

연구논문

## 환경시료은행의 국제적 동향 및 우리의 대응

김명진 · 유병호 · 이석조 · 이종천 · 이철우\*

국립환경과학원 자연생태부, 화학물질평가부\*

(2008년 5월 2일 접수, 2008년 8월 14일 승인)

### International Trends of Environmental Specimen Bank and Our Response

Myung-Jin Kim · Byung-Ho Yoo · Suk-Jo Lee · Jong-Chun Lee · Chul-Woo Lee\*

Nature and Ecology Research Department, Chemicals Assessment Department\*

National Institute of Environmental Research

(Manuscript received 2 May 2008; accepted 14 August 2008)

### Abstract

An Environmental Specimen Bank (ESB) is an archive for samples that can be used to document and assess the quality of the environment in which we live. An ESB program looks at changes in the concentration of human and environmental specimens over long periods of time through retrospective analysis of archived samples of a particular area collected at regular intervals. The idea of ESB was first proposed by German and American scientists in the early 1970s and has been established since 1979 in Germany, USA, and Japan. Korea plans to establish a National Environmental Specimen Bank (NESB) in 2010. The NESB will be able to assess and improve the quality of analytical measurements as well as to compare the past and current environmental quality as a time capsule. The concept and design for the NESB facility was developed and its Standard Operation Procedures (SOPs) are being developed based on an evaluation of ESBs and SOPs of Germany, USA, and Japan.

Environmental specimens proposed for banking are based on typical representatives of every level of the food chain from each type of ecosystem that are widely distributed thus enabling comparisons between different sampling areas. Through retrospective analysis of environmental specimens, the NESB will improve the reliability of environmental monitoring, ecological risk assessment, and health impact assessment.

**Keywords :** Environmental Specimen Bank, retrospective analysis, archived samples, time capsule, Standard Operation Procedures, food chain, environmental monitoring

## I. 서론

산업의 발전과 다양한 개발로 새로운 오염원이 출현하여 그로인한 인간과 생태계에 악영향을 미치고 있고, 그 원인과 영향을 파악하기 위한 여러 방법들이 개발되고 있다. 1962년 레이첼 카슨이 쓴 침묵의 봄은 무심코 사용했던 DDT 같은 살충제가 먹이사슬에 의해 새와 다른 동물 등에 몇 십 배의 농도로 농축되어 봄이 와도 새가 울지 못한다는 내용으로(Ortolano 1997), 오염물질과 생태계 영향에 대한 경종을 울리게 되었다. 이와 같이 인간을 포함한 생태계에 노출된 오염물질의 영향을 받은 동식물의 오염농도의 시대별 분석과 새로운 오염물질과 분석장비의 출현에 따라 추후에 분석할 수 있도록 시료가 성분 변화 없이 체계적으로 보관할 필요성이 제기되었다. 왜냐하면 시료의 오염을 분석하는 장비의 발전으로 그 당시 확인할 수 없었던 오염물질이 발견될 수 있어 추후에도 과거의 사실을 체계적으로 규명할 수 있기 때문이다. 특히 시대별 분석 방법들의 변화로 수 십년 이상의 변화를 비교하는 것은 과학적으로 무리가 따르게 되므로, 수 십년간의 시료를 잘 보관하고 있으면 동일한 방법으로 그 동안의 오염변화를 한 시점에서 분석할 수 있게 된다. 이러한 목적으로 70년대 초에 독일과 미국 학자를 중심으로 영구히 시료를 보관할 수 있는 환경생태시료의 저장소(archive) 개념을 제안하였고, 이어서 1979년에 독일, 미국 및 일본에 환경시료은행(Environmental Specimen Bank)이 설립되었다. 1980년에는 스웨덴에서 환경시료은행이 설립되었고, 현재는 10개 국가가 운영하고 있으며, 한국을 포함한 3개국이 건립 중에 있다(김명진 등 2007).

한편 냉동기술의 발전과 더불어 시료 성분의 변화 없이 보관할 수 있는 방법들이 개발되었고, 특히 대기 중에서 액체질소(끓는점  $-196^{\circ}\text{C}$ )를 적은 비용으로 확보할 수 있는 방법이 개발되어 액체질소를 이용한 초저온(cryogenic) 냉동법이 발전하게 되었다. 시료은행도 액체질소를 이용한 대형탱크에 영하  $150^{\circ}\text{C}$  이하로 시료를 보관하는 추세이며, 액체질소의 자동 주입과 관련한 절연·진공 배관 파이프 및

액체질소 제어공법 등의 신기술이 개발되고 있다.

