

최종보고서					보안등급			
					일반[<input checked="" type="checkbox"/>], 보안[<input type="checkbox"/>]			
중앙행정기관명	교육부		사업명		이공학 개인기초연구지원사업			
연구개발과제번호	2018R1D1A1B07049296							
연구개발과제명	국문	무인해저로봇 탑재용 하이브리드 광학/음파 영상처리기술 개발						
	영문	Image Processing Techniques of Hybrid Optical and Sonar Sensors for Unmanned Underwater Vehicle						
주관연구개발기관	기관명	한국해양과학기술원						
연구책임자	성명		김수미					
	연락처	직장전화	051-664-3041	소속부서/직위		해양ICT융합연구센터/선임연구원		
		전자우편	smeekim@kiost.ac.kr	휴대전화		010-3398-4936		
연구개발기간	전체		2018. 06. 01 - 2021. 05. 31(3년 0개월)					
	단계 (해당시 작성)	1단계	YYYY. MM. DD - YYYY. MM. DD(년 개월)					
		2단계	YYYY. MM. DD - YYYY. MM. DD(년 개월)					
		3단계	YYYY. MM. DD - YYYY. MM. DD(년 개월)					
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		
1단계	1년차	37,500				37,500		
	2년차	50,000				50,000		
	3년차	50,000				50,000		
	4년차	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		김수미		직위		선임연구원	
	연락처	직장전화	051-664-3041		휴대전화		010-3398-4936	
전자우편		smeekim@kiost.ac.kr		국가연구자번호		10663988		

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

2021년 06월 03일

연구책임자: 김수미
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	무인해저로봇에 탑재된 광학 및 음파 센서의 측정데이터 처리 및 융합기술 개발			
	전체 내용	수중 무인해저로봇 개발에 필수적인 광학과 소나 센서의 측정 데이터를 개선하는 영상처리기술 및 광학/소나 센서의 데이터 융합기술 개발 및 수조 검증실험 수행 - 1차년도 : 광학센서 영상데이터 처리기술 및 검증 연구 - 2차년도 : 소나센서 데이터 처리기술 및 검증 연구 - 3차년도: 하이브리드 광학/소나 센서 융합기술 및 검증 연구			
	1단계 (해당 시 작성)	목표			
		내용			
	2단계 (해당 시 작성)	목표			
		내용			
3단계 (해당 시 작성)	목표				
	내용				
연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> - 수중광학영상 선명도 개선기술 - 수중소나영상 대조도 개선기술 - 하이브리드 광학/소나 영상융합기술 				
연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	<ul style="list-style-type: none"> - 사람을 대신하여 수중환경을 보다 정확하게 가시화하는 하이브리드 광학/소나 융합 영상기술은 우리바다의 미래해저자원 탐사 및 다양한 수중작업 (수중건설, 항만시설물 수중검사 및 해양사고 조난자 수색 등)에 활용될 수 있음 - 해양과학기술의 4차산업혁명 실현 : 해양과학기술의 4차산업혁명을 실현하는 중심 과학기술인ICT기반 무인해저로봇 개발에 있어 필수적인 탑재센서의 데이터를 처리하는 원천기술을 확보함으로써미래해저자원 탐사 및 개발과 신미래산업창출의 효과 기대됨 - 개발기술의 범용성 : 광학/소나 하이브리드 센싱기술은 인공지능과 같이 범용성이 큰 기술로 수중로봇, 잠수함, 해저이동선박 및 기기 뿐 아니라 다양한 응용분야로 활용할 수 있어 어떤 응용분야와 접목하느냐에 따라 수많은 신산업기술을 창출할 수 있는 잠재력이 있음 - 국가경제성장의 효과 : 광학/소나 하이브리드 센싱기술은 해양과학기술 관련 학계/산업계에서 아직 연구결과가 보고되지 않은 기술로 미래자원보고 및 차세대 산업 기지가 되는 우리바다의 해저탐사를 위한 무인해저로봇의 기능을 향상시키는 기술이며 이에 대한 원천기술 확보 및 산업체 기술이전을 통해 무인해저로봇 원천기술의 국산화가 실현되고 경제성장의 동력으로 기여할 것으로 기대됨 				
국문핵심어 (5개 이내)	무인해저로봇	광학영상센서	소나영상센서	수중영상 처리기술	수중영상 융합기술
영문핵심어 (5개 이내)	Underwater unmanned vehicle	Optical image sensor	Sonar image sensor	Underwater image processing	Underwater image fusion

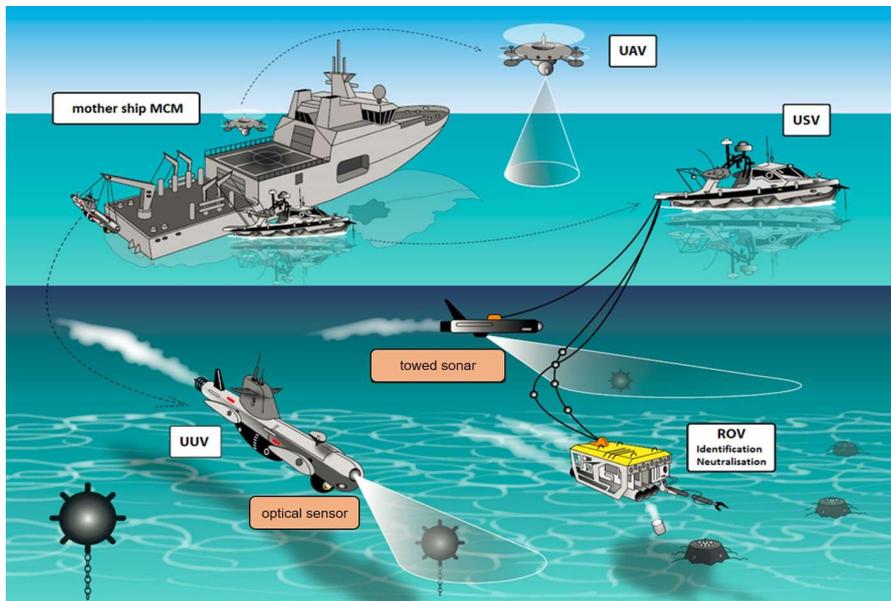
< 목 차 >

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

□ 필요성

- 지리적으로 육지의 삼면을 둘러싼 우리바다는 수많은 생물자원, 광물자원, 에너지자원 및 관광자원을 상당량 보유하고 있는 국가경제에 크게 이바지할 차세대 국가산업기지이며 미래산업자원의 보고로 평가됨
- 차세대 국가산업기지가 될 우리바다의 다양한 미래해저자원 탐사, 수집, 개발 및 활용을 위하여 수 km 깊이의 극한 해저환경에서 사람을 대신하여 접근하고 작업할 수 있는 무인해저로봇 (UUV, unmanned underwater vehicle)은 필수적으로 개발되어야 함



해저탐사 및 수중건설용 무인해저로봇

- 4차산업혁명의 대표기술인 IoT 기술을 접목하여 원격조정 가능한 무인해저로봇은 해저자원 탐사 및 수중건설의 작업을 수행하기 위하여 해저정보를 측정할 다양한 센서를 탑재해야 하며 특히 해저 영상과 거리 정보를 제공하는 광학 및 음파 센서는 가장 널리 사용되는 필수 센서임
- 극한 해저환경에서 광학영상 및 음파 데이터의 질을 저하하는 다양한 물리적 요인들이 존재하며 이로 인하여 저하된 측정신호를 복원하고 개선하는 데이터 처리기술은 무인해저로봇을 개발하는데 있어 반드시 확보해야할 원천기술임

□ 연구목표

- 해저탐사 및 수중건설에 활용되는 무인해저로봇에 탑재된 하이브리드 광학/음파 센서의 신호처리기술 개발
 - 광학 센서 데이터 처리 핵심요소기술 개발

- 음파 센서 데이터 처리 핵심요소기술 개발
- 하이브리드 광학/음파 센서 핵심융합기술 개발

□ 연차별 연구 내용 및 성과물

- 1차년도 : 광학 영상센서 데이터 처리 요소기술 개발
 - 광학 카메라 영상데이터 측정에 있어 감쇠 및 산란 등의 물리적 방해요인으로 인한 감소된 신호의 영상복원기술
 - 저하된 해저영상의 칼라보정, 화질 및 탁도 개선 알고리즘
- 2차년도 : 음파 소나센서 데이터 처리 요소기술 개발
 - 소나 영상 강화를 위한 영상처리기술
- 3차년도 : 하이브리드 광학/음파 센서 융합기술 개발
 - 하이브리드 광학/소나 영상 융합 소프트웨어

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

□ 1차년도 (수중 광학 데이터 처리 및 보정기술 개발)

- 수중에서 촬영한 광학센서는 수중 상황의 가시정보를 직관적으로 보여줄 수 있는 중요한 센서 중 하나임. 그러나 수중 촬영 시 물과 다양한 부유물에 의하여 상당한 빛이 산란되거나 흡수되어 카메라에서 관측된 영상의 대조도 및 선명도는 매우 제한적임. 측정 신호의 감쇠 정도는 빛의 파장과 이동 거리에 따라 다르며 수중에서 긴 파장의 붉은 색조 신호는 다른 색조에 비하여 더 많은 신호가 감쇠됨. 그림에 나타난 바와 같이 일반적으로 수중 영상은 안개가 낀 것처럼 뿌옇고 경계선이 흐릿하며 푸르스름한 특징을 보임.



