



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년02월14일
(11) 등록번호 10-1706078
(24) 등록일자 2017년02월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02J 3/38 (2006.01) H01M 8/04082 (2016.01)
H02J 3/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H02J 3/382 (2013.01)
H01M 8/04201 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0018971
(22) 출원일자 2016년02월18일
심사청구일자 2016년02월18일
(56) 선행기술조사문헌
PSE ASIA, JUNE 2013, KUALA LUMPUR
KR1020100061453 A
RENEWABLE ENERGY 32 (2007) 1102-1126
KR1020110091064 A

(73) 특허권자
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)
(72) 발명자
유창규
경기도 수원시 영통구 웰빙타운로 20, 8308동 202호(이의동, 호반가든하임)
김민현
경기도 수원시 영통구 매봉로 20, 105동 904호(매탄동, 매탄 e-편한세상)
이만 잘고르반 데스파하니
경기도 용인시 기흥구 서천서로20번길 14-3, 402 (서천동)
(74) 대리인
노철호

전체 청구항 수 : 총 7 항

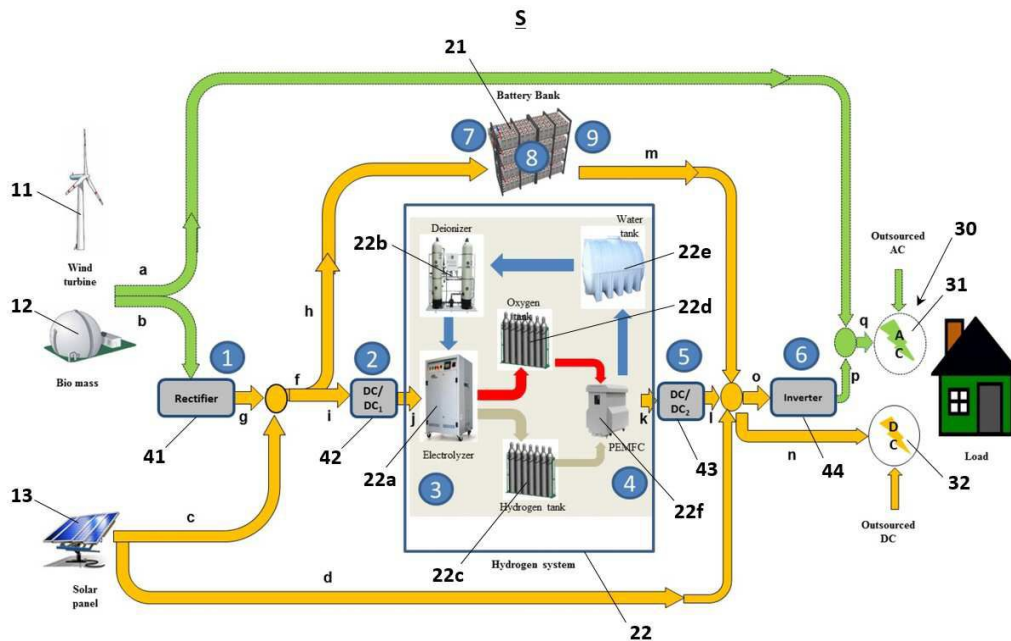
심사관 : 박성민

(54) 발명의 명칭 **핀치분석을 이용한 하이브리드 재생에너지 시스템의 최적화 방법**

(57) 요약

하이브리드 재생에너지 시스템의 최적화 방법이 개시된다. 본 발명의 일 측면에 따르면, 에너지 저장수단으로 배터리 및 수소저장시스템을 포함하는 하이브리드 재생에너지 시스템의 최적화 방법에 관한 것으로, 일 단위의 전력 생산량 및 소비량에 기반하여, 파워핀치분석을 통해, 수소저장시스템을 제외한 시스템에서 최소 외부 전력 공(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



급량 및 익일 사용 가능한 과잉 전력을 산출하는 단계; 최소 외부 전력 공급량 및 익일 사용 가능한 과잉 전력을 월 단위로 환산하고, 월 단위의 각 시간구간에서 수소저장시스템에 저장되는 전력 및 수소저장시스템으로부터 필요한 전력을 산출하는 단계; 각 시간구간에서 수소저장시스템의 순수 저장/필요 전력을 산출하는 단계; 작동 첫 해에 대해, 각 시간구간에서 수소저장시스템에 누적되는 전력 용량 및 필요한 외부 전력 공급량을 산출하는 단계; 작동 첫 해에 필요한 최소 외부 전력 및 수소저장시스템에 저장되어 다음해 사용 가능한 과잉 전력을 산출하는 단계; 통상 작동년에 대해, 각 시간구간에서 수소저장시스템에 누적되는 전력 용량 및 필요한 외부 전력 공급량을 산출하는 단계; 및 통상 작동년에 대해 산출된 수소저장시스템의 누적 전력 용량에 기반하여, 수소저장시스템의 최적 용량을 결정하는 단계;를 포함하는 하이브리드 재생에너지 시스템의 최적화 방법이 제공된다.

(52) CPC특허분류

H02J 2003/007 (2013.01)

Y02E 60/32 (2013.01)

Y02E 60/50 (2013.01)

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

에너지 저장수단으로 배터리(21) 및 수소저장시스템(22)을 포함하는 하이브리드 재생에너지 시스템(S)의 최적화 방법에 관한 것으로,

일 단위의 전력 생산량 및 소비량에 기반하여, 파워핀치분석(Power Pinch Analysis)을 통해, 상기 수소저장시스템(22)을 제외한 시스템에서 외부로부터 공급이 필요한 최소 외부 전력 공급량(MOES) 및 익일 사용 가능한 과잉 전력(AEEND)을 산출하는 단계;

상기 최소 외부 전력 공급량(MOES) 및 익일 사용 가능한 과잉 전력(AEEND)을 월 단위로 환산하고, 월 단위의 각 시간구간에서 상기 수소저장시스템(22)에 저장되는 전력(SE_{HT}) 및 상기 수소저장시스템(22)으로부터 필요한 전력(NE_{HT})을 산출하는 단계;

각 시간구간에서 상기 수소저장시스템(22)의 순수 저장/필요 전력(NE_{HT})을 산출하는 단계;

작동 첫해에 대해, 각 시간구간에서 상기 수소저장시스템(22)에 누적되는 전력 용량(HTEC) 및 외부로부터 공급이 필요한 외부 전력 공급량(REES)을 산출하는 단계;

작동 첫해에 외부로부터 공급이 필요한 최소 외부 전력(MEESFOY) 및 상기 수소저장시스템(22)에 저장되어 다음 해 사용 가능한 과잉 전력(ASENNOY)을 산출하는 단계;

통상 작동년에 대해, 각 시간구간에서 상기 수소저장시스템(22)에 누적되는 전력 용량(HTEC) 및 외부로부터 공급이 필요한 외부 전력 공급량(REES)을 산출하는 단계; 및

통상 작동년에 대해 산출된 상기 수소저장시스템(22)의 누적 전력 용량(HTEC)에 기반하여, 상기 수소저장시스템(22)의 최적 용량(AHTEC)을 결정하는 단계;를 포함하는, 하이브리드 재생에너지 시스템의 최적화 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 수소저장시스템(22)에 저장되는 전력(SE_{HT})은, 하기 수학적식 2에 의해 산출되되,

(수학적식 2)

$$SE_{HT,n} = WE_n \cdot \eta_{DC/DC_1} \cdot \eta_{EL}$$

상기 수학적식 2에서 $SE_{HT,n}$ 은 각 시간구간에서 상기 수소저장시스템(22)에 저장되는 전력, WE_n 은 각 시간구간에서 초과 전력, η_{DC/DC_1} 은 DC/DC₁ 컨버터(42)의 효율, η_{EL} 은 전해조(22a)의 효율을 나타내며,

상기 각 시간구간에서 초과 전력(WE_n)은, 하기 수학적식 1에 의해 산출되되,

(수학적식 1)

$$WE_n = AEEND_n - \frac{(MOES_{DC} + \frac{MOES_{AC}}{\eta_{inv}})}{\eta_{dis}}$$

상기 수학적식 1에서 WE_n 은 각 시간구간에서 초과 전력, $AEEND_n$ 은 각 시간구간에서 익일 사용 가능한 과잉 전력,

$MOES_{DC}$ 은 각 시간구간에서 최소 외부 DC전력 공급량, $MOES_{AC}$ 은 각 시간구간에서 최소 외부 AC전력 공급량, η_{dis} 는 상기 배터리(21)의 방전 효율, η_{inv} 는 인버터(44)의 효율을 나타내는 것인, 하이브리드 재생에너지 시스템의 최적화 방법.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

