



안전성 최대화 과제 ‘노출상황·경로’ 따른 정량적 평가

인구 부양부담 사용량 증가로 나타나, 먹거리 관심 높고 농작업자는 간과
‘한국형 농약노출량 예측모델’ 개발, 노출량 예측 및 위해성 평가해야

농업에서 농약의 사용은 작물의 해충이나 병, 잡초의 방제에 필수 불가결한 것으로 식량증산은 물론 농산물의 품질 향상과 노동력 절감에 의한 생산비 저하에 중요한 몫을 담당하고 있다. 예를 들면 쌀의 증산 뿐 아니라 과수나 채소류의 경우 농약의 사용 없이는 병해충에 의해 감소가 40~94%나 되는 것으로 보고 되었고, 특히 제초제에 의한 제초시간은 농약의 사용 전보다 1/10로 줄어들어 생산비 및 노동력 부족의 농촌에 큰 도움이 되어 왔다.

하지만 농약은 생물을 방제하는 역할을 하므로 그 자체가 어느 정도 독성을 가진 화학물이다. 따라서 농작업자는 농약을 다루는 과정에서 농약에 노출되어 경우에 따라서는 건강 위해성을 초래할 수도 있다. 통계에 의하면 국내 농약 사용량은 1970년에 3,719톤



김정한
서울대 농생명과학대학 교수

이었던 것이 2006년 24,076톤으로 증가하였으며, 품목수도 148개(1970년)에서 1,200개(2006년)로 증가하였다. 그러나 농업인구는 감소하였다(표 1). 2006년 농업인구는 1970년에 비해 77%나 감소하면서 농민 1인당

부양해야 하는 인구가 7배나 증가하였다. 따라서 적은 농지에서의 생산성 극대화를 위해서는 고투입 집약적 농업을 할 수 밖에 없다. 1970년 농민 1인당 농약 사용량(출하량)이 0.26kg에서 2006년에는 7.29kg로 약 28배 증가하였고, 농가 1호당으로도 약 13배가 증가하였다. 이러한 현상은 단순히 양적인 증가 뿐 아니라 농약 사용 시간도 장시간화 되어 농약 사용 시 농작업자가 농약에 노출될 가능성과 위험은 크게 높아졌다는 것을 의미한다.

특히 90년대에 들어 농약 사용이 급격히

표 1. 농민 1인당 농약 사용량(출하량) 추이

연 도	1970	1980	1990	2000	2006
농약출하량(톤)	3,719	16,132	25,087	26,087	24,076
총인구(천명)	30,882	37,436	43,411	46,136	48,297
농업인구(천명)	14,422	10,827	6,661	4,031	3,304
농민1인당 부양인구(명)	2.14	3.46	6.52	11.45	14.62
농민1인당 농약사용량(kg)	0.26	1.49	3.77	6.47	7.29
농가호수(천호)	2,483	2,158	1,767	1,383	1,245
농가1호당 농약출하량(kg)	1.50	7.48	14.20	18.86	19.34

(출처: <http://www.kosis.kr/>, 농업기본통계, 농업총조사, 농약연보 2007)

증가하면서 농약 중독과 관련된 통계를 보면 농촌에서 농약 중독의 사고는 농촌 사고의 2위를 차지하고 있으며, 농촌 지역 병원의 조사결과 중독 사망의 경우와 함께 급성 약물 중독의 77%가 농약에 의한 것으로 보고되었고 농약 사용 중 농약 중독의 경험을 조사한 통계자료에 의하면 전체 조사 대상자의 19-57%가 중독의 경험을 가지고 있었다. 특히 우리나라의 경우는 폐쇄공간 속에서 재제가 이루어지는 시설재배가 성행하고 있기 때문에 농약에 대한 노출과 인체 건강에 각별한 관심이 요구되는데(표 2), 이미 시설재배 종사자에게 하우스 병이라 불리는 병증이 보고되었다. 증상은 두통, 요통, 현기증, 호흡곤란, 과다발한, 구토증 등 다양하다. 이러한 증상은 시설재배의 특수성인 폐쇄공간에 의

한 스트레스나 고온다습한 환경에 의한 요인 뿐 아니라 폐쇄시설 내 농약 사용에 의한 중독현상도 간과할 수 없는 요인으로 판단된다.

하지만 농약의 농산물·식품 잔류에 의한 소비자의 건강 위해성에 대한 관심은 어느 때보다도 높고 관리가 철저한 반면, 먹거리 생산을 위해 농약을 직접 다루는 농작업자에 대한 농약의 노출과 위해성에 대한 관심, 연구 및 관리는 상대적으로 훨씬 적어 안타까운 일이 아닐 수 없다.

따라서 다양한 노출 상황과 노출 경로로 이루어지는 농작업자에 대한 농약 노출의 정량적 평가는 농작업자에 대한 농약의 안전성과 위해성 평가를 합리적이고 과학적으로 수행할 수 있게 하고, 농약 사용 중 위해성을 감소시키며 중독의 경우를 미리 방지할 수 있어서 농약의 안전성을 최대화시킬 수 있는 중요한 과제이다.

표 2. 시설 재배 면적 증가 추이

연 도	1990	1995	2000	2006
시설재배면적(ha)	44,613	92,493	105,758	98,867

(출처: <http://www.naqs.go.kr/>, 1991 농림수산통계연보, 1997 농약연보)



그림 1. 농약살포시 노출량 측정을 위한 살포 시험

1. 농작업자의 농약 노출량

1.1. 농약 노출 측정법

가장 일반적인 피부노출 측정법은 농작업 시 소형의 dermal patch를 신체 여러 부위에 부착하고 얼굴은 마스크, 손은 장갑, 발은 양말을 착용하여 작업 후에 이것들을 용매로 추출, 분석 후 신체부위 별 면적을 곱하여 노출량을 계산한다(그림 1).

