

石炭飛散災로부터 低密度 폴리에틸렌 廢棄物 熱分解用 低價 觸媒 合成[†]

鄭秉煥 · 羅正杰 · 金相國 · 牟世榮* · *丁守鉉

韓國에너지技術研究院 에너지轉換硏究部, *忠北大學校 環境工學科

Synthesis of Low-Priced Catalyst from Coal Fly Ash for Pyrolysis of Waste Low Density Polyethylene[†]

Byung-Hwan Jeong, Jeong-Geol Na, Sang-Guk Kim, Se-Young Mo and *Soo-Hyun Chung

Energy Conversion Research Department, Korea Institute of Energy Research, Daejeon 305-343, KOREA

Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, KOREA

요 약

석탄화력발전소에서 부산물로 발생하는 비산재를 이용하여 저밀도 폴리에틸렌 열분해용 저가 크래킹 촉매를 합성하였다. 석탄비산재에 포함되어 있는 실리카와 알루미나를 NaOH와의 용합을 통해 용출시키고 이를 공침시킴으로써 비정질 실리카알루미나 촉매로 합성하였다. NaOH/석탄비산재 중량비와 활성화 시간 등의 합성조건이 촉매 합성에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 열중량분석기를 사용하여 저밀도 폴리에틸렌 촉매 열분해를 수행하였다. 열분해 온도 변화와 열분해 생성물의 비점분포를 분석하여 합성 촉매의 성능을 평가하였으며 합성된 촉매의 물리적 특성과 촉매 활성 간의 관계를 고찰하였다. NaOH/석탄비산재의 중량비가 1.2이고 활성화 시간이 8시간일 때 합성된 촉매가 가장 우수한 성능을 나타내었다. 최적 조건에서 합성된 촉매는 상용촉매와 유사한 활성을 나타내어 우수한 효과를 나타내었으며 폐플라스틱 재활용에 효과적으로 사용할 수 있으리라 예측된다.

주제어 : 석탄비산재 촉매, 가성소다 용합, 촉매 열분해, 저밀도 폴리에틸렌

Abstract

A low-priced catalyst for pyrolysis of LDPE has been synthesized. Fly ash, which is waste material generated from coal-fired power plants was used as silica and alumina sources for solid acid catalyst. Amorphous silica-alumina catalysts (FSAs) were prepared by dissolution of silica and alumina from fly ash, followed by co-precipitation of the dissolved ions. A series of LDPE pyrolysis were carried out in a thermogravimetric analyzer to investigate the effects of synthesis conditions such as NaOH/fly ash weight ratio and activation time on the catalytic performance of FSAs. The physical properties of FSAs were examined and related to their catalytic performances. FSA(1.2-8) synthesized with NaOH/fly ash weight ratio of 1.2 and the activation time of 8 hours showed the best catalytic performance. The catalytic performance of FSA(1.2-8) was comparable with that of commercial catalysts and it was concluded that the FSA could be a good candidate for catalytic use in the recycling of waste polyolefins.

Key words : coal fly ash-derived catalyst, NaOH fusion, catalytic pyrolysis, low density polyethylene

1. 서 론

고도화된 현대사회에서 자원 확보에 대한 노력이 날로 치열해지고 있으나, 자원의 양은 한정되어 있기 때문에 이의 효율적 이용과 재활용이 세계적인 관심사가

되고 있다¹⁾. 이러한 상황에서 폐플라스틱은 시급한 처리가 요구되는 폐기물이라는 인식에서 벗어나 고열량의 풍부한 에너지자원으로 받아들여지고 있다. 현재 다양한 폐플라스틱 재활용 방법이 개발되고 있으며, 이 중에서도 특히 열분해 유효 기술은 폐플라스틱을 2차 오염 없이 연료유나 화학원료로 전환할 수 있어 주목의 대상이 되고 있다.

[†] 2006년 7월 24일 접수, 2007년 3월 30일 수리

*E-mail: chung@kier.re.kr

열분해는 촉매 존재 여부에 따라 단순 열분해와 촉매 열분해로 분류할 수 있다²⁻⁸⁾. 단순 열분해와 비교하였을 때 촉매 열분해가 갖는 장점은 반응 온도가 낮아 공정에 투입되는 에너지를 절감할 수 있고 고급 경질유를 생산할 수 있다는 것이다^{3,4)}. 그러나, 열분해에 사용되는 크래킹 촉매가 비교적 고가인데다 폐플라스틱 처리 중에 수명이 짧아 공정의 경제성을 만족시킬 수 없으므로, 촉매 열분해의 장점을 유지하면서 동시에 경제성을 충족시킬 수 있는 저가 열분해 촉매 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^{3),5-7)}.

