

황-요오드 수소 제조 공정의 분젠 반응 부분에서 O₂의 역할

홍동우*, 김효섭*, 김영호*[†], 박주식**, 배기광**

*충남대학교 공과대학 정밀응용화학과, **한국에너지기술연구원

The Role of Oxygen in Bunsen Reaction Section of Sulfur-Iodine Hydrogen Production Process

DONGWOO HONG*, HYOSUB KIM*, YOUNGHO KIM*[†], CHUSIK PARK**, KIKWANG BAE**

*Department of Fine Chemical Engineering and Applied Chemistry, Chungnam National University, 220 Gung-dong Yuseong-gu Daejeon 305-764, Korea

**Hydrogen Energy Research Group, Korea Institute of Energy Research, 71-2 Jang-dong Yuseong-gu Daejeon 305-343, Korea

ABSTRACT

The Sulfur-Iodine (SI) thermochemical hydrogen production process of a closed cycle consists of three sections, which are so called the Bunsen reaction section, the H₂SO₄ decomposition section and the HI decomposition section. To identify the role of oxygen that can be supplied to the Bunsen reaction section via the H₂SO₄ decomposition section, Bunsen reactions with a SO₂, SO₂-O₂ mixture and SO₂-N₂ mixture as feed gases were carried out using a stirred reactor in the presence of I₂/H₂O mixture. As the results, the amounts of I₂ unreacted under the feed of mixture gases were higher than those under the feed of SO₂ gas only, and the amount of HI produced was relatively decreased. The results of Bunsen reaction using SO₂-O₂ mixture were similar to those using SO₂-N₂ mixture. It may be concluded that an oxygen in SO₂-O₂ mixture has a role as a carrier gas like a nitrogen in SO₂-N₂ mixture. The effects of oxygen were decreased with increasing temperature and decreasing oxygen content in SO₂-O₂ mixture.

KEY WORDS : Sulfur-Iodine cycle(SI 사이클), Hydrogen production(수소 제조), Bunsen reaction(분젠 반응), H₂SO₄ decomposition(황산 분해), Oxygen(산소), Mixture gas(혼합가스)

1. 서 론

세계 에너지 수요는 산업화가 진행됨에 따라 계속 증가하고 있으며, 이로 인해 화석연료의 고갈도 빠른 속도로 진행되고 있다. 화석연료의 고갈에 따른 대체

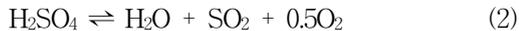
에너지의 연구 개발에 대한 중요성이 높아지고 있는 가운데 수소에너지가 전망 있는 대체에너지로서 주목 받고 있다. 수소는 일반연료 및 연료전지와 같은 현재의 에너지시스템에서 거의 모든 분야로의 응용이 가능하며, 특히, 연소 시 생성물이 단지 물이라는 관점에서 대기오염 및 지구 온난화 문제를 초래하지 않는다는 장점이 있는 연료이다¹⁾. 한편, 수소 제조 기

[†]Corresponding author : yh_kim@cnu.ac.kr

[접수일 : 2010.7.27 수정일 : 2010.8.5 게재확정일 : 2010.8.20]

술 중 하나인 태양열 및 원자력에너지를 이용한 열화학 물 분해 수소 제조 기술은 폐사이클 화학 반응의 조합에 의해 물을 직접 열분해 하는데 필요한 열보다 저온의 열로 물을 분해시킬 수 있다는 장점이 있다.²⁾

SI(sulfur-iodine) 열화학 수소 제조 공정은 물 분해 수소 제조 공정의 하나로써 현재 bench 규모의 수준에서 연속적인 폐 사이클 운전이 실증되었으며^{3,4)}, 원자력 발전의 초고온 가스로서(VHTR; very high temperature reactor)와 연계하여 운전했을 때, 이론적으로 약 50% 이상의 효율이 가능한 것으로 보고된 바 있다⁵⁻⁷⁾. 따라서 실현 가능성이 큰 공정으로 선진국들을 중심으로 많은 연구가 진행되고 있다. SI 공정은 다음과 같은 세 단계의 반응으로부터 물의 직접 열분해보다 낮은 온도에서 수소 제조가 가능하다.



