(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년01월28일
(11) 등록번호 10-1588616
(24) 등록일자 2016년01월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01M 10/056 (2010.01) *H01M 10/052* (2010.01)
H01M 10/0567 (2010.01) *H01M 10/0569* (2010.01)
H01M 2/16 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01M 10/056 (2013.01)
H01M 10/052 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0060440
(22) 출원일자 2015년04월29일
심사청구일자 2015년04월29일
(56) 선행기술조사문헌
JP2008041366 A*
KR1020070082551 A*
KR1020130127201 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
한밭대학교 산학협력단
대전광역시 유성구 동서대로 125 (덕명동)
세방전지(주)
서울특별시 강남구 선릉로 433 (역삼동)
(72) 발명자
이용민
대전광역시 유성구 계룡로 38번길 96
유명현
대전광역시 유성구 농대로 55 대동빌리지 G동 3호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인 플러스

전체 청구항 수 : 총 9 항 심사관 : 김은진

(54) 발명의 명칭 **저온 방전특성 및 상온 수명특성이 향상된 리튬 이차전지**

(57) 요 약

본 발명은 리튬 이차전지에 관한 것으로, 상기 리튬 이차전지는 리튬염, 첨가제인 플루오로에틸렌 카보네이트(FEC), 폴리도파민-코팅 분리막 및 메틸프로피오네이트(MP) 및 프로피오니트릴(PN)에서 선택되는 하나를 포함하는 비수성 유기용매를 포함하며, 본 발명에 따른 리튬 이차전지는 저온 방전특성 및 상온 수명특성이 향상되는 이점을 가진다.

(52) CPC특허분류
H01M 10/0567 (2013.01)
H01M 10/0569 (2013.01)
H01M 2/1686 (2013.01)
H01M 2300/0025 (2013.01)
Y02E 60/122 (2013.01)

(72) 발명자
이후길
대전광역시 동구 동부로 73 주공아파트5단지 501-118
이윤주
충청북도 청주시 흥덕구 가경로 158 형석1차아파트 103-203
정지선
대전광역시 동구 대전로 646 현대아파트 103-802
한태영
경상북도 김천시 충효2길 9-3 (성내동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 201301510001
부처명 교육부
연구관리전문기관 연구사업지원팀
연구사업명 민간기업 위탁연구개발사업
연구과제명 리튬이차전지용 고성능 기능성 전해질 개발
기 여 율 1/1
주관기관 세방전지(주)
연구기간 2013.06.01 ~ 2014.05.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

리튬 이차전지에 있어,

(a)리튬염;

(b)플루오로에틸렌 카보네이트 첨가제;

(c)폴리도파민-코팅 분리막; 및

(d)메틸프로피오네이트를 전체 유기용매의 5 내지 65 부피% 포함하는 비수성 유기용매; 를 포함하며,

전체 유기용매의 10 내지 20 부피%의 (e)프로필렌 카보네이트;를 상기 비수성 유기용매에 더 포함하는 저온 방전특성 및 상온 수명특성이 향상된 리튬 이차전지.

청구항 2

삭제

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 (a)리튬염은 $LiPF_6$, LiI, $LiAsF_6$, $LiBF_4$, $LiSbF_6$, $LiAlO_4$, $LiAlCl_4$, $LiCF_3SO_3$, $LiC_4F_9SO_3$, $LiN(CF_3SO_2)_2$, $LiN(SO_2F)_2$, $LiN(C_2F_5SO_3)_2$, $LiN(C_2F_5SO_2)_2$, LiCl, LiI, $LiN(C_xF_{2x+1}SO_2)(C_yF_{2y+1}SO_2)$(단, x, y는 자연수), $LiClO_4$,$LiB(C_2O_4)_2$, $LiF_2BC_2O_4$, $LiPF_4(C_2O_4)$, $LiPF_2(C_2O_4)_2$, LiSCN, $LiP(C_2O_4)_3$ 및 $LiPO_2F_2$ 로 이루어진 군에서 선택되는 하나 또는 둘 이상의 혼합물인 저온 방전특성 및 상온 수명특성이 향상된 리튬 이차전지.

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 (a)리튬염은 0.5 내지 2.0M의 농도로 존재하는 저온 방전특성 및 상온 수명특성이 향상된 리튬 이차전지.

청구항 5

제 1항에 있어서.

상기 (b)플루오로에틸렌 카보네이트 첨가제는 전체 유기용매의 0.01 내지 10 wt%로 포함된 저온 방전특성 및 상온 수명특성이 향상된 리튬 이차전지.

청구항 6

제 1항에 있어서,

상기 (c)폴리도파민-코팅 분리막은 폴리도파민이 0.001 내지 1 ㎛ 두께로 코팅된 것을 특징으로 하는 저온 방전특성 및 상온 수명특성이 향상된 리튬 이차전지.

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

청구항 9

삭제

청구항 10

제 1항에 있어서,

상기 리튬 이차전지를 구성하는 전해액은 선형 카보네이트계 용매, 환형 카보네이트계 용매, 선형 에스테르 용매 또는 이들의 혼합용매를 포함하는 저온 방전특성 및 상온 수명특성이 향상된 리튬 이차전지.

청구항 11

제 10항에 있어서,

상기 선형 카보네이트계 용매는 디에틸카보네이트, 에틸메틸카보네이트, 디프로필카보네이트, 에틸프로필카보네이트 및 메틸프로필카보네이트로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상인 저온 방전특성 및 상온 수명특성이 향상된 리튬 이차전지.

청구항 12

제 10항에 있어서,

상기 환형 카보네이트계 용매는 에틸렌카보네이트, 1,2-펜틸렌카보네이트, 2,3-펜틸렌카보네이트, 1,2-부틸렌카보네이트 및 2,3-부틸렌카보네이트로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상인 저온 방전특성 및 상온 수명특성이 향상된 리튬 이차전지.

청구항 13

제 10항에 있어서,

상기 선형 에스테르 용매는 에틸프로피오네이트, 프로필아세테이트, 부틸아세테이트로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상인 저온 방전특성 및 상온 수명특성이 향상된 리튬 이차전지.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 리튬 이차전지에 관한 것으로, 보다 상세하게는 리튬염, 플루오로에틸렌 카보네이트(FEC) 첨가제, 폴리도파민-코팅 분리막 및 메틸프로피오네이트(MP) 및 프로피오니트릴(PN)에서 선택되는 한 가지를 포함하는 비수성 유기용매를 포함하여 저온에서의 방전특성 및 상온에서의 수명특성을 향상시킬 수 있는 리튬 이차전지에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 이차전지는 재충전이 불가능하여 일회성을 지니는 1차 전지와는 달리, 재충전(recharge)이 가능해 반영구적으로 사용할 수 있는 화학전지를 말한다. 이차전지는 양극(cathode) 재료나 음극(anode) 재료에 따라 니켈-카드뮴(Ni-Cd) 전지, 니켈-수소(Ni-MH) 전지, 납축전지 및 리튬전지 등으로 나뉠 수 있으며, 전극 재료의 특성에 의해

전위와 에너지 밀도가 결정된다. 이 중에서 리튬의 낮은 산화/환원 전위와 분자량으로 인해 에너지 밀도가 높은 특성을 가지는 리튬 이차전지는 휴대폰, 노트북 또는 캠코더 등의 휴대용 전자기기의 구동 전원으로 많이 사용되고 있다.

[0003] 이러한 리튬 이차전지 중에서 비수성 전해액을 이용하는 리튬 이차전지는, 양극(cathode)으로 금속에 양극 활물질로서 리튬 이온의 탈리 및 삽입이 가능한 $LiCoO_2$, $LiMn_2O_4$, $LiNiO_2$, $LiNi_{1-x}Co_xO_2(0<x<1)$, $LiMnO_2$ 등과 같은 리튬금속 혼합 산화물이 코팅된 것이 사용되며, 음극(anode)으로 금속에 음극 활물질로서 합금 및 탈합금화가 가능한 금속리튬 또는 탄소재료 등을 코팅하여 사용한다. 또한 이들 양극과 음극을 사이에 두고 유기용매에 리튬염 및 기타 첨가제를 용해시킨 전해액(electrolyte)이 위치하게 되며, 리튬 이온이 양극 및 음극에서 삽입 및 탈리될 때의 산화 및 환원반응에 의하여 전지적 에너지를 생성한다.

