미곡생산을 위한 농약사용의 적정화 방안*

박준근 · 이승찬**

A Study on Optimization of Using Agricultural Pesticides in Rice Production

Park Joon-Keun · Lee Seung-Chan**

〈목 차〉

Ⅰ. 서 론
Ⅱ. 우리나라 미곡생산농약사용 현황
Ⅲ. 이론적 모형
Ⅳ. 농약사용의 효과와 적정농약사용량 추정
Ⅴ. 요약 및 결론

Ⅰ. 서 론

우리 나라는 지금 농촌의 가용노동력 부족과 농업인의 노령화 현상이 심화되면서, 점차로 노동절약적이고 자본·기술집약적인 농업생산체제가 심화되어가고 있는 것이 사실이다. 여기에다 정부는 기초식량의 자급체제 확보, 농업소득지지, 농업경쟁력의 제고라는 농정목표를 전제로 농업생산에 있어 규모의 경제를 추구하고 있다. 이와 같은 규모화 촉진방안과 더불어 쌀의 생산방식이 생력적으로 전환됨에 따라서 미곡생산의 기계화와 고독성 농약의 사용이 계속될 전망이다. 그러나, 농작물의 병해충이 발생할 경우 무방제시 생산감소율은 아시아 지역의 43.3%, 구주지역 25.0%, 한국 26.2%(이승찬, 1990) 등으로 나타난 바와 같이 그 피해율이 크다고 할 수 있다. 지난 5년간(1993~1997) 우리 나라 쌀 생산에 사용된 각종 농약 성분량(active ingredient: a.i.)은 연평균 5.2kg/ha로 나타났다. 이는 동 기간 전체 농업생산에 사용된 연평균 농약 성분량 11.7kg/ha의 44.4%에 해당한다(농림부, 1998, p.241).[1)]

*이 논문은 1996년도 한국학술진흥재단의 '96학제간 연구과제 연구비에 의하여 연구되었음.
**각각 전남대학교 농과대학 농업경제학과 및 응용식물학부 교수.

1) 일본에서는 지난 1989-1993년 동안의 농약출하량은 연평균 29.0kg/ha으로 나타났는데, 같은 기준하에서 동 기간 우리나라에서는 12.3kg/ha로 추정되었다. 이는 ha당 우리나라 농약사용량이 일본의 42.4% 수준에 해당되는 것을 의미한다(日本 農林水産省 統計情報部, 1995. 9, pp.76, 92; 농림수산부, 1996. p.211). 한편, 10a당 쌀생산 농약비는 일본의 30% 수준에 불과하나 대만보다는 10%, 미국보다 40%, 캘리포니아 보다는 20%나 높은 것으로 나타났다(농촌진흥청 농업경영관실, 농축산물 생산비비교-국가별 작목, 1995.10).

한편, 소비자들은 소득이 향상되면서 값싼 농산물보다는 저농약/유기농산물이나 건강지향적 안전 농산물을 선호하는 소비추세를 보이면서, 농약의 잔류성분이 발견되거나 건강에 해로운 것으로 추정되는 농산물을 기피하는 경향이 있다. 상대적으로 가격이 저렴한 외국쌀의 도입량이 늘어가고, 2004년 이후에는 현재의 MMA 물량수준 이상으로 쌀시장의 개방압력이 전개될 것으로 예상이 되는데, 수입쌀과 경쟁할 수 있는 방안의 하나는 국산쌀의 품질향상과 동시에 농약사용을 적정수준으로 줄이는 것이라고 할 수 있다. 수입되는 외국쌀은 생산과정과 해외수출을 위한 저장 및 운반과정에서 다량의 농약사용이 불가피함을 고려할 때 농약잔류분이 상대적으로 낮은 국내산 쌀의 선호도가 높게 되고, 그렇게 되면, 다소 높은 가격으로도 국내 쌀산업이 발전 유지될 수 있을 것으로 사료되기 때문이다.[2)]

본 연구에서는 생산자에게는 안정적인 쌀소득을 유지하고, 소비자에게는 상대적으로 안전한 쌀을 소비할 수 있도록 하며, 환경오염 수준을 감축시킬 수 있는 목표를 동시에 접근하기 위하여, 우리 나라 쌀 생산과 농약사용 현황, 최근 연도별 주요 병해충 발생 및 피해, 쌀 생산의 있어 적정 농약사용수준 등을 제시해 보고자 한다. 이 분야의 선행연구로 외국에서는 주로 병해충의 발생 및 방제에 관한 연구와 병해충 종합관리(IPM : Integrated Pest Management)에 관한 연구가 활발한 셈인데, 대표적인 연구로서는 Headley(1968), Reichelderfer(1984), Hall(1985), Carrasco-Tauber(1992), Higley(1996) 등의 선행연구를 들 수 있다. 우리 나라에서는 농약사용의 기술적 연구로는 상당히 많은 선행연구 결과를 발견할 수 있는 바, 박래경(1990), 이승찬(1990) 등의 연구가 있으나, 농약사용의 경제성 연구는 아직은 초보단계에 있다고 볼 수 있다.

Ⅱ. 우리나라 미곡생산 농약사용 현황

지난 1970~1997년 동안 쌀 생산자의 10a당 실질 조수입은 ₩1,927에서 ₩6,261으로 3.2배, 실질 생산비는 ₩1,418에서 ₩3,092으로 2.2배 정도 증가했다. 실질 경영비는 ₩571에서 ₩1,539으로 약 2.7배나 증가하였다. 그 결과, 10a당 실질소득은 ₩1,355에서 ₩4,722으로 약 3.5배 증가하였고, 실질 순소득은 ₩509에서 ₩3,169으로 6.2배 증가되었다(표 1). 동기간 1인당 GNP가 $252에서 $9,511로 약 33배 증가에 비하면 매우 대조적이다.

