CLEAN TECHNOLOGY, JUNE, 2000. 6(2) pp. 121 - 127

반건식 반응기에서의 활성탄 혼합주입에 의한 소각로 배가스중의 유기 염소계 화합물의 제거 공정 연구

주 창 업* · 황 재 동 · 이 조 영 · 조 철 훈 · 신 병 철

삼성엔지니어링 기술연구소
*한성대학교 안전기술연구소

Removal of Chlorinated Organic Compounds in Flue Gas by Activated Carbon Injection in a Semi-Drying Reactor

Changupp Choo, Jaedong Whang, Joyoung Lee, Chulhoon Cho, and Byungchul Shin*
R & D Center of Samsung Engineering Co., Ltd.
**Center for Safety Science and Technology of Hansung University*

요 약

소각로 배가스중에는 분진, 산성가스, 중금속, 다이옥신 등의 여러 유해물질이 함유되어 있다. 이러한 유해가스 중의 다이옥신을 제거하기 위한 방법중의 하나인 활성탄의 흡착을 이용한 유해물질 제거 방법의 효율을 조사하였다. 다이옥신의 전구물질인 1,2 -dichlorobenzene (o-DCB)를 사용하였으며 기존의 소각로에 추가 설비가 필요 없이 활성탄을 반건식 반응기에서 소석회와 함께 분무하고 백필터로 여과하는 공정에 대하여 반응기 운전온도, atomizer r.p.m., 활성탄 양 변화에 대한 효율을 조사하였다. 실험결과 소석회와 활성탄 분무를 위한 atomizer의 rpm이 클수록, 즉 분무 입자 크기가 작을수록 제거 효율은 증가하였고 반건식 반응기에서의 배가스 유출온도는 백 필터의 유입온도에 준하여 결정하는 것이 타당하며 145°C로 유지하는 것이 필요하였다. 또한 백필터에서의 제거효율이 반건식 반응기에서의 제거효율보다 높음을 알 수 있었다.

ABSTRACT - There are several kinds of hazardous materials in incinerator flue gas, such as particulate matter, acid gas, heavy metal, dioxin, etc. The activated carbon adsorption is considered as one of the methods removing dioxin from the flue gas. Without any additional equipment and facilities, the activated carbon was mixed with lime and sprayed in the semi-drying reactor of an incinerator and filtered in the bag filter, and its efficiency of removing hazardous organic material was investigated. 1,2-dichlorobenzene (o-DCB) was used as a precursor material of dioxin and the effects of the activated carbon amount, the operating temperature of the reactor, and the atomizer r.p.m were measured and analyzed. Experimental results showed that the optimum outlet temperature of the reactor was 145°C considering the performance of the bag filter, and the adsorption performance improved with the increase of the atomizer r.p.m. Also the performance of removing o-DCB in the bag filter is higher than that of the semi-drying reactor.

1. 서 론

폐기물의 처리방법은 크게 재활용, 소각, 매립 등이 있다. 자원절약 및 자연보호를 위해서는 재활용이 중시되나 폐기물의 성상 및 재활용을 위한 수거체계의 확립 등이 그 지역의 상황에 따라 다르므로 재활용이 경제적으로 유리하다고는 말 할 수 없다. 또한 사람에 의한 선별과정이 필요한 관계로 비위생적인 면도 존재한다. 매립처리는 국토가 협소한 국내사정에 비추어 볼 때 향후 지속적인 매립추진은 어려움에 봉착할 수밖에 없을 것이며 분해가 어려운 플라스틱의 사용 증가로 인한 유기물 및 유해물질의 매립은 환경을 오염시킨다. 따라서 소각처리가 향후 궁극적인 처리방안으로 추진될 것이다. 소각처리는 유해물질의 무해화면에서 이전부터 우선적으로 사용되어 왔으며 단시간에 대량의 감량이 가능한 이점을 지니고 있다.

