



Received: 2024/05/27  
Revised: 2024/06/04  
Accepted: 2024/06/12  
Published: 2024/06/30

**\*Corresponding Author:**

**Hyunseung Kim**

Dept. of Battlefield Analysis and Development,  
LIG Nex1  
333, Pangyo-ro, Bundang-gu, Seongnam-si,  
Gyeonggi-do, 13488, Republic of Korea  
Tel: +82-31-5179-7272  
Fax: +82-31-5179-7086  
E-mail: hyunseung.kim2@lignex1.com

# 해리스 코너 검출, FAST, SIFT, SURF 알고리즘을 적용한 해저지형 특징점 추출 기법 연구

## Research on Submarine Terrain Feature Point Extraction Technique Using Harris Corner Detection, FAST, SIFT and SURF Algorithm

김현승<sup>1\*</sup>, 현철<sup>2</sup>, 이성균<sup>2</sup>, 김창환<sup>2</sup>, 고진용<sup>2</sup>

<sup>1</sup>LIG넥스원 전장분석개발팀 선임연구원

<sup>2</sup>LIG넥스원 전장분석개발팀 수석연구원

Hyunseung Kim<sup>1\*</sup>, Chul Hyun<sup>2</sup>, Sungkyun Lee<sup>2</sup>, Changhwan Kim<sup>2</sup>, Jinyong Go<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Senior researcher, Dept. of Battlefield Analysis and Development, LIG Nex1

<sup>2</sup>Principal researcher, Dept. of Battlefield Analysis and Development, LIG Nex1

### 1. 서론

해저지형은 시간이 지남에 따라 해류, 수온 등의 영향을 받아 변하는 불규칙한 지형으로, 해저산의 중심 위치를 산출하는 것이 수중운동체의 자율주행에 중요한 요소라고 할 수 있다[1]. 특히 대한민국의 경우 한반도 동·서·남해 각각의 특징이 다르고, 동해 해저는 심도가 깊고 서해와 남해는 해저지형의 기울기 변화가 크기 때문에 측량을 통한 해저산 중심 위치 추출은 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 국립해양조사원에서 제공하는 위도 31~42도, 경도 122~135도 내에서 거리 1.6 km 간격의 실제 수심 데이터를 활용해 불규칙적으로 다수 존재하는 해저산의 중심 위치를 추출하였다. 이때, 대표적인 특징점 추출 알고리즘인 해리스 코너 검출(Harris Corner Detection), FAST(Features from Accelerated Segment Test), SIFT(Scale Invariant Feature Transform), SURF(Speeded Up Robust Features) 알고리즘을 적용하였다[2-5]. 이 들 네 가지 특징점 추출 알고리즘을 적용하여 해저산 중심 위치를 산출한 결과에 대해 실제 데이터와의 오차를 분석하였고, 해저지

### Abstract

본 논문은 실제 한반도 해저지형 데이터로부터 대표적인 해리스 코너 검출, FAST, SIFT, SURF 알고리즘을 적용하여 해저산의 중심 위치를 산출하였다. 특정 지형에 대한 해저산 중심 위치 산출 결과를 분석하고, SURF 알고리즘이 연산 정확도와 연산 속도 측면에서 최적의 알고리즘으로 제안됨을 확인하였다. 본 논문은 수중 운동체의 회피 성능에 지대한 영향을 미치는 해저산 중심 위치를 산출함으로써, 경로계획 수립에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

In this paper, we calculated the center position of the seafloor mountain from actual Korean peninsula seafloor topography by applying representative Harris corner detection, FAST, SIFT and SURF algorithm. The result of the center position of the seafloor mountain for a specific terrain was analyzed and SURF algorithm was proposed as the optimal algorithm in terms of calculation accuracy and speed. The proposed algorithm is expected to be used in path plan by calculating the location of the center of the seafloor mountain, which has a significant impact on the avoidance performance of underwater vehicles.

### Keywords

해저지형도(Underwater Topology),  
특징점 산출 알고리즘(Feature Extraction Algorithm),  
해리스 코너 검출(Harris Corner Detection),  
FAST, SIFT, SURF

형 특성마다 어떤 알고리즘을 적용해야 하는지 우선 순위를 매겨 최적화하였다.