특정 시간구간(n)에서 최소 외부 전력 공급량($MOES_n$)이 이전 시간구간(n-1)의 익일 사용 가능한 과잉 전력($AEEND_{n-1}$) 보다 작고, 특정 시간구간(n)에서의 최소 외부 DC전력 공급량($MOES_{DC,n}$)이 이전 시간구간(n-1)의 익일 사용 가능한 과잉 전력($AEEND_{n-1}$)보다 작은 경우, 상기 수소저장시스템(22)으로부터 필요한 전력(NE_{HT})을 산출하기 위한 필요 DC/AC 전력(NE_{DC} , NE_{AC})은, 하기 수학식 3에 의해 산출되되,

(수학식 3)

$$NE_{DC,n} = MOES_{DC,n} - (AEEND_{n-1} \cdot \eta_{dis})$$

$$NE_{AC,n} = MOES_{AC,n}$$

상기 수학식 3에서 $NE_{DC,n}$ 은 각 시간구간에서 상기 수소저장시스템(22)으로부터 필요한 DC전력, $MOES_{DC,n}$ 은 각 시간구간에서 최소 외부 DC전력 공급량, $AEEND_{n-1}$ 는 이전 시간구간의 익일 사용 가능한 과잉 전력, η_{dis} 는 배터리(21)의 충방전 효율을 나타내며, $NE_{AC,n}$ 은 각 시간구간에서 상기 수소저장시스템(22)으로부터 필요한 AC전력, $MOES_{AC,n}$ 은 각 시간구간에서 최소 외부 AC전력 공급량을 나타내는 것인, 하이브리드 재생에너지 시스템의 최적화 방법.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

특정 시간구간(n)에서 최소 외부 전력 공급량($MOES_n$)이 이전 시간구간(n-1)의 익일 사용 가능한 과잉 전력($AEEND_{n-1}$) 보다 작고, 특정 시간구간(n)에서의 최소 외부 DC전력 공급량($MOES_{DC,n}$)이 이전 시간구간(n-1)의 익일 사용 가능한 과잉 전력($AEEND_{n-1}$)보다 큰 경우, 상기 수소저장시스템(22)으로부터 필요한 전력(NE_{HT})을 산출하기 위한 필요 DC/AC 전력(NE_{DC} , NE_{AC})은, 하기 수학식 4에 의해 산출되되,

(수학식 4)

$$NE_{DC,n} = 0$$

$$NE_{AC,n} = MOES_{AC,n} - ((AEEND_{n-1} \cdot \eta_{dis}) - MOES_{DC,n}) \cdot \eta_{inv}$$

상기 수학식 4에서 $NE_{DC,n}$ 은 각 시간구간에서 상기 수소저장시스템(22)으로부터 필요한 DC전력, $NE_{AC,n}$ 은 각 시간구간에서 상기 수소저장시스템(22)으로부터 필요한 AC전력, $MOES_{AC,n}$ 은 각 시간구간에서 최소 외부 AC전력 공급량, $AEEND_{n-1}$ 는 이전 시간구간의 익일 사용 가능한 과잉 전력, η_{inv} 는 배터리(21)의 충방전 효율, $MOES_{DC,n}$ 은 각 시간구간에서 최소 외부 DC전력 공급량, η_{dis} 는 인버터(44)의 충방전 효율을 나타내는 것인, 하이브리드 재생에너지 시스템의 최적화 방법.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 수소저장시스템(22)의 순수 저장/필요 전력(NeE_{HT})은, 하기 수학적 식 6에 의해 산출되며,

(수학적 식 6)

$$NeE_{HT,n} = SE_{HT,n} - NE_{HT,n}$$

상기 수학적 식 6에서 $NeE_{HT,n}$ 는 각 시간구간에서 상기 수소저장시스템(22)의 순수 저장/필요 전력, $SE_{HT,n}$ 은 각 시간구간에서 상기 수소저장시스템(22)에 저장되는 전력, $NE_{HT,n}$ 은 각 시간구간에서 상기 수소저장시스템(22)으로부터 필요한 전력을 나타내는 것인, 하이브리드 재생에너지 시스템의 최적화 방법.

청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 작동 첫해에 대한 필요한 최소 외부 전력(MEESFOY)은, 상기 각 시간구간에 필요한 외부 전력 공급량(REE S)를 합산하여 산출되며,

상기 작동 첫해에 대한 다음해 사용 가능한 과잉 전력(ASENNOY)은, 마지막 시간구간에서 상기 수소저장시스템(22)에 누적된 전력 용량(HTEC)을 통해 산출되는 것인, 하이브리드 재생에너지 시스템의 최적화 방법.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 수소저장시스템(22)의 최적 용량(AHTEC)은, 상기 통상 작동년에 대해 산출된 상기 수소저장시스템(22)의 누적 전력 용량(HTEC) 중 최대치로 선택되는 것인, 하이브리드 재생에너지 시스템의 최적화 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 하이브리드 재생에너지 시스템의 최적화 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 에너지 저장수단으로 배터리 및 수소저장시스템을 포함하는 하이브리드 재생에너지 시스템에 있어 수소저장시스템의 최적 용량 설계를 위한 최적화 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 화석연료의 고갈, 기후변화, 환경문제 등에 대한 영향으로 태양광, 풍력, 바이오메스 등 재생에너지가 주목받고 있다. 특히, 기존의 전력 그리드(grid) 망과 연결이 어려운 지역의 경우, 이러한 재생에너지 시스템은 오프-그리드(off-grid) 형태로 구축이 고려되고 있다. 오프-그리드 형태의 재생에너지 시스템에 있어 대두되는 주된 문제점은 재생에너지의 특성상 전력 공급의 지속성이 유지되기 어렵기 때문에 전력 공급의 간헐성(intermittence)을 로드의 동적인 수요에 매칭시키는 것이다. 이를 극복하기 위한 해결책으로 다중(多種)의 재생에너지원을 조합하여 복합적인 시스템을 구축하는 방안이나, 보다 신뢰성 있는 에너지 저장 시스템을 구축하는 방안이 고려되고 있다. 특히, 후자의 경우 오프-그리드 시스템에서 외부로부터 필요한 에너지를 최소화시킬 수 있는 형태로 에너지 저장 시스템을 최적화하는 방안이 요구되게 된다.

[0003] 상기와 같은 맥락에서 열 교환망(heat-exchange)이나 공정 용수(water) 최적화에 사용되었던 핀치분석(pinch analysis)를 전력 시스템에 적용하여 시스템 최적화하는 기법이 제안된 바 있다(이른바, 파워핀치분석). 이러한 파워핀치분석은 에너지 저장수단으로 배터리를 구비한 시스템에 있어서 외부 공급 전력을 최소화하는 시스템 최적화 방법을 제안한 바 있다.

[0004] 다만, 보다 신뢰성 있는 에너지 저장 시스템의 구축을 위해 배터리 이외에 수소저장시스템을 추가한 하이브리드 재생에너지 시스템이 최근 고려되고 있다. 이러한 하이브리드 재생에너지 시스템은 빠른 충방전 및 높은 왕복효율(round-trip efficiency) 특성을 가지는 배터리를 단기간의 전력 저장에 활용하고, 긴 수명과 높은 에너지 밀도(mass energy density) 특성을 보이는 수소저장시스템을 장기간의 전력 저장에 활용함으로써, 보다 신뢰성 있는 에너지 저장 시스템 구축을 가능케 한다. 그러나 알려진 바와 같이 수소저장시스템은 현재까지는 고가의 설비인 관계로, 시스템 효율을 저해하지 않는 범위에서 최적화 설계될 필요가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명의 실시예들은 에너지 저장수단으로 배터리 및 수소저장시스템을 포함하는 하이브리드 재생에너지 시스템에 있어 수소저장시스템의 최적 용량 설계를 위한 최적화 방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 발명의 일 측면에 따르면, 에너지 저장수단으로 배터리 및 수소저장시스템을 포함하는 하이브리드 재생에너지 시스템의 최적화 방법에 관한 것으로, 일 단위의 전력 생산량 및 소비량에 기반하여, 파워핀치분석을 통해, 상기 수소저장시스템을 제외한 시스템에서 최소 외부 전력 공급량 및 익일 사용 가능한 과잉 전력을 산출하는 단계; 상기 최소 외부 전력 공급량 및 익일 사용 가능한 과잉 전력을 월 단위로 환산하고, 월 단위의 각 시간 구간에서 상기 수소저장시스템에 저장되는 전력 및 상기 수소저장시스템으로부터 필요한 전력을 산출하는 단계; 각 시간구간에서 상기 수소저장시스템의 순수 저장/필요 전력을 산출하는 단계; 작동 첫해에 대해, 각 시간구간에서 상기 수소저장시스템에 누적되는 전력 용량 및 필요한 외부 전력 공급량을 산출하는 단계; 작동 첫해에 필요한 최소 외부 전력 및 상기 수소저장시스템에 저장되어 다음해 사용 가능한 과잉 전력을 산출하는 단계; 통상 작동년에 대해, 각 시간구간에서 상기 수소저장시스템에 누적되는 전력 용량 및 필요한 외부 전력 공급량을 산출하는 단계; 및 통상 작동년에 대해 산출된 상기 수소저장시스템의 누적 전력 용량에 기반하여, 상기 수소저장시스템의 최적 용량을 결정하는 단계;를 포함하는, 하이브리드 재생에너지 시스템의 최적화 방법이 제공될 수 있다.

