

## Radio-sensitivity of Dark-striped Field Mice, *Apodemus agrarius*, as a Biological Dosimeter in Radio-ecological Monitoring System

### 환경 방사선 생물학적 감시 지표로서 야생 등줄쥐의 방사선 감수성

Hee-sun Kim, Y. Nishimura\* and Chong-Soon Kim

Radiation Health Research Institute, KHNP, 388-1, SSangmun-dong, Dobong-ku, Seoul, 132-703, Korea  
National Institute of Radiological Sciences, 4-9-1 Anagawa, Inage-ku, Chiba 263-8555, Japan\*

[hskimdvm@khnp.co.kr](mailto:hskimdvm@khnp.co.kr)

김희선, 니시무라 요시카즈\*, 김종순

한국수력원자력(주) 방사선보건연구원, 서울시 도봉구 쌍문3동 388-1  
일본 방사선의학종합연구소, 일본 치바시 이나계구 아나가와 4-9-1\*

(Received July 15, 2005 /Approved December 26, 2005)

#### Abstract

This study examined the possibility of using dark-striped field mice as a biological indicator for the environmental radio-surveillance. For this study, dark-striped field mice were caught from five areas of Kyonggi, Kyongsang, Chungchong and Cholla provinces. The external morphological characteristics and isoenzymic types of dark-striped field mice were studied after they were captured. Among the external morphological characteristics, the dark-brown coat, dark back stripe, head-to-tail length, tail length, and ear length matched the taxonomical characteristics of dark-striped field mice. The analyses on L-lactate dehydrogenase, aspartate aminotransferase, and malate dehydrogenase revealed that one species of dark-striped field mice, called *Apodemus agrarius*, was inhabited throughout a wide range of Korea. On the other hand, the frequency of micronuclei in peripheral polychromatic erythrocytes to survived mice after irradiation also analyzed. The LD<sub>50/30</sub> of *A. agrarius* and ICR mice were approximately 5 Gy and 7.9Gy, respectively. The results of the study reveal that wild *A. agrarius* have a high potential as a biological monitoring system to determine the impact of radiation in areas such as those within the vicinity of nuclear power plants.

**Key words** : *Apodemus agrarius*, radiosensitivity, ecological and biological dosimeter, and ICR.

#### 요 약

이 연구에서는 원자력발전소 주변 환경 방사선이 생태에 미치는 영향을 감시할 수 있는 생물

학적 지표로서 야생 등줄쥐의 활용 가능성을 평가하였다. 국내 5지역을 선정하여 10월에 한정하여 등줄쥐를 채집하였는데, 농경지에서 산중턱에 이르기까지 폭 넓게 서식하였다. 채집한 쥐들에 대하여 황갈색 피모와 검은색 등줄무늬를 관찰하였는데, 외부형태 특성 가운데 몸통의 길이, 꼬리의 길, 귀의 길이를 측정한 결과, 등줄쥐의 분류기준과 일치하였다. 아울러, 간장내 효소형을 분석한 결과 국내에 서식하는 대부분의 등줄쥐가 *Apodemus agrarius*라는 것을 알 수 있었다. 또한, 야외에서 생포한 등줄쥐를 암수 한 마리씩 동거시키고 생산된 새끼가 5주령에 도달하였을 때 방사선을 조사하고, ICR 마우스를 비교로 생존율과 적혈구내 미소핵 출현빈도를 분석한 결과, 반치사 선량(LD<sub>50/30</sub>)은 5와 7.9Gy였다. 이 연구결과로 야생 등줄쥐가 원자력 발전소 주변 수준의 방사선이 인간생활에 미치는 영향을 판단할 수 있는 생물학적인 지표로서 잠재적 활용성이 높다는 것을 알 수 있었다.

