pISSN 1229-1153 / eISSN 2465-9223 *J. Food Hyg. Saf.*
Vol. 40, No. 2, pp. 114~130 (2025)
https://doi.org/10.13103/JFHS.2025.40.2.114

Journal of Food Hygiene and Safety
Available online at http://www.foodhygiene.or.kr

과일 및 채소 가공식품의 잔류농약 모니터링 및 위해도 평가

박주은* · 김경진 · 신지혜 · 공도훈 · 문지혜 · 김희정 · 정소연 · 서원덕 · 최영선 · 심민령
울산광역시 보건환경연구원 농수산물검사소

Monitoring and Risk Assessment of Pesticide Residues on Processed Fruits and Vegetables

Jueun Park*, Kyoungjin Kiim, Jihye Shin, Dohun Gong, Jihye Mun, Heejung Kim, Soyeon Jeong, Wondug Seo, Young-Sun Choi, Minlyeong Sim
Agricultural and Fishery Products Inspection Office, Ulsan Metropolitan City Health and Environment Research Institute, Ulsan, Korea

(Received Januanry 6, 2025/Revised February 20, 2025/Accepted February 21, 2025)

ABSTRACT - This study aimed to investigate pesticide residues in processed fruit and vegetable products distributed online and offline in Ulsan Metropolitan City, South Korea and assess potential human health risks. A total of 120 samples, consisting of 58 fruit-based and 62 vegetable-based processed foods, were analyzed using a multi-residue method. Pesticide residues were detected in 39 samples (32.5%), in 21 fruit-based and 18 vegetable-based processed foods. A total of 48 pesticides were detected 157 times in the samples, but none exceeded the maximum residue limits (MRLs) for raw agricultural commodities (RACs). Compared to the pesticide residue detection rates in RACs distributed in Ulsan Metropolitan City, the detection rate for processed foods was 30-40% lower. The most frequently detected pesticide was acetamiprid (17 samples), followed by tebuconazole (12 samples) and flonicamid (10 samples). Pesticides detected in processed foods were mainly systemic or nonsystemic lipophilic pesticides. In some instances, residue levels in processed foods were higher than those in RACs. However, the calculated percentage acceptable daily intake (%ADI), ranging from 0.0003% to 0.7658%, showed that the pesticide residues in processed foods were at safe levels. These findings suggest that the pesticide residues in the analyzed processed fruit and vegetable products do not pose a significant risk to human health.

Key words: Processed fruits and vegetables, Pesticide residues, Ulsan

과일 및 채소는 심혈관 건강, 면역력 증진, 뼈 건강, 피부 건강 등 신체 유지에 필수적인 비타민과 무기질 등의 중요한 공급원이다[1]. 과일 및 채소 가공식품은 손질 및 조리에 대한 시간과 노력을 줄여주기 때문에 건강과 편의성을 중시하는 현대 소비자들의 요구에 부응하는 제품으로 자리매김하고 있다. 또한 보존기간을 연장하여 식품 폐기를 줄이고, 안정적인 공급 체계를 마련하는 데 도움을 주며, 계절적 생산의 한계를 넘어 특정 시기에만 생산되는 과일 및 채소를 연중 활용할 수 있게 한다[2]. 특히 냉동 과일 및 채소는 수확 직후 급속 냉동되어 영양소 손실이 최소화되며, 유통이나 보관 과정 중 영양소 파괴를 효과적으로 방지하여 신선 제품보다 더 많은 영양소를 함유하기도 한다[3]. 또한 신선 제품에 비해 가격이 저렴하고 보관이 편리해 소비가 증가하고 있다[4]. 과일 및 채소 퓨레 및 페이스트는 원물을 으깨거나 갈아서 만든 제품으로 디저트, 음료 등 다양한 용도로 활용되며, 최근에는 영유아의 영양 공급원 및 간식으로 많이 이용되고 있다[5].

농약은 병해충과 잡초로부터 작물을 보호하여 농작물 손실을 줄이고 수확량을 증가시켜 식량 생산의 안정성과 품질을 보장하며, 농업 생산 비용을 절감하여 경제적 이익을 제공한다. 하지만 농약을 오남용하면 인체에 급성 및 만성 독성을 유발하고, 호르몬 교란, 알레르기 반응, 암 발생 위험을 증가시킬 수 있으며 이로 인해 소비자들은 잔류농약에 대한 막연한 불안감을 느끼고 있다[6]. 이러한 소

*Correspondence to: Jueun Park, Agricultural and Fishery products Inspection Office, Ulsan Metropolitan City Health and Environment Research Institute, Ulsan 44642, Korea
Tel: +82-52-229-6207, Fax: +82-52-229-6209
E-mail: jueun0815@korea.kr

Copyright © The Korean Society of Food Hygiene and Safety. All rights reserved. The Journal of Food Hygiene and Safety is an Open-Access journal distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution,and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

비자의 불안을 해소하고 안전성을 확보하기 위해 대한민국은 「농약등의 안전사용기준」[7]에 따라 농약의 사용 대상, 사용 방법, 사용량 등을 엄격하게 규제하고 있다. 또한 사람이 평생 매일 섭취하더라도 건강에 해를 끼치지 않는 안전한 수준으로 농약 잔류허용기준(maximum residue limits, MRL)을 설정하여 농산물의 생산·수입 단계와 유통 단계에서 잔류농약 안전성에 대한 이중 관리 체계를 운영하고 있다.

식품산업 원료 소비 실태조사에 따르면[8], 2022년도 기준으로 과실, 채소 가공 및 저장 처리업에서 원료를 자체 생산하거나 개별 농가에서 직구매하는 비중은 23.3%이며, 직수입하는 비중은 20.9%라고 보고되었다. 특히 고추의 경우 직구매, 직수입하는 비중이 59.1%, 37.0%에 달한다고 보고되었다. 이와 같은 원료 조달 방법은 유통 단계 잔류농약 안전성 검사를 회피할 수 있기 때문에 잔류농약 관리가 허술해질 수 있다. 따라서 농약 잔류량이 기준치를 초과한 원료가 가공 과정에 그대로 사용될 위험이 존재하지만, 한국 식품위생법 및 관련 규정에서는 가공업체가 사용하는 원료 농산물의 잔류농약 검사를 의무화하지 않고, 업주의 자율적 관리에 의존하고 있다. 원료 농산물에 남아있는 잔류농약은 가공식품 제조 과정에서 완전히 제거되지 않고 최종제품에 이행될 수 있다[9].

일반적으로 가공식품은 별도의 세척 없이 바로 섭취 가능하여 가공식품에 잔류농약이 남아 있는 경우 소비자가 그대로 노출될 위험이 있다. 국제식품규격위원회(CODEX)에서는 각국 또는 농약 제조사에서 제출된 가공식품에 대한 연구자료를 바탕으로 원료 식품에 잔류하는 농약이 가공 과정에서 농축되는 경우 별도의 기준을 설정하고, 감소하는 경우 노출평가에 활용하고 있다[10].

한국은 일부 건조농산물, 건삼 및 홍삼, 녹차 추출물, 인삼·홍삼 농축액을 제외하면 가공식품에 잔류농약 개별 기준을 따로 설정하고 있지 않고, 원료 농산물 기준으로 수분함량만을 고려하여 관리하고 있다[11]. 그러나 가공 과정에서 농약 농도가 변할 수 있고 복합 원료의 특성을 반영하지 못한다는 점에서 원료 농산물 기준을 적용하는 것은 불합리한 측면이 있으며[12], 가공식품은 일반 농산물에 비해 검사가 충분히 이루어지고 있지 않은 실정이다. 또한 가공식품은 자가품질검사 항목에도 잔류농약이 포함되지 않기 때문에[13] 잔류농약 안전성 관리의 사각지대에 놓여 있다고 사료된다.

따라서 본 연구에서는 울산광역시에서 온/오프라인으로 유통되고 있는 과일 및 채소 가공식품의 농약 잔류량을 조사하여 인체 위험성을 평가함으로써 소비자의 불안을 해소하고 향후 잔류농약 안전성 관리를 위한 기초자료로 제공하고자 하는데 그 목적이 있다.

Materials and Methods

실험 재료

2024년 2월부터 2024년 10월까지 울산광역시 소재 대형마트(3곳)와 온라인 쇼핑몰(3곳)에서 각각 50건, 70건 수거한 총 120건의 과일 및 채소 가공식품을 대상으로 잔류농약 분석을 하였다. 검체를 제품 유형별로 구분하면 천연향신료 24건, 퓨레·페이스트 22건, 냉동과일 및 채소 55건, 기타(통조림 등) 19건이었으며(Table 1), 원료별로 구분하면 과일류 가공식품 58건, 채소류 가공식품 62건이었다(Table 2).

시약 및 표준품

시료의 전처리와 LC/MS/MS 이동상으로 사용된 시약은 acetonitrile (Merck, Darmstadt, Germany), methanol (Merck), ammonium formate (Merck), 및 formic acid (Honeywell Research Chemials, Charlotte, NC, USA)로 liquid chromatography (LC) 분석용 시약을 사용하였다.

실험에 사용한 증류수는 Milli-Q direct water purification system (Merck)에 의해 18.2 MΩ 수준으로 정제하여 사용하였다.

