

플라즈마 방식 열분해 가스화용융시설의 공정별 클로로벤젠 및 클로로페놀 배출거동에 관한 연구

신찬기·신대윤*·김기현·손지환
국립환경과학원, 조선대학교 환경생명공학과*

A Study on the Chlorobenzene and Chlorophenol Behavior in Plasma Type Pyrolysis/Gasification/Melting Process

Chan-Ki Shin · Dae-Yun Shin · Ki-Heon Kim · Ji-Whan Son
Department of Environmental Bio Engineering, Chosun University

Abstract

The incineration process has commonly used for wastes amount reduction and thermal treatments of pollutants as the technologies accumulated. However, the process is getting negative public images owing to matter of hazardous pollutants emission. Specially dioxins became a main issue and were mostly emitted from municipal solid wastes incineration. In this reason, pyrolysis/gasification/melting process is presented as an alternative of incineration process. The pyrolysis/gasification/melting process, a novel technology, is middle of verification of commercial plant and development of technologies in Korea. But the survey about the pollutant emission from the process, and background data in these facilities is necessary. So in this survey, it is investigated that the behavior of chlorobenzenes and chlorophenols in plasma type pyrolysis/gasification/melting plant of pilot scale.

We investigated discharging behavior of each phase of chlorobenzene through each process in the plasma type pyrolysis/gasification/melting process. From this result, it was found that about 99 percent of particle-phase chlorobenzene was removed, but on the other hand gas-phase chlorobenzene was increased by about 600 percent through heat exchanger, flue gas cooling, system and semi dry absorption bag filter(SDA/BF). Also, this investigation presented that di-chlorobenzene(DCB), tri-chlorobenzene(TCB), tetra-chlorobenzene(TeCB), penta-chlorobenzene(PCB), except mono-chlorobenzene(MCB) and hexa-chlorobenzene(HCB) were increased through the flue gas cooling system and the semi dry absorption bag filter(SDA/BF).

It was investigated that concentration of particle-phase chlorophenol was decreased by about 66 percent, but on the other hand, concentration of gas-phase chlorophenol was increased by about 170 percent through heat exchanger, flue gas cooling system, and semi dry absorption bag filter(SDA/BF) . Also, it was found that di-chlorophenol(DCP), tri-chlorophenol(TCP), and penta-chlorophenol(PCP) were increased through the flue gas cooling system, and the semi dry absorption bag filter(SDA/BF). It can be considered that small-scale pilot facility and short investigation period might cause the concentration increase through the flue gas cooling system and the semi dry absorption bag filter(SDA/BF) . A further study on real-scale pilot facility and accurate investigation may be required.

Key words : dioxin precursor, chlorobenzenes, chlorophenols

I. 서 론

2004년말 환경부 통계¹⁾에 따르면 생활 폐기물 처리방법 중 매립이 차지하는 비율은 점차 감소하고, 소각과 재활용의 비율은 지속적으로 증가하고 있다. 국내 매립지 확보에 어려움이 있는 시점에서 소각처리동 열적처리는 당분간 증가할 것으로 판단된다. 하지만 생활쓰레기에는 많은 염소화합물이 포함되어 있고, 소각시설 운전시 중금속, HCl, Cl₂ 등이 배출된다. 또한 일부 유독성 염소유기화합물이 형성되어 2차오염이 야기되면서, 소각시설 설치에 부정적인 영향을 미치고 있다^{17,22)}.

폐기물 소각시설에서 배출되고 있는 유기염소화합물 중 대표적인 유해물질은 다이옥신(PCDD/Fs: Polychlorinated Dibenzo-p-dioxin & Polychlorinated Dibenzofuran)으로 사회적으로 문제가 되고있다. 현행 폐기물관리법³⁾에서 정하고 있는 소각시설의 설치기준은 운영시 다이옥신을 저감할 수 있는 조건으로 연소실 출구온도 850°C 이상, 보일러 출구온도 200°C 이하, 가스체류시간 2초 이상 등으로

정하고 있고, 대기환경보전법⁴⁾ 상의 대기배출허용기준에 소각시설 다이옥신 배출농도 0.1ng-TEQ/m³, 를 정하고 있으며, 그 기준은 점차 엄격해지고 있는 실정이다.

이렇게 소각시설 설치기준이 강화되고 있는 반면에 기존 소각시설의 대체 공정으로서 열분해가스화 용융기술이 제시되고 있다^{27,28,33)}. 폐기물을 열분해가스화 용융기술은 폐기물을 가열 혹은 부분 연소하여 char나 oil을 발생시키고, 동시에 발생한 불연물과 재를 용융점이상의 고온에서 열적처리를 한 후 냉각시키는 기술이다^{9,27,28,33)}.

열분해가스화 용융공정은 폐기물처리에 있어 기존 스토크식 소각에 의한 다이옥신을 보다 저감 할 수 있는 신 공정기술이라 할 수 있다. 기존의 스토크식 소각공정과는 달리 열분해가스화 용융공정에서는 용융시로내의 온도를 높게 유지해야 하기 때문에 고발열량 폐기물이 유리하게 작용될 수 있다. 일본의 경우 2002년도 이후 본격적으로 상업운전을 하고있는 실정이며,, 우리나라의 경우도 Table 1와 같이 3-4기 정도가 건설중이거나 건설을 준비 중에 있으나 기술적으로 성숙된 단계는 아니다.

