

식물성 다이옥신 분해물질에 관하여

Development of Vegetable-Dioxin Destructor

환경문제에 대한 관심이 높아짐에 따라 그동안 쓰레기 소각시 발생하는 다이옥신에 대한 환경적 문제제기가 끊임없이 이어져 왔다.

그러나 그동안 다이옥신의 발생억제에 대한 대책마련이나 법적인 대응방안의 마련에 대한 노력보다는 다이옥신의 치명성이나 몇몇 산업에 책임을 떠맡기는 식의 즉흥적인 모습들 뿐이었다.

최근 그저 두려움의 대상이었던 다이옥신의 분해기술이 한국과 일본의 합작사인 (주)경일자원개발에 의해 개발되어 관심을 모으고 있다.

본 지에서는 다이옥신에 대한 개괄적인 이해와 새로운 분해기술의 소개를 통해 다이옥신에 대한 구체적인 지식을 전달함은 물론 그간 제자리 걸음만을 걸어온 국내 환경정책에 대한 새로운 문제제기의 계기를 삼고자 한다.

- 편집자 주 -

1. 다이옥신이란 무엇인가?

다이옥신이란 비슷한 특성과 독성을 가진 여러 가지 화합물을 일컫는다.

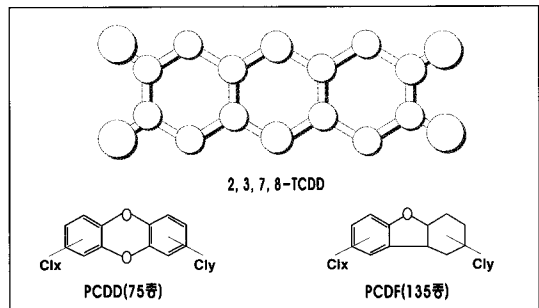
75가지의 다른 형태가 있고, 이중 가장 독성이 강한 것이 2, 3, 7, 8-사염화디벤조-파라다이옥신(일명 TCDD)이다. 우리가 흔히 말하는 다이옥신은 다이옥신과 다이옥신 유사물질들을 총칭하는 경우이다.

우리나라에서 다이옥신이 문제가 되기 시작한 것은 베트남전쟁에서 고엽제로 알려진 제초제에 다이옥신이 불순물로 함유되었고, 참전군인들과 그 2세대들에게서 여러가지 건강장애가 나타나면서 1990년대 초반부터 이 물질에 관심을

갖게 되었다.

최근 들어서는 쓰레기 소각장에서 다이옥신의 과도한 유출로 시민들이 관심을 갖게 되었고, 지난 97년 4월에는 마산만의 어패류에서 규정치보다 3백10만배나 높은 다이옥신이 검출되어

(그림 1) 다이옥신의 화학구조



문제로 부각되는 독성화학물질이다.

다이옥신은 일반적으로 제조되거나 사용되는 물질은 아니며 보통 염소나 브롬을 함유하는 산업 공정에서 화학적인 부산물로서 생성되고, 또 염소가 들어있는 화합물을 태울 때 생기는 것으로 다이옥신 자체는 실제로 사용되는 것은 아니다.

1-1. 다이옥신의 발생현황([표 1] 참조)

2. 다이옥신 유사물질(PCBs, 퓨란, 브롬 산화물들)

이것들은 다이옥신과 구조적으로 유사한 화학물질들로서 다이옥신과 비슷한 특성 및 독성을 갖고 있다.

이러한 화합물에는 다음과 같은 것들이 있다.
클로로 디벤조 퓨란 : 폴리클로리네이티드 디

벤조퓨란, PCDFs, 퓨란.

클로로 비페닐 : 폴리클로리네이티드 비페닐, PCBs, 디페닐 에테르, 나프탈렌.

