



(19) 대한민국특허청(KR)
 (12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년09월27일
 (11) 등록번호 10-1901680
 (24) 등록일자 2018년09월18일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01R 31/36 (2006.01) *G01R 19/165* (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2013-7020827
 (22) 출원일자(국제) 2012년01월17일
 심사청구일자 2017년01월10일
 (85) 번역문제출일자 2013년08월06일
 (65) 공개번호 10-2014-0040101
 (43) 공개일자 2014년04월02일
 (86) 국제출원번호 PCT/US2012/021528
 (87) 국제공개번호 WO 2012/099866
 국제공개일자 2012년07월26일
 (30) 우선권주장
 61/461,478 2011년01월18일 미국(US)
 61/461,489 2011년01월18일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

- JP2000268990 A*
 JP2010127858 A*
 JP2010252566 A*
 JP2003142165 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

전체 청구항 수 : 총 15 항

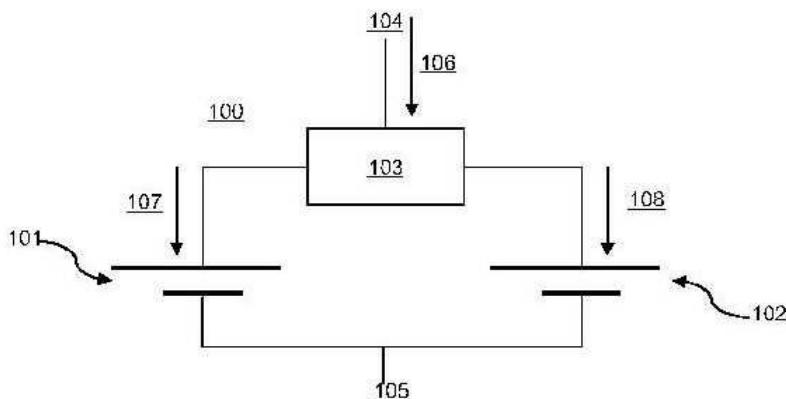
심사관 : 양찬호

(54) 발명의 명칭 병렬 연결된 배터리용 차동 전류 모니터링

(57) 요 약

차동 전류 모니터링에 기초하여 배터리 특성을 판별하기 위한 시스템으로서, 제 1 배터리, 제 1 배터리와 병렬로 연결되는 제 2 배터리, 적어도 하나의 전류 측정 장치를 포함하는 차동 전류 측정 모듈을 포함하고, 차동 전류 측정 모듈은 제 1 배터리 및 제 2 배터리와 연관된 차동 전류를 판별하도록 구성된다. 차동 전류 모니터링에 기초하여 배터리 특성을 판별하기 위한 방법으로서, 제 1 배터리 및 제 2 배터리와 연관된 차동 전류를 측정하는 스텝을 포함하고, 제 1 배터리는 제 2 배터리와 병렬로 연결된다.

대 표 도 - 도1



명세서

청구범위

청구항 1

차동 전류 모니터링에 기초하여 내부 단락을 검출하기 위한 시스템으로서,

제 1 배터리,

제 1 배터리와 병렬로 연결되는 제 2 배터리,

적어도 하나의 전류 측정 장치를 포함하는 차동 전류 측정 모듈을 포함하고,

차동 전류 측정 모듈은 제 1 배터리 및 제 2 배터리와 연관된 차동 전류를 판별하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

차동 전류 측정 모듈은 판별된 차동 전류에 기초하여 제 1 배터리 내의 결함을 검출하도록 추가로 구성되는 것을 특징으로 하는 시스템.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

차동 전류 측정 모듈은 제 1 배터리와 연관된 제 1 전류를 측정하도록 구성된 제 1 전류 측정 장치, 및

제 2 배터리와 연관된 제 2 전류를 측정하도록 구성된 제 2 전류 측정 장치를 포함하고,

차동 전류는 제 1 전류와 제 2 전류 사이의 차이를 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

청구항 4

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

차동 전류 측정 모듈은 제 1 배터리 및 제 2 배터리 중 하나와 연관된 제 1 전류를 측정하도록 구성된 제 1 전류 측정 장치, 및

제 1 배터리 및 제 2 배터리 내의 토탈 전류를 측정하도록 구성된 제 2 전류 측정 장치를 포함하고,

차동 전류는 제 1 전류 및 토탈 전류에 기초하여 판별되는 것을 특징으로 하는 시스템.

청구항 5

제 3 항에 있어서,

제 1 및 제 2 전류 측정 장치는 각각 Hall 효과 변환기, 전류 감지 저항기, 유도 센서, 전류 센트 및 증폭기를 갖는 전류 검출 저항기 중 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

청구항 6

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

제 3 배터리,

제 4 배터리,

제 3 배터리 및 제 4 배터리와 연관된 차동 전류를 판별하도록 구성된 추가의 차동 전류 측정 모듈을 포함하고,

제 2 배터리는 제 3 배터리와 병렬로 연결되고,

시스템은 제 1 배터리 및 제 2 배터리와 연관된 차동 전류를 제 3 배터리 및 제 4 배터리와 연관된 차동 전류와 비교하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 시스템.

청구항 7

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

차동 전류 측정 모듈은 제 1 배터리와 제 2 배터리 사이에 위치되는 스위치를 더 포함하고,

스위치는,

제 2 배터리로부터 제 1 배터리를 연결 해제하고,

진단 시간 주기의 경과 후 제 1 배터리와 제 2 배터리를 재연결하도록 구성되고,

차동 전류 측정 모듈은 제 1 배터리 및 제 2 배터리가 재연결된 후 제 1 배터리 및 제 2 배터리와 연관된 차동 전류를 판별하도록 구성된 전류 측정 장치를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

스위치 및 전류 측정 장치는 금속 산화막 전계 효과 트랜지스터(MOSFET)를 포함하고,

차동 전류는 MOSFET의 드레인-소스 전압에 기초하여 판별되는 것을 특징으로 하는 시스템.

청구항 9

제 7 항에 있어서,

제 1 배터리는 병렬로 연결된 제 1 셀 및 제 2 셀을 포함하고,

제 1 셀과 제 2 셀 사이에 위치되는 추가의 스위치를 포함하는 추가의 차동 전류 측정 모듈을 더 포함하고,

추가의 스위치는 제 1 배터리 내의 결함의 존재가 판별된 후 제 2 셀로부터 제 1 셀을 연결 해제하고, 진단 시간 주기의 경과 후 제 1 셀 및 제 2 셀을 재연결하도록 구성되고,

추가의 차동 전류 측정 모듈은 제 1 셀 및 제 2 셀이 재연결된 후 제 1 셀 및 제 2 셀과 연관된 차동 전류를 판별하도록 구성된 추가의 전류 측정 장치를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

청구항 10

차동 전류 모니터링에 기초하여 배터리의 내부 단락을 검출하기 위한 방법으로서,

제 1 배터리 및 제 2 배터리와 연관된 차동 전류를 판별하는 스텝을 포함하고,

제 1 배터리는 제 2 배터리와 병렬로 연결되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

판별된 차동 전류에 기초하여 제 1 배터리 내의 결함을 검출하는 스텝을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 12

제 10 항 또는 제 11 항에 있어서,

제 1 배터리 및 제 2 배터리와 연관된 차동 전류를 판별하는 스텝은,

제 1 배터리와 연관된 제 1 전류를 판별하는 스텝,

제 2 배터리와 연관된 제 2 전류를 판별하는 스텝,

제 1 전류와 제 2 전류 사이의 차이를 판별하는 스텝을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 13

제 10 항 또는 제 11 항에 있어서,

제 3 배터리 및 제 4 배터리와 연관된 차동 전류를 측정하는 스텝으로서, 제 3 배터리는 제 4 배터리와 병렬로 연결되는 스텝,

제 1 배터리 및 제 2 배터리와 연관된 차동 전류를 제 3 배터리 및 제 4 배터리와 연관된 차동 전류와 비교하는 스텝을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 14

제 10 항에 있어서,

제 1 배터리와 제 2 배터리 사이에 위치되는 스위치에 의해 제 2 배터리로부터 제 1 배터리를 연결 해제하는 스텝,

진단 시간 주기의 경과 후 스위치에 의해 제 1 배터리와 제 2 배터리를 재연결하는 스텝으로서, 제 1 배터리 및 제 2 배터리와 연관된 차동 전류를 판별하는 스텝이 제 1 배터리 및 제 2 배터리가 재연결된 후 수행되는 스텝,

최소 결합 임계점으로 판별된 차동 전류를 비교하여 제 1 배터리 내의 결합의 존재를 판별하는 스텝을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

제 1 배터리 및 제 2 배터리를 연결 해제하기 전에 소정 시간 주기 동안 제 1 배터리 및 제 2 배터리를 연결하여 제 1 배터리 및 제 2 배터리가 스위치에 의해 제 1 배터리 및 제 2 배터리를 연결 해제하기 전에 정상 상태로 되는 스텝,

제 1 배터리 내의 결합의 검출에 반응하여 스위치에 의해 제 2 배터리로부터 제 1 배터리를 연결 해제하는 스텝을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시는 일반적으로 배터리 특성에 대한 모니터링의 영역, 보다 구체적으로 병렬로 연결되는 배터리 사이의 차동 전류(또는 내부 배터리 전류)의 측정에 기초한 배터리 모니터링에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 배터리는 하나 이상의 셀, 예를 들면 리튬-이온 셀로 만들어지고 다양한 다른 타입의 장치에 파워를 공급하는데 사용된다. 배터리의 극단적인 고장은 수백만 달러의 비용이 드는 큰 스케일의 리콜과, 회사 명성 및 브랜드 이미지에 상당한 피해를 입히는 결과로 이어진다. 배터리의 에너지 함량이 계속 커질수록 심각한 고장에 대한 가능성이 주요 관심사가 된다. 극단적인 배터리 고장은 셀 내부의 내부 단락 회로가 셀 내부에서 자체 가속 분해 반응을 일으키는 열 폭주의 경우를 포함할 수 있다. 열 폭주의 경우는 연기, 불꽃 또는 적절한 때에 중재가 수행되지 않으면 폭발까지 포함할 수 있다.

