



2022년 국내 모기 방제 현황

김기훈, 장창원, 조선란, 이희일*

질병관리청 감염병진단분석국 매개체분석과

초 록

모기는 세계적으로 다양한 질병을 전파하는 주요 매개체로서, 국내에서는 말라리아, 일본뇌염을 매개한다. 환자 발생을 억제하기 위하여 보건소 및 보건의료원에서는 「감염병의 예방 및 관리에 관한 법률」에 따라 모기 방제를 수행하고 있다. 본 조사는 보건 기관에서 구매하는 방제 약품 조사를 통해 모기 방제 현황을 확인하였다. 2022년 방제 약품 구매현황을 조사한 결과, 구매 비용은 총 29,654 백만 원으로, 2021년 대비 약 1,500 백만 원(5.3%) 증가하였다. 방제 약품 중 화학 약품의 구매율은 72.1%이며, 친환경 약품은 5.5%로 확인되었다. 방제 약품을 작용 기작별로 구분한 결과, 총 12개 계열을 사용하였고, 그 중 pyrethroid 계열이 51.4%로 가장 높은 비중을 차지하였다. 모기의 성장 단계별 방제 약품 구매율을 비교한 결과, 모기 성충 방제 약품의 구매율은 72.5%로 유충 방제 약품 구매율(27.5%)보다 높은 것으로 확인되었다. 보건기관에서 구매한 방제 약품을 통하여 방제 현황을 분석한 결과, 화학 약품을 이용하여 성충 위주로 방제를 수행하는 것으로 확인하였다. 화학 약품을 장기간 사용할 경우, 살충제 저항성 발달 등 다양한 부작용이 발생한다. 따라서 화학 방제를 대체하는 친환경 방제 또는 물리적 방제를 함께 적용하여 화학 약품의 부작용을 줄이며, 성충 방제와 유충 방제를 적절한 비율로 수행하는 방제 전략 수립이 필요하다.

주요 검색어: 공중 보건; 모기방제; 살충제; 합성 화학; 피레스로이드

서 론

모기는 말라리아, 뎅기열, 치쿤구니아열, 지카바이러스감염증 등의 다양한 질병을 전파하는 매개체이다[1]. 국내에서 발생하는 모기 매개 질병은 얼룩날개모기류(*Anopheles* spp.)가 매개하는 말라리아, 작은빨간집모기(*Culex tritaeniorhynchus*)가 매개하는 일본뇌염이 있다[2]. 그리고 국내 자체적으로 발병하지는 않으나, 국내 유입 가능성이 높은 해외 질병인

뎅기열, 지카바이러스 감염증을 매개하는 흰줄숲모기(*Aedes albopictus*)와 웨스트나일열을 매개하는 빨간집모기(*Cx. pipiens* complex) 등이 전국적으로 분포하고 있다[3,4].

보건소 및 보건의료원(보건 기관)은 지역의 공중 보건 향상 및 증진을 위하여 기본 의료 업무 및 보건 업무 등을 수행하고 있다. 보건 기관은 '지역보건법 제10조'에 의거하여 지방자치단체가 설치하며, 위생 해충 방제, 매개체 유래 질병 환자 감시 등을 수행하고 있다.

Received December 22, 2023 Revised January 12, 2024 Accepted January 15, 2024

*Corresponding author: 이희일, Tel: +82-43-719-8560, E-mail: isak@korea.kr

Copyright © Korea Disease Control and Prevention Agency



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



KDCA

Korea Disease Control and Prevention Agency

핵심요약

① 이전에 알려진 내용은?

보건 기관에서는 모기 매개 질병의 확산을 억제하기 위해 화학적 방제를 주로 수행한다.

② 새로이 알게 된 내용은?

보건 기관에서 pyrethroid 계열 살충제의 구매율이 50%가 넘으며, 평균 방제약품 구매 비용은 약 114.5 백만 원으로 확인되었다.

③ 시사점은?

화학 약품의 지속적인 사용은 살충제 저항성 등의 부작용이 발생하기에, 이를 대체하는 친환경 방제 또는 물리적 방제를 함께 수행하며, 성충 방제와 유충 방제를 같이 수행하는 근거 중심의 방제 전략 수립이 필요하다.

를 포집하여 밀도를 줄이거나, 유충 서식지 및 성충 휴식처 등을 제거하는 방제법이다. 화학적 방제는 살충 효력이 있는 원제를 이용하여 모기의 성충 및 유충을 살충시키는 방법이다. 친환경 방제는 미생물(*Bacillus thuringiensis israelensis*, Bti) 혹은 천연 물질(essential oil) 등, 수서 동물(천적) 등을 이용하여 모기 유충 밀도를 감소시키는 방법을 말한다.

보건 기관에서는 모기 방제를 수행하고 있으나, 기관마다 사용하는 방제약품이 각기 다르기에 전체적으로 방제 현황 파악이 매우 어렵다. 따라서, 본 조사에서는 전국 보건 기관에서 구매하는 방제 약품을 통하여 간접적으로 모기 방제 현황을 분석하고자 한다.

