CLEAN TECHNOLOGY, SUMMER. 2004. 6(2) pp. 89-100

도장 슬러지 제거를 위한 도장 부스 수조의 설계

이찬† · 차상원* · 유영돈***

*우) 445-743, 경기도 화성시 봉담읍 와우리 산2-2 수원대학교 기계공학과, 환경청정기술연구센터
**우)449-863 경기도 용인시 백암면 고안리 633-2 고등기술연구원 플랜트엔지니어링 센터

(접수일자 : 2004. 4. 5 / 채택일자 : 2004. 5. 3)

Design of the Water Bath of a Painting Booth for the Removal of Paint Sludge

Chan Lee, Sang Won Cha* and Young Don Yoo***
** Department of Mechanical Engineering, University of Suwon*
Center for Environmental and Clean Technology
*** Plant Engineering Center, Institute for Advanced Engineering*

요 약

도장부스 수조 내에 부유되는 도장 슬러지의 효율적인 분리를 위한 수조 형상 및 skimmer 설치에 대한 설계를 최적화하였다. VOF 모델을 사용하여 수조 내 도장 슬러지-물-공기 혼합물의 유동형태에 대한 해석을 수행하였고, 해석된 결과를 바탕으로, 수조 내 물로부터 효과적인 슬러지 분리를 위한 도장 부스 수조 내 흡입관, 격판 및 슬러지 유입구의 설치에 대한 최적 설계 기준을 제시하였다. 더 나아가, skimmer 가 수조 내 물에 잠기는 설치조건에 대한 최적화를 통하여 슬러지 흡입 시 공기 혼입 및 압력손실을 최소화 하였다.

ABSTRACT : The optimization for the water bath design and the skimmer installation are conducted to separate floated-sludge from the waste water in a water bath of a painting booth. VOF(volume of fluid) model is used to analyze the flow pattern of sludge-water-air mixture in a water bath. From the results of numerical analysis, the design criteria of the skimmer, the separation plate and the sludge inlet port of a water bath are obtained for effective sludge separation from water in bath. Furthermore, the installation condition of the skimmer immersed in water is optimized to minimize entrained air and pressure loss.

1. 서 론

도장(coating)은 모든 산업의 공통적이며 필수적인 공정으로서, 제품의 품질 및 외양을 결정하는데 매우 중요한 효과를 가져다준다. 많은 산업적 수요에 의해 산업현장에서 도장이 이루어지고 있으나, 도장 시 사

† corresponding author : clee@mail.suwon.ac.kr

이러한 이유로, 최근 들어 도장부스 및 배기가스 후처리 설비 설계 시 VOC 저감을 위한 여러 가지 설계 개념 도입 및 운전 조건의 최적화가 이루어지고 있다[2,3]. 도장부스에서 발생하는 배기가스중의 VOC 와 무기성 입자(inorganic particle) 제거를 위해, 배기가스는 도장부스 후방에 위치한 와류실 및 eliminator를 거치며 습식 세정공정을 거치게 된다. 그리고 이때 배기가스와 물의 접촉을 통해, VOC와 입자들은 물에 실려 도장부스 뒤편의 수조로 유입되며, 수조의 물은 펌프에 의해 다시 가압되어 도장부스 내 와류실로 재순환된다[4](Fig.1 참조).

그러나 이때 수조로 유입된 물중의 VOC와 입자들은 물 표면에 부유하는 슬러지(sludge) 형태로 존재하게 되며(Fig.2 참조), 이러한 슬러지의 존재는 물의 도장부스 내로의 재순환에 매우 치명적인 영향을 가져다주어, 궁극적으로는 수관의 막힘 현상 더 나아가 도장제품의 품질저하, 도장부스의 조업중단과 같은 결과를 가져다 줄 수 있다. 그러므로 재순환되는 물 중의 슬러지를 수조 내에서 효과적으로 제거하는 일이 도장산업체의 주요한 업무 중의 하나이며, 이를 위해 대부분의 산업체에서는 수시로 작업자들이 수

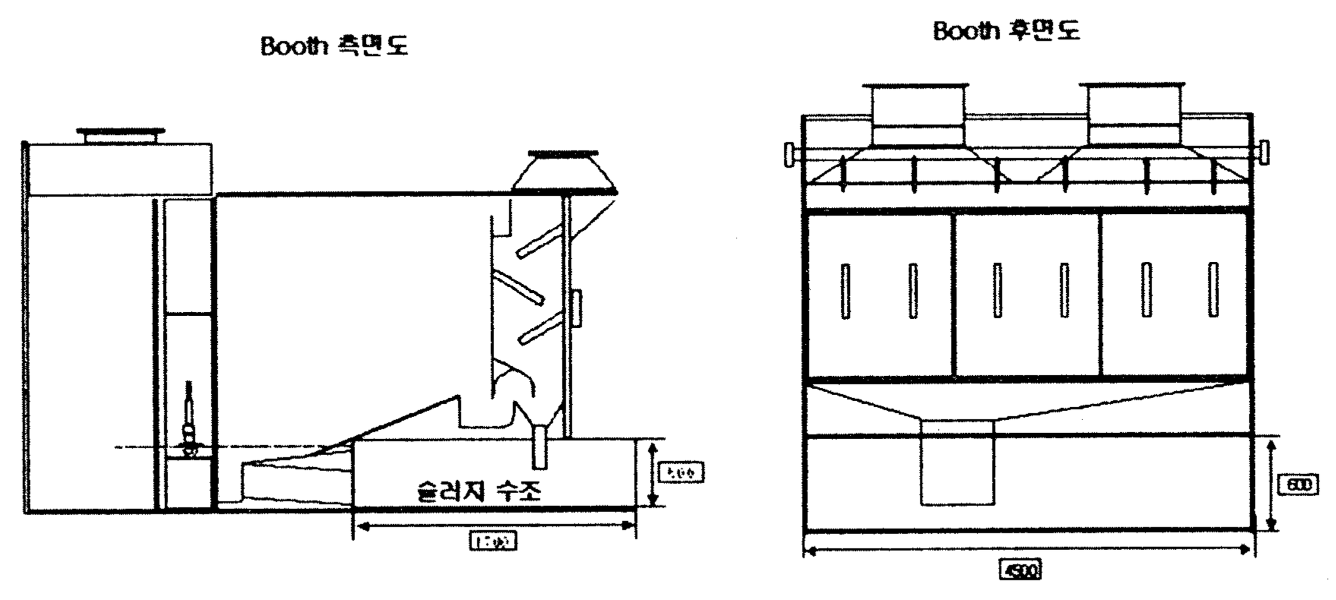


Fig. 1 Side and rear views of painting booth

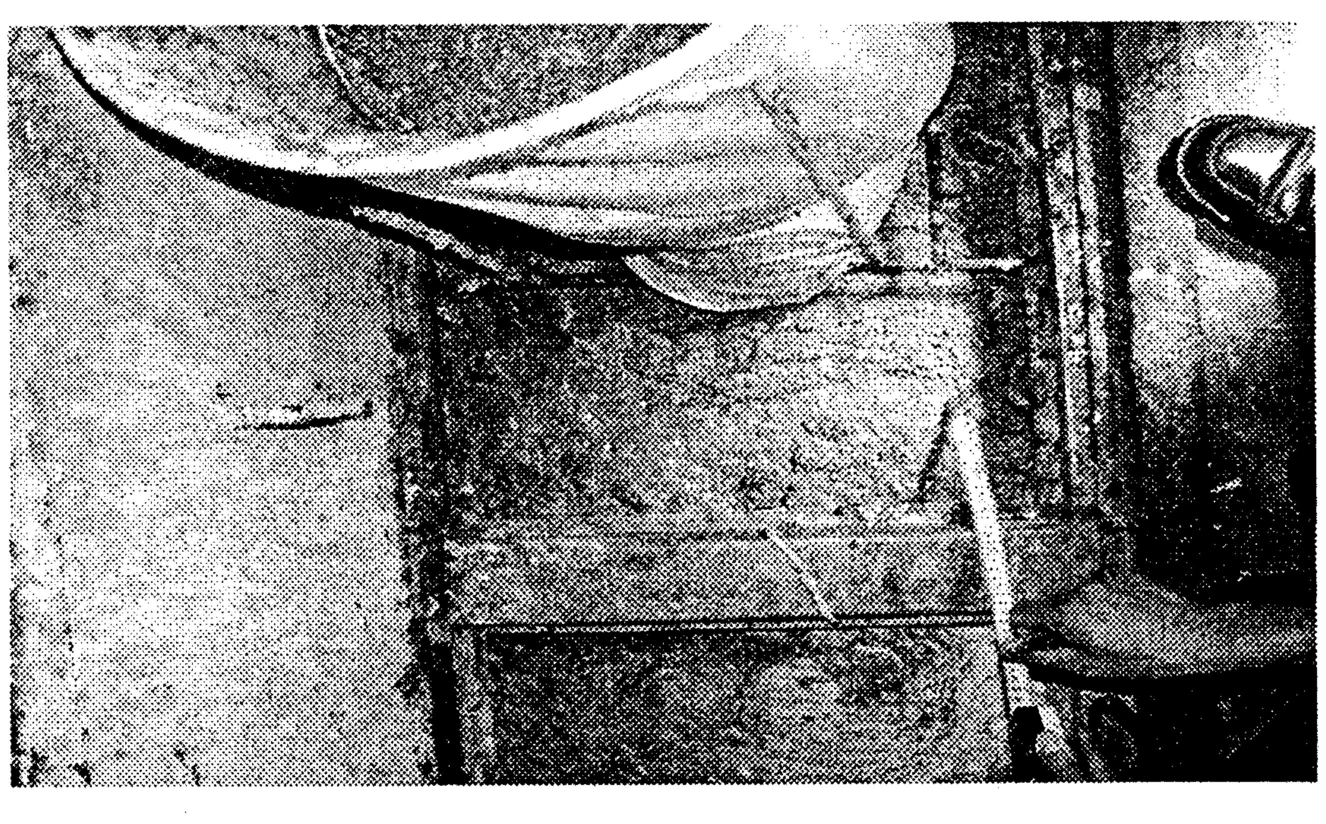


Fig. 2 Paint sludge floated in water bath

조 내의 슬러지를 채를 사용하여 제거한다.

그러므로 본 연구에서는 수작업으로 이루어지고 있는 재래식 슬러지 제거 작업을 자동화하기 위한 하나의 방법으로, 수조 내 슬러지를 연속적으로 흡입, 제거하기 위한 수조 설계를 전산유체역학적 방법을 이용하여 수행하였다. 수조 내 물 표면위에 부상된 슬러지를 물로부터 분리, 제거할 수 있도록 skimmer를 설치하였고, 수조 내의 슬러지 유입구 및 격판 설계를 통하여 수조내로 유입된 슬러지가 skimmer를 통해 가장 잘 흡입, 분리될 수 있는 최적 설계 기준을 제시하였다.

2. 도장 수조의 설계 및 전산유체역학 해석 모델

2-1. 전산유체역학적 방법

도장 부스 수조 내 슬러지 제거를 위해서는 수조 내 물과 슬러지에 혼합물에 대한 유동특성과 수조 주위의 공기와 수조 표면 물과의 혼입현상에 대한 특성을 우선적으로 규명할 필요가 있다. 그러므로, 수조 내 물, 슬러지 및 공기 혼합유동에 대한 해석을 위해서는 복잡한 수조 내 3차원 유동장에 대한 계산 과정이 필요하며, 이를 위해서는 다음과 같은 수조 유동의 질량, 운동량 보존 방정식들 외에 난류(turbulence)에 대한 k-ϵ 지배방정식에 대한 수치적 계산이 필요하다[5].

