

실험수로에서 식용색소를 이용한 종확산계수 측정

○김정수*, 한정석**, 윤세의***, 이종태***

1. 서론

하천에 사고에 의하여 오염물질이 방출되었거나, 도시 하수나 공장 폐수가 방류되었을 경우 오염물질의 거동 특성을 파악하는데 종확산계수의 특성 분석은 필수적이다. 하천에서 종확산계수를 측정하는데 사용되는 추적자(tracer)로는 Rhodamine 용액, 소금용액(salt solution), 온수(heated water), 방사성 추적자(radio tracer), 탄산(potassium carbonate)등이 이용되고 있다. 현장 실측시에는 추적자가 하천에 방류된 오염물질과 화학적 반응을 일으켜서 변화될 수도 있으며, 부유사와 결합하기도 한다. 또한 추적자 자체에 의한 하천오염의 위험성이 있으므로 추적자의 선택에 주의가 필요하다(Glover, 1964). 국내에서 종확산계수에 관한 연구로는 서일원과 정태성(1995), Seo와 Cheong(1998) 등이 있으며, 종확산계수 측정에 관한 연구로는 Elder(1954), Parker(1961), Fischer(1967), Iwasa(1991)등이 있다.

본 연구에서는 일반적으로 종확산계수 측정에 추적자로서 많이 사용되는 Rhodamine B 용액과 국내에서 유통분석에 사용되고 있으며 사람이 먹을 수 있는 식용색소(food colors : Oh Jung Commercial Co., Ltd.)를 이용하여 종확산계수를 측정하여 그 특성을 비교, 분석하였다.

2. 기본이론

Taylor(1954)에 의해 제안된 1차원 확산방정식은 식 (1)과 같으며 이 식은 오염물질이 유입된 지점으로부터 충분한 거리가 떨어진 하류 단면에서 농도분포를 예측하는데 사용할 수 있다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} = E_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (1)$$

여기서 C 는 단면 평균농도, U 는 단면평균유속, E_x 는 종확산계수, t 는 시간, x 는 종방향거리이다. 염료가 순간적으로 투입된 경우에 최대농도(C_p)는 식 (2)와 같다(이시진 등, 1993).

$$C_p = \frac{M}{2A\sqrt{\pi E_x t_p}} \quad (2)$$

* 경기대학교 대학원 토목공학과 석사과정

** 부천대학 토목과 전임강사

*** 경기대학교 토목·환경공학부 교수

여기서 $t_p = x/U$ 이다. $1/\sqrt{t_p}$ 와 관측된 최고 농도를 도식화하여 종확산계수 E_x 를 구할 수 있다. 본 연구에서는 식 (2)를 이용하여 종확산계수를 구하였다.

3. 확산계수 측정 실험

이송-확산 과정에서 가장 중요한 종방향의 확산 특성을 규명하기 위하여 직선수로에서 실험을 실시하였으며 사용된 수로의 제원은 표 1과 같다. 그림 1은 식용색소를 이용한 실험 전경이고, 그림 2는 Rhodamine B를 이용한 실험 전경이다.

표 1. 실험수로의 제원

길이 (m)	폭 (cm)	수심 (cm)	유속 (cm/s)	경사 (%)
52	1 - 2	5 - 10	1/950	30



그림 1. 식용색소 실험 전경

농도를 측정하기 위하여 전도도계를 사용하였다. 전도도계는 Temp Meter Model 41C(Istek Co.)을 사용하였다. 이는 온도와 전도도를 동시에 측정할 수 있으며 자동기록장치가 부착되어있다. 전도도계는 5개 지점을 동시에 측정하기 위하여 5개를 준비하였다. 또한 전도도는 온도에 따라 그 값이 변화되므로 실험수로내의 물의 온도와 기계의 온도를 고려하여 실험을 실시하였다. 전도도계 간의 오차를 검정하여 서로 0.1%의 오차범위 내에서 측정할 수 있도록 조정하였다.

사각웨어로부터 유량을 측정하고 1차원(Mini water 2) 및 2차원(KENEK VM-201)유속계를 이용하여 유속을 실측하였고, point gage를 이용하여 수심을 측정하였다. 추적자의 농도는 식용색소와 Rhodamine B 모두 10000mg/l 이었다. 측정 시간 간격은 1초이며 물의 온도는 19°C이다. 전도도로부터 농도를 예측하기 위하여 전도도와 농도 관계의 실험을 실시하였으며 그 결과는 그림 3과 같다.

