*J. Fd Hyg. Safety 14(2), 201–215 (1999)*

# 식이섭취를 통한 농약폭로의 위해도에 관한 연구

**전옥경**† · **이용욱***

*서울시 보건환경연구원, *서울대학교 보건대학원*

# A Study on the Risk of Pesticide Exposure by Food Intake

**Ock-Kyoung Chun**† **and Yong-Wook Lee***

*Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment*

** Graduate School of Public Health, Seoul National University*

**ABSTRACT** – Limited information is available on the acceptability of Korean MRLs(maximum residue limits) and the health risk based on the pesticide exposure by food intake. The aim of this study was to evaluate TMDI(theoretical maximum daily intake) and EDI(estimated daily intake) for Korean by using MRLs, food intake, residue data, and correction factors, and compare with ADI(acceptable daily intake) in order to estimate the health risk based on the pesticide exposure. The study was performed in three steps. In the first step, the residual pesticides in each category of food were investigated using the pesticide residue analytical data(1995-96) from officially approved organizations and the analytical data for poultry was adopted from Korean food code method. In the second step, TMDI was estimated from MRLs and food factors, and was compared with ADI. In the third step, the effectiveness of each culinary treatment (washing, peeling, steaming, boiling, and salting) was evaluated and EDI was calculated using pesticide residue data, food factor, and correction factor by treatment. TMDI obtained from MRLs and food intake, and food intake was summed as 1,100.99 g, which was 79.1% of total consumption. The percent ratio of TMDI to ADI for 156 pesticides was mostly below 80% and only 30 pesticides exceeded the ADI. In particular, non-treated EDI from pesticide residue data and food intake was summed up to about 43 μg/day/capita, and the rank was procymidone(8.6 μg) > maleic hydrazide(8.2 μg) > EPN(3.7 μg) > deltamethrin(3.5 μg) > cypermethrin(3.0 μg). The treated EDI calculated from pesticide residue data, food intake, and correction factor by culinary treatment was summed up to 13.7 μg/day/capita. The percentage of ADI was TMDI(79.74%) > non-treated EDI (0.17%) > treated EDI(0.04%), and the exposure level of Korean population to whole pesticides was below the level to produce health risk. Oncogenic risk of five pesticides used in Korea whose oncogenic potency($Q^*$) was known were assessed from TMDI and treated EDI. Dietary oncogenic risk for Korean was estimated to be $2.0\times10^{-3}$ on the basis of TMDI, $8.3\times10^{-7}$ on the basis of treated EDI. The oncogenic risk from TMDI exceeded the risk level($1\times10^{-6}$) of EPA, whereas the oncogenic risk from treated EDI and real exposure level was lower than that of EPA.

**Key words** □ Pesticides, Theoretical maximum daily intake(TMDI), Estimated daily intake(EDI), Acceptable daily intake(ADI), Oncogenic risk.

농약은 농업의 생산성을 향상시키고 식량증산을 통한 농가소득 증대를 위하여 없어서는 안될 필수 농자재이나, 농약 사용의 증가는 또한 농약의 식품오염 잔류기회를 증가시키게 된다[1]. 따라서 농약이 지니고 있는 특성으로 인해 그 유익성보다는 오남용에 따른 부작용으로 부정적인 시각이 더 부각되고 있으며 국민 생활수준 향상과 더불어 환경과 국민보건에 대한 관심이 증대됨에 따라 국내 농산물의 농약사용에 대한 우려 또한 높아지고 있는 실정이다[2].

또한 점차 시험방법이 고도로 발전됨에 따라 극미량으로 존재하는 발암성 물질의 검출이 가능해졌고 다른 한편 우

†Author to whom correspondence should be addressed.

리들이 매일같이 접하고 있는 식품이나 환경인자 중에도 발암성 물질이 존재한다는 것이 알려짐에 따라 이들 발암성 물질의 현실적인 규제를 위하여 정량적 위해평가(quantitative risk assessment)의 기법이 1970년대에 들어와 새로이 개발되었으며[3-6] 이러한 결과를 정책에 반영하기 위해서는 특정 유해 화학물질에 폭로됨에 따라 발생 가능한 인체 영향에 대한 계량적인 정보와 이들 정보를 토대로 허용 가능한 오염수준을 규명하는 합리적인 위해성 평가 과정이 요구되어 진다.

위해성 평가(risk assessment)는 위해성 확인(risk identification), 폭로평가(exposure assess- ment), 양-반응평가(dose-response assessment)와 위해도 결정(risk characterization)과 같은 주요 4단계를 통해 수행되어진다[7]. 그러나 폭로평가 및 양-반응평가에서 연구자가 판단하여 적용하는 선택사항에 따라, 임의의 화학물질의 폭로에 따른 최종 위해도 추계치(risk estimates)에 크게 영향을 미친다. 따라서 위해성 평가를 수행하는 동안 평가에 따른 불확실성(uncertainty)은 자연히 수반하게 되고 이러한 불확실성에 대한 분석이나 기술을 하지 않는다면, 최종의사결정이나 공중보건에 크게 영향을 미칠 수 있다. 위의 불확실성은 폭로량 계산에 필요한 폭로시나리오(exposure scenario)를 가정하는데 있어 발생할 수 있다. 폭로변수에 대한 모수값을 추정하는데 있어 반복적으로 최대값을 취하여 현실적으로 매우 과대평가(overestimation)한다든지, 아니면 평균과 같은 대표값만을 사용하여 그 폭로변수의 변이(variation)를 고려하지 못하는 경우 실제 위해도 추정에 불확실성이 수반될 수 있다[8].

따라서 폭로평가에 있어서 이러한 불확실성을 감소시키는 평가방법에 의한 보다 정확한 추정은 위해성 평가의 가장 중요한 관건이라 할 수 있다.

식품 중에 존재하는 유해성분으로부터 국민건강을 보호하기 위하여 규제당국에서는 관례적으로 해당성분의 법적 허용기준을 설정하여 왔다. 그 다음 법적 기준의 준수여부를 감시하기 위하여 모니터링 제도를 실시하고 있고 나아가 유해성분의 위해성을 평가하기 위해서는 해당성분의 인체노출량(human exposure) 즉 식이섭취량(dietary intake)을 평가한 다음 독성학적 안전기준인 ADI값과 비교하는 방법이 제안되고 있다. 음식물을 통한 잔류농약 섭취량을 예측하는데는 여러 가지 요인을 고려해야 되며 그 방법에 따라 정확도가 달라진다. 국제기구인 UNEP/FAO/WHO에서는 어떤 인구집단에서 잔류농약 식이섭취량을 예측하는 4가지 방법을 제시하고 있다. 즉 ① 개략적 평가가 되는 이론적 최대섭취량(TMDI: theoretical maximum daily intake) ② 중간 평가가 되는 추정 최대섭취량(EMDI: estimated maximum daily intake) ③ 최선의 평가가 되는 추정섭취량(EDI: estimated daily intake) ④ 현실적 평가가 되는 실측 섭취량(measured daily intake)으로서 미국에서의 식이섭취 총량조사(total diet study 또는 market basket survey)는 현실적 평가에 해당한다. Total diet study의 성과는 섭취 직전의 식품 중 유독물질의 오염 수준 및 섭취총량을 정확하게 평가함으로써 식품의 안전성을 확보하는데 있다. 이상의 네 단계는 아래로 내려갈수록 매우 과장된 예측으로부터 가장 현실적인 예측으로 진전될수 있는 것이다.

최근 식품의 안전성 관리에서도 발암성 평가(carcinogen risk assessment)는 정량적 위해평가(quantitative risk assessment)에 의하여 많은 진전을 가져왔고 그 결과는 이미 유해 화학물질의 법적 규제에 활용되고 있다[3-6,9]. 한편, 발암성(carcinogenecity)에 대한 시험평가에는 막대한 경비와 시간이 소요되므로 발암성의 전단계 실험으로 종양유발성(oncogenicity)이나 돌연변이유발성(mutagenicity) 시험을 수행하여 발암성 물질의 사전규제에 대처하고 있다. 그 예로서 미국 EPA에서는 농약과 같은 화학물질의 출하전 승인을 위한 시험항목으로 종양유발성 평가를 실시하여 그 결과를 법적규제에 이용하고 있다[10,11]. 즉 종양유발성 평가를 실시하여 무시될 수 있는 위험수준($1\times10^{-6}$)에 의하여 위해성을 평가한 연후에 농약의 사용허가와 허용기준치를 결정함으로써 발암성 논쟁을 사전에 예방하고 있다.

따라서 본 논문에서는 우리나라에서 기준이 설정되어 있는 농약성분의 위해도를 확인하므로써 농약잔류허용기준의 적합성을 평가하며 농약폭로량 추정에 기초한 건강위해도를 평가하고자 이론적 최대1일섭취량(Theoretical Maximum Daily Intake, TMDI)과 추정 1일섭취량(Estimated Daily Intake, EDI)을 산출하고 1일섭취허용량(ADI)과 비교하였으며, 종양유발성 평가를 실시하여 우리나라 국민의 농약폭로 위해정도를 평가하였다.

## 재료 및 방법

### 농약 폭로량 추정을 위한 기초자료

**식품섭취량** – 한국인에 의한 식품별 섭취량은 1995년도 국민영양조사 결과[12]의 전체 18개군 중 곡류 및 그 제품, 감자류 및 전분류, 두류 및 그 제품, 종실류 및 견과류, 채소류, 버섯류, 과실류, 조미료류, 육류 및 그 제품 등 9개군의 식품섭취량 자료를 사용하였으며 과즙과 쨈은 각각 주재료인 오렌지와 딸기의 섭취량에, 조미료 중 간장, 고추장, 된장의 경우 원재료인 대두, 보리, 고추의 함량별로 계산하여 원재료에 합산하였고[13] 깨소금과 고춧가루는 각각 참깨와 고추의 섭취량에, 소시지와 햄은 돼지고기의 섭취량에, 김치는 배추의 섭취량에 합산하였다.