시료 추출 및 정제에는 CHROMAtific (Heidenrod, Germany)의 QuEChERS extraction salts (4 g $MgSo_4$, 1 g Nacl, 1 g Na_3Citrate, 0.5 g Na_2HCitrate)와 PSA-MIX-5EN (25 mg PSA, 2.5 mg GCB, 150 mg $MgSO_4$)을 사용하였다.

잔류 농약 분석항목은 GC/MS/MS 202종 216항목과

Table 1. The number of samples classified by food type and distribution channel tested in this study

Product type		Processed fruits		Processed vegetables		Sub total
		Online collection	Offline collection	Online collection	Offline collection	
Natural spices	Chili pepper	-	-	5	3	24
	Garlic	-	-	5	5	
	Ginger	-	-	3	3	
Puree·Paste		11	-	6	5	22
Frozen fruits and vegetables		17	16	16	6	55
Others (e.g., canned foods)		6	8	1	4	19
Total		58		62		120

Table 2. The number of samples classified by source material tested in this study

Type	Group	Source material (No. of samples)
Processed fruits	Pome fruits	Apple (6), Pear (2)
	Citrus fruits	Lemon (1)
	Stone fruits	Cherry (5), Peach (9)
	Berries and other small fruits	Blueberry (5), Grape (1), Strawberry (5)
	Assorted tropical and sub-tropical fruits	Avocado (3), Banana (1), Kiwi (5), Mango (10), Pineapple (5)
Sub total		58
Processed vegetables	Flowerhead brassicas	Broccoli (4), Cabbage (1)
	Leafy vegetables	Radish (leaf) (1), Spinach (1)
	Stalk and stem vegetable	Asparagus (2), Bracken (1), Green onion (4)
	Root and tuber vegetables	Balloon flower root (1), Burdock (1), Carrot (1), Garlic (10), Ginger (6), Onion (2), Radish (root) (1)
	Fruiting vegetables, cucurbits	Cucumber (1), Melon (1), Pumpkin (4)
	Fruiting vegetables other than cucurbits	Chili pepper (10), Okra (1), Tomato (9)
Sub total		62
Total		120

liquid chromatography - mass spectrometry (LC/MS/MS) 199종 230항목으로 accustandard (AccuStandard Inc, New Haven, CT, USA) 표준품을 사용하였다(Table 3, 4).

분석용 시료 조제 및 분석기기

분석용 시료는 식품공전의 7.1.2.2 다성분 시험법-제2법에 따라 시료 10 g을 50 mL 원심분리관에 넣어 아세토니트릴 10 mL를 가한 뒤 1분간 강하게 흔들어 섞고 extraction salts를 첨가하여 1분간 흔든 후 원심분리(4°C, 4000 ×g, 10분)하여 추출하였다. 상층액 1 mL를 취해 PSA-MIX-5EN이 담긴 2 mL 원심분리관에 분주하여 30초간 강하게 흔들어 혼합하고 원심분리(4°C, 4000 ×g, 10분)하여 정제하였다. 상층액을 0.22 μm PTEE syringe filter로 여과한 후 시험용액으로 하였다.

분석을 위한 GC-MS/MS (7890B, 7010B, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA), LC-MS/MS (TQ-XS, Waters, Milford, MA, USA)의 기기 분석조건은 각각 Table 5, 6과 같다.

유효성 검증

본 연구의 시험법 검증은 한국 「식품공전 잔류농약 시험법 실무해설서」[14], 「식품·의약품 분야 시험·검사기관 품질관리를 위한 시험방법의 유효성 확인 및 검증 안내서」[15], 「식품 등 시험법 마련 표준절차에 관한 가이드라인」[16]에 따라 직선성, 검출한계, 정량한계, 회수율을 확인하였다.

검량선의 직선성은 0.0005-0.1 mg/kg 농도로 제조한 표준용액을 5단계 이상의 농도로 3회 반복 수행하여 얻은 표준 검량선의 결정계수(coefficient of determination, R^2)로 확인하였다. 식품의약품안전처에서 제시한 방법에 따라 3.3×(σ/S)을 검출한계(limit of detection, LOD)로 산출하였고 10×(σ/S)을 정량한계(limit of quantification, LOQ)로 산출하였다. 회수율(recovery)은 잔류농약이 검출되지 않은 시료에 혼합 표준용액 0.001, 0.05 mg/kg 수준으로 처리하여 3회 이상 반복 시험하여 측정하였다.

위해성 평가

과일 및 채소 가공식품에서 검출된 잔류농약의 위해도는 위해성평가보고서 작성 가이드라인[17]을 참고하여 일일섭취허용량(acceptable daily intake, ADI)에 대한 일일섭취추정량(estimated daily intake, EDI)의 비로 위해지수(hazard index, %ADI)를 산출하여 평가하였다.

검출 농약의 일일섭취허용량(ADI)은 식품의약품안전처 잔류물질정보(Pesticides and Veterinary Drugs Information)[18] 및 CODEX 농약잔류분과의 과학적 자문그룹인 Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)/World Health Organization (WHO)의 합동 잔류농약 전문가회의(Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues, JMPR)에서 발행한 보고서[19]를 이용하여 수집하였다.

일일섭취추정량(EDI)을 산출하기 위한 과일 및 채소 가공식품의 섭취량은 국민건강영양조사에서 통계자료가 제한적인 관계로 전국 과일 및 채소 가공식품 유통량 및 인구 조사 자료를 이용하여 추정하였고, 2022년 통계청의 국민평균체중 66.55 kg을 적용하여 산출하였다.

식품의약품안전처에서는 산출된 %ADI (hazard index)가

Table 3. List of pesticides analyzed by GC/MS/MS used in this study

Alachlor	Difenoconazole	Fonofos	Procymidone
Aldrin	Diflufenican	Formothion	Prodiamine
Dieldrin	Dimepiperate	Heptachlor	Profenofos
Ametryn	Dimethachlor	Heptachlor epoxide	Profluralin
Anilofos	Dimethametryn	Hexythiazox	Prometon
Atrazine	Dimethenamid	Indanofan	Prometryn
Azaconazole	Dimethylvinphos_E	Indoxacarb	Propanil
Benfluralin	Dimethylvinphos_Z	Ipconazole	Propazine
Benfuresate	Diniconazole	Iprobenfos	Propetamphos
Benodanil	Dinitramine	Isazofos	Propham
BHC_alpa	Diphenamid	Isofenphos	Propiconazole_iso 1
BHC_beta	Diphenylamine	Isofenphos-methyl	Propiconazole_iso 2
BHC_delta	Dithiopyr	Isoprocarb	Propisochlor
BHC_gamma (Lindane)	Endosulfan_alpha	Isoprothiolane	Propyzamide
Bifenthrin	Endosulfan_beta	Isopyrazam	Prothiofos
Boscalid	Endosulfan_sulfate	Isotianil	Pyraclofos
Bromobutide	Endrin	Isoxadifen-ethyl	Pyraflufen-ethyl
Bromophos-methyl	Endrin_ketone	Kresoxim-methyl	Pyrazophos
Bromopropylate	EPN	Mefenpyr-diethyl	Pyriftalid
Buprofezin	Epoxiconazole	Mepanipyrim	Pyrimethanil
Butachlor	EPTC	Mepronil	Pyriminobac-methyl (E)
Butafenacil	Ethalfluralin	Metalaxyl	Pyriminobac-methyl (Z)
Butralin	Ethion	Methidathion	Quinalphos
Cadusafos	Ethofumesate	Methoprotryn	Quinoxyfen
Carbophenothion	Ethoprophos	Methoxychlor	Quintozene
Carboxin	Ethychlozate	Metolachlor	Silafluofen
Chlordane_cis	Etoxazole	Metribuzin	Simeconazole
Chlordane_trans	Etridiazole	Myclobutanil	Simetryn
Chlorfenapyr	Fenamidone	Nitrothal-isopropyl	Spiromesifen
Chlorfenson	Fenarimol	Nuarimol	Spiroxamine
Chlorobenzilate	Fenbuconazole	Oxadiazon	Sulfotep
Chloropropylate	Fenclorim	Oxadixyl	Tebuconazole
Chloroneb	Fenitrothion	Oxyfluorfen	Tebufenpyrad
Chlorpropham	Fenobucarb	Paclobutrazol	Tebupirimfos
Chlorpyrifos	Fenothiocarb	Parathion	Tecnazene
Chlorpyrifos-methyl	Fenoxanil	Parathion-methyl	Tefluthrin
Chlorthal-dimethyl	Fenpropimorph	Penconazole	Terbacil
Chlorthiophos	Fenpyrazamine	Pendimethalin	Terbumeton
Chlozolinate	Fenson	Penflufen	Terbutryn
Cinmethylin	Fenthion	Penthiopyrad	Tetraconazole
Clomazone	Fipronil	Pentoxazone	Tetradifon
Cyflufenamid	Fluacrypyrim	Perthane	Thifluzamide
Cyprazine	Fluazifop-butyl	Phenthoate	Thiometon
Cyprodinil	Fluchloralin	Phosphamidon_E	Thionazin
Deltamethrin	Flucythrinate_iso 1	Phosphamidon_Z	Tolclofos-methyl
Dialifor	Flucythrinate_iso 2	Phosalone	Triadimefon
Diazinon	Fluensulfone	Phosmet	Triadimenol
Dichlobenil	Flumetralin	Phthalide	Tri-allate
Dichlormid	Flumioxazine	Picoxystrobin	Triazophos
Diclobutrazol	Fluopyram	Piperonyl butoxide	Trifloxystrobin
Diclofop-methyl	Fluquinconazole	Pirimicarb	Triflumizole
Dicloran	Flusilazole	Pirimiphos-ethyl	Trifluralin
Dicofol	Flutianil	Pirimiphos-methyl	Vinclozolin
Diethofencarb	Fluxapyroxad	Pretilachlor	Zoxamide

