

論 文

해양유출기름의 확산 시뮬레이션 모델개발 (III)

— 3차원 디지털화상처리를 이용한 유적의 퍼짐 계측 —

이중우* · 도덕희** · 김기철*** · 강신영****

Development of Simulation Model for Diffusion of Oil Spill in the Ocean (III)

- Oil-droplet spreading measurement using 3-dimensional digital image processing technique

J. W. Lee · D. H. Doh** · K. C. Kim*** · S. Y. Kang*****

〈목 차〉

Abstract

1. 서론

2. 3차원 디지털화상처리계측시스템

3. 결과 및 토론

4. 결론

참고문헌

Abstract

A three-dimensional digital image processing technique is proposed to quantitatively predict the dispersion phenomena of oil droplet onto the surface of the water. This technique is able to get the dispersion rate of an oil droplet three-dimensionally just below the surface of the water over time. The obtained dispersion rate obtained through this technique is informative to the investigation into the relationship among the gravity, surface tensions between oil, water, and air. This technique is based upon the three-dimensional PIV(Particle Imaging Velocimetry) technique and its system mainly consists of a three CCD(Charge Coupled Device) cameras, an image grabber, and a host computer in which an image processing algorithm is adopted for the acquisition of dispersion rate oil an oil droplet.

* 정회원, 한국해양대학교 토목환경공학부

** 한국해양대학교 기계·정보공학부

*** 동아대학교 토목해양공학부

**** 한국해양대학교 해양개발공학부

1. 서론

해상에서 선박이나 유조선의 충돌 또는 침몰사고가 발생했을 경우 여기서 유출된 기름은 대류(convection)와 확산(diffusion)을 통해 퍼진다. 이때 기름층(oil slick)은 극히 얇은 두께(약 0.1mm까지) 확산하게 되어 매우 빠른 속도로 넓은 해역을 오염시키게 된다.

기름 유출사고로 인한 피해를 최소화하기 위해서는 초기에 유출 근원지 부근에서 방제작업을 하여 더 이상 확산이 되는 것을 막는 것이 가장 좋은 방법이지만 이것은 아주 힘들고 대개의 경우 방제작업이 이루어지기 전에 아주 빠른 속도로 확산이 되므로, 기름의 확산특성이 잘 반영된 확산 simulation의 개발을 통하여 유출사고의 발생시 해당 해역에서의 기름 확산을 정확하고 신속하게 예측하고 그에 따른 방제대책을 수립하는 것이 필수적이라 하겠다.

유출된 기름은 Fig. 1과 같이 크게는 바람, 파도, 조류에 의한 대류확산과 기름과 물의 표면장력차로 인한 확산에 의하여 퍼지게 된다. 전자의 바람, 파도, 조류에 의한 기름의 확산과 관련된 연구는 많이 진행되어 왔으나(Johansen and Audunson, 1982; 이정목 and 강관형, 1992; 류청로, 1997) 표면장력에 관련된 연구는 거의 전무하다.

