

[10~13] 다음 글을 읽고 물음에 답하시오. -2026.06

청정 에너지원 중 하나인 수소는 생산, 저장, 운송, 추출, 활용 등 전체 과정에서의 친환경성과 관련하여 높은 관심을 받고 있다. 재생 에너지를 통해 생산된 전기로 물을 전기분해하면 탄소 배출 없이 수소 생산이 가능하다. 생산된 수소 기체는 부피가 크고 폭발 위험성이 있어 저장 및 운송이 어렵다. 부피를 크게 ① 줄일 수 있는 액화 수소 방식이 제안되었지만, 저장 및 운송 시 액화된 상태를 유지하려면 극저온의 조건이 필요하다는 문제가 있다. 이 때문에 액상 유기 화합물 또는 액화 암모니아와 같은 수소 운반체를 활용하는 방식이 제안되었다.

액상 유기 화합물을 이용한 수소의 저장 및 추출에는 툴루엔과 ⑦ 메틸사이클로헥세인(MCH)이라는 두 화합물 간의 상호 전환 반응이 주로 사용된다. 이는 툴루엔에 수소가 결합해 MCH가 되고 역으로 MCH가 툴루엔과 수소로 변환되는 원리를 활용하는 것이다. 툴루엔 분자 하나에 세 개의 수소 분자가 결합할 때 각각의 수소 분자가 탄소와 수소 원자 간의 결합을 두 개씩 ⑧ 만들며 MCH 분자 하나가 생성된다. MCH는 취급 안전성 및 독성이 휘발유와 유사하므로 석유의 저장과 운송을 위한 기존 인프라를 이용할 수 있다. 또한 MCH가 액체이므로 증발 기체 발생으로 인한 누출 위험이 거의 없다. 하지만 툴루엔과 MCH의 상호 전환을 통한 수소의 저장 및 추출이 반복되면서 화합물이 불안정해지는 문제가 있다.

⑨ 암모니아는 질소 원자와 수소 원자로 이루어진 화합물로서, 분자당 세 개의 수소 원자를 포함하고 있어 물보다 분자당 저장된 수소가 많다. 암모니아는 기존 비료 산업에서 사용하는 합성법으로 생산할 수 있고, 대규모의 투자 없이 기존 인프라를 이용하여 저장 및 운송할 수 있다. 하지만 높은 독성으로 인한 위험성을 해결해야 할 과제이다. 암모니아에서의 수소 추출 방식으로는 전기분해, 광분해, 그리고 가장 많이 ⑩ 쓰이는 열분해가 있다. 각 방식에서는 암모니아 분해 반응이 일어나는데, 암모니아 분해 반응이란 암모니아가 분해되어 질소 기체와 수소 기체를 생성하는 반응이다. 이때 반응한 암모니아, 질소 기체, 수소 기체의 몰* 수의 비는 2:1:3이다. ⑪ 열분해 방식을 통해서는 0.9 이상의 전환율이 ⑫ 얻어지는데, 부반응은 거의 없다. 여기서 전환율은 반응한 전체 암모니아의 몰 수를 공급한 암모니아의 몰 수로 나눈 값이며, 부반응이란 암모니아 분해 반응의 의도된 생성물 외의 다른 물질이 최종 물질로 생기는 반응을 뜻한다.

수소의 대표적 활용법인 수소 연료 전지는 수소의 화학 에너지를 전기 에너지로 직접 변환하는 장치로 산화 극, 환원 극, 전해질, 도선으로 구성된다. 산화 극에서는 공급된 수소가 수소 이온과 전자로 분해되는 반응이 일어난다. 수소 이온은 전해질을 통해, 전자는 도선을 통해 환원 극으로 이동하면서 전기를 생산 한다. 그리고 환원 극에서는 공급된 산소가 수소 이온과 전자를 만나 물을 생성한다. 이 외의 반응은 거의 ⑬ 일어나지 않으므로 친환경적이다.

* 몰: 원자 또는 분자 6.02×10^{23} 개.

10. 윗글의 내용과 일치하지 않는 것은?

- ① 재생 에너지는 탄소 배출 없이 수소를 생산하기 위한 에너지원으로 사용될 수 있다.
- ② MCH는 휘발유와 유사한 취급 안전성을 갖는다.
- ③ 광분해 방식으로 암모니아를 질소 기체와 수소 기체로 분해할 수 있다.
- ④ 수소 연료 전지에 공급되는 물질은 수소와 산소이다.
- ⑤ 수소 연료 전지에서 수소 이온은 전자와 마찬가지로 도선을 통해 이동한다.

11. ⑦, ⑨에 대한 설명으로 가장 적절한 것은?

- ① ⑦은 증발 기체가 많이 발생하므로 누출 위험성이 크다.
- ② ⑨은 독성이 낮아 위험성이 크지 않다.
- ③ ⑨은 운송을 위한 대규모의 투자가 필요하다.
- ④ ⑦은 ⑨보다 분자당 저장되어 있는 수소 원자가 많다.
- ⑤ ⑦은 ⑨과 달리, 기존 인프라를 이용하여 저장할 수 있다.

12. 윗글의 ⑪와 <보기>의 ⑫를 비교하여 탐구한 내용으로 가장 적절한 것은? [3점]

<보기>

한 과학자는 전기분해 방식으로 암모니아를 분해하는 반응기를 고안하고, 이를 사용하여 수소 기체를 얻고자 실험을 수행하였다. ⑪이 전기분해 방식에서는 암모니아 10몰을 공급했을 때 6몰의 암모니아만 반응하였으며, 반응한 암모니아의 몰 수보다 많은 몰 수의 수소 기체가 생성되었다. 이때, 원치 않았던 물질인 암모늄 이온 등이 최종 물질로 상당량 생성되었다.

- ① ⑪에서 질소 기체를 생성하는 것과 달리, ⑫에서는 질소 기체를 생성하지 않겠군.
- ② ⑪에서 생성된 수소 기체는 ⑫에서 생성된 수소 기체와 달리, 부반응에 의해서 생겼군.
- ③ ⑪에서 암모니아를 공급했을 때의 전환율은 ⑫에서 암모니아를 공급했을 때의 전환율보다 작겠군.
- ④ ⑫는 ⑪와 비교할 때, 같은 양의 암모니아를 공급한다면 더 적은 양의 수소 기체를 생성하겠군.
- ⑤ ⑫에서는 ⑪에서와 달리, 반응한 암모니아의 몰 수보다 많은 몰 수의 수소 기체가 생성된 것이겠군.

13. 문맥상 ①~⑤와 바꿔 쓰기에 가장 적절한 것은?

- ① ④: 단축(短縮)할
- ② ⑤: 제작(製作)하며
- ③ ⑥: 활용(活用)되는
- ④ ⑦: 습득(拾得)되는데
- ⑤ ⑧: 선행(盛行)하지