

준설공정관리시스템의 펌프식 준설선에 적용

정대득¹⁾, 이중우²⁾, 조중언³⁾

Application of Dredge Process Management System to Pump Dredge

D. D. Jeong¹⁾, J. W. Lee²⁾, J. A. Cho³⁾

Abstract

Accuracy and efficiency of dredging work depend on the types of equipment used, the sediments encountered, whether the work to be performed is new or maintenance dredging, pre and post hydrographic surveying and so forth. Among those, position surveying accuracy which is directly determined by the control of the dredge's position and depth surveying accuracy being surveyed at the dredging point are important factors. In Korea, the most popular type of dredge is cutterhead pump dredge. This type of dredge has many advantages but also has a weakpoint relating to turbidity caused, low percent solids in slurry, shallow dredging depth, and bad position accuracy.

The purpose of this study is applying "Dredge Process Management System" to pump dredge for improving position accuracy. This system was developed first for Grab dredge which is composed of 4 sub-system using LADGPS for dredge position determining system and dredging point determining system, tide gauge system and optical sensor for depth determining system and GIS and ENC for total management system. For application, we change sub-systems including dredging point determining system and depth determining system.

Dredge Process Management System was installed on the grab dredge "EUNJIN G-18". The results in case of grab dredge revealed that this system is easy to operate, achieves good accuracy with only 45cm unevenness, reduces working period by 22 percent and saves cost 16.6 percent.

Key Words : 준설공정관리시스템(Dredge process management system), 펌프준설선(Pump dredge), 협역디지털피에스(LADGPS), 지형정보시스템(GIS), 수심측량(Depth survey), 그라브준설선(Grab dredge)

1. 서론

준설작업은 굴착/제거, 수송 및 거치 과정으로 이루어지며, 일반적으로 준설이라고 일컬어지는 굴착과정은 자연적인 퇴적물 또는 최근에 쌓인 퇴적물을 기계식, 유압식 또는 이들의 조합식으로 제거하는 것이다. 굴착된 퇴적물은 준설장소에서 투기장으로 수송된다. 수송작업은 준설선 자체로 이루어지거나 바지, 토운선, 부

1) 목포해양대학교 해양운송시스템학부

2) 한국해양대학교 토목환경공학부

3) 은진개발(주)

스터펌프를 장착한 파이프라인과 같이 추가적인 장비를 이용하는 방식에 의해 이루어진다. 준설공사를 설계하고 시공함에 있어 이 준설과정의 각 단계를 면밀하게 조종하는 것이 경제적이고 효율적이며 환경 친화적인 준설작업을 위해 필수적이다.

준설공사는 다른 모든 건설공사와 마찬가지로 공사시행 전에 계획수립, 설계, 시공법 선정 및 공사비 산출을 위한 제반조사가 행해진다. 일반준설공법에서는 준설위치를 포함한 작업지시내용이 표시된 설계도면에 따라 육상의 물표를 이용하거나 GPS 등의 장비를 이용하여 준설선의 위치를 확인하고 준설 작업을 시행하며, 작업 후 준설수심은 LEAD를 이용하여 측정하고 계산으로 결정한 조위를 감안하여 준설수심을 확인한다. 즉, 준설작업 전과 후의 수평 및 수직 위치를 확인하여 3차원 도면 구성을 하게된다 따라서, 설계도면의 작성과정에서 현장수심측정 및 위치정보는 가장 중요한 인자가 되며 토공물량의 산정에 기초가 되는 것이다.

작업현장에서의 애로점은 역시 위치정보에 해당하는 수평위치결정과 수심의 결정이다. 또한, 모든 준설선 작업자들이 이를 파악하고 있어야 하며, 준설선의 작업반경내 작업이 완료되면 준설선의 위치이동부대의 과정을 반복하며 작업을 진행하는 것이 일반적이다. 위치정보의 입수는 물론 이를 얼마나 연속적으로 관리자의 통제하에 지속적으로 갱신하는 것이 준설공정관리시스템에서는 중요한 인자이다.

