



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0097598
(43) 공개일자 2016년08월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02J 7/00 (2006.01) H02J 7/02 (2016.01)
(52) CPC특허분류
H02J 7/0065 (2013.01)
H02J 7/022 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0019471
(22) 출원일자 2015년02월09일
심사청구일자 2015년02월09일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
허훈
서울특별시 종로구 자하문로40길 36 (부암동)
정현철
서울특별시 강남구 개포로110길 43, 104동 610호 (일원동, 한신아파트)
(74) 대리인
특허법인남춘

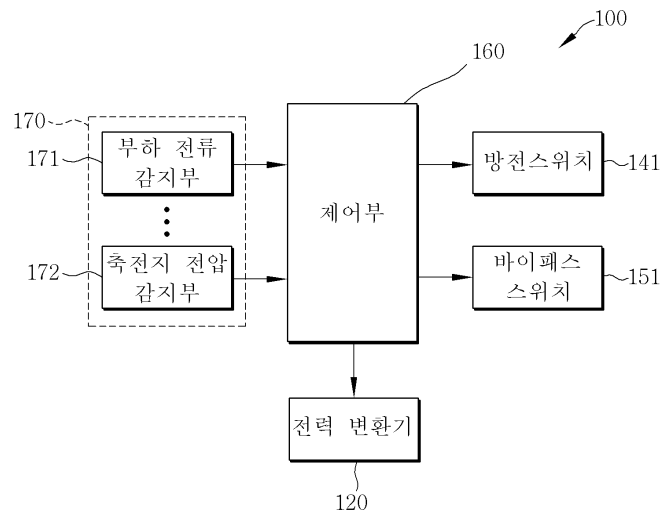
전체 청구항 수 : 총 17 항

(54) 발명의 명칭 연속전지를 이용한 에너지 저장 시스템 및 연속전지의 충방전 방법

(57) 요약

본 발명은 연속전지를 이용한 에너지 저장 시스템 및 연속전지의 충방전 방법에 관한 것이다. 본 발명에 따른 에너지 저장 시스템은 연속전지와; 외부 전원을 정류하여 상기 연속전지를 충전하고, 상기 연속전지로부터 방전되는 직류 전원을 교류 전원으로 변환하여 부하에 공급하는 전력 변환기와; 상기 연속전지를 방전시키는 방전 모드로 동작할 때, 상기 연속전지의 방전 전류의 파형이 '0'의 구간이 없는 펄스와 형태를 갖도록 상기 전력 변환기를 제어하는 제어부를 포함하는 것을 특징으로 한다. 이에 따라, 연속전지의 수명과 방전효율을 향상시키면서도 '0' 전류 구간 없이 상시 전원 공급용 설비에도 적용이 가능하며, 연속전지를 에너지 저장 시스템에 활용하면서도 연속전지의 재생이 가능하게 된다.

대표도 - 도6



(52) CPC특허분류
Y02T 10/7016 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

연축전지와;

외부 전원을 정류하여 상기 연축전지를 충전하고, 상기 연축전지로부터 방전되는 직류 전원을 교류 전원으로 변환하여 부하에 공급하는 전력 변환기와;

상기 연축전지를 방전시키는 방전 모드로 동작할 때, 상기 연축전지의 방전 전류의 파형이 '0'의 구간이 없는 펄스파 형태를 갖도록 상기 전력 변환기를 제어하는 제어부를 포함하는 것을 특징으로 하는 연축전지를 이용한 에너지 저장 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 연축전지의 방전 전류의 파형은 '0'의 구간이 없는 펄스파로, 예를 들어 톱니파 또는 구형파 형태를 갖는 것을 특징으로 하는 연축전지를 이용한 에너지 저장 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 전력 변환기는

상기 방전 모드에서 상기 외부 전원을 정류하여 부하로의 전원 공급을 상기 연축전지와 분담하고, 상기 연축전지를 충전하는 충전 모드에서 상기 외부 전원을 정류하여 상기 연축전지를 충전하는 정류기와,

상기 정류기로부터의 직류 전원과 상기 축전기로부터 방전되는 직류 전원 중 적어도 하나를 교류 전원으로 변환하여 부하로 공급하는 인버터를 포함하며;

상기 제어부는 상기 방전 모드에서 상기 정류기의 출력 전압을 제어하여 상기 연축전지의 방전 전류의 세기와 파형을 제어하되, 상기 연축전지의 방전 전류의 파형이 펄스파로, 예를 들어 톱니파 또는 구형파 형태를 갖도록 상기 정류기를 제어하는 것을 특징으로 하는 연축전지를 이용한 에너지 저장 시스템.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 제어부는

상기 방전 모드에서 상기 축전기의 방전 전류가 기 설정된 방전 전류량을 유지하는 상태로 펄스파로, 예를 들어 톱니파 또는 구형파 형태를 갖도록 상기 정류기를 제어하는 것을 특징으로 하는 연축전지를 이용한 에너지 저장 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 제어부는

상기 방전 전류량이 0.1CA가 유지되는 상태로 펄스파로, 예를 들어 톱니파 또는 구형파 형태를 갖도록 상기 정류기를 제어하는 것을 특징으로 하는 연축전지를 이용한 에너지 저장 시스템.

청구항 6

제4항에 있어서,

상기 연축전지의 전압 변화를 감지하는 전압 변화 감지부를 더 포함하며;

상기 제어부는 상기 전압 변화 감지부에 의해 감지되는 상기 축전기의 전압 변화에 연동되게 상기 정류기의 출력 전압을 조절하여, 상기 축전기의 방전 전류가 상기 방전 전류량을 유지하도록 제어하는 것을 특징으로 하는 연축전지를 이용한 에너지 저장 시스템.

청구항 7

제4항에 있어서,

상기 제어부는

상기 연축전지의 충전을 제한하는 충전 제한 모드로 동작 가능하게 마련되고;

상기 충전 제한 모드에서 상기 연축전지의 방전 전류가 0을 유지하도록 상기 정류기를 출력 전압을 제어하는 것을 특징으로 하는 연축전지를 이용한 에너지 저장 시스템.

청구항 8

제3항에 있어서,

상기 제어부는

상기 충전 모드에서 상기 연축전지로 충전되는 충전 전류의 파형이 '0'의 구간이 없는 펄스파 형태를 갖도록 상기 정류기를 제어하는 것을 특징으로 하는 연축전지를 이용한 에너지 저장 시스템.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 충전 전류의 파형은 '0'의 구간이 없는 펄스파로, 예를 들어 톱니파 또는 구형파 형태를 갖는 것을 특징으로 하는 연축전지를 이용한 에너지 저장 시스템.

청구항 10

제2항에 있어서,

상기 전력 변환기는 상기 연축전지에 직렬로 연결되는 양방향 컨버터 형태로 마련되어, 상기 방전 모드에서 상기 연축전지로부터 출력되는 직류 전원을 교류 전원으로 변환하여 상기 부하로의 전원 공급을 외부 전원과 분담하며;

상기 제어부는 상기 방전 모드에서 상기 연축전지의 방전 전류가 펄스파로, 예를 들어 톱니파 또는 구형파 형태를 갖도록 상기 전력 변환기의 교류 전원으로의 변환을 제어하는 것을 특징으로 하는 연축전지를 이용한 에너지 저장 시스템.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 제어부는

상기 방전 모드에서 상기 축전기의 방전 전류가 기 설정된 방전 전류량을 유지하는 상태로 펄스파로, 예를 들어 톱니파 또는 구형파 형태를 갖도록 상기 전력 변환기의 교류 전원으로의 변환을 제어하는 것을 특징으로 하는 연축전지를 이용한 에너지 저장 시스템.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 제어부는

상기 방전 전류량이 0.1CA가 유지되는 상태로 펄스파로, 예를 들어 톱니파 또는 구형파 형태를 갖도록 상기 전력 변환기의 상기 전력 변환기의 교류 전원으로의 변환을 제어하는 것을 특징으로 하는 연축전지를 이용한 에너지

지 저장 시스템.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 연축전지의 전압 변화를 감지하는 전압 변화 감지부를 더 포함하며;

상기 제어부는 상기 전압 변화 감지부에 의해 감지되는 상기 축전기의 전압 변화에 연동되게 상기 연축전지의 방전 전류를 조절하여, 상기 축전기의 방전 전류가 상기 방전 전류량을 유지하도록 상기 전력 변환부를 제어하는 것을 특징으로 하는 연축전지를 이용한 에너지 저장 시스템.

청구항 14

제10항에 있어서,

상기 제어부는

상기 연축전지를 충전하는 충전 모드에서 상기 연축전지로 충전되는 충전 전류의 파형이 '0'의 구간이 없는 펄스와 형태를 갖도록 상기 전력 변환기를 제어하는 것을 특징으로 하는 연축전지를 이용한 에너지 저장 시스템.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 충전 전류의 파형은 '0'의 구간이 없는 펄스파로, 예를 들어 톱니파 또는 구형파 형태를 갖는 것을 특징으로 하는 연축전지를 이용한 에너지 저장 시스템.

