

# 17<sup>th</sup> International Symposium on Analytical and Applied Pyrolysis

회의 기간 : 2006 년 5 월 21 일-26 일

회의 장소: 헝가리 부다페스트

## ORGANIZATION

The conference is organized by Hungarian Academy of Sciences

## 1. 학술 대회 개요

격년마다 열리는 열분해 관련 심포지움으로 열분해 생성물의 분석 방법, 새로운 공정 개발, 촉매 열분해 등을 다룬다. 본 17 차 심포지움은 추가로 열분해에 의한 재료합성 분야를 추가하였다.. 한국에서도 열분해 연구자가 많이 증가하고 있어 차기 학회 유치를 추진하였으나 아쉽게도 실패하였고 대신 차차기 학회의 유치에 있어서 최우선권을 보장받았다.

본 심포지움은 약 200 명이 참가하였다. 세션은 10 개의 구두 세션과 2 개의 포스터 세션이 있었다. 상세히는 7 편의 Plenary Lecture, 42 편의 구두 발표, 139 편의 포스터 발표가 있었다.

본 심포지움의 특징은 세션을 여러 방에서 동시에 진행하지 않고 한 방에서 한가지 세션만을 진행하는 것이다. 예전에는 플라스틱 분야에 대한 발표가 주를 이루었으나, 이번에는 바이오연료에 대한 관심이 증가하고 있는 것을 반영하여서 인지, 바이오매스에 대한 발표가 상당하였다. 또한 전통적인 열분해외에도 가스화와 같은 다른 열분해 기법도 많이 발표되어 심포지움의 외연이 크게 넓어져가고 있음을 느낄 수 있었다. 한국인은 10 명이 참석하여 스페인에 이어 2 번째로 많은 수가 참석하였다.

본 보고서에는 초청강연과 구두 발표, 포스터 발표 중 보고자가 관심있게 들었던 부분을 소개하였다.

## 2. 최근 연구 동향 및 주요 발표 논문

### SESSION: Analytical Pyrolysis of Soil and Natural Organic Matter

#### Plenary Lecture

제목: Gap between Analytical Pyrolysis and Environmental Reality

연구자 : Hans-Rolf Schulten, Molecular Modeling Lab, Germany

humic substance 같은 host 구조내에 생물학적 화합물을 포획(trapping)하고 결합하는 것이 본 연구의 주요한 관점이다. 첫째, 저자는 극성 guest 분자의 경우 수소 결합이 주요한 결합 형태라는 것을 발견하였다. 둘째, humic substance 의 높은 방향족(aromaticity)성 때문에 반데르 발스 힘이 기대되었고 주요한 결합 메커니즘으로 판명되었다. 수소 결합과 반 데르 발스 상호작용은 에너지 획득의 주요한 부분을 담당하고 있어 host/guest 복합체의 안정화에 크게 기여한다. 셋째 alkylaromatics 와 heterocyclic structural building block 의 복잡한 상호가고 네트워크는 빈 공간을 제공하여 여기에서 잠재적인 guest 분자의 포획이 발생한다. 나노화학 수준에서 내부 표면은 친수성 뿐만 아니라 소수성 기능을 가지고 있어 자신의 구조적 특징과 크기에 따라서 guest 분자를 적용

시킨다. 분자 동력학 계산에 의해 기하학적 최적화를 한 결과 에너지적으로 가능한 반응 경로를 제공할 수 있었다. 이로써 물리화학적, 생물학적, 독성학적 결과를 다양한 특징들과 연결시킬 수 있게 되었고 이는 환경 공정에서 있어서 예측 능력을 향상시키게 되었다.

#### Oral Presentation

제목: Influence of Na-smectite during analytical and confined pyrolysis of recent organic matter

연구자: P. Faure et al., Universite Nancy, France

humic acid 같은 고분자와 alkanols, alkanolic acids 같은 순수 유기 화합물을 flash pyrolysis 할 때 clay 의 영향을 고려한 연구가 현재 보고되고 있다. clay mineral 은 알킬 벤젠과 PAH(Polycyclic aromatic hydrocarbon) 같은 방향족의 합성을 유도한다. 특히 분석을 수행할 때, clay 의 존재에 민감한 유기 화합물의 특성을 파악하기 위하여, Na-homioinc clay 를 다양한 비율로 humic acid 와 혼합하여 PyGC-MS 로 분석하였다. 이때 smectic/humic acid 혼합물의 비를 10%에서 100%까지 변화시켰고, 그 결과 특정 화합물들이 점진적으로 사라지거나 혹은 나타남을 확인하였다.

n-alk-1-enes 는 clay 비율이 67%를 넘으면 사라졌다. Na-smectite 의 양이 많을 경우, 고분자량의 n-alkane 이 소모되면서 n-alkane 은 적어졌다. 동시에 방향족 화합물의 비는 증가하였다. Clay mineral 이 90%인 경우, 방향족 화합물의 비율은 80%를 넘었다. 반면 humic acid 를 사용하면 그 비가 10%로 감소하였다.

