

농지에 환원을 하기 위한 인(燐)의 회수

農地に還元するための燐の回収について

글 / 柳田 友隆
(T. YANAGITA)
농학박사.

/ 松並 壯
(T. MATSUNAMI)
수도·위생공학기술사,
한국기술사회 특별회원.

要略文

今まで農地に施肥する肥料中の燐は排水口に流せて捨てたものである。ところが排水中の燐を新たに開發された吸着材を使って回収すれば肥料資源として再用出来る外、窒素、燐を含む‘汚泥から’發生する環境汚染問題の幾分かを解決する様になる。

日本は燐の埋藏量が限られておるので衛生工學的技術として農業に極めて重要な燐資源を回収し循環使用の可能性を見出した燐吸着素材の開發は極めて意義ある事である。

1. 처음에

일본은 패전 후 선진국 진입을 위하여 제1차 산업에서 탈출하여 제2차 제3차 산업으로 지향하다 보니 도시와 공업화가 극단적으로 비대화하여 인구도 제2~3차 산업으로 대량 이동해 버렸다. 일본의 하수도정비사업도 이런 공업화 추세에 따라 도로와 더불어 도시기반정비사업, 특히 홍수 범람의 방어를 힘을 썼다. 하수도정비 목적은 위생적인 거주 공간의 구축이지만 20세기 후반에 와서는 아름다운 물환경보존이라는 목적이 부가되어 영국식 하수의 2차 처리로부터 부(富)영양화 방지를 위한 처리로 이행되고 있다. 즉 하수중의 오탁물이 식물(농수산물)의 육성에 대단히 유효한 자원이라는 개념이 없었던 것이다.

현재 일본에서는 하수도의 오니(汚泥) 처리 처분이 최대의 과제가 되고 있는데 토양의 무기화는 농업에서는 심각한 문제가 되고 있다. 여기에다 이 오니의 처리 처분뿐만 아니라 질소 인(燐)의 처분은 환경오염의 문제로 대두되어 그 대책이 필

요하게 되었다. 그런데 일본의 농수산물의 생산력은 확실히 낮아 식량 자급률은 30%에 못 미치는 상황이다. 하수 중에는 유기 오니 뿐만 아니라 농작물에서 중요한 비료의 3요소인 「질소, 인, 칼리」 중 부영양화의 원인이 되는 질소·인이 많이 포함되어 있다. 이 질소·인 비료에 대하여 자원적 관점에서 본다면 질소비료에 대하여는 국내에서 생산이 과잉인 반면 「인(燐)은 그 매장량이 한정되어 있고 지금까지와 같이 일반적으로 인을 소비하면 향후 35~50년 정도이면 고갈되어 버린다」고 하는 상황에 있다.

따라서 인에 대해서는 환경보전을 위해서 하수 처리장 내에서 제거 처리하여 산업폐기물을 생성케 할 것이 아니라 인을 회수하여 농지에 환원할 수 있게 하는 기술을 개발할 필요가 있다. 이 기술의 활용은 21세기에 식량 부족이 예상되는 시기에 단지 오니 처리 이상으로 인류의 생존상 극히 중요한 요소가 되는 것이다.

이 글은 위 관점에서 보아 배수중의 인(燐)을 농지비료자원으로 회수하여 환원시킬 수 있도록

개발된 흡착제와 그 이용에 대하여 정리한 내용이 되는 것이다.

2. 흡착소재(吸着素材)에 대하여

수중에서 인을 제거하는 방법으로는 당초 물리화학처리법이 주류이었으나 요사이는 생물학적 처리법에 의한 기술이 개발되어 이미 현실적으로 적용되고 있다. 그런데 이 기술은 설치 면적이 크고 제어 방법이 복잡하면서 유지관리가 어렵기도 하다. 또한 제거능력에 한계가 있고 또한 발생된 오니를 그대로 유효하게 이용이 안되고 산업폐기물로서 처리 처분하지 않으면 인되는 등 여러 문제가 있다. 따라서 수용액(水溶液) 중의 인을 흡착·회수가 가능하며 다시 그것을 비료로 농지에 돌릴 수 있는 토양을 소재로 하였다.

