

## 분할화상분석에 의한 흐름 형태 시료의 탁도 측정

박종호 · 박수행\* · 유민수†

전남대학교 생명과학기술학부, \*강원대학교 인문사회과학대학  
(2009년 9월 30일 접수, 2009년 10월 29일 채택)

### The Turbidity Measured by Division Image Analysis in Flow Type Sample

Jong-Ho Park, Soo-Haeng Park\*, and Min-Su Ryu†

School of Biological Sciences and Technology, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

\*College of Humanities and Social Sciences, Kangwon National University, Samcheok 245-711, Korea

(Received September 30, 2009; accepted October 29, 2009)

흐름 형태 시료의 탁도와 레이저 산란광 밝기의 관계는 비선형적이거나 탁도 시료에 따라 레이저 산란광 화상은 형태가 서로 상이하다. 레이저 산란광 화상의 패턴을 이용하면 탁도 측정이 용이할 것이다. 그러나 레이저 산란광 화상의 모든 화소의 red, green, blue intensity (intensity)로 탁도를 측정하는 것은 분석에 과도한 부하가 발생한다. 따라서 과도한 부하를 줄이기 위하여 레이저 산란광 화상 분할하였다. 분할된 레이저 산란광 화상은 탁도에 따라 형태가 서로 상이함을 알 수 있었다. 분할된 레이저 산란광 화상의 intensity와 탁도로 학습된 인공신경망으로 측정된 탁도가 실제 탁도와 선형 관계임을 알 수 있었다.

The turbidity of flow type samples has a nonlinear relation to brightness of laser scattered light, but the shape of images in laser scattered light is different from each turbidity samples. The turbidity measurement will be easy if it uses a pattern of images in laser scattered light. But the excessive analysis load comes from the turbidity measured by red, green, blue intensity (intensity) of all pixels of images in laser scattered light. Therefore the images in laser scattered light were divided by appropriate block to decrease excessive analysis load. The shape of divided images in laser scattered light was different from each turbidity sample. The real turbidity has a linear relation to turbidity measured by the artificial neural network learned with the intensity of divided images in laser scattered light and turbidity.

**Keywords:** turbidity measurement, laser scattered light, image, image analysis, artificial neural network

## 1. 서 론

기존에 인력으로 시료를 채취하고 실험실로 이동하여 탁도를 측정하게 되면 측정 오차 발생하고 실시간 측정이 불가능하다. 수질 환경 정보 제공 측면에서 음용수, 상수원, 폐수 수질 탁도 측정은 연속 흐름식 무인 측정 장비로 대체되어야 하고 1999년 2월 11일 개정된 환경부령으로 음용수 탁도 허용기준이 미국 허용기준 1.0 NTU (Nephelometric Turbidity Units)로 강화, 개정 되었다[1].

탁도는 광을 주사하여 시료 내 입자에 의해 산란된 광량을 광센서로 측정하는 방법을 택하고 있다. 시료 내 입자량이 증가하게 되면 탁도가 증가하게 되고 이에 따라 산란광량이 증가하게 된다[2-4]. 그러나 시료 내 입자가 계속 증가하게 되면 산란된 광이 또 다른 입자에 의해 산란되게 되어 전체적인 산란광량이 감소한다. 그러면 실제로는 높은 탁도이지만 그보다 낮은 탁도로 측정하게 된다[5-8]. 이러한 탁도 측정 오차를 줄이기 위하여 광원 개선, 높은 탁도에서 시료량 변화, 광센서 측정 위치 변화 등 여러 가지 방법을 사용하고 있지만 그 구성

이 복잡하다[9-11].