본 논문은 기계식 준설선인 그라브 준설선에 적용되어 작업의 정확도 향상, 작업기간 단축, 비용절감을 구현한 준설공정관리시스템을 펌프식 준설선에 적용하여 연속작업이 가능한 것과 같은 펌프식 준설선의 장점을 극대화하기 위해 이에 적합한 준설지점위치 결정, 준설지점 수심 결정 및 공정관리 시스템 개발을 목적으로 한다.

2. 일반 펌프준설공법 분석

준설선의 종류는 건설기계관리법령상 그레브, 디퍼, 바켓, 펌프식 4종류로 구분된다. 국내 준설업체에서 보유하고 있는 전체 준설선의 척수는 매년 증가하고 있으며, 2001년 7월 기준별 등록현황은 Table 1과 같다. 전체 준설선의 70.6%로 다수를 차지하고 있는 펌프식 준설장비는 dustpans, hoppers, hydraulic pipeline plain suction, sidecasters, cutterhead 등이 있으며, 느슨한 물질을 제거하는데 용이하여 일반적으로 유지준설에 많이 이용된다.

Table 1 No. of registrated dredge in Korea

Dredge type	Scale	No.
Grab	2~25m'	38
Dipper	5.7m'	1
Bucket	7.89~560ps	13
Pump	650~21,890ps	125

Table 2는 준설장비별 작업특성을 나타내고 있다. 일반적으로 기계식은 넓은 범위의 수심에서 작업이 가능하고, 준설물질을 현장밀도 상태로 굴착하며, 준설지점의 위치 정확도가 높지만 작업현장의 탁도를 높이는 단점이 있다. 이에 반해 펌프식은 준설지점 위치 정확도가 떨어지고, 준설수심도 상대적으로 천해지역에 한정되며 80~90%의 작업수가 포함되지만 탁도 발생이 적은 장점이 있다.

펌프 준설선 형식 중에서 가장 많이 이용되고 있는 커터헤드 펌프준설선은 커터헤드, 펌프 등과 같은 부속장비의 성능에 따라 모든 저질의 개발 및 유지준설작업에 적용 가능하며, 굴착, 운반, 투기작업을 연속적으로 수행할 수 있지만, 배송관이 외력의 영향을 많이 받으며, 배송거리에 제약을 받고, 작업수에 의해 배송되므로 투기량이 증가한다는 단점도 있다.

Table 2 Dredge operating characteristics

Dredge type	Percent solids in slurry by weight	Turbidity caused	Open water operation	App. Production rates (m ³ /hr)	Dredging depth (m)		Limiting wave height (m)	Limiting current	Lateral Dredging Accuracy (m)
					Min.	Max.			
Dipper	in situ	high	yes	25~380	0	15.2	1	high	0.15
Bucket	in situ	high	yes	25~380	0	30.5	1	high	0.31
Dustpan	10~20%	avg.	no	915~4,350	1.5~4.2	16.2~18.3	1	high	0.6~1
Cutterhead	10~20%	avg.	yes	20~7,635	1.0~4.2	3.6~19.8	1	high	0.6~1
Hopper	10~20%	avg.	yes	380~1,530	3.0~8.5	24.4	2.0	high	3
Sidecasting	10~20%	high	yes	250~500	1.8	7.6	2.0	high	3
Special-purpose	10~20%	avg.	yes	200 avg.	2.4	6.1	2.0	high	3

따라서 펌프준설선의 장점을 극대화하고 효율적인 준설작업을 수행하기 위해서는 정확한 위치 결정, 정확한 수심 결정 및 실시간 공정관리가 요구된다.

일반준설공법에서 시행하고 있는 시공과정을 도식화하면 Fig. 1과 같다.

