발간등록번호
11-1360620-000296-01
ISBN: 979-11-92280-33-2

전지구 해양자료동화시스템(GODAPS2) 운영 매뉴얼

2022. 12.

국립기상과학원 기후연구부

박형식 이상민 이조한 부경온

책임운영기관 국립기상과학원

제목 차례

표 차례

그림 차례

제 1장 전지구 해양자료동화시스템 개요

국립기상과학원(기후연구부)은 기상청 1, 3개월 계절예측을 위해 기후예측시스템(GloSea6, Global Seasonal Forecast System version 6)를 현업운영 중에 있다. 기후예측시스템은 대기, 해양, 지면, 해빙 모델로 구성된 결합모델로 자료동화는 non-coupled 방식을 채택하고 있다. 매일 예측을 위해 대기 및 해양초기장이 각각 필요하며, 대기초기장은 기상청 전지구 수치모델(UM, Unified Model)에서 생산된 예측 결과에 4DVAR 자료동화를 수행하여 생산된 GDAPS 분석장을 이용하고 있으며, 해양초기장은 전지구 자료동화시스템(GODAPS2, Global Ocean Data Assimilation ad Prediction System version 2)으로 산출된 분석장을 이용한다(그림 1.1). 국립기상과학원은 기상청 장기예보 지원을 위한 기후예측시스템(GloSea6) 해양-해빙 초기 입력자료의 생산 및 제공과 더불어 전지구 해양-해빙 모니터링 및 단기예측 등을 목적으로 전지구 해양자료동화시스템(GODAPS2)을 업그레이드하고 현업 운영체계를 구축하였다. 본 매뉴얼은 전지구 해양자료동화시스템(GODAPS2)의 현업운영에 관해 서술하고자 한다.

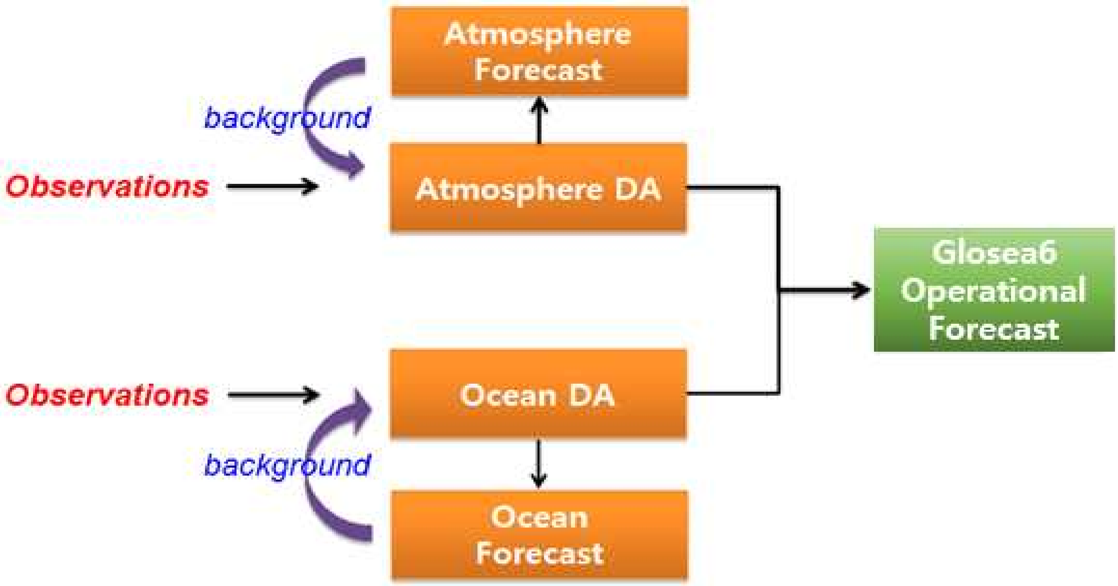

그림 1.1. 기상청 기후예측시스템(GloSea6)의 대기 및 해양모델 초기화 과정

전지구 해양자료동화시스템은 관측자료 전처리, 경계자료 전처리, 품질관리, 해양순환-해빙모델 및 자료동화 과정, 그리고 후처리 과정으로 구성되어져 있다. 전지구 해양자료동화시스템의 엔진이 되는 해양-해빙모델과 자료동화는 기후예측시스템(GloSea6)과 일관성을

유지하기 위해, 동일한 해양-해빙 모델구성을 가지는 영국기상청의 현업 전지구 해양 예측 시스템(FOAM vn 14.1, the Forecast Ocean Assimilation Model version 14.1)을 기반으로 구축되었다. 전지구 해양자료동화시스템의 해양순환 모델은 NEMO (Nucleus for European Modelling of the Ocean; Madec, 2008)를, 해빙모델은 CICE (Los Alamos sea ice model; Hunke and Lipscomb, 2010)를 채택하고 있으며, 해양자료동화는 3차원 변분법 기반의 NEMOVAR (Mogensen et al., 2012)를 사용한다. 모델의 해상도는 3극(tripole)의 eORCA(extended ORCA) 격자체계로서 약 1/4°의 수평해상도를 가진다. 격자는 적도에서 약 27 km의 해상도를, 고위도로 갈수록 해상도가 증가해서 위도 ± 60° 부근에서는 약 13 km의 해상도를 나타낸다. 연직으로는 75개의 z-level로 구성되어져 있다.

기존 GODAPS는 FOAM v.13을 기반으로 Shell 운영체제로 구축되었으나, GODAPS2는 FOAM v.14.1을 기반으로 Rose/Cylc 운영체제로 구축되었다(표1.1.). T24->T00(1일)의 분석 기간이 T48->T24, T24->T00으로 24시간씩 2번(2일) 자료동화를 수행한다. ORCA025 이었던 격자 체계가 eORCA025로 변경되면서 남극 방향으로 확장된 영역을 포함하며, 빙붕의 패인 동공 (iceshelf cavities)을 모의하게 되었다. 그리고 기존에는 선형 자유수면파(linear free surface)를 적용했으나, GODAPS2에서는 비선형 자유수면파를 도입하였다. 새로운 바이어스 보정 scheme을 적용하였고 증분 압력보정을 하였다. 또한, MDT (Mean Dynamic Topography)와 altimeter 바이어스 보정을 업데이트하였다.

표 1.1. 기존 시스템 대비 GODAPS2 업그레이드 사양

	GODAPS1 (FOAM v13 기반)	GODAPS2 (FOAM v14.1 기반)
Ocean Model	NEMO vn3.4 (ORCA025)	NEMO vn3.6 (eORCA025)
운영 체제	Shell	Rose/Cylc
자료 동화 기간	1일	2일
ICE layer	1 layer	4 layer
BIAS correct	SST	SST, SLA
Sea-ice model	CICE vn4.1	CICE vn5.1
Data assimilation	NEMOVAR vn3	NEMOVAR vn5
MDT (Mean dynamic topography)	CNES-CLS-09 MDT	CNES-CLS-13 MDT

해양자료동화 NEMOVAR의 버전은 v3에서 v5로 업그레이드 되었고 해양-해빙 모델 및 자료동화에 대해서는 4장에서 구체적으로 다루고자 한다.

그림 1.2는 전지구 해양자료동화시스템의 전체적인 운영 흐름을 나타내는데, 작업 시간 순으로 간략히 설명하면 다음과 같다. 먼저, 1) 기상청 전지구 수치예보시스템의 결과로 부터 해양-해빙모델의 구동에 필요한 플럭스를 추출하여 모델 격자로 내삽하는 경계자료 처리과정을 수행한다. 2) 기상청 통합스토리지(COMIS)에 수집되어 있는 관측자료를 복사하여 품질관리 프로그램(NEMOQC)에서 이용 가능한 형태로 자료포맷을 변환하는 등 전처리를 수행한다. 경계자료와 관측자료가 준비가 되면, 3) 관측자료의 품질관리를 수행하고, 4) 추가로 위성관측 해수면 온도자료는 바이어스를 보정한다. 이러한 관측자료를 이용하여 증분(increment)를 계산하고, 모델 배경장에 반영하게 되는데, 본 시스템에서는 5) 분석일에 대해서 해양-해빙 모델을 구동하면서, 관측자료의 위치와 시간에 해당하는 모델 배경값을 계산한다(Observation operator). 관측과 배경값의 차이(innovation)를 바탕으로, 6) 변분법 기반의 자료동화를 수행하고 모델 격자별 증분(increment)을 계산한다. 이후, 7) 분석일에 대해 해양-해빙 모델을 다시 구동하면서 Incremental Analysis Update (IAU) 방법을 이용하여 계산된 증분을 배경장에 반영하고 분석장을 계산한다. 아울러, 8) 분석장이 생산되면 7일(GODAPS2, eorca025) 예측장을 추가로 생산한다.

위의 1) ~ 9)의 모든 과정은, 경계자료 전처리(1), 관측자료 전처리(2), 품질관리를 포함한 모델링 및 자료동화(3~8), 그리고 모니터링(9)으로 크게 네 과정으로 나누어 운영, 관리한다. GODAPS1과 다르게 자료동화 기간이 2일로 늘어나며 DAY-2의 자료동화 먼저 수행 후, DAY-1의 자료동화가 진행된다. 전지구 해양-해빙 분석장을 생산하기 위한 언급한 네 과정은 매일 2회 수행되며 이른 자료동화과정(ERLY 버전), 관측자료 미입수에 따른 추가적인 늦은 자료동화과정(LATE 버전)이 다음날 수행된다. 매일 일평균 분석장, 3시간 간격 표층 결과(수온, 염분, 해수면 고도 등), GloSea6의 초기 입력 자료로도 활용이 되는 restart file (i.e. startdumps files) 등을 생산한다. 전지구 해양자료동화시스템의 운영 스케쥴은 매일 15시 경계자료 전처리가 수행되며 16시부터 품질관리 및 자료동화가 수행된다. 기상청 슈퍼컴퓨터 5호기의 8개 노드(608코어)를 이용하여 수행된다.

본 매뉴얼에서는 기상청 전지구 해양자료동화시스템을 구성하는 각 과정에 대해서 설치와 운영 전반에 관해 다루고자 한다. 언급한 과정 중, 경계자료 전처리, 관측자료 전처리, 품질관리부터 자료동화까지의 세 단계를 각각 2장, 3장, 그리고 4장으로 나누어 다루고자 한다. 각 장에서는 시스템의 개요를 비롯하여, 운영, 설치, 장애 대응 등의 운영 전반을 다루고, 마지막 5장에서는 전체과정을 요약 정리하였다. 아울러, 부록에서는 Quick start 매뉴얼과 관측자료의 명명규칙 등에 관해서 다루어 사용자의 편의를 돕고자 하였다.

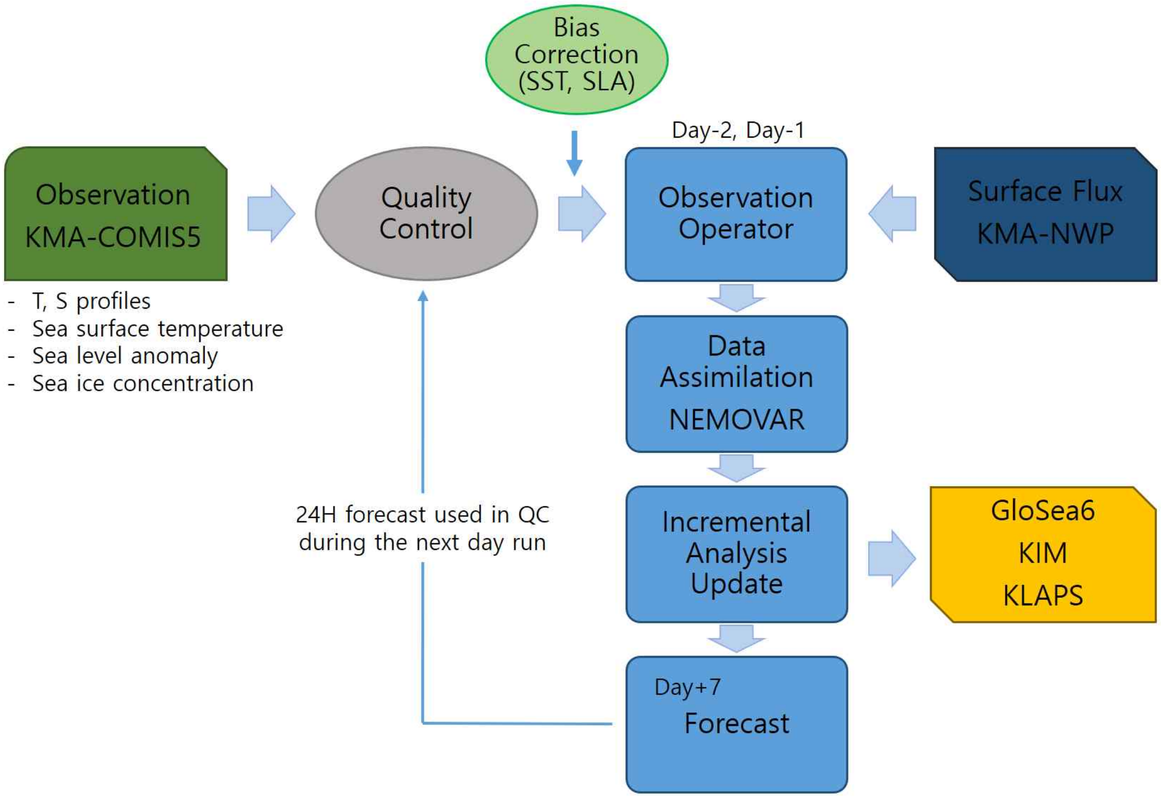

그림 1.2. 전지구 해양자료동화시스템(GODAPS2) 운영 개요

표 1.2. 전지구 해양자료동화시스템 cylc-run 디렉토리 구성

	Directory	Description
cylc-run	app	- 특정 기능을 수행 하는 application으로 구성 - rose-app.conf가 기본 구성요소 - bin/, opt/, file/ 등 구성요소 추가 가능
	bin	- suite에 필요한 실행 스크립트들이 위치
	share	- 실행에 필요한 각종 파일 및 디렉토리, suite 실행 결과 파일 생성
	work	- suite의 working 디렉토리로 네임리스트, configuration 파일, 컴파일을 할 경우네는 소스코드 등이 위치
	log	- 실행 로그 및 상태를 확인할 수 있는 디렉토리 - 각 task 별로 job.err 및 job.out을 통해 에러 및 결과를 확인
	opt site inc	- suite 작업 구성에 들어가는 옵션
	etc	

표 1.3. 전지구 해양자료동화시스템 Suite 구성(경계자료 전처리, 품질관리 등)

	Suite	Sub-suite	Description
[R1] 최초 한번 수행	install_cold	install_cold install_cold_local	- 수행에 필요한 실행파일 등 fcm 정보를 통해 호출 및 설치
	ocnd_first_time		- 첫 수행에 필요한 eorca025 grid 예측장, obsbias, restart, flux를 복사
[T00] 매일 반복 수행	ocnd_start		- suite 작업에 필요한 파일 link - anc포멧 background 파일 복사 - nemoqc를 위한 풍속파일, bg input 준비
	OCND_FLUX_PROCESS	ocndg_bflux_foamout_bulk_ext ocndg_bflux_marine_ext	- 해수면 경계자료 전처리(제3장) · 기상청 수치예보시스템(UM GDAPS) 예측결과 이용 해양-해빙 모델 구동을 위한 경계장 생성
		ocndg_bflux_int ocndnp_bflux_int ocndg025_bflux_int	
	OCND_OBS_PROCESS	ocndg_ops_process_*	- 관측자료 품질관리(제4장) · 품질관리(배경장 체크 등)
		ocndg_obs_prepro	
	ocnd_housekeep		- 후처리

표 1.4. 전지구 해양자료동화시스템 Suite 구성(모델링, 자료동화 등)

<table>
<tr><th>Suite</th><th>Sub-suite</th><th>Description</th></tr>
<tr><td rowspan="8">OBS
OBSBIAS</td><td>ocndg025_obscopy</td><td rowspan="8">- 위성관측 해수면 온도 바이어스 보정</td></tr>
<tr><td>ocndg025_check_observations</td></tr>
<tr><td>ocndg025_matchup_*</td></tr>
<tr><td>ocndg025_sst_matchup_mark</td></tr>
<tr><td>ocndg025_sstbias_obsoper</td></tr>
<tr><td>ocndg025_sstbias_obs_correct
ocndg025_slabias_obs_correct</td></tr>
<tr><td>ocndg025_sstbias_*_asm
ocndg025_slabias_*_asm</td></tr>
<tr><td>ocndg025_obsbias_finish</td></tr>
<tr><td rowspan="9">NEMO_CICE
NEMOVAR</td><td>ocndg025_nemo_cice_obsoper</td><td rowspan="9">- 해양해빙 모델링, 자료동화(※ 제4장)
· 관측연산자 과정(Observation Operator)
· 자료동화(Data Assimilation)
· 분석증분갱신(Incremental Analysis Update)</td></tr>
<tr><td>ocndg025_nemovar_prepare</td></tr>
<tr><td>ocndg025_background_processing</td></tr>
<tr><td>ocndg025_nemovar_ocean
ocndg025_nemovar_ice</td></tr>
<tr><td>ocndg025_rebuild_ocean_increments
ocndg025_rebuild_ice_increments</td></tr>
<tr><td>ocndg025_nemovar_finish</td></tr>
<tr><td>ocndg025_nemo_cice_iau</td></tr>
<tr><td>ocndg025_rebuild_pcbias</td></tr>
<tr><td>ocndg025_nemo_cice_forecast</td></tr>
<tr><td rowspan="6">POST_
PROCESSING</td><td>ocndg025_post_processing_result
ocndg025_post_processing_restarts</td><td rowspan="6">- 모델결과/ 관측자료 등 후처리
· python을 이용한
(슈퍼컴퓨터 환경에서 표출)</td></tr>
<tr><td>ocndg025_nmpp_mersea</td></tr>
<tr><td>ocndg025_nmpp_hifreqsurf</td></tr>
<tr><td>ocndg025_nmpp_myocean</td></tr>
<tr><td>ocndg025_nmpp_bdy</td></tr>
<tr><td>ocndg025_nmpp_diaop</td></tr>
</table>

제 2장 관측자료 전처리 시스템

2.1 개요

전지구 해양자료동화시스템(GODAPS)은 분석일에 해당하는 해수면 온도, 해수면 고도, 해빙농도, 수온 및 염분 프로파일 관측자료를 매일 1회 처리하여 자료동화 한다. 현재, 전지구 해양자료동화시스템에서 이용하는 모든 해양-해빙 관측자료는 기상청 통합 스토리지(COMIS)를 통해 수집, 처리되고 있다(그림 2.1 참조). 즉, 통합스토리지에 저장된 관측자료를 수치모델 중계서버를 통해 슈퍼컴퓨터로 복사하여 전처리를 수행하게 된다. 다만, 위성관측 해수면 온도자료는 수치모델 중계서버 내의 스토리지(/DATAS)에 별도 저장되고 있는데 저장공간을 고려하여 30일간 보관하고 있다. 관측자료 전처리 과정은 GODAPS2 rose suite에 포함되지 않으며 쉘 운영체계로 crontab으로 운영 중이다.

관측자료를 설명하기에 앞서서, 본 장에서는 편의 상 관측자료를 profile, surface, altimetry, seaice의 네 가지 관측타입(observation type)으로 분류하여 설명하고자 한다. 표 2.1은 전지구 해양자료동화시스템에서 사용 중인 관측자료를 관측타입별로 분류하여 나타낸 것으로, Argo 플로트 자료와 계류부이 자료 등이 포함되는, 수온과 염분 프로파일 자료는 GTS (Global Telecommunications System)를 통해 수집되는 자료를 이용한다. 해수면 온도(Sea Surface Temperature; SST) 자료는 표류부이, 계류부이 등을 포함하는 현장관측 자료와, 위성 관측 자료로 나눌 수 있다. 현장관측 자료는 프로파일 자료와 동일하게 GTS로 수집되는 자료를 이용하며, 위성관측 자료로는 FTP로 수집하는 GHRSST (Global High Resolution SST) 자료를 이용한다. 해수면 고도 변이(sea level anomaly) 자료를 제공하는 고도계 자료 (altimetry data)는 FTP로 수집되는 4개의 위성자료를 이용하고 있으며, 해빙농도는 OSI-SAF (The Ocean & Sea Ice Satellite Application Facility)에서 제공하는 추정값을 사용한다. 참고로, 위성관측 자료를 추가 및 변경하고자 할 때는 기상청 관련부서(정보통신기술과)에 요청하여야 한다. 각각의 관측자료에 대한 보다 상세한 내용은 2.2장에서 다루도록 하겠다.

각각의 관측자료는 자료동화에 적용되기 전에 품질관리를 거쳐야 하는데(4.2장), 이를 위해 품질관리 프로그램(NEMOQC)에서 관측자료를 읽을 수 있도록 사전에 수집된 관측자료의 포맷을 변환하는 과정이 필요하다. 또한 고해상도 위성관측 해수면 온도자료의 경우 모델의 해상도를 고려한 솎아내기(thinning) 과정 등이 추가로 요구된다. 이러한 과정들이 2장에서 설명할 관측자료 전처리 과정의 핵심이라 하겠다. 표 2.2는 관측자료 전처리 시스템의 디렉토리 구조를 나타낸다. 관측자료 전처리 과정은 매일 1회 수행되며 ${HOME}/_data/godaps/OOBS 이하에서 관리된다. 우선, 분석일에 해당하는 관측자료를

기상청 통합스토리지(COMIS)로부터 복사하여 DAIN 디렉토리에 저장하고, 전처리가 끝난 관측자료는 DAOU에 저장한다. 전처리를 위한 쉘 스크립트는 OOBS/SHEL에서 관리되고, 전처리 프로그램의 소스파일과 실행파일은 각각 OOBS/SRC와 OOBS/EXET에 보관된다. OOBS/UTIL에서는 bufr 포맷 자료의 디코딩에 필요한 EMOS 라이브러리와, 디렉토리와 계산기 설정 파일(=oobs.def) 등을 보관한다.

2.2장에서는 자료동화에 적용하는 해양과 해빙 관측자료에 대해 설명하고자 한다. 2.3장에서는 관측자료의 전처리 과정을 본 시스템에서 정의하는 관측타입별(i.e. profile, surface, altimetry, seaice)로 소개하고, 소스코드의 설치방법과 유틸리티 정보는 2.4장과 2.5장에서 다루고자 한다.

그림 2.1. 전지구 해양자료동화시스템 해양 관측자료 수집 개요

표 2.1. 전지구 해양자료동화시스템에서 활용하는 관측자료(`22.11)

	Profile	**Surface**			**Altimeter**	**Sea Ice**
Variables	Temperature, Salinity (in-situ)	SST(in-situ)	SST(Satellite)		SLA (Satellite)	Concentra -tion (Satellite)
Platform	Argo, Moored buoy (TAO etc), Ships (XBT, CTD etc)	Sfc. drifters, Mooredbuoys (TAO etc)	AVHRR (METOP-B)	AMSR2 (GCOMW1), VIIRS (SuomiNPP)	AltiKa, Sentimel-3A, Sentimel-3B	SSMI/S (DMSP)
Data Provider	GTS	GTS	IFREMER	JPL PODDAC	COPERNICUS	OSI-SAF

표 2.2. 관측자료 전처리 시스템 디렉토리 구조

${HOME}/_scratch/ godaps/OOBS	/DAIN	/YYYY	해양 관측자료(입력자료)
		/GHRSST/YYYY	위성관측 SST 자료
${HOME}/_data/ godaps/OOBS	/DAOU	/YYYY	전처리 결과파일
	/EXET	-	실행파일
	/LOGO	/YYYY	로그파일
	/SHEL	-	전처리 스크립트
	/SRC	/PreSatSST	위성 SST 자료 전처리 소스코드
		/Sources	전처리 소스코드
		/Util	날짜 조정 스크립트 등
	/UTIL	/EMOS	Bufr 자료 변환을 위한 EMOS
		/ENVI	계산기 및 디렉토리 설정
		/preproc_sat_l3	L3 type GHRSST 전처리 코드
	/WORK	-	작업 디렉토리

2.2 관측자료

2.2장에서는 관측자료에 대해서 2.1에서 정의한 관측타입별로 설명하고자 한다. 단, 위성관측 해수면 온도 자료는 현장관측 자료와 분리하여 마지막 부분에서 별도 설명하고자 한다.

2.2.1 수온 및 염분 프로파일: Profile

수온과 염분 프로파일은 크게 바이너리 포맷인 BUFR (The Binary Universal Form for the Representation of meteorological data) 자료와 아스키(ASCII) 포맷의 TAC (Traditional Alphanumeric Code) 자료로 나뉜다. 전처리 과정에서는 두 형식의 자료를 모두 처리를 해서 하나의 프로파일 관측자료를 생성한다. 이 경우, 일부 관측자료가 중복될 수 있기 때문에 품질관리 과정에서는 중복자료 처리 과정을 통해서 해당자료를 제거한다 (4.2장 참조).

해양자료동화시스템에서는 *IOP*.bfr와 *IOS*.bfr의 파일명을 가지는 BURF 형식 자료를 프로파일 자료로 사용한다(표 2.3). 참고로, WMO 명명규칙에 따르면, 파일명의 대문자 I가 BUFR 포맷 자료를 의미하고, 세 번째 문자열인 P와 S가 각각 sub-surface profiling floats와 sea surface below soundings를 나타낸다. 참고로, 부록 A.1에는 BURF 파일의

명명규칙과 함께 디코딩을 위한 BURF 자료 포맷에 대한 정보를 수록하였다. BURF 자료 이외에, 전문형태의 TESAC (FM 64-XI Ext. TESAC), BATHY (FM 63-XI Ext. BATHY), BUOY (FM 18-XII BUOY) 자료를 처리한다. 여기에서'FM 64-XI Ext. TESAC'자료는 GTS#SO...... 참고로, 프로파일 관측자료의 큰 비중을 차지하는 Argo 자료는 대부분이 BUFR 포맷의 *IOP*.bfr 로 제공되고 있으며, 열대해역의 계류부이(TAO 등)은 TAC 자료 형태인 GTS#SO* 파일에 포함되어 제공된다.

표 2.3. 전처리 과정 수행 전의 Profile 타입 수온 염분 관측자료. 파일명에 대한 정의 및 자료 구성은 부록 A-1과 A-2를 참조할 것.

변수명	자료 포맷	파일명	저장위치(COMIS)
Temperature, Salinity	Bufr	????_IOP?_YYYYMMDDHH.bfr	/DATA/GTS/BUFR/YYYYMM/DD
	Bufr	????_IOS?_YYYYMMDDHH.bfr	
	TAC (FM 18-XII BUOY)	GTS#SS_YYYYMMDDHH	/DATA/GTS/JUN/YYYYMM/DD
	TAC (FM 63-XI Ext. BATHY)	GTS#SO_YYYYMMDDHH	
	TAC (FM 64-XI Ext. TESAC)	GTS#SO_YYYYMMDDHH	

2.2.2 현장관측 해수면 온도: Surface

해수면 온도자료는 크게 현장관측 자료와 위성 관측자료로 나눌 수 있는데, 현장관측 자료는 프로파일 자료와 동일하게 통합스토리지에 저장된 BUFR과 TAC 포맷의 GTS 자료를 디코딩하여 전처리를 수행하게 된다. 표. 2.4에 자료동화 과정에 활용중인 현장관측 해수면 온도자료를 나타내었다.

프로파일 자료와 동일하게, 전처리 과정에서는 표 2.4의 두 형식의 자료(i.e. BUFR, TAC)를 디코딩하여 하나의 파일로 출력한다. 품질관리 과정에서는 솎아내기(thinning)을 통해 중복된 자료를 제거한다. 참고로, 현장관측 자료와 위성관측 해수면 온도자료는 전처리 후에 출력파일이 별도로 생성이 된다(표 2.6 참조). 현장관측 해수면 온도자료의 대부분을 차지하는 표류부이(surface drifter) 관측자료는 BUFR(*IOB*.bfr) 자료에 포함되어 있다.

표 2.4. 자료동화에 적용되는 Surface 타입의 현장관측 해수면 온도 자료. 파일명에 대한 정의 및 자료 구성은 부록 A-1과 A-2를 참조할 것.

<table>
<tr><th>변수명</th><th>자료 포멧</th><th>파일명</th><th>저장위치(COMIS)</th></tr>
<tr><td rowspan="5">in-situ
Sea Surface
Temperature</td><td>Bufr</td><td>????_IOT?_YYYYMMDDHH.bfr</td><td rowspan="3">/DATA/GTS/BUFR/YYYYMM/DD</td></tr>
<tr><td>Bufr</td><td>????_IOB?_YYYYMMDDHH.bfr</td></tr>
<tr><td>Bufr</td><td>????_IOS?_YYYYMMDDHH.bfr</td></tr>
<tr><td>TAC
(FM 13-XIV Ext. SHIP)</td><td>GTS#SS_YYYYMMDDHH</td><td rowspan="2">/DATA/GTS/JUN/YYYYMM/DD</td></tr>
<tr><td>TAC
(FM 18-XII BUOY)</td><td>GTS#SN_YYYYMMDDHH</td></tr>
</table>

2.2.3 해수면 고도 변이: Altimeter

2022년 12월 현재, 해양자료동화시스템에서는 3개의 위성 Altika, Sentinel-3A, Sentinel-3B로부터 관측된 해수면 고도 변이 자료를 수집하여 자료동화하고 있다. 그림 2.2는 1일 분석일 동안 수집된 위성관측 자료를 나타내는데, 매일 약 80,000개의 자료가 수집되고 있다. 그림 2.3는 수집 중인 관측자료의 이력을 나타내는데, Altika 자료는 2014년 3월부터, Jason-3는 2017년 3월부터 2022년 4월까지의 자료가 통합스토리지에 실시간 저장되고 있다. Sentinel-3A는 2017년 3월부터, Sentinel-3B는 2019년 10월부터 저장하고 있다.

위성관측 해수면 고도 변이자료는 모두 COPERNICUS CMEMES (ftp://ftp.sltac.cls.fr)에서 수집하고 있다. 기상청에서 매일 CMEMES를 통해 언급한 센서들의 자료를 수집하여 통합스토리지(COMIS)로 저장을 하고 있다(※계정은 국립기상과학원에서 관리). 표 2.3에 COPERNICUS 자료제공 사이트내의 관측자료의 위치와 COMIS 저장위치를 나타내었다. 특히 고도변이 자료 수집의 경우 지속적인 관리가 필요한데, 예를 들어, 2017년 6월에는 자료제공 서비스 기관 및 방법이 변경됨에 따라, 파일명 및 통합스토리지에 저장하는 위치가 /DATA/SAT/OCN/SLA에서 /DATA/SAT/OCN/PHY로 변경되었으며, 2018년 5월에도 자료 제공서버와 파일명에 변경이 있었다.