[0003] 몇몇 다른 접근법은 셀 또는 셀 블록 전압을 모니터링함으로써 배터리 셀 내의 단락 회로를 검출하는데 이용 가능하다. 이러한 접근법에서 셀 또는 셀 블록 전압 변화는 내부 단락 회로와 연관될 수 있는 셀에 걸리는 전압에 있어서의 강하를 검출하도록 충전 또는 방전이 셀 내부에서 일어나지 않을 때 모니터링된다. 셀이 휴면 상태(즉, 셀 내부에 흐르는 충전 또는 방전 전류가 없을 때)인 동안 긴 시간 동안의 셀 전압의 모니터링은 양질의 제어 테스트로서 셀 제조자에 의해 리튬-이온 산업에 사용된다. 셀의 조립 및 초기 충전에 이어서, 셀은 시간 주기 동안 휴면 상태에 있게 되고 셀 전압이 모니터링된다. 임의의 값을 넘은 셀 전압의 하강은 셀 내의 내부 단락의 존재를 암시할 수 있으므로 그 셀이 결함이 있는 것으로서 제거되는 것을 허용한다. 그러한 전압 테스트는 그들의 수명 사이클 이후에 내부 단락 회로를 전개하는 셀은 인식하지 못하고, 이는 작동 중 내부 단락 회로를 전개하는 셀의 극단적인 고장으로 이끌 수 있다. 또한, 내부 단락은 내부 단락이 셀 내에 존재하는지의

분명한 확인을 가능하게 하는 셀 전압 상에 현저하게 큰 영향을 주는 시간의 연장된 주기를 필요로 할 수 있기 때문에, 셀 전압의 모니터링은 셀이 휴면 상태일 때 내부 단락의 검출에 대해 상대적으로 낮은 민감도를 갖는다. 단락이 극단적으로 전개되면 복구 불능 지점은 열 폭주 및 극단적인 셀 고장을 더 이상 피할 수 없는 곳까지 도달할 수 있다.

발명의 내용

- [0004] 차동 전류 모니터링에 따른 배터리 특성을 판별하기 위한 시스템의 예시적인 실시형태는 제 1 배터리, 제 2 배터리를 포함하고, 제 2 배터리는 제 1 배터리와 병렬로 연결되고, 차동 전류 측정 모듈은 적어도 하나의 전류 측정 장치를 포함하고, 차동 전류 측정 모듈은 제 1 배터리 및 제 2 배터리와 연관된 차동 전류를 판별하도록 구성된다.
- [0005] 차동 전류 모니터링에 따른 배터리 특성을 판별하기 위한 방법의 예시적인 실시형태는 제 1 배터리 및 제 2 배터리와 연관된 차동 전류를 판별하는 스텝을 포함하고, 제 1 배터리는 제 2 배터리와 병렬로 연결된다.
- [0006] 추가적인 특징이 본원의 예시적인 실시형태의 기술을 통해 실현된다. 다른 실시형태는 본원에서 상세하게 설명되고, 청구되는 부분으로 고려된다. 예시적인 실시형태의 특징의 보다 양호한 이해를 위해, 설명 및 도면을 참조하라.
- [0007] 이제 같은 요소가 몇몇 도면에서 같은 번호로 된 도면을 참조하여 본 개시의 상기 및 다른 양상, 이점 및 특징이 침부한 도면에 대한 그 더욱 상세한 예시적인 실시형태에 있어서의 설명에 의해 보다 명백해 질 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0008] 도 1~도 7은 병렬 연결된 배터리용 차동 전류 모니터링 시스템의 실시형태를 도시한다.
- 도 8~도 9는 병렬 연결된 배터리용 차동 전류 모니터링에 대한 방법의 실시형태의 플로 챕트를 도시한다.
- 도 10은 병렬로 있는 한쌍의 예시적인 단락이 없는 셀에 대한 개별적인 셀 전류의 그래프를 도시한다.
- 도 11은 도 10의 셀에 대한 차동 전류 데이터의 그래프를 도시한다.
- 도 12는 단락을 갖는 병렬로 있는 한쌍의 예시적인 셀에 대한 개별적인 셀 전류의 그래프를 도시한다.
- 도 13은 도 12의 셀에 대한 차동 전류 데이터의 그래프를 도시한다.
- 도 14는 시그모이드 함수에 적용한 도 11의 데이터의 그래프를 도시한다.
- 도 15는 시그모이드 함수에 적용한 도 13의 데이터의 그래프를 도시한다.
- 도 16은 병렬로 있는 한쌍의 예시적인 단락이 없는 셀에 대한 차동 전류 및 토탈 전류 데이터의 그래프를 도시한다.
- 도 17은 단락을 갖는 병렬로 있는 한쌍의 예시적인 셀에 대한 차동 전류 및 토탈 전류 데이터의 그래프를 도시한다.
- 도 18~도 20은 프로세싱 이후 도 17의 데이터의 그래프를 도시한다.
- 도 21은 병렬로 있는 한쌍의 예시적인 단락이 없는 셀에 대한 차동 전류 데이터의 그래프를 도시한다.
- 도 22는 단락을 갖는 병렬로 있는 한쌍의 예시적인 셀에 대한 차동 전류 데이터의 그래프를 도시한다.
- 도 23은 예시적인 배터리에 대한 차동 전류 감지 민감도 데이터 대 진단 시간 주기의 그래프를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0009] 병렬 연결된 배터리용 차동 전류 모니터링을 위한 시스템 및 방법의 실시형태가 제공되고 예시적인 실시형태는 아래에서 자세히 논의된다. 병렬로 연결되는 두개의 배터리 사이의 차동 전류(그것은 내부 배터리 전류라고도 칭해짐)의 측정은 병렬 연결된 배터리 중 하나로부터 다른 하나로의 순수 전류 흐름이 두개의 배터리 사이의 특성에서 차이점을 암시하기 때문에 배터리의 다양한 특성을 결정하는데 사용될 수 있다. 예를 들면, 차동 전류는 병렬 배터리 중 하나에서 내부 단락과 같은 결함을 정확히 검출하는데 사용될 수 있다. 다양한 실시형태에서, 그러한 결함 검출은 배터리 사용 중 열 폭주 조건을 포함하여 극단의 배터리 고장을 방지하는데 사용될 수

있고, 또는 셀이 배터리 팩 내부로 조립되기 전에 제조 프로세스 중 결함이 있는 배터리 셀을 인식하여 결함이 있는 것으로 인식된 셀이 제거되게 하는데 사용될 수 있다.

[0010] 전류가 한쌍의 병렬 연결된 배터리로 유동할 때, 예를 들면 충전 및 방전 프로세스 중, 정상적인 배터리 거동과 연관된 전류 흐름은 공통 모드 신호로서 모든 배터리 내에서 관찰된다. 따라서, 두개의 병렬 배터리 사이의 차동 전류가 검사될 때 정상적인 배터리 작동과 연관된 상대적으로 큰 공통 모드 전류 신호는 상쇄되고 상대적으로 차동 전류 신호를 작은 전류로 남긴다. 병렬 배터리는 상대적으로 동일하게 전류를 공유하고, 한쌍의 병렬 배터리에 대한 차동 전류는 이상적으로 0이다. 그러나 실제적으로 배터리 수명의 초기에서의 셀간의 작은 편차 특성을 고려해 보면 일부 불균형이 예상될 수 있고, 셀이 다르게 노화되면 보다 많은 불균형이 발생되어 결국 현저하게 다른 캐퍼시티의 배터리로 구성된 병렬 블록 배터리로 될 수 있다. 그러나, 셀의 병렬 블록 내의 배터리 캐퍼시티가 현저하게 다른 경우에도 평균적인 양호한 배터리 사이의 순수 차동 전류는 시간이 지남에 따라 0에 가깝다. 하나의 배터리가 보다 높은 캐퍼시티를 갖고 따라서 방전 중 보다 많은 전류를 전달한다면 이러한 배터리도 충전 중 보다 많은 전류를 수용해서 두개의 병렬 배터리에 걸친 순수 충전 밸런스는 병렬쌍의 배터리가 예를 들면 내부 단락 때문에 내부적으로 방전되지 않는 한 유지된다. 따라서 배터리의 양호성은 하나 이상의 완전한 사이클의 경로 상에서 하나의 병렬 배터리로부터 다른 배터리까지의 순수 충전 유동을 포함하는 차동 전류의 인식에 기초하거나 또는 전체 배터리 충전/방전 전류가 중단된 후 상대적으로 낮은 값으로 감쇠하지 않는 차동 전류 유동에 의해 모니터링될 수 있다.

[0011] 차동 전류의 측정은 수동적 또는 능동적일 수 있다. 차동 전류 측정이 수동적인 실시형태에서, 하나 이상의 전류 측정 장치를 포함하는 차동 전류 측정 모듈이 작동 중 두개의 병렬 연결된 배터리 사이의 차동 전류를 측정하는데 사용되고, 판별된 차동 전류는 병렬 연결된 배터리 내의 특성에서 임의의 변화를 판별하도록 시간에 따라 모니터링된다. 한쌍의 병렬 배터리로부터의 차동 전류 신호는 다양한 신호 분석 방법을 사용하여 분석될 수 있다. 예를 들면, 배터리가 휴면 상태일 때 실질적으로 0이 아닌 값을 갖는 차동 전류의 존재는 배터리 중 하나에서의 내부 단락 회로를 암시할 수 있다. 다른 예로 차동 전류 데이터(즉, 전류 대 시간 또는 전류 대 캐퍼시티)는 하나의 배터리로부터 다른 병렬 배터리까지 전하의 순수 전달이 발생하는지를 판별하도록 시간 주기에 따라 통합될 수 있다. 또 다른 예에서, 특정한 시간 주기 및/또는 다수의 충전-방전 사이클 동안 차동 전류의 평균값이 관찰될 수 있거나, 또는 0으로부터 벗어난 평균 차동 전류의 크기의 시프트는 내부 단락 회로의 존재를 암시할 수 있다.

