동물성식품의 다이옥신 관리 동향

Overview of Dioxin in Food of Animal Origin

김 미 경
MeeKyung Kim

국립수의과학검역원 독성화학과
National Veterinary Research and Quarantine Service
Residue Chemistry and Toxicology Division

오늘날 식품의 국제적 교류가 매우 활발해짐에 따라 생산지와 소비지가 따로 없으며, 외국에서 일어난 식품사고가 이제 더 이상 남의 일로만 방치될 수 없는 현실이 되고 있다. 생산과 소비에 국경이 없어짐에 따라 우리나라와 같이 동물성식품의 수입 비중이 높은 국가에서는 철저한 수입식품의 안전관리가 요구되고 있다. 최근 수출·입 식품에서 멜라민을 비롯하여 다이옥신, 클렌부테롤 등 잔류화학물질이 검출되는 식품사고가 빈번히 일어나고 있으며 국가간 품질관리의 기준이 달라 국제적 분쟁이 발생하기도 한다. 따라서 CODEX(국제식품규격위원회)를 중심으로 이러한 분쟁을 최소화하기 위하여 국제표준 및 기준을 설정하여 권고하고 있다. 또한 국가별로 동물성식품의 안전성을 확보하기 위해서 잔류물질 검사 및 모니터링을 수행하고 있으며 그 결과와 관련정보를 국가간에 신속하게 공유하여 수출·입 및 자국 식품의 신뢰성을 높이고자 노력을 경주하고 있다.

국립수의과학검역원(이하 검역원)에서는 동물성식품의 안전성을 확보하고 소비자의 건강 보호를 위해 동물용의약품, 농약 및 환경오염물질의 잔류물질 검사와 모니터링 프로그램을 지속적으로 수행하고 있다. 이에 본고에서는 분석과정이 매우 복잡하고 까다로운 다이옥신의 특성과 분석방법을 살펴보고 우리나라의 검사 능력 및 정보 공유 등 국제사회에 크게 기여한 실적을 소개하고자 한다.

1. 다이옥신의 특성과 동물성식품과의 관계

동물성식품에 잔류할 수 있는 환경오염물질은 대부분 화학적으로 매우 안정하여 환경에 잔류하는 시간이 길며 지방친화성이 있는 물질들은 체내축적이 이루어지면서 먹이사슬을 통하여 동물체내에 이르게 된다. 환경오염물질이 인체에 이르게 되는 주원인의 90% 이상이 식품에 의하며 특히 어류, 육류, 우유 및 유제품을 통하여 인체로 유입된다.

환경오염물질 중 가장 독성이 강하고 문제시 되어온 다이옥신은 쓰레기의 소각, 종이 또는 펄프의 표백과정, 여러 종

*Correspondence to: MeeKyung Kim,
National Veterinary Research and Quarantine Service, 335 Joongangro Manangu Anyang Gyeonggido, 430-757, Korea
Tel: 82-31-467-1982
E-mail: mkim@korea.kr

류의 플라스틱 제조, 유기 염소계 농약의 제조 등에서 배출 또는 생성되어 환경에 산재하게 된다. 다이옥신은 물에 대한 용해도가 낮고(tetra-CDD 8 ~ 483 ng/L, octa-CDD 0.074 ~ 1.97 ng/L, at 20℃ ~ 25℃) 옥탄올/물 분배계수가 높아(log Kow = 4.75 ~ 8.20, at 20℃ ~ 25℃) 지방친화성을 가지므로 어류 및 육류에 잔류가능성이 있는 것이다. 다이옥신의 독성은 생식 기능장애, 호르몬 조절기능의 변화, 면역체계의 이상, 암 유발 가능성 등이 알려져 있다. 다이옥신은 염화탄화수소 화합물로 서로 비슷한 화학적 구조를 가지는 PCDD (polychlorinated dibenzo-*p*-dioxin)와 PCDF(polychlorinated dibenzofuran)를 통칭하여 다이옥신이라 하며 치환되는 염소의 수에 따라 75종의 PCDD와 135종의 PCDF 이성질체가 존재한다. 이중 독성이 알려진 7종 PCDD와 10종 PCDF를 독성이 가장 강한 2,3,7,8-TCDD를 기준으로 하여 독성등가계수(Toxic Equivalent Factor, TEF)를 정하고 분석시료에서 검출되는 다이옥신의 농도에 곱하여 독성등가값(Toxic Equivalency)으로 나타낸다.