*Corresponding author E-mail : scknierz@me.go.kr

Table 1. Facilities of ordering the pyrolysis/gasification melting process plant in Korea

Position	Capacity	Budget(Won)	Propelling period	Current Progress
Yangsan	200ton/d	627×10^8	2003.8~2007.8	Designing plant
Yangju	100ton/d × 2	880×10^8	2000.7~2007.12	Performing project
Goyang	300ton/d	945×10^8	2004.3~2008.3	Plans project
Chunchun	100ton/d	450×10^8	2004.3~2008.3	Plans project

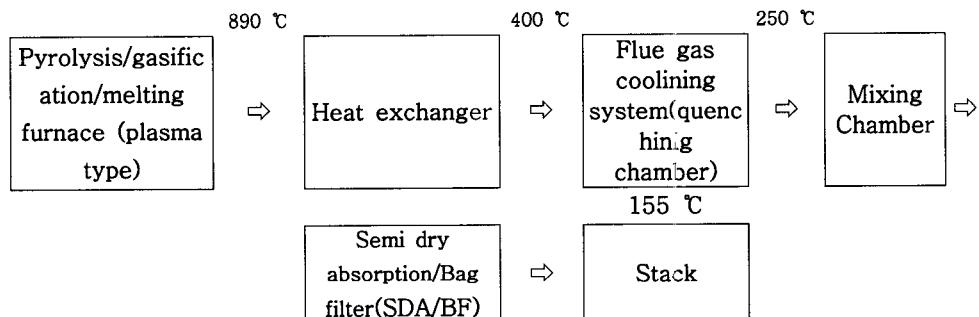


Fig1. Flow diagram of process used in this study

따라서 현재 연구가 진행 중에 있는 열분해가스화 용융공정에서의 오염물질 발생에 대하여 조사할 필요가 있고, 특히 사회적으로 이슈가 되고 있는 다이옥신 및 그전구물질등 유해 대기오염물질의 발생과 배출거동에 대한 조사연구가 필요한 실정이다.

현재 우리나라 폐기물관리법³⁾ 및 대기환경보전법⁴⁾에는 클로로벤젠류 및 클로로페놀류에 관한 배출기준은 설정되어 있지 않으나 다이옥신류의 배출농도와 관련성이 큰 것으로 보고^{21),22)} 되고있어 폐기물의 열적처리시설에서의 배출거동에 관심을 가져야 할 것으로 판단되고 있다.

특히 클로로벤젠류 중 헥사클로로벤젠(Hexa Chloro Benzene, HCB,)은 스톡홀름 국제협약에서 잔류성 유기오염물질(POPs)로 지정하여 다이옥신류 및 PCBs 등과 함께 관심이 높아지고 있다. 헥사클로로벤젠(HCB)은 스톡홀름 협약 부속서 A의 근절대상물질임과 동시에 부속서 C의

비의도적으로 생산되는 물질이기는 하나 다른 화학물질의 생산과정 및 폐기물의 소각 등을 통하여 비의도적으로 발생할 수 있어 이들물질에 대한 배출원 규명, 배출거동에 대한 조사가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 국내에서 시범적으로 운영되고 있는 파일롯트규모의 플라즈마방식의 열분해가스화 용융시설을 대상으로 공정별로 다이옥신전구물질인 클로로벤젠 및 클로로페놀의 배출거동을 확인하고자 하였다.

II. 연구대상 시설 선정 및 분석방법

1. 연구대상 시설의 구성

본 연구에서는 국내에서 시범적으로 운영되고 있는 파일롯트규모의 대표적인 열분해가스화 용융시설중 하나로 플라즈마를 이용한 열분해가스화용융시설을 선정하였으며, 그 구성도는 Fig.1 과 같다

2. 시료채취 및 분석방법

클로로벤젠 및 클로로페놀 분석을 위하여 시료채취, 전처리, 가스크로마토그래프/질량분석기(Gas Chromatograph/Mass Spectrometry, GC/MS)분석과정으로 나누어 수행하였다.

2.1. 시료채취

배출가스중의 클로로벤젠 및 클로로페놀 채취는 미국 환경보호청(EPA)의 분진 측정 방법인 Method 5를 일부 수정한ified Method 5(MM5, Method23)을 토대로 자기나라 특성에 맞게 수정보완하여 사용하고 있으나, 아직까지 전 세계적으로 통일된 방법은 없는 실정이다. 본 조사에서는 현행 대기오염공정시험방법⁵⁾에 정해진 다이옥신 시료채취방법에 준하여 등속흡입(isokinetic suction)하였다. 시료채취장치가 유리재질로 이루어져 있기 때문에 시료채취 전 채취장비는 반

드시 누출시험을 실시하고, 4시간 평균 3Nm^3 이상을 채취하는 것을 원칙으로 하였다.

2.2. 클로로벤젠류 전처리

클로로벤젠류의 전처리는 다이옥신 분석 방법의 정제방법(JIS K0312)의 다층실리카겔 정제 방법을 사용하였다. Fig. 2와 같이 안지를 1.5cm, 길이 30cm의 컬럼에 실리카겔을 충진하고, 이 컬럼에 시료 추출액을 옮겨 놓고 $^{13}\text{C}_{12}-\text{CBz}$ 100ng을 정제용 내부표준물질로 첨가한 후, n-헥산 100ml를 매초 1방울의 속도로 유출시킨다. 유출액을 농축기에서 약 5ml로 농축한 다음, 실린지용 표준물질로 phenanthrene-d₁₀ 100ng을 첨가하고 질소가스를 불어넣어 약 100 μl 로 농축시킨 뒤, 1 μl 로 하였다.

