

지형공간정보를 활용한 지형형태학적 분석 및 위험도 평가 방안 연구 A Study on Geo-morphological Analysis and Risk Assessment Method Using Geospatial Information

김병주* · 박선중** · 최일훈*** · 박설화**** · 박승민***** · 서희정*****

Byung Ju Kim*, Seon Jung Park**, Il Hoon Choi***, Seol Hwa Park****,

Seung Min Park***** and Heui Jung Seo*****

요지 : 일반적으로 개방된 해안에 위치하고 있는 갯바위, TTP(방파제) 등의 장소는 조수 또는 파랑에 직접 노출되어 있는 위험한 환경임에도 이곳을 찾는 사람들의 잦은 출입으로 안전사고가 빈번하게 발생하는 지역이다. 본 논문은 연안안전사고 예방을 위한 대표적 방안인 위험정보 제공을 위한 위험도평가에 관한 연구로서, 충청남도 태안군 안면읍에 위치한 할미할아비바위(갯바위) 지역을 대상으로 지형형태학적 정보에 기반한 지형적 취약도를 평가하였다. 위험도 매트릭스(Risk Matrix) 기법을 이용하여 16개 방향에 대한 위험도를 평가한 결과, NE, ENE, S, SSW, W 등 경사도가 $\pm 20^\circ$ 를 초과하는 구간이 많이 분포하는 방향에서 지형적 위험도가 높게 평가되었으며, NW 방향은 위험도가 가장 낮은 것으로 평가되었다. 갯바위의 지형형태학적 분석은 일반적인 해안선과 달리 복잡한 지형의 위험요소를 이해하는데 핵심적인 부분으로, 현장 고유의 형태학적 평가인자를 산정할 수 있다. 특히, 현장의 상대적 위험도를 평가하여 위험정보를 제공함으로써 연안활동장소의 부상과 익사 사고의 수를 줄이기 위해 노력하는 해안 관리자들에게 도움이 될 것이다.

핵심용어 : 연안안전사고, 갯바위, 지형형태학, 위험도 평가

Abstract : Rock platforms and TTP (breakwater) are dangerous environments commonly subject to tidal and high wave energy on the open coast. This paper is a study on risk assessment to provide risk information, which is a representative method for preventing coastal safety accidents. Risk assessment based on geo-morphological information was conducted for the Halmi-Halabi rock platform in Anmyeon-eup, Taean-gun, Chungcheongnam-do. As a result of the risk assessment in 16 directions, the risk was evaluated high in the NE, ENE, S, SSW, and W directions, where there are many sections with slopes exceeding $\pm 20^\circ$, and the NW direction was the lowest. Geo-morphology on rock platform is central to understanding what makes one stretch of complex coastline more hazardous than another, and it can be used to create site-specific morphological risk item. In particular, it will be assisting coastal managers in an effort to reduce the number of injuries and drowning incidents by providing hazard information to assess the relative risk.

Keywords : coastal safety accident, rock platform, geo-morphologic, risk assessment

1. 서 론

우리나라 정부는 국민의 안전한 연안활동 향유를 극대화하고자 제도적, 물리적 인프라를 꾸준히 구축해오고 있으며, 행정안전부와 해양수산부 및 해양경찰청 등 연안사고관리 주관기관에서는 연안사고를 보다 체계적으로 관리·대응하기 위

한 다양한 관리방안을 마련하기 위하여 노력해오고 있다. 그러나, 최근 들어 태풍, 이상파랑 등 연안사고 위험성을 증대시키는 해양외력의 강도와 발생빈도의 증가, 연안사고 위험에 노출되는 활동인구의 증가 등으로 연안활동장소에서의 안전사고 노출 위험도는 더욱 높아지고 있는 실정이다(Park et al., 2021).

*네이버시스템(주) 이사 (Director, Neighbor system)

** (주)헤인이엔씨 기술연구소 이사 (Corresponding author: Seon Jung Park, Director, Hyein E&C Technical Research Institute, WoolimBlue9-BizCenter A-dong 24F, 583 Yangcheon-ro, Gangseo-gu, Seoul 07547, Korea. Tel: +82-2-2093-2342, Fax: +82-2-2093-2209, nayana_sj@hanmail.net)

***네이버시스템(주) 상무 (Managing director, Neighbor system)

**** (주)헤인이엔씨 기술연구소 부장 (General Manager, Hyein E&C Technical Research Institute)

***** (주)헤인이엔씨 기술연구소 부장 (General Manager, Hyein E&C Technical Research Institute)

***** (주)헤인이엔씨 기술연구소 이사 (Director, Hyein E&C Technical Research Institute)

해양경찰청에서는 국민의 안전한 연안활동 지원과 안전사고 예방을 목적으로, 연안사고 안전관리규정(해양경찰청훈령 제197호)에 따라 매년 위험성조사를 실시하고 연안사고로 인해 직접적으로 인명피해가 발생했거나 발생할 우려가 높은 장소를 “위험구역”으로 지정하여 관리하고 있다. 그러나 연안 활동장소의 넓은 공간적 범위와 이를 관리하기 위한 인력 부족의 문제, 안전 사각지대가 많은 복잡한 해안 특성 등으로 해마다 연안 안전사고가 지속적으로 발생하고 있다. 특히, 사회적·경제적 환경변화에 따라 국민의 여가 활동이 다양해짐에 따라 연안체험활동이 빈번해지면서 갯벌, 갯바위, 방파제, 항포구 등의 연안활동장소에서 익수, 추락, 고립 등에 의한 안전사고가 급증하고 있어 사고예방을 위한 대책 마련이 절실히 요구되고 있다(Yun, 2020).

