

## 美國에서의 農藥문제와 規制현황

李 瑞 來\*

### Pesticide Problems and Regulatory Aspects in USA

Su-Rae Lee

#### 1. 서 론

만일 수백만의 인간이 매년 질병으로 사망하거나 불구자가 되며 해충, 병균, 잡초와 쥐에 의한 1년간의 경제적 손실이 1천억불에 도달한다고 할 때 여러가지 유해생물의 억제와 방제가 필요하다는 것은 자명한 일이다. 결국 2000년에는 64억에 도달할 세계 인구를 먹이고 입히고 보호하는데 농약은 필수불가결하게 될 것이다.

그러나 만일 우리가 현재와 같은 수준으로 농약을 사용한다고 할 때 환경, 인체건강, 야생동물, 경제식물과 곤충 그리고 우리의 식량과 사료작물의 안전성을 손상시킴으로써 발생하는 경제적 손실은 얼마나 될 것인가? 유해생물을 방제하기 위한 수단으로 농약에만 의존하는 우리의 타성을 줄이지 않는 한 그 벌금이 얼마나 될 것인지 지난 30년동안 우리는 잘 경험해 왔다. 따라서 우리는 건전한 사회를 유지하기 위하여 다른 방제수단을 결집한 농약의 조심스런 이용을 계획해야만 된다. 병충해 종합방제(integrated pest control)라는 것이 바로 그것인 바 이것은 건전한 생태학적 원리를 이용하여 병해충을 경제적 손실수준 이하로 유지하는 실용적인 병충해 방제수단이다.

앞으로도 농약은 병충해 종합방제에서 중심적이고 필수불가결한 수단이 될 것이다. 만일 농작물의 피해와 손실이 경제적으로 문제되고 심각해질 때 농약은 일차적인 방제수단인 동시에 유일한 해결방안이 되고 있다. 그러나 농약이 非標的 생물(nontarget organism)과 환경 그리고 식품에 미치는 영향이 세계적 관심사가 되어 특정한 농약의 사용을 금지하거나 통제하는 법적 근거가 마련되고 있다.

농약의 사회적 문제는 그의 소비량이 비교적 적었던 미국에서 제기되기 시작하였고 그들의 선진기술에 의하여 농약의 안전성 관리가 합리적으로 추진되고 있음을 볼 수 있다. 따라서 여기

---

\*梨花女子大學校 식품영양학과

Department of Food and Nutrition, Ewha Woman's University, Seoul 120-750, Korea

에서는 미국에서 이루어지고 있는 농약의 법적규제와 안전성 평가에 이용되고 있는 방법들을 소개하고자 한다. 우리는 먼저 선진기술을 충분히 이해한 다음 사회경제적 여건이 다른 한국 실정에 적합한 규제수단을 고안해야 될 것이고 또한 선진국과의 交易에 현명하게 대처해야 될 것이다.

2. 농약의 소비현황과 이득<sup>1)</sup>

전세계의 농약 생산량 168억불중에서 미국의 생산량은 가장 많아 26%를 차지하고 있다. 예컨대 1987년에는 14억 파운드(44억불 상당)의 합성 유기농약을 제조하였으며 미국내에서의 농약판매액(소매가격)은 69억불에 이르렀다. 이때 수출량은 4억 lb이었고 수입량은 1억 lb이었다.

미국에서 농약의 연도별 사용량을 보면 그림 1과 같다. 1981년에는 그 사용량이 최고에 이르러 12억 lb이었으나 그후 감소하여 1987년에는 11억 lb가 되었다. 이것을 미국 인구 24,500만명으로 나누면 1인당 사용량은 1년간 4.43 lb가 된다. 농약의 용도별, 사용자별, 소비량을 보면 표 1과 같다. 전체 농약에서 농업용은 75%이고 공업용, 정부용은 18%이며 가정용은 7%이다. 그리고 농약의 종류별로 보면 제초제가 59%로 가장 많고 그 다음은 살충제 24%, 살균제 11%가 된다.

농약 사용의 이득은 여러가지로 나타난다. 이들 농약은 우리들 자신과 아울러 동식물에 대한 환경조건을 개선하기 위하여 의도적으로 환경에 투입되는 화학적 수단이다. 현대적인 농업생산에 있어서 농약은 농기계, 비료, 착유기와 같이 필수적인 도

표 1. 미국에서 농약의 용도별 소비량(1987년)<sup>2)</sup>  
(단위 : 100만lb 유효성분)

용도	농업용	공업/정부용	가정용	합계(%)
제초제	505	115	25	645(59%)
살충제	179	45	36	260(24%)
살균제	70	40	12	122(11%)
기타	60	0.1	0.1	60.2(6%)
합계	814	200	73	1,087
(%)	(75%)	(18%)	(7%)	(100%)

구이며 생산성을 향상시키기 위하여 사용된 농약은 농민에게 이익을 줄 뿐만 아니라 궁극적으로 식품이나 기타 농산물을 소비하는 소비자에게까지 그 혜택이 돌아가게 마련이다. 예컨대 미국에 있어서 농민 한 사람이 생산한 식량과 섬유로 생존할 수 있는 인원수는 1776년에 겨우 3명뿐이었으나 1950년에는 14명에 이르렀고 그 이후에도 계속 증가하여 1988년에는 124명에 이르렀다(그림 2). 미국에 있어서 농약을 사용하지 않으면 병충해, 잡초에 의한 농산물의 약 1/3이 손실된다고 하며 그 액수는 1년간 300억불에 이른다고 한다.

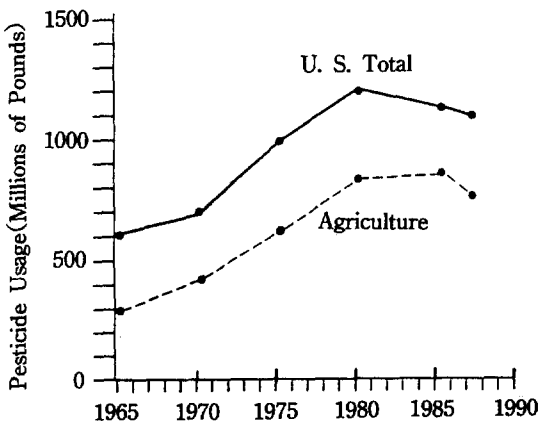


그림 1. 미국의 연도별 농약 사용량<sup>1)</sup>

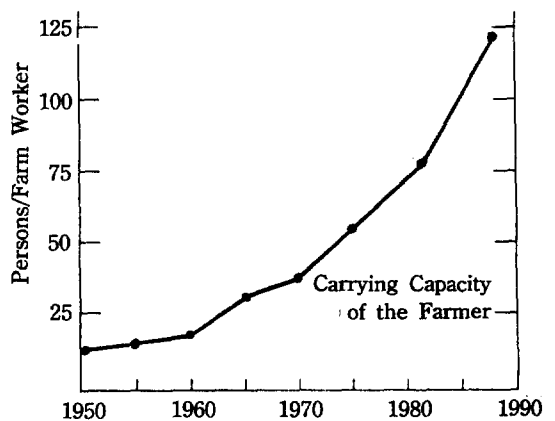


그림 2. 미국농민 1인당 부양가능 인원수<sup>3)</sup>

### 3. 농약의 법적 규제

#### 3.1. 농약의 등록 절차<sup>4,5)</sup>

미국에서 농약이 판매되기 위해서는 먼저 해당되는 농약이 등록되어야 한다. 농약의 등록업무는 聯邦農藥法(Federal Insecticide, Fungicide and Rodenticide Act)에 근거하여 1970년 12월까지 USDA(미국 농무성)에서 책임지고 있었으나 그후부터는 신설된 EPA(환경보호처)로 이관되었다.

이때 식용작물에 사용코자 하는 농약은 먼저 聯邦 식품, 의약품, 화장품법(Federal Food, Drug and Cosmetic Act)에 근거하여 허용량(tolerance)이 설정되어야 한다. 허용량이란 농산물 원료와 필요한 경우가공식품에 있어서 잔류해도 되는 농약성분의 법적 한계값이다. 허용량의 설정 권한은 FDA(식품의약품관리청)로부터 EPA로 이관되었으나 허용량의 준수여부는 FDA가 책임을 지고 있다.

농약법은 등록 기준으로서 “농약은 사람과 환경에 대한 바람직하지 못한 危害를 초래하지 않으면서 의도한 효과를 거둘 수 있어야 한다”고 규정하고 있다. 입법기관인 국회에서도 농약의 사용이 危害와 이익을 가져올 수 있음을 인식하였으며 등록기관인 EPA는 식량생산에서 농약의 이득이 위험보다 더 크다는 결론을 내릴 수 있어야 등록을 받게 된다. 결국 농약법은 균형을 필요로 하는 법규(balancing statute)이다.

농약법에서 등록에 필요한 자료를 제공하는데 필요한 부담은 제조업자 또는 신청자가 지게 된다. 이때 필요한 데이터에 관한 규정은 EPA가 제공하고 있으며 해당 제품의 필요성, 화학적, 독성학적 특성, 환경내 행동 그리고 야생동물, 식품, 기타 환경인자에 미치는 영향을 증명할 수 있어야 한다. 등록 신청자는 등록된 후에도 새로운 과학적 데이터가 발표되어 EPA가 초기에 실시한 危害평가에 의의가 간다면 이것을 뒷받침하는 자료를 보충해야만 된다. 결국 등록절차는 제품의 標示(label)에 대한 승인 과정이다. 이 표시에는 특정 작물에 대한 농약의 사용방법과 사용시기가 명기 되어야 한다.