방 법

모기 방제법은 물리적 방제, 화학적 방제, 친환경 방제로 나뉜다[5]. 물리적 방제는 유인제 혹은 빛을 이용하여 매개체

국내 보건 기관은 보건복지부에서 발행한 「2021년 하반기 전국지역보건의료기관」을 참고하였다[6]. 보건 기관에서 구

표 1. 2022년 방제약품 구매 비용

시·도	2022년 방제약품 구매 비용(%)	2021년 방제약품 구매 비용(%)	증감액(%)	인구 10만 명당 방제 비용
서울	1,641 (5.5)	1,173 (4.2)	468 (39.9)	17.5
인천	1,456 (4.9)	1,347 (4.8)	109 (8.1)	48.5
대전	311 (1.0)	304 (1.1)	7 (2.3)	22.2
광주	471 (1.6)	366 (1.3)	105 (28.7)	33.6
대구	798 (2.7)	729 (2.6)	69 (9.5)	33.3
울산	554 (1.9)	503 (1.8)	51 (10.1)	50.4
부산	1,720 (5.8)	1,574 (5.6)	146 (9.3)	52.1
세종	132 (0.4)	125 (0.4)	7 (5.6)	33.0
경기	4,703 (15.9)	4,305 (15.3)	398 (9.2)	34.6
강원	1,539 (5.2)	1,638 (5.8)	△99 (△6.0)	102.6
충북	1,491 (5.0)	1,502 (5.3)	△11 (△0.7)	93.2
충남	2,585 (8.7)	2,626 (9.3)	△41 (△1.6)	123.1
경북	2,268 (7.6)	2,112 (7.5)	156 (7.4)	87.2
경남	2,818 (9.5)	2,964 (10.5)	△146 (△4.9)	85.4
전북	1,841 (6.2)	1,824 (6.5)	17 (0.9)	102.3
전남	4,953 (16.7)	4,804 (17.1)	149 (3.1)	275.2
제주	373 (1.3)	258 (0.9)	115 (44.6)	53.3
합계	29,654	28,154	1,500 (5.3)	57.7

단위: 백만 원. △: 2021년 대비 방제 비용 감소.

표 2. 2022년 구매한 방제 약품 계열

그룹	적용대상	계열	원제 명	구매 비용(%)					
화학 방제 약품	성·유충	피레스로이드계	D-페노트린	6,506 (21.9)					
			에토펜프록스	4,573 (15.4)					
			람다싸이할로스린	1,659 (5.6)					
			비펜스린	964 (3.3)					
			델타메트린	940 (3.2)					
			싸이퍼메트린	307 (1.0)					
			알파싸이퍼메스린	146 (0.5)					
			퍼메트린	105 (0.4)					
			디-시스/트란스프랄레트린	24 (0.1)					
			피레스로이드계 합계	15,224 (51.4)					
	유충	IGR	벤조일우레아계	디플루벤주론	3,173 (10.7)				
				테플루벤주론	75 (0.3)				
				비스트리플루론	45 (0.2)				
				노발루론	6 (0.0)				
				피리프록시펜계	피리프록시펜	139 (0.5)			
					호르몬 계	S-메토프렌	128 (0.4)		
				성·유충	유기인계		IGR 합계	3,566 (12.0)	
	테메포스	1,253 (4.2)							
	디클로르보스	102 (0.3)							
	피리미포스	43 (0.1)							
	유기인계 합계	1,398 (4.7)							
	성충	혼합 원제	피레스로이드+액화석유가스				D-페노스린+프탈스린	673 (2.3)	
							피레스로이드+피레스로이드	사이퍼메스린+테트라메스린	108 (0.4)
							피레스로이드+유기인계	싸이퍼메스린+클로르피리포스	43 (0.1)
							피레스로이드+피레스로이드	이미프로스린+디-T80-시페노스린	25 (0.1)
							피레스로이드+벤조일우레아계	퍼메스린+누바크론	21 (0.1)
				피레스로이드+옥사디아진	에토펜프록스+S-인독사카브	16 (0.1)			
혼합 원제 합계				886 (3.0)					
성충	네오니코티노이드계		디노테퓨란	206 (0.7)					
			이미다클로프리드	100 (0.3)					
			네오니코티노이드계 합계	306 (1.0)					
화학 방제 약품 총합				21,380 (72.1)					
친환경 방제 약품	유충	생물적 살충제	Bti	1,069 (3.6)					
			스피노신계	스피노사드	276 (0.9)				
			천연 피레스린	피레트린엑스	192 (0.6)				
			실리콘계	디메티콘	91 (0.3)				
			친환경 방제 약품 총합				1,628 (5.5)		
기피 약품	-	Unknown	이카리딘	4,679 (15.8)					
			에틸부틸아세틸아미노프로피오네이트	1,406 (4.7)					
			디에틸톨루아미드	562 (1.9)					
기피 약품 총합				6,647 (22.4)					
합계				29,654 (100.0)					

단위: 백만 원. IGR=Insect Growth Regulator; Bti=*Bacillus thuringiensis israelensis*.

매하는 방제 약품 구매현황을 조사하기 위해, 조달청의 『조달 정보개방포털』을 통하여 2022년 1월부터 12월까지 의료용 살충제(물품 번호: 10191509)의 구매현황을 조사하였다[7]. 모기를 제외한 위생 해충(진드기, 파리, 바퀴벌레 등)에 대한 방제 약품은 모두 제외하고 분석에 활용하였다.

결 과

1. 2022년 방제 약품 구매현황

2022년 방제 약품을 구매한 보건 기관은 361개 기관으로 확인되었으며, 구매 비용은 29,654 백만 원으로, 2021년 대비 1,500 백만 원(5.3%) 증가하였다(표 1). 인구 10만 명당 방제비용은 평균 57.7 백만 원이며, 인구 대비 방제 비용이 높은 지역은 전남(275.2 백만 원)으로 확인되었다. 구매한 방제 약품 중 화학 약품 구매율은 77.6% (23,008 백만 원), 기피 약품은 22.4% (6,647 백만 원), 친환경 약품은 5.5% (1,628 백만 원)로 확인되었다.

2. 작용 기작에 따른 약품 비교

살충제의 작용 기작별로 방제 약품을 구분한 결과[8], 총 12개 계열을 활용하고 있었고(표 2), 그 중 pyrethroid 계열은 51.4%로 단일 계열 중 가장 높은 구매율이 확인되었다. 다음으로 benzoylurea 계열(11.3%), organophosphate 계열(4.7%)로, 상위 3개 계열 모두 화학 약품으로 확인되었다.

3. 성장 단계별(성·유충) 방제 약품 비율

보건 기관에서 구매한 성·유충 방제 약품 비율을 확인한 결과, 성충 방제 약품 구매율은 72.5%, 유충 방제 약품 구매율은 27.5%로 확인되었다(표 3). 유충 방제 약품 구매율이 높은 지역은 서울(51.9%)로 확인되었고, 성충 방제 약품 구매율이 높은 지역은 세종(90.9%)으로 확인되었다.