청구항 16

연축전지로 충전되는 충전 전류와 상기 연축전지로부터 방전되는 방전 전류 중 적어도 하나의 파형이 '0'의 구간이 없는 펄스파 형태를 갖도록 제어하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 연축전지의 충방전 방법.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 충전 전류 또는 상기 방전 전류의 파형은 '0'의 구간이 없는 펄스파로, 예를 들어 톱니파 또는 구형파 형태를 갖는 것을 특징으로 하는 연축전지의 충방전 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 연축전지를 이용한 에너지 저장 시스템 및 연축전지의 충방전 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 연축전지의 충전 및 방전 효율과 수명을 향상시키면서도 '0' 전류 구간 없이 상시 전원 공급용 설비에도 적용이 가능하며, 연축전지를 에너지 저장 시스템에 적용하면서도 연축전지의 재생이 가능한 연축전지를 이용한 에너지 저장 시스템 및 연축전지의 충방전 방법에 관한 것이다

배경 기술

[0002] 최근 여름 시즌의 전력공급 예비율 부족으로 인해 발생한 블랙아웃(Blackout)이 사회적으로 큰 이슈가 되고 있다. 블랙아웃을 예방하는 방법은 다양하게 존재하고 있는데, 전력 공급자 측면에서는 최대전력공급을 위한 인프라를 증설하고, 전력 수요자 입장에서는 전력량 절감뿐 만 아니라 피크전력시간에 전력소비를 효과적으로 억제해야 할 것이다.

[0003] 한국의 여름 시즌의 주간과 야간의 소비전력 차이는 57% 정도이고, 에너지피크에 따른 수요전력을 감당하기 위해 고비용(LPG, 유류)의 수입 원료를 통한 발전시설을 이용하고 있다. 즉 원자력 발전이 감당하는 기저부하를 제외한 57%에 해당하는 변동부하를 고가의 발전원료로 충당하고 있는 실정이다. 이 때문에, 최근에 한국을 비

못한 많은 국가에서 시간대별 전력요금의 차등을 더욱 크게 하고 있다.

- [0004] 도 1은 한국의 최대 공급 전력과 전력 예비율, 및 에너지 저장 시스템(ESS : Energy Storage System)의 효과를 설명하기 위한 도면이다. 도 1의 실선은 여름 시즌의 한국 전체의 일일 시간대별 전력사용량의 예를 나타내고 있다. 도 1의 1점 쇄선은 한국의 최대발전가능용량으로 대략 87GW 정도이다. 도 1에서 확인할 수 있듯이, 여름 시즌에서는 5% 미만의 전력 예비율(Reserve Rate)로 인하여 항상 블랙아웃의 위험에 노출되어 있는 실정이다.
- [0005] 만일, 연축전지에 저장된 전력을, 도 1에 도시된 바와 같이 전력 소비가 여유로운 구간에 충전을 하고, 전력피크시 방전을 수행하는 에너지 저장 시스템을 활용할 수 있다면, 2점 쇄선과 같이 충분한 전력 예비율을 확보할 수 있고, 이는 사회경제적으로 많은 효과를 얻을 수 있을 것이다.
- [0006] 한편, IT 인프라의 증가로 통신사, 은행, IDC, 산업단지, 정부기관 등에서는 안정적인 서비스를 위한 비상전력용 2차전지로 연축전지(Lead-Acid Battery)를 대량 보유하고 있다. 연축전지는 리튬(Lithium) 계열의 전지와 대비할 때 상대적으로 가격이 저렴하고, 내구성과 안전성 등의 장점이 있으며 기존에 설치되어 있기 때문에 에너지 저장 시스템으로 활용한다면 추가적인 투자없이도 많은 효과를 기대할 수 있다.
- [0007] 그러나, 연축전지를 에너지 저장 시스템의 용도로 사용하는데 있어, 주기적인 충전 및 방전이 진행되는 경우 효율이 급격히 저하될 뿐만 아니라, 방전회수가 증가함에 따라 수명 또한 급격히 하락하는 문제점이 있다.
- [0008] 포이케르트 법칙(Peukert's law)에 의하면 연축전지의 최대발전가능용량은 방전전류와 방전시간에 비례하는데, 연축전지의 방전시간당 전류방전 총 용량은 [수학식 1]과 같이 나타낼 수 있다.
- [0009] [수학식 1]
- [0010]
$$C_p = I^k t$$
- [0011] 여기서, C_p 는 방전가능 용량으로 [AH] ampere-hours로 표현하고, I 는 부하로부터 요구되는 실제 방전전류(A)이고, k 는 포이케르트 상수이고, t 는 연축전지의 방전을 위한 실제 시간[H]이다.
- [0012] 도 2는 연축전지의 하나인 VGS 3000의 포이케르트 법칙에 따른 방전시간에 비례하는 방전전류를 나타낸 그래프이고, 도 3은 VGS 3000의 방전시간과 방전가능 총 전류와의 관계를 나타낸 그래프이다.
- [0013] 25를 기준으로 VGS 3000의 경우 1CA, 1204A로 방전하면 60[min]안에 방전종지전압 1.80V에 도달하지만, 0.1CA 300A이하로 방전하면 600[min]동안 총 3060A방전 가능하여, 약 2.5배의 총 방전가능전류의 차이가 있다.
- [0014] 만일 Battery가 방전전류를 0.1CA로 방전하는 경우에는 지속 가능한 방전 유지전압 및 시간이 1CA로 방전할 때 보다 상대적으로 크다. 즉, 부하가 크면(예컨대, 큰 전류를 급속히 방전하면) 연축전지의 효율이 급속히 저하되어, 설계효율 대비 최대 9.8%(15min)~39.7%(60min)로 저하되게 된다.
- [0015] 현재 산업계에서는 일반적으로 투자비를 고려해서, 최대부하전류를 기준으로 하여, 연축전지의 방전 전류량을 0.5CA~1CA로 설계(방전가능시간 1~3hr)하는 바, 이를 기준으로 에너지 저장 시스템으로 활용한다면 효율이 크게 저하됨을 확인할 수 있다.
- [0016] 연축전지의 방전횟수 및 방전심도(DOD)와 수명과의 관계를 살펴보면, 다양한 연축전지의 종류별로 음극, 양극, 전해질, 분리막 등에 사용되는 재료, 연축전지의 용량, 전압, 전류 등에 따라 방전심도가 수명에 미치는 영향이 상이하기 때문에, 본 명세서에서는 장수명 밀폐형 연축전지의 일종인 VGS(Valve regulated Gel type Stationary), VRLA(Valve Regulated Lead-Acid)를 대상으로 설명한다.
- [0017] 연축전지의 방전심도와 방전가능횟수와의 관계는 일반적으로 알려진 바와 같이, 방전심도를 100%로 하였을 경우 방전가능횟수는 350회이며, 방전심도를 60%, 40%로 하였을 경우 각각 최대 1,100회, 1,550회 방전을 실시하게 되면 연축전지의 수명의 교체시기인 80[%] 용량수준에 도달한다.
- [0018] 이러한 현상이 발생하는 원인이 되는 연축전지의 반응 메커니즘을 설명하면 다음과 같다.
- [0019] 연축전지는 충전 및 방전이 가능한 2차 전지로서 애노드 플레이트(Anode plate)로는 이산화납(PbO_2)을 사용하고, 캐소드 플레이트(Cathode plate)로는 납(Pb)을 사용하여, 전해액으로 황산(H_2SO_4)을 사용한다. [화학식 1] 내지 [화학식 3]을 참조하면 납이 이온화하고, 분리된 자유전자(e^-)가 캐소드 플레이트 상에

남는다. 이 때, 생성된 납의 양이온(Pb^{2+})은 묽은 황산 중에 이온화하여 있는 황산이온(SO_4^{2-})과 화합하여 황산 납($PbSO_4$)이 된다.

[0020] 이산화납(PbO_2)과 묽은 황산이 반응하여 이온화되고, 4가의 납이온(Pb^{4+}), 2가의 황산이온(SO_4^{2-}), 그리고 물이 환원되고, 4가의 납이온은 애노드에 전자를 빼앗고, 자신은 2가의 납이온이 된다. 그리고, 2가의 납이온이 2가의 황산이온과 반응하여 전기적으로 중성인 황산납이 된다.

[0021] [화학식 1]

[0022] $Pb + SO_4^{2-} \leftrightarrow PbSO_4 + 2e^-$

[0023] [화학식 2]

[0024] $PbO_2 + SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e^- \leftrightarrow PbSO_4 + 2H_2O$

[0025] [화학식 3]

[0026] $PbO_2 + Pb + 2H_2SO_4 \leftrightarrow 2PbSO_4 + 2H_2O$

[0027] 방전은 [화학식 1]과 같이 연축전지에 저장되어 있던 전기에너지를 빼내어 쓰는 것을 의미한다. 충전과정은 [화학식 2]와 같이 방전의 역반응이며 황산납이 전기에너지에 의해 이산화납과 납으로 변하고, 전해액은 극판(Pole plate)의 활물질(Active materials)과 반응하여 비중이 규정치까지 증가하고, 기전력(Electromotive force)이 발생한다.

[0028] 상기와 같은 과정이 반복되면서 방전과정에서의 황산납이 완전히 분해되지 못하고 재결정을 이룬다. 분해가 되지 않은 재결정의 황산납은 전극에서 피막을 형성하게 된다. 이는 황산납을 형성하는데 사용되었던 황산이온이 다시 황산으로 돌아가지 못하는 결과를 낳게 되어 황산이 점점 줄어들어서 전극 활물질(Active materials) 주위에 황산은 회박해진다. 그리고 전극에 재결정된 황산납으로 인해 전압이 저하되고, 전류의 흐름이 감소되어 연축전지의 전체 성능이 저하된다.

[0029] 상기와 같이 연축전지가 충전 및 방전을 지속적으로 진행하게 되면, 도 4의 확대 영역에 도시된 바와 같이, 유산연화막(Salt of sulfuric acid), 인황산염(M_2SO_4) 산화막이 황산납의 표면에 결합된다.

