

2018 하계 환경연수프로그램
연구결과 보고서

환경에서의 수은 거동, 생체 노출, 기술 평가에 관한 연구

포항공과대학교 환경보건평가연구실
지도 교수: 권 세 윤

경희대학교 환경학및환경공학과
양 요 한

제출일자 : 2018년 7월 11일

1. 서론

현재 국제사회에서는 수은배출과 관련된 문제로 인한 환경 및 인류 보건 피해가 심각하게 야기되고 있다. 앞으로의 수은과 관련된 문제는 더욱더 크게 대두되고 있다. 이에 따라 수은 배출을 줄이기 위해 각국이 모여 2013년 1월 유엔환경계획(UNEP) 제5차 정부 간 협상이 이루어졌고, 공식적인 조약인 미나마타 협약이 2013년 10월 일본 미나마타에서 체결되었다. 이는 2020년부터 전지, 형광등, 고압 수은 등(램프), 액정화면표시장치(LCD)용 램프, 혈압계, 농약, 소독제 등 상대적으로 수은 함량이 높은 제품의 생산·수출입을 금지하고 수은을 배출하는 인위적인 활동 (fossil fuel combustion, cement production, metal smelting)에 수은 캡처 기술 (mercury capture technology)을 도입함으로써 대기 배출량을 줄이는 게 목표이다.

국립환경과학원 조사에 따르면 2010년 기준 국내 대기 수은 배출량은 7톤으로 다른 국가에 비해 비교적 낮은 것으로 나타났다 (34위). 국립환경과학원 조사 2011년 기준 국내의 금속 수은 수입량이 10.2톤이었다. 수입한 금속 수은은 형광등과 LCD용 램프에 7.3톤, 치과용 아말감에 1톤, 혈압계 등 측정기기에 0.8톤이 쓰였다. 전지에 담겨 한국에 들어온 수은도 5.74톤에 달해 소규모 사업장등에서 사용하는 수은 사용량이 절대적으로 많은 양을 차지해 이에 관한 대응이 시급한 시점이다.

또한 우리나라는 중국의 영향을 많이 받는다. 중국은 국내에 비해 80배 가량 많은 수은을 대기로 배출하고 현재 배출량 1위를 차지하고 있다. 하지만 중국의 영향이 얼마 정도인지 아직 파악되지 못한 상태이다.

따라서 본 연구에서는 1) 해양 생태계의 수은 노출 평가, 2) 대기 환경에 의한 육상 생태계의 수은 영향 평가, 3) 농산물에서의 수은 처리 기술의 유효성 평가 총 3가지의 보건의적, 과학적, 공학적 접근을 이용해 수은에 관련된 연구를 시행하고 국제 미나마타 수은 협약에 대응하고자 하였다.

2. 실험

2.1. 해양생태계의 수은 노출 평가

본 실험에서는 해양 생태계의 수은 거동과 생체노출평가의 기본이 되는 연구로서 대한민국 국민들의 식생활과 가장 밀접한 관련이 있는 수산물의 수은거동을 확인하고 생체노출평가를 진행하고자 하였다. 그 중 양식 수산물과 자연산 수산물을 선택하여, 양식 수산물에서는 사료의 영향과, 그리고 자연산 수산물을 통해 해당 해역의 Food Web을 관찰함으로써 수은 축적의 거동을 보고자 하였다.



그림 1. 양식 넙치 해부 및 수은분석.

양식 수산물로서는 대한민국 국민들이 가장 많이 소비하고있는 어종 중 국립수산물학원 사료연구센터의 넙치를 그림 1와같이 간, 신장, 장, 등 근육의 부위별로 나누어 수은축적 거동을 분석하였다. 넙치는 총 12주간 다양한 농도의 무기 수은과 유기 수은을 사료에 배합시켜 노출시킨 연구다. 각 수은의 화학종이 생체에서 어떻게 distribute되고 accumulate 되는지를 관찰하기 위해 각 부위의 무기수은과 유기수은 농도를 분석하였다. 분석은 Brookstrand CV-AFS를 통해 진행하였고, 또한 각 부위별 수은 동위원소 분석을 통해 생체내에서의 수은의 생물학적 경로를 파악하였다.

2017년 3월 어종별 수은분석 결과 (간: 등근육)												2017년 6월 어종별 수은분석 결과 (간: 등근육)												2017년 9월 어종별 수은분석 결과 (간: 등근육)												2017년 12월 어종별 수은분석 결과 (간: 등근육)											
부위	무기수은	유기수은	총수은	δ152Hg	δ154Hg	δ156Hg	δ157Hg	δ158Hg	δ159Hg	δ160Hg	δ161Hg	부위	무기수은	유기수은	총수은	δ152Hg	δ154Hg	δ156Hg	δ157Hg	δ158Hg	δ159Hg	δ160Hg	부위	무기수은	유기수은	총수은	δ152Hg	δ154Hg	δ156Hg	δ157Hg	δ158Hg	δ159Hg	δ160Hg	부위	무기수은	유기수은	총수은	δ152Hg	δ154Hg	δ156Hg	δ157Hg	δ158Hg	δ159Hg	δ160Hg			
간	21.985	4	25.985	1.2085	1.2105	1.2125	1.2145	1.2165	1.2185	1.2205	1.2225	간	21.985	4	25.985	1.2085	1.2105	1.2125	1.2145	1.2165	1.2185	1.2205	간	21.985	4	25.985	1.2085	1.2105	1.2125	1.2145	1.2165	1.2185	1.2205	1.2225	간	21.985	4	25.985	1.2085	1.2105	1.2125	1.2145	1.2165	1.2185	1.2205	1.2225	

그림 2. 2017년 3,6,9,12월 위관장별 어종별 위탁판매 집계.

