

## 일부 농촌지역에서의 Carbamate 농약 폭로도의 추정 - 개인용 포집기와 Gas Chromatography 분석을 이용한 예비조사 -

전남대학교 의과대학 예방의학교실  
김 병 희 · 김 용 식 · 최 진 수

= Abstract =

### An Estimation of Carbamate Pesticide Exposure in a Rural Area - A pilot study using personal sampler and gas chromatography -

Byung Hee Kim, Yong Sik Kim, Jin Su Choi

Department of Preventive Medicine,  
Chonnam National University Medical School

The exposures to carbamate pesticides (BPMC specifically) of agricultural workers were estimated by collecting pesticide in air by personal sampler and by analyzing with gas chromatography.

Data revealed that the highest BPMC concentration in the aspirated air was 7.7 mg / m<sup>3</sup>. Concentrations were generally higher in the group whose spray conditions were controlled than the group uncontrolled. Actual concentrations were relatively lower than the values predicted theoretically.

These findings suggest that personal sampler be useful in the estimation of pesticide exposure.

**Key Words:** Carbamate Pesticide, Personal Sampler, Gas Chromatography, Rural Health

## I. 서 론

농약의 사용은 거의 모든 나라에서 농업분야의 필수적인 부분으로 인식되고 있다(정규철, 1974). 농경지의 완만한 개발은 오히려 광업 요지로 흡수당하는 면적에 못미치는 수가 많으나, 농산물의 수요는 지속적으로 증가하여 농지 단위면적당 농작물 산출량의 지속적인 증대를 요구한다(김건열, 1978). 농약은 이러한 단위면적당 수확량을 증가시키는데 매우 중요한 부분을 차지한다.

우리나라의 경우 농지면적이 극히 협소한 반면 농산물의 수요는 압도적으로 커서 농약을 비롯한 각종 화학물질의 대량 사용이 불가피하다. 특히 통일벼 계통의 신

품종이 도입되어 미곡 생산량은 비약적으로 증가하였으나 화학비료나 농약의 사용도 아울러 크게 증가하였다. 이는 비단 농민 뿐 아니라 전 국민이 농약에 직·간접으로 폭로되는 기회가 점점 더 많아진다는 것을 뜻한다. 이러한 사실은 곡창이라 불리우는 전남지방에서 더욱 현저할 수 밖에 없다. 전라남도의 추계(전라남도, 1987)에 의하면 1980년 이후의 도내 농약 소비량은 매년 300내지 600톤 규모로서 금액으로는 30억원 정도가 농약을 구입하는데 지출되어 영농비의 상당 부분을 차지하고 있다고 한다.

농약의 빈번한 취급과 사용은 필연적으로 농약중독의 위험을 증가시키게 된다. 농약중독 사고는 그 특성상 정확한 발생율을 파악하기 어려우나, 1987년 농림수산부의

통계(농림수산부, 1987)에 의하면 1982년부터 1986년까지 5년 사이에 농약 중독에 의하여 6,257명이 사망하여 연평균 1,245명이 사망하였으며, 특히 1986년에 농약 중독으로 사망한 수는 1,391명으로 1982년의 1,186명에 비해 17.3%가 많은 실정이다. 또, 1986년의 사망자 중 63.6%인 885명은 음독, 기타 상해 목적으로 인한 사망이지만, 나머지 36.4%인 506명은 사고로 인한 사망으로서 아직도 사회적 비중이 크다는 것을 시사하고 있다.

본 연구에서 검토하고자 하는 carbamate 제제 농약은 유기인제와 함께 합성농약 생산량의 20% 이상을 차지하며, 특히 담작농업에서는 40% 이상을 차지하는, 농업용 살충제의 주요 구성제임에도 불구하고(FAO, 1985; WHO, 1986) 그 피해에 대하여는 비교적 널리 알려져 있지 않다. 그러므로 carbamate 제제 농약도 유기인제 농약과 마찬가지로 이에 대한 직간접적인 폭로도의 파악과 감시(monitoring)가 필요하다. 이에 대한 직간접적인 폭로도 추정을 위한 예비적 시도로 carbamate 제제 농약을 직접 취급하는 농부들이 농약 살포시에 폭로되는 정도를 직접적으로 파악할 수 있는 방안의 일환으로 본 연구를 시도하였다.

