

## 열플라즈마에 의한 클로로메탄의 분해

김정숙 · 박동화<sup>†</sup>

인하대학교 화학공학과/열플라즈마환경기술연구센터  
(2006년 12월 15일 접수, 2007년 2월 20일 채택)

### Decomposition of Chlorinated Methane by Thermal Plasma

Zhen Shu Kim and Dong Wha Park<sup>†</sup>

Department of Chemical Engineering/RIC for Environmental Technology of Thermal plasma, Inha University, Incheon 402-751, Korea  
(Received December 15, 2006; accepted February 20, 2007)

본 연구에서는 열플라즈마를 이용하여 클로로메탄 즉 사염화탄소(CCl<sub>4</sub>), 삼염화탄소(CCl<sub>3</sub>H), 이염화탄소(CCl<sub>2</sub>H<sub>2</sub>)를 분해하는 실험을 수행하였으며 열플라즈마분해공정의 특성에 대한 연구를 진행하였다. Factsage program을 이용하여 열역학적 평형조성을 알아보았으며, 또한 Gas chromatography를 이용하여 농도, 캐리어 가스의 유량 및 quenching 속도 등 세가지 변수의 변화에 따른 분해율을 살펴보았다. 실험 결과 92%이상의 높은 분해율을 얻었다. FT-IR을 이용하여 최종 생성물을 확인한 결과 중성 분위기에서는 주로 카본, 염소, 염화수소가 생성되었고 산화 분위기에서는 카본의 생성이 억제되었으며 주로 이산화탄소, 염화수소, 염소가 생성되었다. FT-IR 생성물에 대한 분석과 Factsage program에 의한 온도 분포 별 생성된 라디칼 및 기타 입자의 종류와 결부하여 이에 따른 분해 메커니즘에 대해 알아보았다. 분해 경로는 주로 라디칼에 의한 산화반응과 전자 부착에 의한 분해 반응으로 이루어짐을 확인하였다.

The decomposition of chlorinated methanes including CCl<sub>4</sub>, CCl<sub>3</sub>H, and CCl<sub>2</sub>H<sub>2</sub> was carried out using a thermal plasma process and the characteristics of the process were investigated. The thermal equilibrium composition was analyzed with temperature by Factsage program. The decomposition rates at various process parameters including the concentration of reactants, flow rate of carrier gas, and quenching rate, were evaluated, where sufficiently high conversion over 92% was achieved. The generation of main products was strongly influenced by the reaction atmosphere; carbon, chlorine, and hydrogen chloride at neutral condition; carbon dioxide, chlorine, and hydrogen chloride at oxidative condition. The decomposition mechanism was speculated considering the results from Factsage and the identification of generated radicals and ionic species. The main decomposition pathways were found to be dissociative electron attachment and oxidative by radicals formed in a plasma state.

**Keywords:** thermal plasma, decomposition, chlorinated methane

### 1. 서 론

휘발성 유기 화합물(VOCs)을 포함하고 있는 폐기물이 최근 대량 발생되고 있으며 환경에 미치는 영향은 크다[1]. 높은 활성을 갖고 있는 염소는 태양 에너지 복사에 의해서 생긴 라디칼로 오존층을 파괴하며 또한 인체에 유해한 독성 물질로 간주되고 있다. 염소계 유기 화합물의 탄소와 염소간의 결합을 파괴하여 유리화 시킴으로써 독성을 제거하는 것이 필요하다[2]. 유기 화합물 처리 방법으로는 활성탄에 의한 흡착 법, 화학적 분해 법, 촉매 법, 미생물에 의한 분해 법 등이 있다[3]. 이런 방법은 다른 화학 물질을 사용하기 때문에 분해 후, 후 처리가 필요하고 또한 2차 오염 물질 즉 다이옥신 등과 같은 환경 호르몬에 영향을 크게 주는 유해 물질이 생성되는 단점이 있다. 그러나 고온, 고활성 등의 특징을 갖고 있는 열플라즈마를 사용하여 분해하면 이런 후처리 과정을 고려할 필요가 없을 뿐 아니라 2차 오염 물질의 생성 우려가 없으며 짧은 시간에 분해할 수 있어서 효율성도 다른 방법에

비해서 우수하다[4,5]. 플라즈마 상태에 도달했을 때 존재하는 많은 전자 등이 분해하고자 하는 물질에 부착되어 그 물질의 화학 결합을 파괴하는데 이는 열플라즈마 공정에서 일어나게 되는 반응의 주요 원리가 되며 이를 통해 보다 안정하고 무해한 물질을 얻을 수 있는 것이다[6-8]. 사염화탄소(CCl<sub>4</sub>), 클로로포름(CCl<sub>3</sub>H), 메틸렌클로라이드(CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>)는 상대적으로 비활성이고 저렴하며 용해와 세정력이 우수하며 인화성이 없으므로 석유계 용제 대신 반도체나 자동차 또는 섬유 공업의 세정제 등에 광범위하게 이용되고 있으며 유기 용매 및 기타 화학 물질의 제조에 있어서 원료물질로도 많이 쓰이고 있다.