[0004] 리튬 이차전지는 3.6 내지 3.7V 정도의 평균 방전 전압으로, 다른 니켈-수소 전지, 니켈-카드뮴 전지 등에 비해 높은 전력을 얻을 수 있으나, 이러한 높은 구동 전압을 내기 위해서는 충/방전 전압영역인 0 내지 4.2V에서 전기화학적으로 안정한 전해액 조성물이 요구된다. 이러한 이유로 에틸렌 카보네이트, 디메틸 카보네이트, 디에틸 카보네이트 등의 비수성 카보네이트계 유기용매의 혼합물을 전해액으로 사용하고 있다.

[0005] 그러나, 이차전지는 충/방전 사이클이 반복되면서, 음극의 SEI층(Solid Electrolyte Interface)의 필름두께가 두꺼워져 리튬 이온의 이동이 방해되거나 양극 전이금속이 비수성 전해액의 분해를 촉진하는 촉매로 작용하게 되어 전지 내부에 가스를 발생시키는 등의 이유로 인하여 전지의 용량이 저하되는 문제점이 있다. 또한, 상기와 같은 조성을 가지는 비수성 유기용매 전해액은 전해액에 사용되는 유기용매의 높은 녹는점과 수계(aqueous) 전해액에 비해 현저히 낮은 이온전도도에 의해 저온에서 전지 특성이 급격히 저하되는 문제점이 있다.

[0006] 이러한 문제점으로 인해 온도가 낮은 환경에서 사용될 경우 극한 저온에서의 방전 특성이 요구되나, -20℃이하의 조건에서 전해질이 얼어버리거나, 저항 증가에 의해 전지의 방전 전압이 현저하게 떨어져 전자기기의 사용이 불가능한 현상이 발생하고 있다.

[0007] 상기 문제점들을 해결하기 위하여 대한민국 등록특허공보 제10-0810634호에서는 니트릴계열 용매를 이용하여 저온에서의 방전용량 특성 및 수명특성을 향상하고자 하였다. 그러나, 첨가하는 니트릴계열 용매의 함량이 적어 여전히 이온전도도가 낮고, 저온에서의 방전특성 향상효과가 미미한 문제가 있다.

[0008] 대한민국 공개특허공보 제2012-0121623호에서는 폴리도파민-코팅 분리막을 이용하여 리튬 이차전지의 방전용량 특성을 향상하고자 하였다. 하지만, 분리막의 젖음성이 떨어져 막 내의 이온이동능력을 저하시키고, 저온에서의 방전특성 및 전지의 수명특성은 오히려 떨어지는 문제가 있다.

[0009] 또한, 대한민국 공개특허공보 제2014-0060325호에서는 플루오로에틸렌 카보네이트(FEC)를 전해질 용매에 도입하여 리튬 이차전지의 충/방전특성을 개선하고자 하였다. 하지만, 플루오로에틸렌 카보네이트가 전해질의 이온전도도를 낮추는 역할을 하여, 저온에서의 충/방전특성 및 전지의 수명특성을 개선하지 못하여 종래의 문제를 충분히 해결하지 못하고 있다.

[0010] 따라서, 현재까지도 리튬 이차전지에 대한 저온에서의 방전특성 및 상온에서의 수명특성 향상에 대한 연구가 요구되고 있는 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0011] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허공보 제10-0810634호

(특허문헌 0002) 대한민국 공개특허공보 제2012-0121623호

(특허문헌 0003) 대한민국 공개특허공보 제2014-0060325호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 상기 문제점의 해결을 위하여, 본 발명에서는 리튬염, 플루오로에틸렌 카보네이트(FEC) 첨가제, 폴리도파민-코

팅 분리막 및 메틸프로피오네이트(MP) 및 프로피오니트릴(PN)에서 선택되는 한 가지를 포함하는 비수성 유기용매를 사용함으로써, 저온에서의 방전특성 및 상온에서의 수명특성이 향상된 리튬 이차전지를 제공하고자 하였다.

과제의 해결 수단

[0013] 본 발명은 (a)리튬염; (b)플루오로에틸렌 카보네이트(FEC) 첨가제; (c)폴리도파민-코팅 분리막; 및 (d)메틸프로피오네이트(MP) 및 프로피오니트릴(PN)에서 선택되는 비수성 유기용매; 를 포함하는 저온 방전특성 및 상온 수명특성이 향상된 리튬 이차전지에 관한 것이다.

[0014] 본 발명의 리튬 이차전지는 (e)프로필렌 카보네이트(PC); 를 비수성 유기용매에 추가로 포함할 수 있다.

[0015] 본 발명에서 상기 (a)리튬염은 $LiPF_6$, LiI, $LiAsF_6$, $LiBF_4$, $LiSbF_6$, $LiAlO_4$, $LiAlCl_4$, $LiCF_3SO_3$, $LiC_4F_9SO_3$, $LiN(CF_3SO_2)_2$, $LiN(SO_2F)_2$, $LiN(C_2F_5SO_3)_2$, $LiN(C_2F_5SO_2)_2$, LiCl, LiI, $LiN(C_xF_{2x+1}SO_2)(C_yF_{2y+1}SO_2)$(단, x, y는 자연수), $LiClO_4$,$LiB(C_2O_4)_2$, $LiF_2BC_2O_4$, $LiPF_4(C_2O_4)$, $LiPF_2(C_2O_4)_2$, LiSCN, $LiP(C_2O_4)_3$ 및 $LiPO_2F_2$로 이루어진 군에서 선택되는 하나 또는 둘 이상의 혼합물일 수 있다.

[0016] 본 발명에서 상기 (a)리튬염은 0.5 내지 2.0M의 농도로 존재할 수 있다.

[0017] 본 발명에서 상기 (b)플루오로에틸렌 카보네이트(FEC) 첨가제는 전체 유기용매의 0.01 내지 10 wt%로 포함될 수 있다.

[0018] 본 발명에서 상기 (c)폴리도파민-코팅 분리막은 폴리도파민이 0.001 내지 1 ㎛ 두께로 코팅된 것을 특징으로 할 수 있다.

[0019] 본 발명에서 상기 (d)의 메틸프로피오네이트(MP)는 전체 유기용매의 1 내지 70 부피%로 포함될 수 있다.

[0020] 본 발명에서 상기 (d)의 프로피오니트릴(PN)은 전체 유기용매의 1 내지 80 부피%로 포함될 수 있다.

[0021] 본 발명에서 상기 (e)프로필렌 카보네이트(PC)는 전체 유기용매의 1 내지 25 부피%로 포함될 수 있다.

[0022] 본 발명에서 상기 리튬 이차전지를 구성하는 전해액은 선형 카보네이트계 용매, 환형 카보네이트계 용매, 선형 에스테르 용매 또는 이들의 혼합용매를 포함할 수 있다.

[0023] 본 발명에서 상기 선형 카보네이트계 용매는 디에틸카보네이트(DEC), 에틸메틸카보네이트(EMC), 디프로필카보네이트(DPC), 에틸프로필카보네이트(EPC) 및 메틸프로필카보네이트(MPC)로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상일 수 있다.

[0024] 본 발명에서 상기 환형 카보네이트계 용매는 에틸렌카보네이트(EC), 1,2-펜틸렌카보네이트, 2,3-펜틸렌카보네이트, 1,2-부틸렌카보네이트(1,2-BC) 및 2,3-부틸렌카보네이트(2,3-BC)로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상일 수 있다.

[0025] 본 발명에서 상기 선형 에스테르 용매는 에틸프로피오네이트(EP), 프로필아세테이트, 부틸아세테이트로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상일 수 있다.

발명의 효과

[0026] 본 발명에 따른 염, 첨가제, 비수성 유기용매 및 분리막을 포함하는 리튬 이차전지는 전해액의 이온전도도가 높고 점도가 낮아 상온에서 뿐만 아니라 저온에서도 방전특성이 우수하며, SEI(Solid Electrolyte Interface)의 피막이 안정적으로 형성되어 전해액과 전극의 부반응을 막음으로써 우수한 수명특성을 가진다. 또한, 젖음 특성이 개선된 분리막을 포함함으로서 분리막 내의 이온이동능력이 향상하여 뛰어난 전지의 출력 특성을 가지며, 우수한 저온 방전특성을 가진다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0027] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라, 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0028] 이하, 본 발명에 대하여 보다 구체적으로 설명한다. 이 때 사용되는 기술 용어 및 과학 용어에 있어 다른 정의가 없다면, 이 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 통상적으로 이해하고 있는 의미를 가지며, 하기의 설명에서 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있는 공지기능 및 구성에 대한 설명은 생략한다.

