

## 우리나라 서남해안 간척지 및 간석지 토양의 화학적 특성 (II) - 인의 형태별 함량 분포 -

### Chemical Properties in the Soils of Reclaimed and Natural Tidelands of Southwest Coastal Area of Korea (II) - Distribution of Phosphorus Fractions -

조재영\* · 구자웅\*\* · 손재권\*\*

Cho, Jae Young · Koo, Ja Woong · Son, Jae Gwon

#### Abstract

The chemical fractions of phosphorus were investigated in the soils of reclaimed and natural tidelands of southwest coastal area of Korea. The content of total-P varied to ranged from 322 to 614 mg/kg dry weight with a mean value of 467 mg/kg. The order of different fractions of phosphorus in reclaimed tideland soils was as follows: 1) inorganic phosphorus : Ca-P > Fe-P > Al-P > reductant soluble Fe-P. 2) organic phosphorus : Inositol-P > nucleic acid-P > phospholipid-P. The content of Al-P showed negative correlation with organic matter content but showed positive correlation with pH. The content of Fe-P showed negative correlation with clay mineral content but showed positive correlation with organic matter content. Reductant soluble Fe-P and Ca-P were no correlation with soil properties. The content of inositol-P showed highly positive correlation with clay mineral, organic matter content, and CEC.

*Keywords* : Phosphorus, Reclaimed tidelands, Fraction, Plant nutrient

#### I. 서론

토양 중에서 인은 여러 가지 형태로 존재하지만 그 모두가 식물체에 흡수·이행되거나 주변 수환경에 영향을 끼치지 않는 것으로 알려져 있다. 일

반적으로 총인은 크게 무기태 인과 유기태 인으로 분류할 수 있다. 무기태 인은 점토입자 표면에 흡착되어 있거나 철, 알루미늄, 칼슘, 마그네슘과 함께 착화합물을 형성하여 침전물로 존재하거나 인회석 내부에 강하게 결합되어 있다. 또한 유기태 인은 동·식물의 몸체를 구성하기도 하며 주로 유기물질 내에 존재하고 있는 것으로 알려져 있다. 이런 여러 가지 형태의 인 가운데 토양환경의 변화에 따라 식물체로 흡수·이행되거나 용출되어 주변 수질에 영향을 끼칠 수 있는 것은 점토입자 표면에

\* 전북대학교 농업생명과학대학 농업과학기술연구소  
\*\* 전북대학교 농업생명과학대학 생물자원시스템공학부  
\* Corresponding author. Tel.: +82-63-270-2547  
Fax: +82-63-270-2550  
E-mail address: soilcosmos@chonbuk.ac.kr

약하게 흡착되어 있거나 철이나 알루미늄, 칼슘과 착화합물을 형성하고 있는 부위인 것으로 알려져 있다.

지금까지 인의 환경영향평가 및 식물영양학적인 관점과 관련된 국내 연구의 대부분은 총량적인 개념 즉, 총인의 함량을 기준으로 인과 관련된 문제를 접근해 왔다. 우리나라 표토층의 인산흡수력 (Park *et al.*, 1969), 우리나라 토양의 인산흡착능력 (Ryu, 1975), 저위생산담 토양에서 인산시비 효과 구명 (Shim *et al.*, 1971), 신개간지 토양에서 인산비옥도 (Yoo and Lee, 1976), 논토양의 인산유효도 (Chung and Hong, 1977)와 관련된 연구가 일부 수행되어 있다.

기존에 수행된 대부분의 연구결과는 간척지 토양 내에 존재하는 인의 환경생태학적, 식물영양학적인 문제해결과 관련된 접근에서 많은 제한점을 가지고 있다. 토양 내에서 화학반응은 매우 가변적이고 여러 가지 인자가 작용하기 때문에 토양 중에 존재하는 총인과 함께 이들의 화학적 형태별 함량에 대한 연구가 필수적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다. 특히 간척지가 조성된 인근 농지에는 농업용수 확보를 위한 담수호가 건설되어 있는데 이들 담수호의 중·장기적인 수질보전대책을 마련하기 위해서는 간척지 및 간석지 토양 중에서 인의 화학적 형태별 분포에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

본 연구는 우리나라 서남해안 간척지 및 간석지 토양의 화학적 특성을 구명하기 위한 연구의 일부로서 서남해안 간척지 총 10개 지구를 대상으로 102점의 토양시료를 채취하여 간척지 토양 중에 존재하는 인의 화학적 형태별 함량분포를 비교하였다.