#### 3.2. 許容量의 설정<sup>4)</sup>

식용작물에 사용코자 하는 농약은 해당되는 식

품에 대한 허용량이 먼저 설정되어야 한다. 식품, 의약품, 화장품법에서는 4년의 격차를 두고 정해진 408조와 409조에 의거하여 허용량을 설정하고 있다.

408조는 1954년 식품중의 잔류농약을 규제하기 위하여 만들어진 항목으로서 농장을 떠나기 전의 농산물(raw agricultural commodity)에 대한 기준이다. 408조에 의한 허용량을 초과하거나 허용량이 정해지지 않은 품목은 안전하지 않은 것으로 판단되며 變造(adulteration)된 것으로 인정되어 불법적인 것으로 간주된다. EPA가 408조를 적용할 때는 건강위해 뿐만 아니라 이익 인자도 고려하고 있다.

409조는 식품에 대한 의도적 첨가물(intentional additive)을 규제하기 위한 FDA의 권한으로서 식품원료는 408조에서 규정했기 때문에 여기에서는 가공식품에 대한 잔류농약을 심층첨가물로 간주하여 出荷前 승인요건(premarket approval requirement)으로 요구하고 있다. 409조에서 심사 기준은 사용약품이 소비자 건강에 무해해야 한다고 하는 기준(general safety standard)에 적합해야만 된다. 408조가 危害有益性 평가에 근거하고 있는 것에 반하여 409조는 건강 危害 평가에만 근거하고 있다는 것이 차이점이라 할 수 있다.

409조에는 그 유명한 1958년의 Delaney 조항 즉 사람이나 동물에서 발암성이 증명된 식품첨가물은 승인될 수 없다고 하는 규정이 추가되었다. 그러나 다행하게도 408조에서 식품원료에 대하여 설정된 허용량보다 가공식품에서의 잔류량이 낮은 경우에는 식품첨가물로 간주하지 않는다는 예외 규정이 생겨 Delaney 조항을 적용받지 않게 되었다. 한편 식품 가공중에 농약잔류량이 농축된다면 문제가 전혀 달라진다.

허용량의 설정 절차를 보면 우선 농약제조업자가 EPA에게 허용량 설정 신청서를 제출한다. 만일 신청서 구비내용이 완전하다고 판단되면 EPA는 “Federal Register”에 제안된 허용량을 예고한다. 이 안에 대한 의견이 나오면 이것을 검토한 후 신청을 却下하거나 최종허용량을 확정하여 “Code of Federal Regulations(CFR)”에 告示한다.

여기에서 발암성(carcinogen, carcinogenicity)과 종양유발성(oncogen, oncogenicity)에 대한 용어 설명이 필요할 것이다. 발암성(물질)이란 악성종양을

생성시키는 능력 또는 물질을 말하며 종양유발성(물질)이란 양성 또는 악성 종양을 생성시키는 능력 또는 물질을 말한다. 그런데 Delaney 조항의 해석에서 FDA는 발암성을 적용하고 있고 EPA는 더 넓은 의미의 종양유발성을 적용하고 있어 약간의 혼선을 가져오고 있다. 농약의 잔류 허용량 설정에서 EPA가 취하고 있는 기준을 보면 다음과 같다.

### 1) 非腫瘍誘發性 농약에 대한 허용량(408조 의거)

동물에 의한 독성시험 결과로부터 인체건강에서 가장 예민한 독성 반응에 대한 무작용량(no observable effect level)을 결정한다. 이 값을 안전계수(보통 100)로 나누면 모든 사람이 매일같이 먹어도 아무 異常이 생기지 않을 것으로 간주되는 인체허용 1일 섭취량(acceptable daily intake for man; ADI; 1일 체중 1kg당 농약의 mg수로 표현)이 나오게 된다.

그 다음에는 농약이 잔류할 것으로 예상되는 각각의 식품에 대하여 이론적 잔류농약 최고섭취량(theoretical maximum residue contribution; TMRC; 허용량×해당식품 섭취량)을 계산한다. 만일 제안된 사용에 의한 TMRC와 이미 승인된 사용에 의한 TMRC의 합이 ADI를 초과하지 않으면 해당 농약의 유익성을 계산하지 않고서 새로이 제안된 허용량이 승인된다. 그러나 TMRC의 합이 ADI를 초과하면 제안된 허용량을 부결하던지 또는 해당 농약의 유익성을 계산하거나 그 값을 경감시키는 방법(사용시기, 사용빈도, 사용방법 또는 해당작물의 조정 등)을 강구시키도록 요청한다.

TMRC를 계산할 때 EPA는 ① 각 농약은 허용량이 설정된 또는 설정될 모든 작물에 사용되고 ② 농약성분은 모든 식품에서 허용량 수준으로 잔류한다는 두가지 가정을 세우기 때문에 농약에 노출될 가능성을 과장하고 있다. 실제로는 허가된 작물에 농약을 100% 사용하지도 않을 것이고 잔류량도 허용량보다 낮을 것이지만 EPA는 실제 노출량과 건강피해에 대한 불확실성을 보완하기 위하여 이러한 보수적인 假定을 항상 固守하고 있다.

### 2) 종양유발성 농약에 대한 허용량(408조 의거)

만일 어떤 농약이 종양유발성이 있는 것으로 의심되면 EPA는 ADI를 계산하지 않고 이른바 定量的 危害評價(quantitative risk assessment)<sup>6)</sup>를 실시한다. 이 技法은 동물실험 결과에 근거하여 사람이

일생동안 해당농약에 노출된다는 가정하에 인간에서의 발암 가능성에 대한 상한선(upperbound human cancer risk)을 추정하기 위해 개발된 모델을 이용하는 방법이다. 이러한 위험평가에 근거하여 EPA는 1988년부터 이른바 무시될 수 있는 위험기준(negligible risk standard)에 따라 어떤 농약의 허용량을 설정하고 있다.

정량적 위험평가에는 불확실성 때문에 약간의 논란이 있지만 농약성분자체의 독성자료와 식품에 의한 인체 피폭자료가 이용되고 있으며 사람에게 대한 위해가능성의 과소평가를 막기 위하여 매우 보수적인 가정을 채택하고 있다. 위험계산치(risk estimate)는 보통 해당 농약이 잔류하는 식품을 일생동안 섭취했을 때 어떤 사람이 암에 걸릴 확률(95% 신뢰도)로 표현하고 있다. 이 확률은 현재 사망자의 1/4이 암에 기인한다는 통계숫자에 추가되는 값이다.

EPA가 종양유발성 농약에 대한 위험평가에서 발암확률이 100만분의  $1(1 \times 10^{-6})$ 이하인 경우에는 허용량을 부결시키지 않으며 그 확률이 1만분의  $1(1 \times 10^{-4})$  이상인 경우에는 허용량을 설정한 경우가 없다. 만일 그 확률이  $1 \times 10^{-4}$ 과  $1 \times 10^{-6}$ 사이인 경우에는 더 많은 자료를 요청하여 해당농약의 식이 섭취량을 감소시키는 수단을 취하던지 해당농약의 유익성을 계산하도록 조치한다.

### 3) 가공식품에 대한 허용량(409조 의거)

가공식품(통조림, 가열조리, 냉동, 탈수, 도정 등)에서 잔류농약이 농축되는 경우에는 409조에 의거하여 EPA에서 허용량이 설정된다. 만일 비종양유발성 농약의 경우에는 408조에서와 같이 ADI/TMRC 분석을 실시하여 409조에 의거한 허용량을 설정한다.

그러나 종양유발성 농약의 경우에는 바로 Delaney 조항의 문제에 봉착하게 된다. 어떤 농약이 동물에서 종양유발성이 발견되면 EPA는 사람에게 대한 위험평가의 필요도 없이 자동적으로 허용량 설정을 거절한다. 결국 가공식품에서 농약의 농축 가능성이 알려지면 농약 사용의 규제 운명이 달라지게 된다.

409조에서 종양유발성 농약의 새로운 허용량을 설정코자 할 때는 그 판단이 분명하지만 이미 허용량이 설정된 농약에서 발암가능성이 발견되고 가공식품에서 농축된다는 새로운 사실이 알려지면 Delaney 조항의 적용을 받게 된다.

표 2. 미국에서 식품중 잔류농약 허용량의 설정 현황

(1986년 6월 현재, CFR에 기재된 허용량수)

농약(용도별)	전 농약	중양유발성 농약(53개)	
		408조	409조
살균제	1,305	712	12
살충제	3,806	843	3
제초제	2,543	915	9
기타	823	55	7
합계	8,477	2,525	31

미국에서 현재까지 식품 중 잔류농약에 대한 허용량이 설정된 것을 보면 표 2와 같다. 총 항목 8,477 개중(농약성분 320개) 동물실험에서 중양유발성이 알려진 53개 농약의 허용량을 보면 408조에 의한 것이 2,525개, 409조에 의한 것이 31개로 조사되었으나 EPA에서는 아직 이에 대한 조치를 취하지 않고(못하고) 있다.

3.3. 자료 보완 및 재등록 조치<sup>4,5)</sup>

EPA가 Delaney조항에 직면해야 되는 이유는 모든 등록된 농약은 최신의 과학적 자료에 근거하여 재등록되어야 하며 식품에 사용되는 농약에 우선순위를 두어야 한다고 하는 농약법에 근거하고 있다. 이러한 의무규정에 따라 1987년 EPA는 자료보완 계획(Data Call-In Program)을 수립하여 농약의 재등록을 위한 독성 정보를 보완하도록 조치하였다. 이 계획에 따라 독성 및 잔류성 자료(toxicity and residue chemistry data)가 축적되면 현행법에서 409조에 의한 허용량 설정과 Delaney 조항의 적용을 받게 될 농약의 수가 앞으로 크게 늘어날 것으로 예상된다.