한편, 해양에 유출된 기름의 변성 및 이류·확산과정은 유출된 기름의 성질, 해역의 유동특성뿐

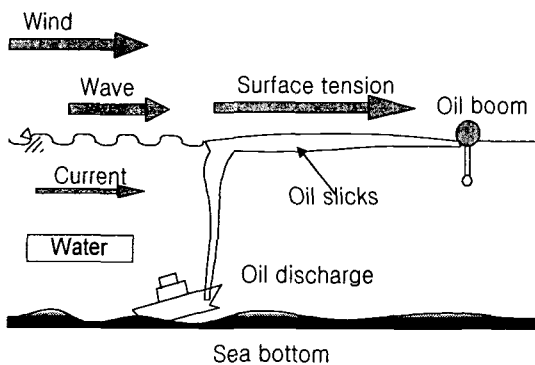


Fig. 1 Effective parameters to oil-spill accident

만 아니라 여러 환경적 요인에 의존하며, 이러한 상태는 상호관련된 복잡한 기름의 물리-화학적 과정에 의해 지배된다.(Mackay and McAuliffe, 1988). 특히 해상에 유출된 기름은 초기에 중력적 퍼짐(spreading)에 의해 그 유막의 두께가 얇아지게 되어 해수면에 존재하는 파랑(특히 쇄파)이나 해수 상층부의 난류에 의해 파괴되어 작은 유적(droplet)을 형성하게 된다(Vouwmeester and Wallace, 1986; Fingas et al., 1993). 이렇게 작은 유적으로 분해된 유출유는 수면하로 분산되어 해수와 상호작용에 의하여 에멀전을 형성하기도 하고 수면하에 존재하는 순환류 혹은 입자 상호간의 충돌로 인해 재부상하기도 한다.(Kolluru et al., 1994). 이러한 수면하에서의 유적의 거동과 재부상은 현장에서 방제작업시 유류의 이동경로를 추적하고 제거하는 작업을 매우 어렵게 만들뿐만 아니라 유화된 기름막의 재형성에 의한 2차 오염의 피해도 초래한다. Aravamudan et al. (1982), Bouwmeester and Wallace (1986), Johansen and Audunson (1982) 등은 기름막의 작은 유적으로의 분해에 관한 연구를 하였으며, Johanson and Audunson (1982) 와 Elliot (1986) 등은 유막으로부터 분리되어 나온 유적을 안정된 상태로 가정하여 유적의 궤적을 추적함으로써 확산범위를 예측하였다.

기존의 연구에서 알 수 있듯이 유적의 거동에 관한 연구는 유적을 둘러싸고 있는 외부의 역학적 상황에 따른 총체적인 결과로부터 유적에 대한 분산특성을 파악하고자 하였으며 이는 유적의 거동을 정확히 예측하는데에는 다소 무리가 따른다. 다시 말하면 유적의 거동을 보다 정확히 파악하기 위해서는 유적 하나에 대한 역학적 거동에 대한 정량적 해석이 필요함을 의미한다.

본 연구에서는 이러한 관점으로부터 유적 하나에 작용하는 역학적 상관관계를 정량적으로 구할 수 있는 실험적 방법을 제시하고자 한다.

일반적으로 접촉식의 계측방법(Hot wire, Probe 등)은 유동장에 직접 센서가 닿음으로 인하여 계측결과에 영향을 미치게 되므로 작은 스케일의 유동계측에는 부적합하다. 또한 작은 스케일의

계측에도 정도 높게 계측할 수 있는 (LDV: Laser Doppler Velocimetry) 계측법이 있지만 점계측에 의한 것이기 때문에 유동장의 전체적인 거동을 파악하는 것이 불가능하다.

본 연구에서는 위와 같은 점을 극복할 수 있다는 장점으로 부터 최근에 각광을 받고 있는 PIV(Particle Imaging Velocimetry) 계측법 (Kobayashi et al., 1983, 1986; Adrian, 1991) 을 적극 도입하여 새로운 방식의 비접촉식 3차원 디지털화상처리계측법을 구축한 후 이를 유적의 3차원적 퍼짐 (spreading) 현상에 대한 거동을 정량화 할 수 있는 PIV계측기법을 확립하고자 한다.

지금까지는 PIV를 이용한 유동장의 해석대상이 대부분 내부유동에 관한 것 (Buchhave, 1992; Shigeru, 1992; Tokumoru, 1995) 이거나 2차원적 해석에 관한 연구였으며 공기-액체, 액체-액체 경계면에 대한 거동에 관한 연구로서 3차원적 계측과 관련된 연구보고는 거의 전무한 상태이다.

