

생물학적 인 방출시 유기물 및 슬러지 적응에 따른 온도의 영향

민경국 · 원성연 · 박승국 · 이상일

충북대학교 환경공학과

(1999년 12월 10일 접수, 2000년 4월 6일 채택)

The Effect of Temperature with Substrate and Sludge Adaptation on Biological Phosphorus Release

Kyung-Kook Min · Seung-Yeon Weon · Seung-Kook Park · Sang-Il Lee

Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University

ABSTRACT

The effect of temperature on the sources of organic acids and sludge when phosphorus was biologically released was evaluated in this study. The sludge used in this study was obtained from sequencing batch reactor processing the swine wastewater. Temperature is one of the most important parameters influencing the phosphorus release. As a result, the rate of phosphorus released was increased as the temperatures were increased from 5 to 30°C regardless of the sources of organic acids used. Under anaerobic conditions, as acetate, propionate, glucose, and domestic wastewater were used as the sources of organic acids, the corresponding activation energy(E_a) values were 49.83, 55.82, 54.61, and 45.44 KJ/mol, respectively. Temperature coefficient(θ) values were 1.0676, 1.0826, 1.0748, and 1.0698, respectively. Therefore, the rate of phosphorus released was increased as temperature was increased, whereas, the effect of the sources of organic acids and temperature on the activation energy and temperature coefficient values were minimal. When the sludge previously adapted to acetate as external organic source was used, the activation energy and temperature coefficient values were 44.94 KJ/mol and 1.0570 respectively. The effect of temperature was minimal. These values obtained from the sludge previously adapted to acetate were smaller than those from the sludge not previously adapted to the same organic acid. This suggest that the sludge previously adapted to acetate was less dependent on temperature than that not adapted to the acetate.

Key Words : Biological Phosphorus Release, Activation Energy, Temperature Coefficient, Sludge Adaptation

요 약 문

본 연구는 생물학적 인 방출시 유기물 종류 및 대상슬러지가 acetate에 사전 적용여부에 따른 온도의 영향을 관찰하기 위한 연구이다. 실험에 이용된 슬러지는 축산폐수를 처리하는 연속 회분식 반응조(sequencing batch reactor)로부터 채취하였다. 온도는 인의 방출시 크게 영향을 미치는 인자이며 유기물 종류별로 온도가 5~30℃로 증가함에 따라 인 방출속도는 증가함이 관찰되었다. 혐기성 상태에서 주입유기물로 acetate, propionate, glucose 및 도시하수를 이용할 경우 인의 방출시 활성화에너지(E_a) 값들은 각각 49.83, 55.82, 54.61 및 45.44 KJ/mol이었다. 또한 온도보정계수(θ)는 각각 1.0676, 1.0826, 1.0748 및 1.0698이었다. 따라서 인이 방출될 때 온도가 증가함에 따라 반응속도는 크게 증가하지만 활성화에너지 및 온도보정계수를 고려한 유기물 종류별 온도의 영향은 큰 차이가 없었다. 대상슬러지로 사전에 acetate에 적용된 슬러지를 이용할 경우 활성화에너지 값 및 온도보정계수는 각각 44.94 KJ/mol 및 1.0570이었다. 이는 적용되지 않은 슬러지로 부터 얻어진 각각의 값(49.83 KJ/mol 및 1.0676)보다 상대적으로 낮음이 관찰되어 슬러지가 acetate에 사전에 적용된 것이 적용되지 않은 것보다 상대적으로 온도의 영향을 적게 받음을 알 수 있었다.

