

레이더 및 강우수치예보자료를 이용한 초단기강우-유출예측시스템 개발

Development of Very Short-term Rainfall-Runoff Forecast system Using Radar and Rainfall Numerical Weather Prediction Data

박진혁*, 강부식**
Jin-Hyeog Park, Boo-Sik Kang

요 지

본 연구에서는 보다 신뢰성 있고 정확한 정량적 강우예측자료를 생성하기 위하여 레이더강우 및 강우수치예보자료를 합성하는 기법을 제시하였고, 레이더 전처리 및 예측시스템, GIS와 연계한 물리적기반의 분포형모형인 Vflo모형 등 최신 수자원 IT기술을 활용하여 홍수기 돌발홍수에 대응한 초단기 정량적 강우-유출예측을 목적으로 향후 실시간으로 적용 가능한 분포형유출예측시스템의 기반을 구축하고자 하였다.

대상유역은 국지적인 고해상도 지형효과를 고려한 QPM이 개발되어 있는 금강권역의 용담댐유역이며, 예측 강우에 대한 호우사상은 2005년 이후 발생한 3개 강우사상을 대상으로 하였다. 한편, 기상 레이더 자료로부터 산정된 강수량의 수문학적 적용을 위하여 DEM, 토지피복도, 토양도 등의 기본 GIS자료들을 수집 및 구축하였고 물리적기반의 분포형모형(Vflo)의 입력인자로 사용하기 위한 12개의 공간분포형 수문매개변수들을 대표적인 GIS 소프트웨어인 ArcGIS 및 ArcView를 활용하여 추출하였으며, Vflo모형의 현업 적용가능성을 오프라인 상에서 검증해보았다. 모형 검증결과, GIS를 이용한 지형, 토양, 토지피복과 같은 물리적 특성을 사용한 모형의 초기 설정을 항상시킴에 의해 첨두유량, 유출량, 첨두도달시간차 등에서 만족할만한 결과를 보여주었다고 사료된다. 레이더 및 수치예보자료와 합성한 4가지의 형태(QPE, JQPE, QPM, BQPF)의 분포형 입력강우를 이용하여 적용해 본 결과 Nowcasting기법을 이용한 JQPF는 자료의 특성상 초기 1시간30분동안은 비교적 양호한 결과를 얻었으나 3시간 전후로 가면서 예측강우의 질이 저하되기 시작하였으나 QPM을 합성함으로써 생산한 BQPF는 보다 신뢰성있고 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 이러한 결과들은 향후 정량적 분포형강우 예측을 이용한 실시간 홍수유출 예측시 댐운영자는 리드타임(홍수선행시간)을 충분히 확보함으로서 안정적이고 예측 가능한 홍수조절을 하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다. 이와 같이 다양한 단기저수지 유입량의 예측정보 제공으로 다목적댐 저수지 운영모형의 효용성을 제고하여 향후 실제 저수지 유입량 예측에 이용함으로써 저수지 단기운영 효율 개선에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

핵심용어 : 레이더강우, 초단기강우예측, 유출예측시스템, 분포형모형, GIS

1. 서 론

전 세계적으로 지구 평균기온의 지속적인 상승, 엘니뇨의 빈번한 발생, 지역에 따라 가뭄 및 홍수의 빈도증가 등 다양한 이상기상 현상이 빈발하고 있다. 우리나라도 지형학적 및 기상학적 특

* 정희원 · 한국수자원공사 물관리센터 선임연구원 · E-mail : park5103@kwater.or.kr

** 정희원 · 단국대학교 토목환경공학전공 조교수 · E-mail : bskang@dankook.ac.kr

성에 의해 홍수피해에 아주 취약한 구조를 가지고 있어 홍수로 인한 피해가 해마다 급증하고 있다. 특히, 최근에는 국지성 돌발 홍수의 빈번한 발생으로 인해 물관리를 하는 측면에서는 사전예측과 대비에 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다. 이러한 국지성 돌발홍수에 대응해서 초단기 강우예측의 필요성이 대두되고 있고 무엇보다 강우예측의 신뢰성을 확보하는 것이 필요한데 미국이나 일본 등의 선진외국에서는 신속한 관측능력과 시·공간적 해상도가 뛰어난 레이더 강우자료를 이용하여 실시간으로 강우현상을 감지하고 실무차원에서 레이더와 연계한 홍수 예·경보 시스템을 구축·운영하여 많은 인명과 재산피해를 절감하고 있다.