2. 3차원 디지털화상처리계측시스템

2.1 실험장치 및 카메라교정

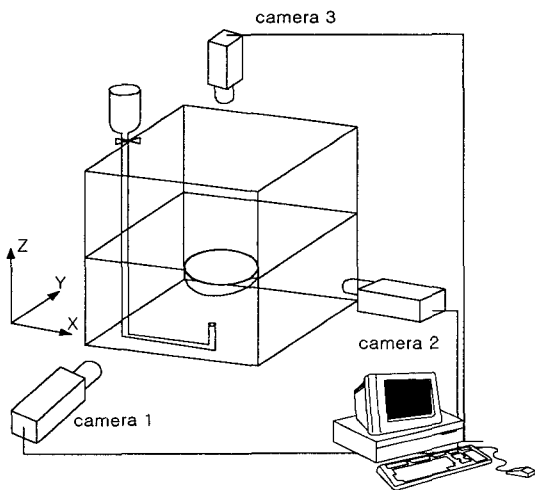


Fig. 2 Picture of experimental setup

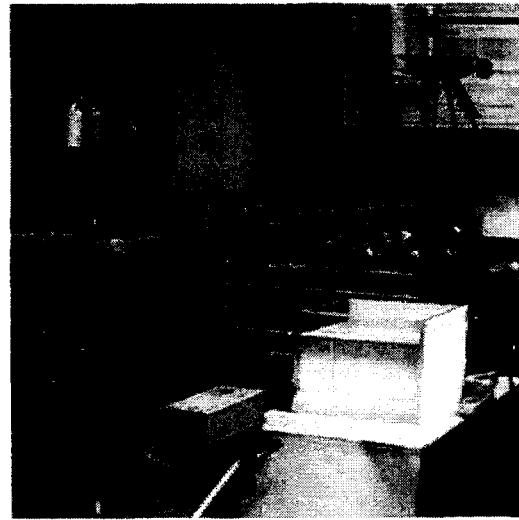


Fig. 3 Three-dimensional measurement system

Fig. 2는 유적의 퍼짐속도를 3차원적으로 계측하기 위한 실험의 개요도를 나타내고 Fig. 3은 실험사진을 나타낸다. 3차원적인 계측을 위하여 3대의 카메라가 그림처럼 좌표축을 향하여 배치시켰다. 설치되는 카메라의 좌표축에 대한 시선각의 기울기, 수조벽의 굴절, 카메라확대율, 카메라렌즈의 왜곡 등으로 인하여 물리좌표계에서의 실제 원화상이 왜곡된 형태로 나타나게 되어 물리좌표계에서의 정량적 정보가 필요할 경우에는 교정작업이 필요하게 된다.

Fig. 4는 카메라좌표계와 물리좌표계(절대좌표계)와의 상관관계를 나타내고 있으며 왜곡된 화상을 원화상으로 복구시키기 위한 교정판을 나타낸다.

Fig. 5는 실제 유동장에 대하여 교정을 하기 위한 교정판의 화상을 나타낸다. 각 카메라는 교정판에 새겨진 1mm 직경의 상대적 좌표값을 이용하여 물리계의 좌표(X, Y, Z)로 변환되게 된다. 가시화를 위한 조명으로는 일반 백색광을 이용하였다. 3대의 카메라(SSC-M370)를 통하여 가시화된 영상은 VTR1(Panasonic, AG-7350) 혹은 VTR2(Sony, SLV-RS1) 및 VTR3(SLV-595HF)와 호스트컴퓨터(Pentium 333MHz)에 내장된 이

