



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0150996
(43) 공개일자 2024년10월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01M 10/48 (2021.01) G01N 33/00 (2006.01)
H01M 10/0525 (2010.01) H01M 10/42 (2014.01)
(52) CPC특허분류
H01M 10/482 (2023.08)
G01N 33/0004 (2024.05)
(21) 출원번호 10-2023-0046905
(22) 출원일자 2023년04월10일
심사청구일자 2023년04월10일

(71) 출원인
한국기술교육대학교 산학협력단
충청남도 천안시 동남구 병천면 충절로 1600 (한
국기술교육대학교내)
(72) 발명자
노대석
충청남도 천안시 서북구 월봉로 131, 106-101(쌍
용동, 용암마을아파트)
한병길
경기도 성남시 분당구 서현로321번길 11(서현동)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김민태

전체 청구항 수 : 총 5 항

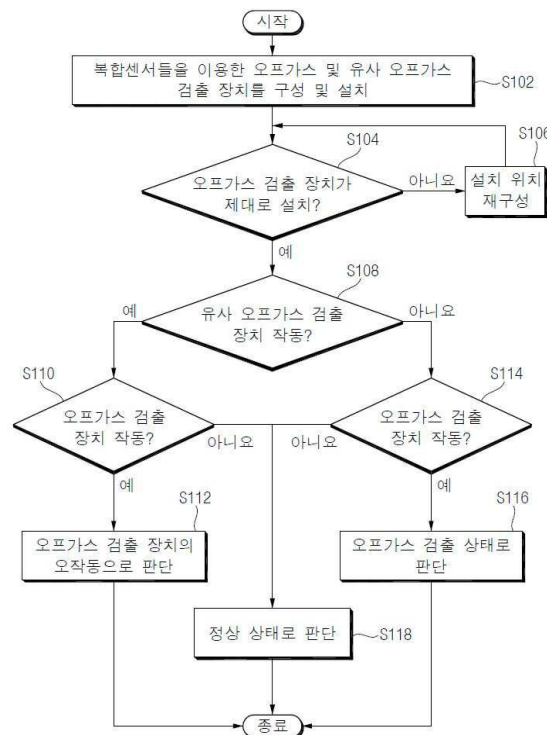
(54) 발명의 명칭 ESS용 리튬이온전지의 열폭주 방지용 오프가스 검출 방법 및 시스템

(57) 요약

초기에 오프가스 성분을 검출하지 못하더라도 이후 발생하는 오프가스 성분 검출을 통해 최대한 신속하고 정확하
게 오프가스 발생을 판단할 수 있는 ESS용 리튬이온전지의 열폭주 방지용 오프가스 검출 방법 및 시스템이 개시
된다. ESS용 리튬이온전지의 열폭주 방지용 오프가스 검출 방법은, (i) 에너지 저장 시스템(energy storage

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도3



system, ESS)용 리튬이온전지의 오프가스 성분을 검출하는 복수개의 센서로 오프가스 검출장치와 유사 오프가스 검출장치를 구성하는 단계; (ii) 상기 유사 오프가스 검출장치가 작동되고 상기 오프가스 검출장치가 작동되는 것으로 체크되면 상기 오프가스 검출장치의 오작동으로 판단하는 단계; (iii) 상기 유사 오프가스 검출장치가 작동되지 않고 상기 오프가스 검출장치가 작동되는 것으로 체크되면 오프가스 검출 상태로 판단하는 단계; 및 (iv) 상기 유사 오프가스 검출장치의 작동 여부와 무관하게 상기 오프가스 검출장치가 작동되지 않는 것으로 체크되면 정상 상태로 판단하는 단계를 포함한다.

