

국내 식품 중 유기인계 잔류농약의 위해성 평가

이미경 · 이서래

이화여자대학교 식품영양학과

Reduction Factors and Risk Assessment of Organophosphorus Pesticides in Korean Foods

Mi-Gyung Lee and Su-Rae Lee

Department of Food and Nutrition, Ewha Woman's University

Abstract

References on the cooking and processing losses of organophosphorus (OP) pesticides in foods were collected and analyzed to indicate that the average removal of whole pesticides being 45% in water washing, 56% in detergent washing, 91% in peeling of fruits, 51% in blanching-boiling of vegetables, 90% in milling and processing of grains. The theoretical maximum daily intake (TMDI) calculated from the food intake and Korea maximum residue limits showed that 4 among 11 pesticides exceeded the acceptable daily intake (ADI). The estimated daily intake (EDI) calculated from the food intake and monitoring data reached 17.2% of ADI on the assumption that the toxicity of OP pesticides appears as an additive effect. The % ratio of ADI for individual pesticides was 6.1% in diazinon, 5.8% in fenthion, 3.3% in fenitrothion and very low in other pesticides. By applying reduction factors to the EDI, the removal ratio of OP pesticides in cooking and processing appears to be over 50%. In summary, the exposure level of Korean population toward whole OP pesticides was estimated to reach 23% of ADI, which would not cause any health risk as yet, but calls for a systematic risk assessment.

Key words: organophosphorus pesticides, reduction factors, risk assessment

서 론

최근 농약에 의한 식품오염과 건강상의 위해에 대한 소비자의 관심이 고조됨에 따라 농산물이나 식품 중 잔류농약의 허용기준을 설정코자 하는 움직임이 국내외적으로 대두되고 있다. 식품 중 잔류농약에 의한 위해는 농약 본래의 독성과 음식물을 통한 섭취량에 의해 결정되는 것이다. 여기에서 음식물을 통한 농약 섭취량의 예측은 매우 중요한 일이지만 그 절차가 매우 번잡하며 유엔기구인 UNEP/FAO/WHO에서는 4가지 다른 방법을 제시하고 있다¹⁾.

식품 중 잔류농약의 기준은 편의상 식품원료인 농산물과 축산물에 대하여 설정하고 있는 것이 국제적인 관행이 되고 있으나 이러한 원료는 조리, 가공, 저장 및 유통과정을 거쳐 우리들의 음식물로 섭취하게 된다. 그리하여 FAO/WHO에서는 식품의 조리, 가공 및 저장에 의한 농약성분의 제거율이 감안된 식이섭취량

을 추정하여 농약에 의한 위해평가를 하도록 권장하고 있다. 즉 식품원료 중 잔류농약이 조리 및 가공에 의해 제거 또는 분해된 다음 잔류하게 되는 농약성분의 비율을 "감소계수(reduction factor)"라 하여 국제규격인 Codex MRL을 설정할 때에 실제로 활용하고 있다.

본 연구에서는 유기인계 농약성분에 대하여 농약성분, 식품종류, 조리 및 가공 방법에 따른 제거율을 보고된 문헌에 근거하여 정리한 다음 보편화된 감소계수를 유도하였다. 다른 한편 이론적 최대섭취량과 추정섭취량을 계산한 다음 유도된 감소계수를 적용하여 좀 더 실제적인 농약의 식이섭취량을 계산하였으며 한국인의 건강에 미치는 유기인계 농약의 위해 수준을 평가하였다.

재료 및 방법

농약 제거율의 최적화

유기인계 농약의 제거율에 관한 자료를 얻기 위하여 다음의 잡지들을 검색하였다. Journal of Agricultural and Food Chemistry (1971-94), Residue Re-

Corresponding author: Su-Rae Lee, Department of Food and Nutrition, Ewha Woman's University, Seodaemun-gu, Seoul 120-750, Korea

views (Reviews of Environmental Contamination and Toxicology; 1969-92), Journal of Association of the Official Analytical Chemists (1971-94), Journal of the Food Hygienic Society of Japan (1971-94), 食品衛生研究 (일본; 1973-94), 한국식품과학회지 (1969-94), 농약연구소 시험연구보고서(한국; 1981-93), 한국식품위생학회지(한국식품위생·안전성학회지; 1986-94).

농약성분으로는 국내에서 사용되고 있는 23종(acephate, azinphos-methyl, chlorpyrifos, chlorpyrifos-methyl, demeton-S-methyl, diazinon, dichlorvos, dimethoate, edifenphos, EPN, fenitrothion, fenthion, glyphosate, iprobenfos, malathion, methidathion, monocrotophos, parathion, phenthoate, phorate, phosmet, pirimiphos-methyl, trichlorfon)과 국내에서 아직 사용되지 않고 있는 농약성분 8종(chlorfenvinphos, cyanofenphos, cyanophos, etrimfos, ethion, fenchlorvos, mevinphos, parathion-methyl)을 대상으로 조사하였다.