논 의

2013년부터 2022년까지 국내에서 발생한 말라리아 환자는 총 5,204명으로, 매년 500명 이상 발생하였다[9]. 국내 전역에 분포하고 있는 매개체로 인하여 2차, 3차 확산이 가능하기에 매개체 밀도 관리는 매우 중요하다. 따라서 본 조사에서는 매개 모기 관리를 위해 보건 기관에서 구매한 방제 약품을 통하여 모기 방제 현황을 확인하였다.

2022년 전국 보건 기관에서 구매한 방제 약품은 총 29,654 백만 원으로, 2021년 대비 약 1,500 백만 원(5.3%) 상승하였다. 인구 10만 명당 평균 구매액은 57.7 백만 원으로 확인되었다. 방제 약품 중 화학 약품의 구매율은 72.1%로, 친환경 약품(5.5%)보다 많이 구매하였다. 방제 약품을 작용 기작별로 구분한 결과 총 12개 계열을 사용하는 것으로 확인되

표 3. 2022년 성장 단계별(성·유충) 방제 약품 구매 비용

시·도	방제 약품 구매 비용(%)		Total
	성충	유충	
서울	708 (48.1)	765 (51.9)	1,473
인천	793 (67.7)	378 (32.3)	1,170
대전	192 (67.8)	91 (32.2)	283
광주	323 (73.1)	119 (26.9)	442
대구	468 (64.8)	254 (35.2)	730
울산	267 (75.9)	85 (24.1)	352
부산	977 (65.4)	516 (34.6)	1,493
세종	100 (90.9)	10 (9.1)	110
광역시(평균)	479 (63.3)	277 (36.7)	756
경기	2,846 (70.1)	1,215 (29.9)	4,061
강원	900 (84.9)	160 (15.1)	1,059
충북	917 (80.8)	218 (19.2)	1,135
충남	1,262 (68.4)	582 (31.6)	1,858
경북	1,220 (81.9)	269 (18.1)	1,497
경남	1,575 (74.6)	536 (25.4)	2,111
전북	991 (81.0)	233 (19.0)	1,224
전남	2,892 (77.2)	855 (22.8)	3,747
제주	230 (87.8)	32 (12.2)	262
도 지역(평균)	1,426 (75.8)	456 (24.2)	1,881
합계	16,661 (72.5)	6,318 (27.5)	22,979

단위: 백만 원.

었고, 가장 많이 구입한 pyrethroid 계열(51.4%)은 전 세계적으로 성충 및 유충 모기 방제에 주로 사용되는 계열이다. 작용 기작으로는 신경막의 sodium channels의 전압 개폐를 방해하여 신경계의 전기 신호 전달을 중단, 이를 통해 지속적인 신경 자극 및 마비를 통해 살충시키는 기작을 가지고 있다[10]. Insect Growth Regulator (IGR)는 대표적인 유충 구제제로, 작용기작에 따라 키틴합성 억제(benzoylureas계)와 성장호르몬 억제(pyriproxyfen계 등), 미토콘드리아로부터 Adenosine triphosphate 합성 억제(diafenthiuron계 등) 등으로 구분할 수 있다[11]. 국내에서는 키틴 합성 억제 및 성장호르몬 억제 기작의 약품을 사용하였다. 그 외로 acetylcholine의 과분비를 유도하여 살충시키는 organophosphate 계열, 서로 다른 기작의 원제를 혼합한 약품, 곤충 내 nicotine acetylcholine receptor에 작용하는 neonicotinoid 계열 등의 약품을 구매하였다 [12,13].

화학 약품을 사용한 방제는 국내를 포함한 전 세계적으로 가장 널리 사용되는 방법이다. 하지만 화학 약품을 장기간 사용할 경우, 살충제 저항성이 발달하여 살충 효력이 낮아진다. World Health Organization에 의하면, 2010년부터 2020년까지 78개 국가에서 1계열에 대한 살충제 저항성을 확인하였고, 78개 국가 중 29개 국가에서 최소 4 계열의 저항성(organophosphate, pyrethroid, organochlorine, carbamate)을 확인하였다[14]. 국내에서도 pyrethroid 계열과 organophosphate 계열에 대한 저항성 보고가 있기에 살충제 저항성 대책이 필요하다[15,16]. 방제 약품의 저항성을 낮추기 위해서는 다른 작용 기작을 가지는 약품을 교차 사용해야 한다. 그러나 현재 조달청에 등록된 방제 약품은 대부분 pyrethroid 계열이며, 그 외 IGR 계열, 친환경 약품은 매우 적다. 따라서, 화학적 방제가 아닌 물리적방제를 병행해서 관리하거나, 대체 약품인 IGR 계열 약품 및 친환경 약품을 교차로 사용해야 할 것으로 사료된다.

친환경 약품은 천연물로부터 추출한 물질(이하, 천연 물

질), 생물적 방제제인 천적, 곤충성 바이러스, 기생충 그리고 곰팡이류 등이 있다[17]. 국내 보건 기관에서 구매한 친환경 약품의 구매율은 약 5.5%로 확인되었다. 세계적으로 친환경 방제 약품의 시장 규모는 매년 커지고 있으며, 세계적으로 약 175개의 친환경 원제가 등록되어 있다[18]. 국내에서 주로 사용하는 친환경 약품은 미생물 살충제(Bti, 3.6%)로, 세계적으로 일반적으로 사용되는 유충 방제 약품이다[19]. Bti가 모기 유충의 체내로 유입되었을 때, 단백질 독소인 Cry 4A, Cry 4B, Cry 11A, Cyt 1A를 방출하여 살충시키는 기작을 가지고 있다[20]. 그 외로 천연 추출물, 실리콘계 등이 국내에서 사용되었다. 하지만 국내에서의 친환경 약품 구매율이 낮은 이유는, 화학 약품 대비 가격이 고가인 것에 비해 살충 효력이 낮고, 효과가 즉시 확인되지 않기 때문인 것으로 사료된다[21].

