



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0012008
 (43) 공개일자 2014년01월29일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 H01M 4/58 (2010.01) H01M 4/136 (2010.01)
 H01M 4/1397 (2010.01) H01M 10/0525 (2010.01)
- (21) 출원번호 10-2013-7001502
- (22) 출원일자(국제) 2011년06월22일
 심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2013년01월18일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2011/041382
- (87) 국제공개번호 WO 2012/047332
 국제공개일자 2012년04월12일
- (30) 우선권주장
 61/357,388 2010년06월22일 미국(US)

- (71) 출원인
 케이2 에너지 솔루션스, 인코포레이티드
 미국, 네바다 89011, 헨더슨, 7461 이스트케이이트
 알디.
- (72) 발명자
 호드제, 제임스 디.
 미국, 네바다 89011, 헨더슨, 1050 제라니움 드라
 이브
 터너, 조세프 씨.
 미국, 네바다 89002, 헨더슨, 184 알자리아 스프
 링 에버뉴
- (74) 대리인
 허용록

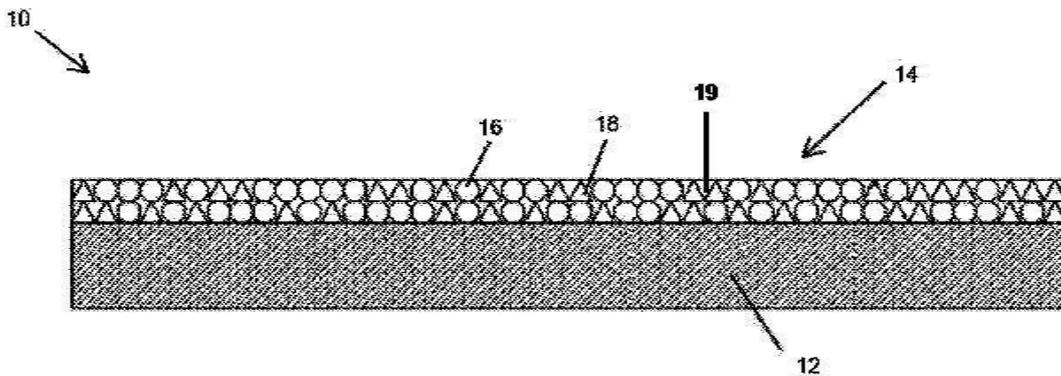
전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 발명의 명칭 **리튬 이온 배터리**

(57) 요약

고속 리튬 배터리는 기판 상에 코팅된 캐소드 조성물을 포함할 수 있다. 캐소드 조성물은 제1 활성 물질 및 제2 활성 물질과 결합제를 포함할 수 있다. 제1 활성 물질 및 제2 활성 물질은, 예를 들어 입자 크기, 탭 밀도(tap density), 및 전도성 성분의 양을 포함한 상이한 특성을 가질 수 있다. 제1 활성 물질 및 제2 활성 물질은 활성 물질의 더 높은 충전 밀도(packing density)를 달성하도록 배합될 수 있으며, 이는 단일 활성 물질로 형성된 종래의 배터리와 비교하여 더 높은 용량의 배터리를 가능하게 할 수 있다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

복수의 집전체(current collector);

상기 집전체 중 적어도 하나와 접촉된 애노드 활성 물질; 및

제1 평균 입자 크기를 갖는 제1 복수의 리튬인산철 입자 및 제2 평균 입자 크기를 갖는 제2 복수의 리튬인산철 입자를 포함하며, 상기 집전체 중 적어도 하나와 접촉된 캐소드 활성 물질;

을 포함하며,

상기 캐소드 활성 물질은 리튬인산철 입자의 바이모달 분포를 갖는, 리튬 이온 배터리.

청구항 2

제1항에 있어서, 제1 평균 입자 크기는 약 3.5 μm 인, 리튬 이온 배터리.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 제2 평균 입자 크기는 약 0.7 μm 인, 리튬 이온 배터리.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 리튬인산철 입자의 총 중량의 함수로서 5중량% 내지 60중량% 범위의 제1 복수의 리튬인산철 입자의 중량 백분율을 추가로 포함하는, 리튬 이온 배터리.

청구항 5

제4항에 있어서, 제1 복수의 리튬인산철 입자의 중량 백분율은 리튬인산철 입자의 총 중량의 함수로서 10중량% 내지 45중량% 범위인, 리튬 이온 배터리.

청구항 6

제5항에 있어서, 제1 복수의 리튬인산철 입자의 중량 백분율은 리튬인산철 입자의 총 중량의 함수로서 15중량% 내지 25중량% 범위인, 리튬 이온 배터리.

청구항 7

제6항에 있어서, 제1 복수의 리튬인산철 입자의 중량 백분율은 리튬인산철 입자의 총 중량의 함수로서 20중량% 인, 리튬 이온 배터리.

청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서, 캐소드 활성 물질은 캐소드 활성 물질의 총 중량을 기준으로 약 1중량% 내지 10중량%의 결합제를 추가로 포함하는, 리튬 이온 배터리.

청구항 9

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서, 캐소드 활성 물질은 제1 복수의 리튬인산철 입자의 탭 밀도(tap density) 또는 제2 복수의 리튬인산철 입자의 탭 밀도보다 큰 탭 밀도를 갖는, 리튬 이온 배터리.

청구항 10

제9항에 있어서, 캐소드 활성 물질은 제1 복수의 리튬인산철 입자의 탭 밀도 및 제2 복수의 리튬인산철 입자의 탭 밀도 둘 모두보다 큰 탭 밀도를 갖는, 리튬 이온 배터리.

청구항 11

복수의 리튬인산철 입자를 포함하는 캐소드 활성 물질에서 저항을 감소시키는 방법으로서,

제1 저항을 갖는 복수의 리튬인산철 입자를 제공하는 단계;

제1 저항을 갖는 복수의 리튬인산철 입자와 제1 저항보다 큰 제2 저항을 갖는 복수의 리튬인산철 입자를 혼합하여 혼합물을 형성하는 단계;

를 포함하며,

상기 혼합물의 저항은 제1 저항 이하인, 방법.

청구항 12

제11항에 있어서, 제1 저항을 갖는 복수의 리튬인산철 입자는 약 0.7 μm 의 평균 입자 크기를 갖고; 제2 저항을 갖는 복수의 리튬인산철 입자는 약 3.5 μm 의 평균 입자 크기를 갖는, 방법.

청구항 13

제11항 또는 제12항에 있어서, 혼합 단계는 상기 혼합물 내에 리튬인산철 입자의 총 중량의 함수로서 5중량% 내지 60중량% 범위의 제2 저항을 갖는 리튬인산철 입자를 제공하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 14

제11항 내지 제13항 중 어느 한 항에 있어서, 혼합 단계는 상기 혼합물 내에 리튬인산철 입자의 총 중량의 함수로서 10중량% 내지 45중량% 범위의 제2 저항을 갖는 리튬인산철 입자를 제공하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 15

제11항 내지 제14항 중 어느 한 항에 있어서, 혼합 단계는 상기 혼합물 내에 리튬인산철 입자의 총 중량의 함수로서 15중량% 내지 25중량% 범위의 제2 저항을 갖는 리튬인산철 입자를 제공하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 16

제11항 내지 제15항 중 어느 한 항에 있어서, 혼합 단계는 상기 혼합물 내에 리튬인산철 입자의 총 중량의 함수로서 20중량%의 제2 저항을 갖는 리튬인산철 입자를 제공하는 단계를 포함하는, 방법.

