

# 기상 자료를 이용한 시우량 곡면 예측

이재형\*, 정재성\*\*, 박영기\*\*\*, 조대현\*\*\*\*

## 1. 서론

아시아 계절풍 지대에 속하는 우리 나라는 매년 3~4회씩 내습하는 태풍과 장마의 영향으로 발생하는 여름철 집중 호우로 인하여 홍수가 빈번하고 그에 따른 피해도 심각하다. 국내에는 이러한 홍수에 대비하여 중앙 재해 대책 본부와 5대강 유역의 홍수 통제소, 수공 재해 대책 본부, 기상청 등을 중심으로 한 홍수 방재 시스템을 구축하여 운영하고 있다. 이러한 방재 시스템에서 실질적으로 홍수를 조절하거나 통제할 수 있는 것은 한국 수자원 공사의 9개 다목적댐이다. 문제는 이들 다목적댐의 방류 능력과 저류 용량에 한계가 있기 때문에 홍수량을 적절히 조절하기 위해서는 홍수시에 댐 상류 및 하류의 유출량을 미리 예측할 수 있어야 한다는 점이다. 그러나 유출량 예측의 관건이라 할수 있는 강우량의 시·공 분포 예측이 어렵기 때문에 효과적인 수자원 관리와 홍수 피해 방지에 어려움이 많다. 여러가지 기상 요소들 중에서 가장 변동이 심한 것이 강우량이고 우리나라는 특히 그 변동이 심한 지역이기 때문에 강우량의 시·공 분포를 정확히 예측한다는 것은 매우 어려운 일이다.

강우 현상에 관한 연구는 1940년대에 우적 크기 분포에 관한 연구를 시작으로 1960년대 부터 활기를 띄기 시작하였다. 초기에는 강우 현상의 기상학적 특성 분석과 강우 관측 자료의 통계적 특성 분석을 중심으로 연구가 진행되다가 1970년대 부터는 강우의 관측, 추계학적 예측 및 합성, 레이더 및 위성 자료의 활용, 물리적 예측 모형, 동역학적 예측 모형, 등에 관한 많은 연구가 수행되었다.

본 연구는 이들 연구를 바탕으로 근래에 주목을 받고 있는 기상 레이더 자료와 지상 기상 자료 및 신경망 이론을 이용한 강우 예측 모형을 구성하여 하천 유역의 시우량 곡면 예측을 시도하고, 예측 모형의 수문학적 활용성을 평가하는데 그 목적을 두고 있다.

---

\* 전북대학교 토목공학과 교수

\*\* 한국수자원공사 수자원연구소 연구원

\*\*\* 이리농공전문대학 토목공학과 전임강사

\*\*\*\* 전북산업대학 토목공학과 부교수

비정상 레이더 에코의 추출과 지형 에코의 제거 방법, 레이더 반사도와 강우 강도의 관계 등을 고찰하고, 고찰한 내용을 토대로 보정된 레이더 반사도 자료로 부터 변환된 레이더 우량 곡면을 지상 강우량과 합성하여 시우량 곡면을 구성하였다. 시우량 곡면의 이동성을 분석하여 강우장의 이동 벡터를 산출하고, 시우량 곡면 예측을 위하여 다층 신경망 이론을 도입하였다. 다층 신경망의 입력층은 강우장의 이동 성분과 기온, 기압, 이슬점 온도, 강우량, 지형 특성 등으로 구성되었다. 이 예측 방법을 한강 상류 평창강 인근 지역에 대한 선행 시간 3시간 까지의 시우량 곡면 예측에 적용하였고, 예측된 결과를 기존의 물리적 예측 모형의 결과와 비교하였다.