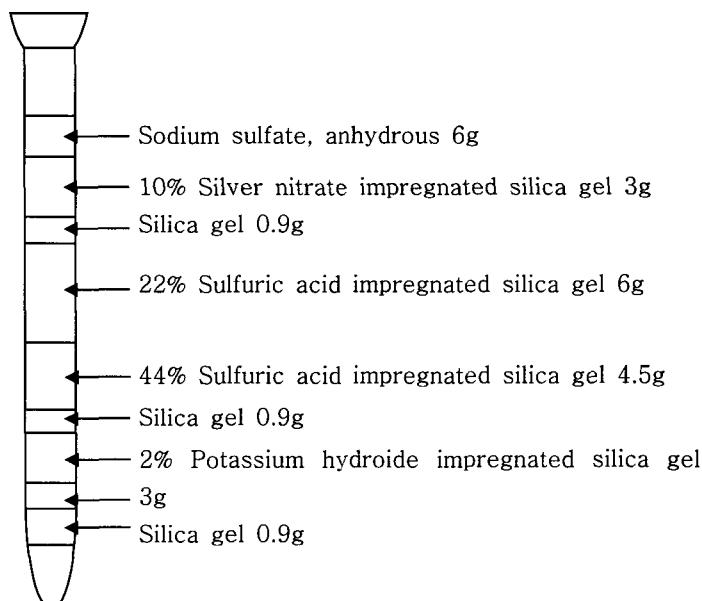


Fig. 2. Multi layer silica gel column(JIS K0312)

2.3. 클로로페놀류 전처리

클로로페놀류 항목에 대하여 Fig.3 와 같이 “생물시료 중 알킬페놀류, 클로로페놀류 및 비스페놀 A의 분석법”의 전처리 방법 중 일부를 사용하였다.

전처리는 메탄올 100ml를 넣어둔 300ml분액 깔때기에 샘플추출액과 5종의 정재용 내부표준물질 $^{13}\text{C}_{12}$ -CPs를 주입하고 10분간 진탕 추출한다. 이후 헥산포화증류수 3~5ml를 넣고, 헥산 30ml를 넣고 5분간 진탕 추출한다. 메탄올 층을 별도의 300ml 분액 깔때기에 옮기고 다시 헥산 30ml를 넣고 진탕 혼합하고 정치한다. 메탄올층을 5% 염화나트륨 수용액 500ml를 넣어둔 1ℓ의 분액 깔때기에 옮기고 염산 1ml를 첨가하고 디클로로메탄 50ml를 넣어 10분간 진탕추출한다. 이 조작을 2회 반복하고 디클로로메탄층을 합하여 무수황산 나트륨으로 탈수하고 회전식 감압농축기를 사용하여 농축하고, 실린지용 표준물질로 phenanthrene-d₁₀ 100ng을 첨가하고, 질소가스를 불어넣어 약 100μl로 농축하여 1μl로 하였다.

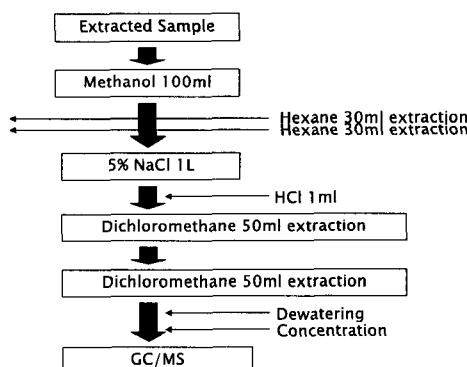


Fig. 3. Pretreatment method of the chlorophenols

2.4. 클로로벤젠류 및 클로로페놀류의 분석

클로로벤젠류 및 클로로페놀류의 분석은 Auto System XL Gas Chromatograph (Perkin Elmer Ist.)와 Turbo Mass Spectrometer(Perkin Elmer Ist.)를 사용하였으며 GC/MS 분석조건은 Table 2와 같다.

Table 2. GC/MS analytical condition of chlorobenzenez and chlorophenols

Parameters	Conditions
Injector	270°C
Column	DB-5ms(60mX0.25mm ID X 0.2um)
Oven temperature	50°C(2min) → 5°C/min to 220°C (4min)
Carrier gas	He, 20psi
Ionization	EI, 34eV
Ion source	200 °C

III. 결과 및 고찰

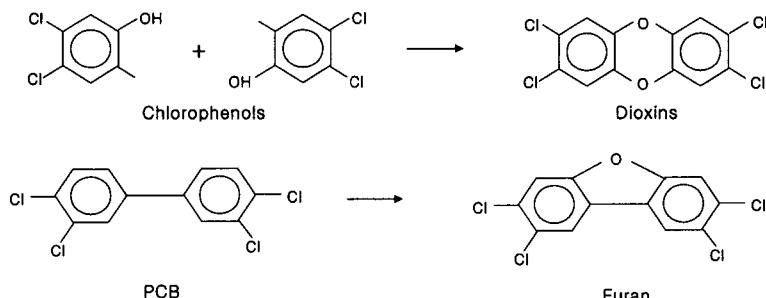
1. 연소공정에서의 다이옥신 생성 메커니즘

연소공정에서 다이옥신의 생성기작은 Fig.4에 제시한 바와 같이 일반적으로 4가지로 구분하고 있다^{21,22)}. 첫째로, 폐기물 중에 원래 함유되어 있던 다이옥신(PCDDs/PCDFs)이 열적으로 분해되지 않고 배출가스와 함께 배출되는 경우, 두번째는 PCBs, Chlorobenzenes, Chlorophenols와 같은 전구물질에 반응에 의해서 다이옥신이 형성되는 경우, 세 번째는 PVC, Lignin 등의 유기물질과 무기염소 및 HCl 등의 염소원과 반응을 해서 다이옥신이 형성되는 경우, 네 번째는 전구물질이 비산재의 표면으로 이동하고, 비산재 표면위에서 반응이 진행되어 다이옥신이 형성되는 경우가 있다²¹⁾.