2) 실제로 미국의 지난 1996년 쌀 생산농약 사용량은 총 8,189,268kg(a.i.)였는데, 그 중에서 제초제가 83.6%, 살균제 13.0%, 나머지 살충제 3.4%로 나타났다. 이는 1996년 미국의 쌀 생산면적 1,133천ha를 감안하면 미국 쌀 생산과정에서 사용된 농약성분은 평균 7.23kg/ha로 추정된다. 당해연도 우리나라 쌀 생산 농약사용량 4.8kg/ha보다 51% 이상 높은 수준이다. 여기에다, 미국에서 아시아지역까지 수출하기 위한 저장과 운송과정에서 품질의 변질을 막기 위해 사용되는 방부제를 비롯한 각종 농약처리과정을 고려하면 미국쌀은 한국쌀보다 엄청나게 많은 농약을 처리할 수 밖에 없음을 알 수 있다(U.S. Department of Interior, U.S. Geological Survey, Pesticide National Synthesis Project, *USGS Water Reources in California: Pesticides used in Rice Production*, July 7, 1997).

<표 1> 쌀의 실질 조수입, 생산비, 순수익(1990=100)

(단위 : 원/10a)

년 도	조 수 입 (A)	생산비[1] (B)	경영비[2] (C)	소 득 (A-C)	순 소 득 (A-B)	소비자물가지수 (1990=100)
1970	1,927	1,418	571	1,355	509	12.1
1975	3,411	2,166	890	2,521	1,245	24.6
1980	3,217	2,638	1,127	2,090	579	54.5
1985	4,853	3,283	1,483	3,370	1,570	76.8
1990	5,811	3,859	1,702	4,109	1,952	100.0
1995	5,454	3,049	1,465	3,989	2,405	135.1
1997	6,261	3,092	1,539	4,722	3,169	148.2
'97/'70	3.2	2.2	2.7	3.5	6.2	-

1) 경영비+자가노력비+토지용역비+자본용역비
2) 중간재비+고용노력비+차용축력비
자료 : 농촌진흥청 농업경영관실, 「농축산물표준소득」, 각년도

또, 동 기간 실질 농기계비용은 ₩32에서 ₩444으로 무려 14배, 실질 농약비용은 ₩27에서 ₩133으로 5.0배나 증가되었다. 이는 많은 쌀 생산작업이 생력적으로 이뤄지고 있으나 농약과 농기계비용이 빠르게 증가하고 있어서 지금까지의 생력적 생산방식으로도 생산비를 크게 줄이지 못하고 있음을 의미한다. 쌀 생산비에서 높은 비중을 차지하는 실질 노력비는 ₩487에서 ₩776으로 1.6배, 실질 토지용역비도 ₩561에서 ₩1,346으로 2.4배나 증가하여서 총생산비의 69%를 차지하고 있다. 이것을 정곡 kg당 실질생산비로 환산하면 1970년 ₩5.4/kg에서 1996년 ₩6.0/kg으로 증가해 동기간 무려 11.1% 증가한 것으로 나타났다. 한편, 최근 1997년 토지용역비는 총생산비의 43.5%를 차지했다.

지난 1993년 기준 쌀의 kg당 생산자 명목가격은 일본 ₩2,926, 우리 나라 ₩951, 타이완 ₩632, 미국 ₩267 등으로 나타나서, 타이완의 150.5%, 미국의 356.2% 수준으로 밝혀졌다(농촌진흥청 농업경영관실, 1995). 또, 이 자료에 의하면, 쌀 1kg당 소요된 농약비는 일본이 ₩129, 한국 ₩38, 타이완 ₩34, 미국 ₩25 (캘리포니아 ₩20)으로 추정되어서 일본의 농약비용이 나머지 국가에 비하여 매우 높은 것으로 조사되었다.[3]

우리 나라 쌀산업의 문제는 규모의 영세성에 따른 높은 생산비와 유통비, 그리고 소비자들이 선호하는 품질의 쌀을 조달해야 하는 점이라고 할 수 있다. 이는 적정수준의 농약을 사용하여 잔류농약 성분이 낮은 쌀을 포함하고 있음은 물론이다. 우리 나라 쌀 생산에 투여된 농약(a.i.)은 출하량 기준으로 1980년의 9,509톤에서 1991년의 11,665톤으로 증가하다가 1995년에는 7,195톤으로 감소하였다(표 2).

3) 환율(1993): 일본 ₩/¥= 7.225, 타이완 ₩/NT= 30.345, 미국 ₩/$= 808.1.

<표 2> 쌀생산 농약 사용량(a.i.)

(단위: 톤, %)

년 도	살 균 제	살 충 제	제 초 제	계	(1991=100)
1980	3,094 (34)	3,337 (37)	2,628 (29)	9,509 (100)	81.5
1985	2,673 (28)	4,396 (45)	2,642 (27)	9,711 (100)	83.2
1990	3,085 (28)	5,344 (49)	2,535 (23)	10,964 (100)	94.0
1991	3,394 (29)	5,860 (50)	2,411 (21)	11,665 (100)	100.0
1995	1,982 (28)	2,885 (40)	2,328 (32)	7,195 (100)	61.7
평 균	2,661	4,124	2,510	9,295	-
'95/'80	0.64	0.86	0.88	0.75	-

자료 : 농약공업협회, 『농약연감』, 각년도.

특히, 1993년부터는 그 감소추세가 뚜렷하다. 농약사용량이 가장 많았던 1991년 수준을 100으로 할 때, 1993~1995년간의 지수는 61.7~67.9 수준이다. 이는 최근 몇년간 벼농사에 알맞는 일기의 지속으로 병해충의 발생이 감소되고, 그에 따라서 농약사용이 줄어든 때문이다.

