Journal of Radiation Industry 13(2) : 93~101(2019)

방사성핵종 전이인자 DB연계를 위한 데이터 로더모듈 개발

서경석[1,*] · 민병일[1] · 김소라[1] · 박기현[1] · 김지윤[1]

[1]한국원자력연구원 환경안전연구실

Development of Data Loader Module for Database Link of Transfer Parameters of Radionuclides

Kyung-Suk Suh[1,*], Byung-Il Min[1], Sora Kim[1], Kihyun Park[1] and Jiyoon Kim[1]

[1]*Environmental Safety Research Division, Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon 34057, Republic of Korea*

Abstract - Radionuclide migration numerical model in surface water is now being developed for evaluating long-term behavior of radioactive materials released into aquatic environment from a nuclear accident. Data of distribution coefficient (K_d) and concentration factor (CF) were gathered and constructed with database (DB) for an environmental media to use with the basic input parameter of radionuclide migration model in surface water environment. Also, a data loader module has been developed using the C language in Linux system, and it was composed of link with the radionuclide migration model efficiently for easy utilization. Developed data loader module was verified through the process of configuring DB file again after reading each data in DB. A data loader module will be updated by aquisition new data set from International Atomic Energy Agency.

Key words : Radionuclide, Distribution coefficient, Concentration factor, Data loader

서 론

체르노빌과 후쿠시마 원전 사고 시 다량의 방사성물질이 환경으로 누출되어 인간과 환경에 위해한 영향을 주었다(UNSCEAR 2011; UNSCEAR 2014). 특히 후쿠시마 사고 초기 대기로 누출된 방사성물질은 육상 및 해수면으로 침적되어 생태 환경을 오염시켰다(Chino *et al*. 2011; Katata *et al*. 2012; Hirose 2016). 원전 사고로 인해 환경으로 방출된 방사성물질이 인간 및 환경에 미치는 중장기적 영향을 평가하기 위해서는 수생 환경 내 침적된 방사성핵종의 장기거동을 평가하는 기술 개발이 필요하다(JAEA 2015). 토양침적-지표수-연안 환경 내 중장기적 방사성핵종의 거동 해석과 환경 및 보건영향 평가를 위해서는 다양한 평가모델과 자료가 필요한데, 방사성핵종의 지표수계 이동해석을 위한 수치모델의 중요한 입력 자료로는 분배계수(distribution coefficient, K_d)와 농도계수(concentration factor, CF)가 있다.

환경 내 분배계수는 토양, 담수 그리고 해양 환경 내에서 방사성핵종이 고체 및 액체와 어떻게 상호작용을 하는지 모사하기 위해 가장 일반적으로 사용되는 변수이다. 물과 입자 사이의 핵종 치환이 전적으로 가역적이고 용해된 미립상 사이 평형의 균형이 존재한다는 가정을 기본으로 한다(IAEA 2004). 농도계수는 생태계 내 방사성핵종의 거동을 평가하기 위해 가장 일반적으로 사용되는 접근법으로, 생물체와 환경매체 간의 방사성핵종의 농도가 평형을 이루었다는 가정을 기본으로 하여, 토양, 퇴적토, 물, 또는 공기 내 핵종 농도로부터 생물체 내 방사성핵종의 농도를 예측한다(IAEA 2004). 이에 관련하여 국제원자력기구 IAEA는 인간과 환경에 대한 방사선 영향 평가를 지원하기 위한 목적으로 여러 환경매체에

* Corresponding author: Kyung-Suk Suh, Tel. +82-42-868-4788, Fax. +82-42-868-8943, E-mail. kssuh@kaeri.re.kr

서 방사성핵종의 분배계수와 농도계수에 관한 다양한 보고서를 발간해 왔다(IAEA 1985; IAEA 1994; IAEA 2004).

본 연구에서는 환경 내 핵종의 장기거동 평가를 위해 중요한 인자인 분배계수와 농도계수에 대한 최신 데이터 값에 관한 정보를 수집하고, 수생환경 내 방사능오염 평가 모델에 활용 가능하도록 상기 인자들을 데이터베이스(Database; DB)화 하였다. 이러한 데이터베이스를 사용자가 편리하게 이용토록 데이터 로더 모듈을 개발하였고, Linux 환경에서 빠르게 필요한 자료를 검색하여 수치모델에 연동되도록 구성하였다.

