

최종보고서				보안등급				
				일반[<input checked="" type="checkbox"/>], 보안[<input type="checkbox"/>]				
중앙행정기관명	교육부		사업명		기본연구지원사업			
연구개발과제번호	2018R1D1A1B07049261							
연구개발과제명	국문	위성기반 이상고수온 감시 및 예측						
	영문	Satellite-based Abnormal High Water Temperature Surveillance and Prediction						
주관연구개발기관	기관명	한국해양과학기술원						
연구책임자	성명		양현					
	연락처	직장전화	051-664-3044	소속부서/직위	해양위성센터/선임연구원			
		전자우편	yanghyun@kiost.ac.kr	휴대전화	010-4243-3227			
연구개발기간	전체	2018. 06. 01 - 2021. 05. 31(3년 0개월)						
	단계 (해당 시 작성)	1단계						
		2단계						
		3단계						
연구개발비 (단위: 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금		합계		
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계
총계	150,000					150,000		150,000
1단계	1년차	37,500				37,500		37,500
	2년차	50,000				50,000		50,000
	3년차	50,000				50,000		50,000
	4년차	12,500				12,500		12,500
	5년차							
	6년차							
	7년차							
	8년차							
	9년차							
	10년차							
	11년차							
2단계 (해당시 작성)	1년차							
	2년차							
	3년차							
	4년차							
3단계 (해당시 작성)	1년차							
	2년차							
	3년차							
	4년차							
	5년차							
연구개발담당자 실무담당자	성명		양현		직위		선임연구원	
	연락처	직장전화	051-664-3044		휴대전화		010-4243-3227	
		전자우편	yanghyun@kiost.ac.kr		국가연구자번호		10908685	

