

기상예측시스템 소프트웨어 조사 및 GloSea6 소프트웨어 저해상도 설치방법 구현

정성욱*, 이창현, 정동민, 염기훈

A Survey of Weather Forecasting Software and Installation of Low Resolution of the GloSea6 Software

Sung-Wook Chung*, Chang-Hyun Lee, Dong-Min Jeong, Gi-Hun Yeom

요약 컴퓨터 기술의 발전과 기상예보 모델 및 예측방식의 고도화에 따라 더 고성능의 기상예측 소프트웨어가 개발되었으며 슈퍼컴퓨터를 활용한 소프트웨어 수행으로 더욱 정밀하고 정확한 기상예보가 가능하게 되었다. 본 논문에서는 주요 6개국이 사용하고 있는 기상예측 예보 모델을 조사하여 그 특징들을 분석하고 현재 한국 기상청에서 영국 기상청과 2012년부터 협업하여 사용하고 GloSea 소프트웨어에 대하여 설명한다. 그런데 기존의 GloSea는 기상청 슈퍼컴퓨터에서만 수행되어 다양한 연구자들의 전문 분야별 세분화된 연구에 어려움이 있었다. 따라서 본 논문에서는 현재 우리나라에서 사용하고 있는 GloSea6 기반의 저해상도 버전을 로컬시스템에 사용할 수 있는 표준 실험환경을 구축하고 이를 테스트해봄으로써 연구실 환경에서 수행 가능한 저해상도 GloSea6의 로컬화를 제시하고자 한다. 즉, 본 논문에서는 사용자 단말기-계산서버-리퍼지토리 서버로 구성되는 기본 아키텍처를 구축하고 해당 소프트웨어의 실행 테스트를 수행함으로써 저해상도 GloSea6의 로컬 이식성을 검증한다.

Abstract With the development of technology and the advancement of weather forecasting models and prediction methods, higher performance weather forecasting software has been developed, and more precise and accurate weather forecasting is possible by performing software using supercomputers. In this paper, the weather forecast model used by six major countries is investigated and its characteristics are analyzed, and the Korea Meteorological Administration currently uses it in collaboration with the UK Meteorological Administration since 2012 and explains the GloSea. However, the existing GloSea was conducted only on the Meteorological Administration supercomputer, making it difficult for various researchers to perform detailed research by specialized field. Therefore, this paper aims to establish a standard experimental environment in which the low-resolution version based on GloSea6 currently used in Korea can be used in local systems and test it to present the localization of low-resolution GloSea6 that can be performed in the laboratory environment. In other words, in this paper, the local portability of low-resolution GloSea6 is verified by establishing a basic architecture consisting of a user terminal-calculation server-repository server and performing execution tests of the software.

Key Words : GloSea6, Localization, Low Resolution, Survey, Weather Forecasting Software

This work was funded by the Korea Meteorological Administration Research and Development Program under Grant KMI 2021-01310.

*First & corresponding Author : Department of Computer Engineering, Changwon National University (swchung@changwon.ac.kr)

Received September 30, 2021

Revised October 03, 2021

Accepted October 10, 2021

1. 서 론

컴퓨터 기술의 발전과 기상예보 방식의 고도화에 따라 그동안 축적된 기상관측 자료를 바탕으로 기상예측 수치예보 방정식을 소프트웨어로 구현한 후, 이를 슈퍼컴퓨터를 이용하여 계산 및 수행함으로써 현재의 날씨를 더욱 정확하고 객관적으로 예보를 할 수 있게 되었으며, 더 나아가 보다 긴 시간의 미래의 날씨를 예측하고 이를 분석할 수 있게 되었다.

여기서, 수치예보(Numerical Weather Prediction: NWP)란 [그림 1]과 같이, 대기 현상의 역학 및 물리적 원리에 대한 지배방정식을 계산하기 위한

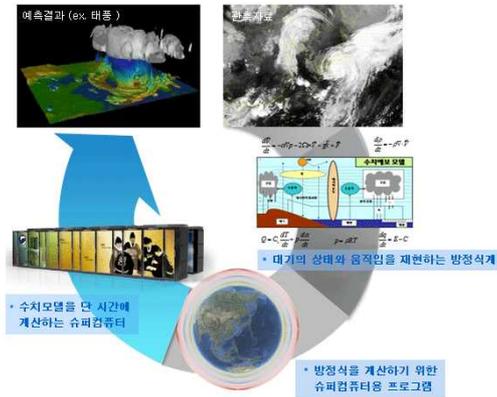


그림 1. 기상청 수치 모델 전체 수행 과정[1]
Fig. 1. The entire process of performing the Korea Meteorological Administration's numerical model.

초기 조건(Input Data, 입력 값)이 충분히 제공된다면 관측자료를 토대로 수치예보 방정식에 적용하여 수치적 계산을 통해 미래의 날씨를 정확하게 예측하는 기상예측 방법이다. 그리고 이를 수학적 모델링을 통해 실현하기 위한 도구가 수치예보모델이다.

수치예보 방정식을 수행하기 위해서는 매우 방대하고 다량의 계산이 필요하므로 사람이 직접 손으로 계산할 경우, 매우 큰 오차 범위를 산출해 낸다. 따라서 고성능 슈퍼컴퓨터를 활용하여 수치예보 방정식을 연속적으로 수치 적분함으로써 현재의 대기 상태를 분석하고 더 나아가 미래의 대기 상태를 정량적으로 예측할 수 있다.

수치예보 모델은 다루는 현상에 따라 크게 4가지

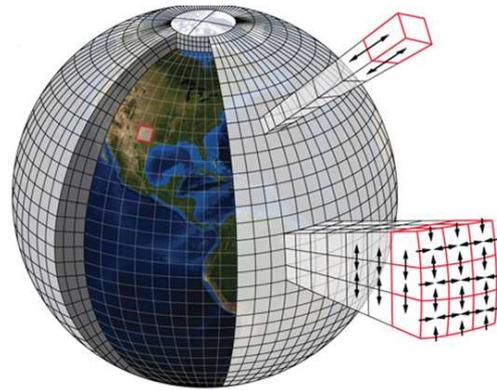


그림 2. 수치예보 방정식 적분 과정[2]
Fig. 2. The integration process of numerical prediction equations.

종류로 구분할 수가 있는데, 매일의 날씨를 예보하는데 사용되는 현업용 종관 모델, 국지적 날씨 변동을 예측하는데 사용하는 중규모 모델, 특정 기상 현상(안개, 적란운, 층적운 등)이 물리과정을 이해하는데 사용되는 특화모델 그리고 실제 일기예보를 위해 사용되며, 장시간에 걸친 대기권, 수권, 해양권, 생물권, 그리고 대기권 사이의 상호작용을 현실화하는 기상모델(Climate Model)이 존재한다[3].

