

# 채소류 중 발암성 농약의 위해성 평가

윤재홍, 이종태<sup>1)</sup>, 정 용<sup>1)</sup>, 신동천<sup>1)</sup>

연세대학교 환경공해연구소, 연세대학교 의과대학 예방의학교실<sup>1)</sup>

## Risk Assessment on Carcinogenic Pesticides of Vegetables in Korea

Jae Hong Yoon, Jong-Tae Lee<sup>1)</sup>, Yong Chung<sup>1)</sup>, Dongchun Shin<sup>1)</sup>

Institute for Environmental Research, Yonsei University  
Department of Preventive Medicine and Public Health, College of Medicine, Yonsei University<sup>1)</sup>

**Objectives:** The study was conducted to estimate the carcinogenic risks from the ingestion of some carcinogenic pesticides (CPs) in vegetables sampled at a local agricultural product market in Seoul.

**Methods:** After applying a hazard identification step, we selected four pesticides, such as DDT, dieldrin, folpet, and heptachlor epoxide, for this risk assessment. Concentrations of each pesticide were measured from randomly sampled vegetables. In order to estimate the human exposure levels, we combined the concentration of pesticides in the vegetables with consumption rate of those vegetables. Three scenarios were hypothesized for human exposure assessment. Scenario I was the most conservative which supposed the undetected CPs would be the detection limit values. Scenario II was assumed that the undetected CPs would be a half of the detection limit values, and finally scenario III merely considered only values greater than the

detection limit values. We finally presented the estimated carcinogenic risks on the basis of the traditional risk assessment procedure suggested by U.S. EPA.

**Results:** Pesticides including DDT, dieldrin, folpet and heptachlor epoxide were detected in 9 samples (6%) in the range of 0.0006~0.09ppm. The daily intake levels of carcinogenic pesticides were estimated in the range of 0.0009~0.0079 $\mu$ g/day. As we expected, excess cancer risks based on scenario I was also the highest ( $1.1 \times 10^{-8}$ ~ $5.5 \times 10^{-6}$ ).

**Conclusions:** We found that the estimated risks from the pesticides we investigated were not serious. We, however, propose that a continuous monitoring is needed to make sure for the protection of public health.

*Korean J Prev Med 1999;32(2):155-161*

**Key Words:** Risk assessment, Carcinogenic pesticides

## 서 론

인간은 식품 섭취를 통하여 삶을 유지하는데 필요한 영양소와 에너지를 동시에 얻게된다. 그러나 섭취되는 식품이 각종 유해물질에 오염되었을 경우, 본래의 섭취 목적과 다르게 인체에 부정적인 영향을 줄 수 있다. 의학의 발달과 생활수준의 향상으로 일반적인 건강수준 및 수명은 크게 신장되었으나, 부적절한 생활양식 등에서 기인되는 발암 발생률은 증가추세에 있으며 특히, 암 사망 요인의 35% 이상이 식품 섭취와 관련 되어있는 것으로 추정되고 있다(Doll과 Peto, 1981). 한

편 우리나라 성인을 대상으로 환경 보전 및 식품 오염문제에 관한 국민의식 조사를 실시한 결과, 식품 중 가장 문제시되는 오염물질로서 약 40%가 잔류농약을 꼽았으며, 응답자의 70% 이상이 잔류 농약의 오염도가 심각한 것으로 인식하고 있었다(이서래와 이미경, 1989; 환경청, 1982). 이러한 오염물질의 관리방안을 결정하기 전에 검토하도록 제안되는 것이 소위 "위해성평가(risk assessment)"로부터 제시되는 자료이다. 위해성평가는 위험성 확인(hazard identification), 노출평가(exposure assessment), 용량-반응평가(dose-response assessment) 및 위해도 결

정(risk characterization)과 같은 주요 4 단계를 통해 수행되는데(NRC, 1983), 국내에서는 미국 환경보호청(Environmental Protection Agency; 이하 EPA)에서 선정한 수질오염물질 중에서 선별하여 일부에 대한 위해성평가를 수행(정용, 1990)하였던 것을 시작으로 일련의 연구(김종만, 1991; 박성은과 정용, 1992; 신동천 등; 1994)가 실시되었다. 근래에는 위해성평가를 수행하는데 있어 국내 실정에 맞는 각 변수들에 대한 조사(박선미, 1993; 이미경과 이서래 1994)와 오염 물질의 기준 설정 및 관리대책에 대한 연구가 수행되기도 하였다(정용, 1989, 1990, 1996). 그러나 지금까지 국내의 연구들은 환경매체 중에서 주로 대기 및 수질을 대

상으로 이루어졌으며, 식품에 대한, 즉 오염된 식품섭취를 대상으로 하는 위해성 평가는 상대적으로 미진한 실정이다. 현실의 인간은 각종 복합 유해물질에 다중 노출되므로 종합적인 환경오염 관리를 위하여 모든 환경매체 및 노출경로 포괄하는 종합적인 연구가 필요하다.

