

생활권 수목에 살포된 살충제 Fenitrothion의 이용자 노출 및 위해성 평가

권건형¹ · 문준관² · 정윤미¹ · 이민섭¹ · 이진홍¹ · 이근섭¹ · 권영대^{1*}

¹경기도산림환경연구소, ²한경대학교 식물생명환경과학과

Visitor Exposure and Risk Assessment of Insecticide Fenitrothion Applied to Tree in Public Living Space

Gun-Hyung Kwon¹, Joon-Kwan Moon², Yun-Mi Jung¹, Min-Seop Lee¹,
Jin-Heung Lee¹, Geun-Seop Lee¹ and Young-Dae Kwon^{1*}

¹Gyeonggi-do Forestry Environment Research Center, Osan 52319, Korea

²Department of Plant Life and Environmental Sciences, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea

요약: 도시림, 생활림, 가로수, 도시공원 등 국민들의 일상생활을 하는 구역이나 장소에 위치한 생활권 수목 식재지에서 농약 살포는 농약 살포자의 농약 노출 문제뿐만 아니라 농약의 살포 후 생활권 수목과 접촉하는 불특정 시민들도 지속적인 농약 노출이 문제가 될 수 있다. 본 연구에서는 생활권 수목의 관리를 위해 관행적으로 가장 많이 살포되는 살충제인 Fenitrothion을 회양목에 살포하고 일정시간별로 손 노출량, 잎 잔류량, 호흡 노출량을 측정하고, 위해성 평가 수식(MOS: margin of safety)을 이용하여 체중별 안전 노출시간을 분석하였다. 그 결과, 살포된 Fenitrothion의 손을 통한 전이량이 급격하게 떨어지고 호흡노출량이 측정되지 않는 48시간 이전까지는 농약노출에 대한 주의가 필요할 것으로 판단되었다.

Abstract: Pesticides are widely sprayed by the growers in street trees and planting areas which include urban forests, community forests and city parks to control pests. Spraying pesticides not only affect the people who sprayed but also affect the unspecified citizens who's are exposed to pesticides sprayed trees by contact or inhalation. A few studies have been conducted to measure the amount of pesticides in forest area but no studies have been conducted to measure the pesticide amount in tree in public living space. So, in our study, we investigated the amount of pesticides in cotton gloves, in leaf residue, and respiratory exposure for a certain period of time after applying Fenitrothion EC to Korean boxweed tree (*Buxus Koreana*) to know the safety time of pesticides after spraying. We found that, up to 4d, there was no significant difference of the amount of Fenitrothion on leaves. But the amount of pesticides on gloves was significantly higher on 1h (510.1 µg) and 24h (405.4 µg) than 48h (45.0 µg) after spraying. The amount of pesticides on inhalation was also significantly higher in 1 h (0.2 µg) and 24 h (0.1 µg) than 48 h after spraying. After 48h, we did not find pesticides amount in inhalation. Thus, we was considered necessary to pay attention to 48h after spraying of pesticide Fenitrothion.

Key words: pesticide exposure, Fenitrothion, tree in public living space, risk assessment

서론


2012년 1월 개정된 산림보호법에서는 산림병해충을 기 존의 산림뿐만 아니라 산림이 아닌 지역에 있는 수목(농


작물 제외)에 해를 끼치는 병과 해충으로 공간적인 개념 을 확대하였으며, 산림보호법 제21조의 3 및 같은 법 시행령 제12조의 3에 따라 수립·시행하는 수목진료에 관한 시책에 포함되는 수목진단센터 운영지침에서는 “생활 권 수목”을 도시림, 생활림, 가로수 등 국민들이 일상생활을 하는 구역이나 장소에 식재된 수목으로 산림이 아닌 지역의 수목으로 정의하였다. 생활권 도시림은 일반적으로 도시민들이 이용함에 있어 별도의 시간 및 비용에 대한 부담이 낮고, 실생활에서 쉽게 접근·활용할 수

* Corresponding author

E-mail: zuron@gg.go.kr

ORCID

Young-Dae Kwon  <https://orcid.org/0000-0003-4777-1948>

Gun-Hyung Kwon  <https://orcid.org/0000-0002-5093-5619>

있는 도시림을 의미하며 1인당 생활권 도시림의 면적은 7.95 m²/인으로 세계보건기구 WHO 권장 기준 9 m²/인의 88% 수준으로 아직은 낮은 편이다(KFS, 2012). 그러나 도시화의 진행에 따라 이를 이용하는 도시민들의 생활권 도시림에 대한 요구는 날로 증가하고 있다. 또한 기후변화와 대기오염, 병해충 발생 등으로 산림 및 생활권 수목의 피해가 빈발하고 있으며, 산림 병해충 등은 산림청 및 지자체의 강력한 방제 의지와 철저한 관리로 안정화 추세에 있다. 이에 비해, 생활권 수목은 병해충 발생 등의 피해는 지속적으로 늘어 나고 있다(An, 2012).

