

강수의 발생이론과 강수사상의 수문학적 모델링

이 재 준*

Q 강수(precipitation)의 발생이론과 수문학적 해석에 필요한 강수사상을 기술할 수 있는 모형화 기법에는 어떠한 방법들이 있는지 알고 싶습니다.

A 구름이나 강수현상은 여러가지 물리과정의 동시에 상호작용을 일으키면서 진행되는 복합현상이며, 크게 공기에 관한 역학적, 열역학적 과정과 강수입자의 형성·성장에 관한 미세 물리과정으로 나누어 볼 수 있습니다.

어떤 구름에서는 비가 오고, 어떤 구름에서는 비가 오지 않으며, 비가 오는 경우에도 그 강도가 다르게 되는 것을 관찰할 수 있는 데, 이와 같은 차이를 결정짓는 물리적 요인이 무엇인가를 다루는 학문을 강수물리학 또는 넓게 보아 구름물리학이라고 부릅니다. 즉, 이는 구름의 형성, 발달, 그리고 강수발달을 일으키는 물리과정을 연구하는 학문으로서, 강수기구를 설명하는 이론으로 널리 인정된 이론으로는 빙정설과 충돌병합설이 있습니다.

Bergeron(1935)은 빙정과 과냉각 수적이 공존하면 과냉각 수적이 증발하여 빙정으로 승화하므로써 빙정의 성장이 강수를 유발할 수 있다는 계산을 보임으로써 빙정설을 확립하였으며, 온대지방의 구름은 대부분 0℃ 층위까지 발달하고 있어 빙정이 존재할 수 있고 빙정설로 설명이 가능합니다.

한편 열대 해양상에 생기는 구름(warm cloud)은 0℃ 층 이하에 생겨 순전히 물방울로 구성되어 있으며, 빙정이 없지만 강한 소나기성 강수를 유발

합니다. Warm cloud에 대한 강수이론은 2차 세계대전 이후 warm cloud로부터의 강수관측과 Langmuir(1948), Bowen(1950), Ludlam(1951), Woodcock(1951)에 의해 구름방울이 충돌과정에 의해 소나기를 유발할 수 있음을 계산으로 보였으며, 초기에 반지름 20 μ m 크기의 구름방울이 있어야 함을 주장함과 동시에 관측을 통해 입증하므로써 강수의 충돌병합설이 확립되었습니다.

강수사상은 수문학적 의미에서 보면 수자원 이수 시스템의 운영 및 계획, 수자원량과 강수 및 홍수량의 규모 파악 등 강우-유출 해석에 있어 기본적인 자료가 되므로 이에 관한 모델링이 많이 이루어지고 있습니다.

강수량의 시·공간과정에 대한 모델링은 수문과정 연구에 있어서 여러가지 의미를 갖고 있으며, 특히 수공계획에 있어서는 강수의 결정론적인 특성뿐만 아니라 예측 불가능한 변동 즉, 확률적인 변동특성을 어떻게 해서 계획정보로서 도입하는가가 하나의 중요한 과제입니다. 일반적으로 시간과 공간에서의 강수량 모델은 다음과 같은 3가지 범주로 묶을 수가 있습니다.

- ① 강수패턴을 추론하기 위해 유체역학, 열역학 등의 물리학 원리에 의존하는 모델
- ② 경험적 모델
- ③ 경험적 관찰사항을 해석적인 Random Field 표현으로 통합한 모델

강수사상은 지난 30여년간에 걸쳐 광범위하게 연구되고 있습니다. 위의 3가지 범주중 수문기상학

* 금오공과대학교 토목공학과 부교수

에 바탕을 둔 모델(범주 ①)과 수문통계학에 바탕을 둔 모델(범주 ②)이 주로 사용되고 있으나, 기상자료 획득의 어려움으로 인해 수문통계학에 바탕을 둔 모델이 보다 널리 이용되어 왔으며, 최근에는 구름물리학과 기상관측장비의 발달로 범주 ①에 속하는 모델이 개발되고 있습니다.

특히 지점 강수량의 모델링은 많은 관심을 끌고 있으며, 소위 물리학적 근거가 있는 모델과 보다 정교한 타모델들의 도입과 함께 발전이 계속되고 있습니다만 본 고에서는 추계학적 모델을 중심으로 간략하게 소개를 하였습니다.

현재까지 연구된 추계학적 모델로는 Markov 연쇄모델, 이산형 자기회귀이동평균모델(DARMA 모델), 교대재생과정 모델, Point 과정 모델 등이 있습니다.

시간에 따라 어떠한 방법으로 변화되는 상황에 대한 수학적 모델을 확률과정이라고 하며, 이러한 모델 중에서 주어진 현재와 과거의 상태가 미래의 상태에 영향을 주지 않고 근접하는 두 상황의 바로 앞의 상태가 바로 뒤의 상태에만 영향을 주고 그 이전과 이후의 모든 상황에는 전혀 영향을 주지 않는 성질을 갖는 확률과정을 Markov 과정이라고 하고, 특히 이산적인 매개변수를 갖는 Markov 과정을 Markov 연쇄라고 합니다. Markov 연쇄는 일반적으로 강수발생에 존재하는 군집종속성을 모델화 하는 데는 부적합하다고 알려져 있습니다.

