

Markov 연쇄모형과 Tank 모형을 이용한 일 유량자료계열의 확충

The Expansion of Daily Streamflow Series By Markov-Chain and Tank Models

서 병하*, 김 병식**

1. 서 론

국가의 수자원을 개발하고 관리하기 위한 수자원 계획 수립에는 계획의 지표가 되는 수문자료의 분석에 의하여 얻을 수 있는 수문학적 계획변수의 설정이 필요하다. 치수 및 이수 계획에는 각각 빈도별 확률 홍수유량 및 확률 갈수유량을 산정하여 계획변수로 이용하고 있다. 확률 홍수유량은 치수계획 수립시 치수방재 및 하천 구조물의 규모를 결정하는 설계기준으로 이용되고, 확률 갈수유량은 이수계획 수립시 하천 유역에서의 용수공급 시설물의 규모를 결정하는 기준으로 이용된다. 확률 홍수유량이나 확률 갈수유량은 수문관측 지점에서 기록된 강우량, 유출량 및 기타 기상자료를 사용하여 홍수유량이나 갈수유량 시계열을 작성하고 초과확률의 개념을 도입하여 빈도분석을 실시함으로써 결정된다.

하천에서의 홍수 및 갈수 유량계열은 수위 및 유량관측을 통한 수위-유량 관계분석에 의해 작성되어야 하나, 국내의 경우 수위-유량관계 곡선은 대부분 고수위 및 평수위에서 개발되어 홍수유량 계열의 경우는 비교적 정확하나, 저수위에서는 관측자체의 어려움과 그 동안의 무관심으로 인해 갈수 유량계열을 작성하기 위한 수위-유량관계 곡선은 거의 전무한 실정으로 갈수 유량계열을 산정하기에는 어려움이 많다. 이러한 이유로 그 동안 홍수분야 연구는 많이 이루어져 왔으나 갈수기의 신뢰성 있는 수문자료 부족으로 갈수분야 연구는 활발하지 못하였다. 최근에 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 저수위 부분의 유량측정에 많은 노력을 기울이고 있으나 평수위 이상에서 유도된 수위-유량관계 곡선식을 이용하여 산정된 유량자료를 갈수빈도분석에 이용하는 것은 유량자료 자체부터 문제가 될 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 Markov 연쇄이론을 이용하여 일 강우량 자료를 추계학적으로 모의발생하여 확장하고 이 자료들을 일 유출모형인 탱크 모형에 입력시켜 일 유출량을 산정함으로써 관측기록년수보다 큰 유량계열을 획득하였다. 또한, 여기서 산정된 일 유출량자료를 이용하여 갈수빈도분석을 실시함으로써 이수 계획을 위한 계획변수인 빈도별 갈수유량 추정에 적용할 수 있는지를 검토하였다.

2. 연구 방법 및 범위

어떤 지역이나 지점의 용수공급을 원활히 하기 위하여 건설되는 댐 등과 같은 이수목적용 수공 구조물을 설계하기 위해서는 분석대상 지점을 통과하는 장기간의 일 또는 월 단위의 하천유출량 자료가 필요하며 특히, 초과확률개념에 의해 산정되는 빈도별 지속기간별 저수 유량계열의 크기를 추정하여야 한다. 이를 위해서는 장기간의 유황분석이 선행되어야만 하나 우리 나라의 경우 대부분의 유량관측 지점에서의 관측기록년수가 짧기 때문에 장기간의 자료획득에 이용되는 추계학적 모의발생에 의하여 유량 시계열 자료를 확충하는 방법의 적용이 필요하다.