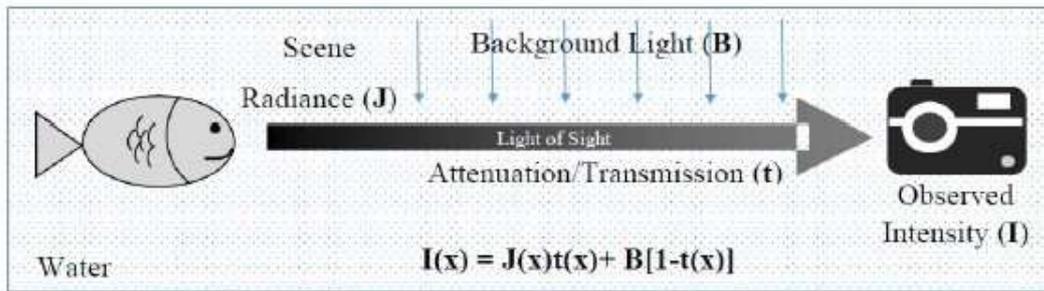
무인해저로봇에 탑재된 광학센서의 물 또는 부유물에 의하여 감쇠된 수중촬영 영상프레임:
 (왼) 푸른 색이 강조된 영상, (오른) 희소한 전달량에 의한 대비가 낮은 영상

- 저하된 수중광학영상의 칼라, 대조도 및 선명도를 보정하기 위하여 컴퓨터 비전이나 영상처리 분야에서 익숙한 통상적 영상처리기법을 이용하거나 광학카메라의 신호 측정 모델을 기반으로 복원하는 기법 및 최근 영상 처리에 있어서 각광 받는 딥러닝 기법 등이 보고되고 있음. 본 연구에서는 입력 영상 내 정보만을 이용하여 영상 질을 강화하는 수중 영상에 적용된 세 가지 단일영상복원 방법을

고려하며 이들의 성능을 실제 수중촬영영상을 통하여 비교 평가함.

- 본 연구에서 고려한 세 가지 단일영상복원 기법은 영상형성 모델 기반, 영상융합 기반 및 수중영상용 딥러닝 기법을 비교함. 다양한 영상형성 모델 기반 기법 중 전달함수 (transmission map)를 추정하고 이를 통해 입력 영상의 그라디언트 (gradient)를 강화함으로 수중 영상의 가시성을 개선하는 그라디언트 보강 방법을 고려함. 영상융합 기법은 통상적인 영상처리기법을 적용하여 색조 보정, 대조도 및 경계선 강화를 먼저 수행한 후 가중치에 따라 강화된 영상들을 융합하여 최종 결과 영상을 얻음. 수중 ImageNet 데이터베이스를 활용하여 수중광학영상을 생성하는 GAN (generative adversarial networks)을 학습시켜 영상 질을 강화하는 딥러닝 기법을 적용함. 다양한 환경에서 촬영된 실제 수중광학영상에 각 단일영상복원 기법을 적용하며 UIQM (underwater image quality measure) 지표를 통하여 각 단일영상복원 기법의 성능을 비교함.
- 그라디언트 보강 기법
 - 그라디언트 보강 기법은 식 (1)과 같은 영상형성모델 기반으로 고안됨.

$$I(x,y) = J(x,y)t(x,y) + B[1-t(x,y)] \quad (1)$$



단순영상형성 모델 (simplified image formation model)

- 식 (1)에서 J 는 수중에서 촬영한 영상이며, J 는 복원되어야 할 영상으로 원래 빛의 세기를 나타냄. B 는 배경 신호 성분이며 전달함수 t 는 전달량을 표현하며 빛이 물에 대한 감쇠 계수와 빛의 이동 거리에 의존함. 영상형성 모델을 기반으로 전달함수 및 배경을 유추하면서 원래 영상을 복원함. 식 (1)을 그라디언트 영역으로 변환하면 식 (2)와 같이 I 와 J 의 그라디언트는 전달함수에 의존함.

$$\| \nabla I \| = \| t \nabla J + (1-t) \nabla B \| = t \| \nabla J \| \quad (2)$$

- 입력영상의 그라디언트 (∇J)를 전달함수 (t)에 따라 강화하면서 원 영상의 그라디언트 (∇J)를 복원하기 위하여 먼저 전달함수 t 를 추정함. 식 (3)과 같이 입력 영상의 최소값 영상 W 를 구하고 median 연산을 통하여 W 영상의 평균과 표준편차를 통하여 전달함수를 추정함. 식 (3)에서 median 연산은 커널 영역의 line segment를 따라 수행함.

$$t = 1 - \max[\min[W_B, W], 0] \quad (3)$$

$$(W = \min[I], W_{mean} = \text{median}[W], W_{std} = W_{mean} - \text{median}[\|W - W_{mean}\|])$$

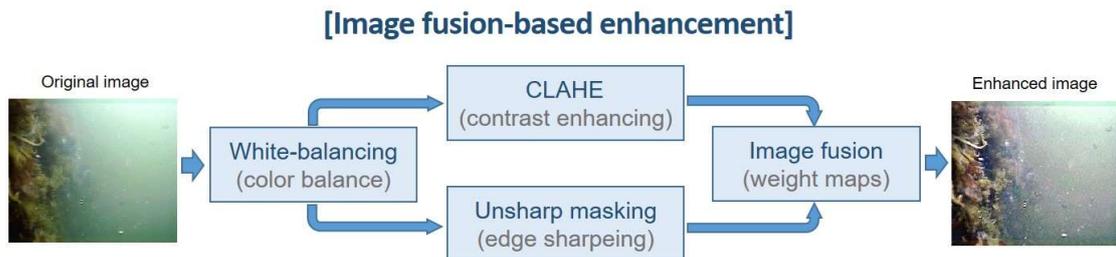
- 추정된 전달함수에 따라 강화된 원 영상의 그라디언트로부터 원 영상 (J)을 복원하기 위하여 식 (4)의 Poisson 방정식을 만족하는 해 (\bar{J})를 구함. 식 (4)에서 ∇^2 는 Laplacian 연산자이며, div 는 divergence 연산이다. 식 (4)를 풀기 위하여 입력 영상 J 의 경계 값을 갖는 Dirichlet 경계조건 (boundary condition)을 가정하여 원 영상을 복원함.

$$\nabla^2 \bar{J} = \nabla J \quad (4)$$

○ 영상융합 기법

- 영상융합 기법은 칼라보정, 영상강화 및 영상융합의 세 단계로 구성되어 수중 영상의 선명도를 강화시킴. 첫번째 칼라보정단계에서 식 (5)를 통하여 RGB 칼라 입력 영상의 붉은 색과 파란 색의 평균값 (\bar{I}_r 과 \bar{I}_b)이 녹색의 평균값 (\bar{I}_g)에 유사하도록 화이트밸런스 연산을 수행함. 이는 파장이 짧은 녹색 신호는 다른 색조 신호보다 수중에서 상대적으로 잘 보존된다는 가정에 유도됨. 파라미터 α 는 3으로 적용함.

$$\begin{aligned} WB_r &= I_r + \alpha(\bar{I}_g - \bar{I}_r)(1 - I_r)I_g \\ WB_b &= I_b + \alpha(\bar{I}_g - \bar{I}_b)(1 - I_b)I_g \end{aligned} \quad (5)$$



