

지하철 시설내 부유먼지에 함유된 돌연변이원의 생물학적 영향 평가

김진규*, 신해식¹, 이정주², 김 균³, 이진홍¹

한국원자력연구소, ¹충남대학교 환경공학과,
²용인대학교 환경보건학과, ³한국화학연구소

Study on the Biological Effects of TSP Collected from the Subway Station with *Tradescantia* Bioassay

Jin Kyu Kim*, Hae Shik Shin¹, Jeong-Joo Lee², Kyun Kim³ and Jin-Hong Lee¹

Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon, 305-353, Korea

¹Department of Environmental Engineering, Chungnam National University,
Gung Dong, Daejeon, 305-764, Korea

²Department of Environmental Health, Yong-In University, 449-714, Korea

³Korea Institute of Toxicology, Daejeon 305-600, Korea

ABSTRACT

Airborne pollutants in the subway facilities can be potentially harmful to the health of passengers. This study was designed to examine whether the suspended particulates have mutagenic or carcinogenic effect on the plant cell systems. Total suspended particulates were collected with a high volume air sampler, in the entrance, the waiting room, and the platform of each subway station. The biological end-points in this experiment were the pink mutations in stamen hairs and micronuclei in the pollen mother cells of *Tradescantia*. The exudates were collected by shaking the filter papers from the sampler in distilled water for 24 hours. All the plant cuttings exposed to the exudates resulted in positive responses. The micronucleus assay proved more reliable and sensitive to the test than the stamen hair assay. The results indicate that the air particulates can give an adverse effect on the health of subway passengers.

Key words : Air particulates, Subway, *Tradescantia* stamen hair, Micronucleus assay

서 론

세계보건기구(WHO)는 실내의 공기오염으로 인하여 매년 280만 명이 사망하고 있으며, 실내오염을 개발도상국가의 영·유아 사망의 주요원인으로

지적하였다. 실내에서 방출되는 오염물질이 사람의 폐에 전달될 확률은 실외보다 1,000배 높다고 강조하였다. 많은 실내환경의 분석자료들은 중금속의 무기화합물과 휘발성 유기화합물 중에 돌연변이원과 발암원성 물질들이 포함되어 있음을 밝혔다(Fishbein, 1993; Lewtas, 1993; Schnelle *et al.*, 1996). 인간은 1일 24시간 중 85% 이상을 실내공간에서 생활하고 있는 것으로 보고되고 있다(Dockery and

* To whom correspondence should be addressed.

Tel: +82-42-868-2057, E-mail: jkkim@kaeri.re.kr

Spengler, 1981). 사무실, 가정, 실내작업장, 공공건물, 병원, 지하시설물, 대중교통수단 등 광범위한 실내공간이 오염되었을 경우 인간건강에 다양하게 영향을 미칠 수 있다. 실내환경은 물리적, 화학적 및 생물학적으로 매우 다양한 오염물질 등이 존재하고 체류할 가능성이 있다는 점이 대기환경과 다르다. 서울의 지하철은 하루 450만 명 정도를 수송하는 중요한 대중교통 수단이다. 지하철 역사 내의 실내환경에 대한 실내공기질 관리는 실내공기 오염의 대상물질에 대한 특정유해물질과 같은 단일물질에 대한 지표에 의해 관리되고 있다. 그러나 공기중 입자상 물질의 특성은 복합적이기 때문에 공기질에 대한 관리는 여러 제한점을 가지고 있다.

현재 알려진 생물학적인 분석법 200여가지 중에 자주달개비 식물체의 진핵세포재료를 대기(Sadowska, 1993; Batalha, 1999), 수질(Steinkellner, 1999), 폐기물침출수(Cabrera *et al.*, 1999), 그리고 토양(Knasmuller, 1998)의 독성정도를 검출하는데 직접적으로 적용할 수 있다. 1960년대 후반에 개발된 자주달개비 웅체모 분석법(*Tradescantia* Stamen Hair; TSH assay)과 1970년대 후반에 개발된 자주달개비 미세핵분석법(*Tradescantia*-micronucleus assay; Trad-MCN assay)은 현장실험과 실험실실험에 폭넓게 사용되고 있다. *Tradescantia* (Family Commelinaceae)는 세포유전학적 실험대상 식물체로서 수술털 세포의 분홍돌연변이는 방사선량의 증가에 따라 돌연변이율도 증가하는 뚜렷한 선량-반응 관계를 나타낸다(Sparrow *et al.*, 1972; Nauman *et al.*, 1976). 자주달개비의 분홍돌연변이는 환경방사선은 물론 환경내의 모든 요인의 영향을 반영한 결과이기 때문에 포괄적인 의미에서의 생물학적 안전성에 대한 연구는 자주달개비 TSH 시스템을 응용하여 폭넓게 진행되고 있다(Ichikawa, 1992; Cebulska-Wasilewska and Smagala, 1990). 또한 하나의 꽃을 분석하는 경우 그 결과는 약 만개의 수술털 세포에서 얻은 정보이므로 통계적으로 이점이 크다. 또한 TSH 세포의 자발돌연변이 빈도인 hair-cell division당 10^{-4} 이 포유동물 세포의 자발돌연변이 빈도인 $10^{-3} \sim 10^{-7}$ /세포세대/좌위와 상당히 유사하다는 점(Sparrow and Sparrow, 1976)에 비추어 볼 때 TSH 세포의 돌연변이 반응은 방사선, 돌연변이원 및 발암원에 의한 인간의 위해도 평가에 중요한 자료를 확보할 수 있을 것으로 판

단된다(Ma, 1979).