이러한 기상모델의 수행 방법은 [그림 2]와 같이 지구를 일정한 격자 단위로 나누어 각 격자에 대한 대기, 해양, 해빙, 지면에 관련된 관측자료를 수집한 후, 모든 격자를 적분하여 결과 데이터를 산출하여 예측 결과를 도출해낸다. 여기서 격자의 크기를 해상도라고

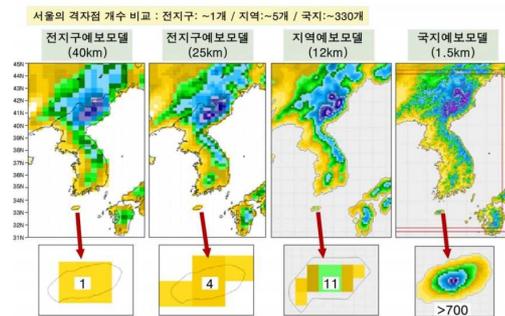


그림 3. 해상도에 따른 지형의 상세화 예시[3]
Fig. 3. Example of detailed topography according to resolution.

표현하는데 고 해상도일수록 지구를 더 잘게 쪼개어 격자의 크기가 작고 저해상도일수록 격자의 크기가 크다. 그리고 전체 지구에 대한 기상 분석하는 모델을 전 지구 기상예보 모델(Global Climate Model, GCM) [4]이라고 하며 특정 지역(예를 들어 대한민국)에 대해서만 분석하는 모델을 지역 예보 모델과 국지 예보 모델이라고 한다. 해상도는 [그림 3]과 같이 도메인의 규모에 따라 전 지구 예보 모델은 격자의 크기가 40KM, 25KM의 격자 크기를 가질 수 있으며, 지역 예보 모델의 경우 12KM, 국지 예보 모델의 경우 1.5KM 격자 크기를 가질 수 있다. 현재 대략 10개의 나라가 전 지구 모델을 운영하고 있으며 많은 나라에서 자기 영역의 지역 모델을 운영하고 있다.

한국 기상청은 영국 기상청과 기상 관련 공동 운영 협약 (2012.06.26.)을 통하여 각 기관의 대기 및 해양 초기장과 전 지구 모델 분석자료를 공유 및 협업하게 되었다[5]. 그뿐만 아니라, 각 기관에서 생성된 앙상블 예측 결과를 실시간으로 상호 교환하여 더욱 많은 앙상블 멤버 자료를 확보하여 장기 예측에 대한 신뢰도를 높일 수 있었으며 그 결과, 기상청의 장기에보 업무 지원을 위한 주간 확률 예측정보 생성에 도움이 되게 되었다[6][7][8].

현재, 한국 기상청(KMA, Korea Meteorological Administration)은 전 지구 기상예보를 위하여, 2014년에 영국 기상청으로부터 GloSea5(Global Season -al Forecast System)를 인수하여 슈퍼컴퓨터 4호기에 이식하여 사용[9]하고 있고 한국이 자체적으로 2011년에 개발하여 2019년에 슈퍼컴퓨터 5호기에 이식하여, 준 현업운영을 시작한 KIM(Korean Integrated Model)[10]을 GloSea와 병행 하여 사용하고 있다. 기상청은 슈퍼컴퓨터 4호기의 경우, 총 3대가 도입하였고, 현재 사용하고 있는 누리(Nuri)와 미리(Miri)가 도입되기 전에는 현업, 공동 활용 및 연구개발용으로 사용되며 10,752cores와 57TB의 메모리를 가지고 있는 우리(Uri)가 사용되었으며, 차후, 한국 기상청은 현업용과 연구용을 분리하여, 수치예보 현업으로 사용되며 69,696cores와 372TB의 메모리를 가지고 있는 누리(Nuri) 그리고 연구개발용으로 사용되며 68,696 cores와 372TB의 메모리를 가지고

있는 미리(Miri)를 사용하고 있다. 즉, 슈퍼컴퓨터 4호기는 총 139,392 cores와 744TB 메모리를 가지고 있다[11][12].

그리고 슈퍼컴퓨터 5호기의 경우, 총 1대 누리온(Nurion)이 도입되었고 분자모델링, 전산유체역학, 기상/기후 모델링 등 전통적으로 슈퍼컴퓨터를 활용했던 분야 외에도 지능정보사회의 핵심 기술인 빅데이터 분석이나 기계학습 등 다양한 분야를 지원하며, 564,749 cores와 778TB 메모리를 가지고 있다 [13][14].

또한, 기후예측 시스템의 대형화, 복잡성 증대로 인해 전문 분야별 세분된 연구가 필요해짐에 따라, 예측 시스템 향상을 위해 분야별 특별화된 기술 연구 및 사업을 진행하고 있다. 그러나 기후예측 연구의 현업화 과정에서 기상청 슈퍼컴퓨터를 사용한 기상예측 S/W인 GloSea5를 활용하기에는 한계가 있었다. 즉, 연구자들은 해당 소프트웨어를 사용하기 위해 core 1,000 이상의 연산이 필요한 기상청 슈퍼컴퓨터를 사용해야 했으며, 해당 슈퍼컴퓨터는 다수의 사용자로 인해 많은 부하와 활용성이 떨어지게 되었다.

따라서 기후예측모델 협업 개발을 위해, 기존의 슈퍼컴퓨터에서만 진행되어온 기상예보 모델 연구 및 개발을 각 연구기관, 기업 그리고 대학에서도 연구 및 개발 가능한 저해상도 기후예측 시스템 Low GloSea6을 개발하여 중·소규모 서버를 기반으로 한 표준 실험 환경을 조성하여 개발 수월성을 확보하고자 한다.

본 논문에서는 주요 6개 국가에서 사용하는 대표적인 기상예측 모델 7개 종류 및 특징을 조사(Survey)하여 분석하고, 현재 우리나라에서 채택하여 사용하고 있는 GloSea5의 차세대 모델인 GloSea6를 연구실 환경에서의 테스트를 위하여 저해상도 기후예측 시스템 Low GloSea6를 설치하기 위한 시스템 환경구성 방법 및 설치방법을 구현해 봄으로써 이식성을 검증하고자 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서 주요 6개 국가에서 사용하고 있는 기상예측 관련 모델을 조사하여 분석하고, 3장에서는 현재 우리나라 기상청에서 사용하고 있는 GloSea5의 차세대 모델인 GloSea6의 저해상도 버전 구축을 위한 시스템 환경구

표 1. 나라별 전 지구 기상예보 모델 사용 현황

Table 1. The current status of global weather forecasting models used by each country.