• 질량보존 : $\dfrac{\partial(\rho u_j)}{\partial x_j}=0$ (1)

• 운동량 보존 :

$$\frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j}=-\frac{\partial p}{\partial x_i}+\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\mu\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j}+\frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right)\right]+\rho g_i \quad (2)$$

• 난류 운동에너지(Turbulent Kinetic Energy, k) :

$$\frac{\partial}{\partial x_k}(\rho u_k k)=\frac{\partial}{\partial x_k}\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial x_k}\right]+P-\rho\varepsilon \quad (3)$$

• 난류 소산율(Dissipation Rate of the Turbulent Kinetic Energy, ϵ) :

$$\frac{\partial}{\partial x_k}(\rho u_k\varepsilon)=\frac{\partial}{\partial x_k}\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial\varepsilon}{\partial x_k}\right]+C_1\frac{\varepsilon}{k}P-C_2\frac{\rho\varepsilon^2}{k}$$

(4)

여기에서 u 는 유체의 속도를 나타내며, 난류생성항 P 는 다음과 같다.

$$P = -\overline{\rho u'_i u'_k}\frac{\partial u_i}{\partial x_k} = \mu_t\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_k} + \frac{\partial u_k}{\partial x_i}\right)\frac{\partial u_i}{\partial x_k} \qquad (5)$$

한편 난류점성계수 μ_t는 다음과 같은 난류운동에너지 k와 에너지 소멸률 ε의 관계식으로 주어진다.

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \qquad (6)$$

하지만 위 난류모델은 완전 난류영역에서만 사용할 수 있으며 벽면 부근에서는 잘 알려진 벽함수를 사용한다. 한편, 이 난류 모델에 사용된 모델 상수는 각각 다음과 같다.

$$C_1 = 1.44,\ C_2 = 1.92,\ C_\mu = 0.09,$$
$$\sigma_k = 1.3,\ C_\varepsilon = 1.0 \qquad (7)$$

앞서의 유동 방정식들과 더불어 슬러지-물-공기의 3상 유동(three-phase flow) 해석을 위해서는, 다상유동 해석을 위한 VOF(volume of fluids) 모델을 사용하였다[5]. VOF 모델은 해석하려는 모든 상(phase)에 대해 운동량 방정식을 풀고, 서로 다른 상의 유체들이 이루는 접촉면에 대해서는 volume fraction(αq)을 구하여 격자계 cell 에서 다음과 같이 질량보존방정식을 계산한다.

$$\frac{\partial \alpha_q}{\partial t} + \vec{v}\cdot\nabla\alpha_q = 0,\quad \sum_{q=1}^{n}\alpha_q = 1 \qquad (8)$$

각 cell에서 구해진 volume fraction을 이용하여 서로 다른 상들이 혼합된 혼합유체의 밀도, 점도등을 구할 수 있다. 또한 본 연구에서는 VOF 모델에 표면응력 효과도 고려하였다.

$$p_2 - p_1 = \sigma\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \qquad (9)$$

여기서 p2, p1 은 두개의 서로 다른 상을 가지는 유체들 간의 압력을 나타내고, σ 는 표면장력 계수로서 본 연구에서는 물 과 공기간의 표면장력 값을 사용하였다. 좀더 상세한 모델링 원리 및 방법은 참고문헌[3]에 잘 기술되어 있다.

2-2. 도장수조 형상의 설계 개념

Fig. 3 에 보여지듯이, 슬러지가 부유하는 수조는 사각단면의 개수로형(open channel type) 수조(폭: 400 mm, 높이: 370 mm)를 고려하였고, 수조는 도장부스에서 유입되는 물과 재순환되는 물에 의해 항상 일정한 수위를 유지하고 있다. 또한 skimmer 입구는 수조의 폭과 동일하게 설계되어 도료 슬러지를 흡입하도록 고안되었고, skimmer 단면이 점차적으로 줄어들어 유동박리(flow separation)가 없도록 유선형으로 설계하였다. 수조 내 물과 슬러지의 물성치는 다음과 같이 가정하였고, 슬러지는 물 표면에 약 1 cm 두께의 층을 가지고 부유되며 그 위는 대기 중의 공기와 접하고 있는 것으로 가정하였다.

- 물: 밀도(1,000 kg/cm3), 점도(1 cP)
- 도장 슬러지: liquid-like sludge, 밀도(800 kg/cm3), 점도(4 cP)

앞서 언급한 바와 같이, 수조 내 부유하는 슬러지를 skimmer 를 통해 흡입하는 유동 문제는 물, 슬러지 및 공기가 서로 혼합되는 3상 유동 문제로서, 이 문제를 해석하기 위해 본 연구에서는 Figs. 3, 4 와 같은 격자계를 사용하였다. 또한 skimmer 의 suction port 는 사각 단면(폭: 380 mm, 높이: 700

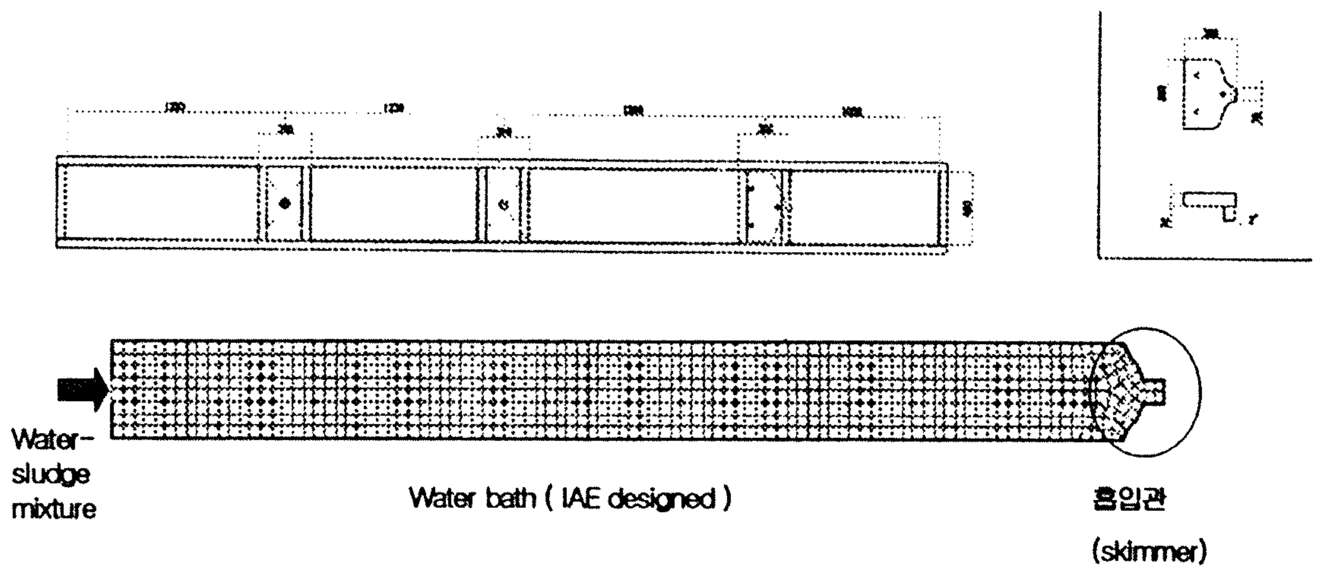


Fig. 3 Streamlined skimmer in water bath

mm)을 가지도록 설계하였고, Fig. 5 에서 보이는 바와 같이, skimmer가 수조의 물 표면에 잠기는 정도에 따라 흡입성능이 어떻게 달라지는 지를 검토하기 위해, skimmer 높이(Hskim) 에 비해 물에 잠기는 깊이(D)를 조절하였다.