본 연구에서는 열플라즈마를 이용하여 클로로메탄을 분해하는 연구를 수행하였으며 열플라즈마를 사용함에 있어서 그 장점에 대한 조사를 진행하였다. Factsage 프로그램을 이용하여[9] 열역학적 평형 조성을 알아보았으며 또한 가스크로마토그래피를 이용하여 농도, 캐리어 가스의 유량 및 quenching되는 냉각수의 유속에 따른 분해율도 살펴 보았다. FT-IR을 이용하여 최종 생성물을 확인하였으며 또한 열역학적 평형 조성 계산으로부터 확인된 라디칼이나 원자의 종류를 통해 최종 생성물로 되기까지의 가능한 분해 메커니즘에 대해서 알아보았다.

<sup>†</sup> 주 저자 (e-mail: dwpark@inha.ac.kr)

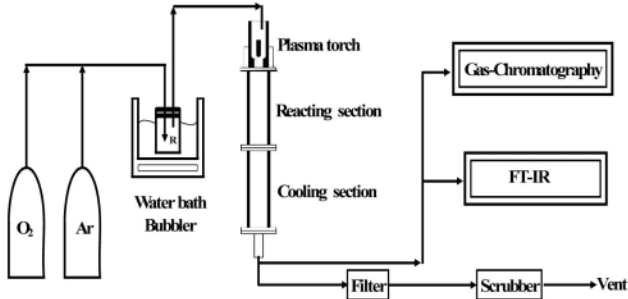


Figure 1. Schematic diagram of the experimental set-up for the decomposition.

주요 메커니즘을 보면 플라즈마 상태에서 존재하는 여러 종류의 라디칼에 의한 산화 반응과 전자부착에 의한 분해 반응(Dissociative electron attachment)[10] 두 가지 경우가 있다.

## 2. 실험

### 2.1. 클로로메탄의 분해 실험장치

본 연구에서는 열플라즈마에 의한 클로로메탄(Chlorinated methane) 분해실험을 진행하였는 바 액상의 클로로메탄을 향온조를 이용하여 기화시켜 반응기에 주입하는 방법을 사용하였다. 액상의 클로로메탄을 분해하는 열플라즈마 분해실험장치를 Figure 1에 나타내었다. 실험 장치는 플라즈마 토치, 반응관, 냉각관, 배출부, 향온조, 온라인 분석기기로 구성되어 있다. 비이송식의 플라즈마 토치를 이용하여 실험을 수행하였으며, 반응물 출구가 노즐 바깥 쪽에 위치하여 반응물이 플라즈마 불꽃과 직접 접촉되도록 설계되어 있어 분해율을 향상시킬 수 있다. 플라즈마 발생 가스로 15 L/min의 아르곤이 사용되었다. 플라즈마 토치의 음극은 직경 6 mm 텅스텐 봉, 양극은 길이 25 mm, 내경 8 mm의 구리 노즐로 구성되어 있으며, 두 전극은 수냉 방식으로 냉각된다. 반응관(I.D.: 22 mm, L: 250 mm)은 스테인레스 이중관으로 제작되어 수냉 방식으로 냉각이 진행된다[11].

### 2.2. 실험 방법 및 분석

액체 상태의 클로로메탄을 향온조를 사용하여 캐리어 가스를 통과시키면서 기화시켜 반응기에 들어가도록 하였다. 분해 실험은 농도의 변화, 캐리어 가스의 유량 변화, Quenching 되는 냉각수의 유량에 따른 분해율을 조사하였다. 1 mol NaOH 수용액이 담긴 스크러버를 사용하여 배기 가스인 HCl과 Cl<sub>2</sub>를 중화시켰다. 전체 반응 시간은 4~5 min 사이에서 이루어졌으며, 플라즈마 공급 전원은 5 kW이며 대기압 조건에서 수행하였다.

열플라즈마에 의한 클로로메탄의 분해 정도를 알아보기 위하여 FID (Flame Ionization Detector)가 설치된 가스크로마토그래피(CP9001, CHROMPACK)를 사용하였다. 처리된 클로로메탄의 배기가스는 가스 셀(0.5 L/0.6 m, Gemini scientific Instruments)을 가진 FT-IR (Fourier Transform Infrared Spectrometer, BOMEM Inc. MB-104)에 의해 확인하였다. FT-IR에 의해 확인된 생성물과 열역학적 평형조성계산에 의해 확인된 라디칼, 원자 등 기타 입자들과의 반응을 통해서 그 분해 경로에 대해서 알아보았다. 클로로메탄의 분해 실험에 사용된 실험조건을 Table 1에 나타내었다.

