

리튬 암모니아 솔루션의 안정적이고 신뢰성 있는 열전반응을 유도하기 위한 연구

이정윤, 심규철, 김지범, 전준현*
 동국대학교-서울, 정보통신공학과
 100-715 서울특별시 중구 필동 3가 26
 (memory@dongguk.edu*)

Study for Stable and Reliable Thermoelectric Reaction of Liquid Lithium-Ammonia Solutions

Jungyoon Lee, Kyuchol Shim, Jibeom Kim, Joonhyeon Jeon*
 Dept. of Information & Communications Engineering, Dongguk University - Seoul,
 26 Pil-dong 3-ga, Jung-gu, Seoul 100-715, Korea
 (memory@dongguk.edu*)

서론

메탈-암모니아(M-NH₃) 솔루션은 액화 암모니아(NH₃)에 알칼리 금속이나 알칼리 토금속을 합성한 물질로, 낮은 MPM(Moles Percent of Metal)에서 용매화전자의 생산이 가능하며, 높은 MPM에서 용매화전자의 분해에 의해 자유전자를 방출한다. 이 중 리튬-암모니아(Li(NH₃)_n) 솔루션은 대표 알칼리 금속으로서 기존에도 많은 연구가 진행되어 왔다[1-10]. 이와 관련하여 지난 논문[1, 2]에서는 리튬-암모니아 솔루션을 이용한 열전기적 특성을 파악하기 위한 기존 연구를 통해, 1.0 - 2.0 MPM의 농도에서 액체 상태로 존재하는 리튬-암모니아 솔루션이 담긴 “U”자관 양단에 온도차(ΔT = 0 - 20 °C)를 일으킬 때, 온도 변화에 따른 열전에너지가 발생하였고 그 결과 전압 대 전류량이 선형적 특성을 갖고 있다는 것을 입증하였다.

하지만 “U”자관을 이용한 실험에서 밝힌 바, 양단의 온도차를 발생시키는 것은 가능하지만 이를 제어하여 정확한 실험 결과를 내는 것이 용이하지 않았다. 이는 양단의 온도차가 발생할 때 “U”자관 내부에서 온도의 증가에 의해 액화 암모니아(NH₃)의 기화 반응이 시작되는데, “U”자관의 양단 중 상대적 고온부에서 기화반응이 강하게 일어나 압력이 증가하기 때문이다. 이 압력으로 “U”자관 내부에서 액체 상태인 리튬-암모니아 솔루션 양단의 수위차가 발생하여 솔루션이 상대적 저온부 쪽으로 쏠리게 된다. 결과적으로 가열/냉각이 이루어지는 솔루션의 면적이 다르게 되어 양단의 온도 컨트롤이 어려워지며, 내부에서 물질이 이동하게 되어 전압과 전류를 고르게 얻어낼 수 없게 만든다.

따라서 본 연구에서는 효과적인 실험을 위해 보다 개선된 실험 도구(“H”자관)를 고안하여 적용하였으며, 이를 통해 액체 상태로 존재하는 리튬-암모니아 솔루션의 온도변화에 따른 열전기적 특성을 정확하게 측정하는데 성공하였다.

“H”자관을 이용한 본 연구에서는 고온부와 저온부 양단의 수위 차이가 발생하지 않으므로 내부 솔루션의 이동이 억제되어 실험이 끝날 때 까지 솔루션의 상태가 매우 안정적으로 유지되며, 양단에서 동일한 면적의 솔루션에 대한 가열과 냉각이 이루어지므로 초당 ±0.2°C씩 정확하게 물질의 온도를 제어할 수 있게 되어 온도 변화의 속도에 따른 오차를 크게 줄였고, 시간에 따른 온도차를 항상 동일하게 적용하여 실험을 진행할 수 있었다.

