

## The Measurement of Radionuclides Concentration Ratio of the Aquatic Animal using the Chinese Minnow(*Rhynchocypris Oxycephalus*)

버들치를 이용한 수중 동물의 방사성동위원소 전이계수 측정

In JUN<sup>1)</sup>, Kwang-Muk LIM, Yong-Ho Choi, Doo-Won PARK, Dong-Kwon KEUM,  
and Mun-Hee HAN

Korea Atomic Energy Research Institute, 150 DukJin-Dong, Yuseong-Ku, Daejeon

전 인<sup>1)</sup>, 임광목, 최용호, 금동권, 박두원, 한문희

한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 1045

(Received November 05, 2009 / Revised Jun 28, 2010 / Approved August 25, 2010)

### Abstract

An experiment measuring the concentration ratios of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{85}\text{Sr}$  in fish as an index aquatic animal was performed. The species was Chinese minnow (*Rhynchocypris Oxycephalus*), a Korean native freshwater species. Chinese minnows were reared in acryl aquarium which was 45 cm wide, 85 cm long and 50 cm high. Water in the aquarium was successively purified using filtering devices attached on the floor and the wall. Fish powder in a particulate form was supplied twice a day for feeding. After a radioactive solution was added to make the initial water concentrations approximately  $0.02 \mu\text{Ci/l}$  and  $0.1 \mu\text{Ci/l}$  for  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{85}\text{Sr}$ , respectively, the fish and water were sampled 10 times for a month. The concentration ratios were measured to be  $0.348\text{lkg}^{-1} \sim 13.906\text{lkg}^{-1}$  for  $^{137}\text{Cs}$  and  $0.474\text{lkg}^{-1} \sim 13.089\text{lkg}^{-1}$  for  $^{85}\text{Sr}$ .

**Key words** :  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ , Concentration Ratio, Aquatic Animal, Radionuclides

### 요 약

수중 지표동물인 어류의  $^{137}\text{Cs}$  및  $^{85}\text{Sr}$  전이계수 측정 실험이 수행되었다. 실험 어종은 우리나라 고유 담수종인 버들치(*Chinese Minnow, Rhynchocypris Oxycephalus*)였다. 버들치는 가로, 세로, 높이가 각각 45cm, 85cm, 50cm의 아크릴 수족관 내에서 사육되었다. 수족관 물은 바닥과 벽면에 설치된 여과기에 의해 연속적으로 정화되었다. 먹이로는 과립 형태의 어류 분말을 1일 2회 투여하였다. 수중  $^{137}\text{Cs}$  과  $^{85}\text{Sr}$ 의 초기 농도가 각각 약  $0.02 \mu\text{Ci/l}$  및  $0.1 \mu\text{Ci/l}$ 가 되도록 방사성 용액을 가한 다음 1개월 간 총 10회에 걸쳐 어류와 물 시료를 채취하였다. 전이계수는  $^{137}\text{Cs}$  이  $(0.085 \sim 3.988)\text{lkg}^{-1}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ 는  $(0.348 \sim 13.906)\text{lkg}^{-1}$ 로 측정되었다.

**중심단어** :  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ , 전이계수, 수중동물, 방사성동위원소

1) Corresponding Author. E-mail : [ijun@kaeri.re.kr](mailto:ijun@kaeri.re.kr)