2. 잔류허용기준 및 일일섭취허용량

인체에 노출되는 다이옥신을 관리하기 위하여 환경 및 식품의 각 매체별로 잔류허용기준을 설정하고 있다. 우리나라는 식육 중 다이옥신 잔류허용기준을 소고기 4.0, 돼지고기 2.0, 닭고기 3.0 pg TEQ/g fat 이하로 설정하여 운용하고 있다. 유럽연합이 동물성식품의 다이옥신 잔류허용기준을 설정하고 있으며 그 이외의 국가는 기준을 설정하고 있지 않다.

또한 인체 건강을 확보하기 위한 방편의 하나로 일일섭취허용량(Tolerable Daily Intake, TDI)을 정하는데, 이는 음식물, 호흡, 피부접촉 등을 통하여 인체에 유해물질이 유입되는 노출 또는 섭취에 대한 허용기준을 의미한다. 다이옥신의 경우 90% 이상이 음식물을 통한 노출이고 1 ~ 3%는 호흡에 의한 것으로 알려져 있다. TDI는 사람이 평생(70년) 동안 섭취하여도 건강에 지장이 없는 농도 또는 100만 명중 1명이 암에 걸릴 수 있는 농도를 의미하는데, 이 수치는 식품을 통한 다이옥신 섭취량을 포함하여 각각 다른 여러 노출 경로, 평균 신체 부하량 및 체내에 잔류하는 다이옥신이 제거되는데 소요되는 약 8년의 기간을 감안하여 산출한 값이다. 우리나라는 4 pg TEQ/kg체중/일, 세계보건기구(WHO)는 1 ~ 4 pg TEQ/kg체중/일로 TDI를 설정하였다.

3. 다이옥신 분석

동물성식품의 안전성 확보에는 환경오염의 방지 및 정화 등 근본적인 대책이 필요하나 동물성식품의 잔류물질 검사를 통하여 유해물질의 인체 유입을 사전 차단할 수도 있으므로 정밀 · 정확하며 신속한 분석방법이 요구된다. 다이옥신 분석은 미국 환경보호청(US EPA)의 Method 1613B를 기본 분석법으로 여러 국가에서 사용하고 있으며 시료의 종류, 농도 및 검출대상 다이옥신 동족체에 따라 분석기기를 선택하여 사용하고 있다. 검역원에서는 2000년 동물성식품 중의 다이옥신 분석법을 확립하여 수입식육의 검사 및 국내산 축산물의 잔류조사에 활용하고 있다.

동물성식품의 다이옥신 분석은 지방에 축적된 다이옥신을 유기용매로 추출하고 농축하여 실리카, 알루미나, 활성탄 칼럼을 차례로 통과시켜 다이옥신 이외의 물질을 제거한 후 고분해능 기체크로마토그래프/질량분석기(HR-GC/MS)로 분석한다. 분자량이 같고 화학적 구조가 매우 유사한 다이옥신 동족체를 동시에 분리, 검출할 수 있는 분해능 10,000 이상의 HR-GC/MS가 극미량 다이옥신을 분석하기에 가장 적합하며, 분해능 1,500 ~ 2,000 정도의 GC/MSD 또는 분해능 5,000 이상의 GC/TOF-MS 로도 다이옥신 검출이 가능하다. 분석기기의 검출능력이 갈수록 향상되어 이전에는 검출 할 수 없었던 매우 낮은 농도까지 검출 할 수 있게 됨에 따라 대상물질을 정확히 측정 할 수 있는 감도(sensitivity), 정확도(accuracy), 정밀도(precision), 선택성(selectivity) 또는 특이성

(specificity) 및 직선성(linearity) 등이 충분한가를 파악하여야 한다. 이러한 분석 능력 및 효율을 검증하기 위하여 자연에 존재하지 않는 다이옥신 동위원소(^{13}C labeled dioxin)를 내부표준물질로서 일정농도를 분석 전 시료에 첨가하여 분석한 후 시료에 존재하는 다이옥신을 정량한다.

