

수입 식육의 안전성 확보를 위한 polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins와 dibenzofurans 분석

김미경* · 김동규 · 김수연 · 최시원 · 권진욱 · 윤선중 · 송성옥 · 정갑수

국립수의과학검역원
(게재승인: 2008년 1월 30일)

Analysis of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans to assure safety of imported meat

MeeKyung Kim*, Dong-Gyu Kim, Sooyeon Kim, Si Weon Choi, Jin-Wook Kwon,
Seon Jong Yun, Sung Ok Song, Gab-Soo Chung

National Veterinary Research and Quarantine Service, Anyang 430-824, Korea

(Accepted: January 30, 2008)

Abstract : Polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins (PCDDs) and dibenzofurans (PCDFs) are ubiquitous and can contaminate the food chain. A study monitoring PCDD/Fs in imported meat was conducted at the National Veterinary Research and Quarantine Service (NVRQS, Republic of Korea) in order to maintain food safety from the bioaccumulative PCDD/Fs. Seventeen PCDD/Fs with toxic equivalency factors (TEFs) established by World Health Organization (WHO, 1998) were analyzed in imported beef, pork, and chicken by high resolution gas chromatography/mass spectrometry (HR-GC/MS). Results of the monitoring for the last 5 years are presented. The levels of PCDD/Fs were similar to other studies except two unusually high concentrations in pork and beef. Excessive levels greater than the Korean provisional maximum residue limit of PCDD/Fs were found in a sample of pork imported from Chile and a sample of beef imported from U.S, and those products were rejected and returned. There was no obvious trend or differences with respect to time or origin of meat in this study.

Keywords : beef, chicken, monitoring, PCDDs, PCDFs, pork

서 론

산업의 가속화에 따른 환경오염이 증가하면서 환경 오염물질이 인체에 직·간접적으로 영향을 미치며 특히 식품을 통하여 인체건강이 위협을 받게 되었다. 국가간의 왕래가 활발해지고 무역 장벽이 완화되면서 식품의 수·출입도 크게 증가하고 있으며 우리나라도 식품의 수입 의존도가 갈수록 높아지고 있는 추세이다. 1999년 벨기에 축산물의 다이옥신 오염사고는 당시 돼지고기를 수입한 우리나라에도 큰 파장을 불러 일으켰다. 동 사건은 그동안 미생물에 의한 식품사고에 집중되었던 연구와 관심을 체내 축적성이 있는 환경유래 유

해물질이 식품에 잔류 할 수 있음을 상기 시키는 계기가 되었다.

다이옥신은 polychlorinated dibenzo-*p*-dioxin(PCDDs) 이성질체 75종과 polychlorinated dibenzofuran(PCDFs) 이성질체 135종을 합하여 일컫는 용어이며 독성이 알려진 7종 PCDDs와 10종 PCDFs를 각 매체에서 분석하여 다이옥신 함량으로 표시한다. 다이옥신 등의 유해물질은 다양한 화학제품의 생산 및 폐기 과정에서 환경으로 배출되어 곡류나 물, 토양 등을 오염시킨다. 오염된 동물 또는 식물이 먹이 사슬을 통하여 동물과 사람의 체내로 유입되며 유해물질의 이행이 계속적으로 일어나게 된다 [13, 16]. 체내에서의 다이옥신 반감기를 길게는 8년까지

*Corresponding author: MeeKyung Kim
National Veterinary Research and Quarantine Service, Anyang 430-824, Korea
[Tel: +82-31-467-1982, Fax: +82-31-467-1872, E-mail: kimmk@nvrqs.go.kr]

로 추정하며 환경에서 자연현상이나 화학작용에 의해 다이옥신의 양이 감소하거나 독성이 변화되기는 하나 일단 환경으로 배출된 다이옥신은 오랜 기간동안 순환하게 된다 [14]. 또한 다이옥신은 지방 친화적인 화학적 성질로 인하여 지방이 많은 동물성 식품 및 어류에 많이 축적된다.