## I. 서론

원자력을 이용하면서 발생하는 방사성 물질로 인해 우리 주변의 생태계가 영향을 받으면 궁극적으로 인간도 간접적으로 영향을 받게 된다. 이러한 방사선에 의한 여러 가지 영향 중 방사선 방호를 위한 대부분의 연구는 최근까지는 인간을 중심으로 연구해 왔다. 그러나 1992년 개최된 UN의 환경과 개발 회의에서 환경의 중요성이 강조된 리오 선언이 발표되었고 그 이후 국제 방사선 방호 분야에서는 전리 방사선으로부터 인간 뿐 아니라 생태계를 통합적으로 방호하는 분야에 관심을 가지고 ICRP와 같은 환경방호에 관한 권고를 발표하였다[1]. 이러한 생태계 중에서 농작물에 의한 흡수, 억제 및 전이 효과에 대한 연구는 활발한 편이고 많은 연구 결과들이 발표 되었다[2~5]. 그렇지만 여러 가지 동물의 전이계수 (Concentration Ratio, CR)에 관한 연구 역시 농작물에 대한 연구 못지않게 중요한 요소임은 분명하여[6] 녹조류 및 갑각류에 방사성동위원소를 소금기가 있는 상태로 노출시켜 다양한 수온대의 CR 계수를 구하기도 하였고[7], 동물의 근육이나 조개류의 살에 메탈 형태의 동위원소를 노출시켜 그 영향을 연구하기도 하였다[8]. 어류에 대한 실험으로는 무지개 송어의 조직에 대한 흡수 및 감소를 관련 연구도 실행되었다[9]. 이러한 실험 결과와 함께 관련 모델이 개발되었고, 이와 동시에 간단한 파라미터와 대상의 특징을 이용하여 Transfer Ratio(TR) 및 기타 영향을 평가할 수 있는 도구들이 개발되었고[10~12], 이런 평가도구에 사용하기 위한 각 생태계 여러 동물에 대한 전이인자가 발표되었다[13,14].

하지만, 위와 같은 결과들은 생태계 전반에 관한 개략적인 연구 결과에 대한 성과이고, 각 나라별, 지역별로 생태계에는 큰 차이를 보인다. 특히 우리나라에는 외국의 다른 나라와는 달리 우리나라에만 존재하는 고유의 생태계 특성이 있어서[15] 외국의 생태계 특성에 대한 연구결과를 적용하기에는 결과 예측에 대표성이 결여된다고 볼 수 있다[16]. 우리나라의 생태계 평가에 필요한 각종 파라미터 중 작물과 관련한 실험은 다양하게 수행 되었고 실험 결과에 대한 자료가 많이 발표되었다[5,17~22]. 하지만, 육상 및 수중 생태계에 서식하는 우리나라 고유 동물에 대한 실험 결과는 매우 미비하다. 이에 본 연구에서는 우리나라에 서식하는 동물 중 우리나라 고유 어종을 대상으로 실험을 통하여 전이인자를 도출하고 관련 데이터베이스를 구축하여 향후 개발될 우리나라 동, 식물의 특성을 평가할 수 있는 도구의 입력 데이터로 제공하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 가. 실험 방법

농작물이 아닌 동물 중에서 여러 가지 실험 대상이 있지만 아직 초보단계인 동물 실험을 위하여 사육이 용이하고 실험 가능한 우리나라의 대표 종을 선택할 필요가 있다. 이에 수중 동물의 CR 측정 실험을 위하여 비교적 사육이 용이하고 국내 하천에 널리 분포하여 먹이사슬에서 중요한 위치를 차지하고 있는 버들치(Chinese Minnow, *Rhynchocypris Oxycephalus*)를[15] 수족관에 사육하면서 방사선 동위원소를 수족관에 혼합하여 어류의 CR 측정 실험을 수행하였다.

먼저, 가로 45cm, 세로 85cm, 높이 50cm의 수족관을 아크릴로 제작하여 어류를 사육하였다. 수족관 바닥에 저면 여과기를 2 개를 설치하고 그 위에 부유물 및 어류의 배설물을 분해 할 수 있는 박테리아가 자라도록 바닥에 부직포를 깔고 그 위에 수족관 물의 자연 정화를 위하여 지름 2~3mm의 자갈을 5 cm 정도 깔아 어류의 서식 환경을 만들었다. 수족관 벽면에는 어류의 원활한 산소 공급과 유영생활을 하는 어류의 특성을 고려하여 그림 1에서와 같이 25w 성능의 측면 여과기 1개를 설치하여 산소 공급과 인공적인 물의 흐름을 만들어 주었다. 수족관에서의 어류 생육 조건 중 가장 중요한 것은 물의 순환 사이클이 형성될 수 있는 환경을 만들어 줘야 한다. 물의 순환 사이클이란 어류가 배설을 하면 물에 어류에 해로운 독소가 포함되는데 이를 분해하여 어류의 환경에 적합한 순수한 물로 다시 공급하는데 이런 역할을 하는 것이 박테리아다. 물속에 이런 박테리아가 서식할 수 있도록 하기 위하여 수족관에 물을 채우고 약 2주일 동안 어류를 입수하지 않고 여과기를 가동하고 추가 1주일 동안은 약 3~5 마리의 어류를 입수하여 물의 순환 사이클이 완성되도록 하였다.