농약성분별로 식품의 종류와 조리 및 가공 방법에 따른 제거율을 정리하였다. 이때 제거율에서 그 범위는 한 논문에서 처리방법에 따른 값들을 그대로 받아 주었고 평균치는 이들을 평균한 값이다. 한편 유기인계 농약 전체에 대해 조리 및 가공 방법별로, 즉 식품원료의 세척(water washing, detergent washing), 과일의 껍질 벗기기(peeling), 채소의 데치기 또는 삶기(blanching or boiling), 곡류의 제분 및 가공공정(milling, final product processing)에 따른 농약성분의 제거율을 조사하였다. 한 논문에서 실험치가 범위로 주어진 경우에는 하한치를 취하여 농약성분 전체의 범위를 구하고 이들 값의 평균치를 산정하였다. 과일의 껍질 벗기기에 의한 제거율은 과육:과피의 중량비를 9:1로 간주하여 계산하였다. 쌀이나 밀의 가공공정에 의한 제거율은 Codex 규격기준치의 감소비율을 그대로 받아 주었으며 밀에서 빵(white bread)의 기준치를 활용할 때에는 수분함량을 감안하여 제거율을 계산하였다. 한편 조리방법의 표현중 데치기(blanching)나 삶기(boiling)에 대한 개념이 연구자마다 달리 적용되고 있지만 가능한 한 원저자의 표현을 그대로 따랐다.

농약의 식이섭취량 추정

TMDI (theoretical maximum daily intake)는 국내 모니터링 조사에서 분석되고 있는 11개 유기인계 농약에 대하여 前報⁽²⁾에서 산정한 데이터이다. 즉 식품별 잔류농약 기준으로는 식품위생법에 근거한 농약잔류허용기준(1995년 1월 시행)을 사용하였고 식품계수로는 1980년대 후반의 1인당 1일 평균 섭취량을 이용하

였다. 개별농약의 1인당 1일 섭취량은 식품별 잔류기준에 해당식품의 식품계수를 곱한 다음 집계하였다.

EDI (estimated daily intake)는 농약의 분석업무를 계속적으로 실시하고 있는 공공기관의 분석결과에 근거하여 산정한 前報⁽¹⁾에서의 데이터를 이용하였다. 즉 최근에 발표된 조사보고 중에서 1986~90년 사이에 소비된 식품별 농약 평균잔류량을 산정하였으며 여기에 해당식품의 식품계수를 곱한 다음 합계하여 농약성분별로 섭취량을 집계하였다.

유기인계 잔류농약에 의한 위해가능성의 평가

농약의 식이섭취량인 TMDI, EDI와 독성자료인 ADI를 활용하여 위해가능성을 평가하였다. ADI는 FAO/WHO의 것⁽⁴⁾을 활용하였고 ADI가 아직 설정되지 않은 EPN과 같은 농약성분은 최대 무작용량을 안전계수 100으로 나누어 이용하였다. 한국인의 평균체중으로는 55 kg을 적용하였다.

감소계수를 활용한 EDI는 5가지 유기인계 농약인 diazinon, EPN, fenitrothion, malathion, phenthoate에 대해서 농약잔류 데이터와 감소계수가 있으면서 식품계수가 큰 항목인 쌀, 밀, 배추, 무우, 사과를 대상으로 추정하였다. 쌀의 섭취량은 곡류의 78%를, 밀가루는 13%를 차지하고 있고, 배추의 섭취량은 채소의 35%, 무우는 25%를 차지하고 있으며 사과의 섭취량은 과일의 40%를 차지하고 있어서 이들 식품은 각 식품군을 대표한다고 할 수 있다.

감소계수는 안전성 확보를 위하여 최악의 경우를 생각하고 위해성이 과소평가되는 것을 경계하기 위하여 가능한 한 보수적으로(conservative) 채택하였다. 즉, 쌀, 사과, 배추, 무우는 수세에 의한 제거율만을 받아들였고 범위로 주어진 데이터는 하한치를 취하여 이들의 평균치를 구하였다. 밀은 주된 가공품인 빵과 국수 제조에 의한 제거율로부터 평균치를 구하여 감소계수로 사용하였다. 한편 쌀에서 diazinon과 fenitrothion과 같이 감소계수 데이터가 없는 경우에는 수세 및 가열조리에 의한 제거율이 적어도 50% 이상일 것이라는 가정하에 감소계수를 0.50으로 정하였다. 마찬가지로 사과에서도 phenthoate의 수세에 의한 세거효과를 적어도 50% 이상일 것으로 간주하고 감소계수를 0.50으로 정하여 사용하였다.

결과 및 고찰

농약 제거율 자료 개황

식품원료의 세척, 과일의 껍질벗기기, 채소의 데치

기 또는 삶기, 곡류의 제분 및 가공공정에 따라 유기인계 농약성분의 제거율이 보고된 연구현황을 요약하면 Table 1과 같다. 총 31개 농약성분에 대해 연구되었고 논문수는 103편 이었으나 대부분의 농약성분이 몇몇 식품에 대해 두서너편의 논문으로 보고되었을 뿐이다. 그 중 chlorpyrifos, diazinon, EPN, fenitrothion, malathion과 같은 것은 조사된 식품종류나 논문편수가 많은 편에 속하는 성분이고 오히려 국내에서 소비량이 많은 dichlorvos, edifenphos, fenthion, ipro-

benfos, phenthoate 등(1989-93년 평균소비량이 연간 유효성분 200톤 이상)은 제거율 연구가 극히 제한적으로 이루어졌음을 볼 수 있다. 더우기 dichlorvos를 제외한 이들 농약들이 벼에 사용되고 있는데도 쌀에서의 제거연구가 거의 이루어지지 못하였다. 농약의 제거율을 감소계수로 활용하기 위해서는 농약성분별, 식품종류별로 체계적인 연구가 이루어져야 하겠고 특히 한국인에게 중요한 농약성분과 식품에 대해서 중점적으로 착수되어야 할 것이다.

