

Construction of Aquatic Environmental Database Near Wolsong Nuclear Power Plant

월성 원전 주변 수생 환경 자료 구축

Kyung-Suk Suh*, Byung-Il Min, Byung-Mo Yang, Jiyeon Kim, Kihyun Park, and Sora Kim
Korea Atomic Energy Research Institute, 111, Daedeok-daero 989beon-gil, Yuseong-gu, Daejeon, Republic of Korea

서경석*, 민병일, 양병모, 김지윤, 박기현, 김소라
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로989번길 111

(Received April 9, 2019 / Revised June 5, 2019 / Approved June 11, 2019)

Radioactive materials are released into the air and deposited on the surface soil after a nuclear accident. Radionuclides deposited in soil are transported by precipitation to nearby environments and contaminate the surface water system. Basic data on surface watershed and soil erosion models have been collected and analyzed to evaluate the behavior of radionuclides deposited on surface soil after a nuclear accident. Data acquisition and analysis in aquatic environment were performed to investigate the physical characteristics and variation of biota in rivers and lakes of the Nakdong river area near the Wolsong nuclear power plant. For these purposes, a digital map, and hydrological, water quality and biota data were gathered and a systematic database (DB) was constructed in connection with them. Constructed aquatic DB will be supplied and used in surface watershed and soil erosion models for investigation of long-term movement of radionuclides in adsorptive form in surface soil. Finally, basic data and established models will be utilized for general radiological impact assessment in aquatic environment.

Keywords: Radionuclides, Surface soil deposition, Aquatic environment data analysis, Construction of DB

*Corresponding Author.

Kyung-Suk Suh, Korea Atomic Energy Research Institute, E-mail: kssuh@kaeri.re.kr, Tel: +82-42-868-4788

ORCID

Kyung-Suk Suh	http://orcid.org/0000-0002-1355-119X	Byung-Il Min	http://orcid.org/0000-0002-8518-6275
Byung-Mo Yang	http://orcid.org/0000-0003-1847-4805	Jiyeon Kim	http://orcid.org/0000-0002-7170-1993
Kihyun Park	http://orcid.org/0000-0002-4201-6110	Sora Kim	http://orcid.org/0000-0002-8971-3327

원자력 사고 후 대기로 누출된 방사성물질이 지표 토양내 침적된 후 강우에 의하여 주변 환경으로 이동하여 지표수계를 오염시킨다. 지표 토양내 침적된 방사성핵종의 거동 평가를 위하여 수립된 지표 수계 및 토양 유실 모델의 주요 입력자료를 수집하여 분석하였다. 월성 원전이 위치한 낙동강권역의 하천과 호수에서의 물리적 특성과 주요 생물상의 변화를 파악하기 위해서 원전 주변 수생 환경의 조사 및 분석을 수행하였다. 이를 위해 국내 여러 기관에서 제공하는 수치지도, 수문자료, 수질 및 생태환경자료 등을 수집 분석하여 자료간 상호 연계성을 갖도록 체계적인 DB를 구축하였다. 구축된 수생환경 자료는 지표수계에 흡착된 방사성물질의 중장기 거동 평가를 위하여 수립된 지표수계 유동, 토사유실 및 생태계 모델의 기본 입력자료로 제공되어 종합적인 방사선영향평가에 활용될 예정이다.

중심단어: 방사성핵종, 지표토양 침적, 수생환경, 자료분석, DB구축

1. 서론

2011년 후쿠시마 원전사고 시 다량의 방사성물질이 대기 및 해양으로 누출되었다. 대기로 누출된 방사성물질은 편서풍에 의해 주로 태평양 방향으로 이동하였지만, 풍향의 변화로 인하여 일본의 내륙지방으로 이동하여 강우 및 중력에 의하여 지표면에 침적되어 지표 토양을 오염시켰다[1]. 특히, 지표면에 침적된 장반감기의 세슘(¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs)은 지표 토양내 흡착되어 강우 시 지표 토양과 함께 이동하여 인근 하천, 호수, 연안역으로 유입되어 지표수계를 오염시켰다[2].

일본은 사고 초기 대응 이후 2012년부터 산림 및 지표 토양내 흡착된 방사성 물질의 지표수계 거동 평가와 오염 확산 방지를 위하여 F-TRACE (Transport of RadioActive Contaminant in the Environment of Fukushima) 프로젝트를 통해 해당 분야 연구에 집중하고 있다[3]. 후쿠시마 사고 후 오염된 토양의 제염을 위하여 오염이 심한 지역내 지표면에서 수 센티미터 토양을 파내어 제염 작업을 수행하였는데, 제염 되지 않은 지역의 토양에 흡착된 방사성세슘이 강우에 의하여 토양과 함께 이동하면서 이미 제염이 완료된 지역을 재오염시키는 현상이 발생하였다.