국내의 경우에는 기상청에서 강수유무 및 강수량 예보의 질적 향상을 위해 레이더 자료를 이용하고 있으나 홍수예·경보를 위한 강수량 예측보다는 바람장 생산 등 타 예보기법의 보조수단으로 활용되고 있는 실정이며, 기상청 외에도 건설교통부 등에서 홍수예·경보를 위한 레이더 관측 장비를 설치·운영하고 있으나 그 성과는 아직 미미한 실정이다.

이러한 연구배경을 바탕으로 본 연구의 목적은 물리적기반의 분포형강우유출모형의 강우입력인 자로서 레이더강우자료 및 지상관측강우자료를 활용하여 분포형 유출예측모형의 실무에서의 적용 가능성을 오프라인 상에서 검증하고, 보다 신뢰성 있고 정확한 강우예측자료를 생성하기 위하여 레이더 강우 및 기상수치예보자료를 합성하는 기법을 제시하고 레이더 전처리 및 예측시스템, GIS와 연계한 물리적 기반의 분포형모형 등 최신 수자원 IT기술을 활용하여 돌발홍수에 대응한 초단기 강우예측을 목적으로 향후 실시간으로 적용 가능한 분포형유출예측시스템을 구축하는 것이다. 또한, 레이더 강우의 활용을 위한 원천기술 확보를 위하여, 레이더 원시자료의 특성분석과 함께 한국기상청 레이더원시자료인 UF(Universal Format)포맷자료의 처리기술, 레이더강우 및 지상관측강우의 격자형(공간분포형) 강우처리 프로그램을 자체 개발하여 물리적기반의 분포형모형의 입력자료로서 활용하기 위한 신속한 전처리 시스템을 개발하고, 정량적인 레이더 추정강우자료를 활용하여 돌발홍수 시 저수지 운영을 위한 초단시간 강우 예측기법을 개발하고자 하였다.

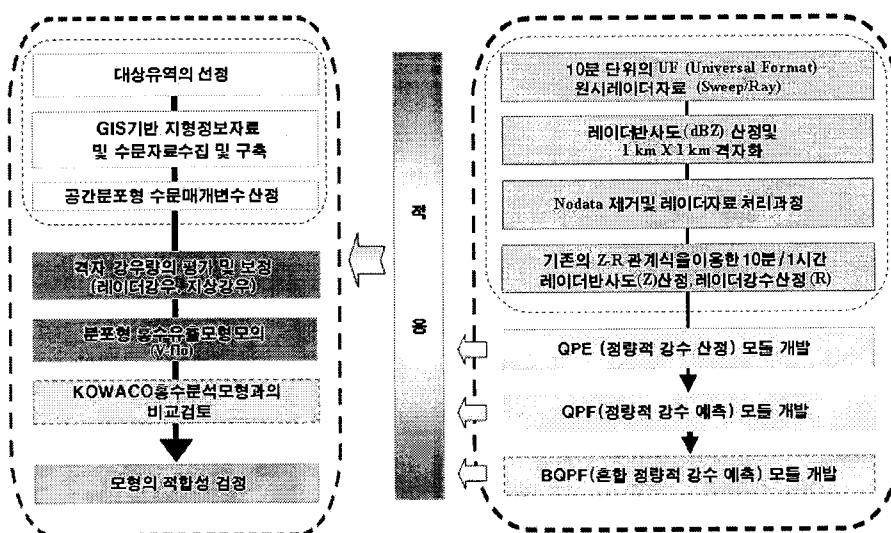


그림 1. 연구수행 절차

본 연구의 내용 및 수행절차를 체계적으로 도표로 정리하면 그림 1에 나타난 바와 같으며, 크게 기상 레이더를 이용한 정량적 강수량 산정 및 예측, 즉 기상학적 부분과 이를 활용한 유출해석, 즉 수문학적 적용부분으로 나눌 수 있다.