Table 1. Outline of reports on the removal of pesticide residues in food materials

Pesticide	No. of food item	No. of report	References
Acephate	1	1	5
Azinphos-methyl	3	2	5,6
Chlorfenvinphos ¹⁾	2	1	7
Chlorpyrifos	11	6	8-13
Chlorpyrifos-methyl	3	5	4,14-17
Cyanofenphos ¹⁾	1	1	6
Cyanophos ¹⁾	1	2	6,10
Demeton-S-methyl	1	1	18
Diazinon	11	10	7,10,12,19-25
Dichlorvos	6	5	7,11,14,15,26
Dimethoate	3	3	6,7,27
Edifenphos	1	1	4
EPN	9	8	6,7,10,24,25,27-29
Ethion ¹⁾	2	2	10,27
Etrimfos ¹⁾	1	1	4
Fenchlorvos ¹⁾	1	1	27
Fenitrothion	13	16	4,6-8,10,14, 15,20-22,24,25,30-33
Fenthion	6	2	6,7
Glyphosate	1	1	4
Iprobenfos	1	1	7
Malathion	15	13	6, 14-16, 19,22,23, 25,27,34-37
Methidathion	3	1	10
Mevinphos ¹⁾	1	1	27
Monocrotophos	4	1	7
Parathion	5	3	6,8,19
Parathion-methyl ¹⁾	2	3	4,27,38
Phenthoate	3	4	6,10,23,38
Phorate	1	1	27
Phosmet	1	1	10
Pirimiphos-methyl	4	3	4,10,15
Trichlorfon	2	2	6,20
TOTAL (31)	119	103	

¹⁾Pesticide not used in Korea as of 1993.

식품의 종류 및 조리 가공에 따른 제거율

유기인계 농약성분 전체(31종)에 대해 조리 및 가공 방법에 따른 식품별 제거율 범위와 평균치를 계산한 결과는 Table 2~5와 같다. 여기에서 범위는 농약성분에 관계없이 해당식품의 제거율 데이터의 하한치와 상한치를 의미하며 평균치는 이들 제거율 데이터를 평균한 것이다.

식품의 세척에 의한 농약 제거율은 식품에 따라 0%에서 97%까지 다양하게 나타났다(Table 2). 이것은 유기인계 농약성분의 물리화학적 특성이나 식품표면의

Table 2. Effect of washing on the removal of organophosphorus pesticide residues in/on foods

Food commodity	Removal of residues(%)					
	Water washing			Detergent washing		
	Range	Mean	Source ¹⁾	Range	Mean	Source
Apple	45-94	66	5/6	55-98	81	5/6
Broccoli	0	0	1/1	33	33	1/1
Carrot	24-77	43	7/8	38-94	54	7/8
Chinese cabbage	11-85	41	11/16	26-96	58	11/14
Chinese radish	44-70	57	2/2	51	51	1/1
Cucumber	43-78	60	3/3	69-81	74	3/3
Grapes	23-90	55	4/6	20-93	52	3/6
Green peas	20-83	51	3/3	61-94	82	3/3
Lettuce	46	46	1/1	64	64	1/1
Oranges ²⁾	6-36	21	2/2	70	70	1/1
Peach	0-68	38	5/5	33-75	53	5/5
Pear	-	-	-	13	13	1/1
Pepper (green)	2-87	52	4/5	3-94	64	4/5
Potatoes	43-97	75	5/6	76-94	87	3/3
Rice	51-80	63	4/4	-	-	-
Spinach	0-93	34	3/3	24-95	60	2/2
Strawberry	22-40	30	5/6	25-75	49	6/7
Tomatoes	6-95	71	3/4	29-83	56	2/2
TOTAL	0-97	45		13-98	56	

¹⁾Number of pesticides/number of reports.

²⁾including mandarine.

Table 3. Effect of peeling on the removal of organophosphorus pesticide residues in/on fruits

Food commodity	Removal of residues (%)		Source ¹⁾
	Range	Mean	
Apple	95-98	97	4/4
Banana	100	100	1/1
Citrus fruits	43-100	92	7/7
Grape	73	73	1/1
Kiwi fruits	90-100	98	4/4
Peach	64-100	94	6/7
Pear	71-100	82	3/3
TOTAL	43-100	91	

¹⁾Number of pesticides/number of reports.

Table 4. Effect of blanching or boiling on the removal of organophosphorus pesticides in/on vegetables

Food commodity	Removal of residues(%)		Source ¹⁾
	Range	Mean	
Broccoli	10	10	1/1
Carrot	15-87	41	7/7
Chinese cabbage	5-97	62	11/13
Chinese radish	16	16	1/1
Green beans	71	71	1/1
Green peas	72-89	81	2/2
Potatoes	39-96	69	5/5
spinach	60-62	61	2/2
TOTAL	5-97	51	

¹⁾Number of pesticides/number of reports.

와스층의 유무, 굴곡 등 형태적 특성과 세척방법에서의 차이에 기인한 것으로 볼 수 있다. 이때 평균치는 45%로 유기인계 농약성분이 불만을 이용한 세척에 의해 상당한 수준에서 제거되는 것으로 생각된다. 한편 세제에 의한 제거율은 일반적으로 수세에 의한 것 보다 평균 10% 가량 더 높았고 표면이 매끈한 것보다는 거칠거칠한 것에서 그 효과가 좋았다. 그러나 이 경우에는 식품에 세제가 잔류하여 인체에 유해할 수 있다는 점을 감안할 때 세제에 의한 제거방법을 권장하는 데에는 신중을 기해야 될 것이다.