이러한 과정을 통해 본 연구는 한반도 전역과 주변 해역에 대한 실제 해저지형 데이터에 대하여 특징점 추출 알고리즘을 적용하여 해저산 중심 위치를 산출하고, 결과 분석을 통해 최적의 특징점 추출기 모델을 도출하였다. 수중에서 예측 가능하지만 회피 성능에 지대한 영향을 미치는 해저산을 추출함으로써, 수중자율운동체의 경로계획 수립에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 한반도 해저지형 특성 분석

국립해양조사원에서 제공하는 위도 31~42도, 경도 122~135도 구간에 해당하는 한반도 해역의 해저지형에 대하여 동·서·남해 구역에 해당하는 위도 및 경도 구간을 추출하여 해저지형을 분석하였다.

먼저 동해 해역의 위도 38.6~40.6도, 경도 128.5~131.5도 구간에 해당하는 수심 데이터는 Fig. 1에 도시하였다. 이 구간의 평균 수심은 약 3 km로 깊고 다수의 완만한 해저산이 불규칙하게 분포한 것이 특징이다. 특히 경도 130도 이상 구간의 원해에서는 해저산이 없는 것을 확인할 수 있다.

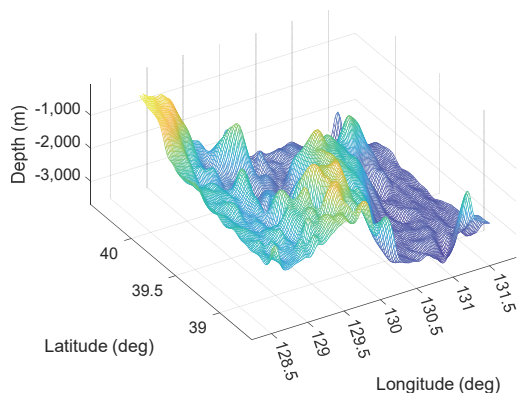


Fig. 1. Depth data of East Sea of the Korean Peninsula

Fig. 2는 서해 해역의 위도 35~37도, 경도 123~125도 구간에 해당하는 수심 데이터를 도시한 것이다. 평균 수심이 약 100 m로 얕지만 해저산의 기울기가 동해보다 큰 것을 확인할 수 있다.

Fig. 3는 남해 해역의 위도 31~33도, 경도 125~128도 구간에 해당하는 수심 데이터를 도시한 것이다.

일본 해역으로 갈수록 수심이 깊어지는 경향이 있고, 서해 해역보다 해저산의 기울기가 크며 거의 모든 지형에 해저산이 분포되어 있다. 특히 위도 32.5도, 경도 126.5도 인근에서 약 100 m 고도를 가지는 해저산이 존재하는 것이 큰 특징이다.