발명의 효과

[0007] 본 발명의 실시예들에 따른 최적화 방법은 에너지 저장수단으로 수소저장시스템을 포함하는 하이브리드 재생에너지 시스템에 있어서, 수소저장시스템의 최적 용량을 산출할 수 있게 한다. 특히, 이와 같은 최적 용량은 종래의 핀치분석 또는 파워핀치분석을 확장한 것으로, 외부로부터 필요한 전력을 최소화할 수 있으며, 비교적 간단한 연산과정을 통해 신속하게 최적값을 찾을 수 있는 이점이 있게 된다.

도면의 간단한 설명

[0008] 도 1은 하이브리드 재생에너지 시스템(HRES-BH 시스템)의 일 예를 보여주는 구성도이다.
 도 2는 도 1에 도시된 전력 흐름의 경로를 요약한 개략도이다.
 도 3은 도 1에 도시된 시스템에 있어서 일(day) 전력 생산량을 예시한 도표이다.
 도 4는 도 1에 도시된 시스템에 있어서 로드(부하)의 전력 소비량을 예시한 도표이다.
 도 5는 도 3 및 4에 예시된 전력 생산량 및 소비량에 기반하여 최소 외부 전력 공급량(MOES) 및 익일 사용 가능한 과잉 전력(AEEND)을 산출한 결과이다.
 도 6은 도 5에 예시된 케이스에 기반하여 적산 테이블(cascade table)을 작성한 예시이다.
 도 7은 도 1에 도시된 시스템에 있어서 각 구성요소들의 효율을 예시한 도표이다.
 도 8은 예시된 케이스에서 상기과 같은 방법을 통해 수소저장시스템(22)의 각 구성요소들에 대한 용량을 산출한 결과이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0009] 이하, 본 발명의 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 설명하도록 한다. 다만, 이하의 실시예들은 본 발명의 이해를 돕기 위해 제공되는 것이며, 본 발명의 범위가 이하의 실시예들에 한정되는 것은 아님을 알려둔다. 또한, 이하의 실시예들은 당업계에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 발명을 보다 완전하게 설명하기 위해 제공되는 것으로, 불필요하게 본 발명의 기술적 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 공지 구성에 대하여는 상세한 기술을 생략하기로 한다.

[0010] 본 발명의 실시예들은 에너지 저장수단으로 배터리 및 수소저장시스템을 포함하는 하이브리드 재생에너지 시스템(Hybrid Renewable Energy System including Battery and Hydrogen storage systems, HRES-BH 시스템)에 있

어서 수소저장시스템의 최적용량설계를 위한 최적화 방법을 제공할 수 있다. 본 발명의 실시예들은 이러한 최적화에 있어서 기 공지된 핀치분석(pinch analysis) 또는 파워핀치분석(power pinch analysis)을 수소저장시스템이 포함된 HRES-BH 시스템에 확장하여 적용 가능케 한다. 이러한 견지에서 본 실시예들에 따른 최적화 방법은 확장된 파워핀치분석 또는 수정된 파워핀치분석으로 지칭될 수 있다. 이하, 도 1에 예시된 시스템을 중심으로 본 발명의 실시예들에 따른 최적화 방법을 설명하도록 한다.

[0011] 도 1은 하이브리드 재생에너지 시스템(HRES-BH 시스템)의 일 예를 보여주는 구성도이다. 도 1을 참조하면, 하이브리드 재생에너지 시스템(S)은 하나 이상의 재생에너지원을 포함할 수 있다. 도 1에서는 재생에너지원으로 풍력(11), 태양광(13) 및 바이오메스(12)가 조합된 경우를 예시하고 있다. 알려진 바와 같이, 이와 같은 다종(多種)의 재생에너지원 조합은 재생에너지의 특성인 공급전력의 간헐성(intermittence)을 동적인 로드(30) 수요에 매칭시키는데 이점이 있다. 다만, 도 1에 예시된 재생에너지원의 개수, 종류 등은 필요에 따라 다양하게 변경될 수 있음은 물론이다.

[0012] 또한, 하이브리드 재생에너지 시스템(S)은 에너지 저장수단으로 배터리(21) 및 수소저장시스템(22)을 포함할 수 있다. 에너지 저장수단은 로드(30)의 수요를 초과하여 생성된 전력을 저장하고, 반대의 경우에 이를 적절히 로드(30)로 제공할 수 있다. 특히, 예시된 바와 같은 하이브리드 재생에너지 시스템(S)은 에너지 저장수단으로 배터리(21)에 수소저장시스템(22)이 조합되어 있다는 점에서 배터리(21)만을 주된 에너지 저장수단으로 하는 시스템과 구분될 수 있다. 이러한 점에서 예시된 하이브리드 재생에너지 시스템(S)은 HRES-BH 시스템(Hybrid Renewable Energy System including Battery and Hydrogen storage systems)으로 지칭될 수 있다.

[0013] 하이브리드 재생에너지 시스템(S) 또는 HRES-BH 시스템(S)은 단기간의 에너지 저장에 배터리(21)를 이용하고, 장기간의 에너지 저장에는 수소저장시스템(22)을 이용할 수 있다. 알려진 바와 같이, 배터리(21)는 빠른 충방전, 높은 왕복효율(round-trip efficiency) 등으로 인해 단기간의 에너지 저장에 이점을 가질 수 있으며, 수소저장시스템(22)은 긴 수명, 높은 에너지 밀도 등으로 인해 장기간의 에너지 저장에 이점을 가질 수 있다. 따라서 이와 같은 배터리(21) 및 수소저장시스템(22)의 조합은 전체적인 에너지 저장수단의 신뢰성이나 효율 측면에서 우수한 성능을 가질 수 있다. 다만, 수소저장시스템(22)은 연료전지, 전해조 등 고가의 설비가 요구되어 상대적으로 설비비용이 비싸기 때문에 시스템 효율을 저해하지 않는 범위에서 최소화된 용량으로 설계될 필요가 있다.

[0014] 상기와 같은 하이브리드 재생에너지 시스템(S)에 있어서, 로드(30)의 수요를 초과하는 전력은 일차적으로 배터리(21)를 충전시키고, 다음으로 잔여 전력이 수소저장시스템(22)을 통해 저장될 수 있다. 수소저장시스템(22)에서는 다음의 과정을 거쳐 잔여 전력의 저장이나 저장된 전력의 로드(30)로의 공급이 이뤄질 수 있다. 배터리(21)를 충전시키고 남은 잔여 전력이 전해조(22a)로 제공되면, 워터탱크(22e)로부터 공급된 물이 탈이온화기(22b)에 의해 탈이온화(de-ionization)되어 전해조(22a)로 함께 공급된다. 전해조(22a)에서는 공급된 전력 및 물을 소비하여 산소 및 수소를 생성하고, 이는 수소탱크(22c) 등에 저장될 수 있다. 또한, 저장된 산소 및 수소가 연료전지(22f)로 공급되면, 연료전지(22f)에서는 전력이 생성되며, 생성된 전력은 로드(30)로 공급될 수 있다. 이때, 부산물로 생성된 물은 재생을 위해 워터탱크(22e) 등에 저장될 수 있다. 이러한 수소저장시스템(22)의 프로세스는 기 공지된 바 있으며, 본 발명의 기술적 요지와는 직접적 관련성이 적으므로 이에 대한 보다 상세한 설명은 생략하기로 한다.

[0015] 본 발명의 실시예들에 따른 최적화 방법은 상기와 같은 하이브리드 재생에너지 시스템(S)에 있어서 해당 일(day)에 배터리(21)에 저장되지 못하고 남은 전력을 수소저장시스템(22)에 저장하고, 발전 전력 및 배터리(21)가 로드(30) 수요를 충족하지 못해 외부 에너지원이 필요한 날에는 수소저장시스템(22)에 저장된 전력을 로드(30)로 공급함을 기본 컨셉으로 할 수 있다. 본 발명의 실시예들에 따른 최적화 방법은 핀치분석 또는 파워핀치분석의 기법을 수소저장시스템(22)이 채용된 하이브리드 재생에너지 시스템(S)으로 확장하여 그래프 또는 수치적 분석기법을 통해 수소저장시스템(22)의 최적용량설정을 가능하게 한다.