과일의 껍질 벗기기에 의한 유기인계 농약의 제거 효과는 43-100% 수준으로 평균 91%의 제거율을 보여 주고 있다(Table 3). 이러한 결과는 식품의 안전성 견지에서 바람직한 효과로서 농약에 대한 소비자의 불안을 해소시킬 수 있는 방법으로 널리 홍보되어야 할 것이다. 한편 나카야마(永山) 등¹⁰⁾은 농약성분의 수용성이 클수록 과육으로의 이행이 용이하여 imazalil (이미다졸계), bitertanol (알콜계)과 같은 것은 과일의 저장기간이 길어짐에 따라 과육에서의 농약 잔류량이 높아져 간다고 하였으며 카마메이트계 농약성분은 과

Table 5. Effect of milling and product processing on the removal of organophosphorus pesticides in/on cereals

Raw food material	Process	Removal (%)		Source ¹⁾
		Range	Mean	
<Milling>				
Buckwheat	hulling	59-87	71	4/4
Corn	wet milling	87-100	95	4/4
Wheat	dry milling	80-90	84	4/6
Rice	hulling	67	67	1/1
	polishing	50-80	65	2/2
Total		50-100	76	
<Preparing food>				
Buckwheat	noodle	39-100	65	4/4
Wheat	bread	15-86	59	4/5
	noodle	42-81	50	3/5
Rice	cooked rice	20-99	66	10/6
Total		15-100	60	
GRAND TOTAL			90²⁾	

¹⁾Number of pesticides/number of reports.

²⁾Sum of removal by milling and preparing processes.

육으로의 침투이행 정도가 그 다음으로 크고 유기인계 농약성분은 잘 이행되지 않아 주로 껍질 부위에 많이 잔류한다고 하였다. 또한 농산물에 수확후 농약 (postharvest pesticides)을 살포한 다음 저장할 경우 과육 중 농약 잔류량이 점차 증가하는 것으로 보고¹¹⁾되고 있다. 이와같은 사실을 감안할 때 과일 중 유기인계 농약은 껍질 벗기기에 의해 그의 위해가능성을 경감시킬 수 있으나 다른 농약성분에 대해서는 좀 더 많은 연구가 필요할 것으로 생각된다.

채소의 데치거나 삶기에 의한 농약의 제거율은 5~97% 범위로 평균 51%로 나타났다(Table 4). 제거율에서 이러한 넓은 범위는 농약성분, 식품종류에서의 차이 뿐만 아니라 조리조건 즉 기열치는 온도나 시간, 가열 후 세척여부 때문에 나타난 결과로 보여진다. 채소는 데친 후에 흐르는 물에 수세할 경우 농약잔류분을 효과적으로 제거할 수 있을 것이다.

곡류는 제분이나 도정에 의해서 약 76%, 밀가루나 쌀로부터 빵, 삶은 국수, 쌀밥을 만들 경우 약 60%의 농약이 제거되어 조리한 식품 중에는 곡류인료에서의 90%가 제거되는 것으로 나타났다(Table 5). 이러한 결과는 가식부인 배유 부분만을 얻는 곡류의 제분이나 도정에 의해 배이나 껍질에 있던 대부분의 농약이 제거되고 그 다음 수세, 굵기, 삶기에 의해 더욱 제거되기 때문으로 생각된다. 최근에 들어와 현미나 통밀과 같은 전곡립(whole grain)을 이용한 선풍아 건강식품으로 선호되고 있으나 영양가의 유기, 질 단백질 기호

도, 오염물질의 제거라는 서로 다른 측면에서 종합적으로 평가해야 될 것이다.

식품중 유기인계 잔류농약의 위해평가

여기에서는 농약 성분별로 이론적 최대섭취량(TMDI)과 추정섭취량(EDI)을 산정한 다음 농약성분 각각의 ADI와 비교하였으며 그 비율을 안전마진지표(safety margin index)로 간주하였다. 또한 유기인제 전체에 대한 안전마진지표를 알아내기 위하여 농약성분들의 총 식이섭취량을 ADI값의 합계치 또는 평균치로 나누어 계산하였다. 이는 우리가 여러가지 식품을 함께 섭취하게 되므로 체내에서 여러가지 유기인제의 독성이 개별적으로 나타날 수도 있고(individual effect), 또는 이들의 독성이 부가적일 수도 있다(additive effect)는 가정에 근거한 것이다.

TMDI에 의한 위해성은 농약잔류 허용기준을 법적으로 설정해야 하는 규제기관에서 흔히 사용된다. 이때 안전성 측면에서 TMDI가 ADI를 초과하지 않도록 규제하고 있지만 ADI가 잠정적이거나 독성자료의 재평가로 변경될 때는 ADI를 초과하는 경우도 있다. Winter⁴⁰⁾에 의하면 미국에서 사용되는 대부분 농약의 TMDI가 ADI에 비하여 훨씬 낮은 수준이었다고 한다. 즉 1988년부터 1991년까지 35가지 농약성분에 대해 EPA가 설정한 허용기준을 조사한 결과 이 중 23가지가 ADI의 5% 이하이었고 4가지가 5~10% 수준이었으며 6가지 농약성분이 10~50% 수준을 나타냈다고 한다. 그리고 여기에서 ADI를 초과하는 농약성분은 전혀 발견되지 않았다.

