

# 비정상성 Markov Chain Model을 이용한 다지점 일강수량 모의 Nonstationary Markov Chain Model for Multi-site Daily Rainfall Simulation

문장원\*, 권현한\*\*, 문영일\*\*\*

Jang-won Moon, Hyun-Han Kwon, Young-Il Moon

---

## 요 지

최근에 기후변화 영향 분석을 위한 강수모의발생 기법에 대한 연구가 중요한 문제로 대두되고 있다. 기본적으로 모의된 강수량이 유역단위에서 의미 있는 값으로 수문모형에 입력자료로 활용되기 위해서는 강수지점간의 공간상관성의 유지가 매우 중요하다. 즉 지역적인 수문학적 거동을 유역단위에서 평가하기 위해서는 유역상관성을 고려할 수 있는 다지점(multisite) 모형의 개발이 필수적이다. 이러한 점에서 본 연구에서는 다지점 강수모의기법을 개발하였으며 비정상성 해석이 가능하도록 동역학적 강수모형을 구성하였다. 이를 한강유역 강수지점에 적용하여 모형의 적합성을 평가하였다.

핵심용어 : 다지점 강수모형, 비정상성 Markov Chain 모형, 강수, 기후변화

---

## 1. 서 론

최근 기후변화 연구가 활발히 진행되면서 Downscaling 모형으로서 강수모의발생기법에 대한 연구가 매우 중요한 요소로 작용하고 있다. 특히, 유역단위 상세수문시나리오를 생산하기 위해서는 지역적인 관점에서 강수지점간에 상관성을 유지시키면서 강수량을 모의할 수 있는 기법이 필요하다. 이러한 강수모의기법으로 모의된 강수량은 수문모형의 입력자료로 활용되기 때문에 유역의 공간상관성을 고려하는 다지점(multisite) 모형이 적용되어야 강우-유출 모형으로부터 추정된 유출량이 유의성을 갖는다. 즉, 독립적으로 지점마다 무작위로 강수량을 모의시킨 결과를 강우-유출 모형을 통해서 유출량으로 환산한다면 출구점에서 유출량은 실제 강우-유출관계를 왜곡하게 되는 문제점이 있다. 이러한 점에서 본 연구에서는 다지점 강수 모형을 개발하여 유역상관성을 고려함과 동시에 외부인자를 동적으로 고려할 수 있도록 모형을 구성하였다. 개발된 모형은 한강유역에 위치한 다수의 강수지점에 대해서 적용하여 모형의 대한 적합성을 평가하였다.

---

\* 정회원.서울시립대학교 공과대학 토목공학과 석사과정 · E-mail : mromyo@uos.ac.kr

\*\* 정회원.전북대학교 공과대학 토목공학과 조교수 · E-mail : hkwon@jbnu.ac.kr

\*\*\* 정회원.서울시립대학교 공과대학 토목공학과 교수 · E-mail : ymoon@uos.ac.kr

## 2. 분석대상 지점

본 연구에서는 한강유역에 속해있는 18개 지점을 대상으로 연구를 진행하였다. 본 연구에서 이용된 강수지점을 표 1과 같다. 18개 강수지점간의 상관성은 대략 0.2에서 0.9까지 다양하게 나타나고 있으며 일반적으로 0.5이상의 큰 값으로 추정되고 있으며 이 유역상관 행렬을 그림으로 나타내면 그림 1과 같다.