어류는 수족관 당 60마리씩 비교적 크기가 골고루 분포하도

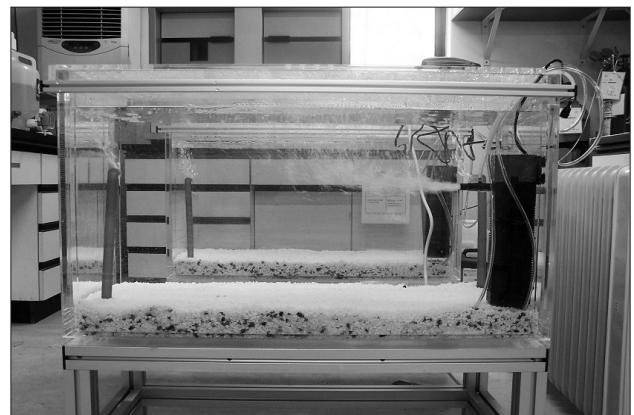


Fig. 1 The Acyl Aquarium for the Breed of Fish

록 나누어 입수 하였고 입수하기 전 어류를 안전하게 사육하기 위하여 2~3%의 소금물에 소독을 하고 2~3일간 질병의 발생여부를 살펴 질병의 발생 여부를 확인하였다.

수족관에 처리한 동위원소의 종류는  $^{137}\text{Cs}$ 과  $^{85}\text{Sr}$ 이고 어류의 생존 조건과 분석 장비의 성능 및 효율성을 고려하여  $^{137}\text{Cs}$ 은  $0.02 \mu\text{Ci/l}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ 는  $0.1 \mu\text{Ci/l}$ 를 물과 혼합하였다.

어류의 먹이로는 자연 환경의 먹이를 대신하여 인공사료로서 과립 형태의 사료를 아침, 저녁으로 하루에 2번 물고기가 2분 안에 먹어 찌꺼기가 남지 않도록 조절하여 투여하였다. 어류의 사료 채취는 초기에는 비교적 자주하였고 중기, 말기로 갈수록 채취 간격을 좀 더 길게 하였고 1회에 4~5마리로 전체 무게가 25~35g 내외가 되도록 어류의 수를 조절하였다. 수족관의 상태를 체크하기 위하여 어류의 샘플을 채취할 때 동시에 수족관내 물의 온도와 pH를 측정하고 물 10ml를 취하여 방사성동위원소를 계측하였다.

샘플로 채취된 어류는 수분을 완전히 제거하기 위하여 80°C의 건조기에 넣고 약 2~3일 동안 충분히 건조한 후 그림 2에서와 같이 분말로 만들어 다시 1~2일간 건조 시켜 수분을 완전히 제거하고 계측 용기에 넣어 수분이 들어가지 않도록 밀봉을 하여 계측하였다<sup>1)</sup>.

$$CR = \frac{\text{생물체의 방사능농도 (Bq/kg), } C_{org}}{\text{물의 방사능농도 (Bq/L), } C_{med}}$$

### III. 결과 및 고찰

어류 CR계수 측정을 위한 샘플 채취 주기는 어류 입수 후 1일, 2일, 3일, 5일, 8일, 13일, 18일, 22일 및 29일차에 샘플을 채취 하였고 동시에 수족관의 온도와 pH의 농도도 같이 측정하였다. 수족관의 온도와 pH는 표 1에 요약한 것과 같이 온도는 외부 온도와 같아서 최저 21.6°C(5월)~26°C(6월)의 분포를 보였고 pH는 6.9~7.5의 분포를 보였다. 수온과 pH는 어류의 생존 조건에 민감한 요소이다. 본 실험에서 나타난 수온은 계절상으로 봄과 여름의 중간으로 어류의 생육조건에는 아주 이상적인 온도였다.