이 연구의 목적은 독일, 미국 및 일본의 환경시료은행의 주요 저장시설의 특성, 동식물과 인체시료 채취 및 분석 저장에 대한 현황 분석을 통해, 국립환경과학원이 추진 중인 국가환경시료은행 건립과 운영을 체계적으로 추진하기 위한 방안을 제시함에 있다. 앞으로 국가환경시료은행을 통해 수 십년 이상의 회고적(retrospective) 분석이 가능하게 될 것이며, 환경영향평가의 사업, 정책, 계획단계 등에서 효과 분석이 가능하게 됨으로써 환경영향을 종합적으로 분석할 수 있는 도구가 마련될 것으로 보인다(Kim & Yoo 2007).

## II. 연구방법

독일, 미국, 일본의 환경시료은행 시설 및 운영방안을 조사 분석하기 위해 일본(2006년 7월, 2007년 6월), 독일(2006년 3월, 2007년 8월)과 미국(2006년 7월, 2007년 8월)의 환경시료은행 방문을 통해 은행의 저장시설, 액체질소탱크와 공급 배관 시스템, 산소결핍에 따른 감지시스템, 환경시료의 제작 및 분석 시설 등의 운영방안을 조사하였고, 환경시료은행 운영에 따른 고려사항 및 건물의 공간 배치 특성을 파악하였다. 또한 독일, 미국, 일본의 환경시료은행의 부서장을 초청하여 자문회의(2007년 5월 31일)와 국제세미나(2007년 6월 1일)를 통하여 국가환경시료은행의 건물설계, 저장시설의 배치계획과 환경시료의 종류, 채취, 저장 방안 및 활용에 대한 자문과 각 국의 시료은행을 활용한 주요 연구결과들을 수집, 분석하여 우리나라 실정에 맞는 대응 방안을 도출하였다.

## III. 외국 환경시료은행 사례

### 1. 독일, 미국, 일본의 환경시료은행 특성

쉬부거(1992)는 환경시료은행 목표를 1) 선정된 화학물질의 판독, 2) 새로운 방법을 이용한 비교조사, 3) 환경에서 오염 경향의 관찰, 4) 장기적 변화

의 입증으로 정하였다. 독일, 미국 및 일본의 환경시료은행의 특성을 살펴보면 아래와 같다.

### 1) 독일 환경시료은행

독일은 1970년대 초에 환경시료은행의 필요성과 함께 1979년 시험사업이 진행되어 1980년에는 뮌스터에 인체시료은행을 설립하였으며, 1981년에는 환경시료은행에 대한 시범 운영을 시작하였다. 1985년에 독일 연방환경청으로부터 은행을 인수하여 정기적으로 시료를 채취하였다. 환경시료은행은 2000년부터 슈말렌베르그 소재의 프라운호퍼 분자생물학 및 응용생태학 연구소에서 운영하고 있다(Ruedel & Schroeter-Kermani 2007).

독일 연방환경청에서는 자료처리, 저장, 기획 및 평가를 위하여 연간 4.3백만 유로의 예산(2006년 기준)으로 환경시료은행 1개와 인체시료은행 1개, 시료채취 기관 2개, 분석기관 1개 등 총 5개 기관을 지원하고 있다(오경희 등 2006). 환경시료은행은 초저온액체질소탱크 900L용량 12대, 1,400L용량 30대를 보유하고 있고, 25대를 추가 구입 중이다. 인체시료은행은 현재 사용 중인 보행냉동고가 시료 오염의 가능성이 있어 2006년부터 건립중인 신설 인체시료은행에 96대 초저온액체질소탱크를 설치하여, 시료저장을 보행냉동고에서 초저온 액체질소탱크로 변환 중이다(이석조와 김명진 2007).

### 2) 미국 환경시료은행

국립표준기술연구원(NIST)이 EPA 지원 하에 환경시료은행 사업을 시작하여 1979년 국가환경생태시료은행(NBSB)을, 2002년에는 분소로 해양환경시료은행(Marine ESB)을 설립하였다. 미국은 환경청(EPA), 해양대기청(NOAA), 국립암센터(NCI) 등과 협력하여 채취한 시료를 저장하고 있다. 국가환경생태시료은행은 표준시료 제작과 인간의 간, 음식, 혈액과 홍합류, 굴, 어류 조직, 해양침전물 및 해양포유류의 시료를 보관하고 있고, 현재는 시료의 추가 저장은 하고 있지 않다. 새로운 시료는 Marine ESB에서 저장하고 있으며, 분석업무도 담당하고 있다. Marine ESB는 건물과 시설비 약

600만불(약 57억원)을 투자하였고, 지상 1층에 15개의 초저온액체질소탱크(-150℃)와 10대 전기냉동고(-80℃)를 운영하고 있고, 전기냉동고는 액체질소로 백업되도록 설치하였다. ISO Class 5-7의 청정실을 유지하고 있으며, 운영비로 연 150만불(약 14.3억원)의 예산을 투자하고 있다. 독일은 환경규제의 효과 분석과 오염모니터링에 주안점을 두고 있는 반면, 미국은 야생동물의 건강 등 생태계 오염 모니터링에 주안점을 두고 있다(Becker *et al.*, 2007).

