

# 고해상도 Icosahedral-Hexagonal 격자 전구모형 GME를 이용한 태풍예측에 관한 연구

이경민\*, 오재호\*\*, Detlev Majewski\*\*\*

## 요 지

기존의 태풍예측과 관련된 연구들은 전 지구적인 흐름이 직접적으로 계산되지 않은 중규모 기상모형이나 태풍모형들을 이용하여왔다. 하지만 최근 전 세계적으로 전구 규모의 모형들이 40km 이하의 고해상도 모형들이 개발되어 20km이하의 초고해상도 시뮬레이션이 가능해짐에 따라 지역적인 기상현상들을 전구모형을 통해서 재현해 내고 있다. 따라서 본 연구에서는 고해상도 전구모형을 이용하여 태풍 실험을 하고자 하며, 독일기상청에서 개발된 Icosahedral-hexagonal 격자체계의 GME전구 모형을 이용한 태풍모의 결과를 기상청 태풍 best track과 비교 분석 하였다. 실험에 사용된 모형 분해능은 연직 47layer (7 soil layer 포함), 수평 약 40km와 20km으로 구성되었다. 최근 3년(2005~2007)간의 동아시아지역을 지나간 태풍을 대상으로 하였다. 태풍모의 시작시간은 각 TD(Tropical Depression)발생 24시간 전 자료를 이용하였으며, 각 태풍의 소멸 24시간 후까지 모의하였다.

GME 모형을 이용한 태풍모의 결과에서 best track의 경우 모의 시작 후 약 168시간 forecast 결과가 매우 유사한 경로를 따라 진행해 가고 있으며, 태풍의 전향이 이루어지는 시각은  $\pm 3$ 시간 내외의 오차를 보이고 있다. 태풍경로의 경우 40km 결과에 비해 20km 모의 결과가 best track에 더 가까운 결과를 보이고 있다. 중심기압변화의 경우 40km의 결과가 20km 결과에 비해 변화경향이 유사한 형태를 보이고 있으며, 20km 결과의 경우 중심기압의 변화가 다소 급하게 나타나는 경향을 보이는 특성을 가지고 있지만 40km결과에 비해 최저 중심기압이 더욱 뚜렷하게 나타나고 있으며 특히, MANYI case의 경우 관측값 930hPa보다 더 낮은 911.4hPa의 결과를 보이고 있다. 풍속의 경우도 중심기압변화와 유사한 결과를 보이고 있으나, 최대 풍속의 경우 40km 결과에 비해 20km결과가 관측과의 오차범위가 2~3 m/s 내외로 나타나고 있다. 그리고 GME모형의 경우 태풍(TD) 발생 약168시간 이전에 예측이 가능한 결과를 보인다.

이 연구의 결과는 다른 기상모형에서 태풍 강도가 약하게 모의되던 현상이 상당히 개선된 것을 알 수 있으며, 이는 20km 고해상도 GME 모형이 태풍예측모형으로 활용이 가능 할 것으로 사료 된다.

**핵심용어** : GME, Typhoon, 고해상도 전구모형, 태풍강도, 중심기압, 최대풍속, 태풍 경로<sup>1)</sup>

\* 이경민 · 부경대학교 환경대기과학과 · E-mail : [kmlee@climate.pknu.ac.kr](mailto:kmlee@climate.pknu.ac.kr)  
\*\* 오재호 · 부경대학교 환경대기과학과 교수 · E-mail : [jhoh@pknu.ac.kr](mailto:jhoh@pknu.ac.kr)  
\*\*\* Detlev majewski · 독일기상청 수치예보과 과장 · E-mail : [detlev.majewski@dwd.de](mailto:detlev.majewski@dwd.de)

## 1. 서론

기존의 태풍예측과 관련된 연구들은 전 지구적인 흐름이 직접적으로 계산되지 않은 중규모 기상모형이나 태풍모형들을 이용하여왔다. 하지만 최근 전 세계적으로 전구 규모의 모형들이 40km 이하의 고해상도 모형들이 개발되어 20km이하의 초고해상도 시뮬레이션이 가능해짐에 따라 지역적인 기상현상들을 전구모형을 통해서 재현해 내고 있다. 일본의 경우 earth simulator를 이용하여 20km mesh size의 spectral AGCM 태풍 모의 결과를 생산 하고 있으며, 기후변화에 따른 태풍 변화에 대한 연구가 진행 중이다(The Kyosei project).

