

평판형 유전체 장벽 방전 반응기에서 충전물질에 따른 아세토나이트릴의 분해 특성

Decomposition of Acetonitrile Using a Planar Type Dielectric Barrier Discharge Reactor Packed with Adsorption and Catalyst Materials

김 관 태* · 송 영 훈 · 김 석 준

한국기계연구원 환경기계기술연구부

(2002년 10월 16일 접수, 2003년 1월 30일 채택)

Kwan-Tae Kim*, Young-Hoon Song and Seock-Joon Kim

Korea Institute of Machinery & Materials Eco-machinery Engineering Department

(Received 16 October 2002, accepted 30 January 2003)

Abstract

A combined process of non-thermal plasma and catalytic technique has been investigated to treat CH_3CN gas in the atmosphere. A planar type dielectric barrier discharge (DBD) reactor has been used to generate the non-thermal plasma that produces various chemically active species, such as O, N, OH, O_3 , ion, electrons, etc. Several different types of the beads, which are Molecular Sieve (MS) 5A, MS 13X, Pt/alumina beads, are packed into the DBD reactor, and have been tested to characterize the effects of adsorption and catalytic process on treating the CH_3CN gas in the DBD reactor. The test results showed that the operating power consumption and the amounts of the by-products of the non-thermal plasma process can be reduced by the assistance of the adsorption and catalytic process.

Key words : VOCs (Volatile Organic Compounds), Nonthermal plasma process, Pt/ γ - Al_2O_3 , Acetonitrile, DBD (Dielectric Barrier Discharge)

1. 서 론

VOCs를 비롯한 유해대기오염물질(HAPs)은 산업의 발달 및 인간의 생활방식에 따라 다양한 환경과 장소에서 발생되고 있으며, 이로 인하여 자연생태계 파괴는 물론 인체에 직접적인 피해를 주고 있다. 따라서 이들 물질의 배출에 따른 환경 및 건강

에의 우려는 더욱 강화된 배출규제의 요구로 이어지고 있으며 이들의 안전하고 경제적인 처리기술개발이 시급한 실정이다. 유해대기물질의 처리는 배출조건(물질의 종류, 온도, 농도, 유량, 수분함량 등)에 따라 적용기술이 달라질 수 있는데, 기존의 처리기술(소각, 촉매산화, 흡착 및 미생물법 등)은 각각의 기술이 특정한 배출조건하에서만 효과적으로 적용되는 제약이 있다. 예를 들어 소각 및 촉매산화법은 어떠한 방식으로든 고온의 열원이 필요하나 유해가스가 간헐적으로 배출되는 초청정 반도체 공정이나

* Corresponding author
Tel : +82-(0)42-868-7348, E-mail : ktkim@kimm.re.kr

자동차 또는 선박의 냉시동 조건 등에서 특정 온도 영역으로 유지되는 열원을 이용하는 데는 기술이나 경제적인 어려움이 따르게 된다. 또한 최근의 VOCs 규제는 유해배출가스의 절대량에 대한 감축을 요구하고 있어 도장이나 인쇄시설 같이 저농도이면서 유량이 큰 배기가스를 배출하는 업종이 주요한 규제대상이 되고 있는데, 이와 같은 경우에도 종래의 소각법이나 회수법으로 직접 처리하는 경우 설비비 및 운전비가 높아 비경제적이므로 배기가스로부터 VOCs를 분리(또는 흡착)하여 적은 유량으로 농축해 소형의 설비 또는 공정으로 처리하는 것이 효과적이다.

따라서 보다 다양한 배출조건에서도 확장되어 효과적으로 적용될 수 있는 새로운 기술이 필요하며, 저온 플라즈마에 의한 기술은 그와 같은 노력의 일환으로 연구되고 있다. 그러나 이 기술을 실제 공정에 적용하기 위해서는 기존 기술 대비 경제성 확보를 위한 전력절감기술과 처리공정에서 생성되는 부산물의 저장방안 등이 확보되어야 하는데, 이에 대한 방안의 하나로 플라즈마와 촉매(또는 흡착제)를 동시에 사용함으로써 문제를 해결해 가는 연구들이 발표되고 있다(Chang, 2001; 김관태 등, 2000; Lev N. Krasnoperov *et al.*, 1997; T. Yamamoto *et al.*, 1996; Chang *et al.*, 1994). 본 연구에서 사용한 아세토나이트릴(CH_3CN)과 같은 시안화합물은 일반적으로 다른 VOCs에 비하여 분자의 단면적이 작고 높은 결합 에너지를 갖고 있어 분해율이 낮을 뿐더러, 분해 시 HCN과 같은 유독한 물질이 발생하는 것으로 보고되고 있다(Jerome P. Gilman *et al.*, 1985). 따라서 본 연구는 저온 플라즈마 공정에서 운전전력 절감 및 부산물 저장방안을 연구할 목적으로 수행되었으며, 이를 위하여 촉매 또는 흡착제를 저온 플라즈마 공정과 함께 사용하여 아세토나이트릴의 분해 특성을 살펴보았다.