[0012] 차동 전류 측정이 능동적인 다른 실시형태에서, 차동 전류 측정 모듈은 두개의 병렬 연결된 배터리 사이에 위치된 스위치 및 전류 측정 장치를 포함한다. 배터리는 진단 시간 주기 동안 연결 해제되고 그 후 스위치를 통해 재연결된다. 내부 단락이 없는 배터리는 시간이 지남에 따라 안정적인 단자 전압을 유지하고 재연결될 때 상대적으로 낮은 차동 전류를 나타낸다. 그러나, 내부 단락이 배터리 중 하나에 존재한다면 그 배터리는 진단 시간 주기 중 방전 전류를 발생한다. 따라서 배터리가 재연결된 후 하나의 배터리부터 다른 하나까지의 돌입 전류를 포함하는 차동 전류의 존재는 돌입 전류를 수용하는 배터리에서의 결함의 존재를 암시한다. 하나의 배터리 내에서의 내부 단락 조건은 배터리가 재연결될 때 상대적으로 큰 돌입 전류로 되기 때문에, 배터리 중 하나의 내부 단락의 존재는 차동 전류 신호와 최소 결함 임계점을 비교함으로써 판별된다.

[0013] 차동 전류는 단일 셀 또는 다양한 실시형태에서 병렬 및/또는 직렬 연결되는 복수의 셀을 포함하는 두개의 병렬 배터리에 대해 측정될 수 있고, 예를 들면 셀이 배터리 팩 내부에서 조립되기 전 또는 후에 셀의 수명 사이클 내의 임의의 지점에서 배터리 특성을 판별하는데 사용될 수 있다. 두개의 병렬 배터리는 몇몇 실시형태에서 다른 구성을 포함할 수 있다. 다수의 전류 측정 장치, 및 몇몇 실시형태에서 복수의 셀을 병렬로 포함하는 배터리 팩 내의 스위치를 포함함으로써 결함을 포함하는 개별적인 셀의 판별(즉, 인식)이 가능하다. 그러한 배터리 팩은 병렬 유닛으로 연결된 임의의 적절한 수의 셀을 포함할 수 있고, 개별적인 셀 전류의 분석은 전체 팩의 병렬 서브 유닛으로서 연결된 임의의 적절한 수의 셀을 가진 팩으로 확장될 수 있다. 배터리 팩은 다양한 실시형태에서 리튬-이온, 납-산, 니켈-카드뮴 또는 니켈-메탈 하이브리드 배터리를 포함하지만 이에 제한되지 않는 적절한 타입의 배터리를 포함할 수 있다. 그러한 배터리 팩은 랩탑 또는 노트북 컴퓨터, 전력 공구, 하이브리드 전기 자동차, 플러그 인 하이브리드 차량, 전기 차량, 에너지 저장 시스템 및 군사 장비를 포함하지만 이에 제한되지 않는 임의의 적절한 전기 장치 내에 포함될 수 있다.

[0014] 도 1은 병렬 연결된 배터리(101, 102)용 차동 전류 모니터링 시스템(100)의 실시형태를 도시한다. 전류는 단자(104)부터 차동 전류 측정 모듈(103)을 통해 두개의 배터리(101, 102)를 거쳐 단자(105)까지 유동한다. 전류(106)는 모든 배터리(101, 102)에 대한 토탈 전류($I_{\text{토탈}}$)이다. 전류(107)(I_1)는 배터리(101)와 연관되고 전류

(108)(I₂)는 배터리(102)와 연관된다. I_{토탈}은 I₁ 더하기 I₂와 동등하다. 차동 전류 측정 모듈(103)은 I₁과 I₂ 사이의 차이와 동등한 배터리(101, 102) 사이의 차동 전류를 측정한다. 차동 전류 측정 모듈(103)에 의해 측정된 차동 전류는 배터리(101, 102)의 특성을 모니터링하는데 사용된다. 또한 차동 전류 측정 모듈(103)은 차동 전류 데이터를 수집하고 분석하는 논리 회로를 포함하고 임의의 적절한 논리 회로가 차동 전류 데이터를 수집하고 분석하도록 차동 전류 측정 모듈(103)에 포함될 수 있다. 배터리(101, 102)는 단일 셀 또는 다양한 실시형태에서 병렬 및/또는 직렬의 임의의 적절한 구성에 연결되는 복수의 셀을 포함할 수 있고 배터리(101, 102)는 다른 배터리 구성도 포함할 수 있다.

[0015] 차동 전류 측정 모듈(103)은 다양한 실시형태에서 하나 이상의 전류 측정 장치를 포함할 수 있고, 추가의 실시 형태에서 배터리(101, 102)를 연결 해제 및 재연결하기 위한 스위치를 포함한다. 차동 전류 측정 모듈(103)의 전류 측정 장치는 Hall 효과 변환기, 전류 감지 저항기, 유도 센서, 전류 센트 또는 증폭기를 갖는 전류 감지 저항기를 포함하지만 이에 제한되지 않는 임의의 적절한 전류 측정 장치를 포함한다. 증폭기를 갖는 전류 감지 저항기는 증폭 하드웨어가 분석을 위해 전류 감지 저항기를 통해 흐르는 전류에 관련된 상대적으로 큰 규모의 출력 전압 신호를 출력하면서 전류 감지 저항기에 걸쳐 전압 강하가 상대적으로 작게 유지되도록(즉, 감도 저항으로 인한 삽입 손실이 상대적으로 작도록) 전류 감지 저항기 및 증폭 하드웨어를 포함한다. 차동 전류 측정 모듈(103)이 스위치를 포함하는 실시형태에서, 스위치는 중계기 고체형 스위치, 사이리스터(thyristor), 기계적 스위치 또는 몇몇 실시형태에서 금속 산화물 반도체 전계 효과 트랜지스터(MOSFET)를 포함하지만 이에 제한되지 않는 임의의 적절한 타입의 퓨즈 또는 스위치를 포함할 수 있다. 스위치가 MOSFET인 실시형태에서, MOSFET은 MOSFET을 통하는 차동 전류가 MOSFET에 걸쳐 드레인-소스 전압 강하에 기초하여 판별될 때 전류 측정 장치를 포함할 수도 있다. 배터리(101, 102)는 다양한 실시형태에서 리튬-이온, 납-산, 니켈-카드뮴 또는 니켈-메탈 수소 화물 배터리를 포함하지만 이에 제한되지 않는 임의의 적절한 타입의 배터리를 포함할 수 있다.

[0016] 차동 전류는 여러가지 다른 접근법을 사용하여 차동 전류 측정 모듈(103)에 의해 측정될 수 있다. 차동 전류 측정 모듈(103) 및 하나 이상의 차동 전류 측정 모듈과 함께 사용을 위한 여러가지 배터리 구성의 다양한 실시형태가 도 2~도 7을 참조하여 아래에서 논의된다. 제 1 접근법은 I₁ 및 I₂를 측정하는 개별적인 전류 측정 장치를 포함한다(도 2를 참조하여 아래에서 더욱 상세히 논의됨). 제 2 접근법은 I₁(또는 I₂) 및 I_{토탈}을 측정하는 개별적인 전류 측정 장치를 포함하고 이어서 측정된 값으로부터 I₂(또는 I₁)를 계산한다(도 3을 참조하여 아래에서 더욱 상세히 논의됨). 제 3 접근법은 I₁(또는 I₂)을 측정하는 전류 측정 장치를 포함하고 I_{토탈}의 값이 배터리 관리 유닛과 같은 다른 소스로부터 획득되고 이어서 측정된 값으로부터 I₂(또는 I₁)를 계산한다. 제 4 접근법은 I_{토탈}이 0과 같은 경우 수행될 수 있는 배터리(101)로부터 배터리(102)까지(또는 역으로) 흐르는 차동 전류를 직접 측정하는 단일 전류 측정 장치를 포함한다. 이러한 접근법은 스위치를 포함하는 차동 전류 측정 모듈(103)에서 사용될 수 있다(도 5~도 7를 참조하여 아래에서 더욱 상세히 논의됨). 추가의 실시형태에서 배터리 작용은 한쌍의 제 1 병렬 배터리부터의 차동 전류 신호를 동일한 타입의 배터리 팩인 한쌍의 제 2 병렬 배터리에 의해 제공되는 차동 전류 신호와 비교함으로써 모니터링 될 수 있다(도 4를 참조하여 아래에서 더욱 상세히 논의됨). 두 개의 차동 전류 신호 사이에 상당한 편차가 검출되면 한쌍의 병렬 배터리 중 하나에서 결함이 나타날 수 있다. 임의의 배터리 및 도 2~도 7을 참조하여 아래에서 논의될 차동 전류 측정 모듈(몇몇 실시형태에서 하나 이상의 전류 측정 장치 및 스위치를 포함하는)은 도 1을 참조하여 논의되는 임의의 장치 및 구성을 포함할 수 있다. 임의의 적절한 논리 회로가 차동 전류 데이터를 수집하고 분석하도록 도 2~도 7의 차동 전류 측정 모듈과 함께 사용될 수 있다. 다양한 분석 기술이 도 10~도 22를 참조하여 아래에서 논의된다. 몇몇 실시형태에서 소정 시간 주기 동안의 차동 전류의 평균값이 판별될 수 있고, 두개의 병렬 배터리 중 하나에서의 결함이 예를 들면 소정 시간 주기 중 차동 전류의 평균값에서 크기에 있어서의 변화를 판별함으로써 판별된 평균값에 기초하여 검출될 수 있다. 다른 실시형태에서 차동 전류는 최소 결함 임계점과 비교될 수 있다.