2. 대상유역 선정 및 GIS수문자료 구축

본 연구의 적용대상유역으로 초단기 강우예측자료의 정확성을 검증하기 위해서 국지적인 고해상도 지형 효과를 고려한 QPM이 개발되어 있는 금강권역의 용담댐유역을 선정하였다. Vflo모형뿐만 아니라 격자기반의 분포형모형들을 처리하기 위한 입력인자는 모두 격자기반의 공간분포형자료를 가지고 있어야 한다. 물리적기반의 분포형모형인 Vflo모형에서 지표면의 수문매개변수를 추출하기 위해 기본적으로 필요한 원시자료들은 DEM(수치지형자료), 토지피복도, 토양도 등이다. DEM자료로부터 하천셀, 배수흐름방향, 유역경사, 하상경사, 하도록 등을 추출하였고, 토지피복도로부터 각 토지피복별 조도계수를 추출하였고, 토양도로부터 유효토심과 Green-Ampt침투과정을 모의하기 위한 습윤전선, 포화투수계수 그리고 유효공극율과 같은 침투 매개변수를 추출하였다.

대상유역으로서는 금강권역의 용담댐 유역과 낙동강권역의 남강댐 유역을 선정하였다.

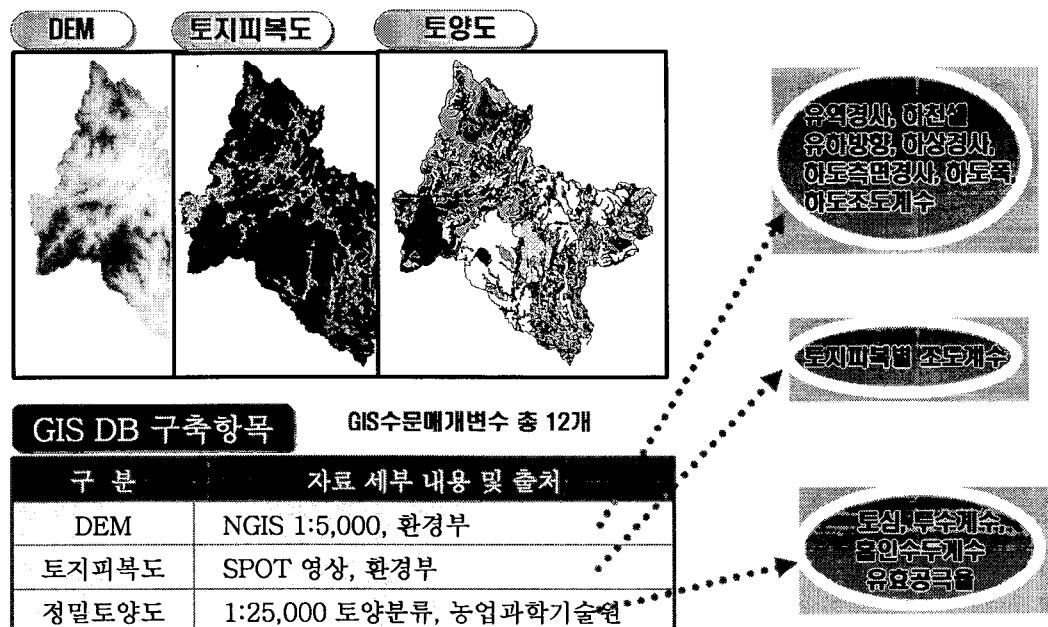


그림 2. GIS수문자료

3. 분포형강우 전처리시스템 개발

본 연구에서는 Vflo모형에 입력되는 레이더강우 및 관측강우를 Vflo모형의 입력포맷에 맞는 격자형 강우로 변환시키는 전처리시스템을 개발하였고, 개발된 프로그램들은 Vflo모형뿐만 아니라 다른 격자기반의 분포형모형들에서도 분포형강우 전처리시스템으로서 유용하게 사용할 수 있을 것이다. 개발된 프로그램들은 점강우량을 가진 관측강우자료를 분포형강우자료로 변환하기 위한 K-RainMaker, 한국 기상청 레이더원시자료포맷인 UF자료를 처리하고 지상에 떨어진 관측강우와의 보정작업을 거쳐 격자기반의 정량적 레이더추정강우자료를 생산하기 위한 K-RainVieux, 자바기반의 1시간 내의 초단기 강우예측을 위한 JQPF, 레이더자료와 수치예보자료를 합성하여 정량적 레이더예측강우자료를 생산하기 위한 K-QPF이다.

