

# 준설 물량 산출을 위한 지반정보 3차원 가시화 프로그램 비교 평가

## Comparative Evaluation on Geotechnical Information 3D Visualization Program for Dredging Quantity Estimation

이 보 영<sup>1)</sup> · 황 범 식<sup>1)</sup> · 김 한 샘<sup>2)</sup> · 조 완 제<sup>†</sup>

Boyoung Lee · Bumsik Hwang · Han-Saem Kim · Wanjei Cho

Received: May 19<sup>th</sup>, 2016; Revised: May 31<sup>st</sup>, 2016; Accepted: June 22<sup>nd</sup>, 2016

**ABSTRACT** : There are many reclamation projects domestically and internationally which requires large quantity of reclaimable materials. To provide enough reclaimable soils which are limited in land, there have been various research focusing on the dredged soils in the marine environments. As a part of this research, a GIS based 3D dredging reclamation visualization program was developed for the volume estimation of dredged soils in 2015. The developed program is based on the digitized spatial information of the site investigation data with a consideration of the reliability of the data. Prior to the validation with the comparisons with the actual dredged volume measurement data, the developed program was compared with the commercial 3D visualization program with 3D visualized results from the test site near the Gunjang harbor. The validation of the developed program was performed in terms of the degree of visualized precision, the sectional and profiling of soil layers and the dredged volume estimation results. Based on the comparisons, both commercial and developed program show similar dredged volume with minor discrepancies in soil layers.

**Keywords** : Reclamation project, Dredging, 3D dredging reclamation visualization program, GIS

**요 지** : 국내 및 해외에서 진행되고 있는 간척사업은 대규모 매립재가 필요하나 육상에서 얻을 수 있는 매립재는 한정되어 있어 해상준설토를 활용하기 위한 지반 정보화 관련 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 연구의 일환으로 준설지역 지반조사 자료의 디지털 공간 정보화를 통해 신뢰도가 고려된 3차원 준설 물량의 자동 산출이 가능한 GIS 기반의 준설 매립지반 DB 구축 및 3차원 준설 매립 정보화 프로그램을 개발하였다. 현장에서 준설된 물량과의 비교 검증에 앞서 본 연구에서는 수집된 새만금 지역의 군장항 인근 지반조사 자료를 바탕으로 개발된 프로그램과 3차원 준설 매립 정보화 상용 프로그램으로 지반정보의 3차원 가시화를 수행하였다. 이를 토대로 가시화 수준, 각 지층의 단면 및 심도, 정량적 준설 물량 산출 결과를 비교하여 개발 프로그램에 대한 적정성을 평가하였으며, 평가결과 각각 산출된 준설 물량은 일치하는 것으로 나타났다.

**주요어** : 간척사업, 준설, 3차원 준설 매립 정보화 프로그램, GIS

## 1. 서 론

최근 해상풍력발전기, 방조제, 항만 등의 해안구조물 건설 및 간척지의 개발이 빈번하며, 이러한 해안구조물 시공 및 간척지 개발 시 준설은 필수적이다. 특히 국내·외의 간척지는 대규모 매립재가 필요하나 육상에서 얻을 수 있는 매립재는 한정되어 있다. 이로 인해 준설 매립 현장에서 현장 자료 관리 및 활용을 위한 정보화 관련 연구가 국제적으로 활발히 진행되고 있다. 하지만 국내의 준설토 확보를 위한 조사 자료의 정보화 연구는 아직 미진한 단계이다. 해저, 하저 및 호수 저면으로부터 준설토를 채취하는 준설 시공은 일반적으로 넓은 지역에서 수행되므로 준설토를 효과적으

로 확보하고 활용하기 위해서는 제한된 조사 결과로부터 신뢰성 높은 분석 기법을 통해 대상 영역 전체 준설 지반의 역학적, 환경적 특성의 정량적 평가 및 분류와 함께 공간적인 분포를 파악하는 것이 매우 중요하다. 효과적인 준설작업을 위해서는 지반조사를 통한 신뢰성 있는 2차원 또는 3차원 층상정보 결정이 선행되어야 한다. 일반적으로 해상에서는 지점별 1차원 지층 정보를 확보할 수 있는 시추조사가 가장 많이 수행된다. 시추조사의 경우 전체영역을 고려할 때, 대상영역 전체를 점 형태로 조사하기 때문에 전체영역의 정확한 연속적 지반정보를 얻기는 매우 어렵다(Jaime & Mohan, 1990; Joh et al., 2006). 시추조사의 이러한 한계점은 대상영역의 지반 공학적 3차원 공간정보를 결정함으로써

1) Department of Civil & Environmental Engineering, Dankook University

2) Earthquake Research Center, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

† Department of Civil & Environmental Engineering, Dankook University (Corresponding Author : jei0421@dankook.ac.kr)

보완이 가능하다(Kupfersberger & Deutsch, 1999; Weissmann et al., 1999; Koltermann & Gorelick, 1996). 지반 공학적 3차원 공간정보를 결정하는 방법으로 흔히 사용되는 지구통계학은 공간보간 기법을 기반으로 각각의 데이터로부터 대상영역 전체의 공간정보를 모델링 하는 방법이다(Deutsch, 2002). 몇몇 선행연구자는 다수의 시추조사 자료에 지구통계학 방법을 적용하여 2차원 혹은 3차원의 지반 물성치를 결정하였다(Ozturk, 2002; Ryu et al., 2003; Kim, 2014).

