

북극 해빙/적설 관련 공간정보 활용 최적화를
위한 품질 분석 및 D/B 구축

An optimization of sea ice/snow cover related spatial
information : D/B development and quality analysis



부경대학교

제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “ 기후변화/기상재해 예측을 위한 극지 예측 시스템 (KPOPS)의 개발 및 활용 연구” 과제의 위탁연구 “북극 해빙/적설 관련 공간정보 활용 최적화를 위한 품질 분석 및 D/B 구축” 과제의 최종보고서로 제출합니다.



총괄연구책임자 : 김 백 민

(본과제) 위탁연구기관명 : 부경대학교 산학협력단

위탁연구책임자 : 한 경 수

위탁참여연구원 : 이 창 석

“ : 서 민 지

“ : 이 경 상

“ : 최 성 원

“ : 성 노 훈

“ : 권 채 영

“ : 이 다 래

“ : 진 동 현

“ : 김 흥 희



보고서 초록

위탁연구과제명	북극 해빙/적설 관련 공간정보 활용 최적화를 위한 품질 분석 및 D/B 구축				
위탁연구책임자	한 경 수	해당단계 참여연구원수	9	해당단계 연구비	65,000,000
연구기관명 및 소속부서명	부경대학교		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
요약 (연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서면수	71
<ul style="list-style-type: none"> ▶ 우선순위가 높은 product 선정 <ul style="list-style-type: none"> - 해빙 농도 자료 및 해수면 온도 자료를 우선적으로 수집 ▶ 극지 예측 모델 중 공간 자료의 요구 사항 정리 <ul style="list-style-type: none"> - 자료의 시/공간 해상도 및 자료 제공 기간 - 서로 다른 기관에서 산출된 동일한 product일 경우 자료의 연속성 및 일관성 test - 자료의 정확성요구 (reference 자료와 observation 자료 사이의 uncertainty) ▶ 관측 source에 따라 공간정보 자료 분류 <ul style="list-style-type: none"> - 수집한 해빙 농도, 해수면 온도, Ice Depth/Thickness 자료를 관측 source 별 공간 자료 분류 ▶ 선진 기관에서 이용되는 극지 예측 모델링 활용을 위한 자료 조사 및 정리 <ul style="list-style-type: none"> - 모델링 활용에서 이용되는 주로 해빙 농도, 해수면 온도, Ice Depth/Thickness가 이용 - 주요 product들의 시/공간 해상도, 사용 sensor, 제공 기간 등 정리 ▶ 공간분포를 중심으로 category 별 SIC 자료 차이 분석 (특성 분석) <ul style="list-style-type: none"> - 위성 자료와 재분석 자료를 비교 분석 - 재분석 자료(OSI SAF)자료가 위성자료(Nimbus/DMSP) 자료에 전체적인 값 분포가 높음 - 그린란드 북쪽 인접 해역, 해빙/해수 경계 지역에서는 Nimbus/DMSP가 높게 관측 - 고위도 지역에서 여름, 가을은 OSI SAF가 겨울, 봄은 Nimbus/DMSP가 상대적으로 높게 관측 ▶ 다양한 조건을 바탕으로 SIC 특성 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 위도별 (30~90° , 10° 간격)로 해빙 자료의 시계열 변화 분석 - 전체 기간에서 두 자료의 시계열 pattern은 동일하지만 OSI SAF가 높은 값의 분포를 보임 - Nimbus/DMSP의 경우 고위도 지역에서 극지방 주위에서 궤도 경사 및 swath로 인한 irregularly-shaped data gap을 cover를 위한 Circular mask 로 인한 고위도 지역에서 결측 자료발생 					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	북극, 공간 정보, 해빙농도, 위성자료, 특성분석			
	영 어	Arctic, spatial information, sea ice concentration, satellite data, characteristic analysis			

요 약 문

I. 제 목

북극 해빙/적설 관련 공간정보 활용 최적화를 위한 품질 분석 및 D/B 구축

II. 연구개발의 목적 및 필요성

기후변화/기상재해 예측을 위한 극지 예측 시스템(KPOPS)의 개발 및 활용을 위해서는 북극해 해빙/기후 모델링 초기화/검증 활용을 위한 해빙/적설 공간정보의 활용방안 설계 및 D/B 구축이 필요하다. 또한 극지역 해빙/적설 자료의 체계적 수집, 자료의 시공간적 특성, 불확실성을 파악하여 예측 시스템 개발의 기초자료로 활용이 필요하다.



III. 연구개발의 내용 및 범위

- 극지예측모델/기후 관련 분야 해빙/적설 자료의 수요 분석
- 북극 해빙/적설 공간정보의 관측종 및 활용 범위 조사
- 북극 해빙/적설 현장 관측자료를 포함한 공간정보 수집

IV. 연구개발결과

- 극지예측모델/기후 관련 분야 해빙/적설 자료의 수요 분석
 - 우선순위가 높은 product 선정

- 극지 예측 모델 중 공간 자료의 요구 사항 정리
- 북극 해빙/적설 공간정보의 관측종 및 활용 범위 조사
 - 관측 source에 따라 공간정보 자료 분류
 - 선진 기관에서 이용되는 극지 예측 모델링 활용을 위한 자료 조사
 - 선진 기관에서 제공되는 자료 특징 정리
- 북극 해빙/적설 현장 관측자료를 포함한 공간정보 수집
 - sea ice concentration (SIC) 자료 수집
 - 공간분포를 중심으로 category 별 해빙농도 자료 차이 분석 (특성 분석)
 - 다양한 조건을 바탕으로 해빙 농도 특성 분석

V. 연구개발결과의 활용계획

- 기후 모델의 기초자료로 활용



S U M M A R Y

(영 문 요 약 문)

I. Title

An optimization of sea ice/snow cover related spatial information : D/B development and quality analysis

II. Purpose and Necessity of R&D

It is necessary to design the utilization plan of sea ice/snow spatial information, and to construct D/B for initialization/validation of Arctic sea ice/climate modeling in order to ‘Development and Application of the Korea Polar Prediction System (KPOPS) for Climate Change and Weather Disaster’ . Also, we need to utilize systematic collection of sea ice / snow cover data in Arctic, analyze the spatial and temporal characteristics of data, and uncertainty as basic data for the development of prediction system.

III. Contents and Extent of R&D

- Demand analysis on polar prediction model and climate researches of sea ice / snow cover in Arctic
- Investigation into application scope and observing source of sea ice/snow cover in Arctic

- Collecting spatial information on Arctic sea ice/snow cover data

IV. R&D Results

- Demand analysis on polar prediction model and climate researches of sea ice / snow cover in Arctic
 - Selection of products with high priority
 - Arranging requirements of spatial data among polar prediction models
- Investigation into application scope and observing source of sea ice/snow cover in Arctic
 - Classification of spatial data according to observation source
 - Investigate data for utilization of polar prediction modeling used in advanced institutions
 - Organizing the data provided by advanced institutions
- Collecting spatial information on Arctic sea ice/snow cover data
 - Collection of sea ice concentration (SIC) data
 - Analysis on spatial distribution of sea ice concentration by category (characteristics analysis)
 - Analysis on sea ice concentration characteristics by various conditions

V. Application Plans of R&D Results

- Application for study on correlation of the climatic variables analyzed in previous researches with result of this study

목 차

보고서초록	ii
요 약 문	iii
Summary	v
목 차	vii
표 목 차	ix
그림목차	x
제 1 장 서론	2
제 1 절 목적	2
제 2 절 필요성	2
제 3 절 연구개발 내용	2
제 4 절 기대 효과	4
1. 학술적 파급효과	4
2. 경제적 파급효과	4
제 2 장 국내외 연구현황	6
제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과	9
제 1 절 연구 범위	9
제 2 절 연구자료	10
1. SMMR, SSM/I & SSMIS	10
2. NASA Team 알고리즘	11

3. OSI SAF Sea Ice Concentration Reprocessing Project	13
4. 해빙면적 (Sea ice extent)	15
제 3 절 연구 방법	16
1. 수요분석 및 관측 source에 따른 공간 정보 자료 분류	16
2. 자료 전처리	16
3. SIC 비교 및 품질 일관성 분석	17
제 4 절 극지예측모델/기후 관련 분야 해빙/적설 자료의 수요 분석	18
1. 극지 예측 모델 중 공간 자료의 요구 사항 정리	18
제 5 절 북극 해빙/적설 공간정보의 관측종 및 활용 범위 조사	18
1. 선진 기관에서 이용되는 극지 예측 모델링 활용을 위한 자료 조사 및 정리	18
2. 관측 source에 따라 공간정보 자료 분류	21
제 6 절 북극 해빙/적설 현장 관측자료를 포함한 공간정보 수집	22
1. OSI SAF와 Nimbus/DMSF 자료 비교	22
제 7 절 다양한 조건을 바탕으로 SIC 특성 분석	25
1. 센서별 SIC 비교	25
2. 계절별 SIC 비교	26
3. 구역별 SIC 비교	27
4. 해빙면적차이 분석 (OSI SAF - NASA team)	29
5. 임계치 별 해빙면적 차이	32
제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 대외기여도	35
제 1 절 연구개발 목표 및 달성도	35
1. 연구 성과 목표 및 달성도	35
2. 연구 성과목표 및 평가의 착안점	36
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	38

제 6 장 참고문헌40



표 목 차

Table 2.2.1. Previous studies of sea ice concentration	7
Table 3.2.1. Characteristics of the Numbus-7/SMMR channels (Gloersen and Marath, 1977)	10
Table 3.2.2. Period coverage of DMSP satellite series	11
Table 3.2.3. Characteristics of the DMSP SSM/I channels(Gloersen and Marath, 1977)	11
Table 4. Temporal range of input data of NASA team algorithm	13
Table 3.2.5. Temporal range of input data of OSI SAF SIC algorithm	13
Table 3.2.6. Description of OSI SAF Sea ice concentration product	15
Table 3.3.1. Definition of categories according to observing source	16
Table 3.3.2 Description of NASA Team sea ice concentration product	16
Table 3.5.1. Classification of key parameters into categories	21
Table 3.7.1. Difference value according to sensor	25
Table 4.1.1. 연구개발 목표 및 달성도	35
Table 4.2.2 연구 성과 목표 및 평가의 착안점	36

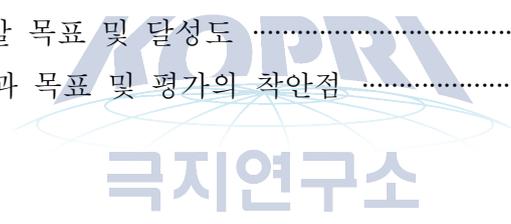


그림 목 차

Fig. 1.3.1. Implementation System of this research	3
Fig. 3.1.1. Study area of this research.	9
Fig. 3.2.1. Three main steps in calculation of the daily sea ice concentration from OSI SAF (Global Sea Ice Concentration Reprocessing Product User Manual, 2015).	14
Fig. 3.3.1. Distribution of sea ice concentration (1980–2010) from OSI SAF (a) before applying circular mask, (b) after applying circular mask and (c) NASA team.	17
Fig. 3.3.2. The East Greenland, Svalbard, Northern Barents areas in this research.	17
Fig. 3.6.1. Seasonal distribution of difference between OSI SAF SIC and Nimbus/DMSP SIC.	22
Fig. 3.6.2. Density plot between OSI SAF and Nimbus/DMSP (200).	23
Fig. 3.6.3. 지점별 OSI SAF 해빙농도와 Nimbus/DMSP 해빙농도의 시계열 분포 (검은 실선 : OSI SAF, 빨간 점선 : Nuimbus/DMSP).	24
Fig. 3.7.1. Average of daily SIC data from OSI SAF(red) and NASA team(blue) (1980–2010)	25
Fig. 3.7.2. SIC difference according to each season (1980–2010) (a) winter, (b) spring, (c) summer and (d) autumn (1) Arctic Ocean, (2) Okhotsk Sea, (3) Bering Sea, (4) Hudson Bay and (5) Lincoln Sea.	26
Fig. 3.7.3. Time series of difference SIC between OSI SAF and NASA team in Arctic Ocean.	27
Fig. 3.7.4. Time series of difference between OSI SAF SIC and NASA team SIC in Okhotsk Sea.	27
Fig. 3.7.5. Time series of difference between OSI SAF SIC and NASA team SIC in Bering Sea.	28

Fig. 3.7.6. Time series of difference between OSI SAF SIC and NASA team SIC in Hudson Bay.	28
Fig. 3.7.7. Time series of difference between OSI SAF SIC and NASA team SIC in Lincoln Sea.	29
Fig. 3.7.8. Time series of difference between OSI SAF sea ice extent and NASA team Sea ice extent in Arctic.	30
Fig. 3.7.9. Time series of difference between OSI SAF sea ice extent and NASA team Sea ice extent in Lincoln Sea.	30
Fig. 3.7.10. Time series of difference between OSI SAF sea ice extent and NASA team Sea ice extent in Okhotsk Sea.	31
Fig. 3.7.11. Time series of sea ice extent per each threshold from OSI SAF.	32
Fig. 3.7.12. Time series of sea ice extent per each threshold from NASA team.	33
Fig. 5.1.1. Future plan.	38





I. 서론

제 1 장 서론

제 1 절 목적

본 연구의 목적은 극 해빙/적설 관련 공간정보 활용 최적화를 위한 품질 분석 및 D/B 구축을 위한 기초 연구에 있다.

제 2 절 필요성

극지예측 예측을 위한 해빙 모델 혹은 빙권 모델들의 입력 초기장은 모델의 성격에 따라 해빙 농도(sea ice concentration), 해빙 두께(sea ice thickness), 해수면온도(sea surface temperature) 혹은 해빙 표면 온도(sea ice temperature), 적설(snow cover)을 비롯한 다양한 변수들이 존재한다. 이 외에도 해빙 알베도(albedo), 해빙 분포(sea ice fraction), 해빙 나이(sea ice age) 등 모델의 입력 혹은 검 보정에 필요한 변수들도 존재한다. 극지 기후와 해빙의 관측은 현장관측 외에 원격탐사를 이용한 해빙의 변화 관측이 가능하다. 극지의 현장관측은 환경적인 제약 요인이 많아 동시 관측과 같은 대규모 관측이 어렵다. 따라서 극지 전체를 근실시간 규모로 모니터링 할 수 있는 방법은 원격 탐사가 유일한 관측 방법이다.