1999년 벨기에에서 발생한 축산물의 다이옥신 오염 사건은 사료용 유지에 polychlorinated biphenyls(PCBs)가 혼입되었고, PCBs에 포함되어 있던 다이옥신의 인체 독성으로 인하여 문제가 되었던 사건이다. 따라서 동 사건에 관련된 시료에서 일차적으로 PCBs를 분석하고 일정량 이상의 PCBs가 검출된 경우 다이옥신 분석을 실시하였다. 다이옥신 분석은 시간이 오래 걸리고 분석비용이 비싸므로 문제의 유치로부터 검출된 PCBs와 다이옥신의 농도 비율을 조사하여 설정한 방법이였다. 당시 우리나라는 벨기에로부터 수입된 돼지고기에 대하여 같은 방법으로 검사를 실시하여 축산물의 안전성을 검증하였다.

이후 국립수의과학검역원에서는 2000년 9월 1일부터 수입축산물에 대한 다이옥신 검사를 실시하여 안전한 축산물의 국내 유통을 확보하고자 하였다. 이에 본 글에서는 다이옥신 분석방법과 최근 5년간 수행한 수입축산물의 다이옥신 분석결과에 대한 고찰을 통하여 축산물 안전성 확보의 결실을 소개하고자 하였다.

재료 및 방법

국립수의과학검역원의 “축산물 중 유해물질 분석법 편람”에 수록된 축산물 중 다이옥신 분석법과 미국 환경보호청(US EPA)의 다이옥신 분석법 “Method 1613”에 따라 동위원소희석법으로 시료전처리 및 기기분석을 실시하였다 [1, 7].

표준물질 및 시약

세계보건기구(WHO, 1998)에서 설정한 독성등가계수(toxic equivalency factor, TEF)를 지닌 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-*p*-dioxin 등 17종 PCDD/Fs 을 분석대상 물질로 선정하였다(Table 1). 동위원소표지된 표준물질(labeled compound spiking solution, LCS), 정제용 표준물질(cleanup standard solution, CSS), 기기보정용 표준물질(internal standard solution, ISS)로 사용된 PCDD/Fs는 Wellington Laboratories(Canada) 제품을 사용하였고 검량선 작성용 표준물질(calibration standard solution, CS3, CS4, CS5)은 Cambridge Isotope Laboratories(USA) 제품을 사용하였다. 헥산, 노난, 메틸렌클로라이드, 에틸아세테이트, 벤젠, 톨루엔 등은 모두 분석시약급(HPLC grade) 이상을 사용하였으며 실리카겔은 Merck(Germany) 제품으로 입자크기 0.063~0.2 mm의 칼럼 크로마토그래피용을 사용하였다.

분석대상시료

국립수의과학검역원에 수입 신고 되어진 제품 중 수입자동화 정보시스템(Automatic Import Information System, AIIS)에 의해 무작위로 선정되는 쇠고기, 돼지고기, 닭고기를 시료로 사용하였다.

분석기기

고분해능 질량분석기(High Resolution Mass Spectrometer; Micromass, UK) AutoSpec-Ultima NT, 기체크로마토그래프(Gas Chromatograph, GC; Hewlett Packard, USA) HP6890, 자동시료주입장치(Autosampler; CTC, Swiss) A200SE를 사용하였고 GC 칼럼은 DB-5MS capillary column(60 m × 0.25 mm i.d., 0.25 μm film thickness; J & W, USA)을 사용하였다. 다이옥신 정제장치는 Power-Prep (Fluid Management System, USA)을 이용하였다.

Table 1. Toxic equivalency factor (TEF) for PCDD/Fs (WHO, 1998)

| PCDD | TEF | PCDF | TEF |
|----------------------|--------|----------------------|--------|
| 2,3,7,8-TCDD | 1 | 2,3,7,8-TCDF | 0.1 |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | 1 | 1,2,3,7,8-PeCDF | 0.05 |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | 0.1 | 2,3,4,7,8-PeCDF | 0.5 |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | 0.1 | 1,2,3,4,7,8-HxCDF | 0.1 |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD | 0.1 | 1,2,3,6,7,8-HxCDF | 0.1 |
| 1,2,3,4,6,7,8-HxCDD | 0.01 | 2,3,4,6,7,8-HxCDF | 0.1 |
| 1,2,3,4,6,7,8,9-OCDD | 0.0001 | 1,2,3,7,8,9-HxCDF | 0.1 |
| | | 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 0.01 |
| | | 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 0.01 |
| | | 1,2,3,4,6,7,8,9-OCDF | 0.0001 |

