

Benzimidazole계 살균제의 농작업자 위해성평가

이제봉* · 신진섭 · 정미혜 · 박연기 · 임건재 · 강규영¹

농업과학기술원, ¹경상대학교 환경생명화학과

요약 : 한국 농업환경에서 benzimidazole계 살균제의 안전사용 및 농약살포자를 보호하기 위하여 단기(30일 이내) 및 장기(6개월 이상) 노출에 대한 농작업자 위해성평가를 수행하였다. 농작업자의 노출량 산출은 일본의 EPN 45% 유제 노출시나리오를 이용하였으며, 일일 작업시간은 4시간으로 가정하였고, 작업자에 대한 급성 및 만성 허용노출량(AOEL)은 단기노출은 기형독성, 만성노출은 만성독성 NOAEL로부터 산출하였다.

Benzimidazole계 농약들은 US/EPA가 Q_1^* 를 설정하여 발암성평가를 하고 있는 농약들로서 본 연구에서도 작업자의 만성 노출에 대한 발암성평가를 평균일일노출량(LADD)를 일생 동안 농업에 종사하는 연수, 농약 살포 횟수, 농업형태 등을 고려하여 평가하였다. 농작업자에 대한 농약 노출량은 benomyl, carbendazim 및 thiophanate-methyl에 대하여 각각 0.2, 0.36 및 0.42 mg/kg/day 이었고, sAOEL은 0.3, 0.1 및 0.2 mg/kg/day 이었으며, cAOEL의 경우 benomyl과 carbendazim은 0.025, thiophanate-methyl은 0.08 mg/kg/day이었다. 만성 및 발암위해성평가를 위한 LADD는 benomyl 0.0038, carbendazim 0.0067 및 thiophanate-methyl 0.0081mg/kg/day로 산출되었다. 위의 수치를 이용하여 AOEL/exposure를 산출한 결과 급성위해성은 0.28~1.5, 만성 위해성은 3.73~9.88로서 작업자에 대한 급성 위해성은 보호장비를 착용할 경우 최대 90%까지 노출량이 감소하므로 보호장비 착용시 안전할 것으로 생각되었으며, 만성 위해성은 AOEL/exposure가 1 이상으로서 안전한 것으로 판단되었다. 발암위해성평가 결과는 보호장비를 착용할 경우 $9.12 \times 10^{-7} \sim 1.13 \times 10^{-5}$ 으로 실제적인 농약살포 인자를 고려하여 평가하면 농약살포자에 대한 위해성은 없을 것으로 추정되나 보다 실제적인 노출성적을 이용한 농약살포 작업자 위해성평가가 필요하리라 판단된다. (2005년 11월 14일 접수, 2005년 12월 20일 수리)

Key word : 벤즈이미다졸 살균제, 작업자 노출 위해성평가, 허용노출량

서 론

농약은 농산물을 생산하는데 가장 큰 장애요인인 병해충 및 잡초로부터 농작물을 보호하여 농산물을 안정적으로 생산하고 농업소득을 증대하는데 크게 공헌하였으며, 앞으로도 지속적인 농업생산성 향상을 위하여 농약의 사용이 불가피한 실정이다(NIAST, 2003). 그러나 농약은 병해충 잡초 등을 방제하는 목적으로 사용되기 때문에 어느 정도의 독성을 가진 화학물질이므로 오·남용으로 인한 인축 및 환경에 대해 악영향을 나타낼 수도 있다. 더욱이 농촌노동력이 고령화, 부녀화 되면서 농약살포에 의한 농작업자 위해성은 농산물중 농약의 잔류 문제와 함께 사회적 문제로 부각되고 있다(RDA, 2004b,c).