Table 4. List of pesticides analyzed by LC/MS/MS used in this study

6-BA, Benzyladenine	Emamectin benzoate	Mefentrifluconazole	Pyrazoxyfen
Acephate	Esprocarb	Metaflumizone E	Pyribencarb
Acetamiprid	Ethaboxam	Metaflumizone Z	KIE-9749
Aldicarb	Ethiofencarb	Metamifop	Pyribenzoxim
Ametoctradin	Etofenprox	Metconazole	Pyributicarb
Amisulbrom	Etrimfos	Methabenzthiazuron	Pyridaben
Azamethiphos	Famoxadone	Methamidophos	Pyridaphenthion
Azinphos-methyl	Fenamiphos	Methiocarb	Pyrifluquinazon
Azoxystrobin	Fenamiphos sulfone	Methomyl	Pyrimidifen
Benalaxyl	Fenamiphos sulfoxide	Thiodicarb	Pyrimisulfan
Bendiocarb	Fenazaquin	Methoxyfenozide	Pyriofenone
Bensulide	Fenhexamid	Metobromuron	Pyroquilon
Benthiavalicarb -isopropyl R	Fenoxaprop-ethyl	Metolcarb	Quinoclamine
Benthiavalicarb -isopropyl S	Fenoxycarb	Metrafenone	Saflufenacil
Benzobicyclon	Fenpyroximate	Mevinphos	Sedaxane-cis
Benzoximate	Fensulfothion	Monocrotophos	Sedaxane-trans
Bistrifluron	Fentrazamide	Napropamide	Sethoxydim
Bixafen	Ferimzone E	Norea (noruron)	Simazine
Bromacil	Ferimzone Z	Norflurazon	Spinetoram-J
Cafenstrole	Flonicamid	Ofurace	Spinetoram-L
Carbaryl	Fluazinam	Omethoate	Spinosyn A
Carbendazim	Flubendiamide	Orysastrobin	Spinosyn D
Thiophanate-methyl	Fludioxonil	Oryzalin	Spirodiclofen
Carbetamide	Flufenacet	Oxadiargyl	Sulfentrazone
Carpropamide	Flufenoxuron	Oxamyl	Sulfoxaflor
Chlorantraniliprole	Fluometuron	Oxamyl oxime	Sulprofos
Chlorfenvinphos E	Fluopicolide	Oxathiapiprolin	Tebufenozide
Chlorfenvinphos Z	Flupyradifurone	Oxaziclomefone	Tebufloquin
Chlorfluazuron	Fluridone	Oxydemeton-methyl	Tebufloquin M1
Chloridazone	Flusulfamide	Pebulate	Teflubenzuron
Chlorobenzuron	Fluthiacet-methyl	Pencycuron	Tepraloxydim
Chromafenozide	Flutolanil	Penoxsulam	Terbufos
Clofentezine	Flutriafol	Phenmedipham	Terbufos oxon
Clomeprop	Fluxametamide	Phenothrin-cis	Terbufos oxon sulfone
Clothianidin	Fomesafen	Phenothrin-trans	Terbufos oxon sulfoxide
Cyantraniliprole	Forchlorfenuron	Phorate	Terbufos sulfone
Cyazofamid	Fosthiazate	Phorate oxon	Terbufos sulfoxide
Cyclaniliprole	Hexaconazole	Phorate oxon sulfone	Terbuthylazine
Cycloprothrin	Hexaflumuron	Phorate sulfone	Tetraniliprole
Cyenopyrafen	Hexazinone	Phorate oxon sulfoxide	Thenylchlor
Cyflumetofen	Imazalil	Phorate sulfoxide	Thiabendazole
Cymoxanil	Imibenconazole	Phosfolan	Thiacloprid
Cyproconazole, isomer1	Imicyafos	Phoxim	Thiamethoxam
Cyproconazole, isomer2	Imidacloprid	Picarbutrazox	Thiazopyr
Daimuron	Inabenfide	TZ-1E	Thidiazuron
Demeton-S	Ipfencarbazone	Piperophos	Thiobencarb
Demeton-S-sulfone	Iprovalicarb	Probenazole	Tiadinil
Demeton-S-sulfoxide	Isoxaben	Promecarb	Tolfenpyrad
Disulfoton	Isoxathion	Propamocarb	Triafamone
Disulfoton sulfone	Lenacil	Propoxur	Triazamate
Disulfoton sulfoxide	Linuron	Prosulfocarb	Tricyclazole
Dichlorvos	Lufenuron	Pydiflumetofen	Triflumuron
Diclosulam	Malaoxon	Pyflubumide	Triticonazole
Diflubenzuron	Malathion	Pyflubumide-NH	Valifenalate
Dimethoate	Mandestrobin	Pyraclonil	Vamidothion
Dinotefuran	Mandipropamid	Pyraclostrobin	Vernolate
Diuron	Mecarbam	Pyraziflumid	
Dodine	Mefenacet	Pyrazolate	

100 이상이면 위해할 가능성이 있다고 보고 있으며, FAO/WHO에서는 10% 미만일 경우 위험성을 걱정할 필요가 없고, 10%를 초과하면 정밀조사와 철저한 법적 규제가 필요하며, 30% 수준에 도달하게 되면 위험 경고를 해야 하는 것으로 인식하고 있다[20].

통계적 분석

가공식품과 비가공 농산물 간 잔류농약 검출 빈도의 차이를 검토하기 위해 지난 3년간(2022년-2024년) 울산 보건환경연구원 농수산물검사소에서 분석한 비가공 농산물의 잔류농약 검출 빈도를 바탕으로 카이제곱 검정을 실시하였으며, 유의수준은 5% (P<0.05)로 설정하였다.

Table 5. Operating condition of GC/MS/MS used in this study

	GC/MS/MS
Instrument	Agilent 7890B, 7010B
Inlet temp.	260°C
Column	HP-5MS U1 (30 m×0.25 mm, 0.25 μm)
Oven temp.	60°C (0min)→20°C/min→180°C →5°C/min→300°C (1 min)
Detector temp.	260°C (Interface Temp.)
Flow rate	Carrier gas (He) 1.2 mL/min
Split mode	Splitless
Injection volume	1 μL

Results and Discussion

시험법의 유효성 검증

본 연구에서 검출된 잔류농약은 GC/MS/MS 검출 16종 16항목과 LC/MS/MS 검출 32종 35항목으로 총 48종 51

Table 6. Operating condition of LC/MS/MS used in this study

	LC/MS/MS		
Instrument	Waters TQ-XS		
Column	CORTECS® UPLC® C18+, 2.1×100mm I.d., 1.6 mm		
Mobile phase	A : 0.1% formic zcid, 5 mM ammonium formate in D.W		
	B : 0.1% formic zcid, 5 mM ammonium formate in MeOH		
Gradient	Time (min)	A (%)	B (%)
	Initial	95.0	5.0
	0.65	95.0	5.0
	2.00	60.0	40.0
	8.00	30.0	70.0
	11.00	20.0	80.0
	13.00	0.0	100
	15.00	0.0	100
	17.00	95.0	5.0
Flow rate	0.3 mL/min		
Injection vol.	2 μL		

Table 7. LOD, LOQ, recovery, and linearity of detected pesticides (GC/MS/MS) obtained in this study

Pesticide	LOD (n=3) (mg/kg)	LOQ (n=3) (mg/kg)	Recovery (%) (n=3) (mean±RSD)		Linearity (R^2)
			0.01 (mg/kg)	0.05 (mg/kg)	
Bifenthrin	0.00054	0.00163	96.2±0.5	72.6±0.5	0.9998
Boscalid	0.00100	0.00302	104.1±3.0	104.7±0.9	0.9990
Buprofezin	0.00100	0.00302	98.3±3.7	82.7±0.2	0.9994
Chlorfenapyr	0.00102	0.00309	102.6±1.5	81.0±0.9	0.9982
Cyprodinil	0.00065	0.00196	97.9±3.5	71.1±0.3	0.9984
Diethofencarb	0.00049	0.00150	97.7±5.3	72.8±0.6	0.9983
Difenoconazole	0.00008	0.00023	92.6±3.0	96.7±0.3	0.9991
Fluopyram	0.00053	0.00162	102.7±2.1	82.1±0.7	0.9991
Fluquinconazole	0.00119	0.00360	93.6±8.4	99.0±1.6	0.9953
Metalaxyl	0.00065	0.00198	90.6±0.6	80.8±0.7	0.9998
Penthiopyrad	0.00040	0.00120	101.6±1.1	76.6±1.4	0.9988
Procymidone	0.00091	0.00275	103.5±2.7	88.4±0.6	0.9964
Spiromesifen	0.00043	0.00129	102.3±4.6	72.7±2.7	0.9985
Tebuconazole	0.00088	0.00267	109.7±1.2	96.8±0.1	0.9981
Tetraconazole	0.00051	0.00156	97.5±0.7	80.0±1.1	0.9962
Trifloxystrobin	0.00087	0.00264	108.2±1.3	103.7±0.2	0.9993