시료 전처리

식육의 지방 부분을 세절하여 쇠고기와 돼지고기는 80°C 이하, 닭고기는 50°C 이하의 오븐에서 지방을 액화하였다 [3, 6]. 액화한 지방 5 g을 500 ml 병에 취한 후 헥산 200 ml를 넣어 혼합한 후 LCS 100 µl를 첨가하였다. 30% 산성 실리카겔 30~100 g을 넣고 2 h 동안 흔들어서 지방을 제거한 후 추출액을 무수황산나트륨에 통과시켜 잔존하는 수분을 제거하고 SpeedVac System

(AES2010; Savant Instrument, USA)을 이용하여 1~2 ml로 농축하였다. 농축액을 다시 헥산으로 용해시키고 CSS 100 µl를 첨가한 후 실리카, 알루미늄, 활성탄 칼럼이 장착된 정제장치 Power-Prep을 이용하여 다이옥신 이외의 불순물을 제거하였다. 이때 칼럼을 통과시켜주는 용매는 헥산 90 ml와 2% 메틸렌클로라이드/헥산 60 ml로 실리카 칼럼과 알루미늄 칼럼을 차례로 통과시켜주었고, 이어서 50% 메틸렌클로라이드/헥산 120 ml로 실리카, 알루미늄, 활성탄 칼럼을 통과시켰다. 활성탄에 흡착된 다이옥신을 1차로 에틸아세테이트/벤젠(1 : 1, v/v) 4 ml로 용출하고 이어서 헥산 10 ml 및 톨루엔 80 ml로 용출하였다. 이 용출액을 회전식 증발농축기를 이용하여 건조시킨 후 다시 소량의 헥산으로 충분히 녹여 GC 바이알에 옮기고 질소농축기를 이용하여 헥산을 완전히 날려보낸 후 다시 노란 90 µl로 용해시켰다. 이 노란 용액에 ISS 10 µl를 첨가하여 HR-GC/MS 분석용 검액으로 사용하였다. Fig. 1에 시료전처리 과정을 도식으로 나타내었다.

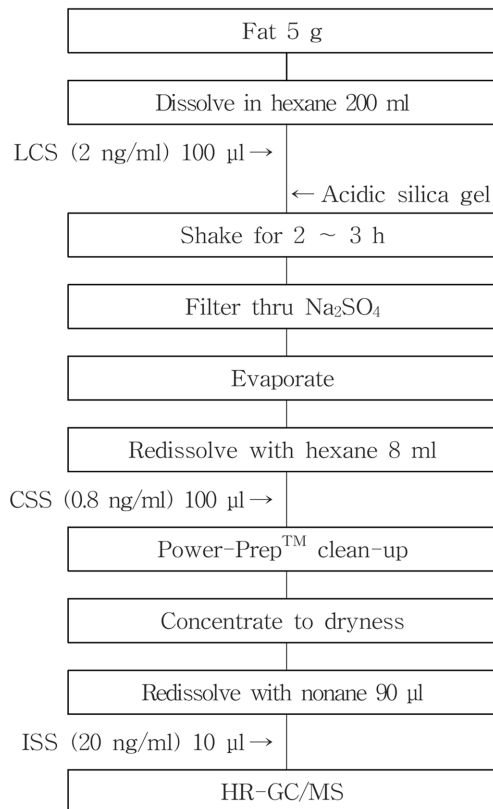


Fig. 1. Flow chart for analysis of fatty samples.

기기 분석

물질의 분리 및 확인을 위한 GC 조건은 Table 2와 같다. 질량분석기의 조건은 Table 3에 이온화원(EI+)을 포함한 조건을, Table 4에 정성분석을 위한 이온 질량을 다이옥신에 치환된 염소수에 따라 5 그룹으로 나누어 나타내었다. 최종 검액 1~2 µl를 기기에 주입하여 분석하였다.

