

# 중규모 대륙복합체의 발달에 관련된 지형강제력의 영향에 관한 수치연구

## Numerical study on the influence of orography force on the development of Mesoscale Convective Cluster(MCC)

이순환<sup>1</sup> · 류찬수<sup>1,3</sup> · 원효성<sup>2,3\*</sup> · 이강휴<sup>2</sup>

<sup>1</sup>조선대학교 아시아 몬순 기후 환경 연구센터(leesh@chosun.ac.kr)

<sup>2</sup>광주지방기상청 예보과 ·

<sup>3</sup>조선대학교 대기과학과

### 1. 서론

일반적인 중규모 대류 복합체(Mesoscale Cumulus Convection)는 주로 여름철 동아시아 지역에서 나타나며, 이것은 지구상의 대류 시스템 중에서 가장 급격히 발달하는 시스템의 하나로 대기불안정성과 강한 상승 기작이 존재할 때 발생을 하며, 많은 강수를 포함하고 있으므로 느린 속도로 진행할 경우, 많은 인적 물적 피해를 유발하기도 한다. 특히 동아시아의 경우, 중국에서 불안정한 대기가 동진하여 비교적 경압성이 강한 일본 열도 부근까지 진출하여 중규모  $\alpha$ 규모 저기압으로 발달한다. 장마기간 중 집중호우 발생과 관련하여 강한 대류와 연관된 구름 무리가 중국 내륙에서 발생하여 동진하다 대륙의 동안에서 황해로 접어들면서 전이 기간을 거친 후 전선성 교란으로 변하면서 한반도 중부이남 지방을 통과할 경우 많은 피해를 유발한다.

이러한 MCC의 발달에는 대기 불안정과 더불어 상승메커니즘이 필요하게 된다. 여름철 편서풍과 종관 바람장에 의하여 다량의 수증기가 한반도로 유입되면서 대기의 잠재 불안정성이 급격히 성장한다. 수증기에 의한 대기 불안정성은 적운대류에 의하여 성장하고 발달하게 된다. 이 때 필요한 것이 상승에너지이다. 상승에너지는 열적인 요인과 강제적인 요인에 의하여 성장한다. 특히 지형에 의한 강제상승력은 직접적으로 작용하기 때문에 매우 중요한 요인으로 연구되어져 왔다.

Richardson et.al.(1986)은 지형에 의한 강수는 미물리과정 등에 의한 일반적인 강수 현상보다는 산악에 의한 기류의 강제적인 상승, 산후면에 발생하는 모멘텀의 상층이동

그리고 증력파등에 의하여 좌우될 수 있음을 보였다. 그리고 김 과 전(2000)은 산악효과에 따른 모멘텀의 이동이 미물리과정에 미치는 영향을 2차원 수치 실험을 통해 살펴 보았다. 그리고 Lee and Kimura(2001)은 산곡풍과 도시풍의 비교를 통한 수치실험에서 대기의 안정도에 따라 지형과 지표면 토지이용이 대기에 미치는 영향의 정도가 다르다고 밝히고, 대기안정도가 특히 중요한 중규모순환자의 형성요인이라고 제시하였다.

그러나 대규모 산악에 의한 집중호우 연구는 많이 실시되었으나, 중규모 대류복합체의 발달과정에서의 소규모 지형의 영향에 관한 연구는 부족하다. 그래서 본 연구에서는 중규모 대류 복합체의 특성을 잘 나타낸 2004년 7월 14일의 사례를 수치실험을 통하여 소규모 지형이 중규모 대류복합체의 발달에 미치는 영향을 분석하였다.

## 2. 수치실험설계 및 분석

이 연구에 사용된 예측시스템은 대기수치모형 MM5 (The 5th generation Mesoscale Model)를 기초로 호남지방의 기상예측을 위해서 구성된 호남지방고해상도 기상예측시스템을 이용하였다. 기본모형인 MM5는 펜실베니아 주립대학에서 개발된 중규모 수치모형을 기초로 제작되어, 미국 대기연구소(National Center of Atmospheric Research)에서 개선과정을 거친 3차원 대기역학 모형이다. 세계적으로 연구 및 현업에 많이 이용되는 수치모형의 하나이고, 현재 기상청에서는 30km 해상도의 기상예보용으로 현업에 사용 중인 수치모형이다. 본 모형의 특징은 다중 네스팅 능력, 비정역학, 4차원동화시스템, 즉 다양한 외부자료이용, 여러 가지 계산기에 대한 적용성, 다양한 물리 과정 옵션 등을 들 수 있다.