최근 1995년 살균제의 사용량은 1980년 사용량의 64%, 살충제는 86%, 제초제는 88% 수준을 사용해서 전체적으로는 75% 수준인데, 이는 15년전보다 전체 농약 사용량의 25% 정도가 감소된 수준이다. 지난 15년간 총농약 사용량 중에서 살균제는 28.6%, 살충제는 44.4%, 제초제는 27.0%를 차지해서 벼의 해충방제를 위해서 사용한 살충제가 가장 많은 것으로 나타났다. 살균제는 전체 농약사용량의 평균 28.6%, 살충제는 평균 44.4%, 그리고 제초제는 평균 27.3%를 차지하고 있다. 연간 평균 사용량을 살펴보면, 살균제는 2,661톤, 살충제는 4,124톤, 그리고 제초제는 2,510톤을 사용하고 있어서 쌀생산 농약은 매년 평균 9,295톤으로 나타났다.

이 농약을 1ha당 사용량으로 환산하면, 전체 농산물 생산에 소요된 농약은 1980년 5.8kg/ha 수준에서 1997년말 현재 11.8kg/ha 수준으로 거의 2배 수준으로 증가되었다(표 3). 그러나, 같은 기간 쌀생산에 투여된 농약은 1991년에 7.7kg/ha 수준까지 증가되었으나, 그 이후 다소 감소하여 1997년에는 6.2kg/ha 수준을 보이고 있다.[4)]

<표 3> 농약사용량(a.i) 추정

(단위 : 천ha, kg/ha)

년 도	전 체		쌀		C/A	D/B
	면 적(A)	사용량(B)	면 적(C)	사용량(D)		
1980	2,765	5.8	1,233	5.2	44.6	89.7
1985	2,592	7.0	1,237	5.7	47.7	81.4
1990	2,409	10.4	1,244	6.8	51.6	65.4
1991	2,332	11.7	1,208	7.7	51.8	65.8
1995	2,197	11.8	1,056	4.6	48.1	39.0
1997	2,097	11.8	1,052	6.2	50.2	52.5
'97/'80	0.76	2.03	0.85	1.19	-	-

자료 : 농림부, 『농림업 주요통계』, 1998.

4) 이 때, 농약을 처리하지 않은 면적을 감안할 때, 실제적으로 농약을 처리한 면적당 농약사용량은 이보다 더 높을 것으로 추정된다.

최근, 쌀 생산에 사용된 농약은 6.2kg/ha로서 전체 작물에 투여된 농약량 11.8kg/ha의 52.5%로 나타났는데, 이러한 비율은 1980년의 89.7% 수준에서 계속해서 감소되고 있음을 의미한다. 그리고, 1997년의 전체 농경지 면적이 1980년의 면적대비 76% 수준으로 감소되었으나, 1ha당 농약 사용량은 103%나 증가하였으며, 벼 재배면적도 동기간에 15%가 감소하였으나 벼 생산에 사용된 1ha당 농약 사용량은 19% 증가한 것으로 나타났다.

이러한 농약사용의 실질비용은 1980년의 15.4억원에서 최근 1995년에는 13.8억원으로 약 11%가 감소하였다. 또, 1995년 현재 총농약 사용비면에서 보면 살균제 처리비용이 차지하는 비율은 26.6%, 살충제 처리비용 30.8%, 그리고 제초제 처리비용이 42.6%를 차지하여 농약의 주성분 사용량과는 달리 제초작업에 소요되는 농약처리비가 가장 높은 비율을 차지하고 있다(표 4).

한편, 이들 종류별 농약처리의 실질비용의 증가상황을 살펴보면, 지난 1980~1995년의 살균제 처리의 실질비용은 6.5억원에서 3.7억원으로 약 43% 감소하였으며, 살충제 처리 실질비용은 6.2억원에서 4.3억원으로 31%가 감소하였으나, 제초제 처리 실질비용은 오히려 2.8억원에서 5.9억원으로 110%나 증가되어서 농작업의 기계화 촉진 이후 우리 나라 농산물 생산에 있어서 제초제 사용이 보편화되고 있음을 발견할 수 있다(농약공업협회, 1996).

이제 지난 10년간 벼생산의 실질 농약비는 1987년 ₩130/10a이었으나 최근 1997년에는 ₩133/10a으로 약 2.3%가 증가하였고, 이 농약비가 중간재비에서 차지하는 비율은 9.6% 수준에서 16.2%로 증가하고 있다. 물론, 실질 노력비는 동 기간 1% 증가로 거의 안정적이나, 노동력을 대체하는 대농구비는 무려 67%나 증가하여서 생력적 생산을 추구하면서도 농기계 관련비용의 빠른 인상으로 인하여 쌀 생산비의 절감이 쉽지 않음을 알 수 있다(표 5).

<표 4> 벼생산 농약처리 실질비용(1990=100)

(단위 : 백만원, %)

년 도	살 균 제	살 충 제	제 초 제	계	사용지수 (1991=100)
1980	648	617	277	1,542	39.8
1985	534	612	289	1,434	52.1
1990	510	680	546	1,736	82.2
1991	560	771	602	1,933	100.0
1995	367	425	588	1,380	88.2
평 균	524	621	460	16.5	-
'95/'80	0.57	0.69	2.1	0.89	-

자료 : 농약공업협회, 『농약연감』, 각년도.

<표 5> 실질 농약비의 對쌀생산비 비율(1990=100)

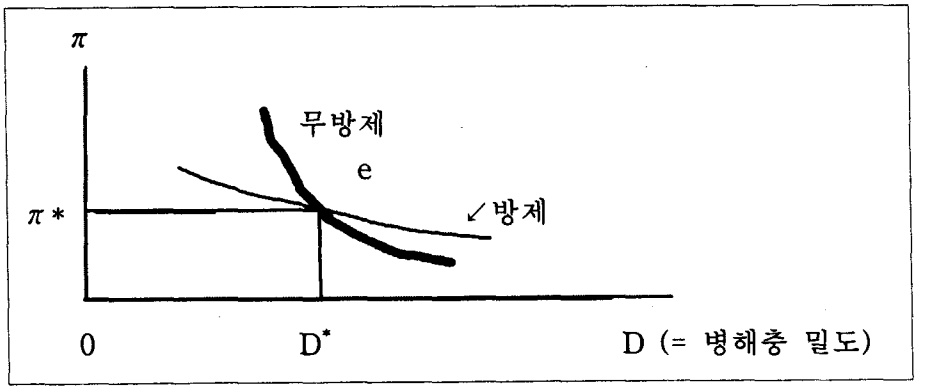
(단위 : ₩/10a, %)