식 (1)은 분젠(bunsen) 반응으로 H₂O가 SO₂ 및 I₂와 반응하여 H₂SO₄와 HI를 생성한다. 분젠 반응을 위하여 과량의 I₂를 넣으면, 고밀도의 HI_x 착화합물이 형성되어 H₂SO₄ 상(상부 상)과 HI_x 상(하부 상)으로 상 분리가 발생된다. 분리된 각 상은 식 (2)의 H₂SO₄ 분해 반응과 식 (3)의 HI 분해 반응으로 공급되어 분해된다. 이때, 수소 및 산소를 제외한 나머지 물질들은 다시 분젠 반응으로 재순환된다. 따라서 분젠 반응 단계에서 생성된 H₂SO₄ 상과 HI_x 상의 조성을 일정하게 유지하는 기술은 SI 공정의 연속적인 운전을 위해서 매우 중요하다.

한편, 실제 SI 공정에서는 H₂SO₄ 분해 단계의 생성물인 O₂가 완전히 분리되지 못하고 일부가 SO₂와 함께 분젠반응 단계로 유입될 가능성이 있는 것으로 알려져 있다⁸⁾. 따라서 연속 운전을 위해서는 H₂SO₄ 분해 단계에서 분젠 반응 단계로 재순환되는 SO₂ 내 O₂가 혼합되어 있을 때, 반응에 미치는 O₂의 역할을 규명할 필요성이 요구되었다.

본 저자들은 지난 연구에서 분젠반응의 반응물로

써 SO₂, H₂O 및 I₂를 이용하여 분젠반응을 수행하였다. 그리고 그 결과로서 운전 가능 범위(상 분리 시작점 < 운전 가능 범위 ≤ I₂ 포화점), 불순물과 관련된 최적의 운전조건, 반응 온도와 I₂양에 따른 부반응 제어 방법에 관하여 보고한 바 있으나⁹⁻¹¹⁾, 아직까지 분젠 반응에서 O₂의 역할을 체계적으로 관찰한 바는 없다.

따라서 본 연구에서는 반응기내 존재하는 H₂O 및 I₂ 혼합물로 SO₂와 O₂의 혼합 가스를 공급하며 분젠 반응을 수행하고 반응에 미치는 O₂의 역할을 규명하고자 하였다. 이를 위하여 먼저 반응 온도를 변화시키며 각 반응 온도(298~333K)의 I₂ 포화조성 (I₂/H₂O = 0.234~0.297/1.000) 조건 부근에서 공급하는 기체의 종류를 SO₂ 단독, SO₂-O₂ 혼합물 그리고 SO₂-N₂ 혼합물로 변화시키며 분젠 반응을 수행하고 그 결과를 상호 비교하였다. 더 나아가 SO₂-O₂ 혼합물 기체를 사용한 반응에서 초기 I₂/H₂O 몰 비 (I₂/H₂O = 0.188~0.234/1.000) 변화에 미치는 O₂의 영향을 고찰했다. 마지막으로 333K 및 초기 I₂/H₂O의 0.297/1.000 몰 비 조건에서 SO₂-O₂ 혼합물 기체의 O₂/SO₂ 몰 비(O₂/SO₂ = 0.2~0.5/1.0)를 변화시키며, SO₂ 내 O₂의 함유량에 따른 영향을 고찰하였다.

2. 실험

Fig. 1은 분젠반응을 위한 실험장치의 개략도이다. 350mL 부피의 반응기는 관찰이 용이하도록 유리로 구성되어 있으며 유리 이외의 부분은 부식을 방지하기 위하여 테프론으로 코팅했다. 또한 기계적 교반 방식을 사용하여 I₂가 빠르게 용해될 수 있게 하였고, 항온조로부터 일정한 온도로 조절된 물이 반응기 외부를 순환하게 하여 반응기의 온도를 일정하게 유지했다.

반응을 위해 H₂O(초순수) 50g에 대하여 I₂/H₂O = 0.188~0.297/1.000 몰 비로 계산된 분말 I₂(99 wt%, Junsei)를 첨가한 후 250rpm으로 교반하며 가열하였다. 반응기 내부의 온도가 원하는 온도(298~333K)에 도달했을 때, 반응물 기체인 SO₂, SO₂-O₂ 혼합물 혹은 SO₂-N₂ 혼합물을 원하는 몰 조성으로 혼합하

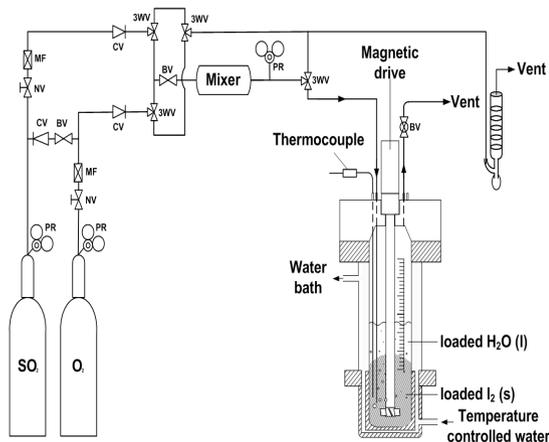


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus for the Bunsen reaction.