경기도내 아파트 녹지 관리자들을 대상으로 한 조사에서 아파트 녹지 관리에서 가장 중요한 작업으로 65.2%가 병해충 방제 작업을 꼽았으며, 조사대상 아파트 단지 중 91%가 수목의 병해충 관리를 위해 농약을 살포하고 있는 것으로 조사되었다(Kwon et al., 2016). 아파트내 조경 수목의 깎지벌레, 응애, 진딧물, 회양목명나방 등의 해충 관리를 위해 약 29종의 살충제 사용이 확인되었으며 특히 살포용 약제로 Fenitrothion을 관행적으로 가장 많이 사용하는 것으로 나타났다(KFS, 2013; Rural Development Administration, 2016).

Fenitrothion은 1959년 일본과 독일에서 개발된 유기인계 살충제로 적용 범위가 넓고 다양한 대상작물에 등록되어 있을 뿐만 아니라 다른 유기인계 살충제에 비해 비교적 안전하여 널리 사용되고 있다(Tomlin, 2009). 국내에서는 벼, 콩, 마늘, 잔디 등의 농작물뿐만 아니라 소나무, 복숭아, 참나무류, 밤 등의 수목에도 등록되어 있으며 나방류, 풍뎅이류, 노린재류, 나무좀류, 하늘소류 등의 해충에 아세틸콜린에스테라제의 활성을 저해하는 작용을 통해 살충효과를 나타낸다(KCPA, 2017).

농약 노출(pesticide exposure)이란 입, 코, 피부와 같은 신체 기관을 통한 농약과의 접촉을 말하며(Crosby, 1998), 주요한 노출경로는 피부노출(dermal exposure)과 호흡노출(inhalation exposure)이다(Fenske and Day JR, 2005; Hughes et al., 2008; Chester, 2010). 이러한 노출 경로를 통한 농약 접촉은 건강에 위해를 일으킬 수 있고, 그 위해의 정도는 독성과 노출량에 달려있다(Turnbull, 1985). 최근 생활권 수목의 농약살포는 고독성, 맹독성 약제가 퇴출되고 저독성, 보통독성의 약제가 살포되고 있어(Rural Development Administration, 2016) 농약 자체의 독성에 대한 위험성은 줄어들고 있다. 노출량에 대한 문제의 경우, 농업분야에서는 1950년 초에 Parathion 살포 후 포장에서 작업하던 작업자가 중독되어 사망하는 사건이 발생하면서 농약 노출 연구가 시작되어(Griffiths et al., 1951) 지속적인 연구와 평가가 이루어져 왔으며, 국내에서도 농약노출 평가/연구의 국제적 추세에 발맞추어 농

촌진흥청에서 농작업자 노출허용량(AOEL: Acceptable Operator Exposure Level) 설정지침, 농약 살포자 위해성 평가기준, 및 농약살포자 노출량 측정 지침을 마련하여 농약 노출 평가의 표준화를 확립하여 시험에 적용하고 있다(You et al., 2014; Kim et al., 2011). 그러나 도시림, 생활림, 가로수, 도시공원 등 일상생활을 하는 구역이나 장소에 위치한 생활권 수목에서의 농약 살포는 농약 살포자의 농약 노출 문제뿐만 아니라 농약의 살포 후 생활권 수목과 접촉하는 다수의 불특정 이용객들도 지속적으로 농약에 노출되는 상황에 놓여 있다.

본 연구는 이러한 생활권 수목의 병해충 방제를 위해 가장 많이 사용되는 살충제인 Fenitrothion 유제에 대하여 농약을 살포하는 작업자가 아닌 농약이 살포된 후 생활권 수목을 이용하는 이용자의 농약 노출에 대해 알아보기 위하여 실시하였다.

재료 및 방법

1. 시험농약 및 재료

Fenitrothion 표준품(99.9%)은 Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA)에서 구입하였고, acetone은 HPLC급을 사용하였다. 손 노출 측정을 위한 면장갑은 시중에서 구입하였고, 진탕추출기를 이용하여 추출하였다. 호흡노출량 측정에 사용된 개인용 호흡펌프는 USEPA(1996)에서 추천하는 공기 흡입능력이 최소한 2 L/min이 되는 Gilian사(Sensidyne, Usa)의 Gilair-3제품에 고체 흡착제(ORBO™ 609 Amberlite XAD-2 400/200 mg, Supelco)를 사용하였다. 시료분석은 Shimadzu GC-2010plus, FTD (Shimadzu, Japan)를 사용하였다. 시험 대상목은 경기도산림환경연구소(경기도 오산시)내에 조경용으로 식재된 수고 1 m, 수관폭 1 m 정도인 회양목(*Buxus koreana* NAKAI)을 이용하였다.

2. 농약 잔류량 분석

분석법 검증을 위하여 분석기기 상의 LOD (Limit of Detection) 및 LOQ (Limit of Quantitation)는 Fenitrothion 표준용액 0.1, 0.5, 1, 5, 10 ppm을 1μ씩 GC-NPD에 주입하여 크로마토그램상의 signal과 noise의 비율(S/N)을 구하여 계산하였다.

