

물과 토양에서 인의 농도, 탁도 그리고 pH와의 관계에 관한 연구

민영홍 · 현대용 · 음철현¹ · 이승호² ★

대전광역시 상수사업본부 수도기술연구소,

¹한국지질자원연구원, ²한남대학교 화학과

(2011. 7. 26. 접수, 2011. 8. 3. 승인)

A study on the relationship between concentration of phosphorus, turbidity, and pH in water and soil

Young-Hong Min, Dae-yoeung Hyun, Chul Hun Eum¹, Seungho Lee²★

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

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

(Received July 26, 2011; Accepted August 3, 2011)

요 약: 본 연구는 물과 토양에서 pH와 상등액을 변화 시켜었을 때 인과 탁도의 행태에 관해 연구 하였다. 탁도의 인 용출율은 pH 4 이하 또는 pH 7 이상일 때 증가 되었고, 토양으로 부터 탁도 발생율은 pH 가 증가하면 증가하며, pH 4 보다 커지면 급격히 상승한 후 pH 6 이상에서 안정화된다. 용존성인은 2-24시간까지 증가 후 안정화 됐고, 탁도 역시 24 시간까지 정점에 도달한 후 96시간까지 감소됨. 시료상 등수를 교체를 하면 용존성인과 탁도는 감소한다. 시료를 pH 6에서 pH 10으로 증가시키고, 상등액 교체를 1회에서 4회로 동시에 증가시킬 때 용존성인과 탁도의 행태는 유사하다. 이 결과로 용존성인과 탁도는 pH와 직접적인 연관이 있다고 사료되며, 호수는 pH 7-10 정도이기 때문에 이 결과는 대단히 중요하다.

Abstract: In this research, behaviour of turbidity and phosphorus in water and soil dependent upon pH and a change of water was studied. Phosphorus dissolve rate from turbidity was increased for water if potential of hydrogen was less than pH 4 or more than pH 7. Turbidity release rate from soil was increased with pH. Turbidity release rate from soil was drastically increased for water if potential of hydrogen was more than pH 4. turbidity release rate from soil was stabilized more than pH 6. Dissolved phosphorus was increased from 2 hours to 24 hours and stabilized in 24 hours. Turbidity was reached the peak of 24 hours and decreased from 24 hours to 96 hours. Turbidity and dissolved phosphorus was decreased for water if these samples were changed a overlying water. Behaviour of turbidity was analogous to dissolved phosphorus when potential of hydrogen was increased from pH 6 to pH 10 and a change of overlying water was increased from 1 time to 4 times. These results suggest that phosphorus dissolve rate and turbidity were directly correlated with pH. These results are of great importance in lakes because most lakes have a pH in the range of pH 7-10.

Key words : turbidity, overlying water, dissolved phosphorus, DP, NTU

★ Corresponding author

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

E-mail : slee@hnu.kr

1. 서 론

질소(N)와 인(P)이 하절기에 호소내로 다량 유입되어 남조류의 수화를 야기하기 때문에 수자원 이용에 문제가 된다. 국내 대부분 호수가 오염부하량이 큰 인공호소로 자연호소보다 시공간적 수질변동의 역동성이 크고, 수리수문학적 요인들이 큰 변이를 보이는 것으로 알려져 있다. 우리나라 하절기 몬순강우는 호소의 수질변이에 큰 영향을 야기하는 것으로 알려져 있다. 몬순강우로 호수에 많은 영양염류가 유입되어 수질상태의 변화를 야기하기 때문에 수질관리에 어려움을 주며, 대부분의 호수는 총질소(T-N)와 총인(T-P)에 상대비율이 17이상으로 인해, T-P가 조류성장의 제한인자로 나타나 있다.³ 대청호는 계절에 따라 pH 7-10 변화를 보였다.²

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), 유기물등에 잔류하는 Residual P(Resid,-P)의 형태가 있고,⁸ pH가 증가할수록 용존성인의 용출이 증가하며, 이때 용출되는 인은 NAI-P로 알려져 있다.^{1,8}

본 연구는 DP(dissolved phosphorus), pH, 강우, 탁도의 관계를 분석하여, 토양 미립자에 존재하는 DP가 강우로 탁도물질과 함께 하천으로 유입되어, 호소로 이동, 침전, 축적되는 과정을 파악해, DP제어로 부영화를 감소시킬 수 있는 기초자료로 활용코자 한다.