**식품별 잔류농약자료** – 우리나라의 농약잔류허용기준(Korean MRL)은 1996년 12월 현재 보건복지부에서 고시한 자료[14]를 이용하였으며 실제적인 농약 잔류량 자료는 국내에서 잔류농약분석 업무를 계속적으로 실시하여 분석정도관리(analytical quality control)가 실시되고 있는 공공기관의 최신분석결과[15-18]만을 이용하였다. 즉 1995-96년의 분석보고결과 중에서 식품별 농약성분의 최고잔류량과 평균잔류량을 산정하였으며 이때 잔류량은 분석시료 수에 관계없이 각 보고서를 한단위로 식품 항목별로 평균값을 얻고 여러 보고서에서의 값을 다시 평균하여 채택하였다.

한편 농약 잔류 허용기준이 설정되어 있으나 잔류량 분석에 대한 공식적인 자료가 없는 닭고기, 돼지고기, 쇠고기 등의 식육에 대해서는 식품공전의 축산식품 중 잔류농약 실험법[19]에 준하여 실험을 실시하였다.

## 연구대상 농약의 선정 및 위해도 확인

식품 섭취량과 식품별 농약잔류량 자료 분석 결과 식품 섭취에 의해 인체에 폭로될 우려가 있는 것으로 판단되는 농약성분들을 대상으로 위해성 평가가 이루어졌다.

연구대상 농약들의 인체에 미치는 영향에 대해 문헌을 통하여 평가하고 위해도를 확인 (risk identification)하기 위하여 IRIS (Integrated Risk Information System)[20], TOXLINE21) 등 이용가능한 연구논문 및 각종 데이터베이스를 통해 자료를 수집하였으며 이러한 증거를 종합한 뒤 미국환경보호청(US EPA)의 분류체계[22]에 입각하여 인체발암물질(A), 유력한 발암물질(B), 가능한 인체발암물질(C), 인체발암물질로 분류할 수 없는 물질(D)과 인체비발암물질(E)로 분류하였다.

## 농약 폭로량 산출

**농약의 이론적 최대1일농약섭취량(TMDI) 산출** – 농약잔류허용기준과 식품별 섭취량을 기초로 농약의 이론적 최대1일 섭취량(TMDI)[23]을 산출하여 1일섭취허용량(ADI: mg/kg body weight)과 비교 평가하였다.

이때 농약성분에 대한 1일섭취허용량(ADI)값은 식량농업기구/세계보건기구(FAO/ WHO)의 자료를 이용하였으며[24] ADI값이 설정되어 있지 않은 농약에 대해서는 무작용량(No Observable Effect Level, NOEL)값의 1/100 또는 일본에서 정하고 있는 1일섭취허용량(ADI)[25]을 이용하였다.

$$TMDI = \sum Fi\ Mi$$

Fi : average food consumption for the relevant commodity, as derived from the hypothetical global or national diet (kg food/ person/ day)

Mi : MRL for the relevant commodity (mg pesticide/ kg food)

한국인의 1인당 1일 식품 섭취량은 국민영양조사 결과 산출된 1995년도 식품 섭취량 자료를 이용하였다[12].

또한 1일섭취허용량(ADI)과 농약의 이론적 최대1일섭취량(TMDI)을 비교하기 위하여 1일섭취허용량(ADI)에 한국인 평균체중(55kg)을 곱하여 계산하였다[23].

**식품 처리과정별 농약 감소에 따른 추정1일섭취량(EDI)의 산출** – 농약의 추정1일섭취량(EDI)을 산출하기 위하여 식품 중의 농약 잔류량 자료를 기초로 식품별 처리과정에 따른 농약의 감소량을 측정하고 식이섭취를 통한 농약의 추정1일섭취량(EDI)을 산출하였다.

이때 농약 잔류량 자료만을 이용하여 산출된 값을 비처리 추정1일섭취량(non-treated EDI), 식품처리 과정에 따른 농약 감소율로 보정시킨 값을 처리 추정1일섭취량(treated EDI)으로 명명하였다.

$$EDI = \sum Fi\ Ri\ Ci$$

Fi : food consumption for the relevant commodity as derived from a specific hypothetical cultural or national diet (kg/ person/ day)

Ri : residue level in the edible portion of the commodity (mg pesticide/ kg food)

Ci : correction factor that takes into account the reduction or increase in the level of residue on preparation or cooking of the food

## 종양유발성 평가

식품섭취에 따른 종양유발 가능성은 한국인에 의한 농약섭취량에 미국 EPA의 농약성분별 종양유발지수(oncogenic potency, Q*)[10,11]를 곱하여 다음과 같이 산출하였다. 이때 한국인의 평균체중은 55kg으로 간주하였다.

Dietary oncogenic risk (DOR: excess tumor incidence for a 70-year human life span)
= dietary exposure(DE) × oncogenic potency(OP)

Dietary exposure(DE) = $\sum$(food factor × pesticide residue data or Korea MRL)
= mg pesticide / person(55 kg bw)/ day

Oncogenic potency(Q*) (OP : excess tumor incidence for a 70-year human life span per unit dose
= number of tumors/mg pesticide/kg bw/day

여기에서 종양유발지수 Q*는 용량-반응곡선에서 95% 상한값에 해당하는 선형계수(linear coefficient)로서 평균체중(일반적으로 70kg)의 건강한 성인이 어떤 화학물질의 단위 폭로량(mg/kg/day)으로 오염된 식품을 기대수명(일반적으로 70년)동안 먹는다고 가정할 때 그로인해 발생하는 초과발암확률을 의미한다.

본 연구에서는 종양유발성 평가에 있어서 동물에서 사람으로의 용량전환(dose scaling)을 위해서는 체표면적법을 적용하고, 고용량에서 저용량으로의 외삽과정에는 다른 모델에 비해 동일 용량에서 높은 위해도를 예측하는 선형다단계모델(linearized multistage model)을 이용하여 95% 상한값으로서 종양유발지수(oncogenic potency)를 산출하는 EPA의 결과[11]를 적용하였다.

## 결과 및 고찰

### 연구대상 농약의 위해도 확인

식품 중에 실제 잔류하고 있는 것으로 확인되어진 46종의 농약[26] 중 미국 환경보호청(EPA)에 의해 발암성 여부가 분류되어 있는[10] 24종의 성분을 화학물질 특성별로 보면 유기염소계 농약 중 aldrin, dieldrin, heptachlor 등이 유력한 인체발암물질로 분류되었으며 유기인계 농약인 methidathion, dichlorvos, phosphamidone 등이 가능한 인체발암물질에, diazinon, EPN 등은 인체비발암물질로 분류되었다.

또한 카바메이트계인 aldicarb는 인체발암물질로 분류할 수 없는 물질로, carbofuran은 인체비발암물질로 분류되었다(표 1).

### 농약의 이론적 최대1일 섭취량(TMDI) 산출

본연구에서 이용한 식품 섭취량은 약 871.1g으로 식품군별 분포는 표 2와 같았으며 1995년도 국민영양조사[12] 결과 우리나라 국민의 평균 1일 총 식품섭취량은 1,100.9g이므로 전체 식품섭취량 중 약 79.1%에 해당되었다.

식품위생법에 허용기준이 설정되어 있는 농약성분에 대하여 이 식품별 섭취량을 적용하여 이론적 최대1일섭취량(TMDI)을 계산하고, 이 이론적 최대1일섭취량(TMDI)과 1일섭취허용량(ADI)과의 대비율을 산출하였다(표 3).

**Table 2. Comparison of food intake for each food group per capita per day**

| Food groups | Daily food intake, g (%) |
|---|---|
| cereals | 306.41 (35.2) |
| potatoes | 21.10 (2.4) |
| legumes | 37.84 (4.3) |
| seeds and nuts | 2.90 (0.3) |
| vegetables | 286.41 (32.9) |
| mushrooms | 2.10 (0.2) |
| fruits | 148.30 (17.0) |
| meats | 66.00 (7.6) |
| Total | 871.06 (100.0) |

source: '95 National nutrition survey report[12]
pesticide residue data in 1995-96[15-18].

그 결과, 현재 국내 허용기준이 설정되어 있는 203개 농약 중 47개 성분은 세계보건기구(WHO)나 다른 나라에 의해 규정된 1일섭취허용량(ADI)이나 최대무작용량(NOEL)에 대한 자료가 부재하며, 이러한 자료가 구비되어 있는 156종의 농약에 대해 이론적 최대1일섭취량(TMDI)과 1일섭취허용량(ADI)의 대비율을 계산하였는데 이 비율은 각국의 농약잔류허용기준(MRL)의 적정여부를 판정하는 기본자료가 될 수 있다[27](표 4).

표 4에서 보듯이 현재 국내에서 잔류허용기준이 설정되어 있는 203종의 농약성분에 대하여 우리나라의 잔류농약 허용기준과 식품 섭취량 자료에 근거하여 농약의 이론적 최대1일섭취량(TMDI)을 추정해 본 결과, 1일섭취허용량(ADI)이 설정되어 있는 156종의 농약 가운데 121종의 농약은 이론적 최대1일섭취량(TMDI)이 1일섭취허용량(ADI)의 80% 이하 수준을 유지하고 있으나, 1일섭취허용량(ADI)을 초과하는 것도 30종이나 있는 것으로 나타났는데 이러한 결과는 주로 특정 식품군의 섭취량이 많거나 허용기준이 높은데 그 원인이 있다. 이론적 최대1일섭취량(TMDI)은 실제

**Table 1. Hazard identification of selected pesticides by EPA's classification system for carcinogens**

| Classification | EPA classification system | pesticides |
|---|---|---|
| Carcinogenic chemicals | human carcinogen (A) | none |
| | probable human carcinogen (B) | alachlor, aldrin, chlorthalonil, dieldrin, folpet, carbofuran, heptachlor, heptachlor epoxide |
| | possible human carcinogen (C) | cypermethrin, dichlorvos, methidathion, permethrin, phosmet, phosphamidone, procymidone, triadimenol |
| Non-carcinogenic chemicals | not classifiable as to human carcinogenicity (D) | aldicarb, endrin |
| | evidence of not-carcinogenicity for humans (E) | captafol, carbofuran, chlorpyrifos, diazinon, EPN, lindane |