[0030] 황산납의 결정화 단계는 초기의 스폰지 황산화(Spongy sulfation) 단계에서 시간이 지날수록 점차 일부 결정화가 진행되어 배리어 황산화(Barrier sulfation) 상태가 되고, 결정화가 고착화되면 크리스탈라이즈드 황산화(Crystallized sulfation) 상태가 된다.

[0031] 황산염은 급격한 충전(Start-up) 전류와 방전심도(DOD)에 크게 영향을 받게 되며, 수년간 균등충전(Equality charge) 상태를 유지하거나 자연 상태로 보관되더라도, 속도는 다르지만 자가 방전(Self-discharge)에 의한 황산화 현상은 발생한다.

[0032] 따라서, 연축전지에 있어 상술한 바와 같은 연축전지의 효율 문제와 황산염에 의한 문제를 해결하지 않고서는 연축전지를 에너지 저장 시스템에 사용하기 어렵게 된다.

선행기술문헌

[0033] 한국등록특허 제10-0811608호

[0034] 한국등록특허 제10-0793666호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0035] 이에, 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해소하기 위해 안출된 것으로서, 연축전지의 수명과 방전효율을 향상시키면서도 0 전류 구간 없이 상시 전원 공급용 설비에 적용이 가능하며, 연축전지를 에너지 저장 시스템에 적용하면서도 연축전지의 재생이 가능한 연축전지를 이용한 에너지 저장 시스템을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0036] 상기 목적은 본 발명에 따라, 연속전지와; 외부 전원을 정류하여 상기 연속전지를 충전하고, 상기 연속전지로부터 방전되는 직류 전원을 교류 전원으로 변환하여 부하에 공급하는 전력 변환기와; 상기 연속전지를 방전시키는 방전 모드로 동작할 때, 상기 연속전지의 방전 전류의 파형이 '0'의 구간이 없는 펄스와 형태를 갖도록 상기 전력 변환기를 제어하는 제어부를 포함하는 것을 특징으로 하는 연속전지를 이용한 에너지 저장 시스템에 의해서 달성된다.
- [0037] 여기서, 상기 연속전지의 방전 전류의 파형은 '0'의 구간이 없는 펄스파로, 예를 들어 톱니파 또는 구형파 형태를 가질 수 있다.
- [0038] 또한, 상기 전력 변환기는 상기 방전 모드에서 상기 외부 전원을 정류하여 부하로의 전원 공급을 상기 연속전지와 분담하고, 상기 연속전지를 충전하는 충전 모드에서 상기 외부 전원을 정류하여 상기 연속전지를 충전하는 정류기와, 상기 정류기로부터의 직류 전원과 상기 축전기로부터 방전되는 직류 전원 중 적어도 하나를 교류 전원으로 변환하여 부하로 공급하는 인버터를 포함하며; 상기 제어부는 상기 방전 모드에서 상기 정류기의 출력 전압을 제어하여 상기 연속전지의 방전 전류의 세기와 파형을 제어하되, 상기 연속전지의 방전 전류의 파형이 펄스파로, 예를 들어 톱니파 또는 구형파 형태를 갖도록 상기 정류기를 제어할 수 있다.
- [0039] 그리고, 상기 제어부는 상기 방전 모드에서 상기 축전기의 방전 전류가 기 설정된 방전 전류량을 유지하는 상태로 펄스파로, 예를 들어 톱니파 또는 구형파 형태를 갖도록 상기 정류기를 제어할 수 있다.
- [0040] 그리고, 상기 제어부는 상기 방전 전류량이 0.1CA가 유지되는 상태로 펄스파로, 예를 들어 톱니파 또는 구형파 형태를 갖도록 상기 정류기를 제어할 수 있다.
- [0041] 또한, 상기 연속전지의 전압 변화를 감지하는 전압 변화 감지부를 더 포함하며; 상기 제어부는 상기 전압 변화 감지부에 의해 감지되는 상기 축전기의 전압 변화에 연동되게 상기 정류기의 출력 전압을 조절하여, 상기 축전기의 방전 전류가 상기 방전 전류량을 유지하도록 제어할 수 있다.
- [0042] 또한, 상기 제어부는 상기 연속전지의 충전을 제한하는 충전 제한 모드로 동작 가능하게 마련되고; 상기 충전 제한 모드에서 상기 연속전지의 방전 전류가 0을 유지하도록 상기 정류기를 출력 전압을 제어할 수 있다.
- [0043] 또한, 상기 제어부는 상기 충전 모드에서 상기 연속전지로 충전되는 충전 전류의 파형이 '0'의 구간이 없는 펄스와 형태를 갖도록 상기 정류기를 제어할 수 있다.
- [0044] 여기서, 상기 충전 전류의 파형은 '0'의 구간이 없는 펄스파로, 예를 들어 톱니파 또는 구형파 형태를 가질 수 있다.
- [0045] 또한, 상기 전력 변환기는 상기 연속전지에 직렬로 연결되는 양방향 컨버터 형태로 마련되어, 상기 방전 모드에서 상기 연속전지로부터 출력되는 직류 전원을 교류 전원으로 변환하여 상기 부하로의 전원 공급을 외부 전원과 분담하며; 상기 제어부는 상기 방전 모드에서 상기 연속전지의 방전 전류가 펄스파로, 예를 들어 톱니파 또는 구형파 형태를 갖도록 상기 전력 변환기의 교류 전원으로의 변환을 제어할 수 있다.
- [0046] 그리고, 상기 제어부는 상기 방전 모드에서 상기 축전기의 방전 전류가 기 설정된 방전 전류량을 유지하는 상태로 펄스파로, 예를 들어 톱니파 또는 구형파 형태를 갖도록 상기 전력 변환기의 교류 전원으로의 변환을 제어할 수 있다.
- [0047] 그리고, 상기 제어부는 상기 방전 전류량이 0.1CA가 유지되는 상태로 펄스파로, 예를 들어 톱니파 또는 구형파 형태를 갖도록 상기 전력 변환기의 교류 전원으로의 변환을 제어할 수 있다.
- [0048] 또한, 상기 연속전지의 전압 변화를 감지하는 전압 변화 감지부를 더 포함하며; 상기 제어부는 상기 전압 변화 감지부에 의해 감지되는 상기 축전기의 전압 변화에 연동되게 상기 연속전지의 방전 전류를 조절하여, 상기 축전기의 방전 전류가 상기 방전 전류량을 유지하도록 상기 전력 변환부를 제어할 수 있다.
- [0049] 또한, 상기 제어부는 상기 연속전지를 충전하는 충전 모드에서 상기 연속전지로 충전되는 충전 전류의 파형이 '0'의 구간이 없는 펄스와 형태를 갖도록 상기 전력 변환기를 제어할 수 있다.
- [0050] 여기서, 상기 충전 전류의 파형은 '0'의 구간이 없는 펄스파로, 예를 들어 톱니파 또는 구형파 형태를 가질 수 있다.
- [0051] 한편, 상기 목적은 본 발명의 다른 실시 형태에 따라, 연속전지로 충전되는 충전 전류와 상기 연속전지로부터

방전되는 방전 전류 중 적어도 하나의 파형이 '0'의 구간이 없는 펄스파 형태를 갖도록 제어하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 연축전지의 충방전 방법에 의해서도 달성된다.

[0052] 여기서, 상기 충전 전류 또는 상기 방전 전류의 파형은 '0'의 구간이 없는 펄스파로, 예를 들어 톱니파 또는 구형파 형태를 가질 수 있다.

발명의 효과

[0053] 상기와 같은 구성에 따라, 본 발명에 따르면 연축전지의 수명과 방전효율을 향상시키면서도 0 전류 구간 없이 상시 전원 공급용 설비에도 적용이 가능하며, 연축전지를 에너지 저장 시스템에 적용하면서도 연축전지의 재생이 가능한 연축전지를 이용한 에너지 저장 시스템이 제공된다.

도면의 간단한 설명

[0054] 도 1은 한국의 최대 공급 전력과 전력 예비율, 및 에너지 저장 시스템의 효과를 설명하기 위한 도면이고,
 도 2는 연축전지의 하나인 VGS 3000의 포이케르트 법칙에 따른 방전시간에 비례하는 방전전류를 나타낸 그래프이고,
 도 3은 VGS 3000의 방전시간과 방전가능 총 전류와의 관계를 나타낸 그래프이고,
 도 4는 황산납의 표면에 결합된 황산염의 현미경 사진이고,
 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 연축전지를 이용한 에너지 저장 시스템의 구성을 나타낸 도면이고,
 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 연축전지를 이용한 에너지 저장 시스템의 제어블럭도이고,
 도 7은 도 5에 도시된 에너지 저장 시스템의 등가회로를 나타낸 도면이고,
 도 8 및 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 연축전지를 이용한 에너지 저장 시스템의 실험 결과를 설명하기 위한 도면이고,
 도 10은 본 발명의 다른 실시예에 따른 연축전지를 이용한 에너지 저장 시스템의 구성을 나타낸 도면이고,
 도 11은 본 발명에 따른 에너지 저장 시스템의 운영 방법을 설명하기 위한 도면이고,
 도 12는 본 발명에 따른 에너지 저장 시스템의 효과를 설명하기 위한 도면이고,
 도 13은 본 발명에 따른 에너지 저장 시스템의 연축전지의 방전 전류의 파형의 다른 예를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0055] 이하에서는 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명에 따른 실시예들에 대해 상세히 설명한다.