	농약비(A)	중간재비(B)	노 력 비[1]	대농구비[2]	A/B
1987	130	1,351	793	264	9.6
1990	124	1,496	942	404	8.3
1995	111	801	816	440	13.8
1997	133	819	776	441	16.2
'97/'87	102.3	0.61	0.98	1.67	-

주 : 1) 노력비=자가노력비+고용노력비
2) (대농구비+수리비) : 1985~1991 ; (대농구상각비+수리비) : 1992~1997
자료 : 농림부, 전게서.

Ⅲ. 이론적 모형

병해충 방제작업은 농약을 무계획적으로 사용하기 보다는 이윤 극대화 조건하에서 사용되는 것이 바람직하다. 왜냐하면, 병해충 발생 그 자체가 바로 산출고의 감소로 연결되는 것도 아니고, 산출고가 감소되더라도 방제작업비용을 감안한다면 병해충 밀도에 따라서 방제작업의 실시 여부 내지 농약의 적정 사용수준을 결정해야 하기 때문이다. 이것을 좀 더 부연해서 설명하자면, 다음 <그림 1>에서 방제작업의 경제적 분기점(ET)인 D^* 좌측에서는 병해충이 다소 발생하더라도 방제작업을 하지 않는 것이 경제적으로 바람직하나 D^* 우측에서는 방제작업을 하는 것이 경제적인 면에서 바람직하기 때문이다.[5] 또한, 이 그림이 원점에 대해서 볼록한 것은 병해충의 밀도가 낮은 경우에는 병해충의 한 단위가 갖는 한계적 피해가 작아서 이윤의 감소폭도 작게 나타나지만 병해충의 밀도가 높아질수록 이윤의 감소폭도 커지는 현상을 반영하기 위함이다.



<그림 1> 방제작업의 경제적 분기점(ET)

5) 이 경제적 분기점(ET: economic threshold)이라는 것은 경제적 손실을 예방하기 위해서 방제작업이 필요한 병해충 밀도수준을 의미한다.

이것은 생산자의 입장에서 뿐만 아니라 소비자 그리고 환경오염의 완화라는 측면에서도 바람직하기 때문이다. 따라서, 본 연구에서는 해당 병해충의 분포밀도와 벼 생산에 소요되는 방제작업 비용, 그리고 산출고의 증감에 따른 경제적 손익을 종합적으로 고려해서 농약사용의 적정수준을 도출하고자 하였다. 이 농약사용의 적정화는 바로 벼 생산자의 이윤 극대화 조건하에서 얻을 수 있는 바, 본 연구에서 사용키로 한 분석모형의 설명은 다음과 같다.

$$\pi = PY^1 - rx - F \quad \cdots\cdots (1)$$
$$Y^1 = Y_0 - aD^1 \quad \cdots\cdots (2)$$
$$D^1 = D_0 e^{-bx} \quad \cdots\cdots (3)$$

여기에서, π = 방제작업 이후의 쌀 생산자 이윤, ₩/10a
P = 쌀의 생산자 수취가격, ₩/10a
Y^1 = 방제작업 이후의 산출고, kg/10a
r = 농약가격, ₩/10a
x = 농약사용량, kg/10a
a = 병해충 단위별 단수의 피해, kg
b = 방제작업으로 인한 병해충 감소율, %
F = 방제작업 고정비용, ₩/10a
Y_0 = 무병해충 조건하에서의 잠재적 산출고, kg/10a
D_0 = 방제작업 이전의 초기병해충 밀도, %
D^1 = 방제작업 이후의 병해충 밀도, %

결국, 벼 생산의 이윤은 농가수취 쌀가격, 산출고, 방제비용, 병해충 밀도의 함수로 정리될 수 있다는 것이다. 병해충 밀도함수(density function)는 exponential함수인데, 이는 방제작업을 통해서 병해충의 밀도가 줄어들지만, 그 방제작업의 회수 또는 사용되는 농약의 양이 증가될수록 해당 병해충의 내성이 커지기 때문에 그 방제효과가 체감되는 현상을 반영하고자 함에 있다. 이러한 방제작업과 해당 병해충의 밀도관계가 역체감(逆遞減)하는 관계에 있음을 다음 〈그림 2〉에서 보여주고 있다.[6]

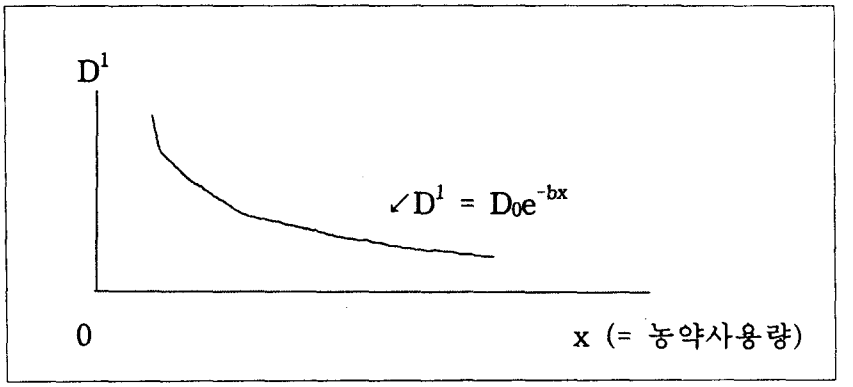
이제 (2)식과 (3)식을 (1)식에다 대입하면, 다음 (4)식이 된다.