인하대학교 공과대학 토목공학과 교수

인하대학교 대학원 토목공학과 석사과정 졸업

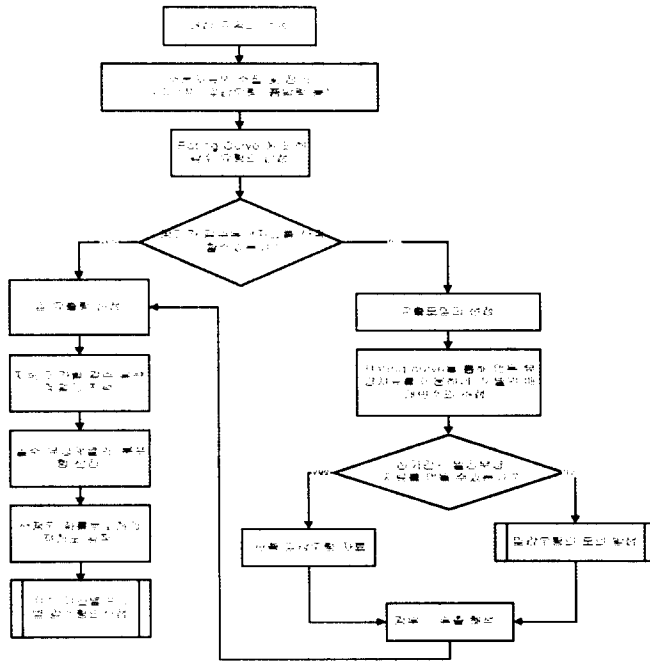


그림 1 연구방법과 내용

종래의 하천유량 모의발생으로서의 유량자료 자체의 시계열 분석에 의한 것이 대부분이었으나, 본 연구에서는 관측자료가 결핍되거나 부족한 경우에 적용될 수 있도록 비교적 관측기록년수가 큰 강우량으로부터 갈수시의 유량을 모의하여 수자원 계획시 이수계획 수립의 계획변수로서 많이 사용되고 있는 빈도별 지속기간별 갈수량을 산정하여 그 결과를 비교 분석하였다.

본 연구에서의 연구방법과 내용을 흐름도 형태로 표시하면 그림 1과 같다.

2.1 Markov 연쇄 모형을 이용한 일 강우량의 모의발생

Markov 연쇄모형에 의해 일 강우량을 모의하기 위해서는 첫째, 관측 일 강우량을 N개의 강우상태로 구분해야 한다. 이 때 실측 강우량의 크기는 매우 다양하고 그 편차도 크며 계절적으로도 차이가 있기 때문에 실측 일 강우량을 그대로 입력하는 것은 어렵다. 그러므로 가능한 한 실측일 강우량의 크기를 실제 상황에 근사하도록 세분하는 것이 중요하다.

둘째, N개의 상태로 세분화시켜 각 상태별 강우량의 시간에 따른 천이 빈도수를 구하여 천이빈도행렬을 구성하고 이로부터 천이확률 행렬을 산정한다.

여기서

$f_{N,N}$: 상태 S_N 의 강우에서 상태 S_N 의 강우로 천이한 빈도수

셋째, 각 상태별 천이빈도수를 결정하고 다음 식을 이용하여 천이확률을 구하고 식 (1)과 같은 천이확률 행렬을 구성한다.

$$P_{i,j} = \frac{f_{i,j}}{\sum_{i=1}^N f_{i,j}} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad \text{and} \quad j = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

식 (1)을 이용하여 천이확률 행렬의 누적확률 행렬 CP를 구하면 다음 식 (2)와 같다.

$$CP_{i,j} = \sum_{k=1}^i P_{i,k} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad \text{and} \quad j = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

마지막으로, Markov 연쇄의 천이확률이 결정되면 이를 기준으로 매일 일별 상태를 천이할 수 있는 확률적 체계를 구성할 수 있고 일련의 주어진 기간동안에 천이할 수 있는 상태별 확률이 결정된다. 따라서 상태별 확률에 의하여 다음 시점의 강우량의 상태가 정해지고 그 상태에 해당하는 강우량이 모의발생된다.

강우량의 상태를 결정하는 각 시점에서의 천이확률은 균등분포 난수 R_{nu} 를 발생시켜 결정할 수 있다.

2.2 일 유출량의 산정 및 확률갈수량의 산정

(1) 모의발생된 일 강우량을 이용한 일 하천 유출량의 산정

본 연구는 대상지점에서의 장기간의 일 유출량 자료를 얻기 위해 일 유출모형으로 탱크 모형을 이용하였으며 그림 2와 같이 일 유출량 모의 시스템을 구성하였다. 장기간의 일 유출량 자료를 얻기 위해서 먼저, 실측 수문기상자료와 단기간의 실측 일 유출량을 이용하여 탱크 모형의 매개변수를 추정하였다. 탱크 모형의 매개변수가 결정되면 앞에서 기술한 Markov 연쇄이론을 이용하여 일 강우량을 모의발생시켜 탱크 모형에 입력자료로 사용하였다.

