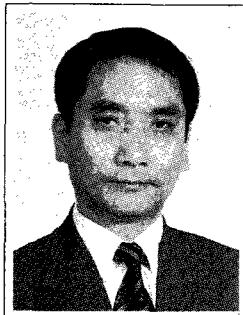


자주달개비를 이용한 원전 환경방사선 안전성 실증 연구

서 원 선

한전 영광원자력본부 방재환경부장



원

자력에 대한 시비는 방사선에서 비롯되고 있다. 우주는 물론 지상의 곳곳에 많은 방사선이 있지만 인간이 가장 두려워 하는 것은 인공 방사선이다.

우리가 원자력에 대해 신경을 쓰는 것은 에너지 부족을 해결해 줄 수 있는 깨끗한 에너지원 확보책이란 점도 있지만 거기서 생기는 방사성 물질에서 나온 방사선이 생태계에 영향을 주어 결국 인간의 삶을 위협하지 않을까 하는 두려움 때문이다.

인간은 특히 눈에 보이지 않는 것에 대해서는 아무래도 불안감을 느끼

기 마련이고 이런 불안감 해소를 위해서는 방사선량을 수치화하여 감시할 필요가 있다.

이같은 목적으로 원전 주변에는 환경 방사선 감시기, 열형광 선량계 등의 방사선 감시 초소가 안전성 입증의 차원에서 설치되어 24시간 방사선을 측정하고 있으나, 원자력 이용에 대한 국민 공감대 형성 및 원전의 환경 안전성에 대한 입증 수단으로는 다소 미흡하다는 인식이 존재하고 있다.

또한 원전으로부터 방사선이 방출될 것이라는 우려로 인해 원전 주변 환경 안전성에 대한 주민들의 의구심은 물론, 맹목적인 두려움과 반원전 분위기가 제기되고 있어 이에 대한 적절한 대응 방안이 필요한 상태이다.

95년에는 환경 단체들이 연합하여 구성한 「전국 시민 방사능 감시망 준비위원회」에서 방사능으로부터 원전 지역 주민의 건강과 생명을 보호하고 한반도의 방사능 오염을 감시한다는 목적 하에 원전 지역 주민에게 자주 달개비 보내기 캠페인을 벌이기에 이르렀다.

자주달개비를 이용한 방사선 감시라는 개념 및 기술이 정립되지 않은 상태로 시작한 환경 단체의 캠페인은 유야무야 되었으나 생물학적으로도 방사선 유출 여부를 확인할 수 있다라는 인식을 주민들에게 심어 주었다.

이런 사회 분위기 속에서 한전은 방사선 쪼임량 정도에 따라 색깔이 변하는 지표 식물(자주달개비) 종자 개발 및 환경 방사선 감시 화단 구축을 위해 자주달개비를 이용한 원전 환경 방사선 안전성 실증 연구를 한국원자력연구소와 공동으로 착수하였다.

본고에서는 상기 실증 연구의 추진 경위 및 분석 결과에 대해 기술하고자 한다.

국내외 연구 및 기술 개발 현황

지표 생물이란 환경 조건, 자극, 생물 등 특정 요인에 민감한 생물체로 환경 질의 변화를 반영하는 생물 리트머스라 할 수 있다.

예를 들면 나무껍질이나 바위에 붙



자주달개비를 심고 있는 모습

어사는 지의류(地衣類)는 아황산가스로 인한 대기 오염의 지표가 되고, 마디풀과의 다년초인 수영은 토양 산성도의 지표가 되고 있다.

우리가 관심을 가지고 있는 방사선 지표 식물은 방사선 쪼임량에 따라 반응의 변화가 일정하여야 하며 반응 변화를 쉽게 감지할 수 있어야 하는데, 여기에 적합한 식물이 바로 트라데스칸티아라는 학명의 자주달개비이다.

자주달개비에 대한 국내 기술 수준은 개념 및 기술 정립 단계라 볼 수 있고, 국외는 기술 안정화 및 응용 분야 개척 단계라 할 수 있다.

