Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society(2012. 2), Vol. 23, No. 1, pp. 1~7
http://dx.doi.org/10.7316/khnes.2012.23.1.001

황-요오드 열화학 수소 생산 공정에서 니켈-백금 이원금속 촉매를 이용한 요오드화수소 분해 특성

김수영[1] · 고윤기[1] · 박주식[1†] · 배기광[1] · 김영호[2]
[1]한국에너지기술연구원, [2]충남대학교 바이오응용화학과

Charateristics of Hydrogen Iodide Decomposition using Ni-Pt Bimetallic Catalyst in Sulfur-Iodine Process

SOOYOUNG KIM[1], YOONKI GO[1], CHUSIK PARK[1]†, KIKWANG BAE[1], YOUNGHO KIM[2]
[1]Hydrogen Energy Research Center, Korea Institute of Energy Research,
71-2 Jang-dong Yuseong-gu Daejeon 305-343, Korea
[2]Department of Applied Chemistry and Biological Engineering,
Chungnam National University, 220 Gung-dong Yuseong-gu Daejeon 305-764, Korea

Abstract >> This study was performed to develop a low Pt content catalyst as a catalyst for HI decomposition in S-I process. Bimetallic catalysts added various amounts of Pt on a silica supported Ni catalyst were prepared by impregnation method. HI decomposition was carried out using a fixed bed reactor. As a result, Ni-Pt bimetallic catalyst showed enhanced catalytic activity compared with each monometallic catalyst. Deactivation of Ni-Pt catalyst was not observed while deactivation of Ni monometallic catalyst was rapidly occurred in HI decomposition. The HI conversion of Ni-Pt bimetallic catalyst was increased similar to Pt catalyst with increase of the reaction temperature over a temperature range 573K to 773K. From the TG analysis, it was shown that NiI_2 remained on the Ni(5.0)-Pt(0.5)/SiO_2 catalyst after the HI decomposition reaction was decomposed below 700K. It seems that small amount of Pt in bimetallic catalyst increase the decomposition of NiI_2 generated after the decomposition of HI. Consequently, it was considered that the activity of Ni-Pt bimetallic catalyst was kept during the HI decomposition reaction.

Key words : S-I process(황-요오드 공정), HI decomposition(요오드화수소 분해), Ni-Pt bimetallic catalyst(니켈-백금 이원금속 촉매), NiI_2(요오드화니켈)

1. 서 론

수소 에너지는 화석 연료를 대신할 재생 가능하고 친환경적인 신재생 에너지로, 현재 인류가 직면하고 있는 에너지 자원 고갈과 환경 오염 문제를 해결할 수 있는 가장 유력하며 유일한 미래의 대체 에너지원으로 생각되고 있다.

열화학적 물 분해를 통한 수소 제조 방법 중 하나인 황-요오드(Sulfur-Iodine, S-I) 공정은 1976년 미국 General Atomic(GA)사에 최초로 제안되었다[1)]. 이 공정은 대량 수소 생산이 가능하며, 물을 제외한 모든 반응물은 한번 공급되어 재순환되는 폐 사이클을 이룬다. 화학 반응은 반응식 (1)의 분젠(Bunsen) 반응,

†Corresponding author : cspark@kier.re.kr
[접수일 : 2012.1.30 수정일 : 2012.2.23 게재확정일 : 2012.2.24]
Copyright ⓒ 2012 KHNES

(2)의 황산(H_2SO_4) 분해 반응 및 (3)의 요오드화수소(HI) 분해 반응으로 세 단계로 구성된다.

$$2H_2O + I_2 + SO_2 \rightarrow H_2SO_4 + 2HI \quad (1)$$

$$H_2SO_4 \rightarrow H_2O + SO_2 + 0.5O_2 \quad (2)$$

$$2HI \rightarrow H_2 + I_2 \quad (3)$$

수소 생산 단계인 HI 분해 반응은 전체 반응 장치의 재료와 열효율 측면에서 723K 이하의 HI 분해 온도가 요구된다. 그러나 이 온도 범위에서는 HI 분해 반응이 매우 느리게 진행됨으로 반응 속도를 증가시키기 위해서 촉매의 사용이 필요하다.

