

環 境 衛 生 工 學

제23권 제3호

2008. 9.

목 차

◇ 論 文 ◇

의료폐기물 소각가스 처리에 관한 연구
..... 이성진 · 서만철/ 1

유리용해로 가스처리 건식 Bag Filter의 개선에 관한 연구
..... 이성진 · 서만철/ 9

침적 생물막법에 의한 제지폐수처리에 관한 연구
..... 이태호 · 은종극/23

인천연안 해역의 *Vibrio*속 세균분포 및 증식특성
..... 황경화 · 공용우 · 이제만 · 고종명 · 김용희/31

하수와 소화슬러지의 CH₄가스 배출원단위 산정에 관한 연구
..... 양형재 · 박정민/39

하구의 보존성 오염물질 확산 예측
..... 윤종수 · 신찬기 · 황동진/47

환경성평가를 통한 비위생 매립지 정비방안
..... 이해승/59

◇ 학회소식 ◇

◇ 투고규정 ◇

《CONTENTS》

◇ Research Paper ◇

- Treatment Study on the Combustion Gas of Medical Waste
..... Sung-Jin Lee · Man-Chul Seo/ 1
- A Study on the Improvement of Dry Bag Filter Treatment System Regarding harmful gas
of Glass Recuperator
..... Sung-Jin Lee · Man-Chul Seo/9
- A Study on the Treatment of Paper Making Wastewater Using Submerged biological Film
Process
..... Tae-Ho Lee · Jong-Geuk Eun/23
- Distribution and characteristic of growth of *Vibrio spp.* in Incheon coastal area
..... Kyoung Wha Hwang · Young Woo Gong · Bo Young Oh ·
Jae-Mann Lee · Jong-Myoung Go · Yong Hee Kim/31
- Estimate of CH₄ Emission Factors in Municipal Wastewater Treatment Plants
..... Hyung-Jae Yang · Jung-Min Park/39
- Diffusive Estimation of the Conservative Contaminant in River Estuary
..... Jong-su Yoon · Chan-ki Shin · Dong-jin Hwang/47
- Uncontrolled Landfill Maintenance Plans through the Environmental Evaluation
..... Hae-Seung Lee/59

◇ KOSESE News ◇

◇ Paper Contribution Rules ◇

의료폐기물 소각가스 처리에 관한 연구

이성진* · 서만철

한국산업기술대학교 지식기반기술에너지 대학원 생명화학공학과

Treatment Study on the Combustion Gas of Medical Waste

Sung-Jin Lee* · Man-Chul Seo

Korea Polytechnic University

Graduate School of Knowledge-based Technology & Energy

Department of Chemical Engineering & Biotechnology

Abstract

Currently, medical waste stoker incinerator is widely used in the emission control technology of health-care risk waste and miscellaneous contaminated waste. In the past, wet type control technology was used to remove the major harmful gaseous contaminants of medical waste such as HCl, NO_x, SO₂, CO, DUST, Dioxin. However, the treatment cost for wastewater was high and it has a disadvantage for frozen system during winter season. Therefore, in order to obtain effective treatment, the dry type control technology was developed and widely used to remove the gaseous contaminants. In this study, pre-coated bag filter using hydrated lime, (Ca(OH)₂), was applied to the dry type control system and the optimum dose of hydrated lime was investigated. The treatment results showed that the dust collection rate was approximately 26.7%. Moreover, the HCl removal rate using pre-coated bag filter (50 mg/sm³ Ca(OH)₂) was 13.52%, which was significantly higher than 3.26% obtained from conventional bag filter.

Key words : medical waste, pre-coated bag filter, combustion gas, Ca(OH)₂

* Corresponding author E-mail : jinlove1004@hanmail.net

I. 서론

의료폐기물은 불결하고 혐오감이 커서 환경위생학적으로 적절하게 관리, 처분하지 않을 경우 수거, 운반과정에서 주사침 등으로 인하여 작업인부가 부상을 당하거나 질병에 감염될 우려가 있고, 2차 감염으로 인하여 국민건강을 침해할 수 있다.¹⁾

