

혐기와 호기 상태의 물과 토양에서 pH, PO₄-P, 탁도, T-P 농도 관계

민영홍¹ · 강삼우² · 이희선³ · 정남현^{4*}

¹대전광역시 상수사업본부 수도기술연구소, ²한남대학교 화학과, ³전북대학교 생물환경화학과, ⁴고려대학교 생명공학부

Relationship between Concentration of Phosphorus, Turbidity, and pH in Water and Soil under Aerobic and Anaerobic Conditions

Young-Hong Min¹, Sam-Woo Kang², Hoi-Seon Lee³, and Namhyun Chung^{4*}

¹Water Technology Research Institute, Daejeon Waterwork Authority, Daejeon, 306-812, Republic of Korea

²Department of Chemistry, Hannam University, Daejeon 305-811, Republic of Korea

³Department of Bioenvironmental Chemistry, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Republic of Korea

⁴Division of Biotechnology, Korea University, Seoul 136-713, Republic of Korea

Received September 16, 2011; Accepted September 22, 2011

This research was carried out to elucidate the impacts of dissolved oxygen (DO) concentration to phosphorus release mechanism from soil into water in lakes. PO₄-P contributed to the growth of the total phosphorus (T-P). PO₄-P was steadily increasing because water was accumulating PO₄-P. T-P was closely related to turbidity, pH, and DO. We found that DO had decreased because DO was consumed in organic matter decomposition, and that the resulting anaerobic decomposition occurred whenever water had run out of DO. We also found that pH had decreased sharply by production of organic acid by the anaerobic decomposition and that T-P decreased because a decrease in pH removed turbidity by precipitation. T-P was dissolved without microbial decomposition. This mechanism was of great importance in lakes because phosphorus is released from soil into water.

Key words: aerobic, anaerobic, dissolved oxygen, nephelometric turbidity unit, pH, PO₄-P, total phosphorus, turbidity

서 론

질소(N)와 인(P)이 하절기에 호수 내로 다량 유입되어 남조류의 수화 야기로 수자원 이용에 문제가 된다. 국내는 대부분이 호수 오염 부하량이 큰 인공호수로 자연호수보다 시공간적 수질변동의 역동성이 크고, 수리 수문학적 요인들이 큰 변이를 보이는 것으로 알려져 있다. 우리나라 하절기 문순강우는 호수 수질변이에 큰 영향을 야기하는 것으로 알려져 있다. 문순강우로 호수에 많은 영양염류가 유입되어 수질상태 변화를 야기하기 때문에 수질관리에 어려움을 주며, 대부분의 호수는 총질소(T-N)와 총인(T-P)의 상대비율이 17 이상으로, T-P (total phosphorus)가 조류성장 제한 인자로 나타나 있다[Lee과 An, 2010]

인산은 여러 종류이지만 보통 올쏘 인산염을 뜻하며, 올쏘 인

산은 H₃PO₄, 정인산, 오르토인산, dissolved phosphorus (DP)로 표기하기도 했다[Min 등, 2011]. 본 논문은 수질 오염 공정 시험 기준의 인산염인(PO₄-P)포기를 따른다. 인산은 산성에서 H₃PO₄ 형태이고, 알카리로 갈수록 H₂PO₄⁻, HPO₄²⁻, PO₄³⁻로 변한다.

유입되는 인은 퇴적물에 다양한 형태로 존재하며, 미립자에 흡착된 형태의 absorbed P (Ads-P), 착물을 이루는 nonapatite inorganic P (NAI-P), 광물에 포함된 apatite P (Apt-P), 유기물 등에 잔류하는 Residual P (Resid-P)의 형태가 있고, pH가 증가할수록 용존성인의 용출이 증가하며, 이때 용출되는 인은 NAI-P로 알려져 있다[Kim과 Kim, 2002; Jung과 Kim, 2006].