[0056] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 연축전지(110)를 이용한 에너지 저장 시스템(100)의 구성을 나타낸 도면이고, 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 연축전지(110)를 이용한 에너지 저장 시스템(100)의 제어블럭도이다.

[0057] 도 5 및 도 6을 참조하여 설명하면, 본 발명에 따른 연축전지(110)를 이용한 에너지 저장 시스템(100)은, 연축전지(110), 전력 변환기(120) 및 제어부(160)를 포함한다. 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 에너지 저장 시스템(100)은 방전 스위치(141) 및 바이패스 스위치(151)를 포함할 수 있다.

[0058] 연축전지(110)는 외부 전원(300)을 이용하여 충전되고, 방전되어 부하(500)에 전원을 공급한다.

[0059] 전력 변환기(120)는 외부 전원(300)을 정류하여 연축전지(110)를 충전하고, 연축전지(110)로부터 방전되는 직류 전원을 교류 전원으로 변환하여 부하(500)에 공급한다.

[0060] 여기서, 제어부(160)는 연축전지(110)를 방전시키는 방전 모드로 동작할 때, 연축전지(110)의 방전 전류의 파형이 톱니파 형태를 갖도록 전력 변환기(120)를 제어한다.

[0061] 도 5 및 도 6을 참조하여 보다 구체적으로 설명하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 전력 변환기(120)는 정류기(121)와 인버터(122)를 포함할 수 있다.

[0062] 정류기(121)는 연축전지(110)와 병렬로 연결되어, 충전 모드에서 외부 전원(300)을 정류하여 연축전지(110)를 충전한다. 또한, 정류기(121)는 방전 모드에서 외부 전원(300)을 정류하여 부하(500)로의 전원 공급을 연축전

지(110)와 분담한다.

[0063] 인버터(122)는 연축전지(110)의 방전 모드에서 연축전지(110)로부터 출력되는 직류 전원을 교류 전원으로 변환하여 부하(500)에 공급하고, 정류기(121)로부터의 직류 전원 또한 교류 전원을 변환하여 부하(500)에 공급한다.

[0064] 제어부(160)는 연축전지(110)의 방전 모드에서 정류기(121)의 출력 전압을 제어하여 연축전지(110)의 방전 전류의 세기와 파형을 제어한다. 이 때, 제어부(160)는 상술한 바와 같이, 연축전지(110)의 방전 전류의 파형이 톱니파 형태를 갖도록 정류기(121)을 제어하게 된다.

[0065] 도 7은 도 5에 도시된 에너지 저장 시스템(100)의 등가회로를 나타낸 것이다. 도 7을 참조하여 설명하면, V_B 는 연축전지(110)의 전압이고, V_R 은 정류기(121)의 전압이고, I_1 은 정류기(121)의 출력 전류이고, I_2 은 연축전지(110)의 방전 전류이고, I_3 은 부하(500)로의 출력 전류이고, r_R 은 정류기(121)의 내부 임피던스이고, r_B 은 연축전지(110)의 내부 임피던스이고, R 은 부하(500)의 임피던스이다.

[0066] 여기서, 연축전지(110)는 자체적으로 방전 전류를 조절할 수 없기 때문에, 본 발명에서는 상술한 바와 같이, 제어부(160)가 전력 변환기(120)의 정류기(121)를 제어하여 연축전지(110)의 과방전과 과충전을 방지하게 된다.

[0067] 도 7을 참조하여 보다 구체적으로 설명하면, 키르히호프(Kirchhoff)의 법칙에 의해 회로에 관한 각 저항에 흐르는 전류는 제1 법칙과 제2 법칙을 수학적식으로 나타낸 연립방정식의 해로 구할 수 있다. 이를 통해, 도 7에 도시된 각각의 임피던스에 흐르는 전압 및 전류 방정식은 [수학식 2]와 같이 나타낼 수 있다.

[0068] [수학식 2]

[0069]
$$V_R + (I_1 - r_R) + (I_1 + I_2)R = 0$$

[0070] 이를 전류 방정식으로 나타내면 [수학식 3]과 같다.

[0071] [수학식 3]

[0072]
$$I_1 = \frac{(V_R - V_B) - r_B}{r_R}$$

[0073] 여기서, r_R 과 r_B 는 정류기(121)의 주변온도 등에 의해 미세하게 변화될 수 있으나, 동일 장소에 구축되어 있는 조건으로 주변온도가 일정하다고 가정할 때 상수(k)로 지정할 수 있으며, 이를 통해 [수학식 3]은 [수학식 4]와 같이 나타낼 수 있다.

[0074] [수학식 4]

[0075]
$$I_1 = k(V_R - V_B)$$

[0076] 결과적으로 정류기(121)의 출력 전류 I_1 은 정류기(121)의 전압 V_R 과 연축전지(110)의 전압 V_B 에 의해 결정되며, 제어부(160)가 정류기(121)의 전압 V_R 을 제어하는 경우, 정류기(121)의 출력 전류가 조절되고, 결과적으로 연축전지(110)의 방전 전류가 조절 가능하게 된다.

[0077] 여기서, 본 발명에 따른 에너지 저장 시스템(100)의 제어부(160)는 연축전지(110)의 방전 전류가 기 설정된 방전 전류량을 유지하는 상태로 톱니파 형태를 갖도록 정류기(121)을 제어할 수 있다. 즉, 연축전지(110)가 부하(500)로의 공급 전원에 분담하는 전원을 방전 전류량으로 유지하고 방전 전류량을 초과하는 부분을 정류기(121)이 분담할 수 있도록 정류기(121)의 전압을 제어하게 된다.

[0078] 본 발명에서는 제어부(160)가 연축전지(110)의 방전 전류량이 0.1CA, 예컨대, 0.1CA15%로 유지되도록 제어하는 것을 일 예로 한다. 여기서, 값은 연축전지(110)의 종류에 따른 특성값이다.

[0079] 한편, 연축전지(110)의 전압은 연축전지(110)의 종류, 주변온도, 방전시간 등에 따라 가변적이다. 즉, 방전특성과 주변온도, 부하(500)조건에 따라 연축전지(110)의 내부 인피던스 r_R 가 변화되어 연축전지(110)의 전압 V_R 이 변화한다. 따라서, 수시로 변동하는 연축전지(110)의 전압 V_B 와 부하(500)로의 출력 전류 I_3 에 따라 V_R 을 변동시켜서 요구되는 I_2 의 세기를 조절하게 되고, 또한 전압의 파형 변화를 통해 연축전지(110)의 방전 전류를 톱니파 형태로 조절 가능하게 된다.