촉매를 이용한 HI 분해 반응의 선행 연구로 1978년 Iida[2]는 테플론에 담지된 백금 촉매(Pt/Teflon)를 사용하였으며, HI 분해 반응에서 생성물인 H_2 첨가 영향으로 인해 반응 속도가 저하됨을 확인하였다. 또한 1980년 Oosawa 등[3,4]은 Pt/activated carbon(Pt/AC) 촉매 이용 시 24%의 높은 HI 전환율과 함께 수성가스 발생의 문제점을 제시하였다. 이어 1984년 Shindo 등[5]은 Pt/γ-alumina 촉매를 사용한 HI 분해 반응에서 생성물인 I_2 첨가로 인해 Iida[2]의 연구와 동일하게 반응 속도가 저하된다고 보고하였다.

이외에도 Kim 등[6,7]은 AC 및 Pt/AC 촉매를 이용한 HI 분해 반응 시 촉매 표면의 I_2 흡착이 관찰되었으며, 이는 낮은 촉매 활성의 원인이 됨을 확인하였다. 또한 Kim[8]은 AC 촉매를 대체하기 위해 지지체로 γ-alumina(Al_2O_3) 및 silica(SiO_2)를 사용하여 HI 분해 반응을 실시하였다. 각 지지체에 백금을 담지한 촉매의 HI 분해 반응 결과 촉매들은 유사한 활성을 보였다. Pt/SiO_2 촉매 경우 Pt/AC, Pt/Al_2O_3 촉매와 비교하여 HI 분해 반응 전과 후 물리적, 화학적 변화가 크지 않음을 촉매 특성 평가에 의해 확인하였다. 최근에는 귀금속 Pt 촉매를 대체하는 비귀금속 Ni 촉매를 이용한 HI 분해 특성에 대한 연구가 진행되고 있다. Zhang 등[9]은 CeO_2, Ni/CeO_2 촉매를 이용한 HI 분해 연구를 통하여 촉매로서의 가능성을 확인하였다. 또한 Favuzza 등[10]은 Ni/γ-alumina 촉매의 경우 이론적 HI 평형 전환율에 도달하는 높은 전환율이 관찰되었으나 NiI_2의 생성으로 인해 촉매 활성이 저하되는 현상을 확인하였다.

현재 여러 촉매 반응에서 널리 Pt 촉매가 사용되고 있으며, 이를 대체할 저렴하고 촉매 활성이 우수한 비귀금속 계열의 촉매가 개발되고 있다. 또한 단일금속 촉매의 비활성을 억제하여 촉매 수명을 연장시키거나 촉매의 활성을 크게 향상시키는 이원금속 촉매에 대한 연구도 진행되고 있다[11].

본 연구는 S-I 공정 중 HI 분해 반응을 위해 낮은 Pt 함량의 촉매를 개발하고자 수행하였다. 이를 위해 Ni-Pt 이원금속 촉매를 이용하여 HI 분해 반응을 실시하고 그 특성을 살펴보았다. 또한 HI 분해 반응 전과 후 촉매 특성 분석을 실시하여 촉매의 HI 분해 특성과 관련하여 고찰하였다.

2. 실 험

2.1 촉매 제조

촉매 지지체로 높은 비표면적의 메조 세공 SiO_2를 제조하기 위해 Sol-Gel법을 이용하였으며[12], 단일금속 촉매 및 이원금속 촉매는 함침법을 사용하여 제조하였다.

촉매의 금속 전구체로 $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$(Sigma aldrich)와 $[Pt(NH_3)_4]Cl_2 \cdot XH_2O$(98wt.%, Sigma aldrich)를 사용하였다. 이원금속 촉매는 Ni과 Pt 전구체를 함께 300g의 증류수에 용해한 다음 제조한 SiO_2와 혼합하였다. 이 용액을 진공으로 유지된 회전증발기(R-210, BÜCHI)를 이용하여 60rpm으로 회전시키며 353K로 가열하면서 3시간 동안 용매를 제거하였다. 다음 상압 건조기에서 373K로 유지하여 12시간 건조하였으며, 건조체는 전기로를 사용하여 973K에서 10시간 동안 수소 기체(5vol.%, Ar balance)를 공급하여 환원하였다. 이원금속 촉매와 비교를 위해 제조하는 단일금속 촉매는 각각의 전구체를 300g의 증류수에 용해한 다음 SiO_2를 혼합하여 이후 이원금속 촉매와 동일

