

호흡률 측정기를 이용한 파일럿 스케일 염색폐수처리 장치에서의 생물학적 활성 측정

전현희 · 최광근 · ¹윤인준 · †이진원
광운대학교 공과대학 화학공학과, ¹대윤계기산업(주)
(접수 : 2004. 9. 10., 게재승인 : 2004. 10. 21.)

Measurement of Biological Activity in Pilot Scale Dyeing Wastewater Process by Using Respirometer

Hyunhee Jeon, Kwangkeun Choi, Injun Yoon¹, and Jinwon Lee[†]

Department of Chemical Engineering, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea

¹Daeyoon Scale Industrial Corporation, Seoul 152-848, Korea

(Received : 2004. 9. 10., Accepted : 2004. 10. 21.)

Oxygen uptake rate (OUR) was used as an indicator of microbial activity. In this study OUR at dyeing wastewater in the pilot plant was monitored to examine biological activity. Correlation between inlet COD concentration and maximum OUR showed that maximum OUR was proportional to inlet COD concentration. Changes in the OUR values reflected the changing waste load in the reactor. Consequently, OUR can be used to estimate biological activity of inlet COD concentration. This study showed that biodegradable COD at dyeing wastewater could be calculated from OUR and yield coefficient. Non-biodegradable COD was able to be calculated from a difference between initial COD concentration and biodegradable COD.

Key Words : Oxygen uptake rate, microbial activity, biodegradable COD, *Microbacterium barkeri*, *Paenibacillus amylolyticus*

서 론

산소소모율 (OUR, oxygen uptake rate)은 미생물이 유기물을 분해하는 과정에서 단위 시간당 소비한 산소량으로 미생물에 의한 생물학적 처리의 지표가 된다. 산소소모율 정의에 의해 생물학적으로 분해가능한 물질의 농도가 높을수록, 미생물 농도 및 미생물의 유기물 분해능력 (metabolic capacity)이 높을수록 산소소모율은 증가하게 된다. 반응조 내의 질소와 인 등의 영양염류 농도, 온도, pH 등은 미생물 농도, 유입 유량, 유입 농도 이외에 산소소모율 측정에 영향을 미치므로 미생물 활성과 관련하여 중요한 인자로 여겨진다.

생물학적 공정에서 폭기조 내 산화의 주요 작용은 생물학적으로 분해 가능한 물질을 제거하는 것이다. 그러므로 생물학적으로 분해 가능한 물질의 농도 및 미생물의 활성에 의존

적인 산소소모율을 생물학적으로 분해 가능한 물질의 제거와 분해에 관련된 핵심변수로 이용할 수 있다(1-4). 또한 생물학적 공정은 공정의 특성상 유입성분, 공정의 형태, 외부환경인 자들의 조건에 따라 다양한 변화를 보이기 때문에 변화에 즉시 대응할 수 있어야 하는데 산소소모율은 실시간 측정이 가능하기 때문에 생물학적 처리 공정에서 미생물 활성도(5), 생분해도 평가(6-8), 독성도 평가(9, 10) 등 슬러지 상태를 평가하는데 널리 사용되고 있다.

현재 심각한 수질 오염 문제를 야기하고 있는 염색폐수는 탄소원이 적고 난분해성 물질의 함량이 높으며, 유입 유량이나 수질이 일정치 않아서 활성污泥지 공정에서 운전 효율 저하의 원인이 되고 있다. 운전 효율을 증가시키기 위해서는 폭기조에서의 미생물 활성도 측정과 생물학적으로 분해 가능한 물질의 조사가 선행되어야 한다.

본 연구는 산소소모율 측정을 통해서 염색폐수 처리장내의 생물학적 폐수처리에서 미생물의 활성 측정과 생분해 가능한 COD (biodegradable COD)를 조사하여 미생물의 증식과 기질 분해율을 최대로 유지할 수 있는 최적 산소의 양을 예측하여 염색폐수 처리장 내의 미생물 활성을 최대로 하여 운전효율

† Corresponding Author : Department of Chemical Engineering,
Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea

Tel : +82-2-940-5172, Fax : +82-2-909-0701

E-mail : jwlee@daisy.kw.ac.kr

을 높이고자 하였다.