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2021년 06월 29일

연구책임자: 양현
주관연구개발기관의 장: 김웅서

※ 주관연구책임자 및 주관연구기관장 서명(인, 직인)은 전자접수를 통한 제출 및 승인으로 같음함

< 요약 문 >

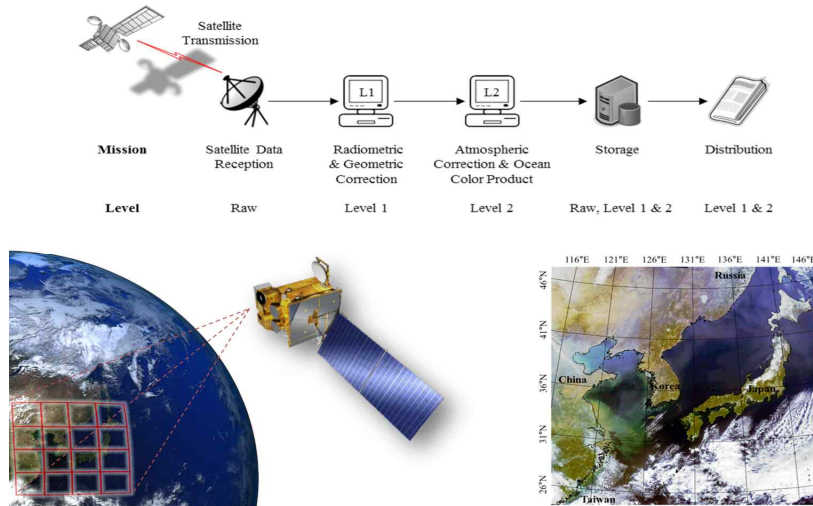
연구개발단계	기초[<input checked="" type="checkbox"/>] 응용[<input type="checkbox"/>] 개발[<input type="checkbox"/>]				
연구개발 목표 및 내용	최종 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 위성기반 실시간 이상고수온 감시기술 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 한반도 근해를 실시간으로 관측하는 해양/기상 위성자료 활용연구 - 서로 다른 스펙/형식을 가지는 위성자료 간 합성연구 - 대용량 위성자료 실시간 처리 기술연구 ○ 딥러닝을 이용한 이상고수온 예측기술 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 이상고수온과 연관이 깊은 해수면온도, 해류, 해상풍, 일사량, 대기압, 상대습도 등의 위성자료를 입력으로 하는 트레이닝 최적화 연구 - 딥러닝을 활용한 이상고수온 발현확률 추정 연구 - 예측결과를 유관기관과 효율적으로 공유하기 위한 연구 			
	전체 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 관련연구 조사/분석 ○ 다중위성자료 합성기술 개발 ○ 실시간 이상고수온 탐지 시스템 개발 ○ 실시간 이상고수온 탐지 및 예측을 위한 가상화 기반 고성능 처리 시스템 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 가상화 기반 고성능 처리 시스템 구축 - 딥러닝 기반 이상고수온 예측에 활용되는 해수면온도 등의 위성자료 실시간 처리기능 구현 - 효율적인 트레이닝을 위해 파이썬 멀티프로세싱 기반 병렬분산처리 기능 구현 ○ LSTM(Long Short-Term Memory models)을 이용한 이상고수온 예측 <ul style="list-style-type: none"> - 목표 해석 및 자료 설정 - 트레이닝 최적화 - 딥러닝 모델 성능평가 			
연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 7일 이후의 수온 예측 정확도 MAPE(Mean Absolute Percentage Error) = 약 4% ○ 7일 이후의 이상고수온 예측에 대한 F1 Scores = 0.8 ○ SCI 논문 4편, 등재지 1편, 국제학술발표 5편, 국내학술발표 8편, 국내특허출원 1건 등 				
연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 이상고수온 발현을 실시간으로 검출 및 예측하여 수산 피해 최소화 ○ 실시간 모니터링 수준을 넘어, 해양재해예보를 실현하기 위한 초석이 될 것이라 사료됨. <ul style="list-style-type: none"> - 기상 예보에서 강수량, 적설량 등을 예보하는 것처럼 이상고수온 등의 해황을 예보하기 위한 기초 연구로 활용될 것이라 기대하고 있음. - 향후, 적조, 녹조, 냉수대 등의 해양재해를 예측하는 기술 개발로 확장할 수 있음 ○ 지구온난화로 인해 이상고수온 현상으로 인한 피해가 가속될 것이므로, 이에 대한 대비책을 사전에 만들어 대응할 수 있도록 지원할 수 있음 ○ 이상고수온 감시 및 예측 시스템을 대국민 공개하여 어민 및 수산업계에서 관련 정보를 공유할 수 있도록 지원할 수 있음 				
국문핵심어 (5개 이내)	이상고수온	해양 재해 예측	위성 원격 탐사	실시간 시스템	
영문핵심어 (5개 이내)	Abnormal High Water Temperature	Marine Disaster Prediction	Satellite Remote Sensing	Real-time System	

< 목 차 >

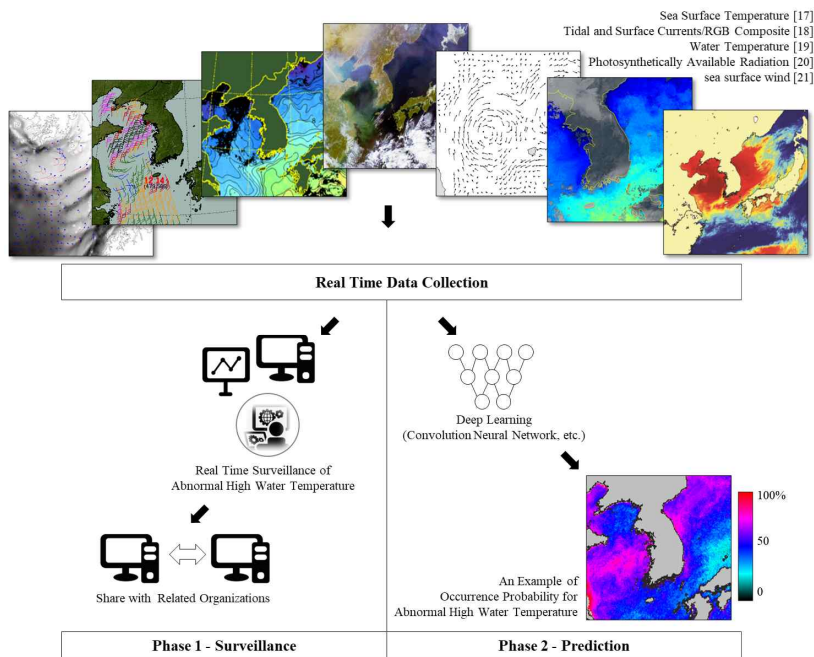
1. 연구개발과제의 개요
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도
4. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도
5. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획
6. 참고 문헌