[0029] 리튬 이차전지는 비에너지와 에너지 밀도가 높고 사이클 수명이 길며 낮은 자기방전과 긴 저장수명으로 인하여 상온에서 넓게 이용되고 있다. 또한 -30℃ 미만의 저온에서도 사용 가능한 것이 요구되고 있으나, 일반적으로 저온에서 전해액이 응고하여 전지성능을 발휘하지 못하는 이유로 낮은 저온 성능을 나타내고 있다. 리튬 이차전지의 용량은 -40℃에서 상온의 12% 이다.

[0030] 리튬 이차전지의 성능에 있어서 전해액의 이온 전도도 및 분리막의 젖음 특성이 저온에서의 충/방전 특성 및 전지의 수명특성에 큰 영향을 미칠 수 있으므로 용매의 선택 및 조합 시, 각 성분의 유전율, 점도, 융점, 비점 및 용해도 등을 모두 고려하여 최적의 전해액 시스템을 구성하고, 젖음 특성이 좋은 분리막을 도입할 필요가 있다.

[0031] 본 발명은 저온 방전특성 및 상온 수명특성이 우수한 리튬 이차전지에 관한 것이다.

[0032] 본 발명의 리튬 이차전지는 통상 -10 내지 60℃의 온도 범위에서 보존특성이 우수하고 장시간의 수명을 유지할 수 있으며, 특히 -20℃의 저온에서도 방전특성이 우수하여 리튬 이차전지의 신뢰성을 향상시킬 수 있다.

[0033] 본 발명은 (a)리튬염; (b)플루오로에틸렌 카보네이트(FEC) 첨가제; (c)폴리도파민-코팅 분리막; 및 (d)메틸프로피오네이트(MP) 및 프로피오니트릴(PN)에서 선택되는 비수성 유기용매; 를 포함하는 저온 방전특성 및 상온 수명특성이 향상된 리튬 이차전지를 제공한다.

[0034] 또한 본 발명은 (e)프로필렌 카보네이트(PC); 를 비수성 유기용매에 추가로 포함하여 저온 방전특성 및 상온 수명특성이 향상된 리튬 이차전지를 제공할 수 있다.

[0035] 먼저, 본 발명에 따른 상기 리튬 이차전지에서, 상기 (a)리튬염은 제한되지는 않으나, $LiPF_6$, LiI, $LiAsF_6$, $LiBF_4$, $LiSbF_6$, $LiAlO_4$, $LiAlCl_4$, $LiCF_3SO_3$, $LiC_4F_9SO_3$, $LiN(CF_3SO_2)_2$, $LiN(SO_2F)_2$, $LiN(C_2F_5SO_3)_2$, $LiN(C_2F_5SO_2)_2$, LiCl, LiI, $LiN(C_xF_{2x+1}SO_2)(C_yF_{2y+1}SO_2)$(단, x, y는 자연수), $LiClO_4$,$LiB(C_2O_4)_2$, $LiF_2BC_2O_4$, $LiPF_4(C_2O_4)$, $LiPF_2(C_2O_4)_2$, LiSCN, $LiP(C_2O_4)_3$ 및 $LiPO_2F_2$ 등으로 이루어진 군에서 선택되는 하나 또는 둘 이상의 혼합물을 사용할 수 있다.

[0036] 이 때, 상기 리튬염은 전체 전해액 내에서 0.5 내지 2.0 M 범위 내에서 사용할 수 있으며, 0.7 내지 1.7 M 범위가 바람직하다. 상기 제시한 리튬염의 농도는 리튬 이차전지의 전도성을 나타낼 수 있는 한에서 특별히 제한되지 않으나, 상기 범위 내에서는 본원 발명인 이차전지의 전해액 상 리튬이온의 이동성이 높으며, 이에 따라 전해액의 전도도가 상승하여 이차전지의 성능이 더욱 향상될 수 있어 좋다.

[0037] 본 발명에 따른 상기 리튬 이차전지에서, 상기 (b)플루오로에틸렌 카보네이트(FEC) 첨가제는 리튬이차전지의 전기화학적 특성 및 수명특성을 향상시키며, 전해액의 결정 형성을 방해하여 저온에서의 전지 방전특성을 향상시킨다.

[0038] 또한, 상기 (b)플루오로에틸렌 카보네이트(FEC) 첨가제는 전지의 충/방전시 음극의 표면에서 용매보다 먼저 환원 및 분해되어 안정한 SEI 층을 형성하여 충/방전 및 장기 보존 시 전해액의 분해를 막아주며, 플루오로에틸렌 카보네이트의 불소 원자로 인해 산화 안정성이 높아짐에 따라 전해액의 산화 안정성을 높여준다.

[0039] 본 발명에서 상기 (b)플루오로에틸렌 카보네이트(FEC) 첨가제는 전체 유기용매의 0.01 내지 10 wt% 로 포함될 수 있으며, 전지 성능 향상의 측면에서 바람직하게는 0.05 내지 5 wt%, 더욱 바람직하게는 0.5 내지 3 wt%로 포함될 수 있다. 상기 제시한 플루오로에틸렌 카보네이트(FEC) 첨가제의 함량은 리튬 이차전지의 성능을 저하시키지 않는 한 특별히 제한되지 않으나, 상기 범위 내에서는 리튬 이차전지의 부반응을 최소화하여 전지의 안정성 및 성능을 극대화할 수 있으며, 리튬 이차전지의 저온 방전특성 향상 효과가 가장 효과적으로 일어나게 되어 좋다.

[0040]

[0041] 또한, 본 발명은 종래의 젖음 특성이 낮은 분리막이 나타내는 낮은 방전용량에 대한 문제를 해결하고자 폴리도파민이 코팅된 분리막을 포함하는 리튬 이차전지를 제공한다. 본 발명의 상기 (c)폴리도파민-코팅 분리막은 기존의 폴리프로필렌, 폴리에틸렌, 폴리에틸렌/폴리프로필렌, 폴리에틸렌/폴리프로필렌/폴리에틸렌 또는 폴리프로필렌/폴리에틸렌/폴리프로필렌 등의 폴리올레핀계 고분자 단일막 또는 이들의 다중막, 미세다공성 필름, 직포 또는 부직포가 사용될 수 있으며, 분리막에 폴리도파민을 코팅함으로써 소수성의 표면특성을 친수성으로 전환할 수 있어, 상대적으로 높은 극성의 전해질이 낮은 극성의 분리막에 효과적으로 침투할 수 있게 하여 분리막의 젖음 특성을 증가시킨다. 상기 (c)폴리도파민-코팅 분리막의 우수한 친수성 표면 특성 및 젖음 특성에 의하여, 사이클이 진행되거나 시간이 경과하여도 용매가 분리막 전체에 고루 퍼진 상태를 유지할 수 있고 전류 분포 또한 매우 균질하게 유지될 수 있으며, 이로부터 상온뿐만 아니라 저온에서의 전지 방전특성이 향상될 수 있다.

[0042] 본 발명에서 분리막 코팅제는 증류수 기반의 완충용액 및 도파민계 화합물을 포함하며, 다공성 분리막의 기재에 따라 탄소수 C1 내지 C5의 저가 알코올이 선택적으로 첨가될 수 있다. 상기 도파민계 물질은 약염기 환경(pH 8.5)에서 홍합유래 고분자인 폴리도파민(polydopamine)으로 자발적인 중합이 이루어지며, 이를 통해 미다공성 분리막 기재의 표면에 얇은 고분자 층을 형성하게 된다.

[0043] 상기 다공성 기재의 기공 크기는 0.001 내지 1000 ㎛ 범위, 기공도는 5 내지 95% 범위일 수 있다.

[0044] 본 발명에서 상기 (c)폴리도파민-코팅 분리막은 폴리도파민이 0.001 내지 1 ㎛ 두께로 코팅된 것을 특징으로 할 수 있으며, 상기 두께 범위의 분리막을 사용할 경우, 상기 분리막의 내구성, 용매 및 전류의 균일하게 분포된 상태를 장시간 유지할 수 있어 가장 바람직하다.