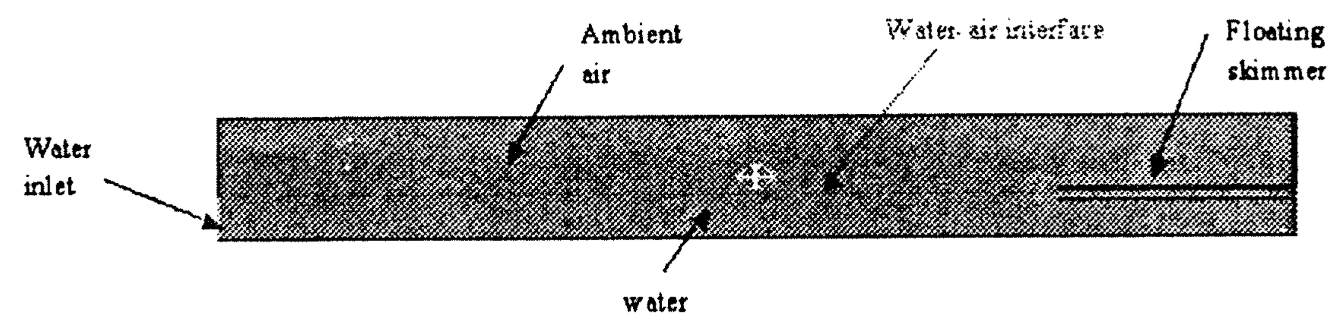


Fig. 4 Grid system of water bath

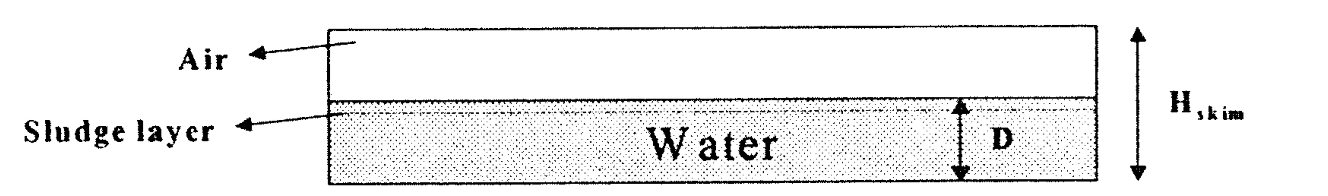
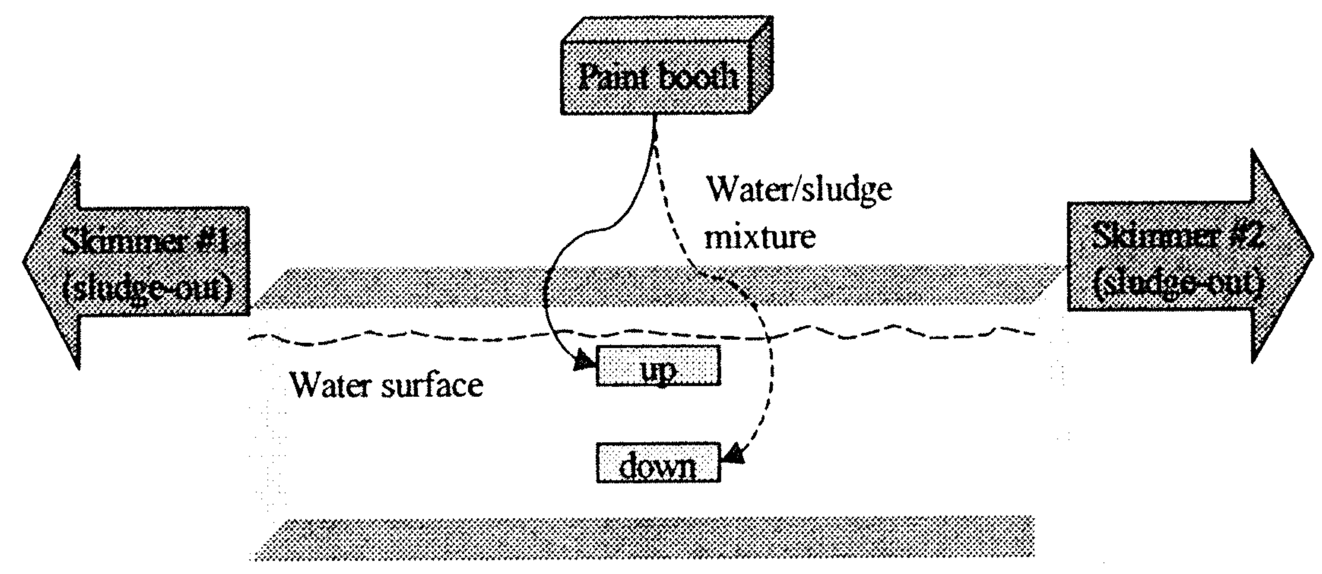
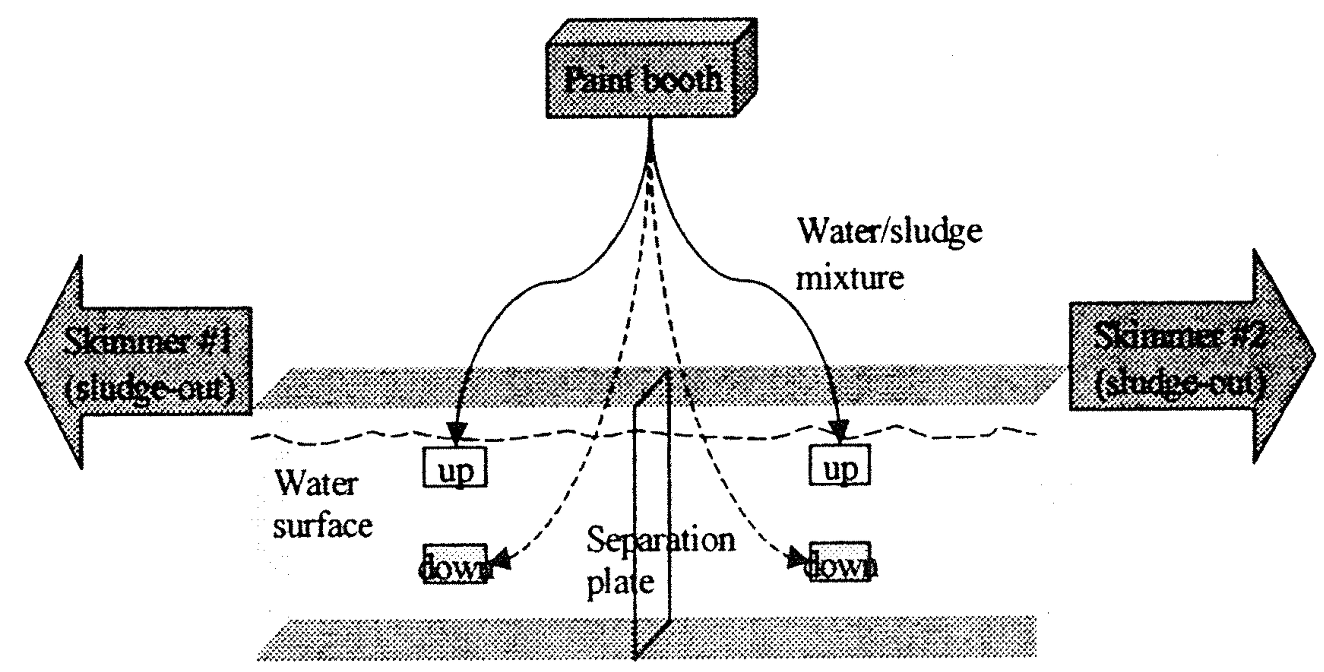


Fig.5 Dimensions of the inlet section of skimmer suction port

일반적으로 도장업체들의 수조는 기존의 도장부스와 연결되어 있어 슬러지를 포함하는 물이 수조 내부의 급수구를 통해 유입되고, 수조에 따라서는 수조 내 물의 요동(fluctuation)을 제어하기 위한 격판이 수조 중간에 설치되곤 한다. 그러므로, 본 연구에서는 슬러지 흡입, 분리를 위한 skimmer 설치 시 슬러지/물 급수구의 위치 와 수조 내 격판 설치에 따른 효과를 검토하여, 수조 내 슬러지 흡입 성능을 최대화 하였다. Fig. 6 는 본 연구에서 고려한 급수구(supply water port) 위치와 격판 설치에 대한 설계 개념들을 보여주고 있다. 앞서 언급한 바와 같이, skimmer 는 수조의 양 끝단에 설치하여 슬러지를 흡입하도록 설계하였고, 도장 부스로부터 슬러지/물 혼합물이 유입되는 급수구는 수조의 측면 벽 중심선에 위치하며, 급수구 위치는 물과 공기의 경계면에 가까운 지점(upside)과 수조 바닥면에 가까운 지점(downside) 두 경우를 고려하였다. 또한 수조 내 중앙에 격판(separation plate)을 설치하거나 설치하지 않는 경우에 대해서 skimmer 흡입성능을 검토하였다. 참고로, Fig. 1에서 나타나듯이 수조는 도장부스의 아래 쪽에 설치되므로, 본 연구에서는 도장 부스에서 유입되는 물이 수조 내로 하향 45o 방향으로 분사된다고 가정하였다. Table 1 은 본 연구에서 고려한 4가지 경우의 수조설계 특성을 보여주고 있다.



(a) cases without separation plate



(b) cases with separation plate

Fig.6 Design concept for the supply water port location and the separation plate of water bath

Table 1 Design concepts for water bath

CASE	Location of supply water port	Separation plate
1	upside	No
2	downside	No
3	upside	Yes
4	downside	Yes

2-3. 전산해석 결과 및 설계 최적화

2-3-1. Skimmer 설치 위치의 영향

본 연구에서는 우선적으로 skimmer 의 위치에 따른 영향을 검토하기 위해, D/Hskim 을 17, 58, 83 % 로 변화시키며 흡입유동 특성 및 skimmer의 흡입성능을 계산, 비교하였다. Fig. 7 은 skimmer가 물에 약 17% 가량 잠겨 슬러지를 흡입하는 경우를 보여주고 있다. 그림의 왼쪽은 슬러지의 흐름을, 오른쪽은 물의 흐름을 volume fraction contour로 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이, 물 표면위의 슬

러지가 skimmer를 통해 유입되고 있으나, 슬러지 및 물과 동시에 외부 공기가 다량 혼입되어 물을 흡입하는 펌프 작동에 매우 부정적인 영향을 미칠 것으로 판단된다.

Fig. 8 은 33% 가량 skimmer 가 물에 잠겨있는 경우로서, 흡입유동이 비교적 매끄럽게 skimmer 로 흡입되는 양상을 보여주며, 흡입되는 유체도 거의 대부분이 물과 슬러지 혼합물인 것으로 보여진다. 따라서 공기유입에 따른 펌프성능저하의 문제는 상대적으로 거의 없을 것으로 판단된다. Fig. 9 은 skimmer의 58% 가량이 물에 잠긴 경우에 대한 해석 결과로서, Fig. 8의 결과와 유사하게, 슬러지 유입이 비교적 원활하게 이루어지고 있으며 반면에 공기의 혼입은 크지 않음을 알 수 있다. Fig. 10 은 skimmer 가 83% 물에 잠겨서 작동하는 경우로서, skimmer 입구에서 물표면의 상승작용으로 인해 대부분의 슬러지들이 skimmer 안으로 유입되기 보다는 skimmer 상부표면을 덮는 현상을 관찰할 수 있다. 이러한 결과는 skimmer가 슬러지를 유입, 제거하는데 효과적이지 못함을 보여준다.

Fig. 11 은 각 skimmer 설계에 따른 공기/물/슬러지 혼합물에 대한 흡입 특성을 질량 분율로 비교한 것으로, skimmer 가 물에 잠기는 비율이 작을수록 공기 혼입량이 급격히 늘어남을 알 수 있다. 또한 슬러지의 유입량은 전체 혼합물의 10-15% 수준으로, skimmer가 물에 잠기는 비율이 클수록 슬러지의 유입비율이 줄어드는 경향을 보인다.

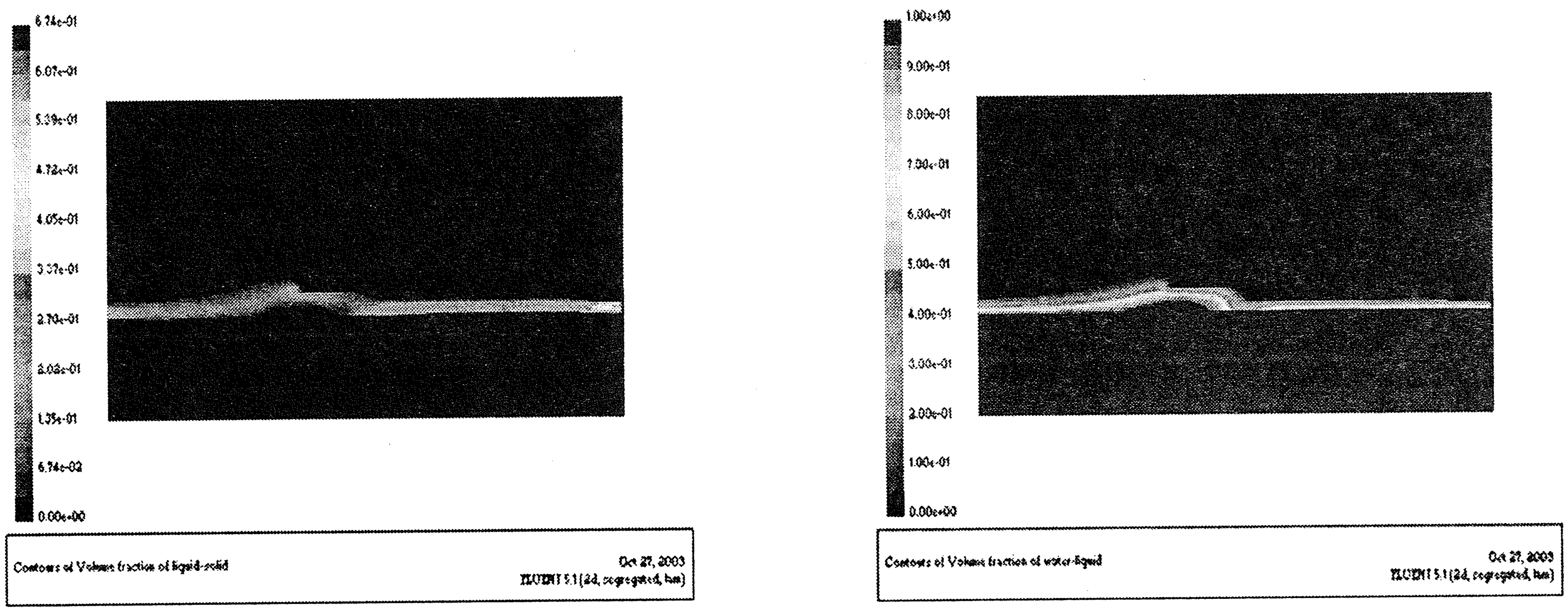


Fig.7 Suction flow pattern of skimmer with D/Hskim = 0.17(LEFT: sludge, RIGHT: water)