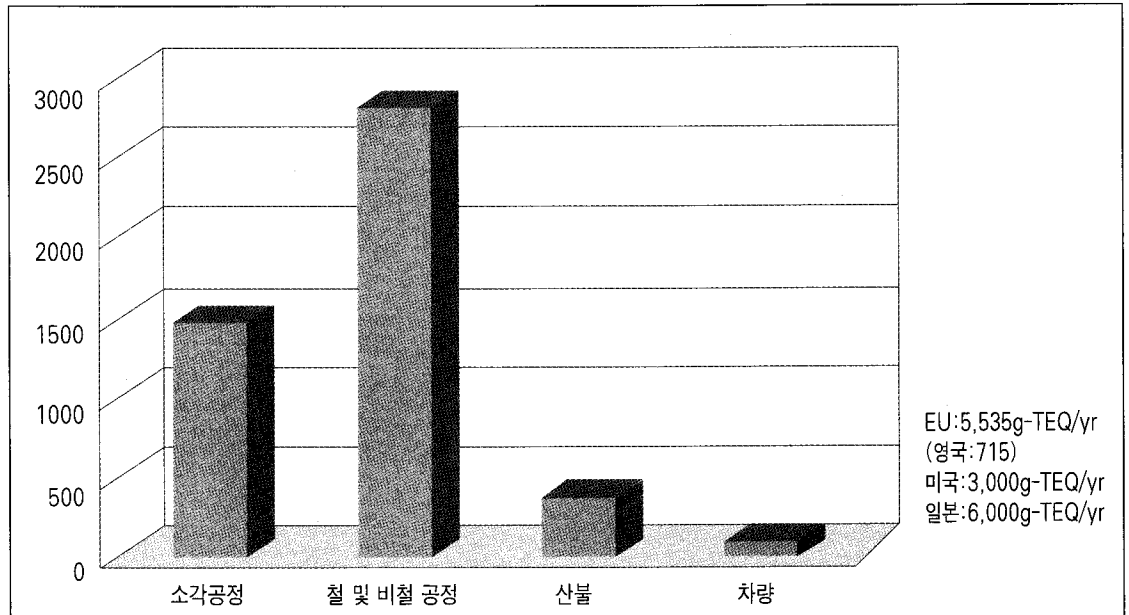
퓨란은 135가지의 다른 형태가 있고, PCBs는 209가지의 다른 형태로 존재한다.

브롬화합물들은 염소 대신 브롬으로 치환된 유사한 화합물질로 다이옥신과 유사한 독성을 갖고 있다. 다이옥신이나 퓨란, 그리고 PCBs가 모두 다 같은 독성을 갖고 있는 것은 아니며 75가지의 다이옥신 중 7가지만이 높은 독성을 갖고 있고, 135가지의 퓨란 중 10가지만이, 209가지의 PCBs 중 11가지만이 다이옥신-유사독성을 갖고 있다. 그러므로 우리가 보통 다이옥신을 언급할 때는 이들 28가지의 화합물들을 통칭하는 것이다.

이들 28가지의 화합물들은 우리 몸 안에서 에이에취 수용체(Ah receptor)라는 세포조직의

[표 1] 다이옥신의 발생현황

(EU, 1993~1995)



한 부위와 결합하게 된다. 이들 화합물들의 독성을 결정하는 주요한 요소들은 화합물들의 크기, 모양, 그리고 에이에취 수용체와 얼마나 잘 결합하는가 하는 것인데 에이에취 수용체와 굳게 잘 결합하는 화합물들은 덜 굳게 결합하는 화합물보다 더 독성이 강하다.

TCDD는 에이에취 수용체와 가장 타이트하게 결합을 해서 가장 강력하고 독성이 가장 강한 것으로 알려졌는데 대략 TCDD와 같은 모양과 크기를 가진 화합물들은 에이에취 수용체와 잘 결합하고 강력한 독성을 갖게 된다.

반대로 TCDD와 모양과 크기가 다른 화합물들은 우리 몸안의 수용체와 잘 결합하지 않을 뿐만 아니라 독성도 낮거나 없을 수도 있다.

3. 다이옥신의 위험성

다이옥신은 자연계에 한 번 생성되면 잘 분해되지 않고 안정적으로 존재하게 된다. 토양이나 침전물들 속에서 축적되고 생물체 내로 유입되면 수십년 혹은 수백년까지도 존재할 수 있는 물질로 알려져 있다. 또한 다이옥신은 물에 잘 녹지 않아 생물체 안으로 들어온 다이옥신은 소변으로 잘 배설되지 않는다.

그러나 다이옥신은 지방에는 잘 녹는 물질로 생물체의 지방조직에 잘 축적되는데 물고기, 가재, 새, 포유류, 그리고 사람들이 물을 마시거나, 숨을 쉬거나 음식을 먹음으로서 다이옥신을 섭취하게 된다. 그러나 사람은 먹이사슬의 가장 높은 자리를 차지하고 있기 때문에 모든 동물들이 먹은 다이옥신은 최종적으로 사람의 몸 속에 축적되는 것이다.

이러한 경로를 통해 사람의 몸 속으로 들어온

다이옥신은 좀처럼 없어지지 않고 계속 축적되면서 장기적으로 건강 장애를 일으키는 것이다.

4. 다이옥신의 생성

다이옥신은 쓰레기를 태울 때 가장 많이 생성된다.