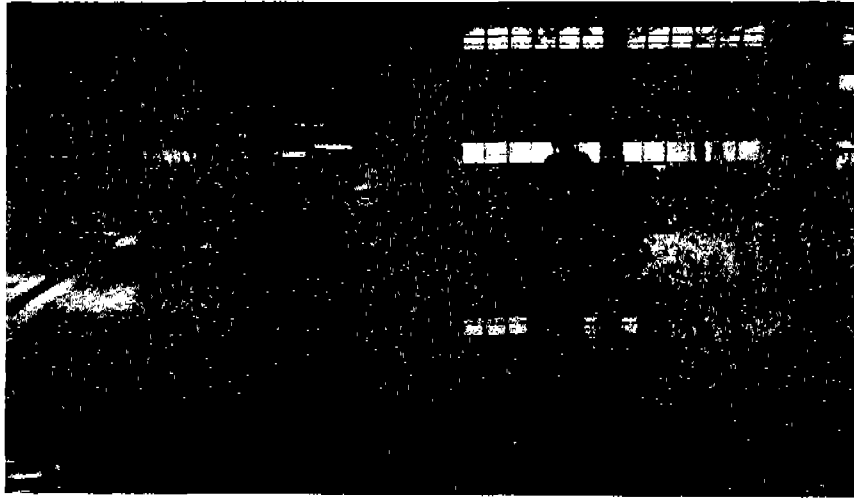


그림 2. Rhodamine B 실험 전경

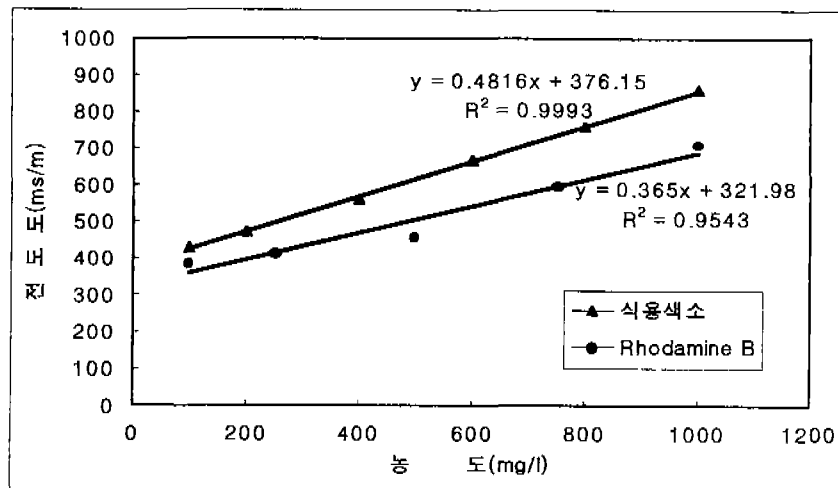


그림 3. 전도도-농도 곡선

그림 3에서의 전도도-농도 곡선을 보면, 식용색소가 Rhodamine B보다 농도의 증가에 따른 전도도의 변화가 더 큰 것을 알 수 있었다. 즉, 식용색소가 Rhodamine B보다 전도도에 더욱 민감하게 반응하였다.

4. 추적자의 성분 분석

중확산계수 측정실험에서 사용되고 있는 Rhodamine B와 국내에서 유향분석에 사용되는 식용색소의 특성을 분석하였다. Rhodamine B의 농도가 진할수록 염료 혼합액의 색이 진한 분홍색을 나타내므로 자연하천에서의 실험이나 실내 실험 후 하수로 방류된 폐수가 주민들에게 거부감을 일으킬 수 있다. 따라서, 사람이 먹을 수 있는 물질이기 때문에 주민들에게 거부감이 적으며 청녹색을 나타내는 식용색소를 선택하였다. 더욱이 식용색소는 수리 모형 실험에서 유향 실험에 사용

되며 국내에서 구하기가 용이하다. 식용색소의 확산실험의 추적자로서의 사용 가능성을 알아보기 위하여 Rhodamine B와 식용색소의 비중, COD, BOD, SS를 측정하였고, 원소분석기(EA 1108, FISON Instrument)를 이용하여 성분 분석을 하였다. 이 성분 분석 결과를 이용하여 이론적 산소요구량(ThOD)을 산정하였다.