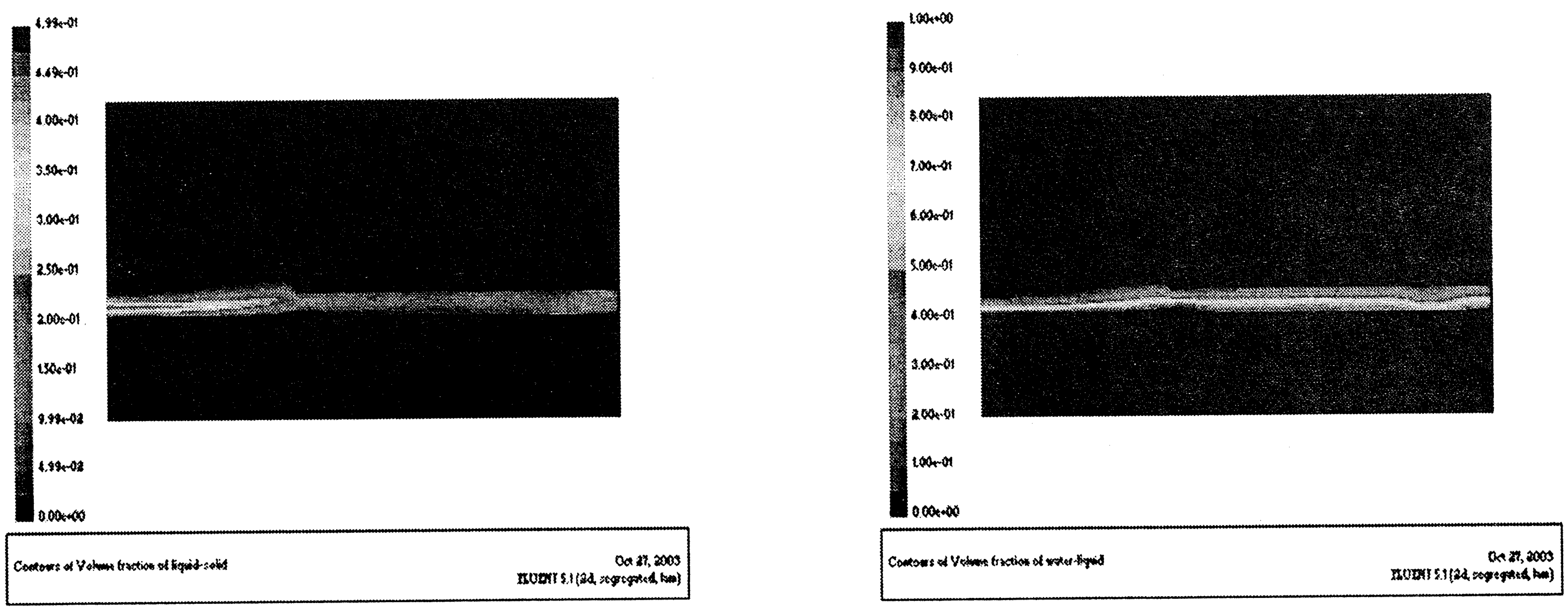


Fig.8 Suction flow pattern of skimmer with D/Hskim = 0.33(LEFT: sludge, RIGHT: water)

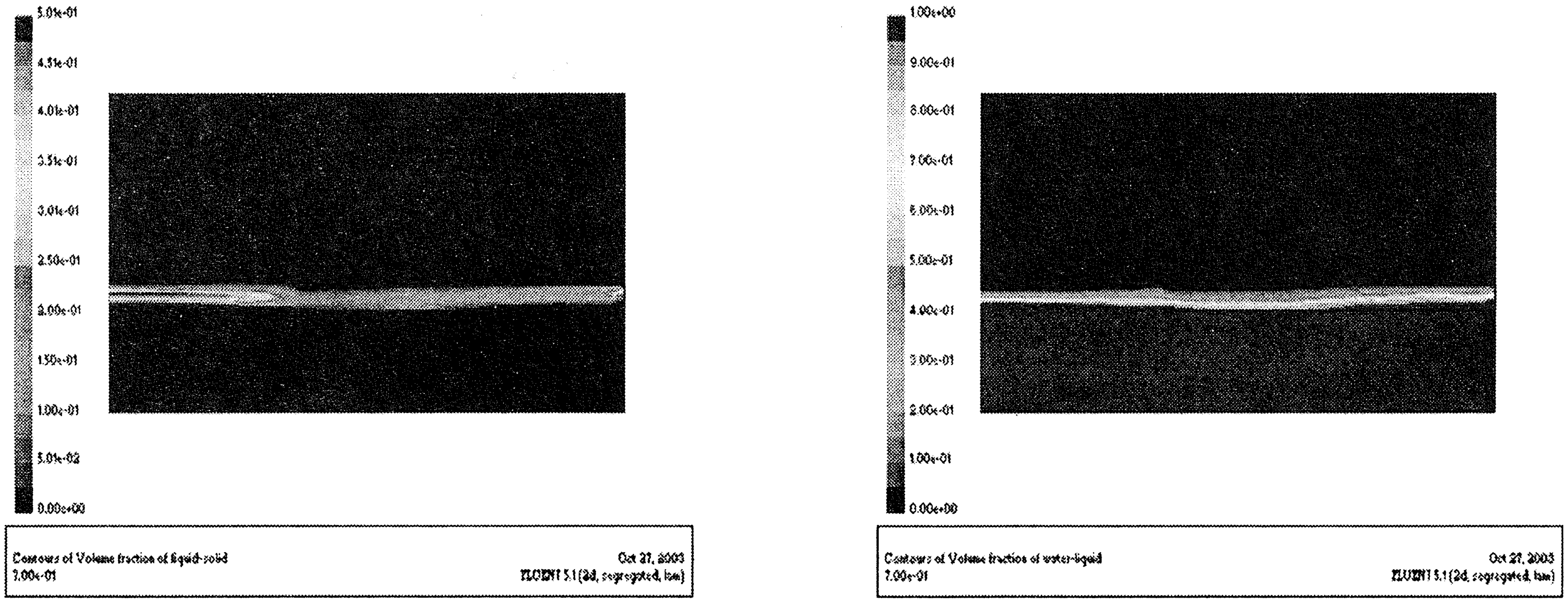


Fig. 9 Suction flow pattern of skimmer with D/Hskim = 0.58(LEFT: sludge, RIGHT: water)

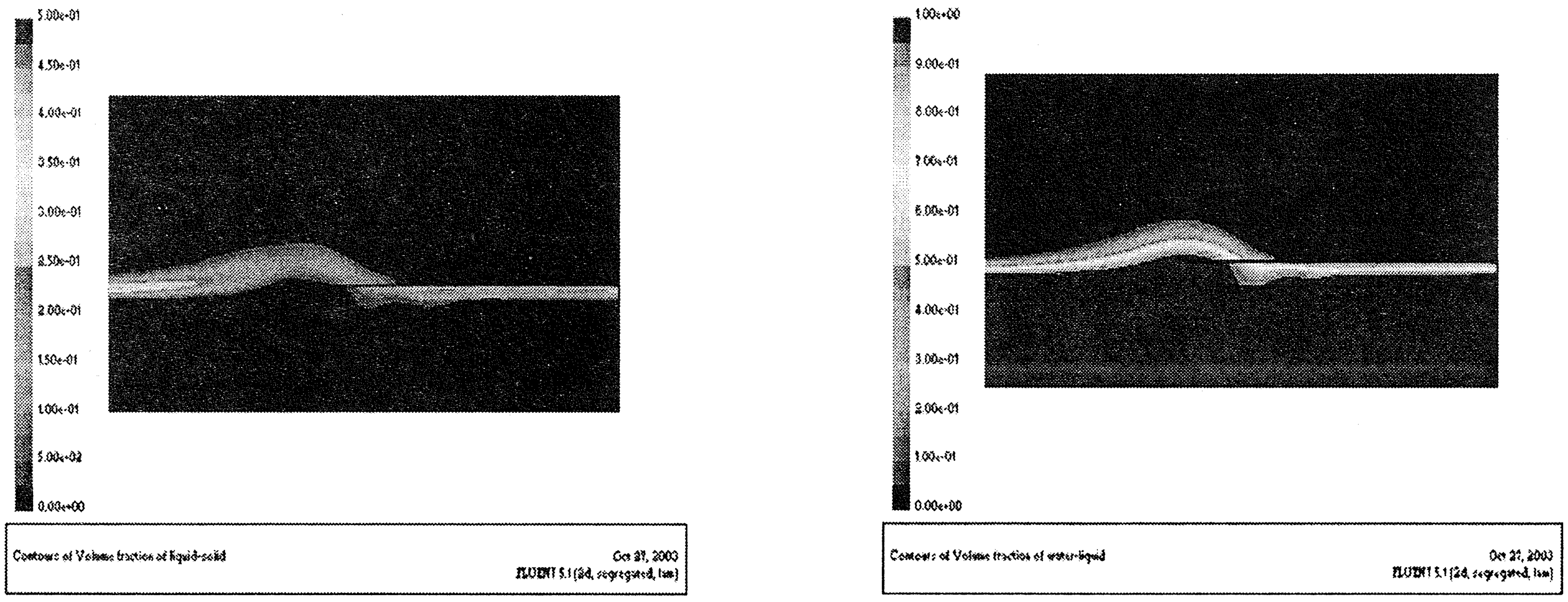


Fig. 10 Suction flow pattern of skimmer with D/Hskim = 0.83(LEFT: sludge, RIGHT: water)

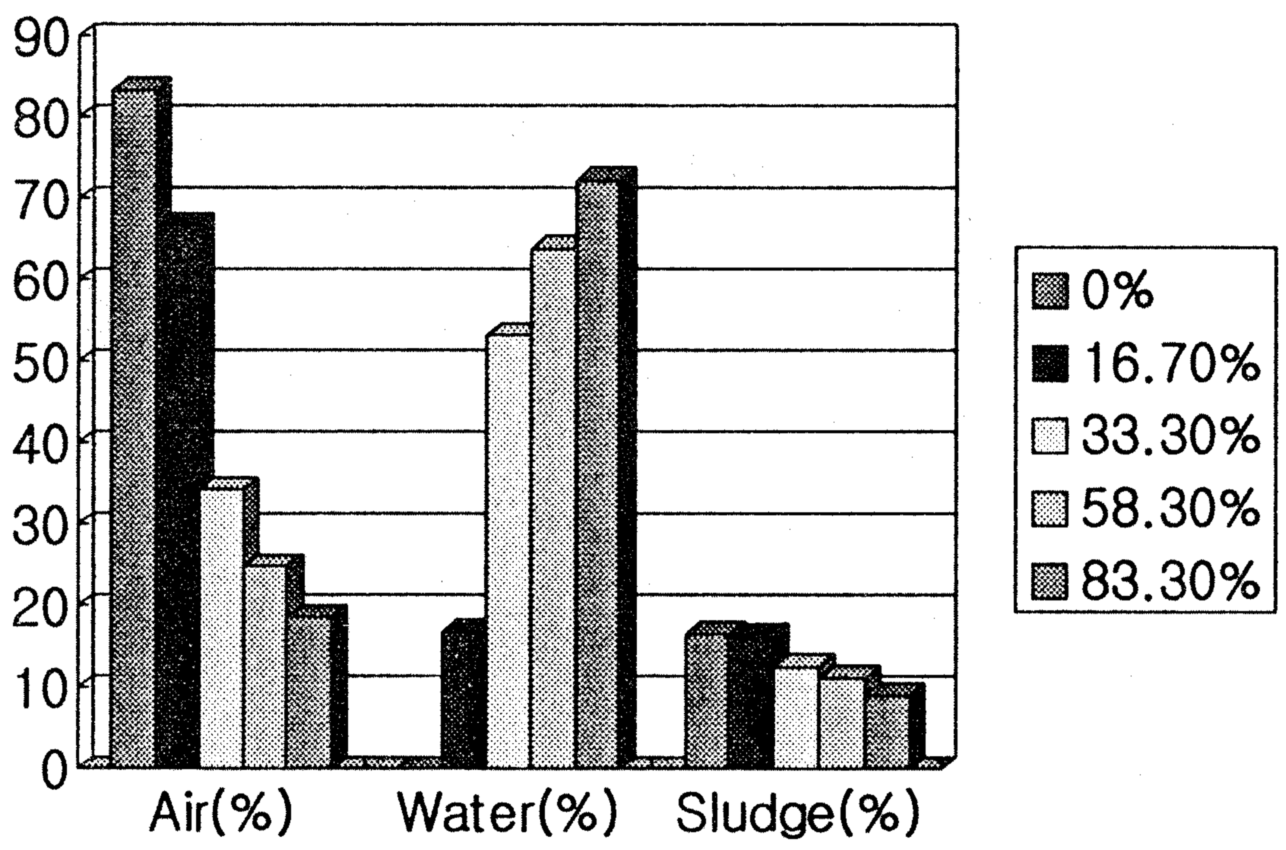


Fig. 11 Suction flow comparisons of different phase fluids

Table. 2 는 4가지 skimmer 설계 경우들에 대한 유동특성, 공기혼입, 슬러지 배출성능 및 skimmer 내부 압력손실과 같은 계산결과들을 비교하고 있으며, 모든 결과들을 종합적으로 검토해본 결과 skimmer 가 약 33% 정도 물에 잠겨서 슬러지를 흡입, 제거하는 것이 가장 바람직한 것으로 판단된다.

