(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0128740
(43) 공개일자 2009년12월16일

(51) Int. Cl.
B01D 53/32 (2006.01) *B01D 53/14* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2008-0054646
(22) 출원일자 2008년06월11일
심사청구일자 2008년06월11일

(71) 출원인
조선대학교산학협력단
광주광역시 동구 서석동 375, 조선대학교 산학기획팀
(72) 발명자
전영남
광주광역시 서구 풍암동 1096 현대삼환아파트 101동 1305호
김창근
광주광역시 광산구 신가동 1019-2 호반리젠시빌아파트 105-905호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
황주명, 성정현, 위병갑

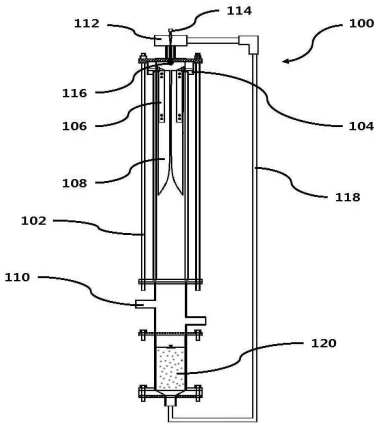
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 워터젯과 저온 플라즈마를 이용한 휘발성 유기 화합물 제거장치

(57) 요 약

본 발명은 산업 공정에서 발생하는 휘발성 유기 화합물(VOC)을 효과적이고 경제적으로 제거할 수 있는 휘발성 유기 화합물 제거 장치를 제공하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 본 발명에 따른 휘발성 유기 화합물 제거 장치는 플라즈마를 생성하고 그에 의해 이온 및 라디칼을 생성하는 플라즈마 구역 및 플라즈마 구역에서 생성된 이온 및 라디칼의 반응 체류 시간을 확보하는 체류 구역을 포함하는 반응기; 반응기의 플라즈마 구역에 구비되고 상부에서 하부로 부채꼴 형태로 연장되며 3상 교류 전류가 인가되는 3개의 전극들; 반응기 내부로 휘발성 유기 화합물을 인가하는 VOC 인가 수단; 및 3개의 전극들 사이에 물을 분사하여 방전 영역을 확대시키는 물 분사 수단을 포함한다.

대 표 도 - 도1



(72) 발명자

김성천

광주광역시 북구 일곡동 동아2차아파트 104동 1704호

양윤철

광주광역시 동구 소태동 진아하이빌 201동 1306호

특허청구의 범위

청구항 1

플라즈마를 생성하고 그에 의해 이온 및 라디칼을 생성하는 플라즈마 구역 및 플라즈마 구역에서 생성된 이온 및 라디칼의 반응 체류 시간을 확보하는 체류 구역을 포함하는 반응기;

반응기의 플라즈마 구역에 구비되고 상부에서 하부로 부채꼴 형태로 연장되며 3상 교류 전류가 인가되는 3개의 전극들;

반응기 내부로 휘발성 유기 화합물을 인가하는 VOC 인가 수단; 및

3개의 전극들 사이에 물을 분사하여 방전 영역을 확대시키는 물 분사 수단을 포함하는 휘발성 유기 화합물 제거 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 물 분사 수단에 의해 분사되는 물에 나노 광촉매 분말을 첨가하는 첨가 수단을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 휘발성 유기 화합물 제거 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 반응기의 내면에는 광촉매 나노 입자가 코팅되어 있는 것을 특징으로 하는 휘발성 유기 화합물 제거 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 분사된 물을 수집하여 물 분사 수단으로 재순환시키는 물 순환 라인을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 휘발성 유기 화합물 제거 장치.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 분사된 물은 파괴되어 미세액적을 형성하며 플라즈마 절연 파괴 영역을 증가시키고 자외선 복사와 충격파를 발생하여 휘발성 유기 화합물 제거 효율을 증가시키는 것을 특징으로 하는 휘발성 유기 화합물 제거 장치.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 물 분사 수단에서 물은 휘발성 유기 화합물 가스의 동압에 의해 정압이 감소하여 흡입되는 것을 특징으로 하는 휘발성 유기 화합물 제거 장치.

명 세 서

발명의 상세한 설명

기 술 분 야

<1> 본 발명은 휘발성 유기 화합물 제거 장치에 관한 것으로서, 보다 상세하게 본 발명은 인체와 환경에 해로운 VOC를 효과적으로 제거할 수 있는 워터젯과 저온 플라즈마를 이용한 휘발성 유기 화합물 제거 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

<2> 휘발성 유기 화합물(VOCs, volatile organic compounds)은 발암성 및 중추 신경 장애, 호흡기 장애 등을 유발 시키며, 오존층 파괴, 지구 온난화 및 광화학 스모그 등을 발생시킨다. 휘발성 유기 화합물은 도장, 합성수지 제조 및 반도체 세척 등 유기 용제를 사용하는 공정의 배출가스에 포함되어 있으며, 특성으로 배출 가스량이 많으며 저농도의 휘발성 유기 화합물을 배출한다.

<3> 종래의 처리 기술로는 흡착, 흡수, 연소와 촉매 산화의 방법이 있다. 그러나 흡착제, 촉매 및 보조연료의 비용과 및 2차 오염물질인 다이옥신, 퓨란 등이 배출되는 문제점을 가지고 있다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

<4> 본 발명의 종래 기술의 문제점들을 해결하기 위한 것으로서, 본 발명의 목적은 산업 공정에서 발생하는 휘발성 유기 화합물(VOC)을 효과적이고 경제적으로 제거할 수 있는 휘발성 유기 화합물 제거 장치를 제공하는 것이다.

과제 해결수단

<5> 상기 본 발명의 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은 플라즈마를 생성하고 그에 의해 이온 및 라디칼을 생성하는 플라즈마 구역 및 플라즈마 구역에서 생성된 이온 및 라디칼의 반응 체류 시간을 확보하는 체류 구역을 포함하는 반응기; 반응기의 플라즈마 구역에 구비되고 상부에서 하부로 부채꼴 형태로 연장되며 3상 교류 전류가 인가되는 3개의 전극들; 반응기 내부로 휘발성 유기 화합물을 인가하는 VOC 인가 수단; 및 3개의 전극들 사이에 물을 분사하여 방전 영역을 확대시키는 물 분사 수단을 포함하는 휘발성 유기 화합물 제거 장치를 제공한다.

<6> 본 발명에 따른 휘발성 유기 화합물 제거 장치는 상기 물 분사 수단에 의해 분사되는 물에 나노 광촉매 분말을 첨가하는 첨가 수단을 더 포함할 수 있다.

<7> 상기 반응기의 내면에는 광촉매 나노 입자가 코팅되어 있을 수 있다.

<8> 본 발명에 따른 휘발성 유기 화합물 제거 장치는 상기 분사된 물을 수집하여 물 분사 수단으로 재순환시키는 물 순환 라인을 더 포함할 수 있다.

<9> 상기 분사된 물은 파괴되어 미세액적을 형성하며 플라즈마 절연 파괴 영역을 증가시키고 자외선 복사와 충격파를 발생하여 휘발성 유기 화합물 제거 효율을 증가시킬 수 있다.

<10> 상기 물 분사 수단에서 물은 휘발성 유기 화합물 가스의 동압에 의해 정압이 감소하여 흡입될 수 있다.

효 과

<11> 상기에서 상세하게 살펴본 바와 같이, 본 발명의 휘발성 유기 화합물 제거 장치에 따르면 산업 공정에서 발생하는 휘발성 유기 화합물(VOC)을 효과적이고 경제적으로 제거할 수 있다.

<12> 보다 구체적으로, 본 발명의 휘발성 유기 화합물 제거 장치에 따르면 글라이드 아크 방전에 의하여 주입되는 가스와 물은 반응성이 높은 이온(radicals)과 광촉매 반응에 필요한 UV(ultraviolet)를 방출하며, 이는 높은 에너지를 가지며 다른 물질에 에너지를 쉽게 전달하는 특징을 가지고 있기 때문에 반응성이 낮은 VOCs 물질을 용이하게 제거할 수 있다.

