

3차원 준설물량 산출을 위한 최적의 입력DB 구축방안

Optimal Input Database Construction for 3D Dredging Quantification

강 병 주¹⁾ · 황 범 식¹⁾ · 박 현 우²⁾ · 조 완 제[†]

ByeungJu Gang · Bumsik Hwang · Park Heonwoo · Wanjei Cho

Received: March 7th, 2018; Revised: March 16th, 2018; Accepted: April 13th, 2018

ABSTRACT : The dredging project became more important with the recent construction of off shore structures and reclamation projects. Accordingly, more exact quantitative estimation of the dredged amount should be required. The sub-sea ground information can be obtained generally by the boring investigation and the dredged amount can be estimated based on the depth or the deeper bound of a ceratin layer via 3D visualization program. During the estimation process, the input DB should be constructed with 1D elevation information from boring investigation for the spatially approximated distribution of a deeper bound of each ground layer. The input DB can be varied with the application of the borings and the approximation targets. Therefore, the 3D visualized ground profile and dredged amounts are compared on the actively dredged sites, vicinity of Saemangeum area and outer port area in Gunsan with regard to the input DB construction methods. Conclusively, the input DB based on the spatially approximated depths show higher precision results and more reasonable 3D visualized ground profiles.

Keywords : Reclamation project, Dredging, Input DB, GIS

요 지 : 최근 해양구조물의 건설과 간척지의 개발이 활발히 이루어짐에 따라 해안 구조물 시공 및 간척지 개발 시 필요한 준설작업은 중요 사업으로 대두되고 있다. 이에 보다 정확하고 정량적인 준설물량의 예측과 산출이 더욱 중요해지고 있다. 해저 지층정보는 시추조사를 통하여 지점별 1차원 지층 정보를 얻는 것이 일반적이며, 준설물량은 시추조사를 통하여 얻어진 종결심도나 두께를 토대로 3차원 지반 정보화 프로그램을 활용하여 산출하게 된다. 이 과정에서 대상 지역 특정 지층의 2차원적 종결심도를 결정하기 위해 1차원적인 시추공 데이터들을 공간보간한 입력DB를 구축해야 한다. 입력DB는 시추공 활용 여부와 공간보간하는 대상에 따라 구축방안이 상이하다. 따라서 본 연구는 대표적인 간척지 지역인 새만금지역과 군산외항 앞바다의 시추공 데이터를 활용하여 입력DB 구축 방식에 따른 지층의 3차원 가시화 및 정량적인 준설물량을 비교분석하였다. 그 결과 지층의 두께를 공간보간한 구축 방식이 두 지역 모두 정밀도가 높았고 3차원 가시화 결과도 잘 나타났다.

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

1. 서 론

해양 구조물 건설 시, 준설작업은 매우 빈번하게 발생하며 이 경우 합리적인 준설물량 산출을 위해서 해상 시추조사 자료가 필수적이다(Kim et al., 2014). 일반적으로 해상에서는 지점별 1차원 지층 정보를 확보할 수 있는 시추조사가 가장 많이 수행되는데 영역 전체를 점 형태로 조사하게 된다. 이러한 경우, 전체영역의 평면적 지반정보는 단순한 시추정보의 평균 혹은 상한값 및 하한값을 사용하여 추정하는 것이 일반적이다. 이러한 단순 추정은 실제 지층의 형상과는 많은 차이가 있는 것으로 알려져 있으며, 이러한 차이를 보완하기 위해 여러 연구자들이 지구통계학적 방법을 통해 시추조사 자료를 분석하는 방법을 제안했다(Kim et al.,

2012b; Gallerini & Donatis, 2009; Oh et al., 2004; Jaime & Mohan, 1990).

최근 지반공학 분야에서 지구통계학적 방법 중 하나인 공간보간 기법을 활용하고자 하는 노력과 함께 준설매립 분야에서도 신뢰성 있는 준설물량을 산출하기 위하여 지반 공학적 3차원 공간보간 기법을 활용하는 연구가 진행되었다. Lee et al.(2016)은 준설매립 정보화 프로그램을 활용하여 기존 상용프로그램 MVS(The Mining Visualization System, CTech)에서 산출된 준설물량과 비교, 검증하고 보다 합리적인 3차원 공간정보의 활용에 대해 연구하였다. 그 결과, 개발된 3차원 준설매립 정보화 프로그램은 각 지층별 오차가 15%이며 산출된 전체 준설물량의 오차율은 6% 정도로 낮게 나타나 기존 유사상용프로그램과 큰 차이를 보이지 않

1) Department of Civil & Environmental Engineering, Dankook University

2) Energy & Environment Research Laboratory, Research Institute of Industrial Science and Technology

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

았다. 지층의 전체적인 두께, 높낮이, 층상 위치 등은 대체적으로 잘 일치하며, 층에 대한 개략적인 이해에 대해서는 무리가 없는 것으로 나타났다.

그러나 이러한 기존 상용 프로그램과 유사한 결과는 공간보간 이전의 입력DB의 유사함에 기인하는 것으로 추정되며, 동일한 프로그램을 사용하더라도 입력DB 구축방안에 따라 3차원 가시화 결과 및 준설물량의 차이가 발생할 것으로 판단된다. 여기서, 입력DB란 시추공데이터에 존재하는 모든 지층을 분석하여 대표지층을 결정하고 결정된 지층을 종결심도로 표현 후 공간보간을 수행한 결과를 뜻한다.