여 110mL/min의 유속으로 공급하였으며, 분젠 반응이 충분히 평형에 도달할 수 있도록 340분 동안 반응을 진행하였다. 반응이 종료된 후 2 액상으로 분리된 생성물을 각 상으로 분리한 다음, 무게를 측정된 후 조성 분석을 수행했다. 이때 전체 생성물 계의 양과 조성은 각 상의 양과 조성의 합으로 나타났다.

각 상에 존재하는 생성물들의 분석을 위하여 HI와 I₂의 조성은 각각 AgNO₃ 용액과 Na₂S₂O₃ 용액을 이용한 적정 방법에 의해 I 및 I₂의 조성을 결정하였으며, H₂SO₄의 조성은 NaOH 용액을 사용한 적정에 의해 총 H⁺를 결정한 후 I₂의 조성 값을 제외하는 방법에 의해 결정하였다. 마지막으로 H₂O의 조성은 전체 시료의 무게에 대한 물질 수지를 이용하여 결정하였다. 정확한 적정을 위해 자동전위차 적정기 (automatic potentiometric titrator, KEM AT-510)와 각각의 적정을 위하여 적절한 전극들(acid-base titration electrode: KEM C-171, redox titration electrode: KEM C-272 및 precipitation titration electrode: KEM C-373)이 사용되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 O₂가 분젠 반응에 미치는 영향

분젠 반응에 미치는 O₂의 영향을 규명하기 위하여

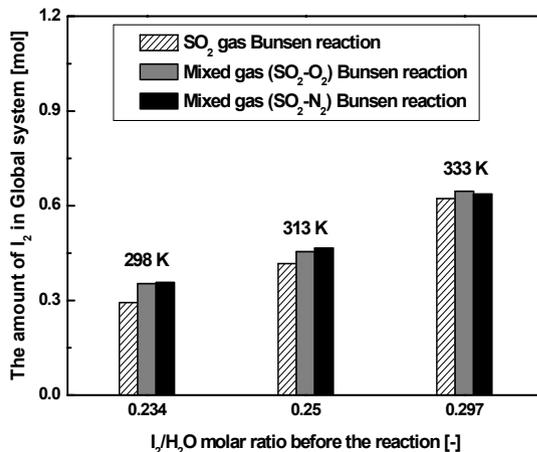


Fig. 2 Effects of reactant gases (SO₂, SO₂-O₂ and SO₂-N₂) on the amount of I₂ unreacted in global system after reaction; gas flow rate 110 mL/min, O₂/SO₂ = 0.5/1.0 molar ratio, N₂/SO₂ = 0.5/1.0 molar ratio, reaction time 340 min.

먼저 반응 온도를 변화시키며 각 반응 온도(298~333K)의 I₂ 포화조성(I₂/H₂O = 0.234~0.297/1.000) 조건 부근에서 공급하는 기체의 종류를 SO₂ 단독, SO₂-O₂ 혼합물(O₂/SO₂ 몰 비 = 0.5/1.0) 그리고 SO₂-N₂ 혼합물(N₂/SO₂ 몰 비 = 0.5/1.0)로 변화시키며 분젠 반응을 수행했다.

