

경북북부 인삼 재배 토양 중 Dioxins의 잔류

김정호*

대구한의대학교 소방방재환경학과
(2011년 12월 5일 접수; 2012년 1월 2일 수정; 2012년 2월 19일 채택)

Residues of Dioxins in Soil Cultured Ginseng of North Gyeongbuk

Jung-Ho Kim*

Department of Safety & Environmental Prevention, Daegu Haany University, Kyungsan 712-715, Korea

(Manuscript received 5 December, 2011; revised 2 January, 2012; accepted 19 February, 2012)

Abstract

PCDDs(Polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins) and PCDFs(polychlorinated dibenzofurans) are measured in soil of Yeungju and Sangju on North Gyeongbuk to investigate the risk assessment of dioxins. Dioxins are analyzed by HRGC/HRMS(high resolution gas chromatography - high resolution mass spectrometer). 2,3,7,8-T4CDD and 1,2,3,7,8-Pe5CDD in soil on Yeungju and Sangju are not detected. Also, 2,3,7,8-T4CDF is not detected in soil on Yeungju and Sangju. PCDDs and PCDFs in Yeungju soil are 1.957 pg/g and 0.294 pg/g, respectively. Total of dioxins in Yeungju soil are 2.251 pg/g. PCDDs and PCDFs in Sangju soil are 1.220 pg/g and 0.420 pg/g, respectively. Total of dioxins in Sangju soil are 1.640 pg/g. PCDDs and PCDFs in Yeungju soil are 0.0049 pg WHO-TEQ/g and 0.0123 pg WHO-TEQ/g, respectively. Total of dioxins with PCDDs and PCDFs in Yeungju soil are 0.0172 pg WHO-TEQ/g. PCDDs and PCDFs in Sangju soil are 0.0065 pg WHO-TEQ/g and 0.0213 pg WHO-TEQ/g, respectively. Total of dioxins with PCDDs and PCDFs in Sangju soil are 0.0278 pg WHO-TEQ/g. Amount for pg/g concentration unit of PCDDs is higher than amount of PCDFs in soil. But, WHO-TEQ of PCDFs is higher than WHO-TEQ of PCDDs in soil.

Key Words : Dioxins, POPs, PCDDs, PCDFs, TEF, TEQ, Soil, Risk assessment, Hazardous materials

1. 서 론

미국 EPA는 1994년 dioxins이 변이원성, 발암성, 생식기영향, 면역억제, 호르몬 조절방해 등을 일으킬 수 있다는 가능성을 제시하고 dioxins 제거방법을 시작하였다(Geusau 등, 2001; Weeney 와 Mocarelli, 2000; Tuomisto 등, 2004). UNEP(United Nation of

Environmental Programme)는 2001년 잔류성유기오염물질(POPs, persistent organic pollutant)을 오염물질로 통제할 필요성을 제기하였다(김, 2004; Birnbaum 와 Tuomisto, 2000; Dragan 와 Schrenk, 2000). 잔류성유기오염물질(POPs)의 대표적인 물질로는 PCBs (poly chlorinated biphenyls), OCPs(organochlorine pesticides), dioxins 등이 있다(이 등, 2009).

Dioxins은 PCDDs(polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins)를 지칭하나, PCDFs(polychlorinated dibenzofurans)를 포함하여 dioxins 계열로 분류한다(하, 2003). Dioxins 류는 고리가 3개인 방향족화합물에 여러 개의 염소가

*Corresponding author : Jung-Ho Kim, Department of safety & Environmental Prevention, Daegu Haany University, Gyeongbuk 712-715, Korea
Phone: +82-53-819-1416
E-mail: kim@dhu.ac.kr

붙어있는 화합물로 PCDDs와 PCDFs 두 종류가 있다 (Fig. 1). Dioxins에는 8개의 위치에 수소가 염소로 치환 될 수 있는데 이성체의 개수는 PCDDs가 75개 PCDFs가 135개이다. Dioxins류의 오염원들은 대부분 PCDDs와 PCDFs의 복합 혼합물로 배출된다(한, 1996; Kiviranta 등, 2002).

Dioxins 위해성 평가에서 환경노출평가는 매우 어렵고 난해하다. 시료로부터 dioxins을 정밀하게 측정해야 하기 때문에 미량의 dioxin을 분석할 수 있는 분석기술이 필요하다(강 등, 2004). Dioxins 분석에는 고분해능이 필수적인데 이는 분자량이 비슷한 이성체가 많이 존재하기 때문이다. 이성체의 개수는 PCDDs가 75개 PCDFs가 135개로 이들 혼합물을 분리할 수 있는 고분해능 가스크로마토그래피(HRGC: high resolution gas chromatography)가 필요하다. 또한 2,3,7,8-TCDD와 1,2,3,7,8-Pe5CDD는 매우 높은 특성을 가지고 있기 때문에 pg/g까지 고감도로 검출이 가능한 고분해능 질량분석기 (HRMS: high resolution mass spectrometer)가 필요하다. 따라서 HRGC/HRMS 분석법은 시료 중에 미량으로 존재하는 dioxins의 정확한 정성 및 정량에 매우 적합한 분석방법이다(서 등, 2003; 최 등, 2003).

우리나라는 2007년에 식품의약품안전청 고시(제 2007-71호)에서 식품 중 3가지에 대해서만 dioxins의 잔류허용기준을 제시하였는데, 소고기는 4.0 pgTEQ/g fat, 돼지고기 2.0 pgTEQ/g fat, 닭고기에 3.0 pgTEQ/g fat 이었다. 유럽연합에서 dioxins류 PCDD/PCDF 17종의 잔류허용기준은 소, 돼지의 간 6.0 pgTEQ/g, 장 어 4.0 pgTEQ/g, 알 및 알 가공품 3.0 pgTEQ/g, 가금류가 2.0 pgTEQ/g, 소의 fat 3.0 pgTEQ/g, 혼합된 동물의 fat 2.0 pgTEQ/g, 돼지의 fat 1.0 pgTEQ/g, 채소

류 oil 및 fat 0.75 pgTEQ/g로 설정하였다(식, 2011).