자주달개비의 화분모세포는 감수분열 초기에는 방사선에 매우 민감하게 영향을 받는다(Ma, 1979; Ma *et al.*, 1980). 특히, 감수분열중인 화분모세포의 염색체는 동일개체의 분열중인 체세포 염색체보다도 훨씬 방사선에 민감하다는 사실이 잘 알려져 있다(Ma *et al.*, 1980; Sax, 1938). 염색체 손상에 따른 산물인 무동원체 염색체 조각(acentric fragment)이나 점착성 염색체 복합부위(sticky chromosome complex)가 감수분열의 4분자 염색체(tetrad) 시기에 미세핵으로 남게 된다. 이것을 이용한 분석과정을 일명 Trad-MCN assay라 하여 돌연변이 유발물질이나 방사선에 의한 염색체 손상 연구에 이용되기 시작하였다(Ma, 1979; Ma *et al.*, 1978). 자주달개비 미세핵분석법을 이용하여 발암원과 돌연변이원을 포함한 140가지의 실험결과는 Ames test와 비교하여 67%의 적합성을 보이는 것으로 나타났다(Ma *et al.*, 1984). 동물의 골수세포(bone marrow cell)는 일반적으로 실험결과에 대한 변동의 폭이 큰 반면, 식물세포의 경우는 실험결과에 대한 변동 폭이 작으며, 방사선을 비롯한 다양한 돌연변이원에 뚜렷한 선량·용량-반응 관계를 나타낸다는 장점과 함께, 식물체의 실험 중 돌연변이원을 검색하는데 가장 민감한 것으로 알려져 있다(Gill and Sandhu, 1992; Grover *et al.*, 1990; Ma *et al.*, 1992; Monarca *et al.*, 1997; Sadowska *et al.*, 1994; Steinkeller *et al.*, 1998). 자주달개비 미세핵분석방법은 다양한 물리·화학적 물질에 대해 매우 민감, 단순, 신속, 경제적인 유용한 방법이다. 감수분열중인 화분모세포에서 동시성을 가진 핵분열은 감수분열의 초기단계에서 돌연변이원에 의해 염색체 손상을 발생시킨다는 점, 4분자염색체에서 미세핵을 밝힐 수 있다는 점, 결과를 1~2일 내로 얻을 수 있다는 점에서 상당한 효율성을 가지고 있다. 저장된 시료는 시간에 제한없이 분석할 수 있기 때문에 제한된 인력을 가지고 대단위 규모의 실험을 수행하는 것이 가능하다. 자주달개비 실험은 유전자변이와 염색체 손상에 대한 정보를 제공해 줄 수 있다. 특히, 질취화서는 *in vivo*인 동시에 *in vitro*로 간주될 수 있기 때문에 획득한 결과에 대한 생물학적 의미가 인정될 수 있다. 실내환경 중에는 수많은 종류의 발암관련 물질들이 각기 미량으로 존재하고 있다. 실내오염과 관련된 관리대상 물질에 관

해서는 오염실태가 파악되지만 발암물질에 관련된 평가에 관해서는 현재로서는 미흡한 실정이다. 실내오염 관리를 위해서는 발암물질의 종류에 대한 화학적 분석 및 생물학적 평가가 병행되어야 한다. 이러한 점에 비추어 볼 때 발암 또는 돌연변이원 성 물질에 민감한 자주달개비 식물체를 이용한 실내오염물질의 생물학적 영향평가는 인체 위해성에 관한 추정을 가능케 할 뿐 아니라 실내오염물질의 관리 대책을 제시할 수 있다는 점에서 중요한 의미를 갖는다.

본 연구에서는 자주달개비의 분홍돌연변이 및 미세핵반응에 대한 민감도 확인을 위하여 돌연변이원으로 알려진 방사선에 대한 선량-반응 관계를 통하여 적용성을 판단함과 동시에 지하철 시설을 중심으로 실내환경 중의 먼지에 포함되어 있는 다양한 오염 물질을 확인하고 자주달개비의 분홍돌연변이와 미세핵 반응을 통하여 생물학적 위해성을 파악하기 위하여 수행되었다.

재료 및 방법

1. 공시재료

실험용 식물체는 방사선에 민감하게 반응하면서도 자발돌연변이율(intrinsic mutation rate)이 낮은 *Tradescantia* 4430 클론을 사용하였다. 2002년 3월 4일부터 18일까지 2주간 생장한 식물체로부터 15개 정도의 화아를 가지고 있는 화서를 절취하여 24시간 동안 실험실 조건에 순치 시킨 다음 15개의 화서를 하나의 실험군으로 사용하였다.

