

# 모래 입도분석을 위한 스마트폰 디지털 이미지 처리 방법 Smartphone Digital Image Processing Method for Sand Particle Size Analysis

허주영\* · 천세현\*\*  
Ju-Yeong Hur\* and Se-Hyeon Cheon\*\*

**요 지 :** 백사장 모래의 입도분포는 해변의 침식과 퇴적을 파악하는 데 중요한 정보를 제공한다. 모래의 입도분포 분석에 보편적으로 사용되는 체가름시험은 분석 시간이 길고 개별 입자의 형상과 색에 대한 정보를 얻을 수 없다는 한계점이 있다. 본 연구에서는 체가름시험법 보다 측정 과정이 간편하고 효율적인 스마트폰 디지털 이미지를 이용한 입도분포 분석 방법을 제안하였다. 이미지 분석 과정 중 이미지 기울기(Image Gradient) 계산을 통한 입자 경계 추출로 해상도가 상대적으로 낮은 스마트폰 디지털 이미지의 배경으로부터 입자를 효과적으로 검출하였다. 경상북도 4 곳의 해수욕장에서 채취한 시료를 이용해 본 연구에서 제안한 경계 추출 이미지 분석법과 경계를 추출하지 않는 분석법을 각각 체가름시험 결과와 비교 검증하였을 때, 본 연구에서 제안한 방식은  $D_{50}$ 에서 평균 8.21%의 평균 오차를 보여 경계를 추출하지 않는 분석법 보다 65% 낮은 오차를 보였다. 따라서 스마트폰 디지털 이미지를 이용한 입도분포 분석은 간편하고 효율적이며 체가름시험에 준하는 정확성을 가짐을 확인하였다.

**핵심용어 :** 입도분석, 입도분포, 스마트폰 이미지, 이미지 분석, 체가름

**Abstract :** The grain size distribution of sand provides crucial information for understanding coastal erosion and sediment deposition. The commonly used sieve analysis for grain size distribution analysis has limitations such as time-consuming processes and the inability to obtain information about individual particle shapes and colors. In this study, we propose a grain size distribution analysis method using smartphone digital images, which is simpler and more efficient than the sieve analysis method. During the image analysis process, we effectively detect particles from relatively low-resolution smartphone digital images by extracting particle boundaries through image gradient calculation. Using samples collected from four beaches in Gyeongsangbuk-do, we compare and validate the proposed boundary extraction image analysis method with the analysis method that does not extract boundaries, against sieve analysis results. The proposed method shows an average error rate of 8.21% at  $D_{50}$ , exhibiting a 65% lower error compared to the method without boundary extraction. Therefore, grain size distribution analysis using smartphone digital images is convenient, efficient, and demonstrated accuracy comparable to sieve analysis.

**Keywords :** grain size analysis, grain size distribution image analysis smartphone camera beach sand

## 1. 서 론

백사장의 모래 유실은 경관을 해치고 사용 가능한 수변 공간을 감소시켜 백사장 주변의 관광 산업에 심각한 영향을 미칠 수 있고 해변 주변에 설치된 구조물의 안전에 심각한 문제를 초래할 수 있다. 따라서, 해변을 보유한 지역 사회 및 지방 정부에서는 지속적인 노력을 통해 백사장의 해변을 보호하고 회복하기 위한 다양한 조치를 취하고 있다. 이러한 조치들의 예로는 해변 모래의 유실을 막기 위해 해변 전면에 내습하는 파랑을 통제하는 방파제, 방조제, 잠제 등을 설치하는 방법 그리고 침식된 해변을 복구하기 위해 해변에 모래를 직

접적으로 공급하는 방법이 있다.

해빈 유실을 막거나 복원하기 위해서 필요한 첫번째 단계는 개별 해안의 침식 및 퇴적의 발생 기작을 이해하는 것에 있으며 모래의 입도는 매우 중요한 역할을 한다(Kim and Widayati, 2012; Hayazi et al., 2023; Lim et al., 2022). 예를 들면, 백사장의 연안 침식을 평가하는 방법으로 평행해빈단면(Equilibrium Beach Profile) 모델에서 모래의 입도는 해빈 단면의 형태와 외해 또는 해빈 방향으로의 모래 거동을 결정하는 요소로 사용된다(Dean, 1977). 또한 Xbeach 모델은 해빈의 퇴적물 이동을 수치모의하는데 모래의 평균입경을 기준으로 퇴적물 이동 산정식을 결정한다(Bae et al., 2022;

\*한동대학교 공간환경시스템공학부 학부학생(Undergraduate Student, School of Spatial Environment System Engineering, Handong Global University)

\*\*한동대학교 공간환경시스템공학부 조교수(Corresponding author: Se-Hyeon Cheon, Assistant Professor, School of Spatial Environment System Engineering, Handong Global University, 558 Handong-ro, Buk-gu, Pohang, Kyeongbuk 37554, Korea, Tel: +82-54-260-1424, Fax: +82-54-260-1429, shcheon@handong.edu)

Jin et al., 2020; McCall et al., 2014; Oliveira et al., 2020).

모래의 입도를 측정하는 다양한 방법이 존재하며 침가류브 시험, 레이저 회절분석, 체가름시험 등이 있으며 이외에도 다양한 방법이 존재한다(Gibbs, 1974; Fisher et al., 2017; Gee and Bauder, 1986; Schluter and Vogel, 2016). 체가름시험을 제외한 방법들은 대체로 고가의 관측 장비가 필요하며 한번에 분석할 수 있는 시료의 양이 매우 제한적이기 때문에 해변의 입도분석에 한계가 있다. 입도분석에 일반적으로 사용되는 체가름시험은 정확한 결과와 비교적 저렴한 장비 가격으로 장점을 가지고 있다. 그러나 체가름시험은 각 체에 걸린 시료의 중량을 측정하는 과정이 번거롭고 사용하는 체의 수가 제한되어 체와 체 사이의 입도분포를 정확히 측정하는데 어려움이 있다. 더욱이, 체가름시험 시 시료를 한 번에 분석하기 때문에 개별 입자의 형상과 색깔과 같은 상세한 특징을 파악하기 어렵다. 이와 함께 체가름시험 시에는 소음과 먼지 발생이 있고, 다른 방법과 비교했을 때 더 많은 시료가 필요해 시료의 보관과 전처리에도 적지 않은 노력이 필요하다는 제한점이 존재한다(Ohm and Hryciw, 2014).