2. 재료 및 조사방법

본 연구에 사용되어진 토양은 대전광역시 송촌동 송촌정수장 인근 언덕의 오염이 없고 시료 대표성이 있다고 판단되는 5개 지점(±15 cm)에서 토양오염공정 시험기준에 따라 채취한 토양을 직사광선이 닿지 않는 장소에서 균일한 두께로 펼친 다음 통풍이 잘 되도록 풍건시키고 분쇄해 눈금간격 0.15 mm에 표준체(100 mesh)로 체거름 하여, 시료를 각각 균등량(약 500 g)씩 취하고 사분법의하여 균일하게 혼합 후 분석용 시료로 사용했다.⁴ 또한 시료의 대표성을 확인하기 위하여 용존성인(DP)의 변화를 넓은 영역 pH에서 측정하여 타 논문의 결과와 비교하였다.

실온 25 °C에서 시료 50 g을 250 mL 비이커에 넣고 증류수와 0.1N HCl 또는 0.1N NaOH로 pH 1-10 까지 만들었으며, 각 pH 마다 5개의 시료를 만든 다음 250 mL 용량 플라스크에 넣고, 증류수로 정용한

다음 250 mL 시료병으로 옮겼다. 2, 24, 48, 72, 96시간마다 pH 별로 한 병씩 취한 시료 상등액 100 mL로 탁도와 DP를 측정했다. DP는 상등액 100 mL중 50 mL를 원심분리기(HERMLE Z513K)로 2000rpm(3000 rcf)에서 2시간 원심분리했고, 0.45 μm 여지로 여과 후 수질오염공정시험기준 총인 아스코르빈산환원법에 의거하여 UV(Varian Cary 300 conc) 880 nm 파장에서 시험해, DP 농도를 측정하였다.^{5,7}

잔여 50 mL 상등액은 먹는물 수질공정시험기준 탁도 시험방법에 따라 탁도계(HACH 2100AN)로 탁도를 측정했다.^{6,7} 탁도를 이루는 물질은 유기성 혹은 무기성 콜로이드 등이 있으며, 측정단위는 NTU(nephelometric turbidity units)를 사용했고, 강우의 반복적인 영향을 실험하기 위해, 시료 조제 후 24시간 된 시료의 상등액을 제거 후 상등액과 같은 pH로 조제된 증류수를 넣어 250 mL 정용한 다음 밀봉 후 30 sec간 진탕하고, 24시간 청치 후 측정하는 작업을 4회 반복하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1의 2 hr(DP)에서는 pH 1.84일때 0.681 ppm 인것을 제외하고는 pH에 따라 DP값이 보통 0.3-0.5 ppm으로 비교적 pH에 관계없이 균일한 값을 나타냈으며, 2 hr(DP)와 24 hr(DP)를 비교해보면 DP의 용출에는 24시간 정도가 필요했다. 24 hr(DP), 48 hr(DP), 72 hr(DP), 96 hr(DP)는 pH 4-7에서 정지 시간이 증가하여도 DP가 약간의 변화만 야기됐고, pH 4-7보다 증가 또는 감소하면 DP가 큰폭으로 증가됐다. pH 6 보다 증가하면 DP는 증가하는 기존의 자료와 같은 결과로서 시험시료의 대표성을 확인시켜 주었다.^{2,3} pH 4