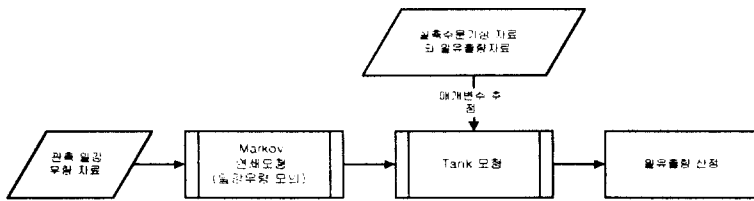


그림 2 일 유출량 모의 시스템의 모식도

(2) 지속기간별 갈수 유량계열의 작성 및 확률 갈수량의 산정

갈수는 홍수의 경우와는 달리 순간유량보다는 연속된 유량계열이 중요하므로 갈수해석에서는 우선 일정한 지속기간을 가진 갈수유량 시계열을 작성해야 한다. 일반적으로 갈수 유량계열의 빈도분석에는 연 최소치나 또는 연 초과치 계열을 쓴다.

하천 유역에서의 갈수유량의 특성은 유황곡선(flow duration curve, 또는 유량 지속곡선)이나, 특정 지속기간을 가진 연속 갈수유량으로 나타낸다. 유황곡선은 유량계열의 지속기간 백분율 유량크기로 나타낸다. 유황곡선은 가뭄기간 중 하천 유량의 시간변화 특성에 관한 정보를 주지 않는다. 또한 수위가 낮을 경우에 유량측정 정도가 낮으므로 초과확률값이 큰 유량(갈수기 유량)을 전폭적으로 신뢰할수 없다는 문제가 있다(권오현, 1995). 그러므로 특정기간 동안 연속유량치 계열의 크기가 갈수해석에서는 의미가 크다.

본 연구에서는 갈수의 지속기간을 5, 7, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330, 360일로 결정하여 지속기간별 갈수유량을 분석하고자 전술한 방법에 의해 모의 계산된 연 단위 하천 유량계열을 이용하여 각 지속기간별로 매년의 최저유량계열을 선별하여 연 최저치 유량계열을 작성하였으며 이를 대상으로 빈도분석을 실시하여 확률갈수량을 산정하였다.

3. 실제유역의 적용

본 연구는 Markov 연쇄모형과 탱크 모형에 의한 일 유출량 산정방법을 용담댐예정지 유역(용담수 위표 지점)에 적용하였다. 용담댐 예정지의 경우 용담수위표지점이 30년 이상의 수위자료를 보유하고 있으며, 수위-유량 관계곡선식이 작성되어 있고 유역내에 진안, 무주, 계북, 장수 등 4개의 유량관측소가 분포되어 있으므로 기존의 수위-유량관계 곡선식에 의해 산정된 갈수량과 본 연구에서 제시한 방법에 의해 산정된 갈수량 값을 비교·검토할 수 있기 때문에 본 연구 대상지점으로 선정하였다. 본 연구는 용담수위표지점의 1963년 1월~1995년 12월간의 일 수위자료(한국 건설기술연구원 수문D/B).

진안, 무주, 계북, 장수 지점의 일 강우량, 금산축후소의 일 증발량 자료를 이용하였으며, 유역 평균 강우량과 평균 증발량은 수자원공사에서 제시한 Thiessen계수를 이용하여 산정하였다.

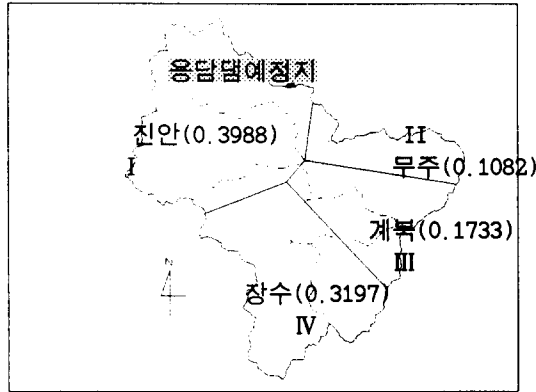


그림 3 용담댐예정지 유역과 Thiessen망도

4. 적용 결과

(1) Markov 연쇄모형의 검정

Markov 연쇄모형에 의해 일 강우량을 모의발생시키기 위해서는 먼저, 실측 일 강우량을 N 개의 상태로 구분했을 때 Markov 연쇄모형이 실측 일 강우량자료를 잘 재현할 수 있는지를 검증할 필요가 있다. 즉, Markov 연쇄모형이 일 강우량의 모의발생 기구로 적합한지를 확인해야 한다.