EPA는 1990년까지 식용작물용 농약의 중양유발성에 대한 최신자료를 총정리하게 될 것이다. 과연 몇 종류의 농약성분이 중양유발성으로 나타날 것인지 예측하기는 어렵지만 과거의 경험(289종의 농약중 53종이 중양유발성으로 판정됨)으로 보아 등록된 농약의 20%정도가 중양유발성으로 나타날 것으로 예상하고 있다.

현재까지의 진척상황을 보면 독성 자료는 많이 축적되어가고 있으나 잔류성 자료는 식용작물용

농약의 경우 25%정도가 축적된 것으로 추산되고 있다. 특히 잔류농약이 식품가공중에 더 농축될 것인지, 농약의 대사산물이나 분해물질은 어느 정도까지 분석해야 될 것인지, 건조식품, 가축사료, 동물성 식품, 복합가공식품에서의 농축시험방법 등 식품에서의 잔류성 시험성적의 보완이 절실하게 요청되고 있다.

1988년에는 농약법이 개정되어 EPA의 권한이 강화되었다. 즉 1975년이전의 자료 요건에 의하여 등록되었던 농약은 모두 9년후인 1997년까지 재등록을 완료하게끔 조치하였다. 이러한 재등록에는 2억 5천만불의 경비가 소요되는 바 그의 45%는 EPA의 예산으로, 나머지 55%는 기업이 부담하게 될 것이다. 이때 다량 사용될 농약은 유효성분 한 종목당 15만불의 등록비를 내야 되므로 신규 등록에는 큰 부담이 될 것으로 예상하고 있다.

3.4. 농약사용의 제한 및 금지

미국의 환경문제를 다루기 위하여 1970년 설립된 EPA는 농약의 등록, 규제 및 연구를 위하여 여러 행정부처로부터 그의 임무를 부여받았다. 연방정부로서는 이와같이 한 기관에 막대한 권한을 부여함으로써 효율적인 규제를 수행할 수 있을 것으로 기대하였다. 그러나 지난 20년간의 EPA에 대한 평가는 이상하게 나타나고 있다.

결국 환경을 오염시키는 농약은 별로 대두되지 않고 있는데 그 이유는 농약의 사용방법이 개선되거나 선택적이거나 또는 잘 지켜졌기 때문이 아니다. 다만 EPA는 어떠한 농약의 등록을 취소하거나 고도로 제한된 사용을 의무화시켰기 때문이다. 더우기 신제품을 신규로 등록하거나 구제품을 재등록하기 위해서는 막대한 경비가 소요되기 때문에 많은 제조업자들은 그들 제품의 市販을 중시하지 않을 수 없게 되었다. 어떤 경우에는 35년 이상이나 사용되어 왔던 제품이 중단되기도 하였다.

신제품의 경우 등록요건을 충족시키기에 필요한 R & D의 평균적인 경비와 시간은 1,800만불과 8년으로 추정된다. 한 농약의 특허 시효는 17년이므로 제조업자는 투자액을 회수하고 이익을 보는데 9년의 기간을 가지게 된다. 결국 경비와 시간이라는 두가지 인자는 신제품 개발의 의욕을 상실 시키게 된다. 예컨대 신제품 등록수는 1985년 15개, 1986년 15개이었으나 1987년에는 11개로 떨어졌다.

표 3. 미국에서 취소 또는 생산중지된 농약<sup>5)</sup>

농 약 성 분	결정연도 및 내용	결정기준*
Acrylonitrile	1982-자발적 취소	O, T, N
Aldrin	1987-사용 전면취소	C, BA, HWL
Aramite	1977-사용 전면취소	O
Arsenic trioxide	1977-자발적 취소	O, M, T
Basic copper	1977-자발적 취소	O, M
BHC (HCH)	1978-자발적 취소	O
Captafol	1987-자발적 취소	O
Chloranil	1977-자발적 취소	O
Chlordane	1988-사용 전면취소	C, HWL
Chlordecone	1977-자발적 취소	O
Copper acetoarsenite	1977-자발적 취소	O, M, T
Copper arsenate	1983-자발적 취소	O
Cyclo heximide	1987-자발적 취소	—
DBCP	1984-사용 전면취소	O, RE
DDD (TDE)	1987-취소 예정	C, BA, HWL
DDT	1972-취소(공중보건용 제외)	C, BNA, HL
Diallate	1986-생산자 제조중단	O, M
Dieldrin	1987-사용 전면취소	O, HWL
Dinitramine	1987-사용 전면취소	O
Dinoseb	1987-사용 전면취소	O, F
Dodemorph	1984-생산 중단	—
EDB	1986-대부분 사용 취소	O, M, RE
Endrin	1984-자발적 취소	RNS
EPN	1987-자발적 취소	N, HAO
Erbon	1980-자발적 취소	O, T, F
Ethylan (Perthane)	1980-대부분 자발적 취소	O
Heptachlor	1988-사용 전면취소	O, HWL
Isocyanates	1986-자발적 취소	KE
Mercury	1976-사용 전면취소	EH
Mirex	1977-사용 전면취소	HWL
Monuron	1987-자발적 취소(일부)	O
Nitrofen (TOK)	1984-자발적 취소	O, M, T
OMPA	1976-자발적 취소	O
Pentachlorophenol	자발적 취소	O, F, T
Pirimicarb	1981-자발적 중단	등록경비
Penacridane chloride	1987-자발적 취소	—
Ronnel	1986-자발적 취소	O
Safrole repellent	1977-자발적 취소	O, M
Silvex (2,4,5-T)	1985-사용 전면 취소	O, F, T
Sodium arsenite	1987-자발적 취소(2품목)	O, M, T
Strobane	1976-자발적 취소	O
Thallium sulfate	1972-사용 전면 취소	EH

표 3.(계속)

Toxaphene Trysben (2,3,6-TBA)	1982-대부분 사용 취소 1979-자발적 취소	O, HWL, RNS —
----------------------------------	-------------------------------	------------------

\*결정기준에 대한 약호

- |                                   |                                      |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| BA : bioaccumulation              | KE : kidney effects                  |
| C : carcinogeniity                | N : neurotoxicity                    |
| EH : environmental hazard         | O : oncogenicity                     |
| F : fetotoxicity                  | RE : reproductive effects            |
| HAO : hazard to aquatic organisms | RNS : reduction in nontarget species |
| HWL : hazard to wildlife          | T : teratogenicity                   |

EPA에서는 농약을 무제한 사용(unclassified use)과 제한 사용(restricted use) 품목의 두가지로 분류한다. 무제한 사용 품목은 누구나 구입하여 사용할 수 있고 제한 사용 품목은 훈련받은 有資格者만이 구입하여 사용할 수 있는 농약으로서 인체에 미치는 위해 요인이 그들의 분류기준이 되고 있다. EPA에서는 1989년 1월 현재 105개 농약성분을 제한사용 품목으로 분류하고 있다(농약에 따라서는 일정농도 이상의 제제에 대하여).

1970년대에 들어와 EPA에 의하여 사용이 취소되거나 사용량이 제한된 품목과 原劑 합성회사에 의하여 자발적으로 취소되거나 생산중단된 농약의 대표적인 것을 보면 표 3과 같다.

### 4. 식품중 잔류농약의 검색

#### 4.1. 규제용 검색(regulatory monitoring)

식품중 농약성분의 검색은 오염된 식품을 포착하고 잔류농약 수준의 장단기 추세를 파악하는 동시에 농약의 불법적 사용을 확인함으로써 소비자를 보호하는 역할을 하고 있다.

미국 연방정부로서는 FDA에서 과일, 채소, 곡물, 달걀류, 우유, 가공 유제품, 수산물과 가축사료를, USDA에서 육류 및 가공류 제품을 분석하고 있으며 州정부로서도 식품원료 및 가공식품에 대한 검색 업무를 수행하여 연방정부와 자료를 교환하고 있다. 결국 잔류농약의 법적 허용량은 EPA에서 설정하고 있고 FDA와 USDA에서 규제용 검색을 실시하여 그 법을 집행하고 있는 것이다. 만일 EPA에서 어떤 식품에 대한 허용량이 설정되어 있지 않으면 FDA는 잠정 허용기준(action level)을 설정하던지 아니면

零허용량(zero tolerance)의 원칙을 적용한다.

FDA에서는 1960년대부터 전국적인 규모로 미국산 식품과 수입식품에 대한 잔류농약 조사를 광범위하게 실시하고 있으며 분석시료수는 지난 10년간 년평균 12,600개이었다.<sup>7-10)</sup> 특히 최근에 와서는 수입식품이 증가하자 1986년에는 외국의 농약 사용 정보가 입력되어 있는 전산자료인 "Battelle World Agrochemical Data Bank"를 입수하여 특정한 국가에서 특정한 농산물에 사용된 농약에 초점을 맞추어 모니터링을 실시하고 있으며 1987년부터는 수입식품이 총분석시료수의 50%를 초과하고 있다. 1980년대에 들어와 FDA에서 잔류농약을 검사한 시료수의 변화를 보면 그림 3과 같다.

FDA에서 잔류농약 분석을 위한 시료는 농산물(raw agricultural commodity)에 초점을 맞추어 가능한 한 생산地點 또는 수입지점에 가까운 곳에서 채취하고 있고 최근의 분석 계획을 보면 그림 4와 같다. 수집된 시료는 감시 시료(surveillance sample; 불법적인 잔류농약이 의심되지 않는 것으로 시료의 대부분을 차지한다), 대응시료(compliance sample; 불법적인 잔류농약을 追試하거나 또는 의심나는 시료)로 나누어 분석하고 있고 다른 한편 특정한 농약, 농산물 또는 지역에 관련된 정보를 얻기 위해서는 선택적 조사(selective survey)를 실시하고 있다.

