수두차를 이용한 수저퇴적물 제거장치 개발에 관한 연구

이영길^{†*}, 손충렬^{*}, 정우철^{**}, 유진원^{***}, 정광열^{***}, 김강신^{***}, 김방열^{****}

인하대학교 기계공학부 선박해양공학전공^{*}, 인하공업전문대학 선박해양시스템과^{**},
인하대학교 대학원 선박공학과^{***}, (주)선양^{****}

A Study on the Development of Removing System for Waterbed Sediment by the Difference of Water Head

Young-Gill Lee^{†*}, Choong-Yul Son^{*}, Uh-Cheul Jeong^{**}, Jin-Won Yu^{***},
Kwang-Leol Jeong^{***}, Kang-Sin Kim^{***} and Bang-Leol Kim^{****}

Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Inha Univ.^{*}

Dept. of Ship and Ocean System, Inha Technical College^{**}

Dept. of Naval Architecture, Graduate School of Inha Univ.^{***}

SunYang Co.Ltd.^{****}

Abstract

According to the existing research result on the seabed organic sediment, pollutants from the land and the sea contaminate the coastal water and sediment on the seabed. To tackle this problem, we need to dredge organic sediment. In the present paper, the development of removing system of seabed sediment by the difference of water head is researched by experimental method. For the validation of the decompression system, computations for validation are carried out for sediment removing equipment. The performance of inhalation equipment is analysed by some model tests.

※Keywords: Water head(수두), decompression(감압), Inhalation equipment(흡입장비), Sediment(퇴적물), Model test(모형시험)

1. 서론

연안 해역 특히 음식점과 어시장이 들어서 있는
어항 내에서는 생선 세척수와 어패류 사체로 오염

은 점점 심해지고 있다. 해저 유기퇴적물에 관한
기존의 연구결과에 의하면 육상과 해상에서 유입
된 오염물이 연안 해역에 퇴적되어 수온상승과 무
산소환경의 확산으로 인해 적조현상의 주원인인
인(P)성분이 다량 용출되는 것으로 밝혀졌다
(Hakanson and Jansson 1983, Lee and Lee
2004, Lennox 1984). 이를 개선하기 위해서는 해

접수일: 2006년 12월 29일, 승인일: 2008년 1월 28일

† 교신저자: younglee@inha.ac.kr, 032-860-7340

양에 침전 퇴적되어 있는 유기퇴적오염물 준설이 필수적인 과제로 대두되고 있다. 퇴적오염물을 제거하는 대표적인 준설방법으로 그래브 준설방식과 펌프 준설방식이 있으나, 이와 같은 준설방식은 수질오염의 주원인인 유기오염물이 다량 함유되어 있는 상층부 퇴적물 외에 상당 부분의 이토까지 준설하는 문제점이 있다. 이 과잉 준설도를 투기하는 과정에서 발생하는 환경오염문제, 준설도 투기장 선정에 따른 어려움, 준설도 투기에 따르는 처리비용의 과다 등의 사유로 이러한 기존의 준설방식들은 오염이 상당히 진행된 해역에서만 부분적으로 시행되고 있는 실정이다. 따라서 오염의 주원인인 압밀되어 있지 않은 퇴적물층만을 선별 준설할 수 있는 안정된 흡입력의 박층 준설방식의 개발이 요구된다.

현재 준설방식과 준설장비는 주로 해양에서의 대량준설의 목적에 적합하도록 설계, 제작해서 사용되어 왔다. 준설의 목적은 작업구역내의 계획수심까지 모든 물질을 걷어내는데 그 초점이 맞추어져 있어 어항, 양식장, 연안수변지역의 퇴적물 제거에는 적합하지 않다. 이와 같이 일반준설과 해저퇴적물 제거 작업은 엄연히 그 목적자체가 다르게 구분 되어져 있다. 이미 이탈리아, 독일, 미국, 캐나다 등의 국가에서는 해저퇴적물제거에 있어 일반준설과 구분하여 실시하고 있으며 환경을 고려한 퇴적물제거와 처리에 관심을 기울이고 있다. 이러한 세계 여러 나라의 개발 및 연구추세에 맞게 국내에서도 연안환경에 적합한 친환경적인 퇴적물 제거시스템의 개발에 관한 연구가 필요하다.

이에 본 연구에서는 해수면과 퇴적물 제거시스템의 내수면과의 수두차를 이용하여 해저면 상층의 오니만을 끌어올림으로써 퇴적물을 효과적으로 제거하는 방식을 사용한 해저퇴적물 흡입장비를 개발하였다. 또한 진공펌프를 사용한 감압식 흡입방식도 개발하여 퇴적물 흡입장비의 흡입효율과 흡입시의 퇴적물량을 증가시키고자 하였다. 수치계산 및 모형실험을 통하여 수두차 제거방식의 타당성과 효율을 확인하였고, 이를 토대로 시제품을 제작하였다. 시제품을 오염지역 항만에서 운영하여 그 성능과 퇴적물 제거작업시의 추가적 오염유무를 판단하여 안정적으로 퇴적물제거에 효과가

있음을 확인하였다.