호수에 인의 유입을 원천적으로 막는 것은 현실성이 없고 유입을 최소화하는 것이 최선이다. 조류를 포함한 대부분의 생명체가 이용 가능한 인의 형태는 올쏘인산염(PO₄)이며, 유입된 인이 어떠한 메카니즘으로 조류에 공급되는지를 이해코자 기존 논문들은 호수바닥 침니를 채취해 인공적으로 호기 또는 혐기 상태를 만들어 인의 용출 메카니즘을 파악코자 했다[Kim과 Kim, 2002; Jung과 Kim, 2006]. 호수바닥 침니는 유기물과 무기물(흙)을 포함하고 있어 용출된 인의 근원을 알 수 없었고,

*Corresponding author
Phone: +82-2-3290-3026; Fax: +82-2-953-0737
E-mail: nchung@korea.ac.kr

인의 용출 원인이 용존산소(dissolved oxygen, DO), 미생물, pH 또는 다른 물리화학적 원인에 의한 것인지 규명할 필요가 있었다.

본 연구는 유기물이 없는 시료(흙)를 호기상태인 대조실험(blank test)과 인이 없는 D-(+)-포도당과 대장균(ATCC25923)을 첨가해 혐기상태인 혐기실험(anaerobic test)하여 탁도(turbidity), pH, T-P, PO₄-P, DO를 측정하고 분석해 호소바닥에 있는 인의 용출 메커니즘을 규명하고 부영양화를 감소시킬 수 있는 기초 자료로 활용코자 하였다.

재료 및 방법

토양 시료. 본 연구에 사용된 토양은 대전광역시 중구 산성동 인근 보문산에서 유기물에 오염이 없고, 시료 대표성이 있다고 판단되는 5개 지점(±15 cm)에서 토양 오염 공정 시험 기준에 따라 채취한 토양을 직사광선이 닿지 않는 장소에서 균일한 두께로 펼친 다음, 통풍이 잘 되도록 풍건시키고 분쇄해 눈금간격 0.15 mm 표준체(100 메쉬)로 체걸음 하여, 시료를 각각 균등량(약 500 g)씩 취하고 균일하게 혼합 후 2.5 kg씩 3개(총 7.5 kg) 정도를 만들어 분석용 시료로 사용했다(토양 오염 공정 시험 기준, 2009.10.29).

실험용 유리용기 준비. 실온 25°C에서 분석용 시료를 40 g씩 1 L 유리용기 20개에 넣고 증류수를 1 L 가한 다음 0.01 N NaOH를 이용하여 약 pH 7.5 정도로 만들었고, 혐기실험용(anaerobic)으로 유리용기 10개에 대장균(ATCC25923)을 접종했으며, 나머지 10개는 대조실험용(blank)으로 대장균을 접종하지 않고, 35.5±5°C 인큐베이터에서 20개 시료를 10일간 배양했다. 대장균 성장에 적절한 온도는 35.5±5°C이다(수질 오염 공정 시험 기준, 2010.04.29). 혐기실험용에는 대장균 성장과 시료 혐기화를 위하여 D-(+)-포도당(Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO)를 2, 24, 48, 72시간 마다 5 g씩 넣었다.

실험변수의 측정 방법. 인큐베이터 배양 후 2, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168, 192, 240시간 마다 혐기실험용과 대조실험용에 각 1개씩 취해 각기 약 500 mL 시험용액을 채취 후 DO, NTU (Nephelometric Turbidity Units), T-P, PO₄-P(인산염인), 그리고 pH를 측정했다. 채취한 시험용액 500 mL 중 약 300 mL로 윙클러-아지드화나트륨 변법으로 DO를 측정했고, 시험용액 50 mL를 취하여 원심분리기(Z513K, Hermle, Wehingen, Germany)로 2000 rpm (3000 rcf)에서 2시간 원심 분리 후 0.45 μm (nylon재질, Fisherbrand, Houston, TX) 여지로 여과해 수질오염공정시험기준 총인 아스코르빈산 환원법에 의거해 880 nm 파장에서 분광광도계(Cary 300 conc, Varian, Palo Alto, CA)를 이용하여 인산염 인의 농도를 측정했으며, 시험용액 50 mL를 취해 4% 과황산칼륨으로 121°C에서 과황산칼륨 분해해 모든 인을 인산염(PO₄) 형태로 변화시킨 다음 수질 오염 공정 시험 기준 총인 아스코르빈산 환원법에 의거해 880 nm 파장에서 분광광도계(Cary 300 conc)를 이용하여 T-P 농도를 측정했다. 시험용액 50 mL를 취해 pH 미터(HM-30R, DKK-TOA Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 pH 측정 했고, 나머지 시험용액 50 mL는 탁도계(2199AN Turbidimeter, HACH Co., Loveland,

CO)로 탁도를 측정했다(수질 오염 공정 시험 기준, 2010.04.29; 먹는물 수질 공정 시험 기준, 2010.07.14; Standard methods for the examination of water and wastewater, 16th ed., 1988, American Public Health Association, Washington DC, USA).