개방된 해안에 위치하고 있는 갯바위, 방파제(주로 테트라포트) 등의 장소는 조수 또는 파랑에 직접 노출되어 있는 위험한 장소임에도 불구하고 해상상황이나 지형적 위험성을 살피지 않고 진출입하는 방문객들의 안전사고가 빈번하게 발생하는 장소이다. Park et al.(2021)의 연구에 따르면, 최근 4년간(2017~2020년) 발생한 국내 연안안전사고는 총 3,268건이며, 이 중 개인의 부주의, 음주 등 인적요인에 의한 사고가 65.4%로 상당 부분을 차지하며, 조석, 파랑 등 자연적 요인에 기인한 사고는 29.1%로 분류되었다. 장소유형별 사고 발생률은 상시 방문객 수가 많은 장소로 분류되는 항포구에서 22.6%로 가장 높으며, 해수욕장, 해안이 또한 각각 13.9%, 13.6%의 높은 사고 발생률을 보이는 것으로 나타났다. 특히, 갯바위와 방파제의 경우, 항포구, 해수욕장과 비교해 상대적으로 방문객 수가 훨씬 적고 충분히 위험성을 인지할 수 있는 장소임에도 전체 사고의 28.1%(갯바위 18.1%, 방파제 10.0%)를 차지할 정도로 안전사고가 매우 빈번하게 발생하는 장소유형으로 분류된다.

갯바위와 방파제 등의 장소는 낚시 또는 관광 목적으로 출입하여 조위 상승 및 고파랑으로 인해 고립되거나, 불규칙한 지형적 특성에 기인한 추락사고가 주로 발생하며, 높은 사고 발생률과 지형적 위험성으로 인하여 2020년 기준으로 해양경찰청에서 지정·관리하고 있는 910개 위험구역 중 50%(방파제 303개소(33.3%), 갯바위 182개소(20.0%)) 이상을 차지하고 있다.

사고율이 높은 연안활동장소의 안전사고 예방을 위해서는 출입통제구역 지정, 차단시설 설치, 경고 방송 등 출입을 통제할 수 있는 강제 수단을 마련하는 것이 필요하다. 그러나 방파제와 같이 인공적으로 조성된 장소를 제외하고는 대부분 연안활동장소의 지형적 특성상 개방된 환경에 위치하고 있어 안전사고 예방을 위한 강제 방안 도입이 어려울 뿐 아니라 도입하더라도 실효성이 매우 낮을 것으로 판단된다.

이처럼 강제 방안 도입이 어려운 연안활동장소의 안전사고 예방을 위해서는 순찰 및 계도, 안전시설물 등의 설치와 함께 해당 장소의 위험정보를 정확히 평가하고 이를 효과적으로 전달할 수 있는 정보제공 방안을 구축하는 소프트웨어적

대책이 더욱 효과적일 수 있다. 연안 안전 관리주체인 해양경찰청의 현실적인 측면을 고려할 때 한정된 예산 및 인력으로 연안 안전관리뿐만 아니라 어선 출입항 관리 및 치안 업무를 담당하여야 함에 따라 보다 효율적인 연안 안전관리 방안에 대한 연구가 요구된다(Song, 2019).

본 연구에서는 소프트웨어적 안전관리 대책 중 대표적 방법인 위험정보 제공을 위한 위험도평가에 관한 기초연구로서, 사고 발생률이 높은 대표적 연안활동장소인 갯바위를 대상으로 공간정보 기반의 영상정보를 활용한 지형형태학적 정보 산출 및 지형적 취약도에 기반한 위험도평가를 실시하였다. 여기서 공간정보 기반의 영상정보와 함께 공간정보 데이터 구축 및 지도 제작을 위해 기하보정과 정사보정된 영상과 3차원 수치표고모델(이하 DEM, Digital Elevation Model) 정보를 지칭한다. 본 연구에서는 드론으로 촬영된 5 cm 급의 영상자료를 활용하였으며, 공간정보 산출을 위하여 최근까지 공간정보 분야에서 연구되었던 다양한 지형형태학적 분석 기법을 적용하였다.

2. 안전분야 공간정보 활용 사례

기존의 공간정보는 위치확인 및 국토관리 등 기존 산업의 보조적인 역할을 수행하였지만, 최근의 공간정보는 4차산업혁명 시대의 핵심 인프라로서 개인 내비게이션, 로봇 활용, UHealth 등 차세대 산업을 창출하고 있다. 공간정보는 세상에 존재하는 ‘모든 사물’과 ‘인터넷 가상공간’을 연결하는 플랫폼으로 발전함에 따라 사용자들의 가치가 포함된 부가적 정보를 더함으로써 효용가치는 더욱 증대되고 있다.

공간정보는 커뮤니케이션 분야를 중심으로 산업 및 공공 분야 서비스에 주로 활용되어 많은 부가가치를 창출하고 있으며, 최근 공공 분야 서비스 중 재난관리 및 안전사고 예방 목적의 활용도가 높아지고 있다. 특히나 효과적이고 저렴한 비용으로 지형정보를 취득할 수 있는 무인항공기(이하 UAV, Unmanned Aerial Vehicle) 기술의 발달은 SfM(Structure-from-Motion) 기술과 결합되어 최근 지리학의 혁명으로 부상하며 수치표면모델(이하 DSM, Digital Surface Model) 및 지형학적 분석기술을 크게 발달시키고 있다.