- [0080] 이를 위해, 본 발명에 따른 에너지 저장 시스템(100)은, 도 6에 도시된 바와 같이, 연축전지(110)의 전압 변화를 감지하는 전압 변화 감지부(170)를 포함할 수 있다. 상술한 바와 같이, 전압 변화 감지부(170)는 부하(500)로의 출력 전류를 감지하는 부하 전류 감지부(171)와, 연축전지(110)의 전압을 감지하는 연축전지 전압 감지부(172)를 포함할 수 있다. 이 때, 제어부(160)는 부하 전류 감지부(171)와 연축전지 전압 감지부(172)의 감지 결과에 기초하여, 연축전지(110)의 전압 변화에 대응하여 정류기(121)의 전압을 제어하게 된다.
- [0081] 한편, 제어부(160)는 충전 모드에서 연축전지(110)로 충전되는 충전 전류의 파형이 펄스와 형태를 갖도록 정류기(121)를 제어할 수 있다. 이를 통해, 충전 중에도 연축전지(110)의 재생이 가능하게 된다.
- [0082] 상기와 같은 구성에 따라 본 발명에 따른 에너지 저장 시스템(100)의 시뮬레이션 결과를 도 8을 참조하여 설명한다.
- [0083] 연축전지(110)는 VGS 3000[AH]를 사용하는데, 2.0V 24 cell 연축전지(110)로, 2조로 총 6000[AH]가 적용된다. 입력 380V와 출력 53.5V의 정류기(121)을 사용하여, 부하(500)는 평균 1200A로 설정한다. 연축전지(110)의 방전 전류는 0.1CA%로 하며 상술한 바와 같이 톱니파 형태를 갖도록 조절된다.
- [0084] 도 8의 (a)는 종래의 방식대로 외부 전원(300)이 공급되지 않은 상태로 연축전지(110)가 자율 방전하는 전류 파형을 나타낸 것이다. 이 때 부하(500)의 전류 1180A는 모두 연축전지(110)로부터 방전하기 때문에 약 0.2CA로 방전하게 된다.
- [0085] 도 8의 (b)는 본 발명에 따른 에너지 저장 시스템(100)의 연축전지(110)가 방전하는 전류 파형을 나타낸 것이다. 연축전지(110)는 0.1CA%(기준 전류값)인 600A 범위에서 통제되고, 부하(500)에서 부족한 전류는 병렬로 연결된 정류기(121)이 약 580A를 분담하게 된다. 즉, 부하(500)는 정류기(121)과 연축전지(110)의 전류를 동시에 공급받게 된다.
- [0086] 상기와 같은 실험을 통해 연축전지(110)의 자율 방전에 대비할 때 본 발명에 따른 에너지 저장 시스템(100)의 효과를 설명하면 다음과 같다.
- [0087] 첫째, 총 방전 가능 시간은, 도 3을 기준으로 약 3.33배가 증가할 수 있음을 알 수 있다. 즉, 연축전지(110)가 자율 방전하는 경우 3시간 정도 방전이 가능한 반면, 본 발명에 따른 에너지 저장 시스템(100)에서는 10시간 정도 방전이 가능하게 된다. 또한, 총 방전 가능 전류는 도 2를 기준으로 2000A에서 3000A로 150% 정도 증가함을 확인할 수 있다.
- [0088] 둘째, 연축전지(110)의 방전 전류인 0.1CA의 % 범위 내에서 생성되는 톱니파를 통해 레스트 타임(Rest time)을 만들어 주어 운용 중에도 연축전지(110)의 재생이 가능하게 된다. '0'의 출력 전류 구간을 갖는 펄스 파형의 출력 전류로 방전하는 경우 배터리가 재생된다는 것은 공지된 바와 같다.
- [0089] 보다 구체적으로 설명하면, 연축전지(110)가 펄스 파형의 전류를 방전하면 연축전지(110)가 재생되는 효과가 발생하는데, 이를 DPV(Differential Pulse Voltammetry) 방법이라 한다. DPV(Differential Pulse Voltammetry) 방법의 원리는 방전 중 '0'의 출력 전류 구간인 레스트 타임(Rest time)을 통해 연축전지(110)가 회복되는 절차를 갖는 것이다. 이를 통해 황산염의 결정성이 많이 이완된다.
- [0090] 본 발명은 '0'의 출력 전류 구간이 없는 톱니파 형태의 출력 전류로 연축전지(110)가 방전되는 것으로 동일한 효과가 제공됨을 확인할 수 있다. 도 9의 (a)는 자율 방전을 통해 연축전지(110)의 전극 표면에 황산염이 결정화된 상태를 나타낸 것이고, 도 9의 (b)는 본 발명에 따른 에너지 저장 시스템(100)에서 톱니파 형태의 출력 전류로 연축전지(110)를 방전한 후의 전극 표면을 나타낸 것으로, 결정화가 완화되었음을 확인할 수 있다.
- [0091] 셋째, 연축전지(110)의 방전 전류가 '0'의 구간없이 총 용량의 0.1CA 범위 내에서 부하(500)에 공급되고 나머지가 정류기(121)을 통해 공급됨으로써, 무정전 에너지 저장 시스템(100)의 구현이 가능하게 된다.
- [0092] 한편, 본 발명의 일 실시예에 따른 에너지 저장 시스템(100)에서는 제어부(160)가 연축전지(110)로의 충전을 제한하는 충전 제한 모드로 동작할 수 있다. 일 예로, 연축전지(110)로의 충전이 가능한 상태이나 전력 요금의 상대적으로 저렴한 시기에 충전하기 위해 현 시점에서 충전을 제한할 수 있는데, 이에 대한 상세한 설명은 후술한다.
- [0093] 제어부(160)는 충전 제한 모드에서 연축전지(110)의 방전 전류가 0을 유지하도록 정류기(121)의 출력 전류를 제어할 수 있다. 즉, 도 7의 등가 회로에서 연축전지(110)의 방전 전류 I_2 가 0을 유지하도록 정류기(121)의 출력 전압 V_R 을 제어함으로써, 결과적으로 정류기(121)로부터의 출력 전류 I_1 이 모두 부하(500)로 공급되도록 제어할

수 있다. 즉, $I_1 = I_3$ 상태가 된다. 이 때, 연축전지(110)의 방전 전류 I_2 를 0으로 유지하는 것은 항상 0이 되는 상태만을 의미하지 않고, 연축전지(110)의 방전 전류 I_2 의 변동을 0이 되도록 제어하는 상태 또한 포함하는 개념이다.

- [0094] 상기와 같은 구성에 따라, 전력 변환기(120)의 정류기(121)의 제어를 통해 연축전지(110)를 충전 제한 모드로 동작시킴으로써, 전력 요금에 저렴한 시간대에 충전이 되도록 유지할 수 있게 된다.
- [0095] 다시, 도 5 및 도 6을 참조하여 설명하면, 방전 스위치(141)는 연축전지(110)로부터 부하(500)로 공급되는 전원을 단속한다. 그리고, 바이패스 스위치(151)는 연축전지(110) 및 정류기(121)과 병렬로 연결되는 바이패스 라인(150)에 마련되어 바이패스 라인(150)을 단속한다.
- [0096] 상기와 같은 구성을 통해, 연축전지(110)의 방전을 차단한 상태에서 부하(500)에 전원을 공급할 때, 방전 스위치(141)를 오프시키고 바이패스 스위치(151)를 온시켜 외부 전원(300)이 바이패스되어 부하(500)로 공급되도록 할 수 있다.
- [0097] 이하에서는, 도 10을 참조하여 본 발명의 다른 실시예에 따른 에너지 저장 시스템(100a)에 대해 설명한다. 여기서, 본 발명의 다른 실시예에 따른 에너지 저장 시스템(100a)의 제어 블록도는 도 6을 참조하여 설명한다.
- [0098] 본 발명의 다른 실시예에 따른 에너지 저장 시스템(100a)은 전술한 실시예와 마찬가지로, 연축전지(110), 전력 변환기(120a) 및 제어부(160)를 포함한다.
- [0099] 연축전지(110)는 외부 전원(300)을 이용하여 충전되고, 방전되어 부하(500)에 전원을 공급한다.
- [0100] 전력 변환기(120a)는 외부 전원(300)을 정류하여 연축전지(110)를 충전하고, 연축전지(110)로부터 방전되는 직류 전원을 교류 전원으로 변환하여 부하(500)에 공급한다.
- [0101] 여기서, 제어부(160)는 연축전지(110)를 방전시키는 방전 모드로 동작할 때, 연축전지(110)의 방전 전류의 파형이 톱니파 형태를 갖도록 전력 변환기(120)를 제어한다.
- [0102] 본 발명의 다른 실시예에 따른 전력 변환기(120a)는, 도 10에 도시된 바와 같이, 연축전지(110)에 직렬로 연결되는 양방향 컨버터 형태로 마련된다. 그리고, 본 발명의 다른 실시예에 따른 전력 변환기(120a)는 방전 모드에서 연축전지(110)로부터 출력되는 직류 전원을 교류 전원으로 변환하여 부하(500)로의 전원 공급을 외부 전원(300)과 분담한다.
- [0103] 이 때, 제어부(160)는 방전 모드에서 연축전지(110)의 방전 전류가 톱니파 형태를 갖도록 전력 변환기(120a)의 교류 전원으로의 변환을 제어하게 된다. 즉, 전술한 실시예에서는 제어부(160)가 전력 변환기(120)의 정류기(121)의 출력 전압을 제어하여 연축전지(110)의 방전 전류의 파형을 제어하는 것을 예로 하였으나, 본 발명의 다른 실시예에서는 제어부(160)의 전력 변환기(120a)의 AC-DC 기능의 제어를 통해 연축전지(110)의 방전 전류의 파형을 제어하는 것을 예로 하고 있다.
- [0104] 여기서, 제어부(160)는, 전술한 실시예에서와 마찬가지로, 방전 모드에서 축전기(110)의 방전 전류가 방전 전류량을 유지하는 상태로 톱니파 형태를 갖도록 전력 변환기(120a)의 교류 전원으로의 변환을 제어할 수 있다. 예를 들어, 제어부(160)는 방전 전류량이 0.1CA가 유지되는 상태가 되도록 제어할 수 있다.
- [0105] 여기서, 제어부(160)는, 도 6에 도시된 바와 같이, 전압 변화 감지부(170)에 의해 감지되는 축전기(110)의 전압 변화에 연동되게 연축전지(110)의 방전 전류를 조절하여, 축전기(110)의 방전 전류가 방전 전류량을 유지하도록 전력 변환부(120a)를 제어할 수 있음은 물론이다.
- [0106] 또한, 제어부(160)는 충전 모드에서 연축전지(110)로 충전되는 충전 전류의 파형이 펄스와 형태를 갖도록 전력 변환부(120a)를 제어할 수 있다. 이를 통해, 충전 중에도 연축전지(110)의 재생이 가능하게 된다.
- [0107] 이하에서는, 도 11을 참조하여 본 발명에 따른 에너지 저장 시스템(100, 100a)의 운영 방법에 대해 상세히 설명한다.
- [0108] 만일 에너지 저장 시스템(100, 100a)을 사용하여 스마트 그리드 RTP(Real Time Price)에서 건물, 산업, 부하(500) 설비의 에너지 사용을 절감하고자 하는 경우, 첫째, 전력 요금이 가장 비싼 구간이 언제인지를 알아야 하며, 둘째, 해당 부하(500) 설비에서 사용하게 될 에너지를 예측하여야 한다. 그리고, 예측된 사용전력에 맞게 보유하고 있는 한정된 에너지 저장 시스템(100, 100a)의 에너지를 가장 비싼 구간에서 효율적으로 사용할 수 있도록 해야 한다.