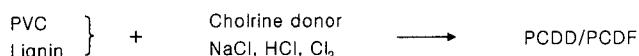
- Dioxins present in the waste :



- Formation from chlorinated precursors:



- Formation from the presence of organics and a chlorine donor:



- Reactions on the surface of fly ash particles:

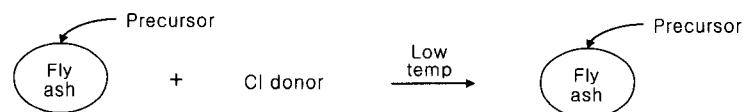


Fig. 4. Dioxins & Furans formation mechanism in waste incinerator

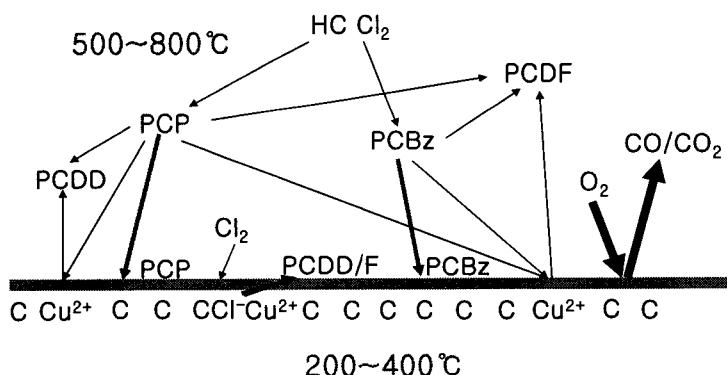


Fig. 5. PCDDs/Fs formation pathways from precursors

폐기물 열처리공정시 다이옥신이 생성될 수 있는 4가지 경로 중에서 전구물질에 의한 다이옥신 형성에 대하여 Fig. 5에 나타내었다^{29,30)}. Fig.5에서 보는 바와 같이 chlorobenzenes과 chlorophenols가 연소가스 500~800°C 범위에서 반응이 일어나고, 소각재의 표면으로 이동하여 입자상에서 200~450°C 범위에서 반응이 일어나서 다이옥신 형성에 기여하고, 이때 소각재 중의 Cu는 촉매로 작용을 하며^{21,22)}. 이 때 다이옥신은 미량 발생하고 대부분의 전구물질들은 산소와 반응하여 CO나 CO₂로 배출이 된다^{21,22,29)}. 또한 이론적으로 PCDDs의 생성은 PCDFs 생성보다 잘 일어나지만, 실제로는 그렇지 않다³⁰⁾. 이는 가스상에서는, orthoortho couplings이 oxygenortho보다. 선호되므로 퓨란의 생성이 활발하기 때문이다. 더욱이 PCDFs의 전자배치는 전자이탈에 의해서 더 안정적이지만, PCDDs 구조는 그렇지 않다. 염화페놀의 biaryl synthesis인 Ullmann 반응^{29,30,31)}은 C-C1 결합이 일어나지만 C-H 결합이 없는 조건이라면 300°C에서 발생하기 쉽다.

2. 다이옥신 전구물질중 클로로벤젠 및 클로로페놀의 역할

생활폐기물 소각로의 배연가스중의 다이옥신(PCDDs/PCDFs) 농도는 다양한 전구체 화합물과 상호연관성이 있는 것으로 보고되어지고 있으며²⁹⁾. 연소가스내에서 헥사클로로벤젠, (PeCBz + HeCBz) 와 펜타클로로페놀(PCP)의 상호연관성이 신뢰도 80% 이상인 것으로 보고되고 있다³⁰⁾. 특히 가스상 반응에서 다이옥신과 다이옥신 전구체는 높은 상관관계를 가지며 생활폐기물 소각로에서 발생하는 비산재중의 총 Chlorobenzenes의 농도와 다이옥신 농도가 관련이 있는 것으로 보고되고 있다²¹⁾. 다이옥신 생성

은 온도에 영향을 받으며, 최대생성은 500~700°C 범위에서 일어나며, 적당한 촉매가 존재할 때 200~400°C의 온도에서 촉매입자의 표면에서 다이옥신이 최대로 생성되는 것으로 보고되고 있다.^{31,32)}

입자상 다이옥신은 2가지 경로로 생성이 되는데, 하나는 chlorobenzenes와 chlorophenols와 같은 전구체로부터 생성되는 것이고, 다른 하나는 탄소입자로부터 de novo합성에 의한 것이다^{21,22)}. 전구물질에 의한 입자상다이옥신형성은 입자표면에 전구체 분자들이 흡착되고 금속촉매의 영향으로 생성된다. 또한 생활폐기물 소각로에서 배출되는 다이옥신과 배연가스중의 비산재 사이에는 완전하지는 않지만 비례적인 관계가 있고, 일반적인 도시폐기물 소각로에서의 전구체의 농도는 Chlorobenzene 3μg/Nm³, Chlorophenols 20μg/Nm³ 수준으로 보고되고 있다³⁰⁾.