Choung(2015)은 다중 분광정사영상과 LiDAR 자료를 이용하여 제방 안전도 평가 기법 개발에서 제방의 독마루를 포함한 제방 구성 요소 및 제방 표면의 주요 재질과 침식 지역을 다중 분광영상과 항공 LiDAR 자료를 이용하여 추출하고 월류 위험도, 독마루 붕괴 위험도 및 비탈 경사면 붕괴 위험도 등을 도출하였다. Cho et al.(2020)은 재난 대응분야, Kim et al.(2021)은 공공 안전관리 분야를 중심으로 드론 영상을 활용하여 다양한 환경에서 다각적인 응용과 활용 가능성을 검토한 바 있다. Carvalho and Woodroge(2019)는 접근이 어렵고 데이터가 부족한 갯바위에 대한 형태학적 매개변수를 유도하고 위험도를 평가하는 방안을 제안하고, 호주 남동부 일

라와라 해안(Illawarra Coast)을 따라 있는 4개소의 갯바위를 대상으로 UAV를 활용하여 DSM으로부터 도출한 평균고도 정보, 유입 파랑의 파고 및 입사각 등을 고려해 갯바위의 세그먼트별 세분화된 위험도를 평가한 바 있다.

위성영상과 항공사진을 이용하여 갯벌 및 습지에 대한 저질 분석 연구도 국내외적으로 많이 진행되고 있다. Sunwoo et al.(2016)은 서해안의 4개 갯벌에 대한 변화탐지를 위해 Komsat 영상을 활용하여 무감독 분류를 실시하였으며, Kim et al.(2014)에 최대우도분류, 최소거리분류, 평행육면체분류, 마하라노비스거리 분류 등 감독 분류 기법을 활용하여 하천 토지피복 분류 항목 선정 및 정확도 평가를 실시하였다. Lee et al.(2014)은 토지와 물이 포함된 지역에서 초분광 영상을 이용한 토지피복분류 가능성 검토를 위해 최대우도법과 최소거리법 등의 감독 분류를 실시한 바 있다. Lee et al.(2018)은 SAM(Spectral Angle Mapper) 기법을 이용하여 항공초분광영상으로부터 연안지역을 분류하였으며, Shin et al.(2015)은 객체기반 분류 기법을 이용한 UAV영상의 토지피복 제작 연구를 수행하였다. Hurd et al.(2006)은 중해상도 Landsat ETM(Enhanced Thematic Mapper) 위성이미지에서 Long Island Sound 전역의 조수 습지를 분류하였으며, Shaker et al.(2008)는 다양한 디지털 처리 기술을 활용하여 나일강 일부에 대한 홍수 위험 평가에 위성 이미지 데이터의 활용 가능성을 조사하였다.

3. 연구 대상지 선정 및 표준 데이터 생산

3.1 연구 대상지 선정

연구 대상지는 우리나라 연안을 구성하는 주요 자연적 장소인 갯바위 중 충청남도 태안군 안면읍에 위치한 할미할아비바위를 대상으로 선정하였다(Fig. 1). 갯바위는 상시 해양 외력에 직접 노출되어 있으며, 불규칙한 지형 특성으로 지형적 취약성이 높아 안전사고가 빈번하게 발생하는 장소이다. 특히, 현장조사를 통해 상세한 지형정보 확보가 어려운 대표적인 장소로, 개방된 환경과 공간적 범위가 매우 넓고 안전사고 예방을 위한 강제 방안 도입이 어려운 장소로 본 연구에 매우 적합하다 할 수 있다.



Fig. 1. Target location.

3.2 공간정보 산출을 위한 표준 데이터 생산

갯바위의 지형형태학적 인자를 산출할 수 있는 영상분석 기법으로는 Contour map, Color map, Profile map, Pixel 기반의 경사도 계산 기법 등을 들 수 있다. 이 중 본 연구에서는 고도의 변화 및 경사도를 자세하게 확인할 수 있는 Profile map 분석을 활용하여 위험도평가를 위한 관련 인자들을 산출하였다. Fig. 2는 영상분석을 위해 촬영영상 데이터를 처리한 결과를 비교한 것이다.

Contour map과 Color map을 활용한 경사도 분석의 경우 시인성이 매우 높은 방식이다. Contour map은 동일한 고도를 등고선으로 표현하는 방식이며, Color map은 동일한 고도에 같은 색상을 부여하는 방식으로 선, 색상의 분포 및 패턴의 변화를 통해 고도 및 경사도를 인식할 수 있다. 특히 Color map을 DEM을 활용하여 표현한 3차원 입체 영상과 맵핑할 경우 더 효과적으로 지형을 표현할 수 있다.

지형 단면의 고도 정보를 추출할 수 있는 Profile map은 지형의 변화 정보를 세세하게 표현이 가능하여 지도 상에 표시된 접근로 및 구간 중 경사가 심한 지역에 대한 정보 제공이 가능하다.

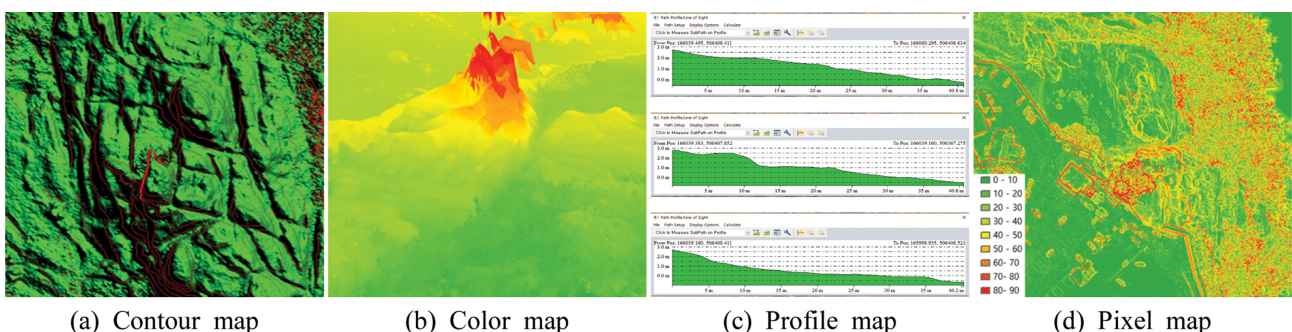


Fig. 2. Comparison of spatial data models.