2-3-2. 급수구 및 격판 설계의 영향

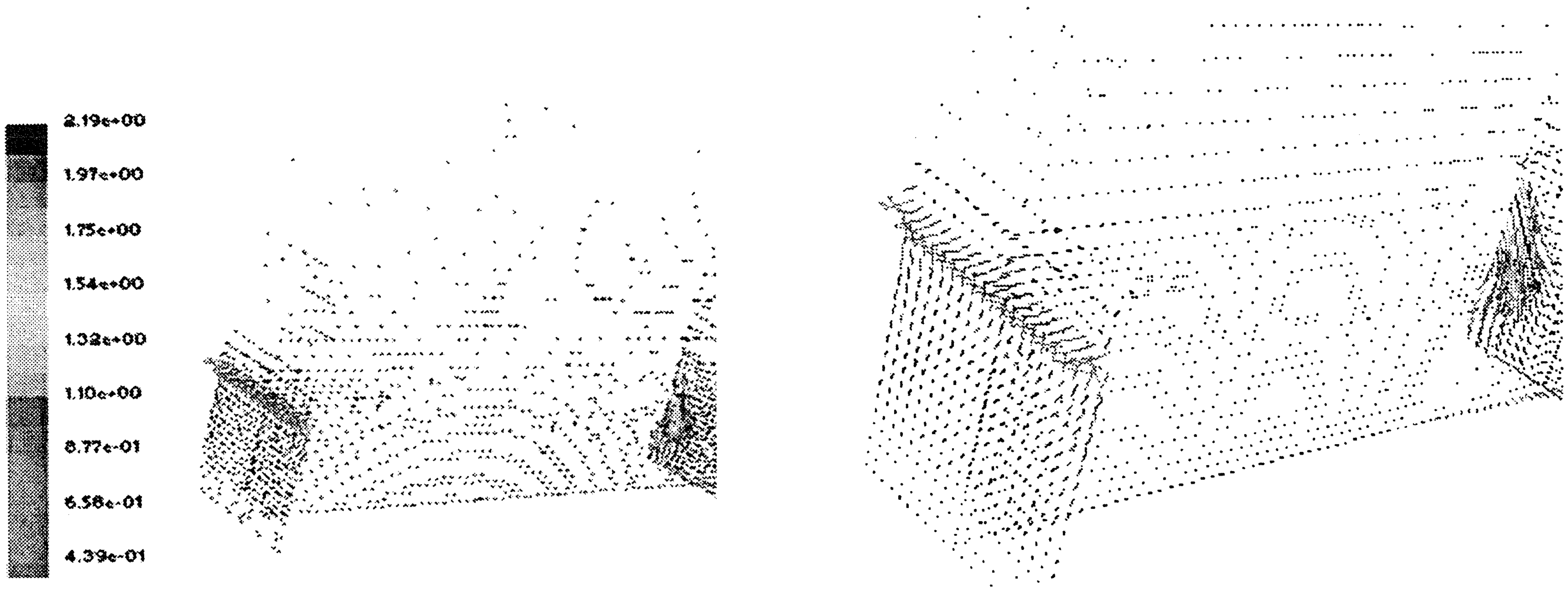
Figs. 12-15 는 Table 1 의 4개의 설계 경우에 대한 수조 내 물의 속도 분포를 보여주고 있다. 왼쪽과 오른쪽의 유동 단면이 skimmer 부근의 속도를 보여주고 있으며, 중간의 유동 단면은 급수구 주위의 속도

Table 2 Comparisons of the suction characterictics of different skimmer designs

Immersion %	Sludge 유입 거동	Air entrainment	Sludge 배출 비율(성능)	Skimmer 유입 압력손실(kPa)
0	poor	poor	good	123
16.7	poor	poor	good	73
33.3	good	good	good	53
58.3	good	good	poor	136
83.3	poor	good	poor	123

분포를 보여주고 있다. 격판이 있는 cases 3, 4 는 격판을 중심으로 대칭적인 유동형태를 보여주고 있다. 그림에서 보여지듯이, 일반적으로 양면의 skimmer를 통해 물이 흡입되어 빠져 나가는 현상을 볼 수 있으며, skimmer 밑바닥에 있는 물도 벽면을 따라 skimmer 입구로 유입되는 것을 볼 수 있다. 반면에 skimmer로 물이 흡입되면서 국소적으로 압력이 떨어지므로, 주위의 공기가 급속히 skimmer로 유입되는 것도 볼 수 있다. 수조의 중앙 부위에 있는 급수구를 통해 유입되는 물은 수조의 횡 단면(cross section)을 따라 크게 와류를 형성시키는 것을 볼 수 있다. 그리고 급수구의 물 분사로 인한 이러한 와류의 형성은 skimmer 로 유입되기 전 skimmer 입구에서 발생할 수 있는 슬러지의 수조 밑바닥으로의 침강 현상을 줄여주는데 오히려 도움이 되리라 판단된다.

Fig. 12 는 case 1의 속도 분포를 보여주고 있으며, skimmer로 빠져 나가는 물의 속도 분포가 비교적 균일함을 알 수 있고, 주변 공기의 유입도 비교적 적음을 알 수 있다. 즉 수조의 물 표면에 부상된 슬러지도 수조내의 비교적 안정되고 균일한 흐름에 의해 skimmer를 통해 제거됨을 알 수 있다. Fig.13 에서 볼 수 있듯이, case 2도 case 1과 유사하게 skimmer 출구 속도 분포가 비교적 균일하게 이루어짐을 알 수 있다. 그러나 급수구가 상대적으로 수조 하부에 위치한 관계로 물/슬러지 혼합물이 수조의 밑바닥에 충돌하여 수조의 폭 방향(z-방향)으로 큰 흐름을 야기시키며, 이로 인해 수조 내의 와류 형성이 수조 밑쪽 부근에만 국한되고, 수조 표면에 까지는 큰 영향을 미치지 못한다. Fig. 14 는 격판이 존재하고 급수구가 상부(upside)에 위치한 case 3 의 속도분포를 보여주고 있다. 그림에서 보여지는 바와 같이, 격판

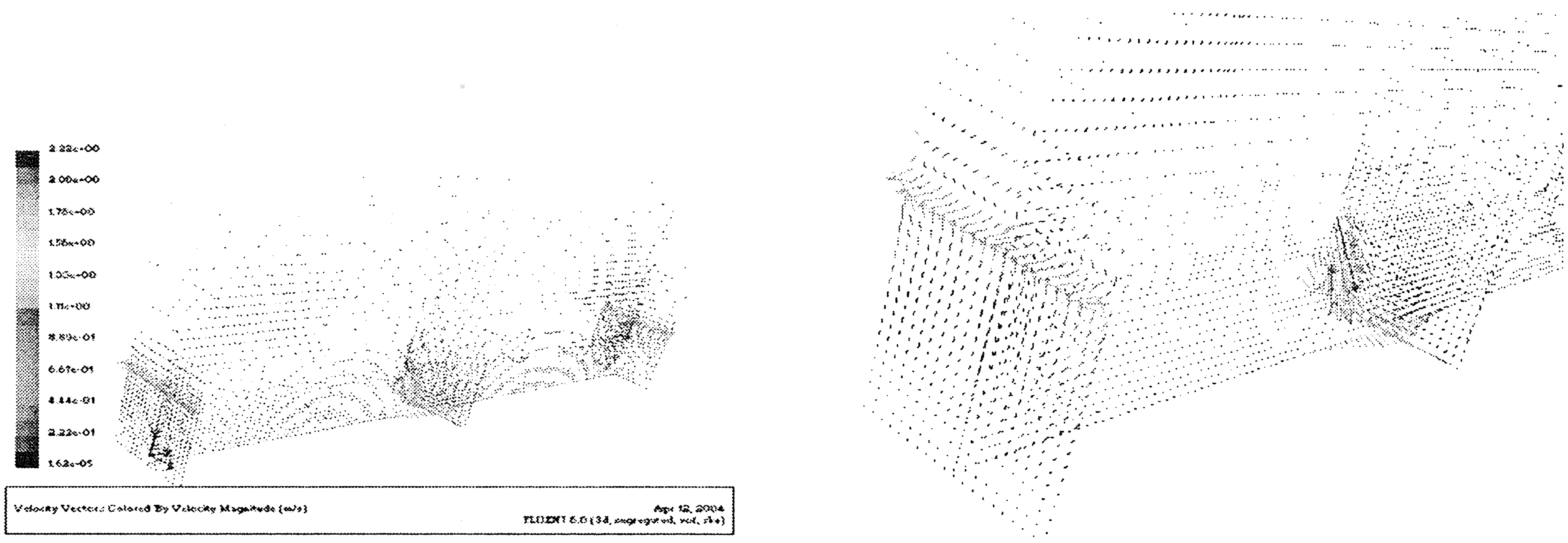


(a) Velocity vector of the water liquid in water bath

(b) Detailed velocity vector views at the suction and supply water ports

Fig. 12 Velocity field in the water bath of Case 1

이 없는 경우들에 비해 수조 내의 와류 강도 및 속도분포의 불균일성이 더욱 증대됨을 알 수 있다. 그리고 수조 내 와류로 인한 공기의 혼입 및 skimmer로의 공기 유입 현상도 더욱 현저하게 나타남을 볼 수 있다. Fig .15 도 Fig. 14 와 유사한 경향을 보이고 있다.