## II. 연구대상 및 방법

### 1. 연구대상

본 연구의 대상자로는 1988년 8월중 전남도내 2개 농촌지역에서 본 연구에 참여하기를 자원하는 농촌 남자 주민 18명으로 하였다. 한 지역(A)는 광주근교의 일 농촌에서 벼해충 공동 방제시에 carbamate 제제를 공급, 지원자 10명에게 살포하게 하였다. 다른 지역(B)은 carbamate 제제 살충제에 지원자 자발적으로 구입한 농약을 임의 혼합, 살포하게 하여 실제 현장 조사때의 적용 가능성을 평가하였다.

### 2. 연구대상 시료

본 연구에 사용된 carbamate 제제 살충제는 carbamate 제제 중에서도 비교적 독성이 약하고 우리나라에서 사용되고 있으며 BP 유제로 흔히 알려진 2-sec-butyl phenyl methyl carbamate(BPMC, 상품명 BP®, 이하 BPMC라 약함) (WHO, 1986; 농약공업협회, 1987)를 사용하였다.

### 3. 시료의 채취 및 보관

공기 중의 BPMC 농도 측정을 위해서 농약 살포시 지원자의 옷깃에 부착한 개인용 시료 공기 포집기(Personal Air Sampler, 미국 Environmental Compliance Co. 제품 Model 222-3) (ECC, 1978)에 동사 제품인 활성탄 흡착관을 삽입하여 공기중의 농약증기, mist, particle 등을 흡착 포집하였다. 농약 살포가 끝나면 바로 흡착관을 분리하여 관 양단을 밀봉한 후 영하 20℃로 냉동 보관하였다.

### 4. 시료 중 BPMC 농도의 분석

활성탄에 흡착된 BPMC 등은 gas chromatography (GC) 법(Izmirova N, 1980; Williams S, 1984)에 의하여 다음과 같이 그 농도를 분석하였다. 먼저, 흡착관의 활성탄을 acetonitrile 5 ml가 들어있는 30 ml capacity glass tube에 넣고 강하게 진탕한 후 약 1-2시간 방치한 다음 internal standard (dibutyl phthalate, 0.02 v/v%) 3 ml를 가하고, 다시 acetonitrile로 전량을 15 ml로 하여 강하게 진탕한 다음 4℃에서 12시간 이상 정지한 후 원심분리하여 상청액 중 2μl를 GC에 넣어 분석하였다.

Gas chromatography system으로는 미국 Varian사 제품 Model 3700 Gas Chromatograph를 사용하였으며 사용된 column은 10% Ov-101 Chrom WHP 80/100 2m × 1/8 SS" 1-47이었다. GC 온도는 injector가 200℃, 염광이온 검출기(FID detector)가 250℃, column이 190℃ 이고 carrier gas로는 Helium 30 ml/min을 사용하였다. recorder speed는 분당 0.2 inch 이었다.

시료 중의 BPMC 농도는 다음 식에 따라 계산하였다.

$$\text{BPMC Concentration in sample} = \frac{\text{Peak height of same portion sample}}{\text{peak height of BPMC in standard}}$$

### 5. Exposure amount의 이론적 추정

농약 살포시 흡입, 포집될 수 있는 공기중 살충제의 총량은 여러 가지 요인에 의해 결정되나, 일반적으로 살포점으로부터 위치에서 따른 공기중의 농도구배가 주 결정 요인으로 작용한다.

즉, 포집위치와 살포지점간의 상대위치와 거리가 비교적 일정한 경우 단위면적(A)당 살포량(S)과 공기중 농

도구배곡선(C) 사이에는  $S/A = \int C \, dD$ 의 관계가 성립한다.