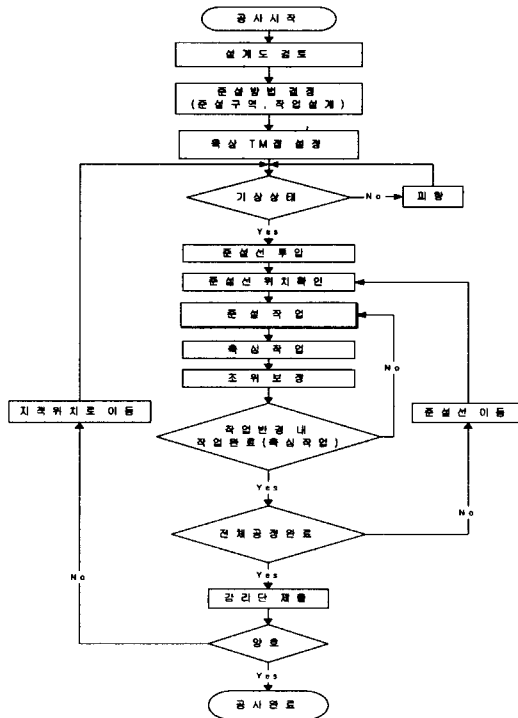


Fig. 1 The process of the existing dredging method

이 공법에서는 작업계획이 수립되면 현장에서 수행되어야 할 작업사항을 해도에 표기하고, 작업영역에서 시준이 잘되는 육상지점에 TM을 설정한다. 준설선의 작업위치 투입과 작업반경내 작업완료 후 준설선이 이동시에는 위치결정과 위치확인과정이 필요하며, 수심측량은 현장 수심측정 후 조위보정을 수작업으로 행하고 있는 실정이다. 일반준설공법에는 육분의 특성상 가진 위치오차, GPS 장비 및 신호 특성에 따른 위치오차,

수심 확인 도구에 따른 위치오차 등으로 정확성이 떨어지며, 효율성 및 이용 편의성 등에서 여러 가지 문제점들이 내포되어 있다. 이를 정리하면 다음과 같다. (1) 준설선 위치 결정을 위한 선행 육상작업이 요구되며 위치 결정 및 확인과정에 많은 시간이 소요되며 위치 정확도가 떨어진다. (2) 준설선의 작업반경 내에서의 준설지점의 위치 파악이 불가능하다. (3) 준설작업 진행 중에는 준설지점의 수심을 파악할 수 없어 여굴 또는 과다굴착의 가능성이 있다. (4) 준설 작업시 시계 제한 상태 등에서는 육상물표의 시준이 불가능하므로 작업이 중단된다. (5) 작업자의 숙련도에 따라 준설선 위치 및 수심측정 성과를 해도상에 표기할 때 플로팅에러가 수반된다. (6) 시공 중 또는 시공 후 측정한 자료는 조위결정과정을 거쳐 보정되어야 한다. (7) 시공 중 작업요원이 위치정보와 수심자료를 실시간으로 이용할 수 없다.

미해군공병대에서는 해상측량에서 측위작업과 요구되는 정밀도에 따라 Class1, Class2, Class3 세 가지 등급으로 구분하여 그 정도를 적용하고 있으며, 준설작업에 관련한 모든 해상측량은 Class1을 적용하여 수평위치의 최대허용오차는 6m, 2DRMS이고, 높이의 최대허용오차는 ±0.5ft로 가장 고정밀의 측량정도를 요구하고 있다.

3. 준설공정관리시스템의 상세

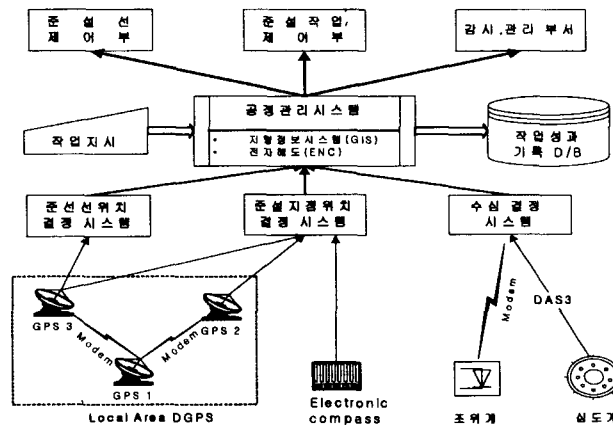


Fig. 2 Schematic diagram of dredge process management system

본 연구에서 개발한 준설공정관리시스템은 준설선위치 결정시스템, 준설지점위치 결정시스템, 수심 결정 시스템 및 공정관리시스템의 4개의 하부시스템으로 구성된다. 시스템의 구성 및 정보흐름을 나타내면 Fig. 2와 같다. 전체 시스템의 구성은 그라브 준설선에 적용한 것과 같지만, 펌프준설선의 특성상 준설지점위치 결정시스템, 수심 결정시스템 및 공정관리시스템은 달라진다.