영상융합 기법의 모식도

- 두번째 영상강화 단계에서는 화이트밸런스 영상 (WB)의 대조도와 경계선을 강화하는 영상처리 기법을 각각 적용함. 대조도 강화를 위하여 CLAHE (contrast limit adaptive histogram equalization) 방법을 적용함. CLAHE는 영상의 영역 별로 히스토그램을 평활화 (histogram equalization)하는 방법으로 각 영상영역의 히스토그램에서 특정 화소 개수를 넘는 경우 다시 재분포 과정을 통하여 대조도를 강화하는 방법임. 영상영역의 크기와 한계치 (clip-level)로 사용될 화소개수를 파라미터로 설정할 수 있음. 0.01의 clip-level과 8x8의 영역 크기를 사용함. 경계선 강화는 UMP (unsharp masking process) 기법을 적용함. 경계선 정보를 추출하기 위하여 가우시안 필터를 적용하여 원본 영상과 비교하면서 경계선을 강화하는 방법임. 가우시안 필터 크기는 21x21이며, β 는 2로 적용함.
- 마지막 영상융합 단계에서는 대조도 및 경계선이 강화된 두 영상의 가중치합으로 최종 영상을 복원함. 각 강화영상의 가중치는 Laplacian contrast 가중치와 saturation 가중치의 합으로 구성됨. Laplacian contrast 가중치는 강화영상 내 대조비로 나타내며 휘도 (luminance) 채널에 Laplacian 필터를 적용하여 절대값을 취하여 구함. saturation 가중치는 강화영상의 각 RGB 색조 채널과

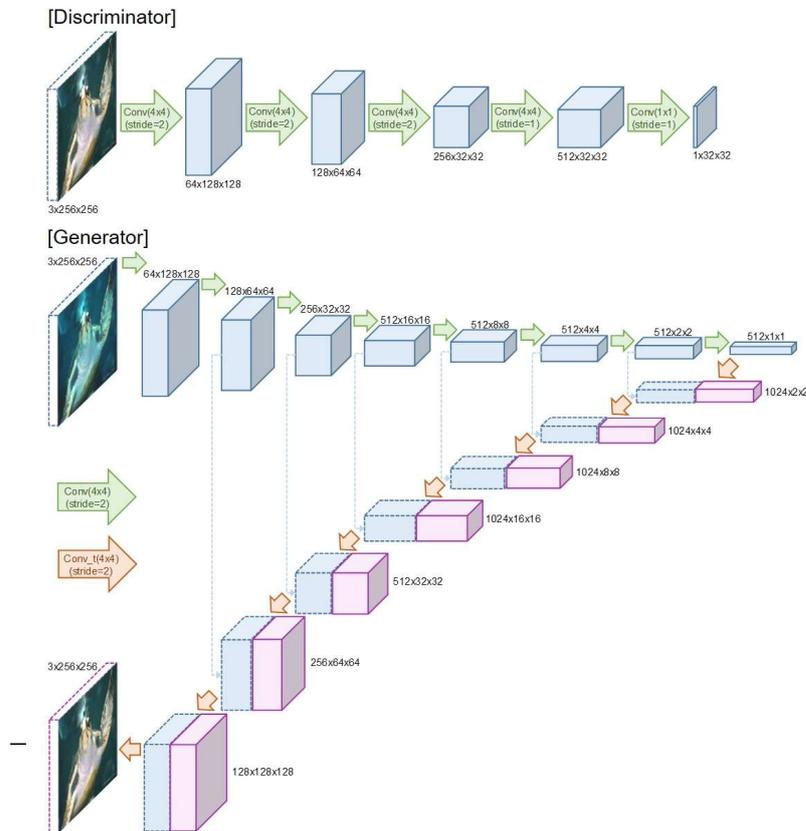
회도 채널 간의 제곱차를 이용하여 구함.

○ 수중영상용 GAN 딥러닝 기법

- 수중광학영상을 생성하는 GAN 신경망 네트워크를 underwater ImageNet 데이터베이스를 이용하여 학습시킴. GAN은 식별자 (discriminator, D)와 생성자 (generator, G)를 구성된 신경망 네트워크로 생성자가 만들어낸 가짜 영상을 식별자가 원 영상과 가짜 영상을 구분하도록 학습시키는 딥러닝 기법임. 식 (6)과 같은 WGAN-GP (Wasserstein GAN with gradient penalty) 손실 함수를 적용하여 UGAN (underwater GAN)을 훈련함.

$$L_{UGAN} = \min_G \max_D [L_{WGAN}(G, D) + \lambda_1 L_1(G) + \lambda_2 L_{GDL}] \quad (6)$$

- 생성자 네트워크는 U-Net 구조의 convolutional encoder-decoder 구조이며, 식별자는 PatchGAN 네트워크를 적용하였다. ImageNet 데이터베이스에서 왜곡이 없는 수중영상 (X)과 왜곡된 수중영상 (Y)을 구분 선택한 후 비지도학습 (unsupervised learning) 네트워크인 CycleGAN을 통하여 $F: X \rightarrow Y$ 모델을 훈련시켜 6128개의 UGAN 훈련용 데이터쌍이 구성됨.



UGAN 딥러닝 네트워크 구조

- 수중 영상 강화를 위하여 그라디언트 보강 기법, 영상융합 기법 및 UGAN 딥러닝 기법을 각각 적용하고 그 성능을 비교함. 수중에서 촬영한 실제 RGB 칼라영상에 세 단일영상복원 기법을 적용한 결과영상을 비교함. 그림에서 (a) 행은 다양한 수중환경에서 촬영한 원본 영상을, (b-d) 행은 각각 그라디언트 보강 기법, 영상융합 기법, UGAN 딥러닝 기법 결과영상을 나타냄. 또한 수중영상을 정량적으로 비교하기 위하여 UIQM (underwater image quality measure) 성능지표를 적용하였다. UIQM은 UICM (colorfulness), UISM (sharpness), UIConM

(contrast)에 관한 성능지표의 가중치 합으로 표현하며 값이 클수록 좋은 화질을 나타냄.



수중광학영상과 단일영상복원 기법 결과영상 비교: (a) 원본 영상, (b) 그라디언트 보강 기법, (c) 영상융합 기법, (d) UGAN 디러닝 기법

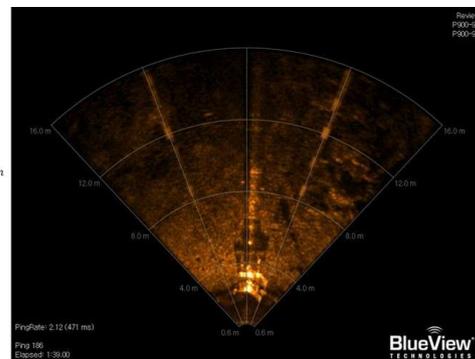
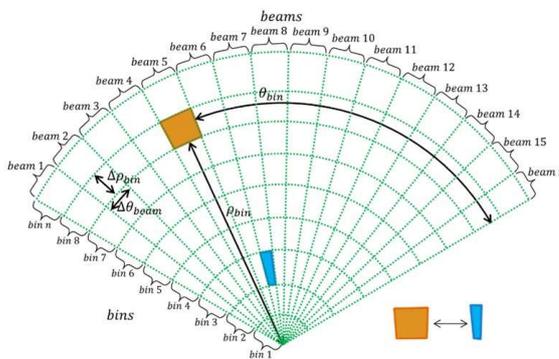
- 영상 융합 기법의 경우 물체의 세부 특징과 물속의 부유물이 강조되는 등 선명도가 강화되는 것을 확인하였다. UGAN의 경우 색조 보정이 전반적으로 가장 잘 되는 것을 확인하였다. 반면 강한 조명이 있는 수중환경 (위 그림의 두번째 열)의 경우, 대부분의 모든 기법이 색조 및 선명도 강화에 효과가 없었음. 그라디언트 보강 기법의 경우 조명 부분에 색조 왜곡이 발생하였으며 영상융합 기법의 경우 가까운 물체의 선명도가 다소 강화되는 것을 확인함.
- 표에 나타난 바와 같이 UIQM 성능지표 측면에서 UGAN이 가장 개선된 화질을 제공함. 그라디언트 보강 기법은 색상 보정의 효과는 있지만 세부 특징은 덜 강조되며 전달함수의 정확성에 의존하는 것을 확인함. 영상융합 기법은 원본 영상의 경계선과 같은 세부 특징을 강조하면서 선명도가 강화되는 반면 녹색이 지배적인 배경 색상의 보정 효과는 없었으며 다양한 파라미터를 조정하는 유동성을 가지고 있음. UGAN은 전반적인 색상 보정에 큰 효과를 보이며 가장 좋은 UIQM 측정치를 보였으며 강한 조명이 있는 수중 환경의 경우 큰 효과가 없는 것을 확인함.