**Table 3. Comparison of TMDI and ADI of pesticides according to Korean MRL as applied Korean food factors**

(unit : μg/55kg person/day)

| Pesticide | ADI | Korean MRL | | Pesticide | ADI | Korean MRL | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | TMDI | % of ADI | | | TMDI | % of ADI |
| Acephate | 1650 | 1476.010 | 89.46 | Dichlobenil | --- | 16.695 | --- |
| Acetochlor | --- | 4.188 | --- | Dichlofluanid | 16500 | 5468.589 | 3314 |
| Alachlor | 110 | 21.670 | 19.70 | Dichlorvos | 220 | 243.394 | 110.63 |
| Aldicarb | 165 | 22.657 | 13.73 | Diclofop-methyl | --- | 7.225 | --- |
| Aldrin & Dieldrin | 5.5 | 19.165 | 348.45 | Dicloran | 1650 | 1056.125 | 64.01 |
| Aluminum phosphide | 23.7[1)] | 34.114 | 143.94[4)] | Dicofol | 110 | 403.814 | 367.10 |
| Amitraz | 165 | 57.370 | 34.77 | Difenamid | --- | 23.625 | --- |
| Anilazine | 5500 | 4.412 | 0.08 | Difenoconazole | --- | 100.331 | --- |
| Azinphos-methyl | 275 | 232.083 | 84.39 | Diflubenzuron | 1100 | 165.017 | 15.00 |
| Azocyclotin | 385 | 91.008 | 23.64 | Dimethipin | 1100 | 2.051 | 0.19 |
| | | | | Dimethoate | 550 | 243.322 | 44.24 |
| Benalaxyl | 2750 | 4.149 | 0.15 | Dinocap | 55 | 9.240 | 16.8 |
| Bendiocarb | 220 | 10.954 | 4.98 | Diphenylamine | --- | 353.500 | --- |
| Benomyl | 1100 | --- | --- | Diquat | 110 | 140.930 | 128.12 |
| Bensulfuron-methyl | --- | 5.334 | --- | Disulfoton | 16.5 | 282.557 | 1712.47 |
| Bentazone | 5500 | 75.700 | 1.38 | Dithiocarbamates | 55000 | 270.480 | 0.49 |
| BHC | 440[2)] | 264.652 | 60.15 | Diuron | --- | 88.430 | --- |
| Bifenox | --- | 16.963 | --- | Dodine | 550 | 380.000 | 69.09 |
| Bifenthrin | --- | 113.225 | --- | | | | |
| Bioresmethrin | 1650 | 28.100 | 1.70 | Edifenphos | 165 | 53.968 | 32.71 |
| Bitertanol | 550 | 55.909 | 10.17 | Endosulfan | 330 | 552.161 | 167.32 |
| Bromacil | --- | 3.450 | --- | Endrine | 11 | 13.383 | 121.66 |
| Bromopropylate | 1650 | 843.310 | 51.11 | EPN | 1100 | 91.203 | 8.294) |
| Buprofezin | 550 | 272.920 | 49.62 | Ethalfuralin | 2310 | 3.263 | 0.14 |
| | | | | Ethephon | 2750 | 454.290 | 16.52 |
| Cadusafos | 16.5 | 0.248 | 1.50 | Ethiofencarb | 5500 | 2118.652 | 38.52 |
| Captafol | 5500[3)] | 500.218 | 9.09 | Ethion | 110 | 219.240 | 119.31 |
| Captan | 5500 | 1212.580 | 22.05 | Ethofenprox | 1650 | 545.669 | 33.07 |
| Carbaryl | 550 | 617.345 | 112.24 | Ethoprophos | 16.5 | 4.130 | 25.03 |
| Carbendazim | 550 | 622.899 | 113.25 | Ethoxyquin | 3300 | 212.100 | 6.43 |
| Carbofuran | 550 | 163.729 | 29.77 | Ethylene dibromide | --- | 158.45 | --- |
| Carbophenothion | 27.5 | 36.648 | 133.27 | Etrimfos | 165 | 294.856 | 178.70 |
| Carboxin | --- | 68.230 | --- | | | | |
| Cartap | 5500 | 369.510 | 6.72 | Fenamiphos | 27.5 | 31.149 | 113.27 |
| Chinomethionat | 330 | 214.939 | 65.13 | Fenarimol | 550 | 33.940 | 6.17 |
| Chlordane | 27.5 | 16.756 | 6.093 | Fenbuconazole | --- | 117.900 | --- |
| Chlorfenvinphos | 27.5 | 93.507 | 340.03 | Fenbutatin oxide | 1650 | 1211.896 | 73.45 |
| Chlormequat | 2750[3)] | 438.750 | 15.95 | Fenitrothion | 275 | 352.045 | 128.02 |
| Chlorobenzilate | 1100 | 172.040 | 15.64 | Fenoxaprop-ethyl | --- | 16.557 | --- |
| Chlorpropham | 5500(Jap) | 655.519 | 11.92[4)] | Fenpropathrin | 1650 | 550.080 | 30.31 |
| Chlorpyrifos | 550 | 435.669 | 79.21 | Fensulfothion | 16.5 | 7.629 | 46.24 |
| Chlorpyrifos-methyl | 550 | 248.041 | 45.10 | Fenthion | 55 | 176.289 | 320.53 |
| Chlorsulfuron | ---- | 3.611 | --- | Fentin | 27.5 | 14.535 | 52.85 |
| Chlorothalonil | 1650 | 296.329 | 17.96 | Fenvalerate | 1100 | 878.717 | 79.88 |
| Clethodim | 550 | 363.860 | 66.16 | Fluazifop-buthyl | --- | 131.390 | --- |
| | | | | Glyphosate | 16500 | 663.781 | 4.02 |
| 2,4-D | 16500 | 203.270 | 1.23 | Gluazatine | 1650 | 203.351 | 12.32 |
| Daminozide | 27500 | --- | --- | | | | |
| DDT | 1100 | 405.471 | 36.86 | Heptachlor | 5.5 | 19.099 | 347.25 |
| Deltamethrin | 550 | 444.385 | 80.80 | Hexaconazole | 275 | 6.490 | 2.36 |
| Diazinon | 110 | 153.615 | 139.65 | Hexazinone | --- | 0.100 | --- |
| Dicamba | --- | 20.262 | --- | Hexythiazox | 1650 | 29.880 | 1.81 |

**Table. 3. Continued**

| Pesticide | ADI | Korean MRL | | Pesticide | ADI | Korean MRL | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | TMDI | % of ADI | | | TMDI | % of ADI |
| Imazalil | 1650 | 696.892 | 42.24 | Phosphamidone | 27.5 | 92.994 | 338.16 |
| Imidacloprid | --- | 568.780 | --- | Phoxim | 55 | 38.677 | 70.32 |
| Iprodione | 11000 | 1661.608 | 15.11 | Piperonyl butoxide | 1650 | 6145.000 | 372.42 |
| Isofenphos | 55 | 29.580 | 53.78 | Pirimicarb | 1100 | 604.051 | 54.91 |
| Isoprocarb | 220 | 80.010 | 36.37 | Pirimiphos-methyl | 1650 | 993.655 | 60.22 |
| Linuron | --- | 76.322 | --- | Pirimiphos-ethyl | --- | 1.820 | --- |
| | | | | Prochloraz | 550 | 57.395 | 10.44 |
| Malathion | 1100 | 607.015 | 55.18 | Procymidone | 5500 | 677.300 | 12.31 |
| Maleic hydrazide | 275000 | 14101.750 | 5.13 | Profenofos | 550 | 427.122 | 77.66 |
| MCPB | --- | 26.700 | --- | Prometryn | --- | 19.860 | --- |
| Mecarbam | 110 | 68.914 | 62.65 | Propamocarb | 5500 | 254.740 | 4.63 |
| Metalaxyl | 1650 | 105.983 | 6.42 | Propanil | --- | 60.562 | --- |
| Methacrifos | 330 | 0.000 | 0.00 | Propargite | 8250 | 560.850 | 6.80 |
| Methamidophos | 220 | 191.966 | 87.26 | Propiconazole | 2200 | 34.601 | 1.57 |
| Methidathion | 55 | 41.379 | 75.23 | Propoxur | 1100 | 1103.140 | 100.29 |
| Methiocarb | 55 | 20.406 | 37.10 | Pyrazophos | 220 | 75.396 | 34.27 |
| Methomyl | 1650 | 244.495 | 14.82 | Pyrethrin | 2200 | 1385.680 | 62.99 |
| Methoprene | 5500 | 1528.930 | 27.80 | | | | |
| Methoxychlor | --- | 3414.620 | --- | Quintozene | 385 | 4.277 | 1.11 |
| Methyl bromide | 55000 | 20883.500 | 37.97 | Quizalofop-ethyl | --- | 2.732 | --- |
| Metobromuron | --- | 9.988 | --- | | | | |
| Metolachlor | --- | 65.954 | --- | Sethoxydim | 7700 | 3471.880 | 45.09 |
| Metribuzin | 1375 | 200.347 | 14.57 | Simazine | 275 | 20.600 | 7.49 |
| Mevinphos | 82.5 | 59.594 | 72.24 | Sulfur dioxide | --- | 51.000 | --- |
| Monocrotophos | 33 | 84.038 | 254.66 | | | | |
| Myclobutanil | 1650 | 276.435 | 16.75 | 2,4,5-T | 1650 | 2.890 | 0.18 |
| | | | | Tecnazene | 1100 | 11.900 | 1.08 |
| Napropamide | --- | 33.541 | --- | Tebuconazole | 1650 | 11.970 | 0.73 |
| Nitrapyrin | --- | 2.880 | --- | Terbufos | 11 | 13.509 | 122.81 |
| Norflurazon | --- | 18.064 | --- | Terbutryn | --- | 3.621 | --- |
| | | | | Tetradifon | --- | 332.400 | --- |
| Omethoate | 16.5 | 33.526 | 203.19 | Thiabendazole | 5500 | 1258.382 | 22.88 |
| Oxadiazon | --- | 16.701 | --- | Thiobencarb | 495 | 123.446 | 24.94 |
| Oxadixyl | --- | 390.385 | --- | Thiodicarb | 1650 | 124.838 | 7.57 |
| Oxamyl | 1650 | 663.571 | 40.22 | Thiometon | 165 | 75.226 | 45.59 |
| Oxyfluorfen | --- | 9.907 | --- | Thiophanate-methyl | 4400 | --- | --- |
| | | | | Tolclofos-methyl | 3850 | 2.420 | 0.06 |
| Paclobutrazol | 5500 | 29.400 | 0.53 | Tolyfluanide | 5500 | 355.500 | 6.46 |
| Paraquat | 220 | 156.645 | 71.20 | Tralomethrin | 412.5 | 224.217 | 54.36 |
| Parathion | 275 | 159.248 | 57.91 | Tri-allate | --- | 1.821 | --- |
| Parathion-methyl | 1100 | 481.804 | 43.80 | Triadimefon | 1650 | 59.785 | 3.62 |
| Penconazole | 1650 | 14.140 | 0.86 | Triadimenol | 2750 | 41.816 | 1.52 |
| Pendimethalin | 2365 | 90.342 | 3.82 | Triazophos | 55 | 44.183 | 80.33 |
| Permethrin | 2750 | 1889.642 | 68.71 | Trichlorfon | 550 | 324.496 | 59.00 |
| Phenothrin | 3850 | 99.090 | 2.57 | Triclopyr | --- | 80.010 | --- |
| Phenthoate | 165 | 49.125 | 29.77 | Triflumizole | 1100 | 623.820 | 56.71 |
| ortho-Phenylphenol | 1100 | 1307.100 | 118.83 | Trifluralin | --- | 35.860 | --- |
| Phorate | 27.5 | 8.983 | 32.67 | Triforine | 1100 | 129.190 | 11.74 |
| Phosalone | 55 | 653.630 | 1188.42 | Vamidothion | 440 | 145.282 | 33.02 |
| Phosmet | 550 | 1369.701 | 249.04 | Vinclozoline | 3850 | 150.600 | 3.91 |

[1] ADI postulated from NOEL by applying a safety factor of 100 [2] ADI of $\gamma$ -BHC
[3] ADI or MRL were withdrawn by CAC [4] calculated from ADI other than WHO standards.