<13> 본 발명의 휘발성 유기 화합물 제거 장치는 도장, 반도체 공정 등 다양한 공정에서 배출되는 VOCs에 적용 가능한 기술로서, 특히, 기존의 VOCs 저감 기술인 흡수법, 흡착법, 소각법에서 제거가 어려운 저농도 대용량에서 그 효과가 우수하다. 본 발명의 휘발성 유기 화합물 제거 장치는 VOCs 저감 이외에도 CFC, H_2S 등의 유기가스 저감과 수소/합성가수 생산에도 적용가능하다.

<14> 본 발명의 휘발성 유기 화합물 제거 장치는 점점 강화되고 있는 환경 규제에 대비하고 작업장의 환경을 개선할 수 있다. 또한, 기술 국산화를 통해 환경 산업의 자립에 기여할 수 있으므로 다양한 공정에서 배출되는 VOCs 저감 기술 적용을 통해 시장성을 확보할 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

<15> 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 보다 상세하게 설명한다.

<16> 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 휘발성 유기 화합물 제거 장치의 구성을 도시하는 단면도이다.

<17> 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 휘발성 유기 화합물 제거 장치(100)는 반응기(102), 절연체(104), 전극지지체(106), 전극(108), 배기가스 출구(110), 노즐(112), 유량 조절 밸브(114), 노즐팁(116), 물 순환 라인(118) 및 광촉매 나노입자(120)를 포함한다.

<18> 반응기(102)는 플라즈마를 생성하고 그에 의해 이온 및 라디칼을 생성하는 플라즈마 구역 및 플라즈마 구역에서 생성된 이온 및 라디칼의 반응 체류 시간을 확보하는 체류 구역을 포함한다. 플라즈마 구역은 반응기(102) 중 3개의 전극(108)이 배치되는 부분이고 체류 구역은 그 하부에 배치되는 공간 부분이다. 반응기(102)는 절연체로 이루어지는 것이 바람직하며, 예컨대 석영으로 제조될 수 있다.

<19> 반응기(102) 상부 내면에는 절연체(104) 및 전극지지체(106)가 구비되고, 전극지지체(106)에는 3개의 전극(108)이 부착된다.

<20> 3개의 전극(108)에는 에너지 효율이 우수한 3상 교류 전류를 인가하여 저온 플라즈마를 형성한다. 3개의 전극(108)은 반응기(102)의 플라즈마 구역에 구비되고 상부에서 하부로 부채꼴 형태로 연장되며 3상 교류 전류가 인가된다.

<21> 반응기(102) 상부에는 노즐(112)과 노즐팁(116)이 구비되어 반응기 내부로 휘발성 유기 화합물을 인가하고, 더불어 3개의 전극들(108) 사이에 물을 분사하여 방전 영역을 확대시킨다. 유량 조절 밸브(114)는 분사되는 물의 양을 조절한다.

<22> 물 분사 수단에 의해 분사되는 물에 나노 광촉매 분말을 첨가될 수 있다. 나노 광촉매 분말의 종류는 예컨대, 산화티탄(TIO_2)을 포함하지만 그에 한정되는 것은 아니다.

<23> 분사된 물은 파괴되어 미세액적을 형성하며 플라즈마 절연 파괴 영역을 증가시키고 자외선 복사와 충격파를 발생하여 휘발성 유기 화합물 제거 효율을 증가시킨다.

<24> 물 분사 수단에서 물은 휘발성 유기 화합물 가스의 동압에 의해 정압이 감소하여 흡입되는 사이펀(siphon) 원리에 의해 이루어질 수 있다.

<25> 광촉매 나노입자(120)는 VOCs의 분해를 촉진시키며, 반응기(102)의 내면에 코팅되어 있거나, 반응기(102)의 하부면에 충진될 수도 있다. 광촉매 나노입자의 종류는 예컨대, 산화티탄(TIO_2)을 포함하지만 그에 한정되는 것은 아니다.

<26> 물 순환 라인(118)은 분사된 물을 수집하여 물 분사 수단으로 재순환시킨다.

<27> 이하, 본 발명에 따른 휘발성 유기 화합물 제거 장치의 작동 과정 및 성능 평가 실험에 대해 상세하게 설명한다.

<28> 본 실험에서는 VOCs 중 톨루엔을 대표물질로 선정하였으며, 이를 제거를 위한 6 m^3/hr 급 글라이드 아크(GlidArc) 워터젯 플라즈마를 제안하였다. 설계된 이류체 노즐에 물을 공급하고 광촉매를 물에 주입하여 발생되는 OH · 래디컬과 촉매에 의해 톨루엔의 제거효율에 대하여 실험을 수행하였다. 글라이드 아크(GlidArc) 방전에 의하여 주입되는 가스와 물은 반응성이 높은 이온(radicals)과 광촉매 반응에 필요한 UV(ultraviolet)를 방출한다. 따라서 높은 에너지를 가지며 다른 물질에 에너지를 쉽게 전달하는 특징을 가지고 있기 때문에 반응성이 낮은 VOCs 물질을 제거할 수 있다. 이에 VOCs 중 대표물질인 톨루엔의 제거를 위해 저온 플라즈마를 형성하는 글라이드 아크(GlidArc) 워터젯 플라즈마 장치를 제안하고 톨루엔의 제거특성 및 변수별 실험을 통한 영향인자를 파악하였다.

<29> 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 휘발성 유기 화합물 제거 장치의 성능을 평가하기 위하여 설치된 측정 시스템의 구성을 도시하는 블록도이다.

<30> 도 2를 참조하면, 측정 시스템은 VOC 제거 장치(100), 전원공급 장치(222, 224), 가스공급 장치(202, 204, 206, 208), 측정 및 분석 장치(210, 212, 214, 216, 218)로 구성되어 있다. 워터젯 플라즈마 반응기는 부피가 1.2ℓ이며, 반응기는 절연과 가시화를 위해 내경 55 ㎜의 석영관으로 제작하였으며, 이류체 분사노즐과

방전 전극은 스테인레스 스틸 재질로 제작하였다. 이류체 노즐의 이류체 분사 노즐과 방전 전극의 간격은 10 mm이며, 전극의 간격은 3 mm이다.

<31> 노즐의 구조는 가스 주입부와 물 주입부로 구성되어 있다. 물은 가스의 동압에 의해 정압이 감소하여 흡입되는 사이펀(siphon) 원리를 이용하였다. 사이펀 원리로 주입되는 물은 노즐부에서 분무 각을 13도 이하로 하여 제트 형식으로 전극의 사이로 분무된다. 전원공급 장치(222, 224)는 고전압 트랜스로 구성하였다. 최대 출력 전력은 1.4 kW 이며, 소비전력은 250W이다. 가스 및 물 공급 장치는 톨루엔 기화에 필요한 기화공기, 희석에 필요한 희석공기 그리고 물 순환 장치로 구성되어 있다. VOCs 기화공기 및 희석공기는 고압 컴프레셔(204)에 의해 저장된 공기를 면적식 유량계에 의해 제어하여 주입하였다. 기화공기와 희석공기는 벤튜리 믹서(208)에서 혼합되어 플라즈마 반응기의 노즐로 공급된다. 물 주입은 혼합된 공기량에 의한 압차에 의해 공급되며, 노즐 상단부의 조절 밸브에 의해 물 주입유량을 조절하였다. 반응기를 통과한 물은 하단의 저장조에 도달하며 다시 노즐로 재순환 되도록 하였다.

<32> 측정 및 분석 장치는 온도 측정, 가스, 전기적 특성 분석으로 구분된다. 온도 측정은 제작된 K-type 열전대와 데이타 분석장치(212)로 구성되어 있으며 온도 변화를 실시간으로 모니터링 하였다. 가스분석은 샘플링 라인과 가스크로마토그래프(SHIMADZU-14B)(210)로 구성되어 있으며, 분석 컬럼으로 DB-1(30m×0.25mm, 0.25 ㎛) 컬럼을 사용하였다. 전기특성은 고전압 프르브(Tektronixa P6015A)(216), 전류 프르브(Tektronix A6303)(218)로 측정하였으며, 디지털 오실로스코프(Tektronix TDS 3052)(220)에 의해 특성을 파악하였다.