FDA에서 1987~89년에 걸쳐 규제용 검색의 대상이 된 농약과 검출된 것을 요약하면 표 4와 같고 수입된 식품의 분석대상이 된 국가와 시료수를 보면 표 5와 같다.<sup>10)</sup> 만일 수입된 식품에서 잔류농약 기준이 초과되면 FDA에서는 같은 지역에서의 계속된 수입품을 자동억류(automatic retention)시켜 문제된

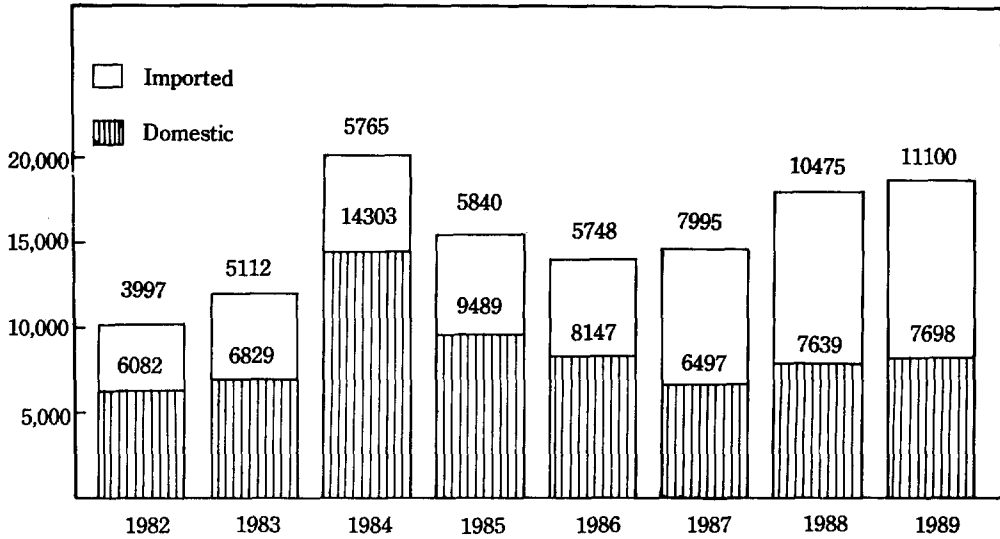


그림3. FDA에 의한 잔류농약 분석시료수(미국산과 수입식품에 따른 감시시료 및 대응시료)<sup>8-10)</sup>

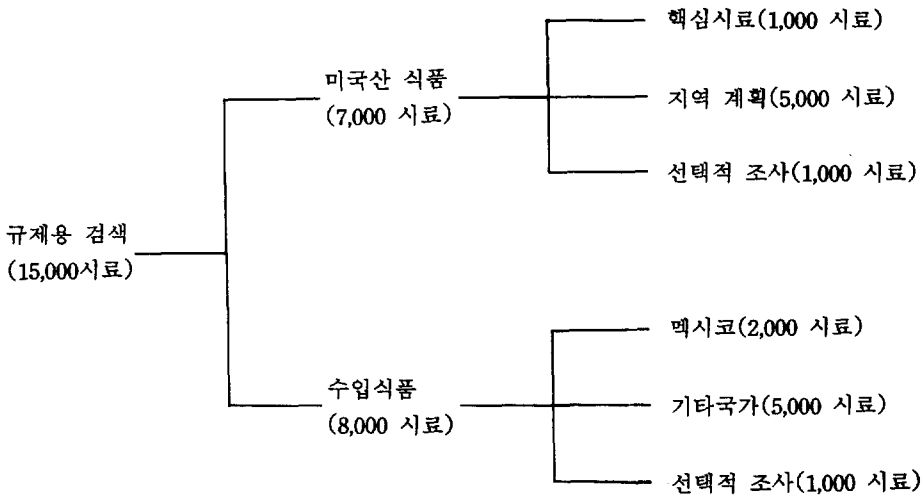


그림 4. FDA의 잔류농약 검색계획(1987~89년)<sup>11)</sup>



표 4. FDA 규제용 검색의 대상 농약성분<sup>10)</sup>

Acephate*	Chlornidine	Diclofop-methyl	Hexachlorobenzene*	Nitralin	Pyrethrins
Alachlor	Chlornitrofen	Dicloran*	Imazalil*	Nitrofen	Quinalphos*
Aldicarb*	Chlorobenzilate	Dicofol*	Iprodione*	Norea	Quintozene*
Aldoxycarb*	Chloroform	Dicrotophos*	Isobenzan*	Norflurazon	Ronnel
Aldrin*	Chloroneb	Dieldrin*	Isodrin*	Omethoate*	Salithion
Allethrin	Chloropicrin	Dilan	Isofenphos	Ovex*	Schradan
Ametryn	Chloropropylate	Dimethoate*	Isoprocarb	Oxadiazon	Simazine*
Amitraz	Chlorothalonil*	Dinitramine	Isopropalin	Oxamyl	Strobance
Amobam*	Chlorotoluron	Dinocap	Isoproturon	Oxydemeton-methyl	Sulfallate
Anilazine*	Chloroxuron	Dinoseb	Jodfenphos	Oxyfluorfen	Sulfotep
Aramite	Chlorpropham*	Dioxacarb	Lead arsenate*	Oxythioquinox	Sulfur dioxide*
Aspon	Chlorpyrifos*	Dioxathion	Leptophos	Parathion*	Sulprofos
Atrazine*	Chlorpyrifos-methyl*	Diphenamid	Lindane*	Parathion-methyl*	2,4,5-T
Azinphos-ethyl	Chlorthion	Diphenylamine*	Linuron*	Pendimethalin	2,3,6-TBA
Azinphos-methyl*	Chlorthiophos	Disulfoton*	Malathion*	Pentachlorophenol*	TDE*
Bendiocarb	Clofentezine*	Diuron	Mancozeb*	Permethrin*	Tecnazene*
Benfluralin	Clomazone	Endosulfan*	Maneb*	Perthane	TEPP
Benomyl*	Coumaphos	Endrin*	Mecarbam*	Phenkapton	Terbacil
Bensulide	Cyanazine	EPN*	Mephosfolan	Phenthoate	Terbufos
BHC*	Cyanophos*	EPTC	Merphos	Phenylphenol,ortho*	Terbuthylazine
Binapacryl	Cycloate	Ethion*	Metalaxyl	Phorate*	Tetradifon*
Biphenyl	Cyhexatin*	Ethoprop*	Metasystox thiol	Phosalone*	Tetraiodoethylene
Bromacil	Cypermethrin*	Ethoxyquin	Methamidophos*	Phosmet*	Tetrasul
Bromophos	2,4-D	Ethylene dibromide*	methidathion*	Phosphamidon*	Thiabendazole*
Bromophos-ethyl*	2,4-DB	Ethylene dichloride	Methiocarb*	Phostex	Thiodicarb
Bromopropylate*	Daminozide*	Etrimfos	Methomyl*	Phoxim	Thionazin
Bufencarb	DCPA*	Famphur	Methoxychlor*	Picloram	Thiophanate-methyl
Bulan	DDT*	Fenamiphos	Methyl bromide	Pirimicarb	Tolyfluamid
Butralin	DEF	Fenarimol	Methyl trithion	Pirimiphos-ethyl	Toxaphene*
Captafol*	Deltamethrin	Fenbutatin oxide	Methylene chloride	Pirimiphos-methyl*	Triadimefon*
Captan*	Demeton*	Fenitrothion*	Metiram*	Procymidone*	Triadimenol*
Carbanolate	Dialifor	Fensulfthion	Metobromuron	Profenofos*	Triallate*
Carbaryl*	Diallate	Fenthion*	Metolachlor*	Profluralin*	Triazophos*
Carbendazim*	Diazinon*	Fenuron	Metoxuron	Prolan	Tributytin*
Carbofuran*	Dibromochloropropane	Fenvalerate*	Metribuzin	Promecarb	Trichlorfon
Carbon disulfide	Dicamba	Fluchloralin	Mevinphos*	Prometryn	Tichloroethane*
Carbon tetrachloride	Dicaphon	Flucythrinate	Mirex	Pronamide*	Trichloronat
Carbopehenothion*	Dichlobenil*	Fluometuron	Mobam	Propanil	Trifluralin*
Carboxin	Dichlofenthion	Fluvalinate	Monocrotophos*	Pripargite*	Triforine
Chlorbenseide	Dichlofluamid*	Folpet*	Monolinuron	Propazine	Trimethacarb
Chlorbromuron	Dichlone	Fonoos*	Monuron	Propham	Triphenyltin hydroxide

표 4.(계속)

Chlordane*	Dichlorobenzene, ortho	Formetanate-HCl*	Nabam*	Propoxur	Vernolate
Chlordecone	Dichlorobenzene, para	Cardona	Naled	Prothifos*	Vinclozolin*
Chlordimeform	1,3-Dichloropropene	Genite 923	Napropamide	Pyrazon	Zineb*
Chlorfenvinphos*	Dichlorvos	Heptachlor*	Neburon	Pyrazophos	Zytron