따라서 본 연구는 기존의 위해성평가에서 연구 사례가 적었던 식품섭취로 인한 위해성평가를 실시하기 위하여, 식품군 중 그 양적 비중이 크며, 식품의 생산과정 중 유해물질에 직접 노출되고, 생식의 빈도가 높은 채소류를 대상으로 하였으며, 연구대상 유해물질 선정은 채소류에 직접 살포되어 그 오염 가능성이 상대적으로 높은 농약중에서 환경내 잔류성과 생체 농축성이 크며 건강 위해성이 심대할 것으로 평가된 일부 발암성 농약을 중심으로 독성자료를 이용하여 위험성 확인을 하고 오염도를 산출하였으며, 가정된 시나리오에 따라 인체 노출량을 산정하고, 기존의 용량-반응평가에서 제시된 단위 위해도를 적용하여 초과 발암위해도를 산출하여 현 노출상황에 따른 인체 위해성을 평가하였다.

이와 같은 평가를 통하여 식품 중 오염된 채소류 섭취에서 기인될 수 있는 암발생을 정량적으로 예측하는 자료를 제시하여 이를 바탕으로 국민보건 및 질병예방의 측면에서 향후 연구방향의 우선 순위 및 정책적 대안 마련을 위한 기초자료수립에 활용될 수 있을 것이다.

## 연구 방법

### 1. 연구 대상 물질 선정 및 위험성 확인

본 연구에서 선정한 농약종은 채소류 중 검출 가능한 농약을 대상으로 미국국립의학도서관(National Library of Medicine)의 독성전자정보망(TOXNET®)에 있는 독성자료파일인 위해물질자료은행(Hazardous Substance Data Bank; 이하 HSDB®)과 통합위해정보체계(Integrated Risk Information System; 이하 IRIS®)를 검색하여 선정하였으며, 우선적으로 국내

에서 사용되었거나 사용 중인 20종의 농약을 대상으로 EPA에서 제시한 발암물질 분류체계에 따라 각기 등급을 매겼다. 그러나 본 연구에서 실제로 분석된 농약은 EPA 등급에서 검토 중인 물질(under review) 또는 발암 가능성 물질(C); 비발암 물질(D)로 구분되었거나, 예비실험을 통해서 분석에 부적합했거나(chlordane, toxaphene), 자료 불충분(chlorobenzilate)으로 분류된 농약은 제외하고 남은 총 10종의 농약을 대상으로 오염도 분석 조사를 실시하였고 최종적으로 시료분석에서 검출되어 정량이 가능하였던 4종에 대해서는 위해성평가를 실시하였다(표 1).

## 2. 노출 평가

### 1) 환경 노출 평가

#### (1) 시료채취 방법

시료채취는 1996년 7월부터 1997년 4월까지 작물의 주요 출하시기에 10종의

채소를 대상으로 각 채소 15건씩, 총 150건을 수집하였다. 채소시료를 수집할 때 고려한 사항으로 생산지를 가능하면 전국 각 도별로 다양하게 하도록 하였으며 각 채소별 시료의 양은 2kg으로 무작위 표본 추출하였다.

#### (2) 분석방법 및 측정 기기

시료의 분석은 식품공전의 유기 염소계 농약 분석법(한국 식품공업협회, 1997)을 이용하였으며, 시료 2kg을 믹서로 마쇄하여 균질화한 후 50g을 취하여 추출 및 정제를 한 다음에 10 $\mu$ l 미량 주사기(microsyringe)를 사용하여 1.0 $\mu$ l를 비분지 모드로 가스크로마토그래피(이하 GC)에 주입하였으며, 표 2와 같은 GC 분석 조건하에서 분석하였다. 조제한 표준시약의 농도에 따른 피크의 면적에 의하여 검량선을 작성하였으며, 이때 얻은 각 피크의 머무름 시간(retention time, RT)을 표준물질과 비교하여 확인하고 해당

Table 1. Hazard classification for pesticides of concern

Classification			
Probable human carcinogen	Possible human carcinogen	Not classifiable	Under review
Aldrin	Parathion	Endrin	Alachlor
T-BHC			Captan
Chlorobenzilate			Chlorothalonil
Chlordane			Dicofol
DDT			Daminozide
Dieldrin			Endosulfan
Folpet			Lindane
Heptachlor			Mirex
Heptachlor epoxide			
Toxaphene			

Table 2. Analytical conditions of GC/ECD

Items	Conditions
GC	Star 3400CX by Varian Co.(USA)
Column	RTx-5 by Rescek Co.(USA) (cross-bond 5% Diphenyl silicon 30m × 0.25mm ID. × 0.25 $\mu$ m df)
Detector	Electron capture detector
Integrator	Varian 4400
Carrier gas flow	N, 20psi
Split ratio	Splitless
Injection port temp	180 $^{\circ}$ C
Detector temp	300 $^{\circ}$ C
Oven Temp Program	
Initial temp.	145 $^{\circ}$ C, 0.5min
Rate	3.5 $^{\circ}$ C/min
Final temp.	245 $^{\circ}$ C

되는 피크 면적을 이용하여 각 시료의 농도를 계산하였다(표 3). 회수율 실험은 300ml 삼각플라스크에 농약을 사용하지 않은 균질화된 시료 50g을 넣고 여기에 0.36ppm이 되도록 혼합 표준시약을 가한 후 본 실험과 동일한 과정을 거쳐 GC로 정량분석 하였다(표 3). 각 농약별 검출한계는 정량법의 감도와 분석 조작에 의한 농축율로부터 구했으며, 최소 검출량은 바탕선잡음(baseline noise)의 3배에 해당하는 선에서 결정하였다(류홍일 등, 1991).