Country	Model Name	Model Full Name	Feature
UK	GloSea[15][16][17]	Global Seasonal forecasting system	Numbers of Operations:1/day Prediction Period: 6 months Purpose: Weather Forecast
Japan	JMA/MRI-CPS2 [18][19][20]	JMA/MRI-CPS2	Number of operations/days.:1/day Prediction Period: 5 days Purpose: warm/cold season and El Niño monitoring
Korea	KIM[21][22][23]	Korean Integrated Model	Developed and ran by Korean Number of operations/days.: 2/day(00, 12 UTC), Prediction Period: 12 days Purpose: Global domain
Germany	ICON Weather Model[24][25][26]	Icosahedral Nonhydrostatic Weather and Climate Model	The first operational NWP model in the world using an icosahedral grid Number of operations/days.: 2/day(00, 12 UTC), Prediction Period: 180 hours Purpose: Analysis of sea ice and mountain
Australia	ACCESS model[27][28][29]	Australian Community Climate and Earth System Simulator	Number of operations/days.: 2/day, Prediction Period: 240 hours (10 days) Purpose: Global domain
USA	HRRR[30][31][32]	The High-Resolution Rapid Refresh (HRRR)	Radar assimilation Number of operations/days.: 4/day, Prediction Period: 6 hours Purpose: Temperature prediction of cloud line and lake
USA	NAM Model[33][34]	North American Mesoscale Forecast System	Number of operations/days: 4/day, Prediction Duration: 84 hours (3.5 days) Purpose: Global domain

성 방법 및 필요 소프트웨어/라이브러리 설치방법을 설명하고, 4장에서는 구성된 저해상도 결합모델 Low GloSea6 모델을 수행한 결과를 제시한 후 5장에서 전체 결론을 설명한다.

2. 기상예측 관련 모델

전 세계에서 사용하고 있는 기상예측 소프트웨어를 조사하고 이에 대한 특징들을 조사한다. 국가별 사용하는 기상예측 소프트웨어의 종류 및 특징은 [표 1]에 정리되어 있다.

2.1. 호주의 ACCESS 모델

호주 기상청(Bureau of Meteorology)의 경우 현재 전 지구 기상예보 모델을 운영하고 있으며, 모델의 이름은 ACCESS(Australian Community Climate and Earth-System Simulator)이다. ACCESS 기상 모델은 2005년 영국 기상청의 Unified Model(통합 모

델)을 기반으로 개발 및 테스트 되었고 ACCESS 출력은 지도 형태 또는 격자형 데이터로 이용할 수 있다. 또한, ACCESS 모델은 4가지가 존재한다. ACCESS-G 모델의 도메인은 전 지구이며 해상도는 25km이고 측정시간은 6시간씩 총 240시간으로 10일 동안 측정하며, 측정 지역은 전 지구, 남반구, 호주, 인도양, 태평양이다. ACCESS-R 모델의 도메인은 지역이며 해상도는 12km이고 측정시간은 1시간씩 총 36시간으로 1.5일 동안 측정하며, 측정 지역은 전 지구, 남반구, 호주, 인도양, 태평양이다. ACCESS-C+의 도메인은 도시이며 빅토리아 주, 테즈메이니아 주, 시드니, 브리즈, 브리즈번, 애들레이드, 퍼스이고 해상도는 4km이며, 측정시간은 6시간씩 총 240시간으로 10일 동안 측정한다. ACCESS-TC의 도메인은 재배치 가능한 도메인 3개이며 해상도는 12km이고 1시간씩 총 72시간으로 3일 동안 측정한다.

2.2. 독일의 ICON 모델

독일 기상청(Deutscher Wetterdienst)의 경우 1999년 12월에 운영 생산을 시작한 GME(Globales Model) 모델이 ICON(ICOsahedral Nonhydrostatic model)의 전신이며 정이십면체 격자를 사용한 세계 최초의 운영 수치예보 모델이었다. 이 기본 격자 구조는 ICON에도 유지되었고 위도-경도와 격자 같은 전통적인 접근법에 비해, 정이십면체 격자는 지구의 거의 균질한 적용 범위를 제공한다. 이를 통해 위도 격자의 경매 수렴과 관련된 소위 극 문제를 방지할 수 있으며, 이는 계산 효율적인 구현에 심각한 문제를 제기한다.

격자 생성은 구에 새겨진 20면체로 시작하고 20면체의 12개의 꼭짓점을 축지선과 연결하면 모서리 길이가 약 7054km인 정삼각형 20개가 나온다. 그리고 삼각형 가장자리의 반복 세분화(예: 이등분, 삼등분)는 원하는 공간 해상도의 모델 격자를 산출하고 모델 격자의 유효 메시 크기는 구면 삼각형의 평균 면적의 제곱근으로 정의된다. 현재 운영 버전에서 글로벌 ICON 격자는 평균 면적 173km²에 해당하는 2,949,120개의 삼각형을 가지고 있으며, 따라서 약 13km의 유효 그물 크기에 해당하고 모든 스칼라 예후 모델 변수(예: 온도, 밀도, 습도 양)는 삼각형의 원주 중심에 위치하지만, 가장자리 정규 바람 성분은 가장자리 중간 점에 위치한다.

173km²의 삼각형 격자 셀의 평균 면적에 해당하므로, 밀도, 온도, 바람, 습도, 구름 물, 구름 얼음, 비, 눈과 같은 모든 모델 변수는 셀 면적 173km²의 평균으로 간주한다. 이것은 또한 산악지대와 같은 외부 변수와도 관련이 있다. 큰 산맥은 13km의 그물 크기로 상당히 잘 표현될 수 있지만, 개별 산맥이나 계곡을 포착하려면 훨씬 더 미세한 그물이 필요하다.

ICON의 가장 중요한 예측 변수는 공기 밀도와 기상 전위 온도(압력 진단 가능), 수평 및 수직 풍속, 습도, 구름 물, 구름 얼음, 비 및 눈이다. 이 변수는 표면에서 75km 높이까지 확장되는 90개의 지형 추종 모델 레벨에서 모든 격자 셀에 대해 계산되며, 총 2억 6500만 개의 격자 포인트를 산출한다. 육지에서는 토양 온도와 토양 수분의 함량에 대한 추가 예후 방정식이 7개 토양 레벨에서 해결된다. 눈 덮개가 있는 경우, 눈&물

과 같은 눈 밀도가 추가로 예측된다. 얼음이 없는 바다 표면의 해수면 온도는 관측 결과에서 하루에 한 번 분석되며 ICON이 예측하는 동안 일정하게 유지된다. 얼음으로 덮인 일부 바다의 경우, 해빙 분율은 관찰자 관찰을 통해 하루에 한 번 분석되는 반면, 얼음 두께와 얼음 표면 온도는 간단한 해빙 모델로 예측한다.