<33> 실험은 상온 상압 상태에서 진행되며 공급되는 물은 저장조의 눈금에 의해 유량을 측정하였으며, 노즐에 설치된 조절 밸브에 의해 조절하였다. 방전 전압과 전류는 각각 6.68 kV, 178mA로 하였다. 고전압 트랜스포머의 입력전력을 슬라이닥스를 이용하여 0.68~1.18로 조절하였다. 주입 유량은 희석공기와 기화공기를 합한 혼합공기량으로 6 m^3/hr로 하였다. 온도는 글라이드 아크(GlidArc) 워터젯 플라즈마 장치의 출구에서 측정하였으며, 기준 조건의 유량으로 배출가스의 온도는 77℃로 유지하였다. 톨루엔의 제거 특성을 파악하기 위하여 플라즈마 반응기 유입부와 반응기 출구부에서 가스를 샘플링 하였으며, 채취된 시료는 냉각장치를 통과하여 수분을 응축시켜 제거하고 건가스 기준으로 가스크로마토그래프의 샘플링 루프로 연속적으로 유입되어 분석되었다.

<34> 예비실험을 통해 톨루엔의 제거율이 최적인 조건을 도출하였으며, 이를 기준 조건으로 정하여 변수별 실험을 수행하였다.

<35> 플라즈마에 의한 톨루엔 분해 과정 원리는 전자와 활성이온으로 인한 톨루엔 분자의 직접 분해이며, 제거 메카니즘은 다음과 같은 반응식으로 설명할 수 있다.

<36> $C_6H_5 \cdot CH_3 + e^- \rightarrow C_6H_5 + CH_3 + e^-$, (1)

<37> $C_6H_5 \cdot CH_3 + e^- \rightarrow C_6H_4 \cdot CH_3 + H + e^-$, (2)

<38> $C_6H_5 \cdot CH_3 + e^- \rightarrow C_5H_6 + C_2H_2 + e^-$, (3)

<39> $C_6H_5 \cdot CH_3 + e^- \rightarrow C_3H_4 + C_4H_4 + e^-$, (4)

<40> 공기중의 산소 및 물의 방전을 통해 오존과 OH이 생성되며, 톨루엔으로부터 발생된 카본과 결합하는 경우 일산화탄소와 이산화탄소가 중간생성물로 생성되는 것을 알 수 있다.

<41> 글라이드 아크(GlidArc) 워터젯 플라즈마 반응기에 안정적인 방전과 톨루엔의 제거율이 최대가 되는 조건을 기준 조건으로 하였다.

<42> 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 VOC 제거 장치의 초기 플라즈마 방전 특성을 나타내는 그래프이다.

<43> 실험은 글라이드 아크(GlidArc) 워터젯 플라즈마에 희석공기를 주입하여 안정화 시킨 후, 톨루엔을 휘발시키기 위한 기화공기를 글라이드 아크(GlidArc) 워터젯 플라즈마에 공급하여 본 실험을 수행하였다.

<44> 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 VOC 제거 장치의 플라즈마의 시동 특성으로서 전압 및 전류 특성을 나타내는 그래프이다.

<45> 톨루엔 제거 효율은 식 (5)와 같이 정의하였다.

$$\eta(\%)=\frac{[toluene]_{input}-[toluene]_{exhaust}}{[toluene]_{input}}\times 100 \quad (5)$$

<46>

<47> 상기 식에서, $[toluene]_{input}$은 톨루엔 주입 농도 이며 $[toluene]_{exhaust}$은 배기 가스중의 톨루엔 농도이다. 주입에너지량(SEI)은 0.35~1.37 kWh/m^3을 슬라이닥스로 조절하였으며 다음과 같이 정의 하였다.

$$SEI(kWh/m^3)=\frac{discharge\,power(kW)}{gas\ flow\ rate(m^3/h)} \quad (6)$$

<48>

<49> 상기 식에서, discharge power는 플라즈마의 방전전압이며, gas flow rate는 주입 가스량이다.

<50> 에너지 효율은 다음과 같이 정의하였다.

$$\eta_e(g/kWh)=\frac{toluene\ removal\ efficiency\times gas\ flow\ rate}{input\ power} \quad (7)$$

<51>

<52> 상기 식에서, toluene removal efficiency는 톨루엔 제거량이며 gas flow rate는 주입가스량이다. input power는 전원공급기에 공급된 전력을 나타낸다.

<53> 일산화탄소 및 이산화탄소의 선택도는 다음과 같이 정의하였다.

$$COSelectivity(\%)=\frac{[CO]}{7([toluene]_{input}-[toluene]_{exhaust})}\times 100 \quad (8)$$

<54>

$$CO_2Selectivity(\%)=\frac{[CO_2]}{7([toluene]_{input}-[toluene]_{exhaust})}\times 100 \quad (9)$$

<55>

<56> <실험 기준 조건>

<57>

조건	톨루엔 유입 농도	플라즈마 반응기 온도	가스 유속	물 유속	방전 전력	입력 전력
수지	165 ppm	77℃	6.09 m^3/hr	0 mℓ/min	1.18 kW	0.25 kW

<58> <실험 데이터>

<59>

톨루엔 배출 농도	톨루엔 제거 효율(1)	특이적 에너지 입력(2)	에너지 효율(3)
37.8 ppm	77.2%	0.193 kWh/m^3	12.89 g/kWh

<60> (1) 식 (5)에 의해 계산됨

<61> (2) 식 (6)에 의해 계산됨

<62> (3) 식 (7)에 의해 계산됨

<63> 도 5 및 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 VOC 제거 장치에 있어서 톨루엔 주입 농도에 따른 효과 실험의 결과를 나타내는 그래프이다.

<64> 도 5 및 도 6에 있어서, 주입 유량과 방전 전압은 6.09 m^3/hr 및 1.18kW로 고정한 상태에서 톨루엔의 주입농도를 118~342 ppm으로 변화시켜 실험한 결과이다. 톨루엔의 주입농도가 166 ppm에서 제거 효율은 77.2%로 가장 높게 나타났다. 톨루엔의 주입농도는 평균 71.5%를 나타냈으며 주입 농도가 높을수록 조금씩 감소하는

경향을 나타냈다.

<65> 일산화탄소와 이산화탄소는 플라즈마에 의해 분해된 톨루엔 중 카본이 공기 중의 산소, 오존 및 O과 반응하면서 생성된 중간생성물이며, 선택도는 주입되는 톨루엔의 량에 비해 전환된 일산화탄소와 이산화탄소를 나타낸 것으로 일산화탄소와 이산화탄소의 선택도는 각각 9.5%에서 4.5%로 15.9%에서 4.1%로 감소하였다.

<66> 이때 배출가스의 온도는 주입농도가 증가 할수록 80℃ 까지 증가하였다. 이는 주입 농도가 높아지면서 톨루엔의 산화에 따른 발열 반응이 증가하여 온도가 증가하는 경향을 나타내는 것을 알 수 있다.

<67> 톨루엔 주입농도가 최대 342 ppm 일 때 제거되는 톨루엔의 절대량을 에너지 효율로 나타낼 때 최대 23.8 g/kWh로 증가하였다.

<68> 그러나 상대적으로 미 반응으로 배출되는 톨루엔의 농도가 점차적으로 증가하면서 톨루엔 제거 효율은 69.4%로 감소하는 결과를 나타냈다. 따라서 본 실험의 기준 조건으로 유입 농도가 166 ppm일 때로 정하였다.

<69> 도 7 및 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 VOC 제거 장치에 있어서 가스 유속에 따른 효과 실험의 결과를 나타내는 그래프이다.