해빙모델들에 사용되는 입력 초기장과 검증에 사용되는 극지 관측 자료들은 관측의 시공간적인 연속성과 품질의 균질성 확보가 중요하다. 해빙/적설의 현장관측과 원격탐사 자료의 시공간적 특성 및 불확실성 정보의 확보는 모델 초기장 개발에 반드시 필요한 과정이다. 또한 모델의 초기 입력 자료는 극지예측시스템의 특성에 맞는 품질관리 된 자료 이어야하며, 이들 초기 입력장의 변화에 따라 모델의 결과가 가지는 민감도를 파악하는 것은 극지예측시스템의 성능 평가 및 개선에 중요한 정보가 된다. 이는 예측 모델의 초기 입력 자료의 최적화 방안 도출을 통해 극지예측시스템에 양질의 입력장과 검증 자료를 제공하고 예측 모델의 예측 신뢰도 분석에도 활용이 가능하다.

제 3 절 연구개발 내용

국내외 기관에서 산출되고 활용 가능한 북극 빙권 공간정보를 본 사업에서 개발하고자하는 극지 예측 모델에 중점을 두어 분석대상 입력 자료를 정의해야 할 필요성이 존재 한다. 그렇기 때문에 본 연구에서는 극지예측모델/기후 관련 분야 전문가들의 해빙/적설 자료의 수요 분석을 수행하였다. 이를 위하여 기후 관련 분야 전문가와 극지예측 모델 개발자의 의견수렴을 통한 핵심기후변수 활용에 대한 요구사항 조사 및 목록 작성하였다. 다음으로 관측종 및 활용 범위에 따른 북극 해빙/적설 공간정보 현황을 조사하였다. 국·내외에서 현업에 연구/활용되고 있는 빙권과 관련한 공간 정보 생

산에 대한 사례를 분석하고 산출물별 중요도 및 우선순위를 파악하였다. 그리고 작성된 목록을 기반으로 빙권 해빙/적설 관련 공간정보의 우선순위를 결정하여 핵심변수를 정의 하였다. 이 때 핵심 변수들은 현장관측, 재분석, 모델 결과 등의 다양한 관측종으로 존재하기 때문에 카테고리별로 공간정보의 분류 및 체계화를 수행하였다. 그리고 우선순위로 결정된 해빙 농도 자료를 바탕으로 산출 source간, 위성 간, 위성 세대 간 공간정보의 품질 일관성 및 오차 특성 분석 및 정확도 개선 방안 도출이 필수적이기 때문에 서로 다른 source의 자료간 시계열 분석을 통한 상호 Bias 경향 분석 및 일관성 분석을 수행하였다. 자세한 추진체계는 Fig.1.3.1과 같다.

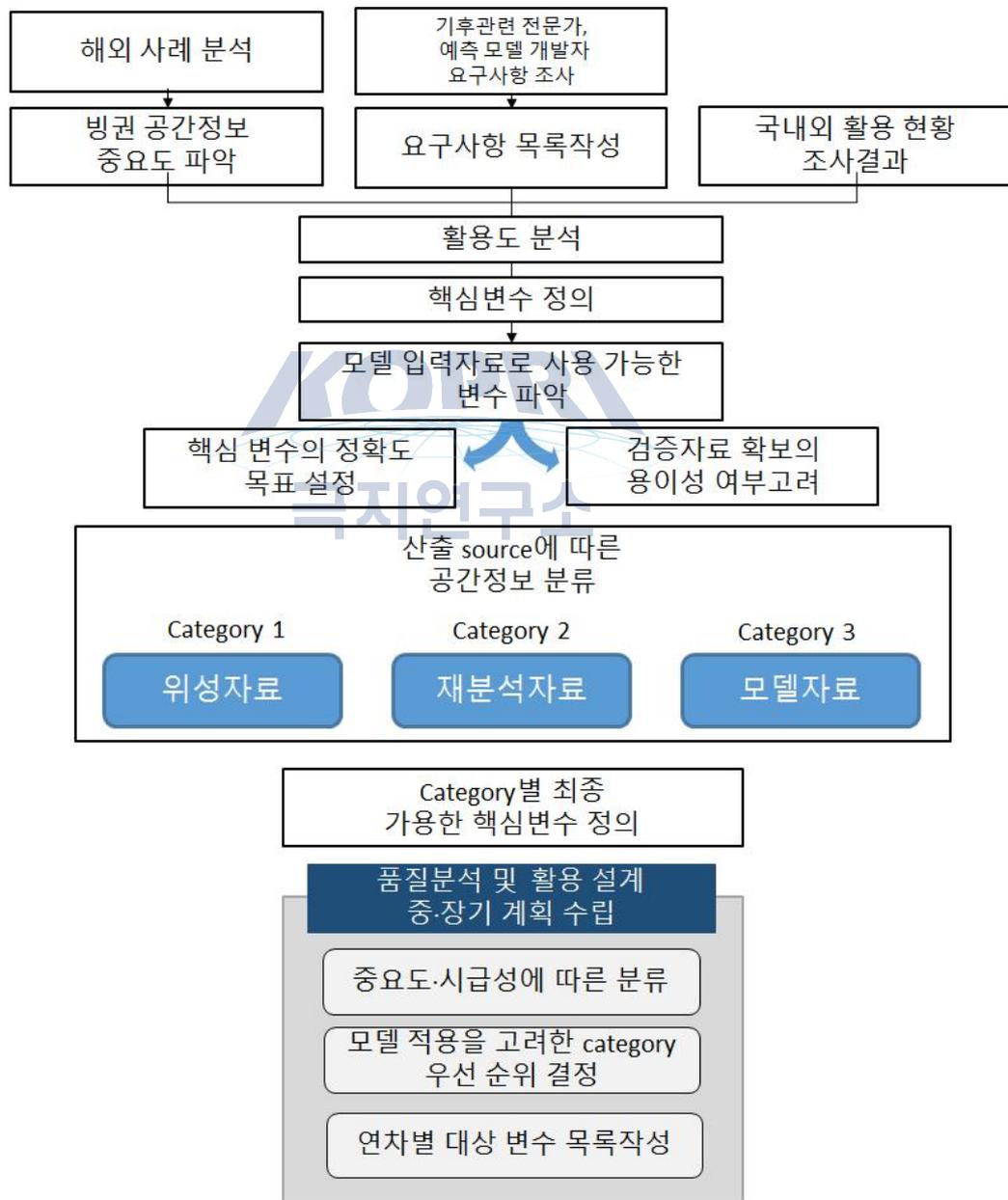


Fig. 1.3.1. Implementation System of this research

제 4 절 기대 효과

1. 학술적 파급효과

극지 예측을 위한 공간정보 품질관리 기술 획득이 가능하며 고품질의 극지 공간 자료 확보에 따른 극지 연구 활성화를 위한 기반 자료로 활용 가능하다. 또한 초기/검증 자료의 고도화로 극지 예측 시스템의 성능 향상에 기여할 수 있으며, 결과 검증 자료로써 활용이 가능하여, 정확도 높은 극지예측 시스템 개발에 기여할 수 있다. 다양한 공간 자료 사이의 차이/품질 분석을 통하여 자료의 특성을 정확하게 파악할 수 있으며 이를 통해 극 기후변화 관측 시, 주요 기초 자료로 활용 가능하다.

2. 경제적 파급효과

극지예측의 능력 향상은 곧 극지역 뿐만 아니라 우리나라를 포함한 중위도 지방의 계절예보를 포함한 장기에보의 성능을 향상시킬 수 있다. 이에 따라 겨울철 한파, 여름철 폭염과 냉해와 같은 기상재해에 대처할 수 있다. 북극항로 예상과 같은 단기에보에 극지예측시스템 결과와 준 실시간 관측 자료를 함께 활용 가능함으로서 산업 정보 활용성 증대 된다. 극지 기후를 보다 정확하게 이해함으로 국가 기후변화 대응 전략 수립에 과학적 근거 제공할 수 있다.



The logo for the Korea Research Institute of Chemical Technology (KORRI) is positioned on the left side of the page. It features the acronym 'KORRI' in a bold, blue, sans-serif font. Below the acronym is a stylized graphic consisting of several overlapping, light blue circular lines that resemble a globe or a network of connections.

Ⅱ. 국내·외 연구현황

극지연구소

제 2 장 국내외 연구현황

Rivo Uiboupin et al. (2010)은 세 가지 위성자료인 OSI SAF, AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS)와 MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer)에 대해 산출된 해빙 농도를 평가하였다.

하지만 위 선행 연구에서는 각각 다른 위성자료에 대하여 다른 해빙 농도 산출 방법을 적용함으로써, 같은 Input data에 대한 해빙 농도 산출 방법의 불확실성을 검증할 수 없었으며, 장기적인 해빙농도의 비교분석 또한 이루어지지 않았다.

또한, Accuracy of OSI SAF ice product(2014)에서는 북반구 Ice Charts와 OSI SAF를 비교를 통해 OSI SAF의 해빙 산출물에 대한 정확도를 평가하였으며, 시공간적인 차이 분석을 통해서 여름철과 겨울철, 얼음주변지역에서 OSI SAF의 정확도가 떨어짐을 말하였다. 하지만 Ice Charts는 위성데이터 소스의 변화, 방법 등 때문에 장기간 데이터분석에 대해서는 부적합함을 드러냈으며, 장기간 분석을 위해서는 다른 해빙농도 자료와의 비교에 따른 OSI SAF의 검증이 필요함을 말하였다.

Comjso and Nishio (2008)는 SMMR과 SSM/I, AMSR-E로 산출된 자료에 동일한 해빙 농도 산출 알고리즘이 적용된 해빙 자료의 정확도를 분석하였다. SMMR과 SSM/I, SSM/I와 AMSR-E의 해빙 농도 자료를 비교한 결과 세 자료의 정확도는 비슷하게 나타났다. 하지만 이 선행 연구는 장기간 분석과 산출 방법에 따른 비교는 이루어지지 않았다.

C. Lupkes et al. (2008)은 기후 모델을 이용하여 극지에서의 해빙 농도 변화가 기온에 미치는 영향을 분석하였다. 해빙 농도의 1% 증감에 따라 북극 지역의 기온이 3.5K 변화하였다. 해빙 농도가 기후 예측 값으로 사용되는 기온과 높은 상관성을 보이며 해빙 농도의 차이에 따라 기후 모델의 결과에 큰 영향을 끼침을 말하였다.

Table 2.2.1의 선행 연구로부터 해빙 농도 및 해빙 면적이 다양한 기후 모델에 이용되며, 특성에 따라 모델의 정확도에 영향을 끼칠 수 있어 산출 방법에 따른 해빙 자료의 연구가 중요하지만 부족함을 인지하였다.

Table 2.2.1. Previous studies of sea ice concentration

저자	년도	제목	내용
C. Lupkes et al.	2008	Influence of leads in sea ice on the temperature of the atmospheric boundary layer during polar night	극지방 해빙농도를 기후 모델에 이용
Qiuhong Tang et al.	2013	Cold winter extremes in northern continents linked to Arctic sea ice loss	
Josefino C. Comiso et al.	1997	Passive Microwave Algorithms for Sea Ice Concentration: A Comparison of Two Techniques	산출 방법에 따른 SIC
한향선, 이훈열	2007	북극의 KOMPSAT-1 EOC 영상과 SSMI NASA Team해빙 면적비의 비교연구	북극 해빙의 Passive microwave 영상 분석 & 비교
Josefino C. Comiso and Fumigiko Nishio	2008	Trends in the sea ice cover using enhanced and compatible AMSR-E, SSM/I and SMMR data	SSMR과 SSM/I의 SIC 비교
Rivo Uiboupin, Lars Axell et al.	2010	Comparison of operational ice charts with satellite based ice concentration products in the Baltic Sea	OSI SAF의 정확도 평가를 위한 비교 분석
OSI SAF	2014	Assessment of the Accuracy of OSI SAF ice product	

Ⅲ. 연구개발 수행내용 및 결과

극지연구소

제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과

제 1 절 연구 범위

본 연구는 본과제와 연계하여 북극($90^{\circ} \text{ N} \sim 30.98^{\circ} \text{ N}$, $\text{E}: 180^{\circ} \sim \text{W}: -180^{\circ}$) 지역을 중심으로 수행하였다(Fig.2.1.1). 연구 기간은 기후연구의 기본 시간 단위인 30년 이상을 분석하기 위하여 1980년 1월 1일부터 2010년 12월 31일까지 총 31년으로 정하여 연구를 수행하였다. 북극 지역은 랍테프 해(Laptev Sea), 추크치 해(Chukchi Sea), 동시베리아 해(East Siberian Sea), 보퍼트 해(Beaufort Sea), 그린란드 해(Greenland Sea), 허드슨 만(Hudson Bay)을 포함한다. 북극해 지역은 겨울철에는 해역의 가장자리 지역까지 넓은 범위에 걸쳐서 해빙이 분포하지만 여름철에는 대부분 해빙이 녹아 적은 분포를 보이는 계절적 해빙지역에 해당한다. 계절적 해빙 지역은 계절에 따라 해빙 표면의 방사율 변화가 심하기 때문에 SSM/I NASA Team 알고리즘을 통해 계산된 해빙농도는 실제 해빙농도 사이에 오차가 발생하기 쉽다(Markus et al., 2003; Markus and Dokken, 2002). OSI SAF에서 재처리과정을 통해 산출한 해빙 농도의 경우도 NASA team 알고리즘과 마찬가지로 계절적 해빙지역에서 낮은 정확도를 보였다(Accuracy of OSI SAF ice product, 2014).