2.3. 미국의 HRRR, NAM 모델

미국 기상청의 경우 HRRR과 NAM 두 가지의 기상 예보 모델을 사용한다. HRRR(High-Resolution Rapid Refresh)의 운용 버전은 2018년 7월 12일 NCEP (National Centers for Environmental Prediction)에서 구현되었다. HRRR은 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)에 의해 실시간 3km 해상도, 시간별 업데이트, 구름 분해, 대류 허용 대기 모델로, 3km 레이더 동화 기능을 갖춘 3km 크기의 격자로 초기화된다. 레이더 데이터는 1시간 동안 15분마다 HRRR에 동화되며, 13km 레이더가 강화한 Rapid Refresh의 시간별 데이터 동화에 의해 제공되는 세부 정보에 추가된다. HRRR 버전 4의 주요 기능은 다음과 같다. 경계 상층 클라우드, 특히 냉기 유지 기능이 있는 얇은 냉기 층에 대한 클라우드 표현을 개선, 더 나은 구름 피(스노우 스쿨, 허리케인 피, 호수 효과 피), 1-12시간 동안 폭풍 예측 개선을 위한 3km 양상불 데이터 동화, 인라인 연기 예측, 호수 온도 개선, 매 48시간 동안 6시간마다 기상 예보를 연장한다.

NAM(North American Mesoscale)은 NCEP (National Centers for Environmental Prediction)의 일기예보 주요 모델 중 하나이다. NAM은 다양한 수평 해상도로 북미 대륙에 걸쳐 일기예보의 다중 격자(또는 도메인)를 생성한다. 각 격자에는 온도, 강수, 번개 및 난류 운동 에너지를 포함한 수십 개의 날씨 매개변수에 대한 데이터가 포함되어 있다. NAM은 추가 수치 기상모델을 사용하여 고정된 지역에 고해상도 예보를 작성하며 허리케인과 같은 중요한 기상 사건을 추적하기도 한다. NAM 분석 모델 이름은 NAM-ANL이며 관측 기간은 2004년 3월 3일부터 현재까지 관측

표 2. 전 지구 기상예보모델 격자 크기[9][10][35]
Table 2. Coupled model resolution grid size.

Model Name	Grid Size
High Resolution Coupled Model GloSea5	60km
Low Resolution Coupled Model GloSea6	170km
KIM NE360NP3L91	12KM

하고 있다. 격자 크기는 12km이며 관측 주기는 하루 4회(UTC 시간 기준 0시, 6시, 12시, 18)이며 결과물은 00시에 발표된다(강수지역의 경우 3시간 또는 6시간 뒤에 발표됨) NAM 예보 모델의 이름은 NAM-NMM이며 관측 기간은 2006년 6월 20일부터 현재까지 관측하고 있다. 격자 크기는 12km이며 관측 주기는 하루 4회(UTC 시간 기준 0시, 6시, 12시, 18시)이며 결과물 출력 시간은 관측을 시작한 0시부터 84시간 동안 3시간마다 출력된다.

2.4. 일본의 JMA/MRI-CPS2 모델

일본 기상청(Japan Meteorology Agency)는 JMA/MRI-CPS2(Japan Meteorological Agency/Meteorological Agency/Meteorological Research

Institute-Coupled Prediction System version 2) 모델을 운영하고 있으며 이전 시스템 (JMA/MRI-CPS1; Takaya)을 대체하여 2015년 6월에 운영되기 시작했다. JMA/MRI-CPS2는 이전 모델(JMA/MRI-CPS1)처럼 대기-해양 결합 일반 순환 모델(CGCM)을 채택하였지만, 상호작용 해빙 성분이 추가되었다. 새로운 CGCM(JMA/MRI-CGCM2)은 이전 모델보다 대기 및 해양 모델 모두에서 해상도가 높으며 대기 모델(JMA Global Spectrum Model GSM1011C; JMA 2013)의 해상도는 TL159(약 110km 격자 간격)이며, 60 수준(상단의 0.1hPa)이며 해양 모델의 해상도는 1도에서 증가한다. 최대 0.5도까지. 해양 모델 영역은 삼극 격자를 사용하여 전 세계 해양으로 확장된다. 적층대류, 구름, 방사선, 대기 중의 해수면 경계, 해양혼합층, 해양복사 등 여러 측면에서 물리학의 모형은 개선되었다. 더욱 현실적인 온실가스 농도(GHGs)는 CMIP5 RCP4.5 시나리오와의 모델 통합에서 규정되며, 토지 조건은 JRA-55 재분석에서 초기화된다. 여기에 JMA/MRI-CGCM2 규격이 요약되어 있다. 대기 초기 조건 또한 JRA-55 재분석에서 취하며 해양 초기 조건은 해양 동화 시스템의 개선된 버전(MOVE/MRI)에 의해 생성된다.

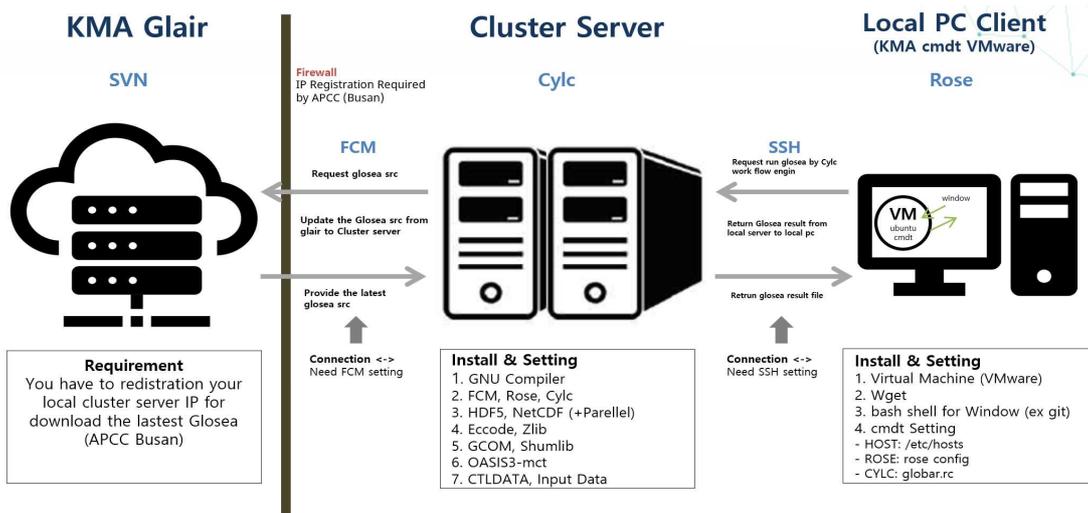


그림 4. 저해상도 기상 모델 GloSea6 시스템 전체 구성도

Fig. 4. Overall Configuration Chart of the low resolution of GloSea6 System

표 3. GloSea 결합모델[36]

Table 3. GloSea Coupled Model

Model	Full Model Name	Observation
UM	Met Office Unified Model	Atmosphere
CICE	Los Alamos Sea Ice model	Sea Ice
NEMO	Nucleus for European Modelling of the Ocean	Ocean
JULES	Joint UK Land Environment Simulator	Land Surface

2.5. 한국의 KIM 모델

한국 기상청(Korea Meteorological Administration)은 한국형 수치예보 모델(KIM: Korean Integrated Model)을 운영하고 있으며 지구의 대기 운동을 계산해 날씨를 예측하는 컴퓨터 프로그램이다. 현재 2020년 4월부터 국내기술로 개발되어 현업에 활용하여 한반도에 최적화된 예측정보를 생산하고 있다. 한국 기상청에서 운영되는 지역 예보 모델, KIM의 수평분해능(격자크기)은 12km, 연직 층수는 91층이며 운영 횟수 및 예측 기간은 하루 2회로 12일 및 3.5일이다.