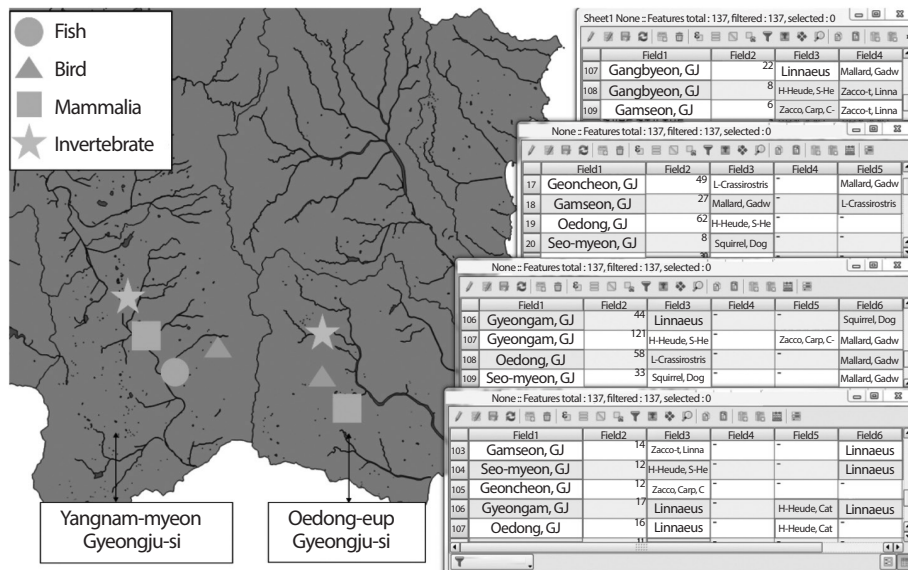


Fig. 1. Construction example of spatial biota data.

후쿠시마에서 사고 초기 대기로부터 방출된 세슘은 육상에 침적되어, 지표 토양의 미세탈 입자에 흡착되어 더 이상 물에 녹아 분리되기 어려운 형태로 존재하는 비율이 약 97%에 이른다[4]. 후쿠시마 인근의 관측 자료에서 나타나듯이 방사성 핵종의 수직분포는 초반 1~2년은 지수 함수로 표현이 가능하지만, 더 장기적으로는 Hyperbolic secant 함수로 표현된다[4]. 후쿠시마의 연구결과, 육상에 침적된 세슘의 경우 표층에서 수직 20 cm까지 세슘의 약 97% 정도 토사 입자와 함께 이동한다고 분석되었다[5]. 따라서 체계적인 제염 작업을 위해서 일본은 F-TRACE 프로젝트[3]를 결성하여 산림 및 토양내 흡착된 세슘의 지표수계 확산경로를 파악하고, 이동을 억제하는 대책 강구, 토양 및 수생환경으로 이동한 세슘에 의한 생태계 건전성 평가와 오염된 농·수산물 섭취로 인한 인체 선량 평가를 수행하고 있다.

한국원자력연구원은 원자력시설 사고 시 초기 대응을 위한 대기 및 해양확산모델을 개발하여, 후쿠시마 사고 시 환경으로 누출된 방사성물질의 이동·확산을 평가한 바 있고[6, 7], 사고 후 지표 토양내 침적된 장 반감기 방사성 핵종의 지표수계 거동 평가를 위한 연구를 현재 수행 중이다. 지표 토양내 방사성핵종의 중장기 거동 평가를 위하여 토사유실 모델을 개발하여 일차적인 검증을 완료하고[4], 현장 적용성 평가를 위하여 모델을 개선 중에 있다. 본 연구에서는 지표 토양내 흡착된 방사성핵종의 거동 평가를 위하여 개발된 토양 유실 모델과 지표 수계 모델링의 주요 입력자료를 수집하여 분석하였다. 이를 위하여 월성 원전이 위치한 낙동강권역의 하천과 호수에서의 물리적 특성과 주요 생물상의 변화를 파악하기 위해서 원전 주변 수생 환경의 조사 및 분석을 수행하였다. 우리나라는 원자력안전법에 의하여 원자력시설 건설 전 방사선환경영향평가와 부지조사 보고서를 통하여 환경조사 및 방사선환경영향평가를 수행토록 법으로 명시하고 있고[8], 또한 원자력시설 운영 중 주변 환경조사 및 방사선 영향 평가를 매년 수행하고 있다[9].