농약 사용에 의한 농약의 인체노출과 관련된 농작업자 건강 위해성은 중요한 문제로, 선진국 및 국제

기구에서는 농약에 대한 위해성평가를 강화하고 있는 추세다. WHO에서는 1950년부터 농약의 위해성 관리를 위한 농약 노출평가를 시작하였고 노동자의 30~50%가 물리, 화학적 및 생물학적 위험성에 노출되어 있다고 보고하였으며(WHO, 1995 ; RDA, 2004c), 국내에서도 1992년 “농약의 안전성평가 기법”이란 심포지움을 개최하면서 농약에 대한 부분적인 위해성평가를 시도하여왔다. 농약 개발비의 30%이상을 차지하는 독성시험은 결국 위해성을 알아내기 위한 것이다. 농약의 위해성평가는 일반적으로 독성확인(hazard identification), 용량반응평가(dose-response assessment), 노출평가(exposure assessment) 및 위해성판정(risk characterization)의 4단계로 수행되고(James, 1999; Kamrin, 1997; US/EPA, 1996, 1999, 2000, 2001a,b,c)있으며, 위해성평가 대상은 일반소비자와 농작업자로 구분된다. 농산물에 잔류된 농약섭취 위해가능성이 있는 소비자에 대한 위해성평가는 농산물 중 농약의 잔류량, 일일식

*연락처자

Table 1. Pesticides application volume a hectare of major crops in Korea

Crops	Spray volume(L)	Crops	Spray volume(L)
Rice	1,400	Garlic	1,500
Soybean	1,500	Leek/Onion	1,500
Small grains	1,500	C. Cabbage	1,500
Apple	4,500	Radish	1,500
Pears	4,500	Cucumber	1,800
Grapes	3,000	Water melon/melon	1,800
Citrus	4,500	Tomatoes	1,500
Peaches	4,500	Strawberry	1,200
Persimmon	4,500	Mulberry	2,000
Sesame	1,500	Potatoes	1,500
Hop	3,500	Herb. crops	1,500
Ginseng	3,500	Maize	1,500
Peanut	1,500	Tobacco	1,500
Pepper	1,500	Turf	1,500

Table 2. Application times to various crops based on standard for safe use of pesticides

Pesticides	Registered crops	Control pathogens	Standard for safe use ^{a)}	
			Pre-harvest interval	application times
Benomyl	Apple	Bitter rot	7	6
	Kiwi	Soft rot	7	7
Carbendazim	Apple	Bitter rot	15	3
	Pear	Apple scab	14	5
Thiophanate-methyl	Jujube	Bitter rot	7	7
	Citrus	Bitter rot	14	7

^{a)}RDA, 2004. Standard for safe use of pesticides.

품섭취량, 작물별 MRL, ADI, 발암지수 등을 이용하여 평가하지만, 농작업자 위해성평가는 농약의 제형, 살포형태, 주성분함량, 살포기의 종류 등을 고려하여 노출량을 계산하고, 특정 노출량에 대하여 기형독성이나 아급성독성 NOEL과 비교하여 안전성여부를 평가한다.

장기노출에 의한 작업자 위해성평가도 소비자 평가와 유사하게 비발암성평가와 발암성평가로 나누어지며, 농약을 취급하는 노동자가 장기간 작업중에 노출되는 양을 산출하여 실험동물에서 산출된 독성성과 비교하여 평가하게 된다. 작업자 노출평가를 위해서는 농약살포 기간 중 노출되는 농약량을 산출하는 것이 가장 중요한 문제인데 이와 같은 노출량을 산출하기 위하여 선진국에서는 노출량산출 모델을 개발하여 사용하고 있다.

본 연구에서는 benzimidazole계 농약을 살포하는 농작업자에 대한 위해성평가를 수행하여 한국형 농업환경에서 안전성을 검증하고, 실제적인 노출평가에 대한 기초 자료로 활용하고자 수행하였다.

재료 및 방법

노출 시나리오

농약살포자가 농약에 노출되는 양상은 살포되는 농약의 제형, 적용작물, 살포량(표 1), 농약살포기의 종류, 살포횟수 등에 따라 결정된다. 본시험에서는 표 1, 2, 4와 같은 시나리오를 전제로 하여 평가하였다.