[0045] 본 발명의 리튬 이차전지에는 (d)메틸프로피오네이트(MP) 및 프로피오니트릴(PN)에서 선택되는 비수성 유기용매가 포함된다.

[0046] 상기 (d)의 메틸프로피오네이트(MP)는 저융점 유기용매이며 선형 에스테르 용매로, 환형 카보네이트 및 선형 카보네이트 용매와 함께 전해액을 구성하는 비수성 유기용매에 사용될 수 있으며, 녹는점 및 점도가 낮고 이온전도도가 높아 리튬 이차전지의 저온 방전특성 및 상온 수명특성을 향상시킬 수 있다.

[0047] 또한 (d)의 프로피오니트릴(PN)은 모노니트릴화합물로, 환형 카보네이트, 선형 카보네이트 및 선형 에스테르 용매와 함께 전해액의 비수성 유기용매로 사용될 수 있으며, 선형 카보네이트 용매보다 유전율 및 이온 전도도가 높고 환형 카보네이트 용매보다 점도가 낮아, 전해액의 효과적인 용해가 가능함과 더불어 리튬 이차전지의 저온 방전특성을 효과적으로 향상시킬 수 있다.

[0048] 상기 비수성 유기용매에 (d)의 메틸프로피오네이트(MP)를 포함하는 경우, 메틸프로피오네이트(MP)는 전체 유기용매의 1 내지 70 부피%, 바람직하게는 5 내지 65 부피%, 더욱 바람직하게는 10 내지 60 부피%로 포함될 수 있으며, 상기 비수성 유기용매에 (d)의 프로피오니트릴(PN)을 포함하는 경우, 프로피오니트릴(PN)은 전체 유기용매의 1 내지 80 부피%, 바람직하게는 7 내지 70 부피%, 더욱 바람직하게는 10 내지 68 부피% 포함될 수 있다.

[0049] 상기 제시한 메틸프로피오네이트(MP)의 첨가하는 함량은 전지의 성능을 저해하지 않는 한 특별히 제한되지 않으나, 상기 범위 내에서는 선형 에스테르 용매가 나타내는 저온 방전특성의 향상 효과가 가장 효과적으로 일어나며, 리튬 이차전지의 전기 화학적 안정성이 유지되고 전지의 부반응 발생을 최소화하여 전지의 성능 및 전지의 저온 방전특성을 효과적으로 향상시킬 수 있어 좋다. 또한, 상기 제시한 프로피오니트릴(PN)의 첨가하는 함량은 전지의 성능을 저해하지 않는 한 특별히 제한되지 않으나, 상기 범위 내에서는 리튬 이차전지에서 필요로 하는 전해액 구성 요소인 선형 카보네이트 용매, 선형 에스테르 용매 및 환형 카보네이트 용매의 적정 함량비를 유지할 수 있어, 적정 점도의 전해액을 사용함으로써 이온 전도도를 극대화할 수 있으며, 선형 카보네이트 용매로 인해 형성되는 전극의 SEI 피막 또한 효과적으로 형성되어 리튬 이차전지의 수명특성 및 저온 방전특성을 효과적으로 향상시킬 수 있어 좋다.

[0050] 본 발명의 리튬 이차전지에는 (e)프로필렌 카보네이트(PC)가 상기 비수성 유기용매에 추가로 포함될 수 있다.

[0051] 상기 (e)프로필렌 카보네이트(PC)는 환형 카보네이트 용매로, 전해액의 비수성 유기용매에 기본적으로 사용되는 환형 카보네이트 용매인 에틸렌 카보네이트(EC)와 저점도 및 저유전율을 나타내는 선형 카보네이트 및 선형 에

스테르 용매와 혼합하여 사용할 수 있으며, 넓은 온도범위에서 사용이 가능하고 유전율이 높아 리튬 이차전지의 저온 방전특성 및 수명특성을 향상시킬 수 있다. 하지만 상기 프로필렌 카보네이트(PC)는 점도가 매우 높으며 에틸렌 카보네이트보다 열적, 전기화학적으로 불안정하다. 따라서, 전해액의 비수성 유기용매에서 에틸렌 카보네이트 100 중량부에 대해 프로필렌 카보네이트의 함량이 100 중량부를 초과하는 경우, 수명특성이 저하되고 전지 내의 가스 발생이 많아질 수 있다. 이에 반해, 에틸렌 카보네이트 100 중량부에 대해 프로필렌 카보네이트의 함량이 12.5 중량부 미만일 경우, 전극을 보호해주는 SEI 피막의 형성이 제대로 이루어지지 않아 오히려 수명특성이 저하될 수 있다.

[0052] 또한 본 발명의 일실시예에 의하면, 상기 (e)프로필렌 카보네이트(PC)를 (d)의 메틸프로피오네이트(MP)가 포함된 비수성 유기용매에 소량 더 포함하여 리튬 이차전지의 저온 방전특성 및 상온 수명특성이 현저하게 향상된 것을 확인하였다.

[0053] 본 발명에서 상기 (e)프로필렌 카보네이트(PC)는 전체 비수성 유기용매의 1 내지 25 부피%, 바람직하게는 10 내지 17 부피%로 포함될 수 있다. 상기 제시한 (e)프로필렌 카보네이트(PC)의 첨가하는 함량은 전지의 성능을 저하시키지 않는 한에서 특별히 제한되지는 않으나, 상기 범위 내에서는 리튬 이차전지의 열적 및 전기화학적 안정성이 향상되어 음극과의 부반응을 최소화할 수 있으며, 프로필렌 카보네이트가 나타내는 리튬 이차전지의 저온 특성 향상효과를 극대화 할 수 있어, 리튬 이차전지의 성능 및 방전특성을 동시에 향상시킬 수 있어 더욱 좋다.

[0054] 상기 리튬 이차전지를 구성하는 전해액은 한정되는 것은 아니나, 선형 카보네이트계 용매, 환형 카보네이트계 용매, 선형 에스테르 용매 또는 이들의 혼합용매일 수 있다. 상기 선형 카보네이트계 용매의 구체적인 예로는, 디에틸카보네이트(DEC), 에틸메틸카보네이트(EMC), 디프로필카보네이트(DPC), 에틸프로필카보네이트(EPC) 및 메틸프로필카보네이트(MPC) 등으로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상일 수 있으며, 상기 환형 카보네이트계 용매의 구체적인 예로는, 에틸렌카보네이트(EC), 1,2-펜틸렌카보네이트, 2,3-펜틸렌카보네이트, 1,2-부틸렌카보네이트(1,2-BC) 및 2,3-부틸렌카보네이트(2,3-BC) 등으로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상일 수 있으나 이에 한정되는 것은 아니다. 또한, 상기 선형 에스테르 용매의 구체적인 예로는, 에틸프로피오네이트, 프로필아세테이트, 부틸아세테이트 등으로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상일 수 있으며, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0055] 상기 환형 카보네이트계 용매는 큰 극성에 의해 리튬 이온을 충분히 해리시킬 수 있어서 유전율이 높은 반면, 점도가 커서 이온 전도도가 작은 단점이 있기 때문에, 상기 환형 카보네이트계 용매에 유전율은 매우 낮지만 점도가 낮은 선형 카보네이트계 용매 및 선형 에스테르 용매를 혼합하여 사용함으로써 리튬 이차전지의 특성을 최적화할 수 있다. 따라서, 상기 비수성 유기용매로 환형 카보네이트계 용매에서 선택되는 하나 이상의 용매와 선형 카보네이트계 용매 및 선형 에스테르 용매에서 선택되는 하나 이상의 용매를 혼합하여 사용하는 것이 바람직하며, 환형 카보네이트계 용매 중에서는 유전율이 높은 에틸렌 카보네이트(EC) 또는 프로필렌 카보네이트(PC)와 선형 카보네이트계 용매 중에서는 점도가 낮은 디메틸카보네이트(DMC), 에틸메틸카보네이트(EMC) 또는 디에틸카보네이트(DEC)를 혼합하여 사용하는 것이 바람직하다. 이 때, 상기 혼합용매는 환형 카보네이트계 용매 100 부피부에 대해 선형 카보네이트계 및 선형 에스테르계 용매가 11 내지 900 부피부로 혼합할 수 있으며, 바람직하게는 환형 카보네이트계 용매 100 부피부에 대해 선형 카보네이트계 및 선형 에스테르계 용매가 25 내지 400 부피부로 혼합하여 사용하는 것이 전지의 수명특성과 보존특성 측면에서 가장 바람직하다.