인접 픽셀 간 경사를 기반으로 작성한 Pixel map은 고도와 거리를 기반으로 픽셀 단위로 경사도를 계산하는 것으로 동일한 경사 구간별로 색상으로 구분한다. Color map과 유사하게 보이나 Color map은 동일 고도 구간을 표현한 것이고 Pixel map은 동일 경사 구간을 표현한 것이다. Fig. 2(d)에서 보는 바와 같이 붉은 색으로 표시된 지역이 경사도가 가장 심한 지역으로 갯바위 전반에 대한 경사 분석이 가능하다.

(1) 표준 데이터 생산 절차

일반적으로 공간정보를 생성하기 위해서는 데이터 수집 단계와 데이터 제작 단계로 구분하여 진행되며, 단계별 주요 절차는 다음과 같다.

데이터 수집 단계에서는 우선 대상지역 현장 답사를 통해 지상기준점 위치 선정 및 측량을 실시하고 날씨와 조도 및 바람 등의 현장 상황을 점검한 후 영상촬영을 실시하게 된다. 촬영 이후 촬영 기록이 담겨 있는 로그 데이터 및 영상 데이터를 추출하여 표준 데이터 제작 단계로 넘어가게 된다.

표준데이터 제작을 위해서는 사진정렬, 지상기준점 매칭, 포인트 클라우드 생성, 포인트 클라우드 밀도화, DEM 제작, 정사영상 제작 등 6단계로 진행하게 된다. 데이터 제작시에는 주로 상용소프트웨어를 활용하게 되며, 본 연구에서는 가장 대표적인 상용 소프트웨어인 Pix4D Mapper Pro를 이용하여

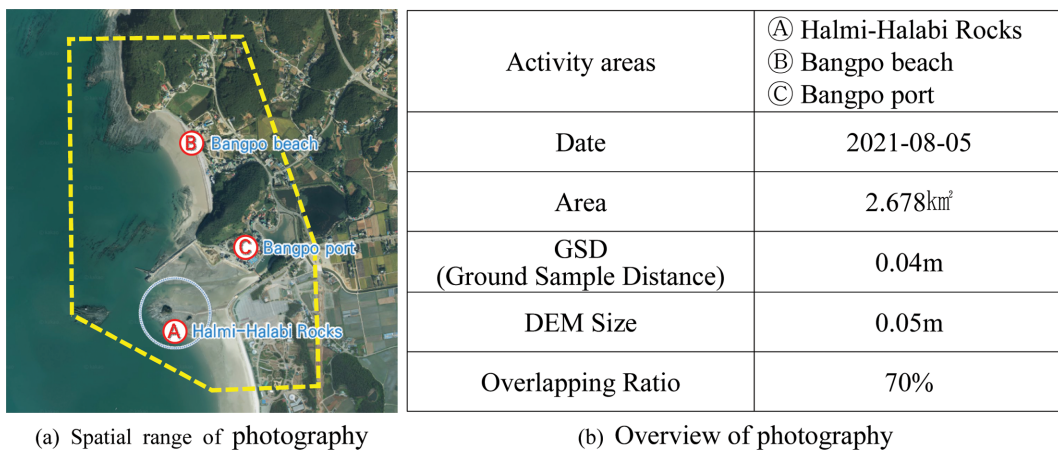
표준데이터를 제작하였다.

(2) 대상지역 촬영 및 표준 데이터 생산

본 연구에서는 UAV 장비인 드론을 활용하여 대상지역의 공간정보를 생산하기 위한 영상을 촬영하였다. 현지조사를 통해 지상기준점 위치 선정과 측량을 실시하였고 기상조건이 양호한 일자를 선택하여 대상지역인 할미할아비바위를 중심으로 인근의 방포해수욕장과 방포항을 포함하여 촬영하였다. 항공사진측량 작업 및 성과에 관한 규정(국토지리정보원고시 제 2022-3487호)에 따르면, 항공촬영시 중복도는 촬영 진행방향으로 60%, 인접 코스간 30%를 표준으로 하고 있으나, 본 연구에서는 지형의 기복이 크고 그림자 및 빛반사 등으로 인한 영상 손실률을 최소화하고자 진행방향으로 70%, 인접 코스간 70%로 중복도를 높여 촬영하였다(Fig. 3).

촬영된 영상은 다중영상 정합과정을 거쳐 표준 데이터를 생산하게 된다. 단계별 데이터 처리절차는 다음과 같으며, 생산된 표준데이터는 Fig. 4와 Fig. 5에 제시하였다.

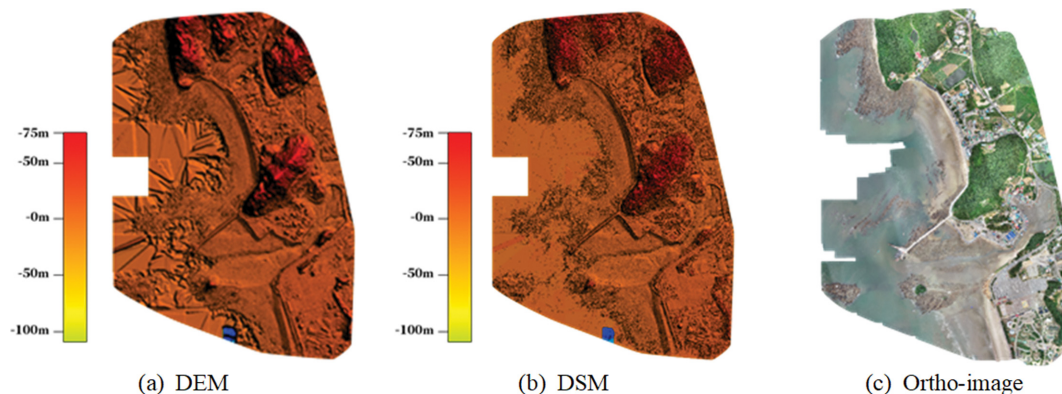
- ① 사진정렬: 항공사진에 대한 위치정보 및 자세정보를 이용하여 실제 촬영된 지점으로 이동시켜 정렬하는 과정
- ② 지상기준점 매칭: 영상의 정확도를 향상시키기 위한 필수 작업으로 지상기준점측량의 3차원 좌표를 항공사진에 매칭하여 정확도를 개선하는 과정



(a) Spatial range of photography

(b) Overview of photography

Fig. 3. Overview of UAV(drone) aerial photography.