2. 방사선조사

한국원자력연구소의 감마선 조사시설(^{60}Co , 선원강도 150 TBq, Panoramic Irradiator, Atomic Energy of Canada Ltd.)을 이용하여 자주달개비 수술털 분홍돌연변이 관찰을 위하여 상온 공기중에서 공시 재료를 0.3, 0.5, 1.0 및 2 Gy로 조사하였으며 미세핵 관찰을 위한 공시재료는 0.1 Gy~0.7 Gy의 선량으로 조사하였다. Fricke dosimeter로 측정된 조사 선량율은 0.44 Gy/hr였다(Niels and Roger, 1970). 감마선 선량-반응 관계에 대해서 이미 보고(Ichikawa *et al.*, 1978; Kim and Cebulka-Wasilewska,

1996)된 바와 같이 포화선량인 2 Gy 이하의 선량영역에서는 선형적 반응을 나타낸다는 점을 그대로 적용하였다.

3. 총부유먼지(TSP)의 처리

신도림, 서울대입구, 시청, 신촌지하철역의 입구, 대합실, 승강장에서 총부유먼지(total suspended particulates)를 포집하였다. 총부유먼지의 여지 중 1/4만을 취하여 잘게 썰어 증류수를 넣은 후 24시간 동안 진탕하였다. 진탕한 후 액을 여과하여 자주달개비의 분홍돌연변이와 미세핵 관찰을 위하여 자주달개비의 절취화서를 침지한 상태에서 폭기를 하면서 24시간동안 노출하였다.

4. 화서배양

방사선을 조사한 화서군은 Hougland No. 2 solution 6배 희석액(Conger, 1964)에 담그어 생장상내에서 배양하였다. 배양액은 3일 간격으로 교체하였으며, 전 배양기간 동안 기포발생기를 이용하여 폭기를 실시하였다. 배양시간은 명기 14시간 동안은 20°C, 습도 80%, 조도는 293 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ 로 조광은 대형메탈램프로 하였으며 형광등을 보조광원으로 사용하였다. 암기는 10시간, 18°C, 상대습도 85%를 유지하였다.

5. 검경분석

실체현미경을 이용하여 배율 25배 하에서 돌연변이를 계수하였다. 만개상태의 화기를 실험군별로 채화한 다음 6개의 수술을 모두 파라핀유가 도말된 슬라이드 상에 퍼서 검경용 프레파라트를 제작하였다. 돌연변이 세포의 계수는 방사선 조사후 4주 이상 지속적으로 시작되었으며 특히 방사선 조사 후 돌연변이율 증가가 일정기간(peak interval; 조사후 6~13일)의 검경결과를 통합한 자료(pool-ed data)로부터 돌연변이빈도(pink mutation events/100 hairs)를 산정하였다.

6. 미세핵의 분석

화분모세포에 생성된 미세핵분석은 Ma (Ma, 1981)의 절차를 따랐다. 방사선 조사가 끝난 시료는 양액에 침지하여 생육상 내에서 약 24~30시간

의 분열 염색체 회복시간이 경과 후, 분석용 화서를 aceto-alcohol (1:3)로 고정시켰다. 고정액에 침지하여 24시간 후 70% 에탄올에 담구어 4°C에 저장하였다. 미세핵 검경을 위한 프레파라트의 제작은 'aceto-carmine squash method' (Ma, 1981)에 따랐다. 전처리가 끝난 후 실험군별로 15~18개의 슬라이드 프레파라트를 제작하고, 광학현미경 (Nikon) 하에서 배율 400배로 검경하여 미세핵을 계수하였다. 하나의 프레파라트에서 약 300개 이상의 4분자 염색체를 검경하여 100 사분자 염색체당 미세핵 숫자로서 각 실험조건별 미세핵 생성률로 환산하였다.

결과 및 고찰

1. 분홍돌연변이 빈도

지하철 시설내 부유먼지에 포함된 돌연변이원에 대한 검색에 앞서, 자주달개비가 미성숙한 화아내 분열중인 수술털 세포의 민감도를 파악하기 위하여 돌연변이원인 방사선을 조사하여 선량에 따른 분홍돌연변이의 반응성을 조사하였다. 본 실험의 결과에서 보면 방사선조사 선량 중 0.5 Gy의 조사군을 기준으로 했을 때 방사선에 의한 분홍돌연변이율의 증가는 조사 후 6일 경부터 급격히 증가하기 시작하여 조사 10일 후 4.76 ± 0.34 로 최대값을 나타내었다 (Fig. 1). 각각의 선량에서 6일부터 11일까지 분홍돌연변이가 확연하게 증가한 고조기간 (peak interval)으로 설정하여 고조기간중 검경결과를 통합하여 선량별로 수술털 100모당 평균돌연변이율 (pink mutations/100 hairs)을 산정하였다. 방사선량의 증가에 따라 분홍돌연변이율의 증가는 뚜렷한 선량-반응 관계를 나타내었다 (Fig. 2). 방사선이 조사된 자주달개비 수술털에서 나타나는 분홍돌연변이율의 변화양상을 보면 방사선 조사 후 6~15일의 기간중 돌연변이율의 상승이 두드러지게 올라가는 것이 연구결과로 보고되어 있다 (Ma, 1981). 이와 같은 돌연변이유발은 뚜렷한 선량-반응 관계를 나타낸다.

