

ISSN 1229-8565 (print) ISSN 2287-5190 (on-line)

한국지역사회생활과학회지 25(4) : 629-636, 2014

Korean J Community Living Sci 25(4) : 629-636, 2014

<http://dx.doi.org/10.7856/kjcls.2014.25.4.629>

축산물 중의 Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) 분석

안 윤 경 · 이 규 건¹⁾ · 신 정 화[†]
한국기초과학지원연구원 · 서정대학교 인터넷 정보과¹⁾

Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in the Piglet Liver

Ahn, Yun Gyong · Lee, Kyu Keon¹⁾ · Shin, Jeoung Hwa[†]

Korea Basic Science Institute, Seoul, Korea

Dept. of Internet Information and Communication, Seojeong College University¹⁾

ABSTRACT

Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) as flame-retardant additives have been used in a wide array of products, including building materials, electronics, furnishings, motor vehicles, airplanes, plastics, polyurethane foams, and textiles. They are structurally similar to PCBs and other polyhalogenated compounds. PBDEs are found in a variety of foods, and 95% of all human exposure to POPs comes from food. The major food sources are fish/seafood and dairy products. A number of studies have reported high levels of PBDEs in animals, increasing the public's concern over PBDE levels in animals. This study evaluates the relationship between the level of PBDEs according to piglet diseases. Salmonella spp. and Streptococcus are bacterial diseases. Porcine respiratory reproductive syndrome (PRRS) is a viral disease. The concentration of PBDEs in the piglet liver from viral diseases was higher than that from bacterial diseases. BDE-47 and BDE-99 were detected in most samples. More PBDEs were detected in the piglet liver from PRRS of North American type than from that of European type.

Key words: polybrominated diphenyl ether(PBDE), HRGC/HRMS, piglets, bacterial diseases, viral diseases

I. 서론

인체 및 환경 위해성에 대한 우려로 국제적으로 사용이 규제되고 있는 브롬계 난연제(Brominated flame retardants)는 가전제품과 건축자재, 실내장식제 등의 내연제로 사용되었다. 하지만 70년대 PBBs가 발암 가능성을 이유로 사용이 금지된 이

후 PBDEs 역시 유럽연합(EU)으로부터 일부 제품의 사용 및 판매가 금지되는 등 규제가 강화되는 추세이다.

폴리 브롬화 디페닐 에테르(Polybrominated diphenyl ether, PBDE)는 같은 브롬계 난연제(BFR)인 폴리 브롬화 비페닐(PBB) 보다 독성이 낮은 전기 제품과 건축자재, 섬유등에 난연제로서 첨가되어 중량

접수일: 2014년 12월 2일 심사일: 2014년 12월 3일 게재확정일: 2014년 12월 8일

[†]**Corresponding Author:** Shin, Jeoung Hwa Tel: 82-2-920-0797

e-mail: jhshin01@kbsi.re.kr

This is an Open-Access article 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.

비로 수십 %를 PBDE가 차지하는 것도 있다. 할로젠계 난연제는 기상에서 연소 반응을 억제하기 위해 다양한 소재에 첨가할 수 있고, PBDE는 난연효과면에서 플라스틱 제품 등에 널리 이용 되어 왔다(WHO/ICPS 1994; WHO/ICPS 1997). 보통 난연제는 물리적인 흡착을 이루고 있고, 따라서 이 난연 물질은 쉽게 환경 중으로 노출이 된다(Cynthia 2002).

PBDE는 PCB와 다이옥신과 유사한 구조를 가지고 있기 때문에 지용성이 높은 생물 축적성이 있고, 생물농축 된다(Birnbaum & Staskal 2004; Hites 2004; Sjödin et al. 2004; Webster et al. 2005).

따라서 다양한 야생 동물과 인간의 시료에서 PBDE가 감지되고 있다. 한편, 브롬 화합물이기 때문에 빛에 민감하고, 이러한 유기염소 화합물에 비해 신속하게 광분해 된다. 광분해 과정에서 탈취 브롬화 되며 더욱 독성이 높은 브롬화 다이옥신류가 형성 된다는 연구도 있다. PBDE를 포함한 소재의 연소시험에서 연소 후 브롬계 다이옥신 류가 검출되고 있다.