이처럼 clay mineral 은 유기 물질에 촉매작용을 하여 화합물의 분해에 크게 영향을 미친다.

#### 기타논문

제목: Chemical Significance of the Van Soest Fractionation for Compost: Analysis of the Soluble and Resistant Fractions with Complementary Pyrolysis Methods

연구자: M.F. Dignac et al., Paris VI University, France

제목: Assessing the Efficiency of Urban Waste Biocomposting by Analytical Pyrolysis

연구자: F.J. Gonzalez-Vila et al., Instituto de Recursos Naturales, Spain

### SESSION: Analytical and Applied Pyrolysis of Biomass

#### Plenary Lecture

제목: Applied and Analytical Pyrolysis of Wood. Where are We? Where are We going?

연구자: O. Faix and D. Meier, BFH, Germany

급속 열분해는 나무로부터 액체 에너지원과 화학 원료를 얻을 수 있는 중요한 방법으로 각광을 받고 있다. 급속 열분해와 기본적인 반응기 형태(유동층, rotating cone, ablation, twin screw, vacuum pyrolysis)가 제시되었고 전세계적인 파일럿 규모의 연구 결과도 발표되었다. 유동층 열분해의 원리가 ablative pyrolysis 와 비교하여 상세히 제시되었다. 특히 ablative pyrolysis 는 대규모의 나무 칩을 오일로 전환시키는 데 있어 유용하였다. Ablative pyrolysis 는 2006년 독일 북부의 PYTEC 사에 의해 성공적으로 운전되었다. 현재 하루에 4톤의 열분해 오일을 생산할 수 있는 플랜트가 건설중에 있다. 생산된 오일은 복합 열 전력 (combined heat power, CHP)에서 전기와 열생산을 위해 사용된다. 열은 나무 칩을 건조시키는데 이용된다.

목재의 열분해후 이의 정량적인 분석은 Py-GC/MS 나 Py-GC/FID 로 행해졌다.

#### Oral Presentation

제목: Pyrolysis/Gasification of Sewage Sludge: Effect of CO<sub>2</sub> on the Products Yields and Their Characteristics

연구자: C. Jindarom et al., Chulalongkorn University, Thailand

상업규모의 열분해 공정은 낮은 산소 농도에서 운전되어야 한다. 따라서 이산화탄소가 많이 함유

된 가스 생성물 흐름을 재순환시켜 사용하는 것이 경제적이거나 있다. 이 같은 조건은 또한 생성물 수율과 품질에 크게 영향을 미칠 수 있다. 본 연구의 목적은 이산화탄소의 하수슬러지 열분해에 대한 영향을 알아보는 것이다. 불활성이나 이산화탄소 분위기에서 하수 슬러지의 열적 분해 행태는 TGA 를 이용해서 알 수 있다. 생성물 수율과 특징은 고상의 FT-IR 과 BET 분석, 액상의 경우 GC-MS 를 이용하였다.

이산화탄소와 불활성 분위기에서 각각 수행된 TG, DTG 결과, 둘 다 분해 반응이 2 단으로 구성되었다. 불활성 분위기에서 첫번째와 두번째 반응이 약 300°C와 500°C에서 일어났다. 그러나 이산화탄소 분위기에서는 첫번째 반응이 더 빨리 일어났다. 또한 두번째 반응은 425°C로 이동되었으며 이는 이산화탄소의 반응성을 의미한다. 불활성 분위기에서 온도가 증가함에 따라 고체 수율은 감소하고 반면 액체 수율과 가스 수율은 증가하였다. 한편 이산화탄소 분위기하에서 얻어진 액체와 가스 수율은 불활성 분위기하에서 얻어진 것보다 더 높았다. 이산화탄소는 고체 부분을 감소시킴으로써 액체와 가스 형성 반응을 촉진시키는 것으로 여겨진다. 두 개의 다른 기체 분위기하에서 얻어진 오일과 가스의 정성적인 분석 결과, 대체로 오일과 가스의 조성이 비슷하였다. 이산화탄소 분위기하에서 얻어진 오일은 보다 aliphatic monoaromatic과 oxygenated compound가 상대적으로 많았다. 얻어진 고체 생성물은 상당한 표면 작용기와 BET 표면적을 나타내었다.