[0056] 본 발명의 리튬 이차전지는 상기 리튬염, 첨가제, 분리막 및 비수성 유기용매 이외에 리튬을 흡장 및 방출할 수 있는 양극 활물질을 포함하는 양극 및 리튬을 흡장 및 방출할 수 있는 음극 활물질을 포함하는 음극을 더 포함한다.

[0057] 상기 양극은 집전체 및 상기 집전체상에 형성되어 있는 양극 활물질층을 포함할 수 있으며, 상기 양극 활물질층은 리튬을 흡장 및 방출할 수 있는 양극 활물질, 바인더 및 도전재에서 선택되는 하나 이상의 물질을 포함할 수 있다. 이 때, 상기 양극 활물질은 코발트, 망간 및 니켈에서 선택되는 하나 이상일 수 있고 리튬과의 복합 금속 산화물인 것이 바람직하며, 이에 제한되지 않고 이차전지에서 양극 활물질로서 사용가능한 임의의 물질을 사용할 수 있다.

[0058] 상기 음극은 집전체 및 상기 집전체 상에 형성되어 있는 음극 활물질층을 포함할 수 있으며, 상기 음극 활물질층은 리튬을 흡장 및 방출할 수 있는 음극 활물질, 바인더 및 도전재에서 선택되는 하나 이상의 물질을 포함할 수 있다. 이 때, 상기 음극 활물질로는 비정질 탄소, 결정질 탄소, 탄소 섬유, 탄소 복합체, 리튬금속, 리튬 합금 또는 탄소-금속 복합체가 바람직하며, 이에 제한되지 않고 이차전지에서 음극 활물질로서 사용가능한 임의의 물질을 사용할 수 있다.

[0059] 상기 바인더는 활물질의 상호 접착, 활물질의 페이스트화, 집전체와의 접착, 활물질 팽창 및 수축에 대한 완충 효과 등의 역할을 하는 물질이며, 통상의 당업자에 의해 사용될 수 있는 것이라면 모두 가능하다. 또한 상기 도전재는 전극에 도전성을 부여하기 위해 사용되는 것으로, 구성되는 전지에 있어서 화학변화를 야기하지 않고 전자 전도성 재료이면 어떠한 것도 사용 가능하다.

[0060] 이하, 본 발명의 이해를 돕기 위하여 하기 바람직한 실시예를 제시하여 본 발명을 구체적으로 설명한다. 그러나 하기 실시예는 본 발명의 예시에 불과한 것으로서 제공되는 것일 뿐, 실시예에 의하여 본 발명의 내용이 한정되는 것은 아니며, 다른 변형 및 변경이 가능할 수 있다.

[0061] [실시예 1] 리튬염 1.0M+FEC 2wt%+폴리도파민분리막+[EC/EMC/MP=35/55/10부피%]

[0062] 양극 활물질로서 전체 4348g 중 $LiCoO_2$(Lithium Cobalt Oxide, 유미코아, KD-10) 4000g와 바인더로서 폴리비닐리덴 플루오라이드(PVdF, Solef-6020, Solvay Chem., Belgium) 174g, 도전재로서 카본블랙(Carbon Black, Super-P, Timcal, Belgium) 174g를 혼합한 다음, N-메틸-2-피롤리돈(NMP, Sigma Aldrich, USA) 2332g에 분산시켜 양극 슬러리를 제조하였다. 상기 양극 슬러리를 두께 15㎛의 알루미늄 호일에 55㎛ 두께로 코팅한 후 130℃의 온도에서 건조하고 두께 40㎛, 밀도 3g/cc로 압연하여 양극을 제조하였다.

[0063] 음극 활물질로 전체 3226g 중 결정성 인조 흑연 (Artificial Graphite, SCMG-AR, SHOWA DENKO, Japan) 3000g과 도전재로서 카본블랙(Carbon Black, Super-P, Timcal, Belgium) 65g 및 바인더로서 폴리비닐리덴 플루오라이드(PVdF, Solef-6020, Solvay Chem., Belgium) 161g를 혼합하고, N-메틸-2-피롤리돈(NMP, Sigma Aldrich, USA) 1774g에 분산시켜 음극 활물질 슬러리를 제조하였다. 상기 음극 활물질 슬러리를 두께 10㎛의 구리 호일에 70㎛ 두께로 코팅한 후 130℃의 온도에서 건조하고 두께 43㎛, 밀도 1.35g/cc로 압연하여 음극을 제조하였다.

[0064] 분리막은 코팅용액으로 트리스하이드록시메틸아미노메탄하이드로클로라이드(Tris(hydroxymethyl)aminomethane hydrochloride, Sigma Aldrich, USA) 0.614g, 트리스하이드록시메틸아미노메탄(Tris(hydroxymethyl)aminomethane, Sigma Aldrich, USA) 0.74g 및 증류수 1L를 혼합하여 증류수 기반의 완충용액을 제조한 후, 상기 완충용액에 도파민하이드로클로라이드(Dopamine Hydrochloride, Sigma Aldrich, USA) 4g 및 메틸알코올(Methyl alcohol, Sigma Aldrich, USA) 1L를 혼합하여 코팅용액을 제조하고, 상기 코팅용액에 두께 20㎛의 폴리에틸렌(PE) 재질의 필름(ND420, Asahi Kasei, Japan)을 24시간 함침시켜 폴리도파민을 코팅 분리막을 제조하였다.

[0065] 상기 과정을 통하여 제조된 전극들 사이에 상기 폴리도파민 코팅 분리막을 스택킹(Stacking)하여 권취 및 압축하여 두께 6 mm x 가로 35 mm x 세로 60 mm 사이즈의 파우치를 이용하여 셀(Cell)을 구성하였다.

[0066] 또한, 에틸렌 카보네이트(EC)를 17.5 ㎖, 에틸메틸카보네이트(EMC)를 30 ㎖, 메틸프로피오네이트(MP)를 2.5 ㎖로 혼합한 비수성 유기용매에 $LiPF_6$을 1.0M이 되도록 용해시킨 다음, 플루오로에틸렌 카보네이트(FEC) 첨가제를 전체 비수성 유기용매의 2 wt% (1.1 g) 를 첨가하여 리튬 이차전지의 전해액을 제조하였다.

[0067] 상기 제조방법으로 제조된 리튬 이차전지를 하기 실험 1) 및 실험 2)의 방법을 통하여 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성 및 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0068] 실험 1) 저온(-20℃)에서의 리튬 이차전지 방전특성 평가

[0069] 리튬 이차전지를 상온(25℃)에서 4.2V까지 0.1C 충전 후 0.1C 방전하는 과정 1회와 0.2C 충전 후 0.2C 방전하는 과정 3회를 반복하여 안정화를 시킨 후 4.2V까지 0.5C 충전 후 0.5C 방전하는 과정을 1회 거친다. 상기 과정을 거친 리튬 이차전지를 상온(25℃)에서 4.2V까지 0.5C 충전 후 -20℃의 저온인큐베이터(LRH-CTC1, Neuronfit, 한국)에 2시간 넣어 보관한 다음, 0.5C 방전하는 과정을 1회 거쳐 리튬 이차전지의 저온 방전용량을 측정하였다. -20℃에서의 방전용량을 상온(25℃)에서의 방전용량대비 백분율로 계산하여, 저온(-20℃)에서의 방전특성을 평가하였다.

[0070] 실험 2) 상온(25℃)에서의 리튬 이차전지 사이클 수명특성 평가

[0071] 리튬 이차전지를 상온(25℃)에서 4.2V까지 0.5C 충전 후 3.0V까지 0.5C 방전하는 과정을 500회 반복하여 상온 수명특성(사이클 성능)을 측정하였다. 초기 방전용량 및 500사이클에서의 방전용량을 초기 용량대비 백분율로 계산하여 상온(25℃)에서의 사이클 수명 특성을 평가하였다.