[0016] 한편, 도 1은 상기와 같은 하이브리드 재생에너지 시스템(S)에 있어 전력 흐름을 보여주고 있다. 예시된 시스템(S)에서 풍력(11) 및 바이오메스(12)는 AC전력(교류)을 생성할 수 있으며, 태양광(13)은 DC전력(직류)을 생성할 수 있다. 생성된 전력은 각각 경로 a-q 또는 경로 d-n을 거쳐 로드(30)로 직접 전달될 수 있다. 또한, 로드(30)의 수요를 초과하는 전력은 배터리(21) 또는 수소저장시스템(22)에 저장될 수 있으며, 저장된 전력은 필요시 일정한 경로를 거쳐 로드(30)로 제공될 수 있다. 이와 같은 과정에서 일정부분 전력 손실이 발생될 수 있으며, 이는 수소저장시스템(22)의 최적용량설계를 위해 고려될 필요가 있다.

[0017] 보다 구체적으로, 풍력(11) 및 바이오메스(12)로부터 생성된 AC전력 중 로드(30)의 수요를 초과하는 AC전력은

정류기(41)에 의해 DC(직류)로 변환될 수 있으며, 이 과정에서 정류기(41)에 의한 전력 손실이 발생될 수 있다(loss ①). DC로 전환된 AC전력(경로 g)과 초과된 DC전력(경로 c)은 일차적으로 경로 h를 통해 배터리(21)로 제공되어 배터리(21)를 충전시킬 수 있다. 이와 같이 배터리(21)를 거치는 과정에서 충전 효율로 인한 손실(loss ⑦) 및, 자가방전(self-discharging)으로 인한 손실(loss ⑧)이 발생될 수 있다.

[0018] 한편, 배터리(21)가 완충되면, 잔여 전력은 이차적으로 수소저장시스템(22)으로 제공될 수 있다. 먼저, 잔여 전력은 안정화를 위해 경로 i를 거쳐 DC/DC₁ 컨버터(41)로 전달될 수 있으며, DC/DC₁ 컨버터(41)의 효율에 따라 손실이 발생될 수 있다(loss ②). 안정화된 전력은 경로 j를 거쳐 전해조(22a)로 제공될 수 있으며, 전해조(22a)에서는 탈이온화된 물을 사용해 산소 및 수소가 생성될 수 있다. 이 과정에서 전해조(22a)의 효율로 인한 손실이 발생될 수 있다(loss ③). 생성된 산소 및 수소는 각각 저장탱크(22c, 22e)에 저장될 수 있다.

[0019] 경로 a-q를 통한 AC전력의 공급이 AC로드(31)의 수요에 부족한 경우, 배터리(21)로부터 경로 m-o를 거쳐 DC전력이 방출될 수 있으며, 이는 인버터(44)를 통해 AC(교류)로 변환되어 경로 p-q를 거쳐 AC로드(31)로 제공될 수 있다. 이때, 배터리(21) 방전시 손실이 발생될 수 있으며(loss ⑨), 인버터(44)에 의한 변환시 손실이 발생될 수 있다(loss ⑥). 또한, 배터리(21)가 완전히 방전되면, 수소저장시스템(22)에 저장된 수소 및 산소가 연료전지(22f)로 공급되어 연료전지(22f)에서 전력이 생성되게 되는데, 이 과정에서도 손실이 발생될 수 있다(loss ④). 또한, 연료전지(22f)의 출력을 DC 버스 전압 레벨로 변환하기 위해 연료전지(22f)에서 생성된 전력은 경로 k를 거쳐 DC/DC₂ 컨버터(43)로 전달되며, 변환 과정에서 DC/DC₂ 컨버터(43)의 효율로 인해 손실이 발생될 수 있다(loss ⑤). 변환된 DC전력은 경로 l-o-p-q를 거치면서 인버터(44)에 의해 AC로 변환되어 AC로드(31)로 제공된다. 이때, 인버터(44)의 효율로 인해 손실이 발생될 수 있다(loss ⑥).

[0020] 한편, 경로 d-n을 통한 DC전력의 공급이 DC로드(32)의 수요에 부족한 경우, 부족한 전력은 일차적으로 경로 m-n을 거친 배터리(21) 방전에 의해 공급될 수 있다. 이 경우에는 배터리(21)의 방전 효율에 의해 손실이 발생될 수 있다(loss ⑨). 또한, 이차적으로 연료전지(22f)에서 생성된 전력이 경로 l-n을 거쳐 DC로드(32)로 공급될 수 있다. 이 경우에는 DC/DC₂ 컨버터(43)에 의해서 손실이 발생될 수 있다(loss ⑤).

[0021] 끝으로, DC/AC로드(30)의 수요가 경로 q, n을 통해 공급되지 못할 경우, 그리드 등으로부터 외부 전력이 추가 공급될 수 있는데, 이러한 외부 전력은 모두 AC전력으로 공급되어 로드(30)에 따라 DC전력으로 변환될 수 있다.

[0022] 이상에서 살펴본 바와 같은 전력 흐름의 경로를 요약하면 도 2와 같이 나타낼 수 있다. 도 2는 도 1에 도시된 전력 흐름의 경로를 요약한 개략도로서, 이를 참고하면, 도 1과 같은 시스템(S)에서 주된 전력 흐름의 경로는 A 내지 D의 4가지 경로로 요약될 수 있다. 또한, A 내지 D 경로의 전달 효율은 정류기(41), 인버터(44), 컨버터(41, 43) 등 각 경로에 있는 구성요소들의 효율을 곱해 산출될 수 있다. 결국, 각 구성요소들의 효율은 1을 넘지 못하므로, 각 경로의 전달 효율은 $\eta_A > \eta_B > \eta_C > \eta_D$ 의 순으로 나타나게 된다(η_A 내지 η_D 는 각각 경로 A 내지 D의 전달 효율을 지칭함). 따라서 본 발명의 실시예들에 따른 최적화 방법은 전체 시스템 효율을 향상시키기 위해 아래의 3가지 에너지 관리 전략에 기반할 수 있다.

[0023] 첫째, 생성된 전력이 로드(30)의 수요를 초과하는 경우, 생성된 전력은 경로 A 또는 B와 같이 직접 로드(30)로 전달될 수 있다. 또한, 배터리(21)가 완충상태가 아니면, 경로 C와 같이 초과된 전력이 배터리(21)로 전달될 수 있다. 이 경우 초과된 AC전력은 경로 C에 도시된 바와 같이 정류기(41)에 의해 DC로 변환될 수 있다. 한편, 배터리(21)가 완충 상태인 경우, 초과된 전력은 경로 D와 같이 전해조(22a)로 공급될 수 있으며, 수소저장시스템(22)을 통해 저장될 수 있다.

[0024] 둘째, 생성된 전력이 로드(30)의 수요를 충족하지 못하고, 배터리(21)가 완충 상태이면, 먼저 생성된 전력이 경로 A 및 B와 같이 직접 로드(30)로 전달될 수 있으며, 그리고 나서 배터리(21)가 로드(30)의 남은 수요를 위해 경로 C와 같이 방전될 수 있다. 이때, 배터리(21)로부터 방전된 전력은 먼저 DC로드(32)에 직접 DC전력을 공급하고, 그리고 나서 인버터(44)로 전달되어 AC로드(31)로 공급될 수 있다.

[0025] 셋째, 수소저장시스템(22)은 생성된 전력이 로드(30)의 수요를 충족시키지 못하고, 배터리(21)가 완전히 방전되면, 로드(30)로 전력을 공급할 수 있다. 경로 D에 도시된 바와 같이, 연료전지(22f)에서 생성된 DC전력은 먼저 DC로드(32)로 바로 전달되고, 그리고 나서 인버터(44)를 거쳐 AC로드(31)로 전달될 수 있다. 이와 같은 에너지 관리 전략에 있어서, 수소저장시스템(22)은 배터리(21)의 충방전시 비활성화된 상태를 유지할 수 있으며, 배터리(21)가 완전히 충전 또는 방전된 경우에만 활성화될 수 있다.

[0026] 본 발명의 실시예들에 따른 최적화 방법은 상기와 같은 에너지 관리 전략에 기반하여 시스템 최적화를 위한 수

수소저장시스템(22)의 용량 등을 결정할 수 있다. 설명의 편의를 위해, 이하에서는 하나의 케이스를 가정하고, 이를 중심으로 본 실시예들에 따른 최적화 방법을 설명하도록 한다.

[0027] 도 3은 도 1에 도시된 시스템에 있어서 일(day) 전력 생산량을 예시한 도표이며, 도 4는 도 1에 도시된 시스템에 있어서 로드(부하)의 전력 소비량을 예시한 도표이다. 도 3은 태양광, 풍력 및 바이오메스의 일 전력 생산량을 3가지 케이스(Case 1 내지 3)로 예시하고 있으며, 도 4는 전력 소비량은 Case 1 내지 3에 공통으로 적용될 수 있다.