일반적으로 시추조사 자료는 상대적으로 정확하다고 판단되나 시추조사자료 역시 지반 변동성, 측정오차, 자료의 오기입 등의 이유로 불확실성이 존재한다(Kulhawy et al., 1992). 특히 준설을 위한 해상 시추조사의 경우 제한된 작업 공간과 해상이라는 특수한 조건으로 인하여 지상에서 수행된 시추조사보다 상대적으로 더 많은 비용과 시간이 소요된다. 그렇기 때문에 경제적 측면에서 보다 정확한 준설에 대한 물량 산출이 필요하며, 이를 위해 서울대학교에서는 3차원 준설 매립 정보화 프로그램을 개발하였다(Kim et al., 2015).

따라서 본 연구에서는 서울대학교에서 개발한 3차원 준설 매립 정보화 프로그램의 산출된 준설 물량의 적정성 평가를 위해 상용 3차원 지반정보 가시화 프로그램인 MVS(The Mining Visualization System, CTech)를 활용하였으며, 이를 새만금 지구 군장항 지역에 적용하여 각각의 프로그램으로 산출된 준설 물량에 대해 비교·분석을 실시하였다.

## 2. 검증 대상 지역 선정 및 DB 구축

### 2.1 프로그램 검증의 개요

3차원 준설 매립 정보화 프로그램의 준설 물량에 대한 적정성 평가를 위해 Fig. 1과 같은 연구 흐름도를 제시하였다. 먼저 시범 대상 지역을 선정하고 선정된 대상 지역의 지반조사 자료를 토대로 개발된 3차원 준설 매립 정보화 프로그램과 상용 프로그램에 대한 입력 데이터로써 데이터베이스

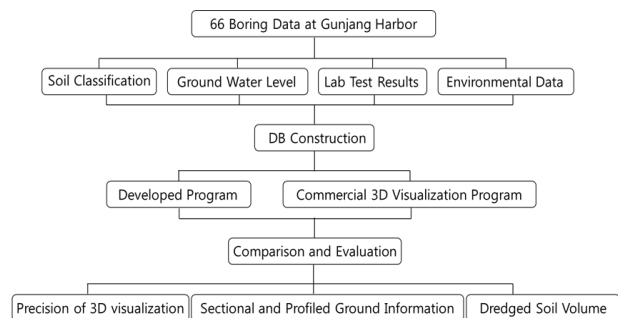


Fig. 1. Research flow of comparative study on dredging quantity estimation

(DB)를 구축하여 각각의 준설 물량을 산출하였다. 이 과정에서 3차원 공간정보의 가시화 수준, 단면 및 심도 별 지반 공간 정보, 산출된 정량적 준설 물량 정보를 비교하여 개발된 프로그램의 적정성을 평가하였다.

### 2.2 검증 시범 대상 지역의 선정

3차원 준설 매립 정보화 프로그램에 대한 검증 시범 대상 지역은 국내 대표적 준설 매립 지역인 새만금 지구의 군장항으로 선정하였다.

Fig. 2는 새만금 지역의 준설 대상 지역 중 하나인 군장항 주변의 시추조사 위치이다. 검증 시범 대상 지역은 군장항 시추정보가 위치한 가로 약 3.29km, 세로 약 0.55km, 면적 약 1.81km<sup>2</sup>를 갖는 직사각형 형태의 모양이다. 한국해양과학기술원에서 제공받은 전체 66공의 시추조사 자료를 토대로 DB를 구축하고 개발된 프로그램과 상용 프로그램의 적용을 통하여 준설 물량 산출을 실시하였다.

### 2.3 3차원 준설 매립 정보화 프로그램 입력 DB 구축

3차원 준설 매립 정보화 프로그램은 DB를 기반으로 운용되므로 시스템에 내재된 입력 및 출력 모듈이 안정적이고 효율적으로 운용되기 위해서는 최적의 DB 구축이 필수적이며, 이를 위해서는 현장 자료들을 표준화하는 것이 필요하다.

3차원 준설 매립 정보화 프로그램은 Table 1과 같이 준설 지반에서 수행되는 지반조사 자료들을 프로젝트 정보, 지점 정보, 시추 정보, 실내시험 정보, 현장시험 정보, 그리고 토양 오염 정보로 나누어 세부 항목을 입력하도록 하고 있다.