Table 3. HR-MS conditions for the PCDD/Fs

| Descriptor | Condition |
|------------------------|-----------|
| Source temperature | 260°C |
| Electron energy | 35 eV |
| Trap | 500 µA |
| Interface temperature | |
| Capillary line 1 and 2 | 260°C |
| Re-entrant | 260°C |
| PFK septum | 160°C |

Table 2. GC conditions for the PCDD/Fs

| Descriptor | Condition |
|----------------------------|--|
| Instrument | HP 6890 |
| Column | DB-5MS (60 m × 0.25 mm i.d., 0.25 µm film thickness) |
| Carrier gas | Helium (1.0 ml/min) |
| Injection port temperature | 260°C |
| Oven temperature program | Initial temperature: 180°C |
| | Time (min) Rate (°C/min) Temp. (°C) |
| | 10 15 240 |
| | 10 10 260 |
| | 12 5 290 |

다이옥신 농도 계산

지방이 많은 시료의 경우, 다이옥신 농도는 HR-GC/MS에서 분석하여 계산된 농도를 분석시료의 지방 무게로 나누어준 후 독성등가계수를 곱하여 g 지방당 다이옥신 농도로 표기하였다. 독성등가계수를 곱하여 계산된 농도를 독성등가값에 해당하는 TEQ(Toxic equivalent) 농도라 한다.

결과 및 고찰

호주 등 5개 국가에서 수입된 쇠고기에 대한 국가별, 연도별 다이옥신 분석결과를 Table 5에 나타내었다. 시료의 무작위 추출 비율은 수입 물량에 비례하게 되므로 호주에서 쇠고기 수입이 많았음에 따라 분석 시료수도 가장 많았다. 5년간 분석한 총 시료수는 340

Table 4. Group of m/z for PCDD/Fs

| Channel | Group 1 | Group 2 | Group 3 | Group 4 | Group 5 |
|---------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 303.9016 (TCDF) | 335.8597 (PeCDF) | 373.8207 (HxCDF) | 407.7818 (HpCDF) | 441.7428 (OCDF) |
| 2 | 305.8987 | 341.8568 | 375.8178 | 409.7788 | 443.7398 |
| 3 | 315.9419 (¹³ C-TCDF) | 351.9000 (¹³ C-PeCDF) | 385.8610 (¹³ C-HxCDF) | 419.8220 (¹³ C-HpCDF) | 457.7377 (OCDD) |
| 4 | 317.9389 | 353.8970 | 387.8580 | 421.8191 | 459.7348 |
| 5 | 319.8965 (TCDD) | 355.8546 (PeCDD) | 389.8156 (HxCDD) | 423.7767 (HpCDD) | 469.7780 (¹³ C-OCDD) |
| 6 | 321.8936 | 357.8517 | 391.8127 | 425.7737 | 471.7750 |
| 7 | 331.9368 (¹³ C-TCDD) | 367.8949 (¹³ C-PeCDD) | 401.8559 (¹³ C-HxCDD) | 435.8169 (¹³ C-HpCDD) | |
| 8 | 333.9338 | 369.8919 | 403.8530 | 437.8140 | |

Table 5. Levels of PCDD/Fs in beef imported from five countries for year 2002-2006 (pg WHO-TEQ/g fat)

| Country | 2002 | | 2003 | | 2004 | | 2005 | | 2006 | |
|-------------|------|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|
| | N | Mean (min.~max.) | N | Mean (min.~max.) | N | Mean (min.~max.) | N | Mean (min.~max.) | N | Mean (min.~max.) |
| Australia | 39 | 0.02 (nd~0.34) | 18 | 0.002 (nd~0.02) | 62 | 0.18 (nd~2.79) | 40 | 0.10 (nd~0.95) | 25 | 0.02 (nd~0.40) |
| Canada | 6 | 0.19 (0.04~0.44) | 1 | 0.01 | | | | | | |
| Mexico | | | | | 2 | 0.74 (nd~1.47) | 1 | 0.38 | | |
| New Zealand | 26 | 0.06 (nd~0.61) | 5 | nd | 25 | 0.20 (nd~0.88) | 18 | 0.11 (nd~0.41) | 11 | 0.03 (nd~0.19) |
| USA | 36 | 0.13 (nd~1.42) | 22 | 0.22 (nd~1.15) | | | | | 2 | 0.07 (nd~1.67) |

N: Number of samples. nd: not detected.