따라서 본 연구는 대표적 준설지역인 새만금 구역 내 한 곳과 군산외항 앞바다 한 곳 그리고 서해안 대표 항구인 인천항의 준설 지역 한 곳을 분석지역으로 선정하여 각 지층의 종결심도와 지층의 두께를 활용한 입력DB 구축방안에 따른 3차원 가시화 결과 및 추정된 준설물량을 비교, 분석하였다.

2. 분석 대상 지역 선정 및 입력DB 구축

2.1 분석 대상 지역의 선정

본 연구에서는 군산외항 앞바다, 새만금 지역내해, 인천항 앞바다 지역을 분석 대상 지역으로 선정하였고 각 분석 대상위치는 Fig. 1에 표기하였다. 분석 대상 지역들은 대규모 간척사업이 진행되고 있는 지역으로 향후 수행하게 될 준설 관련 연구에 있어서 뚜렷한 대표성과 적합성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 2는 군장외항, Fig. 3은 새만금 지역, Fig. 4는 인천

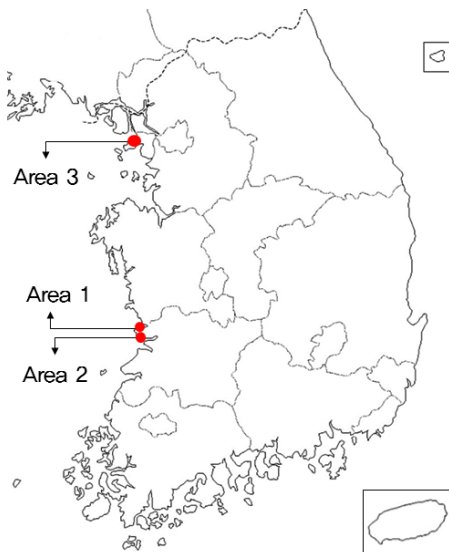


Fig. 1. Locations of analysis area

항을 나타내고 있으며 본 논문은 군산외항의 분석지역을 Area 1로 지칭하고 새만금구역의 분석지역을 Area 2, 인천항의 분석지역은 Area 3으로 지칭하여 서술하였다.

2.2 대표 지층 결정

일반적으로 시추공데이터를 통하여 얻을 수 있는 실제 모든 지층들은 평면적인 연속성을 보장하지 않기 때문에 지층



Fig. 2. Boreholes location in Gunsan's outer port (Area 1)



Fig. 3. Boreholes location in Saemangeum (Area 2)

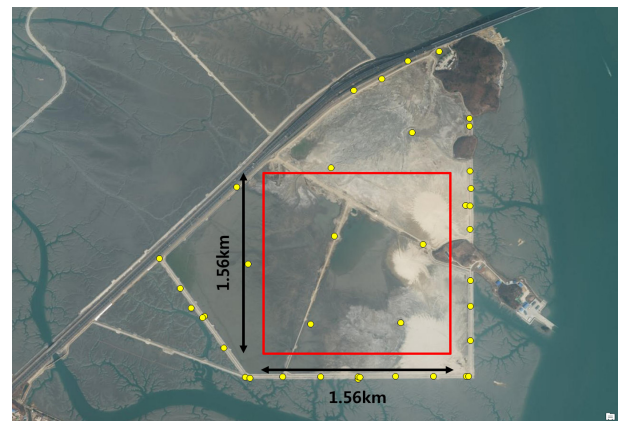


Fig. 4. Boreholes location in Incheon harbor (Area 3)

순서의 경향은 뚜렷하게 나타나지 않는다. 분석 목적에 따른 기준 없이 다수의 시추공에서 얻어질 수 있는 지반정보를 그대로 사용한다면 그에 따라 정밀도는 매우 낮아질 것이다. 따라서 분석대상 지역을 대표할 수 있는 대표 지층을 선별하고 지층 순서를 결정하는 과정을 통하여 분석 목적에 따른 지층정보의 분류가 필요하다.

분석 대상 지역의 모든 시추공데이터를 비교하여 지층의 발견 빈도수가 높거나 지층의 두께가 두꺼운 지층들을 대표 지층으로 선별하고 그에 따른 지층의 순서를 결정하는 작업을 수행한다. 또한 선별한 지층 순서를 기준으로 분석 대상 지역의 모든 시추공의 지층을 대표 지층과 비교해 두께가 얇고 대표성이 떨어지는 지층인 경우 제거하여 대표 지층 순서에 따르는 시추공데이터를 구축한다.

Fig. 5는 모든 시추공데이터에서 대표 지층을 결정하여 각 지층의 발견 빈도수를 백분율로 나타낸 그래프이며 가로축 방향으로 지표로부터 지층을 순서대로 나열하였다. 예를 들어 Fig. 5(b)에서 Clay 1 상부에는 Silt 1과 하부에는 Silt 2가 존재하며 총 시추공 수 220개 중에서 Clay 1의 출현 비율은 91%를 차지하고 있다.

분석대상의 시추공 데이터는 일반적으로 사용되고 있는 통일분류법(USCS)을 통하여 발견지층들을 각각 분류하였으며 본 논문 또한 대표 지층들을 통일분류법(USCS)을 사용하여 분류하였다. Area 1의 경우 지표면에서부터 Clay 1, Sand 2, Silt 1, Clay 2, Sand 2 순서대로 지층이 분포하였고 Area 2의 경우 Sand 1, Silt 1, Clay 1, Sand 2, Clay 2 순서이며 Area 3은 Sand 1, Clay 1, Sand 2, Silt 1, Sand 3 순서로 지층이 분포하고 있다.