#### 기타논문

제목: Depolymerization Mechanism of Lignin in Wood Pyrolysis

연구자: H. Kawamoto et al., Kyoto University, Japan

제목: Development and Testing of a New Micro-Method for Analytical Pyrolysis of Biomass

연구자: D. Meier et al., Institute for Wood Chemistry and Chemical Technology, Germany

### SESSION: Production of Biocarbon and Biooil

#### Plenary Lecture

제목: Biocarbon Production from Hungarian Sunflower Shells

연구자: M.J. Antal et al., University of Hawaii at Manoa, USA

급격히 증가하고 있는 운송유의 가격은 재생가능 바이오매스로부터 바이오디젤과 기타 다른 바이오 연료의 생산에 대한 관심을 크게 증가시켰다. 바이오디젤은 식물성 오일에서 제조되기 때문에 비싼 연료이다. 다행히도 식물성 오일을 생산하는 식물은 대량의 lignocellulosic 부산물도 동시에 생산한다. 예를 들어 해바라기는 해바라기 오일 외에 껍질, 꽃, 줄기를 생산한다. 이러한 lignocellulosic 부산물은 종종 부가가치가 없는 것으로 취급되었다. 그러나 Varhegyi 등은 해바라기 줄기에서 charcoal 같은 바이오카본의 생산을 제시하였다. 저자들도 하와이대학의 Flash Carbonization 공정을 사용하여 해바라기 껍질에서 바이오카본을 생산하였다. 이 공정은 바이오매스가 채워진 충전층 내에서 약 1Mpa의 압력 조건하에 ignition 과 flash fire의 조절로 이루어진다. 충전층 내에서 공기는 아래 방향으로 진행하고, 반면 fire는 층 윗방향으로 진행한다. 이렇게 함으로써 반응시간 30분내에 열역학적 평형에 도달하여 charcoal을 생산한다. Flash Carbonization 공정에 의해 바이오카본을 생산하는 데 있어서 헝가리산 해바라기 껍질은 이상적인 원료이다. 이러한 charcoal을 판매함으로써 얻어지는 이익은 바이오디젤 생산가격을 낮출 수 있는데 도움을 주고 결국 바이오디젤을 보다 더 경쟁력있는 운송연료로 만들 수 있다.

#### Oral Presentation

제목: Fundamental Aspects of Biomass Carbonization

연구자: V. Strezov et al., University of Sydney, Australia

바이오매스 탄화반응은 바이오매스 물질을 열적으로 고 칼로리 연료로 전환시키는 공정으로 초기

부터 상업화된 공정 중 하나이다. 이때 가열 속도는 매우 느리며 공기가 존재하지 않는 조건에서 이루어진다. 비록 charcoal 이 전통적인 바이오매스 탄화공정의 최종 생성물이지만, 바이오 가스화 바이오 오일도 잠재적으로 공정 중에서 회수될 수 있고 연료로 이용될 수 있다. 이러한 바이오 연료 생성물의 양과 특징은 바이오매스 종류와 가열 조건에 따라 크게 다르게 된다. 열적 개질 공정의 효율을 증가시키기 위하여, 바이오매스의 열적 행동과 공정조건의 영향 등에 대한 이해가 필요하다.

본 연구에서 wood sawdust, bagasse, macadamia nut shell의 3 가지 바이오매스 샘플을 열분해하였다. 이때 가열 속도는 10, 25, 50°C/min으로 하였다. 얻어진 바이오 가스는 CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, H<sub>2</sub> 로 이루어졌다. 바이오 오일은 MALDI 질량 분석기를 이용하여 성분을 분석하였다. 바이오 오일의 성분은 매우 복잡하고 분자량은 대략 400-600 amu 범위에서 분포하였다. Charcoal도 형성되는 것을 관찰하였다.

바이오매스 전환 반응은 여러 단계가 복합되어 수반되어 일어났다. 초기에 수분과 강하게 수화되어서 결합되어 있는 물질들이 흡열반응으로 분해된다. 230°C가 넘어서는 발열반응이 우세하고 CO, CO<sub>2</sub>, 탄화수소, 바이오 오일이 생성된다. 600°C가 넘어서는 수소가 발생되기 시작한다.