재료 및 방법

IAEA는 환경 내 핵종의 장기거동 평가를 위하여 환경 내 분배계수와 농도계수에 관한 자료를 기술보고서(Technical Report Series; TRS)로 발간하였다(IAEA 1985; IAEA 1994; IAEA 2004; IAEA 2010; IAEA 2014). Fig. 1과 Fig. 2에 각각 방사성핵종의 환경 내 분배계수와 농도계수 값을 제공하고 있는 IAEA의 기술보고서에 대한 정보를 나타내었다. 이 중 2개의 주요 보고서인 해양 환경에서의 분배계수와 농도계수를 수록한 TRS-247 (IAEA 1985)과 온대기후 내 핵종의 거동 예측을 위한 변수 값을 제시한 TRS-364 (IAEA 1994)에 해양, 담수, 그리고 육상 생태계 내 사용 가능한 핵종 거동 관련 변수 값이 상세히 나타나 있다. 이 두 보고서에 제시된 자료들은 다양한 분야에서 방사선환경영향을 평가하기 위한 주요 자료로 활용되고 있다. TRS-247의 내용을 개정하여 TRS-422 (IAEA 2004)가 발간되었다. IAEA는 Environmental Modelling for Radiation Safety (EMRAS) 국제 공동 프로그램의 일환으로 TRS-346을 개정하여 TRS-472 (IAEA 2010)를 발간하였다. TRS-364가 발간된 이후, 생산된 광범위한 새로운 데이터 세트들을 바탕으로 TRS-472가 준비되었고, 이 보고서에 제시된 변수 값을 도출하는데 적용된 데이터와 방사선 생태학적 개념 및 모델 등에 대한 사항들은 TECDOC-1616 (IAEA 2009)에 상세히 기술되어 있다. Table 1에 핵종 전이인자의 DB 수집 항목 및 자료 출처 등에 대한 정보를 나타내었다. 담수에 대한 분배계수 K_d 값은 IAEA의 방사선영향평가 모델 국제공동연구(Model and Data for Radiological Impact Assessment II, MODARIA-II)의 워킹그룹 4의 보고서가 공식 발간되고 난 후, 이를 참고하여 구축한 DB 중 일부를 업데이트할 예정이다.

데이터로더 모듈을 개발하기 위해, 앞서 언급한 IAEA의 기술보고서들을 통해 공개된 최신의 환경 내 분배계수와 농도계수 자료를 환경매체, 생물종, 방사성핵종에 따라 분류하여

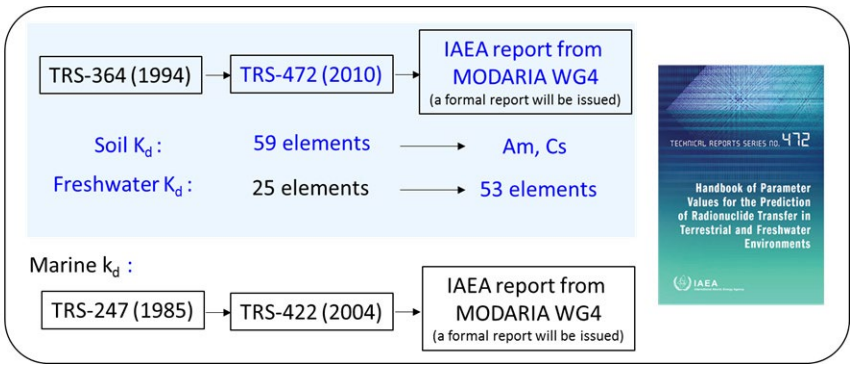

Fig. 1. IAEA Technical Report Series (TRS) for values of distribution coefficient (K_d) of radionuclides in environment.

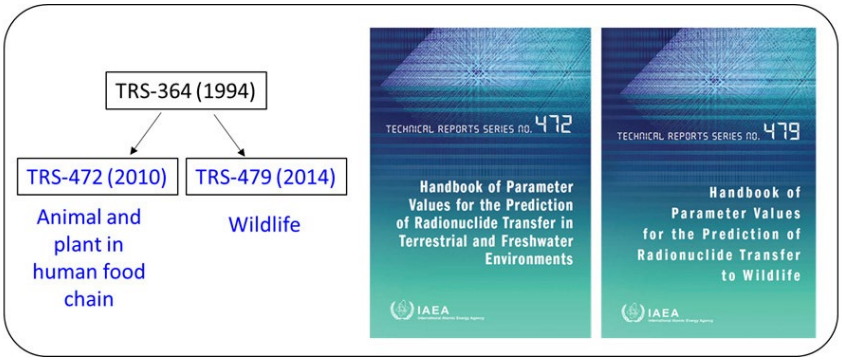

Fig. 2. IAEA Technical Report Series (TRS) for values of concentration factor (CF) of radionuclides in environment.

Table 1. Database of transfer parameters published by IAEA

Transfer parameter	Content		Reference
Concentration factor (CF)	Ingestion	Agricultures in land biota	TRS-472 (IAEA 2010)
		Livestock products in land biota	TRS-472 (IAEA 2010)
		Animals and plants in fresh environment	TRS-472 (IAEA 2010)
	Wildlife	Plants in land biota	TRS-479 (IAEA 2014)
		Animals in land biota	TRS-479 (IAEA 2014)
		Animals and plants in fresh environment	TRS-479 (IAEA 2014)
Distribution coefficient (K_d)	Fresh water		TRS-472 (IAEA 2010)
	Soil		TRS-472 (IAEA 2014), TECDOC-1616 (IAEA 2009)
	Ocean	Open ocean	TRS-422 (IAEA 2004)
		Ocean margin	TRS-422 (IAEA 2004)