(3) 표준용액 및 시약

농약 표준물질은 Dr. Ehrenstorfer사의 aldrin, dieldrin, heptachlor 및 heptachlor epoxide와 Riedelde Haen사에서 생산한 BHC( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  및  $\delta$ )와 DDT를 사용하여 1000ppm 표준원액을 만든 후 이를 다시 단계별로 희석하여 표준용액으로 이용하였다. 본 실험에서 사용한 시약은 아세톤(삼전순약, 한국), 하이플로수퍼셀(Fluka, 미국), 추출용 헥산(Junsei, 일본), 플로리실(Fisher, 미국), 정제용 헥산 및 유기잔류분석용 에테르(Mallinckrodt, 미국), 무수황산 나트륨(Shinyo, 일본)과 염화나트륨(Showa, 일본)을 사용하였다.

2) 인체 노출 평가

(1) 인체 노출량 산정 시나리오

인체 노출량은 세가지 노출 시나리오에 따라 추정하였는데, 불검출 시료에 대하여 검출 한계값을 적용하여 가장 보수적인 가정을 하였을 경우(scenario I), 불검출 시료에 대하여 검출 한계값의 1/2을 적용하였을 경우(scenario II), 그리고 검출된 오염도만을 적용한 경우(scenario III) 등 세가지 시나리오에 따라 산정하였다. 한국인의 인체노출량 추정을 위하여 적용한 자료는 일일 평균 식품 섭취량(약 1kg)과, 그 중에서 채소류가 차지하는 양(300.2g)으로 연구대상 식품별 섭취량은 표 4와 같다(이미경과 이서래, 1994).

(2) 인체 노출량 산정 방법

인체노출량 산정을 위하여 노출기간은 70년, 평균 체중은 60kg, 그리고 채소 섭취량은 한국인의 일일 평균 섭취량을 적용하였다(보건복지부; 1995, 1996). 발암

**Table 3.** Calibration equations, 95% confidence intervals, detection limits, retention time and recovery rates of standard carcinogenic pesticides

CPs <sup>1</sup>	Calibration Equation	95% CI <sup>1</sup>	Det. L <sup>1</sup> (ppm)	Ret. T <sup>1</sup> (min)	Rec. R <sup>1</sup> (%)
Aldrin	Y=24247.40x + 5514.75	0.998	0.0005	13.45	82.6
$\alpha$ -BHC	Y=7827.62x + 333.25	0.998	0.005	7.75	79.68
$\beta$ -BHC	Y=1851.07x + 395.37	0.997	0.005	8.83	86.87
$\gamma$ -BHC	Y=7759.30x + 243.98	0.998	0.005	9.01	78.54
$\delta$ -BHC	Y=6182.54x - 2242.64	0.999	0.005	10.07	90.10
DDT	Y=127429.0x - 6879.59	0.996	0.005	22.35	88.67
Dieldrin	Y=204794.20x + 20994.04	0.996	0.0005	18.44	92.45
Folpet	Y=21961x + 3154.93	0.915	0.003	16.3	89.64
Heptachlor	Y=244226.40x + 31121.84	0.996	0.001	11.9	76.54
Heptachlor e	Y=199793.70x + 33050.39	0.994	0.001	16.3	98.01

<sup>1</sup>CPs, carcinogenic pesticides; CI, confidence intervals; Det. L, detection limit; Ret. T, retention time; Rec. R, recovery rate

**Table 4.** Average consumption of vegetables (Food Factor)\*

(unit: g/day/person)

Vegetables	Intake	Supply	Adjusted intake
Chinese cabbage	12.5 (the raw) 82.3 (kimchee)	121.1	94.8
Lettuce	4.5	3.8	4.5
Green onion	11.3	23.6	17.5
Onion	10.9	23.6	17.3
Garlic	5.1	14.9	10.0
Korean radish	29.3 (the raw) 37.5 (kimchee)	72.2	66.8
Carrot	2.1	4.7	3.4
Cucumber	4.4	10.0	7.2
Red pepper	5.8	5.0	5.8
Soybean sprout	19.9	--	19.9
Others	--	--	--
Total	249.8	302.9	300.2

\*이미경과 이서래(1994)에서 인용

성 농약에 임의의 농도로 오염된 채소류를 평생 섭취함으로써 인체에 노출될 수 있는 용량,  $D_{ingestion}(mg/kg/day)$ 은 다음과 같은 수식에 의해 산출하였다.

$$D_{ingestion}(mg/kg/day) = \frac{C(mg/kg) \times IngR(kg/day)}{BW(kg)}$$

이 때 "C"는 소채류 중 발암성 농약의 농도 (mg/kg)이며, "IngR"은 일일 채소 섭취량 (kg/day), 그리고 "BW"는 평균체중 (60kg)을 나타낸다.

