

## 강우 정보 현황 및 홍수정보와의

## 연계성



장 기 호 ▶▶▶

기상청 국립기상연구소 수문자원연구팀장  
khchang@korea.kr



배 덕 호 ▶▶▶

세종대학교 토목환경공학과 교수  
dhbae@sejong.ac.kr



조 천 호 ▶▶▶

기상청 국립기상연구소 지구환경시스템연구과장  
choch@korea.kr



최 영 진 ▶▶▶

기상청 국립기상연구소 응용기상연구과장  
yjchoi@korea.kr



조 하 만 ▶▶▶

기상청 국립기상연구소장  
hmcho@korea.kr

## 1. 서론

최근 지구온난화, 엘니뇨 및 라니냐 등 지구환경 변화에 따른 기후변화의 영향으로 짧은 시간에 매우 높은 강도를 가진 집중호우와 홍수, 그리고 가뭄 피해가 빈번히 발생하고 있다. 최근 3년간(2005-2007년) 연평균 강수량은 4.88% 증가하였으나, 1-4월 봄철은 오히려 7.84% 감소하는 경향을 보이며 봄 가뭄과 여름철 집중호우의 가능성이 동시에 높아지고 있는 상황이다.

'06년 7월 강원도 지역의 경우 그림 1과 같이 도로, 교량, 하천 등에서 9천 600 억원의 재산피해가 발생하였고, 한편으로는 '09년 봄에는 450억의 교통비용이 산정된 태백시 가뭄사태(박상덕, 2009)가 있다. 이러한 지역적인 돌발홍수와 가뭄의 피해를 경감하기 위해서는 댐 및 제방 건설 등의 구조적 대책과 고해상도/고품질의 강수량자료와 연계한 홍수 예경보 시스템 등과 같은 비구조적 대책을 병행하여 추진해야 된다. 그러나, 이러한 시스템들에 중요한 입력자료인 강수량자료의 특성과 정량적 성능의 최근 상황에 대해 종합적 정리가 된 적이 없다.

본 연구에서는 홍수, 가뭄 등 수문학적 활용에 도움이 될 수 있도록 강우(적설에 관해서는 편의상 제외)의 관측 및 예측자료의 특성, 성능, 그리고 한계에 대하여 최근 자료를 중심으로 요약 정리하고자 하고 홍수 예측과의 연계방안에 관해 논의하고자 한다.



그림 1. '06 강원도 돌발홍수 피해상황(평창 및 한계령 도로유실)

## 2. 강우 정보 현황

수문관련자들은 강우정보가 필수적이므로, 강우의 관측, 예측, 그리고 정량적 예측 성능 등에 대한 관심이 크다. 그러나, 기상관련자들은 정량적 강우현황 및 예측보다는 강수유무에 대하여 보다 큰 관심을 가지고 있다. 이는 대부분의 국민들은 정량적인 강수량 정보보다는 우산이 필요한가 하는 등의 강수유무에 관심이 크기 때문이다.

전 세계적으로 이 분야에 가장 선진 기술을 보유한 국가는 미국으로서 HPC (Hydrometeorological Prediction Center)라는 전담조직을 운영하며 수문관계기관 등에 필요한 정량적 강수에 대한 지상우량계, 예측, 그리고 각 자료의 사용기준을 제시하며 강수 정보를 총괄하여 관리운영하고 있다. 그림 2는 HPC 보고서 중 하나로서, 과거 30년간의 강수예측성능 개선상황을 볼 때, 수문학적으로 필요한 성능을 갖춘 정량적 강수예측이 이루어지기 위해서는 향후 40년간의 기상수치모형의 개선 등 정량적 강수예측 개선이 필요하다는 전망을 보여주고 있다.