보건 기관에서 성장 단계별 방제 약품의 구매율을 비교한 결과, 유충 방제 약품 구매율은 27.5%로 아직 선진국수준에는 미치지 못하지만, 2020년(22.7%) 이후로 지속적으로 상승하고 있다(표 4). 유충은 한정된 장소 내 서식하고 있기 때문에 성충 방제에 비해 우수한 방제 효과를 가진다. 특히, 불특정 다수로 서식지가 발생하는 농경지보다 도심과 같은 제한적인 환경에서 우수한 방제 효과를 확인할 수 있다[22,23]. 따라서 해외에서는 유충 방제에 대한 비중을 높여, 성충 방제 약품 사용을 최소화하는 통합 모기 관리(integrated mosquito management, IMM)를 추천하고 있다[24]. 통합 모기 관리(IMM)

표 4. 최근 5년간 성·유충 방제 비율(2018-2022년)

연도	방제 약품 구매율(%)	
	성충	유충
2018	73.9	26.1
2019	73.8	26.2
2020	77.3	22.7
2021	74.1	25.9
2022	72.5	27.5
평균	74.3	25.7

는 ultra-low volume (ULV) 등을 활용한 성충 방제와 유충 방제를 병행하여 방제를 하며, 추가적으로 밀도 감시, 서식지 감시, 방제 홍보 및 교육 등을 수행한다[25]. 미국 플로리다의 경우, *Ae. aegypti*의 방제를 위하여 ULV 방제와 유충 방제를 동시 적용한 결과, 대조군 대비 성충의 평균 밀도가 낮아진 것이 확인되었다[26]. 따라서 효과적으로 모기 방제를 수행하기 위해서는 유충과 성충을 동시에 방제하는 통합 모기 관리 (IMM)를 활용하는 것이 효율적이다.

보건 기관에서 구매한 방제 약품을 통하여 방제 현황을 분석한 결과, 보건 기관에서는 주로 화학 약품을 통하여 성충 위주의 방제를 수행하고 있었다. 하지만 화학적 방제를 장기간 수행할 경우, 살충제 저항성 등의 부작용이 발생할 가능성이 있기에, 이를 대체하는 친환경 방제 혹은 물리적 방제를 함께 수행해야 한다. 그리고 효율적인 방제를 위하여 유충 방제와 성충 방제를 적절한 비율로 수행하는 방제 전략 수립이 필요하다.

Declarations

Ethics Statement: Not applicable.

Funding Source: None.

Acknowledgments: None.

Conflict of Interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Author Contributions: Conceptualization: HIL. Data curation: GHK, SRC. Formal analysis: GHK, SRC. Investigation: GHK, CWJ, SRC. Project administration: HIL. Resources: GHK, CWJ, SRC. Supervision: HIL. Visualization: GHK, SRC. Writing – original draft: GHK. Writing – review & editing: HIL.

References

1. Franklins LHV, Jones KE, Redding DW, Abubakar I. The effect of global change on mosquito-borne disease. *Lancet Infect Dis* 2019;19:e302-12.
2. Seo MG, Lee HS, Yang SC, et al. National monitoring of mosquito populations and molecular analysis of flavivirus in the Republic of Korea in 2020. *Microorganisms* 2021;9:2085.
3. Vontas J, Kioulos E, Pavlidi N, Morou E, della Torre A, Ranson H. Insecticide resistance in the major dengue vectors *Aedes albopictus* and *Aedes aegypti*. *Pestic Biochem Physiol* 2012;104:126-31.
4. Grigoraki L, Puggioli A, Mavridis K, et al. Striking diflubenzuron resistance in *Culex pipiens*, the prime vector of West Nile Virus. *Sci Rep* 2017;7:11699.
5. Lima EP, Goulart MO, Rolim Neto ML. Meta-analysis of studies on chemical, physical and biological agents in the control of *Aedes aegypti*. *BMC Public Health* 2015;15:858.
6. Ministry of Health and Welfare. Local health and medical institutions nationwide in the second half of 2021. Ministry of Health and Welfare; 2023.
7. Public Procurement Service Database [Internet]. Public Procurement Service; 2023 [cited 2023 Jan 20]. Available from: <https://data.g2b.go.kr:1443/pt/main/index.do>
8. Insecticide Resistance Action Committee [Internet]. Insecticide Resistance Action Committee [cited 2023 Jan 30]. Available from: <http://irac-online.org>
9. Infectious Disease Portal [Internet]. Korea Disease Control and Prevention Agency [cited 2023 Jan 30]. Available from: <https://npt.kdca.go.kr/>
10. Şengül Demirak MŞ, Canpolat E. Plant-based bioinsecticides for mosquito control: impact on insecticide resistance and disease transmission. *Insects* 2022;13:162.
11. Tunaz H, Uygun N. Insect growth regulators for insect pest control. *Turk J Agric For* 2004;28:377-87.
12. Song JS, Kwon KD, Choi HS, Yu HY. Biological monitoring of the exposure level of organophosphorus and pyrethroid pesticides in floriculture workers and florists. *Korean J Pestic Sci* 2014;18:41-7.
13. Ihara M, Matsuda K. Neonicotinoids: molecular mechanisms of action, insights into resistance and impact on pollinators. *Curr Opin Insect Sci* 2018;30:86-92.
14. World Health Organization. World malaria report 2020: 20 years of global progress & challenges. World Health