Table 1. Relationship between DP and Time(hr) dependent upon pH in Water

pH	1.84	2.33	2.93	3.73	4.24	6.05
2hr(DP)	0.681	0.501	0.441	0.384	0.396	0.312
24hr(DP)	2.481	2.145	1.926	1.191	0.582	0.348
48hr(DP)	1.752	1.83	1.671	0.963	0.399	0.303
72hr(DP)	1.563	1.632	1.764	0.933	0.378	0.315
96hr(DP)	1.848	2.1	2.202	1.158	0.387	0.414
pH	6.58	7.33	7.61	8.46	9.74	10.74
2hr(DP)	0.321	0.369	0.369	0.477	0.516	0.426
24hr(DP)	0.39	0.513	0.786	1.311	1.896	1.485
48hr(DP)	0.411	0.453	0.732	1.353	1.602	1.584
72hr(DP)	0.342	0.393	0.769	1.311	1.47	1.644
96hr(DP)	0.498	0.531	0.867	1.203	1.833	1.896

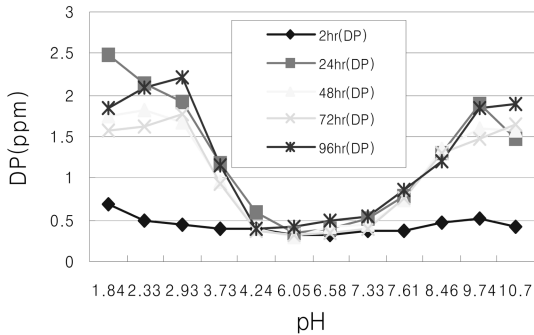


Fig. 1. Relationship between DP and pH in time(hr).

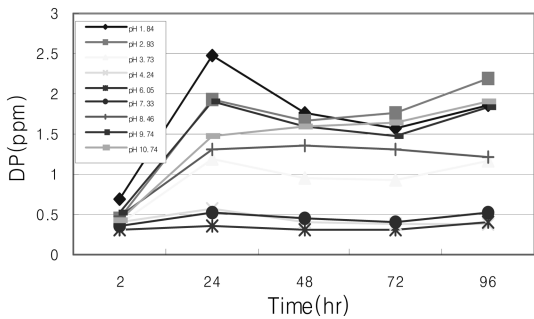


Fig. 2. Relationship between DP and time(hr) in pH.

이하에서 DP 증가는 pH 7 이상에서 증가하는 DP와 다른 인 형태로 추정되며, DP는 pH 3 이하 또는 pH 10 이상에서는 증가가 둔화 또는 약간 감소됨을 보였고, DP 용출이 가장 낮은 곳은 pH 6-7 로써, 토양이 중성에 가까워야 DP 용출을 감소시킬 수 있는 것으로 사료된다.

Fig. 2에서 DP 용출은 24시간이 지나면 pH 1.84를 제외하고, 정치시간(hr(DP))이 증가하여도 DP의 값에는 큰 변화가 없다는 것은 DP가 평형을 형성하였음을 뜻한다. pH 4-7에서는 DP가 0.5 ppm, pH 3.73이 약 1 ppm, pH 8.46이 약 1.3 ppm 그리고 pH 2.93, pH 9.74, pH 10.74는 약 1.6-2 ppm 정도에서 평형이 형성되었다. 각 pH에 따라 평형을 형성하는 DP의 값이 차이가 났으며, 산도 또는 알칼리도가 증가할수록 평형을 이루는 DP가 증가됨을 보였다. pH가 DP 평형에 관계된 호소의 pH가 증가하면 평형 형성에 필요한 DP가 커짐으로 조류성장의 제한 인자인 T-P량이 증가하게 된다. 이 때문에 pH가 조류성장에 간접적으로 관여됨을 알 수 있었다.

Fig. 3에서 pH 4 이하는 침전이 빨리 일어나지만 pH 6 이상에서는 침전이 잘 일어나지 않음을 보였다.

Table 2. Relationship between NTU and time(hr) dependent upon pH in Water

pH	1.84	2.33	2.93	3.73	4.24	6.05
24hr(NTU)	14	14	13	18	38	1020
48hr(NTU)	6	6	6	7	7	402
72hr(NTU)	3	4	4	4	6	84
96hr(NTU)	3	3	3	3	4	25

pH	6.58	7.33	7.61	8.46	9.74	10.74
24hr(NTU)	1370	1470	1480	1690	1720	1800
48hr(NTU)	450	450	400	450	450	550
72hr(NTU)	127	102	143	217	166	117
96hr(NTU)	80	89	96	73	92	91