(a) DEM

(b) DSM

(c) Ortho-image

Fig. 4. Standard image data for entire region.

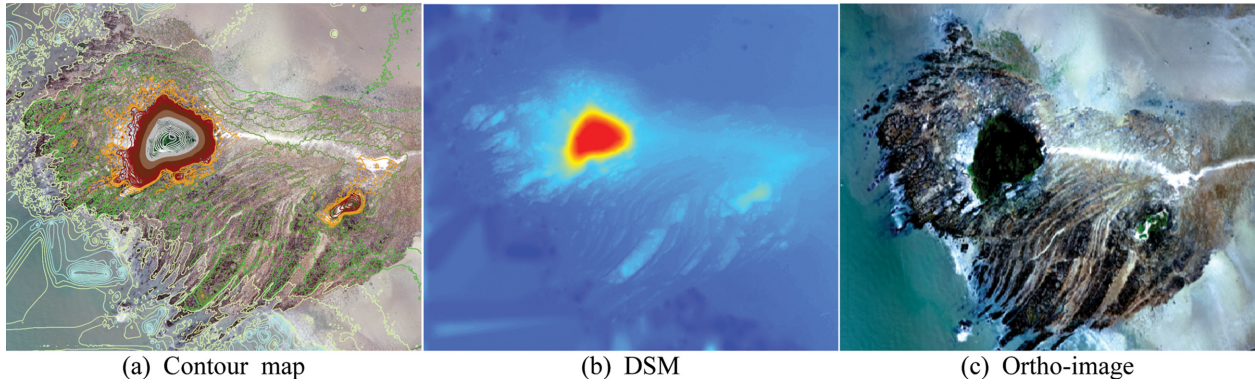


Fig. 5. Standard image data for target region.

- ③ 포인트 클라우드 생성: 사진별 위치정보와 자세정보에 기반하여 좌우사진의 공통점을 공액선상의 3차원 공간상에 매칭하게 함으로써 사진별 보정량을 계산하는데 UAV 영상에서는 SfM 영상 매칭기법으로 무수히 많은 매칭점을 찾아 포인트 클라우드를 생성하고, 이러한 포인트 클라우드는 이후 정사보정에 필요한 DEM 제작의 기초가 됨
- ④ 포인트 클라우드 밀도화: 생성된 포인트 클라우드의 스케일 및 점군을 밀집시키는 단계
- ⑤ DEM 제작: 밀도화가 완료된 포인트 클라우드에서 각 포인트들을 매쉬 형태로 구축하는 단계로, 격자 형태로 이루어져 있으며 각 격자는 X, Y, Z 좌표 정보를 가지게 됨
- ⑥ 정사영상 제작: 추출된 포인트 클라우드를 바탕으로 각 포인트들을 매쉬 형태로 구축 후 기하 보정된 항공사진에 DEM 정보로 보정하여 제작함

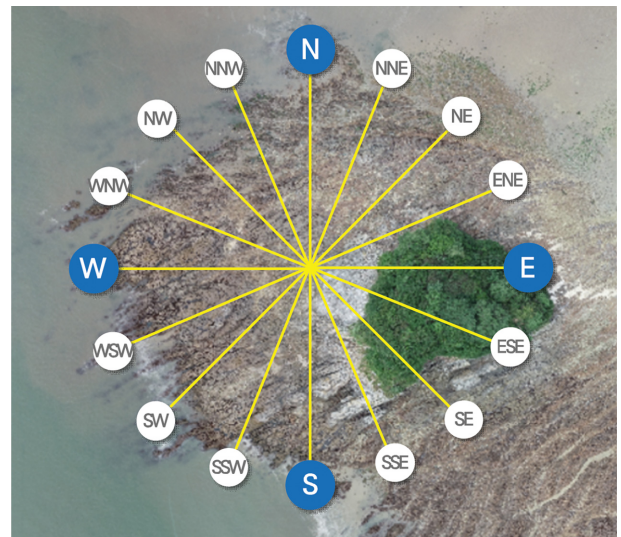


Fig. 6. Criteria of profile map.

4. 지형형태학에 기반한 위험도 평가

4.1 Profile map 생산

앞서 3장에서 생산된 표준 데이터를 기반으로 할미할아비

바위의 16개 방향에 대한 지형정보를 추출할 수 있는 Profile map 생산하였다. Profile map의 중심점과 축선별 방향은 Fig. 6에 제시된 기준에 따랐으며, 이에 따라 생산된 16개 방향의

Table 1. Geo-morphological characteristics by direction

Dir.	Elevation (EL. (m))			Slope (Deg.)		
	Highest	Lowest	Average	Highest	Lowest	Average
N	1.432	-3.947	-0.976	41.1	0.0	9.1
NNE	2.160	-1.975	-0.201	35.4	0.0	7.5
NE	2.325	-1.442	0.717	37.7	0.0	10.0
ENE	4.309	0.047	2.188	50.2	0.0	11.2
E	23.079	1.432	12.208	60.0	0.4	25.9
ESE	26.085	1.427	11.753	62.4	0.0	28.9
SE	16.723	-0.404	5.403	58.2	0.0	21.2
SSE	5.043	-1.784	1.752	44.5	0.0	11.0
S	2.904	-2.274	0.373	52.6	0.0	10.9
SSW	1.705	-2.518	0.013	51.0	0.0	11.6
SW	1.432	-2.914	-0.532	47.6	0.1	9.4
WSW	1.891	-3.124	-0.661	38.0	0.1	9.6
W	1.728	-2.447	-0.387	61.9	0.0	10.0
WNW	1.288	-2.356	-0.871	37.6	0.1	7.3
NW	1.514	-2.477	-0.956	46.8	0.1	7.8
NNW	1.432	-3.947	-0.976	41.1	0.0	9.1