- Organization; 2020.
15. Stoops CA, Kim MS, Mahabir S, Chong ST, Cinkovich SS, Carder JB. CDC bottle bioassays for detection of insecticide resistance in *Culex pipiens*, *Aedes albopictus*, and *Aedes koreicus* collected on US Army Garrisons, Republic of Korea. *J Am Mosq Control Assoc* 2023;39:208-11.
 16. Lee DE, Kim HC, Chong ST, et al. Regional and seasonal detection of resistance mutation frequencies in field populations of *Anopheles Hyrcanus* Group and *Culex pipiens* complex in Korea. *Pestic Biochem Physiol* 2020;164:33-9.
 17. Verma M, Mishra P, Shakya S, Verma AK. Potential biological agents for control of mosquitoes. *Int J Mosq Res* 2023;10:19-27.
 18. Samada LH, Tambunan USF. Biopesticides as promising alternatives to chemical pesticides: a review of their current and future status. *Online J Biol Sci* 2020;20:66-76.
 19. Brühl CA, Després L, Frör O, et al. Environmental and socioeconomic effects of mosquito control in Europe using the biocide *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* (Bti). *Sci Total Environ* 2020;724:137800.
 20. Lacey LA. *Bacillus thuringiensis* serovariety *israelensis* and *Bacillus sphaericus* for mosquito control. *J Am Mosq Control Assoc* 2007;23(2 Suppl):133-63.
 21. Kakka AI, Herlekar MD, Awale S. Comparative toxicity study of chemical pesticide and biopesticide by *Daphnia* bioassay. *Nat Environ Pollut Technol* 2021;20:695-701.
 22. Tusting LS, Thwing J, Sinclair D, et al. Mosquito larval source management for controlling malaria. *Cochrane Database Syst Rev* 2013;2013:CD008923.
 23. Choi L, Majambere S, Wilson AL. Larviciding to prevent malaria transmission. *Cochrane Database Syst Rev* 2019;8:CD012736.
 24. Floore TG. Mosquito larval control practices: past and present. *J Am Mosq Control Assoc* 2006;22:527-33.
 25. McGregor BL, Connelly CR. A review of the control of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in the continental United States. *J Med Entomol* 2021;58:10-25.
 26. McAllister JC, Porcelli M, Medina JM, et al. Mosquito control activities during local transmission of Zika virus, Miami-Dade County, Florida, USA, 2016. *Emerg Infect Dis* 2020;26:881-90.

Current Status of Domestic Mosquito Control in 2022

Gi-Hun Kim, Chang-Won Jang, Sun-Ran Cho, Hee-Il Lee*

Division of Vectors and Parasitic Diseases, Bureau of Infectious Disease Diagnosis Control, Korea Disease Control and Prevention Agency, Cheongju, Korea

ABSTRACT

In the Republic of Korea, mosquitoes are an important vector of various diseases, including malaria and Japanese encephalitis. As mandated by the [Infectious Disease Control and Prevention Act], the Public Health Center must implement vector control to suppress the occurrence and spread of mosquito-borne diseases. This survey investigates the status of mosquito control was confirmed by the insecticide purchased by the Public Health Center. The 2022 insecticide purchases amounted to 29,654 million won, representing a 5.3% increase (1,500 million won) compared to 2021. The purchase rate of chemical insecticides was confirmed a 72.1% comparing eco-friendly insecticides at 5.5%. Classification of insecticides by mode of action resulted in a total of 12 classes, with the pyrethroid accounting for the largest proportion (51.4%). When comparing insecticide purchase rates by growth stage, the adulticide purchase rate (72.5%) was higher than the larvicide purchase (27.5%). Analysis of insecticides purchased by public institutions, reveals a dependence on chemical control for adult mosquitos. However, long-term use of chemicals has a number of side effects, including the development of insecticide resistance. Therefore, it is necessary to develop a new control strategy that reduces the side effects of chemical agents by using eco-friendly or physical control instead of chemical control, while also targeting both adults and larvae in an appropriate ratio.

Key words: Public health; Mosquito control; Insecticide; Chemical; Pyrethroid

*Corresponding author: Hee-Il Lee, Tel: +82-43-719-8560, E-mail: isak@korea.kr

Introduction

Mosquitoes pose a significant health risk as vectors of various diseases such as malaria, dengue, chikungunya fever, and Zika virus infection [1]. In the Republic of Korea, mosquito-borne diseases include malaria, transmitted by *Anopheles* spp., and Japanese encephalitis, transmitted by *Culex tritaeniorhynchus* [2]. In addition, *Aedes albopictus* and *Culex pipiens* complex that transmit dengue fever, Zika virus infection and West

Nile fever, which are diseases that do not occur domestically but are highly likely to be introduced, are distributed nationwide [3,4].

Public health centers and health center and county hospital (hereinafter referred to as public health institutions) conduct basic medical and public health services to improve and promote public health within their respective regions. Public health institutions are established by local governments under [Article 10 of the Regional Public Health Act] and are engaged

Key messages

① What is known previously?

Public Health Centers primarily rely on chemical control to suppress the spread of mosquito-borne diseases.

② What new information is presented?

The purchase rate of pyrethroid-based insecticides in health institutions across the country surpasses 50%. The average cost of purchasing these pesticides was approximately 114.5 million won.

③ What are implications?

It is necessary to develop a control strategy that reduces the side effects of conventional chemical insecticides by implementing eco-friendly or physical control measures in place of chemical control, and by targeting both adults and larval mosquitoes in appropriate proportions.

in activities such as sanitation, pest control, and surveillance of patients with vector-borne diseases.

Mosquito control methods are categorized into physical, chemical, and eco-friendly approaches [5]. Physical control involves using attractants or light to capture vectors, reducing their density, and eliminating larval habitats and adult nesting places. Chemical control focuses on killing adult mosquitoes and larvae using insecticidal agents. Eco-friendly control employs microorganisms (*Bacillus thuringiensis israelensis* [Bti]), natural substances (such as essential oils), and aquatic animals (natural enemies) to reduce mosquito larva density.

Health institutions are controlling mosquitoes, but it is very difficult to grasp the overall status of control because each institution uses different vector control insecticides. Therefore, this study aims to indirectly assess the status of mosquito control by analyzing insecticides purchased by health institutions nationwide.

Methods

Health institutions in the Republic of Korea were identified based on information provided in the second half of the 2021 National Regional Health Care Institutions report published by the Ministry of Health and Welfare [6]. To investigate pest control drugs purchased by public health institutions, the purchase of insecticides (item number: 10191509) from January to December 2022 was investigated using data procured from the Procurement Information Open Portal of the Public Procurement Service [7]. We selected and analyzed insecticides for mosquitoes from among various sanitary pests (ticks, flies, cockroaches, etc.).

Results

1. 2022 Purchase Status of Vector Control

Insecticides

In 2022, a total of 361 health institutions purchased vector control insecticides, amounting to a total cost of KRW 29,654 million, marking an increase of KRW 1,500 million (5.3%) compared with the cost in 2021 (Table 1). The average cost of pest control per 100,000 people was KRW 57.7 million, with Jeonnam being the region with the highest control cost relative to the population (KRW 275.2 million). Among the purchased vector control insecticides, 77.6% (KRW 23,008 million) were chemical insecticides, 22.4% (KRW 6,647 million) were repellents, and 5.5% (KRW 1,628 million) were eco-friendly insecticides.