명세서

기술분야

[0001] 정부 지원에 관한 진술

[0002] 본 발명은 미육군(U.S. Army)에 의해 허여된 CERDEC W15P7T-09-C-S314 하에 정부 지원으로 이루어졌다. 정부는 본 발명에 대해 일정 권리를 갖는다.

[0003] 기술 분야

[0004] 본 발명은 대체로, 에너지 밀도의 실질적인 감소 없이 고 전력 밀도(high power density)를 갖는 리튬 이온 배터리 및 이의 제조 방법에 관한 것이며, 더욱 상세하게는 리튬 이온 배터리를 위한 캐소드 조성물 및 이의 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0005] 리튬 이온 배터리(때때로 Li 이온 배터리로도 지칭됨)는 리튬 이온이 애노드와 캐소드 사이에서 이동하는 일종의 재충전가능한 배터리의 유형이다. 리튬 이온은 방전하는 동안 애노드로부터 캐소드로 이동하고, 충전하는 동안 캐소드로부터 애노드로 이동한다. 집전체(current collector)는 애노드와 캐소드 사이의 전하 캐리어를 결합 시키도록 작용한다. 현재, 리튬 이온 배터리의 연구는 캐소드 활성 물질로서 나노크기의 리튬인산철(lithium iron phosphate) 분말을 사용하는 데 초점이 맞추어져 왔다. 나노크기의 리튬인산철 분말(나노입자)이 리튬인산철 배터리의 더 높은 재충전 속도를 가능하게 할 수 있음이 당업계에서 주장되어 왔다.

발명의 내용

과제의 해결 수단

[0006] 본 개시 내용의 캐소드는 적어도 상이한 입자 크기를 갖는 제1 활성 물질 및 제2 활성 물질을 포함하여, 단일 활성 물질, 예를 들어 종래의 나노크기의 리튬인산철 분말을 함유하는 종래의 캐소드보다 더 높은 충전 밀도 (packing density)를 달성할 수 있다. 단일 활성 물질로 형성된 종래의 캐소드를 갖는 셀로 구성된 배터리와 비교하여, 본 개시 내용의 실시 형태에 따른 캐소드 조성물을 갖는 셀로 구성된 배터리는 대부분의 방전 속도에 걸쳐 더 높은 용량 및 더 높은 전력을 나타낼 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0007] 도 1은 본 개시 내용의 실시 형태에 따른 캐소드의 개략도로, 2개의 캐소드 활성 물질의 사용을 도시한다.
 도 2는 본 개시 내용의 실시 형태에 따른 셀에 대한 전력 밀도의 함수로서의 에너지 밀도를 도시한 라곤 (Ragone) 차트이다.
 도 3은 본 개시 내용의 실시 형태에 따른 셀에 대한 암페어수(amperage)의 함수로서의 전압을 도시한 차트이다.
 도 4는 본 개시 내용의 실시 형태에 따른 셀의 용량의 비교를 도시한 다변량 차트이다.
 도 5는 본 개시 내용의 실시 형태에 따른 캐소드를 갖는 전력 셀(power cell)에 대한 캐소드 조성물 코트 중량의 함수로서의 용량을 도시한 차트이다.
 도 6은 본 개시 내용의 실시 형태에 따른 캐소드를 갖는 전력 셀에 대한 캐소드 조성물 코트 중량의 함수로서의 용량을 도시한 차트이다.
 도 7은 본 개시 내용의 실시 형태에 따른 캐소드를 갖는 에너지 셀 및 전력 셀에 대한 전력 밀도의 함수로서의 에너지 밀도를 도시한 라곤 차트이다.
 도 8은 15암페어 방전에서의 방전 차트로, 본 개시 내용의 실시 형태에 따른 캐소드를 갖는 전력 셀의 방전 특성을 도시한다.
 도 9는 본 개시 내용의 실시 형태에 따른 캐소드를 갖는 셀의 다양한 방전 암페어에서의 방전 특성을 도시한 방전 차트이다.
 도 10은 도 8의 셀의 40A 및 50A에서의 방전 특성을 도시한 방전 차트이다.
 도 11은 본 개시 내용의 실시 형태에 따른 캐소드를 갖는 셀의 충전/방전 사이클에 걸친 용량 유지(capacity retention)를 도시한 수명 사이클 차트이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0008] 본 발명은 많은 상이한 형태로 구현가능하지만, 본 명세서에서 이의 특정 실시 형태를 상세히 설명할 것이며, 이때 본 개시 내용이 본 발명의 원리의 예시로서 여겨져야 하며 본 발명을 예시된 특정 실시 형태로 제한하고자 함이 아님을 이해한다.

[0009] 배터리는 통상적으로 복수의 배터리 셀을 포함한다. 셀 설계의 제어를 통해, 에너지 밀도의 실질적인 감소 없이 고 전력 밀도를 갖는 배터리가 제1 활성 물질 및 제2 활성 물질을 갖는 캐소드 조성물을 사용하여 형성될 수 있다. 단일 활성 물질, 예를 들어 나노크기의 리튬인산철 분말로 형성된 종래의 셀과 비교하여, 본 개시 내용의 셀은 대부분의 방전 영역에 걸쳐 더 높은 용량을 갖는 배터리를 생성할 수 있다.

[0010] 도 1을 참고하면, 배터리 셀은 기관(12) 상에 코팅된 캐소드 조성물(14)을 함유하는 캐소드(10)를 포함한다. 캐소드 조성물(14)은 적어도, 결합제(19)와 혼합된 제1 리튬 이온 활성 물질(16) 및 제2 리튬 이온 활성 물질(18)을 포함할 수 있다. 제1 활성 물질 및 제2 활성 물질(16, 18)은 상이할 수 있다. 예를 들어, 제1 활성 물질 및 제2 활성 물질은 상이한 조성, 입자 크기, 탭 밀도, 및/또는 전도성 탄소의 양을 가질 수 있다.

[0011] 캐소드(10)는 리튬 이온 배터리 셀, 예를 들어 원통형 리튬 이온 배터리 셀의 전극을 형성하기 위해 애노드와 접촉하여 사용될 수 있다. 리튬 이온 배터리 셀은 당업계에 공지된 바와 같이 배터리로서 조립될 수 있다. 예를 들어, 캐소드(10)는 재충전가능한 리튬 이온 18650 또는 26650 배터리에 사용될 수 있다. 애노드는 리튬 이온 배터리에 사용하기 위한 공지된 애노드 활성 물질을 포함할 수 있다. 예를 들어, 애노드 활성 물질은 탄소계, 예를 들어 흑연, 또는 리튬 금속일 수 있다.