2.3 Kriging 기법

준설물량은 지표고 기준 지층의 종결심도나 두께를 활용하여 물량을 산출한다. 하지만 기존 시추공 데이터는 1차원

적인 점으로 존재하기 때문에 3차원 가시화 준설물량 산출을 수행하기 위해서 1차원적 데이터를 2차원 데이터로, 2차원적 데이터를 3차원으로 변환하는 작업이 필요하다. 이에 본 연구에서는 지구통계학적 방안인 kriging 기법을 통해 시추공 데이터를 공간보간하여 1차원 데이터를 2차원 데이터로 구축하였다. 여기서 kriging이란 예측지점에서 특성값을 이미 값을 알고 있는 주위 값들의 가중선형조합으로 예측하는 지구 통계적 기법이며 본 연구는 보편적으로 사용되는 ordinary kriging을 적용하였다(Isaaks & Srivastava, 1989).

2.4 입력DB 구축방안

1차원 데이터를 2차원 데이터로 공간보간하는 과정에서 점으로 존재하는 시추공 데이터를 많이 활용할 수록 2차원 데이터의 정밀도는 높아질 수 있다. 입력DB 구축방안은 공간보간하는 대상에 따라 또한 구체적인 시추공 데이터의 활용 여부에 따라 상이하기 때문에 대표적인 구축방안을 정리하면 다음과 같다.

- ① 시추공 데이터에서 얻을 수 있는 지층의 종결심도를 공간보간하여 입력DB를 구축하는 방안: 이 방안은 시추공 데이터의 종결심도를 바로 활용하는 가장 일반적인 방법으로 대략적인 준설물량을 파악하는데 용이하다. 하지만 지층은 평면적인 연속성을 가지지 않으므로 한 시추공에서 출현한 지층이 다른 시추공에서 출현하지 않는 경우가 발생한다. 이 경우 공간보간을 수행할 때 해당 지층이 출현하지 않는 시추공들을 활용하지 못하고 제외되어 오차가 발생할 수 있는 확률이 높다.
- ② 지층의 두께를 공간보간하여 입력DB를 구축하는 방안: 이 방안은 공간보간을 수행할 지층이 각 시추공에 출현하지 않더라도 두께의 값을 0으로 정의하여 모든 시추공을 활용할 수 있는 장점이 있다. 하지만 시추공

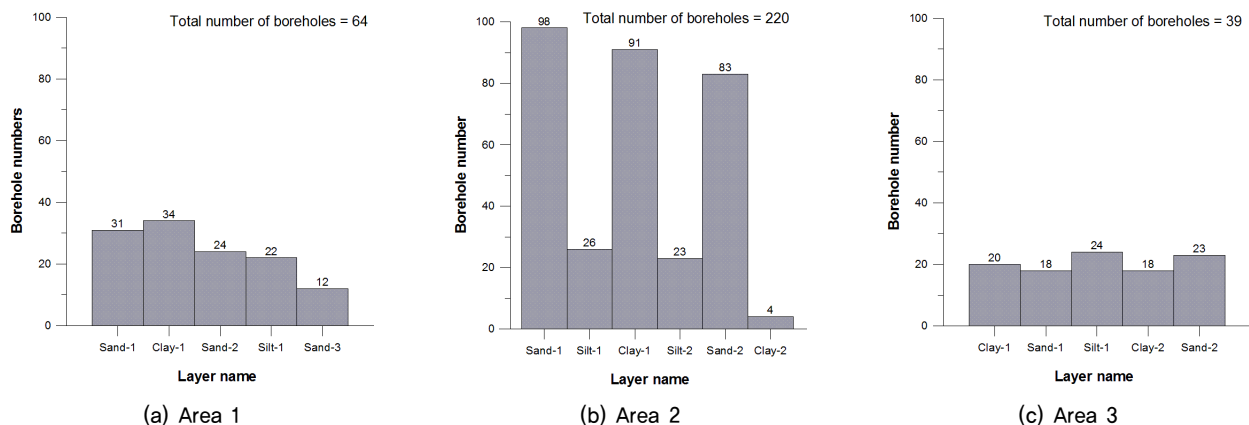


Fig. 5. Number of Boreholes in each layer

데이터의 종결심도에서 지층의 두께를 각각 계산하여야 하며 지표로부터 공간보간된 두께를 순서대로 차감하여 종결심도를 결정하기 때문에 심도가 깊어질수록 오차가 누적될 확률이 있다.

- ③ 지층의 종결심도를 두께를 활용하여 결정한 후 공간보간하여 입력DB를 구축하는 방안: 첫 번째 방안과 두 번째 방안을 보완한 방안이다. 이 방안은 두께로부터 종결심도를 계산하기 때문에 공간보간을 수행할 지층이 각 시추공에서 출현하지 않더라도 두께로 계산된 해당 지층의 종결심도를 활용할 수 있으며 지표로부터 차례대로 감하지 않기 때문에 오차가 누적되는 확률도 낮아질 수 있다.

Fig. 6은 입력DB 구축방안의 차이점을 설명하기 위해, 동일한 대표지층으로 구성된 지반에 대해 임의로 만든 가상의 시추공을 대상으로 구축방안에 따라 공간보간한 결과를 도식적으로 나타낸 그림이다.