Table 1. Increase or decrease in the cost of purchased insecticides in 17 provinces in 2022

Provinces	Cost of purchasing insecticides in 2022 (%)	Cost of purchasing insecticides in 2021 (%)	Difference in insecticide cost (%)	Average mosquito control cost per 100,000 populations
SE	1,641 (5.5)	1,173 (4.2)	468 (39.9)	17.5
IC	1,456 (4.9)	1,347 (4.8)	109 (8.1)	48.5
DJ	311 (1.0)	304 (1.1)	7 (2.3)	22.2
GJ	471 (1.6)	366 (1.3)	105 (28.7)	33.6
DG	798 (2.7)	729 (2.6)	69 (9.5)	33.3
US	554 (1.9)	503 (1.8)	51 (10.1)	50.4
BS	1,720 (5.8)	1,574 (5.6)	146 (9.3)	52.1
SJ	132 (0.4)	125 (0.4)	7 (5.6)	33.0
GG	4,703 (15.9)	4,305 (15.3)	398 (9.2)	34.6
GW	1,539 (5.2)	1,638 (5.8)	△99 (△6.0)	102.6
CB	1,491 (5.0)	1,502 (5.3)	△11 (△0.7)	93.2
CN	2,585 (8.7)	2,626 (9.3)	△41 (△1.6)	123.1
GB	2,268 (7.6)	2,112 (7.5)	156 (7.4)	87.2
GN	2,818 (9.5)	2,964 (10.5)	△146 (△4.9)	85.4
JB	1,841 (6.2)	1,824 (6.5)	17 (0.9)	102.3
JN	4,953 (16.7)	4,804 (17.1)	149 (3.1)	275.2
JJ	373 (1.3)	258 (0.9)	115 (44.6)	53.3
Total	29,654	28,154	1,500 (5.3)	57.7

Unit: million won. SE=Seoul; IC=Incheon; Dj=Daejeon; GJ=Gwangju; DG=Deagu; US=Ulsan; BS=Busan; SJ=Sejong; GG=Gyeonggi-do; GW=Gwangwon-do; CB=Chungcheongbuk-do; CN=Chungcheongnam-do; GB=Gyeongsangbuk-do; GN=Gyeongsangnam-do; JB=Jeollabuk-do; JN=Jeollanam-do; JJ=Jeju-do. △: Decreased purchase amount of mosquito control chemicals compared to 2021.

2. Comparison of Vector Control Insecticides by Mechanism of Action

The vector control insecticides were classified into 12 classes based on the mechanism of action of pesticides [8] (Table 2). pyrethroid were confirmed to have the highest purchase rate at 51.4%, followed by benzoylurea (11.3%) and organophosphate (4.7%).

3. Proportion of Pest Control Drugs by Growth Stage

Analysis of the proportion of adulticides and larvicides purchased by public health institutions revealed that the purchase rate of adulticides was 72.5% and that of larvicides was 27.5% (Table 3). Seoul had the highest purchase rate of larvicides

(51.9%), whereas Sejong had the highest purchase rate of adulticides (90.9%).

Discussion

From 2013 to 2022, a total of 5,204 cases of malaria were reported in the Republic of Korea, averaging more than 500 cases annually [9]. Vector management is very important to reduce the spread of mosquito borne diseases, including malaria. This study examines the status of mosquito control by analyzing vector control insecticides purchased by public health institutions.

In 2022, health institutions nationwide spent KRW 29,654 million on vector control insecticides, marking an increase of

Table 2. Comparison of classes of insecticides purchased in 17 provinces in 2022

Group	Target	Classes	Chemical name	Cost (%)	
C	Adult, larva	PY	D-phenothrin	6,506 (21.9)	
			Etofenprox	4,573 (15.4)	
			λ-cyhalothrin	1,659 (5.6)	
			Bifenthrin	964 (3.3)	
			Deltamethrin	940 (3.2)	
			Cypermethrin	307 (1.0)	
			α-Cypermethrin	146 (0.5)	
			Permethrin	105 (0.4)	
			d-cis/trans prallethrin	24 (0.1)	
			Sub total	15,224 (51.4)	
	Larva	IGR	Benzoylureas	Diflubenzuron	3,173 (10.7)
				Teflubenzuron	75 (0.3)
				Bistrifluron	45 (0.2)
				Novaluron	6 (0.0)
			Pyriproxyfen	Pyriproxyfen	139 (0.5)
				Hormone	S-methopren
			Sub total	3,566 (12.0)	
	Adult, larva	OP		Temepose	1,253 (4.2)
				Dichlorvos	102 (0.3)
				Pirimiphos	43 (0.1)
			Sub total	1,398 (4.7)	
	Adult	Mixture	Pyrethroid+LP gas	D-fenothrin+Phthalthrin	673 (2.3)
			Pyrethroid+pyrethroid	Cypermethrin+Tetramethrin	108 (0.4)
			Pyrethroid+organophosphate	Cypermethrin+Clorpyrifos	43 (0.1)
			Pyrethroid+pyrethroid	Imiprothrin+d-T80-Cyphenothrin	25 (0.1)
Pyrethroid+benzoylureas			Permethrin+Novaluron	21 (0.1)	
Pyrethroid+oxadiazines			Etofenprox+S-indoxacarb	16 (0.1)	
Sub total			886 (3.0)		
Adult	Neonicotinoid		Dinotefuran	206 (0.7)	
			Imidacloprid	100 (0.3)	
		Sub total	306 (1.0)		
Total of chemical			21,380 (72.1)		
E	Larva	Biotic insecticide	Bti	1,069 (3.6)	
		Spinosyne	Spinosad	276 (0.9)	
		Natural pyrethrin	Pyrethrin X	192 (0.6)	
		Silicone	Dimethicon	91 (0.3)	
		Total of eco-friendly pest control chemicals	1,628 (5.5)		
R	-	Unknown	Icaridin	4,679 (15.8)	
			IR3535	1,406 (4.7)	
			DEET	562 (1.9)	
			Total of repellent chemicals	6,647 (22.4)	
Total			29,654 (100.0)		

Unit: million won. C=chemical; E=eco-friendly pest control insecticides; R=repellent chemicals; PY=pyrethroid; IGR=Insect Growth Regulator; OP=organophosphate; LP=liquefied petroleum; Bti=*Bacillus thuringiensis israelensis*; DEET=N,N-diethyl-m-toluidide.