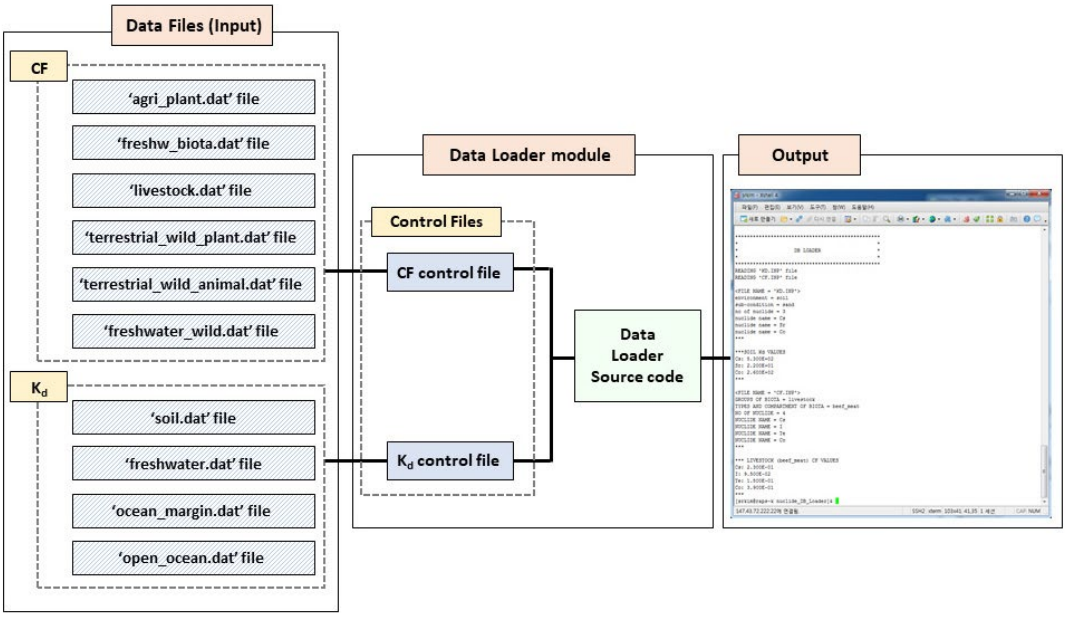

Fig. 3. Structure of developed data loader (CF: concentration factor, K_d: distribution coefficient).

각각의 데이터 파일을 생성하고, 생성된 데이터 파일 내 자료들에 대한 검증작업을 실시하였다. 다음 작업으로 검증을 완료한 데이터 파일로부터 사용자가 원하는 조건의 입력을 받기 위한 컨트롤 파일을 추가하였다. 사용자의 입력을 받기 위해 컨트롤 파일을 읽고, 조건과 일치하는 자료를 데이터 파일에서 검색하여 출력하기 위한 소스코드를 C언어를 사용하여 작성하였다. 최종적으로 데이터를 읽어 들이는 과정에서 발생될 수 있는 오류의 가능성을 확인하기 위하여 읽은 DB를 그대로 다시 DB 파일을 구성하는 작업을 수행하였다.

결과 및 논의

개발 중인 수생환경 내 방사능오염 평가 모델에 활용 가능하도록 핵종 별로 데이터베이스화한 전이인자(분배계수와 농도계수) 자료들이 수치 모델에 바로 연계될 수 있도록 데이터 로더를 C언어를 사용하여 개발하였다. 개발된 데이터 로더 모듈은 Linux 메모리에 상주하여 접속 속도가 빠르고, 동시에 다양한 프로그램과 사용자가 이용 시 프로그램의 구동이 원활토록 하였다. 데이터 로더 모듈은 크게 기본 구조문, 데이터 파일과, 컨트롤 파일, 컨트롤 파일을 읽는 소스코드, 컨트롤 코드에서 읽은 조건에 일치하는 자료를 데이터 파일에서 검색하여 출력하는 소스코드로 구성되어 있다. 개발된 전이인자의 데이터 로더 구성을 Fig. 3에 나타내었다.

1. 분배계수 (K_d) 데이터 모듈 구조

분배계수 데이터는 방사성핵종과 환경 특성에 따라 정의되

며, 환경 매체는 토양, 담수, 그리고 해양으로 분류되며, 각각의 환경 매체는 환경 내 특성에 따른 각각의 K_d 값을 가진다. K_d 데이터 모듈 구조문의 변수를 Table 2와 Table 3에 제시하였다.

2. 농도계수 (CF) 데이터 모듈 구조

농도계수 데이터는 방사성핵종과 환경 특성, 생물종 등에 따라 정의되며, 생장환경에 따른 생물종 분류는 IAEA TRS-472 (IAEA 2010)에 제시되어 있는 인간에 의해 재배 및 사육되는 동·식물에 대한 분류와 TRS-479 (IAEA 2014)의 야생 생태계 내 동·식물에 대한 분류를 따른다. 농도계수 데이터 모듈 구조문의 변수를 Table 4와 Table 5에 나타내었다.

3. 데이터 파일 구조

핵종전이인자의 모듈의 데이터 파일은 4개의 분배계수(K_d) 데이터 파일과 6개의 농도계수(CF) 데이터 파일로 구성되어 있으며, Table 6과 Table 7에는 각 파일에 수록되어 있는 데이터에 대한 설명이 제시되어 있다.

Fig. 4와 Fig. 5에 토양 및 담수 환경내 방사성핵종에 대한 각각 K_d와 CF 데이터 파일의 일부를 제시하였다. 데이터 파일에서 '−1.00+00'으로 표기된 수치는 해당 조건의 데이터 값이 없음을 의미한다.