2. 실험방법

본 연구에서 사용된 실험장치는 크게 온도와 반응물의 농도 제어부, 플라즈마 반응기, 전력 및 가스 분석 계측부로 구성되었으며, 그 개략도를 그림 1에 나타내었다. 반응기는 세라믹 평판을 이용한 유전체 장벽 방전 반응기(Dielectric Barrier Discharge Reactor)로 플라즈마 방전부에 이어 흡착제(또는 촉매) 등을 충전할 수 있는 충전부가 연결된 2단의 형태이며, 방전부는 그림 2에서 보는 바와 같이 유전체로 이용한 1 mm 두께의 세라믹 판과 판 사이에(세라믹 판의 크기: 76 mm × 76 mm × 1 mm) 스테인레스 박판 전극을 삽입, 봉한 후 병렬로 여러 쌍을 연결하여 플라즈마를 발생시킨 형태이다. 처리 대상물질인 아세토나이트릴은 온도조절이 가능한 수조(water bath)에서 공기를 통과시켜 발생하는 증기를 희석

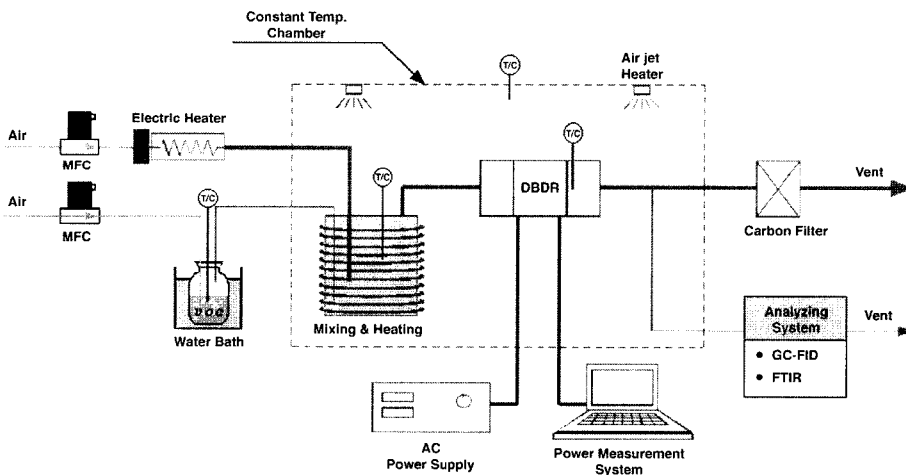


Fig. 1. Schematics of the experimental apparatus.

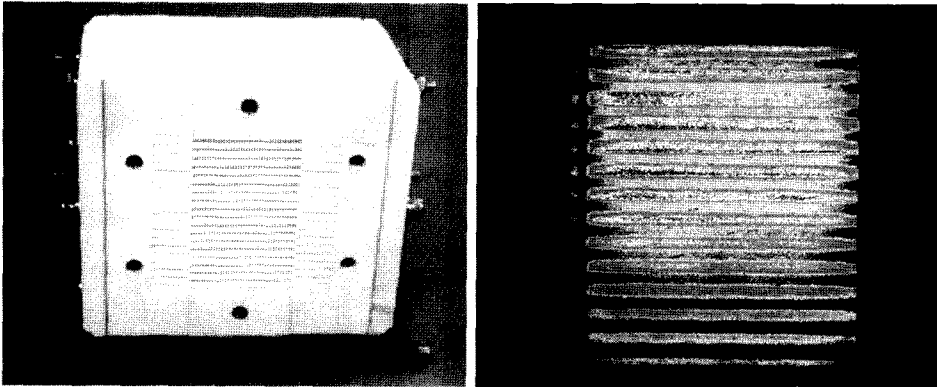


Fig. 2. A planar type DBD reactor and UV image.

공기와 혼합하여 사용하였으며, 본 연구의 경우 0°C의 증기압을 이용하여 혼합기의 공급농도가 약 1000 ppm이 되도록 하였다.

본 연구에서는 방전부의 전극간(간극: 3 mm) 공간에 평균지름 2 mm인 유리구슬(glass beads), 흡착제(MS 5A, MS 13X), 그리고 백금/알루미나(0.2 wt.%) 등을 충전하여 플라즈마와 동시 사용시에 충전물별 아세트나이트릴의 분해특성을 비교하였다. 또한 플라즈마 발생없이 촉매공정만의 실험에서는 백금/알루미나 비드를 충전한 반응기를 전기 oven안에 설치한 후, 반응기로 유입되는 혼합기를 원통형의 전기로에서 가열하여 반응기 출구온도가 실험중 특정 온도를 유지하도록 조정하였다. 그리고 반응기에 공급되는 전력은 고전압 교류전원(25 kV, 400 Hz, 10 mA)을 사용하였으며, 투입된 전력계측은 Q-V 선도(전하량-인가전압; Lissajous diagram)를 이용한 자동화된 계측 시스템을 구성하여 수행하였다. 이때 전하량 계측은 2 μF 용량의 축전기(Capacitor; NCL GT 1821, 2 μF±5%)를 사용하였으며, 인가전압은 고전압 프루브(North Star, VD-60, 10,000×)와 오실로스코프(Tektronix TDC TDS 210)로 계측되어 GPIB 통신을 통해 Labview로 제어되는 PC로 전송되고 실시간 후처리되어 전력값을 계산하였다. 또한 처리가스의 농도계측에는 on-line으로 연결된 GC/FID(HP 6890)와 광로(optical path) 8 m인 가스셀을 장착한 FTIR(Bruker 33) 분광계를 사용하였으며, 방전부 바로 후단에 열전대(T-type)를 설치하여 배출 가스의 온도를 계측하였다. 본 연구에서 모든 가스