Fig. 6(a)는 지층의 종결심도를 공간보간하여 나타낸 결과이다. 이 경우 지층 1은 5개의 시추공에 모두 출현하므로 공간보간 결과에 따른 오차 범위는 작지만 지층 2는 A, D, F 시추공에서만 출현하므로 시추공 B와 C는 활용하지 못하고 시추공 A, D, F의 데이터로 공간보간을 수행하게 된다. 그 결과 B, C 시추공에서 지층 2가 형성되고 그에 따른 오차가 발생할 수 있는 확률이 있다.

Fig. 6(b)는 각 지층 두께를 먼저 공간보간하여 심도를 계산한 결과이다. 이 경우 B, C 시추공의 지층 2가 출현하지 않기 때문에 지층 2의 두께 값이 0인 상태에서 공간보간이 수행되며 다섯 개 시추공 모두 활용될 수 있다. 그 결과 오차가 적게 발생할 수 있지만 두께를 종결심도로 환산하는 과정에서 오차가 누적될 확률이 있다.

Fig. 6(c)은 첫 번째 방안과 유사하게 지층종결심도를 공간보간 하지만 공간보간 이전에 지층종결심도를 지층 두께를 활용하여 결정한다. 그 결과 B, C 시추공처럼 두 번째

지층이 존재하지 않는 경우에 대해서 지층의 종결심도를 첫 번째 종결심도로 계산한 후 공간보간을 수행하게 된다. 이는 종결심도를 두께로부터 계산하기 때문에 첫 번째 방안과 두 번째 방안의 단점을 보완한 방안이라 할 수 있다.

그리고 본 논문의 가독성과 독자의 혼란을 방지하고자 앞서 서술한 세 가지 입력DB 구축방안에서 첫 번째 방안을 Method A로 두 번째 방안은 Method B, 세 번째 방안은 Method C로 지칭하여 서술하였다.

3. 입력DB 구축방안에 따른 정밀도 분석

3.1 교차검증을 통한 정밀도 분석 방안

본 연구에서는 입력DB 구축방안에 따른 정밀도 검토를 위해 교차검증 기법을 적용하였다. 여기서 교차검증이란, 대상영역의 지지점의 자료 가운데 하나의 물리량을 미지 값으로 가정하고 나머지 자료로부터 이를 예측함으로써 실측된 물리량과 예측된 물리량의 차이를 분석하는 기법이다. 이에 해당 지점의 물리량이 주변의 측정값이 가지는 경향을 따르는지 확인할 수 있다. 또한 공간보간 수행된 물리량을 평균제곱근오차(RMSE, Root Mean Square Error)를 활용하여 대상 영역에 대한 지반정보 정밀도를 확인할 수 있다. 여기서, RMSE란 잔차 제곱의 평균에 제곱근을 취한 것으로 Eq. (1)으로 표현된다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{e_1^2 + e_2^2 + \dots + e_n^2}{n}} \quad (1)$$

여기서, e_n : 잔차, n : 자료 개수

3.2 입력DB 구축방안에 따른 RMSE 분석

Lee et al.(2017)는 kriging 기법을 활용해 공간보간 된 지

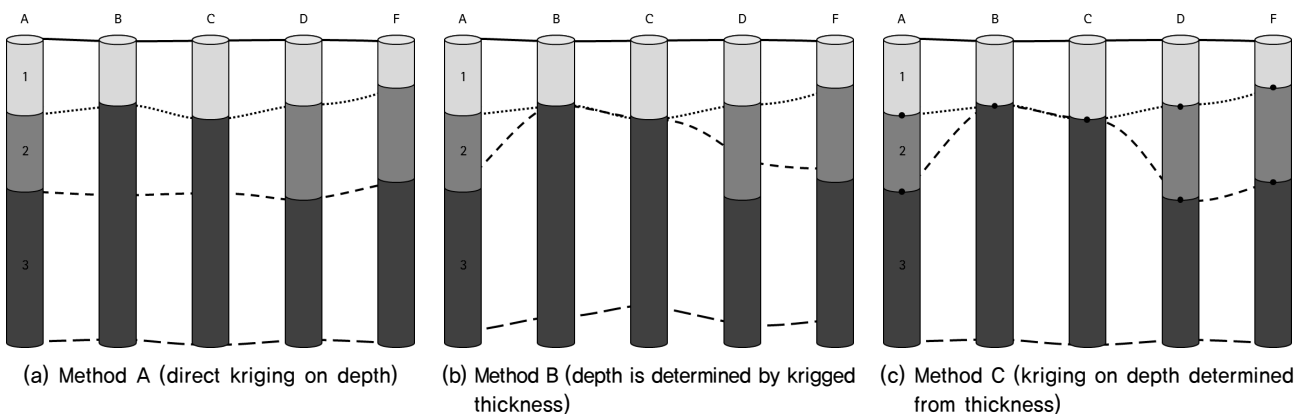
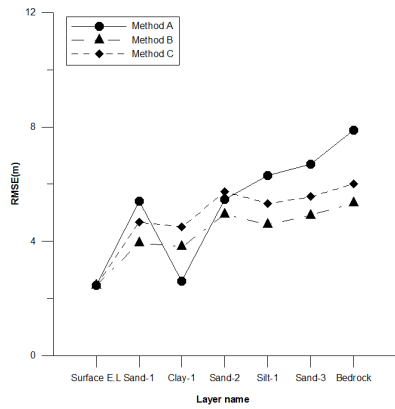
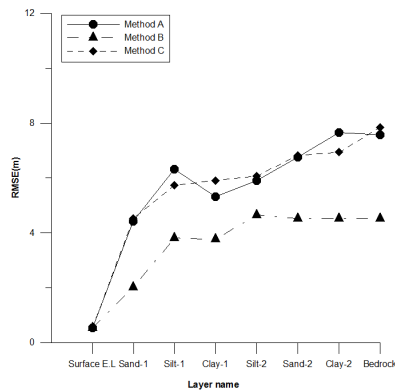