이미지를 이용한 입도분포 분석 방법은 비교적 적은 입자를 분석해 해당 지역의 입도분포를 추정할 수 있어 입도분석에 필요한 시간과 노력을 줄일 수 있을 뿐 아니라 개별 입자의 크기, 색깔, 마모도 등 입도분포 이외의 유용한 정보를 수집해 연구에 활용할 수 있다는 장점이 있어 다양한 이미지 장비를 이용한 연구가 수행되고 있다. X-ray를 이용한 입도분포 분석 방법(Schluter and Vogel, 2016), 스캐너를 이용한 이미지 분석 방법(Cheon et al., 2013), 그리고 현미경을 통한 이미지 분석하는 방법(Oliveira Morais et al., 2019)

등은 이미지를 활용하여 상대적으로 정확하게 입도분포를 측정할 수 있음을 입증하였다. 그러나 위에서 소개한 방법의 경우 실험 기기의 휴대성이나 현장에서의 실시간 결과 확인에 어려움이 있어 개선이 필요하다.

최근에는 스마트폰 카메라의 성능 향상 및 보급화로 스마트폰 디지털 이미지를 활용한 입도분석 방법이 제안되고 있다. An et al.(2022)과 Tafesse et al.(2012)은 서로 다른 각도에서 입자를 촬영하여 입자의 형태를 3차원으로 분석하였으며 Ferrer et al.(2021)은 스마트폰 이미지와 디지털카메라 이미지의 정확성을 입도분석 시에 비교 검증하였다. 그러나 스마트폰 이미지를 이용한 입도분석 연구는 주로 해변 모래보다 입도가 자갈 등의 큰 산업용 시료들을 대상으로 하고 있어, 상대적으로 입자의 크기가 작은 백사장 모래에 대해서는 검증사례를 찾기 어렵다.

따라서 본 연구에서는 상대적으로 큰 입자에 입도분석에 사용되던 스마트폰 디지털 이미지를 활용한 입도분포 분석기법을 해안공학 분야에서 널리 사용되고 있는 모래의 입도를 분석하는데 적용할 수 있도록 이미지 처리 방법에 대해 고찰하고 이를 통해 얻어진 모래의 입도분포를 체가름 실험과 비교하였다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 시료 채취 및 체가름시험

스마트폰 이미지 분석 방법과 체가름시험을 비교 검증하기 위해 경상북도 4곳의 백사장에서 총 26개의 모래 시료를 채취하였다(Fig. 1). 해안선을 따라 칠포 해수욕장 14지점, 후

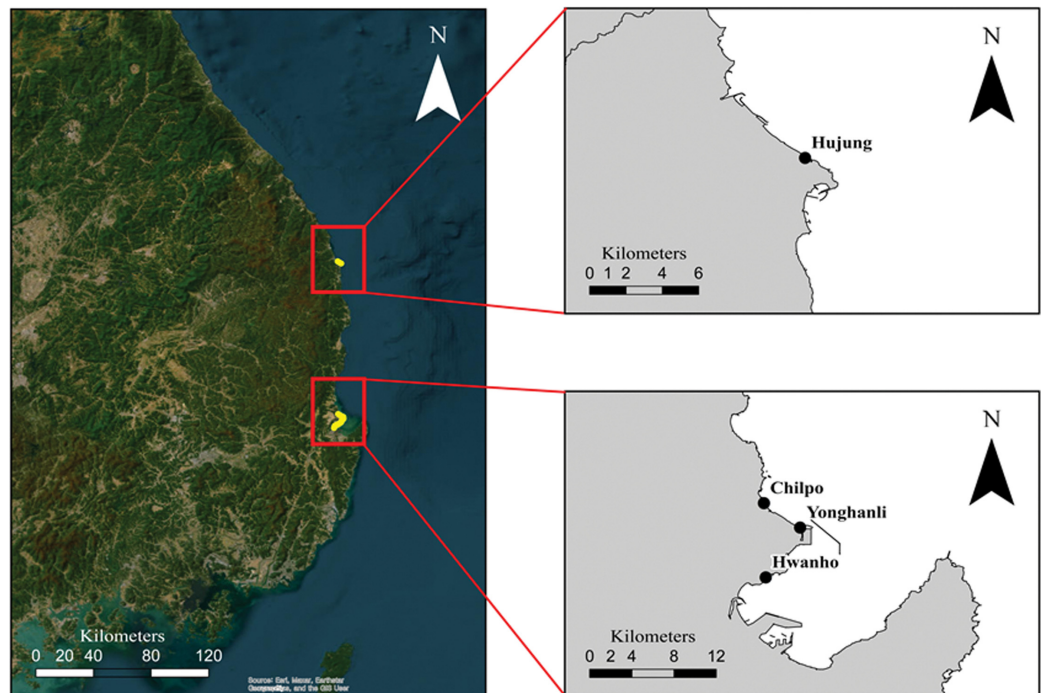


Fig. 1. Sampling sites of sand (4 beaches in Gyeongsangbuk-do).

정 해수욕장 7지점, 용한리 해수욕장 4지점, 환호 해수욕장 5지점에서 시료를 채취하였다. 시료는 모래 표면의 이물질을 제거한 후 표층 모래 300 g을 사용하였다. 채취한 모래 시료는 세척 후 항온기에서 완전 건조하여 잔여 이물질과 소금 결정을 제거하였고 약 2시간이 소요되었다. 체가름시험은 직경 0.075 mm부터 1.4 mm까지 총 10개의 체를 사용하였다. 체가름시험을 할 때에는 모래 시료 300 g을 체 진동기에 5분 동안 체 진동 후 체에 걸린 모래를 0.1 g 정밀도로 측정하였다. 체가름시험 전, 후의 모래 무게를 비교하여 실험 오차를 최소화하였고 체마다 걸린 모래의 무게를 측정하여(약 10분 소요) 누적확률분포를 계산하였다.

## 2.2 모래 이미지 촬영

스마트폰 카메라를 이용하여 채취한 시료로부터 모래 입자 이미지를 얻었다. 사용한 스마트폰 기종은 최신 기종이 아닌 것으로 선택하여 갤럭시 S22로 50 MP의 화소와 F1.8의 조리개 값을 갖는 광각렌즈 카메라를 사용하였다. 본 연구에서는 시료와 스마트폰의 거리가 약 25 cm 떨어진 위치에서 이미지를 얻었으며, 이 조건에서 이미지의 픽셀 사이즈는 약 80 $\mu$ m였다. 촬영시 주변 조도가 낮으면 ISO(International Standardization Organization) 값이 높아져서 이미지에 노이즈가 많이 포함되었다. 이는 작은 직경의 입자와 노이즈가 구별되지 않아 이미지 분석 오차를 만드는 원인이 되므로 적정 조도를 일정하게 유지하기 위해 암실상자를 제작하였다. 모래 이미지를 찍을 때에는 체가름시험이 완료된 모래 시료를 비커에 넣어 충분히 섞은 후에 검정색 종이에 고르게 도포한 후 암실상자를 사용하여 조도를 고정하여 촬영하였다. 위의 과정을 반복하여 하나의 모래 시료로부터 5장의 이미지를 촬영하였으며(약 150초) 이때 분석 오차를 최소화하기 위해 셔터 속도를 고정하였다. 촬영된 이미지는 96 DPI의 해상도를 갖는 JPG 형식 파일로 저장하였다.