제목: Evaluation of "Oil" from Different Pyrolysis Technologies for Production of Conventional Motor Fuels  
 연구자: T. Barth

다양한 바이오매스와 폐기물에서 얻어지는 열분해 오일은 전통적인 자동차 연료의 대체 연료로서의 잠재성을 가지고 있다. 그러나 석유계의 연료와 첨가제의 품질이 다양한 엄격한 규정에 의해 조절되고 있는 반면, 바이오 오일에 대해서는 요구된 품질을 갖추기가 어렵다. 현재 급속 열분해 오일에 대한 규정을 만드는게 진행중이다. 그러나 열분해 오일의 특징은 열분해 조건과 기술에 크게 의존한다. 또한 바이오매스 원료 물질에 따른 가변성도 상당하다. 열분해 오일과 전통적인 연료유를 섞어서 마치 에탄올과 가솔린을 섞어서 현재 시판되고 있는 E5 등처럼 이용하기 위해서는 각각의 연료에 대한 화학을 잘 이해하여 최적 혼합물을 생산해야 한다.

본 연구에서는 여러가지 다른 조건에서 생산된 열분해 오일의 화학적 조성을 현재 확립되어 있는 석유계 기준과 비교하고 평가하였다. 열분해 조건은 급속 열분해, 마이크로파 열분해 등 다양한 조건을 고려하였다. 적절한 열분해 조건을 선정하면 열분해 오일내의 탄화수소 양을 증가시킬 수 있다. 그 결과 다음 그림에서 보듯이 석유계 연료와 매우 유사한 조성을 갖는 오일을 얻을 수 있었다.

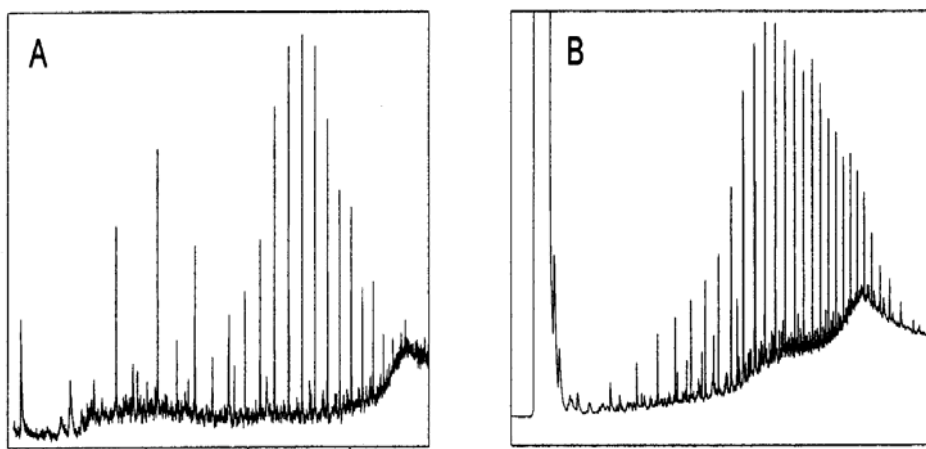


Fig. Gas Chromatogram of A) the hydrocarbon fraction from pyrolysis of wood in excess water at 380°C for 17

hours; B) Statfjord crude oil

제목: Comparison between the Pyrolysis Behavior of Different Biomass Samples (Maize Plants, Straws, and Wood)

연구자: M.Muller-Hagedon et al., University Karlsruhe, Germany

바이오매스의 직접적인 열분해 이외에도, 가스화와 Fischer-Tropsch 전환반응을 이용하여 디젤 연료를 얻는 것도 유망한 방법중의 하나이다. 이러한 목적을 위하여 여러가지 바이오매스들을 테스트하였다.

Maize 와 cultivar 의 두가지 다른 에너지 작물과 barley straw 와 밀짚의 두가지 농산 부산물의 열분해를 TG/MS 를 사용하여 수행하였다.

전처리를 하지 않은 바이오매스 샘플들은 매우 다른 분해 거동을 나타내었다. 이러한 차이는 냉수를 사용하여 대부분의 무기물질을 제거한 후에 열분해를 수행했을 때 상당히 감소되었다. 그러나 maize 샘플은 물로 씻은 후에도 다른 바이오매스와는 매우 다른 거동을 나타내었다. 두개의 straw는 물로 씻은 후에 낙엽송과 매우 유사한 거동을 나타내었으나 분해 온도는 10°C 가량 낮았다. 또한 벧짚들의 휘발성 생성물은 목재의 생성물과 매우 유사하였다. 차이점은 리그닌의 분해산물의 농도비였다. Maize 샘플은 당과 전분의 분율이 약 40wt%를 차지하고 있어서 상당히 다른 분해 거동을 나타내었다.

