

## 만경강과 동진강 주요 지점 하천토사 중 형태별 인의 함량

한강완 · 손재권<sup>1)</sup> · 조재영 · 김효경<sup>2)</sup> · 황선아\*

전북대학교 농화학과, <sup>1)</sup>전북대학교 농공학과, <sup>2)</sup>농업과학기술원 농약평가과  
(2005년 10월 19일 접수, 2005년 12월 6일 수리)

### Phosphorus Fractionations in Sediment of Mankyung and Dongjin River

Kang-Wan Han, Jae-Kwon Son<sup>1)</sup>, Jae-Young Cho, Hyo-Kyeong Kim<sup>2)</sup>, and Seon-Ah Hwang\* (Department of Agricultural Chemistry, <sup>1)</sup>Agricultural Engineering, Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea, <sup>2)</sup>Division of Pesticide Safety, National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon 441-707, Korea)

**ABSTRACT:** Sediments of Mankyung and Dongjin river were examined on the physico-chemical properties and phosphorus fractionations. The content of total-P in sediment of Mankyung river ranged from 290.1 to 405.4 mg/kg (average = 363.4 mg/kg), while that in sediment of Dongjin river ranged from 304.1 to 431.7 mg/kg (average = 353.6 mg/kg). In both rivers, the total-P was highest in June to September. It is presumed that surficial sediment in arable land flowed into the rivers with rainfall-runoff. Phosphorus fractionations in Mankyung and Dongjin river were apatite-P 52.1% and 42.7%, residual-P 27.3% and 34.2%, nonapatite inorganic-P 18.1% and 22.5%, and adsorbed-P 0.6% and 0.6%, respectively. Adsorbed-P in sediment was the most scarcity fraction. It thus appears that adsorbed phosphorus was not effected in aquatic ecosystem. But nonapatite inorganic-P would be highly released under changes of redox condition and pH in aquatic ecosystem.

**Key Words:** phosphorus fractionation, mankyung river, dongjin river, sediment

### 서 론

수자원에 대한 인위적인 오염행위가 중지된 후에도 수질의 개선이 즉시 나타나지 않는 이유는 여러 가지 환경오염물질의 상당 부분이 용존상태에서 입자상태의 물질로 변하거나 또는 입자상태의 물질에 흡착되어 수체의 바닥에 퇴적되었다가 수층의 환경변화나 퇴적물 내에서 일어나는 물리적, 화학적 조건의 변화에 따라 다시 퇴적물 상부의 수층으로 장기간에 걸쳐 이동하기 때문인 것으로 알려지고 있다<sup>1)</sup>.

여러 가지 환경오염 유발물질 가운데에서 특히, 인은 부영양화를 유발시킬 수 있는 주요 인자로서 수질 생태계의 관리 측면에서 늘 관심의 대상이 되고 있다. 퇴적물에 함유된 인의 농도나 존재형태는 수중 생태계에서 수용성 인의 농도를 결정하는데 매우 중요한 요인이며, 일반적으로 수중 생태계의 인은 오염되지 않는 상태에서는 대부분 퇴적물에 포함되어 있다<sup>2)</sup>.

퇴적물에 함유된 인은 여러 가지 형태로 분류되지만 일반적으로 미립자의 표면에 흡착된 인을 흡착태 인(adsorbed-P), 철이나 알루미늄 등과 착물을 이룬 인을 비인회석태 인(NAI-P; nonapatite inorganic-P), 인회석과 같은 광물에 포함된 인을 인회석태 인(apatite-P), 유기물과 관련되어 있는 인을 잔류태 인(residual-P) 등으로 분류할 수 있다<sup>3)</sup>. 미립자의 표면에 흡착된 인은 물 속에 녹아 있던 인이 점토 등의 표면에 전기적으로 흡착된 것으로, 그 결합력이 약하여 퇴적물 입자의 교란이나 수층의 pH나 인 농도의 변화 등에 의해 쉽게 수층으로 이동될 수 있는 부분이다. 잔류태 인은 생물체나 그 분해산물에 포함되거나 그에 결합되어 있는 인으로 플랑크톤이 가라 앉으면서 자가분해에 의해 방출되고 남은 잘 분해되지 않는 인과 유입수에 의해 운반되어 온 것으로 알려져 있다<sup>4)</sup>.

2002년 기준으로 새만금 담수호를 구성하는 하천의 수질 상태를 조사한 결과에 의하면, 만경강의 경우 평균 총질소 7.86 mg/L, 총인 0.374 mg/L이고 동진강의 경우 평균 총질소 5.50 mg/L, 총인 0.19 mg/L로 영양물질 과다상태로 조사되었다<sup>5,6)</sup>. 이 값들은 하천의 경우이고 장차 새만

\*연락처:

Tel: +82-63-270-2547 Fax: +82-63-270-2550  
E-mail: hsa9697h@chonbuk.ac.kr

금호가 조성된 후, 이 물이 새만금호로 유입되면 호수의 특성상 체류시간이 길어지게 되므로 오염에 대한 기여도가 높아질 것으로 예상된다. 또한 만경강이나 동진강 유역으로부터 운송되어 해저/하저에 침적된 퇴적물로부터 유래하는 질소와 인의 용출도 수질환경에 큰 영향을 끼칠 것으로 예상된다.