수족관물의 산성도를 나타내는 pH는 처음에는 6.9로 중성이었으나 시간이 경과함에 따라 약한 산성의 성격으로 변하였는데 이는 어류가 생존하면서 배설하는 배설물의 영향으로 판단되고 어류의 생육조건에는 부합하는 것으로 관측되었다.

수족관 물 10ml를 채취하여 계측한 방사성 동위원소의 농도는 그림 3에서 알 수 있듯이  $^{137}\text{Cs}$ 은 (5.8~0.7)Bq/10ml,  $^{85}\text{Sr}$ 는 (30.5~11.8)Bq/10ml로 계측되었다. 수족관 물의 방

Table 1. The Temperature and Acidity of Aquarium.

Temp(°C)	21,6	21,7	19,5	21,4	21,1	23,7	24,4	24,6	26,0
pH	6,9	7,3	7,4	7,1	7,2	7,3	7,3	7,4	7,5
Date	05,15	05,16	05,18	05,20	05,23	05,28	06,02	06,08	06,15

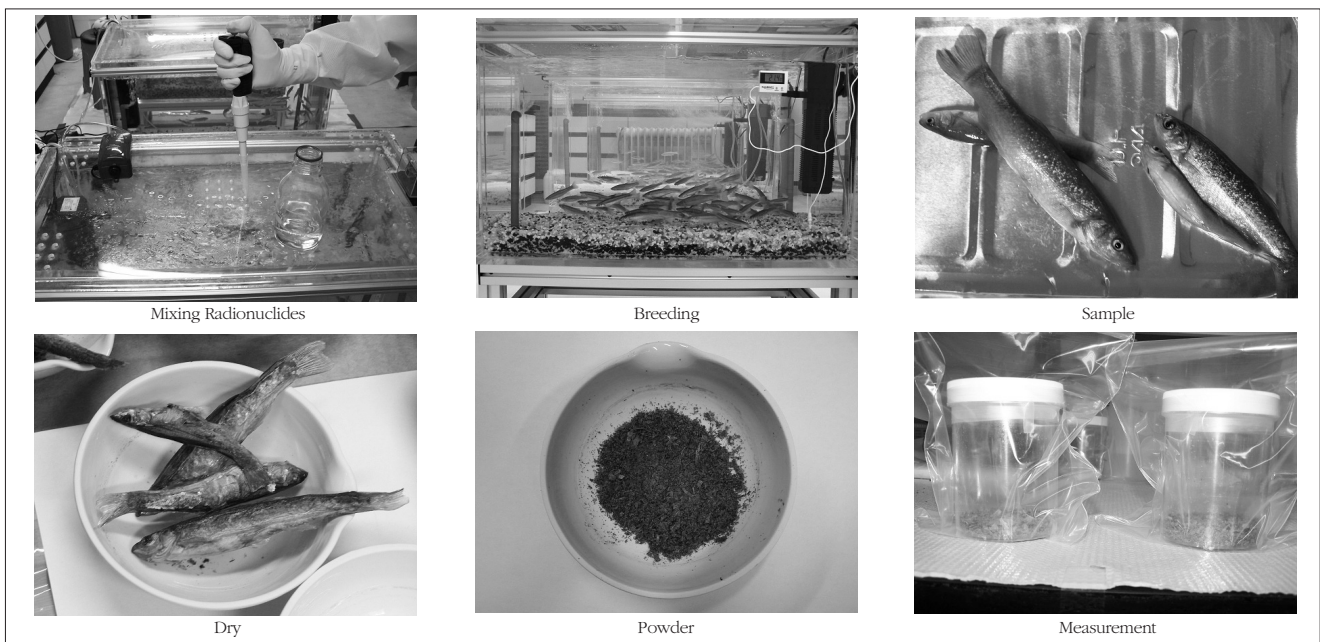


Fig. 2. Picture of Experimental Stage.