전 세계적으로 Deca-BDE가 가장 많이 사용되고 있다. PBDEs는 여러 연구 결과 다양한 독성이 밝혀졌고(Darnerud et al. 1998; Darnerud et al. 2001) 국제사회에서는 이미 PBDEs의 단계적 철회를 촉구하였으며, 그로 인해서 Octa와 Penta 제품은 유럽에서 2004년 8월부터 사용이 금지되었다. 또한 미국에서도 생산자 스스로 Octa-, Penta-BDE의 생산을 2004년 말에 중단하였다. 현재에는 대부분의 국가에서 Deca-BDE만 사용하고 있다. 스톡홀름 협약에서 PBDEs는 잠정적인 유해물질로 선정되었다. PBDEs는 많은 연구 결과에서 기존의 잔류성 유기 오염물질과 비슷한 경향이 관찰 되었다. 또한 PBDEs는 앞에서 언급하였듯이 고분자, 가전제품의 표면, 섬유, 폴리우레탄 폼, 건축 자재 등 생활 곳곳에서 사용되고 있다. 또한 음식물 섭취, 수유, 먼지 섭취, 피부 흡착, 호흡 등의 다양한 경로에 의해서 노출이 되며, 실제로 직업적 노출이 없는 인구 집단에서도 PBDEs가 검출되었다(Shin & Ahn 2012).

이러한 잔류성 유기오염물질의 흡수경로는 음식물의 섭취가 90% 이상을 차지하고 있다. 또한

한국인의 일일섭취량 중 육류섭취에서 가장 큰 비중을 차지하는 돼지고기(40%)이며, 돼지가 소보다 3배정도 사용량과 생산량이 많으며 매년 증가하고 있는 실정에 있다(Shin & Ahn 2012).

따라서 돼지 및 식품중의 잔류성 유기오염물질의 잔류성 파악이 필요하며 이에 관련된 연구 분석은 상당히 추진되어 오고 있다(Ohta et al. 2002; Wu et al. 2005; Huwe et al. 2008; Zhang et al. 2009; Marti et al. 2010; Heqing et al. 2012).

하지만 잔류성 유기오염물질과 병적요인간의 상관성 추적은 연구되어진바 없음을 알 수 있다. 이에 축산물 중의 잔류성 유기오염물질의 노출지표를 탐색하기위하여 돼지새끼의 질병간의 잔류성 유기오염물질인 PBDEs의 잔류정도를 모니터링 함에 있다.

II. 연구방법

1. 분석대상 화합물

분석대상 화합물은 PBDEs(Polybrominated diphenyl ethers) 21종(BDE-17, 28, 47, 49, 66, 71, 77, 85, 99, 100, 119, 126, 138, 153, BDE-154, 156, 183, 184, 191, 196, 197)을 선정하였으며(Table 1), HRGC/HRMS에 의한 동위원소 희석법을 이용하여 분석하였다.

2. 시료

1) 세균성 질병과 바이러스성 질병간의 PBDEs 잔류성 분석

질병에 의해 죽은 새끼돼지(30일-110일령)의 간을 대상으로 하였으며, 사인 질병의 종류는 세균성질병과 바이러스성 질병 등으로 나뉘어 세균성 질병인 살모넬라와 연쇄상구균(*Salmonella* spp. and *Streptococcus* 4개), 연쇄상구균(*Streptococcus* 3개) 바이러스성 질병인 돼지번식호흡장애증후군(Porcine Reproductive and Respiratory Syndrome: PRRS, 폐, 3 개), PRRS (림프, 장, 4 개)를 대상으로 하였다.