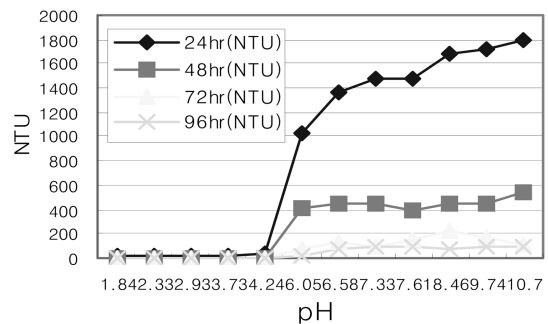


Fig. 3. Relationship between NTU and pH in time(hr).

침전은 모든 영역의 pH에서 일어나지만 pH 4 이하는 24시간 이내에 대부분 침전되어 NTU가 대단히 낮았고, pH 6 이상에서는 침전이 잘 야기 되지 않음을 보였다. pH가 증가될수록 NTU값이 서서히 감소하는 것은 탁도물질의 침전속도가 감소함을 나타낸 것이다. Fig. 4에서는 pH가 증가하면 NTU가 높고, 정치시간이 증가하면 NTU가 낮아짐을 보였고, 모든 정치시간을 통하여 pH가 높으면 NTU도 높았다. 이로서 호수의 물이 알칼리로 되면 탁도물질이 침전되기 어려워지는 것을 알 수 있었고, 또한 탁도가 물속에 부유하게 되면 침전되어 있을 때 보다 많은 DP 용출 발생함을 Fig. 2에서 보였다. DP는 24시간까지 증가 후 시간이 증가하여도 감소하지 않고, 평형을 유지했지만, 탁도 물질은 Fig. 4처럼 시간이 증가하면 침전되어 감소하였으나, pH가 증가할수록 침전속도는 감소됨을 보였다. Fig. 3과 Fig. 4는 pH가 증가할수록 탁도 물질은 물속에서 더욱 많은 시간을 부유하기 때문에 DP 용출이 용이하여 더욱 많은 DP를 형성하는 것으로 사료된다.

Fig. 5에서 24시간(1 Time(NTU)) 정치 후 측정 한

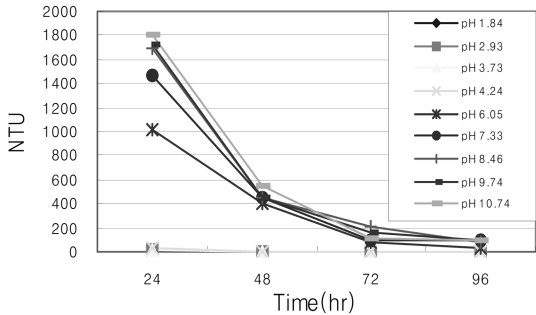


Fig. 4. Relationship between NTU and time(hr) in pH.

Table 3. The effect of pH and NTU on a change of overlying water

pH	1.84	2.33	2.93	3.73	4.24	6.05
1 Time(NTU)	11	13	10	21	39	1020
2 Times(NTU)	6	6	6	7	7	702
3 Times(NTU)	3	4	4	4	4	157
4 Times(NTU)	3	3	3	5	3	48

pH	6.58	7.33	7.61	8.46	9.74	10.74
1 Time(NTU)	1240	1450	1550	1760	1730	1710
2 Times(NTU)	732	774	824	882	916	904
3 Times(NTU)	127	102	143	217	266	217
4 Times(NTU)	80	89	96	97	92	91

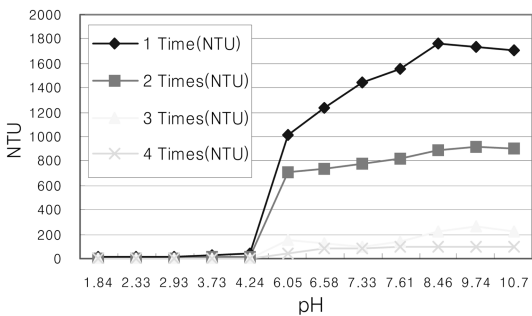


Fig. 5. Relationship between NTU and pH in a change of overlying water.

