

수치예보모델 초기치로서 GPS 가강수량 영향 분석

이재원^{1,2†}, 조정호¹, 백정호^{1,2}, 박종욱¹

¹한국천문연구원

²과학기술연합대학원대학교

ANALYSIS ON GPS PWV EFFECTS AS AN INITIAL INPUT DATA OF NWP MODEL

Jaewon Lee^{1,2†}, Jungho Cho¹, Jeongho Baek^{1,2}, and Jong-Uk Park¹

¹Korea Astronomy and Space Science Institute, Yuseong, Daejeon 305-348, Korea

²Korea University of Science and Technology, Yuseong, Daejeon 305-333, Korea

E-mail: ljwaf@kasi.re.kr

(Received September 21, 2007; Accepted November 26, 2007)

요 약

시·공간 분해능이 우수한 GPS 가강수량 자료를 활용하면 강수나 구름과 같이 변동성이 큰 기상현상에 대한 수치예보모델의 예측성 한계를 줄일 수 있다. 이 연구에서는 GPS 가강수량 자료를 수치예보모델에 초기치로서 적용하기 위해 한국천문연구원과 해양수산부가 운영하고 있는 GPS 상시관측소 자료로부터 GPS 가강수량을 계산하였다. 시·공간적 규모가 작아 기존 수치예보모델에서 예측하기 어려운 국지적 집중호우사례를 선정하였다. 차세대 수치예보모델인 WRF(Weather Research & Forecasting)모델의 3차원 변분동화(3D-Var)기법을 이용하여 GPS 가강수량 자료를 초기치에 동화하였다. 이 연구는 GPS 가강수량 자료가 수치예보모델의 결과에 미치는 영향을 분석하였다. 분석결과를 바탕으로 하여 수치예보모델의 예측성 향상을 위한 연구방향을 제시하였다.

ABSTRACT

The Precipitable Water Vapor (PWV) from GPS with high resolution in terms of time and space might reduce the limitations of the numerical weather prediction (NWP) model for easily variable phenomena, such as precipitation and cloud. We have converted to PWV from Global Positioning System (GPS) data of Korea Astronomy and Space Science Institute (KASI) and Ministry of Maritime Affairs & Fisheries (MO-MAF). First of all, we have selected the heavy rainfall case of having a predictability limitation in time and space due to small-scale motion. In order to evaluate the effect for GPS PWV, we have executed the sensitivity experiment with PWV from GPS data over Korean peninsula in the Weather Research & Forecasting 3-Dimensional Variational (WRF-3DVAR). We have also suggested the direction of further research for an improvement of the predictability of NWP model on the basis of this case.

Keywords: GPS, precipitable water vapor, sensitivity experiment, WRF-3DVAR

†corresponding author

1. 서 론

시·공간적으로 큰 변동성을 갖는 대기 수증기분포는 대기역학적으로 수치예보모델에서 강수의 단기에측오차를 발생시키는 중요한 요소이지만, 정확한 구조를 파악할 수 있는 관측 자료는 부족하다(Kuo et al. 1996). 국지적 집중호우처럼 중규모운동(synoptic-scale motion)을 배경으로 작은 규모에서 발생하는 기상현상들은 대기의 수증기 분포에 민감하게 반응하지만 수증기 관측자료의 부족과 부정확성으로 인해 예측이 어렵다(Park & Droegemeier 1999, 2000). 특히 수치예보모델과 관측 기술의 지속적인 발달에도 불구하고 대기의 불안정성이 큰 여름철 장마기간 동안 발생하는 집중호우에 대한 예측성의 한계를 극복하는데 어려움이 있다(Fritsch & Carbone 2004). 이러한 한계를 극복하기 위한 접근방법 중 하나가 다양한 관측 네트워크를 구성하여 조밀한 관측 자료를 수집함으로써 예보기술을 향상시키려는 시도이다. 관측 네트워크는 지상관측망, 라디오존데 등과 같은 기존 체계에서 기상위성, 기상 레이더, MWR(Microwave Radiometer), GPS 등의 원격탐지체계로 확장되고 있다. 그 중 GPS는 고도 약 20,000km 상공에서 GPS 위성 신호가 대기를 통과하면서 발생하는 GPS 신호지연오차로부터 연직방향의 수증기량을 추정할 수 있기 때문에 이를 활용하는 연구가 주목받고 있다(Bengtsson et al. 2003). GPS 가강수량(PWV; Precipitable Water Vapor)자료는 강수예측연구와 관련해 수치예보모델에서 초기값으로 활용하는 연구들이 진행되고 있다(Cucurull et al. 2004, 하지현 외 2006).

이 연구는 한반도에서 발생한 장마철 국지적 집중호우사태에 대해 국내의 GPS 상시관측소 자료에서 산출한 GPS 가강수량을 실제 강수량 자료와 비교하고 GPS 가강수량의 자료동화에 대한 초기치로써 타당성을 검증하였다. 또한 GPS 가강수량 자료를 기상현업분야에 적용하기 위하여 차세대 수치예보모델인 WRF(Weather Research & Forecasting)-ARW (Advanced Research WRF)의 3차원변분(3DVAR; 3 Dimensional VARIational) 자료동화기법을 이용하여 GPS 가강수량 자료에 대한 민감도실험을 실시하였고 수치예보모델 내에서 GPS 가강수량 자료의 물리적, 열역학적 영향을 분석하였다.

2. 사례선정 및 GPS 가강수량 추출

2.1 사례선정

GPS 가강수량 자료가 수치예보모델의 예측성에 어떠한 영향을 주는지 알아보기 위해 2007년 7월 9일 00UTC부터 10일 00UTC 사이 대전을 포함한 충청이남지역에 짧은 시간동안 많은 강수를 기록한 사례를 선정하였다. 2007년 7월 9일 야간과 10일 새벽 사이에 한반도 남서쪽으로부터 잘 발달된 저기압이 접근하면서 한반도에 많은 양의 수증기가 공급되었다. 이로 인해 한반도 중부지역 상공에 불안정한 층이 형성되었으며, 대기불안정성이 상대적으로 컸던 충청 및 남해안지역에 100mm 내외의 강수량을 기록하였다.