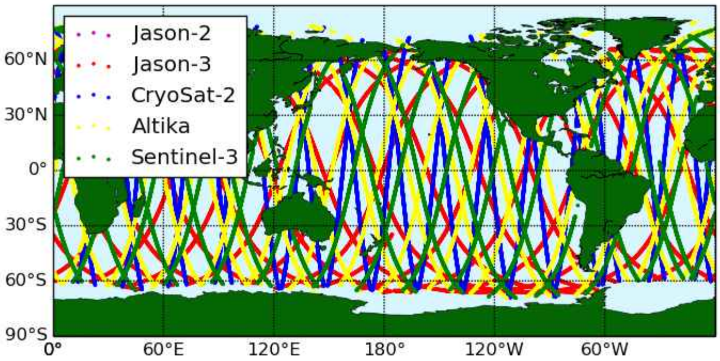

그림 2.2. 위성 센서별 해수면 고도 변이 자료(24시간 Assimilation window)

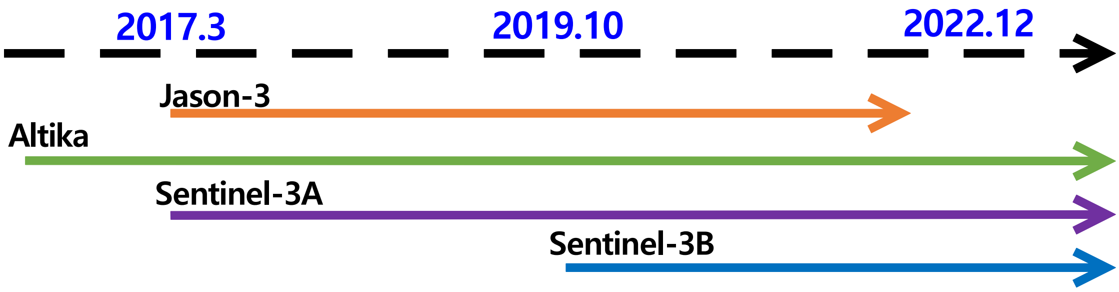

그림 2.3. GODAPS에 자료동화되는 해수면 고도 변이 자료 수집 이력(2017년 이후)

표 2.5. 위성관측 전지구 해수면 고도 변이자료의 자료제공 위치(파일명) 및 통합스토리지(COMIS) 저장위치. 표 내의 <mission> al, s3a, s3b는 각각 Altika, Sentinel-3A, Sentinel-3B 위성센서를 대표함.

자료위치(파일명): ftp://nrt.cmems-du.eu	Core/SEALEVEL_GLO_PHY_L3_NRT_OBSERVATIONS_008_044/dataset-duacs-nrt-global-<mission>-phy-l3/YYYY/MM/**nrt_global_<mission>_phy_vfec_l3_yyyymmdd_yyyymmdd.nc** ※ <mission> : al, s3a, s3b
저장위치(COMIS)	/DATA/SAT/OCN/PHY/<MISSION>/yyyymm ※ <MISSION> : AL, S3A, S3B

※ H2B, J3B 추가 예정(2023)

2.2.4 해빙농도 자료: SeaIce

전지구 해양자료동화시스템에는 언급한 해빙농도 자료를 자료동화에 활용하고 있다. 해빙농도 자료는 Meteo-France에서 주관하는 OSI-SAF(http://osi-saf.org)에서 매일 1회 제공(대략 익일 05UTC)하는 NetCDF 형식의 북극과 남극의 해빙농도 파일 2개를 수신하여 적용하고 있다. 수집은 기상청에서 OSI-SAF의 ftp 서버(ftp://osisaf.met.no)로 직접 접속하여 자료를 다운로드하고 있으며(anonymous로 접근 가능), 표 2.8에 수집 및 저장정보를 나타내었다. 기상청 통합스토리지에는 2013년 11월부터 자료가 보관되어져 있다.

수집 중인 해빙농도 자료는 SSMI/S (Special Sensor Microwave Imager/Sounder)의 Micro-wave 자료를 기반으로 생성된다. 해빙 자료를 생성할 때 대기 중의 수증기량 혹은 해상의 바람 균열로부터 야기되는 오염된 자료들의 문제들이 존재하므로, 유럽 중기예보센터(ECMWF)의 입력장과 복사 및 전달 모델을 통해 자료의 보정 값을 계산하고, 이를 SSMI/S 밝기 온도에 적용한 뒤 얼음 농도를 계산하게 된다. 또한 이 밝기 온도는 다중 센서를 이용한 얼음 분석에도 사용된다. 해빙농도 계산은 베이지안 접근 방법을 통해 관측된 여러 매개변수들은 다양한 자료들과 관련된 불확실성을 고려하는 최적의 추정치를 얻기 위해 결합되며 최종적으로 고품질의 얼음 추정치를 얻을 수 있으며, 이와 같이 해양의 얼음 농도를 분석하기 위해 다양한 센서를 이용한 다중 센서 분석 시스템이 구축되어 있다. 이 시스템들은 SSM/I에서 개발되어 왔으며 현재 SSMI/S와 ASCAT 데이터에 사용되고 있다.

표 2.6. 위성관측 해빙농도 자료제공 위치(파일명) 및 통합스토리지(COMIS) 저장위치. 표 내의 <hemisphere> nh와 sh는 각각 북극과 남극의 자료를 나타냄.

자료위치(파일명): ftp://osisaf.met.no	archive/ice/conc/yyyy/mm/ice_conc_<hemisphere>_polstere-100_multi_yyyymmddhh.nc ※ <hemisphere> : nh, sh
저장위치(COMIS)	/DATA/SAT/OCN/ICE/yyyymm

2.2.5 위성관측 해수면 온도: Surface

전지구 해양순환예측시스템에 자료동화되는 위성관측 해수면 온도자료는 Global Data Archiving Cener (GDAC)의 Group for high resolution SST Pilot Project (GHRSST-PP)를 통해 생산되는 GHRSST 자료로, Level 2 Preprocesses (L2P)형식의 AVHRR METOP-B, AMSR-2 GCOM-W1 위성자료와 L3 형식의 VIIRS Suomi NPP 자료를 사용하고 있다. 표 2.5에 각각의 자료에 대한 해상도, 파일 사이즈 등을 나타내었다.

참고로, AVHRR METOP-B 자료는 AVHRR METOP-A가 2016년 2월 기준으로 중단되면서 대체하여 수집 중에 있으며, 2018년 5월 NOAA18-G 서비스가 중단되면서 AVHRR NOAA19-G 자료 수집을 시작하였고 2021년 1월부터 AVHRR NOAA19-G 서비스가 중단되었다. 아울러, AMSR-2와 VIIRS 자료는 2018년 4월부터 자료를 수집하고 있다.

앞선 관측자료들에 비해, 위성관측 해수면 온도는 높은 해상도와 다양한 정보를 포함하고 있기 때문에 파일 사이즈가 상대적으로 크다. 때문에 현재 위성관측 해수면 온도자료는 통합스토리지(COMIS)가 아니라, 수치모델 중계서버의 스토리지에 보관 중이며, 디스크 용량을 고려하여 30일 정도의 자료만 보관하고 있다. 다만, 전처리 후의 관측자료는 기상청 슈퍼컴퓨터에 별도 보관한다(2.3장 참조).

위성관측 해수면 온도자료는 METOP-B의 경우 기상청 정보통신기술과에서 IFREMER의 FTP 서버(ftp://eftp.ifremer.fr)를 통해 실시간으로 자료를 수집하고 있으며 AMSR2와 VIIRS는 국가기상위성센터 협조를 통해 JPL PODAAC 서버(ftp://podaac-ftp.jpl.nasa.gov)로부터 실시간으로 자료를 수집하고 있다(표 2.6). AVHRR METOP-B 자료는 IFREMER 서버로 부터, 그리고 AMSR-2 GCOM-W1 과 VIIRS Suomi NPP 자료는 미국 JPL로부터 각각 수집하고 있다.

표 2.7. 위성관측 해수면 온도자료 센서별 해상도, 일자료 개수, 일평균 파일사이즈. 참고로, 각각의 값들은 대략적인 수치를 나타냄.

Sensor (Platform)	수평 해상도	파일개수/일	File Size (Mb)
AVHRR (METOP-A/B)	1 km	450	5
AMSR-2 (GCOM-W1)	25 km	15	75
VIIRS (Suomi NPP)		145	2.5

표 2.8. 위성관측 해수면 온도의 센서별 자료제공 기관 및 자료위치(파일명)를 나타냄. 또한, 기상청 스토리지 내의 저장위치도 함께 표시함.

Sensor platform	provider	자료 위치 및 파일 명	저장위치
AVHRR METOP-B	IFREMER: ftp://eftp.ifremer.fr	/cersat-rt/project/osi-saf/sst/l2p/avhrr_metop_b/yyyy/days/**??????????????-OSISAF-L2P_GHRSST-SSTsubskin-AVHRR_SST_METOP_B-sstmgr_metop01_$date_000103-v02.0-fv01.0.nc**	/DATAS/GHRSST/METOP
AMSR-2 GCOM-W1	PODAAC JPL: ftp://podaac-ftp.jpl.nasa.gov	allData/ghrsst/data/GDS2/L2P/AMSR2/REMSS/v7.2/yyyy/days/**yyyymmdd??????-OSPO-L3U_GHRSST-SSTskin-VIIRS_NPP-ACSPO_v2.40_0.02-v02.0-fv01.0.nc**	/DATAS/GHRSST/AMSR2
VIIRS Suomi NPP	PODAAC JPL: ftp://podaac-ftp.jpl.nasa.gov	allData/ghrsst/data/GDS2/L3U/VIIRS_NPP/OSPO/v2.4/yyyy/days/**yyyymmdd??????-OSPO-L3U_GHRSST-SSTskin-VIIRS_NPP-ACSPO_v2.40_0.02-v02.0-fv01.0.nc**	/DATAS/GHRSST/VIIRS

2.3 관측자료 전처리 과정

통합스토리지(COMIS)에 보관된 관측자료는 OOBS 디렉토리에서 전처리 과정을 거치게 된다. 전처리 과정과 관련하여 표 2.9에 주요 쉘 스크립트와 수행 내용을 정리하였다. 전처리는 매일 06 UTC에 크론탭을 통해 ObsGet_Main.sh이 실행되면서 시작되는데, 1) ObsGet_Main.sh에서는 기본적인 환경변수를 지정하고, 하위 쉘을 순차적으로 실행한다. 2) 첫 번째 하위 쉘인 NemoScr_ReadWrite_Main_phy5sat.sh 에서는, 위성관측 해수면 온도를 제외하고, 관측 타입별로(i.e. Profile, Surface, Alitimeter, SeaIce) 순차적으로 전처리를 수행한다. 이때, Profile과 Surface 전처리 과정에서는 각각 run_profile.sh과 run_surface.sh의 별도 하위 쉘을 수행한다. 관측 타입별 전처리가 종료하면, 계속해서, 3) NemoScr_ReadWrite_SatSST.sh 하위 쉘에서 run_ghrsst.sh 쉘을 수행하여 위성관측 해수면 온도 자료의 전처리를 수행한다.

여기서, 전처리(②, ③과정) 에는 기상청 통합스토리지에 저장된 관측자료를 FTP를 통해 슈퍼컴퓨터(/OOBS/DAIN)로 전송받고, 이를 표 2.9에서 정리한 실행파일을 통해, 품질관리 프로그램(NEMOQC)에서 읽을 수 있도록 포맷변환을 수행하는 내용이 포함된다.

표 2.9에는 ext_l3ghrsst.sh이 포함되어 있는데, 이는 VIIRS 자료의 처리에 관계한다. 위성관측 해수면 온도 자료 중에서 VIIRS 자료는 L3 타입의 자료로, 격자화된 관측자료를 제공한다. VIIRS 자료는 매일 약 140여개의 파일에 고해상도 정보를 제공하는데, 각 파일에는 일부 해역의 자료가 포함됨에도 불구하고 전지구 격자점으로 자료를 제공하여 자료의 사이즈가 크고, 전처리 시간이 많이 소요된다. 때문에, 각각의 파일에서 관측자료를 포함하지 않는 격자를 제거하는 전 처리 과정을 별도로 거치며, 해당 작업을 ext_l3ghrsst.sh이 수행한다. ext_l3ghrsst.sh은 관측자료 전처리 과정이 시작되기 전에, VIIRS 자료를 수집(슈퍼컴퓨터로 복사)하면서 시작된다.

표 2.9 전처리 과정에 사용되는 쉘 스크립트 목록 및 개요

쉘 스크립트	주요 내용
ObsGet_Main.sh	· 메인 쉘로서 주요 환경변수 지정 및 아래의 하위 쉘 수행 1) NemoScr_ReadWrite_Main_phy5sat.sh 2) NemoScr_ReadWrite_SatSST.sh
NemoScr_ReadWrite_Main_phy5sat.sh	· 프로파일, 현장관측 해수면 온도, 해수면 고도 변이, 해빙 농도 자료의 전처리(자료 다운로드, 포맷변환 등) 수행. · NetCDF 포맷인 해수면고도 변이와 해빙농도는 본 쉘에서 EXET 내의 NemoQc_ReadWrite_Altimeter_phy5sat.exe와 NemoQc_ReadWrite_SeaIce.exe을 이용해서 전처리 수행. · 프로파일과 현장관측 해수면 온도의 경우, 자료 수집 후, 아래 하위 쉘을 별도 수행. 1) run_profile.sh 2) run_surface.sh
NemoScr_ReadWrite_SatSST.sh	· 위성관측 해수면 온도 자료의 전처리 수행: 자료 다운로드, 포맷변환, **subsampling** 등. 아래 하위 쉘 수행. 1) run_ghrsst.sh를 실행함.
run_profile.sh	· EXET/NemoQc_ReadWrite_Argo_Profile.exe를 실행, bufr와 전문형식의 수온, 염분 프로파일 파일을 NetCDF 파일로 변환.
run_surface.sh	· $EXET/NemoQc_ReadWrite_Surface.exe를 실행, bufr와 전문형식의 현장관측 해수면 온도 파일을 NetCDF 파일로 변환.
run_ghrsst.sh	· $EXET/ThinnGHRSST.exe를 실행하여, 위성관측 해수면온도 자료를 전처리 함. Subsampling 등 수행.
ext_l3ghrsst.sh	· UTIL/preproc_sat_l3/multi_extract_sat_l3.py 을 실행하여, VIIRS 자료의 수집과 전처리를 수행함.

2.3.1 관측자료 전처리 과정: 프로파일, 현장관측 해수면 온도, 해수면 고도계, 해빙 농도

ObsGet_Main.sh 에서는 분석날짜($YYYYMMDD)를 지정하고, 로그파일을 저장하기 위한 디렉토리(OOBS/LOGO 이하)를 생성한다. 이후에, 현장관측 해수면 온도와 수온, 염분 프로파일, 그리고 위성관측 해수면 고도 변이, 해빙농도 자료의 처리를 위한 NemoScr_ReadWrite_Main_phy5sat.sh와 위성관측 해수면 온도자료를 처리하는 NemoScr_ReadWrite_SatSST.sh를 동시에 실행한다. NemoScr_ReadWrite_Main_phy5sat.sh에서는 아래에서처럼 몇 가지 전역 변수를 통해 실행 모드를 선택할 수 있다.

```
RUN_MODE="day00"  # day00: 'day minus one'  or  daym1: 'day minus two'
ModeFlag=2          #  1 : '1 days ago (automatic)' or  2 : 'user input' or  3 : 'Loop'
SUBMIT=-9           #  1 : 'submit to queue'  or  -9 : 'run the script without submit'
Variables='SeaIce Altimeter Surface Profile' # Variable names for each observiations.
YYYYMMDD=${Date} #  DTF_FULL
```

위에서 $RUN_MODE에는 day00 또는 daym1를 선택하여야 한다. 현 시스템에서는 day00으로 고정되어 있는데, ‘day00’로 설정이 되면 ObsGet_Main.sh에서 주어지는 ${Date}를 받아 정해지는 ${YYYYMMDD} 기간의 관측자료를 처리하게 한다. 만약, $RUN_MODE가 ‘daym1’으로 주어지면 ${YYYYMMDD}의 전일 자료부터 24시간 간격으로 2일간의 자료를 처리한다. 이는 향후 개발예정인 2-day hindcast run 시스템을 위한 설정으로 현 버전에서는 day00으로 고정하여 사용한다. 또한, $Variables은 전술한 관측 타입과 동일한데, NemoScr_ReadWrite_Main_phy5sat.sh 스크립트 내에서 선언된 for-loop를 통해, 관측 타입별($Variables='SeaIce Altimeter Surface Profile')로 차례대로 전 처리(FTP를 통한 자료수신, 포맷변환 등)를 수행한다. 따라서, 해당 변수를 통해 처리할 관측타입을 지정할 수 있다. 아래에서는 관측 타입별($Variables)로 Namelist 작성하는 방법과 실행 방법을 각각 정리하였다.

현장관측 해수면 온도자료와 함께, 수온, 염분 프로파일은 GTS망을 통해 수집한 Bufr와 아스키 형식의 전문 자료를 디코딩하게 된다(2.2절). Bufr 파일은 자료분배 기관과 관측해역 등으로 파일명이 결정되는데, NemoScr_ReadWrite_Main_phy5sat.sh에서는 *IOP*와 *IOS*를 포함하는 모든 파일을 COMIS에서 슈퍼컴퓨터로 복사하고, 이를 cat 명령을 이용하여 Argo.Bufr (i.e., Argo_${YYYYMMDD})라는 하나의 파일로 합쳐서 처리한다. 계속해서, 전문형식의 GTS#SO*과 GTS#SS 파일과 함께 NemoQc_ReadWrite_Argo_Profile.exe 실행파일을 이용하여 디코딩을 수행한다.

위의 수온 및 염분 프로파일 자료의 전 처리를 수행하기 위해서는 아래와 같은 형식으로 namelist를 작성해야 한다. GTS Table을 기준으로, 디코딩 수행여부를 결정할 논리변수인 BUFR, BATHY, TESAC, BUOY의 참, 거짓 유무를 선택한 뒤, 실행파일을 아래와 같은 옵션을 사용하여 실행한다. 옵션은 –time은 $YYYYMMDD 형식의 날짜, --day00 또는 –daym1로 주어지는 $RUN_MODE, -i 입력 자료의 경로, -o 결과 값의 경로로 구성된다. 현재의 전지구 해양자료동화시스템은 1일 자료동화 체계(24시간 assimilation window)를 채택하고 있기 때문에, 분석일($YYYYMMDD)에 해당하는 관측자료만을 처리한다. 따라서, $RUN_MODE는 ‘day00’으로 지정되어 있다.

```
cat > ${NameList} <<EOF
&prm
  BUFR=T, BATHY=T, TESAC=T, BUOY=T /
EOF
${EXET_DIR}/NemoQc_ReadWrite_Argo_Profile.exe \
    --time ${YYYYMMDD} --${RUN_MODE}  -i ${DAIN_DIR}/ -o ${DAOU_DIR}/  < ${NameList}
```

현장관측 해수면온도 자료의 전 처리 과정도 프로파일 자료와 유사하게, 먼저 FTP를 이용하여 Bufr 포맷의 *IOB*, *IOR* 파일과 전문형태의 GTS#SV*, GTS#SN*, GTS#SS* 자료를 슈퍼컴퓨터로 전송한 하고, 계속해서 Bufr 자료는 cat 명령을 사용하여 Surface.Bufr (i.e., Surface_${YYYYMMDD}.Bufr)라는 하나의 파일로 합한다. 이 후, 아래와 같은 namelist를 작성하여 전처리를 수행한다. namelist에서는 자료 포맷별로 디코딩 여부를 결정하는 논리변수인 BUFR, SHIP, BUOY의 참, 거짓 유무를 선택하게 된다. 실행파일의 옵션은 프로파일 타입과 동일하다.

```
cat > ${NameList} <<EOF
&prm
  BUFR=T, SHIP=T, BUOY=T /
EOF
${EXET_DIR}/NemoQc_ReadWrite_Surface.exe \
      --time ${YYYYMMDD} --${RUN_MODE} -i ${DAIN_DIR}/ -o ${DAOU_DIR}/  < ${NameList}
```

위성관측 해수면 고도 변이 자료의 경우는 다음과 같이 namelist를 작성한다. $MissionNums에는 입력할 위성관측 자료의 개수를 선언하고(수집된 파일명으로부터 자동으로 정해짐), Year와 Month, Day 변수에 연, 월, 일 정보를 지정한다. CreatedTime 변수는 생성될 결과 파일에 make log를 기록하기 위한 것으로 생성하는 날짜 정보를 입력한다. 계속해서 절대경로를 포함하는 처리할 관측자료(입력자료)의 파일명을 $Files 변수에 지정하여 아래와 같이 전 처리 과정을 진행한다.

```
cat > ${NameList} <<EOF
&prm
      MissionNums=${imission}    # MissionNums=3
      Year=${YYYY}               # Year=2016
      Month=${MM}                # Month=01
      Day=${DD}                  # Day=01
      CreatedTime="`date "+%d-%b-%Y %H:%M:%S UTC " -u` : File created by a fortran code (v1.0) of KMA "
EOF
${EXET_DIR}/NemoQc_ReadWrite_Altimeter.exe        \
              -i ${Files}  \   # Files="./envisat.nc ./jason2.nc ./jason1.nc"
              -o ${DAOU_DIR}/sla.${TIME}.nc      < ${NameList}
```

위성관측 해빙농도 자료의 전 처리 과정 또한 프로파일 자료는 아래의 Namelist 중에 북극인지 남극인지에 대한 참/거짓 유무를 나타내는 논리 변수인 NH_hemi의 선언을 유의하여 북극과 남극의 해빙농도를 구분하여 생산한다. kdaym은 $RUN_MODE가 ‘day00’로 지정된 경우 ‘0’으로 주어지며 분석일의 자료를 처리하게 된다.

```
cat > ${NameList} <<EOF
&prm
        OutputFileDir="${DAOU_DIR}"
        CreatedTime="`date "+%d-%b-%Y" -u`"
        InputFile="${File}"
        DTime="${OBSTIME}"
        NH_hemi=.TRUE.
        kdaym=${kdaym}
&end
EOF
${EXET_DIR}/NemoQc_ReadWrite_SeaIce.exe < ${NameList}
```

2.3.2 관측자료 전처리 과정: 위성관측 해수면 온도자료 전처리

언급한 자료들과 비교하여, 위성관측 해수면 온도 자료는 전지구 영역에 고루 분포하고 높은 해상도를 가지는 장점이 있다. 하지만, 모델 격자와 비교하여 지나치게 고해상도일 경우, 자료 동화 적용 시에 연산시간 증가로 인한 전산자원의 낭비 등을 야기하고, 오히려 모델의 정확성을 떨어뜨릴 수 있기 때문에 적절한 해상도로 조정하는 것이 필요하다. 본 절에서는 솎아내기(Thinning)를 통한 위성관측 해수면 온도자료의 해상도 조절, 수집되는 자료

(GHRSST 형식 자료)에서 포함하는 Quality flag를 이용한 자료의 전처리 등에 대해서 소개하고자 한다.

표 2.9에서 설명한 바와 같이, 위성관측 해수면 온도자료의 처리는 ObsGet_Main.sh 내에서 Obs_getNemoScr_ReadWrite_SatSST.sh이 호출되면서 수행된다. 해당 스크립트에서는 기상청 자료관리 스토리지(/DATAS/GHRSST)에 저장된 위성관측 해수면 온도자료를 FTP를 통해 OOBS/DAIN/GHRSST 디렉토리로 전송하고, run_ghrsst.sh를 호출한다. 계속해서 run_ghrsst.sh에서는 ThinnGHRSST.exe 실행파일을 이용하여 솎아내기 등 위성 관측 해수면 온도자료의 전처리 과정을 수행한다.

ThinnGHRSST.exe를 실행하기 위해서는 namelist ($nam_ghrsst)설정과 입력파일 ($nam_input_list)를 지정해 주어야 한다. namelist에서 지정하는 관측 자료별 $bias_types과 bias_num, 그리고 i_sub_grid를 표. 2.10에 나타내었다. $bias_num은 해당 자료에 대해서 본 시스템에서 임의로 지정한 고유번호이며, 4.3절에서 설명할 위성관측 해수면 온도자료의 보정과 품질관리 과정에서 사용된다. $i_sub_grid는 솎아내기(thinning)를 수행할 때의 자료간격을 지정하는 것으로, 표 2.10을 보면 약 1 km 해상도의 METOP 자료는 6개 간격으로 자료를 추출한다. 참고로, 솎아내기를 거친 자료는 바로 자료동화되지 않고, 품질관리(NEMOQC) 과정에서 super-obbing 과정을 거쳐 모델 격자 해상도로 자료 수를 줄이게 된다.

```
   cat > ${nam_ghrsst} << MEOF
!! NAMELIST for ThinnGHRSST
&nam_ghrsst
   output_file="${OUT_FILE}"
   bias_types="${BIAS_SATTYPES}"
   bias_num=${BIAS_NUM}
   i_sub_grid=${i_sub}
   start_time=${DTF_FULL}00
   end_time=${DTF_END}00
MEOF
```

표 2.10. 위성관측 해수면 온도자료 센서 별 namelist 설정 (2018.10 현재)

Sensor (Platform)	$bias_type	$bias_num	$i_sub_grid
AVHRR (METOP-A/B)	AVHRR_METOP_B	28	6
AMSR-2 (GCOM-W1)	REMSS_AMSR	38	2
VIIRS (Suomi NPP)	VIIRS	39	6

ThinnGHRSST.exe 실행파일을 이용하여 관측 자료가 처리되는 전반적인 흐름은 다음과 같다. 먼저 관측일별로 분석일에 해당하는 00~24UTC 자료에 대해서, 자료를 줄이고자 하는 간격에 맞추어서 필요한 자료를 읽어 들인다. 앞서 언급한데로 현재 시스템에서는 AVHRR METOP-B에 대해서는 6 × 6 간격으로 솎아내기를 수행한다. 이 후에, 해수면 온도 자료는 GHRSST 자료에서 제공하는 위성센서 별 관측 자료와 현장 관측 자료와의 편차 정보인 SSES (Single Sensor Estimate Statistics) 값을 이용하여 아래 식과 같이 보정을 한다.

$$SST(K) = sst(^{\circ}C) \times scale\_factor + add\_offset - SSES$$

아울러, 관측자료에 포함되어있는 flag 정보 (e.g., l2p_flag, quality level, sea ice fraction)를 참고하여 오염된 자료로 의심되는 관측점을 모두 제거한다. l2p flag는 0~15까지의 값을 가지는데, 전처리 과정에서는 1(microwave), 2(land), 4(ice), 8(lake)에 해당하는 자료를 모두 제외한다. quality level은 0(no_data), 1(bad_data), 2(worst_quality), 3(low_quality), 4(acceptable_quality), 5(best_quality)의 flag 값을 가지는데, 본 시스템에서는 4 이상의 관측점만을 사용한다. 이외에 ice_fraction 정보를 포함하는 관측점의 경우, ice_fraction이 0% 이상인 해빙의 온도 값도 제외하였다. 솎아내기를 거치고, 오염된 자료를 제거한 뒤, 품질관리 프로그램(NEMOQC)에서 읽을 수 있는 포맷으로 전환하여 OOBS/DAOU 디렉토리에 저장한다.

2.4 입출력 파일 및 주요변수

표. 2.11에 관측 타입별로 전처리 과정의 입출력 파일을 나타내었다. 전처리가 끝난 관측자료는 $OOBS/DAOU 아래에 저장되는데, 4.1절에서 설명할 품질관리 과정(NEMOQC)에서 본 최종 결과물을 읽어서 품질관리를 수행하게 된다.

표 2.11 관측타입별 입출력 자료(← 입력자료, → 출력자료). $OBSTIME은 분석일을 의미함.

관측자료	입출력
profiles (수온, 염분)	← ????_IOP?_YYYYMMDDHH.bfr ← ????_IOS?_YYYYMMDDHH.bfr ← GTS#SO_YYYYMMDDHH ← GTS#SS_YYYYMMDDHH → **argo.obs.${OBSTIME}.nc**
in-situ SST	← ????_IOB?_YYYYMMDDHH.bfr ← ????_IOR?_YYYYMMDDHH.bfr ← GTS#SV_YYYYMMDDHH ← GTS#SN_YYYYMMDDHH ← GTS#SS_YYYYMMDDHH → **surface.obs.${OBSTIME}.nc**
해수면 고도 변이	← nrt_global_al_phy_l3_${OBSTIME}_YYYYMMDD.nc ← nrt_global_s3a_phy_l3_${OBSTIME}_YYYYMMDD.nc ← nrt_global_s3b_phy_l3_${OBSTIME}_YYYYMMDD.nc → **sla.obs.${OBSTIME}.nc**
해빙농도	← ice_conc_nh_polstere-100_multi_${OBSTIME}1200.nc → **seaicen.obs.${OBSTIME}.nc** ← ice_conc_sh_polstere-100_multi_${OBSTIME}1200.nc → **seaices.obs.${OBSTIME}.nc**
위성관측 SST	← ${OBSTIME}*-OSISAF-L2P_GHRSST-SSTsubskin-AVHRR_SST_METOP_B-sstmgr_metop01_${OBSTIME}_??????-v02.0-fv01.0.nc → **GHRSST_AVHRR_METOP_B.obs.YYYYMMDD.nc** ← ${OBSTIME}*-OSPO-L3U_GHRSST-SSTsubskin-VIIRS_NPP-ACSPO_V2.41-v02.0-fv01.0.nc → **GHRSST_VIIRS.obs.YYYYMMDD.nc** ← ${OBSTIME}*-REMSS-L2P_GHRSST-SSTsubskin-AMSR2-L2B_rt_r32168-v02.0-fv01.0.nc → **GHRSST_REMSS_AMSR.obs.20180604.nc**

수집된 자료는 전처리를 통해 시간, 위치, 관측값 등을 최종 결과파일에 저장하게 되는데, 대체로 많은 자료가 출력자료 최종적으로 포맷이 변경된 COMIS를 통해 수집된 자료는 Jason-2와 Cryosat의 해수면 고도 아노말리 자료이다. 자료 변환과정에서는 수집한 NetCDF 파일들을 Fortran 언어로 구성된 코드를 통해 NEMOQC의 입력포맷을 기준으로 하나의 NetCDF 파일로 통합한다. **그림. 2.4**는 수집한 고도 자료와 NEMOQC의 입력포맷인 NetCDF 자료에 대한 변수들의 Matching table을 나타내고 있다. NetCDF

파일의 time 변수들을 통해 전체 dimension에서 D-1(전일)인 날짜의 자료를 구분하여 선택한다. 그리고 입력된 자료의 track 변수를 바탕으로 중복되는 track의 종류를 오름차순으로 Tracks 변수에 정렬한 뒤 각각의 시작일을 함께 나열하였다. cycle의 값은 자료 변환 과정에서 정수값 1로 고정하였다. 각 track 마다 중복되는 time의 개수만큼을 NbPoints 변수에 Tracks의 종류별로 계산하여 입력한다. Data 변수는 Jason-2와 Cryosat 고도 자료의 time 값 간의 합과 같다.

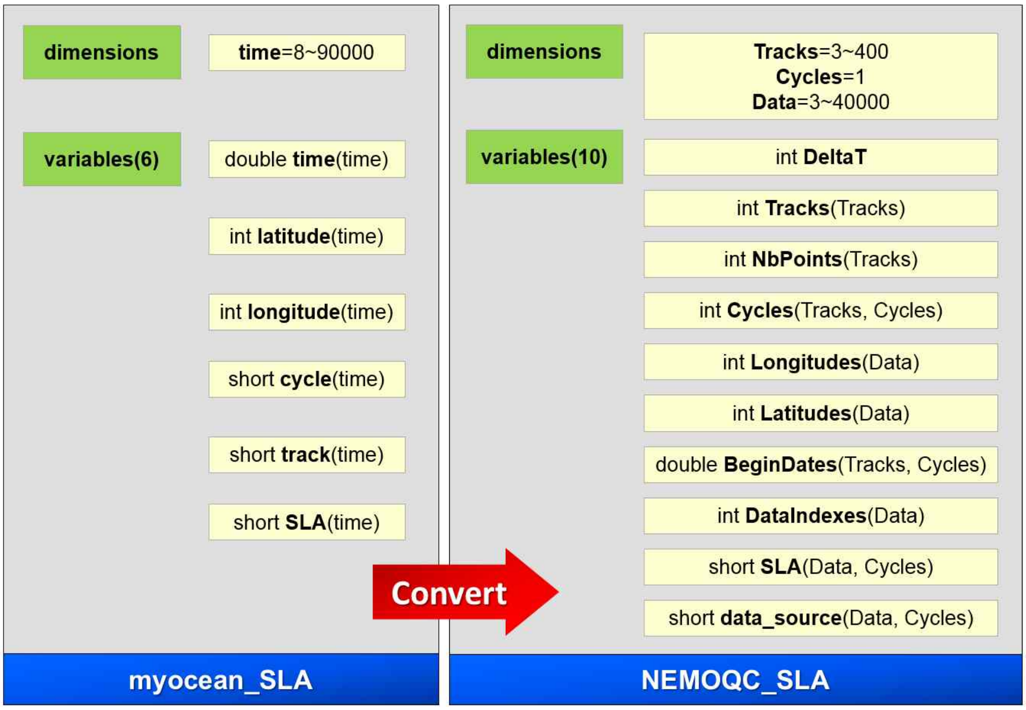

그림 2.4. 입, 출력 자료의 matching table (해수면 고도변이 자료 예시)

2.5 소스코드 및 설치

전 처리 과정을 수행하기 위해 필요한 관측타입별 포트란 프로그램은 표2.12과 같고, 모두 OOBS/SRC 디렉토리 내에 보관되어 있다.