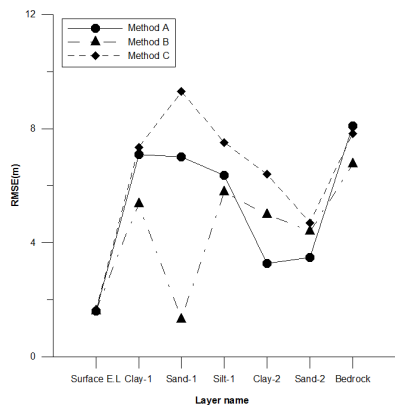
Fig. 6. Three methods for construction input data adopted in this research



(a) Area 1



(b) Area 2



(c) Area 3

Fig. 7. Calculated RMSE of each layer in three methods

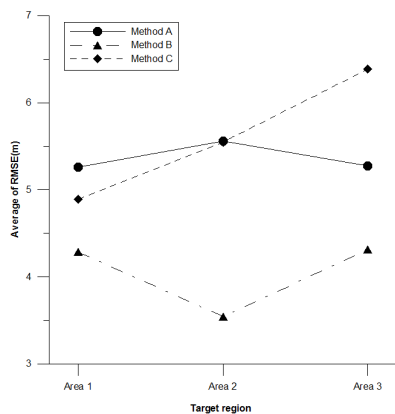


Fig. 8. Average of RMSE in three methods

층 경계면 고도와 지층 두께의 예측값과 실제값의 교차검증을 실시하였다. 지층의 종결심도를 공간보간한 RMSE 값과 두께를 공간보간한 RMSE 값을 서로 비교하였지만 지층의 종결심도와 두께는 다른 성질의 값이므로 서로 직접적인 비교는 무리가 있다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 성질이 동일한 RMSE 값을 비교, 분석하기 위해 두께를 공간보간한 데이터를 지표면 고도에서 순서대로 차감하여 종결심도의 RMSE를 직접 산출하였다.

Fig. 7은 각 지층의 RMSE 값을 세 가지 입력DB 구축방안에 따라 산출 후 지층별로 RMSE 값을 나타낸 그래프이다. Area 3을 제외한 Area 1과 Area 2는 심도가 깊어질수록 RMSE 값도 같이 증가하는 경향이 나타났으며 이는 심도가 깊어질수록 정밀도가 낮아짐을 의미한다. 시추공의 굴착심도가 깊어짐에 따라서 그에 따른 측정오차 등이 발생할 수 있고 심도가 깊어질수록 오차가 누적되어 RMSE가 증가하는 것으로 판단할 수 있다.

Area 3은 지표고의 평균이 E.L +7m로 Area 1의 지표고의 평균이 E.L-5.75m, Area 2의 지표고의 평균이 E.L -2.86m에 비해서 상당히 높다. 또한 Fig. 4와 같이 분석지역이 해상에 존재하지 않고 매립이 진행된 간척지이므로 심도가 깊어질수록 정밀도가 낮아지는 경향을 따르지 않는 것으로 판단된다. 매립된 지반의 경우 깊이에 따른 지층의 분포보다는 매립재료의 특성에 따른 공간적 분포의 영향이 더 크기 때문에 본 연구에서 적합하지 않은 것으로 판단하여 이후 분석 대상 지역에서 제외하였다.

Fig. 8은 세 가지 입력DB 구축방안에 따른 RMSE를 분석 대상 지역별로 평균하여 그래프로 도시하였다. 세 가지 방안 중 Method B가 평균 RMSE가 가장 낮아 정밀도가 가장 높았고 그와 비교하여 첫 번째 방안은 RMSE가 가장 높게 나타나 정밀도가 가장 낮음을 확인할 수 있었다.

이는 각 지층의 두께를 공간보간하여 RMSE를 산출한 Method B가 분석지역의 시추공들을 모두 활용하기 때문에 지층이 발현되지 않는 시추공 또한 공간보간 대상에 포함되어 높은 정밀도를 보이는 것을 확인할 수 있다.

4. 입력DB 구축방안에 따른 3차원 가시화 및 준설물량 산출 분석

4.1 준설매립 정보화 프로그램을 이용한 3차원 가시화

준설매립 정보화 프로그램을 활용하여 세 가지 입력DB 구축방안에 따른 3차원 가시화를 수행하였다. 그 결과 수행된 영역에 비하여 z축의 범위가 상대적으로 좁기 때문에 지

층을 더욱 뚜렷하게 구분하기 위해서 Area 1은 z축으로 40배, Area 2는 z축으로 10배씩 과장시켰고 Fig. 9는 z축을 과장시켜 수행한 3차원 가시화 결과이다.

Method B와 Method C로 3차원 가시화를 수행한 결과, 전반적으로 지층의 형상이 유사한 것을 확인할 수 있다. 또한 Method A로 수행한 결과는 지층 경계면의 검은 음영을 확인하였는데 이는 지층역전현상으로 비롯된 결과로 판단되어진다.

