

고해상도 수치모델을 이용한 제주지역 국지강수 예측성 연구

최준태¹⁾, 오재호²⁾

1. 서론

우리나라는 태풍, 악천후를 유발하는 저기압 및 전선 등의 통과 구역으로 매년 자연재해로 많은 피해를 입고 있다. 원인별 풍수해 피해 발생현황을 분석해보면 호우에 의한 피해가 전체 풍수해 피해액의 절반을 상회하고 있어 다른 풍수해 예측보다 정확한 호우예측이 필요하다. 그러나 대부분의 집중호우는 예측이 어려운 중규모 이하 규모를 가진 기상현상에서 발생하고 있다(김남욱 1994, 홍성유 1992). 현재 기상청 현업에서 쓰이고 있는 지역 예측 모델(RDAPS)은 가동 이후 10년 가까이 되고 있다. 이 예측모델은 그 동안 예보 현업에 객관적이고 유용한 참고자료를 제공해 주었으나, 해상도가 40km인 관계로 중규모의 현상을 분석하고 예측하는데 한계가 있었다. 따라서 1998년 7월 31일부터 시작하여 2주 이상 지속적으로 전국을 차례로 강타한 중-β 규모 집중호우를 예측하는데 어려움이 많았다. 그 동안 중-β 규모의 집중호우 예측을 위한 고해상도 예측모델은 막대한 연산량의 문제로 연구용에만 머물러 있었다. 그러나 1999년 하반기에 기상청은 슈퍼컴퓨터의 도입 및 설치를 완료할 예정에 있으며, 병렬컴퓨팅 기술 발달로 전산기 연산속도가 급격히 향상되어 현업용 고해상도 예측모델 개발이 필요하게 되었다.

고해상도 수치모델개발에 관한 외국의 사례를 보면 현재 미국에서는 MM5(Mesoscale Model Version 5)를 바탕으로 해상도가 수 km인 차기 수치예측모델 개발을 목표로 NCAR(National Center for Atmospheric Research), CAPS(Center for Analysis and Prediction of Storm) 등 여러 기상연구기관의 전문가들이 공동연구 중에 있다. CAPS에서는 10km의 해상도를 가지는 ARPS(Advanced Regional Prediction System)를 현업용 예측모델로 개발하여 미국 항공사에 정기적으로 항공기상정보를 제공하고 있으며, 현재 수 km의 고해상도 수치예측모델을 개발 중에 있다.

현재 기상청에서는 RDAPS를 대체하기 위하여 수평규모 40km인 MM5를 이용한 중규모예측 시스템을 개발 및 시험운영하고 있으나 수평규모가 40km인 관계로 중-β 규모의 집중호우 예측에는 한계가 있는 것으로 보인다. 고해상도 수치예측모델에 관한 국내 연구로는 김태국 등(1998)이 해상도 12km인 ARPS를 이용하여 1996년 연천호우사례 모의, 김용상 등(1998)이 해상도 10km인 LAPS(Local Analysis and Prediction System) 및 ARPS를 이용한 1998년 지리산 호우를 모의

1) 기상연구소 예보연구실 기상연구사

2) 기상연구소 예보연구실 실장

등이 있다. 그러나 이 연구들은 적운모수화 방법 및 자료동화의 민감도 실험에 초점을 둔 연구임으로 현업용 고해상도 국지예측모델 개발에 관한 체계적인 연구가 필요하다.

이 연구의 최종목적은 슈퍼컴퓨터의 도입과 더불어 지방청단위로 활용 가능한 고해상도 국지예측모델 개발이다. 이를 위해 그 첫 번째 단계로 고해상도 수치모델을 이용하여 해양 및 산악 등에 의한 지역기상 특성 모의 가능성을 연구하고자 한다. 실험 대상 지역은 4면이 바다로 둘러싸여 있으며 섬 중앙에 한라산이 위치해 있어 해륙풍 및 산악효과가 탁월한 제주지역으로 선정하였다. 이 연구에서는 ARPS를 사용하여 제주지역에서 해륙풍 모의 가능성과 제주도 특유의 강수시스템 모의 능력을 실험하였다. ARPS는 미국 오클라호마 대학의 CAPS에서 개발된 비정수, 압축성 대기 모델로 수 미터에서 수백 킬로미터 규모 현상을 수치 모사하기에 적합한 모델이다(Xue M. 1995).