본 연구에서는 탁도 변화에 따른 산란광 화상 변화를 최대화하기 위해 광원으로는 기존 할로겐, 고휘도 LED보다 높은 탁도에서 투과도가 좋은 레이저 광원을 채택하였다. 광센서로는 산란광 화상 변화를 관찰하기 위해 CCD 카메라를 사용하였다. 화상형태를 분석하는 기법으로 인공신경망을 이용하는 경우가 알려져 있어 화상분석을 위해 인공신경망을 도입하였다[12-16]. 흐름 형태 시료에서 낮은 탁도에서 높은 탁도 측정이 가능한 산란광 화상분석 알고리즘을 개발 평가하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 실험장치

흐름 형태 시료 탁도측정을 위한 실험장치(Figure 1)에서 flowcell은 무광 흡색으로 도색한 금속재이며 하단부와 상단부의 내부는 시료가 층류로 흐르게 하기 위하여 45°로 제작하였다. flowcell의 앞면에서 상단부에 직사각형으로 가공하고 그곳에 무반사 유리판을 부착하여 시료의 산란광을 외부에서 볼 수 있게 하였다. flowcell의 유리판과 90°

† 교신저자(e-mail: msryu@jnu.ac.kr)

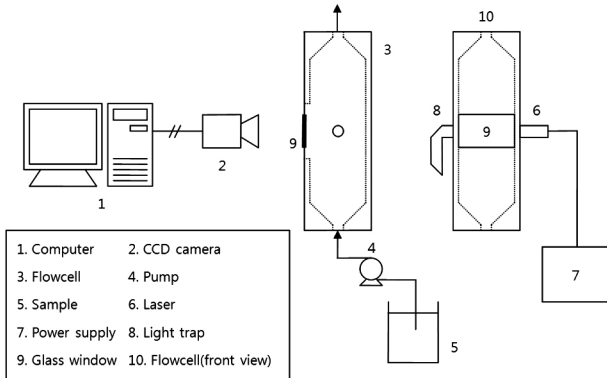


Figure 1. Flow type turbidity meter.

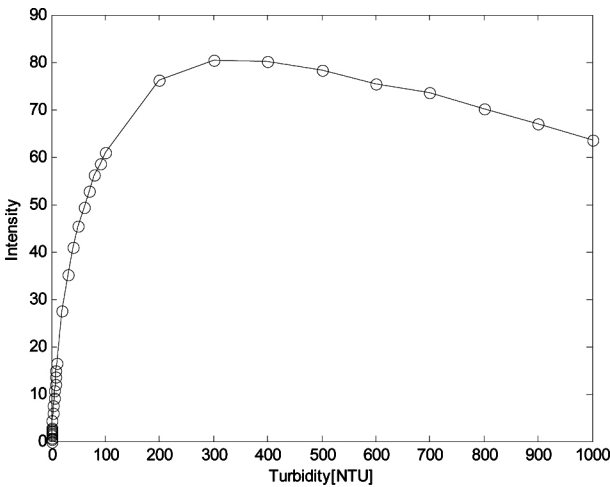
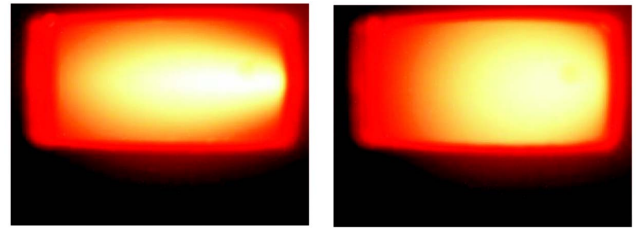


Figure 2. Calibration curve of intensity calculated by whole image.