## II. 재료 및 방법

우리나라 서남해안 간척지 및 간석지 토양 중에 분포하는 인의 화학적 형태별 함량을 조사하기 위하여 서남해안 4개 지역에 걸쳐 대표성이 있다고 판단되는 10개 지구에서 총 102점의 토양시료를

채취하였다. 토양시료의 채취지점의 유역 특성, 채취방법, 채취시기, 시료보관 및 토양 일반성분에 대한 분석내용은 Cho *et al.* (2006)에 자세히 나타나 있다. 무기태 인과 유기태 인의 분획별 함량 분석은 Chang과 Jackson (1957)의 방법에 기준하였다.

토양 중 무기태 인의 분획별 함량은 Ca-P, Al-P, Fe-P, 그리고 환원가용성 Fe-P 등 크게 4개의 그룹으로 대별할 수 있다 (Chang과 Jackson, 1957). Ca-P는 주로 apatite의 형태로 존재하고, Fe-P, Al-P 등은 토양표면에 침전된 형태로 존재하거나 토양입자와 결합된 형태로 존재한다. 유기태 인은 주로 동식물체 또는 그들의 잔사로 구성되어 있다. 유기태 인의 형태는 phospholipids, nucleic acids, metabolic phosphates, phosphoproteins, 그리고 inositol phosphate 형태로 존재한다. 이들 유기태 인의 함량은 전체 총인의 아주 적은 비율을 점유하고 있는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 총인, 가용성 인, 무기태 인의 분획(Al-P, Fe-P, reductant soluble Fe-P, Ca-P), 유기태 인의 분획(inositol-P, nucleic acid-P, phospholipid-P)에 대한 화학적 특성분석을 수행하였는데, 유기태 인을 구성하는 metabolic phosphates, phosphoproteins은 아주 극미량으로 검출되거나 불검출 되기에 조사대상에서 제외하였다. 본 연구에 사용된 간척지 및 간석지 토양의 물리·화학적 특성은 Koo *et al.*(1998)에 자세히 제시되어 있다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 토양 중 총인의 함량분포

우리나라 서남해안 간척지 및 간석지 토양 중 총인의 함량분포를 조사한 결과는 Fig. 1과 Table 1에 나타내었다. 총인의 함량은 322.1~613.6 mg/kg의 범위로 평균 466.7 mg/kg을 나타내었다. 지역별로는 충청남도의 석문, 대호 및 이원지구에서 평균함량이 500 mg/kg을 상회하고 있는 것으로 조

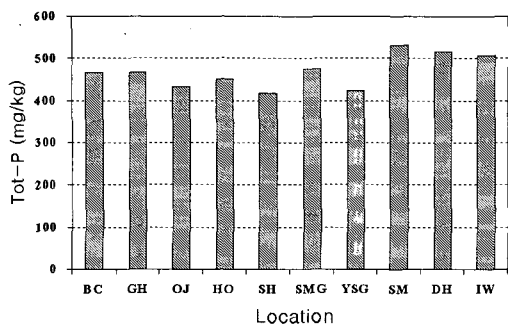


Fig. 1 Distribution of total phosphorus in the soils of reclaimed and natural tidelands of southwest seacoast of Korea

사되었다. Jun (1990)이 조사한 팔당호 퇴적물 중 총인 1,073.5 mg/kg, Paek *et al.* (1998)이 조사한 주남저수지 퇴적물 중 총인의 함량 768.8 mg/kg 보다 낮게 나타나 육지에서의 호소퇴적물보다 낮은 수준으로 조사되었다. 간척지 및 간척지 토양 중 총인의 함량은 우리나라 일반 농지에서의 총인 함량과 유사한 수준으로 조사되었다. 가용성 인의 경우 10.0~99.3 mg/kg의 수준으로 평균 33.2 mg/kg을 나타내었다.