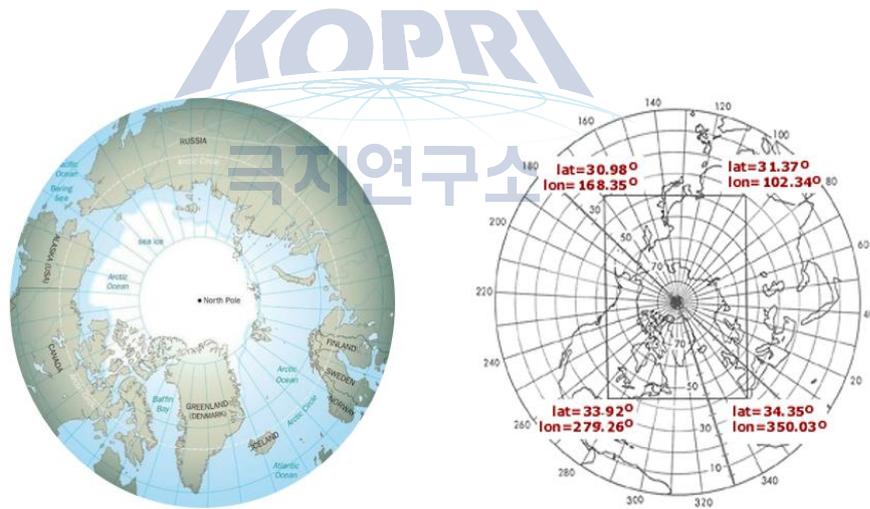


Fig. 3.1.1. Study area of this research.

제 2 절 연구자료

1. SMMR, SSM/I & SSMIS

SMMR(Scanning Multichannel Microwave Radiometer)은 1978년 10월부터 1987년 8월까지 운영된 극궤도 위성인 Nimbus-7에 탑재된 passive microwave sensor이다. SMMR은 제한적인 전력 공급으로 인해 격일의 시간해상도를 가지고 있다. 다섯 개의 주파수(6.6, 10.7, 18.0, 21.0, 37.0 GHz)의 수직편광(vertical polarization) 및 수평편광(horizontal polarization) 채널들을 가지고 있다. 또한 18.0, 21.0, 37.0 GHz의 주파수를 이용하여 밝기 휘도를 관측한다.

Table 3.2.1. Characteristics of the Nimbus-7/SMMR channels (Gloersen and Marath, 1977)

Frequency (GHz)	Polarization	Field of View	
		Along-track	Cross-track
6.6	H, V	148 km	95 km
10.7	H, V	91 km	59 km
18.0	H, V	55 km	41 km
21.0	H, V	46 km	30 km
37.0	H, V	27 km	18 km

Special Sensor Microwave/Imager (SSM/I)는 1987년 7월 9일부터 운영 중인 DMSP-F8, F11, F13, F15에 탑재되었으며 위성의 운용기간은 Table 3.2.2와 같다. SSM/I는 19.35, 37.0, 85.5 GHz의 수직편광(vertical polarization) 및 수평편광(horizontal polarization) 채널과 22.235 GHz의 수직편광 채널로 총 4개의 주파수, 7개의 채널로 구성되어있으며 (Derksen and walker, 2003; Stroeve et al., 1998), 해빙농도 산출에는 3가지 채널(19.35, 22.235, 37.0 GHz)을 이용 한다(Table 3.2.3).

DMSP-17에 탑재되어 있는 Special Sensor Microwave Imager Sounder (SSMIS)는 19, 37 GHz의 수직편광 채널과, 37GHz의 수평편광 채널을 이용하여 밝기 휘도 값을 관측 하며, 채널들의 주파수는 SSM/I의 주파수와 유사하다. SSM/I와 SSMIS의 각 채널은 서로 다른 순간 시야각과 데이터샘플링 간격(grid spacing)을 가지며, 해빙표면의 복사강도를 관측한다.

SSM/I 센서와 SSMIS 센서는 SMMR과 다르게 일일 자료를 제공하며, 해당 센서 자료들을 이용하여, 1987년부터 현재까지 북극과 남극의 daily 해빙농도를 제공한다 (Cavalieri et al., 1997).

Table 3.2.2. Period coverage of DMSP satellite series

Satellite	Period covered
F08	Jul 1987 – Dec 1991
F11	Dec 1991 – May 2000
F13	Dec 1995 – Oct 2009
F14	May 1997 – Aug 2008
F15	Dec 1999 – Jan 2013

Table 3.2.3. Characteristics of the DMSP SSM/I channels(Gloersen and Marath, 1977)

Frequency (GHz)	Polarization	Field of View	
		Along-track	Cross-track
19.35	H, V	69 km	43 km
22.235	V	50 km	40 km
37.0	H, V	37 km	28 km
85.5	H, V	15 km	13 km

2. NASA Team 알고리즘

관측한 해빙의 밝기휘도로부터 해빙농도를 계산하기 위해 사용되는 NASA team 알고리즘은 SMMR에 적용되었으며, 해빙농도 계산 알고리즘을 일부 개선한 NASA team 알고리즘을 SSM/I와 SSMIS에 적용하였다(Cavalieri et al., 1991; Cavalieri et al., 1984), NASA team 알고리즘으로부터 하루 동안 관측한 해빙의 밝기온도를 이용하여 일평균 해빙농도를 계산한다. NASA team 알고리즘은 해빙표면의 복사휘도 비율을 이용하여 다년빙(multi-year ice) 와 일년빙(first-year ice)를 구분하고, 두 해빙 유형의 면적비를 합산하여 전체 해빙농도를 계산하며 이를 25km 간격의 격자 형태로 나타내게 되며, 이에 따라 세 가지 센서를 통해 산출된 해빙농도의 공간 해상도는 25km가 된다. 일반적으로 SSM/I 채널에 대한 NASA team 알고리즘의 간단한 계산식은 아래와 같다.

$$PR = [TB(19V) - TM(19H)] / [TB(19V) + TB(19H)] \quad (\text{식 3.2.1})$$

$$GR = [TB(37V) - TM(19V)] / [TB(37V) + TB(19V)] \quad (\text{식 3.2.2})$$

(식 3.2.1)의 PR은 편광비(Polarization Ratio), (3.2.2)의 GR은 스펙트럼의 구배비(Gradient ratio)로 정의된다. 그리고 TB는 각 주파수로 관측된 밝기온도

(Brightness Temperature)를 의미한다. 여기서 정의된 두 가지 변수를 이용하여 다년빙의 농도(CM)와 일년빙의 농도(CF)를 아래와 같은 식을 이용하여 구한다.

$$CF = (a0 + a1PR + a2GR + a3PR*GR) / D \quad (\text{식 3.2.3})$$

$$CM = (b0 + b1PR + b2GR + b3PR*GR) / D \quad (\text{식 3.2.4})$$

$$\text{where } D = c0 + c1PR + c2GR + c3PR*GR \quad (\text{식 3.2.5})$$

총 해빙 농도(CT)는 일년빙과 다년빙의 합으로 아래와 같이 나타난다.

$$CT = CF + CM \quad (\text{식 3.2.6})$$

a_i, b_i, c_i ($i=0,3$)의 계수들은 9개의 밝기온도의 함수로 계산되며, 밝기온도들은 센서의 각각의 세 개 채널을 이용하여 이미 알고 있는 얼음이 없는 해수, 일년빙, 다년빙에 대한 복사휘도로 나타난다(Donald J and Cavalieri, 1992). NASA team 알고리즘은 해빙표면의 복사휘도 비율을 사용하기 때문에 표면온도의 영향을 많이 받지 않는 장점이 있다. 그러나 복사특성이 다른 두 가지 이상의 해빙유형을 구별할 수 없고, 계절적, 지역적으로 변화하는 해빙표면의 방사율을 고려할 수 없다(한향선 et al., 2007). 또한 개방구역 (open water)의 넓은 면적을 차지하고 있는 해빙분포영역의 가장자리 지역을 비롯하여 표면에 눈이 쌓여있는 해빙, 그리고 두께가 얇거나 표면에 물이 존재하는 해빙에 대해서는 오차를 나타낸다고 알려져 있다(Comiso et al., 1997; Meier, 2005). SMMR에 대한 Nimbus-7과 SSM/I와 SSMIS에 대한 DMSP의 궤도는 유사하지만, 완전히 일치하지는 않는다(Cavalieri et al., 1999). 따라서 NASA Goddard Space Flight Center(GSFC)의 Cavalieri et al.(1997,1999)은 NASA Team알고리즘을 사용하여 SMMR과 SSM/I & SSMIS로부터 균질의 해빙 데이터를 산출하기 위해 노력했다.

NASA Goddard Space Flight Center(GSFC)에서는 SMMR 밝기 온도를 바탕으로 한 NASA team 알고리즘으로 해빙 농도를 산출하고 검증하였고 NSIDC(National Sea Ice Data Center)에서도 SSM/I와 SSMIS 밝기온도 자료를 이용하여 NASA team 알고리즘으로 해빙농도를 산출한 자료를 배포하고 있다. NASA team 알고리즘을 이용하여 산출된 해빙농도의 시간적 범위는 Table 3 에 나타내었다. 본 연구에서는 Nimbus-7의 SMMR과 DMSP의 SSM/I가 중첩되어 운영된 1987년 7월 9일부터 1987년 8월 20일까지의 해빙농도에 대해서는 Nimbus-7의 SMMR의 데이터를 이용하였다.

Table 4. Temporal range of input data of NASA team algorithm

Platform/Instrument	Time Period
Nimbus-7 SMMR	1978. 10. 26 ~ 1987. 08. 20
DMSP-F8 SSM/I	1987. 08. 21 ~ 1991. 12. 18
DMSP-F11 SSM/I	1991. 12. 19 ~ 1995. 09. 29
DMSP-F13 SSM/I	1995. 09. 30 ~ 2007. 12. 31
DMSP-F17 SSMIS	2008. 01. 01 ~ 현재

3. OSI SAF Sea Ice Concentration Reprocessing Project

OSI SAF(Ocean and Sea Ice Satellite Application Facility)는 1997년에 시작된 EUMETSAT의 프로젝트로써, 해빙 특성, 해수면 온도와 바람과 같은 대기과 해양의 연관관계에 있는 산출물들을 제공하고 있다. 그 중 해빙 산출물은 해빙농도, 해빙 가장자리, 해빙 유형, 해빙의 이동과 해빙 방사율로 이루어져 있다. OSI SAF 프로젝트는 CMS와 Meteo-France에 의해 관리되며, 해빙 산출물들은 노르웨이 기상연구소와 덴마크 기상연구소에서 공동으로 운영하는 OSI SAF High Latitude processing 기관에서 산출한다. 2002년에 해빙 산출물 도입 이래로 이용가능한 해빙산출물 확장에 초점을 맞추어 과거의 수동 마이크로파 센서로 측정된 자료의 재처리를 진행하였다. OSI SAF에서는 장기간의 해빙농도 산출을 위해 Nimbus-7의 SMMR과 DMSP의 SSM/I와 SSMIS의 데이터를 사용하였으며, Table 3.2.5는 OSI SAF에 이용한 센서 자료의 시간적 범위를 정리한 것이다. OSI SAF에서 해빙농도 산출 시 SMMR과 SSM/I의 중첩된 기간에 대해서 NASA team 알고리즘에서 SMMR을 사용한 것과는 반대로 SSM/I의 데이터를 사용하였다.

Table 3.2.5. Temporal range of input data of OSI SAF SIC algorithm

Platform/Instrument	Time Period
Nimbus-7 SMMR	1978. 10. 26 ~ 1987. 07. 09
DMSP SSM/I	1987. 08. 21 ~ 2013. 01. 18
DMSP SSMIS	2013. 01. 19 ~ 현재

Fig. 3.2.1는 OSI SAF 해빙농도 산출을 위한 세 단계에 걸친 재처리 과정의 흐름도이다. 첫 번째 단계에서 Level 1의 센서 자료들은 Bristol 알고리즘(Smith, 1996)과 Bootstrap 알고리즘(Comiso, 1986; Comiso et al., 1997)의 조합으로 이루어진 Hybrid ice concentration 알고리즘을 통해 해빙농도로 산출되며 아래의 식과 같은 선형관계를 가진다(식 3.2.7).

$$C_t = (T_b - T_b^w) / (T_b^I + T_b^w) \quad (\text{식 3.2.7})$$

C_t 는 전체 해빙 농도를 나타내며, T_b 는 측정된 밝기 온도, T_b^w 는 개방구역(open water)의 밝기온도, T_b^I 는 해빙구역(ice)의 밝기온도를 나타낸다. 개방구역에서 Bootstrap 알고리즘을 사용하고, 해빙구역에 대해서는 Bristol 알고리즘을 사용하는 Hybrid ice concentration 알고리즘을 사용하는 것이 NASA team과의 가장 큰 차이점이다.

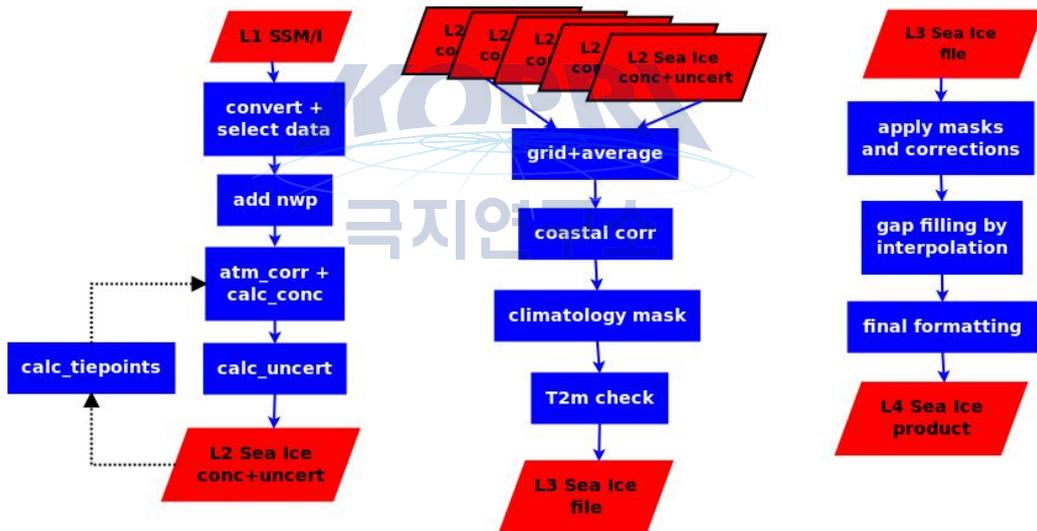


Fig. 3.2.1. Three main steps in calculation of the daily sea ice concentration from OSI SAF (Global Sea Ice Concentration Reprocessing Product User Manual, 2015).