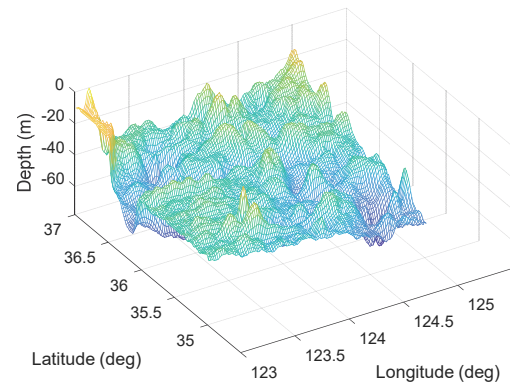


Fig. 2. Depth data of West Sea of the Korean Peninsula

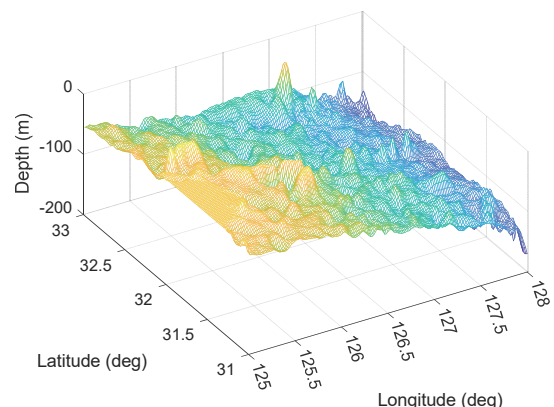


Fig. 3. Depth data of South Sea of the Korean Peninsula

## 3. 특징점 산출 알고리즘

본 논문에서 해저산 중심 위치를 산출하기 위해 적용한 특징점 산출 알고리즘은 해리스 코너 검출, FAST, SIFT, SURF 네 가지이다. 이때, SIFT와 SURF 알고리즘은 일반적으로 특징점 매칭을 수행하도록 개발된 알고리즘이므로, 해당 단계를 제외한 특징점 검출 과정만 활용하였다.

### 3.1 해리스 코너 검출 알고리즘

해리스 코너 검출 알고리즘의 원리는 영역 내에서 위도 또는 경도 방향으로 수심의 변화량이 큰 코너점

을 검출하는 것으로 식 (1)과 같다. 현재 위치  $(x,y)$ 를 기준으로  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ 만큼 이동시켰을 때의 수심데이터( $D$ ) 변화량( $E$ )을 산출한다. 영역 내에서  $E$ 가 최댓값을 가지는 위치  $(x,y)$ 를 해저산 중심 위치로 산출한다.

$$E = \sum_{x,y} [D(x + \Delta x, y + \Delta y) - D(x, y)]^2 \quad (1)$$

해리스 코너 검출 알고리즘을 적용하면 단일 해저산에 대해서는 수심의 변화량 차이가 크기 때문에 해저산 중심 위치를 정확히 산출할 수 있지만, 중첩된 다수의 해저산에 대해서는 정확한 위치를 산출할 수 없다.

### 3.2 FAST(Features from Accelerated Segment Test)

FAST 알고리즘은 현재 위도 및 경도 위치  $(x,y)$ 를 중심으로 이웃한 수심데이터를 비교하는 방식으로, 식 (2)와 같이 이웃한 위치에서의 수심데이터의 차이가 특정 임계치( $\delta h$ )보다 크면 위치  $(x,y)$ 에 해저산 중심점이 있다고 확정한다.

$$\left\{ \begin{array}{l} |D(x, y) - D(x - 1, y - 1)| > \delta h \\ |D(x, y) - D(x - 1, y)| > \delta h \\ |D(x, y) - D(x - 1, y + 1)| > \delta h \\ |D(x, y) - D(x, y - 1)| > \delta h \\ |D(x, y) - D(x, y + 1)| > \delta h \\ |D(x, y) - D(x + 1, y - 1)| > \delta h \\ |D(x, y) - D(x + 1, y)| > \delta h \\ |D(x, y) - D(x + 1, y + 1)| > \delta h \end{array} \right. \quad (x > 1, y > 1) \quad (2)$$

FAST 알고리즘은 주변 수심데이터를 모두 비교하기 때문에 정확한 해저산 중심 위치 산출이 가능하다는 장점이 있다. 하지만 해저산 중심 위치로 산출된 위치와 인접한 주변 위치가 코너점으로 함께 검출되는 경우가 있기 때문에 임계치  $\delta h$ 값 설정을 최적화하는 것이 중요하다. 예를 들어 동해 해역보다 남해 해역의 해저산 기울기가 크기 때문에 남해 해역에서의  $\delta h$ 가 더 큰 값으로 설정된다.

### 3.3 SIFT(Scale Invariant Feature Transform)

SIFT 알고리즘은 해리스 코너 알고리즘과 원리는 동일하지만 스케일 변화에 대한 민감성 문제를 해결하기 위해 식 (3)과 같이 현재 위치  $(x,y)$ 를 중심으로 가우시안차를 적용하여 극점을 산출하여 특징점으로 본다[6]. 이때, 상수 계수인  $k$ 로 분리되는 스케일 공간에서 수심데이터  $D(x,y)$ 와 컨볼루션 연산을 수행하여  $DoG(x,y,\sigma)$ 를 산출하고, 가우시안 필터는 식 (4)와 같다.

$$DoG(x, y, \sigma) = [G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma)] * D(x, y) \quad (3)$$

$$G(u, v, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(u^2+v^2)/2\sigma^2} \quad (4)$$

$DoG(x,y,\sigma)$ 의 영역의 극점을 산출하기 위해  $(x,y)$ 를 기준으로 인접한  $3*3$  영역을 비교한다. 이때, 각 영역에 대한 수심 변화량으로부터 주요 점의 방향이 최댓값인 경우 코너점으로 추출할 수 있다.