피부노출량 측정용 장갑은 추출용기(500 ml)에 넣고 Acetone 100 ml를 첨가하여 2시간 진탕추출 후 PTFE재질의 syringe filter를 통하여 이물질질을 걸러낸 후 1 μ를 GC-NPD에 주입하여 분석하였다.

회양목 잎에 농약의 잔류량 분석을 위하여 잎 20 g에 0.5% Tween 20 용액을 가한 후 2시간 진탕추출하고, 50 ml를 취하여 증류수 40 ml, 포화식염수 10 ml를 넣고

dichloromethane 100 ml로 분배 추출한 유기용매를 감압 농축하고 Acetone 10 ml로 재용해 하고 1 µl를 GC-NPD로 분석하였다.

호흡노출 측정용 고체 흡착제(XAD-2 resin) 유리관은 양쪽을 절단한 후 고체흡착제 알갱이를 20 ml 추출 용기에 담고 Acetone 10 ml를 첨가하여 2시간 진탕추출 후, 5 ml를 취하여 질소를 이용하여 건조 후 Acetone 0.5 ml로 정용하여 GC-NPD로 분석하였다.

3. 약제살포 및 조사

생활권 수목에 살포된 농약의 노출 정도 조사를 위하여 회양목에 시중 농약상에서 구입한 Fenitrothion 유제(스미치온, 동방아그로)를 1,000배액으로 희석하여 약액이 충분히 살포될 수 있도록 1분당 압축식 분무기를 이용하여 1L를 2016년 6월 27일에 오전 9시경에 살포하였다. 실험에 사용한 회양목은 각 조사방법별 간섭이 없도록 각각의 수목에 약제를 살포하여 조사하였다. 호흡 노출량 측정을 위해 회양목 4본에 Fenitrothion을 살포하고 살포 후 1시간 후와 96시간 후까지 24시간 간격으로 총 5회에 걸쳐 매일 오전 10시경에 30분 동안 회양목으로부터 1 m 떨어진 곳에 개인용 호흡펌프를 설치하여 호흡노출량을 조사하였다. 농작업시 피부노출량 측정의 경우, 패치(patch), 장갑, 양말, 마스크, whole body dosimeter 등을 이용한 방법이 일반적(Kim et al., 2011)이나 생활권 수목의 앞에 살포된 농약의 피부노출량 측정방법이 규정되어 있지 않기 때문에 생활권 수목의 이용자들이 가장 많이 있고 접촉할 수 있는 손의 노출량을 측정하였다. 손 노출량 측정을 위해 살포 직후부터 4일차까지 5회 조사하였으며, 각 3분씩 15분의 회양목에 약제를 살포하고 매일 오전 10시경 면장갑을 끼고 5분 동안 약제가 살포된 회양목 앞을 만진 후 면장갑을 수거하였다. 회양목 앞에 살포된 Fenitrothion의 잔류량 조사를 위해 15본의 회양목에 약제를 살포하고 살포직후 1시간 후부터 4일차까지 공시목의 정단부의 잎을 매일 200 g씩 채취하여 즉시 냉동 보관하여 분석하였다.

4. 위해성 평가

회양목에 살포된 Fenitrothion의 생활권 수목 이용자의 위해성 평가를 위해 Hughes et al.(2008)의 Margin of Safety (MOS) 수식을 적용하였다.

위해성 평가는 농작업자 노출 실험을 통해 나온 결과값을 토대로 MOS (margin of safety)를 산출함으로써 농작업자가 농약을 조제, 살포시 작업의 안전성을 확인(Kim et al., 2014)하기 위한 평가로, MOS 값이 1보다 크거나 같으면 위해가 없는 것으로 보고 MOS 값이 1보다 작으

면 위해가 우려 된다고 본다(Hughes et al., 2006; Machado-Neto, 2001). 노출허용량(AE, Acceptable exposure)는 해당농약의 독성학적 허용점과 농작업자의 체중을 곱하여 산출하며, 농작업자노출용량(AOEL, Acceptable operator exposure level)은 농작업자가 해당농약을 사용방법대로 수일에서 수 주간 또는 수개월간 사용할 때 아무런 부작용을 일으키지 않는 일일 허용노출수준으로(National Institute of Agricultural Sciences, 2007) Fenitrothion의 AOEL 0.013mg/kg/day (National Institute of Agricultural Sciences, 2016)에 안전계수 1을 적용하였다.