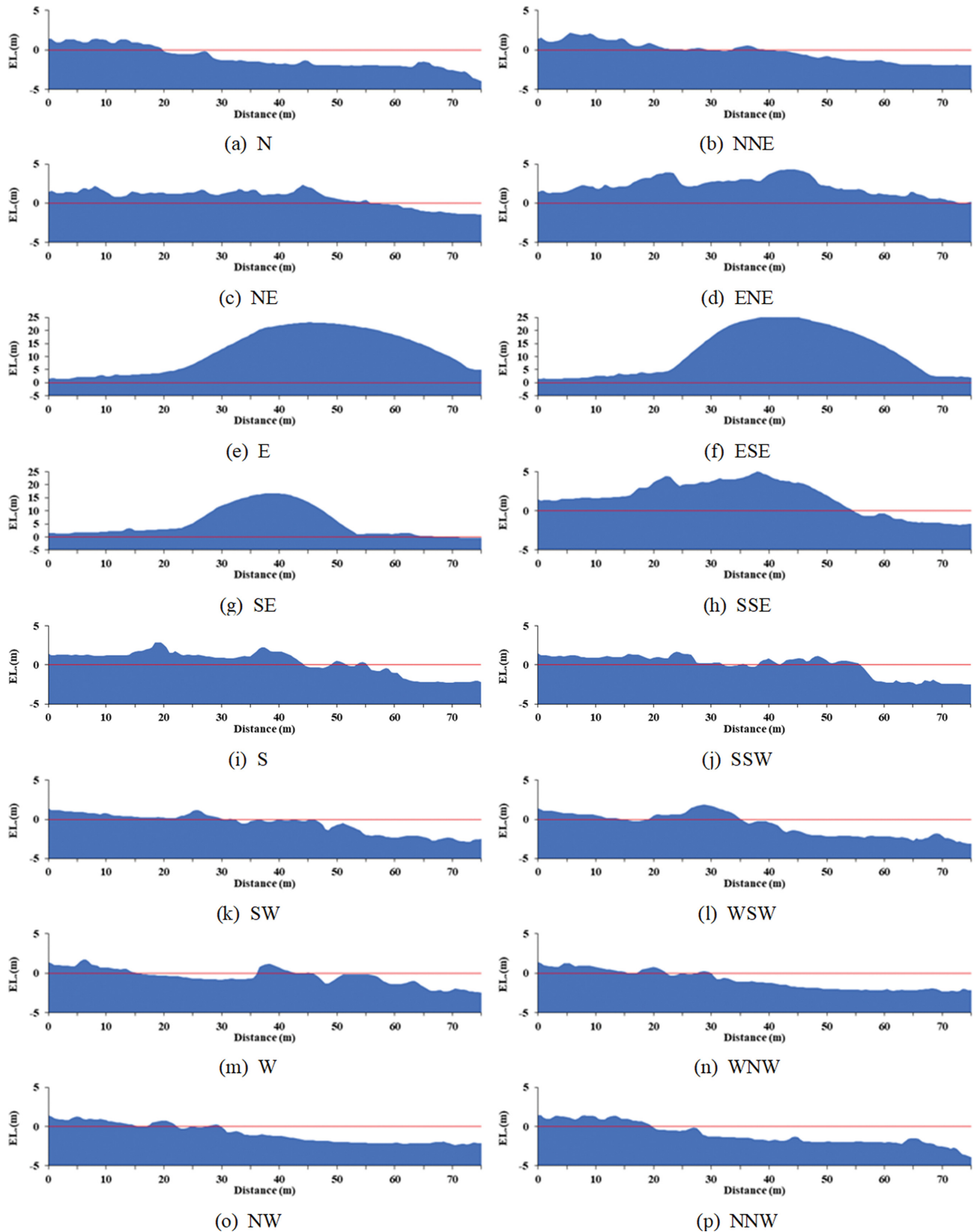


Fig. 7. Profile map by direction at the Halmi-Halabi Rocks (solid hatch: rock profile, solid line: vertical datum (EL.±0.0 m)).

Profile map은 Fig. 7에 제시하였다. Profile map을 통해 할미할아비바위의 단편적 지형특성을 살펴보면, EL.(±)0.0 m 이상에 고도 변화가 잦은 급경사 구간이 분포하는 것을 알 수

있다.

Table 1은 생산된 Profile map으로 부터 각 방향별로 암반 지대가 끝나는 75 m 구간에 대하여 0.5 m 간격으로 150개의 세

Table 2. Variation of slope in segments by direction

Dir.	< 10°		≥ 10° and < 20°		≥ 20° and < 30°		≥ 30° and < 40°		> 40°	
	Freq. *	Ratio **	Freq.	Ratio	Freq.	Ratio	Freq.	Ratio	Freq.	Ratio
N	100	66.7	30	20.0	10	6.7	9	6.0	1	0.7
NNE	107	71.3	34	22.7	6	4.0	3	2.0	-	-
NE	93	62.0	32	21.3	21	14.0	4	2.7	-	-
ENE	86	57.3	38	25.3	17	11.3	4	2.7	5	3.3
E	35	23.3	28	18.7	27	18.0	15	10.0	45	30.0
ESE	43	28.7	19	12.7	18	12.0	18	12.0	52	34.7
SE	74	49.3	17	11.3	8	5.3	15	10.0	36	24.0
SSE	81	54.0	39	26.0	23	15.3	5	3.3	2	1.3
S	93	62.0	24	16.0	20	13.3	9	6.0	4	2.7
SSW	90	60.0	26	17.3	21	14.0	9	6.0	4	2.7
SW	93	62.0	39	26.0	13	8.7	4	2.7	1	0.7
WSW	90	60.0	41	27.3	15	10.0	4	2.7	-	-
W	97	64.7	24	16.0	21	14.0	5	3.3	3	2.0
WNW	115	76.7	24	16.0	7	4.7	4	2.7	-	-
NW	116	77.3	24	16.0	4	2.7	5	3.3	1	0.7
NNW	100	66.7	30	20.0	10	6.7	9	6.0	1	0.7