기본적으로 지반조사 자료는 조사 지점을 기반으로 입력되며, 입력되는 자료는 해당 지점의 위치 자료와 함께 DB에 저장된다. 추가적으로 프로그램에서는 해당 지역의 수치 지도를 입력하여 공간적 위치뿐만 아니라 지형적, 행정적

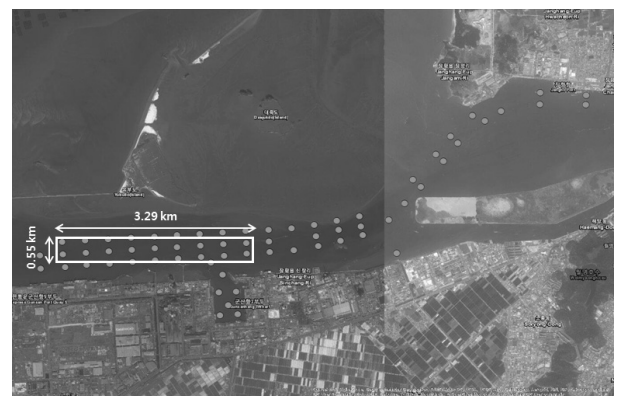


Fig. 2. Borehole locations of studied area at Gunjang harbor

Table 1. Details of database for 3D visualization

| Subject                   | Details  |   | Note  |
|---------------------------|--|---|---|
| Project                   | Project name, code, location and digital map   |   |   |
| Location                  | Name of location, coordinate   |   |   |
| Boring log                | General  | Boring data, boring equipment, boring method, driller, inspector  |   |
|                           | Layer information  | Layer classification, detailed description of soil layer (color, major components)  |   |
| Lab test                  | In-situ soil information   | Void ratio, dry/wet unit weight, water contents   |   |
|                           | General  | USCS, weight passing by #200 sieve, coefficient of uniformity and curvature, plasticity index, liquid limit, specific gravity |   |
|                           | Permeability   | Vertical permeability, horizontal permeability  |   |
|                           | Compaction   | Max. dry unit weight, optimum moisture contents   |   |
|                           | Shear strength   | Dry/total unit weight, type of shear test, cohesion, friction angle, undrained shear strength                                 |   |
| Field test                | SPT  | N profile   | Boring log  |
|                           | Shear wave velocity  | Shear wave velocity profile   |   |
| Environmental information | Cd, Cu, As, Hg, Pb, Cr6+, Zn, Ni, F, organic phosphorus compounds, polychlorinated phenyl, cyanic acid, phenol, benzene, toluene, ethylbenzene, xylene, TPH, TCE, PCE, benzopyrene |   | Soil Environment Conservation Act Enforcement regulation 1.5 (ground contamination care criteria) |

Table 2. Soil layer profile of input DB

| Layer profile |                |
|---------------|----------------|
| Upper         | Silty clay     |
|               | Silty sand     |
|               | Sandy silt     |
| Lower         | Silty clay     |
|               | Silty sand     |
|               | Sandy silt     |
|               | Sandy gravel   |
| Bedrock       | Weathered rock |
|               | Soft rock      |

위치에 따른 조사된 자료 분포를 확인할 수 있도록 하고 있다. 하지만 본 연구에서는 준설 물량을 산출하기 위해 시추 조사 자료의 층상 정보를 활용하여, 3차원 준설 매립 정보화 프로그램과 상용 프로그램에 대한 입력 데이터로 Table 2와 같은 층상을 갖는 DB를 구축하였다.

### 3. 해당 지역의 3차원 가시화

#### 3.1 3차원 가시화를 위한 공간보간

본 연구에서는 3차원 준설 매립 정보화 프로그램의 입력 데이터를 공간보간 하기 위해서 Arc GIS의 공간보간 기법(kriging) 기능을 활용하였으며, 상용 프로그램의 경우 프로

그램 자체의 kriging 기능을 활용하여 공간에 대한 보간을 실시하였다.

3차원 준설 매립 정보화 프로그램에 입력 DB를 적용하기 위하여 결정된 입력 DB의 분석그룹별 2차원 대표 층상 단면을 대상으로 kriging을 통해 3차원 층상 정보를 결정하였다. 공간보간 된 층상 경계(면)를 기준으로 대상지반의 3차원 층상 정보의 결정 및 가시화가 이루어진다. kriging에서 한 미지점에 대한 기존 자료의 신뢰도(혹은 가중치)는 통계학적 분산으로 정의된다. kriging 방법은 자료 값과 예측 값이 분산에 의해 서로 밀접하게 관련되어 있어 기존 자료의 위치로부터 공간상으로 멀리 떨어진 미지점일수록 그 미지점의 분산 값은 커지며 가중치는 작아지는 상관관계를 지닌다.