본 연구는 폐플라스틱 열분해에 적합한 저가의 고체 산 촉매를 개발하기 위하여 석탄 화력발전소에서 부산물로 발생하는 석탄비산재를 촉매 원료로 사용하였다. 우리나라에서 발생하는 석탄비산재의 양은 1998년 현재 360만톤 정도이며 전기수요량의 급증으로 매년 증가일로에 있다⁹⁾. 현재 석탄비산회재는 콘크리트나 시멘트 제조에 일부 사용되고 있으나, 대부분은 여전히 매립되고 있다. 최근 석탄비산재가 천연 제올라이트와 화학적 조성이 비슷하다는 점에 착안하여 이들을 알칼리와 반응시켜 제올라이트를 합성하고 중금속 흡착제나 기체 분자체로 사용하려는 연구가 진행 중이다^{10,11)}.

본 연구진에서도 포자사이트(faujasite)를 갖는 석탄비산재 제올라이트를 합성하여 폴리프로필렌 열분해에 성공적으로 사용한 바 있으나⁵⁻⁷⁾, 분자구조가 보다 강인한 폴리에틸렌 열분해에는 뚜렷한 활성을 나타내지 못한다는 단점이 있었다. 또한, 석탄비산재로부터 제올라이트를 합성하였을 때 그 형태나 활성이 석탄비산재의 종류에 좌우되어¹⁰⁾, 재현성있는 촉매를 얻기가 매우 힘들다

Table 1. Main composition of fly ash generated from Boryung coal-fired power plant and FSA(4)

| Component | Weight (%) | |
|--------------------------------|------------|--------|
| | Fly ash | FSA(4) |
| SiO ₂ | 53.56 | 56.10 |
| Al ₂ O ₃ | 27.71 | 30.80 |
| Fe ₂ O ₃ | 5.53 | 6.14 |
| CaO | 4.50 | 0.97 |
| MgO | 0.91 | 0.58 |
| K ₂ O | 0.94 | 0.10 |
| Na ₂ O | 0.37 | 0.17 |

는 문제 역시 존재하였다.

본 연구에서는 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 제올라이트 촉매 대신 폴리에틸렌 열분해용 비정질 실리카알루미나 촉매(FSA, Fly ash-derived silica alumina)를 합성하였다. 일련의 폴리에틸렌 열분해 실험을 통해 합성촉매의 성능을 평가함으로써, 촉매 활성에 영향을 미치는 인자들에 대하여 조사하였다. 아울러 합성촉매의 물리화학적 특성을 분석하여 이들의 물리화학적 특성과 촉매 활성과의 관계를 살펴보았다.

2. 실험

2.1. FSA 촉매 합성

본 연구에서 사용한 석탄비산재는 수입산 역청탄을 원료로 하는 충남 보령 화력발전소에서 발생한 것으로

Table 2. Synthesis conditions and catalytic performance of FSAs

| Catalyst | Synthesis condition | | Catalytic performance | |
|----------|---------------------|---------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | NaOH/fly ash (w/w) | Activation time (h) | Temperature at conversion of 10% (°C) | Temperature at conversion of 90% (°C) |
| FSA(1) | 0.7 | 8 | 467.9 | 501.8 |
| FSA(2) | 0.7 | 16 | 464.7 | 501.5 |
| FSA(3) | 0.7 | 32 | 465.1 | 505.9 |
| FSA(4) | 1.2 | 8 | 456.7 | 497.2 |
| FSA(5) | 1.2 | 16 | 459.6 | 496.3 |
| FSA(6) | 1.2 | 32 | 464.2 | 501.2 |
| FSA(7) | 1.7 | 8 | 454.4 | 496.4 |
| FSA(8) | 1.7 | 16 | 461.8 | 499.3 |
| FSA(9) | 1.7 | 32 | 459.7 | 503.2 |

서 다양한 입도를 갖는 구형입자로 이루어져 있다. 석탄비산재는 Table 1에 나타난 바와 같이 주로 실리카(SiO_2)와 알루미늄(Al_2O_3)로 이루어져 있으며, 이 외에도 Fe_2O_3 와 CaO 가 소량 포함되어 있다. 석탄비산재에 다량 함유된 실리카와 알루미늄 이온을 용출시키고, 이를 공침시킴으로써 FSA 촉매를 합성하였다.

