

# 해저유기퇴적물 수거시스템의 실험 및 수치해석

김도정\* · 박제웅\*\* · 정우철\*\*\* · 김성근\*\*\*\*

\*, \*\* 조선대학교 선박해양공학과, \*\*\* 인하공업전문대 선박해양시스템과, \*\*\*\* 이어도텍

## Experiments and Numerical Analysis on a System for Collecting Organic Sediment from Seabed

Do-Jung Kim\* · Je-Woong Park\*\* · Uh-Chul Jeong\*\*\* · Seoung-Gun Kim\*\*\*\*

\*, \*\* Department of Naval Architecture & Ocean Engineering, Chosun University, Kwangju, 501-759, Korea

\*\*\* Department of Ship & Ocean System, Inha Technical College, Incheon, 402-752, Korea

\*\*\*\* Ieodo-Tec. Jeju, 690-062, Korea

**요 약** : 오염된 퇴적물은 연안의 생태계 파괴에 근본적인 원인이 되고 있음에 따라, 선진 외국에서는 1960년대부터 이러한 문제 해결을 위한 새로운 기술개발을 진행하여 오고 있다. 본 연구에서는 유기퇴적물 수거를 위한 시스템 설계 및 개발에 있어서 오탁확산에 의한 2차 오염을 방지하거나 최소화 할 수 있는 Pilot 규모 형태의 흡입식 펌프 준설 시스템을 설계·제작하였으며, 시스템의 성능시험을 통한 적용 가능성을 제시하였다. 시스템 최적화를 위하여 수치해석기법을 통한 퇴적물 수거 시스템의 형상에 대한 성능평가를 수행하고, 제작 시스템의 성능시험에 있어서는 시스템의 정지 상태와 이동 상태에서의 퇴적물 수거 성능에 대한 실험을 수행하였다. 본 연구를 통하여 해저 유기 퇴적물의 상부만을 준설할 수 있는 시스템의 개발 가능성을 확인하였다.

**핵심용어** : 펌프 준설 시스템, 2차 오염, 유기퇴적물, 수거 시스템, 수중 본체, 유선

**Abstract** : Contaminated sediments are the actual cause for deterioration of coastal-ecosystem. So the developed countries have been in the process of making an effort to develop new techniques for monitoring and solving this problem since 1960. In this research, suction type pump dredging system of pilot size for collecting the filth from the seabed has been designed and manufactured that can prevent or minimize the secondary pollution by filth diffusion. For the practical use, the application possibility of the developed system has been checked through a system performance test. And, the evaluation of system performance according to the underwater body type has been carried out for system optimization by using CFD. The performance tests for checking the efficiency of sediment collecting system are done under two conditions i.e. when the system is non-operational and when the system is self-propelled. The results of this research showed the possibility of the development of dredging system to remove just the upper parts of filth from seabed.

**Key Words** : Pump Dredging System, Secondary Pollution, Organic Sediment, Collecting System, Underwater Body, Streamline

### 1. 서 론

하천이나 연안에 지속적으로 유입되는 다양한 물질의 침전과 퇴적현상으로 쌓인 오염된 토양 및 퇴적물은 수질오염의 근본적인 원인을 제공하여 국민건강과 생태계 파괴에 치명적인 영향을 주고 있음에 따라, 오염퇴적물의 정화를 위한 기술 개발 필요성이 요구되고 있다.

선진 외국에서는 1960년대부터 환경에 대한 관심과 더불어 퇴적된 오니 준설 및 수질개선에 대한 기술개발을 진행하여 오고 있으며, 우리나라는 1990년부터 마산만 퇴적오니 준설사업을 시작으로 오염이 우려되는 전국연안에 대한

준설계획을 수립하여 추진하고 있다(최, 2001).

퇴적물 준설방법으로는 기계식, 유압식 방법 등이 있으며, 기계식은 퇴적물에 직접적인 힘을 가하여 퇴적물을 떼내어 제거하는 방법으로 준설과정에서 상당량의 퇴적물이 재 부유되기 때문에 오염퇴적물 제거에 이용되기 위해서는 사전에 치밀한 부유물 확산 방지책이 수반되어야 한다.