2.1 흡착제의 제조

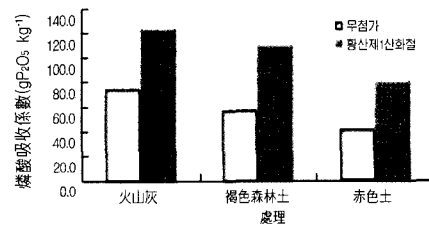
〈표 1〉에 나타난 이화학적(理化學性)을 갖는 火山灰土, 갈색삼림토, 적색토 3종류의 풍건토양(風乾土壤)의 2mm체를 통과시킨 시료에 황산제1철 20%를 첨가하여 균일하게 혼합한 후 믹서에 넣어 섞어가면서 입자형으로 한 후 다시 말리

〈표 1〉 공시(供試)토양의 이화학적(理化學性)

粒徑(mm)	火山灰土	褐色森林土	赤色土
ph	6.17	5.44	4.52
EC(ds/m)	0.12	0.21	1.25
CEC(cmol(+)/kg)	16.70	15.70	5.50
T-C(g/kg)	25.30	2.50	2.10
T-N(mg/kg)	2.09	0.40	0.53
磷酸吸收係數(g/kg)	43.40	23.90	29.80
粗砂(%)	3.50	7.00	17.10
細砂(%)	49.30	36.60	26.80
실트(%)	33.40	18.80	28.00
粘土(%)	13.80	37.60	28.10
土性	L	LiC	LiC

고 전기로에 넣어 500°C로 15분간 가열 처리한 것을 흡착제로 썼다.

〈그림 1〉에 표시한 것 같이 화산회토, 갈색삼림토, 적색토의 인산(磷酸)흡수 계수는 황산제1철 첨가, 가열 처리에 의하여 무첨가가열처리보다 상당히 증가한다. 3종류의 토양을 황산제1철 첨가가 열처리한 흡음재의 인산흡수계수의 증가율은 각각 66.5%, 90.4%, 91.0%로 갈색삼림토, 적색토의 황산제1철 첨가, 가열처리물의 증가는 현저하다. 인산흡수계수의 증가는 토양중의 활성철, 유리철(遊離鐵), 활성Al, 유리Al의 증가와 일치했다.



〈그림 1〉 유산제1철 첨가·가열처리의 영향

2.2 흡착제의 특성

2.2.1 조성(組成)과 물리성

흡착제의 조성과 물리성을 〈표 2〉~〈표 5〉에 나타낸다. 입경은 2~3mm로 가볍고 다공질이며 투수성이 빠르고 비표면적이 높다. 무게 2.5kg의 금속제 RANMAR를 10cm 위에서 낙하 후 2.0mm 이하로 붕괴한 것은 10% 이하였다. 또 1일 1회 10분간의 폭기를 1년간 계속해도 인(磷)흡착제의 붕괴율은 8% 이하로 용적의 변화는 적었다.

〈표 2〉 인흡착제의 조성성분

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	열량 減量
28.16	23.69	20.44	1.17	0.20	1.50	2.27	0.53	0.49	0.25	4.21	17.53

〈표 3〉 인흡착제의 물리성

飽和透水 係數(m/s)	眞比重 (g/cm)	嵩比重 (g/cm)	粒徑內의孔 隙率(%)	總孔隙率 (%)	比表面積 (m ² /g)
4.1×10 ⁻³	2.65	0.75	40.8	71.7	107

기술 자료

〈표 4〉 고탈(叩打)에 의한 인흡착재의 붕괴율(%)
(篩分法)

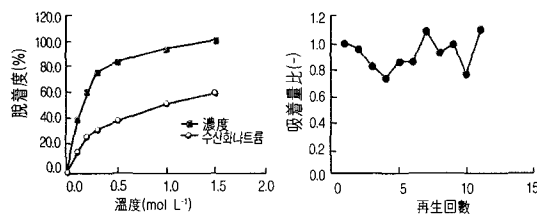
粒徑(mm)	叩打前	叩打後
>2.00	100.0	90.0
2.00~1.00	0.0	5.8
<1.00	0.0	4.2