OSI SAF에서는 Fig 3.2.1에서 첫 번째 과정을 통해 Level 2의 해빙농도를 산출한다. Level 2 product를 바탕으로 gridding, 교정, status flag 등의 Level 3 product를 생산한다. 마지막으로 결측된 자료에 대한 내삽법을 통해 최종적인 Level 4의 해빙 산출물을 얻게 된다(OSI SAF ATBD, 2014). 본 연구에서는 최종적으로 산출된 level 4 해빙 농도 자료를 사용하였다. Table 3.2.6은 OSI SAF의 해빙농도 산출물의 구성요소를 보여준다.

Table 3.2.6. Description of OSI SAF Sea ice concentration product

Variables	Type	Unit	grid_spacing / grid_mapping	Valid Range	Fill_value /scale_factor
Lambert_Azimuthal_Grid	long				
time	double	seconds since 1978-01-01 00:00:00			
time_bnds		seconds since 1978-01-01 00:00:00			
xc		km	12.5334 km		
yc					
lat	float	degrees North			
lon		degrees East			
ice_conc	int	percent(%)	Lambert_Azimuthal_Grid (lat/lon)	0 -10000	-32767 /0.01
standard_error					
smearing_standard_error					
algorithm_standard_error					
status_flag	byte			0-101	128

4. 해빙면적 (Sea ice extent)

해빙농도(Sea Ice Concentration, SIC)는 해빙 면적비 혹은 해빙 밀도라고도 하며, 일정한 면적 내에서 해빙이 차지하는 면적을 백분율로 나타낸 것으로 정의된다. 해빙 면적은 해빙농도 15% ~ 30% 사이의 임계치를 바탕으로 산출할 수 있는데, 일반적으로는 해빙농도 15 % 이상인 지역을 해빙면적으로 정의한다. 15%이상의 해빙농도를 나타내는 면적을 모두 더한 것을 해빙 영역(ice extent)이라 하고, 해빙 영역 안에서 해빙이 실제로 차지하는 면적(픽셀 면적X해빙농도)을 해빙 면적(ice area)이라고 한다(Serreze et al., 2003; Vinnikov et al., 1999). 본 연구에서는 해빙 영역의 직접적인 비교를 위해 두 알고리즘을 적용한 해빙농도를 이용하여 해빙영역을 산출하여 비교하였다.

제 3 절 연구 방법

1. 수요분석 및 관측 source에 따른 공간 정보 자료 분류

국외에서 현업에 활용되고 있거나 연구되고 있는 빙권 공간정보 생산에 대한 사례를 분석하여 산출물의 중요도 파악하는 것이 중요하다. 그렇기 때문에 기후 관련 분야 전문가와 극지 예측 모델 개발자의 의견수렴을 통한 핵심기후변수 활용에 대한 요구 사항 조사 및 목록 작성이 필요하며 작성된 목록을 바탕으로 부가 정보를 수집하고, 국내외에서의 활용도를 분석이 필요하다. 위의 내용을 분석하여 빙권 해빙/적설 관련 공간정보의 우선순위를 결정하여 핵심변수를 정의하며 관측 Source에 따른 분류가 필요하다. 핵심변수들을 다음과 같은 category로 분류하여 위성의 산출 source에 따라 Table 3.3.1과 같이 분류가 가능하다.

Table 3.3.1. Definition of categories according to observing source

Category	관측 source
Category 1	위성 자료로부터 산출한 자료
Category 2	다중위성/모델/관측 자료를 융합하여 재분석된 자료
Category 3	모델을 통하여 추정된 자료

2. 자료 전처리

Table 3.3.2은 NASA Team SIC의 자료 특성을 나타낸 것이다. NASA Team SIC는 scale factor로 2.5, OSI SAF는 100을 적용하여 실제 해빙농도로 변환하여 사용하였다. OSI SAF에서 제공하는 SIC 자료는 circular mask가 있는 NASA team SIC의 자료와 다르게 결측값에 interpolation을 적용하여 제공하고 있다. Fig. 4와 같이 circular mask를 적용하기 전/후에 고위도에서 평균 SIC가 크게 다르기 때문에 OSI SAF 자료에 circular mask를 적용하여 두 자료 모두 SIC가 존재하는 부분으로 품질 비교를 수행하였다.

Table 3.3.2 Description of NASA Team sea ice concentration product

Data Value	Description
0 – 250	Sea ice concentration (fractional coverage scaled by 250)
251	Circular mask used in the Arctic to cover the irregularly-shaped data gap around the pole (caused by the orbit inclination and instrument swath)
252	Unused
253	Coastlines
254	Superimposed land mask
255	Missing data

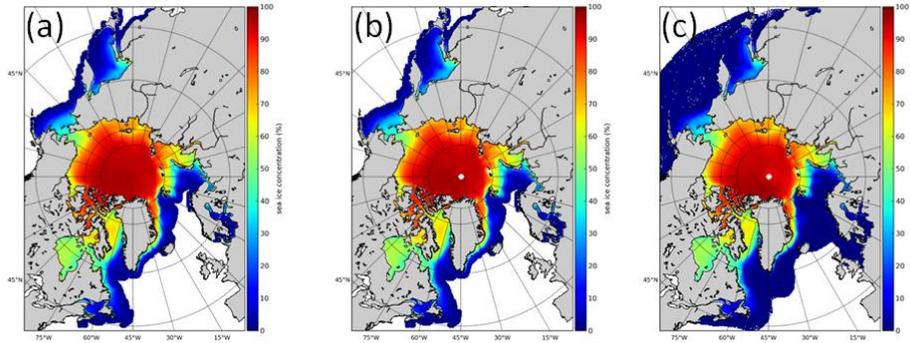


Fig. 3.3.1. Distribution of sea ice concentration (1980–2010) from OSI SAF (a) before applying circular mask, (b) after applying circular mask and (c) NASA team.

3. SIC 비교 및 품질 일관성 분석

본 연구에서는 장기간 시계열 분석을 위해 총 31년 동안 OSI SAF와 NASA team에서 산출한 SIC 자료를 연도별, 센서별, 계절별 평균 등 다양한 조건을 바탕으로 비교/분석하였다. 공간적 분석은 계절별 특성이 나타나는 구역을 선정하여 공간적으로 SIC와 해빙면적을 비교하였다. 해빙면적은 SIC가 15% 이상인 곳의 면적으로 산출하였다.

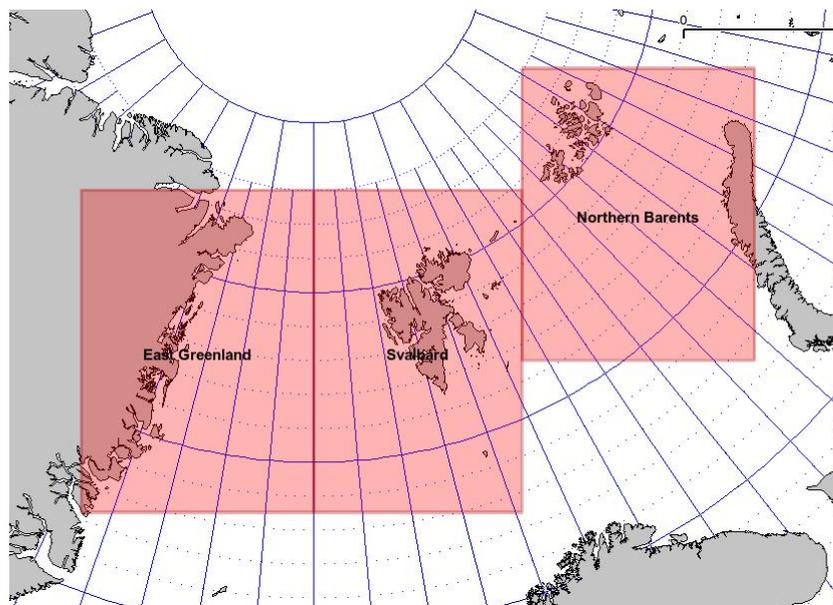


Fig. 3.3.2. The East Greenland, Svalbard, Northern Barents areas in this research.

제 4 절 극지예측모델/기후 관련 분야 해빙/적설 자료의 수요 분석

1. 극지 예측 모델 중 공간 자료의 요구 사항 정리

극지 모델에서 많이 이용되는 해빙 농도 자료 및 해수면 온도 자료를 우선적으로 수집하였다. 수요조사 및 논의 결과 위성자료의 활용빈도순은 모델입력, 기후모델성능 분석, 자료동화 순으로 나타났으며 공간 자료의 연속성(생산기간), 시공간연속성이 사용자의 선택에 중요한 기준으로 나타났다. 그렇기 때문에 본 연구에서는 자료의 시/공간 해상도 및 자료 제공 기간을 중점적으로 정리하였으며, 이후 서로 다른 기관에서 산출된 동일한 product일 경우 자료의 연속성 및 일관성 test가 필요하다 판단되었다. 또한 자료의 reference 자료와 observation 자료 사이의 uncertainty와 같은 자료의 정확성 부분도 주요 기준으로 나타났다.

제 5 절 북극 해빙/적설 공간정보의 관측종 및 활용 범위 조사

1. 선진 기관에서 이용되는 극지 예측 모델링 활용을 위한 자료 조사 및 정리

다양한 선진 기관에서 이용되는 빙권 공간 정보 자료에 관한 정보를 조사 및 정리하였다. 조사한 변수로는 KPOPS-Weather의 초기 대기모델 버전을 위해서 위성자료 기반 해빙 농도 (sea ice concentration), 해면 온도 (sea surface temperature)를 우선순위로 정리 하였다. 또한 해빙상 눈 깊이 초기장 구축, 해빙 예측 모델의 초기장 구축 및 검증의 활용성을 위하여 적설 깊이 (Ice depth/ Thickness, snow depth on sea ice) 자료를 정리하였다. 극지방의 기후 예측을 위하여 실제 자료의 제공기간, 시·공간 해상도, 제공 기간, 실제 자료의 이름, 자료를 제공 방법을 정리하였다. 자료 제공 방법은 FTP는 NSIDC의 FTP 서버로 다운로드 가능한 자료, HTTP는 NASA EARTH DATA web에서 제공하는 자료, O는 별도의 절차 없이 http 기반으로 즉시 다운로드 가능 자료를 의미한다. 해빙 농도 자료가 장기간으로 다양하게 구축되어 있었으며, 해면 온도의 경우 다양한 자료가 제공되고 있지만 극지방(북극지역)까지 제공되는 자료는 다소 적었다. Ice depth / thickness 자료의 경우 중해상도 위성자료의 경우 제공되는 기간이 짧으며, 장기간 관측 자료의 경우 50 km의 공간 해상도와 월별 자료로 제공되기 때문에 극지 모델에 이용되기 위해서는 가공과정이 필요하다 사료된다.

(1) Sea Ice Concentration

Periods								Temporal	Spatial		Product Name	Access			
7	8	0	8	5	9	0	9						5	0	0
								Daily	25 km	NOAA	Sea Ice Index	O			
								Daily	25 km	NOAA	NOAA/NSIDC Climate Data Record of Passive Microwave Sea Ice Concentration	FTP			
								Daily 1 month	25 km	NASA	Sea Ice Concentrations from Nimbus-7 SMMR and DMSP SSM/I-SSMIS Passive Microwave Data	O			
								Daily, 5 day	12.5 km	NASA	AMSR-E/Aqua Daily L3 12.5 km Brightness Temperature, Sea Ice Concentration, & Snow Depth Polar Grids	O			
								Daily	25 km	NASA	AMSR-E/Aqua Daily L3 25 km Brightness Temperature & Sea Ice Concentration Polar Grids	O			
								Daily, 1 month	25 km	NASA	Bootstrap Sea Ice Concentrations from Nimbus-7 SMMR and DMSP SSM/I-SSMIS	HTTP			
								x	25 km	NASA	Sea Ice Trends and Climatologies from SMMR and SSM/I-SSMIS	HTTP			
								Daily	x	NASA	Near-Real-Time SSM/I-SSMIS EASE-Grid Daily Global Ice Concentration and Snow Extent	HTTP			
								Daily	25 km	NASA	Near-Real-Time DMSP SSMIS Daily Polar Gridded Sea Ice Concentrations	O			
								Daily	12.5km 10.0km	OSI SAF	Global Sea Ice Concentration reprocessing datase	O			

FTP : FTP 서버로 다운로드 가능 | HTTP : NASA EARTH DATA web / 가입 필요 | O : 즉시 다운로드 가능

(2) Sea Surface Temperature

Periods										Temporal	Spatial		Product Name	Access				
7	8	8	0	8	5	9	0	9	5						0	0	0	5
														Daily	0.054 °	GRSST	GHRSSST Level 4 OSTIA Global Foundation Sea Surface Temperature Analysis	O
														1 week	1 °	NOAA	Reynolds NCEP Level 4 Optimally Interpolated SST Weekly Version 2	FTP

(3) Ice Depth / Thickness

Periods										Temporal	Spatial		Product Name	Access				
7	8	8	0	8	5	9	0	9	5						0	0	0	5
														x	x	NASA	IceBridge L4 Sea Ice Freeboard, Snow Depth, and Thickness (+ sea Ice Elevation, Snow Depth)	O
										*				1 day	70 m	NASA	Arctic Sea Ice Freeboard and Thickness	FTP
														Daily, 5 day	12.5 km	NASA	AMSR-E/Aqua Daily L3 12.5 km Brightness Temperature, Sea Ice Concentration, & Snow Depth Polar Grids	O
														1 month	50 km	NOAA	Unified Sea Ice Thickness Climate Data Record Collection Spanning 1947-2012	FTP

FTP : FTP 서버로 다운로드 가능 | HTTP : NASA EARTH DATA web / 가입 필요 | O : 즉시 다운로드 가능

2. 관측 source에 따라 공간정보 자료 분류

3.3.1장에서 관측 source에 따른 공간 자료 분류 기준을 정리하였다. 이번 장에서는 해당 기준을 이용하여 실제로 수집한 자료들의 분류하였다. 수집한 자료들은 앞서도 언급하였듯이 해빙 농도, 해면 온도, 적설 깊이를 중심으로 수행하였다. 아래 Table 3.5.1은 핵심변수들을 category로 분류한 것이다. 각 자료의 category와 자료명, 시·공간 해상도, 제공기간, 정확도에 관하여 정리하였다.