의료기관에서 배출되는 의료폐기물은 크게 생활폐기물과 의료폐기물로 구분되는데, WHO는 의료 및 위생시설, 연구시설, 실험실 등에서 발생하는 모든 폐기물을 위생폐기물(health care waste)이라고 하고, 미국 EPA는 의료폐기물(medical waste)중 오염성 혼합폐기물을 감염성폐기물이라고 규정하고 있다.²⁾

선진국들의 경우 생활수준이 향상되고 의료기술이 발달되어 노인인구가 증가하면서 일반 주거지에서 병약자를 방문간호, 왕진하거나 재택요양 간호할 때 발생하는 재택의료폐기물의 발생량이 매년 증가하고 있으며, 별도의 수거시스템을 구축하여 생활폐기물과 분리수거하여 안전하게 처분하는 관리기술을 확보하고 있다.^{3,4)}

우리나라의 경우 병원에서 발생하는 의료폐기물의 감염여부를 판단하거나 적절하게 관리하는 전문가가 확보되어 있지 않다. 따라서 병원에 AIDS, 조류독감, SARS 등 감염성 병원체를 보균한 입원환자가 배출하는 탈지면, 폐합성수지 등은 치료를 전담하는 의사, 간호사 외에 감염성폐기물에 대하여 기본지식이 전혀 없는 환자 및 보호자들까지 취급하고 있어 질병감염의 개연성이 상존하고 있다.

따라서 의료폐기물의 부적절한 취급, 관리에 의한 2차 감염 등의 피해를 예방하기 위해서는 의료기관 종사자들은 물론 환자, 보호자 및 수거체계의 인부들을 대상으로 위생교육을 실시하여 의료폐기물을 적절하게 관리하고, 적합한 시설을 갖추어 처분하

지 않으면 안 된다.⁵⁾

최근 환경부에서 병원, 의료기관 등에서 배출되는 감염성 의료폐기물을 별도로 분리수거하여 적절하게 처분하도록 입법화함으로써 체계적 관리정책의 수립 및 적정처리기술의 확보에 관심이 대두되고 있다.

의료폐기물은 발생지점의 전용수거용기가 설치된 곳에 폐합성수지류, 인체적출물, 손상성폐기물 등으로 분리수거되는데, 발생원에서 함유성분, 성상 및 발생량을 기록하고, 위험성, 유해성을 고려하여 분류한 후 위생적으로 안전하게 분리수거하여야 한다.

분리수거한 의료폐기물은 일반적으로 소각시설에 운반하여 소각하고 있는데, 폐기물 중에 합성수지인 PVC 함량이 많아서 잔류성 유기오염물질(PoPs)인 Dioxin과 HCl 등 유해가스가 발생된다.⁶⁾ 대기환경보전법의 HCl배출기준은 50(12)ppm에서 2010년부터 20(12)ppm 이하로 강화될 예정이다.

이와 같은 유해가스를 제거하기 위하여 과거에는 스크러버, 흡수탑 등 습식방지시설이 사용되었으나 폐수처리에 많은 비용이 소요되고, 겨울철 동파, 동결 등의 어려움이 있어서 최근에는 bag filter관로에 Ca(OH)₂를 분사하거나 pre-coating하는 반건식 반응탑(SDR)이 도입되는 추세이다.

본 연구에서는 의료폐기물을 소각시킬 때 발생하는 HCl, Dioxin 등 유해가스를 효율적으로 제거하기 위해 스토키퍼방식 소각로에 pre-coating ET형 Bag-Filter를 설치하여 소각로의 최적운전조건을 모색하고자 한다. 이를 위해 Ca(OH)₂ 주입량을 HCl상당량의 1.5~2배인 50mg/Sm³로 이류체 atomizer로서 분무하여 pre-coating하고, 온도를 128~150℃로 유지하여 운전하면서 유해가스의 제거효율을 조사하였다.

II. 이론적 고찰

의료폐기물은 병원균에 의한 2차 감염의 우려가 있어서 2008년 8월 9일 이전까지 보

건복지부가 “의료법”에 의해 감염성 폐기물로 관리해왔으며, 2002년 8월 7일에는 의료폐기물의 보관기관 단축, 장례식장의 의료폐기물 발생기관 추가, 의료폐기물의 전용용기 색상 통일, 상자형 전용용기의 내부합성수지 주머니 사용, 태반의 불법유통 방지를 위한 태반 배출실명제 등을 실시하였다.