[0072] [실시예 2] 리튬염 1.0M+FEC 2wt%+폴리도파민분리막+[EC/EMC/MP=35/55/10부피%]

[0073] 상기 실시예 1의 전해액 제조과정에서 에틸메틸카보네이트(EMC)를 27.5 ㎖ 첨가하고, 메틸프로피오네이트(MP)를 5 ㎖ 첨가하여 혼합하는 것을 제외하고, 나머지는 실시예 1과 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0074] [실시예 3] 리튬염 1.0M+FEC 2wt%+폴리도파민분리막+[EC/EMC/MP=35/40/25부피%]

[0075] 상기 실시예 2에서 에틸메틸카보네이트(EMC)를 20 ㎖ 첨가하고, 메틸프로피오네이트(MP)를 12.5 ㎖ 첨가하여 혼합하는 것을 제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0076] [실시예 4] 리튬염 1.0M+FEC 2wt%+폴리도파민분리막+[EC/MP=35/65부피%]

[0077] 상기 실시예 2에서 에틸메틸카보네이트(EMC)를 첨가하지 않으며, 메틸프로피오네이트(MP)를 32.5 ㎖ 첨가하여 혼합하는 것을 제외하고, 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0078] [실시예 5] 리튬염 1.0M+FEC 1wt%+폴리도파민분리막+[EC/EMC/MP=35/55/10부피%]

[0079] 상기 실시예 1의 비수성 유기용매에 플루오로에틸렌 카보네이트(FEC) 첨가제를 전체 비수성 유기용매의 1 wt% (0.55 g) 첨가하는 것을 제외하고, 나머지는 실시예 1과 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0080] [실시예 6] 리튬염 1.0M+FEC 3wt%+폴리도파민분리막+[EC/EMC/MP=35/55/10부피%]

[0081] 상기 실시예 5에서 플루오로에틸렌 카보네이트(FEC) 첨가제를 전체 비수성 유기용매의 3 wt% (1.65 g) 첨가하는 것을 제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0082] [실시예 7] 리튬염 1.0M+FEC 5wt%+폴리도파민분리막+[EC/EMC/MP=35/55/10부피%]

[0083] 상기 실시예 5에서 플루오로에틸렌 카보네이트(FEC) 첨가제를 전체 비수성 유기용매의 5 wt% (2.75 g) 첨가하는 것을 제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0084] [실시예 8] 리튬염 1.0M+FEC 2wt%+폴리도파민분리막+[EC/EMC/PN=35/55/10부피%]

[0085] 상기 실시예 2에서 메틸프로피오네이트(MP)를 대신하여 프로피오니트릴(PN)을 5 ㎖ 첨가하여 혼합하는 것을 제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0086] [실시예 9] 리튬염 1.0M+FEC 2wt%+폴리도파민분리막+[EC/EMC/PN=35/40/25부피%]

[0087] 상기 실시예 3에서 메틸프로피오네이트(MP)를 대신하여 프로피오니트릴(PN)을 12.5 ㎖ 첨가하여 혼합하는 것을

제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0088] [실시예 10] 리튬염 1.0M+FEC 2wt%+폴리도파민분리막+[EC/EMC/PN=35/25/40부피%]

[0089] 상기 실시예 9에서 에틸메틸카보네이트(EMC)를 12.5 ㎖ 첨가하며, 프로피오니트릴(PN)을 20 ㎖ 첨가하여 혼합하는 것을 제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0090] [실시예 11] 리튬염 1.0M+FEC 2wt%+폴리도파민분리막+[EC/PN=35/65부피%]

[0091] 상기 실시예 4에서 메틸프로피오네이트(MP)를 대신하여 프로피오니트릴(PN)을 32.5 ㎖ 첨가하여 혼합하는 것을 제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0092] [실시예 12] 리튬염 1.0M+FEC 1wt%+폴리도파민분리막+[EC/EMC/PN=35/40/25부피%]

[0093] 상기 실시예 9에서 비수성 유기용매에 플루오로에틸렌 카보네이트(FEC) 첨가제를 전체 비수성 유기용매의 1 wt% (0.55 g) 첨가하는 것을 제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0094] [실시예 13] 리튬염 1.0M+FEC 3wt%+폴리도파민분리막+[EC/EMC/PN=35/40/25부피%]

[0095] 상기 실시예 12에서 플루오로에틸렌 카보네이트(FEC) 첨가제를 전체 비수성 유기용매의 3 wt% (1.65 g) 첨가하는 것을 제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0096] [실시예 14] 리튬염 1.0M+FEC 5wt%+폴리도파민분리막+[EC/EMC/PN=35/40/25부피%]

[0097] 상기 실시예 12에서 플루오로에틸렌 카보네이트(FEC) 첨가제를 전체 비수성 유기용매의 5 wt% (2.75 g) 첨가하는 것을 제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0098] [실시예 15] 리튬염 1.0M+FEC 2wt%+폴리도파민분리막+[EC/PC/EMC/MP=30/5/60/5부피%]

[0099] 상기 실시예 1에서 에틸렌 카보네이트(EC)를 15 ㎖ 첨가하며, 프로필렌 카보네이트(PC)를 2.5 ㎖ 추가로 첨가하는 것을 제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0100] [실시예 16] 리튬염 1.0M+FEC 2wt%+폴리도파민분리막+[EC/PC/EMC/MP=30/5/55/10부피%]

[0101] 상기 실시예 2에서 에틸렌 카보네이트(EC)를 15 ㎖ 첨가하며, 프로필렌 카보네이트(PC)를 2.5 ㎖ 추가로 첨가하는 것을 제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0102] [실시예 17] 리튬염 1.0M+FEC 2wt%+폴리도파민분리막+[EC/PC/EMC/MP=30/5/40/25부피%]

[0103] 상기 실시예 3에서 에틸렌 카보네이트(EC)를 15 ㎖ 첨가하며, 프로필렌 카보네이트(PC)를 2.5 ㎖ 추가로 첨가하는 것을 제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과

상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0104] [실시예 18] 리튬염 1.0M+FEC 2wt%+폴리도파민분리막+[EC/PC/MP=30/5/65부피%]

[0105] 상기 실시예 4에서 에틸렌 카보네이트(EC)를 15 ㎖ 첨가하며, 프로필렌 카보네이트(PC)를 2.5 ㎖ 추가로 첨가하는 것을 제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0106] [실시예 19] 리튬염 1.0M+FEC 2wt%+폴리도파민분리막+[EC/PC/EMC/MP=25/10/60/5 부피%]

[0107] 상기 실시예 1에서 에틸렌 카보네이트(EC)를 12.5 ㎖ 첨가하며, 프로필렌 카보네이트(PC)를 5 ㎖ 추가로 첨가하는 것을 제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0108] [실시예 20] 리튬염 1.0M+FEC 2wt%+폴리도파민분리막+[EC/PC/EMC/MP=25/10/55/10 부피%]

[0109] 상기 실시예 2에서 에틸렌 카보네이트(EC)를 12.5 ㎖ 첨가하며, 프로필렌 카보네이트(PC)를 5 ㎖ 추가로 첨가하는 것을 제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0110] [실시예 21] 리튬염 1.0M+FEC 2wt%+폴리도파민분리막+[EC/PC/EMC/MP=25/10/40/25 부피%]

[0111] 상기 실시예 3에서 에틸렌 카보네이트(EC)를 12.5 ㎖ 첨가하며, 프로필렌 카보네이트(PC)를 5 ㎖ 추가로 첨가하는 것을 제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0112] [실시예 22] 리튬염 1.0M+FEC 2wt%+폴리도파민분리막+[EC/PC/MP=25/10/65 부피%]

[0113] 상기 실시예 4에서 에틸렌 카보네이트(EC)를 12.5 ㎖ 첨가하며, 프로필렌 카보네이트(PC)를 5 ㎖ 추가로 첨가하는 것을 제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0114] [실시예 23] 리튬염 1.0M+FEC 2wt%+폴리도파민분리막+[EC/PC/EMC/MP=20/15/60/5부피%]

[0115] 상기 실시예 1에서 에틸렌 카보네이트(EC)를 10 ㎖ 첨가하며, 프로필렌 카보네이트(PC)를 7.5 ㎖ 추가로 첨가하는 것을 제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0116] [실시예 24]리튬염 1.0M+FEC 2wt%+폴리도파민분리막+[EC/PC/EMC/MP=20/15/55/10부피%]

[0117] 상기 실시예 2에서 에틸렌 카보네이트(EC)를 10 ㎖ 첨가하며, 프로필렌 카보네이트(PC)를 7.5 ㎖ 추가로 첨가하는 것을 제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0118] [실시예 25]리튬염 1.0M+FEC 2wt%+폴리도파민분리막+[EC/PC/EMC/MP=20/15/40/25부피%]