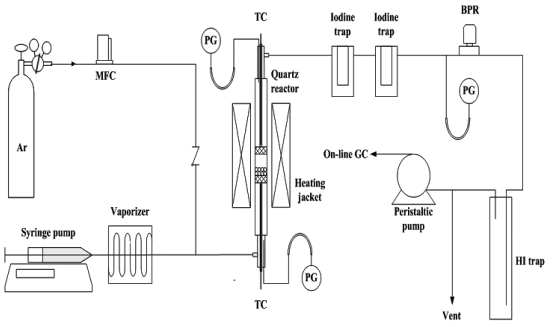

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus used in HI decomposition

한 과정으로 제조하였다. 환원된 이원금속 촉매 및 단일금속 촉매를 체분급하여 300-425μm 크기로 얻었다.

제조된 촉매의 명명은 단일금속 촉매의 경우 $M_1(a)/SiO_2$, 이원금속 촉매는 $M_1(a)$-$M_2(b)/SiO_2$라 표기하였다. 여기서 M_1과 M_2는 촉매의 활성 금속을 의미하며, a와 b는 활성 금속의 담지량을 나타낸다. 본 연구에서 제조된 촉매의 활성 금속 담지량 단위는 wt.%를 사용하였다.

2.2 HI 분해 실험

HI 분해 반응을 위한 실험 장치를 도식화하여 Fig. 1에 나타내었다. 내경 9mm, 높이 350mm인 석영 재질의 고정층 반응기를 사용하였으며, 반응기 중심에 높이 5mm의 촉매를 충진하고 석영 솜을 이용하여 고정하였다.

실린지 펌프(PHD 4400, HARVARD)를 이용하여 HI 용액(Hydriodic acid, 56wt.%, KANTO)을 473K로 유지된 증발기에 0.1ml·min^{-1}의 유속으로 공급하여 기화시켰다. 기화된 HI 기체와 수증기는 운반 기체인 20.0ml·min^{-1}유속의 Ar과 함께 HI 분해 반응기로 공급되었다. 273K로 유지된 I_2 제거 장치 및 HI 제거 장치인 1M의 KI 용액을 사용하여 Ar과 분해 반응에 의해 생성된 수소를 제외한 모든 물질을 제거하였다.

열전도도 검출기(Thermal Conductivity Detector, TCD)가 장착된 Gas chromatography 분석기(DS6200, Donam)를 이용하여 Ar과 수소를 분석하였다. 분석에 사용된 분리 컬럼은 분자체 5A이며, 오븐 온도는 313K로 설정하였다.

2.3 촉매 특성 분석

제조된 SiO_2 및 HI 분해 반응 전과 후 촉매에 대해 비표면적, 세공 크기를 측정하기 위해 질소 흡 탈착법을 이용한 BET 비표면적 분석(BELSORP-mini, BEL JAPAN. INC.)을 수행하였다. 분석 전 시료에 대해 전처리 장비를 사용하여 진공 하에 393K에서 3시간 동안 수분을 제거하는 전처리를 실시하였다.

또한 SiO_2의 결정과 HI 분해 반응에 의한 촉매의 결정 구조 변화를 확인하고자 X-선 회절 분석(DMAX-2500, Rigaku)을 실시하였다. X-선 회절 분석 조건으로 표적은 CuKa, 전압 및 전류는 각각 40kV와 100mA로 하였다. X-선 회절 각 범위는 2θ =10-80°, 주사 속도는 2°·min^{-1}로 설정하였다.