표 2. 원소분석기 성분 분석 결과

	C (원소)	H (원소)	O (원소)	N (원소)
Food Colors	9.16%	36.78%	3.17%	7.94%
Rhodamine B	7.85%	69.08%	7.69%	0.30%

표 3. 비중, COD, ThOD 실험결과

투입농도	비중		COD		ThOD	
	Rhodamine B	Food Colors	Rhodamine B	Food Colors	Rhodamine B	Food Colors
10000ppm	1.0025	1.006	2692.5ppm	2293.6ppm	27.13g O ₂	17.03g O ₂
20000ppm	1.0045	1.008	5385.1ppm	4587.2ppm	54.62g O ₂	34.06g O ₂

표 4. 시간별 SS의 변화

투입시점	10000ppm	20000ppm
0 hr	96 mg/l	48 mg/l
1 hr	84 mg/l	52 mg/l
2 hr	60 mg/l	56 mg/l
3 hr	64 mg/l	64 mg/l

표 2는 원소분석기를 이용하여 성분 분석한 결과를 나타내고, 표 3은 성분 분석한 결과를 가지고 계산한 이론 산소요구량(ThOD)을 나타낸다. 이론 산소요구량은 염료를 100% 산화시키는 데 필요한 산소요구량을 나타낸다. 이론 산소요구량은 실제 수질오염의 기준값으로 이용되지는 않지만, 이론 산소요구량 값이 클수록 염료를 산화시키는데 더 많은 산소를 필요로 하므로 Rhodamine B의 사용보다는 식용색소를 산화시키는데 적은 산소가 필요하다는 것을 알 수 있다. 일반적으로 COD실험값이나, BOD 실험값이 정확하지 않을 경우, 이론 산소요구량의 80%정도를 COD값으로, 60%정도를 BOD값으로 사용한다.

표 3, 4에서와 같이 Rhodamine B와 식용색소의 비중과 SS 값의 차이가 근소하였다. 따라서, 두 염료 모두 확산실험을 할 경우 분자분산의 차이나 확산과정에서의 차이는 많지 않을 것이라 사료된다. 식용색소의 COD값보다 Rhodamine B의 COD값이 약간 더 크게 나타났으므로 Rhodamine B가 자연하천의 수질오염에 약간 더 영향을 미칠 수 있다고 생각된다.

5. 실험결과

본 연구에서는 실험수로의 수리량 조건(유량, 유속, 수심, 측정지점, 수온)을 변화시키지 않고, 투입 염료의 농도를 10000ppm으로 고정시키고, 식용색소를 이용하여 종확산계수를 측정할 경우를 CASE I 이라 하고, Rhodamine B를 이용하여 종확산계수를 측정할 경우를 CASE II라 하였다.

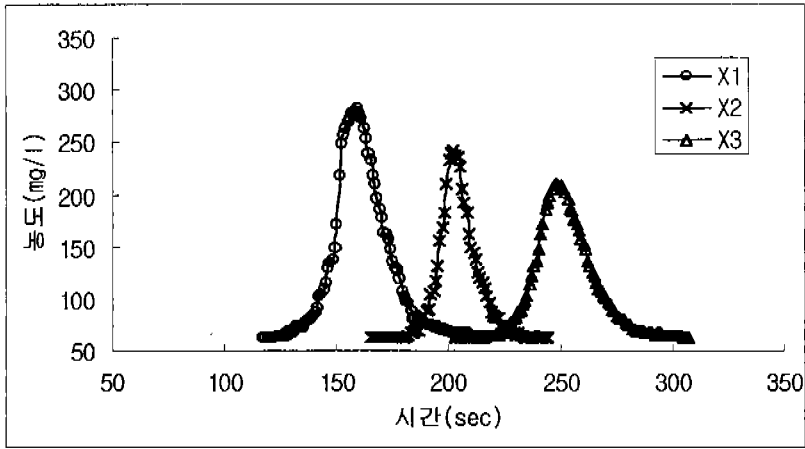


그림 4. 지점별 농도-시간 곡선(CASE I)

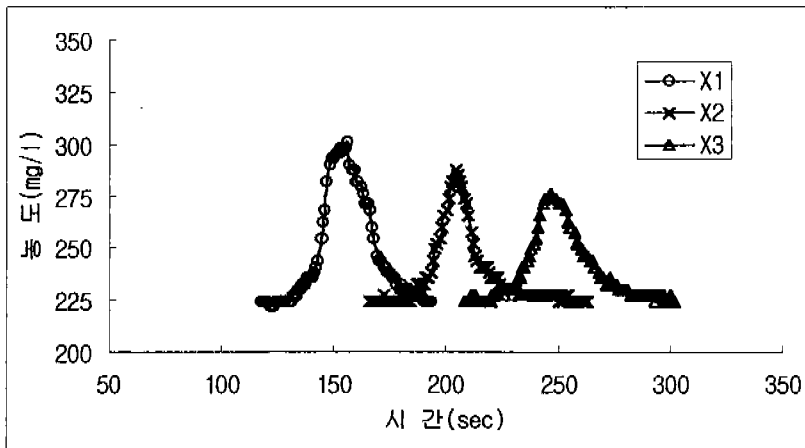


그림 5. 지점별 시간-농도 곡선(CASE II)