국내에서는 유일하게 한국원자력 연구소에서 자주달개비를 이용한 방사선 연구를 수행하고 있는데, 국제적으로 많이 이용되고 있는 여러 종류의

클론(Clone : 무성 생식에 의해 한 개체에서 만들어진 유전적으로 동일한 생물체의 집단)을 확보하고 있다.

또한 이들 클론의 증식 기술을 이미 확보한 상태이며 분석 기술에 관련된 기술 개발을 위해 각국과 교류 협력중에 있다.

국외에서의 기술 개발 현황은 아래와 같이 요약 정리할 수 있다.

① 미국 : BNL(Brookhaven National Lab.)에서 자주달개비의 환경 응용성 및 실용성을 높이기 위한 고감도 클론 개발

② 일본 : 교토대학에서 개발된 일부 클론은 세계적으로 많이 이용

③ 소련 : 인공위성 내 우주선(Cosmic ray)에 의한 생체 영향 규명에 자주달개비를 이용

④ 폴란드 : 자주달개비를 방사선

및 환경에 응용하는 연구 활발

⑤ 유엔기구(UNEP)를 통한 자주달개비 국제 교류 및 공동 연구 추진

현 기술 상태의 취약성은 대부분의 자주달개비 종류들이 계절성을 극복하지 못하는 한계성을 대표적인 예로 들 수 있다. 다시 말해 연구용으로 개발된 방사선 고감도 종류들은 야외 월동이 불가능하고 일부 뿌리로 번식하는 월동 가능 종류는 방사선 반응성이 확립되지 않은 상태이다.

또 하나의 문제점은 식물체 특성을 이용한 환경 방사선 안전성 입증에 관한 인식 부족이다.

원자력 시설 주변 환경 방사선 안전성 입증 수단으로서 자주달개비 활용이 초기 시도 단계이므로 인식 기반이 취약할 뿐만 아니라 자주달개비 체세포 돌연변이 유발 원인에 관한 포괄적인 이해가 부족한 것이다.

자주달개비를 실제 환경에 활용하기 위한 기술은 유지 및 증식 관련 기술과 자주달개비 꽃의 돌연변이 반응 분석 기술로 구분할 수 있다.

이와 관련한 기술은 한국원자력연구소에 의해 확립 또는 완전하게 정립된 상태로 더욱 진전된 분석법을 개발중에 있으므로 기술 도입 필요성은 없었다.

연구 개발 추진

지표 생물을 환경 안전성 입증 수단으로 활용하기 위해서는 국내 자연

환경을 충분히 고려해야 하기 때문에
국내에서 기술 개발되는 것이 타당하
다 하겠다.

1. 연구 개발 목적 및 필요성

가. 목적

- ① 자주달개비 원예 화단을 이용한
 대국민 원전 홍보 전략 개발
- ② 원전 주변의 자연 친화적 환경
 방사선 안전성 입증 기구의 조성

나. 목표

- ① 자주달개비를 활용한 원예성 방
 사선 감시망 구현
- ② 원예 초소 운용을 통한 환경 방
 사선 안전성 입증
- ③ 원전 지역 주민에 대한 자연 친
 화적 홍보 효과

다. 필요성

국민의 생활 문화 수준 향상과 더
불어 급증하는 전력 수요 충족을 위해
상존하는 주민의 방사선 안전 의구심,
반핵 운동 및 님비 현상(NIMBY Sy-
ndrome)의 해소는 물론 원자력 시설
및 주변 환경의 방사선 안전성을 효과
적으로 입증할 수 있는 기술 확립이
필요하다.