재료 및 방법

사용군주

본 연구에 사용한 균주는 *Microbacterium barkeri* KCCM 10507과 *Paenibacillus amyloyticus* KCCM 10508로 자연계에서 염색폐수처리를 위해 본 연구실에서 직접 분리한 균주이며 (11, 12), 이를 균주를 염색폐수 처리용 파일럿 플랜트에 적용하였다.

산소소모율 측정

파일럿 플랜트의 폭기조 내 미생물 활성을 측정하기 위해 총 부피가 500 mL인 반응용기에 각 폭기조에서 채취한 미생물 혼합 시료 400 mL를 채워 일정하게 교반하며, 파일럿 플랜트에서의 원수 온도와 비슷하게 유지하기 위해 항온조를 사용하였다. 미생물 호흡시 나타나는 압력강하의 변화는 0.1 시간마다 측정하여 4시간 동안 진행한 산소소모율의 측정값을 나타내었다. 또한 파일럿 플랜트의 시료 채취는 24시간의 일정한 간격을 두고 채취하여 산소소모율 측정하였다.

분석방법

파일럿 플랜트에 유입되는 염색폐수의 성상을 분석하기 위해 COD (chemical oxygen demand)를 측정하였으며 COD는 HACH사의 DR/2010 spectrophotometer를 사용하였으며, 미생물량은 standard methods에 따라 부유 고형물 농도 (MLSS : mixed liquor suspended solid)로 측정하였다.

Biodegradable COD 계산

미생물의 성장 (biomass growth) 또는 기질이용 (substrate utilization)과 산소이용률 (respiration)과의 관계는 미생물의 신진대사 (metabolism)에 의해 제거되는 COD가 새로운 세포의 합성과 산소소모율 (OUR)로 측정될 수 있다는 것에 기초하여 (13), 생물학적으로 분해 가능한 COD 농도를 다음과 같은 식 (1)으로 표현하였다 (8).

$$C_{SR} = \frac{\Delta O_2}{1 - V} \quad (1)$$

여기서,

C_{SR}: 반응기에서의 총 생분해 가능한 COD 농도 (mg COD/L)
 Y : 미생물생산계수

파일럿 플래트

실제 염색폐수처리장에서의 미생물 활성도와 생물학적으로 분해 가능한 COD를 조사하기 위해 반월염색 공단 내에 파일럿 플랜트를 설치하였다. 파일럿 플랜트는 전재 부피 16,000 L, 하루 처리 용량 15 ton, HRT (hydraulic retention time) 2시간으로 운전하였다. 처리조 형식은 유량조정조, plug flow type 폭기조 4기, 그리고 침전조로 구성되어 있으며, 후단과의 연계를 위해 침전조를 재배치하였다. 미생물의 활성을 증진시키기 위하여 디스크 형태의 사기장치를 각 폭기조

에 2기씩 배치하였으며, 개략적인 형태를 Fig. 1에 보였다.

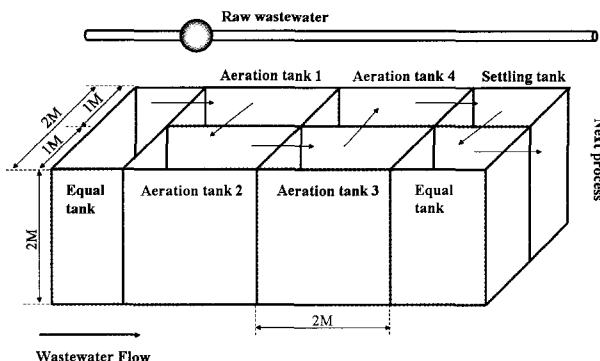


Figure 1. Schematic diagram of pilot plant.

호흡율 측정기 (Respirometer)

본 연구에서는 미생물에 의해 소모되는 산소의 양을 측정하기 위해 산소소모율 측정 장치인 respirometer (Comput-OX Respirometer Model 00-104)를 사용하여 실험하였다.

본 실험을 위해 사용된 respirometer는 미생물 반응용기, 산소공급장치, 데이터 처리와 저장을 위한 컴퓨터 부분으로 구성되어 있다. 밀폐된 반응용기에서는 미생물의 호흡이 일어나며, 이 과정에서 산소를 소모하고 이산화탄소를 방출하게 된다. 방출된 이산화탄소는 이산화탄소 트랩에 의해 반응기 상부로부터 제거되며, 이로 인해 반응기내부의 압력을 소모된 산소량만큼 낮아지게 된다. 압력센서는 압력강하를 검출하여 산소공급장치와 컴퓨터로 전송한다. 산소공급장치는 소모된 산소량을 반응기로 이송하며, 컴퓨터의 데이터 시스템은 압력강하가 발생한 시간과 결과를 모니터하여 산소소모율을 측정한다.