측정된 전도도로부터 그림 3을 이용하여 농도를 계산하였으며, CASE I 과 CASE II의 시간-농도 곡선은 그림 4, 5와 같다. 그림 4와 5의 결과를 가지고 식 (2)를 이용하여 계산된 식용색소와 Rhodamine B의 종확산계수는 표 5와 같다.

표 5. 식용색소와 Rhodamine B의 종확산계수 측정치(cm^2/sec)

	Food Colors	Rhodamine B
종확산계수	10	88

표 5에서와 같이 Rhodamine B가 식용색소에 비해 종확산계수가 크게 측정되었다. Elder(1964)의 경험식과 비교하면 Rhodamine B의 실험치가 식용색소의 경우보다 더욱 잘 일치하고 있다. 이는 그림 4와 그림 5에서와 같이 식용색소의 최고농도의 경사가 Rhodamine B의 경사보다 크게 측정되었기 때문이다. 이는 수심이 하쪽에 비해 작은 경우에는 하상의 조도에 큰 영향을 받는 것으로 판단된다. 실험시 식용색소가 Rhodamine B보다 하상에 부착되는 양이 크게 관측되었다. 따라서 식용색소는 하상이 매끄러운 경우 혹은 수심이 큰 곳에서는 사용 가능하리라고 생각된다.

6. 결 론

본 연구에서는 국내에서 구하기가 용이하며, 사람이 먹을 수 있을 정도로 안정성이 보장되어 있는 식용색소(food colors : Oh Jung Commercial Co., Ltd.)를 종확산계수 측정 실험의 추적자로 선택하여 실험수로에서 실험을 실시하고 일반적으로 그 실험에 사용되고 있는 Rhodamine B의 경우의 결과치와 비교하였다. 식용색소를 추적자로 사용하여 실측된 종확산계수는 Rhodamine B의 경우보다 작게 측정되었으며, 그 이유로 식용색소는 Rhodamine B 용액에 비해 하상에 부착하는 입자가 많기 때문에 종확산계수가 작게 측정되었다고 판단된다. 따라서 실험수료가 매끄러운 경우에는 종확산계수 측정시 식용색소의 사용이 가능하리라고 판단된다.

전도도의 측정오차, 완전혼합거리의 가정 오차, 종확산계수의 계산방법에 따른 차이, 전도도로부터 농도로 환산시의 오차, 하상의 조도, 형상비 등의 변화에 따른 오차 등이 포함되어 있어서 앞으로 이들에 대한 정확한 분석이 요망되며 실험 횟수를 더욱 증가시키면서 식용색소의 사용가능성을 검토해야 한다.

7. 참고문헌

- 이시진, 윤세희, 박석순 (1993). *수질모형과 관리*. 동화기술,
 서일원, 정태성 (1995). "종확산계수에 관한 연구: I. 현존 종확산계수 추정식 비교." *한국수자원 학회지*, 한국수자원학회, 제28권, 제3호, pp. 205-216.
 Elder, J.W. (1959). "The dispersion of a marked fluid in turbulent shear flow." *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 5, No. 4, pp. 544-560.
 Fischer, B.H. (1967). "The Mechanics of dispersion in natural streams." *Journal of Hydraulics Division*, ASCE, Vol. 93 No. HY6, pp. 187-216.
 Glover, R.E. (1964). "Dispersion of dissolved and suspended materials in flowing streams." *United State Geological Survey Professional Paper 433-B*, Washington, D.C.
 Iwasa, Y., and Aya, S. (1991). "Predicting longitudinal dispersion coefficient in open-channel flows." *Proceeding of the International Symposium on Environmental Hydraulics*, pp. 505-510.
 Parker, F.L. (1961). "Eddy diffusion in reservoirs and pipelines." *Journal of Hydraulics Division*, ASCE, Vol. 87 No. HY3, pp. 151-171.
 Seo, I.W. and Cheong, T.S. (1998). "Predicting longitudinal dispersion coefficient in natural streams." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol, 124, No. 1, pp. 25-32.