

생태학적 모형화를 위한 수중에서의 유동 입자의

가시화 연구

신복숙^o, 김경현, 차의영

부산대학교 자연과학대학 전자계산과

boyaci@netian.com^o, redcula@hotmail.com, eycha@pnu.ac.kr

The Visualization of Moving Particles for Ecological Modeling

Bok-Suk Shin^o, Kyung-Hyun Kim, Eui-Young Cha

Department of Computer Science, Pusan National University

요 약

본 논문은 수중에서 유동하는 입자의 움직임을 추적하고 유체의 흐름에 따라 분산되는 입자의 분산정도 그리고 입자의 침강패턴을 분석하기 위한 계산형 3차원 시스템을 제안한다. 이러한 계산형 시스템은 물과 같은 공간에서 움직이는 입자들을 고려하고 있는데, 물의 흐름을 위해 운동량방정식과 연속방정식을 일반화하여 흐름을 제어하고 있다. 또한 물이라는 공간 특성을 고려하여, 입자간에 작용하는 부력, 침강력 등의 물리적인 힘을 적용시키고 있다. 이렇게 제안된 시스템을 통해 다양한 외부적 요인에 따라 움직임을 달리 하는 유동 입자들은 실제 물에서와 같이 유사하게 가시화되도록 한다. 이렇게 가시화된 유동 입자의 움직임을 추적하여 입자들의 침전패턴까지도 미리 예측해 낼 수 있게 된다.

1. 서 론

물과 같은 유체에서 입자의 유동을 제어하는 기술은 수리학, 수력학, 공학, 생태학분야에서 중요한 기술로 이해되고 있다. 수리, 수력, 공학분야에서는 개수로에 유입된 물의 저항이나, 물 흐름의 조절, 그리고 홍수 추적등을 위해서 수중에 존재하는 입자들의 움직임을 연구하고 있으며, 최근 생태학에서는 하천에 유입되는 환경오염물과 같은 퇴적을 퇴화를 해결하고, 오염물 침전에 따른 하상 생태계 구조를 분석하기 위해서 입자 유동에 대한 연구가 시행되고 있다[1,2,3,4,5]. 하지만, 대부분의 연구들은 입자들의 유동을 관찰하고 침강을 측정하기 위해, 실제의 물에서 데이터를 관찰, 수집하거나, 인공수로를 제작하여 모의 실험을 통해 분석하고 있기 때문에 상당한 제작비용과 시간이 투자되고 있는 실정이다.[5]

따라서, 본 논문에서는 이러한 현상에서 발생하는 비용을 최소화시키고, 실제와 같은 조건에서 실험이 가능하도록 하기 위해, 수중 환경에서 움직이는 입자들의 현상을 제안된 시스템을 통해 가시화 시키고, 이렇게 가시화된 데이터를 이용하여 입자의 분산, 그리고 흐름과 입자의 특성에 따라 달라지는 침전패턴까지도 예측 해낼 수 있도록 한다.

본 논문의 구성은 2절에서는 물리적 기반 계산형 3차원 시스템의 내부적이 구조와 절차를 알아보고, 3절에서는 유체에서 유동하는 입자의 움직임을 계산하기 위한 물리적인 내용들을 살펴본다. 4절은 구현된 시스템의 환경과 실험 분석결과를 알아보고, 5절에서 결론 및 향후 연구로 끝을 맺는다.

2. 시스템의 구조

이 논문에서는 유체에서 유동하는 실제 입자들과 같은 조건을 가진 환경에서 실험하기 위해서, 입자들이 생성되는 위치, 그리고 다양한 크기, 무게를 선택 지정할 수 있다. 그리고 흐름을 결정하는 유속과 다양한 흐름을 만들기 위해 속도변화를 자유롭게 조절할 수 있도록 하고 있다. 유체에서 흐르는 힘과 입자의 특성, 그리고 입자들 간의 상호작용과 같은 물리적인 힘으로 인하여 운동에는 다양한 변화가 생기게 되는데, 이러한 물리적인 작용들이 만족되도록 내부적인 절차를 통해 계산을 하고, 처리결과를 시각화시키고 있다. 이러한 시각화는 실제와 같은 조건에서보다 더 효율적인 분석이 가능하고, 다양한 각도에서 입자의 유동을 추적하고 침전상태를 모니터링 하도록, 3차원 뷰잉 공간에서 결과를 확인할 수 있도록 하고 있다. 그림 1은 계산형 시스템의 구조와 절차를 보여준다.