SIFT 알고리즘은 변화량이 적은 경우를 제외함으로써 기울기가 작은 해저지형은 추출하지 못하고, 컨볼루션 연산량이 많아 실시간 특징점 추출이 어렵다는 한계가 있다.

### 3.4 SURF(Speeded Up Robust Features)

SURF 알고리즘은 SIFT 알고리즘을 기반으로 하되, 식 (5)와 같이 적분 이미지를 활용하여 계산 시간을 단축할 수 있다[7-8]. 또한 특징점 검출 과정에서 헤시안 행렬식을 이용하는 것이 특징이다. 현재 위치  $(x,y)$ 를 중심으로 식 (6)과 같이  $\sigma$  스케일을 가지는 헤시안 행렬  $H$ 를 계산한다. 여기에서 행렬을 구성하는  $I$ 는 가우시안 커널의 2차 편도 함수의 근사식으로 계산할 수 있다.

$$D_{\Sigma(u,v)} = \sum_{i=0}^{i \leq u} \sum_{j=0}^{j \leq v} D(u, v) \quad (5)$$

$$H(x, y, \sigma) = \begin{bmatrix} I_{xx}(x, y, \sigma) & I_{xy}(x, y, \sigma) \\ I_{yx}(x, y, \sigma) & I_{yy}(x, y, \sigma) \end{bmatrix} \quad (6)$$

$(x,y)$ 를 기준으로 호각 60도 부채꼴 윈도우를 360도 회전하면서 윈도우 내부의 기울기를 모두 더하여 다수 벡터를 생성하고, 가장 큰 벡터 방향이 특징점의 방향이 된다.

#### 4. 최적의 특징점 추출 알고리즘 제안 방법

주어진 해저지형 영역 내에서 해저산 중심 위치를 산출하기 위해 3장에서 기술한 4가지 특징점 추출 알고리즘의 연산 정확도( $\alpha$ )와 연산 속도( $\beta$ )를 고려하여 최적의 알고리즘을 제안할 수 있다. 이때, 연산 정확도와 연산 속도를 가중치 계산하여 점수( $S$ )가 가장 높은 알고리즘을 추천한다. 이때, 자율 수중 운동체는 장애물 탐지 가능 거리에 비해 속도가 느리고, 회피 성능에 있어서 장애물의 정확한 위치 파악이 중요하기 때문에 식 (7)과 같이 알고리즘의 연산 정확도에 가중치 1.5배를 부여하였다. 이때, 연산 정확도는 식 (8)과 같이 알고리즘에서 추출한 해저산 중심 위치 개수( $N_{al}$ ) 대비 실제 해저산 중심 위치 개수( $N_{true}$ )로 정의된다. 연산 속도는 식 (9)와 같이 각 알고리즘의 연산시간( $t_{al}$ )의 역수로 계산된다.

$$S = \frac{1.5\alpha + \beta}{2} \quad (7)$$

$$\alpha = \frac{N_{true}}{N_{al}} \quad (8)$$

$$\beta = \frac{1}{t_{al}} \quad (9)$$

#### 5. 해저산 중심 위치 산출 분석

3장에서 기술한 특징점 추출 알고리즘 네 가지를 적용하여 해저산 중심 위치를 추출하고, 이를 검증하기 위해 Fig. 4와 Fig. 9의 두 가지 시나리오에 대해 분석하였다. 또한 4장에서 기술한 우선순위 점수로부터 해저산 중심 위치 추출을 위한 최적의 알고리즘을 제시하였다.