기타논문

제목: Thermo-Chemical Conversion of Straw-Haloclean-Intermediate Pyrolysis

연구자: A. Hornung et al., Forschungszentrum Karlsruhe, Germany

제목: Sewage Sludge Pyrolytic Characteristics and Description by Biomass Fractionation

연구자: V. Meeyoo et al., Mahanakorn University of Technology, Thailand

## SESSION: Kinetic Parameters of Pyrolysis

Plenary Lecture

제목: Kinetic Analysis of Mechanisms of Complex Pyrolytic Reactions

연구자: T. Turanyi, Eotvos University, Hungary

실험과 이론적 동력학의 빠른 발전으로 인하여 여러가지 화합물의 열분해 등을 포함하여 많은 화학 공정에 있어 상세한 반응 메커니즘을 구할 수 있게 되었다. 이들 메커니즘은 수 천가지 반응과 수백가지 화학종들로 구성된다. 이렇게 많은 반응 메커니즘의 분석을 위해 여러가지 방법이 사용되었다. 이들 방법은 컴퓨터 코드 KINAC 에서 쉽게 이용가능하다. KINAC 은 CHEKIN 가스 동력학 모사 패키지에 있어서 동력학 분석 프로세서이다.

적용한 방법은 동력학적 미분 방정식 시스템의 Jacobian 해석을 통하여 메커니즘 내에서 여분의 화학종을 확인하는 것을 포함한다. Sensitivity matrix 의 주요한 성분 분석을 하여 여분의 기초 단계가 확인되었다. 대부분의 경우 화학종들의 1/3 과 반응의 2/3 가 제거될 수 있었다.

동력학 모델들의 매우 다른 time scale 을 고려함으로써 추가적인 반응 메커니즘의 감축을 달성할 수 있었다. KINALC 은 준 정상상태 근사법의 에러를 예측하는데 사용되었다. 그 결과 time scale 해석으로 반응 메커니즘의 감소를 하기 위해서 준 정상상태 근사법은 가장 효율적인 방법이 아닌 것으로 판명되었다. KINALC 는 반응 동력학 모델의 dynamical dimension 을 예측하였다. 이러한 dimension 은 최소 미분 방정식 수를 가져왔고, 결국 모사 결과가 매우 잘 맞았다.

기타논문

제목: Physical-chemical Significance and Interrelation of the Kinetic Parameters of Decomposition

연구자: R. Font et al., University of Alicante, Spain  
제목: Aims and Methods in Non-Isothermal Reaction Kinetics  
연구자: G. Varhegyi, Hungarian Academy of Science, Hungary

### **SESSION: Emission Studies by Mass Spectrometric Techniques**

본 분야는 이번에 새로 신설된 분야로 plenary lecture 없이 2 개의 구두 발표로만 이루어졌다.

제목: Thermal Desorption Coupled with Photo Ionization Time-of-Flight Mass Spectrometry for the Analysis of Organic Content of Urban Aerosol

연구자: T. Streibel et al., University of Augsburg, Germany

제목: On-line Characterization of Pyrolysis Products in Cigarette Smoke with Novel VUV-Lamp Single Photon Ionization Mass Spectrometric Techniques

연구자: R. Zimmermann et al., Institute of Ecological Chemistry, Germany

### **SESSION: Geochemical and Other Application of Pyrolysis**

본 분야는 이번에 새로 신설된 분야로 plenary lecture 없이 구두 발표로만 이루어졌다. 주로 Py-GC/MS 의 새로운 응용이나 열분해에 의한 재료 합성등이 발표되었다.

제목: Application of the Laser Pyrolysis to the Synthesis of TiC and ZrC Pre-Ceramics Nanopowders

연구자: Y. Leconte et al., CEA-Saclay, France

제목: Pyrolysis-Comprehensive Two-Dimensional Gas Chromatography Study of Petroleum Source Rocks

