문학, 청문각, pp. 495~530.
5. 이순탁, 1974. 하천유량의 모의발생에 관한 추계학적 연구, 박사학위논문, 고려대학교, 대학원, 토목공학과.
6. 이순혁, 맹승진, 박종국, 1993. 장기유출량의 추계학적 모의발생에 관한 연구(I)(II), 한국농공학회지, Vol. 35, No. 3, pp. 100~129.
7. 이순혁 외, 1984. 응용수문학, 향문사, pp. 302~324.
8. 이순혁, 홍성표, 1989. Markov모형에 의한 월유출량의 모의발생에 관한 연구, 한국농공학회지, Vol. 32, No. 4, pp. 31~49.
9. 이종남, 1981. 남한강수계의 월강우량과 월유출량의 시계열 산술모형, 한국수문학회지, Vol. 14, No. 2, pp. 71~79.
10. 천덕진, 최영박, 1980. 수문학적 모의기법에 대한 연구, 한국수문학회지, Vol. 13, No. 1, pp. 49~56.
11. 최한규, 최영박, 김치홍, 1982. 하천유량의 수문학적 모의기법에 관한 연구(I), 한국수문학회지, Vol. 15, No. 2, pp. 33~39.
12. 한국수자원공사, 1988. 영산강유역조사보고서
13. Beard, L.R., 1965. Use of Interrelated Records to Simulate Streamflow, J. Hy. Div. ASCE, Vol. 91, HY5, pp. 13~22.
14. Beard, L.R., 1967. Streamflow Synthetic for Ungaged Rivers, Proc. IASH.
15. Chow, V.T., (ed.), 1964. Sequential Generation of Hydrologic Information, Handbook of Applied Hydrology, McGraw-Hill, N.Y., Chap. 8-IV, pp. 8-91~8-96.
16. Clarke R.T., 1964. Mathematical Models in Hydrology, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Institute of Hydrology, Wallingford, U.K., pp. 62~73.
17. Fiering, M.B., 1967. Streamflow Synthetic, Harvard University Press, Cambridge, Mass.
18. Fiering, M.B. and B.B. Jackson, 1971. Synthetic Streamflow, American Geophysical Union, Water Resources Monograph, 1.
19. Haan, C.T., 1977. Statistical Method in Hydrology, Iowa State University Press, Ames, pp. 97~158.
20. Kottegoda, N.T., 1972. Stochastic Five Daily Stream Flow Model, J. Hyd. Div., ASEC, Vol. 98, Hy9.
21. Maass, A., et al, 1962. Design of Water Resources Systems, Harvard University Press.
22. Matalas, N.C., 1967. Mathematical Assessment of Synthetic Hydrology, Water Resources Research, Vol. 3, No. 4.
23. McMahon, T.A., et al, 1972. Stochastic Generation of Streamflow Data, Civil Engineering Research, Reports, No. 2, Mo-

nash University.

24. Murota, A and T. Kanda, 1969. A Stochastic Model to Simulate Monthly River Flow Sequences, Proc. 13th Cong. IAHR, Vol. 1, pp. 163~170.
25. Quimpo, R.G, 1968. Stochastic Analysis of Daily River Flows, J. Hy. Div., ASCE, Vol. 94, HY1, pp. 43~57.
26. Quimpo, R.G and V. Yevjevich, 1967. Stochastic Description of Daily River Flows, Proc. Intern. Hydrol. Symposium, Vol. 1, pp. 290~297, Fort. Collins, Colorado.
27. Sudler, C.E., 1927. Storage Required for Regulation of Steamflow, Trans. ASCE, Vol. 91, p. 622.
28. Wang, Ru Yih, 1974. A Study on the Simulation of Monthly Streamflows of Water-sheds in Taiwan, Journal of Chinese Agricultural Engineering, Vol. 20, No. 4, pp. 1~17.
29. Yevjevich, V., 1972. Stochastic Processes in Hydrology, Water Resources Publication, Fort Collins, Colorado, pp. 249~259.

약 력

이 순 혁



- 1965. 서울대학교 농과대학 농공학과 졸업
- 1969. 캐나다 McGill대학교 초빙연구교수
- 1977. 서울대학교 대학원 농학박사
- 1980. 미국 네브라스카 주립대학교 초빙연구교수
- 1982. 영국 국립농공대학 연구교수
- 1984. 미국 콜로라도 주립대학교 객원교수
- 1987. 일본 경도대학 초빙연구 교수
- 1994. 일본 오카야마대학 객원 교수
- 1996. 호주 멜본대학교 객원교수
- 현재 충북대학교 농공학과 교수, KCID 이사, 한국농공학회 감사

맹 승 진



- 1990. 충북대학교 농과대학 농공학과 졸업
- 1995. 충북대학교 대학원 농학석사
- 현재 충북대학교 대학원, 한국수자원공사 수자원연구소 연구원