

물과 토양에서 pH, PO₄-P, 탁도 그리고 T-P 농도에 미치는 온도의 영향에 관한 연구

민영홍 · 현대용 · 음철현¹ · 정남현² · 강삼우³ · 이승호³, ★

대전광역시 상수사업본부 수도기술연구소,
¹한국지질자원연구원, ²고려대학교 생명공학부, ³한남대학교 화학과
(2011. 9. 19. 접수, 2011. 10. 5. 승인)

A study on relationship of concentration of phosphorus, turbidity and pH with temperature in water and soil

Young-Hong Min, Dae-yoeng Hyun, Chul-Hun Eum¹, Namhyun Chung²,
Sam-Woo Kang³ and Seungho Lee³, ★

Water Technology Research Institute, Daejeon Waterwork Authority, 236-3, Songchon-dong,
Deadeok-gu, Daejeon 306-812, Korea

¹Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea

²Division of Biotechnology, Korea University, Seoul 136-713, Korea

³Department of Chemistry, Hannam University, Daejeon 305-811, Korea

(Received September 19, 2011; Accepted October 5, 2011)

요 약: 본 연구는 호수바닥에 있는 침전물로부터 인의 용출 메커니즘을 규명하고자, 인이 물로 용출될 때 미치는 온도의 영향을 조사하였다. 연구 결과를 보면, 온도가 증가하면 PO₄-P가 평형에 빨리 도달하고, 평형농도가 증가하며, PO₄-P의 용출 증가로 인하여 pH가 감소한다. 즉, PO₄-P의 용출이 pH의 감소에 영향을 미침을 알 수 있었다. 탁도물질에서 용출된 PO₄-P는 물에 용존하며, 탁도물질에 흡착되지 않기 때문에 탁도의 변화에 관계없이 점진적인 증가를 나타냈지만, PO₄-P는 탁도에서 용출되기 때문에 탁도와 관련이 있다. 총인(Total phosphorous, T-P)은 용존성 PO₄-P와 탁도물질에 포함된 인을 포함하기 때문에 탁도의 변화에 직접 관련이 있음을 알 수 있었다. 온도가 감소하면 물의 밀도가 증가하여 탁도의 침전이 감소하기 때문에 탁도의 농도가 높아져 T-P 농도를 증가시키며, 온도가 증가하면 물의 밀도감소로 인하여 탁도물질의 침전이 용이해져서 탁도는 감소하지만 PO₄-P의 용출이 증가하여 T-P 농도가 증가했다. 따라서 동일 시간대의 T-P는 온도가 달라도 유사한 농도를 가졌다. 호수가 깊어지면 저층수의 온도가 감소하여 인의 용출이 감소하므로 이 메커니즘은 호수 바닥으로부터 물로 용출되는 인에 대하여 온도가 미치는 영향을 이해하는데에 중요하다.

Abstract: The goal of this study is to understand the influence of temperature on phosphorus release rate from soil into water. As the temperature increases, PO₄-P reaches equilibrium more quickly and the equilibrium concentration increases, and thus the PO₄-P concentration increases, and pH decreases. The PO₄-P concentration affects pH. PO₄-P released from turbidity is not adsorbed onto the turbidity. PO₄-P was independent on the

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)42-629-8822 Fax : +82-(0)42-629-8811

E-mail : slee@hannam.kr

www.kci.go.kr

turbidity and yet PO₄-P was steadily increasing. However, PO₄-P was dependent upon the turbidity concentration as the turbidity releases PO₄-P. The total phosphorous (T-P) and turbidity were directly linked because T-P changed with the turbidity. T-P includes the PO₄-P content of water and the phosphorus content of the turbidity. As the temperature decreases, density of water increases, and the precipitation of turbidity decreases, resulting in an increases in T-P concentration. As the temperature increases, the T-P concentration decreases, but the PO₄-P release rate from turbidity increases. At the same time, even at different temperatures, the T-P concentrations of the samples were about the same. When the lake gets deepened, the water temperature decreases, hence, the phosphorus release rate from soil into water was decreased. This mechanism is of great interest because phosphorus is released from soil sediment into the lake water.

Key words : turbidity, DO (Dissolved oxygen), NTU (Nephelometric turbidity units), T-P (Total Phosphorus), PO₄-P (phosphate phosphorus)

1. 서 론

질소(N)와 인(P)이 하절기에 호수로 다량 유입되어 남조류의 수화 야기로 수자원 이용에 문제가 된다. 국내의 대부분의 호수는 오염부하량이 큰 인공호수로 자연호수보다 시간간적 수질변동의 역동성이 크고, 수리수문학적 요인들이 큰 변이를 보이는 것으로 알려져 있다. 우리나라 하절기 몬순강우는 호수 수질변이에 큰 영향을 준다. 몬순강우로 호수에 많은 영양염류가 유입되어 수질상태 변화를 야기하기 때문에 수질 관리에 어려움을 주며, 대부분의 호수는 총질소(T-N)와 총인(total phosphorous, T-P)의 상대비율이 17 이상으로, T-P가 조류성장 제한 인자로 알려져 있다.⁶

인산은 여러 종류이지만 보통 올쏘인산염을 뜻하며, 올쏘인산은 H₃PO₄, 정인산, 오르토인산 그리고 DP로 표기하기도 한다.⁸ 본 논문은 수질오염공정시험기준의 인산염인(PO₄-P)표기를 따른다. 인산은 산성에서 H₃PO₄ 형태이고, 염기성이 증가할수록 H₂PO₄⁻, H₂PO₄²⁻, PO₄³⁻로 해리한다.