1) 직경 6 cm, 높이 10 cm 크기의 투명 용기에 높이 0.5, 1, 2, 3 cm의 물을 넣고 각각에 표준 시료를 혼합하여 계측기의 효율을 교정함.

사성 동위원소 농도는 지남에 따라 감소하는 경향을 보였는데 이는 어류가 방사성 동위원소를 흡수한 경우, 그리고 어류의 생존환경을 조성하기 위해 바다 및 측면에 설치한 여과기에 동위원소 성분이 흡착되었기 때문으로 여겨진다.

샘플로 채취된 어류의 무게는 크기에 따라 4~6 마리에 전체 무게가 17~30g/fresh 내외였고 이를 건조한 무게는 3.5~6.2g/dry이었고 이를 표 2와 그림 4에 나타내었다. 어류의 크기가 일정하지 않아 샘플당시 포획되는 어류에 따라 다소 무게의 차이가 있었고 이는 전체 방사성동위원소의 농도에도 영향이 있었음을 알 수 있었다.

어류에 대한 분석 결과는 그림 5에 나타낸 바와 같이 <sup>137</sup>Cs이 (0.0499~0.3206)Bq/g fresh, <sup>85</sup>Sr는 (1.0377~16.1485) Bq/g fresh로 계측 되었다. 어류의 분석 결과에서 <sup>137</sup>Cs나 <sup>85</sup>Sr는 시간의 경과에 따라 방사능 농도가 점점 증가되는 경

향을 보여주고 있다.

수족관의 물에 대한 어류의 방사성 동위원소 비(CR)를 계산한 결과는 그림 6~7로 제시하였고 구체적인 수치는 <sup>137</sup>Cs이 (0.085~3.988)lkg<sup>-1</sup>, <sup>85</sup>Sr는 (0.348~12.606)lkg<sup>-1</sup>로 대체적으로 시간이 경과함에 따라 방사성 동위원소의 비가 커지는 경향을

Table 2. The Weight and Number of Sample.

W(g)(Fresh)	26,9	21,9	20,9	23,8	19,5	21,7	20,8	16,2	23,1
Samples	4	4	4	4	5	5	5	5	6
Date	05,15	05,16	05,18	05,20	05,23	05,28	06,02	06,08	06,15

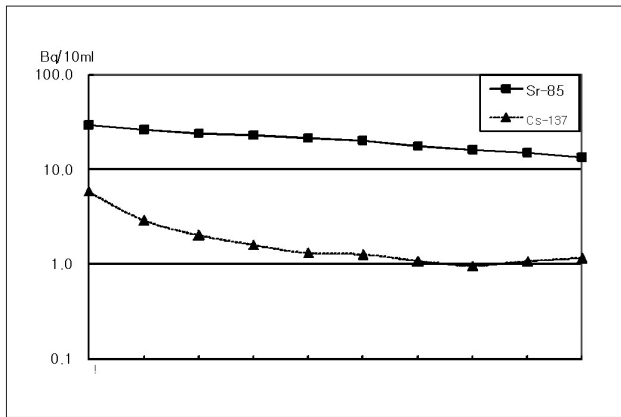


Fig. 3 The Radionuclides Activity in Aquarium.

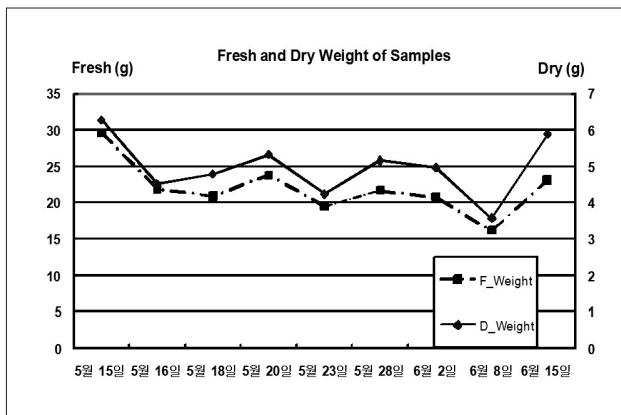


Fig. 4 Weight of Sample(Fresh and Dry).