Method B와 Method C를 비교해 볼 때, 정성적인 측면에서 지층역전현상이 거의 발생하지 않은 Method B가 합리적인 방안으로 판단할 수 있으며 또한 Method B는 RMSE가 가장 낮아 높은 정밀도를 나타내므로 세 가지 입력DB 구축방안 중 Method B가 가장 합리적인 방안이라 판단할 수 있었다.

본 연구는 입력DB 구축 이전에 모든 시추공데이터를 비교하여 분석지역에서 대표 지층을 선별하였고 대표 지층의 순서도 결정하였다. 따라서 지층역전현상은 3차원 가시화 이후 나타나는 지층의 순서가 대표지층 순서에 따르지 않는 것을 의미한다. 이러한 3차원 가시화를 통해 지층역전현상의 발생 여부를 확인함으로써, 준설물량 산출 결과의 신뢰성 확보의 척도로써 활용될 수 있을 것이라 생각한다.

4.2 입력DB 구축방안에 따른 준설물량의 비교 분석

Fig. 10은 세 가지 입력DB 구축방안에 따라 산출한 준설물량을 그래프로 표현하였고 결과는 아래 Table 1, Table 2와 같다. 정밀도 분석과 3차원 가시화 결과, Method B가 가장 합리적인 구축방안을 확인할 수 있었으며 따라서 Method B를 기준으로 Method A와 Method C의 준설물량의 차이를

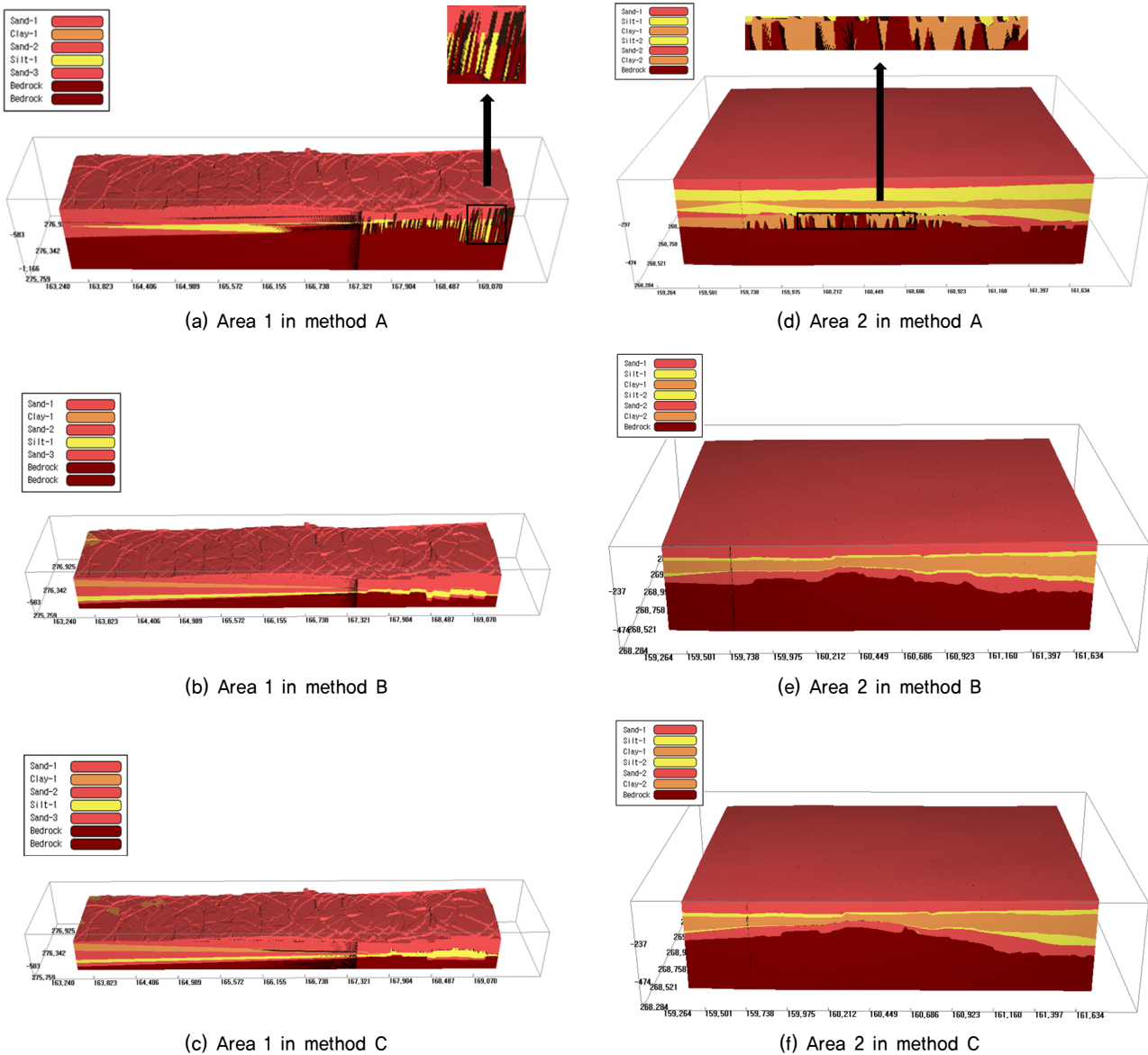


Fig. 9. 3D visualized ground profiles

서로 비교해보았다.