농약노출 측정방법은 크게 수동적 측정법(Passive dosimetry), 생물학적인 측정법(Biological monitoring)으로 구분하는데(Fenske and Day JR, 2015) 농약을 살포할 때 농약을 직접 포집하는 다양한 수단을 사용하여 피부노출 및 호흡노출을 측정하고 여러 가지 노출인자(Exposure factors)를 사용하여 외적/내적 노출량 또는 흡수용량을 예측하는 수동적인 측정법이 보편적으로 사용된다(Kim et al., 2011). 잠재적 피부노출량(PDE, Potential dermal exposure)는 피부 노출량 측정을 위해 패치, 장갑, 양말, 마스크, whole body dosimeter 등을 사용한다(Kim et al., 2011). 본 실험에서는 농약 살포 작업자가 아닌 살포 후 이용자의 피부노출 측면을 고려하여 전신노출량을 측정하지 아니하고 손 노출량만을 측정하였다. 농작업자 경우 장갑을 착용하고 살포 작업이 이루어지므로 약제가 장갑을 통과하여 피부에 도달하는데 일반적으로 액체로 살포하는 제형일 경우 10% 정도로 가정하고(Jensen, 1984; Kim et al., 2011), 피부에 도달한 약제가 인체에 흡수되는 피부투과율도 액체일 경우 10%로 하여(Choi et al., 2006; Kim et al., 2012) 흡수율(AF, Absorption Factor)은 0.01을 사용하였다. 그러나 생활권 수목의 이용자들은 보호장구인 장갑을 착용하지 않아 직접 피부에 접촉하게 되므로 보호장구 투과율이 제외된 피부투과율 10%만 고려하여 0.1을 사용하므로 농작업자 위해성 평가에 비해 흡수율이 높게 나타날 가능성 있다. 잠재적 호흡노출량(PIE, Potential inhalation exposure)는 농약 전체 노출량에서 상대적으로 비율이 낮아 0.029~9.1%를 차지하는데(Culver et al., 1956; Miller et al., 1980; Wojeck et al., 1983; May, 1984; Capri et al., 1999; Oliveira and Machado-Neto, 2003; Choi, 2004; Choi et al., 2006; Kim et al., 2011), 피부 노출의 경우 1~10% 정도만 흡수되는 것으로 가정하지만 호흡노출량은 노출량 전체가 몸에 흡수되는 것으로 가정(Kim et al., 2011; Fenske and Day JR, 2005)하여 전체 양을 그대로 계산에 활용하였다(Kim et al., 2012; Kim et al., 2011; Oliveira and Machado-Neto, 2003).

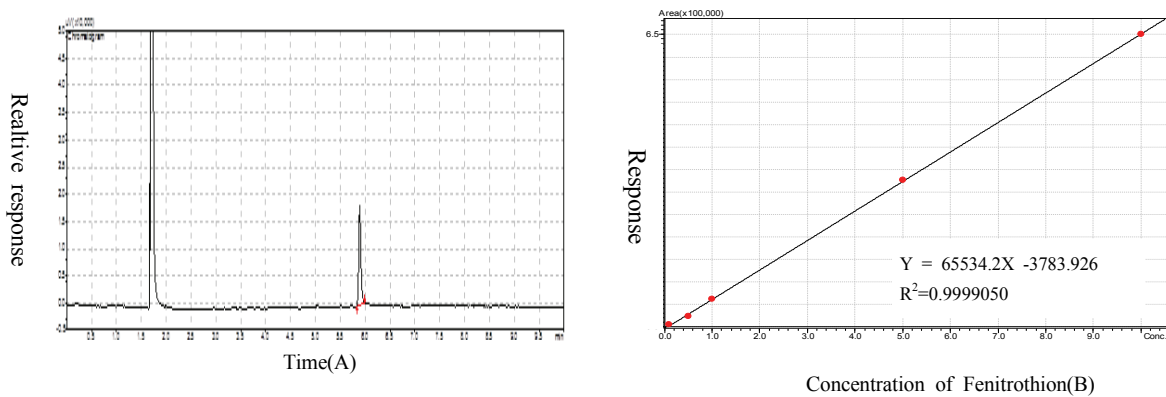


Figure 1. Chromatograms of instrument LOQ of Fenitrothion(A) and the calibration curve of Fenitrothion(B).

$$MOS = \frac{AE}{(PDE \times AF) + PIE} \times SF$$

(AE, Acceptable exposure; PDE, Potential dermal exposure; AF, Absorption factor; PIE, Potential inhalation exposure; SF, Safe factor)

MOS식을 이용하여 약제 살포 후 경과 일자별로 체중별 MOS값을 계산 후 Machado-Neto(2001), Choi(2004)의 Safe Work Time (SWT)을 응용하여 체중별로 MOS값이 1이하로 떨어져 위해가 우려되는 노출시간을 살포일자별로 산출하였다.

$$SWT = MOS \times EWT(hr/day)$$

(MOS, Margin of safety; EWT, Estimated working time)

5. 통계분석

회양목 잎에 살포된 Fenitrothion의 잔류량, 손 전이량, 호흡노출량의 통계분석은 일원분산분석(One-way ANOVA test)를 수행하였다. 일원분산분석에서 유의성이 확인되면($P < 0.05$), Duncan의 다중검정(Duncan's multiple range test)를 실시하여 비교 그룹 간의 차이를 검정 하였다(SAS institute, 2012).

결 과

1. 분석법 검증

분석법에 대한 검증은 노출 측정 시험에 사용되는 분석법 및 실험법을 포장에서의 실제 노출 시험에 앞서서 미리 검증하는 과정으로(Kim et al., 2011) 본 실험에서는 Shimadzu GC-2010plus, FTD기기에서 조사하였다. 표준 검량선의 직선성은 정밀한 정량분석의 근본이 되는 요소로서 Fenitrothion 표준용액을 5수준 농도에서 검량선을

작성한 결과의 R^2 이 0.999 이상으로(Figure 1). 직선성이 매우 우수하여 안정적이고 정밀한 분석을 수행할 수 있는 것으로 나타났다.