유입되는 인은 퇴적물에 다양한 형태로 존재하며, 미립자에 흡착된 형태의 Absorbed P (Ads-P), 작물을 이루는 Nonapatite inorganic P (NAI-P), 광물에 포함된 Apatite P (Apt-P), 유기물 등에 잔류하는 Residual P (Resid-P)의 형태가 있다. pH가 증가할수록 용존성 인의 용출이 증가하며, 이 때 용출되는 인은 NAI-P로 알려져 있다.^{1,7}

호수에 인의 유입을 원천적으로 막는 것은 현실성이 없고, 유입을 최소화하는 것이 최선이다. 조류를 포함한 대부분의 생명체가 이용 가능한 인의 형태는 올쏘인산염(PO₄)인데, 유입된 인이 어떠한 메카니즘으

로 조류에 공급되는지를 이해하고자 호수바닥 저니를 이용한 다양한 실험을 통하여 인의 용출 원인이 DO, 미생물, pH 또는 다른 물리화학적 원인에 의한 것인지를 규명하고자 하였다.^{1,7}

본 연구는 호수에서 수심이 깊어질수록 저층수의 온도가 낮아지는데, 호수 바닥의 흙에서 물로 인이 용출될 때 온도가 미치는 영향을 파악하기 위해 미생물로 인해 발생하는 인을 배제코자 유기물이 없는 흙을 선택하였고, 하절기에 수심이 얇은 곳의 수온이 약 30 °C정도 되기 때문에 온도를 4 °C에서 30 °C까지 다양하게 변화시키었으며, 물을 호기상태로 유지하면서 탁도(Turbidity), pH, T-P, PO₄-P, DO를 측정하여, 인의 용출 메카니즘을 규명하고 부영양화를 감소시킬 수 있는 기초 자료로 활용하고자 한다.

2. 실험방법 및 재료

본 연구에 사용된 토양은 대전광역시 중구 산성동 인근 보문산에서 유기물이 함유되지않고, 시료 대표성이 있다고 판단되는 5개 지점(± 15 cm)에서 토양오염공정시험기준에 따라 채취한 토양을 직사광선이 닿지 않는 장소에서 균일한 두께로 펼친 다음, 통풍이 잘 되도록 하여 풍건시키고 분쇄해 눈금간격 0.15 mm 표준체(100 mesh)로 체거름을 하여, 시료를 각각 균등량(약 500 g)씩 취하고 균일하게 혼합 후 2.5 kg씩 3개(총 7.5 kg)를 만들었고, 약 4주 후에 분석용 시료로 사용하였다.² 25 °C 실온에서 분석용 시료를 40 g씩 1 L 유리용기 40개에 넣고 증류수를 1 L 가한 다음 0.01N NaOH로 pH 약 7.8로 만들었고, 4 °C, 10 °C, 20 °C, 그리고 30 °C에서 각각 10개를 인큐베이터에서 배양 하

면서 3시간, 24시간, 48시간, 72시간, 120시간, 168시간, 312시간, 336시간 후, 각 온도별로 시료 1개씩을 취하여 상등수 약 500 mL를 채취하여 DO (dissolved oxygen), NTU (Nephelometric turbidity units), T-P, PO₄-P (인산염인), pH를 측정하였다. 채취한 시험용액 500 mL 중 약 300 mL는 윙클러-아지드화나트륨 변법으로 DO를 측정하였고, 시험용액 약 50 mL를 취하여 원심 분리기(HERMLE Z513K)로 2000 rpm (3000 rcf)에서 2시간 원심 분리 후 0.45 µm (nylon, Fisherbrand) 여지로 여과하여 수질오염공정시험기준 총인 아스코르빈산 환원법에 의거하여 UV (Varian Cary 300 conc) 880 nm 파장에서 인산염 농도를 측정하였으며, 시험용액 50 mL를 취해 4% 과황산칼륨으로 121 °C에서 분해하여 모든 인을 인산염(PO₄) 형태로 변화시킨 후, 수질오염공정시험기준 총인 아스코르빈산환원법에 의거하여 UV (Varian Cary 300 conc) 880 nm 파장에서 T-P 농도를 측정하였다. 시험용액 50 mL를 취해 DKK-TOA HM-30R로 pH를 측정하였고, 나머지 시험용액 약 50 mL는 탁도계(HACH 2199AN Turbiditymeter)로 탁도를 측정하였다.³⁻⁵

3. 결과 및 고찰

3.1. 물과 토양에서 온도변화와 배양시간에 따른 DO 농도 변화

Table 1과 Fig. 1에서 시료의 배양 3시간 후 DO 농도는 6.6~6.8 mg/L 이었고, 336시간 후에는 약 6~10.6 mg/L으로 호기상태가 유지되어 실험이 잘 진행되었음을 알 수 있었다.

