

수두차를 이용한 해저퇴적물 흡입장비 개발에 관한연구

이영길* · 손충렬* · 정우철** · 김강신*** · 정광열***

*인하대학교 기계공학부 선박해양공학전공

**인하공업전문대학 선박해양시스템과

***인하대학교 대학원 선박공학과

A Study on the Development of Inhalation Equipment for Seabed Sediment by the Difference of Water Head

YOUNG-GILL LEE*, CHOONG-YUL SON*, UH-CHEUL JEONG**, KANG-SIN KIM*** AND KWANG-LEOL JEONG***

*Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Inha University, Incheon, Korea

**Dept. of Ship and Ocean System Inha Technical College, Incheon, Korea

***Dept. of Naval Architecture, Graduate School of Inha University, Incheon, Korea

KEY WORDS: Water head 수두, Marker-density 밀도함수법, Inhalation equipment 흡입장비, Sediment 퇴적물, Model test 모형시험

ABSTRACT: This paper deal with development of dredging equipment that proper water head elimination method changing transitional dredging method. Numerical simulation and model test were accomplished for development of seabed sediment inhalation equipment using water head. Sediment elimination system by the difference of water head has been analysed by numerical method. Model test was achieved for inhalation equipment performance test using water head by primary design. Also sediment elimination system has designed and developed that doesn't occur secondary pollution phenomenon. To verify the numerical results are compared with experimental results.

1. 서 론

연안 해역 특히 음식점과 어시장이 들어서 있는 어항 내에서는 생선 세척수와 어패류 사체로 오염은 점점 심해지고 있으면 이를 개선하기 위해서는 저질토 준설이 필수적인 과제로 대두되고 있다. 현재 퇴적오염물을 제거하는 대표적인 준설방법으로 그래브 준설방식과 펌프 준설방식이 있으나, 이와 같은 준설방식은 수질오염의 주원인인 유기오염물이 다량 함유되어 있는 상층부 퇴적물 외에 상당 부분의 이토까지 준설하게 된다. 이 과정 중 준설토를 투기하는 과정에서 발생하는 환경오염문제, 준설토 투기장 선정에 따른 어려움, 준설토 투기에 따르는 처리비용의 과다 등의 사유로 이러한 기존의 준설방식들은 오염이 상당히 진행된 해역에서만 선택적으로 시행되고 있는 실정이다.

따라서 오염의 주원인인 압밀되어 있지 않은 퇴적물층만을 선별 준설할 수 있는 안정된 저흡입력의 박층준설방식의 개발이 요구되고 있다.

수두차 제거방식은 해수면과 퇴적물 제거시스템 내수면과의 수두차를 이용하여 해저면 상층의 오니만을 끌어올림으로써 퇴적물을 선별적으로 제거하는 효율적인 제거방식이다.

본 연구에서는 수두차 제거방식에 맞는 흡입장비 개발을 위하여 수치계산 및 모형실험을 실시하였다. 수치시뮬레이션을 통하여 수두차를 이용한 방법의 해저퇴적물의 제거 가능성을 확인하였다. 그리고 수심이 얕아 수두차가 작게 발생하는 지역에서 효율을 증가시키기 위하여 공기 토출구를 감압하는 기법의 성능을 예측하고자, 감압을 하는 경우와 하지 않는 두 경우를 비교하여 시뮬레이션 하였다. 진공펌프를 사용한 흡입장비 모형을 제작하여 감압시의 효율과 퇴적물의 흡입량을 분석해 보았다. 또한 흡입장비 작동시의 2차 오염 발생유무를 확인하여 흡입장비를 개발하였다.

2. 수치계산법

2.1 계산방법

유동해석을 위하여 2차원 비압축성의 Navier-Stokes 방정식과 연속방정식을 직사각형 가변교차 격자계에서 유한차분법(FDM)을 이용하여 계산하였다. 지배방정식은 시간에 대하여 전진차분법을 사용하였고, 공간에 대하여는 중심차분법을 사용하였다. 대류항의 경우 공간에 대하여는 4차 중심차분법에 인공산일항이 더해진 3차 상류차분법, 2차중심차분법에 상류차분법 결합된 혼합법, 1차 상류차분법이 주위의 격자를 고려하여 사용되었다. 대류항의 시간에 대한 차분은 Adams-Bashforth기법을 이용하였다. 유동의 난류특성을 고려하

제1저자 이영길 연락처: 인천광역시 남구 용현동 253

032-860-7340 younglee@inha.ac.kr

기 위하여 SCS난류모형을 적용하였다.