〈표 5〉 역세(逆洗)에 의한 인흡착재의 붕괴
(0.85~0.50mm)

粒徑(mm)	逆洗前の重量(g)	逆洗後の重量(g)	崩壊率(%)
0.85 ~ 0.50	195.0	179.6	92.1
0.50 ~ 0.25		13.5	6.9
0.25 이하		1.9	1.0

〈표 6〉 인흡착재의 화학성

PH (H ₂ O)	磷酸吸收係數 (g P ₂ O/kg)	陽이온交換容量 (cmol(+)/kg)	陰이온交換容量 (cmol(+)/kg)
5.6	82.0	12.8	2.9



〈그림 2〉 재생결과(再生結果)

2.2.2 흡착특성

① 인산(磷酸) 10N의 흡착등온선

흡착재의 흡착평형등온선은 freundlich형의 흡착 등온식에 적용되고 저온도부터 고농도 인역(磷域)에 따라 높은 흡착력을 나타낸다. 인흡착량은 평형 흡착량에 달하는 일수가 길다는 것이 나타난다.

② 흡착재에 의한 형태별 무기태인(無機態磷)의 제거

③ 흡착재에 의한 Tri-poly인의 제거

④ pH가 무기태 Tri-poly인의 흡착에 미치는 영향 흡착재에 지정한 인산용액을 각각 100ml 첨가

하고 0.5, 1.4, 24시간마다 용액중의 인농도를 측정하였다. 흡착재의 흡착능력, 흡착속도는 pH가 낮을수록 흡착능력이 높고 흡착속도도 빨랐다. pH5.3의 용액중의 인농도는 pH9.0 보다 낮고 흡착량이 컸다. 어떤 pH에서도 흡착평형에 달하는 데는 90일간 이상을 요했다. 또 원수(原水)의 초기 pH가 달라도 처리수의 pH는 중성에 가깝다.

⑤ 산성 및 알칼리성 조건에서의 인의 제거

pH를 5.3, 9.0으로 조정한 6.40mg P₀₄-P/L의 용액을 30℃의 조건 하에 1/2000량의 흡착재를 가하여 계속 저어서 1주간마다 인농도를 측정하였다. 공시 입경은 0.27~0.46mm 이었다. 인농도는 pH에 불구하고 현저하게 저하하였다.

3. 적용례

3.1 하천수

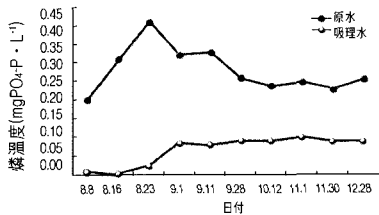
1995년 8월부터 12월에 걸쳐 치바현 高澆담에 유입되는 德氏川의 물을 사용하여 흡착재 200L 충전한 흡착탑에 연속 통수하여 3개월간 수질정화시험을 행하였다. 처리수의 체수 및 수질 분석을 일주일간마다 시청 환경부에서 시행하였다. 운전은 8월 8일~8월 23일간의 SV치를 5.0으로 행해졌다. 흡착재의 사용에 따라 하천수의 인농도가 현저하게 저하하였다. 또 SS, COD, BOD의 제거 효과도 인정되었다.

3.2 수경지(修景地)

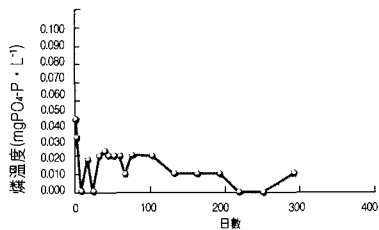
동경 시내 프린스 호텔 내 200m³ 용량의 수경지(修景地)에 대하여 용량비 0.5%, 1m³의 흡착재를 산포하였다. 수중의 인농도는 당초 0.04mgP₀₄-P/L이었던 것이 2년 경과 후의 지금(2000. 11)에도 0.02mgP₀₄-P/L 이하의 상태를 유지하고 있다. 그간 물고기류의 생식에는 아무 영향이 없었던 것이 인정되었다.