그림 1에서 충청과 남해안지역에 두 개의 강수중심이 나타나 짧은 시간(9일 12~18UTC)동안 강수가 집중된 것을 확인할 수 있다. 충청지역의 강수는 하나의 강수중심이 내륙에 상륙하면서 지형적 영향으로 느리게 이동하여 대전지역을 포함한 충청남부지역에 6시간 동안 90mm 내외의 누적강수량을 기록하였다. 한편, 여수를 포함한 남쪽 지역의 강수분석에서 3~4시간 간격을 두고 각각 독립적인

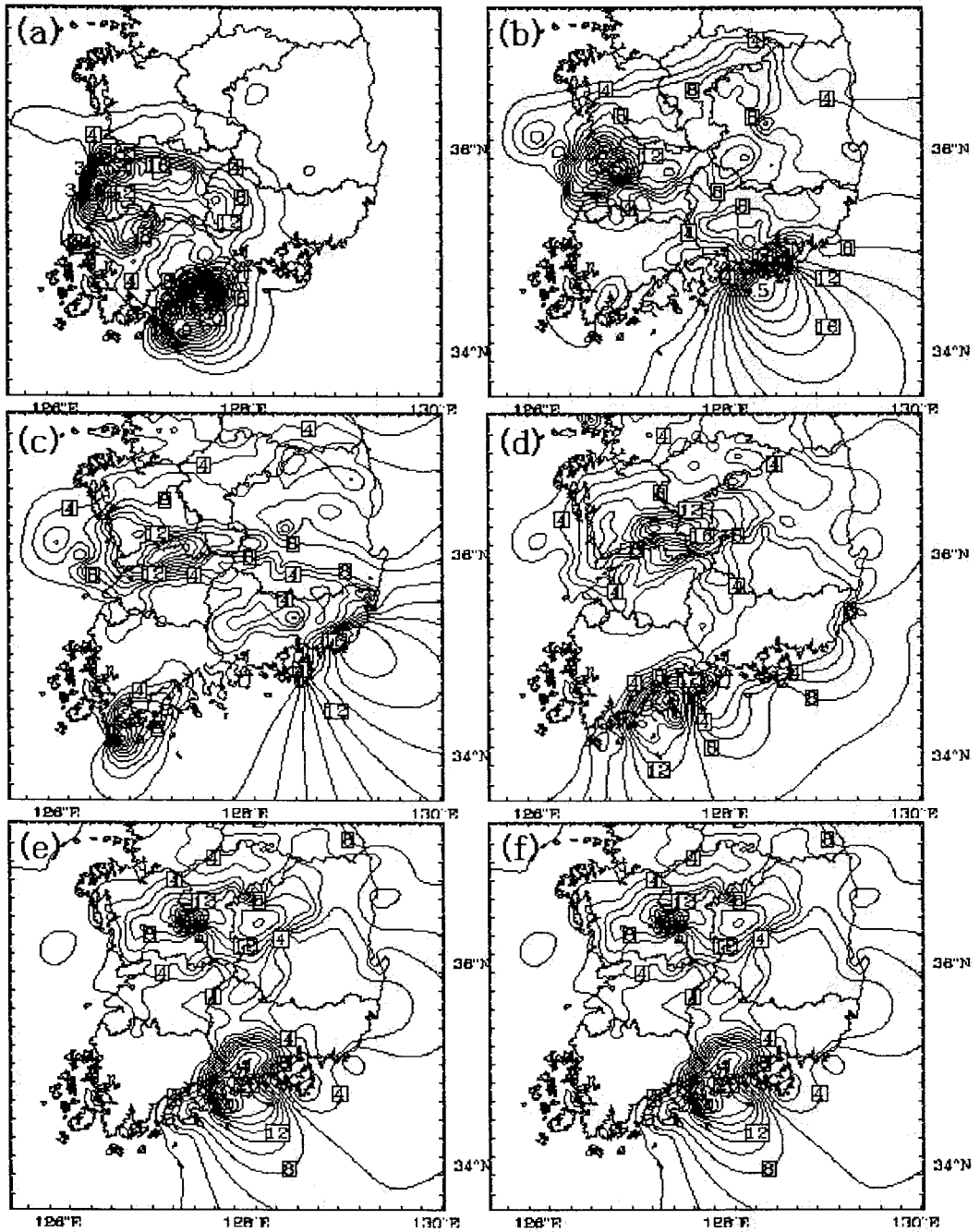


그림 1. 강수집중시간(2007년 7월 9일 12~18UTC)에 대한 기상청 관측소의 시간당 누적 강수량(mm) 분포. (a) 12~13UTC, (b) 13~14UTC, (c) 14~15UTC, (d) 15~16UTC, (e) 16~17UTC, (f) 17~18UTC.