2. 살포된 농약의 노출 및 잔류

공시목에 살포된 농약이 시간이 경과함에 따라 잔류된 양을 분석한 결과, 살포 1시간 경과 후 잔류량은 $3.99 \pm 0.9 \mu\text{g/g}$ 이었으며 96시간 후에도 $3.37 \pm 2.8 \mu\text{g/g}$ 의 약제가 잔류되고 있어 살포 후 시간 경과별 잔류량에는 통계적으로 유의차가 인정되지 않았다($F = 0.106$; $df = 4, 14$; $P = 0.131$)(Figure 2).

손을 통한 농약의 피부노출량을 추정한 결과 살포 후 1시간과 24시간 경과 후까지는 $405.4 \sim 510.1 \mu\text{g/glove}$ 로 매우 많은 양의 농약이 앞에서 손으로 전반되는 것으로 나타났으나 48시간 이후에는 $45.0 \mu\text{g/glove}$ 이하로 전반되는 농약의 양이 급격하게 줄어들어 약제 살포 후 시간 경과별 피부 노출량에 있어서 통계적으로 유의성이 인정되었다($F = 13.86$; $df = 4, 14$; $P < 0.001$)(Figure 3).

본 연구에서 약제 살포 후 시간이 경과함에 따른 호흡노출량은 통계적으로 유의성이 인정되었다($F=23.99$; df

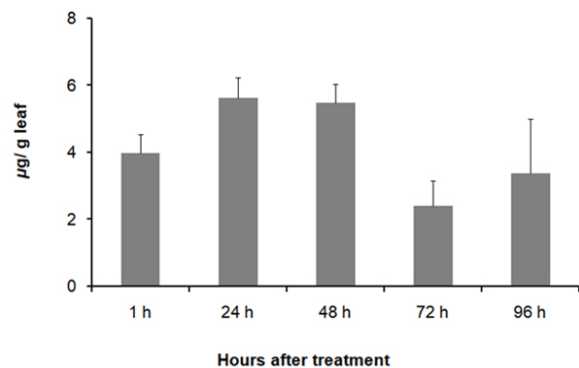


Figure 2. Residue of Fenitrothion sprayed on Boxwood tree leaves.

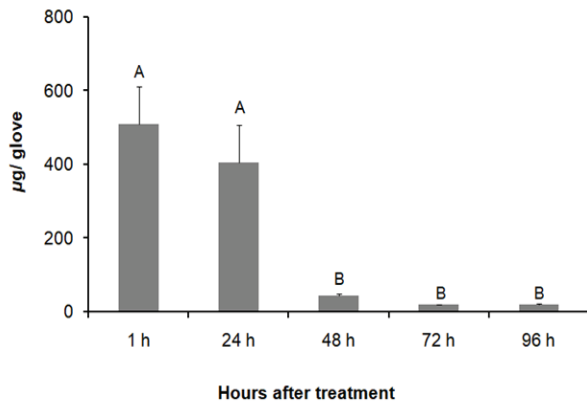


Figure 3. Extraction of Fenitrothion from cotton gloves touched with insecticide sprayed on Boxwood tree leaves.

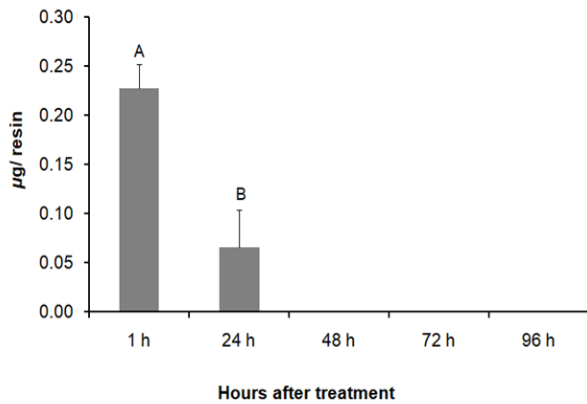


Figure 4. Inhalation exposure of Fenitrothion sprayed on Boxwood tree leaves.

= 4.19; $P < 0.001$) (Figure 4). 살포 후 1시간 경과 후 측정에서 모든 공기펌프의 호흡 노출량이 평균 0.23 µg/resin 높게 측정되었다. 24시간 경과 후에는 일부 공기펌프에서만 호흡 노출량이 측정되었으며 호흡 노출량도 0.13 µg/resin로 적게 나타났다. 48시간 경과 후에는 호흡 노출량이 측정되지 않았다.