실황예보QPF 레이더와 NWP모형의 결과물인 QPM와의 합성은 0-3시간동안의 QPF와 QPM에 대한 가중치를 주는 선형결합에 의해 실행된다. 블렌딩QPF를 위해 아래와 같이 2단계가 필요하다. 즉, 합성(Blending)과 QPE 혹은 QPF에 대한 QPM의 보정단계가 필요하다.

예측강우 $P_B^{i,m}$ 는 $P_{QPF}^{i,m}$ 와 $P_{QPM}^{i,m}$ 의 선형결합으로 식 1과 같이 표현된다.

여기서 가중치요소 θ 는 0-3시간동안의 예측 기간에 의해서 정의된다.

$$P_B^{i,m} = \{\theta \cdot P_{QPF} + (1-\theta) \cdot P_{QPM}\} i, m \quad (1)$$

여기서, $P_B^{i,m}$: 예측강우, θ : 시간대별 가중치, m : 강우픽셀

그림 3은 예측기간 동안 0시간에서는 P_{QPE} , 1-3시간에서는 P_{QPF} 와 P_{QPM} 의 합성을 실행하고 예측기간 동안 변화하는 가중치의 적용을 나타내며 3시간 이후에는 P_{QPM} 을 적용한다. P_{QPM} 은 예측기간(0시간)의 초기에 P_{QPE} 로 계산된다.

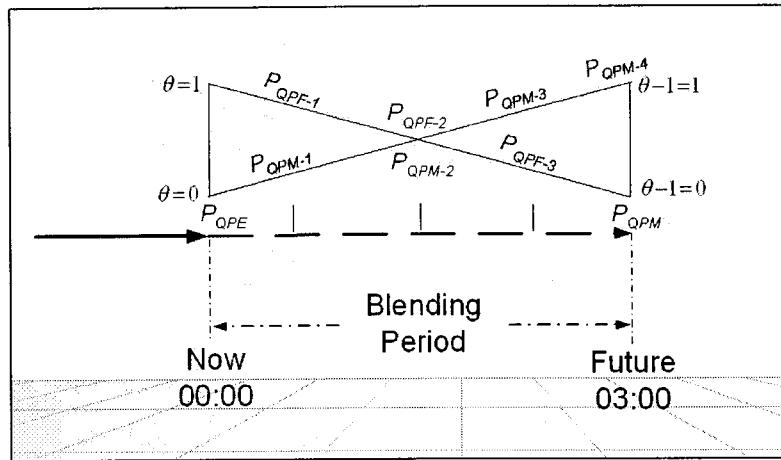


그림 3. 0-3시간 블랜딩 및 가중치 적용 개념

4. 적용 및 결과

본 연구에서는 Nowcasting 기법을 이용한 레이더강우와 중규모수치예보모형으로부터 얻어진 QPM의 장점을 결합하여 합성한 초단기 정량적 강우예측의 신뢰성을 평가하기 위하여 용담댐유역을 대상으로 QPE, JQPF, QPM 그리고 BQPF의 결과를 정성적으로 비교해 보았다.

예측 강우에 대한 호우사상은 아래 표 1과 같이 최근에 발생한 3개 강우사상을 대상으로 하였다.