주제어 : 인 방출, 활성화에너지, 온도보정계수, 슬러지 적용

1. 서 론

최근 들어 영양염류 중 질소뿐만 아니라 인의 처리에 관심이 집중되고 있다. 특히 하천 및 호소에 유입된 인은 침전 및 용출을 반복하기 때문에 부영양화를 일으키는 제한 인자(limiting factor)로써 이에 대한 처리가 절실히 요구된다. 생물학적 인처리는 현재 처리하고 있는 몇몇 공정에서 인 제거효율이 안정적이지 못하여 처리 공정의 도입과 응용에 있어서 제한되고 있다. 이는 아직 인 처리 영향인자에 대한 연구가 미흡하여 실제 인 처리 공정의 운영 및 관리에 많은 어려움이 있기 때문이다. 특히, 국내에는 사계절이 뚜렷하여 여름철과 겨울철의 온도가 20℃ 이상 차이가 나므로 인 처리 공정에 있어서 온도의 영향을 고려하지 않을 수 없다. 온도는 인 제거 미생물 세포 내의 생화학 반응속도에 영향을 주고 외부 유기물이 미생물 세포 내로 흡수되는 기질 전달율에 영향을 준다. 5~35℃ 범위에서 온도가 증가함에 따라 인의 방출과 섭취가 증가한다는 것이 보고되었다.¹⁻⁴⁾

Brdjanovic 등⁵⁾은 유입수로 acetate를 주입하고 혐기-호기의 조건을 주며 SBR 형태로 20℃에서 운영한 슬러지를 이용하여 온도를 5~30℃로 변화시

켜 주면서 회분식으로 실험을 하였다. 그 결과, 온도가 호기 조건뿐만 아니라 혐기 조건에서도 공정의 kinetic들에 커다란 영향을 미친다는 것을 관찰하였으며 혐기조건에서 인의 방출 속도 및 acetate의 섭취 속도가 20℃에서 가장 크다는 것을 보고하였다. 또한, 혐기와 호기 EBPR(enhanced biological phosphorus removal) 공정에서 온도 변화에 따른 반응속도를 가지고 온도보정계수(θ)를 계산하여 혐기 및 호기 조건에서 평균 온도보정계수가 각각 1.078 및 1.057임을 보고하였다.⁵⁾ 이는 EBPR에서 온도가 인 제거 미생물에 미치는 영향은 activated sludge model No.2(ASM2)(Henze et al, 1994)에서 사용하는 질산화 보정계수($\theta=1.120$)보다는 더 작은 값이며 heterotrophs 또는 fermentation의 계수($\theta=1.070$)와는 유사함을 알 수 있었다.⁶⁾

본 연구에서는 유기물로서 acetate, propionate, glucose 및 도시하수의 온도에 대한 영향과 슬러지의 acetate 적용여부에 따른 온도의 영향을 회분식 실험을 통하여 활성화에너지(E_a) 및 온도보정계수(θ)를 구하여 상호 비교·검토함으로써 실제 인 처리 공정의 운영 및 관리의 기본자료를 제공하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1. 활성화에너지(E_a)

활성화에너지는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 어떤 반응이 진행될 때 반응이 진행되기 위해 초기에 필요로 하는 에너지이다. 미생물 세포내 생화학 반응에서는 효소가 촉매 역할을 하여 활성화에너지를 낮추어 반응을 빠르게 진행시킨다. 즉, 활성화에너지가 높음은 효소의 촉매활동이 낮아 반응속도가 느려짐을 의미한다.

Arrhenius⁷⁾는 1889년에 생물학적 반응들의 온도에 대한 영향을 처음으로 정량화 하였다. 온도에 따른 반응속도 상수의 변화는 Arrhenius 식 (1)과 같이 표현된다.

$$k = A \cdot \exp(-E_a/RT) \quad (1)$$

여기서, A = 잣음을 또는 지수앞자리 인자, E_a = 활성화에너지(KJ/mol), R = 이상기체 상수(KJ/mol · K), T = 절대온도(K)이고, k = 미생물 농도를 고려한 비반응속도(1/hr)를 나타낸다. 식 (1)을 변형시키면 식 (2)를 얻을 수 있는데, 이는 비반응속도와 온도와의 선형관계식이며 이 식으로부터 활성화에너지(E_a)값을 산정해 낼 수 있다.

$$\ln k = -E_a/RT + \ln A \quad (2)$$

일반적으로 활성화에너지가 높음은 반응시 초기 필요로 하는 에너지가 높게 요구됨을 의미하며 높은 활성화에너지의 반응이 낮은 활성화에너지의 반응보다 온도의 영향이 더 큼을 나타낸다.