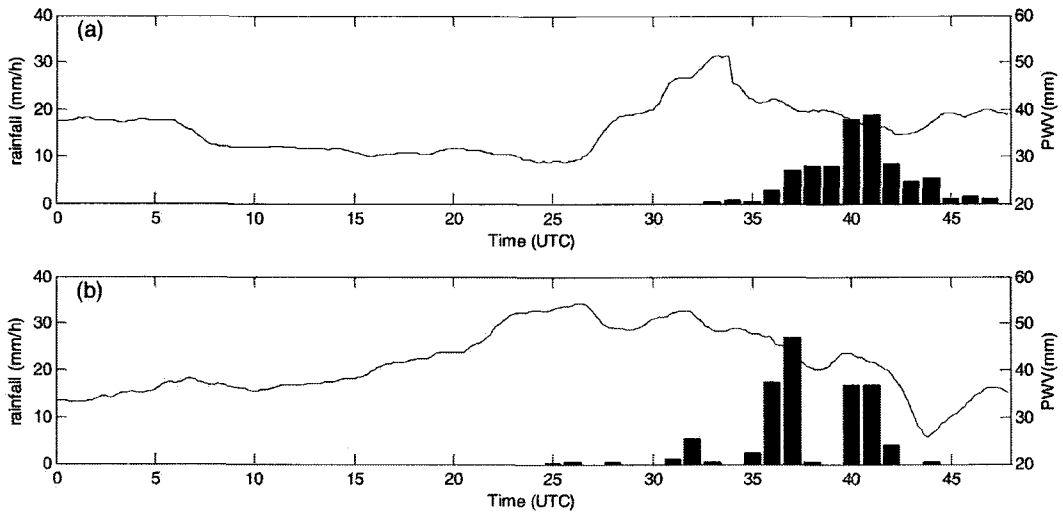


그림 2. 2007년 7월 8일 00UTC ~ 10일 00UTC 48시간 시간당 누적강수량 및 GPS 가강수량(PWV) 분포(mm). (a) 대전, (b) 여수.

작은 규모의 세포(cell)가 연속적으로 발생하면서 이동하는 현상이 나타났다(예: Doswell 2001). 이러한 영향으로 9일 12UTC와 18UTC사이 남해안지역에 두 개의 독립된 강수중심이 차례로 통과하면서 시간당 20~30mm의 강수량을 기록하고 있다.

2.2 GPS 가강수량 추출 및 분석

GPS 위성으로부터 송신된 신호는 수증기가 불균질하게 분포하고 있는 대류권을 통과하면서 굴절된다. 굴절된 GPS 신호를 역으로 분석하면 대류권의 수증기 분포를 추정할 수 있다(Bevis et al. 1994). 이 논문에서는 한국천문연구원이 보유한 GPS 관측망 자료와 동일한 지점에 설치되어 있는 디지털 기상장비로 관측된 온도와 기압 자료를 이용하여 GPS 가강수량 자료를 결정하고, 강수관측자료와 비교하여 수치예보모델에서의 GPS 가강수량 자료에 대한 유용성을 분석하는데 초점을 맞췄다.

그림 2a는 2007년 7월 8일 00UTC부터 10일 00UTC까지 48시간동안의 대전지역 1시간 누적 강수량과 10분 간격으로 처리한 대전 GPS 가강수량을 비교한 것이다. 대전지역의 강수는 9일 09UTC부터 시작되어 16UTC와 18UTC 사이에 시간당 18~19mm 내외의 최대강수를 나타내고 있다. 이후에 약한 강수가 10일 야간(12UTC)까지 지속되면서 24시간 누적 강수량이 88.5mm를 기록하였다. 강수분포와 GPS 가강수량의 시간분석에서 강수현상이 시작되기 약 5~6시간 전부터 GPS 가강수량은 증가하여 선행시간을 보였다. GPS 가강수량은 강수가 시작되기 전에 20mm 이상 증가하여 강수시작 직전에 최대치를 기록하였다. 강수가 시작되면서 GPS 가강수량이 5mm 정도 감소하고, 강한 강수가 있기 전까지는 거의 같은 값을 유지하고 있다. 강한 강수가 시작되면서 다시 10mm 정도 감소하나, 이후 약한 강수가 지속될 때는 큰 변화를 보이지 않았다.

그림 2b는 두 개의 독립된 강한 강수가 2~3시간 간격을 두고 통과하면서 94mm의 누적강수량을

표 1. WRF-ARW 모델설계.

	영역 1	영역 2	영역 3
수평격자수	121 × 121	112 × 97	181 × 181
연직층/모델최고높이	28 pressure level / 100hPa		
수평해상도(km)	27	9	3
초기시간(UTC)	7/09 00:00	7/09 06:00	7/09 12:00
적분시간 및 간격	48h($\Delta t=180s$)	24h($\Delta t=60s$)	12h($\Delta t=20s$)
모델중심	36°N × 125°E		
물리과정	WSM 3-class simple ice scheme		
적운모수화 방안	Kain-Fritsch scheme	None	
행성경계층 방안	YSU scheme		
복사과정	RRTM/Dudhia scheme		
등지화(nesting)기법	1-way		

기록한 여수지역의 48시간 강수 분포와 여수 GPS 가강수량 분포를 나타낸 것이다. 그림에서 대전의 결과와 유사하게 GPS 강수선행현상이 나타났다. 강한 강수현상이 반복된 것과 연관해서는 GPS 가강수량의 증감이 뚜렷이 나타나고 있다. 여수지역은 9일 00UTC부터 약한 강수가 단속적으로 나타났기 때문에 강한 강수가 시작되기 전에 증가했던 GPS 가강수량이 유지되면서 강한 강수 직전에 최대치를 기록하였다. 초기의 강한 강수 이후에 GPS 가강수량은 10mm 정도 감소하고, 두 번째 강한 강수가 시작되기 전에 다시 증가하는 양상을 보였다. 강한 강수가 종료된 후 약한 강수가 지속적으로 내린 대전의 경우에는 비교적 완만하게 GPS 가강수량이 감소하지만 여수에서는 강수 종료와 함께 상대적으로 급격하게 감소함을 보이고 있다.

위에서 살펴본 바와 같이 대전과 여수 GPS 상시관측소에서 산출된 GPS 가강수량 자료는 강수 관측자료와 비교했을 때 시간적으로 잘 대응되었고 GPS 강수선행현상이 나타나고 있다. 이러한 GPS 가강수량 자료의 시간적 선행은 강수현상의 물리적인 특성과 연관하여 수치예보모델의 성능개선을 위한 주요 예보인자(predictor)로써 활용될 수 있을 것으로 여겨진다. 이를 알아보기 위해 3장에서 WRF 모델에 대해 규준실험(Control Experiment)을 실시하고 수치예보모델이 가지는 고유의 예측특성을 살펴보았다. 또한 자료동화연구를 통해 GPS 가강수량 자료동화시 수치예보모델에서 나타나는 영향과 변화를 분석하였다.