호흡 노출 측정법으로서 역시 가장 보편적인 유형은 소형 공기 흡입기에 다양한 농약 포집용 흡착제(활성탄, XAD-2 수지 등)를 연결한 personal air monitor를 사용하는 방법인데, 이 장치를 신체에 부착하고 작업시간동안 공기를 흡입하여 공기 중 농약을 포집한다. 농약이 포집된 흡착제는 용매로 추출, 분석 후 작업 종류에 따른 호흡량과 시간을 곱하여 노출량을 계산한다.

1.2 농약 살포 및 농작물 수확시 노출 양상

농약 노출량은 농약의 종류와 사용 방법, 농작업의 종류(살포액 조제, 살포, 농작물 수확 등)에 따라 상이하게 나타나는데 살충제 imidacloprid 수화제를 고추, 오이(실내) 및 사과(과수원; 동력분무기 및 SS기

(speed sprayer))에 살포하면서 노출량을 측정해 본 결과를 보면 잘 알 수 있다(그림 2-A). 노출량은 낮아서 전체 살포량의 0.005~0.047%가 노출되었다. 그 중에서 작물의 키는 작아도 아주 밀집하게 자라는 고추의 경우가 상대적으로 가장 노출량이 많고 과수원에서 사과에 SS기로 살포한 경우가 가장 적게 관찰되었다. 또한 과수원의 경우 SS기가 동력 분무기보다 2.5배 정도 노출이 낮아 SS기의 안전성도 정량적으로 평가할 수 있었다.

그림 2-B는 methidathion 유제를 실내 오이 재배 중에 살포한 후 7일 동안 오이를 수확하면서 농약노출을 측정해 본 결과이다. 미량이지만 시간 경과에 따른 감소 추이를 정량적으로 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과는 농약 살포 후 안전하게 포장·실내에 들어가서 작업을 할 수 있는 '재출입허용기간(Re-Entry Interval)'을 산정하는 데에 이용된다. 이 외에도 추가로 엽면잔류농약(dislogdeable foliar residues)이 피부 노출로 전이되는 전이율(Transfer factor), 엽면잔류농약의 감소율 및 독성학적인 자료 등이 사용된다.

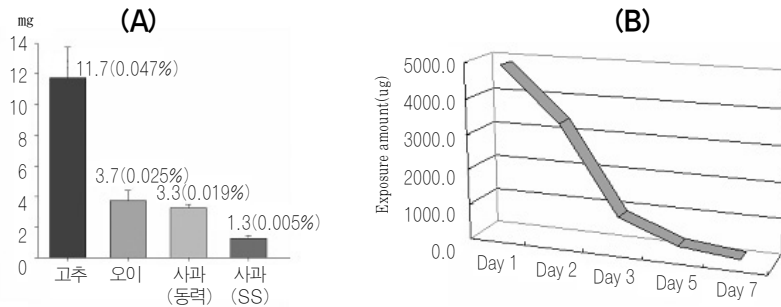


그림 2. 살충제 imidacloprid 수화제 살포시 포장별 피부노출량(A) 및 methidathion 유제 살포(실내) 후 오이 수확시 피부노출량 추이(B)

2. 한국형 농약노출량 예측모델의 필요성

위와 같이 표준화된 방법을 이용해 농약 노출의 과학적이고 정량적인 자료를 도출할 수 있지만, 그 많은 농약의 종류와 다양한 농작업에 해당하는 노출량을 모두 측정하기에는 시간, 노력, 비용 면에서 쉬운 일이 아니다. 때문에 선진국에서는 자국에 맞는 대표적인 경우를 선별하여 다년에 걸쳐 많은 포장 노출시험을 반복 실시하고 결과를 이용해 프로그램들을 개발하고 이를 이용하여 농약 노출량을 예측·평가하고 있다.

이러한 프로그램으로서 UK-POEM(영국), Dutch Model(네덜란드), PHED,(미국) German Model(독일), EUROPOEM(EU) 등이 있는데, 농약의 노출 양상은 농약 원제의 특성 보다는 주로 제형에 따라 결정된다. 비록 원제가 다르더라도 제형이 유사하면 같은 방법으로 노출량을 예측할 수 있다는 것이 기본 개념이다. 현재 우리나라는 농촌진흥청 농약 평가과에서 UK-POEM을 사용하여 등록 신청 농약의 노출량을 예측·평가하고 있다.

하지만 이러한 선진국의 노출량 예측모델들은 각 나라의 농약의 종류 및 사용 양상,

농업 및 농작업 형태를 반영하여 개발된 것이어서 모델들 간에도 노출요소(exposure factor)인 보호 장구 착용에 의한 농약 투과 감소율, 표준 작업 면적 등 여러 면에서 서로 차이를 보이고 있다.

그러므로 우리나라도 현재 UK-POEM을 사용하고는 있지만 우리나라 농약의 종류 및 사용 양상과 농작업 및 농업 형태에 적합한 노출요소를 포함한 ‘한국형 농약노출량 예측 모델’을 개발해서 합리적인 농약의 노출량 예측 및 위해성 평가를 할 수 있도록 해야 하겠다.

[참고문헌: ① 인체의 농약 노출 측정. 농업생명과학(5권)② 농업환경과 인체 건강, 농업환경(집필대표: 양재의, 이규승), 한국환경농학회 ③ Operator exposure and agrochemicals, IBC UK conference,1997 ④ Risk Assessment of Human Exposure to Methidathion during Harvest of Cucumber in Green House, Journal of Toxicology and Public Health vol. 21 ⑤ Abstracts, IUPAC_KSPS international workshop on pesticides, 2003 ⑥ 생활과 농약, 2007.06]