의 유량은 MFC(Mass Flow Controller)로 제어하였으며, 처리 가스는 25°C로 유지된 항온 챔버 내에서 유량 10 l/min 수준으로 플라즈마 발생과 동시에 반응기로 유입시켜 분해실험을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 초기 유입 농도에 따른 분해특성

그림 3은 전극간 공간에 흡착제 등을 충전하지 않은 플라즈마만의 공정으로, 공급전력을 180 W로 유지한 상태에서 실험한 결과이다. 아세트나이트릴의 초기농도를 400에서 1,800 ppm 까지 변화시키면서 분해율을 평가한 결과, 초기 유입 농도를 증가하여도 농도증가분에 비해 분해율은 크게 감소하지 않는 것으로 나타났다. 즉, SED(Specific Energy Density)값으로 1080 J/L는 톨루엔이나 TCE(TriChloro-Ethylene) 등(한소영 등, 2002; 이해완 등, 2001; D. Evans *et al.*, 1993) 다른 VOC와 비교하여 상당히 높은 에너지임에도 불구하고 분해율은 40% 이하로 제거가 어려운 물질임을 알 수 있었다. 그러나 초기 농도를 4배 이상 증가하여도 분해율이 큰 차이를 보이지 않는 것은 초기농도가 증가할수록 처리된 아세트나이트릴의 양은 오히려 증가되었음을 의미한다(그림 4). 이것은 아세트나이트릴과 반응하고 있는 CAS(Chemically Active Species)의 절대적 양이 부족한 것이 아니라 CAS와 아세트나이트릴간의 화학반응 속도가 다른 VOC에 비하여 빠르지 않기

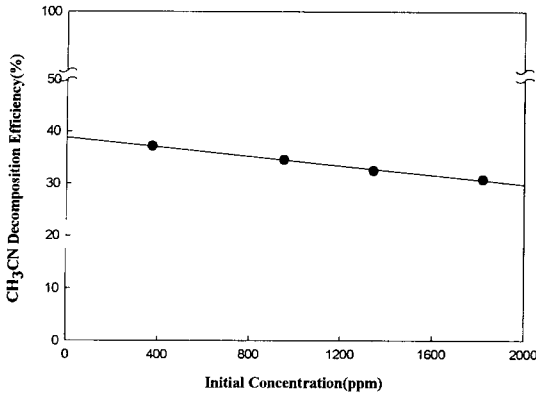


Fig. 3. Decomposition efficiency as a function of initial concentrations of CH₃CN.

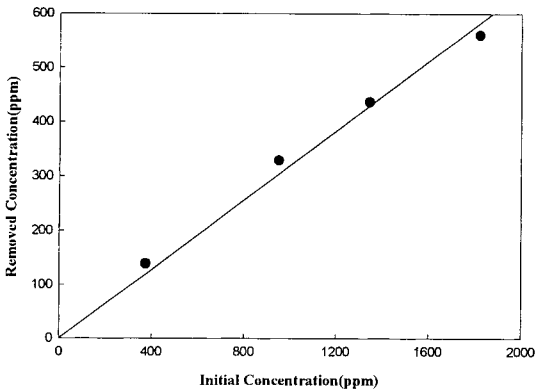


Fig. 4. Decomposed CH₃CN concentrations as a function of initial concentrations.

때문인 것으로 해석된다. 이와 같이 반응속도가 느린 물질의 경우 흡착제를 사용하여 반응기 내 체류 시간을 선택적으로 증가시키거나, 촉매를 이용하여 다른 반응경로를 채택하는 방안이 필요하기 때문에 이에 대한 실험을 수행하였다.

3. 2 충전물질에 따른 공정별 분해특성

본 연구에서는 충전물질로 흡착제인 Molecular Sieve 5A와 13X, 흡착과 촉매기능이 있는 백금/알루미늄, 그리고 흡착이나 촉매기능이 전혀없는 유리구슬을 사용하였다. 그림 5는 반응기의 전극간 공간에 유리구슬 또는 MS 5A를 충전하여 실험한 결과로,

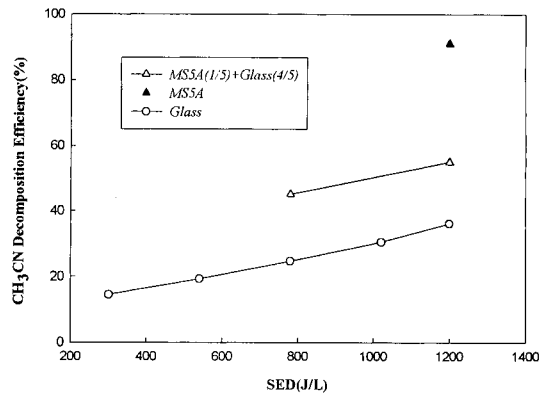


Fig. 5. Decomposition efficiencies as a function of SED and different types of packing materials.