즉 kriging 방법에서 분산은 가중치의 함수로 쓰이며 기존자료에 가까운 부분은 분산 값이 작고 신뢰도가 높으며 멀어질수록 분산 값은 커지며 신뢰도는 떨어진다. 즉 미지점과 기존 자료점의 거리가 가까울수록 예측 시 기존 자료점에 적용되는 가중치가 크고 멀어질수록 가중치는 줄어들게 된다(Kim et al., 2012). 미지 영역의 자료들을 보간하는 크리깅에는 여러 방법들이 있으며, 본 연구에서는 보편적으로 활용되는 ordinary kriging을 적용하여 공간 지층 분포를 구축하였으며 일반적인 ordinary kriging의 식은 Eq. (1), Eq. (2)와 같다(Isaaks & Srivastava, 1989).

$$Z_{OK(u)}^* = \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha}^{(OK)}(u) Z(u_{\alpha}) \quad (1)$$

$$\left[ \begin{array}{l} \sum_{\beta=1}^n \lambda_{\beta}^{(OK)}(u) C(u_{\beta} - u_{\alpha}) + \mu(u) = C(u - u_{\alpha}), \alpha = 1, \dots, n \\ \sum_{\beta=1}^n \lambda_{\beta}^{(OK)}(u) = 1 \end{array} \right] \quad (2)$$

여기서,  $\lambda_{\alpha}^{(OK)}, \lambda_{\beta}^{(OK)}$  : 가중치  
 $\mu(u)$  : Lagrange 계수

Fig. 3은 층상 데이터에 대하여 (a) : 표고, (b) : 상부 CL 층 두께, (c) : 상부 SM 층 두께, (d) : 상부 ML 층 두께, (e) : 하부 CL 층 두께, (f) : 하부 SM 층 두께, (g) : 하부 ML 층 두께, (h) : 하부 GW 층 두께, (i) : WR 층 두께, (j) : SR 층 두께에 대하여 kriging을 한 결과를 나타내고 있으며, kriging 결과로 나타난 각 지층 해당 영역의 두께를 적용하여 3차원 준설 매립 정보화 프로그램의 입력 DB로써 활용하였다. 반

면 3차원 지반정보 가시화 상용 프로그램의 경우 프로그램 자체의 2D 및 3D kriging 알고리즘 등이 내장된 전문가 시스템을 이용하여 시추공, 샘플, 한도 측정 등의 기능을 제공하고 있다. 상용 프로그램에서 사용되는 kriging 방법은 연속적인 지질학적 표면을 만들기 위하여 시추정보들 사이에 가중이동평균법을 통한 내삽 및 외삽으로 예측된 지점 주변 속성의 계산된 변화량을 최소화시키는 방법이다. 가중치와 변화량은 입력 DB 샘플들의 거리에 대한 차이를 그리는 세미베리오그램(semivariogram)의 모델을 사용하여 계산된다 (Deutsch & Journel, 1998).