먼저, Fig. 4와 같이 남해 해역에 다수의 해저산이 존재하는 경우에 대해 분석하였다. Fig. 5는 해리스 코너 검출 알고리즘을 적용한 결과로서, 중첩된 해저산맥에 대해 다수의 특징점을 산출하는 것을 확인하였다. Fig. 6는 FAST 알고리즘을 적용한 결과로서,  $\delta h$ 를 20으로 적용하였을 때 해저산 중심 위치

가 정확히 추출되는 것을 확인할 수 있다. Fig. 7은 SIFT 알고리즘을 적용한 결과로서, 해저산의 기울기가 작은 지형은 삭제되므로 해리스 코너 알고리즘을 적용한 결과와 유사한 경향을 보인다. Fig. 8은 SURF 알고리즘을 적용한 결과로서, SIFT 알고리즘과 달리 해저산에 대한 적분 처리를 수행했기 때문에 모의 시간이 감소하였고, 정확성 또한 증가함을 확인하였다.

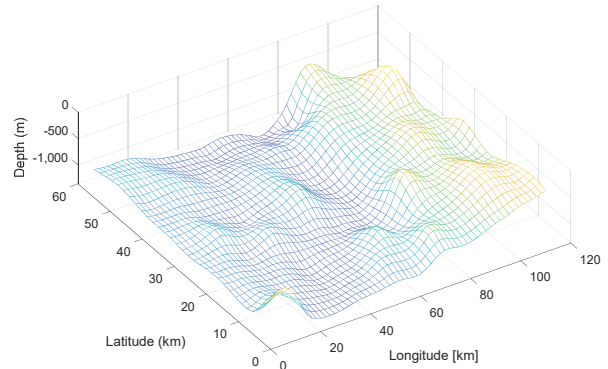


Fig. 4. Scenario for Feature Extraction Algorithm for South Sea of the Korean Peninsula

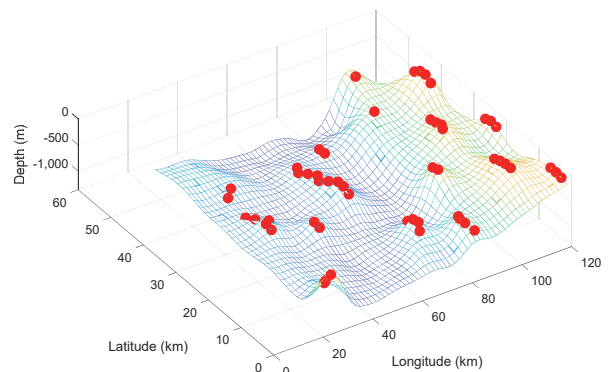


Fig. 5. Prediction of center of the seafloor mountain using Harris Corner Detection algorithm based on Fig. 4

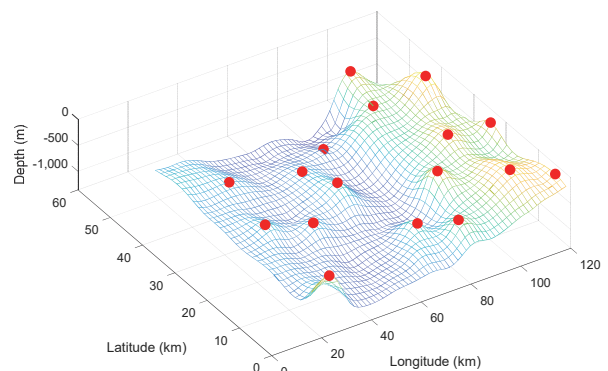
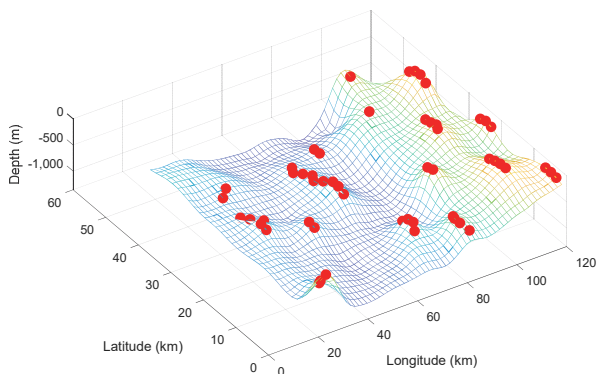
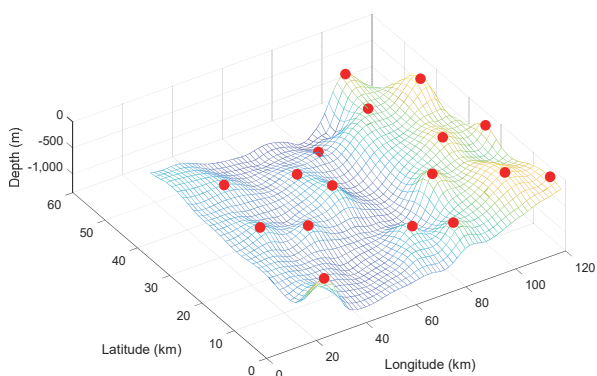