1. 연구개발과제의 개요

- 위성기반 실시간 이상고수온 감시기술 연구
 - 한반도 근해를 실시간으로 관측하는 해양/기상 위성자료 활용연구
 - 서로 다른 스펙/형식을 가지는 위성자료 간 합성연구
 - 대용량 위성자료 실시간 수집/처리/배포 기술연구



- 딥러닝을 이용한 이상고수온 예측기술 연구
 - 이상고수온과 연관이 깊은 해수면온도, 해류, 해상풍, 일사량, 대기압, 상대습도 등의 위성자료를 입력으로 하는 트레이닝 최적화 연구
 - Deep CNN (Convolution Neural Network) 등을 활용한 이상고수온 발현확률 추정 연구
 - 예측결과를 유관기관과 효율적으로 공유하기 위한 연구



2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

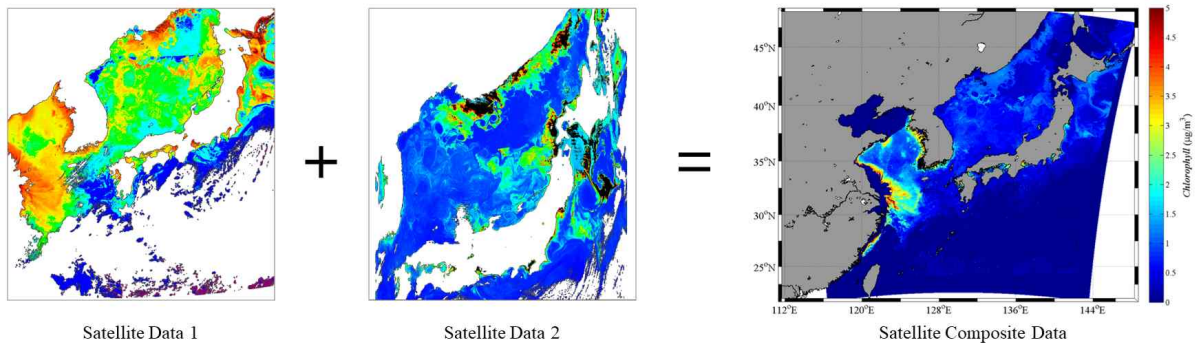
(2018년)

○ 관련연구 조사/분석

- 최근 지구온난화로 인해 전세계적으로 수온은 지속적으로 오르고 있으며, 예상치 못한 고수온 발현은 수산업 및 해양생태계에 큰 영향을 끼치고 있음.
- 국내 수산업계에서는 매년 이상고수온으로 인해 넙치, 볼락, 강도다리, 쥐노래미 등의 양식어종이 집단 폐사한 사례가 발생하고 있음.
- 또한, 수산물에 포함된 병원성 비브리오균으로 인해 장염을 유발한 인적피해가 많이 발생하고 있음.
- 국내에서 그동안 폭염에 대한 연구가 많이 진행되고 오고 있는 반면, 고수온에 대한 연구는 최근에서야 비로소 대두되고 있으며, 특히 해양 선진국(유럽 등)에 비해 고수온에 대한 국내 기반연구는 많이 미비한 실정임.
- 여름철 폭염과 고수온 발현이 반드시 일치하지는 않으며, 특히 고수온 발현의 경우 쿠로시오 난류, 양자강으로부터 흘러들어오는 저염분수, 해상풍 등 다양한 인자에 영향을 받음.

○ 다중위성자료 합성기술 개발

- 서로 다른 위성으로부터 획득된 해양위성자료는 공간해상도, 투영법 등의 형식이 각각 다르기 때문에 이를 통일시키기 위해 합성하는 기술을 개발함.

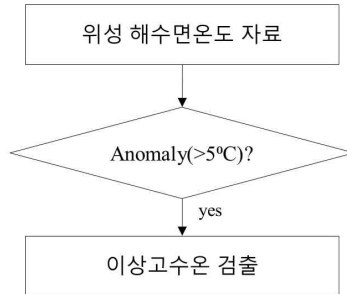


- 8개 기관으로부터 제공되는 20여 가지의 해양환경자료를 활용하기 위한 다중위성자료 합성기술을 개발함.