3. 용량-반응 평가

용량-반응 평가에서 발암성 농약의 발암력( $q_1^*$ )은 용량-반응 곡선에서 95% 상한값에 해당하는 기울기 또는 선형계수(linear coefficient)로서 평균체중(본 연구에서는 60kg을 가정)의 건강한 성인이어

면 화학물질의 단위 노출용량(mg/kg/day)으로 오염된 환경매체(물, 공기, 식품 등)를 기대수명(일반적으로 70년)동안 접촉하고 생활할 때, 그로 인하여 발생하는 초과 발암 확률을 의미한다. 단위 위해도 추계치는 발암력과 동일한 의미로서, 단위용량(mg/kg/day)에서 단위농도( $\mu g/L$  또는  $\mu g/m^3$ )당 발암확률로 전환한 수치이다. 본 연구에서 적용한 발암력은 IRIS®에서 인용하였다. 실제안전용량(virtually safe dose, 이하 VSD)은 평생발암 위해도가  $10^{-6}$ 에 해당하는 농도로서 이 농도에서 위해도는 무시할 정도로 작은 것으로 간주되며, 규제치 설정 시 이용된다. IRIS®에서 적용한 발암력과 국내에서 조사된 각 채소별 섭취량을 고려하여 아래의 식과 같이 각 발암농약별 VSD를 산출하여 표 8에 제시하였다.

$$VSD = \frac{10^6 \times 60kg}{q_i \times \text{채소 섭취량}(kg/day)}$$

#### 4. 초과 발암 위해도 결정

초과 발암 위해도는 발암력에 각 노출 scenario에서 산출된 인체 노출량을 곱하여 각 scenario 별 위해도를 산출하였다.

### 연구 결과

#### 1. 노출 평가

##### 1) 환경 노출 평가

표 5는 시료 별 발암성 농약의 농도를 나타낸 것이며, 표 6에 발암성 농약의 평균 잔류량과 일일 추정 섭취량을 제시하였다. 조사 항목인 10개 CPs 중에서 DDT는 마늘, 배추 및 양파에서 각각 1건 검출되었으며 양파에서 17ppb, dieldrin은 고추와 오이에서 각각 1건 검출되고 고추에서는 2ppb, folpet은 양파에서 두 건 검출되고 heptachlor epoxide는 당근과 마늘에서 각각 한 건 검출되었으며 마늘에서 76ppb로 각각 가장 높은 오염도를 보였다. Aldrin, T-BHC 및 heptachlor은 전 시료에서 검출 한계 이하였다. CPs의 평균 잔류량은 heptachlor epoxide가 7.4ppb로 가장 높았으며, folpet, DDT 및 dieldrin 순서였다. 그리고 일일 추정 섭취량은 DDT가 0.079114 $\mu$ g으로 가장 많이 섭취되며, heptachlor epoxide, folpet 및 dieldrin 순서였다.

##### 2) 인체 노출 평가

표 7은 발암성 농약별 인체 노출량을 나타내며, 초과 발암 위해도 산정에 이용하였다. 검출된 발암성 농약의 인체 노출량은 예상했던 것과 같이 scenario I의 경우가 가장 높게 추정되었으며 scenario III에 비하면 농약에 따라 약 3배에서 50배 가량 높게 추정되는 것을 알 수 있다. 또한 농약별 인체 노출량은 DDT, heptachlor epoxide, folpet 및 dieldrin 순으로 산출되었다.

#### 2. 용량-반응 평가

##### 1) 발암력 및 실제 안전용량

시료중에서 검출된 발암성 농약의 발

**Table 5.** Residues of carcinogenic pesticides in each vegetable

(unit:  $\mu$ g/kg)

Pesticide	Red Pepper	Carrot	Garlic	Korean radish	Chinese cabbage	Lettuce sprout	Onion	Cucumber	Soybean	Green
DDT	—	—	2.248	—	9.255	—	16.581	—	—	—
Dieldrin	1.545	—	—	—	—	—	—	0.6169	—	—
Folpet	—	—	—	—	—	—	1.056 91.895	—	—	—
Heptachlor epoxide	—	35.236	75.735	—	—	—	—	—	—	—

— : Below the detection limit (Aldrin,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ -BHC 및 heptachlor)

**Table 6.** Average residues (mg/kg) in analyzed vegetables and estimated daily intake ( $\mu$ g) of carcinogenic pesticides

	DDT		Dieldrin		Folpet		Heptachlor Epoxide	
	AR <sup>1</sup>	EDI <sup>1</sup>	AR	EDI	AR	EDI	AR	EDI
Red pepper	—	—	0.000103	0.000598	—	—	—	—
Carrot	—	—	—	—	—	—	0.002349	0.007987
Garlic	0.000150	0.001499	—	—	—	—	0.005049	0.050490
Chinese cabbage	0.000617	0.058492	—	—	—	—	—	—
Onion	0.001105	0.019123	—	—	0.003098	0.053602	—	—
Cucumber	—	—	0.000041	0.000296	—	—	—	—
Total	0.001872	0.079114	0.000144	0.000894	0.003098	0.053602	0.007398	0.058477

<sup>1</sup>AR: Average Residues; EDI: Estimated Daily Intake

암력을 비교해 보면, heptachlor epoxide의 발암력을 'I'로 하였을 경우 dieldrin을 제외한 나머지는 모두 'I'보다 작았으며, 발암력의 크기는 dieldrin, heptachlor epoxide, DDT 및 folpet의 순서였다(표 8).