되는 지점에 레이저(MS-508, Lanix Co.) 광이 조사 될 수 있도록 하였다. 레이저에 공급되는 전원은 +5 V 전원(30-DD, Fine Suntronix Co.)을 사용하였다. 레이저 광의 반사를 억제하기 위하여 레이저 광이 도달하는 지점에 광 트랩을 설치하였다. 레이저와 광트랩이 설치된 곳에 레이저 무반사 원형 유리판을 설치하였다. flowcell에 시료를 공급하기 위하여 펌프를 설치하여 flowcell의 하단부에서부터 공급하도록 하였다. 탁도 시료의 레이저 산란광 화상을 취득하는 CCD 카메라(MV-407, M Tec Vision Co.)는 flowcell의 유리판의 중앙에서 11 cm 떨어진 곳에 설치하였다. flowcell, 레이저, 광트랩과 CCD 카메라는 내부가 무광 흑색으로 도색된 케이스의 내부에 설치하였다. 레이저 광원제어, 화상취득, 데이터 프로세싱을 하기 위하여 LabVIEW, LabVIEW DAQ (National Instrument Co.)와 Matlab, Matlab Image Acquisition Toolbox (MathWork Co.)가 설치된 컴퓨터를 사용하였다.

2.2. 탁도표준시료

탁도표준용액의 제조는 국내 표준으로 되어 있는 1999. 2. 11 환경부 고시 먹는물수질검정시험방법의 제조방법으로 4000.0 NTU 탁도표준용액 제조하고 0.1, 0.2, 0.3, ..., 0.8, 0.9, 1.0, 2.0, 3.0, ..., 8.0, 9.0, 10.0, 20.0, 30.0, ..., 80.0, 90.0, 100.0, 200.0, 300.0, ..., 800.0, 900.0, 1000.0 NTU 탁도표준용액은 4000.0 NTU 탁도표준용액을 희석법에 의하여 각각 제조하였다. 0.0 NTU 탁도표준용액은 0.22 μm 필터를 통과하는 초순수를 사용하였다.



(a) 200.0NTU (b) 600.0NTU

Figure 3. Whole image of 200.0 NTU and 600.0 NTU.

2.3. 실험방법

흐름 형태 시료 탁도측정을 위한 실험장치(Figure 1)에서 탁도표준용액을 펌프로 flowcell에 유입되게 하고 flowcell에서 탁도표준용액이 유출되면 레이저에 전원을 공급하고 레이저에 의한 탁도표준용액 산란광을 카메라로 화상을 각각의 탁도표준용액에 대하여 화상크기를 240 × 320 화소로 50회 촬영, Matlab 매트릭스 파일로 화상 손실 없이 저장한다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 화상 분할

탁도표준용액 레이저 산란광의 Red, Green, Blue intensity (intensity)의 평균값과 탁도 보정곡선(Figure 2)에서 보는 바와 같이 100.0 NTU 이하에서는 탁도와 intensity와의 관계가 비례하지만 100.0 NTU 이상에서는 탁도가 증가함에 따라 intensity가 다시 감소함을 보인다. 화상 전체 intensity로는 0.1 NTU에서 1000.0 NTU까지 탁도 측정은 하나의 intensity에 2개의 탁도가 존재하는 구간이 발생하므로 불가능하다.

Intensity 평균값과 탁도 보정곡선(Figure 2)에서 보는 바와 같이 200.0 NTU와 600.0 NTU의 intensity가 비슷하다. 그러나 Figure 3에서 보는 바와 같이 산란광 화상은 그 형태가 상이하다. 이는 탁도 시료 내의 입자 수가 서로 달라서 600.0 NTU에서는 입자에 의한 산란이 200.0 NTU보다 많이 일어나서 산란광 화상 각각의 화소가 갖는 intensity의 정보가 서로 상이하다는 것이다.

산란광 화상 모든 화소의 정보를 이용하여 화상분석하기에는 컴퓨터에 가해지는 부하가 매우 높다. 이를 보완하기 위해서 240 × 320 화소의 화상을 세로 8, 가로 8화소를 하나의 블록으로 지정하고 8 × 8 화상의 평균 intensity를 블록의 대표 intensity로 하였다. Figure 4는 200.0 NTU의 화상을 30 × 40으로 분할하여 나타낸 것이다. 분할한 화상에서 세로 11번째 행에서 가장 밝게 보임을 알 수 있고 6에서 15번째 행까지 산란광 화상의 변화가 뚜렷함을 알 수 있다.