최근에는 재 부유를 저감하고 흡입퇴적물에 포함된 수분의 함량을 줄이기 위한 준설기술 개발에 주력하고 있으며(최, 2001), 미국 및 캐나다의 경우 퇴적물의 재 부유를 감소시킬 수 있다는 점에서 유압식 준설방법이 많이 이용되고 있으나, 이와 같은 준설방식은 수질오염의 주원인인 유기오염물이 다량 함유되어 있는 상층부 퇴적물 외에 상당 부분의 이토까지 준설하게 된다.

\* 대표저자 : 정희원, kimdoj@chosun.ac.kr, 062-230-7884

\*\* 중신희원, jwpark@chosun.ac.kr, 062-230-7132

이러한 과잉 준설토는 투기 과정에서 발생하는 환경오염문제, 준설토 투기장 선정에 따른 어려움, 준설토 투기에 따르는 처리비용 과다(해양수산부, 2005) 등의 문제가 발생한다. 따라서 오염의 주원인인 압밀되어 있지 않은 퇴적물 층만을 선별 준설할 수 있는 박층 준설방식의 유해성 유기퇴적물 제거를 위한 기술개발이 요구되고 있다.

본 연구에서는 퇴적물의 재 부유를 저감하고 흡입퇴적물에 포함된 수분의 함량을 줄이기 위한 준설기술의 개발을 목적으로 박층 준설방식의 유기퇴적물 수거장비를 설계·제작하였다.

또한, 다양한 해저상태에서 제작된 시제품의 수거성능 시험을 수행하였으며, 수치시뮬레이션을 통하여 수거장비의 형상 변화에 따른 수거성능을 조사하였다.

## 2. 퇴적물 수거 시스템의 설계 및 제작

### 2.1 퇴적물 수거 시스템의 구성

퇴적물 수거를 위한 준설장비로는 그레브(grab), 버킷(bucket), 디퍼(dipper), 흡입식 펌프 등을 생각할 수 있으나, 유기퇴적물의 퇴적상태 및 2차 오염 등과 관련하여 각 장비의 장·단점을 고려할 때 흡입식 펌프가 효과적이라 할 수 있고 펌프의 설치위치에 따라 수상 펌프와 수중 펌프로 분류된다.

퇴적오니 수거에는 수상 펌프 방식이 경제적이고 효과적이지만 준설 깊이의 제약이 있으므로, 주로 수심 30m 이하의 준설작업에 적용된다.

Fig. 1은 본 연구에서 구성한 시스템을 나타낸 것으로 하부가 개방된 통형구조에 분사시킨 고압의 공기 및 물에 의해 저면에 쌓인 유기퇴적물이 수중으로 부유토록 하고, 중앙에 설치된 도관을 통하여 이들 성분을 흡입·제거하도록 구성되었다.

시스템에서 통형구조 형태의 수중 본체에 분사된 고압의 물과 공기는 본체자체를 부양시키는 효과를 주게 되므로, 안정된 자세에 의한 작업이 가능하도록 중량물을 함께 부착하여 안정된 자세가 이루어지게 하였다.

이 같은 구성은 단순한 흡입펌프보다 저면에 흡착된 유기 퇴적물을 부유시켜 수거하므로 효율이 높고, 모래, 자갈 등은 비교적 적게 수거되는 효과를 거둘 수 있다.

### 2.2 퇴적물 수거 장비의 설계 및 제작

Table 1에 실험을 위해 설계·제작된 수중 본체의 특성을 나타내었다.

Photo 1에 나타낸 수중 본체는 저면이 개방된 직육면체의 통형 구조체 형태로써 고압수가 저면 개방부를 향하여 분출 가능하도록 되어 있으며, 측면에는 별도의 분사노즐이 설치되어 있다.