결과 및 고찰

Table 1과 2 그리고 Fig. 1에서 대조시료(aerobic, blank)의 2 시간 용존산소는 6.68 mg/L로 35°C 포화량 7.04 mg/L 보다 약간 적고, 혐기시료(anaerobic) 용존산소도 6.88 mg/L로 포화량보다 약간 적었고, 따라서 대조시료와 혐기시료 용존산소 농도는 유사했다. 대조시료 48시간 용존산소농도는 포화량보다 약간 높은 7.36 mg/L이었고, 72시간에는 7.32 mg/L로, 포화량보다 높은 이유는 시료(흙) 속 공기에 의해 용존산소가 증가한 것으로 사료된다. 이 후 용존산소 농도가 큰 변화 없이 240시간까지 약 6.5 mg/L 이상을 유지했음은 시료(흙)에 유기물이 없음을 나타낸 것으로 시료(흙)가 실험에 적합하였음을 뜻했다. 혐기시료에 대장균과 포도당을 투입 후 48시간 DO가 약 1 mg/L까지 감소됐고, 96시간 이후 0.2 mg/L 이하로 감소되어 240시간 이상 유지됨은 혐기실험도 적절하게 진행되었음을 뜻했다. 대조시료 DO 농도변화는 폭기 없이도 호기상태가 적절히 유지됐고, 포도당과 대장균을 이용한 혐기상태도 적절히 유지되어 호기 및 혐기실험이 잘 진행되었음을 확인했다.

Table 1. Variation of turbidity, DO, T-P, PO₄-P, and pH for aerobic (blank) tests

h	DO (ppm)	NTU	T-P (ppm)	PO ₄ -P (ppm)	pH
2	6.68	716	3.817	1.104	7.78
24	6.84	330	5.187	1.5037	7.52
48	7.36	487	4.216	2.0039	6.93
72	7.32	435	4.496	2.3823	6.82
96	6.4	546	4.5815	2.3868	6.67
120	6.64	434	4.4855	2.2876	7.28
144	6.72	542	5.1335	2.5872	6.57
168	6.8	680	5.336	2.654	6.52
192	6.7	642	5.375	2.9352	6.46
240	6.6	602	5.313	2.744	6.76

Table 2. Variation of turbidity, DO, T-P, PO₄-P, and pH for anaerobic tests

h	DO (ppm)	NTU	T-P (ppm)	PO ₄ -P (ppm)	pH
2	6.88	754	4.0415	1.1896	7.75
24	3.92	209	5.211	1.3773	6.37
48	1.16	429	4.3788	1.5243	6.21
72	0.32	422	4.363	1.3728	5.32
96	0.2	222	2.4174	1.665	4.32
120	0.04	93.5	2.4822	1.7238	4.33
144	0.08	29	2.25498	2.2862	4.06
168	0	38.5	2.78	2.580	4.03
192	0.04	21.1	3.117	2.7466	4.04
240	0	25	3.321	3.0342	3.64

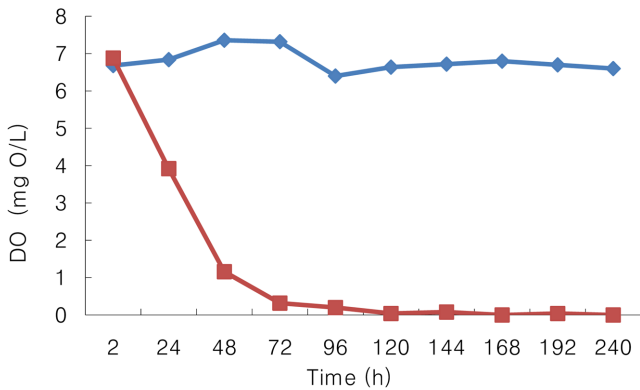


Fig. 1. Variation of DO concentration for test conditions. Aerobic (blank; -◆-) and anaerobic (-■-) tests were incubated for 240 h at 35.5±5°C. The amounts of DO in the sample were analyzed by Winkle azide modification.