본론

기존의 ‘U’자관을 이용한 연구[1, 2]에서는 리튬-암모니아 솔루션이 가진 열전발전능력을 밝힌 바 있다. 이를 통해 리튬-암모니아 솔루션은 양단 온도차에 의해 전압, 전류가 일괄적으로 변화하는 모습을 추적하였으며, 실험 결과는 정밀 측정 장치와 컴퓨터를 활용하여 실시간으로 측정되었다. ‘U’자관의 실험을 통해 밝힌 열전 발전 능력을 기초로 하여, 보다 안정적인 발전이 이루어질 수 있는 방법에 대한 연구를 통해 ‘U’자 실험 장치를 고안하였으며, 이는 그림 1과 같은 형태를 가지고 있다. 열전 실험은 순수한 유체 리튬-암모니아 솔루션의 합성과 분해를 위해, 제안된 열전실험 방법을 바탕으로 진공 상태를 유지하고 있는 ‘U’자 모양의 파이렉스 관을 사용한다. 그림 1의 (a)는 기존의 실험에서 쓰인 ‘U’자 관에서의 압력에 따른 솔루션의 쏠림현상을 보이며, (b)는 암모니아의 기화로 인한 양단의 압력 평형을 유지하는데 도움을 주기위해 ‘U’자 관의 양측을 연결하는 기체 이동 통로가 추가된 ‘U’자 파이렉스 관을 보이고 있다. 실험이 진행되는 전체 구조는 기존의 연구결과[1, 2]와 동일하며, 기존의 실험에서 문제점으로 지적된 것을 개선한 것으로, 상대적 고온부의 압력 증가와 더불어 발생하는 리튬-암모니아 솔루션의 상대적 저온부로의 쏠림현상을 방지하는 역할을 한다. 이는 쏠림현상의 결과로 나타나게 되는 솔루션의 온도조절 적용범위가 변경됨에 따른 양단의 정확한 온도 컨트롤이 불가능해지는 문제와 함께, 열전발전 능력을 가늠할 수 있는 전압, 전류 반응이 비 이상적으로 나타나는 문제를 수반한다. 개선된 ‘U’자관의 경우에는, 양단을 연결하는 압력 조절 통로를 두어 상대적 고온부에서 생성된 압력이 솔루션에 영향을 주지 않고 반대편으로 이동하여 양단이 고른 압력을 받게끔 설계되었다. 이로써 양 측 솔루션의 높이가 일정하게 유지되고 결과적으로 보이는 전압, 전류 그래프가 안정적으로 변하게 되며 효율이 향상되는 모습을 그림 2에서 확인 할 수 있다. 또한 그래프를 통해 기존의 방법과는 달리 안정적인 온도 컨트롤로 인해 실험이 일괄적으로 규칙적인 방향으로 진행되었음을 알 수 있다.

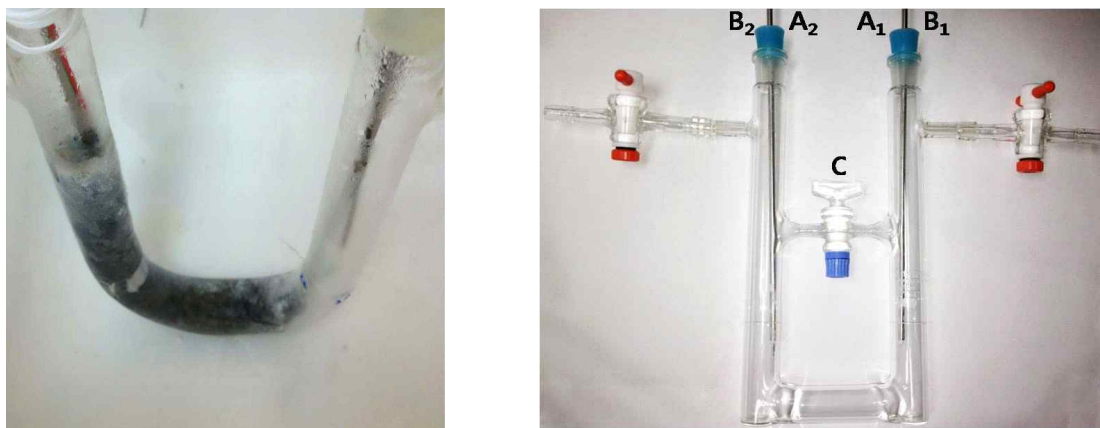


그림 1. (a) ‘U’자관을 사용했을 때의 압력변화에 따른 솔루션 몰림 현상;
(b) 온도, 전압/전류 Probe(A, B)와 압력조절통로(C)를 포함한 ‘U’자관