오염물질의 공기중 농도 추정에는 몇가지 model이 있으나 본 연구에서는 BOX MODEL(Yeh, 1977)을 이용하였다. 본 model은 확산, 증력과류 등 여러 가지 요인에 의한 복합적 혼합작용에 따른 농도구배(C)를 가상의 BOX에 유입, 유출되는 율( $q, Q$ ), BOX의 용적(V) 및 유입, 유출 잔류량( $r, R$ )에 의하여 설명한다. 일 시점(t)에서의 BOX중 오염물질의 농도는 다음 식에 의해 표시된다.

$$C_t = (1/V_t)(r_t q_t + R_t Q_t) + p_t C_{t-1}$$

(단,  $p$ 는  $t-1$  시점에서의 농도의 잔류량)

이 model을 농약살포시 농도산출에 적용해 보면, 포집 위치가 살포점의 상부에 위치하여 살포시의 농도구배는 대체로 일정하고, 살포시간에 비해 농도구배에 도달하는 시간은 거의 무시할 수 있으므로 기류와 기압의 영향을 배제하면 위의 식은 상대위치와 살포속도의 함수로 표시할 수 있다.

포집위치에서의 공기중 농도( $C_H$ )는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$C_H = \frac{S \times V}{\pi \times A \times H_0 \times H^2}$$

( $V$ 는 흡입공기량,  $H_0$ 는 살포점의 높이,  $H$ 는 포집위치의 높이)

본 연구에서는  $H_0=1$ ,  $H=1.6$ 으로 고정하여 공기 중 BPMC 농도를 추정하였다.

### III. 성 적

BPMC의 살포량, 살포시간 및 살포면적은 표1과 같다. A지역에서는 미리 조정된 양을 계획한 만큼 살포하여 200내지 500 ml의 BPMC 유제(BPMC 50%)를 1.5내지 2시간 동안 살포하였다. B지역에서는 30분내지 5시간에 걸쳐 100내지 2,000ml의 BPMC 유제를 살포하였다.

그림 1과 그림 2는 gas chromatography 법에 의해 검출된 BPMC를 나타낸 것이다. A지역에 비해 B지역에서는 BPMC 이외의 농약도 혼합 사용하였으므로 A지역 표본들에 비하여 좀 더 많은 peak를 볼 수 있었다.

gas chromatography용 분석액중의 BPMC 농도는 A

Table 1. Spray condition of BPMC by volunteers

	Area	Mean	Range
Amount(g)	A	350	200- 500
	B	575	100-2000
Spray Time(hr)	A	1.8	1.5-2.0
	B	2.3	0.5-5.0
Area (m <sup>2</sup> )	A	1944	1296-2592
	B	4617	648-16200

\* :  $N_A=10$ ,  $N_B=8$

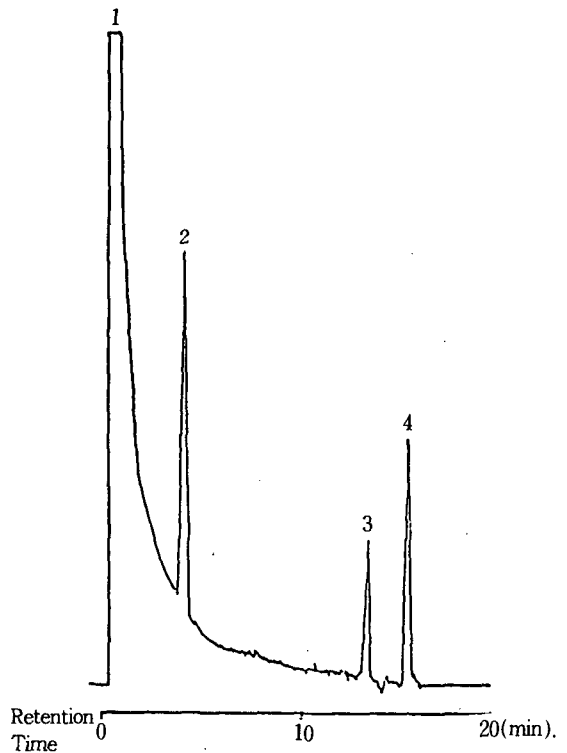


Fig. 1. Gas chromatogram of activated charcoal extract for controlled BPMC spray sample