3. 위해성 평가

MOS식을 이용하여 약제 살포 후 경과시간별로 체중별 MOS값을 계산 후 SWT(Safe work time)을 응용하여 체중별로 MOS값이 1이하로 떨어져 위해가 우려되는 노출시간을 경과시간별로 산출하였다(Table 1). 살포 후 1시간과 24시간 후에는 비교적 빠른 시간 내에 MOS값이 위해가 우려되는 점에 도달하였으며 특히 몸무게 40 Kg 이하의 경우 노출허용량이 낮아져 매우 빠른 시간 안에 위해가 우려되는 점에 도달하였다. 48시간 이후에는 MOS 값이 1이하로 떨어져 위해가 우려되는 시간은 체중이 10 Kg인 어린이의 경우에도 2시간 이상 소요되어 매우 길게 나타났다.

Table 1. Exposure safety time by weight according to the margin of safety (MOS).

Body Weight (Kg)	Exposure safety time(Minutes)				
	1h ^z	24h	48h	72h	96h
70	90	113	1,012	2,395	2,383
60	77	97	867	2,053	2,042
50	64	81	723	1,711	1,702
40	51	65	578	1,369	1,362
30	39	49	434	1,027	1,021
20	26	33	289	685	681
10	13	17	145	343	341

^z Hours after treatment.

고 찰

농약 노출에 대한 문제는 생산된 농산물을 소비자들이 이용 시 농산물에 남아있는 잔류농약 문제가 부각되었으나 이에 따른 관리는 철저한 편이다. 최근에는 농업 활동의 과정에서의 농약의 조제, 살포, 농약 사용 후 농지 재출입, 수확과 같은 다양한 노출 상황에서(Ramwell et al., 2006; Romos et al., 2010)에서 농작업자의 안전성과 위해성 문제에 대해서도 다양한 연구와 관심이 증가하고 있다. 그러나 도시림, 생활림, 가로수, 도시공원 등 국민들의 일상생활을 하는 구역이나 장소에 위치한 생활권 수목에서의 농약 살포는 농약 살포자의 농약 노출 문제뿐만 아니라 농약의 살포 후 생활권 수목이 식재된 공간을 이용하는 다수의 불특정 이용자들도 피부와 호흡을 통한 농약에 노출되는 상황에 놓여 있다.

일반적으로 살포된 Fenitrothion의 반감기는 1~2일로 야외조건에서 빠르게 분해되기 시작하는데(IPCS, 1992), 살포된 농약의 구조전환을 일으키는 강력한 요인은 태양광선(Min et al., 1999)으로 Fenitrothion유제 1,000배액에 UV램프로 자외선 조사 시 8시간 경과 후 35.8%가 분해되는 것으로(Park, 1975) 볼 때 야외 조건에서 살포 직후부터 시간이 경과함에 따라 호흡 노출량에 영향을 미치는 휘발성 물질이 자외선이나 여러 가지 원인에 의해 빠르게 감소되는 것으로 추정되었다. 본 연구에서도 약제 살포 후 48시간 이후 부터 살포된 약제의 손을 통한 피부노출량이 급격하게 떨어지며, 특히 노출량의 100%가 인체에 흡수되는 것으로 추정되는(Fenske and Day JR, 2005) 호흡 노출량은 약제 살포 후 24시간 경과 이후에는 측정되지 않아 약제의 노출에 따른 위해성에 대한 우려가 적어지는 것으로 판단되었다. 그러므로, 생활권 수목에서는 Fenitrothion 살포 후 24시간 전까지는 비교적 빠른 시간

안에 위해가 우려되는 수준에 도달할 수 있으므로 약제가 살포된 생활권 수목에 접근을 통제하여 생활권 수목 이용자들이 농약노출 피해가 발생하지 않도록 주의를 기울이는 것이 좋다. 그러나, 실제 생활권 수목의 병해충 방제를 위해서는 대부분 2종의 이상의 농약을 혼합하여 살포하는데(KFS, 2010, 2013), 두 종류 이상의 농약을 혼합하면 독성이 증가 될 수 있으므로(Eaton and Curtis, 1996; Lee et al., 2001) 실제 현장에서는 더 빠른 시간에 위해가 우려되는 수준에 도달할 수 있을 것으로 판단되었다.

농작업자의 위해성 평가에서는 보호 장구인 장갑을 끼고 작업이 이루어지는 것을 감안하여 위해성 평가가 이루어지므로 피부노출량이 상대적으로 적어 위해성 우려가 적은 편이나 생활권 수목의 이용자들은 장갑과 같은 보호 장구 없이 접촉이 이루어지므로 보다 빠른 시간 안에 위해가 우려되는 수준에 도달할 수 있는 것으로 나타났다. 미국에서는 농약의 위해성 평가에서 작업자 노출 평가(Occupational exposure assessment)뿐만 아니라 거주자 노출평가(residential exposure assessment)도 실시하고 있으며 거주자 노출평가에서는 농약에 노출될 수 있는 성인외에도 어린이에 대한 노출평가도 실시하고 있다(You et al., 2014). EU에서도 위해성평가를 살포자(operator), 작업자(worker), 행인(by-stander), 거주자(resident) 4그룹으로 나누어 위해성 평가를 실시하고 있다(You et al., 2014). 그러므로 우리나라에서도 생활권 수목의 병해충 방제를 위한 약제 살포에 있어서 작업자처럼 보호 장구를 착용하지 않는 생활권 수목 이용자들을 대상으로 위해성 평가도 이루어져야 하며, 특히 어린이의 경우 성인과 달리 유해물질의 노출에 더 민감하므로(National Institute of Food and Drug Safety Evaluation, 2009) 거주자, 행인, 어린이들을 대상으로 위해성 평가를 실시하고 이를 고려하여 생활권 수목 관리를 위한 농약 살포 안전기준이 제시되어야 할 것이다. 이를 위해서는 본 연구에서 수행한 수동적인 측정법(passive dosimetry)뿐만 아니라 노출자의 소변, 혈액, 타액, 땀 등에 포함된 농약량을 측정하여 위해성을 평가하는 생물학적 측정법(biological monitoring) 등과 같은 다양한 분석방법을 통해 생활권 수목에 살포되는 농약에 대한 위해성을 검증하고, 생활권 수목 이용자들에게 위해성이 없는 생활권 수목 식재지에서 농약의 안전사용기준의 준수가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 산림청 ‘융·복합기반 임산업의 신산업화 기술개발(과제번호: 2017064A00-1720-AB02)’의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