탁도는 일반적으로 pH가 감소하면서 NTU가 낮아지는 경향을 가졌고, pH 4-6 사이에서 급증 후 pH 6-8 사이에서 점진적으로 증가했으며, pH 8이후는 약간 감소하는 경향을 나타내었다. 일반적으로 탁도는 알칼리로 갈수록 NTU가 증가하고 산성으로 갈수록 감소하였다. 48시간(2 Times(NTU)) 정지 후 측정된 탁도는 1 Time(NTU)과 유사한 경향을 보였으며, NTU가 40-50% 정도 감소하였다. 3 Times(NTU)는 2 Times(NTU)보다 4 Times(NTU)는 3 Times보다 NTU값이

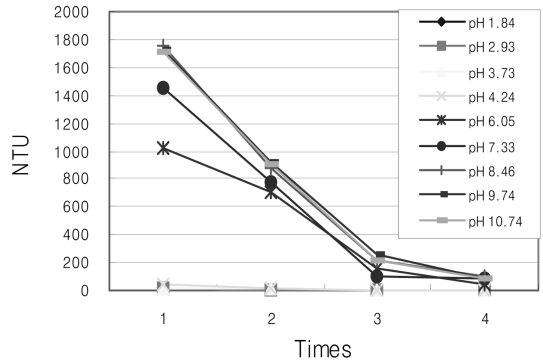


Fig. 6. Relationship between NTU and a change of overlying water in pH

Table 4. The effect of pH and a change of overlying water on DP

pH	1.84	2.33	2.93	3.73	4.24	6.05
1 Time(DP)	2.480	2.145	1.926	1.191	0.582	0.348
2 Times(DP)	0.912	0.726	0.705	0.237	0.093	0.057
3 Times(DP)	0.630	0.636	0.549	0.387	0.342	0.009
4 Times(DP)	0.588	0.366	0.378	0.498	0.513	0.075

pH	6.58	7.33	7.61	8.46	9.74	10.74
1 Time(DP)	0.390	0.513	0.786	1.311	1.896	1.485
2 Times(DP)	0.129	0.189	0.237	0.231	0.237	0.213
3 Times(DP)	0.054	0.072	0.120	0.156	0.135	0.081
4 Times(DP)	0.099	0.135	0.159	0.168	0.171	0.129

작아지는 경향을 가져, 상등액 교체 횟수가 증가되면서 감소되어지는 NTU 차이는 pH가 증가할수록 증가됨을 보였다.

Fig. 6에서 상등액 교체횟수가 증가하면서 pH 4.24 이하는 NTU가 크게 변화하지 않지만 pH 6.05 이상부터는 큰폭으로 NTU가 감소했다. 알칼리와 중성에서 NTU가 급격히 감소하고 산성에서 NTU가 점진적으로 조금씩 감소를 나타냈다. 이것은 강우가 탁도형 성물질을 토양으로부터 제거하는 효과가 있으며, 산성에서는 탁도를 이루는 미립자 물질이 강우에 의해 용이하게 용출이 되지 않지만 중성과 알칼리에서는 용이하게 용출될 수 있음을 나타낸 것이다. Fig. 7에서 1회 상등액 교체에서 용출되는 DP는 알칼리 또는 산성으로 갈수록 증가했고, pH 6-7에서는 DP 용출이 낮았다. 2회 상등액 교체 이후부터는 전체적으로 DP 용출이 감소했다. 2회 상등액 교체 부터는 중성과 알칼리로 pH가 증가하면 DP 용출이 크게 증가하지 않았고, 상등액 교체횟수가 증가하여도 DP는 적게 감소하

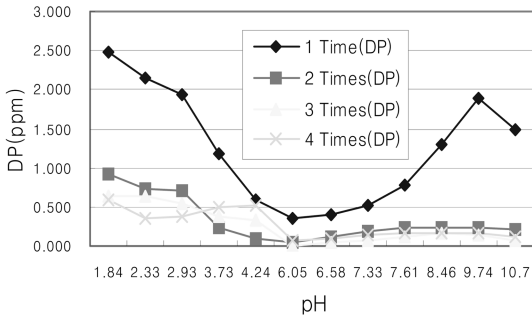


Fig. 7. Relationship between DP and pH in a change of overlying water.