**중심단어** : 야생 등줄쥐, *Apodemus agrarius*, 방사선 감수성, 환경 방사선, 생물학적 평가지표

## I. 서론

원자력 발전소 운영과 방사성 폐기물 저장소 설치 등과 연관되어 방사선의 안전성에 대한 사회적 우려가 높아가고 있다. 이러한 환경 방사선이 인간생활에 미치는 영향을 해석하기 위해서는 인간을 대신할 수 있는 감시 시스템의 개발이 필요하다. 환경 방사선을 측정하기 위한 방법을 구분하면 물리학적과 생물학적 평가법으로 나눌 수 있다. 현재까지 보고 된 물리학적 평가법으로 음식물, 토양과 물의 방사능 농도 측정, 공간 방사선량률 측정, 나무 및 식물에 축적된 방사성 물질 측정 등이 있다 [1,2,3]. 생물학적 평가법으로 자주달개비 [4]나 가축 [5]을 모델등이 보고되고 있으나, 교란변수의 개입 때문에 활용하기가 쉽지 않다. 또한, 야생 소동물 [6,7,8,9,10]을 이용하여 방사선 피폭 후 환경영향을 평가하려는 시도가 있었으나 개체 수의 부족뿐만 아니라 선량-반응관계가 분명하지 않기 때문에 평가지표로 활용하기가 어려웠다.

이 연구에서는 환경 방사선이 인간생활 환경에 미치는 영향을 평가하기 위한 생물학적 지표로서 자격을 다음과 같이 설정하였다. 1) 동물이어야 한다. 2) 종 구분이 명확해야 한다. 3) 가능한 많은 개체수를 확보할 수 있어야 한다. 4) 동일한 생태학적 특성을 유지하여야 한다. 5) 인간과 동일한 생활환경에서 오랫동안 서식하여야 한다. 6) 서식지역의 음식물과 음

료를 섭취해야 한다. 7) 방사선량-반응관계가 분명하여야 한다. 이 연구에서는 앞에서 기술한 자격기준에 근거하여 등줄쥐의 생태환경을 조사하였다. 또한, 외부형태 특성 및 간장내 효소형을 지표로 종을 구분하고, 방사선을 조사 한 후 생존율 및 말초혈액 적혈구내 미소핵 출현빈도를 관찰하였다.

## II. 재료 및 방법

### 가. 등줄쥐 포획

이 연구를 위해서 등줄쥐 국내 5개 지역 (경기도, 충청북도, 경상북도, 경상남도, 전라북도)을 선택하고 (Fig. 1A), 야생동물의 생태 및 서식환경이 안정되는 10월 말에 한정하여 포획하였다. 등줄쥐의 포획을 위하여 알루미늄 Sherman (Sherman사, 미국)제품의 쥐덫을 이용하였고, 유인을 위하여 땅콩버터와 새 먹이를 6:3비율로 혼합하였다. 등줄쥐의 포획을 위한 장소는 논과 밭둑, 산밑에서 중턱까지 넓은 범위로 하였고, 오후 4시에 설치하여 다음날 아침에 거두어 들였다 (Fig. 1B).

### 나. 외부형태 분석

등줄쥐의 종 분류를 위하여 Woon [11]과 Corbet [12]이 기술한 기준에 따라서 털 색깔을 관찰하였다. 또한, 신체의 길이, 꼬리의 길이, 귀의길이, 뒷다리의

길이를 포함한 외부형태는 30cm자를 이용하여 계측하였다. 방사선 감수성은 연령, 성별 그리고 환경조건 등과 깊은 관련성이 있기 때문에 Woon [11]이 기술한 등줄쥐의 외부형태 특성을 참고로 종을 구분하고 암수 한 마리씩 동거시키면서 번식하였다. 출생한 등줄쥐(암)가 6주령에 도달하였을 때 방사선을 조사하였다.

#### 다. 간장내 효소분석

외부형태를 확인한 후 등에 검은색 줄무늬를 보이는 쥐를 대상으로 간장을 채취한 후 Murphy 등[13]이 기술한 방법에 따라서 L-Lactate dehydrogenase (LDH), Purine nucleoside phosphorylas (PNP),

Malate dehydrogenase (MDH)을 전기영동하였다.

#### 라. 방사선 조사

등줄쥐와 ICR 마우스(암, 6주령)의 방사선에 대한 감수성을 알아보기 위해서 선량을 5개 그룹 (0, 0.5, 1, 3, 5, 7, 9Gy)으로 나누고 감마선 발생장치 (IBL 437C, CIS bio-international, France) 이용하여 조사 ( $^{137}\text{Cs}$ , 선량율: 0.8Gy/분)하였다.