Huang and Buekens²⁹⁾은 전구물질에 의해서 생성되는 다이옥신양이 de novo합성에 의해서 생성되는 다이옥신 양에 비해서 작고, 소각로의 다이옥신은 대부분 de novo 반응에 의해 생성된다고 제시하였다²⁹⁾. 또한 전구체로부터 다이옥신이 생성될 때, 반응속도는 de novo합성에 의한 것보다 100에서 100,000배정도 더 빠르며 또한 산소를 변수로 한 de novo반응 실험에서 산소가 없는 상태에서는 de novo합성에 의한 다이옥신형성이 일어나지 않았고, 산소농도를 0~2%로 변화시켜 주었을 때, 산소농도와 다이옥신 형성율은 비례하는 것으로 보고하였다^{29,30)}.

3. 공정별 클로로벤젠류 배출특성

연구대상 시설인 플라즈마방식의 열분해 가스화용융시설의 공정은 열분해가스화용융로, 열교환기, 냉각설비, 방지시설 (SDA/BF)을 거쳐 최종 배출되며, 열분해가스화용융로 후단 및 최종배출구에서 측정한 클로로

벤젠의 농도는 Fig. 7에 나타낸 바와 같다.

Fig. 6에서 보는 바와 같이 입자상 클로로벤젠류는 열분해가스화실후단 $0.848\mu\text{g}/\text{Sm}^3$, 최종배출구 $0.008\mu\text{g}/\text{Sm}^3$ 로 약 99%의 제거율을 나타내는 반면, 가스상 클로로벤젠류는 열분해가스화실 후단 $0.384\mu\text{g}$

$/\text{Sm}^3$, 최종배출구 $2.303\mu\text{g}/\text{Sm}^3$ 로 최종배출구에서 오히려 약 6배 증가하는 것으로 나타났으며 전체 클로로벤젠류는 열분해가스화실후단 $1.232\mu\text{g}/\text{Sm}^3$, 최종배출구 $2.311\mu\text{g}/\text{Sm}^3$ 로 최종배출구에서 46.7% 증가한 것으로 나타났다.

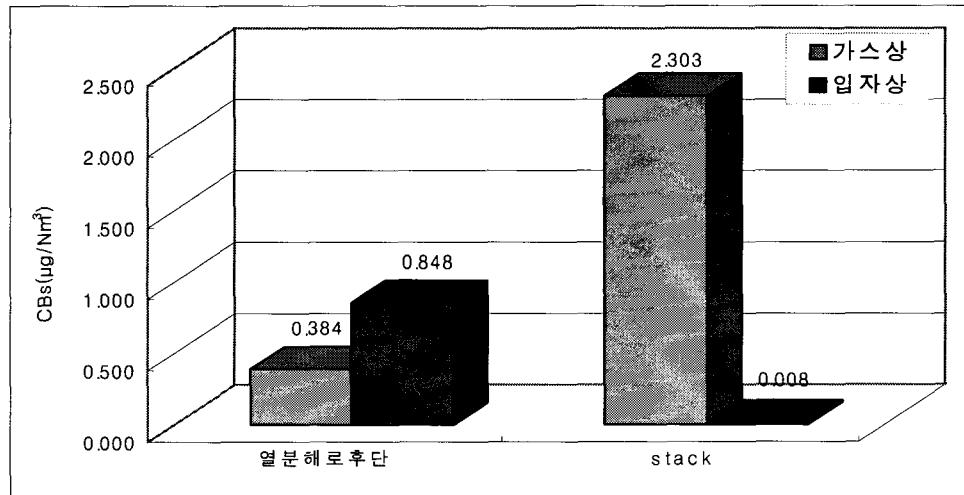


Fig. 6. concentration of gas phase and particulate phase chlorobenzenes in pyrolysis/gasification/melting furnace and stack

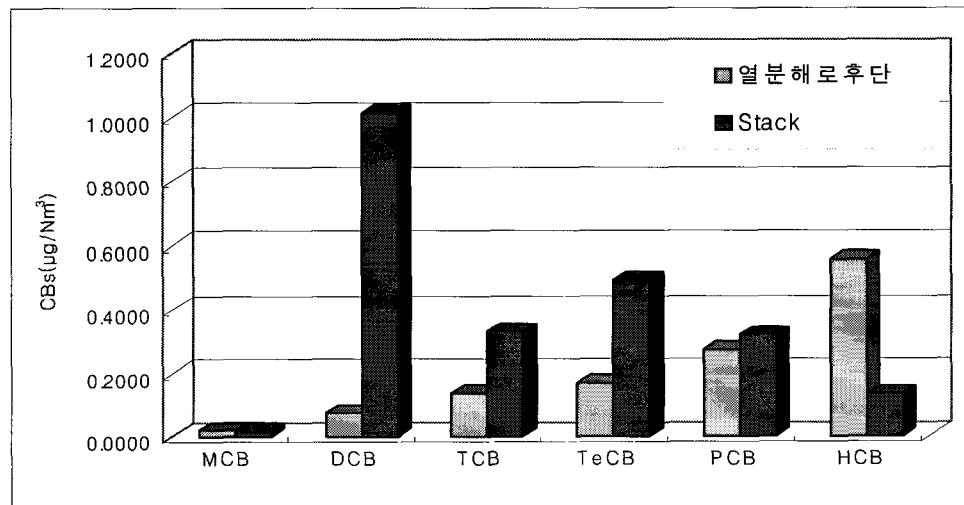


Fig. 7. concentration of chlorobenzenes isomer in pyrolysis/gasification/melting furnace and stack flue gas