### 3.2 해당 지역 층상의 3차원 가시화

해당 지역에 대하여 공간보간(kriging)을 실시한 DB를 이용하여 3차원 준설 매립 정보화 프로그램과 상용 프로그램

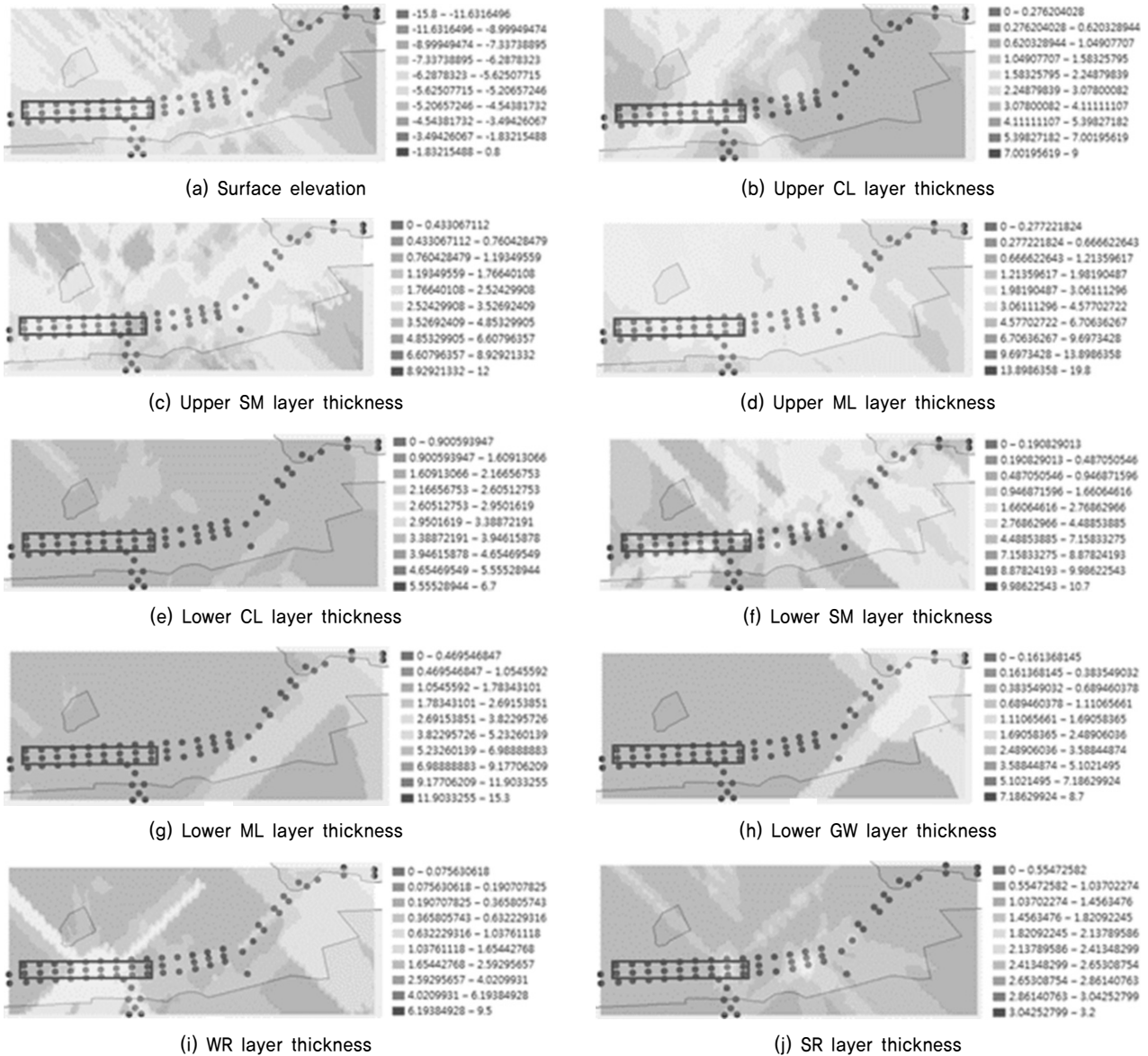


Fig. 3. 2D kriging results

을 통한 3차원 가시화를 실시하였다. 각각의 지층은 상부 CL, SM, ML 층, 하부 CL, SM, ML 그리고 GW 층을 보여주고 있으며, 각 지층의 위치는 만들어진 입력 DB와 일치한다. 각각의 프로그램으로 실제 크기 지층의 3차원 가시화 시 해당 지역의 평면 영역에 대해 매우 작은 Z축 값을 갖게 되므로 지층을 뚜렷하게 구분하기 위해서 Z축으로 50배씩 과장시켰다. Fig. 4는 해당 지역에 대해 상용 프로그램으로부터 가시화된 지층을 보여주고 있으며, Fig. 5는 상용 프로그램으로부터 가시화된 지층을 각각의 지층별로 띄워서 나타내고 있다.