석탄비산재를 기준으로 NaOH 중량비를 각각 0.7, 1.2, 1.7로 달리하여 혼합·분쇄한 후 600°C에서 1.5시간 동안 용합하였다. 용합이 끝난 후, 냉각된 혼합물을 다시 분쇄하고 다섯 배 증량의 증류수에 현탁시킨 다음, 상온에서 각각 8, 16, 32시간동안 교반하며 합성 반응을 진행하였다. 각 촉매의 합성 조건을 Table 2에 정리하였다. 반응 종료 후, 여과지를 사용하여 폐액을 제거하고 1 M의 염화암모늄(NH_4Cl) 용액으로 수 회 세척한 다음 60°C에서 하루 동안 건조하였다. 최종적으로 건조물을 500°C에서 네 시간 동안 소성함으로써 최종 산물인 촉매를 회수하였다.

2.2. FSA 촉매의 물리화학적 특성 분석

X선 회절 분석기(Model X'Pert-MPD, Phillips MPD)를 사용하여 합성 촉매의 구조 특성을 확인하였고, BET 시스템(ASAP 2405, Micromeritics)을 사용하여 촉매의 비표면적과 세공 부피를 측정하였다. 촉매의 산세기와 분포를 측정하기 위하여 NH_3 -TPD(temperature programmed desorption) 장치를 사용하였다.

2.3. 저밀도 폴리에틸렌 열분해 및 액상 생성물 분석

열중량분석기(TGA, thermogravimetric analyzer)를 이용하여 대기압 하에서 저밀도 폴리에틸렌(LDPE)에 대한 무촉매 열분해 및 촉매 열분해를 수행하였다. 실험에 사용된 LDPE는 H사 제품으로 흰 색의 과립 형태이며, 물리적 특성은 녹는 점 110°C, 용융지수 0.3 (g/10 min), 비중 0.92cm³/g이다.

촉매에 의한 LDPE 분해 온도 및 액상 생성물 분포 변화를 살펴보기 위하여 Rubotherm사에서 개발한 자기 부유 천칭(MSB, Rubotherm, Germany) 열중량분석기를 사용하였다. 5g의 LDPE 펠릿을 0.5g의 촉매와 함께 장입하고 5°C/min의 속도로 600°C까지 승온하며 LDPE 무게 감량을 기록하였다. 비교를 위하여 촉매를 장입하지 않은 무촉매 조건에서 동일한 승온 조건으로 열분해를 수행하였다. 무산소 분위기를 유지하기 위하여 열분해 반응 동안 질소 가스를 60°C/min의 유량으로 공급하였다.

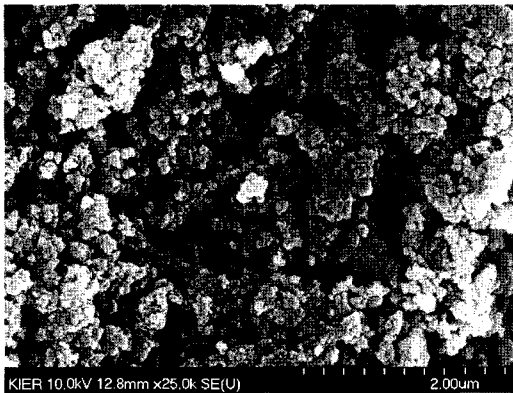
열분해 생성 물질은 기화되어 열중량 분석기 외부로 배출되는데 이를 콘덴서에서 응축시켜 열분해 오일을 회수하였다. 회수된 열분해 오일의 품질을 확인하기 위하여 SIMDIS(Simulated Distillation GC; ASTM D2887) 분석을 수행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