2.2 계산조건

Fig. 1은 수두차를 이용한 해저퇴적물 제거시스템의 개념도를 나타내고 있다. 오니와 해수의 경계면에서의 유동특성을 알아보기 위하여 흡입관 끝단과 퇴적물과 해수의 경계면을 계산영역으로 설정하였다. 수두차에 의해 발생한 낮은 압력을 관의 안쪽에 설정하여 퇴적물의 흡입이 일어나도록 하였다.

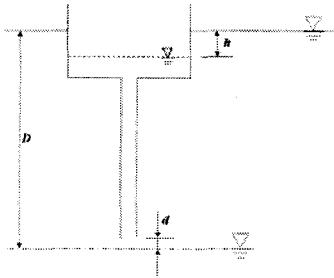
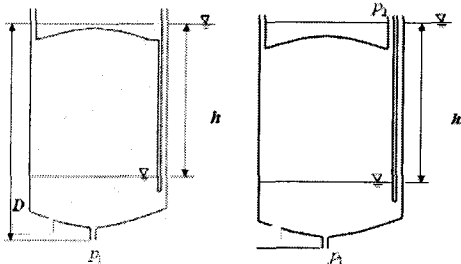


Fig. 1 Concept of inhalation system

Fig. 2에서 (a)의 경우는 수두차에 의해서만 흡입을 하는 경우이며, (b)는 P_2 에서 일정하게 감압하여 수두차와 감압이 동시에 이루어지는 경우이다. P_1 은 정수압으로 일정하게 유지하였다.



(a) Water head (b) Water head+decompression

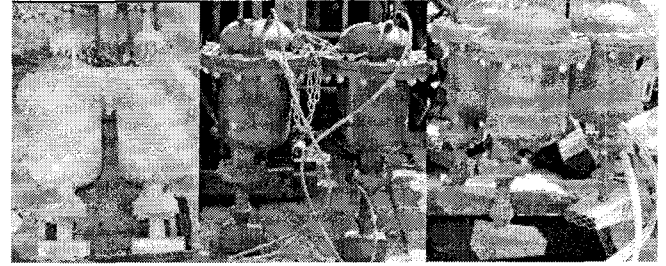
Fig. 2 Numerical simulation condition

3. 흡입장비 모형실험

3.1 실험장비

각각 10L, 20L 실린더 2개를 사용한 모형 2개(Fig. 3(a), (b))와 20L 실린더 3개를 사용한 모형 1개(Fig. 3(c))가 있다. 초기설계에 의해 제작한 model-1,2는 흡입과 배출이 교대로 작동하는 방식이다. 이 경우에 실린더 2개를 사용한 모형들이 흡입과 배출 시에 맥동이 발생하여 실린더 3개를 사용한 모형(model-3)을 추가로 제작하였다.

흡입방식은 수두차만을 이용하거나 수두차와 진공흡입이 동시에 사용 가능한 작동방식이다. 진공흡입은 수두차에 의한 흡입력에 진공펌프를 사용하여 실린더 내부를 진공상태로 만들어주어 발생한 추가의 흡입력을 더하여 실린더의 흡입 효율을 높이고자한 것이다. 진공흡입 시에는 흡입장비의 제어장치에 타이머를 설치하여 흡입시간을 설정하도록 하였다(Fig. 4). 배출방식은 압축기를 사용하여 실린더에 공기를 주입하여 흡입물을 배출시키며, 배출시간은 타이머로 설정한다.



(a) Model-1 (b) Model-2 (c) Model-3

Fig. 3 Inhalation equipment

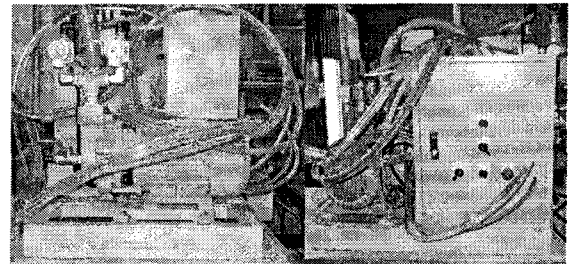


Fig. 4 Vacuum pump and control box

3.2 실험방법

수조 내에 흡입장비 모형을 계측수심(0.55, 1.1, 2.2m)에 맞추어 위치시킨 후 아크릴 박스(가로×세로×높이:1.0×1.0×1.1m)에 배출수를 3분 동안 저장하여 부피를 계측하였다.