이와 같이 dioxins의 분석이 자연환경 중 공기, 물, 토양에서 이루어지고 있으며, 식품류 특히 육류, 해조류, 우유 등에서 다양하게 이루어지고 있다(강, 2006; 김 등, 2006; 채 등 2005). 일반적으로 유해화학물질 안전성을 평가할 때 한약재를 비롯한 인삼을 일반시중이나 한약시장에서 직접 구매한다. 따라서 한약재나 인삼 등이 재배된 자연환경이나 토양에 대한 유해물질의 잔류농도를 알 수가 없는 경우가 매우 많다(김, 2011).

따라서 본 연구에서는 경상북도 지역의 인삼 재배지에서 토양 시료를 채취하여 HRGC/HRMS으로 dioxins의 잔류성을 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시험포장

시험포장은 경상북도 북부지역 중에서 인삼을 재배하고 있는 영주와 상주지역을 택하였다. 영주 포장은 논이었던 곳이며, 상주포장은 과수원이었던 곳으로 4년 근 인삼이 재배되고 있었다. 잔류 dioxins을 분석하기 위한 토양시료 채취는 2004년 5월에 실시하였다(김, 2004).

2.2. Dioxins의 전처리

Dioxins 분석을 위해 토양시료를 풍근 한 후 2 mm 채에 통과하였다. 토양시료 10 g(건조무게 기준)씩 각각 취하여 원통여지에 넣고 수분을 제거하기 위하여 무수황산나트륨을 50g 넣어 잘 혼합하였다. 여기에 내부표준물질인 NK-LCS-O, MBP-MXS(20 ng/mL)를 각각 25 μ L씩 첨가한 뒤, dichloromethane 400 mL를 사용하여 18시간동안 soxhlet 추출(5 cycle/hr)

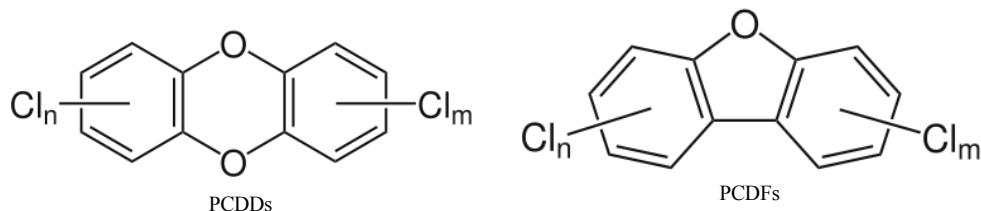


Fig. 1. Structures of PCDDs(Polychlorinated dibenz-p-dioxins) and PCDFs(Polychlorinated dibenzofurans).

하였다. 이 유출액을 rotary evaporator로 약 5 mL까지 농축하고 농축액을 conical tube에 옮긴 다음 질소 농축기로 시료 액이 2 mL가 될 때까지 농축하였다. 이를 실리카겔 칼럼에 통과시켜 정제하였다.

실리카겔용 칼럼은 sodium sulfate 소량을 넣은 다음 n-hexane에 용제 되어 있는 실리카겔 3 g를 칼럼 내에 충진하였다. 칼럼을 제조한 다음 농축액 2 mL를 가하고 n-hexane으로 1 mL씩 3회 세척하며 n-hexane 150 mL로 유출하였다. 유출액을 rotary evaporator로 약 5 mL까지 농축하고 농축액을 conical tube에 옮긴 다음 질소 농축기로 0.5 mL가 될 때까지 농축하여 활성탄 칼럼에 통과시켜 정제하였다.

활성탄 칼럼은 건식으로 충진하며 sodium sulfate 소량을 넣은 다음 활성탄 1 g과 다시 sodium sulfate 소량을 가하여 제조하였다. 농축액을 가하고 같은 양의 n-hexane으로 3회 세척하며 30분간 정치시켜 활성탄 표면에 시료가 흡착될 수 있도록 하였다. 이후 toluene 350 mL를 흘려주어 유출액을 모두 받은 다음에는 rotary evaporator를 사용하여 소량이 될 때까지 농축하였다. 이를 2 mL 바이알에 옮겨 질소 농축기로 일정량까지 농축 시킨 후 기기분석시료로 하였다(김, 2011; 최 등, 2003).

2.3. Dioxins의 분석

Dioxins의 분석은 Agilent 6890 series gas chromatograph(GC)와 JEOL Mstation 700 mass spectrometer(MS)를 사용하였다(김, 2011). 칼럼은 DB5-MS(cross linked 5% phenyl methylpolysiloxane, 60 m × 0.25 mm × 0.25 μm)을 사용하였다. HRGC/HRMS 분석은 PFK(perfluorokerosene)를 reference 물질(m/z 331)로 하여 분리능 10,000에서 실시하였다. 검출한계는 각 congener에 따라 약간의 차이는 있었으나 S/N > 3에서 대략 0.01 pg/mL 수준이었다.