* Freq.: number of segments in the slope range, ** Ratio: ratio to total number (150) of segments (%)

그먼트별로 산출된 고도와 경사도를 분석하여 제시한 것이다. 할미할아비바위는 E~SE(동측~남동측) 방향에 수목이 우거져 있어 진입이 쉽지 않으며, 그 외 방향은 노출된 암반 지대가 조성되어 있다. 할미할아비바위의 최고고도는 ESE 방향에서 EL.(+)26.085 m로 가장 높고, WNW 방향에서 EL.(+)1.288 m로 가장 낮다. 평균고도는 EL.(-)0.976~EL.(+)12.208 m의 범위에 있으나, 수목이 우거진 E~SE 방향을 제외할 경우 최고고도는 ENE 방향에서 EL.(+)2.188 m로 인근의 방포항 대조 평균고조위 EL.(+)2.958 m 보다 0.77 m 가량 낮은 지형특성을 보인다. 최대경사는 35.4°~62.4°로 매우 가파르며, 평균경사는 7.3°~28.9° 범위에 있다.

Table 2는 지형적 취약도 평가에 주요한 인자인 경사도 변화를 확인하기 위하여 총 150개 세그먼트별 경사도의 계급간 빈도 및 비율을 산정해 제시한 것이다. E~SE 방향을 제외한 전 방향에서 10° 미만의 경사 구간이 50% 이상을 차지하는 완만한 지형을 보이고 있으며, 안전사고 위험성이 높은 급경사(경사도 20° 이상) 구간은 20% 이내의 분포를 차지하고 있다.

4.2 위험도 평가 결과

갯바위 장소의 주요 사고유형은 고립, 미끄러짐에 의한 추락, 고과랑에 의한 익수 형태로 분류될 수 있으며, 지형형태학적 측면에 국한할 경우 지형의 불규칙성과 경사도, 고도 등을 들 수 있다.

본 연구에는 갯바위 장소의 안전사고를 유발하는 지형형태학적 위험도 평가인자로 지형의 불규칙성 및 경사도로 정의하고, 앞서 생산된 Profile map 자료를 분석하여 각 인자에 대한 정보를 도출하였다(Table 3). 여기서 지형의 불규칙성은 0.5 m 이상의 고도변화가 나타나는 구간의 빈도 수를 의미하며, 경사도는 안정적인 보행을 위해 보폭 및 신체의 무게 중

Table 3. Geo-morphological factor for risk assessment

Dir.	Irregularity of topography (≥ 0.5 m)	Slope by segments (≥ 20°)	
	Freq.	Freq.	Freq./Length (%)
N	8	20	13.3
NNE	9	9	6.0
NE	9	25	16.7
ENE	11	26	17.3
E	5	87	58.0
ESE	5	88	58.7
SE	6	59	39.3
SSE	8	30	20.0
S	10	33	22.0
SSW	10	34	22.7
SW	8	18	12.0
WSW	8	19	12.7
W	11	29	19.3
WNW	7	11	7.3
NW	8	10	6.7
NNW	9	20	13.3

심변화(Bae et al., 2003; Redfern and DiPasquale, 1997)가 일어나는 급경사(±20° 이상) 구간의 세그먼트 비율이다.

지형형태학적 특성에 기반한 위험도는 다음 식(1)과 같이 두 인자의 곱으로 계산하였으며, 지형적 취약성 자료만으로 개략적인 위험도를 평가하였다. 두 평가인자의 평가 등급기준은 Table 4에 제시한 바와 같이 위험도가 가장 낮은 1 등급(Very Low)에서 위험도가 가장 높은 5등급(Very High)까지 5개 등급으로 구분하였다.

$$\text{Risk} = \text{Irregularity} \times \text{Slope} \quad (1)$$

Fig. 8은 할미할아비바위의 16개 방향에 대한 위험도를 평가하고 위험도 매트릭스(Risk matrix) 기법을 이용하여 나타낸 결과이다. 수목이 우거진 E, ESE, SE 방향을 포함하여

Table 4. Definition of Geo-morphological factor

Category	Definition of factor	Classification of risk factor		
		Grade		Assessment base
Irregularity (a)	Frequency of sections with elevation changes of 0.5 m or more	1	Very low	$a \leq 2$
		2	Low	$2 < a \leq 5$
		3	Medium	$5 < a \leq 8$
		4	High	$8 < a \leq 12$
		5	Very high	$12 < a$
Slope (b)	Ratio of segments with slopes of 20 deg. or more	1	Very low	$b \leq 5\%$
		2	Low	$5\% < b \leq 10\%$
		3	Medium	$10\% < b \leq 15\%$
		4	High	$15\% < b \leq 20\%$
		5	Very high	$20\% < b$

Risk matrix		Slope				
		Very Low 1	Low 2	Medium 3	High 4	Very High 5
Irregularity	Very High 5					
	High 4				NE ENE W	(E) (ESE) S SSW
	Medium 3		WNW	N SW WSW	SSE NNW	(SE)
	Low 2				NNE	
	Very Low 1			NW		

Risk grade	
15~25	Very high
9~12	High
4~8	Medium
3~4	Low
1~2	Very low

Fig. 8. Risk matrix for Halmi-Halabi Rocks.