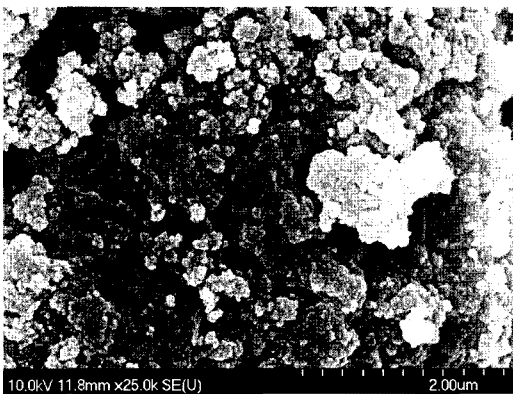
3.1. FSA 촉매 성능 비교

FSA의 촉매 활성을 살펴보기 위하여 LDPE에 대한 촉매 및 단순 열분해를 수행하였다. 각 용합조건에서 촉매합성 시간에 따른 FSA 촉매의 성능을 Table 2에 나타내었다. 용합비율이 0.7일 경우 최적 촉매합성 시간이 존재하였다. LDPE 분해는 FSA(2)와 FSA(3)을 사용하였을 때 빨리 시작되었다. 반면, FSA(3)은 반응 종료 온도가 FSA(1)이나 FSA(2)보다 높아 반응 중에 촉매활성이 점차 떨어지는 것으로 나타났다. 즉, 용합비율이 0.7일 때에는 촉매합성 시간이 16시간인 FSA(2)가 가장 우수한 촉매라 할 수 있다. 용합비율이 높을 경우에는 촉매합성 시간이 길어질수록 활성이 다소 감소하는 것으로 나타났다. Table 2에 나타난 바와 같이 합성 시간이 8시간인 FSA(4)와 FSA(7)을 사용하였을 때 낮은 온도에서 LDPE 분해가 이루어졌다. 이상의 결과로부터, FSA(2), FSA(4), FSA(7) 촉매가 각 용합비에서 가장 우수한 활성을 지니고 있다고 판단되었다.

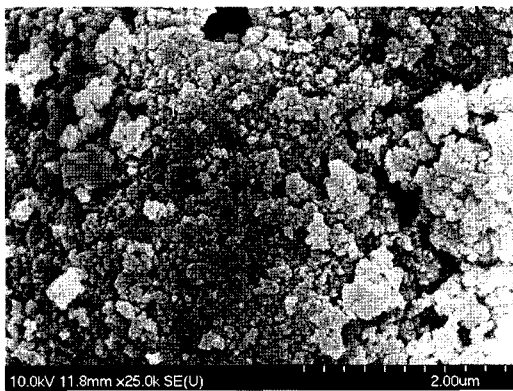
촉매 합성 시간이 길어지더라도 이에 따라 촉매활성이 증가하지 않는 것은 합성이 진행되는 동안 FSA 촉매가 점차 활성이 없는 형태로 전이되었기 때문으로 사료된다. 촉매 합성 시간과 활성 사이의 관계를 살펴보기 위하여 1.2의 용합비율에서 촉매 합성시간을 8, 16, 32시간으로 달리하였을 때의 촉매에 대한 SEM 분석 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 8시간 동안 합성한 촉매의 경우(FSA(4)), 비슷한 크기의 입자들이 고르게 분포하고 있으나, 합성시간이 길어질수록(FSA(5), FSA(6)) 촉매 표면 구조의 변형이 진행되는 것을 관찰할 수 있다. 이러한 촉매 표면의 변화 때문에 촉매 활성부위와 LDPE 사슬간의 접촉 및 LDPE의 촉매 내부 확산 정도가 달라져서 분해활성에 변화가 생긴 것으로 판단된다. 이전 연구 결과들을 보면, NaOH와 용합한 석탄비산재가 낮은 온도에서도 시간이 지나면서 상전이가 일어나는 현상이 확인된 바 있으며, 이는 우수한 촉매를 얻기 위해서는 합성 시간을 최적화하는 것이 중요함을 의미한다^{6,7,11}).



(a)



(b)



(c)

Fig. 1. SEM images of FSAs: (a) FSA(4), (b) FSA(5) and (c) FSA(6).

Fig. 2(a)는 각 용합조건에서 선정된 FSA(2), FSA(4), FSA(7)를 사용하여 열분해를 수행하였을 때 LDPE의 무게 감소 패턴을 나타낸 그래프이다. 그림에서 나

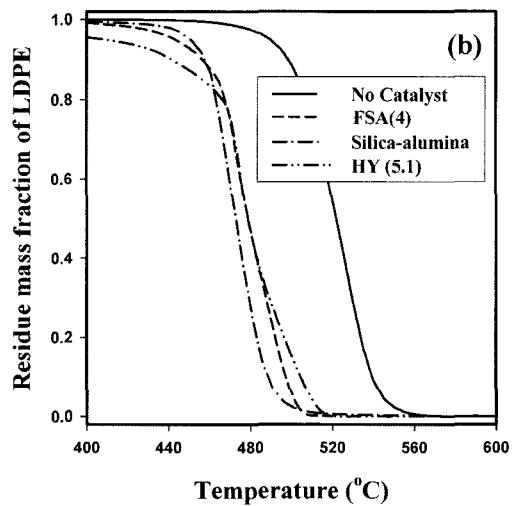
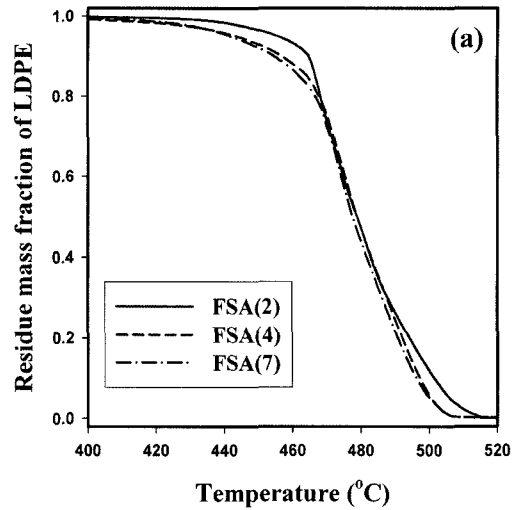