30 °C 시료 48시간과 72시간에 30°C 용존산소 포화 농도 값인 7.53 mg/L을 약간 초과하였는데, 이는 흡속의 공기로 인해 용존산소가 증가된 것으로 판단되며, 이 후 약간 감소하여 6 mg/L 이상을 유지하였다. 20 °C 시료 72시간에서는 용존산소 포화 농도 값인 8.84 mg/L를 못미치는 7.92 mg/L를 나타낸 후 약간 감소 후 7 mg/L 이상을 유지해 30 °C 시료의 DO 보

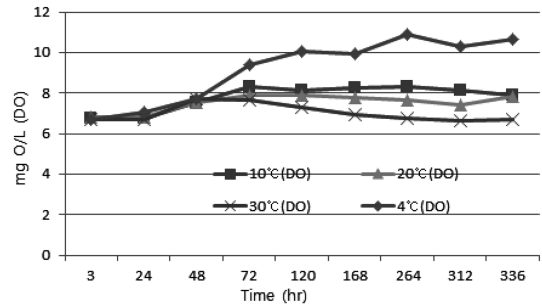


Fig. 1. Variation of DO with incubation time at various temperatures in soil and water.

다 높게 나타났다. 10 °C 시료 72시간에서는 용존산소 포화 농도 값인 10.92 mg/L에 못 미치는 8.32 mg/L를 나타낸 후 약간 감소 후 약 8 mg/L를 유지해 20 °C 시료의 DO 보다 높게 나타났고, 4 °C 시료에서 120시간에서 용존산소 포화 농도 값인 12.7 mg/L에 못 미치는 10.04 mg/L를 나타낸 후 약간 감소하여 약 10 mg/L를 유지해 10 °C 시료의 DO 보다 높게 나타났다. 온도가 낮은 시료는 용존산소의 포화농도 값이 커져 보다 많이 공기 중의 산소를 흡수하기 때문에 온도가 높아 용존산소의 포화농도 값이 작은 시료보다 더 많이 상승하는 것으로 사료되며, 30 °C 시료는 DO의 포화농도 값이 작아 흡속에 포함된 공기의 영향을 받아 산소공급으로 일시적으로 포화에 달하기도 하는 것으로 사료된다.

3.2. 물과 토양에서 온도변화와 배양시간에 따른 탁도 농도 변화

Table 2와 Fig. 2에서 탁도는 배양 3시간에 약 600 NTU를 나타냈으며, 24시간대에 300 NTU 이하로 감소한 후 점진적으로 증가하여 168시간부터 시험 종료 시까지 평형을 유지하였다. 배양 3시간대에 4 °C 시료에서 584 NTU, 10 °C 시료에서 518 NTU, 20 °C 시료에서 590 NTU 그리고 30 °C 시료에서 621 NTU로 차이가 적었으나, 264시간에는 4 °C 시료에서 669

Table 1. Variation in DO concentration with incubation time at various temperatures in soil and water

DO	Incubation time								
	3 hr	24 hr	48 hr	72 hr	120 hr	168 hr	264 hr	312 hr	336 hr
4 °C (DO)	6.72	7.04	7.72	9.4	10.04	9.96	10.88	10.28	10.64
10 °C (DO)	6.76	6.76	7.56	8.32	8.16	8.28	8.32	8.12	7.92
20 °C (DO)	6.8	6.8	7.52	7.92	7.88	7.76	7.64	7.44	7.84
30 °C (DO)	6.68	6.72	7.72	7.64	7.32	6.92	6.76	6.64	6.72

Table 2. Variation of NTU concentration with incubation time at various temperatures in soil and water

NTU	Incubation time								
	3 hr	24 hr	48 hr	72 hr	120 hr	168 hr	264 hr	312 hr	336 hr
4 °C (NTU)	584	270	398	414	550	657	669	654	667
10 °C (NTU)	518	291	311	436	534	621	650	630	621
20 °C (NTU)	590	206	270	358	503	609	633	610	609
30 °C (NTU)	621	208	296	344	501	604	615	587	592

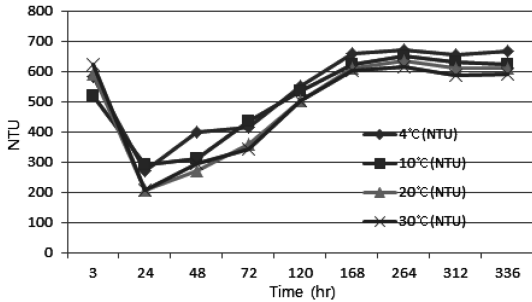


Fig. 2. Variation of NTU with incubation time at various temperatures in soil and water.

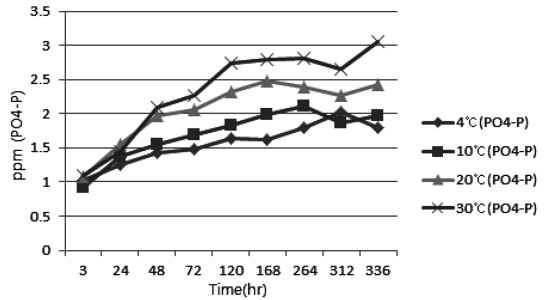


Fig. 3. Variation of PO₄-P with incubation time at various temperatures in soil and water.

NTU, 10 °C 시료에서 650 NTU, 20 °C 시료에서 633 NTU 그리고 30 °C 시료에서 615 NTU로 4 °C에서 30 °C로 온도가 증가하면서 탁도의 농도가 감소하는 것을 알 수 있었다. 물이 30 °C에서 4 °C로 감소할수록 물의 밀도가 높아져 탁도물질의 침전을 감소시키는 것으로 사료된다.