퇴적물 내의 인은 그 존재형태에 따라 생물에 이용되는 정도나 이동가능성이 다르기 때문에 퇴적물 내 인의 존재형태를 파악함으로써 어느 지역의 퇴적물이 인의 지구 화학적 순환에서 얼마나 중요한 역할을 할 것인가를 상대적으로 평가할 수 있을 것으로 사료된다<sup>4)</sup>.

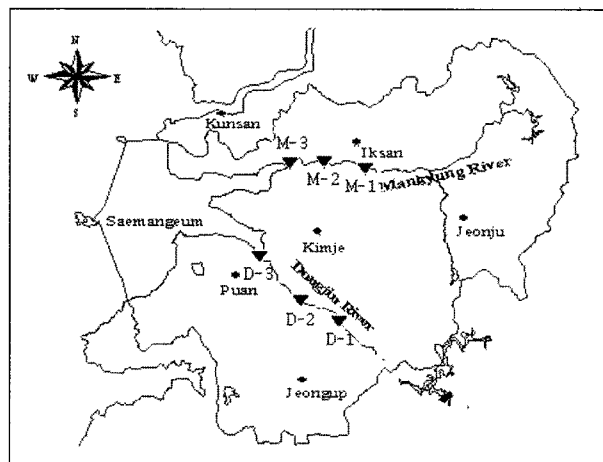
본 연구는 새만금호를 구성하는 만경강과 동진강을 대상으로 주요 지점별 하천토사의 이화학적 특성과 형태별 인의 함량을 분석하여 이들 하천토사로부터 잠재적인 인의 용출가능성을 평가하는 기초 자료를 얻고자 하였다.

**재료 및 방법**

**시료 채취 장소**

만경강은 유로 연장 길이가 77.4 km로 상류 지역을 제외하고는 유속이 매우 느린 전형적인 곡류 하천으로 유역 면적은 1,527 km<sup>2</sup>이며, 임야 702.5 km<sup>2</sup>, 논 347.8 km<sup>2</sup>, 밭 133.4 km<sup>2</sup>의 형태로 토지가 이용되고 있다<sup>7)</sup>. 동진강은 유로 연장 길이가 46.1 km로 만경강에 비해 짧으며, 유역 면적은 1,129 km<sup>2</sup>로 임야 389.5 km<sup>2</sup>, 논 350.7 km<sup>2</sup>, 밭 125.4 km<sup>2</sup>의 형태로 토지가 이용되고 있다<sup>8)</sup>.

하천토사 채취 지점은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 만경강 본류의 M-1(만경제1교), M-2(송정교)와 M-3(만경대교) 3개 지점과 동진강 본류의 D-1(거산교), D-2(신태인교)와 D-3(동



M-1: Mankyung-Bridge (I)    D-1: Geosan-Bridge  
 M-2: Songjung-Bridge    D-2: Shintaein-Bridge  
 M-3: Mankyung-Bridge    D-3: Dongjin-Bridge

Fig. 1. Sampling sites in Mankyung and Dongjin river area.

진대교) 3개 지점이다. 하천토사의 시료채취는 Ekman grab sampler(Model : 3631, Sweden)를 이용하였으며, 표토 0-10 cm 토사를 대상으로 하였다. 조사기간은 2003년 12월부터 2004년 9월까지로 3, 6, 9, 12월에 상기 대상 하천의 각각의 3개 지점에서 데이터의 객관성을 확보하기 위해 반복적으로 3점의 토사시료를 채취하여 혼합한 다음 시료로 사용하였다.

**분석 방법**

하천토사 시료는 채취한 다음 폴리에틸렌 봉지에 넣어 운반한 후 풍건시킨 다음 2 mm체에 통과시켜 Jackson<sup>9)</sup>의 Soil chemical analysis에 기준하여 분석하였다. pH 측정은 토사와 증류수의 비율을 1:5로 조제한 후 pH-meter(TOA HM-20S)로 측정하였다. 입도분석은 미국 농무성법에 기준하여 5% sodium hexametaphosphate 분산에 의한 pipette법, 유기물은 Walkley-black법, 양이온치환용량은 AOAC-ASTM법, 전질소는 Kjeldahl법으로 측정하였다. 또한 강열감량은 풍건시료를 전기 회화로에서 회화시킨 후 무게 차이로, 하천토사의 부식화도는 Hakanson 등<sup>10)</sup>의 질소와 강열감량의 비로써 측정하였다.

인의 존재형태별 함량은 Hieltjes 등<sup>3)</sup>의 실험방법에 따라 존재형태별로 추출하여 ascorbic acid법에 따라 측정하였고, 총인은 persulfate digestion method에 따라 전처리 한 후 ascorbic acid법에 따라 측정하였다. 인의 형태별 분석방법은 Fig. 2에 나타나 있다.