- ① 원전 환경 안전성에 대한 의구
 심 해소에 적극적 노력 필요
- ② 맹목적인 반핵 분위기에 대한
 적절한 대응 방안 필요
- ③ 환경 친화적 원예 초소 운용을 통
 한 방사선 안전 홍보 전략 필요
- ④ 환경 방사선 안전성에 대한 불
 필요한 오해 차단 필요

〈표 1〉 자주달개비 종류별 특성 비교

자주달개비 종류	염색체	화색 특징	생장 특성
<i>Trdescantia reflexa</i>	12, 24	자주 (homozygote)	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 기후에 적응하여 거의 토착화된 종 • 노지에서 월동 가능하며 국내에 광범위하게 보 급/분포되어 있음 • 종자 번식이 가능하며 유전적 순수성 유지 불 가하여 개체간 특성 차이 보임 • 초형이 크며 활발한 성장을 보유 • 단순 관상 원예화로 활용에 적합
<i>Trdescantia BNL 4430</i>	12	자주 우성 (분홍 열성)	<ul style="list-style-type: none"> • 중간 접종으로 종자 번식 불가 • 분주법으로 증식되며 유전적 순수성이 유지되어 전세계적으로 연구 재료로 가장 많이 사용됨. • 초형이 중간 규모이며 개화 유지 기간이 아주 길기 때문에 원예 가치 높음 (온도 유지시 연중 개화) • 야외에서 월동 불가능한 단점
<i>Trdescantia BNL 02</i>	12	자주 우성 (분홍 열성)	<ul style="list-style-type: none"> • 중간 접종으로 종자 번식 불가 • 분주법으로 증식되며 유전적 순수성이 유지되 어 연구 재료로 흔히 사용됨 • 야외에서 월동 불가능한 단점 • 초형이 소형이며 화기의 크기도 작기 때문에 원예 가치 면에서는 저평가 • 초세에 비해 초장이 지나치게 길게 되는 경우 가 많고 유지 관리가 까다로움
<i>Trdescantia KU 9</i>	18	자주 우성 (분홍 열성)	<ul style="list-style-type: none"> • 중간 접종 3배체로 종자 번식 불가 • 분주법으로 증식되며 유전적 순수성이 유지되 어 연구 재료로 흔히 사용되지만 화서 크기이 따른 실험적 제약이 있음 • 화서(꽃차례)가 지나치게 클 뿐 아니라 초형도 크기 때문에 도복 가능성성이 크며 원예화로서 관리하기 힘들

2. 연구개발 추진 체계(그림)