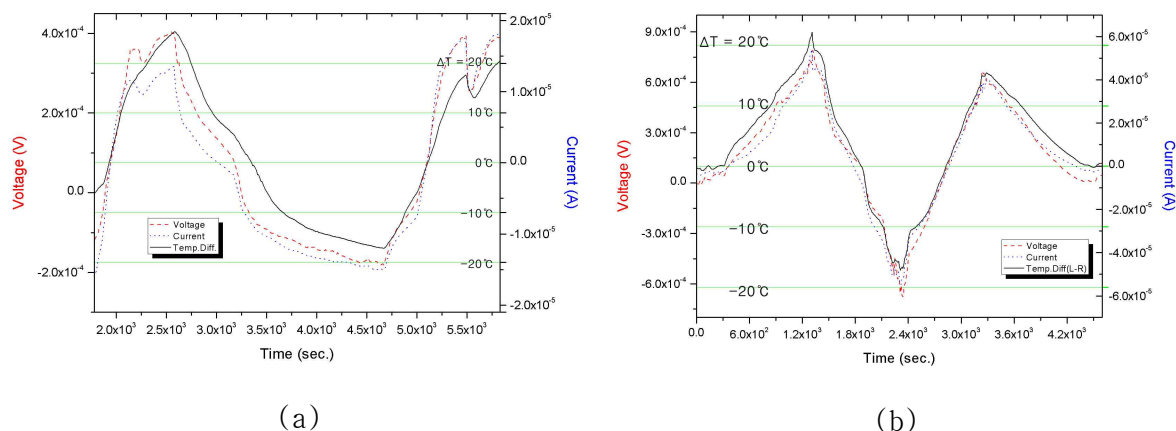


그림 2. 2.0 MPM 리튬-암모니아 솔루션의 열전 실험 비교.
(a) ‘U’자관; (b) ‘U’자관

그림 1을 통해 보인 2.0 MPM 실험 데이터에서 알 수 있는 제안된 실험의 안정성 및 효율 증대 효과는 금속의 양을 달리한 실험에서도 나타난다. 이는 표 1에서 정리하였으며, 1.0 - 2.0 MPM까지의 실험 결과 값의 통계를 나타내고 있다.

표 1. Li 농도에 따른 열전 실험 데이터.

MPM	‘U’자 관		‘U’자 관	
	Peak-to-Peak Voltage(mV)	Peak-to-Peak Current(mA)	Peak-to-Peak Voltage(mV)	Peak-to-Peak Current(mA)
1.0	0.587	0.127	0.844	0.735
1.5	0.859	0.043	0.742	1.200
2.0	1.324	0.040	0.942	0.820

결론

제안된 방법을 통해 입증된 리튬-암모니아 솔루션의 안정적인 전압-전류반응은, 기존의 선행 연구에서의 문제점에 대한 보완책이라 할 수 있다. 안정적인 반응을 확인하기 위하여 시행한 1.0 - 2.0 MPM 구간의 결과를 통해 보인 실험 결과는 “U”자관으로 수행된 실험과 “U”자관으로 수행된 결과와 차이를 보이는데, 이는 상대적 고온부에서의 Gasification에 따른 압력 증가를 반대편으로 분산시켜 물질의 안정적인 반응 및 출력임을 방지하는 역할을 하였기 때문인 것으로 증명되었다. U자관에서는 양단의 수위 차로 인해 가열/냉각되는 솔루션의 면적이 변화하게 되어, 온도변화의 속도도 시시각각 바뀌게 된다. 결국, 최대치에서의 데이터는 얻을 수 있지만 매 실험마다 실험 진행시간 및 시간에 따른 온도변화(ΔT)가 계속 바뀌며 데이터의 신뢰성이 “U”자관에 비하여 떨어진다. 그러나 “U”자관에서는 압력 조절 통로로 인하여 양단의 수위가 흔들리지 않고 동일하므로 가열/냉각되는 솔루션의 면적도 항상 동일하여 실험 시작부터 종료까지 동일한 속도로 정확한 가열/냉각이 가능해졌고, 보다 안정적이고 신뢰성 높은 실험 결과를 도출할 수 있었다. 이를 통해 안정적인 발전이 가능한 메탈-암모니아 솔루션의 개발에 한층 가까워졌음을 보였다.

감사

본 연구는 2012학년도 동국대학교 논문게재장려금 지원으로 이루어졌음.

참고자료

1. 박한우, 김지범, 전준현, “리튬-암모니아(Li(NH₃)_n) 용액을 이용한 열전기적 특성 실험”,
2. Jeon, J. and Kim, J., “Thermoelectric Experiment of a Fluid Lithium-Ammonia Solution in a U-Shaped Pyrex Tube with Highly Pure Vacuum State”, 8, 550-554(2012).
3. Dewald, J. F. and Lepoutre, G., “”, *J. of Americal Chem. Soc.*, 76, 3369-(1954).
4. Hayama, S., Skipper, N. T., Wasse, J. C. and Thompson, H., “”, *J. Chem. Phys.*, 116, 2991-(2002).
5. Wasse, J. C., Shusaku, H., Masmanidis, S., Stebbings, S. L. and Skipper, N. T., “”, *J. Chem. Phys.*, 118, 14452-(2003).
6. Salter, T. E., Mikhailov, V. A., Evans, C. J. and Ellis, A. M., “”, *J. Chem. Phys.*, 125, 034302-(2006).
7. Salter, T. E. and Ellis, A. M., “”, *J. Phys. Chem.*, 111, 4922-(2007).
8. Edwards, P. P., “”, *J. of Superconductivity*, 13, 867-(2000).
9. Cohen, M. H. and Thompson, J. C., “”, *Adv. Phys.*, 17, 857-(1968).
10. Joshua, J. and Morrel, H. C., “” *Phys. Rev. B.*, 13, 1548-(1976).