1차 실험에서는 청수만을 사용하여 깊이와 작동시간에 따른 배출수량을 계측하여 각 모형의 성능을 판단하였다. 흡입시간은 6~9초로 설정하여 1초 간격으로 model-1은 인하대선형시험수조에서 수행하였고, model-2,3은 실린더 용적 증가에 따른 압축기의 교체를 위해 외부수조에서 실험하였다. 각 수조의 수심은 인하대 수조가 2.7m이며, 외부수조가 2.5m이다.

2차 실험에서는 흡입한 전체 혼합물중 퇴적물이 차지하는 비율을 알아보았다. 그리고 감압 방식에 따른 퇴적물의 흡입량의 변화도 관찰하였다. 해저면의 퇴적물상태를 재현하기 위하여 아크릴 박스에 풀을 사용하여 퇴적물을 제작하였다. 물과 풀은 3대7 비율로 혼합하였다(Fig. 5).

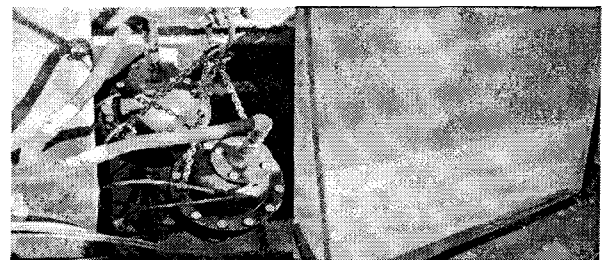


Fig. 5 Photograph of model experiment

4. 결과 및 고찰

Fig. 6과 7를 비교해 보면 수두차를 증가시킨 결과 퇴적물이 더 깊고 넓게 침식 된 것을 확인 할 수 있다. 수두차가 작은 Fig. 6의

경우 수두차가 큰 Fig. 7에 비하여 낮은 밀도의 혼합류가 흡입되는 것을 볼 수 있다.

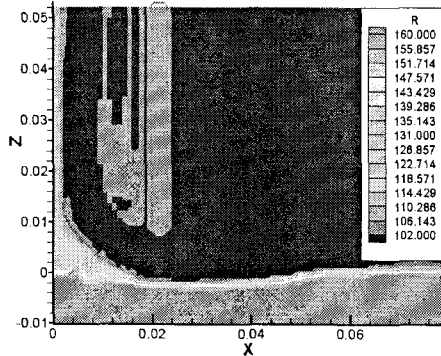


Fig. 6 Density contour (H=0.07m, 6.75sec; unit=kg/m³/g)

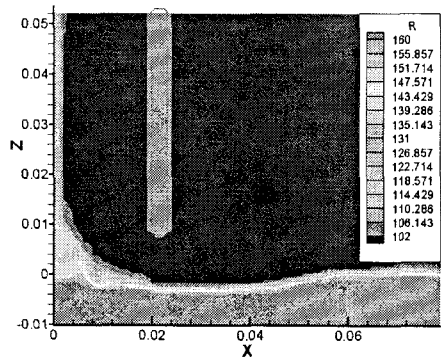
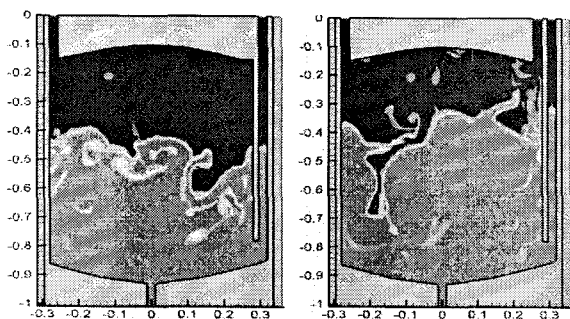


Fig. 7 Density contour (H=0.09m, 6.75sec; unit=kg/m³/g)

Fig. 8은 감압 시뮬레이션에서 흡입 후 4초에서의 결과를 나타내고 있다. 감압을 하는 경우와 그렇지 않은 경우의 유입량이 현격한 차이가 있음을 확인할 수 있다.