Table 8. LOD, LOQ, recovery, and linearity of detected pesticides (LC/MS/MS) obtained in this study

Pesticide	LOD (n=3) (mg/kg)	LOQ (n=3) (mg/kg)	Recovery (%) (n=3) (mean±RSD)		Linearity (R^2)
			0.01 (mg/kg)	0.05 (mg/kg)	
Acetamiprid	0.00001	0.00004	93.7±1.6	109.1±1.4	0.9993
Amisulbrom	0.00019	0.00057	97±1.8	105.5±1.2	0.9997
Azoxystrobin	0.00007	0.00022	95.3±1.2	97.5±2.5	0.9994
Carbendazim	0.00007	0.00022	82.3±0.7	94.4±0.2	0.9997
Chlorantraniliprole	0.00007	0.00021	90±1.1	114.5±0.7	0.9983
Cyantraniliprole	0.00007	0.00022	87±4	119.9±2.6	0.9989
Cyazofamid	0.00011	0.00034	103±1.7	101.1±0.9	0.9997
Cyclaniliprole	0.00002	0.00007	113.7±6.7	114.5±1.3	0.9998
Cyenopyrafen	0.00012	0.00036	99±4	83.4±1.7	0.9993
Diflubenzuron	0.00009	0.00027	108±3.1	111.3±3.1	0.9997
Dinotefuran	0.00005	0.00015	95±1.1	96.4±0.2	0.9995
Emamectin benzoate	0.00010	0.00031	96.7±3	94.9±1.6	0.9997
Etofenprox	0.00013	0.00039	84.7±4.9	70.7±0.9	0.9995
Fenhexamid	0.00007	0.00021	100.3±3.5	119.1±1.7	0.9978
Flonicamid	0.00002	0.00006	78±1.3	94.2±0.2	0.9986
Fluazinam	0.00003	0.00008	85.7±1.8	110.1±2	0.9977
Fludioxonil	0.00006	0.00019	98.7±1.5	117.9±0.4	0.9981
Flufenoxuron	0.00026	0.00078	79.0±6.3	72.5±3	0.9965
Flutriafol	0.00009	0.00026	83.7±1.8	114.7±1.9	0.9993
Fluxametamide	0.00007	0.00022	98.7±4.6	118.1±1.9	0.9996
Imidacloprid	0.00003	0.00010	90±1.9	111.3±0.5	0.9976
Mefentrifluconazole	0.00026	0.00078	98.3±0.6	80.3±1.5	0.9977
Metconazole	0.00005	0.00014	112.3±3.1	96.7±2.8	0.9977
Methoxyfenozide	0.00008	0.00025	100.7±0.6	111.9±2.6	0.9995
Propamocarb	0.00010	0.00031	100±1	93.3±1.7	0.9960
Pydiflumetofen	0.00002	0.00007	103.7±2.9	104.0±5.3	0.9992
Pyflubumide	0.00006	0.00019	98.3±3.1	110.2±0.8	0.9995
Pyflubumide-NH	0.00007	0.00021	83±1.2	112.3±1.3	0.9994
Pyraclostrobin	0.00010	0.00031	106.3±0.5	106.4±3.0	0.9993
Pyridaben	0.00009	0.00028	86.7±3.7	107.6±3.2	0.9991
Spinosyn A	0.00011	0.00033	103.7±2.4	93.9±0.8	0.9992
Spinosyn D	0.00012	0.00036	93.3±6.5	115.0±1.0	0.9997
Sulfoxaflor	0.00003	0.00008	90±3.8	104.7±1.2	0.9995
Thiacloprid	0.00004	0.00013	98.3±3.1	109.9±0.5	0.9995
Thiophanate-methyl	0.00001	0.00002	92.7±0.6	103.9±1.1	0.9994

항목이며, 시험법의 유효성 검증을 위해 검출 항목에 대한 검량선의 직선성, 검출한계(LOD)와 정량한계(LOQ), 회수율 실험을 수행하였으며, 그 결과는 Table 7, 8과 같다.

검량선의 결정계수(R^2)는 0.9953-0.9998로 양호한 직선성을 보였다. 검출한계(LOD)는 0.00001-0.00119 mg/kg, 정량한계(LOQ)는 0.00002-0.00360 mg/kg으로, 한국 잔류농약 시험법의 정량한계(LOQ) 규정(0.01 mg/kg)을 만족하였다.

Table 9. Acceptable recovery range and precision based on spiking levels

Spiking level (mg/kg)	Mean recovery range (%)	Precision (RSD) (%)
>0.001-≤0.01	60-120	≤32
>0.01-≤0.1	70-120	≤22

검출 농약별 회수율(recovery)은 70.7-119.9%, 상대표준편차(relative standard deviation, RSD)는 0.1-8.4%이었다.

식품의약품안전평가원에서 발행한 식품 등 시험법 마련 표준절차에 관한 가이드라인[16] 및 식품공전 잔류농약 시험법 실무해설서[14]에서 제시하는 회수율과 상대표준편차(RSD)의 기준은 Table 9와 같다. 이 기준에 의한 본 연구의 시험법과 분석 조건은 적합한 것으로 사료된다.

과일 및 채소 가공식품의 원료별 잔류농약 분석 결과

본 연구에서는 식품공전 잔류농약 시험법의 정량한계(LOQ) 규정에 따라 0.01 mg/kg 미만은 불검출로 처리하였다.

과일 및 채소 가공식품 120건(과일류 58건, 채소류 62건)에 대한 잔류농약 검사 결과, 총 39건(과일류 21건, 채소류 18건)에서 잔류농약이 검출되어 32.5%의 검출률을 나타내었다.

과일류 가공식품의 잔류농약 검출률은 36.2%, 채소류 가공식품의 검출률은 29.0%로 채소류보다 과일류 가공식품의 잔류농약 검출률이 조금 더 높았다. 과일류의 경우 수확 후 부패 방지를 위해 농약을 처리하는 경우도 있어서 비교적 높은 검출률을 나타내는 것으로 사료된다.

이번 연구 결과와 과거(2022년-2024년) 본 연구원(농수산물검사소)의 비가공 농산물에 대한 잔류농약 검사 결과를 비교해 보면 Table 10과 같다.

과일류의 경우에는 가공식품의 잔류농약 검출률(36.2%)은 비가공 농산물의 검출률(57.8%)의 63% 수준이었고, 채소류의 경우에는 가공식품의 잔류농약 검출률(29.0%)은 비가공 농산물의 검출률(44.5%)의 65% 수준이었다. 이는 카이제곱검정 결과 유의수준 0.05에서 통계적으로 유의하게 감소한 것으로 나타났다.

표본이 가공식품과 비가공 농산물에서 모두 5건 이상인 농산물(고추, 딸기, 마늘, 복숭아, 블루베리, 사과, 생강, 키위, 토마토)에 대해 원료별로 세분하여 카이제곱 검정으로 통계분석을 수행하였다(Table 11). 표본이 5건 이하인 농산물은 비교가 제한적이어서 통계분석에는 제외하였다.

복숭아와 토마토의 잔류농약 검출률은 가공식품에서 통계적으로 유의하게 감소했다. 이들은 비가공 농산물에서는 평균보다 검출률이 높으나 가공식품에서는 평균보다 검출률이 낮으므로 다른 원료보다 가공 과정에서 잔류농약이 더 잘 제거되는 것으로 사료된다.

키위와 마늘, 생강은 가공식품과 비가공 농산물에서 모두 평균보다 검출률이 낮은 편이었으며, 검출률에 통계적으로 유의한 차이는 없었다.

딸기와 사과, 고추는 가공식품과 비가공 농산물에서 모두 평균보다 검출률이 높았으며, 가공 과정에서 잔류농약이 잘 제거되지 않는 것으로 사료된다.

블루베리의 검출률은 가공식품에서 오히려 통계적으로 유의하게 증가했다. 블루베리 가공식품 5건의 원료는 모두 외국산(미국 2건, 칠레 2건, 페루 1건)이었고, 비가공 블루베리 8건은 모두 한국산이었다. 한국 농산물은 주로 생산 단계에서만 농약이 사용되지만, 수입 농산물은 장기 저장 및 장거리 운송 과정에서 부패와 변질을 방지하기 위해 수확 후에도 추가적인 농약 처리가 이루어진다[21]. 수확 후 처리된 농약은 생산 단계에서 사용된 농약과 달리 강우에 의한 희석, 햇빛에 의한 광분해, 대기 중으로의 휘산 등을 통해 제거되는 기회가 적어 분해 속도가 느리다[22]. 따라서 블루베리 가공식품의 잔류농약 검출률이 비가공 블루베리보다 높은 것은 원산지 차이에서 기인한 것으로 사료된다.

한편, 온라인과 오프라인 유통 제품의 잔류농약 검출률은 각각 32.9%, 32.0%로 유사하였다(Table 12).