References

- An, J.S. 2012. Tree protection. Korea Tree Health Association (Vol. 17). pp.12-17.
- Capri, E., Alberici, R., Glass, C.R., Minuto, G. and Trevisan, M. 1999. Potential Operator Exposure to Procymidone in Greenhouses. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47(10): 4443-4449.
- Chester, G. 2010. Worker Exposure: Method and Techniques, In: Hayes' Handbook of Pesticide Toxicology. edited by W. J. Hayes, pp. 1127-1137, Elsevier.
- Choi, H. 2004. Exposure and Risk Assessment for Applicator during Treatment of Imidacloprid and Thiophanate-methyl in various Crop Fields. Master Thesis in Seoul National University. pp. 85.
- Choi, H., Moon, J.K., Liu, K.H., Park, H.W., Ihm, Y.B., Park, B.S., Kim, J.H. 2006. Risk Assessment of Human Exposure to Cypermethrin during Treatment of Mandarin Fields. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 50(3): 437-442.
- Crosby, D.G. 1998. Environmental Toxicology and Chemistry. Chapter 10 Exposure and Risk. Oxford University Press, Oxford, UK. pp. 185-204.
- Culver, D., Caplan, P. and Batchelor, G.S. 1956. Studies of human exposure during aerosol application of malathion and chlordion. *A.M.A. Archives of Industrial Health* 13(1): 37-50.
- Eaton, D.L. and Klaassen, C.D. 1996. Principles of toxicology. pp. 12-49. Casarett and Doull's Toxicology. 4th ed. Pergamon Press. U.S.A.
- Fenske, R.A. and Day JR, E.W. 2005. Assessment of Exposure for Pesticide Handlers in Agricultural, Residential and Institution Environment. *Occupational Residential Exposure Assessment for Pesticide*. 11-43.
- Griffiths, J.T., Stearns, C.R. and Thompson, W.L. 1982. Exposure of applicators and Residents to Dichlorvos-Treated Residences, *Acs Sym Ser.* 273: 253-264.
- Hughes, E.A., Zalts, A., Ojeda, J.J., Flores, A.P., Glass, R.C. and Montserrat, J.M. 2006. Analytical method for assessing potential dermal exposure to captan, using whole body dosimetry, in small vegetable production units in Argentina. *Pest Management Science* 62(9): 811-818.
- Hughes, E.A., Flores, A.P., Ramos, L.M., Zalts, A., Glass, R.C. and Montserrat, J.M. 2008. Potential Dermal Exposure to Deltamethrin and Risk Assessment for Manual Sprayers: Influence of Crop Type. *Science of The Total Environment* 391(1): 34-40.

