

준설 효율 향상을 위한 수리실험 연구

A Study on Hydraulic Experiment for Improvement of Dredging Efficiency

채동석*, 박재현**, 김영도***, 이만수****
Chae Dong Seok, Park Jae Hyeon, Kim Young Do, Lee Man Soo

요 지

준설은 수중굴착, 운반(배송), 매립 기술로 구분되는데, 국내에서는 아직까지 각 기술을 통합한 체계적인 연구가 수행되지 못하고 있다. 준설분야는 토질, 수리 등의 토목 분야 기술뿐만 아니라 기계, 제어, 환경 등 여러 분야의 기술들이 매우 복잡하게 연계되어 있으며, 제한된 소수의 기술자들과 특수 대형 장비-준설선에 의해 수행되기 때문이다. 최근에는 장비의 대형화, 첨단화가 진행되면서 선진국과의 기술격차로 인해 국제 경쟁력이 약화되어 심각한 위기에 처해있는 현장기술 분야이다. 유럽의 델프트 공대, IHC, 준설협회(CEDA)는 세계 기술 개발을 주도하고 있으며, 미국에서는 육군공병단의 수로국에서 준설을 담당하고 있으며 DOER(Dredging Operation & Environmental Research) 기술 개발을 주도하는 등 선진국에서는 이미 여러 연구가 진행되었으며 준설기술이 정착되어있다. 본 연구에서는 현재 현대건설에서 보유중인 아산3호를 모델로 축소모형을 제작하여 실험하였다. 본 연구에서는 선행실험으로 성층형성 및 석션펌프 작동시 물입자의 운동방향을 PIV로 촬영한 결과에 커터헤드를 추가 장착 시행하여 이를 바탕으로 수치해석시 발생할 수 있는 오류를 수정·보완 할 것이다. 차후 실험에서는 준설토의 조건과 기계적 조건 및 환경적인 영향력을 고려한 여러 가지 방법으로 진행할 계획이며, 실험 조건에서는 각 매개변수를 달리하여 이를 토대로 데이터를 구성하고, 측정을 통해서 얻어지는 결과 값을 기초로 하여 준설시에 환경과 매개변수의 조건에 따른 준설량의 특성을 파악하고 효율을 향상시킬 수 있는 방향을 제시할 것이며, 이를 통해서 기본적인 메뉴얼을 구성할 계획이다. 수리실험의 결과값을 바탕으로 이를 현실무 작업에 적용할 경우 효율적인 준설작업을 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: 준설, 배송효율, 환경준설, 수리실험, PIV

1. 서 론

준설은 수중굴착, 운반(배송), 매립 기술로 구분되는데, 여러 분야의 기술들이 매우 복잡하게 연계되어 있기 때문에 각 기술을 통합한 체계적인 연구가 수행되기 힘들었다. 현재 준설선을 포함한 준설 장비는 최근 30년간 유럽과 미국 주도로 급속히 대형화, 첨단화 되었고, 국내 업체들도 수입, 제작하여 다량 보유 하고는 있으나, 국내에서는 매립 관련 분야로 국한되어 연구 개발이 수행되면

* 채동석 인제대학교 토목공학과 석사과정 E-mail : sdc270he@nate.com

** 박재현 인제대학교 토목공학과 조교수 E-mail : jh-park@inje.ac.kr

*** 김영도 인제대학교 환경공학부 조교수 E-mail : ydkim@inje.ac.kr

**** 이만수 현대건설기술연구소 차장 E-mail : mslee@hdec.co.kr

서, 1990년 대 이후로 준설분야 국제 경쟁력이 저하되기 시작하였고, 2000년 대에 와서는 자체 기술만으로는 해외 선진업체들과 경쟁이 되지 않는 실정에 이르렀다.