Table 3. Purchase rate of adult and larval control chemicals purchased in 17 provinces in 2022

Provinces	Purchase rate of insecticides (%)		Total
	Adult	Larva	
SE	708 (48.1)	765 (51.9)	1,473
IC	793 (67.7)	378 (32.3)	1,170
DJ	192 (67.8)	91 (32.2)	283
GJ	323 (73.1)	119 (26.9)	442
DG	468 (64.8)	254 (35.2)	730
US	267 (75.9)	85 (24.1)	352
BS	977 (65.4)	516 (34.6)	1,493
SJ	100 (90.9)	10 (9.1)	110
Metropolitan city (mean)	479 (63.3)	277 (36.7)	756
GG	2,846 (70.1)	1,215 (29.9)	4,061
GW	900 (84.9)	160 (15.1)	1,059
CB	917 (80.8)	218 (19.2)	1,135
CN	1,262 (68.4)	582 (31.6)	1,858
GB	1,220 (81.9)	269 (18.1)	1,497
GN	1,575 (74.6)	536 (25.4)	2,111
JB	991 (81.0)	233 (19.0)	1,224
JN	2,892 (77.2)	855 (22.8)	3,747
JJ	230 (87.8)	32 (12.2)	262
Provincial (mean)	1,426 (75.8)	456 (24.2)	1,881
Total	16,661 (72.5)	6,318 (27.5)	22,979

Unit: million won. SE=Seoul; IC=Incheon; DJ=Daejeon; GJ=Gwangju; DG=Deagu; US=Ulsan; BS=Busan; SJ=Sejong; GG=Gyeonggi-do; GW=Gwangwon-do; CB=Chungcheongbuk-do; CN=Chungcheongnam-do; GB=Gyeongsangbuk-do; GN=Gyeongsangnam-do; JB=Jeollabuk-do; JN=Jeollanam-do; JJ=Jeju-do.

approximately KRW 1,500 million (5.3%) from the cost in 2021. The average cost per 100,000 people was KRW 57.7 million. The purchases of chemical insecticides accounted for 72.1%, which was higher than the purchases of insect repellent (22.4%) and eco-friendly insecticides (5.5%). Classification of vector control insecticides based on mechanism of action revealed 12 classes. Pyrethroid (51.4%) is an insecticide used for mosquito control worldwide, including in the Republic of

Korea. Their mechanism involves continuous nerve stimulation, paralysis by interfering with opening and closing of the voltage of sodium channels in the nerve membrane, and interrupting the electrical signal transmission in the nervous system [10]. Insect Growth Regulator (IGR), a larval agent, which can be classified into inhibition of chitin synthesis (benzoylureas), growth hormone inhibition (such as pyriproxyfen), and inhibition of Adenosine triphosphate (ATP) synthesis from mitochondria (such as diafenthiuron) by the mechanism of action [11]. In the Republic of Korea, insecticides that inhibit chitin synthesis or growth hormones were used. In addition, insecticides such as organophosphate, which kills insects by inducing hypersecretion of acetylcholine, and neonicotinoid, which acts on the nicotine acetylcholine receptor in insects, were purchased [12,13].

While chemical control is widely used in the Republic of Korea and around the world, the long-term use of chemicals leads to insecticides resistance and reducing their effectiveness. According to the World Health Organization (WHO), 78 countries identified insecticides resistance to one class from 2010 to 2020, with 29 of these 78 countries identifying resistance to at least four class (organophosphate, pyrethroid, organochlorine, and carbamate) [14]. Also, insecticide resistance to pyrethroid and organophosphate has also been reported in the Republic of Korea [15,16]. In order to reduce insecticide resistance, insecticide with different mechanisms must be cross-used. However, pyrethroids are the most registered on insecticides with the Public Procurement Service, with limited representation of IGR and eco-friendly insecticides. Therefore, it is believed that chemical control and physical control should be used in parallel, or IGR or eco-friendly insecticide should be alternately used.

Table 4. Comparison of larvicide exterminators purchased at public health centers from 2018 to 2022

Year	Purchase rate of insecticides (%)	
	Adult	Larva
2018	73.9	26.1
2019	73.8	26.2
2020	77.3	22.7
2021	74.1	25.9
2022	72.5	27.5
Mean	74.3	25.7

Eco-friendly insecticides include substances derived from natural products (hereinafter referred to as natural substances), biological control agents such as natural enemies, insect viruses, parasites, and fungi [17]. The purchase of eco-friendly insecticides accounted for 5.5% of health institutions in the Republic of Korea. The global market of eco-friendly insecticides is growing yearly, and approximately 175 eco-friendly insecticides have been registered worldwide [18]. The most used eco-friendly insecticides in the Republic of Korea is the microbial insecticide Bti (3.6%), which is widely effective for larval control worldwide [19]. Bti operates by entering the bodies of mosquito larvae and releasing protein toxins, including Cry 4A, Cry 4B, Cry 11A, and Cyt 1A to kill them [20]. In addition, Natural substances and silicones are used in the Republic of Korea. However, the limited adoption of eco-friendly insecticides in the Republic of Korea is attributed to their perceived lower insecticidal efficacy compared to chemical insecticides, along with delayed confirmation of effectiveness [21].

