

## GME 모델을 이용한 태풍 모의

오 재 호

### Typhoon Simulation with GME Model

Jai-Ho Oh

**Abstract.** Typhoon simulation based on dynamical forecasting results is demonstrated by utilizing geodesic model GME (operational global numerical weather prediction model of German Weather Service). It is based on uniform icosahedral-hexagonal grid. The GME gridpoint approach avoids the disadvantages of spectral technique as well as the pole problem in latitude-longitude grids and provides a data structure extremely well suited to high efficiency on distributed memory parallel computers. In this study we made an attempt to simulate typhoon "NARI" that passed over the Korean Peninsula in 2007. GME has attributes of numerical weather prediction model and its high resolution can provide details on fine scale. High resolution of GME can play key role in the study of severe weather phenomenon such as typhoons. Simulation of future typhoon that is assumed to occur under the global warming situation shows that the life time of that typhoon will last for a longer time and the intensity will be extremely stronger.

**Key Words:** Typhoon Simulation, GME, Icosahedral-hexagonal grid, Climate Change

#### 1. 서 론

지난 몇 년 간 빈번한 이상 기상현상 발생과 전 세계적으로 발생하는 집중호우 및 폭설에 의한 자연재해의 피해와 기후변화와의 연관성에 대한 관심이 점차 증대되고 있다. 특히 우리나라의 경우에는 여름철 (7월~9월) 동안에 대부분의 집중 호우 및 태풍 등의 피해가 집중적으로 나타나며, 이에 동반되는 인적, 물질적 피해가 급증하고 있는데 최근의 이러한 변화가 기후변화 및 지구온난화와 관련되어 있다는 의견이 지배적이다. 최근에는 2002년 8월 30일에서 9월 1일까지 양일간에 걸쳐 제 15호 태풍 "루사"가 강릉지방에 하루에 870.5 mm 라는 기록적인 강수량과 함께 5조 2천억 원에 달하는 재산 피해를 초래해 최악의 태풍으로 기록되었다. 이듬해 2003년 9월 12-13일 사이에 우리나라에 피해를 준 제 14호 태풍 "매미"는 한반도 기상관측을 실시한 1904년 이래 중심기압이 가장 낮은 태풍(경상남도 사천, 950 hPa)인 동시에 가장 강한 순간 최대풍속(제주

도 고산, 60 m/s)을 동반한 태풍으로 남게 되었다.

이와 같이 우리나라 자연재해의 가장 큰 원인 중 하나로 분류되는 태풍을 예측하는데 있어 태풍의 중심 기압 및 강도(최대풍속), 태풍의 진로, 태풍에 동반되는 강수량 등을 빠른 시간 내에 예측하여 그 정보를 유관 기관에 신속히 제공, 대책을 마련할 수 있어야 한다. 또한, 태풍의 경우 그 진로가 매우 유동적이기 때문에 태풍이 우리나라에 상륙하기 훨씬 전부터 우리나라를 관통하여 빠져나갈 때 까지 태풍에 대한 상세한 모의와 예측이 필요하다. 이를 위해서는 제한된 전산자원을 최대한 동원하고 고해상도의 수치 모델을 이용하여 상세한 태풍을 모의하는 것이 필요하므로 본 연구에서는 전 지구 수치 모델인 GME 모델을 이용하여 전지구를 20~40 km 해상도로 분할하여 2007년 우리나라 주변에서 발생한 태풍을 상세하게 모의하였다.

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 설명하고자 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 계산량을 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 등간격으로 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 수행할 수 있는 막대한 전산자원을 요구하게 된다. 이에 반해, 본 연구에서 사용

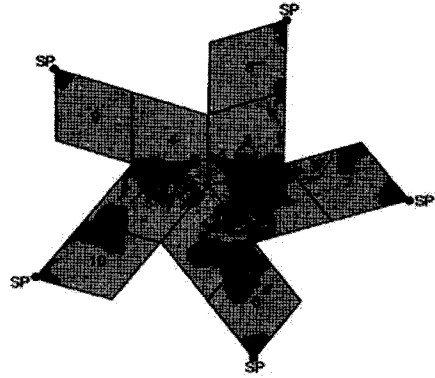


그림 2. Logical data structure of GME.