소각로 배가스중에 포함되어 있는 오염물질로는 염화수소, 황산화물, 질소산화물 등의 산가스, 분진, 중금속류, 다이옥신 등이 포함되어 있는 것으로 알려져 있고 이에 대한 처리 방법도 발달되어 왔다. 이러한 오염물질 중 황산화물과 염화수소의 처리를 위해서는 습식세정에 건식 소석회 분사 방법 등의 여러 방법을 이용하고 있고, 질소산화물 규제에 따라서 촉매/무촉매 탈질 방법 등이 보급되었으며 분진 처리를 위해서는 백필터, 전기 집진기 등이 보급되어 오늘날에 이르고 있다. 특히 다이옥신에 대해서는 그 맹독성이 알려지면서 소각로 건설에 대해 주민의 반대로 많은 어려움을 겪고 있는 상황이다.

다이옥신의 생성과정을 살펴보면 연소로 내에서 쓰레기의 연소 초기에 대량의 탄화수소가 발생하고 공기와 접촉해 탄산가스와 물로 분해하는데 접촉이 나쁘면 다이옥신이나 전구물질이 발생한다. 연소로에서 나온 배가스 중에는 다이옥신 류가 아니라도 이와 비슷한 전구물질이 존재하는데 산화분위기에서 이러한 전구물질이 염화동, 염화철, 탄소를 촉매로 하여 특히 300℃ 부근에서 많이 생성된다. 이러한 다이옥신 및 다이옥신 전구물질의 발생억제를 위해서는 연소로내의 온도를 고온으로 유지하고 충분한 연소로 내에서의 체류시간을 유지하도록 하며 연소가스와 공기와의 혼합을 향상시켜서 균일한 연소를 유도할 경우 다이옥신의 발생량을 최소화 할 수 있으나 다이옥신의 계측이 매우 어려운 관계로 일반적으로 CO의 발생량을 지표로 하여 운전할 것을 권고하기도 한다.[1]

다이옥신의 처리 기술은 연소로내에서 다이옥신 발생을 억제하는 사전처리 기술과 합성된 다이옥신을 배출되기 전에 제거하는 후처리 기술로 나눌 수 있다. 사전처리 기술로는 연소시의 운전조건 조절[2,3,4] 이외에 소각로 연소로의 설계시에 고려할 수 있는 방법으로 소각로 연소로 내의 미혼합 공간을 줄이고 2차공기의 주입 방법의 위치와 공기량의 조절로 일부 다이옥신류의 생성을 억제할 수 있으나[5,6] 기술적인 어려움과 현실적인 상황을 고려할 때 완전히 제어할 수 없으므로 후처리 기술을 적용하는 것이 일반적이다. 후처리 기술로는 열분해기술, 촉매분해 기술 및 흡착분리기술을 고려할 수 있다.[7,8,9] 후처리 기술중 열분해 기술은 배가스를 1000℃ 이상으로 재 가열하여 다이옥신을 분해하는 방법으로 막대한 장치비용과 에너지 비용이 필요하며 또한 냉각과정에서 다이옥신이 재 합성되는 문제점이 있다. 생성된 다이옥신의 촉매분해 기술은 배가스를 촉매와 접촉시켜 다이옥신 화합물을 분해하는 방법으로 SO_2 등과 같은 피독물질에 의한 촉매활성 저하, 고가인 촉매의 교환 등의 문제점을 지니고 있다. 상기와 같이 다이옥신 제거기술은 고가의 운전비 및 설비비가 필요한 반면에 배가스를 흡착제와 접촉하여 다이옥신을 제거하는 기술은 기존의 설비를 그대로 이용할 수 있으며 경제성이 높은 관계로 많은 주목을 받고 있으며 문제점으로는 폐흡착제 처리에 따르는 2차 오염을 유발한다는 점이다.