4. 동물성식품의 다이옥신 오염사건 및 최신 동향

동물성식품의 안전성 확보를 위한 검역원의 다이옥신 분석능력은 국제적으로 인정받고 있다. 1999년 벨기에 축산식품에 다이옥신이 오염된 대규모 사건을 계기로 2000년 검역원에 다이옥신 분석시설이 구축되어 수입축산물 검사 및 국내산축산물의 잔류조사가 시작되었다. 동물성식품의 다이옥신 오염원인은 주로 사료의 미네랄 성분, 사료의 뭉침 방지제로 사용된 ball clay, 전기 절연유로 사용되었으나 생산 금지된 폴리염화비페닐(polychlorinated biphenyls, PCBs) 등 이었다. 국제적으로 1996년 미국 닭 사료의 오염부터 2008년 칠레의 돼지 사료 오염에 이르기까지 거의 매년 여러 나라에서 다이옥신 오염사고가 발생한 바 있다. 그간 검역원은 수입 축산물 검역 · 검사 과정에서 잔류허용기준 이상의 다이옥신이 검출되거나 오염발생 국가로부터의 정보를 수집하여 신속한 수거검사와 더불어 수입중단조치를 취해왔다. 우리나라와 관련된 다이옥신 오염 사건들을 정리하면 다음과 같다.

- ㅇ 1999년 벨기에 다이옥신 오염사건은 PCBs가 공업용유지와 함께 사료에 혼입되어 사고가 발생하였다. 우리나라로 수입된 벨기에산 돼지고기에서 PCBs 및 다이옥신을 검사한 결과 불합격 및 유통기간 경과 등으로 1,710톤을 반송하였다.
- ㅇ 2002년 3월 미국에서 미네랄 사료첨가제에 다이옥신 오염사고가 발생하여 우리나라에 수입된 제품수거 및 판매금지 조치를 취하고 다이옥신검사를 실시하였다.
- ㅇ 2003년 2월 다이옥신 오염 독일산 사료가 네덜란드로 수출되었고 우리나라는 네덜란드로부터 돼지고기를 수입하고 있었으므로 수입검역 잠정중단 조치를 취하였다.
- ㅇ 2003년 7월 칠레산 수입 돼지고기 정밀검사에서 잔류허용기준을 초과한 다이옥신을 검출하여 해당제품 반송 및 해당작업장 생산제품 수입중단 조치를 취하였다.
- ㅇ 2004년 11월 네덜란드, 벨기에, 독일에서 감자사료에 다이옥신이 오염됨에 따라 동 국가로부터 수입되는 축산물에 대하여 수입중단 조치를 취하였다.
- ㅇ 2006년 1월 네덜란드 및 벨기에로부터 수입된 돼지 뼈에서 지방 추출시 사용한 염산에 다이옥신이 오염되는 사고가 발생하여 동 국가로부터 수입되는 축산물에 대하여 수입검역 잠정중단 조치를 취하였다.
- ㅇ 2006년 12월 미국산 수입 쇠고기 정밀검사에서 잔류허용기준을 초과한 다이옥신 검출로 수입중단 조치를 취하였다.
- ㅇ 2008년 3월 이탈리아의 모짜렐라 치즈에서 다이옥신 오염이 확인됨에 따라 우리나라에 수입된 제품에 대하여 판매중지, 수거검사 및 유가공품 잠정 수입중단 조치를 취하였다.
- ㅇ 2008년 6월 칠레산 수입 돼지고기 정밀검사에서 잔류허용기준을 초과한 다이옥신을 검출하여 해당제품 반송 및 수입중단 조치를 취하였다.
- ㅇ 2008년 12월 아일랜드에서 산업폐기유가 사료에 혼입되어 축산물에 다이옥신이 오염되는 사고가 발생하여 우리나라에 수입되는 돼지고기 제품에 대한 수입중단 조치를 취하였다.