[0017] 도 2는 병렬 연결된 배터리(201, 202)에 대한 수동적인 차동 전류 모니터링 시스템(200)의 실시형태를 도시한다. 전류는 단자(204)부터 전류 측정 장치(203A, 203B)를 포함하는 차동 전류 측정 모듈을 지나고 두개의 배터리(201, 202)를 지나 단자(205)까지 흐른다. 배터리(201, 202)의 차동 전류는 전류 측정 장치(203A)[배터리(201)와 연관된 I₁] 및 전류 측정 장치(203B)[배터리(202)와 연관된 I₂]에 의한 전류 신호 출력에서의 차이에 의해 주어진다. 도 3은 병렬 연결된 배터리(301, 302)에 대한 수동적인 차동 전류 모니터링 시스템(300)의 다른 실시형태를 도시한다. 전류는 단자(304)부터 전류 측정 장치(303A, 303B)를 포함하는 차동 전류 측정 모듈을 지나고 두개의 배터리(301, 302)를 지나 단자(305)까지 흐른다. 전류 측정 장치(303A)는 I_{토탈}을 제공하고 전류 측

정 장치(303B)는 I_1 을 제공한다. I_2 는 $I_{\text{토탈}}$ 과 I_1 의 차와 동일하므로 배터리(301, 302) 사이의 차동 전류를 계산할 수 있다. 도 3의 다른 실시형태의 시스템에서 전류 측정 장치(303A)는 생략될 수 있고 $I_{\text{토탈}}$ 은 배터리 관리 유닛과 같은 다른 소스(도시 생략)로부터 수용할 수 있다.

[0018] 도 4는 두 세트의 두개의 병렬 배터리가 서로에게 참조 차동 전류를 제공하는 병렬 연결된 배터리(401, 402, 403, 404)에 대한 수동적인 차동 전류 모니터링 시스템의 실시형태를 도시한다. 전류는 단자(406)부터 병렬 배터리(401, 402) 사이의 차동 전류를 판별하는 차동 전류 측정 모듈(405A) 및 병렬 배터리(403, 404) 사이의 차동 전류를 판별하는 전류 측정 모듈(405B)을 지나 단자(407)까지 흐른다. 차동 전류 측정 모듈(405A, 405B)은 임의의 적절한 방식으로 그들의 개별적인 차동 전류를 판별할 수 있다. 이어서 차동 전류 측정 모듈(405A, 405B)로부터의 차동 전류 신호가 서로 비교된다. 차동 전류 측정 모듈(405A, 405B)로부터의 두개의 차동 전류 신호 사이에 상당한 편차가 검출되면 한쌍의 병렬 배터리(401, 402) 또는 배터리(403, 404) 중 하나에서 결함이 나타날 수 있다. 임의의 적절한 논리 회로가 차동 전류 데이터를 수집, 비교, 분석하도록 차동 전류 측정 모듈(405A, 405B)과 연관될 수 있다.

[0019] 도 5는 차동 전류 측정 모듈이 스위치(504) 및 전류 측정 장치(503)를 포함하는 병렬 연결된 배터리(501, 502)에 대한 능동적인 차동 전류 모니터링 시스템(500)의 실시형태를 도시한다. 시스템(500)에서 능동적인 차동 전류 측정은 다음과 같이 수행되고 또한 도 9를 참조해서 아래에서 더욱 상세하게 논의된다. 첫째, 스위치(504)가 단락되고 배터리(501, 502)가 평형을 유지하여 상당한 정상 상태 전류 흐름이 달성된다. 이어서 그 길이가 배터리(501) 또는 배터리(502) 내의 임의의 내부 단락을 검출하는 것에 대한 민감도의 소망된 레벨에 따라 선택될 수 있는 진단 시간 주기에 상응하는 시간의 주기 동안 스위치(504)가 개방된다. 진단 시간 주기가 길수록, 내부 단락 회로가 단락을 포함하는 배터리를 충전 상태에 있게 하는 효과가 커진다. 스위치(504)가 개방되는 진단 시간 주기에 이어서 스위치(504)가 단락되고 배터리(501, 502) 사이의 차동 전류 흐름이 전류 측정 장치(503)에 의해 측정된다. 배터리(501, 502)가 내부 단락되어 있지 않으면 두 배터리(501, 502)는 진단 시간 주기 중 안정적인 충전 상태를 유지하고, 스위치(504)가 진단 시간 주기 끝에 닫힐 때 적은 또는 무 전류 흐름이 전류 측정 장치(503)에 의해 검출된다. 그러나 예를 들어 배터리(502)가 내부 단락을 가지면 진단 시간 주기 중 그 내부 단락으로의 방전은 배터리(501)의 충전 상태가 안정적으로 유지되는 반면 진단 시간 주기 중 배터리(502)를 방전시킨다. 따라서, 진단 시간 주기의 끝에 배터리(501, 502)의 재연결 시에 배터리(502) 내부로 전류 흐름의 서지가 일어나는 결과가 된다. 이러한 전류 흐름은 배터리(502) 내의 내부 단락의 존재를 암시한다. 전류 측정 장치(503)에 의해 검출되는 전류 흐름의 규모는 내부 단락의 규모와 연관되고, 전류 흐름의 방향은 배터리(501) 또는 배터리(502) 중 어떤 것이 내부 단락을 갖는지 암시한다. 능동적인 차동 전류 테스팅 중 시스템(500)의 단자(505, 506) 사이의 $I_{\text{토탈}}$ 은 0과 같다. 몇몇 실시형태에서 전류 측정 장치(503)와 연관된 논리 회로는 배터리(501) 또는 배터리(502) 중 하나에서 단락의 존재를 판별하도록 측정된 차동 전류를 최소 임계점과 비교할 수 있다. 스위치(504)는 다양한 실시형태에서 릴레이, 반도체를 이용한 스위치, 사이리스터, 기계적 스위치 및 하나 이상의 MOSFET 중 하나가 될 수 있다.

[0020] 도 6은 직렬로 연결되는 두 블록의 병렬 배터리(601A, 601B, 601C, 601D, 602A, 602B, 602C, 602D)로 구성되는 배터리 팩에 대한 능동적인 차동 전류 모니터링 시스템(600)의 다른 실시형태를 도시한다. 배터리 팩은 단자(607, 608)를 통해 장치에 파워를 공급한다. 각각의 배터리의 그 이웃하는 병렬 배터리로의 병렬 연결은 스위치(603A, 603B, 603C, 603D, 604A, 604B, 604C) 중 하나 및 각각 연동된 전류 측정 장치(605A, 605B, 605C, 606A, 606B, 606C)를 포함하는 각각의 차동 전류 측정 모듈을 통해 구성된다. 시스템(600)에서 결함의 존재를 판별하도록 스위치(603A, 603B, 603C, 603D, 604A, 604B, 604C, 604D)는 배터리(601A, 601B, 601C, 602A, 602B, 602C) 내에서 정상 상태가 달성될 때까지 단락되고 이어서 스위치(603A, 603B, 603C, 604A, 604B, 604C)의 서브 세트가 진단 시간 주기 동안 개방된다. 진단 시간 주기 이후, 개방된 스위치가 단락되고 차동 전류 흐름의 판별이 단락된 스위치와 연관된 전류 측정 장치(605A, 605B, 605C, 606A, 606B, 606C)에 의해 수행된다. 스위치(603A, 603B, 603C, 604A, 604B, 604C)의 다양한 서브 세트의 개방 및 단락의 시퀀스가 결함을 포함하는 개별적인 배터리(601A, 601B, 601C, 602A, 602B, 602C)를 판별하는데 사용될 수 있다. 예를 들면, 스위치(603B)가 진단 시간 주기 동안 개방되는 동안 스위치(603A, 603C)는 단락되고 이어서 스위치(603B)가 병렬 배터리(601A, 601B, 601C, 601D) 중 하나에서의 결함의 존재를 판별하도록 단락된다. 예를 들면, 전류 측정 장치(605B)가 배터리(601C, 601D)부터 배터리(601A, 601B)의 방향으로 흐르는 차동 전류를 암시한다면 결함은 배터리(601A, 601B) 중 하나에서 나타난다. 이때 스위치(603B)는 배터리(601A, 601B)를 격리시키도록 개방되고, 그 후 스위치(603A) 및 전류 측정 장치(605A)는 배터리(601A, 601B) 중 어느 것이 결함을 포함하는지 판별하도록 사용될 수 있다. 몇몇 실시형태에서 효과적인 조정(예를 들면 열 폭주 방지)이 팩 내의 하나의 배터리가 내

부 단락을 전개하는 지식에 기초해 수행될 수 있다면 어떤 개별적인 배터리가 결함이 있는 것인지 인식하는 것이 불필요하다. 그러나, 내부 단락을 갖는 특정 배터리가 인식될 수 있다면 예를 들면 다른 배터리가 배터리 팩 단자(607, 608)에 파워를 공급하게 하면서 적절한 스위치를 개방함으로써 그 배터리를 선택적으로 연결 해제시키는 것이 가능하므로 인식된 내부 단락을 갖는 배터리에 전류가 흐르는 것을 방지함으로써 안정성을 유지하지만, 예를 들면 배터리가 파워를 공급하는 장치의 정지가 제어되도록 배터리의 모든 기능은 유지한다.

[0021] 도 7은 병렬 배터리(701A, 701B, 702A, 702B, 703A, 703B)의 세개의 블록으로 구성된 배터리 팩에 대한 능동적인 차동 전류 모니터링 시스템(700)의 다른 실시형태를 도시한다. 시스템(700)의 배터리 팩은 단자(708, 709)에 파워를 공급한다. 도 7의 차동 전류 측정 장치는 MOSFET(704A, 704B, 705A, 705B, 706A, 706B, 707A, 707B)을 포함한다. MOSFET(704A, 704B, 705A, 705B, 706A, 706B, 707A, 707B)은 MOSFET을 통해 흐르는 전류가 MOSFET에 걸리는 드레인-소스 전압 강하에 따라 판별될 수 있으므로 스위치 및 전류 측정 장치 모두로서 동작한다. MOSFET(704A, 703B, 705A, 705B, 604B, 604C)의 다양한 서브 세트의 개방 및 단락의 시퀀스가 결함을 포함하는 개별적인 배터리(601A, 601B, 601C, 602A, 602B, 602C)를 판별하는데 사용될 수 있다. 또한 MOSFET(704A, 704B, 705A, 705B, 706A, 706B, 707A, 707B)은 임의의 배터리(701A, 701B, 702A, 702B, 703A, 703B) 중 단락이 검출된 경우 전체 배터리 팩을 정지하도록 개방될 수 있고 또는 MOSFET(704A, 704B, 705A, 705B, 706A, 706B, 707A, 707B)의 서브 세트는 나머지 배터리가 단자(708, 709)에 파워를 공급하는 것을 지속하는 동안 시스템(700) 내의 단일한 결함이 있는 배터리를 연결 해제시키도록 개방될 수 있다.