Benomyl 50% 수화제는 2005년 현재 벼, 배, 사과, 감, 포도 등 16 작물에 등록되어 있고, 대부분의 작물에 1000~2000배로 사용하도록 되어있으며, 살포량이 가장 많은 과수에는 1500배로 사용하도록 허용되어있다. Carbendazim 60% 수화제는 벼, 사과, 배, 딸기 등 11작물, thiophanate-methyl 70% 수화제는 사과, 배, 감귤 등 26 작물에 각각 등록되어 있으며 과수에 1000배로 희석하여 450 L/10a를 살포하도록 허용되어 있다(KCPA, 2005). 작물별 농약살포 횟수는 농약안전사용기준(RDA, 2004a)에 따라 표 2와 같이 설정되어 있어 이 기준에 따랐으며, 일일 작업시간은 4시간을 기준 하였고, 살포기기는 동력분무기 사용을 원칙으로 하였다. 농약 살포횟수는 키위와 감귤을 재배하는 농

Table 3. Summary of the toxicity of benzimidazole fungicides

Test Item	NOAEL(mg/kg/day)		
	Benomyl	Carbendazim	Thiophanate-methyl
Subacute oral	25	10	15.7
Chronic toxicity	12.5	2.5	8.0
Carcinogenicity	-	300ppm	8.8
Teratogenicity	30	10	20
Reproduction test	-	-	8.0
Mutagenicity test	Negative	weak positive	Negative

Table 4. Exposure of EPN 45% EC in Japan

Pesticide	Registered crops	Applicator	Application volume (L/10a)	Attachment volume (mL/person/hr)		Penetration rate(%)	
				Clothes	Mask	Clothes	Mask
EPN 45% EC	Citrus	Power sprayer	580	580	1.16	10	7.3

가의 경우 연중 14회를 살포하게 되므로 benzimidazole계 농약을 1년에 14회 살포하는 것을 가정하여 장기노출에 의한 작업자 위해성을 평가하였다.

Acceptable operator exposure level(AOEL) 산출

단기노출 AOEL 산출은 기형독성시험으로부터 산출된 NOAEL을 안전계수(safety factor) 100을 고려하여 산출하였고, 만성노출 AOEL은 만성독성 NOAEL에 안전계수 100을 적용하여 산출하였다(표 3).

농약노출량 산출

작업자 노출량 산출을 위해 표 4와 같이 EPN 45% 유제를 1000배 희석하여 사과 등 과수에 580 L/10a 살포하였을 때 작업복 부착량은 1%, 마스크에 부착량 2×10^{-4} %, 작업복투과율 10%, 피부투과율 20%, 마스크 투과율 7.3%, 살포시간 일일 4시간을 적용하여 산출하였다(日本農藥, 1994).

농약살포작업자 위해성평가

단기노출위해성평가 : 농작업자의 농약살포작업 등에 의한 단기노출은 제품농약의 함량, 희석배수, 작업복 및 마스크 부착율, 투과율 및 피부투과율 등을 고려하여 작업시간별 농약 노출량을 산출하고, 단기노출에 의해 산출된 AOEL을 농약노출량으로 나누어 평가한다. 평가 기준은 노출비가 1.0보다 크면 안전한 것으로 평가하고, 1.0 보다 적으면 개인보호장비 착용 등 노출량 경감조치가 필요하다.

장기노출 비발암 위해성평가 : 농작업자의 농약살포작업에 의한 장기노출은 제품농약의 함량, 희석배수, 작업복 및 마스크 부착율, 투과율 및 피부투과율

등을 고려하여 일일 농약 노출량(ADD, average daily dose)을 산출하고, ADD를 연중 농약살포일 및 평생 농업종사연수로부터 평생 동안 평균 일일 노출량(LADD, life time average daily doses)을 산출하여 만성 AOEL을 LADD로 나누어 평가하며, 평가 기준은 노출비가 1.0보다 크면 안전한 것으로 평가하고, 1.0 보다 적으면 개인보호장비 착용 등 노출량 경감조치가 필요하다.