- [0012] 당업계에 공지된 바와 같이, 기관(12)은 금속 포일, 예를 들어 알루미늄일 수 있다.
- [0013] 활성 물질(16, 18)은 리튬인산철, 리튬인산망간, 리튬산화코발트, 리튬산화니켈 또는 기타 다른 적합한 리튬 함유 물질을 주로 함유하는 조성물일 수 있다. 제1 활성 물질과 제2 활성 물질은 동일한 조성을 가질 수 있거나 상이한 조성을 가질 수 있다. 활성 물질(16, 18)은 전도성 성분, 예를 들어 전도성 탄소를 추가로 포함할 수 있다.
- [0014] 활성 물질은 약 100nm 내지 약 20 μ m, 약 300nm 내지 약 10 μ m, 약 500nm 내지 약 5 μ m, 또는 약 800nm 내지 약 1 μ m의 평균 입자 크기를 가질 수 있다. 기타 다른 적합한 평균 입자 크기는 약 100nm, 150nm, 200nm, 250nm, 300nm, 350nm, 400nm, 450nm, 500nm, 550nm, 600nm, 650nm, 700nm, 750nm, 800nm, 850nm, 900nm, 950nm, 1 μ m, 2 μ m, 3 μ m, 4 μ m, 5 μ m, 6 μ m, 7 μ m, 8 μ m, 9 μ m, 10 μ m, 11 μ m, 12 μ m, 13 μ m, 14 μ m, 또는 15 μ m를 포함한다. 일부 실시 형태에서, 제1 활성 물질(16)은 제2 활성 물질(18)의 평균 입자 크기보다 큰 평균 입자 크기를 가질 수 있다. 상이한 평균 입자 크기를 갖는 활성 물질의 혼합물의 사용은 활성 물질 입자의 증가된 충전 밀도를 가능하게 할 수 있다.
- [0015] 활성 물질은 약 0.1g/cm³ 내지 약 5g/cm³, 약 0.2g/cm³ 내지 약 3g/cm³, 약 0.4g/cm³ 내지 약 1g/cm³, 또는 약 0.6g/cm³ 내지 약 0.8g/cm³의 탭 밀도를 가질 수 있다. 기타 다른 적합한 탭 밀도는 약 0.1g/cm³, 0.2g/cm³, 0.3g/cm³, 0.4g/cm³, 0.5g/cm³, 0.6g/cm³, 0.7g/cm³, 0.8g/cm³, 0.9g/cm³, 1g/cm³, 1.5g/cm³, 2g/cm³, 2.5g/cm³, 3g/cm³, 3.5g/cm³, 4g/cm³, 4.5g/cm³, 또는 5g/cm³를 포함한다. 분말의 탭 밀도 또는 최대 충전 밀도는, 예를 들어 분말 샘플이 들어 있는 메스 실린더를 3 mm 높이에서 분당 대략 250드롭수의 속도로 떨어뜨림으로써 측정될 수 있다. 바람직하게, 탭 밀도 측정은 다음 표준 시험, 즉 USP 616, ASTM B 527, DIN EN ISO 787-11 및 EP 2.9.34 중 하나 이상을 준수한다.
- [0016] 일 실시 형태에서, 제1 활성 물질(16)은 제2 활성 물질(18)과 비교하여 더 큰 양의 전도성 탄소를 포함하고 전력 활성 물질로서 설계되며, 제2 활성 물질(18)은 에너지 활성 물질로서 설계된다. 적합한 제1 활성 물질(16)은 약 4.3중량%의 리튬, 약 34.8중량%의 철, 약 19.3중량%의 인산염, 및 약 1.3중량%의 탄소를 포함할 수 있다. 제1 활성 물질(16)은 1.5 μ m 미만의 입자 크기 분포(d₁₀), 3.5 μ m 미만의 입자 크기 분포(d₅₀), 6 μ m 미만의 입자 크기 분포(d₉₀), 및 15마이크론 미만의 입자 크기 분포(d_{99.9})를 가질 수 있다. 적합한 제2 활성 물질(18)은 약 4.55중량%의 리튬, 약 32.9중량%의 철, 약 19.1중량%의 인산염, 및 약 2.25중량%의 탄소를 포함할 수 있다. 제2 활성 물질(16)은 0.3 μ m 미만의 입자 크기 분포(d₁₀), 0.7 μ m 미만의 입자 크기 분포(d₅₀), 5 μ m 미만의 입자 크기 분포(d₉₀)를 가질 수 있다. 제1 활성 물질과 제2 활성 물질은 약 1:1 내지 약 1:9의 비로 혼합될 수 있다. 기타 다른 적합한 비는 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5, 1:6, 1:7, 1:8, 또는 1:9를 포함한다.
- [0017] 활성 물질은 결합제와 배합될 수 있다. 결합제는 활성 물질을 기관(12) 상에 결합시키고 유지하는 것을 도울 수 있다. 적합한 결합제는, 예를 들어 폴리비닐리덴 플루오라이드(PVDF)를 포함한다. 결합제는 캐소드 조성물(14)의 총 중량을 기준으로 약 1중량% 내지 10중량% 범위의 양으로 포함될 수 있다. 그러나, 결합제의 양은 배터리 셀의 유형, 예를 들어 전력 셀 또는 에너지 셀에 따라 좌우될 수 있다. 전력 셀에서, 캐소드 조성물(14) 내의 결합제의 양은 에너지 셀과 비교하여 증가될 수 있다. 전력 셀의 경우, 예를 들어 결합제는 약 5중량% 내지 10중량%의 범위로 포함될 수 있다. 에너지 셀의 경우, 예를 들어 결합제는 약 1중량% 내지 5중량%의 범위로 포함될 수 있다.
- [0018] 캐소드 조성물(14)은 기관(12)의 적어도 한쪽 면 상에 코팅된다. 그러나, 캐소드 조성물(14)은 기관(12)의 대향하는 면들 상에 코팅될 수 있다. 캐소드 조성물(14)은 또한 기관(12)의 전체 표면을 덮도록 코팅될 수 있다. 캐소드 조성물(14)은 약 50g/cm² 내지 약 150g/cm², 약 75g/cm² 내지 약 125g/cm², 약 90g/cm² 내지 약 115g/cm²의 기관(12)의 한면당 코트 중량으로 기관(12) 상에 코팅될 수 있다. 기타 다른 적합한 코트 중량을 예로 약 50g/cm², 55g/cm², 60g/cm², 65g/cm², 70g/cm², 75g/cm², 80g/cm², 85g/cm², 90g/cm², 95g/cm², 100g/cm², 105g/cm², 110g/cm², 115g/cm², 120g/cm², 125g/cm², 130g/cm², 135g/cm², 140g/cm², 145g/cm², 또는 150g/cm²를 포함한다. 코트 중량은 캐소드(10)의 특성을 조정하는 데 사용될 수 있다. 예를 들어, 더 얇은 코트 중량을 갖는 캐소드를 갖는 셀로 구성된 배터리는 더 낮은 임피던스 및 더 높은 전력 밀도를 가지는 반면, 더 두꺼운 코트 중량을 갖는 캐소드를 갖는 셀로 구성된 배터리는 더 높은 임피던스 및 더 높은 에너지 밀도를 갖는다. 나노-리튬인산철 분말로 형성된 종래의 리튬 이온 배터리의 캐소드와 비교하여, 본 개시 내용의 실시 형태에 따른

캐소드(10)는 배터리 용량의 상응하는 감소(이는 코트 중량의 감소와 함께 일어날 것으로 예측됨)를 가져오지 않고서 더 낮은 코트 중량으로 형성될 수 있다. 이론에 의해 구애되고자 함이 없이, 종래의 활성 물질의 경우, 더 얇은 코트 중량은 이온의 수송이 더 빨리 일어날 수 있게 하고, 이는 방전 속도의 상응하는 증가 및 용량의 감소를 가져오는 것으로 여겨진다. 본 개시 내용의 캐소드 조성물(14)은 종래의 캐소드 조성물과 비교하여, 더 낮은 코트 중량에서 실질적으로 유사하거나 더 높은 용량을 보여준다. 이론에 의해 구애되고자 함이 없이, 캐소드 조성물(14)로 달성된 증가된 충전 밀도가 더 낮은 코트 중량에서의 용량의 유지 또는 증가를 가능하게 하는 것으로 추가로 여겨진다.