2.6. KIM 모델과 GloSea 모델 비교

KIM과 GloSea 모델 모두 전 지구 기상예보 모델이며, KIM 모델의 경우 전 지구 도메인에 대한 예측정보를 수집 및 공유하기 위해 사용되며, 격자 크기는 표 2과 같이 12KM이고 하루에 UTC 기준으로 00시 그리고 12시 2회 운영되며, 총 예측 기간은 12일이다. 현재 운영되고 있는 GloSea5의 경우 계절예측을 위해 사용되며 격자 크기는 60KM이고 하루 1회 운영되며, 계절 내 예측 기간은 8주이고, 전체 계절예측 기간은 6개월이다[10][21][35].

3. 저해상도 기상예측 모델 구축

3.1. 저해상도 결합모델

GloSea(Global Seasonal Forecasting System)

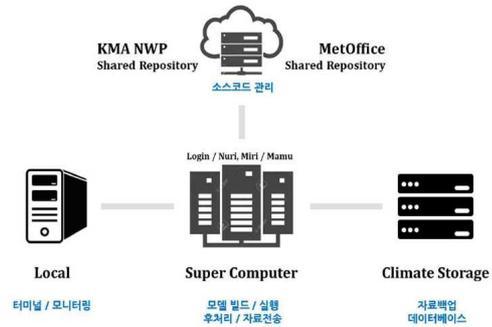


그림 5. 기존 슈퍼컴퓨터 전체 시스템 구성도

Fig. 5. The overall system configuration diagram of the existing supercomputer

는 영국 기상청인 Met Office에서 만든 전 지구 계절예보 시스템이다. GloSea는 [표 3]과 같이 대기, 지면, 해양 그리고 해빙, 총 4가지의 서로 다른 기상예보 모델이 결합 되어 구성된다. 그리고 대기 모델(Met Office Unified Model, UM)과 지면모델(Joint UK Land Environment Simulator, JULES)는 영국 기상청에서 개발되었고 해양모델(Nucleus for European Modelling of the Ocean, NEMO)는 유럽 컨소시움에서 개발되었으며 해빙모델(Los Alamos Sea Ice model, CICE)은 미국의 로스앨러모스 국립연구소(Los Alamos National Laboratory)에서 개발되었다.

전 지구 계절예보를 위해서는 위 4가지의 모델이 서로 상호 의존적으로 영향을 미치는데 서로 다른 4가지의 모델을 결합하기 위해서 결합자(OASIS-mcct)를 사용하여 4가지의 모델을 결합한다. 그리고 이렇게 결합한 모델은 지구를 격자 단위로 나누어 각 격자에 대한 정보를 수집한 후, 모든 격자를 적분하여 결과 데이터를 산출하고 이러한 데이터를 바탕으로 기상예보를 하거나 기상 연구에 사용된다.

그리고 전 지구 기상예보 모델인 GloSea를 컴파일(Compile), 빌드(Build) 그리고 실행(run)하기 위해 특수한 소프트웨어인 Rose, Cylc, Fcm을 사용한다. 또한, GloSea를 실행하기 위한 컴파일 옵션 설정 방법, 컴퓨터 자원 할당량 그리고 컴파일된 실행 파일들의 실행 순서 등은 jinja 언어 기반의 .rc 확장자를 가

표 4. 저해상도 기상 모델 GloSea6 수행을 위한 Local PC 필수 소프트웨어

Table 4. Essential software for performing low resolution of GloSea6 System Local PC

Name	Version	Installed Directory	Function
Linux(Ubuntu)	21.04	N/A	Operating System
Python	2.6+	/usr/local/bin	Dependent language of rose and cylc
Rose	2019.01.5	/opt/rose	Manage & run suite (.rc file)
Cylc	7.9.3	/home/\$USER/TI/shumlib	GloSea work-flow engine
FCM	2019.05.0	/opt/fcm	GloSea source version management

지는 파일들에 저장되며 이를 suite(e.g. suite.rc, rose-suite.conf)라고 명명하고 이에 대한 편집, 관리, 그리고 실행은 앞서 언급한 Rose 소프트웨어를 이용한다. 그리고 Rose에 의해 실행된 suite를 기반으로 Cylc가 GloSea를 컴파일하고 모델을 수행한다. 여기서 GloSea의 소스코드는 [그림 4]의 Gliar 서버에 저장되어 있다가 Cylc가 GloSea를 컴파일하기 전에 FCM 소프트웨어가 SVN과 연동하여 소스코드를 들고 오게 된다. 컴파일이 모두 성공적으로 마무리되고 나면, Cylc의 work flow engine에 의해 기상예보 모델인 GloSea가 수행되고 그에 관한 결과 파일은 user의 home 디렉터리의 .cylc-run에 저장된다.

여기서 저해상도 결합모델 Low GloSea6의 경우 중·소규모의 서버에서도 기상예보 모델을 수행하고 이와 관련된 기상 연구를 진행할 수 있게 격자 크기를 매우 크게 잡은 저해상도 버전이다. 여기서 [표 2]과 같이 기존의 슈퍼컴퓨터에서 사용되는 전 지구 기상예보 모델 GloSea5는 60KM의 격자 크기를 가지고 저해상도 모델 Low GloSea6의 경우는 170KM의 격자 크기를 가진다.