현재 국내에서 수문학적으로 활용 가능한 정량적 강우 정보에 대하여 전반적인 현황을 정리하였다(표 1). 강우 관련 자료는 관측시스템 및 알고리즘 차원에서 장단점을 가지고 있음을 알 수 있다. 기준값으로 사용되는 지상 우량계조차도 극한 상황에서는(루사 태풍에 의한 동해시 폭우는 목측 우량관측에 의존) 관

측 한계를 가지고 있다. 레이더 환산 강우는 지상 우량계나 위성환산강우보다 시공간해상도가 더 좋아 수문학적 적용에 우수함을 보이고 있다. 그러나, 기상수치모형을 기반으로 하는 단기 또는 장기 강우 예측은 아직 수문학적으로 필요한 정량적 예측 성능에는 미치지 못하고 있다. 이런 이유로 미국도 강수현황자료를 이용한 돌발홍수(FFG) 등의 홍수예경보시스템만 대국민 공개하고 있으며 기상 수치 예측 모형과 수문 예측모형을 결합한 통합예측은 홍수전망(Flood outlook)자료로 접근하고 있다.

그림 3은 기상청 전국 우량계 500개에 대한 강우유무의 정량적 강수예측성능을 보여주고 있다. CSI 값을 볼 때 기상수치모형은 아직 정량적 강수예측자료로 사용하기는 어려운 현실이며, 초단시간모형(VSRF)도 2시간 정도까지만 수문학적인 정량적 강수예측자료로 활용가능하다는 것을 알 수 있다. 여기서 초단시간모형은 레이더 환산 강수를 이용한 시공간

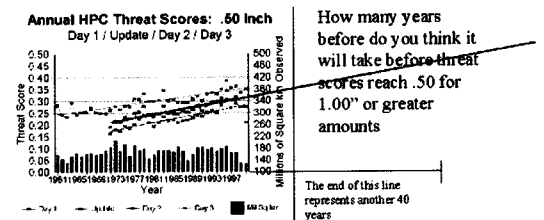


그림 2. 미국 HPC(Hydrometeorological Prediction Center) 공개자료. 0.5인치(12.7 mm) 강수경계치에 대한 예측성 평가자료.

표 1. 국내 수문학적 강우정보 현황

	강우 정보	시공간해상도	간격	성능	장점	단점	현 상태
실 황	기상청 강우관측 (전도형 우량계)	약 18 km/1분 (도시주변은 고밀도)	0.5 mm (0.1 mm는 보조장비)	-	-싼 가격 -안정적 운영	- 0.1mm미만 관측불가 - 과대강우강도 (100 mm/h 이상)시 오작동 가능성 높음 - 강설관측 어려움	약 600지점 운영(기상청)
	기상청 레이더 환산 강우강도	약 1 km/10분	10분	$R^2 \sim 0.71$ (10분) $\sim 0.83$ (1일)	적은 시공간 해상도	좁은 범위	기상청 자체운영
	위성환산 강우량 (GPCP*)	1 degree/day	1일	$R^2 \sim 0.80$	넓은 범위	- 낮은 시공간해상도 - 자료업데이트가 늦음 (2~3일 경과)	국내개발추진 중
예 측	초단기(3시간) 예측강우	약 1km/1시간	1시간	CSI <sub>0.1</sub> ** $\sim 0.6$ (1시간예측)	1~2시간 정량적 강수 예측	강우 성장 및 소멸 모의 어려움	기상청 자체운영
	단기(12~48시간) 모델 예측강우	30,10,5 km/ 분(시간)	6시간	CSI <sub>0.1</sub> < 0.33	패턴 및 경향	정량적 강우예측 어려움	정량적 예보 없음
	장기 강우 예측	약 50 km/10일	3개월	CSI <sub>0.1</sub> << 0.33	장기적 강수경향 예측	정량적 강우예측 어려움	평년대비 증감여부 예보

\* GPCP(Global Precipitation Climatology Project)의 강우는 위성자료를 중심으로 월평균 전구강수와 일평균 전구강수를 제공(Mekonnen 등, 2005)

\*\* CSI(Critical Success Index): CSI<sub>0.1</sub>은 임계값이 강수유무(0.1 mm이하 또는 이상)예보에 대한 예보임계성공지수(CSI).

CSI<sub>0.1</sub>이 0.33이상일 경우 강수유무 예보의 절반이상에서 성공하였음을 의미함.