- 1 : Solvent (Acetonitrile)
- 2 : Pesticide solvent
- 3 : BPMC
- 4 : Internal standard

지역에서는 평균 7.9 ppm이었으며, B지역에서는 평균 0.6 ppm이었다. 이를 흡입공기량에 따라 공기중 농도로 환산하면, A지역의 경우 평균 5.7 mg/m<sup>3</sup>로 나타났고, B지역에서는 평균 1.6 mg/m<sup>3</sup>로 나타나 공기중의 BPMC

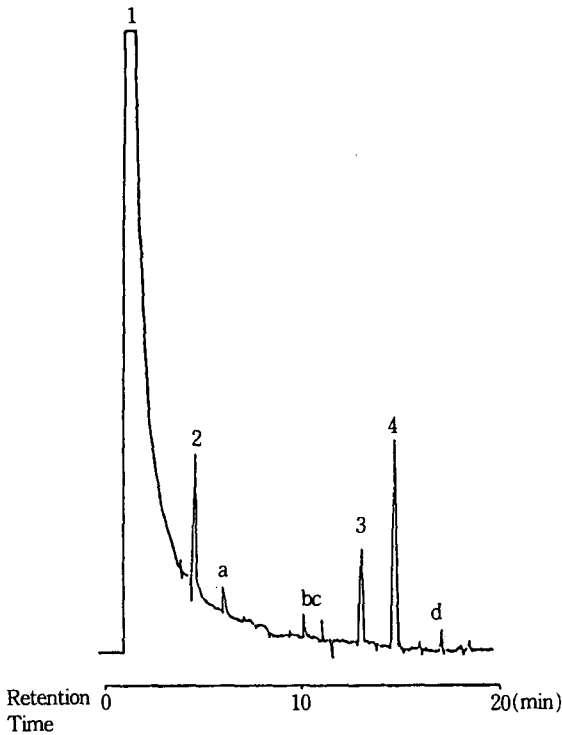


Fig. 2. Gas chromatogram of activated charcoal extract for uncontrolled sample  
a-d : Impurities

Table 2. Concentration of BPMC in GC solution and atmospheric air

Area	GC. sol. (ppm)	Vol. of air (L)	Air (mg/m <sup>3</sup> )
A	Mean 7.9	20.4	5.7
	Range 3.6-12.4	16.8-24.1	3.0-7.7
B	Mean 0.6	13.8	1.6
	Range 0-1.3	3.1-29.0	0-6.5

농도는 살포조건을 통제된 A지역에서 유의하게 더 높았다.

검출된 BPMC의 총량과 살포면적 등에 따른 이론적 검출추정량을 비교해 보면, A지역의 경우 검출추정량에 대해 평균 52.9%의 실제검출량을 나타내었으나, B지역에서는 평균 16.1%의 매우 낮은 비율을 나타내어 A지역의 검출비율의 약 3분의 1 정도였다.

특히 B지역의 경우 살포한 BPMC양이 200 ml 이하일 때 예측된 공기중 농도와 관계없이 모두 검출한계 이하

Table 3. Comparison of predicted and measured BPMC concentration (mg/m<sup>3</sup>) in atmospheric air

Area	Sample	Predicted	Measured	(M) / (P)%
	Mean	10.8	5.7	52.9
A	SD	1.2	1.4	12.2
	Range	9.6-12.0	3.0-7.7	32.6-76.9
	1 (200)	4.8	b, d*	0.0
	2 (500)	5.6	0.8	14.3
	3 (100)	9.6	b, d*	0.0
	4 (500)	9.6	3.2	32.8
B	5 (700)	16.8	6.5	38.6
	6 (100)	9.6	b, d*	0.0
	7 (2000)	7.7	0.5	7.2
	8 (500)	5.6	2.0	36.2
	Mean(575)	8.7	1.6	16.1

\* b, d : below detection limit

로 나타나 이것이 검출비율의 저하에 상당한 부분을 차지하였다. 그러나 살포한 BPMC양이 많은 경우에도 높은 검출율을 인정하기는 곤란하였다(표 3).