돌연변이율 고조기간은 통상 방사선 조사 후 6일에서 20일 사이에 나타나지만 공시 식물체의 생육상태 및 실험처리시의 손상정도에 따라 약간 다르게 나타날 수도 있다. 본 실험에서는 네 실험군

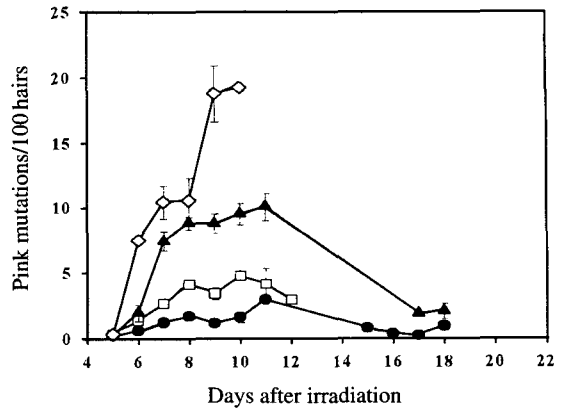


Fig. 1. The daily change of pink mutation frequencies in irradiated TSH cells. Bars represent standard error of mean (●: 0.3 Gy, □: 0.5 Gy, ▲: 1.0 Gy, ◇: 2.0 Gy).

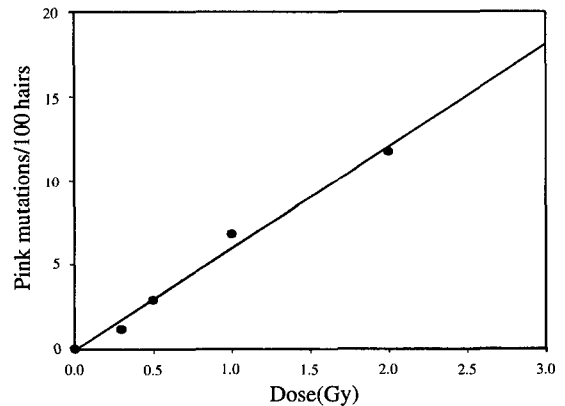


Fig. 2. Dose-response relationship of pink mutation frequencies in *Tradescantia* stamen hair cells.

모두 통상적인 고조기간내에 돌연변이율이 증가하였다. 일반적으로 분석결과의 통계적 오차와 분산을 최소화하기 위하여 돌연변이율이 최대값에 이르는 날짜를 중심으로 일정한 기간을 고조기간 (peak interval)으로 설정하여 이때의 돌연변이율 검경결과를 통합하여 데이터 (pooled data)로 활용한다. 본 실험에서 분홍돌연변이가 확연하게 증가한 고조기간은 6일부터 11일까지로 설정하였다. 모든 조사실험군에 있어서 방사선량의 증가에 따른 분홍돌연변이의 증가는 뚜렷한 일차함수적 선량-반응 관계를 나타내고 있다 (Fig. 2). 이와 같은 선형

관계식의 회기계수는 0.98로서 높은 통계적 유의성이 인정된다.

2. 자주달개비 미세핵의 선량-반응 관계

자주달개비의 돌연변이원에 대한 민감성을 확인하기 위하여 방사선을 돌연변이원으로 이용하여 미세핵을 유발하였다. 자주달개비 미세핵생성률은 방사선량의 증가에 따라 점차 증가하는 양상을 나타냈으나, 50 cGy 이상의 다소 높은 선량영역에서는 MCN 생성률의 변이가 매우 크게 나타나서 선량-반응 관계에 따른 통계적인 유의성이 없었다.

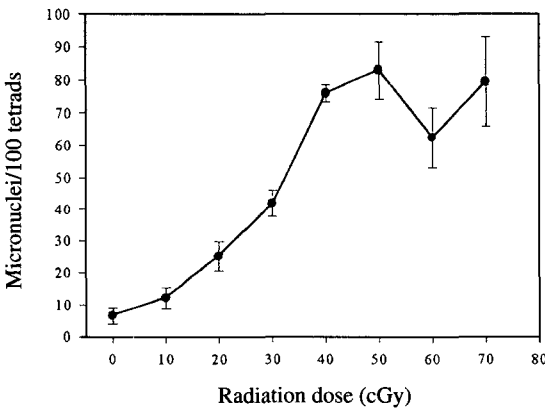


Fig. 3. Dose-response relationship of MCN in pollen mother cells of *Tradescantia* 4430.