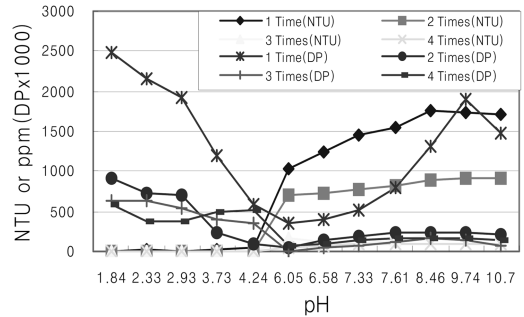


Fig. 9. Relationship between NTU or DP and pH in a change of overlying water.

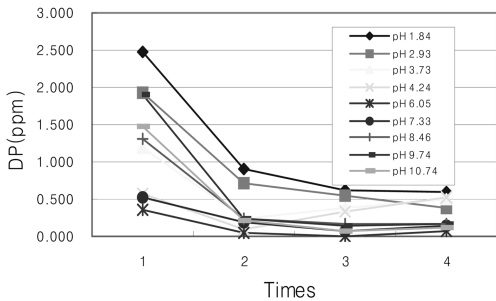


Fig. 8. Relationship between DP and a change of overlying water in pH.

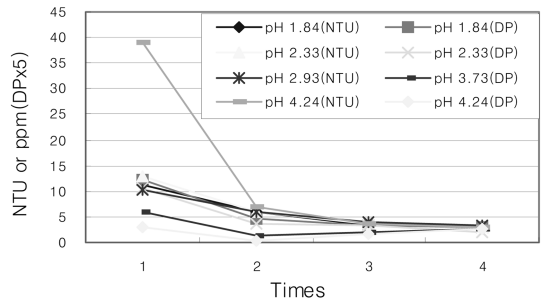


Fig. 10. Relationship between NTU or DP and a change of overlying water in pH 1-4.

였다. 이것은 중성과 알카리 토양에서는 초기 강우로 대부분의 DP가 용이하게 용출될 수 있음을 나타낸 것이다.

Fig. 8.에서 보면 일반적으로 상등액 교체횟수가 증가하면 모든 영역의 pH에서 DP 감소가 일어났다. pH 6-7에서 1회 상등액 교체시 DP가 가장 적었고 산 또는 알카리가 증가하면 DP가 증가하였다. pH 6-10은 2회 상등액 교체부터는 교체횟수가 증가하여도 DP의 감소 폭은 작았다. pH 4 이하는 2회 상등액 교체부터는 교체횟수가 증가하여도 DP의 감소 폭은 적었고, 또한 용출되는 DP는 중성과 알카리쪽 보다 높았다. Fig. 6 과 Fig. 8에서 DP와 NTU를 비교에서 시료의 상등액 교체횟수가 증가하면 DP와 NTU 값은 감소했다. 상등액 교체횟수가 증가하면서 NTU가 떨어지고 DP도 떨어지는 유사한 행태로 NTU와 DP가 관련이 있음을 보였다.

Fig. 9에서 상등액 교체횟수 별로 pH, 탁도 그리고 DP의 관계를 보면 1차 상등액 교체에서는 NTU와 DP가 pH 4 까지 NTU에 큰 변동이 없지만 DP값은 감소했으며, pH 4 이상으로 증가하면서 NTU는 증가했다. 하지만 DP는 pH 7 까지 적은 변화만을 나타냈고, pH

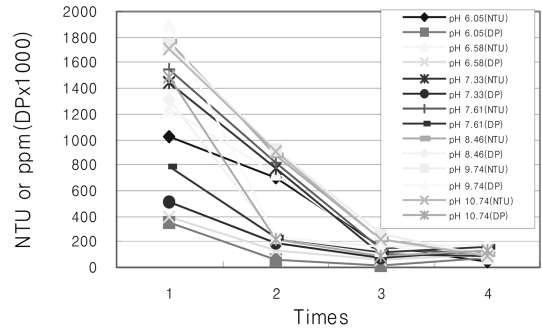


Fig. 11. Relationship between NTU or DP and a change of overlying water in pH 6-10.