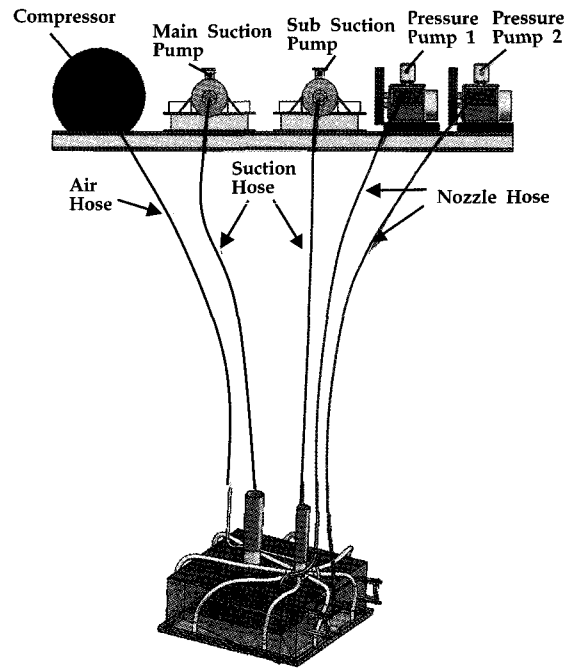
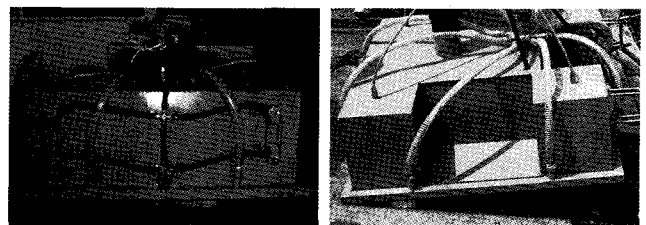


Fig. 1. Layout of sediment collecting system.

Table 1. Characteristics of underwater body

Underwater body	Characteristics	Design and manufacture
Type 1	the buoyancy chamber is "ㄱ" type, which is opened box type of the lower part	concept design and manufacture
Type 2	modified buoyancy chambers of type1 are located at the corner of underwater body	concept design and manufacture



Type 1 Type 2

Photo 1. Type of underwater body.

### 2.3 Pilot-Scale Test

Photo 2에는 유기퇴적물 수거를 위한 Pilot-Scale 시험에 필요한 시험장비들을 나타내었다.

Photo 3은 수중 본체의 작업 성능시험을 수행한 것으로, Type 1의 부력실에 공기 주입 시 무게중심과 부력의 Balance 문제가 발생하여 Type 2와 같이 부력실을 분배함으로써 균형을 유지토록 하였다.

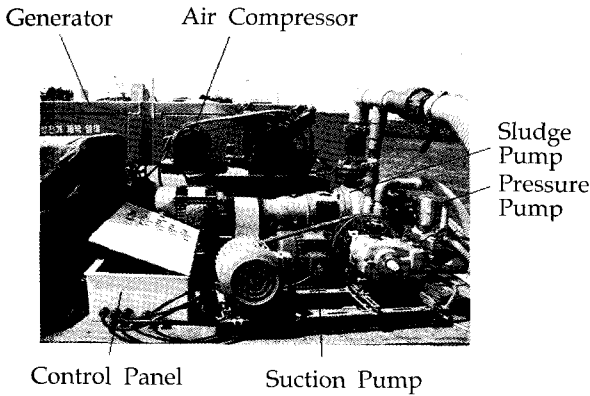


Photo 2. Equipments for pilot-scale test.

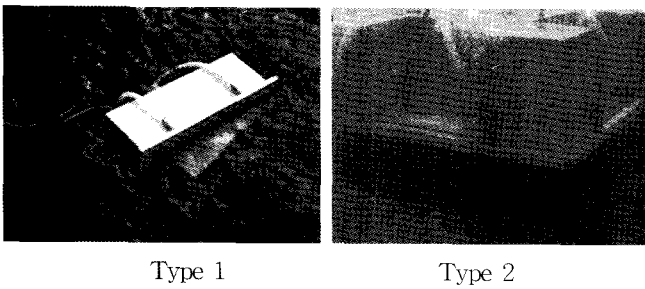


Photo 3. Pre-test of organic sediment collecting body.