그리고 HI 분해 반응 후 Ni을 담지한 촉매의 온도에 따른 특성을 알아보기 위해 열 중량 분석(TGA 92, SETARAM)을 수행하였다. TG 분석 장비에 촉매를 장착한 후 운반 기체인 50ml·min^{-1}의 Ar 흐름 하에 승온 속도 5K·min^{-1}으로 973K까지 승온하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 HI 전환율 결정

본 연구에서는 각 촉매의 활성을 비교하기 위해 HI 전환율을 이용하였으며, HI 전환율은 소모된 HI의 양을 실제로 측정할 수 없으므로 생성된 수소의 양을 통하여 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{HI 전환율}(\%) = \frac{2\times \text{생성된 수소의 몰유량}}{\text{공급된 HI의 몰유량}} \times 100 \quad (4)$$

또한 Ar 추적자법(Ar tracer method)을 이용하여

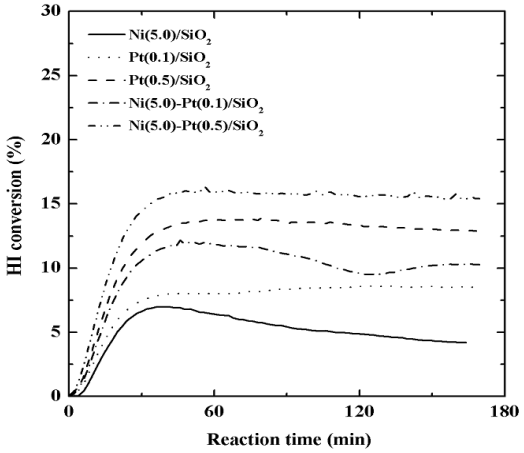

Fig. 2 HI conversion of catalysts with the space velocity of $2.49\times10^4 h^{-1}$ and 723K

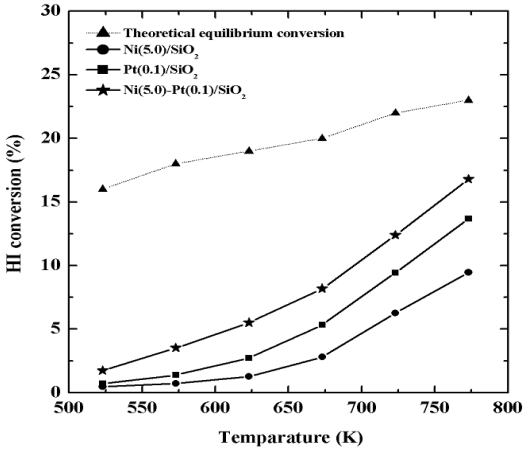

Fig. 3 HI conversion against various reaction temperatures of catalysts with the space velocity of $2.49\times10^4 h^{-1}$

생성된 수소의 몰유량을 결정하였다.

$$\text{생성된 수소의 몰유량}(\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}) = \frac{\text{공급된 Ar의 유량}\times\text{생성된 수소의 농도}}{\text{배출된 Ar의 농도}} \quad (5)$$

HI 분해 반응은 723K 및 1bar에서의 공간 속도로 고정하여 수행하였으며, 촉매를 이용하는 고정층 반응기에서 공간 속도를 다음과 같이 정의하였다.

$$\text{공간속도}(h^{-1}) = \frac{\text{촉매층에 공급되는 모든 기체의 유량}}{\text{촉매층의 부피}} \quad (6)$$

촉매를 이용한 HI 분해 반응에 앞서 촉매없이 반응 온도 723K에서 열 분해에 의한 HI 전환율을 확인하기 위해 HI 분해 반응을 수행한 결과 약 0.72%의 HI 전환율을 보였다.

3.2 HI 분해 특성

예비 실험을 통하여 촉매의 활성을 비교하기에 적당한 공간 속도 $2.49\times10^4 h^{-1}$로 고정하였으며, 723K에서 니켈-백금 이원금속 촉매와 이들의 각각 단일금속 촉매를 이용하여 HI 분해 반응을 수행한 후 촉매 활성을 비교하였다. Fig. 2에서 나타낸 바와 같이 Ni(5.0)/SiO_2 촉매는 최고 7.0%의 HI 전환율을 보였으며, 이후 급격히 촉매 활성이 감소하는 것을 관찰하였다. 이는 Favuzza 등[10]의 연구에서 니켈 촉매를 사용한 HI 분해 반응 결과와 일치함을 확인하였다. Pt(0.1)/SiO_2 촉매 및 Pt(0.5)/SiO_2 촉매는 미량의 Pt 담지량으로 Ni(5.0)/SiO_2 촉매에 비해 높은 HI 전환율을 보였다. 또한 Ni(5.0)-Pt(0.1)/SiO_2 이원금속 촉매의 경우 HI 전환율이 최고 12%까지 증가하였으며, Ni(5.0)-Pt(0.5)/SiO_2 이원금속 촉매를 이용한 경우 최고 16%의 HI 전환율을 확인하였다. Ni-Pt 이원금속 촉매는 Ni(5.0)/SiO_2 촉매와 비교하여 향상된 촉매 활성을 보였으며, 급격한 비활성화는 관찰되지 않았다.