Table 1. Color of a medical waste container

도형색상	분 류
녹색	인체 조직중 태반을 재활용하는 용기
적색	인체 및 동물의 조직물류
황색	손상성 폐기물, 병리계폐기물
오렌지색	탈지면류, 폐합성수지류, 혼합감염성 폐기물

2005년 1월부터는 의료폐기물 배출기관을 총 15개 기관으로 확대하였으며, 손상성 폐기물과 액상 감염성 폐기물의 전용 용기 재질을 합성수지만으로 규정하면서 발생량이 크게 증가하게 되었다. 의료폐기물 소각시설 허가기준도 1톤/hr 이상으로 강화하였으며, 최적화공정의 대기오염방지시설을 설비운영해서 배출가스 중 다이옥신 기준 및 대기오염 배출물질의 배출허용 기준을 강화하고 소각로 굴뚝에 TMS(tele - monitoring system)부착도 의무화시켜 실시간 관리할 수 있게 했다.

특히 2008년 8월부터 의료폐기물을 투명하게 관리하기 위해 무선주파수 인식기술(RFID)을 구축하였다.

2008년 8월 9일부터 의료기관에서 배출되는 폐기물을 과학적, 체계적으로 관리하기 위한 “폐기물관리법”제정과 함께 환경부가 의료폐기물을 관리하게 되었다.

개정된 법률에 의해 감염성 폐기물이라는 용어가 의료폐기물로 변경되고, 정상 및 위해도에 따라 분류기준이 마련되고, 의료폐기물의 보관기관은 격리폐기물이 7일, 위해폐기물은 15~30일로 단축되었다. 운반 중 냉장보관 온도는 4℃ 이하로 규정함으로써 종전에 0℃

이하로 냉동보관함으로써 부피가 확장되어 혈액액이 손상되는 결점을 보완하였다.

환경부 자료에 의하면 2006년에 의료기관 60,546개소에서 발생된 의료폐기물의 발생량은 56,616톤이며, 그 중 인체 및 동물의 조직물류는 7,936톤(13.4%), 폐합성수지류는 51,120톤(86.6%)이었다. 폐합성수지류는 일회용 주사기, 수액세트, 혈액 및 혈액투석 시 사용된 폐기물이다.

Fig. 1에 1999년부터 2006년까지 8년간의 의료폐기물 발생량을 나타내었다. 의료폐기물은 매년 약 10%씩 증가하는 경향이며, 인체 및 동물 조직물류의 연간 발생량은 2.2~13.4톤으로 편차가 크고, 2002년 이후 1/3정도로 감소하였으나 2005년에 13.4톤으로 대량 발생된 점이 특이하며, 폐합성수지는 86.6~97.8톤으로 큰 변화가 없었다.

Fig. 1. The changes of medical wastes.



의료폐기물의 처분은 합성수지가 많아서 대부분 소각되고 있다. 2006년 처분현황은 소각 84.1%, 멸균분쇄 2.1%, 기타 13.8%이었다.

III. 실험 방법

실험장치는 경기도 용인시에 설치된 처리용량 1~2.5 ton/hr규모의 스토커방식 소각로이며 Fig. 2에 나타내었다. 소각로의 대기오염방지시설은 폐열보일러, 반건식 반

응답 및 pre-coating bag filter로 구성되며 Fig. 3과 4-a~d에 나타내었다.

소각시료는 주로 경기지역에서 발생한 의료폐기물을 사용하였으며, 의료폐기물의 조성은 건조상태에서 탈지면류 및 거즈 20%, 폐합성수지류 PE 37%, PVC 3% 병리계 폐기물 5%, 손상성 폐기물 1%, 폐지류 24% 고무피혁류 5% 및 조직물류 5%이었으며, 발열량은 6,200~7,850Kcal/Kg이었다.

실험기간은 2006년 3월부터 2008년 2월까지이었다.