### 3) 일본 환경시료은행

1979년부터 국립환경연구소(NIES)에서 운영하던 환경시료은행사업에 2002년에 멸종위기종 복원 사업을 위한 동물시료 저장을 추가하였고, 2004년에는 환경시료타임캡슐을 새로이 건설하였다. 건물·시설(2층, 연면적: 2,071 m<sup>2</sup>)에 12억엔이 소요되었고, 연간 2억엔(약16.5억원)의 예산으로 운영하고 있다. 시료저장은 19개의 550L 초저온액체질소탱크(-150℃) 중 환경시료 보관에 13대, 멸종위기종 조직의 보관에 6대를 사용하고 있다. 해양의 조개류 등과 인체시료, 시료 조제 전의 시료는 보행냉동고(210m<sup>3</sup>, -60℃)에, 표준시료와 분석 전후의 시료는 전기냉동고 12대(-80℃)에 보관하고 있다. 시료조제실은 ISO Class 7정도를 유지하며, 클린 벤치를 이용하고 있다(김명진 2007, Uehiro *et al.*, 2007).

## 2. 독일, 미국, 일본의 환경시료 및 활용사례

### 1) 독일의 환경시료 및 활용사례

환경시료중 생태시료는 먹이연쇄에서 각 생태계를 대표하는 종을 선정하며, 육상 생태계는 독일가문비와 구주소나무 가지, 너도밤나무와 양버들 잎, 지렁이, 노루 간, 토양, 비둘기 알 등 8종, 하천생태계는 얼룩무늬담치, 브림(잉어과), 저질 등 3종, 해양생태계는 해초, 홍합류, 어류, 갈매기 알 등 4종, 총 15종의 시료를 채취·보관하고 있다. 인체시료는 4개 대학별로 학생 150여명의 혈액, 혈장, 침,

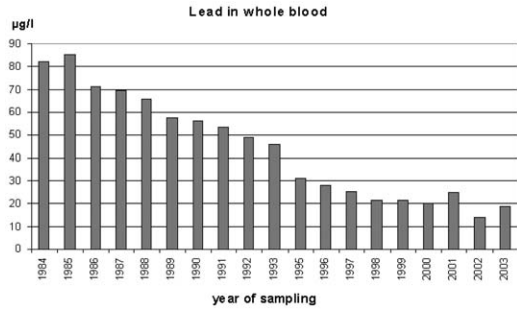


그림 1. 윈스터 지역의 인체 혈액 중 납 농도의 연도별 추이

소변, 머리카락, 음모 등 6종을 연 1회 채취하여 저장하고 있다. 채취부터 저장까지 액체질소를 이용하여 초저온상태로 처리하고 있다. 환경시료은행은 20만건, 인체시료 은행은 19만건의 시료를 저장하고 있다(이석조와 김명진 2007).

환경시료를 활용한 예로는 자동차 연료의 납 농도 저감 정책의 효과 파악을 위해 윈스터 지역 조사 집단의 인체 혈액에서 납 농도가 80µg/L에서 20µg/L로 현저히 떨어진 것을 규명하였다(그림 1). 살충제 금지에 따른 해양 조류의 연도별 헥사클로로벤젠(HCB) 농축농도의 추이 분석(Ruedel &

Schroeter- Kermani 2007)과 인체시료 저장을 통한 장기적인 환경과의 관련성을 분석하고 있다 (Wiesmuller *et al.* 2007, 오경희 등 2006).