Fig. 3은 공간 속도 $2.49\times10^4 h^{-1}$에서 Ni(5.0)-Pt(0.1)/SiO_2 촉매에 대한 반응 온도 변화에 따른 촉매 활성을 관찰한 결과를 나타내었다. 또한 Ni-Pt 이원금속 촉매의 활성을 단일금속 촉매와 비교하기 위해 Ni(5.0)/SiO_2 촉매 및 Pt(0.1)/SiO_2 촉매를 이용하여 동일한 조건에서 HI 분해 반응을 실시하였다. 이 때 Ni(5.0)/SiO_2 촉매의 경우 Fig. 2에서 보인 바와 같이 HI 분해 반응 후 촉매 활성이 급격히 감소함으로 촉매 활성의 비교를 위해 수소가 생성되는 반응 시작점으로부터 두 시간 후의 HI 전환율을 선택하였다.

Ni-Pt 이원금속 촉매 및 각 단일금속 촉매는 모두 낮은 온도 영역에서 이론적 평형 전환율과 크게 차이를 보였으며, 반응 온도 증가에 따라 HI 전환율이 증가하는 경향을 보였다. Ni(5.0)/SiO_2 촉매와 Pt(0.1)/SiO_2 촉매는 573K의 저온에서 유사한 HI 전환율이 관찰되었으며, 반응 온도가 증가함에 따라 두 단일금속 촉매는 HI 전환율의 차이가 커짐을 확인하였다. 또한 Ni (5.0)-Pt(0.1)/SiO_2 촉매는 623K 이하의 저온에서 각 단일금속 촉매의 HI 전환율을 합한 것보다 높은 HI 전환율을 얻었으며, 반응 온도 증가에 따라 Pt(0.1) /SiO_2 촉매와 유사하게 HI 전환율이 증가하는 경향을 보였다.

3.3 촉매 특성 분석

촉매 활성이 향상된 Ni-Pt 이원금속 촉매의 물리·화학적 특성을 확인하고자 촉매 특성 분석을 수행하였으며, 이와 비교를 위해 Ni 및 Pt 단일금속 촉매에 대해서도 실시하였다.

반응 온도 723K 및 공간 속도 $2.49\times10^4 h^{-1}$에서 수행한 HI 분해 반응 전과 후 촉매에 대한 비표면적의 변화를 확인하기 위해 BET 법에 의한 질소 흡 탈착 분석을 실시하였다. Table 1에서 나타낸 바와 같이 지지체 SiO_2는 BET 비표면적이 약 $416 m^2\cdot g^{-1}$이며, 지지체에 활성 금속을 담지하여 제조된 촉매는 BET 비표면적이 SiO_2와 비교하여 약 $100 m^2\cdot g^{-1}$ 감소하였고 모든 촉매는 큰 차이를 보이지 않았다. HI 분해 반응 전과 후 BET 비표면적과 평균 세공 크기를 비교하였을 때 Pt(0.1)/SiO_2 촉매 및 Pt(0.5)/SiO_2 촉매는 거의 변화가 없었다. Ni(5.0)/SiO_2 촉매와 Ni-Pt 이원금속 촉매의 경우 평균 세공 크기는 큰 변화가 없었으나 BET 비표면적이 Ni(5.0)-Pt(0.5)/SiO_2 촉매가 15% 감소되었으며, Ni(5.0)-Pt(0.1)/SiO_2 촉매는 20%, Ni(5.0)/SiO_2 촉매는 22% 감소되어 Ni 단일금속 촉매가 가장 크게 변화하였다.