Figure 5는 전체 화상, 세로 방향에서 11번째 행, 6에서 15번째 행의 intensity를 탁도에 대해 도시한 것이다. 11번째 행의 intensity는 20.0 NTU에서 100.0 NTU까지 탁도의 변화에 intensity의 변화가 매우 적어서 탁도 측정에는 용이하지 않다. 6에서 15번째 행의 intensity는 전체 화상의 intensity의 변화와 비슷하고 그 변화 폭이 전체 화상의 intensity의 변화보다 커서 이를 분할화상분석에 사용하기로 하였다.

3.2. 인공신경망 학습

분할화상의 intensity와 탁도의 관계가 매우 복잡한 다중 산란 형태이므로 수학적인 모델로 구성할 수 없어서 그 관계를 블랙박스 모델로 하는 것이 타당하고 블랙박스 모델로는 인공신경망을 도입하였다. 인공신경망 학습에 사용된 학습데이터는 0.0에서 1000.0 NTU까지

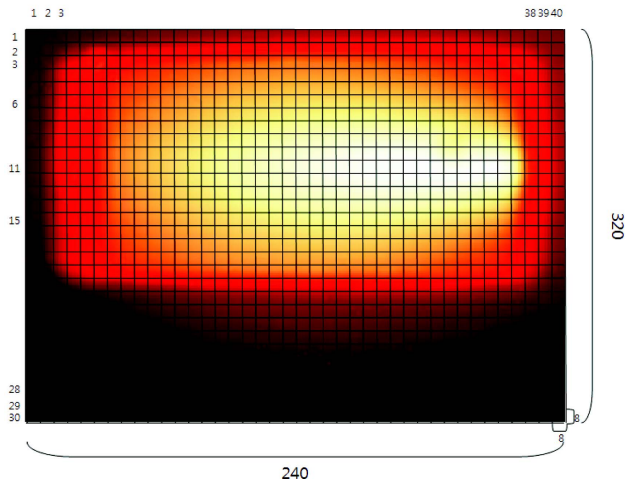


Figure 4. Division image of 200.0 NTU.

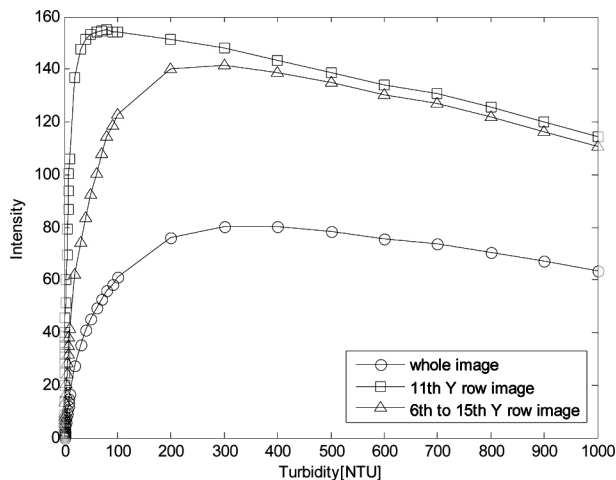


Figure 5. Calibration curve of intensity calculated by whole image, 11th y row and 6th to 15th y row image.

각각의 탁도표준용액에서 50회 취득한 화상 중 전반부 30개를 택하였고 이를 30 × 40으로 분할하고 분할화상에서 6에서 15번째 행(10 × 40)의 40개 각각의 intensity를 CCD 온도보정을 위해 분할화상 30행 40열의 intensity로 뺀 값을 사용하였다.

학습에 사용한 인공신경망은 입력층의 개수는 분할화상 intensity 400개, 은닉층은 3개, 출력층은 측정된 탁도 1개로 하였고 은닉층의 뉴런의 개수는 각각 5개로 하였다. 사용된 학습알고리즘은 Levenberg-Marquardt 알고리즘은 사용하였다.