표 1. 정량적 강우예측 적용 강우사상

| Event | 강우시작 | 강우끝 |
|-----------------|-------------------|-------------------|
| 2005년 8월 대류성 강우 | 2005. 8. 2 15:00 | 2005. 8. 4 03:00 |
| 2006년 태풍 “에워니아” | 2006. 7. 9 00:00 | 2006. 7. 10 15:00 |
| 2006년 태풍 “빌리스” | 2006. 7. 15 06:00 | 2006. 7. 17 15:00 |

용담댐 유역에 대해 JIN(진도)레이더를 사용하였으며 본 연구에서 개발한 분포형모형의 입력인자로서 격자기반의 분포형강우를 생성하는 K-RainVieux프로그램을 이용하여 정량적 강수(QPE)를 산정하였다. 산정된 QPE를 Nowcasting 기법을 이용하여 자바기반의 정량적 강수예측(JQPF)을 하였으며, 기상청의 중규모 수치 모형(RDAPS)에서 생산되는 기상자료를 기반으로 하여, 상세 지역의 지형 효과에 의한 강수를 예측하는 QPM을 JQPF와 합성하여 0-3시간내에서 보다 신뢰성이 높은 초단기 강수량을 예측하여 물리적기반의 분포형 모형인 Vflo모형에 적용하였다.

예를 들어 2005년 8월 대류성 강우기간 동안의 QPE, JQPF, QPM 그리고 BQPF의 결과를 정성적으로 비교해 보면, JQPF와 BQPF가 비교적 실제 유출량과 근접한 결과를 나타내었고, QPE와 QPM도 실제 유출량과 다소 차이가 있지만 비교적 양호한 결과를 보여주었다. 예측강우기간 (2005.8.3.09:00~12:00)동안의 예측 유출량 곡선은 QPE와 QPM이 실제 유출량과 비교해 보았을 때 상대적으로 낮은 값을 보였으나 JQPF와 BQPF에서 보는 바와 같이 Nowcasting기법을 이용한 강우예측을 추가함으로써 보다 향상된 예측결과를 보여주었다.

표 2. 2005.8.3 09:00~12:00기간 첨두예측 유출량

| 시간 | 첨두유출량(m^3/s) | | | | |
|----------------|------------------|-------|-------|-------|-------------|
| | QPE | JQPF | QPM | BQPF | Event Total |
| 2005.8.3 11:00 | 5,440 | 6,444 | 5,606 | 6,336 | 7,379 |

한편, 지금까지 사용되어 온 정성적 평가와는 별도로 통계적 기법에 의한 정량적인 평가를 하였다. 평가기법은 최대오차평가(Maximum Difference)와 분할표(contingency table)를 이용한 예측기술(Forecast Skill) 평가를 하였으며, BQPF의 기법은 초단기 레이더 강우예측의 3시간 이후의 신뢰도 문제와 강우수치예보모델의 초기 강우파소모의 단점을 보완하는 적절한 기법으로 판단되며, 향후 수치모델의 성능향상에 따라 예측능력의 동반 상승이 기대된다.

이러한 결과들은 향후 정량적 분포형강우 예측을 이용한 실시간 홍수유출 예측시 댐운영자는 리드타임(홍수선행시간)을 충분히 확보함으로서 안정적이고 예측 가능한 홍수조절을 하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다. 이와 같이 다양한 단기저수지 유입량의 예측정보 제공으로 다목적댐 저수지 운영모형의 효용성을 제고하여 향후 실제 저수지 유입량 예측에 이용함으로써 저수지 단기운영 효율 개선에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 배덕효(2005). 도시유역에서의 레이더강수 추정, 한국수자원학회지, 제53권, 제9호, pp.33-45.
2. 한국수자원공사(2004). 정량적 강우예측을 이용한 실시간 저수지유입량예보시스템 개발, 연구 보고서.
3. 한국수자원공사(2005). 레이더강수를 이용한 단기강수 및 유출예측시스템 개발(2차년도), 연구 보고서.
4. 한국수자원공사(2006). 레이더강수를 이용한 단기강수 및 유출예측시스템 개발(3차년도), 연구 보고서.
5. Vieux, B.E.(2004). Distributed Hydrologic Modeling Using GIS, Second Edition, ISBN: 1-4020-2459-2, Kluwer Academic Publishers. The Netherlands.
6. Vieux, B.E.(2001). Distributed Hydrologic Modeling Using GIS, ISBN: 0-7923-7002-3, Kluwer Academic Publishers. Norwell, Massachusetts, Wat. Sci. Tech. Vol. 38, pp.293.