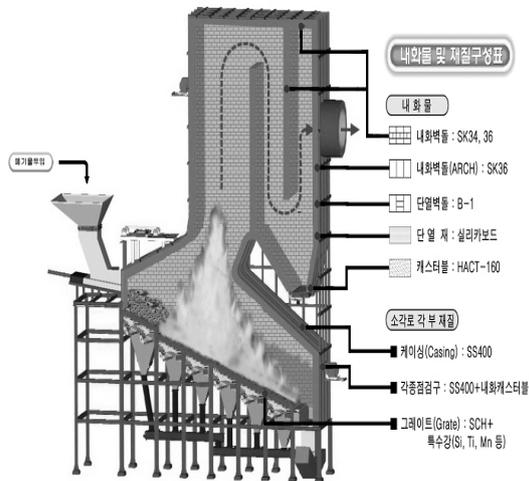


Fig. 2. Schematic diagram of incinerator.

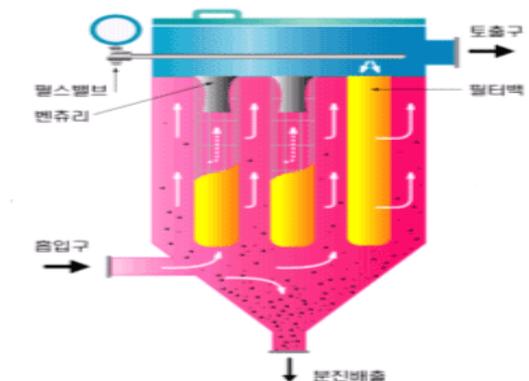


Fig. 3. Schematic diagram of bag filter.

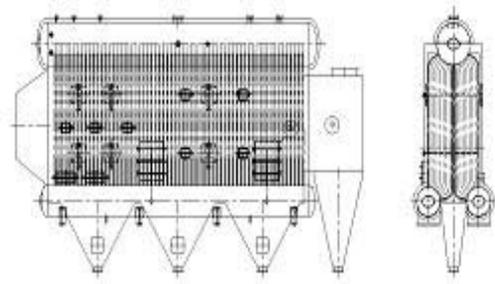


Fig. 4-a. Main boiler body using incineration heat.



Fig. 4-b. SDR structure and nozzle.

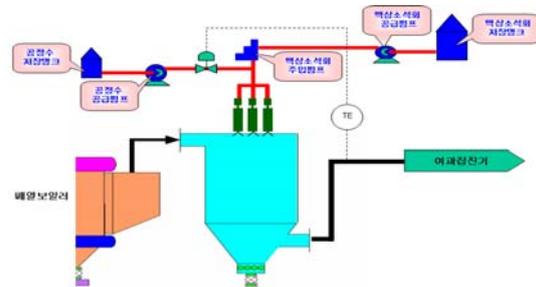


Fig. 4-c. SDR treatment system

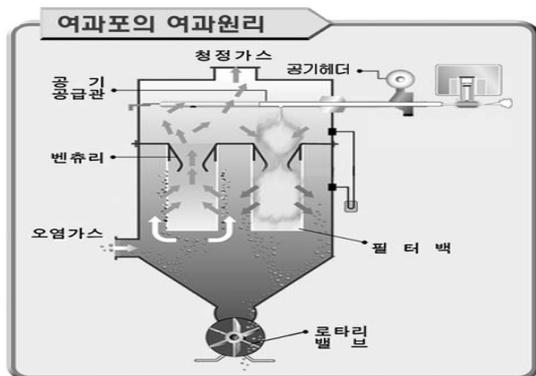


Fig. 4-d. Pre-coated bag filter using hydrated lime.

맹독성가스인 다이옥신과 HCl, SO₂ 등 산성가스를 제거함으로써 방지시설의 처리 효율을 제고하기 위하여 ET형 Tefarepre Bag Filter(제조사 : Ecoentop사)를 부착하여 사용하였으며, pre-coating에 소요되는 Ca(OH)₂ 의 적정주입량을 HCl상당량의 1.5~2배인 50mg/Sm³로 이류체 atomizer로서 분무하고, 온도를 128~150℃로 유지하였다.

Filter 유입부에서 소석회를 주입하여 filter 표면에 pre-coating시키면 소석회에 의해 산성가스가 제거될 뿐만 아니라 플러징(Plugging) 및 파울링(fouling) 물질도 함께 탈락된다.