[0028] 본 실시예에 따른 최적화 방법은 상기와 같이 주어진 일 단위의 전력 생산량 및 소비량에 기반하여 편차분석을 통해 최소 외부 전력 공급량(Minimum Outsourced Electricity Supply, MOES) 및 익일 사용 가능한 과잉 전력(Available Excess Electricity for Next Day, AEEND)을 산출하는 단계를 포함할 수 있다. 이때, 편차분석은 열(heat), 용수(water) 등의 매개체가 사용되는 시스템에서 매개체의 시스템 내 이용률을 최대화하여 시스템 효율을 향상시키기 위한 기법 중 하나로 기 공지된 바 있다. 특히, 전력 시스템에 편차분석을 적용하여 최소 외부 전력 공급량(MOES), 익일 사용 가능한 과잉 전력(AEEND) 등을 산출하는 과정은 하기 참고문헌 등을 통해 제안된 바 있으므로(이른바, 파워편차분석), 본 명세서에서 최소 외부 전력 공급량(MOES) 및 익일 사용 가능한 과잉 전력(AEEND)을 산출하는 상세한 과정은 하기 참고문헌을 인용하기로 한다(참고문헌: Nor Erniza Mohammad Rozali 외 4인, Process Integration techniques for optimal design of hybrid power systems, Applied Thermal Engineering 2013; 61: 26-35). 다만, 상기 참고문헌의 파워편차분석은 에너지 저장수단으로 배터리만이 구비된 시스템에 기초하고 있으며, 따라서 상기의 최소 외부 전력 공급량(MOES) 및 익일 사용 가능한 과잉 전력(AEEND)은 수소저장시스템(22)이 제외된 시스템을 대상으로 하고 있음을 알려둔다.

[0029] 도 5는 도 3 및 4에 예시된 전력 생산량 및 소비량에 기반하여 최소 외부 전력 공급량(MOES) 및 익일 사용 가능한 과잉 전력(AEEND)을 산출한 결과이다. 도 5는 예시된 일 단위의 전력 생산량 및 소비량에 기반하여 편차분석(파워편차분석)을 통해 최소 외부 전력 공급량(MOES) 및 익일 사용 가능한 과잉 전력(AEEND)을 산출하고, 이를 월(month) 단위로 환산한 것으로, 1월부터 4월까지의 도 3의 케이스 1의 경우를, 5월부터 8월까지의 도 3의 케이스 2의 경우를, 9월부터 12월까지의 도 3의 케이스 3의 경우를 각각 조합한 것이다. 또한, 예시된 결과에서 배터리 용량의 최대치는 61.56kWh로 가정되었다.

[0030] 한편, 본 실시예에 따른 최적화 방법은 상기와 같이 월 단위의 최소 외부 전력 공급량(MOES) 및 익일 사용 가능한 과잉 전력(AEEND)이 산출되면, 각 월 단위의 시간구간에서 수소저장시스템(22)에 저장되는 전력(Stored Electricity, SE_{HT}) 및 수소저장시스템(22)으로부터 필요한 전력(Needed Electricity, NE_{HT})을 산출하는 단계를 포함할 수 있다. 이때, 수소저장시스템(22)의 저장 전력(SE_{HT}) 및 필요 전력(NE_{HT})은 앞서 산출된 최소 외부 전력 공급량(MOES) 및 익일 사용 가능한 과잉 전력(AEEND)을 통해 산출될 수 있다.

[0031] 구체적으로, 익일 사용 가능한 과잉 전력(AEEND)은 다음날의 최소 외부 전력 공급량(MOES)을 줄이는데 사용될 수 있다. 이때, 전술한 도 1을 참조하면, 최소 외부 DC/AC 전력 공급량(MOES_{AC}, MOES_{DC})은 경로 m-o-p 또는, 경로 m-n을 통해 전달되게 되므로, 이 과정에서 배터리(21)의 충방전 및 인버터(44) 효율에 의한 손실이 발생할 수 있다. 따라서 n번째 시간구간에서 초과 전력(Wasted Electricity, WE)은 하기 수학식 1에 의해 산출될 수 있다.

수학식 1

$$WE_n = AEEND_n - \frac{(MOES_{DC} + \frac{MOES_{AC}}{\eta_{inv}})}{\eta_{dis}}$$

[0032]

[0033] 상기 수학식 1에서 WE_n은 n번째 시간구간에서 초과 전력, n은 시간구간의 번호, η_{dis}는 배터리의 방전 효율, η_{inv}는 인버터의 효율을 나타낸다.

[0034] 또한, 전술한 도 1을 참조하면, 초과 전력(WE)은 경로 i-j를 거쳐 수소저장시스템(22)에 저장되게 되므로, 이

과정에서 초과 전력(WE)은 DC/DC1 컨버터(42) 및 전해조(22a)에 의해 손실되게 된다. 따라서 수소저장시스템(22)에 저장되는 전력($SE_{HT,n}$)은 하기 수학적식 2에 의해 산출될 수 있다.

수학적식 2

$$SE_{HT,n} = WE_n \cdot \eta_{DC/DC_1} \cdot \eta_{EL}$$

[0035]

상기 수학적식 2에서 $SE_{HT,n}$ 은 n번째 시간구간에서 수소저장시스템(22)에 저장되는 전력, n은 시간구간의 번호, η_{DC/DC_1} 및 η_{EL} 은 각각 DC/DC1 컨버터(42) 및 전해조(22a)의 효율을 나타낸다.

[0036]

다음으로, 수소저장시스템(22)으로부터 필요한 전력(NE_{HT})을 살펴보면, 먼저, 특정 시간구간(n)에서의 최소 외부 전력 공급량($MOES_n$)이 이전 시간구간(n-1)의 익일 사용 가능한 과잉 전력($AEEND$)보다 큰 경우(즉, $MOES_n > AEEND_{n-1}$), 필요한 전력이 수소저장시스템(22)으로부터 제공될 수 있다.

[0037]

반대의 경우에는 2가지 케이스가 고려되어야 한다. 먼저, 특정 시간구간(n)에서의 최소 외부 DC전력 공급량($MOES_{DC}$)이 이전 시간구간(n-1)의 익일 사용 가능한 과잉 전력($AEEND$)보다 작은 경우(즉, $MOES_{DC,n} < AEEND_{n-1}$), 최소 외부 DC전력 공급량($MOES_{DC}$)은 배터리(21)에 가용 가능한 과잉 전력($AEEND$) 전부가 공급되고, 나머지가 수소저장시스템(22)에 의해 공급될 수 있다. 또한, 사용 가능한 과잉 전력($AEEND$)이 전부 외부 DC전력 공급량($MOES_{DC}$)에 제공되었기 때문에, 최소 외부 AC전력 공급량($MOES_{AC}$)은 모두 수소저장시스템(22)에 의해 공급되어야 한다. 따라서 이 경우에 필요한 DC/AC 전력(NE_{DC} , NE_{AC})은 하기 수학적식 3을 통해 산출될 수 있다.

[0038]

수학적식 3

$$NE_{DC,n} = MOES_{DC,n} - (AEEND_{n-1} \cdot \eta_{dis})$$

[0039]

$$NE_{AC,n} = MOES_{AC,n}$$

[0040]

상기 수학적식 3에서 $NE_{DC,n}$ 은 n번째 시간구간에서 수소저장시스템(22)으로부터 필요한 DC전력, $NE_{AC,n}$ 은 n번째 시간구간에서 수소저장시스템(22)으로부터 필요한 AC전력, n은 시간구간 번호, η_{dis} 는 배터리(21)의 충방전 효율을 나타낸다.

[0041]

한편, 특정 시간구간(n)에서의 최소 외부 DC전력 공급량($MOES_{DC}$)이 이전 시간구간(n-1)의 익일 사용 가능한 과잉 전력($AEEND$)보다 큰 경우(즉, $MOES_{DC,n} > AEEND_{n-1}$), 사용 가능한 과잉 전력($AEEND$)은 최소 외부 DC전력 공급량($MOES_{DC}$)을 전부 공급하고, 나머지가 최소 외부 AC전력 공급량($MOES_{AC}$)을 일부 공급할 수 있다. 따라서 이 경우에 필요한 DC/AC 전력(NE_{DC} , NE_{AC})은 하기 수학적식 4를 통해 산출될 수 있다.

[0042]

수학적식 4

$$NE_{DC,n} = 0$$

[0043]

$$NE_{AC,n} = MOES_{AC,n} - ((AEEND_{n-1} \cdot \eta_{dis}) - MOES_{DC,n}) \cdot \eta_{inv}$$

[0044]

상기 수학적식 4에서 $NE_{DC,n}$ 은 n번째 시간구간에서 수소저장시스템(22)으로부터 필요한 DC전력, $NE_{AC,n}$ 은 n번째 시간

[0045]

구간에서 수소저장시스템(22)으로부터 필요한 AC전력, n 은 시간구간 번호, η_{dis} 는 배터리(21)의 충방전 효율, η_{inv} 는 인버터(44)의 효율을 나타낸다.