Fig. 7은 열분해가스화용융로 전·후단에서 클로로벤젠류 치환이성체의 농도변화를 나타낸 것으로, 6종의 클로로벤젠류 중 모노클로로벤젠과 헥사클로로벤젠을 제외한 디클로로벤젠, 트리클로로벤젠, 테트라클로로벤젠, 펜타클로로벤젠이 냉각시설 및 방지시설을 통과하면서 농도가 증가한 것으로 나타났다. 특히 열분해가스화실 후단에서 가스상 및 입자상 헥사클로로벤젠과 펜타클로로벤젠은 각각 45.5%와 22.2%를 차지하여 전체의 67.7%를 차지하고 있으며, 대기오염방지시설인 반건식세정탑·백필터(SDA/BF) 후단에서의 가스상 및 입자상 헥사클로로벤젠의 분포율은 45.5%에서 5.8%로 감소하고 디클로로벤젠의 분포율은 6.1%에서 43.9%로 증가하는 것으로 나타났다.

이상에서와 같이 플라즈마방식의 열분해가스화용융공정의 공정별 클로로벤젠류 배출거동을 조사한 결과 열교환기, 냉각시설, 반건식세정탑, 백필터(SDA/BF)을 거치면서 입자상 클로로벤젠은 약 99% 제거되는 것으로 나타났다. 반면, 가스상 클로로벤젠은 약 600% 더 증가하는 것으로 조사되었다. 또한 6종의 클로로벤젠 치환이성체 중 모노클로로벤젠(MCB) 및

헥사클로로벤젠(HCB)를 제외한 4종의 클로로벤젠이성체가 냉각시설 및 반건식세정탑·백필터(SDA/BF)을 통과하면서 증가하는 것으로 나타났다.

이러한 현상은 클로로벤젠이 연소가스의 온도가 500 - 800 °C 범위에서 소각비산재 표면입자에서 반응이 잘일어난다는 보고^{21,22)}.와 관련이 있는 것으로 판단되었다.

4. 공정별 클로로페놀류 배출특성

연구대상 시설인 플라즈마방식의 열분해가스화용융시설의 공정은 열분해가스화용융로, 열교환기, 냉각설비, 반건식세정탑·백필터(SDA/BF)을 거쳐 최종 배출되며, 열분해가스화용융로 후단 및 최종배출구에서 측정한 클로로페놀의 농도는 Fig.8에 나타낸 바와 같다.

Fig. 8에서 보는 바와 같이 입자상 클로로페놀류는 열분해가스화실후단 3.737 $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$, 최종배출구 1.260 $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$ 로 약 66.3%의 제거율을 나타내는 반면, 가스상 클로로페놀류는 열분해가스화실 후단 1.868 $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$, 최종배출구 3.158 $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$ 로 약 1.7배 증가하는 것으로 나타났다.

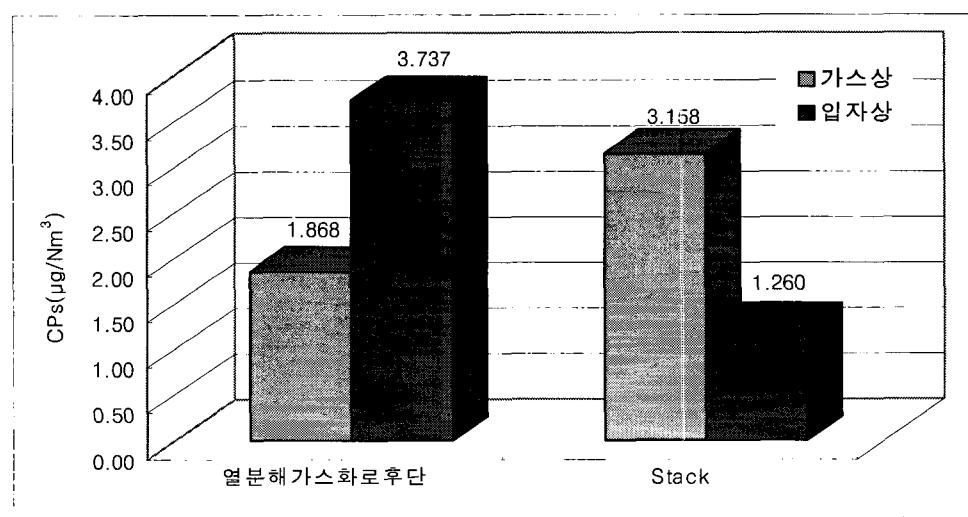


Fig. 8. concentration of gas phase and particulate phase chlorophenols in pyrolysis/gasification/melting furnace and stack