따라서, 본 연구에서는 고해상도 전구모형을 이용하여 태풍 실험을 하고자 하였으며, 독일기상청에서 개발된 icosahedral-hexagonal 격자체계의 GME 전구 모형(Majewski. D. et. al., 2002)을 이용한 20km 고해상도 태풍모의 결과를 기상청 태풍 best track과 비교 분석 하였다.

## 2. GME 모델소개 및 실험설계

### 2.1 Icosahedral-Hexagonal grid 체계의 GME

본 연구에서 태풍을 모의하기 위해 사용한 고해상도 전구모델 GME (Operational Global Model (GM) and the regional model for central Europe (E))는 고가의 슈퍼컴퓨터에 비해, HPC (High Performance Computing) 환경에서 효율성이 높은 "Icosahedral-hexagonal grid"를 활용한 독일 DWD (Deutscher Wetterdienst)의 NWP (Numerical Weather Prediction) 모델이다.

Icosahedral-hexagonal grid를 활용한 GME 모델은 기존의 카테시안/스펙트럴 모델에 비해 해상도 증가조정이 용이하다는 장점이 있다. 그림 1에서 보는 바와 같이 삼각형 안에 또 하나의 삼각형을 넣는 식으로 해상도를 증가함으로써 (그림 1(a)→ (f)), 해상도를 증가시키는데 상대적으로 적은 계산 량을 요구한다. 이는 수치예보 모델을 운영함에 있어서 가장 큰 장점이 된다. 또한, 각 삼각형 크기는 오차 5 % 이내로 거의 동일한 간격으로 나누어 계산되기 때문에 위도에 관계없이 등 간격으로 나눌 수 있다.

기존의 카테시안 모델의 격자 체계에서는 한 점으로 대표되어야 할 극점이 해상도에 따라 여러 개의 격자점들의 값들을 동서로 평균한 값을 갖게 되고, 속도의 동향 성분과 남북 성분은 극이 아닌 극 주변 격자로 정의되기 때문에 기존의 격자 체계에서는 극문제가 나타나고 있다. 따라서 카테시안 격자를 가진 모델의 경우 이러한 극 문제를 해결하는 방법으로 CFL 조건을 만족하기 위해 아주 조밀하게 시간 격자를 조정해야하며, 이에 따른 많은 계산량을 수행 할 수 있는 막대한 전산자원을 요구하게 된다. 이에 반해, 본 연구에서 사용하는 GME 모델의 격자체계는 그림 2에서 보는 바와 같이 양극 점에서 단지 5개의 점만이 중첩되어 기존의 카테시안 격자 모델에서 나타나는 극문제를 동시에 해결할 수 있다. 그리고 스펙트럴 모델의 경우 전 지구 파수를 알아야만 상세지역기후 모이가 가능한 반면, GME 모델의 경우 최소 3개의 격자 정보만으로도 충분하다. 또한 GME 모델은 분산 메모리 방식의 HPC에서 가장 적합한 최적의 격자 체계를 가지고 있어 분산 컴퓨팅 환경 하에서 효율성이 가장 높게 나타난다. 이러한 점에서 본 연구에서 사용한 GME 모델은 기존의 수치예보 모델에서 보이는 많은 한계점을 극복할 수 있다는 장점이 있다.

### 2.2 실험설계

이 연구의 실험에 사용된 모형 분해능은 수평 약 40km와 20km이며, 연직 47layer (7 soil layer 포함)로 구성되었다. 2007년에 동아시아지역을 지나간 태풍을 대상으로 하였다. 태풍모의 시작시간은 각 case별 TD (Tropical Depression; 17m/s 미만)발생 24시간 전이며, 이 연구에서 사

용된 초기자료로 ECMWF MARS의 operating analysis data를 이용하였다. 모의 시간은 각 태풍의 소멸 24시간 후까지 모의하였다. 앞서 말한 바와 같이 GME 모형은 다른 전지구 모델들에 비해 상대적으로 높은 해상도를 가지고 있으며, GME 모형을 이용하여 한 번의 수행으로 전 세계 각 지역의 상세 기상정보를 생산해 낼 수 있으므로, 본 연구에서는 전구 영역에 대해 20 km 해상도와 40 km 해상도로 10 일 동안 모의한 결과를 모두 제시하였다.

