

Modified Gas Tracer Method를 이용한 하천의 재폭기계수

Field Measurement Methods of Stream Reaeration Coefficient

- Modified Gas Tracer Method -

조 영 준* · 권 순 국(서울대)

Cho, Young Jun · Kwun, Soon Kuk

Abstract

Reaeration coefficient is the physical absorption of oxygen from the atmosphere by water. It is the most important natural means by which a stream replaces the oxygen consumed in the biodegradation of organic wastes, and the rate constant describing this process is the reaeration coefficient, K_2 . Reaeration coefficient is the dominant parameter affecting the use of water quality model. Therefore accurate estimation of the reaeration coefficient is essential for optimum water quality management. There is several method to estimate stream reaeration coefficient. In this study, it would be concluded that SI-peak method is of practical use when applied to small stream, and CRI method is adequate to large stream.

I. 서론

하천에서의 용존산소 (DO, Dissolved Oxygen)농도는 하천수의 전반적인 수질 상태와 수생 생물의 생존능력을 나타내는 기본적인 지시자의 하나이다. 용존산소는 하천바닥에 퇴적된 유기물이나, 수중으로 배출된 유기물의 생물분해에 이용되며, 이에 따라 점차 그 농도가 감소하게 된다. 재폭기는 대기중의 산소가 하천으로 녹아드는 물리적인 현상으로 오염물질의 유입으로 인해 감소된 하천의 용존산소를 회복할 수 있는 가장 중요한 자연적 수단이라고 할 수 있다. 재폭기 과정을 통해 하천에 산소가 공급되는 정도를 나타내는 비율 계수를 재폭기계수 (Reaeration Coefficient), K_2 라 하며, 이 값은 하천수의 수질을 유지하고 향상시키기 위한 수질 모델 적용의 신뢰성에 영향을 미치는 지배적인 매개변수가 된다. 따라서 보다 정확하고, 신뢰성 있는 재폭기계수의 결정을 위해서는 현장 실측이 필요하다고 할 수 있다.

II. 하천 재폭기계수 측정의 기본개념과 방법

2.1 측정원리

추적가스를 이용한 재폭기계수의 측정은 가스의 방출속도와 산소의 흡수속도 사이에 일정한

1998년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (1998년 10월 24일)

비율이 있다는 것에 그 기본 원리를 두고 있다. 따라서 재폭기계수 측정의 기본적인 과정은 가스를 물 속에 용해시키는 과정과 가스가 하류로 이동함에 따른 농도 변화의 측정으로 구성 되어 있다. 가스의 방출계수는 하천의 두 지점 또는 더 많은 지점 사이의 가스농도로부터 공기중으로 방출되어 없어진 가스의 양은 측정하여 결정한다. 이 때 확산이나 회석에 의해 감소된 가스의 부분을 고려하기 위해 보존성이 뛰어난, 검출이 용이한 또 하나의 추적물을 사용한다. Modified gas tracer method에서는 추적가스로서 프로판 가스나 에틸렌 가스를 사용하며, 확산, 회석 추적물로서 Rhodamine이라는 염료를 사용한다. Rhodamine은 하천에 가스를 용해시킬 때, 가스와 함께 하천에 투입하여 똑같은 확산, 회석의 과정을 겪도록 한다.

추적가스가 수표면을 통해 공기중으로 방출되는 것은 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{dC_g}{dt} = -K_T C_g \quad (1)$$

위의 방정식을 적분하면

$$K_T = \frac{1}{t_d - t_u} \ln \frac{(C_g)_u}{(C_g)_d} \quad (2)$$

여기서 C_g 는 가스의 농도, t 는 시간, K_T 는 추적가스의 방출계수이고, dC_g/dt 는 시간에 따른 추적가스 농도의 변화율을 나타낸다. 첨자 u 와 d 는 각각 upstream과 downstream을 나타낸다.

이렇게 하여 구한 K_T 는 다음의 식을 통해 재폭기계수, K_2 로 바꿀 수 있다.

$$K_2 = K/R \quad (3)$$

여기서 R 은 추적가스의 방출속도와 산소의 흡수속도사이의 비례상수이다.

2.2 측정방법의 종류

재폭기계수를 측정하는 방법은 크게 추적 가스의 투입 방법에 따라 SI (Slug-Injection) method와 CRI (Constant-Rate-Injection) method로 구분할 수 있으며, SI method는 다시 peak method와 area method로 나누어진다.

SI method는 짧은 시간 동안 일정비율로 추적가스를 투입하며, 염료도 역시 추적가스와 같은 방법으로 투입한다. 투입시간은 추적가스가 물 속에 충분히 흡수될 수 있는 시간 (1 ~ 2 hr)을 유지한다.