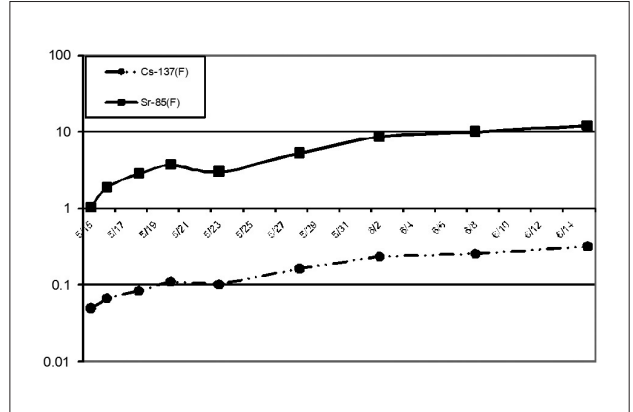


Fig. 5 The Radionuclides Activity in Aquatic Animal.

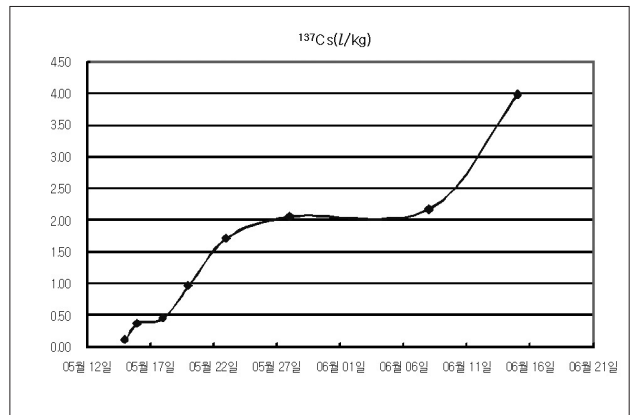


Fig. 6 The Concentration Ratio of <sup>137</sup>Cs.

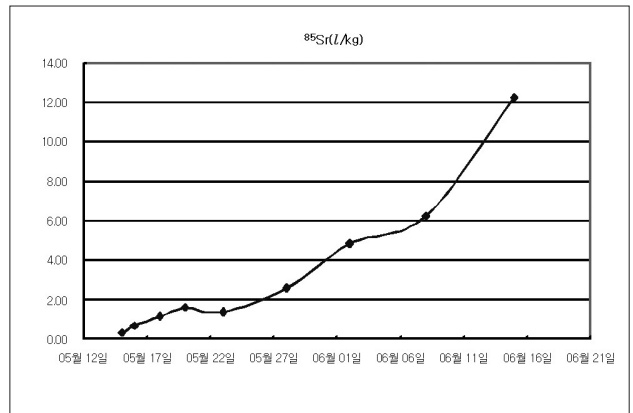


Fig. 7 The Concentration Ratio of <sup>85</sup>Sr.



보였다.

보다 정확한 실험을 위해서는 어류를 부화에서 성장까지 관리하고 각각의 크기를 고려하여 장기간에 걸친 세심한 실험이 요구된다. 본 실험에 사용된 어류는 부화 과정부터 관리하면서 기른 어류가 아니어서 어류의 크기는 최소 4cm부터 최대 15cm로 어류의 크기와 나이가 일정하지 않았다. 이러한 다양한 크기는 어류의 방사성 동위원소 섭취 속도와 어류의 몸에 침적되는 양이 다를 수 있다. 일반적으로 CR은 방사성 동위원소에 노출된 초기에는 급격히 증가하여 점차 일정한 값으로 수렴하는 경향을 보인다. 그러나 본 실험에서 얻은 결과는 일반적인 경향과 다소 다른 경향을 보였는데 그 이유로는 앞서 말한바와 같이 어류의 크기가 일정하지 않은 이유와 어류의 생존을 위해 수족관 바닥에 설치한 부직포 여과기에 동위원소가 흡착 되어 수족관 물의 오염도가 낮아진데 그 원인이 있었다고 판단된다. 따라서 보다 정확한 실험을 위하여 실험조건에 어류의 크기를 고려하고 실험 기간을 충분히 고려하여 실험할 필요가 있다.