클로로메탄의 포화증기압을 구하기 위해 KDB Correlation Equation [12] 사용하였다. 실험은 대기압 상태(760 kPa)에서 진행하였으므로

Table 1. Experimental Conditions for the Decomposition of Chlorinated Methane

Plasma input power	5 kW
Pressure	Atmospheric pressure
Plasma gas flow rate	Ar (15 L/min)
Carrier gas flow rate	Ar, O <sub>2</sub> (0.1~0.3 L/min)
Reaction time	4~5 min
Flow rate of quenching water	1~5 L/min
Reactants	Tetra chloride carbon (99.5%) Chloroform (99.5%) Dichloride methylene (99.5%)
Concentration of reactants	1.8%, 2.3%, 2.8%

Table 2. Coefficient of Chlorinated Methane at KDB Correlation Equation

Constants	CCl <sub>4</sub>	CCl <sub>3</sub> H	CCl <sub>2</sub> H <sub>2</sub>
Coefficient A	-9.11E+00	-7.07E+00	-1.00E+01
Coefficient B	-6.26E+03	-4.09E+03	-6.03E+03
Coefficient C	7.50E+01	5.94E+01	8.08E+01
Coefficient D	7.41E-6	1.09E-5	9.81E-06

본 실험에서의 분해물질의 농도는 얻은 포화증기압과 대기압의 비로서 상대적인 농도를 알 수 있었다.

KDB Correlation Equation은 식 (1)과 같으며 각 물질에 대한 물리적 상수는 A, B, C, D 상수는 Table 2[12]에 나타내었다.

$$\ln(P/p) = A \times \ln(T) + B/T + C + D \times T^2 \quad (1)$$

향온조의 온도조절을 통해서 식 (1)을 이용하여 클로로메탄의 포화증기압을 구한 결과 포화증기압은 각각 13.87 kPa, 17.46 kPa, 21.16 kPa이었다. 또한 본 실험은 대기압(760 kPa)에서 진행하였으므로 이에 따른 농도는 각각 1.8%, 2.3%, 2.8%로 계산되었으며 각 물질의 농도 별로의 분해율을 알아보았다. 열플라즈마에 의한 클로로메탄의 분해율을 세 가지 변수 즉 농도, 캐리어 가스 유량, quenching 되는 냉각수의 유량을 변화시켜 알아보았다.

클로로메탄의 분해율을 식 (2)와 같이 정의하였다.

$$Decomposition \ rate = \frac{m_i - m_0}{m_i} \quad (2)$$

여기서  $m_i$ : 분해 전 클로로메탄의 양,  $m_0$ : 분해 후 클로로메탄의 양.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 농도에 따른 분해율

캐리어 가스의 유량과 급냉 시키는 냉각수의 유량이 일정할 경우, 농도의 변화에 따른 분해율을 Figure 2와 3에서 나타내었으며 캐리어 가스로는 각각 아르곤과 산소 가스를 사용하였다. Figure 2와 3에서 나타나듯이 분해하고자 하는 물질의 농도가 증가할수록 분해율이 줄어드는 경향을 확인할 수 있다. 이는 농도가 증가한다는 것은 주입되는 양이 상대적으로 많고 또한 플라즈마 파워가 일정하므로 이에 따

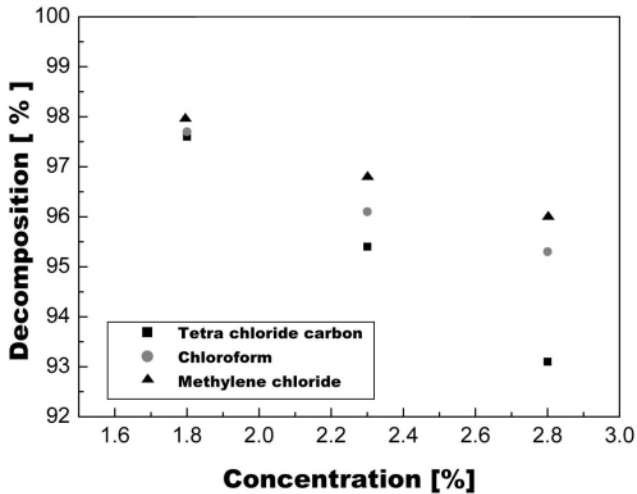


Figure 2. Decomposition of the chlorinated methane at different concentration. (Flow rate of carrier gas (Ar) 0.1 L/min, quenching rate 4.0 L/min).