(a) Water head (b) Water head+decompression

Fig. 8 Comparison of Numerical simulation result(4sec)

model-1의 퇴적물 흡입 실험에서 Fig. 9에 나타나듯이 역류현상이 발생하였다. 이는 흡입구의 역류방지구가 흡입 후에 실린더 내부의 와류로 인하여 원위치 하지 못하여 나타나는 것으로 확인하였다. 이를 해결하기 위하여 model-23에는 역류방지구에 스프링을 부착하여 흡입이 끝나면 자동적으로 닫히게 해주었다(Fig. 10).

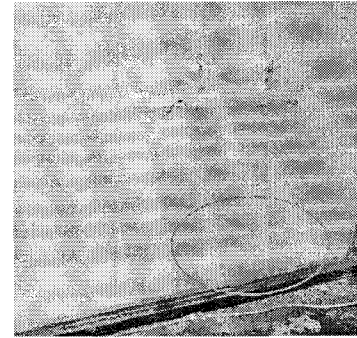


Fig. 9 phenomenon of flowing backward(model-1)

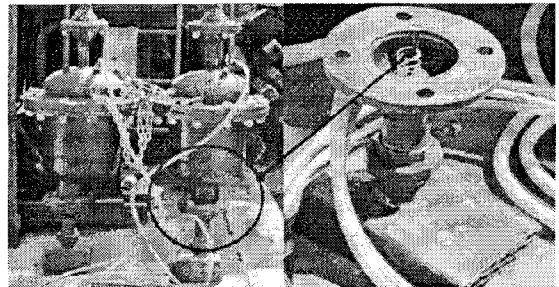


Fig. 10 Attach the spring to the model-2

Fig. 11는 1차 실험결과로서 깊이에 따른 배출수량의 추이를 나타낸 것이다. 세 경우 모두 진공흡입상태에서 더 높은 효율을 나타내고 있음을 알 수 있다. 흡입관에 스프링을 설치한 model2,3은 1m내의 얕은 수심에서는 수두차만으로는 흡입을 할 수가 없었다. model1은 똑같은 수심에서 흡입하는 것으로 보아 스프링의 탄성에 따른 것으로 사료되며 스프링의 탄성력을 조사하여 교체해야 할 것으로 사료된다. 동일한 실린더를 사용한 model-2,3의 결과에서 model-3이 더 좋은 결과를 나타낸다. 초기에 제작한 model-1,2는 두 개의 실린더만을 사용함에 따라 맥동이 발생하여 배출수에 손실이 있었으나, model-3에서는 3개의 실린더를 사용함으로써 그 손실분을 막은 것이다.