[0022] 도 8은 차동 전류 기반 배터리 모니터링에 대한 방법(800)의 플로 챕트를 도시한다. 도 8은 상술한 도 1~도 7의 임의의 시스템에서 실행될 수 있다. 첫째, 블록(801)에서 병렬로 연결되는 제 1 배터리와 제 2 배터리 사이의 차동 전류(즉 내부 배터리 전류)는 차동 전류 측정 장치에 의해 판별된다. 이어서, 블록(802)에서 제 1 배터리에서 특성에 있어서의 변화가 판별된 차동 전류에 기초하여 검출된다. 특성에 있어서의 변화는 차동 전류 데이터의 임의의 적절한 신호 분석 기술을 사용하여 검출될 수 있다. 몇몇 실시형태에서 차동 전류 신호는 최소 결합 임계점과 비교될 수 있다. 다른 실시형태에서 차동 전류 데이터(즉, 전류 대 시간 또는 전류 대 캐퍼시티)는 하나의 배터리부터 다른 병렬 배터리까지 전하의 순수 전달이 일어나는지를 판별하도록 시간 주기 동안 통합될 수 있고 하나의 배터리부터 다른 것으로의 전하의 순수 전달이 내부 단락 회로를 암시한다. 다른 실시형태에서 특정한 시간의 주기 동안 차동 전류의 평균값 및/또는 충전-방전 사이클의 횟수가 관찰될 수 있다. 0에서 벗어난 평균 차동 전류의 변화 규모가 내부 단락 회로의 존재를 암시한다. 특성에 있어서의 검출된 변화는 몇몇 실시형태에서 제 1 배터리 내의 내부 단락과 같은 결함의 인식을 포함한다.

[0023] 도 9는 도 8의 블록(801)에서 수행된 바와 같은 제 1 배터리와 제 2 배터리 사이의 차동 전류를 판별하기 위한 방법(900)의 실시형태의 플로 챕트를 도시한다. 방법(900)은 상술한 도 1 및 도 5~도 6의 임의의 시스템에서 실행될 수 있다. 첫째, 블록(901)에서 제 1 배터리와 제 2 배터리 사이에 위치한 스위치가 제 1 배터리 및 제 2 배터리가 정상 상태에 도달할 때까지 단락된다. 정상 상태는 진단 시간 주기의 길이에 따라 규정될 수 있다[블록(902)에서 아래에 논의됨]. 몇몇 실시형태에서 정상 상태는 두개의 배터리 사이의 전류 흐름이 안정되는 포인트에서 있을 수 있고 이것은 배터리가 다른 것으로부터 연결 해제되는 의도된 진단 시간 주기와 동일한 주기 동안 그 최대 규모의 10%보다 적게 변화한다.

[0024] 이어서, 블록(902)에서 스위치는 진단 시간 주기를 위해 개방된다. 진단 시간 주기는 다양한 실시형태에서 약 15분에서 약 24시간까지의 범위가 될 수 있고 시스템에 존재하는 배터리의 타입에 따라 변화될 수 있다. 진단 시간 주기가 길수록 재연결 후에 시스템이 내부 단락을 검출하는 민감도가 보다 양호해진다. 도 23은 예를 들어 2.4 암페어-시간 18650형 배터리 셀의 진단 시간 주기 데이터에 대한 민감도(즉, 미리 암페어 또는 mA 단위의 피크 차동 전류)의 그래프(2300)를 도시한다. 도 23에서 진단 시간 주기는 15분에서 24시간의 범위에 있다. 도 23에서 볼 수 있는 바와 같이, 100옴 단락이 15분 진단 시간 주기를 이용하여 검출될 수 있다. 보다 많은 부수적인 단락(즉, 3000 또는 6300옴)을 위해 많은 시간의 진단 시간 주기가 필요하다. 또한 주어진 전류선을 그리는 단락을 검출하는 것은 병렬 배터리가 가진 캐퍼시티가 크면 긴 진단 시간 주기가 필요하다. 배터리가 휴면 상태이고 최소 시간 주기(예를 들면 약 0.5~2시간) 동안 휴면 상태일 때 적은 시간에 따라 진단 시간 주기는 짧을 수 있다. 충전 및 방전이 배터리에서 일어나면, 진단 시간 주기는 충전 및 방전 프로세스가 정지한 후 최소 휴면 주기보다 짧을 수 있다. 이어서, 블록(903)에서 진단 시간 주기가 경과한 후 스위치가 단락되고 배터리가 재연결된다. 마지막으로, 블록(904)에서 스위치와 연관된 전류 측정 장치가 제 1 배터리와 제 2 배터리 사이의 차동 전류의 존재를 검출한다.

[0025] 차동 전류 데이터, 예를 들면 병렬 배터리 및 도 8의 방법(800)의 블록(802)에서 사용될 수 있는 다양한 신호 분석 기술은 도 10~도 22을 참조하여 아래에서 논의된다. 도 10은 주기 중 한쌍의 단락없는 병렬의 2.6Ah 18650

리튬 이온 셀에 대한 긴 시간 동안의 개별적인 셀 전류의 그래프를 도시하고, 도 10은 도 10의 셀 사이의 차동 전류의 그래프(1100)를 도시한다. 도 10은 표준 노트북 컴퓨터의 충전 및 방전을 시뮬레이션한다. 전류는 도 11에서 볼 수 있는 바와 같이 두 셀 사이에 거의 동일하게 분배되고, 이는 두 셀에 대해 측정된 차동 전류의 값이 한쌍의 셀에 대한 충전 및 방전 전류의 매우 작은 부분인 것을 보여준다. 차동 전류 신호는 주로 잡음이고 더욱 큰 충전 및 방전 전류가 모든 셀에 공통 모드 신호로서 나타나고 강하된다. 도 12 및 도 13에 단락된 유사한 병렬 배터리에 대한 긴 시간 동안의 차동 전류 데이터가 도시된다. 도 12는 셀 내부의 작은 단락을 시뮬레이션하는 셀 중 하나에 걸린 100옴 부하를 갖는 한쌍의 병렬 18650셀에 대한 각각의 셀 전류의 그래프(1200)를 도시하고, 도 13은 도 12의 셀 사이에 흐르는 차동 전류의 그래프(1300)를 도시한다. 하나의 셀 내의 상대적으로 작은 단락의 존재는 결과적으로 상대적으로 작은 전류를 나타낸다. 동일한 전류 분배에 대한 편차는 단락을 시뮬레이션하는 부하가 배터리에 연결됐을 때 관찰된다. 특히, 도 13에 저항이 셀 중 하나에 연결되는 포인트인 약 110분에 일어나는 차동 전류 평균값에 과도 현상이 일어난다.

[0026] 도 11에 도시된 차동 전류 데이터는 도 13의 차동 전류 데이터가 51.5mA의 평균값을 갖는 반면 약 1.90mA의 평균값을 갖는다. 평균 차동 전류를 분석함으로써 2개 이상의 병렬 셀 사이에 전하의 상당한 순수 전달이 일어났는지 판별될 수 있다. 도 13에서의 51.5mA 차동 전류값이 하나의 셀부터 다른 셀 내부로의 지속된 전류 흐름, 따라서 내부 단락의 징후인 반면, 도 11에 도시된 바와 같이 약 1.90mA의 평균값은 측정 에러 및 잡음 레벨이 고려될 때 상대적으로 작으므로 크지 않은 내부 단락을 암시한다. 동일한 규모의 내부 단락 및 전개율이 동일한 시간에 모든 배터리에 나타나고, 유사한 특성을 갖는 동시적 단락의 그러한 동시성의 가능성은 상대적으로 작다.

[0027] 또한 단락되지 않은 상태로부터 단락된 상태로의 과도 현상은 차동 전류 데이터를 시그모이드 함수에 적용함으로써 판별될 수 있다. 시그모이드 함수는 하나의 상태로부터 다른 상태로의 과도 현상을 겪는 시스템의 수학적 표현을 제공하고 상당한 신호 잡음이 존재해도 그러한 과도 현상을 인식하는 효과적인 수단을 확립하게 한다. 도 14는 도 11의 데이터를 시그모이드 함수에 적용한 그래프(1400)를 도시한다. 그래프(1400)는 차동 전류 데이터 내에서 과도 현상을 보이지 않으므로 내부 단락이 모든 셀에 나타나지 않은 것을 가리킨다. 도 15는 단락 상태를 포함하는 도 13의 차동 전류 데이터에 적용한 시그모이드 함수의 그래프(1500)를 도시한다. 도 15에서 볼 수 있는 바와 같이, 약 110분의 시간에서 단락이 없는 상태로부터 100옴 단락의 존재에 대한 과도 현상이 적용에 의해 인식된다.

[0028] 도 16은 병렬인 한쌍의 양호한(즉, 단락이 없는) 셀에서 긴 시간 동안의 차동 전류 및 토탈 전류(암페어, A)의 그래프(1600)를 도시한다. 양호한 셀은 병렬로 사이클될 때 거의 동일하게 전류를 분배하지만 전류를 완벽한 밸런스로 분배하지 않으면 몇몇의 차동 전류가 관찰된다. 그러나, 단락이 없는 셀 내에서 관찰된 차동 전류 신호는 도 16에서의 데이터로부터 볼 수 있듯이 병렬인 한쌍의 셀 내의 전체 전류와 일반적으로 관계된다. 이러한 관계를 이용하여 한쌍의 셀에 대한 전체 충전 및 방전 전류와 일관적인 관계를 갖지 않는 내부 단락 프로세스를 암시할 수 있는 임의의 신호 요소로부터의 정상 충전 및 방전 프로세스와 연관되는 차동 전류 내의 신호 요소의 디콘밸루션에 의해 차동 전류를 분석하는 것이 가능하다. 그래프(1600)에서 파형의 크기가 자릿수 등에 차이가 있는 반면 정상(단락이 없는) 주기 중 차동 전류가 예측 가능한 방식으로 전체 전류를 따르는 것을 볼 수 있다.