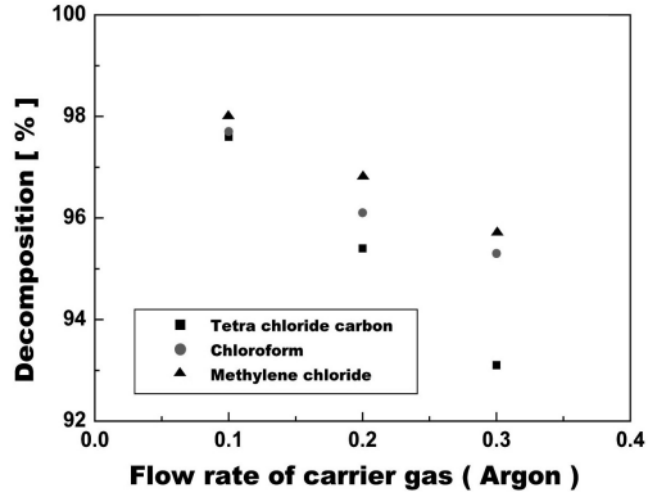


Figure 4. Decomposition of the chlorinated methane at different flow rate of carrier gas - Ar (Concentration is 1.8%, quenching rate 4.0 L/min).

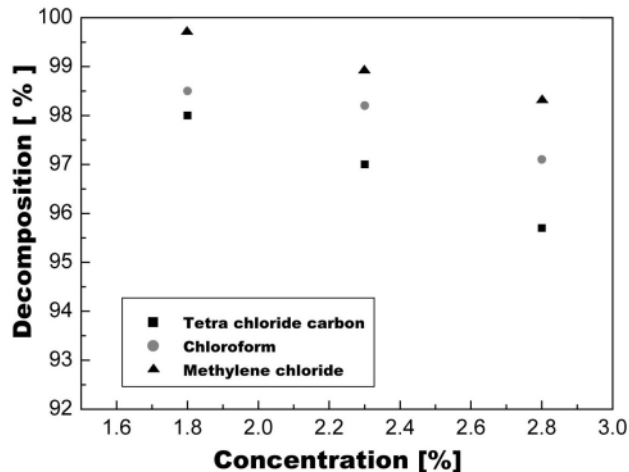


Figure 3. Decomposition of the chlorinated methane at different concentration (Flow rate of carrier gas (O<sub>2</sub>) 0.1 L/min, quenching rate 4.0 L/min).

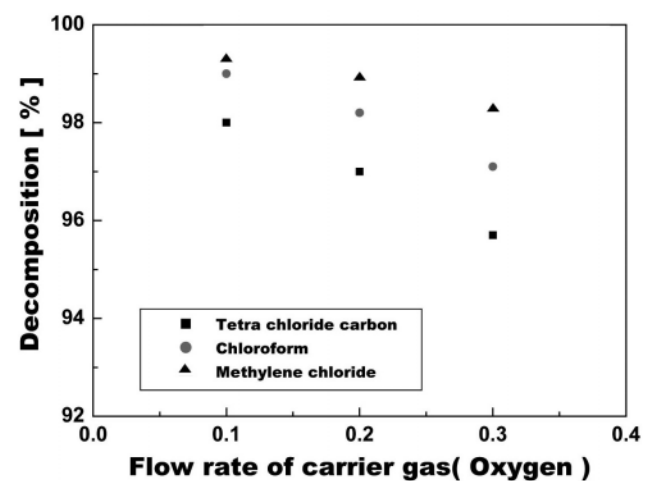


Figure 5. Decomposition of the chlorinated methane at different flow rate of carrier gas-O<sub>2</sub> (Concentration is 1.8%, quenching rate 4.0 L/min).

른 specific 에너지가 감소되었기에 분해율이 줄어든 것이다. 그리고 CCl<sub>4</sub>, CCl<sub>3</sub>H, CCl<sub>2</sub>H<sub>2</sub>의 분해율 중에서 CCl<sub>2</sub>H<sub>2</sub>의 분해율이 가장 높은 것을 확인할 수 있으며 이는 결합에너지의 크기로부터 설명할 수 있다. 세 가지 물질 중의 C-Cl의 결합길이는 Chemdraw프로그램[13]을 통해 얻었으며 그 계산된 결합길이를 Table 3에 나타내었다. 결합길이가 길면 상대적으로 결합에너지가 작기 때문에 분해는 상대적으로 쉽게 일어날 수 있다. Figure 2와 3에서 나타난 바 분해율은 CCl<sub>2</sub>H<sub>2</sub> > CCl<sub>3</sub>H > CCl<sub>4</sub>의 순서로 되었는데 이는 결합에너지의 크기 순서와도 부합되는 것이다. 캐리어 가스로 산소 가스를 사용한 Figure 3에서 아르곤 가스를 사용한 Figure 2보다 더 높은 분해율을 얻을 수 있었다. 이는 플라즈마 상태에서 존재하는 산소 등 많은 라디칼에 의해서 산화반응이 분해반응에 큰 작용을 하였기에 더 높은 분해율을 얻을 수 있는 것이었다.