CRI method는 하천내의 가스농도가 평형값에 도달할 때까지 일정비율로 계속해서 가스를 투입하는 방법이다. 반면 염료는 가스를 투입 시간에 맞추어 같은 장소에 한 번에 투입한다.

2.2.1 SI-peak method

추적가스와 염료를 하천에 투입하고 충분한 혼합이 이루어질 수 있도록 일정거리 이상을 유하시킨 후 하천의 두 지점에서 가스와 염료의 시료를 채취하여 농도를 분석한다. 추적가스의 방출계수, K_T 는 다음의 식으로 구할 수 있다.

$$K_T = \frac{1}{t_d - t_u} \ln \frac{\left[\frac{C_g}{C_d} \right]_u}{\left[\frac{C_g}{C_d} \right]_d} \quad (4)$$

여기서 추적가스의 농도, C_g 와 염료의 농도, C_d 는 각 시료채취 지점에서의 특정 시간(t_d , t_u)에 측정되어진 농도이며, 일반적으로 농도곡선의 첨두값을 사용한다. 따라서 ($t_d - t_u$)는 첨두농도의 도달시간, t_p 가 된다. 이 값은 염료 농도곡선을 분석하여 구한다. 첨자 u 와 d 는 각각 upstream, downstream을 나타낸다.

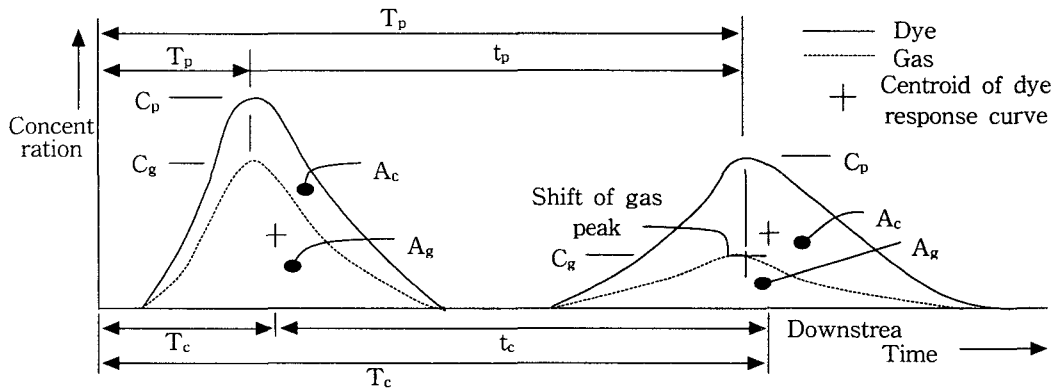


그림 1. Definition sketch of SI type of reaeration measurement

2.2.2 SI-area method

Peak method와 마찬가지로 방법으로 실험을 하지만 추적가스의 첨두농도를 이용하지 않고 추적가스 농도곡선의 내부 면적을 이용하여 추적가스의 방출계수, K_T 를 구하는 방법이다.

$$K_T = \frac{1}{t_c} \ln \frac{\left[\frac{A_g}{Q} \right]_u}{\left[\frac{A_g}{Q} \right]_d} \quad (5)$$

여기서 t_c 는 각 시료 채취 지점하천의 염료농도 곡선에서부터 계산된 도심의 이동시간이다. A_g 는 시료채취 지점의 추적가스 농도 곡선의 내부 면적이며, Q 는 하천의 유량이다. 첨자 u 와 d 는 각각 upstream, downstream을 나타낸다.