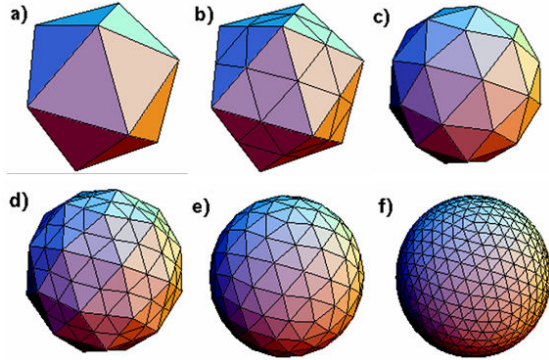


그림 1 Icosahedral-hexagonal grid generation.

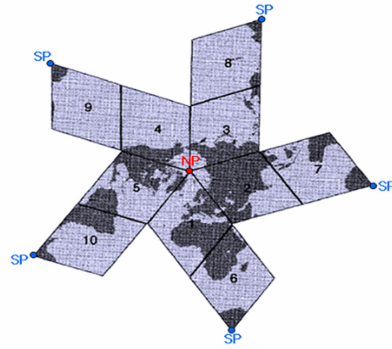


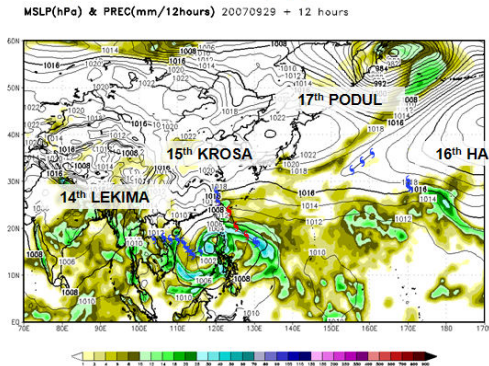
그림 2 Logical data structure of GME.

### 3. GME 모형의 태풍 예측 성능

이 연구의 결과 중 2007년 9월 29일 00UTC에 모의 시작한 middle term forecast 결과자료 분석결과, 총 6개의 TD이상 규모의 태풍이 발생하였다. 하지만 2007092900-100900UTC 사이에 발생한 실제 태풍은 14호 LEKIMA, 15호 KROSA, 16호 HAIYAN 그리고 17호 PODUL의 4개가 발생하였다 (그림. 3. left panel 참조). 이 결과 PKNU GME는 이전 태풍 모형들이 가지고 있던 약한 태풍 모의가 가능해 진 것으로 판단된다. 또한 GME 모형의 경우 열대저압부 발생 약168시간 이전에 예측이 가능한 결과를 보이고 있다 (그림. 3. right panel 참조).

**MSLP and Prec. of PKNU GME (40km) 10day forecast**

- Initial time: 2007092900UTC  
 Real typhoon : 4  
 GME simulation typhoon(included TD) : 4(6)  
 Fake typhoon : 2  
 Max. forecast leading time : 168hours (7days)



**PKNU GME 10day forecast**  
 - Initial time: 2007092900UTC

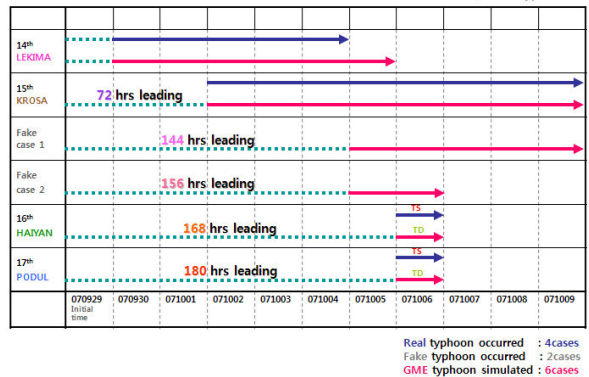
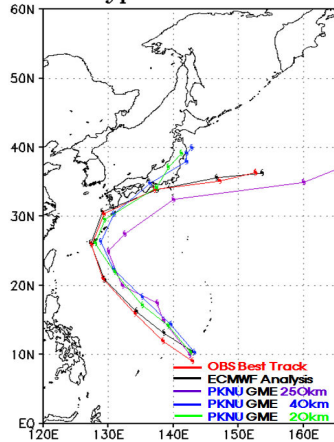


그림. 3 The middle term (10day) forecast result using PKNU GME AGCM from 2007092900. The 14th, 15th, 16th, 17th typhoons and two fake typhoon cases (non-real case) were generated by PKNU GME AGCM. Bottom panel shows typhoon genesis and lifetime of PKNU GME simulation results.