#### IV. 고 안

Carbamate 제제는 살충제, 제초제, 살균제, 성장억제제 등 농약으로서 다양하게 사용되고 있으며, 1950년대 소개된 이래 그 사용이 급증하고 있어 1980년대 이후에는 세계적으로 매년 35,000톤 이상 사용되고 있으며, 우리나라에서의 사용량도 매년 2,000톤에 이르는 것으로 알려져 있다 (FAO, 1985; WHO, 1986; 농약공업협회, 1987).

Carbamate 계통 살충제의 기본작용은 유기인제 살충제와 마찬가지로 신경계통의 Acetylcholinesterase (AChE)의 억제작용에 의한다(김건열, 1978; WHO, 1986). 몇 가지 다른 esterase 효소들도 역시 억제될 수 있다. 그러나 유기인제에 의한 Phosphorylation과는 달리 효소의 carbamylation은 매우 불안정하여 AChE의 재생이 비교적 신속하며 따라서 유기인제에 비해 인체에 대한 독성도 비교적 약하며 치사량과 중독량간에도 상당한 용량 차이가 존재한다 (WHO, 1986). 이러한 특성은 carbamate 제제의 안정성과 함께 그 사용이 급격히 증가되는 요인

이 되고 있다.

Carbamate 화합물의 만기장애로는 조혈기능의 장애, 신장 및 간장기능의 장애, 청력 저하 등이 논의되고 있으나 현재까지는 정식 역학적 조사에 의하여 증명되어 있지 못하다 (WHO, 1986). 발암성 측면에서는 carbamate 화합물의 하나인 Ethyl Carbamate(Urethane)의 발암성은 널리 알려져 있으나 화합물의 구조가 변할수록 발암성이 감소하여 일반 농약제제의 발암성이 확실히 인정된 경우는 아직 없다 (WHO, 1986). 이러한 특성들은 carbamate 화합물 농약들을 약독성 농약으로 분류하게(농약공업협회, 1987) 하고 있다.

그러나 carbamate 농약 사용의 급격한 증가는 이로 인한 인체 피해의 발생을 증대시키게 된다. 아울러 체계적인 역학조사가 안되어 있는 상황에서는 그 영향을 정확히 파악하기 불가능함에도 불구하고 무분별한 사용의 증가는 자칫 심각한 사회적 문제를 야기할 수 있어 이에 대한 조속한 방안 마련이 필요한 실정이다. 본 연구에서는 이러한 관점에서 직업적인 carbamate 제제 농약 폭로를 추정하기 위한 예비단계로서 농약 살포시의 폭로 정도를 개인용 포집기를 이용하여 측정하여 보았다.

본 연구에서 사용한 BPMC는 carbamate계 살충제의 주종을 이루는 제제로 BP, Baybassa, Bassa, Sumibas 등 여러 가지 상표로 시판되고 있으며 벼멸구의 구제에 주로 사용된다.