하는 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 모의가 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

2007년 우리나라 주변에서 발생한 제 11호 태풍 나리(NARI)를 GME 모델을 이용하여 모의하였다. 태풍 나리는 9월 13일 15시경에 일본 오키나와 남동쪽 약 660 km 부근 해상에서 중심 기압 998 hPa, 최대풍속 65 km/h의 약한 소형 열대저기압으로 발달하여 지속적으로 북서진하다 9월 16일 서귀포에 상륙하여 제주도에 인적, 물적 손실을 가져왔다. 이때는 중심기압 960 hPa, 최대풍속 155 km/h의 강도 “강”의 소형 태풍이었다. 하지만 불과 2시간 만에 217 mm의 강수량을 기록하면서 제주의 남계천이 범람하여 재래시장과 주변 주택기를 덮쳐 사망 11명, 실종 2명의 사상자가 발생하였으며, 594명의 이재민이 발생하였다. 태풍 나리에 의한 피해액은 약 1,307,460억 원으로 추산되었다.

앞서 말한 바와 같이 GME 모형은 다른 전지구 모델들에 비해 상대적으로 높은 해상도를 가지고 있으며, GME 모형을 이용하여 한 번의 수행으로 전 세계 각 지

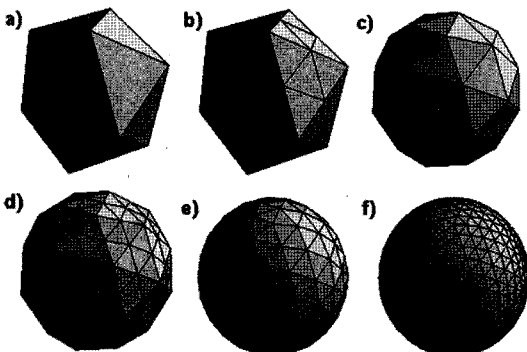


그림 1. Icosahedral-hexagonal grid generation.

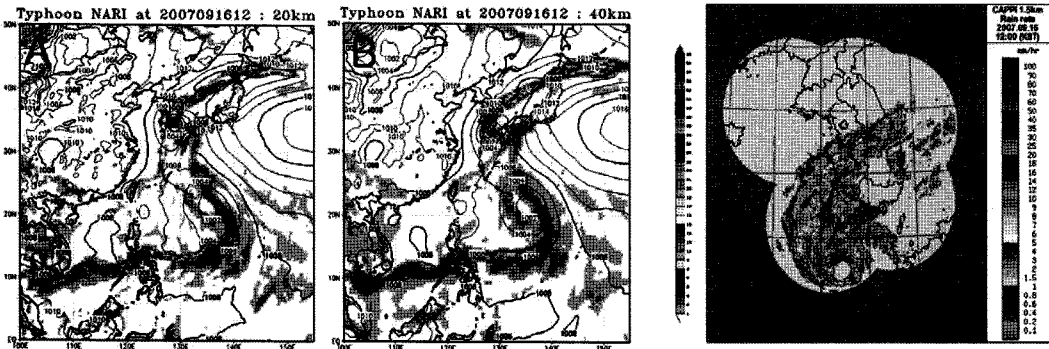


그림 3. Surface pressure (contour) and precipitation (shaded area) of typhoon “NARI” with (A) 20 km GME, (B) 40 km GME. Those are compared with radar image (C).

역의 상세 기상정보를 생산해 낼 수 있으므로, 본 연구에서는 전구 영역에 대해 20 km 해상도와 40 km 해상도로 10일 동안 모의한 결과를 모두 제시하였다.