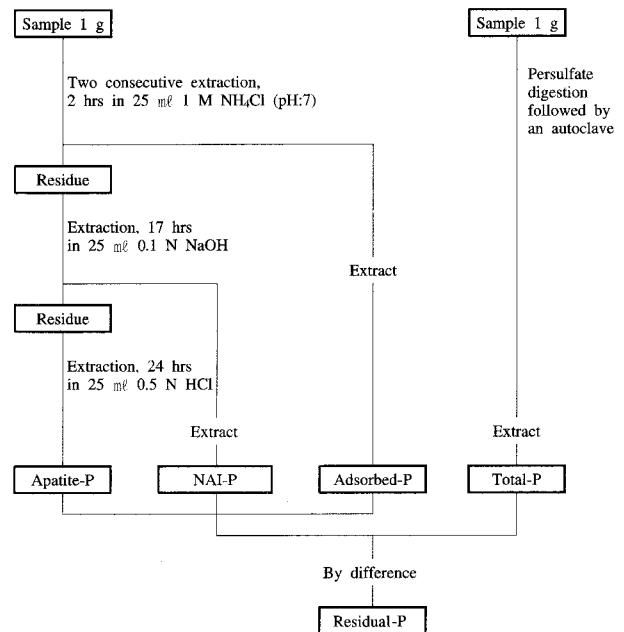


Fig. 2. Analytical procedures of phosphorus fractionation (Hieltjes and Lijklema, 1980).

**결과 및 고찰**

**만경강과 동진강 하천토사의 이화학적 특성**

만경강과 동진강 하천토사의 계절별 이화학적 특성에 대하여 계절별 변화를 조사한 결과는 Table 1에 나타나 있다. 만경강 유역의 경우 pH는 6.18~7.73 수준으로 평균 7.13으로 나타났다. 총질소는 0.05~0.09% 수준으로 평균 0.07%를, 총인은 290.1~405.4 mg/kg 수준으로 평균 363.4 mg/kg을

나타내었는데 모두 6월과 9월에 높게 나타났다. 이는 높은 농도의 질소와 인을 함유하고 있는 농경지 표토층이 강우-유출에 의해 하천에 유입되어 영향을 받았기 때문인 것으로 추정된다. CEC는 10.5~16.7 cmol(+)/kg 수준으로 평균 13.3 cmol(+)/kg을, 유기물 함량은 1.31~2.25% 수준으로 평균 1.71%를 나타내었다. 입도조성을 조사한 결과 모래 73%, 미사 16%, 점토 11%로 사양토(Sandy loam)로 나타났다. 하천토사의 분해정도를 파악하기 위하여 부식화도를 측정하였는데

**Table 1. Physico-chemical properties of sediment in Mankyung and Dongjin river**

Site	Item	Season	pH	CEC (cmol(+)/kg)	OM (%)	Tot-N (%)	LOI <sup>a)</sup> (%)	Humic level (LOI/T-N)	Sediment texture
Mankyung river	M-1	Dec-03	7.50	14.8	1.64	0.07	2.89	42.0	SL
		Mar-04	7.73	12.2	1.34	0.05	2.48	45.6	
		Jun-04	6.18	13.1	1.73	0.07	3.42	47.6	
		Sep-04	6.56	12.9	1.70	0.07	3.20	46.8	
		Average	6.99	13.3	1.60	0.07	3.00	45.5	
	M-2	Dec-03	7.27	10.5	1.58	0.05	3.03	63.7	
		Mar-04	7.37	11.6	2.04	0.05	4.14	86.9	
		Jun-04	7.03	14.1	1.31	0.07	3.54	48.1	
		Sep-04	7.09	13.6	1.57	0.08	3.37	44.0	
		Average	7.19	12.5	1.62	0.06	3.52	60.7	
	M-3	Dec-03	7.10	16.7	1.77	0.06	3.57	62.4	
		Mar-04	7.35	13.8	2.25	0.07	4.46	64.4	
		Jun-04	7.26	13.1	1.77	0.09	3.82	43.5	
		Sep-04	7.15	13.0	1.86	0.08	3.86	46.7	
		Average	7.22	14.2	1.91	0.07	3.93	54.3	
<b>Average</b>			<b>7.13</b>	<b>13.3</b>	<b>1.71</b>	<b>0.07</b>	<b>3.48</b>	<b>53.5</b>	
Dongjin river	D-1	Dec-03	5.34	20.2	3.15	0.07	4.87	74.7	
		Mar-04	6.26	16.2	2.79	0.06	4.54	71.6	
		Jun-04	6.54	13.0	1.78	0.08	2.66	33.6	
		Sep-04	7.08	11.2	1.99	0.09	3.23	36.0	
		Average	6.31	15.1	2.42	0.07	3.83	54.0	
	D-2	Dec-03	5.69	19.4	2.45	0.09	4.06	43.9	
		Mar-04	6.76	13.1	2.44	0.10	4.15	39.5	
		Jun-04	6.00	15.3	1.86	0.12	3.59	29.3	
		Sep-04	6.34	13.7	2.03	0.12	3.52	30.6	
		Average	6.20	15.4	2.20	0.11	3.83	35.8	
	D-3	Dec-03	6.66	17.1	1.13	0.06	4.02	70.3	
		Mar-04	7.31	12.6	2.28	0.06	5.04	81.7	
		Jun-04	6.28	11.5	1.20	0.07	2.59	37.5	
		Sep-04	7.37	13.9	1.40	0.07	3.30	49.1	
		Average	6.91	13.8	1.50	0.06	3.74	59.6	
<b>Average</b>			<b>6.47</b>	<b>14.8</b>	<b>2.04</b>	<b>0.08</b>	<b>3.80</b>	<b>49.8</b>	

<sup>a)</sup>LOI : Loss On Ignition

42.0~86.9 수준으로 평균 53.5를 나타내었다. Hakanson 등<sup>10)</sup>에 의하면 LOI(Loss On Ignition)/Tot-N의 비가 20인 경우에는 Oligohumic, 20~25의 범위는 Mesohumic, 25이상인 경우에는 Polyhumic으로 분류하였는데, 만경강 유역에서는 모든 지점이 Polyhumic으로 나타나 유기물의 분해가 거의 완료된 상태인 것으로 나타났다.