DARMA군의 모델은 미국 Indiana주의 일강수발생을 모델화하는 데 있어서 만족할만한 결과를 보인 바 있는 Chang et al.(1984)에 의해 사용된 바 있습니다. DARMA 모델의 주요한 단점으로는 그들이 나타내는 불연속적인 기억범위와 모델구조에 대한 물리적 동기의 결여를 들 수 있겠습니다.

한편, Point 과정 이론은 단기간 강우의 추계학적 구조를 모델화하는 데 널리 사용되고 있으며 군집성의 측도를 나타내는 조건부 강도함수나 분산지수와 같은 강수발생과정의 종속성질을 직관적으로 나타내는 수학적 수식화를 가능케 합니다.

강수발생과정에 대한 Stationary Point 과정은

크게 Renewal 과정, Poisson Cluster 과정, Cox 과정으로 분류할 수 있으며, 이들은 모두 공통적으로 Poisson 과정을 포함하고 있습니다. 강수발생과 호우깊이로 구성된 강수량 계열에 대해서는 Marked Point 과정 모델과 RCM 모델을 들 수가 있습니다. Renewal 과정은 정상성 생기기간간격에 대한 Point 과정이며, Poisson 과정은 완전히 무작위적인 성질을 갖고 잔존효과 없이 전개하는 Point 과정을 말합니다. 이 Poisson 과정은 강수의 발생을 모델화 하는 데 중요한 역할을 해 왔으며, Todorovic and Yevjevich(1969), Duckstein et al.(1972), Gupta and Duckstein(1975), Eagleson(1978)은 모두 강수의 발생을 모델화 하는 데 Poisson 과정을 사용하였습니다.

그러나 강수사상 과정에는 약간의 군집성의 형적이 있기 때문에 이러한 특성을 고려할 수 있는 모델이 요구되게 되었으며, Le Cam(1961)에 의해 최초로 강수모델링시 도입되었습니다. 그 후 여러 사람들에 의해 더욱 발전된 군집모델은 보통의 강수발생기구에 보다 적합한 모델로서 검토가 계속되고 있고 점점 더 관심을 끌고 있습니다. 또한 Kavvas(1975)는 강수발생이 군집성질을 보일 수도 있다는 견해를 소개하였는데, 이 점은 Poisson 과정이 군집과정(Clustered Process)에 대해서는 적절한 모델이 되지 못하므로 특히 중요하다고 할 수 있습니다.

일강수발생은 여러가지 강수발생기구의 상호작용결과로서 이루어지는 데 예를 들면, 습윤기간에서의 최초의 습윤일은 그 지역을 통과하는 전선성 호우의 결과일 수도 있으나, 반면에 동일한 습윤기간에서의 그 뒤의 습윤일은 부사상(Secondary Events)으로 고려될 수도 있습니다. 그런 의미에서 사상들간의 시간은 예를 들면, 주사상(Primary Events)에 대해서는 비교적 큰 평균값과 변동계수를 갖고, 부사상에 대해서는 비교적 작은 평균값과 변동계수를 갖는 서로 다른 확률분포로부터 일어날 수도 있습니다.

사상형태의 계열(Sequence)은 주사상 후 혹은

Q/A코너

소수의 부사상 후의 부사상을 갖을 확률이 보다 큰 천이확률에 의해 지배를 받으므로 단일 이론으로 강수현상 전반을 기술하는 것은 곤란하므로 해석대상으로 하고 있는 강수현상 혹은 그 모델의 전체 계층에서의 위치, 다른 시간규모의 강수현상·모델과의 이론적 일치성 등에 주의를 하면서 개개의 모델을 구성하는 것이 중요합니다.

Kavvas and Delleur(1981)에 의해 제안된 Neyman-Scott 形의 Poisson Cluster 모델은 주사상(Primary Events)의 Nonhomogeneous Poisson Process에 근거를 두고 있으며, 시공간 강수과정에 확대 적용된 여러 형태의 군집모델 외에도 소위 Doubly Stochastic Poisson 과정으로 알려진 Cluster Process의 특별한 경우가 많이 포함된 Cox 과정 부류의 모델이 있습니다. Smith (1987)는 일강수발생에 대해 Markov Bernoulli 모델이라는 새로운 이산형 Point 과정 모델을 제안하였습니다.

이상에서 설명한 추계학적 강수모델을 정리하면 다음과 같습니다.

(1) 강수발생과정 모델

- ① Discrete Time 모델
-Markov 연쇄, DARMA 모델
- ② Point 과정 모델
-Poisson 과정
-Renewal 과정, Poisson Cluster 과정, Cox 과정
-Renewal Cox 과정, Infinitely Divisible Cox 과정

(2) 강수량 계열 모델

- ① Marked Point 과정
Marked Point 과정 모델은 강수사상이 시간 축상에서 Random하게 발생하고 각 강수사상이 Mark (강수량)을 갖는 모델
- ② RCM 과정
(Renewal Cox Process with Markovian Intensity)

(3) 다지점 강수량 계열 모델

- ① Multivariate Point 과정