3. 규준실험 및 GPS 가강수량 민감도 실험

3.1 규준실험

선정된 사례에서 WRF-ARW 모델이 가지는 원래의 강수예측성을 알아보기 위해 GPS 가강수량 자료동화실험을 하기 전에 표 1과 같은 모델설계를 바탕으로 규준실험을 실시하였다. 이러한 모델설계는 GPS 가강수량 자료동화에서도 적용하였다.

초기치 자료는 해상도 $1^\circ \times 1^\circ$ 의 FNL(NCEP Final Analysis)을 이용하였다. 수평해상도 27km인 영역 1의 수치예보모델을 실행한 후, 단방향 등지기법(1-way nesting)의 순차적 수행을 통해 수평해상도 9km인 영역 2와 3km인 영역 3의 등지격자영역(nested-domain) 모델을 수행하였다. 각 영역의 적분시간은 48시간, 24시간, 12시간이며 적분간격은 각각 180초, 60초, 20초로 설정하였다. 미세 구름 물리과정(Microphysics)은 온도에 따라 수증기와 얼음만으로 구별한 WSM(WRF Single-Moment) 3-

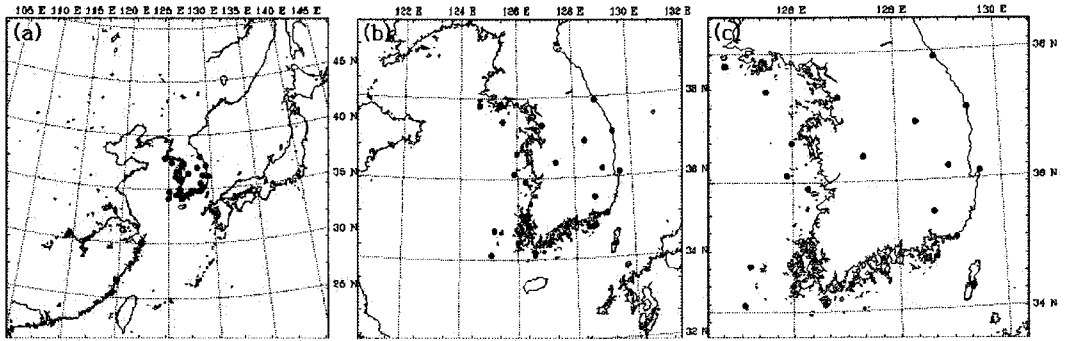


그림 3. 수치예보모델의 각 영역별 한국천문연구원과 해양수산부 GPS 상시관측소 분포. (a) 영역 1, (b) 영역 2, (c) 영역 3.

class simple ice 방안(scheme)을 사용하였다. 적운모수화(Cumulus Parameterization)는 영역1, 2에서 Kain-Fritsch 방안을 사용하였고, 영역 3에서는 적운모수화 방안을 사용하지 않았다. 행성경계층(Planetary Boundary layer)은 YSU(Yonsei University) 방안을 이용하였고, 복사(Radiation)과정은 RRTM(Rapid Radiative Transfer Model)을 채택하였다(<http://www.mmm.ucar.edu>).

그림 3은 WRF모델에서 설정된 각 영역에서 한국천문연구원과 해양수산부에서 운영하고 있는 22개 GPS 관측소를 표시한 그림이다. 각 영역에서 선정된 사례에 대해 수치예보모델로 실험한 기준 실험의 결과를 분석하고 GPS 가강수량을 자료동화 했을 때의 초기상태 변화와 예측성을 살펴보았다.

그림 4는 수치예보결과를 좀 더 세밀하게 분석하기 위하여 강수가 집중된 9일 12UTC부터 18UTC 까지 기준실험에서 영역 3의 시간당 누적강수량 분포를 나타낸 것이다. 그림 1과 그림 4에서 초기 시간(12~13UTC)의 강수형태를 비교했을 때 관측자료는 대전지역(흑색 점)을 포함한 충청서해안과 호남남해안지역에서 초기에 강한 강수현상을 보여준다. 그러나 수치예보모델의 결과에서 충청지역의 강수는 실제보다 남쪽에서 강수중심이 나타나고 초기시간에 하나의 강수밴드가 시간이 지남에 따라 두 개로 분리되어 약해진다. 최대 강수를 비교했을 때 수치예보모델은 초기시간에 충청서해안지역에서 관측보다 많은 시간당 40mm 이상의 강수량을 과다 예측함을 알 수 있다. 기준실험에서 수치예보모델과 관측자료의 가장 큰 차이는 독립된 현상으로 나타나는 남해안 지역의 강수를 예측하지 못한다는 것이다. 시간에 따른 수치예보모델의 강수모의결과에서 저기압과 연관된 단일 강수밴드가 충청 남부지역을 중심으로 통과하여 점차 소멸되지만 실제 강수관측에서는 18UTC까지 강수강도가 유지되고 있다. 강수의 이동을 살펴보면 관측에서 강수가 동북동(70°)쪽으로 이동하면서 경기남부 및 강원남부까지 강수현상이 나타나지만, 모델결과에서 강수가 정동진하면서 충청이북지역의 강수를 모의하지 못한다. 점차 시간이 지남에 따라 강수량이 줄어들고 실제 관측에서 나타나는 시간별 최대 강수량의 증감 없이 강수강도가 유지됨을 알 수 있다.