본 연구에서는 상기 흡착제를 이용한 방법 중에서 별도의 추가 설비 없이 기존의 설비를 이용하여 활성탄을 분무하는 방법에 대하여 흡착 제거 효율을 조사하려고 한다. 즉 다이옥신의 전구물질인 o-DCB를 사용하여 반건식 반응기에서 소석회와 활성탄을 혼합하여 분무함으로서 반건식 반응기에서의 활성탄에 의한 o-DCB의 흡착 제거효율과 백필터에서의 여

과에 의한 o-DCB 제거효율을 조사하여 기존 공정에의 적용 타당성을 검토하고 반건식 반응기와 백필터에서의 적합한 운전조건 도출을 목표로 한다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험장치 및 시료

활성탄

실험에 사용한 활성탄은 해외 A사인 A-1, 그리고 국내사인 B사의 B-1과 B-2를 사용하였다. 각 활성탄의 사양은 Table 1에 나타내었다. 반건식 반응기에서 활성탄은 Slurry 형태로 소석회와 혼합되어 분무되는 형태와 반응기 전단에서 분말로 분무되는 형태가 있는데 본 실험에서는 특별한 분무설비가 필요없는 소석회와 혼합하여 Slurry 형태로 분무하는 방법을 선택하였다.

Table 1. Characteristics of activated carbons used in this study

Class	A-1	B-1	B-2
Basic Material	Charcoal	Charcoal	Charcoal
Iodine No. (mg/g)	800	950	900
Moisture(%)	8	10	10
Ash(%)	15	-	-
Size (325 USA mesh)	65%	70%	30%

소석회

SDR에서 분무되는 소석회는 고형 소석회를 물에 용해시킨 Slurry 형태로 주입하는 방법과 석회석(CaO)을 물에 녹여 액상으로 주입이 가능하나 본 실험에서는 23%의 액상 소석회를 사용하였다.

다이옥신 전구물질

다이옥신은 그 분석이 어렵고 또한 고가의 장비가 필요하며 실험실에서 소규모로 실험하기에는 그 독성으로 인하여 매우 위험하기 때문에 다이옥신의 전구물질중의 하나인 Dichlorobenzene 중 가장 무해한 1,2-dichlorobenzene(o-DCB)을 다이옥신의 모델 성분으로 사용하였다.

실험장치

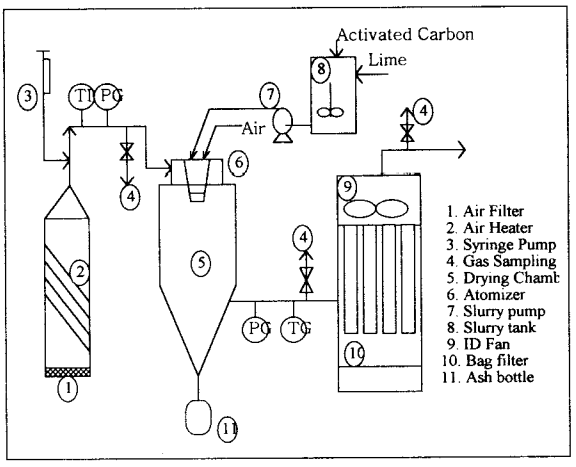

Fig. 1. Experimental Apparatus

반건식 반응기에서의 활성탄의 분무 및 여과에 의한 o-DCB의 제거 효율을 조사하기 위한 실험장치의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 실험설비의 구성은 다이옥신 전구물질인 o-DCB의 주입설비, 다이옥신의 흡착 성능이 알려진 활성탄과 Ca계 흡착제(소석회)를 Slurry 상태로 분무하여 다이옥신과 산성가스(주로 HCl과 SOx)를 흡착, 제거함과 동시에 입자의 분리 기능을 갖는 반건식 반응기, 그리고 입자의 분리 성능이 우수하며 흡착제와 배가스의 접촉시간을 충분히 제공할 수 있는 백필터로 구성되었다.