### 3. 시험 및 고찰

#### 3.1 유기퇴적물 수거 성능시험 및 결과분석

유해성 유기퇴적물에 관련된 해저의 일반 상태는 하구, 포구 등은 자연적인 상태의 퇴적이어서 상대적으로 평탄한 퇴적층이며, 양식장의 하부나 가까운 연안 어업 구역은 폐그물 등이 산재되어 있고, 섬 주변과 암반 지역은 생물이 서식하기에 적합한 지역임에도 불구하고 틈틈이 유해성 퇴적물이 산재되어 있다.

따라서 시험조건은 ① 수심 ② 해저의 상태 ③ 노즐의 위치 변경(압력 변화)을 기본으로 작업에 따른 유해성 퇴적물의 분산 정도를 시험하는 것으로 하였다.

- 1) 수심 3m
- 2) 해저상태 1 : 90%이상의 퇴적물이 평탄하게 산재  
 해저상태 2 : 약간의 경사와 50% 정도의 퇴적물 산재  
 해저상태 3 : 20도 이상 경사와 20% 이하 퇴적물 산재
- 3) 노즐위치1 : 5cm, 노즐위치2 : 7.5cm, 노즐위치3 : 10cm
- 4) 실험 A : 정지된 위치에서 시험  
 실험 B : 0.1m/min 이동시 시험  
 실험 C : 0.5m/min 이동시 시험  
 실험 D : 1.0m/min 이동시 시험

Fig. 2는 상기의 시험조건 해저상태 1, 2, 3에 대하여 퇴적물 수거시스템이 정지한 경우( $V=0.0$  m/s) 노즐위치 변화에 따

른 유기퇴적물의 함유율을 나타낸 것이다.

수거 시스템의 퇴적물 수거 효율은 노즐의 위치가 퇴적물로부터 5cm 정도에서 가장 높은 수거효율을 보이고 있으나, 노즐의 위치가 5cm 이하에서는 노즐의 토출압력이 강하여 시스템의 수중 본체 외부로 퇴적물이 유출되며 이로 인한 혼탁 현상이 발생하였다.

Fig. 3은 90%이상의 퇴적물이 평탄하게 산재한 해저상태 1에서 노즐 펌프 압력 변화와 수중 본체의 이동에 따른 퇴적물의 함유율 변화를 나타낸 것이다.

정지 및 이동 시의 퇴적물 수거 효율에 대한 성능시험으로부터 우수한 효율을 나타내는 것으로 판단되는 유기퇴적물 함유율 17% 이상이 되도록 하기 위해서는 퇴적물 부유 및 수거를 위한 정지 시 노즐의 토출압력은 30 Bar 이상, 이동 시 노즐의 토출압력은 40 Bar 이상이 요구됨을 확인하였다.

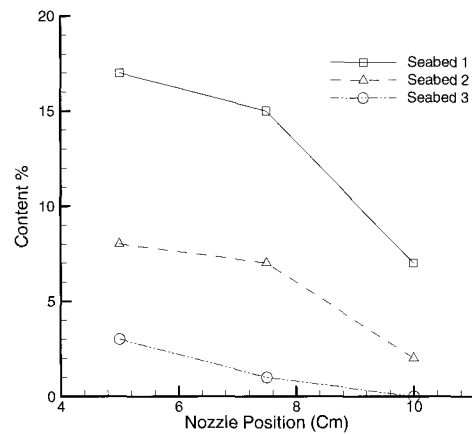


Fig. 2. The variation of content of organic sediment for different nozzle position when system is non-operational (Effusion volume= $1\text{m}^3/\text{min}$ , Effusion pressure= $30$  bar).