## 2. 토양 중 무기태 인과 유기태 인의 함량 분포

간척지 또는 간척지 토양에 분포하는 인은 그 존재형태에 따라 생물에 이용되는 정도나 이동 가능성이 다르기 때문에 퇴적물 내부 인의 존재형태를 파악함으로써 어느 지역의 퇴적물이 인의 지구화학적 순환에서 얼마나 중요한 역할을 할 것인가를 상대적으로 평가하는 지표로 활용될 수 있을 것이다 (Jun and Park, 1989)

우리나라 서남해안 간척지 및 간척지 토양 중 무기태 인과 유기태 인의 분획별 함량분포를 조사한 결과는 Fig. 2와 3에 나타내었다. Ca-P의 함량은 107.4~293.5 mg/kg의 범위로 평균 207.1 mg/kg을, Fe-P의 함량은 30.5~174.3 mg/kg의 범위로 평균 80.5 mg/kg을, Al-P의 함량은 10.8~104.0 mg/kg의 범위로 평균 50.2 mg/kg을 그리고 환원

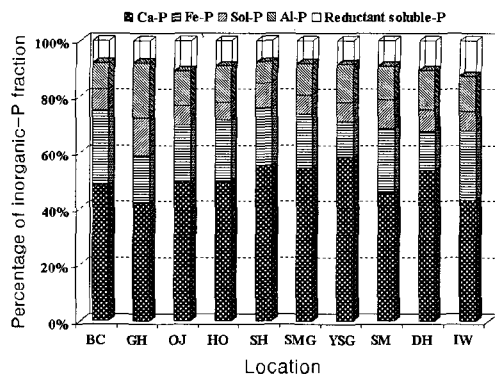


Fig. 2 Fractions of inorganic-P in the soils of reclaimed and natural tidelands of southwest seacoast of Korea

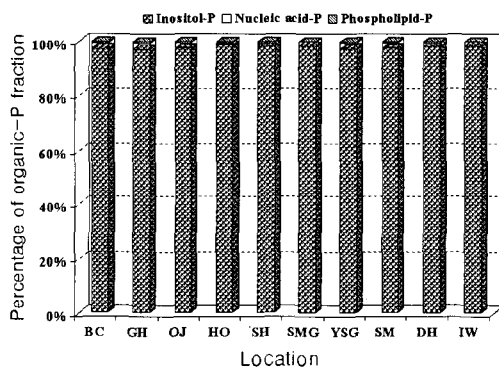


Fig. 3 Fractions of organic-P in the soils of reclaimed and natural tidelands of southwest seacoast of Korea

가용성 Fe-P의 함량은 13.7~81.1 mg/kg의 범위로 평균 36.5 mg/kg을 나타내었다. 화학적 형태별 함량은 Ca-P > Fe-P > Al-P > reductant soluble Fe-P의 순으로 나타났다. 우리나라 간척지 및 간척지 토양 중 무기태 인의 형태별 함량의 40% 이상을 Ca-P가 차지하고 있었다. Ca-P를 제외한 그 밖의 무기태 인 가운데 Fe-P와 Al-P가 차지하는 비율이 높게 나타났다. 고히지구에서는 특별히 Ca-P 다음으로 Al-P가 높게 나타났고, 대호지구와 영산강지구에서는 Al-P와 Fe-P가 유사한 수준으로 그 밖의 조사지구에서는 모두 Al-P보다 Fe-P가 더 높게 나타나고 있었다. 전체적으로 간척지 및 간척지 토양 중 무기태 인의 비율이

Table 1 Mean and concentration range of phosphorus components in the soils of reclaimed and natural tide-lands of southwest seacoast (unit: mg kg<sup>-1</sup>)