<70> 도 7 및 도 8에 있어서, 톨루엔의 평균 주입농도와 방전 전압을 164 ppm 및 1.18kW로 고정한 상태에서 주입유량을 4.6~7 m^3/hr로 변화시켜 실험한 결과이다. 주입유량이 6.09 m^3/hr 일 때 톨루엔의 제거 효율은 최대를 나타냈다. 일산화탄소와 이산화탄소의 선택도는 각각 7.4%에서 4.7%로 10.5%에서 7.6%로 감소하였다. 주입유량을 변화시킴으로 인해 반응기 내부에서 플라즈마의 형태 및 반응 가스의 체류 시간이 변화하게 된다. 주입유량이 증가할수록 노즐에서 분사되는 유속은 증가하여 플라즈마의 방전은 전극의 하단에서 상단까지 전체적으로 형성되며, 체류시간이 짧아짐으로 인해 미반응 톨루엔의 배출농도가 증가하고 톨루엔 제거 효율 또한 감소하고 있다. 에너지 효율은 주입유량이 6.09 m^3/hr 일 때 최대 12.9 g/kWh를 나타냈다.

<71> 도 9 및 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 VOC 제거 장치에 있어서 전력 변화에 따른 효과 실험의 결과를 나타내는 그래프이다.

<72> 도 9 및 도 10에 있어서, 톨루엔의 평균 주입농도, 주입유량을 162 ppm 및 6.09 m^3/hr 고정한 상태에서 방전 전력을 0.68~1.18 kW로 변화시켜 실험한 결과이다. 방전전력이 1.18 kW 일 때 톨루엔의 제거 효율과 에너지 효율은 최대를 나타냈다. 일산화탄소의 선택도는 5.9%에서 7.5%로 방전전력이 증가할수록 점진적으로 증가하였으며, 이산화탄소의 선택도는 12.4%에서 9.08%로 감소하는 결과를 나타냈다. 이는 기준조건에 해당한다. 방전 전력이 증가할수록 충분한 에너지를 가진 전자의 밀도 및 활성 라디칼이 증가하여 톨루엔의 분해반응이 증대됨으로 방전전압이 증가할수록 톨루엔의 제거율과 일산화탄소의 선택도 그리고 글라이드 아크(GlidArc) 워터젯 플라즈마 반응기 온도가 증가함을 알 수 있다.

<73> 도 11 및 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 VOC 제거 장치에 있어서 물 주입량 변화에 따른 효과 실험의 결과를 나타내는 그래프이다.

<74> 도 11 및 도 12에 있어서, 톨루엔의 평균 주입농도, 주입유량 및 방전전압을 165 ppm, 6.09 m^3/hr 및 1.18 kW로 고정한 상태에서 물 주입량을 0~148 ml/min로 변화시켜 실험한 결과이다. 물 주입량이 81 ml/min 일 때 톨루엔의 제거 효율은 최대 85.2%를 나타냈다. 물을 주입함으로 인해 제거 효율은 약 8% 정도 증가하였다. 또한 일산화탄소 선택도는 6.9%에서 4.5%로 감소하는 경향을 이산화탄소의 선택도는 8.3%에서 16.9%로 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 물을 주입하는 경우 플라즈마와 반응하여 OH · 래디컬과 같은 반응기를 생성하여 톨루엔의 제거 효율을 증가시킨다. 또한 생성된 카본 또한 일산화탄소와 이산화탄소로 전환되고 일산화탄소의 경우 공급되는 물에 의해 이산화탄소로 전환되는 결과를 나타냈다. 그러나 물 주입량이 100ml/min 이상에서는 톨루엔 제거 효율 및 에너지 효율이 감소하게 되는데 이는 플라즈마 반응기 내부온도가 물에 의해 감소하게 되어 유입가스의 반응에 필요한 온도에 미치지 못하였으며, 액적이 전극 표면을 타고 흘러내려 플라즈마 방전 또한 안정적으로 형성되질 않기 때문이다. 이때 배출가스의 온도는 35℃까지 감소하였다.

<75> 요컨대, VOCs 중 톨루엔을 제거하기 위한 글라이드 아크(GlidArc) 워터젯 플라즈마를 제작하여 톨루엔 주입농도, 가스주입량, 물 주입량, 전력변화를 영향 변수로 선정하여 반복실험을 통해 최적 제거 효율을 나타내는 조건을 확보하였다. 최적 제거 효율 조건은 톨루엔 주입농도 165±15ppm, 가스주입량 1.05 m^3/hr, 물 주입량 102 ml, 방전 전력 1.18 kW로 나타났고, 이때 플라즈마 반응 후 배기 가스 온도는 113±5℃로 나타났다.

<76> 변수별 실험을 통한 톨루엔 제거 효율을 파악한 결과는 다음과 같다.

<77> 1) 톨루엔의 유입농도는 165ppm 일 때 65.4%의 제거효율로 가장 높게 나타났으며, 이후 주입농도가 증가하는 경우 평균 48%의 톨루엔 제거율을 보이며, 조금씩 감소하는 결과를 나타냈다.

<78> 2) 반응기 내 가스 주입량을 증가할수록 플라즈마에 의한 반응시간이 짧아짐으로 인해 미반응 톨루엔의 배출농도가 증가하고 톨루엔 제거 효율 또한 감소하는 결과를 나타냈다.

<79> 3) 반응기 내 물 주입량을 102 ㎖ 일 때 톨루엔의 제거 효율은 최대 75.3%를 나타냈으며, 100㎖ 이상에서는 플라즈마 반응기의 내부 온도가 떨어져 톨루엔 제거 효율 및 에너지 효율이 감소하는 결과를 나타냈다.

<80> 4) 플라즈마 방전 전력을 증가할수록 톨루엔의 제거 효율과 에너지 효율은 증가하였다. 이는 충분한 에너지를 가진 전자의 밀도 및 활성 라디칼이 증가하여 톨루엔의 분해반응이 증대하는 것을 알 수 있다.

<81> 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

도면의 간단한 설명

<82> 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 휘발성 유기 화합물 제거 장치의 구성을 도시하는 단면도이다.

<83> 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 휘발성 유기 화합물 제거 장치의 성능을 평가하기 위하여 설치된 측정 시스템의 구성을 도시하는 블록도이다.

<84> 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 VOC 제거 장치의 초기 플라즈마 방전 특성을 나타내는 그래프이다.

<85> 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 VOC 제거 장치의 플라즈마의 시동 특성으로서 전압 및 전류 특성을 나타내는 그래프이다.

<86> 도 5 및 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 VOC 제거 장치에 있어서 톨루엔 주입 농도에 따른 효과 실험의 결과를 나타내는 그래프이다.

<87> 도 7 및 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 VOC 제거 장치에 있어서 가스 유속에 따른 효과 실험의 결과를 나타내는 그래프이다.

<88> 도 9 및 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 VOC 제거 장치에 있어서 전력 변화에 따른 효과 실험의 결과를 나타내는 그래프이다.

<89> 도 11 및 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 VOC 제거 장치에 있어서 물 주입량 변화에 따른 효과 실험의 결과를 나타내는 그래프이다.