Table 6. Levels of PCDD/Fs in pork imported from fifteen countries for year 2002-2006 (pg WHO-TEQ/g fat)

| Country | 2002 | | 2003 | | 2004 | | 2005 | | 2006 | |
|-----------------|------|----------------------|------|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|
| | N | Mean (min.~max.) | N | Mean (min.~max.) | N | Mean (min.~max.) | N | Mean (min.~max.) | N | Mean (min.~max.) |
| Australia | 1 | 0.03 | 1 | nd | 6 | 0.14 (nd~0.85) | 1 | 0.85 | | |
| Austria | 4 | 0.01 (nd~0.03) | 1 | nd | 3 | 0.12 (nd~0.36) | 4 | 0.11 (nd~0.02) | 2 | 0.002 (nd~0.003) |
| Belgium | 12 | 0.01 (nd~0.09) | 5 | 0.003 (nd~0.01) | 17 | 0.10 (nd~0.93) | 3 | 0.01 (nd~0.04) | 4 | 0.001 (nd~0.004) |
| Canada | 2 | 0.001 (nd~0.001) | 3 | 0.14 (nd~0.43) | 6 | 0.03 (nd~0.16) | 2 | nd | 6 | nd |
| Chile | | | 89 | 0.06 (nd~3.32) | 17 | 0.06 (nd~0.38) | 6 | 0.03 (nd~0.15) | 7 | nd |
| Denmark | 7 | 0.002 (nd~0.01) | 3 | 0.002 (nd~0.01) | 7 | 0.01 (nd~0.08) | 2 | 0.01 (nd~0.02) | 3 | nd |
| Finland | 1 | nd | | | 1 | nd | | | | |
| France | | | 2 | nd | 12 | 0.003 (nd~0.02) | 4 | 0.05 (nd~0.18) | 1 | nd |
| Hungary | 6 | 0.05 (nd~0.20) | 4 | nd | 5 | 0.03 (nd~0.11) | 2 | nd | 4 | nd |
| Mexico | | | | | | | | | 1 | 0.01 |
| The Netherlands | 1 | 0.004 | 1 | nd | 8 | 0.01 (nd~0.05) | 2 | 0.11 (nd~0.21) | | |
| Poland | 3 | nd | | | 2 | nd | 1 | 0.83 | 5 | 0.16 (nd~0.81) |
| Spain | | | | | 3 | 0.001 (nd~0.002) | | | 2 | 0.005 (nd~0.01) |
| Sweden | 1 | nd | | | 1 | nd | | | | |
| USA | 3 | 0.37 (0.001~1.11) | 4 | 0.11 (nd~0.44) | 13 | 0.08 (nd~0.64) | 6 | 0.06 (nd~0.18) | 16 | 0.03 (nd~0.23) |

N: Number of samples. nd: not detected.

시료이었으며 이중 2006년 12월 미국산 수입 쇠고기 1개 시료(Table 5에서 제외하였음)에서 우리나라 잠정

잔류허용기준(5 pg/g fat)을 초과한 6.26 pg/g fat의 다이옥신이 검출되어 해당제품이 반송되었다. 국가별, 연

Table 7. Levels of PCDD/Fs in chicken imported from eight countries for year 2002-2006 (pg WHO-TEQ/g fat)

| Country | 2002 | | 2003 | | 2004 | | 2005 | | 2006 | |
|----------|------|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|
| | N | Mean (min.~max.) | N | Mean (min.~max.) | N | Mean (min.~max.) | N | Mean (min.~max.) | N | Mean (min.~max.) |
| Brazil | | | | | | | 1 | 0.63 | 9 | 1.17 (0.27~3.44) |
| Canada | 2 | 0.96 (nd~1.92) | | | | | | | | |
| China | 1 | 1.26 | | | | | | | | |
| Denmark | | | | | 6 | 0.03 (nd~0.05) | 5 | 0.18 (nd~0.41) | | |
| England | | | | | | | 1 | 0.01 | | |
| France | | | | | 5 | 0.05 (nd~0.16) | | | | |
| Thailand | 23 | 0.21 (nd~1.45) | 15 | 0.27 (nd~1.67) | 1 | nd | | | | |
| USA | 30 | 0.18 (nd~1.30) | 28 | 0.08 (nd~1.09) | 2 | nd | 4 | 0.12 (nd~0.17) | 6 | 0.004 (nd~0.02) |

N: Number of samples. nd: not detected.