#### 마. 생존율

이 연구에서는 등줄쥐의 번식률이 낮은 관계로 선량 당 15마리로 한정하여 방사선을 조사하였다. 마우스에 방사선을 조사한 후 멸균된 마우스용 케이지에 다섯 마리 씩 나누어 사육하면서 30일 동안 사망율을 관찰하였다. 사료(삼양사)와 깔개 (SLC, Japan)는 감마선 조사된 제품을 구입하였다. 물은 고압멸균을 하고 자유롭게 섭취하도록 하였다. 이 연구기간 중 케이지와 사료는 매주 1회, 물은 2회 교환하였다. 방사선 조사 후 30일 동안 사망하는 마우스 개체수를 기초로 통계분석용 프로그램 Graphpad prism 4 (Graphpad software)를 이용하여 생존율을 분석하였다.

#### 바. 미소핵 분석

방사선 조사된 등줄쥐의 말초혈액 적혈구 미소핵 분석을 위하여 Hayashi 등[14]이 기술한 방법에 따라서 아크리딘 오렌지가 코팅된 슬라이드를 제작하고, 20℃냉동고에 보관하면서 실험에 이용하였다. 이 연구에서는 등줄쥐로부터 말초혈액을 채취하기 위하여

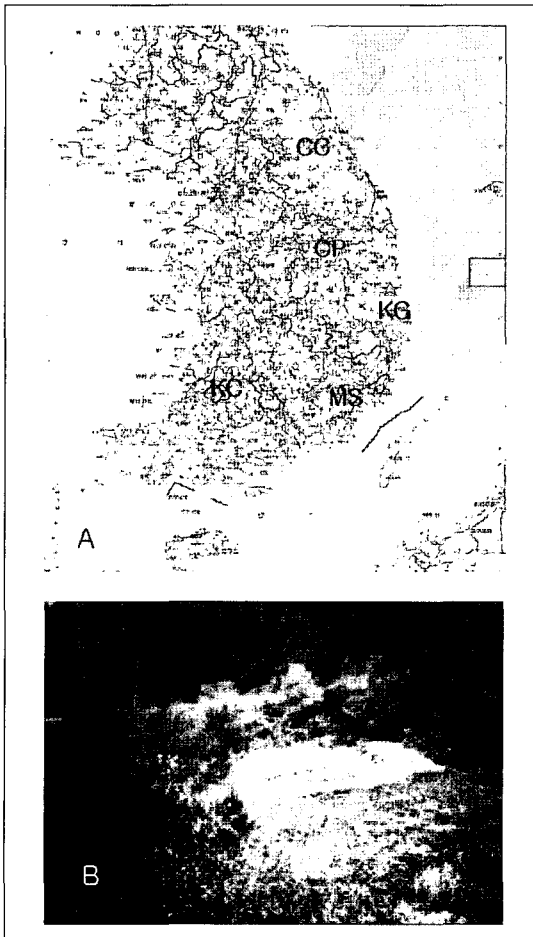


Fig. 1. Collecting places (A) of dark-striped field mice in Korea and a trapping area (KG) of Kyongsang province (B).

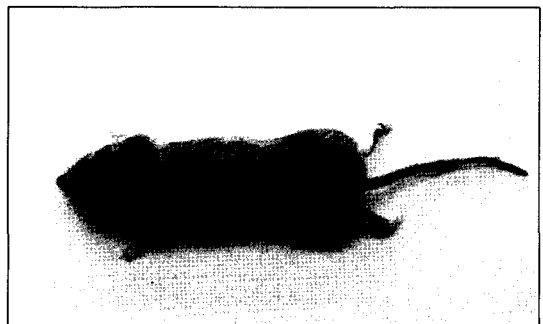


Fig 2. Dark-striped field mice, *Apodemus agrarius*.

