

핵융합 기술개발을 위한 삼중수소 전이반응실험

정홍석, 이한수, 안도희, 강희석, 백승우, 이성호, 성기웅, 나정원, 김광락
한국원자력연구소

송명재, 손순환
전력연구원

요 약

핵융합반응에 삼중수소는 필수연료이다. 삼중수소의 전이반응에 효율적인 고분자촉매를 합성제 조하여 반응탑에서 전이반응실험을 수행하였다. 고분자촉매는 삼중수소 전이반응에 유용한 활성을 나타냄이 확인되었고, 기체유속 및 반응온도가 증가함에 따라 전이반응은 촉진되는 것이 밝혀졌다.

1. 서 론

우리나라는 21세기에 핵융합 4대 선진국 진입을 목표로 국가 핵융합 연구개발 추진계획을 발표한 바있다.[1] 핵융합 에너지는 잘 알려진 대로 방사성 폐기물과 이산화탄소를 거의 발생시키지 않는 꿈의 에너지로 인류를 위한 궁극적인 에너지원으로 기대를 모으고 있다. 한국원자력연구소는 이미 1980년대 초부터 핵융합연구를 본격적으로 추진해 왔으며, Tokamak, 초전도 및 핵융합연료 기술 분야에 많은 연구성과를 낸 바 있다.[2,3] 핵융합로의 연료는 중수소와 삼중수소로 그림1과 같이 연료공급 시스템과 리튬 블랭킷 삼중수소 회수시스템 및 연료가스정화 시스템에서 취급되며, 본 연구에서는 삼중수소 분리의 핵심기술인 고분자 촉매반응에 의한 삼중수소 전이 반응을 제조된 촉매를 사용하여 실험함으로써 다음 세기를 위한 핵융합기술 발전에 기여하고자 한다.

특히 본 고에서는 삼중수소 전이 반응용 고분자 촉매의 제조법을 소개하고 천연수소와 삼중수소의 탈삼중수소 반응을 통해 제조된 촉매의 성능을 확인하였다.

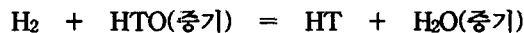
2. 고분자촉매의 제조

촉매의 담체로는 구형의 입자를 형성시키는데 유리한 헥타 중합법을 이용하여 스티렌-디비닐벤젠 공중합체를 합성하였는데 그 순서는 다음과 같다. [그림 2 참조]

우선 계면활성제를 적당량 취하여 반응기에 넣고 증류수를 넣는다(수용액상). 그 후 전처리된 스티렌과 디비닐벤젠 모노머에 중합 개시제를 넣은 용액과 적당한 용매를 섞어(유기상) 이를 반응기에 첨가한다. 교반기의 위쪽 날은 유기상과 수용액상의 경계면에 위치하도록 놓고, 아래쪽 날은 수용액상의 중간 지점에 위치하도록 고정시킨다. 질소 gas를 반응기로 계속 흘려보내어 반응기내의 분위기를 질소로 유지한다. 이후 온도를 올리지 않은 상태에서 교반기를 돌리며 수용액/유기용액의 혼합물이 안정화될 때까지 기다린다(약 1 시간 이상). 이후 온도를 85℃로 천천히 올려 12시간 이상 반응시킨다. 생성된 고분자 입자는 에탄올 및 아세톤으로 씻어서 필터로 걸러낸다. 걸러낸 고분자 입자들을 에탄올과 함께 Soxhlet 장치에 넣고 4시간 이상 가열하여 고분자 입자의 기공에 남아 있는 용매를 제거한다. 그 후 진공 건조기에 넣어 약 80℃로 12시간 이상 말린다. 이 고분자 담체에 H₂PtCl₆ 수용액을 사용, 함침법에 의해 백금을 담지하고 수소로 환원하여 고분자 백금촉매를 제조하였다.