## 2.3 이미지 전처리 및 분석

본 연구에서 스마트폰 촬영 이미지로부터 개별 모래 입자의 직경을 구하는 과정은 Fig. 2와 같이 왜곡 보정, 회색조 변환, 이미지 경계 추정, 임계값 계산과 모폴로지 연산으로 이진화, 픽셀 연결성으로 개별 모래 입자 인식 및 직경 계산 순서로 MATLAB R2022b를 사용하여 진행하였다.

### 2.3.1 왜곡 보정

먼저 시료를 도포한 검정색 종이의 모서리에 보정점을 설치하고 이미지에 기하 변환을 적용하여 이미지 왜곡을 보정하였다. 이미지 촬영시 스마트폰의 각도와 위치 변동으로 왜곡이 발생한 원근 이미지를 투영 변환을 통해 평면 이미지로 보정하였다. 시료를 도포한 검정색 종이의 각 모서리에 2개, 총 8개의 보정점을 설치하여 변환 전 이미지의 모서리에 해당하는 픽셀 좌표를 구한 뒤 검정색 종이의 가로 10 cm, 세

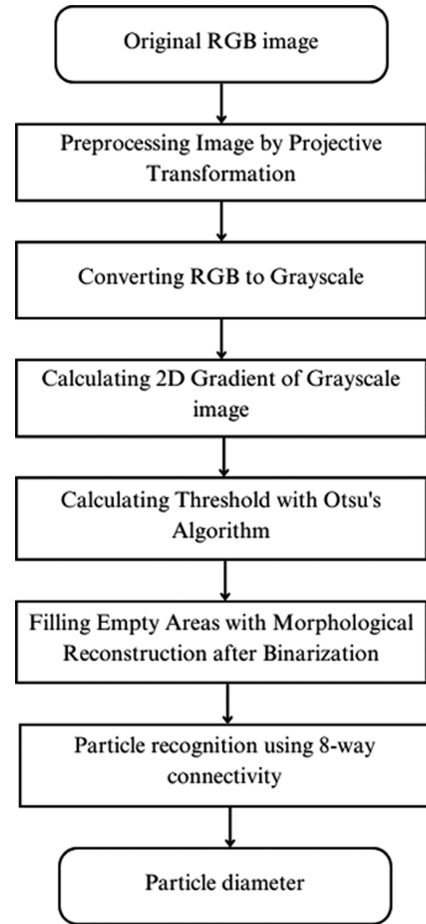


Fig. 2. Conceptual diagram of image analysis process.

로 15 cm 평면으로 투영 변환을 하였다.

### 2.3.2 경계 추출

왜곡이 보정된 RGB 이미지를 회색조 명암 이미지로 변환 후 회색조 이미지의 이미지 기울기(Image Gradients)를 계산하여 모래 입자의 경계를 추출하였다. 평판형 스캐너를 사용한 선행 연구의 경우 회색조로 변환한 이미지에 임계값을 적용하여 이미지 이진화를 진행하였지만(Cheon et al., 2013), 광원이 일정하지 않고 상대적으로 해상도가 낮은 스마트폰 촬영의 물리적인 한계로 인해 검정색 배경과 모래 입자의 명암 구별이 명확하지 않아 스마트폰으로 촬영한 회색조 이미지에 임계값을 적용하여 이진화할 경우 모래 입자와 배경이 구별되지 않는 문제가 발생하였다. 따라서 모래 입자의 그림자로 인해 입자의 경계가 배경과 명암의 차이가 큰 특성을 기반으로 회색조 이미지에 소벨 필터(Sobel and Feldman, 1973)를 이용한 이미지 기울기를 계산하여 검정색 배경과 모래 입자의 경계를 구별하였다(Fig. 3(a)). 소벨 필터는 경계 검출에 사용되는 이미지 처리 필터로 이미지 기울기의 근사치를 계산하는 미분 연산자다. 다른 경계 검출 필터에 비해 노이즈에 강하고 모든 방향의 경계 검출에 유리하여 소벨 필터를 사용한 경우 스마트폰 촬영 이미지의 경계를 효과적으로 추출할

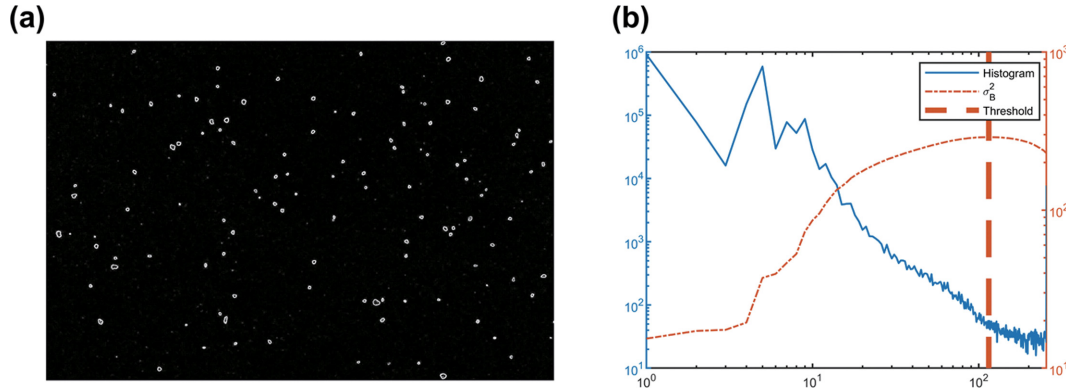


Fig. 3. Application of Otsu Algorithm. (a) Image gradient magnitude, (b) Threshold obtained by applying the Otsu algorithm to the image gradient magnitude.