[0019] 캐소드 조성물(14)은, 예를 들어 전력 셀 또는 에너지 셀에서 사용하도록 설계될 수 있다. 전력 셀로 구성된 배터리는 25.6V에서의 용량이 약 3.6Ah일 수 있으며, 에너지 셀로 구성된 배터리는 25.6V의 용량이 약 4.35Ah일 것이다. 전력 셀로 구성된 배터리는 약 35A의 연속 방전, 약 70A의 최대 60초 펄스 방전, 및 약 110A의 최대 10초 펄스 방전을 가질 수 있다. 에너지 셀로 구성된 배터리는 약 20A의 연속 방전, 약 40A의 최대 60초 펄스 방전, 및 약 60A의 최대 10초 펄스 방전을 가질 수 있다.

[0020] 다른 실시 형태에서, 리튬 이온 배터리는 복수의 집전체; 상기 집전체 중 적어도 하나와 접촉된 애노드 활성 물질; 및 제1 평균 입자 크기를 갖는 제1 복수의 리튬인산철 입자 및 제2 평균 입자 크기를 갖는 제2 복수의 리튬인산철 입자를 포함하며, 상기 집전체 중 적어도 하나와 접촉된 캐소드 활성 물질을 포함하며, 상기 캐소드 활성 물질은 리튬인산철 입자의 바이모달 분포를 갖는다. 이 배터리의 실시 형태에서, 제1 평균 입자 크기는 약 3.5 μ m일 수 있고/있거나, 제2 평균 입자 크기는 약 0.7 μ m일 수 있다. 이 배터리의 추가 실시 형태에서, 제1 복수의 리튬인산철 입자는 리튬인산철 입자의 총 중량의 함수로서 5중량% 내지 60중량%, 10중량% 내지 45중량%, 또는 15중량% 내지 25중량% 범위의 중량 백분율로 캐소드 물질 내에 포함될 수 있다. 제1 복수의 리튬인산철 입자는 리튬인산철 입자의 총 중량의 20중량%로 캐소드 물질 내에 포함될 수 있다. 다른 실시 형태에서, 캐소드 활성 물질은 캐소드 활성 물질의 총 중량을 기준으로 약 1중량% 내지 10중량%의 결합제를 포함할 수 있다.

[0021] 또 다른 실시 형태에서, 캐소드 활성 물질은 제1 복수의 리튬인산철 입자의 탭 밀도 또는 제2 복수의 리튬인산철 입자의 탭 밀도보다 큰 탭 밀도를 갖는다. 더욱이, 캐소드 활성 물질은 제1 복수의 리튬인산철 입자의 탭 밀도 및 제2 복수의 리튬인산철 입자의 탭 밀도 둘 모두보다 큰 탭 밀도를 갖는다.

[0022] 또 다른 실시 형태에서, 복수의 리튬인산철 입자를 포함하는 캐소드 활성 물질의 저항은 제1 저항을 갖는 복수의 리튬인산철 입자를 제공하는 단계; 및 제1 저항을 갖는 복수의 리튬인산철 입자와 제1 저항보다 큰 제2 저항을 갖는 복수의 리튬인산철 입자를 혼합하여 혼합물을 형성하는 단계를 포함하며, 상기 혼합물의 저항은 제1 저항 이하인, 방법에 의해 감소될 수 있다. 제1 저항을 갖는 복수의 리튬인산철 입자는 약 0.7 μ m의 평균 입자 크기를 가질 수 있고, 제2 저항을 갖는 복수의 리튬인산철 입자는 약 3.5 μ m의 평균 입자 크기를 가질 수 있다.

[0023] 혼합 단계는 상기 혼합물 내에 리튬인산철 입자의 총 중량의 함수로서 5중량% 내지 60중량% 범위, 10중량% 내지 45중량% 범위, 15중량% 내지 25중량% 범위, 또는 20중량%의 제2 저항을 갖는 리튬인산철 입자를 제공하는 단계를 포함한다.

[0024] **실시예**

[0025] 하기의 실시예는 예시를 위해 제공되며 본 발명의 범주를 제한하고자 하지 않는다.

[0026] **실시예 1 내지 실시예 4: 캐소드 조성물**

[0027] 표 1에 나타난 조성을 갖는 캐소드 조성물(14)을 사용하여 캐소드를 제조하였다.

표 1

캐소드 조성물 및 코트 중량

	제1 활성 물질	제2 활성 물질	코트 중량
실시예 1	20%	80%	한면당 115g/m ²
실시예 2	20%	80%	한면당 90g/m ²
실시예 3	0%	100%	한면당 115g/m ²
실시예 4	0%	100%	한면당 90g/m ²

[0028]

[0029] 제1 활성 물질은 약 3.5 μm 의 평균 입자 크기 및 약 1.0g/cm³의 탭 밀도를 갖는다. 제2 활성 물질은 약 0.7 μm 의 평균 입자 크기 및 약 0.6g/cm³의 탭 밀도를 갖는다. 제1 활성 물질 및 제2 활성 물질의 조성은 하기 표 2에 기재되어 있다. 제1 활성 물질 및 제2 활성 물질의 물리적 특성은 하기 표 3에 기재되어 있다.

표 2

제1 활성 물질 및 제2 활성 물질의 조성

원소	제1 활성 물질	제2 활성 물질
리튬	4.3중량%	4.55중량%
철	34.8중량%	32.9중량%
인산염	19.3중량%	19.1중량%
탄소	1.3중량%	2.25중량%

[0030]

표 3

제1 활성 물질 및 제2 활성 물질의 물리적 특성

	제1 활성 물질	제2 활성 물질
입자 크기 분포 (d ₁₀)	≤ 1.5 μm	≤ 0.3 μm
입자 크기 분포 (d ₅₀)	≤ 3.5 μm	≤ 0.7 μm
입자 크기 분포 (d ₉₀)	≤ 6.0 μm	≤ 5.00 μm
입자 크기 분포 (d _{99.9})	≤ 15.0 μm	이용불가
탭 밀도	1.0 ± 0.2 g/cm ³	0.6 ± 0.1 g/cm ³
비표면적	12.5 ± 2.5 m ² /g	14.0 ± 3.0 m ² /g

[0031]