|                  |      | Tot-P | Inorganic phosphorus |       |       |          |       | Organic phosphorus |                |                |  |
|------------------|------|-------|----------------------|-------|-------|----------|-------|--------------------|----------------|----------------|--|
|                  |      |       | Sol-P                | Al-P  | Fe-P  | RS-Fe-P* | Ca-P  | Inositol-P         | Nucleic acid-P | Phospholipid-P |  |
| Total<br>(n=102) | Mean | 466.7 | 33.2                 | 50.2  | 80.5  | 36.5     | 207.1 | 36.9               | 0.6            | 0.2            |  |
|                  | SD   | 59.0  | 14.8                 | 21.1  | 26.1  | 12.2     | 31.5  | 11.7               | 0.2            | 0.0            |  |
|                  | Min  | 322.1 | 10.0                 | 10.8  | 30.5  | 13.7     | 107.4 | 16.8               | 0.3            | 0.1            |  |
|                  | Max  | 613.6 | 99.3                 | 104.0 | 174.3 | 81.1     | 293.5 | 56.9               | 1.3            | 0.2            |  |
| BC<br>(n=9)      | Mean | 467.4 | 31.0                 | 39.1  | 109.9 | 32.5     | 199.3 | 27.7               | 0.5            | 0.2            |  |
|                  | SD   | 33.2  | 8.0                  | 9.5   | 19.4  | 3.5      | 23.1  | 5.0                | 0.2            | 0.0            |  |
|                  | Min  | 423.8 | 18.8                 | 29.0  | 90.8  | 27.8     | 146.9 | 19.2               | 0.3            | 0.1            |  |
|                  | Max  | 512.5 | 45.3                 | 55.0  | 154.8 | 37.9     | 232.2 | 36.5               | 1.0            | 0.2            |  |
| GH<br>(n=9)      | Mean | 478.9 | 59.4                 | 81.2  | 75.3  | 34.9     | 182.1 | 21.7               | 0.5            | 0.1            |  |
|                  | SD   | 58.7  | 13.2                 | 17.1  | 10.0  | 12.5     | 20.4  | 4.7                | 0.2            | 0.0            |  |
|                  | Min  | 400.0 | 45.6                 | 48.8  | 65.3  | 19.9     | 145.8 | 16.8               | 0.3            | 0.1            |  |
|                  | Max  | 597.5 | 86.8                 | 102.5 | 97.5  | 60.4     | 203.1 | 29.9               | 0.8            | 0.2            |  |
| OJ<br>(n=9)      | Mean | 426.4 | 25.9                 | 46.1  | 77.9  | 40.8     | 184.3 | 33.8               | 0.6            | 0.2            |  |
|                  | SD   | 31.5  | 8.8                  | 10.1  | 8.2   | 6.5      | 8.6   | 4.0                | 0.1            | 0.0            |  |
|                  | Min  | 389.2 | 18.9                 | 29.8  | 67.3  | 32.1     | 167.8 | 28.0               | 0.6            | 0.1            |  |
|                  | Max  | 489.7 | 43.2                 | 65.4  | 89.5  | 51.2     | 192.1 | 40.6               | 0.9            | 0.2            |  |
| HO<br>(n=9)      | Mean | 452.5 | 24.3                 | 54.3  | 88.1  | 34.7     | 197.3 | 37.7               | 0.4            | 0.1            |  |
|                  | SD   | 37.5  | 6.2                  | 12.6  | 16.6  | 9.3      | 20.5  | 12.0               | 0.1            | 0.0            |  |
|                  | Min  | 398.7 | 13.5                 | 34.8  | 52.3  | 22.9     | 172.0 | 22.8               | 0.3            | 0.1            |  |
|                  | Max  | 501.2 | 31.5                 | 67.5  | 104.3 | 45.6     | 224.6 | 52.2               | 0.5            | 0.2            |  |
| SH<br>(n=9)      | Mean | 419.0 | 32.3                 | 25.8  | 74.5  | 28.0     | 197.6 | 48.7               | 0.6            | 0.2            |  |
|                  | SD   | 30.5  | 7.3                  | 11.3  | 10.9  | 9.8      | 20.9  | 2.7                | 0.3            | 0.0            |  |
|                  | Min  | 387.6 | 22.2                 | 10.8  | 56.8  | 13.7     | 176.6 | 44.2               | 0.3            | 0.1            |  |
|                  | Max  | 467.9 | 45.3                 | 46.5  | 89.6  | 45.3     | 243.1 | 52.2               | 1.3            | 0.2            |  |
| SMG<br>(n=24)    | Mean | 478.3 | 28.5                 | 45.8  | 77.7  | 33.8     | 226.1 | 47.1               | 0.6            | 0.2            |  |
|                  | SD   | 32.3  | 7.1                  | 11.1  | 15.2  | 8.2      | 22.5  | 9.7                | 0.2            | 0.0            |  |
|                  | Min  | 422.5 | 12.2                 | 20.8  | 35.0  | 19.4     | 192.1 | 20.8               | 0.3            | 0.1            |  |
|                  | Max  | 556.9 | 41.3                 | 64.6  | 100.0 | 54.6     | 268.2 | 56.9               | 1.3            | 0.2            |  |
| YSG<br>(n=12)    | Mean | 426.5 | 27.8                 | 51.3  | 48.4  | 32.4     | 219.1 | 27.1               | 0.5            | 0.2            |  |
|                  | SD   | 38.0  | 12.6                 | 19.0  | 13.3  | 11.5     | 16.1  | 3.9                | 0.3            | 0.0            |  |
|                  | Min  | 378.6 | 10.3                 | 32.0  | 30.5  | 19.8     | 198.2 | 20.4               | 0.3            | 0.1            |  |
|                  | Max  | 498.7 | 50.0                 | 97.3  | 70.5  | 53.6     | 254.0 | 33.5               | 1.2            | 0.2            |  |
| SM<br>(n=9)      | Mean | 524.3 | 49.7                 | 52.9  | 106.3 | 40.7     | 218.6 | 34.3               | 0.7            | 0.2            |  |
|                  | SD   | 66.3  | 25.1                 | 23.3  | 21.4  | 9.0      | 55.6  | 9.4                | 0.3            | 0.0            |  |
|                  | Min  | 400.5 | 23.3                 | 18.0  | 83.2  | 32.9     | 107.9 | 24.9               | 0.4            | 0.1            |  |
|                  | Max  | 600.9 | 99.3                 | 79.0  | 146.0 | 57.1     | 275.8 | 49.2               | 1.1            | 0.2            |  |
| DH<br>(n=6)      | Mean | 526.3 | 36.0                 | 70.2  | 58.8  | 42.2     | 235.8 | 37.4               | 0.5            | 0.2            |  |
|                  | SD   | 48.4  | 16.2                 | 22.3  | 17.7  | 11.6     | 34.2  | 8.9                | 0.1            | 0.0            |  |
|                  | Min  | 441.8 | 15.8                 | 32.8  | 33.8  | 28.9     | 209.9 | 24.5               | 0.4            | 0.1            |  |
|                  | Max  | 561.2 | 55.3                 | 88.5  | 81.8  | 54.9     | 293.5 | 45.2               | 0.6            | 0.2            |  |
| IW<br>(n=6)      | Mean | 544.9 | 30.4                 | 59.6  | 120.3 | 56.5     | 203.1 | 48.6               | 0.7            | 0.1            |  |
|                  | SD   | 92.2  | 13.1                 | 34.3  | 36.3  | 23.2     | 21.8  | 2.6                | 0.3            | 0.0            |  |
|                  | Min  | 402.4 | 10.0                 | 18.8  | 78.8  | 33.2     | 180.8 | 45.6               | 0.4            | 0.1            |  |
|                  | Max  | 613.6 | 46.3                 | 104.0 | 174.3 | 81.1     | 225.6 | 52.2               | 1.2            | 0.1            |  |