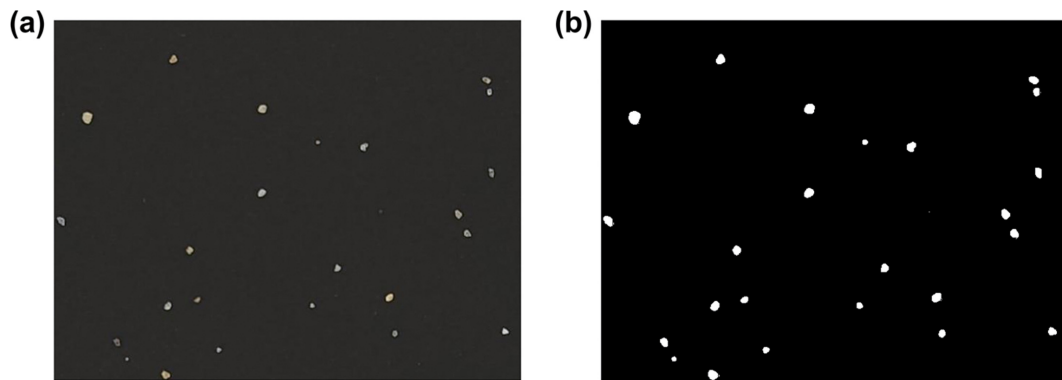


Fig. 4. Example of image processing (a) Original RGB image, (b) Binarized image.

수 있었다.

### 2.3.3 이진화 이미지

Fig. 3(b)와 같이 추출한 모래 입자의 경계에 Otsu 임계처리 알고리즘을 적용하여 이미지 이진화를 위한 임계값을 계산하였다(Otsu, 1979). Otsu 임계처리 알고리즘은 비모수(nonparametric)와 무감독분류(unsupervised) 방법으로 임계값을 결정하여 이미지의 전경과 배경을 분리하여 이진화 이미지를 생성하는데 사용된다. Otsu 임계처리 알고리즘은 식(1)과 같이 회색조 이미지의 픽셀 값을 임의의 임계값  $t$  ( $t = 0 \sim 255$ )로 나눠 각 군집의 가중치( $\omega_1, \omega_2$ )를  $i$  번째 픽셀 값의 발생 확률로 구한다. 각 군집의 분산과 가중치를 곱하여 내부 분산(within-class variance,  $\sigma_w^2$ )을 구한 뒤, 이미지의 전체 분산( $\sigma^2$ )에서 내부 분산을 뺀 군집간 분산(between-class variance,  $\sigma_B^2$ )이 최소화되는 임계값을 찾는 과정으로 진행된다(식(2), 식(3)). Otsu 임계처리 알고리즘을 통해 각각의 이미지에 최적의 임계값을 구할 수 있어 명암비가 일정하지 않은 개별 이미지의 임계값을 자동으로 결정할 수 있었다. Otsu 임계처리 알고리즘으로 이진화한 모래 입자 경계 이미지는 입자의 경계만 전경으로 분류되므로 모폴로지(morphology) 연산을 통해 배경으로 분류된 입자 내부를 전경으로 채워넣어 Fig. 4와 같이 모래 입자 이진화 이미지를 최종 생성하였다.

$$\omega_1(t) = \sum_{i=0}^t p(i), \quad \omega_2(t) = \sum_{i=t+1}^{L-1} p(i) \quad (1)$$

$$\sigma_w^2 = \omega_1 \sigma_1^2 + \omega_2 \sigma_2^2 \quad (2)$$

$$\sigma_B^2 = \sigma^2 - \sigma_w^2(t) \quad (3)$$

### 2.3.4 이미지 분석

이미지 전처리 과정을 통해 얻은 이진화 이미지의 픽셀 상하좌우와 대각선 방향으로 인접한 픽셀을 동일한 연결성분으로 처리하는 8-방향 연결성(8-way connectivity)을 이용하여 개별 모래 입자를 구분하였다(Fig. 5(a)). 이후 개별 모래 입자의 직경을 픽셀의 개수와 픽셀 사이즈를 통해 구하였다. 이 이미지로부터 모래 입도에 대한 보다 정밀한 결과를 얻기 위해서는 모래입자 형상에 대한 고찰이 필요하다(Yu and Cho, 2019). 그러나 본 연구는 정확한 입도분포 분석보다 입자에 비해 상대적으로 저해상도를 가지는 2차원 이미지로부터 통한 정확한 모래 입자의 크기(장축과 단축)를 산정하는데 중점을 두고 있다. 따라서 본 연구에서는 모래형상에 대한 심도 깊은 고찰을 생략하고 체분석과의 간단한 비교를 위해 모래 이미지로부터 장축과 단축을 구한 뒤 모래 입자를 장축을 기준으로 회전하는 회전타원체로 가정하고 각각의 모래 입자의 부피를 계산하였다(Fig. 5(b)). 모래 입자의 직경은 타원의

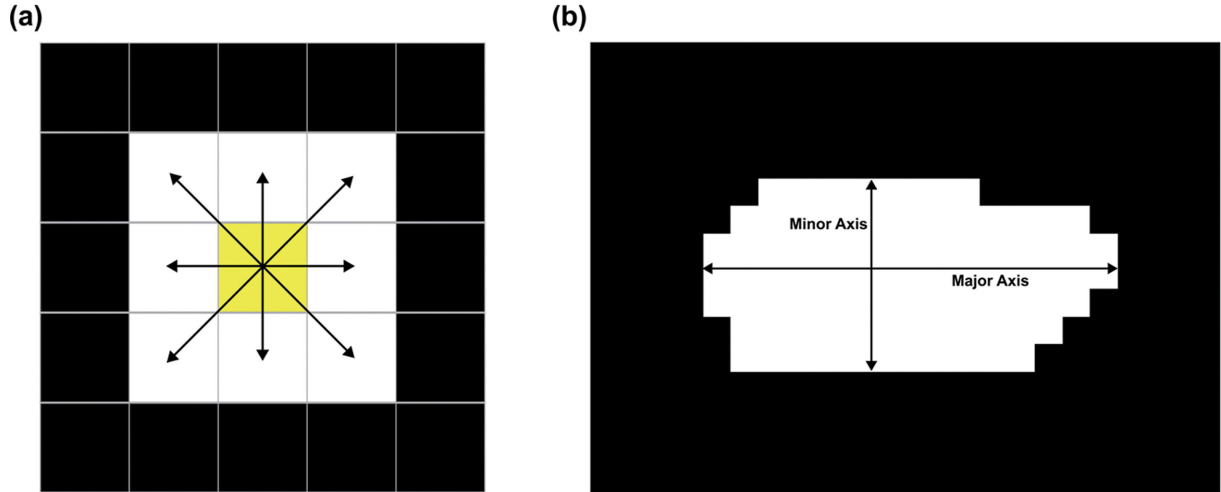


Fig. 5. Conceptual diagram of image analysis. (a) 8-way connectivity (b) Major and Minor axis of sand particle.