#### 3. 초과 발암 위해도

##### 1) 초과 발암 위해도

표 9와 같이 노출 scenario I에 의한 위해도(risk I)와 노출 scenario II에 의해 산정된 위해도(risk II)는 검출된 물질에 있어서 DDT는 10<sup>-6</sup>범위, dieldrin과 heptachlor epoxide는 10<sup>-5</sup>을 약간 초과하였으나, folpet은 10<sup>-9</sup>~10<sup>-8</sup>의 위해도를 나타냈다. 노출 scenario III에 의해 산정된 위해도(risk III)는 heptachlor epoxide의 경우 10<sup>-6</sup>, folpet은 10<sup>-9</sup> 그리고 DDT와 dieldrin은 10<sup>-7</sup>을 약간 초과하였다.

##### 2) 위해도 범위

시나리오별 위해도 범위는 DDT의 경우 10<sup>-7</sup>~10<sup>-6</sup>, dieldrin은 10<sup>-7</sup>~10<sup>-5</sup> 그리고 folpet은 10<sup>-9</sup>~10<sup>-8</sup>이었으나, heptachlor epoxide는 10<sup>-6</sup>~10<sup>-5</sup>으로서 지속적인 관리가 필요한 것으로 사료된다(표 9).

### 고 찰

본 연구에서 위험성 확인 및 용량-반응 평가는 IRIS<sup>®</sup> 및 HSDB<sup>®</sup>에 제시된 자료를 이용하였으며 대부분의 발암성 농약은 역학적인 연구정보가 불충분하므로 동물실험 결과를 이용하게 되는데 이것으로 인하여 불확실성이 수반되게 마련이다(U.S. EPA, 1989). 또한 위해성 평가에 있어서 발암물질은 역치가 존재하지 않는 것으로 간주하여 미량이라도 존재한다면 절대적 안전을 보장할 수 없으므로(Confield, 1977), 민감도가 좋은 분석 방법으로 최대한 검출 한계를 높여서 분석해야 하지만 검사능력의 제한으로 인하여 공정 시험법 및 잔류농약분석법(U.S. FDA, 1989)의 다성분 분석법을 이용하여 시료 전 처리 과정을 달리하는 방법으로 예비 실험을 실시하고, 그 중에서 가장 검출율이 우수한 한가지 방법을 선정하여 본 실험에 적용하였다. 환경 노출 평가에서는 발암성 농약의 채소류중 오염도를 계절별 및 생산지역별로 대표성 있는 표본을 얻는 것이 중요하지만, 현실적 제한으로 인하여 섭취량이 많은 채소류 10종을 대상으로 시장에서 시료를 채

**Table 7.** Lifetime daily exposure of carcinogenic pesticides in each exposure scenario

	Scenario <sup>1</sup>	DDT	Dieldrin	Folpet	Heptachlor epoxide
Red pepper	I	—	$5.5 \times 10^{-8}$	—	—
	II	—	$3.2 \times 10^{-8}$	—	—
	III	—	$9.0 \times 10^{-9}$	—	—
Carrot	I	—	—	—	$1.9 \times 10^{-7}$
	II	—	—	—	$1.6 \times 10^{-7}$
	III	—	—	—	$1.3 \times 10^{-7}$
Garlic	I	$8.0 \times 10^{-7}$	—	—	$1.0 \times 10^{-6}$
	II	$4.1 \times 10^{-7}$	—	—	$9.2 \times 10^{-7}$
	III	$2.4 \times 10^{-8}$	—	—	$8.4 \times 10^{-7}$
Chinese cabbage	I	$8.3 \times 10^{-6}$	—	—	—
	II	$4.7 \times 10^{-6}$	—	—	—
	III	$9.7 \times 10^{-7}$	—	—	—
Onion	I	$1.7 \times 10^{-6}$	—	$1.6 \times 10^{-6}$	—
	II	$9.9 \times 10^{-7}$	—	$1.3 \times 10^{-6}$	—
	III	$3.2 \times 10^{-7}$	—	$8.9 \times 10^{-7}$	—
Cucumber	I	—	$6.0 \times 10^{-8}$	—	—
	II	—	$3.2 \times 10^{-8}$	—	—
	III	—	$4.0 \times 10^{-9}$	—	—
Others	I	$1.1 \times 10^{-5}$	$2.0 \times 10^{-6}$	$1.4 \times 10^{-6}$	$4.8 \times 10^{-6}$
	II	$5.6 \times 10^{-6}$	$1.0 \times 10^{-6}$	$7.0 \times 10^{-7}$	$2.4 \times 10^{-6}$
Total	I	$2.2 \times 10^{-5}$	$2.1 \times 10^{-6}$	$3.0 \times 10^{-6}$	$6.0 \times 10^{-6}$
	II	$1.2 \times 10^{-5}$	$1.1 \times 10^{-6}$	$2.0 \times 10^{-6}$	$3.5 \times 10^{-6}$
	III	$1.3 \times 10^{-6}$	$1.3 \times 10^{-8}$	$8.9 \times 10^{-7}$	$9.7 \times 10^{-7}$