PCDD/DFs의 검량선은 Cambridge Isotope Laboratories(CIL)의 EDF-9999 Method 1613 Calibration Solution의 CS1, CS2, CS3, CS4, CS5를 이용하여 작성하였다. Dioxins 17개의 이성체에 대한 정성확인은 분자량 M과 M+2, 또는 M+4의 이온강도(Ion intensity) 비가 99% 신뢰구간에 들어오면 정성 확인된 것으로 하였다. 대상물질이 검출된 경우에는

이에 대응하는 Labelled Compounds Standard(LCS)에 대한 반응계수(RR : relative response)를 이용한 동위원소 희석법(isotope dilution method)에 따라 정량하였다. 또한 ISD로 사용한 $^{13}\text{C}_{12-1,2,3,7,8,9}\text{-HxCDD}$ 및 LCS는 상대반응계수(RRF : relative response factor)를 이용한 내부표준법에 따라 정량하였다. 각각의 시료에 대해 산출된 정량값은 WHO-독성등가환산계수(TEF, toxic equivalence factor)를 적용하여 독성등가값(TEQ, toxic equivalence quotient)으로 환산하였다(강 등 2004; 최 등 2003).

3. 결과 및 고찰

3.1. 토양 중 PCDDs

PCDDs 계열에서 표준 2,3,7,8-T4CDD의 크로마토그램은 Fig. 2(A)와 같았으며, 영주와 상주 토양시료의 크로마토그램은 각각 Fig. 2(B)(C)와 같았다. 영주와 상주 토양 모두 2,3,7,8-T4CDD은 검출되지 않았다. 이와 같이 dioxins류 중 독성이 가장 강하여 WHO-TEF 값이 1.0인 2,3,7,8-T4CDD와 1,2,3,7,8-Pe5CDD 두 종류 모두 검출되지 않았다(Table 1).

한편 표준 1,2,3,4,7,8+1,2,3,6,7,8+1,2,3,7,8,9-Hx6CDD의 크로마토그램은 Fig. 3(A)와 같았으며, 영주와 상주 토양시료의 크로마토그램은 각각 Fig. 3(B)(C)와 같았다. Table 1과 같이 영주토양에서 Hx6CDD의 이성질체 1,2,3,4,7,8과 1,2,3,6,7,8 및 1,2,3,7,8,9가 각각 0.006 pg/g, 0.011 pg/g 및 0.012 pg/g 검출되었다. 상주토양에서는 Hx6CDD의 이성질체 1,2,3,4,7,8과 1,2,3,6,7,8 및 1,2,3,7,8,9가 각각 0.009 pg/g, 0.032 pg/g 및 0.008 pg/g 검출되었다.

Dioxins은 복합화합물 형태로 존재하고 각 화합물의 독성이 상의하다. 따라서 dioxins의 위해성평가에서는 독성등가환산계수(TEF) 방법을 사용한다. 독성등가환산계수(TEF) 방법은 독성이 가장 강한 2,3,7,8-TCDD의 독성을 1로 보고 다른 이성질체에 대해서는 이에 대한 상대적인 유해영향 크기로 각각의 독성등가환산계수(TEF)값을 정한다. 여기서 각각의 dioxins 농도에 각각의 독성등가환산계수(TEF)에 곱하여 독성등가값(TEQ)으로 나타낸다(한, 1996; Van den Berg 등, 2006).

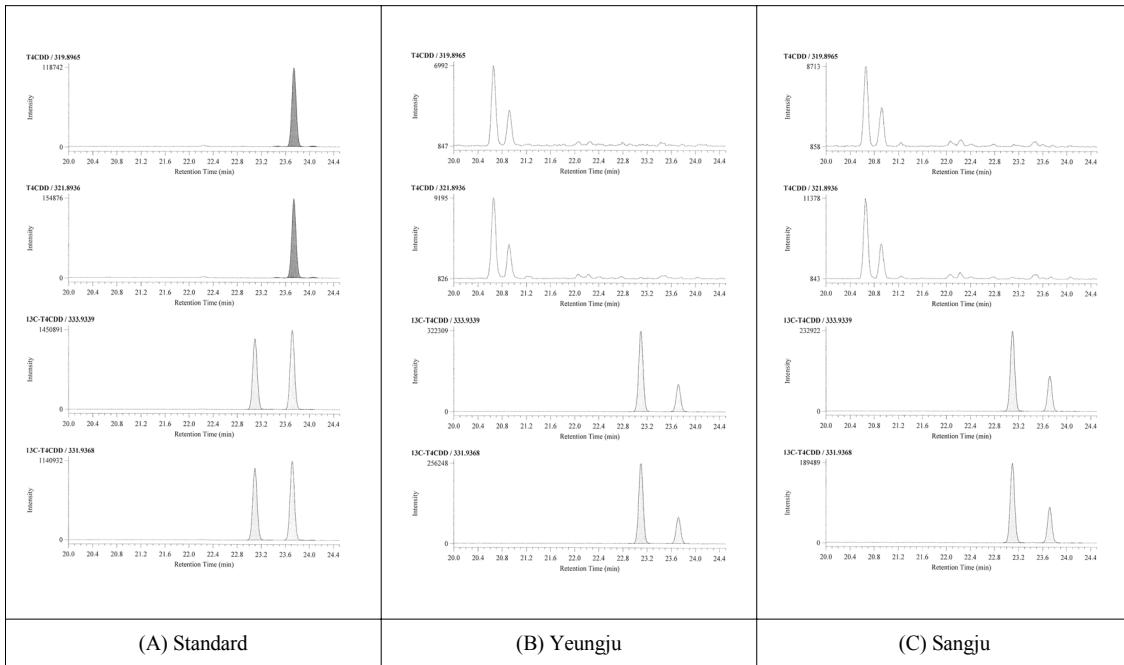


Fig. 2. HRGC-HRMS chromatogram of standard 2,3,7,8-T4CDD, and soil samples of Yeungju(B) and Sangju(C).