기준실험의 강수예측결과를 강수 관측자료와 비교했을 때 중관장(synoptic field)을 배경으로 하는 저기압 통과에 의해 발생한 대기운동의 특성을 잘 반영하여 모든 영역의 전반적인 강수에 대한 예

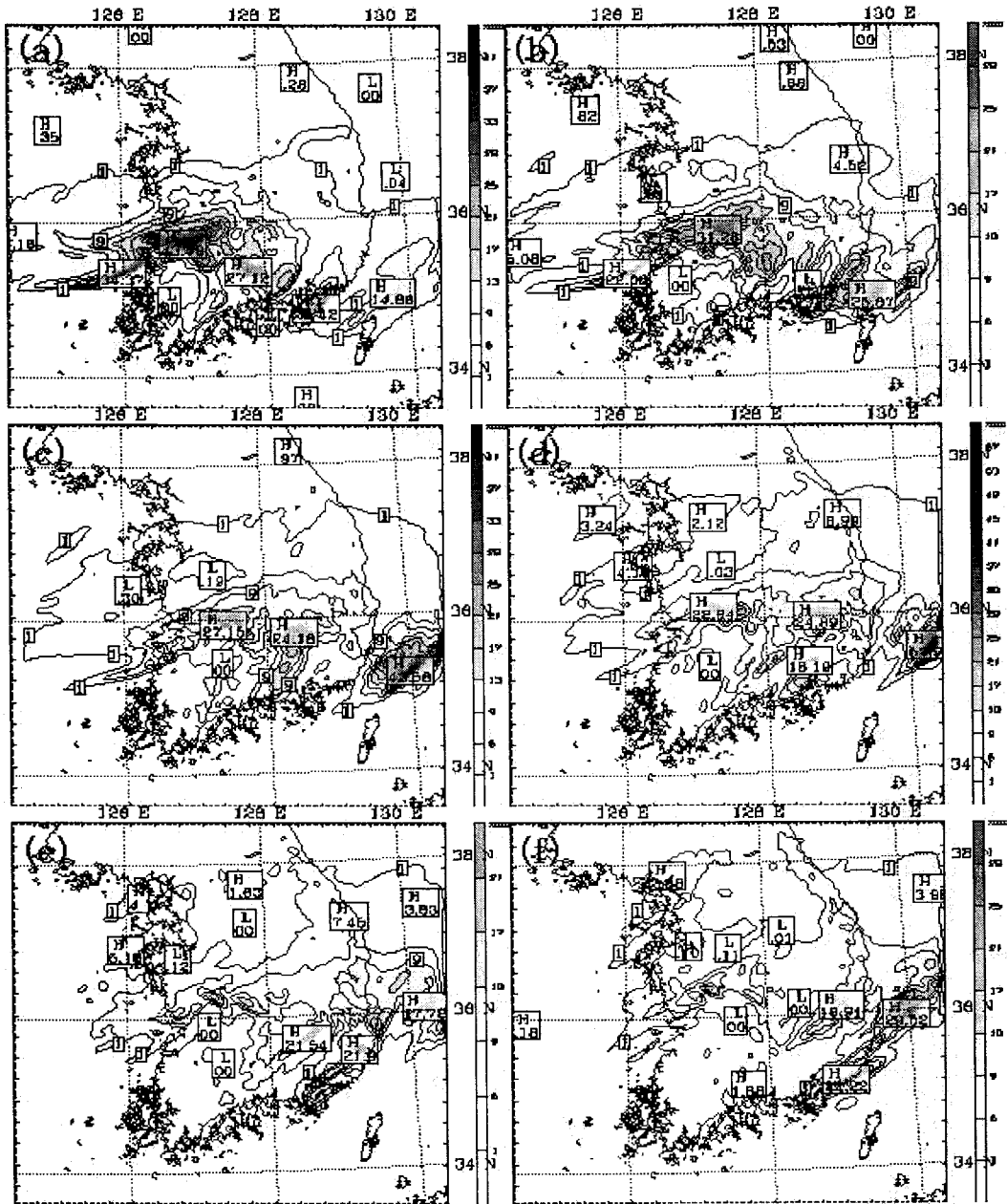


그림 4. 선정된 사례(2007년 7월 9일)에 대한 규준실험 영역 3에서의 시간당 누적 강수량(mm) 분포(흑색 점: 대전지역 표시). (a) 12~13UTC, (b) 13~14UTC, (c) 14~15UTC, (d) 15~16UTC, (e) 16~17UTC, (f) 17~18UTC.

측성은 우수한 것으로 판단된다. 그러나 세부적인 강수 집중지역 및 시간, 강수량 예측은 미흡하며, 그 중에서도 남해안에 발생한 강수현상은 거의 모의하지 못하는 결과를 보인다.

3.2 GPS 가강수량 민감도 실험

WRF-3DVAR에서 GPS 가강수량 자료의 영향을 분석하기 위해 민감도실험을 하였다. 이 연구에서는 전체영역에 대해 GPS 관측소가 가장 균일하게 분포하는 영역 3에 초점을 두고 실험하였다. GPS 가강수량 자료의 산출을 위해 디지털 기상장비가 함께 설치된 한국천문연구원 GPS 관측소 자료를 이용하였고, 산출된 GPS 가강수량 자료를 동화하여 수치예보모델의 초기치를 개선하였다. GPS 관측소 개수에 따른 수치예보모델 영역에서의 영향을 평가하기 위해 한국천문연구원 GPS 관측소 자료만을 이용한 실험과 해양수산부 GPS 관측소를 추가한 실험을 실시하였다. 후자의 실험에서는 해양수산부의 실제 GPS 가강수량 자료를 대신하여 인근의 한국천문연구원 GPS 가강수량 자료를 내삽하였다. 그리고 WRF-3DVAR 기법을 이용하여 수치예보모델 내에서 허용하는 GPS 가강수량 자료를 동화하였다.

그림 5a,b는 영역 3에서 GPS 관측소 개수에 따른 강수예측성의 민감도를 분석하기 위해 2007년 7월 9일 12UTC에서 18UTC까지 7개의 한국천문연구원 GPS 관측소와 22개(한국천문연+해양수산부)의 GPS 관측소 자료를 각각 동화했을 때 수치예보모델이 모의한 6시간 누적강수량과 기준실험의 강수량 차이를 나타낸 것이다.