연구자: F.C. Wang, ExxonMobil, USA

제목: Off-line TLC-Pyrolysis-GC/MS of the Asphaltene Fraction of Crude Oils

연구자: S. Esteves et al., Memorial University of Newfoundland, Canada

### **SESSION: Plastic Recycling**

#### **Plenary Lecture**

제목: Catalytical and Thermal Pyrolysis of Polyolefins

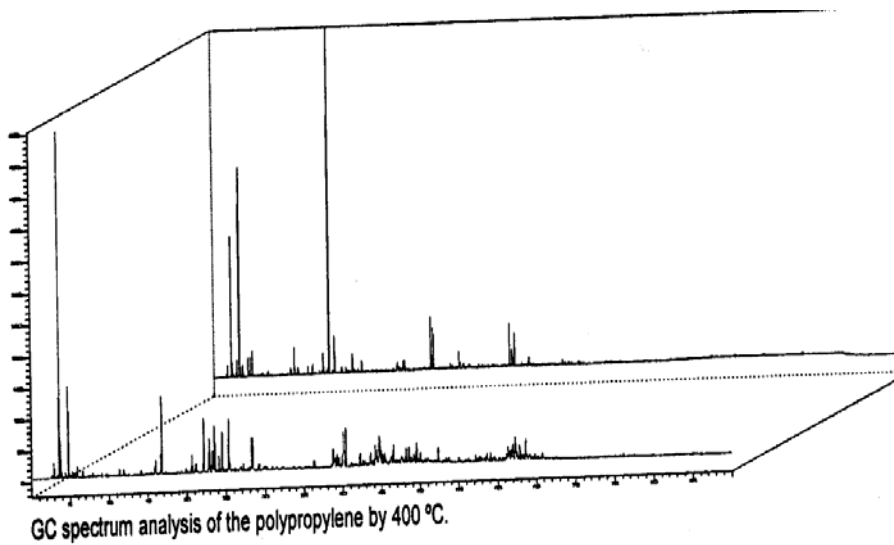
연구자: W. Kaminsky, University of Hamburg, Germany

폴리올레핀은 오직 탄소와 수소로만 이루어져 있기 때문에 대체 오일 생산에 있어서 높은 잠재력을 가지고 있다. 수집된 플라스틱 폐기물의 60% 이상이 폴리에틸렌과 폴리프로필렌이다. 이들 물질의 열분해를 통하여 최대 95%까지 오일과 가스로 회수할 수 있다. 촉매를 이용하여 폴리올레핀의 열분해 생성물을 개질하는 것은 중요한 열분해 주제중 하나이다. 즉 촉매를 사용하여 보다 더 부가가치가 높은 화합물을 생성할 수가 있다. 제올라이트, 실리카-알루미나, 메조포러스 MCM-41, 고체산 촉매 등 다양한 촉매를 이용하여 폴리올레핀의 촉매개질에 대한 연구가 수행되어졌다. 이 외에도 Basset 등은 zirconium hydride 촉매와 지글러-나타 촉매를 사용하여 폴리올레핀의 열분해를 수행하였다. 그러나 비균일계 지글러-나타 촉매는 180°C에서 매우 낮은 활성을 나타내었다.

저자들은 루이스 산과  $TiCl_4$ ,  $AlCl_3$  같은 지글러-나타 촉매 혼합물을 사용하여 폴리프로필렌의 열분해에 적용하였다. 그 결과 낮은 온도에서 다양한 탄화수소를 얻을 수 있었다.

다음 그림에, Pyro-GC/MS 상에서의 폴리프로필렌의 열분해 실험 결과를 나타내었다. 아래 GC 피

크가  $AlCl_3$ 를 사용한 것이고 위 GC 피크는 무촉매 상에서의 결과이다. 촉매의 사용으로 인하여 C9 탄화수소가 감소하고 C4 탄화수소등이 증가함을 알 수 있다.



#### Oral Presentation

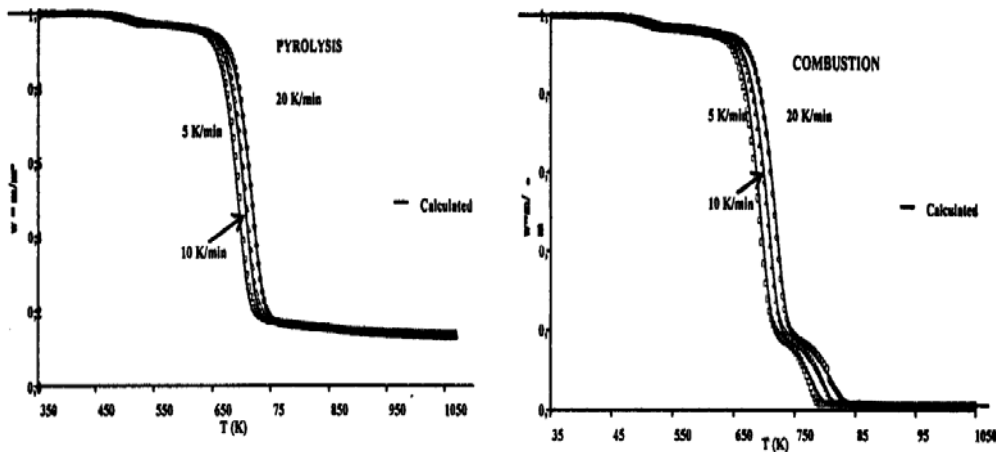
제목: Thermogravimetric Analysis and Pollutant Analysis during the Decomposition of Polyester Fabrics in an Inert and Air Environment

연구자: J.A. Conesa, University of Alicante, Spain

폴리에스터 직물은 여러가지 방법으로 재생되고 있지만, 열적 전환 방법을 통하여 에너지를 얻는 것도 산업적으로 흥미로운 반응이다.