에테르(Sigma)마취를 하였다. 에테르 마취에 대한 등줄쥐의 감수성이 밝혀져 있지 않은 관계로 사망위험성을 고려하여 선량 당 다섯 마리의 등줄쥐로 한정하여 말초혈액을 채취하였다. 방사선 조사 24시간 후 마우스 꼬리 정맥을 약 2mm 절개한 후 혈액을 채취하고, 아크리딘 오렌지가 코팅된 슬라이드에 올려 커버글라스로 포배하였다. 아크리딘 오렌지에 염색된 적혈구내 미소핵의 관찰을 위하여 B-2A필터가 장착된 NIKON 형광현미경(E-600)을 이용하였다. 이 연구에서는 아크리딘 오렌지에 의해서 붉은색으로 염색된 적혈구내 기질이 용적에 비해 2/3인 적혈구만을 대상으로 미소핵의 존재여부를 확인하였으며, 적어도 2,000개를 계산하였다 (Fig. 3). 방사선 조사 후 선량에 따른 미소핵 출현빈도는 통계프로그램 SAS (ANOVA, t-test)를 이용하여 분석하였다.

### III. 결과

#### 가. 등줄쥐의 생태특성

등줄쥐는 벼, 콩, 조 등이 경작되는 농경지에서 산 중턱에 이르기까지 넓게 서식하고 있었으며, 평균 포획율은 33%였다.

#### 나. 외부형태 특성

이 연구에서는 등줄쥐의 종을 확인하기 위해서 피모색깔을 관찰하고 외부형태 특성을 계측하였다

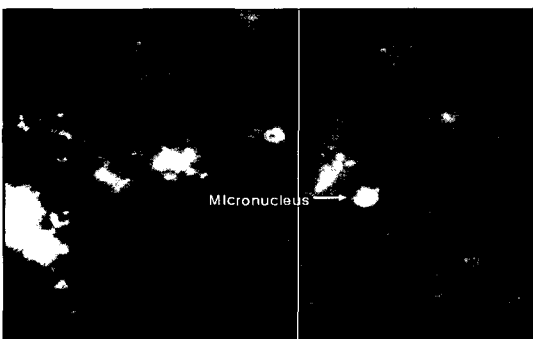


Fig. 3. Fluorescent microphotography of dark-striped field mice peripheral blood using the acridine orange stain method after  $\gamma$ -irradiation with  $^{137}\text{Cs}$  (2Gy). Reticulocytes of peripheral blood were clearly identified by their reticulum structure with red fluorescence. Micronuclei were round in shape and exhibited a strong yellow-green fluorescence.

(Fig. 3). 이 연구에 이용된 등줄쥐는 등의 털 색깔은 적갈색이었고, 배털은 회백색이었다. 등쪽에 검은줄이 머리위에서부터 꼬리 기저부까지 이어져 있었다. 꼬리의 길이는 머리에서 꼬리 기저부까지의 길이에 비교해서 짧았다. 귀는 작아서 접어도 눈에 도달하지 못했다.

#### 다. 간장내 효소형 분석

이 연구에서는 피모 관찰 및 외부형태 계측을 통하여 등줄쥐 분류기준과 일치한 개체를 대상으로 간장내 L-Latate dehydrogenase, Purine nucleoside phosphorylas, Malate dehydrogenase을 분석한 결과 한 가지 전기영동형만이 관찰되었다 (Fig. 4). 등줄쥐의 L-Latate dehydrogenase는 적어도 4개의 밴드로 구성되어 한 개의 밴드만 관찰된 ICR 마우스와 차이를 보였다. 한편, 등줄쥐의 Purine nucleoside phosphorylas와 Malate dehydrogenase는 ICR 마우스에 비교하여 늦게 이동되었다.

#### 라. 생존율

이 연구에서는 등줄쥐에 방사선을 조사한 후 사망율을 관찰하였는데, 특이하게도 3~9Gy를 조사한 경우 10일 이내에 대부분의 등줄쥐가 사망하였다 (Fig. 5). 비록 야생 등줄쥐라는 특성 때문에 개체 수의 확보가 어려워서 각 실험군당 15마리밖에 사용할 수 없었지만, 30일 이내에 50%를 죽이는 반치사 선량 (LD<sub>50/30</sub>)을 구해 본 결과 약 5Gy였다. 그러나 ICR 마우스의 LD<sub>50/30</sub>은 7.9Gy였다 (Fig. 6).

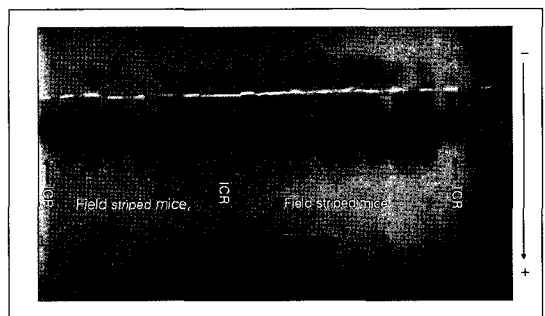


Fig. 4. Enzyme banding pattern for lactate dehydrogenase of dark-field striped mice showing five alleles and ICR mice showing one allele as indicated.