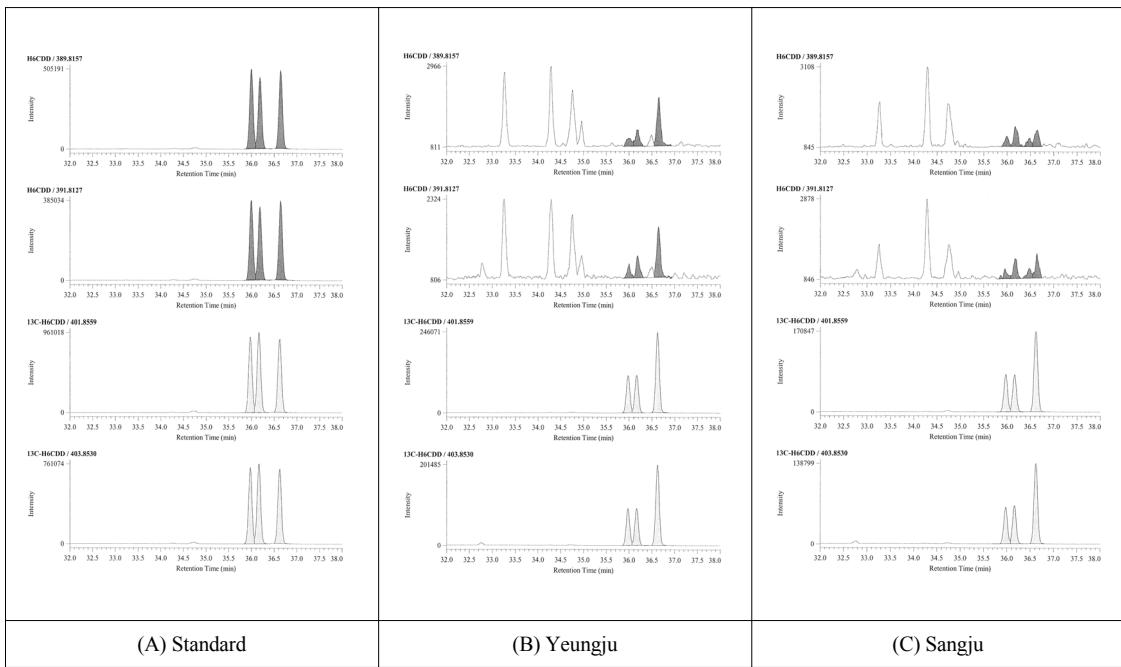


Fig. 3. HRGC-HRMS chromatogram of standard 1,2,3,4,7,8+1,2,3,6,7,8+1,2,3,7,8,9-H6CDD(A), and samples of Yeungju(B) and Sangju(C).

Table 1. WHO TEQ of residual PCDDs(Polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins) in soil on Yeungju

Congeners	WHO-Toxic equivalence factor	Concentration	
		pg/g	pg WHO-TEQ/g
2,3,7,8 T4CDD	1	ND ¹⁾	ND
1,2,3,7,8 Pe5CDD	1	ND	ND
1,2,3,4,7,8 Hx6CDD	0.1	0.006	0.0006
1,2,3,6,7,8 Hx6CDD	0.1	0.011	0.0011
1,2,3,7,8,9 Hx6CDD	0.1	0.012	0.0012
1,2,3,4,6,7,8 Hp7CDD	0.01	0.159	0.0015
O8CDD	0.0003	1.769	0.0005

1) ND: Not detected

Table 2. WHO TEQ of residual PCDDs(Polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins) in soil on Sangju

Congeners	WHO-Toxic equivalence factor	Concentration	
		pg/g	pg WHO-TEQ/g
2,3,7,8 T4CDD	1	ND ¹⁾	ND
1,2,3,7,8 Pe5CDD	1	ND	ND
1,2,3,4,7,8 Hx6CDD	0.1	0.009	0.0009
1,2,3,6,7,8 Hx6CDD	0.1	0.032	0.0032
1,2,3,7,8,9 Hx6CDD	0.1	0.008	0.0008
1,2,3,4,6,7,8 Hp7CDD	0.01	0.130	0.0013
O8CDD	0.0003	1.041	0.0003

1) ND: Not detected

토양 중 PCDDs 검출 농도(pg/g)를 독성등가농도(pgTEQ/g)로 환산하면 Table 1과 같다. 독성등가농도(TEQ)는 dioxins의 농도에 WHO 독성등가 환산계수(WHO-TEF)를 곱한 수치로 표시하였다. Table 1과 같아 Hx6CDD의 이성질체 1,2,3,4,7,8과 1,2,3,6,7,8 및 1,2,3,7,8,9가 영주토양에서 각각 0.0006 pgTEQ/g, 0.0011 pgTEQ/g 및 0.0012 pgTEQ/g 검출되었다. 상주토양에서는 Hx6CDD의 이성질체 1,2,3,4,7,8과 1,2,3,6,7,8 및 1,2,3,7,8,9가 각각 0.0009 pgTEQ/g, 0.0032 pgTEQ/g 및 0.0008 pgTEQ/g 검출되었다.

1,2,3,4,6,7,8-HxCDD는 영주 토양 중에서 0.0015 pgTEQ/g이었으며, O8CDD는 0.0005 pgTEQ/g이었다. 상주토양에서는 1,2,3,4,6,7,8-HxCDD는 0.0013 pgTEQ/g이었으며, O8CDD는 0.0003 pgTEQ/g이었다(Table 1).