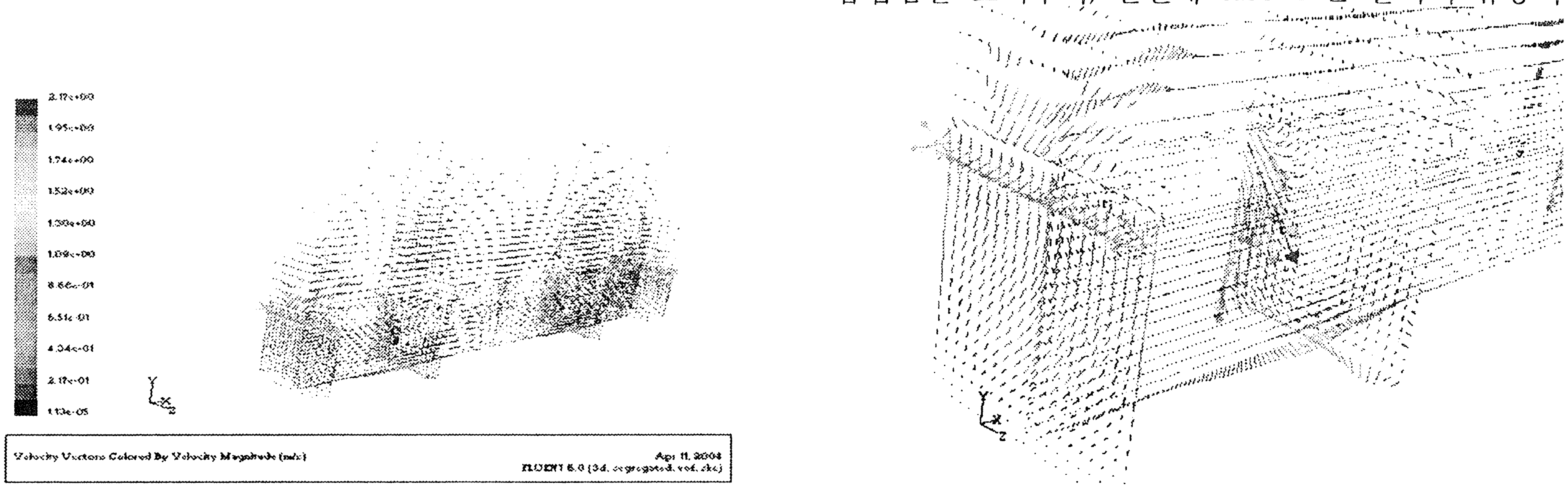


(a) Velocity vector of the water liquid and the air in water bath

(b) Detailed velocity vector views at the suction and supply water ports

Fig. 13 Velocity field in the water bath of Case 2

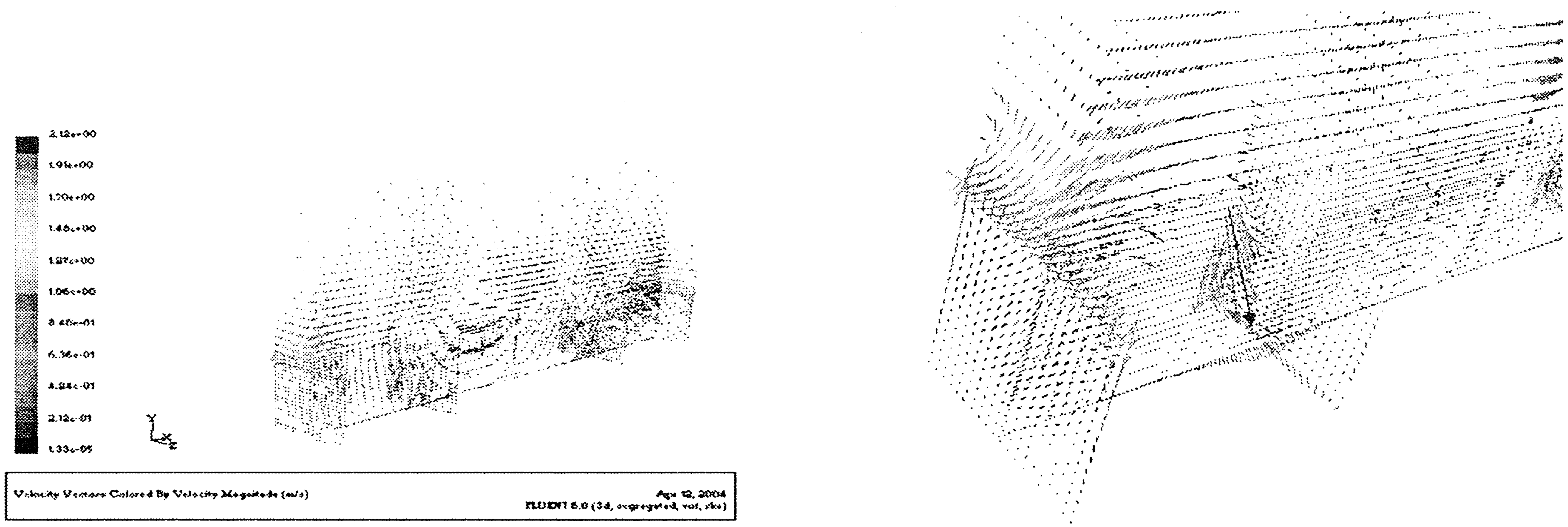
흡입됨을 보여주며, 반면에 case 2 는 슬러지 유동이



(a) Velocity vector of the water liquid and the air in water bath

(b) Detailed velocity vector views at the suction and supply water ports

Fig. 14 Velocity field in the water bath of Case 3



(a) Velocity vector of the water liquid and the air in water bath

(b) Detailed velocity vector views at the suction and supply water ports

Fig. 15 Velocity field in the water bath of Case 4

Figs. 16-19 는 급수구에서 물과 같이 유입된 슬러지가 수조 내에서 skimmer 로 이동, 흡입되는 슬러지의 궤적을 보여주고 있다. Figs.16, 17 에서 볼 수 있듯이, 격판이 없는 경우는 슬러지가 급수구에서 분출되어 수조 바닥을 거쳐 skimmer 쪽으로 부상, 유입됨을 알 수 있다. 그리고 슬러지의 거동이 비교적 큰 교란 없이 skimmer 쪽으로 향함을 알 수 있다. Case 1 과 case 2 를 비교해 보았을 때, 슬러지가 상부에서 분출되는 case 1 이 case 2 에 비해 상대적으로 많은 양의 슬러지가 부상되어 skimmer 로 case 1 에 비해 수조 바닥면에 머무를 확률이 높음을 보여준다.

Figs. 18, 19 는 격판이 있는 경우의 슬러지 유동 궤적을 보여주고 있다. 격판이 없는 경우에 비해 슬러지의 유동이 훨씬 복잡해지고 유동간의 교란도 심해짐을 알 수 있다. 그리고 격판이 있는 경우라도 슬러지 분출 위치가 아래 있는 경우가 위에 있는 경우에 비해 슬러지가 skimmer 로 흡입, 이동할 가능성이 적음을 볼 수 있다. 그리고 격판이 있는 경우는 슬러지의 일부가 skimmer 의 반대쪽인 격판 쪽으로

이동하여 그 곳에서 정체될 가능성도 있는 것으로 판단된다.