2.2 실험방법

활성탄의 분무/백필터 실험은 반건식 반응기에서 활성탄과 소석회를 Slurry로 분무하는 공정과 백필터에서 여과공정으로 진행되었다. ID Fan의 흡입능력을 이용하여 배가스의 유량을 조절하였으며 반건식 반응기에서의 수분 증발량 및 장치효율, 그리고 Atomizer의 용량을 고려하여 최대 5Nm^3/min으로 설계하였다. 배가스의 온도는 전기히터로 조절하였으며 소각시설 설치 및 관리 기준에 따라 200°C로 설정하였다.

다이옥신 전구물질인 o-DCB의 주입은 GC의 검출 한계까지 주입하여 처리가스 농도가 유입농도 대

비 99.5%가 제거되는 농도가 될 수 있도록 유입 농도를 정하였으며 소석회 주입량은 산성가스의 제거 효율을 고려하여 $Ca(OH)_2$에 대한 HCl과 SO_2의 몰비를 2로 하였으며 활성탄 주입량은 소석회/활성탄 비를 1mg o-DCB 질량당 5-70mg 활성탄 무게 비로 주입될 수 있도록 하였다. 활성탄은 활성탄 종류 비교 실험이외에는 외국산 활성탄(A-1)을 사용하였으며 주입설비는 투입량을 조절할 수 있는 튜브식 정량 펌프를 사용하였다.

시료 채취지점은 유입 농도를 측정하기 위하여 반건식 반응기 전단과 후단에 각각 설치하였고 최종 배가스의 농도를 측정하기 위하여 백필터 후단에 설치하여 반건식 반응기와 백필터 각각에서의 o-DCB 제거효율 분석이 가능하도록 하였다. 시료 채취는 20분~60분 간격으로 연속적으로 수행하였으며 시료채취 지점의 음압 때문에 흡입 펌프를 이용하여 일정한 유속으로 흡입하였다. 시료 채취 시에 유입되는 활성탄 입자를 제거하기 위하여 Line filter를 설치하였다. GC는 Varian 사의 3400CX를 사용하였다. Detector는 FID이고 분석조건은 o-DCB의 용융점을 고려하여 Injector 온도는 170°C, Column 온도는 200°C, Detector의 온도는 250°C로 하였다. 유속은 백필터의 출구 배관에 밸브를 설치하여 Kanomax 유속계로 유속과 온도를 측정한 후 유량을 계산하였다. 유량은 0°C 1기압인 Nm^3/min을 기준으로 하였다. 실험변수로는 반건식 반응기의 운전온도, 소석회와 활성탄 혼합물의 분무를 위한 Atomizer의 r.p.m, 활성탄의 종류, 활성탄 주입량 등으로 이에 대한 각각의 o-DCB의 제거 효율을 조사하였다.

3. 실험결과 및 검토

3.1 반건식 반응기와 백필터에서의 활성탄 주입량 영향

일정한 양의 소석회에 활성탄 양을 변화시키면서 주입한 경우에 반건식 반응기에서의 o-DCB 제거 효율을 Fig. 2에 나타내었다. 활성탄 주입량을 o-DCB의 농도에 대하여 0, 5, 10, 20, 70 mg AC/mg o-DCB로 변화시켰을 때 활성탄의 양이 증가할수록 o-DCB의 제거 효율은 크게 증가하였다. 반응기에서의 처리효율은 순수한 소석회만을 주입하였을 때 o-DCB가 5% 제거 되었고 10배수에서 32%, 20배수에서 50%, 70배수에서는 73%가 제거되었다. SDR에서 o-DCB를 90%이상 제거하기 위해서는 o-DCB의 투입량에 대해서 110 배수의 활성탄을 투입하여야 함을 알 수 있다. 이는 활성탄의 일부 표면이 Lime에 의해 o-DCB와의 접촉을 차단하는 관계로 순수하게 활성탄만을 분무하는 경우보다 많은 양의 활성탄을 Lime에 첨가해야 되는 것으로 사료된다.