다양한 수중환경에서 촬영한 영상 및 세 단일영상복원 기법의 결과 영상에 대한 UIQM 비교

	수중환경 1	수중환경 2	수중환경 3
원본영상	2.3402	1.008	0.4831
그라디언트	4.9387	2.9811	1.1639
영상융합	5.1967	4.3418	1.9468
UGAN	12.4504	9.4297	23.4831

□ 2차년도 (수중 소나 데이터 처리 및 보정기술 개발)

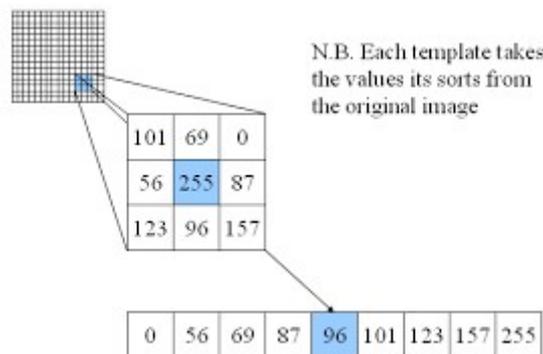
○ 다중 음파빔을 다양한 각도로 쏘아서 돌아오는 음파신호의 검출 시간을 기반으로 물체와 소나센서간 거리를 추정하여 2차원 소나영상을 형성함.



○ 소나영상 내 관심물체를 자동검출하고 3차원 표면표시 기술을 적용하기 위하여 수중 소나영상의 잡음 및 영상질을 개선시킬 필요가 있음.

○ 수중소나영상의 잡음을 제어하기 위한 세 가지 잡음제거 알고리즘을 개발하고 비교함.

(1) Median 필터: 커널 내 화소값을 오름차순으로 배열시킨 후 중간값으로 대체하는 필터



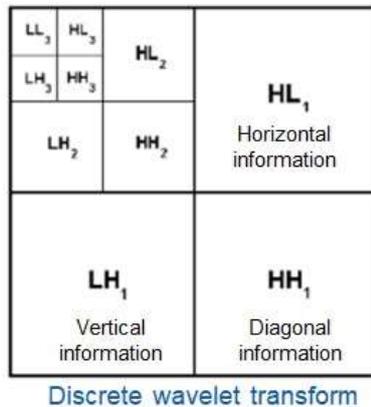
(2) Bilateral 필터: 화소값 및 화소거리에 따라 가우시안 필터를 적용하여 잡음제거 및 경계선을 보존하는 필터

$$BF[I]_p = \frac{1}{W_p} \sum_{q \in S} G_{\sigma_s}(\|p - q\|) G_{\sigma_r}(|I_p - I_q|) I_q$$

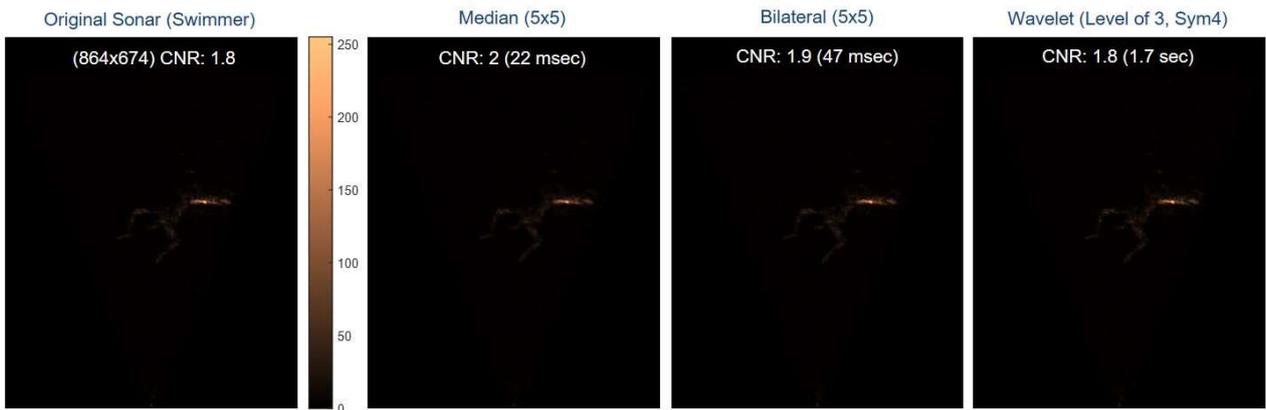
↓ Normalization Factor
↓ Space Weight
↓ Range Weight

(3) Wavelet 필터: 여러 단계를 통하여 Wavelet 변환을 수행하고 LL밴드내 정보를 바탕으로 잡음 제거하는 필터

LL consisting of low frequency components means important information.

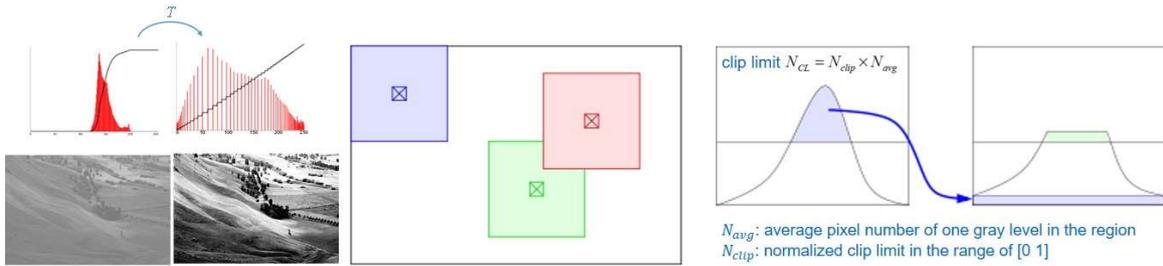


○ 소나영상 (예, swimmer, 864x674 해상도)에 median (5x5 커널), bilateral (5x5) 및 wavelet (3 level)을 적용하였을 때 median 필터가 가장 빠른 시간에 가장 좋은 CNR (contrast to noise ratio)을 보임.



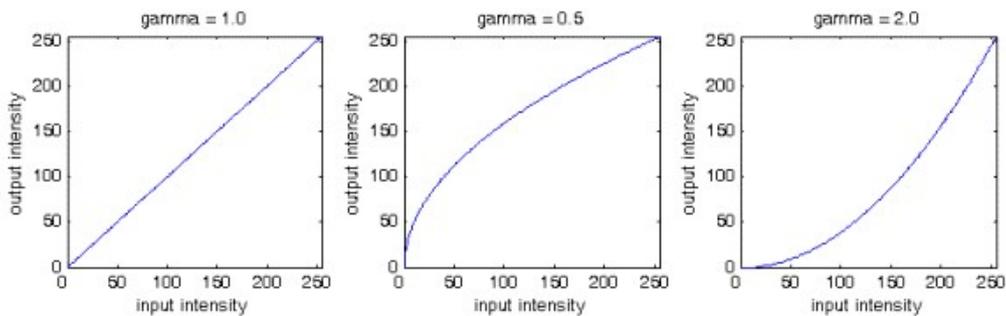
○ 수중소나영상은 높은 배경신호를 가지므로 관심물체의 대조도를 개선하기 위하여 두 가지 대조도향상 알고리즘을 개발하고 비교함.

(1) CLAHE (contrast limited adaptive histogram equalization) : 영상의 히스토그램을 커널기반으로 확장하며 특정 값에 몰리지 않도록 최대 histogram값을 넘지 못하도록 제어하면서 대조도를 개선함.