**마. 미소핵 분석**

방사선을 조사한 후 등줄쥐의 세포유전학적 손상 정도를 알기 위해 말초혈액 적혈구 미소핵을 계수하였다 (Fig. 7). 미소핵의 출현빈도가 3Gy에서 가장 높았으며 그 이상의 선량에서는 관찰이 불가능하였다 ( $Y_{mn}(\text{미소핵 출현빈도})=0.0028-0.0035 \times D+0.0024 \times D^2$ ,  $R^2=0.90$ )

**바. 고찰**

원자력 발전소나 방사성 폐기물 저장시설 등에서 나오는 방사선이 인간 생활환경에 미치는 영향을 감시하기 위한 생물학적 지표 개발 및 활용에 대한 보고가 있어왔다 [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]. 그러나 지금까지 보고된 생물학적 영향평가를 위한 지표들은 교란 변수가 개입되어 있어서 방사선의 영향을 평가하는데 어려움이 많았다. 예를 들어서, 현재까지 보고된 생물학적 지표 가운데 이 연구배경과 가장 유사한 소와 같은 가축 [5]의 경우 다음과 같은 인자들이 교란 변수로 관련한다. 소는 외국에서 수입된 곡식을 이용

해 만들어진 사료를 먹고 축사에서 사육되기 때문에 특정지역의 환경 특성을 대변하지 못한다. 둘째로 경제적인 동물이어서 일생이 짧기 때문에 방사선에 의한 신체적 영향이 나타날 시간적 여유가 없다. 세 번째로 원자력 발전소 등에서 나오는 낮은 선량의 방사선에 의한 영향을 평가하기 위해서는 나이, 성별, 사육조건을 통일시키고 개체수를 많이 확보하여야 하나 불가능하다. 또한, 방사선의 영향을 적절히 평가할 수 있는 세포유전학적 방법론을 마련하고 선량-반응관계를 확인하여야 하나 경제적 부담 때문에 어렵다. 한편, 자주달개비 모델 [4]의 경우는 식물이라는 특성 이외에도 식물에서 보이는 선량과 반응과의 상관관계를 동물이나 사람으로 전환하여 활용하기 어렵다.

이 연구에서는 위에서 언급한 그 동안 보고된 환경 방사선 영향평가 지표들의 단점을 극복하고 원자력 발전소나 방사성폐기물 처분시설 주변 수준의 방사선이 인간생활 환경에 미치는 영향을 평가할 수 지표로서 등줄쥐의 생태학적 특성을 조사하였다. 이 연구에서 등줄쥐 포획시기를 추수가 끝나는 시기인 10월말에 한정하였는데, 야생동물은 먹이와 온도 등에 의존하여 신체조건이나 서식밀도가 달라지기 때문이다. 등줄쥐 포획과정에서 관찰된 33%의 평균 포획율은 먹이 및 기온과 같은 생활조건이 만족된다면 지역에 상관없이 많은 개체수를 확보할 수 있다는 것을 시사한다. 아울러, 환경방사선이 신체에 미치는 영향을 평가하기 위한 필요조건으로 개체 수가 중요하다는 것을 고려하여 볼 때 지표로서 활용 가능성을 인

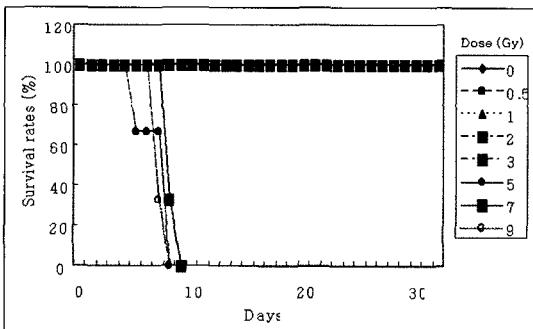


Fig. 5. Survival rates of *Apodemus agrarius* after gamma irradiation (n=15/dose).