가스 분석은 대기오염공정시험방법의 굴뚝배출가스 시료채취법에 따라 채취하여 분석하였다. Table 2에 굴뚝가스의 대기오염물질측정방법을 나타내었다.⁷⁾

Table 2. Analysis method of air pollutants in incinerator flue gas

항목	단위	측정지점	측정방법
Dust	mg/sm ³	측정구	자동채취법
SO ₂	ppm	상동	침전측정법
NO _x	ppm	상동	NEDA법
CO	ppm	상동	NDIR법
Smoke	도	측방100m	링겔만비탁법
HCl	ppm	측정구	티오시안산 제2수은법
Dioxin	mg/sm ³	상동	가스크로마토그래피법

IV. 결과 및 고찰

의료폐기물은 의료기관, 동물병원, 시험·연구·검사기관 등에서 발생하는 위해성 물질로서 감염성세균(*Staphylococcus spp.*), 바이러스(*Heptatitis B virus*) 등을 포함하고 있어서 인체에 질병을 감염시킬 우려가 있고, 격리 의료폐기물은 부패 및 변질 우려가 있으며, 위해의료폐기물인 조식물류폐기물, 손상성 폐기물과 생화학특성 액상폐기물은 합성수지용기를 사용하여 취급하기 때문에 소각

시 배출가스에 CO, Dust, NO_x, 매연 외에 HCl, Dioxin과 같은 위해성물질이 배출되기 때문에 환경위생 관리차원에서 대부분 소각 처분하고 있다.

의료폐기물을 소각하는 스토커방식 소각로에 Pre-coating ET형 Bag-Filter를 도입하고 Ca(OH)₂ 주입량을 HCl상당량의 1.5~2배인 50mg/Sm³ 분무하여 pre-coating 하고, 온도를 128~150℃로 유지하면서 발생하는 CO, dust, NO_x, 매연, HCl, Dioxin 등 배출가스의 농도를 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 가스상 물질

의료폐기물 소각가스의 오염물질농도는 HCl 1.63~6.76(기준 : 50(12)ppm, NO_x 109.2~160.2(기준: 200(12)ppm, SO₂ 1.63~9.85(기준: 300(12))ppm, CO 35.1~102.0(기준: 200(12))ppm으로서, 대기환경보전법 배출허용기준 대비 HCl은 약 12%이하, SO₂는 약 3%이하, CO는 약 34% 이하로 낮게 나타났다.

SDR에 Ca(OH)₂ 슬러리를 HCl 상당량의 1.5~2배인 50mg/sm³로 이류체 atomizer로서 분무하여 pre-coating하고, 온도를 128~150℃로 유지함으로써 기존의 SDR 배출농도보다 SO₂ 및 HCl 처리효율이 75~80% 향상되었다.

Fig. 5와 6에 HCl과 Dioxin의 배출농도를 나타내었다. HCl은 대기환경보전법의 배출허용기준의 12%, Dioxin은 14~57%로 배출되었다. Dioxin의 경우 배출허용기준이 0.1ng/sm³에서 0.05mg/sm³로 강화될 계획이므로 이에 대비한 대책이 수립되어야 할 것으로 나타났다.

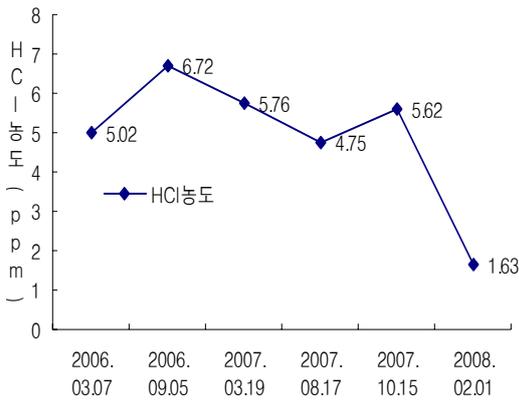


Fig. 5. HCl concentration in incinerator flue gas..