6) 이와 같은 관계를 수리적으로 정리하자면 다음과 같이 설명된다.

$$\frac{dD^1}{dx} = -bD_0e^{-bx} < 0$$
$$\frac{d^2D^1}{dx^2} = b^2D_0e^{-bx} > 0$$

$$\max \quad \pi = P(Y_0 - aD_0e^{-bx}) - rx - F \ , \quad a \geq 0 \quad \cdots\cdots (4)$$

이 (4)식에서, P(농가수취 쌀가격)와 r(방제농약가격)을 고정된 시장가격으로 가정하고 x에 대해서 이윤극대화 제1차 조건을 구하면, 다음 (5)식이 도출되는데, 이는 한계생산가치(VMP)와 생산요소비용이 일치하면 이윤극대화가 가능함을 보여준 것이다



<그림 2> 병해충의 밀도와 방제작업의 관계

$$\frac{\partial \pi}{\partial x} = PaD_0be^{-bx} - r = 0 \quad \cdots\cdots (5)$$

이 (5)식을 재정리하면 $r = PaD_0be^{-bx}$가 되며, 양변에 대수를 취하면,

$$bx = \ln\left(\frac{PabD_0}{r}\right)$$가 되고,

이어서 다음 (6)식과 같은 이윤극대화 방제작업량 (또는 농약사용량) x^*의 도출이 가능해진다.

$$x^* = \frac{\ln\left(\frac{PabD_0}{r}\right)}{b} \quad \cdots\cdots (6)$$

그리고, 이 (6)식을 (3)식에 대입하면, 위에서 말한 방제작업의 경제적 분기점(ET) $D^* = \frac{r}{Pab}$의 도출이 가능하다. 따라서, 쌀의 농가수취가격수준, 방제작업의 효율성, 농약가격, 그리고 해당 병해충의 최초밀도 D_0의 수준이 어느 정도인가에 따라서 x^*의 수준도 달라지기 마련이다.

Ⅳ. 농약사용의 효과와 적정농약사용량 추정

앞에서 도출된 수식에 따라서 적정농약사용량의 추정에 앞서서 지금까지 우리 나라에서 벼생산에 사용되어온 농약의 방제효과를 살펴보고, 적정사용량 추정을 하고자 한다. 벼의 주요 병해충[7]중에서 본 연구에서는 벼멸구, 도열병 그리고 문고병(잎집무늬마름병)의 세가지를 중심으로 해서 지난 6년(1990-1995) 사이에 전라남도 내륙지방에서 실시된 실험자료를 이용하였다(표 6).

<표 6> 방제방법에 따른 주요 병해충 정도와 산출고

		1990	1991	1992	1993	1994	1995	평균
종합방제	벼 멸 구[1]	9	51	1	2	4	14	13.5
	문 고 병[2]	25.9	34.6	29.6	20.6	44.1	44.1	33.0
	도 열 병[3]	0	0	0	0	0	17	-
	산출고(kg/10a)	519	416	494	495	596	502	485
관행방제	벼 멸 구	5	129	3	0	3	16	26.0
	문 고 병	22.9	21.5	18.5	8.5	32.5	23.1	21.2
	도 열 병	0	0	0	0	0	6	-
	산출고(kg/10a)	534	418	484	524	596	499	492
무방제	벼 멸 구	1,298	1,293	18	2	8	22	440.2
	문 고 병	42.2	53.2	45.2	17.6	49.3	47.3	42.5
	도 열 병	0	0	0	0	0	271	-
	산출고(kg/10a)	399	341	464	484	573	446	427

주 : 1) 마리수/30주 ; 2) 이병경율 ; 3) 병반수/30주
자료 : 전라남도 농촌진흥원/전남대학교 농과대학 응용식물학부

이처럼, 전라남도 지역에서 실험한 지난 1990~1995년도의 수도작 주요병해충 밀도와 산출수량을 살펴보면, 농약을 무처리하였을 경우 평균 427kg/10a로 나타났다. 이 실험자료에서는 벼생산에 가장 주요한 병해충중에서 벼멸구와 문고병 그리고 도열병의 발생율 및 그 피해도를 설명하고 있다. 동기간 벼멸구는 무농약방제시 벼 30주당 평균 440마리로 나타났는데, 이는 1990~1991년의 두 해 동안 30주당 무려 1,300여 마리 정도가 발생했던 때문으로 보인다.[8] 매년 비교적 고르게 발생하는 문고병의 이병경율은 과거 6년간 평균 42.5%로서 최저 17.6%에서 최고 53.2%까지 이르고 있다. 도열병은 1990~1994년 사이에는 거의 발병하지 않았으나, 1995년에는 벼 30주당 도열병 반점이 271개나 되었다. 그 결과로 벼의 산출고는 341~573kg/10a로 기

7) 우리나라에서 지난 20년간 벼 생산에 피해를 주는 주요 해충은 줄기를 파먹고 흡즙을 하는 이화명나방과 벼멸구, 줄기흡즙과 virus를 매개하는 흰등멸구, 애멸구, 끝동매미충, 잎을 갉아먹는 흑명나방 등으로 알려져 있는데, 본 연구에서 말하는 주요 벼의 해충은 이들을 의미한다.

8) 벼멸구에 의한 벼의 고사시기에 따른 벼의 감수량을 살펴보면, 벼멸구가 벼출수후 30일경에 출현하면 감수량이 80~90%에 이르고, 출수후 40일경에는 약 50%, 그리고 출수후 50일경에는 약 10%의 감수량이 발생하는 실정이다. 따라서, 벼멸구의 출현시기와 방제시기에 따라 감수량의 현저한 차이가 발생하고 있다.

록되고 있다.

한편, 이러한 주요 병해충의 방제를 위해서 5~6회에 걸쳐서 방제작업을 펼친 관행방제방법과 종합방제(IPM) 방법을 사용해서 이들 병해충의 방제를 하였는데, 그 약제의 처리구분은 종합방제(IPM), 관행방제 그리고 무처리 방법으로 구분하였다(표 7). 그 결과로서, 지난 1990~1995년 기간 동안의 평균 산출고 면에서 보면 관행방제시의 산출고는 무방제시 산출고보다 무려 15.2%나 높은 492kg/10a로 나타났고, 종합방제 산출고는 485kg/10a로서 무방제시의 산출고 427kg/10a보다 13.6% 높은 것으로 나타났다.