- [0109] 이를 위해, 본 발명에서는 소비를 예측(Estimator)하고, 가장 비효율적인 계산을 통해 지침(Indicator)을 마련하고, 전력 시스템은 이를 추적(Tracking) 하여 방전하는 3단계 알고리즘을 제안한다. 여기서, 예측과 지침은 기 공지된 다양한 방법이 적용될 수 있으며, 이하에서는 예측 및 지침의 예에 대해 간략히 설명한다.
- [0110] 먼저, 예측 과정과 관련하여, 본 발명에서는 LS-SVR를 이용한 예측 알고리즘을 이용하여 타겟 일자의 전력 소비량을 예측하는데, 크게 세 부분으로 구분될 수 있다.
- [0111] 첫 번째 과정은 히스토리컬 데이터(Historical Data)를 LS-SVR 알고리즘을 이용하여 타겟 일자의 전력 소비량을 예측한다. 두 번째 과정은 전력 소비량과 기온변화 사이의 다이내믹 모델(Dynamic Model) 을 구하고 이를 첫 번째 과정에서 예측한 데이터에 적용한다.
- [0112] 세 번째 과정은 표준편차를 통해 예측의 결과에 두 번째 과정의 보정 결과와 실제값 사이의 차이를 비교하여 두 번째 과정에서의 보정 결과에 반영 여부를 결정하게 된다.
- [0113] 상기와 같은 방법을 통해 에너지 소비가 예측되면, 예측 결과를 기준으로 가장 비용 효율적인 계산을 통해 지침이 마련된다. 현재의 요금체계는 이전 사용 최대 전력 피크를 넘으면, 이후에는 1년간 최고의 피크를 기준으로 기본요금에 부과되기 때문에, 만일 해당 부하(500) 설비에서 1년간의 에너지 소비를 예측한다면, 가장 최적의 피크가 산출될 것이고, 이를 레벨(Level)-4라고 명명한다. 이를 기준으로 도 11을 참조하여 설명하면 다음과 같다.
- [0114] 첫째, 다음날 예측에 의한 에너지 전력 소비가 레벨(Level)-4보다 낮은 경우, 시간별 에너지 요금이 가장싼 구간에서 충전하여, 가장 비싼 구간에서 방전함으로써 소비를 억제하는 방법이 적용되며, 이를 모드(mode)-0이라 한다. 둘째, 다음날 예측이 레벨(Level)-4보다 높은 경우, 비싼 구간의 방전보다는 피크를 억제하고자 하는 방법이 적용되며, 이를 모드(mode)-0이라 한다.
- [0115] 도 11을 참조하여 설명하면, 모드(mode)-0 상태이고 에너지 비용이 가장 높은 시간이 8:30~11:30, 12:40~16:30분까지 라면, 해당구간인 구간에서 연축전지(110)를 방전하고, 구간에서는 방전상태로 충전되지 않도록 억제시키고 있다가, 가장 싼 구간인 구간에서 충전을 실시한다. 그리고, Mode-1이면 구간에 해당되는 전력량만큼의 한정된 에너지 저장 시스템(100,100a)이 최적으로 방전되도록 제어하게 된다.
- [0116] 상기와 같이 지침이 마련되면, 실제 전력 사용에서의 추종 과정이 진행된다. 도 11을 참조하여 설명하면, 구간에서, 가장 비싼 구간에 가용된 연축전지(110)의 방전량을 모두 사용 가능하도록 방전한다. 이는 [수학식 5]와 같이 표현할 수 있다. 여기서, 연축전지(110)의 방전은 상술한 바와 같이, 전력 변환기(120,120a)의 제어에 의해 튜니파 형태의 출력 전류가 형성되도록 제어되며, 전력 변환기(120)의 정류기(121) 또는 외부 전원(300)과 전류량을 분단하여 부하(500)에 전원을 공급하게 된다.
- [0117] [수학식 5]
- $$\int_{t_1}^{t_2} p dt + \int_{t_3}^{t_4} p dt = \sum_{b=1}^n (v_b i_b + \dots + v_{n-1} i_{n-1} + v_n i_n)$$
- [0118]
- [0119] 여기서, v_b 와 i_b 는 각각 연축전지(110)의 전압과 전류이다. [수학식 5]에서 좌측 항은 시간대별 계약전력요금제에서 총방전 용량이고, 우측 항에서는 연축전지(110)의 방전시간이 곱해질 수 있다.
- [0120] 구간에서는 도 7에 도시된 등가회로를 예로 하여 설명하면, 연축전지(110)가 방전되기 때문에, 정류기(121)와 병렬 연결된 연축전지(110)는 충전이 가능한 상태이기 때문에 정류기(121)은 부하(500)에만 전원을 공급하고, 연축전지(110)는 충전되지 않도록 제어된다.
- [0121] 또한, 종래의 피크 억제 방식으로 연축전지(110)를 방전한 후 종료하게 되면, 피크 억제를 통한 이득은 다소 얻을 수 있으나, 전력 요금의 손실은 불가피하게 된다. 따라서, 구간에서는 가정 저렴한 구간인 구간에서 충전하도록 대기하는 방법으로 제어된다.
- [0122] 이 때, 제어부(160)는 상술한 바와 같이, 충전 제한 모드로 동작하는데, 연축전지(110)의 방전 전류 I_2 가 0을 유지하도록 정류기(121)의 출력 전압 V_R 을 제어함으로써, 결과적으로 정류기(121)로부터의 출력 전류 I_1 이 모두

부하(500)로 공급되도록 제어할 수 있다. 즉, $I_1 = I_3$ 상태가 된다.

[0123] 구간에서는, 일정 중 최고의 피크를 억제하기 위해 최적화 솔루션(Gold Pointing Method)을 통해 연중 피크 전력(레벨 4)을 설정하고 일정하게 피크를 제어하는 기 공지된 방법들이 적용될 수 있으며, 일 예로 [수학식 6]과 같이 제어될 수 있다.

[0124] [수학식 6]

$$\int_{t_7}^{t_6} p dt = \sum_{b=1}^n (v_b i_b + \dots + v_{n-1} i_{n-1} + v_n i_n)$$

[0125]

[0126] 한편, 구간에서 최적의 방전을 시행하고도 남은 전력이 있는 경우, 중간 부하(500), 즉 실시간 전력 요금에 중간인 시간 구간에서의 부하(500)에 사용하는 방법은 [수학식 7]과 같이 나타낼 수 있다.

[0127] [수학식 7]

$$(\int_{t_1}^{t_2} p dt + \int_{t_3}^{t_4} p dt) - \sum_{b=1}^n (v_b i_b + \dots + v_{n-1} i_{n-1} + v_n i_n) < 0$$

[0128]

[0129] 이하에서는, 도 12를 참조하여 본 발명에 따른 에너지 저장 시스템(100,100a)을 운영할 때의 연축전지(110)의 수명에 대한 효과를 설명한다.

[0130] 연축전지(110)의 충전가능용량을 확인하기 위한 방법으로는 IEEE Std 1188-1996의 기술 기준을 적용하였으며, 본 발명에서는 연축전지(110)의 내부 임피던스(Impedance)를 측정함으로써 간접적이고 비파괴적인 방법으로 교체 시기를 판단하였다. 통상 연축전지(110)의 임피던스가 최초 정상상태 100%를 기준으로 20% 이상 증가하게 되면 교체를 해줘야 하는 시점으로 권고하고 있다.

[0131] 이를 기준으로 본 발명에 따른 에너지 저장 시스템(100,100a)을 적용한 군과, 기존의 자율 충전 및 방전을 이용하는 군의 연축전지(110)의 임피던스를 측정하는 방법으로 연축전지(110)의 수명의 변화를 검증하였다.

[0132] 도 12에 도시된 바와 같이, 검증 구간 중 12월에서 1월 사이의 임피던스의 증가는 계절적인 요인에 의해 온도가 저하하면 임피던스 또한 증가되고, 온도가 상승하면 임피던스가 낮아지기 때문에, 임피던스가 적용시점기준으로 회복되는지 여부를 이용하여 검증하였다.

[0133] 먼저, 본 발명에 따른 에너지 저장 시스템(100,100a)이 적용된 연축전지(110)를 편의상 Facility-A~D로 명명하고, 각 조의 첫 번째 셀(cell)의 임피던스를 측정하였다. 도 12의 (a)는 Facility-A의 임피던스 변화 그래프를 예로 나타내고 있으며, 0.31[m]에서 0.31[m]으로 변화되었다. 즉, 계절에 따른 변화에서 결과적으로 회복되었음을 확인할 수 있다.

[0134] 본 발명에 따른 에너지 저장 시스템(100,100a)이 적용되지 않은 비교대상 군은 동일한 제작사의 동일용량, 동일 날짜에 생산된 연축전지를 이용하였으며, CC-A, CC-B, CC-C, CC-D-1, CC-D-2, CC-E-1, CC-E-2 및 CC-F로 명명하였다. 도 12의 (b)는 CC-A의 연축전지의 임피던스의 변화 그래프를 나타낸 것으로, 0.156[m]에서 0.158[m]로 증가하였음을 확인할 수 있다.

[0135] [표 1]은 Facility-A, Facility-B, Facility-C, Facility-D의 임피던스의 변화를 나타내고 있으며, [표 2]는 CC-A, CC-B, CC-C, CC-D-1, CC-D-2, CC-E-1, CC-E-2 및 CC-F의 임피던스 변화를 나타내고 있다.