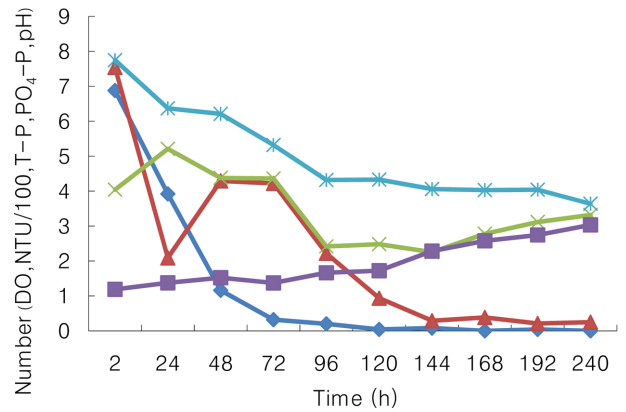


Fig. 3. Variation of turbidity (-▲-), DO (-◆-), T-P (-X-), PO₄-P (-■-), and pH (-*) for anaerobic tests. Turbidity were measured by turbidimeter and the values were divided by 100, giving NTU/100. DO were analyzed by Winkle azide modification. T-P were analyzed by ascorbic acid method. PO₄-P were analyzed by filtration and ascorbic acid method. pH were measured by pH meter. This anaerobic tests were incubated for 240 h at 35.5±5°C.

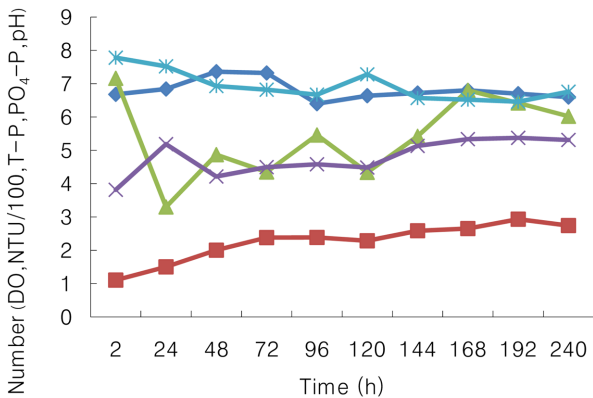


Fig. 2. Variation of turbidity (-▲-), DO (-◆-), T-P (-X-), PO₄-P (-■-), and pH (-*) for aerobic (blank) tests. Turbidity were measured by turbidimeter and the values were divided by 100, giving NTU/100. DO were analyzed by Winkle azide modification. T-P were analyzed by ascorbic acid method. PO₄-P were analyzed by filtration and ascorbic acid method. pH were measured by pH meter. This aerobic tests were incubated for 240 h at 35.5±5°C.

Table 1과 Fig. 2에서 대조시료 DO 농도는 앞에서 언급한 것처럼 48에서 72시간까지는 약간 증가 했지만 큰 변화는 없었다. pH는 시간이 가면서 약간 감소하였지만 약 pH 6.5 이상은 유지했다. T-P는 24시간대에 약간 증가한 다음 48시간대에 감소 후 진폭을 가지며 점진적으로 증가 했고, PO₄-P는 시간이 지나면서 점진적으로 증가 했다. 탁도(NTU)는 24시간대에 급격히 감소 후 진폭을 가지며 약간의 증가 양상을 가졌다. T-P는 탁도가 급격히 감소할 때 증가한 후 감소하였고, 이 후 탁도와 유사한 양상을 가졌으며, 특히 120시간에서 168시간대는 탁도 증가 시 T-P도 증가했다. PO₄-P는 탁도의 급격한 감소 때에도 완만하게 증가했고, 이 후 약간 진폭을 가지며 완만히 증가했다. 24시간대에 탁도의 급격한 감소와 T-P의 증가는 흡과 물의 일시적인 물리화학적 반응으로 사료되며, PO₄-P는 이러한 현상과 반응이 없었던 것이 T-P와의 차이점이었다.