<90> * 도면의 주요 부분에 대한 부호의 간단한 설명 *

<91> 100: 본 발명에 따른 장치 102: 반응기

<92> 104: 절연체 106: 전극지지체

<93> 108: 전극 110: 배기가스 출구

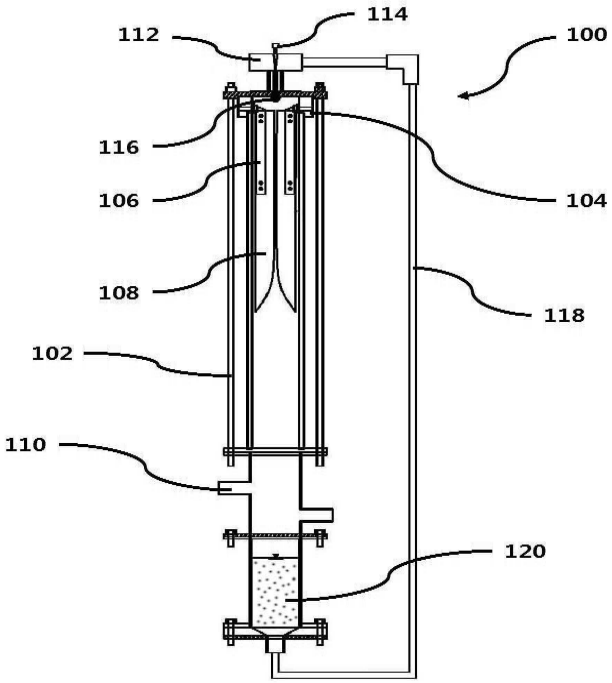
<94> 112: 노즐 114: 유량 조절 밸브

<95> 116: 노즐팁 118: 물 순환 라인

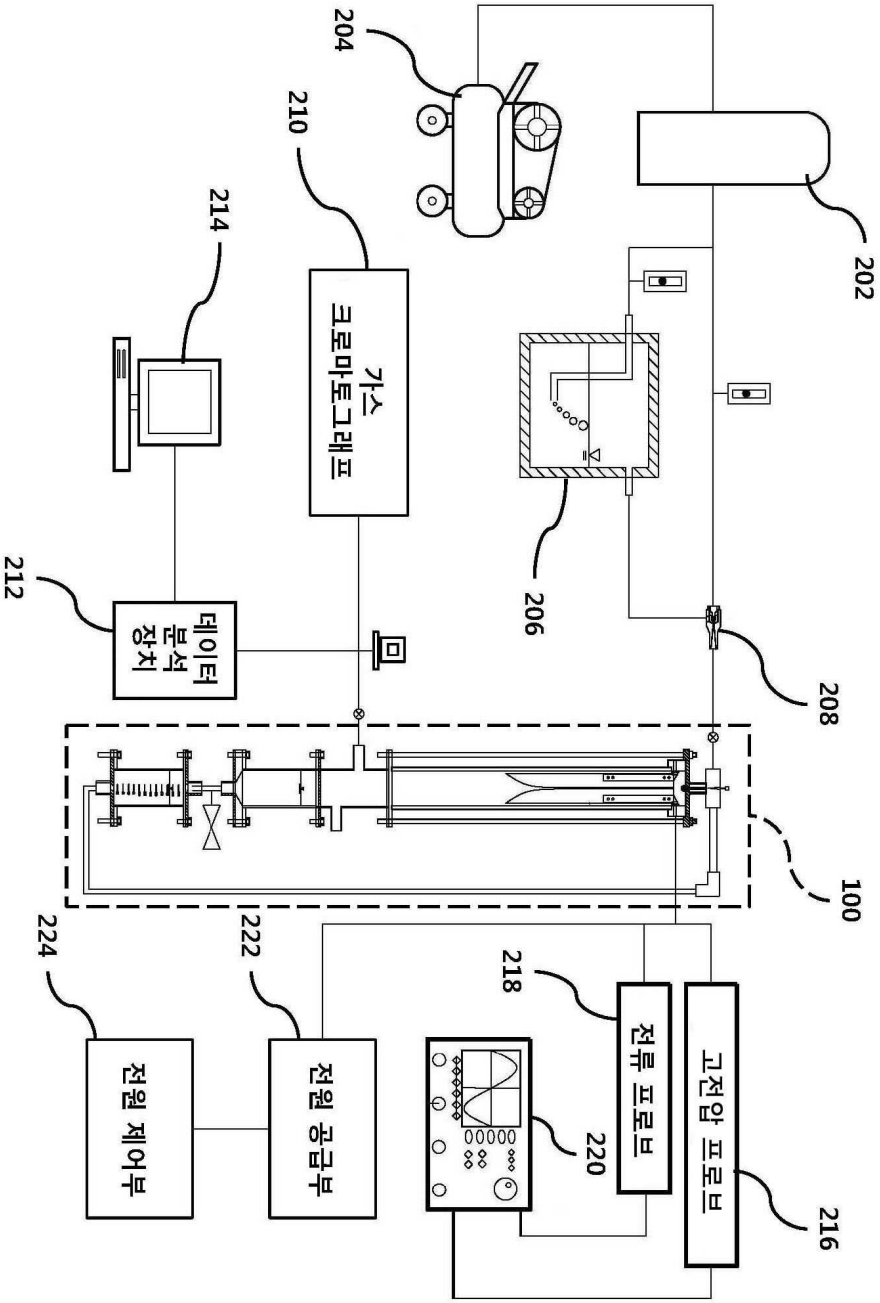
<96> 120: 광촉매 나노입자

도면

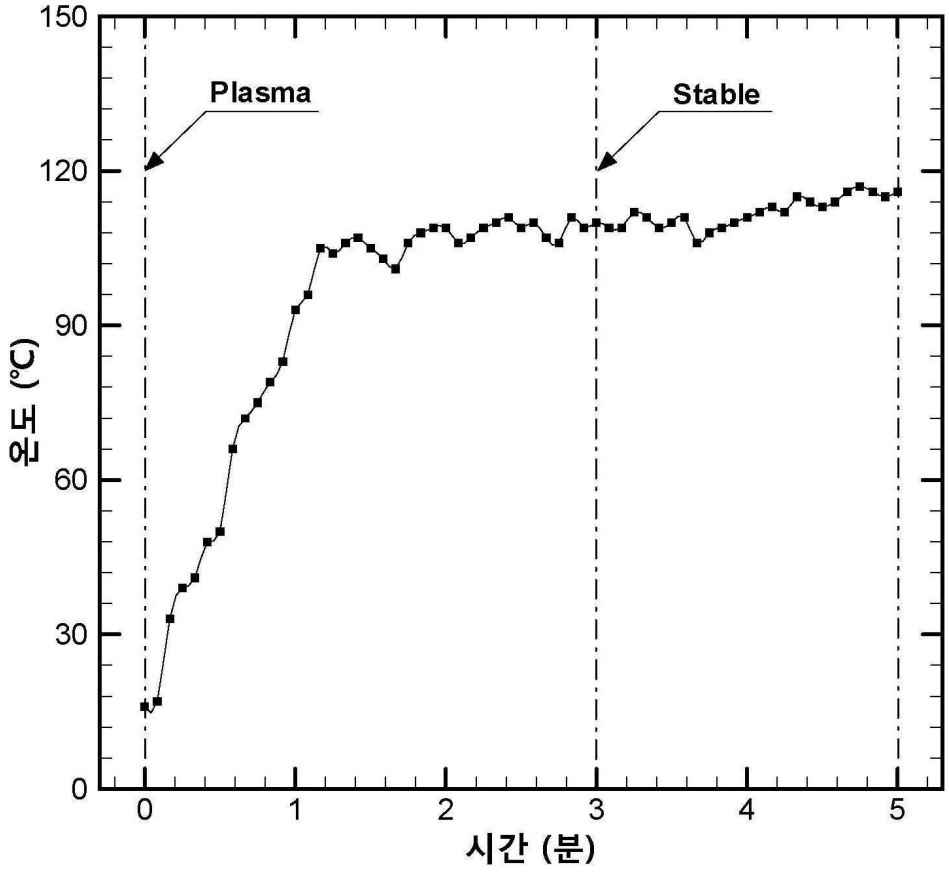
도면1



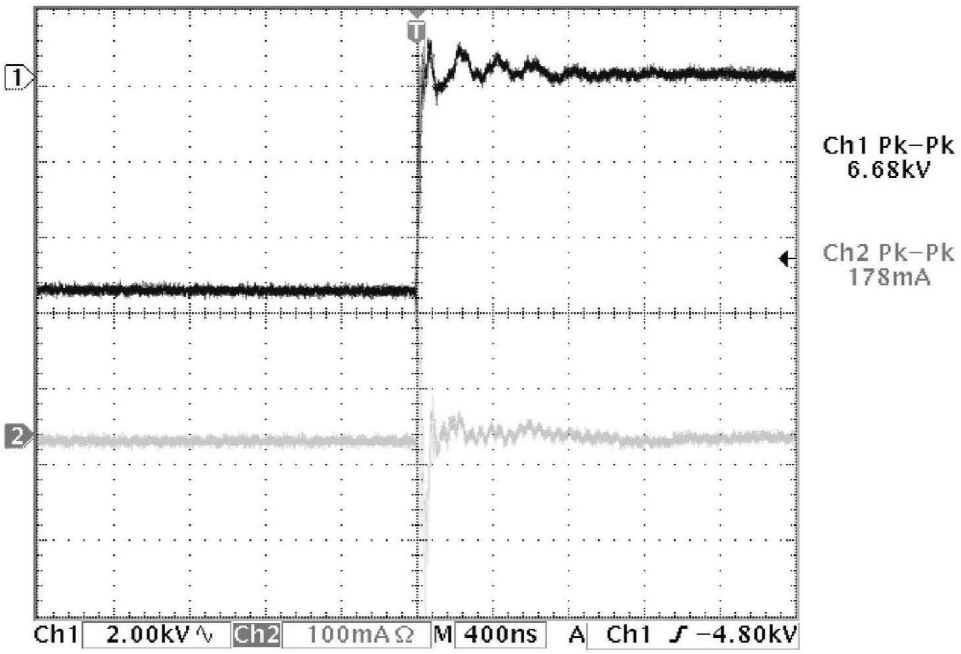
도면2


204
210
214
202
가스
크로마토그래프
206
212
데이터
분석
장치
208
100
224
222
218
전원 제어부
전원 공급부
전류 프로브
220
고전압 프로브
216