표 2.12 관측타입별 전처리 소스코드. 위성관측 해수면 온도... 참조.

Type	Source	비고
Profile	NemoQc_ReadWrite_Argo_Profile.f90	profile 처리(bfr, TAC)
	NemoQc_ReadWrite_IOS_Profile.f90	*IOS*.bfr 디코딩
	NemoQc_ReadWrite_IOB_Profile.f90	*IOB*.bfr 디코딩
Surface (in-situ)	NemoQc_ReadWrite_Surface.f90	현장관측 해수면 온도 처리
	NemoQc_ReadWrite_IOR_Surface.f90	*IOR*.bfr 디코딩
Altimeter	NemoQc_ReadWrite_Altimeter.f90	고도계 자료 처리
SeaIce	NemoQc_ReadWrite_SeaIce.f90	해빙농도 자료 처리
Surface (satellite)	ThinnGHRSST.F90	전처리 과정 전체 호출
	thinn_ionew.F90	input, output 호출
	thinn_globvar.F90	global variable 지정
	thinn_functions.F90	전처리에 필요한 함수
	thinn_allocate_arrays.F90	배열 할당
	obs_sst_io.F90	오염된 자료 제거
	obs_fbm.F90	NetCDF 형식 저장

Profile, Surface, Altimeter, SeaIce 타입의 전처리 프로그램들의 컴파일 방법은 OOBS/SRC 폴더에 있는 makefile을 이용하여 make를 하면 실행파일이 생성된다. 다만, make 하기 이전에 포트란 컴파일러와 Flags FC, FCFLAGS, NetCDF 설치 경로(NETCDF_DIR), EMOS 설치 경로(EMOS_DIR)와 라이브러리 경로(EMOS_LIB) 등의 정보를 확인해야 한다. 아래의 예제는 기상청 슈퍼컴퓨터 4호기에서 gfortran을 이용하여 makefile 작성한 경우이다.

```
export FC = gfortran
export NETCDF_DIR = /opt/kma/netcdf/3.6.3/gnu/49/
export EMOS_DIR = /home/nimr/ocean2/GODAPS/OOBS/UTIL/EMOS/4.0.7/GNU
export FCFLAGS = -O2 -g -mcmodel=medium -I. -I$(NETCDF_DIR)/include
export LDFLAGS = -L$(NETCDF_DIR)/lib -lnetcdf
export EMOS_LIB = -L${EMOS_DIR}/lib -lemosR64
```

make가 정상적으로 이뤄졌을 경우, OOBS/SRC에는 소스파일과 동일한 파일명에 exe 확장자가 붙은 실행파일이 생성된다. 만약 컴파일이 정상적으로 끝나지 않았을 경우에는 make clean 또는 make new를 이용하여 재 컴파일을 수행한다. 참고로, 이들 실행파일은 OOBS/EXET 디렉토리로 링크되어 관련 스크립트에서 런을 수행하게 된다.

```
module swap PrgEnv-cray PrgEnv-gnu
```

위성관측 해수면 온도자료 전처리 실행파일 관련 소스코드는 OOBS/SRC/PreSatSST에 위치한다. 소스코드는 표 2.8에 나타내었다. 실행파일의 설치는 Makefile을 통해 이루어지며, 아래와 같이 관련 모듈을 로드한 후에 make 명령어를 수행하면 실행파일(ThinnGHRSST.exe)이 해당 디렉토리에 생성된다.

```
> module load cray-netcdf-hdf5parallel
> make
```

2.6 유틸리티

EMOS 라이브러리

2.5절에서 설명한 바와 같이, Bufr 포맷의 프로파일과 현장관측 해수면 온도자료를 디코딩하기 위해서는 EMOS 라이브러리가 필요하다. 설치된 EMOS 라이브러리의 경로는 전처리 프로그램이 설치될 때 반드시 지정되어야 한다. 여기에서는 EMOS 의 설치 방법에 관해서 정리하고자 한다.

```
#!/bin/ksh

. /opt/modules/default/init/ksh

module load cmake
module swap PrgEnv-cray PrgEnv-gnu

cmake .. -DCMAKE_INSTALL_PREFIX=/GODAPS/OOBS/UTIL/EMOS/4.0.7/GNU \
          -DCMAKE_CXX_COMPILER=g++ \
          -DCMAKE_C_COMPILER=gcc \
          -DCMAKE_Fortran_COMPILER=gfortran \
          -DFFTW_PATH=/opt/cray/fftw/3.3.4.1/haswell \
          -DECCODES_PATH=/opt/kma/eccodes/2.2.0/GNU/49

make
#make test
make install
```

제 3장 경계자료 전처리 시스템

3.1. 개요

전지구 해양자료동화시스템의 해양순환과 해빙모델이 구동되기 위해서는 해수면 경계자료가 필요하다. NEMO 모형에서는 해수면 경계 적용방법으로 analytical formulation, flux formulation, bulk formulation, coupled formulation 등을 제공하고, 이중 bulk formulation으로는 CORE, CLIO, MFS bulk formulea 방법을 제시하고 있다. 현 시스템에서는 이중에서 CORE bulk formulation을 채택한다. CORE bulk formulation 방법을 이용하여 경계장을 생산하기 위해 필요한 8개의 입력자료를 표 3.1에 나타내었다. 참고로, 표 3.1의 바람(풍속)은 유속 격자점(u-, v-grid)이 아니라, tracer 격자점(T-grid)의 자료를 나타낸다. 입력자료는 기상청 전지구 수치예보시스템(GDAPS)의 예측자료에서 추출되는데, 현 시스템이 매일 1일 분석장과 1일 예측장을 생산하도록 구성되어 있어서, 1회 런에 총 4일의 경계자료가 필요하다. 또한, 표 3.1에서는 각 자료의 시간 해상도를 나타내는데, 바람장의 경우 1시간 간격자료가 입력되고, 기타 열·염 플럭스 자료 등은 3시간 간격의 자료가 입력된다.

모델의 구동에 필요한 경계자료(표 3.1)를 생성하는 과정은 OCND_FLUX_PROCESS에서 수행된다. 표 3.2은 경계자료 처리 시스템의 디렉토리 구조를 나타내는데, 관측자료 전처리 시스템과 동일하게 현업 운영체계에 기반하여 구성되어 있다. 해양모델의 격자(eorca025)를 가지는 경계자료(표 3.1의 파일들), 즉 관측자료 전처리 시스템의 최종결과물은 FLUX/DAOU 디렉토리에 저장되고, 결과물을 생산하기 위한 쉘 스크립트는 app/ocn_bflux_ext, bin에서 관리된다. 그리고 실행파일은 ${HOME}/TI/nemovar/share/ompi/bin에 저장되어 있다.

경계자료 전처리 시스템에서는 주로 다음과 같은 과정을 다룬다. 먼저, 전지구 수치예보시스템(GDAPS)의 결과(glm_foamout_bulk, glm_marine*)에서 필요한 변수들을 추출한다(표. 3.3 참조). 추출한 모든 자료는 NetCDF 포맷으로 변환하여 저장한다. 이후, 바람자료의 격자점을 내삽과정을 통해 tracer 격자점으로 전환하고, 동일 격자점의 자료(바람, 해수면 온도, 기온, 비습)를 이용하여 기온과 비습의 고도변환을 수행한다. 마지막으로 대기모델(GDAPS)의 T-격자점에서의 자료들을 해양모델의 격자(orca025, eorca025)로 내삽한다.

언급한 대로, 경계자료 전처리 시스템의 핵심은 대기모델의 플럭스 자료를 추출하여, 해양모델 격자로 내삽하는데 있다. 본 시스템에서는 내삽방법으로 bi-linear interpolation을 채택하였다. 또한, 내삽시간을 줄이기 위해서 SCRIP (Spherical Coordinate Remapping and Interpolation Package) 소프트웨어를 통해 사전에 계산된 보조파일(remapping weight)을 이용한다. 3.2 절에서는 경계 입력장을 생산하기 위한 과정을 비교적 상세히 다루고자 한다.

표 3.1. 해양자료동화시스템 구동에 필요한 해수면 경계 입력자료

경계 입력장	모델 변수명	시간 간격	파일명
10m wind speed(u)	10mwind_u	1	windspd_T_1h_orca025.nc
10m wind speed(v)	10mwind_v	1	windspd_T_1h_orca025.nc
Total downward surface short wave solar flux	soshfldo	3	flx_3h_orca025.nc
Total long wave radiation flux	sonsfldo	3	flx_3h_orca025.nc
10m air temperature	tair10m	3	flx_bulk10m_3h_orca025.nc
10m specific humidity	qair10m	3	flx_bulk10m_3h_orca025.nc
Total precipitation rate	precip	3	flx_3h_orca025.nc
Snowfall rate	sosnow	3	flx_3h_orca025.nc

표 3.2. 경계자료 생성 디렉토리 구조 및 내용

share / cycle	work_sbcext_foamout_bulk.en00	전지구 수치예보시스템(GDAPS)의 결과(foamout_bulk)에서 필요한 변수를 추출하고 NetCDF 포맷으로 변환 결과
share / cycle	work_sbcext_marine.en00	전지구 수치예보시스템(GDAPS)의 결과(marine)에서 필요한 변수를 추출하고 NetCDF 포맷으로 변환 결과
share / cycle	qwen00.daily_sbc.nwpgrid	변수를 추출한 이후 winds를 nwpN1280F -> nwpN1280T 내삽 결과
share / cycle	qwen00.daily_sbc.orca025	변수를 추출한 이후 winds를 nwpN1280F -> nwpN1280T 내삽, nwpN1280 -> orca025 내삽 결과
share / cycle	qwen00.daily_sbc.orca025ext	변수를 추출한 이후 winds를 nwpN1280F -> nwpN1280T 내삽, nwpN1280 -> eorca025 내삽 결과

3.2. 경계자료 생성 과정

3.2.1 추출 자료 및 방법

기상청 수치예보시스템(GDAPS)은 매일 4회(00, 06, 12, 18UTC) 예측을 수행한다. 매 계산마다 전지구 해양자료동화시스템의 경계자료로 적용되는 PP 포맷의 파일을 생성한다. 표. 3.3에 파일과 추출 변수를 나타내었다.

현재, 해양자료동화시스템은 자료동화를 위한 2-day hindcast run과, 예측을 위한 7-day forecast run을 수행하도록 구성 되어있다. 따라서, 총 9일의 run을 하게 되고, 이를 위해서는 총 9일간의 경계자료가 필요하다(T-2day ~ T+7day). 이외에, T-24H ~ T0 시간의 경계자료는 기상청 수치예보시스템에서 예측 시작시간(00, 06, 12, 18UTC) 별로 생성하는 foamout_bulk와 marine_[0|1]_10m 파일로 부터 초기 6 시간 예측자료를 예측시간별로 각각 추출하고 이를 병합하여 1일 경계 자료를 생성한다. 즉, 고품질의 예측결과를 적용하기 위해서 관측자료를 많이 적용한 초기의 6시간 예측자료를 이용한다. T0 ~ T+7day의 경계자료의 경우, 수치예보시스템의 00UTC 예측결과로 부터 7일 예측 값을 추출하여 생성한다.

예를 들어, 해양자료동화시스템은 3월 5일에, 3월 4일에 해당하는 분석장과 3월 5일부터 11일 예측장을 생산하는데, 이를 위해서 3월 2일부터 3월 11일까지의 총 10일의 경계장이 필요하다. 3월 2~4일의 경계장은 수치예보시스템의 00, 06, 12, 18UTC에 시작한 계산 결과의 초기 6시간 값만을 추출하여 생성한다. 3월 5~11일의 경계자료는, 수치예보시스템이 3월 5일 00UTC에 수행한 예측결과로부터 추출한다(그림 3.1 참조).

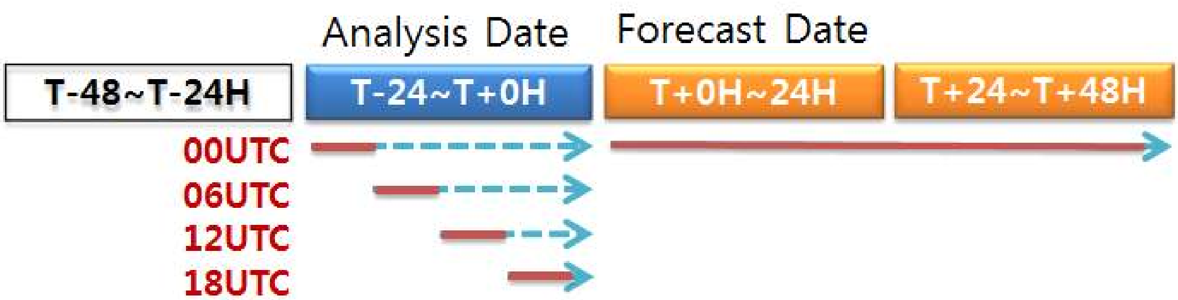

그림 3.1 기상청 수치예보시스템으로부터 분석(analysis)과 예측(forecast) 수행을 위한 경계자료 추출 개요. 분석일(T-48H ~ T-24H, T-24H ~ T+0H)의 경계장은 수치예보시스템의 00, 06, 12, 18UTC의 6시간 예측결과를 병합하여 생성하고, 예측일(T+0H ~ T+7day)의 경계장은 수치예보시스템의 예측일 00UTC에 수행된 7일의 예측 값을 이용함.

표 3.3 해양자료동화시스템의 경계조건을 위한 기상청 수치예보시스템의 결과 파일과 해당 파일에서 추출되는 변수명.

위치	파일명 (um pp files)	추출 변수명 (Field title)	Field List
/dss2/data/${id}/ARCV/MODL/GDPS/N128/${DATE}/ERLY, LATE	glm_foamout_bulk (nt = 97)	TOTAL SNOWFALL RATE: LS+CONV	0
		TOTAL PRECIPITATION RATE	1
		TEMPERATURE ON THETA LEVELS	3
		SPECIFIC HUMIDITY AFTER TIMESTEP	5
		TOTAL DOWNWARD SURFACE SW FLUX	7
		DOWNWARD LW RAD FLUX: SURFACE	8
		SURFACE TEMPERATURE AFTER TIMESTEP	6
	glm_marine0_10m (nt = 7)	10 METER WIND U-COMP(B GRID)	0
		10 METER WIND V-COMP(B GRID)	1
	glm_marine1_10m (nt = 139)	10 METER WIND U-COMP(B GRID)	0
		10 METER WIND V-COMP(B GRID)	1

3.2.2 전처리 과정: 쉘 스크립트

경계자료 생성은 app/ocn_bflux_ext, bin 디렉토리에 위치한 스크립트를 이용한다. 표 3.4에 경계자료 처리를 위한 스크립트와 개요을 나타내었다. 경계자료는 OCND_FLUX_PROCESS과정에서 생성되는데, 해당 과정은 분석일(rose date)을 지정하고 생성할 플럭스 타입($FLXVAR)과 경계자료 기간($NEMO_RUN_LENGTH: 현재는 8일 자료 생산) 등을 지정한 이후에, 전지구 수치예보모델 결과로부터 필요한 변수를 추출하는 “ocndg_bflux_foamout_bulk_ext, ocndg_bflux_marine_ext” suite과, 수치예보모델에서 추출한 u, v 격자점(F-point)의 바람자료를 동일한 대기모델 격자(nwpgrid)의 T-point로 내삽하고 대기모델 격자점의 모든 변수를 해양모델 격자(orca025,eorca025)로 내삽하는 “ocndnp_bflux_int, ocndg_bflux_int, ocndg025_bflux_int” suite을 순차적으로 실행한다. 내삽과정에서 $NEMO_CFG 환경변수가 “nwpgrid”로 지정되면 바람장의 격자를 T 격자점으로 내삽하는 과정을 수행하고, “orca025”로 지정되면 해양모델 격자 orca025로의 내삽을 수행하며 “orca025ext”로 지정되면 eorca025로의 내삽을 수행한다. 아래에 해당 과정을 좀 더 상세히 서술하였다.

OCND_FLUX_PROCESS과정은 하위 suite인 ocndg_bflux_foamout_bulk_ext, ocndg_bflux_marine_ext의 스크립트 NemoScr_SBCExt와 NemoScr_SBCInt를 순차적으로 수행한다. 각 스크립트는 app/ocn_bflux_ext/bin에 있으며 opt/의 rose-app.conf파일에 따라 foamout_bulk는 NemoScr_SBCExt, marine은 NemoScr_SBCExt_marine이 수행

된다. 여기에서 NemoScr_SBCInt는 대기모델 격자로의 내삽과, 해양모델 격자로의 내삽을 수행하기 위해 두 번 수행된다. 먼저, NemoScr_SBCExt 스크립트에서는 수치예보시스템 결과(glm_foamout_bulk, glm_marine*_10m)에서 플럭스 타입 별(marine, reference, foamout_bulk)로 필요 플럭스를 추출하여 NetCDF 포맷으로 변환한다. 본 스크립트에서 추출된 결과는 share/cycle에 플럭스 타입별로 아래와 같이 저장된다.

work_sbcext_foamout_bulk.en00/fluxes.nwpgrid.bulk.3h.${YYYYMMDD}.nc
work_sbcext_marine.en00/fluxes.nwpgrid.wind.1h.${YYYYMMDD}.nc
work_sbcext_marine.en00/fluxes.nwpgrid.mslp.1h.${YYYYMMDD}.nc

필요 변수를 추출한 이후에, NemoScr_SBCInt내의 $NEMO_CFG 환경변수가 nwpgrid으로 주어진 경우, 수치예보모델(대기모델)의 u, v 격자점의 바람을 T 격자점의 바람으로 내삽한다. 내삽과정에는 SCRIP 통해 사전에 만들어진 보조파일을 사용한다. 참고로 내삽은 interp.exe 실행파일을 사용하고 내삽에 필요한 보조파일 들은 ${HOME}/tids/NEMO_SHARE/interpolation_weights/orca025ext/ps41.0에 위치하는데, 내삽과정에서는 WORK 디렉토리로 링크하여 사용한다. 이렇게 생성된 수치예보모델(대기모델)의 T격자점의 모든 자료는 share/cycle/${date}에 아래와 같이 저장된다.

qwen00.daily_sbc.nwpgrid/foam_sbc_inputs_1h.nwpN1280.${YYYYMMDD}.nc
qwen00.daily_sbc.nwpgrid/foam_sbc_inputs_3h.nwpN1280.${YYYYMMDD}.nc

마지막으로, 위의 두 과정이 수행된 이후에 NemoScr_SBCInt 내의 $NEMO_CFG가 orca025, orca025ext으로 설정이 된 경우, 동일한 스크립트(NemoScr_SBCInt)를 이용하여, 수치예보모델 격자점의 모든 플럭스를 해양모델 격자(orca025, orca025ext)로 내삽한다. 내삽은 NemoScr_SBCInt와 동일하게 interp.exe 실행파일과 보조파일 들을 사용해서 수행된다. 단, KMA-NWP의 해수면온도인 reference 자료는 해양모델 구동 시에 사용되지 않기 때문에 고도변환 과정에서만 사용하고, 해양모델 격자로의 내삽은 수행하지 않는다. 최종 결과는 share/cycle에 아래와 같이 저장된다.

qwen00.daily_sbc.orca025/flx_3h_orca025_y${YYYY}m${MM}d${DD}.nc
qwen00.daily_sbc.orca025/flx_bulk10m_3h_orca025_y${YYYY}m${MM}d${DD}.nc
qwen00.daily_sbc.orca025/windspd_T_1h_orca025_y${YYYY}m${MM}d${DD}.nc

qwen00.daily_sbc.orca025ext/flx_3h_orca025ext_y${YYYY}m${MM}d${DD}.nc
qwen00.daily_sbc.orca025ext/flx_bulk10m_3h_orca025ext_y${YYYY}m${MM}d${DD}.nc
qwen00.daily_sbc.orca025ext/windspd_T_1h_orca025ext_y${YYYY}m${MM}d${DD}.nc

표 3.4. 경계자료 생성 Suite, 쉘 스크립트 목록 및 내용

Suite	파일명	내용
ocndg_bflux_foamout_bulk_ext	app/ocn_bflux_ext/bin/NemoScr_SBCExt (if ROSE_APP_OPT_CONF_KEYS = “foamout_bulk”)	KMA-NWP 결과(foamout_bulk)로부터 모델 구동에 필요한 플럭스를 추출하고 NetCDF 포맷으로 변환.
ocndg_bflux_marine_ext	app/ocn_bflux_ext/bin/NemoScr_SBCExt_marine (if ROSE_APP_OPT_CONF_KEYS = “marine”)	KMA-NWP 결과(marine)로부터 모델 구동에 필요한 플럭스를 추출하고 NetCDF 포맷으로 변환.
ocndnp_bflux_int	NemoScr_SBCInt (if NEMO_CFG = nwpgrid)	u, v 풍속의 격자를 대기모델(KMA-NWP)의 T 격자로 내삽하고(interp.exe)
ocndg_bflux_int	NemoScr_SBCInt (if NEMO_CFG = orca025)	플럭스 자료를 해양모델 격자(ORCA025)로 내삽(interp.exe)
ocndg025_bflux_int	NemoScr_SBCInt (if NEMO_CFG = orca025ext)	플럭스 자료를 해양모델 격자(EORCA025)로 내삽(interp.exe)

표 3.5. 계산된 경계자료 처리과정의 최종결과 예 (2021.08.26. 분석일 결과).

```
${HOME}/godaps1/FLUX/DAOU/2021/0826/qwen00.daily_sbc.orca025>
flx_3h_orca025_y2021m08d23.nc
flx_3h_orca025_y2021m08d24.nc
flx_3h_orca025_y2021m08d25.nc
flx_3h_orca025_y2021m08d26.nc -> flx_3h_orca025_y2021m08d25.nc
flx_bulk10m_3h_orca025_y2021m08d23.nc
flx_bulk10m_3h_orca025_y2021m08d24.nc
flx_bulk10m_3h_orca025_y2021m08d25.nc
flx_bulk10m_3h_orca025_y2021m08d26.nc -> flx_bulk10m_3h_orca025_y2021m08d25.nc
windspd_T_1h_orca025_y2021m08d23.nc
windspd_T_1h_orca025_y2021m08d24.nc
windspd_T_1h_orca025_y2021m08d25.nc
windspd_T_1h_orca025_y2021m08d26.nc -> windspd_T_1h_orca025_y2021m08d25.nc
${HOME}/godaps2/FLUX/DAOU/2021/0826/qwen00.daily_sbc.nwpgrid>
foam_sbc_inputs_1h.nwpN1280.20210823.nc
foam_sbc_inputs_1h.nwpN1280.20210824.nc
…
foam_sbc_inputs_1h.nwpN1280.20210830.nc
foam_sbc_inputs_1h.nwpN1280.20210901.nc
foam_sbc_inputs_3h.nwpN1280.20210823.nc
foam_sbc_inputs_3h.nwpN1280.20210824.nc
…
foam_sbc_inputs_3h.nwpN1280.20210830.nc
foam_sbc_inputs_3h.nwpN1280.20210901.nc
${HOME}/godaps2/FLUX/DAOU/2021/0826/qwen00.daily_sbc.orca025ext>
flx_3h_orca025ext_y2021m08d23.nc
flx_3h_orca025ext_y2021m08d24.nc
…
flx_3h_orca025ext_y2021m09d01.nc
flx_3h_orca025ext_y2021m09d02.nc -> flx_3h_orca025ext_y2021m09d01.nc
flx_bulk10m_3h_orca025ext_y2021m08d23.nc
flx_bulk10m_3h_orca025ext_y2021m08d24.nc
…
flx_bulk10m_3h_orca025ext_y2021m09d01.nc
flx_bulk10m_3h_orca025ext_y2021m09d02.nc -> flx_bulk10m_3h_orca025ext_y2021m09d01.nc
windspd_T_1h_orca025ext_y2021m08d23.nc
windspd_T_1h_orca025ext_y2021m08d24.nc
windspd_T_1h_orca025ext_y2021m09d01.nc
windspd_T_1h_orca025ext_y2021m09d02.nc -> windspd_T_1h_orca025ext_y2021m09d01.nc
```

3.2.3 내삽 개요

전술한 대로, 경계자료 처리과정은 크게 두 번의 내삽을 수행하는데, 먼저 대기모델에서 추출한 바람을 u, v 격자점에서 T 격자점으로 내삽하는 과정이 있고, 계속해서 대기모델 격자지점의 변수 값들을 해양모델 격자(orca025, eorca025)로 내삽한다. 이를 위해서 interp.exe 실행파일을 이용하는데, interp.exe를 수행하기 위해서는 namelist 파일(namrmp)과 SCRIP 소프트웨어를 이용하여 사전에 계산된 remappling weight 파일이 필요하다. namelist 파일은 NemoScr_SBCInt 스크립트 내에서 생성되는데, 아래에 대기모델에서 해양모델 격자로 내삽 시, 입력되는 namelist 파일을 예로 나타내었다. $NEMO_CFG가 orca025, orca025ext으로 설정이 되며, 그에 맞는 입출력파일이 설정이된다. 여기에서 src와 dst는 각각 입력파일과 출력파일 정보를 나타내는데, 즉 파일에서 file_src는 입력파일을, file_dst는 출력파일을 나타낸다. godaps1과 비교하여 use_new_sbc_name 옵션이 추가되었고 True로 설정되어 조건문에 설정된 값으로 지정한다. 입력파일은 foam_sbc_inputs_mslp_1h.nwp.nc가 추가되었다. 내삽은 bi-linear 방법을 사용하는데, 몇 가지 옵션을 지정할 수 있다. 그 중에 lfill 옵션은 내삽 전에 육지점 부근의 자료를 바탕으로 하여 육지 점을 반복적으로(iteratively) 채우게 한다. 현재, 반복 회수는 6회로 정해져 있다. 만약, 입력 자료가 이미 missing data로 masking이 되어 있는 상태라면, 외부입력 mask 파일은 필요가 없고, 이 경우 lfillmdi 옵션을 참으로 설정하면 된다. 계속해서, $varnames는 내삽할 변수를 말하고, varfiles_src와 varfiles_dst는 해당변수($varnames)가 file_dst와 dst_파일 중에 몇 번째 파일에 위치하는지 혹은 저장될지를 지정한다. 또한, 벡터의 내삽을 위해서 $varnames의 변수 중, 바람의 순번을 ivlist에 지정한다.

```
&namrmp
    file_src                                                                 =
'foam_sbc_inputs_3h.nwp.nc','foam_sbc_inputs_mslp_1h.nwp.nc','foam_sbc_inputs_wind_
1h.nwp.nc'
    srcgrids = '${NWP_CFG}T','${NWP_CFG}T','${NWP_CFG}T'
    file_dst                                                                 =
'flx_3h_${NEMO_CFG}.nc','windspd_T_1h_${NEMO_CFG}.nc','flx_bulk_3h_${NEMO_CFG}.nc
'
    dstgrids = '${NEMO_CFG}T','${NEMO_CFG}T','${NEMO_CFG}T'

    method    = "bilinea"
    lfill     = .TRUE.
    lfillmdi = .TRUE.
    lmask     = .FALSE.

    varnames = ${varnames%%,}
    varfiles_src = ${varfiles_src%%,}
    varfiles_dst = ${varfiles_dst%%,}

    ivlist = ${ivlist:-0}
    ivwind = ${ivlist:-0}

    niter_fill = 22
    nprt = 2
    grid_dir = "."
    nchunksize_time = ${NCHUNKSIZE_TIME:-0}
/
```

varnames, varfiles_src, varfiles_dst, ivlist, ivwind, nchunksize_time은 use_new_sbc_name(=True) 옵션에 따라 스크립트에서 지정한다.

3.3. 소스코드 및 설치

경계자료 전처리 과정을 수행하기 위한 소스코드는 NEMO_EXECS 디렉토리 내에 보관되어 있다. 전처리 과정에는 대기모델과 해양모델 격자점으로의 경계자료를 내삽하는데 필요한 interp.exe는 ${HOME}/TI/nemovar/share/' + module_mpi_suffix + '/bin(NEMO_EXECS)에 위치한다.

제 4장 해양-해빙 초기장 생산: 품질관리, 해수면온도 보정, 자료동화

이번 장에서는 전처리 과정을 통해 준비된 관측자료와 경계자료를 이용하여, 해양초기장(분석장)을 생산하는 운영체계 전반을 소개하고자 한다. 해양초기장을 생산하기 위해서는, 관측자료의 품질관리, 해수면 온도 보정, 모델링-자료동화 과정이 필요하고, 전지구 해양자료동화시스템에서 이러한 과정들은 순차적으로 suite이 실행되기 때문에 본 장에서 해당 과정들을 함께 다루고자 한다. 4.1절에서는 해양초기장을 생산하는 디렉토리 구조, 쉘 스크립트 등 운영체계 전반에 관해서 서술하고, 4.2절에서는 품질관리, 4.3절에서는 위성관측 해수면 온도 보정, 4.4절에서는 해양모델링-자료동화, 4.5절와 4.6절에서는 각각 전체 과정에 대한 입출력 파일과 과정을 수행하는데 있어 필요한 유틸리티를 설명하는 순서로 진행하고자 한다.

4.1. 개요

관측자료와 경계자료가 준비되면(2, 3장), 관측자료를 품질관리하고, 위성관측 해수면 온도자료의 보정을 거쳐서 해양-해빙 모델링과 자료동화를 수행한다. 현 시스템에서는 위의 과정들이 순차적 suite으로 진행되기 때문에 이번 장에서 언급한 과정들을 함께 다루고자 한다.

관측자료와 경계자료가 준비된 이후에, 분석장을 생산하기 위해서는 다음과 같은 과정을 거친다. 1) 먼저, 전처리된 관측자료의 품질관리 과정을 수행하고, 2) 현장관측 해수면 온도자료를 이용하여 위성관측 해수면 온도자료의 보정을 수행한다. 3) 이후, 해양-해빙 모델이 24시간 구동되는데 여기에서는 관측자료의 시간과 공간 위치에서의 모델 배경장을 계산하게 된다. 이 과정을 observation operator (관측 연산자) 라고 부른다. 4) 이 후, 3차원 변분동화 기반의 NEMOVAR 자료동화를 이용하여 격자별 증분값을 계산하는 NEMOVAR (자료동화) 과정을 수행하고, 5) 해양-해빙 모델을 24시간 재 구동하면서, 각 격자의 증분값을 Incremental Analysis Update (IAU) 과정을 통해 배경장에 반영하게 된다. 이 과정에서 분석장을 계산하고, 이후 예측을 orca025에선 1일, eorca025에선 7일을 추가로 수행한다. IAU 과정 후에는 rebuilding 과정을 통해, 병렬 계산된 각 도메인(현재 orca025=192개, eorca025=594개)을 병합한다.