동진강 유역에서 토사의 pH는 5.34~7.37 수준으로 평균 6.47를 나타내었다. 총질소는 0.06~0.12% 수준으로 평균 0.08%를, 총인은 304.1~431.7 mg/kg 수준으로 평균 353.6 mg/kg을 나타냈는데 동진강 유역의 경우도 만경강 유역과 유사하게 6월과 9월에 높게 나타났다. CEC는 11.2~20.2 cmol(+)/kg 수준으로 평균 14.8 cmol(+)/kg을, 유기물 함량은 1.13~3.15% 수준으로 평균 2.04%를 나타내었다. 입도조성을 조사한 결과 모래 51%, 미사 15%, 점토 34%로 사질식양토(Sandy clay loam)로 나타났다. 하천토사의 분해정도를 파악하기 위하여 부식화도를 측정하였는데 29.3~81.7 수준으로 평균 49.8을 나타내어 만경강 하천 토사의 부식화도와 동일한 Polyhumic으로 나타났다. 동진강 유역에 비해 만경강 유역에서 pH와 총인이 높게 나타났으며, 총질소, CEC와 유기물 함량은 만경강 유역에 비해 동진강 유역에서 높게 나타났다.

**만경강과 동진강 하천토사 중 인의 형태별 함량 비교**

만경강과 동진강 하천토사 중 총인의 함량을 시기별로 조사한 결과는 Fig. 3에 나타나 있다. 만경강과 동진강 하천토사 중 총인의 함량은 두 하천 간에 큰 차이를 보이지 않았다. 본 조사 결과는 Koch 등<sup>11)</sup>이 조사한 Little Madeira Bay 퇴적물 중 총인의 함량 106 mg/kg, Terrapin Bay 퇴적물 중 총인의 함량 124 mg/kg 보다 높게 나타나고 있었다. 반면에 Jun<sup>1)</sup>이 조사한 팔당호 퇴적물 중 총인 1,073.5 mg/kg, Paek 등<sup>12)</sup>이 조사한 주남저수지 퇴적물 중 총인의 함량 768.79 mg/kg, Gonsiorczyk 등<sup>13)</sup>이 조사한 독일 Haussee호 퇴적물 중 총인의 함량 1,406 mg/kg, Kim 등<sup>14)</sup>

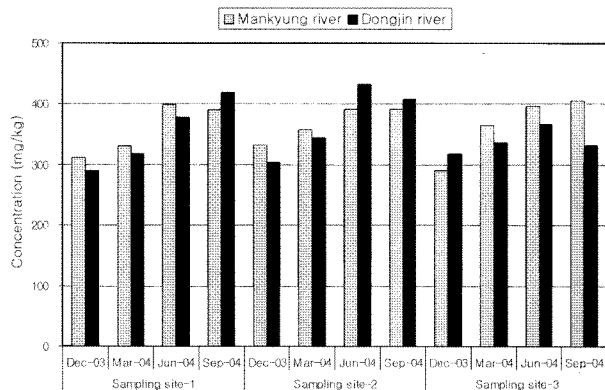


Fig. 3. Changes of Tot-P in sediment of Mankyung and Dongjin river.

이 조사한 청평호 퇴적물 중 총인의 함량 480 mg/kg 보다 낮게 나타났다.

만경강과 동진강 하천토사에 함유된 인의 형태별 함량을 조사한 결과는 Fig. 4와 Fig. 5에 나타나 있다. 흡착태 인의 함량은 만경강에서 1.7~2.5 mg/kg 수준으로 평균 2.0 mg/kg을, 동진강에서 1.6~2.2 mg/kg 수준으로 평균 1.9 mg/kg을 보였다. 흡착태 인은 퇴적물 표면에 느슨하게 흡착된 형태로 아주 작은 물리적 요인에 의해서 수층으로 이동되는 부분으로 본 조사 결과 매우 낮은 값으로 조사되었다. 물에서 제거되는 orthophosphate는 부유입자에 흡착되는 것보다 생물체에 흡착되는 것이 훨씬 빠르다는 연구보고<sup>15)</sup>, 인이 1차 생산의 제한 요인이라는 점<sup>4)</sup> 등으로 미루어 보아 본 만경강 동진강 부유입자나 토사 입자에 용존성 인이 흡착될 기회가 적을 것으로 나타났다. 본 조사결과를 선행 조사결과와 비교해 보면, Lee 등<sup>16)</sup>이 조사한 마산만 퇴적물 중 흡착태 인의 함량 8.6 mg/kg, Paek 등<sup>12)</sup>이 조사한 주남저수지 퇴적물 중 흡착태 인의 함량 17.07 mg/kg, Jun<sup>1)</sup>이 조사한 팔당호 퇴적물 중 흡착태 인의 함량 22.2 mg/kg, Kim 등<sup>14)</sup>이 조사한 청평호 퇴적물 중 흡착태 인의 함량 28 mg/kg 보다 낮