Table 1. Measurement compounds in PBDEs

| Homolog | IUPAC No. | Isomer |
|----------|-----------|---------------------------|
| TriBDE | BDE-17 | 2,2',4'-TrBDE |
| | BDE-28 | 2,4,4'-TrBDE |
| TetraBDE | BDE-47 | 2,2',4,4'-TeBDE |
| | BDE-49 | 2,2',4,5'-TeBDE |
| | BDE-66 | 2,3',4,4'-TeBDE |
| | BDE-71 | 2,3',4',6'-TeBDE |
| PentaBDE | BDE-77 | 3,3',4,4'-TeBDE |
| | DE-85 | 2,2',3,4,4'-PeBDE |
| | BDE-99 | 2,2',4,4',5'-PeBDE |
| HexaBDE | BDE-100 | 2,2',4,4',6'-PeBDE |
| | BDE-119 | 2,3',4,4',6'-PeBDE |
| | BDE-126 | 3,3',4,4',5'-PeBDE |
| HeptaBDE | BDE-138 | 2,2',3,4,4',5'-HxBDE |
| | BDE-153 | 2,2',4,4',5,5'-HxBDE |
| | BDE-154 | 2,2',4,4',5,6'-HxBDE |
| | BDE-156 | 2,3,3',4,4',5'-HxBDE |
| OctaBDE | BDE-183 | 2,2',3,4,4',5',6'-HpBDE |
| | BDE-184 | 2,2',3,4,4',6,6'-HpBDE |
| | BDE-191 | 2,3,3',4,4',5',6'-HpBDE |
| OctaBDE | BDE-196 | 2,2',3,3',4,4',5,6'-OcBDE |
| | BDE-197 | 2,2',3,3',4,4',6,6'-OcBDE |

2) 바이러스성 질병 중 유럽형과 북미형이 병인인 돼지간의 PBDEs 잔류성 분석

바이러스성 질병(PRRS)에 의해 죽은 새끼돼지(7일령)의유럽형 간을 대상으로 하였으며 사인 중 유럽형(PRRS of European Type, 5개), 북미형(PRRS of North America Type, 5개)를 대상으로 하였다.

3. 시료전처리

시료 량은 5 g에 헥산 50 ml, 내부표준물질 MDE- MXE 10 μL (¹³C-Brominated-Diphenyl Ethers) 를 첨가한 후 sonication(20분간) 추출을 2회 실시 하였다. 등근 플라스틱에 추출된 용매를 모두 증발시킨 후 지방(fat) 무게를 잰다. 지방을 제거하기 위하여 황산처리를 한 후 수세, 탈수 처리를 한 후 내부표준물질인 BDE-CVS-EISS 5 μL (¹³C-22'344'5'- Hexabromodiphenyl) 를 첨가한 후

evaporate로 1 ml 정도 남도록 증발시킨다. 정제로는 다층실리카겔럼(숨+1 g 무수황산나트륨+ 2 g 중성실리카+4 g 염기실리카+2 g 무수황산나트륨 +10 g 산실리카+2 g 무수황산나트륨)을 활성화 시킨 후 헥산 20 ml를 가하여 그대로 통과 시키고 150 ml로 추출되어진 것을 받는다. Evaporator 로 증발시킨 후 질소로 다 증발시킨다. 최종 부피를 노난 10 μL로 맞추어 바이알에 담는다(Fig. 1).

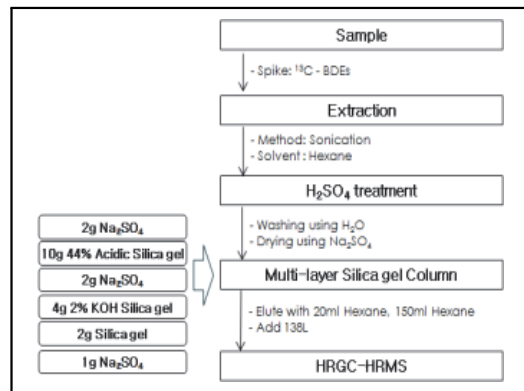


Fig. 1. A schematic diagram for the analytical procedure

4. 기기분석방법

기기 분석은 HRGC/HRMS(Agilent 6890 Plus Gas chromatography, Jeol Mstation 700D High resolution mass spectrometer)를 이용한 EI-SIM법으

Table 2. The condition of HRGC/HRMS for PBDEs

| Item | Condition |
|--------------------|---|
| Instrument | Hewlett Packard 6890 Plus GC system JEOL 700D Mstation High resolution mass spectrometer |
| Column | DB-5HT (15 m × 0.25 mm × 0.1 um) |
| Oven Temp | 120 °C(1 min) 10 °C/min to 330 °C (5 min), total 27 min |
| Carrier gas | Helium, 1.0 mL/min |
| Injector Temp (°C) | 280 °C |
| Injection mode | splitless mode |
| Ion Voltage | 38 eV |

로 행하였다. 캐필러리 컬럼은 DB5-HT(15 m×0.25 mm× 0.1 um)를 사용하였다(Table 2). 조사 대상물질이 검출되어질 경우의 정량은 Labelled Compound Standard(LCS)에 대한 반응계수 (RR: Relative Response)를 이용한 동위원소희석법(Isotope Dilution Method)에 따라 정량하였다.