3. 삼중수소 전이반응실험

천연수소와 삼중수소 간의 화학교환반응을 그림 3과 같은 촉매탑에서 수행하였다. 질소로 계통을 퍼지한 다음, 천연수소를 유량계를 통해 충전기포탑으로 보낸다. 충전기포탑에는 이미 측정된 약 수백 Bq/l 농도의 삼중수소수가 들어 있다. 천연수소는 충전기포탑을 통과하면서 삼중수소수로 포화된다. 포화를 촉진시키기 위해 충전기포탑은 철망충전물로 채워져 있다. 포화수소는 촉매탑을 통과하면서 다음반응에 따라 삼중수소로 치환된다.



반응후의 중기를 액체질소트랩에서 수집하여 액체섬광계수기로 분석하면 탈 삼중수소율을 측정할 수 있게 된다. 수소중의 삼중수소농도는 질량수지식으로 부터 계산 되었으며, 팔라듐-알루미늄 충전재결합기에서 수화하여 액체섬광계수기로 분석확인한다.

계산에 사용한 포화증기압은 스팀테이블의 30℃와 50℃ 값을 리그레이션하여 유도한 다음식을 사용한다.

$$\ln P_v = 14.0892 - \frac{5229.35}{273.16 + t}$$

여기서 P_v 는 수증기압 (bar)

t 는 온도 (℃)

물질전달계수 k_{ya} 는 다음 식으로 구하였다.

$$k_{ya} = \frac{G}{A \cdot Z \cdot P} \times \frac{y_0 - y_1}{(y^* - y)_{lm}}$$

$$\text{여기서 } (y^* - y)_{lm} = \frac{(y^* - y)_1 - (y^* - y)_0}{\ln \frac{(y^* - y)_1}{(y^* - y)_0}}$$

물질전달계수식에서

G 는 수소유량 ($\text{cm}^3\text{-H}_2/\text{s}$)

A, Z 는 컬럼의 단면적과 높이 (cm^2, cm)

P 는 압력 (atm)

y 는 농도 (Bq/ℓ)

1, 0은 각각 입.출구 상태에서의 값

$*$ 는 평형값

평형농도는 $y^* = x/\alpha$ 의 식을, 평형상수 α 는 온도 $T = 289-576^\circ K$ 에서 유용한 $\alpha(H-T)$ 를 다음 식에서 산출하여 사용하였다.

$$\log \alpha = 0.292 \log T + 336.5/T - 1.055$$

촉매는 PS0625 (백금 2.7%)이며 반응탑 관경은 13.5 mm, 높이는 26.5 mm, 촉매량은 1.1686 gm 이다. 다음 표 1은 실험결과이다. U20 - U24 는 30°C, U25 - U28 은 40°C에서의 실험이다.

표 1. 실험 결과

실험번호	수소유량 cm ³ /sec	수소유속 m/sec	삼중수소농도(Bq/l)		물질전달계수 (1/s)
			원료수	반응수	
U20	124	0.87	441.88	254.23	5.4266
U21	230	1.61	"	285.41	7.7362
U23	329	2.30	438.12	295.18	9.9065
U24	434	3.03	"	326.4	9.5405
U25	124	0.87	"	244.41	10.4776
U26	230	1.61	"	302.12	11.2787
U27	329	2.30	"	335.02	11.2382
U28	434	3.03	"	349.48	12.3257

표 1의 실험결과를 그림 4에 나타내었다. 수소 가스 유속과 온도의 증가에 따라 전달계수가 증가하는 자연스런 현상이 관찰되었다.

4. 결 론

삼중수소의 전이반응에 효율적인 고분자백금촉매를 제조하였다. 촉매담체로는 스티렌과 디비닐벤젠의 공중합체를 합성하여 사용하였다. 저농도의 삼중수소수를 수소와 촉매반응시킨 결과 제조된 촉매는 삼중수소 전이반응에 유효한 활성이 있음을 확인하였으며, 기체 유속과 반응온도가 높을수록 물질전달계수가 높게 측정되었다.