3.2. 시스템 전체 구성도

우리 시스템에서 사용되는 저해상도 결합모델 Low GloSea6의 전체 시스템 구성도는 [그림 4]와 같다. 본

표 5. 저해상도 기상 모델 GloSea6 수행을 위한 필수 소프트웨어

Table 5. Essential software for performing low resolution of GloSea6 System

Name	Version	Installed Directory	Function
Linux(CenOs)	7	N/A	Operation System
python	2.6+	/usr/local/bin	Development language (rose, cylc)
Rose	2019.01.2	/opt/rose	Manage & run suite (.rc file)
Cylc	7.8.3	/opt/cylc	GloSea work-flow engine
FCM	2019.05.0	/opt/fcm	Get GloSea source from Glair server
GCOM	6.8+	/home/\$USER/TI/UM/gcom	GloSea Model (UM, CICE, Interface)
MPICH	3.14	/usr/local/mpich	MPI Distributed Processing
Shumlib	2019.10.1	/home/\$USER/TI/shumlib	Set of Libraries for UM
Zlib	1.2.11	/usr/local/zlib	Data Compression Library
HDF5	1.10.3	/usr/local/hdf5	Layer Data Format
HDF5-Parallel	1.10.3	/usr/local/hdf5/hdf5-parallel-1.10.3	HDF5 Parallel processing
NetCDF-c	4.7.3	/usr/local/netcdf	C Matrix Data Format
NetCDF-fortran	4.4.4	/usr/local/netcdf/netcdf-fortran-4.4.4	Fortran Matrix Data Format
Cmake	3.20.2	/usr/local/bin	Compile and Build
Eccodes	2.9.2	/usr/local/eccodes	File Encdoing & Decoding (GRIB, BUFR)
PnetCDF	1.8.1	/usr/local/PnetCDF	NetCDF Parallel Processing
GTPL	8.0.3	/usr/local/gptl	GloSea Benchmark
OASIS3-MCT	4.0	/home/\$USER/oasis3-met_4.0	GloSea Model Coupling Library

논문에서 제안된 시스템은 Local PC Client에 가상의 VMware Linux Ubuntu21.04 서버를 구축하고, 기존의 슈퍼컴퓨터를 대체 하는 Cluster Server를 구축한 후, Local PC와 Cluster Server 사이의 양방향 통신을 구축한다. 여기서 Local PC와 Cluster Server 사이의 양방향 통신이 구축되어있으므로 Cluster Server에서 수행된 결과 데이터가 Local PC로 실시간으로 전송되어 Local PC의 특정 디렉터리에 저장됨으로 Local PC에서 결과 데이터를 분석 및 연구할 수 있다. 즉, [그림 5]와 같이 기존에 슈퍼컴퓨터에 직접 접속해서 기상예보 모델을 수행하고 슈퍼컴퓨터 환경에서 결과 데이터를 분석하는 비효율적인 작업을 개선할 수 있다. 또한, 기존의 슈퍼컴퓨터에서 수행하는 고해상도 GloSea를 중·소규모의 Cluster Server에서 수행 가능한 환경을 구축하고 그에 대한 인식성 테스트를 진행함으로써, 슈퍼컴퓨터의 트래픽 양을 감소시킬 수 있다.

3.2.1. Local PC Client

Local PC Client는 [그림 4]의 저해상도 결합모델 Low GloSea6의 전체 시스템 구성에서 Local PC Client에 속하는 부분이다. Local PC Client의 주요 기능은 rose를 이용하여 suite 파일의 환경 설정을 관리하고 Cluster server로부터 GloSea가 수행되고 있는 현황을 Cylc를 통해 모니터링하고 수행이 종료된 생성된 결과 파일을 받아 분석하는 환경을 제공해주는 역할을 한다.

저해상도 결합모델을 수행하기 위해 Local PC Client 시스템을 구축하는 방법은 다음과 같다. Local PC Client의 window 운영체제 위에 가상 머신인 VMware를 설치하여 Linux Ubuntu 21.04 버전을 가상화한다. 그리고 VMware에 [표 4]와 같이 필요한 소프트웨어를 설치한다. 그런 다음 Cluster server와 양방향 통신이 될 수 있게 ssh 설정을 한다. 여기서 ssh 인증 방식은 반드시 비밀번호 로그인을 해제하고 공개키-개인키 방식으로 설정한다. 그리고 rose, cylc 그리고 fcm을 설치한 후, 저해상도 결합모델 Low GloSea6에 해당하는 suite 파일을 gliar의 SVN 서버로부터 받는다. 그리고 suite, rose, cylc 환경 설정을

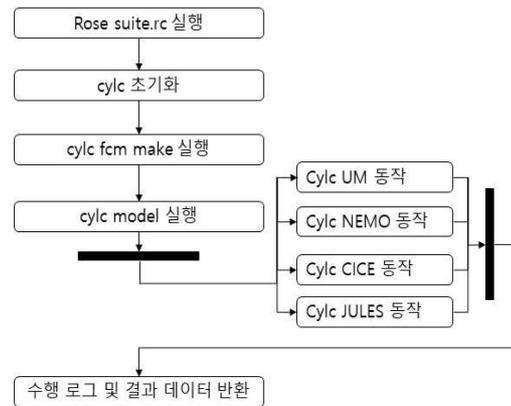


그림 6. 저해상도 결합모델 전체 실행 과정
 Fig. 6. The entire process of implementing the low resolution of GloSea6

통해 GloSea가 실제로 수행되는 계산 노드를 Cluster 로 설정한다.

3.2.2. Cluster Server

Cluster Server는 저해상도 결합모델 Low GloSea6의 전체 시스템 구성에서 Cluster Server에 속하는 부분이다. Cluster Server의 주요 기능은 Local PC Client로부터 요청된 Low GloSea6의 수행을 [그림 5]와 같이 suite를 참조하여 cylc를 통해 수행하고 결과 데이터를 생성하여 Local PC Client에 결과를 반환하는 역할을 한다.

저해상도 결합모델을 수행하기 위해 Cluster server 시스템을 구축하는 방법은 다음과 같다. Cluster Server도 Local PC Client와 동일하게 양방향 통신을 위하여 SSH 설정을 해야 한다. 그 후, GloSea를 수행하기 위해 [표 5]에 해당하는 패키지를 전부 설치해야 한다.

3.2.3. Glair

Glair는 저해상도 결합모델 Low GloSea6를 배포하고 웹 기반의 소프트웨어 프로젝트 관리 도구이자 버그, 이슈 추적 시스템을 갖춘 Trac을 기반으로 한국 기상청에서 관리하는 웹 페이지 이름이다. 한국 기상

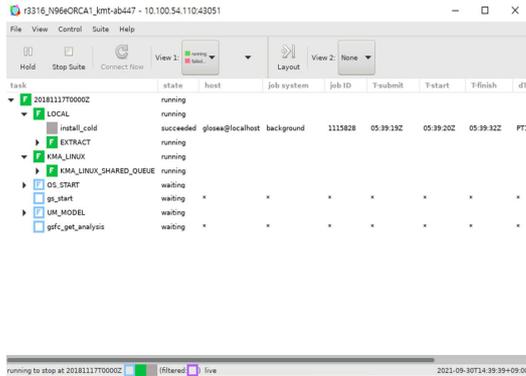


그림 7. Low GloSea6 수행 결과
Fig 7. Result of Low GloSea6 Running

청에 등록된 계정 및 IP만 이 웹페이지에 접속할 수 있으며 Glair에 연결된 SVN 소스코드 리포지토리와 FCM 명령어를 통해 Low GloSea6의 소스코드를 다운로드 받을 수 있다.