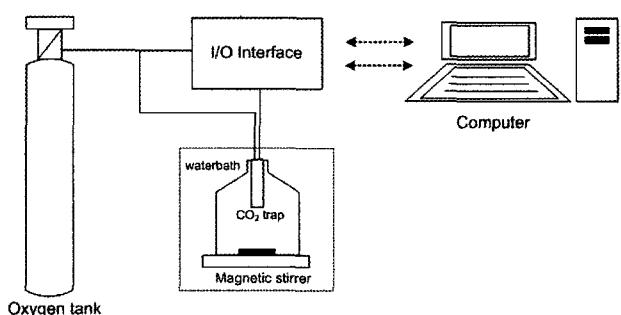


Figure 2. Schematic diagram of respirometer.

결과 및 고찰

COD 농도 변화에 대한 미생물 활성도

파일럿 플랜트에서 폭기조로 유입되는 염색폐수의 COD 농도에 대한 미생물 활성을 보기 위해 respirometer를 사용하여 6일 동안 24시간의 일정한 간격으로 산소소모율의 측정 결과를 Fig. 3에 보였다. Fig. 3은 유입 COD 농도에 대한 최대산소소모율 (OUR_m)을 나타낸 것으로서, 유입 COD 농도와 최대산소소모율은 938, 819, 809, 686, 778, 713 mg/L와 34, 30, 26, 17, 25, 19 mg O₂/L·hr이었다. 결과적으로, 유입 COD

농도가 높을 경우 최대산소소모율이 높으며, 반대로 유입 COD 농도가 낮을 경우 최대산소소모율도 낮게 측정되었다. 이러한 결과를 통해 유입 COD 농도와 최대산소소모율과의 상관관계를 통해서 파일럿 플랜트에 유입되는 COD 농도 변화에 대한 미생물 활성을 실시간으로 판별할 수 있을 것으로 사료된다.

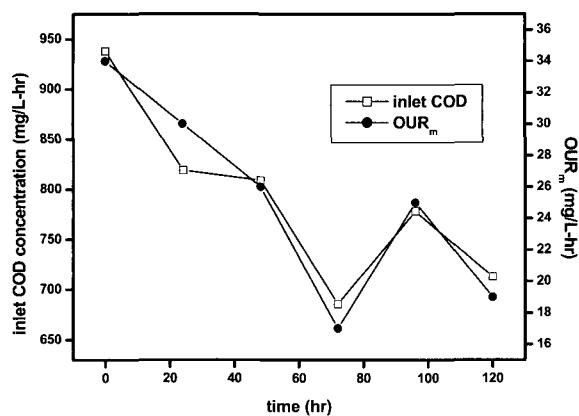


Figure 3. Correlation curve for maximum OUR and inlet COD.

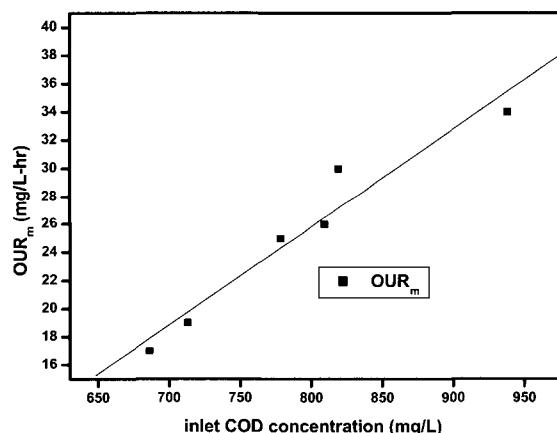


Figure 4. Standard curve for maximum OUR and inlet COD ($Y = 0.07X - 28.64$, $R^2 = 0.96$).