Table 2. Objective contents for K_d in data loader

Variable	Declaration	Explanation
Struct inpkd envir	Character	Environmental target
Struct inpkd subcon	Character	Characteristics of environmental target
Struct inpkd nucname	Character	Name of radionuclide
Struct inpkd no_nuc	Integer	Number of radionuclide
Struct inpkd kdval	Double precision	Value of K_d

Table 3. Explanation of objective contents for K_d in data loader

Environmental target	Characteristics of environmental targe	Explanation
Soil	All	All kinds of soil
	Sand	Sand
	Loam	Loam
	Clay	Clay
	Organic	Organic
Freshwater	Sus	Suspended sediment
	Dep	Deposited sediment
Ocean	Open	Open ocean
	Margin	Ocean margin

Table 4. Objective contents for CF in data loader

Variable	Declaration	Explanation
Struct inpcf bio_grp	Character	Classification of species according to growth environment
Struct inpcf bio_type	Character	Kinds and compartment of species
Struct inpcf nucname	Character	Name of radionuclide
Struct inpcf no_nuc	Integer	Number of radionuclide
Struct inpcf cfval	Double precision	Value of CF

Table 5. Explanation of objective contents for CF in data loader

Classification of species according to growth environment	Subclass of species	Explanation
Agricultural plant (food for human)	cereal_seed	cereal (grains, seeds and pods)
	cereal_stem	cereal (stems and shoots)
	maize_seed	maize (grains, seeds and pods)
	maize_stem	maize (stems and shoots)
	leafy_veg	leafy vegetable (leave)
	non_leafy_veg	non-leafy vegetable (fruits, berries, buds, heads)
	legume	leguminous vegetable (grains, seeds and pods)
	root	root crop (root)
	tuber	tuber (tuber)
	fruit	fruit (all types)
	fruit_woody	fruit (woody tree)
	fruit_herb	fruit (herbaceous plant)
	fruit_shrub	fruit (shrub)
Livestock (food for animal)	legume_fodder	legume fodder (stems and shoots)
	pasture	pasture (stems and shoots)
	grass	grass (stems and shoots)
		livestock
	beef_meat	meat from beef
	sheep_meat	meat from sheep
	pork_meat	meat from pork
	cow_milk	milk from cow
	goat_milk	milk from goat
	sheep_milk	milk from sheep
	horse_milk	milk from horse

Table 5. Continued

Classification of species according to growth environment	Subclass of species	Explanation
Freshwater (Species in freshwater)	aqua_plant	edible aquatic plant
	inverteb	invertebrate
	fish	fish tissue
	herpet_tadpole	herpetofauna tadpole
	herpet_frog	herpetofauna frog
	herpet_reptile	herpetofauna reptile
wild_terr_plant (wildlife terrestrial plant)	herb	grasses and herbes
	linchen	linchens and bryophtes
	shrub	shrub
	tree	tree (all types)
	tree_conif	tree coniferous
	tree_broadleaf	tree broad leaf
wild_terr_animal (wildlife terrestrial animal)	amphibian	amphibians
	annelid	annelids
	arachnid	arachnids
	arthr	arthropods
	arthr_herb	arthropods (herbivorous)
	arthr_carniv	arthropods (carnivorous)
	arthr_detrit	arthropods (detritivorous)
	molluscs	molluscs (gastropod)
	reptile	reptiles
	reptile_carniv	reptiles (carnivorous)
	bird	birds
	bird_herb	birds
	bird_carniv	birds (carnivorous)
	bird_omniv	birds (omnivorous)
	mammal	mammals
	mammal_herb	mammals (herbivorous)
	mammal_carniv	mammals (carnivorous)
	mammal_omniv	mammals (omnivorous)
	mammal_rang	mammals (rangifer spp)
	mammal_marsup	mammals (marsupial)
wild_freshw (wildlife freshwater)	vas_plant	vascular plant
	phytoplank	phytoplankton
	zooplank	zooplankton
	algae	algae
	insect_larv	insect larvae
	insect	insect
	molluscs	molluscs
	molluscs_gastr	molluscs (gastropod)
	molluscs_bival	molluscs (bivalve)
	reptile	reptile
	amphibian	amphibian
	crustacean	crustacean
	fish	fish
	fish_benethic	fish (benethic feeding)
	fish_pisciv	fish (piscivorous)
	fish_forage	fish (forage)
	mammal_herb	mammal (herb)
	mammal_omniv	mammal (omnivorous)

Table 6. Data file structure for K_d in data loader

File name	Explanation
kd_soil.dat	K_d values ($L \cdot kg^{-1}$) of 67 radionuclides in all soil, sand, loam, clay, organic and unspecified
kd_freshwater.dat	K_d values ($L \cdot kg^{-1}$) of 25 radionuclides in freshwater
kd_open_ocean.dat	K_d values ($kg \cdot kg^{-1}$) of 61 radionuclides in open ocean
kd_ocean_margin.dat	K_d values ($kg \cdot kg^{-1}$) of 61 radionuclides in ocean margin

Table 7. Data file structure for CF in data loader

File name	Explanation
CF_agri_plant.dat	CF values of 41 radionuclides for 11 kinds of agriculture products ($Bq \cdot kg^{-1}$ in dry plant, $Bq \cdot kg^{-1}$ in dry soil, $Bq \cdot kg^{-1}$ in fresh fruit and $Bq \cdot kg^{-1}$ in dry soil for fruit)
CF_livestock.dat	CF values of 35 radionuclides for 7 kinds of livestock products ($kg \cdot L^{-1}$ for milk and dimensionless for meat)
CF_freshw_biota.dat	CF values of 55 radionuclides for 4 kinds of animals and plants in freshwater environment ($L \cdot kg^{-1}$ in fresh weight)
CF_terrestrial_wild_plant.dat	CF values of 52 radionuclides for 4 kinds of plants in land biota ($Bq \cdot kg^{-1}$ in fresh weight) and $Bq \cdot kg^{-1}$ dry weight)
CF_terrestrial_wild_animal.dat	CF values of 52 radionuclides for 8 kinds of animals in land biota ($Bq \cdot kg^{-1}$ in fresh weight and $Bq \cdot kg^{-1}$ in dry weight)
CF_freshwater_wild.dat	CF values of 61 radionuclides for 12 kinds of animals in freshwater biota ($L \cdot kg^{-1}$ in fresh weight)