잔류농약 성분별 분석 결과

과일 및 채소 가공식품 39건에서 검출된 농약 항목은 총 48종으로, 검출 빈도는 아세타미프리드가 17회로 가장

Table 10. Overall comparison of pesticide residue detection rates in processed foods and raw agricultural commodities from fruits and vegetables

Category	Processed produce			Raw agricultural commodities[1)]		
	Number of analyzed samples	Number of detected samples	Detection rate (%)	Number of analyzed samples	Number of detected samples	Detection rate (%)
Fruits	58	21	36.2*	116	67	57.8
Vegetables	62	18	29.0*	1291	575	44.5
Total	120	39	32.5*	1407	642	45.6

[1)] The results of raw produce are based on data analyzed over a three-year period, from 2022 to 2024, by the Agricultural and Fishery products Inspection Office, Ulsan Metropolitan City Health and Environment Research Institute.

* Detection rates in the same row are significantly different (P<0.05).

Table 11. Itemized comparison of pesticide residue detection rates in processed foods and raw agricultural commodities by material

Category		Source material	Processed produce			Raw agricultural commodities[1)]		
			Number of analyzed samples	Number of detected samples	Detection rate (%)	Number of analyzed samples	Number of detected samples	Detection rate (%)
Fruits	Pome fruits	Apple	6	4	66.7	26	24	92.3
		Pear	2	1	50.0	35	9	25.7
	Citrus fruits	Lemon	1	0	0.0	-	-	-
	Stone fruits	Cherry	5	5	100.0	1	1	100.0
		Peach	9	2	22.2*	14	14	100.0
	Berries and other small fruits	Blueberry	5	4	80.0*	8	0	0.0
		Grape	1	1	100.0	17	14	82.4
		Strawberry	5	3	60.0	10	4	40.0
	Assorted tropical and sub-tropical fruits	Avocado	3	0	0.0	-	-	-
		Banana	1	0	0.0	-	-	-
		Kiwi	5	0	0.0	5	1	20.0
		Mango	10	1	10.0	-	-	-
		Pineapple	5	0	0.0	-	-	-
Vegetables	Flowerhead brassicas	Broccoli	4	0	0.0	56	2	3.6
		Cabbage	1	1	100.0	63	4	6.3
	Leafy vegetables	Radish (leaf)	1	1	100.0	35	16	45.7
		Spinach	1	1	100.0	46	17	37.0
	Stalk and stem vegetable	Asparagus	2	1	50.0	5	1	20.0
		Bracken	1	0	0.0	1	0	0.0
		Green onion	4	2	50.0	74	27	36.5
	Root and tuber vegetables	Balloon flower root	1	0	0.0	4	0	0.0
		Burdock	1	0	0.0	3	0	0.0
		Carrot	1	0	0.0	32	5	15.6
		Garlic	10	0	0.0	17	0	0.0
		Ginger	6	1	16.7	8	3	37.5
		Onion	2	0	0.0	47	4	8.5
		Radish (root)	1	0	0.0	54	11	20.4
	Fruiting vegetables, cucurbits	Cucumber	1	0	0.0	201	130	64.7
		Melon	1	0	0.0	2	2	100.0
		Pumpkin	4	1	25.0	314	83	26.4
	Fruiting vegetables other than cucurbits	Chili pepper	10	9	90.0	270	243	90.0
		Okra	1	0	0.0	-	-	-
		Tomato	9	1	11.1*	59	27	45.8

[1)] The results of raw produce are based on data analyzed over a three-year period, from 2022 to 2024, by the Agricultural and Fishery products Inspection Office, Ulsan Metropolitan City Health and Environment Research Institute.
* Detection rates in the same row are significantly different (P<0.05).

Table 12. Detection rates of processed fruit and vegetable products by distribution channel

Distribution channel	Number of samples tested	Number of samples detected	Detection rate (%)
Online	70	23	32.9
Offline	50	16	32.0

많았고, 테부코나졸 12회, 플로니카미드 10회로 뒤를 이었다.

검출된 농약의 특성 및 검출 빈도, 검출 원료, 검출 수준은 Table 13과 같으며, 검출된 농약의 특성은 식물체로의 침투여부와 옥탄올-물 분배계수(log P)를 중심으로 구분하였다.

침투이행성(systemic) 농약은 작물체나 토양에 약제를 처리하였을 때 약제가 식물체 내로 흡수, 이행되어 식물체 각 부위로 이동 분포되는 특성을 가지고 있다[23].

Table 13. The characteristics and detection levels of pesticide residues by source material

Pesticide residues	Number of detection	Type	Partition coefficient (log P)	Source of detected samples (Count)	Standard of souce material (mg/kg)	Detection range (mg/kg)
Acetamiprid	17	Systemic -insecticide	0.80	Apple (2) Blueberry (1) Cherry (5) Chili pepper (7) Peach (1) Pear (1)	0.3 0.5 1.5 2.0 1.0 0.5	0.0130-0.0258 0.0212 0.0119-0.0735 0.0153-0.1350 0.0151 0.0537
Amisulbrom	1	Systemic -fungicide	4.4	Ginger (1)	2.0	0.0120
Azoxystrobin	9	Systemic -fungicide	2.5	Blueberry (1) Chili pepper (5) Green onion (1) Strawberry (1) Tomato (1)	7.0 2.0 2.0 1.0 2.0	0.0876 0.0106-0.0689 0.0160 0.0134 0.0169
Bifenthrin	2	Non-systemic-insectcide· acaricide	>6	Asparagus (1) Blueberry (1)	0.7 1.8	0.0104 0.0442
Boscalid	2	Systemic -fungicide	2.96	Blueberry (1) Cherry (1)	10 4.0	0.0253 0.0124
Buprofezin	3	Non-systemic-insectcide· acaricide	4.80	Chili pepper (3)	3.0	0.0138-0.4012
Carbendazim	7	Systemic -fungicide	1.51	Apple (3) Chili pepper (2) Mango (1) Peach (1)	3.0 5.0 10 2.0	0.0177-0.2105 0.0112-0.0268 0.0581 0.0240
Chlorantraniliprole	1	Systemic -insecticide	2.86	Apple (1)	2.0	0.0182
Chlorfenapyr	7	Systemic -insectcide· acaricide	4.83	Asparagus (1) Chili pepper (6)	0.3 1.0	0.0185 0.0138-0.1455
Cyantraniliprole	3	Systemic -insecticide	1.94	Blueberry (1) Cherry (2)	4.0 6.0	0.0102 0.0163-0.0182
Cyazofamid	1	Systemic -fungicide	3.2	Chili pepper (1)	2.0	0.0101
Cyclaniliprole	1	Systemic -insecticide	2.7	Pumpkin (1)	0.1	0.0166
Cyenopyrafen	1	Non-systemic -acaricide	5.6	Strawberry (1)	2.0	0.0210
Cyprodinil	1	Systemic -fungicide	4.0	Blueberry (1)	4.0	0.0111
Diethofencarb	1	Non-systemic -fungicide	3.02	Chili pepper (1)	1.0	0.0635
Difenoconazole	1	Systemic -fungicide	4.4	Chili pepper (1)	1.0	0.0114
Diflubenzuron	1	Non-systemic -insectcide	3.89	Apple (1)	2.0	0.015

Table 13. (Continued) The characteristics and detection levels of pesticide residues by source material

Pesticide residues	Number of detection	Type	Partition coefficient (log P)	Source of detected samples (Count)	Standard of souce material (mg/kg)	Detection range (mg/kg)
Dinotefuran	5	Systemic -insecticide	-0.549	Apple (2) Chili pepper (2) Peach (1)	0.5 2.0 0.5	0.0138-0.0456 0.0110-0.0797 0.0565
Emamectin benzoate	1	Systemic -insecticide	5.0	Chili pepper (1)	0.2	0.0178
Etofenprox	2	Non-systemic -insectcide	6.9	Apple (2)	1.0	0.0137-0.0317
Fenhexamid	3	Systemic -fungicide	3.51	Blueberry (2) Cherry (1)	5.0 5.0	0.0191-0.0361 0.0100
Flonicamid	10	Systemic -insecticide	0.3	Chili pepper (9) Strawberry (1)	2.0 1.0	0.0140-0.3120 0.0135
Fluazinam	1	Non-systemic -fungicide	4.03	Chili pepper (1)	3.0	0.0456
Fludioxonil	8	Non-systemic -fungicide	4.12	Blueberry (2) Cherry (3) Pear (1) Strawberry (2)	2.0 5.0 5.0 2.0	0.0124-0.0262 0.0815-0.4620 0.0229 0.0106-0.0194
Flufenoxuron	1	Non-systemic -insectcide· acaricide	4.0	Radish (leaf) (1)	3.0	0.0292
Fluopyram	6	Systemic -fungicide	4.36	Cherry (2) Chili pepper (2) Grape (1) Green onion (1)	0.6 3.0 5.0 1.5	0.0145-0.0282 0.0102-0.0148 0.0330 0.0291
Fluquinconazole	1	Systemic -fungicide	3.24	Green onion (1)	0.3	0.0143
Flutriafol	2	Systemic -fungicide	2.3	Apple (2)	1.0	0.0160-0.0479
Fluxametamide	5	Non-systemic -insectcide	5.0	Chili pepper (4) Radish (leaf) (1)	1.0 7.0	0.0195-0.0445 0.0152
Imidacloprid	2	Systemic -insecticide	0.57	Blueberry (1) Tomato (1)	4.0 1.0	0.0156 0.0111
Mefentrifluconazole	1	Systemic -fungicide	3.4	Cherry (1)	4.0	0.0192
Metalaxyl	1	Systemic -fungicide	1.75	Green onion (1)	0.5	0.0124
Metconazole	1	Systemic -fungicide	3.85	Apple (1)	1.0	0.0149
Methoxyfenozide	1	Non-systemic- insectcide	3.7	Tomato (1)	3.0	0.0157
Penthiopyrad	1	Systemic -fungicide	4.228	Chili pepper (1)	3.0	0.1022
Procymidone	8	Systemic -fungicide	3.14	Chili pepper (7) Strawberry (1)	5.0 10.0	0.0110-0.5499 0.0355
Propamocarb	2	Systemic -fungicide	0.84	Cabbage (1) Spinach (1)	5.0 25	0.0336 0.0311
Pydiflumetofen	1	Systemic -fungicide	3.8	Strawberry (1)	2.0	0.0194
Pyflubumide	1	Non-systemic -insectcide	5.34	Chili pepper (1)	1.0	0.011