Comparing the purchasing rate of insecticides by growth stage among health institutions, the larvicides was covered 27.5%, which is still below the level of developed countries, though it has been steadily increasing since 2020 (22.7%) (Table 4). Given that the larvae live in a limited place, they have

an excellent control effect compared to adult control, particularly in restrictive environments such as urban areas compared to that in agricultural areas with many unspecified habitats [22,23]. Therefore, integrated mosquito management (IMM), which minimizes the use of adulticides and increases the proportion of larval control, is recommended [24]. Additionally, monitoring of larval habitats and mosquito densities, as well as mosquito control promotion and education, must be carried out [25]. In Florida, USA, the combined application of ultra-low volume (ULV) control and larval control of *Ae.aegypti* showed a lower average adult density than that shown in the control group [26]. Therefore, the simultaneous control of larvae and adults through IMM is an efficient strategy for effective mosquito control.

An analysis of the current state of mosquito control showed that health institution mainly used chemicals to control adult insects. Considering the potential side effects of long-term chemical control such as insecticide resistance, adopting eco-friendly or physical control measures is advisable. For efficient control, it is necessary to establish a vector control strategy for balancing with larval and adult control.

Declarations

Ethics Statement: Not applicable.

Funding Source: None.

Acknowledgments: None.

Conflict of Interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Author Contributions: Conceptualization: HIL. Data curation: GHK, SRC. Formal analysis: GHK, SRC. Investigation: GHK, CWJ, SRC. Project administration:

HIL. Resources: GHK, CWJ, SRC. Supervision: HIL. Visualization: GHK, SRC. Writing – original draft: GHK. Writing – review & editing: HIL.

References

- Franklinos LHV, Jones KE, Redding DW, Abubakar I. The effect of global change on mosquito-borne disease. *Lancet Infect Dis* 2019;19:e302-12.
- Seo MG, Lee HS, Yang SC, et al. National monitoring of mosquito populations and molecular analysis of flavivirus in the Republic of Korea in 2020. *Microorganisms* 2021;9:2085.
- Vontas J, Kioulos E, Pavlidi N, Morou E, della Torre A, Ranson H. Insecticide resistance in the major dengue vectors *Aedes albopictus* and *Aedes aegypti*. *Pestic Biochem Physiol* 2012;104:126-31.
- Grigoraki L, Puggioli A, Mavridis K, et al. Striking diflubenzuron resistance in *Culex pipiens*, the prime vector of West Nile Virus. *Sci Rep* 2017;7:11699.
- Lima EP, Goulart MO, Rolim Neto ML. Meta-analysis of studies on chemical, physical and biological agents in the control of *Aedes aegypti*. *BMC Public Health* 2015;15:858.
- Ministry of Health and Welfare. Local health and medical institutions nationwide in the second half of 2021. Ministry of Health and Welfare; 2023.
- Public Procurement Service Database [Internet]. Public Procurement Service; 2023 [cited 2023 Jan 20]. Available from: <https://data.g2b.go.kr:1443/pt/main/index.do>
- Insecticide Resistance Action Committee [Internet]. Insecticide Resistance Action Committee [cited 2023 Jan 30]. Available from: <http://irac-online.org>
- Infectious Disease Portal [Internet]. Korea Disease Control and Prevention Agency [cited 2023 Jan 30]. Available from: <https://npt.kdca.go.kr/>
- Şengül Demirak MŞ, Canpolat E. Plant-based bioinsecticides for mosquito control: impact on insecticide resistance and disease transmission. *Insects* 2022;13:162.
- Tunaz H, Uygun N. Insect growth regulators for insect pest control. *Turk J Agric For* 2004;28:377-87.
- Song JS, Kwon KD, Choi HS, Yu HY. Biological monitoring of the exposure level of organophosphorus and pyrethroid pesticides in floriculture workers and florists. *Korean J Pestic Sci* 2014;18:41-7.
- Ihara M, Matsuda K. Neonicotinoids: molecular mechanisms of action, insights into resistance and impact on pollinators. *Curr Opin Insect Sci* 2018;30:86-92.
- World Health Organization. World malaria report 2020: 20 years of global progress & challenges. World Health Organization; 2020.
- Stoops CA, Kim MS, Mahabir S, Chong ST, Cinkovich SS, Carder JB. CDC bottle bioassays for detection of insecticide resistance in *Culex pipiens*, *Aedes albopictus*, and *Aedes koreicus* collected on US Army Garrisons, Republic of Korea. *J Am Mosq Control Assoc* 2023;39:208-11.
- Lee DE, Kim HC, Chong ST, et al. Regional and seasonal detection of resistance mutation frequencies in field populations of *Anopheles Hyrcanus* Group and *Culex pipiens* complex in Korea. *Pestic Biochem Physiol* 2020;164:33-9.
- Verma M, Mishra P, Shakya S, Verma AK. Potential biological agents for control of mosquitoes. *Int J Mosq Res* 2023;10:19-27.
- Samada LH, Tambunan USF. Biopesticides as promising alternatives to chemical pesticides: a review of their current and future status. *Online J Biol Sci* 2020;20:66-76.
- Brühl CA, Després L, Frör O, et al. Environmental and socioeconomic effects of mosquito control in Europe using the biocide *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* (Bti). *Sci Total Environ* 2020;724:137800.
- Lacey LA. *Bacillus thuringiensis* serovariety *israelensis* and *Bacillus sphaericus* for mosquito control. *J Am Mosq Control Assoc* 2007;23(2 Suppl):133-63.
- Kakka AI, Herlekar MD, Awale S. Comparative toxicity study of chemical pesticide and biopesticide by *Daphnia* bioassay. *Nat Environ Pollut Technol* 2021;20:695-701.
- Tusting LS, Thwing J, Sinclair D, et al. Mosquito larval source management for controlling malaria. *Cochrane Database Syst Rev* 2013;2013:CD008923.
- Choi L, Majambere S, Wilson AL. Larviciding to prevent malaria transmission. *Cochrane Database Syst Rev* 2019;8:CD012736.
- Floore TG. Mosquito larval control practices: past and present. *J Am Mosq Control Assoc* 2006;22:527-33.
- McGregor BL, Connelly CR. A review of the control of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in the continental United States. *J Med Entomol* 2021;58:10-25.
- McAllister JC, Porcelli M, Medina JM, et al. Mosquito control activities during local transmission of Zika virus, Miami-Dade County, Florida, USA, 2016. *Emerg Infect Dis* 2020;26:881-90.