## 2. 레이더 관측 자료의 분석

### 2.1 관측 자료의 오차 보정 및 시우량 곡면 구성

레이더 전파는 대기의 상태 즉, 기온 및 습도, 목표물과의 거리 등에 따라 그 진행경로가 다소 다를 뿐 아니라, 레이더 안테나의 기계적인 특성 등으로 전파 발사 위치가 매 회전마다 조금씩 차이가 있을 수 있다. 따라서 같은 성질을 가진 동일 목표물을 원격 관측할 때 관측자료의 정성적(목표물의 위치) 또는 정량적(목표물의 강도) 결과가 안테나의 매회전마다 다소 다를 수 있다. 이와 같은 레이더 자료가 유역 강우 산정이나 단시간 강우량을 예측할 때 그 결과에 영향을 줄 수 있으므로 그에 대한 사전 분석과 보정이 필요하다. 또한 필연적으로 강우 에코에 섞이게 되는 지형 에코의 강도 성분은 레이더 자료에 의한 정량적인 강우 예측 결과에 심각한 오차를 유발할 수 있으므로 적절한 방법으로 지형 에코 성분을 제거해야만 한다.

지형 오차의 제거 방법으로는 레이더 수신기에서 수신 신호를 처리할 때 도플러 필터(doppler filter)용 프로세서를 이용하여 고정 에코인 지형 에코 성분을 추출하여 제거하는 방법 및 수신 에코의 아날로그 형태인 에코 수신 강도중에서 시간적으로 변화 정도가 유사한 일련의 신호를 지형 에코 성분으로 보고 제거하는 방법 등 하드웨어(hardware)적인 제거법과 디지털 자료의 형태로 변환된 후에는 각 격자점마다 지형 에코 성분에 해당되는 강도의 임계치를 미리 기억시킨 지형 에코 화일을 이용하여 제거하는 소프트웨어(software)적인 제거법이 있다. 본 연구에서는 국내에서 운용중인 레이더 장비로는 하드웨어적 처리가 어렵기 때문에 맑은 날에 관측된 에코 값을 기억시켜 강우시의 에코로 부터 감산해 주는 소프트웨어적 방법을 채택하였다.

레이더 관측 자료에는 장비의 동작 상태의 불안정, 즉, 레이더 전파 발사시 출력의 이상 변화, 등 여러 원인에 의해 오자료(誤資料)가 포함되거나 생산되는 일이 가끔 있다. 이러한 오자료를 보정하기 위하여 전체 관측 영역의 50% 이상에서 강우 에코가 나타나는 경우의 자료는 분석에서 제외 하였다.

지형 에코와 오자료가 효과적으로 제거되었다 하더라도 레이더 자료는 여전히 관측 오차를 포함하고 있으므로 다른 방법에 의한 2차 보정이 필요하게 된다. 따라서, 김익수 등(1989)의 연구

에서와 같이 실측 강우량(G)과 레이더 강우량(R)의 비율인 G/R 보정 계수를 각 격자점마다 실시간적으로 산출하여 레이더 강우량을 보정하므로써 레이더 자료와 지상 강우량 자료에 의한 합성 시우량 곡면을 구성하였다.

## 2.2 강우역의 이동 특성

강우역의 이동 벡터를 추정하는 대표적인 방법으로 면적 중심 이동법과 상호 상관법을 들 수 있는데, 이들은 30분 내지 1시간 정도의 시간 간격을 가진 2개의 강우장을 이용하여 이동 특성을 파악한다. 한편 소규모 강우역의 이동이 대류권 중층의 풍속 또는 대류권의 평균 풍속으로 근사화 시킬 수 있다는 사실에 근거하여 강우역의 이동과 가장 상관이 좋은 700 hPa 고도 부근의 바람장을 이용하기도 한다. 본 연구에서는 위성 자료나 레이더 자료와 같이 공간적으로 연속인 자료에 적합한 것으로 알려진 상호 상관법을 이용하였다. 이 방법은 상호 상관 계수를 이용한 패턴 인식 기법으로 일정 시간 간격의 강우장을 평면상에서 지체시켜 계산된 자기 상관 계수가 최대인 경우로부터 이동 속도와 방향을 결정하는 것으로 최대 상호 상관 계수법이라 하기도 한다.