<sup>1</sup>scenario I, substitution of the undetected data to the detection limit; scenario II, substitution of the undetected data to a half of the detection limit; scenario III, treatment of the undetected data to a missing

**Table 8.** Cancer potency and virtual safety dose (VSD) of carcinogenic pesticides (CPs)

	Cancer potency	CPs			
		DDT	Dieldrin	Folpet	Heptachlor epoxide
Red pepper	—	$3.4 \times 10^1$	$1.6 \times 10$	$3.5 \times 10^3$	9.1
Carrot	—	—	$6.5 \times 10^4$	—	—
Garlic	—	—	—	—	$1.9 \times 10^3$
Chinese cabbage	$1.8 \times 10^2$	—	—	—	$6.6 \times 10^4$
Onion	$1.9 \times 10^3$	—	—	—	—
Cucumber	$1.0 \times 10^2$	—	—	$9.9 \times 10^1$	—
Others	—	$9.9 \times 10^4$	$5.2 \times 10^4$	—	—
	VSD (mg/kg/day)	$1.3 \times 10^5$	$6.5 \times 10^2$	$2.3 \times 10^5$	—

취하여 분석하였으므로 대표성이 다소 낮아지는 제한점이 있다.

환경 노출평가 결과 150건의 시료 중 9건에서 잔류농약이 검출되어 6%의 검출율을 보였고 이들 중 5건(56%)이 경기도 지역 생산품이었으며, dieldrin은 모두 경기도 지역 생산품에서 검출되었다. 특히, heptachlor epoxide는 마늘에서 0.076 ppm (평균 0.0007)으로 국내(0.01ppm; 한국식품공업협회, 1997) 및 FAO/WHO (0.05ppm; FAO/WHO, 1993)의 잔류농

약 허용기준을 초과하는 농도를 나타냈으나, 평균 잔류량은 모두 허용기준 미만이었다.

Heptachlor epoxide는 1979년 이후 사용이 금지된 품목(박창규와 이영득, 1987)으로 미국에서는 1983년 이후 토양 중 흰개미 구제용으로만 사용하고 있으며, 생분해가 극히 어렵고 토양중 흡수가 강하며 토양 지표층에서 수년간 잔류하는데, 국내 밭 토양 및 비닐 하우스에서 각각 0.012와 0.026ppm 잔류하며(박창규

와 마연식, 1982), 작물체 흡수율을 조사한 결과 마늘은 배추의 20배나 높은 유의성 있는 흡수양상을 보였다는 보고가 있다(이규승, 1981). 농약공업협회(1980) 자료에 의하면 1979년까지 연간 42.4톤을 사용한 것으로 기록되었다. 따라서 본 연구에서 검출된 채소류의 평균 오염량 0.0007ppm은 토양 잔류에서 기인한 것으로 추정된다.

인체노출량 산출시 연령별 노출량(식품 섭취량)은 유아기 및 노년기에는 성인기에 비하여 상대적으로 적지만 일생동안 동일한 것으로 가정하였고, 노출빈도는 노출기간과 같은 것으로 가정하였으므로 일생주기(life cycle)에 따른 실제적인 노출량 및 빈도에 관한 연구가 이루어져야 하겠다.

또한, 인체 노출량은 3가지 시나리오를 가정하여 산출하였는데, scenario I의 경우 농약이 불검출된 시료는 각 농약의 검출 한계값을 적용하여 가장 보수적인 입장에서 가능한 최대 노출을 가정하였다. 따라서 실제 가능한 평균 노출에서 합리

**Table 9.** Lifetime excess cancer risk due to carcinogenic pesticides exposure in each scenario and possible risk ranges