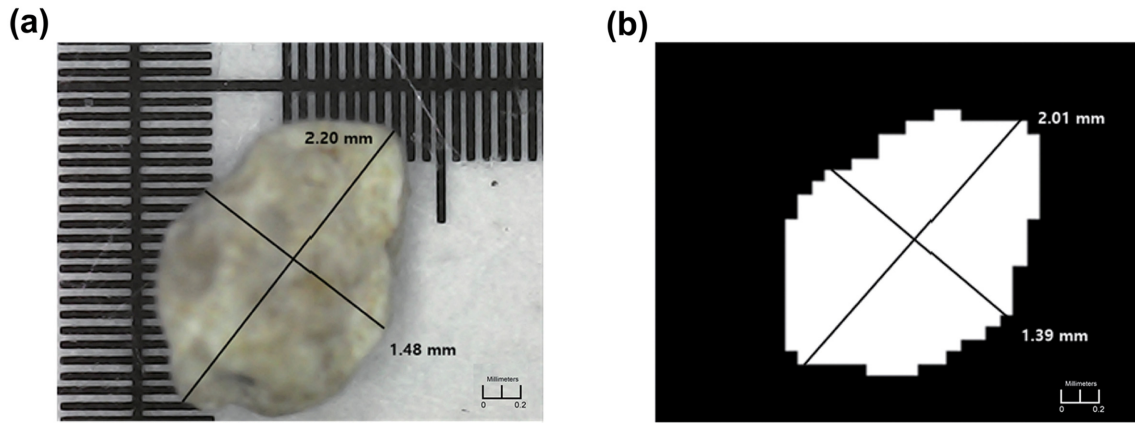


Fig. 6. Comparison sand particle's major axis and minor axis: (a) optical microscope result, (b) image analysis result.

단축을 사용하였고 모든 모래 입자의 밀도가 동일하다는 가정 하에 계산한 모래 입자의 직경과 부피비로부터 질량 누적 분포를 구하였다. 마지막으로 입자의 경계를 추출한 본 연구의 이미지 분석과 경계 추출 없이 이미지 분석을 한 경우를 각각 체가름시험 결과와 비교하여 정확성을 평가하였다 (Section 3.2). 추가적으로 이미지 분석의 모래 입자 직경 측정의 정확도를 확인하기 위해 광학 현미경을 이용해 장축과 단축을 측정하고 이미지 분석에 의한 결과와 비교하였다 (Section 3.1).

### 3. 연구결과 및 토의

#### 3.1 이미지 분석의 모래 입자 직경 산정 정확성

임의의 모래 입자 20개를 이용하여 스마트폰 이미지를 이용한 모래 입자 크기 산정의 정확성을 검증하였다. 이를 위해 모래 입자를 타원으로 가정하고 경계 추출 이미지 분석을 통해 장축과 단축을 계산하고 광학 현미경을 이용해 측정한 결과와 비교하였다(Fig. 6). 분석 결과, 현미경으로 측정한 모래 입자와 이미지 분석으로 얻은 모래 입자의 장축, 단축 길

Table 1. Comparison of optical microscope and image analysis results for accuracy verification

Absolute difference [mm]		Absolute error [%]	
Major axis	Minor axis	Major axis	Minor axis
0.02	0.01	5.13	5.00
0.08	0.03	10.96	5.17
0.09	0.01	9.47	1.69
0.10	0.05	6.45	4.20
0.19	0.09	8.64	6.08
0.04	0.05	3.72	5.82
0.15	0.01	8.74	1.07
0.07	0.05	18.67	13.72
0.10	0.06	9.97	8.07
0.04	0.00	8.08	0.56
0.13	0.03	6.24	1.35
0.13	0.07	10.05	6.97
0.10	0.06	12.99	10.20
0.13	0.07	14.44	7.81
0.06	0.03	11.41	6.60
0.08	0.01	5.69	0.70
0.03	0.06	4.69	11.06
0.04	0.05	2.37	3.56
0.12	0.07	5.44	3.79
0.09	0.01	12.37	1.60



이가 유사함을 확인할 수 있었다(Table 1). 현미경으로 구한 길이와 이미지 분석으로 구한 길이를 비교했을 때 장축의 최대 오차는 약 19%, 단축의 최대 오차는 14%로 계산되었고, 평균 오차의 경우 장축은 0.09 mm, 그리고 단축은 0.04 mm로 나타났다. 본 연구에서 모래 입경으로 사용한 단축의 평균 오차의 경우 체가름시험에서 가장 작은 체의 지름인 0.075 mm보다 작게 나타났다. 따라서, 모래 입경을 대표하는 값으로 단축을 사용할 때 본 연구의 이미지 분석 방법을 입도분포 분석에 사용할 수 있을 것으로 판단하였다.

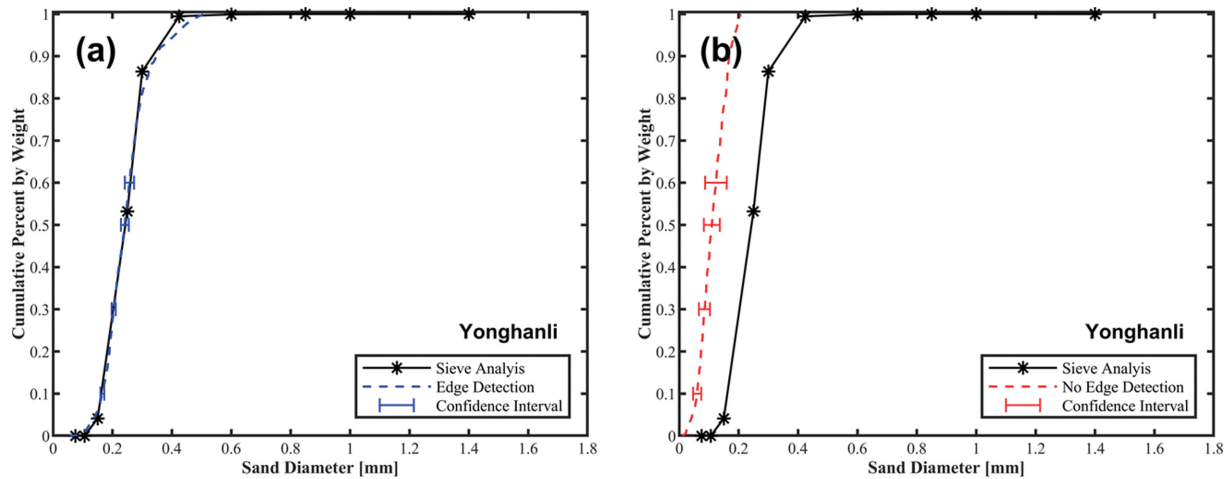
### 3.2 이미지 분석과 체가름시험 결과 비교

각 시료에 대해 촬영된 5장의 스마트폰 이미지를 본 연구의 입자의 경계를 추출한 이미지 분석법과 기존의 경계를 추출하지 않은 분석법으로 각각 입자의 장축, 단축 길이를 구한 뒤, 회전타원체로 가정하여 계산한 다음 누적확률분포를 산정하고 체가름시험 결과와 함께 Fig. 7~10에 그래프로 나타내었다. 모래 시료 당 인식된 입자의 개수는 Table 2와 같