적합성 분석 및 증식 기반 수립

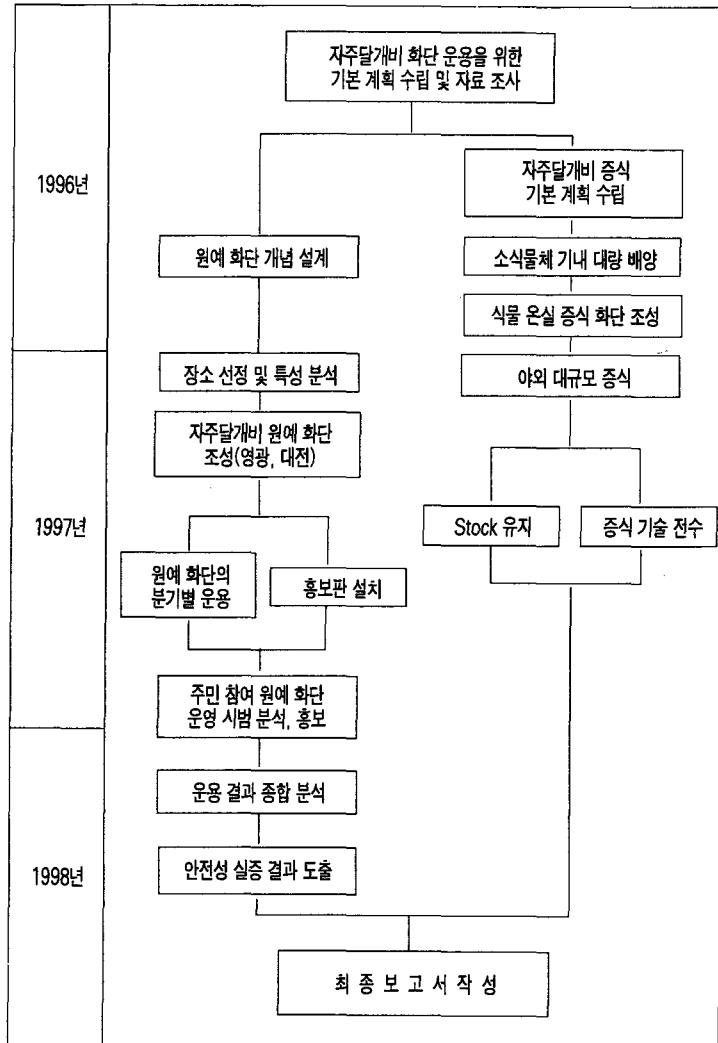
1. 자주달개비의 적합성 분석

현재 한국원자력연구소에서 보유
하고 있는 국내에서 활용 가능한 자

주달개비 4 종류에 대하여 각각의 생
물학적 특성을 비교·분석한 결과
T.BNL 4430 클론이 본 연구에 가장
적합한 연구 재료인 것으로 밝혀졌다

〈표 1〉

자주달개비 T.BNL 4430을 연구
재료로 선정함에 있어 다음과 같은



(그림) 자주달개비의 단계별 연구 개발 추진 체계

(표 2) 원예 초소별 식재 형태 및 식재량

장 소	식재 형태	식재량	비고(식재 간격)
영광본부 전시관 화단	장방형(2×3.5m)	300주	15~20㎠
영광읍사무소 화단	정방형(1.8×3.5m)	300주	15~20㎠
한국원자력연구소 화단	굴곡형 장방형(1×7m)	300주	15~20㎠

판단 기준을 적용하여 결정하였다.

- ① 연구 재료로서의 개체별 유전학적 순수성 유지 여부
- ② 보유하고 있는 대규모 증식 기술의 적용 가능성
- ③ 초형·화형 등에 있어 원예 관상 가치의 정도
- ④ 연구 분석을 위한 기본 데이터의 가용성

2. 자주달개비의 기내 증식 기반 수립

방사선 감시 원예 화단 조성용 자주달개비 식물체 확보를 위해 기내 배양 기술을 응용하였다.

① 전용 온실 : 기내 배양에 사용할 식물 모체는 한국원자력연구소 부지 내에 축조된 자주달개비 전용 온실에서 육성하였으며, 이 온실 설비는 전 연구 기간을 통해 모체 육성·보존용으로 이용될 것이다.

② Explants : 온실 내에서 육묘된 건전한 자주달개비 식물체로부터 정단 생장점(apical meristem)을 적출하여 에탄올(70%) 및 차아염소산나트륨(염소 농도 기준 1% 용액)을 이용하여 멸균 처리한 후 배지에 치상하였다.

③ 기내 배양 : Murashige-Skoog 기본 배지에 두 종류의 생장 조절제를 적정 농도 첨가하여 만든 영양 배지에서 부정아를 다량 유기시킨 후 계대 배양을 실시하여 대량의 소식물체(plantlets)를 확보하였다.

3. 자주달개비 야외 분주 증식

가. 소식물체 환경 적응 대용량화
기내 배양을 통해 얻은 소식물체를
생육상(모델 VS-3DM)내에서 일정
기간 배양하여 기외 환경에 적응
순
치시켰다.

○ 생육상 내 조건

- 광조건 : 명기 14시간(5,000 lux), 암기 10시간
- 온도 : 명기 20°C, 암기 18°C
- 습도 : 명기 80%, 암기 85%

나. 식물체 대량 온실 증식 체제 구축
생육상에서 기외 환경에 적응된 소
식물체를 포트(직경 9cm)에 이식하여
온실 내의 기외 환경에 추가 적응토
록 하였다. 이 과정을 통해 확보된 소
식물체는 여유분을 포함하여 1,100
주이다.

자주달개비 방사선 감시 기본화단 조성

1. 장소 선정 및 토질 특성 평가

방사선 감시 원예 초소를 구축할
장소는 영광군과의 협의를 통해 가용
한 장소를 선정하였으며 각각의 장소
는 다음과 같다.

- ① 영광본부 전시관 화단
 - ② 영광읍사무소 화단
 - ③ 한국원자력연구소 하나로 화단
- 선정된 3개 장소 모두 사질이 우세
한 토양으로 토질 자체가 초본 식물
생장에 바람직한 조건은 아니었기 때
문에 상업용 원예 상토를 혼합하였다.