특히 PVC 제재가 많이 포함되어 있는 병원 폐기물과 도시쓰레기를 태울 때 제일 많이 나오는데 자동차 배기가스, 화력발전소, 제지 및 펄프산업, 철강산업 등 염소 및 브롬을 사용하는 산업공정에서 발생될 수 있다.

농약이 뿌려진 수풀이나 산림의 화재로 다이옥신이 발생할 수 있고, 심지어는 담배연기에서도 다이옥신이 발생된다.

미국에서는 의료폐기물 소각과정에서 가장 많은 다이옥신이 나오는 것으로 알려져 있고, 일본과 스웨덴, 네델란드, 영국, 독일의 경우는 도시폐기물 소각이 가장 주요한 원인이다.

우리나라는 아직 체계적인 연구결과가 없지만 현재로서는 산업폐기물 소각로, 도시 일반폐기물 소각로, 자동차 매연의 순으로 다이옥신을 많이 배출하는 것으로 추정하고 있다.

5. 기존의 다이옥신 분해기술

현재까지 개발되어 있는 대표적인 다이옥신의 분해, 무해화 기술은

1) 완전연소법 : 잘 혼합한 연소실 내에서 소각시의 염소가스를 고온 분위기로 보존하여 다이옥신의 발생을 억제하는 방법

2) 열분해 처리법 : 저산소 분위기로 가열함으로써 다이옥신류를 탈염소화, 수소화하는 방법

3) 광분해법 : 태양빛 또는 자외영역의 파장인 빛을 비춤으로써 탈염소화하는 방법

4) 미생물 분해법 : 초산에틸 등의 용매를 사용함으로써 다이옥신 분해 미생물의 대사활성을 촉진시켜 다이옥신류를 무해화하는 방법등이 있다.

그러나 1)은 완전연소하기 위해 연소실 내의 가스를 균일토록 하여 가스의 체유시간을 오래 보존하는 것이 문제점이며, 연소 온도가 1073k 이상이기 때문에 공업적으로 불리하다는 문제점이 있다.

2)의 경우 저산소 분위기 하에서 반응을 보이지 않았을 경우 반대로 다이옥신이 생산된다는 큰 문제점이 있다.

3)은 독성이 가장 높은 데트락로로지벤조 페리디옥신에 자외선 또는 태양광을 비췄을 때 완전히 분해하는데 각각 8시간, 24시간이라는 긴 반응시간이 필요하다.

분해 고정기 주로 개방계로 행해지기 때문에 환경에 부담이 있다는 문제점이 있다.

4)는 3)의 방법 이상으로 긴 반응시간을 필요로 하고 분해 고정기 주로 개방계의 문제 때문에 환경에의 문제 이외에 미생물을 높이기 위한 온도, PH 등을 조정해야 한다는 것, 미생물에 의한 다이옥신류의 분해확률은 염소치환제의 수가 많아짐에 따라 나빠진다는 문제점이 있다.

6. 개발기술의 특징(기존 대비)

6-1. 초임계수 분해법

초임계수 또는 초임계수에 산화제를 가한 반응 용매를 사용하여 다이옥신류를 분해하면 기존 기술에 비해 다음과 같은 이점이 있다.

1) 분해 시약인 초임계수 및 산화제는 환경에의 악영향이 없는 물질이다.

2) 초임계수는 높은 반응 활성을 갖는 분해시약이고 종래법보다 꽤 짧은 시간에 완전분해가 가능하다.

3) 폐쇄계 내에서 분해 처리가 가능하기 때문에 배출물의 오염의 우려가 없다.

이 외에 완전연소법과 같은 높은 반응도와 복잡한 반응제어를 필요로 하지 않고 분해가 가능하며 열분해처리법과 같이 다이옥신류의 재생 우려가 없다.

(주)경일자원개발이 개발한 신기술은 환경호르몬을 초임계수에 의한 다이옥신을 완전분해하는 기술로 스테비아 추출액이 그 매개이다.

DK-15라 명명된 이 개발물질의 특징은 상온에서 다이옥신이 분해된다는 점이고, 식물성에서 추출한 물질이라는 점이다.

이것은 현재 각 소각장에 쌓여있는 소각재를 저렴한 비용으로 기타 특수설비없이 소각재에 함유한 다이옥신을 효과적으로 처리할 수 있는 획기적인 개발이다.

스테비아 추출액은 '인체에 비발암성이고 비중독성의 물질'로서 이미 식품의 첨가물로 사용되어 왔으며, 다이옥신을 함유한 식품이나 음료에 첨가할 경우에는 다이옥신을 분해시킬 수 있을 것으로 기대되고 있다.