[0119] 상기 실시예 3에서 에틸렌 카보네이트(EC)를 10 ㎖ 첨가하며, 프로필렌 카보네이트(PC)를 7.5 ㎖ 추가로 첨가하는 것을 제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과

상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0120] [실시예 26]리튬염 1.0M+FEC 2wt%+폴리도파민분리막+[EC/PC/MP=20/15/65부피%]

[0121] 상기 실시예 4에서 에틸렌 카보네이트(EC)를 10 ㎖ 첨가하며, 프로필렌 카보네이트(PC)를 7.5 ㎖ 추가로 첨가하는 것을 제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0122] [실시예 27] 리튬염 1.0M+FEC 2wt%+폴리도파민분리막+[EC/PC/EMC/MP=15/20/60/5부피%]

[0123] 상기 실시예 1에서 에틸렌 카보네이트(EC)를 7.5 ㎖ 첨가하며, 프로필렌 카보네이트(PC)를 10 ㎖ 추가로 첨가하는 것을 제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0124] [실시예 28] 리튬염 1.0M+FEC 2wt%+폴리도파민분리막+[EC/PC/EMC/MP=15/20/55/10부피%]

[0125] 상기 실시예 2에서 에틸렌 카보네이트(EC)를 7.5 ㎖ 첨가하며, 프로필렌 카보네이트(PC)를 10 ㎖ 추가로 첨가하는 것을 제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0126] [실시예 29] 리튬염 1.0M+FEC 2wt%+폴리도파민분리막+[EC/PC/EMC/MP=15/20/40/25부피%]

[0127] 상기 실시예 3에서 에틸렌 카보네이트(EC)를 7.5 ㎖ 첨가하며, 프로필렌 카보네이트(PC)를 10 ㎖ 추가로 첨가하는 것을 제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0128] [실시예 30] 리튬염 1.0M+FEC 2wt%+폴리도파민분리막+[EC/PC/MP=15/20/65부피%]

[0129] 상기 실시예 4에서 에틸렌 카보네이트(EC)를 7.5 ㎖ 첨가하며, 프로필렌 카보네이트(PC)를 10 ㎖ 추가로 첨가하는 것을 제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0130] [비교예 1] 리튬염 1.0M+VC 2wt%+Bare분리막+[EC/EMC/DEC=35/55/10부피%]

[0131] 상기 실시예 2에서 분리막은 폴리도파민 코팅과정을 거치지 않은 두께 20㎛의 폴리에틸렌(ND420, Asahi Kasei, Japan) 분리막(이하, PE 분리막)을 사용하며, 에틸렌 카보네이트(EC)를 17.5 ㎖, 에틸메틸카보네이트(EMC)를 27.5 ㎖, 디에틸카보네이트(DEC)를 5 ㎖로 혼합한 비수성 유기용매에 $LiPF_6$을 1.0M이 되도록 용해시킨 다음, 비닐렌카보네이트(VC) 첨가제를 전체 비수성 유기용매의 2 wt% (1.1 g) 를 첨가하여 제조한 리튬 이차전지의 전해액을 사용하는 것을 제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0132] [비교예 2] 리튬염 1.0M+FEC 2wt%+폴리도파민분리막+[EC/EMC/DEC=35/55/10부피%]

[0133] 상기 실시예 2에서 메틸프로피오네이트(MP)를 대신하여 디에틸카보네이트(DEC)를 5 ㎖ 첨가하여 혼합하는 것을 제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0134] [비교예 3] 리튬염 1.0M+FEC 2wt%+Bare분리막+[EC/EMC/MP=35/55/10부피%]

[0135] 상기 실시예 2에서 폴리도파민-코팅 분리막을 대신하여 폴리도파민 코팅과정을 거치지 않은 PE 분리막을 사용하는 것을 제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0136] [비교예 4] 리튬염 1.0M+FEC 2wt%+Bare분리막+[EC/EMC/DEC=35/55/10부피%]

[0137] 상기 비교예 1에서 비닐렌카보네이트(VC) 첨가제를 대신하여 플루오로에틸렌 카보네이트(FEC) 첨가제를 전체 비수성 유기용매의 2 wt% (1.1 g) 첨가하는 것을 제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0138] [비교예 5] 리튬염 1.0M+VC 2wt%+폴리도파민분리막+[EC/EMC/MP=35/55/10부피%]

[0139] 상기 실시예 2에서 플루오로에틸렌 카보네이트(FEC) 첨가제를 대신하여 비닐렌카보네이트(VC) 첨가제를 전체 비수성 유기용매의 2 wt% (1.1 g) 첨가하는 것을 제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0140] [비교예 6] 리튬염 1.0M+VC 2wt%+폴리도파민분리막+[EC/EMC/PN=35/40/25부피%]

[0141] 상기 실시예 9에서 플루오로에틸렌 카보네이트(FEC) 첨가제를 대신하여 비닐렌카보네이트(VC) 첨가제를 전체 비수성 유기용매의 2 wt% (1.1 g) 첨가하는 것을 제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0142] [비교예 7] 리튬염 1.0M+FEC 2wt%+폴리도파민분리막+[EC/PC/EMC=30/5/65부피%]

[0143] 상기 실시예 15에서 메틸프로피오네이트(MP)를 첨가하지 않으며 에틸메틸카보네이트(EMC)를 32.5 ㎖ 첨가하여 혼합하는 것을 제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0144] [비교예 8] 리튬염 1.0M+FEC 2wt%+폴리도파민분리막+[EC/PC/EMC=25/10/65부피%]

[0145] 상기 실시예 19에서 메틸프로피오네이트(MP)를 첨가하지 않으며 에틸메틸카보네이트(EMC)를 32.5 ㎖ 첨가하여 혼합하는 것을 제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0146] [비교예 9] 리튬염 1.0M+FEC 2wt%+폴리도파민분리막+[EC/PC/EMC=20/15/65부피%]

[0147] 상기 실시예 23에서 메틸프로피오네이트(MP)를 첨가하지 않으며 에틸메틸카보네이트(EMC)를 32.5 ㎖ 첨가하여 혼합하는 것을 제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0148] [비교예 10] 리튬염 1.0M+FEC 2wt%+폴리도파민분리막+[EC/PC/EMC=15/20/65부피%]

[0149] 상기 실시예 27에서 메틸프로피오네이트(MP)를 첨가하지 않으며 에틸메틸카보네이트(EMC)를 32.5 ㎖ 첨가하여 혼합하는 것을 제외하고, 나머지는 동일한 과정으로 리튬 이차전지를 제조하고, 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성과 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성을 평가하였다.

[0150] 이해를 돕기 위하여, 본 발명의 상기 실시예 1 내지 실시예 30 및 비교예 1 내지 비교예 10을 통하여 제조되는 리튬 이차전지의 구성을 하기 표 1에 도시하였다.

[0151] 또한, 상기 실시예 1 내지 실시예 30 및 비교예 1 내지 비교예 10에서 상기 실험 1) 및 실험 2)의 방법을 통하여 평가한 리튬 이차전지의 저온(-20℃)에서의 전지 방전특성 및 상온(25℃)에서의 사이클 수명특성 결과를 하기 표 2에 도시하였다.