표 1

[0136]

	Oct	Nov	Dec	Jan	Fab	Mar	Rate
Facility-A	0.3366	0.3445	0.3410	0.3373	0.3351	0.3487	99.90%
Facility-B	0.3482	0.3573	0.3542	0.3495	0.3479	0.3616	99.93%
Facility-C	0.3453	0.3551	0.3519	0.3474	0.3444	0.3570	99.67%
Facility-D	0.3462	0.3543	0.3644	0.34686	0.3572	0.3486	98.85%

Average	0.3441	0.3528	0.3529	0.3453	0.3462	0.3540	99.58%
---------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

표 2

	Oct	Nov	Dec	Jan	Fab	Mar	Rate
CC-A	0.1561	0.1571	0.1591	0.1589	0.1582	0.1575	100.49%
CC-B	0.1415	0.1419	0.1432	0.1434	0.1438	0.1433	100.91%
CC-C	0.1401	0.1408	0.1419	0.1416	0.1423	0.1412	100.54%
CC-D-1	0.3229	0.3303	0.3357	0.3341	0.3289	0.3286	100.27%
CC-D-2	0.3380	0.3442	0.3507	0.3490	0.3458	0.3461	100.77%
CC-E-1	0.1617	0.1621	0.1635	0.1641	0.1638	0.1623	100.60%
CC-E-2	0.1615	0.1617	0.1630	0.1635	0.1636	0.1621	100.62%
CC-F	0.2022	0.2028	0.2050	0.2072	0.2085	0.2083	102.30%
Average	0.2030	0.2051	0.2077	0.2077	0.2068	0.2062	100.79%

[0137]

[0138]

[표 1] 및 [표 2]에 나타난 바와 같이, 종래의 자율 충전 및 방전 기술이 적용된 경우, 평균적으로 0.79%의 임피던스 증가가 발생한 반면, 본 발명의 경우 평균 0.42%의 임피던스 감소가 나타남을 확인할 수 있다.

[0139]

이는, 일반적으로 임피던스가 20% 증가할 때 연축전지를 교체한다고 가정할 때, 6개월 간 0.78%의 임피던스 증가와, 0.42%의 임피던스의 감소는 연축전지의 수명에 큰 영향을 준다는 점은 쉽게 확인할 수 있으며, 따라서, 본 발명에 따른 에너지 저장 시스템(100,100a)이 연축전지의 수명을 현저히 증가시킬 수 있음을 확인할 수 있다.

[0140]

전술한 실시예들에서는 본 발명에 따른 에너지 저장 시스템(100,100a)의 연축전지(110)의 방전 전류가, 도 8의 (b)에 도시된 바와 같이, 톱니파 형태를 갖도록 제어되는 것을 예로 하였다. 이외에도, 본 발명에 따른 에너지 저장 시스템(100,100a)의 연축전지(110)의 방전 전류는 '0'의 구간이 없는 펄스파 형태, 예를 들어, 도 13에 도시된 바와 같이, 구형파 형태를 갖도록 제어 가능함은 물론이며, 이를 통해 톱니파 형태의 방전 전류에서 나타나는 효과를 얻을 수 있다.

[0141]

마찬가지로, 본 발명에 따른 에너지 저장 시스템(100,100a)의 연축전지(110)의 충전 전류 또한, '0'의 구간이 없는 펄스파 형태, 예를 들어, 도 13에 도시된 바와 같이, 구형파 형태를 갖도록 제어 가능함은 물론이다.

[0142]

이상에서 설명한 본 발명은 전술한 실시예 및 첨부된 도면에 의해 한정되는 것이 아니고, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경이 가능함은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명백할 것이다.

부호의 설명

[0143]