기관명	자료 종류	주기
JAXA	위성 해수면온도	수 분
국가기상위성센터	기상위성 자료	수 분
해양위성센터	해색위성 자료	1시간
국립수산과학원	수온, 기온 등	1시간
	염분, 용존산소량 등	1일
국립해양조사원	조위, 파고, 유향/유속, 염분, 기온, 기압, 풍향, 풍속 등	1일
NASA	습도, 바람, 기압 등	수 시간
NOAA	해색위성 자료	1일
AVISO	해수면 높이, 지형류, 바람, 파도 등	1일

○ 실시간 이상고수온 탐지 시스템 개발

- 위성 해수면온도자료를 실시간 수집하여 Anomaly가 임계치(예, 5°C) 이상일 경우 이상고수온으로 판단하는 알고리즘을 개발함.

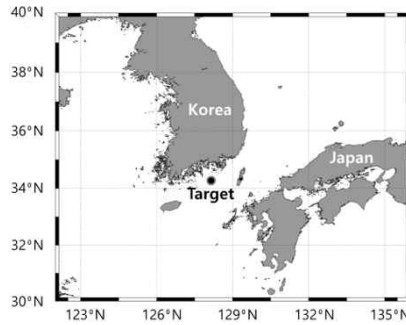


- 이상고수온 발현 검출 알고리즘 -

- 이상고수온 발현을 한눈에 볼 수 있도록 검출 결과를 위경도 좌표에 매핑하여 가시성을 높임.

(2019년)

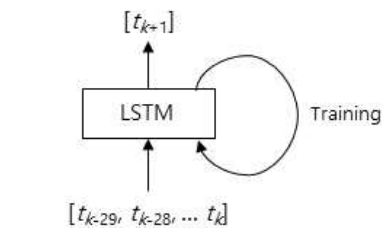
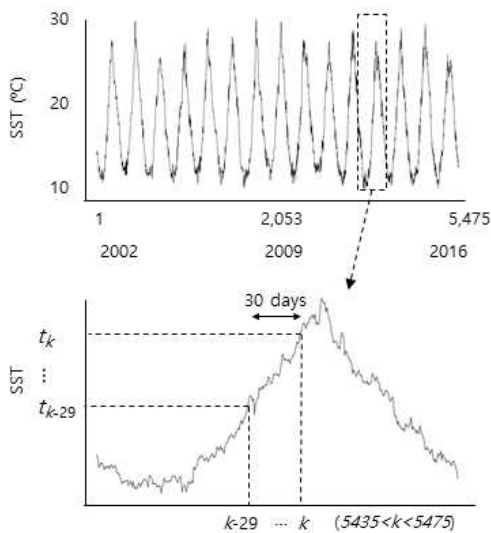
- 실시간 이상고수온 탐지 및 예측을 위한 가상화 기반 고성능 처리 시스템 구축
 - 가상화 기반 고성능 처리 시스템 구축
 - 딥러닝 기반 이상고수온 예측에 활용되는 해수면온도 등의 위성자료 실시간 처리기능 구현
 - 효율적인 트레이닝을 위해 파이썬 멀티프로세싱 기반 병렬분산처리 기능 구현
- LSTM(Long Short-Term Memory models)을 이용한 이상고수온 예측
 - 목표 해역 및 자료
 - + 이상고수온으로 인한 어장 피해가 가장 심한 남해 어장을 목표 해역으로 설정



- 이상고수온 예측 목표 해역 -

- 트레이닝

- + 수온을 예측하기 위해 ECMWF(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)로부터 수집한 지난 10년간의 위성 해수면온도 자료를 트레이닝에 활용
- + 트레이닝 기간 중 임의의 날짜 n 일로부터 과거 연속된 날 q 일(예, 30일) 동안의 수온자료 $[t_{n-q+1}, t_{n-q+2}, \dots, t_n]$ 를 입력으로 하고, 이에 대한 출력을 t_{n+1} 으로 설정하여 반복해서(예, 30만 번) 트레이닝 ($n \leq -1$)
- + $[t_{-29}, t_{-28}, \dots, t_0]$ 을 트레이닝 된 LSTM 모델에 입력으로 넣으면 1일 이후의 수온(t_1)을 출력으로 얻을 수 있음.