3.2. 토양 중 PCDFs

PCDFs 계열에서는 표준 2,3,7,8-T4CDF의 크로마토그램은 Fig. 4(A)와 같았으며, 영주와 상주 토양시료의 크로마토그램은 각각 Fig. 4(B)(C)와 같았다. 영주 토양 중 2,3,7,8-T4CDF는 검출되지 않았으며, 상

주 토양에서도 검출되지 않았다.

4가지 이성질체가 혼합된 표준 1,2,3,4,7,8 + 1,2,3,6,7,8 + 1,2,3,7,8,9 + 2,3,4,6,7,8 -HxCDF의 크로마토그램은 Fig. 5(A)와 같았으며, 영주와 상주 토양시료의 크로마토그램은 각각 Fig. 5(B)(C)와 같았다. 영주 토양 중 HxCDF의 이성질체 1,2,3,4,7,8과 1,2,3,6,7,8과 1,2,3,7,8,9 및 2,3,4,6,7,8은 각각 0.020 pg/g, 0.015 pg/g, 0.011 pg/g 및 0.017 pg/g이었다. 상주 토양 중 HxCDF의 이성질체 1,2,3,4,7,8과 1,2,3,6,7,8과 1,2,3,7,8,9 및 2,3,4,6,7,8은 각각 0.034 pg/g, 0.033 pg/g, 0.018 pg/g 및 0.043 pg/g으로 나타났다.

한편 dioxins의 농도를 독성등가농도(pgTEQ/g)로 환산하면, 영주토양에서 1,2,3,7,8과 2,3,4,7,8-Pe5CDF가 각각 0.0004 pgTEQ/g와 0.0048 pgTEQ/g이었다. 상주토양에서 1,2,3,7,8과 2,3,4,7,8-Pe5CDF가 각각 0.0011 pgTEQ/g와 0.0063 pgTEQ/g이었다. 그리고 1,2,3,4,6,7,8과 1,2,3,4,7,8,9-Hp7CDF는 영주토양에서는 각각 0.0007 pgTEQ/g와 0.0001 pgTEQ/g이었으며, 상주토양에서는 각각 0.0010 pgTEQ/g와 0.0001 pgTEQ/g이었다.

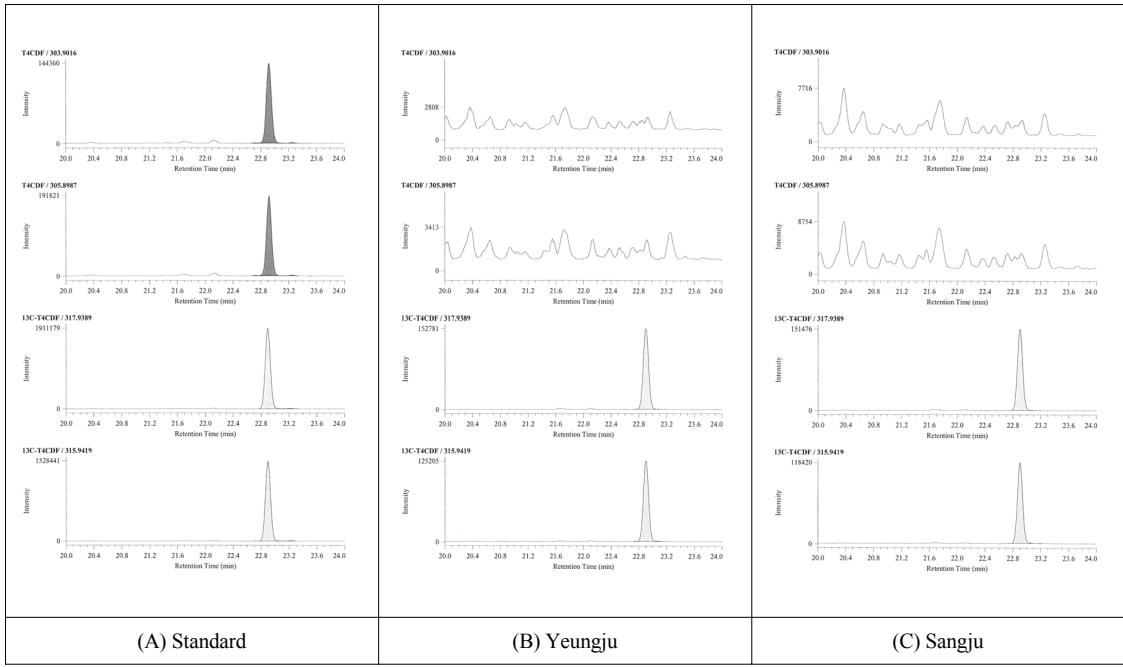


Fig. 4. HRGC-HRMS chromatogram of standard 2,3,7,8-T4CDF(A), and soil samples of Yeungju(B) and Sangju(C).