### 3.2. 캐리어 가스의 유량에 따른 분해율

농도와 quenching되는 냉각수의 유량이 일정할 경우, 캐리어 가스 유량의 변화에 의한 분해율은 Figure 4와 5로 부터 알 수 있는데, 이때 캐리어가스로 각각 아르곤과 산소 가스를 사용하였다. Figure 4와 5에서 보듯이 캐리어 가스의 유량을 증가시키면 분해율이 작아지는 것을 확인할 수 있는데 이것은 캐리어 가스의 유량이 클수록 반응물이 반응기에 머무르는 시간이 상대적으로 짧아지기에 분해율이 감소된 것이다. 플라즈마의 고온, 고회전 그리고 높은 화학 반응속도를 가지고 있기 때문에 효율성은 매우 빠르므로 반응시간이 플라즈마 내부의 전체 반응에 있어서 일으키는 작용은 매우 크다는 것을 알 수 있다.

### 3.3. Quenching 되는 냉각수의 유량에 따른 분해율

농도와 캐리어 가스의 유량이 일정할 경우, quenching되는 냉각수의 유량에 따른 분해율을 Figure 6과 7에서 나타내었으며 캐리어가스로 각각 아르곤과 산소 가스를 사용하였다. Figure 6과 7에서 알 수 있듯이 quenching 되는 냉각수의 유량이 증가됨에 따라 분해율이 증가하는

Table 3. Bond Length of C-Cl at Different Chlorinated Methane

물 질	결합길이 (Å)
Carbon tetra chloride	1.735
Chloroform	1.755
Methylene chloride	1.775

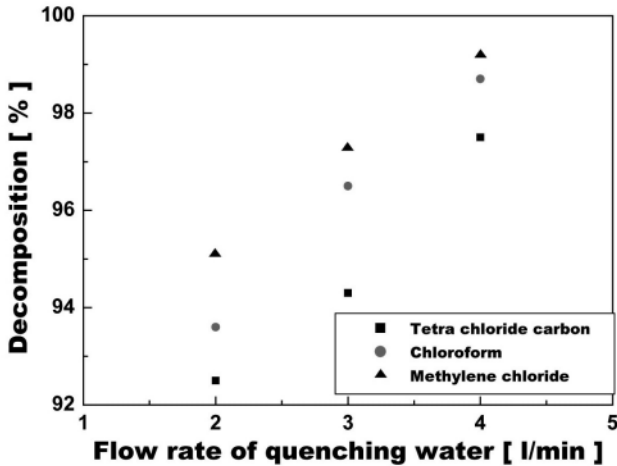


Figure 6. Decomposition of the chlorinated methane at different quenching rate (Concentration is 1.8%, flow rate of carrier gas 0.1 L/min, carrier gas-Ar).

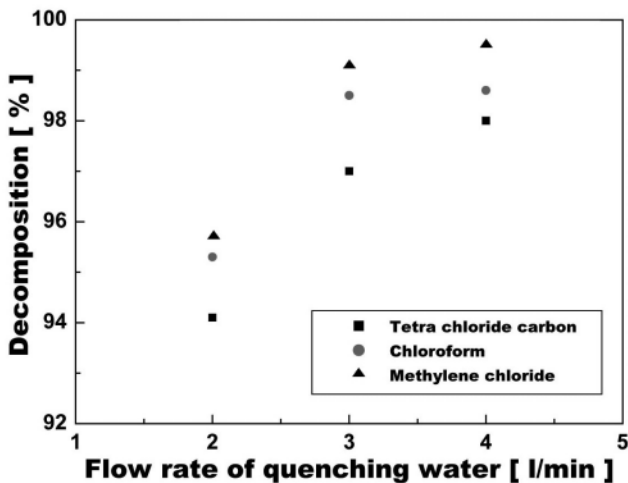


Figure 7. Decomposition of the chlorinated methane at different quenching rate (Concentration is 1.8%, flow rate of carrier gas 0.1 L/min, carrier gas-O<sub>2</sub>).