단위 부피의 가스를 처리하는데 소요된 에너지 (J/L)를 SED로 정의하여 분해효율과의 관계를 나타내었다. 유리구슬은 흡착이나 촉매효과가 전혀 없지만 MS 5A를 충전한 반응기와 동일한 유속을 유지하기 위해 사용되었으며, 유리구슬을 넣지 않은 경우와 비슷한 분해율을 나타냈다. 그러나 MS 5A를 사용할 경우 분해율은 급격히 증가되었으며, MS 5A의 충전양을 증가시킬수록 분해율의 상승은 더욱 현저하게 나타났다. 즉, 1200 J/L 조건에서 유리구슬만 충전한 경우 분해율은 약 37%였으나, 1/5의 유리구슬 대신 MS 5A를 넣은 경우 55%로 증가하였으며, 유리구슬을 전부 MS 5A로 대체할 경우 90% 수준으로 분해율이 향상되었다. 따라서 흡착제를 사용하여 제거하려는 유해가스를 선택적으로 반응기에 체류시킬 경우 동일한 투입전력하에서도 높은 분해율을 달성할 수 있음을 알 수 있었다.

본 실험에서는 반응기에 전력을 투입시킨 후 처리가스를 유입시켰으며 (전력투입 전에는 바이패스시켰음), 플라즈마와 흡착제의 복합공정을 장시간 운전하여 분해 및 흡착특성을 살펴보았다. 그림 6에서 보는 바와 같이 흡착제 사용시 반응기 출구농도는 시간에 따라 심한 변화를 거치는 것으로 나타났으며, 따라서 분해율 계산은 반응기 출구농도가 안정화된 조건에서의 결과를 이용하였다. 그림 6에서 1/5의 MS 5A와 4/5의 유리구슬을 사용한 경우 (200 W), 초기 30분 동안은 흡착 또는 분해되지 못한 아세토나이트릴과 시간에 따른 반응기의 온도상승으

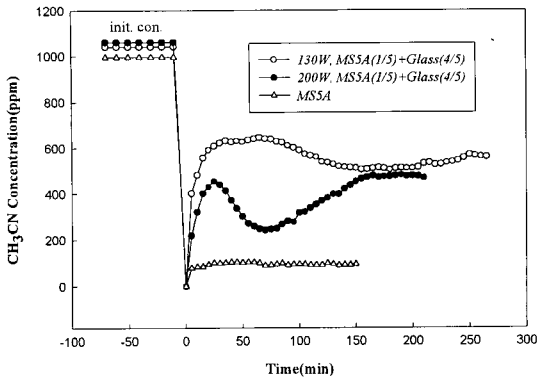


Fig. 6. Output concentration variations of CH₃CN as a function of time when MS 5A beads are packed.

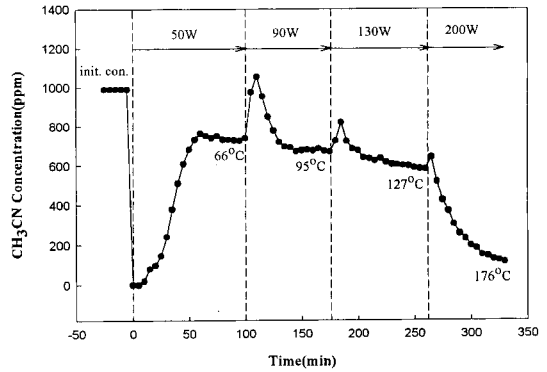


Fig. 8. Output concentrations of CH₃CN at different input power conditions (Pt/Alumina beads were used).

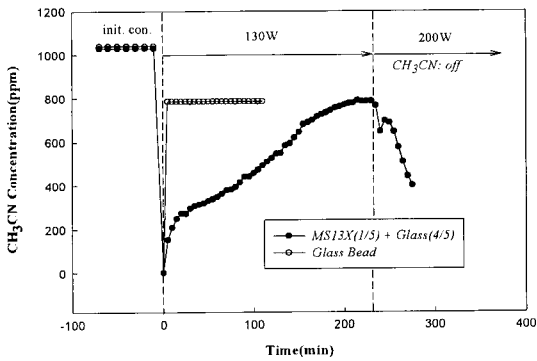


Fig. 7. Output concentration variations of CH₃CN as a function of time when MS 13X beads are packed.

로 탈착되는 양이 점차 증가하여 출구농도가 증가하는 것으로 생각하였다. 이 후 30~70분 동안 출구농도가 낮아진 다음 다시 70~170분 동안 증가 후 안정화되는 것은 반응기 내의 수분, 온도, 흡착능력 등이 변하기 때문으로 추정하였으며, 정확한 원인규명을 위한 실험은 수행하지 않았다. 이와 같이 성능이 시간에 따라 변하는 현상은 그림 7에 제시된 바와 같이 MS 13X를 사용할 경우 더욱 심각하게 나타났는데, 결국 흡착제를 사용하지 않은 유리구슬의 경우와 유사한 결과를 보였다.