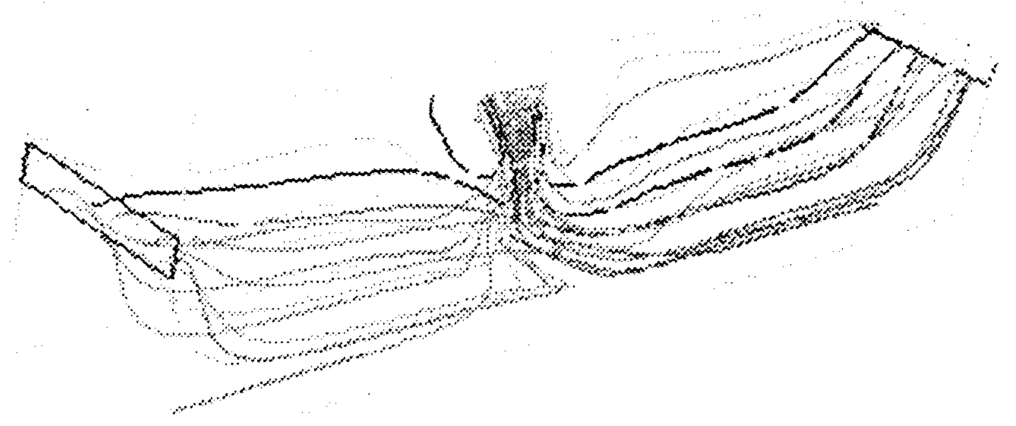


Fig. 16 Streamlines of the water liquid in the water bath of Case 1

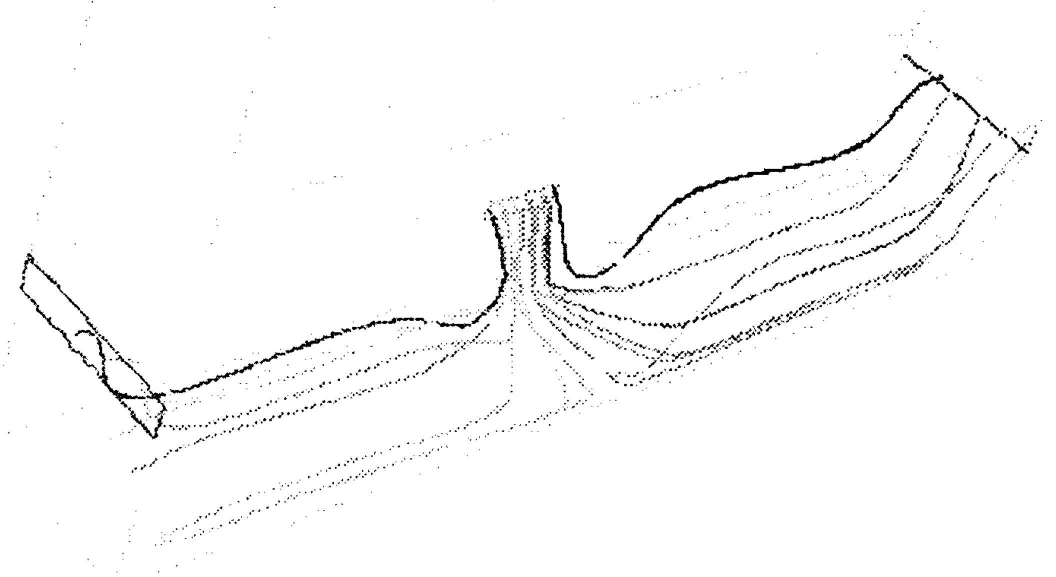


Fig. 17 Streamlines of the water liquid in the water bath of Case 2

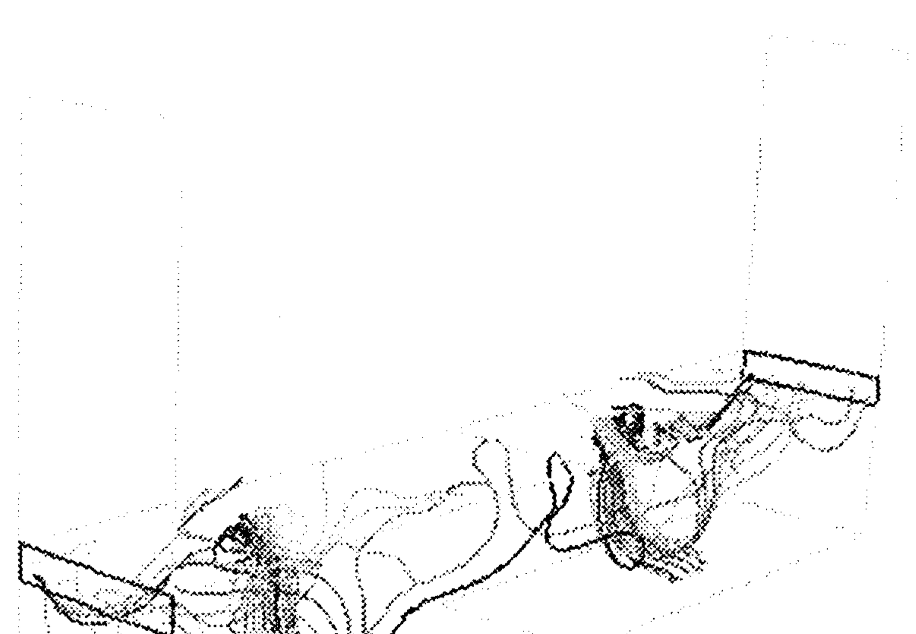


Fig. 18 Streamlines of the water liquid in the water bath of Case 3

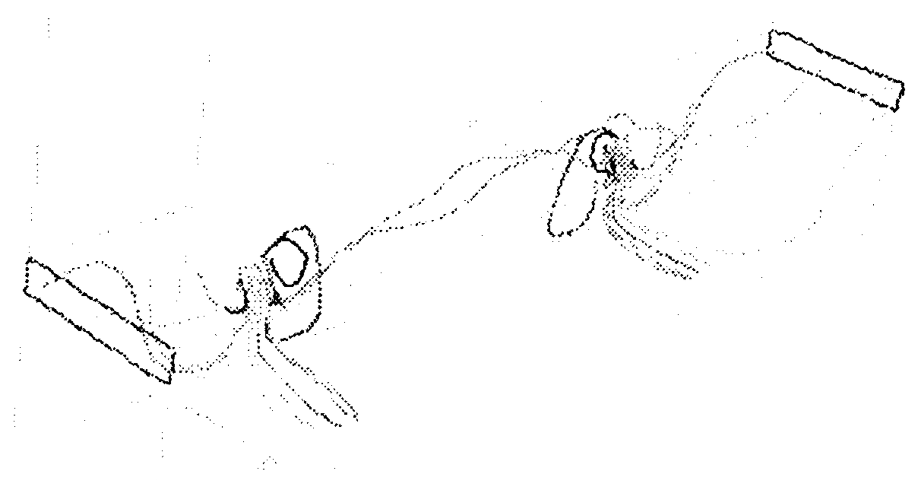


Fig. 19 Streamlines of the water liquid in the water bath of Case 4

Figs. 20-23 은 skimmer의 상부 표면에 수평한 유동면에서의 슬러지/물 혼합물과 공기와의 섞임 정도를 나타내는 슬러지/물의 체적분율(volume fraction)을 보여주고 있다. 2-3-1 절의 계산 결과를 토대로, skimmer의 입구 단면적이 약 30% 가량 물에 잠기도록 skimmer를 설치하였고, 그러므로 skimmer 하부는 물에 잠겨 있지만 skimmer 상부는 공기에 접해 있다. 만약에 물과 공기간의 상호 작용이 매우 적어, 물과 공기간의 경계면이 평행하게 그대로 유지된다면 70% 의 skimmer 입구면적을 통해 공기가 유입되는 것을 의미한다.

Fig. 20 은 case 1의 경우를 보여주고 있으며, skimmer로 유입되는 물/슬러지의 비율이 전반적으로 높게 유지됨을 보여주며, 수조 중심부위에서는 앞서 언급한 바와 같이 급수구 주위에서 발생하는 수조 내 와류가 수조 표면에 까지 영향을 미쳐, 물 표면이 다소간 상승하며 동시에 고정된 skimmer 단면으로 유입되는 물의 체적 분율이 더욱 높아짐을 알 수 있다. 이러한 현상은 skimmer 입구로 물이나 슬러지가 훨씬 더 많이 유입될 수 있음을 시사한다. 반면에 급수구의 위치가 아래 존재하는 case 2 의 경우(Fig. 21 참조)에는 물 표면과 공기간의 상호작용이 훨씬 적어, skimmer 상부 표면 부근에 아직 많은 공기층이 존재하며 이로 인한 공기의 skimmer 로의 유입이 그림에서 관찰되어 진다.

Fig. 22 는 격판이 있는 경우를 보여주고 있으며, 격판이 없는 경우들(case 1, case 2)에 비해 물과 공

기 간의 혼입현상이 훨씬 더 활발함을 알 수 있다. 그러나 이러한 혼입현상이 국소적으로 매우 변화가 심해 skimmer 부근에서는 오히려 물/슬러지의 비율이 떨어짐을 알 수 있으며, 이러한 현상은 앞서 Fig.14 의 skimmer 부근 공기 혼입현상과도 잘 일치한다. 또한, Fig. 23 으로부터, 격판이 있는 경우라도 급수구가 아래 위치한 경우는 물과 공기의 섞임 현상이 현저히 줄어들며, 이로 인해 skimmer 상부로 공기가 그대로 유입되어 상대적으로 공기의 체적분율이 높아짐을 알 수 있다.

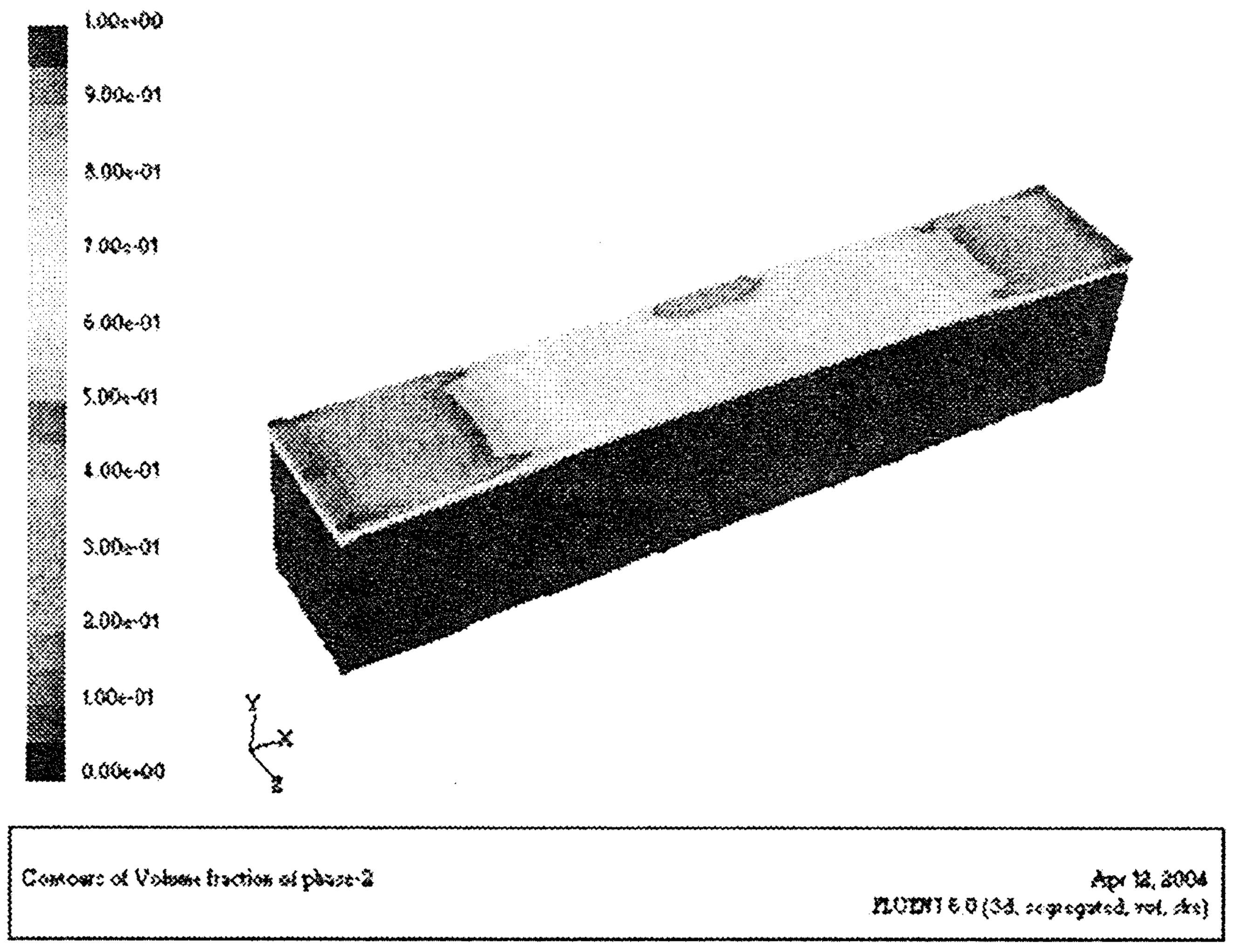


Fig. 20 Volume fraction of the water/sludge mixture in water bath(case 1)

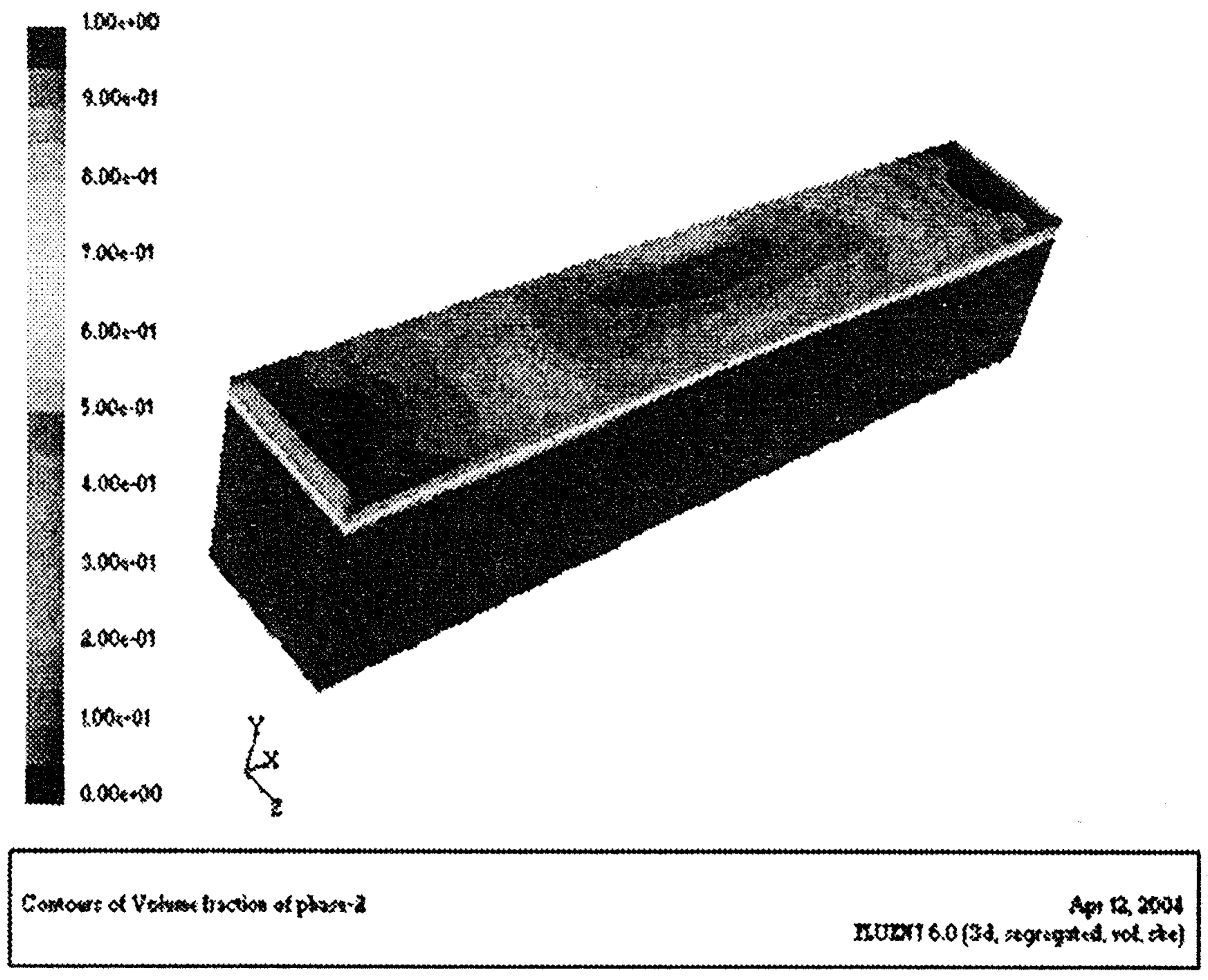


Fig. 21 Volume fraction of the water/sludge mixture in water bath(case 2)