3.3. 물과 토양에서 온도변화와 배양시간에 따른 PO₄-P 농도 변화

Table 3와 Fig. 3에서 PO₄-P 농도는 배양 3시간대에 약 1 ppm으로 시간이 지나면서 점진적으로 증가했는데 시료 배양 온도가 높을수록 더 많이 증가되었다. 4 °C 시료 3시간대에 1.0196 ppm에서 312시간대에 2.026 ppm, 10 °C 시료 3시간대에 0.9203 ppm에서 264시간대에 2.1016 ppm, 20 °C 시료 3시간대에 1.0799 ppm에서 168시간대에 2.4711 ppm 그리고 30 °C 3시간대에 1.0799 ppm에서 120시간에 2.7335 ppm까지 증가

후 평형을 유지하였다. 온도가 감소하면 PO₄-P가 평형에 도달되는 시간이 길어지며, 평형농도도 감소함을 알 수 있었다. 호수 수심이 깊어질수록 바닥 가까운 수층의 수온은 낮아지기 때문에 PO₄-P의 평형 농도가 낮아 흠에서 용출되는 인의 양이 적고 또한 평형농도에 도달되는 시간이 더 많이 소요됨을 알 수 있다.

3.4. 물과 토양에서 온도변화와 배양시간에 따른 T-P 농도 변화

Table 4와 Fig. 4의 T-P는 배양 3시간대에 4 °C 시료에서 2.461 ppm, 10 °C 시료에서 2.357 ppm, 20 °C 시료에서 2.731 ppm 그리고 30 °C 시료에서 2.499 ppm 이었으며, 24시간대에 4 °C 시료에서 2.566 ppm, 10 °C 시료에서 2.6755 ppm, 20 °C 시료에서 2.679 ppm 그리고 30 °C 시료에서 2.3395 ppm으로 4 °C 시료와 10 °C 시료에서는 점진적인 증가를 하였지만 20

Table 3. Variation of PO₄-P concentration (ppm) with incubation time at various temperatures in soil and water

PO ₄ -P	Incubation time								
	3 hr	24 hr	48 hr	72 hr	120 hr	168 hr	264 hr	312 hr	336 hr
4 °C (PO ₄ -P)	1.0193	1.2504	1.4348	1.4747	1.6355	1.6258	1.7915	2.026	1.7988
10 °C (PO ₄ -P)	0.9203	1.3718	1.5553	1.6854	1.8321	1.9803	2.1016	1.8582	1.9605
20 °C (PO ₄ -P)	1.0799	1.5503	1.9667	2.0487	2.3268	2.4711	2.3863	2.2739	2.4207
30 °C (PO ₄ -P)	1.1009	1.4439	2.099	2.2653	2.7335	2.7905	2.8059	2.6458	3.0489

Table 4. Variation of T-P concentration with incubation time at various temperatures in soil and water

T-P	Incubation time								
	3 hr	24 hr	48 hr	72 hr	120 hr	168 hr	264 hr	312 hr	336 hr
4 °C (T-P)	2.461	2.566	3.157	3.622	4.074	4.212	4.313	4.584	4.809
10 °C (T-P)	2.357	2.676	3.560	3.885	4.285	4.531	4.755	5.114	5.200
20 °C (T-P)	2.731	2.679	3.188	4.035	4.509	4.827	5.056	4.914	5.129
30 °C (T-P)	2.499	2.340	2.884	4.163	4.851	5.107	5.397	5.294	5.591

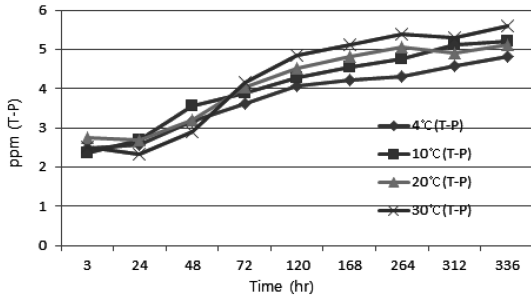


Fig. 4. Variation of T-P with incubation time at various temperatures in soil and water.

°C 시료와 30 °C 시료에서는 감소하였다. 이 후 모든 시료에서는 점진적인 증가를 나타냈다. 4 °C 시료에서는 증가속도는 적지만 점진적으로 증가하였고, 10 °C 시료에서는 312시간 때 평형농도에 도달되었고, 20 °C 시료에서는 264시간 때 평형농도에 도달하였으며, 30 °C 시료에서는 168시간 때 평형농도에 도달하였다. 전체적으로 온도가 높으면 평형농도에 빨리 도달하였다.

3.5. 물과 토양에서 온도변화와 배양시간에 따른 pH 변화

Table 5와 Fig. 5에서는 배양 후 3시간대 pH는 4 °C 시료에서 pH 7.85, 10 °C 시료에서 pH 7.8, 20 °C 시료에서 pH 7.9 그리고 30 °C 시료에서 pH 7.7 이었다. 시간이 지나면서 pH는 감소되어 336시간대 4 °C 시료에서 pH 6.88, 10 °C 시료에서 pH 6.75, 20 °C 시료에서 pH 6.54 그리고 30 °C 시료에서 pH 6.36으로 감소하였다. 낮은 온도의 시료에서 pH 감소 속도

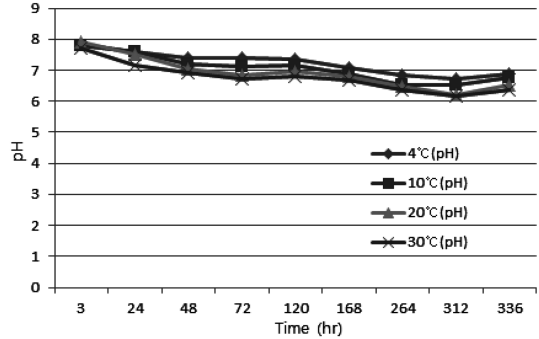


Fig. 5. Variation of pH on incubation time with various temperatures in soil and water.