본 연구의 목표는 현장 조건, 준설선 특성과 흙의 종류 등을 고려하여 흙과 물 혼합물의 배송 농도 및 속도 조건을 조절하는 고효율 최적 배송 기술과 준설 부유물 발생을 최소화하는 친환경 고생산성 커터 헤드의 개발·검증하고 개발된 기술을 메뉴얼화하는 것이다. 연구진행 방향은 다양한 종류의 흙에 대한 최적 배송조건을 파악하기 위한 준설 루프 시험(Dredging Loop Test)을 수행하고, 이때 발생하는 부유물의 확산, 이동을 모사하는 수치해석 모델을 증명하기 위한 커팅 탱크 시험(Cutting Tank Test)을 실시한 후, 준설 모니터링과 환경 모니터링 시스템을 구축하고자 하였다.

2. 실험조건의 설정



그림 1. 인천국제공항



그림 2. 인천 송도신도시 매립구간

현재 인천 송도신도시에서의 준설수행중인 토질은 점토질 실트로서 그 평균입경이 0.5mm 이하로 구성되어 있으며, 남해안은 서해안 보다는 조금 굵은 점토질 실트 혹은 실트로 구성되어 있다. 수리실험중 점착력이 강하면 입도가 조금은 높을수록 수리모형실험에서는 수월하기 때문에 점착력을 떨어뜨릴수 있도록 실트로 진행 실험을 실시한다. 차후에는 토사의 종류를 바꾸어 점토질 실트 등의 종류의 실험을 수행하도록 한다.

표 1. 현장조건과 모형실험간의 비교

	아산3호	모형실험	축소 비율
토사 입경	0.5 mm	0.5 mm	1/1
Cutter 직경	5.7m	0.16m	1/35
Suction 직경	1m	0.02m	1/40
준설최고수심	-30m	-1m	1/30
작업반경	45도, 103m	45도, 0.9m	1/100
이빨수	70 * 2 개	18 * 2 개	1/4
최대전진거리(1회)	6m	0.06m	1/100
Cutter 회전수	0.22~10/Min.RPM	1~60/Min.RPM	5/1
Cutter 모터 회전수	20~900/Min.RPM	100~1800/Min.RPM	2/1

3. 실험 장치 제작

PIV 속도장 측정기술은 매우 빠른 속도로 발전하여 이제는 복잡한 비정상(unsteady), 난류유동(turbulent flow)의 유동구조를 높은 공간분해능으로 정확히 해석하는 것도 가능하게 되었다. 화상처리를 이용한 속도장 측정기법의 기본원리는 그림 2.5에 나타낸 것처럼 주어진 시간간격(Δt)동안 유동내부에 유동을 잘 따르는 입자들의 변위정보를 CCD카메라와 같은 영상입력장치를 이용하여 화상데이터로 저장한 후, 디지털 화상처리기법을 이용하여 입자변위를 계측하고 시간간격(Δt)로 나누어줌으로써 속도벡터를 추출하는 것이다.

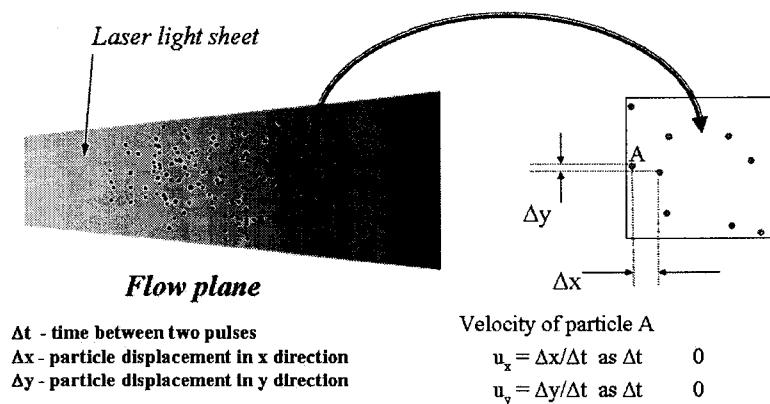


그림 3. PIV 기본원리

속도장 측정은 입자영상(particle image)의 취득, 속도벡터의 추출, 그리고 추출한 속도장 결과를 나타내는 3단계 과정으로 이루어진다. 입자영상을 취득하는 과정에서는 유동을 잘 따르는 입자를 선정하고, 실린더형 렌즈를 이용하여 레이저 평면광을 만들어 측정하고자 하는 유동평면을 조사하게 한 후, CCD카메라와 같은 영상입력장치를 평면광에 수직으로 설치하여 입자영상을 취득하게 된다. 입자영상 취득 시 사용되는 입자(tracer)의 크기와 분포농도, 카메라 노출시간, 시간간격(Δt)등은 실험조건 및 사용하는 PIV 속도장 측정시스템에 따라 다르게 설정하여야 한다. 그럼 4~6은 이와 같은 PIV 시스템을 이용하여 주변 유속장을 측정할 커터헤드 모형의 제작 및 설치 현황을 나타낸 것이다.