Fig. 6. Prediction of center of the seafloor mountain using FAST algorithm based on Fig. 4



**Fig. 7.** Prediction of center of the seafloor mountain using SIFT algorithm based on Fig. 4



**Fig. 8.** Prediction of center of the seafloor mountain using SURF algorithm based on Fig. 4

Table 1은 Fig. 4 시나리오에 대해 네 가지 특징점 추출 알고리즘을 적용하였을 때, 해저산 중심 위치로 산출한 특징점의 개수와 연산 시간을 나타낸 것이다. 연산 시간은 SURF 알고리즘을 적용하였을 때 가장 짧으며, SIFT 알고리즘을 적용하였을 때 연산량이 많아 가장 길다. 중첩된 해저산에 대하여 해리스 코너 검출 알고리즘과 SIFT 알고리즘이 다수의 중심 위치를 산출하였기 때문에 특징점 추출 개수가 많고, FAST 알고리즘과 SURF 알고리즘은 실제 수심 데이터와 동일하게 특징점 개수가 일치하는 것을 확인하였다.

Table 2는 해저산 중심 위치를 산출하기 위한 특징점 추출 알고리즘의 우선도를 산출한 것이다. 연산 정확도가 높고 연산 시간이 가장 짧은 SURF 알고리즘을 최적의 특징점 추출 알고리즘으로 선택한 것을 확인할 수 있다. 해리스 코너 검출 알고리즘과 SIFT 알고리즘의 경우, 해리스 코너 검출 알고리즘보다 SIFT 알고리즘의 정확도가 높지만 연산 시간이 큰 차이로 느리기 때문에 해리스 코너 검출 알고

리즘을 3순위로 선정할 것 또한 특징이다.

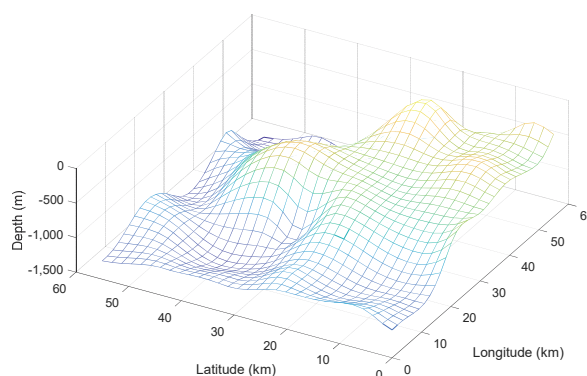
**Table 1.** Comparison of result of feature extraction algorithm based on Fig. 4

Algorithm	Number of feature extraction	Computation time (sec)
Harris Corner Detection	54	2.32
FAST	19	1.83
SIFT	52	3.19
SURF	19	1.41

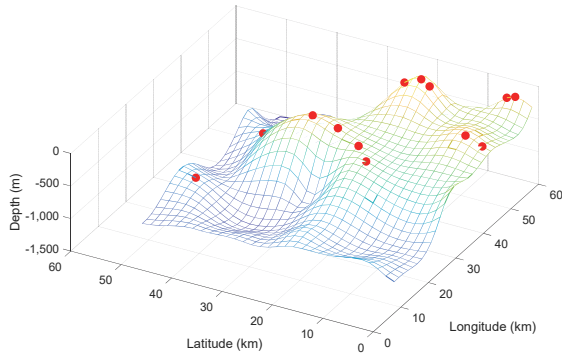
**Table 2.** Priority for feature extraction algorithm based on Fig. 4