'File name=kd_soil.dat'
It contains soil kd data of 67 radionuclides from Table 1, 3, 5, 8, 10, 12, 14, 16 in TECDOC-1616
Kd value (L/kg)

element	all soils	sand	loam	clay	organic	unspecified
Sr	5.20E+01	2.20E+01	5.70E+01	9.50E+01	1.10E+02	7.30E+01
Cs	1.20E+03	5.30E+02	3.50E+03	5.50E+03	2.70E+02	1.70E+03
U	2.00E+02	1.10E+02	3.10E+02	2.80E+01	1.20E+03	1.70E+02
I	6.90E+00	4.10E+00	8.00E+00	1.10E+01	3.20E+01	4.20E+00
Ac	1.70E+03	4.50E+02	1.50E+03	2.40E+03	5.40E+03	-1.00E+00
Ag	3.80E+02	1.30E+02	1.20E+02	1.80E+02	9.70E+03	2.60E+02
Am	2.60E+03	1.00E+03	4.20E+03	8.10E+03	2.50E+03	-1.00E+00
As	5.50E+02	2.10E+02	1.00E+03	-1.00E+00	-1.00E+00	2.80E+03
Ba	-1.00E+00	-1.00E+00	4.00E-01	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
Be	9.90E+02	2.40E+02	8.10E+02	1.30E+03	3.00E+03	1.30E+03
Bi	4.80E+02	3.00E+02	4.00E+02	6.70E+02	1.50E+03	4.90E+02
Br	5.50E+01	1.50E+01	4.90E+01	7.40E+01	1.80E+02	-1.00E+00
Ca	8.00E+00	3.00E+00	8.30E+00	1.60E+01	1.10E+02	-1.00E+00
Ce	1.20E+03	4.00E+02	3.00E+03	9.10E+02	3.00E+03	-1.00E+00
Cl	3.00E-01	5.00E-01	4.00E-01	2.00E-01	7.00E-01	2.00E-01
Cm	9.30E+03	3.40E+03	1.90E+04	5.40E+03	7.40E+03	-1.00E+00
Cr	4.00E+01	8.40E+00	4.50E+01	1.40E+01	1.60E+02	6.40E+03
Cu	5.30E+02	2.30E+02	4.80E+02	2.10E+03	3.20E+02	1.30E+03
Dy	1.50E+03	8.20E+02	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	2.10E+03
Fe	8.80E+02	3.20E+02	8.90E+02	1.60E+03	1.40E+03	-1.00E+00
Ga	3.00E+02	3.10E+02	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	2.80E+02
H	-1.00E+00	1.00E-01	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
Hf	2.50E+03	1.90E+03	1.50E+03	2.40E+03	5.40E+03	8.50E+03
Hg	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	6.30E+03
Ho	9.30E+02	2.40E+02	8.10E+02	1.30E+03	3.00E+03	-1.00E+00
In	4.80E+02	2.40E+02	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	7.30E+02
Ir	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	3.00E+00
K	1.30E+01	3.40E+00	2.00E+01	4.30E+01	1.90E+01	1.10E+01
La	-1.00E+00	5.30E+03	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
Lu	-1.00E+00	5.10E+03	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
Mg	3.80E+00	1.30E+00	4.80E+00	6.80E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
Mn	1.20E+03	9.80E+02	1.10E+03	4.50E+03	1.60E+02	1.00E+04
Mo	3.80E+01	4.50E+01	1.30E+02	9.00E+01	2.30E+01	3.70E+01
Na	3.40E+00	2.20E+00	4.60E+00	1.70E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
Nb	1.50E+03	1.70E+02	2.50E+03	2.40E+03	2.00E+03	-1.00E+00
Cd	1.50E+02	1.10E+02	1.00E+02	1.30E+02	6.50E+02	6.80E+01
Co	4.80E+02	2.60E+02	8.10E+02	3.80E+03	8.70E+01	-1.00E+00
Ni	2.80E+02	1.30E+02	1.80E+02	9.30E+02	1.10E+03	4.80E+02
Zn	9.50E+02	1.10E+02	2.40E+03	2.40E+03	5.60E+02	2.40E+02
Np	3.60E+01	1.40E+01	2.30E+01	3.80E+01	8.10E+02	-1.00E+00
P	8.70E+01	3.90E+02	2.00E+02	4.90E+01	1.10E+02	-1.00E+00
Pa	2.00E+03	5.40E+02	1.80E+03	2.70E+03	6.60E+03	-1.00E+00
Pb	2.00E+03	2.20E+02	1.00E+04	6.60E+04	2.50E+03	5.90E+04
Pd	1.80E+02	9.00E+01	1.80E+02	2.70E+02	6.70E+02	1.70E+02
Pm	4.50E+02	4.50E+02	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	4.50E+02
Po	2.10E+02	1.00E+02	2.30E+02	1.70E+03	6.60E+03	-1.00E+00
Pt	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	2.40E+01
Pu	7.40E+02	4.00E+02	9.50E+02	1.80E+03	7.60E+02	2.30E+02
Ra	2.50E+03	3.10E+03	1.10E+03	3.80E+04	1.30E+03	1.20E+03
Rb	2.10E+02	5.50E+01	1.80E+02	2.70E+02	6.70E+02	-1.00E+00
Rh	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	4.00E+00
Ru	2.70E+02	3.60E+01	3.00E+02	5.00E+02	6.60E+04	1.40E+02
Sb	6.20E+01	1.70E+01	6.10E+01	1.40E+02	7.50E+01	9.90E+01

Fig. 4. Example data file of K_d in 'kd_soil.dat.'