[0032] 표 4와 도 2 및 도 3을 참고하여, 셀의 컨디셔닝 데이터를 시험하였다. 혼합물에 대한 제1 활성 물질의 첨가는 용량 및 임피던스 둘 모두를 감소시킨다. 코트 중량의 감소 또한 용량 및 임피던스 둘 모두를 감소시킨다. 더 낮은 코트 중량, 더 낮은 임피던스의 캐소드를 갖는 셀로 구성된 배터리는 더 높은 전력 밀도를 가지며, 한편 더 높은 코트 중량, 더 높은 임피던스의 캐소드를 갖는 셀로 구성된 배터리는 더 높은 에너지 밀도를 갖는다. 도 2 및 도 3에 도시된 바와 같이, 제1 활성 물질과 제2 활성 물질의 배합물을 함유하는 캐소드 조성물을 갖는 셀은 제2 활성 물질만을 함유하는 캐소드 조성물을 갖는 셀과 비교하여 더 높은 에너지 밀도에서 더 높은 전력 밀도를 보여준다. 특히, 한면당 약 90g/cm²의 코트 중량(즉, 경량의 코트 중량)으로 기관(12) 상에 코팅된, 제1 활성 물질과 제2 활성 물질의 혼합물을 포함하는 캐소드 조성물(14)을 갖는 셀은 고 에너지 밀도와 고 전력 밀도의 최상의 균형을 보여주었다.

[0032]

표 4

컨디셔닝 데이터

	용량 D2 (mAh)	개방 회로 전압 (V)	임피던스 (m Ω)
실시예 1	1211.0	3.2999	23.24
실시예 2	1115.8	3.2998	15.53
실시예 3	1247.3	3.2993	24.41
실시예 4	1150.8	3.2992	19.91

[0033]

[0034] 셀의 코트 중량 및 활성 물질 함량의 조작을 통해, 일정 전력 또는 에너지 밀도를 갖는 주문(custom) 셀이 생성될 수 있다. 도 4를 참고하면, 예를 들어, 경량의 코트 중량으로의 모든 제2 활성 물질의 사용은 최고의 이용가능한 전력 밀도를 제공하며, 더 높은 코트 중량에서는 최고의 에너지 밀도를 제공한다.

[0034]

[0035] 실시예 5 내지 실시예 16: 전력 셀에서 용량 및 임피던스에 미치는 코트 중량의 영향

[0035]

[0036] 본 개시 내용의 실시 형태에 따른 전력 셀은 18650 전력 셀에 사용될 수 있다. 이들 셀은 표 5에 제시된 치수에 따라 구성될 수 있다. 캐소드 조성물(14)은 약 1 내지 약 4의 비로 활성 물질(실시예 1의 제1 활성 물질과 제2 활성 물질)의 혼합물을 포함할 수 있다. 셀 특성으로부터 계산된 셀의 예측 용량 및 임피던스가 표 5에 나타나 있다.

표 5

	실시예 5	실시예 6	실시예 7	실시예 8	실시예 9	실시예 10
캐소드 코트 중량 (한면당g/cm ²)	115	90	80	70	60	50
애노드 코트 중량 (한면당g/cm ²)	52.2	40.9	36.3	31.8	27.3	22.7
분리막 두께(cm)	0.020	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
두께(cm)	0.222	0.184	0.169	0.154	0.139	0.124
길이(cm)	796	950	1040	1140	1260	1420
폭(cm)	55	55	55	55	55	55
캐소드 필름의 그램(g)	10.0	9.3	9.1	8.7	8.2	7.7
예측 용량 (mAh)PO	1239.1	1156.9	1125.5	1079.2	1021.9	959.1
예측 임피던스(mΩ)	15.0	12.6	11.5	10.5	9.5	8.4
	실시예 11	실시예 12	실시예 13	실시예 14	실시예 15	실시예 16
캐소드 코트 중량 (한면당g/cm ²)	40	30	20	15	10	5
애노드 코트 중량 (한면당g/cm ²)	18.2	13.6	9.1	6.8	4.5	2.3
분리막 두께(cm)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
두께(cm)	0.109	0.094	0.079	0.072	0.064	0.057
길이(cm)	1610	1870	2230	2460	2750	3120
폭(cm)	55	55	55	55	55	55
캐소드 필름의 그램(g)	7.0	6.1	4.8	4.0	3.0	1.6
예측 용량 (mAh)PO	869.1	755.9	599.0	494.0	365.8	203.5
예측 임피던스(mΩ)	7.4	6.4	5.4	4.9	4.3	3.8

[0037]

[0038] 도 5를 참고하면, 실시예 5 내지 실시예 16은 코트 중량이 감소됨에 따라, 용량 및 임피던스가 이에 상응하여 감소함을 보여준다.

[0039] 실시예 17 내지 실시예 28: 에너지 셀에 미치는 코트 중량의 영향

[0040] 본 개시 내용의 실시 형태에 따른 에너지 셀은 18650 에너지 셀에 사용될 수 있다. 이들 셀은 표 6에 제시된 치수에 따라 구성될 수 있다. 캐소드 조성물(14)은 약 1 내지 4의 비로 활성 물질(실시예 1의 제1 활성 물질과 제2 활성 물질)의 혼합물을 포함할 수 있다. 셀 특성으로부터 계산된 셀의 예측 용량 및 임피던스가 표 6에 나타나 있다.

표 6

	실시예 17	실시예 18	실시예 19	실시예 20	실시예 21	실시예 22
캐소드 코트 중량 (한면당g/cm ²)	186	170	155	140	125	110
애노드 코트 중량 (한면당g/cm ²)	86.162	78.750	71.801	64.853	57.904	50.956
분리막 두께(cm)	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
두께(cm)	0.321	0.298	0.277	0.255	0.234	0.212
길이(cm)	590	630	680	740	800	890
폭(cm)	55	55	55	55	55	55
캐소드 필름의 그림(g)	12.0	11.7	11.5	11.3	10.9	10.7
예측 용량 (mAh)PO	1487.6	1451.5	1428.4	1403.8	1354.7	1326.1
예측 임피던스 (mΩ)	25.0	23.4	21.7	19.9	18.4	16.6
	실시예 23	실시예 24	실시예 25	실시예 26	실시예 27	실시예 28
캐소드 코트 중량 (한면당g/cm ²)	95	80	65	50	35	20
애노드 코트 중량 (한면당g/cm ²)	44.007	37.059	30.110	23.162	16.213	9.265
분리막 두께(cm)	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
두께(cm)	0.191	0.169	0.147	0.126	0.104	0.083
길이(cm)	990	1110	1280	1500	1810	2280
폭(cm)	55	55	55	55	55	55
캐소드 필름의 그림(g)	10.3	9.7	9.1	8.2	6.9	4.9
예측 용량(mAh)	1273.5	1201.9	1125.5	1013.7	854.8	612.7
예측 임피던스 (mΩ)	14.9	13.3	11.5	9.8	8.1	6.5

[0041]

[0042]

도 6을 참고하면, 실시예 17 내지 실시예 28은 코트 중량이 감소됨에 따라, 용량 및 임피던스가 이에 상응하여 감소함을 보여준다.