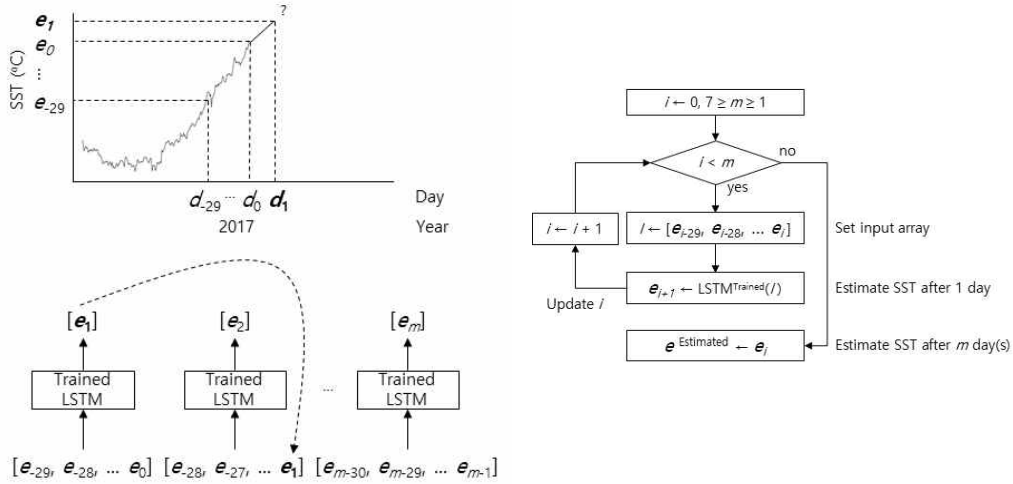


- 1일 이후의 수온을 예측하기 위한 트레이닝 -

- 2002년부터 2016년까지 목표 해역에 대한 해수면온도 시계열 자료 -

- m 일 이후의 수온 예측 방법

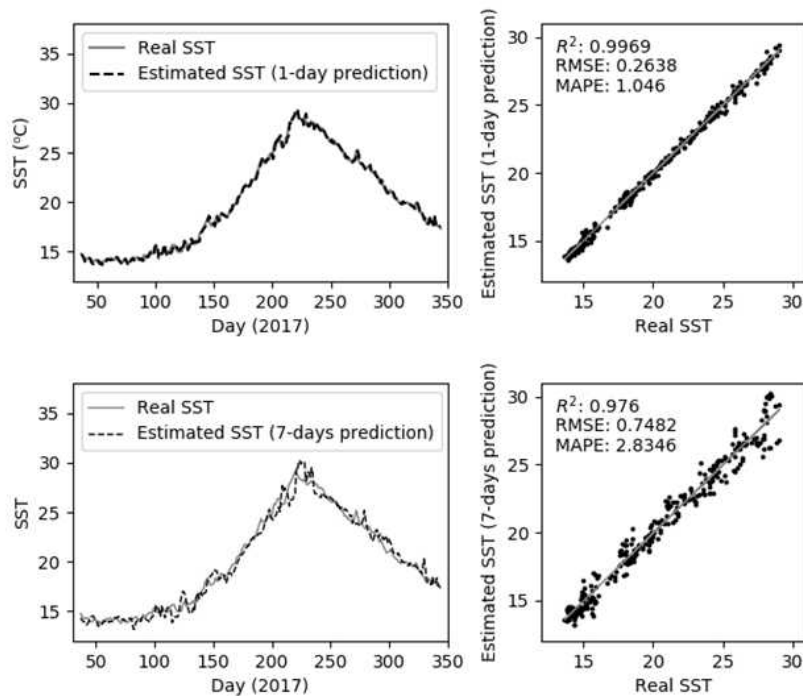
- + $[e_{-29}, e_{-28}, \dots, e_0]$ 을 입력으로 넣으면 1일 이후의 수온(e_1)을 출력으로 얻을 수 있고,
- + e_1 을 다시 입력 자료로 설정하여, $[e_{-28}, e_{-27}, \dots, e_0, e_1]$ 을 입력으로 넣으면 2일 후의 수온(e_2)을 출력으로 얻을 수 있음.
- + 나아가 위의 방법을 반복하면 m 일 후의 수온 e_m 을 얻을 수 있음.