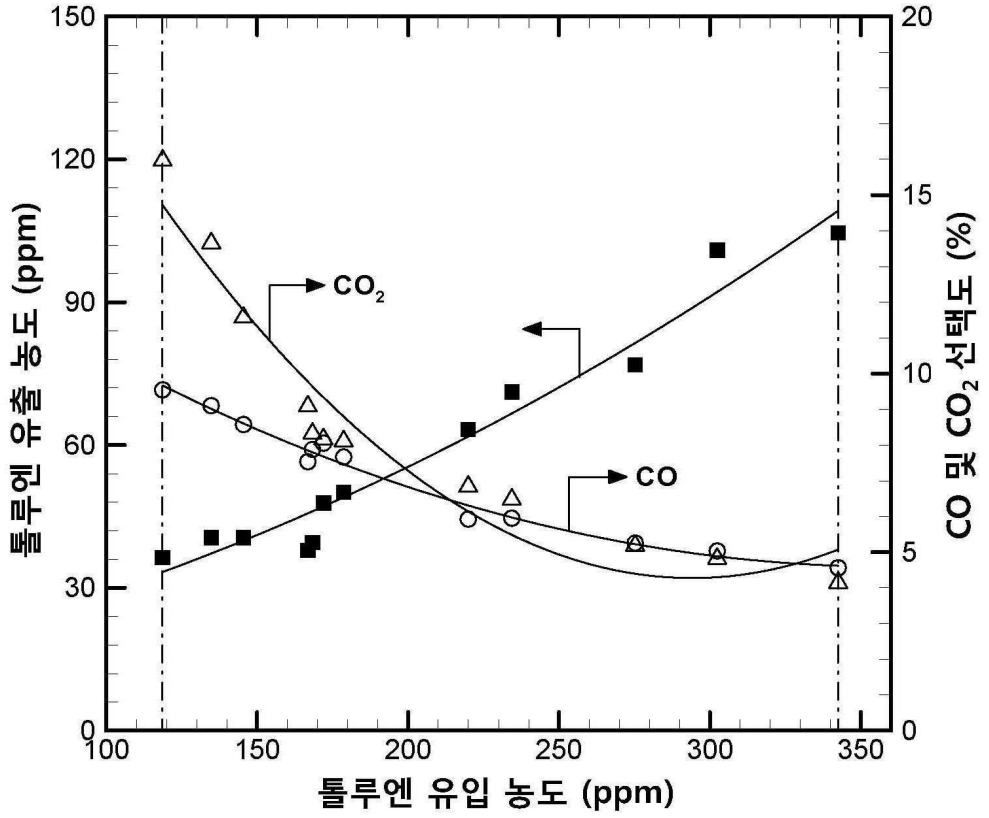
도면3


Plasma
Stable
150
120
90
60
30
0
온도 (℃)
0
1
2
3
4
5
시간 (분)