또한, 유입 COD 농도와 최대산소소모율과의 상관관계를 통해 최적의 산소공급량을 예측하였다. Fig. 3의 유입 COD 농도와 최대산소소모율과의 상관관계를 최소자승법으로 계산하여 Fig. 4에 보였다. Fig. 4에서 y 는 최대산소소모율, x 는 유입 COD 농도이며 이들의 관계식은 $y = 0.07x - 28.64$, $r^2 = 0.96$ 이었다. 최대산소소모율은 최대기질분해율을 나타내기 때문에 최적 산소공급량은 최대산소소모율을 측정값을 사용하게 되며, Fig. 4에서 보는 바와 같이 6일 동안 진행한 실험 결과인 790 ± 148 mg/L COD 농도에 대한 최적 산소공급량은 최대산소소모율인 25 ± 9 mg O₂/L-hr이 된다. 그러나 만일 같은 유입 COD 농도의 측정 결과에 따른 최대산소소모율 측정 결과가 낮은 경우는 폐수내의 DO 농도가 낮거나 유

입되는 COD에 난분해성 물질이 많이 포함되어 있는 경우이므로 먼저 Fig. 4에서 보인 최대산소소모율에 대한 산소를 공급해 줄 수 있다. 즉, 유입 COD 농도가 측정되면 최대산소소모율 측정에 따른 미생물 활성이 예측되기 때문에 최적의 산소 공급량을 산정할 수 있을 것으로 판단된다. 결론적으로, 산소소모율과 유입 COD 농도와의 상관관계는 유입 COD 농도에 대한 미생물 활성의 예측과, 최적 산소공급량 산정이 가능하기 때문에 폭기조에 공급되는 산소의 양을 결정할 수 있어 효율적인 운전 조건을 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

Biodegradable COD 평가

미생물 활성에 영향을 미치는 염색폐수의 성상에 대해 알아보기 위해 산소소모율 측정을 통해서 생물학적으로 분해 가능한 COD를 조사하였다. 생물학적으로 분해 가능한 COD 조사를 위해 각 폭기조에서의 산소소모율 측정 결과와 미생물의 생산계수를 구하여 Fig. 5와 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Determination of oxygen yield coefficient

	△ COD	△ MLSS	Y
Aeration 1	269	229	0.85
Aeration 2	190	114	0.6
Aeration 3	168	87	0.52
Aeration 4	106	46	0.43

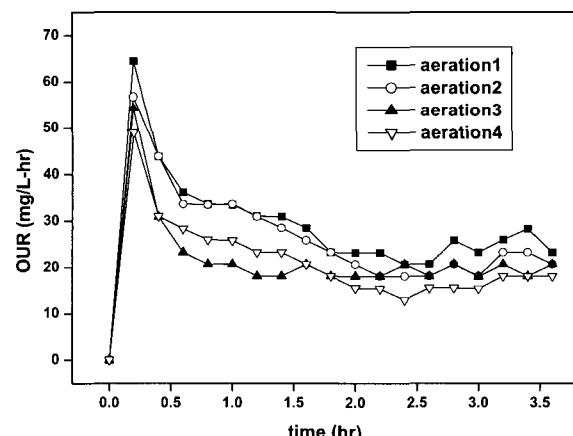


Figure 5. OUR profiles in aeration tanks of pilot plant.

Fig. 5에서 소모된 산소의 양은 산소소모율 측정값이 일정하게 유지되는 내생호흡단계 (endogenous respiration)를 제외한 산소의 양을 사용하였으며, 소비된 산소의 양은 81, 75, 59, 40 mg/L이었다. 생산계수는 각 폭기조에서의 초기 COD 농도와 미생물량, 산소소모율 측정후의 COD 농도와 미생물량을 측정하여 계산하였다.

미생물이 소비한 산소의 양과 생산계수를 식 (1)에 적용하여 구한 생물학적으로 분해 가능한 COD는 540, 188, 123, 70 mg/L이었다. 또한 각 폭기조에서의 초기 COD 농도는 673, 531, 491, 566 mg/L이었으며 초기 COD 농도와 생물학

적으로 분해 가능한 COD 농도와의 차이를 통해 미생물이 분해하고 남은 COD를 측정하였다. 미생물이 분해하고 남은 COD 농도는 133, 343, 368, 496 mg/L로 폭기조 1에서 폭기조 4로 갈수록 증가하였다. 그 결과 폭기조 1에서 생물학적으로 분해 가능한 물질의 농도와 미생물 활성이 가장 높았으며 폭기조 2, 3, 4로 갈수록 생물학적으로 분해 가능한 COD 농도가 낮았다. 이를 통해 폐수 내에 생물학적으로 분해 가능한 물질의 농도가 높고 미생물의 유기물 분해 능력도 우수하여 처리 효율이 높음을 알 수 있다. 이에, 산소소모율을 측정은 생물학적으로 분해 가능한 COD 농도와 분해되고 남은 물질의 조사를 효과적으로 수행할 수 있어서 생물학적으로 분해 가능한 물질과 난분해성 물질의 평가를 통한 폐수 성상이 선행될 수 있어 최적 폐수처리 조건을 예측할 수 있어 생물학적 공정에서 효율적인 운전조건을 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