이때 혼합 비율은 식물체 균계 심



영광 여자중학교 과학반 학생들이 자주달개비 꽃을 채취하고 있다.

도에 있어서 기존 토양
과 상토의 혼합비율이
약 1:1이 되도록 하였
다.

한편 화단 개소당 2
점씩의 토양 시료 채취
방사선/능과 관련된 토
질 특성을 평가하기 위
해 감마 동위원소를 분석하였다.

〈표 3〉 원예 초소 구축에 사용된 연구 재료 식물체의 특성 (97년 자료)

특 성	평 균	표준 편차	분석 횟수
수술당 응해모수		10.5	208
모당 세포수	24.4	2.6	208
분홍 돌연변이	1.04	1.15	208
무색 돌연변이	NA	NA	NA
분열 능력 상실	0.09	0.71	208

주 : NA : not available

2. 적정 식재 형태 및 식재량 분석

식재의 형태는 일반인에 대한 접근
성과 방사선 감시 초소로서의 운용시
공시 재료 채취, 관수, 시비 등에 일
반 관리 등을 감안하여 가급적 장방
형으로 식재토록 하였으며 장소별 가
용성에 따라 약간의 변형을 가하였다
〈표 2〉.

3. 자주달개비 식재 및 화단 조성

전항에 기술한 식재 형태에 따라
화단을 조성하고 지력의 향상과 수분
보지율을 높여주기 위해 균계 심도에
대하여 기존 토양과 1:1 비율이 되도
록 상업용 육묘 상토를 혼합하였다.

각각의 장소에 300본 이상의 식물
체를 식재하였으며 식재 후 활착을 위
하여 관수는 물론 액비로서 Hoagland
No.2 1:6 회석액을 시비하였다.



자주달개비 꽃의 체세포변이 과정을 분석하고 있는 모습

자주달개비 변이 분석 결과

1. 자주달개비의 방사선 지표성

가. 꽃의 특성

① 생육 조건이 유지되면 연중 계절적으로 꽂이 핌.

② 꽂차례 속의 10여개 꽃봉오리가 약 24시간 간격으로 순차적 개화.

③ 꽂 속의 6개의 수술에서 '옹해모'라 불리는 약 70개 정도의 털이 있음.

④ 각각의 옹해모는 25개 정도의 큰 세포로 이루어진 사슬.

나. 꽃 색깔의 변화

① 꽃봉오리 속의 세포가 분열중에 돌연변이원(방사선 포함)에 노출되어 유전자가 손상을 받으면 돌연변이가 일어남.

② 돌연변이의 결과 열성 인자가

발현되어 분홍빛을 나타내거나 우성 및 열성 유전 인자를 모두 상실할 경우 무색의 세포가 나타남.

다. 방사선 지표

① 특히 수술털은 하나의 세포가 연속적으로 분열하여 형성되므로 분열 과정중에 방사선에 쪼이면 쉽게 돌연변이가 일어남.

② 세포의 색깔이 바뀌는 빈도가 주어진 방사선량에 비례하여 증가 또는 감소하므로 수학적 관계식을 도출

할 수 있음.

③ 따라서 색이 바뀐 정도로부터 자주달개비가 받은 방사선량을 통계적으로 역추산하는 것이 가능함.

④ 분홍 돌연변이의 발생률이 방사선 쪼임량 증가에 따라 선형적으로 증가됨을 알 수 있다.

⑤ 2 Gy를 정점으로 선량 포화되어 돌연변이 발생률이 감소됨을 보여주고 있다.

⑥ 흡수 선량 단위 : 1 Gy(국제 단위계) = 100 rad(기존 단위)

2. 천연감시망 운용을 위한 사전

분석 결과

기내 배양 및 생육상 적응 기간 및 온실 적응 기간에 걸쳐 개화한 개체에 대하여 자연 발생적 돌연변이율을 분석하여 확보된 식물체의 생물 지표 건전성(integrity of indicatorship)을 분석하였다.