[0029] 단락을 갖는 병렬 배터리의 경우, 전체 전류와 비교하여 차동 전류의 변칙 작용이 관찰될 수 있다. 도 17은 셀 중 하나가 한쌍의 셀이 피크 동작 전압에 가까이 있을 때 나타나는 내부 단락을 갖는 것을 보이는 차동 전류 파형의 그래프(1700)를 도시한다. 약 630분 및 890분에서 그래프(1700) 파형 내의 변칙적인 피크는 내부 단락을 갖는 셀 내부로의 전류 흐름과 상응한다. 또한 보다 작은 피크가 단락의 규모가 보다 작은 약 400분 및 1120분에서 관찰된다. 하나의 신호 프로세싱 기술에서 도 17에 도시된 타입의 신호가 EQ.1에 따라 처리된다.

$$I_{\text{결과}}(t) = I_{\text{차동}}(t) - a [I_{\text{토탈}}(t)] \quad \text{EQ.1}$$

[0031] 스케일링 파라미터 a 가 정상 작동으로부터 기인하는 차동 전류 기여의 크기를 줄이도록 선택될 수 있다. 도 18은 일시적인 내부 단락의 존재와 연관된 것으로부터 정상 작동과 연관된 신호 요소로 디컨밸루션하여 도 17 내의 데이터에 대한 EQ.1의 적용 결과의 그래프(1800)를 도시한다. 정상적인 충전-방전 프로세스로부터 기인하는 신호 요소는 간헐적인 단락과 연관된 전류 피크가 변하지 않은 채 남아있는 동안 분석시에 강조되지 않는다. 따라서, 내부 단락의 검출을 위한 전체 신호 대 바탕비는 증가하고 검출을 보다 민감하게 할 수 있게 한다.

[0032] 또한, 내부 단락에서 기인한 차동 전류의 민감도는 토탈 전류 봇에 대한 차동 전류를 이용해서 증가될 수 있다. 또한, 한쌍의 병렬 셀의 차동 전류는 차동 전류의 규모가 토탈 전류에 대한 비로서 계산될 때 일반적으로 큰 경우를 구하도록 토탈 전류와 비교될 수 있다. 도 19는 도 17에 도시된 데이터에 이러한 분석을 적용한 그래프

(1900)를 도시한다. 분석(도 19에서 "감마"라고 칭해짐)에 대한 출력은 EQ.2를 이용해서 계산된다.

[0033] $I_{\text{차동}}(t) = I_{\text{차동}}(t)/I_{\text{토탈}}(t)$ EQ.2

[0034] 도 19에 도시된 바와 같이 차동 전류의 봉과 한쌍의 병렬 셀[셀(1) 및 셀(2)]에 대한 토탈 전류는 차동 전류가 토탈 전류에 대해 불균형적으로 흐를 때의 주기를 인식하도록 판별될 수 있고 따라서 하나 이상의 셀 내에서 내부 단락의 지표가 된다. 이러한 타입의 분석은 셀 온도 및 충전-방전 효과(충전의 끝 쪽에 간헐적으로 형성되고 이어서 방전이 시작될 때 없어지는 도 19의 단락)에 의해 독립적으로 판별되는 바와 같이 내부 단락의 지표가 되지 않는 방전 중 유사한 규모의 차동 전류를 무시하는 반면 고전압(4개의 충전 중 각각의 끝 쪽에)에 형성되는 내부 단락과 연관된 큰 충폭 신호의 결과가 된다. 토탈 전류가 0일 때 충전과 방전 스텝 사이의 휴면 주기 중, 토탈 전류로 나눈 차동 전류의 봉은 무한하고 이용될 수 없다. 다른 분석 기술이 휴면 주기 중에 적용될 수 있다.

[0035] 도 20은 차동 전류와 차동 전류에 대한 토탈 전류 봉에 따른 프로세싱 알고리즘의 출력을 비교한 그래프(2000)를 도시하고 내부 단락으로부터 기인하는 차동 전류의 검출에 있어서의 상대적으로 높은 민감도를 도시한다. 도 19의 데이터에 대한 EQ.2의 적용은 그 각각이 병렬 셀 중 하나에서 내부 단락의 발생과 상응하는 4개의 분명한 피크를 제공하고 이때 차동 전류 파형 단독으로부터 획득될 수 있는 내부 단락에 대한 상대적으로 높은 충폭 지표를 제공하는 출력을 생성한다.

[0036] 도 21은 도 9의 방법(900)에 따라 설명되는 바와 같은 단락 없는 병렬 연결된 리튬-이온 셀의 능동 호출로부터 기인하는 차동 전류 데이터의 그래프(2100)를 도시하고, 도 22는 단락을 갖는 유사한 배터리에 대한 차동 전류 데이터의 그래프(2200)를 도시한다. 배터리는 평형이 유지되고 진단 시간 주기에 대해 연결 해제되고 재연결된다. 도 21에 도시된 바와 같이, 모든 셀이 서로 연결 해제되기 전에 평형이 유지될 때 셀이 진단 시간 주기 중 동일한 단자 전압에 머무르기 때문에 재연결 시에 전류가 흐르지 않는다. 도 22는 동일한 상태 하에서 수집되고 도 21 내에 나타난 바와 같은 차동 전류 데이터를 도시하지만 100옴 부하가 하나의 셀에 위치되면 낮은 등급 (low-grade) 내부 단락 회로의 존재를 시뮬레이션한다. 도 22 내의 데이터는 이 경우에 2시간인 진단 시간 주기 중 100옴 부하 내부로 방전되는 셀 내부로의 돌입 전류를 포함하는 큰 전류 스파이크의 결과가 되는 셀의 재연결을 도시한다. 차동 전류 내의 이러한 큰 스파이크는 하나의 셀에 있는 100옴 부하의 존재에 대한 한쌍의 셀의 주기 동안 관찰되는 임의의 차동 전류 값을 훨씬 넘는 규모를 갖기 때문에 쉽게 인식될 수 있다. 또한 도 22는 셀의 연결 해제 및 재연결 전에 일어나는 몇몇 충전-방전 사이클에 대한 차동 전류 데이터를 포함한다.

[0037] 본원에서 사용되는 배터리는 하나 이상의 셀을 나타내고, 각각의 셀은 화학 작용에 의해 전기를 생산하는 장치이다. 배터리 내의 하나 이상의 셀은 병렬, 직렬 또는 임의의 그 조합으로 연결될 수 있다.

[0038] 예시적인 실시형태의 기술적 효과 및 이점은 차동 전류 데이터에 따른 배터리 특성에 있어서의 변화의 정확한 검출을 포함한다.

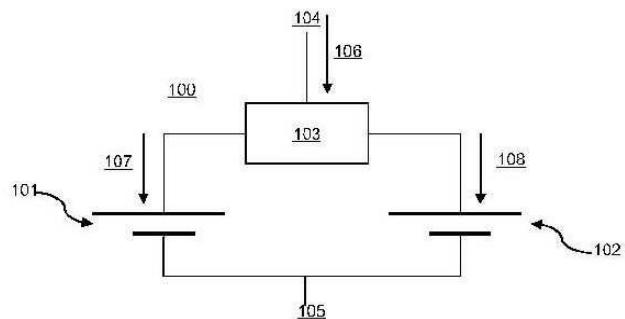
[0039] 본원에서 사용된 기술은 특별한 실시형태만을 설명하기 위한 것이고 본 발명을 제한하도록 의도되지 않는다. 본원에서 사용된 바와 같이 단수형은 문맥이 명확히 다른 것을 나타내는 경우를 제외하고 복수형 또한 포함하도록 의도된다. 용어 "포함한다" 및/또는 "포함하는"은 본 명세서에 사용될 때 언급된 특징, 인티저(integer), 스텝, 작동, 요소 및/또는 구성의 존재를 명시하지만 하나 이상의 다른 특징, 인티저, 스텝, 작동, 요소, 구성 및/또는 그 그룹의 존재 또는 추가를 제외시키지 않는다는 것이 더 이해될 것이다.

[0040] 아래의 청구항 내의 모든 수단 또는 기능 요소를 더한 스텝의 상응하는 구조, 재료, 동작 및 그에 대응하는 것은 임의의 구조, 재료를 포함하거나 특별히 청구된 바와 같이 다른 청구된 요소와 함께 기능을 수행하도록 동작한다. 본 발명의 설명은 예시 및 설명을 위해 제공되고 개시된 형식 내의 본 발명에 국한 또는 제한되도록 의도되지 않는다. 다양한 변형에 및 변경예가 본 발명의 범위 및 사상을 벗어나지 않는 본 기술 분야의 당업자에게 명백하다. 실시형태는 본 발명 및 실용적인 적용의 원칙을 설명하고 본 기술 분야에 보통의 기술을 가진 자에게 특별한 사용을 고려하여 적합한 다양한 변형예와 함께 다양한 실시형태에 대한 본 발명을 이해하는 것을 가능하게 한다.