3.3. 저해상도 결합모델 전체 실행 과정

저해상도 결합모델 Low GloSea6의 전체 동작 과정을 정리하면, [그림 6]과 같이 Local Client의 VMware의 roses 디렉터리에 suite 파일들이 존재하

표 6. 실험에 수행된 시스템 스펙
Table 6. System specs used by survey

Name	Hardware Specification
Node 1	CPU: Intel® Xeon Silver 4208 (8 cores 16 threads) * 2 EA GPU: NVIDIA GeForce GTX 3090 * 2 EA RAM: 128GB(16GB * 8EA) SSD: 960GB HDD: 4TB OS: CentOS 7
Node 2	CPU: Intel® Xeon Silver 4208 (8 cores 16 threads) * 2EA GPU: NVIDIA GeForce GTX 3090 * 2 EA RAM: 128GB(16GB * 8EA)
Local PC	CPU: Intel® Core™ i7-4790CPU @ 3.60GHz (4 cores 8 threads) GPU: NVIDIA GeForce GTX 1050 Ti (4GB Memory) RAM: 8GB HDD: 1TB SSD: 100GB Virtual OS: Ubuntu 21.04

고 이에 대한 세팅을 모두 마친 후, roses에 의해 suite를 실행하게 되면 Local PC Client의 roses가 Cluster Server의 cylc 수행을 요청하게 되고 cylc는 suite 환경 세팅에 맞게 실행하게 된다. cylc의 수행은 먼저 fcm이 svn과 연동하여 gliar의 SVN 서버에 존재하는 GloSea 소스를 다운로드 하는 fcm_make 과정을 실행하게 된다. fcm_make는 각 모델(대기, 해양, 해빙, 지면)별로 따로 존재하게 되며, 추가 적으로 필요한 드라이버나 인터페이스를 받게 된다. 소스를 모두 받은 후에는 모델별로 컴파일을 진행하게 되고 컴파일이 완료되면, 실제 모델들이 수행된다.

4. 수행결과

4.1. 시스템 스펙

본 실험의 수행에 사용된 시스템은 CentOS7기반의 Cluster Server의 경우 2개의 노드를 가지며, MPICH를 이용해 두 개의 노드가 분산처리 된다. Cluster Server와 Local PC Client의 스펙은 [표 6]과 같다.

4.2. 수행결과 및 분석

기존의 슈퍼컴퓨터에서 수행해야만 했던 고해상도 결합모델 GloSea6를 사용자단말-계산서버-리포지터리서버(Local PC Client-Cluster Server-Gliar)로 구성된 로컬시스템에 저해상도 결합모델 Low GloSea6가 효과적으로 구축되었고 로컬 환경에서 rose suite를 실행하고 Cluster server에서 cylc가 [그림 7]과 같이 성공적으로 수행되는 것을 확인하였고, [그림 4]와 같이 사용자단말-계산서버-리포지터리 서버 (Local Client-Cluster Server-Gliar)로 구성된 저해상도 결합모델 Low GloSea6을 설치하였다.

또한, 기존 고해상도 GloSea는 슈퍼컴퓨터에서 동작하고 전체 139,392cores 중 1,896cores를 사용하여 약 17시간 정도 수행하였고[37] 우리가 제안한 2node Cluster Server 시스템의 경우 32cores를 사용하여 약 10시간 정도 수행되어 저해상도 결합모델

Low GloSea6의 이식성을 검증하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 현재 일본, 영국, 한국, 미국, 호주 그리고 독일 6개국이 사용하고 있는 7개 기상예측 S/W를 조사하여 분석하였다. 또한, 2012년 이후 영국과 협업하여 우리나라에서 사용하고 있는 GloSea를 조사하고 설명하였다.

그러나 현재의 GloSea는 기상청의 슈퍼컴퓨터에서 1,000개 이상의 core를 사용하여 오랜 시간 수행해야 기상모델들을 수행할 수 있는데, 이는 다양한 연구자 및 실험환경에 적합하다고 하기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 연구실에서의 실험환경에 적용 가능한 저해상도 결합모델 Low GloSea6를 테스트할 수 있는 실험환경을 구축하고 필요한 S/W 및 라이브러리 설치에 대하여 설명하고, 저해상도 결합모델 GloSea6를 실제 설치하고 수행하여 그 이식성을 확인하였다.

추후 제안한 저해상도 모델을 활용한 다양한 연구 수행이 기대되며 또한 설치 후 성능향상을 위한 OpenMP, MPI, GPGPU등을 적용한 추가적인 연구가 필요할 것으로 예상된다.

REFERENCES

- [1] Korea Meteorological Administration, [online] http://web.kma.go.kr/aboutkma/intro/supercorcom/model/model_concept.jsp
- [2] Jeonbuk National University, [online] <https://wz3.jbnu.ac.kr/cml/11846/subview.do>
- [3] KMA - Beginner's forecast training textbook, [online] https://www.kma.go.kr/download/e-learning/beginning/beginning_04.pdf
- [4] IPCC - Climate Change 2014 Synthesis Report, [online] https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf#page=74
- [5] KMA - Production of the world's best numerical forecast model signed a memorandum of understanding (MoU) with the UK Meteorological Administration, [online] https://web.kma.go.kr/notify/press/kma_list.jsp?bid=press&mode=view&num=1192374&page=161&field=subject&text
- [6] H. Ham, et al., "Performance Assessment of Monthly Ensemble Prediction Data Based on Improvement of Climate Prediction System at KMA", Korean Meteorological Society, vol. 29, Issue 2, pp.149-164, 2019
- [7] M. Jung, et al., "Assessment of 6-Month Lead Prediction Skill of the GloSea5 Hindcast Experiment", Atmosphere, vol. 25, issue 2, pp.323-327, 2015
- [8] D. Won, et al., "High-resolution Korea-English Joint Season Forecast System (GloSea5) Field Operation System and 2014 Verification", Technical Report of the National Institute of Meteorological Sciences' Numerical Model Research Department, pp.1-133, 2015
- [9] H. Ham, et al., "Performance Assessment of Weekly Ensemble Prediction Data at Seasonal Forecast System with High Resolution", Atmosphere, vol. 27, issue 3, pp.261-276, 2017
- [10] Y. Kwon, et al., "Overview and main specifications of the Korean numerical forecast model", Proceedings of Korea Meteorological Society Conference, p.177, 2019
- [11] KMA - Announcement of prior information, [online], https://www.kma.go.kr/notify/information/publication_depart_list.jsp?bid=depart&mode=view&num=281&page=1&field=&text=&schGrp=3
- [12] KISTI - User's Guide for Super Computer Unit 4, [online], <https://repository.kisti.re.kr/handle/10580/8055>
- [13] National Supercomputer Centre, [online], <https://www.ksc.re.kr/gsjw/jcs/hd>
- [14] KISTI - Confirmed the construction of Super Computer Unit 5, [online], <https://repository.kisti.re.kr/handle/10580/8455>
- [15] T. Kim, et al., "Predicting seasonal typhoon