장기노출 발암 위해성평가 : 발암지수(Q_1^* , US/EPA)를 LADD량에 곱하여 발암위해성을 평가하였다. 평가기준은 1×10^{-6} 이상이면 위해한 것으로, 이보다 작으면 안전한 것으로 평가하였다.

결과 및 고찰

AOEL 산출 및 Q_1^*

한국의 농업환경에서 작업자 단기 노출위해성평가를 위하여 기형독성 시험중 가장 민감한 실험동물종으로 시험한 성적의 NOAEL에 안전계수 100을 고려하여 short-term AOEL(sAOEL)을 산출하였다. Benomyl의 토끼에 대한 기형독성 NOAEL이 30 mg/kg/day로 안전계수 100을 고려하여 0.3 mg/kg/day, carbendazim의 랫드 및 토끼의 기형독성 NOAEL이 각각 10 mg/kg/day로 안전계수 100을 고려하여 0.1 mg/kg/day, thiophanate-methyl의 토끼에 대한 기형독성 NOAEL이 20 mg/kg/day로 안전계수 100을 고려하여 0.2 mg/kg/day으로 산출하였다(표 5). 만성 노출 위해성평가를 위한 long-term AOEL(cAOEL)은 랫드에 대한 만성독성 NOAEL이 benomyl, carbendazim 및 thiophanate-methyl 각각 12.5, 2.5, 8.0으로 안전계수 100을 고려하

Table 5. Acceptable operator exposure level(AOEL) of benzimidazole fungicides^{a)}

Fungicides	NOAEL(mg/kg/day)		Uncertainty Factor	AOEL(mg/kg/day)	
	Short	Chronic		Short	Chronic
Benomyl ^{a)}	30.0	12.5	100	0.3	0.025
Carbendazim	10.0	2.5	100	0.1	0.025
Thiophanate-methyl	20.0	8.0	100	0.2	0.08

^{a)}Benomyl was applied carbendazim's cAOEL.

Table 6. Exposure of benzimidazole fungicides to applicator

Fungicides	Application volume (L/10a)	Concentration of a.i (%)	Attachment volume ^{a)} (mL/hr/person)	Exposure ^{b)}
				(mg/hr/person)
Benomyl	450	50	450.001	3.00
Carbendazim	450	60	450.001	5.40
Thiophanate-methyl	450	70	450.001	6.30

※Application volume was concerned 450 L/10a to fruits, Clothes attachment rate 0.1%, Mask attachment rate 2×10^{-4} %, Clothes penetration 10%, Skin penetration 20%, Mask penetration 7.3%

^{a)}Attachment volume : Clothes + Mask

Clothes attachment volume : application volume × clothes attachment rate

Mask attachment volume : application volume × mask attachment rate

^{b)}Exposure : dermal + inhalation

Dermal : clothes attachment volume × penetration(clothes + skin) × mg a.i./mL

Inhalation : mask attachment volume × penetration(mask) × mg a.i./mL

여 각각 0.125, 0.025 및 0.08로 설정하였으나 benomyl은 상온에서 짧은 시간 내에 대부분이 carbendazim으로 변하기 때문에 cAOEL은 carbendazim의 것을 사용하였다. Q₁*는 US/EPA가 benomyl 및 carbendazim 2.4×10^{-3} , thiophanate-methyl 1.4×10^{-2} 로 산출한 것을 그대로 위해성평가에 사용하였다. US/EPA는 benomyl의 가임여성성을 위한 aRfD를 0.3, 일반인 0.25 mg/kg/day로 설정하였고, 만성 RfD를 0.13 mg/kg/day로 설정하였으며, carbendazim의 가임여성성을 위한 aRfD를 0.1, 일반인 0.17 mg/kg/day로 설정하였고, 만성 RfD를 0.025 mg/kg/day로 설정하였다. Thiophanate-methyl에 대해서는 aRfD 0.2, cRfD 0.08 mg/kg/day로 설정하였다(US/EPA, 2000).