해면 온도의 경우 3가지 category 자료를 정리하였으며 각 자료별 다양한 해상도와 제공기간을 보였다.

Table 3.5.1. Classification of key parameters into categories

Sea Surface Temperature (SST)					
	Data	Resolution		Periods	Accuracy
		Spatial	Temporal		
Category 1	NOAA AVHRR L2P GHRSSST	9km		2007.9 ~현재	
Category 2	NOAA OI SST V2 High Resolution Dataset	0.25 degree	Daily	1981.9 ~현재	
Category 3	L4 OSTIA Global Foundation SST Analysis	0.054 degree	Daily	2006.4 ~현재	0.4 K
Sea Ice Concentration (SIC)					
Category 1	AMSR-E/Aqua L3 25 km SIC Polar Grids, V3	25 km	Daily	2002.6 ~2011.10.4	
	SIC from Nimbus-7 and DMSP Passive Microwave	25 km	Daily	1980.1 ~2010.12	±5~15%
Category 3	OSI SAF SIC	10 km	Daily	1980.1 ~2015.4	±10%
Ice & snow Depth					
Category 1	AMSR-E/Aqua Daily L3 12.5 km Snow Depth Polar Grids	12.5 km	5-Day	2002.6.1. ~2011.10.4	

제 6 절 북극 해빙/적설 현장 관측자료를 포함한 공간정보 수집

1. OSI SAF와 Nimbus/DMSP 자료 비교

본 연구에서는 category 별 해빙농도 분석을 위하여 category 1로 분류된 NATA team의 ‘SIC from Nimbus-7 and DMSP Passive Microwave’ 자료와 category 3으로 분류된 ‘OSI SAF SIC’ 자료의 차이 및 특성 분석을 수행하였다.

(1) 장기간 동일한 날짜가 존재하는 두 자료를 이용하여 분석

두 자료의 31년간의 장기간 자료를 분석 (1980년 1월 ~ 2010년 12월)를 분석하였으며, 해빙 분포의 경우 계절적 특성 (3월에 해빙 면적 최대, 9월에 최소)이 뚜렷하기 때문에 계절별로 분류하여 분석 공간적인 분포를 분석하였다. Fig 3.6.1은 계절별 두 해빙 농도의 차이이며 차이는 OSI mean SIC - Nimbus/DMSP mean SIC 로 산출하였다. 전체적으로 OSI SAF 자료가 Nimbus/DMSP보다 높게 관측되지만, 예외적으로 그린란드 북쪽 인접 해역에서는 Nimbus/DMSP가 높게 관측되었다. 또한 위도 55° N 이상의 지역에서 여름과 가을에 OSI가 높게 관측되었으며, 겨울과 봄에는 Nimbus/DMSP 해빙농도가 높게 관측되었다.

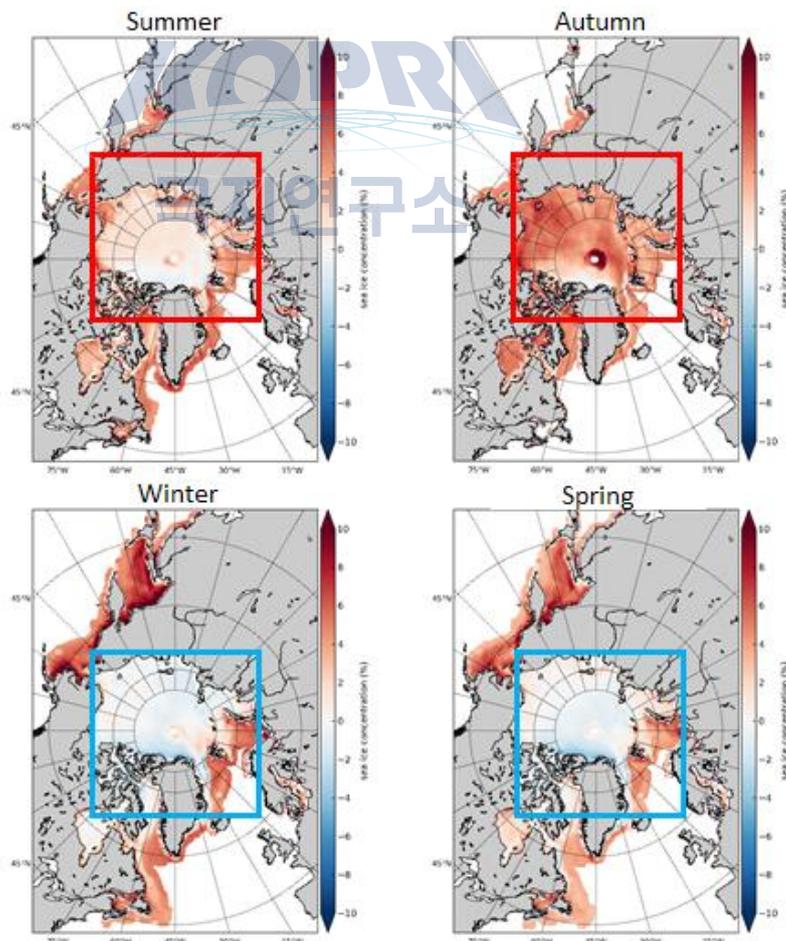


Fig. 3.6.1. Seasonal distribution of difference between OSI SAF SIC and Nimbus/DMSP SIC.

(2) OSI SAF와 Nimbus/DMSP 사이의 상관성 분석

전체 연구 기간 중 두 자료의 중첩이 많은 2003년을 기준으로 상관관계를 분석을 수행하였다. Fig.3.6.2는 OSI SAF와 NASA team 사이의 density plot을 나타낸 것으로 해당 연구 기간에서 두 해빙농도는 상관계수 0.98838의 높은 상관성 관측되었다. 그리고 두 자료 사이에 약 8 % 정도의 차이 존재하며, 그래프에서 가로로 불연속변이 존재하는데, 이는 Nimbus/DMSP 자료의 경우 불연속성이 존재함을 의미한다. 또한 OSI SAF의 SIC가 0%에 가까운 지점에서 NASA team의 SIC가 0~ 20%까지 다양한 값이 분포하는데, 해당 부분은 해수/해빙 경계면과 관련된 부분으로 사료되며 추가적인 연구가 수행되어야 할 부분이다.

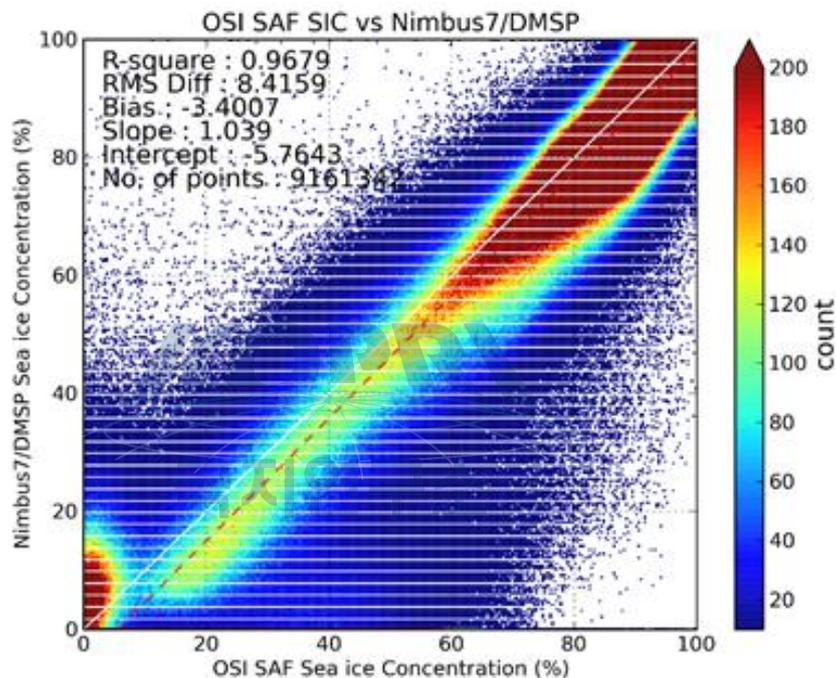


Fig. 3.6.2. Density plot between OSI SAF and Nimbus/DMSP (200).

(3) 지점별 해빙농도 시계열 분포 (1980 - 2010)

Fig 3.6.3은 임의의 3 가지 지점에서의 농도의 시계열 분포를 나타낸 것이다. 정확한 지점의 위치는 그래프 상단에 표시 하였으며 검은 실선은 OSI SAF의 SIC, 빨간 점선은 NASA team의 SIC를 의미한다.

두 자료 모두 계절적 특성이 반영된 시계열 분포를 보이지만, NASA team의 SIC의 경우 특정 기간에 OSI SAF에 비해 현저하게 낮은 SIC를 보이는데, 위도 55° N 이상인 지점에서 두 자료의 차이가 타 지역에 비해서 이러한 경향이 두드러지게 나타난다. 겨울철과 같이 해빙 농도가 높은 시기에서는 두 자료의 차이가 적게 나타내며 해빙 농도가 최소가 되는 시기에 OSI SAF와 Nimbus/DMSP 사이의 차이가 증가 한다.

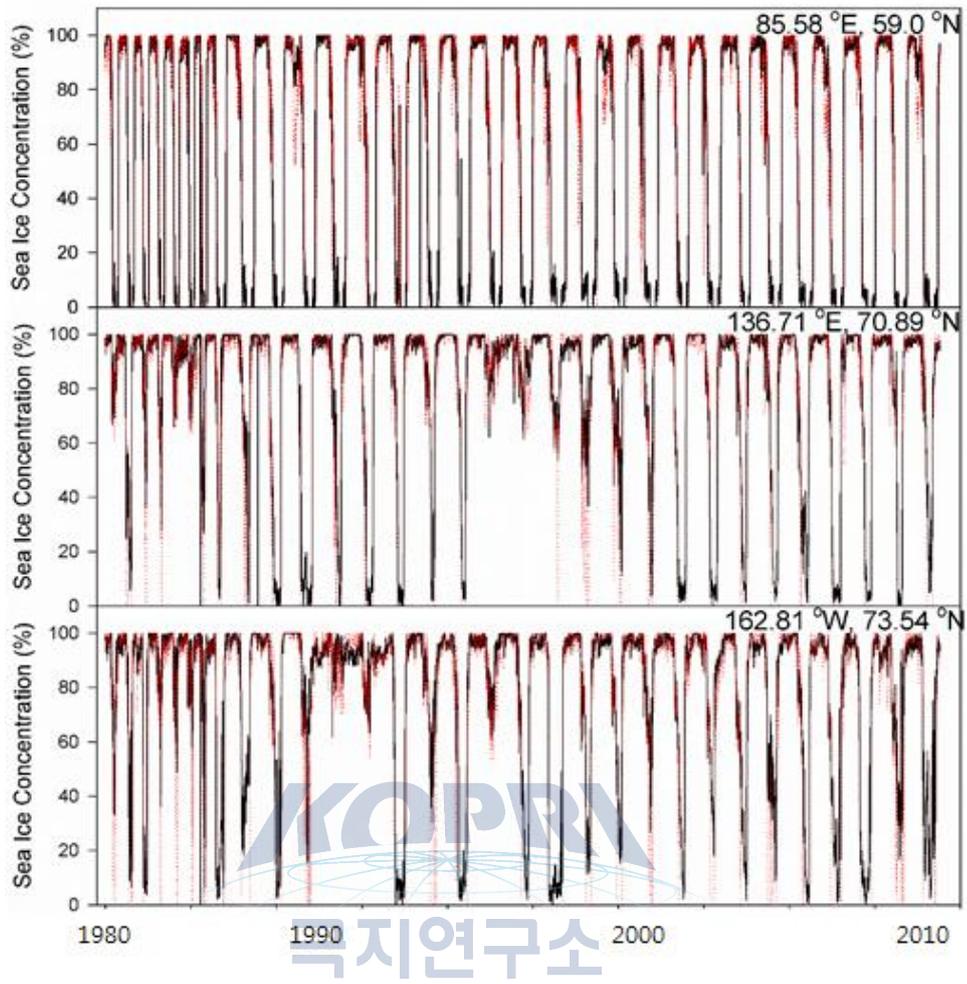


Fig. 3.6.3. 지점별 OSI SAF 해빙농도와 Nuimbus/DMSP 해빙농도의 시계열 분포 (검은 실선 : OSI SAF, 빨간 점선 : Nuimbus/DMSP).

제 7 절 다양한 조건을 바탕으로 SIC 특성 분석

1. 센서별 SIC 비교

Sensor의 세대교체를 위해 두 가지 이상의 자료가 중첩되는 시기에서 OSI SAF와 NATA team에서 서로 다른 passive microwave 사용한 기간이 존재한다. 본 연구에서는 동일한 기간에 다른 센서를 사용할 경우 두 기관에서 제공되는 산출물의 차이가 어떻게 변화하는지, 센서로 인한 민감도가 어떻게 존재하는지를 위하여 기간별로 비교를 하였다. Fig. 3.7.1와 같이 일별 SIC 평균값을 산출하였을 때, 2008년 이후 차이가 줄어든 것을 알 수 있다. Table 3.7.1은 두 자료 차이의 평균값, 최대값, 최소값을 나타낸 표이다. 각각 SSM/I와 SSMR 센서를 사용 했을 때가 평균 1.4% 가장 높은 차이를 보였다. 하지만 똑같이 상이한 센서를 2008년 이후 차이의 평균이 가장 적은 분포를 보였다. 이는 SSMR에서 다음 세대로 넘어갈 때 센서의 차이가 크게 존재 하였으며 나머지 SSM/I와 SSMIS 사이의 센서 특성의 차이는 적은 것을 알 수 있다.