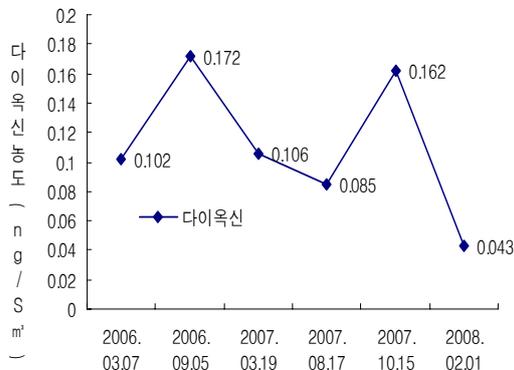


Fig. 6. Dioxin concentrations in incinerator flue gas.

Fig. 7에 SO₂와 NO_x의 배출농도를 나타내었다. SO₂ 배출농도는 의료폐기물 중의 황함량이 1%이하이기 때문에 배출허용기준의 4.1%이하로 매우 낮게 나타난 반면, NO_x배출농도는 36.4 ~53.2%로 다소 높게 나타났다.

NO_x배출은 일반적으로 생성경로에 따라 Fuel NO_x와 Thermal NO_x로 구분되는 데 Fuel NO_x는 연료에 함유된 N이 연소과정에서 산화된 것이므로 NO_x선택성 흡착제를 사용해야만 저감할 수 있으나, Thermal NO_x는 공기 중의 질소가 1,100°C이상의 고온연소과정에서 생성되므로 연소관리를 적절하게 함으로써 저감할 수 있다. 따라서 NO_x배출농도를 낮추기 위해서는 소각온도를 1,100°C이하로 유지하는 것이 좋다.

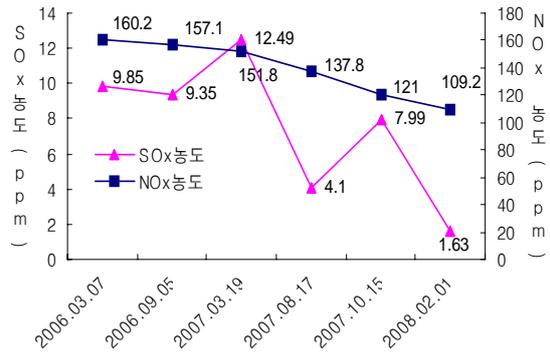


Fig. 7. SO₂ and NO_x concentrations in incinerator flue gas.

CO는 연료중의 탄소가 불완전연소 될 때 발생되므로 O₂, CO₂와 함께 연소효율관리 지표물질로 사용된다. 즉 배출가스의 CO농도가 높으면 공기비가 낮거나 불완전 혼합되고, 배출가스의 O₂농도가 너무 높으면 공기비가 높아 연소효율이 낮음을 의미한다.

Fig. 8에 CO의 배출농도를 나타내었다. CO의 배출농도는 배출허용기준의 5.9~17.1%로서 매우 낮게 배출됨을 알 수 있다.

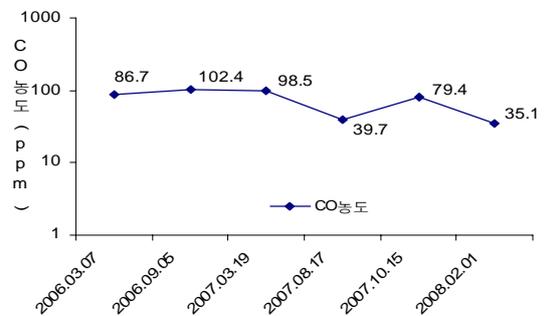


Fig. 8. CO concentrations in incinerator flue gas.

2. 입자상 물질

미세먼지와 매연은 병리계폐기물, 혈액오염폐기물 및 일반 의료폐기물의 저장용기인 골판지가 소각될 때 대부분 발생되며, 미세먼지는 대부분 fly ash와 탄화물이고, 매연은 연료중의 탄소가 불완전연소 될 때 CO와 함께 배출되는 물질이다.

Fig. 9에 미세먼지와 매연의 배출농도를 나타내었다. 미세먼지 농도는 20.3~26.7(기

준 : 100(12)mg/Sm³로서 배출허용기준의 20~30%이하로서 아주 낮고, Ringelmann smoke chart를 사용하여 측정된 smoke 농도는 1도로서 배출허용기준 2도보다 50% 낮게 배출되었다.