**4. 2007년 제4호 태풍 “마니” 모의 결과**

**2007 4th Typhoon Track "MAN-YI"**



GME 태풍 모의 결과에서 best track의 경우 모의 시작 후 약 168시간까지 예측결과가 매우 유사한 경로를 따라 진행해 가고 있으며, 태풍의 전향이 이루어지는 시각은 ± 3 시간 내외의 오차를 보이고 있다. 태풍경로의 경우 40km 결과에 비해 20km 모의 결과가 best track에 더 가까운 결과를 보이고 있다 (그림. 4 참조).

그림. 4. The 4th Typhoon Track of PKNU GME result at each resolution (250, 40, and 20km), ECMWF analysis data and KMA best track.

중심기압변화의 경우 40km의 결과가 20km 결과에 비해 변화경향이 유사한 형태를 보이고 있으며, 20km 결과의 경우 중심기압의 변화가 다소 급하게 나타나는 경향을 보이는 특성을 가지고 있지만 40km결과에 비해 최저 중심기압이 더욱 뚜렷하게 나타나고 있으며 특히, MANYI case의 경우 관측값 930hPa 보다 더 낮은 911.4hPa의 결과를 보이고 있다(Fig. 5. left panel 참조). 풍속의 경우도 중심기압변화와 유사한 결과를 보이고 있으나, 최대 풍속의 경우 40km 결과에 비해 20km결과가 관측과의 오차범위가 2~3 m/s 내외로 나타나고 있다 (그림. 5 right panel 참조).

**5. 2007년 제11호 태풍 “나리” 모의 결과**

그림 6은 GME 모델을 이용한 태풍 “나리”의 모의 결과로써 그림3A와 3B는 각각 20 km, 40 km 모의 결과이다. 편의상 전구 결과로부터 한반도 및 태평양 일부 영역만을 그림으로 표출하였으며, 모델의 결과를 레이더 영상(그림 6C)과 비교하였다. 두 모델 결과로부터 해상도가 40 km

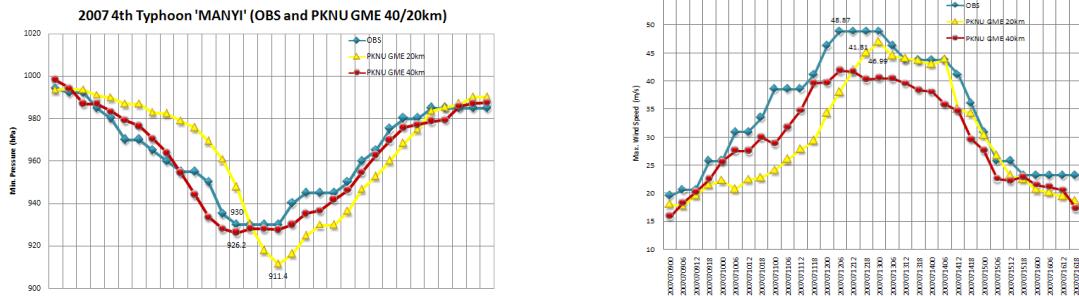


Fig. 5. The 4th Typhoon 'MANYI' simulation results using PKNU GME. The left panel shows min. mean sea level pressure and right panel shows Max. Wind Speed (at 10m) of 40km (dot)/20km (triangle) resolution and KMA best track (square).