Table 13. (Continued) The characteristics and detection levels of pesticide residues by source material

Pesticide residues	Number of detection	Type	Partition coefficient (log P)	Source of detected samples (Count)	Standard of souce material (mg/kg)	Detection range (mg/kg)
Pyraclostrobin	4	Systemic -fungicide	3.99	Apple (1) Cherry (1) Chili pepper (2)	0.3 2.0 1.0	0.0135 0.0107 0.0211-0.0223
Pyridaben	2	Non-systemic -insectcide· acaricide	6.37	Chili pepper (2)	5.0	0.0599-0.1570
Spinosad	1	Non-systemic -insectcide	4.0 ;Spinosyn A 4.5 ;spinosyn D	Strawberry (1)	1.0	0.0109
Spiromesifen	2	Systemic -insectcide· acaricide	4.55	Chili pepper (2)	3.0	0.0638-0.2455
Sulfoxaflor	7	Systemic -insecticide	0.802	Chili pepper (6) Grape (1)	0.5 2.0	0.0100-0.0870 0.0247
Tebuconazole	12	Systemic -fungicide	3.7	Apple (3) Cherry (4) Chili pepper (3) Peach (2)	1.0 4.0 3.0 1.0	0.0269-0.0662 0.0307-0.6579 0.0270-0.1051 0.0126-0.0190
Tetraconazole	1	Systemic -fungicide	3.56	Chili pepper (1)	1.0	0.0282
Thiacloprid	3	Systemic -insecticide	1.26	Chili pepper (2) Strawberry (1)	1.0 2.0	0.0241-0.0285 0.0102
Trifloxystrobin	2	Systemic -fungicide	4.5	Apple (2)	0.7	0.0115-0.0152

옥탄올-물 분배계수(log P)는 수치가 3.5 이상이면 지용성 농약으로 분류하고, 수치가 증가할수록 지용성의 특성이 강한 농약이며, 수치가 3.5보다 작을수록 수용성 특성을 나타낸다[24].

아세타미프리드는 네오니코티노이드 계통의 침투이행성-수용성 농약으로 곤충의 신경계에서 니코틴 아세틸콜린 수용체와 경쟁적으로 작용하여 신호전달을 방해하는 기작을 통해 살충효과를 나타낸다[25]. 네오니코티노이드계 농약은 태반을 통과할 수 있으며, 인체에도 신경독성을 일으켜 자폐스펙트럼 장애와 같은 발달장애와 관련이 있다는 보고가 있다[26-28]. 또한, 선천성 심장 결손과의 연관성도 제기되고 있어[29] 과도한 노출 시 신생아의 발달 장애를 초래할 가능성이 있다.

테부코나졸은 트리아졸 계통의 침투이행성-수용성 농약으로 곰팡이의 탈메틸효소를 저해하여 살균효과를 나타내지만 잠재적 발암성, 태아 손상, 남성 호르몬 교란 가능성이 제기되었다[30].

플로니카미드는 침투이행성-수용성 농약으로 곤충 신경계에 있는 감마아미노부티르산(γ-aminobutyric acid, GABA)수용체를 표적으로 신경신호 전달을 방해하여 섭식 억제를 통해 살충효과를 나타낸다. 곤충의 GABA 수용체와 포유류의 GABA 수용체 구조에 차이가 있기 때문에 곤충에 특이적으로 작용하여 포유류에는 독성이 낮은 것으로 알려져 있다[31].

검출된 48종의 농약을 특성별로 분류하면 침투이행성 농약 34종(수용성 19종, 지용성 15종)과 비침투이행성 농약 14종(수용성 1종, 지용성 15종)으로 구분된다. 검출 빈도를 비교하면 157회 중 침투성 농약은 127회(80.9%), 비침투성 농약은 30회(19.1%) 검출되었다(Fig. 1). 침투성 농약 중 수용성 농약은 83회(65.4%), 지용성 농약은 44회(34.6%) 검출되었으며, 비침투성 농약 중 수용성 농약은 1회(3.3%), 지용성 농약은 29회(96.7%) 검출되었다(Fig. 2).

따라서 가공식품에서 검출된 농약은 주로 침투이행성 농약이거나 비침투성-지용성 농약이었으며, 이는 가공 과정에서 제거되는 잔류농약이 주로 비침투성-수용성 농약에 국한될 수 있음을 시사한다.

가공식품 및 비가공 농산물의 잔류농약 검출 수준 비교

원료별 잔류농약 분석 결과 가공 과정에서 잔류농약이 잘 제거되지 않는 것으로 사료되었던 딸기, 사과, 고추에 대하여 가공식품의 평균 잔류농약 검출량과 비가공 농산물의 평균 검출량을 비교해 보았다(Table 14).

가공 고추에서 검출된 펜티오피라드, 뷰프로페진, 스피로메시펜과 가공 딸기에서 검출된 피디플루메토펜, 그리

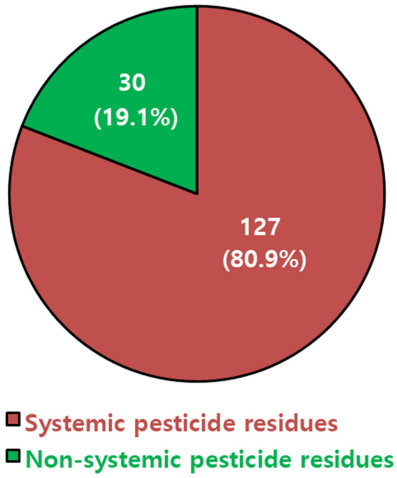

Fig. 1. Number of detection according to pesticide residue penetration type.

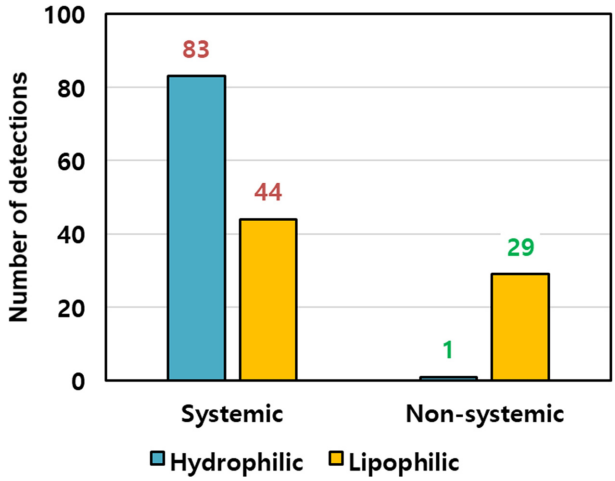

Fig. 2. Number of detection by solubility type of systemic and non-systemic pesticides.

Table 14. Comparison of average pesticide residue levels between processed and raw fruits and vegetables

Source material	Pesticide residues	(A) Average levels in processed produce (mg/kg)	(B) Average levels in raw produce[1)] (mg/kg)	Ratio (A/B)
Chili pepper	Penthiopyrad	0.1022	0.0558	1.8
	Buprofezin	0.1994	0.1191	1.7
	Spiromesifen	0.1547	0.1121	1.4
	Pyridaben	0.1085	0.1429	0.8
	Fluazinam	0.0456	0.0738	0.6
	Tebuconazole	0.0686	0.1163	0.6
	Thiacloprid	0.0263	0.0467	0.6
	Tetraconazole	0.0282	0.0555	0.5
	Sulfoxaflor	0.0350	0.0700	0.5
	Acetamiprid	0.0683	0.1374	0.5
	Chlorfenapyr	0.0605	0.1240	0.5
	Flonicamid	0.0707	0.1469	0.5
	Diethofencarb	0.0635	0.1337	0.5
	Emamectin benzoate	0.0178	0.0380	0.5
	Fluxametamide	0.0322	0.0776	0.4
	Procymidone	0.1718	0.4233	0.4
	Fluopyram	0.0125	0.0338	0.4
	Carbendazim	0.0190	0.0559	0.3
	Azoxystrobin	0.0360	0.1441	0.2
	Dinotefuran	0.0454	0.2337	0.2
	Cyazofamid	0.0101	0.0522	0.2
	Pyraclostrobin	0.0217	0.1151	0.2
	Difenoconazole	0.0114	0.0617	0.2
	Pyflubumide	0.0110	0.0744	0.1
Strawberry	Pydiflumetofen	0.0194	0.0183	1.1
	Flonicamid	0.0135	0.0245	0.6
	Fludioxonil	0.0150	0.0481	0.3

Table 14. (Continued) Comparison of average pesticide residue levels between processed and raw fruits and vegetables

Source material	Pesticide residues	(A) Average levels in processed produce (mg/kg)	(B) Average levels in raw produce[1)] (mg/kg)	Ratio (A/B)
Apple	Trifloxystrobin	0.0134	0.0140	1.0
	Tebuconazole	0.0422	0.0525	0.8
	Chlorantraniliprole	0.0182	0.0231	0.8
	Dinotefuran	0.0297	0.0533	0.6
	Acetamiprid	0.0194	0.0368	0.5
	Carbendazim	0.0930	0.1948	0.5
	Flutriafol	0.0320	0.0801	0.4
	Pyraclostrobin	0.0135	0.0345	0.4
	Metconazole	0.0149	0.0423	0.4
	Etofenprox	0.0227	0.0775	0.3
	Diflubenzuron	0.0150	0.0517	0.3

[1)] The results of raw produce are based on data analyzed over a three-year period, from 2022 to 2024, by the Agricultural and Fishery products Inspection Office, Ulsan Metropolitan City Health and Environment Research Institute.