[0046] 한편, 전술한 도 1을 참조하면, 상기에서 산출된 DC전력(NE_{DC})은 경로 $k-1-n$ 을 통해, AC전력(NE_{AC})은 경로 $k-1-op$ 를 통해, 수소저장시스템(22)에서 각 로드(30)로 공급될 수 있다. 따라서 결국 수소저장시스템(22)으로부터 공급되어야 하는 필요전력(NE_{HT})은 하기 수학식 5를 통해 산출될 수 있다.

수학식 5

$$NE_{HT,n} = \left(\frac{NE_{DC,n}}{\eta_{DC/DC_2} \cdot \eta_{FC}} \right) + \left(\frac{NE_{AC,n}}{\eta_{inv} \cdot \eta_{DC/DC_2} \cdot \eta_{FC}} \right)$$

[0047]

[0048] 상기 수학식 5에서 $NE_{HT,n}$ 는 n 번째 시간구간에서 수소저장시스템(22)을 통해 공급되어야 하는 필요전력, η_{DC/DC_2} , η_{FC} , η_{inv} 는 각각 DC/DC₂ 컨버터(43), 연료전지(22f), 인버터(44)의 효율을 나타낸다.

[0049] 한편, 이상에서와 같은 산출 과정 및 이후의 산출 과정은 적산 테이블(cascade table)을 작성하여 이뤄질 수 있다. 도 6은 도 5에 예시된 케이스에 기반하여 적산 테이블(cascade table)을 작성한 예시이다. 도 6의 적산 테이블 작성에 있어서 각 구성요소들의 효율은 도 7과 같이 가정하였다.

[0050] 도 6을 참조하면, 컬럼 1 내지 3은 각 시간구간에 대한 사항이 작성될 수 있으며, 컬럼 4 내지 6에는 최소 외부 전력 공급량(MOES) 및 익일 사용 가능한 과잉 전력(AEEND)이 작성될 수 있다(도 5 참조). 또한, 컬럼 7 및 8의 필요 전력(NE)은 전술한 수학식 3, 4에 의해 산출될 수 있으며, 컬럼 9의 초과 전력(WE)은 전술한 수학식 1에 의해 산출될 수 있다. 한편, 컬럼 10의 수소저장시스템(22)으로부터 필요한 전력(N_{HT})은 전술한 수학식 5에 의해 산출될 수 있으며, 컬럼 11의 수소저장시스템(22)에 저장되는 전력(S_{HT})은 전술한 수학식 2에 의해 산출될 수 있다.

[0051] 한편, 본 실시예에 따른 최적화 방법은 상기와 같이 각 시간구간에 대하여 수소저장시스템(22)의 필요 전력(N_{HT}) 및 저장 전력(S_{HT})이 산출되면, 이를 통해 수소저장시스템(22)의 순수 저장/필요 전력(Net Stored/Needed Electricity, NeE_{HT})을 산출하는 단계를 포함할 수 있다. 상기의 순수 저장/필요 전력(NeE_{HT})은 하기 수학식 6을 통해 산출될 수 있다. 도 6의 컬럼 12는 예시된 케이스에서 순수 저장/필요 전력(NeE_{HT})을 산출한 결과를 나타내고 있다.

수학식 6

$$NeE_{HT,n} = SE_{HT,n} - NE_{HT,n}$$

[0052]

[0053] 상기 수학식 6에서 $NeE_{HT,n}$ 는 n 번째 시간구간에서 수소저장시스템(22)의 순수 저장/필요 전력을 나타낸다. 이때, 양수값의 NeE_{HT} 는 순수 저장 전력(Net Stored Electricity, $NeSE_{HT}$)을 의미할 수 있으며, 음수값의 NeE_{HT} 는 순수 필요 전력(Net Needed Electricity, $NeNE_{HT}$)을 의미할 수 있다.

[0054] 한편, 본 실시예에 따른 최적화 방법은 작동 첫해에 대해 각 시간구간의 수소저장시스템(22)에 누적되는 전력 용량(Hydrogen Tank Electricity Capacity, HTEC) 및 필요한 외부 전력 공급량(Required External Electricity Source, REES)을 산출하는 단계를 포함할 수 있다. 이때, 상기의 필요한 외부 전력 공급량(REES)은 수소저장시스템(22)을 포함한 시스템을 기준으로 하고 있다는 점에서, 전술한 최소 외부 전력 공급량(MOES)과 구분되는 것임을 알려준다.

[0055] 도 6의 컬럼 13을 참조하면, 수소저장시스템(22)에 누적된 전력 용량(HTEC)은 컬럼 12의 순수 저장/필요 전력(NeE_{HT})을 누적적으로 합산하여 산출될 수 있다. 다만, 누적값이 음수일 경우에는 음수값의 전력 저장이 있을 수 없으므로, 이와 같은 경우 누적된 전력 용량(HTEC)은 0으로 고려될 수 있다. 따라서 누적된 전력 용량(HTEC)은 하기 수학식 7과 같이 산출될 수 있다.

수학식 7

$$HTEC_n + NeE_{HT,n} \geq 0$$

$$HTEC_n = HTEC_{n-1} + NeE_{HT,n}$$

$$HTEC_n + NeE_{HT,n} < 0 \quad \text{이면,}$$

$$HTEC_n = 0$$

상기 수학식 7에서 $HTEC_n$ 은 n번째 시간구간에서 수소저장시스템(22)에 누적된 전력 용량, $NeE_{HT,n}$ 은 순수 저장/필요 전력(도 6의 컬럼 12 참조)를 나타낸다.

또한, 필요한 외부 전력 공급량(REES)은 하기 수학식 8에 의해 산출될 수 있으며, 예시된 케이스에서 필요한 외부 전력 공급량(REES)을 산출한 결과는 도 6의 컬럼 14 및 15와 같다.

수학식 8

$$(HTEC_{n-1} \cdot \eta_{FC} \cdot \eta_{DC/DC_2}) + NE_{DC,n} \geq 0$$

$$REES_{AC,n} = (((HTEC_{n-1} \cdot \eta_{FC} \cdot \eta_{DC/DC_2}) + NE_{DC,n}) \cdot \eta_{inv}) + NE_{AC,n}$$

$$REES_{DC,n} = 0$$

$$(HTEC_{n-1} \cdot \eta_{FC} \cdot \eta_{DC/DC_2}) + NE_{DC,n} < 0 \quad \text{이면,}$$

$$REES_{AC,n} = 0$$

$$REES_{DC,n} = (HTEC_{n-1} \cdot \eta_{FC} \cdot \eta_{DC/DC_2}) + NE_{DC,n}$$

상기 수학식 8에서 $REES_{AC,n}$ 은 n번째 시간구간에서 필요한 외부 AC전력 공급량, $REES_{DC,n}$ 은 n번째 시간구간에서 필요한 외부 DC전력 공급량을 나타내며, η_{FC} , η_{DC/DC_2} , η_{inv} 는 각각 연료전지(22f), DC/DC₂ 컨버터(43), 인버터(44)의 효율을 나타낸다(도 1의 전력 흐름 참조).

한편, 본 실시예에 따른 최적화 방법은 상기과 같이 수소저장시스템(22)에 누적된 전력 용량(HTEC) 및 필요한 외부 전력 공급량(REES)이 산출되면, 이를 통해 작동 첫해의 최소 외부 전력(Minimum External Electricity Sources during First Operation Year, MEESFOY) 및 수소저장시스템(22)에 저장되어 다음해 사용 가능한 과잉 전력(Accessible Surplus Electricity for Next Operation Year, ASENNOY)을 산출하는 단계를 포함할 수 있다.

[0070] 작동 첫해의 최소 외부 전력(MEESFOY)은 각 시간구간의 필요한 외부 전력 공급량(REES)을 합산하여 산출될 수 있으며, 하기 수학적 식 9와 같이 표현될 수 있다.

수학적 식 9

$$MEESFOY_{AC} = \sum_{n=1}^k REES_{AC}$$

[0071]

$$MEESFOY_{DC} = \sum_{n=1}^k REES_{DC}$$

[0072]

[0073] 상기 수학적 식 9에서 MEESFOY_{AC}는 작동 첫해의 최소 외부 AC전력, MEESFOY_{DC}는 작동 첫해의 최소 외부 DC전력을 나타낸다. 예시된 케이스에서 작동 첫해의 최소 외부 AC/DC 전력(MEESFOY_{AC} 및 MEESFOY_{DC})은 도 6의 컬럼 14 및 15의 하단과 같이 필요한 최소 외부 AC 전력(MEESFOY_{AC})은 0kWh, 최소 외부 DC 전력(MEESFOY_{DC})는 923kWh로 산출될 수 있다.

[0074] 한편, 마지막 시간구간에서 수소저장시스템(22)에 누적된 전력 용량(HTEC)은 다음해 사용 가능한 과잉 전력(ASENNOY)으로 정의될 수 있다. 따라서 도 6에 예시된 케이스에서 다음해 사용 가능한 과잉 전력(ASENNOY)은 컬럼 13의 마지막 행과 같이 56.97KWh로 산출될 수 있다.