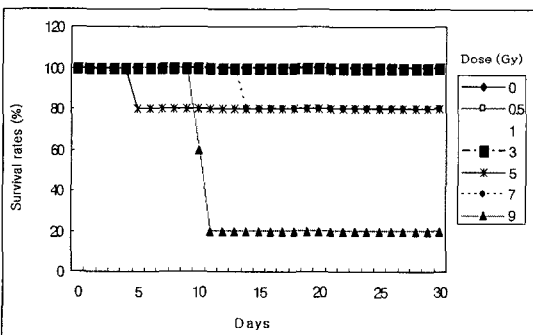


Fig. 6. Survival rates of ICR mice after gamma irradiation (n=30/dose).

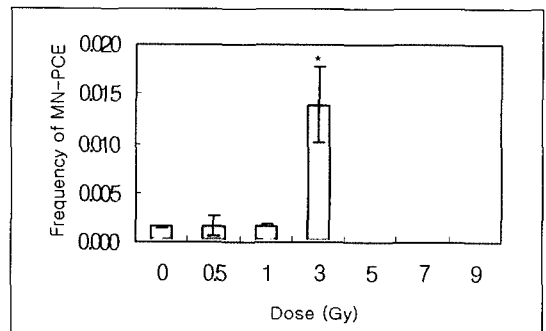


Fig. 7. Frequency of micronuclei in polychromatic erythrocytes of *Apodemus agrarius* after  $\gamma$ -irradiation (48hrs, n=5/dose,  $P<0.0081$ : 3Gy vs 0, 0.5, 1Gy)

정할 수 있었다. 비록, 이 연구기간 동안 등줄쥐의 생활특성에 대하여 관찰할 수는 없었지만, Woon이 기술한 수명, 먹이 그리고 거주 및 분포특성을 참고할 때 환경방사선 평가지표로서 가능성을 재확인 할 수 있었다 [11]. 또한, 선자의 보고를 통하여 수명뿐만 아니라 번식 특성을 확인 할 수 있어서 장기간에 걸친 영향뿐만 아니라 유전학적 영향을 평가할 수 있는 모델로도 활용이 가능하다고 생각된다. 이 연구를 통하여 등줄쥐의 생태학적 특성이 파악되었기 때문에 기존에 보고되었던 평가모델의 단점을 보완하면서, 환경 방사선이 인간에 미치는 영향을 다각적으로 조사할 수 있는 기틀이 마련되었다고 볼 수 있다.

야생 등줄쥐를 환경 방사선에 대한 영향평가 목적으로 활용하기 위해서는 종 분류가 우선적으로 이루어져야하는데, 동물종이나 아종간의 선량-반응에 대한 오차를 줄여야 하기 때문이다. 이 연구에서는 외부형태 특성 가운데, 털 색깔, 머리에서 꼬리까지의 길이, 꼬리의 길이, 귀의 길이를 바탕으로 종을 분류하였다 [11]. 이 연구에서는 등줄쥐의 대표적 특징이라고 할 수 있는 등 피모에 검은색 줄무늬의 존재여부를 중요시 하였다. 아울러 타종간의 교잡정도를 알아보기 위해서 종 및 아종간에 특이적 차이를 보이는 신체내 효소 가운데 젖산가수분해효소의 전기영동형을 ICR 마우스와 비교하였다. 이 연구를 통하여 한 종류의 젖산가수분해 효소형이 관찰되었기 때문에 한국에 분포하는 대부분의 야생 등줄쥐는 *Apodemus agrarius*라는 것을 알 수 있었다. 다시 말해서, 외부형태와 젖산가수분해 효소 등의 분석결과를 바탕으로 한 종류의 등줄쥐가 국내에 우점종으로 확인됨으로서 방사선에 대한 영향을 평가할 수 있는 지표로서 개념이 확립되었다고 볼 수 있다.