Method B와 Method C의 각 지층의 준설물량은 $\pm 1\%$ 차이로 근소하였으며 Method A와 Method B는 큰 차이를 나타내었다. 또한 Method A를 통해 산출한 준설물량이 Method C와 비교해 증감 폭이 컸으며 Area 1에서 Sand 3 지층은 준설물량이 약 3배가 차이가 났다. 전체 준설물량은 Method B를 기준으로 Method A는 5%~13%, Method C는 -1%~+1%로 큰 차이는 보이지 않았다.

하지만 일반적으로 준설작업은 기반암까지 수행하는 경우는 드물기 때문에 두 번째 지층까지 준설물량을 계산하여

비교해 보았다. Table 1과 Table 2에서 점선은 두 번째 지층까지 산출된 결과를 구분하기 위하여 표기하였다. Method C는 -1%~1% 내외로 차이를 거의 보이지 않았지만 Method A는 -36.96%~+43.76%로 많은 차이를 확인할 수 있었다. 이는 Method B와 Method C에 비하여 Method A는 분석지역의 시추공들을 활용하지 못하고 공간보간을 수행한 결과로 판단된다. 일부 지층은 준설물량이 마이너스가 나타나는 경우도 확인할 수 있었는데 이는 지층역전현상으로 비롯된 결과로 판단할 수 있다.

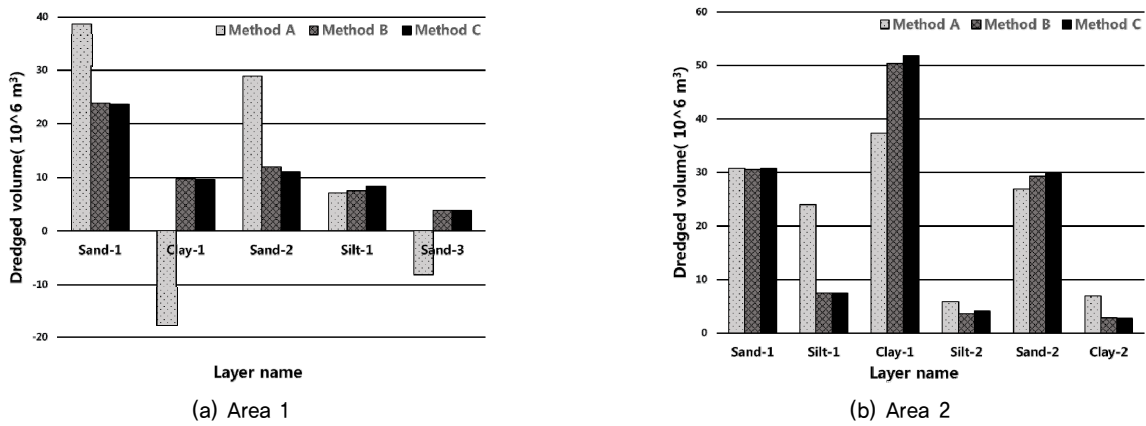


Fig. 10. Comparisons of dredged volumes of each layer

Table 1. Comparisons of dredged volumes of each layer in Area 1

Layer	Dredged volumes of method A (10 ⁶ m ³)	Dredged volumes of method B (10 ⁶ m ³)	Dredged volumes of method C (10 ⁶ m ³)
Sand 1	38.70 → + 62%	23.79	23.63 → - 1%
Clay 1	-17.59 → - 281%	9.70	9.61 → - 1%
Sum	21.11 → - 36.96%	33.49	33.24 → - 1%
Sand 2	28.81 → + 141%	11.93	11.07 → - 1%
Silt 1	7.08 → - 5%	7.46	8.37 → + 1%
Sand 3	-8.14 → - 312%	3.83	3.76 → - 1%
Total sum	48.86 → - 13%	56.74	56.45 → - 1%

Table 2. Comparisons of dredged volumes of each layer in Area 2

Layer	Dredged volumes of method A (10 ⁶ m ³)	Dredged volumes of method B (10 ⁶ m ³)	Dredged volumes of method C (10 ⁶ m ³)
Sand 1	30.68 → + 1%	30.55	30.69 → + 1%
Silt 1	23.95 → + 221%	7.44	7.46 → + 1%
Sum	54.63 → + 43.76%	38	38.15 → + 1%
Clay 1	37.31 → - 25%	50.31	51.71 → + 1%
Silt 2	5.85 → + 62%	3.60	4.05 → + 1%
Sand 2	26.85 → - 8%	29.28	29.77 → + 1%
Clay 2	6.90 → + 148%	2.77	2.70 → - 1%
Total sum	131.55 → + 5%	123.98	126.41 → + 1%

5. 결론 및 향후 연구방안

본 연구는 대표적 준설매립지역인 새만금 지역과 군장의외항 앞바다와 서해안 대표 항구인 인천항 인근 시추공데이터들을 활용하여 3차원 준설 매립 정보화 프로그램을 위한 최적의 입력DB 구축방안을 제시하고자 하였고 그 결론은 다음과 같다.