도별 검출농도에서 큰 차이는 없었으며, 다이옥신이 환경에 널리 산재되어 있으므로 소의 성장과정 중 환경을 통한 직접 노출 또는 오염된 사료를 통한 간접 노출이 식육의 다이옥신 잔류농도에 변화를 줄 수 있었을 것이다.

Table 6에 돼지고기에서 다이옥신을 분석한 결과를 국가별, 연도별로 분류하여 놓았으며, 2002년부터 2006년까지 총 15개 국가에서 수입된 돼지고기 중 338 시료를 분석하였다. 주로 유럽 국가로부터 돼지고기 수입이 많았으며, 2003년에는 칠레에서 돼지고기 수입이 많았는데 90 시료 분석 중 1개 시료(Table 6에서 제외하였음)에서 7.5 pg/g fat의 다이옥신이 검출되어 해당제품이 반송되었다. 일반적으로 돼지고기의 다이옥신 농도는 쇠고기에 비하여 낮았으며 쇠고기와 마찬가지로 국가별, 연도별 검출농도에서 큰 차이는 보이지 않았다.

브라질 등 8개 국가에서 수입된 닭고기 139개 시료에서 분석한 다이옥신 농도를 Table 7에 나타내었다. 2002~2003년도에는 태국과 미국으로부터 닭고기 수입

이 많았으나 최근에는 브라질과 덴마크로부터의 수입이 증가되고 있다. 분석대상 시료수는 연도별로 수입신고 되어진 물량에 따라 비례적으로 선정되었다.

종합적으로, 여러 국가에서 수입되어진 쇠고기, 돼지고기 및 닭고기에서 분석된 다이옥신 농도를 연도별로 평균 및 검출범위를 계산하여 Table 8에 나타내었다. 2002년부터 2006년까지 분석된 시료의 검출 범위는, 쇠고기는 불검출에서 최대 2.79 pg/g fat, 돼지고기는 불검출에서 최대 3.32 pg/g fat, 닭고기는 불검출에서 최대 3.44 pg/g fat이었다. 쇠고기, 돼지고기, 닭고기에서 각각의 최대검출치 1건을 제외하고는 대부분의 시료에서 검출된 다이옥신 농도는 불검출~1.5 pg/g fat 수준이었다. 기준 초과 다이옥신이 검출된 2003년 돼지고기 1개 시료와 2006년 쇠고기 1개 시료는 관련된 해당 제품이 반송되었으므로 Table 5, 6, 7 및 8의 시료수와 검출 농도 계산에서 제외하였다.

각 국가의 환경 및 급여하는 동물용 사료가 다르고, 한 국가라 할지라도 지역과 연도에 따라 변화가 있을 수

Table 8. Levels of PCDD/Fs in imported beef, pork, and chicken in each year (pg WHO-TEQ/g fat)

| Year | Beef | | Pork | | Chicken | |
|------|------|---------------------|------|---------------------|---------|---------------------|
| | N | Mean (min.~max.) | N | Mean (min.~max.) | N | Mean (min.~max.) |
| 2002 | 107 | 0.08 (nd~1.42) | 41 | 0.04 (nd~1.11) | 56 | 0.24 (nd~1.92) |
| 2003 | 46 | 0.10 (nd~1.15) | 113 | 0.06 (nd~3.32) | 43 | 0.15 (nd~1.67) |
| 2004 | 89 | 0.20 (nd~2.79) | 101 | 0.06 (nd~0.93) | 14 | 0.03 (nd~0.16) |
| 2005 | 59 | 0.11 (nd~0.95) | 31 | 0.09 (nd~0.85) | 11 | 0.18 (nd~0.63) |
| 2006 | 38 | 0.07 (nd~1.67) | 51 | 0.03 (nd~0.81) | 15 | 0.73 (nd~3.44) |

N: Number of samples. nd: not detected.

