

강우-유출 예측 향상을 위한 ESP기법 적용

고덕구*, 심순보**, ○박노혁***, 김선구****

1. 서론

수자원 개발과 계획, 그리고 최적의 관리를 위해서는 정확하고 효율적인 수문예측이 선행되어야 한다. 지금까지 수 많은 각종 수문모형과 통계학적, 추계학적 수문예측 기법들이 개발 활용되어 왔으며, 우리 나라에서도 새로운 기술의 도입 및 개발을 위한 노력이 꾸준히 이어져 왔다. 그러나 새로운 수학적 기법의 개발과 이를 해석하기 위한 도구인 컴퓨터의 성능 향상, 자료 관리 및 소프트웨어 기술의 향상과 더불어 수문예측 기법도 계속해서 발전하고 있으며, 우리 나라 유역 현실에 맞는 적절한 기법을 선택하고 이를 응용하기 위한 노력이 필요한 상황이다.

수문예측이라 함은 엄밀히 미래의 유역 강우량과 유출량, 그리고 하천유량 및 그 시간적 분포를 예측하는 것을 의미하며, 미래라 함은 길게는 1년 후나 수 개월 앞을 의미하기도 하고, 때로는 하루나 며칠 후가 되기도 하며, 홍수의 예측과 재해방지를 위해서는 불과 한시간으로부터 수 시간 후를 의미하기도 한다. 본 논문에서는 수문예측의 정의를 유역 유출 및 하천 유량에 국한하고자 한다.

유역의 유출 과정은 지형 및 토양, 토지이용상황, 선행 수문사상 등에 따라 달라지는 매우 복잡한 양상을 띄며, 유역의 강우-유출 관계가 비선형성을 내포하고 있어서 유역 유출의 정확한 예측은 매우 어려운 문제이다. 하천 수계의 유출을 예측하기 위해서는 시간 및 공간적으로 변동하는 수문 기상 요소와 유역 특성 인자들의 유출에 대한 정확한 상호 관련성의 규명이 필요하다.

본 논문은 강우-유출 및 하천유량 등 수문학적 예측 개선에 관한 것으로 확장하천 유량예측(Extended Streamflow Prediction: ESP) 기법의 적용 가능성을 제시하고자 하는 것이며, 본 논문을 통해 제시된 결과는 모형에 의한 수문예측을 과거 실측자료를

* 한국수자원공사 수자원연구소 선임연구원

** 충북대학교 공과대학 토목공학과 교수

*** 한국수자원공사 수자원연구소 연구원

**** 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정

이용하여 수정 보완하므로써 홍수 예경보 및 저수지 운영 시스템은 물론 그 시스템의 효율적인 운영방법의 개선에도 기여할 수 있을 것이다.

2. 수문예측시스템

2.1 수문예측시스템의 구성

일반적으로 수문예측시스템은 크게 자료의 수집과 전처리, 수문사상모의 및 예측, 적용의 4가지 요소로 구성되며 그 각각의 기능은 표 1에 나타낸 바와 같다.

표 1 일반적인 수문예측시스템의 구성 및 기능

구성요소	부시스템 및 기능
자료수집	- 강우 및 하천유량 관측 - 자료의 입력
자료의 전처리	- 유역 평균 강우량 산정
수문사상모의 및 예측	- 예측수행 부시스템 실시간 수문 모델링 및 예측 - 보정 부시스템 매개변수 산정 및 최적화, 유역수문 모의발생 - 확장 하천유량 예측 통계적 장기 수문 예측
적용	- 홍수예경보 - 하천유량예측 - 용수공급예측 - 저수지 유입량 예측 - 기타

2.2 시스템 운영표 개념

시스템 운영표(Operations Table) 개념이란 수문예측을 위한 각종 요소들을 표의 형태로 작성하여 각종 입출력 자료 및 다양한 모형과 계산과정들을 표의 각 요소로 구성하여, 수문예측시 이용 가능한 자료, 유역 상황에 따른 적절한 모형의 선택 등을 사용자가 자유롭게 선택할 수 있도록 하는 것을 의미한다. 또한 시스템 운영표 개념을 도입함으로써 수문예측을 수행하기 위한 절차를 쉽게 파악할 수 있으며, 적절한 모형의 선택은 물론 새로운 모형의 추가나 삭제도 가능하게 된다. 시스템 운영표 개념의 예는 그림 1에 나타낸 바와 같다.