NE, ENE, S, SSW, W 등 경사도가 $\pm 20^\circ$ 를 초과하는 구간이 많이 분포하는 방향에서 지형적 위험도가 높게 평가되었으며, NW 방향은 위험도가 가장 낮은 것으로 나타났다.

위험도평가 결과, 갯바위의 지형특성에 관련된 두 가지 인자만이 활용됨에 따라 위험인자별 등급화 과정에서 개별 세그먼트의 미묘한 차이로 위험도 등급의 변화를 가져오는 한계를 가지고 있으나, 향후 연구를 통해 공간적, 시간적으로 분포가 달라지는 입사 파랑의 파고 및 변형, 조위, 전면 수심 등과 같은 취약성을 통합하여 평가할 경우 이러한 문제의 해소가 가능할 것으로 판단된다.

5. 결 론

갯바위는 불규칙한 지형 특성에 기인한 잠재적 위험도가 매우 높은 장소로, 현장조사를 통해 상세한 지형정보 확보가 어려운 대표적인 장소로 분류된다. 갯바위의 지형형태학적 분석은 복잡한 지형의 위험요인을 이해하는데 핵심적인 부분으로, 할미할아비바위를 대상으로 검토한 결과, 현장 고유의 상대적 위험도평가가 가능하였다.

본 연구에 활용된 공간정보는 저렴한 비용으로 정밀한 지형정보 확보가 가능할 뿐 아니라 가공성이 용이하여 활용 목적에 따라 다양한 형태로 처리가 가능하며, 접근성이 떨어지고 관리대상 면적이 넓은 연안역의 안전관리 목적으로 활용도가 더욱 높아질 것으로 기대된다.

후속 연구에서는 본 연구결과를 기반으로 파랑과 조위상승 속도 등 해양외력 인자를 고려한 장소유형별 위험도평가 방안을 제시하고, 위험도 정보를 효율적인 전달할 수 있는 방안에 관한 연구를 수행하고자 한다.

감사의 글

이 논문은 2022년 해양경찰청 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(20200527 연안활동장소에 대한 위험도 평가 및 예측 체계 개발).

References

Shaker, A., Yan, W.Y., Wong, M.S., El-Ashmawy, N. and Alhaddad,

- B.I. (2008). Flood hazard assessment using panchromatic satellite imagery. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 37, 881-886.
- Bae, H.S., Park, C.I., Shin, J.C., Kim, Y.W., Roh, J.L. and Jang, J.H. (2003). Kinematic gait analysis of ramp walking in normal adult. *Journal of the Korean Academy of Rehabilitation Medicine*, 27(6), 952-957 (in Korean).
- Cho, J.Y., Song, J.I., Jang, C.R. and Jang, M.Y. (2020). A study on the utilization plan of drone videos for disaster management. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 21(10), 372-378 (in Korean).
- Choung, Y.J. (2015). Development of a levee stability assessment technique using multispectral orthoimages and LiDAR data. *Korean Society Of Hazard Mitigation*, 15(2), 293-299 (in Korean).
- Hurd, J.D., Civro, D.L., Gilmore, M.S., Prisole, S. and Wilson, E.H. (2006) Tidal wetland classification from Landsat imagery using an integrated pixel-based and object-based classification approach. *ASPRS 2006 Annual Conference*.
- Kim, S.H., Kim, H.J., Kim, H.K. and Cho, S.H. (2021). A study on how to use drones according to domestic coastal safety system limitations. *Journal of Convergence for Information Technology*, 11(1), 118-127 (in Korean).
- Kim, Y.J., Cha, S.Y. and Cho, Y.H. (2014). A study of landcover classification methods using airborne digital ortho imagery in stream corridor. *Korean Journal of Remote Sensing*, 30(2), 207-218 (in Korean).
- Lee, G.S., Lee, K.C., Go, S.Y., Choi, Y.W. and Cho, G.S. (2014). The evaluation of on land cover classification using hyperspectral imagery. *Journal of Cadastre & Land InformatiX*, 44(2), 103-112 (in Korean).
- Lee, J.D., Bhang, K.J. and Kim, H.H. (2018). Land cover classification of coastal area by SAM from airborne hyperspectral images. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 21(1), 35-45 (in Korean).
- Park, S.J., Park, S.H., Seo, H.J. and Park, S.M. (2021). A study on evaluation system of risk assessment at coastal activity areas. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 33(6), 226-237 (in Korean).
- Carvalho, R.C. and Woodroge, C.D. (2019). Morphological exposure of rocky platforms: filling the hazard gap using UAVs. *Drones*, 3(2), 42.
- Redfern, M.S. and DiPasquale, J. (1997). Biomechanics of descending ramps. *Gait & Posture*, 6(2), 119-125.
- Sunwoo, W.Y., Kim, D.U., Kang, S.K. and Choi, M.H. (2016). Application of KOMSAT-2 imageries for change detection of land use and land cover in the West coasts of the Korean peninsula. *The Korean Society of Remote Sensing*, 32(2), 141-153 (in Korean).
- Shin, J.S., Lee, T.H., Jung, P.M. and Kwon, H.S. (2015). A study on land cover map of UAV imagery using an object-based classification method. *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science*, 23(4), 25-33 (in Korean).
- Song, C.Y. (2019). A study on the improvement of safety management for coastal accidents in Korea. *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 23(7), 95-103 (in Korean).
- Yun, B.D. (2020). A study on safety management efficiency for coastal accident prevention. *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, 26(7), 777-786 (in Korean).

Received 31 August, 2022

Revised 22 September, 2022

Accepted 22 September, 2022