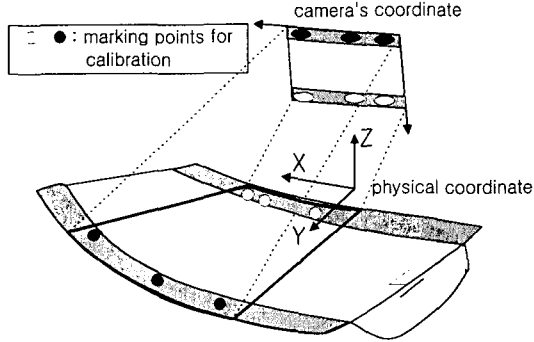


Fig. 4 Relations for camera's and physical coordinate systems

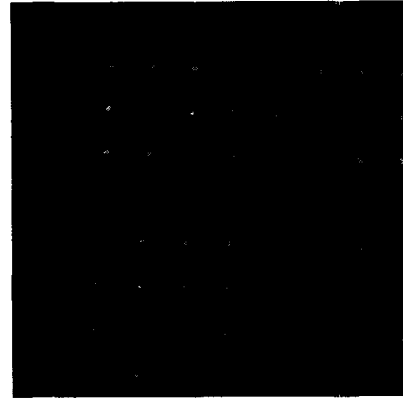
미지그래버(Ditect64)에 기록된다. 기록된 이미지의 화상처리는 2차화과정 및 에지검출과정을 거치게 된다. 또한, 저장된 이미지는 잡음성분제거과정을 거쳐 원하고자 하는 유적의 형상을 얻게 된다.

잡음성분의 제거를 위해 배경화면을 수십 장의 화상의 평균화상으로 만들어 각각의 대응하는 위치에서의 간단한 감산을 이용하였다.

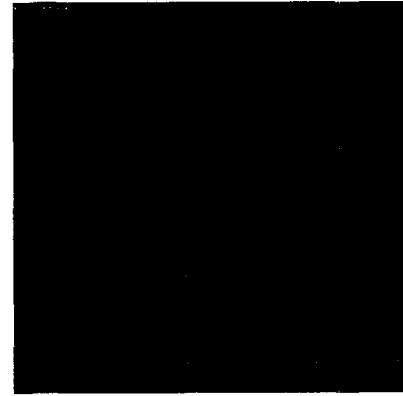
식 (1)은 회전된 영상과 절대좌표를 가진 교정판의 영상간에 변환관계를 나타내며 이를 이용하여 원화상을 보정하게 된다.

$$\begin{aligned} x &= \frac{a_{11} sx + a_{12} sy + a_{13}}{a_{31} sx + a_{32} sy + 1} \\ y &= \frac{a_{21} sx + a_{22} sy + a_{23}}{a_{31} sx + a_{32} sy + 1} \end{aligned} \quad (1)$$

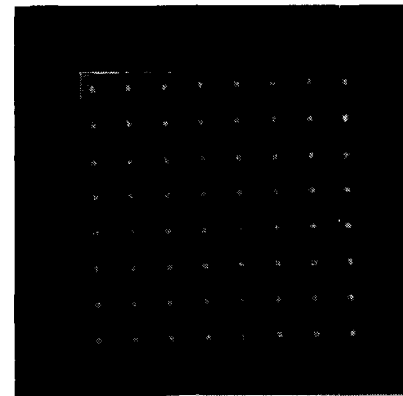
이때, a_{ij} ($i=1, 2, 3, j=1, 2, 3$)는 2차원 회전행렬을 의미한다. x, y 는 물리좌표계를 말하고 sx, sy 는 카메라에 나타난 물리좌표계의 사진좌표를 의미한다. a_{ij} 는 4점 이상의 교정점(Fig. 4의 원형 모양의 점들)을 이용하여 최소자승법에 의해 구해진다. 한편, 렌즈의 왜곡에 의한 영상의 왜곡을 보정하기 위하여 영상의 굴절량($\Delta x, \Delta y$)을 나타내는 식 (2)를 적용하였다.



(a) calibrator's image seen by camera 1



(b) calibrator's image seen by camera 2



(c) calibrator's image seen by camera 3

Fig. 5 Calibration plate for image recovery for three cameras

$$\begin{aligned} \Delta x &= \frac{x}{r} (k_1 r^2 + k_2 r^4) \\ \Delta y &= \frac{y}{r} (k_1 r^2 + k_2 r^4) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 $r = \sqrt{(px^2 + py^2)}$ 이다. 따라서 렌즈의 굴절량을 고려하여 식 (1)은 다음 식 (3)으로 표시된다.