(1) 준설선위치 결정시스템

하천이나 연안해역에서 준설공사를 위해 평면상 위치를 결정하는 방법에는 여러 가지가 있다. 육분의를 사용하여 위치를 측정하는 방법은 측정이 간편하고 경제적인 방법이어서 지금까지 자주 사용되는 위치 측정 방법이다. 이 방법은 해안부에 설치한 세 개의 기지점(기준점)을 이용하여 항주하는 준설선 상에서 육분의를 이용하여 한 개의 각 또는 두 개의 각을 측정하여 준설선의 위치를 측정하는 방법이다. theodolite에 의한 위치를 측정하는 방법은 측량기사 두 명이 해안에 있는 두 개의 기지점에서 각각 theodolite를 설치하고 항주하는 준설선과 상대 기지점 즉, theodolite 설치점 간의 교각을 측정하므로써 측정점의 위치를 구하는 방

법이다. 전자 위치 측정법은 주로 Satellite system, Long navigation system, Hyperbolic system, Active ranging system이 있다. 최근에는 미국의 국방성에서 개발한 GPS가 주로 이용되고 있다. GPS를 이용하는 방법은 기상조건과 육상으로부터의 거리에 구애를 받지 않는 상시측량이 가능하지만, 단순한 항행상의 위치정보로 그치고 있고 준설선의 위치 파악과 같이 정밀도가 요구되는 작업에 이용하기에는 정확도에 문제가 있다. 또한 GPS를 이용하더라도 준설선의 선수방위를 관측하기 위해서는 여전히 육분의에 의한 측량이 병행되어야 한다.

본 연구에서 이용되는 준설공정관리시스템의 하부 시스템인 준설선위치 결정시스템은 LADGPS를 구축하여 가장 정확도가 높은 준설선의 위치를 주변여건 및 기상조건의 영향을 받지 않고 실시간으로 연속적으로 파악하여 전체 시스템에 제공하는 시스템이다. 준설공사 현장 부근의 정확한 위치를 알고있는 육상 설치된 기준국(GPS Receiver 1)에서는 GPS에 의한 위치를 결정하고 보정정보(PRCs, Pseudo-range corrections)를 계산하고 이를 Communication link (Modem)를 통해 측정국(GPS receiver 3)으로 송신한다. 이를 수신한 측정국에서는 측정국 자체에서 구한 준설선의 위치에 기준국으로부터 수신한 보정정보를 이용하여 GPS 오차를 보정한 정확한 준설선의 위치를 결정한다. 본 연구에서는 위치정확도를 높이기 위해 기준국과 측정국간의 Communication link의 PRCs 정보를 송수신하는 방식은 다음과 같이 설정하였다.

- 기준국 GPS PRCs 발신 : 10 times per sec
- 측정국 GPS PRCs 보정 : 1 time per sec

이 시스템에서는 육상에 설치된 기준국에 Novatel RT-2 DGPS와 준설선에 설치된 측정국에 Novatel RT-20 DGPS를 이용하였으며, 위치확률오차는 기선장의 길이에 따라 다소 차이는 있으나 최초 위치결정의 경우 수렴속도 67초 이내에 NovAtel RT-2의 위치정확도는 1 cm + 2 ppm, NovAtel RT-20의 위치정확도는 0.20 m CEP미만으로 유지되었다.