JMPR(WHO/FAO)은 carbendazim의 ADI를 0.03 mg/kg/day, thiophanate-methyl ADI를 0.08 mg/kg/day로 설정하여 소비자 위해성평가에 사용하고 있다.

ADD 및 LADD 산출

노출량은 표 6과 같이 피부노출과 흡입노출로 구분되며, 피부노출은 살포작업 동안에 작업복에 부착되는 양을 산출하고 살포액중의 주성분함량을 고려하여 피부투과율, 작업복투과율을 이용하여 산출하며, 흡입노출은 마스크에 부착되는 양을 마스크 투과율을 고려하여 산출한다. Benomyl, carbendazim 및 thiophanate-methyl의 적용 작물, 살포량이 동일하므로 의복 및 마스크 부착량은 각각 450 mL/hr/person, 0.000009 mL/hr/person이며, 살포액 중 주성분 함량은 benomyl 0.333, carbendazim 0.6, thiophanate-methyl 0.7 mg/mL이었고, 피부투과율 20%, 작업복 투과율 10%, 마스크 투과율 7.3%를 각각 적용하여 인체에 노출된 총량을 계산한 결과 benomyl 3.00, carbendazim 5.40, thiophanate-methyl 6.30 mg/hr/person로 산출되었다.

LADD(US/EPA, 2001)는 표 6과 같이 일일노출량×일년 동안 농약살포 일수/년(365)×평생 농업종사연수(35)/평생(70)으로 계산하며 benomyl은 0.0082, carbendazim 0.0148, thiophanate-methyl 0.0173 mg/kg/day로 계산되었다.

단기노출 위해성평가

표 7과 같이 benomyl의 sAOEL 0.3 mg/kg/day, 일일노출량 0.2 mg/kg/day로 sAOEL/exposure가 1.5로 단기농약살포작업에 의한 위해성은 없는 것으로 평가되었으며, carbendazim과 thiophanate-methyl은 sAOEL 0.1, 0.2 mg/kg/day, 일일노출량 0.36, 0.42 mg/kg/day로 sAOEL/exposure가 0.28, 0.48로 위해성이 우려되나 방제복 등 개인보호 장비를 착용할 경우 최고 90%까지 노출량이 경감되므로 개인보호 장비를 착용하고 살포할 경우 위해성이 우려되지는 않을 것으로 판단되었

Table 7. Short-term applicator risk evaluation of benzimidazole fungicides

Fungicides	sAOEL (mg/kg/day)	Exposure (mg/kg/day)	AOEL/Exposure ^a
Benomyl	0.30	0.2	1.5
Carbendazim	0.10	0.36	0.28
Thiophanate- methyl	0.20	0.42	0.48

^aSafe : $1 > \text{sAOEL/exposure}$. Mean body weight is 60 kg/adult.

Table 8. Long-term applicator risk evaluation of benzimidazole fungicides

Fungicides	cAOEL (mg/kg/day)	Exposure (ADD) (mg/kg/day)	LADD (mg/kg/day)	AOEL/Exposure ^a
Benomyl	0.025	0.2	0.0038	6.58
Carbendazim	0.025	0.36	0.0067	3.73
Thiophanate- methyl	0.08	0.42	0.0081	9.88

※ Application : 4 hour a day, application times a year(RDA, 2004a)

Cultivation years on life time(70) : 35 year(US/EPA, occupational risk assessment)

^aLADD(Life time average daily doses) : Exposure/day×treatment days per year/year(365)×worked years(35)/life time(70)

Table 9. Applicator(2 crops cultivation) cancer risk evaluation of benzimidazole fungicides