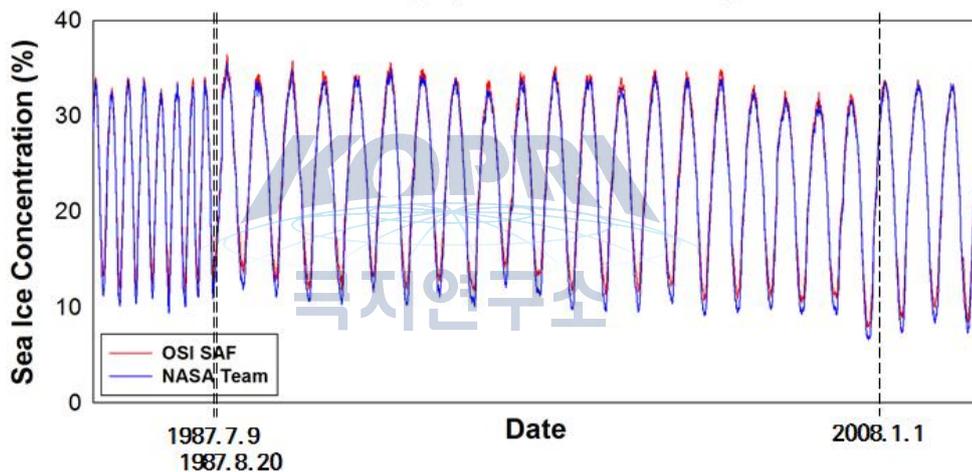


Fig. 3.7.1. Average of daily SIC data from OSI SAF(red) and NASA team(blue) (1980–2010)

Table 3.7.1. Difference value according to sensor

Period	OSI SAF	NASA Team	Difference		
			Mean	Max	Min
1980. 1. 1 ~ 1987. 7. 8	SSMR		0.8085	3.238	0.0032
1987. 7. 9 ~ 1987. 8. 20	SSM/I	SSMR	1.4032	2.473	0.0748
1987. 8. 21 ~ 2007. 12. 31	SSM/I		0.9070	3.064	0.0002
2008. 1. 1 ~ 2010. 12. 31	SSM/I	SSMIS	0.6328	2.770	0.0003

2. 계절별 SIC 비교

OSI SAF SIC와 NASA team SIC는 알고리즘 차이로 인해 해빙/해수 경계지역 설정에서 큰 차이를 보인다. NASA team과 비교 했을 때, OSI SAF의 경우 4계절 모두 NASA team에 비해 좁은 해빙/해수 경계를 보인다. 두 자료의 정확한 차이 분석을 위하여 두 알고리즘에서 모두 해빙이 존재하는 구역을 바탕으로 계절별 공간분포를 분석하였다(Fig. 3.7.2). Fig. 3.7.2을 보면, 대부분 OSI SAF SIC가 높은 분포를 보인다. 해역을 바탕으로 다른 공간 분포를 보이는데, 각각 해양의 특성은 북극해(1)를 제외한 다른 해양의 (2, 3, 4, 5) 경우 북극해보다 작고 육지와 밀접해 있는 해역이다. 대부분 OSI SAF의 SIC가 높으며, 북극해와 인접한 링컨해(5)는 NASA team SIC가 높았다. 북극해에서는 겨울(a)과 봄(b)에는 NASA team SIC, 여름(c)과 가을(d)은 OSI SAF의 SIC가 높게 계절별로 다른 특성이 관측되었다.

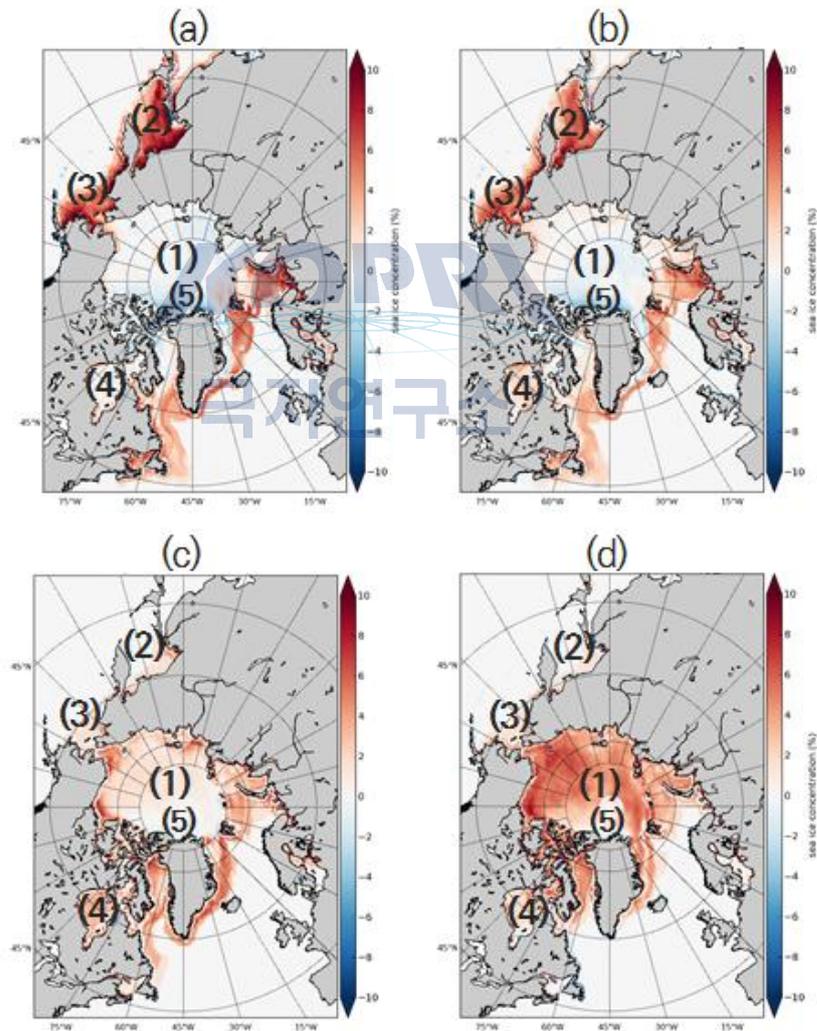


Fig. 3.7.2. SIC difference according to each season (1980–2010) (a) winter, (b) spring, (c) summer and (d) autumn (1) Arctic Ocean, (2) Okhotsk Sea, (3) Bering Sea, (4) Hudson Bay and (5) Lincoln Sea.

3. 구역별 SIC 비교

Fig. 3.7.2에서 해역별 구분한 영역을 바탕으로 시계열 분석을 수행하였다.

(1) 북극해

북극해(Arctic Ocean, Fig. 3.7.2(1))는 여름과 가을은 OSI SAF, 겨울과 봄은 NASA team SIC가 높게 관측되었다. 비교적 다른 구역보다 여름과 가을에 더 큰 차이값을 보였다. Fig. 3.7.3을 보면, NASA team SIC가 큰 겨울과 봄보다 OSI SAF SIC가 큰 여름과 가을에 차이가 더 큰 것을 알 수 있다.

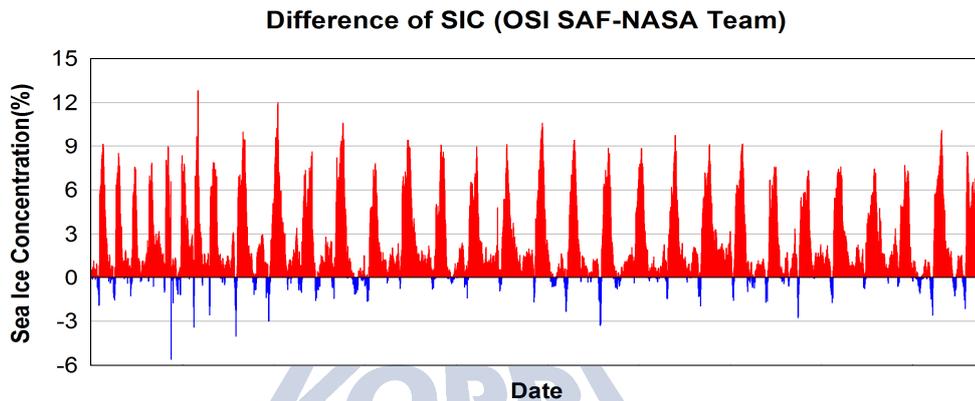


Fig. 3.7.3. Time series of difference SIC between OSI SAF and NASA team in Arctic Ocean.

(2) 오크츠크해

오크츠크해(Okhotsk Sea, Fig. 3.7.2(2))는 여름에는 해빙의 거의 존재하지 않는 지역이다. 전체적으로 OSI SAF가 높은 영역으로 Fig. 3.7.4를 보면 북극해와 달리 여름에는 비교적 차이가 적고, 겨울에 차이가 더 크다. 여름에 일부 NASA team SIC가 높게 관측되었는데, 대부분 OSI SAF 자료의 결측이 발생한 기간이었다.

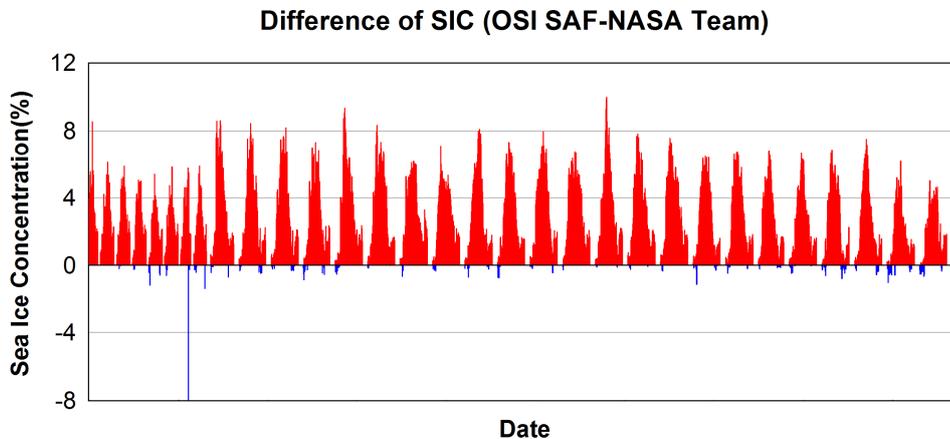


Fig. 3.7.4. Time series of difference between OSI SAF SIC and NASA team SIC in Okhotsk Sea.

(3) 베링해

베링해(Bering Sea, Fig. 3.7.2(3))는 오오츠크해와 마찬가지로 여름에는 해빙이 거의 존재하지는 영역이다. 전체적으로 OSI SAF가 높으며 Fig.3.7.5에서의 차이 분포를 보면 오호츠크해와 같이 여름에는 차이가 적고, 겨울에 차이가 크다. 여름과 가을에 일부 NASA team SIC가 높은 곳이 관측되었는데, 오오츠크해와 마찬가지로 OSI SAF 자료의 결측이 존재하였던 기간이다.

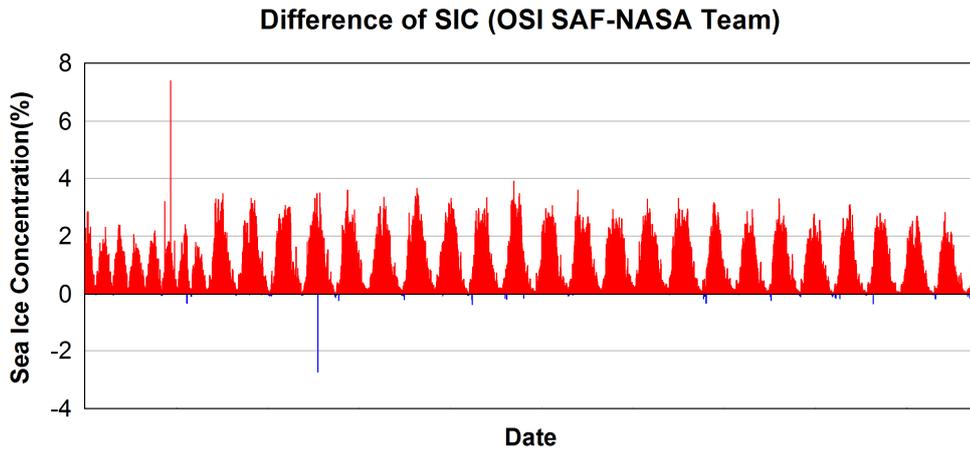


Fig. 3.7.5. Time series of difference between OSI SAF SIC and NASA team SIC in Bering Sea.

(4) 허드슨만

허드슨만(Hudson Bay, Fig. 3.7.2(4))는 다른 구역보다 비교적 육지와 밀접하게 둘러싸여 있으며, 전체적으로 OSI SAF가 높은 구역이며 여름에도 일부 해빙이 존재한다. 여름에 차이가 크고 겨울에 비교적 차이가 적다. 봄에 일부 NASA team SIC가 높게 관측되었다.