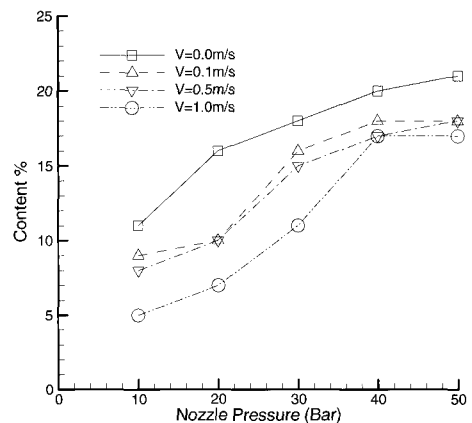


Fig. 3. The variation of content of organic sediment for different nozzle pressure in the seabed 1 (Effusion volume= $1\text{m}^3/\text{min}$ ).

90%이상의 퇴적물이 평탄하게 산재한 해저상태에서 퇴적물의 함유율을 높이기 위해 노즐의 토출압력을 높이면 수중 본체 외부로 퇴적물이 유출됨에 따라 혼탁현상이 발생된다. 또한 이러한 혼탁현상을 방지하기 위해 노즐의 토출압력을 낮추는 것은 수중 본체의 이동속도가 높아지면서 퇴적물 수거효율이 급격히 떨어지게 된다.

Fig. 4는 약간의 경사와 50% 정도의 퇴적물이 산재한 해저상태 2에서 퇴적물의 함유율 변화를 나타낸 것이며, Fig. 5는 20도 이상의 경사와 20% 이하의 퇴적물이 산재한 해저상태 3에서 퇴적물의 함유율 변화를 나타낸 것이다.

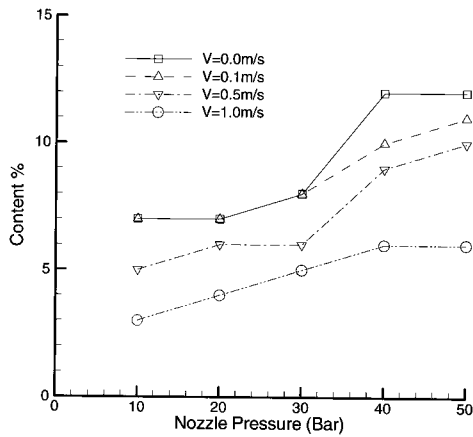


Fig. 4. The variation of content of organic sediment for different nozzle pressure in the seabed 2 (Effusion volume=1m<sup>3</sup>/min).

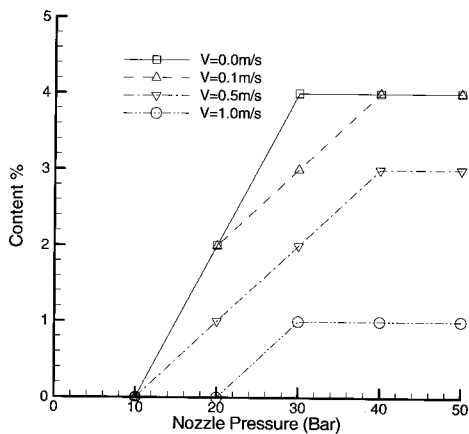


Fig. 5. The variation of content of organic sediment for different nozzle pressure in the seabed 3 (Effusion volume=1m<sup>3</sup>/min).

정지 및 이동 시의 퇴적물 수거 효율 모두 급격히 떨어지고 있으며, 고속 이동시 해저상태 3에서의 수거효율은 거의 미미한 수준이다.

따라서 해저상태 2, 3에서와 같이 경사지와 상대적으로 퇴적물의 분포가 많지 않은 지역에서 고압의 노즐 토출압력에서

도 혼탁현상을 방지하고, 수중 본체의 고속 이동 시에도 퇴적물 수거효율을 향상시키기 위해서는 수중 본체 내부에 퇴적물을 고농도로 집적시킬 수 있는 집적장치에 대한 연구가 필요한 것으로 사료된다.