(그림 6B)에서 20 km(그림 6A)로 높아지면서 태풍의 중심기압 및 강수량의 강도가 훨씬 강하게 모의되었으며, 관측값에 좀 더 근사하게 나타났다. 이로부터 컴퓨팅 전산 자원 등이 뒷받침될 경우 가능한 보다 상세한 수치 모델의 결과가 필요함을 알 수 있었다. 일반적으로 수치모델의 경우 모델 예측시간이 증가할수록 그 정확도가 급격히 감소하며 두 모델의 결과가 모의 시작시간(2007년 9월 14일 12시)으로부터 4일 후의 예측 결과임을 감안할 때 GME 모델은 수치예보모델로서 뛰어난 예측능력을 보였다. 그림 6A, B에 표시된 태풍의 경로(☯)를 보면 GME는 전구모델임에도

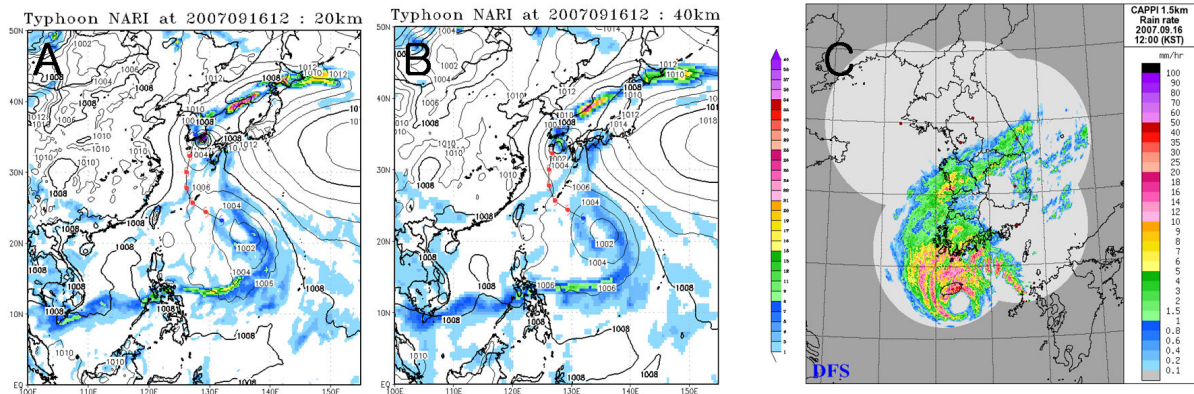


그림. 6 Surface pressure (contour) and precipitation (shaded area) of typhoon "NARI" with (A) 20 km GME, (B) 40 km GME. Those are compared with radar image (C).

### 3. 요약 및 제언

이 연구의 결과는 이전 연구들에서 나타나던 태풍 강도가 약하게 나타나던 현상이 상당히 개선된 것을 알 수 있다. 또한 약한 태풍이 제대로 모의되지 않던 현상을 GME모형의 경우 최대 7일 전부터 열대저압부의 생성을 모의 할 수 있으며, 고해상도 (40/20km) 전구모형을 이용한 태풍 예측이 가능 할 것으로 사료 된다. 또한 대기 모형인 PKNU GME 모형에 대기-해양과의 상호작용이 고려가 된다면, 태풍 예측성을 더욱 높일 수 있을 것이며, momentum flux 영향에 대한 민감도 테스트가 필요한 것으로 사료된다.

고해상도의 전 지구 대기대순환이 고려된 정확한 배경기상 장들의 태풍과 같은 악 기상 수치

예보 결과를 이용하여 중규모 지역 수치예보자료를 생성하고 더욱 상세한 유역 강수 자료를 비롯한 기상자료들을 생산 할 수 있을 것으로 사료된다.

또한 우리나라가 위치한 동아시아 지역의 미래 기후 환경에서의 태풍 강도 변화를 예측하고, 태풍에 동반되어 직접적인 재해의 원인이 되는 강수량, 풍속 등 미래 태풍의 주요 기상요소를 분석함으로써 미래의 기후변화에 따른 미래 태풍의 변화 양상을 설명 할 수 있을 것으로 생각된다.

### 감 사 의 글

이 연구는 기상청 기상지진기술개발사업(CATER2006-1101)의 지원으로 수행되었습니다. 그리고 HPN (High Performance Network) 및 전산자원을 제공해 주신 한국과학기술정보연구원 (KISTI) 과 기상청 슈퍼컴퓨팅센터에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

1. Majewski, D., D. Liermann, P. Prohl, B. Ritter, M. Buchhold, T. Hanisch, G. Paul, W. Wergen, and J. Baumgardner, 2002: The operational global icosahedral-hexagonal gridpoint model GME: Description and high-Resolution tests. *Mon. Wea. Rev.*, 130, pp. 319-338.