**Table 4. Distribution of the ratio of TMDI to ADI according to Korean MRL asapplied Korean food factors**

| TMDI / ADI ratio (%) | No. of pesticides (%) |
|---|---|
| < 10 | 38 (18.7) |
| 11 - 30 | 29 (14.3) |
| 31 - 80 | 54 (26.6) |
| 81 - 100 | 5 (2.5) |
| > 101 | 30 (14.8) |
| No ADI or MRL | 47 (23.2) |
| Total | 203 (100.0) |

농약잔류량이 아닌 허용기준에 근거한 것이므로 실제 폭로량과는 상당한 차이가 있다고 볼 수 있으나 독성자료에 근거하여 설정된 1일섭취허용량(ADI)이 동물종간의 차이와 개인간의 차이, 독성자료의 불확실성만을 감안한 안전계수를 반영한 것일 뿐 개인, 지역 또는 계절에 따른 식품 섭취량의 변화나 극단소비자(extreme consumer: 특정 식품을 예외적으로 많이 먹는 소비자)를 고려하고 있지 않으므로 어떤 인구집단에 있어서 유해성분의 평균 섭취량은 1일섭취허용량(ADI)보다 낮아야 안전하다고 간주될 수 있다27).

**Table 5. Non-treated EDI of pesticides and risk resources by food groups** (unit: μg/55kg person/day)

| Pesticide | EDI ( % of ADI) | risk resources | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Cereals | Potatoes | Legumes | Nuts | Veg 1 | Veg 2 | Veg 3 | Mush-rooms | Fruits1 | Fruits 2 | Meats |
| Alachlor | 0.0191 (0.02) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0191 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Aldicarb | 0.2555 (0.15) | 0.0542 | 0.0000 | 0.0462 | 0.0000 | 0.0010 | 0.0024 | 0.0000 | 0.0000 | 0.1461 | 0.0056 | 0.0000 |
| Aldrin & Dieldrin | 0.0025 (0.05) | 0.0000 | 0.0025 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Bendiocarb | 0.0737 (0.03) | 0.0223 | 0.0006 | 0.0006 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0034 | 0.0086 | 0.0000 | 0.0345 | 0.0038 | 0.0000 |
| BHC | 0.0836 (0.02) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0723 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0110 |
| Captafol | 0.2679 (0.00) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.2679 | 0.0000 |
| Carbaryl | 0.0916 (0.02) | 0.0167 | 0.0022 | 0.0023 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0004 | 0.0619 | 0.0000 | 0.0078 | 0.0003 | 0.0000 |
| Carbofuran | 0.2129 (0.04) | 0.1835 | 0.0013 | 0.0205 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0068 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0000 |
| Chinomethionat | 2.0967 (0.64) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 2.0967 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Chlorpyrifos | 1.7023 (0.31) | 0.0000 | 0.0110 | 0.0000 | 0.0160 | 0.0291 | 0.7271 | 0.5573 | 0.0000 | 0.0240 | 0.3377 | 0.0000 |
| Chlorothalonil | 0.2264 (0.01) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0127 | 0.0046 | 0.0000 | 0.0004 | 0.0000 | 0.2087 | 0.0000 |
| Cyfluthrin | 1.1304 (0.10) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0015 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 1.1290 | 0.0000 |
| Cyhalothrin | 0.3388 (0.03) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3168 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0219 | 0.0000 |
| Cypermethrin | 2.9593 (0.11) | 0.0200 | 0.0000 | 0.1141 | 0.0000 | 0.0278 | 0.7602 | 1.4942 | 0.0000 | 0.0331 | 0.5099 | 0.0000 |
| DDT | 0.0028 (0.00) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0028 |
| Deltamethrin | 3.5054 (0.64) | 2.4504 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0272 | 0.0021 | 0.8766 | 0.0000 | 0.0000 | 0.1491 | 0.0000 |
| Diazinon | 0.0029 (0.00) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0014 | 0.0003 | 0.0000 | 0.0011 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0029 |
| Dichlofluanid | 0.0636 (0.00) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0036 | 0.0600 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Dichlorvos | 0.0339 (0.02) | 0.0000 | 0.0111 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0027 | 0.0088 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0113 | 0.0000 |
| Endosulfan | 2.1511 (0.65) | 0.0000 | 0.0296 | 0.2281 | 0.0032 | 0.3405 | 1.2000 | 0.0721 | 0.0019 | 0.1638 | 0.1120 | 0.0000 |
| Endrin | 0.0012 (0.02) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0012 | 0.0000 |
| EPN | 3.6585 (0.33) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 3.5473 | 0.0000 | 0.0000 | 0.1112 | 0.0000 | 0.0000 |
| Ethalfluralin | 0.0210 (0.00) | 0.0000 | 0.0033 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0056 | 0.0070 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0050 | 0.0000 | 0.0000 |
| Ethiofencarb | 0.3020 (0.01) | 0.0842 | 0.0048 | 0.0026 | 0.0000 | 0.0004 | 0.0083 | 0.0017 | 0.0000 | 0.1848 | 0.0153 | 0.3020 |
| Ethoprophos | 0.0212 (0.13) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0206 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0006 | 0.0000 | 0.0000 |
| Fenarimol | 0.0018 (0.00) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0018 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Fenitrothion | 0.4036 (0.15) | 0.0000 | 0.0566 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0055 | 0.0076 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3292 | 0.0048 | 0.0000 |
| Fluvalinate | 0.0504 (0.02) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0005 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0499 | 0.0000 |
| Folpet | 0.6350 (0.12) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.6350 | 0.0000 |
| Heptachlor | 0.0011 (0.02) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0011 |
| Isoprocarb | 0.1916 (0.09) | 0.0538 | 0.0030 | 0.0003 | 0.0000 | 0.0005 | 0.0048 | 0.0549 | 0.0000 | 0.0730 | 0.0013 | 0.0000 |
| Maleic hydrazide | 8.2128 (0.00) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 8.2128 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Metalaxyl | 1.1355 (0.07) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 1.1355 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Methidathion | 1.4946 (2.72) | 0.0000 | 0.0691 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0049 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 1.3872 | 0.0333 | 0.0000 |
| Oxamyl | 0.0690 (0.00) | 0.0028 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0249 | 0.0051 | 0.0000 | 0.0018 | 0.0343 | 0.0000 |

**Table 5. Continued** (unit: μg/55kg person/day)

| Pesticide | EDI (% of ADI) | risk resources | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Cereals | Potatoes | Legumes | Nuts | veg 1 | veg 2 | veg 3 | Mush rooms | Fruits1 | Fruits 2 | Meats |
| Permethrin | 0.3408 (0.01) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0257 | 0.2202 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0872 | 0.0077 | 0.0000 |
| Phenthoate | 0.3378 (0.20) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.2575 | 0.0803 | 0.0000 |
| Phosmet | 0.5054 (0.09) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.5054 | 0.0000 |
| Phosphamidone | 0.0489 (0.18) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0489 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Pirimicarb | 0.1794 (0.02) | 0.0084 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0865 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0813 | 0.0032 | 0.0000 |
| Pirimiphosmethyl | 0.0764 (0.00) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0764 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Procymidone | 8.6464 (0.16) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 3.2413 | 4.8133 | 0.1679 | 0.0000 | 0.0029 | 0.4210 | 0.0000 |
| Profenofos | 0.0065 (0.00) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0065 | 0.0000 | 0.0000 |
| Tetradifon | 0.0758 (---) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0564 | 0.0194 | 0.0000 |
| Triadimenol | 0.0037 (0.00) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0037 | 0.0000 | 0.0000 |
| Total | 41.6405 | 2.8963 | 0.1951 | 0.4870 | 0.0192 | 4.8868 | 20.097 | 5.4735 | 0.0035 | 2.9977 | 4.5698 | 0.0149 |
| (% ratio) | (100.0) | (7.0) | (0.5) | (1.2) | (0.05) | (11.7) | (48.31) | (13.1) | (0.01) | (7.2) | (11.0) | (0.04) |

1) Veg 1 means the vegetable group which is usually eaten in raw after washing
2) Veg 2 means the vegetable group which is usually eaten after the cooking of boiling
3) Veg 3 means the vegetable group which is usually eaten after the salting process for kimchi
4) Fruit 1 means the fruit group which is usually eaten after peeling
5) Fruit 2 means the fruit group which is usually eaten in raw after washing.

따라서 1일섭취허용량(ADI)을 초과하는 이론적 최대1일 섭취량(TMDI)을 갖는 농약성분들에 대해서는 그 주요 원인에 중점을 두어 조치를 강구해야 한다. 즉, 농약 사용상의 조치로서 농약의 사용 시기, 사용 빈도, 사용 방법 또는 대상 작물을 조정하든지, 아니면 농산물 이용시의 보정계수(correction factor)인 가공 손실량(processing loss: Pi) 또는 조리 손실량(cooking loss: Ci)에 대한 자료의 축적과 아울러 보다 현실적인 식이 섭취량의 추정이 요구된다[23].

