광촉매와 코로나방전 조합을 이용한 아세트알데하이드의 분해

이규용, 김무진, 안화승*
인하대학교 화학공학과
(whasahn@inha.ac.kr*)

Decomposition of acetaldehyde using a combined system of photocatalyst with corona discharge

Kyu-Yong Lee, Moo-Jin Kim, Wha-Seung Ahn*
School of Chemical Science and Engineering, Inha University
(whasahn@inha.ac.kr*)

1. 서 론

반도체와 페인트 산업으로부터 방출되는 다양한 휘발성 유기 화합물들은 대기 오염 원인중의 하나이다. 이런 오염물들을 제거하기 위하여 광촉매는 일정 UV-Vis 파장의 빛을 흡수하여 전자와 정공이 분리되고 산소나 H_2O를 산화제로 유독성의 오염물질을 산화/분해시킨다[1-3]. 한편 광촉매 이외에도 전자방출을 시켜 공기중의 오염물 분자를 깨뜨려 VOCs물질을 분해하거나 이 때 발생하는 오존으로 물질을 산화시키는 코로나 방전 기술이 이미 시중에서 공기정화 기능을 가지는 장치로 사용되고 있다[4,5]. 그러나 이런 공정들은 오염물 분해에 있어 낮은 분해효율과 부분 화화물이나 기타 부생산물들의 생성 등의 문제들이 발생한다. 이러한 문제점들을 해결하기 위한 노력의 일환으로 광촉매/코로나 방전 복합장치의 이용에 대하여 몇몇 실험실에서 연구되어 왔다[6-8]. 코로나 방전장치는 광촉매에서 분리되는 전자를 격리하여 정공의 활성을 증가시키므로 분해반응에 시너지 효과를 주고, 광촉매에 의한 부분 산화물들은 코로나 방전에 의한 화학반응으로 제거할 수 있다. 본 연구는 광촉매와 코로나 방전 장치를 알루미늄 판의 서로 반대방향으로 위치하도록 반응장치를 설치하고, acetaldehyde 분해를 실험을 통하여 분해 효율을 광촉매, 코로나 방전 각각의 독립적인 효과와 비교하고자 한다.

2. 실 험

VOC 물질의 분해는 Fig. 1에서 나타낸 회분식 반응기를 사용하여 조사하였다. VOC 물질로는 acetaldehyde(Acros, 99.5%)를 선택하였고, 광촉매 반응을 위한 광촉매로는 TiO_2 Sol인 T-150(Enpion)을 Al판에 코팅하여 사용하며, 광촉매를 활성화시키기 위한 에너지 공급원으로는 365nm의 주파장을 가지는 UV-lamp(Philips, 9W Black light)를 사용하였다. Corona discharge 장치로는 음이온 공기청정기로 잘 알려진 Greennara-10(Chung Pung, 2.5W, 8W)을 사용하였다. 반응기안의 오염물의 농도는 gas sampeling valve와 불꽃 이온화 검출기 그리고 capillary 컬럼(Supelco, Nukol^{TM})이 장착된 gas chromatograph(young Lin M600D G.C)를 가지고 측정하였다. 위의 장치들로 구성된 둥근 원통형의 반응기는 중심에 UV-lamp를 설치하고, 가장 바깥쪽으로는 Corona discharge를 위한 needle electrode인 동판을 배열하였으며, 그 사이에 한쪽면은 광촉매가 코팅되고, 다른면은 corona discharge의 plate electrode로 사용되는 Al판을 위치하였다. 기체 시료는 1/8in의 pipe를 통하여 G.C. 연결된다. Acetaldehyde의 분해반응은 아래의 절차를 따라서 수행하였다. 먼저 반응기 내부의 acetaldehyde 물질이 존재를 확인하고, 다음에 액체 주사기를 사용하여 일정량의 acetaldehyde를 반응기안으로 넣어준다. Boiling point가 낮은 acetaldehyde는 30분간 펌프를

통해 순환시켜, 기화된 기체의 일부는 반응기 표면에 흡착되고, 일정한 농도를 가지게 된다. 이어서 acetaldehyde를 분해하기 위하여 광촉매, corona discharge 또는 이 두 장치를 동시에 작동시키고, 30분간 오염물을 분해시킨다. 분해 반응을 중단하고, acetaldehyde의 농도를 측정하였다. 이 실험에서는 먼저 광촉매와 corona discharge 장치를 각각 사용하여 장치간의 분해효율을 비교하고, 두 장치를 동시에 작동시켜 단독으로 작동한 결과와 비교를 통해 복합장치의 분해 효율을 확인하였다.