Algorithm	Score	Rank
Harris Corner Detection	0.479	3
FAST	1.023	2
SIFT	0.431	4
SURF	1.105	1

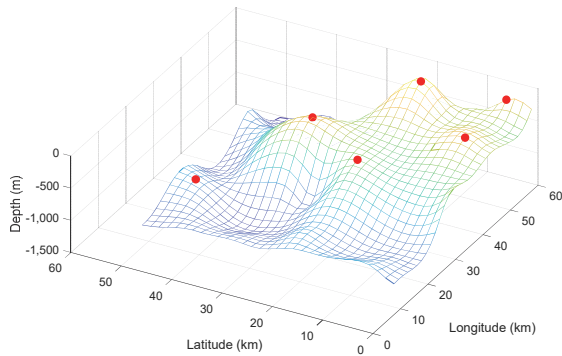
두 번째로 Fig. 9과 같이 동해 해역의 해저산이 완만하게 분포하는 영역에 대해 분석하였다. Fig. 10, Fig. 12에서 각각 해리스 코너 검출 알고리즘과 SIFT 알고리즘을 적용한 결과 중첩된 해저산맥에 대해 다수의 특징점을 산출하는 것을 확인하였다. Fig. 11, Fig. 13에서 각각 FAST 알고리즘과 SURF 알고리즘을 적용한 결과  $\delta h$ 를 11로 설정하면 해저산 중심 위치가 정확히 추출되는 것을 확인할 수 있다.



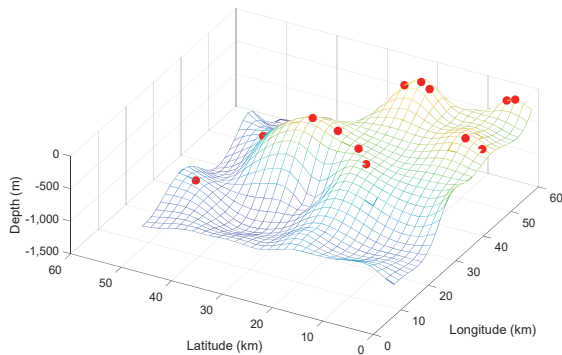
**Fig. 9.** Scenario for Feature Extraction Algorithm for East Sea of the Korean Peninsula



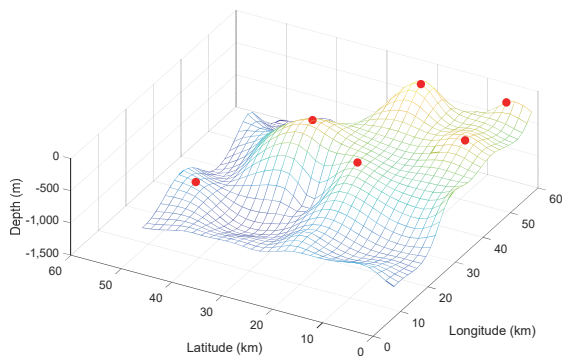
**Fig. 10.** Prediction of center of the seafloor mountain using Harris Corner Detection algorithm based on Fig. 9



**Fig. 11.** Prediction of center of the seafloor mountain using FAST algorithm based on Fig. 9



**Fig. 12.** Prediction of center of the seafloor mountain using SIFT algorithm based on Fig. 9



**Fig. 13.** Prediction of center of the seafloor mountain using SURF algorithm based on Fig. 9

Table 3는 Fig. 9 시나리오에 대해 네 가지 특징점 추출 알고리즘 적용 시 특징점 추출 개수와 연산 시간을 나타낸 것으로 Fig. 4 시나리오와 동일한 경향을 보인다. Table 4는 특징점 추출 알고리즘의 우선도를 산출한 것으로 이 또한 Fig. 4 시나리오와 동일한 경향을 보인다.