- Jensen, J.K. 1984. The Assumptions used for exposure assessment in Determination and assessment of Pesticide exposure. Edited by M. Siewierski. pp. 147-152, Elsevier.
- KCPA (Korea Crop Protection Association). 2017. Crop protection guideline. pp. 1572.
- Kim, E.H. 2011. Exposure and risk assessment of methomyl and benomyl for applicator during treatment on apple orchard. Master Thesis in Seoul National University.
- Kim, E.H., Lee, H.R., Choi, H., Moon, J.K., Hong, S.S., Jeong, M.H., Park, K.H., Lee, H.M. and Kim, J.H. 2011. Methodology for Quantitative Monitoring of Agriculture Worker Exposure to Pesticides. The Korean Journal of Pesticide Science 15(4): 507-528.
- IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1992. Environmental Health Criteria 133: Fenitrothion. WHO: World Health Organization. Geneva.
- Kim, E.H., Lee, H.R., Choi, H., Moon, J.K., Hong, S.S., Jeong, M.H., Park, K.H., Lee, H.M., AN, X.H. and Kim, J.H. 2011. Method Validation for Monitoring of Agricultural Worker Exposure to Insecticide Fenthion. The Korean Journal of Pesticide Science 15(4): 357-365.
- Kim, E.H., Moon, J.K., Choi, H., Hong, S.M., Lee, D.H., Lee, H.M. and Kim, J.H. 2012. Exposure and risk assessment of insecticide methomyl for applicator during Treatment on apple orchard. Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry 55(1): 95-100.
- Kim, E.H., Lee, J.H., Sung, J.H., Lee, J.H., Shin, Y.H. and Kim, J.H. 2014. Exposure and Risk Assessment for Operator Exposure to Insecticide Acetamiprid during Water Melon Cultivation in Greenhouse using Whole Body Dosimetry. The Korean Journal of Pesticide Science 18(4): 247-257.
- KFS (Korea Forest Service). 2010. Survey report on actual condition of management of forest disease and pest of life spaces green. Korea Forest Service. Daejeon, Korea, pp. 121. (in Korean)
- KFS (Korea Forest Service). 2012. National Urban Forest Present Condition Statistics. Korea Forest Service. Daejeon, Korea, pp. 181. (in Korean)
- KFS (Korea Forest Service). 2013. Research on the actual condition of tree management of urban Public Living Space. Korea Forest Service. Daejeon, Korea. (in Korean)
- Kwon, G.H., Lee, M.S., Jung, Y.M., Oh, J.S., Lee, G.S., Kwon, Y.D. and Kim, J.H. 2016. Survey on management of apartment tree planting in Gyeonggi-do. Gyeonggi-do Forestry Environment Research Center. Osan, Korea. pp. 65. (in Korean)
- Lee, J.B., Jeong, M.H., Sung, H.J., Lee, H.K. and Yang, J.S. 2001. Acute toxicity response caused by mixture or tank mix of several insecticides. The Korean Journal of Pesticide Science 5(4): 57-61.
- Machado-Neto, J.G. 2001. Determination of Safe Work Time and Exposure Control Need for Pesticide Applicators. Environmental Contamination and Toxicology. 67(1): 20-26.
- May, L.L. 1984. Dynamic Risk/Benefit Analysis in Pesticide Regulation: The Case of Toxaphene. Master's Thesis in Economics. University of California, Riverside, CA.
- Miller, C.S., Hoover, W.L. and Culver, W.H. 1980. Exposure of Pesticide Applicators to Arsenic Acid. Archives of environmental contamination and toxicology. 9(3): 281-288.
- Min, K.J. and Cha, C.G. 1999. Photodegradation of some Organophosphorous Pesticide. Journal of Food Hygiene and Safety 14(4): 339-345.
- National Institute of Agricultural Sciences. 2007. Study of Acceptable operator exposure level (AOEL) Setting of pesticides. National Institute of Agricultural Sciences. Jeonju. Korea. pp. 324-337.
- SAS Institute. SAS User's Guide:Statistics. SAS Institute, Cary, NC. 2012.
- National Institute of Food and Drug Safety Evaluation. 2009. Guidelines of Health Risk Assessment on Exposure of Children to Hazardous Substances. National Institute of Food and Drug Safety Evaluation. Cheongju, Korea. pp. 116. (in Korean)
- National Institute of Agricultural Sciences. 2016. AOEL Information. <http://pis.rda.go.kr/spcltyinfo/agchmSafeInfo/toxctyExpsr/aoel.do>(2017. 8. 10.).
- Oliveira, M.L. and Machado-Neto, J.G. 2003. Use of manganese as tracer in the determination of respiratory exposure and relative importance of exposure routes in the safety of pesticide applicators in citrus orchards, Bull Environ Contam Toxicol. 70(3): 415-421.
- Ramwell, C.T., Johnson, P.D. and Corns, H. 2006. Transferability of Six Pesticides from Agricultural Sprayer Surfaces. Annals of Occupational Hygiene 50(3): 323-329.
- Park, S.H. 1975. Studies on the Stability of Fenitrothion Formulations. Korean Journal of Agricultural Science 2(2): 381-398.
- Rural Development Administration. 2016. Magement of Pesticide used for Safety in Urban Public Park Area(Palace, Park, Roadside tree etc.). Rural Development Administration. Jeonju, Korea. pp. 59.
- Tomlin C. 2009. The Pesticide manual (15th edition). British Crop Protection Council, UK. pp. 1457.
- Turnbull, G.L. 1985. Current Trends and Future Needs in

- Occupational Hazards of Pesticide use edited. Taylor& Francis, London, UK. pp. 99-116.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1996. Occupational and residential exposure test guidelines. OPPTS875. 1000, EPA 712-C-96-261, U.S. EPA, Washington, DC.
- Wojeck, G.A., Price, J.F., Nigg, H.N. and Stamper, J.H. 1983. Worker Exposure to Paraquat and Diquat. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 12(1): 65-70.
- You, A.S., Hong, S.S., Lee, J.B., Lee, S.D. and Ihm, Y.B. 2014. Application of Oral Absorption in Establishment of AOEL for Pesticides and Occupational Risk Assessment for farm worker. The Korean Journal of Pesticide Science 18(4): 342-349.

Manuscript Received : November 14, 2017

First Revision : January 17, 2018

Second Revision : March 23, 2018

Accepted : March 29, 2018