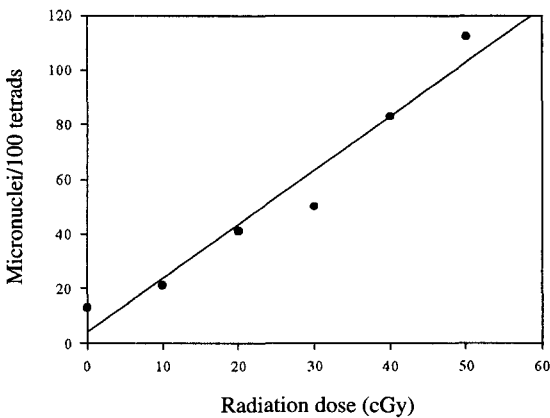


Fig. 4. Linear regression on dose-response curve of the highest micronucleus occurrences at given radiation doses.

(Figs. 3, 4).

최대 미세핵 생성률이 갖는 감마선량 반응식은 다음의 (1)식과 같다.

$$F_{MCN} = 1.97D + 4.05, (r^2 = 0.95) \dots\dots\dots (1)$$

여기서,

F_{MCN} = 최대 미세핵생성률 (MCN/100 tetrads)

D = 감마선량 (cGy).

이 관계식의 회기계수 $r^2 = 0.95$ 로 0~50 cGy 선량범위에 있어서의 선량-반응 관계를 일차함수로 표현하는 것에 무리가 없음을 알 수 있었다. 관계식의 정의에 따르면 미세핵의 자연생성률은 최대 4 MCN/100 tetrads인데 이 값은 실제로 분석된 화분모세포 미세핵 자연생성률의 범위와 일치하는 것으로 나타났다(Kim, 1994).

3. 지하철역내 총부유먼지 (TSP)와 미세먼지 (PM10)의 농도

총부유먼지의 농도는 대기와 비교하여 대합실 및 승강장의 농도가 상대적으로 높았으며, 미세먼지 또한 대기보다는 대합실 및 승강장의 농도가 상대적으로 높았다. 승강장의 농도는 총부유먼지와 미세먼지 모두 높았으며, 환기시설 뿐만 아니라 여러 가지 다양한 요인에 기인된 것으로 판단된다. 인체에 유해한 것으로 알려진 미세먼지는 모든 역에서 대합실과 승강장의 농도차이가 배이상으로 나타난 반면 총부유먼지의 경우 대합실과 승강장의 농도는 큰 차이가 나타나지 않았다. 지하생활공간 공기질 권고기준이 24시간 평균값이 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 임을 감안할 때 지하철역의 PM10농도는 기준값 이하이나 경우에 따라서는 승강장의 농도는 상당히 우려할 만한 수준임을 확인할 수 있다(Table 1).

Table 1. Concentration of particulates matter collected from seoul subway station

Site	TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	1	2	3	1	2	3
Shindorim	219.4	278.8	269.5	91.4	75.8	143.5
Seoul Nat. Univ.	150.7	169.4	260.9	112.6	107.9	199.7
City Hall	141.5	188.2	238.6	57.7	78.8	158.6
Shinchon	138.7	282.0	252.5	121.3	190.7	158.4

1: Entrance, 2: Waiting room, 3: Platform

4. 지하철역내 먼지 추출물의 자주달개비 노출

본 실험에서는 입자상물질에 포함된 돌연변이원의 추출을 위하여 유기용매를 사용하지 않았다. 이는 인간의 폐의 기능에는 유기용매에 의한 추출과정이 포함되어 있지 않으며, 폐에서 암을 유발하는 입자상물질의 발암원과 돌연변이원의 영향을 잘못 해석할 수 있는 부분이 있기 때문이다. 입자상물질의 용해성 부분에 중점을 두고 지하철 시설의 입자상물질에 포함된 돌연변이원의 영향을 파악하고자 하였다. 지하철역 입자상 물질의 추출물은 자주달개비 분홍돌연변이 빈도의 분석결과 7일부터 14일까지 고조기간을 나타내었다. 신도림역의 경우 최대값이 처리 후 11일째에 1.36 ± 0.23 으로 나타났다. 서울대 입구는 처리 후 9일째에 1.09 ± 0.18 로 나타났고, 시청역은 처리 후 11일째에 0.91 ± 0.45 로 나타났다. 신촌역의 경우 최대값이 처리 후 11일째에 1.25 ± 0.34 로 나타났다.