HI 분해 반응 전과 후 촉매의 결정 구조의 변화를 관찰하기 위해 X-선 회절 분석을 수행하였으며, 그 결과를 Table 1에서 살펴보면 촉매는 모두 폭넓은 무결정의 SiO_2가 확인되었다. Pt 단일금속 촉매의 경우 HI 분해 반응 전과 후 결정의 큰 변화가 없었다. 하지만 Ni(5.0)/SiO_2 촉매의 경우 HI 분해 반응 전 관찰된 Ni 결정이 반응 후 NiI_2 형태로 전환되었으며, Ni-Pt 이원금속 촉매들 역시 이와 동일하게 Ni 결정이 NiI_2 형태로 존재함을 확인하였다. 이는 HI 분해 반응 후 Ni이 담지된 촉매에서 보이는 BET 비표면적의 감소 원인이라 판단된다. 여기서 BET 비표면적 분석과 X-선 회절 분석 결과는 HI 분해 반응 결과와 일치함을 보였는데, 급격한 Ni(5.0)/SiO_2 촉매의 활성 저하는 HI 분해 반응 후 생성된 NiI_2로 인해 촉매 활성점이 감소함에 따라 나타난 결과라 사료된다. 이는 Favuzza 등[10]의 연구에서 니켈 촉매를 사용한 HI 분해 반응 결과와 일치한다.

HI 분해 반응 후 Ni이 담지된 촉매의 X-선 회절 분석 결과에서 관찰된 NiI_2의 온도에 따른 특성을 알

Table 1 Physical properties and XRD analysis results of catalysts before and after HI decomposition reaction with the space velocity of $2.49\times10^4 h^{-1}$ and 723K

Catalyst	BET surface area ($m^2\cdot g^{-1}$)		Mean pore dia. (nm)		Crystalline phase of XRD analysis result	
	Before reaction	After reaction	Before reaction	After reaction	Before reaction	After reaction
SiO_2	416	-	5.36	-	SiO_2(+++)	-
Ni(5.0)/SiO_2	301	234	5.85	5.93	SiO_2(+++), Ni(++)	SiO_2(+++), NiI_2(++)
Pt(0.1)/SiO_2	327	334	5.72	5.88	SiO_2(+++)	SiO_2(+++)
Pt(0.5)/SiO_2	315	318	5.79	5.76	SiO_2(+++), Pt(+)	SiO_2(+++), Pt(+)
Ni(5.0)-Pt(0.1)/SiO_2	305	244	6.04	6.05	SiO_2(+++), Ni(++)	SiO_2(+++), NiI_2(++)
Ni(5.0)-Pt(0.5)/SiO_2	314	267	5.17	5.08	SiO_2(+++), Ni(++)	SiO_2(+++), NiI_2(++)