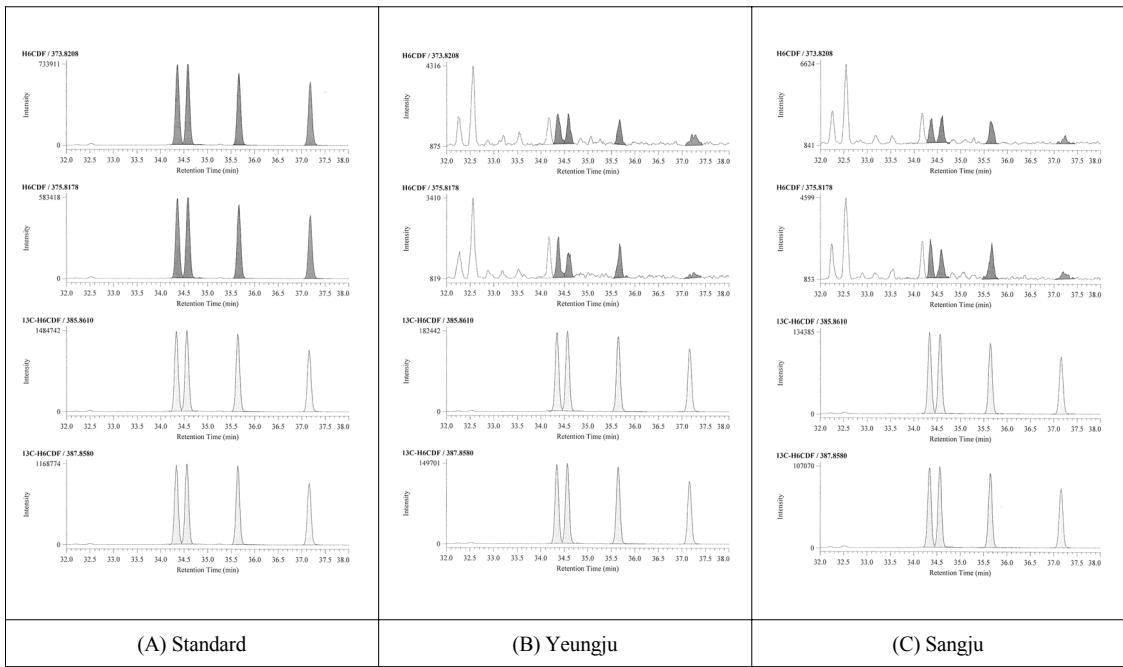


Fig. 5. HRGC-HRMS chromatogram of standard 1,2,3,4,7,8+1,2,3,6,7,8+1,2,3,7,8,9+2,3,4,6,7,8-H6CDF(A), and soil samples of Yeungju(B) and Sangju(C).

Dioxins의 발생경로는 주로 화학물질의 제조공정, 폐기물 소각공정, 열 공정 등이 있다. 이러한 경로로 발생된 dioxins은 1차로 대기, 토양, 물 등 모든 자연환경에 잔류한다. 자연환경에 잔류된 dioxins은 2차로 농산물, 축산물, 어폐류 등에 잔류하고 결국 인간에 노출된다(박 등, 2008; 이 등, 2007; 홍 등, 2003).

이러한 화합물의 위해성평가는 화합물의 독성과 화합물의 노출 농도를 곱하여 나타낸다(Dragan 와 Schrenk 2000; Sweeney 와 Mocarelli, 2000). 노출평가의 과정은 노출 시나리오를 결정하여 실제로 노출 환경에서 dioxins류의 농도를 측정하고 그 결과를 근거로 인체노출량을 결정하는 과정이다. 이 과정은 크게 환경노출도 평가와 인체노출평가로 구분된다(한, 1996; Tuomisto 등, 2004). 여기서 환경노출도를 평가하기 위해서는 자연환경 중에 잔류된 dioxins의 농도

를 측정하여야하며, 특히 토양 중 dioxins의 잔류 농도를 평가할 필요가 있다(이 등, 2009).

PCDFs 계열에서 토양 중 가장 많이 잔류된 dioxins은 O8CDF로 영주에서는 0.118 pg/g, 상주에서는 0.115 pg/g으로 나타났다. 그러나 독성등가농도(pgTEQ/g)는 2,3,4,7,8-Pe5CDF가 영주와 상주에서 각각 0.0048 pgTEQ/g와 0.0063 pgTEQ/g으로 가장 높았다. 이와 같이 dioxins의 농도는 pg/g과 pgTEQ/g으로 환산할 때 차이가 있음으로, 측정된 dioxins의 농도를 독성등가농도(pgTEQ/g)로 환산하여 검토할 필요가 있다.

3.3. 토양 중 Dioxins의 합계량

토양 중 dioxins의 합계량을 pg/g 농도로 계산하면 Table 5와 같았다. 영주 토양 중 PCDDs과 PCDFs를 합한 17종의 총 dioxins은 2.251 pg/g이었다. 여기서

Table 3. WHO TEQ of residual PCDFs(Polychlorinated dibenzofurans) in soil on Yeungju

Congeners	WHO-Toxic equivalence factor	Concentration	
		pg/g	pg WHO-TEQ/g
2,3,7,8 T4CDF	0.1	ND ¹⁾	ND
1,2,3,7,8 Pe5CDF	0.03	0.016	0.0004
2,3,4,7,8 Pe5CDF	0.3	0.016	0.0048
1,2,3,4,7,8 Hx6CDF	0.1	0.020	0.0020
1,2,3,6,7,8 Hx6CDF	0.1	0.015	0.0015
1,2,3,7,8,9 Hx6CDF	0.1	0.011	0.0011
2,3,4,6,7,8 Hx6CDF	0.1	0.017	0.0017
1,2,3,4,6,7,8 Hp7CDF	0.01	0.070	0.0007
1,2,3,4,7,8,9 Hp7CDF	0.01	0.011	0.0001
O8CDF	0.0003	0.118	0.0000

1) ND: Not detected

Table 4. WHO TEQ of residual PCDFs(Polychlorinated dibenzofurans) in soil on Sangju

Congeners	WHO-Toxic equivalence factor	Concentration	
		pg/g	pg WHO-TEQ/g
2,3,7,8 T4CDF	0.1	ND ¹⁾	ND
1,2,3,7,8 Pe5CDF	0.03	0.038	0.0011
2,3,4,7,8 Pe5CDF	0.3	0.021	0.0063
1,2,3,4,7,8 Hx6CDF	0.1	0.034	0.0034
1,2,3,6,7,8 Hx6CDF	0.1	0.033	0.0033
1,2,3,7,8,9 Hx6CDF	0.1	0.018	0.0018
2,3,4,6,7,8 Hx6CDF	0.1	0.043	0.0043
1,2,3,4,6,7,8 Hp7CDF	0.01	0.103	0.0010
1,2,3,4,7,8,9 Hp7CDF	0.01	0.015	0.0001
O8CDF	0.0003	0.115	0.0000

1) ND: Not detected

PCDDs와 PCDFs 계열은 각각 1.957 pg/g와 0.294 pg/g이었다.

