

## 살포된 농약 어떻게 없어지고 얼마나 남게 되나?

송 병 훈 농약연구소(農博)

농약사용은 병해충 및 잡초를 효과적으로 방제함으로써 농산물의 수확량을 늘리고 품질의 향상을 꾀함은 물론 재배기술의 발달을 촉진시키고 농작업의 일손을 덜어주는 등 커다란 공헌을 해왔다. 그러나 소득이 높아지고 식생활이 윤택해짐에 따라 식품의 질을 중요시 하면서 많은 사람들이 농산물의 안전성에 관심을 가지게 되고, 특히 잔류농약의 위해성에 대하여 우려를 나타내고 있다.

우리나라에 등록되어 있는 농약의 수는 501개 품목이고, 화합물

의 종류로는 270종에 이르고 있다. 1990년의 농약사용량은 유효성분 기준으로 25,082톤으로서 경지 1정보당 약 1.2kg의 농약이 투여된 셈이다. 우리나라의 농약사용량은 우리처럼 경지가 좁고 인구가 많아서 집약적인 농법을 추구하는 국가중에서는 많은 편이 아니지만 방대한 농경지를 보유하고 있는 나라에 비하면 단위면적당 사용량이 많을 수밖에 없다.

이러한 상황에서 농약을 직접 사용하지 않는 도시 소비자들도 농약을 살포하는 광경을 볼 수 있

고 농산물의 안전성을 강조하는 각종 보도기관의 내용을 자주 접하게 되면서 국내 농산물의 안전도에 확신을 가지지 못하는 사람이 상당히 많은 것 같다. 따라서 작물에 살포된 농약이 어떻게 소실되고, 얼마나 남아 있게 되며, 아울러 우리나라에서 농산물중 잔류농약의 안전대책이 수립되는 과정과 안전성의 확보를 위한 방책을 설명함으로써 국민의 이해를 돕고자 한다.

## 1. 농약의 작물체 부착과 잔류성

농약의 작물체 부착은 약효의 발현과 지속이라는 측면에서 매우 중요하다. 가능한 많은 양이 작물 표면에 부착되는 것이 바람직하겠지만 잔류농약도 그만큼 증가할 우려가 있다.

농약의 부착량은 주로 살포농약의 물리성과 작물체 표면의 형태에 지배된다. 농약의 작물체 부착량은 분체에 비하여 희석살포제가 많고 그 중에서도 유제의 부착량이 많은 편이다.

또한 농약의 수용성 여부도 잔류량에 영향을 준다. 즉, 물에는

녹지 않고 기름에 녹는 농약은 식물표피의 왁스층을 침투하기가 쉽고 물에 녹지 않아서 물에 잘 씻기지 않으므로 잔류량이 많은 경향이다. 반면에 물에 잘 녹는 농약은 잔류량도 적은 편이다.

작물체 표면의 성상(性狀)에 따른 농약의 부착성은 표면적과 형태 및 왁스의 함량등이 관여한다. 단위중량에 비하여 표면적이 넓은 엽채류나 작은 과일에 부착량이 많고, 표면에 털이 많이 나있거나 거친 작물이 그렇지 않은 작물보다 잔류가 많이 된다. 그러나 왁스는 농약의 부착을 어렵게 한다.

이와같이 작물체 부착한 농약은 대부분이 작물체의 껍질부위에 잔류되어 있으며 일부가 식물조직의 내부까지 침투하여 존재하기도 하지만 침투이행성이 강한 농약이라 할지라도 조직내부로 침투하는 양은 그다지 많지 않다(표1).

표1. 과일의 부위별 잔류농약의 분포 비율(농약연구소)

과 일	농 약	과일속실	과일껍질
사 과	디코폴	2%	98%
	복숭아	펜치온	5
감	타로닐	2	98
	디메토	13	87
	갯타폴	1	99

## 2. 잔류농약의 분해·소실

작물에 잔류되어 있는 농약이 없어지는(消失) 요인에는 여러가지가 있다. 잔류농약을 가장 뚜렷하게 제거하는 요인은 햇빛에 의한 광분해(光分解)와 대기중으로의 휘산(揮散) 및 강우에 의한 세척(洗滌)이다. 이 외에도 미생물에 의한 생물적 분해와 가수분해 등도 크게 영향을 준다.

### 햇빛, 빗물등으로 분해소실돼

일반적으로 비닐하우스 내에서 재배한 작물이 노지에서 재배한 작물보다 잔류량이 많다. 이는 하우스내의 작물은 비를 맞지 않을 뿐만 아니라 바람이 차단되고 습도가 높아 농약의 휘산이 적으며 또한 비닐층을 통과하는 햇빛 특히 자외선의 투과량이 감소되어 광분해가 적게 일어나기 때문이다. 태양광선중 광화학반응(光化學反應)을 일으키는 영역은 주로 290~450nm의 범위인데 대부분의 농약은 이 파장영역에서 흡수 스펙트럼을 갖고 있어서 작물체 표면에 잔류되어 있는 농약이나 대기중으로 휘산된 농약은 광선에 의해 쉽게 분해되어 없어진다.