5. 정성 및 정량분석

PBDEs 각 congener에 대한 정상 확인을 분자량 [M]과 [M+2], [M+4], [M+6] 또는 [M+8]의 이온강도(Ion intensity) 비가 99 % 신뢰구간에 들어오면 정성 확인된 것으로 간주하였고 회수율이 70 %에서 120 %, 범위에 포함되는 시료에 대해서 정량을 하였으며, 그 범위를 벗어나는 시료에 대해서는 데이터의 신뢰성이 없다고 판단하여 재처리하였다. 대상물질이 검출된 경우에는 이에 대응하는

Labelled Compound Standard(LCS) 에 대한 반응계수 (RP: Relative Response)를 이용한 동위원소희석법(Isotope Dilution Method)에 따라 정량하였으며, ISD로 사용한 ¹³C₁₂-2,2',4,4',5,6'-HxBDE 및 LCS는 상대반응계수 를 이용한 내부표준법에 따라 정량하였다. 또한 정성 및 정량의 모든 과정은 JEOL Mstation 700D운영 소프트웨어인 Diok를 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 세균성 질병과 바이러스성 질병간의 PBDEs 분석

Table 3, 4, Fig. 2는 질병의 발전기전이 다른(세균성질병과 바이러스성 질병)병적 요인별 새끼돼지 간내의 PBDEs 분석 결과를 나타내고 있다. 세균성질병이 사인인 새끼돼지의 간내의 PBDEs 농

Table 3. The concentration of PBDEs in the piglet liver according to bacteria diseases

| | (pg/g) | | | | | | |
|---------|-------------------------------------|-----|-----|-----|------------------|-----|-----|
| | Salmonellaspp. and Streptococcusuis | | | | Streptococcusuis | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| BDE-17 | N.D | N.D | N.D | N.D | 7 | N.D | N.D |
| BDE-28 | N.D | 7 | N.D | N.D | N.D | 2 | N.D |
| BDE-47 | 45 | 17 | 9 | 11 | 10 | 25 | 6 |
| BDE-49 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| BDE-66 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| BDE-71 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| BDE-77 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| BDE-85 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| BDE-99 | 56 | N.D | 25 | 25 | 15 | 29 | N.D |
| BDE-100 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| BDE-119 | 19 | N.D | 43 | 46 | N.D | 20 | N.D |
| BDE-126 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| BDE-138 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| BDE-153 | N.D | N.D | N.D | 42 | N.D | N.D | N.D |
| BDE-154 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| BDE-156 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| BDE-183 | N.D | N.D | N.D | N.D | 21 | N.D | N.D |
| BDE-184 | N.D | 34 | 25 | 18 | 23 | N.D | N.D |
| BDE-191 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| BDE-196 | 22 | 14 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| BDE-197 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| ΣPBDEs | 142 | 72 | 102 | 142 | 76 | 76 | 6 |

N.D: Not Detected

Table 4. The concentration of PBDEs in the piglet liver according to viral diseases