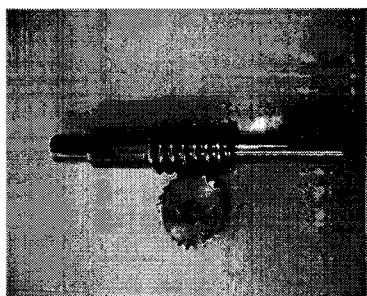


그림 4. 웨기어 및 측

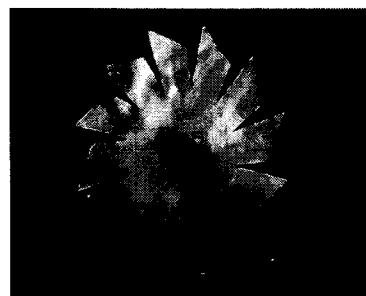


그림 5. 커터헤드 단면도

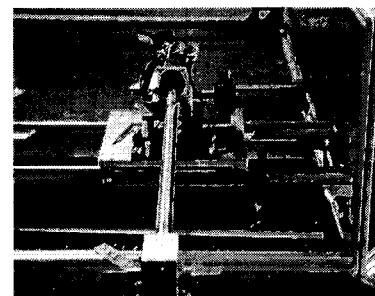
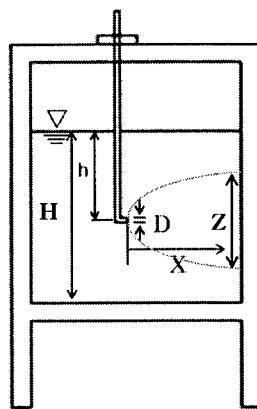


그림 6. 커터헤드 제작

4. 실험결과 분석

커터헤드 수리실험을 수행하기 이전에 석션펌프에 관한 기초실험을 실시하여 부유물의 확산 및 분포특성을 파악하고자 하였다. 조건은 Vacuum Pump에서 흡입양을 조절하여 이를 케이스별로 진행하였다. 이를 통해 흡입시 부유물이 어떠한 움직임으로 확산되는지를 파악하였으며, 본 실험에서 커터헤드에 설치될 흡입구의 위치 및 흡입량을 어떠한 식으로 조절해야 하는지를 알 수 있었다. 그림 7은 이와 같은 기초실험의 도면을 개략적으로 나타낸 것으로서 사용된 기호는 다음과 같다.



- H : 수심
- D : 흡입구의 직경
- X : 흡입구로부터 거리
- Z : 흡입심의 높이
- h : 흡입구가 위치한 수심

그림 7. 실험 개념도

다음 유속벡터도는 각각의 Case를 상대비교하기 위해서 X축과 Y축의 길이 단위를 흡입구의 직경으로 나누어 무차원화 하였고, 흡입구의 직경 D의 배수만큼 멀어진 지점의 유속을 흡입구 단면평균 유속으로 나누어 무차원화 하였다. 동유속선도도 유속벡터도와 같은 방법으로 무차원화 하였고, 동유속선의 경향을 보면 유압을 증가시켜 흡입속도를 증가시킬수록 수직방향 폭은 줄어들고 영향 범위가 길어지는 것을 알 수 있다.