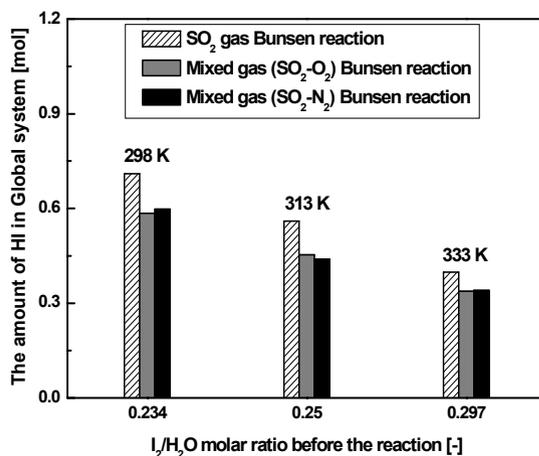


Fig. 3 Effects of reactants (SO₂, SO₂-O₂, SO₂-N₂) on the amount of HI produced in global system after reaction; gas flow rate 110 mL/min, O₂/SO₂ = 0.5/1.0 molar ratio, N₂/SO₂ = 0.5/1.0 molar ratio, reaction time 340 min

Table 1 Effects of reactant gases (SO₂, SO₂-O₂ and SO₂-N₂) on composition in each phase after reaction

Temperature	Feeding gas	H ₂ SO ₄ phase (mol%)				HIx phase (mol%)			
		H ₂ SO ₄	HI	H ₂ O	I ₂	H ₂ SO ₄	HI	H ₂ O	I ₂
298K ^a	SO ₂ only	15.97	1.07	82.95	0.00	7.84	26.27	54.88	11.01
	SO ₂ -O ₂ mixture	15.57	1.19	83.25	0.00	5.76	22.35	58.12	13.77
	SO ₂ -N ₂ mixture	15.57	1.22	83.21	0.00	5.38	23.08	57.51	14.03
313K ^b	SO ₂ only	15.71	0.90	83.38	0.00	4.69	22.45	55.87	16.99
	SO ₂ -O ₂ mixture	15.37	1.18	83.45	0.00	3.01	16.62	63.31	17.05
	SO ₂ -N ₂ mixture	15.27	1.12	83.62	0.00	2.97	16.68	62.21	18.13
333K ^c	SO ₂ only	15.57	0.73	83.70	0.00	1.05	15.29	59.30	24.37
	SO ₂ -O ₂ mixture	15.50	0.88	83.61	0.00	0.77	12.88	61.08	25.28
	SO ₂ -N ₂ mixture	15.31	0.85	83.83	0.00	1.05	12.26	63.23	23.47

^a298K: I₂/H₂O initial molar ratio 3.75/16.00, gas flow rate 110 mL/min, reaction time 340 min,

^b313K: I₂/H₂O initial molar ratio 4.00/16.00, gas flow rate 110 mL/min, reaction time 340 min,

^c333K: I₂/H₂O initial molar ratio 4.75/16.00, gas flow rate 110 mL/min, reaction time 340 min.

Fig. 2와 Fig. 3은 각 조건에서 분젠 반응 후 전체 생성물 계에 존재하는 미반응 I₂의 양과 생성물 HI의 양을 각각 비교하기 위하여 나타낸 것이다. 먼저 298K에서의 결과로 부터 SO₂-O₂ 및 SO₂-N₂ 혼합물 기체를 사용한 경우 SO₂ 기체만 공급한 경우보다 전체 계에 존재하는 미반응 I₂의 양은 상대적으로 높았으며 생성물 HI의 양은 이에 대응하여 낮은 것으로 나타났다. SO₂-O₂ 혼합물을 사용한 경우와 SO₂-N₂ 혼합물을 사용한 경우를 비교했을 때, 미반응 I₂의 양과 HI 생성량이 거의 유사한 값을 나타내고 있으며, Table 1에 나타낸 바와 같이 상 분리 후 얻은 각 상의 조성들도 매우 유사한 값을 보이고 있다.

한편, 반응 온도가 증가할수록 공급 기체의 종류에 관계없이 전체적으로 생성물 HI의 양은 감소했다. 또한 SO₂만 사용했을 때와 혼합 기체를 사용했을 때를 비교한 결과, 전체 반응계 내 존재하는 I₂ 및 HI 양의 차이가 온도 증가에 따라 점차적으로 감소하는 것으로 나타났다. 우리는 이전의 연구¹⁰⁾에서 온도 증가가 H₂O에 대한 SO₂의 용해도를 감소시키고 이로 인해 SO₂의 평형 전환율을 상대적으로 감소시킨다는 것을 보고한 바 있다. 이와같이 온도 증가에 따른 SO₂ 평형 전환율의 감소가 혼합물 기체 내 존재하는 O₂나 N₂의 영향을 상대적으로 감소시킨 것으로 사료된다.