| | (pg/g) | | | | | | |
|----------------|------------------------|------------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|
| | PRRS(Lymph, Intestine) | | | | PRRS(Lung) | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| BDE-17 | N.D | N.D | N.D | N.D | 7 | N.D | N.D |
| BDE-28 | 8 | N.D | 3 | N.D | 9 | 5 | 18 |
| BDE-47 | 30 | 58 | 17 | 18 | N.D | 2 | N.D |
| BDE-49 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| BDE-66 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| BDE-71 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| BDE-77 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| BDE-85 | N.D | N.D | N.D | N.D | 23 | N.D | N.D |
| BDE-99 | 32 | 55 | 45 | N.D | 13 | 14 | 32 |
| BDE-100 | N.D | N.D | N.D | N.D | 21 | N.D | N.D |
| BDE-119 | N.D | N.D | N.D | N.D | 16 | 20 | N.D |
| BDE-126 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| BDE-138 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| BDE-153 | N.D | N.D | N.D | N.D | 20 | N.D | N.D |
| BDE-154 | N.D | N.D | N.D | 147 | N.D | N.D | N.D |
| BDE-156 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| BDE-183 | N.D | N.D | N.D | N.D | 44 | N.D | N.D |
| BDE-184 | 29 | N.D | N.D | N.D | N.D | 14 | N.D |
| BDE-191 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| BDE-196 | N.D | N.D | N.D | 65 | 21 | 15 | N.D |
| BDE-197 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| Σ PBDEs | 99 | 113 | 65 | 230 | 174 | 70 | 50 |

N.D: Not Detected

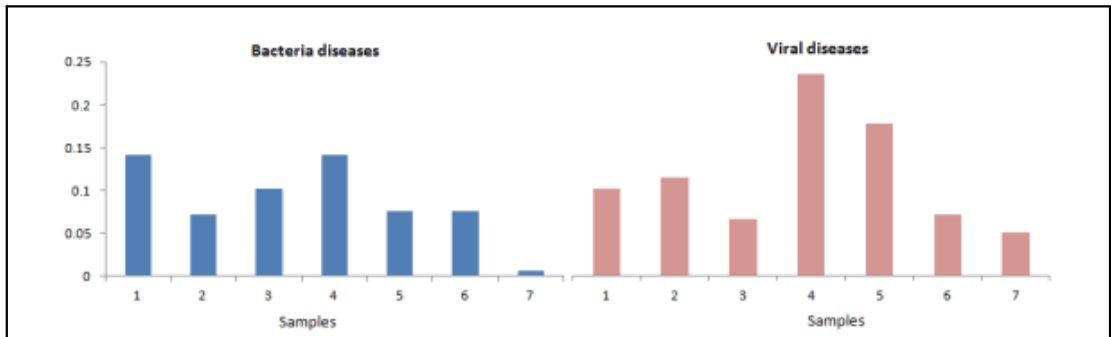


Fig. 2. The concentration of PBDEs in the piglet samples according to diseases

도는 0.006-0.142 ng/g 이었으며 바이러스성 질병인 폐지번식호흡장애증후군이 사인인 경우에는 0.050-0.174 ng/g를 나타내었다. 따라서 세균성 질병이 사인인 새끼돼지의 간 내의 PBDEs 농도보다

바이러스성 질병이 사인인 경우의 결과값이 높은 값을 나타내었음을 알 수 있었다. 각 이성질체별로 보면 BDE-47의 경우 시료 1개를 제외하고 거의 검출이 되었고 총 PBDEs 농도값에 차이는 비중

도 높게 차지하였다. BDE-99의 경우도 3개의 시료를 제외하고서 검출이 있었고 전체 농도값에서의 비중도 높게 나타났음을 알 수 있었다.

2. 바이러스성 질병 중 유럽형과 북미형이 사인인 새끼 돼지간의 PBDEs 분석

Table 5, Fig. 3 은 축산물의 발전기전이 같은 바이러스성 질병 중 유럽의 경로가 다른 북미형과 유럽형이 사인인 새끼돼지 간내의 PBDEs 분석결과를 나타내고 있다. 시료중 유럽형의 PBDEs의 분석결과 8.6950-28.090 pg/g로 나타났으며 북미형은 9.033-40.870 pg/g의 PBDEs 잔류량의 높은 결과값

을 나타내고 있다. 총 PBDEs 농도값 중에 BDE-47, BDE-99 가 차지하는 비중이 각각 21-61.9%, 0-42% 등으로 선행연구의 경향과 유사함을 알 수 있었다 (Li et al. 2009; Huwe & West 2011).

이상과 같이 축산물중의 각 병적요인별 및 장기내의 잔류성 유기오염물질의 분석한 결과 예전에는 양돈농가의 문제가 세균성질병이었지만 최근 바이러스성 질병의 원인에 의한 피해가 속출하며 특히 북미형 바이러스의 피해가 더 크다는 분석의 경향과 이번 연구에서 얻어진 결과와의 상관관계가 높음을 알 수 있었다.