외삽법으로 강우를 예측하는 시스템으로 급작스런 강수의 강화 또는 소멸 모의에 약점을 지니고 있다(레이더 활용기술연구(II), 2009).

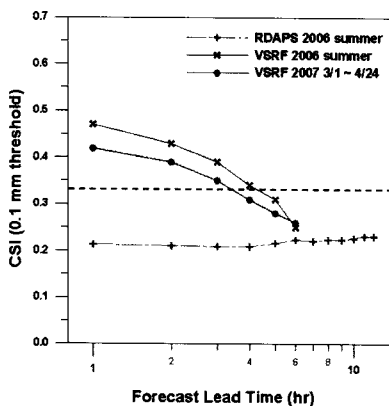


그림 3. RDAPS(Regional Data Analysis and Prediction System) 수평해상도 10 km, VSRF(Very-Short-Range-Forecast of precipitation) 수평해상도 5 km의 강수유무(임계값 = 0.1 mm)에 대한 예측시간에 따른 강우예측성능(CSI score) 비교

### 3. 홍수 정보와의 연계방안

보다 나은 홍수 정보를 얻기 위해서는 앞 절에서 서술한 강우 정보의 한계와 적정성, 그리고 목적에 맞는 자료의 이용이 필요하다. 활용목적의 다양성 때문에 각 강수자료와 홍수정보의 연계가 모두 필요할 수 있다. 기후적 강우 및 홍수(가뭄)의 변동성 분석에는 지상우량계 등의 자료가 필요할 것이며, 위성강수는 동아시아 강우 및 유량 패턴 분석에 유용할 수 있을 것이다. 또한 단기 및 장기 강우 모델과 유량모델과의 결합은 기상모델의 한계성 및 유용성을 정확히 알고 있는 호우 및 홍수 예경보 실무자들에게 필요한 자료가 될 수 있을 것이다. 다만, 홍수 예경보는 시공간적 고해상도와 정량적 성능을 동시에 요구하기 때문에 레이더 강우와 초단시간 강우예측 2시간까지를 연결한 강우 정보 시스템과 대상유역의 수문모형을 결합한 형태가 현재로서는 최선의 방안이라 사료된다.

강수 자료의 상황은 계속 바뀌기 때문에 각 자료의

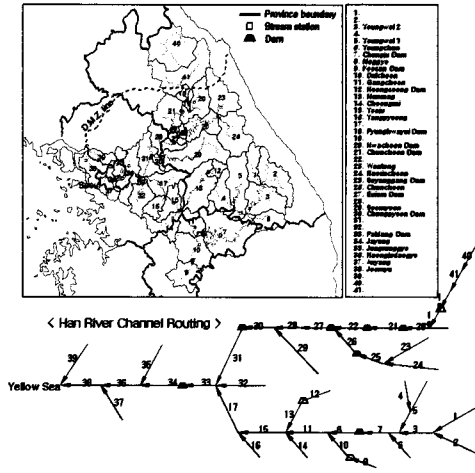


그림 4. 한강 강우-유량 통합예측시스템 (국립기상연구소, 2004)

상황에 대한 모니터링이 지속적이고 종합적으로 필요한 것으로 판단된다. 예를 들면 3-4년전에는 레이더 강우자료는 고해상도자료이긴 하나 품질이 미흡하여 정량적 강수자료로 사용되기 어려웠다. 마찬가지로 현재의 위성강우는 시공간적 저해상도로 수문학적 사용이 어려우나, 향후 GPM(Global Precipitation Measurement) 프로젝트가 활성화되어 GPS 위성처럼 수시로 떠있는 체계가 된다면 수문학적으로 유용한 강우자료로 사용될 수도 있을 것이다.

국립기상연구소와 세종대학교는 한강 강우-유량 통합예측시스템을 공동으로 개발하였다 (Chang 등,

2004). 강우 자료는 우량계 자료, 기상수치모델 예측 강우 등을 활용해 보았다. 수문모델은 TOPMODEL 을 기반으로 구성하였으며, 강줄기 라우팅은 Sacramento 스킴을 활용하였다. 2003년 당시에는 41개 한강 중유역에 대하여 20개의 T/M 관측자료만 존재하여 이 유역들에 대한 검정 및 검증이 수행될 수 있었다.