이와같이 작물체의 표면에 부착되어 있는 농약의 분해 뿐 아니라 조직내에 침투한 농약도 여러가지 대사작용을 받아 분해 소실된다. 따라서 병해충의 방제기준에 따라 살포한 농약은 대부분이 수확한 농산물중에는 이미 잔류되어 있지 않고, 극히 일부 농약만이 매우 적은 양으로 잔류될 수가 있다.

## 3. 잔류농약의 안전대책

작물에 살포한 농약중 극히 일부분이 잔류되는 것이 보통이다. 하지만 병해충을 방제하기 위해 수확기에 근접하여 약제를 살포하거나 화학적으로 안정(安定)한 농약을 살포했을 때는 상당량의 농약이 수확물중에 잔류되어 있을 수도 있다. 또 우리는 여러가지 농산물을 식품으로 섭취하면서 식품마다 일일이 농약잔류량을 확인할 수 없기 때문에 농약마다 그 잔류성과 독성을 평가하여 사전에 농산물의 안전성을 확보할 수 있는 대책의 수립과 기준설정이 필요하다.

1961년 국제연합(UN)의 FAO/WHO에서는 세계의 농약전문가들이 모여 합동회의를 갖고 식품

중의 잔류농약으로 인해 인체에 나쁜 영향이 있어서는 절대 안된다는 공동인식하에 대책을 강구하였다. 그 이후 FAO/WHO는 잔류농약전문가합동회의(JMPR)를 매년 개최하여 현안 문제들을 처리하고 농산물중 농약의 잔류허용기준을 설정하고 있다. 이 과정의 개요를 도식으로 표시하면 그림1과 같다.

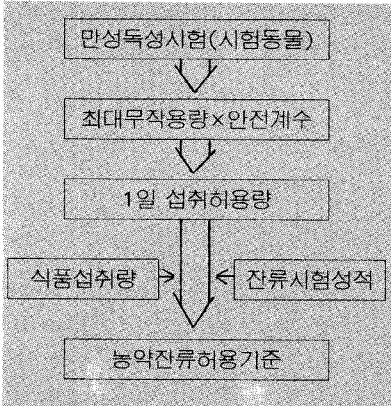


그림1. 농약의 잔류허용기준 설정배경

### ① 최대무작용량(NOEL)

실험동물에 실시한 독성시험을 통해서 일정량의 농약을 매일 섭취하여도 아무런 악영향도 인정되지 않는 최대의 농약량을 최대무작용량이라 한다. 체중 1kg당 하루에 섭취할 수 있는 농약의 양 (mg/kg/day)으로 표시한다

보통 흰쥐를 시험동물로 하여 매일 일정량의 농약을 먹이와 함께 먹이고 이상유무를 조사한다. 경시적인 혈액검사와 생화학적 검사 및 현미경적 조직검사등을 통하여 아무 이상도 나타나지 않는 농약섭취량을 구한다. 이것은 사람에게 대한 1일섭취허용량을 정하는 기준이 되고 사용중인 농약은 모두 최대무작용량이 설정되어 있다.

### ② 1일섭취허용량(ADI)

최대무작용량은 실험동물을 통하여 구한 것이기 때문에 이를 사람에게 적용할 때는 여기에 안전계수를 곱하여 정한다. 보통 100분의 1을 곱하여 1일섭취허용량으로 한다.

표2. 농약의 1일섭취허용량의 예

농약명	1일섭취허용량	1인당1일섭취허용량
Parathion	0.005mg/kg	0.25mg
Diazinon	0.002	0.1
Cypermethrin	0.05	2.5
Captan	0.1	5.0
Edifenphos	0.003	0.15
2,4-D	0.3	1.5
Amitrole	0.00003	0.0015
Maleic hydrazide	5	250

1일섭취허용량은 주로 식품에 잔류되어 있는 농약의 섭취량을 규제하고자 만들어진 것이다. 체중 1kg당 농약의 양 mg으로 표시한다. 전 세계적으로 FAO/WHO에서 정한 기준치를 사용한다. 현재까지 ADI가 설정되어 있는 농약은 162종이다.

### ③ 잔류허용기준(MRL)

ADI와 국민의 평균체중 및 식품섭취량을 기준으로 하고 농약의 작물잔류성을 감안, 각 농산물에 허용될 수 있는 농약의 잔류량이 결정된다. 이것이 잔류허용기준 또는 최대잔류한계(MRL)이다.