입자상물질의 최종 처리농도는 $0.7 \sim 1.4$ (mg/l)이었다. 일정범위의 농도에서 처리하였기 때문에 농도에 따른 돌연변이의 증가보다는 입자상물질에 포함된 돌연변이원에 의한 영향이 지하철역에 따라 다른 빈이도를 나타낸 것으로 판단된다. 네 실

험군 모두 돌연변이원에 의한 분홍돌연변이가 증가하는 시기와 분홍돌연변이 최대값을 나타내는 시기가 유사하게 나타났다. 분홍돌연변이의 노출 후 유사한 증가 감소의 반응은 지하철역내 포집먼지의 추출물에 포함된 용해성 성분에 돌연변이원을 포함하고 있을 것으로 판단된다. 시청을 제외한 신도림, 서울대, 신촌은 대합실과 승강장의 노출처리군에서 모두 유의성 있는 반응을 나타내었다. 시청역 승강장처리군에서는 유의성 있는 반응이 나타나지 않았다. 또한 신촌역의 입구와 승강장은 대조군과 비교하여 다른 지역보다 높은 유의성을 나타내었다 (Entrance: $p < 0.01$, Platform: $p < 0.01$). 지하철의 대합실에서 포집한 먼지의 반응은 모두 양성을 나타내었다 (Table 2). 먼지추출물의 수용성 성분에 의하여 유발된 자주달개비 미세핵은 모든 역의 입구, 대합실, 승강장에서 유의성 있는 증가를 나타내었다 (Table 3).

미세핵 빈도는 100개의 사분자 염색체당 5.27부터 10.13까지 유의성 있게 증가하는 경향을 나타내었다 (Table 3). 대조군의 경우 미세핵의 수는 3.13 ± 0.25 를 기록하였다. 지하철의 총부유먼지에는 자주달개비의 염색체손상 유발물질이 포함되어 있음을 확인하였다. 입자상물질의 최종 처리농도는 $0.7 \sim 1.4$ (mg/l)이었다. 지하철역 또는 위치에 따라

Table 2. Results of the *Tradescantia* stamen hair mutation assay on particulates extracts collected from Seoul subway station

Site	Extraction (mg/l)	ME/100 hair (means \pm SE)	Significant difference from the control at $p=0.05$
Negative control	Water	0.33 ± 0.210	-
Shindorim-1 [†]	Water (1.1)	0.36 ± 0.036	N
Shindorim-2	Water (1.4)	0.51 ± 0.066	Y
Shindorim-3	Water (1.3)	0.54 ± 0.095	Y
Seoul nat' univ-1	Water (0.8)	0.53 ± 0.062	Y
Seoul nat' univ-2	Water (0.8)	0.56 ± 0.070	Y
Seoul nat' univ-3	Water (1.3)	0.54 ± 0.078	Y
City Hall-1	Water (0.7)	0.32 ± 0.067	N
City Hall-2	Water (0.9)	0.65 ± 0.093	Y
City Hall-3	Water (1.2)	0.38 ± 0.063	N
Chinchon-1	Water (0.7)	0.55 ± 0.066	Y
Chinchon-2	Water (1.4)	0.56 ± 0.090	Y
Chinchon-3	Water (1.1)	0.66 ± 0.102	Y

[†] 1: Entrance, 2: Waiting room, 3: Platform

ME (mutation event); one or more than one pink cells in a stamen hair separated by the dominant blue cells.

Table 3. *Tradescantia* micronucleus frequencies induced by particulate extracts collected from Seoul subway stations.

Site	Extraction (mg/l)	MCN/100 tetrads (means \pm SE)	Significant difference from the control at $p=0.05$
Negative control	Water	3.13 ± 0.249	-
Shindorim-1 [†]	Water (1.1)	7.27 ± 0.427	Y
Shindorim-2	Water (1.4)	8.53 ± 0.467	Y
Shindorim-3	Water (1.3)	10.13 ± 0.374	Y
Seoul nat' univ-1	Water (0.8)	7.93 ± 0.476	Y
Seoul nat' univ-2	Water (0.8)	6.0 ± 0.350	Y
Seoul nat' univ-3	Water (1.3)	6.60 ± 0.542	Y
City Hall-1	Water (0.7)	9.80 ± 0.646	Y
City Hall-2	Water (0.9)	5.27 ± 0.267	Y
City Hall-3	Water (1.2)	8.07 ± 0.356	Y
Shinchon-1	Water (0.7)	8.27 ± 0.552	Y
Shinchon-2	Water (1.4)	7.87 ± 0.403	Y
Shinchon-3	Water (1.1)	9.87 ± 0.620	Y

[†] 1: Entrance, 2: Waiting room, 3: Platform

For each treatment 1,500 tetrads were scored.

농도가 뚜렷한 차이가 없는 것으로 보아 미세핵의 빈도에 확연한 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다. 농도를 높거나 낮을 경우 미세핵반응에 영향을 미칠 것으로 예상된다.