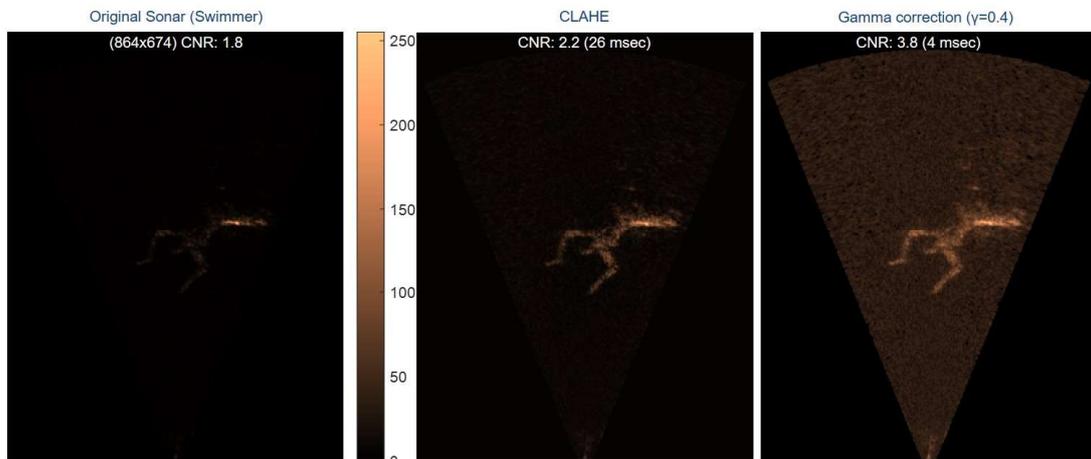


(2) Gamma correction : 입력 소나영상의 최소 및 최대값을 파라미터 γ 에 따라 변환해주는 알고리즘으로 γ 가 1보다 작을수록 작은 화소값을 더 증폭시키는 효과가 있음.

$$J(x,y) = 255 \times \left(\frac{I(x,y)}{255} \right)^\gamma$$

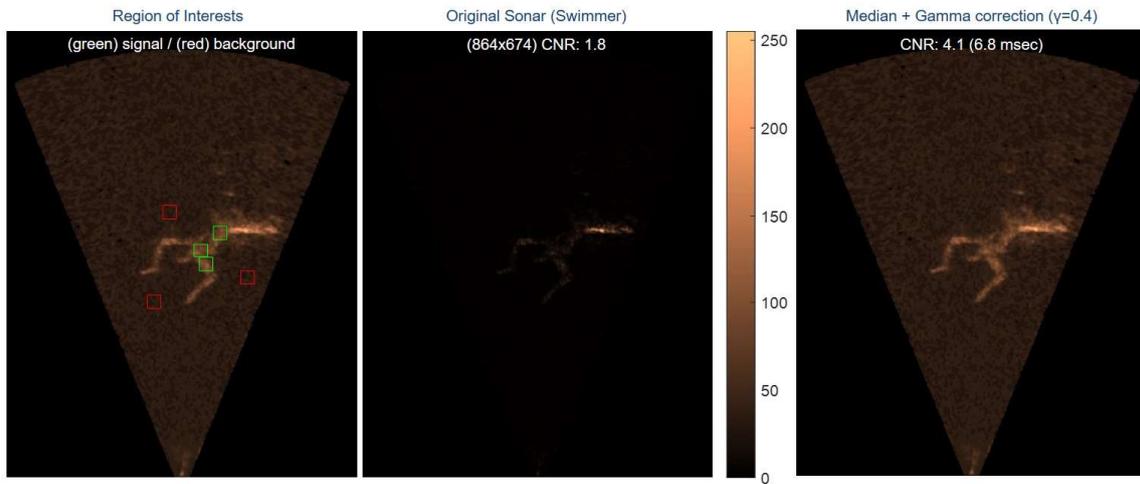


○ 소나영상 (예, swimmer, 864x674 해상도)에 CLAHE 및 gamma correction ($\gamma=0.4$)을 적용하였을 때 gamma correction이 가장 빠른 시간에 가장 좋은 CNR을 보임.



- 소나영상 (예, swimmer, 864x674 해상도)에 median (5x5 커널)과 gamma correction ($\gamma=0.4$)을 적용하였을 때 시간 6.8 msec, CNR은 4.1을 보임.
- 소나영상에 잡음제거 및 대조도 강화 알고리즘을 적용 전후로 CNR은 2.3배 (CNR_{after}/CNR_{before}) 증가함.
- 신호와 배경에 해당하는 화소를 추출하기 위하여 ROI (region of interest)를 적용하여 CNR을 계산함.

$$CNR = \frac{|\mu_{sig} - \mu_{bkg}|}{|\sigma_{sig} - \sigma_{bkg}|}$$



- 실제 수중환경에서 촬영한 음파센서 데이터 처리기술 검증실험 수행함. KIO-가온 ROV로 수중촬영한 (2019년 7월 23일) 울릉도 해저에 위치한 취수관의 수중광학 및 소나 영상의 잡음 및 대조도를 개선하는 알고리즘을 적용함.

KIO-가온

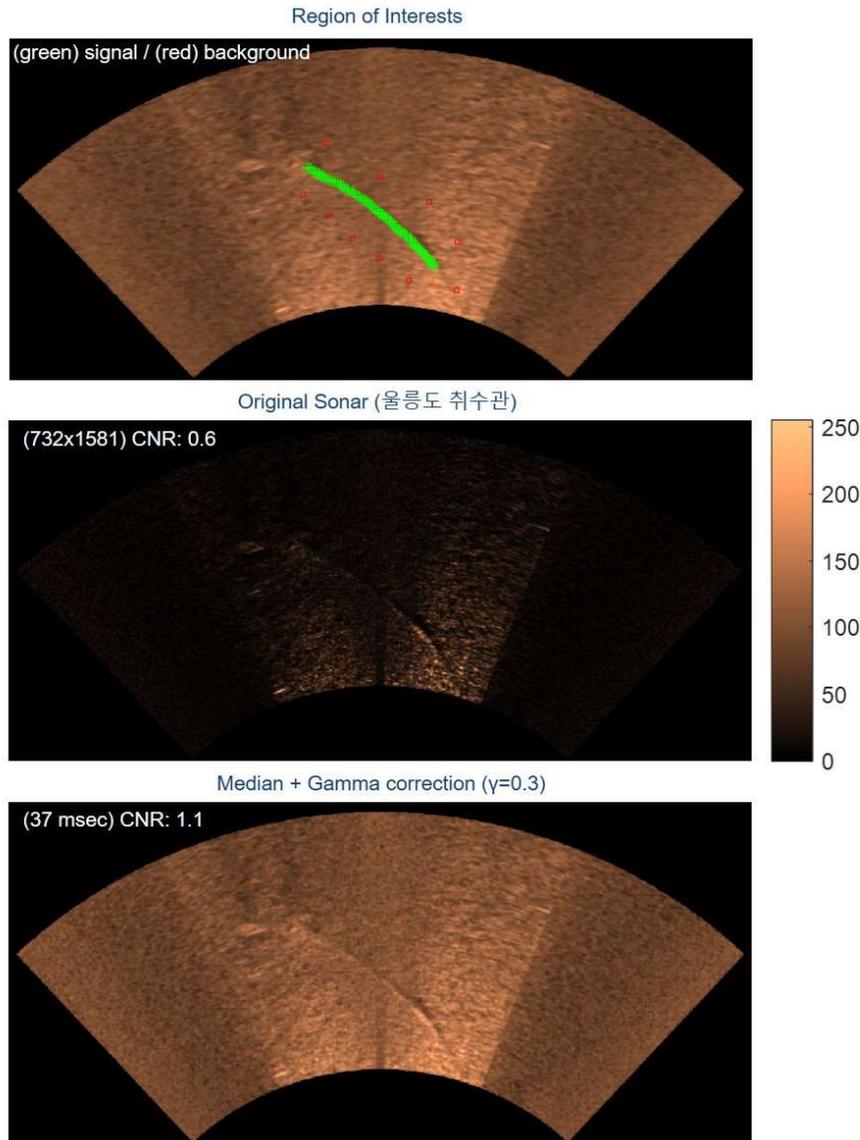
Sonar image

- Blueview P900-90 (900kHz)
- 512 beams (0.18° spacing)
- Beam width: 1°x20°
- Range resolution: 2.54 cm
- 4 frames/sec

Optical image

- SIDUS SS402 SD camera
- 928x480 (30 frames/sec)

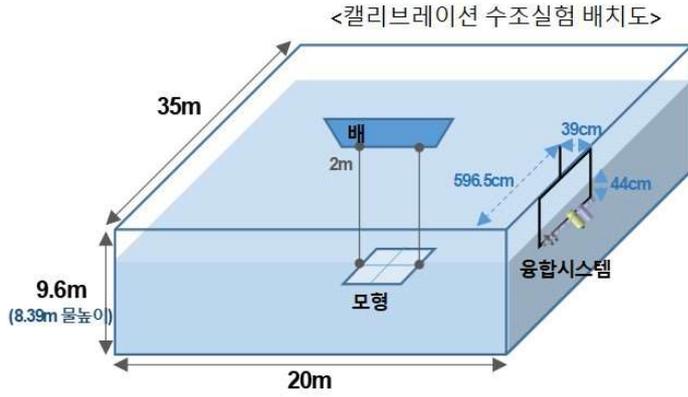
- 울릉도 취수관 수중소나영상 (732x1581 해상도)에 median (5x5 커널)과 gamma correction ($\gamma=0.3$)을 적용하였을 때 시간 37 msec, CNR은 1.1로 적용전후 1.8배 강화됨.