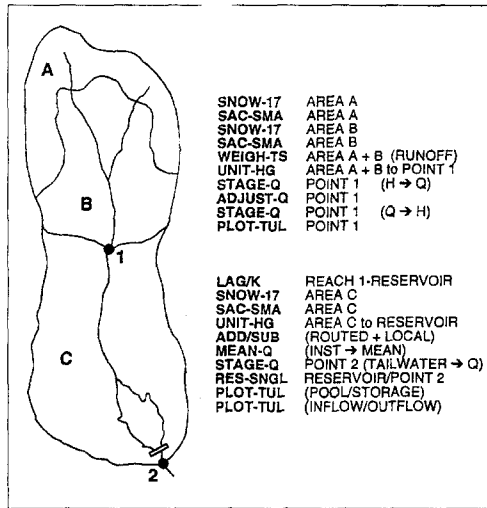


그림 1. 시스템 운영표 적용예

2.3 수문예측 및 보정

수문예측을 위한 계산과정에는 강설의 유출, 또는 강우-유출, 유출의 시공간적 분포, 수로에서의 손실, 하도추적, 저수지운영 등이 포함되며, 이들은 대부분 수학적 모형에 의해 처리되고 있다. 각각의 과정을 계산할 수 있는 모형은 많은 종류가 개발되어 있으나 시스템 운영표 개념을 도입함으로써 상황에 따른 최적의 모형을 선정하는 것이 가능하다.

보정은 실측치와 예측치간의 오차를 최소화시킬 수 있는 매개변수를 시행착오법이나 최적화기법에 의해 찾아내는 과정을 의미한다.

3. ESP

3.1 개발배경

ESP기법은 1970년대에 미국의 California주와 NWS(National Weather Service) California-Nevada River Forecast Center(RFC)에 의하여 개발되어 California주에 처음으로 사용되었으며, 개발 목적은 장기(계절) 및 단기(5~90일)간에 대한 하천유량 예측과 그 예측에 대한 통계적 평가 및 재현확률을 제시함에 있어서 정확하고 효율적인 절차를 개발하고 시험하는 것이었다.

ESP에 관한 최초의 프로젝트 계획이 수립된 이후부터 ESP를 이용한 여러 가지 프로그램들이 개발되어져 왔다. ESP의 초기 Version은 ESP절차의 가치를 홍보하는데만 그치었을 뿐, 활용성, 효율성, 유연성의 관점에서는 실용프로그램으로서의 요구조건에 미치지 못하였었다. 1979년 미국의 대표적 수문예측 프로그램인 NWSRFS의 재설계를 위한 프로젝트가 시작되었을 때 새로운 시스템의 일부로써 ESP프로그램의 재설계가 이루어지게 되었다. 새로운 NWSRFS 프로그램과의 완전한 호환과 더불어 새로운 ESP프로그램은 기존 프로그램이 갖고 있었던 많은 결함을 제거하도록 설계되었다. 새로운 Version의 ESP프로그램은 여러 RFC에서의 시험을 거쳐 완성되었다.

3.2 절차

ESP는 현재의 강설, 토양수분, 하천이나 저수지의 조건과 과거 기상자료를 이용하여 장래의 하천유량을 예측하기 위하여 개념적 수리·수문모형을 이용하고 있다. ESP는 과거에 발생했던 기상학적 현상이 장래에 일어날 수 있는 현상들의 대표성을 갖는다고 가정하고 있다. 장래에 다시 재현될 것으로 가정된 과거 기상자료는 하천유량을 추적 모의하는데 활용된다. ESP를 통해 모의 추적된 결과로부터 장래 임의 기간의 최대 및 최소 하천 유량, 저수지 수위 등에 대한 확률론적인 예측이 가능하며, 시계열 자료의 생산도 가능하게 된다. 그림 2는 ESP기법의 적용 절차를 나타내고 있다.