는 적었고, 온도가 높은 시료보다 높은 pH 에서 평형을 형성했으며, 대부분의 시료는 264시간대에서 평형에 도달하였다.

3.6. 물과 토양에서 온도변화와 배양시간에 따른 PO₄-P와 pH의 관계

Table 6와 Fig. 6에서 PO₄-P는 온도가 증가하면 용출량이 증가했고, 시간이 지날수록 점점 누적되다가 평형을 이루었다. pH는 온도가 증가하고 시간이 지날수록 감소하다가 평형을 이루었다. 4 °C 시료에서 3시간과 336시간대의 PO₄-P 증가는 0.7795 ppm이었고 수소이온농도는 pH 7.85에서 pH 6.88로 감소하였다. 10 °C 시료에서 3시간과 336시간대의 PO₄-P 증가는 1.0402 ppm이었고, 수소이온농도는 pH 7.8에서 6.75로 감소했다. 20 °C 시료에서 3시간과 336시간대의

Table 5. Variation of pH with incubation time at various temperatures in soil and water

pH	Incubation time								
	3 hr	24 hr	48 hr	72 hr	120 hr	168 hr	264 hr	312 hr	336 hr
4 °C (pH)	7.85	7.59	7.40	7.38	7.34	7.07	6.85	6.72	6.88
10 °C (pH)	7.80	7.58	7.18	7.11	7.14	6.87	6.51	6.52	6.75
20 °C (pH)	7.90	7.52	7.02	6.83	6.95	6.80	6.48	6.21	6.54
30 °C (pH)	7.70	7.15	6.93	6.72	6.81	6.67	6.38	6.18	6.36

Table 6. Relationship between PO₄-P and pH at various temperatures in soil and water

PO ₄ -P or pH	Incubation time								
	3 hr	24 hr	48 hr	72 hr	120 hr	168 hr	264 hr	312 hr	336 hr
4 °C (PO ₄ -P)	1.0193	1.2504	1.4348	1.4747	1.6355	1.6258	1.7915	2.026	1.7988
10 °C (PO ₄ -P)	0.9203	1.3718	1.5553	1.6854	1.8321	1.9803	2.1016	1.8582	1.9605
20 °C (PO ₄ -P)	1.0799	1.5503	1.9667	2.0487	2.3268	2.4711	2.3863	2.2739	2.4207
30 °C (PO ₄ -P)	1.1009	1.4439	2.099	2.2653	2.7335	2.7905	2.8059	2.6458	3.0489
4 °C (pH)	7.85	7.59	7.40	7.38	7.34	7.07	6.85	6.72	6.88
10 °C (pH)	7.80	7.58	7.18	7.11	7.14	6.87	6.51	6.52	6.75
20 °C (pH)	7.90	7.52	7.02	6.83	6.95	6.80	6.48	6.21	6.54
30 °C (pH)	7.70	7.15	6.93	6.72	6.81	6.67	6.38	6.18	6.36

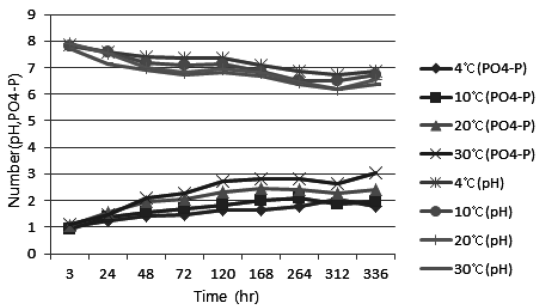


Fig. 6. Relationship between PO₄-P and pH at various temperatures in soil and water.

PO₄-P 증가는 1.3408 ppm이었고, 수소이온농도는 pH 7.9에서 6.54로 감소하였다. 30 °C 시료에서는 3시간과 336시간대의 PO₄-P 증가는 1.948 ppm이었고, 수소이온농도는 pH 7.7에서 pH 6.36으로 감소해 인의 용출이 커지면 pH는 감소됨을 알 수 있었다. 수소이온

농도는 인산의 용출이 많은 30 °C에서 더 크게 감소하고, 인 용출이 적은 4 °C pH에서는 적게 감소했다, pH의 감소 경향과 인 용출 경향이 반대방향으로 유사했음은 pH 감소가 인의 용출에 의한 것임을 나타낸 것이다.