Table 2와 Fig. 3을 보면 혐기시료는 DO 농도가 급격히 감소되어 96시간 이후에 0.2 mg/L 이하의 혐기상태로 됐다. pH도 급격히 감소해 pH 4 정도를 유지했다. T-P는 72시간까지 대조시료 보다 많이 낮았고, 약 pH 4 정도를 나타내는 96시간대

에는 이후에 점진적으로 증가했다. 탁도는 48시간까지는 대조시료와 유사한 양상을 보였고, pH 5 정도 되는 72시간 이후 144시간까지 급격히 감소했고, 이 후 약간의 진폭을 가지며 40 NTU를 유지했다. PO₄-P는 시간이 가면서 약간의 진폭을 갖고 점진적인 증가를 했다. pH는 72시간에 약 pH 5 정도를 나타냈으며, DO는 0.3 mg/L을 나타냈다. 96시간이 되면서 pH 4 정도를 나타냈으며, DO는 0.2 mg/L을 나타내 혐기화가 진행됨을 알 수 있었다. DO 감소는 대장균이 포도당을 분해하면서 생기는 현상이며, pH의 감소는 부족한 DO로 인해 포도당이 유기산으로 변함을 뜻했다. 72시간부터 대조시료와 혐기시료에서 DO와 pH가 큰 차이가 생겼고, 혐기시료에서 pH 5 정도 그리고 DO 0.3 mg/L 정도일 때부터 혐기화가 시작된 것으로 보였기 때문에, 72시간에 탁도와 T-P의 급격한 감소 현상은 pH와 관련 있음을 알 수 있었다.

Table 1과 2 그리고 Fig. 4에서 대조시료(aerobic, blank) pH는 시간이 지나면서 진폭을 갖고 미미한 감소가 일어나는 것은 흡에서 인산이 용출되기 때문으로 사료된다. 이 미미한 pH 감소가 pH에 민감한 탁도가 대조시료의 실험에 끼치는 영향을 고려해 보면[Min 등, 2011], 탁도는 24시간 때 급격히 감소했지만 이후 큰 진폭을 가지며 약간의 증가 양상을 나타내면서 어느 정도 일정 농도를 유지하였으므로 대조시료 실험에 영향이 없음을 알 수 있었다. 탁도가 24시간대에 급격히 감소하고 48시간대에 일시적으로 증가한 현상은 물과 흡의 일시적인 물리화학적 반응으로 사료된다. 혐기시료에서 pH는 점점 감소하여 약 pH 4 정도까지 감소했고, 탁도 역시 72시간부터 감소하여 144시간에 40 NTU 이하를 나타냈다. 호기성 호흡으로 수중 DO를 소모 후 혐기화되면서 포도당을 혐기성 분해함으로 유기산이 생성되어 pH가 감소되는 것으로 예상되었다. 실제로 120 시간대부터 혐기시료에서 식초의 냄새가 발생했고, 대조시료는 유기물이 없어 pH가 중성대를 유지하면서 탁도에 감소도 없는 대조적 현상을 보였다. 대조시료와 혐기시료의 pH 및 탁도(NTU) 변화로 실험이 적합하게 진행되었음을 확인했다[Min

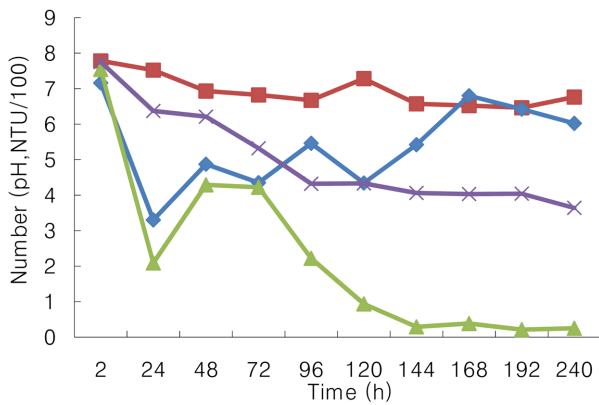


Fig. 4. Variation of turbidity (aerobic, \blacklozenge ; anaerobic, \blacktriangle) and pH (aerobic, \blacksquare ; anaerobic, \times) for test conditions. Turbidity were measured by turbidimeter and the values were divided by 100, giving NTU/100. pH were measured by pH meter. The anaerobic and aerobic tests were incubated for 240 h at $35.5\pm 5^\circ\text{C}$.