Fig. 6은 해당 지역에 대해 3차원 준설 매립 정보화 프로

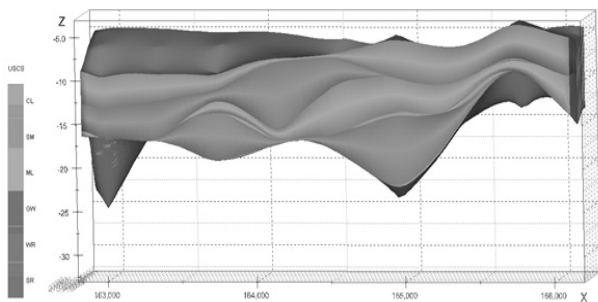


Fig. 4. 3D visualized ground profile from commercial program

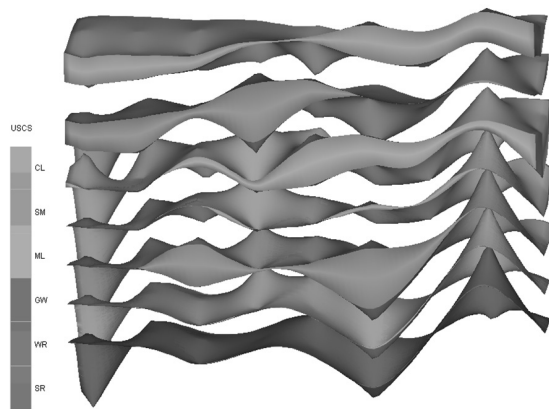


Fig. 5. 3D visualized individual layers from commercial program

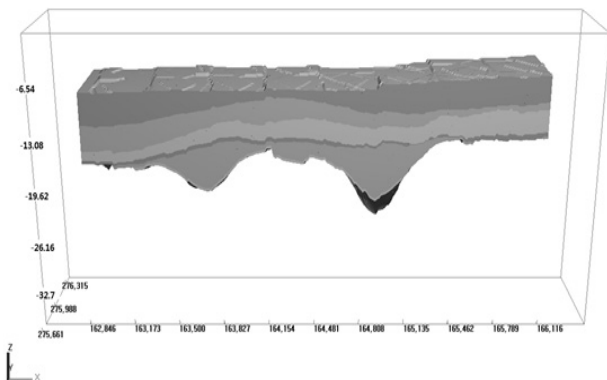


Fig. 6. 3D visualized ground profile from developed program

그램으로부터 가시화된 지층을 보여주고 있으며, Fig. 7은 3차원 준설 매립 정보화 프로그램으로부터 가시화된 지층을 각각의 지층별로 띄워서 나타내고 있다. 두 가지의 프로그램에 대해서 3차원 가시화된 지층을 비교해보면 상용 프로그램의 경우 각각의 지층에 대한 굴곡이 심하게 보여지는 반면, 3차원 준설 매립 정보화 프로그램에서는 각각의 지층에 대한 굴곡이 상용 프로그램에 비하여 잘 나타나고 있지 않다. 이는 Arc GIS의 kriging 방법과 상용 프로그램에서 사용되는 kriging 방법의 차이 및 프로그램별로 Z축이 50배씩 과장되는 과정에서 그래픽적인 차이에서 비롯된 결과로 판단된다. 하지만 지층의 전체적인 두께, 높낮이, 층상 위치 등은 대체적으로 잘 일치하며 지층에 대한 개략적인 이해에 대해서는 무리가 없을 것으로 판단된다.

#### 4. 3차원 준설 매립 정보화 프로그램과 상용 프로그램에 대한 비교·분석

3차원 준설 매립 정보화 프로그램과 상용 프로그램으로부터 만들어진 해당 지역의 3차원 가시화된 지층을 바탕으로 지층 각각의 경계(면), 그래픽, 두께, 산출된 준설 물량에 대하여 비교·분석을 실시하였다.

##### 4.1 지층 경계(면) 및 그래픽에 대한 비교·분석

3차원 준설 매립 정보화 프로그램과 상용 프로그램으로부터 만들어진 해당 지역에 대한 지층 경계(면) 및 그래픽의 비교·분석을 위해 지층이 채워지지 않은 단일 경계(면)를 비교하여 분석을 실시하였다. Table 3은 프로그램별로 각각의 지층에 대한 지층의 상부 경계(면)에 대해 비교·분석한 것이다. 상용 프로그램에서는 3차원으로 가시화된 지층과 마찬가지로 각각의 경계(면)에서 뚜렷한 굴곡 현상이 나타나 있다. 반면 3차원 준설 매립 정보화 프로그램은 각 경계(면)

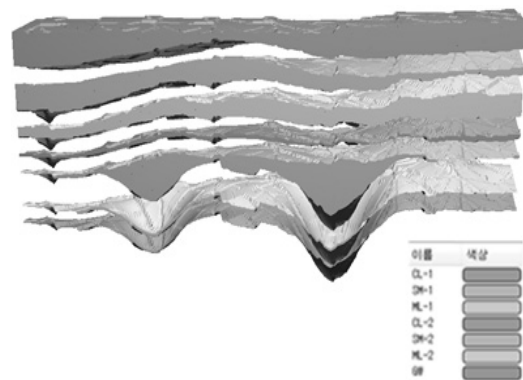


Fig. 7. 3D visualized individual layers from developed program

에서의 굴곡이 상용 프로그램에서처럼 뚜렷하게 나타나고 있지는 않다. 이러한 굴곡에 대한 다른 가시화 결과는 2D 결과에서와 마찬가지로 두 프로그램에서의 kriging 방법의 차이에서 비롯된 것으로 판단되며 또한, 각각의 프로그램으로부터 실제 크기에 대해 Z축으로 50배씩 과장 시키면서 나타난 그래픽적인 차이에서 비롯된 것으로 판단된다. 하지만 각 지층별로 높낮이와 나타난 층상의 위치는 대체적으로 비슷한 것으로 나타나고 있다.

#### 4.2 지층 두께 및 준설 물량에 대한 비교·분석

3차원 준설 매립 정보화 프로그램과 상용 프로그램으로부터 만들어진 해당 지역에 대한 지층별 두께 및 산출된 준설 물량에 대하여 비교·분석을 실시하였다. Table 4는 상용 프로그램과 3차원 준설 매립 정보화 프로그램으로 산출해낸 각 층의 최소 두께와 최대 두께 및 최소 두께와 최대 두께를 평균한 평균 두께를 나타내고 있다. 상용 프로그램의 경우 최소 두께는 모든 층에서 0의 값을 갖는 것을 확인할 수 있으며, 3차원 준설 매립 정보화 프로그램의 경우 상부 3개

Table 3. Comparisons of shape of surface from commercial and developed program

| Location | USCS         | Name | Shape of surface from commercial program | Shape of surface of developed program |
|----------|--------------|------|--|---------------------------------------|
| Upper    | Silty clay   | CL-1 |  |                                       |
|          | Silty sand   | SM-1 |  |                                       |
|          | Sandy silt   | ML-1 |  |                                       |
| Lower    | Silty clay   | CL-2 |  |                                       |
|          | Silty sand   | SM-2 |  |                                       |
|          | Sandy silt   | ML-2 |  |                                       |
|          | Sandy gravel | GW   |  |                                       |