Fungicides	Q_1^* (mg/kg/day) ⁻¹	LADD ^a (mg/kg/day)	Cancer risk ^b
Benomyl	2.4×10^{-3}	3.8×10^{-3}	9.12×10^{-6}
Carbendazim	2.4×10^{-3}	6.7×10^{-3}	1.61×10^{-5}
Thiophanate- methyl	1.4×10^{-2}	8.1×10^{-3}	1.13×10^{-4}

Q_1^* :calculated by US/EPA

※Application:4 hour a day, Application times a year:14(RDA, 2004a) Cultivation years on life time(70):35 year. (US/EPA, 2000)

^aLADD(Life time average daily doses):Exposure/day×treatment days per year/year(365)×worked years(35)/life time(70)

^bCancer risk criteria for applicator criteria is 1.0×10^{-6}

다(Hamey, 1997). US/EPA에서 thiophanate-methyl에 대한 단기(short-term) 및 중기(intermediate-term) 위해성평가를 수행한 결과 평가의 90%가 개인보호장비를 착용할 경우 MOE>100으로 안전하였다고 보고하였다(US/EPA, 2000).

장기노출에 의한 비발암성평가

표 8과 같이 benomyl, carbendazim 및 thiophanate-methyl의 cAOEL은 각각 0.025, 0.025 및 0.08 mg/kg/day, LADD는 각각 0.0082, 0.0148, 0.0173 mg/kg/day로 cAOEL/exposure가 6.58, 3.73, 9.88로 국내 농업환경에서 장기 농약살포작업에 의한 위해성은 없는 것으로 평가 되었다.

장기노출에 의한 발암성평가

발암성에 대한 작업자 평가는 표 9와 같이 cancer potency(Q_1^*)×LADD로 산출된다(US/EPA, 2000). Benzimidazole계 살균제의 체중 kg당 LADD는 장기노출 비

발암성평가에서 산출된 값 즉 benomyl 0.0038, carbendazim 0.0067, thiophanate-methyl 0.0081 mg/kg/day에 benomyl 및 carbendazim 발암지수 2.4×10^{-3} , thiophanate-methyl 1.4×10^{-2} 을 곱하여 평가한 결과 benomyl은 9.12×10^{-6} , carbendazim 1.61×10^{-5} , thiophanate-methyl 1.13×10^{-4} 로 발암위해성 평가기준인 1.0×10^{-6} 보다 높아 다소 위해성이 우려되어 위해성 경감이 필요한 것으로 판단되었다. 이와 같은 결과는 US/EPA가 평가한 결과인 $1.0 \times 10^{-4} \sim 1.0 \times 10^{-6}$ 의 범위내에 있었던 것과 유사하였으며, 실제 한국 농업환경에서 benzimidazole계 농약만의 살포 일수, 성력화 추세로 과수나무 왜화에 의한 살포량 감소 등과 같은 인자를 고려한다면 이보다 훨씬 안전할 것으로 판단되나 보다 실제적인 노출 성적을 이용한 농약살포 작업자 위해성평가가 필요하다.

이상의 결과에서 benzimidazole계 살균제의 농약 살포자 위해성은 단기노출 위해성평가의 AOEL/exposure 노출비가 1.0보다 작은 경우가 있었으나 개인보호 장

비의 착용 등 위해성경감조치로도 안전성이 확보될 것으로 판단되었으며, 만성 비발암성 평가에서는 AOEL/exposure 노출비가 1보다 크게 나타나 위해성이 없는 것으로 평가되었고, 발암위해성평가에서는 위해 우려기준인 1.0×10^{-6} 보다 크게 나타나 다소 위해성이 우려되었다. 그러나 실제적인 농약살포 인자를 고려하여 평가하면 농약살포자에 대한 위해성은 염려되지 않을 것으로 판단되나 보다 실제적인 노출성적을 이용한 농약살포 작업자 위해성평가가 필요하리라 생각 된다.