3.3 하수 2차 처리수

동경 시내 모 전문학교 연구실에서의 논문에 의하면 원수(原水)의 농도 약 $3.2\text{mgPO}_4\text{-P/L}$ 로 SV는 1.0 이었다. <그림 3>에 나타난 것과 같이 40일간은 거의 흡착되고 인농도를 $1.0\text{mgPO}_4\text{-P/L}$ 로 유지되는 일수는 pH가 낮을수록 길고 pH7.5에서는 58일간, pH6.0에서는 100일 이상이었다.



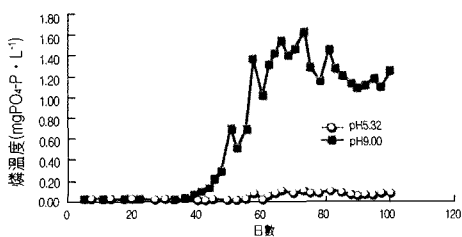
<그림 3> 하천수에서 인흡착제에 의한 인의 제거



<그림 3> 수경지에서의 수중의 인변화

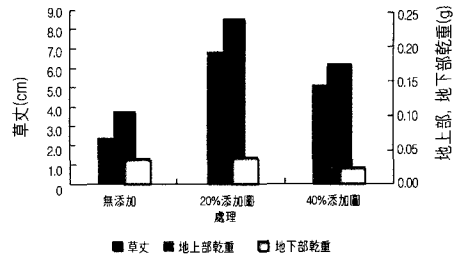
3.4 흡착제의 무 재배시험

사용이 된 흡착제를 용적비 0%, 20%, 40%를 첨가하여 무 파종을 하였다. 재배기간은 22일간이었다. 그 결과를 <그림 4>에 나타낸다. 사용한 흡착제의 첨가에 의해서 무의 생육은 촉진되었고 무의 지상부와 지하부가 다 그 무게가 증가하였다. 무의 생육의 촉진 효과는 20% 첨가치가 가장 컸었다. 이 사실로 보아 사용이 끝난 흡착제는 야채



<그림 4> 흡착 후 수질 변화(하수2차처리수)

재배 토양으로서 유효하게 환원 활용이 됨을 증명할 수 있었다.



<그림 5> 사용제(使用劑) 흡착제의 첨가가 20일 대근(大根)의 생육(生育)에 미치는 영향

4. 결론

21세기를 맞이하는 일본은 1차 산업을 경시한 발전에 한계가 오고 있으며 지속 가능한 순환형 사회의 구축이 요구된다.

그런 의미에서 하수를 자원으로 포착하여 위생공학기술을 구사하여 농업에 극히 중요한 인(燐)자원을 회수하여 순환사용의 가능성을 보인 것은 극히 뜻있는 일이다. 흡착 처리된 수중의 인농도가 종래의 처리수 농도 보다 저농도가 된다는 것은 환경보전을 위해서 평가할 만한 일이다. 금후 실용화하기 위해서는 회수 프로세스뿐만 아니라 인비료의 유통경로의 확립까지 검토할 필요가 있다. 여하튼 농학에서의 지혜를 위생공학과 결부시킨 일은 21세기를 바라보는 물처리기술로서 한번 음미해 볼만하다.

산업혁명 이후 화석 연료, 광물 그리고 비료 성분을 포함하는 자원의 고갈과 더불어 최종적으로 식량이나 생존 가능한 토지가 소멸하는 일이 예상되는 21세기를 맞이하여 누가 하더라도 하수 중에 포함된 농업, 수산업에 유효한 자원의 회수, 환원에 뜻을 두어야 할 것이다. 이 글이 그 초석이 된다면 대단히 기쁜 일이 될 것이다.