(52) CPC특허분류

H01M 10/0525 (2013.01)

H01M 10/4207 (2013.01)

H01M 10/4285 (2013.01)

H01M 2220/10 (2013.01)

Y02E 60/10 (2020.08)

(72) 발명자

김지명

충청남도 천안시 동남구 병천면 충절로 1636, 명품
에덴빌 201호

유현상

충청남도 천안시 동남구 병천면 충절로 1634-17,
4동 204호

이예빈

충청남도 천안시 동남구 병천면 충절로 1628-11,
305호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415180667
과제번호	20214910100010
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국에너지기술평가원
연구사업명	고신뢰장주기대용량RFB-ESS(수십MWh급)기술개발사업
연구과제명	대용량(1MWh 이상) VRFB-ESS 현장평가(SAT) 기술기준 및 시험평가 기기 개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	(재)한국화학융합시험연구원
연구기간	2022.02.01 ~ 2022.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	22131
과제번호	12031282099340001
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	국가과학기술연구회
연구사업명	신통합 이지바로
연구과제명	VPL 플랫폼 운영기술 및 비즈니스 모델 개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	한국에너지기술연구원
연구기간	2022.12.01 ~ 2023.11.30

명세서

청구범위

청구항 1

- (i) 에너지 저장 시스템(energy storage system, ESS)용 리튬이온전지의 오프가스 성분을 검출하는 복수개의 센서로 오프가스 검출장치와 유사 오프가스 검출장치를 구성하는 단계;
- (ii) 상기 유사 오프가스 검출장치가 작동되고 상기 오프가스 검출장치가 작동되는 것으로 체크되면 상기 오프가스 검출장치의 오작동으로 판단하는 단계;
- (iii) 상기 유사 오프가스 검출장치가 작동되지 않고 상기 오프가스 검출장치가 작동되는 것으로 체크되면 오프가스 검출 상태로 판단하는 단계; 및
- (iv) 상기 유사 오프가스 검출장치의 작동 여부와 무관하게 상기 오프가스 검출장치가 작동되지 않는 것으로 체크되면 정상 상태로 판단하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 ESS용 리튬이온전지의 열폭주 방지용 오프가스 검출 방법.

청구항 2

에너지 저장 시스템(energy storage system, ESS)용 리튬이온전지의 오프가스 성분을 검출하는 오프가스 센서를 갖는 센서부를 포함하여, 오프가스와 유사 오프가스를 각각 검출하는 오프가스 검출장치 및 유사 오프가스 검출장치; 및

상기 오프가스 검출장치 및 유사 오프가스 검출장치에 연결된 데이터 변환기, 게이트웨이 제어부 및 모니터링장치를 포함하는 검출장치용 제어-모니터링장치를 포함하되, 상기 모니터링장치는,

- (ii) 상기 유사 오프가스 검출장치가 작동되고 상기 오프가스 검출장치가 작동되는 것으로 체크되면 상기 오프가스 검출장치의 오작동으로 판단하고,
- (iii) 상기 유사 오프가스 검출장치가 작동되지 않고 상기 오프가스 검출장치가 작동되는 것으로 체크되면 오프가스 검출 상태로 판단하고,
- (iv) 상기 유사 오프가스 검출장치의 작동 여부와 무관하게 상기 오프가스 검출장치가 작동되지 않는 것으로 체크되면 정상 상태로 판단하는 것을 특징으로 하는 ESS용 리튬이온전지의 열폭주 방지용 오프가스 검출 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 오프가스 검출장치는 리튬이온전지에 인접하게 설치되고, 상기 유사 오프가스 검출장치는 외기 유입구에 설치된 것을 특징으로 하는 ESS용 리튬이온전지의 열폭주 방지용 오프가스 검출 시스템.