6-2. 추출액의 다이옥신 분해 매커니즘

스테비아 식물의 잎, 줄기 부분을 각각 분리, 농축하여 초음파적 원리를 이용, 그 속에서 추출한 효모균(유용미생물균)의 배양량을 극대화하고 독성을 제거하여 발균시킨 다음 DK-15를 제조한다.

제조방법은 원료(스테비아) 건조→분말→추출→농축→초음파 강제숙성→발효방법이다.

스테비아 엑기스는 일단 발효함에 따라 유용균과 아미노산 덩어리가 된다.

식물성 다이옥신 분해제 DK-15는 촉매작용을 하여 독성을 저해한다.

다이옥신류는 유기염소 화합물에 해당하므로 수없이 실시한 시험에서 일정량의 염소에 대해 스테비아 추출액 농도를 조절하는 순간, 어느 스테비아 농도에서 염소가 검출되지 않은 결과를 확인, 식물성 다이옥신 분해제 DK-15를 표준화했다.

‘초음파적 원리’란 천문학의 ‘도일수’에 기초하여 1초당 3진동법을 이용한 강제초음파 숙성기의 싸이클(진동)을 설정했다.

(적도 : 1초당 3진동, 남극·북극 : 1초당 2.5진동, 아열대·온대 : 1초당 3진동)

DK-15의 분해제 성분은

1. *Candia kyusei*
2. *Trichaspaion penicillatum*
3. 유용균과 유용미생물 이하, 유용미생물균이라 한다.
4. 기타

7. 스테비아란 무엇인가

5백년 이상 파라과이(Paraguay) 및 브라질과 남미를 원산지로서 하는 국화과 다년초이다.

학명은 스테비아 레바우디아니 베르토니(*Stevia-Rebaudiana betomi*)로 원산지에서는 자연에서 자생하고 있지만 현재는 천연감미료 원료로서 주로 중국에서 재배되고 있다.

스테비아계는 154종이 있지만 그 가운데 있

이 감미성분이 있는 품종만 재배되고 있다. 원래 병충해에 강한 식물로 농약과 화학비료를 필요로 하지 않는 건강식물이다.

스테비아는 사탕수수에서 추출한 설탕보다 당도가 300배 정도 높으며 칼로리는 90분의 1 정도로 낮다. 감미료 성분을 가지고 있으며 분자식은 C38 H50 O18이다.

독성적 물질이 아니고 안전적이고 천연적이며 화학적 특성을 갖고 있어 제조공정을 거치더라도 변화되지 않아 장기적 저장이 가능하다.

또한 오랜 임상실험을 통하여 인체에는 ‘비발암성’이고 ‘비중독성’으로 전세계적으로 실험과 연구논문이 증명되었다.

물과 알코올에 잘 용해되고 설탕과 배합하여 사용할 수 있으며 현재 미국, 일본, 대만, 중국에서는 시험을 거쳐 각 분야의 제품이 양산되고 있으며, 또한 열에 강하여 196℃ 이상 되어야 분해되고 산·염에 대하여도 변화하지 않는 특성을 가지고 있다.

8. 시험성적 결과

(재)포항산업과학연구원이 미국 EPA방법에 의거, 지난 해 9월 1일부터 11월 3일까지 약 2개월간의 시험기간을 거쳐 11월 26일 발표한 시험성적표에 따르면 분해효과는 1차에는 46.4%(불균일상), 2차에는 68.8%(균일상)로 나타났다.

8-1. 분해시험 결과에 대한 검토의견

1) 국화과 다년초 식물인 스테비아로부터 추출해 정제한 물질을 다이옥신을 함유한 소각재에 넣어 상온에서의 반응을 살펴본 결과 자체적으로

[표 2] 소각회 중 다이옥신의 스테비아 추출액에 의한 분해효과 (단위 : ng-TEQ/g)