2. 월성 원전 수생 환경 자료 분석 및 구축

국내 원전(한울, 월성, 고리)이 밀집해 있는 낙동강권역의 하천과 호수의 특성과 주요 생물상의 변화를 파악하기 위해서 국내 여러 기관에서는 제공하고 있는 기초 자료들을

수집하여 분석하였다. 지표수계 연계 모델 구축을 위해 수문, 수질 및 생태환경의 자료 조사를 통해 현황을 파악하고, 향후 수생 환경내의 오염 거동 평가를 위하여 낙동강 권역에 대한 자료의 형식과 출처를 수집하였다. 이들 공간 자료는 GIS 소프트웨어를 이용하여 자료를 체계적으로 DB화 하였다.

2.1 공간 자료 구성

공간자료는 지도에서 추출한 지형의 도형자료와 각종 문서 및 통계자료 등에서 추출한 속성자료를 몇 개의 자료 파일로 조직적으로 통합하여 자료 항목의 중복을 없애고 자료를 구조화하여 기억시켜 놓은 자료의 집합체이다[10]. 지형자료는 국가공간정보포털 오픈마켓의 수치표고모델(DEM)을 사용했으며, 90 m 간격의 GRS80/UTM 좌표계를 사용하는 2015년 11월 23일 갱신된 경상북도 자료를 활용하였다[11]. 본 연구에서는 기상기후 자료, 인문사회 및 생태계 통계자료를 포함한 여러 기관에서 제공하는 자료를 수집하여, 데이터 포맷과 내용 구성을 분석한 후 GIS 소프트웨어를 이용하여 자료를 구축하였다. 여러 기관에서 제공하는 자료의 형태와 좌표계가 서로 달라 이들 자료를 일치시켜야 하는데, 좌표계는 국토지리정보원 표준 좌표계로(EPGS5185~5188), 통계자료 및 수생태계 자료는 공간자료와의 연계를 위해 항목별로 재가공하여 엑셀 파일로 테이블화 하였다. 마지막으로 공간 객체 간에 존재하는 속성의 특성 값과 통계자료가 가지고 있는 지역 표준 코드를 바탕으로 필요한 정보를 병합하고 취합하여 최종 데이터를 구축하였다. 수치지도는 점, 선, 면 등의 자료형태로 구축되어 있으며, 통계자료와 수생태계 자료의 경우 테이블 형태의 자료로 구성되어 있다. 공간 자료의 필드를 확인하고, 통계자료와 공통적인 필드가 존재하는지를 체크한 후 통계자료에서 지역 코드가 누락되어 있을 시 지역 코드를 부여하였다. 생태계 조사 자료는 구축된 도형자료가 없어 점형 자료로 새롭게 구축하였으며, 농수산물 및 가축 통계자료는 면형자료로 표현한 인구조사 자료들과 연계하여 자료를 재구축하였다. 수생태계 자료는 공간자료의 선형자료의 속성자료 중 하천 자료에 연결하여 구축하였는데, 이는 향후 지표수계 유동 및 토양유실모델의 기초자료로 활용하고자 하였으며, 공간자료 구축 예를 Fig. 1에 나타내었다. 또한, 농업, 축산업 등 통계 자료는 공간자료의 면형 도형자료의 데이터베이스에 필드를 추가하여 구축하였다.

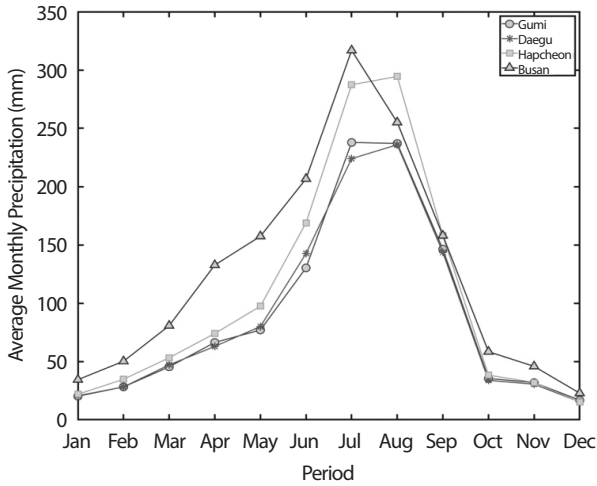


Fig. 2. Monthly average precipitation for the past 30 years near the Nakdong river.

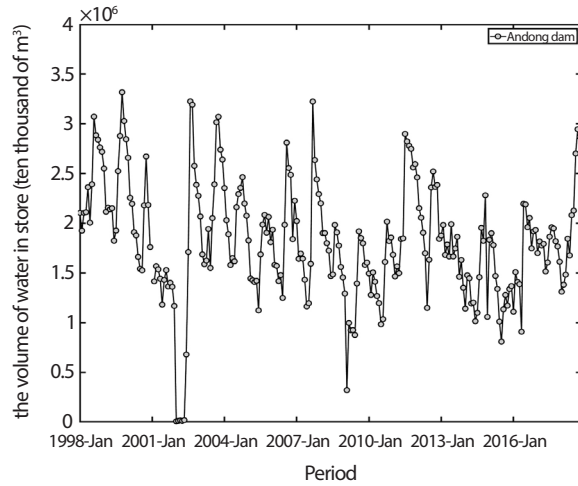


Fig. 3. Monthly average water volume in the Andong dam from 1998 to 2018.