2.2. 온도보정계수(θ)

Phelps⁸⁾가 생물학적 반응들의 온도에 대한 영향을 정량화한 실험적인 관계는 식 (3)과 같이 표현된다.

$$\frac{k_2}{k_1} = \theta^{(T_2 - T_1)} \quad (3)$$

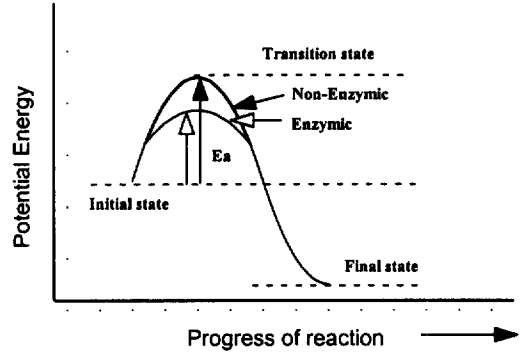


Fig. 1. Activation energy in biochemical reaction.

여기서, k_1, k_2 는 온도 $T_1(^{\circ}C)$ 및 $T_2(^{\circ}C)$ 에서 미생물 농도를 고려한 비반응속도(1/hr)이다. 식 (3)을 변형시키면 식 (4)를 얻을 수 있는데, 이는 비반응속도와 온도와의 선형 관계식이며 이 식으로부터 온도 보정계수(θ)를 산정해 낼 수 있다.

$$\ln k_2 = (T_2 - T_1) \cdot \ln \theta + \ln k_1 \quad (4)$$

온도보정계수(θ)값이 큰 경우는 온도의 영향을 많이 받는 것이며 온도보정계수 값이 작으면 온도의 영향을 적게 받음을 의미한다.

3. 실험재료 및 방법

3.1. 실험재료

3.1.1. 회분식 실험시 이용한 슬러지

본 연구의 회분식 실험은 SBR로 운영한 공정의 슬러지를 3회 이상 수세하여 이용하였다. 이는 반응 조내에 존재하는 유기물 및 질산화 반응에 의해 산화된 질소성분(NO_2^- -N, NO_3^- -N)을 배제시키기 위함이다. SBR의 운영 방식은 fill(0.1 hr)-aerobic(13 hr)-anaerobic(7 hr)-aerobic(3 hr)-settle(0.83 hr)-draw(0.07 hr)의 순서로 하였다. 이때, 슬러지 일령(SRT)은 20일, 수리학적 체류시간(HRT)은 48시간이었다. 유입폐수는 양돈폐수로서 양돈을 일정량 희석하여 1일 침전시킨 후 상정수를

이용하였다. SBR 운영시 인 제거 미생물의 배양 및 탈질산화를 유도하기 위해 비폭기 단계가 시작되는 시점에서 한 반응조에는 외부 전자공여체로서 acetate를 주입시켜 주어 인 제거 미생물을 acetate에 적용시켰으며, 다른 반응조에는 유입수와 동일한 양돈폐수를 전자공여체로 주입하여 운영하였다. 이때 주입한 유기물의 농도는 주입 후 반응조내의 TCOD_{Cr} 농도가 300 mg/L가 되도록 주입하였다. 반응조내에는 교반을 위해 paddle를 설치하여 혼합을 원활하게 하였으며, 폭기 및 비폭기 시간은 time controller를 air pump에 부착하여 조절하였다.

3.1.2. 회분식 실험시 이용한 유기물

Acetate(CH_3COO^-), propionate($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO}^-$) 및 glucose($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)는 COD_{Cr} 농도 10,000 mg/L인 stock solution을 제조하여 이용하였고 도시하수는 C시 하수처리장의 유입수를 2시간 침전시켜 침전성 고형물질을 제거시킨 후 상정수를 이용하였다. 이때 회분식 실험시 유기물로 이용한 도시하수의 TCOD_{Cr} 및 SCOD_{Cr} 농도는 각각 171.2 및 67 mg/L이었고, T-P 및 TKN 농도는 각각 4.2 및 37.8 mg/L이었다.