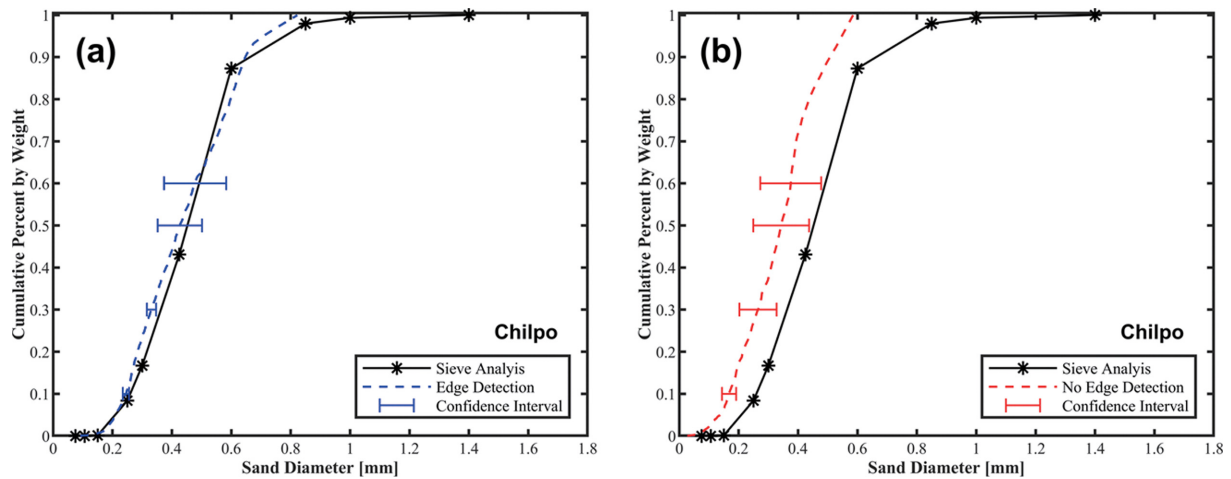
**Table 2.** Average number of sand particles detected per sample

	Yonhanli	Chilpo	Hujung	Hwanho
Edge Detection	4400	1800	860	3550

아 이미지 분석에 필요한 충분한 표본의 개수가 확보된 것을 알수 있다. 모래의 입도분포에서 중요하게 이용되는  $D_{10}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{60}$  값을 95% 신뢰구간과 함께 그림에 나타내었다(여기서  $D_n$ 는 입도분포곡선에서 통과 백분율  $n\%$ 에 해당하는 입경을 의미한다). 모든 시료에서 경계를 추출하지 않는 기존의 이미지 분석법은 경계를 추출한 분석법보다 모래 입경이 전반적으로 과소 평가되는 경향을 보였다. 이는 모래의 기하학적 형상 가정의 오차와 경계를 추출하지 않는 기존의 분석법이 모래 입자의 경계와 배경을 명확히 구별하지 못해 입자의 실제 크기보다 과소 측정함에 의해서 발생 될 수 있다. 다만 기하학적 가정의 오류가 주된 오차발생 요인일 경우 입자의 크기에 상대적으로 오차가 발생되어야 하나 Fig. 7~10에 나타난 오차는 입자가 클수록 그 오차율이 상대적으로 감소해



**Fig. 7.** Comparison of grain size analysis results based on differences in image analysis methods at Yonghanli beach: (a) detecting particle's edge, (b) not detecting particle's edge.



**Fig. 8.** Comparison of grain size analysis results based on differences in image analysis methods at Chilpo beach: (a) detecting particle's edge, (b) not detecting particle's edge.

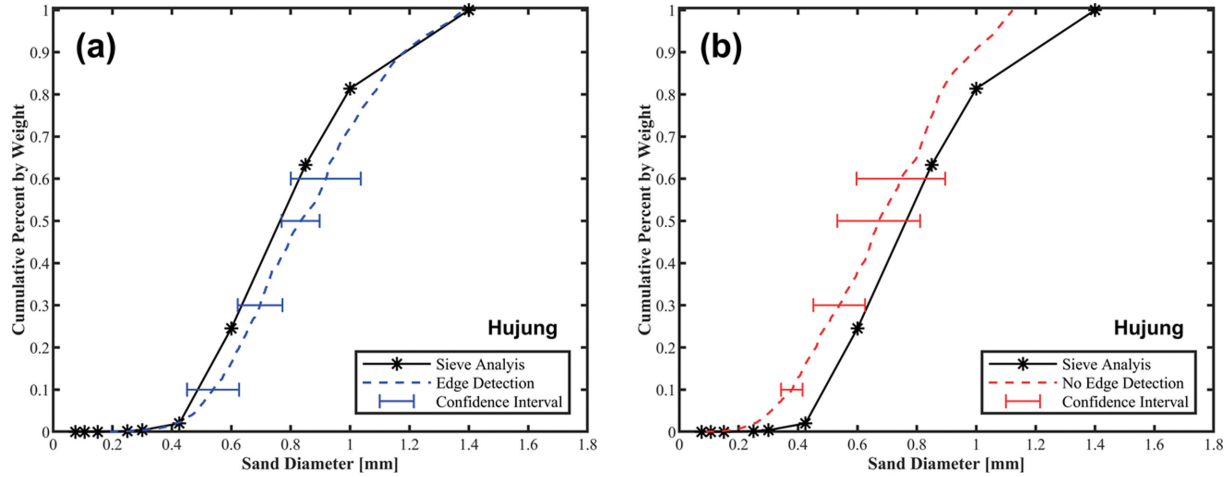


Fig. 9. Comparison of grain size analysis results based on differences in image analysis methods at Hujung beach: (a) detecting particle's edge, (b) not detecting particle's edge.