\*Reductant soluble Fe-P

전체 총인의 약 85% 이상을 점유하고 있었다 (Fig. 4).

인회석의 형태로 주로 존재하는 Ca-P는 토양환경 변화에 따라 즉시 가용화되거나 용출되어 식물 양분으로의 이용 또는 주변 하천생태계에 영향을 끼치기는 어려울 것으로 예상되지만, 토양표면에 침전된 형태로 존재하거나 토양입자와 결합된 형태로 존재하는 Fe-P와 Al-P 등은 토양생태계의 물리화학적 변화에 따라 그 가급도가 달라질 수 있을 것으로 예상된다. 토양표면에 흡착된 인은 물 속에 녹아있던 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.

비인회석태 형태인 Fe-P와 Al-P은 수층 생태계의 물질순환체에서 다른 형태의 인보다 식물체에 단기간에 이용된다는 점 때문에 관심의 대상이 되고 있을 뿐만 아니라 도시하수 및 산업폐수의 유입이 직접적으로 일어나는 곳에서 비인회석태 인이 가장 많이 검출되므로 그 변화양상을 지속적으로 모니터링 하여 효율적인 관리가 이루어질 수 있도록 하여야 할 것이다.

유기태 인의 화학적 형태별 함량을 조사한 결과 inositol-P의 함량은 16.8~56.9 mg/kg의 범위로 평균 36.9 mg/kg을 나타내었고 그 밖의 nucleic

acid-P와 phospho-lipid-P는 미량으로 검출되었다. 간척지 및 간척지 토양 중 유기태 인은 주로 inositol-P가 검출되었다. 유기태 인은 총인의 약 8% 비율로 나타났다. 주로 동식물체 또는 그들의 잔사로 구성되어 있는 유기태 인은 토양 내에서 무기화되는 정도가 매우 느리므로 즉시 식물반응을 나타내지는 않을 것으로 판단된다. 그러나 토양으로부터 토사와 함께 유출된 유기물질이 장시간에 걸쳐 무기화작용을 받을 경우 서서히 용출되어 주변 하천생태계에 바람직하지 못한 영향을 끼칠 수도 있을 것으로 예상된다.