(2) 준설지점위치 결정시스템

준설지점위치 결정시스템은 국내외에 일반준설공법에서 고려되지 않았던 새로운 개념으로, 준설선위치 결정시스템과 유사하게 준설지점의 위치를 LADGPS 시스템으로 결정하고, 준설선 위치, 라더의 하향각 및 준설선 방위 정보로 보정하여 정확한 준설지점의 위치를 결정하고 이를 전체 시스템에 제공하여 실시간으로 준설지점의 위치와 공사 진행과정을 파악하게 하는 시스템이다.

라더 힌지점에 설치된 측정국(GPS receiver 2)에서 라더 힌지점의 위치를 결정하고, 기준국(GPS receiver 1)에서 송신한 PRCs를 감안하여 힌지점의 위치정보에 포함된 오차를 수정한다. 준설지점의 위치를 결정하기 위해서는 라더 힌지점으로부터 라더의 돌출길이와 방위를 결정해야 한다(Fig. 3).

준설선의 방위를 결정하는 방법은 준설선에 설치된 전자식 컴파스를 이용하는 방법이 있으며, 본 시스템에서 사용한 장비의 주요 특징은 다음과 같다.

- Accuracy when level : $\pm 1.0^\circ$ RMS
- Accuracy when tilted : $\pm 1.5^\circ$ RMS
- Resolution : 0.1°
- Repeatability : $\pm 0.3^\circ$
- Tilt compensation : $\pm 50^\circ$

준설선의 방위를 결정하는 또 다른 방법은 준설선의 선수길이방향으로 일직선상으로 설치된 GPS3와 GPS2의 위치 정보를 이용하여, 평면직각삼각법의 개념에 의해 GPS3점으로부터 GPS2점까지의 방위를 계산하는 것이다.

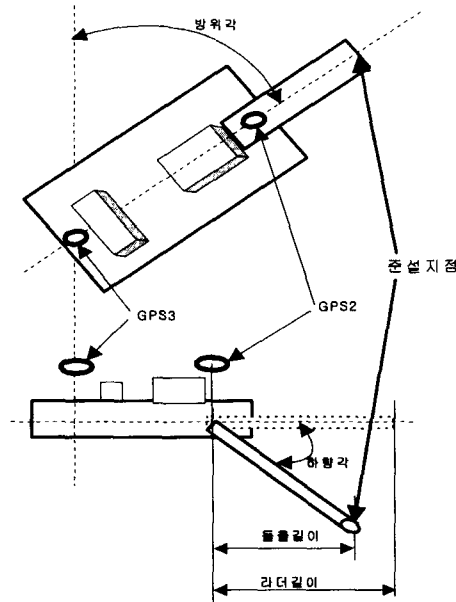


Fig. 3 Schematic view of determining dredging point

(3) 수심 결정시스템

준설공사에서 수심 결정은 공사계획 수립, 공사설계, 시공법 및 장비 선정, 공사비 산출 및 공사완료 후 최종검사에 필수적이다. 작업해역의 수위의 변동폭을 파악하여 기본수준면하의 수심으로 환산하기 위해서는 조위측량이 요구된다. 기존 준설공법에서 수심측량은 Lead line, Echosounder을 주로 이용하였으나, 이 방식은 작업영역에서의 조위변화가 실시간으로 감안되지 못하여 관측 후 보정 작업을 수행해야 한다. 특히, 음향측심기는 간편하고 정확하지만 그 성능을 유지하기 위해서는 음파의 속도에 영향을 주는 해수의 온도와 염분농도에 대한 보정(Bar check)을 주기적으로 시행해야 한다.

본 연구에서 적용한 수심 결정시스템은 커터헤드 준설선 라더의 끝단이 수면을 기점으로 하강함에 따라 현재 작업지점의 수심을 결정하여 전체 시스템에 제공하는 방식이다. 이 시스템의 가장 큰 특징은 실제 작업지점의 수심을 실시간으로 측정할 수 있다는 것과, 작업영역의 조위변화를 작업해역에 설치된 조위계로부터 실시간으로 전송받아 보정한 정확한 수심을 측정한다는 것이다.