이와 같이 MS 5A나 13X에서 운전시간에 따라 성능변화가 관측된 이유는 수분에 의한 영향뿐만 아니라 전기적 특성 및 플라즈마 발생특성에 의해

서도 설명될 수 있다. 즉 플라즈마 반응기의 전기적 특성은 온도 및 수분에 따라 반응기 내의 전기적 충전용량 (capacitance) 및 전기적 전도성이 변하기 때문에 반응기에 공급될 수 있는 전력이 다를 수 있다. 또한 동일한 전력이 반응기 내에 공급되더라도 수분이 electrical attachment를 일으키기 때문에 전자들의 활동에 제약을 가하여 플라즈마 발생에 악영향을 주게 된다. 따라서 본 연구에서는 수분에 의한 영향을 덜 받는 백금/알루미나 촉매를 사용하여 동일한 실험을 수행하였으며, 그림 8에 전력 투입량에 따른 반응기 출구농도와 온도를 함께 제시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 출구농도는 비교적 짧은 시간에 안정되었고 성능저하와 같은 현상은 관측되지 않았다. 50 W의 전력 투입시 초기 약 50분간은 흡착, 탈착 및 분해과정을 거치면서 안정된 출구농도에 도달하였으며, 이 후 90 W를 투입하면 흡착된 아세트나이트릴이 탈착되었다가 다시 90 W 조건에 맞는 안정된 출구농도를 보였다. 이와 같은 탈착 피크는 운전전력 및 반응기 온도가 증가할수록 크기가 감소하였으며, 온도가 급격히 상승하는 200 W의 경우에는 출구농도 또한 다른 전력조건에 비해 급격히 낮아진 것을 볼 수 있었다. 이는 반응기에 공급된 전력 에너지는 열에너지로 변환되며 변환된 열 에너지에 의해 촉매가 활성화 (thermal activation)된 영향으로 생각하고 있다. 이와 같이 저온 플라즈마만의 공정으로 분해가 어려운 경우, 흡착제를 사용하여 반응기 내 체류시간을 선택적으로

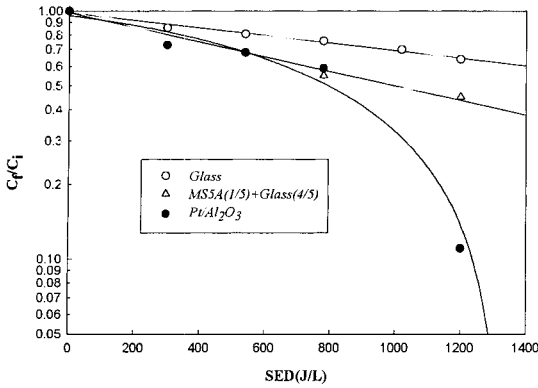


Fig. 9. Semi-log plots of C_1/C_i as a function of SED and different types of packing materials.

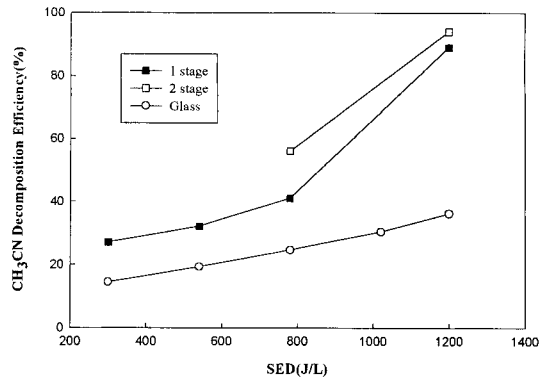


Fig. 10. CH_3CN decomposition efficiencies as a function of SED and different types of reactors.

증가시키거나 촉매를 이용하여 다른 반응경로를 채택하는 방안이 분해율 향상에 유효한 것으로 확인되었다(그림 9).

한편, 본 연구에서 사용된 반응기는 방전부뿐만 아니라 그 이후의 충전부에도 촉매등을 사용할 수 있는 2단의 형태로, 1단(1 stage)형은 반응기의 방전부에만 백금/알루미나 촉매를 충전한 경우이고, 2단(2 stages)형은 방전부와 후단의 충전부에도 동일한 양(약 160 cm^3)의 촉매를 사용하여 가스처리가 2단계에 걸쳐서 이루어 지도록 한 경우이다. 그림 10에서 보는 바와 같이 2단형에서 분해율이 다소 증가하는 이유는 방전부에서 흡착 또는 분해되지 못한 아세토나이트릴이 충전부에 흡착된 후, 방전부에서 발생된 O_3 를 비롯한 CAS와의 추가적인 반응에 의한 영향으로 판단하였다(김관태 등, 2000; A. Gervasini *et al.*, 2000).

3.3 촉매공정과 복합공정(플라즈마+촉매)과의 분해 특성 비교

그림 9에서 볼 수 있듯이 백금/알루미나 촉매의 사용을 통해 동일한 전력에서도 매우 높은 분해율을 달성할 수 있었으며, 특히 800 J/L 이상의 투입 에너지에서는 분해율의 증가가 선형이 아니라 급격히 증가됨을 알 수 있었다. 이와 같이 분해율이 급속히 증가된 원인은 반응기 내의 온도가 800 J/L 이상에서는 130°C 이상으로 상승하기 때문에 백금촉매가 활성화되기 시작하였다고 추정을 하였다. 이에

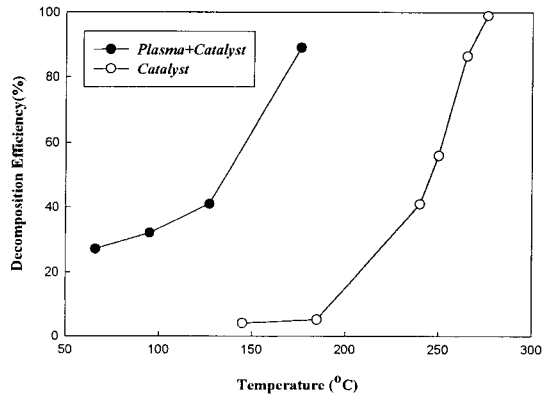


Fig. 11. CH_3CN decomposition efficiencies of catalyst process and hybrid (plasma+catalyst) process.