3.2. 실험방법

본 연구는 인 방출시 유기물 종류 및 슬러지의 유기물 적용여부에 따른 온도의 영향을 관찰하기 위한 실험으로, 첫 번째 실험은 혐기성 조건에 유입수인 축산폐수를 주입하여 배양한 슬러지를 가지고 유기물 종류에 따른 인 방출에 미치는 온도의 영향을 관찰하였다. Fig. 2와 같이 반응조는 4개의 회분식 반응조를 이용했으며 각각 반응조의 용량은 700 mL이었다. 또한 혐기성 조건을 유지시켜 주기 위하여 완전히 밀폐한 상태에서 외부로부터 질소 가스를 주입하여 산소가 녹아 들어가지 못하도록 하였다. 교반은 magnetic stirrer를 이용하여 반응조내의 혼합이 원활하도록 하였다. 온도는 항온조를 설치하여 5~30°C 사이로 변화시켜 주었다. 슬러지는 각각 반응조에 500 mL씩 주입하여 주었으며, 유기물로 도시하수를 주입시켜 준 경우에는 유입유기물의 농도를 조정하기 위해 슬러지를 농축하여 반응조에

Fig. 2. Experimental apparatus for phosphorus release.

Table 1. Feed nutrients composition for batch test

Nutrient composition	Stock solution g/L	Feed quantity mL/500mL
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	22.5	0.5
CaCl_2	27.5	0.5
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.25	0.5
Phosphate buffer		
KH_2PO_4	8.5	0.5
K_2HPO_4	21.75	
$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	33.4	
NH_4Cl	1.7	

100 mL로 주입하였다. 이때 반응조의 MLVSS 농도는 3,000~4,000 mg/L이었다. 각각 반응조에는 외부 유기물로서 acetate, propionate, glucose 및 도시하수를 주입하였는데 acetate, propionate 및 glucose는 stock solution으로 제조한 것을 반응조내에 COD_{Cr} 농도 300 mg/L가 되도록 주입하였다. 도시하수인 경우에는 도시하수 원수를 400 mL 주입하였으며, 이때 초기 반응조내의 TCOD_{Cr} 농도는 137 mg/L이었다. 또한, 주입한 유기물의 pH는 중성으로 맞추어 주었다. 이때 미생물의 원만한 활동을 위해 Table 1과 같은 무기 영양염류를 반응조내에 주입하였다.⁹⁾

두 번째 실험은 acetate에 적용된 슬러지를 가지고 회분식 실험의 반응조 MLVSS 농도가 3,000~4,000 mg/L이 되도록 하였다. 그 외의 실험방법은 첫 번째 실험과 동일하였다.

이상의 실험에서 시료 채취는 유기물 주입후 일정

시간 간격으로 채취하여 0.45 μm membrane filter로 여과하였으며, 측정 항목은 MLSS(2540-solid), MLVSS(2540-solid), TCOD_{Cr} (5220-COD-C&D, HACH), SCOD_{Cr} (5220-COD-C&D, HACH), $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ (4500-P-E)이었다. 위의 측정 항목들은 모두 Standard Methods⁹⁾와 HACH DR-4000U에 의거하여 측정하였다.

4. 결 과

4.1. 유기물 종류에 따른 인 방출시 온도의 영향

본 연구는 acetate, propionate, glucose 및 도시하수를 유기물로 하여 인 방출에 미치는 온도의 영향을 관찰하였다. 온도의 영향은 온도 변화에 따른 인 방출 속도, Arrhenius식의 변형식(2)에 의한 절대온도의 역수와 $\ln k$ 와의 관계 및 식 (4)에 의해 알

수 있다. Fig. 3에 나타난 바와 같이 본 실험에서 사용한 유기물들에서는 온도가 증가함에 따라 인의 방출 속도가 증가함을 알 수 있었다. 본 연구에서 이용한 유기물인 acetate, propionate, glucose 및 도시하수에서 10 $^{\circ}\text{C}$ 이하의 온도에서는 인의 방출이 거의 일어나지 않았으며 30 $^{\circ}\text{C}$ 에서 인의 방출 속도는 9 $^{\circ}\text{C}$ 에서보다 각각 4.39, 5.14, 5.26 및 3.76배 컸다. 따라서 인 방출 속도는 온도차에 커다란 차이를 보이므로 인 미생물이 혐기성 조건에서 인을 방출하는데 있어서 온도가 중요한 영향인 자임을 알 수 있다.