2.2 수문 자료

수문자료로 강수량, 댐유량, 수위, 유속 및 유향 자료 등을 수집하여 분석하였는데, 유속 및 유향은 월성 원전 인근 대충천에서 ADCP (Acoustic Doppler Current Profile)장비를 이용하여 직접 측정하였다. 강수량 자료는 물환경정보시스템[12]에서 제공하고 있는 측정소별 강수량 자료로 2008년 6월부터 2018년 7월까지의 월별 강수량 자료를 수집하였다. 물환경정보시스템에서는 환경부, 국토해양부, 농림축산식품부, 기상청 등 주요 물 관련 기관의 수자원 정보를 온라인으로 연동하여 관련 자료를 제공하고 있으며, 누구나 손쉽게 웹 페이지 상에서 다양한 파일형식의 데이터를 제공할 수 있다. 낙동강 권역에서 과거 30년간(1981~2010년) 강수량을 살펴보면, 연간 강수량은 평균 1,232.9 mm이며, 지역별로는 낙동강 중·상류에 위치한 구미, 대구에서 평균 1,068.6 mm, 중·하류에 위치한 합천과 부산에서 평균 1,397.3 mm로 지역별 강수량 편차가 최고 328.5 mm를 나타내었다. 계절별로는 여름철(6~8월) 강수량의 합이 684.3 mm로 연 강수량의 50% 이상으로 높은 비율을 차지하였으며, 반면 겨울철(12~2월)의 강수량 합은 77.1 mm로 연 강수량의 6%에 불과하여 계절별 강수량 편차가 큰 것으로 나타났다. Fig. 2에 낙동강 수계 주요 4개 지점(부산, 합천, 구미, 대구)에서 과거 30년간(1981~2010년)

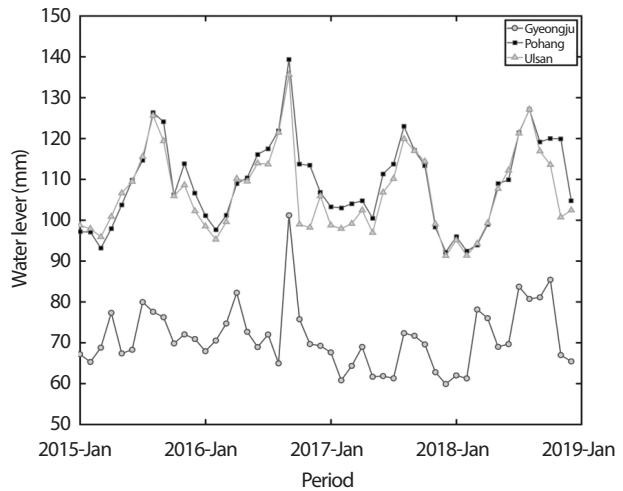


Fig. 4. Monthly water level at Gyeongju, Pohang and Ulsan for 2015 to 2018.

강수량을 나타내었다.

댐 유량 자료는 물환경정보시스템[12]과 한국수자원공사[13]에서 제공하고 있는 측정소별 댐에서 측정한 자료이며, 1998년 1월부터 2018년 7월까지의 월별 자료를 구축하였다. 낙동강 유역 내에는 본류의 상류부에 안동댐이 있고, 지류인 반변천에 임하댐, 황강에 합천댐, 남강에 남강댐, 단장천 하류에 밀양댐, 금호강 상류에 영천댐, 밀양강 상류에 운문댐이