2) 미국의 환경시료 및 활용사례

미국 NBSB와 Marine ESB는 생태시료 약 5,600건, 인체시료 약 1,200건을 보관하고 있다 (2007년 기준). 시료는 보통 분말로 분쇄하여 150g 씩 2개 탱크에 분석용과 보관용으로 구분하여 저장하고 있다. 홍합류, 굴, 해양 포유류 및 조류 등의 사업은 새롭게 시작되거나 지속되고 있다. 인간의 간(liver) 채취 사업은 1979년에 시작하여 1994년 종료되었으며 722개의 인간의 간을 이용하여 새로운 오염원에 대한 회고적 분석과 경향 파악을 위해 활용하고 있다. 국가해양 포유류 조직은행사업으로 3,745개 조직의 생태시료, 5종의 조류에 대해 1,031개 알의 시료, 2003년 시작한 매(*Falco peregrinus*) 시료의 보관사업을 통해 102개의 알과 깃털을 저장하고 있다. 2005년 연구에서 돌고래와 바다사자 등의 해양포유류에서 브롬화난연제 화합물 (BFRs)의 증가를 규명하고, 기후변화와 연관

표 1. 미국 국가환경시료은행의 시료와 저장 프로그램

Dates	Specimens	Program or Agency
1979 - 1994	Human livers	Joint EPA/NIST Pilot Environmental Specimen Bank Program
1976 - 1978 1983 - 1992 2004 - 현재	Mussels and oysters	EPA/NOAA Mussel Watch & NOAA National Status and Trends Program
1985 - 1992	Fish livers and muscle	NOAA National Status and Trends Program
1985 - 1992	Marine sediments	NOAA National Status and Trends Program
1986	Human food specimens	Nutrients in Human Diet Project (IAEA/USDA/FDA)
1986	Human blood serum	National Cancer Institute
1987 - 현재	Marine mammal tissues <sup>1</sup> from Alaska	Alaska Marine Mammal Tissue Archival Project (DOI)
1990 - 현재	Marine mammal tissues <sup>1</sup> from Lower-48 States	National Marine Mammal Tissue Bank Program & Marine Mammal Health and Stranding Response Program (NOAA)
1994	Fish (Whole)	NOAA
1994	Human blood spots	Department of Defense
1999 - 현재	Seabird eggs	Seabird Tissue Archival and Monitoring Project (DOI)
2003 - 현재	Eggs & feathers	American Peregrine Falcon Project (DOI)

<sup>1</sup> liver, kidney, fat, muscle, blood, milk, skin, brain

IAEA: International Atomic Energy Agency, USDA: US Dept. of Agriculture, FDA: Food and Drug Administration, DOI: Dept. of the Interior

된 먹이망 변화의 조사 등을 수행 하였다. 여러 측정과 연구 프로그램에 의한 환경시료은행 주요 사업 내용은 표 1과 같다(Becker *et al.* 2007).

**3) 일본의 환경시료 및 활용사례**

국립환경연구소(NIES) 환경시료타입캡슐에서 시료를 채취하여 저장하고 있으며, 환경시료는 동경만 저질과 생물시료, 패류시료 채취와 현장해체 및 동결작업시 부분적으로 타기관과 협력하여 추진하고 있다. 환경시료와 멸종위기종 시료 4,150 용기(약 40,000개)를 저장하고 있다. 환경시료는 대기분진, 만의 저질, 어패류 중 저질, 어패류 등의 일부를 분쇄하여 50mL 용량의 병에 연간 200개를 -150°C의 초저온액체질소탱크에 보관하고, 모유는 150개 용기를 -80°C 전기냉동고에, 대기분진은 -60°C 보행냉동고에 보관하고 있다(오경희와 김명진 2006, 국립환경연구소 2006). 팽이갈매기 알 시료에서 불꽃광도형검출법(GC/FDP)으로는 분석이 불가능했던 1 ng/g 이하의 주석농도 분석을 원자방출검출법

(AED)을 이용하여 저장된 시료에서 다시 분석할 수 있었고, 1994년과 1995년부터 채집한 홍합류를 이용하여 1997년 1월에 낙호드카호 기름유출 사건 이후 6년 이상 벤조피렌(B<sub>a</sub>P)이 사라지지 않은 것을 규명한 바 있다(Uehiro *et al.* 2007).

**3. 독일, 미국, 일본의 환경시료 표준 운영절차**

독일은 먹이 연쇄를 대표하고 분포 범위가 넓은 너도밤나무 등 생태시료 15종, 인체시료는 혈액 등 6종에 대해서 표준운영절차를 마련하였다. 현재 초저온상태에서 환경시료의 수송, 분쇄, 저장, 전처리, 분석기기 활용 등 5건의 표준운영절차 초안을 만들어 검토 중에 있다. 미국은 해양 조류 알에 대해 1건, 알래스카 해양 포유류 조직에 대해 1건의 시료채집과 저장에 대한 절차(protocol)를 작성하였다(Becker *et al.* 1991, York *et al.* 2001). 또한 청정실과 은행 운영에 대한 절차(Pugh *et al.* 2007)를 마련하여 청정도 유지, 시료의 분쇄와 저