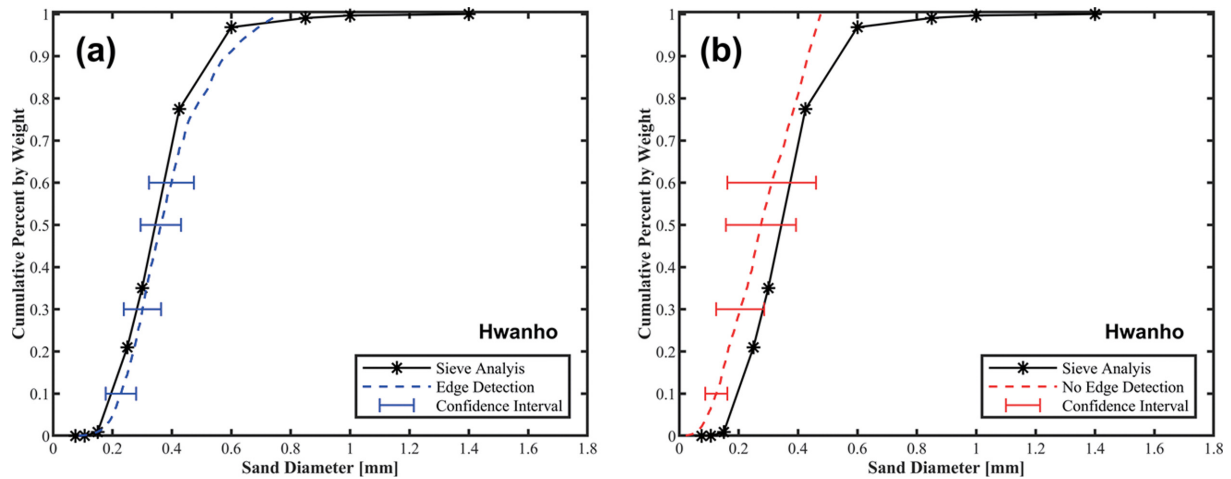


Fig. 10. Comparison of grain size analysis results based on differences in image analysis methods at Hwanho beach: (a) detecting particle's edge, (b) not detecting particle's edge.

Table 3. Mean absolute difference, standard deviation compared with sieve analysis results by geometric assumptions of sand particles of  $D_{10}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{50}$ , and  $D_{60}$

	No edge detection			Edge detection		
	Mean difference	Standard deviation	Mean difference percent [%]	Mean difference	Standard deviation	Mean difference percent [%]
$D_{10}$	0.096 mm	0.029 mm	37.416	0.018 mm	0.02 mm	5.506
$D_{30}$	0.098 mm	0.031 mm	28.846	0.035 mm	0.03 mm	7.988
$D_{50}$	0.097 mm	0.038 mm	24.256	0.042 mm	0.035 mm	8.219
$D_{60}$	0.09 mm	0.04 mm	21.189	0.045 mm	0.038 mm	8.090
$C_u$	0.542	0.3	29.985	0.145	0.084	8.07
$C_g$	0.066	0.056	6.486	0.082	0.05	7.814

기하학적 오차보다는 이미지 분석에서 발생하는 오차가 더 주요한 원인으로 생각된다. 따라서, 본 연구에서는 기하학적 오차를 고려하지 않고 결과를 분석하였으며 정확한 발생 오차의 기여도는 후속 연구가 필요하다.

$D_{50}$ 이 상대적으로 작은 용한리 해수욕장과 칠포 해수욕장의 시료는 경계를 추출한 이미지 분석 결과와 체가름시험 결

과가 유사했다. 반면  $D_{50}$ 이 비교적 큰 후정 해수욕장의 경계 추출 이미지 분석 결과는 모래 입경이 체가름시험 결과에 비해 전체적으로 과대 평가되는 경향을 보였다. 환호 해수욕장의 경우 특정 시료에서 경계 추출 이미지 분석과 체가름시험의 차이가 발생하는 경우가 있었지만  $D_{10}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{60}$  값이 큰 차이가 없음을 확인하였다. 경계 추출 이미지 분석을

통해 얻은 결과가 모래 입경이 큰 시료에서 과대 평가되는 문제와 특정 입도에서 체가름시험과 일치하지 않는 문제는 다양한 입자 형태의 부피를 계산할 수 없는 다원체 가정의 한계로 사료된다.

4곳의 백사장에서 총 26개의 모래 시료를 경계를 추출한 이미지 분석법과 기존의 경계를 추출하지 않은 분석법으로 얻은 각각의 결과와 체가름시험과의 평균오차, 오차의 표준편차, 평균 오차율을 Table 3에 나타내었다. 경계를 추출하지 않은 이미지 분석법의 경우 체가름시험과 값이 최소 21%, 최대 37%의 큰 오차를 보이지만 경계 추출 이미지 분석법의 경우 최소 5.5%, 최대 8.2%의 상대적으로 작은 오차를 보였다. 균등계수( $C_u$ ) 역시 경계 추출 분석법이 체가름시험과 유사한 값을 가지지만 곡률계수( $C_g$ )는 경계를 추출하지 않는 분석법도 작은 오차를 보였다.

#### 4. 결 론

스마트폰 이미지를 이용한 입도분석의 범위를 자갈 크기의 입자에서 해안공학에서 널리 사용되는 모래 크기의 입자로 확대 적용하기 위한 스마트폰 이미지를 이용한 입도분포 분석 방법을 제안하였다. 입자의 경계를 추출하여 이미지 분석을 시도하여 기존의 경계 추출이 없는 분석법과 차이를 알아보았으며 스마트폰 이미지 분석 방법을 체가름시험과 비교하여 제안한 분석 방법의 정확성과 효율성을 검증하였다.

스마트폰 이미지로부터 구한 모래 입자의 크기와 광학 현미경을 이용해 측정한 결과를 비교한 결과 이미지 분석이 모래 입자의 입경을 비교적 정확하게 계산하고 있음을 확인하였다. 이후 Otsu 임계처리 알고리즘을 이용한 입자 경계 추출 이미지 분석법과 경계를 추출하지 않는 이미지 분석법에 비해 효과적임을 검증하였다. 본 연구에서 사용한 이미지 분석법은  $D_{50}$ 을 기준으로 체가름시험 분석 결과와 약 8.21%의 평균오차율을 가져 경계를 추출하지 않는 이미지 분석법의 24.26%의 오차율에 비해 65% 낮은 오차를 나타내 고해상도 카메라나 스캐너에 비해 상대적으로 해상도가 떨어져 명암이 명확하지 않은 스마트폰 이미지에 적합한 방법임을 확인할 수 있었다.