#### IV. 결 론

본 연구에서 우리나라 고유 어종인 버들치를 이용하여 수계동물의 전이계수를 측정하는 실험 결과를 보여주었다. 실험은 인공 수족관에 방사성 동위원소를 혼합하고 어류를 수족관에 사육하면서 일정한 주기로 물과 어류의 샘플을 동시에 채취하여 각각의 방사성 동위원소를 계측하고 물과 어류의 동위원소 농도비를 구하였다. 계산된 농도비는 초기에는 어류에 농축된 동위원소의 비율이 물에 희석한 동위원소에 비해 낮게 계측되었고 시간이 지날수록 어류의 몸에 축적된 동위원소의 농도가 증가함을 보였다. 계측된 어류의 동위원소 농도는 시간이 지남에 따라 증가하지만 샘플로 채취된 어류의 크기에 따라 농도의 증가율이 일정한 유형을 나타내지는 않았다. 이는 어류의 크기 및 성장 속도가 동위원소 흡수에 영향이 있음을 보여주고 이를 보완하기 위하여 어류의 크기를 고려한 실험의 필요성이 제기되었다. 또한, 본 실험에서는 공급된 먹이가 2분 안에 완전히 먹을 수 있도록 하였는데 공급된 먹이의 오염도 어류의 동위원소 축적에 영향이 있으므로 이에 대한 실험 방법도 추후 고려되어야 한다.

#### 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력 연구개발 중장기 계획 사업의 일환으로 수행된 연구 결과입니다.

#### 참고문헌

- [1] ICRP, The concept and use of reference animals and plants for the purposes of environmental protection (draft for discussion), Publication XX1, Annals of the ICRP (2005).
- [2] Yong-Ho Choi, Kwang-Muk Lim, In Jun, Dong-Kwon Keum and Chang-Woo Lee, "Effect of the simultaneous application of potassium and calcium on the soil-to-Chinese cabbage transfer of radiocesium and radiostrontium," Journal of Environmental Radioactivity., 99, pp. 1853-1858 (2008).
- [3] 강희석, 금동권, 이한수, 전인, 최용호, 이창우, "농작물의 삼중수소 오염평가 모델 개발 및 실험검증," 방사성폐기물학회지, 3(4), pp. 319-328 (2005).
- [4] 전인, 금동권, 강희석, 최용호, 이한수, 이창우, "토양 침적에 의한  $^{137}\text{Cs}$  농작물 오염평가 모델," 방사성폐기물학회지, 4(4), pp. 365-372 (2006).
- [5] 전인, 최용호, 금동권, 강희석, 이한수, 이창우, "주요 핵종의 토양-작물체 전이계수의 국내 실험 결과에 대한 분석," 한국방사선방어학회지, 31(4), pp. 211-217 (2006).
- [6] 금동권, 임광목, 전인, 박두원, 최용호, "생태계 방사능 위해도 평가를 위한 국내 참조동식물 내외부 선량환산 인자," 한국원자력연구원, KAERI/TR-3767/2009, (2009).
- [7] S. Topcuoglu, "Bioaccumulation of cesium-137 by biota in different aquatic environments," Chemosphere, 44, pp. 691-695 (2001).
- [8] B. Frayssse, J.-P. Baudin, J. Garnier-Laplace, C. Adam, and A. Boudou, "Effects of Cd and Zn waterborne exposure on the uptake and depuration of  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{110m}\text{Ag}$  and  $^{134}\text{Cs}$  by the Asiatic clam(*Corbicula fluminea*) and the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*)-whole organism study," Environmental Pollution, 118, pp. 297-306 (2002).
- [9] J. Garnier-Laplace, C. Adam, T. Lathuilliere, J. Baudin and M. Clabaut, "A simple fish physiological model for radioecologists exemplified for  $^{54}\text{Mn}$  direct transfer and rainbow