3.7. 물과 토양에서 온도변화와 배양시간에 따른 PO₄-P, T-P 그리고 pH의 관계

Table 7와 Fig. 7에서 pH는 시간과 온도가 증가하면 감소한다. T-P와 PO₄-P 농도는 온도와 시간이 증가하면 증가한다. 3시간과 336시간대의 PO₄-P 농도의 차이는 4 °C 시료에서 0.7795 ppm, 10 °C에서 1.0402 ppm, 20 °C에서 1.3408 ppm이다. 30 °C 시료에서는 1.948 ppm으로 온도의 증가가 PO₄-P 용출을 급격히 증가시킴을 알 수 있었다. T-P에서는 4 °C 시료에서 3시간과 336시간대의 차이는 2.348 ppm, 10 °C 시료에서 3시간과 312시간대 이후 평균 5.157 ppm과 차이

Table 7. Relationship between PO₄-P, T-P and pH at various temperatures in soil and water

PO ₄ -P or T-P or pH	Incubation time								
	3 hr	24 hr	48 hr	72 hr	120 hr	168 hr	264 hr	312 hr	336 hr
4 °C (PO ₄ -P)	1.0193	1.2504	1.4348	1.4747	1.6355	1.6258	1.7915	2.026	1.7988
10 °C (PO ₄ -P)	0.9203	1.3718	1.5553	1.6854	1.8321	1.9803	2.1016	1.8582	1.9605
20 °C (PO ₄ -P)	1.0799	1.5503	1.9667	2.0487	2.3268	2.4711	2.3863	2.2739	2.4207
30 °C (PO ₄ -P)	1.1009	1.4439	2.099	2.2653	2.7335	2.7905	2.8059	2.6458	3.0489
4 °C (T-P)	2.461	2.566	3.157	3.622	4.074	4.212	4.313	4.584	4.809
10 °C (T-P)	2.357	2.670	3.560	3.885	4.285	4.531	4.755	5.114	5.200
20 °C (T-P)	2.731	2.679	3.188	4.035	4.509	4.827	5.056	4.914	5.129
30 °C (T-P)	2.499	2.3395	2.884	4.163	4.851	5.107	5.397	5.294	5.591
4 °C (pH)	7.85	7.59	7.4	7.38	7.34	7.07	6.85	6.72	6.88
10 °C (pH)	7.80	7.58	7.18	7.11	7.14	6.87	6.51	6.52	6.75
20 °C (pH)	7.90	7.52	7.02	6.83	6.95	6.80	6.48	6.21	6.54
30 °C (pH)	7.70	7.15	6.93	6.72	6.81	6.67	6.38	6.18	6.36

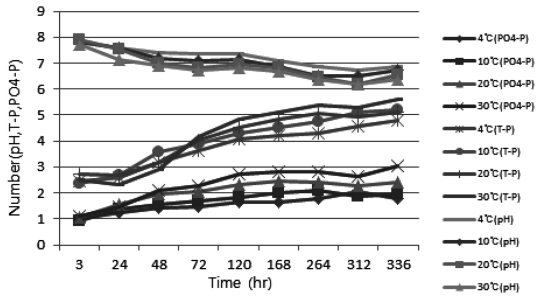


Fig. 7. Relationship between PO₄-P, T-P and pH at various temperatures in soil and water.

는 2.8 ppm, 20 °C 시료에서 3시간과 평형에 도달한 264 이후 평균 5.033 ppm과 차이는 2.302 ppm 그리고 30 °C 시료에서 3시간과 평형에 도달한 168시간 이후 평균 평형농도 5.3472 ppm과 차이는 2.848 ppm으로 온도차에 의한 T-P의 농도 변화는 크게 나타나지 않았다. 336시간대 T-P의 농도가 모든 온도에서 거의 5 ppm 정도를 나타냈을 뿐만 아니라 각 동일대마다 온도에 관계없이 시료들의 T-P 농도가 유사한 이유는 온도가 낮으면 탁도 농도가 높아져 T-P 농도를 높이고, 온도가 높아지면 탁도 농도는 낮아지지만 PO₄-P 용출이 증가하기 때문으로 사료된다. 30 °C 시료에서 3시간에서 336시간대에 PO₄-P는 1.948 ppm 증가되었고, T-P는 3.09 ppm 증가되어 T-P 증가량의 64% 정도였다. 20 °C 시료에서는 3시간에서 336시간대에 PO₄-P는 1.3408 ppm 증가되었고, T-P는 2.398 ppm 증가되어 T-P증가량의 56% 정도였다. 10 °C 시료에서는 3시간대에서 336시간대에 PO₄-P는 1.0402 ppm 증가되었고, T-P는 2.843 ppm 증가되어 T-P 증가량의 37% 정도였다. 4 °C 시료에서는 3시간에서 336시간대에 PO₄-P는 0.7795 ppm 증가되었고, T-P는 2.348 ppm 증가되어 T-P증가량의 33% 정도로 온도가 감소하면서 T-P증가에 PO₄-P가 기여하는 부분이 감소

함을 알 수 있었다.

3.8. 물과 토양에서 온도변화와 배양시간에 따른 T-P와 탁도의 관계

Table 3와 Fig. 3에서 4 °C 시료의 3시간대 T-P 농도는 2.461 ppm이고, 점진적인 증가를 하여 336시간에는 4.809 ppm까지 증가하였다. 10 °C 시료에서는 3시간대 T-P의 농도가 2.357 ppm에서 점진적인 증가를 하여 312시간대에 평형에 도달한 이후 평균 5.157 ppm을 나타냈다. 20 °C 시료에서 3시간대의 T-P농도는 2.731 ppm이며 점진적 증가를 하여 264시간에 평형에 도달한 이후 평균 5.03 ppm을 나타냈다. 30 °C 시료에서 3시간대의 T-P 농도는 2.499 ppm에서 점진적인 증가를 하여 168시간에 평형에 도달한 이후 평균 5.3472 ppm을 나타냈다. 탁도는 4 °C 시료에서 3시간대에 584 NTU이었으며, 24시간대에 270 NTU까지 급감 후 점진적인 증가를 하여 336시간대에 667 NTU까지 증가하였다. 10 °C 시료에서는 3시간대에 518 NTU이었고, 24시간대에 291 NTU까지 급감 후 점진적인 증가를 하여 336시간에 621 NTU까지 증가했으며, 20 °C 시료에서는 3시간대에 590 NTU이었고, 24시간에 206 NTU까지 급감 후 점진적인 증가를 하