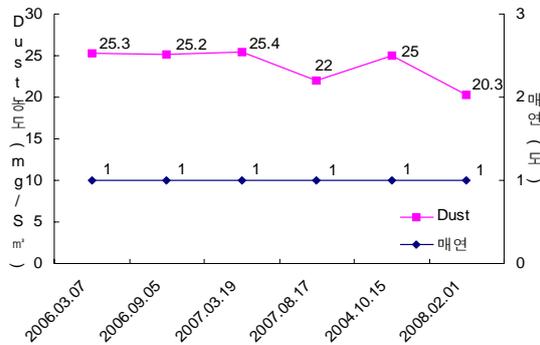


Fig. 9. Dust and smoke concentrations in incinerator flue gas.

의료폐기물은 발생원의 특성상 실내에서 의료진, 환자, 간병인 등이 배출하기 때문에 장마철인 여름철에는 다른 계절에 비해 관리가 소홀해지고 공기 중의 습도가 높아 소각로 운영이 부실해지기 쉽다. 따라서 의료폐기물의 관리, 소각로의 운전 및 대기오염방지시설의 성능을 평가하기 위해서 2007년 7월 24일~ 8월 25일까지 1개월 동안 소각로 배출가스를 측정하였으며, 그 결과를 Fig. 10에 나타내었다.

소각기간 중 NOx, HCl 및 CO농도는 7월 31일과 8월 1일에 평상시보다 약간 높거나 낮게 나타난 것을 제외하고는 배출허용기준이하로 안정적으로 유지되었다.

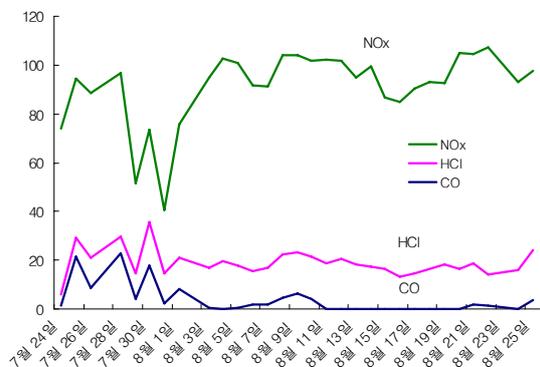


Fig. 10. Concentrations of air pollutants in incinerator flue gas.

V. 결 론

의료폐기물을 소각시킬 때 발생하는 HCl, dioxin 등 유해가스를 효율적으로 제거하기 위해 스토커방식 소각로에 pre-coating ET형 bag-filter를 도입하고, Ca(OH)₂ 주입량을 HCl상당량의 1.5~2배인 50mg/Sm³로 이류체 atomizer로서 분무하여 pre-coating 하고, 온도를 128~150℃로 유지하여 운전한 결과 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 운전기간 중 소각로 배출가스농도는 HCl 1.63~6.76(기준 : 50(12)ppm, NOx 109.2~160.2ppm, SO₂ 1.63~9.85ppm, CO 35.1~102.0ppm)으로서, 배출허용기준보다 HCl은 12%이하, SO₂는 3%이하, CO는 34%이하로 낮게 배출되었다.
2. 기존의 Bag Filter대비 유해가스 제거율은 HCl은 3.26%에서 13.52%, NOx는 50.46%에서 80.1%, CO는 17.55%에서 50.10%, SO₂는 0.54%에서 3.25%, 미세먼지는 20.3%에서 26.7%로 향상되었다.
3. 여름철 1개월 운전하는 동안 NOx, HCl 및 CO농도가 배출허용기준이하로 안정적으로 유지되어 연구에서 적용한 운전시스템이 의료폐기물의 관리, 소각로 운전 및 대기오염방지시설의 성능향상에 적절한 것으로 평가된다.

참고문헌

1. 환경부, 의료폐기물관리제도, 산업폐기물, 2007.
2. 환경부, 환경백서, 2007.
3. 환경부 주최 폐기물관리법개정토론회, 배열도, 2005
4. 일본환경성, 일본의 재택의료폐기물 발생과 처리현황, 2005
5. 안병옥, 의료폐기물관리제도의 실태, 시민환경연구소, 2005

6. 권기수, 의료폐기물의 현황과 개선방안, 연세의료원, 2005
7. 환경부, 대기오염공정시험방법, 2008.