Fig. 4(a)에서 보는 바와 같이 주입된 모든 유기물들에 있어서 온도가 증가함에 따라 비반응속도는 직선적으로 증가하였다. 이는 온도가 증가함에 따라 외부 유기물이 미생물 세포 내로 흡수되는 기질 전달율 및 인 제거 미생물 세포 내의 생화학 반응속도를 증가시켜 poly-P의 분해속도가 증가함에 따라 인의 방출 속도가 증가하는 것으로 사료된다. Fig. 4(a)에서 보면 알 수 있듯이 acetate가 다른 유기

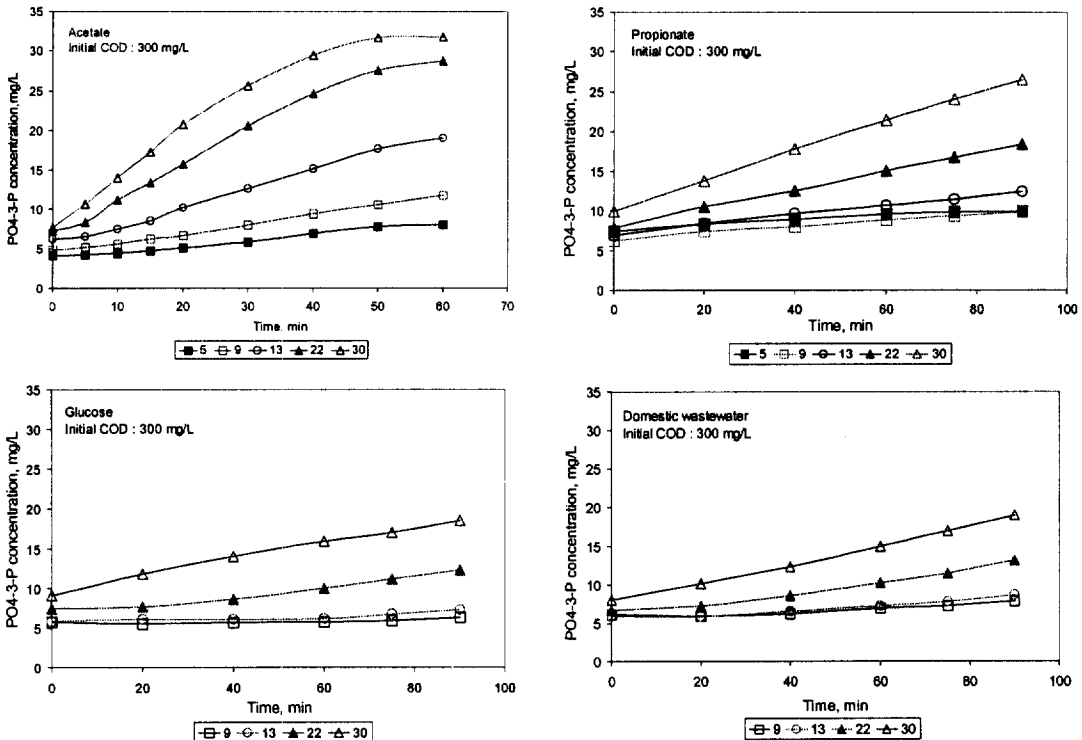


Fig. 3. Time vs. phosphorus release concentrations for the acetate, propionate, glucose and domestic wastewater on temperatures.