Table 5. The concentration of PBDEs in the piglet samples according to viral diseases(PRRS of North America Type and European Type)

| | PRRS of North America Type | | | | | PRRS of European Type | | | | |
|----------------|----------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| | NA-1 | NA-2 | NA-3 | NA-4 | NA-5 | EU-1 | EU-2 | EU-3 | EU-4 | EU-5 |
| BDE-17 | 0.195 | 0.136 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| BDE-28 | N.D | N.D | N.D | 1.175 | 1.188 | N.D | N.D | N.D | N.D | 0.291 |
| BDE-47 | 5.615 | 16.231 | 8.199 | 12.598 | 15.065 | 5.803 | 6.457 | 13.353 | 6.948 | 5.384 |
| BDE-49 | 0.338 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| BDE-66 | N.D | N.D | N.D | N.D | 0.138 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| BDE-71 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| BDE-77 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| BDE-99 | N.D | 12.865 | 9.377 | 8.602 | 14.440 | 5.003 | 8.356 | 9.337 | 7.965 | N.D |
| BDE-85 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| BDE-100 | N.D | 9.216 | 4.206 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | 2.373 | N.D |
| BDE-119 | N.D | 2.422 | 1.097 | 2.585 | 3.001 | 1.087 | 1.874 | 1.622 | 1.553 | 1.394 |
| BDE-126 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| BDE-138 | 1.365 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | 1.356 | N.D |
| BDE-153 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | 3.778 | 2.344 | N.D |
| BDE-154 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| BDE-156 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| BDE-183 | 1.521 | N.D | N.D | 3.290 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | 1.627 |
| BDE-184 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| BDE-191 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D |
| BDE-196 | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | N.D | 3.135 | N.D |
| BDE-197 | 17.092 | N.D | 13.812 | N.D | N.D | N.D | 8.559 | 9.198 | N.D | N.D |
| Σ PBDEs | 26.125 | 40.870 | 36.690 | 28.250 | 33.832 | 11.892 | 25.246 | 37.288 | 25.674 | 8.695 |

N.D: Not Detected

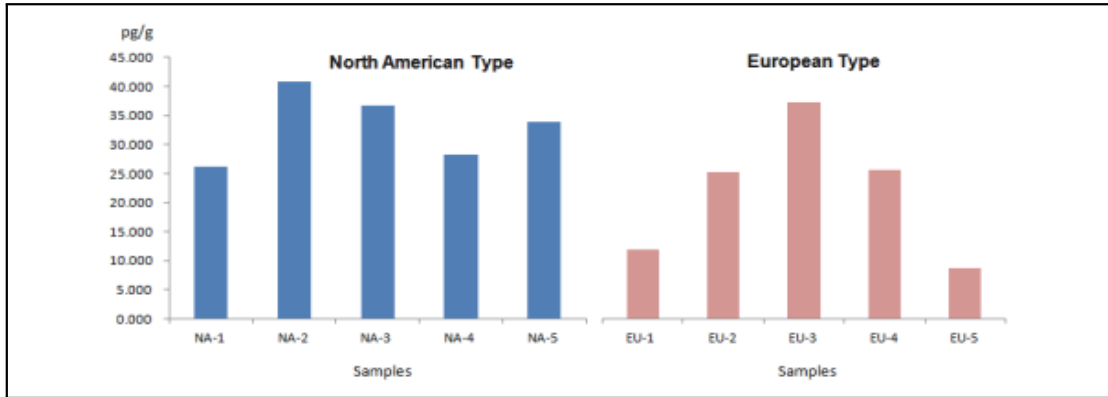


Fig. 3. The concentration of PBDEs in piglet samples

IV. 결론 및 제언

본 연구는 질병에 따른 돼지내의 잔류성 유기오염물질인 PBDEs의 잔류정도를 모니터링하기 위하여 진행되었다.

가. 질병의 발진기전이 다른 세균성질병과 바이러스성질병의 병적 요인에 의한 축산물의 간 중의 잔류성 유기오염물질의 추적으로서 바이러스성질병에 걸린 검체에서 잔류성 유기오염의 검출이 더욱 높게 나타났다.