#### 4. 수거 시스템 수중 본체의 유체역학적특성

##### 4.1 수중 본체 형상과 격자

본 연구에서는 유기퇴적물 수거 시스템의 수중 본체 형태와 가동 조건에 따른 유체역학적 특성 분석을 위해서는 상용 S/W인 Fluent 6.2(Fluent, 2005)를 이용하여 수치 시뮬레이션을 수행하였다.

수치 시뮬레이션을 위한 수중 본체의 형상은 Fig. 6에서와 같이 Type 1, Type 2 및 Type 3의 3가지 형태이며, Type 2 (a) 및 (b)는 수중 본체 하부에 후방 스키투가 부착되었을 때와 제거되었을 때의 유동현상을 파악하기 위한 수중 본체의 개략도를 나타낸 것이며, 스키투의 형상은 수중 본체의 전진 방향이 낮은 장방향의 모양으로 설계되었다.

Type 3에서의 스키투 형상은 전후방향으로 Open된 형태로 설계되었고, 폭 방향으로 평행하게 설치된 스키투 주위의 유동현상 등을 조사하였다.

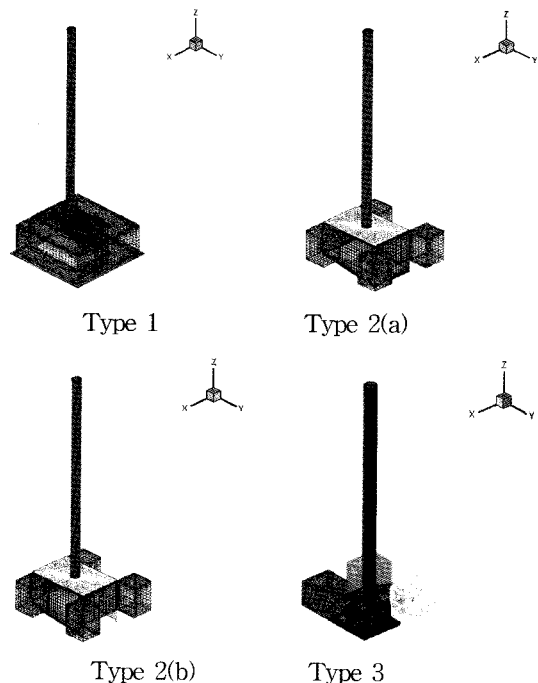


Fig. 6. Type of underwater body for sediment collecting system.

##### 4.2 수치계산법

격자계는 상용 S/W인 Gridgen(Pointwise, 2006)을 이용하여 정렬격자계로 구성하였으며, 과도한 계산 격자를 줄이기 위하여 Wall Function을 도입하였다. 벽면에서의 난류 유동의

모사가 적절히 되도록 하기 위하여 Fig. 7에서  $Y^+$ 를 약 30 ~ 100 정도로 유지하도록 격자계를 생성하였다.

정도 높은 형상 표현을 위하여 Multi-Block 격자계를 도입하였으며, 사용된 격자계 수는 Type 1은 60만개, Type 2는 70만개, 그리고 Type 3의 경우는 100만개를 이용하였다.

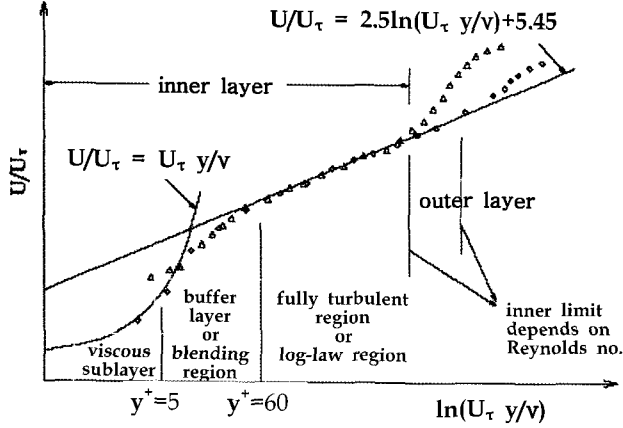


Fig. 7. Subdivisions of the near-wall region.