## 3. 신경망 예측 모형

컴퓨터는 자료 처리와 계산 속도에 있어 인간보다 훨씬 더 뛰어나지만, 음성인식, 영상인식, 적응제어, 의사결정 등에 있어서는 인간의 두뇌를 따르지 못한다는 점에 착안하여 컴퓨터나 기계에 지능을 부여하는 인지 과학의 연구가 근래에 들어 주목을 받고 있다. 인지 과학의 주요분야로서 생물학적 두뇌 작용을 모방하여 비교적 단순한 학습 법칙에 따라 주위 환경으로부터 스스로 지식을 축적하는 신경망 기법과 구현하고자 하는 지능을 논리적인 규칙으로 프로그래밍화 하는 인공지능 기법이 있는데, 강우 과정과 같이 복잡한 시스템에서는 구체적인 규칙을 설정하기가 매우 어렵기 때문에 본 연구에서는 단순 소자의 대단위 병렬형으로 적용이 용이한 신경망 기법을 채택하였다.

### 3.1 신경망의 동작 원리

신경망의 처리소자 자체에는 지능이 없지만 처리 소자들의 연결 형태와 강도를 변화 시킴으로써 지능을 얻는다. 이러한 신경망 모형의 동작 특성은 처리 소자를 구성하는 전달 함수와 연결 강도를 조정하는 학습 규칙으로 규정할 수 있다. 본 연구에서는 식(1)과 같은 Log-Sigmoid 함수를 전달 함수로 이용하고, 식(2)와 같은 Widrow-Hoff의 델타 규칙을 학습 규칙으로 채택하였다.

$$f(h) = \frac{1}{1 + \exp(-\beta(h+b))} \quad (1)$$

$$\Delta W_{ji} = \eta \cdot (Y_i(t) - O_i(t)) \cdot O_j(t) \quad (2)$$

여기서,  $\Delta W$ 는 연결 강도의 조정량이고,  $Y$ 와  $O$ 는 각각 목표값과 출력치이며,  $\eta$ 는  $0.0 < \eta < 1.0$  범위의 학습률을 나타내는 비례상수이다. 신경망 모형의 학습은 연결 강도의 최적화 과정으로 여기에는 도함수를 이용한 최급강하법(gradient descent method)을 사용하였다.

### 3.2 강우 예측 모형 구성

신경망의 입력층은 지상 강우량, 지상 관측 기온, 기압, 이슬점 온도의 보간 자료, 대상 지역의 지형 고도 자료, 상호 상관법에 의한 강우역의 이동 벡터 자료 등으로 구성하였다. 이와 같이 입력층을 구성한 것은 다음과 같은 기존의 연구결과 및 가정에 의거한 것이다. Rodríguez-Iturbe 등(1987)은 1945년부터 1976년까지 관측된 Colorado 지역의 강우량 자료를 분석하여 지체 시간 1, 2, 3시간 대한 자기 상관 계수를 각각 0.48, 0.32, 0.27인 것으로 밝혔고, Georgakakos and bras(1984)는 구름 물리학 이론에 근거하여 기온, 기압, 이슬점 온도의 자료를 입력으로 하는 단기 강우 예측 모형을 제시하였으며, 이는 전일권(1994)에 의하여 국내의 자료에 맞게 개선되었다. Oki(1991)은 스텝 사상의 방향확률(Directional Probability of Storm Event, DiPoSE)이라는 개념을 제시하고 산악 지역에서 산지 형태와 풍향에 의한 강우의 공간 분포를 제시하였다. 본 연구에서는 이들 연구 결과를 토대로 다음과 같이 가정하였다.

- 1) 현재 시간의 강우 분포는 후속 시간의 강우 분포와 관련이 있다.
- 2) 현재 시간의 기상 조건(기온, 기압, 이슬점 온도)은 후속 시간의 강우량에 영향을 미친다.
- 3) 산악 지역에서 강우역의 이동 속도 및 방향은 강우의 강도 및 공간 분포와 밀접한 관계를 갖는다.
- 4) 한 지역의 기상 조건 및 강우 분포는 그 지역의 지형과 관계가 있다.