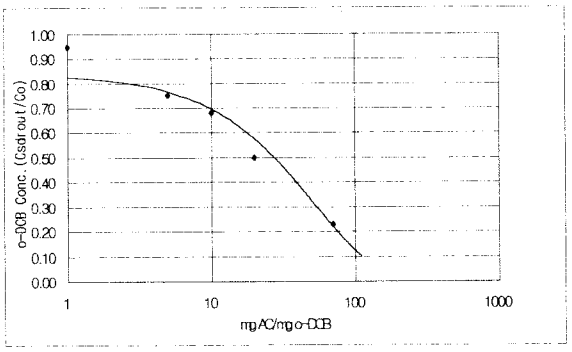

Fig. 2. Effect of the amount of activated carbon on o-DCB removal in SDR Experimental condition : gas flow = $3Nm^3/min$, o-DCB = $60mg/Nm^3$, lime = $1767mg/Nm^3$, atomizer r.p.m = 16000, SDR inlet temperature = 205°C, SDR outlet temperature = 145°C

반건식 반응기에서 1차 반응을 한 뒤 배가스는 백필터에 부착된 활성탄에 의해 다시 한번 처리된다. 이 경우의 백필터에서의 o-DCB 제거 효율을 Fig. 3에 나타내었다. 백필터에서의 처리 효율은 순수한 Lime 만 투입하였을 때 25%, Lime과 함께 o-DCB 질량의 10배수의 활성탄을 투입하였을 때 48%, 20배수 일 때 70%, 70배수일 때 96%의 처리효율을 보였다. 활성탄을 20배수 투입하였을 때 반건식 반응기에서는 50% 처리효율을 보여 백 필터에서의 o-DCB 처리효율이 약 1.5배 컸다. 따라서 반건식 반응기와 백필터 공정의 연속에 의한 o-DCB의 제거를 고려할 때, 반응기에서만의 o-DCB 제거를 위한 활성탄 주입량을 크게 줄일 수 있음을 알 수 있다. Fig. 4는 반응기와 백필터를 포함한 o-DCB의 제거효율을 나타내며 o-DCB 양에 대해 70배수의 활성탄을 주입할 경우

o-DCB가 99% 제거됨을 알 수 있다.

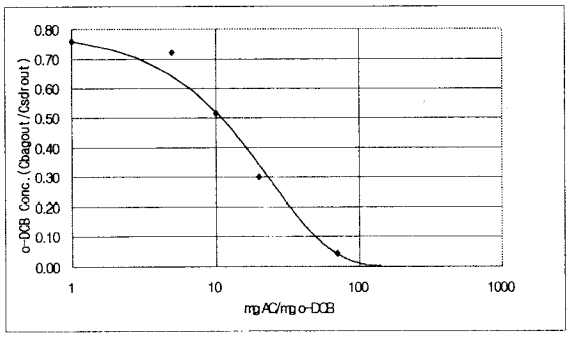

Fig. 3. Effect of the amount of activated carbon on o-DCB removal in bag filter Experimental condition : gas flow = 3Nm^3/min, o-DCB = 60mg/Nm^3, lime = 1767mg/Nm^3, atomizer r.p.m = 16000, bag ACR = 0.8m/min, SDR inlet temperature = 205°C, SDR outlet temperature = 145°C

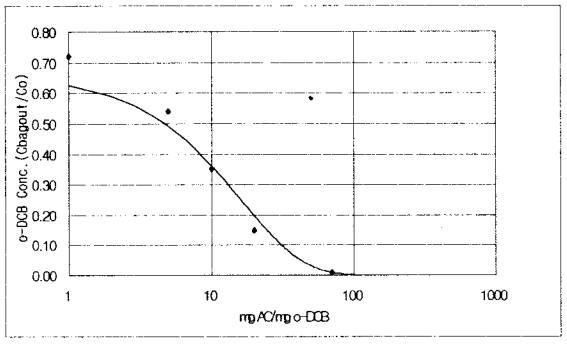

Fig. 4. Effect of the amount of activated carbon on o-DCB removal in SDR and bag filter Experimental condition : gas flow = 3Nm^3/min, o-DCB = 60mg/Nm^3, lime = 1767mg/Nm^3, atomizer r.p.m = 16000, bag ACR = 0.8m/min, SDR inlet temperature = 205°C, SDR outlet temperature = 145°C