Fig. 2. TG curves for LDPE over different catalysts: (a) FSAs selected, and (b) FSA(4) and commercial catalysts.

타난 바와 같이 높은 용합 비율에서 합성한 촉매가 낮은 용합 비율에서의 촉매보다 우수한 활성을 나타내었다. FSA(4)와 FSA(7)은 거의 유사한 분해 활성을 나타내고 있으나, 촉매 합성에 소요되는 비용 측면에서 NaOH 소모량이 적은 FSA(4)가 보다 적합한 촉매임을 알 수 있었다.

최적 촉매로 선정된 FSA(4)와 상용 촉매들(HY(5.1) 제올라이트(Si/Al=5.1, zeolyst, USA), Silica-alumina 촉매(Sigma, USA))의 열분해 결과를 비교하였다(Fig. 2(b)). 촉매를 사용한 모든 경우에서 반응 온도가 단순

열분해보다 더 낮았다. FSA(4)의 경우 단순 열분해에 비해 LDPE 열분해 온도를 50°C 이상 낮출 수 있었다. FSA(4) 촉매의 성능을 상용 제올라이트 촉매인 HY(5.1)와 비교하면, 열분해 개시 온도는 HY 촉매를 사용하였을 때 더 낮으나, FSA(4) 촉매를 사용하였을 때 반응이 보다 일찍 종료되었다. 이는 HY(5.1) 촉매의 활성이 유지되지 못했기 때문인데, 이전 연구 결과들에 따르면 HY 촉매 등의 Y형 제올라이트는 기공 입구가 넓어 코크 형성에 취약하다고 보고되고 있다¹²⁾.

FSA(4)는 상용 실리카알루미나 촉매보다 전반적으로 성능이 우수하지 못하였다. 그러나, FSA(4) 촉매는 석

탄 화력발전소에서 발생하는 폐기물로부터 저가에 합성할 수 있으므로 SA 촉매와 대비하여 비교우위를 가질 수 있으리라 기대된다. 즉, 원하는 촉매 활성을 얻기 위해 촉매 장입량을 늘려주더라도 공정 경제성 충족에는 문제가 없을 것으로 판단된다. 따라서, FSA(4) 촉매가 폐 LDPE 재활용 촉매로 충분히 사용할 수 있으리라 기대할 수 있다.

Fig. 3(a)에 도시한 LDPE 분해 생성물에 대한 비점 분포 결과 역시 FSA(4) 촉매의 효능을 뒷받침하고 있다. FSA(4)를 사용하였을 때 액상 생성물의 비점분포는 단순 열분해 산물에 비해 훨씬 낮은 분포를 나타내며 액상 생성물의 70% 정도가 경유의 비점보다 낮아 매우 우수한 오일 품질을 지니고 있음을 알 수 있다.

Fig. 3(b)는 액상 생성물의 탄소수 분포를 SIMDIS 결과값으로부터 추정하여 나타낸 것이다. Fig. 3(b)를 보면 촉매 열분해와 무촉매 열분해의 차이를 보다 확연히 알 수 있다. 무촉매 열분해의 경우 넓은 탄소수 분포를 가지며 탄소수가 큰 중질유분이 다량 발생하게 된다. 이에 비해 촉매 열분해의 경우 생성물 중에 경질유분 함량이 훨씬 높고, 탄소수 분포가 좁다. FSA(4)의 액상 생성물은 대부분 경유 범위인 20 이하의 탄소수 분포를 보이는데, 탄소수가 9인 생성물이 가장 높은 비율을 나타내고 있다. 탄소수 분포로 보았을 때 FSA(4) 생성물은 HY 제올라이트에 의한 생성물과 유사하였고, SA 촉매 산물보다는 높은 분포를 가졌다. 이 결과는 열중량분석기를 사용하였을 때의 열분해 온도 변화 경향과도 일치하는 것이다.