본 실험을 통하여 자주달개비 미세핵분석법이 수술털 분홍돌연변이 분석법보다 유전독성물질을 분석하는데 민감하다는 것을 확인하였다(Table 2, 3). 자주달개비를 이용한 수술털세포의 분홍돌연변이와 4분자 염색체의 미세핵 돌연변이 빈도는 방사선뿐만 아니라 환경 중에 발암물질 및 돌연변이 원물질에 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 따라서 이러한 돌연변이 민감도를 이용하여 다양한 환경 즉 원자력발전소의 현장감시, 대기오염(Sadowska, 1993; Batalha, 1999) 수질오염(Steinkellner, 1999), 폐기물 침출수 오염(Cabrera et al., 1999) 및 토양 오염(Knasmuller, 1998)에 대한 생물학적 영향에 관한 평가에 활발하게 활용되고 있다. 발암성 시험은 실험동물을 이용하는 것이 원칙이나 소요 시간과 경비 측면에서 난점이 많아 경제적이고 분석이 용이한 검사 수단이 필요하다. 이러한 동기로 자주달개비를 이용한 돌연변이원성 실험은 실내환경 중에 함유되어 있는 돌연변이원 및 발암 물질을 파악하고 오염원을 관리하는데 대단히 유효하다. 따라서 자주달개비의 돌연변이율을 확인하는 생물학적 실험은 실내환경 중의 돌연변이원 및 발암원의 존재로 인한 영향의 평가를 위해 화학분석과는 다른 관점에서 유익한 정보를 제공하여 줄 것으로 기대된다. 추가적으로 지하철역의 실내먼지 중 용해성 성분에 포함된 돌연변이원에 대한 화학적 분석 통하여 오염물질에 대한 명확한 규명이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

결 론

지하철 시설 내에서 다양하게 존재하는 오염물질은 지하철 이용 승객들의 건강에 영향을 미친다. 본 연구는 지하철의 실내환경 중 부유먼지에 포함된 발암원 및 돌연변이원성 물질의 유무를 확인하고, 자주달개비의 분홍돌연변이의 유전적인 손상과 미세핵반응을 통한 염색체변이에 관한 생물학적 반응을 조사하고자 수행되었다. 자주달개비 식물체의 돌연변이원에 대한 민감도를 확인하기 위하여

방사선에 의한 자주달개비의 분홍돌연변이 및 미세핵 반응을 통하여 뚜렷한 선량-반응 관계를 확인할 수 있었다. 이러한 자주달개비의 식물체의 돌연변이원에 대한 민감도를 통하여 총부유먼지에 대한 노출 결과에서 분홍돌연변이는 신도림역의 입구, 시청역의 입구 및 승강장에서만 음성반응을 나타내었다. 나머지 실험군의 경우 양성의 반응을 나타내었다. 따라서 3곳에서 음성의 반응이 나타났지만 지하철역의 실내공간에는 분홍돌연변이를 유발하는 돌연변이원이 존재하고 있다고 판단된다. 자주달개비 미세핵분석법을 이용한 결과 모든 실험군에서 양성을 결과를 나타내었다. 염색체의 변이를 확인하는 미세핵 분석법이 체세포의 변이를 의미하는 수술털 돌연변이보다 유의한 결과를 보였다. 이러한 결과는 자주달개비를 이용한 유전자 손상 및 염색체 이상에 관한 분석법 중 자주달개비의 화분모세포를 이용한 미세핵분석법이 돌연변이원에 보다 민감하는 것을 확인할 수 있었으며(Steinkeller et al., 1998), 또한 입자상 물질에 포함된 유해물질이 이를 흡입한 지하철 이용객들에게 유전적인 손상을 유발시켜 건강에 영향을 미칠 수 있음을 시사한다.

참 고 문 헌

- Batalha JRF. Exploring the clastogenic effects of air pollutants in Sao Paulo (Brazil) using the *Tradescantia* micronuclei assay, *Mutat. Res.* 1999; 426 : 229-232.
- Cabrera GL, Rodriguez DMG, Maruri AB. Genotoxicity of the extracts from the compost of the organic and the total municipal garbage using three plant bioassays. *Mutat. Res.* 1999; 426 : 201-206.
- Cebulska-Wasilewska A and Smagala J. Synergism in mutations induction in *Tradescantia* by plants protection agents acting jointly with ionizing radiation. In *Isagriculture chemistry more dangerous for environment than radiation? Materials from the studies on mutagenicity of plants protection agents* (Cebulska-Wasilewska, A. ed.), INP-1511/B. (in Polish) : 1990.
- Conger A. A simple liquid-culture method of growing plants. *Proc. Florida State Horticultural Society.* 1964; 77 : 3-6.
- Dockery DW and Spengler JP. Personal exposure to respirable particulates and sulfates. *J. Air Pollut. Control Assoc.* 1981; 31 : 153-159.