### 비처리-추정1일 섭취량(non-treated EDI)의 산출

식품 중 잔류농약의 기준은 편의상 식품원료인 농산물과 축산물에 대하여 설정하고 있는 것이 국제적인 관행이나 이러한 원료는 조리, 가공, 저장 및 유통과정을 거쳐 음식물로 섭취되어 진다. 따라서 국제농업기구와 세계보건기구(FAO/WHO)에서는 식품의 조리, 가공 및 저장에 의한 농약성분의 제거율이 감안된 현실적인 식이 섭취량을 추정하여 농약에 의한 위해평가를 하도록 권장하고 있다. 즉, 식품원료 중 잔류농약이 조리 및 가공에 의해 제거 또는 분해된 다음 잔류하게 되는 농약성분의 비율을 보정계수(correction factor)라 하여 국제규격인 Codex MRL을 설정할 때에 실제로 활용하고 있다[7,8].

본 연구에서는 잔류가 확인되어진 농약성분에 대하여 농약 성분, 식품 종류, 조리 및 가공 방법에 따른 제거율을 산출하기 위하여 우선적으로 실제 농약 잔류량에 근거한 농약섭취량을 산출하였다.

표 5는 식품 중의 평균 농약잔류량과 식품 섭취량을 고려하여 식품 중 잔류된 농약의 현실적인 폭로량과 각 식품군별 폭로 비중을 나타낸 것으로 농약의 비처리-추정1일 섭취량(non-treated EDI)이라 할 수 있다.

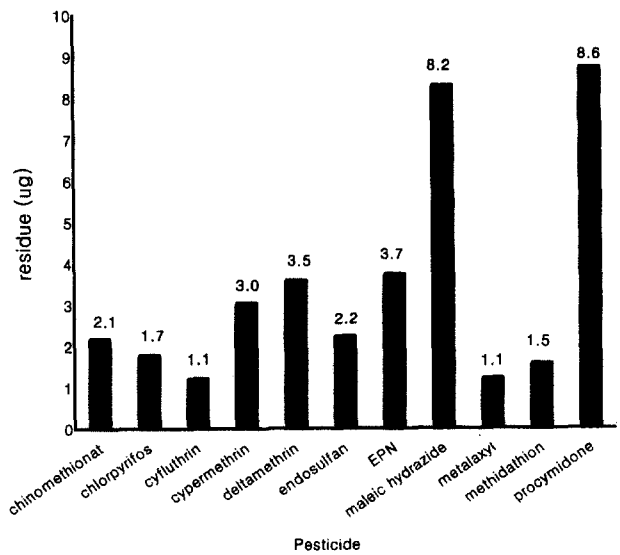


**Fig 1. Major dietary intake of pesticide items.**

**Table 6. Distribution of pesticide intake by food groups**

| Food group | Pesticide intake, μg (%) |
|---|---|
| cereals | 2.8963 (7.0) |
| potatoes | 0.1951 (0.5) |
| legumes | 0.4870 (1.2) |
| nuts | 0.0192 (0.0) |
| vegetables | 30.4571 (73.1) |
| mushrooms | 0.0035 (0.0) |
| fruits | 7.5674 (18.2) |
| meats | 0.0149 (0.0) |
| Total | 41.6405(100.0) |

농약의 평균 잔류량과 각 식품의 평균소비량으로부터 농약 성분별, 식품군별 1인당 1일 섭취량을 산출해 본 결과, 농약의 총섭취량은 약 42μg이며 농약별로는 그림 1에서 보듯이 procymidone이 8.6μg, maleic hydrazide가 8.2μg, EPN 3.7μg, deltamethrin 3.5μg, cypermethrin이 3.0μg 등의 순으로 높게 나타났다. 이 중 procymidone의 경우 채소류에서의 검출량이 8.2μg으로 전체 검출량의 95%를 차지하고 있으며, 1일섭취허용량(ADI) 또한 체중 55kg을 기준으로 했을 때 5500μg으로 매우 높아 1일섭취허용량

**Table 7. Treated EDI of pesticides by food intake** (unit: μg/55kg person/day)

| Pesticide | total | risk resources | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Cereals | Potatoes | Legumes | Nuts | Veg 1 | Veg 2 | Veg 3 | Mush rooms | Fruits 1 | Fruits 2 | Meats |
| Alachlor | 0.00437 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00437 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 |
| Aldicarb | 0.00901 | 0.00428 | 0.00000 | 0.00365 | 0.00000 | 0.00016 | 0.00002 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00090 | 0.00000 |
| Aldrin & Dieldrin | 0.00106 | 0.00000 | 0.00106 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 |
| Bendiocarb | 0.00361 | 0.00067 | 0.00002 | 0.00002 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00001 | 0.00211 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00078 | 0.00000 |
| BHC | 0.03479 | 0.00000 | 0.00000 | 0.03217 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00005 | 0.00000 | 0.00002 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00255 |
| Captafol | 0.09028 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.09028 | 0.00000 |
| Carbaryl | 0.01773 | 0.00155 | 0.00020 | 0.00021 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.01572 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00005 | 0.00000 |
| Carbofuran | 0.00709 | 0.00624 | 0.00004 | 0.00070 | 0.00000 | 0.00003 | 0.00005 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00003 | 0.00000 |
| Chinomethionat | 0.97497 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.97497 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 |
| Chlorpyrifos | 0.46769 | 0.00000 | 0.00253 | 0.00000 | 0.00000 | 0.02057 | 0.00800 | 0.19784 | 0.00000 | 0.00000 | 0.23875 | 0.00000 |
| Chlorothalonil | 0.15520 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00883 | 0.00121 | 0.00000 | 0.00011 | 0.00000 | 0.14505 | 0.00000 |
| Cyfluthrin | 0.81770 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00030 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.81740 | 0.00000 |
| Cyhalothrin | 0.10907 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.09219 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.01688 | 0.00000 |
| Cypermethrin | 1.96087 | 0.01516 | 0.00000 | 0.08649 | 0.00000 | 0.02032 | 0.17637 | 1.28949 | 0.00000 | 0.00030 | 0.37274 | 0.00000 |
| DDT | 0.00055 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00055 |
| Deltamethrin | 2.08469 | 1.47020 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.01888 | 0.00036 | 0.49177 | 0.00000 | 0.00000 | 0.10348 | 0.00000 |
| Diazinon | 0.00180 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00098 | 0.00006 | 0.00000 | 0.00021 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00055 |
| Dichlofluanid | 0.00748 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00202 | 0.00546 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 |
| Dichlorvos | 0.00634 | 0.00000 | 0.00178 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00073 | 0.00077 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00306 | 0.00000 |
| Endosulfan | 0.69768 | 0.00000 | 0.01222 | 0.09421 | 0.00002 | 0.22170 | 0.23760 | 0.05782 | 0.00038 | 0.00082 | 0.07291 | 0.00000 |
| Endrin | 0.00061 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00061 | 0.00000 |
| EPN | 0.68818 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.68818 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 |
| Ethalfluralin | 0.00307 | 0.00000 | 0.00107 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00150 | 0.00050 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 |
| Ethiofencarb | 0.00575 | 0.00227 | 0.00013 | 0.00007 | 0.00000 | 0.00006 | 0.00002 | 0.00034 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00226 | 0.00060 |
| Ethoprophos | 0.00690 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00690 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 |
| Fenarimol | 0.00043 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00043 | 0.00000 | 0.00000 | 0.0000 | 0.00000 | 0.00000 |
| Fenitrothion | 0.03466 | 0.00000 | 0.02541 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00381 | 0.00212 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00332 | 0.00000 |
| Fluvalinate | 0.03478 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00035 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.03443 | 0.00000 |
| Folpet | 0.14415 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.14415 | 0.00000 |
| Heptachlor | 0.00016 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00016 |
| Isoprocarb | 0.01018 | 0.00022 | 0.00001 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00008 | 0.00000 | 0.00966 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00021 | 0.00000 |
| Maleic hydrazide | 0.83771 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.83771 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 |
| Metalaxyl | 0.38380 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.38380 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 |
| Methidathion | 0.02733 | 0.00000 | 0.01430 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00167 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.01136 | 0.00000 |
| Oxamyl | 0.00615 | 0.00005 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00010 | 0.00085 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00515 | 0.00000 |

**Table 7. Continued** (unit: μg/55kg person/day)

| Pesticide | total | risk resources | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Cereals | Potatoes | Legumes | Nuts | Veg 1 | Veg 2 | Veg 3 | Mush Rooms | Fruits 1 | Fruits 2 | Meats |
| Permethrin | 0.05108 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.01881 | 0.02532 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00131 | 0.00564 | 0.00000 |
| Phenthoate | 0.05308 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.05308 | 0.00000 |
| Phosmet | 0.31335 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.31335 | 0.00000 |
| Phosphamidone | 0.00147 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00147 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 |
| Pirimicarb | 0.00092 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00092 | 0.00000 |
| Pirimiphos-methyl | 0.03400 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.03400 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 |
| Procymidone | 3.54903 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 2.11010 | 1.01079 | 0.15396 | 0.00000 | 0.00011 | 0.27407 | 0.00000 |
| Tetradifon | 0.01551 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00197 | 0.01354 | 0.00000 |
| Total | 13.6543 | 1.50064 | 0.05877 | 0.21752 | 0.00002 | 2.82132 | 3.09346 | 3.22853 | 0.00072 | 0.00523 | 2.72440 | 0.00441 |
| ( % ratio ) | (100.0) | (11.0) | (0.4) | (1.6) | (0.0) | (20.7) | (22.7) | (23.6) | (0.0) | (0.0) | (20.0) | (0.0) |

[1]Veg 1 means the vegetable group which is usually eaten in raw after washing
[2]Veg 2 means the vegetable group which is usually eaten after the cooking of boiling
[3]Veg 3 means the vegetable group which is usually eaten after the salting process for kimchi
[4]Fruit 1 means the fruit group which is usually eaten after peeling
[5]Fruit 2 means the fruit group which is usually eaten in raw after washing.

(ADI)과의 대비율은 0.2% 정도밖에 미치지 않으나, 반면에 methidathion의 경우는 총 섭취량이 1.5μg인데 비해 1일섭취허용량(ADI)은 55μg으로 2.7%를 차지하는 것으로 나타났다.