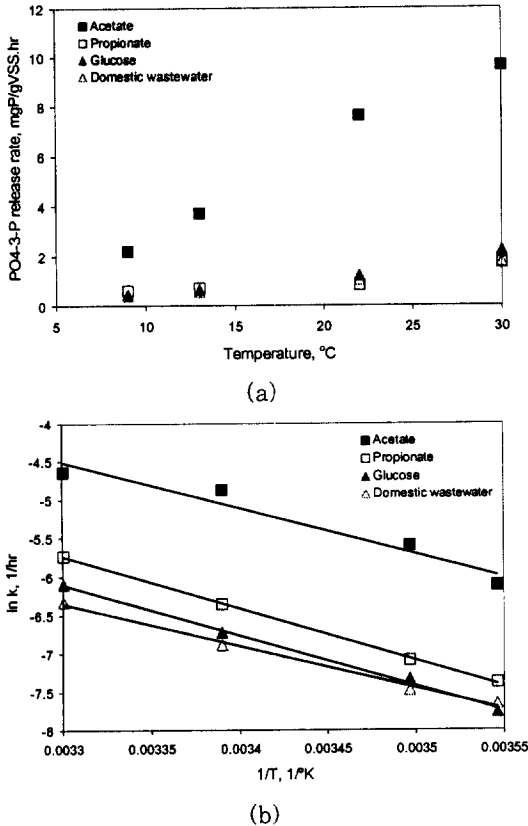


Fig. 4. (a) Comparison of the correlation temperature vs. PO_4^{3-} -P release rate for the substrates, (b) comparison of the correlation $1/T$ vs. $\ln k$ for the substrates on temperatures.

물들보다 동일한 온도 조건에서 인의 방출 속도가 큰 것으로 관찰되었다. Arrhenius식의 변형식(2)에 적용시켜 $1/T$ 와 $\ln k$ 의 상관관계를 Fig. 4(b)에 나타냈으며 그 결과 이용한 모든 유기물들에서 직선적 관계가 있음을 알 수 있었다.

Fig. 4(b)에서 산출된 기울기($-E_a/R$)와 y절편을 가지고 유기물 종류별 Arrhenius식의 변형식(2) 및 유기물 종류별 활성화에너지 값을 Table 2에 나타내었다. Acetate, propionate, glucose 및 도시하수에 대한 활성화에너지 값은 각각 49.83, 55.82, 54.61 및 45.44 KJ/mol로 큰 차이가 없었다.

식 (4)에 의해 유기물 종류별 온도보정계수를 산출하여 보면 acetate, propionate, glucose 및 도시하수에서 각각 1.0676, 1.0826, 1.0748 및 1.0698로 관찰되어 큰 차이가 없었다.

이상에서 본 연구에서 이용한 유기물 acetate, propionate, glucose 및 도시하수를 주입하였을 때 인 방출시 활성화에너지 값 및 온도보정계수들을 상호 비교한 결과, 온도의 영향은 유기물 종류에 따라 큰 차이가 없다는 것을 알 수 있었다.

4.2. 슬러지의 Acetate 적응 유·무에 따른 인 방출시 온도의 영향

본 연구는 SBR 공정의 비폭기시 양돈폐수를 주입하여 배양한 슬러지인 acetate에 적응되지 않은 슬러지와 비폭기시 acetate를 주입하여 acetate에 적응된 슬러지를 각각 이용하여 유기물인 acetate를 주입하였을 때, 회분식 실험을 통한 온도에 따른 인 방출 속도를 구하여 활성화에너지 값 및 온도보정계수를 상호 비교하였다. Acetate에 적응된 슬러지를 가지고 유기물로서 acetate 주입시 Fig. 5에 나타난 것과 같이 온도가 증가함에 따라 인 방출 속도가 증가함을 관찰할 수 있었다.

유기물로서 acetate를 주입하여 acetate에 적응된 슬러지와 acetate에 적응되지 않은 슬러지의

Table 2. Activation energy(E_a) and temperature coefficient(θ) in the phosphorus release with substrates

Substrates	Temperature (°C)	Arrhenius equation, $\ln k$ vs. $1/T$		PO_4^{3-} - P release	
		Linear correlation equation	R squared (r^2)	E_a (KJ/mol)	θ
Acetate	5~30	$\ln k = -5993.04 \cdot (1/T) + 15.27$	0.947	49.83	1.0676
Propionate	5~30	$\ln k = -6713.95 \cdot (1/T) + 16.41$	0.999	55.82	1.0826
Glucose	9~30	$\ln k = -6568.18 \cdot (1/T) + 15.57$	0.996	54.61	1.0748
Domestic wastewater	9~30	$\ln k = -5464.88 \cdot (1/T) + 11.68$	0.994	45.44	1.0698