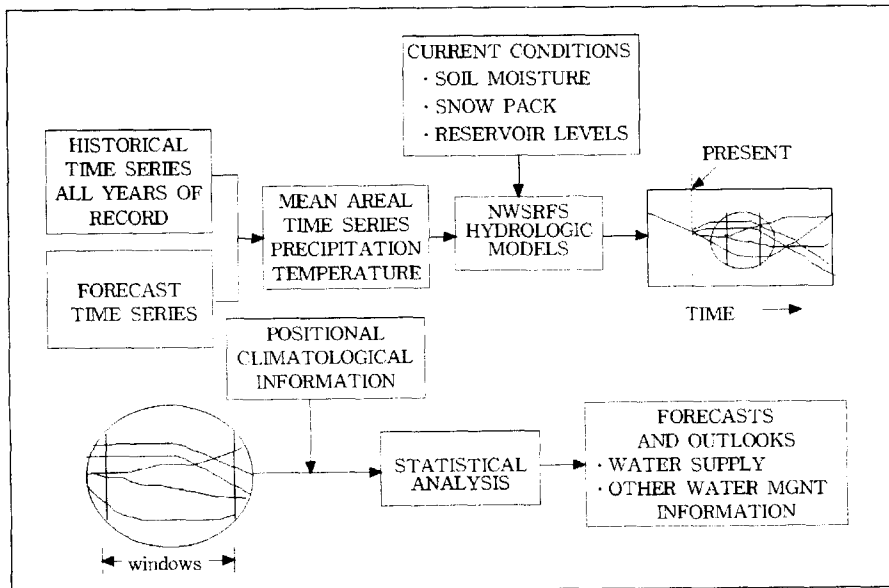


그림 2 ESP기법의 적용 절차

만일 N개의 과거 수문자료를 이용할 수 있다고 한다면 N개의 하천유량이 추적 모의된다. 예측 기간은 그림 2에서 보는 바와 같이 "Window"에 의해 결정되며, 그 길이는 사용자가 임의로 설정할 수 있으며, 이 기간에 대해 해석 대상이 되는 출력변수들은 확률론적 예측을 위한 빈도해석이 수행된다.

또한 ESP는 하천유량자료의 시계열 분석 능력을 가지고 있다. 장래의 하천유량은 과거에 발생했던 것과 유사한 빈도로 발생할 것으로 기대되지만, 각 연도의 관측유량은 그 자체의 초기조건집합에 따라서 달라질 수 있다. ESP는 현재 조건에 대한 지식을 예측 과정에 포함시키도록 함으로써 과거 수문 사상의 단순한 재현이 아닌 현 상태를 초기 조건으로 하는 실질적인 예측을 가능하게 한다.

그러나 이와 같은 조건적 모의는 다음의 세 가지 이유로 그 결과가 왜곡될 수도 있다. 첫째는 입력자료로 사용된 수문·기상자료가 추정된 것이라는 점이고, 둘째는 강우-유출이나, 하도 추적을 위하여 사용된 개념적인 모형들이 물리적인 시스템을 단지 근사화하여 표현하고 있다는 점이며, 셋째는 이 모형들이 완전하게 보정될 수 없기 때문이다. 또한 수위를 하천유량으로 변환하는데 사용되는 수위-유량곡선식이 이따금 극한홍수의 수위에서는 부정확할 수도 있으므로 관측 하천유량 자료도 오차를 가질 수 있는 것이다.

3.3 적용예

California-Nevada RFC, Colorado Basin RFC, Alaska RFC는 용수공급 예측을 위하여 ESP절차를 현재까지 활용하고 있다. 또한 1977년 Washington D.C.의 극심한 가뭄의 평가에 성공적으로 활용된 바 있으며, Potomac 유역의 갈수관리 프로그램의 일부로 운용적으로 활용되고 있다.

또한 ESP는 이집트의 나일강 수문예측 시스템 개발에서 개선 적용 되었으며, 미국 Colorado주의 Denver Water와 USBR이 관리하는 저수지들의 관리 개선을 위한 의사 결정 지원시스템에 적용되어 저수지 운영에 활용된 바도 있다.

4. 결론 및 제언

강우-유출 예측을 개선하기 위하여 수문예측시스템의 일반 사항과 ESP 기법의 개발배경, 절차, 활용 사례에 대하여 검토하였으며, 본 논문의 요약된 내용과 이를 통해 도출된 제언은 다음과 같다.

- 1) 수문예측시스템의 구성요소와 기능에 대해 검토하였으며, 수문예측의 방법

론적 유연성을 제공하고 그 수행 절차의 용이한 파악이 가능한 시스템 운영 표 개념을 제시하였다.

- 2) ESP의 개발과정과 적용절차에 대한 검토를 통하여 ESP 기법의 잠재적 활용 가능성을 추론하였다.
- 3) 본 논문을 통해 제시된 결과는 홍수 예경보 시스템 및 다목적 저수지 운영 모형의 자동화 및 시스템의 효율적인 운영방법의 개선에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Gerald, N. D., 1985, "Extended Streamflow Forecasting Using NWSRFS," *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, 111(2), pp. 157-170.
2. Gerald, N.D., L.E. Brazil, C.S. McCarthy, D.P. Laurine, 1992, "Verification of the National Weather Service Extended Streamflow Prediction Procedure," *Proceedings of AWRA Symposium, Managing Water Resources During Global Change*, pp, 163-172.
3. Brazil, L.E., D.P. Laurine, G.N. Day, and J.B. Valdes, 1993, "Hydrologic Forecasting - What are the Issues?," *Proceedings of the Water Resources Planning and Management Division Conference, American Society of Civil Engineers, Seattle, Washington*, 5pp.
4. Tabios III, J.T. Obeysekera, and J.D. Salas, 1986, "National Weather Service Model-PC Version", program and manual assembled by the Hydrology and Water Resources Program, Colorado State University, Fort Collinse, Colorado.
5. 건설부 금강홍수통제소, 1994, "금강홍수예경보".
6. 한국수자원공사, 1996, "금강하류 홍수유출을 고려한 대청댐 저수지 운영모형 개발연구(1차)", 한국수자원공사 수자원연구소 보고서, WRI-WR-96-4.