[0043]

실시예 29: 본 개시 내용의 실시 형태에 따른 캐소드 조성물(14)을 갖는 셀과 종래의 나노-LFP 셀의 비교

[0044]

본 개시 내용의 실시 형태에 따른 캐소드 조성물(14)을 사용하여 18650 전력 셀 및 18650 에너지 셀을 형성하였다. 이 전력 셀 및 에너지 셀의 캐소드 조성물(14)은 약 1 내지 약 4의 비로 실시예 1의 제1 활성 물질과 제2 활성 물질의 혼합물을 포함하였다.

[0045]

본 실시예의 캐소드를 갖는 셀로 구성된 배터리의 방전 속도 범위에 걸친 용량을 나노크기의 리튬인산철인 단일 활성 물질로부터 형성된 종래의 캐소드를 갖는 셀로 구성된 배터리의 용량과 비교하였다. 도 7에 나타난 바와 같이, 본 실시예의 셀로 구성된 배터리는 시험된 대부분의 방전 속도 범위에 걸쳐 종래의 배터리 셀보다 더 높은 용량을 보여준다. 도 8은 15암페어 방전에서 본 실시예의 셀로 구성된 배터리에 의해 더 높은 용량이 보여졌음을 추가로 예시한다. 도 8은 대부분의 방전 곡선에 걸쳐 본 실시예의 셀로 구성된 배터리에 의해 높은 전력이 나타났음을 추가로 예시한다. 이들 방전 곡선은 또한 본 실시예의 셀로 구성된 배터리가 방전 곡선의 대부분에 걸쳐 안정적인 전압을 보였음을 입증한다.

[0046]

실시예 30: 본 개시 내용에 따른 캐소드 조성물(14)을 갖는 26650 셀의 방전 특성

[0047]

실시예 29의 전력 셀의 캐소드 조성물(14)을 26650 배터리의 셀 내로 혼입시키고, 이의 방전 특성을 약 1.25암페어로부터 약 50암페어까지의 전류 범위에 걸쳐 시험하였다. 도 9 및 도 10을 참고하면, 방전 곡선은 본 개시 내용에 따른 셀로 구성된 배터리가 방전 곡선의 대부분에 걸쳐 안정적인 전압을 보여줌을 입증한다.

[0048]

실시예 31: 수명 사이클링에 대한 용량 유지

[0049]

실시예 30의 셀에 따른 셀로 구성된 26650 배터리를 시험하여 수명 사이클링에 대한 용량 유지를 측정하였다. 이 배터리는 1000회 초과와 완전 방전 사이클에 걸쳐 초기 용량의 80% 초과를 유지하였다. 도 11은 3000회의 사이클에 걸쳐서 실시예 30에 따른 셀로 구성된 3개의 배터리의 용량 유지를 예시한다. 이들 배터리를 20% 내지 80%의 충전 상태(state-of-charge)로 약 7.8암페어에서 충전 및 방전하였다. 약 1.3암페어에서 방전함으로써 배

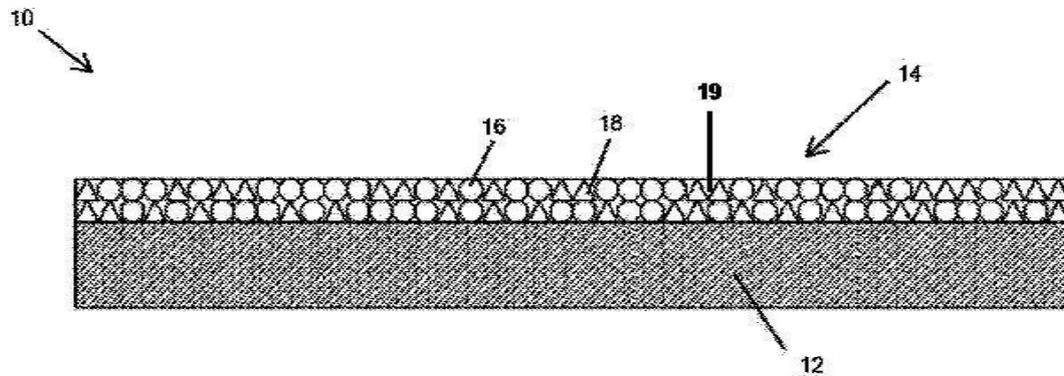
50회의 사이클마다 총 용량을 확인하였다.

[0050]

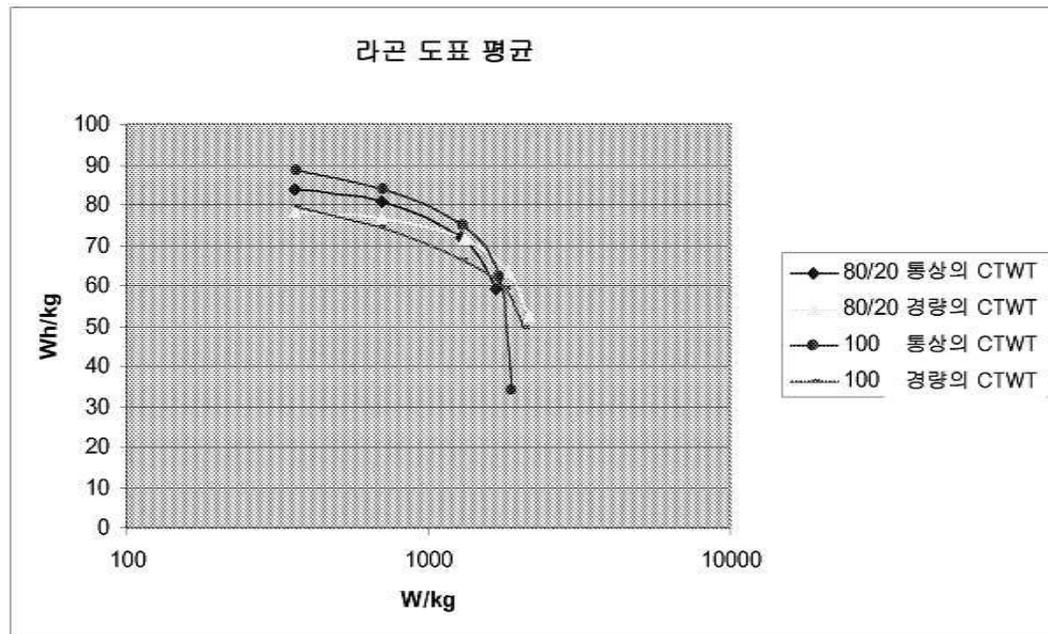
진술한 내용으로부터, 본 발명의 사상 및 범주로부터 벗어나지 않고서 다수의 변형 및 수정이 이루어질 수 있음을 알 수 있을 것이다. 본 명세서에 예시된 특정 장치에 관하여 어떠한 제한도 의도되거나 추론되지 않아야 함을 이해해야 한다. 물론, 첨부된 특허청구범위에 의해, 이 특허청구범위의 범주 내에 속하는 모든 그러한 수정을 포함하고자 한다.