비정역학모형으로 연직 좌표계는 지표면에서 지형고도를 따르는 기압을 기준으로 하고, 상층으로 갈수록 평형을 이루는 기압준거좌표계로 이루어져 있다. 일반적으로 지표경계층내의 대기현상은 공간규모가 작기 때문에, 지표에 가까운 층을 고해상도로 정의한다.

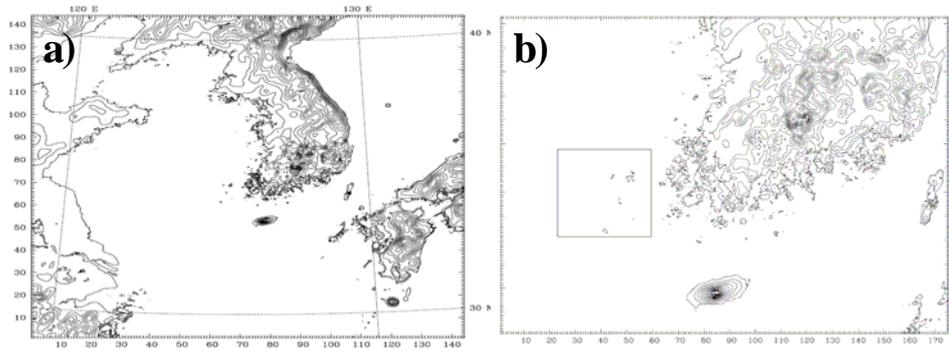


Fig.1. Topography of coarse and fine domains of the numerical models. Rectangular in fine domain indicate the target area of numerical experiments.

Fig.1은 본연구의 수치실험에 사용된 계산영역을 나타낸 것이다. 제1 영역은 수평격자는 9km의 해상도를 가지고, 격자수가 각각 144, 144이며, 연직격자는 33층으로 설정하였다. 영역은 중규모 대류복합체가 발달을 시작하고, 수증기플럭스가 발생하여 유입되는 동중국해를 포함한 동아시아 영역이며, 제2영역은 수평격자간격이 3km이고 격자수가 각각 175, 133이며, 연직격자는 33층으로 설정하였다. 이것은 2004년 7월14일 발생한 대류복합체가 수 시간 정체한 한반도 남부를 중심으로 구성하였다. 수치실험은 중규모 대류 복합체의 발달과정상 중심위치에 존재한 흑산도와 가거도등 한반도 서해안상의 독립된 도서지방을 제외할 경우 중규모대류복합체의 발달에 미치는 영향을 보았다. 그러므로 기준실험은 현재의 지형을 그대로 사용한 경우이며, 비교실험은 비교적 소규모의 도서지형을 제외한 경우의 강수등 기상요소를 분석하였다. 실험에 사용된 서해상의 소규모 도서지역은 Fig.1의 사각형으로 나타낸 구역이다. 계산기간은 7월13일 12LST 부터 7월 15일 12LST까지 48시간이다. 이 기간동안 동중국해에서 다량의 수증기가 남서풍을 타고 유입되며, 7월 14일 06시에 진도지방에 238.5mm/day의 강수량을 기록한 중규모 대류 복합체로 성장하였다.

Fig.2는 2004년 7월14일 한반도 남해안에 발달한 Oval type MCC의 변화를 나타낸 것이다. 시간간격은 4시부터 120분 간격으로, MCC의 발생에서 최성기까지 나타낸 것이다. 진도를 중심으로 발달하여 한반도 남부지방에서 발달하였다. 그리고 0900LST부터 동심원의 세력이 약화되었다. 이때 종관장을 보면, 850hPa에서 한기를 동반한 상해부근의 기압골이 서해중부 해상으로 이어져 남동진하면서 점차 mT고기압이 확장하여

북쪽으로 향하였고, 온도골에 위치한 전선대가 만주에서 화중 내륙으로 형성되어 있다. 500hPa에서 Cold를 동반된 Trough가 발해만과 화중에 있어  $1^{\circ}/12\text{hr}$ 로 mT고기압 세력이 강화되어 거의 정체하고 있고, 온도골과 Trough가 더욱 깊어졌으며,  $-6^{\circ}\text{C}$ 선이 남해안에 걸쳐 한기가 유입 되다가 온도능이 위치함에 따라 하층 저기압의 발달을 약화시켰으며, 남서류가 서해남부 해상으로 45-50kts로 강하게 유입되다가 점차 약화되었다.