'File name=CF_freshw_biota.dat'
It contains concentration ratio of 55 radionuclides for freshwater biota from Table 55-58 in TRS-472
Concentration ratio=ratio of the radionuclide concentration in biota (Cb) from all exposure pathways
(including water, sediment and ingestion/dietary pathways)
on per unit tissue fresh weight basis to that in water (Cw)
unit: L/kg, fresh weight

Element	edible aquatic plant	freshwater invertebrates	freshwater fish tissue	edible herpetofauna Tadpole (whole)	Frog (muscle)	Reptile (carcass)
Ag	-1.00E+00	2.30E+02	1.10E+02	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
Al	-1.00E+00	3.40E+03	6.60E+01	1.00E+04	1.30E+02	-1.00E+00
Am	3.70E+03	2.40E+03	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
As	-1.00E+00	1.50E+03	3.90E+02	1.40E+02	5.20E+01	-1.00E+00
Au	-1.00E+00	1.40E+03	2.90E+02	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
Ba	-1.00E+00	1.40E+02	4.70E+01	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
Br	-1.00E+00	1.30E+03	1.60E+02	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
C	1.60E+04	6.50E+04	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
Ca	-1.00E+00	3.40E+01	1.00E+03	4.50E+01	3.50E+00	1.60E+02
Cd	1.90E+04	1.00E+02	-1.00E+00	2.10E+02	1.20E+02	-1.00E+00
Ce	-1.00E+00	4.30E+02	1.20E+01	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
Cl	-1.00E+00	1.60E+02	9.50E+01	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
Cm	9.00E+03	9.50E+03	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
Co	7.10E+02	2.20E+01	4.00E+02	9.30E+03	5.50E+02	2.60E+03
Cr	-1.00E+00	3.00E+02	2.10E+02	2.90E+02	9.20E+01	-1.00E+00
Cs	9.70E+01	2.30E+01	3.00E+03	3.00E+03	2.60E+02	2.90E+02
Cu	3.00E+03	4.20E+01	2.70E+02	2.20E+02	1.10E+02	-1.00E+00
Dy	-1.00E+00	-1.00E+00	3.00E+02	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
Eu	-1.00E+00	2.20E+02	1.50E+02	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
Fe	9.10E+03	2.00E+03	1.40E+02	2.40E+03	3.50E+01	-1.00E+00
Hf	-1.00E+00	1.40E+03	2.10E+03	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
Hg	-1.00E+00	7.50E+02	4.50E+03	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
I	1.30E+02	1.70E+01	6.50E+02	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
K	-1.00E+00	5.90E+02	4.00E+03	4.70E+02	1.50E+03	1.40E+03
La	-1.00E+00	3.50E+02	1.60E+01	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
Lu	-1.00E+00	1.10E+03	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
Mg	-1.00E+00	3.20E+01	1.10E+02	2.70E+01	1.50E+01	3.40E+01
Mn	1.20E+04	2.10E+01	4.50E+02	5.60E+02	2.00E+00	-1.00E+00
Mo	-1.00E+00	4.50E-01	2.70E+01	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
Na	-1.00E+00	3.40E+00	1.40E+02	1.10E+02	1.40E+02	7.30E+01
Ni	7.70E+02	-1.00E+00	7.10E+01	3.90E+02	2.40E+01	-1.00E+00
Np	7.20E+03	9.50E+03	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
P	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
Pb	1.90E+03	2.20E+01	3.70E+02	6.40E+01	5.50E+00	-1.00E+00
Po	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
Pu	2.60E+04	7.40E+03	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
Ra	2.90E+03	1.00E+02	2.10E+02	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
Rb	-1.00E+00	2.00E+03	6.10E+03	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
Ru	2.90E+02	3.90E-02	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
Sb	-1.00E+00	2.10E+02	7.10E+01	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
Sc	-1.00E+00	3.50E+03	9.30E+02	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
Se	1.40E+03	5.70E+02	6.90E+03	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
Sm	-1.00E+00	1.60E+03	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
Sr	4.10E+02	2.70E+02	1.90E+02	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
Tb	-1.00E+00	-1.00E+00	7.50E+02	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
Tc	5.50E+00	2.60E+01	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00
Te	-1.00E+00	-1.00E+00	4.20E+02	-1.00E+00	-1.00E+00	-1.00E+00

Fig. 5. Example data file of CF in 'CF_freshw_biota.dat.'