2008년 6월에 칠레산 수입 돼지고기로부터 검출한 다이옥신의 오염은 다이옥신의 잔류패턴을 분석하여 그 원인을 규명하였다. 사료첨가제로 사용하였던 산화아연(zinc oxide)의 제조과정에서 다이옥신이 생성되어 돼지 사료에 오염된 것을 밝혀낸 것이다. 이 사례는 2009년 8월 23일부터 28일까지 중국 북경에서 개최된 제29차 국제다이옥신학회에 발표하여 우리나라의 선진화된 검역 · 검사시스템과 수입고기의 잔류물질 검사능력을 국제적으로 알리고 인정받는 기회를 가졌다. 우리나라와 칠레 정부의 신속한 정보 공유와 긴밀한 협조가 오염원인을 규명 할 수 있었던 모범 사례로

외국 과학자들로부터 큰 호응을 얻었을 뿐만 아니라, 우리나라의 위상을 국제사회에 알리는 계기가 되어 국가 신뢰도 향상에도 크게 기여한 것으로 생각된다. 검역원의 축산물 중 잔류물질 분석능력은 ISO/IEC 17025에 따른 국제공인시험기관으로 2005년 한국인정기구(KOLAS)로부터 인정(인정번호 KT275) 받아 공신력을 유지하고 있다.

다이옥신으로 인한 환경오염은 발생 후 제거를 하기는 매우 어려워서 발생원을 줄이는 저감대책을 우리나라를 비롯하여 선진 각국에서 추진하고 있다. 유엔은 환경관리 프로그램에서 잔류성유기오염물질(persistent organic pollutants, POPs)을 선정하여 각국에서 관리하도록 권하고 있다. Table 1에 관리대상 POPs를 제거되어야할 물질, 제한적으로 사용가능 물질, 비의도적발생물질 그룹으로 나누어 나타내었다.

Table 1. UNEP Persistent Organic Pollutants

Group	Chemicals
Elimination	Aldrin, Chlordane, Chlordecone, Dieldrin, Endrin, Heptachlor, Hexabromobiphenyl, Hexa- & heptabromodiphenyl ether, Hexachlorobenzene (HCB), α- & β-Hexachlorocyclohexane, Lindane, Mirex, Pentachlorobenzene, Polychlorinated biphenyls (PCB), Tetra- & pentabromodiphenyl ether, Toxaphene
Restriction	DDT, Perfluorooctane sulfonic acid & its salt, Perfluorooctane sulfonyl fluoride (PFOS-F)
Unintentional Production	Polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDD), Polychlorinated dibenzofurans (PCDFs), Hexachlorobenzene (HCB), Pentachlorobenzene, Polychlorinated biphenyls (PCB)

5. 향후 동물성식품의 다이옥신 관리와 대응체계

환경오염물질로부터 식품의 안전성 확보는 환경오염의 방지 및 정화 등 근본적인 대책이 필요하다. 이와 더불어 유해물질의 인체 유입을 최대한 사전에 차단하기 위해서는 정밀·정확하며 신속한 식품분석 방법이 지속적으로 연구 개발되어야 한다. 수입식품의 다이옥신 검사는 세계에서 유일하게 우리나라만이 실시하고 있다. 향후에도 우리나라는 동물성식품의 수입국이라는 특수한 상황을 감안하여 수입식품의 다이옥신 검사는 현행대로 추진할 예정이다. 외국의 경우, 자국산에 대해서는 잔류조사를 통하여 오염여부를 확인한 후 문제가 발견되면 즉시 해당 제품을 수거하거나 단계적으로 폐기를 실시하고 있다. 우리나라도 국내산 동물성식품에 대해 주기적으로 다이옥신 오염도 조사를 실시하고 있으며, 조사 자료를 분석하여 인체 위험도를 평가하는 등 관리를 철저히 해 나가고 있다.

다이옥신의 인체 노출은 먹이사슬에 의해 식품을 통하여 이루어지기 때문에 먹이사슬의 출발점인 환경 오염원에 대한 관리가 무엇보다 중요하다. 따라서 이에 대한 역학조사와 사료 및 동물성식품의 다이옥신 오염 여부를 판단할 수 있는 장기적인 조사 자료의 축적과 분석이 필요하다. 검역원은 안전한 식품을 국민에게 공급하기 위하여 지속적으로 다이옥신을 비롯한 환경오염물질을 조사하고 위험평가와 관리에 최선을 다하고자 한다. 수입동물성식품의 다이옥신 검사와 더불어 관련 분석방법을 지속적으로 개발하여 국제표준으로 적극 제안함으로써 다이옥신을 비롯한 유해물질의 정밀분석에 관하여 국제적으로 주도해 나갈 계획이다.