- Fishbein L. Sources, nature and levels of air pollutants, in: L. Tomatis (Ed.), Air pollution and human cancer, monographs, european school of oncology, Springer-Verlag, New York. 1993; 9-34.
- Gill BS and Sandhu SS. Application of the *Tradescantia* micronucleus assay for the genetic evaluation of chemical mixtures in soil and aqueous media. *Mut. Res.* 1992; 270 : 65-69.
- Grover IS, Phingra AK, Neeta A and Ladhar SS. Genotoxicity of pesticides and plant systems. In *Mutation and the Environment, Part E*, Wiley-Liss, New York, 1990; 91-106.
- Heddle JA. A rapid in vivo test for chromosome damage. *Mut. Res.* 1973; 18 : 187-190.
- Ichikawa S, Nauman CH, Sparrow AH and Takahashi CS. Influence of radiation exposure rate on somatic mutation frequency and loss of reproductive integrity in *Tradescantia* stamen hairs. *Mut. Res.* 1978; 52 : 171-180.
- Ichikawa S. *Tradescantia* stamen-hair system as an excellent botanical tester of mutagenicity: its responses to ionizing radiations and chemical mutagens, and some synergistic effects found. *Mut. Res.* 1992; 270 : 3-22.
- Kim JK. Biological monitoring of radiation using indicator plants. KAERI/RR-1427/94. Korea Atomic Energy Research Institute, 1994.
- Kim JK, Lee YK, Song HS, Chun KJ and Kim KC. *Tradescantia* as biological indicators of radiation. Proc KARP Autumn Mtg., Cheju, Korea Nov. 1996; 8 : 24-28.
- Kim JK and Cebulska-Wasilewska A. KAERI-INP Joint Research for Science and Technology Cooperation, KAERI/TR-773/96. 1996.
- Knasmuller S, Gottmann E, Steinkellner H, Fomin A, Pickl C, Paschke A, God R and Kundi M. Detection of genotoxic effects of heavy metal contaminated soils with plant bioassays. *Mutat. Res.* 1998; 420 : 37-48.
- Lewtas J. Experimental evidence for the carcinogenicity of air pollutants, monographs, european school of oncology, Springer-Verlag, New York, 1993; 49-61.
- Ma TH. Micronuclei induced by X-rays and chemical mutagens in meiotic pollen mothercells of *Tradescantia*-A promising mutagen test system. *Mut. Res.* 1979; 64 : 307-313.
- Ma TH, Kentos GJr and Anderson VA. Stage sensitivity and dose-response of meiotic chromosomes of pollen mother cells of *Tradescantia* to X-rays. *Environ. Exp. Bot.* 1980; 20 : 169-174.
- Ma TH. *Tradescantia* micronucleus bioassay and pollen tube chromatid aberration test for *in situ* monitoring and mutagen screening, *Environ. Health Prospect.* 1981; 37 : 85-90.
- Ma TH, Harris MM, Anderson AA, Ahmed I, Mohammad K, Bare JL and Lin G. *Tradescantia*-micronucleus (Trad-MCN) tests on 140 health-related agents. *Mut. Res.* 1984; 157-167.
- Ma TH, Sandhu SS, Peng Y, Chen D and Kim TW. Synergistic and antagonistic effects on genotoxicity of chemicals commonly found in hazardous waste sites, 1992; 270 : 71-77.
- Monarca S, Zanardin A, Feretti D, Resola S, Marchetti R, Manfredi S and Nardi G. Evaluation of mutagens in contaminated soils using bacterial and plant assays. In "VIIth" International Conference on Environmental Mutagens, Toulouse, France, 1997; 101.
- Nauman CH, Sparrow AH and Schairer LA. Comparative effects of ionizing-radiation and two gaseous chemical mutations on somatic mutation induction in one mutable and two non-mutable clones of *Tradescantia*. *Mut. Res.* 1976; 38 : 53-70.
- Niels WH and Roger JB. *Manual on Radiation Dosimetry*. Marcle Dekker Inc., New York. 1970.
- Sax K. Chromosome aberrations induced by X-rays. *Genetics.* 1938; 23 : 494-516.
- Sadowska A, Iyugers E, Narkiewicz M, Pawelczak A and Lata B. Environmental genotoxicity and cancer risk in humans: a combined evaluation correlating the results of the *Tradescantia* micronucleus assay in the field and human biomarker assessments in serum. I. The TRAD-MCN assay. *European Journal of Cancer Prevention.* 1994; 3 : 69-78.
- Shnelle J, Wolf K, Frank G, Hietel B, Gebefugi I and Ketttrup A. Particle size-dependent concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons, *Analyst.* 1996; 121 : 1301-1304.
- Sparrow AH, Underbrink AG and Rossi, HH. Mutations induced in *Tradescantia* by small dose of X-rays and neutrons: analysis of dose-response curves. *Science.* 1972; 176 : 916.
- Sparrow AH and Sparrow RC. Spontaneous somatic mutation frequencies for flower color in several *Tradescantia* species and hybrids. *Environ. Exp. Bot.* 1976; 16: 23-43.
- Steinkellner H, Mun-Sick K, Helma C, Ecker S, Ma TH, Horak O, Kundi M and Knasmuller, S., Genotoxic effects of heavy metals: comparative investigation with plant bioassay, *Environ. Mol. Mutagen.* 1998; 31 : 183-191.
- Steinkellner H, Kassie F and Knasmuller S. *Tradescantia*-micronucleus assay for the assessment of the clastogenicity of Austrian water, *Mutat. Res.* 1999; 426: 113-116.