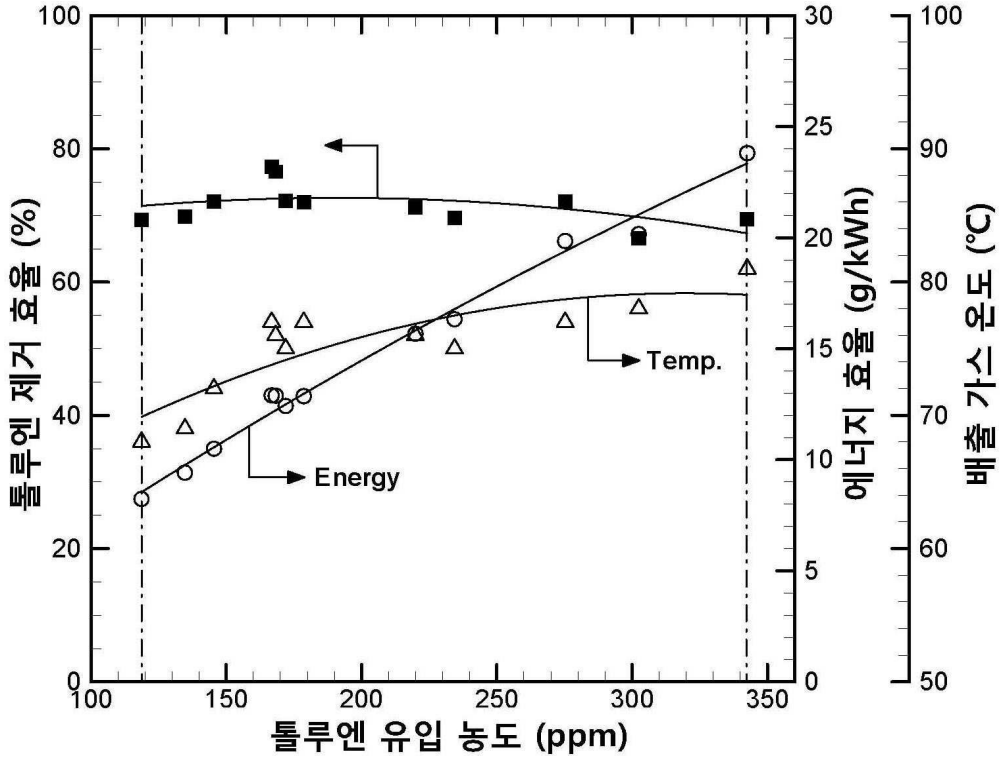
도면4


Ch1 Pk-Pk
6.68kV
Ch2 Pk-Pk
178mA
Ch1 2.00kV
Ch2 100mAΩ
M 400ns
A Ch1 -4.80kV

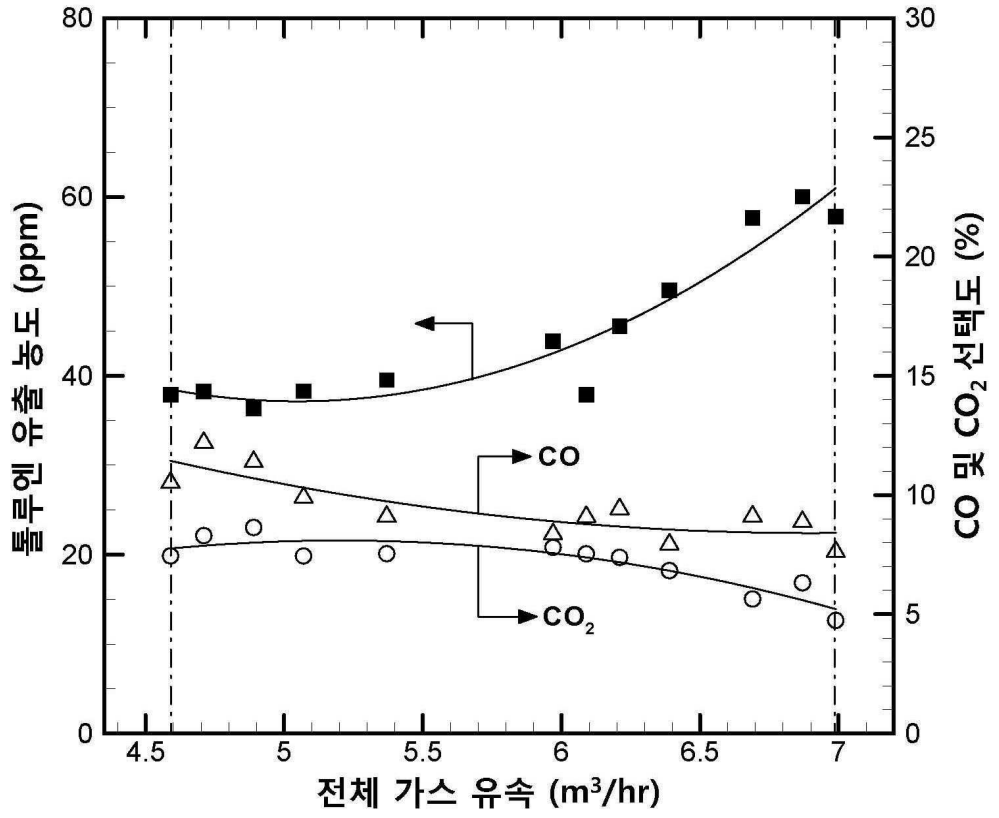
도면5


150
120
90
60
30
0
20
15
10
5
0
100
150
200
250
300
350
톨루엔 유출 농도 (ppm)
CO 및 CO2 선택도 (%)
톨루엔 유입 농도 (ppm)
CO2
CO

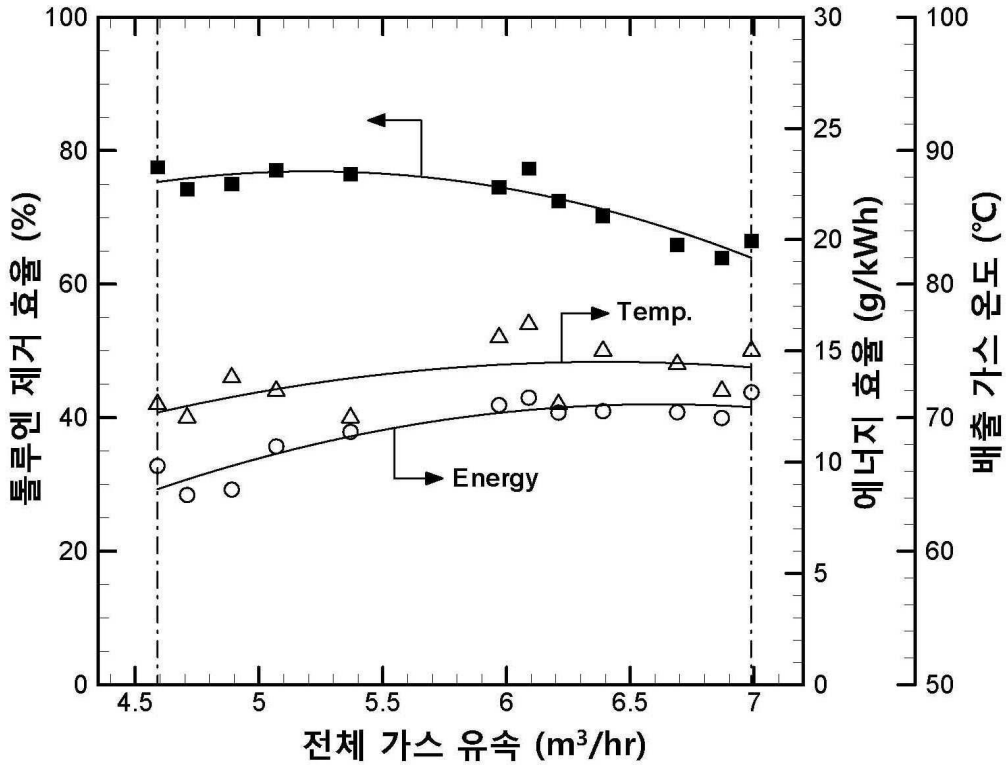
도면6


100
80
60
40
20
0
30
25
20
15
10
5
0
100
90
80
70
60
50
100
150
200
250
300
350
톨루엔 제거 효율 (%)
에너지 효율 (g/kWh)
배출 가스 온도 (℃)
톨루엔 유입 농도 (ppm)
Temp.
Energy

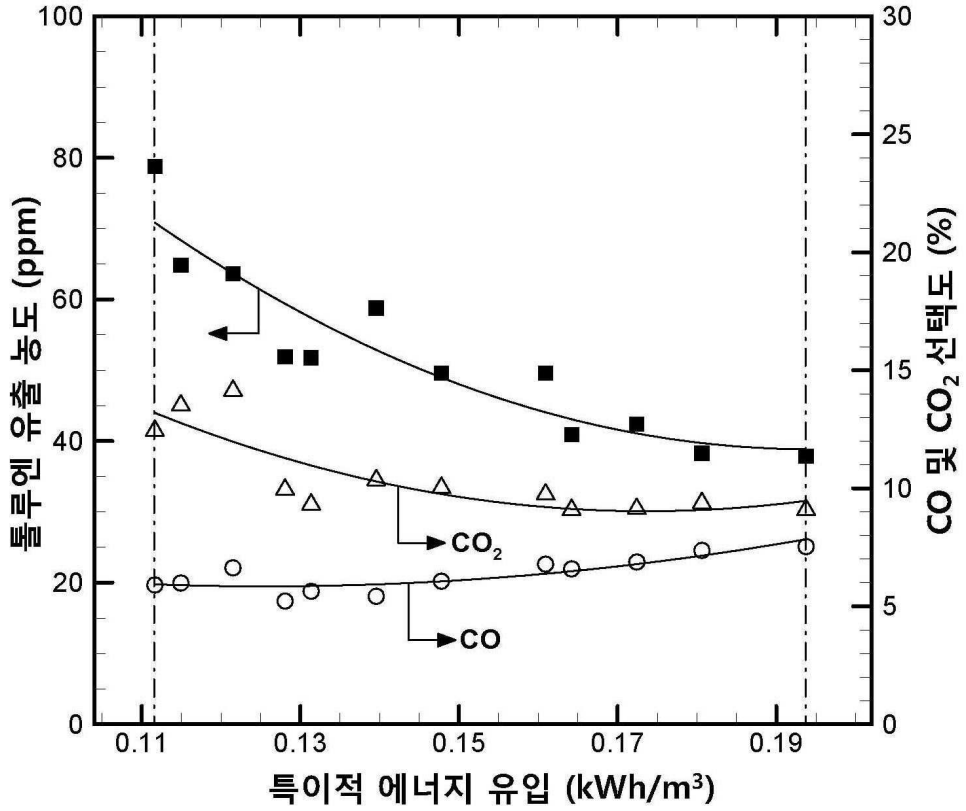
도면7


톨루엔 유출 농도 (ppm)
CO 및 CO_2 선택도 (%)
CO
CO_2
전체 가스 유속 (m^3/hr)
0
20
40
60
80
0
5
10
15
20
25
30
4.5
5
5.5
6
6.5
7