FAO/WHO에서는 171종의 농약과 202종의 식품에 잔류허용기준을 설정하고 이를 세계 공통의 기준으로 삼고자 각 국가에 권장하고 있다. 그러나 모든 국가들이 이를 수용하고 있지는 않으며 고유의 MRL을 설정하여 잔류농약을 규제하고 있는 나라가 많다.

## 4. 우리나라의 잔류농약 대책

우리나라의 잔류농약 규제는 다른 국가에 비해 보다 엄격하다.

농산물중에 잔류되어 있는 농약의 규제는 물론이고 사전에 잔류농약의 위해를 방지하기 위해 기술적인 또는 정책적인 비중을 더두고 있다. 이것은 국민건강은 물론 농민을 보호하는 데에도 바람직한 일이라 하겠다.

### ① 잔류허용기준 설정현황

식품중의 농약의 잔류허용기준(MRL) 설정은 식품위생법에 근거하여 보건사회부에서 농림수산부와 협의하여 기준안을 만들고, 식품위생과 환경 및 잔류농약등 각 분야의 전문가들이 모여 이를 검토하고 최종심사를 거쳐 인체에 대한 위해가능성이 전혀 없는 양으로 정하고 있다. MRL설정의 기준으로 삼는 것에는 ADI와 국민의 평균체중, 식품의 섭취량 등이 감안되지만 실질적인 잔류수준과 소비자의 정서등을 고려하여 식품을 통한 농약의 섭취량이 ADI보다 훨씬 낮은 수준에서 결정되고 있다.

현재까지 56종의 농산물을 대상으로 38종 농약의 MRL이 설정되어 있다. 앞으로 국내에서 사용되는 농약과 국내생산 농산물은 물론 외국의 농약과 수입농산물에

대하여도 MRL의 설정을 계속 확대할 계획이다.

우리나라의 MRL은 FAO/WHO 및 다른 국가의 MRL에 비하여 상당히 낮은 수준으로 농산물의 절대적 안전을 고려하여 낮게 설정한 것이지만 미국을 비롯한 농산물 수출국가와의 분쟁의 소지가 될 수도 있다.

표3은 다이아지논을 예로 들어 작물별 잔류허용기준을 각 국가별로 비교한 것이다. 우리나라의 MRL은 미국 및 FAO의 기준과 비교하여 볼때 작물에 따라 같은 경우도 있지만 대부분 외국의 기준이 우리보다 2~7배 정도 높고 일본의 경우는 우리와 비슷함을 알 수 있다.

## [2] 잔류허용기준의 산출

우리나라에서 적용하고 있는 MRL이 농산물의 안전성을 어느 정도나 반영하고 있는지를 알기

위해서는 MRL의 산출방식을 보면 보다 쉽게 이해할 수 있다. 2,4-D를 예로 하여 볼때 2,4-D의 ADI는 0.3mg/kg이고, 우리나라 성인의 평균체중은 50kg, 1인당 총식품섭취량은 830g/day로 하여 MRL을 산출하면 다음과 같다.

• 1인 1일 섭취허용량 :

$$0.3 \times 50 = 15 \text{mg/인}$$

• 총식품중 평균MRL :

$$15 \div 0.83 = 18.1 \text{ppm}$$

즉 우리가 섭취하는 모든 식품중에 평균 18.1ppm의 2,4-D가 잔류되어 있어도 ADI를 초과하지 않는다는 것을 의미하지만 실질적으로 MRL이 설정된 내용을 농산물별로 보면 표4와 같다.

표에서와 같이 쌀을 비롯하여 12개 농산물에 2,4-D가 잔류된다 고 가정할때 계산식  $\{ADI(\text{mg}) \times \text{체중}(\text{kg}) / \text{총식품섭취량}(\text{kg})\} \times \text{보정계수}$ 에 의하여 산출한 이론적 최대 MRL은 쌀의 경우 10.7ppm

표3. 다이아지논의 작물별 MRL 비교

(단위 : ppm)

구분	쌀	밀	대두	땅콩	배추	상추	오이	사과	배	감귤
한국	0.1	0.05	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	0.1	0.1
미국	-	0.05	0.1	0.75	0.7	0.7	0.75	0.5	0.5	0.7
FAO	0.1	0.1	-	0.1	0.7	0.7	0.5	0.5	0.5	0.7
일본	0.1	-	0.1	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