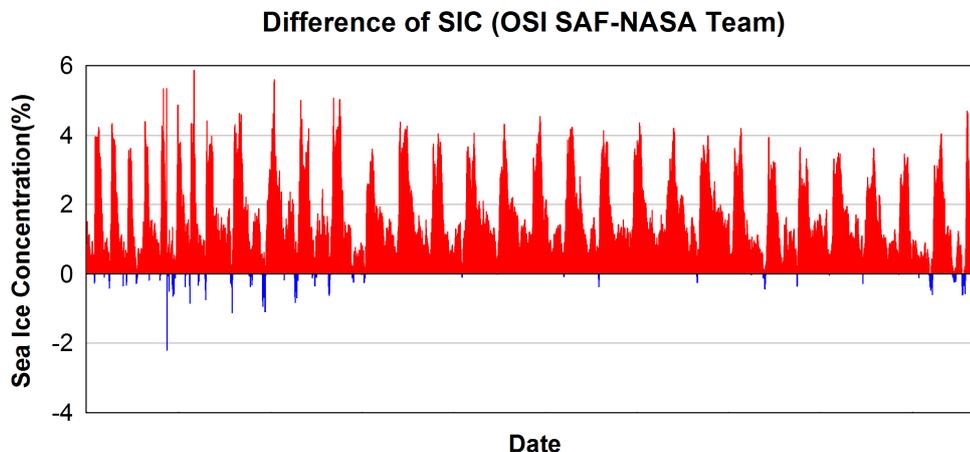


Fig. 3.7.6. Time series of difference between OSI SAF SIC and NASA team SIC in Hudson Bay.

(5) 링컨해

링컨해(Lincoln Sea, Fig. 3.7.2(5))는 그린란드 북쪽의 인접해역이며 전체적으로 NASA team SIC가 높은 구역이다. 4계절 내내 SIC가 70% 이상 분포하며, 여름에 OSI SAF SIC가 높고, 나머지 계절은 NASA team SIC가 높다.

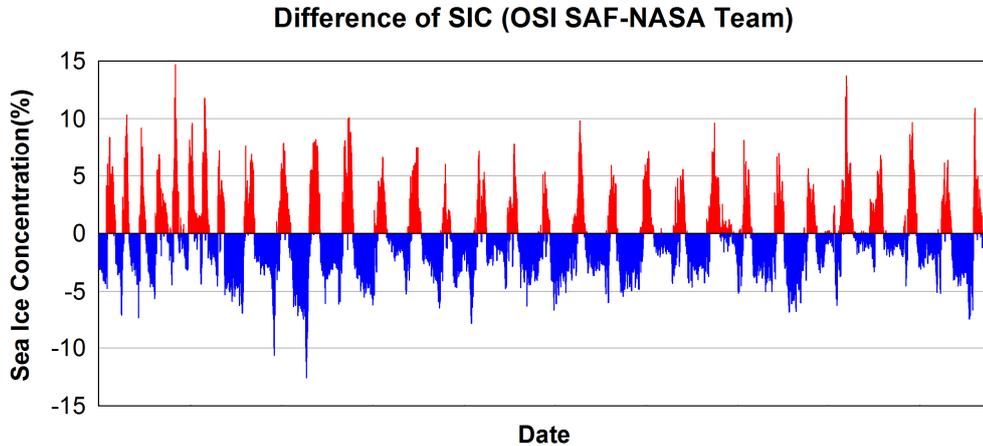


Fig. 3.7.7. Time series of difference between OSI SAF SIC and NASA team SIC in Lincoln Sea.

4. 해빙면적차이 분석 (OSI SAF - NASA team)

해빙 면적의 차이는 북극 전체 영역과 NASA team의 SIC가 높게 관측되었던 링컨해와 한반도와 가까운 오오츠크해를 기준으로 영역별 분석을 수행하였다.

(1) 전체 연구 영역

OSI SAF는 interpolation을 적용한 자료로 전체적으로 OSI SAF의 해빙면적이 넓게 관측된다. Fig. 3.7.8은 해빙면적의 차이를 시계열로 나타낸 것이다. 월별 차이를 보면 비교적 7~11월에 차이가 크고 1~5월에 차이가 적게 관측된다. 1986년, 1989년, 1994년에 각각 하루씩 OSI SAF 해빙 면적이 급격하게 감소한 시기가 있는데, 해당 시기에 OSI SAF 자료에서 많은 결측이 발생했다. 1987년과 2008년에 NASA Team의 사용 센서 교체(SSMR →SSM/I, SSM/I →SSMIS)로 인한 결측값 감소가 발생하였고 이로 인하여 해빙 면적의 차이가 감소하였다. NASA team을 기준으로 센서에 따라서 두 해빙 면적의 차이는 SMMR을 사용 할 때 평균 196만 km², SSM/I를 사용 할 때, 160만 km² SSMIS 사용할 때 61만 km² 으로 꾸준히 감소하였다.

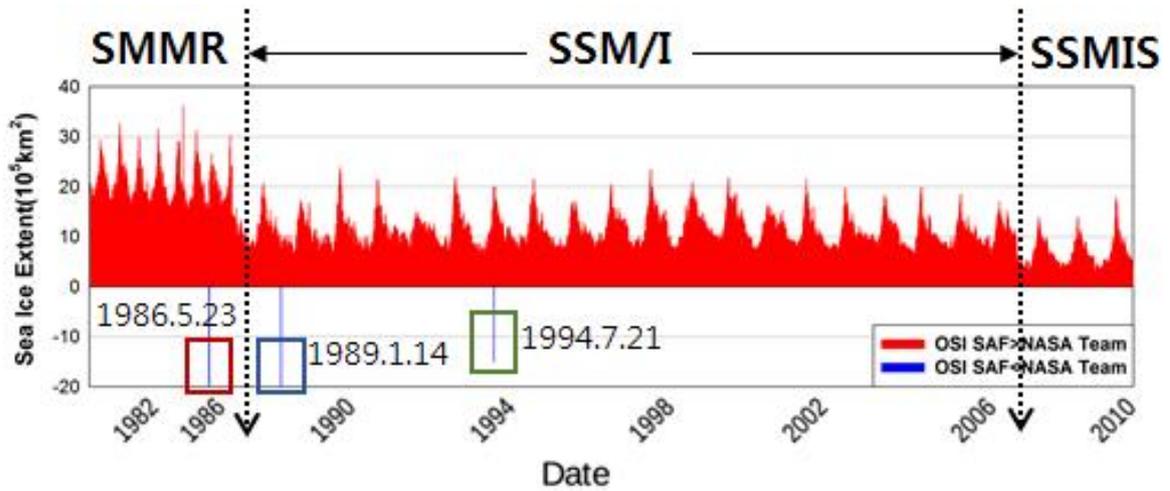


Fig. 3.7.8. Time series of difference between OSI SAF sea ice extent and NASA team Sea ice extent in Arctic.

(2) 링컨해

Fig. 3.7.9는 링컨해에서의 OSI SAF와 NATA team의 해빙면적의 차이를 시계열로 나타낸 것이다. 대부분 OSI SAF가 높고 차이가 SMMR 사용기간을 제외하면 평균 4.8만km² 으로 일정하게 차이가 관측되었다. 월별로 7~9월 동안 NASA Team의 해빙 면적 감소하면서 차이가 증가하는 경향을 보인다. NASA team을 기준으로 센서에 따라서 두 해빙 면적의 차이는 SMMR을 사용 할 때 평균 23만 km² , SSM/I를 사용 할 때, 2만 km² SSMIS 사용할 때 1.3만 km² 으로 꾸준히 감소하였다.

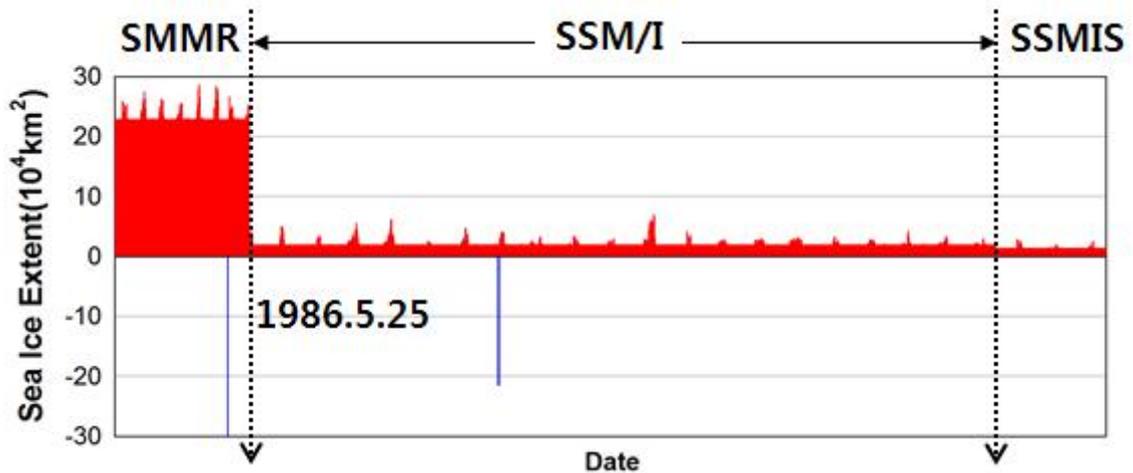


Fig. 3.7.9. Time series of difference between OSI SAF sea ice extent and NASA team Sea ice extent in Lincoln Sea.

(3) 오오츠크해

Fig. 3.7.10는 오오츠크해에서의 OSI SAF와 NATA team의 해빙면적의 차이를 시계열로 나타낸 것이다. 전체적으로 OSI SAF가 높게 관측되며 평균 6.6만km² 차이를 보인다. 월별로는 3, 4, 11월 일부와 5~6월에 NASA Team이 높게 관측되며 앞선 결과와 마찬가지로 NASA Team의 사용 센서 교체에 따른 차이 변화가 존재하며, 오오츠크해에서는 2가지 경우로 나누어 센서에 따른 차이를 분석하였다.

OSI SAF의 해빙면적이 NASA Team보다 클 경우 SMMR을 사용 할 때 평균 6.6만 km² , SSM/I를 사용 할 때, 4.8만 km² SSMIS 사용할 때 2.7만 km² 으로 꾸준히 감소하였다. 하지만 NASA Team의 해빙면적이 OSI SAF보다 높을 때는 SMMR을 사용 할 때 평균 0.1만 km² , SSM/I를 사용 할 때, 0.2만 km² SSMIS 사용할 때 0.4만 km² 으로 경미하긴 하지만 해빙 면적의 차이가 증가 했다.

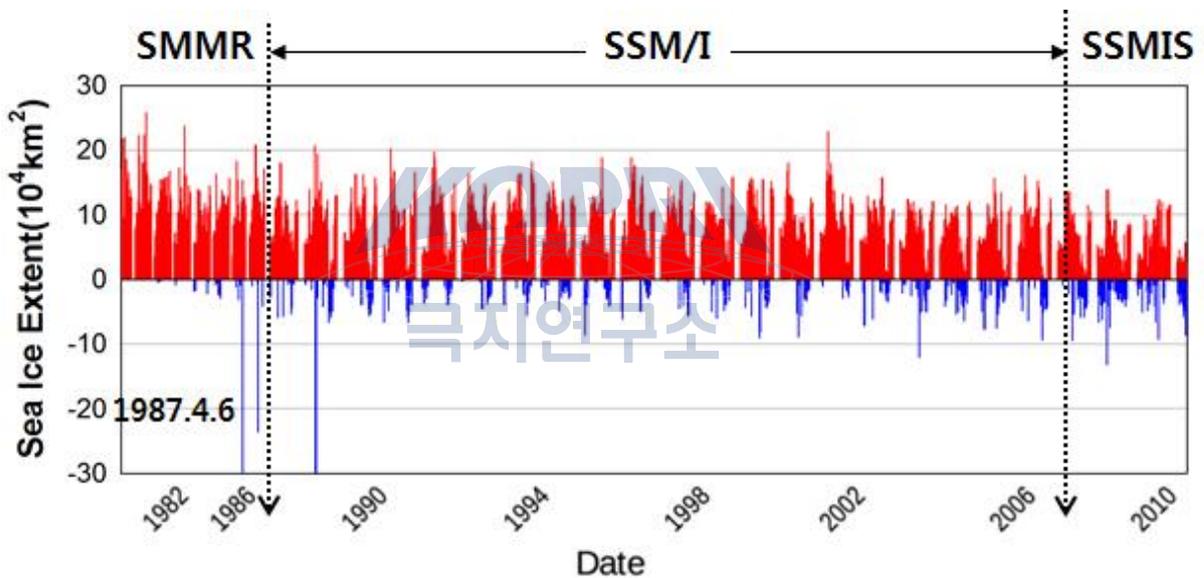


Fig. 3.7.10. Time series of difference between OSI SAF sea ice extent and NASA team Sea ice extent in Okhotsk Sea.

5. 임계치 별 해빙면적 차이

OSI SAF SIC와 NASA team SIC의 경우 계절/지역에 따라 최대 10% 까지 오차를 보이기 때문에 해빙농도 값에 따른 해빙면적의 변화를 분석하였다. 기본적으로 해빙농도가 15% 이상일 때 해빙면적이라 정의하지만, 만약 정확도 $\pm 5\%$ 의 오차가 발생 할 경우 10 ~ 20% 오차범위가 발생하게 된다. 이러한 다양한 경우가 발생하기 때문에 본 연구에서는 다양한 임계치별 해빙 면적의 변화와 동일한 임계치에서 OSI SAF, NASA team 해빙면적을 분석하였다. Fig 3.7.11 - 12은 해빙면적 산출 시 다양한 임계치를 적용하여 시계열로 나타낸 그래프이다. OSI SAF의 경우 임계치 10%와 15% 사이에서 가장 큰 약 1만 km^2 의 차이를 보였다. 1996년 ~ 2005년 시기를 제외하고 모든 조건에서 동일한 시계열 패턴을 보여주고 있으며, 해빙면적의 변화는 감소 경향을 보이고 있다. NASA team의 경우 OSI SAF에 비해서 각 임계치 별로 면적의 차이가 적게 관측 되었다. 하지만 1990년대에서 임계치 10%와 15% 사이에서 최대 약 2만 km^2 이상 차이가 발생하였다. 전체적인 경향은 OSI SAF와 동일하게 감소 패턴을 보였다. OSI SAF와 NASA team SIC를 기반으로 산출한 해빙면적은 15% 이상의 임계치를 적용하였을 때 두 산출물 모두 유사한 값의 분포를 보였지만 10% 임계치에서는 시계열 패턴과 값의 범위가 상이하게 분포하였다.

