

P306

## 농업유역으로부터 유출되는 부유물질의 특징과 부영양화에 미치는 잠재적 영향 평가

사승환<sup>DI</sup>, Takanori Masuda<sup>1</sup>, Yoshihiko Hosoi<sup>1</sup>

Department of Social Systems Engineering, Tottori University, Tottori 680-8552, Japan

현재, 비점오염원으로부터 유출되는 오염물질은 호소 등의 수계의 수질에 악영향을 미치는 주된 오염원으로 지적을 받고 있다. 비점오염물질은 강우시 단기간에 많은 양이 수계로 유입되는 특징을 가지고 있으며, 이때의 오염물질의 많은 부분은 입자형태로 되어있다. 특히 총인의 경우는 많은 연구에 의하여, 강우시 유입부하량이 연간유입 부하량의 큰 비율을 차지하며, 또한 부유물질에 흡착된 인의 비율이 크다고 알려져 있다. 이러한 입자형 인은 수계로 유입된 뒤 부유물질의 침전으로 인해 많은 양이 수계바닥에 퇴적되나, 여러 조건에 의하여 용출됨으로써 조류의 성장을 초래하며, 부영양화를 가속시킨다. 한편 유역으로부터 호소에 유입하는 이러한 입자성 인이 실제 얼마나 주중에 회귀하며, 식물플랑크톤생산에 기여를 할 것인가라는 생물이용가능성 (bio-availability) 또는 조류이용가능성 (alga-availability)에 관하여는, 한국과 일본에서는 그다지 검토가 되어있지 않다. 반면 해외에서는 토양입자, 부유물질, 저니 등과 같은 입자성물질에 함유되어 있는 인의 생물이용가능성과, 입자의 특성을 주제로 지난 10년간 많은 연구가 진행되었다. 생물이 이용 가능한 인을 통상 Bio-Available Phosphorus (BAP)라 부르고 있으며, 이는 즉시 사용될 수 있는 인과 자연적으로 발생하는 어떤 과정에 의해 이용 가능한 형태로 변형될 수 있는 인의 합으로 정의되고 있다. 즉, 생물(조류)이 잠재적으로 사용할 수 있는 인의 부분을 포함시킨 개념이라고 할 수 있다. 본고에서는 과거의 연구를 정리하여, 측정 및 평가방법을 소개하고, 일본의 돗토리현에 위치한 코야마호 유역을 대상으로 한 조사 결과를 보고하고자 한다. 생물이용가능한 인에 대한 측정 및 평가방법은 많은 연구자들에 의해서 제안이 되고 있지만, 아직 확정된 표준적인 방법은 없다. 크게 화학적 방법과 생물학적 방법으로 나누어 볼 수 있다. 화학적 방법으로 Apataite-P (AIP), Non-apataite-P (NAIP)와 유기태 인으로 나누는 방법이며, NAIP와 유기태 인을 합하여 BAP로 표시하는 방법을 들 수 있다. 가장 널리 사용되는 방법은 토양학에서 주로 사용하는 Chang & Jackson 법이다. 1N NH<sub>4</sub>Cl, 0.5N NH<sub>4</sub>F, 0.1N NaOH, 0.5N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>를 연속적으로 사용하여 추출분리하는 방법이다. 이는 각각 수용성 인, Al 결합 인, Fe 결합 인, Ca 결합 인에 해당한다. 최근에는 간단히 0.1 또는 0.5N HCl과 0.1N NaOH를 사용하여 추출하는 방법을 많이 사용하고 있는 추세이다. 또 FeO-strip 방법도 많이 사용되고 있다. 생물학적 방법은 특정 식물플랑크톤을 사용한 algal assay법으로, 미국 EPA에서는 *Selenastrum capricornutum*을 이용한 algal growth potential (AGP) bioassay법을 BAP를 평가하는 표준 방법으로 채택하고 있다. 