고 가공 사과에서 검출된 트리플록시스트로빈의 평균 검출량은 비가공 농산물의 평균 검출량보다 더 높거나 유사했다. 펜티오피라드, 뷰프로페진, 스페로메시펜, 피디플루메토펜, 트리플록시스트로빈은 모두 옥탄올-물 분배계수(log P)가 3.8-4.8인 지용성 농약으로, 물리적 세척 과정에서 효과적으로 제거되기 어렵다. 본 연구에서 분석한 고추 가공식품은 모두 세척 후 절단 또는 분쇄, 냉동한 제품이었고, 딸기는 세척 후 냉동한 제품이었다. 세척, 절단, 분쇄, 냉동 과정에서는 농약이 농축될 가능성은 미미하므로 고추나 딸기의 경우 원료 농산물의 잔류농약 오염도가 비가공 농산물보다 더 높았을 것으로 추정된다. 사과 가공식품은 모두 세척 후 분쇄, 농축한 제품(퓌레)으로, 농축을 위한 열처리 과정에서 수분이 증발하면서 식품 성분과 함께 농약도 농축되어 상대적인 농도가 증가한 것으로 사료된다[32)].

가공식품은 매년 잔류농약에 대한 대규모 검사가 이루어지고 있는 비가공 농산물에 비해 상대적으로 관리가 미흡한 실정이다. 따라서 가공식품의 잔류농약 안전성을 확보하기 위해서는 농약의 특성을 고려하여 침투이행성 농약 및 지용성 농약을 중심으로 가공 과정에서의 농약 농축 가능성을 고려한 관리 기준의 마련과 더불어 식품 제조업체가 원료 농산물의 품질 관리를 철저히 할 수 있도록 법적·제도적 보완이 필요하다고 사료된다.

검출농약의 안전성 평가

본 연구에서 검출된 48종 농약의 위해지수(%ADI)에 근거한 위해도 평가 결과는 Table 15와 같다. 식품산업 원료소비 실태조사에 따르면 2022년도 기준 한국 과일 및 채소 통조림 및 기타 과일 및 채소 가공품 출하량은 137,134톤이고 수입식품 등 검사 연보에 따르면 2022년도 기준

Table 15. Exposure assessment of residual pesticides in processed fruits and vegetables

Pesticide	ALD[1)]	ADI[2)]	EDI[3)]	%ADI[4)]
Acetamiprid	0.0475	0.0710	1.64E-05	0.0231
Amisulbrom	0.0120	0.1000	4.15E-06	0.0041
Azoxystrobin	0.0349	0.2000	1.21E-05	0.0060
Bifenthrin	0.0273	0.0100	9.44E-06	0.0944
Boscalid	0.0189	0.0400	6.51E-06	0.0163
Buprofezin	0.1994	0.0090	6.89E-05	0.7658
Carbendazim	0.0570	0.0300	1.97E-05	0.0657
Chlorantraniliprole	0.0182	2.0000	6.29E-06	0.0003
Chlorfenapyr	0.0545	0.0260	1.88E-05	0.0725
Cyantraniliprole	0.0149	0.0570	5.15E-06	0.0090
Cyazofamid	0.0101	0.1700	3.49E-06	0.0021
Cyclaniliprole	0.0166	0.2700	5.74E-06	0.0021
Cyenopyrafen	0.0210	0.0510	7.26E-06	0.0142
Cyprodinil	0.0111	0.0300	3.84E-06	0.0128
Diethofencarb	0.0635	0.4300	2.19E-05	0.0051
Difenoconazole	0.0114	0.0100	3.94E-06	0.0394
Diflubenzuron	0.0150	0.0200	5.18E-06	0.0259
Dinotefuran	0.0413	0.0200	1.43E-05	0.0714
Emamectin benzoate	0.0178	0.0025	6.15E-06	0.2461
Etofenprox	0.0227	0.0300	7.85E-06	0.0262
Fenhexamid	0.0217	0.2000	7.51E-06	0.0038
Flonicamid	0.0650	0.0250	2.25E-05	0.0898
Fluazinam	0.0456	0.0100	1.58E-05	0.1576
Fludioxonil	0.1318	0.4000	4.55E-05	0.0114

Table 15. (Contineud) Exposure assessment of residual pesticides in processed fruits and vegetables

Pesticide	ALD[1)]	ADI[2)]	EDI[3)]	%ADI[4)]
Flufenoxuron	0.0292	0.0370	1.01E-05	0.0273
Fluopyram	0.0216	0.0100	7.48E-06	0.0748
Fluquinconazole	0.0143	0.0020	4.94E-06	0.2471
Flutriafol	0.0320	0.0110	1.10E-05	0.1004
Fluxametamide	0.0288	0.0085	9.95E-06	0.1171
Imidacloprid	0.0134	0.0600	4.61E-06	0.0077
Mefentrifluconazole	0.0192	0.0400	6.64E-06	0.0166
Metalaxyl	0.0124	0.0800	4.29E-06	0.0054
Metconazole	0.0149	0.0400	5.15E-06	0.0129
Methoxyfenozide	0.0157	0.1000	5.43E-06	0.0054
Penthiopyrad	0.1022	0.0810	3.53E-05	0.0436
Procymidone	0.1548	0.1000	5.35E-05	0.0535
Propamocarb	0.0324	0.4000	1.12E-05	0.0028
Pydiflumetofen	0.0194	0.0920	6.70E-06	0.0073
Pyflubumide	0.0110	0.0074	3.80E-06	0.0514
Pyraclostrobin	0.0169	0.0300	5.84E-06	0.0195
Pyridaben	0.1085	0.0050	3.75E-05	0.7496
Spinosad	0.0109	0.0200	3.77E-06	0.0188
Spiromesifen	0.1547	0.0300	5.34E-05	0.1782
Sulfoxaflor	0.0335	0.0500	1.16E-05	0.0232
Tebuconazole	0.1545	0.0300	5.34E-05	0.1780
Tetraconazole	0.0282	0.0040	9.75E-06	0.2437
Thiacloprid	0.0209	0.0100	7.23E-06	0.0723
Trifloxystrobin	0.0134	0.0400	4.61E-06	0.0115

[1)] Average level detection.
[2)] Accetable daily intake (mg/kg b.w/day).
[3)] Estimated daily intake=ALD(mg/kg)×food intake (0.023 kg/day/person)÷66.55 (kg b.w/person).
[4)] %ADI (hazard index)=(EDI/ADI)×100.

과일 및 채소 가공품 수입량은 305,135톤이다[33)]. 통계청의 인구총조사 결과에 따르면 2022년도 총인구는 51,692,272명이다[34)]. 따라서 과일 및 채소 가공품 출하 및 수입량을 전부 섭취한다고 가정하여 1인, 1일당 과일 및 채소 가공식품 섭취량은 0.023 kg으로 추정하였다. 본 연구에서 분석한 과일 및 채소 가공식품의 위해도 범위는 0.0003-0.7658로 나타났으며 모두 1% 미만으로 위해성이 매우 낮은 것으로 사료된다.

Acknowledgements

본 연구는 울산광역시 보건환경연구원 2024년도 연구사업의 지원으로 수행하였으며, 이에 감사드립니다.

국문요약

본 연구는 울산광역시 유통 과채류 가공식품의 잔류농약 오염도를 모니터링하여 소비자의 안전성을 평가하기 위해 수행하였다. 울산광역시 소재 대형마트와 온라인 쇼핑몰을 통해 유통되고 있는 과일 및 채소 가공식품 120건(과일류 58건, 채소류 62건)에 대해 잔류농약(401종)을 분석하였으며, 검출률은 32.5%(39건)이었고, 총 48종의 농약 검출을 확인하였다.

한편, 2022년부터 2024년까지 울산광역시 보건환경연구원(농수산물검사소)에서 수행한 비가공 농산물의 잔류농약 검출률과 비교했을 때, 과일 및 채소 가공식품의 검출률은 60-70% 수준이었다. 또한 검출된 농약의 검출량은 모든 시료에서 원료 농산물에 대한 한국 기준의 20% 미만 수준이었고, 위해도(%ADI) 평가 결과 0.0003-0.7658%로 모두 안전한 수준인 것으로 확인되었다.