- trout(*Oncorhynchus mykiss* W.)," *Journal of Environmental Radioactivity*, 49, pp. 35-53 (2000).
- [10] Erica, *Environmental Risk from Ionizing Contaminants: Assessment and Management (Annex I - Description of Work)*, Sixth Framework Programme Euratom (2004).
- [11] ISCORS, RESRAD-BIOTA: A Tool for Implementing a Graded Approach to Biota Dose Evaluation, User's Guide, Version 1, DOE/EH-0676, ISCORES TECHNICAL REPORT (2004).
- [12] EC, *Framework for Assessment of Environmental Impact*, Final Report May 2004, A project within the EC 5th Framework Programme (2004).
- [13] A. Hosseini, H. Thorrying, J.E. Brown, R. Saxen, and E. Ilus, "Transfer of radionuclides in aquatic ecosystems - Default concentration ratios for aquatic biota in the Erica Tool," *Journal of Environmental Radioactivity*, 99, pp. 1408-1429 (2008).
- [14] N. A. Beresford, C.L. Barnett, B.J. Howard, W.A. Scott, J.E. Brown and D. Copplestone, "Derivation of transfer parameters for use within the ERICA Tool and the default concentration ratios for terrestrial biota," *Journal of Environmental Radioactivity*, 99, pp. 1393-1407 (2008).
- [15] 환경부, 한국고유생물종도감, 환경부 (2005).
- [16] 김희선, 니시무라 요시카즈, 김종순, "환경 방사선 생물학적 감시 지표로서 야생 등줄쥐의 방사선 감수성," 방사성폐기물학회지, 4 (1), pp. 25-32 (2006).
- [17] Y. H. Choi, K. M. Lim, H. G. Park, D. W. Park, H. S. Kang and H. S. Lee, "Transfer of  $^{137}\text{Cs}$  to rice plants from various paddy soils contaminated under flooded conditions at different growth stages," *Journal of Environmental Radioactivity*, 80, pp. 45-58 (2005).
- [18] Y. H. Choi, K. M. Lim, H. J. Choi, G. S. Choi, H. S. Lee and C.W. Lee, "Plant uptake and downward migration of  $^{85}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  after their deposition on to flooded rice fiends : lysimeter experiments with and without the addition of KCl and lime," *Journal of Environmental Radioactivity*, 78, pp. 35-49 (2005).
- [19] Y. H. Choi, S. B. Kim, K. M. Lim, H. K. Park and W. Y. Lee, "Incorporation into organically bound tritium and the underground distribution of HTO applied to a simulated rice field," *Journal of Environmental Radioactivity*, 47, pp. 279-290 (2000).
- [20] Y. H. Choi, K. M. Lim, W. Y. Lee, S. Diavate, S. Strack, "Tissue free water tritium and organically bound tritium in the rice plant acutely exposed to atmospheric HTO vapor under semi-outdoor conditions," *Journal of Environmental Radioactivity*, 58, pp. 67-85 (2002).
- [21] Y. H. Choi, C. W. Lee, S. R. Kim, J. H. Lee and J. S. Jo, "Effect of Application Time of Radionuclides on Their Root Uptake by Chinese Cabbage and Radish," *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol. 39, No. 2, pp. 183-198 (1998).
- [22] Young-Ho Choi, Kwang-Muk Lim, In Jun, Doo-Won Park, Dong-Kwon Keum and Chang-Woo Lee, "Root uptake of radionuclides following their acute soil depositions during the growth of selected food crops," *Journal of Environmental Radioactivity*, 100, pp. 746-751 (2009)