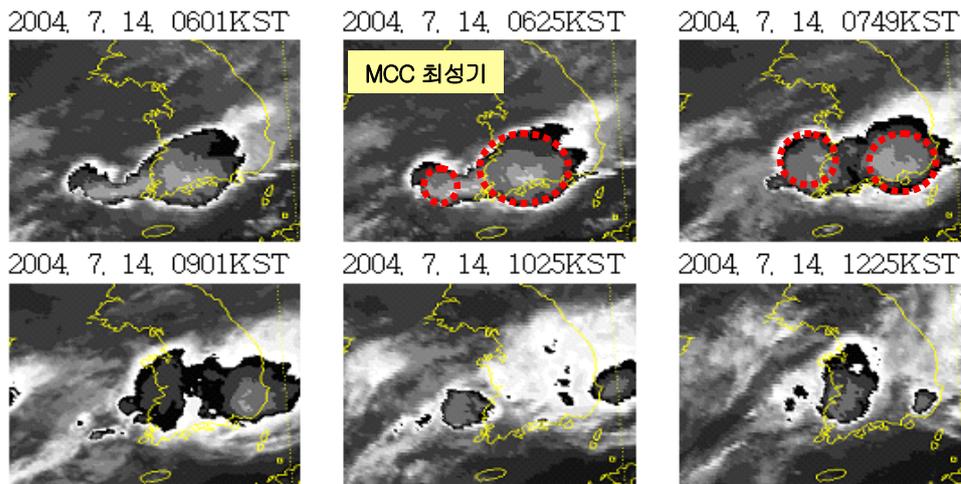


Fig.2 Time evolution of Oval type MCC detected by GOES infrared image from 0400LST to 1200LST, 14 July, 2004.

Fig.3은 기준실험에서 계산된 강수량과 자동기상관측장비(AWS)에 의해 관측된 3시간 평균 강수량을 나타낸 것이다. 중규모 대류복합체가 발달한 03LST의 강수패턴을 보면 관측에서 나타난 2개의 강한 선상의 강한 강수밴드가 수치실험에서도 매우 유사하게 나타나는 것을 알 수 있다. 그리고 이들의 강수밴드는 6시간가량 정체하고 서서히 편서풍을 타고 동진한다. 적외선영상에서 나타난 구름사진은 원형의 구름으로 전체 강수량 패턴과 차이를 나타내는데 이것은 구름과 강수의 모양은 일치하지 않는다는 것을 의미한다.

Dataset: 2 RFP: mcc-h Init: 0000 UTC Tue 13 Jul 04  
 Fcst: 18.00 Valid: 1800 UTC Tue 13 Jul 04 (0300 LST Wed 14 Jul 04)

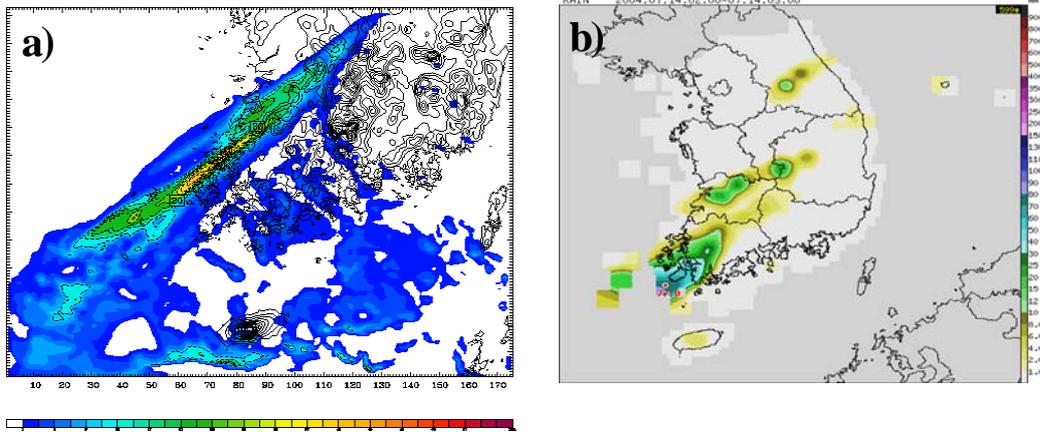


Fig.3. Precipitation distribution calculated by a) Control numerical experiment and b) observed by Automatic Weather System(AWS) at 03LST 14 July 2004, respectively.