대해 보다 엄밀한 분석을 위해 본 연구에서는 플라즈마 발생없이 단순히 백금 촉매를 사용하여 아세토나이트릴의 분해실험을 수행하였고, 이를 플라즈마와 촉매를 동시에 사용한 실험결과와 비교하였다.

그림 11은 그림 8에서 제시된 플라즈마와 촉매가 조합된 복합공정(hybrid process)을 촉매만의 공정과 비교한 그림이다. 여기서 촉매만의 공정은 백금 촉매를 반응기의 방전부에 충전하고 즉, 동일한 공간속도(space velocity)를 유지하면서 반응기를 전기오븐에 넣은 다음 유입되는 혼합기의 온도를 원통형의 전기로와 오븐을 거치면서 온도를 조절하여

분해한 공정을 의미하고 있다. 촉매만의 공정에서는 플라즈마 반응기에 전력을 투입하지 않았으며, 촉매는 오로지 전기로와 오븐에 의해 공급된 열 에너지에 의하여 활성화되었다. 그림 11에서 볼 수 있듯이 복합공정에서는 130°C 이상부터 플라즈마와 열에너지에 의한 상승(시너지)효과로 분해율이 급격히 증가하였으나, 촉매만의 공정에서는 200°C 이상에서 촉매의 활성이 관찰되었다. 따라서 복합공정은 촉매의 온도창(temperature window)을 저온 영역으로 확장시켜 주는 효과가 있으며, 낮은 온도 영역에서 촉매가 활성화되는 기구는 단순히 백금촉매의 열에너지에 의한 활성만으로 설명하기 어렵다는 것을 알 수 있었다.

3.4 반응 부산물의 발생 특성

저온 플라즈마 공정을 거친 유해가스는 가스상 또는 입자상의 부산물이 생성될 수 있어, 이에 대한 대책이 본 기술의 실용화에 매우 중요하다. 그림 12는 플라즈마와 백금촉매를 조합한 복합공정에서 처리된 혼합기의 FTIR 스펙트럼으로, 그림에서 보는 바와 같이 상대적으로 전력투입이 적은 조건에서 O₃의 발생이 관찰되고 있으며, 전력이 증가될 경우 O₃ peak은 사라지는 것으로 나타났다. 그러나 반대로 N₂O 및 NO₂는 전력이 증가할수록 증가하는 것

으로 나타났는데, 이와 같은 문제는 플라즈마/백금 촉매 반응기 후단에 다시 촉매 또는 습식 scrubber 공정 등을 보완하여 해결하는 방안이 필요할 것으로 판단된다.

또한 본 연구에서 모사가스로 사용중인 아세트나이트릴은 분해과정에서 치명적인 유독한 물질인 HCN이 배출되는 것으로 보고 되고 있어, 이에 대한 정량화를 시도하였다. HCN의 발생에 관한 공정 실험은 반응기에 glass bead와 Pt/alumina를 충전한 경우에 대하여 수행하였으며, 결과를 그림 13과 14에 각각 전력증가에 따라 나타내었다. 그림 13에서 보는 바와 같이 플라즈마만의 공정에서는 공급전력의 증가에 따라 분해율이 증가하지만 HCN 발생량 또한 증가하는 것으로 나타났다. 공급전력 200 W의 경우 아세트나이트릴의 초기농도가 1060 ppm, 제거율이 약 40% 정도이므로 분해된 아세트나이트릴 424 ppm 중 약 26% (110 ppm)는 HCN의 형태로 분해됨을 알 수 있었다. 그러나 플라즈마와 촉매를 조합한 복합공정의 경우 그림 14에서 보는 바와 같이 아세트나이트릴과 함께 HCN의 경우도 온도상승에 따라 발생정도가 급격히 감소하는 것으로 나타났다.

3.5 scale-up 시스템 구성 및 분해 실험

이상의 연구결과를 통해서 플라즈마공정과 함께

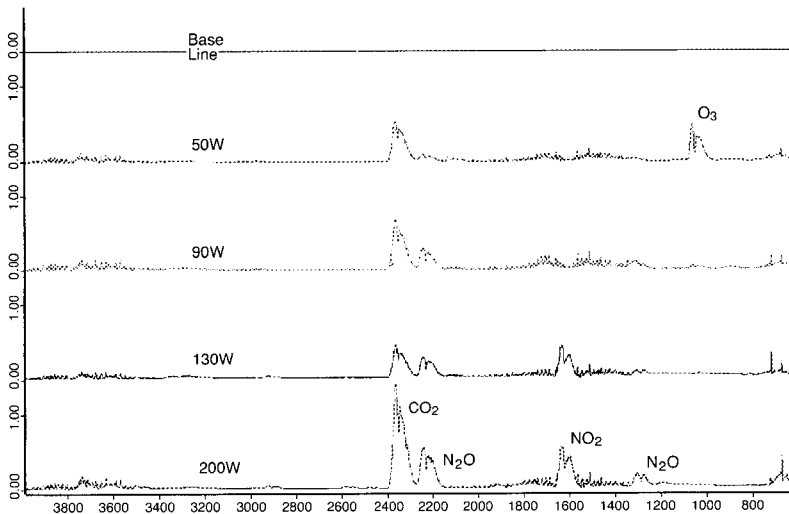


Fig. 12. FTIR spectrum of the treated air at different input power conditions in the case of hybrid (plasma+catalyst) process.