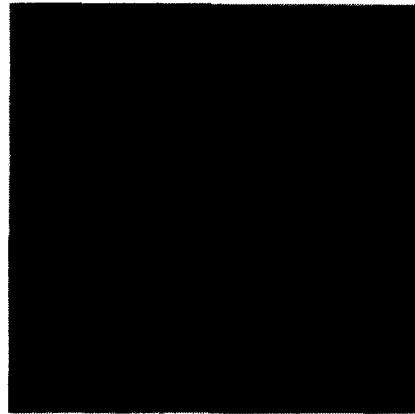
$$\begin{aligned} x &= \frac{a_{11}x + a_{12}y + a_{13}}{a_{31}x + a_{32} + 1} - \Delta x \\ y &= \frac{a_{21}x + a_{22}y + a_{23}}{a_{31}x + a_{32} + 1} - \Delta y \end{aligned} \quad (3)$$

윗 식에 대하여 수정 Gauss-Newton 방법의 적용하여 선형화를 한후 변화량에 대해 최소자승법을 적용하여 미지 변수를 구하고 구해진 미지 변수를 이용해서 모든 점에 대하여 이미지 변환을 수행한다. 저장된 이미지는 256의 계조치를 가지고 있으며 유적의 형상은 이 계조치의 2치화 (thresholding)에 의하여 구해진다.

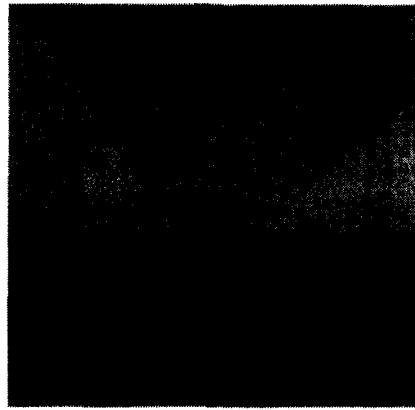
2.2 실험방법

각 카메라에 대한 교정작업이 끝나면 실험장치도에 나와 있듯이 병커B유를 상온(약 20℃)의 수도수로 채워져 있는 아크릴제의 수조(300mm x 300mm x 300mm)의 하부로부터 약 1cc 유출시켜 수면까지 부상하도록 한다. 유적이 일단 형성되어 수면에 도달하기 시작하면 그림처럼 배치되어 있는 3대의 CCD카메라(SSC-M370)로 동시각으로 촬영한다. 얻어진 동일시각의 연속적인 이미지는 이미지그래버(DT3155)가 내장되어 있는 호스트컴퓨터(Pentium, 336MHz)로 보내어지게 된다. 얻어진 연속적인 이미지는 2치화 및 에지 검출과정을 거쳐 유적의 시간변화에 따른 체적변화를 구하는데 쓰이게 된다.

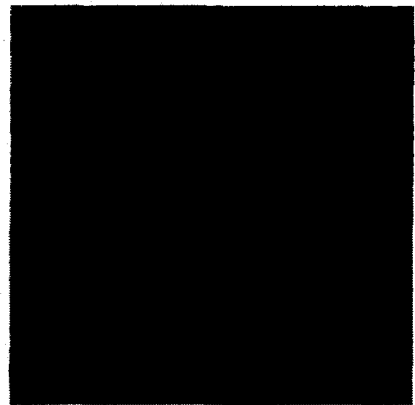
Fig. 6은 유적이 수면에 부상하기 시작하는 순간의 한 시점에서의 원화상(raw image)을 나타내고 있으며 Fig. 7은 Fig. 6의 화상이 얻어진