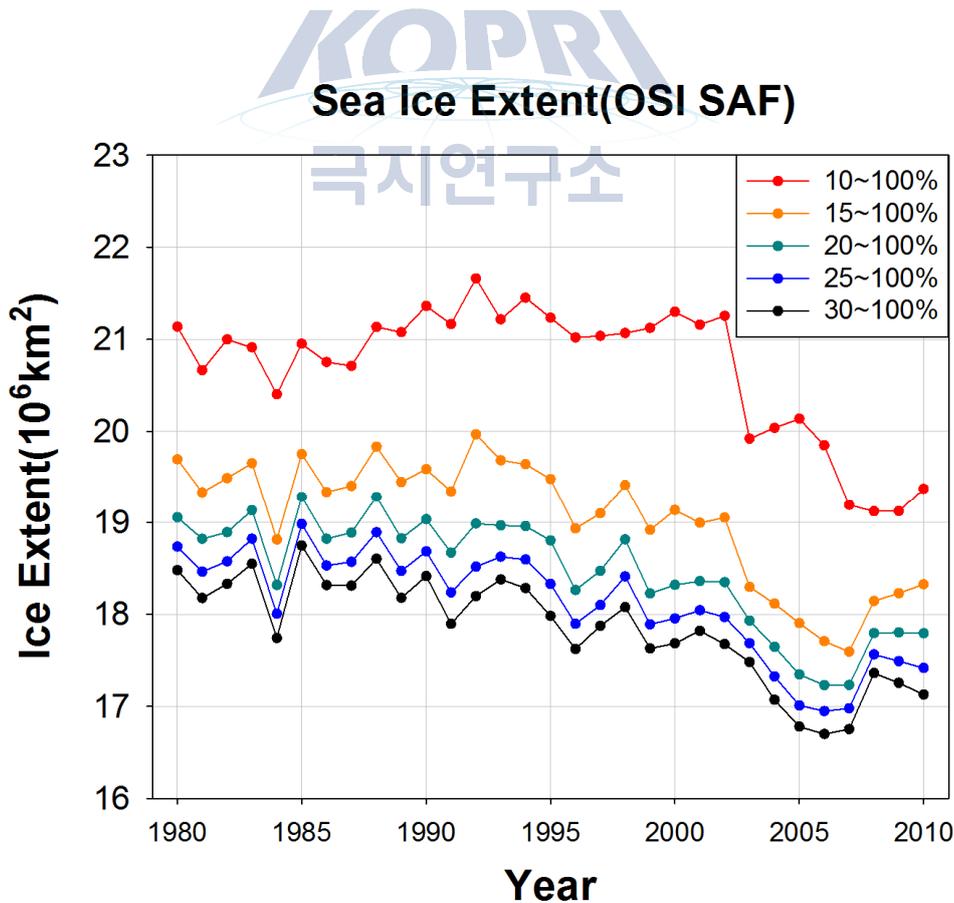


Fig. 3.7.11. Time series of sea ice extent per each threshold from OSI SAF.

Sea Ice Extent(NASA Team)

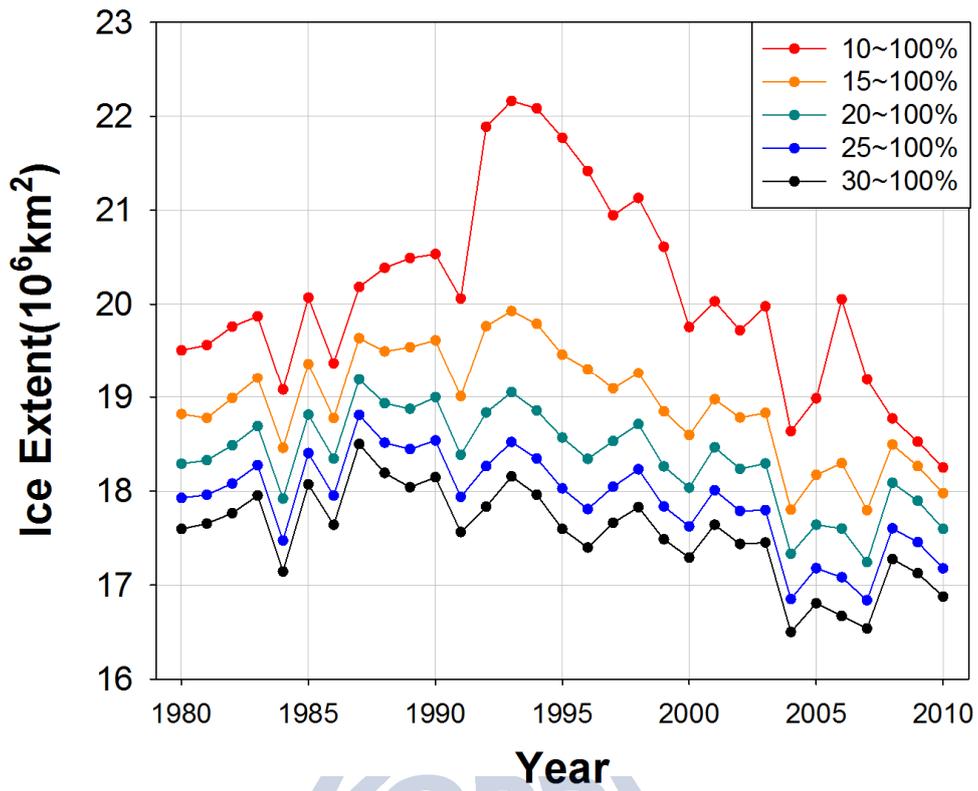
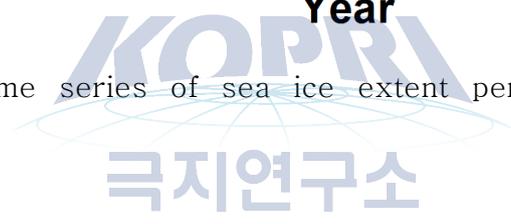


Fig. 3.7.12. Time series of sea ice extent per each threshold from NASA team.



IV. 연구개발 목표 달성도 및
극지연구소 대외기여도

제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 대외기여도

제 1 절 연구개발 목표 및 달성도

1. 연구 성과 목표 및 달성도

표 4.1.1는 성과 목표에 따른 세부 목표와 달성 주요 내용, 달성도를 정리하고 그 달성 정도를 수치화 한 것이다. 올해의 목표였던 극지 예측 모델링 활용을 위한 빙권, 공간정보의 개념설계를 위하여 본 연구에서는 극지 예측 모델/기후 관련 분야 해빙/적설 자료의 수요분석을 수행하였으며, 북극해빙/적설 공간정보의 관측종 및 활용 범위를 조사하고 선택하였다. 그리고 선택된 기후변수에 따라 북극 해빙/적설 현장관측 자료를 포함한 공간정보를 수집하였다. 해당 세부 목표를 위하여 아래의 표와 같은 연구 결과를 달성하였으며, 모든 연구 개발 목표에 관하여 100%의 달성도를 달성하였다.

Table 4.1.1. 연구개발 목표 및 달성도

성과목표	세부목표	달성 주요내용	달성도 (%)
1. 극지 예측 모델링 활용을 위한 빙권 공간정보의 개념 설계	1-1 극지 예측 모델/기후 관련 분야 해빙/적설 자료의 수요 분석	- 수요조사 설문지 작성 - 우선순위가 높은 product 선정	100 %
	1-2 북극 해빙/적설 공간정보의 관측종 및 활용 범위 조사	- 관측 source에 따라 공간정보 자료 분류 - 선진 기관에서 이용되는 극지 예측 모델링 활용을 위한 자료 조사 - 여러 기관에서 제공되는 자료 특징 정리	100 %
	1-3 북극 해빙/적설 현장관측 자료를 포함한 공간정보 수집	- sea ice concentration (SIC) 자료 수집 - 공간분포를 중심으로 category 별 SIC 자료 차이 분석 - 다양한 조건을 바탕으로 SIC 특성 분석	100 %

2. 연구 성과목표 및 평가의 착안점

연구 성과 목표 및 목표에 따른 세부 목표, 목표들의 가중치, 해당 연구의 평가 착안점 및 척도에 관해 정리 하였다(표 4.2.2).

Table 4.2.2 연구 성과 목표 및 평가의 착안점

년도	성과목표	세부목표	가중치	평가의 착안점 및 척도
1차년도 (2016)	극지 예측 모델링 활용을 위한 빙권 공간정보의 개념 설계	극지예측모델/기후 관련 분야 해빙/적설 자료의 수요 분석	30	<ul style="list-style-type: none"> - 대표적 극지예측모델 관련 자료수집 - 해외 사례분석 - 극지예측모델별 초기입력자료 분석 (변수별, 활용 범위등) - 북극 해빙/적설 현장관측자료 수집 (쇄빙선 실측자료, Cryosat 등)
		북극 해빙/적설 공간정보의 관측종 및 활용 범위 조사	30	
		북극 해빙/적설 현장관측자료를 포함한 공간정보 수집	40	



V. 연구개발결과의 활용계획

극지연구소

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

해빙 자료의 정확도는 기후 모델에 있어서 중요한 조건 중에 하나이다. 해빙 농도의 차이가 약 0.84%가 발생한다고 하면 기온 예측에 있어서 북극 지역에서는 2.94 K, 전 지구에서는 0.02 K의 차이가 발생하게 된다(C. Lu`pkes et al., 2008 ; Parkinson et al., 2001). 전 지구적으로 차이가 적게 발생하지만, 극지방을 기준으로 면 정확도 예측에 큰 영향을 주는 요소라고 할 수 있다 또한 해빙 면적의 경우 그 차이가 61 ~ 198만 km² 발생하며, 적설량 예측은 1.83 ~ 23.75%의 차이가 발생하며, 기온 예측은 1.22 ~ 3.96 K의 차이가 발생한다 (Jiping Liu et al., 2012). 하지만 본 연구 결과에 따라 어떤 자료, 어떤 알고리즘을 선택하느냐에 따라 계절별, 지역별로 해빙 농도 분포의 차이가 발생하였다. 이를 바탕으로 산출하는 해빙면적 또한 다르게 산출되기 때문에 각 자료의 특성에 따른 해빙농도의 연구가 필요하다. 본 연구에서는 서로 다른 알고리즘의 해빙 농도 자료를 비교 분석 하였지만, 향후 다양한 category 별 자료를 추가 수집하여 보다 다양한 공간 자료의 분석이 필요하다. 해빙 농도로만 국한하지 않고 극지 예측 시스템에 input으로 활용할 수 있는 다양한 빙권 자료들의 추가 분석이 필요할 것이다. 또한 앞에서는 간접적인 비교를 바탕으로 특성 분석을 수행하였지만, 향후에는 in-situ 자료, 고해상도 위성 자료 등의 자료를 수집하여 직접적인 정확도 검증과 quality control에 대한 추가 연구가 필요하다. 공간자료의 충분한 특성 분석과 정확도 검증이 수행된 후에는 고품질의 자료 재생산을 위한 자료의 합성/optimal/고도화 작업을 위한 과정이 수행되어야 할 것이다.



Fig. 5.1.1. Future plan.

 VI. 참고문헌
극지연구소

제 6 장 참고문헌

- 강희찬, 김효선, 2016. 북극의 기후변화로 인한 생태계변화의 경제적 가치추정
- 한향선, 이훈열, 2007. 북극의 KOMPSAT-1 EOC 영상과 SSM/I NASA Team 해빙 면적비의 비교 연구
- ACCESS, 2014. Assessment of the accuracy of OSI SAF ice products
- Arzel, O., Fichefet, T., Goosse, H., 2006. Sea ice evolution over the 20th and 21st centuries as simulated by current AOGCMs. Ocean Modelling 12, 401e415.
- Belchansky and Douglas, 2000. Seasonal comparisons of sea ice concentration estimates derived from SSM/I, OKEAN, and RADARSAT data
- Charles R. Madrid Management and Technical Services Company Beltsville, Maryland, 1978. The Nimbus 7 Users' Guide
- Comiso, J.C., 2010. Variability and trends of the global sea ice cover.
- Clara Deser, Haiyan Teng, 2008. Evolution of Arctic sea ice concentration trends and the role of atmospheric circulation forcing, 1979-2007
- Josefino C. Comiso, Donald J. Cavalieri, Claire L. Parkinson, Per Gloersen, 1998. Passive microwave algorithms for sea ice concentration: A comparison of two techniques
- Julienne Stroeve, Marika M. Holland, Walt Meier, Ted Scambos, Mark Serreze, 2007. Arctic sea ice decline: Faster than forecast
- Montes-Hugo, M., Doney, C.S.C., Ducklow, W.H.W., Fraser, W., Martinson, D., Stammerjohn, E.S.E., Schofield, O., 2009. Recent changes in phytoplankton communities associated with rapid regional climate change along the Western Antarctic Peninsula. Science 323, 1470e1473.
- Steinar Eastwood, Matilde Jenssen, Thomas Lavergne, Atle M Sørensen, Rasmus Tonboe, 2015. Global Sea Ice Concentration Reprocessing Product User Manual

STEINAR EASTWOOD, THOMAS LAVERGNE AND RASMUS TONBOE, 2014.
Algorithm Theoretical Basis Document for the OSI SAF Global
Reprocessed Sea Ice Concentration Product

Rasmus Tonboe, R.–Helge Pfeiffer and Matilde B. Jensen and Eva Howe,
Steinar Eastwood, 2015. Validation Report for Global Sea Ice
Concentration Reprocessing

Rivo Uiboupin, Lars Axell, Urmas Raudsepp, Liis Sipelgas, 2010. Comparison
of operational ice charts with satellite based ice concentration products in
the Baltic Sea ,Baltic International Symposium (BALTIC), 2010 IEEE/OES
US/EU

Thomas, D.N., Dieckmann, G.S. (Eds.), Sea Ice, second ed. Wiley–Blackwell,
Oxford, UK, pp. 205e246.





1. 이 보고서는 극지연구소 위탁과제 연구결과 보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 극지연구소에서 위탁연구과제로 수행한 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.