결과적으로 분젠 반응시 공급 기체로서 SO₂에 함유된 O₂는 분젠 반응에 영향을 미치지 않으며, 단지 N₂와 같이 운반 기체로서의 역할만 하는 것으로 나타났다. 또한 2 액상 분리를 위한 I₂의 포화 조성에서 반응 온도의 증가는 반응의 평형 전환율에 미치는 O₂나 N₂ 운반 기체의 영향을 감소시킬 수 있다는 것을 의미한다.

3.2 초기 I₂/H₂O 몰 비에 따른 O₂의 영향

SO₂-O₂ 혼합물 기체를 사용한 분젠 반응에서 초기 I₂/H₂O 몰 비가 분젠 반응의 상 분리 특성에 미치는 영향을 관찰하고자 하였다. 이를 위하여 SO₂-O₂ 혼합물 기체의 공급과 함께 298K에서 초기 I₂/H₂O의 몰 비를 0.188~0.234/1.000 사이에서 변화시키며 반응을 수행하고, 동일한 조건에서 SO₂만 공급한 분젠 반응 결과와 비교했다. Fig. 4에 의하면, 먼저 공급기체의 종류에 관계없이 초기 I₂/H₂O의 몰 비가 증가할수록 반응 후 남아있는 I₂의 양은 증가하였으며 H₂O의 양은 매우 작은 감소를 나타냈다. 이것은 동일한 온도 및 동일한 H₂O의 양에서 I₂/H₂O의 몰 비 증가가 분젠 반응에 참여하는 I₂ 및 H₂O의 양을 매우 약간 증가시킨다는 것을 의미한다.

한편, 각각 초기 I₂/H₂O의 몰 비가 0.188, 0.219 및 0.234 일 때 SO₂-O₂ 혼합물 기체를 공급한 경우 반

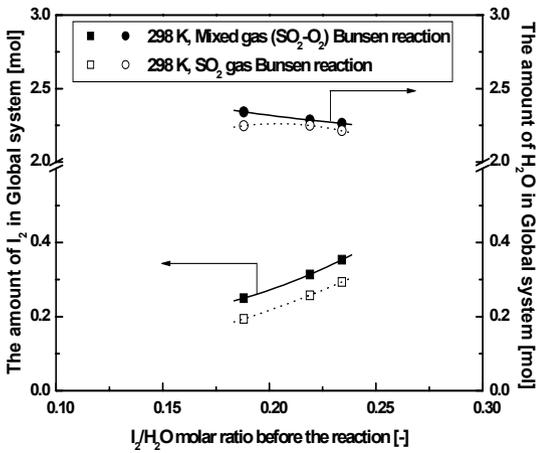


Fig. 4 Effects of I_2/H_2O initial molar ratio and reactant gases (SO_2 , SO_2-O_2) on the amount of I_2 and H_2O unreacted in global system after reaction; gas flow rate 110 mL/min, $O_2/SO_2 = 0.5/1.0$ molar ratio, reaction time 340 min.

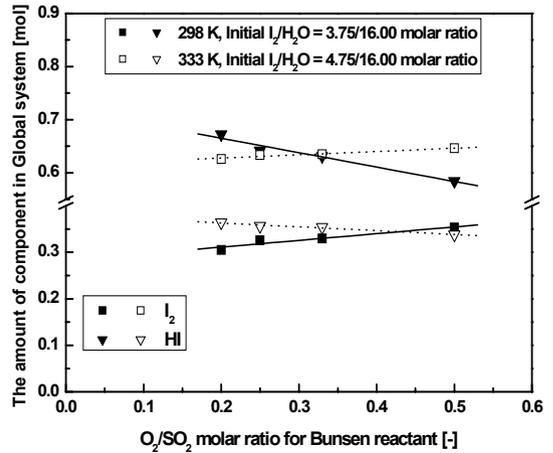


Fig. 6 Effects of O_2/SO_2 molar ratio for Bunsen reaction on the amount of I_2 unreacted and HI produced in global system after reaction; gas flow rate 110 mL/min, reaction time 340 min.