2. 수치계산 및 모형실험

2.1 수치계산

Fig. 1은 수두차를 이용한 퇴적물제거 시스템의 개념도를 나타내고 있다. h 는 수두차를 나타내는 것이고, D 와 d 는 각각 퇴적물까지의 전체 수심과 흡입관으로부터 퇴적물까지의 거리를 나타내는 것이다.

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. 퇴적물과 해수가 혼합된 혼합류의 유동을 계산하기 위하여 밀도항수법을 이용하였다(Jeong and Lee 2004). 각 격자점에서의 밀도항수값은 해수와 퇴적물의 혼합된 혼합류의 밀도값을 의미한다. 수심이 얕아 수두차가 작게 발생하는 지역에서 효율을 증가시키기 위하여 공기 토출구를 감압하는 기법의 성능을 예측하고자 하였다.

Fig. 2에서 (a)의 경우는 수두차에 의해서만 흡입을 하는 경우이며, (b)는 P2에서 일정하게 감압하여 수두차와 감압이 동시에 이루어지는 경우이다. P1은 정수압으로 일정하게 유지하였다. 유동 해석을 위하여 2차원 비압축성의 Navier-Stokes 방정식과 연속방정식을 직사각형 가변교차격자계에서 유한차분법(FDM)을 이용하여 계산하였다(Jeong et al. 2005).

Fig. 1 Sediment removing system

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

Fig. 2 Numerical simulation condition

2.2 실험장비

본 실험에서는 각각 10ℓ, 20ℓ 용량의 실린더 2개를 사용한 모형 2개(Fig. 3(a), (b))와 20ℓ 용량의 실린더 3개를 사용한 모형 1개(Fig. 3(c)) 제작하여 실험을 수행하였다. 초기설계에 의해 제작한 model-1,2는 흡입과 배출이 교대로 작동하는 방식이다. 이 경우에 실린더 2개를 사용한 모형들이 흡입과 배출 시에 맥동이 발생하여 작동시간동안 충분한 흡입시간이 발생하지 못하였다. 그래서 추가로 실린더 3개를 사용한 모형(model-3)을 추가로 제작하였다.

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

Fig. 3 Inhalation equipment

Fig. 4 Vacuum pump and control box

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 압축기로 실린더에 공기를 주입하여 흡입물을 배출시키며, 배출시간은 타이머로 설정한다.

2.3 실험방법

수조 내에 흡입장비 모형을 총 세구간의 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 높이를 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

a) Fore peak part (b) After peak part

Fig. 6 Sediment dredging ship

Fig. 7 Prototype for Inhalation equipment

3. 시제품 제작과 시운전

수치계산 및 모형실험의 자료와 퇴적물 제거 전용선의 제원을 바탕으로 퇴적물 흡입장비의 시제품을 제작하였다. 퇴적물 제거 전용선의 제원은 길이 26.4m, 폭 7m, 높이 2.4m에 흘수가 1.2m이고 전용선의 선수부에 흡입장비를 설치하였다(Fig. 6).

Fig. 7은 퇴적물 흡입장비의 시제품이다. 퇴적물 흡입장비의 용량은 $120m^3/hr$ 이다. 이는 일일 8시간 작업 기준으로 계산하면 $960m^3/day$ 이고, 퇴적물 운반용 barge의 용량은 $1000m^3$ 이다. 퇴적물 수거작업 시 퇴적물 운반용 barge와 동행하여 작업하므로 작업의 효율성 측면을 고려하여 퇴적물 운반용 barge의 용량을 기준으로 설계하였다. 작업수심은 0.5~10m로 국내 패쇄 항만자료를 조사한 결과를 토대로 하여 작업수심을 결정하였다. 퇴적물 흡입장비의 상하 이동(슬라이딩)을 지지하는 역할을 하는 Post가 설치되고, 퇴적물 흡입장비

의 작업에 필요한 크레인을 설치하였다. Post에는 상하 이동시 Post의 중심축을 유지하기 위한 Throat ring이 설치되었다.

울산 방어진 내항에서 퇴적물 제거장비에 대한 시운전을 실시하였다. 시운전의 목적은 퇴적물 제거장비의 원활한 작동 및 실험 수행을 통한 성능을 확인하고, 제거작업 시 부유물 발생(2차 오염의 주원인)현상이 발생하는지에 대한 유무 확인을 위하여 수행 되었다.

4. 결과 및 고찰

Fig. 8과 9는 감압 시뮬레이션에서 흡입 후 2초와 4초에서의 결과를 나타내고 있다. 감압을 하는 경우와 그렇지 않은 경우의 유입량이 현격한 차이가 있음을 확인할 수 있다. 2초에서는 감압을 하는 경우와 그렇지 않은 경우의 유입량이 차이를 보이지 않으나 4초에서는 감압을 하는 경우와 그렇지 않은 경우가 유입량이 현격한 차이가 있음을 확인할 수 있다. 감압을 함께 이용하게 된다면 작동시간이 경과될수록 유입량이 증가될 것으로 예측할 수 있다.

model-1의 퇴적물 모형실험에서는 Fig. 10에 나타나듯이 역류현상이 발생하였다. 이는 흡입구의 역류방지구가 흡입 후에 실린더 내부의 와류로 인하여 원위치 하지 못하여 나타나는 것으로 확인하였다. 이를 해결하기 위하여 model-2,3에는 역류방지구에 스프링을 부착하여 흡입이 끝나면 자동적으로 닫히게 해주었다(Fig. 11).