것을 확인할 수 있다. 이것은 플라즈마 내부에서의 온도 구배가 크기 때문에 플라즈마 내에 존재하는 미립자들로 의한 재결합이 억제되었기 때문이라고 할 수 있다. 그리고 캐리어 가스로 산소를 사용한 Figure 7에서 아르곤을 사용한 Figure 6보다 더 높은 분해율을 얻었는데 이것은 앞서서도 언급한 바와 같이 물질의 분해에 있어서 산소 라디칼의 산화 작용이 크다는 것을 알 수 있다. 열플라즈마 상태 즉 고온에서 많은 라디칼, 원자, 이온 등 미립자들이 존재하며 이런 미립자들의 결합을 통해 기타 생성물이 생성되거나 혹은 원래 물질로 다시 재결합되는 현상이 나타날 수 있다. Quenching되는 냉각수의 유량은 생

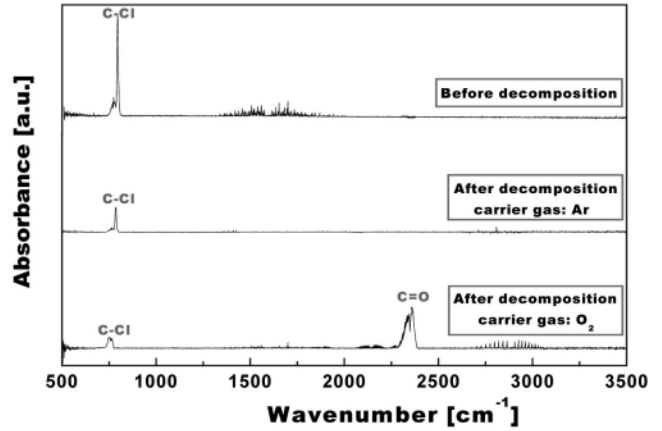


Figure 8. FT-IR spectra of Tetra chloride carbon before and after the decomposition.

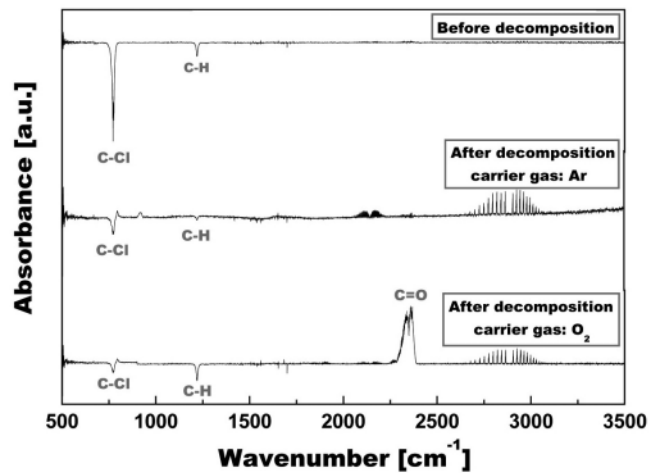


Figure 9. FT-IR spectra of Chloroform before and after the decomposition.

성물의 종류에 크게 영향을 미친다. 따라서 플라즈마 공정을 사용할 때 공정 조건에서 quenching되는 냉각수의 유속을 조절하는 것이 중요한 공정 조건임을 알 수 있다.

### 3.4. FT-IR에 의해 확인된 최종 생성물

Tetrachloridecarbon (CCl<sub>4</sub>), Chloroform (CCl<sub>3</sub>H), Methylene chloride (CCl<sub>2</sub>H<sub>2</sub>)의 분해 후, 최종생성물을 확인하기 위한 FT-IR 그래프를 각각 Figure 8, 9, 10에서 나타내었다. 분해 후 생성물에 대해서 각각 캐리어 가스를 산소와 아르곤으로 사용할 경우를 비교하여 나타내었다. 분해 후, 주요 생성물은 캐리어 가스가 아르곤 일 경우는 C, Cl<sub>2</sub>, HCl 이었고 캐리어 가스가 산소일 경우는 주요 생성물이 CO나 CO<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>, HCl이었다. 캐리어 가스를 아르곤으로 사용할 경우, 클로로 메탄의 탄소 원자가 대부분 카본으로 전환이 되었으나 캐리어 가스로 산소를 사용할 경우, 카본의 생성이 억제되고 대부분 기체 생성물인 일산화탄소나 이산화탄소로 전환이 되었다. 이는 플라즈마 내에서 반응의 필요성에 따라 산화성 분위기 혹은 환원성 분위기의 조성이 가능케 되며 원하는 물질을 얻을 수 있게 됨을 알 수 있다.

FT-IR 스펙트럼에서 분해 전후의 피크를 비교함으로써 분해 전후, 물질의 특성 피크의 크기가 많이 줄어든 것을 확인할 수 있는데 이는

Table 4. Varies Atom & Radicals Formed at Different Temperature [Factsage Program]