<표 7> 전라남도 내륙지방 수도작 약제살포 실험내용

처리일자	약 제	종 합 방 제	관 행 방 제	무처리
6. 7	살충제	-	• 카보입제(저온성해충)	-
6. 26	살충제	-	• 다이아톤입제 + 빔수화제 (이화명충1화기+잎도열병)	-
7. 10	살균제	-	• 바리문액제(문고병)	-
7. 28	살충제+ 살균제	• 다갈수화제(벼멸구, 흑명나방, 이화명충) + 바리문액제(문고병)	• 다갈수화제(벼멸구, 흑명나방, 이화명충) + 바리문액제(문고병)	-
8. 31	살충제+ 살균제	• 파단(이화명충), 아프로밧사 (벼멸구), 이소란유제(도열병)	• 파단(이화명충) • 아프로밧사(벼멸구) • 이소란유제(도열병)	-

벼멸구 방제를 위한 농약처리는 종합방제와 관행방제하에서 다같이 2회를 실시하였으나, 도열병과 문고병은 관행방제하에서 2회, 종합방제하에서는 1회를 실시하여서 종합방제가 관행방제보다 농약사용을 현저히 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다. 이러한 약제사용에 따른 수도작의 주요 병해충의 방제효과를 단위면적당 산출고를 중심으로해서 살펴보면, 관행방제방법이 무방제 대비 벼멸구는 평균 77.1%, 문고병은 평균 50.2%의 방제효과를 보이고 있다. 종합방제 방법은 벼멸구의 경우, 방제율 67.2%, 문고병 방제율 18.1%로 밝혀졌다. 도열병 발병과 방제율에 관한 자료는 1995년 한 해에 국한되어 있는데, 매우 높은 방제율을 보이고 있다(표 8).

<표 8> 방제법에 따른 주요 병해충 방제율과 산출고 증가율(%)

년 도	종 합 방 제				관 행 방 제			
	벼멸구	문고병	도열병	산출고 증산율	벼멸구	문고병	도열병	산출고 증산율
1990	99.3	38.6	-	30.1	99.6	45.7	-	33.8
1991	96.1	35.0	-	22.0	90.0	59.6	-	22.6
1992	94.4	34.5	-	6.5	83.3	59.1	-	4.3
1993	0.0	△17.0	-	2.3	100.0	51.7	-	8.3
1994	50.0	10.6	-	4.0	62.5	34.1	-	4.0
1995	63.6	6.8	93.7	12.6	27.3	51.2	97.8	11.9
평 균	67.2	18.1	-	15.0	77.1	50.2	-	15.3

이제, 위에서 설명된 병해충과 방제방법(관행방제와 종합방제)에 따른 총 18건의 산출고 자료를 이용해서 벼 산출고 함수를 OLS로 계측한 바에 의하면 다음 〈표 9〉의 내용과 같다.

<표 9> 병해충의 발생과 벼산출고 함수 : OLS

벼 산출고 함수	R^2
1. logYIELD = 6.96577 - 0.27824*logINSECT (0.198985) (-0.070051)	0.9404
2. logYIELD = 6.286919 - 0.032192*logDOYOL (0.0392157) (-0.010404)	0.9054
3. logYIELD = 6.5029 - 0.090623*logLEAF (0.51319) (-0.1422085)	0.2888

여기에서,

YIELD = 벼 산출고, kg/10a

INSECT = 벼멸구, 마리/30주

DOYOL = 도열병 반점수, 개/30주

LEAF = 문고병 피해도, %

( ) : 표준오차

위의 산출고 함수에 나타난 수치가 지니는 경제적 의미는 벼의 산출과와 병해충과의 사이에는 비선형적인 역의 관계에 있음을 뜻한다. 벼멸구가 1% 증가하면 산출고는 0.28% 감소하고, 문고병은 0.03%, 그리고 도열병은 0.09%씩 감소하는 것으로 풀이된다. 물론, 이상의 결과는 지역적으로 전남지역에 제한되어 있고, 검출된 표본수도 비교적 적은 수준이지만 다른 대안이 부재하기 때문에 본 연구에서는 이상의 자료를 이용해서 최초밀도(D_0)하에서의 농약사용 적정수준(X^*)의 추정을 시도해보고자 한다.

앞서 도출된 수리적 모형에 따른 추정 결과를 지난 1995년 관행방제의 경우와 종합방제의 경우로 구분해서 도열병, 문고병 그리고 벼멸구의 병해충 순서로 살펴보면 〈표 10〉의 내용과 같이, 병해충의 방제율과 적정농약 사용수준은 이미 설명한대로 방제방법과 방제회수, 농약 사용량, 최초밀도, 농약가격 등에 의해 민감한 반응을 보이는 것으로 밝혀졌다.

방제방법에 따른 농약처리 결과에 의하면, 1995년의 10a당 수도작 병해충 방제농약비는 도열병의 종합방제비 ₩660, 관행방제비 ₩1,320이 소요되었으며, 문고병은 종합방제비가 ₩801, 관행방제비가 ₩1,885로 밝혀졌다. 그리고 벼멸구 방제비는 종합방제비 ₩2,515, 관행방제비 ₩2,785로 나타나서 이상의 3가지 병해충 방제비는 종합방제 농약비가 ₩3,976, 관행방제 농약비가 ₩5,990으로 관행방제 농약비가 종합방제 농약비보다 50.6%나 더 많이 소요된 것으로 나타났다.