이 과정을 통하여 방사선 감시용 원예 초소 구축에 사용된 식물체가 생물학적으로 건전하여 환경 감시에 활용할 수 있음을 확인하기 위한 것이다.

각각의 초소에 식재된 자주달개비

(표 4) 한국원자력연구소 연구용 클론의 특성 (95 ~ 96년 자료)

클론	특성	평균	표준 편차	분석 회기수
T-4430	수술당 옹해모수	75	13.0	100
	모당 세포수	24	3.5	288
	분홍 돌연변이	1.16	1.15	128
	무색 돌연변이	0.54	0.98	128
	분열 능력 상실	0.00	0.00	128

에 대해서는 주기적 일반 점검과 함께 화기에 대한 돌연변이율 분석은 차기 계획 일정에 따라 실시될 예정이다.

온실 대량 증식 체제하의 돌연변이율 분석 결과는 <표 3>에 나타난 바와 같이 화기당 분홍 돌연변이율 1.04 ± 1.15 를 나타내고 있어 기존에 실시된 분석 결과와 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않음에 따라 원예 초소 구축에 사용된 식물체가 생물학적으로 건전함을 나타내었다.

여기서 분홍 돌연변이율이 약 1에 해당된다고 하는 것은 자주달개비 한송이에 있는 수술털 세포 약 1만 여개 중 분홍 돌연변이 발생 세포가 하나 있다는 이야기다.

3. 주민 참여 시범 분석 결과

97년 6월 25일 영광군 영광여자중학교 과학 교실에서 자주달개비 꽃의 체세포변이 시범 분석을 실시하였다.

이날 분석에는 영광여자중학교 과학반 학생, 과학 교사, 지역 주민 등 40여명이 참석하여 25배 배율의 현미경으로 자주달개비 꽃 세포 변화 여부를 직접 관찰하였다.

분석에 필요한 자주달개비 꽃은 97년 5월 영광 원전 전시관과 영광읍 사무소에 설치한 화단에서 과학반 학생들과 함께 채취하였다.

<표 3>에서 알수 있듯이 자연 상태에서 분홍 돌연변이율은 통계적으로 화기당 1.04 ± 1.15 를 나타내고 있으나, 시범 분석에서는 8개의 분석



영광 여자중학교 과학교실에서 실시한 자주달개비 꽃의 체세포변이 시범 분석

화기 중 분홍 돌연변이 세포가 1개밖에 발견되지 않아 분홍 돌연변이는 평균 0.13으로 자연 상태의 평균 변이보다 낮은 발생률을 보였다.

자주달개비 최적 개화 시기인 97년 9월에는 영광 지역 2곳과 대전에 심어둔 꽃과도 비교 분석할 예정이다.

맺음말

본 연구의 신뢰성 제고를 위해 개화된 꽃을 정기적으로 채취하여 돌연변이율을 분석하고 3개 지역의 분석 결과를 비교 평가할 것이다.

돌연변이의 분석에 있어서는 유전자 돌연변이에 해당되는 분홍 돌연변이(pink mutation)와 무색 돌연변이(colorless mutation)를 집중적으로 분석함으로써 분석 결과의 혼란을 배제할 것이다.

이런 과정을 통해 기술적으로는 원전 가동에 따른 방사선의 환경 안전성을 생물학적으로 입증하고 화단을 활용한 방사선 감시 기술을 확보하여, 물리적 방사선 감시 초소의 자연 친화적 대안으로서 광범위한 지역에 걸친 방사선 감시 초소 설치 운영에 따른 경제적 부담을 경감할 수 있을 것이다.

특히 원예성 초본인 자주달개비가 비상시 선량 감시 및 환경 안전성 입증 수단의 기능을 제공할 수 있을 것으로 전망되는 것은 주목할 만한 내용이다.

본 연구를 통해 자주달개비를 활용한 원예성 방사선 감시망을 구현하고 원예 초소 운영을 통한 환경 방사선 안전성 입증으로 원전 지역 주민에 대한 자연 친화적 홍보 효과를 제고 토록 할 것이다. ☞