자연산 수산물 중은 그림 2과 같이 해양수산부의 통계를 활용하여 2017년 위관장별 어종별 위탁판매를 집계하였다. 그 중 제주도내의 가장 유통이 많이 이루어지는 제주시 수산물협동조합과, 서귀포 수산물협동조합을 선정하였다. 이 중 가장 소비량이 많은 종들인 갈치, 고등어, 옥돔, 멸치, 소라, 해삼을 유영생물(Pelagos)와 저서생물(Benthos)로 나누어 수은거동을 확인하였다. 자연산 수산물 경우 수은 동위원소 분석을 통해 어떤 오염원의 영향을 받는지 그리고 국내 해양지역에서의 수은의 생지화학적 경로를 파악하는데 목적을 두고 있다.

2.2. 대기 환경에 의한 육상 생태계의 수은 영향 평가

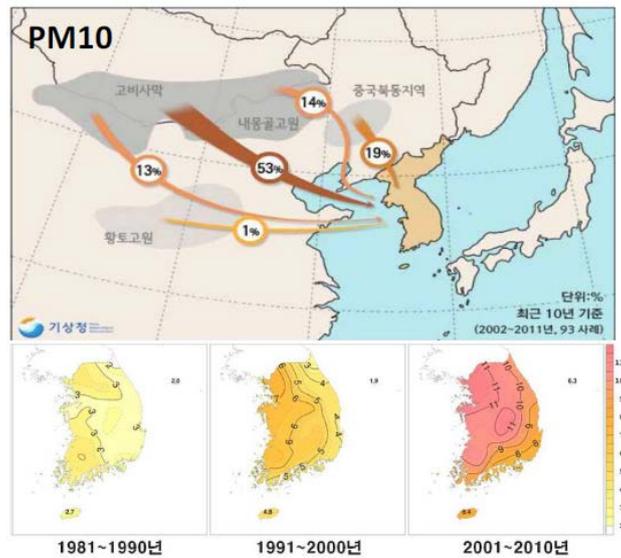


그림 3. 중국발 Air mass의 거동.

대기환경에 의한 산림에서의 수은 이동의 매커니즘을 기본적으로 확인하기 위해 가장 첫번째의 수행으로 그림 3과 같이 산업적 영향과, 중국 Air mass의 영향을 비교적 적게 받는 제주도의 한라산 연구를 진행하였다. 또한 미래에 다른 산림지역에서의 수은 오염원을 비교 할 수 있는 베이스라인 지점으로 지정하였다.



그림 4. 한라산의 활엽수림대(900m 지점)과 침엽수림대(1200m 지점).

고도 600m, 900m, 1200m, 1500m, 1900m 지점마다 수목의 잎, 낙엽, 이끼, 흙을 대상으로 수은거동과 순환과정을 모니터링 하였다. 각 시료의 수은 농도와 동위원소 분석을 통해 오염원과 대기의 수은이 산림에서 어떻게 순환되는지에 대한 연구를 진행할 계획이다.

2.3. 농산물에서의 수은 처리 기술의 유효성 평가

최근 중국에서는 농산물 중 쌀에 비교적 높은 수은농도가 검출 되었다. 쌀은 많은 국가의 주식으로 인체 영향 피해가 높을 것으로 예상되는 농산물이다. 이 때문에 국제적으로 농산물에서 수은을 처리하는 기술들이 논의되고 있으며 그 중 nZVI가 하나이다. 하지만 nZVI가 논에서 수은과 벼에게 어떤 작용을 하는지 아직 평가되지 않은 상태이다. 따라서 본 연구에서는 nZVI를 주입함으로써 정화를 위한 나노입자가 실제로 수은과 만났을 때 어떤 영향이 발생하는지 lab scale 에서 보고자 하였다.

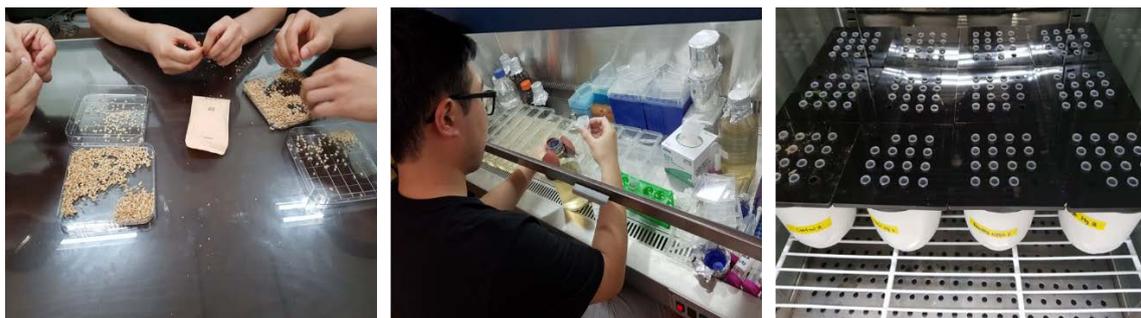


그림 5. Lab scale의 벼 성장 실험.

첫번째로 Lab scale에서의 양상을 보기 위해 대한민국의 벼 널리쓰이는 벼 품종중 하나인 동진벼를 이용하여 Control, Low&High-Hg, Low&High-nZVI으로 나누어 실험을 진행하였다. 쌀을 총 2달간 토양과 hydroponics 에서 키우면서 nZVI로 인해 수은이 어떤 생지화학적 반응을 받게 되는지 평가하고 또한 쌀에서의 수은과 nZVI bioaccumulation 연구를 실행하였다.