Carrier gas	Argon	Oxygen
Chloromethane		
Tetra chloride carbon	C(g), C <sub>2</sub> (g), C <sub>3</sub> (g), C <sub>4</sub> (g), C(s), Cl(g), CCl <sub>4</sub> (g), CCl <sub>2</sub> (g), CCl <sub>3</sub> (g), C <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> (g), C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub> (g).	Cl <sub>2</sub> (g), Cl(g), ClO(g), CO <sub>2</sub> (g), CO(g), O(g), O <sub>2</sub> (g).
Chloroform	C(g), C <sub>2</sub> (g), C <sub>3</sub> (g), C <sub>4</sub> (g), CH(g), CH <sub>2</sub> (g), C <sub>2</sub> H(g), C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (g), Cl(g), Cl <sub>2</sub> (g), HCl(g), H(g), H <sub>2</sub> (g), CH <sub>2</sub> (g), C <sub>2</sub> H(g), C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (g)	CO <sub>2</sub> (g), CO(g), COCl(g), C(g), Cl(g), ClO(g), HOCl(g), Cl <sub>2</sub> (g), HCl(g), HOO(g), O <sub>2</sub> (g), O(g), H <sub>2</sub> O(g), H(g).
Methylene chloride	HCl(g), C(s), Cl(g), C(g), C <sub>2</sub> (g), C <sub>3</sub> (g), C <sub>4</sub> (g), CCl(g), C <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> (g), CCl <sub>3</sub> (g), CCl <sub>4</sub> (g), C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub> (g), Cl <sub>2</sub> (g), H(g), H <sub>2</sub> (g), CH(g), CH <sub>2</sub> (g), CH <sub>3</sub> (g), C <sub>2</sub> H(g), CHCl(g).	CO <sub>2</sub> (g), CO(g), COCl(g), C(g), Cl <sub>2</sub> (g), Cl(g), ClO(g), HOCl(g), H <sub>2</sub> (g), H(g), O(g), HOCl(g), OH(g), O <sub>2</sub> (g), ClO(g), HOO(g).

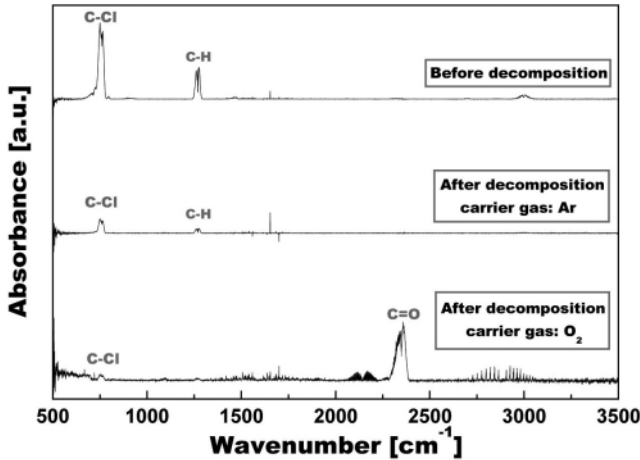


Figure 10. FT-IR spectra of Methylene chloride before and after the decomposition.

특성 피크 즉 C-Cl 결합 및 C-H 결합이 열플라즈마에 의해 많이 파괴되었음을 알려준다.

3.5. 분해경로

본 분해 실험에서는 두 가지 분해 경로를 고려하였다.

① 전자 부착에 의한 분해 반응(Dissociative electron attachment)이 있으며 Figure 11에 나타내었다[10]. 이 반응 메커니즘은 주로 플라즈마 상태에서 존재하는 전자가 분해 되고자 하는 미립자에 부착되면서 미립자로 하여금 전자 상태로 되게 하며 그 미립자의 활성화 에너지가 감소됨으로써 더 쉽게 분해가 되도록 하는 것이다.

② 각 중 라디칼에 의한 산화에 의한 분해작용.

이 반응식은 다음과 같은 식 (3)으로 표시할 수 있다[10].



식 (3)에서 분자 AB가 전자 e<sup>-</sup>와 결합하여 활성이 높은 이온 AB\*가 되며 이것이 다시 A와 B로 분해된다. Figure 11에서 나타난 바와 같이 물질은 바닥상태(ground vibratile state)에서 부터 부착된 전자로부터 에너지를 얻어 더 활성화된 에너지 상태로 이동되며 분해가 쉽게 이루어지도록 되었다. 이들은 모두 전자에 의한 충돌(Electron impact)에 의해서 생성되었다.

라디칼 등 미립자에 의한 산화반응이 중요한데 활성화한 산소 라디칼의 생성 과정을 식 (4)와 식 (5)에 나타내었다[14-16].

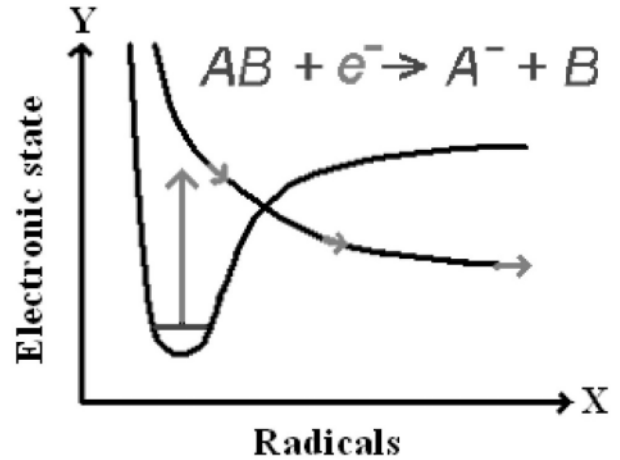
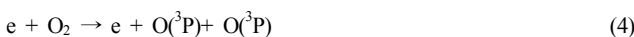


Figure 11. Dissociative electron attachment mechanism.