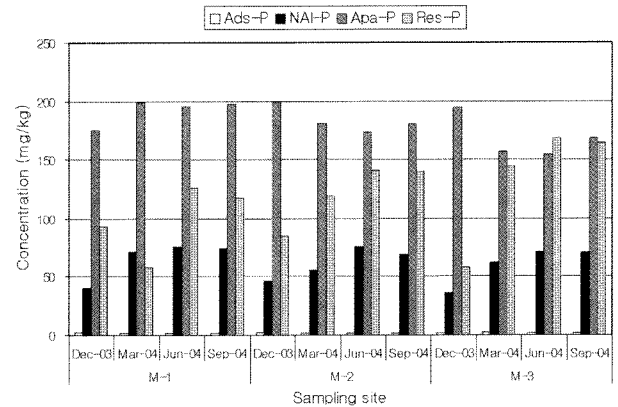


Fig. 4. Changes of phosphorus fractionations in sediment of Mankyung river.

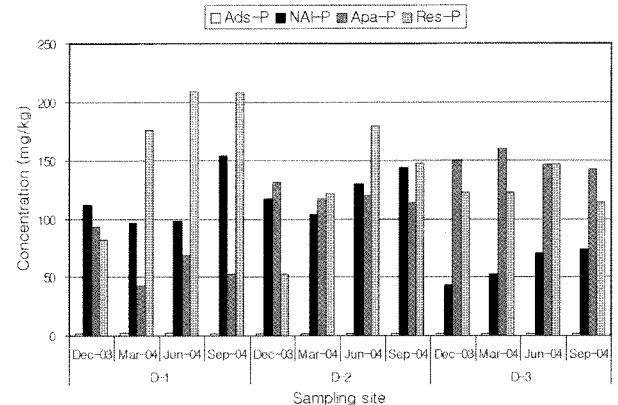


Fig. 5. Changes of phosphorus fractionations in sediment of Dongjin river.

게 나타났다. 본 조사 결과에 기초할 때 만경강과 동진강 하천토사 중 흡착태 인의 함량은 다른 조사 결과에 비해 낮은 수준이었으며, 인이 1차 생산에 제한 요인으로 되어 있으므로 하천 수환경의 물리적 변화에 따른 용출로 인해 하천 생태계에 영향을 끼칠 수준은 아닌 것으로 판단된다.

비인회석태 인의 함량은 만경강 하천토사에서 35.9~75.2 mg/kg 수준으로 평균 62.2 mg/kg을, 동진강 하천토사에서 43.4~154.7 mg/kg 수준으로 평균 99.8 mg/kg을 나타내었다. 비인회석태 인의 함량은 6월과 9월에 가장 높게 나타났으며, 동진강 수역의 D-1 지점에서 가장 높게 나타났다. 비인회석태 인은 호소의 물질순환에서 다른 형태의 인보다 식물체에 단기간에 이용된다는 점 때문에 가장 관심이 큰 부분으로 혐기성 상태나 높은 pH에서 수층으로 용출이 일어나는 것으로, 또한 도시하수 및 산업폐수의 유입이 직접적으로 일어나는 곳에서 비인회석태 인이 가장 많은 함량과 함유율을 나타내는 것으로 알려져 있다<sup>12)</sup>. 현재 만경강과 동진강 하천토사 중 존재하는 비인회석태 인으로부터 이들 하천생태계를 건전하게 유지하기 위해서는 유역으로부터 오염원 유입을 최소화 하여야 하며, 지속적인 모니터링과 관리가 필요한 것으로 판단된다. 본 조사결과를 선행 조사결과와 비교해 보면 Lee 등<sup>16)</sup> 조사한 충무만 퇴적물 중 비인회석태 인의 함량 41.7 mg/kg, 광양만 퇴적물 중 비인회석태 인의 함량 28.3 mg/kg 보다 높게 나타나고 있으나, Eckert 등<sup>17)</sup>이 조사한 이스라엘 Kinneret호 퇴적물 중 비인회석태 인의 함량 244.2 mg/kg, Jun<sup>1)</sup>이 조사한 팔당호 퇴적물 중 비인회석태 인의 함량 459.4 mg/kg 보다는 낮게 나타났다.