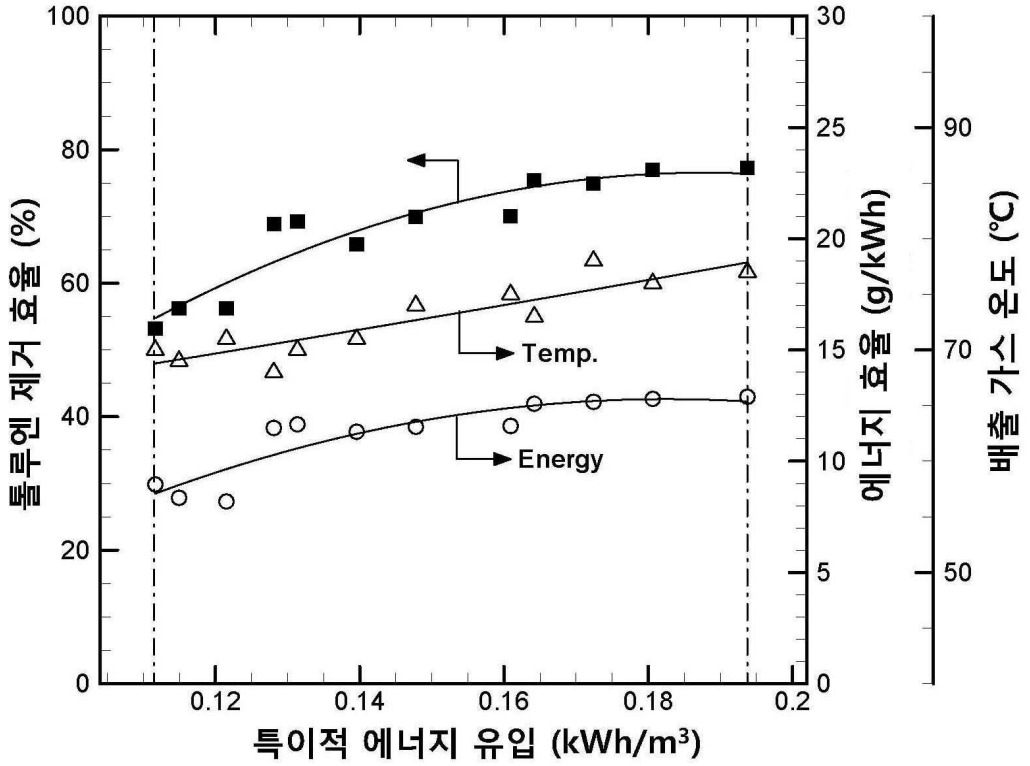
도면8


톨루엔 제거 효율 (%)
에너지 효율 (g/kWh)
배출 가스 온도 (℃)
Temp.
Energy
전체 가스 유속 (m^3/hr)
0
20
40
60
80
100
0
5
10
15
20
25
30
50
60
70
80
90
100
4.5
5
5.5
6
6.5
7

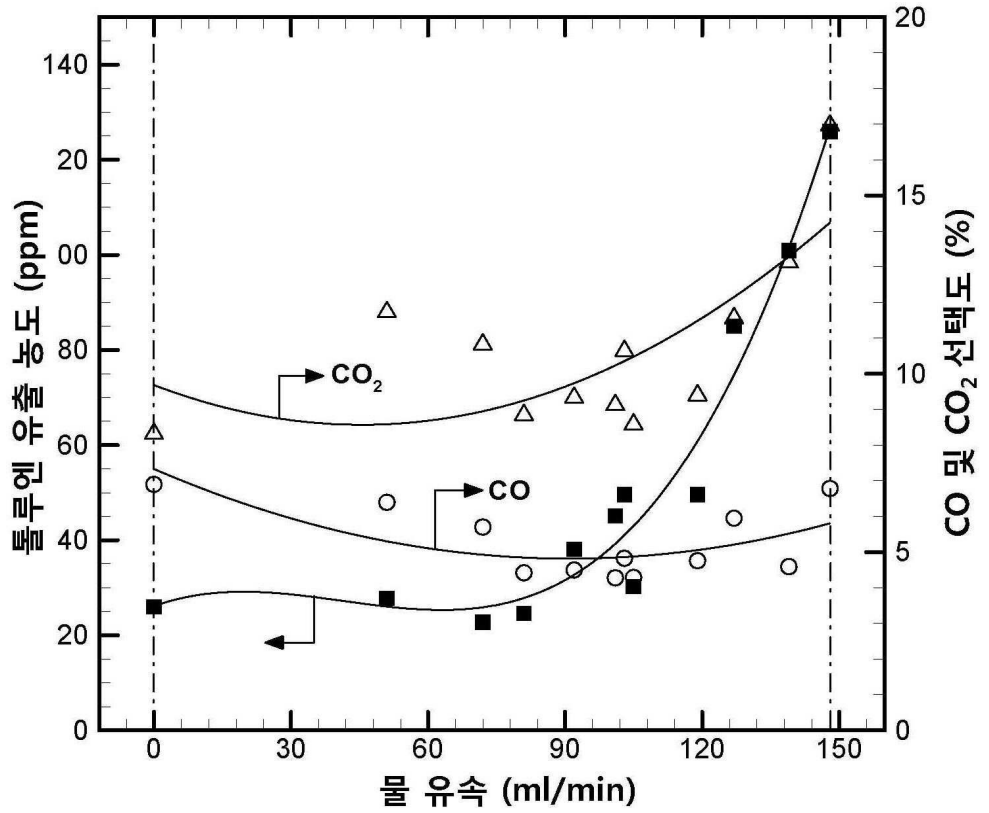
도면9


톨루엔 유출 농도 (ppm)
CO 및 CO_2 선택도 (%)
특이적 에너지 유입 (kWh/m³)
CO_2
CO
100
80
60
40
20
0
30
25
20
15
10
5
0
0.11
0.13
0.15
0.17
0.19

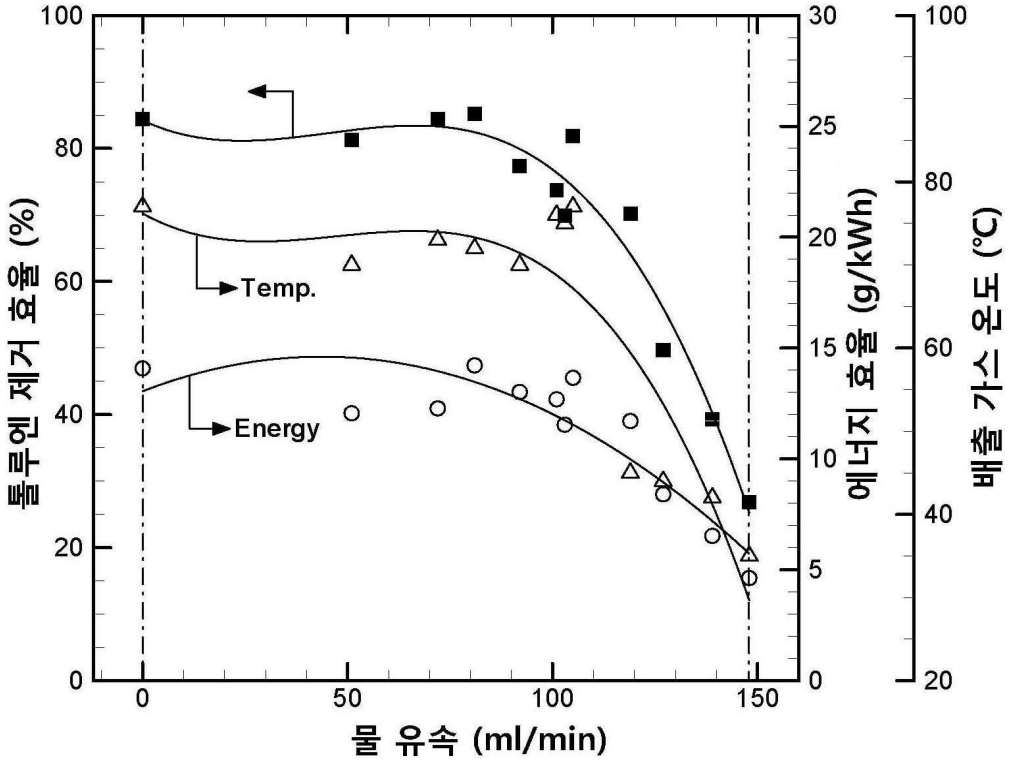
도면10


톨루엔 제거 효율 (%)
에너지 효율 (g/kWh)
배출 가스 온도 (℃)
특이적 에너지 유입 (kWh/m³)
Temp.
Energy
100
80
60
40
20
0
30
25
20
15
10
5
0
90
70
50
0.12
0.14
0.16
0.18
0.2

도면11


톨루엔 유출 농도 (ppm)
CO 및 CO_2 선택도 (%)
물 유속 (ml/min)
CO_2
CO
0
30
60
90
120
150
0
5
10
15
20
40
60
80
00
20
140

도면12


톨루엔 제거 효율 (%)
에너지 효율 (g/kWh)
배출 가스 온도 (℃)
물 유속 (ml/min)
Temp.
Energy
0
50
100
150
0
5
10
15
20
25
30
20
40
60
80
100