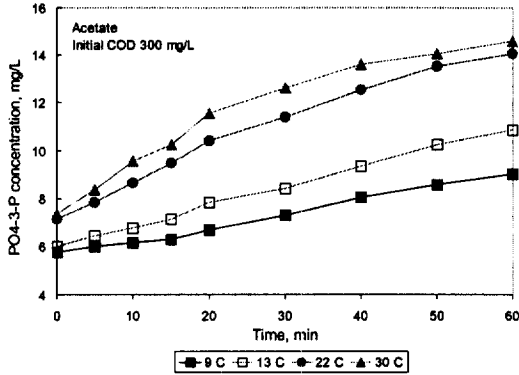


Fig. 5. Time vs. phosphorus release concentrations for the acetate on temperatures with acetate adapted sludge.

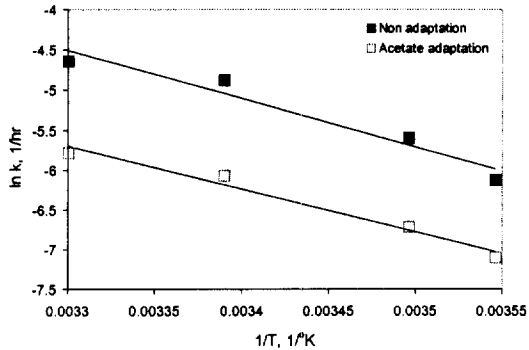


Fig. 6. Comparison of the 1/T vs. lnk on acetate for acetate adapted sludge and non-adapted sludge.

1/T과 lnk의 상관관계를 나타내면 Fig. 6과 같다. 이로부터 산출된 기울기(-E_a/R)와 y절편을 가지고 Arrhenius식의 변형식(2), 활성화에너지값 및 온도보정계수를 Table 3에 나타내었다. 여기서 acetate

에 적용되지 않은 슬러지의 활성화에너지 값 및 온도보정계수는 전술한 첫 번째 실험값을 이용하였다. Acetate에 적용된 슬러지의 활성화에너지 값 및 온도보정계수는 각각 44.94 KJ/mol 및 1.0570이었다. 이는 4.1.절에서 산출한 acetate에 적용되지 않은 슬러지의 acetate 주입에 따른 인 방출시 활성화에너지 값 및 온도보정계수가 각각 49.83 KJ/mol 및 1.0676로 관찰된 것과 비교하여 상대적으로 작았지만 큰 차이를 나타내지는 않았다. 이러한 결과는 acetate에 적용되지 않은 슬러지는 연속 회분식 반응조(SBR)의 비폭기시 양돈폐수를 주입한 경우로서 양돈폐수에 적용된 슬러지이며 일반적으로 양돈폐수 속에 acetate 성분이 존재하기 때문에 acetate 성분이 존재하는 양돈폐수에 적용된 슬러지와 acetate에만 적용된 슬러지를 가지고 실험하였으므로 활성화에너지 값 및 온도보정계수가 큰 차이를 보이지 않은 것으로 사료된다. 하지만 다른 유기물을 주입하여 적용시킨 경우에는 적용시킨 슬러지와 적용시키지 않은 슬러지간의 활성화에너지 값 및 온도보정계수에 있어서 큰 차이를 보일 것으로 사료된다. Acetate를 유기물로 이용시, 이에 적용되지 않은 슬러지의 인 방출에 관계되는 온도보정계수(1.0676)는 Brdjanovic 등⁵⁾의 연구 결과 값인 1.055±0.019보다는 약간 높았으나, acetate에 적용된 슬러지를 이용하여 인 방출에 관계되는 온도보정계수(1.0570)는 Brdjanovic 등⁵⁾의 연구 결과 값과 거의 일치함을 알 수 있었다.