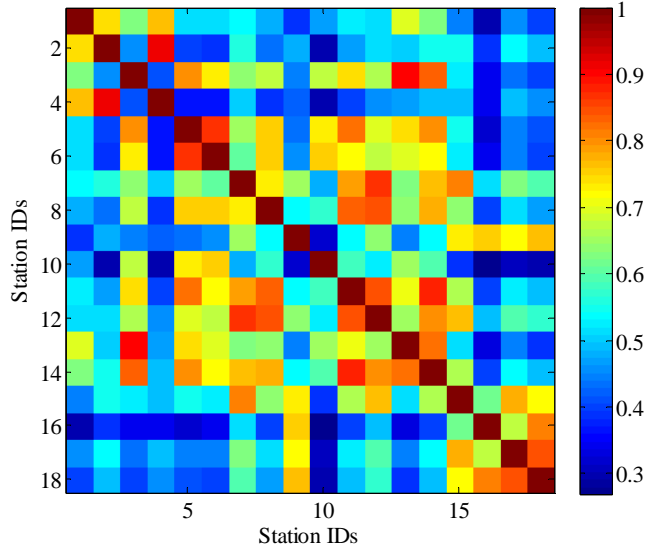


그림 1. 한강유역 강수지점간의 공간상관성

표 1. 한강유역 강수 관측망 제원

지점	위도	경도	관측기간 (월/년)
속초	38-14-53.3	128-34-0.8	01/68-12/06
대관령	37-41-2.9	128-45-39.6	01/71-12/06
춘천	37-53-59.6	127-44-15.9	01/66-12/06
강릉	37-44-55.3	128-53-35.8	01/61-12/06
서울	37-34-6.9	126-58-4.2	01/61-12/06
인천	37-28-29.4	126-37-35.3	01/61-12/06
원주	37-20-4.7	127-56-56	09/71-12/06
수원	37-16-9.7	126-59-14.2	01/64-12/06
강화	37-42-17.2	126-26-55.2	01/71-12/06
양평	37-29-8.8	127-29-47.6	02/71-12/06
이천	37-15-40.6	127-29-10.8	07/71-12/06
인제	38-3-26	128-10-9.2	09/71-12/06
홍천	37-40-50.9	127-52-57.2	07/71-12/06
제천	37-9-23.3	128-11-46.6	01/71-12/06

## 3. 다지점 비정상성 Markov Chain 모형

비정상성 Markov Chain 모형은 기본적으로 기존 Markov Chain 모형을 근간으로 하고 있으며 기후변화와 같은 외부인자가 Markov Chain 모형의 매개변수를 결정짓는다는 가정하에 모형을 구

성한다. 예를 들어, Markov Chain 모형의 천이확률 및 확률밀도함수의 매개변수들이 계절강수량을 조건부로 변하다고 가정하는 것이다. 본 절에서는 권현한과 김병식(2009)이 제시한 비정상성 Markov Chain 모형을 요약 정리하였다.

상태-2의 1차 Markov Chain 모형에서 각 상태공간에 존재하는 강수사상의 수인 벡터(S)와 사상의 발생과 비 발생의 확률을 나타내는 천이확률( $P_{tr}$ )은 다음과 같은 식으로 표현 될 수 있다.

$$P_{tr_{i,j}} = \frac{[S_{i,j}]}{\sum_{j=1}^2 S_{i,j}} \quad (1)$$

여기서, 행렬의 원소  $P_{tr_{i,j}}$ 는 상태 i에서 상태 j로 천이되는 확률을 나타내며 상태  $S_i$ 에서는 반드시  $S_{1,1}, S_{1,2}, S_{2,1}, S_{2,2}$  중 한 곳으로 천이 되므로 천이확률의 각 행의 합은 반드시 1이 된다. 강수량의 확률분포는 일반적으로 2변수 Gamma 분포를 이용하며, 본 연구에서는 2변수 Gamma 분포를 적용하였다. Gamma 분포의 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$P(x) = \frac{\alpha^\beta x^{\beta-1} e^{-\alpha x}}{\Gamma(\beta)} \quad (2)$$

여기서,  $x, \alpha, \beta > 0$ ,  $\alpha$ 는 축척매개변수(scale parameter)를  $\beta$ 는 형상매개변수(shape parameter)를 나타낸다. 따라서 Gamma 분포형을 사용하는 상태2-1차 Markov Chain의 경우 4개의 매개변수를 가지게 된다. 본 연구에서는 권현한과 김병식(2009)의 방법론과 동일하게 4개의 추계학적 매개변수들, 즉 무강수에서 강수로 진행되는 천이확률( $p_{01}$ ), 강수에서 강수로 진행되는 천이확률( $p_{11}$ ), 그리고 강우량을 모의하기 위한 Gamma 확률분포의 축척매개변수( $\alpha$ )와 형상매개변수( $\beta$ )은 계절 강수량의 특성을 가지고 매년 동적으로 추정되게 된다.