요 약

염색폐수내의 미생물 활성과 생분해 가능한 COD를 평가하여 효과적인 운전조건을 제시하고자 산소소모율을 측정하였다. 파일럿 플랜트 내로 유입되는 COD 농도 변화에 대한 최대산소소모율은 유입되는 농도가 높을수록 높은 값을 나타내어 COD와 최대산소소모율과의 상관관계를 통해 유입되는 COD농도에 미생물 활성을 예측할 수 있다. 또한 본 연구는 생물학적으로 분해 가능한 물질을 산소소모율 측정을 통한 소모된 산소의 양과 생산계수에 의해 계산하였으며, 생물학적 분해 가능한 COD 농도와 초기 COD 농도와의 차를 통해 난분해성 물질도 계산할 수 있었다.

감 사

본 연구는 산·학·연 공동연기술개발 컨소시엄사업의 지원을 받아 수행하게 되어 이에 감사드리는 바입니다.

REFERENCES

- Mathieu, S. and P. Etienne (2000), Estimation of wastewater biodegradable COD fractions by combining respirometric experiments in various So/Xo ratios, *Wat. Res.* **34**, 1233-1246.
- Vanrolleghem, P., H. Spanjers, B. Petersen, P. Ginestet, and I. Takacs (1999), Estimation (combinations of) activated sludge model No. 1 parameters and components by respirometry, *Wat. Sci. Tech.* **39**, 195-214.
- Dold, P. L., G. A. Ekama, and G. V. R., Marais (1980), A general model for the activated sludge process, *Prog. Wat. Tech.* **12**, 47-77.
- Vanrolleghem, P. A., M. V. Daele, and D. Dochain (1995), Practical identifiability of a biokinetic model of activated sludge respiration, *Wat. Res.* **29**, 2561-2570.
- Brouwer, H., A. Klapwijk, and K. J. Keesman (1998), Identification of activated sludge and wastewater characteristics using respirometric batch-experiments, *Wat. Res.* **32**, 1240-1254.
- Spanjers, H., P. vanrolleghem, G. Olsson, and P. Dold (1996), Respirometry in control of the activated sludge process, *Wat. Sci. Tech.* **34**, 117-126.
- Mathieu, S., and P. Etienne (2000), Estimation of wastewater biodegradable COD fractions by combining respirometric experiments in various So/Xo ratios, *Wat. Res.* **34**, 1233-1246.
- Orhon, D. and D. Okutman (2003), Respirometric assessment of residual organic matter for domestic sewage, *Enzyme and Microbial Tech.* **32**, 560-566.
- Vanrolleghem, P., Z. Kong, G. Rombouts, and W. Verstraete (1994), An On-line respirographic biosensor for the characterization of load and toxicity of wastewaters, *J. Chem. tech. Biotechnol.* **59**, 321-333.
- Bel, M., L. Stokes, J. Upton, and J. Watts (1996), Applications of a respirometry based toxicity monitor, *Wat. Sci. Tech.* **33**, 289-296.
- Choi, K. K., J. C. Shin, H. H. Jeon, S. Y. Kim, W. S. Lyoo, and J. W. Lee (2003), Isolation and Characterization of *Microbacterium barkeri* LCa and *Paenibacillus amylolyticus* LCb for PVA (Polyvinyl Alcohol) Degradation, *Kor. J. Biotechnol. Bioeng.* **18**, 479-484.
- Choi, K. K., C. H. Park, S. Y. Kim, W. S. Lyoo, and J. W. Lee (2004), Polyvinyl alcohol degradation by *Microbacterium barkeri* KCCM 10507 and *Paenibacillus amylolyticus* KCCM 10508 in dyeing wastewater, *J. Microbiol. Biotech.* **14**(5), 1009-1013, 2004.
- Sollfrank, U. and W. Gujer (1991), Characterization of domestic wastewater for mathematical modelling of the activated sludge process, *Wat. Sci. Technol.* **23**, 1057-1066