표 2. 독일, 미국, 일본의 환경시료은행과 환경시료 비교

구분	독 일	미 국	일 본
설립	1979	1979	1979
명칭	독일환경시료은행 - 생태(쉬말렌베르크) - 인체(뮌스터)	국가환경생태시료은행 해양환경시료은행	환경시료타입캡슐
시료 종류	- 육상: 독일가문비와 구주소나무 가지, 양버들과 너도밤나무 잎, 토양, 지렁이, 노루 간, 비둘기 알 등 8종 - 하천: 저질(부유물질), 민물어류, 얼룩무늬담치 등 3종 - 해양: 해초, 홍합류, 어류, 갈매기 알 등 4종 - 인체: 혈액, 혈장, 침, 소변, 머리카락, 음모 등 6종	- 해양: 저질, 어류, 홍합류, 굴, 해양 동물 조직(간, 신장, 지방 등) - 조류: 알과 갯벌 - 인체시료: 인간의 간, 혈액, 음식물	- 어패류와 해안 침전물, 대기 분진 - 멸종위기 동식물의 세포 - 인체: 모유
시료량	- 생태시료: 약 20만건 - 인체시료: 약 19만건	- 생태시료: 약 5,600건 - 인체시료: 약 1,200건	- 생태시료: 1,150용기 - 인체시료: 150용기(모유) - 멸종위기종: 3,000용기
주요 시설	- 초저온액체질소탱크 42대 - ※인체은행: 초저온액체 질소 탱크 96대 시공중 보행냉동고(-80도) 2대 - 시료목록과 입출입 전산화 - 저장실의 안전 감시시스템	- 각 은행 초저온액체질소 탱크 15대, 전기냉동고 (-80도) 10대 - 청정실 운영(ISO5-7) - 시료목록과 입출입 전산화 - 냉동과 보관실의 안전 감시시스템	- 초저온액체질소탱크 19대, 보행냉동고(-60도) 2실, 전기냉동고(-80도) 12대 - 시료목록과 입출입 전산화 - 냉동과 보관실의 안전 감시시스템
운영 시스템	- 관련기관과 채취프로그램 운영 - 전국을 구획하여 시료 수집	- 관련부처 및 대학과 협력 - 필요에 따라 시료 수집	- 대학, 동물원, 연구소와 연계 - 특정지역에서 시료 수집

※ 스웨덴(1980), 캐나다(1981), 덴마크(1994), 핀란드(1994), 이태리(1994), 스페인(2001), 남아프리카공화국(2002) 등 7개국 은 건립운영 중이고, 프랑스, 노르웨이는 건립 계획 중임.

장시 고려사항, 액체질소 안전 등에 활용하고 있다.

일본은 2004년에 환경시료타임캡슐이 준공되면서 환경시료은행의 사업 결과보고서가 매년 출간되고 있고(국립환경연구소 2006), 이 보고서에는 수집 절차와 저장방안 등 일반적인 사항과 시료의 채취, 저장, 분석에 관한 내부 운영절차들이 포함되어 있다. 또한 국제생물환경저장학회에서는 인간생물시료의 수집, 저장, 검색을 위한 저장 최선기법을 제안하였고(ISBER 2005), Baird & Frome(2005)은 대규모 저장시설 설계에 따른 고려사항 등을 제시하였다. 미국과 일본은 분석장비 등의 데이터 질의 신뢰성 확보를 위한 표준시료의 제작(Morita *et al.* 1997, Pugh *et al.* 2007)과 독일은 하부시료(보통 20mL 용기에 10g) 1개당 생태시료는 335 유로, 인체시료는 160유로에 시료은행 관련 연구기관에 판매하고 있다(Federal Ministry 2000). 일본은 국립환경연구소외에 에이메 대학에서 해양포유류를 저장하여 브롬화나연제의 지역분포 등을 분석하고 있다(Tanabe *et al.* 2008). 3국의 비교표는 아래 표 2와 같다.