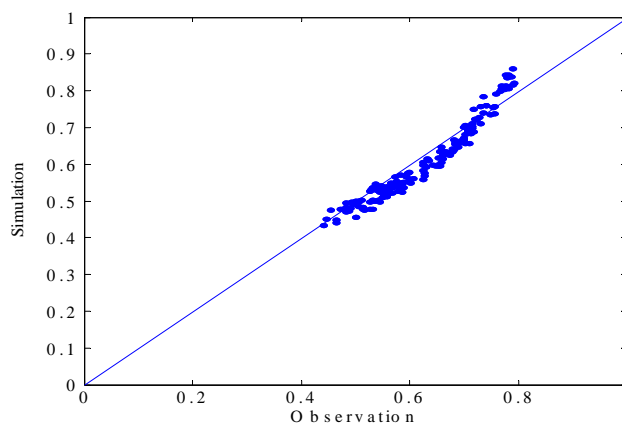


그림 2. 각지점에서 모의 발생된 난수들의 상관성

기존 비정상성 Markov Chain 모형을 다지점 강수모형으로 발전시키기 위해서 18개 강수지점의 상관 행렬을 다변량정규분포의 입력자료로 활용하여 강수지점간의 상관성이 유지될 수 있도록 난수계열을 모의발생 시켰다(Wilks, 1998). 상관성을 가지는 난수를 발생시키는 순서는 다음과 같다.

첫째, 강수시계열을 0.1mm를 기준으로 강수와 무강수로 나누어 Binary 계열의 자료로 변환한다. 둘째, 강수발생여부에 대한 상관행렬을 계산하고 이를 다변량정규분포에 입력시켜 정규난수를 무작위 추출한다. 셋째, 정규난수를 균등난수로 변화하여 비정상성 Markov Chain 모형에 입력하여 강수량을 모의발생 시킨다.

#### 4. 모형 적용 및 결론

본 연구에서는 7-9월까지 우기의 일강수량을 대상으로 모의기법의 적합성을 평가하였다. 즉, 비정상성 모형의 적합성을 평가하기 위해서 계절강수량이 입력 자료로 이용되는 Perfect Forecasting을 실시하였다. 즉, 모형을 통해 모의된 일강수량을 계절별로 모두 합할 경우 입력자료로 사용된 계절강수량과 동일한 값으로 추정되어야 한다. 18개 지점 중 대표로 서울지방에 대한 모형의 계절강수량 재현결과로 평가하였으며 그림 3과 그림 4와 같다. 그림 3은 서울지방의 일강수량을 그림 4는 일강수량을 모두 합하여 계절강수량으로 환산했을 때 실측값과 비교한 것이다. 그림에서와 같이 계절강수량을 거의 정확하게 모의되고 있음을 확인할 수 있다.

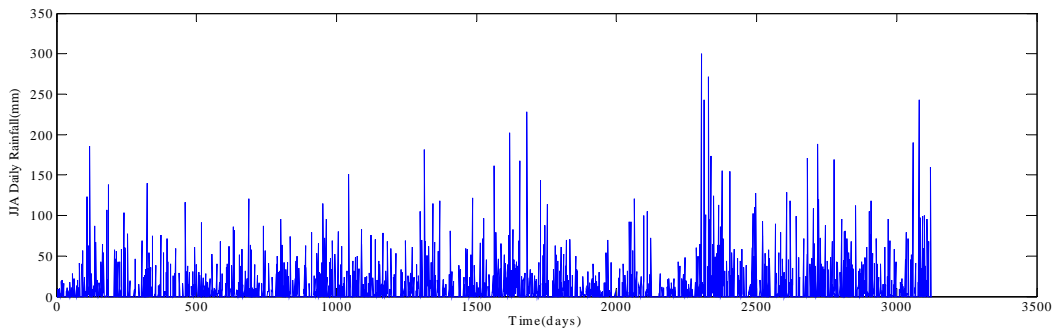


그림 3. 다지점 비정상성 Markov Chain 모형으로부터 모의된 일강수량(서울지방)