인회석태 인의 함량은 만경강 하천토사에서 154.6~199.1 mg/kg 수준으로 평균 181.2 mg/kg을, 동진강 하천토사에서 42.7~160.5 mg/kg 수준으로 평균 111.7 mg/kg을 나타내었다. 인회석태 인은 만경강 M-2 지점에서 가장 높은 함량을 나타내었다. 인회석태 인의 함량은 유역의 토양 침식에 의한 인의 공급을 나타내는 한 지표로 쓰이고 있는데, 광산폐수의 유입과 같은 특수한 경우가 아니면 일반적으로 이 부분에서 인을 용출시킬 가능성이 적은 것으로 알려져 있다<sup>4)</sup>. 본 조사결과를 선행 조사결과와 비교해 보면, Kim 등<sup>14)</sup>이 조사한 청평호 퇴적물 중 인회석태 인의 함량 112 mg/kg, Bae<sup>18)</sup>가 조사한 대청호 퇴적물 중 인회석태 인의 함량 171.0 mg/kg과 비슷한 수준을 나타내었다. 그러나 Paek 등<sup>12)</sup>이 조사한 주남저수지 퇴적물 중 인회석태 인의 함량 64.26 mg/kg 보다는 높게 나타나고 있으나, Gonsiorczyk 등<sup>13)</sup>이 조사한 독일 Haussee호 퇴적물 중 인회석태 인의 함량 449.9 mg/kg, Jun<sup>1)</sup>이 조사한 팔당호 퇴적물 중 인회석태 인의 함량 262.0 mg/kg보다는 낮은 수준을 보이고 있다.

잔류태 인은 만경강 하천토사에서 57.8~168.9 mg/kg 수준으로 평균 118.0 mg/kg을, 동진강 하천토사에서 52.9~209.0 mg/kg 수준으로 평균 140.2 mg/kg을 나타내었다. 동진강 D-1 지점에서 가장 높은 함량을 보였으며, 비인회석태 인과 마찬가지로 6월과 9월에 높은 경향을 나타내었다.

잔류태 인은 유기물과 관련된 인으로 유기물 분해가 활발한 퇴적층에서 수층으로 인이 용출될 가능성이 크고 다른 형태의 인 용출에 영향을 미칠 수 있는 것으로 알려져 있다<sup>11)</sup>. 하천토사의 부식화도를 조사한 결과 Polyhumic으로 하천토사 내 유기물의 분해가 거의 완료된 상태로 조사되어 잔류태 인의 용출 가능성은 아주 적은 것으로 생각된다. 그러나 하천토사에서 수층으로 일어나는 인의 이동에는 직접, 간접으로 관여된 요인이 너무 많고 하천토사에 함유된 잔류태 인의 이동에 대해서는 많은 부분이 잘 연구되어 있지 않기 때문에<sup>19)</sup> 현재의 자료로써는 만경강과 동진강 하천토사에서 잔류태 인의 용출이 전혀 없다고 단정 지을 수는 없다. 본 조사결과를 선행 조사결과와 비교해 보면, Williams 등<sup>20)</sup>이 조사한 미국 Wisconsin 지역 호수 퇴적물 중 잔류태 인의 함량 27~142 mg/kg과 비슷한 함량을 나타내었으나, Kim 등<sup>14)</sup>이 조사한 청평호 퇴적물 중 잔류태 인의 함량 240 mg/kg, Lee 등<sup>16)</sup>이 조사한 진해만 퇴적물 중 잔류태 인의 함량 223.8 mg/kg, 충무만 퇴적물 중 잔류태 인의 함량 230.2 mg/kg보다는 낮게 나타났다.

결론적으로, 만경강과 동진강 하천토사 중에 분포하는 인의 형태별 함량 가운데, 수질 생태학적으로 가장 중요하게 접근하여야 하는 흡착태 인과 비인회석태 인 가운데 흡착태 인은 유기물이 분해가 완료된 상태로 존재하므로 이 형태 인의 용출로 인한 하천 생태계 영향은 그다지 크지 않은 것으로 나타났으나 비인회석태 인의 경우는 환경 변화에 매우 민감하게 반응하는 부분이므로 지속적인 관심과 관리가 필요한 것으로 사료된다.

하천토사 중 총인에 대한 각 형태별 인의 기여도 비교

만경강과 동진강 하천토사 중 총인에 대한 각 형태별 인의 기여도는 Fig. 6과 Fig. 7에 나타나 있다. 하천토사 내 존재하는 인의 형태는 만경강에서 인회석태 인(52.1%), 잔류태 인(27.3%), 비인회석태 인(18.1%), 흡착태 인(0.6%)의 순으로, 동진강에서 인회석태 인(42.7%), 잔류태 인(34.2%), 비인

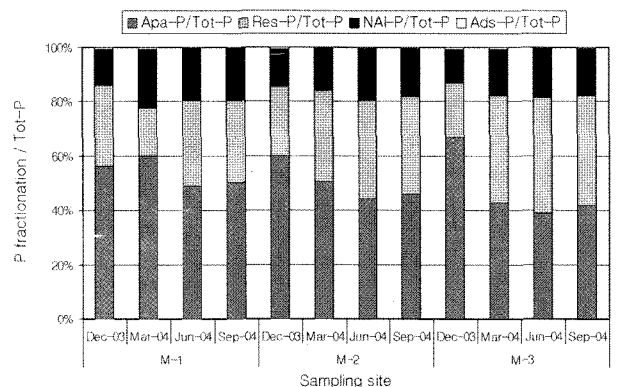


Fig. 6. Percentage of phosphorus fractionations in sediment of Mankyung river.