3.2 반건식 반응기에서 출구 온도의 영향

반건식 반응기에서의 온도는 배가스 입구온도와 출구온도가 있는데 입구온도와 출구온도의 차이는 Slurry 분무량과 배가스량과 관련이 있지만 일반적으로 50~60°C의 차이를 나타낸다. 출구온도는 반건식 반응기에 유입되는 배가스의 포화 습윤온도, 산노점, 반응생성물 중 건조시키기 어려운 $CaCl_2$의 발생농도에 따라서 결정이 되는데 출구온도를 140°C 이상으로 유지하기 위해서는 유입가스의 온도르 200°C 이상으로 유지하여야 한다. 반건식 반응기에서의 반응온도가 너무 높으면 건조가 빨리 이루어져 산성가스의 흡수율이 저하되고 o-DCB의 흡착효율도 저하된다. 이와 반대로 반응온도가 너무 낮으면 건조가 제대로 이루어지지 않아 수분이 증발되지 않고 후단 백필터에 과도한 압력손실이 발생하며 막힘 현상도 일어난다. 반건식 반응기에서 출구 온도를 145°C, 165°C, 185°C로 유지할 때 반응기의 입구 온도는 205°C, 225°C, 245°C로 각각 유지하여야 했으며, 이때의 o-DCB의 처리 효율은 Fig. 5에 표시한바와 같이 각각 25%, 18%, 8%로 감소하였다. 또한 이 경우 후단 백필터에서의 o-DCB 처리 효율은 145°C일 때 55%, 165°C일 때 18%, 185°C일 때 -25%로 감소하였다. 185°C에서는 오히려 유입농도보다 증가하였는데 이것은 백필터에 부착된 활성탄에서 고온으로 인한 활성탄의 흡착능 저하로 인하여 o-DCB가 탈착되어 발생한 것으로 추측된다. Fig. 5에서 알 수 있듯이 온도가 o-DCB 처리 효율에 미치는 영향은 반건식 반응기에서보다 백필터에서의 영향이 큰 것으로 사료된다.

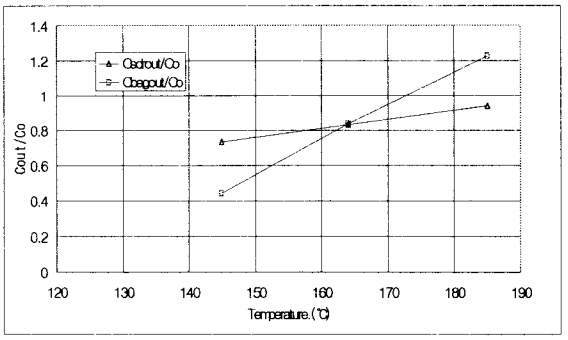

Fig. 5. Effect of SDR temperature on o-DCB removal Experimental condition : gas flow = 3Nm^3/min, o-DCB = 60mg/Nm^3, lime = 1767mg/Nm^3, activated carbon = 600mg/Nm^3, atomizer r.p.m = 16000

3.3 Atomizer RPM의 영향

반건식 반응기에 소석회를 분사하는 Rotary Type의 Atomizer RPM은 분사되는 Slurry의 입경과 관련이 있다. RPM이 큰 경우에는 입경이 작아지고 접촉면적이 증가하여 건조시간이 짧아지며 반응기내