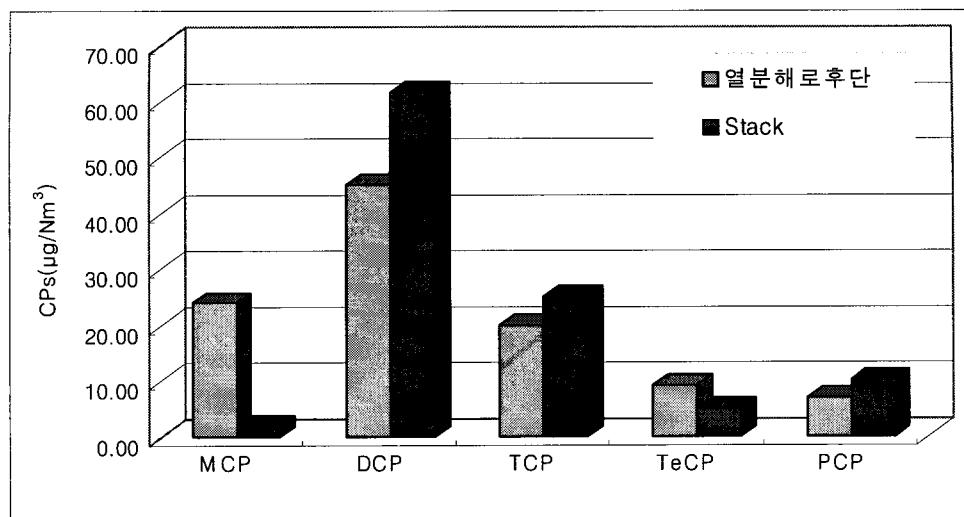


Fig. 9. concentration of chlorophenols isomer in yrolysis/gasification/melting furnace and stack flue gas

Fig. 9은 열분해가스화용융로 후단 및 최종배출구에서 클로로페놀류 치환이성체의 농도변화를 나타낸 것으로, 5종 중 모노클로로페놀(MCP)과 테트라클로로페놀(TeCP)는 냉각시설 및 방지시설을 통과하면서 농도가 감소한 것으로 나타났고, 디클로로페놀(DCP), 트리클로로페놀(TCP) 및 펜타클로로페놀(PCP)은 냉각시설 및 방지시설을 통과하면서 농도가 증가한 것으로 나타났다. 특히 열분해가스화실 후단에서 가스상 및 입자상 디클로로페놀(DCP)과 모노클로로페놀(MCP)은 전체 농도의 각각 39.6%와 22.8%를 차지하여 전체적으로는 62.4%를 차지하고 있으나, 방지시설 후단에서 가스상 및 입자상 디클로로페놀(DCP)과 트리클로로페놀(TCP)의 분포율이 각각 54.7%와 21.4%를 차지하여 전체의 76.1%를 차지하는 것으로 나타났다.

이상에서와 같이 프라즈마방식의 열분해가스화용융공정의 공정별 클로로페놀류 배출거동을 조사한 결과 열교환기, 냉각시설, 반건식세정탑.백필터(SDA/BF)을 거치면서 입자상페놀은 약 66% 제거되는

반면, 가스상클로로벤젠은 약 170% 더 증가하는 것으로 조사되었다.

또한 5종의 클로로페놀 치환이성체중 di-chlorophenol(DCP), tri chlorophenol(TCP), penta-chlorophenol(PCP)이성체는 냉각 시설 및 반건식세정탑.백필터(SDA/BF)을 통과하면서 증가하는 것으로 나타났다.

냉각시설 및 대기오염방지시설을 통과하면서 클로로벤젠 및 클로로벤젠 농도가 증가하는 원인은 규모가 적은 파일럿 시설을 대상으로 단기간에 조사한것이기 때문으로 사료되며 앞으로 실제규모에 대한 정밀한 조사연구가 필요할 것으로 사료된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 국내에서 실증단계에 있으며 상용화가 진행 중에 있는 플라즈마방식의 폐기물 열분해가스화/용융시설을 선정하여, 다이옥신류 전구물질인 클로로벤젠류 및 클로로페놀류의 공정별 배출 거동을

조사하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 열분해가스화용융공정의 공정별 클로로벤젠류 배출거동을 조사한 결과 열교환기, 냉각시설, 반건식세정탑.백필터를 거치면서 입자상클로로 벤젠은 약 99% 제거되는 반면, 가스상을클로로벤젠은 약 600% 더 증가하는 것으로 조사되었다.

또한 6종의 클로로벤젠 치환이성체중 모노클로로벤젠 및 헥사클로로벤젠을 제외한 디클로로벤젠, 트리클로로벤젠, 테트라클로로벤젠, 펜타클로로벤젠이냉각시설 및 반건식세정탑.백필터를 통과하면서 증가하는 것으로 나타났다.

2. 열분해가스화용융공정의 공정별 클로로페놀류 배출거동을 조사한 결과 열교환기, 냉각시설, 반건식세정탑.백필터를 거치면서 입자상페놀은 약 66% 제거되는 반면, 가스상을클로로벤젠은 약 170% 더 증가하는 것으로 조사되었다.

또한 클로로페놀 치환이성체중 디클로로페놀, 트리클로로페놀, 펜타클로로페놀은 냉각시설 및 반건식세정탑.백필터를 통과하면서 증가하는 것으로 나타났다.

