

## 비수유기전해액의 전기전도도에 미치는 전해질농도의 영향

오송호, 오경희, 김승혁

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《우리는 발전된 나라들에서 이룩한 과학기술의 성과를 널리 받아들이고 그것을 더욱 발전시킴으로써 최신과학기술의 높은 봉우리를 빨리 점령하여야 합니다.》(《김정일선집》증보판 제11권 142페이지)

전해액의 전기전도도는 그속에 포함되어있는 전해질의 농도에 크게 의존한다. 그러므로 전해질의 종류와 농도를 알맞게 선정하는것은 비수유기전해액의 전기화학적성능개선에서 중요한 문제이다.[1-3]

우리는 혼합용매에  $\text{LiPF}_6$ 을 푼 비수유기전해액의 전기전도도에 미치는 전해질농도의 영향을 다른 리튬염들인  $\text{LiClO}_4$ ,  $\text{LiBF}_4$ ,  $\text{LiSO}_3\text{F}$ ,  $\text{LiCl}$ 들로 이루어진 비수유기전해액들과 대비평가하여 전기전도도가 최대가 되는  $\text{LiPF}_6$ 의 농도를 찾았다.

### 실험 방법

에틸렌카르보나트(EC), 감마부틸락톤(GBL), 프로필렌카르보나트(PC)와 디에틸렌카르보나트(DEC)를 각각 5 : 5의 체적비로 혼합한 용매에 리튬염들을 풀어 전해액을 제조하였다. 여기서 EC, GBL, PC는 금속리튬조각을 넣고 진공환류한 다음 진공증류하였다. DEC는 금속리튬조각을 넣고 환류한 다음 증류하였다.

실험에서 리용한 리튬염들은 다 분석순이며  $\text{LiCl}$ 은  $180^\circ\text{C}$ 에서,  $\text{LiClO}_4$ 은  $150^\circ\text{C}$ 에서,  $\text{LiSO}_3\text{F}$ 은  $120^\circ\text{C}$ 에서,  $\text{LiBF}_4$ 은  $115^\circ\text{C}$ 에서,  $\text{LiPF}_6$ 은  $80^\circ\text{C}$ 에서 24h동안 진공건조한것이다.

모든 조작은 건조한 아르곤분위기속에서 하였다.

전해액속에 포함되어있는 미량의 수분은 분자체 4A로 제거하였으며 전해액속의 수분함량은  $2 \cdot 10^{-3}\%$ 이하이다.

전해액속의 미량수분은 기체크로마토그래프(《GC-14B(FID)》)와 자료처리장치(《C-R7A》)로 측정하였다.

전해액의 전기전도도는 전기전도도측정장치(《LF-541》)로 측정하였으며 측정온도는  $20^\circ\text{C}$ 이다.

### 실험결과 및 해석

EC-DEC혼합용매(체적비 5 : 5)에 리튬염들인  $\text{LiCl}$ ,  $\text{LiClO}_4$ ,  $\text{LiBF}_4$ ,  $\text{LiSO}_3\text{F}$ ,  $\text{LiPF}_6$ 을 각각 푼 혼합비수유기전해액에서 전해질의 농도에 따르는 전기전도도변화는 그림 1과 같다.

그림 1에서 보는바와 같이 비수유기전해액의 전기전도도는 전해질의 종류뿐만아니라

농도에도 관계된다. 한편 전해질의 농도가 증가하는데 따라 전해액의 전기전도도는 모두 1mol/L근방에서 극대값을 나타내며 그 이상에서는 오히려 감소한다. 극대값은  $\text{LiPF}_6$ 에서 15.6mS/cm,  $\text{LiClO}_4$ 에서 14.6mS/cm,  $\text{LiBF}_4$ 에서 8.4mS/cm,  $\text{LiSO}_3\text{F}$ 에서 6.5mS/cm,  $\text{LiCl}$ 에서 0.86mS/cm로서  $\text{LiPF}_6$ 과  $\text{LiClO}_4$ 을 푼 비수유기 전해액의 전기전도도값이 제일 크다.

EC-DEC, PC-DEC, GBL-DEC 혼합용매(체적비 5 : 5)에  $\text{LiPF}_6$ 을 푼 비수유기 전해액에서 전해질농도에 따르는 전기전도도변화는 그림 2와 같다.