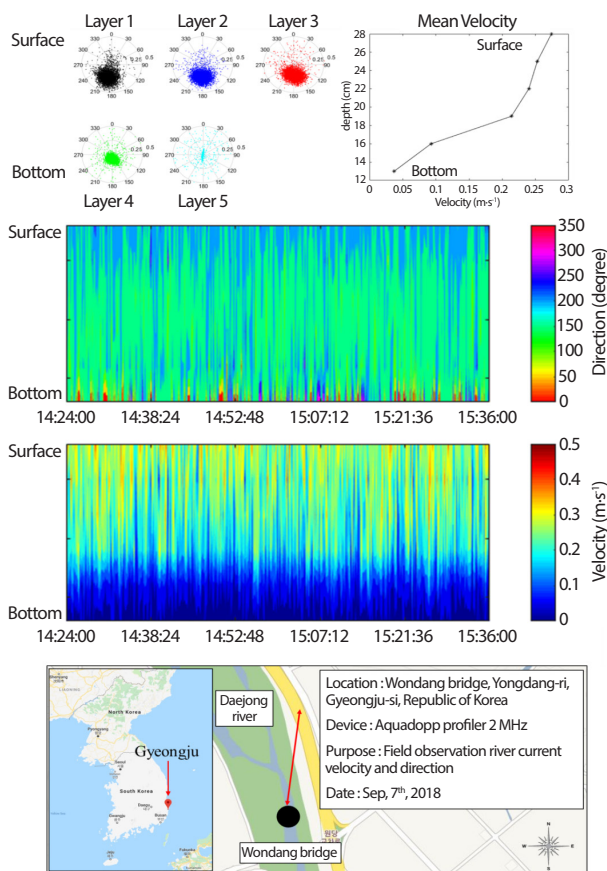


Fig. 5. Measured water speed and direction in Daejong-Chun in September 7th 2018.

있으며, 본류의 하구부에는 낙동강 하구 둑이 건설되어 있다. Fig. 3에 안동댐의 1998년부터 2018년까지 월별 저수량을 나타내었다.

수위 자료 또한 강수량과 댐 유량 자료와 같이 물환경정보시스템[12]에서 제공하는 자료를 얻을 수 있는데, 2015년 1월부터 2018년 7월까지의 월별의 측정소 관측 수위를 수집하였다. Fig. 4에 경주, 포항, 울산 측정소에서 관측한 2015년에서 2018년 월별 수위표를 나타내었다.

유속 및 유향은 육상 침적 방사성 핵종의 장기 거동 평가를 위한 모델 개발과 관련하여 모델의 검증자료 및 평가를 위하여 현장 관측이 수행되었다. 월성 원전 인근 대동천의 경우 하천의 유속 및 수위와 관련된 기존 측정 자료가 존재하지 않아 하천의 유속 및 수위 자료의 측정이 필요하였다. Fig. 5에 2018년 9월 7일 유속 관측 장비 ADCP를 활용하여 관측

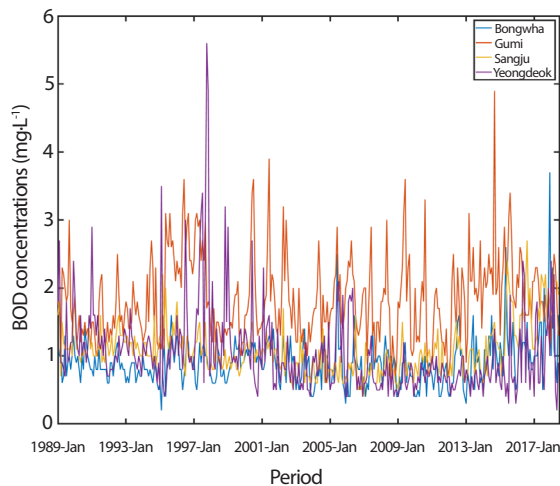


Fig. 6. BOD concentrations at Bongwha, Gumi, Sangju and Yeongdeok from 1989 to 2018.

결과를 나타내었는데, 유속의 경우 표층에서 $0.27 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 바닥층에서 $0.03 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 층별 유속 프로파일을 보여주고 있다. 유속의 방향은 하천의 상류에서 하류로 흘러가는 남쪽 방향으로 우세한 방향성을 나타내었다. 향후에도 지속적인 현장 관측을 통해 유속 자료를 축적할 예정이다.

2.3 수질 자료

한국환경공단에서는 하천, 호수 등 공공수역의 수질 및 수생태계의 실태를 파악하기 위해 물환경측정망을 운영하고 수질 자료를 수집하고 있다[14]. 물환경측정망은 수질 일반 측정망, 총량 측정망, 자동 측정망, 퇴적물 측정망, 방사성물질 측정망, 생물 측정망이 있으며, 약 150만 지점에서 수집한 pH, 염도, 탁도, 수온, DO, 암모니아, 질산염, 염화물, 염록소, 홍조류, 남조류 등의 측정 정보를 제공하고 1,602개 지역의 온도, pH, 전기전도도(specific conductance), DO를 실시간으로 제공하고 있다[14]. 이중 퇴적물 측정망은 수질과 통합적 해석이 가능한 일반 측정망의 연계지점, 수계 특성의 대표성 및 퇴적물 환경질 파악이 용이한 단위 유역 말단, 퇴적물 환경질에 영향을 미치는 오염원을 파악할 수 있는 지점과 용수 이용 측면에서 수질에 대한 퇴적물의 영향 평가가 요구되는 지점 등에서 조사가 이루어진다. Fig. 6은 영덕, 상주, 구미, 봉화의 1989년 1월부터 2018년 6월까지의 월별 BOD