Table 9. Levels of PCDD/Fs in meat from various studies

| Country | Food | Concentration (pg WHO-TEQ/g fat) | Reference |
|-----------------|---------------|----------------------------------|-----------|
| Belgium | beef | 1.56 | 8 |
| | pork | 0.17 | |
| | chicken | 0.35 | |
| Egypt | beef | 2.88 ~ 2.95 | 9 |
| | chicken | 1.35 ~ 1.37 | |
| Italy | beef | 0.160 | 10 |
| | pork | 0.109 | |
| | poultry | 0.126 | |
| Japan | pig fat | 0.63 | 11 |
| | chicken fat | 1.71 | |
| The Netherlands | beef | 2.05 | 12 |
| | pig | 0.47 | |
| | poultry | 2.78 | |
| Slovak Republic | beef | 1.15 | 13 |
| | pork | 0.30 | |
| | chicken | 0.51 | |
| Spain | beef | 0.7 | 14 |
| | pork | 0.3 | |
| | chicken | 0.8 | |
| USA | beef | 0.75 | 15 |
| | hogs | 0.16 | |
| | young chicken | 0.18 | |

있으므로, 다이옥신 분석 결과에서 특정한 농도 변화가 관찰되지는 않았다. 소에 비하여 성장기간이 짧은 돼지와 닭에서도 다이옥신 농도는 유사하였으며 특히 닭에서는 다소 높은 경향을 나타내기도 하였다. 이는 가축 사료와 사육 환경이 다이옥신의 가축 체내 축적에 영향을 미칠 수 있음에도 불구하고 다양한 국가의 여러 지역에서 생산된 제품의 평균 농도와 검출 범위로 표현되었기 때문일 것이다. 각 국가 또는 지역의 사육 환경과 급여 사료의 종류를 파악 할 수는 없으므로 잔류 다이옥신의 오염원은 알 수가 없었고, 다이옥신 발생원을 줄이는 근본적인 대책이 각 국가마다 수행되어야 식품의 다이옥신 오염을 감소시킬 수 있을 것이다. Table 9에 각 국가별로 조사된 식육의 다이옥신 농도를 정리하였다. 벨기에에서 돼지고기, 네덜란드에서 닭고기, 미국에서 쇠고기, 돼지고기 및 닭고기가 수입되었으며, 본 연구에서 분석한 평균 농도는 외국의 검출 사례에 비하여 유사하거나 다소 낮은 농도를 보였다 [2, 4, 5, 8-10, 12, 15]. 이는 분석결과 계산에서 불검출을 처리하는 방법에 따라 달라질 수 있는 농도의 차이와 불검출 시료수에 따라 낮아질 수 있는 평균값에 기인한 것으로 추정된다. 본 연구에서는 불검출(not detected, nd)을 "0"으로 계산하였고 연구자에 따라 $nd = \frac{1}{2} LOD$ 또는 $nd = LOD$ 로 계산하기도 한다. 불검출 처리를 $nd = \frac{1}{2} LOD$ 또는 $nd = LOD$ 로 처리함은 다이옥신이 이미 자연에 널리 존재하므로 많은 식품에서 다이옥신이 검출될 수 있음을 전제로 바탕 농도(background level)를 부여하는 계산법이다 [11, 17].

다이옥신 분석은 고도로 숙련된 전문 인력과 고가의 분석 장비 및 비용이 필요하며 오랜 분석 시간이 소요되는 관계로 어려움이 있으나 식육의 안전성 확보를 위하여 수행되어지고 있다.

결 론

수입 식육의 안전성 확보를 위하여 쇠고기, 돼지고기 및 닭고기에서 PCDD/Fs 17종을 분석하였다. 분석방법은 미국 환경보호청(US EPA)의 Method 1613B를 근간으로 하였고, 지방이 많은 시료의 전처리 방법 중 일부를 개선하여 HR-GC/MS에 의해 정성 및 정량 분석을 실시하였다. 외국의 다이옥신 잔류조사 자료에 비하여 많은 시료가 분석되었고 다이옥신이 검출되지 않은 시료가 많았으며 전체적으로 안전한 수준이었다. 가축의 사육 환경과 급여하는 사료에 따라 가축 체내로 유입되는 다이옥신 농도에 차이가 있을 수 있으나, 본 연구 결과에서는 연도별, 국가별, 품목별 다이옥신 농도에서 큰 차이는 발견 할 수 없었다.