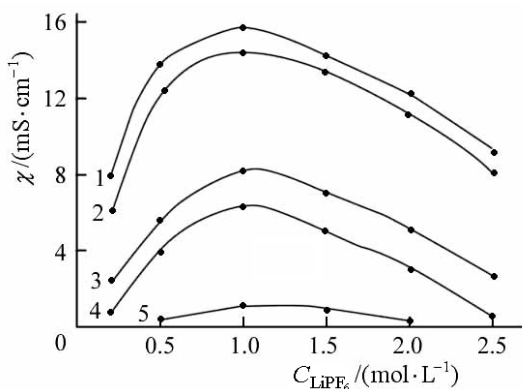


그림 1. EC-DEC혼합용매에서 전해질의 농도에 따르는 전기전도도변화

1- $\text{LiPF}_6$ , 2- $\text{LiClO}_4$ , 3- $\text{LiBF}_4$ , 4- $\text{LiSO}_3\text{F}$ , 5- $\text{LiCl}$

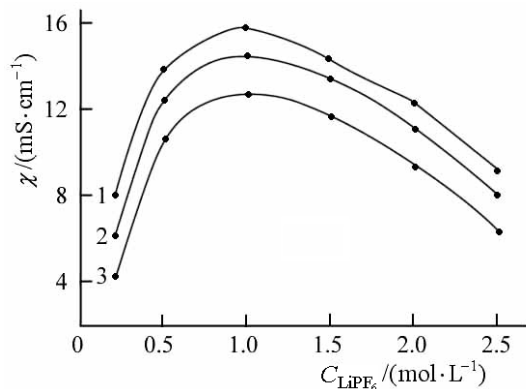


그림 2. 각이한 용매에서 전해질의 농도에 따르는 전기전도도변화

1-EC-DEC, 2-GBL-DEC, 3-PC-DEC

그림 2에서 보는바와 같이 전해액의 전기전도도는 용매의 종류에 관계되는데 EC-DEC혼합용매에  $\text{LiPF}_6$ 을 푼 혼합비수유기 전해액의 전기전도도값이 제일 크다.

한편 용매의 종류에는 관계없이 전해질의 농도가 1mol/L일 때 전해액의 전기전도도가 극대값을 가진다. 그것은 전해질의 농도가 1mol/L일 때 해리된 이온의 수가 많고 이온의 이동에 적합한 조건이 조성되기때문이라고 볼수 있다.

EC-DEC혼합용매에  $\text{LiPF}_6$ 을 푼 비수유기 전해액에서 EC의 함량이 각이한 경우 전해질의 농도에 따르는 전기전도도변화는 그림 3과 같다.

그림 3에서 보는바와 같이 혼합전해액의 전기전도도는 모두  $\text{LiPF}_6$ 의 농도가 1mol/L에서 극대값을 가지며 그 값은 혼합전해액에서 EC의 함량(체적%)이 높아짐에 따라 커지지만 50%이상에서는 다시 작아진다.

전해액의 전기전도도가 극대값을 나타내는것은 주어진 용매에서 전해질의 농도가 짊어질 때 일정한 농도이상에서는 이온들이 서로 결합하면서 이온들의 활동도가 작아지고 전해액의 점도가 커지므로 이온들의 이동이 어려워지기때문이다.

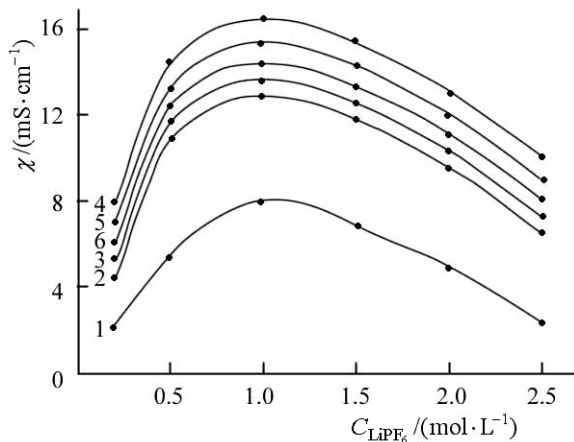


그림 3. EC의 함량이 각이한 경우 전해질의 농도에 따르는 전기전도도변화

1-6은 EC함량이 각각 10, 20, 30, 50, 60, 70%인 경우

## 맺는말

비수유기 전해액에서 전해액의 전기전도도는 전해질의 종류에 관계없이 전해질의 농도가 1mol/L일 때 가장 크다.

LiPF<sub>6</sub>을 전해질로 하는 혼합비수유기 전해액의 전기전도도는 그것의 농도가 1mol/L일 때 15.6mS/cm로서 다른 리튬염보다 크다.

## 참고문헌

[1] 김일성종합대학학보(자연과학), 52, 10, 125, 주체95(2006).

[2] Yasuhiro Takei; Journal of Power Sources, 228, 32, 2013.

[3] 森田昌行 等; 電氣化學, 63, 3, 189, 1995.

주체104(2015)년 1월 5일 원고접수

### Effect of Electrolyte Concentration on the Conductivity of Non-Aqueous Organic Electrolyte

*O Song Ho, O Kyong Hui and Kim Sung Hyok*

We investigated the effect of electrolyte concentration on the conductivity of non-aqueous organic electrolyte. The electric conductivity of non-aqueous organic electrolyte has a maximum when its concentration is 1mol/L with no relation to the kinds of electrolyte and that using LiPF<sub>6</sub> as a electrolyte is higher than others as 15.6mS/cm.

Key words: lithium ion battery, non-aqueous organic electrolyte, conductivity