본 연구에서 제안한 이미지 분석법과 체가름시험 결과를 비교한 경우  $D_{10}$ ,  $D_{30}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{60}$ 과 균등계수, 곡률계수는 대부분의 시료에서 체가름시험에 준하는 결과를 보였지만 입도가 큰 시료일수록 오차가 커지는 경향을 보였다. 또한, 환호 해수욕장과 같이 입도분포 곡선의 특정 부분이 체가름시험과 맞지 않는 시료를 확인하였다. Table 2와 같이 모래 시료 당 인식된 입자의 개수가 적지 않으므로 표본의 개수가 부족한 문제보다는 모래 입자의 모양이 해변마다 달라 발생한 오차라고 예상된다. 입자의 부피 계산에 사용한 회전다원체 가정의 한계로 생각되며 향후 다양한 해수욕장에서 시료를 채취하여 입도의 크기와 부피의 관계를 파악하고 다양한 부피 가정을

적용하여 분석하면 개선된 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

체가름시험을 하기 위해서는 체를 진동하는 데 걸리는 시간과 체에 걸린 모래의 무게를 측정하는 데 걸리는 시간 및 시료를 채취하여 실험실로 운반하고 건조하는 과정이 필요하다. 그러나 스마트폰 이미지 분석법은 체가름시험에 비해 분석 시간이 단축되었으며 건조된 모래의 경우 현장에서 분석 결과를 바로 확인할 수도 있다. 분석할 때 필요한 시료의 양도 체가름시험(300 g)에 비해 0.1%(0.3 g)로 매우 적다. 따라서 본 연구에서 제안한 저해상도 스마트폰 이미지를 이용한 입도분포 분석법은 백사장 모래에 대해서 체가름시험에 준하는 정확도를 가지면서도 보다 효율적으로 입도분포 결과를 얻을 수 있으므로 체가름시험과 함께 사용할 수 있을 것으로 생각한다. 따라서 같은 시간과 노력으로 더 많은 샘플을 분석할 수 있게 됨에 따라 모래 시료 채취 지점을 늘릴 수 있을 뿐 아니라 현장에서 바로 결과를 확인할 수도 있어 정확하고 시의적인 모래 침퇴적 연구에 이바지할 수 있을 것으로 생각하며 더불어 향후 이미지로부터 얻어진 입자의 색과 형태 정보를 활용한 해변 모래의 성분분석 및 모래의 근원을 찾는 연구에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

본 과제(결과물)는 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 3단계 산학협력 선도대학 육성사업(LINC3.0)의 연구 결과입니다. 연구에 사용된 이미지와 코드는 교신저자에 문의해 얻을 수 있습니다.

#### References

- An, P., Tang, H., Li, C., Fang, K., Lu, S. and Zhang, J. (2022). A fast and practical method for determining particle size and shape by using smartphone photogrammetry. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 193. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.110943>.
- Bae, H., Do, K., Kim, I. and Chang, S. (2022). Proposal of parameter range that offered optimal performance in the coastal morphodynamic model (XBeach) through GLUE. *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 36(4), 251-269.
- Lim, C., Kim, T.-K., Kim, J.-B. and Lee, J.-L. (2022). A study on the influence of sand median grain size on the short-term recovery process of shorelines. *Frontiers in Marine Science*, 9:906209.
- Cheon, S.-H., Ahn, K. and Suh, K.-D. (2013). Beach sand grain size analysis using commercial flat-bed scanner. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 25(5), 301-310. <https://doi.org/10.9765/KSCOE.2013.25.5.301>.
- Dean, R.G. (1977). *Equilibrium beach profiles: US Atlantic and Gulf coasts*.



- Ferrer, B., Nostas, C. and Mas, D. (2021). Evaluation of a simple and affordable image-based procedure to measure particle size distribution. *Geotechnical Testing Journal*, 44(3). <https://doi.org/10.1520/GTJ20190457>.
- Fisher, P., Aumann, C., Chia, K., O'Halloran, N. and Chandra, S. (2017). Adequacy of laser diffraction for soil particle size analysis. *PLOS ONE*, 12(5), e0176510. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0176510>.
- Gee, G.W. and Bauder, J.W. (1986). Particle-size analysis. *Methods of Soil Analysis, Part 1 Physical and Mineralogical Methods*, 383-411. <https://doi.org/10.2136/SSSABOOKSER5.1.2ED.C15>.
- Gibbs, R.J. (1974). A settling tube system for sand-size analysis. *Journal of Sedimentary Research*, 44(2), 583-588. <https://doi.org/10.1306/74D72A9A-2B21-11D7-8648000102C1865D>.
- Hayazi, F., Daud, M.E. and Mokhtar (2023). Beach volume changes and shoreline sediment properties at eroded area in batu pahat. *Trends in Civil Engineering and Built Environment*, 4(2), 219-231. <https://doi.org/10.30880/rtcebe.2023.04.02.025>.
- Jin, H., Do, K., Chang, S. and Kim, I.H. (2020). Field observation of morphological response to storm waves and sensitivity analysis of XBeach model at beach and crescentic bar. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 32(6), 446-457 (in Korean). <https://doi.org/10.9765/KSCOE.2020.32.6.446>.
- Kim, K.H. and Widayati, A.Y.W. (2012). Study on alternatives of sand placement method for beach nourishment project. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 16(4), 478-485. <https://doi.org/10.1007/S12205-012-1432-9>.
- McCall, R.T., Masselink, G., Poate, T.G., Roelvink, J.A., Almeida, L.P., Davidson, M. and Russell, P.E. (2014). Modelling storm hydrodynamics on gravel beaches with XBeach-G. *Coastal Engineering*, 91, 231-250.
- Ohm, H.-S. and Hryciw, R.D. (2014). Size distribution of coarse-grained soil by sedimaging. *Journal of Geotechnical and Environmental Engineering*, 140(4), 04013053. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0001075](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001075).
- Oliveira, J.N.C., Oliveira, F.S., Neves, M.G., Clavero, M. and Trigo-Teixeira, A.A. (2020). Modeling wave overtopping on a seawall with XBeach, IH2VOF, and Mase Formulas. *Water* 12(9), 2526.
- Oliveira Morais, P.A., de Souza, D.M., de Melo Carvalho, M.T., Madari, B.E. and de Oliveira, A.E. (2019). Predicting soil texture using image analysis. *Microchemical Journal*, 146, 455-463. <https://doi.org/10.1016/J.MICROC.2019.01.009>.
- Otsu, N. (1979). A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 9(1), 62-66.
- Schluter, S. and Vogel, H.J. (2016). Analysis of soil structure turnover with garnet particles and X-Ray microtomography. *PLOS ONE*, 11(7), e0159948. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0159948>.
- Sobel, I. and Feldman, G. (1973). A 3?isotropic gradient operator for image processing. *Pattern Classification and Scene Analysis*. 271-272.
- Tafesse, S., Fernlund, J.M.R. and Bergholm, F. (2012). Digital sieving-Matlab based 3-D image analysis. *Engineering Geology*, 137-138, 74-84. <https://doi.org/10.1016/J.ENGGEOL.2012.04.001>.
- Yu, K. and Cho, W. (2019). Analysis of size distribution of riverbed gravel through digital image processing. *Journal of Korea Water Resources Association*, 52(7), 493-503 (in Korean).

---

Received 24 November, 2023

1<sup>st</sup> Revised 21 December, 2023

2<sup>nd</sup> Revised 26 December, 2023

Accepted 26 December, 2023