위에서 해양초기장 생성 디렉토리 구조 및 내용은 표 4.1과 같다. 모델/ 자료동화 등을 수행하는 스크립트는 app, bin디렉토리내에서 관리가 되며, 실행파일은 $NEMO_EXECS 아래에 둔다. 시스템 구동에 필요한 보조파일(ancillary)은 ${HOME}/tids/NEMO_SHARE/ 아래에 위치하고, FLUX와 OOBS에서 준비된 관측 및 해수면 경계자료는 링크하여 사용한

다. log 디렉토리에서는 시스템 수행에 따른 로그파일이 저장되고, share/cycle에서는 최종 결과물인 해양-해빙 초기장(분석장)과 모델링과 자료동화 과정에서 생성되는 다양한 결과들이 저장된다. $EXEC_DIR, $NEMOVAR_EXEC_DIR, $OBTOOLS_EXEC_DIR, $UTILS_DIR, $MATCHUP_DIR에는 유틸리티의 소스코드와 실행파일을 보관한다. 여기에는, 품질관리(NEMOQC)와 위성관측 해수면 온도의 bias 보정이 포함된다. 아울러, 병렬과정으로 계산된 각각의 결과를 합치는 rebuilding과 관측자료를 병합(combine)하는 fbcomb.exe, 그리고 날짜지정 관련 유틸리티 들이 여기에서 관리된다.

1) 품질관리(NEMOQC)를 위해 OCND_OBS_PROCESS의 ocndg_ops_process_*가 수행이 되고 QC결과를 다음과정을 위해 전처리하는 단계인 ocndg_obs_prepro가 수행된다. 계속해서, 2) 위성관측 해수면 온도 바이어스 보정, 3) 관측연산자(observation operator), 4) 자료동화(NEMOVAR), 5) 분석증분과정(IAU)을 순차적으로 작업 수행을 위해 표 4.2, 4.3의 품질관리, 자료동화 suite이 수행된다. 수행되는 suite 과정에서 주요 환경변수는 표 4.4에서 확인할 수 있으며, suite마다 사용되는 환경변수는 다르고 각 suite의 job(${HOME}/cylc-run/${CYLC_SUITE_NAME}/log/job/${DATE}/${SUITE_NAME}/NN/)에서 확인 가능하다.

표 4.1. 해양 초기장 생성(품질관리, 모델, 자료동화 과정) 디렉토리 구조(share/cycle)

	qwen00.orca025.obs	품질관리 결과
	qwen00.orca025.obs_Procd	품질관리 결과 파일명 변경, profile 자료 nco 수행 결과
DAYM1,2_G025	observations	품질관리 결과
	pcbias	전 cycle의 pcbias
	obsbias	전 cycle의 obsbias
	obsbias_matchups	obsbias의 현장관측과 위성관측 값 차이
	obsbias_innovations	matup에 대한 피드백 파일 복사 결과 (ocndg025_sstbias_obsoper_* output)
	innovations	관측과 배경값의 차이
	background	전 cycle의 restart 데이터(모델 배경값)
	increments	증분
	assim_background	동화된 경계자료
	interpolated_errorcovs	배경장 및 관측 에러 파일 내삽 결과
	ocean_increments	해양 자료 증분
	ice_increments	해빙 자료 증분
	updated_obsbias	증분값을 이용하여 구한 새로운 obsbias 결과
	analysis	IAU 결과 (restart, 모델배경값)
	updated_pcbias	증분값을 이용하여 구한 새로운 pcbias 결과
	fdbk_iau	IAU 피드백 파일, innovations
	results	해양-해빙 초기장(분석장)
FORECAST_G025	forecast	restart 데이터
	forecast_results	예측장 nemoqc 과정에서 배경장으로 활용

표 4.2. **품질관리** Suite, 쉘 스크립트 목록 및 내용

Suite	파일명	내용
ocndg_ops1,2_process_*	NemoQcProg_ExtractAndProcess (app/ocn_ops_process_*/opt에서 관측자료에 맞는 optional key 적용)	DAYM1,2 기간 NEMOQC 수행 (*: metop, avhrr, amsr2, viirsg, slstr, surface, profile, seaince, altimeter)
ocndg_obs_prepro	NemoScr_ObsPreProc	QC결과를 전처리(?), 파일명 변경 (profile obs file은 surface_obs_removal.nco, filter_mammal_salinity.nco 수행)
ocndg025_obscopy	app/ocndg025_obscopy/bin/ ocndg025_obscopy.sh	ocndg_obs_prepro의 output을 DAYM1,2/observations/으로 복사, 파일명 변경
ocndg025_check_observation	app/observations/bin/ check_observaions.sh	선택한 유형의 관측자료를 확인
ocndg025_matchup_*	app/matchup/ bin/run_matchups.sh	현장관측자료와 위성관측자료를 특정한 시간과 공간 기준을 가지고 짝을 맞추는 matchup과정 진행
ocndg025_sst_matchup_mark	app/py_qc_matchup/ py_qc_matchup.py	Marked observations이 있을 때 수행, QC값을 기존 관측 파일에 update
ocndg025_sstbias_obsoper_*	app/py_obsoper/ bin/py_obsoper.py	matchup에 대한 피드백파일을 복사, obsoper code 실행
ocndg025_sstbias, ocndg025_slabias_obs_correct	app/py_obsbias_correct/ bin/py_obsbias_correct.py	피드백파일의 바이어스 보정을 위한 바이어스 필드 수정
ocndg025_sstbias, ocndg025_slabias_*	app/py_filed_inc_update/ py_inc_update.py	기존 바이어스 필드와 비교하여 증분 값(increments)와 기후값(climatology)를 이용하여 새로운 바이어스를 구함 (기후값은 선택)
ocndg025_obsbias_finish	ln -sf $UPDATED_OBSBIAS_DIR/* $NEXT_OBSBIAS_DIR , ln -sf $UPDATED_OBSBIAS_DIR/* $NEXT_CYC_OBSBIAS_DIR	최종 update된 obsbias를 다음날 obsbias로 사용할수 있게 link

표 4.3. 자료동화 Suite, 쉘 스크립트 목록 및 내용

Suite	파일명	내용
ocndg025_nemovar_prepare	app/nemovar_interp_errorcovs/bin/interp_errorcovs.sh	NEMOVAR 실행에 필요한 배경장 및 관측 에러 파일을 일시적으로 내삽하는 과정
ocndg025_background_processing_DM	app/background_processing/bin/Scr_BkgProcessing	assim_background file을 rebuild
ocndg025_nemo_cice_obsoper_DM	app/nemo_cice/bin/run_nemo_cice.sh	관측연산자 과정 (observation operator) : 관측자료의 시간과 공간 위치에서의 모델 배경장을 계산, 관측과 배경값의 차이 (innovation) 생산
ocndg025_nemovar_ocean. ice_DM	app/nemovar/bin/run_nemovar.sh	NEMOVAR 수행
ocndg025_rebuild_ocean_increments_DM ocndg025_rebuild_ice_increments_DM	app/rebuild/bin/rebuild.sh	NEMOVAR 수행 후 나온 증분값(increments) rebuilding
ocndg025_nemovar_finish_DM	app/nemovar_combine_incs/bin/combine_incs.sh	각 NEMOVAR output 파일의 increments를 결합
ocndg025_nemo_cice_iau_DM	app/nemo_cice/bin/run_nemo_cice.sh	분석 증분 갱신, IAU과정
ocndg025_rebuild_pcbias	app/rebuild/bin/rebuild.sh	update된 pcbias 파일을 rebuilding
ocndg025_nemo_cice_forecast	app/nemo_cice/bin/run_nemo_cice.sh	예측장 (forecast_length = 7) 생산 과정

표 4.4. 해양자료동화시스템의 스크립트 주요 환경변수 설정 예

$UMDIR	${HOME}/TI/UM #UM 경로
$FLUX_DIR	$ROSE_DATAC/qwen00.daily_sbc.orca025ext #경계자료 위치 지정(eorca025인 경우)
$OBSERVATIONS_DIR	$ROSE_DATAC/DAYM2_G025/observations #관측자료 위치 지정(daym2인 경우)
$BACKGROUND_DIR	$ROSE_DATAC/DAYM2_G025/background #배경장 위치 지정(daym2인 경우)
$UPDATED_PCBIAS_DIR	$ROSE_DATAC/DAYM2_G025/updated_pcbias #update된 pcbias 위치 지정(daym2인 경우)
$OCEAN_INCREMENTS_DIR	$ROSE_DATAC/DAYM2_G025/ocean_increments #ocean model 증분 값 위치 지정
$NEMOVAR_ANCILLARY_DIR	$ROSE_DATA/etc/ancillary_nemovar #nemovar ancillary 위치 지정
$NEMO_GRIDS	${HOME}/tids/NEMO_SHARE/interpolation_weights/orca025ext/ps41.0 #내삽 보조파일
$IN_RUN_LENGTH	P1D , P7D(forecast인 경우 FORECAST_LENGTH) # 수행 기간 지정
$NEMO_CFG	orca025ext # 해양 모델 격자 지정 (orca025, orca025ext)
$EXEC_DIR	$ROSE_SUITE_DIR/share/fcm_make_ocean/build-ocean/bin # ocean model 실행파일
$NEMOVAR_EXEC_DIR	$ROSE_SUITE_DIR/share/fcm_make_nemovar/build-nemovar/bin # nemovar 실행파일
$OBSTOOLS_EXEC_DIR	$ROSE_SUITE_DIR/share/fcm_make_obstools/build-tools/bin # 관측자료 rebuild 실행파일
$UTILS_DIR	${HOME}/TI/nemovar/share/ompi/bin # 내삽, rebuild 등 실행파일
$MATCHUP_DIR	$ROSE_SUITE_DIR/share/fcm_make_matchup/build-matchup/ # matchup 실행파일

4.2 품질관리

4.2.1 개요

해양모델링-자료동화에 앞서서 관측자료의 품질관리를 수행하고 출력 데이터의 포맷을 해양모델링, 자료동화 과정에서 읽어 들일 수 있는 형태로 전환하는 역할을 한다. NEMOQC는 관측 종 별로 차례대로 품질관리를 수행한다. 전지구 해양자료동화시스템에서는 관측자료의 품질관리를 위해서 'NEMOQC'라는 프로그램을 사용하고 있다. NEMOQC는 해양 관측자료의 품질관리 시스템으로 유럽연합의 ENACT와 ENSEMBLES 프로젝트를 통

해 개발되었다. NEMOQC에 관한 보다 상세한 내용은 Ingleby and Huddleston (2007)을 참조하기 바라며, 여기에서는 핵심적인 부분에 관해서 서술하고자 한다.

NEMOQC에서 수행하는 핵심과정은 배경장(background) 체크이다. 배경장 체크를 위해서, 전지구 해양자료동화시스템은 초기장을 생성하는 것 이외에 예측장을 생성한다. 예측결과는 다음 날, 초기장을 생산하기 위한 품질관리 과정의 배경장으로 활용되게 된다. 배경장 체크 이외의 대표적인 품질관리 방법에 관해서 아래에 정리하였다.

관측자료 전처리 과정(2장)에서 포맷 변환된 해양 관측자료는 품질관리시스템인 NEMOQC에 입력되어 프로파일과 해수면 고도, 해수면온도, 위성 SST, 그리고 해빙 농도와 같은 5가지의 타입 별로 구분되어 품질 관리를 거치게 된다. 아래에서 관측 타입별로 수행하는 품질관리 과정에 관해 간략히 서술하였다.

4.2.1.1 수온 및 염분 프로파일(Temperature and Salinity profile)

아래는 프로파일 현장관측 자료의 품질관리 과정을 나타낸다. 본 시스템에서는 5호기에 이식한 NEMOQC에서는 전 처리 시스템을 통해 수집된 1시간 간격의 계류부이 자료들을 NEMOVAR에 적용하기 위해 품질관리 과정 중 프로파일 현장 관측 자료들에 대한 superobbing을 제외한 품질 관리를 수행한다. 또한, 위도、경도、연직、시간 차원들을 포함하는 4차원 thinning 과정 중 기준이 되는 위、경도와 시간 간격인 dlon과 dlat, dtime 변수를 각각 NEMOQC의 namelist에 0.01°(약 10 km)와 1시간으로 입력한 뒤 탐색된 Surplus들을 제외하는 방식으로 설계하였다. 왜냐하면, 염분 및 온도 프로파일 자료는 GTS Bufr와 GTS Message를 바탕으로 수집되어 변환된 자료이기 때문에 동일한 날짜의 파일에 중복된 지점의 자료들이 존재할 수 있다. 중복된 자료들을 거르기 위해 기존의 0.25° 위、경도 간격과 24시간의 시간 기준을 적용했을 경우 유사한 지점의 자료들이 중복된 자료로써 탐색되어 제거될 수 있으므로, thinning 검사 수행 시 중복된 자료들을 거르는 기준을 엄격하게 적용하여 위와 같은 문제를 해결하였다.

① 위치와 시간에 대한 중복성 체크 ② 관측데이터의 입력, 경우에 따라 연직 thinning (150개 레벨 제한) ③ XBT의 낙하 속도 교정 ④ 트랙 체크 ⑤ 상수값, 스파이크와 스탭 체크 ⑥ 계류 부이의 superobbing (면적 대푯값 혹은 면적 평균) ⑦ 온도를 온위로 변환 ⑧ 염분을 포함한 프로파일의 안정성 체크 ⑨ 배경장 체크(베이지안 체크) ⑩ buddy 체크 ⑪ 마지막으로 muti-level 체크 ⑫ Listing 및 통계처리 ⑬ 결과파일 기록

프로파일 관측자료에서 사용되는 대표적인 품질관리 방법에 관해서 아래에서 간단히 정리하였다.

가. Constant value, spike and step checks - 수온의 90% 이상이 같은 값을 갖는다면 불량 값이 된다. - 염분은 적어도 50m마다 연직으로 70%의 값이 동일한지를 확인한다. 나. Track checks - 각각의 선박/부이 식별자에 대해 기록들을 시간에 따라 분류한 후 두 기록을 비교한다. 다. Superobbing - 매일 각 레벨에 대해 간단한 평균값을 계산한다. - 각 레벨 값들의 표준 편차가 과도하다면 그 평균값은 제외된다. - 염분의 경우 0.5의 한계 값이 사용되고, 온도의 경우 0-40/41-200/201-250/251-500/501~ m의 레벨별로 0.7/2.5/2.0/0.8/0.4 ℃ 가 각각 한계 값으로 사용된다. 라. Stability check - 온도와 염분을 가진 기록들은 밀도 역전에 대해 체크된다. - McDougall 상태 방정식은 온위와 염분 그리고 압력의 식으로써 밀도를 계산하는데 사용된다. - 레벨 k-1과 k를 비교할 때 k레벨에서 밀도를 비교한다. 마. Duplicate check / thinning - 사본(Duplicate) 체크는 가장 높은 선호도 인자를 보유하고 있는(만약 같은 선호도 인자를 가진다면 무작위로 선택됨.) 기록인 0.01° 위도/경도와 1 시간 안의 기록들의 한 쌍들을 찾는 것이다. 바. Prior rejects - 검증된 XBT 프로파일의 약 절반이 1000m 아래에서 품질에 문제가 있기 때문에, 1000m

아래의 XBT 온도는 무시된다.
- 1000m 레벨 위에서는 XBT와 CTD의 온도가 상당히 유사하다.

사. Background and buddy check
- 전 오차(Gross Error)는 몇 몇의 관측들은 기기결함과 같은 원인으로 인해 발생하는 전달 오차들로부터 밀도 κ와 함께 낮은 확률 분포를 가질 것으로 추정되는 오차다.
- 전 오차가 없는 관측들도 오차를 가지는데 그 오차는 일반적으로 표준편차 σ_o와 평균 0로 분산된 것으로 추정된다.
- PGE(a priori Probability of Gross Error)는 각각의 관측 값이 가지는 기후학적이거나 전 오차의 연역적인 확률이다.
- 배경과 버디 체크는 각각의 값들에 대한 PGE를 갱신하고, 최종적으로 PGE가 0.5보다 크거나 같으면 그 값들은 무시된다. κ는 온도에 대해 0.1, 염분에 대해서는 0.25로 정한다. 초기의 PGE는 심해 자기온도계의 온도에 대해서 0.05로 정하는 것을 제외하곤 0.01(1%)로 정한다.
- spike/step 체크 혹은 안정성 체크에 의해 의심이 가는 값들은 PGE=0.5+0.5*PGEclim만큼 증가된 초기의 PGEs를 가진다.
- 배경값들은 각 관측의 위도/경도에 수평적으로 내삽 되며, 그렇지 않으면 유효 격자 지점에 값들이 사용된다.
- 만약 주위의 격자 지점들이 누락되어 있다면, 그 배경값은 결측으로 정해지고 관측된 값은 배경 체크에 실패할 것이다.

이때, profile의 경우는 추가적으로 첫 레벨에 대해 depth가 0인 부분을 제거하는 surface_obs_removal.nco, 해양 포유류 염분을 제거하는 filter_mammal_salinity.nco를 수행한다.

4.2.1.2 해수면 고도 아노말리(Sea Level Anomaly; SLA)

아래는 해수면 고도 아노말리 자료의 품질관리 과정이다.

① mean field 더하기
② 배경장 검사(Background check)
③ Listing 및 통계처리
④ 결과파일 기록

해수면 고도 아노말리 자료의 품질 관리는 앞서 소개한 10개 이상의 과정을 가지는 프로파일 자료에 대한 품질관리의 과정과 달리 4가지의 순서로 진행된다. 자료의 good or bad를 결정하는 품질 검사는 유일하게 존재하는 배경장 검사를 통해 결정된다. 본 시스템에서는 수집된 해수면 고도 아노말리에 더하는 mean field을 읽고 값에 적용하는 부분을 개선하였으며, 사용된 mean field는 영국기상청에서 제공받은 mean dynamic topography(MDT) 값이다.

4.2.1.3 현장관측 해수면온도(In-situ Sea Surface Temperature; In-situ SST)

아래는 해수면 온도 자료의 품질관리 과정이다.

① 관측데이터의 입력 후 thinning (*기상과학원에서 추가)
② 배경장 검사(Background check)
③ Listing 및 통계처리
④ 결과파일 기록

영국기상청의 NEMOQC source code의 Surface SST 자료에 대한 품질관리는 배경장 검사가 유일하다. 본 과업에서는 Surface SST 자료의 추가 확충을 위해 GTS Bufr외에 선박과 계류부이와 같은 자료들을 포함하는 GTS 전문들을 추가로 수집하였다. 이로 인해 동일한 날짜와 동일한 지점에 중복된 자료들이 존재하게 되므로, Surface SST의 배경장 검사를 수행하기 이전에 위도、경도、연직、시간 차원들을 포함하는 4차원 thinning 과정을 추가하였다. 기준이 되는 위、경도와 시간 간격인 dlon과 dlat, dtime 변수는 각각 프로파일에 대한 품질관리와 마찬가지로 NEMOQC의 namelist에 0.01˚(약 10 km)와 1시간으로 입력한 뒤 탐색된 Surplus들을 제외하는 방식으로 설계하였다.

4.2.1.4 위성관측 해수면온도(Satellite Sea Surface Temperature; Satellite SST)

아래는 위성관측 해수면 온도 자료의 품질관리 과정이다. 위성관측 SST 자료도 마찬가지로 앞선 관측종의 품질관리와 마찬가지로 우선 배경장 검사를 수행하고, 낮 시간 중 약한 바람 위치의 수온값 제거(low-wind removing process), 그리고 superobbing 과정을 수행하게 된다.

① 배경장 검사(Background check)
② Solar Zenith
③ low-wind removing for day-time data
④ Superobbing
⑤ Listing 및 통계처리
⑥ 결과파일 기록

해수면 온도는 태양 복사가 존재하는 시간과 표층 바람의 세기에 따라 해수면 온도의 연직 프로파일이 변화하게 된다. 통상적으로 일변화 및 표층 대기상태를 배제하기 위해

Foundation Sea Surface Temperature 개념을 사용하게 되는데, 이는 현장 관측 장비로만 측정이 가능하다. 따라서 품질관리과정에서 이러한 문제를 해결하기 위해 낮 시간에 관측된 자료 중에서 풍속이 약한 관측점을 제거하도록 한다. 먼저, 각 관측점의 위, 경도와 관측된 시간 정보를 바탕으로 태양 천정각(solar zenith angle)을 계산한다. 태양 천정각이 90도 이하에 해당하는 낮 시간에 대해서 풍속이 6 m/sec 이하의 관측점은 제거한다. 풍속자료를 포함하고 있는 AVHRR METOP-B 자료는 위성 관측 값을 사용하도록 설정하였다.

Superobbing 기법은 중복 관측 자료뿐만 아니라 자료의 밀도를 감소시키기 위해 Purser et al.(2000)에 의해 개발되었다. 특정한 영역이나 일정한 간격의 관측 자료만을 추출해서 사용하는 thinning 기법과는 다르게 superobbing 기법에서는 일정 반경 안의 영역을 통합하고 그 영역 내의 관측점들을 정렬하여 특정 값을 사용하거나 평균을 계산하여 해상도를 조정한다. NEMOQC에는 세 가지 superobbing 방법을 내장하고 있는데, 기본 값으로 설정되어 있는 방법은 영역 내의 관측점들을 값의 크기대로 정렬하여 중앙값(median value)을 사용하고 그 외의 관측점들은 제거하는 방법으로 현재 본 시스템에서도 이를 적용하고 있다. 두 번째는 첫 번째 값을 사용하는 방법, 마지막 방법은 영역 내의 관측점들의 평균값을 이용하는 방법이다. 현재 시스템에서는 관측 시간 24시간, 반경은 13 km(근거자료-논문 등-제시)로 설정되어 있다.

4.2.1.5 해빙 농도(Sea-Ice concentration)

아래는 해빙 농도 자료의 품질관리 과정이다. 해빙 농도 자료의 품질관리는 베이지안 이론 기반의 배경장 검사에 의해 자료들의 good or bad를 결정하게 된다.

① 배경장 검사(Background check) ② Listing 및 통계처리 ③ 결과파일 기록

4.2.2 품질관리 과정: 쉘 스크립트

표 4.2에서 언급하였듯이, 품질관리(NEMOQC)를 수행하는 suite은 ocndg_ops1,2_process*으로, 여기에서는 각 관측종에 맞는 ROSE_TASK_APP이 설정되어 해당 app에 있는 opt의 optional key가 적용된다. optional key와 해당 suite의 work 디렉토리에 있는 namelist이 적용되고 실행파일 NemoQcProg_ExtractAndProcess이 실행되면서 NEMOQC가 진행된다. namelist는 2가지로, 품질관리 기능들에 대한 스위치를

포함하고 있는 general_control.nl과 입력 경로와 관측종의 종류 등 Meta 정보들을 입력하는 NemoQcInput.nl이다. 수행과정에서 필요한 Background File은 share/cycle/${date}/nemoqc_inputs/ocean.bg.daym1,2.nc를 사용한다. NEMOQC결과(qwen00.orca025.obs)를 ocndg_obs_prepro suite의 실행파일 NemoScr_ObsPreProc을 실행시켜 다음 과정을 위한 전처리를 하게 되고 생성된 관측자료(qwen00.orca025.obs_Procd)를 자료동화에 사용하게 된다.

general_control.nl에서는 디폴트로 아래와 같은 논리변수 및 값을 지정하고 있다. app/ocn_ops_process_*/rose-app.conf에서 namelist를 관측타입에 맞는 설정으로 생성해준다. 다만, 관측타입에 따라서 논리 값의 변화가 있는데, 예를 들어 현재 시스템에서는 위성관측 해수면 온도에 대해서만 superobbing을 수행하고 있기 때문에, 해당 자료에 대해서만, PerformSuperobbing 값을 TRUE로 지정한다. 아울러, 해빙농도 자료의 경우, 배경장 체크 과정을 생략하기 때문에 해당자료에서는 PerformBackgroundCheck 변수를 FALSE로 둔다.

```
[file:general_control.nl]
source=namelist:GeneralControlNL

[namelist:GeneralControlNL]
PerformDuplicateCheck=.TRUE.
PerformTrackCheck=.TRUE.
PerformSuperobbing=.TRUE.
PerformBackgroundCheck=.FALSE.
PerformBuddyCheck=.TRUE.
PerformCrossCheck=.TRUE.
PerformEN3Check=.FALSE.
PerformMinLevelsCheck=.TRUE.
ENACT=.FALSE.
PerformStabilityCheck=.TRUE.
TimeInterpToHouseKeeping=.TRUE.
PerformSondeConsist=.TRUE.
PerformMultiLevelCheck=.TRUE.
CheckBackgroundTimes=.TRUE.
```

Input.nl에서는 관측타입에 따른 입력파일(ObsFiles_*.txt 내에 기록)과 출력파일($OutputFile) 명을 지정한다. 또한, 배경장 체크를 위한 배경장 파일(i.e., 전날 계산한 예측결과)과 Argo greylist, Coordinate, Bathymetry, xypos, MDT (mean dynamic topography) 파일의 위치를 지정한다. 아울러, 위성관측 해수면 온도자료는 낮 시간 동안 해상풍이 약한 경우 제거하는 과정이 포함되어 있기 때문에 해상풍 자료도 함께 지정한다.

```
[file:NemoQcInput.nl]
source=namelist:InputNL

[namelist:InputNL]
ObsSatSST=.FALSE.
NFiles=1
ObsListFile="ObsFiles.txt"
StrDateMin="175209140000"
StrDateMax="999912310000"
BackgroundFile=""
BGFromFeedbackFile=.FALSE.
BackgroundErrorFile=""
StationListDir=""
ArgoGreyListFile=""
GeneralControlNLFile="general_control.nl"
!OutputFile="${INOBSFILE}.fbobs.${DATE}.nc"
OutputFile=""
WriteSurplus=.TRUE.
OutputInFeedbackFileFormat=.TRUE.
OutputInOldFeedbackFileFormat=.FALSE.
WriteInSituTempToFeedbackFile=.FALSE.
OutputObsPruningFlag=.FALSE.
ThinningDTime=0.001
ThinningDLon=0.001
ThinningDLat=0.001
WindspeedFile =""
CoordinateFile=""
BathymetryFile=""
xyposFile=""
MDTFile=""
Verbose=.FALSE.
```

namelist들이 생성되고 NemoQcProg_ExtractAndProcess과정이 진행되며 필요에 따라 namelist가 update 된다.

4.2.3 품질관리 프로그램 설치

GODAPS2 처음 수행 시 필요한 프로그램을 설치하는 fcm make하게되는데 NEMOQC 관련 소스코드는 ${ROSE_SUITE_DIR}/share/fcm_make_nemoqc 아래의 extract 디렉토리에 위치하고 있다. 설치를 위해서는, 아래와 같이 fcm/2019.09.0 모듈을 로드한 후, fcm-make.cfg파일을 fcm 명령어를 이용하여 컴파일하면 되고, 정상적으로 컴파일이 수행되면 build-nemoqc/bin 디렉토리에 실행파일인 NemoQcProg_ExtractAndProcess.exe 가 생성된다.

```
> module load fcm/2019.09.0
> fcm make —jobs=4 -f fcm-make.cfg
```

4.3 위성관측 해수면 온도자료 바이어스 보정

4.3.1 개요

위성 관측 해수면 온도 자료는 현장관측 자료와 비교하여 에어로졸이나 수증기와 같은 불균질한 대기 상태로 인한 편차가 존재한다. 따라서 위성관측 해수면 온도 자료를 동화하기 위해서는 동화 이전에 바이어스를 제거하는 과정이 필요하다.

전지구 해양자료동화시스템에서는 현장관측 자료를 unbiased 자료로 보고, 위성 관측 자료를 적절하게 보정하는 SatSST bias correction 과정이 포함되어 있다.

SatSST bias correction 과정은 크게 네 단계로 진행된다(그림 4.1). 첫 번째 과정은 표본이 되는 현장관측 자료(unbiased)와 편향된(biased) 자료인 위성 관측 자료를 특정한 시간과 공간 기준을 가지고 짝을 맞추는(matchup) 과정이다. 현재 시스템에서는 24시간 이내의 두 관측 자료의 거리가 25 km이하라면 같은 장소에 있는(co-located) 데이터로 간주한다. 하나 이상의 현장 관측 자료가 위성 관측 자료와 시공간적으로 일치하면(match) 자료들을 평균하여 사용한다.

두 번째로 위성 관측 자료와 현장 관측 자료와의 짝이 맞춰졌다면 두 자료 값의 차이(matchup difference)를 구한다. 이 차이를 기존의 바이어스 필드 배경장(background field of bias)에 동화하는데, 바이어스 필드는 해수면에 국한된 변수이기 때문에 2-D NEMOVAR를 이용한다(4.2.1 설치 부분 참조).

세 번째 과정에서는 동화한 결과를 바탕으로 기존 바이어스 필드와 비교하여 증분값(increments)과 기후 값(climatology)을 이용하여 새로운 바이어스 필드를 구한다.

마지막으로 식 (2)와 같이 위성 관측 해수면 온도 자료에서 새로운 바이어스 값을 빼고 편차를 조정한다. 여기서 y_n은 편차를 제거한 최종 위성 관측 해수면 온도자료, $\overline{y_n}$은 치우친

위성 관측 해수면 온도 자료, b는 위성 관측 해수면 온도 자료 위치에서의 바이어스 필드 값이다.

$$y_n = \overline{y_n} - b$$

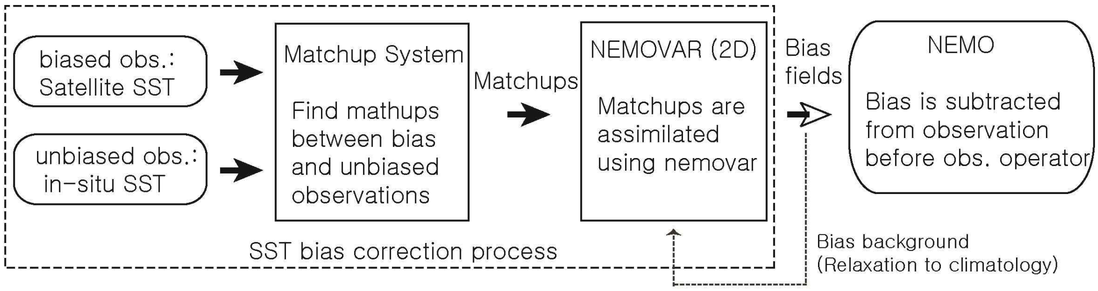

그림 4.1 위성관측 해수면 온도 바이어스 보정(SST bias correction) 알고리즘 개요

4.3.2 설치

4.3.1절의 개요에서 언급하였듯이, 위성관측 해수면 온도 자료의 바이어스 보정을 위해서는 matchups(현장관측과 위성관측 값의 차이)를 찾고, matchups를 바이어스 필드(전일 계산된 값)에 자료동화하기 위한 두개의 실행파일이 필요하다. 우선, matchups 실행파일을 생성하기 위한 소스코드는 ${ROSE_SUITE_DIR}/share/fcm_make_matchup/extract에서 관리되고 있다. 설치는 fcm-make.cfg 파일을 fcm 명령을 사용하여 컴파일을 수행하면 되고, 정상적으로 수행이 완료되면 ${ROSE_SUITE_DIR}/share/fcm_make_matchup/build-matchup/bin 내에 matchup.exe 실행파일을 생성한다.

```
> module load fcm/2019.09.0
> fcm make —jobs=4 -f fcm-make.cfg
```

matchups의 자료동화를 위한 실행파일은 nemovar(자료동화) 실행파일(nemovar_inner_orca025ext.exe)을 사용한다. 실행파일의 설치에 대한 설명은 4.4절을 참조하기 바란다.