에서 흡수영역보다 흡착영역이 증가하고 따라서 o-DCB의 흡착율은 증가한다. 이와 반대로 RPM이 작은 경우에는 입경이 커져서 접촉면적이 저하되고 건조시간이 길어져서 흡착효율이 감소할 것으로 예상할 수 있다. RPM 8,000에서는 건조가 완전하게 되지 않아서 입자의 크기를 측정 할 수 없었으나 RPM 10,000에서 65 μm, RPM 16,000에서 52 μm, RPM 26,000 과 32,000에서는 46 μm으로 RPM 증가할수록 입자 크기는 감소하였다. RPM 26,000이상에서는 변화를 보이지 않았다. 분무입자의 입경이 작을수록 접촉면적이 증가하여 처리 효율이 증가하는 것을 Fig. 6에 나타내었다. RPM 8,000에서 16,000까지는 RPM이 작아질수록 입자가 작아져 처리효율이 증가하지만 RPM 16,000이상에서는 입자 크기의 변화가 적어 처리 효율의 변화도 적었다.

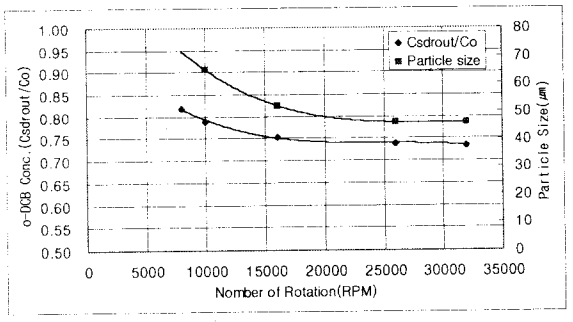

Fig. 6. Effect of atomizer r.p.m. on o-DCB removal Experimental condition : gas flow = 3Nm^3/min, o-DCB = 60mg/Nm^3, lime = 1767mg/Nm^3, activated carbon = 600mg/Nm^3, SDR inlet temperature = 205°C, SDR outlet temperature = 145°C

3.4 활성탄의 종류에 대한 영향

활성탄을 소석회와 혼합하여 분무할 경우 활성탄 종류에 따른 o-DCB의 제거효율에 미치는 영향을 Fig. 7에 나타내었다. 활성탄의 종류별로 측정을 한 결과 국산 200mesh 활성탄(B-1)보다 국산 325 mesh 활성탄(B-2)의 처리효율이 크다. 이는 소석회와 활성탄을 혼합하여 분무하는 경우에도 입경이 작은 활성탄이 반건식 반응기와 백필터에서 배가스중의 o-DCB와의 접촉을 증가시킴으로서 o-DCB의 제거에 더 효율적임을 알 수 있다. 외국산 활성탄(A-1)의 경우 국산 325mesh 활성탄보다 처리 효율이 10% 적었는데 이는 활성탄의 크기를 고려할 경우 활성탄의 흡착능력의 차이보다는 활성탄 표면적의 차이로 인한 것으로 판단할 수 있다. 즉 국산과 외국산 활성탄의 o-DCB의 제거 효율에는 차이가 거의 없음을 알 수 있었다.

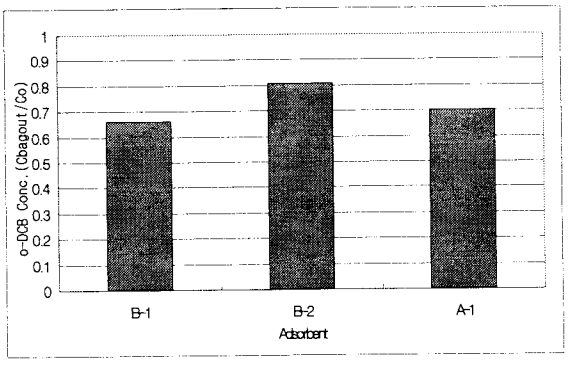

Fig. 7. Effect of adsorbents on o-DCB removal Experimental condition : gas flow = 3Nm^3/min, o-DCB = 52mg/Nm^3, lime = 1734mg/Nm^3, activated carbon = 260mg/Nm^3, atomizer r.p.m = 16000, bag filter presure drop = 110 mmH_2O, bag filter inlet temperature = 140°C, ACR = 0.9m/min