본 연구에서는 폐 폴리에스터 직물의 열적 분해를 TGA와 DTA를 이용하여 수행하였다. 이때 온도 구간은 상온에서 800°C 구간이다. 실험은 헬륨 분위기 혹은 다양한 헬륨/산소 비율의 분위기 하에서 5mg의 샘플을 가지고 수행하였다. 3 가지의 다른 승온속도를 사용하여 폐폴리에스터의 분해 반응을 수행하였다.

그 결과 CO, CO<sub>2</sub>, 저급 탄화수소(메탄, 에틸렌, 벤젠등), PAHs(byphenyl, acetophenone, naphthalene, phenanthrene), 다이옥신, 퓨란, PCBs 등 120 개 이상의 화합물이 정량화되었다.



제목: Continuous Equipment for Microwave Induced Pyrolysis of Wastes

연구자: C. L. Palafox, University of Cambridge, UK

마이크로파 열분해는 열분해의 새로운 분야로 연구되기 시작한지 십년이 되지 않았다. 이 공정은 균일한 열 분포, 용이한 온도 조절이라는 마이크로파 가열의 장점과 폐기물 열분해의 환경적인 장점을 결합한 것이다. 이 공정은 탄소 같은 마이크로파 흡수 물질을 사용하여 플라스틱이나 고무 같은 폐 물질을 열분해한다. 마이크로파 에너지는 탄소를 가열하여 열을 전도에 의해 폐기물로 전달한다.

본 연구에서는 플라스틱과 페타이어 같은 물질을 300-700°C 범위에서 열분해하였다. 이때 여러가지 탄소/폐기물의 비를 사용하였다. 그 결과 알루미늄과 카본 블랙 같은 물질들의 회수가 가능하였다.

제목: Effect of Earth and Earthalkali Hydroxides on the Pyrolysis of Polycarbonate

연구자: G. Grause et al., Tohoku University, Japan

폴리카보네이트는 전세계적으로 연간 2.3 Mt 이 소비되는 플라스틱이다. 2010 년까지 해마다 약 7%의 성장이 기대된다. 주 용도는 CD, DVD, car light 등이다.

여러가지 폴리카보네이트의 화학적 재생 방법이 연구되어 왔다. 그 중의 하나는 methanolysis를 통하여 bisphenol-A(BPA)를 얻는 것이다. 본 연구에서는 수증기가 첨가된 질소 분위기하에서 폴리카보네이트의 열분해를 수행하였고 이때  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3$ 의 영향을 조사하였다. 고정층 반응기의 폴리카보네이트는 500-900°C 사이에서 분해되었다. 다음 그림과 같이  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 가 존재시 폴리카보네이트는 BPA와  $\text{CO}_2$ 로 분해되었다. BPA의 낮은 열적 안정성 때문에, BPA는 페놀과 tetramethylbenzene(TMB)로 분해되었다.

이 메커니즘은  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 의 경우에도 적용된다.  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 와  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 는 500°C에서 많은 양의 페놀(수증기가 없을 때)과 TMB(수증기 존재시)를 생성시킨다. 반면 촉매가 없이 수증기만 사용하면 BPA의 양이 증가한다.  $\text{Al}(\text{OH})_3$ 는 페놀과 고체 잔사물을 증가시키는 가장 좋지 않은 촉매이다. 반면  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 의 경우 잔사물은 거의 얻어지지 않았다.



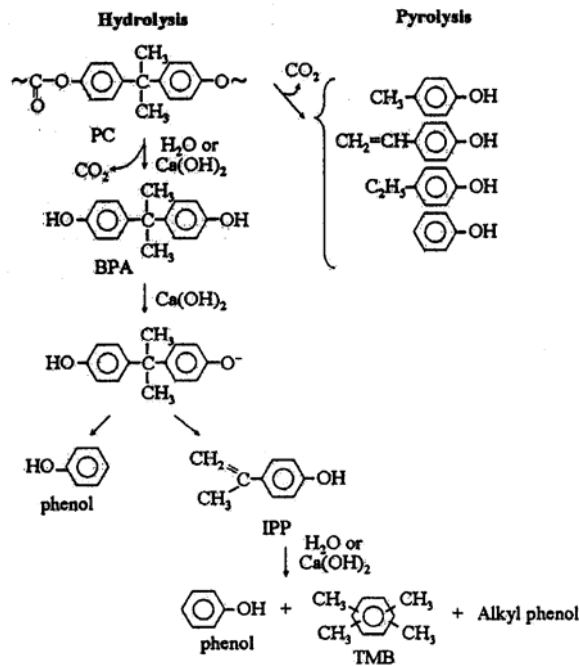


Fig. Mechanism of the PC-degradation

기타 논문

제목: Analysis of Products from the Pyrolysis of Plastics Recovered from the Commercial Scale Recycling of Waste Electrical and Electronic Equipment