(a) image of camera 1 at t=t0



(b) image of camera 2 at t=t0



(c) image of camera 3 at t=t0

Fig. 6 Instantaneous raw images

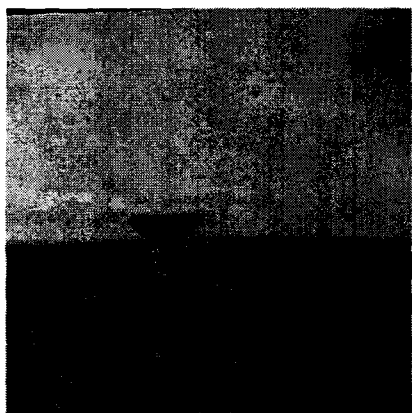
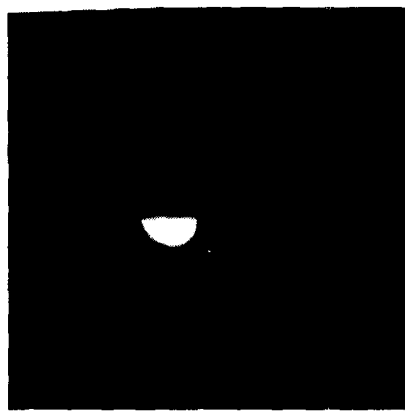
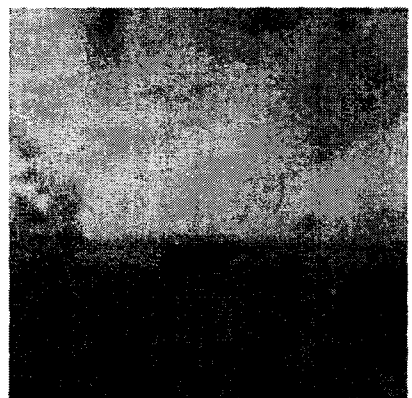
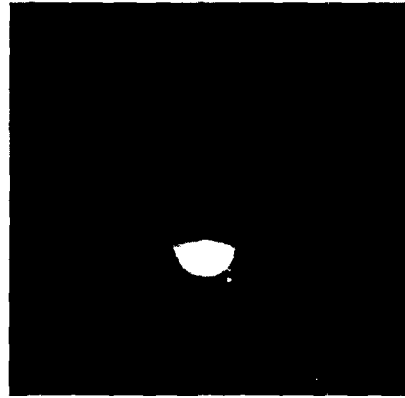
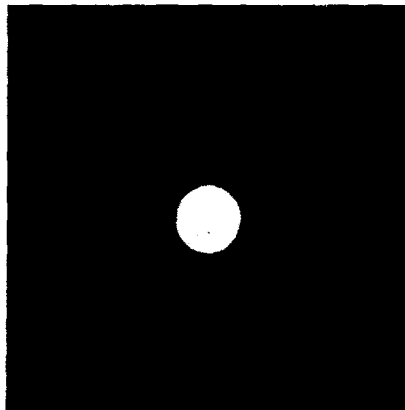
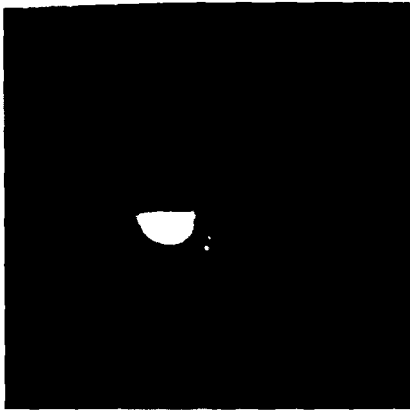
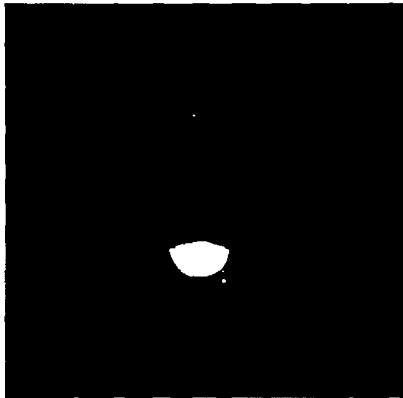
(a) image of camera 1 at $t=t_0 + \Delta t$ (a) binary image of camera 1 at $t=t_0$ (b) image of camera 2 at $t=t_0 + \Delta t$ (b) binary image of camera 2 at $t=t_0$ (c) image of camera 3 at $t=t_0 + \Delta t$ (c) binary image of camera 3 at $t=t_0$