- m 일 이후의 수온 예측 방법 -

- 성능평가

- + 1일 이후의 수온예측 정확도는 매우 높은 반면, 7일 이후의 수온예측 정확도는 다소 낮은 경향을 보임.
- + 향후 7일 이상의 수온을 예측하는 경우에도 정확도를 향상시킬수 있도록 트레이닝을 최적화할 계획임.



3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

- 7일 이후의 수온 예측 정확도 MAPE(Mean Absolute Percentage Error) = 약 4%

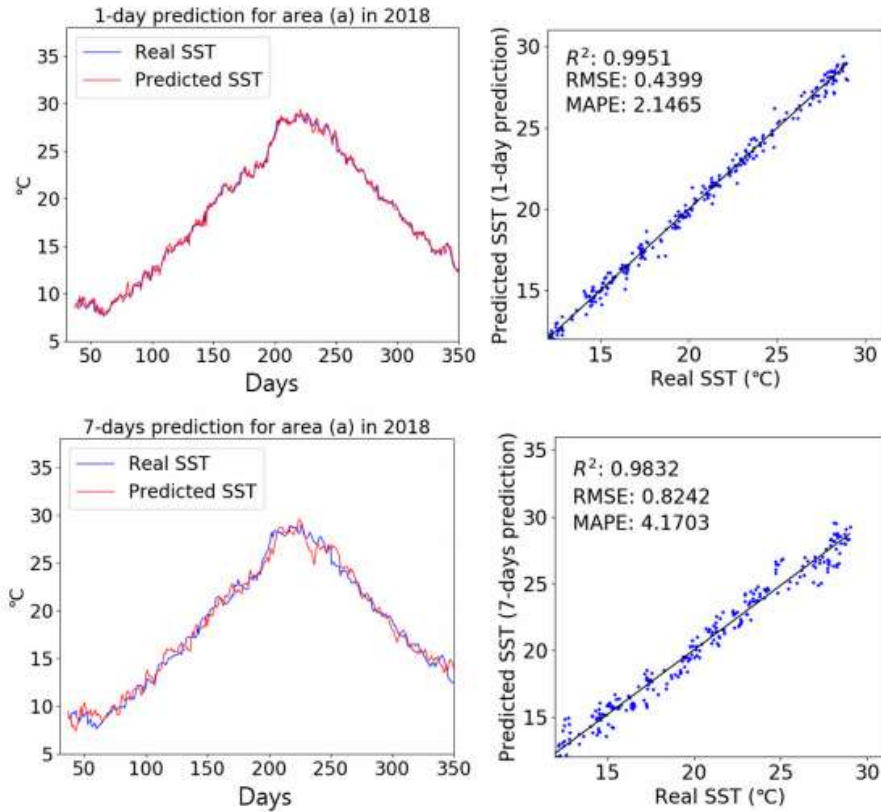


Figure 10. Comparison of predicted and real SST data, with scatter diagrams, for 1-day and 7-days prediction intervals using the multi dataset as input.

- 1일 이후 및 7일 이후의 수온 예측 정확도 비교[1] -

- 7일 이후의 이상고수온 예측에 대한 F1 Scores = 0.8

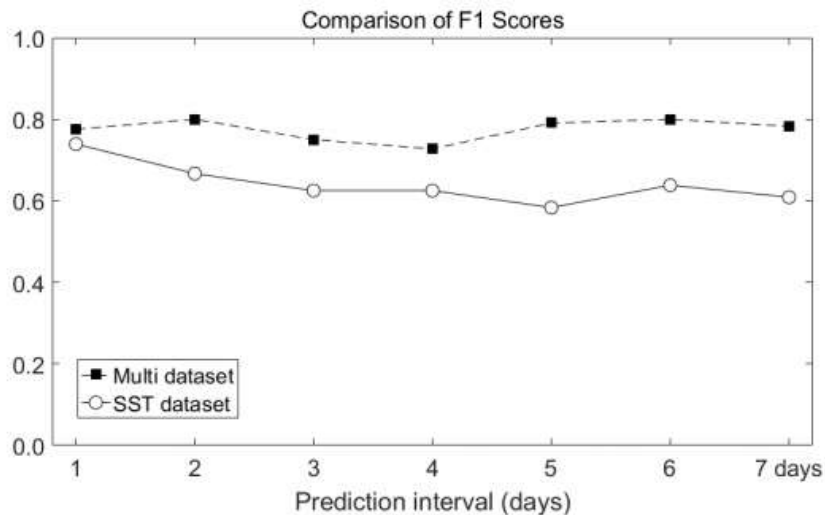


Figure 13. Comparison of F1 scores obtained using the two input datasets.