Markov 연쇄모형을 검증하기 위해 각 관측점에서 실측된 일 강우량기록의 전체 중 일부는 천이 확률 행렬인 상태공간을 구성하여 모의발생 방법에 따라 강우자료를 모의발생시켰으며, 나머지 실측 자료는 모의발생 자료의 검증에 사용하였다. 또한, 지점별로 전기간 실측 일 강우량 자료를 이용하여 강우상태의 천이확률 행렬인 상태공간을 구축하여 강우자료를 모의발생시켰다. 80, 100, 150, 200년간 강우자료를 모의발생시켜 비모수적 검정(t-test & F-test), 검사 접근방법(월평균 강우량, 표준편차, 월별 건조·습윤일의 발생빈도), 시계열 접근방법(월 correlogram)들을 실시하여 실측치와 모의치를 비교하였다. 그 결과 본 연구에서 사용한 Markov 연쇄모형은 Real-world system의 관측계열과 동일한 집단으로 볼 수 있는 출력자료(out data)를 산출하고 있으므로, 본 모델을 모의발생기구로 사용해도 문제가 없을 것으로 판단되었다.

(2) 일 강우량 자료의 확증

탱크 모형의 입력자료로 쓸 장기간의 일 강우량 자료를 얻기 위해 Markov 연쇄모형을 이용하여 각 관측소별로 80, 100, 150, 200년으로 모의하였으며, 전반기 30년은 초기치의 영향을 고려하여 제거하였다. 그림 4와 5는 장수지점의 80년으로 모의 발생시켰을때의 모의치와 실측치의 월 평균 강우량과 표준편차 나타낸 것이다. 그림 6과 7은 월 correlogram 과 월별 건조·습윤일의 발생빈도를 나타낸 것이다.

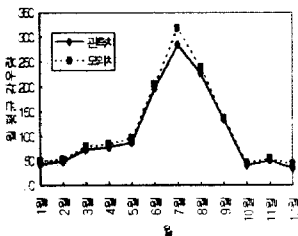


그림 4

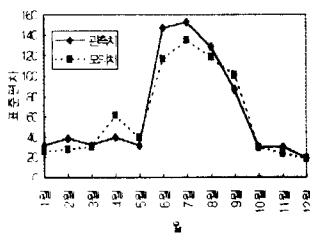


그림 5

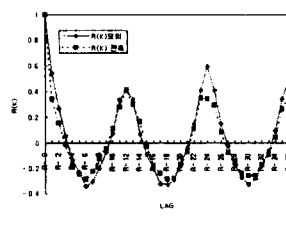


그림 6

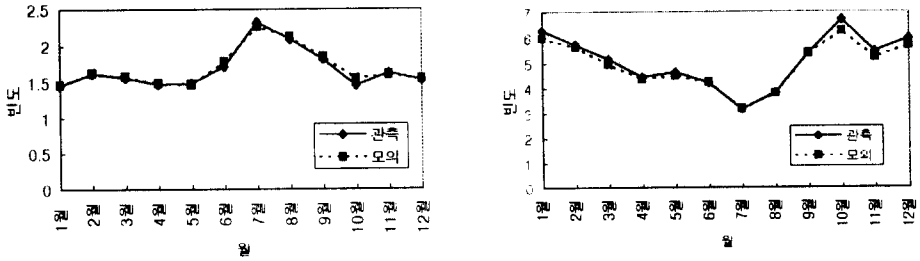


그림 7 월별 건·습윤일의 발생빈도

본 연구에서는 관측치의 기간을 고려하여 그 중에서 80년 모의치를 선택하였으며 전반부 30년을 제거한 후 50년치 자료를 일 유출모형의 입력자료로 사용하였다.

(3) 일 유출량 모의계산

4단 탱크의 구조는 제 1단 탱크에 2개의 유출공과 1개의 침투공을 갖고 있는 모형으로 하였으며 침투손실외에 증발산에 의한 손실도 고려하였다. 증발산량 자료는 금산 측후소의 실제 증발량에 증발 접시 계수 0.7을 곱하여 적용하였다. 그리고, 제 2단 및 3단 탱크는 1개씩의 유출공과 침투공을 가지며, 제 4단 탱크는 탱크의 저면에 1개의 유출공만을 갖고 있는 구조로 하여 침투손실을 고려하지 않았다. 용담댐 예정지 구역의 경우 탱크 모형의 매개변수가 결정되어 있지 않기 때문에 1995년 1월부터 1995년 12월까지의 관측 일 강수량, 일 증발산량 및 일 유출량 자료를 이용하여 시행착오법으로 계산 수문곡선은 홍수위보다는 평수위 또는 저수위시의 실측 수문곡선과 맞도록 매개변수를 추정하였다. 이 경우 계산된 유출고와 실측 유출고의 평균제곱오차를 계산해본 결과 3.88mm이었다.