한편 우리나라에서는 농약잔류 허용기준이 설정된 105가지 농약 중 TMDI가 ADI를 초과하는 경우는 13%에 이르고 있다⁴¹⁾. 이들 중 유기인계 농약성분에서 이론적 최대 섭취량과 ADI를 비교한 결과는 Table 6과 같다. 여기에서 보면 diazinon, dichlorvos, fenitrothion, fenthion과 같은 농약성분이 ADI의 100%를 초과하는 것으로 나타났다. 그러나 이러한 평가방법이 '개략적 평가'가 되는 TMDI에 의존한 것이기 때문에 위의 4가지 농약성분이 곧바로 위해성을 나타낸다고 성급하게 결론지을 수는 없다. 그 보다는 오히려 더 실제적인 위해평가를 위해 total diet study를 실시할 필요가 있는 문제농약으로서 의미를 지닐 수 있을 것이다. 다시 말해서 이러한 평가방법은 문제농약의 '우선순위 매김'을 위한 수단으로 인식되어야 할 것이다. 그러나 규제기관에서 신빙성 있는 데이터 없이 많은 농약성분의 TMDI가 ADI를 초과하는 것을 인지하면서 법적 허용기준을 그대로 설정한다는 일은 국민보건을 위한다

Table 6. Comparison between ADI and TMDI or EDI of organophosphorus pesticides in Korea

Pesticide	ADI ($\mu\text{g/day/person}$)	TMDI ($\mu\text{g/day/person}$)	EDI ($\mu\text{g/day/person}$)
Chlorpyrifos	550	374.9 (68.2 ¹⁾)	0.22 (0.04 ¹⁾)
Diazinon	110	112.1 (101.9)	6.74 (6.13)
Dichlorvos	220	244.3 (111.0)	0.06 (0.03)
Dimethoate	550	291.2 (53.0)	1.29 (0.23)
EPN	1,100 ²⁾	85.1 (7.7)	4.01 (0.36)
Fenitrothion	275	656.6 (238.8)	9.13 (3.32)
Fenthion	55	60.7 (110.3)	3.18 (5.78)
Malathion	1,100	895.9 (81.4)	4.88 (0.44)
Parathion	275	171.2 (62.3)	0.76 (0.28)
Phenthoate	165	49.2 (29.8)	0.89 (0.54)
Trichlorfon	550	312.9 (57.5)	0.05 (0.01)
INDIVIDUAL EFFECT	4,950	3,254.1 (83.8 ³⁾)	31.21 (1.6 ³⁾)
ADDITIVE EFFECT	450	3,254.1 (921.9 ⁴⁾)	31.21 (17.2 ⁴⁾)

¹⁾The % of ADI, regarded as a safety margin index.

²⁾ADI postulated from NOEL (no observed effect level) by applying a safety factor of 100.

³⁾The % of ADI for individual pesticide was averaged.

⁴⁾The % of ADI for individual pesticide was summed.

는 측면에서 바람직하지 못한 처사가 아닌가 생각된다. 그리고 유기인계 농약 전체의 평균적인 독성 영향은 ADI의 84%라는 비교적 높은 수준에 이르고 있다. 여기에서 부가적인 독성영향을 계산하면 922%라고 하는 엄청난 수준에 이르고 있으나 실제적인 섭취수준은 이보다 훨씬 낮을 것으로 생각된다.

EDI에 의한 위해성은 유통되는 식품원료 중 잔류농약의 모니터링 데이터에 근거하여 계산한 것으로 유기인계 농약성분별 EDI와 ADI값에 대한 비율을 보면 Table 6과 같다. 즉 diazinon 6.1%, fenthion 5.8%, fenitrothion 3.3%로 나타났고 기타 농약은 매우 낮은 1% 미만이었다. 여기에서 평가대상이 된 11개 농약의 총 섭취량은 31 μg 이었으며 농약성분별로 계산한 ADI 대비 평균치는 1.6%에 불과하였다.

미국에서는 유통되는 식품중 잔류농약의 모니터링과 아울러 잔류농약의 식이섭취 총량조사(total diet study)를 1961년부터 체계적이고 광범위하게 수행하고 있다. 그 조사결과 중 1987~90년 4개년에 걸쳐 유기인계 농약 15종의 ADI 값에 대한 식이섭취량 비율을 보면 chlorpyrifos-methyl이 1.8%로 가장 높았고 기타 농약은 1% 미만이었다⁴²⁾. 여기에서 평가된 15종 농약의 총섭취량은 11.8 μg (70 kg 체중 기준)이었으며 농약성분별로 계산한 ADI 대비 평균치는 0.3%에 불과하였다. 식품원료의 조리과정 중 유기인계 농약성분의 약 50%가 감소된다고 가정하더라도 한국인에

의한 유기인계 농약의 ADI 대비율은 미국의 2.5배 수준이 된다.

유해물질의 안전관리에서 인체노출량(human exposure)과 ADI 값을 비교하기 위해서는 유사한 가정하에 이루어지던지 아니면 차이점이 명시되어야 한다⁽⁶⁾. 일반적으로 유기인계 농약의 독성시험과 ADI 설정은 개개 성분별로 이루어졌으므로 식이섭취량과 ADI와

의 비교도 위에서도 같이 개별 성분별로 추정할 바 있다. 그런데 WHO에서는 유사한 독성을 나타내거나 부가적(additive)인 독성을 나타내는 화합물들에 대해서는 그들의 누적섭취량(cumulative intake)을 낮추기 위하여 group ADI 를 설정하는 것이 적절하다고 권고하고 있다⁽⁴¹⁾. 예컨대 dithiocarbamates (ferbam, ziram, thiram, mancozeb, maneb, metiram, zineb, propineb,

Table 7. Calculation of estimated dietary intake of organophosphorus pesticides considering reduction factors in Korea