참 고 문 헌

- [1] 과학기술처, 조선일보 [1995, 7, 23]
- [2] 김성규 등, "플라즈마 진단기술개발", KAERI/RR-1524 [1995]
- [3] 홍계원 등, "초전도 재료 응용기술개발", KAERI/RR-1482 [1995]

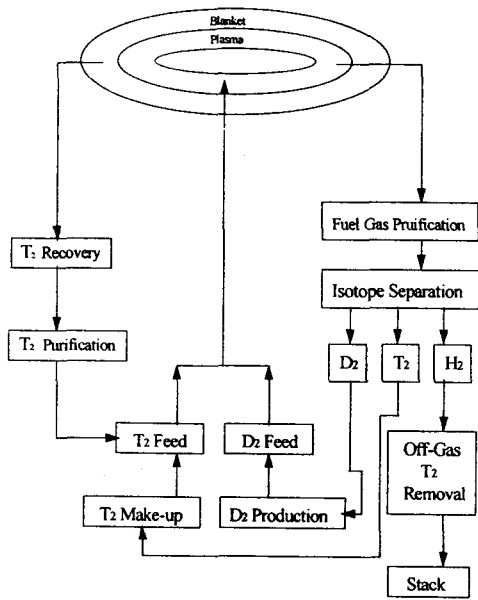


그림 1. 핵융합연료 주기

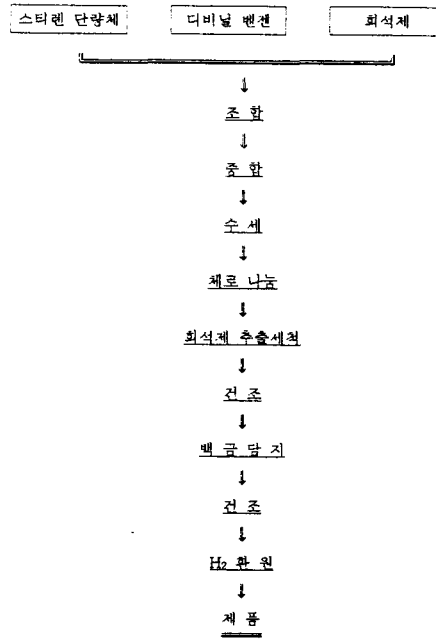


그림 2. 촉매제조과정

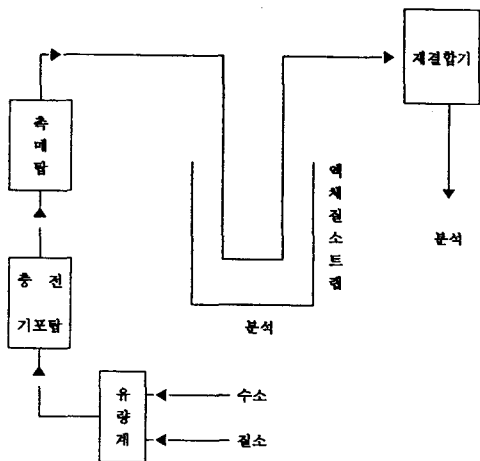


그림 3. 촉매반응 실험장치

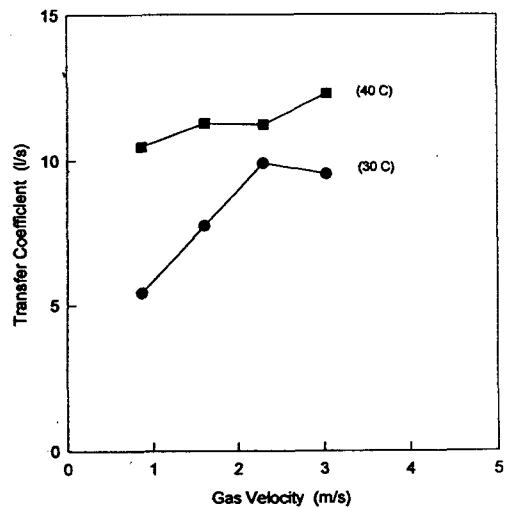


그림 4. 삼중수소 물질전달계수