Table 4. Summarized 3D visualized layer information from developed and commercial programs

|      | Commercial program |                   |                   | Developed program |                   |                   |
|------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|      | Thickness_min (m)  | Thickness_max (m) | Thickness_ave (m) | Thickness_min (m) | Thickness_max (m) | Thickness_ave (m) |
| CL-1 | 0.00               | 8.79              | 4.40              | 0.38              | 6.48              | 3.43              |
| SM-1 | 0.00               | 10.71             | 5.36              | 0.20              | 5.04              | 2.62              |
| ML-1 | 0.00               | 7.07              | 3.54              | 1.14              | 4.27              | 2.70              |
| CL-2 | 0.00               | 3.64              | 1.82              | 0.00              | 0.93              | 0.47              |
| SM-2 | 0.00               | 10.04             | 5.02              | 0.00              | 9.00              | 4.50              |
| ML-2 | 0.00               | 4.44              | 2.22              | 0.00              | 0.45              | 0.23              |
| GW   | 0.00               | 0.61              | 0.31              | 0.00              | 0.10              | 0.05              |

의 층 CL, SM, ML에서 최소 두께가 0 이상으로 나타나 있다. 층 최대 두께는 각 층에서 상용 프로그램이 3차원 준설 매립 정보화 프로그램보다 더 크게 나타나며, 이로 인해 각 층의 평균 두께 또한 상용 프로그램이 3차원 준설 매립 정보화 프로그램보다 더 크게 나타나고 있다. 이는 상용 프로그램과 3차원 준설 매립 정보화 프로그램의 공간보간 방식인 kriging의 차이인 것으로 판단된다.

Table 5는 각 층에 대한 최소, 최대, 평균 두께의 차이에 대해 나타내고 있다. 값의 차이는 상부 SM 층이 가장 크며, 하부 GW 층이 가장 작게 나타났다. Table 6은 프로그램별 지층 및 전체에 대한 준설 물량과 오차율을 나타내고 있다. 각 층에 대해서 최대 오차율은 하부 SM 층으로 나타나며, 최소 오차율은 상부 CL 층에서 나타나는 것을 확인할 수 있다. 전체 오차율은 6.46%로 낮게 나타났으며, 각 프로그램에서 구한 지층의 두께에 대한 차이 중 가장 큰 차이를 보이는 지층과 가장 작은 차이를 보이는 지층이 최대 및 최소의 오차율을 보이는 지층과 같지 않다. 이는 각 프로그램별 공간보간 방식인 kriging의 차이이며, 이러한 차이는 준설 물량의 산출에 있어서 큰 영향을 보이지 않는 것으로 판단된다.

## 5. 결론 및 향후 연구방안

본 연구에서는 국내 대표적 준설 매립 지역인 새만금 지

Table 5. Differences of thickness values of developed and commercial program

|      | Differences of Thickness_min | Differences of Thickness_max | Differences of Thickness_ave |
|------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| CL-1 | 0.38                         | 2.31                         | 0.97                         |
| SM-1 | 0.2                          | 5.67                         | 2.74                         |
| ML-1 | 1.14                         | 2.8                          | 0.84                         |
| CL-2 | 0                            | 2.71                         | 1.35                         |
| SM-2 | 0                            | 1.04                         | 0.52                         |
| ML-2 | 0                            | 3.99                         | 1.99                         |
| GW   | 0                            | 0.51                         | 0.26                         |

Table 6. Comparisons of dredged volumes of each layer

|       | Commercial program (m <sup>3</sup> ) | Developed program (m <sup>3</sup> ) | Error (%) |
|-------|--------------------------------------|-------------------------------------|-----------|
| CL-1  | 5,256,700                            | 5,081,498                           | 3.33      |
| SM-1  | 3,369,100                            | 3,244,039                           | 3.71      |
| ML-1  | 4,101,500                            | 3,743,363                           | 8.73      |
| CL-2  | 886,960                              | 885,265.8                           | 0.19      |
| SM-2  | 1,946,500                            | 162,4515                            | 16.54     |
| ML-2  | 416,980                              | 362,817.1                           | 12.99     |
| GW    | 86,155                               | 85,085.52                           | 1.24      |
| Total | 16,063,895                           | 15,026,583                          | 6.46      |

역 중 근장항 인근 시추정보들을 활용하여 3차원 준설 매립 정보화 프로그램을 기존 상용 프로그램인 MVS를 통해 산출된 준설 물량에 대해 비교·분석을 실시하였으며, 그 결론은 다음과 같다.