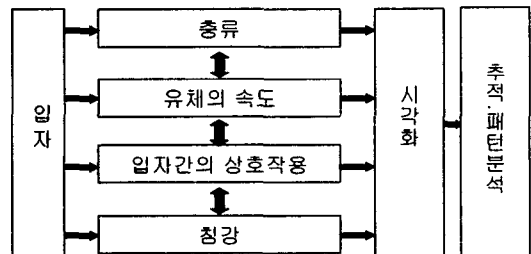


그림 1. 시스템 구조

3. 입자의 운동

3.1 유체의 속도

흐름의 속도는 공학적인 문제에 있어서 아주 중요하다. 유체의 흐름에 따라 궤적을 달리하는 입자를 추적하기 위해 유체의 속도를 결정해야 한다. 운동중인 유체에 대한 방정식을 표현하는 방법은 공간상의 특정한 한 점에 초점을 맞추고 시간이 경과할 때 그 점을 통과하는 유체 입자들의 운동을 관측하는 것이다. 이 경우 유체 입자의 속도는 공간상의 위치와 시간에 따라 좌우된다. 전체의 흐름장을 기술하기 위해서는 흐름장 내의 모든 점에서의 유체운동을 알고 있어야 한다. 이러한 근거에 바탕을 두고, 유체의 흐름을 위해서 운동량 방정식과 연속방정식을 일반화하도록 하여 유체운동을 찾아 낼 수 있도록 하고 있다[6,7]. 유체의 흐름은 가장 일반적인 흐름의 형태인 층류를 유지하고 있으며 그림 2에서 보는 것처럼 층류(laminar flow)의 경우에는 속도 분포는 단면에 걸쳐서 포물선 형상이고, 임의의 주어진 거리에서 속도는 시간에 대해서 일정하게 된다. 유체 속도를 결정하는 수식은 다음 수식(1),(2)와 같다.

$$V_{fz} = -(y-b)^2 + V_{x_{max}} \quad (1)$$

$$V_{fz} = K \cdot y \quad (2)$$

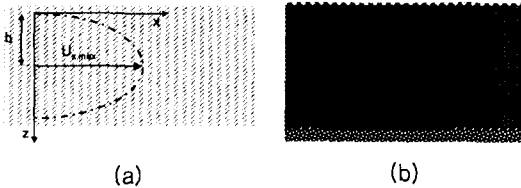


그림 2. (a)XZ-평면의 유속분포, (b)XY-평면의 유속분포

3.2 입자의 운동량

유동하는 입자는 유체의 속도에 의해 운동량을 계산해 낼 수 있다. 또한 유동하는 입자의 움직임은 F_b 부력(buoyancy force)과 F_d 침강력(drag force)을 포함하고 있으며, 그 힘들은 수식(3),(4),(5)에 의해서 결정된다.

$$F = m \cdot a_z = F_b - F_d \quad (3)$$

$$F_b = g(\rho_p - \rho_w)v \quad (4)$$

$$F_d = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot A \cdot \rho_w \cdot V_{fz}^2 \quad (5)$$

여기서, g 는 중력가속도, ρ_p 는 입자의 밀도, ρ_w 는 유체의 밀도, v 는 입자의 체적이다, C_d 는 부력상수이며 이것은 Reynolds수에 관계한다. A 는 입자의 단면적이며 $\frac{\pi r^2}{2}$ 이다.

3.3 입자간의 상호작용

유체에서 분산되어 다양한 방향으로 움직이는 입자들은 상호간에 충돌 현상이 빈번하게 발생하게 된다. 이러한 충돌로 인해 입자간의 유동에 변화가 발생하게 되는데, 본 시스템에서는 이러한 충돌을 예측하고 움직임에 영향을 주기 위해 군집의 클러스터링 효과가 뛰어난 신경회로망 알고리즘인 ART2(Adaptive Resonance Theory)를 이용하여 충돌을 검출하고 움직임에 변화를 주고 있다. ART2는 클러스터를 동적으로 생성하기 때문에, 다양으로 생성되는 입자의 개수에 영향을 받지 않고 효율적으로 처리할 수 있다.

4. 시스템 구현 및 분석

본 논문에서 제안한 시스템은 Microsoft Visual C++ .NET을 기반으로 구현하고 있으며, 3차원 그래픽을 효율적으로 제어하기 위해서 Silicon Graphics사의 그래픽 라이브러리 OpenGL 1.1을 사용하고 있다. 그림 3은 본 논문에서 구현한 시스템의 레이아웃이다. 구현한 시스템에서는 입자의 유동과 침전패턴을 추적하기 위한 공간을 위해 길이 30m, 너비 20m, 깊이 20m인 입방체 공간을 생성시켰다. 이러한 입방체 공간 속에서 유체의 흐름은 왼쪽에서 오른쪽으로 흐르고 있으며, 유속이 10cm/s 상태에서 무게가 다른 10,000개의 가상 입자를 다양한 위치에서 생성시켰다. 이렇게 생성된 입자의 움직임을 시스템은 지정한 위치에서 움직이는 입자를 그림 4와 같이 추적 가능하도록 하고 있으며, 또한 상당한 시간이 경과한 후 바닥에 침전된 입자들의 분포를 그림 5와 같이 관찰할 수 있다. 그림 6은 바닥에 침전된 입자들의 패턴을 분석하기 위해 입방체의 길이방향(x축)으로 총 5개 site로 나누고, 너비방향(z축)으로 총 20개 지점으로 나누어 무게가 다른 4가지를 대상으로 분석한 결과이다. 무게가 가장 무거운 입자1과 가장 가벼운 입자4를 비교해서 살펴볼 때 무거운 입자의 경우는 유속의 영향으로 앞으로 이동은 하고 있으나, 멀리 이동하지 못하고 있는 분포를 보여주고 있으며, 입자가 가벼운 것은 유속에 의해 물의 흐름에 상당히 영향을 받아 먼 지점까지도 이동해 있는 것을 알 수 있다.