표4. 2,4-D의 농산물별 MRL산출 내역

농산물명	이론적 최대잔류허용량				MRL 및 농약섭취량		
	식품섭취량 (kg)	식품섭취율 (%)	보정계수	잔류허용량 (ppm)	농약섭취량 (mg)	MRL (ppm)	농약섭취량 (mg)
쌀	0.333	40.12	0.59	10.7	3.563	0.1	0.033
옥수수	0.001	0.12	1.00	18.1	0.018	0.5	0.001
보리	0.004	0.48	1.00	18.1	0.018	0.5	0.002
밀	0.020	2.41	0.98	17.8	0.356	0.5	0.010
사과	0.047	3.90	0.96	17.4	0.818	2.0	0.094
아보카도	0.001	0.12	1.00	18.1	0.018	1.0	0.001
감귤	0.017	2.05	0.98	17.7	0.301	0.1	0.002
포도	0.001	0.12	1.00	18.1	0.018	0.5	0.001
레몬	0.001	0.12	1.00	18.1	0.018	2.0	0.002
배	0.009	1.08	0.99	17.9	0.161	2.0	0.018
자몽	0.001	0.12	1.00	18.1	0.018	0.5	0.001
감자	0.010	1.20	0.99	17.9	0.179	0.2	0.002
계					5.486		0.167

이 되지만 실제 MRL은 0.1ppm이기 때문에 농약섭취허용량의 1/107에 불과하고 다른 농산물의 MRL도 이와 같은 경향이다. 또한 각 식품에 2,4-D가 이론적 최대 MRL수준까지 잔류된다 할지라도 이들 식품을 통하여 섭취하는 2,4-D의 양은 5.486mg으로 섭취허용량 15mg의 약 1/3에 불과하고 실제의 MRL을 적용하여 계산하면 2,4-D가 12개 작물에 최대허용수준까지 잔류되어도 1일섭취량은 0.167mg으로서 섭취허용량 15mg의 1/90에 지나지 않는다 그러나 이들 농산물중 대부분은 2,

4-D가 잔류되는 일이 없고 더욱이 MRL수준까지 잔류되는 일이 거의 없기 때문에 실질적인 섭취량은 ADI의 수천분의 1에도 이르지 못한다.

농약에 대하여 상당한 견식을 가진 사람 중에서 농약 섭취량이 ADI이하일 경우 인체에 어떤 피해도 없을 것이라는 사실을 인정하면서도 여러개의 농약이 농산물중에 잔류되면 이들이 복합적으로 작용하여 결과적으로 ADI를 초과하여 위해 가능성이 있지 않을까 우려하는 사람들이 있다. 그러나 2,4-D의 예에서 본바와 같이 우

리가 식품에서 섭취하는 농약의 양은 ADI의 수천분의 1이기 때문에 몇가지 농약이 함께 잔류되어 있다고 하여도 우리가 섭취하는 잔류농약의 총량은 ADI보다 훨씬 적을 수 밖에 없다.

### ③ 농약의 안전사용기준 설정

농산물중 잔류 농약은 MRL에 의하여 규제하고 있지만 생산물중의 잔류농약이 MRL을 넘는지 아닌지 일일이 분석하지 않고는 확인할 수 없고 농작물을 재배하는 농민의 입장에서도 어떻게 농약을 살포하여야 생산한 농산물이 잔류농약의 위험이 없는 안전한 식품이 될지 알수가 없다. 따라서 정밀한 잔류시험을 통해서 수확물중의 농약잔류량이 MRL을 초과하지 않도록 농약의 살포횟수와 수확전 최종살포일을 정한 것이 안전사용기준이며 농약관리법에 근거하여 작물 및 농약별로 설정고시하고 농민은 이를 의무적으로 준수하도록 하고 있다.

농약 안전사용기준은 작물 잔류성 시험을 통하여 얻은 시험성적을 면밀히 검토하고 국내의 농약 잔류분야 전문가 모임인 농약잔류분과위원회의 심의를 거쳐 농약관

표5. 농약 안전사용기준 설정 현황

총품목수	안전사용기준설정			제외품목
	대상 품목	설정 품목	설 정 비율(%)	
501품목	344	344	100	157

리위원회에 상정되고 다시 최종심의를 거쳐 기준안이 확정되면 농림수산부가 이를 고시하여 시행하고 있다.

현행법상 우리나라에서는 안전사용기준이 설정되지 않고는 신규농약의 등록이나 다른 작물에의 적용확대도 될 수 없지만 모든 농약에 대하여 안전사용기준이 필요하지는 않다. 잔류독성이 없는 농약이나 사용목적 또는 방법상 농산물에 잔류위험이 없는 농약은 안전사용기준의 설정이 필요 없지만 그렇다고 아무 제한 없이 마구 사용해도 된다는 의미는 아니며 적용대상이 되는 작물에 적용 병해충 또는 잡초의 방제에만 사용하여야 한다.

표5에서 보는 바와 같이 현재 국내에 고시되어 있는 501품목의 농약중 안전사용기준이 필요한 품목은 344개 이며 이들 농약은 모두 기준의 설정이 완료되어 있다.