(+) weak, (++) medium, (+++) strong intensity

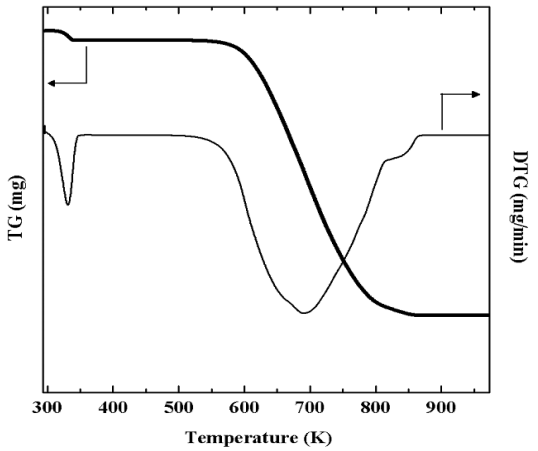

Fig. 4 TG analysis result of NiI_2

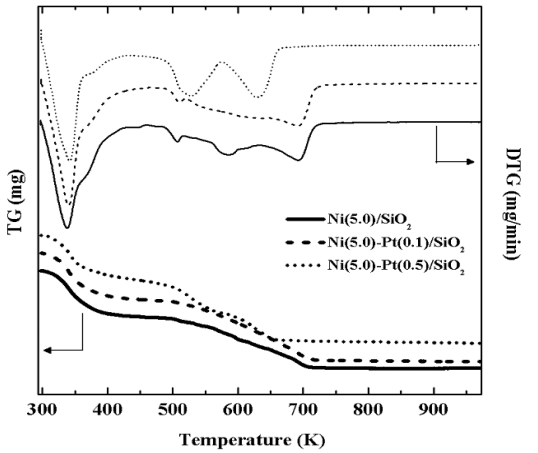

Fig. 5 TG analysis result of Ni catalyst and Ni-Pt bimetallic catalyst after HI decomposition

아보고자 열 중량 분석을 실시하였으며, 촉매와 비교하기 위해 시중에 판매되는 시약급 NiI_2를 이용하여 동일한 방법으로 특성을 관찰하였다. Fig. 4에 나타낸 바와 같이 NiI_2의 시차 열중량(DTG) 분석 결과 300K에서 350K 사이의 온도에서 중량이 감소되었으며, 약 700K에서 큰 중량 감소가 보였다. 이로 인해 중량 감소를 보이는 300K에서 350K 사이와 약 700K의 온도에서 NiI_2가 열 분해됨을 확인하였다.

Fig. 5에서 보이는 바와 같이 HI 분해 반응 후 Ni (5.0)/SiO_2 촉매의 열 중량 분석 결과 NiI_2와 동일한 온도인 300K에서 350K 사이에 가장 큰 중량 감소가 관찰되었다. 또한 350K 이상에서는 온도가 증가함에 따라 지속적으로 중량이 감소되었으며, 약 700K에서도 NiI_2와 동일하게 중량 감소가 확인되었다. 따라서 Ni(5.0)/SiO_2 촉매는 HI 분해 반응 후 생성된 I_2가 NiI_2로 전환되어 위의 특성을 보임을 확인하였다. Ni(5.0)-Pt(0.1)/SiO_2 촉매의 열 중량 분석 결과 위의 온도에서 중량 감소를 보였으나 Ni(5.0)/SiO_2 촉매의 600K에서의 열 중량 변곡점은 관찰되지 않았다. Ni(5.0)-Pt(0.5)/SiO_2 촉매는 300K에서 350K 사이의 온도에서 가장 큰 중량 감소 변화를 보였으나 Ni(5.0)/SiO_2 촉매 및 Ni(5.0)-Pt(0.1)/SiO_2 촉매와 달리 약 700K에서의 열 중량 변곡점이 사라짐을 확인하였다. 이는 Ni-Pt 이원금속 촉매에 첨가된 Pt가 NiI_2의 분해를 촉진시키는 것으로 판단된다.