### 3. 토양 중 인의 화학적 형태별 함량과 토양특성과의 관계

총인의 경우 토양 중 점토함량과 유의성 있는 부(負)의 상관을 나타내었다. 일반적으로 토양 중에 존재하는 총인의 경우 점토함량과 유의성 있는 정(正)의 상관관계를 보일 것으로 예상되었는데 본 조사에서는 반대의 결과를 나타내었다. 이는 간척지 및 간척지 토양 중에 분포하는 총인의 경우 토양의 점토함량에 큰 영향을 받지 않고 있음을 보여주는 지표로 판단된다. 가용성 인의 경우에는 유기물 함량과는 고도의 유의성 있는 부의 상관을 나타내었으나, 토양의 양이온교환용량과 수소이온농도와는 유의성 있는 정의 상관을 나타내었다. 무기태인 가운데 Al-P는 유기물 함량과는 부의 상관을 수소이온농도와는 정의 상관을 나타내었다. Fe-P의 경우에는 점토함량과는 부의 상관을, 유기물 함량과는 정의 상관을 나타내었으나, 환원가용성 Fe-P와 Ca-P는 토양특성 즉, 점토함량, 유기물함량, 양이온교환용량 및 pH와는 상관관계가 나타나지 않았다. 유기태 인 가운데 inositol-P는 점토함량, 유기물함량 그리고 양이온교환용량과 고도의 유의성 있는 상관관계가 나타났다. 이러한 결과는 일반적으로 예상해 볼 수 있는 것으로 토양 중에 존재하는 유기태 인의 대부분이 유기물질 즉, 동식

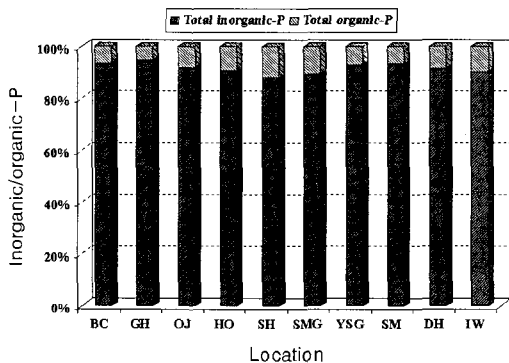


Fig. 4 Comparison of inorganic-P and organic-P in the soils of reclaimed and natural tidelands of southwest seacoast of Korea

Table 2 Correlation coefficients for relationships between phosphorus forms and soil properties

|      | Tot-P  | Sol-P   | Inorganic-P |         |         |       | Organic-P  |                |                |
|------|--------|---------|-------------|---------|---------|-------|------------|----------------|----------------|
|      |        |         | Al-P        | Fe-P    | RS-Fe-P | Ca-P  | Inositol-P | Nucleic acid-P | Phospholipid-P |
| Clay | -0.24* | -0.07   | 0.18        | -0.27** | -0.13   | -0.12 | -0.28**    | -0.33***       | -0.16          |
| OM   | 0.07   | -0.27** | -0.25*      | 0.21*   | 0.05    | 0.01  | 0.82***    | 0.08           | 0.03           |
| CEC  | -0.12  | 0.26**  | 0.06        | -0.08   | -0.02   | -0.11 | -0.30**    | -0.31**        | -0.11          |
| pH   | 0.10   | 0.21*   | 0.21*       | 0.02    | 0.11    | -0.17 | -0.17      | -0.01          | -0.07          |

\*, \*\*, \*\*\*: Significant at the 0.05, 0.01, 0.001 levels, respectively.

물체의 잔사로부터 유래되는 것과 관련이 있을 것으로 예상된다. Nucleic acid-P는 점토함량과 양이온교환용량과 유의성 있는 상관관계를 나타내었으나 phospholipid-P는 조사대상 토양특성과 유의성 있는 상관관계가 나타나지 않았다(Table 2).