그림 5a는 영남지역 및 남동부 해상을 제외하고 대체로 5mm 이내의 차이를 보이고 있다. 이는 수치예보모델의 영역 내에 가지는 강수관련변수의 총량이 정해져 있기 때문에 기준실험보다 큰 GPS 가강수량 자료를 초기시간에 동화하더라도 시간이 지남에 따라 영향력이 감소되는 것으로 해석된다. GPS 가강수량 자료밀도가 높았던 남동부 해상에서 10mm 이상의 강수량 증감은 수치예보모델 내에서 강수량 총량의 변화이기보다는 영역 내에서 시간에 따른 강수의 이동속도변화에 의한 것으로 추정된다. 그림 5b는 한국천문연구원과 해양수산부의 22개 관측소 자료를 동화한 결과와 기준실험의 6시간 누적 강수량 차이를 나타낸 것으로 한국천문연구원 7개 관측소 자료만을 동화한 실험보다 상대적으로 큰 강수량 차이를 보였다. 특히 해양수산부 GPS 관측소의 밀도가 높은 남서부지역에서 GPS 가강수량 자료동화의 효과로 인해 강수량 증가가 크게 나타났으며 기준실험에서 모의하지 못한 남해안지역의 강수예측성이 개선된 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 수치예보모델 자료동화에서 관측자료의 수가 많을수록 모델결과의 변화가 많다는 기존 연구(Ghil et al. 1979)와 일치하며 GPS 가강수량 자료를 초기자료로서 활용할 때 관측소의 수는 매우 중요한 예보인자임을 보여주고 있다.

그림 6은 시간에 따른 GPS 가강수량 자료동화의 효과를 알아보기 위한 것으로써, 9일 12UTC부터 18UTC까지 기준실험과 전체(한국천문연구원+해양수산부) GPS 동화실험의 강수량 차이를 분석한 것이다. 그림 6a는 12~13UTC에서 기준실험과 GPS 가강수량 자료동화실험의 1시간 누적강수량 차이를 나타낸 것이다. 강수가 집중된 대전(적색 점)을 포함한 중부내륙지역은 GPS 관측소의 수가 상대적으로 적어 수치예보모델의 초기시간에 상대적으로 작은 자료동화효과를 보였다. 그렇지만 관측소 분포가 조밀한 남해안에서는 증가된 GPS 가강수량의 효과로 인해 강수량이 18mm 정도 증가하였다. 초기시간에 GPS 가강수량 자료동화가 집중된 남해안으로부터의 강수량 변동은 시간이 지남에 따라 북동쪽으로 이동하는 것을 확인할 수 있다. 이는 GPS 가강수량 자료동화효과가 모델내의

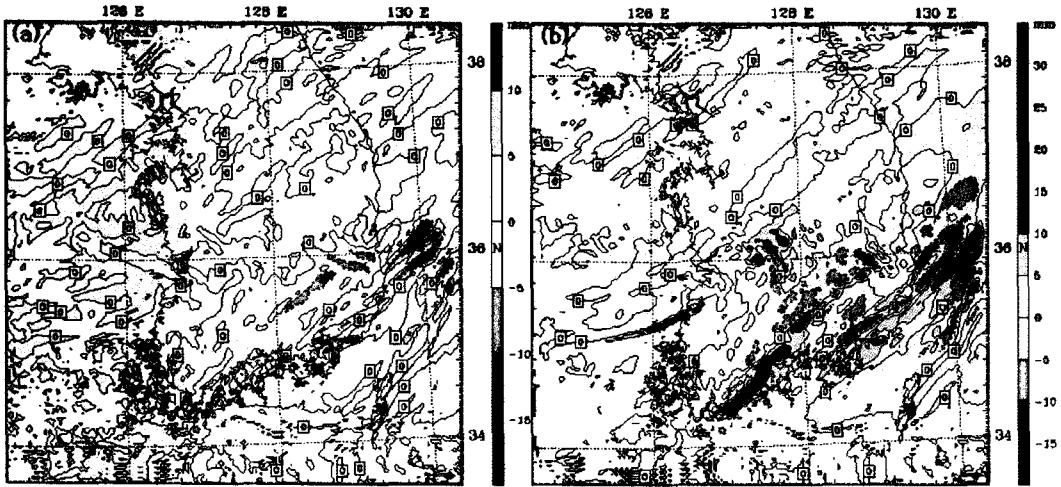


그림 5. 2007년 7월 9일 12~18UTC에서 기준실험과 GPS 가강수량 자료동화실험의 6시간 누적강수량 차이. (a) 한국천문연구원 GPS 동화결과-기준실험결과, (b) 전체(한국천문연구원+해양수산부) GPS동화결과-기준실험결과.