**Table 3.** Comparison of result of feature extraction algorithm based on Fig. 9

Algorithm	Number of feature extraction	Computation time (sec)
Harris Corner Detection	13	1.03
FAST	6	0.85
SIFT	13	1.47
SURF	6	0.64

**Table 4.** Priority for feature extraction algorithm based on Fig. 4

Algorithm	Score	Rank
Harris Corner Detection	0.832	3
FAST	1.338	2
SIFT	0.686	4
SURF	1.531	1

## 6. 결론

운동체가 수중에서 주행할 때, 해저산과 같은 특정 장애물을 회피하는 성능이 중요하다. 특히 해저지형은 한반도 삼면에 대한 특징이 각각 다르고, 시간과 환경적 요인으로 불규칙하게 변하기 때문에 측량을 통한 해저산의 중심 위치를 검출하는 데에는 물리적인 한계가 존재한다.

이에 따라 본 논문에서는 국립해양연구원에서 제공하는 거리 1.6 km 간격의 실제 한반도 해역의 해저지형 데이터를 기반으로 대표적인 특징점 산출 알고리즘 네 가지(해리스 코너 검출, FAST, SIFT, SURF)를 활용하여 해저산의 중심 위치를 산출하였다. 이를 검증하기 위해 중첩된 해저산맥과 완만한 해저산맥 시나리오에 대한 특징점 산출 알고리즘을 이용

한 해저산 중심 위치 산출 결과를 분석하였고, 우선 순위 계산을 통해 SURF 알고리즘이 연산 정확도와 연산 속도 면에서 최적의 알고리즘으로 제안되는 것을 확인하였다.

하지만 제한된 시나리오에 대한 검증으로 추후 한반도 해저지형 전 영역에 대한 특징점 추출 알고리즘 학습 및 분석을 통해 SURF 알고리즘의 우선순위가 가장 높은지 확인할 필요가 있다.

본 논문의 분석 결과를 통해 예측 가능하지만 회피 성능에 지대한 영향을 미치는 해저산을 추출함으로써, 수중자율운동체의 경로계획 수립에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

## 참고문헌

[1] S. Y. Yang, J. H. Kim, B. J. Kim and K. S. Kim, "A Study on the 3-D Digital Modeling of the Sea Bottom Topography," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol. 5, No. 2, pp. 50-61, 2002.

[2] S. C. Yoo, J. Y. Mun, W. Park, G. H. Seo, S. J. Gwon and R. Heo, "Development of Bathymetric Data for Ocean Numerical Model Using Sea-Floor Topography Data: BADA Ver.1," *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean*

*Engineers*, Vol. 31, No. 3, pp. 146-157, 2019.

[3] H. S. Kim, C. Hyun, S. K. Lee, C. H. Kim and J. Y. Go, "Development of High-resolution Seafloor Topograph Map Generation Techniques Applying Feature Point Detection Algorithm," *Journal of Korean Society for Naval Science and Technology*, Vol. 7, No. 1, pp. 11-16, 2024.

[4] Y. W. Kim, D. S. Kim and S. H. Kim, "Development of Recommendation Model for Image Keypoint Detection and Descriptor Extraction Algorithm," *Journal of Korean Institute of Information Technology*, Vol. 19, No. 4, pp. 27-35, 2021.

[5] S. G. Park, M. J. Chae and S. I. Cho, "Analysis of Recent Trends in Image Matching Technology Based on Feature Extraction," *Journal of Korean Institute of Broadcast and Media Engineers*, Vol. 28, No. 4, pp. 429-438, 2023.

[6] J. E. Lee, W. J. Moon, Y. H. Seo and D. W. Kim, "SIFT Image Feature Extraction based on Deep Learning," *Journal of Korean Institute of Broadcast and Media Engineers*, Vol. 24, No. 2, pp. 234-242, 2019.

[7] M. K. Kang, W. K. Choo and S. B. Moon, "Face Recognition based on SURF Interest Point Extraction Algorithm," *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 48, No. 3, pp. 46-53, 2011.

[8] Y. H. Lee, J. H. Park and Y. S. Kim, "Comparative Analysis of the Performance of SIFT and SURF," *Journal of the Semiconductor and Display Technology*, Vol. 12, No. 3, pp. 59-64, 2013.