응 후 남아있는 I_2 의 양은 각각 0.250, 0.314 및 0.353 mol로서 SO_2 기체만 공급하였을 때의 0.194, 0.258 및 0.293mol보다 상대적으로 많았으며, 이에 대응하여 반응 후 남아있는 H_2O 의 양도 더 많은 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 각 상에 존재하는 불순물(H_2SO_4 상내

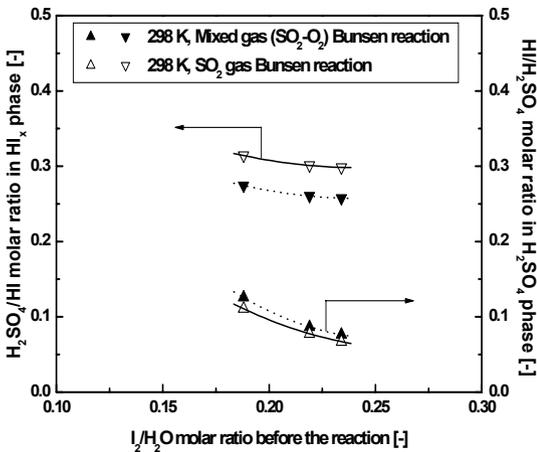


Fig. 5 Effects of I_2/H_2O initial molar ratio and reactant gases (SO_2 , SO_2-O_2) on molar ratio of impurities in each phase after reaction; gas flow rate 110 mL/min, $O_2/SO_2 = 0.5/1.0$ molar ratio, reaction time 340 min.

HI 그리고 HI_x 상내 H_2SO_4)을 각 상의 주요 성분 (H_2SO_4 상내 H_2SO_4 그리고 HI_x 상내 HI)에 대한 몰 비로 나타낸 것이다. 그 결과 SO_2-O_2 혼합물 기체를 사용할 경우 SO_2 기체만 사용했을 때보다 HI_x 상내 불순물은 감소했으나 H_2SO_4 상내 불순물은 소량 증가한 것으로 나타났다. 이것은 SO_2-O_2 혼합물 기체내 O_2 가 운반 기체로서의 역할을 하는 또 하나의 결정적 증거로 고려될 수 있다. 즉, 하부 상인 HI_x 상내 공급되는 O_2 가 스트리핑(stripping) 방법에 의해 HI_x 상내 존재하는 HI 및 불순물 H_2SO_4 일부분을 상부 상인 H_2SO_4 상으로 소량 이동시켰기 때문인 것으로 사료된다.

3.3 O_2/SO_2 몰 비에 따른 영향

H_2SO_4 분해 단계에서 분젠 반응 단계로 재순환되는 SO_2-O_2 혼합물 기체내 O_2 함유량에 따른 영향을 확인하기 위하여 298K과 333K의 I_2 포화조성 ($I_2/H_2O = 0.234$ 및 0.297 몰 비)에서 O_2/SO_2 의 몰 비를 0.2~0.5/1.0로 변화시키며 분젠 반응을 수행했다. Fig. 6은 O_2/SO_2 몰 비를 변화시키며 분젠 반응을 수행한 다음 전체 반응계에 존재하는 I_2 및 HI의 양을 나타낸 것이다. 그 결과 O_2/SO_2 몰 비가 증가

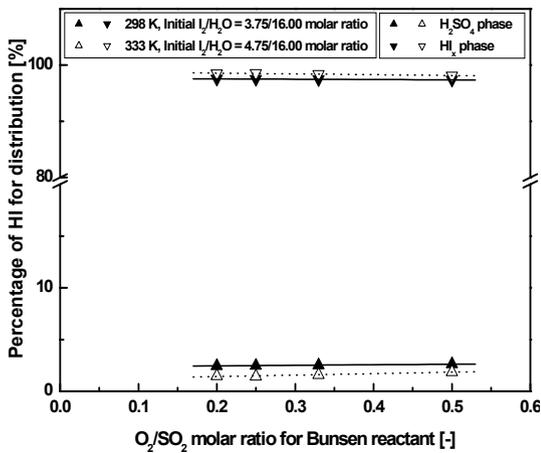


Fig. 7 Variation of HI distribution to each phase with differences on O₂/SO₂ molar ratio for Bunsen reaction after reaction; gas flow rate 110 mL/min, reaction time 340 min.