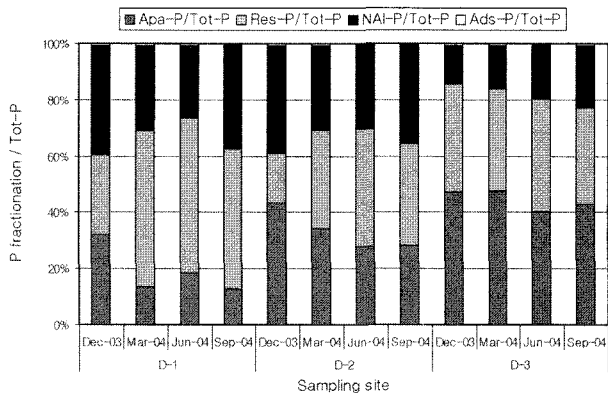


Fig. 7. Percentage of phosphorus fractionations in sediment of Dongjin river.

회석태 인(22.5%), 흡착태 인(0.6%)의 순서로 나타났다. 동진강 유역에서는 각 조사 지점마다 조금씩 다른 비율을 나타냈는데, D-1 지점에서는 잔류태 인(47.2%), 비인회석태 인(33.1%), 인회석태 인(19.1%), 흡착태 인(0.6%)의 순서로, D-2 지점에서는 비인회석태 인(33.6%), 인회석태 인(33.3%), 잔류태 인(32.6%), 흡착태 인(0.5%)의 순서로, D-3 지점에서는 인회석태 인(44.4%), 잔류태 인(37.3%), 비인회석태 인(17.7%), 흡착태 인(0.5%)의 순서로 나타났다.

하천토사의 이화학적 특성과 형태별 인 함량의 상관관계

만경강과 동진강 하천토사의 이화학적 특성과 형태별 인 함량과의 상관관계를 분석한 결과 pH는 비인회석태 인( $r=-0.55$ ,  $p<0.01$ )과는 유의성 있는 부의 상관관계를, 인회석태 인( $r=0.46$ ,

$p<0.05$ )과는 유의성 있는 정의 상관관계를 나타내었다. CEC는 총인( $r=-0.53$ ,  $p<0.01$ )과 유의성 있는 부의 상관관계를 나타내었고 유기물 함량은 비인회석태 인( $r=0.43$ ,  $p<0.05$ )과는 유의성 있는 정의 상관관계를, 인회석태 인( $r=-0.53$ ,  $p<0.01$ )과는 유의성 있는 부의 상관관계를 나타내었다. 수중생태계에서 환경변화에 의해 쉽게 용출되어 영향을 끼칠 수 있는 비인회석태 인을 대상으로 pH와 유기물 함량과의 관계를 Fig. 8에 나타내었다. 유기물 함량의 증가에 따라 하천토사 중 비인회석태 인의 함량이 증가하였으나, pH와 하천토사 중 비인회석태 인의 함량과는 반대의 경향을 나타내었다.

적 요

만경강과 동진강 하천토사의 이화학적 특성과 형태별 인 함량을 조사한 결과 하천토사의 총인 함량은 만경강에서 290.1~405.4 mg/kg 수준으로 평균 363.4 mg/kg을, 동진강에서는 304.1~431.7 mg/kg 수준으로 평균 353.6 mg/kg을 나타냈고 조사지점 모두 6월과 9월에 높은 농도를 나타내었다. 이는 높은 농도의 질소와 인을 함유하고 있는 농경지 표토층이 강우-유출에 의해 하천에 유입되어 영향을 받았기 때문인 것으로 추정된다. 하천토사 내 인의 형태별 함량을 조사한 결과 만경강과 동진강에서 각각 인회석태 인 52.1%와 42.7%, 유기태 인 27.3%와 34.2%, 비인회석태 인 18.1%와 22.5% 그리고 흡착태 인은 두 지역 모두 0.6%를 나타내었다. 하천토사 중 흡착태 인은 그 양이 매우 적어 수중생태계에 끼치는 영향이 미미할 것으로 판단되나, 비인회석태 인은 혐기성 상태가 되거나 pH가 높아지면 용출이 일어날 것으로 사료되어 관리가 필요할 것으로 나타났다.

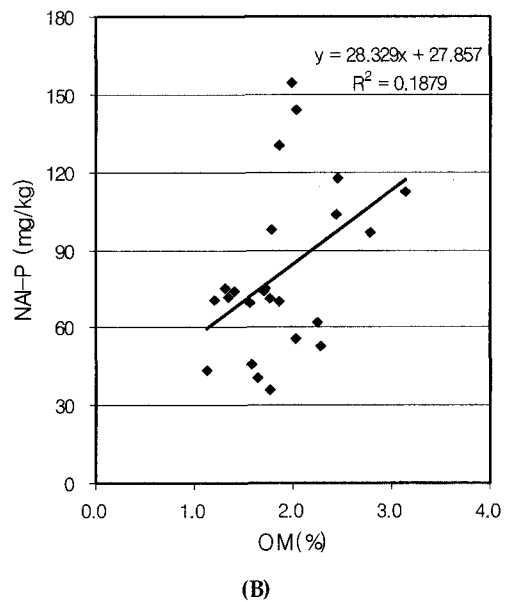
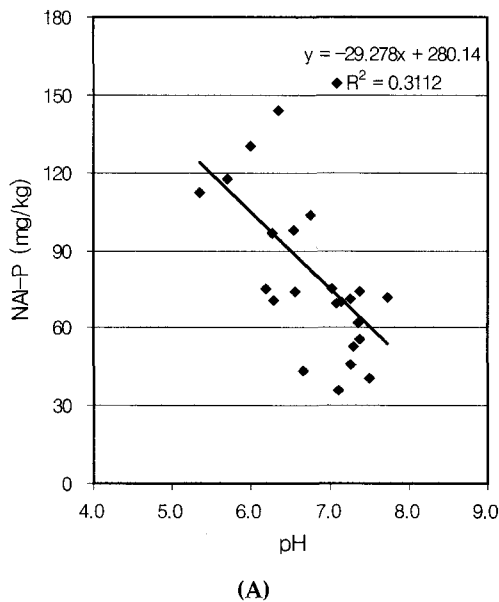


Fig. 8. Relationship of NAI-P and sediment properties in sediments of Mankyung and Dongjin river.