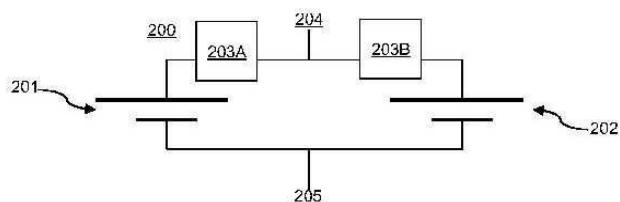
[0041]

도면

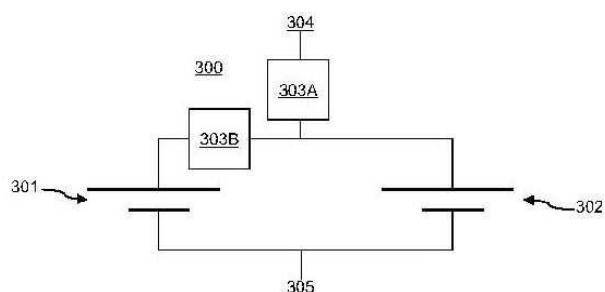
도면1



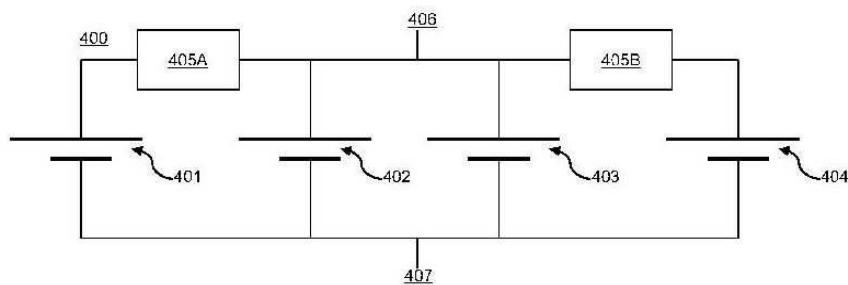
도면2



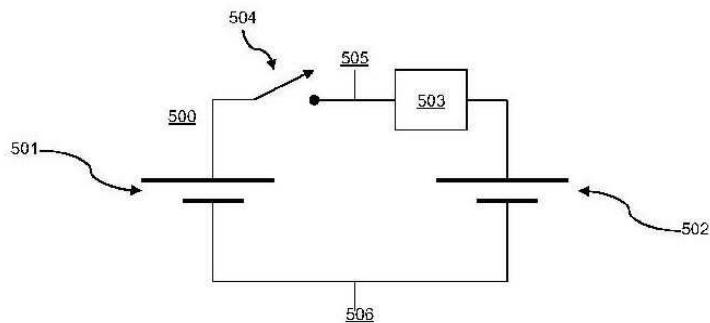
도면3



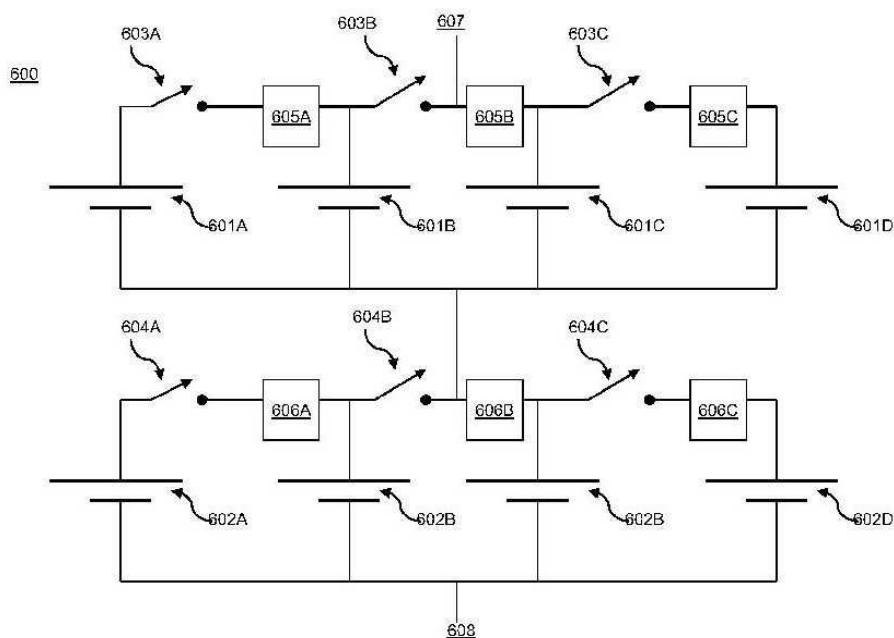
도면4



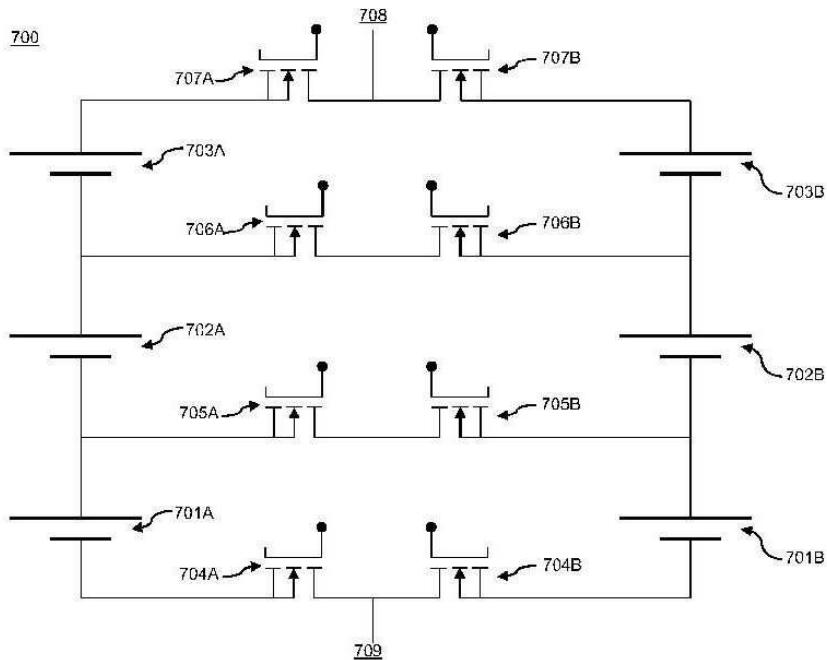
도면5



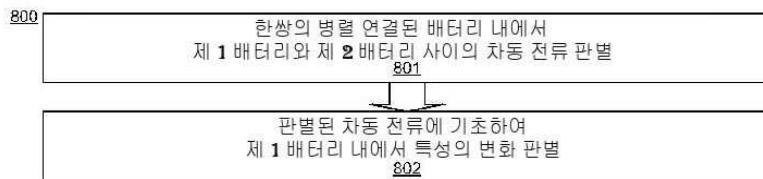
도면6



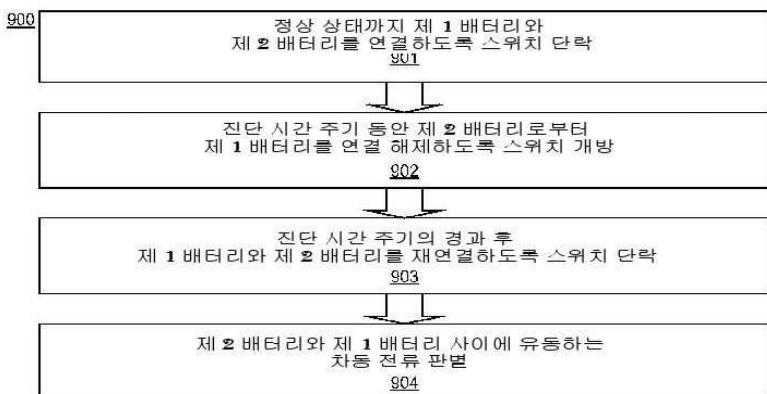
도면7



도면8

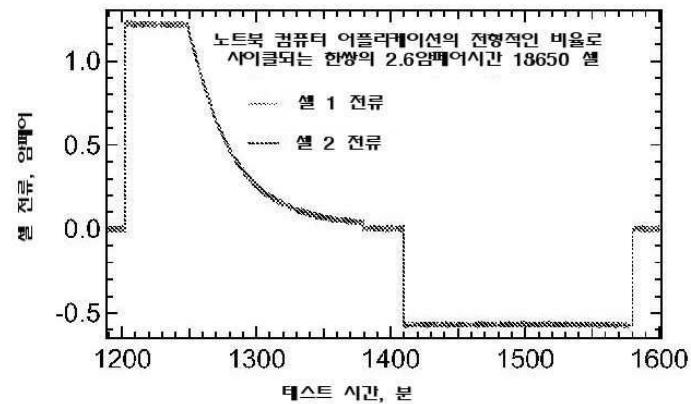


도면9



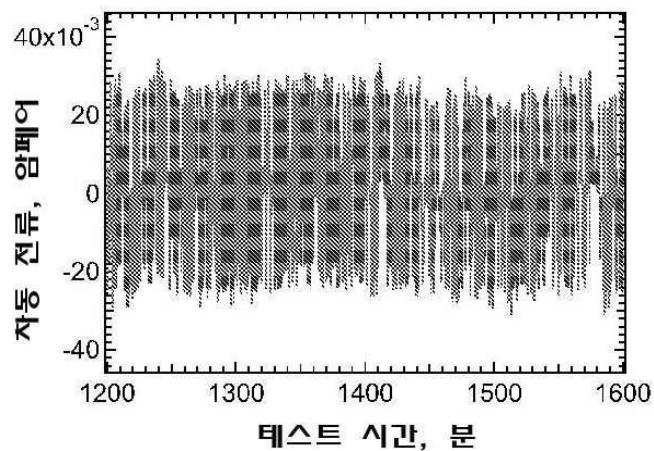
도면10

1000



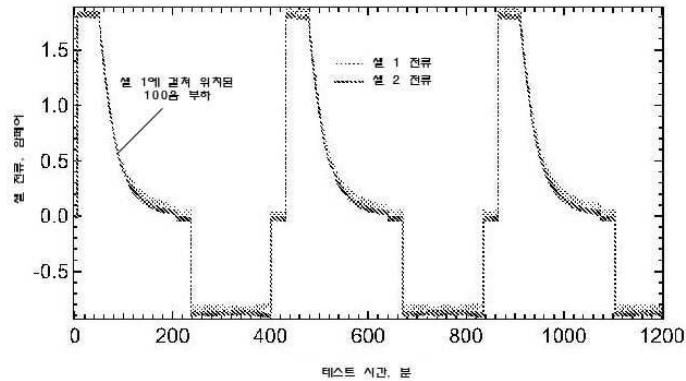
도면11

1100