[0075] 한편, 본 실시예에 따른 최적화 방법은 작동 첫해의 다음해부터인 통상 작동년에 대해 수소저장시스템(22)에 누적된 전력 용량(HTEC) 및 필요한 외부 전력 공급량(REES)을 산출하는 단계를 포함할 수 있다.

[0076] 통상 작동년에 있어 수소저장시스템(22)에 누적된 전력 용량(HTEC)은 전술한 수학적 식 7을 통해 산출될 수 있다. 다만, 작동 첫해로부터 사용 가능한 과잉 전력(ASENNOY)은 다음해인 통상 작동년에 누적적으로 합산될 수 있다. 즉, 도 6의 컬럼 16을 참조하면, 앞서 산출된 작동 첫해의 과잉 전력(ASENNOY) 56.97KWh는 다음해인 통상 작동년으로 이월되어 누적적으로 합산될 수 있다(컬럼 16의 첫 행 참조). 또한, 통상 작동년에 있어서 필요한 외부 전력 공급량(REES)은 전술한 수학적 식 8에 의해 산출될 수 있으며, 이는 도 6의 컬럼 17 및 18에 나타난 바와 같다.

[0077] 한편, 본 실시예에 따른 최적화 방법은 통상 작동년에 대해 산출된 수소저장시스템(22)의 누적된 전력 용량(HTEC)에 기반하여, 수소저장시스템(22)의 최적 용량(Appropriate Hydrogen Electricity Capacity, AHTEC)을 결정하는 단계를 포함할 수 있다. 이때, 상기의 최적 용량(AHTEC)은 통상 작동년의 누적된 전력 용량(HTEC) 중 최대치가 선택될 수 있다. 따라서 예시된 케이스에서 수소저장시스템(22)의 최적 용량(AHTEC)은 177.84kWh로 결정될 수 있다(도 6의 컬럼 16 참조).

[0078] 상기의 최적 용량(AHTEC)은 핀치분석이론에 의해 필요한 외부 전력 공급량(REES)을 최소로 하는 수소저장시스템(22)의 용량이 되게 된다. 이때, 통상 작동년에 있어서 필요한 외부 전력 공급량(Required External Electricity Sources during First Operation Year, REESNOY)은 각 시간구간의 외부 전력 공급량(REES)을 합산하여 산출될 수 있으며, 하기 수학적 식 10과 같이 나타낼 수 있다.

수학적 식 10

$$REESNOY_{AC} = \sum_{n=1}^k REES_{AC}$$

[0079]

$$REESNOY_{DC} = \sum_{n=1}^k REES_{DC}$$

[0080]

[0081] 상기 수학식 10에서 $REESNOY_{AC}$ 는 통상 작동년에 있어 필요한 외부 AC전력 공급량, $REESNOY_{DC}$ 는 통상 작동년에 있어 필요한 외부 DC전력 공급량을 나타낸다. 도 6에 예시된 케이스 있어 필요한 외부 AC전력 공급량($REESNOY_{AC}$) 및 필요한 외부 DC전력 공급량($REESNOY_{DC}$)은 컬럼 17 및 18의 마지막 행과 같이 각각 0kWh, 866kWh로 산출될 수 있다. 즉, 예시된 케이스의 경우, 수소저장시스템(22)이 최적 용량(177.84kWh)을 가지며, 최소 외부 공급 전력으로 866kWh의 AC전력이 요구됨을 알 수 있다.

[0082] 한편, 필요에 따라, 본 실시예에 따른 최적화 방법은 상기에서 산출된 수소저장시스템(22)의 최적 용량(AHTEC)에 기반하여, 수소저장시스템(22)의 각 구성요소인 전해조(22a), 수소탱크(22c) 및 연료전지(22f) 중 적어도 하나 이상의 용량을 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0083] 수소의 열 밀도는 0.0658 kWh/mol, 몰 부피(molar volume)는 0.0000446 mol/m³ at 25℃일 때, 상기에서 산출된 최적 용량(AHTEC)을 충족시키기 위한 수소탱크(22c)의 부피(Hydrogen Tank Volume, HTM)는 하기 수학식 11과 같이 산출될 수 있다.

수학식 11

$$HTV(m^3) = \frac{AHTEC \cdot M_{HT}}{0.0658 \cdot 0.0446 \cdot H_{PT}}$$

[0084]

[0085] 상기 수학식 11에서 HTM은 수소탱크(22c)의 부피, M_{HT} 는 초기 저장 용량 및 계절 변화를 고려한 마진 계수, H_{PT} 는 수소탱크(22c)의 압력을 나타내며, M_{HT} 는 2.5bar, H_{PT} 는 200bar로 고려될 수 있다.

[0086] 한편, 전해조(22a) 사이즈는 사용되는 전해조 셀(cell)의 개수로 정의될 수 있으며, 이는 하기 수학식 12와 같이 산출될 수 있다.

수학식 12

$$ELEC = \frac{AHTEC}{\eta_{EL}}$$

[0087]

$$N_{EL} = ELEC \cdot \frac{1000}{I_{EL} \cdot V_{EL} \cdot t_{AHTEC}}$$

[0088]

[0089] 상기 수학식 12에서 ELEC는 전해조(22a)의 전력 용량, η_{EL} 은 전해조(22a)의 효율(도 7 참조)을 나타낸다. 또한, N_{EL} 은 전해조 셀의 개수, I_{EL} 은 전해조(22a)의 통전 전류(A), V_{EL} 는 동작 전압(V), t_{AHTEC} 는 최적 용량(AHTEC)과 관련된 지속시간을 나타내며, I_{EL} 은 3.8A, V_{EL} 은 11.32V로 고려될 수 있다.

[0090] 연료전지(22f)의 사이즈 또한 사용되는 연료전지 셀(cell) 개수에 기반하여 정의될 수 있다. 앞서 본 전해조(22a)의 경우와 유사하게 연료전지 셀의 개수는 하기 수학식 13에 의해 산출될 수 있다.

수학식 13

$$FCEC = \frac{AHTEC}{\eta_{FC}}$$

$$N_{FC} = FCEC \cdot \frac{1000}{I_{FC} \cdot V_{FC} \cdot t_{AHTEC}}$$

상기 수학식 13에서 FCEC는 연료전지(22f)의 전력 용량, η_{FC} 는 연료전지(22f)의 효율(도 7 참조)을 나타낸다. 또한, N_{FC} 는 연료전지 셀의 개수, t_{AHTEC} 는 최적 용량(AHTEC)과 관련된 지속시간을 나타낸다. I_{FC} 및 V_{FC} 는 각각 연료전지(22f)의 출력 전류 및 출력 전압을 나타내며, 예컨대, I_{FC} 는 2.92A, V_{FC} 는 4.93V로 고려될 수 있다. 도 8은 예시된 케이스에서 상기와 같은 방법을 통해 수소저장시스템(22)의 각 구성요소들에 대한 용량을 산출한 결과이다.

이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명의 실시예들에 따른 최적화 방법은 에너지 저장수단으로 수소저장시스템(22)을 포함하는 하이브리드 재생에너지 시스템(S)에 있어서, 수소저장시스템(22)의 최적 용량을 산출할 수 있게 한다. 특히, 이와 같은 최적 용량은 종래의 핀치분석 또는 파워핀치분석을 확장한 것으로, 외부로부터 필요한 전력을 최소화할 수 있으며, 비교적 간단한 연산과정을 통해 신속하게 최적값을 찾을 수 있는 이점이 있게 된다.

한편, 이상에서 설명한 바와 같은 본 발명의 실시예들은 다양한 컴퓨터로 구현되는 동작을 수행하기 위한 프로그램 명령이나, 이러한 프로그램 명령이 기록된 컴퓨터로 판독 가능한 매체의 형태로 구현될 수 있다. 상기의 판독 가능한 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있으며, 예컨대, 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체, CD-ROM, DVD, USB 드라이브와 같은 광 기록 매체, 플롭티컬 디스크와 같은 자기-광 매체, 및 롬, 램, 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치를 포함할 수 있다.