4.3.3 실행

해수면 온도 바이어스 보정 과정은 해양 모델 격자(orca025, eorca025)에 따라 다르게 수행된다. 먼저 orca025인 경우, 표 4.2에서 설명한 대로 bin/NemoScr_SSTBias 스크립트를 실행하면서 진행된다. 해당 스크립트에서는 4.3.1 개요에서 설명한 과정을 수행한다. 현 시스템에서는 3가지 위성관측 자료를 자료동화 하고 있는데, 바이어스 보정은 개별 위성자료에 대해서 별도로 수행된다. 즉, ocndg_obs_sstbias_* (표 4.2)에서 각각의 위성관측 자료에 대해서 NemoScr_SSTBias를 수행한다.

먼저, matchup 과정을 수행하기 위해서는 아래와 같은 namelist (nam_matchup)가 필요하다. 여기에서, reference_file*은 위성관측자료를 보정하기 위한 reference 자료를 의미한다. 현 시스템에서는 reference 자료로 fdbk 포맷의 현장관측 해수면 온도 자료(i.e., sst_01.nc)를 이용한다. uncalibrated_file은 fdbk 포맷의 위성관측 해수면 온도자료로 보정할 대상을 나타낸다.

```
cat >> nam_matchup << EOC
&nam_matchup
  reference_file_list=${ref_files}
  reference_types=${ref_types}
  uncalibrated_file_list="${ucal_file}"
  uncalibrated_types=${BIAS_TYPE}
  input_type=${fdbk_type}
  grid_res=${grid_res}
  match_radius=${match_radius}
  match_time=${match_time}
  bias_file=""
  bias_field=""
  output_file="${match_file}"
  ln_bias=.FALSE.
  start_time=${start_time}
  end_time=${end_time}
/
EOC
```

위의 namelist 파일을 생성하고, matchup.exe 파일을 실행하고 정상적으로 완료가 되면, matchups.nc 파일이 생성된다. 계속해서 matchups.nc 내의 matchups를 바이어스 필드에 자료동화하게 되는데, 먼저, 자료동화 과정에 필요한 입력자료를 work 디렉토리에서 링크로 사용하고 bias field (sstbias_${BIAS_TYPE}.nc)를 work 디렉토리로 복사한다. 만약, bias field 파일이 존재하지 않는다면, ${HOME}/_data/critical/Nemo_inputs/vn3.1.0/

내에 있는 climatology 파일을 대신 복사하여 사용 한다(qren.orca025.sstbias_clim_${BIAS_TYPE}.nc).

참고로, 위성 관측자료를 추가할 때, climatology bias field 파일도 입력자료(ancillary)로 추가되어야 한다. 기존의 climatology 파일과 동일한 변수이고, 모든 값이 '0'이기 때문에 단순하게 ${BIAS_TYPE}만 변경하여 복사 사용이 가능하다. 단, 파일 내 global attribute의 'SST_source' 값에 추가할 ${BIAS_TYPE}을 지정하여야 한다.

```
ln    -sf    ${BIAS_DATA}/background_normalization_surft_${bias_lscale}deg_${BIAS_CFG}.nc
background.normalization.nc
ln -sf ${BIAS_DATA}/dist_coast_uvtf.nc            dist_coast_uvtf.nc
ln -sf ${BIAS_DATA}/xypos_global/xypos*.nc        .
ln -sf ${BIAS_DATA}/sstbias_bgerr.nc              surf_terr_bkg.nc
cp ${BIAS_DATA}/sstbias_bgerr.nc                  surft_err_obs_sd.nc
```

해양 격자가 eorca025인 경우, 표 4.2를 보면 suite이 좀 더 세분화 되어있다. ocndg025_obscopy에서 품질관리된 관측자료를 복사를 하고 ocndg025_check_observations_DM으로 관측자료의 유형별로 데이터를 확인하게 된다. 그리고 matchup과정을 ocndg025_matchup_* suite을 통해 수행하고, sst자료는 추가적으로 ocndg025_sst_matchup_mark_DM과정으로 QC값을 기존 관측파일에 업데이트한다. 위성 SST자료는 matchup에 대한 피드백 파일을 복사, obsoper code를 실행하는 ocndg025_sstbias_obsoper_* 과정을 이후에 수행하게 된다. 이렇게 생성된 바이어스 파일은 관측연산자 과정(ocndg025_nemo_cice_obsoper_DM)의 input으로 들어가게 된다.
관측연산자 과정에서 생성된 innovations 피드백 파일의 바이어스 보정을 위한 ocndg025_sstbias_obs_correct_DM, ocndg025_slabias_obs_correct_DM이 수행된다. innovations/sst,sla_UnBiasCorrfb_01.nc였던 피드백파일이 바이어스 보정되고 sst,sla_BiasCorrfb_01.nc로 변경되고 자료동화과정(NEMOVAR)에 사용된다. 자료동화가 수행되고 나서 ocndg025_sstbias_*, ocndg025_slabis_*과정을 통해 기존 바이어스 필드와 비교하여 증분값(increments)와 기후값(climatology)를 이용하여 새로운 바이어스 필드를 구한다. 이렇게 생성된 최종 바이어스 필드는 ocndg025_obsbias_finish_DM을 통해 다음날 obsbias로 사용될 수 있게 link가 수행된다.

4.4. 해양-해빙모델링 및 자료동화

4.4.1 개요

전지구 해양자료동화시스템에서는 NEMO 해양순환모델, CICE 해빙모델, NEMOVAR 해양자료동화를 채택하고 있으며, 영국기상청의 현업 시스템인 FOAM ver.14.1과 동일한 버전으로 구성되어 있다. 예를 들어, 2021년 10월 현재 기상청 국립기상과학원에서 실시간 운영 중인 전지구 해양자료동화시스템은 해양모델과 해빙모델로 각각 GO6(NEMO vn3.6)와 GSI8.1(CICE vn5.1)를 사용 중에 있다.

표 4.5 GODAPS1, GODAPS2 모델 구성 비교

		GODAPS1 (FOAM v13 기반)	GODAPS2 (FOAM v14.1 기반)
Ocean model	science ver.	GO 5.0	GO 6.0
	Model ver.	NEMO vn3.4	NEMO vn3.6
Sea-ice model	science ver.	GSI 6.0	GSI 8.1
	Model ver.	CICE vn4.1	CICE vn5.1
Data assimilation		NEMOVAR vn3	NEMOVAR vn5

4.4.1.1 해양-해빙 모델(NEMO-CICE)

해양순환모델로는 Nucleus for European Modelling of the Ocean (NEMO, Madec G. and the NEMO team, 2015)을 사용한다. NEMO는 영국기상청을 포함한 유럽 각 연구기관의 컨소시엄에 의해 소유 및 유지되는 범 유럽 해양모델이다. 현재 기상청에서는 NERC-영국기상청 공동 해양 모델링 프로그램 (Joint Ocean Modelling Programme, JOMP)에서 개발된 GO6 configuration 버전을 사용하고 있다(Storkey et al., 2018). 모델 격자는 Mercator Océan (Drévillon et al., 2008)에서 개발된 ORCA025 시스템과 남극에서 더 남쪽으로 확장된 영역을 포함하는 eORCA025을 사용하며 빙붕의 패인 동공을 모의할 수 있게 되었다. 이 격자는 북극 (North Pole)에서 격자 선들의 집중과 관련된 특이성을 방지하기 위해 tri-polar grid를 사용한다(세 개의 극점은 카나다, 시베리아, 남극에 위치). 빙붕의 가장자리 표면으로부터 얼음이 녹아 생성되는 담수의 수심별 플럭스를 미리 정해두어 빙붕 아래에서 뒤집혀지는 순환(overturning circulation)을 모의하도록 하였다

(Mathiot et al., 2017). 또한, 남극 대륙붕 주변의 수심 측량값이 갱신되었다. 수직 좌표 시스템 (vertical coordinate system)은 고정된 geopotential levels (z-levels)과 해저면에서의 수심 두께를 고려한 partial cell을 기반으로 한다. 수직 혼합은 Gaspar et al. (1990)의 TKE 방식을 사용하는데, 이것은 Blanke and Delecluse (1993)에 의해 NEMO에 포함되었다. 이것은 지역 밀도 프로파일 (local density profile)에 기초한 혼합 길이 (mixing length)를 대수식 (algebraic expression)으로 표현한 단일 방정식 (single equation) 방식이다. 2차 (quadratic) 바닥 마찰 경계 조건은 수온과 염분 추적자의 이류 및 확산 바닥 경계층과 함께 적용된다 (Beckmann and Döscher, 1997). GODAPS1은 선형 자유 표면 (linear free surface)을 사용하였으나, GODAPS2에서는 비선형 자유수면파 (non-linear free surface)와 가변 체적층 (variable volume layers; VVL)을 도입 하였다. 이로 인해 수심 층이 해양 고도(Adcroft and Campin (2004)의 z* 연직 축)에 따라서 움직이게 되어, 연직 기둥(water column)의 각 셀의 두께(cell thickness)가 시간에 따라 변하는데, 이는 해수면 담수 플럭스를 더 정확하게 표현할 수 있다(Storkey et al., 2018). 또한 비선형 자유수면파에는 비선형 효과가 반영되어 파고에 따라 파속이 달라지는 데, 이는 염분량(ocean salt content; OSC)이 보존될 수 있도록 한다(Roullet and Madec, 2000). 운동량 이류 (momentum advection)의 에너지 및 enstrophy 보전 (energy-enstrophy conserving)형태를 사용한다. 운동량 이류의 비회전 부분을 Hollingsworth et al. (1983)에 의해 고안된 방안을 채택하여, 연직적으로 발생하는 수치 불안정을 감소시키고, 적도 태평양에서의 모의를 개선하였다. 남반구에서의 해수면온도를 낮추어 온난 편차를 감소시킴과 동시에 북대서양과 북태평양에서는 한랭 편차를 감소시켰다(Williams et al., 2017). 여름철 남반구에서는 혼합이 증가되어 해수면온도의 온난 편차를 감소시켰고, 연중 내내 해빙이 증가되어 모의 성능이 향상되었다. 추적자 방정식 (tracer equations)은 TVD 이류 방식 (Zalesak, 1979)을 사용하고 확산 연산자 (diffusion operator)는 laplacian과 along-isopycnal이다. 운동량 방정식 (momentum equation)의 측면 경계 조건 (lateral boundary condition)은 free slip condition을 사용한다 (참고로 regional configuration은 partial slip을 사용). 수평 운동량 확산 (horizontal momentum diffusion)은 bilaplacian (지역은 laplacian 과 bilaplacian의 조합) 연산자를 사용한다. 모델은 기상청 통합 모델 (UM) Numerical Weather Prediction (NWP) 시스템에 의해 제공되는 대기장을 사용하며 Large and Yeager (2004)의 CORE bulk formulae scheme을 사용하여 해수 표면에 강제한다. 아울러, 사용되는 기후학적 강수유출 (climatological river run-off)는 Dai and Trenberth (2002)의 추정에 기초한 Bourdalle-Badie and Treguier (2006)에 의해 도출된 자료를 사용한다.

해빙모델은 Los Alamos CICE model (Hunke and Lipscomb, 2010)을 기반으로

Hewitt et al. (2011)에 의해 HadGEM3에 구현된 것을 사용하고 있다. CICE 모델은 이류(advection), 열역학적 성장과 용융 (growth and melt), 동역학적 재분산/ ridging에 의한 얼음두께분포 (ice thickness distribution, ITD)의 공간과 시간적 변화를 결정한다(Thorndike et al., 1975). 각 모델 격자에서 ice pack은 5개의 얼음 두께 범주 (0, 0.6, 1.4, 2.4, 3.6 m)로 분할되어 subgridscale의 얼음두께분포(ITD)를 모델링 하고, open water 지역을 위한 추가적인 ice-free 범주를 가지고 있다. 현재 해빙의 열역학적 성장과 용융은 Semtner (1976)의 zero-layer thermodynamics model (단일 해빙층과 단일 snow 층을 가진)을 사용하여 계산한다. 계산된 성장과 용융 속도는 Lipscomb (2001)의 linear remaping scheme을 사용하여 두께 범주들 사이의 얼음을 이송하는데 사용된다. 얼음의 동역학은 Rothrock (1975)의 공식을 사용하여 얼음의 강도를 결정하는 것을 가진 Hunke and Dukowicz (2002)의 elastic-viscous-plastic (EVP) scheme을 사용하여 계산한다. 해빙의 ridging은 Thorndike et al. (1975), Hibler (1980), Flato and Hibler (1995) and Rothrock (1975) 에 기반한 기법을 사용하여 모델링 된다. ridging participation function은 Lipscomb et al. (2011)에 의해 제안된, exponential ITD 를 가정한 두께범주 사이에 분산되는 ridged ice를 가진, 것이 사용된다. 전지구 해양자료동화 시스템의 CICE 모델은 HadGEM3 문서 (Hewitt et al., 2011) 에 설명된 대로 NEMO-CICE coupling 형태로, NEMO 해양 모델과 동일한 격자에서 실행된다. 하지만 현재 CICE와 NEMO는 격자수에서 1 ~ 2개 차이가 있다. GODAPS1에서는 온도의 함수로 표현된 단일 대역(band)의 알베도를 사용했으나, GODAPS2는 가시대역과 근적외대역으로 나눈 다중 대역 알베도를 사용한다. GODAPS1에서는 해빙을 단일층으로 취급하는 열역학 방정식을 사용했으나, GODAPS2에서는 이를 4개의 얼음 층과 1개의 눈 층으로 나누어서 처리하는 다층 열역학 방정식(Bitz and Lipscomb, 1999)으로 전환하였다. 또한 해양-해빙 항력 계수를 0.00536에서 0.01로 증가시키고, 눈이 쌓이지 않은 해빙(bare ice)에 대한 가시대역의 알베도를 0.78에서 0.8333으로 증가시켰으며, 눈에 대한 열전도율도 조절하여, 결합되어 있는 지면모델 JULES에서의 값과 일치시켰다(Ridley et al., 2018). 이전에는 해수가 고정된 값(-1.8℃)에 도달하면 얼어서 해빙이 되도록 설정되어 있었으나, 어는점을 염분의 함수로 표현하도록 개선하였다. 빙하 비율(ice fraction)도 고려하여 재격자화해주는 준-암시적 결합(semi-implicit coupling) 기법을 채택하였다(Ridley et al., 2018).

4.4.1.2 해양자료동화(NEMOVAR)

해양자료동화는 NEMOVAR를 이용하여 수행된다. NEMOVAR는 UK Met Office, CERFACS, ECMWF, INRIA-LJK 가 공동으로 개발한 자료동화 기법으로, NEMO 모형에 최적화되어 있으며, 주요 특징은 multivariate, incremental 3D-Var, FGAT (first guess at appropriate time) 기법을 들 수 있다(Weaver et al., 2005). 또한, implicit diffusion operator를 적용한 배경오차 상관 모델을 이용한다(Mirouze and Weaver, 2010). GODAPS2는 NEMOVAR v5로 업데이트 되었다. 업데이트된 주요 사항은 비선형 자유 표면을 처리하기 위한 T/S Profiles의 관찰 연산자가 변경되었고 SSH의 변화로 인해 IAU동안 담수의 가짜 플럭스가 발생하지 않도록 하였다. 또한, 수평 배경오차 공분산 상관모델의 2D implicit diffusion는 해안선, 섬 근처에서 개선되었다.

NEMOVAR의 핵심적인 과정은 아래의 증분 비용함수(incremental coast function)를 최소화하는 것으로, 현재 전지구 해양자료동화시스템에서는 B-preconditioned conjugate gradient (BCG) 알고리즘을 이용하여 반복적인 계산을 통해 비용함수를 최소화한다. 비용함수를 최소화하는 이 반복적인 과정을 inner loop라고 부른다(GODAPS에서는 40회로 설정되어져 있음).

$$J(\delta x)=\frac{1}{2}(\delta x)^T B^{-1}(\delta x)+\frac{1}{2}(d-H\delta x)^T R^{-1}(d-H\delta x)$$

$$J(\mathbf{x},\mathbf{b}) = (\mathbf{x}-\mathbf{x}^f)^T\mathbf{B}^{-1}(\mathbf{x}-\mathbf{x}^f) + (\mathbf{b}-\mathbf{b}^f)^T\mathbf{O}^{-1}(\mathbf{b}-\mathbf{b}^f) + (\mathbf{y}-H_y(\mathbf{x}+\mathbf{b}))^T\mathbf{R}^{-1}(\mathbf{y}-H_y(\mathbf{x}+\mathbf{b})) + (\mathbf{k}-H_k(\mathbf{b}))^T\mathbf{L}^{-1}(\mathbf{k}-H_k(\mathbf{b}))$$

$\mathbf{x}$ = [SSH, T, S, u, v, SIC] => state vector
$\mathbf{b}$ = [SSH_b, SST_b] => obs bias vector
$\mathbf{k}$ = [SST_{sat} - SST_{ref}] => "obs-of-bias" matchups

J:- cost
y:- observations
B:- background error covariance
O:- observation bias error covariance
L:- matchup error covariance
H_y:- observation operator for observations
H_k:- observation operator for matchups

여기에서, B는 배경오차 공분산(background error covariance)을, R은 관측오차 공분산(observation error covariance)를 의미한다. x는 state vector, $\delta x = x - x_b$ 는 증분(increment), $d = y - H(x_b)$로 innovation을 나타내는데, 여기에서 x_b는 배경장(background)을, y는 관측을, 그리고 H는 선형연산자를 각각 의미한다.

NEMOVAR의 상태변수(state variable)는 수온(T), 염분(S), 해수면고도(η), 수평 유속(U, V), 해빙농도(C) 이다. 해빙농도를 제외하고, NEMOVAR는 변수들 사이의 상관성을 balance operator (K) 를 통해 고려할 수 있는데, 즉 각각의 해양 변수(혹은, 증분)들은 balanced component와 unbalanced component의 합으로 표현하고, 여기에서 balanced component는 balance operator를 통해 계산하게 된다. 아래 식에서 각 변수의 증분값에 대한 선형화된 balance relationship을 나타내었다. 이처럼, balance operator는 변수들간의 선형화된 관계식을 통해 정의되는데, 여기서 수온은 leading variable로 balanced 와 unbalanced component의 합 자체로 취급된다. 이 수온을 기준

으로, 염분에 대한 balance operator는 Troccoli and Haines (1999)가 제안한 수온-염분 보존 관계로 정의한다($K_{ST}=dS/dT$). 아울러, 해수면 고도 balance operator ($K_{\eta\rho}$)는 Cooper and Haines (1996)이 제시한 것과 유사하게 hydrostatic relationship을, 그리고 수평유속($K_{u\rho}$, $K_{v\rho}$)은 geostropic relationship으로 표현한다.

$$
\begin{gathered}
\delta T=\delta T \\
\delta S=K_{ST}\delta T+\delta S_U=\delta S_B+\delta S_U \\
\delta\eta=K_{\eta\rho}\delta\rho+\delta\eta_U=\delta\eta_B+\delta\eta_U \\
\delta u=K_{up}\delta p+\delta u_U=\delta u_B+\delta u_U \\
\delta v=K_{vp}\delta p+\delta v_U=\delta v_B+\delta v_U \\
\delta C=\delta C_U
\end{gathered}
$$

여기에서, K_{ij} 는 변수 j에서 i로 변환하는 balance operator를 의미하고, 각 변수의 아래첨자 B와 U는 각각 balance 와 unbalance component를 의미한다. 아울러, 밀도와 압력 증분은 각각 $\delta\rho=K_{\rho T}\delta T+K_{\rho S}\delta S$와 $\delta p=K_{p\rho}\delta\rho+K_{p\eta}\delta\eta$로 나타낸다. 현재 NEMOVAR에서는 해빙농도는 unbalance component만을 고려하고, 반면에 수평유속은 balance component만을 증분 값에 반영한다.

자료동화 과정에서 배경오차 공분산을 정의하는 것은 매우 중요하고도 복잡한 문제이다. NEMOVAR에서는 multivariate 배경오차 공분산(background error covariance)을 univariate 배경오차 공분산(또는 unbalanced background covariance)과 balance operator의 조합으로 표현할 수 있는데, 따라서 unbalanced 변수의 증분을 계산하기 위한 univariate 배경오차공분산을 정의할 필요가 있다. 배경오차 공분산은 다시 배경오차 표준편차와 배경오차 상관의 합으로 나타낸다. NEMOVAR에서는 계절별 통계적인 배경오차(background error standard deviation)를 기준으로 하며, 수온과 염분의 경우 시공간적으로 변화를 반영하기 위해 수온 배경장의 연직구배(혹은 혼합층 깊이)를 기준으로 한 모수화(parameterization) 과정을 수행한다. 참고로, 통계적인 배경오차는 NMC 방법으로 계산된 오차를, Hollingsworth and Lonnberg (1986) 방법으로 계산된 오차를 이용하여 re-scaling한 결과를 사용한다. 통계적 배경오차에 관한 자세한 내용은 Martin et al. (2007)을 참고하기 바란다.

배경오차 상관(background error correlation)은 Mirouze and Weaver (2010)가 제안한 diffusion operator를 이용하여 모델링한다. 2D diffusion operator의 새로운 버전 NEMOVAR를 사용한다. 이를 통해 해양의 복잡한 경계 등의 지형을 반영하여 해안선, 섬

근처에서 개선되었다. 확산모형(diffusion model)의 해를 구하기 위해, NEMOVAR에서는 implicit 와 explict 방법을 제공하는데, 현 시스템에서는 계산 비용을 고려하여 implicit diffusion model을 사용한다. 그리고, 수온, 염분, 해빙농도의 수평 상관규모(horizontal length scale)는 해양의 meso scale 과정의 규모를 나타내는 Rossby radius 분포를 채택한다. 계산비용은 length scale/grid size에 비례하고 보다 효율적으로 만들기 위해 고위도에서 긴 length scale을 제한시켰다. Rossby radius는 시간변화가 적다는 가정아래 모델 분석으로부터 계산된 연평균 값을 이용한다. 단, 최소값은 위경도 방향으로 25 km, 최대값은 경도방향으로는 300 km, 위도방향으로는 150 km로 제한된다. 해수면 고도(unbalanced SSH)의 경우, barotropic error를 표현하는 큰 length scale을 필요로 하며, 본 시스템에서는 위, 경도 4°를 length scale로 정한다. 아울러, 상관규모는 연안으로 갈수록 감소한다.

연직방향 상관규모(vertical correlation length scale)도 배경오차와 유사하게 배경장의 혼합층 깊이에 의존하며 시공간적으로 변하게 모수화 되는데, 즉 해수면부터 혼합층 깊이까지 length scale은 선형적으로 감소하여 혼합층 아래에서 수심이 깊어질수록 다시 증가하는 구조를 가진다. 이처럼 vertical length scale이 시간에 따라 변화하는 이점이 있지만, diffusion operator 과정의 normalization factor를 계산하는 데 비용 면에서 어려움이 따른다. 비용 절약을 위해, 본 시스템에서는 혼합층 깊이를 41개 층(모델의 연직층과 대응)으로 제한하여, 각 혼합층 깊이에서 randomization method(3000개 앙상블 멤버 이용)를 통한 41개(파일)의 normalization factor look-up table을 사전에 준비해 둔다. 실제 자료동화 과정에서 각각의 모델격자에서 혼합층 깊이가 계산되면, 혼합층 깊이에 해당하는 look-up table로 부터 normalization factor를 추출하여 결과적으로 diffusion operator 과정에서 소요되는 비용을 절약하게 된다.

Observation error covariance

전지구 해양자료동화시스템에서는 NEMOVAR를 이용하여 위성관측 해수면 온도(SST)와 고도계(altimeter) 자료의 바이어스를 보정한다. 위성관측 SST의 바이어스 보정에 관한 상세한 내용은 4.2절을 참고하기 바란다. 고도계는 sea level anomaly (SLA) 만을 관측하기 때문에 해양모델에 고도계 자료(SLA)를 자료동화 할 때는 Mean Dynamic Topography (MDT)를 더해야 한다. GODAPS1에서는 MDT 자료로 CNES-CLS09 (Rio et al., 2011) 자료를 이용했었지만 GODAPS2에서는 업데이트된 CNES-CLS13 (Rio et al., 2014) 자료를 사용한다. MDT를 업데이트하여 전반적으로 SSH 및 T profile innovations를 크게 줄였으나 Med Sea MDT error 추정치에는 여전히 문제가 있을 수 있다. MDT 자료는 고도계 자료보다 큰 오차를 가지고 있는데 이 오차를 바이어스로 간주하여 보정을 수행한다. 바이

어스는 자료동화 과정에서 계산이 되는데, 이를 위해 bias field를 자료동화 control vector와 비용 함수에 추가하였다(Lea et al., 2008). GODAPS2에서는 새로운 바이어스 보정 scheme을 적용하는데 변동 바이어스 보정 방법(vatiational bias correction method)과 관측 바이어스(observations of bias)에 기반한 보정 방법을 결합하였다. 새로운 바이어스 보정 시스템은 장기간 재분석에 걸쳐 일관된 결과를 제공하도록 설계하였고 보다 정확하고 안정적인 분석을 제공한다. 그리고 새로운 SLA (Sea Level Anomaly) 바이어스 보정 항을 추가하였다. 이는 고위도에서 증분을 감소시키고, 해양 과정과 SLA signal과의 불일치를 감소시킨다. SLA 예측은 전지구 해양에 걸쳐 개선되었으며 특히 남반구 해양에서 개선되었다. 아울러, 해수면 경계로 사용된 바람응력과 자료동화되는 해양관측 값의 불연속으로 인해서 적도해역에서 수평과 연직방향으로 이상 순환이 야기될 수 있다. 전지구 해양자료동화시스템에서는 이러한 이상 현상을 줄이기 위해서 해상풍을 보정하는 대신, Bell et al. (2004)에서 제시한 압력 보정(pressure correction) 방법을 이용한다. 압력 보정 방법은 장기간의 자료동화를 통해 수온과 염분 증분값을 점차 축적하여 압력 보정 값을 계산하고, 이 압력 보정값을 해양모델(i.e. NEMO)의 운동방정식에 추가하는 형태로 적용된다. 적도에서 자료동화는 가상의 vertical velocities(w)를 생성하는데, 자료동화가 w에 미치는 영향을 줄이기 위한 Scheme을 새롭게 적용하였다.

해양자료동화와 관련해서는 Waters et al.(2014)를 참조하기 바란다. 모델 및 자료동화에 관한 내용은 언급한 논문을 참고바라며, 여기에서는 시스템의 운영개요를 중심으로 소개하고자 한다.

전지구 해양자료동화시스템에서는 dual length scale formulation을 채택하고 있는데, 기본적으로 Martin et al. (2007)에 의해 기술된 방법 (두 독립된 상관함수의 선형적 조합에 의해 구성되는 상관함수라는)을 따른다.

4.4.2 구동 개요

4.1 개요와 표 4.2에서 설명한 대로, 품질관리와 위성 해수면 온도의 바이어스 보정 과정이 끝나면, 해양자료동화 과정을 수행하게 된다. 해양자료동화 과정은 크게 observation operator, 자료동화, IAU (분석증분갱신)의 3단계로 나눌 수 있다. 각각의 과정은 orca025인 경우 OCNDG_MODELRUN(godaps1), eorca025인 경우 NEMO_CICE, NEMOVAR(godaps2)와 같이 관련 suite을 순차적으로 실행하면서 수행되게 된다(Table 4.3 참조).

4.4.2.1 Observation operator와 IAU(분석증분 갱신) 과정

먼저 orca025인 경우, obervation operator는 ocndg_obsop_nemovar suite을 통해서 실행이 된다, 참고로 실행파일인 NemoScr_NEMO내의 $NEMO_IAU 변수에 따라 IAU 및 예측과정에서도 이용된다. $NEMO_IAU의 값은 observation operator에서는 'FALSE'로, IAU 과정에서는 'TRUE'로 각각 지정되는데, 이를 통해 observation operator와 IAU 과정에 적합한 입력파일 선정 및 namelist 편집을 수행하게 된다.

NemoScr_NEMO에서는 NEMO 모델을 구동하는데 필요한 해양-해빙관련 ancillary 파일, 경계자료, 품질관리된 관측자료, 그리고 bias 파일과 restart 등의 입력자료, 해양-해빙 모델의 실행파일(nemo-cice.exe)과 namelist, 그리고 모델 변수를 정의하는 nemo.iodef.xml 등을 WORK 디렉토리로 복사한다. 이후, namelist에서 해양모델의 적분 시간간격(rn_rdt) 등의 정보를 읽어서 output 시간간격에 대한 환경변수를 지정하고 iodef.xml 파일의 출력주기(output frequency)를 업데이트하게 된다. 이러한 정보 등을 바탕으로 namelist를 observation operator와 IAU 과정에 적합하게 편집한다. 이러한 과정이 모두 끝나면, ${HOME}/TI/nemovar/share/ompi/bin/orca025_192procs.exe을 실행하게 된다. 계산이 완료되면 WORK 디렉토리에 succeed.flag를 생성하고, 장애가 발생하였을 경우는 fail.flag를 생성한다.

eorca025인 경우, ocndg025_nemo_cice_obsoper_DM, ocndg025_nemo_cice_iau_DM, ocndg025_nemo_cice_forecast suite을 통해 각각 관측연산자과정, IAU과정, 예측과정을 수행한다. 실행파일인 app/nemo_cice/run_nemo_cice.sh내의 수행되는 validate_interface.sh, configure_*.sh 등의 값 변화에 따라 적합한 과정이 수행된다.

4.4.2.2 Rebuilding

각 과정의 계산이 성공적으로 완료되면 병렬 계산된 결과파일(orca025: 192개, eorca025: 594개)을 하나로 병합하는 rebuilding 과정을 수행하는데, 여기에서 관측 피드백 파일의 rebuilding은 fbcomb.exe 을 이용한다(4.6절 유틸리티 참조). 이때, orca025인 경우 observation operator 과정에서 rebulding한 피드백 파일은 share/cycle의 qwen00.fdbk.daym1,2.orca025 디렉토리로 IAU 과정에서는 qwen00.analfdbk.daym1,2.orca025 디렉토리로 복사되고 eorca025인 경우 각각 share/cycle/DAYM1,2_G025의 fdbk_inner, fdbk_iau에 복사된다. 이와는 별도로 IAU 과정이 끝나면 orca025는 ocndg_nmpp_asmdiags suite의 NemoScr_NEMOPP_asmRebuild를 수행하여 다양한 결과(배경장, 분석장, 분석증분, 모델 바이어스)를 rebuilding 하게 된다. 참고로, rebuilding에 성공하면 결과파일은 share/cycle에 보관된다. eorca025는 IAU과정이 끝나고 POST_PROCESSING이 진행되는

데 여러 suite이 포함되어있다(표 4.5 참조). orca025와 같이 생성된 다양한 결과를 rebuilding하고 restart 파일들을 tar 압축하는 작업이 포함되어 있다.

표 4.6. 후처리 Suite, 쉘 스크립트 목록 및 내용(eorca025)

	Suite	파일명	내용
POST_PROCESSING	ocndg025_post_processing_results_DM	app/post_processing/ bin/RebuildDiagnostics.sh	output(각 diagnostic)을 rebuild
	ocndg025_post_processing_restarts_DM	app/nemovar/ bin/TarRestarts.sh	restarts 파일을 tar 압축
	ocndg025_nmpp _mersea	bin/NemoScr_NEMOPP _mersea_v14	다음 cycle의 obs background 체크를 위한 ops.bg.anc 파일 생성
	ocndg025_nmpp _hifreqsurf	bin/NemoScr_NEMOPP _hifreq_Surface_v14	고해상도 surface(foamlite) 데이터 후처리 suite
	ocndg025_nmpp _myocean	bin/NemoScr_NEMOPP _MyOcean_v14	mersea output에서 myocean product 생산
	ocndg025_nmpp _myocean	bin/NemoScr_NEMOPP _bdyGen	재구축된 global mersea 파일에서 bdy 처리 수행
	ocndg025_nmpp _diaop_1~8	bin/NemoScr_NEMOPP _diaop_v14	NEMO diaopfoam 후처리 작업을 제어

이때, rebuilding 작업을 다시 수행하고자 하는 경우는, 해당 suite의 log폴더에 있는 job 스크립트를 작업 제출하면 된다(bsub). rebuilding 과정의 로그파일은 작업 제출시 사용한 job 스크립트에서 생성 경로지정이 가능하며 log폴더에 job.err, job.out으로 보관된다. 참고로, restart file의 경우, rebuilding 하지 않고 프로세스별 결과를 디렉토리 단위로 저장하며, 또한 cice 모델의 output은 하나의 파일로 저장된다.