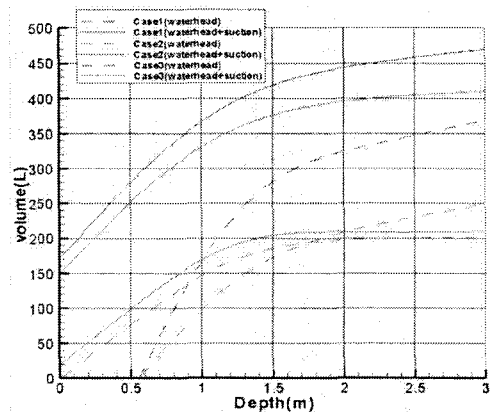


Fig. 11 Volume vs. measuring depth for model 1~3

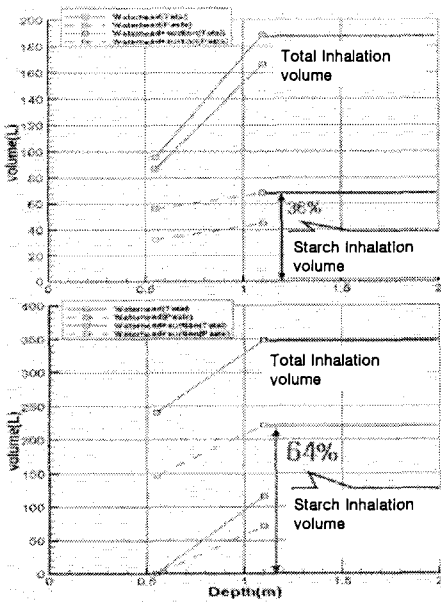


Fig. 12 Volume vs. measuring depth for model 1~2

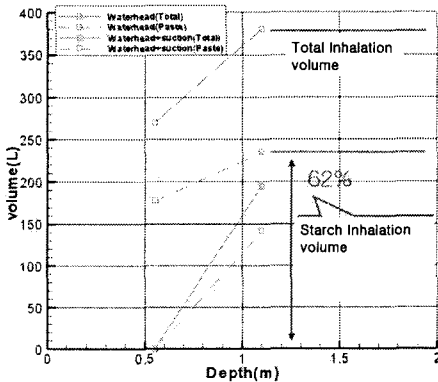


Fig. 13 Volume vs. measuring depth for model 3

퇴적물 실험(2차 실험)에서는 역류현상 때문에 스프링을 장치한 모형들(model-2,3)이 전체 배출수중에 풀의 비율이 증가하였다. 이는 역류현상 방지를 위해 스프링 부착으로 인해 수중과의 큰 압력차로 흡입하는 순간에 강한 흡입력이 발생하여 전체 배출수량 중 풀의 비율이 64%로 크게 증가한 것으로 판단된다(Fig. 12).

실린더를 한 개 더 장착한 model-3의 퇴적물 실험결과(62%)는 model-2(64%)와 비슷하게 나타났다. 1차 실험결과와 마찬가지로 model-3이 가장 좋은 결과를 보이고 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 진공펌프를 사용하여 감압하는 기법을 적용하여 해저퇴적물 흡입장비를 제작하여 성능을 검토한 결과는 다음과 같다.

(1) 수치계산결과 수두차를 증가시킴으로써 혼합류의 흡입이 증가하였으며 실험결과와도 정성적으로 일치함을 보였다.

(2) 감압 시뮬레이션에서 감압을 하지 않은 경우와 감압하는 경우의 흡입차이는 감압하는 방식이 더 좋은 효율을 나타내고 있다. 이는 실험결과에서도 나타나므로 감압 기법이 타당성이 있음을 증명하였다.

(3) 모형에 스프링을 장치하여 역류현상을 방지하여 실제 퇴적물 제거작업 시 교란에 따른 2차 오염억제 효과가 기대된다.

(4) 스프링 부착으로서 전체 흡입량 중에 퇴적물의 비율이 증가하는 효과가 나타났다. 그러나 1m이하의 수심에서는 흡입을 하지 않았다. 이에 대해 추후에 스프링의 탄성 등을 고려하여 얇은 수심에서도 좀더 명확한 데이터가 필요하다고 판단된다.

(5) 본 연구결과는 수두차를 이용한 해저퇴적물 준설방식의 흡입장비의 최적설계의 기초자료로서 실용적 활용이 가능하며, 차후 다른 퇴적물 실험 등의 추가적인 실험이 추가된다면 수두차 준설방식의 최적화된 흡입장비를 개발할 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 해양수산부 과제 "수두차를 이용한 퇴적물 준설장비 개발"의 일부분으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 정광열, 이영길 (2004). 밀도함수를 포함하는 이층류 해석에 의한 경사진 해변에서의 쇄파현상에 관한 연구, 대한조선학회 춘계학술대회, Vol2, p.1101-1106.
- 정광열, 이영길, 정우철, 손충렬 (2005). 수두차를 이용한 해저 퇴적물 흡입현상의 수치시뮬레이션, 한국전산유체공학회, 제 4권 제2호, p.46-50.
- Roux, J.P. (2004). "Ahydrodynamic Classification of grain shapes", J. Sediment Research, Vol.74-6, p.906-911
- Tokins, M.R. et al., 2003, "Selective entrainment of sediment graded by size and density under waves," J. Sediment Reserach, Vol.73-6, p.906-911.
- Heo, J.-K. and Lee, Y.-G., 1996, "A numerical simulation of two-dimensional nonlinear waves in surf zone," Proc. KOJAM'96, p.309-317.