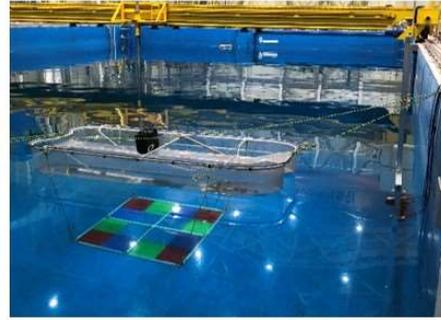
□ 3차년도 (수중 광학/소나 영상융합기술 개발)

○ 하이브리드 광학/소나 영상융합 소프트웨어 개발

- 화질이 개선된 광학과 소나영상을 정합하기 위하여 캘리브레이션 실험을 수행하여 절대 좌표계와 영상장비간의 기하학 정보를 추출하는 알고리즘을 개발함.
- RGB 색조를 가지는 알루미늄 판과 아크릴 판으로 원하는 패턴을 설정할 수 있는 실험 모형과 소나 (Blueview M900-2250-130)와 두 대의 HD급 영상카메라 (Kongsberg OE14-504 와 Deepsea HDMSC-3085)를 동시에 촬영할 수 있는 광학소나 융합시스템을 제작함.
- 융합시스템으로부터 3, 4, 5m 거리에 캘리브레이션 모형을 위치시키고 수조에서 캘리브레이션에 사용할 광학 및 소나영상을 동시 촬영함.



- 융합시스템과 모형 중심과의 거리: 3, 4, 5m



<캘리브레이션 모형>



- 전체 frame: 1.5m x 1.5m (3cm thickness)

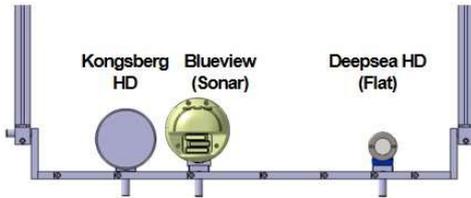
<RGB 모형>



- Colored AI plate: 35.25x35.25x0.5cm³

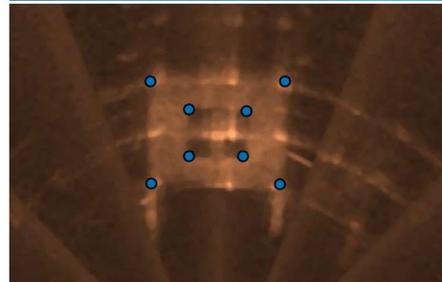
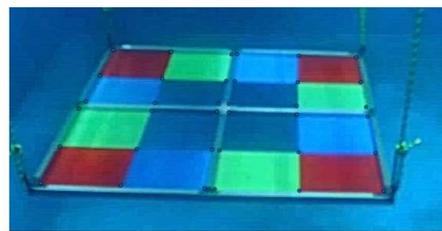
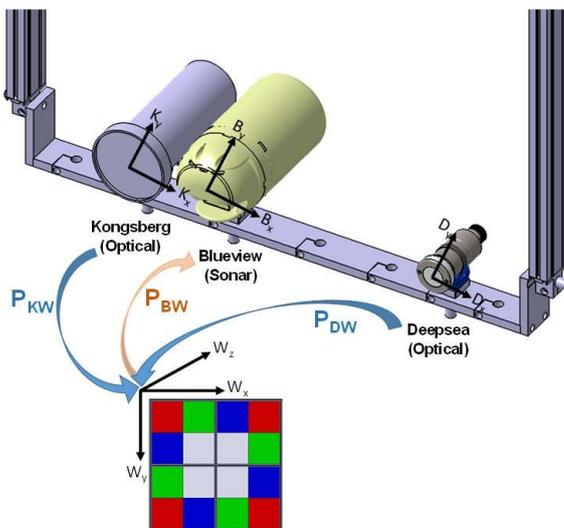
- Blank acryl plate: 35.25x35.25x0.5cm³

<측정센서 배치도>



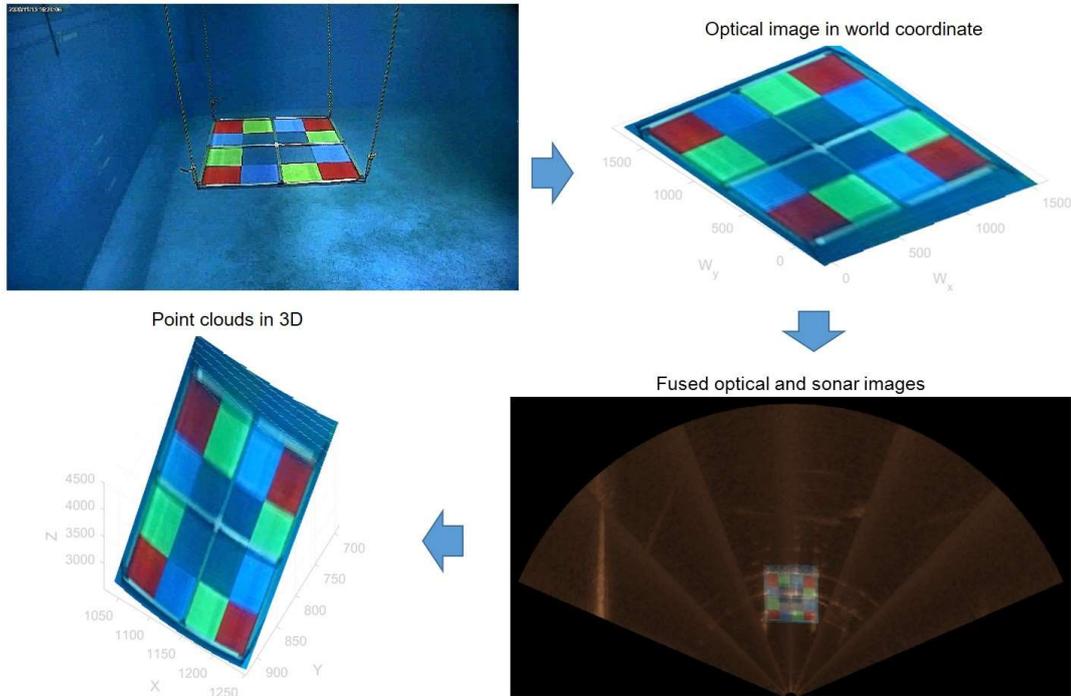
- 절대좌표계 (W_{xyz})와 각 영상장비 좌표계 (K_{xy} , B_{xy} , D_{xy})는 다음 수식과 같은 관계식으로 표현되며 광학 및 소나영상에서 추출한 기준점 ($[x y]$)과 상응하는 절대좌표 ($[W_x W_y W_z]$)로부터 두 좌표계 사이의 기하학 변환행렬 (P_{KW} , P_{BW} , P_{DW})을 유추함.

$$S[x y 1] = [W_x W_y W_z 1] P \quad (\because P = \begin{bmatrix} R \\ t \end{bmatrix} K)$$



- 계산된 기하학 변환 행렬을 이용하여 광학영상 내 관심영역을 절대좌표계와 소나 좌표

계로 차례로 변환하여 소나영상 위에 광학영상을 정합하고 소나영상에서 측정한 거리 정보를 이용하여 최종적으로 관심영역의 point clouds를 추출하여 3차원 표면 모델을 생성함. (정합과 point clouds 계산시간: 460.8 msec)

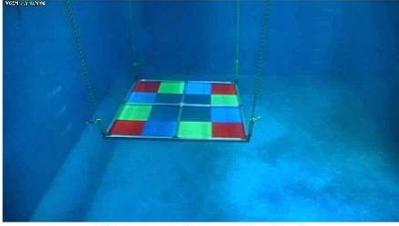


○ 광학/소나 하이브리드 센서의 영상융합기술 수조테스트 수행

- 수조 내 3, 4, 5m 거리에서 촬영한 RGB 모형의 광학 및 소나 영상에 1, 2차년도에 개발한 영상융합기반 강화기술과 median & gamma correction 강화기술을 적용함.