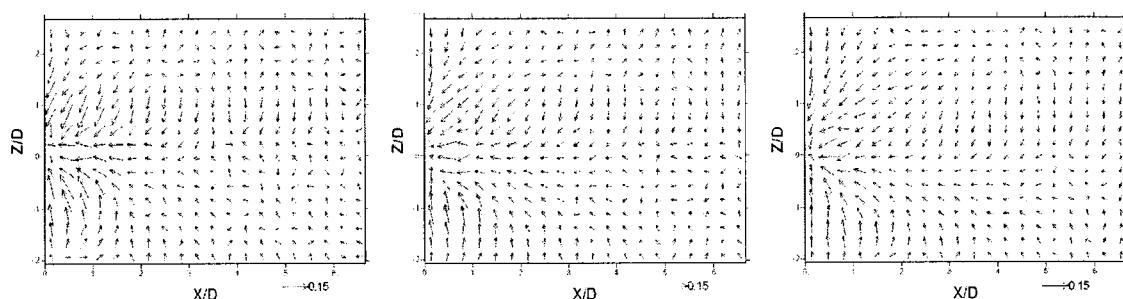


그림 8. 각 케이스별 X방향 유속에 대한 벡터도

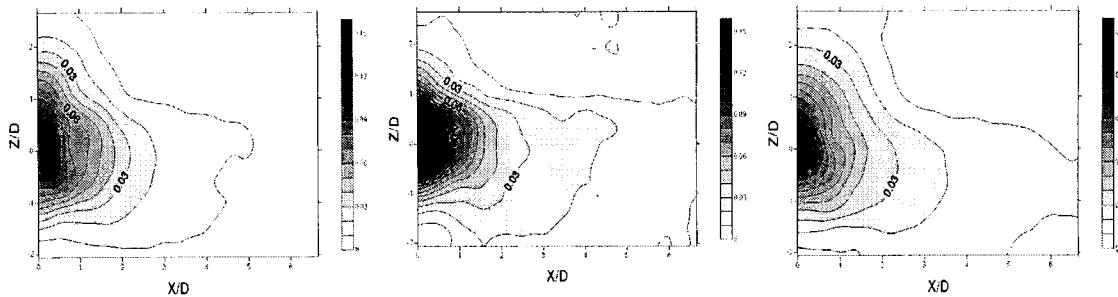


그림 9. 각 케이스별 X방향 유속에 대한 등유속선도

그림 8과 그림 9는 연안이나 하구에서와 같이 상대적으로 수심이 깊은 수체에서 성층이 없는 경우와 성층이 형성된 경우를 수조에 재현하여 석션펌프만을 설치한 후 물 흡입시 입자의 운동을 PIV로 분석한 것이다. 연직유속분포를 보면 성층경사가 없을 때에는 취수구 근처에서의 흐름도가 규칙성을 가지는 것을 알 수 있었고, 성층경사가 증가되면서 취수구 주변 흐름도가 불규칙한 것을 PIV 촬영을 통해 알 수 있었다. 이와 같은 결과를 통해 커터헤드 작동시 부유사의 유동을 파악할 수 있을 것으로 사료된다.

5. 결 론

향후 본 연구에서는 선행실험을 통한 성층형성 및 석션펌프 작동시 물입자의 운동방향을 PIV로 촬영한 결과에 커터헤드를 추가 장착 시행하여 이를 바탕으로 수치해석시 발생할 수 있는 오류를 수정·보완할 예정이며, 3차원 입자추적모형을 구성하여 준설 구간 인근의 부유물 발생역학 및 초기혼합 과정 연계방안을 도출할 계획이다. 연구결과를 바탕으로 수리실험에서 수행할 수 없는 복잡하고 다양한 물리현상을 수행하여 이를 메뉴얼화하여 준설시 실무자에게 필요한 운영안을 제시할 수 있을 것으로 판단되어진다.

감 사 의 글

본 연구는 건설교통부 건설핵심기술연구개발사업의 연구비지원(C106A1000007-06A060000711)에 의해 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 강시환 등 (2006) "준설 탁도플륨의 3차원 이송확산 거동 모형" 대한토목학회논문집, 26(5B), pp. 557~562.
2. Dr.ir. S.A. Miedenma Delft Univ. (2002) "The Cutting of Water Saturated Sand, The Final Solution" (2002)
3. 이상준 편(2002) "PIV Velocity Field Measurement Techniques and Applications" (2002)