모형의 매개변수를 결정한 후 앞에서 모의된 50년의 일 강수량자료를 탱크 모형에 입력하여 일 유출량을 산정하였다. 이 때 사용한 증발산량은 전 관측기간 동안의 월별 평균치를 사용하였다.

(4) 유황 분석

본 절에서는 Markov 연쇄모형과 탱크 모형에 의해 산정된 50년치의 일 유출량 자료를 이용하여 유황분석을 실시하였으며, 그 결과는 그림 8과 같다. 그림 8에서 보는 바와 같이 평균 갈수량은 6.38 cms로 나타났으며, 저수량, 평수량, 풍수량의 평균치는 8.42 cms, 11.91 cms, 22.27 cms로 나타났다.

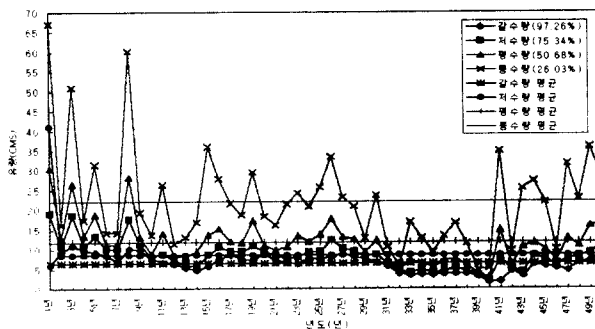


그림 8 유황 분석결과 (50년 모의치)

(5) 지속기간별 확률갈수유량의 산정

지속기간별 연 최저치 유량계열(지속기간 5, 7, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330, 360일)을 대상으로 빈도분석을 실시하였다. 빈도분석은 재현기간 2, 5, 10, 20, 50, 100년인 경우에 대해 실시하였다. 그림 9와 10은 지속기간별 빈도별 갈수량을 전대수지에 도시한 결과이다.

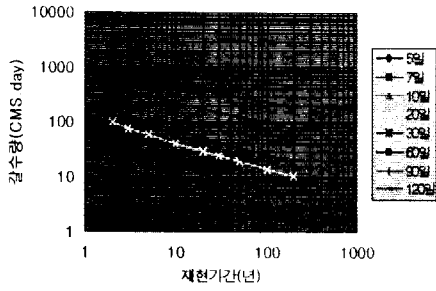


그림 9

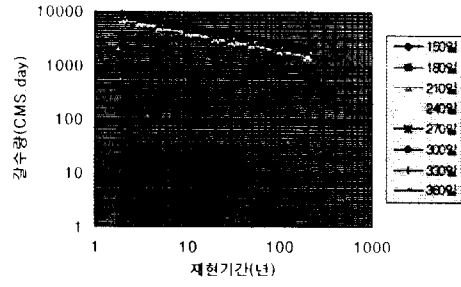


그림 10

5. 실측 및 모의된 일 유출량 자료의 비교 분석

본 연구를 통해 산정된 모의 일 유출량자료를 이용하여 이수관련 계획변수 중 하나인 갈수량을 추정할 경우 얼마만큼의 실용성이 있는지를 판단하고자 실측 일 유출량자료와 모의 일 유출량자료의 유황분석결과와 지속기간별 갈수량의 평균값을 비교해 보았다.

유황분석의 경우 일 유출모의에 의해 산정된 모의치의 분석결과와 수위-유량관계 곡선식에 의해 산정된 실측유량의 분석결과가 매우 비슷한 값을 나타냈다. 그림 11은 용담수위표 지점의 관측 일 유출량에 대한 유황분석결과와 본 연구에서 산정한 모의 일 유출량에 대한 유황분석결과를 비교한 유황곡선이다.

지속기간별 갈수량의 평균값은 그림 12이 보여 주는 바와 같이 거의 비슷한 값을 나타내었다. 여기서, 관측유량은 1963년 1월부터 1992년 12월까지의 자료를 이용하였다.