4. 결 론

본 연구에서 수행된 활성탄의 흡착에 의한 소각로 배가스 중의 다이옥신의 제거를 연구하기 위하여 다이옥신의 전구물질인 o-DCB를 이용한 흡착 실험을 수행하였다. 활성탄의 분무를 위한 별도의 설비 없이 기존 소각로의 반건식 세정장치에 활성탄과 소석회를 Slurry 상태로 분무하여 o-DCB를 흡착 제거하는 공정에 대하여 조사하였다. 실험결과 반건식 반응기에서 활성탄과 소석회 혼합 Slurry를 분무하기 위한 Rotary Atomizer의 r.p.m.은 16,000~20,000이 적합하고 반건식 반응기에서의 출구 온도는 백필터에서의 운전을 고려할 경우 145°C로 유지하는 것이 필요하다. 이때의 반건식 반응기의 유입온도는 205°C 였다. 운전온도는 반건식 반응기에서보다 백필터에서의 o-DCB 제거에 큰 영향을 나타내었으며 160°C 이하에서는 반건식 반응기보다 백필터에서의 o-DCB 제거

효율이 높았다. 또한 99% 이상의 o-DCB 제거를 위해서는 70배수 이상의 활성탄을 주입하여야 했다. 활성탄을 소석회와 혼합하여 투입하는 경우에는 소석회에 의해 일부 활성탄의 표면이 막히게 되므로 활성탄 단독 분무와 비교할 때 필요 활성탄 분무량이 증가되지만 소각로에 추가설비가 필요 없으므로 백필터에서의 효율을 향상시킬 경우에는 현장 적용도 가능할 것으로 사료된다. 그러나 다이옥신의 경우 활성탄에 대한 흡착능이 다르고 소각로 배가스중에는 여러 오염물질이 존재하므로 이에 대한 다이옥신 제거에 미치는 영향의 상세한 조사 후에 그 적용 가능성을 판단할 수 있을 것이며 기존 설비를 활용한 최적의 운전조건확립이 필요하다.

참 고 문 헌

1. 양고수, 박성순, "염화합물의 소각시 형성되는 그을음 및 Aromatic Hydrocarbons 성분의 형성과 CO 농도와의 상관 관계에 대한 연구", 대한환경공학회지, **20**(7), 995(1998)
2. 신선경, 정영희, 이재인, "쓰레기 소각로 배출가스의 PCDDs/PCSFs 함유량에 관한 연구 (3): 소각로 연소 온도 변화에 따른 보일러 후단에서의 배출농도 변화", 분석과학 , **12**(6), 540 (1999)
3. 문만상, 이상원, 김삼권, "도시 폐기물 소각 설비에서의 다이옥신류 생성 및 배출", 한국 폐기물학회지, **17**(1), 61 (2000)
4. 양원, 신동훈, 최진환, 최상민, "국내 도시 스레기 소각로에서의 운전조건과 다이옥신 배출량과의 산관 관계에 관한 연구", 대한기계학회논문집, **22**, 1755 (1998)
5. 신동훈, 최진환, 양원, 최상민, "다이옥신류 배출저감을 위한 도시 폐기물 소각로의 설계와 운전", 한국폐기물학회지, **15**(7), 705 (1998)
6. 최상민, "다이옥신 저감을 위한 소각로 설계/ 건설/운영방안", 환경보전, **19**, 15 (1997)
7. Wey, M. Y., Yu, L. J., Jou, S. I., Chiang, B. C., and Wei., M. C.. "Adsorption on carbon and zolite of pollutants from flue gas during incineration", J. Environ. Eng., **125**(10), 925 (1997)
8. Hartenstein, H., U., "Fixed bed activated coke filters for the control of toxic metals and organics from waste incinerators - the second generation." Chemosphere, **29**, 2071 (1994)
9. Tejima, H., Nakagawa, I., Shinoda, T. A., and Maeda, I., "PCDDs/PCDFs reduction by good combustion technology and fabric filter with /without activated carbon injection." Chemosphere, **32**(1), 169 (1996)