표 1

	리튬염	첨가제(wt%)	분리막	유기용매 (vol.%)
실시예 1	1.0M $LiPF_6$	FEC 2wt%	폴리도파민	EC/EMC/MP=35/60/5
실시예 2				EC/EMC/MP=35/55/10
실시예 3				EC/EMC/MP=35/40/25
실시예 4				EC/MP=35/65
실시예 5		FEC 1wt%		EC/EMC/MP=35/55/10
실시예 6		FEC 3wt%		
실시예 7		FEC 5wt%		
실시예 8		FEC 2wt%		EC/EMC/PN=35/55/10
실시예 9				EC/EMC/PN=35/40/25
실시예 10				EC/EMC/PN=35/25/40
실시예 11				EC/PN=35/65
실시예 12		FEC 1wt%		EC/EMC/PN=35/40/25
실시예 13		FEC 3wt%		
실시예 14		FEC 5wt%		
실시예 15		FEC 2wt%		EC/PC/EMC/MP=30/5/60/5
실시예 16				EC/PC/EMC/MP=30/5/55/10
실시예 17				EC/PC/EMC/MP=30/5/40/25
실시예 18				EC/PC/MP=30/5/65
실시예 19				EC/PC/EMC/MP=25/10/60/5
실시예 20				EC/PC/EMC/MP=25/10/55/10
실시예 21				EC/PC/EMC/MP=25/10/40/25
실시예 22				EC/PC/MP=25/10/65
실시예 23				EC/PC/EMC/MP=20/15/60/5
실시예 24				EC/PC/EMC/MP=20/15/55/10
실시예 25				EC/PC/EMC/MP=20/15/40/25
실시예 26				EC/PC/MP=20/15/65
실시예 27				EC/PC/EMC/MP=15/20/60/5
실시예 28				EC/PC/EMC/MP=15/20/55/10
실시예 29				EC/PC/EMC/MP=15/20/40/25
실시예 30				EC/PC/MP=15/20/65
비교예 1		VC 2wt%	Bare	EC/EMC/DEC=35/55/10
비교예 2		FEC 2wt%	폴리도파민	EC/EMC/DEC=35/55/10
비교예 3			Bare	EC/EMC/MP=35/55/10
비교예 4			Bare	EC/EMC/DEC=35/55/10
비교예 5		VC 2wt%	폴리도파민	EC/EMC/MP=35/55/10
비교예 6		VC 2wt%		EC/EMC/PN=35/40/25
비교예 7		FEC 2wt%		EC/PC/EMC=30/5/65
비교예 8				EC/PC/EMC=25/10/65
비교예 9				EC/PC/EMC=20/15/65
비교예 10				EC/PC/EMC=15/20/65

[0152]

표 2

	상온(25℃) 방전용량 (mAh)	저온(-20℃) 방전용량 (mAh)	저온 방전특성 (%)	향상률 (비교예 1에 대비한 %)	상온(25℃) 수명특성 (초기 방전용량 대비 500cycle 후 방전용량 %)
실시예 1	964.7	706.2	73.2	8.0	86.1
실시예 2	962.4	720.8	75.1	9.9	88.5
실시예 3	957.0	718.7	75.1	9.9	86.8
실시예 4	967.2	727.3	75.2	10.0	85.6
실시예 5	966.3	728.6	75.4	10.2	86.0
실시예 6	955.2	694.4	73.7	7.5	88.1
실시예 7	956.3	686.6	72.8	6.9	86.5
실시예 8	964.1	713.4	74.0	8.8	86.4
실시예 9	968.5	748.7	77.3	12.1	86.7
실시예 10	953.3	741.7	77.8	12.6	85.2
실시예 11	954.3	743.4	77.9	12.7	84.4
실시예 12	960.4	747.2	77.8	12.6	85.9
실시예 13	963.8	737.3	76.5	11.3	86.3
실시예 14	961.5	684.6	73.2	7.0	84.8
실시예 15	954.8	767.7	80.4	15.2	89.7
실시예 16	958.2	775.2	80.9	15.7	89.5
실시예 17	961.4	783.5	81.5	16.3	90.8
실시예 18	957.7	802.6	83.8	18.6	91.4
실시예 19	958.6	799.5	83.4	18.2	90.1
실시예 20	959.6	806.1	84.0	18.8	90.2
실시예 21	962.3	816.0	84.8	19.6	91.6
실시예 22	965.3	856.2	88.7	23.5	92.9
실시예 23	957.0	805.8	84.2	19.0	91.3
실시예 24	967.5	823.3	85.1	19.9	92.0
실시예 25	958.6	846.4	88.3	23.1	92.7
실시예 26	966.3	886.1	91.7	26.5	93.6
실시예 27	954.2	814.9	85.4	20.2	86.9
실시예 28	957.6	818.7	85.5	20.3	87.2
실시예 29	963.9	828.0	85.9	20.7	89.5
실시예 30	953.8	840.3	88.1	22.9	90.8
비교예 1	958.5	624.9	65.2	-	80.3
비교예 2	960.3	665.5	69.3	4.1	84.0
비교예 3	957.7	660.8	69.0	3.8	82.3
비교예 4	951.5	642.3	67.5	2.3	82.8
비교예 5	949.8	667.7	70.3	5.1	83.9
비교예 6	953.2	682.5	71.6	6.4	81.2
비교예 7	964.1	675.8	70.1	4.9	83.4
비교예 8	959.6	680.4	70.9	5.7	83.4
비교예 9	966.4	693.9	71.8	6.6	82.1
비교예 10	955.7	684.3	71.6	6.4	82.5

[0153]

[0154] 상기 표 2의 결과를 통하여, 폴리도파민-코팅 분리막, 플루오로에틸렌 카보네이트(FEC) 첨가제 및 메틸프로피오네이트(MP)와 프로피오니트릴(PN) 중에서 선택되는 하나를 포함한 비수성 유기용매를 포함하는 본 발명의 리튬 이차전지는 저온 방전특성 및 상온 수명특성 모두 향상된 결과를 보였다. 비교예 2 대비 실시예 1 내지 실시예 4의 결과를 통하여, 메틸프로피오네이트(MP)의 함량이 증가함에 따라 리튬 이차전지의 저온 방전특성이 현저하게 향상됨을 확인할 수 있었으며, 그 중, 메틸프로피오네이트(MP)를 10부피% 포함하는 실험예 2의 경우 88.5%로 가장 높은 상온 수명특성을 보임을 확인할 수 있었다. 비교예 5 대비 실시예 2 및 실시예 5 내지 실시예 7의 결과를 통하여, 플루오로에틸렌 카보네이트(FEC) 첨가제를 첨가함으로써 리튬 이차전지의 저온 방전특성 및 상온 수명특성이 현저하게 향상됨을 확인할 수 있었으며, 그 중에서도 플루오로에틸렌 카보네이트(FEC) 첨가제를 전체 비수성 유기용매의 2 및 3 wt% 포함한 실시예 2 및 실시예 6의 경우, 상온 수명특성이 현저하게 향상됨을 확인할 수 있었다. 상기 결과를 통하여 플루오로에틸렌 카보네이트(FEC) 첨가제의 함량이 전체 비수성 유기용매의 2 내지 3 wt%의 범위를 만족할 경우, 전지의 구동특성을 저해하는 부반응이 최소화되며 리튬 이차전지 내 SEI막이 안정적으로 형성되어 전지의 수명특성이 가장 효과적으로 향상될 수 있음을 알 수 있었다.

[0155] 또한, 비교예 2 대비 실시예 8 내지 실시예 11의 결과를 통하여, 프로피오니트릴(PN)의 함량이 증가함에 따라 리튬 이차전지의 저온 방전특성이 현저하게 향상됨을 알 수 있었으며, 실시예 15 내지 실시예 30의 결과를 통하여, 폴리도파민-코팅 분리막, 플루오로에틸렌 카보네이트(FEC) 첨가제 및 메틸프로피오네이트(MP)를 포함한 비수성 유기용매에 추가적으로 프로필렌 카보네이트(PC)를 도입하여 제조한 리튬 이차전지는 프로필렌 카보네이트(PC)를 추가적으로 도입하지 않은 실시예 1 내지 실시예 14의 리튬 이차전지에 비해 저온 방전특성과 상온 수명특성이 효과적으로 향상되었음을 알 수 있었다. 또한, 실시예 15 내지 실시예 30의 리튬 이차전지의 방전특성 및 수명특성 결과 역시, 메틸프로피오네이트(MP)를 포함하지 않은 채 프로필렌 카보네이트(PC)를 도입한 비교예 7 내지 비교예 10의 리튬 이차전지의 방전특성 및 수명특성에 비하여 현저히 향상된 결과를 나타내었으며, 그 중에서도 메틸프로피오네이트(MP)를 포함하며 동시에 프로필렌 카보네이트(PC)를 전체 비수성 유기용매의 10 내지 15 부피% 포함한 실시예 19 내지 실시예 26의 경우, 상온 수명특성이 현저하게 향상됨을 확인할 수 있었다. 상기 결과를 통하여 프로필렌 카보네이트(PC)를 선형 에스테르 용매인 메틸프로피오네이트(MP)와 혼합함으로써 적정 점도의 전해액의 제조가 가능하며 전해액의 유전율을 높일 수 있고, 전지의 부반응을 최소화하여 리튬 이차전지 내 SEI막이 안정적으로 형성될 수 있어, 이에 따라 제조된 리튬 이차전지가 넓은 온도 범위에서 사용이 가능함을 알 수 있었다.