	Scenario <sup>1</sup>	DDT	Dieldrin	Folpet	Heptachlor epoxide
Red pepper	I	—	$8.8 \times 10^{-7}$	—	—
	II	—	$5.1 \times 10^{-7}$	—	—
	III	—	$1.4 \times 10^{-7}$	—	—
Carrot	I	—	—	—	$1.7 \times 10^{-6}$
	II	—	—	—	$1.5 \times 10^{-6}$
	III	—	—	—	$1.2 \times 10^{-6}$
Garlic	I	$2.7 \times 10^{-7}$	—	—	$9.1 \times 10^{-6}$
	II	$1.4 \times 10^{-7}$	—	—	$8.4 \times 10^{-6}$
	III	$8.2 \times 10^{-9}$	—	—	$7.6 \times 10^{-6}$
Chinese cabbage	I	$2.8 \times 10^{-6}$	—	—	—
	II	$1.6 \times 10^{-6}$	—	—	—
	III	$3.3 \times 10^{-7}$	—	—	—
Onion	I	$5.8 \times 10^{-7}$	—	$5.6 \times 10^{-9}$	—
	II	$3.4 \times 10^{-7}$	—	$4.6 \times 10^{-9}$	—
	III	$1.1 \times 10^{-7}$	—	$3.1 \times 10^{-9}$	—
Cucumber	I	—	$9.6 \times 10^{-7}$	—	—
	II	—	$5.1 \times 10^{-7}$	—	—
	III	—	$6.4 \times 10^{-8}$	—	—
Others	I	$3.7 \times 10^{-6}$	$3.2 \times 10^{-5}$	$4.9 \times 10^{-9}$	$4.4 \times 10^{-5}$
	II	$1.9 \times 10^{-6}$	$1.6 \times 10^{-5}$	$2.5 \times 10^{-9}$	$2.2 \times 10^{-5}$
Total	I	$7.5 \times 10^{-6}$	$3.4 \times 10^{-5}$	$1.1 \times 10^{-8}$	$5.5 \times 10^{-5}$
	II	$4.1 \times 10^{-6}$	$1.8 \times 10^{-5}$	$7.0 \times 10^{-9}$	$3.2 \times 10^{-5}$
	III	$4.4 \times 10^{-7}$	$2.1 \times 10^{-7}$	$3.1 \times 10^{-9}$	$8.8 \times 10^{-6}$
Risk range		$4.4 \times 10^{-7} \sim 7.5 \times 10^{-6}$	$2.1 \times 10^{-7} \sim 3.4 \times 10^{-5}$	$3.1 \times 10^{-9} \sim 1.1 \times 10^{-8}$	$8.8 \times 10^{-6} \sim 5.5 \times 10^{-5}$

<sup>1</sup>scenario I: substitution of the undetected data to the detection limit; scenario II: substitution of the undetected data to a half of the detection limit; scenario III: treatment of the undetected data to a missing

적인 최대 노출까지 발암성 농약의 인체 노출 범위를 산출할 수 있었다.

그 결과, scenario I, scenario II 및 scenario III의 순으로 인체 노출량이 높게 추정되었으며, 위해도 역시 인체 노출량과 순서대로 나타났다.

**결론**

식품중 채소류에 잔류 가능성이 있는 20종의 농약을 선정하여 위험성 확인을 실시한 결과 유력한 인체 발암물질로 확인된 10종의 농약을 대상으로, 서울시 가락동 농산물 시장에서 채소류 10종 각각 15건 총150건의 시료를 무작위 표본추출하고 시료 분석을 통하여 검출된 4종의 농약에 대하여 위해성 평가를 실시하였다.

1. 위험성 확인에서 유력한 인체 발암 물질(B)은 aldrin, T-BHC, chlorbenzilate, chlordane, DDT, dieldrin, folpet, hep-

tachlor, heptachlor epoxide 및 toxaphene, 가능한 인체 발암물질(C)로는 parathion, 분류불가능(D)은 endrin, 검토 중인 물질(Under review)로는 alachlor, captan, chlorothalonil, dicofol, daminonozide, endosulfan, lindane 및 mirex를 분류하였다.

2. 환경 노출평가에서 DDT, dieldrin, folpet 및 heptachlor epoxide가 150건의 시료 중 9건(6%)에서 0.0006~0.09ppm (평균 잔류량: 0.0001~0.0007) 검출되었으며, 특히 heptachlor epoxide는 마늘의 국내 및 FAO/WHO의 잔류농약 허용 기준을 각각 초과하였으나 평균 잔류량은 모두 허용기준 미만이었다. 또한 일일 추정 섭취량은 0.0009~0.079 $\mu$ g으로서, DDT가 가장 많이 섭취될 수 있다. 인체 노출평가는 발생 가능한 모든 노출량을 산정하기 위해서 시나리오를 가정하였는데, scenario I은 불검출 시료에 대하여 각 농약의 검출 한계값을 적용하여 가장 보

수적인 가정을 하였으며, scenario II는 불검출 시료에 대하여 검출 한계값의 1/2을 적용하였고 또한 scenario III은 검출된 오염도만을 적용한 경우이다. 인체 노출량은 scenario I( $2.1 \times 10^{-6} \sim 2.2 \times 10^{-5}$ mg/kg/day)에서 가장 높았으며, scenario II( $1.1 \times 10^{-6} \sim 1.2 \times 10^{-5}$ )의 약 2/3~2배 및 scenario III( $1.3 \times 10^{-8} \sim 1.3 \times 10^{-6}$ )의 약 3.5~50배로서 DDT, heptachlor epoxide, folpet 및 dieldrin의 크기 순서였다.

3. 용량-반응 평가에서는 적절한 동물 자료를 다단계 모델에 적용하여 산출한 IRIS의 발암력 자료를 이용하였다. 그 결과 발암력은  $3.5 \times 10^{-3} \sim 1.6 \times 10$ (mg/kg/day)<sup>1</sup>로서 dieldrin, heptachlor epoxide, DDT 및 folpet의 순서로 크게 나타났다. 실제 안전용량은  $1.2 \times 10^{-3} \sim 1.1$ 로서 folpet, DDT, heptachlor epoxide 및 dieldrin의 크기 순으로 추정되었다.