- (1) 두 가지 프로그램에 대해 3차원 가시화된 지층 및 경계(면)를 비교해보면 상용 프로그램의 경우 각각의 지층에서 큰 굴곡의 변화가 보이는 반면, 3차원 준설 매립 정보화 프로그램에서는 각각의 지층에 대한 굴곡이 상용 프로그램에 비하여 잘 나타나고 있지 않다. 이는 DB의 공간보간 시 Arc GIS의 kriging 방법과 상용 프로그램에서 프로그램 자체의 kriging 방법의 차이 또는, 3차원 가시화 시 Z축의 과장에 의해 나타나는 그래픽적인 차이에서 비롯된 결과로 판단된다. 하지만 지층의 전체적인 두께, 높낮이, 층상 위치 등은 대체적으로 잘 일치하며 지층에 대한 개략적인 이해에 대해서는 무리가 없을 것으로 판단된다.
- (2) 두 가지 프로그램을 활용하여 나타낸 각 지층별 최대 최소 두께는 프로그램별 kriging 방식에 의해 어느 정도의 차이는 존재하나, 이러한 두께의 차이가 준설 물량의 산출에는 큰 영향을 보이지 않는 것으로 판단된다.
- (3) 3차원 준설 매립 정보화 프로그램과 상용 프로그램의 각 지층의 산출된 준설 물량을 비교해 보면 지층별로 오차는 0.19~16.54%로 다양하게 나타났으며, 대부분 지층에서의 오차율은 15% 미만인 것으로 나타났고 산출된 전체 준설 물량의 오차율은 6.46% 정도로 낮게 나타났다.

결론을 토대로 3차원 준설 매립 정보화 프로그램의 산출된 준설 물량은 유사 상용 프로그램인 MVS와 비교하였을 때, 큰 차이를 보이지 않는 것으로 판단된다. 하지만 향후 이러한 준설 물량 산출에 대한 비교·검증이 다른 지역에 대해서도 실시되어야 하며, 실제 준설 물량과의 비교도 수행되어야 할 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통과학기술진흥원에서 지원하는 “환경친화적 준설토 확보, 매립 및 운송거리 30km 이상급 이송 기술 개발” 연구성과의 일부임을 밝히며, 재정지원에 감사드립니다.

## References

1. Deutsch, C. V. (2002), Geostatistical reservoir modeling, Oxford University Press, Oxford, pp. 42~45.
2. Deutsch, C. V. and Journel, A. G. (1998) GSLIB (Geostatistical Software Library and User's Guide) second edition, Oxford University Press, Oxford., pp. 85~92.
3. Isaaks, E. H. and Srivastava, R. M. (1989), An introduction to applied geostatistics, Oxford University Press, Oxford, pp. 225~235.
4. Jaime, J. G. H. and Mohan, S. R. (1990), ISIM3D: An ansi-C three-dimensional multiple indicator conditional simulation program, Computers & Geosciences, Vol. 16, No. 4, pp. 395~440.
5. Joh, S. H., Kim, D. S., Kang, T. H., Kim, K. S., Chang, H. S. and Jo, C. H. (2006), Comparison of surface-wave techniques in the spatial profiling of subsurface stiffness, Proceedings of sessions of the GeoShanghai Conference, ASCE, Shanghai, China, pp. 188~195.
6. Kim, H. S. (2014), Integrated earthquake hazard assessment system with geotechnical spatial grid information based on GIS, Ph.D Thesis, Seoul National University, pp. 23~35 (in Korean).
7. Kim, H. S., Kim, J. J. and Chung, C. K. (2015), Development of database system for dredging quantity estimation, KSCE 2015 CONVENTION 2015 CIVIL EXPO & CONFERENCE, Journal of The Korean Society of Civil Engineers, KSCE, pp. 5~6 (in Korean).
8. Kim, H. S., Kim, M. G., Kim, J. Y., Kim, K. L. and Chung, C. K. (2012), Geostatistical integration of borehole and geophysical data for design of offshore-foundation, Journal of the Korean Geotechnical Society, Vol. 28, No. 5, pp. 109~120 (in Korean).
9. Koltermann, C. E. and Gorelick, S. (1996), Heterogeneity in sedimentary deposits: A review of structure-imitating, process imitating, and descriptive approaches, Water Resources Research, Vol. 32, No. 9, pp. 2617~2658.
10. Kulhawy, F. H., Birgisson, B. and Grigoriu, M. D. (1992), Reliability-based foundation design for transmission line structures : Transformation models for in-situ tests, Report, EPRI Publication No. EL-5507(4), Electric Power Res. Inst., Palo Alto, Calif., pp. 220~231.
11. Kupfersberger, H. and Deutsch, C. V. (1999), Methodology for integrating analog geologic data in 3D variogram modeling, AAPG Bulletin, Vol. 83, No. 8, pp. 1262~1278.
12. Ozturk, C. A. (2002), Geostatistical assessment of rock zones for tunneling, Tunneling and Underground Space Technology, Vol. 17, No. 3, pp. 275~285.
13. Ryu, D. W., Kim, T. K. and Heo, J. S. (2003), A study on geostatistical simulation technique for the uncertainty modeling of RMR, Tunnel and Underground, Vol. 13, pp. 87~99.
14. Weissmann, G. S., Carle, S. F. and Fogg, G. E. (1999), Three-dimensional hydrofacies modeling based on soil surveys and transition probability geostatistics, Water Resources Research, Vol. 35, No. 6, pp. 1761~1770.