도면

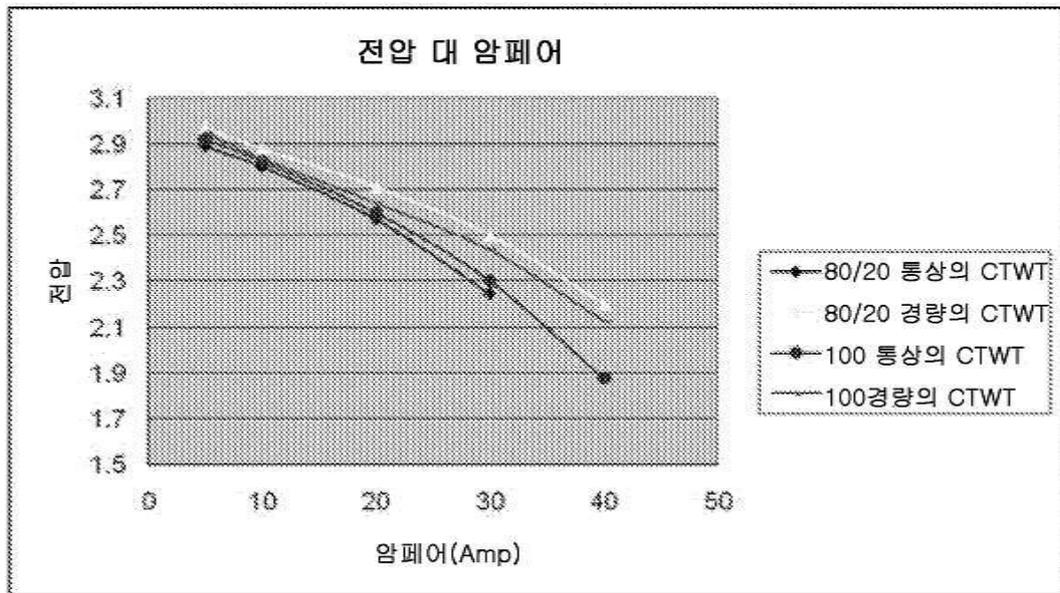
도면1



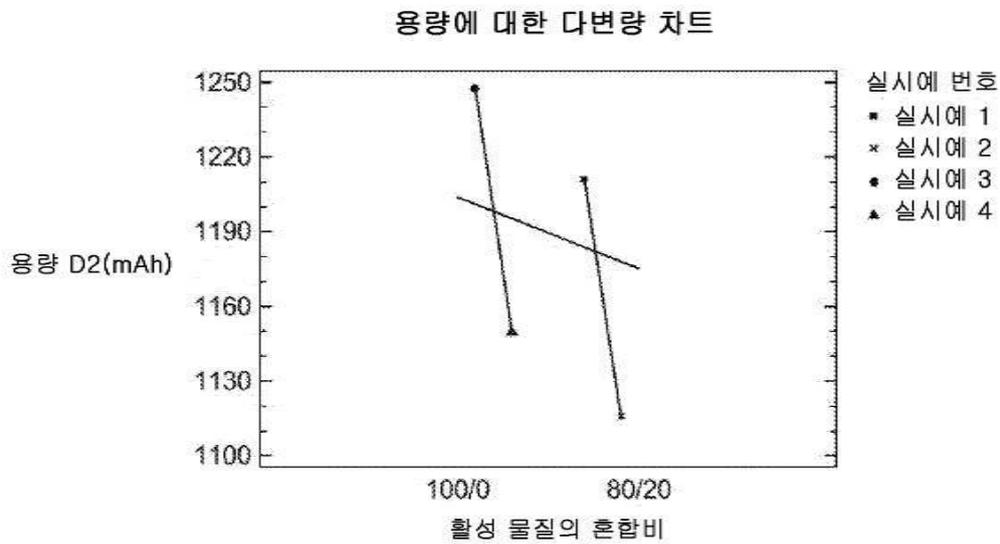
도면2



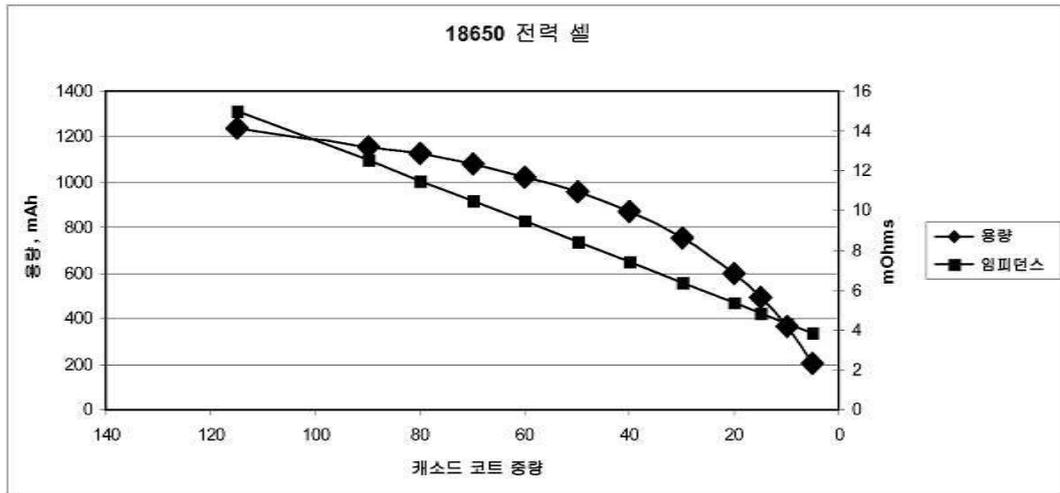
도면3



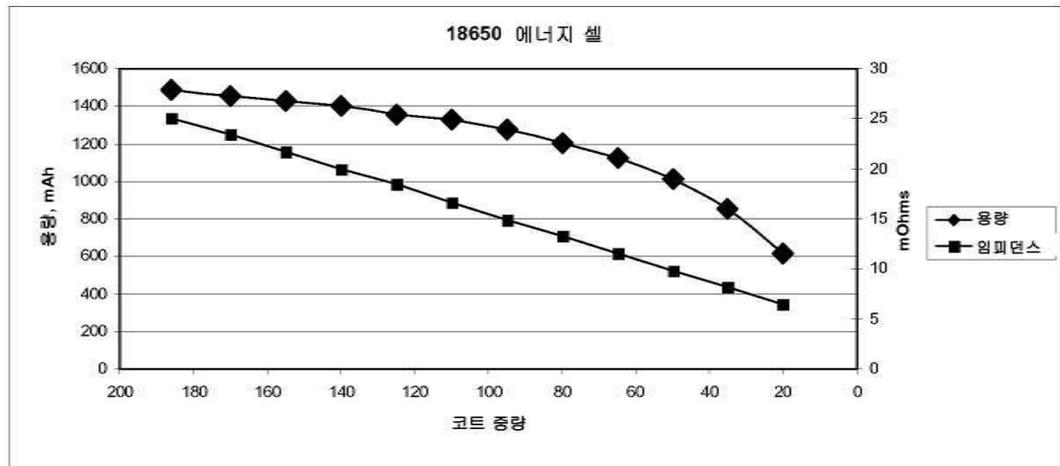
도면4