Table 1. Monitoring system of aquatic biota in Korea

Investigation organization	Ministry of Environment	Korea Institute of Eng. and Building Tech.	Ministry of Environment	Ministry of Environment
Target	All rivers in Korea	Tributary rivers	Land and aquatic biota	Lakes
Items	Epilithic diatom communities, benthic macroinvertebrates, fishes	Hydraulic parameters, water quality, benthic plants and animals, aerial shot	Fish movement, basic water data, food chain, insects, aquatic animals	Water quality, zooplankton, phytoplankton, benthic invertebrates aquatic plants, fishes

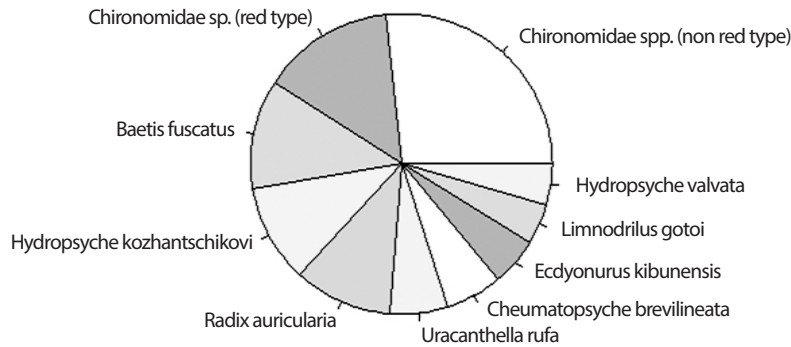


Fig. 7. Distribution of benthic macroinvertebrates in the Nakdong river area.

농도를 나타낸다. 그래프를 보면 BOD의 농도가 구미가 상대적으로 다른 측정소들에 비해 높게, 봉화의 측정소에서 가장 낮은 농도를 유지하는 것을 알 수 있다.

2.4 생태환경 자료

하천은 지속적으로 변화하는 역동적인 생태계로서, 하천의 지형, 이화학 및 생물학적 과정과 기후와 수문 유역의 특성에 따라 영향을 크게 받으며, 결과적으로 하천에 서식하는 생물들은 하천 내의 환경조건뿐만 아니라 연결된 다양한 요소들에 영향을 받는다. 생태계(ecosystem)는 수량, 수질, 물리적 서식지 등의 환경 요소와 생물학적 요소로 구성되어 있으며, 시스템 내에서 이들 요소들의 상호작용의 결과 생태계의 독특한 구조와 기능으로 나타나므로, 수생태계 건전성을 확보하기 위해서는 양호한 화학적 수질과 안정적인 물리적 서식지 확보가 필요하다[15]. 2.3에서는 이화학적 수질(BOD, COD, 영양염 등)이 물의 맑기만을 표현하는 반면, 수생태계 건전성은 하천의 동·식물의 건강성을 표현한다.

본 연구의 생태계 조사에는 식물, 곤충, 저서성 대형무척추동물, 어류, 양서·파충류, 포유류에 대한 자료와 하천 및 호수 환경 조사나 오염원 분석을 위하여 플랑크톤과 부착조류 항목을 추가하였다. 생태환경에 대한 자료들은 물환경정보시스템[12]과 국가수자원관리종합시스템[15]에서 제공하는 부착조류, 어류, 저서성 대형무척추동물, 조류, 포유류에 대한 자료를 수집하여 구축하였다. 현재 국내의 수생태계를 대상으로 시행 중에 있는 모니터링 사업은 Table 1과 같다.

부착조류(epilithic alga)는 하천, 호수, 해양 등에서 암석, 자갈, 모래, 생물체 등의 표면에 부착하여 생활하고 있는 조류이다. 부착조류는 다양한 기질에 부착하여 살아가는 하천 생태계의 1차 생산자이며, 그 중 규조류는 넓은 범위의 오염에 적응하므로 모든 하천에서 발견되어 환경적 변화와 서식처의 조건에 민감하게 반응하므로 생태학적으로 유용한 지표 생물로 볼 수 있다[15]. 어류는 장기간의 영향을 나타내는 생물 지표이며, 비교적 오래 살고 이동성이 있기 때문에 광범위한 서식지 조건 및 수질오염, 생태계교란을 평가할 수 있는 핵심대상이다. 담수산 저서성 대형무척추동물(benthic

Table 2. General description of data in aquatic environment near the Nakdong river