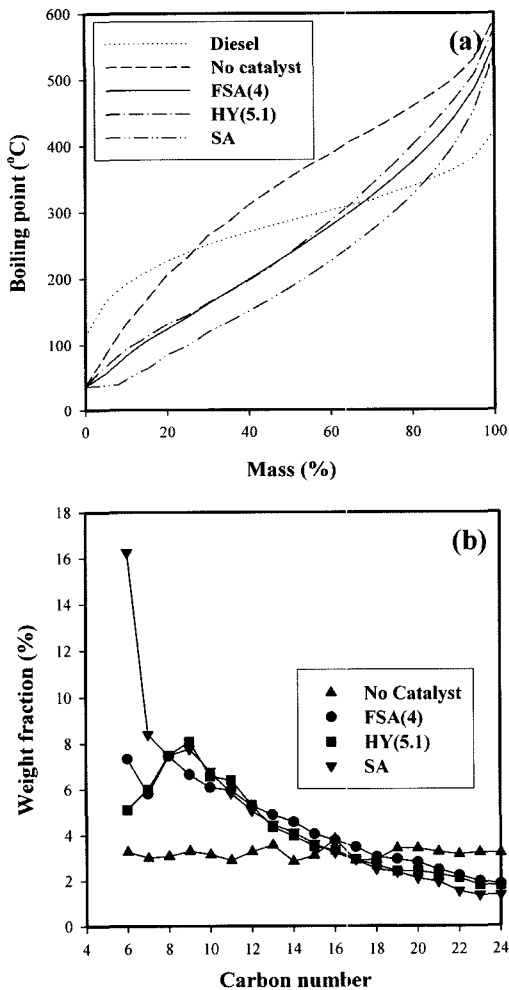


Fig. 3. SIMDIS results. (a) boiling point distribution of the liquid products and (b) carbon number distribution of the liquid products.

3.2. FSA 촉매의 물리화학적 특성 분석

FSA 촉매는 NaOH/석탄 비산재 용합비율에 따라 각기 다른 촉매 활성을 나타내었다. 용합비율이 촉매에 어떠한 영향을 미치는지 보다 면밀히 살펴보기 위하여, 이들 촉매에 대한 물리화학적 분석을 수행하였다.

Fig. 4(a)는 NaOH와 용합된 비산재 샘플의 XRD 패턴을 나타내고 있다. Fig. 4(a)에서 알 수 있듯이 1.2와 1.7의 높은 용합비율에서는 sodium silicates가 상당 부분 형성되었으나, 0.7의 낮은 용합비율에서는 석영질이 반응이 일어나지 않은 채 남아 있음을 확인할 수 있다. 석탄비산재로부터 비정질 실리카알루미나 촉매로의 활성화가 원활히 이루어지기 위해서는 충분한 양의 실리카와 알루미나 이온이 용출되어야 한다¹¹⁾. 높은 용합비율에서 다량 발생한 sodium silicates는 촉매로 전환이 되었으나, 낮은 용합비율에서는 실리카와 알루미

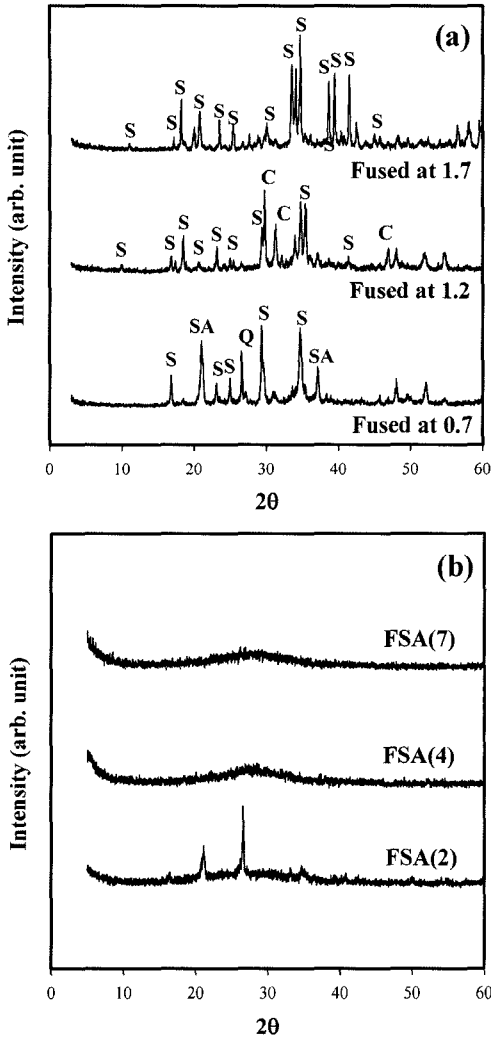


Fig. 4. XRD patterns of (a) FSAs and (b) fused fly ashes (Q: Quartz, M: Mullite, S: Sodium silicate, SA: Sodium aluminum silicate, C: Calcite).