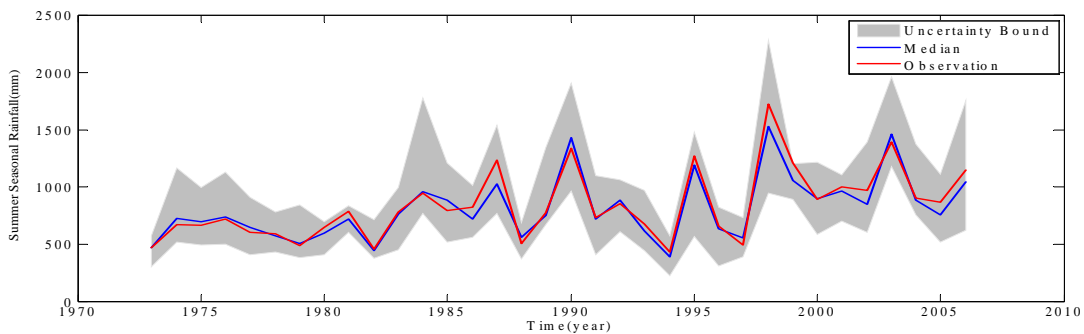


그림 4. 일강수량으로부터 추정된 계절강수량과 실측계절강수량(서울지방)

마지막으로 각 지점마다 모의된 강수량에 대해서 실제 강수지점간의 상관성을 재현하고 있는지 평가하였다. 평가방법은 각 지점에서 모의된 강수량을 강수일과 무강수일로 구분하여 Binary 자료로 변환한 후 상관계수를 추정하였다. 또한 각 지점에서 산정된 강수량에 대해서도 상관계수를 추정하여 그림 5에 나타내었다. 그림과 같이 모의된 강수시계열이 실제 유역에서 나타나는 공간성을 효과적으로 묘사하고 있음을 확인할 수 있다. 강수량의 경우에도 실측자료와 크게 차이를 보이지 않고 있다.

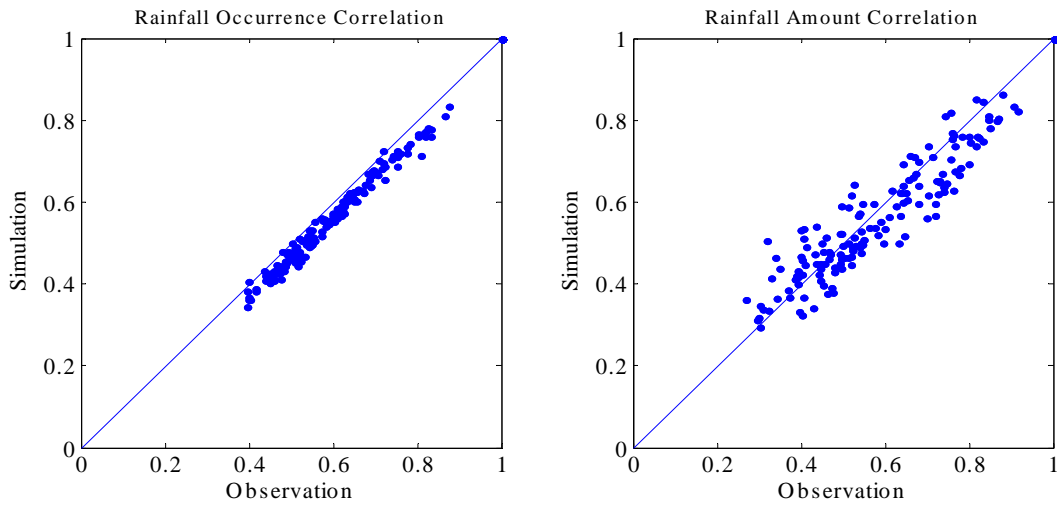


그림 5. 관측강수량의 공간상관계수와 모의된 강수량의 공간상관계수

본 연구에서 개발된 다지점 비정상 Markov Chain 모형은 20개 이상의 다지점에 대해서도 효과적으로 적용이 가능하며 기후변화가 같은 외부인자를 용이하게 처리할 수 있으므로 기후변화 영향 검토를 위한 Downscaling 기법으로 적용이 가능할 것으로 판단된다. 향후 연구과제로서 매개변수의 불확실성을 고려할 수 있는 방법론의 도입이 필요할 것으로 판단된다. 이와 더불어 극치강수량이 작게 추정되는 문제점을 보완할 수 있도록 Gamma 분포형 이외에 다른 분포형을 고려해야 할 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

1. 권현한, 김병식 (2009). “일강수량 모의를 위한 비정상성 Markov Chain Model 개발” 한국수자원학회 학술발표회논문집, 제42권, 제3호, 한국수자원학회, 213-225쪽.
2. D.S. Wilks (1998) “Multisite generalization of a daily stochastic precipitation generation model”, Journal of Hydrology, 210, 178-191