2. 제주지역의 기상 특성

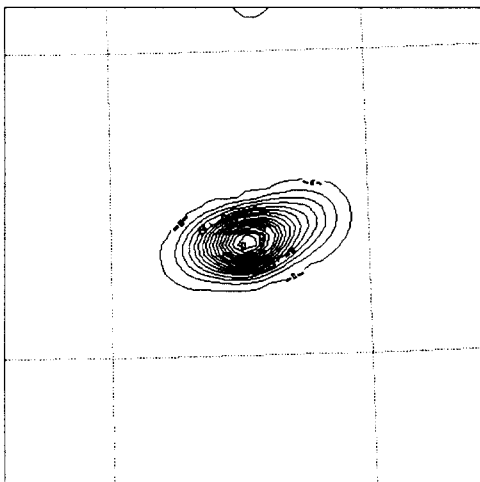


Fig. 1 The smoothed terrain in the model.
The Interval of counter is 60m.

제주지역의 지형특성은 대칭형 원추모양의 한라산(1950m)을 중심으로 남북경사도가(1/6~1/9)가 급하고, 동서(1/20~1/18)는 완만하다. 특히 둔내코를 중심으로 남남동지역은 경사도가 제일 크다. 또한 “오름”이라 불리는 기생 화산체들이 약 360 여개 산재하고 있으며 동쪽 사면을 따라 평균 300~700m 의 비교적 높은 오름이 많다(유종인, 1998). 이러한 지형 특성 때문에 산악은 주간 해풍과 곡풍을 결합하여 해륙풍 순환을 강화시키며 상층 되돌이 기류도 강하게 하는 역할을 한다. 또한 산악은 야간에 육풍을 섬 전체에서 나타나게 하는 효과를 주며 섬의 동쪽과 서쪽에서 강한 육풍을 발달시킨다. 산악에 의해 강화된 수렴은 하층의 저기압성 와동을 변형시킨다. 또

한 산악은 되돌이 기류에 의해 생성된 고기압성 와동의 위치를 변화시키고 지속시키는 역할도 한다(현종훈 등, 1990).

유종인(1998)의 연구결과에 의하면 제주지역의 일강수량이 80mm 이상인 집중호우는 계절별로 여름, 봄, 가을, 겨울 순으로 많이 발생하고 월별로는 8월에 현저하게 편중되어 있다. 집중호우가 대부분 여름에 발생하는 것에 비하여 150mm/day 이상은 3~5월과 10~12월에 빈번하였으며 1996년~1997년 10~12월에 5회 발생한 집중호우는 모두 150mm/day 이상이였다. 제주지역의 동서 및 남북간 거리가 각각 76km, 34km로 그 면적은 적지만 집중호우는 지역적으로 많은 차이를 나타낸다. 이것은 제주도에 접근하는 저기압의 통과위치에 따라 풍상층이 결정되고 이에 따라 산악효과

에 의한 강수량이 결정되기 때문이다. 지난 5년간 제주도 부근을 통과한 저기압은 총 90회로 이중 62%가 80mm/day 이상의 집중호우가 발생하였는데 저기압 통과로 풍상층이 되기 쉬운 남·동부 지역이 북·서 지역보다 많았다.

제주지역의 집중호우의 특징은 다음과 같은 3가지로 분류된다(유종인, 1998).

- 1) 습윤공기 확장이 뚜렷하여 850~700hPa 층의 빠른 이류가 있고 한라산 정상을 경계로 역전층이 존재하며, 하층 또는 중층까지의 대기 안정도가 조건부 불안정하다.
- 2) 상층과 하층에 서풍과 동풍 또는 북서와 남동풍이 각각 불어서 한라산 정상을 중심으로 강한 수렴대가 형성된다.
- 3) 산악효과 및 하층의 강한 바람에 의하여 포화된 불안정한 공기가 빠르게 상승하여 국지적으로 왕성한 대류가 발생한다. 저기압 접근시 하층에서 풍향과 풍속의 강도, 역전층 유무 및 고도에 따라 영향을 받기 때문에 집중호우 구역이 중산간 지역이나 풍상층 지역으로 구별된다.

3 제주지역 해륙풍 및 산악효과 실험

1) 수치모델 설계

이 연구에서는 제주지역 국지 기상 특성 모의 실험을 위하여 ARPS를 다음과 같이 설계하였다. ARPS의 지배 방정식은 운동량, 열, 질량, 수분 함유량, 난류 운동 에너지 등에 대한 예단 방정식과 상태 방정식으로 구성되어 있다. 이 방정식들은 모델의 하층 경계에서 지형에 따른 좌표면을 가진 곡률 좌표계에서 완전한 보존 형태로 표현한다. 그 밖에 지면 온도, 지중 온도, 지면 수분, 지중 수분, 2층 토양 모델에서 캐노피(canopy) 수분에 대한 예단 방정식도 포함하고 있다.