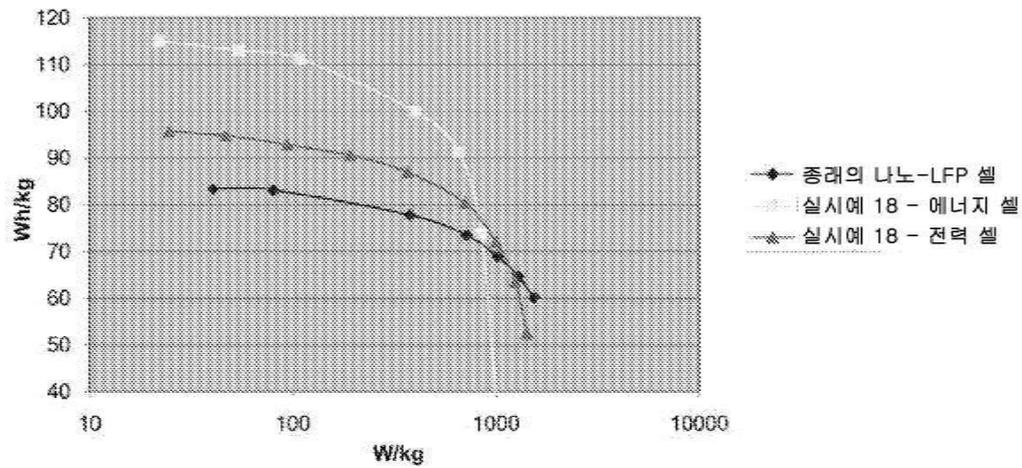
도면5



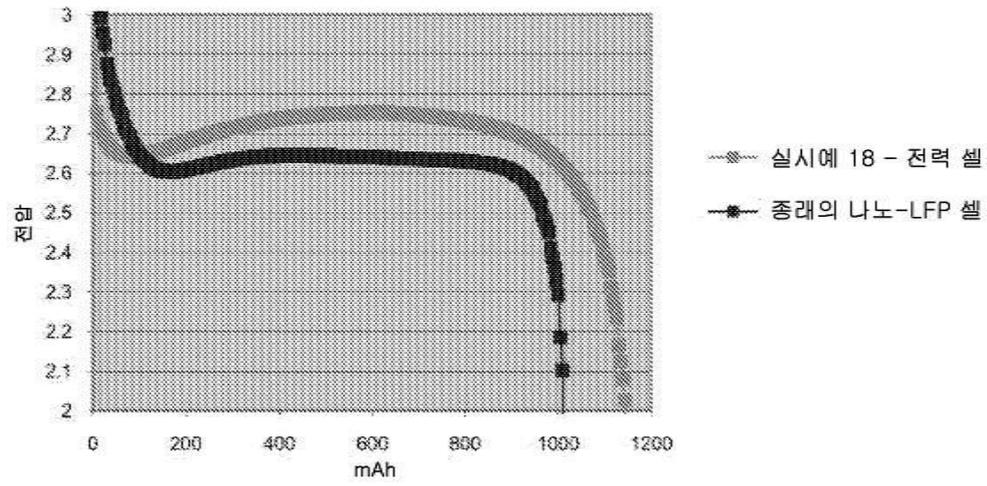
도면6



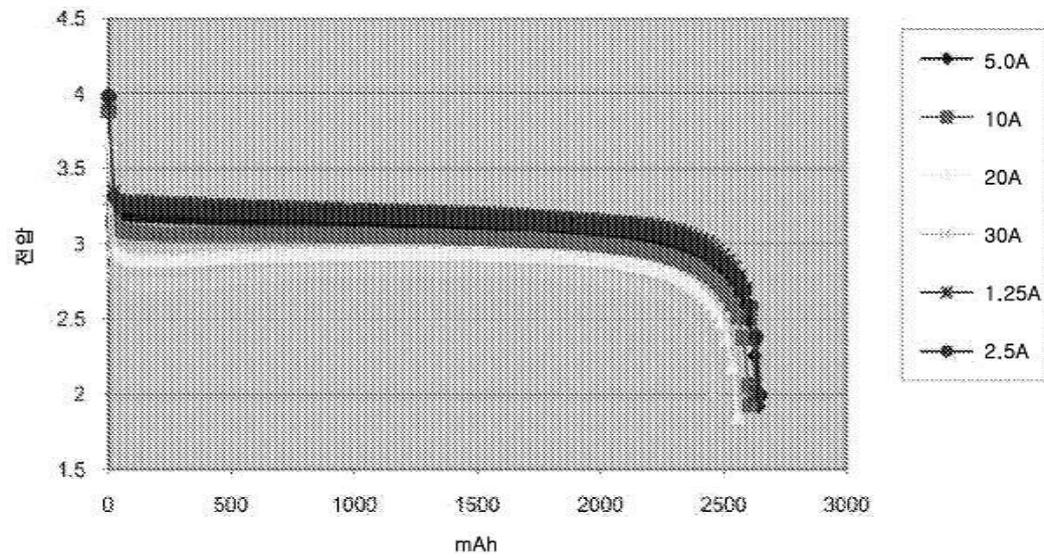
도면7



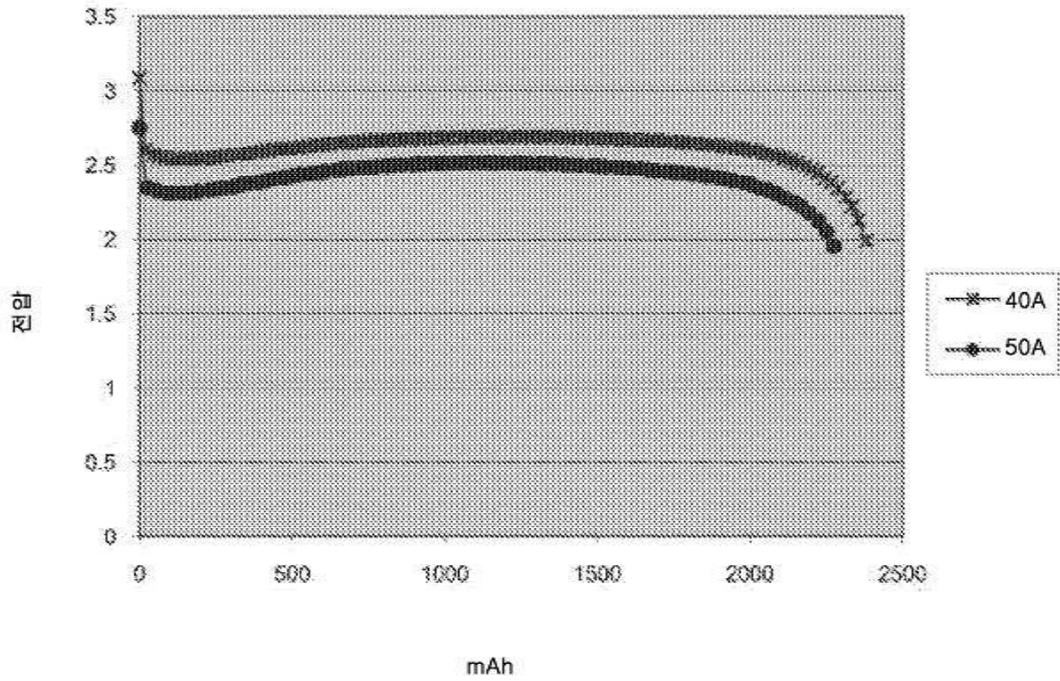
도면8



도면9



도면10



도면11