#### IV. 국가환경시료은행의 건립

##### 1. 외국 환경시료은행 특성 파악과 우리 은행의 주요 시설

환경시료은행은 2005년 5월 “환경 예산투자 확대 방안에 관한 연구”에서 “국가환경생태시료은행 설립 사업”이 우선순위 투자사업 9개중 3순위로 선정된 후, 오염의 진전과 생태계의 반응간 관계의 역추적이 가능한 매우 유용한 연구기반시설이라는 인식하에 2007-2010년까지 84억 예산으로 국립환경과학원에 건립을 계획하였다. 국가환경시료은행의 주요 시설은 초저온저장 및 지원시설로 초저온 액체질소탱크, 대용량 초저온 진동분쇄기, 액체질소 공급탱크, 액체질소성장 분리기, 자동규제시스템 등과 시료제조 청정실(Clean Room) 및 정밀분석 장비실 등이다. 독일, 미국, 일본의 시료은행이 갖추고 있는 시료조제실, 시료저장실, 시료분석실을 설치하고, 시

료조제실 등의 청정도는 미국과 일본을 참고하여 ISO Class 5(지름이 0.5  $\mu\text{m}$  이상인 분진 3,520개/ $\text{m}^3$  이하) - 7(지름이 0.5  $\mu\text{m}$  이상인 분진 352,000개/ $\text{m}^3$  이하) 등급의 청정도를 유지하도록 시공을 하고 있다. 독일 경우처럼 장기간 보관이 용이한 초저온액체질소탱크를 주요 저장 시설로 하여 74개를 시료의 보관에 따라 2030년까지 점차적으로 설치하고 원활한 액체질소 배관을 위해 절연·진공 배관망을 이용할 것이다(김명진 등 2007a).

##### 2. 국가환경시료은행의 채취할 환경시료의 선정

시료는 환경 및 인체시료로 크게 구분 할 수 있으며, 환경 및 인체생태시료는 먹이 연쇄를 고려하고, 우리나라에 널리 분포하고 있는 종중에서, 독일 등의 환경시료를 검토하여 육상생태계는 소나무와 잣나무 가지, 신갈나무와 느티나무 잎, 토양, 지렁이, 집비둘기 등 7종, 하천생태계는 민물조개, 잉어, 저질 등 3종, 해양생태계는 해초, 바다조개, 송어, 갯이갈매기 알 등 4종 등 14종(그림 2와 표 3 참조)과 인체시료는 혈액, 혈장, 음모, 머리카락, 침, 소변 6종을 제안하였고, 시료 종류별 채취, 분석 및 보관 방법에 관한 표준운영절차 작성(2007~2009)에 따라 시료의 종류는 보완 될 것이다(김명진 등 2007a).

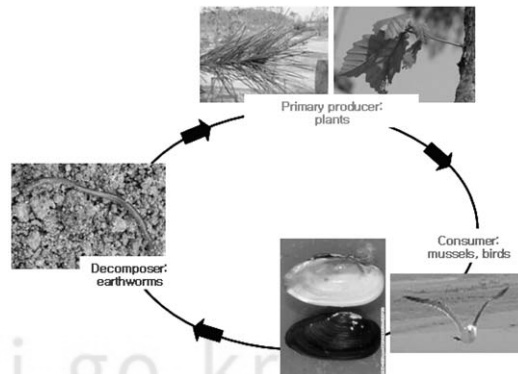


그림 2. 생태계 먹이사슬의 도식

표 3. 국가환경시료은행 환경시료 종류(안)

Ecosystems	Type of Specimen	Scientific Name	Common Name	Food Chain	Target Organ
Terrestrial	Pine	<i>Pinus densiflora</i> S. et Zucc	Red pine	Producer	First-year shoots
	Pine	<i>Pinus koraiensis</i> S. et Zucc	Korean pine	Producer	First-year shoots
	Oak	<i>Quercus Mongolia</i> Fischer	Mongolian oak	Producer	Leaves
	Zelkova	<i>Zelkova serrata</i> M.L.	Zelkova tree	Producer	Leaves
	Soil			Medium	
	Earthworm	<i>Lumbricus terrestris</i>	Night crawler	Decomposer	Body
	Bird	<i>Columba livia</i> var. <i>domestica</i>	Domestic pigeon	Consumer	Content of egg
Riverine	Sediment			Medium	
	Freshwater fish	<i>Cyprinus carpio</i>	Common carp	Consumer	Musculature, liver
	Mussel	<i>Unio (Nodularia) douglasiae</i> Griffith et Pidgeon	Freshwater mussel	Consumer	Soft tissue
Marine	Mussel	<i>Mytilus edulis</i> L. or <i>(M galloprovincialis)</i>	Blue mussel (Mediterranean mussel)	Consumer	Soft tissue
	Fish	<i>Mugil cephalus</i>	Mullet	Consumer	Musculature, liver
	Bird	<i>Larus crassirostris</i>	Black-tailed gull	Consumer	Content of egg
	Algae	<i>Ulva pertusa</i>	Sea lettuce	Producer	Plant body