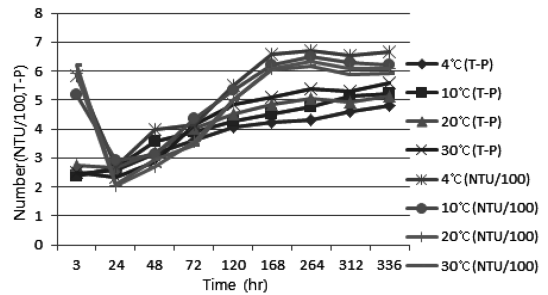


Fig. 8. Relationship between T-P and NTU at various temperatures in soil and water.

Table 8. Relationship between T-P and NTU at various temperatures in soil and water

T-P or NTU	Incubation time								
	3 hr	24 hr	48 hr	72 hr	120 hr	168 hr	264 hr	312 hr	336 hr
4 °C (T-P)	2.461	2.566	3.157	3.622	4.074	4.212	4.313	4.584	4.809
10 °C (T-P)	2.357	2.676	3.560	3.885	4.285	4.531	4.755	5.114	5.200
20 °C (T-P)	2.731	2.679	3.188	4.035	4.509	4.827	5.056	4.914	5.129
30 °C (T-P)	2.499	2.340	2.884	4.163	4.851	5.107	5.397	5.294	5.591
4 °C (NTU)	584	270	398	414	550	657	669	654	667
10 °C (NTU)	518	291	311	436	534	621	650	630	621
20 °C (NTU)	590	206	270	358	503	609	633	610	609
30 °C (NTU)	621	208	296	344	501	604	615	587	592

여 336시간에 609 NTU까지 증가하였다. 30 °C 시료에서는 3시간대에 621 NTU이었고, 24시간에 208 NTU까지 급감 후 점진적인 증가를 하여 336시간에 592 NTU까지 증가하였다. 탁도가 24시간대에 급감할 때 4 °C 시료와 10 °C 시료가 20 °C 시료와 30 °C 시료 보다 약 70 NTU 정도 높았지만 4 °C 시료와 10 °C 시료의 T-P는 감소 없이 증가하였고, 20 °C 시료와 30 °C 시료의 T-P는 약간 감소하였다. 탁도가 24시간 때 급감한 20 °C 시료와 30 °C 시료의 T-P는 이 후 점진적인 증가를 나타내어 72시간부터는 4 °C와 10 °C보다 높은 농도를 나타내며 더 빨리 증가하였다. 이 현상은 20 °C 시료와 30 °C 시료의 물이 4 °C 시료와 10 °C 시료의 물보다 밀도가 낮아 탁도물질에 침전이 빨리 일어나 발생된 것으로 사료되며, 이 현상으로 탁도와 T-P가 대단히 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다.

3.9. 물과 토양에서 온도변화와 배양시간에 따른 PO₄-P와 탁도의 관계

Table 9와 Fig. 9에서 PO₄-P는 온도가 증가하고 시간이 지나면서 점진적으로 증가하였다. 4 °C 시료에서는 3시간과 336시간대의 농도 차이가 0.7795 ppm 이며, 30 °C 시료에서는 3시간과 336시간대의 농도 차이가 1.948 ppm으로 30 °C 시료의 PO₄-P 증가량이 4 °C 시료 PO₄-P의 약 2.5배 정도로 온도에 의한 인의 용출 증가를 확인할 수 있었다. 4 °C 시료에서는 24시간과 336시간대의 탁도 차이가 397 NTU이며, 30 °C 시료에서는 24시간과 336시간의 탁도 차이가 384로 탁도의 증가 차이는 매우 적었다. 4 °C 시료에서는 24시간과 336시간대의 PO₄-P 차이가 0.55 ppm이며, 30 °C 시료에서는 24시간과 336시간대의 PO₄-P 차이가 1.948 ppm이었다. 4 °C 시료와 30 °C 시료의 PO₄-P 증가 차이는 약 3.5배 정도로 나타났다. 탁도와 PO₄-P

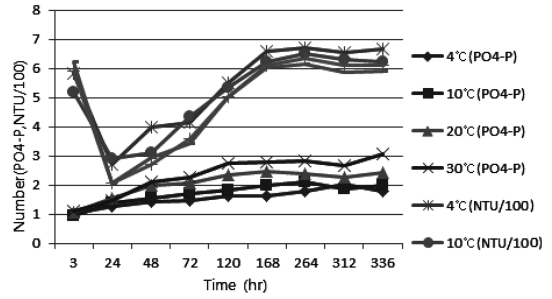


Fig. 9. Relationship between PO₄-P and NTU at various temperatures in soil and water.

관련이 적게 나타난 원인은 탁도물질에서 한번 PO₄-P가 용출되면 물에 용존되어 탁도물질에 다시 흡착되지 않고, 탁도물질과 흡에서는 계속 인이 용출되어 누적됨으로 점진적인 증가를 나타내 탁도의 변화에 영향을 받지 않는 것처럼 보이지만 실제 PO₄-P는 흡과 탁도에서 용출되기 때문에 탁도의 변화에 영향을 받을 수밖에 없음을 알 수 있었다.