여기서 O (<sup>3</sup>P): Ground state oxygen atom이며 O (<sup>1</sup>D): Excited state oxygen atom이다.

즉 산소분자에 전자가 부착됨으로써 더 활성화된 O (<sup>3</sup>P), O (<sup>1</sup>D)가 생성되며 이렇게 생성된 산소 라디칼이 분해 반응에 참여하게 되고, 이것은 라디칼이 가지고 있는 에너지가 분해 하고자 하는 물질에 전달되어 물질이 더 쉽게 분해하게 되는 것이다. Factsage 프로그램을 이용하여 얻은 0~5000 °C에서 생성한 라디칼 및 기타 미립자들을 Table 4에서 나타내었다. 생성된 라디칼 등 미립자들의 상호 작용에 의해 카본, 이산화탄소, 염소, 염화수소 등 물질이 생성되는 것이다.

4. 결 론

플라즈마 공정 내에서 분해율을 농도, 캐리어 가스의 유량, quenching되는 냉각수의 유량에 대해 알아 본 결과, 입력되는 파워가 일정할 경우, 농도가 증가함에 따라 specific energy가 작아지기 때문에 분해율은 작아졌고, 캐리어 가스의 유량이 클수록 상대적으로 반응기에 머무르는 시간이 짧아지기 때문에 분해율이 감소되었다. 또 quenching 되는 냉각수의 유속이 분해율에 중요한 역할을 하는데 유속이 크면 재결합을 억제할 수 있기 때문에 상대적으로 높은 분해율을 얻을 수 있다.

FT-IR 그래프에서 물질의 특성 피크의 분해 전, 후를 비교하면 많이 감소되었음을 확인할 수 있는데 많이 분해되었음을 알 수 있다. 분해 후 생성물을 보면 중성 분위기에서는 주로 카본, 염소, 염화수소 등 물질이 생성되었고 산화성 분위기에서는 주로 이산화탄소, 염소 염화수소 등이 생성되었다. FT-IR에서 확인된 최종 생성물과 Factsage 프로

그램을 통해 얻은 라디칼을 통해 분해 전자 부착에 의한 분해반응과 산소 등 라디칼에 의한 산화반응이 클로로메탄을 분해함에 있어서 중요한 반응원리임을 확인하였다.

## 감 사

본 연구는 산업자원부 지정 지역혁신센터(RIC) 열플라즈마 환경기술연구센터의 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

## 참 고 문 헌

1. R. Benocci, R. Florio, A. Galassi, M. Paolicchio, and E. Sindoni, *Il Nuovo Cimento*, **19**, 911 (1997).
2. T. H. Lee and K. J. Hong, *Korean J. Sanitation*, **11**, 1028 (1966).
3. Y. S. Ko and G. S. Yang, *Journal of the Air & Waste Management Association*, **53**, 204 (2003).
4. Katalin A. Foglein, Pal T. Szabo, Irina Z. Babievskaya, and Janos Szepvolgyi, *Plasma chem. Plasma process*, **25**, 275 (2005).
5. Katalin A. Föglein, Pál T. Szabó, András Dombi, and János Szépvö Igyi, *Plasma Chem. Plasma process*, **23**, 227 (2003).
6. D. W. Park and S. M. Oh, Thermal plasma processing and application, publishing Department of Inha University (2004).
7. T. K and T. T, *Plasma chem. Plasma process*, **23**, 118 (2003).
8. H. K-song, *Toxicological and Environmental Chemistry*, **23**, 2061 (2006).
9. Factsage version 5.4, GTT-Technologies, Germany.
10. <http://www.qub.ac.uk/schools/SchoolofMathematicsandPhysics/ampr/tfield/dea.html>.
11. Y. K. Park, *Master's Thesis*, Published of Inha University (2005).
12. <http://www.cheric.org/research/kdb/hcprop/showcoef.php?cmid=1508=vpv>.
13. Chemdraw software program.
14. C. Tendero, C. Tixier, P. Tristant, J. Desmaison, and P. Leprince, *Spectrochimica Acta Part B*, **61**, 2 (2006).
15. S. A. Vitale, K. Hadidi, D. R. Cohn, and L. Bromberg, *J.Appl.Phys.* **81**, 2863 (1997).
16. J.-I. Dong and K. D. Yoon, *Korean J.Chem Eng.* **16**(4), 501 (1999).