※ 인체시료는 혈액, 혈장, 음모, 머리카락, 침모, 소변 등 6종

### 3. 국가환경시료은행의 시료 저장용량

#### 1) 시료 종류 및 채취 지역

생태시료는 육상생태계는 소나무 가지 등 7종에 대해 한강, 금강, 영산강, 낙동강 등 강수계와 연계하여 산림, 도시, 농업지역과 자연보전지역 각 3지역씩 12개소에서 추출 시 84종류의 시료를 채취하게 된다. 하천생태계는 잉어 등 3종 채취 시 한강, 금강, 영산강, 낙동강 등 4대강의 중하류 3지역씩 12개소에서 채취하면 36종류이고, 해양생태계는 갯이갈매기알 등 4종을 서해, 동해, 남해 연안의 3개 지역씩 9개소에서 채취하면 36종류로 총 156종류가 된다.

인체생태시료는 오염지역 1개, 보통지역 2개, 비오염지역 1개 등 4개 지역 대학교의 학생 150여명의 혈액, 혈장, 음모, 머리카락, 침, 소변 등 6종의 채취를 고려하여 용량을 산정하였다.

#### 2) 저장용량

생태시료 156지역(종류)에 대한 시료를 1kg 채취 후 분쇄하여 10g씩 20mL 시료병에 보관 156지역 × 100개 = 15,600개, 초저온 탱크(1.4m³) 당 약 7,000-8,000개 시료보관 가능, 70% 탱크 이용시 연간 약 3개 소요(단, 토양은 1대당 100mL 시료병 사용, 최대 1,600개)되고, 인체시료는 4지역 × (150명) × 6종류 = 3,600개 시료 연간 약 0.5개 소요가 예

표 4. 환경생태 시료용량 산출 안

시료구분	생태환경	시료종류	지역개수	시료세부종류	시료용량	시료병수(개)
생태시료	육상생태계	7	12	84	84 × 1 = 84kg	8400
	하천생태계	3	12	36	36 × 1 = 36kg	3600
	해양생태계	4	9	36	36 × 1 = 36kg	3600
인체시료	오염, 보호 2, 비오염 지역	6	4	24	150명 × 4 × 6개	3600
총계	3종류 생태환경 및 4개 지역	환경 14종 인체 6종	환경 33개소 인체 4개소	환경 156종 인체 24종	156kg + 3600	15,600 + 3600

상된다.

초저온 저장탱크 소요 면적은 총 건축면적 2,340m<sup>2</sup> (708평) 시설 중 지상 1층 465m<sup>2</sup>(140평)에 74개 시설의 설치가 가능(2평에 1대)하며, 2011-2030년 환경생태시료(연 3개) 60개 소요되고, 2011-2030년 인체시료(연 0.5개)는 10개가 소요되어 2030년 까지 사용 가능한 것으로 추정되었다(표 4). 2030년~2070년 시료저장 용량 초과를 고려하여 독일의 경우처럼 현 저장고를 옆으로 확장 증축하여 대비하여야 할 것으로 보인다.

## V. 결론

환경시료은행은 유전자은행이나 표본을 보관하는 은행이 아니라, 오염에 노출된 인간을 포함한 먹이 사슬을 대표하고 오염상황을 잘 규명 할 수 있는 종을 선정하여 100-150년의 목표로 변화 없이 지속적으로 시료를 보관하는 것이다. 어느 시점에서 20년, 30년간의 오염에 노출된 시료를 꺼내어 회고적 및 시계열 분석을 통해 시간적 변화를 체계적으로 파악하고 앞으로 일을 예측할 수 있는 종합적인 환경영향평가의 선진된 도구라 볼 수 있다.

그동안 환경오염에 대한 평가가 환경기준치의 초과와 그에 따른 저감방안을 제시하는 일이 주된 일 이었는데, 시료은행을 통해 사업 뿐 아니라 모든 환경정책의 효과를 실제적으로 영향 받는 수용체를 중심으로 체계적으로 평가가 가능할 수 있다. 우리 경우는 초저온저장기술이 미흡하여 선진 기술을 수입하여 쓰고 있지만, 시료은행 운영과 관련한 선진된 기술도 연구 개발하고, 운영 및 분석 방법 등도 잘 벤치마킹하여 30년 늦게 출발했지만 선진국가와 어깨를 나란히 할 수 있는 시료은행으로 정착시켜야 할 것이다.

## 참고문헌

국립환경연구소(일본), 2006, 2005년도 환경시료 타임캡슐화사업 업무보고.