3m

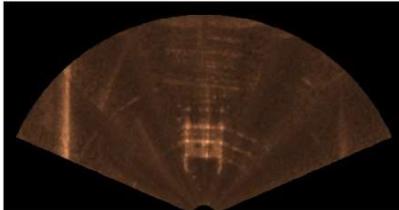
Kongsberg (Image Fusion)



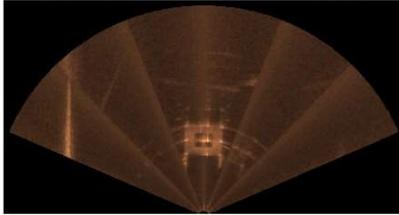
Deapsea (Image Fusion)



Blueview-900 kHz (Median & Gamma)



Blueview-2250 kHz (Median & Gamma)



4m

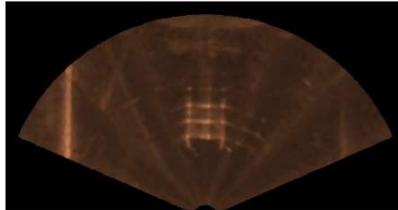
Kongsberg (Image Fusion)



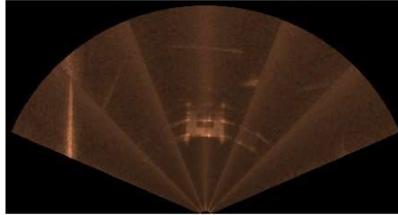
Deapsea (Image Fusion)



Blueview-900 kHz (Median & Gamma)

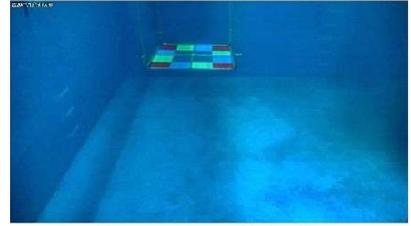


Blueview-2250 kHz (Median & Gamma)

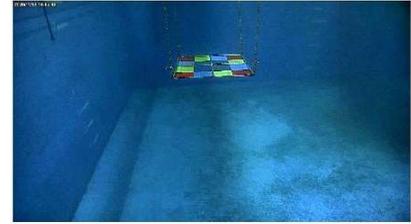


5m

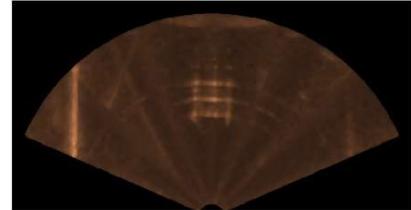
Kongsberg (Image Fusion)



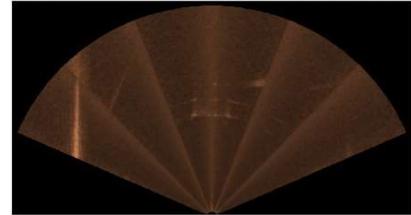
Deapsea (Image Fusion)



Blueview-900 kHz (Median & Gamma)



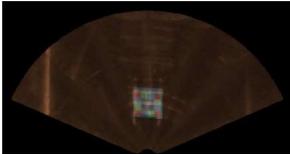
Blueview-2250 kHz (Median & Gamma)



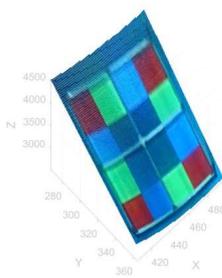
■ 캘리브레이션 데이터로 얻어진 기하학 변환 행렬을 이용하여 광학과 소나 영상을 정합하고 point clouds를 추출하여 3차원 표면 모델을 형성함.