Food	Assumed intake ¹⁾ ($\mu\text{g}/\text{day}/\text{person}$)	Reduction factor ²⁾	Actual intake ³⁾ ($\mu\text{g}/\text{day}/\text{person}$)	% of ADI
<Diazinon>				
Rice	3.643	0.50 ⁴⁾	1.821	
Apple	1.065	0.06	0.064	
Chinese cabbage	0.877	0.61	0.535	
Others	1.085	-	1.085	
Total	6.670	0.53	3.505	3.19
<EPN>				
Rice	2.016	0.44	0.927	
Apple	0.315	0.48	0.151	
Chinese cabbage	0.898	0.68	0.611	
Chinese radish	0.075	0.30	0.023	
Others	0.666	-	0.666	
Total	3.970	0.60	2.378	0.22
<Fenitrothion>				
Rice	5.093	0.50 ⁴⁾	2.952	
Wheat	0.340	0.36	0.122	
Apple	1.907	0.16	0.305	
Chinese cabbage	0.235	0.74	0.174	
Others	1.455	-	1.455	
Total	9.030	0.55	5.008	1.82
<Malathion>				
Rice	1.804	0.20	0.361	
Wheat	1.077	0.55	0.592	
Apple	0.056	0.55	0.030	
Chinese cabbage	1.379	0.57	0.786	
Chinese radish	0.019	0.56	0.011	
Others	0.455	-	0.455	
Total	4.790	0.47	2.235	0.20
<Phenthoate>				
Rice	0.141	0.49	0.069	
Apple	0.080	0.50 ⁴⁾	0.040	
Chinese cabbage	0.363	0.60	0.218	
Others	0.266	-	0.266	
Total	0.850	0.70	0.593	0.36
GRAND TOTAL	25.31	0.54	13.7	5.79⁵⁾

¹⁾Intake from raw food materials before cooking or processing.

²⁾Calculated values from removal rates after cooking or processing of foods available.

³⁾Intake after cooking or processing of foods.

⁴⁾Assumed reduction factor.

⁵⁾The % of ADI for individual pesticide was summed.

ethylenethiourea, propylenethiourea)에 대해서는 group ADI가 주어져 있고 이에 근거하여 Codex MRL이 설정되고 있다⁶⁾.

본 연구에서 취급한 유기인계 농약성분들은 acetylcholinesterase의 활성저해로 신경독성을 나타내므로 유사한 독성을 지니는 화합물군으로 생각하여 농약성분들의 ADI값 평균치를 group ADI로 간주할 수 있다. 이것은 독성물질의 복합효과를 독성의 상승 또는 감소로 보지 않고 단순하게 부가적인 것으로 가정한 것이다. 최근 발암성 물질의 종양유발성을 부가적으로 계산하여 발암성을 평가하고 있다⁴²⁾. 따라서 포유동물과 곤충에서 acetylcholinesterase의 활성저해로 신경독성을 나타내는 유기인계 살충제의 위해성을 평가하기 위하여 조사대상이 된 11개 유기인제의 ADI 대비율을 함께해 보았다. 그 결과 한국인의 식이섭취량은 ADI의 17.2%에 이르는 것으로 나타나 개별성분별로 평가한 것 보다 매우 높게 나타났다.

감소계수를 감안한 유기인계 잔류농약의 위해성

식품원료의 조리 및 가공에 의한 제거율 데이터를 근거로 하여 부여한 농약성분별 감소계수는 Table 7과 같다. 이들 감소계수는 위해성이 과소평가되는 것을 경계하기 위하여 식품섭취시 이루어지는 최소한의 조리 가공에 의한 제거율만을 감안하였고 범위로 표현된 데이터는 하한치를 취하였다. 한편 diazinon과 fenitrothion에서 쌀의 경우와 phenthoate에서 사과와 감의 경우는 활용할 수 있는 데이터가 없었지만 그들의 제거율이 적어도 50% 이상이 될 것이라고 생각되어 감소계수를 0.50으로 가정하였다.

이상과 같이 감소계수를 활용하여 5가지 주요 농약의 실제섭취량을 계산한 결과는 Table 7과 같다. 그 결과를 보면 식품원료 중의 농약잔류량은 조리 및 가공된 후 섭취되는 비율이 diazinon 53%, EPN 60%, fenitrothion 55%, malathion 47%, phenthoate 70%로 나타났다. 결국 유기인계 농약성분은 조리 및 가공에 의해 약 50%가 제거되는 것으로 생각되며 유기인제 전체적으로 감소계수 0.50을 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

한국식품 중 국내에서 소비되는 전체 유기인계 잔류농약의 위해성을 종합한 결과는 Table 8과 같다. Table 6에서 11가지 유기인계 농약 전체의 이론적 최대섭취량은 매우 높았지만 모니터링 데이터에 근거한 추정섭취량(EDI)에서 부가적 영향을 고려한 안전마진지표는 17.2%로 나타났다. 현재 국내에서는 40여종의 유기인제가 사용되고 있는데 본 연구에서 취급한

Table 8. Summary of the risk estimates of organophosphorus pesticide residues for Koreans

Estimating procedure	Safety margin index (% of ADI)
1. Theoretical dietary intake from tolerances (average effect)	83.8
2. Dietary intake from residue data for 11 pesticides (additive effect)	17.2
3. Dietary intake from whole pesticides ¹⁾ (additive effect)	45.7
4. Dietary intake from whole pesticides after applying reduction factor 0.50 (additive effect)	22.9

¹⁾On the assumption that 11 pesticides occupy 37.6% of whole organophosphorus pesticides (40 items).

11종 농약의 사용량은 유기인제 전체의 37.6%에 해당된다. 이들 농약의 독성과 식품중 잔류수준이 유사할 것이라는 가정하에 유기인제 전체에 대해 계산해보면 안전마진지표가 45.7%로 높아진다. 여기에 앞에서 제시한 조리 및 가공에 의한 감소계수 0.50을 감안하면 22.9%가 된다. 따라서 현재 한국인은 식품중 유기인제 전체 농약에 의해 ADI의 23% 수준에서 노출되고 있는 것으로 보아야 할 것이다.