한편 식품군별 농약의 섭취량 비율을 나타내면 표 6과 같았다. 즉 채소류가 73.1%로 가장 높게 나타났으며 과실류가 18.2%, 곡류가 7.0% 순으로 나타났는데 표 2의 식품군별 섭취량 자료에서 곡류가 35.2%, 채소류가 32.9%, 과실류가 17.0% 순인 것을 고려해 볼 때 채소류의 경우 식품 섭취량에 비해 농약 섭취량이 높은 것으로 나타난 것은 채소류의 경우 안전 사용 기준 일수, 사용량 등의 차이에 따른 농약 검출량과 검출 빈도가 높은데 기인하는 것으로 사료된다.

### 처리-추정1일섭취량(treated EDI)의 산출

표 7은 앞서 산출한 식품 중 농약 섭취량(표 5)에 각 식품군별 대표적인 처리과정에 따른 보정계수[28]를 적용시켜 식품을 섭취하였을 때 현실적으로 폭로될 수 있는 실제 1일 농약 섭취량을 추정한 것이다.

이 결과에 의하면 실제 식품을 섭취함으로써 폭로되는 모든 농약의 추정1일섭취량은 1인당 평균 13.7μg 정도이며, 각 식품군별 기여도는 표 8에서 보듯이 채소류(67.0%) > 과실류(20.0%) > 곡류(11.0%) > 두류(1.6%) > 감자류(0.4%)의 순으로 나타나 표 6의 결과와 각 식품군별 순위는 동일하였으나 보통 여러 처리과정을 거쳐 섭취되는 채소류의 경우 그 기여도가 73.1%에서 67.0%로 감소된 반면 세척 후 바로 섭취되는 경우가 많은 과실류의 경우 상대적인 비중이 높아졌음을 알 수 있었다.

**Table 8. Treated EDI of pesticide by food groups**

| Food group | treated EDI, μg (%) |
|---|---|
| Cereals | 1.5006 (11.0) |
| Potatoes | 0.0588 (0.4) |
| Legumes | 0.2175 (1.6) |
| Nuts | 0.0000 (0.0) |
| Vegetables | 9.1433 (67.0) |
| Mushrooms | 0.0007 (0.0) |
| Fruits | 2.7296 (20.0) |
| Meats | 0.0044 (0.0) |
| Total | 13.6543(100.0) |

표 9는 식품 중의 잔류가 확인된 46종의 농약에 대하여 잔류허용기준으로 산출해낸 이론적 최대1일섭취량(TMDI), 농약잔류량 자료에 기초한 비처리-추정1일섭취량(non-treated EDI), 그리고 여기에 식품처리에 따른 농약의 감소량으로 보정시킨 처리-추정1일섭취량(treated EDI)을 산출하고 각각의 농약잔류량과 1일섭취허용량(ADI)을 비교한 것이다.

이 결과에 의하면 TMDI(79.74%)>non-treated EDI-(0.17%)>treated EDI(0.04%)의 순으로 이론적인 허용기준에서 잔류량 자료, 잔류량에서 처리과정에 따른 손실량이 보정되면서 그 위해도가 급격히 낮아짐을 알 수 있었으며, 본 연구에서 산출된 농약별 1일 섭취량은 기존 자료들을 이용하여 이론적으로 추산하였던 이등[13,27,29,30]의 결과보다는 낮았으며, 1995년도 이후 연차적으로 식품의약품안전청에서 실시하고 있는 식이섭취총량조사(total diet study) 결과[31-33]와는 유사한 수준을 나타내었다.

**Table 9. Comparison between ADI and TMDI or EDI of pesticides by Korean population** (unit : μg/55kg person/day)

| Pesticide | ADI | TMDI | | EDI (non-treated) | | EDI (treated) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | TMDI | % of ADI | EDI | % of ADI | EDI | % of ADI |
| Alachlor | 110 | 21.670 | 19.70 | 0.0191 | 0.02 | 0.00437 | 0.00397 |
| Aldicarb | 165 | 22.657 | 13.73 | 0.2555 | 0.15 | 0.00901 | 0.00546 |
| Aldrin & Dieldrin | 5.5 | 19.165 | 348.45 | 0.0025 | 0.05 | 0.00106 | 0.01927 |
| Bendiocarb | 220 | 10.954 | 4.98 | 0.0737 | 0.03 | 0.00361 | 0.00164 |
| BHC | 440 | 264.652 | 60.15 | 0.0836 | 0.02 | 0.03479 | 0.00791 |
| Captafol | 5500 | 500.218 | 9.09 | 0.2679 | 0.00 | 0.09028 | 0.00164 |
| Carbaryl | 550 | 617.345 | 112.24 | 0.0916 | 0.02 | 0.01773 | 0.00322 |
| Carbofuran | 550 | 163.729 | 29.77 | 0.2129 | 0.04 | 0.00709 | 0.00129 |
| Chinomethionat | 330 | 214.939 | 65.13 | 2.0967 | 0.64 | 0.97497 | 0.29545 |
| Chlorpyrifos | 550 | 435.669 | 79.21 | 1.7023 | 0.31 | 0.46769 | 0.08503 |
| Chlorothalonil | 1650 | 296.329 | 17.96 | 0.2264 | 0.01 | 0.15520 | 0.00941 |
| Cyfluthrin | 1100 | 732.642 | 66.60 | 1.1304 | 0.10 | 0.81770 | 0.07434 |
| Cyhalothrin | 1100 | 308.498 | 28.05 | 0.3388 | 0.03 | 0.10907 | 0.00992 |
| Cypermethrin | 2750 | 1675.687 | 60.93 | 2.9593 | 0.11 | 1.96087 | 0.07130 |
| DDT | 1100 | 405.471 | 36.86 | 0.0028 | 0.00 | 0.00055 | 0.00005 |
| Deltamethrin | 550 | 444.385 | 80.80 | 3.5054 | 0.64 | 2.08469 | 0.37903 |
| Diazinon | 110 | 153.615 | 139.65 | 0.0029 | 0.00 | 0.00180 | 0.00164 |
| Dichlofluanid | 16500 | 5468.589 | 33.14 | 0.0636 | 0.00 | 0.00748 | 0.00005 |
| Dichlorvos | 220 | 243.394 | 110.63 | 0.0339 | 0.02 | 0.00634 | 0.00288 |
| Endosulfan | 330 | 552.161 | 167.32 | 2.1511 | 0.65 | 0.69768 | 0.21142 |
| Endrin | 11 | 13.383 | 121.66 | 0.0012 | 0.02 | 0.00061 | 0.00555 |
| EPN | 1100 | 91.203 | 8.29 | 3.6585 | 0.33 | 0.68818 | 0.06256 |
| Ethalfluralin | 2310 | 3.263 | 0.14 | 0.0210 | 0.00 | 0.00307 | 0.00013 |
| Ethiofencarb | 5500 | 2118.652 | 38.52 | 0.3020 | 0.01 | 0.00575 | 0.00010 |
| Ethoprophos | 16.5 | 4.130 | 25.03 | 0.0212 | 0.13 | 0.00690 | 0.04182 |
| Fenarimol | 550 | 33.940 | 7.17 | 0.0018 | 0.00 | 0.00043 | 0.00008 |
| Fenitrothion | 275 | 352.045 | 128.02 | 0.4036 | 0.15 | 0.03466 | 0.01260 |
| Fluvalinate | 275 | 296.679 | 107.88 | 0.0504 | 0.02 | 0.03478 | 0.01265 |
| Folpet | 550 | 574.350 | 104.43 | 0.6350 | 0.12 | 0.14415 | 0.02621 |
| Heptachlor | 5.5 | 19.099 | 347.25 | 0.0011 | 0.02 | 0.00016 | 0.00291 |
| Isoprocarb | 220 | 80.010 | 36.37 | 0.1916 | 0.09 | 0.01018 | 0.00463 |
| Maleic hydrazide | 275000 | 14101.750 | 5.13 | 8.2128 | 0.00 | 0.83771 | 0.00030 |
| Metalaxyl | 1650 | 105.983 | 6.42 | 1.1355 | 0.07 | 0.38380 | 0.02326 |
| Methidathion | 55 | 41.379 | 75.23 | 1.4946 | 2.72 | 0.02733 | 0.04969 |
| Oxamyl | 1650 | 663.571 | 40.22 | 0.0690 | 0.00 | 0.00615 | 0.00037 |
| Permethrin | 2750 | 1889.642 | 68.71 | 0.3408 | 0.01 | 0.05108 | 0.00186 |
| Phenthoate | 165 | 49.125 | 29.77 | 0.3378 | 0.20 | 0.05308 | 0.03217 |
| Phosmet | 550 | 1369.701 | 249.04 | 0.5054 | 0.09 | 0.31335 | 0.05697 |
| Phosphamidone | 27.5 | 92.994 | 338.16 | 0.0489 | 0.18 | 0.00147 | 0.00535 |
| Pirimicarb | 1100 | 604.051 | 54.91 | 0.1794 | 0.02 | 0.00092 | 0.00008 |
| Pirimiphos-methyl | 1650 | 993.655 | 60.22 | 0.0764 | 0.00 | 0.03400 | 0.00206 |
| Procymidone | 5500 | 677.300 | 12.31 | 8.6464 | 0.16 | 3.54903 | 0.06453 |
| Profenofos | 550 | 427.122 | 77.66 | 0.0065 | 0.00 | --- | --- |
| Tetradifon | --- | 332.400 | --- | 0.0758 | --- | 0.01551 | --- |
| Triadimenol | 2750 | 41.816 | 1.52 | 0.0037 | 0.00 | --- | --- |
| Total | 334,741 | 36727.674 | | 41.6405 | | 13.6543 | |
| Average (%)[1)] | | | 79.74 | | 0.17 | | 0.04 |

[1)] The percentage of ADI for individual pesticide was averaged.