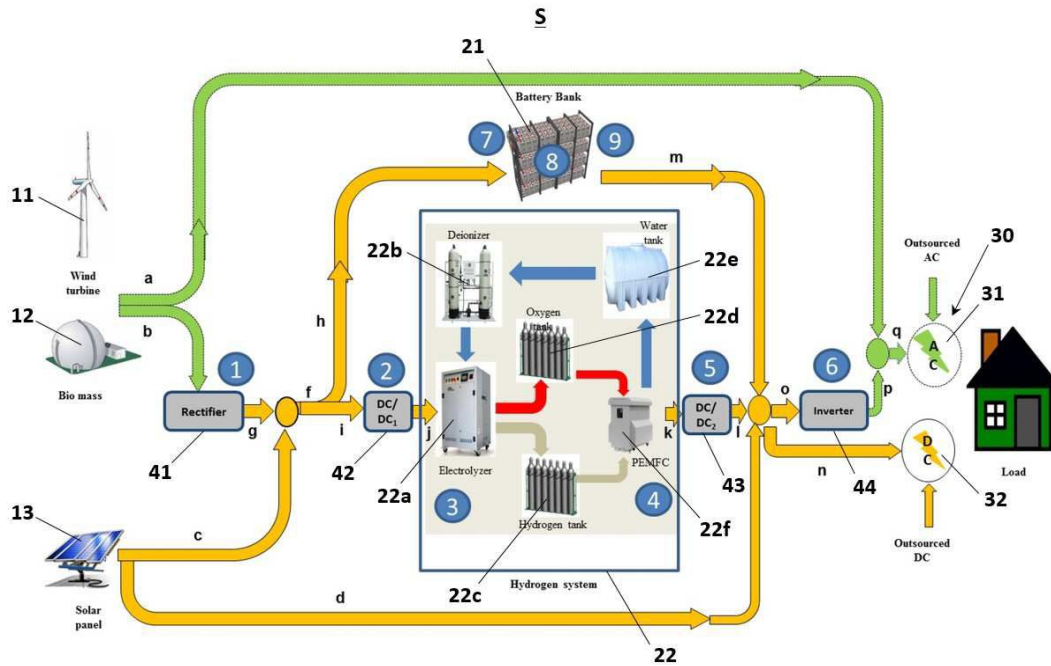
이상, 본 발명의 실시예들에 대하여 설명하였으나, 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 특허청구범위에 기재된 본 발명의 사상으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서, 구성 요소의 부가, 변경, 삭제 또는 추가 등에 의해 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있을 것이며, 이 또한 본 발명의 권리범위 내에 포함된다고 할 것이다.

부호의 설명

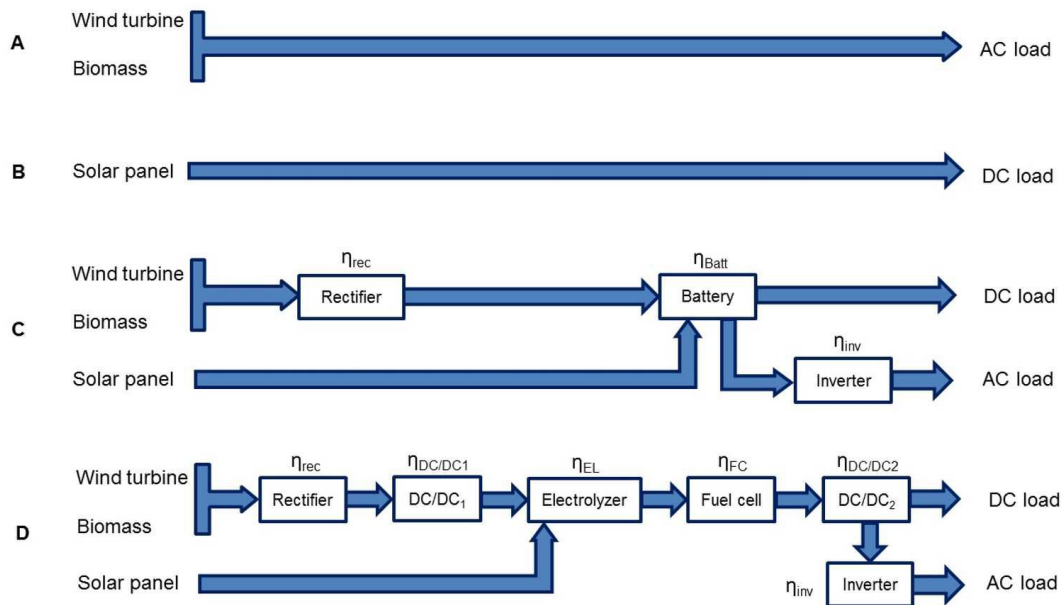
S: 하이브리드 재생에너지 시스템	11: 풍력
12: 바이오메스	13: 태양광
21: 배터리	22: 수소저장시스템
22a: 전해조	22b: 탈이온화기
22c: 수소탱크	22d: 산소탱크
22e: 워터탱크	22f: 연료전지
31: AC로드	32: DC로드
41: 정류기	42: DC/DC ₁ 컨버터
43: DC/DC ₂ 컨버터	44: 인버터

도면

도면1



도면2



도면3

Table Power sources for three daily case studies

Power source	Time, h		Time interval, kW	Power rating generated, kW		
	From	To		Case 1	Case2	Case3
Solar	8	18	10	5	5	6
Wind	2	10	8	6	5	6
Biomass	0	24	24	8	8	4

도면4

Table Power load demands for three daily case studies

Power demand consumers		Time, h	Time interval, h		Power rating, kW	Electricity consumption, kWh
AC	DC		From	To		
Consumer 1		24	0	24	3	72
	Consumer 2	10	8	18	5	50
Consumer 3		24	0	24	2	48
	Consumer 4	10	8	18	5	50
	Consumer 5	12	8	20	4	48

도면5

Table Monthly values of MOES and AEEND for the case study calculated by PoPA

Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
AEEND (DC) kWh	307.8	307.8	307.8	307.8	205.2	205.2	205.2	205.2	61.3	61.3	61.3	61.3
MOES (AC) kWh	0	0	0	0	0	0	0	0	60	60	60	60
MOES (DC) kWh	185.5	185.5	185.5	185.5	414.1	414.1	414.1	414.1	0	0	0	0

도면6

Table Modified Extended-Power Storage Cascade Table for the case study

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Interval number (n)	Time (month) (t)	Time duration (month)	AEEND (kWh)	MOES (kWh)	NE (kWh)	WE (kWh)	NE _{irr} (kWh)	SE _{irr} (kWh)	NE _{irr} (kWh)	Hydrogen Tank Electricity Capacity (DC) kWh	REES (kWh)	Hydrogen Tank Electricity capacity (DC) kWh	REES (kWh)	Hydrogen Tank Electricity capacity (DC) kWh	REES (kWh)	Hydrogen Tank Electricity capacity (DC) kWh	REES (kWh)
1	0	1	0.0	185.5	0.0	0.0	-300.40	0.00	-300.40	0.00	0.00	56.97	0.00	186	0.00	150	0.00
2	1	1	307.8	185.5	0.0	70.91	0.00	59.28	59.28	59.28	0.00	59.28	0.00	0	0.00	0	0.00
3	2	1	307.8	185.5	0.0	70.91	0.00	59.28	59.28	118.56	0.00	118.56	0.00	0	0.00	0	0.00
4	3	1	307.8	185.5	0.0	70.91	0.00	59.28	59.28	177.84	0.00	177.84	0.00	0	0.00	0	0.00
5	4	1	205.2	414.1	0.0	-137	-221.95	0.00	-221.95	0.00	0.00	0.00	0.00	49	0.00	27.2	0.00
6	5	1	205.2	414.1	0.0	-229	-371.49	0.00	-371.49	0.00	0.00	0.00	0.00	229	0.00	229	0.00
7	6	1	205.2	414.1	0.0	-229	-371.49	0.00	-371.49	0.00	0.00	0.00	0.00	229	0.00	229	0.00
8	7	1	205.2	414.1	0.0	-229	-371.49	0.00	-371.49	0.00	0.00	0.00	0.00	229	0.00	229	0.00
9	8	1	61.3	60.0	0.0	114.50	0.00	95.73	95.73	95.73	0.00	95.73	0.00	0	95.73	0.00	0
10	9	1	61.3	60.0	0.0	0	-12.92	0.00	-12.92	82.81	0.00	82.81	0.00	0	82.81	0.00	0
11	10	1	61.3	60.0	0.0	0	-12.92	0.00	-12.92	69.89	0.00	69.89	0.00	0	69.89	0.00	0
12	11	1	61.3	60.0	0.0	0	-12.92	0.00	-12.92	56.97	0.00	56.97	0.00	0	56.97	0.00	0
	12	1	61.3	60.0	0.0	0	-12.92	0.00	-12.92		0.00		0.00	0			
											0.00		0.00	923		0.00	866

도면7

Table Efficiencies of the storage components

Component	inverter	DC/DC converter	Electrolyzer	Fuel cell	Rectifier	Battery discharging
Efficiency (%)	95	95	88	65	95	90

도면8

Table Size of the Hydrogen Tank, Electrolyzer, and Fuel Cell

Hydrogen tank		Electrolyzer		PEMFC	
AHTC (kWh)	V_{HT} (m^3)	ELC_a (kWh)	$N_{EL,a}$ (Ea)	FCC_a (kWh)	$N_{FC,a}$ (Ea)
177.84	757.49	202.1	156.6	273.6	633.53