#### IV. 요약 및 결론

우리나라 서남해안 간척지 및 간척지 토양 중에 분포하는 인의 화학적 형태별 함량을 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 토양 중 총인의 함량은 322.1~613.6 mg/kg의 범위로 평균 466.7 mg/kg을 나타내었다. 지역별로는 충청남도의 석문, 대호, 이원 지역에서 평균 함량이 500 mg/kg을 상회하고 있는 것으로 조사되었다. 간척지 및 간척지 토양 중 총인의 함량은 우리나라 일반 농지에서의 총인 함량과 유사한 수준으로 조사되었다. 가용성 인의 경우 10.0~99.3 mg/kg의 수준으로 평균 33.2 mg/kg을 나타내었다.

2. 무기태 인과 유기태 인의 분획별 함량분포를 조사한 결과 무기태 인의 화학적 형태별 함량은 Ca-P > Fe-P > Al-P > reductant soluble Fe-P의 순으로 나타났다. 전체적으로 간척지 및 간척지 토양 중 무기태 인의 비율이 전체 총인의 약 85% 이상을 점유하고 있었다. 유기태 인의 화학적 형태별 함량을 조사한 결과 inositol-P의 함량은 16.8~56.9 mg/kg의 범위로 평균 36.9 mg/kg을 나타내었고 그 밖의 nucleic acid-P와 phos-

pholipid-P는 미량으로 검출되었다.

3. 인회석의 형태로 주로 존재하는 Ca-P는 토양환경 변화에 따라 즉시 가용화되거나 용출되어 식물양분으로의 이용 또는 주변 하천생태계에 영향을 끼치기는 어려울 것으로 예상되지만, 토양표면에 흡착된 인은 물 속에 녹아있던 인이 점토 등의 표면에 전기적으로 흡착된 Fe-P와 Al-P 등은 그 결합력이 약하여 퇴적물 입자의 교란이나 수층의 pH나 인 농도의 변화 등에 의해 쉽게 수층으로 이동되어 주변 생태계에 바람직하지 못한 영향을 끼칠 수 있으므로 지속적인 모니터링과 관리가 필요할 것으로 판단된다.

#### References

1. Chang, S. C., and M. L. Jackson, 1957. Fractionation of soil phosphorus, *Soil Sci.* 12, pp. 133-144
2. Cho, J. Y., J. W. Koo, and J. G. Son, 2006. Chemical properties in the soils of reclaimed and natural tidelands of southwest coastal area of Korea. I. Distribution of Heavy Metal Fractions, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 48(1): pp. 3-10. (in Korean)
3. Chung, Y. K., and C. W. Hong, 1977. Phosphorus availability of water-logged soil, *Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 10(1): pp. 55-60. (in Korean)
4. Jun, S. H., 1990. Forms and mobility of

- pollutants retained in the sediments from the Han river, *Korean Journal of Limnology* 23(1): pp. 31-42. (in Korean)
5. Jun, S. H. and Y. A. Park, 1989. Forms and mobility of sediments phosphorus in lake Soyang, *Korean Journal of Limnology* 22(3): pp. 261-271. (in Korean)
  6. Paek, S. B., B. H. Moon, and G. T. Son, 1998. Characteristics of distribution on speciation of phosphorus in the sediment of Junam reservoir, Changwon National University Environmental Research Institute Collected Papers. 7: pp. 187-192. (in Korean)
  7. Park, C. S., K. H. Han, S. K. Lim, and J. H. Lee, 1969. Studies on the absorption capacity of phosphorus of Korean top-soils, *Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 2(1): pp. 1-13. (in Korean)
  8. Ryu, I. S., 1975. Comparison between phosphorus absorption coefficient and Langmuir adsorption maximum, *Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 8(1): pp.1-17. (in Korean)
  9. Shim, S. C., K. J. Song, and C. J. Kim, 1971. The effect of a soil amendment on phosphate efficiency in a low productive paddy soil, *Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 4(1): pp. 21-26. (in Korean)
  10. Shin, C. W., J. J. Kim, and J. H. Yoon, 1988. Studies on the characteristics of phosphorus in the upland soil I. Composition of accumulated phosphorus forms and available phosphorus, *Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 21(1): pp. 21-29. (in Korean)
  11. Yoo, S. H., and W. C. Lee, 1976. Improvement of the phosphate fertility in a newly reclaimed hilly Land. I. sorption technique for the estimation of P requirement as related to the application method, *Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 9(4): pp. 251-256. (in Korean)