영주 토양 중 PCDDs와 PCDFs 계열은 각각 1.957 pg/g와 0.294 pg/g이었으며, PCDDs과 PCDFs를 합한 17종의 총 dioxins은 2.251 pg/g이었다. 상주 토양 중 PCDDs와 PCDFs 계열은 각각 1.220 pg/g와 0.420 pg/g이었으며, PCDDs과 PCDFs를 합한 17종의 총 dioxins은 1.640 pg/g이었다.

한편 토양 중 dioxins의 합계량을 WHO-TEQ로 계산하면 Table 6과 같았다. 영주 토양 중 PCDDs와 PCDFs를 합한 17종의 총 dioxins은 0.0172 pgTEQ/g이었다. 여기서 PCDDs와 PCDFs 계열은 각각 0.0049 pgTEQ/g와 0.0123 pgTEQ/g으로 PCDFs 계열이 높게 나타났다. 한편 상주 토양 중 PCDDs와 PCDFs를 합한 17종의 총 dioxins은 0.0278 pgTEQ/g이었다. 여기서 PCDDs와 PCDFs 계열은 각각 0.0065 pgTEQ/g와 0.0213 pgTEQ/g으로 PCDFs 계열이 높게 나타났다.

토양 중 PCDDs와 PCDFs를 비교하여 보면 pg/g 농도에서는 PCDDs가 높았으나, TEQ(pgTEQ/g)로 환산하면 PCDFs가 높았다.

옥 등은(2010) 부산 대기 중에 PCDD/PCDFs의 농도가 입자상에서 73 fgTEQ/g, 가스 상에서 20 fgTEQ/m³ 이었다고 하였다. 또 다른 문헌에 따르면(한, 1996) Ufa 지역에 dioxins이 공기 중에 0.1~1 pgTEQ/m³, 음료수에 0.1~1 fgTEQ/g, 강물에 0.1~0.2 fgTEQ/g, 토양에 1~20 pgTEQ/g였다. 또한 dioxins이 Salavat 지역의 음료수에 0.001~0.003 fgTEQ/g, 강물에 0.004~1 fgTEQ/g, 토양에 0.6~0.8 pgTEQ/g였다.

문헌에 따르면(한, 1996) 도시공기에서 0.1 pgTEQ/m³, 농촌지역 공기에서 1 pgTEQ/m³, 공업지역 토양에서 135 pgTEQ/g, 농촌지역 토양에서 57 pgTEQ/g, UK 토양에서 1~57 pgTEQ/g이었다. 또한 토양 중에 dioxins이 Ufa 지역에서 1~20 pgTEQ/g, Sterhtamak 지역에서 1~3 pgTEQ/g, Salavat 지역에서 0.6~0.8 pgTEQ/g이었다. 또한 토양 중에 공장지역에서 135 pgTEQ/g, 농촌지역에서 5~7 pgTEQ/g이었다.

본 연구에서 영주와 상주에서 토양시료를 채취한 위치는 농촌지역으로 dioxins 농도를 위의 문헌치와 비교하여 보면 0.0172~0.0278 pgTEQ/g은 일반 농촌 자연환경 중 토양에서 검출되는 농도수준이라 사료된다.

Table 5. Concentration(pg/g) of residual total dioxins in soil

Yeungju		Sangju	
Concentration(pg/g)			
PCDDs	PCDFs	PCDDs	PCDFs
1.957	0.294	1.220	0.420
Total		2.251	1.640

Table 6. WHO TEQ(toxic equivalence quotient) of total dioxins in soil

Yeungju		Sangju	
Concentration(pg WHO-TEQ/g)			
PCDDs	PCDFs	PCDDs	PCDFs
0.0049	0.0123	0.0065	0.0213
Total		0.0172	0.0278

4. 결 론

경상북도 북부 영주와 상주지역의 인삼 재배지에서 토양시료를 채취하여 dioxins류의 PCDDs와 PCDFs를 합한 17종의 잔류성을 HRGC/HRMS로 분석한 결과는 다음과 같았다.

첫째, dioxins류 중 독성이 가장 강하여 WHO-TEF 값이 1.0인 2,3,7,8-T4CDD와 1,2,3,7,8-Pe5CDD 두 종류 모두 영주와 상주 토양에서 검출되지 않았다.

둘째, 2,3,7,8-T4CDF은 영주 토양에서 불검출 되었으며, 상주 토양에서도 검출되지 않았다.

셋째, 영주 토양 중 PCDDs와 PCDFs 계열은 각각 1.957 pg/g와 0.294 pg/g이었으며, PCDDs와 PCDFs를 합한 17종의 총 dioxins은 2.251 pg/g이었다. 한편 상주 토양 중 PCDDs와 PCDFs 계열은 각각 1.220 pg/g와 0.420 pg/g이었으며, PCDDs와 PCDFs를 합한 17종의 총 dioxins은 1.640 pg/g이었다.

넷째, 영주 토양 중 PCDDs와 PCDFs를 합한 17종의 총 dioxins은 0.0172 pgTEQ/g이었다. 여기서 PCDDs와 PCDFs 계열은 각각 0.0049 pg WHO-TEQ/g와 0.0123 pg WHO-TEQ/g이었다. 한편 상주 토양 중 PCDDs와 PCDFs를 합한 17종의 총 dioxins은 0.0278 pg WHO-TEQ/g이었다. 여기서 PCDDs와 PCDFs 계열은 각각 0.0065 pg WHO-TEQ/g와 0.0213 pg WHO-TEQ/g이었다.