본연구에서 클로로벤젠 및 클로로벤젠 농도가 냉각설비 및 반건식세정탑.백필터를 거치면서 증가하는 원인은 규모가 적은 파일롯트 시설을 대상으로 단기간에 조사한 것이기 때문으로 사료되며 앞으로 실제규모에 대한 정밀한 조사연구가 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 2004 전국폐기물 발생 및 처리현황, 환경부.국립환경과학원, 2005
2. 중소형 소각시설 다이옥신 및 주요 대기오염물질 배출특성 조사와 구조 및 성능 평가(I), 국립환경연구원, 2002
3. 폐기물관리법, 환경부, 2005
4. 대기환경보전법, 환경부, 2005
5. 대기오염공조시험방법, 환경부, 2005
6. 환경관리공단, 2005, 제3회 폐기물처리 기술 워크숍
7. 환경관리공단, 2004, 폐기물처리기술 워크숍
8. 김기현, 신찬기, 이원석의 6인 “열분해가스화용융시스템의 구조 및 성능평가에 관한 연구(1), 국립환경과학원, 2005
9. 박현서, “병원폐기물의 열분해 특성 연구”, 한국폐기물학회지 Vol. 21, No. 7, 2004, P 706-714
10. 신찬기, 김삼권, 정일록 외 6인, 소각시설 구조 및 성능 평가기준(안) 제정에 관한 연구(I), 국립환경연구원, 1999.
11. 이원준, “Bag filter의 운전조건에 따른 다이옥신, Chlorinated Benzene류, Chlorinated Phenol류 제거효율의 변화”, 한국폐기물학회지 vol. 19, No. 5, 2002, P 586-591
12. 이원준, “도시쓰레기 소각로에서 발생되는 다이옥신과 Chlorinated benzenes 및 Chlorinated Phenol의 관계”, 한국폐기물학회지 Vol. 19, No. 5, 2002, P 577-585
13. 김삼권, 전성환, 정일록 외, “도시폐기물 소각시설의 방지시설별 다이옥신류 처리효율 조사연구, 한국폐기물학회지 Vol. 17, No. 1, 2000, P 70-82
14. 폐기물관리법, 환경부, 2005
15. 최기인, 이동훈, 최동혁, “중형 폐기물 소각시설에 설치된 습식세정탑 유입 및 유출가스에서의 다이옥신 농도변화”, 한국폐기물학회지 Vol. 21, No.

- 5, 2004, P 447-455
16. USEPA, Municipal Solid Waste in the Unites States:2000 FACTS AND FIGURES, 2001
17. 이동수, “생활쓰레기의 소각에 따른 다이옥신과 퓨란의 위해성”, 대한환경공학회지 Vol. 16, No. 3, P 353-364
18. 손지환, 생활폐기물 열분해용융공정에서 다이옥신등 대기유해물질 거동, 한국외국어대학교 대학원 석사학위논문
19. 이우근, 심영숙, 김진범, “소각잔사 중의 클로로벤젠과 클로로페놀의 함량 및 이성체 분포특성”, 한국대기보전학회지 Vol. 14, No.3, 1998, P 209-217
20. 정태섭, 김종국, 김경수, 윤병석, “다이옥신 전구물질인 Chlorophenol의 열분해에 관한 연구”, 대한환경공학회지 Vol. 22, No. 1, 2000, P 179-185
21. K. J. Shin, Y. S. Chang, “Characterization of polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans, biphenyls, and heavy metals in fly ash produced from korean municipal solid waste incinerators”, Chemosphere, Vol. 38, Issue 11, 1999, P 2655-2666
22. M. Takaoka, P. Liao, N. Takeda, "The behavior of PCDD/Fs, PCBs, chlorobzenes and chlorophenols in wet scrubbing system of municipal solid waste incinerator", Chemosphere, Vol. 53, Issue 2, 2003, P 153-161
23. Malcolm P. Stevens, 1999, Polymer Chemistry, Oxford University Press
24. Jozef M PAcyra, Knut Breivik, Jorg Munc, Janina Fudala, Atmospheric Environment 37 Supplement (2003)S19-S13
25. 環境省 大気汚染防止法 및 ダイオキシン類対策特別措置法, 2002
26. 日本 特許廳, ダイオキシン対策技術, 1999
27. 藤吉 秀昭, 새로운 쓰레기 處理方式-次世代 純炭機(stoker)とガス化溶融爐, 日本工業新聞社 地球環境, Vol. 9, 20030
28. 藤吉 秀昭, 次世代ガス化溶融爐の經濟性について-導入状況と今後の課題-, Energy, Vol. 4, 2003
29. H. Huang and A. Buekens “On the mechanisms of dioxin formation in combustion processes”, Chemosphere, Vol. 31, Issue 9, 1995, P 4099-4117
30. K. Ballschmiter, I. Braunmiller, R. Niemczyk and M. Swerev, “Reaction pathways for the formation of polychloro-dibenzodioxins (PCDD) and -dibenzofurans (PCDF) in combustion processes: II. Chlorobzenes and chlorophenols as precursors in the formation of polychloro-dibenzodioxins and -dibenzofurans in flame chemistry” Chemosphere, Vol. 17, Issue 5, 1988, P 995-1005
31. J. A. Mulholland, U. Akki, Y. Yang, and J. Y. Ryu, "Temperature dependence of DCDD/F isomer distributions from chlorophenol precursors", Chemosphere, Vol. 42, Issues 5-7, 2001, P 719-727
32. L. Vlková, V. Pekarek, V. Pacáková, J. Karban, "Dechlorination ability of municipal waste incineration fly ash for polychlorinated phenols", Chemosphere, Vol. 56, Issue 10, 2004, P 935-942
33. R. Kikuchi, H. Sato, Y. Matsukura and T. Yamamoto, "Semi-pilot scale test for production of hydrogen-rich fuel gas from different wastes by means of a gasification and smelting process with oxygen multi-blowing", Fuel Processing Technology, Vol. 86, Issues 12-13, 2005, P 1279-1296