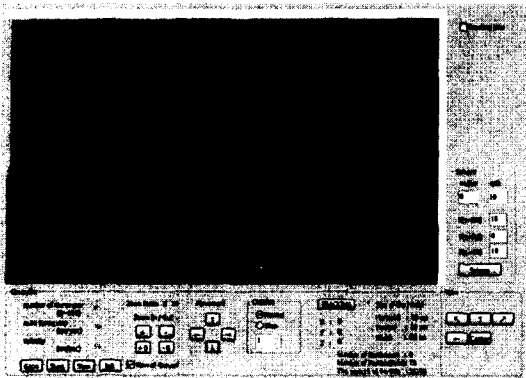


그림 3. 시스템 레이아웃

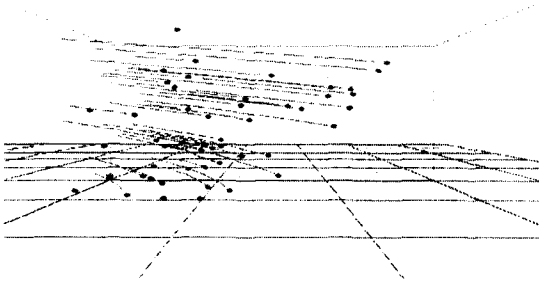


그림 4. 입자들의 궤적

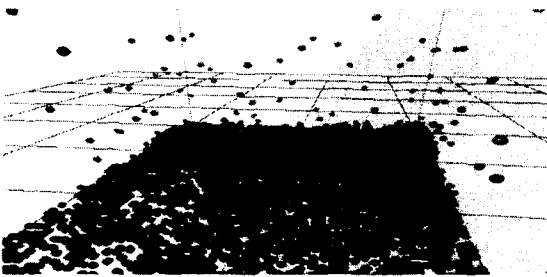
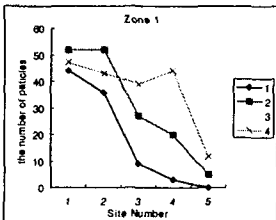
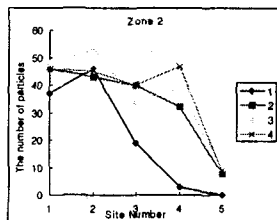


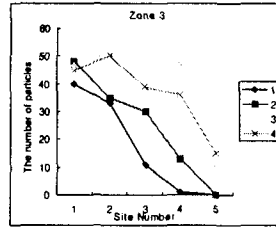
그림 5. 입자들의 침전 분포



(a) Zone 1



(b) Zone 2



(c) Zone 3

그림 6. 각Zone의 침전입자 총 수량

5. 결론 및 향후연구

본 논문은 물에서 유동하는 입자의 움직임을 가시화하고 물의 흐름에 따라 분산되는 입자의 분산 정도와 입자의 침강패턴을 분석하기 위한 물리적 기반의 계산형 3차원 시스템을 제안하였다. 이러한 계산형 시스템은 실제 물에서 움직이는 입자들과 거의 유사하게 추적해 낼 수 있으며, 또한 입자들의 침전패턴까지도 미리 예측해 낼 수 있게 된다. 향후 연구로는 유체가 가지고 있는 다양한 외부적 환경요소를 적용시켜 그 요인에 따라 달라지는 움직임을 추적하고 바닥경계조건에 따른 침전 패턴을 추적 예측할 수 있도록 한다.

참고 문헌

- [1] Angradi, T. R. Inter-habitat variation in benthic community structure, function, and organic matter storage in 3 Appalachian headwater streams. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 15(1):42-63, 1996.
- [2] Forman R.T.T. Land mosaics: the ecology of Landscapes and regions. Cambridge University Press, Great Britain, 1995.
- [3] Ambrosi D, Corti S, Pennati V, Saleri F. Numerical simulation of unsteady flow at Pr River Delta. *J Hydraul Eng*, 122:735-743,1996.
- [4] Sinha SK, Sotiropoulos F, Odgaard AJ. Three dimensional numerical model for river flow through natural rivers. *J Hydr Res*, 124(1):13-24,1998.
- [5] Mehrzad S, Goodarz A, Duane H. S. Computational modeling of flow and sediment transport and deposition in meandering rivers. Elsevier Science, 25(6):689-699, 2002.
- [6] Ahn SH, Hydraulics, Dongmyong Press, 2002.
- [7] John A.R, Clayton T.C. Engineering Fluid Mechanics, New York: John Wiley and Sons; 1997.