Fig.4는 기준실험과 비교실험에서 계산된 03LST의 강수패턴을 나타낸 것이다. 전체적인 강수분포는 매우 유사하게 나타나고 있다. 강한 선상의 강수분포를 하고 있으며, 그 중심이 목포주변에서 나타나고 있다. 그리고 중규모 대류복합체의 진행방향축도 매우 유사하게 나타난다. 그러나 강수밴드의 폭과 강수강도에서는 약간의 차이가 나타난다. 기준실험의 경우 비교실험의 강수밴드에 비하여 강수밴드 폭이 넓게 나타나고 있고 강수강도는 약해지는 것을 볼 수 있다. 그러므로 중규모 대류복합체가 발생하는 근본적인 에너지는 남서쪽에서 유입되는 수증기이고, 이 수증기 플럭스에 의한 중규모 대류 복합체의 발생유무에 서해상의 독립된 지형의 유무는 근본적인 요인이 되지 않는다. 그러나 소규모 도서지형은 중규모 대류 복합체의 강수 발달과정에 깊숙이 개입되어 있으며, 강제 상승력을 유발하여, 강수밴드의 패턴을 변화시키는 작용을 하고 있다.

Fig.5는 강수축과 같은 방향으로 흑산도를 가로지르는 단면의 온위분포를 나타낸 것이다. 기준실험의 경우 흑산도의 혼합층이 500m 정도까지 발달한 것을 볼 수 있다. 이것은 일시적인 일사와 지형에 의한 혼합에 의해서 발생한 것으로 보인다. 그리고 이후의 온위의 진동이 풍하측으로 이동하는 것을 볼 수 있다. 반면 비교실험에서는 혼합층의 성장이 나타나지 않으며, 종관적인 진동이 주를 이루고 있다. 그러므로 중규모 대

류 복합체의 형성에 소규모 도서지형은 지형에 의한 강제 불안정이 나타나고 있으며, 이것이 풍하측의 중규모 대류 복합체의 발달에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

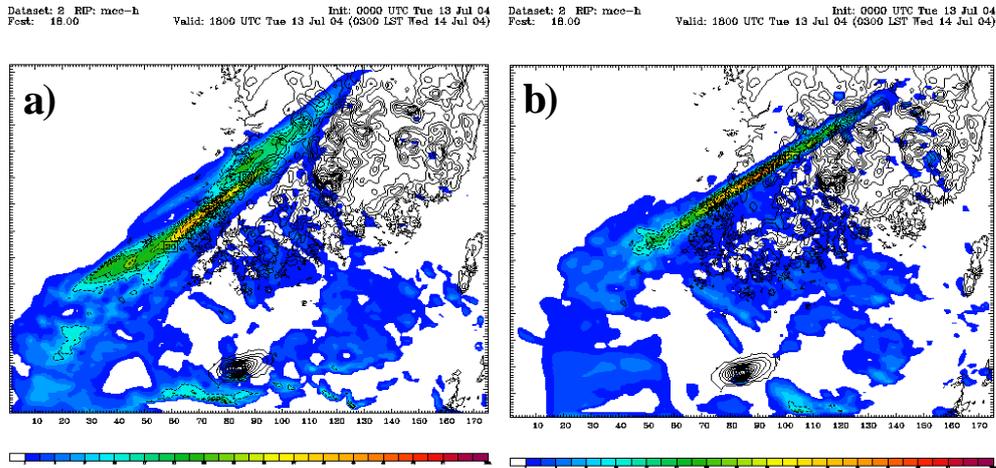


Fig.4. Precipitation distribution calculated by numerical experiments with/without isolated islands in western part of Korean Peninsula.