### 3. 태풍 “나리” 모의 결과

그림 3은 GME 모델을 이용한 태풍 “나리”의 모의 결과로써 그림 3A와 3B는 각각 20 km, 40 km 모의 결과이다. 편의상 전구 결과로부터 한반도 및 태평양 일부 영역만을 그림으로 표출하였으며, 모델의 결과를 레이더 영상(그림 3C)과 비교하였다. 두 모델 결과로부터 해상도가 40 km(그림 3B)에서 20 km(그림 3A)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 3A, B에 표시된 태풍의 경로(☞)를 보면 GME는 전구모델임에도 불구하고 태풍의 경로 또한 비교적 상세하고 정확하게 예측할 수 있는 것으로 나타났다. 그리고 레이더 영상에서 나타난 바와 같이 제주도 남부에 위치한 태풍의 중심 또한 두 모델 결과에서 유사하게 모의되었으며, 20 km(그림 3A)에서 태풍의 눈이 보다 뚜렷하게 보인다.

이상의 GME를 이용한 태풍의 모의 결과로부터 앞으로 좀 더 충분한 전산 자원을 활용할 수 있는 환경

이 마련되고 지속적인 모델의 개선이 이루어진다면 실제 현업 운영을 위한 수치예측모델로서 신뢰성 있는 결과를 생산할 수 있을 것으로 보인다.

### 4. 기후변화에 따른 미래의 태풍모의

지난 몇 년 간 세계 곳곳에서는 태풍이나 허리케인, 사이클론(발생지에 따라 각기 다르게 불림) 등에 의해 많은 피해가 속출하고 있다. 그 대표적인 예로 2005년 8월 미국 뉴올리언스를 강타하여 1800명 이상의 목숨을 앗아가고 800억 달러 이상의 재산피해를 입혔던 허리케인 카트리나는 육지에 상륙하기 직전 중심 최대 풍속이 시속 250 km 정도였으니, 이른바 “슈퍼태풍”으로 분류할 수 있다. 많은 기후학자들은 세계 도처에서 일어나는 이와 같은 비이상적인 기상현상이 지구 온난화 및 기후 변화와 무관하지 않음을 지적하고 있다. 또한 미래의 가상 기후 변화 시나리오에 따른 이상기상현상 발생 정도를 예측하고 그에 대한 대처방안을 강구할 필요성도 제기한 바 있다. 따라서 본 연구에서는 미래 기후변화를 설명하는 가상의 시나리오 중 하나를 선택하여 이를 토대로 대기 수치모델을 이용하여 미래 기후 하에서의 태풍의 변화 양상을 예측하고자 하였다.

기후 변화에 따른 미래 태풍의 변화를 분석하기 위해 IPCC 보고서에서 미래 기후로 제시되는 여러 시나리오 중 A2 시나리오(CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 등의 온실가스 농도가 100년 후 현재의 거의 2배가 되는 시나리오)에 근거하여 그와 같은 미래의 기후 환경에서 2003년 9월 우리나라를 통과한 태풍 매미가 2100년 9월 다시 한반도에 상륙하는 경우를 가정하여 미래 태풍을 모의하고 현 기후에서의 실제 태풍 매미와 비교하였다. 태풍 모

의에는 중규모 지역 기후 모델인 MMS (Mesoscale Model Version 5)를 사용하고 다중 동지격자 (Multiple nesting)기법으로부터 전지구로부터 1 km까지의 해상도로 태풍을 모의하였다.