나타난 성적을 살펴보면 우선 개인용 포집기에 의한 공기중 BPMC의 포집은 정상적 분석을 위해서는 매우 유용하게 사용될 수 있을 것으로 생각되며 정량적 분석도 가능함을 시사하고 있다. 이론적 추정치와 실제 측정치가 상당히 다른 것은 살포조건에 변동이 상당한 부분을 차지하는 것으로 사료된다. 아울러 살포시간, 면적 및 살포량 등을 통제한 군에 비해 통제하지 않고 임의 살포케 한 군에서의 검출비율이 유의하게 낮은데, 이것은 실제 현장조사를 통한 폭로량의 추정을 위해서 포집 및 측정방법에 대한 구체적인 분석과 함께 작업조건에 대한 충분한 검토가 필요한 사항이라 하겠으며, 이러한 분석과 검토를 통하여 농약 폭로를 줄일 수 있는 합리적인 작업조건을 도출할 수 있을 것이다.

그러나, 본 연구에서는 여러 가지 제약상 AchE 활성도의 측정을 완료하지 못하여 실제 인체 피해를 추정하기 위한 biological monitoring의 의의를 제시하지 못한 점이 있으나, 이 점은 cabamate 중독시 AchE 활성도가

단지 일시적으로만 하강한다는 사실에 비추어 볼 때 현장에서 측정 가능한 방법을 도입해야 할 것으로 생각한다 (Izmirova N, 1980). 또한 biological monitoring의 일환으로 요중 phenolic metabolite(non-halogenated phenol) 분석(WHO, 1986)도 차후 검토해 보아야 할 과제의 하나이다.

본 연구는 실험-대조군 연구가 아닌 유사 현장실험연구로서 단면조사의 성격을 가지고 있기 때문에 그 장단점을 모두 포함하고 있는 반면, 이 분야에 대한 연구가 거의 전무한 실정에서 현장에서의 폭로도를 추정하기 위한 기초자료로 매우 유용하게 사용될 수 있을 것이며, 농약 피해를 예방하기 위한 밑거름이 될 수 있을 것이다.

## V. 결 론

Carbamate 농약에 대한 농촌 주민의 피해도를 추정하기 위하여 1988년 8월중 전라남도 2개 농촌 지역에서 개인용 포집기를 이용하여 농약 살포시 공기중 carbamate 제제(BPMC)를 포집하여 gas chromatography로 그 농도를 측정하였다.

환산한 살포시 공기중 BPMC 농도는 최고 7.7 mg/m<sup>3</sup>이었으며, 살포량과 살포시간 등을 통제한 군에서 임의로 살포하게 한 군에 비해 더 높게 나타났다. 측정된 BPMC의 공기 중 농도는 이론적 추정치에 비해 낮았으며, 이는 여러 가지 살포조건에 차이에 의한 것으로 추정되었다.

이상의 사실은 개인용 포집기를 이용한 농약 폭로도의 추정 가능성을 시사하여 준다고 할 수 있다.

## 참 고 문 헌

- 김건열. 농약의 임상. 인간과학 1978; 2: 43
- 농림수산부. 1987년도 농림수산물 통계연보. 농림수산부, 1987
- 농약공업협회. '87 농약사용 지침서. 농약공업협회, 1987
- 전라남도. 제27회 전남통계연보. 전라남도, 1987
- 정규철. 농약중독의 예방. 대한의학협회지 1974; 17: 838
- ECC. Miniature Personal Air Sampling Pumps. Venetia Pennsylvania, Environmental Compliance Co., 1978
- FAO. Production Yearbook, 1984. Rome, Food and Agriculture Organization, 1985

- Izmirova N. Methods for determination of exposure of agricultural workers to organophosphorous pesticides.  
In. Tordoir WF, van Hemmstra-Lequin EAH(eds). *Field worker exposure during pesticide application*. New York, Elsevier Scientific, 1980, pp.162-172.
- Williams S(ed). *Official methods of analysis of association of official analytical chemists*, 14th ed. Arlington VA, AOAC, 1984, pp.137-138
- WHO. Environmental Health Criteria 64- Carbamate Pesticides, *A General Introduction*. World Health Organization, 1986
- Yeh, JT. *Modeling Atmospheric Dispersion of Pollutants*. In. Cheremisinoff PN, Young RA(eds). *Air Pollution Control and Design Handbook*, New York, Marcel Dekker, 1977, pp.167-178