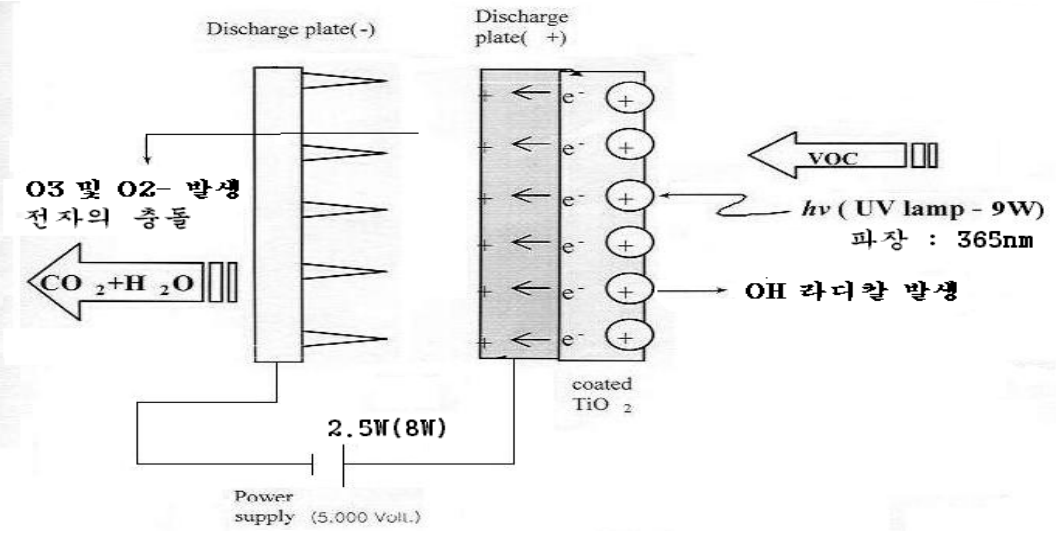

Figure 1. acetaldehyde 분해 반응기 모형과 분해원리

3. 결과 및 토론

먼저 이 실험 장치의 구성을 보면, 이전에 연구되었던 광촉매/코로나방전 복합장치와는 확연한 차이를 볼 수 있다[1]. 그 동안 연구되어온 장치의 경우 광촉매와 코로나 방전을 같은 방향에서 동시에 작동시켜 반응물을 분해하였다. 이렇게 반응기를 작동시킬 경우, 코로나 방전에서 발생되는 오존이 광촉매가 흡수해야 할 UV를 흡수하여 광촉매에 의한 오염물의 분해를 억제하고, 또한 강한 산화력을 가지는 오존이 UV흡수로 인해 O_2와 O^-로 분해되어 corona discharge에 의한 오염물의 분해가 방해를 받을 것이라 생각되었다. 그리하여, 본 실험실에서는 이런 방해작용을 줄이기 위하여 광촉매 장치와 corona discharge 장치를 Al plate를 기준으로 서로 마주보게 설치하였다. 이것을 확인하고자, 1000ppm의 아세트알데하이드를 사용하여 실험한 경우 마주보게 설계된 장치가 분해시간이 약 1.3배 단축됨을 확인하였다.

Fig 2.는 3가지 반응 장치를 가지고 동일 조건에서 농도에 따른 분해 반응 결과를 보여주고 있다. (1000ppm, 4000ppm의 분해결과, excel파일) 먼저 저농도(1000ppm)에서의 분해결과를 살펴보면, 광촉매(18W)가 가장 좋은 분해 활성을 보였고, 그 다음으로 corona discharge(16W), 광촉매(18W)-corona discharge(16W), 광촉매(18W)-corona discharge(5W)가 서로 비슷한 효율을 가졌고, 광촉매(9W)-corona discharge(5,16W)가 조합된 경우가 가장 좋지 않은 분해 경향을 나타냈다. 그러나 고농도(4000ppm)의 경우에는 저농도의 경우와는 전혀 다른 결과를 보였다. 광촉매(18W)-corona discharge(16W)가 가장 좋은 분해 활성을 보였고, 다음으로 광촉매(18W)-corona discharge(5W), 광촉매(18W), corona discharge(16W)의 분해 경향의 결과를 나타냈다.