4.4.2.3 자료동화(NEMOVAR)

자료동화 과정은 observation operator 과정이 끝나고, orca025의 경우 ocndg_asm_nemovar suite을 통해 수행되는데, bin/NemoScr_ASSIM_NEMOVAR가 실행된다. 자료동화 계산을 위해서는 관측오차와 배경장 오차 등의 입력자료가 필요하고, 이는 ancillary에서 복사하여 사용하게 된다. 다만, 계절별로 입력자료가 생성되어져 있기 때문에, 모델시간(분석시간)에 맞게 nco 명령을 사용하여 시간내삽을 수행하게 된다. 자료동화는 시간내삽과정이 종료된 이후에 $NEMO_EXECS의 orca025_nemovar-inner_192procs.exe를 통해 수행된다. 자료동화(NEMOVAR)를 위한 namelist 해양모델 구동에 사용되는 namelist를 NemoScr_GenNamelistInner 스크립트를 이용하여 편집한 결과를 이용한다. 모델링(e.g. observation operator)과 동일하게 적분시

간, 바이어스 관련 파라미터 등의 편집 을 한 이후에, 자료동화 관련 항목을 추가한다. 여기에는 자료동화기법(현재 3D-VAR), 비용함수를 최소화하기 위한 inner-loop 반복 횟수(현재 40회 설정), 관측오차 및 배경오차 관련 파라미터(격자화된 파일 이용여부 등), multivariate balance operator (현재, 유속을 제외하고 unbalanced 항목을 계산) 관련 항목, 그리고 CG 알고리즘 등이 설정된다. 언급한 namelist 설정이 완료되면, orca025_nemovar-inner_192procs.exe 을 실행한다. 계산이 성공적으로 완료가 되면, 앞서 observation operator 과정과 동일하게 관측 피드백 파일을 fbcomb.exe를 이용하여 병합한다. 결과파일은 share/cycle 폴더의 work_assim_daym1,2.orca025/inner_
$obs_type_fdbk.nc로 저장된다.

eorca025의 경우, orca025와 다르게 여러 suite으로 나누어 차례로 수행된다(표 4.3 참조). ocndg025_nemovar_prepare에서 NEMOVAR 실행에 필요한 배경장 및 관측 에러 파일을 일시적으로 내삽을 하고, ocndg025_background_processing_DM을 통해 assim_background file을 rebuild 한다. 그리고 observations operator 과정이 완료된 후 ocndg025_nemovar_ice_DM, ocndg025_nemovar_ocean_DM을 통해 자료동화가 차례로 수행된다. app/nemovar/bin/run_nemovar.sh이 실행되며 자료동화가 되는데 run_nemovar.sh은 같은 경로에 helper_functions.sh, set_namelist_date.sh, set_controlvector.sh, handle_normfact.sh, set_executable.sh, link_eigenvalues.sh, link_ancillary.sh, link_background.sh, link_feedback_setup_obs.sh, link_error_covariances.sh이 포함되어 있다. ice같은 경우에는 ASM_OBS = seaice, ocean같은 경우에는 ASM_OBS = enact SLA SST SSS SSTBIAS로 설정되어 수행된다. 이후 ocndg025_rebuild_ocean, ice_increments_DM suite이 수행되고 자료동화 과정에서 생긴 증분값(increments)를 rebuild하게 된다. app/rebuild/bin/rebuild.sh으로 실행되고 share/cycle의 DAYM2_G025, DAYM1_G025의 ocean, ice_increments의 output이 생성된다. 마지막으로 ocndg025_nemovar_finish_DM suite은 각 NEMOVAR output 파일의 increments를 결합을 하고 DAYM2_G025, DAYM1_G025의 increments/assim_background_increments.nc를 생성한다.

4.5 품질관리, 모델, 자료동화 과정에 대한 입출력 결과

4.5.1 입출력 결과 파일

전지구 해양자료동화시스템의 share/cycle/${DATE}에 보관되는 해양-해빙 초기장, 관측 피드백(feedback) 파일 등의 결과는 ${HOME}/godaps1,2/NEMO/DAOU(orca025: godaps1, eorca025: godaps2) 아래에 정리되며, 다음날 계산수행을 위한 재시작 파일

(restart file)은 ${HOME}/godaps1,2/NEMO/INIT/ 아래에 디렉토리에서 관리된다. 품질관리부터 분석증분(IAU) 과정까지의 각각의 주요과정에 대한 입출력 파일을 표 4에 정리하였다.

먼저 품질관리 과정(NEMOQC)에 입력되는 관측파일은 관측자료 전처리 과정의 결과로, 품질관리 과정을 거친 자료는 observation operator 과정에서 읽혀질 수 있는 feedback 파일 포맷을 가지게 된다. 다음으로, SST 바이어스 보정(bias correction)에서는 전일 계산된 bias correction field와 바이어스 보정 대상인 품질관리 처리된 위성관측 해수면 온도 자료와 레프런스 자료인 현장관측 자료가 입력파일로 들어가서 결과적으로 모델 격자점에 대한 SST bias field를 생산한다. observation operator과정에서는 전일 계산된 restart file, 해수면 경계(fluxes) 파일, 그리고 피드백 형태의 관측자료 등이 입력되고, 관측자료의 위치와 시각에 대응하는 모델 배경장 값이 저장된 피드백 파일과 배경장을 출력한다. 자료동화 과정에서는 언급한 피드백 파일과 배경장 파일을 이용하여 모델 격자점에서의 분석증분(increment) 파일을 생산한다. 마지막으로, IAU 과정에서는 observation operator 과정과 동일하게 관측 피드백 파일, 해수면 경계, restart file이 입력되고, 앞서 자료동화 과정에서 산출한 분석증분 파일을 입력하게 된다. 결과물은 restart file, 일평균 분석장과 1일 예측장(eorca025 인 경우, 7일), 그리고 해수면의 일부 변수(수온, 염분, 해수면 고도, 혼합층 깊이)는 3시간 간격으로 산출된다.

표 4.7에 디렉토리 별로 결과 파일을 정리 하였다. 결과파일은 share/cycle, work/ 디렉토리에 생성되는데 후처리 과정인 ocnd_housekeep 과정에서 주요 출력파일을 해당 경로에 정리하고 있다. godaps2/NEMO/DAOU/${DATE}/obs_qc_result 디렉토리에는 품질관리(NEMOQC) 후의 결과파일이 저장된다. 참고로, NEMOQC 입력 관측자료는 관측자료 전처리 과정의 결과물과 동일하다. assim_result에는 자료동화 과정 (inner loop)에서 나오는 결과 파일들이 저장되는데, 관측자료 feedback 파일, cost function, gradient 등이 저장되고 ff_result에는 모델 격자점에서의 해양-해빙 초기장 파일이 저장된다.

표 4.7. 모델 및 자료동화 주요 과정에 대한 입출력 파일 요약(←: 입력자료, →: 출력자료)

주요 과정	입출력
품질관리	← 관측파일 → feedback 파일 형태의 관측파일
SST bias correction	← 전일 계산된 모델격자상의 bias correction field ← SST 관측파일(unbiased 현장관측, biased 위성관측) → 모델격자점에서의 SST bias fields
observation operator	← restart file ← 해수면 경계 파일(fluxes) ← 품질관리된 관측파일 ← ancillary 파일 → 관측에 대응하는 모델 배경값을 포함하는 feedback 파일 → 모델격자점에서의 배경장
assimilation (inner loop)	← feedbak 파일 ← 모델 배경장 ← ancillary 파일 → 분석증분(analysis increment)
IAU	← restart file ← 해수면 경계 파일(fluxes) ← ancillary 파일 ← 분석증분(analysis increment) → 모델 격자점에서의 분석장 및 1일 예측장 → 다음날 계산을 위한 새로운 restart file

표 4.8. 모델 자료동화과정의 주요 출력파일 및 저장위치(godaps2/NEMO/DAOU 이하)

저장 위치	파일명	내용
obs_qc_result	(profiles_01, seaice_01, seaice_02, sla_01).daym?.nc sst_${SATTYPE}_daym?.nc	NEMOQC(ops_process, obs_prepro) 의 output
fdbk_inner	${obs_type}_01.nc	자료동화 과정에서 생성된 feedback file
increments	assim_background_increments.nc	자료동화 과정에서 생성된 increments 값
assim_result /ice, ocean	cost, grad, bkgnorm_*	자료동화 과정에서 생성된 cost fuction, gradient 등
fdbk_iau	${obs_type}.01.nc	iau 피드백 파일, innovations
ff_result	cice_history_file.YYYY-MM-DD.nc mersea.grid_T(U,V,W).nc foamout.grid_T(U,V).nc	모델 격자지점에 해당하는 해양 -해빙 초기장
updated_obsbias	${obs_type}_OBIAS.nc	증분값을 이용하여 구한 새로운 obsbias
updated_pcbias	pcbias_*.nc	증분값을 이용하여 구한 새로운 pcbias
forecast	restart_*.nc, restart_icebergs_*.nc	restart 데이터
forecast_results	cice_history_file.YYYY-MM-DD.nc mersea.grid_T(U,V,W).nc foamout.grid_T(U,V).nc diaopfoam.grid_T(U,V).nc	예측장(7일) nemoqc 과정에서 배경장으로 활용

4.5.2 로그파일

시스템 수행 과정에서 생성되는 로그파일은 log/job/${DATE}/ 아래에 계산일별(분석일별)로 작업이 이루어진 각 suite 디렉토리에 저장이 된다(표 4.8). 각 계산일에 작업이 이루어진 suite명에 대하여 디렉토리가 생성되고 수행 횟수에 따라 01부터 1씩 증가하는 폴더가 생성된다. NN 폴더인 경우가 가장 최근의 수행한 log파일의 결과이고 아래 표와 같은 로그파일이 생성된다. job 파일은 계산노드에 제출될 때 쓰이는데, 작업명, 대기열 지정, 노드 수, 수행 시간 제한, output, error 파일 경로 지정 등을 설정하며 해당작업에 필요한 환경변수, 스크립트를 지정한다. job.err는 해당 suite이 수행되며 생성되는 error file이고, job.out은 output file이다. job.status는 해당 suite의 상태를 보여준다.

표 4.9. 생성되는 로그파일(log/${DATE}/suite명 이하)

로그파일명	설명
job	작업이 제출되는 스크립트
job.err	Standard Error File
job.out	Standard Output File
job.status	작업의 상태

4.6 해양해빙 모델 및 자료동화 설치

전지구 해양자료동화시스템의 해양-해빙 모델과 자료동화 설치(실행파일 생성)는 슈퍼컴퓨터 5호기 최종분에서 수행하였으며, fcm make와 Rose/Cylc를 이용한 설치가 가능하다. 최초 수행 시, fcm_make2_ocean, nemoqc, matchup, obs_oper_py_inter, obstools suite이 수행되며 GODAPS2에 필요한 파일이 먼저 설치가 되는데 fcm make를 이용한다.

app 디렉토리에 있는 각각의 fcm_make_*에서 fcm-make.cfg 파일을 이용하여 생성된 share 디렉토리에 fcm_make_*에서 fcm-make2.cfg로 fcm make를 하게된다.
fcm make를 이용하여 building을 수행하면, build-* 디렉토리가 생성이 되고, 그 아래의 bin 디렉토리에 실행파일이 생성된다.

표 4.10. 생성된 실행파일 목록

suite	실행파일
fcm_make_ocean	nemo-cice.exe
fcm_make_nemovar	nemovar_bge_orca025ext.exe nemovar_inner_orca025ext.exe
fcm_make_nemoqc	NemoQcProg_ExtractAndProcess.exe
fcm_make_obs_oper _py_inter	ObsOperPyInter.so
fcm_make_matchup	matchup.exe

표 4.11. 필요한 module files 목록

1) subversion/1.9.7	10) nco/4.7.2/gnu/8.4.1(default:default:nco)	19) hdf5/1.10.3(default)
2) expat/2.1.0	11) intel/20.4(default) <aL>	20) zlib/1.2.11(default) <aL>
3) fcm/2019.09.0	12) openmpi/4.1.1 <aL>	21) curl/7.67.0(default)
4) ruby/3.0.2/gnu/8.4.1	13) lapack/3.5.0(default) <aL>	22) xconv/1.94
5) ed/1.4	14) blas/3.5.0(default) <aL>	23) libpng/1.2.51(default) <aL>
6) tree/1.8.0/gnu/8.4.1	15) prg_env/intel/20.4/openmpi/4.1.1	24) udunits/2.2.26 <aL>
7) rose/2019.01.5(default)	16) krb5/1.14.3 <aL>	25) ncview/2.1.7(default)
8) cylc/7.9.3(default)	17) netcdf/4.7.3(default)	
9) lsf_compat/1.0	18) netcdf-fortran/4.5.2(default)	

nco는 경로 지정하여 사용(site/kma/x86/paths.rc, NCO_DIR 설정)
{% set NCO_DIR = ${HOME}/TI/common/nco/4.7.2/gnu/8.4.1/bin %}

4.7 유틸리티: 개요 및 설치

모델링 및 자료동화를 수행하기 위해서는 몇 가지 중요한 유틸리티가 필요하다. 표 4.11에 필수 유틸리티와 각각의 기능에 관해서 정리하였다. 유틸리티는 fbcomb.exe, matchup.exe, 그리고 rebuild_nemo.exe가 있다.

각 유틸리티가 수행하는 내용은 다음과 같다. 모델영역은 프로세스별로 나뉘어 수행되기 때문에, observation operator/ nemovar 계산 과정에서는 해당영역 수(i.e. 192, 594개) 만큼, 관측시간에 대한 배경/분석장 값을 저장하는 피드백 파일(${obstype}*_fdbk*.nc)을 생성하게 된다. 각 과정에서 관측시각에 대한 배경/분석장 값을 각각의 피트백 파일에 저장한 이후에, 이를 하나의 파일로 병합하는데 이 과정을 fbcomb.exe가 수행한다.

비슷하게 자료동화 과정을 수행한 이후에 병렬로 계산된 다양한 결과물을 합치는 과정은 rebuild 유틸리티를 이용하여 수행된다. 4.2절에서 언급하였듯이 IAU 과정 이후에, 몇몇 결과물을 후처리 과정을 수행하는데 여기서 rebuild.exe를 이용한다.

위성관측 해수면 온도 자료의 바이어스 보정을 위해서 25 km와 1일 기준으로 현장관측 자료와 위성관측 자료의 짝을 맞추는 matchups를 찾게 되는데 이를 matchup.exe 실행파일로 수행한다.

실행파일의 설치는 해양해빙모델 설치와 같이 fcm_make_obstools suite이 수행되며 설치가 되는데. share/fcm_make_obstools 디렉토리에서 fcm 명령을 이용하여 설치한다. 실행파일은 share/fcm_make_obstools/build-tools/bin 아래에 저장된다. 참고로, fcm은 fcm/2019.09 버전을 사용한다.

표 4.12. 유틸리티 항목과 위치

유틸리티	위치
fbcomb.exe	UTIL/fcm_make_obstools
matchup.exe	UTIL/fcm_make_obstools
rebuild_nemo.exe	UTIL/rebuild
modify_CICE_header.exe	UTIL/modify_CICE
function_read_date	${HOME}/UTIL
inc_dtf_date	
calc_date	
days_in_month	
days_in_year	

제 5장 유지관리

이번 장에서는 시스템을 운영하면서 필수적으로 관리해야할 항목과 함께, 예상되는 장애 요소에 대한 대응에 관해서 간략히 정리하고자 한다.

5.1 신규 위성관측 해수면 온도자료의 추가 적용

현재(2022.11) 전지구 해양자료동화시스템은 3개의 위성의 해수면 온도자료를 사용하고 있다. 위성 자료의 경우, 상시 모니터링이 필요한데, 여기에서는 신규 위성관측 해수면 온도 자료를 추가할 경우에 관해 설명하고자 한다. 원하는 자료는 COMIS에 저장될 수 있도록 관련부서(정보통신기술과)에 수집 요청하면 된다. 신규자료를 추가하기 위해서는 관측자료 처리(OOBS), 품질관리, 해수면 온도 보정(sst bias correction) 과정의 수정이 필요하다.

먼저, 관측자료 전처리 과정(OOBS)에서는 SHEL 디렉토리의 run_ghrsst.sh 에서 추가할 자료에 대한 ${BIAS_SATTYPES}, ${BIAS_NUM}, ${i_sub}의 변수와 함께, 파일명을 추가하여 전처리할 수 있도록 한다. ${i_sub}는 솎아내기 (thinning) 간격을 의미하는데, 솎아내기 후의 자료 해상도가 대략 6 km 해상도가 될 수 있도록 설정하는 것이 바람직하다. 다만, 전처리 코드는 GHRSST (Global High Resolution SST) 타입(포맷)의 위성자료를 처리하게끔 작성되어져 있어, 다른 형식의 자료를 처리하고자 할 때는 코드의 수정이 필요하다.

계속해서, 품질관리 과정의 메인 스크립트인 NemoQcProg_ExtractAndProcess에 적용되는 옵션을 새로운 신규 자료에 맞게 만들어야 한다. 위성자료의 경우 품질관리 과정 시 app/ocn_ops_process_ghrsst/opt의 옵션을 가져오는데 rose-app.conf파일을 생성해주

고 안에 환경변수(INSUBDIR, INOBSFILE, OUTOBSFILE)를 신규 자료에 맞게 설정해준다. rose-app.conf파일명을 정할 때는, rose-app-orca025-${new type}.conf으로 정하며 해당 suite 명은 ocndg_ops1,2_process_${new_type}_ghrsst가 되어야 한다. 그래서 suite 작업이 수행될 때 ROSE_APP_OPT_CONF_KEYS = orca025-${new_type}으로 생성한 rose-app.conf파일이 적용된다. 또한 suite 구성은 variables-opsuite.rc의 변수를 가져와서 suite-runtime-opsuite.rc에서 적용되는데, variables-opsuite.rc의 set SATSSTS('g')에 신규자료명을 추가해야한다. 그리고 추가된 자료의 bias에 대한 climatlogy 파일(qren.orca025.sstbias_clim_${BIAS_SATTYPE}.nc)을 ${HOME}/_data/critical/Nemo_inputs/vn3.1.0/에 생성해야 한다. bias climatology값은 전구 영역에서 '0'이기 때문에, 기존의 bias climatology파일을 단순히 복사하여 사용하면 된다. 주의할 점은 파일 내의의 global attribute의 SST_source에 바드시 BIAS_SATTYPE값을 지정해야 하는데, 이는 nco 명령을 사용하여 간단하게 수정이 가능하다.

```
ncatted -O -a SST_source,global,m,l,${BIAS_SATTYPE}
bias_clim_sst_orca025l75_${BIAS_SATTYPE}.nc
ncatted -O -a SST_source,global,m,1,34 qren.orca025.sstbias_clim_34.nc
```

그리고 /bin/NemoScr_NEMO에서 BIAS_SATTYPES을 사용하는 자료의 SATTYPE으로 수정한다.

5.2 위성관측 자료의 프레임 변경

자료 분배기관에서 메일을 통해, 자료 프레임의 변경을 고지할 경우가 있음. 이 경우, 전처리 과정에서 변경된 사항을 사전에 적용시켜야 하며, 제공 서버나 파일명 등이 변경될 경우는 이를 정보통신기술과에 알려서 수집변경을 하여야 한다.

5.3 Argo greylist 업데이트

수온, 염분 프로파일 자료 중에 Argo 자료를 품질관리 할 때, 첫 번째 단계에서 수행하는 것이 greylist를 제거하는 작업이다. 이는 자료 제공기관에서 품질관리를 수행하면서 이상이 있는 자료에 대해서 사용자에게 미리 정보를 제공하는 자료로, 지정하는 자료 기간에 대해 특정 자료를 사용하지 말 것을 권고하는 리스트를 의미한다. 전지구 Argo 자료 센터(GDAC: Global Data Assembly Center; ftp://ftp.ifremer.fr/ifremer/argo)에서는 greylist (ar_greylist.txt)를 지속적으로 업데이트 하고 있다. 따라서, 전지구 해양자료동화 시스템에서도 주기적으로 업데이트할 필요가 있다. 단, GDAC에서 제공하는 grey list에는 품질관리 프로그램(NEMOQC)의 포맷을 위반하는 라인 들이 섞여있을 가능성이 크기 때문

에, 시험 적용을 통해 사전에 확인을 할 필요가 있다. 또한, 수온(POTM), 염분(PSAL), 압력(PRES)외의 생지화학 변수들이 최근 포함되어 있는데, 현재의 품질관리 프로그램에는 반영되어 있지 않아 오류를 일으키므로 해당 변수 이외의 라인은 사전에 삭제하는 것이 바람직하다. site/kma/x86/resources.rc에서 ops_process suite에 해당하는 environment 중 argo_stlist_file를 신규 greylist으로 수정해준다.

테스트를 위해서는, 프로파일 자료만 단독으로 처리할 수 있는 NEMOQC의 stand alone 버전(/godaps/utils/nemoqc)을 이용하면 된다. 테스트할 greylist 파일을 DAIN 디렉토리에 복사하고, SHEL/run_qc_profile.sh 스크립트를 작업 제출하여 사용하면 된다 (qsub run_qc_profile.sh). 이 때, 아래 박스와 같이 스크립트내의 환경변수 설정을 변경하면 된다. 로그파일은 SHEL 디렉토리에 생성되고, 결과는 WORK 디렉토리에 생성된다. 로그파일에는 포맷에 맞지 않는 greylist의 라인을 표시하기 때문에, 해당라인을 greylist에서 삭제하여, 최종적으로 오류가 발생하지 않을 경우, 디렉토리 아래에 복사하여 사용한다. 참고로, 정상적으로 수행이 완료되었을 경우, 로그파일에서 "ApplyArgoGreyList ends normally"메시지를 확인할 수 있다.

```
(Argo greylist 테스트를 위한 run_qc_profile.sh 설정)
$here= /godaps/utils/nemoqc/SHEL            #SHEL 디렉토리 위치
$ArgoGreyListFile=" "                       #테스트 할 greylist file 명
```

5.4 관측자료의 감소

수온, 염분 프로파일이나 현장관측 해수면 온도 자료의 경우, 전처리 과정에서 정상적으로 작업이 완료되었다고는 하지만 처리된 자료량이 전일 대비 급격히 줄 때가 있다. 이 경우, 대부분이 버퍼자료의 처리와 관련이 있는데, 해당 로그파일에서 버퍼 테이블을 다. 전술한 바와 같이, 버퍼자료를 디코딩할 경우 EMOS library에 포함된 버퍼 테이블(bufr table)을 읽어들이게 되는데, 때때로 자료를 제공하는 기관에서 자료를 생산할 때 새로운 버퍼 테이블을 사용하고, 해당 테이블이 전지구 해양자료동화시스템의 전처리 시스템에 없을 경우 이러한 문제가 발생한다.

이런 경우, EMOS library를 업데이트 할 필요가 있다. 현업 시스템에서 빠른 문제해결을 위해서 사용할 수 있는 또 다른 방법으로는, 최신 EMOS 라이브러리를 제공기관으로부터 다운로드 해서, 원하는 버퍼 테이블만을 복사해서 사용하는 방법이 있다.

1)https://confluence.ecmwf.int/display/BUFR (외부망)에서 bufr table 다운로드
2)다운로드 후,

${HOME}/_data/godaps/OOBS/UTIL/EMOS/4.0.7/GNU/share/libemos/tables 경로에 이동.
3)이동한 bufrdc_tables_wmo_v3*의 distinct.ksh을 실행
4)link가 다 걸리면 해당 폴더를 bufrtables로 link를 걸어서 관측자료전처리단계에서 사용

- 현재(22.9.14.) bufr table 38 버전 업데이트 완료

5.5 경계자료 생성 장애

전지구 해양자료동화시스템에서 경계자료의 생성시간에는 많은 시간이 소요되므로, 특히 자료생성 시간(0600UTC~0700UTC)에는 병행운영체계 모니터링 시스템을 이용한 모니터링이 필요하다. 모니터링 중 이상이 발견되었을 때는, 먼저 전지구 수치예보모델에서 생산하는 경계자료 처리 과정의 입력자료(glm_foamout, glm_marine, glu_foamout)가 작업 시작시간(06UTC) 이전에 /ndss/dss2/data/${id}/ARCV/MODL/GDPS/N128 디렉토리에 생성되어 있는지 확인 할 필요가 있다. 보다 나은 입력자료 사용을 위해 LATE자료를 사용하고 있으며 작업 시작 시간에 LATE 자료가 없는 부분에 대하여 ERLY자료를 사용하고 있는데, 보통 분석 당일 00시는 LATE자료 제공시간이 늦어 ERLY자료를 사용하고 있다.

만약 작업수행 시작 시간(06UTC) 보다 늦게 생성이 되었을 경우, ocnd_start부터 재수행 하여서 share/cycle/${DATE}/global에 입력자료가 정상적으로 link되었는지 확인 후 ocndg_bflux_foamout_bulk_ext, ocndg_bflux_marine_ext suite을 재수행한다.

만약, 수치예보모델의 입력자료 생성시간이 계속 지연될 경우, 경계자료 생성은 불가하고, 이러한 문제를 해결하기 위해 ocnd_start의 실행파일인 bin/os_start_ocn 스크립트 중, 입력자료를 link하는 부분에서 date를 -1로 설정하여 전일 생성한 결과파일을 링크하게 설정할 수 있다.

만약, 전지구 수치예보모델에서 생산하는 입력자료 생성에, 하루 이상 문제가 지속될 경우, 수치예보모델의 다른 결과물(grib 포맷)을 이용하여 경계장을 생성하여야 한다.

5.6 모델링 과정에서 blow-up 이 발생한 경우 대처 방법

입력자료(경계장, 관측자료)에 이상이 없는지 확인한 후, 이상이 없을 경우 각 네임리스트의 적분 시간간격(rn_rdt)을 1200 sec에서 900 sec 로 변경하여 재 적분을 수행한다.

네임리스트 같은 경우 해당 suite의 rose-app.conf 등 옵션을 통해 들어가게 되고 configure 파일을 수정해야한다. orca025의 경우는 namelist를 /_data/critical/Nemo_Inputs/vn3.1.0/에서 옵션에 맞는 것을 복사해오는데 qien.nemo.namelist.orca025의 rn_rdt를 수정하면 되고 eorca025의 경우는

app/nemo_cice/rose-app.conf를 수정한다.

5.7 관측 데이터가 소량, 비정상 입수되어 에러 발생한 경우

1.

자료동화 중 비용함수를 최소화하는 반복계산(inner iteration)에서 특정 단계에서 계산이 멈추어 wall-time 종료와 함께 작업이 종료가 된다면, 에러가 나는 관측자료에 대해 dummy file로 대체하여 계산한다. 간단하게 적용할 수 있는 방법은 품질관리 작업 ocndg_obs_prepro 이후에 생성된 share/cycle/${DATE}/qwen00.orca025.obs_Procd 에서 해당 관측자료를 지우고, dummy 파일을 쓰는 방법이 있다. 참고로 품질관리된 자료는 ${obs_type}_01.daym?.nc 와 같은 파일명을 가지며, dummy 파일은 _data/obs_dummy 이하에 보관하고 있다.

2.

in-situ 데이터(surface)가 비정상으로 존재할 경우, matchup 과정에서 에러가 발생할 수 있다. surface 관측자료 전처리를 하고난 뒤 output의 용량이 정상적인지 확인을 먼저 해야한다(약 1MB). 용량이 비정상적일 경우, 관측자료 입수부터 재 시작하여 observation_cp, OBS_PROCESS를 순차적으로 재수행해준다.

5.8 failed/SIGUSR2 에러 메시지 발생 시

job.err를 확인 했을 때, 에러 메세지가 failed/SIGUSR2가 뜨면서 실패했다면 설정 해둔 제한 시간동안 완료하지 못하여 중간에 종료됐을 가능성이 있다. 해당 작업에 입력 자료에 문제가 없다면 execution time limit이 짧게 설정되어 에러가 발생했을 수 있으니 suite-runtime-opsuite.rc 등 작업에 걸려있는 time limit을 충분히 길게하고 재 수행한다.

부록 A. Quick Start

여기에서는 사용자들이 전지구 해양자료동화시스템을 최단 시간에 설치하고 테스트하는 것을 목적으로 기본적인 설치 및 환경설정에 관해 설명하고자 한다. 현재(2022.11), 현업 전지구 해양자료동화시스템과 동일한 버전의 소스코드, 운영 스크립트, 관련 유틸리티 등은 5호기 최종분의 현업 계정에 보관되고 있다.

1. 개인 VMWARE(local) 설치를 하고 모듈 세팅 및 5호기 최종분 계정(remote) 세팅과 터널링을 한다.