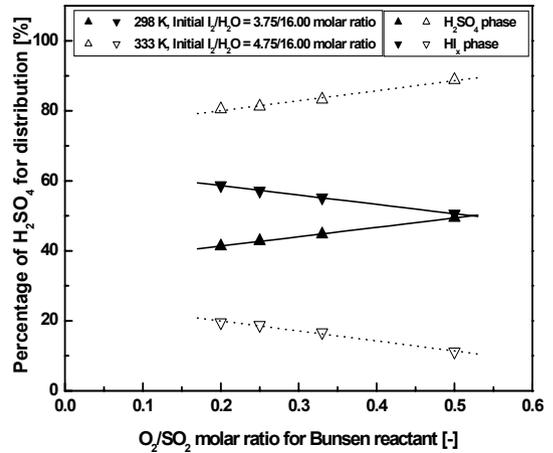


Fig. 8 Variation of H₂SO₄ distribution to each phase with differences on O₂/SO₂ molar ratio for Bunsen reaction after reaction; gas flow rate 110 mL/min, reaction time 340 min.

함에 따라 반응의 평형 전환율이 일부 감소한다는 것을 의미하듯이 생성물 HI의 양은 감소하였으며 반응물 I₂의 양은 증가하는 경향을 나타냈다. 한편, 333K의 경우 O₂/SO₂ 몰 비가 증가할수록 생성물 HI 및 반응물 I₂의 양은 반응 온도가 낮은 298K의 경우보다 적게 변화하는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 3.1절에서 언급한 바와 같이 반응 온도가 증가할수록 운반 기체로서의 역할을 하는 O₂의 영향이 감소한다는 것과 일관성이 있다.

Fig. 7과 Fig. 8은 O₂/SO₂ 몰 비 변화가 분젠 반응 후 2 액상으로의 분리 성능에 미치는 영향을 확인하기 위하여 생성물 HI와 H₂SO₄가 각 상으로 분배된 양의 비를 나타낸 것이다. 그 결과 생성물 HI의 상부 상과 하부 상으로의 분배 비는 반응 온도에 따라 약간의 차이만 나타냈을 뿐 O₂/SO₂ 몰 비 변화에 따라 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 한편, 생성물 H₂SO₄의 상부 상과 하부 상으로의 분배 비는 반응 온도에 따라 큰 차이를 나타냈으며, O₂/SO₂ 몰 비의 증가에 따라 고려할만한 차이를 나타냈다. 이때 상부 상인 H₂SO₄ 상내 H₂SO₄가 많이 존재하고 하부 상인 HI_x 상내 H₂SO₄가 적게 존재할수록 2 액상으로의 상 분리가 우수하게 진행되었음을 의미한다. 따라서 O₂/SO₂ 몰 비의 증가도 2 액상으로

의 상 분리에 유리한 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있었다.

결론적으로 분젠 반응 부분에서 2 액상으로 상 분리를 위한 고효율 운전을 위하여 비교적 고온과 높은 I₂ 농도에서의 운전이 요구된다는 것을 이전 연구⁽⁹⁻¹¹⁾에서 밝힌 바 있다. 이때 H₂SO₄ 분해 부분으로부터 분젠 반응 부분으로 공급될 수 있는 SO₂-O₂ 혼합물은 온도 및 고농도 I₂와 같은 반응 조건들보다 그 영향은 작을지라도 상 분리 성능을 향상시키는데 효과가 있는 것으로 나타났다. 여기서 O₂는 단순한 운반 기체로서 다른 부 반응을 일으키지 않으며, 하부 상인 HI_x 상내 다량 불순물로 존재하는 H₂SO₄를 스트리핑에 의해 상부 상인 H₂SO₄ 상으로 이동시키는 데 도움을 주는 것으로 나타났다. 따라서 SI 공정 운전시 H₂SO₄ 분해 부분으로부터 분젠 반응 부분으로 공급될 수 있는 SO₂-O₂ 혼합물 기체내 O₂는 그 함유량이 0.5/1.0의 O₂/SO₂ 몰 비 이하에서 분젠 반응에 큰 영향을 미치지 않으며 상 분리에는 유리한 역할을 하는 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 SI 공정의 분젠 반응 부분으로 공급될