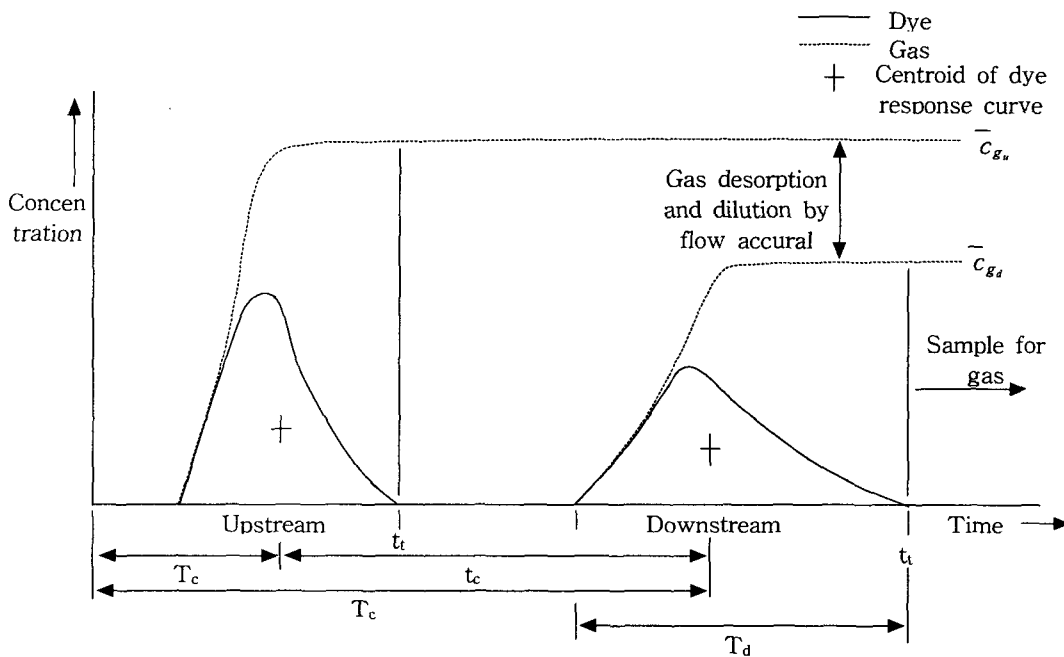
이 방법은 추적가스 농도 곡선의 내부 면적을 구해야 하기 때문에 peak method보다 많은 양의 가스시료를 요구하며, 염료 농도 곡선의 도심 이동시간을 구해야 하므로 염료에 대한 시료채취도 소홀히 할 수 없어 peak method보다 많이 쓰이지 않는 방법이다.

2.3 CRI method

만약 추적가스를 일정한 비율로 충분한 시간 투입한다면 하천 내의 가스농도는 어떤 평형값에 도달하게 된다. 이러한 상태에서 하류지역으로 유하하는 동안 가스는 공기 중으로 방출되고 이에 따라 하류지역에서는 평형값이 감소하게 된다. 이 두 값의 차이를 이용하여 추적가스의 방출계수를 구하는 방법이 CRI method이다.

$$K_T = \frac{1}{t_c} \ln \frac{(\bar{c}_g Q)_u}{(\bar{c}_g Q)_d} \quad (6)$$

여기서 c_g 는 상하류 두 지역의 가스농도 평형값이고, Q 는 유량이다. 따라서 $c_g Q$ 는 그 지점까지 이동되어진 가스의 질량으로 생각할 수 있다. t_c 는 상하류의 염료 농도 곡선에서 추정된 도심의 이동시간이다.



T_d : 하류지역에서 평형농도가 나타나도록 하기 위해 필요한 최소 가스 투입시간
 그림 2. Definition sketch of CRI type of reaeration measurement

III. 요약 및 결론

재폭기계수의 측정방법은 여러 가지가 있고, 또한 각 실험 방법별로 차이가 있으므로, 현장에서 실측을 통해 재폭기 계수를 결정하고자 하는 경우, 대상 지역의 현황과 실험 여건을 명확히 판단하여 적절한 방법을 선택하여야 한다. 하천의 폭이 좁고, 상대적으로 수심이 깊은 경우라면 SI method를 이용하는 것이 분석 시료의 수를 줄일 수 있어 유리할 것이고, 반대의 경우라면 CRI method를 이용하는 것이 정확도를 높일 수 있을 것이다. 같은 SI method에서는 area method가 조금 더 정도가 높은 것으로 알려져 있으나, 추적가스의 완전한 농도분포곡선을 구해야 하므로 peak method보다 실험이 어렵다는 사실을 고려해야 할 것이다.

우리나라의 일반적인 농촌하천은 대부분이 소하천이므로 SI-peak method를 적용하는 것이 가장 적절하다고 할 수 있다. 그리고 경우에 따라 하천의 규모가 커진다면, CRI method로 고려할 수 있을 것이다.

IV. 참고문헌

1. Kilpatrick, F. A., R. E. Rathbun, N. Yotsukura, G. W. Parker, and L. L. DeLong, 1989, Determination of Stream Reaeration Coefficients by Use of Tracers, U. S. Geological Survey, Techniques of Water-Resour. Investigations Book 3, Chap. A18.
2. Melching, C. S. and H. E. Flores, 1997, Equations for Reaeration Estimation Derived From USGS Data Base, J. of the Environmental Engineering.
3. Rathbun, R. E., D. J. Shultz, and D. W. Stephens, 1975, Preliminary Experiments with a Modified Tracer Technique for Measuring Stream Reaeration Coefficients, U. S. Geological Survey, Open-File Report 75-256.
4. Bennett, J. P. and R. E. Rathbun, 1972, Reaeration in Open-Channel Flow, U. S. Geological Survey, Professional Paper 737.