인용문헌

- Hamey Y. P. (1997) Modelling operator exposure to pesticides. pp.11~41, *In* Operator Exposure and Agro-chemicals, organized by IBC UK conferences. London UK.
- James V. Bruckner (1999) Differences in Sensitivity of Children and Adults to Chemical Toxicity : The NAS Panel Report. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 31:280~285.
- Kamrin, M. A. (1997) Environmental risk harmonization: Federal/State Approachs to Risk Assessment and Management. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 25:158~165.
- Korea Crop Protection Association(KCPA) (2004) Guidebook on Pesticide Use
- NIAST (2003). Pesticide Safety and Plant Protection
- RDA (2004a) Directory of Pesticide Management Act.
- RDA (2004b) Training Textbook for Pesticide Dealers.
- RDA (2004c) The establishment of method for worker exposure assessment during pesticide application
- US/EPA (1996) Office of pesticide programs list of chemical evaluated for carcinogenic potential
- US/EPA (1999) Benomyl-report of the FQPA safety factor committee.
- US/EPA (2000) RED of Thiophanate-methyl.
- US/EPA (2001a) Benomyl and carbendazim - endpoint selection for incidental oral ingestion for carbendazim.
- US/EPA (2001b) Benomyl RED Facts.
- US/EPA (2001c) Revised occupational and residential risk assessment for carbendazim.
- WHO (1995) Global strategy on occupational health for all : the way to health at work.
- 日本農藥 (1994) EPN 撒布時 被曝量(農藥 撒布時 被曝量 基準).

Operator exposure risk assessment of benzimidazole fungicides on Korean agricultural conditionJe Bong Lee* · Jin Sup Shin · Mi-Hye Jeong · Yeon-Ki Park · Geon-Jae Im · Kyu Young Kang¹*(National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea, ¹Dept. of Environ. Biotechnology, Gyeong Sang National University, Jinju, Korea)*

Abstract : Pesticide risk assessment for pesticide operators as well as for consumers has become one of the pesticide regulatory tools to reduce any unreasonable adverse health effects from pesticide use. The risk for pesticide operators can be quantified by comparing the acceptable operator exposure level(AOEL) with exposure level during pesticide application.

This study is to evaluate the risk of benzimidazole fungicides application worker. The exposure level of pesticide applicators were calculated using Japanese operator exposure study tested with EPN 45% EC. The AOELs for pesticides were obtained dividing relevant lowest no observed abuse effect levels(NOAEs) for the exposure scenario into uncertainty factor, 100. For the non-cancer and cancer occupational risk assessment, Q_1^* produced by US/EPA and life time average daily dose(LADD) calculated from average daily dose(ADD), treatment days per year, worked years for life time were used. Operator exposure for benzimidazole fungicides application were benomyl 0.2, carbendazim 0.36 and thiophanate-methyl 0.42 mg/kg/day. Short-term AOELs for benomyl, carbendazim and thiophanate-methyl were 0.3, 0.1, and 0.2 mg/kg/day, and long-term AOEL were 0.025, 0.025, 0.08 mg/kg/day, respectively. LADDs were benomyl 0.0038, carbendazim 0.0067, thiophanate-methyl 0.0081 mg/kg/day. The ratios of exposure to AOEL were 0.28~1.5 for short-term and 3.73~9.88 for long-term. Cancer risk for operator were 9.12×10^{-6} for benomyl, 1.61×10^{-5} for carbendazim and 1.13×10^{-4} for thiophanate-methyl by the standard application scenario. The result showed 3 fungicides exceed the risk criteria, 1.0×10^{-6} . The above risk assessments were based upon conservative assumptions and therefore are believed to be protective of the applicator. To refine the risk at the more actual conditions, further risk assessment with more realistic data would be needed.

Key word : Benzimidazole fungicides, Operator exposure risk assessment, AOEL

*Corresponding author (Fax : +82-31-290-0508, E-mail : jblee@rda.go.kr)