본 연구는 가공식품과 일반 유통 농산물의 잔류농약 검출률 및 검출 수준을 비교함으로써, 가공식품에서도 잔류농약 관리가 필요함을 실증적으로 제시하였다. 다만, 조사한 가공식품 검체의 수량 및 종류가 제한적이고, 비가공 농산물에 대한 자료는 울산광역시에 유통되는 농산물에 국한된 자료라는 점에서 한계가 있다. 따라서, 향후 연구에서는 가공식품 검체를 더 많이 확보하고, 비가공 농산물에 대한 자료는 전국 수준에서 수집하여 보다 정밀한 모니터링이 이루어질 필요가 있다고 사료된다.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflict of interest.

ORCID

Jueun Park https://orcid.org/0009-0002-6943-0423
Kyoungjin Kim https://orcid.org/0009-0006-8362-7870
Jihye Shin https://orcid.org/0009-0006-1608-7085
Dohun Gong https://orcid.org/0009-0002-1982-5822
Jihye Mun https://orcid.org/0009-0004-4165-4470
Heejung Kim https://orcid.org/0000-0001-6721-401X
Soyeon Jeong https://orcid.org/0009-0005-0373-9331
Wondug Seo https://orcid.org/0009-0007-4739-7171
Young-Sun Choi https://orcid.org/0009-0006-7192-9388
Minlyeong Sim https://orcid.org/0009-0002-1889-5984

References

1. Youn, H.S., New Nutritional concepts of vitamins and minerals. *Korean J. Pediatr.*, **48**, 1295-1309 (2005).
2. Hwang, I.G., Woo, K.S., Jeong, H.S., Biological activity and heat treatment processing of foods. *Food Sci. Ind.*, **44**, 56-65 (2011).

3. Li, L., Pegg, R.B., Eitenmiller, R.R., Chun, J.Y., Kerrihard, A.L., Selected nutrient analyses of fresh, fresh-stored, and frozen fruits and vegetables. *J. Food Compost. Anal.*, **59**, 8-17 (2017).
4. Bouzari, A., Holstege, D., Barrett, D.M., Vitamin retention in eight fruits and vegetables: a comparison of refrigerated and frozen storage. *J. Agric. Food. Chem.*, **63**, 957-962 (2015).
5. Korea Consumer Agency (KCA), (2025, March 13). Safety survey on fruit puree for infants and young children [Report]. Retrieved from https://www.kca.go.kr/smartconsumer/sub.do?menukey=7301&mode=view&no=1002835948
6. Korea Crop Protection Association (KCPA), Pesticide residues in food! misconceptions and truths - 99.4% of foods are safe, but 87.6% of consumers feel dissatisfied. *Life and Agrochemicals,* **256**, 38-39, 2010.
7. Rural Development Administration (RDA), 2025. Standards for safe use of pesticides, etc.(notification no. 2025-9), Sejong, Korea
8. Food Information Statistics System (FIS), (2025, March 13). 2023 Survey on raw material consumption in the food industry (Statistical edition) [Report]. Retrieved from https://www.atfis.or.kr/home/board/FB0028.do?act=read&subSkinYn=N&bpoId=4766&bcaId=0
9. Kwak, S.Y., Lee, S.H., Jeong, H.R., Nam, A.J., Sarker, A., Kim, H.Y., Lim, C.U., Cho, H.J., Kim, J.E., Variation of pesticide residues in strawberries by washing and boiling processes. *Korean J. Environ. Agric.*, **38**, 281-290 (2019).
10. Codex Alimentarius Commission, 2019. Procedural manual, Food and Agriculture Organization (FAO), 27th ed, Rome, Italy.
11. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), (2025, March 13). Standards and specifications for food [Regulation]. Retrieved from https://www.mfds.go.kr/brd/m_211/view.do?seq=14863& srchFr=&srchTo.
12. Im, M.H., Ji, Y.J., A review on processing factors of pesticide residues during fruits processing. *J. Appl. Biol. Chem.*, **59**, 189-201 (2016).
13. Ministry of food and drug safety, (2025, March 13). Designation of self-quality inspection items for food, etc. [Regulation]. Retrieved from https://www.mfds.go.kr/brd/m_211/view.do?seq=14577
14. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), 2023. Practical guide to pesticide residue testing methods in the food code, 6th ed, Cheongju, Korea.
15. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), (2025, March 13). Validation and verification guidelines for test methods for quality control of testing inspection agencies in the food and drug field [Guidelines]. Retrieved from https://www.mfds.go.kr/brd/m_1060/view.do?seq=14813&srchFr=&srchTo=&srchWord=&srchTp=&itm_seq_1=0&itm_seq_2=0&multi_itm_seq=0&company_cd =&company_nm=&page=1
16. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), (2025, March 13). Guideline on standard procedures for establishing testing methods for food, etc. [Guidelines]. Retrieved from https://www.mfds.go.kr/brd/m_1060/view.do?seq=12920
17. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), (2025, March 13). Guideline for preparing risk assessment reports [Guidelines]. Retrieved from https://impfood.mfds.go.kr/CFBCC02F02/getCntntsDetail?cntntsSn=278584&cntntsMngId=00006
18. Ministry of Food and Drug Safety, (2025, March 13). Pesticides and veterinary drugs information [Database record]. Retrieved from https://www.foodsafetykorea.go.kr/residue/search/list.do?currentPageNo=1&searchType=&searchValue=&searchFlag=ALL
19. World Health Organization (WHO), (2025, March 13). Report 2023: pesticide residues in food: Joint FAO/WHO meeting on pesticide residues [Report]. Retrieved from https://www.who.int/publications/i/item/9789240090187
20. Lee, M.G., Lee, S.R., Reduction factors and risk assessment of organophosphorus pesticides in Korean foods. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **29**, 240-248 (1997).
21. Park M.J., A study on pesticide residues and risk assessment of imported fruits, master's thesis, Pukyong national university, Busan, Korea (2018).
22. Hwang, L.H., Cho, T.H., Cho, I.S., Eom, J.H., Choe, B.C., Park, Y.H., Kim, H.J., Kim, J.H., Residue levels of pesticides in post-harvest treated import fruits during storage. *J. Food Hyg. Saf.*, **25**, 245-250 (2010).
23. Kim, J.E, Kim, J.H., Lee, Y.D., Lim, C.H., Heo, J.H., Jeong, Y.H., Gyeong, G.S., Kim, I.S., Kim, J.H., Moon, J.G., Park, H.M., Yoo, O.J., Choi, H., Hong, S.M., 2020. The latest pesticide science, 2nd ed, Sigma Press, Seoul, Korea, pp. 29-40.
24. Cho, M.H., Lee, H.S., Im, M.H., Studies on the redisual properties of pesticides during processing of wheat, corn and cottonseed. *Korean J. Food Preserv.*, **28**, 551-568 (2021).
25. Kim, J.H., Nam. S.J., Song, J.Y., Susceptibility of pine wood nematode vectors to ULV insecticides sprayed from an unmanned helicopter. *Korean J. Appl. Entomol.*, **59**, 83-91 (2020).
26. Zhang, H., Bai, X., Zhang, T., Song, S., Zhu, H., Lu, S., Kannan, K., Sun, H., Neonicotinoid insecticides and their metabolites can pass through the human placenta unimpeded. *Environ. Sci. Technol.*, **56**, 17143-17152 (2022).
27. Marfo, J.T., Fujioka, K., Ikenaka, Y., Nakayama, S.M.M., Mizukawa, H., Aoyama, Y., Ishizuka, M., Taira, K., Relationship between Urinary N-desmethyl-acetamiprid and typical symptoms including neurological findings: a prevalence case-control study. *PLoS One*, **10**, 1-19 (2015).
28. Keil, A.P., Daniels, J.L., Hertz-Picciotto, I., Autism spectrum disorder, flea and tick medication, and adjustments for exposure misclassification: the CHARGE (CHildhood Autism Risks from Genetics and Environment) case–control Study. *Environ. Health*, **13**, 1-10 (2014).
29. Carmichael, S.L., Yang, W., Roberts, E., Kegley, S.E., Padula, A.M., English, P.B., Lammer, E.J., Shaw, G.M., Residential agricultural pesticide exposures and risk of selected congenital heart defects among offspring in the san joaquin valley of california. *Environ. Res.*, **135**, 133–138 (2014).
30. Habenschus, M.D., Nardini, V., Dias, L.G., Rocha, B.A., Barbosa, F. Jr, de Oliveira, A.R.M., *In vitro* enantioselective

study of the toxicokinetic effects of chiral fungicide tebuconazole in human liver microsomes. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, **181**, 96-105 (2019).
31. Madesh, K., Komala, G., Chandraleka, R., Tripathi, P., 2024. Mode of action of novel insecticides, advanced trends in plant protection, first ed, p.k. publishers & distributors, Ghaziabad, India, pp. 255-291.
32. Kim, N.H., Park, K.A., Jung, S.Y., Jo, S.A., Kim, Y.H., Park, H.W., Lee, J.M., Lee, S.M., Yu, I.S., Jung, K., Meta-analytic approach to the effects of food processing treatment on pesticide residues in agricultural products. *Korean J. Pestic. Sci.*, **20**, 14-22 (2016).
33. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), 2023. Annual report on imported food inspection, 25th ed, Cheongju, Korea.
34. Statistics Korea, (2025, March 13). Population census [Data set]. Retrieved from https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1IN1503&conn_path=I3