연구자: P.T. Williams et al., University of Leeds, UK

제목: Slow Pyrolysis vs Gasification: Mass and Energy Balances Using a Predictive Model

연구자: C.G. Jung et al., Universite Libre de Bruxelles, Belgium

### SESSION: Waste Utilization

Plenary Lecture

제목: A Review of Developments in Pyrolysis of Automotive Shredder Residue

연구자: M.K. Harder, University of Brighton, UK

전세계적으로 automotive shredder residue(ASR)이라고 알려진 폐기물을 처리하기 위해 새로운 공정 해결책이 필요하다. 열분해는 ASR의 처리에 많은 장점이 있다.

본 연구에서는 여러가지 열분해 기법과 열분해 후처리 공정이 제시되었다. 본 연구는 또한 ASR 열분해에 있어서 재정적, 정책적, 환경적 기반을 제공할 수 있었다.

### SESSION: Analytical Pyrolysis of Polymers

Plenary Lecture

제목: Recent Advance in the Characterization of Polymeric Materials by Pyrolysis-GC in the Presence of Organic Alkali

연구자: H. Ohtani, Nagoya Institute of Technology, Japan

tetramethylammonium hydroxide(TMAH)같은 유기 알칼리의 존재하에 Py-GC 를 사용하면 lipids, 단백질, 탄수화물, 왁스, 목재 생성물, 토양, 천연 수지 등의 화학적 특성을 분석하는데 매우 유용한 방법을 제공할 수 있다. 특히 다양한 합성 고분자 물질에 있어서, 이 기법은 자세한 조성 분석과 미세구조 특성분석이라는 관점에서 매우 효과적이다. 특히 응축되어 있는 고분자의 경우 더욱 더 효과적이다.

본 연구에서는 폴리카보네이트, 폴리에스테르, 액체 결정성 방향족 폴리에스테르의 가교 결합에 대해서 다루었다.

### Poster Session

5월 23일 화요일, 25일 목요일 이틀에 걸쳐 포스터 세션이 개최되었다. 발표 분야는 다음과 같다.

- Analytical Pyrolysis of Soil and Natural Organic Matter
- Analytical Pyrolysis of Biomass
- Biocarbon, Biooil and Biogas Production
- Geochemical Application of Analytical Pyrolysis
- Fuels and Combustion
- Tobacco and Emission
- Analytical Pyrolysis of Polymers
- Plastics Recycling
- Models and Kinetic Parameters of Pyrolysis
- Pyrolysis Techniques for Producing Inorganic Materials
- Special Analytical Pyrolysis Application

## 3. 가장 활발한 연구 분야

본 심포지움은 열분해와 열분해 관련된 가스화 등의 분야를 다루고 있다. 그 중 목재나 슬러지 등의 바이오매스, 플라스틱 등의 열분해에 많은 발표가 있었다. 특히 열분해 공정에 있어 상업화 가능성이 높은 새로운 공정에 대한 소개가 많았고, 분석에 있어서는 Py-GC 의 사용이 단연코 많았다.

## 4. 선도 연구기관 및 연구자

열분해의 연구는 유럽에서 활성화 되어 있으며 그 중 독일 함부르크 대학의 카민스키 교수, 독일 목재 연구소의 마이어 박사 등이 선도적인 연구를 하고 있다. 분석에 있어서는 헝가리의 블라조 박사가 주도를 하고 있다. 촉매 열분해는 스페인의 세라노 그룹이 많은 연구를 수행하고 있다.

국내의 경우는 한림대 김승도 교수, 서울시립대 박영권, 김주식, 동종인 교수, 광운대 유경선 교수, 군산대 송병호 교수, 한국에너지기술연구원의 신대현 박사, 정수현 박사, 이경환 박사, 이시훈 박사, 이재구 박사, 김재호 박사 등이 활발한 연구를 수행 중이다.

## 5. 결론

본 17 차 학회는 최신 연구 결과들과 plenary lecture 를 통한 기술발전을 잘 파악할 수 있는 학회였다. 기존의 열분해에 한정되어 있던 학회의 외연도 상당히 넓어지는 등 양적, 질적 모두 우수한 학회로 치루어졌다.

한국의 열분해 연구 수준도 상당한 수준이기 때문에 19 차 학회를 꼭 유치하여 한국의 열분해 위상이 더욱더 높아지기를 기대해본다.