7 이상에서는 증가했다. 상등액의 교체횟수와 pH의 변화로 pH 4 이상에서 탁도와 DP가 일반적으로 같은 경향을 가졌다. 호수에서는 pH 7-10 정도로서 DP와 탁도가 같은 경향을 나타낼 것으로 사료된다.

Fig. 10과 Fig. 11는 각 pH마다 상등액 교체횟수에 따라 탁도와 DP의 변화를 나타낸 것으로 상등액 교체 횟수가 증가하면 탁도와 DP의 값이 일반적으로 감소하지만 pH 4 이하에서는 감소의 폭이 매우 적었고, pH 6 이상에서는 감소의 폭이 증가하였다. 상등액 교

체횡수가 증가하면서 일반 적으로 탁도와 DP가 감소하였다.

pH 6 이상에서 NTU와 DP의 행태가 유사함은 탁도와 DP가 관련이 있는 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 호수에 유입되는 영양염류에서 조류 성장의 제한인자 T-P가 호수로 유입되는 경로를 파악하고자 상등액 교체 시 탁도와 DP 관계, 탁도와 pH 관계 그리고 탁도에 pH를 변화시킨 다음 DP 변화를 측정해 탁도의 DP 용출특성을 파악한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. DP는 pH 4 이하 그리고 pH 7 이상에서 증가되었으며, pH 6-7 사이는 비교적 낮은 농도를 유지하였다.
2. DP가 물과 평형을 형성하는데는 pH 1.84를 제외하고 24시간 정도 소요됐으며, 평형을 이루는 농도는 pH 6-7 사이에서 낮고, pH 4 이하 그리고 pH 7 이상에서는 비교적 높았다.
3. 탁도는 pH 4 이하에서 침전이 잘 발생되었고, pH 4 이상에서는 급격히 증가 후 pH 7에서 대부분 평형을 형성하고, 이후 약간의 증가 또는 적은 변화를 보였다.
4. 탁도는 정치시간이 길어지면서 침전으로 인하여 NTU가 감소되었으며, pH가 증가하면 탁도의 침전이 잘 일어나지 않아 NTU가 증가했다.
5. 상등수 교체에서 교체횡수가 증가하면 NTU는 감소하며, 감소폭은 pH가 클수록 커졌다.
6. 상등수의 교체횡수를 증가시키면 DP는 감소했다. pH가 큰 쪽에서 첫 번째 상등액 교체 시 큰 폭으로

감소했고, 두 번째 교체부터는 약간씩 감소했다. pH가 낮은 쪽은 첫 번째 교체 시 적게 감소했고, 두 번째 교체 이후부터는 약간의 용출이 유지하면서 약간씩 감소했다.

7. 탁도는 pH 5 이하에서 NTU가 매우 낮지만 DP는 높아 탁도와 인의 관련성이 낮고, pH 6 이상은 탁도가 증가하면 DP도 증가되는 탁도와 인이 높은 관련성을 가졌다.

참고문헌

1. E. H. Kim and H. S. Kim, *Korean J. Sanitation*, **17**(1), 75-80 (2002).
2. J. A. Lee, J. J. Lee, M. N. Lee and S. U. Cheon, Geum River Environment Research Center · National Institute of Environmental Reserach, Annual Report (2009).
3. S. J. Lee and K. G. An, *Korean J. Limnol.* **43**(1), 136-141 (2010).
4. Ministry of Enviroment Republic of Korea notification-2009-255 (2009.10.29).
5. Ministry of Enviroment Republic of Korea notification-2010-48 (2010.04.29).
6. Ministry of Enviroment Republic of Korea notification-2010-88 (2010.07.14.).
7. Standard Methods, For the Examination of Water and Wasterwater, Sixteenth Edition, American Public Health Association.
8. W. H. Jung and G. H. Kim, *J. of KSEE*, **28**(5), 472-479 (2006).