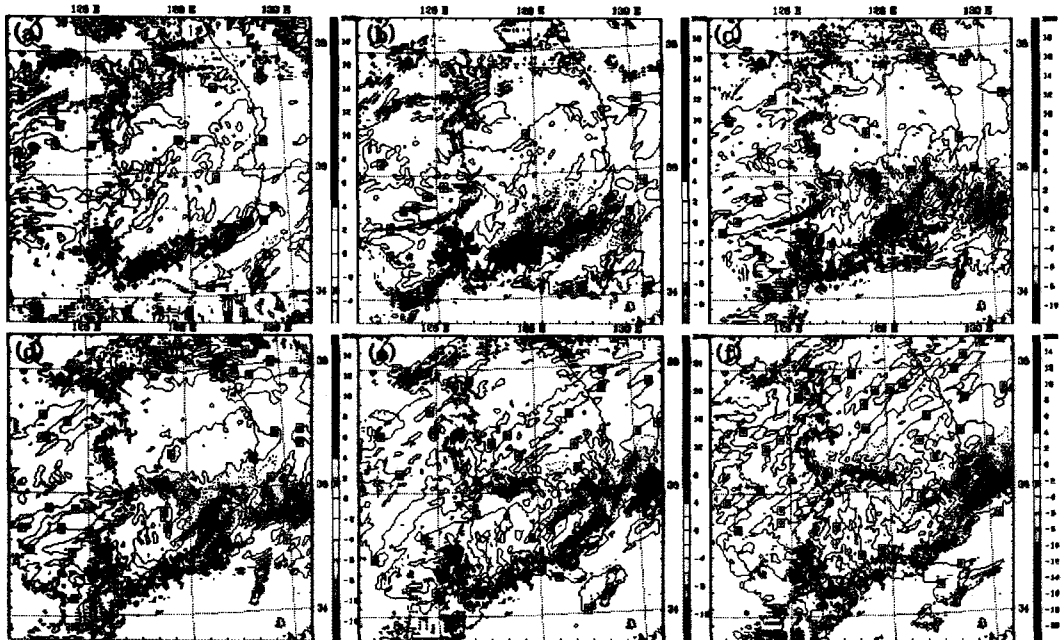


그림 6. 2007년 7월 9일 시간별(12~18UTC) GPS(한국천문연구원+해양수산부) 가강수량 자료동화실험과 기준실험 강수량 차이. (a) 12~13UTC, (b) 13~14UTC, (c) 14~15UTC, (d) 15~16UTC, (e) 16~17UTC, (f) 17~18UTC.

물리·역학과정을 통해 전체 영역으로 전달된 것으로 분석된다.

그림 7은 기준실험과 전체(한국천문연구원+해양수산부) GPS 가강수량을 동화한 실험의 상당온위(equivalent potential temperature)와 바람장에 대해 대전을 남북으로 지나는 연직방향 단면을 나타낸 것이다. 상당온위는 대기 중의 수증기량을 포함한 온도를 나타내는 물리량이므로 GPS 가강수량 자료동화의 효과를 분석하는데 유용한 도구로서 절대온도(K)로 표시된다. 그리고 수치예보모델 내에서 물리변수인 GPS 가강수량 동화에 따른 역학과정을 살펴보기 위해 바람장 분석도 실시하였다. 그림 7b에서 7e의 가로축과 세로축은 각각 그림 7a에서 연직단면 표시선의 수평거리와 지상에서 300hPa(약 9km)까지 고도를 나타낸 것이다.

그림 7b,d는 초기시간에 기준실험과 GPS 가강수량 자료를 동화한 결과이다. 대전(“✕” 표시) 남쪽지역의 지상에서 GPS 자료동화의 효과로 0.5K(334.5K→334.9K)정도 높은 상당온위의 분포를 보이면서 온난 습윤해진 것을 확인할 수 있다. 그리고 대전 및 남쪽지역은 기준실험보다 지표부근에서 온도가 상승하고 950hPa(약 0.8km)부근은 온도가 하강하면서 고도에 따른 상당온위의 경도가 커진 반면, 대기중층(800~700hPa, 2~3km 상공)에서는 남북방향의 온도경도(temperature gradient)가 커진 것을 확인할 수 있다. 이는 대전 GPS 관측소의 가강수량 자료가 동화되어 수치예보모델 내에서 열역학적 과정을 통해 상당온위가 상승하고, 이로 인해 지표부근이 상대적으로 따뜻해져 대기의 불안정성이 증가하였음을 의미한다. 남북방향의 온도경도가 커진 것은 남쪽지역에서 상대적으로 높은 관측소 밀도에 기인한 것으로 분석된다.

그림 7c,e는 기준실험과 GPS 가강수량 자료동화실험에서 6시간이 지난 후의 결과이다. 초기시간(12UTC)에 남서해안지역에서의 GPS 가강수량 자료동화 영향으로 기준실험보다 상대적으로 따뜻해진 효과가 지속적으로 유지, 전달되었다. 남서부에 집중된 GPS 가강수량 자료동화의 효과는 시간이 지남에 따라 동북동 방향으로 이동하여 대전 남쪽지역으로 대기중층(800~700hPa)의 연직온도 경도를 계속적으로 증가시켰고 이러한 효과는 대기중층(700hPa) 이상에서 보다 크게 나타났다.

수치예보모델의 초기시간에 2차원 변수인 GPS 가강수량 자료동화의 효과를 전체영역으로 전달하기에는 시간적으로 제한되어 역학변수인 연직 바람장 분포는 기준실험과 거의 유사했다. 그러나 시간이 경과함에 따라 초기 GPS 가강수량 자료동화효과가 수치예보모델 전체영역에서 적분시간동안 물리 및 역학과정의 변화를 유도하여 대기중층을 중심으로 바람장의 차이를 보였다. 특히, 대전 지역 상공의 700hPa 이상 고도에서 연직바람이 강화되고 온도경도도 크게 나타났고, 바람장 변화에 따라 영역 내에서 강수관련 체계(system)의 이동속도도 기준실험보다 느리게 나타났다.

4. 결론

이 연구는 GPS 가강수량 자료동화실험에서 강수 예측성과 관련된 예비결과분석에 초점을 두었다. 선정된 사례에서 대전과 여수 GPS 관측소의 가강수량 시간적 분포를 강수 관측자료와 비교했을 때 강수시작 전 3~6시간에 GPS 강수선행현상이 나타났다.

국지적인 집중호우사례에 대해 GPS 가강수량 자료의 영향을 알아보기 위해 WRF-3DVAR을 이용한 민감도 실험을 실시하였다. 초기시간에 물리변수인 GPS 가강수량 자료를 동화했을 때, 수치예보모델의 열역학적 과정을 거쳐 온도나 바람장 같은 물리적, 역학적 변수까지 변화시키는 것을 확인하였다. GPS 가강수량의 공간적 고해상도를 활용하기 위해 관측소 수를 증가시킨 실험에서는 모