이들 성분중 이미 제조중단 또는 등록 취소된 것이 있음

\* 1989년에 검출된 농약

표 5. FDA에 의한 잔류농약 검색 대상국가 및 시료수 (1987~89년)<sup>7,8,11)</sup>

국 가	시 료 수			국 가	시 료 수		
	1987년	1988년	1989년		1987년	1988년	1989년
Mexico	4173	4385	4239	Turkey	27	58	42
Dominican Rep.	412	901	1047	United Kingdom	24	52	42
Chile	430	638	992	Philippines	27	70	41
Canada	269	501	496	Austria	21	15	34
Netherlands	327	304	488	Germany, West	47	38	30
Italy	188	328	402	El Salvador	15	27	29
New Zealand	386	352	312	Portugal	12	27	23
Thailand	121	255	306	Singapore	12	12	23
Spain	119	274	210	Peru	15	18	22
Guatemala	135	234	173	Yugoslavia	11	21	18
Taiwan	92	213	158	Haiti	25	30	17
Belgium	89	86	132	Malawi	<10	13	17
Greece	44	101	125	Sweden	<10	14	17
Jamaica	29	101	113	Indonesia	<10	21	16
Ecuador	55	74	112	Guyana	<10	—	15
Trinidad/Tobago	<10	24	106	Panama	27	25	15
Costa Rica	82	104	105	Malaysia	<10	32	14
China, Mainland	65	132	101	Poland	<10	<10	12
France	82	78	97	Switzerland	23	11	12
Argentina	42	81	90	10개 이하의 시료 수집 국가(1989년)			
Israel	34	75	84	Bangladesh	Lebanon		
Australia	78	51	78	Bolivia	Nigeria		
Korea, Rep.	33	73	77	Bulgaria	Parkistan		
Hong Kong	45	62	74	Czechoslovakia	Romania		
Japan	26	69	66	Egypt	Soviet Union		
Honduras	42	86	50	Finland	Sri Lanka		
Hungary	<10	19	50	Ghana	Tanzania		
Brazil	63	52	45	Iceland	Tunisia		
Denmark	25	52	44	Ireland	Uruguay		
India	26	62	43	Kenya	Venezuela		
Columbia	28	45	42				

표 6. 잔류농약 검색으로 자동억류된 수입식품 (1988)<sup>8)</sup>

국 가	농 산 물	선적자수	농약성분수
Belgium	corn salad	1	1
	leaf lettuce	1	1
Canada	cucumbers	1	1
	endive	1	1
Chlie	asparagus	2	1
	pears	1	1
	raspberries	2	2
China, Rep.	Chinese pea pods	3	2
China, People's	peppers	1	1
Colombia	lulos	1	2
Costa Rica	cantaloupe	1	1
	chayotes	1	2
	pumpkins	1	1
Dominican Republic	bitter melons	7	1
	cilantro	1	1
	eggplant	10	4
	green beans	2	1
	long beans	9	2
	okra	8	4
	peppers	9	2
	snow peas	3	5
	squash	15	5
	tamarinds	1	1
France	mushrooms	1	1
Guatemala	cantaloupe	1	1
	papayas	1	1
	snow peas	4	2
Honduras	squash	1	1
	sugar peas	1	1
	cantaloupe	1	1
Italy	snow peas	1	1
	endive	1	1
Jamaica	grapes	1	1
	calaloo	2	3
	peppers	3	3
Mexico	yams	1	1
	chayotes	1	1
	chinese beans	1	1
	coriander	all	5
	green beans	1	1
	kale	1	1
	lettuce	1	1
	peppers	20	7
	pineapples	1	1
	snow peas	1	1
squash	3	3	

	strawberries	2	2
	sugar peas	1	1
	tomatillos	12	4
Panama	honeydew melons	1	1
Spain	clementines	1	2
	lemons	5	2
Netherlands	mushrooms	1	1
Venezuela	tomatoes	1	1

농약성분에 대한 분석확인서를 요청하여왔다(certificate requirement). 그러나 1988년부터는 만일 수입식품에서 한개의 불법적 시료(one violative sample)가 발견된 다음 그후에도 같은 지역에서 생산된 산물이 같은 조건일 것이라고 간주되면 자동억류할 수 있게끔 기준을 강화하였다. 1988년중에 자동억류된 예를 보면 표 6 과 같다. FDA에 의한 분석시료에서 기준을 초과한 사례를 보면 표 7 과 같다.

USDA에서는 Food Safety and Inspection Service로 하여금 National Residue Program을 수립하여 육류 및 육가공품에서 잔류농약, 환경오염물질, 동물약품을 검사하고 있다.<sup>12)</sup> 가축에 대하여 사용이 허가된 농약의 수는 농작물에 비하여 매우 적지만 가축 및 육류에서 잔류농약의 연차적, 국가적 수준을 추정하기 위한 자료를 수집하고 있으며 기준이 초과된 농약이 검출된 경우에는 이에 따른 후속조치를 취하고 있다.

연방정부에 의한 잔류농약 검색업무와 여러 州(California, Florida, Michigan, Mississippi, New York, North Carolina, Virginia, Wisconsin 등)에서는 각각의 State Pure Food and Drug Law에 근거하여 자기 州에서 생산되고 소비되는 식품의 안전성을 유지하기 위하여 잔류농약 분석기능을 가지고 있다. 그리고 州정부는 연방정부인 USDA, FDA, EPA와 긴밀한 협력관계를 유지하고 있다.

최근에는 미국의 50개 州에서 생산된 data를 서로 교환하기 위하여 컴퓨터 프로그램으로 가축사료의 오염을 다루는 FEEDCON과 식품의 오염을 다루는 FOODCONTAM이 1983년 시작되어 많은 州가 이에 참여하기 시작하였다.<sup>13)</sup> 이러한 계획이 완성되면 잔류농약에 관한 국가적 및 지역적인 자료가 쉽게 이용될 수 있을 것으로 예상된다. 1989년중 10개 州로부터 FOODCONTAM에 송부된 잔류농약 분석시료는 13,085개에 이르러 FDA에 의한 분석시료수에

표 7. FDA에 의한 식품 중 잔류농약의 검색결과<sup>7,8,10)</sup>

식품시료	1987년		1988년		1989년		
	분석시료수	위법시료(%)	분석시료수	위법시료(%)	분석시료수	위법시료(%)	
감시 시료 (surveillance)	국내산	5,780	1.5	7,338	1.1	7,394	1.0
	수입품	6,090	3.4	9,648	4.2	10,719	3.5
대응 시료 (compliance)	국내산	717	12.1	301	24.9	304	10.9
	수입품	1,905	11.6	827	14.5	381	4.2
합	계						
	국내산	6,497	2.7	7,639	2.0	7,698	1.4
	수입품	7,995	5.3	1,0475	5.0	11,100	3.5
	총계	14,492	4.2	1,8114	3.7	18,798	2.7

맞먹게 되었다.

#### 4.2. 식이섭취 총량조사(total diet study)<sup>14,15)</sup>

식이섭취 총량조사 또는 시장바구니조사(market basket survey)는 식품중 화학오염물질의 모니터링 계획에서 중요한 부분을 차지하고 있다. 이 조사방법은 핵폭발시험시 식품의 방사능 오염과 관련하여 1961년 FDA에서 시작된 것이지만 이때 많은 시료가 수집된 만치 잔류농약, 오염물질과 몇가지 영양소에 이르기까지 확대되었다. 이 조사의 주목적은 다음의 두가지이었다.

① 식이중 잔류농약, 오염물질, 무기영양소의 수준과 섭취량에 대한 기초자료와 아울러 시기에 따른 변화 추세를 제공한다.

② 이들 물질의 섭취량을 허용기준 또는 권장기준과 비교함으로써 보건상의 문제점을 확인한다.

이 조사결과는 미국뿐만 아니라 다른 나라의 정부기관과 여러 단체에서 이용하게 되었으며 하나의 모델 시스템으로 인식되어 다음과 같은 기능을 더하게 되었다.

③ 잔류농약, 오염물질, 무기영양소의 食餌 給源을 결정해줌으로서 오염사고에 대한 경과를 추적할 수 있다.

④ 국민보건상 문제되는 물질을 확인시켜줌으로서 규제당국의 새로운 모니터링 계획이나 실행과제를 지적한다.

⑤ 규제방법의 효과를 측정할 수 있다.

식이섭취 총량조사는 식품중 오염물질의 수준이 농업생산방법, 식품가공기술, 포장방법, 환경오염의 변화에 따라 달라지기 때문에 계속적으로 수행할 필요가 있는 것이다. 그리고 FDA에서는 그 조사방

법에서 약간의 수정을 가했는데 1982년 개정되어 현재 사용되고 있는 방법과 절차를 보면 그림 5와 같다.

1982년 이전에는 모든 식품을 합치거나(초기 3년간) 11~12군으로 나누어 분석한 이른바 복합시료법(composite sample approach)을 따랐다. 그러나 1982년부터는 전국 5,000종의 식품을 대표하는 234종을 선정하여 연간 4회에 걸쳐 개별적으로 수집, 분석하고 화학물질의 섭취총량을 8개의 인구집단(연령/성)별로 표현하고 있다. 분석대상이 되는 농약성분은 FDA의 필요성과 관심도에 따라 결정되는 바 유기염소제, 유기인제와 chlorophenoxy acid/pentachlorophenol은 초창기인 1961년부터 계속되고 있고 기타농약은 그 후에 추가되었다.

현재 식이섭취 총량조사에서 분석대상이 되고 있는 253종의 농약성분중에서 자주 검출되는 농약의 종류와 그 빈도를 보면 표 8과 같다.<sup>7,8,10)</sup> 농약중에서 malathion이 가장 흔히 검출되고 있는데 이것은 많은 종류의 곡류, 과일, 채소에 사용되기 때문이다. DDT는 현재 식품용으로 사용되지 않고 있지만 낮은 농도로 상당수의 식품에서 검출되고 있다.

먼저 언급한 바와 같이 식이섭취 총량조사의 주목적은 농약의 식이섭취 현황을 파악하고 이 섭취총량을 인체허용 1일 섭취량(ADI)과 비교하기 위한 것이다. 대표적인 농약의 식이섭취 총량을 조사된 8개 연령/성 군중에서 3개 연령군/성에 대하여 보면 표 9와 같다. 그 결과를 보면 거의 전부의 농약에 있어서 식이섭취 총량은 ADI의 1% 이하이며 농약의 실제 섭취량과 안전수준사이에는 커다란 격차가 있음을 확인하였다.