수 있는 O₂의 역할을 규명하기 위하여 수행된 것으로서 SO₂-O₂ 혼합 가스를 이용한 분젠 반응을 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 동일한 반응 조건에서 SO₂-O₂ 또는 SO₂-N₂ 혼합물 기체를 반응물로 공급하며 분젠 반응을 수행한 결과, O₂의 영향은 단순히 운반 기체로서의 역할을 한다는 것을 의미 하듯이 불활성 기체인 N₂가 분젠 반응의 상 분리 특성에 미치는 영향과 유사한 것으로 나타났다.
- 2) SO₂ 또는 SO₂-O₂ 혼합물 기체를 반응물로 공급한 분젠 반응을 비교한 결과, 2 액상 분리를 위한 I₂의 포화 조성에서 반응 온도의 증가는 반응의 평형 전환율에 미치는 O₂의 영향을 감소하는 것으로 나타났다.
- 3) SO₂ 또는 SO₂-O₂ 혼합물 기체를 반응물로 공급한 분젠 반응에서 초기 I₂/H₂O 몰 비 변화에 따른 각 상내 불순물 조성을 비교한 결과, SO₂ 기체만 사용했을 때보다 HI_x 상내 불순물은 감소했으나 H₂SO₄ 상내 불순물은 소량 증가한 것으로 나타났다. 이것은 하부 상인 HI_x 상으로 공급된 O₂가 스트리핑(stripping) 방법에 의해 HI_x 상내 존재하는 HI 및 불순물 H₂SO₄ 일부분을 상부 상인 H₂SO₄ 상으로 소량 이동시켰기 때문이다.
- 4) SO₂-O₂ 혼합물 기체를 사용한 분젠 반응에서 O₂/SO₂ 몰 비가 증가함에 따라 반응의 평형 전환율이 일부 감소한다는 것을 의미하듯이 생성물 HI의 양은 감소하였으며 반응물 I₂의 양은 증가하는 경향을 나타냈다. 또한 반응 온도가 높을수록 그 영향은 감소하는 것으로 나타났다.

후 기

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

참 고 문 헌

- 1) J. E. Funk, “Thermochemical hydrogen production: past and present”, *Int. J. Hydrogen Energy*, Vol. 26, No. 3, 2001, p. 185.
- 2) J. E. Funk, and R. M. Reinstrom, “Energy requirements in the production of hydrogen from water”, *Ind. Eng. Chem. Proc. Des. Develop.*, Vol. 5, No. 3, 1966, p. 336.
- 3) S. Kubo, H. Nakajima, S. Kasahara, S. Higashi, T. Masaki, H. Abe, and K. Onuki, “A demonstration study on a closed cycle hydrogen production by the thermochemical water-splitting iodine-sulfur process”, *Nucl. Eng. Des.*, Vol. 233, No. 1-3, 2004, p. 347.
- 4) S. Kubo, S. Kasahara, H. Okuda, and A. Terada, “A pilot test plan of the thermochemical water-splitting iodine-sulfur process”, *Nucl. Eng. Des.*, Vol. 233, No. 1-3, 2004, p. 355.
- 5) S. Goldstein, J. M. Borgard, and X. Vitart, “Upper bound and best estimate of the efficiency of the iodine sulfur cycle”, *Int. J. Hydrogen Energy*, Vol. 30, No. 6, 2005, p. 619.
- 6) S. Kasahara, G. J. Hwang, H. Nakajima, H. S. Choi, K. Onuki, and M. Nomura, “Effects of the process parameters of the IS process on total thermal efficiency to produce hydrogen from water”, *J. Chem. Eng. Jpn.*, Vol. 36, No. 7, 2003, p. 887.
- 7) S. Kasahara, S. Kubo, K. Onuki, and M. Nomura, “Thermal efficiency evaluation of HI synthesis/concentration procedures in the thermochemical water splitting IS process”, *Int. J. Hydrogen Energy*, Vol. 29, No. 6, 2004, p. 579.
- 8) J. H. Norman, G. E. Besenbruch, and D. R. O’keefe, “Thermochemical water-splitting for hydrogen production”, GRI-80/0105, Gas Research Institute, 1981.
- 9) 이광진, 안승혁, 김영호, 박주식, 배기광, “황-

요오드 열화학 수소 제조 공정에서 분젠 반응과 상 분리 비교”, 한국수소 및 신에너지학회 논문집, Vol. 19, No. 2, 2008, pp. 111-117.

- 10) 이광진, 김영호, 박주식, 배기광, “SI 열화학 수소 제조 공정에서 분젠 반응을 통한 상 분리 특성”, 한국수소 및 신에너지학회 논문집,

Vol. 19, No. 5, 2008, pp. 386-393.

- 11) 이광진, 홍동우, 김영호, 박주식, 배기광, “황-요오드 수소 생산공정의 분젠 반응 부분에서 부반응 제어”, 한국수소 및 신에너지학회 논문집, Vol. 19, No. 6, 2008, pp. 490-497.