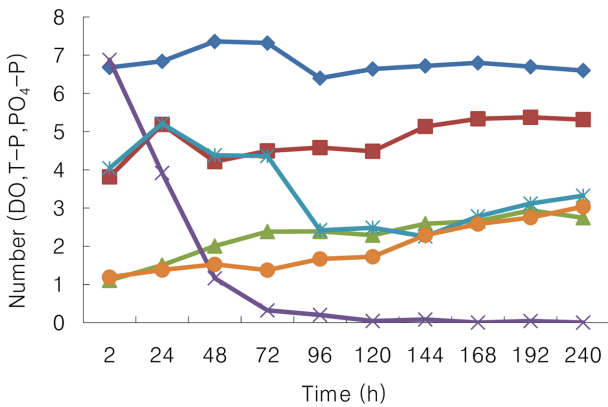


Fig. 5. Variation of DO (aerobic, \blacklozenge ; anaerobic, \times), T-P (aerobic, \blacksquare ; anaerobic, \blacktriangle), and $\text{PO}_4\text{-P}$ (aerobic, \blacktriangle ; anaerobic, \bullet) for test conditions. DO were analyzed by Winkle azide modification. T-P were analyzed by ascorbic acid method. $\text{PO}_4\text{-P}$ were analyzed by filtration and ascorbic acid method. The aerobic and anaerobic tests were incubated for 240 h at $35.5\pm 5^\circ\text{C}$.

등, 2011]. 호수 바닥에 유기물 침전으로 혐기성 상태가 되면 유기산이 생성되어 pH 감소로 이어질 수 있다고 사료된다.

Table 1과 2 그리고 Fig. 5에서 대조시료(aerobic, blank) DO는 전체적으로 일정수준 유지됐으며, 48시간에서 72시간까지 약간 증가된 DO는 흡속 용존산소 공급이 원인으로 사료된다. T-P는 24시간대에 급격한 증가 후 48시간대에 급격한 감소를 나타낸 후 점진적인 증가를 나타냈다. 대조시료와 혐기시료는 72시간까지 T-P의 변화 양상이 유사했지만, 이 후 혐기시료는 pH 5 정도를 나타냈고 DO도 0.3 mg O/L로 감소되어 혐기화가 지속되는 시점으로 보여지며, 시간이 지날수록 유사성은 없어지면서 120시간부터는 거의 DO가 존재하지 않았다. T-P는 96시간대에 급격히 감소 후 144시간에서 최저 농도 2.26 ppm 도달 후 점진적으로 증가했고, $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 시간이 갈수록 약간의 진폭은 있었지만 점진적으로 증가했다. 혐기시료와 대조시료 $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 DO의 변화에 관계없이 시간이 지나면서 점진적 증가를 나타냈다. T-P는 대조시료에서 시간이 지나면서 점진적 증가를 나타냈지만, 혐기시료는 미생물이 포도당을 분해해 DO가

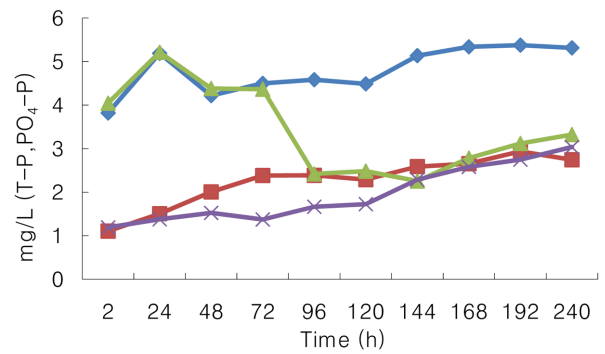


Fig. 6. Variation of T-P (aerobic, \blacklozenge ; anaerobic, \blacktriangle) and $\text{PO}_4\text{-P}$ (aerobic, \blacksquare ; anaerobic, \times) for test conditions. T-P were analyzed by ascorbic acid method. $\text{PO}_4\text{-P}$ were analyzed by filtration and ascorbic acid method. The aerobic and anaerobic tests were incubated for 240 h at $35.5\pm 5^\circ\text{C}$.