HI 분해 반응 후 Ni을 담지한 촉매에 대해 열 중량 분석을 실시한 결과 723K에서 NiI_2의 대부분이 분해되는 것을 관찰하였다. 이는 NiI_2가 분해되어 생성된 I_2가 운반 기체 Ar에 의해 열 중량 분석기 배출구로 사라짐으로써 나타난 결과이며, 실제 HI 분해 반응에서는 지속적으로 HI가 공급되면서 NiI_2는 계속 생성된다. 따라서 HI 분해 반응에서의 NiI_2는 열분해되어 완전히 I_2가 제거되는 것이 아니라 점차적으로 표면에 흡착되어 존재할 것이라 판단된다. 그러나 Ni-Pt 이원금속 촉매의 경우 미량의 백금으로 인해 Ni 단일금속 촉매와 달리 NiI_2의 분해를 촉진시킴으로써 HI 분해 반응 시 촉매 활성의 증가에 영향을 미친 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구는 S-I 공정 중 HI 분해 반응을 위해 낮은 Pt 함량의 촉매를 개발하고자 수행하였다. 이를 위해 Ni-Pt 이원금속 촉매를 이용하여 HI 분해 반응을 실시하고 그 특성을 살펴보았다. 또한 HI 분해 반응 전과 후 촉매 특성 분석을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Ni에 미량의 Pt가 첨가된 Ni-Pt 이원금속 촉매를 이용하여 HI 분해 반응 특성을 확인한 결과 각 단일금속 촉매와 비교하여 향상된 촉매 활성을 보였으며, Ni 단일금속 촉매의 급격한 활성 저하는 나타나지 않았다.
2) Ni-Pt 이원금속 촉매는 623K 이하의 저온에서 개별 단일금속 촉매의 HI 전환율을 합한 것보다 높은 촉매 활성을 확인하였으며, 반응 온도 증가에 따라 Pt 단일금속 촉매와 유사하게 HI 전환율이 증가하는 경향을 보였다.
3) HI 분해 반응 후 Ni(5.0)-Pt(0.5)/SiO_2 촉매에 대하여 열 중량 분석을 실시한 결과 다른 Ni 담지 촉매와 달리 700K 이하에서 NiI_2가 열 분해됨을 확인하였다. 이는 이원금속 촉매에 첨가된 백금이 NiI_2의 분해를 촉진시킴으로써 HI 분해 반응 시 촉매 활성의 향상에 영향을 미친 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 “원자력수소 핵심기술개발사업”의 일환으로 추진된 것이며 과학기술부의 재정지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. J. E. Funk, “Thermochemical production of hydrogen via multistage water splitting process”, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 1, 1976, pp. 33-43.
2. I. Iida, “The kinetic behaviour of the decomposition of hydrogen iodide on the surface of platinum”, Z. Phys. Chem. Neue Folge, 109, 1978, pp. 221- 232.
3. Y. Oosawa, Y. Takemori, and K. Fujii, “Catalytic decomposition of hydrogen iodide in the magnesium-iodine thermochemical cycle”, The Chemical Society of Japan, 7, 1980, pp. 742.
4. Y. Oosawa, T. Kumagai, S. Mizuta, W. Kondo, Y. Takemori and K. Fujin, “Kinetics of the catalytic decomposition of hydrogen iodide in the magnesium-iodine thermochemical cycle”, Bull. Chem. Soc. Jpn., Vol. 54, 1981, pp. 742-748.
5. Y. Shindo, N. Ito, K. Haraya, T. Hakuta and H. Yoshitome, “Kinetics of the catalytic decomposition of hydrogen iodide in the thermochemical hydrogen production”, Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 9, No. 8, 1984, pp. 695-700.
6. 김정민, 김영호, 강경수, 김창희, 박주식, 배기광, “SI 공정에서 HI 분해를 위한 백금 담지 활성탄 촉매의 특성”, 한국 수소 및 신에너지학회 논문집, Vol. 19, No. 3, 2008, pp. 199-208.
7. J. M. Kim, J. E. Park, Y. H. Kim, K. S. Kang, C. H. Kim, C. S. Park, K. K. Bae, “Decomposition of hydrogen iodide on Pt/C-based catalysts for hydrogen production”, Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 33, 2008, pp. 4974-4980.
8. J. M. Kim, “Charateristics of HI decomposition using Pt supported catalysts and catalytic membrane reactor in sulfur-iodine process, Chungnam National University, Korea, Master's Thesis, 2008.
9. Y. Zhang, J. Zhou, Y. Chen, Z. Wang, J. Liu, and K. Cen, “Hydrogen iodide decomposition over nickel-ceria catalysts for hydrogen production in the sulfur-iodine cycle”, Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 33, 2008, pp. 5477-5483.
10. P. Favuzza, C. Felici, M. Lanchi, R. Liberatore, C. V. Mazzocchia, A. Spadoni, P. Tarquini, and A. C. Tito, “Decomposition of hydrogen iodide in the S-I thermochemical cycle over Ni catalyst systems, Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 34, 2009, pp. 4049-4056.
11. J. E. Yie, “Structure and reactivity of bimetallic catalyst”, J. of Korean Ind. & Eng. Chemistry, Vol. 3, No. 1, 1992, pp. 24-34.
12. D. W. Lee, S. J. Park, S. K. Ihm, and K. H. Lee, “Synthesis of Pt-containing mesoporous silica using Pt precursor as a pore-forming agent”, Journal of Non-Crystalline Solids, Vol. 353, 2007, pp. 1501- 1507.