Data	Main item	Sub item	Duration	Data source
Hydrology	Precipitation	Rainfall at stations	2008.06 ~ 2018.07	Water Environment Information System [12]
	Dam storage	Low water level, inflow, outflow and storage	1998.01 ~ 2018.07	Water Environment Information System [12]
	Water level	Water level at stations	2015.01 ~ 2018.07	Water Environment Information System [12]
	Discharge	Discharge at stations	2003.01 ~ 2018.07	Water Environment Information System [12]
Water quality	General measuring network	pH, DO, BOD, COD, SS, TN, TP, TOC, water temp., phenol, conductivity, E.coli	1989.01 ~ 2018.07	Water Environment Information System [12]
	Total measuring network	Water temp., pH, conductivity, Do, BOD, COD, TN, TP, TOC	2013.01 ~ 2018.06	Water Environment Information System [12]
	Sediment measuring network	Max. depth, surface and bottom (water temp., DO, pH, conductivity), water clearness, particle, water content	2015.05 ~ 2015.10	Water Environment Information System [12]
Biota I	Epilithic alga	Scientific name and populations in large and regional area, and observed site	2007 ~ 2016 (twice a year)	Water Environment Information System [12]
	Fish	Scientific name and populations in large and regional area, and observed site	2007 ~ 2016 (twice a year)	Water Environment Information System [12]
	Benthic macroinvertebrates	Scientific name and populations in large and regional area, and observed site	2007 ~ 2016 (twice a year)	Water Environment Information System [12]
Biota II	Fish	number of appeared species, natural monument, protected species	2015	Water Resources Management Information System [15]
	Benthic invertebrates	Scientific name, number of appeared species, reference species, natural monument, protected and dominant species	2010	Water Resources Management Information System [15]
	Bird	Scientific name, number of appeared species, reference species, natural monument, protected and dominant species	-	Water Resources Management Information System [15]
	Mammal	Scientific name, number of appeared species, reference species, natural monument, protected and dominant species	-	Water Resources Management Information System [15]

macroinvertebrates)은 하천이나 호수 등 담수에 서식하는 생물 중에서 바닥을 생활터전으로 삼으며 육안으로 식별이 가능한 척추 없는 동물을 통칭하는 것으로 생활사의 전부 또는 일부를 담수에서 보낸다. 저서성 대형무척추동물은 오랜 기간 담수생태계의 다양한 환경에 적응해 오는 동안 종 특유의 서식 영역을 가지게 되어 물 환경의 상태를 진단하거나

건강성을 평가하는 지표생물로 이용되고 있다.

낙동강 권역의 저서성 대형무척추동물의 현황은 Fig. 7 과 같고 갈따구류(Chironomidae spp), 개똥하루살이(Baetis fuscatus)와 등줄하루살이(Uracanthella rufa)와 같은 하루살이류와 줄날도래(Hydropsyche kozhantschikovi), 꼬마줄날도래(Cheumatopsyche brevilineata)와 같은 날도래류가

가장 많이 출현한 것을 알 수 있다.

조류(bird) 데이터는 국가수자원관리종합시스템[15]에서 제공되고 있으며, 보통 조류의 조사는 하천의 하류부터 상류까지 도보 및 차량으로 이동하면서 구역별로 하천 내의 수면과 수변부 및 둔치에 서식하는 조류와 농경지 및 산림에 서식하는 조류를 조사한다. 이러한 조사방법을 통해서 낙동강권역의 지역별로 조류가 조사된 주소와 출현종수, 종명, 참고문헌, 우점종, 천연기념물과 보호대상종의 자료를 구축하였다. 포유류에 대한 데이터 또한 국가수자원관리종합시스템[15]에서 수집할 수 있으며, 포유류 조사는 일반적으로 조사 인원이 도보나 차량으로 이동하면서 하천의 수변부에서 족적, 배설물, 사진촬영, 목격 등의 방법으로 촬영과 기록을 한다. 종 동정은 육안, 흔적조사, 로드킬 개체 확인, 포획조사, 무인센서 카메라 등으로 실시한다.

앞에서 기술한 낙동강 권역에서 수문자료, 수질 및 생태환경자료 등의 세부항목, 자료기간과 자료의 출처 등을 Table 2에 요약하였다. Table 2에서 모든 자료의 형식은 csv (comma-separated values)의 형태로 되어 있다.

3. 결론

원자력시설 사고 후 지표 토양내 침적된 방사성핵종의 수생 환경내 중장기 거동 평가를 위한 수문환경 기초자료를 수집하였다. 지표 토양내 침적된 방사성핵종은 강우에 의하여 주변 지표수계로 이동하여 수문환경을 오염시키므로 토양내 방사성핵종의 장기 거동을 평가하는 것은 중요하다. 본 연구에서는 지표 수계의 방사성핵종의 거동 평가를 위하여 필요한 기본적인 수문자료를 수집하여 자료를 DB로 구축하였다. 수집된 자료는 공간, 수문, 수질 및 생태환경으로 우리나라의 다양한 기관에서 제공하는 자료를 찾아, 자료간 상호 연계를 위하여 공간 좌표계와 데이터 형식을 일치시켰다. 특히, 여러 기관에서 제공하는 자료의 형태와 좌표계가 서로 달라 이들 자료를 일치시켜야 하는데, 좌표계는 국토지리 정보원 표준 좌표계로, 통계 자료 및 수생태계 자료는 공간자료와의 연계를 위해 항목별로 재가공하여 엑셀 파일로 테이블화 하였다. 공간 객체 간에 존재하는 객체 간의 속성의 특성 값과 통계자료가 가지고 있는 지역 표준 코드를 바탕으로 필요한 정보를 병합하고 취합하여 최종

데이터를 구축하였다.