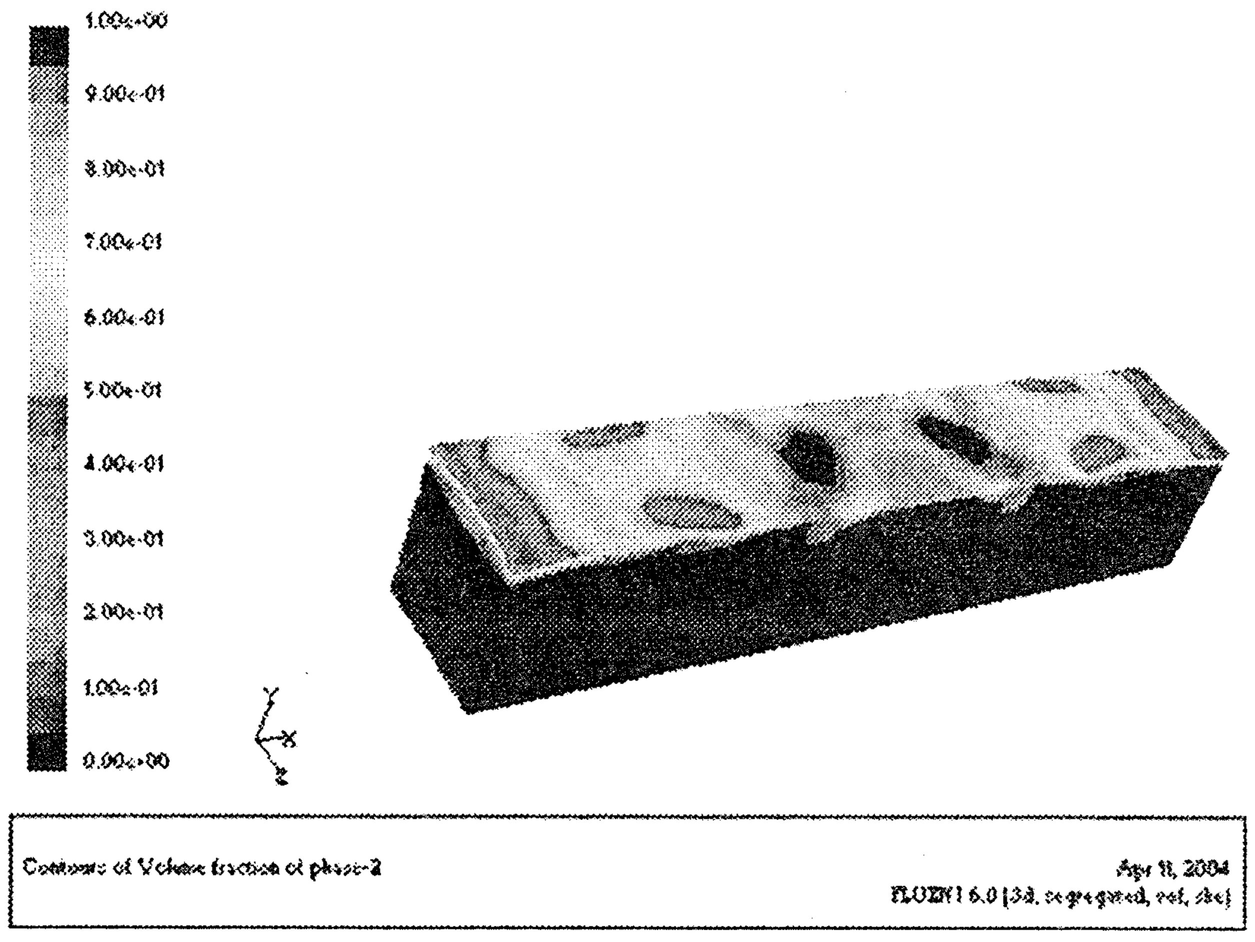


Fig. 22 Volume fraction of the water/sludge mixture in water bath(case 3)

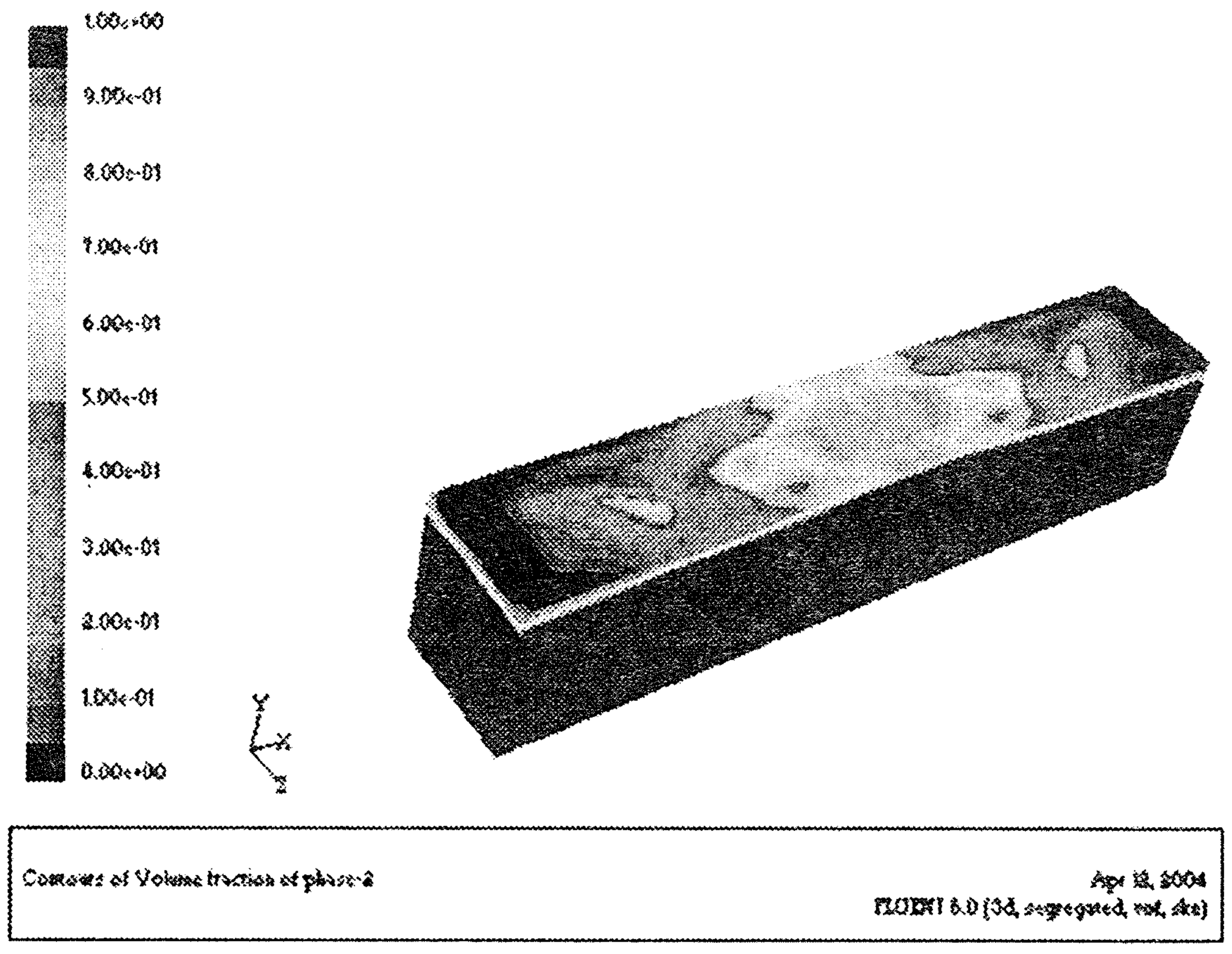


Fig. 23 Volume fraction of the water/sludge mixture in water bath(case 4)

Table 3 Volume fractions of the water/sludge mixture at skimmer outlet

CASE	Volume fraction of air	Volume fraction of water/sludge
1	0.119	0.881
2	0.160	0.840
3	0.109	0.891
4	0.167	0.833

Table 3 은 4가지 case 들에 대한 skimmer 출구에서의 물/슬러지 혼합물의 평균된 체적비율을 보여주고 있다. 일반적으로 skimmer에 연결된 흡입용 펌프가 대부분 용적식(displacement type) 인 관계로 펌프로 유입되는 액체 중에 공기가 많은 부피를 차지하고 있다면, 펌프 성능 저하에 지대한 영향을 미치며, 펌프와 skimmer를 이어주는 연결관의 흡착 현상에도 큰 영향을 미친다. 그러므로 skimmer 출구의 물/슬러지 혼합물의 액체상태 체적 분율은 높으면 높을수록 좋다. Table 3 에서 보여 지듯이, 물/슬러지 혼합물의 체적 분율이 80~90% 수준이며, 급수구가 수조의 윗 부분에 위치한 경우들이 그렇지 않은 경우들에 비해 다소 체적 분율이 높은 양상을 보여주고 있으며, 격판의 물/슬러지 체적 분율에 대한 영향은 크지 않은 것으로 판단된다.

3. 결 론

도장부스 내 수조의 도료 슬러지 제거를 위한 수조 설계를 전산 유체역학적 방법을 이용하여 최적화하였다. Skimmer 설계에 있어서 skimmer 가 수조에 잠기는 비율이 작을수록 슬러지 제거는 효과적이나, 공기 혼입량이 증가되고 압력손실이 커지는 단점을 가진다. 반면 수조에 잠기는 비율이 클수록 공기 혼입량은 줄어드나, skimmer가 슬러지 제거에는 효과적이지 못하며 압력 손실도 커진다.

그러므로 Skimmer 흡입 유동특성, 공기 혼입량, sludge 제거성능 및 압력 손실들을 종합적으로 고려하면, skimmer 의 설계 시 물에 잠기는 비율을 30-40% 로 유지하는 것이 최적의 설계 조건임을 알 수 있다. 또한 수조 내의 슬러지/물의 급수구는 수조의 수면으로부터 가까운 수조 벽면 상부에 설치하는 것이 skimmer 흡입 성능을 향상시키는 데 도움이 되며, 수조 내 격판의 설치는 수조 내 유동을 교란시키고 유동 불균일성을 증대시켜 오히려 슬러지 흡입에 다소 부정적인 영향을 미침을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 직무기피요인해소사업의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사의 뜻을 표합니다.

참 고 문 헌

[1] 윤재호, 김영률, 청정도장기술개발 도장성능시험 평가설비 구축사업, 산업자원부, 1999

[2] 이찬, 차상원, "회전무화형 도장기기 개발체계 및 적용에 관한 연구," 청정기술 제8권 제2호, pp.101-110, 2002

[3] 이찬, 차상원, 유영돈, "도장 슬러지 제거를 위한 수조의 유동 설계," 한국청정기술학회 2004 년 춘계학술발표회 논문집, pp.89-95, 2004

[4] 松谷守康, 도장실무핸드북, 세화, 1995

[5] FLUENT v5.3 manual, FLUENT Inc., 1999