감소되면서 T-P도 같이 감소 후 144시간부터 점진적인 증가를 나타냈다.

Table 1과 2 그리고 Fig. 6에서 대조시료 T-P와 $\text{PO}_4\text{-P}$ 농도 차가 매우 큰 것은 $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 물속에 용존하는 $\text{PO}_4\text{-P}$ 만을 측정했고, T-P는 탁도물질에 존재하는 다양한 형태의 인을 과황산 칼륨 분해로 $\text{PO}_4\text{-P}$ 화 한 것과 물속에 용존하는 $\text{PO}_4\text{-P}$ 를 포함한 것이기 때문이다. 대조시료(aerobic, blank)에서 $\text{PO}_4\text{-P}$ 초기 농도에서 240시간대에 농도 차는 1.6 ppm이고, T-P는 1.5 ppm으로 T-P의 증가 대부분은 $\text{PO}_4\text{-P}$ 의 증가에서 기인되는 것으로 나타났다. 그리고 $\text{PO}_4\text{-P}$ 의 증가량이 T-P의 증가량보다 적어야 되지만 큰 것은 실험오차로 사료된다. 혐기시료에서 T-P가 72시간대에 급격히 감소되는 것은 혐기화로 pH가 감소되어 탁도 물질이 침전되기 때문이고[Min 등, 2011], 96시간 이후 큰 변화가 없는 것은 pH 4 정도에서 어느 정도 일정하게 유지되기 때문이다. 96시간 이후 T-P의 농도가 $\text{PO}_4\text{-P}$ 의 농도보다 전체적으로 약간씩 높은 것은 탁도와 미생물에 포함 인의 영향으로 사료되며, 혐기시료에서 T-P 농도가 96시간대에 급격히 감소하지만 최저점은 144시간으로 240시간과 농도차이는 1.07 ppm이고, $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 0.75 ppm으로 T-P와 $\text{PO}_4\text{-P}$ 의 차이 0.32 ppm은 용출된 인을 미생물이 이용한 양과 탁도에서 유래된 양으로 사료된다. 따라서 용출되어 미생물이 이용한 인과 측정된 $\text{PO}_4\text{-P}$ 를 합치면 증가된 T-P 대부분은 $\text{PO}_4\text{-P}$ 증가에서 기인되는 것으로 사료된다. 특히 대조시료와 혐기시료 $\text{PO}_4\text{-P}$ 의 초기농도는 1.10 ppm과 1.19 ppm이고, 192시간대 2.935 ppm과 2.747 ppm 그리고 240시간대의 농도는 2.74 ppm과 3.034로 차이가 크지 않음은 수중의 $\text{PO}_4\text{-P}$ 의 증가가 미생물에 의한 DO 감소로 발생하는 것이 아니라는 것을 나타낸 것이다. 호수에서 미생물이 유기물을 분해해 $\text{PO}_4\text{-P}$ 를 생산할 수 있지만, 이 실험에서는 시료 자체에 유기물이 없는 시료를 선택했고, 또한 첨가한 포도당에도 인이 없었으며, pH 역시 인의 용출이 비교적 적은 pH 4-7 영역의 결과로서[Min 등, 2011], 호수바닥에서 용출되는 인은 유기물이 분해되면서 생성하는 것 이외에도 다른 원인에 의하여 용출되는 인이 있음을 나타낸 것이다. 한편 인의 용출은 약 pH 4-7에서 크지 않으나 pH 3이하 또는 pH 8 이상에서는 pH 변화에 따라서 인의 용출은 크게 증가하였다[Min 등, 2011].