학습된 인공신경망을 학습한 데이터로 시물레이션한 결과(Figure 6)는 실제 탁도와 측정된 탁도가 선형 관계를 보임을 알 수 있다.

### 3.3. 탁도 측정

실제 탁도 측정을 위해 0.0에서 1000.0 NTU까지 각각의 탁도표준용액에서 50회 취득한 화상 중 학습하지 않는 후반부 20개를 택하였고 이를 30 × 40으로 분할하고 분할화상에서 6에서 15번째 행(10 × 40)의 40개 각각의 intensity를 CCD 온도보정을 위해 분할화상 30행 40열의 intensity로 뺀 값을 사용하였다.

학습된 인공신경망을 학습하지 않는 데이터로 시물레이션한 결과

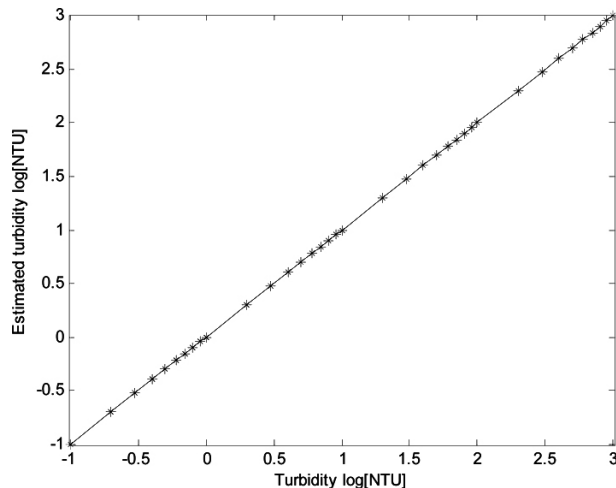


Figure 6. Turbidity estimated by artificial neural network in learned data.

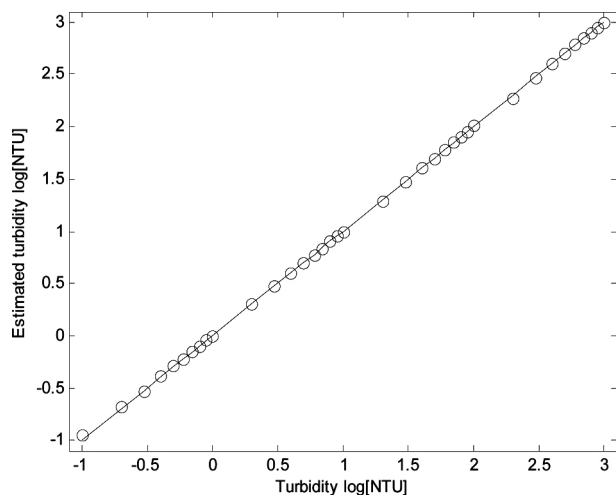


Figure 7. Turbidity estimated by artificial neural network in test data.

(Figure 7)는 실제 탁도와 측정된 탁도가 선형 관계를 보임을 알 수 있다.

각각의 측정된 탁도에 대하여 정확도를 Table 1에 나타내었다.

## 4. 결 론

흐름 형태 시료에서 레이저 산란광 화상의 분할화상분석에 의한 탁도 측정을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

CCD 카메라로 취득한 레이저 산란광 화상의 intensity와 탁도가 0.0에서 300.0 NTU 범위에서 비례하였고 300.0 NTU에서 1000.0 NTU 범위에서는 역으로 탁도가 증가함에 따라 intensity가 감소함을 보였다. 화상분석의 과도한 계산 부하를 줄이기 위하여 블록 단위로 화상을 분할하여 계산된 세로 방향 6에서 15번째 열의 intensity는 전체화상의 intensity와 유사한 형태를 보였고 탁도에 따른 intensity의 감도가 더 높았다.

탁도와 intensity의 비선형적인 관계를 인공신경망으로 산란광 화상의 패턴을 학습한 결과 탁도와 intensity가 선형관계이었다.