  1.1 VMWARE 세팅($HOME 이하)

   - .bashrc

     : VMWARE에 fcm, rose, cylc가 설치 필요

```
# Block out interactive running section

# If not running interactively, don't do anything
###case $- in
###     *i*) ;;
###       *) return;;
###esac

. /opt/Modules/default/init/bash
module load fcm rose cylc xconv
```

   - .metomi/rose.conf

```
meta-path=~ /etc/rose-meta
[external]
rsync=rsync -a --exclude=.* --timeout=1800 --rsh='ssh -oBatchMode=yes -oStrictHostKeyChecking=no'
ssh=ssh -oBatchMode=yes -oStrictHostKeyChecking=no
terminal=gnome-terminal
[rose-host-select]
default = hpc5
group{hpc4} = ngate5 ngate6 ngate7 ngate8
group{hpc5pre} = enter4 enter5 enter6
group{hpc5} = naru05 naru06 naru07 naru08 naru09 naru10 naru11 naru12
group{HOST_XC40} = ngate5 ngate6 ngate7 ngate8
group{HOST_SD540} = naru05 naru06 naru07 naru08 naru09 naru10 naru11 naru12
thresholds{hpc4} = fs:/var/tmp:75 fs:/tmp:75
thresholds{hpc5} = fs:/var/tmp:75 fs:/tmp:75
[rose-mpi-launch]
launcher-list=mpiexec
launcher-fileopts.mpiexec=-file $ROSE_COMMAND_FILE
launcher-preopts.mpiexec=-n $NPROC -env OMP_NUM_THREADS $OMP_NUM_THREADS
[rose-suite-run]
root-dir{share/cycle}=naru*=$HOME/_data           ; share/cycle 생성 경로
                      =maru*=$HOME/_data
                      =pmaru*=$HOME/_data
                      =guru*=$HOME/_data
                      =pguru*=$HOME/_data
                      =duru*=$HOME/_data
                      =pduru*=$HOME/_data
root-dir{work}=naru*=$HOME/_scratch             ; work dir 생성 경로
               =maru*=$HOME/_scratch
               =pmaru*=$HOME/_scratch
               =guru*=$HOME/_scratch
               =pguru*=$HOME/_scratch
[rosie-db]
db.kmt = sqlite:////data/rosie/kmt-db.sqlite
repos.kmt=/data/svn/kmt
[rosie-browse]
icon-path-scheduler = /s4/home/nwpr/gum/TIS/cylc/images/icon.png
[rosie-id]
prefix-default = kmt
prefix-location.kmt=svn://trac.kma.go.kr/kmt
prefix-web.kmt=http://trac.kma.go.kr/trac/KMT_trac
prefix-ws.kmt=http://trac.kma.go.kr/rosie/kmt
prefix-location.u=svn://trac.kma.go.kr/u
prefix-web.u=http://trac.kma.go.kr/trac/roses-u_trac
prefix-ws.u=http://trac.kma.go.kr/rosie/u
[rosie-vc]
access-list-default=*
[rose-stem]
automatic-options=SITE=kma
[rosie-ws]
log-dir = /data/rosie/log
port = 80
```

- .ssh/config

```
Host naru* IP
  port 20022

Host *
  port 22
  ForwardX11 yes
  ForwardX11Trusted yes
```

- .cylc/global.rc

```
[hosts]
    [[localhost]]
        copyable environment variables = FCM_VERSION, ROSE_VERSION
    [[naru*]]
        task communication method       = ssh
    [[guru*]]
        task communication method       = ssh
    [[pguru*]]
        task communication method       = ssh
    [[maru*]]
        task communication method       = ssh
    [[pmaru*]]
        task communication method       = ssh

[communication]
    method                              = http

[suite servers]
    run ports                          = 43001 .. 43010

[suite host self-identification]
    method                              = hardwired
    host                               =                 ; 개인 local IP
```

1.2 5호기 최종분 계정 세팅

- 외부 저장소에서 참조 및 공유

```
$ cd $HOME; svn co http://svn주소/svn/mdl/vm/hpc5/.startup
$ find .startup -mindepth 1 -maxdepth 1 -exec ln -fs {} . \;
```

1.3 local, 5호기 계정 간 터널링

- ssh-keygen –t rsa 명령어를 통한 .ssh/id_rsa.pub key를 생성 (local, hpc5)
- .ssh/authorized_key(local)에 .ssh/id_rsa.pub(hpc5)의 key를 붙여넣기
- .ssh/authorized_key(hpc5)에 .ssh/id_rsa.pub(local)의 key를 붙여넣기
- ssh할 때 password가 필요없이 바로 접속이 가능한지 확인 (local->hpc, hpc->local)

2. local에서의 kmt-ab408 rose을 commit하여 가져온다.

```
$ cd $HOME/rose
$ rosie co kmt-ab408
```

3. kmt-ab408 세팅

*user명을 제외하고 이미 정의 되어 있는 정보를 변경 없이 사용해도 된다

3.1 rose-suite.conf

환경변수	내용
local_user='${local id}' remote_user='${hpc id}'	local 사용자 계정(vmware) remote 사용자 계정(hpc)

3.2 opt/rose-suite-daily-kma-x86.conf

환경변수	내용
START_CYCLE="20210601T0000Z"	시작 날짜

3.3 site/kma/x86/

표 A.1. 디렉토리 구성을 위한 rc파일 기본 환경 설정

파일명	환경변수	내용
resources.rc	OSTIA_DATA_DIR = ${HOME}/tids/NEMO_SHARE	OSTIA DATA 위치
	FlxSourceDir = ${HOME}/_data/FLUX/DAOU	Flux daym1,2 (windspeed)위치
	path_to_os = ${HOME}/_data/godaps_init/20210622T0000Z	eorca025 격자 restart,obsbias, pcbias 등 파일 위치

	path_to_godaps = ${HOME}/_data/seed/godaps1/restarts	orca025 restart 파일 위치 (startdump)
	KMA_INIT_CYCLE_DIR = ${HOME}/_data/godaps_init/20210622T0000Z	anc 파일 위치
	indir_raw_observations= "${HOME}/_data/obs_raw_kma"	관측 자료 위치
	argo_stlist_file= "${HOME}/tids/NEMO_SHARE/ancil/ar_greylist_20181030_kma.txt“	argo greylist 파일 위치
paths.rc	NEMO_INPUTS = ${HOME}/_data/critical/Nemo_Inputs/vn3.1.0	nemo input 데이터 (namelist, bias에 대한 climatlogy 등)
	NEMO_EXECS = ${HOME}/TI/nemovar/share/' + module_mpi_suffix + '/bin	실행파일 위치
	NEMO_GRIDS = ${HOME}/tids/NEMO_SHARE/interpolation_weights/orca025ext/ps41.0	내삽 grid 파일 위치
	OPS_BUILD_DIR = ${HOME}/TI/nemovar/share/' + module_mpi_suffix + '/bin	실행파일 위치
	UMDIR = ${HOME}/TI/UM	UM 경로
	NCO_DIR = ${HOME}/TI/common/nco/4.7.2/gnu/8.4.1/bin	NCO 디렉토리
	GLOBAL_NWP_ARCHIVE_DIR = /ndss/dss2/data/${id}/ARCV/MODL/GDPS/N128 *jinja2 문법으로 작성 ({%, set, %} 포함)	GDAPS 데이터 위치
classes.rc	{% set CLASS_SERIAL = "normal_p@maru" %} {% set CLASS_PARALLEL = "normal@maru" %} {% set CLASS_SUBNODE = "normal_p@maru" %} {% set CLASS_LARGE_MEM = "normal@maru" %}	queue @ 계산노드서버

4. 처음 수행시(ocnd_first_time) 필요한 파일 준비

resources.rc에 해당하는 경로에 파일 준비

- path_to_os, path_to_godaps, KMA_INIT_CYCLE_DIR, FlxSourceDir

4.1 path_to_os (eorca025)

- 최초 eorca025 grid로 생산된 파일이 없어서 영국에서 받은 자료 사용

4.1.1 obsbias, pcbias (${path_to_os}/DAYM2_G025)

- obsbias: SST_${TYPE}_OBIAS.nc
- pcbias: NPROC x JPROC(594개)개수와 같거나 rebuild하여 pcbias.nc 파일 가능

4.1.2 background (${path_to_os}/DAYM2_G025)

- restart: 파일이 594개이거나 rebuild하여 restart.nc
- restart_iceberg: 파일이 594개이거나 rebuild하여 restart_icebergs.nc

4.1.3 results (${path_to_os}/DAYM1_G025)

- mersea.grid_T.nc:
  영국자료 prodm_op_gl.gridT_20210601_00.-12.nc를 파일명 변경

4.2 FlxSource (FlxSourceDir)

- 시작날짜 D-2, D-1의 Flux 데이터(windspeed)를 생성(eorca025)
  ex) daily_sbc.orca025ext/windspd_T_1h_y2021m06d21.nc
- GDAPS data(D-5까지)를 준비하고 D-2, D-1 날짜로 ocnd_start -> 경계자료 전처리(OCND_FLUX_PROCESS)만 수행하여 생성 가능

4.3 anc 파일 (KMA_INIT_CYCLE_DIR)

- ${HOME}/Document/nemovar_init_files/run/setup.nml
  namelist 수정 (nemo_restart_dir, workdir, tmpdir, nco_dir 등)
- script/cr_ancil.py를 lsf로 작업 실행 (Documents/run_cr_ancil.py)
- _scratch/nemovar_init_files/에 run.out, run.err 생성, tmp에 output생성

5. GDAPS, 관측자료 확보

- 수행하고자 하는 날짜의 GDAPS, 관측자료 확보 (resources.rc의 dir 경로 설정)

6. rose suite-run 명령어로 kmt-ab408 수행

*첫 날짜 수행 이후부터는 전날 데이터를 갖고 수행하기 때문에 GDAPS, 관측자료만 있으면 된다.

GODAPS2는 LOCAL, HPC 간의 연결이 되어 수행되기 때문에 설치를 위해서, 먼저 개인 VMWARE를 설치하고 1.1과 같은 세팅을 한다. $HOME이하에 각 파일을 수정 및 생성해야한다. VMWARE에는 fcm, rose, cylc가 설치되어야 한다.

표 A.2. 필요한 module files 목록 (LOCAL)

```
${id}@ubuntu:~$ module list
Currently Loaded Modulefiles:
 1) fcm/2019.09.0    2) rose/2019.01.2    3) cylc/7.9.1    4) xconv/1.94
```

슈퍼컴퓨터 5호기 계정(HPC)에서는 1.2와 같이 .startup을 svn을 통해 복사해오고 해당 세팅을 그대로 명령어를 통해 설정하게 된다.

LOCAL, HPC 세팅이 끝난 후 두 계정 간에 터널링이 필요한데 ssh-keygen -t rsa 명령어를 통해 생긴 .ssh/id_rsa.pub 파일안에 key내용을 반대편 .ssh/authorized_key에 붙여넣으면 된다. 그리고 ssh를 통해 접속을 하여 password 입력없이 접속이 되는지 확인을 한다.

세팅이 끝난 후, LOCAL에서 ${HOME}/rose 디렉토리에서 kmt-ab408을 commit하여 가져온다. kmt-ab408를 개인 계정에 맞게 설정을 하는데 현재 kmt-ab408은 여러 configure 파일이 include되어 있기때문에 필요에 따라 해당 configure 파일을 찾아 수정을 해야한다(3. 참고) 먼저 rose-suite.conf 파일에서 user명을 바꿔주고 /opt/rose-suite-daily-kma-x86.conf 파일에서 START_CYCLE을 수정하여 시작날짜를 설정한다. 그리고 3.3을 참고하여 디렉토리 구성을 설정한다.

처음 수행 시에는 ocnd_first_time suite이 수행되며 이에 필요한 파일들이 있는데 test 수행을 위해 이미 있는 자료의 날짜로 설정하여 test하는 것도 방법이다(3.3 참조). 다른 날짜의 수행을 위해서는 4에 나온 데이터를 준비해야 하는데 path_to_os는 eorca025 격자의 파일이며 최초 생산된 자료가 없어서 영국자료를 사용하였다. 4.1과 같이 디렉토리 구조는 path_to_os/DAYM2_G025/obsbias, pcbias, background와 path_to_os/DAYM1_G025/results 디렉토리 생성 후 파일을 넣는다. DAYM1_G025/results는 영국자료 prodm_op_gl.gridT_20210601_00.-12.nc를 파일명 변경하여 사용한다. path_to_godaps에 해당하는 파일은 orca025 grid restart 파일인데 GODAPS1에서 생산되고 있는 startdump 폴더를 가져와서 사용하였다. FlxSource 데이터는 eorca025 grid의 flux(windspeed) 데이터이며 수행날짜 D-2, D-1의 데이터가 필요하다. 폴더명과 파일명은 daily_sbc.orca025ext/windspd_T_1h_y2021m06d21.nc과 같은 구조로 만든다. 마지막으로 anc파일이 필요한데 eorca025 grid의 restart파일으로 생성한다. 4.4에 나와있듯이 순서대로 namelist를 수정하고 Documents/run_cr.ancil.py를 실행하는 script/cr_ancil.py를 작업 제출한다. 그리고 생성된 output을 KMA_INIT_CYCLE_DIR 경로에 넣어준다.

필요한 데이터가 모두 준비 되었다면 local의 rose/kmt-ab408 디렉토리에서 rose suite-run 명령어 사용으로 실행하고 cylc창에서 suite들의 모니터링이 가능하다. state는

보통 waiting - submitted - running - failed, succeeded으로 상태가 변하며 해당 suite의 job.err, job.out등 확인이 바로 가능하다. 또한 작업의 순서는 graph-opsuite.rc에서 지정해주며 R1은 최초 실행시, T00은 하루마다 반복 수행하는 task를 뜻한다.

부록 B. 세계기상기구(WMO) 자료의 파일 명명 규칙

WMO에서는 자료의 형태를 나타내는 구분자를 표 B.1과 같이 T1과 T2를 통해 나타낸다. 표 B.2에 따르면 T1은 22가지의 종류가 존재한다.

T1 T2 A1 A2 ii CCCC YYGGgg (BBB)

표 B.1. Configuration of data type A1

T1	T2	A1	Data type	TAC correspondence
I	O	B	Buoy observations	BUOY
I	O	I	Sea ice	
I	O	P	Sub-surface profiling floats	TESAC
I	O	R	Sea surface observations	TRACKOB
I	O	S	Sea surface and below soundings	BATHY, TESAC
I	O	T	Sea surface temperature	
I	O	W	Sea surface waves	WAVEOB
I	O	X	Other sea environmetal	
I	O	Z	Deep ocean tsunameter	

이 중 BUFR 프로파일 자료는 T1이 I인 경우로 'IOP'와 'IOB', 'IOS'가 속한다. 그리고 전문 자료(message)의 경우에는 T1이 S인 'Surafce data'에 속하며 T1이 S인 경우에 T2는 Table 3.11과 같이 21가지가 존재하며 이 중 T2가 O인 해양 자료와 T2가 S인 계류부이 자료를 수집하였다. 코드 형태는 각각 FM-63(BATHY), FM-64(TESAC)과 FM-18(DRIFTER)의 구조를 분석하여 프로그램에 적용하였다.

표 B.2. Data type designator T1 Matrix Table.

T1	Data type
A	Analyses
B	Addressed messages
C	Climatic data
D	Grid point information (GRID)
E	Satellite imagery
F	Forecasts
G	Grid point information (GRID)
H	Grid point information (GRIB)
I	**Observational data (binary coded) - BUFR**
J	Forecast information (binary coded) - BUFR
K	CREX
N	Notices
O	Oceanographic information (GRIB)
P	Pictorial information (Binary coded)
Q	Pictorial information regional (Binary coded)
S	**Surface data**
T	Satellite data
U	Upper-air data
V	National data
W	Warnings
X	GRID regional use
U	GRIB regional use

따라서 본 과업에서 수집한 자료는 3가지의 BUFR 자료와 3가지의 전문 자료로써 1시간 간격의 ARGO 플로트와 TESAC, 그리고 BATHY 자료가 포함된 GTS SO 자료와 1시간 간격의 계류 부이 자료가 포함된 GTS SS 자료이다. GTS SO는 S(Surface data) O(Oceanographic data)의 약자로, BATHY, TESAC, TRACKOB 자료가 포함된다. 그리고 S(Surface data) S(Drifting buoy reports)의 약자로, Drifter 자료가 포함된다. 이 전문 자료들은 기존의 BUFR나 NetCDF와는 다른 ascii 형식이며, 전문 자료에 대한 프로그램을 위해 각각의 자료에 대한 구조 분석을 수행하였다. GTS SS는 ‘FM 18-XII BUOY’의 구조를 따르고, GTS SO는 'FM 63-XI Ext. BATHY', 'FM 64-XI Ext. TESAC'의 구조를 따른다.

표 B.3. Data type designator T2 (when T1 = S)

T2	Data type	Code form (name)
A	Aviation routine reports	FM 15 (METAR)
B	Radar reports (Part A)	FM 20 (RADOB)
C	Radar reports (Part B)	FM 20 (RADOB)
D	Radar reports (Part A&B)	FM 20 (RADOB)
E	Seismic data	* (SEISMIC)
F	Atmospheric reports	FM 81 (SFAZI), FM 82 (SFLOC), FM 83 (SFAZU)
G	Radiological data report	FM 22 (RADREP)
I	Intermediate synoptic hour	FM 12 (SYNOP), FM 13 (SHIP)
M	Main synoptic hour	FM 12 (SYNOP), FM 13 (SHIP)
N	**Non-standard synoptic hour**	FM 12 (SYNOP), **FM 13 (SHIP)**
O	**Oceanographic data**	**FM 63 (BATHY), FM 64 (TESAC),** FM 62 (TRACKOB)
P	Special aviation weather reports	FM 16 (SPECI)
R	Hydrological (river) reports	FM 67 (HYDRA)
S	**Drifting buoy reports**	**FM 18 (DRIFTER)**
T	Sea ice	TEXT
U	Snow depth	TEXT
V	Lake ice	TEXT
W	Wave information	FM 65 (WAVEOB)
X	Miscellaneous	TEXT
Y	Seismic waveform data	
Z	Sea-level data and deep-ocean tsunami data	

표 B.4. 관측자료 타입별 파일명 및 위치

Observation Type	Measurement (platform etc)	파일명	통합스토리지 내 자료 위치
Profile		GTS#SO_$date	/DATA/GTS/JUN
		GTS#SS_$date	
		????_IOP?_$date.bfr	/DATA/GTS/BUFR
		????_IOS?_$date.bfr	
in-situ SST			/DATA/GTS/JUN
		????_IOB?_$date.bfr	/DATA/GTS/BUFR
		????_IOS?_$date.bfr	
		????_IOR?_$date.bfr	
		????_IOT?_$date.bfr	
Satellite SST	METOP	$date*-AVHHR_SST_METOP_B-*.nc	/DATAS/GHRSST/METOP
	AMSR-2	$date*-REMSS-L2P_GHRSST-SSTsubskin-AMSR2-*.nc	/DATAS/GHRSST/AMSR2
	VIIRS	$date*-STAR-L3U_GHRSST-SSTsubskin-VIIRS_NPP-ACSPO_*.nc	/DATAS/GHRSST/VIIRS
SLA	Altika	nrt_global_al_phy_l3_$date_????????.nc	/DATA/OCN/PHY/AL
	Sentinel-3A	nrt_global_s3a_phy_l3_$date_????????.nc	DATA/OCN/PHY/S3A
Sea Ice Conc.	Sentinel-3B	nrt_global_s3b_phy_l3_$date_????????.nc	DATA/OCN/PHY/S3B
	OSI-SAF (SSMIS)	ice_conc_n(s)h_polstere-100_multi_$date.nc	/DATA/SAT/OCN/ICE

부록 C 관측자료 디코딩

Profile

Bufr 자료

BUFR는 세계기상기구에서 관리하는 이진데이터 형식의 자료로 문자열 기반으로 위치를 유도하는 기상 코드를 대체하기 위해 제작되었으며, 다양한 종류의 지구 관측자료를 함축적으로 표현하기 위해 테이블을 참조하도록 설계되었다. BUFR Message는 Octet(=8 bits)[1] 단위로 이뤄지며, 내용에 따라 섹션 [0-5]인 6개로 구성된다. 각 섹션 정보는 다음과 같다(표 C.1).

표 C.1. Information of sections for BUFR 포맷 자료

Section number	Name	Contents
0	indicator section	“BUFR" (아스키 문자와 동일한 CCITT International Alphabet No.5 로 코딩) 및 BUFR 버전, 메시지의 길이 포함
1	identification	섹션 길이와 세션 메시지 확인
2	optional section	섹션의 길이 및 데이터 처리 센터에 의해 로컬 사용을 위한 추가 항목에 대한 정의
3	data description	섹션의 길이 및 데이터 섹션의 하위 집합, 데이터 카테고리의 표시, 데이터 압축 표시, 개별 데이터 요소의 형식과 내용을 정의하는 메타 데이터의 설명, 데이터 컬렉션의 수를 정의
4	data section	섹션의 길이 및 실제 관측 데이터 (Binary Format)
5	end section	"7777" (CCITT International Alphabet No. 5으로 코딩)

표 각 섹션별 데이터의 정의는 다음(표 C.2~7)과 같다.

① Section 0 - Indicator Section

표 C.2 Section "0" of BUFR table.

Octet No.	Contents
1-4	BUFR four letters in CCITT International Alphabet No.5
5-7	Total length of Bufr message in bytes
8	Bufr Edition number (currently 4)

② Section 1 - Identification Section

1) Byte는 CPU에 따라 8bits 이상일 수 있으므로 Octet으로 구분

표 C.3 Section "1" of BUFR table.

Octet No.	Contents
1-3	Length of section 1
4	Bufr master table (zero if standard WMO FM 94-IX BUFR tables are used)
5-6	Identification of originating/generating centre
7-8	Identification of originating/generating sub-centre
9	Update sequence number (zero for original BUFR messages; incremented by one for updates)
10	Bit 1 = 0 No optional section Bit 1 = 1 Optional section follows Bit 2-8 Set to zero (reserved)
11	Data Category (Table A)
12	International data sub-category
13	Local sub-category
14	Version number of master table used (currently 12 for WMO FM 94-IX Ext. BUFR tables)
15	Version number of local tables used to augment the master table in use
16-17	Year(4 digits)
18	Month
19	Day
20	Hour
21	Minute
22	Second
23-	Reserved for local use by ADP centres

③ Section 2 - Optional Section

표 C.4 Section "2" of BUFR table.

Octet No.	Contents
1-3	Length of section in bytes
4	Set to zero (reserved)
5-	reserved for local use by ADP centres

④ Section 3 - Data Description Section

표 C.5 Section "3" of BUFR table.

Octet No.	Contents
1-3	Length of section
4	set to zero (reserved)
5-6	Number of data subsets
7	Bit 1 = 1 Observed data Bit 1 = 0 Other data Bit 2 = 1 Compressed data Bit 2 = 0 Non compressed data Bits 3-8 set to zero (reserved)
8-	A collection of element descriptors, replication descriptors, operator descriptors and sequence descriptors, which define the form and contents of individual data elements comprising one data subset in the data section.

⑤ Section 4 - Data Section

표 C.6 Section "4" of BUFR table.

Octet No.	Contents
1-3	Length of section in bytes
4	set to zero (reserved)
5-	Binary data as defined by sequence descriptors

⑥ Section 5 - End Section

표 C.7 Section "5" of BUFR table.

Octet No.	Contents
1-4	"7777” (coded according to the CCITTIA No 5)

BUFR 데이터의 구조와 각 테이블에 따라 NEMOQC의 입력 자료 형식인 NetCDF 포맷으로 변경하였다. 수집된 일별 관측자료는 하나의 관측 파일로 모두 취합하여 생성하도록 제작하였다. 아래의 표 C.8은 Argo Float 관측자료의 샘플 자료를 분석한 테이블로써 하나의 BUFR는 하나 이상의 하위 데이터(Subset)을 갖는다.

표 C.8 Example of BURF format with Argo Float data(first Subset).

No.	MSG	VALUE	DESCRIPTION
1	1087	6901949.00000	WMO MARINE OBSERVING PLATFORM EXTENDED IDENTIFIER
2	1085	APEX-SBE 3548	OBSERVING PLATFORM MANUFACTURER'S MODEL
3	1086	APEX-SBE 3548	OBSERVING PLATFORM MANUFACTURER'S SERIAL NUMBER
4	2036	2.00000	BUOY TYPE
5	2148	1.00000	DATA COLLECTION AND/OR LOCATION SYSTEM
6	2149	26.00000	TYPE OF DATA BUOY
7	22055	114.00000	FLOAT CYCLE NUMBER
8	22056	0.00000	DIRECTION OF PROFILE
9	22067	846.00000	INSTRUMENT TYPE FOR WATER TEMPERATURE PROFILE MEASUREMENT
10	4001	2014.00000	YEAR
11	4002	2.00000	MONTH
12	4003	24.00000	DAY
13	4004	1.00000	HOUR
14	4005	15.00000	MINUTE
15	5001	34.71900	LATITUDE (HIGH ACCURACY)
16	6001	155.32900	LONGITUDE (HIGH ACCURACY)
17	8080	20.00000	QUALIFIER FOR GTSPP QUALITY FLAG
18	33050	1.00000	GLOBAL GTSPP QUALITY FLAG
19	31002	115.00000	EXTENDED DELAYED DESCRIPTOR REPLICATION FACTOR
20	7065	42000.00000	WATER PRESSURE
21	8080	10.00000	QUALIFIER FOR GTSPP QUALITY FLAG
22	33050	1.00000	GLOBAL GTSPP QUALITY FLAG
23	22045	285.54900	SEA/WATER TEMPERATURE
24	8080	11.00000	QUALIFIER FOR GTSPP QUALITY FLAG
25	33050	1.00000	GLOBAL GTSPP QUALITY FLAG
26	22064	34.47700	SALINITY

No.	MSG	VALUE	DESCRIPTION
27	8080	12.00000	QUALIFIER FOR GTSPP QUALITY FLAG
28	33050	1.00000	GLOBAL GTSPP QUALITY FLAG
			No.20~28의 115번 반복

데이터 형식 변경을 위해 관측자료와 NetCDF 포맷의 각 변수들을 비교하였다. NEMOQC의 프로파일 관측자료의 입력 형태와 BUFR 자료의 Matching table은 표 C.9에 보여주는 바와 같다.

표 C.9 The example of matching table to Argo file format for NEMOQC.

BUFR			Argo file for NEMOQC (NetCDF)		
MSG	Description	Type	Name	Description	Dimension
2036	부이 종류	character	DATA_TYPE	ARGO 또는 ENACT 파일의 저장 데이터 유형	[STRING16]
-	-	character	REFERENCE_DATE_TIME	율리우스 일자로 변환하기 위한 기준 일자	[DATE_TIME]
-	-	character	PROJECT_NAME	프로젝트명	[N_PROF,STRING64]
-	-	character	STATION_PARAMETERS	사용가능한 입력인자 목록	[N_PROF,N_PARAM,STRING4]
1087	플랫폼 식별자	character	PLATFORM_NUMBER	float 판별을 위한 식별자	[N_PROF,STRING8]
22055	CYCLE NUMBER	integer	CYCLE_NUMBER	float cycle number	[N_PROF]
-	-	character	DATA_MODE	실시간 관측처리 데이터 또는 지연 처리 데이터 식별자	[N_PROF]
22067	기기 종류	character	WMO_INST_TYPE	기기 종류 식별자	[N_PROF,STRING4]
4001	년	double	JULD	율리우스 시간(UTC) (1950년 1월 1일 세계 협정시 00시 00분 0초 일 이후)	[N_PROF]
4002	월				
4003	일				
4004	시				
4005	분				
5001	위도 (고정밀)	double	LATITUDE	관측 위치의 위도	[N_PROF]
6001	경도 (고정밀)	double	LONGITUDE	관측 위치의 경도	[N_PROF]
7065	수압	double	DEPH	압력	[N_PROF,N_LEVELS]
-	-	double	DEPH_ADJUSTED	교정압력	[N_PROF,N_LEVELS]
-	-	double	DEPH_ADJUSTED_ERROR	교정압력 오차	[N_PROF,N_LEVELS]
8080	염분	double	PSAL	염분 (psu)	[N_PROF,N_LEVELS]
-	-	double	PSAL_ADJUSTED	교정 염분	[N_PROF,N_LEVELS]
33050	수온	double	TEMP	온도 (degree_celsius)	[N_PROF,N_LEVELS]
-	-	double	TEMP_ADJUSTED	교정 온도	[N_PROF,N_LEVELS]
-	-	character	PRES_ADJUSTED_QC	압력의 QC flag	[N_PROF,N_LEVELS]

BUFR			Argo file for NEMOQC (NetCDF)		
MSG	Description	Type	Name	Description	Dimension
-	-	character	PSAL_ADJUSTED_QC	염분의 QC flag	[N_PROF,N_LEVELS]
-	-	character	TEMP_ADJUSTED_QC	온도의 QC flag	[N_PROF,N_LEVELS]

TESAC (FM 64-XI Ext. TESAC from GTS#SO)

FM 64-XI Ext. TESAC 형태의 GTS SO 자료는 5개의 Section으로 구성되어 있다. 표 C.10는 각 Section 별로 기록된 자료들의 설명을 나타낸다.

표 C.10 Code form for the FM-64 TESAC message.

Section	Contents
1	Identification, time and position data for each platform
2	Temperatures, salinities at selected depth
3	Current at selected depth (optional)
4	Total water depth (optional)
5	Ship's call sign or station identification group

Section 1에는 프로파일의 위도와 경도, 관측된 시간 정보와 그룹명과 같은 일반 정보가 기록된다. 그리고 Section 2에는 관측된 수심의 온도와 염분 값이 기록된다. Section 3에는 관측된 수심 별로 해류 값이 기록되며, Section 4에는 총 Total water depth 값이 기록된다. 마지막 Section 5에는 선박의 호출 사인이나 관측 지점을 구분할 수 있는 그룹명이 기록되고, 경우에 따라 Section 3과 Section 4는 생략될 수 있다. 국립기상과학원에서는 온도와 염분 프로파일 관측자료들을 확충하기 위해 Section 1과 Section 2, Section 5의 정보를 읽고 변환하는 프로그램을 설계하였다.

FM 64–XI Ext. TESAC **Temperature, salinity and current report from a sea station**

CODE FORM:

SECTION 1	$M_iM_iM_jM_j$	YYMMJ	GGgg/	$Q_cL_aL_aL_aL_aL_a$	$L_oL_oL_oL_oL_oL_o$	(i_uddff)	$(4s_nTTT)$
SECTION 2	$888k_1k_2$	$I_XI_XI_XX_RX_R$	$2z_0z_0z_0z_0$	$3T_0T_0T_0T_0$	$4S_0S_0S_0S_0$		
			$2z_1z_1z_1z_1$	$3T_1T_1T_1T_1$	$4S_1S_1S_1S_1$		
			. . . . .	. . . . .	. . . . .		
			$2z_nz_nz_nz_n$	$3T_nT_nT_nT_n$	$4S_nS_nS_nS_n$	(00000)	
SECTION 3	$(66k_6k_4k_3$	$2z_0z_0z_0z_0$	$d_0d_0c_0c_0c_0$				
		$2z_1z_1z_1z_1$	$d_1d_1c_1c_1c_1$				
		. . . . .	. . . . .				
		$2z_nz_nz_nz_n$	$d_nd_nc_nc_nc_n)$				
SECTION 4	(55555	$1Z_dZ_dZ_dZ_d)$					
SECTION 5	D . . . . D or 99999	$A_1b_wn_bn_bn_b$					

그림 C.1 Code form for the FM-64 TESAC message.

그림 C.1는 구체적인 전문 코드의 형태를 각 Section 별로 나타낸다. 앞에서 언급 했듯이 5개의 Section 중 본 과정에서는 Section 1과 Section 2, Section 5를 읽고 변환한다. Section 1의 "YYMMJ GGgg/"에서 YY는 일, MM은 월, J는 연도의 마지막 한 자리를 나타내고, GG는 시간, gg는 분을 나타낸다. 예를 들어, 2015년 10월 21일 15시 22분에 관측된 자료의 경우 “21105 1522/"로 나타낼 수 있다. 단, 모든 시간은 UTC로 계산된다.

Q_c *Quadrant of the globe*

Code figure	Latitude	Longitude
1	North	East
3	South	East
5	South	West
7	North	West

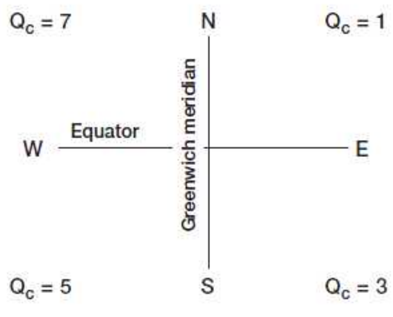

그림 C.2 Quadrant of the globe in code table 3333.

그리고 Qc는 위치구분자로써 그림 C.2와 같이 구분되어 사용된다. 이 구분자는 영국 그리

니치 천문대를 기준으로 경도 0°와 적도를 기준으로 동쪽과 서쪽 그리고 북쪽과 남쪽으로 선을 그어 4구역을 구분해 위도(LaLaLaLaLa)와 경도(LoLoLoLoLoLo)를 변환한다. 위、경도는 동일하게 1/1000 단위를 사용한다. 만약 구분자가 3이나 5인 경우 위도에 부호를 '-'로 변환한다. 또한, 경도의 경우도 마찬가지로 구분자가 5나 7인 경우에 부호를 '-'로 변환한다. 예를 들어, "124100 084400"의 경우는 Qc가 1이기 때문에 북동 구역에 해당된다. 따라서 위도는 24100에 0.0001을 곱해 24.1°N이 되고, 경도는 084400에 0.0001을 곱해 84.4°E가 된다.

Section 2에서는 관측을 위해 사용된 기기 형태(Instrument type, IXIXIX)와 수심(in meter, z0z0z0z0)과 온도(in degC, T0T0T0T0), 염분(in PSU, S0S0S0S0) 값들이 기록된다. 각 변수에는 변수의 종류를 구분할 수 있는 index가 위치하며 수심의 경우 2, 온도는 3, 그리고 염분은 4의 index를 가진다. 그리고 기록된 수심과 온도, 염분 값은 정수 값으로 기록되어 있기 때문에, 각각의 scale factor를 동일하게 0.01로 적용한다. 예를 들어, "20002 32441 43501"은 2 m의 수심에서 관측된 24.41 °C와 35.01 PSU의 온도와 염분 값을 의미한다. 만약 결측 값인 경우 문자 형태의 "/" 또는 "////"로 기록된다.