**4.1 태풍 “매미”의 해면기압과 중심기압 변화**

현 기후의 태풍 매미와 미래 기후에서의 태풍 매미의 중심기압의 공간분포는 뚜렷한 차이를 보였다. 그림 4는 현 기후의 태풍 매미의 한반도 상륙 시 (그림 4A)와 통과 후 (그림 4B), 미래 기후에서의 태풍 매미의 상륙 시 (그림 4C)와 통과 후 (그림 4D)의 해수면 기압의 공간분포를 나타낸 것이다. 태풍의 공간적 크기와 해수면 기압 등치선의 조밀함으로 보아 현재의 태풍에 비해 미래 기후에서의 태풍이 훨씬 더 강함을 알 수 있다. 또한 미래 기후 환경에서의 태풍 매미는 상승한 해수면 온도로부터 지속적으로 에너지를 공급받아 우리나라를 통과한 후에도 지속적으로 발달하고 있음을 알 수 있다. 이는 우리나라에 상륙한 후 점차 약해져, 동해상을 빠져 나가는 동안 태풍에 의한 직접적인 영향권에서 벗어나는 현재의 태풍과는 다른 양상을 보인다. 이러한 태풍의 강도 변화는 태풍 중심기압의 시계열 (그림 5)에서도 잘 나타난다. 중심기압의 경우 태풍 매미의 상륙 시에는 10 hPa 가량 차이가 나지만, 시간이 경과함에 따라 태풍 통과 후에는 20 hPa 까지 중심기

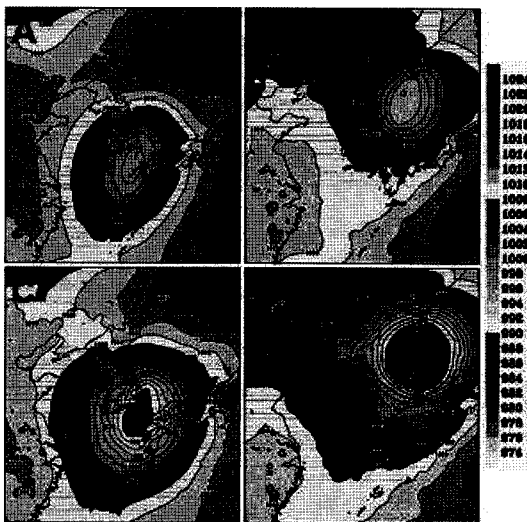


그림 4. MSLP (hPa) of typhoon “MAIMI” at (A) 02 UTC, (B) 18 UTC, 12 Sep., 2003 and (C) 02 UTC, (B) 18 UTC, 12 Sep., 2100.

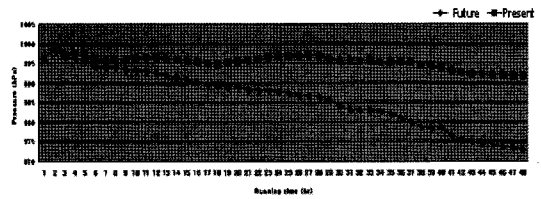


그림 5. Time series of central pressure for present typhoon “MAEMI” (blue square line) and future typhoon “MAEMI” (red diamond line).

압의 차이가 커지게 되고, 지역적으로는 22 hPa까지 기압의 차이를 보인다. 이로부터 2100년 태풍 매미가 한반도를 다시 내습하는 경우 태풍 영향권에서 완전히 벗어나는 데는 보다 많은 시간이 소요되고, 그에 따른 피해가 훨씬 더 커질 것임을 알 수 있다.

**4.2 태풍 “매미”의 풍속변화**

태풍 매미는 우리나라 해안지역에 해일을 동반한 강풍에 의한 피해가 매우 컸던 경우이다. 강풍에 의해 부두의 대형 컨테이너 하적 크레인이 전복되는 사고가 발생하였으며, 해일에 의해 마산 등 인근 저지대 지역에 침수되는 피해가 발생하였다. 이에 한반도 지역 및 부산연안지역에 상륙하는 미래 기후에서의 태풍 매미와 현재 기후에서의 태풍 매미의 풍속에 대한 차이를 그림 5에 나타내었다. 한반도 지역(그림 6A)의 경우 태풍 내습 시에 한반도 동해남부 인근 해상에서 6~7 m/s 이상의 훨씬 강한 풍속을 보이고 있으며, 이러한 특징은 고해상도 자료에서 보다 두드러져 부산 인근 해안지역 (그림 6B)에서 10 m/s 이상의 풍속 차이를 보이고 있다. 이 결과로부터 2100년 태풍 매미가 다시 한반도에