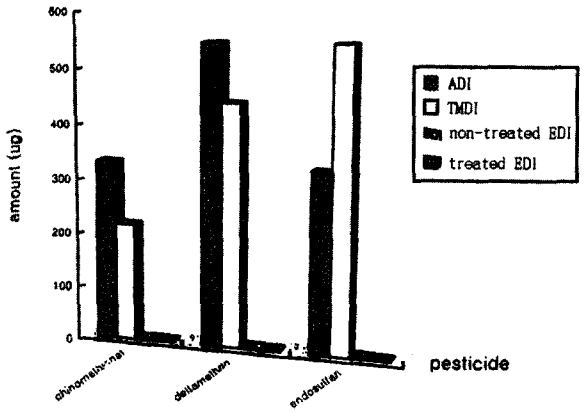


**Fig. 2. Comparison of ADI, TMDI, and EDIs in three major pesticides.**

그림 2는 우리나라 국민이 식이섭취를 통해 가장 많이 폭로되는 것으로 나타난 chinimethionat, endosulfan, deltamethrin에 있어서의 TMDI, non-treated EDI, treated EDI의 차이를 보여주고 있는 것으로서, 이와같이 현재로서는 우리가 섭취하고 있는 식품에 의한 농약 폭로가 우려할 만한 수준이 아님을 보여주고 있으나 미국등의 선진국의 경우 유통되는 식품 중의 잔류농약 모니터링과 함께 식이섭취총량조사(total diet study)가 이미 1961년부터 체계적으로 수행되어[34] 식이섭취로 인한 연령군별, 지역별 농약폭로량을 파악함으로써 국민들의 농약폭로에 있어서의 안전성을 확보해오고 있음을 상기할 때, 우리도 이러한 평가기법의 개발과 확립이 절실하다고 본다.

또한 세계보건기구(WHO)에서는 유기인제와 같이 유사한 독성작용을 함으로써 서로 부가적인 효과가 나타날 우려가 있는 농약에 대하여 누적섭취량(cummulative intake)을 낮추기 위하여 group ADI를 설정하도록 권고하고 있다[35]. 따라서 본 연구에서도 chlorpyrifos, diazinon, dichlorvos, EPN 등의 유기인제 농약의 경우 현재로서는 큰 위해성을 나타내고 있지 않으나 앞으로 보다 과학적이고 체계적인 연구와 지속적인 관리가 수행되어야 한다고 판단되었다.

## 종양유발성 평가

본 연구에서는 식품 중의 잔류가 확인되어진 46종의 농약 중 종양유발지수가 알려진 alachlor등 7종의 농약 성분에 대하여 폭로량에 근거하여 종양유발 가능성을 산출하였다.

잔류허용기준과 식품섭취량으로 산출된 농약의 이론적 최대1일섭취량(TMDI)에 대하여 종양유발 가능성을 산출한 결과는 표 10과 같았으며, 7종의 농약이 모두 미국환경보호청(EPA)가 설정한 무시될수 있는 위험기준(negligible risk standard: 70년 평생을 걸쳐 인구 100만명당 1명의 부가적인 암 발생율)을 초과하고 있었다. 평가 대상 농약들은 인구 100만명당 35-100명의 초과 종양유발 가능성을 나타냈으며, 7종의 농약성분에 대한 종양유발성 합계는 100만명당 2000명이라는 높은 추정치를 나타냈다. 이와같은 잔류허용기준에 근거한 추정은 실제 농약 섭취량을 이용한 것이 아니므로 위해 가능성이 과장되었다고 볼수 있으나, 잔류허용기준은 농약의 잔류 가능한 최대량을 의미하므로 안전성 확보를 위한 예방적 차원에서 파악되어야 한다고 본다.

표 11은 실제 농약잔류량에 식품처리에 따른 감소량을 보정시킨 처리 추정1일섭취량(treated EDI)에 대한 종양유

**Table 10. Estimation of dietary oncogenic risk from TMDI of pesticides used in Korea**

| Pesticide | Oncogenic potency[1](tumors/mg/kg b.w/day) | Dietary exposure from TMDI[2] (mg/kg b.w./day) | Dietary oncogenic risk[3] |
|---|---|---|---|
| Alachlor | $5.95\times10^{-2}$ | $3.9\times10^{-4}$ | $2.3\times10^{-5}$ |
| Captafol | $2.5\times10^{-2}$ | $9.1\times10^{-3}$ | $2.3\times10^{-4}$ |
| Chlorthalonil | $2.4\times10^{-2}$ | $5.4\times10^{-3}$ | $1.3\times10^{-4}$ |
| Cypermethrin | $1.9\times10^{-2}$ | $3.0\times10^{-2}$ | $5.7\times10^{-4}$ |
| Ethalfluralin | $8.7\times10^{-2}$ | $5.9\times10^{-5}$ | $5.1\times10^{-6}$ |
| Folpet | $3.5\times10^{-3}$ | $1.0\times10^{-2}$ | $3.5\times10^{-5}$ |
| Permethrin | $3.0\times10^{-2}$ | $3.4\times10^{-2}$ | $1.0\times10^{-3}$ |
| Total | | $8.9\times10^{-2}$ | $2.0\times10^{-3}$ |

1) Q* : tumors/mg pesticide/kg body weight/day
2) calculated from Korean MRL×food intake
3) Excess tumor incidence for a 70-year human life span, calculated from Q*×dietary exposure.

**Table 11. Estimation of dietary oncogenic risk from EDI of pesticides used in Korea**

| Pesticide | Oncogenic potency[1](tumors/mg/kg b.w/day) | Dietary exposure from TMDI[2] (mg/kg b.w./day) | Dietary oncogenic risk[3] |
|---|---|---|---|
| Alachlor | $5.95\times10^{-2}$ | $7.9\times10^{-8}$ | $4.7\times10^{-9}$ |
| Captafol | $2.5\times10^{-2}$ | $1.6\times10^{-6}$ | $4.0\times10^{-8}$ |
| Chlorthalonil | $2.4\times10^{-2}$ | $2.8\times10^{-6}$ | $6.7\times10^{-8}$ |
| Cypermethrin | $1.9\times10^{-2}$ | $3.6\times10^{-5}$ | $6.8\times10^{-7}$ |
| Ethalfluralin | $8.7\times10^{-2}$ | $5.6\times10^{-8}$ | $4.9\times10^{-9}$ |
| Folpet | $3.5\times10^{-3}$ | $2.6\times10^{-6}$ | $9.1\times10^{-9}$ |
| Permethrin | $3.0\times10^{-2}$ | $9.3\times10^{-7}$ | $2.8\times10^{-8}$ |
| Total | | $4.4\times10^{-5}$ | $8.3\times10^{-7}$ |

1) Q* : tumors/mg pesticide/kg body weight/day
2) calculated from Korean MRL×food intake
3) Excess tumor incidence for a 70-year human life span, calculated from Q*×dietary exposure.

**Table 12. Comparison of total oncogenic risk by pesticide residues in Korea and USA**

| Country | Data resource | Total oncogenic risk |
|---|---|---|
| Korea | TMDI | $2.0\times10^{-3}$ |
| | treat EDI | $8.3\times10^{-7}$ |
| USA | TMDI | $2.3\times10^{-3}$ |
| | Total diet study data | $9.8\times10^{-7}$ |

발 가능성을 산출한 것으로 표 10의 결과와 비교했을 때 종양유발 가능성이 매우 낮아지는 것을 알수 있으며 미국환경보호청(EPA)이 설정한 무시될 수 있는 위험수준($1\times10^{-6}$)을 초과하는 농약은 하나도 없는 것으로 나타났다.

또한 7종의 농약성분에 대한 종양유발성 합계도 $8.3\times10^{-7}$으로 위험수준에는 미치지 않았으며, 이등[29]의 결과에서 $5.1\times10^{-6}$의 높은 종양유발 가능성이 산출된 것은 농약잔류량 자료를 근거로 한 것으로 식품처리에 따른 손실이 고려되지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

표 12는 미국과 우리나라의 농약에의한 종양유발 가능성을 비교한 것으로 우리나라는 미국 FDA의 식이섭취총량조사(total diet study) 자료에 의한 종양유발성 합계인 $9.8\times10^{-7}$보다는 낮은 결과를 나타냈다[10].

따라서 우리나라는 농약의 종양유발 가능성에 있어서 안전하다고 할 수 있으나 미국의 경우 이러한 식이섭취총량조사가 전체 인구 집단 및 계절별, 지역별, 인종별, 연령별로 세분화되어 농약폭로현황이 구체적으로 파악되어지고 있는 반면[8], 우리나라의 식이섭취를 통한 농약섭취량 조사[31-33]의 경우 이러한 체계적인 연구가 아직 미비하며, 농약 섭취량 산출의 근거 자료라 할 수 있는 식이섭취량 또한 연중 1회에 걸쳐 세대 단위로 산출되는 결과이므로 연령별, 계절별, 지역별 섭취 유형의 차이와 변동이 파악되고 있지 못한 실정이다. 특히 안전계수의 한계를 위협하는 극단 소비자나 어린이, 노약자 등의 건강 위험군에 대한 이러한 정보가 매우 취약한데, 미국의 경우 어린이들에 대한 농약폭로의 심각성이 대두되기 시작하여 1991년도부터 연령-성별 집단을 14개로 보다 세분화하고 전체 식품 중 3분의 1을 어린이용 식품으로 선정함으로써 농약독성에 보다 민감하고 많이 폭로되어 있는 어린이들을 보호하고자 노력하고 있고[36] 식이섭취총량조사(total diet study)와는 별도로 1991년에서 1995년까지 23개 품목의 어린이용 식품(baby food)에 대해 농약잔류량 조사를 실시하였으며[34] 그 결과 일부 농약 성분의 잔류량이 전체 식품에 대한 결과에 비해 높게 나타났으며 어린이들의 식이섭취를 통한 농약에의 폭로정도가 전체 집단의 평균폭로량에 비해 상당히 높은 것으로 보고되었다[8,34,36,37].

이러한 결과는 1일섭취허용량(ADI) 및 종양유발지수(Q*) 등 안전성 평가의 기본 요소들이 체중 kg당의 값을 나타내는데 어린이의 경우 체중 kg당 식품섭취량 및 독성에 대한 감수성이 성인과 다르기 때문으로 판단되며, 우리나라도 이러한 구체적인 연구가 조속히 실시되어야 한다고 본다.

본 연구는 농약의 식품내 잔류실태를 파악하고 식품섭취량과 1일섭취허용량(ADI)에 근거하여 잔류허용기준의 타당성을 검토해 봄으로써 Codex 규격기준의 확대실시를 앞두고 있는 현 시점에서 식이를 통한 농약 폭로의 경로와 정도를 평가하는 과학적 분석 기법을 제시하고자 수행되었다.