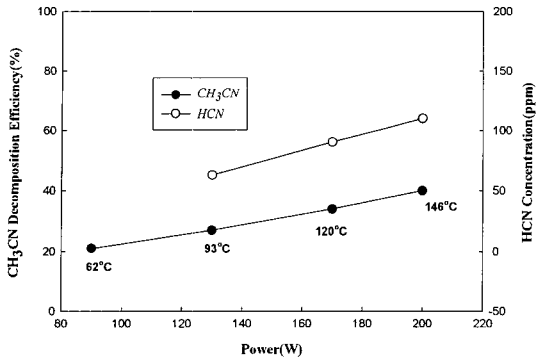


Fig. 13. Output concentrations of HCN as a function of input power in the case of glass beads.

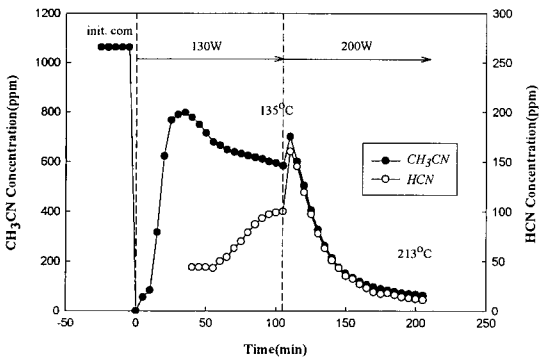


Fig. 14. Output concentrations of HCN at different input power conditions in the case of Pt/alumina beads.

흡착 또는 촉매등을 사용하면 전력소비의 절감과 함께 부산물의 처리가 가능할 수 있음을 확인하였다. 그러나 지금까지의 실험결과들은 10 l/min 규모의 저유량으로, 고유량의 유해가스를 처리해야하는 실제 시스템에서의 실증을 위해 300 l/min급 시스템을 구성하였다. 300 l/min급 실험장치는 플라즈마 반응부와 촉매 반응부 2 모듈을 직렬로 연결하여 2 단계로 구성하였고, 플라즈마 반응부는 전극간 간격이 1.5 mm인 반응기를 사용하였으며, 단일 처리한 촉매 반응부는 1,200 cm³의 공간에 평균지름 약 5 mm인 알루미나 비드(1단계 모듈) 또는 백금/알루미나 비드(2단계 모듈)를 채워 사용하였다. 10 l/min급 실험에서 아세트나이트릴을 처리하는데 소요되는 전력이 1,200 J/L였으며, 이를 기초로 300 l/min급의 경

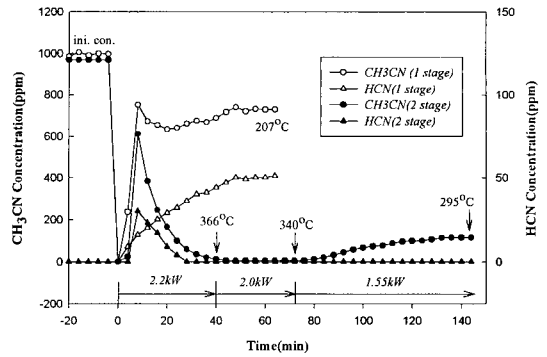


Fig. 15. Output concentrations of CH₃CN and HCN at different operating conditions (input power and geometrical configuration) for treating 300 l/min of the polluted gas flow.

우 약 6 kW의 전력이 소요되는 것으로 계산되었다. 그러나 10 l/min급의 경우 반응기에 비해 지나치게 적은 유량을 처리한 관계로 주위로의 열손실이 크게 발생하였으나, 300 l/min급의 경우 상당량의 열에너지가 촉매반응부에서 촉매 활성화에 이용할 수 있어 6 kW 보다 적은 에너지 소비가 예상되었다. 그림 15에서 보는 바와 같이 1개의 모듈만을 사용하여 1.5 kW를 공급할 경우 아세트나이트릴의 분해율은 25% 수준이고 HCN의 발생도 50 ppm까지 증가하였다. 그러나 2개의 모듈을 사용하여 각 각의 모듈에 1.1 kW씩 2.2 kW를 공급할 경우 아세트나이트릴 및 HCN은 계속되지 않았으며, 약 40분 후 투입전력을 2.0 및 1.55 kW로 낮추었으나 1.55 kW의 전력조건에서 100 ppm 정도의 아세트나이트릴이 계속되었다. 결과적으로 300 l/min급 실험장치에서 1,000 ppm의 아세트나이트릴을 처리하는데 소요된 에너지는 400 J/L이고 (2 kW 기준), 이 값은 10 l/min급 결과인 1,200 J/L의 1/3에 불과하였다. 따라서 플라즈마와 촉매의 조합으로 이루어진 본 실험장치의 경우 플라즈마 발생과 함께 백금 촉매의 활성화에 필요한 열 에너지를 쉽게 얻을 수 있어 고유량의 유해가스 또한 효과적으로 처리할 수 있음을 확인하였다.