## 감사의 글

이 논문은 2004년도 전북대학교의 교비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Jun, S. H. (1990) Forms and mobility of pollutants retained in the sediments from the Han river, *The Korean Soc. Lim.* 23(1), 31-42.
2. Williams, J. D. H., Jaquet, J. M., and Thomas, R. L. (1976) Forms of phosphorus in the surficial sediments of lake Erie, *J. Fish. Res. Board Can.* 33, 413-429.
3. Hieltjes, A. H. M. and Lijklema, L. (1980) Fractionation of inorganic phosphates in calcareous sediments, *J. Environ. Qual.* 9(3), 405-407.
4. Jun, S. H. and Park, Y. A. (1989) Forms and mobility of sediment phosphorus in lake Soyang, *The Korean Soc. Lim.* 22(3), 261-271.
5. Yun, S. G., Lee, J. S., Jung, G. B., Kim, M. K., Kim, S. J., Koh, M. H., and Eom, K. C. (2002) Evaluation of water characteristics on tributaries of Mankyeong river watershed, *Korean J. Environ. Agric.* 21(4), 237-242.
6. Yun, S. G., Kim, W. I., Kim, J. H., Kim, S. J., Koh, M. H., and Eom, K. C. (2002) Evaluation of water characteristics on tributaries of Mankyeong river watershed, *Korean J. Environ. Agric.* 21(4), 243-247.
7. Lee, J. S., Ihm, B. S., Kim, H. S., Cho, D. S., and Lee, S. H. (1998) Studies on the distribution of hydrophytes in relation to water system character of Mankyung river, <http://apollo.mokpo.ac.kr/~planteco/frame1.html>.
8. Lee, J. S., Jung, G. B., Kim, J. H., Yun, S. G., Kim, W. I., and Shin, J. D. (2004) Evaluation of water quality with BOD at Mankyeong and Dongjin river basins, *Korean J. Environ. Agric.* 23(2), 81-84.
9. Jackson, M. L. (1967) *Soil chemical analysis*, Pretice-Hall of India Private Ltd., New Delhi, India.
10. Hakanson, L. and Jansson, M. (1983) Principles of lake sedimentology, Springer-Verlag, Berlin, p.316.
11. Koch, M. S., Benz, R. E., and Rudnick, D. T. (2001) Solid-phase phosphorus pools in highly organic carbonate sediments of northeastern Florida Bay, *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 52(2), 279-291.
12. Paek, S. B., Moon, B. H., and Seo, G. T. (1998) Characteristic of distribution on speciation of phosphorus in the sediment of Junam reservoir, Chanwon National University Environmental Research Institute Collected Papers. 7, 187-192.
13. Gonsiorczyk, T., Casper, P., and Koschel, R. (1998) Phosphorus binding forms in the sediment of an oligotrophic and an eutrophic hardwater lake of the Baltic distrit (Germany), *Water Sci. Technol.* 37(3), 51-58.
14. Kim, L. H., Choi E., and K. Stenstrom, M. (2003) Sediment characteristics, phosphorus types and phosphorus release rates between river and lake sediments, *Chemosphere* 50(1), 53-61.
15. Bostrom, B., Jansson, M., and Forsberg, C. (1982) Phosphorus release from lake sediments, *Arch. Hydoriol. Beih.* 18, *Ergebn. Limnol.*, p.5-59.
16. Lee, C. W., Kown, Y. T., Park, D. K., and Kim, B. J. (1995) Phosphorus fractionation and metals speciation in the sediments of southern coastal area of Korea, *J. Korean Soc. Environ. Eng.* 17(7), 661-674.
17. Eckert, W., Nishri, A., and Parparova, R. (1997) Factors regulating the flux of phosphate at the sediment-water interface of a subtropical calcareous lake: a simulation study with intact sediment cores, *Water Air Soil Pollut.* 99, 401-409.
18. Bae, J. O. (1991) A study on forms and release rate of phosphorus in Daechyeong lake sediments, Thesis of Master, Seoul National University, Seoul.
19. Golterman, H. L. (1988) Reflection on fractionation and bioavailability of sediment bound phosphate, *Arch. Hydoriol. Beih.* 30, *Ergebn. Limnol.*, p.1-4.
20. Willams, J. D. H., Shear, H., and Thomas, R. L. (1980) Avalability to *Senedesmus quadricauda* of different forms of phosphorus in sedimentary material from the Great Lakes. *Limnol. Oceanogr.* 25(1), 1-11.