기존의 다른 방식의 제거작업에서는 퇴적물층의 교란으로 인하여 퇴적물 확산이 발생하였다. 따라서 제거장치 주위로 확산에 의한 2차오염을 유발한다. 본 제거장비에서는 모형실험에서 발생한 역류현상을 제어하여 퇴적물층의 교란을 억제함으로써 퇴적물 확산을 방지하였다. Fig. 12는 퇴적물 제거장비의 시운전중에 제거장비의 주변 수면을 촬영한 것이다. 수면의 색의 변화가 없으므로 퇴적물 확산에 따른 2차오염이 발생하지 않음을 확인하였다.

Fig. 13은 1차 퇴적물 모형실험결과를 바탕으로 각 모형 실린더별 깊이에 따른 배출수량의 추이를

(a)Water head (b)Water head+decompression
Fig. 8 Comparison of Numerical simulation result(2sec)

(a)Water head (b)Water head+decompression
Fig. 9 Comparison of Numerical simulation result(4sec)

Fig. 10 phenomenon of flowing backward(model-1)

나타낸 것이다. 세 경우 모두 진공흡입상태에서 더 높은 효율을 나타내고 있음을 알 수 있다. 흡입관에 스프링을 설치한 model2,3은 1m 내의 얇은 수심에서는 수두차만으로는 흡입을 할 수가 없

Fig. 11 Attach the spring to the model-2

Fig. 12 Observation as to secondary pollution phenomenon

었다. model1은 똑같은 수심에서 흡입하는 것으로 보아 스프링의 탄성에 따른 것으로 판단되며 이는 저수심에서의 흡입을 위한 진공흡입의 필요성을 나타낸다. 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.

퇴적물 모형실험(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. 14, 15).

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

Fig. 13 Volume vs. measuring depth for model 1~3

Fig. 14 Volume vs. measuring depth for model 1-2

Fig. 15 Volume vs. measuring depth for model 3

(a) deposition(before) (b) deposition(after)
Fig. 16 Comparison of sediment content

퇴적물 제거장비 시운전후 오니를 수거하여 시료에 넣고 3시간 정도 침전시킨 후 퇴적물의 함유율을 측정하였다. Fig. 16에 보이듯이 실험에서의 시운전 결과는 약 60%의 함유율을 보이는데, 이는 모형실험의 결과와 정량적으로 일치하고 있다.

5. 결론

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

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

(2) 실험 시 나타난 역류현상을 스프링을 부착하여서 방지하였고, 실제 퇴적물 제거작업 시 교란에 따른 2차 오염이 발생하지 않음을 확인하여 제거작업의 환경문제를 해결하였다.

(3) 스프링 부착한 model에서는 전체 흡입량 중에 퇴적물의 비율이 증가하는 효과가 나타났다. 모형실험과 시운전의 결과가 정성적(60~64%)으로 일치하고 있다. 기존의 준설장비들의 효율(20~30%)과 비교하여 성능이 향상되었음을 확인하였다.

(4) 본 연구결과로 수두차를 이용한 해저퇴적물 준설방식의 흡입장비의 타당성을 검증하였고, 실

용적 활용이 가능한 시제품을 개발하였다. 향후 제거된 오염퇴적물 처리 방안에 대한 연구 개발도 추진되어야 할 것이다.

후 기

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

참 고 문 헌

- Hakanson, L., Jansson, M., 1983, "Principles of Lake Sedimentology." Springer-Verlag
- Jeong K.L., Lee Y.L., 2004, "Numerical Simulation by Marker-density Methods for Two-dimensional Nonlinear Wave Breaker on a Plane Beach of Constant Slope," Proceedings of the Annual Spring Meeting SNAK 2004, Vol. 4, No. 2, pp. 46-50.
- Jeong K.L., Lee Y.L., Jeong U.C and Son C.Y., 2005, "Numerical Simulation on the Flow Phenomenon of Sediment Inhalation by Difference of Water Head," Journal of Computational Fluids Engineering, Vol. 4, No. 2, pp. 46-50.
- Lee Y.S. and Lee K.S., 2004, "Organic Sediment Distribution and Release Characteristic on Lake Deaechung," Journal of the Korean Society of Environmental Engineers, Vol. 26, No. 6, pp. 665-669.
- Lennox. L.J., 1984, "Lough Ennell : Laboratory studies on sediment phosphorus release under varying mixing, aerobic and anaerobic conditions," Freshwater biology, 14, pp. 183-187.

< 이 영 길 >

< 손 충 렬 >

< 정 우 철 >

< 유 진 원 >

< 정 광 열 >

< 김 강 신 >

< 김 방 열 >