참고문헌

1. 국립수의과학검역원. 축산물 중 유해물질 분석법 편람: 환경유래 유해물질 편. pp. 3-34, 국립수의과학검역원, 안양, 2002.
2. Baars AJ, Bakker MI, Baumann RA, Boon PE, Freijer JI, Hoogenboom LAP, Hoogerbrugge R, van Klaveren JD, Liem AKD, Traag WA, de Vries J. Dioxins, dioxin-like PCBs and non-dioxin-like PCBs in foodstuffs: Occurrence and dietary intake in The Netherlands. *Toxicol Lett* 2004, **151**, 51-61.
3. Bester K, De Vos P, Le Guern L, Harbeck S, Hendrickx F, Kramer GN, Linsinger T, Mertens I, Schimmel H, Sejerøe-Olsen B, Pauwels J, De Poorter G, Rimkus GG, Schlabach M. Preparation and certification of a reference material on PCBs in pig fat and its application in quality control in monitoring laboratories during the Belgian "PCB-crisis". *Chemosphere* 2001, **44**, 529-537.
4. Bocio A, Domingo JL. Daily intake of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins/polychlorinated dibenzofurans (PCDD/PCDFs) in foodstuffs consumed in Tarragona, Spain: A review of recent studies (2001-2003) on human PCDD/PCDF exposure through the diet. *Environ Res* 2005, **97**, 1-9.
5. Chovancová J, Kočan A, Jursa S. PCDDs, PCDFs and dioxin-like PCBs in food of animal origin (Slovakia). *Chemosphere* 2005, **61**, 1305-1311.
6. Covaci A, Ryan JJ, Schepens P. Patterns of PCBs and PCDD/PCDFs in chicken and pork fat following a Belgian food contamination incident. *Chemosphere* 2002, **47**, 207-217.
7. EPA. Method 1613: Tetra-through octa-chlorinated dioxins and furans by isotope dilution HRGC/HRMS (Revision B). US EPA, Washington DC, 1994.
8. Focant JF, Eppe G, Pirard C, Massart AC, André JE, De Pauw E. Levels and congener distributions of PCDDs, PCDFs and non-ortho PCBs in Belgian foodstuffs: Assessment of dietary intake. *Chemosphere* 2002, **48**, 167-179.
9. Guruge KS, Seike N, Yamanaka N, Miyazaki S. Polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins, -dibenzofurans, and biphenyls in domestic animal food stuff and their fat. *Chemosphere* 2005, **58**, 883-889.
10. Huwe J, Hoffman MK, Deyrup C, Hulebak K, Larsen G, Zaylskie R, Lorentzen M, Clinch N. A Survey of PCDD/Fs and co-planar PCBs in the US meat and poultry supply in 2002-2003. *Organohalogen*

- Compd 2004, **66**, 1942-1946.
11. **Huwe JK, Smith DJ.** Laboratory and on-farm studies on the bioaccumulation and elimination of dioxins from a contaminated mineral supplement fed to dairy cows. *J Agric Food Chem* 2005, **53**, 2362-2370.
 12. **Loutfy N, Fuerhacker M, Tundo P, Raccanelli S, Ahmed MT.** Monitoring of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans, dioxin-like PCBs and polycyclic aromatic hydrocarbons in food and feed samples from Ismailia city, Egypt. *Chemosphere* 2007, **66**, 1962-1970.
 13. **McLachlan M.** A simple model to predict accumulation of PCDD/Fs in an agricultural food chain. *Chemosphere* 1997, **34**, 1263-1276.
 14. **Sinkkonen S, Paasivirta J.** Degradation half-life times of PCDDs, PCDFs and PCBs for environmental fate modeling. *Chemosphere* 2000, **40**, 943-949.
 15. **Taioli E, Marabelli R, Scortichini G, Migliorati G, Pedotti P, Cigliano A, Caporale V.** Human exposure to dioxins through diet in Italy. *Chemosphere* 2005, **61**, 1672-1676.
 16. **Wagrowski DM, Hites RA,** Partitioning of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans between the atmosphere and corn. *Environ Sci Technol* 1998, **32**, 2389-2393.
 17. **Winters D, Cleverly D, Meier K, Dupuy A, Byrne C, Deyrup C, Ellis R, Ferrario J, Harless R, Leese W, Lorber M, McDaniel D, Schaum J, Walcott J.** A statistical survey of dioxin-like compounds in United States beef: A Progress Report. *Chemosphere* 1996, **32**, 469-478.