Fig. 7에 사용된 기호는 다음과 같다.

- $U$  : Velocity parallel to the wall
- $U\tau$  : Shear velocity
- $y$  : Distance from the wall
- $\nu$  : Kinetic viscosity ( $\rho/\mu$ )
- $y^+$  :  $\rho U\tau y/\mu$

바깥 경계의 영향을 적게 받기 위하여 바깥 경계의 위치는 본체의 약 5배 정도로 구성하였고, 그 경계의 조건은 압력을 일정하게 부여하고 펌프에 의하여 유입되는 물은 지배방정식에 의하여 계산되도록 하였다.

계산에 사용된 지배방정식은 Reynolds Averaged Navier-Stokes 방정식이고, 난류모형은  $k-\epsilon$  모형을 사용하였다.

### 4.3 수치해석 결과 및 검토

수치시뮬레이션을 통하여 유기퇴적물 수거 시스템의 수중 본체 형상과 수중 본체의 하부에 부착된 스커트에 따른 유체 흐름의 특성과 수중 본체가 주변 흐름에 미치는 영향 등을 파악하였다.

수치시뮬레이션에서는 주 배관 하부에서의 유동특성을 파악하여 퇴적물의 수거능을 향상시키는 설계에 주안점을 두었으므로, 확산에 의한 2차 오염 방지를 위한 수중 본체 측면의 배관 내 유동에 대해서는 고려하지 않았다.

Fig. 8은 수중 본체의 X방향 중앙 위치에서 내부압력 및 유선분포를 나타내는 것으로, Type 1 및 Type 2(a)가 거의 같고, Type 2(b)에서는 스커트 후방이 제거되면서 전체적으로 내부의 와류현상이 사라지고 있다. Type 3에서는 배관의 직경

이 커짐에 따라 배관주위의 낮은 압력분포의 크기는 다소 줄어들고 있으나, 전체적인 수중 본체 내부의 압력과 유선이 개선됨을 보여주고 있다.

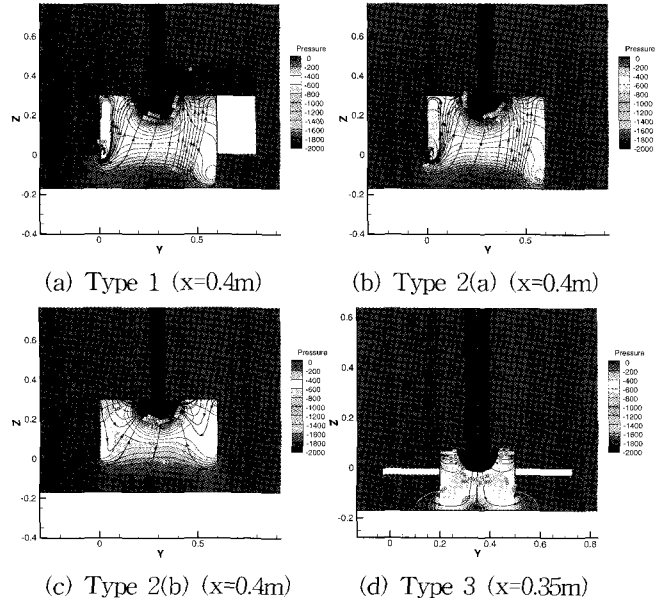


Fig. 8. The pressure distribution and streamlines of middle of X-axis for underwater body.

Fig. 9는 수중 본체 하부의 Y방향 중앙 위치에서의 압력 및 유선분포에 대한 계산결과를 나타낸 것이다.