구 분	회중 다이옥신 농도	불균일상 반응	균일상 반응
Congener	반응 전 농도	반응 후 농도	반응 후 농도
2, 3, 7, 8-TCDF	0.040	0.022	0.013
1, 2, 3, 7, 8-PeCDF	0.098	0.052	0.031
2, 3, 4, 7, 8-PeCDF	1.241	0.706	0.386
1, 2, 3, 4, 7, 8-HxCDF	0.329	0.186	0.100
1, 2, 3, 6, 7, 8-HxCDF	0.377	0.201	0.112
2, 3, 4, 6, 7, 8-HxCDF	0.619	0.323	0.189
1, 2, 3, 7, 8, 9-HxCDF	0.045	0.020	0.031
1, 2, 3, 4, 6, 7, 8-HpCDF	0.224	0.128	0.066
1, 2, 3, 4, 7, 8, 9-HpCDF	0.036	0.018	0.011
OCDF	0.012	0.006	0.005
2, 3, 7, 8-TCDD	0.094	0.047	0.032
1, 2, 3, 7, 8-PeCDD	0.271	0.142	0.082
1, 2, 3, 4, 7, 8-HxCDD	0.086	0.045	0.028
1, 2, 3, 6, 7, 8-HxCDD	0.176	0.081	0.059
1, 2, 3, 7, 8, 9-HxCDD	0.124	0.061	0.040
1, 2, 3, 4, 6, 7, 8-HpCDD	0.160	0.075	0.046
OCDD	0.041	0.020	0.012
전체농도	3.973	2.132	1.241
분해효과(%)	-	46.4	68.8

1) 불균일상 반응 : ash 1g + stevia 추출액 100ml (반응조건 : 상온, 10일간 교반)

2) 균일상 반응 : ash 1g 추출액 + stevia 추출액 100ml (반응조건 : 상온, 2일간 교반)

다이옥신의 분해효과가 있음을 확인하였다.

2) 스테비아 추출액은 인체에 비발암성 및 비중독성의 물질로서 이미 식품의 첨가물로 사용되어 왔으므로 다이옥신을 함유하고 있는 식품이나 음료에 첨가할 경우에는 다이옥신을 분해할 수 있을 것으로 기대된다.

3) 쓰레기 소각로에서 발생하는 소각재의 처리시에도 소각재에 포함된 고농도의 다이옥신을 효과적으로 제거할 수 있다.

9. 글을 맺으며

(주)경일자원개발은 7년 전부터 일본의 스테비아개발연구원과 교분을 갖고, 국내 토양에서 적용할 수 있는 종자를 배양, 개발했고 98년도에 국내에서 시험재배를 해 본 결과 성분과 수확면에서 월등하였으며 재배하는 과정도 용이했다.

한편 일본의 스테비아개발연구원(원장 도오

조노 후미오)은 20년간 다각적인 분야의 스테비아 식용제품개발 및 연구에 전념해온 관련부문 최고의 권위자이며 특허만 하여도 14EA가 국제등록되어 있으며 미국의 FDA에서도 승인을 받았는데 이 중 국내 매스컴에서 문제로 지적되어 온 O-157 등의 병원성 대장균이나 살모넬라균에 스테비아 추출물에서 '살균물질'을 개발하여 특허 및 상품화되고 있다.

다이옥신 분해물질개발은 여기에서 시작되었으며 (주)경일자원개발과 일본스테비아연구원은 스테비아 관련제품의 기초원료인 스테비아 추출농축액을 한국에서 생산, 일본에 공급하기로 했다.


그리고 일본에서 개발된 전품목(사료첨가제, 건강음료, 화장품 등)의 기술을 국내업체를 선정, 제공하고 원료를 공급할 예정이다.

또한 일본의 경우 환경청 공고에 의한 소각재 1g 중(2만명 치사량) 3나노그램 이하의 다이옥신 함유물은 매립을 허용하므로 국내에서 전량 공급을 예정하고 있다.

한편 국내 폐기물의 경우 대부분이 매립에 의존하고 있고, 소각처리는 전체 배출량의 2.2%로서 우리나라와 유사한 국토 면적을 가진 일본, 덴마크 등 선진국에 비해 극히 미비한 상태이다(일본 74%, 덴마크 70%).

국내 환경부에서는 쓰레기 매립장 확보난을 배경으로 2001년까지 3조4천억을 소각장 건설에 투입해 현재 2.2%인 소각처리물을 27%로 끌어올릴 계획인 시점에서 식물성 다이옥신 분해제 DK-15는 큰 관심이 아닐 수 없다.

현재 국가기관에서 유일한 위탁재배 품목은 담배와 인삼 뿐이며 스테비아를 위탁 재배할 때 국내 어느 토양이라도 재배가 가능하므로 농가 소득 증대에도 기여되리라 생각된다.

현재 이 기술은 산업과학기술연구원과 (주)경일자원개발이 공동으로 특허를 출원한 상태이다(관련문의 : 0562)279-4501). 

〈자료제공 : 김영국 (주)경일자원개발 대표이사〉

안 내

매년 2월 25일은 「포장인의 날」입니다.

오는 25일에는 제 3회 한용교포장인상의 시상식이 있습니다.

포장산업에 종사하고 계시는 포장인들에게 자긍심을 심어주고 있는 한용교포장인상에 깊은 관심과 참여를 기다립니다.

(사)한국포장협회