4. 결 론

1. 3시간 배양 후 DO 농도는 6.6~6.8 mg O/L 이었고, 336 시간 후에는 약 6~10 mg O/L로 호기상태가 유지되어 실험이 적절하게 진행되었다. 온도가 낮아질수록 용존산소의 포화 농도 값이 커져서 점진적으로 DO농도가 증가함을 알 수 있었다.
2. 4 °C에서 30 °C로 온도가 증가할 때 탁도가 감소하는 원인은, 물의 온도가 증가하면 물의 밀도가 낮아져서 탁도물질의 침전을 증가시키기 때문임을 알 수 있었다.
3. PO₄-P의 농도는 초기에는 약 1 ppm이었으나, 시

Table 9. Relationship between PO₄-P and NTU at various temperatures in soil and water

PO ₄ -P or NTU	Incubation time								
	3 hr	24 hr	48 hr	72 hr	120 hr	168 hr	264 hr	312 hr	336 hr
4 °C (PO ₄ -P)	1.0193	1.2504	1.4348	1.4747	1.6355	1.6258	1.7915	2.026	1.7988
10 °C (PO ₄ -P)	0.9203	1.3718	1.5553	1.6854	1.8321	1.9803	2.1016	1.8582	1.9605
20 °C (PO ₄ -P)	1.0799	1.5503	1.9667	2.0487	2.3268	2.4711	2.3863	2.2739	2.4207
30 °C (PO ₄ -P)	1.1009	1.4439	2.099	2.2653	2.7335	2.7905	2.8059	2.6458	3.0489
4 °C (NTU)	584	270	398	414	550	657	669	654	667
10 °C (NTU)	518	291	311	436	534	621	650	630	621
20 °C (NTU)	590	206	270	358	503	609	633	610	609
30 °C (NTU)	621	208	296	344	501	604	615	587	592

간이 지나면서 모든 시료에서 점진적으로 증가하였으며, 증가 정도는 온도가 증가할수록 더 많이 증가되었다. 온도가 증가하면 $PO_4\text{-P}$ 가 평형에 도달하는 시간이 짧아지고 또한 평형을 이루는 농도가 증가됨을 알 수 있었다.

4. pH는 시간이 지나면서 감소하는데, $PO_4\text{-P}$ 의 용출이 많은 30 °C에서는 더 크게 감소하나, 인 용출이 적은 4 °C에서는 적게 감소하였다. 감소 경향도 인 용출 경향과 pH 감소 경향이 반대방향으로 유사함은 pH 감소의 원인이 인 용출에 의한 것임을 알 수 있었다.

5. T-P의 농도는 336시간대 모든 시료에서 온도에 관계없이 약 5 ppm 정도를 나타냈을 뿐만 아니라 동일 시간대 마다 온도에 관계없이 T-P의 농도가 비슷한 이유는 온도가 낮으면 탁도가 높아 T-P 농도를 높이고, 온도가 높아 탁도가 낮은 시료는 $PO_4\text{-P}$ 용출이 증가하여 T-P의 농도를 높이기 때문에 농도가 유사해 짐을 알 수 있었다.

6. 탁도의 농도가 $PO_4\text{-P}$ 농도에 영향을 주지 않는 것처럼 보이는 원인은 탁도물질에서 용출된 $PO_4\text{-P}$ 는 물에 용존되며 탁도물질에 다시 흡착되지 않고 물에 누적되어 점진적인 증가를 나타내기 때문임을 알 수 있었다.

7. 30 °C 시료에서 3시간과 336시간대에 $PO_4\text{-P}$ 는 1.948 ppm 증가 되었고, T-P는 3.09 ppm 증가되어 T-P증가량의 64% 정도였으며, 4 °C에서 3시간과 336시간대에 $PO_4\text{-P}$ 는 0.7795 ppm 증가되었고, T-P는 2.348 ppm 증가되어 T-P증가량의 33% 정도로, 온도가 감소

함에 따라 T-P 증가에 $PO_4\text{-P}$ 가 기여하는 정도가 감소함을 알 수 있었다

8. 대부분의 조류 등 생물이 이용할 수 있는 $PO_4\text{-P}$ 는 온도가 감소하면 용출이 급감한다. 따라서 수심이 깊은 호수에서는 저층수의 수온이 상대적으로 낮으므로 호수바닥에서 물로의 $PO_4\text{-P}$ 의 용출이 감소함을 알 수 있다.

참고문헌

1. E. H. Kim and H. S. Kim, *Kor. J. Sanitation*, **17**(1)1, 75-80 (2002).
2. Ministry of Environment, Republic of Korea notification-2009-255 (2009.10.29.).
3. Ministry of Environment, Republic of Korea notification-2010-48 (2010.04.29.).
4. Ministry of Environment, Republic of Korea notification-2010-88 (2010.07.14.).
5. Standard Methods, For the Examination of Water and Wasterwater, Sixteenth Edition, American Public Health Association.
6. S. J. Lee and K. G. An, *Kor. J. Limnol.*, **43**(1), 136-141 (2010).
7. W. H. Jung and G. H. Kim, *J. of KSEE*, **28**(5), 472-479 (2006).
8. Y. H. Min, D. Y. Hyun, C. H. Eum and S. Lee, *Anal. Sci. Technol.*, **28**(4), 304-309 (2011).