4. 각 시나리오에 따라서 산출한 초과

발암 위험도 범위는 risk I에서  $1.1 \times 10^{-8}$  ~  $5.5 \times 10^{-5}$ 로 가장 높았으며, risk II는  $7.0 \times 10^{-9}$  ~  $3.2 \times 10^{-5}$  그리고 risk III은  $3.1 \times 10^{-9}$  ~  $8.8 \times 10^{-6}$ 이었다.

농약별 risk는 heptachlor epoxide ( $8.8 \times 10^{-6}$  ~  $5.5 \times 10^{-5}$ ), dieldrin ( $2.1 \times 10^{-7}$  ~  $3.4 \times 10^{-5}$ ), DDT ( $4.4 \times 10^{-7}$  ~  $7.5 \times 10^{-6}$ ) 그리고 folpet ( $3.1 \times 10^{-9}$  ~  $1.1 \times 10^{-8}$ )의 크기 순으로 산출되었다. heptachlor epoxide는 실제 채소류 섭취에 의한 평균 노출량만을 고려한 경우에도  $10^{-6}$ 을 초과하고 있으나, folpet은 세가지 시나리오에서 모두 아주 낮은 위험도를 나타냈다. DDT와 dieldrin은 risk III의 경우  $10^{-6}$ 을 초과하지는 않지만 비교적 높았으며, risk I과 risk II에서는  $4.1 \times 10^{-6}$  ~  $3.4 \times 10^{-5}$ 이었다.

이상의 결과를 종합해 보면, heptachlor epoxide는 채소류 이용시 감소계수 자료의 축적과 더욱 현실성 있는 식이 섭취량의 추정 등의 섭취량 경감을 위한 조치들, 그리고 DDT와 dieldrin은 체계적인 감시 체계 구축이 필요할 것으로 사료된다.

### 참고문헌

김종만. 대기중 Benzo(a)pyrene의 의심방법에 따른 위험도 추계치의 비교연구. 연세대학교 보건 대학원 석사학위논문, 1991  
 농약공업협회. 농약연보. 1977-1991, 1996.  
 류홍일, 이해근, 전성환. 농약잔류 분석방법. 동화기술, 1991. (85-86쪽)  
 박선미. 한국인의 음용수 섭취실태에 관한 조사 연구. 연세대학교 보건대학원 석사학위논문, 1993  
 박성은, 정 용. 서울시 대기부유분진의 농도와 다환 방향족 유기물질에 의한 발암 위해성. 한국 대기보전학회지 1992;8(4):247-256  
 박창규, 이영득. 국내 농약사용 추세 및 잔류현황-21세기의 식량전략. 강원대학교 개교 40주년 기념 심포지엄 논문집, 1987. (59-83쪽)  
 박찬규, 마연식. 농경지 토양의 유기염소계 농약의 잔류평가. 한국 환경농학회지 1982;1:1-13  
 보건복지부. '93국민 영양조사 결과보고서. 1995. (161 -163쪽)  
 보건복지부. 보건복지 통계연보 제42호. 1996  
 신동천, 정용, 김종만, 임영욱. 서울시 대기 부유분진중 중금속에 대한 발암 위해성평가. 한국 대기보전학회지 1994;10(2):105-115  
 이규승. 제주도의 밭 토양 및 채소류중 유기 염소계 농약잔류. 한국농화학회지 1981;24 (3): 155  
 이미경, 이서래. 한국인의 농축산 식품 섭취량의 표준화(1986-90). 한국식품과학회지 1994; 118:616-621  
 이서래, 이미경. 유통식품의 안전성 현황 및 소비자 인식에 관한 연구. 한국음식문화연구원 학술 연구보고서, 1989. (168쪽)

정 용. 한국에서의 환경오염에 의한 위해성관리 의 종합적 접근방법. 환경독성학회지 1989: 4(1-2):55-65  
 정 용. 환경오염 물질의 위해성평가와 관리방안. 화학과 공업의 진보 1990;30(11):934-949  
 연세대학교 환경공해연구소. 수질오염물질의 위해성평가 및 관리기술. 환경부, 1996  
 한국식품공업협회. 식품공전. 1997  
 환경청. 환경보전에 관한 국민의식 조사보고. 1982. (315쪽)  
 Confield J. Carcinogenic risk assessment. Science 1997;198:693-699  
 Doll, R, Peto R. The causes of cancer: Quantitative estimates of avoidable risks of cancer in the United States today. J Nat'l Cancer Inst 1981;66:1191-1308  
 FAO/WHO. Codex Alimentarius-Pesticide Residues in Food. vol. 2, 1993. p. 10-146  
 NRC/NAS - Committee on the Institutional Means for Assessment of Risks to Public Health. Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process. Washington DC: National Academy Press, 1983.  
 U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Risk assessment guideline for super fund, vol 1, Human health evaluation manual. EPA/540/1-89-002, 1989  
 U.S. Food and Drug Administration (FDA). Pesticides Analytical Manual Volume I. Washington, DC: US Department of Health and Human Services, 1989. p. 191-198