이 연구에서는 피모에 검은색의 줄무늬가 뚜렷한 등줄쥐만을 교배하여 출생한 새끼 쥐들이 6주령에 도달하였을 때 방사선을 조사하고 30일 동안 50%를 사망시키는 선량을 확인한 바, 약 5Gy였다. 이 수치는 ICR과 C3H 마우스 보다 낮으나 [6,7], 인간이 방사선에 피폭되었을 때 보이는 반치사선량 (4~5Gy) 과 유사하다 [14]. 이 연구에서 비교대상으로 삼은 ICR 마우스의 LD<sub>50/30</sub>가 7.9Gy로서 선자의 보고에

비교하여 높았는데, 마우스의 개체 및 실험실 조건에 따른 차이에서 기인된 것이라고 생각된다. 이 연구를 수행한 이유 가운데 하나가 원자력 발전소나 방사성폐기물 저장시설 주변 방사선의 영향을 등줄쥐를 이용하여 해석하고자 하는 것이기 때문에, 등줄쥐를 통하여 확보된 선량-반응을 인간에게 전환하여 활용할 수 있는 계기가 마련되었다는 데 또 다른 의의가 있다.

일반적으로 마우스에 방사선을 조사 한 후 신체반응을 관찰하는 경우, 골수나 비장세포에서 나타나는 염색체이상을 관찰하거나 세포 수의 변화를 분석한다. 그러나 마우스 신체세포는 세포주기가 빠를 뿐만 아니라 방법적 어려움 때문에 마우스 신체세포를 배양하여 염색체이상을 관찰하기가 쉽지 않다. 이러한 이유로 말초혈액 적혈구에 나타나는 미소핵을 지표로 활용하고 있으나, 기존의 보고에서는 전체 적혈구를 검사염색 하였기 때문에 실험결과에서 신뢰도가 높지 않았다. 즉, 검사염색한 경우 적혈구내에 존재하는 미소핵과 형태적으로 유사한 비특이성 과립까지 염색되기 때문에 선량이 낮을수록 오차가 크다. 또한, 말초혈액 적혈구의 성숙단계를 구분하지 않고 전체 적혈구를 대상으로 미소핵을 관찰하는 경우에는 선량이 낮을수록 실험오차가 클 수밖에 없다. 이 연구에서는 등줄쥐의 말초혈액을 아크리딘 오렌지 염색 [15]하고 세포기질의 양이 2/3이상 관찰되는 적혈구만을 대상으로 미소핵을 관찰하였기 때문에 오차를 줄일 수 있었다. 이 연구에서는 등줄쥐에 방사선을 조사한 후 말초혈액 적혈구를 아크리딘 오렌지 염색한 후 미소핵 출현빈도를 분석하였는데, 3Gy에서 가장 많은 미소핵이 관찰되었으나 그 이상의 선량에서는 미소핵의 관찰이 불가능 하였다. 이것은 등줄쥐의 방사선에 대한 감수성 때문에 3Gy를 초과하면서 골수세포가 회복이 불가능할 정도로 심하게 손상되었다는 것을 나타내는 것으로, 3Gy이상 조사 후 5일부터 사망률이 급격히 증가하는 이유 가운데 하나라고 생각 한다. 이 연구를 통하여 등줄쥐의 선량-반응관계를 평가할 수 있는 세포유전학적 평가 방법론 뿐만 아니라 선량반응식( $Y_{mn}=0.0028-0.0035 \times D+0.0024 \times D^2$ ,  $R^2=0.90$ )이 확립되었기 때문에, 향후

보다 낮은 선량영역까지 확대하여 연구를 수행하여 자료를 축적할 필요가 있다.

이상의 결과를 종합하여, 방사선에 대한 영향을 평가할 수 생물학적 지표로서 등줄쥐 특성을 요약하면 다음과 같다. 첫째, 외부형태 및 간장 젖산가수분해 효소형 등을 분석한 결과, 등줄쥐는 *A. agrarius*였다. 두 번째로 서식분포가 넓은 뿐만 아니라 일정한 지역에서 거주하면서 그 지역의 음식을 섭취하기 때문에 인간생활권에서 방사선의 영향을 잘 나타낼 수 있다. 세 번째로, 많은 개체수를 확보할 수 있어서 낮은 선량에 대한 방사선의 영향을 쉽게 파악할 수 있다. 아울러, 수명이 3년이고 일년에 4회 번식을 하기 때문에 방사선에 대한 장단기간적 영향뿐만 아니라 유전학적 영향에 대한 연구모델로도 활용이 가능하다. 이 연구를 통하여 국내에 서식하는 등줄쥐가 *A. agrarius*로 확인되었을 뿐만 아니라 생태학적 특성도 파악되었기 때문에 환경 방사선이 인간에 미치는 영향을 다각적으로 해석할 수 있는 방법론적 확립이 이루어졌다. 또한, 등줄쥐의 LD<sub>50/30</sub>가 약 5Gy로 확인되어 방사선에 대한 감수성이 인간과 유사하기 때문에 인간환경으로 전환하여 활용이 가능하다. 앞으로 낮은 선량과 선량율의 방사선을 조사하고 선량-반응 관계를 확인하고 인체 영향과의 상관관계를 밝혀 볼 필요가 있다.