신경망의 출력층은 입력층 자료의 관측 시간을 기준으로 1시간 후, 2시간 후, 3시간 후의 강우량 분포로 한다. 이는 단시간 강우 예측에서 3시간까지는 같은 초기 자료를 이용해도 된다는 김익수 등(1990)의 연구결과에 의거한 것이다. 이와 같이 신경망의 입력층과 출력층이 모두 실수형 변수로 구성되므로 다층 신경망을 이용함이 적절하다. 다층 신경망의 구조는 은닉층의 수를 2개로 하였을 경우와 1개로 하였을 경우의 결과에 별다른 차이가 없었으므로 French 등(1992)과 김주환(1993)에서 채택한 것과 같은 3층 신경망을 채택하였다. 은닉층의 크기는 적절한 은닉층의 크기를 결정하는 일반적 기준이 없으므로, 여러 형태의 신경망 구조를 설정하여 적용한 결과로부터 적절한 구조를 선정하는 방법을 채택하였다.

#### 4. 예측 모형 적용 및 고찰

국내의 레이더 강우 관측 현황과 지상 우량 관측 실태, 홍수 조절 기능을 갖춘 다목적 댐 유역의 지형 특성 등을 고려하여 그림 1과 같이 충주댐 유역의 일부인 영월1 수위국 상류의 유역 면적 1,603 km<sup>2</sup> 지역을 적용 대상 유역으로 선정하였다. 적용 강우는 레이더 자료와 충주댐 상류 TM 시우량 자료의 이용 가능성을 기준으로 5개 사상을 선정하였다.

전술한 신경망 예측 모형과 물리학적 예측 모형을 '90년의 1개 호우 사상과 '93년의 3개 호우 사상에 적용하여 신경망 모형의 학습과 물리학적 모형의 매개 변수를 추정하고 그를 토대로 '95년의 호우 자료에 대한 예측을 실시하여 그 결과를 그림 2와 같이 비교하였다. 두 모형의 비교 결과에서 신경망 예측 모형은 학습 대상 강우에 대해서는 강우량의 시간 분포와 공간 분포를 충분히 반영하였지만 그 결과를 예측에 적용하기 위해서는 보다 많은 자료를 이용한 학습이 필요한 것으로 판단되었으며, 물리학적 예측 모형의 경우에는 지점별 총강우량의 평균치를 예측하는 데는 유용하지만 강우량의 시간 분포나 공간 분포를 예측하기는 어려운 것으로 나타났다.