이상의 결과로부터 유기물로서 acetate를 주입하였을 때 인 방출시 슬러지가 acetate에 적용된 경우가 적용되지 않은 경우보다 활성화에너지 값 및 온도보정계수가 상대적으로 작았다. 따라서 acetate

Table 3. Activation energy(E_a) and temperature coefficient(θ) in the phosphorus release with the non-adapted acetate & adapted acetate sludge

Sludge	Substrate	Temperature (°C)	Arrhenius equation, lnk vs. 1/T		PO ₄ ³⁻ - P release	
			Linear correlation equation	R squared (r ²)	E _a , KJ/mol	θ
Non-acetate adaptation	Acetate	5 ~ 30	lnk=-5993.04 · (1/T)+15.27	0.947	49.83	1.0676
Acetate adaptation	Acetate	9 ~ 30	lnk=-5405.52 · (1/T)+12.14	0.974	44.94	1.0570

에 적용된 슬러지가 적용되지 않은 슬러지보다 온도에 대한 영향을 상대적으로 적게 받는 것을 알 수 있었다.

5. 결 론

회분식 실험을 통하여 혐기성 조건에서 인의 방출시 유기물 종류에 따른 온도의 영향 및 슬러지의 acetate 적용 유·무에 따른 온도의 영향을 연구한 결과에서 얻은 결론은 다음과 같다.

본 연구 결과에 의하면 유기물이 acetate, propionate, glucose 및 도시하수인 경우, 인 방출 속도는 온도차에 커다란 차이를 보이므로 인 미생물이 혐기성 조건에서 인을 방출하는데 있어서 온도가 중요한 영향인자임을 알 수 있었다.

유기물인 acetate, propionate, glucose 및 도시하수를 이용한 온도에 따른 활성화에너지 값은 각각 49.83, 55.82, 54.61 및 45.44 KJ/mol이었으며, 온도보정계수는 1.0676, 1.0826, 1.0748 및 1.0698로서 커다란 차이가 없었다. 따라서 유기물 종류에 따라 활성화에너지 및 온도보정계수를 고려한 온도의 영향을 상호 비교함에 있어서 큰 차이가 없었다.

유기물로서 acetate를 주입하였을 때, 인 방출시 슬러지가 acetate에 적용된 경우의 활성화에너지 값 및 온도보정계수는 각각 44.94 KJ/mol 및 1.0570으로 슬러지가 acetate에 적용되지 않은 경우보다 활성화에너지 값 및 온도보정계수가 상대적으로 작으므로 온도의 영향이 적음을 알 수 있었다. 따라서 실제 처리 공정에서 인 처리시 일정 기간 후 혐기성 반응조의 인 제거 미생물이 외부 유기물에 적용되면 온도의 영향을 적게 받을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Levin, G. V. and Shapiro, J., "Metabolic Uptake of Phosphorus by Wastewater Organism," *JWPCF*, **37**(6), 800~824(1965).
2. Boughton, W. H., Gottfried, R. J., Sinclair, N. A., and Yall, I., "Metabolic Factors Affecting Enhanced Phosphorus Uptake by Activated Sludge," *App. Microbiology*, **22**(4), 571~577(1971).
3. Spatzierer, G., Ludwig, C., and Matsche, N., "Biological Phosphorus Removal in Combination with Simultaneous Precipitation," *Water Sci. and Technol.*, **17**(11/12), 163~176(1985).
4. Mamais, D. and Jenkins, "The Effects of NCRT and Temperature on Enhanced Biological Phosphorus Removal," *Water Sci. and Technol.*, **25**(5/6), 955~965(1992).
5. Brdjanovic, Damir, C. M. van Loosdrecht, Mark, Hooijmans, Christine M., Alaerts, Guy J., and Heilnen, Joset J., "Temperature Effects on Physiology of Biological Phosphorus Removal," *Journal of Environmental Engineering*, **2**, 144~153(1997).
6. Henze, M., Gujer, W., Mino, T., Matsuo, T., Wentzel, M. C., and Marais, G. v. R. "Activated Sludge Model No. 2. IAWQ Scientific and Tech. Rep. No. 3," *IAWQ*, London, U.K.(1994).
7. Arrhenius, S., "Über die Reaktionsgeschwindigkeit bei der Inversion von Rohrzucker durch Sauren," *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, **4**, 226~248(1889).
8. Phelps, E. B., Stream Sanitation, John Wiley and Sons, Inc., New York, N.Y., pp. 71~75(1944).
9. APHA, AWWA and WPCF, Standard methods for the examination of water and wastewater, 19th Ed., American Public Health Association, New York (1995).