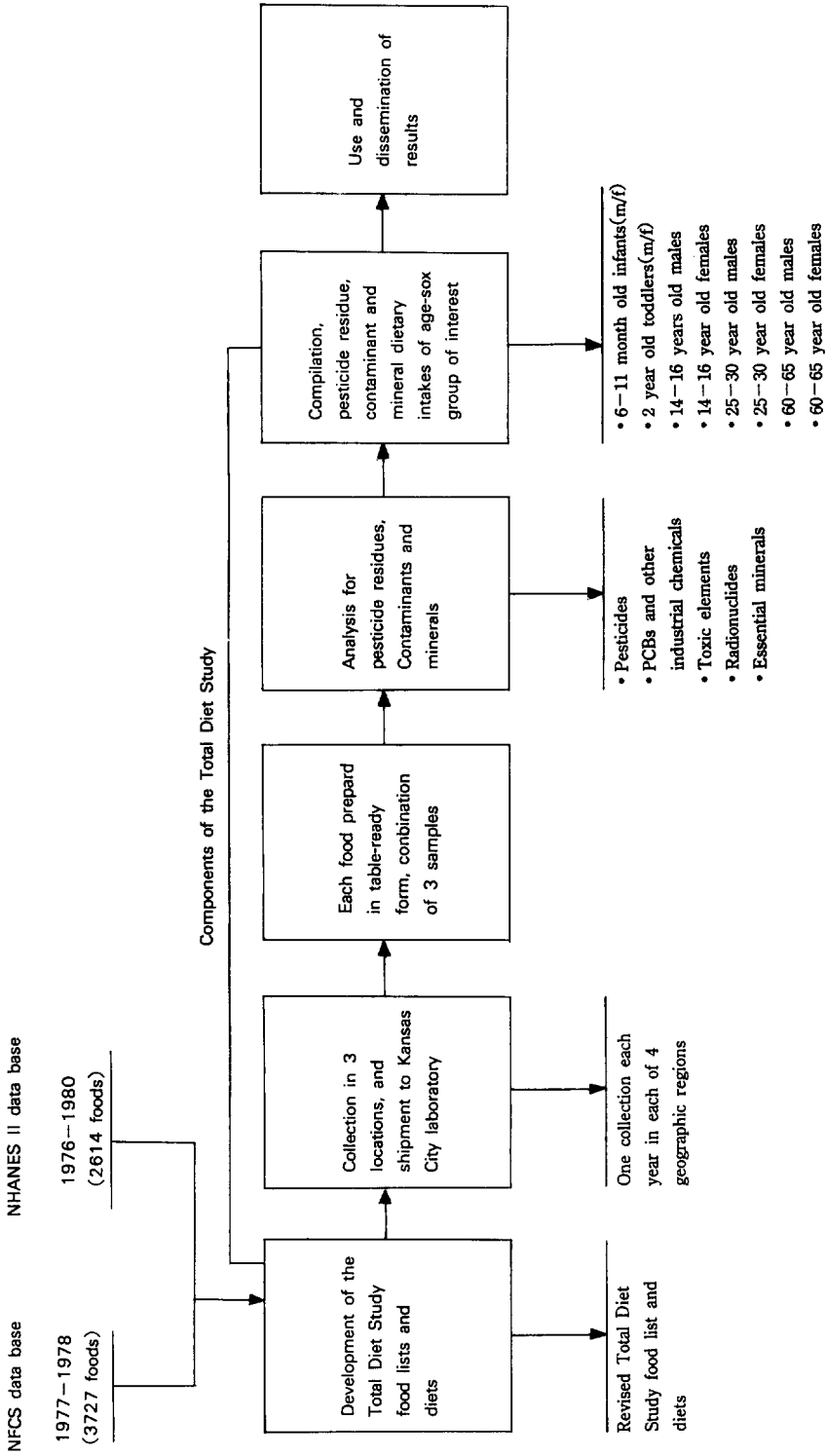


그림 5. 식품섭취 총량조사(total diet study) 수행절차<sup>15)</sup>

표 8. 식이섭취 총량조사에서 잔류농약의 검출 빈도(%)<sup>7,8,10)</sup>

농약성분	1987	1988	1989	평균
Malathion	23	21	20	21.3
DDT, total	22	20	13	18.3
Diazinon	21	15	9	15.0
Chlorpyrifos	12	11	8	10.3
Dieldrin	12	10	7	9.7
Hexachlorobenzene	10	7	5	7.3
Endosulfan, total	7	8	5	6.7
BHC	6	4	4	4.7
Heptachlor	6	5	3	4.7
Chlordane, total	5	4	0	3.0
Methamidophos	5	5	6	5.3
chlorpyrifos-methyl	5	10	10	8.3
Dicloran	4	6	4	4.7
Carbaryl	4	3	3	3.3
Quintozene, total	3	3	3	3.0
Chlorpropham	3	3	5	3.7
Acephate	3	3	3	3.0
Dicofol, total	3	2	2	2.3
D C P A	2	2	2	2.0
Ethion	2	21	3	2.3
Dimethoate	2	3	3	2.7
Phosalone	2	2	0	1.3
Parathion	2	2	1	1.7
Toxaphene	2	2	1	1.7
Permethrin	1	1	1	1.0
Omethoate	1	2	1	1.3
Captan	0	1	0	0.3
Chlorobenzylate	0	1	0	0.3
Sulfur	0	1	0	0.3
Propargite	—	—	2	2.0
Thiabendazole	—	—	1	1.0
Methomy1	0	0	1	0.3
분석시료수	933	1,170	936	

### 5. 농약의 危害 문제

#### 5.1. 농약에 의한 급성 피해<sup>1)</sup>

농약 사용과 관련된 위험성은 급성중독과 만성

표 9. 미국의 식이섭취 총량조사에 의한 농약 섭취량<sup>7,8,10,15)</sup> (단위: ng/kg bw/day)

Age/sex/year	Carbaryl	DDT	Diazinon (total)	Heptachlor	Malathion (total)
6-11 mo					
1980	60	34	4	19	191
1981/2	129	109	32	10	177
1982/4	114	100	12	3	142
1987	155	35	15	3	140
1988	52	68	6	4	136
1989	100	29	3	1	115
14-16 yr male					
1982/4	18	42	13	3	107
1987	17	19	12	2	119
1988	9	26	6	2	133
1989	18	16	3	1	92
60-65 yr female					
1987	23	10	7	1	71
1988	12	12	3	1	82
1989	34	8	2	1	53
ADI(1987)	10,000	20,000	2,000	500	20,000

중독으로 구별된다. 급성중독은 유독물질의 취급과 사용중에 일어나는 것으로 농약의 原劑합성, 製劑 생산 그리고 농약살포에 종사하는 사람들에게 관심사가 되고 있다. 한편 만성피해는 소량의 유독물질에 대한 장기간 노출에 의하여 일어나는 것으로 농산물을 섭취하는 소비자에게 미치는 피해가능성 때문에 일반대중에게 더 큰 관심사가 되고 있다.

농약에 의한 인명피해는 事故, 無知, 자살, 범죄에 의한 것으로 미국에서는 그리 많지 않다. 미국에서 1968~87년중 농약에 의한 사망자를 보면 표 10 과 같이 그 수가 감소하고 있으며 전체 중독사망자의 2~3%를 차지하고 있다. 1987년중 농약 중독사고의 내용을 보면 표 11 과 같이 농약중독으로 응급실에서 치료를 받은 사람은 13,293명으로 나타났다. 이 숫자를 다른 가정용 약품에 의한 사고와 비교해보면 가정용 세척제(표백제, 암모니아, 소독제 등)에 의한 것이 20,723명, 아스피린 및 그 대용품에 의한 것이 34,949명이었다. 결국 가정에서 화학약품에 의한 중독사고는 약품자체의 독성보다는 오히려 그들의 이용빈도에 의하여 크게 좌우됨을 알 수 있다. 농약에 대한 교육, 홍보와 아울러 용기의 標示를 개선함으로써 급성피해가 경감되고 있음이 미국의 통계자료에서 잘 나타나고 있다.

표 10. 미국에서 농약중독에 의한 사망자 (1968~78)<sup>1)</sup>

연도	사망자수	총중독사망자중	비율(%)
1968	72	2.8	
1974	35	0.9	
1977	34	—	
1978	31	1.0	
1983	27	—	
1984	21	—	
1985	14	—	
1986	19	4.7	
1987	10	2.5	

5.2. 잔류농약의 발암성 평가<sup>4,20)</sup>

미국에서 농약의 등록과 허용량 설정의 권한을 지니고 있는 EPA에서는 농약의 발암가능성을 확인하기 위하여 식품생산에 사용되는 289개 농약을 조사한 결과 18%에 해당하는 53개 유효성분이 종양유발능(oncogenicity) 또는 종양유발잠재성(potential oncogenicity)이 있음을 발견하고 1985년 그 목록을 표 12와 같이 발표하였다.<sup>17)</sup> 불행하게도 이들 농약의 발암성에 관한 자료는 아직 불완전하지만 식품작물에 사용되는 어떤 살충제는 이미 그 사용이 취소되었다. EPA에서는 1981년부터 새 농약성분의 등록에 두가지의 종양유발능 실험결과를 요구하고 있고 1980년 이전에 등록된 115개 농약에 대해서는

표 11. 미국에서 농약중독자의 내용(1987)<sup>16)</sup>

농약종류	보고자수*	의료조치자수	진료결과**		
			극미	중증	사망
살충제	37,856	8,534	10,157	84	6
살서제	9,663	2,661	444	5	1
좁 약	4,419	632	390	0	0
제초제	4,167	1,166	1,443	3	3
살균제	1,325	350	411	4	0
합 계	57,430*	13,293	12,845	96	10

\*American Association of Poison Control Centers에 보고된 중독사고의 57% 이므로 총중독자수는 100,754 명으로 추정됨. 보고자수의 2.2%는 의도적이었고 97.8%는 사고이었음.