BATHY (FM 63-XI Ext. BATHY from GTS#SO)

FM 63-XI Ext. BATHY 형태의 GTS#SO 자료는 4개의 Section으로 구성되어 있다. 표 C.11은 Section 별로 기록된 자료들의 설명을 나타낸다.

표 C.11 Code form for the FM-63 BATHY message.

Section	Symbolic figure group	Contents
1	-	Identification and position data. Wind and air temperature (optional).
2	8888	Type of instrumentation and temperatures at either significant or selected depths.
3	66666	Total water depth and surface current (optional).
4	- or 99999	Ship's call sign or station identification group A1bwnbnbnb

Section 1에는 자료의 위도와 경도, 관측된 시간 정보와 경우에 따라 바람과 기온 정보가 기록된다. 그리고 Section 2에는 관측된 수심의 온도 값들이 기록되고, Section 3에는 경우에 따라 Total water depth와 surface current 값이 기록된다. 마지막으로 Section 4에는

선박의 호출 사인(CallSign)이나 관측 지점을 구분할 수 있는 그룹명이 기록되며, Section 1의 바람과 기온 정보와 Section 3은 경우에 따라 생략될 수 있다. 본 프로그램에서는 BATHY의 온도 프로파일 관측 자료들을 확충할 계획으로 접근하였기 때문에 Section1과 Section2, Section 4의 정보를 중심으로 변환하도록 설계하였다.

FM 63–XI Ext. BATHY **Report of bathythermal observation**

CODE FORM:

SECTION 1	$M_iM_iM_jM_j$	YYMMJ	GGgg/	$Q_cL_aL_aL_aL_aL_a$	$L_oL_oL_oL_oL_oL_o$	($i_u$ddff)	(4s_nTTT)
SECTION 2	8888k_1	$I_XI_XI_XX_RX_R$	$z_0z_0T_0T_0T_0$ 999zz (00000)	$z_1z_1T_1T_1T_1$ $z_1z_1T_1T_1T_1$	....	$z_nz_nT_nT_nT_n$ $z_nz_nT_nT_nT_n$	
SECTION 3	(66666	($1Z_dZ_dZ_dZ_d$)	($k_5D_cD_cV_cV_c$))				
SECTION 4	D . . . . D or 99999	$A_1b_wn_bn_bn_b$					

그림 C.3 Code form for the FM-63 BATHY message.

그림 C.3은 Section 별로 구체적인 전문 형태를 나타낸다. 앞에서 언급 했듯이 그림 C.3의 섹션 중 섹션 1과 2, 4를 중심으로 변환한다. Section 1의 "YYMMJ GGgg/"에서 YY는 일, MM은 월, J는 연도의 마지막 한 자리를 나타내고, GG는 시간, gg는 분을 나타낸다. 예를 들어, 2015년 10월 21일 15시 22분에 관측된 자료의 경우 “21105 1522/"로 나타낼 수 있다. 단, 모든 시간은 UTC로 계산된다. 그리고 Qc는 위치구분자로써 FM-64의 전문과 동일한 규칙을 따른다.

다음으로 섹션 2에서는 관측을 위해 사용된 기기 형태(Instrument type, IXIXIX)와 수심(in meter, z0z0)과 온도(in degC, T0T0T0) 값들이 기록된다. FM-63의 경우 수심과 온도의 값들이 어떤 변수의 값인지에 대한 구분할 수 있는 인디케이터가 존재하지 않으며 값의 위치에 따라 수심과 온도를 구분해서 읽어야 한다. 그리고 기록된 수심과 온도 값들은 모두 정수(integer)로 기록되어 있기 때문에 각각의 scale factor를 각각 1.0과 0.1로 적용한다. 또한, 수심을 나타내는 자리수가 2자리이기 때문에 수심이 100 m 단위로 깊어질수록 “999zz”이 존재하게 된다. 예를 들어, “89231 99901 03201”은 89 m의 수심에서 관측된 23.1 ˚C와 103 m의 수심에서 관측된 20.1 ˚C 값을 의미한다. 만약 결측 값인 경우 문자 형태의

“/” 또는 “////”로 기록된다.

BUOY (FM 18-XII BUOY from GTS#SS)

"FM 18-XII BUOY" 형태의 GTS SS 자료는 6개의 Section으로 구성되어 있다. 표 C.12는 Section 별로 기록된 자료들의 설명을 나타낸다.

표 C.12 Code form for the FM-18 BUOY message.

Section	Contents
Section 0	Identification, time and position data
Section 1	Meteorological and other non-marine data
Section 2	Surface marine data
Section 3	Temperatures, salinities and current at selected depths
Section 4	Information on engineering …
Section 5	Data for national use

Section 0에는 프로파일의 위도와 경도, 관측된 시간 정보와 그룹명과 같은 메타 정보가 기록되고, Section 1에는 해양 자료가 아닌 기상 관측 자료가 포함된다. 그리고 Section 2에는 해양 표층의 자료들이 기록되고 Section 3에 관측된 수심의 온도와 염분 값들이 기록된다. Section 4와 5의 내용은 생략하였다. 본 프로그램에서는 Section 0의 날짜와 위치정보와 Section 3의 수심과 염분, 온도 값들을 읽고 변환하는 프로그램을 설계하였다.

FM 18–XII BUOY　　Report of a buoy observation

C O D E　F O R M :

SECTION 0	$M_iM_iM_jM_j$	$A_1b_wn_bn_bn_b$	YYMMJ	$GGggi_w$	$Q_cL_aL_aL_aL_aL_a$	
		$L_oL_oL_oL_oL_oL_o$	$(6Q_lQ_tQ_A/)$			
SECTION 1	$(111Q_dQ_x$	0ddff	$1s_nTTT$	$\left\{\begin{matrix} 2s_nT_dT_dT_d \\ \text{or} \\ 29UUU \end{matrix}\right\}$	$3P_0P_0P_0P_0$	
		4PPPP	5appp)			
SECTION 2	$(222Q_dQ_x$	$0s_nT_wT_wT_w$	$1P_{wa}P_{wa}H_{wa}H_{wa}$	$20P_{wa}P_{wa}P_{wa}$	$21H_{wa}H_{wa}H_{wa})$	
SECTION 3	$(333Q_{d1}Q_{d2}$	$(8887k_2$	$2z_0z_0z_0z_0$	$3T_0T_0T_0T_0$	$4S_0S_0S_0S_0$	
			. . . . .	. . . . .	. . . . .	
			$2z_nz_nz_nz_n$	$3T_nT_nT_nT_n$	$4S_nS_nS_nS_n)$	
		$(66k_69k_3$	$2z_0z_0z_0z_0$	$d_0d_0c_0c_0c_0$		
			. . . . .	. . . . .		
			$2z_nz_nz_nz_n$	$d_nd_nc_nc_nc_n))$		
SECTION 4	(444	$(1Q_PQ_2Q_{TW}Q_4)$	$(2Q_NQ_LQ_AQ_z)$	$\left\{\begin{matrix} (Q_cL_aL_aL_aL_aL_a \quad L_oL_oL_oL_oL_oL_o) \\ \text{or} \\ (YYMMJ \quad GGgg/) \end{matrix}\right\}$		
		$(3Z_hZ_hZ_hZ_h\ 4Z_cZ_cZ_cZ_c)\ (5B_tB_tX_tX_t)$				
		$(6A_hA_hA_hA_N)\ (7V_BV_Bd_Bd_B)\ (8V_iV_iV_iV_i)\ (9/Z_dZ_dZ_d))$				
SECTION 5	(555 Groups to be developed nationally)					

그림 C.4 Code form for the FM-18 BUOY message

그림 C.4은 구체적인 전문 코드의 형태를 Section 별로 나타낸다. 각 변수에 대한 규칙은 FM-64의 전문에서 사용된 규칙과 동일하기 때문에 생략한다. 코드 내에서 소괄호 표시로 묶여 있는 부분은 optional 파트로써 경우에 따라 생략될 수 있음을 의미한다. 그리고 이전 전문과는 달리 FM-18의 섹션 3은 2개의 파트가 존재한다. '8887k2'는 온도와 염분 프로파일에 관한 관측이고, '666k69k3'는 해류에 관한 관측 기록들이다. 따라서 본 프로그램에서는 온도와 염분 프로파일에 대한 관측자료를 고려하였다.

in-situ SST

BURF Format

해수면 온도 관측 자료를 추출하기 위해 “IOB(부이 관측 자료)”, “IOR(해수면 관측 자료)”, “IOS(해수면 및 수심측정자료)”, “IOT(해수면 온도 자료)”를 분석하였다. 예를 들어, 부이 관측자료(IOB)와 해수면 관측 자료(IOS)의 경우 표 C.13 ~ 14와 같은 규칙으로 구성된다.

표 C.13 Example of BURF(T1T2A1 = "IOB", first Subset).

No.	MSG	VALUE	DESCRIPTION
1	1011	JDSS	SHIP OR MOBILE LAND STATION IDENTIFIER
2	31001	5	DELAYED DESCRIPTOR REPLICATION FACTOR
3	4001	2014	YEAR
4	4002	12	MONTH
5	4003	4	DAY
6	4004	4	HOUR
7	4005	1	MINUTE
8	5001	13.9	LATITUDE (HIGH ACCURACY)
9	6001	135.07	LONGITUDE (HIGH ACCURACY)
10	4080	0	AVERAGING PERIOD FOR FOLLOWING VALUE
11	22049	302.35	SEA SURFACE TEMPERATURE
12	4080	9	AVERAGING PERIOD FOR FOLLOWING VALUE
13	22059	**************	SEA SURFACE SALINITY
14	4080	1	AVERAGING PERIOD FOR FOLLOWING VALUE
15	22005	60	DIRECTION OF SEA SURFACE CURRENT
16	2042	1	INDICATOR FOR SEA SURFACE CURRENT SPEED
17	22032	0.21	SPEED OF SEA SURFACE CURRENT
18	2042	**************	INDICATOR FOR SEA SURFACE CURRENT SPEED
19	4080	**************	AVERAGING PERIOD FOR FOLLOWING VALUE
			관측 횟수에 따라 No. 3-19 구간 반복

표 C.14 Same as Table 3.24 but for T1T2A1 = "IOS".

No.	MSG	VALUE	DESCRIPTION
1	1087	**************	WMO MARINE OBSERVING PLATFORM

No.	MSG	VALUE	DESCRIPTION
			EXTENDED IDENTIFIER
2	1085	//////////////	OBSERVING PLATFORM MANUFACTURER'S MODEL
3	1086	//////////////	OBSERVING PLATFORM MANUFACTURER'S SERIAL NUMBER
4	2036	**************	BUOY TYPE
5	2148	**************	DATA COLLECTION AND/OR LOCATION SYSTEM
6	2149	**************	TYPE OF DATA BUOY
7	22055	**************	FLOAT CYCLE NUMBER
8	22056	**************	DIRECTION OF PROFILE
9	22067	830	INSTRUMENT TYPE FOR WATER TEMPERATURE PROFILE MEASUREMENT
10	4001	2014	YEAR
11	4002	12	MONTH
12	4003	4	DAY
13	4004	23	HOUR
14	4005	24	MINUTE
15	5001	38.68	LATITUDE (HIGH ACCURACY)
16	6001	135.5	LONGITUDE (HIGH ACCURACY)
17	8080	**************	QUALIFIER FOR GTSPP QUALITY FLAG
18	33050	**************	GLOBAL GTSPP QUALITY FLAG
19	31002	14	EXTENDED DELAYED DESCRIPTOR REPLICATION FACTOR
20	7065	**************	WATER PRESSURE
21	8080	**************	QUALIFIER FOR GTSPP QUALITY FLAG
22	33050	**************	GLOBAL GTSPP QUALITY FLAG
23	22045	291.23	SEA/WATER TEMPERATURE
24	8080	**************	QUALIFIER FOR GTSPP QUALITY FLAG
25	33050	**************	GLOBAL GTSPP QUALITY FLAG
26	22064	34.14	SALINITY
27	8080	**************	QUALIFIER FOR GTSPP QUALITY FLAG
28	33050	**************	GLOBAL GTSPP QUALITY FLAG
29	7065	**************	WATER PRESSURE
30	8080	**************	QUALIFIER FOR GTSPP QUALITY FLAG
31	33050	**************	GLOBAL GTSPP QUALITY FLAG
			관측 횟수에 따라 No. 23~31 반복

프로파일 관측자료와 마찬가지로 Matching table에 따라 데이터를 구성하며 현장관측 해수면온도(SST) 자료는 Surface 파일로 분류하여 표 C.15과 같이 변환된다.

표 C.15 Matching approach BURF of Bouys to Surface file format for NEMOQC.

BUFR			Surface file for NEMOQC		
MSG	Description	Type	Name	Description	Dimension
		integer	time	SST 파일의 기준 시각	[time]
5001	위도 (고정밀)	float	lat	위도	[ni]
6001	경도 (고정밀)	float	lon	경도	[ni]
4001	년	short	sst_dtime	기준 시각과의 차이 시간(s)	[time,ni]
4002	월				
4003	일				
4004	시				
4005	분				
	해수면 온도	short	sea_surface_temperature	해수면 온도(K)	[time,ni]
		byte	confidence_flag	confidence flag	[time,ni]
		integer	data_source	source of SST data	[time,ni]
1005	플랫폼 식별자	character	callsign	기기 식별자	[time,ni,string8]

SHIP (FM 13-XIV SHIP from GTS#SN)

FM 13-XIV Ext. SHIP 형태의 GTS#SN 자료는 5개의 Section으로 구성되어 있다. 표 C.16은 Section 별로 기록된 자료들의 설명을 나타낸다.

표 C.16 Code form for the FM-13 SHIP message.

Section	Symbolic figure group	Contents
Section 0	-	Data for reporting identification (type, ship''s call sign/buoy identifier, date, time, location)
Section 1	-	Data for global exchange which are common to the SHIP
Section 2	222	Maritime data for global exchange pertaining to a sea, or to a coastal station
Section 3	333	Data for regional exchange
Section 4	444	Data for national use for clouds with base below station level, included by national decision
Section 5	555	Data for national use

Section 0에는 선박의 호출 사인(CallSign)이나 관측 지점을 구분할 수 있는 그룹명과 자료의 위、경도, 관측된 시간 정보가 기록된다. 그리고 Section 1에는 관측된 SST 값이 기록되며, 그밖에 Section 1부터 Section 5까지 각 변수들을 읽고 저장하는 프로그램을 작성하였다.

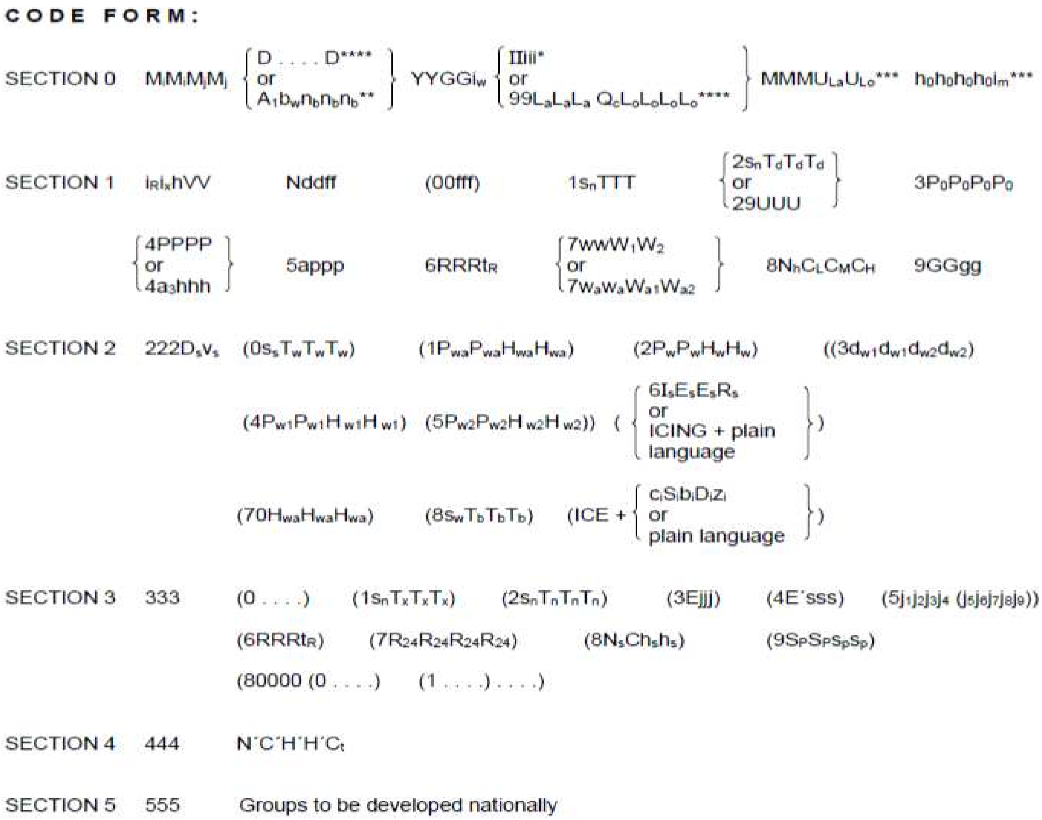

그림 C.5 Code form for the FM-13 SHIP message.

그림 C.5는 구체적인 전문 코드의 형태를 Section 별로 나타낸다. CODE FORM 에서 '*'과 '***'으로 표시된 Code 들은 FM-12 또는 FM-14의 전문에서만 사용되는 것들이므로 생략된다. Section 0의 "YYMMJ GGgg/"에서 YY 는 일, MM 은 월, J 는 연도의 마지막 한 자리를 나타내고, GG 는 시간, gg 는 분을 나타낸다. 예를 들어, 2015년 10월 21일 15시 22분에 관측된 자료의 경우 "21105 1522/"로 나타낼 수 있다. 단, 모든 시간은 UTC 로 계산된다. 그리고 "A1BwNbNbNb or D....D"는 선박 또는 부이의 호출사인(CallSign)을 의미한다. 그리고 Qc 는 위치구분자로써 프로파일 자료에서 사용된 전문과 동일한 규칙으로 사용된다. 관측을 위해 사용된 기기 형태(Instrument type)은 A1BwNbNbNb 과 WMO ID 규칙을 참고하여 SHIP type 인 50번과 GLIDER 와 DRIFTER type 인 53번, 그리고 Moored Buoy 또는 Ocean Site type 인 55번으로 구분된다. Section 2는 "222"의 구분자로 시작하며 해수면온도(SST in degC, TTT) 값들이 기록되어 있으나 경우에 따라 SST 값은 생략될 수 있다. 그리고 기록된 온도 값들은 모두 정수(integer)로 기록되어 있기 때문에 각각의 scale factor 를 0.1로 적용한다.

BUOY (FM 18-XII BUOY from GTS#SS)

FM 18-XII BUOY from GTS#SS (report of buoy operation)

"FM 18-XII BUOY" 형태의 GTS#SS 자료는 6개의 Section으로 구성되어 있다. 표 C.17은 Section 별로 기록된 자료들의 설명을 나타낸다.

표 C.17 Code form for the FM-18 TESAC message.

Section	Contents
Section 0	Identification, time and position data
Section 1	Meteorological and other non-marine data
Section 2	Surface marine data
Section 3	Temperatures, salinities and current at selected depths
Section 4	Information on engineering …
Section 5	Data for national use

Section 0에는 프로파일의 위도와 경도, 관측된 시간 정보와 그룹명과 같은 메타 정보가 기록된다. 그리고 기상 관측 자료와 해양 표층의 자료들이 기록되고, 온도 및 염분 프로파일 자료로 수집하는 관측된 수심의 온도와 염분 값들이 기록된다.

FM 18–XII BUOY **Report of a buoy observation**

CODE FORM:

SECTION 0	$M_iM_iM_jM_j$	$A_1b_wn_bn_bn_b$	YYMMJ	$GGggi_w$	$Q_cL_aL_aL_aL_aL_a$
		$L_oL_oL_oL_oL_oL_o$	$(6Q_lQ_tQ_A/)$		
SECTION 1	$(111Q_dQ_x$	0ddff	$1s_nTTT$	$\left\{ \begin{matrix} 2s_nT_dT_dT_d \\ \text{or} \\ 29UUU \end{matrix} \right\}$	$3P_0P_0P_0P_0$
		4PPPP	5appp)		
SECTION 2	$(222Q_dQ_x$	$0s_nT_wT_wT_w$	$1P_{wa}P_{wa}H_{wa}H_{wa}$	$20P_{wa}P_{wa}P_{wa}$	$21H_{wa}H_{wa}H_{wa})$
SECTION 3	$(333Q_{d1}Q_{d2}$	$(8887k_2$	$2z_0z_0z_0z_0$	$3T_0T_0T_0T_0$	$4S_0S_0S_0S_0$
			.....	.....	.....
			$2z_nz_nz_nz_n$	$3T_nT_nT_nT_n$	$4S_nS_nS_nS_n)$
		$(66k_69k_3$	$2z_0z_0z_0z_0$	$d_0d_0c_0c_0c_0$	
			.....	.....	
			$2z_nz_nz_nz_n$	$d_nd_nc_nc_nc_n))$	
SECTION 4	(444	$(1Q_PQ_2Q_{TW}Q_4)$	$(2Q_NQ_LQ_AQ_z)$	$\left\{ \begin{matrix} (Q_cL_aL_aL_aL_aL_a \quad L_oL_oL_oL_oL_oL_o) \\ \text{or} \\ (YYMMJ \quad GGgg/) \end{matrix} \right\}$	
		$(3Z_hZ_hZ_hZ_h$ $4Z_cZ_cZ_cZ_c)$ $(5B_tB_tX_tX_t)$			
		$(6A_hA_hA_hA_N)$ $(7V_BV_Bd_Bd_B)$ $(8V_iV_iV_iV_i)$ $(9/Z_dZ_dZ_d))$			
SECTION 5	(555 Groups to be developed nationally)				

표 C.6 Code form for the FM-18 BUOY message.

그림 C.6는 구체적인 전문 코드의 형태를 Section 별로 나타낸다. 이전 FM-13 전문과 유사하게 FM 18의 Section 2 또한 “222”라는 구분자로 시작하며 “0”으로 시작하는 Sector의 "TTT"값이 SST 값이다. Section2에는 기록된 SST 관측값에 대한 품질을 나타내는 “Qd”가 존재하며, 변환 프로그램에서는 Qd값이 3보다 작은 경우에만 값을 기록하도록 코딩하였다(표 C.18).

표 C.18 Quality control indicator (Qd) of Code table 3334 in FM-18 TESAC message.

Code Figure	Descriptions
0	Data not checked
1	Data good
2	Data inconsistent
3	Data doubtful
4	Data wrong
5	Data value hs been changed

참고문헌

Adcroft, A., and J.-M. Campin, 2004: Rescaled height coordinates for accurate representation of free-surface flows in ocean circulation models. Ocean Model, 7, 269-284, https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2003.09.003.

Beckmann, A., and R. Döcher, 1997: A method for improved representation of dense water spreading over topography in geopotential-coordinate models. J. Phys. Oceanogr. , 27, 581-591.

Bell, M. J., M. J. Martin, and N. K. Nichols, 2004: Assimilation of data into an ocean model with systematic errors near the Equator. Q. J. R. Meteorol. Soc. , 130, 873-893.

Bigg, G. R., M. R. Wadley, D. P. Stevens, and J. A. Johnson, 1997: Modelling dynamics and thermodynamics of icebergs. Cold Reg. Sci. Technol., 26, 113-135.

Bitz, C. M. and W. H. Lipscomb, 1999: An energy-conserving thermodynamic model of sea ice. J. Geophys. Res.-Oceans, 104, 15669-15677, https://doi.org/10.1029/1999JC900100.

Blanke B, and P. Delecluse, 1993: Variability of the tropical Atlantic Ocean simulated by a general circulation model with two different mixed-layer physics. J. Phys. Oceanogr. , 23, 1363-1388.

Bourdalle-Badie, R., and A. M. Treguier, 2006.: A climatology of runoff for the global ocean-ice model ORCA025, Tech. Rep. MOO-RP-425-365-MER, Mercator-Ocean. Cooper, M, and K. Haines, 1996: Altimetric assimilation with water property conservation. J. Geophys. Res. , 101, 1059-1077.

Dai, A., and K. E. Trenberth, 2002: Estimates of Freshwater Discharge from

Continents: Latitudinal and Seasonal Variations. J. Hydromete. , 3, 660-687.

Drevillon, M., R. Bourdalle-Badie, C. Derval, Y. Drillet, J. M. Lellouche, E. Remy, B. Tranchant, M. Benkiran, E. Greiner, S. Guinehut, N. Verbrugge, G. Garric, C. E. Testut, M. Laborie, L. Nouel, P. Bahurel, C. Bricaud, L. Crosnier, E. Dombrosky, E. Durand, N. Ferry, F. Hernandez, O. Le Galloudec, F. Messal, and L. Parent, 2008: The GODAE/MercatorOcean global ocean forecasting system: results, applications and prospects. J. Operational Oceanogr. , 1, 51- 57.

Flato, G. M., and W. D. Hibler III, 1995: Ridging and strength in modeling the thickness distribution of Arctic sea ice. J. Geophys. Res. , 100, 611-18626.

Flocco, D., D. L. Feltham, and A. K. Turner, 2010: Incorporation of a physically based melt pond scheme into the sea ice component of a climate model. J. Geophys. Res.-Oceans, 115, C08012, https://doi.org/10.1029/2009JC005568.

Gaspar, P., Y. Grégoris, and J. M. Lefevre, 1990: A simple eddy kinetic energy model for simulations of the oceanic vertical mixing: Tests at station Papa and longterm upper ocean study site. J. Geophys. Res. , 95, 16179-16193.

Hewitt, H. T., D. Copsey, I. D. Culverwell, C. M. Harris, R. S. R. Hill, A. B. Keen, A. J. McLaren, and E. C. Hunke, 2011: Design and implementation of the infrastructure of HadGEM3: the next-generation Met Office climate modelling system. Geosci. Model. Dev. , 4, 223-253, DOI:10.5194/gmd-4-223-2011.

Hibler, W. D., III, 1974: Differential sea ice drift II: Comparison of mesoscale strain measurements to linear drift theory predictions. J. Glaciol. , 13, 457-471.

Hollingsworth, A., P. Kållberg, V. Renner, and D. M. Burridge, 1983: An internal symmetric computational instability. Q. J. R. Meteor. Soc., 109, 417-428, https://doi.org/10.1002/qj.49710946012.

Hollingsworth, A., and P. Lönnberg, 1986: The statistical structure of short-range forecast errors as determined from radiosonde data. Part I: The wind field. Tellus , 38A, 111-136.

Hunke, E. C., and J. K. Dukowicz, 2002: The Elastic-Viscous-Plastic sea ice dynamics model in general orthogonal curvilinear coordinates on a sphere-Effect of metric terms. Mon. Wea. Rev. , 130, 1848-1865.

Kim, H., Lee, J., Hyun, Y. K., and Hwang, S. O., 2021: The KMA Global Season Forecasting System (GloSea6)-Part 1: Operational System and Improvements. Atmosphere, 31(3), 341-359 (in Korean with English abstract)

Large, W., and S. Yeager, 2004: Diurnal to decadal global forcing for ocean and seaice models: the data sets and climatologies. Technical Report TN-460+STR, NCAR, 105 pp

Lea, D., J. P. Drecourt, K. Haines, and M. J. Martin, 2008: Ocean altimeter assimilation with observational and model bias correction. Q. J. R. Meteorol. Soc. , 134, 1761-1774.

Lipscomb, W. H., 2001: Remapping the thickness distribution in sea ice models. J. Geophys. Res. , 106, 13989-14000.

Marsh, R., and Coauthors, 2015: NEMO-ICB (v1.0): interactive icebergs in the NEMO ocean model globally configured at eddy-permitting resolution. Geosci. Model Dev., 8, 1547-1562, https://doi.org/10.5194/gmd-8-1547-2015.

Martin, M. J., A. Hines, and M. J. Bell, 2007: Data assimilation in the FOAM operational short-range ocean forecasting system: a description of the scheme and its impact. Q. J. R. Meterol. Soc. , 133, 981-995.

Megann, A., D. Storkey, Y. Aksenov, S. Alderson, D. Calvert, T. Graham, P. Hyder, J. Siddorn, and B. Sinha, 2014: GO5.0: the joint NERC-Met Office NEMO global ocean model for use in coupled and forced applications. Geosci. Model Dev. , 7, 1069-1092.

Mathiot, P., A. Jenkins, C. Harris, and G. Madec, 2017: Explicit representation and parametrised impacts of under ice shelf seas in the z* coordinate ocean model NEMO 3.6. Geosci. Model Dev., 10, 2849-2874, https://doi.org/10.5194/gmd-10-2849-2017.

Ridley, J. K., E. W. Blockley, A. B. Keen, J. G. L. Rae, A. E. West, and D. Schroeder, 2018: The sea ice model component of HadGEM3-GC3.1. Geosci. Model Dev., 11, 713-723, https://doi.org/10.5194/gmd-11-713-2018.

Rio, M.-H., Mulet, S., and Picot, N.: Beyond GOCE for the ocean circulation estimate: synergetic use of altimetry, gravimetry, and in situ data provides new insight into geostrophic and Ekman currents, Geophys. Res. Lett., 41, 8918-8925, https://doi.org/10.1002/2014GL061773, 2014a.

Rodgers, K. B., and Coauthors, 2014: Strong sensitivity of Southern Ocean carbon uptake and nutrient cycling to wind stirring. Biogeosciences, 11, 4077-4098, https://doi.org/10.5194/bg-11-4077-2014.

Rothrock, D. A., 1975: The steady drift of an incompressible Arcticice cover. J. Geophys. Res. , 80, 387-397.

Roullet, G. and G. Madec, 2000: Salt conservation, free surface, and varying levels: A new formulation for ocean general circulation models. J.

Geophys. Res.-Oceans, 105, 23927-23942, https://doi.org/10.1029/2000JC900089.

Semtner, A. J., 1976: A model for the thermodynamic growth of sea ice in numerical investigations of climate, J. Phys. Oceanogr. , 6, 379-389. https://doi.org/10.1175/1520- 0485(1976)006<0379:AMFTTG>2.0.CO;2, 1976.

Storkey, D., and Coauthors, 2018: UK Global Ocean GO6 and GO7: a traceable hierarchy of model resolutions. Geosci. Model Dev., 11, 3187-3213, https://doi.org/10.5194/gmd-11-3187-2018.

Thorndike, A. S., D. A. Rothrock, G. A. Maykut, and R. Colony, 1975: The thickness distribution of sea ice. J. Geophys. Res. , 80, 4501-4513.

Waters, J., M. J. Martin, D. J. Lea, I. Mirouze, A. T. Weaver, and co-authors. 2015: Implementing a variational data assimilation system in an operational 1/4 degree global ocean model. Q. J. Roy. Meteorol. Soc. , 141, 333349.

Weaver, A. T., C. Deltel, É. Machu, S. Ricci, and N. Daget, 2005: A multivariate balance operator for variational ocean data assimilation. Quart. J. Roy. Meteor. Soc. , 131, 3605-3625.

Williams, and Coauthors, 2017: The Met Office Global Coupled Model 3.0 and 3.1 (GC3.0 and GC3.1) configurations. J. Adv. Model. Earth Sy., 10, 357-380, https://doi.org/10.1002/2017MS001115.

Zalesak, T. T, 1979: Fully multidimensional flux-corrected transport algorithms for fluids, J. Compu. Phy. , 31, 335-362.

전지구 해양순환예측시스템 검증 및 자료동화 기술 개발(II) 최종보고서, 2016

전지구 해양자료동화시스템 운영 매뉴얼, 2021