- (1) 선행 연구에서는 새로 개발한 3차원 준설매립 정보화 프로그램을 기존상용프로그램 MVS(The Mining Visualization System, CTech)과 비교 검증하였고 그 결과 기존상용 프로그램과는 큰 차이를 보이지 않음을 확인하였다. 따라 준설물량 산출과 그 정밀도는 준설 매립프로그램에 기인하는 것이 아닌 입력DB의 구축방안에 따라 그 결과가 상이할 것이라 판단하였다. 따라서 본 연구는, ① 지표고기준 지층종결 심도를 공간보간하여 입력DB 구축(Method A) ② 지층의 두께를 공간보간하여 지표고로부터 순차적으로 지층종결심도를 계산하여 입력DB 구축(Method B) ③ 지층의 두께를 활용하여 지표고기준 지층의 종결심도를 계산 후 공간보간하여 입력 DB구축(Method C) 세 가지 입력DB 구축방안을 제시하고 비교 분석하였다.
- (2) 세 종류의 입력DB 구축 방안의 정밀도를 분석하기 위해서 교차검증을 수행한 뒤 RMSE를 비교하였다. 지층의 심도가 깊어질수록 RMSE는 높아지는 경향을 확인할 수 있는데 이는 심도가 깊어질수록 측정 등에 따른 오차가 누적되어 정밀도가 떨어지는 것이라 판단할 수 있었다. 분석지역 모두 Method B의 RMSE가 가장 낮았으며 Method A의 RMSE가 가장 높은 것을 확인할 수 있었다.
- (3) 3차원 준설 매립 정보화 프로그램을 이용하여 세 가지 입력DB 구축방안에 따른 3차원 가시화를 수행하였다. Method B와 Method C로 3차원 가시화결과는 전반적으로 형상이 유사한 것을 확인할 수 있었고 Method A로 수행한 결과는 지층 경계면의 검은 음영을 확인할 수 있다. 이는 지층역전현상으로 비롯된 결과로 판단되어진다. Method A로 구현한 3차원 가시화 결과에서 지층역전현상이 두드러졌으며 Method B를 적용한 결과에서는 지층역전현상이 거의 발생하지 않는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 Method B가 시추공 데이터를 최대한 활용함으로써 3차원 가시화 결과가 잘 나타났고 정밀도 측면에서도 RMSE가 낮아 가장 합리적인 입력DB 구축방안이라는 것을 확인할 수 있었다.

- (4) 3차원 준설 매립 정보화 프로그램을 이용하여 세 종류의 입력DB 구축방안에 따른 준설물량을 산출하여 비교 분석하였다. Method B를 통해 산출한 준설물량을 기준으로 차이를 비교 본 결과 Method A와 Method C를 통하여 산출한 전체 준설물량은 유사하였다. 하지만 각 지층을 비교해 본 결과, Area 1에서 Method A로 산출한 Sand 3 지층은 약 3배 정도 차이를 보였다. 또한 두 번째 지층까지 준설물량을 계산해본 결과, Method C는 -1%~1% 내외로 차이를 거의 보이지 않았지만 Method A는 -36.96%~+43.76%로 많은 차이를 확인할 수 있었다. 이는 Method B와 Method C에 비하여 Method A는 분석지역의 시추공들을 활용하지 못한 상태에서 공간보간을 수행한 결과로 판단할 수 있다.

입력DB 구축방안에 따라 3차원 가시화와 준설물량을 분석 결과, Method B는 가장 합리적인 구축방안이었으며 Method A는 지양해야 할 구축방안임을 확인할 수 있었다. 향후 연구에서는 입력DB 구축방안에 대한 신뢰성 확보를 위해 분석대상의 실제 준설물량과 입력DB 구축방안을 통하여 산출한 준설물량과 비교, 분석을 통하여 신뢰성 검증이 필요할 것이라 판단된다.

감사의 글

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

References

1. Gallerini, G. and Donatis, M.D. (2009), “3D modeling using geognostic data: the case of the low valley of Foglia river (Italy)”, *Computers & Geosciences*, Vol. 35, pp. 146~164.
2. Issaks, E. H. and Srivastva, R. M. (1989), *An introduction to applied geostatistics*, Oxford University Press, Oxford, pp. 225~235.
3. 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.
4. Kim, H. S., Kim, H. K., Shin, S. Y. and Chung, C. K. (2012b), “Geostatistical integration of borehole and geophysical data for design of offshore-foundation”, *Journal of the Korea Geotechnical Society*, Vol. 28, No. 5, pp. 109~120.
5. Kim, J. S., Kim, H. S. and Chung, C. K. (2014), Determination of optimum outlier for borehole data in offshore dredging area using cross-validation, *Journal of the Korean Geotechnical Society*,

KSCE 2014 CONVENTION 2014 CIVIL EXPO & CONFERENCE, pp. 569~570 (In Korean).

6. Lee, B. Y., Hwang, B. S., Kim, H. S. and Cho, W. J. (2016), Comparative evaluation on geotechnical information 3D visualization program for dredging quantity estimation, Journal of the Korean Geo-Environmental Society, Vol. 17, No. 7, pp. 35~42 (In Korean).
7. Lee, B. Y., Hwang, B. S., Kim, H. S. and Cho, W. J. (2017), Reliability evaluation methodology of boring investigation DB for the 3D integrated underground space map, Journal of the Korean Geo-Environmental Society, Vol. 33, No. 9, pp 35~47 (In Korean).
8. Oh, S. H., Chung, H. J. and Lee, D. K. (2004), "Geostatistical integration of MT and borehole data for RMR evaluation", Journal of Korean Society of Earth and Exploration Geophysicists, Vol. 7, No. 2, pp. 121~129.