뽀프식 준설선의 라더의 하향각을 추출하기 위해서 각도 검출기(E6C2-AG5C, OMRON)를 장치하여 라더가 수면과 수평에 있을 때 기준(0도)으로 하여 라더가 수면으로 하강함에 따라 펄스신호의 깊이 증가역으로 수면에 가까워질수록 감소하는 방식으로 펄스신호를 계수한다. 라더가 해저면에 접지하였을 때의 라더의 하향각이 결정되면 라더의 길이를 감안하여 수심을 계산한다. 반복되는 라더의 승하강 작업에서 발생할 수 있는 수심측정의 오류를 제거하기 위하여 라다가 수면과 수평을 이루면 라다 조정 판넬에 설치된 심도리셋 버튼을 눌러 심도를 0으로 초기화시켜 수치적 오차를 배제한다.

또한 작업해역에 조위계(VTM710, Valeport)를 설치하여 조위를 결정하고, 계측된 수심값에 작업해역의 조위를 실시간으로 보정하여 준설지점의 수심을 결정하고, 이를 지형정보시스템에 표시하여 준설 작업에 이용한다. 본 시스템에서 사용하고 있는 조위계(VTM710, Valeport)의 transducer 성능사양은 다음과 같다.

- Type : strain gauge
- Range : 0 to 10 metres nominal

- Accuracy : ±0.1% FS
- Resolution : 1mm

(4) 공정관리시스템

공정관리시스템은 작업지시내용을 포함한 사용자의 설정값, 준설선위치 결정시스템, 준설지점위치 결정시스템 및 수심 결정시스템에서 결정된 정보를 가공하여 준설작업 전 과정에서 필요한 정보를 생성하여 준설작업에 관련된 모든 부서의 요원이 이를 모니터링 하면서 작업을 할 수 있게 한다. 이 시스템에 의해 생성된 모든 자료 즉, 작업순서, 측심자료, 작업지시사항, 작업영역, 심도단면, 심도계, 준설선의 방위, 작업위치, 작업상태 등 시스템화된 정보들은 spud 조종실, 라더 조종실 및 감시·관리부서에 배분된다.

이 시스템에 의해 (1) 준설작업의 계획, 위치결정, 수심 결정과정 및 작업자간의 의사소통과정에서 수반되는 오차 및 플로팅 오차를 소거할 수 있으며, (2) 수심측량에서 심도계에 의한 판측치에 실시간으로 조위를 보정하므로 정확성 및 작업효율을 높일 수 있으며, (3) 준설작업과정의 모든 정보를 보관, 관리하여 준설공사 완료 후 검사, 확인 과정의 신뢰성을 높일 수 있다.

Fig. 4는 펌프식 준설선에 적용된 준설공정관리시스템의 제어화면으로 사용자가 조정할 수 있는 메뉴, 장치 표시, 작업상황영역으로 나누어 준설선의 현장배치와 함께 수심 및 작업영역을 표시한 것으로 장비의 상태나 선택한 기기와 부가적으로 타의 하향각, 심도계 및 자이로컴퍼스의 지시기 등을 나타내고 있다. 또한, 준설작업이 이루어지는 상태 및 준설 심도가 실시간으로 표시되므로 미굴착이나 과다굴착을 방지 할 수 있으며, 작업결과를 확인하면서 공정을 진행할 수 있다.