다섯째, 토양 중 PCDDs와 PCDFs를 비교하여 보면, pg/g 농도에서는 PCDDs가 높았으나 TEQ(pgTEQ/g)

로 환산하면 PCDFs가 높았다.

감사의 글

본 연구는 2011년 대구한의대학교 기관연구비(2011-901-38)로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 강윤석, 최시내, 이미연, 차수진, 한지연, 최수미, 김정미, 민경란, 2004, 한국인 인체시료에서의 다이옥신등에 대한 모니터링-PCDD/DFs, PCBs 모유 모니터링 위해성 평가-, 식품의약품안전청연구보고서, 8(2), 2624-2625.
- 강준구, 2006, 폐기물소각시설에서 잔류성 유기오염물질(POPs)의 배출특성과 최적관리, 박사학위논문, 대구한의대학교.
- 김소희, 임동길, 김형수, 이석배, 김은정, 이경진, 김도형, 강혜순, 신승정, 이유정, 정진경, 김대형, 2006, 수입 식품 중 dioxins 모니터링(III), 식품의약품안전청연구보고서, 10, 183-184.
- 김정호, 2004, 경북 상주의 인삼 재배환경 중 유기염소계 농약 및 중금속의 잔류, 한국환경독성학회지, 19(2), 183-189.
- 김정호, 2011, 경북 북부 인삼 재배환경 중 co-planar PCBs의 잔류, 한국환경과학회지, 20(8), 987-995.
- 박건상, 오금순, 백옥진, 김동술, 임동길, 안종훈, 2008, 식품을 통한 dioxins, PCBs의 노출량 평가, 식품의약품안전청연구보고서, 12, 313-314.
- 서정혁, 김정미, 홍무기, 김창민, 최동미, 2003, Dual column-HRGC/ECD를 이용한 식품 중 PCBs 오염 실태조사, 분석과학, 16(2), 166-173.
- 식품의약품안전청, 2011, <http://www.kfda.go.kr>.
- 육곤, 박노진, 황성미, 이석형, 김지훈, 김성용, 2010, 부산의 대기 중 PCDD/DFs의 연간 변화와 가스/입자상 분배, 한국환경과학회지, 19(4), 447-457.
- 이성희, 조기철, 여현구, 2009, 토양 중 PBDEs와 PCBs의 농도분포, 한국환경보건학회지, 35(6), 510-516.
- 이종우, 오금순, 김동술, 서정혁, 백옥진, 김상엽, 강경모, 노기미, 임종갑, 나영준, 정원숙, 우건조, 2007, 식품 중 dioxins, PCBs에 대한 안전성 평가, 식품의약품안전청연구보고서, 11, 377-378.
- 채갑용, 김우성, 김상엽, 이선화, 김형수, 김용무, 이상효, 권오성, 2005, 수입식품 중 dioxins 모니터링(II), 식품의약품안전청연구보고서, 9, 330.
- 최동미, 서정혁, 김민정, 홍무기, 김창민, 송인상, 2003, 동위원소화석법 HRGC/HRMS에 의한 식품 중 co-planar PCBs 분석, 분석과학, 16(4), 325-332.
- 하배진, 2003, 다이옥신 저해능에 대한 어성초의 활성화 활성 효과, 한국환경과학회지, 12(6), 599-603.
- 한국과학기술연구원, 1996, Dioxin handbook, 동화기술.
- 홍무기, 최동미, 황인균, 서정혁, 이은주, 이강봉, 오금순, 김정미, 김민정, 김명철, 2003, 식품 중 dioxins 모니터링, 식품의약품안전청연구보고서, 7, 641.
- Birnbaum, L. S., Tuomisto, J., 2000, Non-carcinogenic effects of TCDD in animals, Food Addit. Contam., 17, 275-288.
- Dragan, Y. P., Schrenk, D., 2000, Animal studies addressing the carcinogenicity of TCDD (or related compounds) with an emphasis on tumour promotion, Food Additives and Contaminants, 17(4), 289-302.
- Geusau, A., Abraham, K., Geissler, K., Sator, M. O., Stingl, G., Tschachler, E., 2001, Severe 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin (TCDD) intoxication: clinical and laboratory effects, Environ. Health Perspect., 109, 865-869.
- Kiviranta, H., Vartiainen, T., Tuomisto, J., 2002, Polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans, and biphenyls in fishermen in Finland, Environ. Health Perspectives, 110, 355-361.
- Sweeney, M. H., Mocarelli, P., 2000, Human health effects after exposure to 2,3,7,8-TCDD, Food Addit. Contam., 17, 303-316.
- Tuomisto, J. T., Pekkanen, J., Kiviranta, H., Tukiainen, E., Vartiainen, T., Tuomisto, J., 2004, Soft-tissue sarcoma and dioxin: a case-control study, Int. J. Cancer., 108, 893-900.
- Van den Berg M., Birnbaum, L. S., Denison, M., De Vito, M., Farland, W., Feeley, M., Fiedler, H., Hakansson, H., Hanberg, A., Haws, L., Rose, M., Safe, S., Schrenk, D., Tohyama, C., Tritscher, A., Tuomisto, J., Tysklind, M., Walker, N., Peterson, R. E., 2006, The 2005 World Health Organization reevaluation of human and mammalian toxic equivalency factors for dioxins and dioxin-like compounds, Toxicol. Sci. 93, 223-241.