학습한 인공신경망으로 인공신경망 학습에 넣지 않는 분할된 산란

**Table 1. Accuracy of Turbidity Measured by Artificial Neural Network**

Turbidity (NTU)	Measured turbidity (NTU)	Accuracy (%)	Turbidity (NTU)	Measured turbidity (NTU)	Accuracy (%)
0.0	-0.01	-	10.0	9.87	98.67
0.1	0.11	85.35	20.0	19.22	96.12
0.2	0.21	95.49	30.0	29.93	99.75
0.3	0.30	99.41	40.0	40.17	99.57
0.4	0.42	95.00	50.0	49.82	99.64
0.5	0.52	96.71	60.0	59.76	99.61
0.6	0.60	99.61	70.0	70.51	99.27
0.7	0.72	97.78	80.0	79.68	99.60
0.8	0.81	99.19	90.0	88.84	98.72
0.9	0.92	97.52	100.0	102.08	97.92
1.0	1.01	99.31	200.0	189.24	94.62
2.0	2.03	98.48	300.0	292.37	97.46
3.0	3.01	99.81	400.0	397.91	99.48
4.0	4.01	99.81	500.0	495.68	99.14
5.0	4.98	99.55	600.0	603.63	99.40
6.0	5.95	99.22	700.0	703.96	99.43
7.0	6.91	98.69	800.0	799.59	99.95
8.0	8.04	99.55	900.0	894.84	99.43
9.0	8.96	99.52	1000.0	997.45	99.74

광 화상의 intensity를 입력한 결과 실제 탁도와 측정된 탁도가 선형관계이었고 정확도는 0.1 NTU에서는 최하 85.35%의 정확도를 보이고 그 이상에서는 94% 이상의 정확도를 보임을 알 수 있다.

### 참 고 문 헌

1. 환경부, 먹는물수질공정시험방법, 환경부 고시, 45 (1999).

2. 강동효, 수질화학분석법, 20, 신평문화사, (2000).  
 3. HACH, Excellence in Turbidity Measurement, HACH Corporation, (1995).  
 4. International Organization for Standards (ISO), International Standard ISO7027 Water Quality Determination of Turbidity, ISO, (1990).  
 5. G.-H. Ga, H.-S. Jang, Y.-B. Kim, and J.-W. Kwak, *J. of KSEE.*, **31**, 263, (2009).  
 6. C. Li and H. Jiang, *Particulate Systems in Nano- and Biotechnologies*, 223 (2009).  
 7. R.-F. Yu, H.-W. Chen, W.-P. Cheng, and M.-L. Chu, *Environmental Monitoring and Assessment*, **148**, 19, (2009).  
 8. S. Choi, Y. Kim, H. Yoom, J. Cha, J. Choi, and C. Kim, *J. of KSEE*, **30**, 168, (2008).  
 9. A. L. Amaral, Y. P. Ginoris, A. Nicolau, M. A. Z. Coelho, and E. C. Ferreira, *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, **391**, 1321, (2008).  
 10. G. Weng and P. Ye, *Proceedings of SPIE*, 7130, (2008).  
 11. D. Pallares and F. Johnsson, *Chemical Engineering Science*, **61**, 2710 (2006).  
 12. B. P. Shrestha, N. K. Shrestha, and L. Poudel, *Proceedings of SPIE*, 7343, (2009).  
 13. J.-F. Witz, S. Roux, F. Hild, and J.-B. Rieunier, *Journal of Engineering Materials and Technology*, **2**, 130, (2008).  
 14. G. S. Grewal and V. N. Dubey, *Measurement Science and Technology*, **18**, 1361 (2007).  
 15. Q. Marashdeh, W. Warsito, L.-S. Fan, and F. L. Teixeira, *Measurement Science and Technology*, **17**, 2097, (2006).  
 16. R.-F. Yu, W.-P. Cheng, and M.-L. Chu, *Journal of Environmental Engineering*, **131**, 71, (2005)