그러나 장기적인 평가가 어렵다는 지적을 받고 있다. 보고된 BAP 값을 정리한 문헌에서는 BAP/PP로서 AGP에 의하여 약 10~50%의 범위로 평균 30% 정도를 나타내며, 화학적 방법으로는 10~70%의 범위로 평균 30%로 말하고 있다. 또 다른 문헌에서는 BAP/PP를 0~95%로 보고하기도 한다. 코야마호 유역에서 관개기와 비관개기에 강우시 유출되는 탁류와 토지이용별 토양을 이용하여 부유물질의 생물이용가능성을 평가해 보았다. 강우시 유출되는 탁류의 입도분포는 각 하천별로 다르며, 시간에 따라서도 달랐다. 전체적으로 입자의 면적비로 보았을 경우 약 10~100 μm사이의 입자가 많이 유출되는 것으로 나타났다. 또한 관개기와 비관개기에 입도분포의 차이를 보이는데, 비관개기의 경우가 피크값이 더 크며, 작은 입자의 유출이 많은 것으로 나타났다. 이때 하천의 BAP/TP의 비와 PCOD/SS의 비를 구하였다. 양 비율의 변화도 입도분포의 변화와 같이 시간별, 유역별로 다른 값을 보이며, 변화의 폭도 관개기의 경우보다 비관개의 변화가 더 컸다. 이는 유출되는 부유물질의 특성이 시간에 따라 유역에 따라 다르다는 것을 말해주고 있다. 코야마호 유역에서는 BAP가 유출되는 총인의 약 60~80%를 차지하고 있다. 강우시 유출되는 부유물질의 대부분이 토양에서 기인된 것으로 생각하여, Nagara유역과 Obatake 유역의 토양을 대상으로 물리적/화학적 특성을 조사하여 보았다. 입도분포를 보면 논이 작은 입자들을 밭과 산림토양에 비하여 많이 함유하고 있었으며, 탁류의 입도분포의 대부분을 차지했던 200 μm이하의 고운모래는 약 40~60%를 포함하고 있었다. 비중은 2.52~2.58 사이의 값을 보였으며, 토지이용과 유역별로는 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나, 입자의 크기가 작을수록 비중이 작아지는 경향을 보였다. 탄소와 질소의 함유량은 산림>논>밭의 순으로 나타났으며, 작은 입자일수록 함유량이 많은 것으로 나타났다. N/P비를 보면 밭과 논 토양이 산림 토양에 비하여 매우 낮은 값을 보였다. 이는 농업활동에 의한 비료의 축적에 기인한 것으로 생각이 된다. 입자성 인의 생물이용가능성을 평가하기 위해 H<sub>2</sub>O-추출 인, NH<sub>4</sub>Cl-추출 인, NaOH-추출 인, HCl-추출 인, 유기태 인으로 분리하여 측정하였다. 총인 (TP)의 함유량은 밭>논>산림 토양순이었으며, 입자가 작아질수록 함유량이 큰 것으로 나타났다. 모든 토양 시료에서 NaOH-추출 인과 유기태 인의 함량비가 큰 것으로 나타났으며, 밭 토양에서 H<sub>2</sub>O-추출인과 NH<sub>4</sub>Cl-추출인의 함량이 다른 토지이용의 시료보다 많은 것으로 나타났다. 이상의 결과를 모델을 이용하여 Obatake 유역에서 유출되는 부유물질에 함유되어 있는 인의 생물이용가능성을 평가하였다. 유출범용도양손실공식 (USLE)을 이용하여 유출토사량을 계산하고, 여기에 강우시 유출되는 탁류의 입도분포와 토양의 입도별, 형태별 인의 함유량을 적용함으로써 탁류로 유출되는 각 형태별 인을 계산하였다. 모의한 결과, 밭이 유역에 대한 면적비는 작지만, BAP의 유출 가능성이 가장 크며, 유출 즉시 생물에 이용 가능한 형태로 많이 유출될 수 있음을 보였다.