월성 원전이 위치한 낙동권 권역에 대하여 하천과 호수의 특성, 기상 및 기후, 수질 및 주요 생물상의 변화 등을 포함하여 수생환경 자료들이 구축되었다. 구축된 수생환경 자료는 원전사고 시 지표에 침적된 방사성 물질이 강우에 의하여 주변 수계로의 중장기 거동 평가를 위한 지표수계 유동 및 확산모델과 수생환경 생태계 평가모델의 기본 입력 자료로 이용되어 종합적인 방사선 영향평가에 활용될 예정이다.

감사의 글

본 연구는 2018년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호 : NRF-2017M2A8A4015253, NRF-2015M2A2B2034282).

REFERENCES

- [1] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Annex A: Levels and Effects of Radiation Exposure due to the Nuclear Accident after the 2011 Great East-Japan Earthquake and Tsunami, UNSCEAR 2013 Report, Vol. 1 (2014).
- [2] M. Naulier, F. Eyrolle-Boyer, P. Boyer, J.M. Metivier, and Y. Onda, "Particulate Organic Matter in Rivers of Fukushima : An Unexpected Carrier Phase for Radiocesiums", *Sci. Total Environ.*, 579, 1560-1571 (2017).
- [3] K. Miyahara, I. McKinley, K. Saito, S. Hardie, and K. Iijima, Use of Knowledge and Experience Gained from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident to Establish the Technical Basis for Strategic Off-site Response, Japan Atomic Energy Agency (JAEA)-review 2015-001 (2015).
- [4] B. Min, B. Yang, J. Kim, K. Park, S. Kim, J. Lee, and K. Suh, "Study of Soil Erosion for Evaluation of Long-term Behavior of Radionuclides Deposited on Land", *J. Nucl. Fuel Cycle Waste Technol.*, 17(1), 1-13 (2019).

- [5] S. Mishra, S.K. Sahoo, P. Bossew, A. Sorimachi, and S. Tokonami, "Vertical Migration of Radio-Cesium Derived from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant Accident in Undisturbed Soils of Grassland and Forest", *J. Geochem. Explor.*, 169, 163-186 (2016).
- [6] K. Suh, S. Kim, and B. Min, "Atmospheric Dispersion and Sea Surface Deposition of Radionuclides by the Fukushima Nuclear Accident", *J. Coast. Res.*, 79, 85-88 (2017).
- [7] B. Min, R. Perianez, I.G. Kim, and K. Suh, "Marine Dispersion Assessment of ^{137}Cs Released from the Fukushima Nuclear Accident", *Mar. Pollut. Bull.*, 72(1), 22-33 (2013).
- [8] Nuclear Safety and Security Commission, Enforcement Regulations for the Nuclear Safety Act, NSSC, Presidential Decree No.27678 (2016).
- [9] J.Y. Yoon, The Annual Report on the Environment Radiological Surveillance and Assessment around the Nuclear Facilities, Korea Institute of Nuclear Safety Report, KINS/AR-140, Vol. 26 (2015).
- [10] L. Anselin and A. Getis, "Spatial Statistical Analysis and Geographic Information Systems", *Ann. Reg. Sci.*, 26(1), 19-33 (1992).
- [11] National Spatial Data Infrastructure Portal. Accessed Jun. 12 2019. Available from: http://www.nsd.gov.kr/lxdownload/download.do?DS_SQ=20001&FILE_SQ=230032.
- [12] Water Environment Information System, Accessed Jun. 12 2019. Available from: http://water.nier.go.kr/waterData/otherSearch.do?menuIdx=3_1_15&siteTypeCd=B.
- [13] K-Water, Accessed Jun. 12 2019. Available from: http://opendata.kwater.or.kr/pubdata/dat/viewOpenDataApi2.do?seq_no=38.
- [14] Water Environment Information System, Accessed Jun. 12 2019, Available from: http://water.nier.go.kr/waterData/generalSearch.do?menuIdx=3_1_1&siteTypeCd=A.
- [15] Water Resources Management Information System,

Accessed Jun. 12 2019, Available from: http://www.wamis.go.kr/WKE/wke_envfsaa_lst.aspx.