나. 바이러스성 질병이 요인인 축산물(돼지)의 간 중의 잔류성유기오염물질의 추적으로서 바이러스성 질병 중 유입의 경로가 다른 북미형과 유럽형의 검체 중 북미형에서의 잔류성 오염물질의 잔류 정도가 높았다.

References

- Birnbaum LS, Staskal DF(2004) Brominated flame retardants: cause for concern? *Environ Health Perspect* 112, 9-17
- Cynthia AW(2002) An overview of brominated flame retardants in the environment *Chemosphere* 46, 583-624
- Darnerud PO, Eriksen GS, Johannesson T, Larsen PB, Viluksela M(1998) Food contamination and potential risks. TemaNord 503, Nordic Council of Ministers, Copenhagen, Denmark
- Darnerud PO, Eriksen GS, Johannesson T, Larsen PB, Viluksela M(2001) Polybrominated diphenyl ethers: occurrence, dietary exposure and toxicology. *Environ Health Perspect* 109(1), 49-68
- Heqing S, Bernhard H, Walter AR, Richard M, Ulrich W, Karl-Werner S(2012) Physiologically based persistent organic pollutant accumulation in pig tissues and their edible safety differences: An in vivo study. *Food Chemistry* 132, 1830-1835
- Hites RA(2004) Polybrominated diphenyl ethers in the environment and in people: a meta-analysis of concentrations. *Environ Sci Technol* 38(4) 945-956
- Huwe JK, Hakk H, Birnbaum LS(2008) Tissue distribution of polybrominated diphenyl ethers in male rats and implications for biomonitoring. *Environ Sci Technol* 42(18), 7018-7024
- Huwe JK, West M(2011) Polybrominated diphenyl ethers in U.S. Meat and poultry from two statistically designed surveys showing trends and levels from 2002 to 2008. *J Agric Food Chem* 59(10), 428-434
- Li YF1, Yang ZZ, Wang CH, Yang ZJ, Qin ZF, Fu S(2009) Tissue distribution of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in captive domestic pigs, *Sus scrofa*, from a village near an electronic waste recycling site in South China. *Bull Environ Contam Toxicol* 84(2), 208-211
- Marti M, Ortiz X, Gasser M, Marti R, Montana MJ, Diaz-Ferrero J(2010) Persistent organic pollutants (PCDD/Fs, dioxin-like PCBs, marker PCBs, and PBDEs) in health supplements on the Spanish market. *Chemosphere* 78, 1256-1262
- Ohta S, Ishizuka D, Nishimura H, Nakao T, Aozasa O, Shimidzu Y(2002) Comparison of polybrominated diphenyl ethers in fish, vegetables, and meats and levels in human milk of nursing women in Japan. *Chemosphere* 46(5), 689-696
- Sjödin A, Jones RS, Focant JF, Lapeza C, Wang RY, McGahe E(2004) Retrospective time-trend study of

- polybrominated diphenyl ether and polybrominated and polychlorinated biphenyl levels in human serum from the United States. *Environ Health Perspect* 112, 654-658
- Shin JH and Ahn YG(2012) Levels of PBDEs in pig feed, *Korean J Community Living Sci.* 23(3), 255-263
- Webster T, Vieira V, Schecter A(2005) Estimating human exposure to PBDE-47 via air, food and dust using Monte Carlo Methods. *Organohalogen Compounds* 67, 505-508
- WHO/ICPS(1994) Environmental Health Criteria 162: Brominated Diphenyl Ethers. World Health Organization Geneva
- WHO/ICPS(1997) Environmental Health Criteria 192: Flame Retardants- General Introduction. World Health Organization Geneva
- Wu N, Webster T, Hermann T, Paepke O, Tickner J, Hale R(2005) Associations of PBDE levels in breast milk with diet and indoor dust concentrations. *Organohalogen Compounds* 67, 654-657
- Zhang J, Jiang Y, Zhou J, Fang D, Huang H, Deng B, Liu B, Wang C(2009) Polybrominated diphenyl ether levels in several retail foods in a south China city. *Orgnaohalogen Compound* 71, 1013-1017