한편, 적정농약수준 결정에 중요한 영향을 미치는 당해년도 쌀의 농가수취가격은 ₩736,874/10a로 밝혀졌다. 병해충의 방제율은 많은 조건에 의해서 영향을 받는 것이 사실이지만, 제한된 표본수가 지니는 한계성을 고려하여 <표 9>의 벼 산출고 함수를 추정하고, 이어서 해당 병해충의 경제적 방제를 위한 적정농약수준을 도출하여서 <표 10>에 요약정리하였다.

<표 10> 농약사용의 적정수준 추정결과(1995)[1)]

구분	병해충	방제농약비 (r) (₩/10a)	감수량/ 병해충 (kg)	방제율 (%)	최초밀도 (D0) (%)	경제밀도 (D^*)[2)] (%)	적정농약수준/ 10a (X^*)[3)]	비 고
관행	도열병	1,320	0.9638	97.8	5.0	3.78	9.54g 19.08㎖	빔수화제 이소란유제
	문고병	1,885	1.3709	50.2	2.0	1.68	35.36㎖	바리문액제
	벼멸구	2,785	0.8492	77.1	5.0	4.51	140.5g 149.9g	다갈수화제 아프로밧사수화제
종합	도열병	660	0.9638	93.7	5.0	3.97	24.68㎖	이소란유제
	문고병	801	1.3709	18.1	2.0	2.00	31.72㎖	바리문액제
	벼멸구	2,515	0.8492	67.2	5.0	4.67	48.08g 76.93g	다갈수화제 아프로밧사수화제

주 : 1) 1995년 쌀의 농가수취가격 : ₩736,874/10a

2) $D^* = \frac{r}{Pab}$

3) $x^* = \frac{\ln(\frac{PabD_0}{r})}{b}$

자료 : <표 6 >~<표 9> 및 농림부 자료.

관행방제시의 도열병 방제는 빔수화제와 이소란유제를 사용하였으나, 종합방제에서는 이소란유제만 사용하였다. 그 나머지는 두 방제방법에서 동일한 농약을 사용한 것으로 조사되었다. 농약방제를 시작하게 되는 경제적 분기점은 방제방법에 따라 그 적정농약 사용수준이 상이한 것으로 나타났다. 관행방제하에서의 병해충 경제밀도가 종합방제하의 경제밀도보다 낮게 나타났는데, 이는 농약사용에 신중을 기하며 경제적 타당성이 존재할 때에 방제작업을 시작하기 마련인 종합방제방식 때문이라고 할 수 있다.

관행방제시 도열병의 경제적 밀도는 4% 수준이지만 관행방제시는 3.8%이고, 문고병의 경우는 종합방제 2%, 관행방제, 1.7% 수준으로 나타났으며, 벼멸구는 종합방제 4.7%, 관행방제 4.5%로 나타나서 종합방제의 경제밀도가 전반적으로 높게 추정되었다.

이처럼 실제 사용된 농약수준과 적정사용량으로 추정된 농약수준은 <표 11>에 정리된 바와 같이 병해충 방제방법에 상관없이 적정수준이 현저히 낮게 추정되었다. 즉, 현재의 농약처리는 과다한 분량을 사용하고 있다는 것이다. 그 중에서도 종합방제보다는 관행방제의 농약사용량이

높게 나타났다.

관행방제의 경우, 적정 농약수준은 실제 농약 사용수준의 11.4~93.6% 수준으로 나타났는데, 특히, 문고병은 바리문액제의 적정 사용수준이 실제 사용수준의 11.4%를 살포할 때 이윤극대화가 이뤄짐을 알 수 있다. 동시에, 종합방제의 경우에는 적정수준의 농약이 실제농약 사용수준의 22.6~48.1%에서 이윤극대화를 달성할 수 있을 것으로 추정되었다. 결국, 현재의 농약살포량은 적정수준에 비하여 월등히 많은 수준이라는 것을 의미하기 때문에 농약의 과용에서 비롯되는 농약사용자의 건강피해나 환경오염의 경감을 동시에 달성하기 위해서는 경제적 적정수준을 적용해야 할 것으로 판단된다.

<표 11> 방제방법별 농약사용 수준의 비교

구분	병 해 충	사 용 농 약	적정수준 (A)	실제사용량 (B)	농약사용비 (₩/10a)	A/B (%)
관행	도 열 병	빔수화제	9.54g	50g	1,500	19.1
		이소란유제	19.1㎖	100㎖	660	19.1
	문 고 병	바리문액제	35.4㎖	310㎖	1,885	11.4
	벼 멸 구	다갈수화제	140.5g	150g	2,550	93.6
		아프로밧사수화제	149.9g	160g	1,085	93.7
종합	도 열 병	이소란유제	24.7㎖	100㎖	660	24.7
	문 고 병	바리문액제	31.7㎖	140㎖	851	22.6
	벼 멸 구	다갈수화제	48.1g	100g	1,700	48.1
		아프로밧사수화제	76.9g	160g	1,085	48.1

결국, 쌀 생산의 경제적 이윤극대화와 환경오염 및 인체 건강피해의 경감을 동시적으로 얻기 위해서는 방제방법에 따른 병해충의 초기밀도, 방제효율성, 쌀의 농가수취가격, 해당 병해충 방제에 사용되는 농약비용 등을 종합적으로 고려해서 도출한 농약사용의 경제적 적정수준을 준행해야 하고, 가능하다면 관행방제보다는 종합방제 방식이 전국의 벼 생산지역으로 확대실시되어야 할 것으로 보인다. 뿐만 아니라, 지역적으로 그리고 여기에 포함되지 않은 병해충에 대한 보다 정확한 농약사용수준의 도출을 위해서는 계속해서 더 자세한 연구 및 실험자료가 바람직함하다고 판단된다.