## 참고문헌

- [1]K. Shirashi and M. Yamamoto, "Internal dose from ingestion for Japanese adult males". Health Physics, 71(5), pp. 700-704(1996).
- [2]K. Tagami and S. Uchiyama, "Analysis of Technetium-99 in soil and deposition samples by inductively coupled plasma mass spectrometry", Appl Radiat Isot., 47, pp. 1057-1060(1996).
- [3]M. Yukawa, Y. Watanabe, Y. Nishimura, Y. Guo, Z. Yongru, H. Lu, L. Wei and Z. Tao, "Determination of U and Th in soil and plants obtained from a high natural radiation area in China using ICP-MS and  $\alpha$ -counting", Fresenius J Anal Chem., 363, pp. 760-777(1999).
- [4]Jin Kyu Kim, Young Keun Lee, Jae Sung Kim, Hae Shick Shin and Soung Hee Hyun Kim, "Effects of combined irradiation of neutrons and gamma rays on the pink mutation frequencies in *Tradescantia*", J Korean Asso Radiat Prot., 25(2), pp. 67-73(2000).
- [5]R. Kim, D.U. Han, J.T. Lim, S.K. Jo and T.H. Kim, "Induction of micronuclei in human, goat, rabbit peripheral blood lymphocytes and mouse splenic lymphocytes irradiated in vitro with gamma radiation" Mutat Res., 393(3), pp. 207-214(1997).
- [6]T. Roderick. "The response of twenty-seven inbred strains of mice to dairy doses of whole-body X-irradiation", Radiation Res., 20, pp. 631-639(1963).
- [7]M. Yonezawa, J. Misonoh and Y. Hosokawa, "Two types of X-ray-induced radioresistance in mice: Presence of 4 dose ranges with distinct biological effects", Mutation Res., 358, pp. 237-243(1996).
- [8]J.K. Wickliffe, R.K. Chesser, B.E. Rodgers and R.J. Baker, "Assessing the genotoxicity of chronic environmental irradiation by using mitochondria DNA heteroplasmy in the bank vole (*Clethrionomys glareolus*) at Chernobyl", Ukraine. Environ Toxicol Chem., 21(6), pp. 1249-1254(2002).
- [9]L. Abramsson-Zetterberg, J. Grawe and G. Zetterberg, "Spontaneous and radiation-induced micronuclei in erythrocytes from four species of wild rodents: a comparison with CBA mice", Mutat Res., 393(1-2), pp. 55-71 (1997).
- [10]V.P. Tshiperson and M.Y. Soloviev, "The impact of chronic radioactive stress on the immunophysiological condition of small mammals", Sci Total Environ., 203(2), pp. 105-113(1997).
- [11]B.O. Woon, Illustrated encyclopedia of fauna

and flora of Korea. vol. 7, Mammals, 214-222(1967).

- [12]G.B. Cobet, The mammals of the palaeartic region: a taxonomic review. British Museum (Natural History), Cornell University Press. pp. 130-137(1978).
- [13]R.W. Murphy, J.W. Site, D.G. Buth and C.H. Haufler, Molecular systemics: protein I : Isoenzyme electrophoresis. Sinauer Associate, Inc. USA. 19, pp. 45-126(1990).
- [14]United Nations. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Voume I : Sources; Volume II : Effects. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2000 Report to the General Assembly, with scientific annexes. United Nations sales publication E.00.IX.3 and E.00.IX.4. United Nations, New York, 2000.
- [15]M. Hayashi, T. Sofuni and M. Jr Ishidate, "An application of acridine orange fluorescent staining to the micronucleus test", Mutat Res., 120, pp. 241-247(1996).