그림 5는 한강 강우-유량 예측시스템 성능평가를 위하여 관측강우 및 댐제어 자료를 시간별로 입력한 28번의 시뮬레이션 결과이다. 24시간 모의에 대하여 공간적으로 검증유역 대부분에서 0.8이상의 높은 상관계수를 보이고 있다. 다소 낮은 성능을 보이는 유역은 관측 유량값 또는 검정(Calibration)에 다소 문제가 있는 것으로 판단된다. 시간적으로는 유역평균 유량예측오차(Br)는 48예측시간 동안  $\pm 0.4$  mm/h 이내로서 좋은 성능을 보여주고 있다.

#### 4. 맺음말

최근 기후변화로 인해 집중호우와 대규모 가뭄이 빈번히 발생하며 국민을 괴롭히고 있다. 이러한 홍수 및 가뭄 피해를 저감에 필수자료인 강우 정보의 정량적 성능 현황을 요약정리하고, 홍수정보와의 연계방안에 관하여 논의해 보았다.

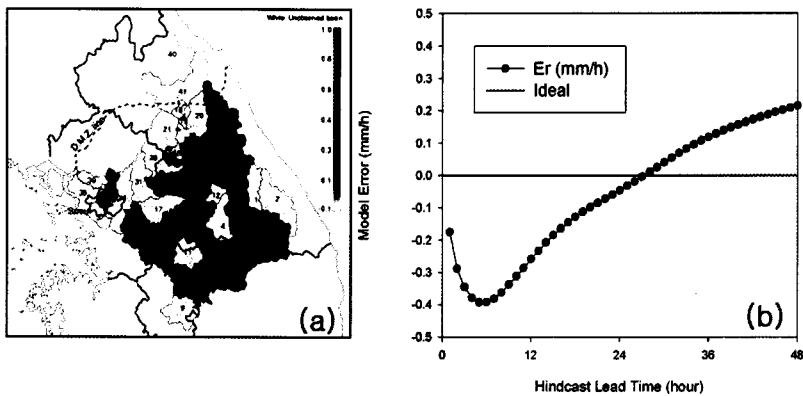


그림 5. 한강유역 강우-유량 결합시스템 시공간 성능평가. (a) 24시간 예측 및 관측유량간의 상관계수(R2)의 공간 분포와 (b) 모의시간별 유역평균 오차

매년 반복되는 집중호우로 발생할 수 있는 돌발홍수로부터 국민의 생명과 재산이 위협받고 있는 이 시점에서 보다 빠르고 신뢰성 있는 돌발홍수예측과 가뭄모니터링시스템이 필요하며, 이를 위해서는 기상학자와 수문학자들이 연계가 우선 활성화되어야 할 것이다. 우선, 정량적 강우자료 현황 파악 및 제시에 대한

통합적인 수문기상정보(가뭄, 호우)를 공동개발하는 등의 공동연구부터 시작해야 할 것이며, 궁극적으로는 미국의 HPC같은 정량적 강수자료의 평가 및 유통을 범국가적으로 전담하는 조직이 구성되어야 할 것이다. ☞

## 참고문헌

1. 국립기상연구소(2008), “레이더 활용연구 (II)”
2. 기상연구소(2004), “악기상 감시 및 예측 시스템 기술 개발”
3. 박상덕(2009), “태백 가뭄의 경제적 피해액 산정”, 강수의 경제적 가치 평가 워크숍, 27-43
4. Chang, K.H., Jin-Hoon Kim, Chun-Ho Cho, Deg-Hyo Bae, and Jinwon Kim (2004). "Performance of a Coupled Atmosphere-Streamflow Prediction System in the IHP Pyungchang River Basin", J. Hydrology, Vol. 288, pp. 210-224.
5. Mekonnen, G., Witold, F. K., Mark M., Darin, L. George, J.H., and Robert, A. (2005). "A detailed evaluation of GPCP 1 degree daily rainfall estimates over the Mississippi river basin." J. Hydrometeo., Vol. 44, Issue 5, pp.665-681