\*\* 진료결과 중증환자는 24시간이상 지속되거나 생명의 위협 또는 불구자가 된 경우이고 사망자중 7명은 의도적(자살)이었음.

표 12. EPA에서 확인된 종양유발성 농약성분(보통명/상품명)<sup>17)</sup>

Acephate <sup>o</sup> (Orthene)	Copper arsenate	Lead arsenate	Permethrin <sup>o</sup>
Acifluorfen(Blazer)	Cypermethrin <sup>o</sup>	Lindane	(Ambush, Pounce)
Alachlor <sup>o</sup> (Lasso)	(Ammo,Cymbush)	Linuron <sup>o</sup> (Lorox)	Pronamide <sup>o</sup> (Kerb)
Amitraz(Baam)	Cyromazine <sup>o</sup>	Maleic hydrazide	Sodium arsenate
Arsenic acid	(Larvadex)	Mancozeb <sup>o</sup>	sodium arsenite
Asulam	Daminozide(Alar)	Maneb <sup>o</sup>	Terbutryn <sup>o</sup>
Azinphos-methyl <sup>o</sup>	Diallate	Methanearsonic acid	Tetrachlorvinphos
(Guthion)	Diclofop methyl <sup>o</sup>	Methomyl(Lannate)	Thiodicarb(Larvin)
Benomyl <sup>o</sup> (Benlate)	(Hoelon)	Metiram <sup>o</sup>	Thiophanate-methyl
Calcium arsenate	Dicofol(Kelthane)	Metolachlor <sup>o</sup> (Dual)	Toxaphene
Captafol <sup>o</sup> (Difolatan)	Ethalfurranlin <sup>o</sup>	o-Phenylphenol <sup>o</sup>	Trifluralin(Treflan)
Captan <sup>o</sup>	(Sonalan)	Oryzalin <sup>o</sup> (Surflan)	Zineb <sup>o</sup>
Chlordimeform <sup>o</sup>	Ethylene oxide	Oxadiazon <sup>o</sup> (Ronstar)	

표 12.(계속)

(Galecron)	Folpet <sup>o</sup>	Paraquat
Chlorobenzilate	Fosetyl Al <sup>o</sup> (Alette)	(Gramoxone)
Chlorothalonil <sup>o</sup>	Glyphosate <sup>o</sup>	Parathion <sup>o</sup>
(Bravo)	(Roundup)	PCNB

\*NRC(1987)에 의한 위해평가 대상품목

종양유발능에 대한 자료 보완계획을 세우고 있다.

동물에서의 종양유발능으로부터 인체에 대한 상대적 危害度를 추정하기 위하여 EPA에서는 발암성물질을 표13과 같이 5그룹으로 분류하고 있다. 이와같은 실험증거별 분류(weight-of-evidence classification)에 의한 가중치를 이용하는 것은 매우 긴요하지만 많은 경우 이를 이용하지 못하고 있다.

EPA는 1985년 NRC(국가연구심의회)로 하여금 식품중 잔류농약의 허용량 설정에 관한 EPA방법 특히 Delaney조항의 파급효과를 재검토하도록 의뢰하였다. 이에 따라 NRC에서는 특별위원회를 구성하여 허용량 설정의 법적 근거와 절차, 식이에 의한 농약의 종양유발 가능성을 추정하기 위한 자료의 전산화 그리고 허용량 설정방법이 발암 위해성과 농약의 사용 및 개발에 미치는 파급효과를 종합적으로 분석하였으며 "Regulating Pesticides in Foods-The Delaney Paradox"(1987)라는 보고서를 발표하였다.<sup>4)</sup>

이 보고서는 식품중 잔류농약에 대한 우려를 낳게 하였고 1988년 농약법 개정에 반영되었다. 1989년에는 ABC프로그램에 "60 Minutes"라는 제목으로 alar/사과 문제가 방영되지 이른바 alar(daminozide) 논쟁이 일어나게 되었고 농약의 위험성에 대한 소비자의 관심이 고조되었다. 이러한 추세로 나간다면 상당수의 농약이 사용금지 또는 제한될 것으로 예

상된다.

종양유발 위해도(oncogenic risk)는 다음과 같이 농약노출량에 종양 유발능 계수를 곱하여 계산한다.

$$\text{Dietary oncogenic risk} = \text{human dietary exposure} \times \text{oncogenic potency factor}(Q^*)$$

(식품소비량×농약잔류량)×oncogenic potency factor(Q\*)

여기에서 종양유발능 계수(Q\*)는 동물실험의 결과로부터 인체에서의 발암 가능성을 예측하기 위한 수식적 모델에서 얻게 되며 사람이 어떤 농약을 일생동안(70년간) 섭취했을 때 종양의 추가적 발생에 대한 확률의 상한성(95% 신뢰한계)을 말한다.

현재까지 종양유발능이 알려진 농약중에서 Q\*값이 주어진 농약의 종류와 수를 종합해보면 표14와 같다. 이중에서 두가지 농약은 종양유발 위해도를 계산하지 않았다. 그 이유는 daminozide는 식물생장조절제로서 살균제, 살충제나 제초제에 속하지 않으며 asulam은 식품중 잔류허용량이 설정되어 있지 않기 때문이다. 결국 Q\*값이 주어진 28개 농약에 의한 종양유발 위해도를 계산한 결과를 요약하면 표15와 같다.

농약의 용도별 종양유발 위해도의 분포를 보면 표16과 같다. 결국 살균제에 의한 위해도는 전체 농약의 59%를 차지하고 있고 제초제는 27%, 살충제는 14%를 차지하고 있다. 이러한 위해도를 농약

표 13. EPA에 의한 발암성물질의 분류기준(1986)\*

그룹	명 칭	실험 증거
A	Known human carcinogen	疫學조사의 결과 충분한 증거있음
B <sub>1</sub>	Probable human carcinogen	동물실험 충분하나 한정된 疫學조사 결과
B <sub>2</sub>	Probable human carcinogen	동물실험 충분하나 부족한 疫學조사 결과
C	Possible human carcinogen	인체자료 없고 한정된 발암성 결과
D	Not classifiable as human carcinogen	인체 및 동물의 발암성자료 불충분 또는 없음
E	Evidence of noncarcinogenicity for humans	2종의 동물에서 발암성 증거 없음

\*International Agency for Research on Cancer의 방법에서 채택



표 14. EPA에 의한 중양유발성 농약의 종류와 수

유효성분수	살균제	살충제	제초제	기 타	합 계
중양유발성 확인	14	19	17	3	53
Q*값 있음	11	7	11	13	30
Q*값 없음(사용취소)**	0	5	0	0	5
현재 사용중	3	7	6	(2)	18

\*\*Toxaphene, lindane, sodium arsenite, copper arsenate, ethylene oxide.

표 15. 농약 성분에 따른 중양유발 위험도<sup>4)</sup>

농 약 성 분	위해도	발암성분류
살균제 Zineb	$7.17 \times 10^{-4}$	B <sub>2</sub>
Captafol	$5.94 \times 10^{-4}$	B <sub>2</sub>
Captan	$4.74 \times 10^{-4}$	B <sub>2</sub>
Maneb	$4.42 \times 10^{-4}$	B <sub>2</sub>
Mancozeb	$3.38 \times 10^{-4}$	B <sub>2</sub>
Folpet	$3.24 \times 10^{-4}$	B <sub>2</sub>
Chlorothalonil	$2.37 \times 10^{-4}$	미분류
Metiram	$1.15 \times 10^{-4}$	B <sub>2</sub>
Benomyl	$1.13 \times 10^{-4}$	C
o-Phenylphenol	$9.99 \times 10^{-5}$	미분류
Fosetyl Al	$3.29 \times 10^{-8}$	C
살충제 Permethrin	$4.21 \times 10^{-4}$	C
Chlordimeform	$3.22 \times 10^{-4}$	B <sub>2</sub>
Acephate	$3.73 \times 10^{-5}$	C
Parathion	$1.47 \times 10^{-5}$	C
Cypermethrin	$3.73 \times 10^{-6}$	C
Cyromathine	$3.58 \times 10^{-7}$	미분류
Azinphos-methyl	$1.68 \times 10^{-9}$	D
제초제 Linuron	$1.52 \times 10^{-3}$	C
Alachlor	$2.42 \times 10^{-5}$	B <sub>2</sub>
Metolachlor	$1.44 \times 10^{-5}$	C
Oxadiazon	$1.21 \times 10^{-5}$	B <sub>2</sub>
Oryzalin	$1.14 \times 10^{-5}$	C
Pronamide	$7.77 \times 10^{-6}$	C
Ethalfuralin	$3.56 \times 10^{-6}$	미분류
Diclofop methyl	$2.04 \times 10^{-6}$	미분류
Terbutryn	$2.86 \times 10^{-7}$	C
Glyphosate	$2.73 \times 10^{-7}$	C

성분별로 보면 살균제에서는 8종의 농약성분이 주요 원인이지만 살충제에서는 2종에 의한 위험도가 98%, 제초제에서는 linuron 1종에 의한 위험도가 95%

표 16. 농약의 종류에 따른 중양유발 위험도

종류	위해도	분포(%)
살균제	$3.46 \times 10^{-3}$	59.2
살충제	$8.00 \times 10^{-4}$	13.7
제초제	$1.58 \times 10^{-3}$	27.1
합 계	$5.84 \times 10^{-3}$	100

(그 원인은 잔류허용량이 높기 때문)를 차지하고 있다. 따라서 제초제인 linuron과 살충제인 permethrin, chlordimeform의 식이섭취량을 제한한다면 농약에 의한 발암가능성의 30%를 경감시킬 수 있을 것이라는 계산이 나온다.