위의 농도에 따른 반응에서 광촉매 장치와 코로나 방전 장치간 약간의 소비전력의 차이를 보이고 있지만, 농도에 상관없이 코로나 방전 장치보단 광촉매 장치가 좋은 분

해성능을 가지고 있음을 보여주고 있다. 그러나 이와는 달리 광촉매/코로나복합 장치의

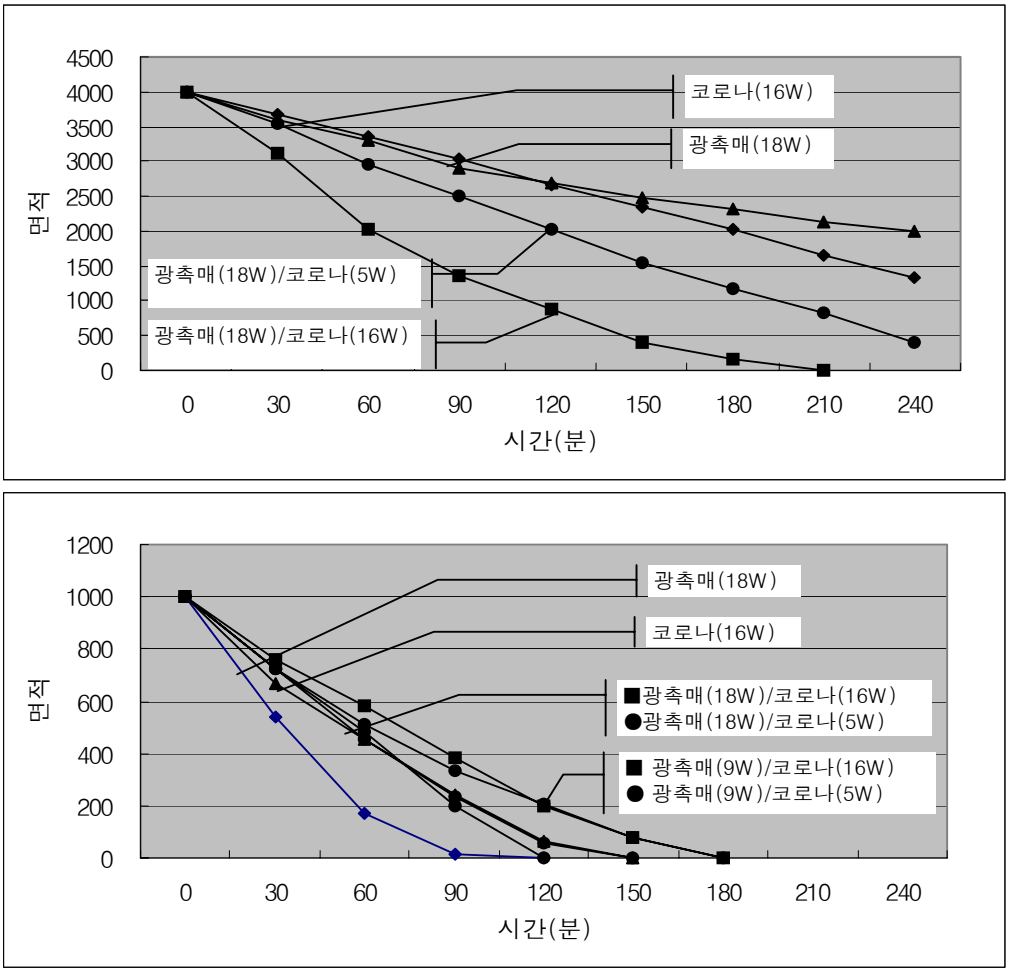

Figure 2. 분해방법에 따른 acetaldehyde의 분해 결과

경우에서는 농도에 따라 복잡한 분해 경향을 나타냈다. 저농도에서는 광촉매(18W)/코로나 방전(5,16W) 복합 장치의 경우가 광촉매장치(18W) 보다도 낮은 분해 경향을 보였고, 더욱이 코로나 방전장치(16W)보다도 더 낮은 분해 경향을 보이는 경우가 광촉매(9W)/코로나 방전(5,16W)인 경우에서 나타났다.

이런 분해 경향은 위에서 설명한 오존과 UV의 관계로 설명된다. 저농도에서는 코로나 방전에 의해 발생하는 많은 오존이 오염물을 분해에 쓰이고 많은 양이 반응기내에서 확산되어 광촉매로 투사되는 UV를 차단하게 된다. 이런 영향은 광촉매의 소비전력이 적어질수록 더 큰 영향을 받게 된다. 그와는 반대로 corona 방전의 소비전력에 따른 변화의 영향은 거의 없었다. 이것은 5W의 경우에서 나오는 오존이 16W의 경우보다 적게 되는데, 5W의 코로나 방전에서 발생하는 오존이 자체적으로 분해하는 경향이 낮지만 광촉매의 UV 차단의 영향이 적고, 16W의 경우는 코로나 자체의 분해 경향은 높아졌지만 광촉매에 미치는 영향이 커지므로 인해 거의 동일한 분해 효율을 보이게 된다. 이런 경향은 광촉매 장치의 소비전력에 상관없이 동일한 결과를 보여주었다. 이런 결과들을 종합해 볼 때, 저농도에서 오염물의 분해에 미치는 경향은 코로나 장치보다는 광촉매 장치에 더 큰 영향을 받는다는 것을 확인하였다. 이런 이유로 고농도에서는 광촉매의 소비전력을 18W로 고정하여 코로나 방전 복합 장치와의 분해 경향에 대해서만 실험을 통해 확인

하였다.