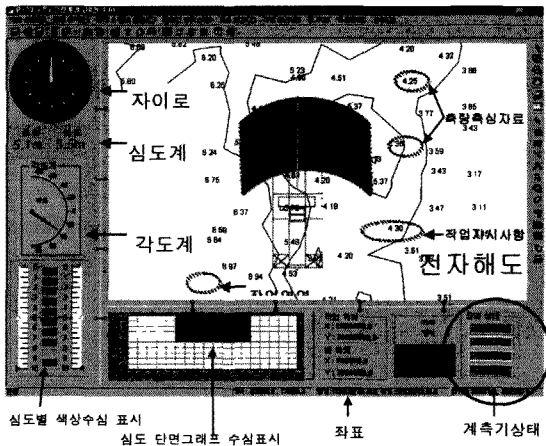


Fig. 4 Control display of dredge process management system

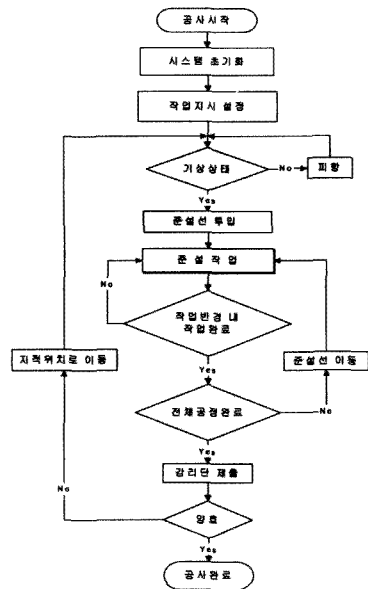


Fig. 5 Dredging work procedure by dredge process management system

본 연구에서 적용한 준설공정관리시스템에 의한 준설공사 시공과정은 Fig. 5와 같다. 일반준설방식에 비해 작업계획이 사전에 이루어지고, 준설선의 위치 확인을 위한 육상 물표 설정과정이 필요 없으며, 준설선 이동에 따른 위치 확인 과정이 불필요하므로 전체 공정이 비교적 빠르게 진행된다. 또한, 작업진행과정이 모니터링되므로 중첩구간을 축소시킬 수 있으며, 장비운영 효율성이 높아 전체 작업효율성이 증가되고 공사단가를 줄일 수 있게 된다.

4. 결론

본 논문은 그라브준설선에 적용되었던 준설공정관리시스템을 펌프준설선에 적용하기 위해 필요한 하부 시스템을 수정하고 이를 펌프준설선 중 가장 보편적으로 이용되는 형식인 커터헤드준설선에 적용한 연구이며 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

(1) 이 시스템은 펌프준설선의 준설지점위치를 실시간으로 연속적으로 결정 가능하여 준설선의 준설작업 투입, 작업위치 이동, 휴지 후 재 투입시 위치 측정에 소요되는 시간소모가 없으며, 위치관측요원에 따른 개인차가 없다.

(2) 준설지점의 정확한 위치파악이 가능하고 이를 기준으로 하여 공정관리가 이루어지므로 작업의 효율성과 정확성이 뛰어나 준설작업공기가 짧아지고 준설단면이 고르게 형성되어 준설목표에 부합된다.

(3) 작업해역의 조위 데이터가 실시간으로 보정되며, 수심측정위치가 실제의 준설작업위치이므로 공사의 정확성이 확보되며, 라더가 해저면에 도달되는 즉시 지점의 수심이 확인되므로 과다굴착 및 여굴을 방지할 수 있다.

(4) 공정관리시스템의 구축으로 준설선 내의 모든 작업참가 요원이 전 작업과정을 동시에 파악할 수 있어서, 준설선 조종자 및 준설 작업자간의 의사소통과정에서 발생할 수 있는 오류를 배제할 수 있다.

참고문헌

- (1) 고광섭 외 3인, (1996), 선박용 GPS-compass 구현을 위한 GPS 오차패턴 분석에 대한 연구, 해양안전학회지 제2권 제2호, pp47~51.
- (2) 은진개발(주)(1999), 은진 G-18호 Grab 준설선 소개서.
- (3) 최범규 (2001), 해상에서 GPS의 다양한 활용예, 2001년 춘계 해양관련학회 공동 학술발표회 초록집, pp 58~65.
- (4) 한국과학기술원 해양연구소(1984), 海洋觀測便覽
- (5) John B. Herbich(1992), Hand book of Dredging Engineering, McGRAW-HILL INC.
- (6) Per Bruun (1990), Port Engineering, Fourth Edition, Vol.2, Gulf Publishing Company, Texas.
- (7) US Army corps of engineers(1994), Engineering and Design Hydrographic Surveying.
- (8) US Army corps of engineers(1998), Project Operations Hydrographic Surveying.