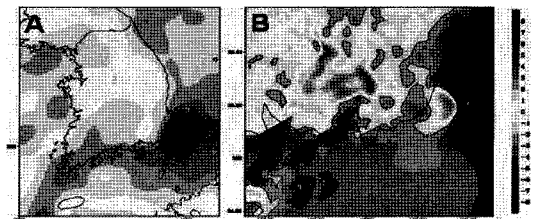


그림 6. Differences of surface 10 m wind speed (m/s) between present typhoon “MAEMI” and future typhoon “MAEMI” in the area of (A) Korean Peninsula, and (B) Busan at 12 UTC 12 Sep. 2007.

상륙한다고 가정할 경우 미래 태풍 매미에 의한 피해는 2003년 실제 발생했던 피해보다 훨씬 심각해 질 수 있음을 알 수 있다.

## 5. 결론 및 고찰

우리나라는 여름철 태풍에 의해 많은 인적, 물적 피해를 겪고 있다. 그러나 기후변화와 더불어 점차 그 강도가 심해지고 있는 태풍과 태풍에 동반되는 강풍호우에 의한 직간접적인 피해는 정확히 예측하기 어려운 문제여서 해마다 이러한 피해가 되풀이 되고 있는 실정이다. 비단 태풍뿐만이 아니라 기후변화와 관련된 이상 기상 증후(폭설, 폭염 등)가 해마다 세계 도처에서 나타나고 있음을 접하고 있다. 이에 태풍을 비롯한 이상 기상 현상을 보다 더 정확하고 자세하게 모의예측할 수 있는 기법이 절실하다.

본 연구에서 사용한 GME 모델은 기존의 전지구 모델과는 달리 전지구를 20 km~40 km 내외로 상세하게 모의할 수 있다는 점에서 매우 고무적이다. 또한 예전과는 달리 컴퓨팅 계산 자원 및 인프라 등이 이를 효율적으로 연계활용한다면 해마다 되풀이되는 악기상 예측 시스템을 설계하고 운용하는데 매우 유용할 것이다. 본 모델의 또 하나의 장점은 지역모델과는 달리 전구를 대상으로 하기 때문에 태풍과 같이 그 진로의 실시간 모니터링이 절실한 기상현상의 경우 태풍이 우리나라에 접근, 상륙하기 훨씬 전부터 감시가 가능하다는 데 있다.

미래 기후 환경 하에서의 태풍은 지금과는 다른 성장, 소멸의 특징을 보이는 것으로 나타났다. 본래 태풍은 육지에 상륙한 후 그 세력이 급격히 약해지는 것이

일반적이지만 미래 기후환경에서 우리나라를 지나가는 태풍의 경우 우리나라 주변의 상승한 해수면 온도로부터 지속적으로 에너지 공급을 받아 태풍의 세력이 장시간 동안 유지되며, 그 강도도 훨씬 세지는 것으로 예측되었다. 이에 따라 태풍 영향권도 훨씬 넓어질 뿐 아니라 풍속 및 강수량이 증가하여 그에 의한 피해도 엄청날 것으로 예상된다. 일반적으로 태풍은 풍속에 따라 등급을 분류하게 되는데 아직까지는 슈퍼태풍급 태풍으로는 공식적으로 분류하고 있지 않다. 그러나 많은 기후학자들이 예측한 바와 같이 현재의 지구온난화가 지속될 경우 과연 슈퍼태풍이 발생할 것인지 혹은 그것이 언제 어디서 발생할 것인지는 아무도 선불리 예단할 수 없다.

## 사 사

이 연구는 기상청 기상지진기술개발사업(CATER 2006-1101)의 지원으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- 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.
- 2) IPCC, 2001. *Climate Change, 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).*