나 이온 용출 효율이 좋지 않아 촉매 합성 효율이 낮을 수밖에 없을 것으로 추측된다. 합성 후 촉매의 XRD 패턴을 보면(Fig. 4(b)), FSA(4)와 FSA(7)은 비정질 특성을 나타내고 있으나, FSA(2)의 경우 여전히 석영결이 남아 있음을 확인할 수 있다.

BET 비표면적과 세공 부피 역시 촉매 합성 정도를 나타내고 있다. Table 3은 각 융합비율에서 최적 성능을 나타내었던 FSA(2), FSA(4), FSA(7)의 BET 비표면적과 세공 부피를 정리한 것인데, FSA(4)의 BET 비표면적과 세공 부피가 가장 크고, FSA(7)과 FSA(2)

Table 3. BET surface areas and total pore volumes of FSAs

| Catalyst | BET surface area (m ² /g) | Total pore volume (cm ³ /g) |
|----------|--------------------------------------|--|
| FSA(2) | 41.89 | 0.1588 |
| FSA(4) | 125.69 | 0.4901 |
| FSA(7) | 107.42 | 0.4814 |

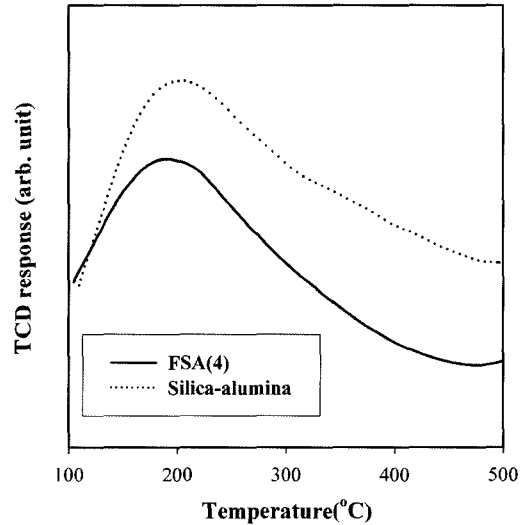


Fig. 5. NH₃-TPD profiles of FSA(4) and SA.

순으로 비표면적과 세공 부피가 작음을 알 수 있다.

최적 촉매로 선정된 FSA(4)의 비표면적은 125.69 m²/g으로 500-600 m²/g에 달하는 비표면적을 갖는 상용 실리카알루미나 촉매보다 훨씬 작았다. 이는 본 연구에서 합성한 FSA가 촉매만으로 이루어진 것이 아니라 실제로는 촉매와 상당부분의 불순물이 혼합된 형태로 되어 있기 때문이며 FSA 합성이 주로 표면에서만 이루어졌음을 나타내는 결과라 할 수 있다.

열분해 특성을 결정하는 주요 요소인 산성도를 확인하기 위하여 FSA(4)와 SA 촉매에 대한 NH₃-TPD 실험을 수행하였다. Fig. 5에 나타난 바와 같이, FSA(4)에 흡착된 NH₃가 탈착되는 온도는 200°C 정도로 산세기는 SA 촉매와 비슷하나, 최대 peak 값이 낮아 SA 촉매에 비하여 산량은 적은 것으로 조사되었다. 이는 Table 3의 비표면적 측정 결과에서 알 수 있듯이 SA에 비해 FSA(4)의 비표면적이 작은데서 기인하는 것으로 사료된다.

4. 결 론

석탄화력발전소에서 부산물로 발생하는 석탄비산재로

부터 비정질 실리카알루미나 촉매의 합성 및 이를 이용한 폐플라스틱 열분해 활용 가능성을 확인하였다. 실험 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 석탄비산재를 가성소다와 융합시켜 실리카와 알루미나 이온을 용출시킨 후 이를 공침시켜 비정질 실리카 알루미나 촉매를 합성하였다.

2. 가성소다와 석탄비산재 융합 시 가성소다의 양이 충분하지 못하면 미반응 석탄비산재가 남아 있어 촉매로의 효율적인 전이가 어려운 것으로 나타났다.

3. 합성시간의 조절 역시 중요하데, 합성시간이 길어질 경우 FSA 촉매가 점차 다른 형태로 전이되어 활성을 잃어버리는 것으로 나타났다.