그 결과 현재로서는 잔류허용기준 및 농약의 이론적 최대 1일섭취량, 추정1일섭취량 모두 안전한 수준임을 확인하였으며, 농약으로부터의 식품 안전성을 확보하고 식품의 위해도를 평가하는데 과학적 근거를 제공할 수 있을 것으로 본다.

## 국 문 초 록

본 연구는 현재 농약잔류허용기준이 설정되어있는 농약성분의 위해성여부를 확인하여 그 적합성을 평가하며 농약폭로량 추정에 기초한 건강위해도를 평가하고자 국민영양조사결과에 의한 각 식품별 섭취량과 농약잔류 허용기준 및 농약 잔류량 분석자료를 기초로 잔류농약 성분이 식품 처리과정 중에 소실되는 정도를 감안하여 이론적 최대1일섭취량(TMDI)과 추정1일섭취량(EDI)을 산출하고 1일섭취허용량(ADI)과 비교해 봄으로써 우리나라 국민의 농약폭로 위해정도를 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 1. 본 연구에서 이용한 자료의 1일 총섭취량은 871.1g으로 전체 식품 섭취량의 약 79.1%에 해당되며, 식품위생법에 허용기준이 설정되어 있는 농약성분에 대하여 이 식품별 섭취량을 적용하여 이론적 최대1일섭취량(TMDI)을 계산하고 이 값과 1일섭취허용량(ADI)과의 대비율을 산출한 결과, 1일섭취허용량(ADI)이 설정되어 있는 156종의 농약 가운데 121종의 농약은 이론적 최대섭취량이 1일섭취허용량(ADI)의 80% 이하 수준을 유지하고 있으나 1일섭취허용량(ADI)을 초과하는 것도 30종이나 있는 것으로 나타났다. 2. 농약의 평균 잔류량과 각 식품의 1일 평균섭취량으로부터 농약 성분별, 식품군별 1인당 1일 섭취량을 산출해 본 결과, 농약의 총섭취량은 약 42μg이며 농약별로는 procymidone이 8.6μg, maleic hydrazide가 8.2μg, EPN 3.7μg,

deltamethrin 3.5μg, cypermethrin이 3.0μg 등의 순으로 높게 나타났다. 식품군별로 농약의 섭취량 비율을 나타내면 채소류가 73.1%로 가장 높게 나타났으며 과실류가 18.2%, 곡류가 7.0% 순으로 나타났다. 3. 식품을 통한 농약 섭취량에 대해 각 식품군별 대표적인 처리과정에 따른 보정계수를 적용시켜 식품을 섭취하였을 때 폭로될수 있는 실제 1일 농약 섭취량을 추정한 결과, 1인당 평균 13.7μg 정도이며, 각 식품군별 기여도는 채소류(67.0%) > 과실류(20.0%) > 곡류(11.0%) > 두류(1.6%) > 감자류(0.4%)의 순으로 나타났다. 농약잔류량과 1일섭취허용량(ADI)과의 비율을 산출한 결과에 의하면 TMDI(79.74%) > non-treated EDI(0.17%) > treated EDI(0.04%)의 순으로 이론적인 허용기준에서 잔류량 자료, 잔류량에서 식품처리에 따른 손실량이 보정되면서 그 위해도가 급격히 낮아짐을 알 수 있었다. 4. 종양유발지수가 알려져 있는 7종의 농약성분에 대하여 최대1일섭취량(TMDI) 및 처리 추정1일섭취량(treated EDI)에 근거하여 종양유발성 평가를 실시한 결과, 종양유발 가능성의 합계가 각각 2.0×10-3(TMDI), 8.3×10-7(treated EDI)로 이론적 최대1일섭취량(TMDI)은 미국환경보호청(EPA)이 설정한 위험수준인 1×10-6을 초과하였으나, 현실적인 폭로수준인 처리 추정1일섭취량(treated EDI)은 안전한 수준이었다.

## 참고문헌

1. 宋炳薰: 우리나라 農産物 中의 殘留農藥과 安全性. 한국식품위생학회지. **7**, S21-32 (1992).
2. 농약공업협회: 농약 - 世論과 正論. 44-47 (1992).
3. Park, Jongsei: Risk assessment of hazard materials in food - An Emerging Field. *J. Food Hygiene and Safety. Topic III.* 31 (1997).
4. Travis, C. C., Richter, S. A., Crouch, E.A.C., Wilson, R., and Klema, E. D.: Cancer risk management. *Environ. Sci. Technol.* **21**, 415-420 (1987).
5. Finley, B. L., Scott, P., and Paustenbach, D. J.: Evaluating the adequacy of maximum contaminant levels as health-protective clean-up goals: An analysis based on Monte Carlo Techniques. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* **18**, 438-455 (1993).
6. Johannsen, F. R.: Risk assessment of carcinogenic and noncar- cinogenic chemicals. *Crit. Rev. Toxicol.* **20**, 341-367 (1990).
7. Joint FAO/WHO Expert Consultation: Application of risk assessment analysis to food standards issues. FAO/WHO. Geneva. 11-20 (1995).
8. Winter, C. K.: Dietary pesticide risk assessment. *Rev. Environ. Toxicol.* **127**, 23-67 (1992).
9. Hazelwood, R.N.: Carcinogen risk assessment. *Adv. Food Res.* **31**, 1-51 (1987).
10. National Research Council, U.S.A.: Regulating Pesticides in Food-The Delaney Paradox. Executive summary. National Academy Press. Washington, D.C. 1-44 (1987).
11. Albert, R.E.: Carcinogen risk assessment in the U.S. Environmental Protection Agency. *Crit. Rev. Toxicol.* **24**, 75-85 (1994).
12. 保健福祉部. 보건정책과: '95 國民營養調査 結果 報告書. 남형문화주식회사. 서울 (1996).
13. 이서래, 이미경: 한국인에 의한 유기인계 농약의 식이 섭취량 추정. 한국환경농학회지. **13**(1), 66-75 (1994).
14. 保健福祉部 告示 제1996 - 74호 (1996년 12월 5일자).
15. 李哲遠, 洪茂基, 郭寅信, 朴建相, 尹熙徑, 文在辰, 姜仁鎬, 崔萬豪, 李熹德: 食品中 殘留農藥에 관한 硏究. 국립보건원보. **32**, 470-482 (1995).
16. 李哲遠, 洪茂基, 吳昌桓, 崔東美, 朴建相, 黃仁均, 文在辰, 姜仁鎬, 張善英: 食品中 殘留農藥에 관한 硏究. 식품의약품안전본부연보. **1**, 41-48 (1996).
17. 전옥경, 김일영, 신기영, 김양숙, 조한빈, 김성단, 장민수, 윤용태, 이은순, 김복순, 강희곤: 시중 유통 농산물 중의 농약잔류실태 조사(IV). 서울특별시보건환경연구원보. **32**, 153-162 (1996).
18. 홍무기, 최동미, 오창환, 박건상, 황인균, 정지윤, 이정복, 장선영, 최윤주: 콩과 콩나물 중 잔류농약에 관한 연구. 식품의약품안전청연보. **1**, 38-42 (1997).
19. 保健福祉部: 食品公典. 별책 353-398 (1997).
20. International Society for Risk Analysis: Integrated Risk Information System (1993).
21. Silver Platter Database: TOXLINE (1993).
22. US Environmental Protection Agency: *Federal Register* **51,** (1986).
23. Joint UNEP/FAO/WHO: Food Contamination Monitoring Programme: Guidelines for Predicting Dietary Intake of Pesticide Residues. 8-16. WHO. Geneva (1989).
24. Joint FAO/WHO Food Standards Programme, Codex Alimentarious Commission: Residues of Pesticides in Foods and Animal Feeds. *Part A. FAO/WHO. Rome* (1997).
25. 한국식품연구소: 농약의 잔류허용기준 설정방법, 정도관리 및 관련기준 비교검토에 관한 연구. 176-243 (1993).
26. 全玉憬: 食餌攝取를 통한 農藥暴露의 危害度에 관한 硏究. 서울대학교 博士學位論文. (1999).
27. 이서래, 이미경, 김남형: 한국인에 의한 농약의 이론적 최대섭취량 및 안전지표의 산정. 한국식품과학회지. **27**, 618-624, (1995).

28. 全玉憬, 李康文, 申載英: 食品處理에 따른 農藥殘留量 變化에 관한 硏究. 한국환경위생학회지. 1999년 6월호 게재예정.
29. 이미경, 이서래: 한국식품 중 잔류농약의 종양유발성 평가. 한국식품과학회지. **27**, 871-877 (1995).
30. 이미경, 이서래: 국내 식품 중 유기인계 잔류농약의 위해성 평가. 한국식품과학회지. **29**, 240-248 (1997).
31. 홍무기, 이철원, 곽인신, 박건상, 윤희경, 문재진, 강인호, 최만호, 경석헌: 식이를 통한 농약섭취량에 관한 연구-곡류 중의 잔류농약-. 국립보건원보. **32**, 483-492 (1995).
32. 홍무기, 이철원, 최동미, 오창환, 박건상, 황인균, 문재진, 강인호, 장선영: 식이를 통한 농약섭취량에 관한 연구-과실류 및 그 가공제품 중의 잔류농약. 식품의약품안전본부 연보. **1**, 49-57 (1996).
33. 홍무기, 오창환, 최동미, 박건상, 황인균, 우형경, 박일경, 정선미: 식이를 통한 농약섭취량에 관한 연구-채소류 및 그 가공제품 중의 잔류농약. 식품의약품안전청연보. **1**, 43-49 (1997).
34. FDA: Pesticide Program. Residue Monitoring. *J. Assoc. Off. Anal Chem.* **77**, 163-185 (1994).
35. WHO: Principles for the safety assessment of food additives and contaminants in food. WHO publication ISBN: 92 4 154270 5 (1987).
36. Pennington, J.A.T., Capar, S.G., and Parfitt, C.H.: History of the Food and Drug Administration's total diet study(Part II), 1987-1993. *J. AOAC Internat'l*, **79**, 163-171 (1996).
37. National Research Council, U.S.A.: Pesticides in the diets of infants and children. Committee on pesticides in the diet of infants and children. National Academy Press, Washington, D.C. (1993).