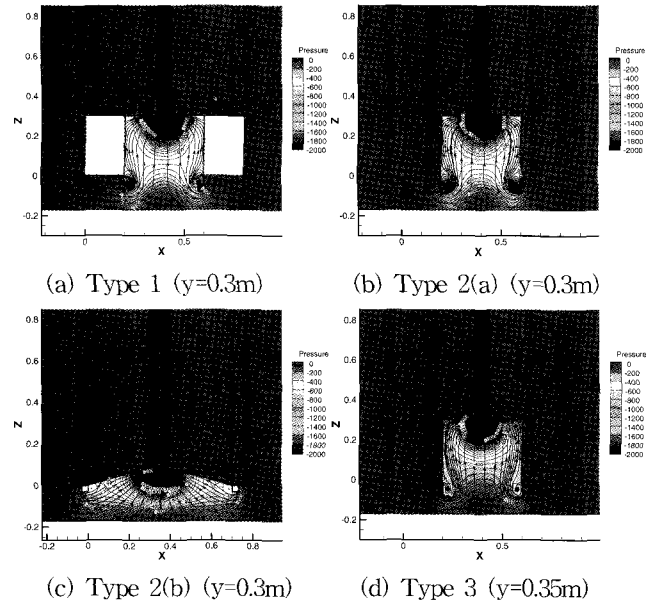


Fig. 9. The pressure distribution and streamlines of middle of Y-axis for underwater body.

Type 1 및 Type 2의 압력 및 유선분포는 대동소이하며, 수중 본체 하부에 강한 와류가 형성되는 것을 나타내고 있다.

Type 2의 (a), (b) 비교에서 (b)는 (a)에 비해 수중 본체 내

부의 압력이 높아지고 있으나 유선분포가 균일해지고 있으며, Type 3의 형상은 상대적으로 낮은 압력과 균일한 유선분포를 보이면서 유기퇴적물 제거를 위한 성능 면에서 우수한 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 해저의 오염퇴적물중 오염의 주원인인 압밀되어 있지 않은 퇴적물층만을 선별하여 준설할 수 있는 수거 시스템을 구성하고 Pilot-Scale 모형제작 및 성능시험을 수행하였으며, 시스템의 효율 향상을 위하여 수치시물레이션을 통한 수중 본체의 형상과 유동특성에 관한 연구를 수행하였다.

본 수거 시스템의 특징은 고압의 공기 및 물 분사에 의해 저면 상층부의 유기퇴적물을 부유토록 하여 이들을 흡입·수거하는 방식으로 준설과정에서 재 부유되는 오염물질의 오타 확산을 방지하거나 최소화하도록 하는 것이다.

시스템 구성과 Pilot-Scale 모형제작 및 성능시험으로부터 항만 및 양식장 등에 침전 퇴적되어 있는 유기 오염퇴적물의 제거에 적용 가능함과 퇴적물 수거작업 시 퇴적물 함유율을 높이기 위해서는 정지 시 노즐의 토출압력은 30 Bar 이상, 이동 시 노즐의 토출압력은 40 Bar 이상이 요구됨을 확인하였다. 또한, 규모에 따라 1개 또는 여러 개의 복합 시스템으로 구성할 수 있도록 하여 상부 오염토층을 선택적으로 제거할 수 있는 준설 장비의 개발 가능성을 확인하였다.

수치시물레이션을 통한 수중 본체의 주 배관 하부에서의 유동특성 분석으로부터는 시스템의 퇴적물 수거성능을 향상시키기 위한 새로운 형상에 대한 연구 가능성을 확인하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] 최동현(2001), 한국의 오염해역준설 현황과 정책과제, 한국 해양수산개발원 연구보고서, pp. 6-33.
- [2] 해양수산부(2005), 수압차를 이용한 퇴적물 준설장비 개발, pp. 1-139.
- [3] Fluent(2005), Computational Fluid Dynamics Software, www.fluent.com
- [4] Pointwise, Inc.(2006), Gridgen Version 15 User Manual, www.pointwise.com

---

원고접수일 : 2007 년 10월 10일

원고채택일 : 2008 년 03월 21일