V. 요약 및 결론

지난 5년간(1993~1997) 우리 나라 벼 생산에 사용된 농약 성분량은 연평균 5.2kg/ha로 나타났는데, 이는 동기간 전체 농업생산 평균 농약 성분량 11.7kg/ha의 44.4%에 해당한다. 우리나라에서 사용된 농약은 1980년의 5.8kg/ha에서 1997년의 11.8kg/ha으로 배나 증가되었다. 쌀

생산 농약은 1997년에 6.2kg/ha 수준으로 1980년의 5.2kg/ha 수준을 상회하고 있다. 이러한 실질 농약비는 1980년의 15.4억원에서 최근 1995년의 13.8억원으로 약 11%가 감소하였다. 지난 10년간 벼 생산 실질 농약비는 1987년 ₩130/10a에서 1997년에는 ₩133/10a으로 약 2.3%가 증가하였으며, 농약비가 중간재비에서 차지하는 비율은 9.6%에서 16.2%로 증가하였다.

본 연구에서 시도하는 농약사용의 적정화는 바로 이윤 극대화 조건하에서 얻을 수 있는 바, 농가수취 쌀가격, 산출고, 방제농약비용, 병해충 밀도 등에 좌우되는 것으로 가정하고 있다. 특히, 도열병, 문고병 그리고 벼멸구의 세가지 병해충을 중심으로 해서 지난 6년(1990~1995) 사이에 전라남도 내륙지방에서 실시된 자료를 이용하여 적정 농약사용수준을 추정하고자 하였다. 이 기간 동안 관행방제시의 산출고는 무방제시 산출고보다 15.2%나 높은 492kg/10a로 나타났고, 종합방제 산출고는 485kg/10a로서 무방제시의 산출고 427kg/10a보다 13.6% 높게 나타났다. 주요 병해충의 방제효과는 관행방제하에서 벼멸구는 평균 72.1%, 문고병은 평균 50.2%의 방제효과를 보이고 있다. 종합방제방법은 벼멸구의 경우, 방제율 67.2%, 문고병 방제율 18.1%로 밝혀졌다. 또, 1995년의 10a당 병해충 방제농약비는 관행방제시 도열병 방제농약비용은 ₩1,320, 문고병 ₩1,885, 그리고 벼멸구 ₩2,785로 조사되었다. 그리고, 종합방제하에서는 도열병 농약비용이 ₩660, 문고병 ₩801, 그리고 벼멸구 방제농약비용이 ₩2,515로 조사되었으며, 쌀의 농가수취가격은 ₩736,874/10a로 밝혀졌다.

관행방제하에서의 도열병 경제밀도는 3.8%로 종합방제하의 4.0%보다 낮게 나타났으나, 관행방제시 도열병 방제농약비는 종합방제 농약비의 2배 수준이었다. 문고병은 방제방법에 따른 농약비의 격차가 크지만 상이한 방제율로 인하여 실질적인 경제밀도 수준이 비슷하다. 그러나, 벼멸구는 관행방제의 경제밀도가 4.5%로 종합방제의 4.7%보다 조금 낮게 나타났는데, 이는 농약비용의 격차를 반영한 것으로 보인다.

실제 사용된 농약수준은 적정사용수준보다 현저히 높았다. 이는 현재의 농약처리는 과다한 분량을 사용하고 있음을 의미한다. 결국, 현재의 농약살포량은 적정수준에 비하여 월등히 높은 수준을 의미하기 때문에 농약의 과용에서 비롯되는 농약사용자의 건강피해나 환경오염 그리고 농약비용의 경감 목표를 동시에 달성하기 위해서는 경제적 적정수준을 적용해야 할 것으로 판단된다. 특히, 종합방제의 효율성이 높게 나타나서, 향후, 종합방제방법을 통한 농약의 적정사용이 보편화되어야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

경제기획원, 『제7차 경제사회발전 5개년 계획의 기본골격(92~96)』, 1991.10.4.
농림부, 『농림업 주요통계』, 1998.6.
농림수산부, 『농림수산 통계연보』, 1972.

농림수산부, 『농림수산 주요통계』, 각년도.

농약공업협회, 『농약연감』, 각년도.

농촌진흥청 농업경영관실, 『농축산물생산비비교(국가별 작목)』, 1995.10.

_____, 『농축산물표준소득』, 각년도.

박래경, 「우리 나라 수도 주요병해충 저항성 육종의 성과와 전망」, 『식물보호연구』 제5호, 호남식물보호연구회, 1990.12.

박준근, 「농약사용의 경제성」, 『식물보호연구』, 제6호, 1992.12.

_____, 「미국의 쌀정책변화추이와 생산현황」, 『미국학연구』, 제15호, 전남대학교 미국문화연구소, 1994.4.

_____, 「쌀수입과 직접소득보상이 한국쌀의 수급에 미치는 영향과 대응방안」, 『농업경제연구』 제36집 2호, 한국농업경제학회, 1995.12.

이승찬, 「농산물 생산과 농약의 필요성」, 『식물보호연구』, 제5호, 호남식물보호연구회, 1990.12.

日本 農林水産省, 統計情報部, 1995. 9, pp.76~92.

Carrasco-Tauber, Catalina, and L. Joe Moffitt, "Damage Control Econometrics: Functional Specification and Pesticide Productivity", *American Journal of Agricultural Economics*, Feb. 1992, pp.163-172.

Hall, D.C., and L.J. Moffitt, "Application of the Economic Threshold for Interseasonal Pest Control", Western Journal of Agricultural Economics, Vol.10, No.2, Dec. 1985.

Headley, J.C., "Estimating the Productivity of Agricultural Pesticides", *American Journal of Agricultural Economics*, Vol.50. No.1, Feb. 1968.

Higley, L.G., and L.P. Pedigo, (Edited), *Economic Thresholds for Integrated Pest Management*, University of Nebraska Press, 1996.

Reichelderfer, K.H., G.A. Carlson, and G.A. Norton, *Economic Guidelines for Crop Pest Control*, FAO Plant Production and Protection Paper 58, FAO, Rome, 1984.

U.S. Department of Interior, U.S. Geological Survey, Pesticide National Synthesis Project, *USGS Water Reources in California: Pesticides used in Rice Production*, July 7, 1997.