일반적으로 독성자료에 근거한 ADI값을 설정할 때에는 동물중, 개인차, 독성 데이터의 불확실성만을 감안한 안전계수를 반영하였고 식품계수에 해당하는 개인, 지역 또는 계절에 따른 식품 섭취량 변화나 극단 소비자(extreme consumer, 특정 식품을 예외적으로 많이 먹는 소비자)를 고려하지 못하고 있다. 따라서 어떤 인구 집단에 의한 유해성분의 평균 섭취량은 ADI보다 훨씬 낮아야 안전한 것으로 간주된다. 그리하여 FAO/WHO에서는 유독성분에 대한 인체노출량(human exposure dose)이 ADI의 10% 미만일 때는 위험성을 걱정할 필요가 없고 10%를 초과하게 되면 정밀조사와 철저한 법적 규제를 필요로 하며 ADI의 30% 수준에 도달하게 되면 위험 경고를 해야 되는 것으로 인식되고 있다. 본 논문에서 추정된 유기인계 농약에 대한 한국인의 노출비율 23%는 건강에 문제가 되는 수준은 아니지만 체계적인 위해평가에 착수해야 될 것으로 판단된다.

요 약

유기인계 농약의 조리 및 가공에 의한 제거율 데이터를 총정리한 결과 식품의 수세에 의해서 평균 45%, 세제에 의한 세척에 의해 56%, 과일 및 채소의 껍질 벗기기에 의해 91%, 채소의 데치기 및 삶기에 의해 51%, 곡류

의 도정에 의해 76%, 가공에 의해 60%가 제거되었다. 한국인의 식품 섭취량과 잔류허용기준에 의하여 농약의 이론적 최대섭취량(TMDI)을 산정한 결과, 조사된 11가지 농약중 4가지가 1인당 1일 섭취허용량(ADI)을 초과하는 것으로 나타났다. 식품 섭취량과 잔류농약 모니터링 데이터에 의하여 추정섭취량(EDI)을 산정한 결과, 유기인계 농약의 독성을 부가적(additive effect)인 것으로 가정한 ADI 대비율은 17.2%로 나타났다. 개별 농약성분의 ADI 대비율은 diazinon 6.1%, fenitrothion 5.8%, fenitrothion 3.3%로 나타났고 그 이외의 농약은 매우 낮게 나타났다. EDI에 감소계수를 감안한 결과 유기인계 농약성분은 조리 및 가공에 의해 50% 이상이 제거되는 것으로 판단된다. 결론적으로 유기인계 농약 전체에 대해 한국인은 ADI의 23% 수준에서 노출되고 있으며 이러한 수준은 그 위해성이 문제되지는 않지만 체계적인 위해평가를 시도해야 할 때라고 판단된다.