김명진, 2007, 국가환경생태시료은행 건립을 위한 일본 환경생태시료은행 조사 결과보고, 국립환경과학원 귀국보고서.

김명진 · 유병호 · 이민효 · 김태규 · 이정연 · 최태영 · 이종효 · 이선미 · 이석조 · 이종천 · 이철우, 2007a, 국가환경시료은행 표준운영체계 구축 연구(I), 국립환경과학원, 60-66.

김명진 · 유병호 · 이석조 · 이종천 · 이철우, 2007, 환경생태시료은행의 국제적 동향 및 우리의 대응, 환경영향평가 30주년 기념 추계학술대회 및 민관합동 평가포럼, 한국환경영향평가 학회, 183-186.

오경희 · 김명진, 2006, 환경생태시료은행(ESB) 해외 사례조사 결과보고(일본, 미국), 국립환경과학원 귀국보고서.

오경희 · 김명진 · 신영규, 2006, 환경생태시료은행(ESB) 및 경관관리 분야 해외 사례조사 결과보고(독일, 스위스), 국립환경과학원 귀국보고서.

이석조 · 김명진, 2007, 국가환경생태시료은행 건립 관련 미국, 독일 환경생태시료은행 조사, 국립환경과학원 귀국보고서.

Baird, P. M. and R. J. Frome, 2005, Large-Scale Repository Design, Cell Preservation Technology 3(4): 256-266.

Becker, P., R. S. Pugh, B. J. Porter, M. B. Ellisor, A. J. Moors, and S. A. Wise, 2007, Experiences of the National Institute of Standards and Technology (USA) in Establishing Environmental Specimen Banking Programs, Proceedings of NIER International Seminar. 3-31.

Becker, P., S. A. Wise, B. J. Koster, and R. Zeisler, 1991, Alaska Marine Mammal Tissue Archival Project (AMMTAP): Revised Collection Protocol, National Institute of Standards and Technology NISTIR 4529.

- Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, 2000, German Environmental Specimen Bank. Concept.
- International Society for Biological and Environmental Repositories (ISBER), 2005, Best Practice for Repositories I: Collection, Storage, and Retrieval of Human Biological Materials for Research, Cell Preservation Technology, 3(1), 5-47.
- Kim, M., 2007, Establishment and Applications of National Environmental Specimen Bank in Korea, Proceedings of NIER International Seminar, 35-54.
- Kim, M. and B. Yoo, 2007, Environmental Specimen Bank Applications and Environmental Impact Assessment, Vietnam-Korea Environmental Impact Assessment Workshop, 184-187.
- Morita, M., J. Yoshinaga, H. Mukai, Y. Ambe, A. Tanaka, and Y. Shibata, 1997, Specimen Banking at National Institute for Environmental Studies, Japan, Chemosphere, 34(9/10), 1907-1919.
- Ortolano, L., 1997, Environmental Regulation and Impact Assessment, John Wiley & Sons, Inc.
- Pugh, R. S., M. B. Ellisor, A. J. Moors, B. J. Porter, and P. R. Becker, 2007, Marine Environmental Specimen Bank: Clean Room and Specimen Bank Protocols, National Institute of Standards and Technology (NIST).
- Ruedel, H. and C. Schroeter-Kermani, 2007, the Environmental Specimen Bank Program in Germany, Proceedings of NIER International Seminar, 67-90.
- Schwuger, M. J., 1992, Specimen Banking: Environmental Monitoring and Modern Analytical Approaches, M. Rossbach, J. D. Schladot, and P. Ostapczuk, 1-3. Springer-Verlag.
- Tanabe, S., K. Ramu, T. Isobe, and S. Takahashi, 2008, Brominated Flame Retardants in the Environment of Asia-Pacific: an Overview of Spatial and Temporal Trends, Journal of Environmental Monitoring, 10, 188-197.
- Uehiro, T., Y. Shibata, A. Tanaka, T. Horiguchi, H. Mukai, Y. Takazawa, M. Hirota, M. Yoshikane, T. Kuwana, T. Kawashima, K. Hashimoto, M. Onuma, H. Imazato, F. Kasai, and M. Kawachi, 2007, Characteristics of Environmental Specimen Bank in NIES, Proceedings of NIER International Seminar, 95-106.
- Wisemuller, G. A., R. Eckard, L. Dobler, A. Grunsel, M. Oganowski, C. Schroter-Kermani, C. Schluter, A. Gies, and F. H. Kemper, 2007, The Environmental Specimen Bank for Human Tissues as Part of the German Environmental Specimen Bank, International Journal of Hygiene and Environmental Health, 210, 299-305.

최종원고채택 08. 08. 15