모델의 영역은 중- β 규모를 모의하기 위하여 Fig. 1의 영역에 대하여 수평 해상도는 3km로 설정하였다. 연직 격자는 평균 거리 500m인 연직으로 stretch된 45개 층의 격자 체계로 설정하였다. 물리과정은 수증기, 구름물, 빗물, 얼음, 눈, 우박 과정을 포함하는 Schultz 방안만 적용하였다. 측면 경계 조건은 복사(radiation) 조건, 외부적 강제 조건을 실험 방법에 따라 선택적으로 사용하였다. 상하층 경계는 딱딱한 벽 조건을 주었다. 또한 상층 경계에서는 대기 현상의 이류가 원활하고 중력파가 모델 내부로 반사되는 것을 효과적으로 막기 위해 Rayleigh 감쇄층을 연직 15km부터 설정하였다. 모델의 지형은 30초 간격의 지형 자료로 산출하였고 평활을 위하여 Barnes 방법을 이용하였다(Fig. 1). 지표면 형태 자료는 Global Ecosystems Database(GED) Version 1.0에서 주어지는 1도 간격의 토양 종류 자료와 10분 간격의 식생자료를 내삽하여 사용하였다.

2) 실험 방법

제주지역은 2800km이지만 한라산이 섬 중앙에 위치해 있어 지역별로 다양한 기후특성을 가지고 있어 주풍대의 방향에 따라 집중호우 지역이 상이하며, 해륙풍도 국지호우시스템을 강화 또는 상쇄시키는 역할을 하여 제주지역 기후 특성에 많은 영향을 미친다. 그러므로 현업용 예측모델로

그 효율 가치를 평가하기 위하여 예측시스템이 이러한 제주지역의 기후특성을 잘 모의할 수 있는가를 검증할 필요가 있다.

제주지역의 해륙풍 모의 능력을 알아보기 위하여 여름철 종관 바람장이 5m/s 이하인 1988년 8월 9일 00UTC 사례를 선정하였다. 모델의 초기자료는 제주고층관측소 존데 관측자료를 이용하였다. 해륙풍의 효과를 효과적으로 알아보기 위하여 초기자료의 평균 바람장은 제거하였다. 산악의 영향을 알아보기 위하여 제주지역에 한라산을 제거한 경우와 제거하지 않는 경우를 비교하였다. 분석장은 해륙풍과 산곡풍을 가장 잘 나타내는 대기 하층의 바람장과 지상기압장을 분석하였다.

제주지역의 강수시스템 발달에 산악의 영향을 알아보기 위해 1995년 5월 20일 사례를 모의하였다. 이 사례는 한라산을 중심으로 남부지역에 강수량이 편중된 대표적인 사례로 저기압이 우리나라 남부해안을 통과하며, 상·하층 제트사이에 습윤공기가 빠르게 제주지역 부근으로 확장하여 제주 남부지방에 200mm 이상 강수량을 기록한 사례이다. 특히 돈내코에서는 시간당 60mm 이상을 기록한 사례이다. 모델의 초기장과 측면경계 자료는 RDAPS의 분석장을 사용하였다. 산악에 의한 강수시스템 발달의 민감도를 실험하기 위하여 한라산의 유무에 따른 강수량 및 바람장을 비교하였다.

4. 감사의 글

이 연구는 기상연구소 1999년도 기본연구사업인 “한국형 수치예보시스템 개발”의 일환으로 이루어진 것입니다.

참고문헌

- 김남욱, 1994: 1991년 7월 21일 수원 지방에 집중 호우를 일으킨 뇌우의 연구. 연세대학교 대학원 석사학위 논문, 101pp.
- 김용상, 오재호, 이정은, 김태국, 1998: LAPS/ARPS를 이용한 국지호우 사례의 분석 및 수치모의, 가을철 한국기상학회, 서울, 168-171.
- 김태국, 김영아, 정준석, 오재호, 1998: ARPS모델의 강수과정 비교실험 : 연천호우사례 수치모의, 가을철 한국기상학회, 서울, 14-17.
- 홍성유, 1992: 한반도에서 발생한 집중호우의 수치 모의 실험, 서울대학교 대학원 박사학위 논문, 246pp.
- 류종인, 1998: 제주도 지방의 집중호우 경향과 사례연구, 석사학위논문, 제주대학교, 55pp.
- 현종훈, 이동규, 1990: 3차원 중규모 모델을 이용한 제주도에서의 해륙풍 모의, 한국기상학회지, 26(2), 121-136.
- Xue M., K. K. Droegemier, V. Wong, A. Shapiro, K. Brewster, 1995: ARPS Version 4.0 User's Guide. CAPS. 344 pp.