3m

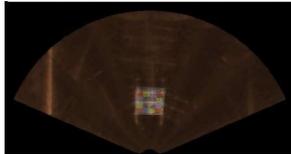
Fused Kongs & Blueview(900kHz) in 2D



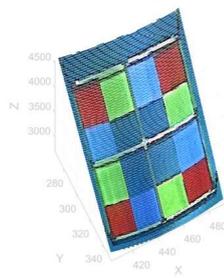
Fused Kongs & Blueview(900kHz) in 3D



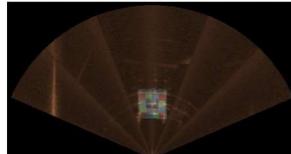
Fused Deapsea & Blueview(900kHz) in 2D



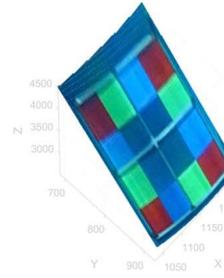
Fused Deapsea & Blueview(900kHz) in 3D



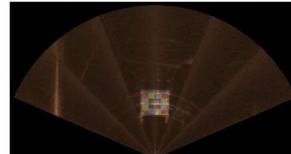
Fused Kongs & Blueview(900kHz) in 2D



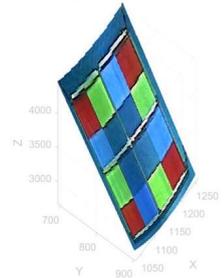
Fused Kongs & Blueview(900kHz) in 3D



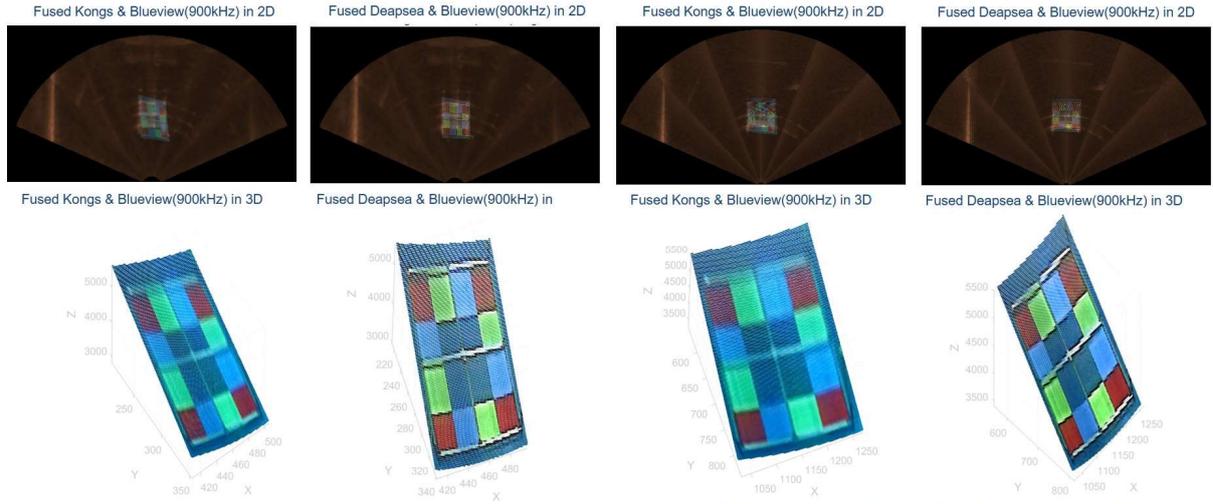
Fused Deapsea & Blueview(900kHz) in 2D



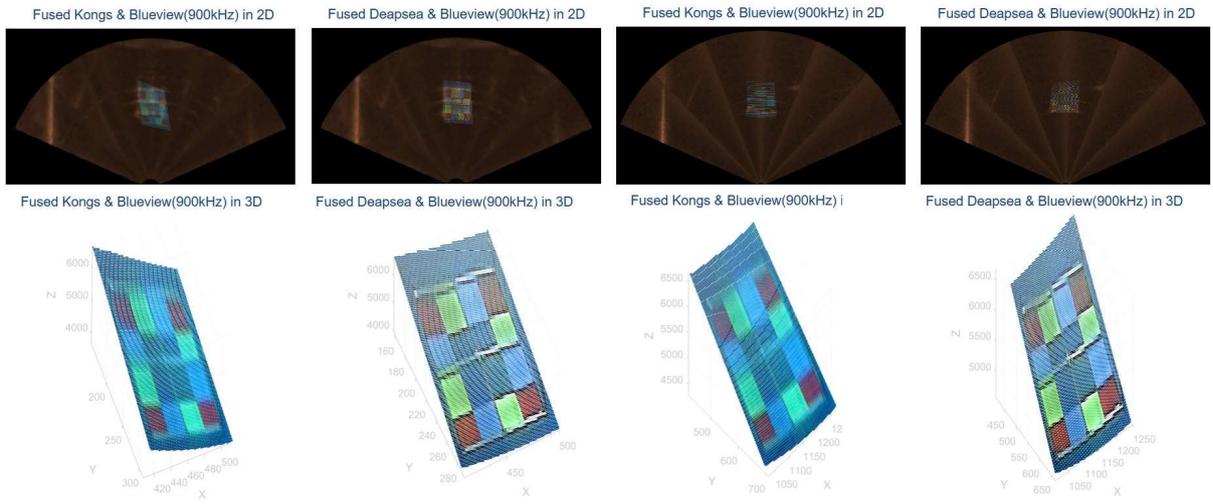
Fused Deapsea & Blueview(900kHz) in 3D



4m



5m

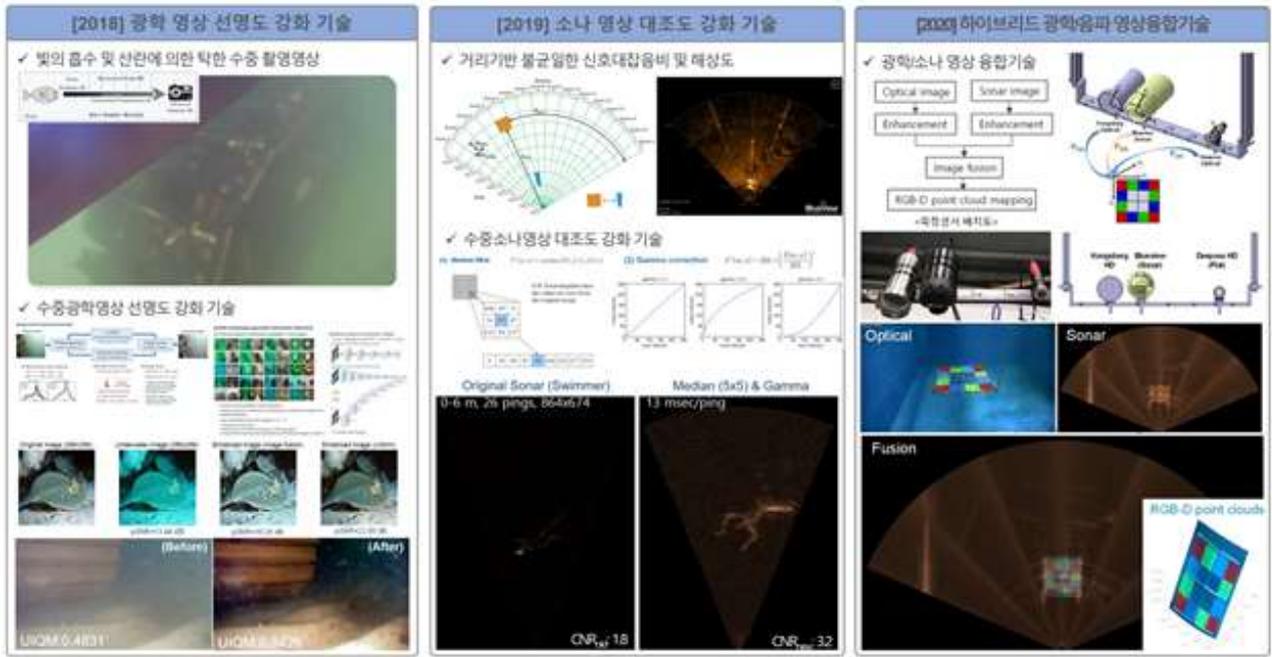


3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

- 1차년도 : 수중 광학영상 선명도 강화를 위한 그라디언트 보강 기법, 영상융합 기법 및 UGAN 딥러닝 기법 개발
- 2차년도 : 수중 소나영상 잡음제거 및 대조도 강화를 위한 Median 필터와 Gamma correction 기법 개발
- 3차년도 : 수중 광학/소나 영상 융합시스템의 캘리브레이션 기법 및 융합영상 3차원 가시화 기법 개발
- 계획된 3년 (2018.06~2021.05) 연구개발 최종 목표인 광학영상 개선기술, 소나영상 개선기술 및 광학/소나 영상융합 기술을 연구기간 내에 모두 달성함



(2) 정량적 연구개발성과

○ 전문학술지 논문게재 성과정보

전문학술지 논문게재 성과정보											
과제번호	게재연월	논문제목	총저자명	출처	학술지명	권(호)	학술지구분	sci여부	impact Factor	국제공동연구논문	기여도
2018R1 D1A1B 070492 96	202006	In-situ remotely controllable ocean radiation monitoring system	Lee, S.; Lee, J. S.; Kim, H. S.; Park, J.; Baek, S.; Song, Y.; Seo, J-M; Kim, S. M.;	SCI	JOURNAL OF INSTRUMENTATION	15(6)	국외	SCI등재	1.454	아니오	50
2018R1 D1A1B 070492 96	202007	Non-Positive Corrections and Variance Models for Iterative Post-Log Reconstruction of Extremely Low-Dose CT Data	Kim, Soo Mee; Lee, Tzu-Cheng; Kinahan, Paul E.;	SCI	JOURNAL OF THE KOREAN PHYSICAL SOCIETY	77(2)	국내	SCI등재	0.535	예	100

2018R1 D1A1B 070492 96	202012	Single Image-based Enhancement Techniques for Underwater Optical Imaging	Kim Do Gyun; Kim Soo Mee	KCI	한국해양공 학회지	34(6)	국내	SCI미 등재		아니오	50
---------------------------------	--------	-----------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------	-----	--------------	-------	----	------------	--	-----	----

4. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

- **해양과학기술의 4차산업혁명 실현** : 해양과학기술의 4차산업혁명을 실현하는 중 심과학기술인 ICT기반 무인해저로봇 개발에 있어 필수적인 탑재센서의 데이터를 처리하는 원천기술을 확보함으로써 삼면이 바다인 해양강국다운 해양과학기술의 위상을 높이며 미래해저자원 탐사 및 개발과 신미래산업개발에 있어 세계적으로 선도적 역할을 강화할 수 있음
- **개발기술의 범용성** : 본 연구에서 도출되는 광학/소나 하이브리드 센싱기술은 인공지능과 같이 범용성이 큰 기술로 수중건설용 로봇, 잠수함, 해저이동선박 및 기기 뿐 아니라 다양한 응용분야로 활용할 수 있어 어떤 응용분야와 접목하느냐에 따라 수많은 신산업기술을 창출할 수 있는 잠재력이 있으므로 원천기술 선점이 필요한 시점임
- **국가경제성장의 효과** : 본 연구결과로 개발될 광학/소나 하이브리드 센싱기술은 해양과학기술계에서 아직 연구결과가 보고되지 않은 기술로 미래자원보고 및 차세대 산업기지가 되는 우리바다의 해저탐사를 위한 무인해저로봇의 기능을 향상 시키는 기술이며 이에 대한 원천기술을 확보하고 산업체에 기술이전을 하면 무인해저로봇 제작의 국산화가 실현되고 경제성장의 동력으로 기여할 것으로 기대 됨

5. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

- 본 연구에서 개발된 수중영상 개선 기술 및 광학/소나 영상융합기술을 활용한 수중 스테레오 영상화 기술 및 항만시설물 수중 모니터링 기술 개발을 후속과제에서 진행할 예정임
- 기 개발된 수중영상장비 캘리브레이션 기술 및 광학영상 개선 기술을 확장하여 수중환경의 점군데이터를 측정하고 3차원 입체가시화 기술 개발을 위한 후속과제 (한국연구재단 중견연구 ‘수중 스테레오 카메라 및 입체가시화 기술 개발’, 2021.03~2024.02)를 연구책임자로 진행함
- 기 개발된 수중영상 개선기술 및 광학/소나 영상융합기술을 적용하여 후속과제 (해양수산과학기술진흥원 ‘ICT 기반 항만인프라 스마트 재해대응 기술개발’ 사업, 2021.04~2025.12)에서 연구원으로서 항만시설물 수중 모니터링 기술 개발을 진행함

6. 참고문헌