Fig. 7 Instantaneous raw images

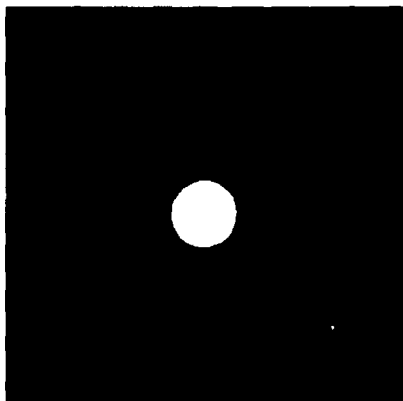
Fig. 8 Binary images of oil droplet



(a) binary image of camera 1 at $t=t_0 + \Delta t$



(a) binary image of camera 2 at $t=t_0 + \Delta t$



(a) binary image of camera 3 at $t=t_0 + \Delta t$

Fig. 9 Binary images of oil droplet

후 Δt 시각 후의 화상을 나타내고 있다. Fig. 8 과 Fig. 9는 Fig. 6과 Fig. 7의 원화상을 전술의 변환식 (3)을 이용하여 변환한 뒤 2치화과정을 거쳐서 얻어낸 이치화 이미지(binary image)를 나타내고 있다. 그림에서 (a), (b) 및 (c)는 동시에 있어서의 각 카메라의 화상을 나타낸다.

이들 화상들로부터 시간변화에 따른 체적의 변화는 다음 식 (4)로부터 구해질 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= \frac{\partial V}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial V}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial V}{\partial z} \frac{dz}{dt} \\ &= A_{yz} \frac{dx}{dt} + A_{xz} \frac{dy}{dt} + A_{xy} \frac{dz}{dt} \quad (4) \end{aligned}$$

A_{yz} , A_{xz} , A_{xy} 는 각 카메라 1, 2, 및 3의 유적화상으로부터 얻어낸 유적의 변환된 면적을 의미한다. 이들 각 항에 대한 시간이력을 알 수 있다면 유적의 형상이 시간에 따라서 어떻게 퍼져가는 것을 정량적으로 예측할 수 있다.

3. 결과 및 토론

Fig. 10은 본 연구에서 구축한 3차원 계측시스템으로부터 얻어낸 식 (4)의 각 항 $A_{yz}(dx/dt)$ [x축], $A_{xz}(dy/dt)$ [y축] $A_{xy}(dz/dt)$ [z축]에 대한 시간이력을 나타낸 그림이다.

가로축은 시간 sec를 나타내며 세로축은 체적 $cc(cm^3)$ 을 나타낸다. 부호가 반대인 것은 dx/dt 가

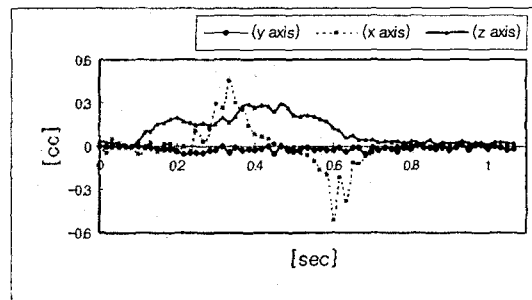


Fig. 10 Temporal history of volumetric change

점차 줄어들고 있음을 의미하며 이는 x축 방향으로서는 시간에 따라서 갑자기 증가하다가 어느 순간에 갑자기 감소해 감을 의미한다. 한편, y축에 대해서는 시간에 따른 dy/dt 의 값이 변하지 않으면서 일정한 것으로 보아 유적에 대한 y축 방향에 대한 물리적 힘이 일정하게 작용하고 있음을 유추할 수 있다. 한편, z축에 작용하는 힘이 상당히 큰 값으로 작용하고 있다가 어느 시점에서 사라지는 것으로 보아 표면장력의 영향인 것으로 추론할 수 있다.