4. 가성소다/석탄비산재 융합비율이 1.2이고 촉매합성시간이 8시간일 때 합성된 FSA(4)가 열분해 온도나 촉매 비용 측면에서 가장 우수한 성능을 나타내었다.

5. FSA(4) 촉매 사용 시 단순 열분해보다 현저히 낮은 온도에서 LDPE 분해가 일어났으며 액상 생성물의 비점 역시 매우 낮아 뚜렷한 촉매 효과를 나타내었다. FSA(4)의 성능은 상용 촉매들과도 비교할 만 하였으며, 폐플라스틱 재활용에 있어 석탄비산재 촉매가 효율적으로 사용가능하리라 기대된다.

참고문헌

1. 최명재, 이상봉, 조병구, 2002: *고분자폐기물 원료화, 고분자과학기술*, 13(3), pp 229-306.
2. Ikura, M., Stanculescu, M. and Kel'y, J. F., 1999: *Short contact time thermal cracking of carbonaceous wastes to alpha olefins*, J. Anal. Appl. Pyrol. 51, pp 89-105.
3. Park, D. W. et al., 1999: *Catalytic degradation of polyethylene over solid acid catalysts*, Polym. Degrad. Stab. 65, pp 193-198.

4. Zhao, W. et al., 1996: *Effects of zeolites on the pyrolysis of polypropylene*, Polym. Degrad. Stab., 53, pp 129-135.
5. Chung, S. H. et al., 2003: *Synthesis and application of fly ash-derived zeolites for pyrolysis of polyolefins*. J. Ind. Eng. Chem., 9, pp 181-187.
6. Kim, S. S., Kim, J. H. and Chung, S. H., 2003: *A study on the application of fly ash-derived zeolite materials for pyrolysis of polypropylene*, J. Ind. Eng. Chem., 9, pp 287-293.
7. Nam, Y. M. et al., 2004: *A study on the application of fly ash-derived zeolite materials for pyrolysis of polypropylene (II)*, J. Ind. Eng. Chem., 10, pp 788-793.
8. Sakata, Y., Uddin, M. A. and Muto, A., 1999: *Degradation of polyethylene and polypropylene into fuel oil by using solid acid and non-acid catalysts*, J. Anal. Appl. Pyrol., 51, pp 135-155.
9. Korea Institute of Resources and Recycling, 1999: *A White Paper on Resources Recycling* (in Korean).
10. Querol, X. et al., 2002: *Synthesis of zeolites from coal fly ash: an overview*, Int. J. Coal Geol., 50, pp 413-423.
11. Molina, A. and Poole, C., 2004: *A comparative study using two methods to produce zeolites from fly ash*, Minerals Eng., 17, pp 167-173.
12. Garforth, A. et al., 1997: *Catalytic degradation of high density polyethylene: an evaluation of mesoporous and microporous catalysts using thermal analysis*, Thermo-chimica Acta, 294, pp 65-69.

羅 正 杰



- KAIST 화학공학과 공학박사
- 한국에너지기술연구원 연료공정연구센터 선임연구원

鄭 秉 煥



- 충북대학교 환경공학과 공학석사
- (주)에너지기술연구원

金 相 國



- North Carolina State University 공학박사
- 한국에너지기술연구원 연료공정연구센터 책임연구원



牟世榮

- 고려대학교 화학공학 공학박사
- 충북대학교 환경공학과 교수



丁守鉉

- 전남대학교 화학공학 공학박사
- 한국에너지기술연구원 연료공정연구센터 책임연구원

學會誌 投稿 安內

| 種 類 | 內 容 |
|----------|--|
| 論 說 | 提案, 意見, 批判, 時評 |
| 展望, 解說 | 現況과 將來의 견해, 研究 技術의 綜合解說, Review |
| 技 術 報 告 | 實際的인 試驗, 調查의 報告 |
| 技術, 行政情報 | 價値있는 技術, 行政情報를 간결히 解說하고, comment를 붙인다. |
| 見 聞 記 | 國際會義의 報告, 國內外的 研究 幾關의 見學記 등 |
| 書 評 | |
| 談 話 室 | 會員相互의 情報交換, 會員 自由스러운 말, 隨霜 등 |
| Group 紹介 | 企業, 研究幾關, 大學 등의 紹介 |
| 研究論文 | Original 研究論文으로 本 學會의 會誌에 揭載하는 것이 適當하다고 보여지는 것 |

수시로 원고를 접수하오니 많은 투고를 바랍니다.