그 다음의 방법은 살균제의 식이섭취를 경감시켜야 하겠으나 이를 위해서는 8~10종의 농약성분을 동시에 제한해야 된다고 하는 어려운 문제에 봉착하게 되는 것이다.

식품의 종류에 따른 중양유발 위험도를 보면 표17과 같다. 결국 15종의 식품이 전체 위험도의 78%를 차지하고 있다. 각개 식품에 의한 위험도는 매우 제한된 종류의 농약성분에 의해 起因되는 것으로 평가되었다.

만일 단일성분이 위험도의 대부분을 차지한다면 해당농약의 허용량을 낮춤으로써 예상되는 위험도를 경감시킬 수 있을 것이다. 예컨대 쇠고기에 의한 중양유발 위험도(전체의 약 11%)는 쇠고기 관련 제품에 대한 linuron의 허용량을 내림으로써 위험도의 90%를 경감시킬 수 있을 것이다.

다른 한편 도마도에 의한 위험도는 여러 종류의 농약성분에 기인하기 때문에 단일성분의 규제는 위험도를 경감시키는데 크게 기여할 수 없다는 결론을 내릴 수 있다.

EPA에서는 1978년부터 가공식품에서 농축현상이 일어나는 중양유발성 농약성분에 대하여 409조에 의거한 허용량을 승인하지 않겠다는 정책을 세웠다.

표 17. 식품에 따른 증양유발성 농약의 위해도

식품	위해도	비율(%)
도마도	$8.75 \times 10^{-4}$	14.9
쇠고기	$6.49 \times 10^{-4}$	11.1
감자	$5.21 \times 10^{-4}$	8.9
오렌지	$3.76 \times 10^{-4}$	6.4
상치	$3.44 \times 10^{-4}$	5.8
사과	$3.23 \times 10^{-4}$	5.5
복숭아	$3.23 \times 10^{-4}$	5.5
돼지고기	$2.67 \times 10^{-4}$	4.5
밀	$1.92 \times 10^{-4}$	3.3
대두	$1.28 \times 10^{-4}$	2.3
두류	$1.23 \times 10^{-4}$	2.1
당근	$1.22 \times 10^{-4}$	2.1
닭고기	$1.12 \times 10^{-4}$	1.9
옥수수	$1.09 \times 10^{-4}$	1.9
포도	$1.09 \times 10^{-4}$	1.9
합계(15종)		78.0
기타식품(186종)		22.0

이에 따라 Delaney 조항이 적용될 수 있는 농약성분을 보면 표18과 같다. 어떤 농약이 일단 증양유발능이 있는 것으로 결정되면 대부분의 등록자는 409조에 의거한 허용량 신청을 철회하거나 또는 포기하게 된다.

증양유발성 농약에 대한 EPA의 위해평가는 NRC로 하여금 수행되었는데 이때 실제적인 농약 사용패턴과 실제적인 잔류수준을 고려하지 않고 법적인 허용량 수준으로 잔류한다는 가정하에 계산되었기 때문에 위험가능이 과장 되었다는 비판을

표 18. Delaney조항 적용대상이 된 농약성분

적용대상 농약 성분	증양유발 위해도	사용량(ton AD)*
특별 Alachlor	$2.42 \times 10^{-5}$	38,600
조사 Dicofol	평가안됨	540
Captan	$4.74 \times 10^{-4}$	4,540
Daminozide	$8.30 \times 10^{-3}$	370
등록 Benoml	$1.13 \times 10^{-4}$	910
기준 E D B C	$1.11 \times 10^{-3}$	12,700
Chlorobenzilate	평가안됨	730
Metholachlor	$1.44 \times 10^{-6}$	17,200
Oryzalin	$1.14 \times 10^{-5}$	730
Thiophanate-methyl	평가안됨	13

\* 1978~85년간 1년 평균치

받고 있다. 이에 따라 캘리포니아대학 연구진은 FDA의 1987년 total diet study 자료를 이용하여 농약에 의한 발암가능성을 다시 계산하였다.<sup>18,19)</sup>

완전한 자료가 있는 7개농약에 대하여 발암가능성을 비교한 결과를 보면 표19와 같다. NRC의 추정에서는 7개 농약의 발암가능성이 인구 100만명당 15~1,520명으로서 높은 위험성을 나타냈으나 본 계산에서는 permethrin 한가지만이 EPA가 정의한 바 있는 “무시될 수 있는 위험기준”(negligible risk standard ; one excess cancer per million for 70 years of lifetime exposure)을 초과하였다. 그리고 다른 6가지 농약성분의 위험성은 NRC 추정치의 4,600~100,000분의 1에 불과하였다. 이와같은 증양유발 위해도에 대한 평가가 달리 나옴에 따라 많은 논쟁이 예상되고 있다.

표 19. 다른 잔류수준에 근거한 농약의 발암 가능성<sup>19)</sup> (단위 : 인구 100만당 추가 암발생율)

농약 성분	NRC 추정 (허용량 기준)	Univ.Calif. 추정(FDA 잔류수준 기준)		
		6~11개월	14~16세남자	60~65세여자
Acephate	37.3	0.0173	0.0214	0.0324
Linuron	1520	0.328	0.0984	0.1312
Captan	474	0.0446	0.0202	0.0561
Permethrin	421	2.13	0.90	1.215
Chlorothalonil	237	<0.0024	<0.024	0.0024
Parathion	14.7	0.0122	0.0013	0.0029
Folpet	324	0.0273	0.0102	0.0336

## 6. 결 론

농약은 식량생산에서 필수불가결한 화학약품이며 미국에서의 농약관리는 매우 합리적으로 규제되고 있어 가장 안전한 식품을 생산하고 있는 것으로 평가되고 있다. 식품중 잔류농약의 檢索이 철저히 수행되고 있고 식이섭취 총량조사의 결과는 인체 허용 섭취량을 훨씬 下廻하고 있으며 농약에 의한 급성피해도 무시될 수준이다. 그러나 식품에 잔류하는 농약의 발암가능성 때문에 소비자의 불안요소가 尙存하고 있고 농약산업은 안전한 농약 생산을 위해 경제적 부담을 甘受하고 있다. 따라서 발암성 위해 평가에 이용될 수 있는 신빙성있는 자료를 축적하는데 많은 연구노력이 경주되어야 할 것이다.

## 참고문헌

1. Ware, G. W.(1989) : *The Pesticide Book*, Thomson Publications, Fresno CA, Chapter 1.
2. Dumas, R. P., Aspelin (1988) : *Pesticide Industry Sales and Usage—1987 Market Estimates. Economic Analysis Branch, Biological and Economic Analysis Division, Office of Pesticide Programs, EPA, Washington DC.*
3. USDA(1981, 1988) : *Agricultural Statistics*, Government Printing Office, Washington DC.
4. National Research Council(1987) : *Regulating Pesticides in Food-The Delaney Paradox*, National Academy Press, Washington DC.
5. Anonymous(1989) : *Farm Chemicals Handbook*, Section D, Meister Pub. Co., Stockton CA.
6. National Research Council(1983) : *Risk Assessment in the Federal Government : Managing the Process*. National Academy Press, Washington DC.
7. FDA(1988) : Food and Drug Administration pesticide program-residues in foods-1987, *J. AOAC*, 71, 156A.
8. FDA(1989) : Food and Drug Administration pesticide program-residues in foods-1988, *J. AOAC*, 72, 133A.
9. Farley D.(1988) : Setting safe limits on pesticide residues. *FDA Consumer*, 22(8), 8.
10. FDA(1990) : Food and Drug Administration pesticide program-residues in foods-1989. *J. AOAC*, 73, 127A.
11. Lombardo, P.(1989) : The FDA pesticide program : goals and new approaches, *J. AOAC*, 72, 518.
12. Ellis, R. L.(1989) : Changing pesticide technology in meat and poultry products, *J. AOAC*, 72, 521.
13. Minyard, J. P. Jr, Roberts, W. E. and Cobb, W. Y. (1989) : State programs for pesticide residues in foods, *J. AOAC*, 72, 525.
14. Pennington, J. A. T. and Gunderson, E. L.(1987)
15. Gunderson, E. L.(1988) : FDA total diet study, April 1982—April 1984. dietary intakes of pesticides, selected elements and other chemicals, *J. AOAC*, 71, 1200.
16. Litovitz, T.L., Schmitz, B. F., Matyunas, N. and Martin, T. G.(1987) : Annual Report of the American Association of Poison Control Centers National Data Collection System, *Am. J. Emergency Med.*, 6(5), 479.
17. Fan, A.M. and Jackson, R.J.(1989) : Pesticides and food safety, *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, 9, 158.
18. Carter, H. O. and Nuckton, C. F.(eds)(1988) : *Chemicals in the Human Food Chain : Sources, Options and Public Policy*. Proceedings of the AIC Symposium June 2~3, 1988, University of California Agricultural Issues Center, Davis CA.
19. Archibald, S. O. and Winter, C. K.(1989) : Pesticide residues and cancer risks, *Calif. Agric.*, 43(6), 6.
20. Ragsdale, N. N. and Menzer, R. E.(eds)(1989) : *Carcinogenicity and Pesticides*, Am. Chem. Soc. Symp. Series 414.