- 예측 기간별 F1 Score 비교[1] -

(2) 정량적 연구개발성과

전문학술지 논문게재 성과정보											
과제번호	게재연월	논문제목	총저자명	출처	학술지명	권(호)	학술지구분	sci여부	impact Factor	국제공동연구논문	기여도
2018R1D1A1B07049261	202005	Abnormally High Water Temperature Prediction using Deep Learning Technology	Yang, Hyun;	SCI	JOURNAL OF COASTAL RESEARCH	(0)	국외	SCI등재	0.793	아니오	100
2018R1D1A1B07049261	202011	Sea Surface Temperature and High Water Temperature Occurrence Prediction Using a Long Short-Term Memory Model	Kim, Minkyu; Yang, Hyun; Kim, Jonghwa ;	SCI	REMOTE SENSING	(0)	국외	SCI등재	4.509	아니오	100
2018R1D1A1B07049261	202012	REMOTE SENSING ANALYSIS OF COLD WATER TEMPORAL AND SPATIAL VARIABILITY IN THE EAST SEA	Yoon, Suk; Yang, Hyun;	SCI	JOURNAL OF MARINE SCIENCE AND TECHNOLOGY-TAIWAN	28(6)	국외	SCI등재	0.444	아니오	100
2018R1D1A1B07049261	202104	Abnormally high water temperature prediction using LSTM deep learning model	HM Choi; MK Kim; H Yang	SCI	JOURNAL OF INTELLIGENT & FUZZY SYSTEMS	40(4)	국외	SCI등재	1.851	아니오	100
2018R1D1A1B07049261	201910	칼만필터와 다층퍼셉트론을 이용한 선박 오토파일럿의 자이로스코프 신호 잡음제거	김민규; 김중화; 양현	KCI	해양환경안전학회지	25(6)	국내	SCI미등재		아니오	100

지식재산권 성과정보										
과제번호	출원등록연월	재산권구분	출원등록구분	발명제목	출원등록인	출원등록국	발명자명	출원등록번호	활용형태	기여도
2018R1D1A1B07049261	20191129	특허	출원	수온예측장치 및 그 동작 방법	한국해양과학기술원;	대한민국	양현;김민규	10-2019-0157404	기술이전준비중	40

4. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

- 본 연구개발성과를 통해, 기상 예보와 같이, 실시간 모니터링 수준을 넘어, 해양재해예보를 실현하기 위한 초석이 될 것이라 사료됨.
 - 기상 예보에서 강수량, 적설량 등을 예보하는 것처럼 이상고수온 등의 해황을 예보하기 위한 기초 연구로 활용될 것이라 기대하고 있음.
 - 향후, 적조, 녹조, 냉수대 등 다양한 해양재해를 예측하는 기술 개발로 확장하는데 기여할 수 있을 것이라 판단됨.

5. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

- 이상고수온 발현을 실시간으로 검출 및 예측함으로써 수산업계의 경제적 피해를 최소화 하는데 활용될 수 있을 것이라 사료됨.
- 지구온난화로 인해 이상고수온 현상으로 인한 피해가 가속될 것이므로, 이에 대한 대비책을 사전에 만들어 대응할 수 있도록 지원할 수 있음.
- 이상고수온 감시 및 예측 시스템을 대국민 공개하여 어민 및 수산업계에서 관련정보를 공유할 수 있도록 지원할 수 있음.

6. 참고문헌

- [1] M.K. Kim, H. Yang, and J.H. Kim, "Sea Surface Temperature and High Water Temperature Occurrence Prediction Using a Long Short-Term Memory Model," *Remote Sensing*, 12(21), 2020.12.