4. 컨트롤 파일 구조

핵종전이인자 데이터 로더모듈의 컨트롤 파일은 사용자의 편의성 증대를 위하여 단순한 몇 개의 키워드로 구성되었다. Fig. 6은 분배계수 K_d 값과 농도계수 CF 값을 불러오기 위한 컨트롤 파일의 예시이다. 이러한 컨트롤 파일을 사용하여, DB로 구축된 자료를 지표수계 핵종이동 평가 모델에서 손쉽게 호출하여 사용할 수 있다. K_d 값을 호출하기 위한 컨트롤 파일의 'environment'와 'sub-condition'에 해당하는 키워드 목록은 Table 3에, CF 값을 호출하기 위한 컨트롤 파일의 'group of biota'와 'types and compartment of biota'에 해당하는 키워드 목록은 Table 5에 각각 제시되어 있다. 각 환경 및 생물종에 대해 평가하고자 하는 방사성핵종에 대한 데이터 값은 복

```
soil                    *ENVIRONMENT
sand                    *SUB-CONDITION
3                       *NO. OF NUCLIDES
Cs                      *NUCLIDES NAME
Sr
Co
```

(a) Control file of K_d

```
livestock               *GROUPS OF BIOTA
beef_meat               *TYPES AND COMPARTMENT OF BIOTA
4                       *NO. OF NUCLIDES
Cs                      *NUCLIDES NAME
I
Te
Co
```

(b) Control file of CF

Fig. 6. Example control file of data loader for K_d and CF.

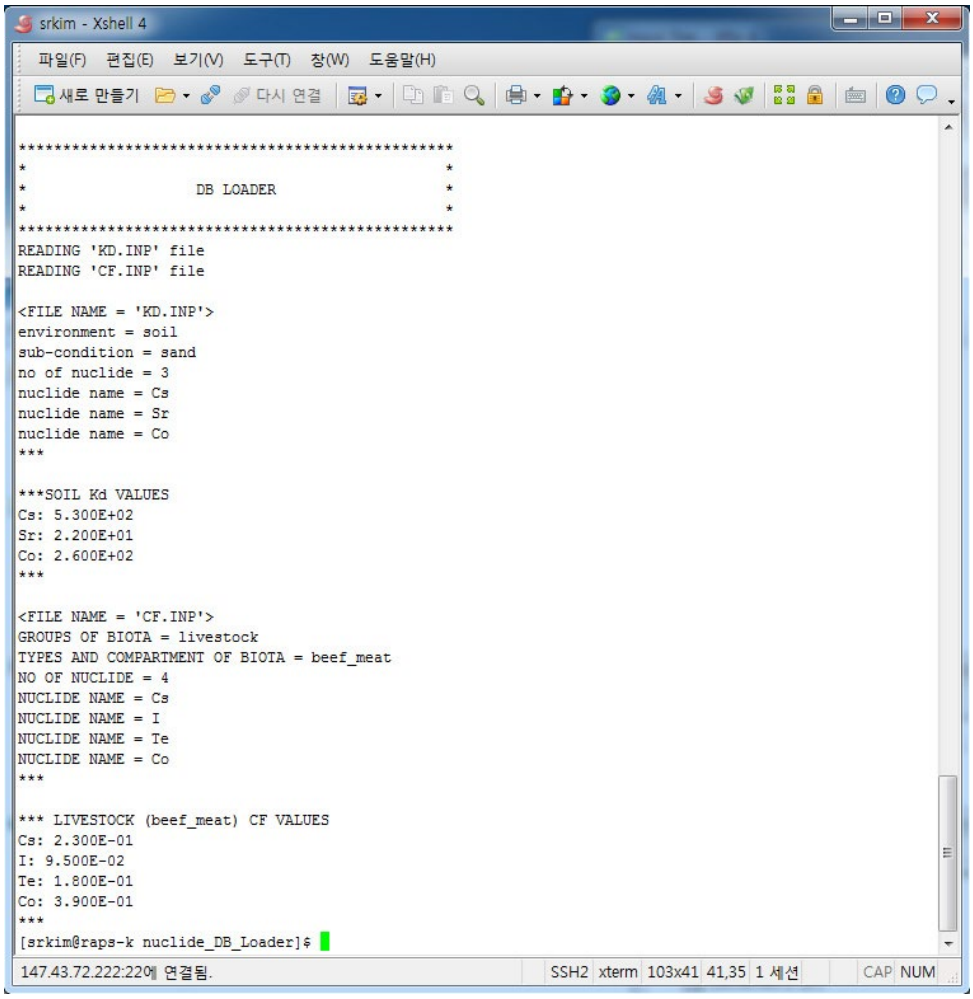

Fig. 7. Developed data loader for K_d and CF.

수로 선택할 수 있도록, 호출하고자 하는 핵종 수와 핵종 이름을 기입하도록 구성하였다.

5. 데이터 로더를 통한 변수값 호출 구조

토양에 대한 K_d 값은 all soil, sand, loam, clay, organic, unspecified 중 사용자가 선택하는 토양 그룹에 대한 결과가 출력된다. 만약 사용자가 sand, loam, clay, organic 중 하나를 선택하였을 때, DB에 해당 값이 존재하지 않으면, all soil에 대한 K_d 값을 출력한다. All soil에 대한 K_d 값이 DB에 존재하지 않는 경우는 unspecified 값을 출력하며, 사용자가 원하는 핵종에 대한 데이터가 없을 경우는 에러 메시지를 출력한다. Freshwater에 대한 K_d 값은 suspended sediment와 deposited sediment 중 사용자가 선택한 조건에 대한 K_d 값을 출력한다. Suspended sediment를 선택하였지만 이에 해당하는 K_d 값이 존재하지 않는다면, deposited sediment K_d 값을 출력하며, 이 또한 존재하지 않는 경우 sediment 종류에 대한 정의가 되지 않은 K_d 값을 출력한다. 마찬가지로, deposited sediment를 선택하였지만 이에 해당하는 K_d 값이 존재하지 않는다면, suspended sediment K_d 값을 출력하며, 이 또한 존재하지 않는 경우 sediment 종류에 대한 정의가 되지 않은 K_d 값을 출력한다. 해양의 K_d 값의 경우는 open ocean과 ocean margin에 대해 사용자가 선택한 조건에 대한 K_d 값을 출력한다.