문 헌

1. Joint UNEP/FAO/WHO Food Contamination Monitoring Programme: *Guidelines for Predicting Dietary Intake of Pesticide Residues*, World Health Organization, Geneva, p.8 (1989)
2. 이서래, 이미경, 김남형: 한국인에 의한 농약의 이론적 최대섭취량 및 안전지표의 산정. 한국식품과학회지, **27**, 618 (1995)
3. 이서래, 이미경: 한국인에 의한 유기인계 농약의 식이 섭취량 추정. 한국환경농학회지, **13**, 66 (1994)
4. Joint FAO/WHO Food Standards Programme: *Codex Alimentarius Commission, Residues of Pesticides in Foods and Animal Feeds*, Part A. FAO/WHO, Rome (1995)
5. Tweedy, B.G.: *Pesticide Residues and Food Safety (ACS Symposium Series 446)*. American Chemical Society, Washington, DC, p.190 (1991)
6. 戶張眞臣, 筈井 裕, 西田 敦: 野菜, 果物の洗浄に關する 文献紹介(1) 農薬の洗浄除去. 食品衛生學雜誌, **40**, 67 (1990)
7. 溫 國慶, 島本陸光, 西原 力, 近藤雅臣: Behavior of pesticides during cooking treatments. II Food samples 衛生化學(日本), **31**, 256 (1985)
8. 이해근, 이영득, 신용화: 배와 단감 중 농약잔류에 관한 조사연구. 식품위생학회지, **3**, 131 (1988)
9. Lee, S.R., Mourer, C.R., Shibamoto, T.: Analysis before and after cooking processes of a trace chlorpyrifos spiked in polished rice. *J. Agric. Food Chem.*, **39**, 906 (1991)
10. 永山敏廣, 小林麻紀, 鹽田實子, 伊藤正子, 田村行弘: 果實類に使用された農薬の果皮及び果肉中の濃度. 食品衛生學雜誌, **36**, 383 (1995)
11. 長谷川ゆかり, 外海泰秀, 中村優美子, 伊藤響志男: ばれいしょの貯藏及びふれんちふらい加工過程における收穫後使用農薬の消長. 食品衛生學雜誌, **32**, 128 (1991)
12. 윤숙자: 배추김치 숙성 중 chlorpyrifos 잔류량 변화. 한국식품과학회지, **21**, 590 (1989)
13. 이해근, 이영득, 신용화: 사과와 감귤 중 농약잔류에 관한 조사연구. 농시논문집(작물보호편), **30**(3), 42 (1988)
14. 津村ゆかり, 長谷川 新, 關口幸弘, 中村優美子, 外海泰秀, 伊藤響志男: そばの貯藏及びそば切り加工過程における收穫後使用農薬の消長. 食品衛生學雜誌, **35**, 1 (1994)
15. 佐佐木久美子, 松田りえ子, 齊藤行生: どもろこしてんぶんの保存及びこんすち製造による收穫後使用農薬の消長. 食品衛生學雜誌, **36**, 89 (1995)
16. 堀 義廣, 長南隆夫, 佐藤正幸, 岡田 徳: 小麦の製粉および調理加工後における有機燐系農薬の残留. 食品衛生學雜誌, **35**, 1 (1994)
17. 有田俊幸: めん類のゆで時における收穫後使用農薬の溶出挙動. 食品衛生學雜誌, **35**, 34 (1994)
18. 이해근, 이영득: 풋고추 중 잔류농약의 검감방법에 관한 시험(완결). 농약연구소 시험연구보고서, 76 (1986)
19. Farrow, R.P., Elkins, E.R., Rose, W.W., Lamb, F.C., Ralls, J.W. and Mercer, W.A.: Canning operations that reduce insecticide levels in prepared foods and in solid food wastes. *Residue Rev.*, **29**, 73 (1969)
20. 이해근, 박영선, 이영득: 농산물 중의 잔류농약 검감을 위한 신세계 개발 연구(1년차). 농약연구소 시험연구보고서, 64 (1987)
21. 이해근, 이경휘, 양재설: 농산물 중 잔류농약 검감을 위한 신세계 개발 연구, 농약연구소 시험연구보고서, 249 (1988)
22. 이해근, 양재설, 신진섭: 농산물 중의 잔류농약 검감을 위한 신세계 개발 연구(3년차 완결). 농약연구소 시험연구보고서, 191 (1987)
23. 오병열: 배추의 가공방법과 김치발효가 농약잔류량에 미치는 영향. 전북대학교 석사학위논문 (1976)
24. 김순희, 정규철: 사과 중 diazinon, fenitrothion, EPN의 잔류량과 저장, 박피 및 세척에 의한 잔류농약 제거에 관한 연구. 대한위생학회지, **6**(2), 89 (1991)
25. 김정화: 당근의 세척 및 조리에 의한 농약잔류량과 vitamin 소실에 대한 영향. 고려대학교 석사학위논문 (1991)
26. Tsumura-Hasegawa, Y., Tonogai, Y., Nakamura, Y. and Ito, Y.: Residue levels of dichlorvos, chlorpropham, and pyrethrins in postharvest-treated potatoes during storage or processing into starch. *J. Agric. Food Chem.*, **40**, 1240 (1992)
27. Ishikura, S., Onodera, S., Sumiyashiki, S., Kasahara, T., Nakayama, M. and Watanabe, S.: Evaporation and thermal decomposition of organophosphorus pesticides during cooking of rice. *J. Food Hyg. Soc. Japan*, **25**, 203 (1984)
28. Lee, M.G. and Lee, S.R.: Removal of EPN residues in washing and cooking processes of Chinese cabbage and radish. *Foods and Biotechnol.*, **4**, 207 (1995)
29. Lee, M.G. and Lee, S.R.: Removal of EPN residues during rice cooking and Kimchi preparation. *Foods and Biotechnol.*, **6**, in press (1997)
30. 出浦: 野菜に残留する農薬の除去に關する研究(I). 食品衛生學雜誌, **13**, 63 (1971)
31. 임양민, 송병훈, 김주원, 임건재: 생식 과채류 중 잔류

- 농약 경감기술 개발 (1년차). 농약연구소 시험연구보고서, 331 (1992)
32. 임양빈, 송병훈, 임건재, 김진배, 배건우 : 농산물의 안전성 향상 연구(1992-93 완결). 농약연구소 시험연구보고서, 398 (1993)
 33. 김을인 : 포도가공 중 잔류농약 함량변화에 관한 연구. 경희대학교 석사학위논문 (1984)
 34. Elkins, E.R.: Effect of commercial processing on pesticide residues in selected fruits and vegetables. *J. Assoc. Offic. Anal. Chem.*, **72**, 533 (1989)
 35. 永山敏廣, 眞木俊夫, 權 公子, 飯田眞美, 川合由華, 二鳥太一郎 : 輸入穀類中 有機磷系 農藥의 殘留實態と 小麥의 製粉工程における 舉動. *食品衛生學雜誌*, **30**, 438 (1989)
 36. 심애련, 최언호, 이서래 : 과일채소 중 말라티온 잔류분의 세척효과. *한국식품과학회지*, **16**, 418 (1984)
 37. Mukherjee, G., Banerjee, A., and Mathew, T.V.: Loss of pesticide residues from rice and flour during baking and cooking. *Research and Industry (New Delhi, India)*, **18**(3), 85 (1973)
 38. 김남형, 이미경, 이서래 : 쌀의 취반 중 phenthoate 농약 잔류분의 제거. *한국식품과학회지*, **28**, 490 (1996)
 39. Papadopoulou-Mourkidou: Postharvest-applied agrochemicals and their residues in fresh fruits and vegetables. *J. Assoc. Offic. Anal. Chem.*, **74**, 745 (1991)
 40. Winter, C.K.: Dietary pesticide risk assessment. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.*, **127**, 23 (1992)
 41. WHO: *Principles for the Safety Assessment of Food Additives and Contaminants in Food*, World Health Organization, Geneva, p.82 (1987)
 42. 이서래 : 식품의 안전성 연구. 이화여대 출판부, 제3장 (1993).
-
- (1997년 2월 14일 접수)