### 3. 결론

본 연구는 서해상에서 발달해서 급격하게 성장해 호남지방의 집중호우를 일으키는 MCC의 특성을 보고, 소규모 지형에 의하여 형성되는 강제불안정이 중규모 대류 복합체의 발달에 미치는 영향을 살펴보았다. 본 연구는 2004년 7월 14일 진도를 중심으로 집중호우를 발생한 중규모 대류 복합체를 대상으로 하였다. 종관적으로 강한 수증기 플럭스가 동중국해로부터 유입되고 있으며, 강한 연직 풍속쉬어에 의하여 중규모 대류 복합체의 발달에 필요한 연직 상승에너지가 나타나고 있다. 이때 중규모 대류 복합체 강수밴드상의 소규모 도서지형의 유무가 복합체 발달에 미치는 영향을 수치실험으로 살펴보았다. 결과는 다음과 같다.

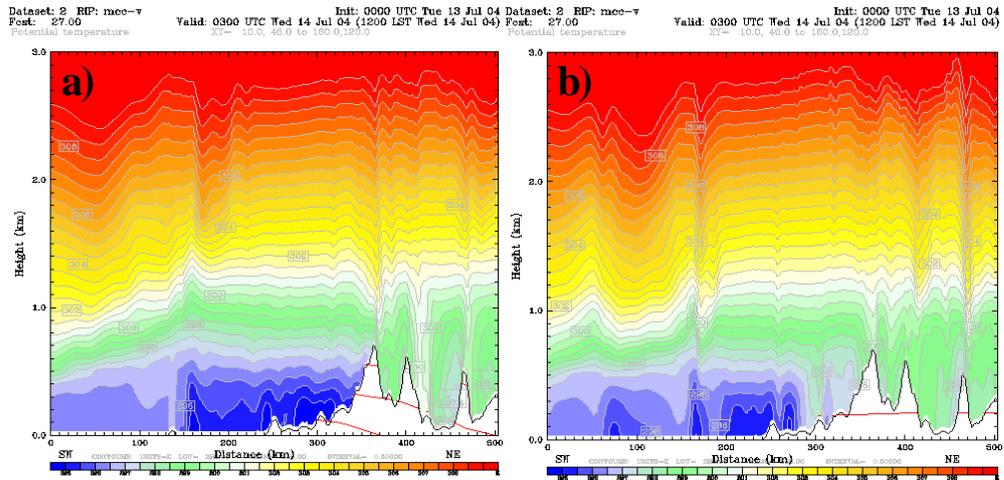


Fig.5. Vertical cross-section of potential; temperature calculated by numerical experiments with/without isolated islands in western part of Korean Peninsula.

1) 소규모 도서지형의 유무에 따른 전체적인 강수분포 패턴의 차이는 나타나지 않았다. 여기서 소규모 도서지형이 중규모 대류복합체 발달의 근본적인 역할을 하는 것으로 볼 수는 없다.

2) 소규모 도서지형이 존재하는 경우 강수밴드가 약간 넓어진다. 특히 소규모 강수구역이 넓어진다. 그러므로 직접적인 역할을 하지는 않지만 약한 강수의 분포패턴을 바꾸는 역할을 한다.

3) 소규모 도서지형의 유무에 따른 최대 강수강도의 변화가 나타났다. 소규모 지형에 의한 에너지 재분배에 의하여 최대 강수량의 변화가 나타났다.

이상에서 소규모 지형 역시 중규모 대류복합체의 발달에 일정정도의 역할을 하고 있으며, 좀더 다양한 사례분석을 통하여 소규모 지형에 의한 강제력이 중규모 대류복합체와 집중호우에 미치는 영향을 분석할 필요가 있다.

## 감 사

본 연구는 기상청에서 시행하는 기상지진기술개발사업의 하나인 “국지기상에측기술 개발 과제”에서 수행된 것입니다.

#### 참고문헌

김동균, 전해영, 2000: 집중호우와 연관된 산악효과의 수치적연구, 한국기상학회지, 36,441-454.

Lee, S-H. and Kimura F., 2001: Comparative studies in the local circulation induced by land-use and by topography. Boundary. Layer Meteorology, 101, 157-182.

Richard, E., P. Mascart, and E. Nickerson, 1989: The role of surface friction in downslope windstorms. J. Appli. Meteo., 28, 241-251.