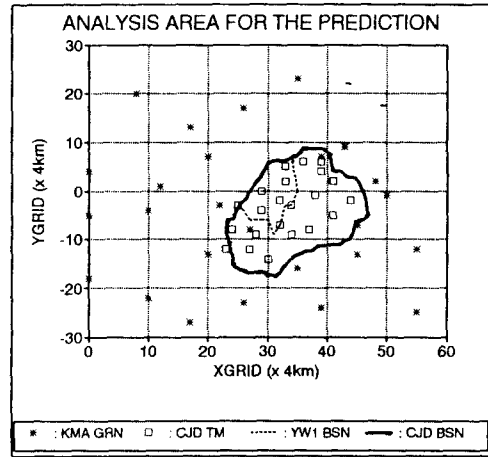


그림 1 적용 지역의 강우 관측 현황

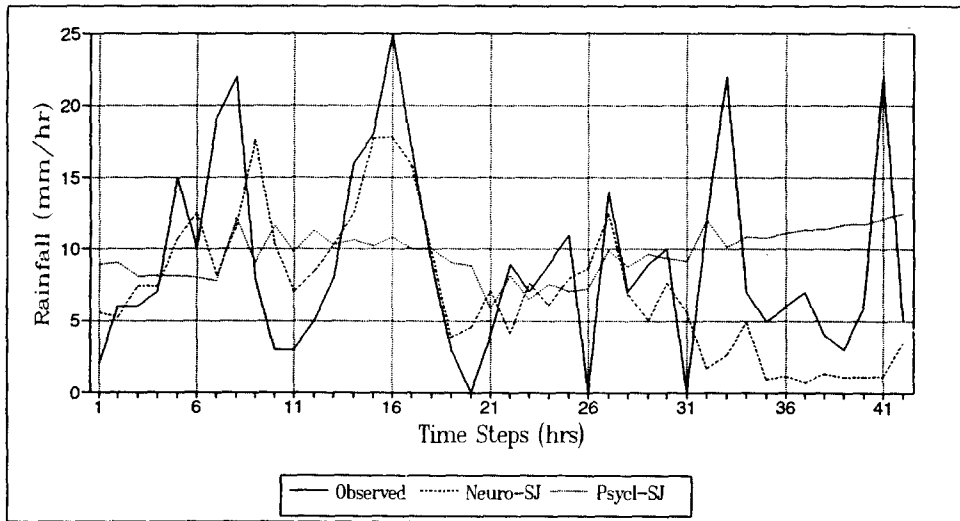


그림 2 신경망 예측 모형과 물리학적 예측 모형의 적용 결과 (수주 우량국)

## 5. 결론 및 향후 과제

기상 레이더 자료와 지상 우량국 자료, 지상 기상 자료, 강우역의 이동 벡터, 지형 고도 자료 등을 입력층으로 하는 다층 신경망을 설정하여 3시간 까지의 시우량 곡면 예측이 가능한 단시간 강우 예측 모형을 제안하였다. 또한 기존의 물리적 예측 모형을 고찰하여 시우량 예측에 적용하였다. 이 두가지 모형을 충주댐 상류 영월1 유역에 적용하여 지상 강우량에 대한 시우량 예측치의 정확도를 비교하였다. 제안된 시우량 곡면 예측 방법은 수문학적 강우 예측에 레이더 자료를 이용하기 위하여 국내의 기상 분야 연구 결과들을 종합적으로 검토하고, 근래에 주목을 받고 있는 신경망 이론을 도입하여 제시된 것으로, 유역 강우량 예측시 기존의 지점 강우량 예측이 갖는 단점을 보완하고, 국내의 현실에서 이용 가능한 보다 많은 관측 자료를 이용하도록 하였다.

본 연구에서는 지상 강우량과 기상 레이더 자료의 정량적 일치도가 떨어져 레이더 자료는 강우의 공간 분포 파악에만 이용이 가능하였다. 따라서 보다 정도가 높은 레이더 자료의 이용이 가능하여 지면 실질적인 시우량 곡면을 입력층과 출력층으로 적용할 수 있을 것이다. 또한 제안된 방법이 레이더 자료 확보에 따른 어려움으로 비교적 적은 수의 강우 사상에만 적용 되었으므로 보다 많은 자료를 통한 검증이 필요하다. 제안된 예측 모형에서 레이더 자료의 이용이 어려운 경우를 고려하여 레이더 합성 우량 곡면을 이용하는 대신에 지상 우량으로 부터 보간된 우량 분포를 이용하는 방법도 같이 연구하여 그 결과를 비교할 계획이다.

## 참 고 문 헌

- 김대수 (1992). "신경망 이론과 응용 (I)", 하이테크정보사.
- 김주환 (1993). "신경회로망을 이용한 하천유출량의 수문학적 예측에 관한 연구." 박사학위논문, 인하대학교.
- 김익수 등 (1989). "레이더 에코로 계산된 강우량의 정확도 평가 연구." 연구보고서, MR89-3, 기상연구소.
- 김익수 등 (1990). "레이더를 이용한 단시간 강우 예측 결과의 정성 및 정량적인 평가 (I)." 연구보고서, MR90-2, 기상연구소.
- 전일권 (1994). "강수의 물리 과정에 입각한 호우 예측 모형에 관한 연구." 박사학위논문, 전북대학교.
- French, M. N., W. F. Krajewski and R. R. Guykendall (1992) "Rainfall Forecasting in Space and Time using a Neural Network." J. of Hydrology, Vol.137, 1-31.
- Georgakakos, Konstantine P. and Rafael L. Bras (1984). "A Hydrologically Useful Station Precipitation Model, 1. Formulation." Water Resources Research, Vol.20, No.11, 1585-1596.
- Oki, T., K. Musiak, and T. Koike (1991). "Spatial Rainfall Distribution at a Storm Event in Mountainous Regions, Estimated by Orography and Wind Direction." Water Resources Research, Vol.27, No.3, 359-369.