고농도에서는 광촉매(18W)/코로나 방전(16W)과 광촉매(18W)/코로나방전(5W) 복합장치의 경우가 광촉매장치(18W) 보다도 높은 분해 경향을 나타냈다. 광촉매/코로나방전 복합장치가 더 큰 분해 효율을 보이게 된 이유는 물론 두 장치가 동시에 사용함으로 인한 당연한 결과로 볼 수 있지만, 단순히 그런 이유 말고도 다른 영향이 있을 것이라 생각한다. 고농도에서 변화된 것은 단순히 오염물의 농도만 높아졌을 뿐, 그 외의 조건은 저농도의 경우와 같기 때문에 고농도에서의 이런 결과는 저농도의 결과와 비교해 볼 때 의외의 결과라 할 수 있다. 이것은 오염물의 농도가 높아지므로 인해 반응기내에서 확산된 오존이 광촉매의 UV차단 효과가 줄었기 때문이다. 그리하여 복합장치가 더 좋은 분해 효율을 보이게 되었다. 이 경우 저농도에서와는 달리 코로나 방전 장치의 소비 전력이 낮은 경우에서 더 낮은 분해효율을 보였는데 이것도 저농도에서 설명한 경우와 마찬가지로 설명될 수 있다. 5W의 경우 오존의 농도가 낮아 자체적인 분해 효율은 떨어지지만, 광촉매 분해에 미치는 영향은 저농도보다 적게 되고, 16W인 경우는 오존의 농도가 높아 자체적인 분해 효율이 증가하고, 또한 반응물의 농도가 높으므로 인해 광촉매에 미치던 영향은 저농도에 비해 줄어들게 된다. 이런 이유로 광촉매(18W)에 코로나 방전(16W)이 장치된 경우가 더 좋은 분해 효율을 나타내게 되고, 이것은 저농도에서 광촉매에 영향이 지배적이었던 결과와는 달리 고농도에서는 코로나방전의 영향이 분해효율을 결정하는 주요인이 된다.

4. 결 론

광촉매/코로나방전 복합 장치의 분해 효율을 확인하기 위하여, 광촉매, 코로나방전, 그리고 광촉매/코로나방전 장치를 제작하여 아세트알데하이드의 분해 실험을 통해 조사하였다. 광촉매 장치와 코로나 방전장치를 각각 사용한 경우에서는 약간의 소비전력의 차이가 있지만, 농도에 상관없이 광촉매 장치가 코로나방전 장치보다 더 좋은 분해 효율을 보임을 확인하였다. 복합장치의 경우 광촉매와 코로나 방전 장치를 Al판을 사이에 두고 마주보도록 설치하였으며, 이런 경우 오존에 의한 UV차단이 적어져 더 좋은 분해 경향을 나타냈다. 그리고 이렇게 설치된 복합장치를 오염물의 농도를 달리하여 실험한 경우, 저농도에서는 복합장치의 분해효율이 더 나빠졌지만, 고농도에서는 분해효율이 좋아짐을 확인하였다. 이런 결과는 코로나 방전 장치에서 발생하는 오존과 Lamp에서 나오는 UV이 사이의 관계에 의존한다는 것을 알았다.

5. 참고문헌

1. D.F.Ollis, Environ. Sci. Technol., 19(6), 480(1985)

2. A.V.Vorontsov, E.N.Savinov, G.B.Barannik, V.N.Troitsky, and V.N.Parmon, Catal. Today, 39, 207(1997).

3. R.M.Alberici, and W.F.Jardim, Appl. Catal. B: Environ., 14, 55(1997).

4. G.Dinelli, L.Civitano, and M.Rea,IEEE Trans. Ind. Appl., 26, 535(1990).

5. A.Mizuno, K.Shimizu, A.Chakrabarti, L.Dascalescu, and S.Furuta, IEEE Trans. Ind. Appl., 31, 957(1995).

6. H.H.Kim, K.Tsunoda, S.Katsura, A.Mizuno, IEEE Trans. Ind. App 35(6), 1306(1999)

7. T.Yamamoto, K.Mizuno, I.Tamori, A.Ogata, M.Nifuku, M.Michalska, and G.Prieto, IEEE Trans. Ind. Appl. 32, 100(1996)

8. K.Shimizu, and T.Oda, IEEE Trans. Ind. Appl. 35, 1311(1999).