CF 값은 생물종이 거주하는 환경, 생물종의 종류, 평가 대상이 되는 생물종의 특정 부분 등에 대한 사용자의 입력에 따라 그 값이 출력되며, 사용자가 요구한 조건에 해당하는 값이 DB에 존재하지 않을 경우에는 에러 메시지를 출력한다. Fig. 7에 본 연구에서 구축한 핵종 전이인자 자료와 연계하여 개발된 데이터 로드모듈의 예를 나타내었다.

결 론

방사선 사고로 인해 환경으로 방출된 방사성물질의 수생환경 내 중장기적 영향을 평가하기 위해서 지표수계 핵종이동 모델이 개발 중에 있다. 본 연구에서는 수생 환경 내 방사

성핵종의 지표수계 이동해석을 위한 수치모델의 중요한 입력자료인 분배계수(distribution coefficient, K_d)와 농도계수(concentration factor, CF)에 관하여 IAEA 기술 보고서로부터 최신의 자료를 수집하여 환경매체별로 체계적으로 DB화 하였다. 또한 구축된 핵종 전이인자 자료의 지표수계 핵종이동 모델과의 연계 및 구축된 자료의 사용자 활용 향상을 위하여 데이터로더 모듈을 개발하였다.

개발된 핵종전이인자 데이터 로더모듈은 Linux 환경에서 C 언어를 이용하여, 범용으로 활용 가능하도록 개발되었다. 데이터 로더모듈을 검증하는 부분에 있어서는 데이터를 읽어들이는 과정에서의 오류가 발생할 수 있다. 따라서 이를 해결하기 위하여 읽은 DB를 그대로 다시 DB 파일을 구성하는 작업을 통하여 검증을 수행하였고, 이러한 과정에서의 가시적인 오류는 발견되지 않았다. 향후 지속적으로 다양한 케이스에 대한 검증 평가를 수행할 예정이고, 또한, 신뢰성 있는 자료를 추가적으로 획득함으로써 자료의 DB 업데이트를 수행할 예정이다. 개발된 데이터 로더모듈은 사용자가 간단한 조건 입력만으로 원하는 자료를 쉽게 얻을 수 있다는 장점이 있다. 반면, 한정된 방사성핵종, 환경적 특성, 생물종에 대한 정보만을 얻을 수 있다는 것이 한계점이라 할 수 있으며, 이는 새로운 데이터의 축적을 통해 추후 지속적으로 개선해 나갈 계획이다.

사 사

본 연구는 과학기술정보통신부 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었습니다(과제번호: NRF-2017M2A8A4015253, NRF-2015M2A2B2034282).

참 고 문 헌

Chino M, Nakayama H, Nagai H, Terada H, Katata G and Yamazawa H. 2011. Preliminary estimation of release amount of ^{131}I and ^{137}Cs accidentally discharged from the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant into the atmosphere. *J. Nucl. Sci. Technol.* **48**:1129-1134.

Hirose K. 2016. Fukushima Daiichi Nuclear Plant accident: Atmospheric and oceanic impacts over the five years. *J. Environ. Radio.* **157**:113-130.

International Atomic Energy Agency. 1985. Sediment Kds and concentration factors for radionuclides in the marine environment. IAEA TRS 247. IAEA. Vienna.

International Atomic Energy Agency. 1994. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and temperate environments. IAEA TRS 364. IAEA. Vienna.

International Atomic Energy Agency. 2004. Sediment distribution coefficients and concentration factors for biota in the marine environment. IAEA TRS 422. IAEA. Vienna.

International Atomic Energy Agency. 2009. Quantification of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments for radiological assessment. IAEA TECDOC-1616. IAEA. Vienna.

International Atomic Energy Agency. 2010. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments. IAEA TRS 472. IAEA. Vienna.

International Atomic Energy Agency. 2014. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer to wildlife. IAEA TRS 479. IAEA. Vienna.

Japan Atomic Energy Agency. 2015. Use of knowledge and experience gained from the Fukushima Daiichi nuclear power station accident to establish the technical basis for strategic off-site response, JAEA-Review 2015-001 91pp. JAEA.

Katata G, Ota M, Terada H, Chino M and Nagai H. 2012. Atmospheric discharge and dispersion of radionuclides during the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. Part I: source term estimation and local-scale atmospheric dispersion in early phase of the accident. *J. Environ. Radio.* **109**:103-113.

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 2011. Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 2008 Report Volume II. 219pp. UNSCEAR. New York.

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 2014. Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great east-Japan earthquake and tsunami. UNSCEAR 2013 Report Volume 1. 311pp. UNSCEAR. New York.

Received: 13 May 2019
Revised: 2 June 2019
Revision accepted: 11 June 2019