- ns and analyzing the characteristics of large-scale climate phenomena in the GloSea5 model", Proceedings of Korea Meteorological Society Conference, p.33, 2021
- [16] H. Ham, et al., "The Meteorological Administration's climate forecasting system (GloSea5) improvement and 2017 predictability verification", Proceedings of Korea Meteorological Society Conference, p.240, 2018
- [17] H. Hwang, et al., "Analysis of predictive characteristics using variable past representation on data of the seasonal prediction system (GloSea5)", Proceedings of Korea Meteorological Society Conference, pp.162-163, 2018
- [18] Y. Takaya, et al., "Japan Meteorological Agency/Meteorological Research Institute-Coupled Prediction System version 2 (JMA/MRI-CPS2): Atmosphere-land-ocean-sea ice coupled prediction system for operational seasonal forecasting", *Climate dynamics*, pp.751-765, 2018
- [19] Y. Takaya, et al., "Prediction and attribution of quiescent tropical cyclone activity in the early summer of 2016: case study of lingering effects by preceding strong El Niño events", *Atmospheric Science Letters*, vol. 18, Issue 8, pp.330-335, 2017
- [20] N. Saito, et al., "Seasonal Predictability of the North Atlantic Oscillation and Zonal Mean Fields Associated with Stratospheric Influence in JMA/MRI-CPS2", *SOLA*, vol. 13, pp.209-213, 2017
- [21] J. Cha, et al., "Global Forecast Performance Verification according to the Resolution of Ensemble Model Based on the Korean Numerical Forecast Model (KIM)", Proceedings of Korea Meteorological Society Conference, p.532, 2019
- [22] J. Cha, et al., "A Study on Improvement of SST perturbation field based on KIM Global Ensemble Model", Proceedings of Korea Meteorological Society Conference, p.101, 2020
- [23] E. Lee, et al., "KIM Performance Verification of Korean Numerical Forecast Model", Proceedings of Korea Meteorological Society Conference, p.178, 2019
- [24] G. Kim, et al., "Seasonal precipitation prediction using ICON model", Proceedings of Korea K-water Conference, p.360, 2017
- [25] G. Kim, et al., "Comparison of 2016 Fall Seasonal Forecast Results between ICON Model and GME Model", Proceedings of Korea Meteorological Society Conference, pp.533-534, 2016
- [26] G. Kim, et al., "Seasonal Prediction using ICON Model Applying Two-way Nesting Method", Proceedings of Korea Society of Agricultural and Forest Meteorology Conference, p.33, 2017
- [27] K. Puri, et al., "Implementation of the initial ACCESS numerical weather prediction system", *Aust. Meteorol. Oceanogr. J.*, vol. 63, pp.265-284, 2013
- [28] K. Perera, et al., "Forecasting daily reference evapotranspiration for Australia using numerical weather prediction outputs", *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 194, pp.50-63, 2014
- [29] S. Soldatenko, et al., "Assessing the Impact of Surface and Upper-Air Observations on the Forecast Skill of the ACCESS Numerical Weather Prediction Model over Australia", *Atmosphere*, vol. 9, pp.1-16, 2018
- [30] S. Benjamin, et al., "Stratiform Cloud-Hydro-meteor Assimilation for HRRR and RAP Model Short-Range Weather Prediction", *Monthly Weather Review*, vol. 149, pp.2673-2694, 2021
- [31] I. Jankov, et al., "Stochastically perturbed parameterizations in an HRRR-based ensemble", *Monthly Weather Review*, vol. 147, pp.153-173, 2019
- [32] B. Blaylock, et al., "Cloud archiving and data mining of High-Resolution Rapid Refresh forecast model output", *Computers & Geoscience*

iences, vol. 109, pp.43-50, 2017

- [33] E. Rogers, et al., "The NCEP North American Mesoscale Modeling System: Final Eta model/analysis changes and preliminary experiments using the WRF-NMM", proceedings of 21st Conf. on Wea. Analysis and Forecasting/17th Conf. on Numerical Wea. Prediction, vol. 4, pp.1-12, 2005
- [34] M. Colbert, et al., "Processes Associated with Convection Initiation in the North American Mesoscale Forecast System, Version 3 (NAMv3)", Weather and Forecasting, vol. 34, pp.683-700, 2019
- [35] S. Moon, et al., "Data processing system and spatial-temporal reproducibility assessment of GloSea5 model", Journal of Korea Water Resources Association, vol. 49. no. 3, pp.761-771, 2016
- [36] Met Office, [online] <https://www.metoffice.gov.uk/>
- [37] H. Ham, et al., "Establishment and operation of a joint seasonal prediction system between Korea and the United Kingdom to support the long-term probability forecast of the Meteorological Administration", Proceedings of Korea Meteorological Society Conference, pp.11-12, 2015

저자약력

정 성 욱 (Sung-Wook Chung)

[정회원]



- 2005년 5월 : CISE dept. Univ. of Florida, USA, (MS)
- 2010년 8월 : CISE dept. Univ. of Florida, USA, (Ph.D)
- 2010년 10월 ~ 2012년 2월 : KT 종합기술원 중앙연구소 선임연구원
- 2012년 3월 ~ 현재 : 창원대학교 컴퓨터공학과 부교수

<관심분야>

IoT, 스마트모빌리티, 실시간 분산 멀티미디어시스템, 홈네트워크

이 창 현 (Chang-Hyun Lee)

[학생회원]



- 2017년 3월 ~ 2018년 2월: 창신대학교
- 2019년 3월 ~ 2021년 2월: 창원대학교 졸업
- 2021년 3월 ~ 현재: 창원대학교 대학원 석사 과정

<관심분야>

IoT, 클라우드 컴퓨팅, 실시간 분산 멀티미디어시스템

정 등 민 (Dong-Min Jeong)

[학생회원]



- 2016년 3월 ~ 2019년 2월: 창신대학교
- 2020년 3월 ~ 현재: 창원대학교 재학중

<관심분야>

USB HID, SoC, 실시간 분산멀티미디어시스템

염 기 훈 (Gi-Hun Yeom)

[학생회원]



- 2016년 3월 ~ 현재: 창원대학교 재학중

<관심분야>

실시간 분산 멀티미디어시스템