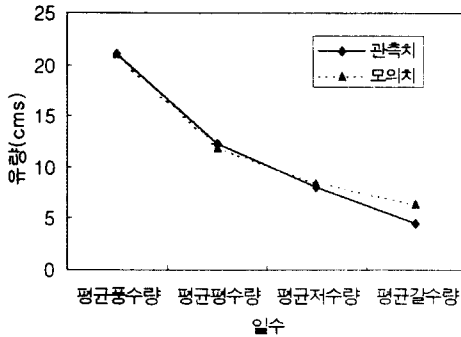


그림 11 유황곡선의 비교

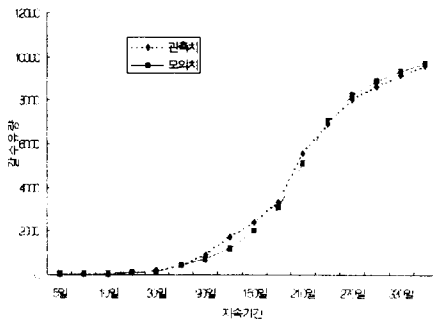


그림 12 지속기간별 갈수량의 평균 비교

6.결 론

본 연구는 이 방법을 용담댐예정지 유역에 적용하여 Markov 연쇄 이론에 의해 일 강우량 자료를 모의발생시켜 확장하였으며 이를 Tank 모형에 입력하여 장기간의 일 유출량을 산정하였다. 또한, 유황분석과 지속기간별 연 최저치 유량계열을 작성하여 이를 대상으로 갈수빈도분석을 실시하였다. 본 연구는 이와 같이 산정된 유황분석값과 지속기간별 갈수량의 평균값을 실측 유량으로부터 구한 동일한 값들과 비교함으로써 본 방법을 이용하여 이수계획을 위한 계획변수값의 추정이 가능함을 확인할 수 있었다.

본 연구는 위와 같은 연구결과로 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 지속기간별 갈수유량계열에 대한 빈도분석을 실시하여 빈도별 지속기간별 갈수유량을 산정하여 지속기간별 갈수빈도곡선을 작성, 제시하여 이수계획 수립시 기초자료로 이용할 수 있도록 하였다.

(2) 유량관측자료가 결핍된 지점일지라도 유출모형의 매개변수를 추정할 수 있는 단기간의 유량 실측자료와 비교적 기록년수가 긴 일 강우량 자료만 있다면 본 연구에서의 분석과정을 활용하면 유출량 자료의 확충이 가능할 것으로 생각된다.

(3) 본 연구에서 제시된 내용에 지속적인 연구가 이루어 진다면 앞으로 수자원의 계획, 운영 및 관리를 위한 설계수문량을 설정하는데 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- Balaji Raiagopalan, Upmanu Lall & David G. Tarboton, "Non-homogeneous Markov Model for Daily precipitation", J. of Hydro. Eng., Jan. 1996, pp. 33~40.
- Caskey, J.E., "A Markov Chain Model for the Probability of Precipitation Occurrence in Intervals of Various Length", Mon. Weath. Re. v., Vol. 91, No. 6, 1963, pp.298~301.
- G.W.KITE, Water Resources Publications, "Hydrologic Applications:Computer programs for Water Resources Engineering", 1991, pp.72~98.
- I.L.R.I., "Screening of Hydrological Data: Tests for Stationarity and Relative Consistence", 1990
- Khanal, N.N. and Hamrick, R.L., "A Stochastic Model for Daily Rainfall Data Synthesis", Proc. Symposium on Statistical Hydrology 1974, Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture, pp. 154~196.
- Nicholas R.Farnum, LaVerne W.Stanton, "Quantitative Forecasting methods", PWS~KENT, 1989, p.57~72.
- Nord J., "Some Applications of Markov Chains", Fourth Conf. on Prob. and Statist. in Atmosp. Sci., Nov. 18~21, 1975, Tallahas, pp.125~130.
- Salas, "Risk Analysis of Water Resources.(I),(II)", Lecture Note, Colorado State University, 1992.
- Salas, J. D. (1993) "Analysis and Modeling of Hydrologic Time Series", Chapter 19 of Handbook of Hydrology, McGraw-Hill
- Sugawara, M. (1995) Tank Model, Chapter 6, "Computer Models of Watershed Hydrology"(edited by V. P. Singh), Water Resource Publications, Colorado, U.S.A.
- Yevjevich. V.M., "Probability and Statistics in Hydrology", Water Resources Publications Fort Collins, Colorado. 1984, pp.32~66.
- Yevjevich. V.M., "Structure of Daily Hydrologic Series", Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado. 1984.