100,100a : 에너지 저장 시스템

110 : 연축전지

120,120a : 전력 변환기

121 : 정류기

131 : 인버터

141 : 방전 스위치

150 : 바이패스 라인

151 : 바이패스 스위치

160 : 제어부

170 : 전압 변화 감지부

171 : 부하 전류 감지부

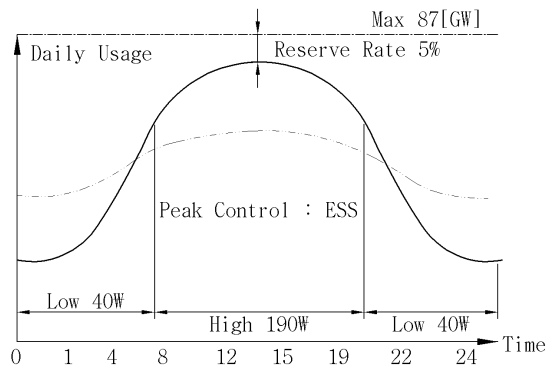
172 : 연축전지 전압 감지부

300 : 외부 전원

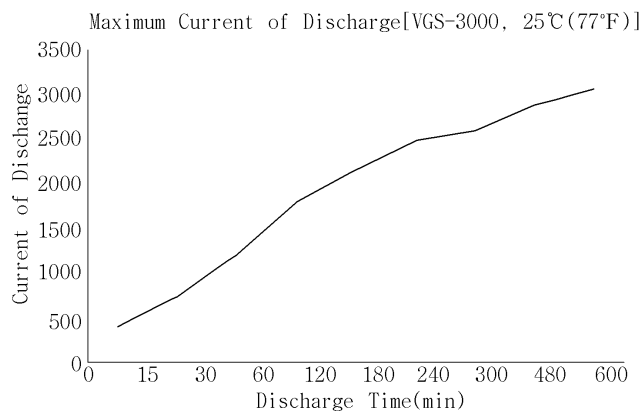
500 : 부하

도면

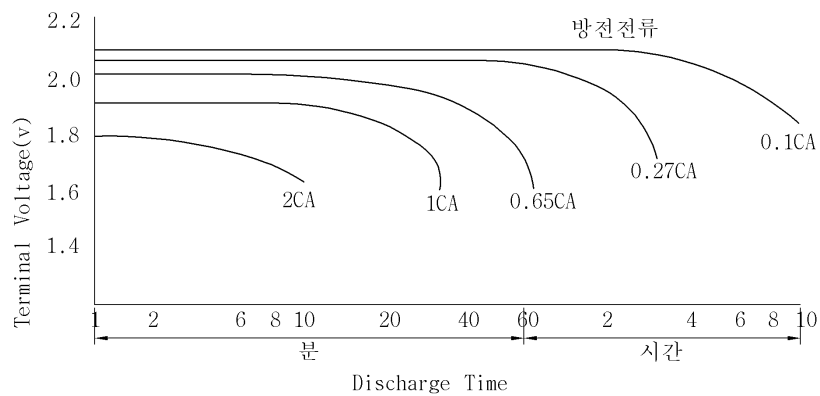
도면1



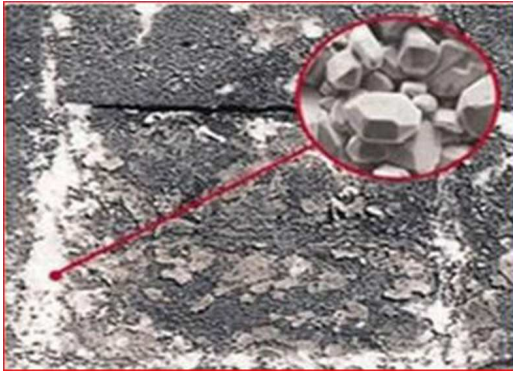
도면2



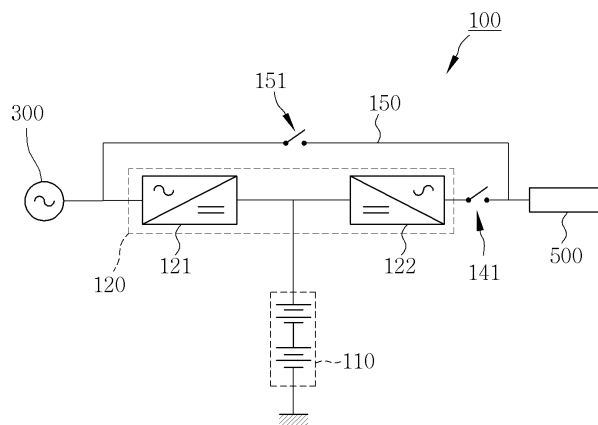
도면3



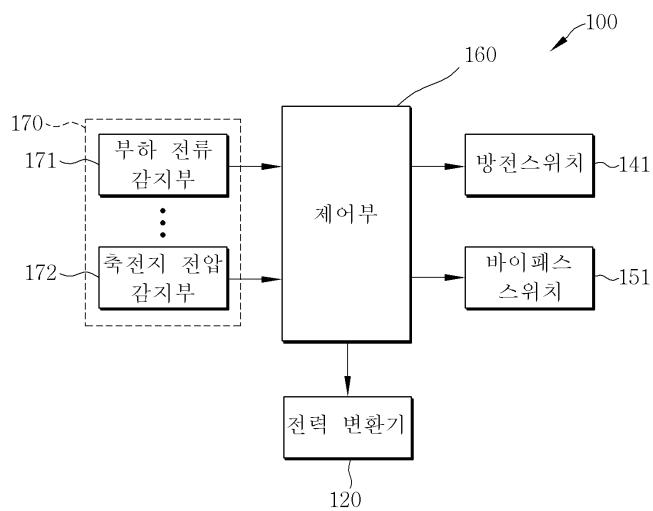
도면4



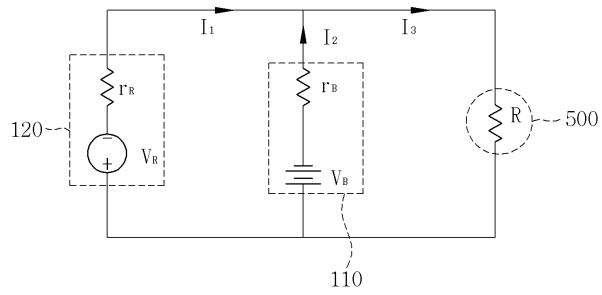
도면5



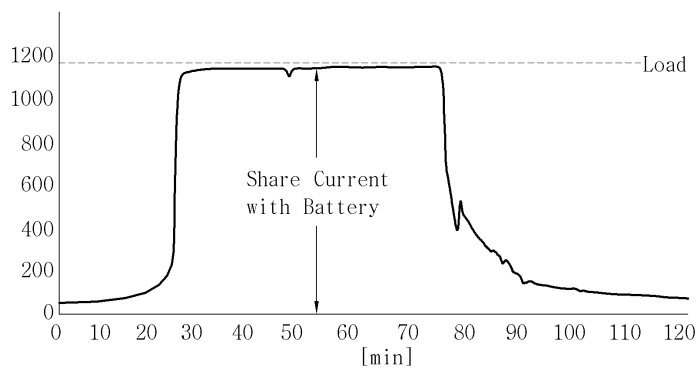
도면6



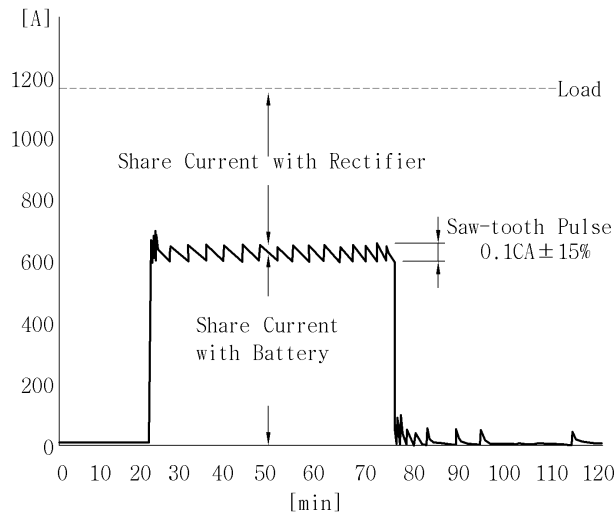
도면7



도면8

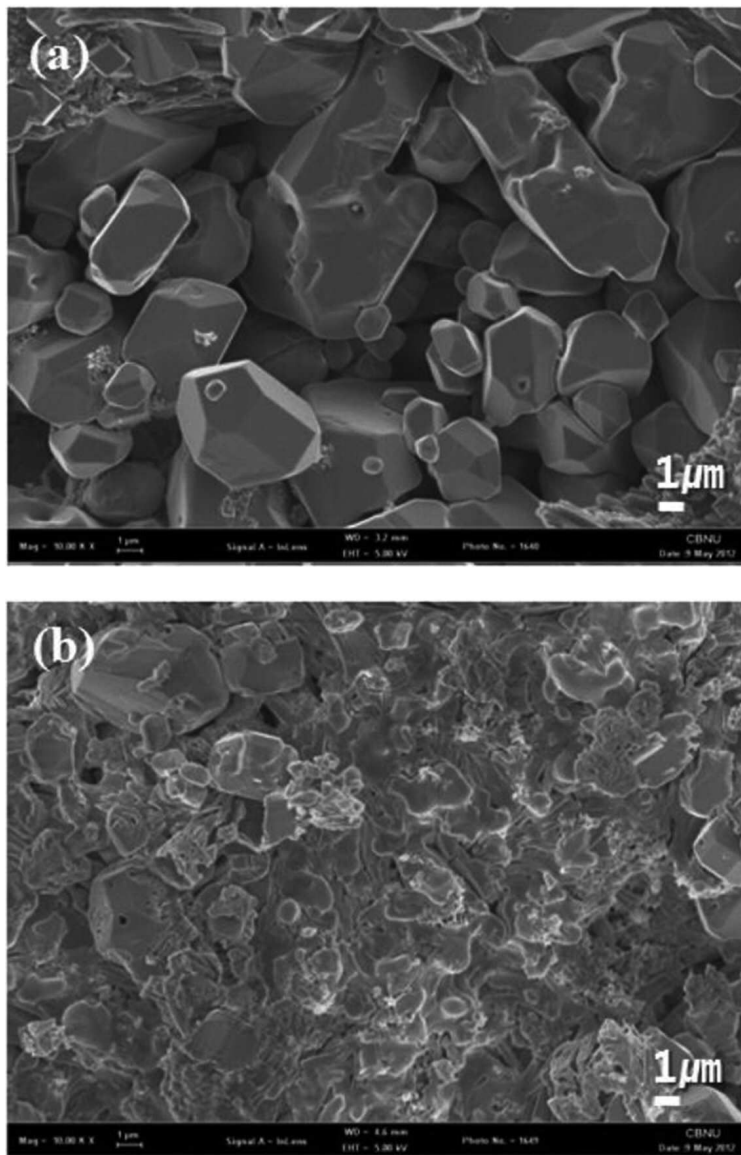


(a)

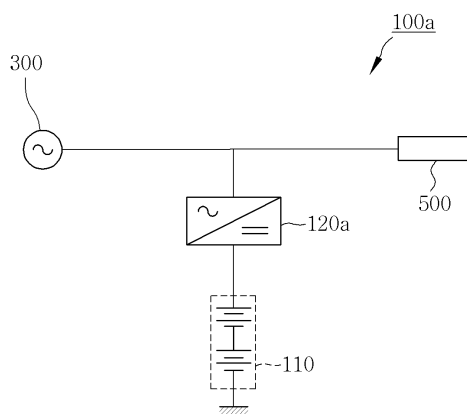


(b)

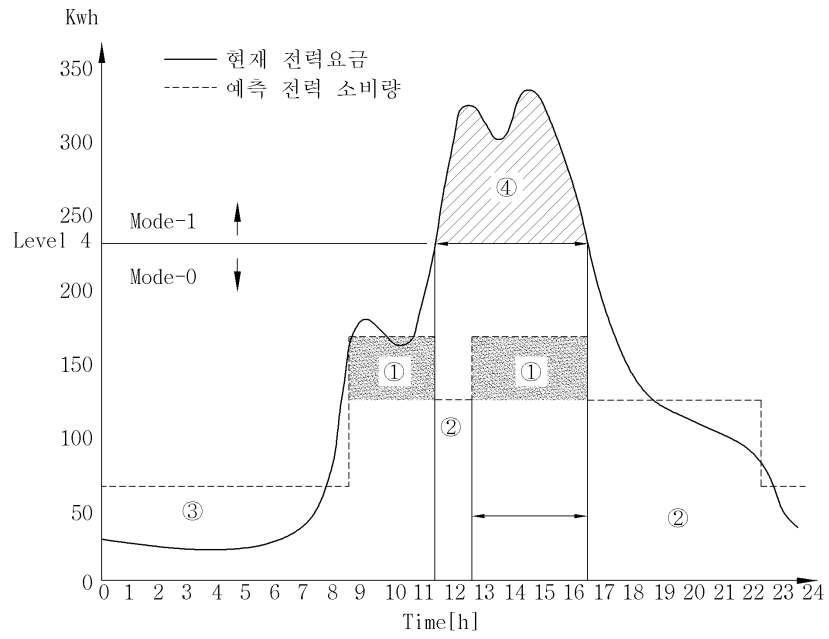
도면9



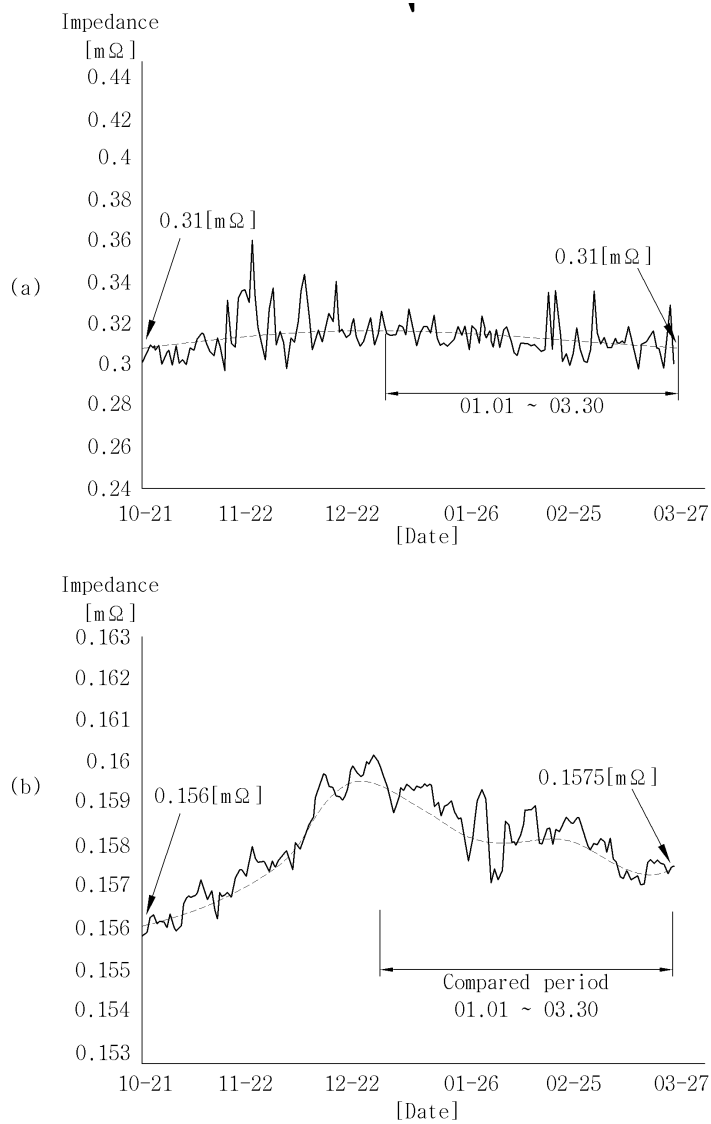
도면10



도면11



도면12



도면13