4. 결론

이상과 같이 3차원 디지털화상처리기술을 이용하여 유적의 퍼짐(spreading)현상을 정량화 할 수 있는 계측기법을 구축하였으며 그 과정에서 다음과 같이 정리될 수 있다.

본 연구에서 구축한 3차원 비접촉식 계측시스템은 기름-물, 기름-공기와 의 경계에서 발생하는 표면장력이나 유동의 거동상태에 따른 유적의 시간적 형상변화를 정량화 할 수 있으므로 유적의 물리적 거동에 대한 정량적인 해석이 실험에 의하여 가능해 질 것으로 사료된다. 이에 대하여 추후 지속되는 연구에서 달성하고자 한다.

후 기

이 논문은 1996년도 한국학술진흥재단의 대학부설연구소 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고문헌

- [1] Adrian, R.J., "Particle-Imaging Techniques for Experimental Fluid Mechanics", Annu. Rev. Fluid Mech., Vol.23, pp.261-304, 1991.
- [2] Aravamudan, K., Ray, P., Ostland, J., Newman, E., Tucker, W., "Break-up of oil on rough seas-simplified models and step-by-step calculations", Report CG-D-28-82, US Coast Guard, Washington, DC, USA, 1982.
- [3] Bouwmeester, R. J. B., Wallace, R. B., "Dispersion of oil on a water surface due to wind and wave action", Michigan State University, East Lansing, Michigan, USA, 1986.
- [4] Buchhave, P., "Particle Image Velocimetry Status and Trends," Exp. Thermal and Fluid Sci., Vol.5, pp.586-604, 1992.
- [5] Elliot, A. J., "Shear diffusion and the spreading of oil in the surface layers of the North Sea", Dt. Hydrogr. Zeit, Vol.36, No.3, pp.506-510, 1986.
- [6] Fingas, M. F., Fieldhouse, B., Bobra, M. A., Tennyson, E. J., "The physics and chemistry of emulsions," Proc. Workshop on Emulsions, Marine Spill Response Corp., Washington, DC, pp.1-11, 1993.
- [7] Johansen, O. and Audunson, T., "Drift of submerged oil at sea", Report P319/1, Continental Shelf Institute, Trondheim, Norway, 1982.
- [8] Kobayashi, T., Ishihara, T. and Sasaki, N., "Automatic Analysis of Photographs of Trace Particles by Microcomputer System", Flow Visualization 3, pp.231-235, 1983.
- [9] Kobayashi, T., Saga, T. and Segawa, S., "Some Considerations on Automated Image Processing of Pathline Photographs", Flow Visualization 4, pp.241-246, 1986.
- [10] Kolluru, V. S., Spaulding, M. L., Anderson, E. L., "A three dimensional oil dispersion model using a particle based approach", 17th Arctic & Marine Oil Spill Program, Tech. Seminar, Environment Canada, Ottawa, Canada, pp.867-894, 1994.
- [11] 이정목, 강관형, "해상누유의 확산예측과 누유수거에 관한 연구", 포항공대첨단유체공학

- 연구센터보고서, AFR-91-B03, pp.113-160, 1991.
- [12] Mackay, D., McAuliffe, C. D., "Fate of hydrocarbons discharged at sea, Oil and Chemical Pollution, 5, pp.1-20, 1988.
- [13] 류청로, 설동관, 김종규, 파랑과 속도전단에 의한 유출유의 분산특성, 한국해양환경공학회 1997년도 추계학술대회논문집, 한국해양
- 환경공학회, 한국기계연구원, pp.121-130, 1997.
- [14] Shigeru, M. and Hiroshi, S., "Measurement of Unsteady Separated Flows on Blunt Plate by a Fourier Transform Method", Flow Visualization 6, pp.710-714, 1992.
- [15] Tokumoru, T. and Dimotakis, P.E., "Image Correlation Velocimetry", Exp. in Fluid, Vol.19, pp.1-15, 1995.