본 연구는 호수 바닥에서 조류 성장 제한 인자인 인의 용출 원인이 유기물을 미생물이 분해하여 생성하는 인 이외의 다른 형태도 존재하는지를 파악코자 대조시료와 혐기시료에서 DO, T-P, pH, 탁도, PO₄-P를 비교 시험해 다음과 같은 사실을 확인할 수 있었다. 우선 대조시료와 혐기시료 PO₄-P의 초기농도는 각각 1.10과 1.19 ppm이고, 192시간대 각각 2.935과 2.747 ppm 그리고 240시간대의 농도는 각각 2.74과 3.034 ppm로 차이가 크지 않음은 수중의 PO₄-P의 증가가 미생물에 의한 DO 감소로 발생하는 것이 아니라는 것을 나타낼 수 있었다. 한편 대조시료에서 T-P와 탁도는 72시간에서 120시간까지는 어느 정도의 수준을 유지하였고, 120시간에서 168시간대에는 같이 증가해 탁도와 T-P는 관련이 있음을 알 수 있었고, 혐기시료에서 T-P는 24시간부터 96시간까지 비교적 빠르게 감소해 144시간대에 최저점을 나타냈고, 탁도도 144시간대까지 감소 할 때 T-P도 같이 감소했다. 이 현상들은 DO, T-P, pH 그리고 탁도가 관계있음을 나타냈다. 즉 이와 같은 현상은 다음과 같이 해석되어 질 수 있다. 미생물이 물속 유기물을 호기성 분해하면 DO가 소모되어 혐기성 상태로 되어 혐기성 분해가 일어나게 된다. 혐기성 분해는 유기산을 형성하여 pH를 감소시켜 탁도물질의 침전을 촉진하게 된다. 탁도물질에 존재하는 여러 형태의 인들도 같이 침전을 일으키어 T-P 감소로 나타난다. 침전된 탁도물질로부터 용출되는 인은 대부분 PO₄-P 형태로 나타났다. 호수 바닥에서 유기물이 분해되면 DO가 감소해 혐기화 되면 유기산이 형성되어 pH가 감소되기 때문에 탁도물질이 호수 바닥으로 침전 촉진되는 과정과 침전된 탁도물질은 미생물의 분해작용이 없이 호수에 인을 용출하는 새로운 메커니즘이 존재함을 알 수 있었다.

초 록

본 연구는 호수바닥에 있는 인의 용출 메커니즘을 규명하고

자 유기물이 없는 시료(흙)에 호기성과 혐기성 실험하여 인 용출을 연구하였다. T-P의 증가 대부분은 PO₄-P 증가에서 기인됐고, 약 pH 4-7 정도에서 PO₄-P는 호기, 혐기 그리고 pH 변화에도 점진적인 증가를 나타낸 원인은 한번 용출된 PO₄-P는 탁도에 흡착되지 않고 용존 하면서 계속해 탁도물질에서 PO₄-P를 용출하기 때문이다. T-P, 탁도, pH 그리고 DO의 유사한 변화 양상은 시료의 포도당 분해 시 DO 감소로 혐기화되면 유기산이 생성되어 pH가 감소하고, 탁도물질은 pH 감소로 침전이 촉진되며, 침전된 탁도물질은 미생물의 분해작용이 없어도 인을 용출된다. 이 메커니즘은 호수 바닥으로부터 물로 공급되는 인을 이해할 때 대단히 중요하다.

Key words: aerobic, anaerobic, dissolved oxygen, nephelometric turbidity unit, pH, PO₄-P, total phosphorus, turbidity

참고문헌

- Jung WH and Kim GH (2006) Speciation of phosphorus dependent upon pH and oxidation reduction potential in overlying water and sediment. *JKSEE* **28**, 472-479.
- Kim EH and Kim HS (2002) A study on release characteristics and forms of phosphorus in sediments. *Korean J Sanit* **17**, 75-80.
- Lee SJ and An KG (2010) Short-term nutrient enrichment bioassays and nutrient limitation in Daechung reservoir. *Korean J Limnol* **43**,136-141.
- Min YH, Hyun DY, Eum CH, and Lee S (2011) A study on the relationship between concentration of phosphorus, turbidity, and pH in water and soil. *Anal Sci Technol* **24**, 304-309.