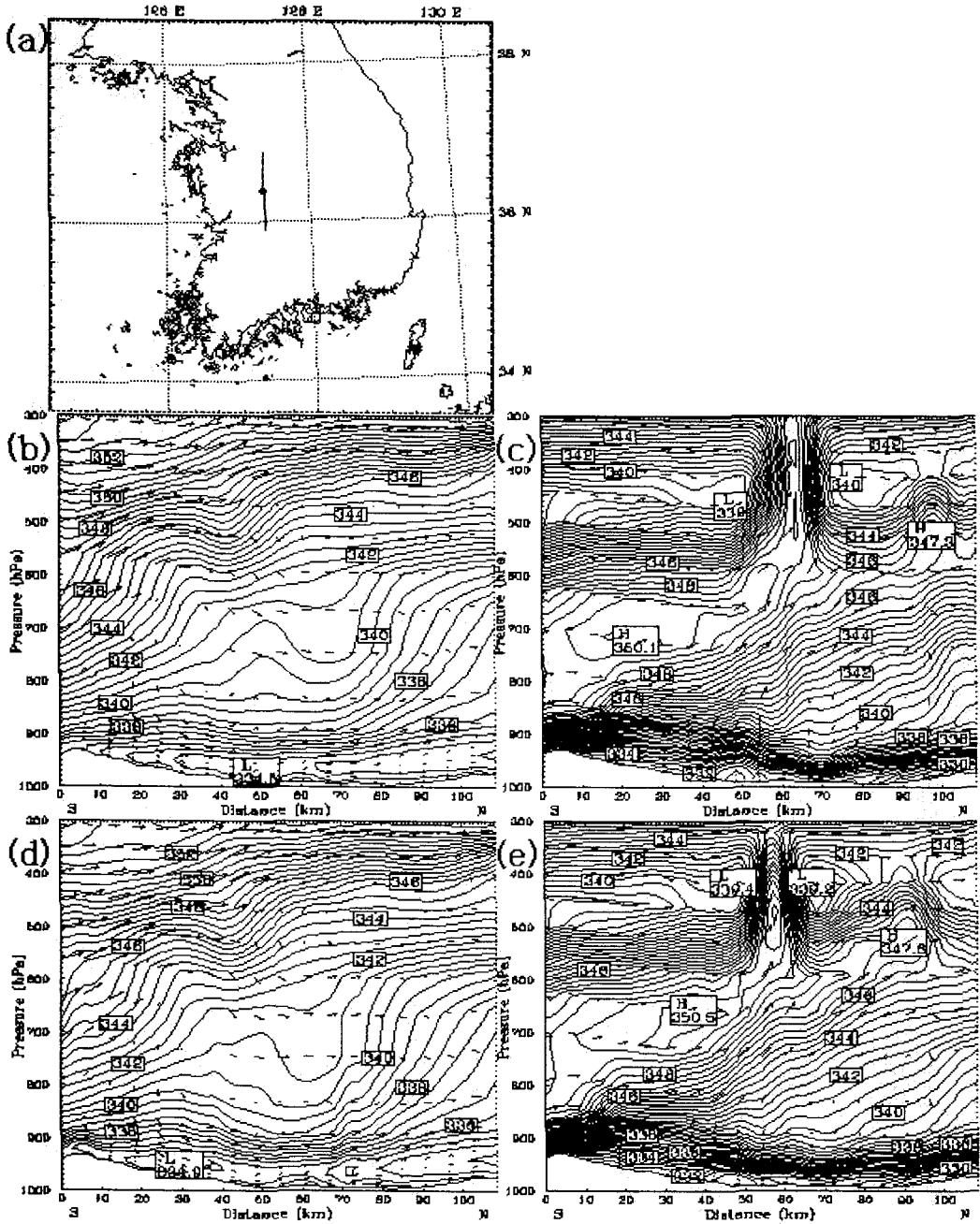


그림 7. 2007년 7월 9일 시간별 기준실험과 전체(한국천문연구원+해양수산부) GPS 가강수량 동화실험의 상단온위(등온선)와 연직바람(화살표) 분포의 남북방향 단면도. (a) 연직단면 표시선, (b) 기준실험(12UTC), (c) 기준실험(18UTC), (d) 전체 GPS동화(12UTC), (e) 전체 GPS동화(18UTC).

델영역 내에 분포하는 GPS 관측소 밀도에 민감하게 반응했다. 수치예보모델에서 자료동화에 대해 GPS 가강수량 자료의 시·공간적 영향을 분석하였으며, 수치예보모델의 예측성 향상에 대한 GPS 자료의 긍정적 효과를 확인하였다.

향후 예측성 향상을 위해 보다 다양한 사례에 대해서 3차원 GPS 가강수량 분석 및 자료동화연구를 수행한다면, 수치예보모델 초기치로서 GPS 가강수량의 효용성이 제고될 것으로 기대한다.

감사의 글: 이 연구는 기상청 기상지진기술개발사업(CATER 2006-3104)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 하지현, 박관동, 허복행 2006, 한국우주과학회, 23, 373
- Bengtsson, L., Robinson, G., Anthes, R., Aonashi, K., Dodson, A., Elgered, G., Gendt, G., Gurney, R., Jietai, M., Mitchell, C., Mlaki, M., Rhodin, A., Silvestrin, P., Ware, R., Watson, R., & Wergen, W. 2003, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 84, 1249
- Bevis, M., Businger, S., Chiswell, S., Herring, T. A., Anthes, R. A., Rocken, C., & Ware, R. H. 1994, *Journal of Applied Meteorology*, 33, 379
- Cucurull, L., Vandenberge, F., Barker, D., Vilaclara, E., & Rius, A. 2004, *Monthly Weather Review*, 132, 749
- Doswell, C. A. 2001, *Severe Convective Storms* (American Meteorological Society), pp.1-26
- Fritsch, J. M. & Carbone, R. E. 2004, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85, 955
- Ghil, M., Halem, M., & Atlas, R. 1979, *Monthly Weather Review*, 107, 140
- Kuo, Y.-H, Zou, X., & Guo, Y.-R. 1996, *Monthly Weather Review* 124, 122
- Park, S. K. & Droegemeier, K. 1999, *Monthly Weather Review*, 127, 2180
- Park, S. K. & Droegemeier, K. 2000, *Monthly Weather Review*, 128, 140