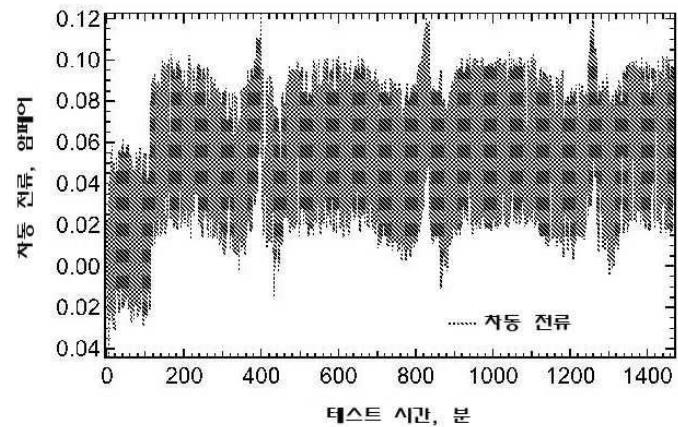
도면12

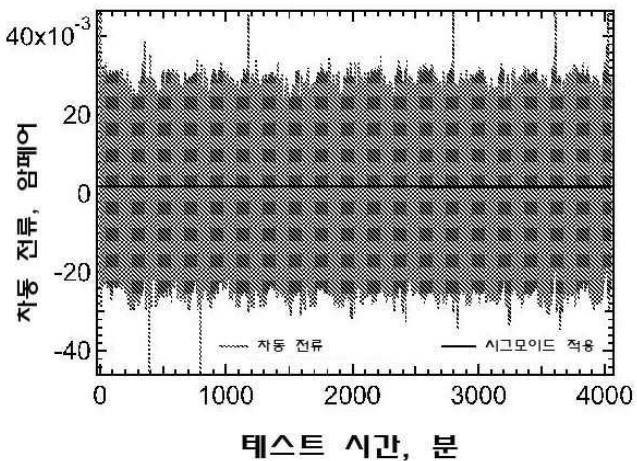
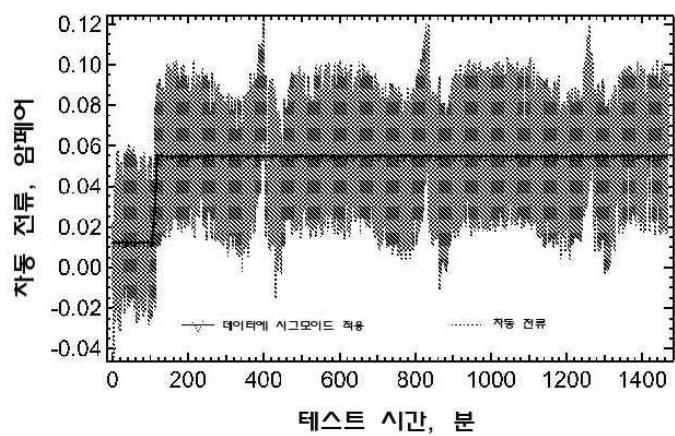
1200



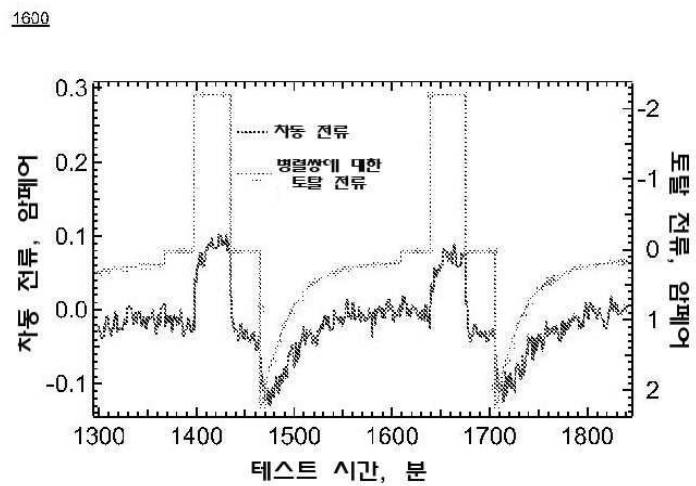
도면13

1300

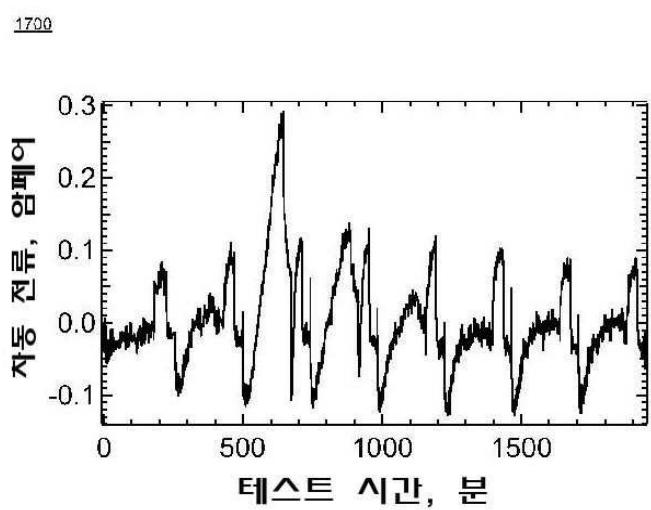


도면141400**도면15**1500

도면16

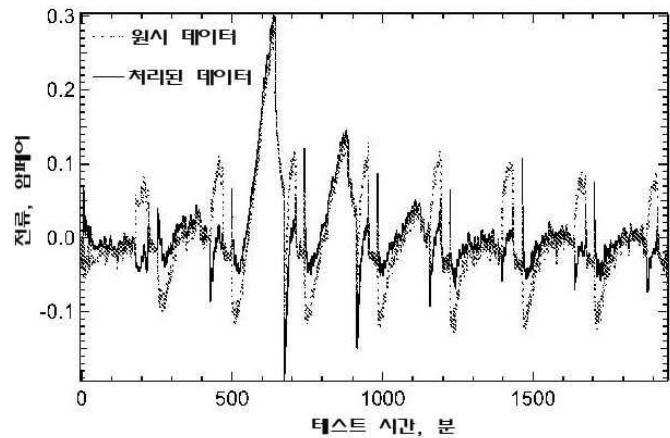


도면17



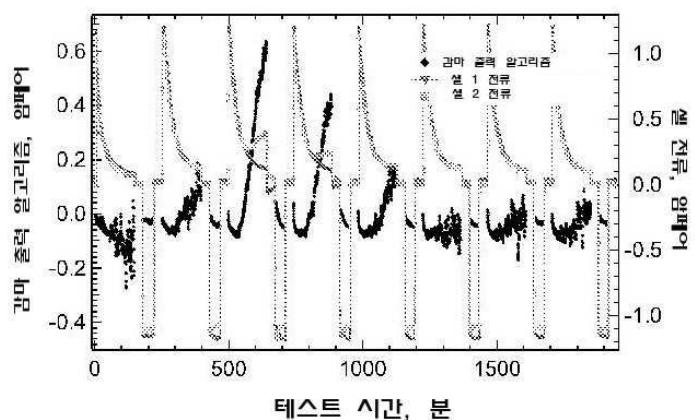
도면18

1800



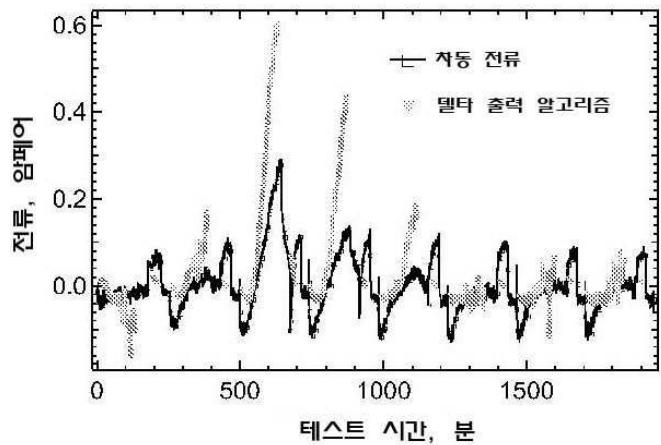
도면19

1900



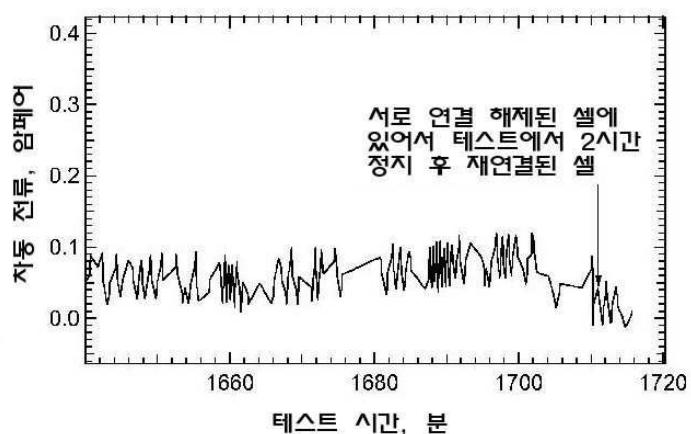
도면20

2000

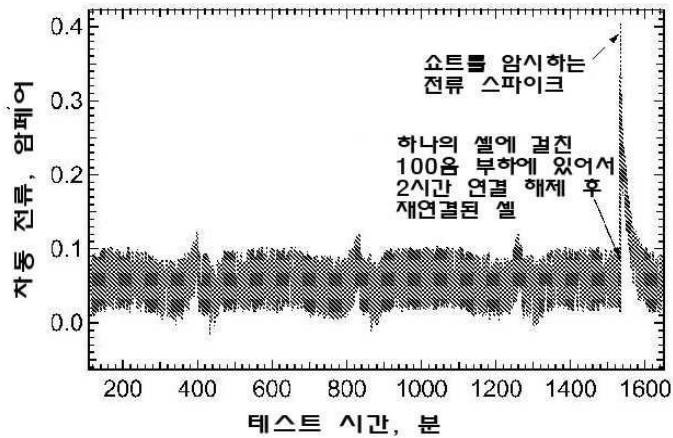


도면21

2100



도면22

2200

도면23

2300