4. 결 론

저온 플라즈마 공정에서 운전전력 절감 및 부산

물 저감방안을 연구할 목적으로 촉매 또는 흡착제를 저온 플라즈마 공정과 함께 사용하여 아세트나이트릴의 분해특성을 살펴보았으며, 주요 결과는 다음과 같다.

1) 아세트나이트릴의 제거반응은 다른 VOC(Toluene, TCE 등)에 비해 느리며, 따라서 아세트나이트릴을 분해할 수 있는 화학종이 반응기 내에 비교적 풍부함에도 불구하고 분해율은 기대한 값보다 낮게 나타났다.

2) 반응기에 아세트나이트릴이 선택적으로 오래 체류될 수 있도록 흡착제인 MS 5A를 사용한 경우, 분해율의 증가는 관찰되었으나 흡착제의 성능은 시간에 따라 저하되거나 변동이 심한 것을 볼 수 있었다. 특히, MS 13X를 사용한 경우 더욱 심각하게 나타났으며, 분해율은 흡착제를 사용하지 않은 유리구슬의 경우와 유사한 결과를 보였다.

3) 복합(플라즈마+백금촉매) 공정에서 가장 안정된 성능과 높은 분해율을 보였으며, 반응기 후단에서 계측된 온도증가에 따른 분해율의 증가추세를 살펴본 결과, 백금촉매의 열 활성화(thermal activation)가 이와 같은 분해율의 증가를 가져온 것으로 생각되었다. 또한 복합공정은 촉매의 온도창을 저온 영역으로 확장시켜 주는 효과가 있으며, 낮은 온도 영역에서 촉매가 활성화되는 기구는 단순히 백금촉매의 열 활성화만으로는 설명하기 어렵다는 것을 알 수 있었다.

4) 아세트나이트릴 분해시 발생하는 HCN의 경우, 플라즈마만의 공정에서는 전력증가에 따라 아세트나이트릴의 분해율과 함께 HCN의 발생량도 증가하였으나, 플라즈마와 백금촉매를 조합한 공정에서는 HCN의 발생이 현저히 감소하여 부산물 발생 억제에도 매우 효과적인 공정으로 평가되었다.

5) 플라즈마와 촉매의 조합으로 이루어진 300 // min급 실험장치의 경우, 플라즈마 발생과 함께 백금 촉매의 활성화에 필요한 열 에너지를 쉽게 얻을 수 있어 고유량의 유해가스 또한 효과적으로 처리할 수 있음을 확인하였다.

사 사

이 연구는 2002년도 국가지정연구실사업(NRL)

의 일환으로 수행되었으며 감사드립니다.

참 고 문 헌

김관태 외(2000) DBD와 흡착공정을 조합한 2단형 반응기에서 톨루엔 분해에 관한 연구, 한국대기환경학회 추계학술논문집, 415-416.

이해완, 황경창, 류삼근, 박헌배, 박명규, 이규원(2001), 유전체 장벽 플라즈마 반응기를 이용한 TCE 분해반응 연구, 한국화학방방어학회, 추계학술대회논문집, 69-75.

한소영, 송영훈, 차민석, 김석준, 최경일, 신동준(2002) 촉매가 충전된 플라즈마 반응기에서의 toluene 제거 특성, 한국대기환경학회지, 18(1), 51-58.

Chang, J.S., K. Urashima, and T. Ito (1994), Mechanism of Nonthermal Plasma Treatment of Volatile Organic Compounds in Dry Air, Engineering Technology in Hazardous Waste Management VI, D. W. Tedder, Ed., Atlanta, GA: ACS Press. p. 203-206.

Chang, J.S. Recent Development of Non-thermal Plasma Gaseous Pollution Control Technology: From ISNPT-1 and Beyond ISNPT-3, Proceedings of the 3rd International Symposium on Non-Thermal Plasma Technology for Pollution Control, April 23-27, 2001, Cheju, Korea.

Evans, D., J.J. Coogan, G.K. Anderson, L.A. Rosocha, and M.J. Kushner (1993) Plasma Remediation of Trichloro-ethylene in Silent Discharge Plasmas, J. Appl. Phys., 74(9), 5378-5386.

Gervasini, A. and V. Ragaini (2000) Catalytic Technology Assisted with Ionization/Ozonization Phase for the Abatement of Volatile Organic Compounds, Catalysis Today 60, 129-138.

Jerome, P. Gilman *et al.* (1985) Acetonitrile as a simulant for cyanide compounds for plasma testing, Proceeding of the 1985 scientific conference on Chemical Defense Research.

Lev, N. Krasnoperov, Larisa G. Krishtopa, and Joseph W. Bozzelli (1997) Study of Volatile Organic Compounds Destruction by Dielectric Barrier Corona Discharge, J. Adv. Oxid. Technol., 2(1), 248-256

Yamamoto, T., J.S. Chang, A.A. Berezin, H. Kohno, S. Honda, and A. Shibuya (1996) Decomposition of Toluene, O-xylene, Trichloroethylene, and their mixture using BaTiO₃ Packed Bed Reactor, J. Adv. oxidation Technol., 1(1), 67-78.