청구항 4

제2항에 있어서,

캠버시스템부, 가열장치부 및 소화장치부를 포함하고, 리튬이온전지 오프가스 및 열폭주 시험을 수행하는 보조 시험장치; 및

센싱선, 제어선, 온도제어선 및 데이터계측선을 포함하는 신호선을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 ESS용 리튬이온전지의 열폭주 방지용 오프가스 검출 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 신호선은 차폐 케이블 또는 트위스트 페어 선을 포함하는 것을 특징으로 하는 ESS용 리튬이온전지의 열폭주 방지용 오프가스 검출 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 ESS용 리튬이온전지의 열폭주 방지용 오프가스 검출 방법 및 시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는 최대한 신속하고 정확하게 오프가스 발생을 판단할 수 있는 ESS용 리튬이온전지의 열폭주 방지용 오프가스 검출 방법 및 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 전 세계는 탄소배출을 줄이기 위하여 신재생에너지 보급을 위해 노력하고 있다. 하지만, 재생에너지 발전의 핵심 장치인 에너지 저장 시스템(energy storage system, ESS)에서 다수의 화재사고가 발생하여 많은 재산피해가 보고되고 있다. 이러한 ESS의 화재사고를 막기 위해 충전을 제한, 운영제도 개편 등의 권고 사항을 발표하고, 리튬이온전지 제조사는 자체적으로 화재 예방, 차단 장비 설치 등의 자구책을 적용하고 있으며, 학계에서는 ESS의 안전확보를 위한 연구가 활발히 진행되고 있지만, 지속적으로 ESS의 화재사고가 발생하여 업계에 큰 타격을 주고 있다.

[0003] ESS의 화재는 리튬이온전지의 열폭주로 인해 화재 규모가 커지며, 기존의 소화설비로 화재를 소화나 진압을 할 수 없어 리튬이온전지의 열폭주를 사전에 방지하는 연구가 요구되고 있다. 국외 ESS의 화재사고 분석 보고서에 의하면, 전지에서 발생하는 오프가스 검출을 통해 리튬이온전지의 열폭주를 방지하여 ESS의 화재를 예방할 수 있다고 한다.

[0004] 한편, 대다수의 상용화된 ESS용 리튬이온전지의 배터리 운영 시스템(BMS)은 벤팅 단계의 오프가스를 검출하기 어렵기 때문에 오프가스를 검출할 수 있는 센서시스템이 추가적으로 요구된다. 여기서, 오프가스는 다양한 성분으로 이루어진 가스이고, 사고에 따라 발생하는 성분의 종류와 순서가 다르므로, 특정 오프가스 성분 검출 센서만 사용할 경우, 오프가스 조기 검출에 실패할 가능성이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 대한민국등록특허 제10-2469417호(2022. 11. 22., 공고)(발명의 명칭: ESS 열폭주 이상징후 조기 검출시스템 및 방법)

(특허문헌 0002) 대한민국공개특허 제10-2023-0036802호(2023. 03. 15., 공개)(발명의 명칭 : 화재 감지 정확성 및 신뢰도를 높인 화재감지 시스템)

(특허문헌 0003) 대한민국등록특허 제10-2116720호(2020. 05. 29., 공고)(발명의 명칭: 전기에너지 저장시스템 및 전기에너지 저장시스템의 화재예방 방법)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 이에 본 발명의 기술적 과제는 이러한 점에 착안한 것으로, 본 발명의 목적은 초기에 오프가스 성분을 검출하지 못하더라도 이후 발생하는 오프가스 성분 검출을 통해 최대한 신속하고 정확하게 오프가스 발생을 판단할 수 있는 ESS용 리튬이온전지의 열폭주 방지용 오프가스 검출 방법을 제공하는 것이다.

[0007] 본 발명의 다른 목적은 상기한 ESS용 리튬이온전지의 열폭주 방지용 오프가스 검출 방법을 수행하기 위한 ESS용 리튬이온전지의 열폭주 방지용 오프가스 검출 시스템을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기한 본 발명의 목적을 실현하기 위하여 일실시예에 따른 ESS용 리튬이온전지의 열폭주 방지용 오프가스 검출 방법은, (i) 에너지 저장 시스템(energy storage system, ESS)용 리튬이온전지의 오프가스 성분을 검출하는 복수개의 센서로 오프가스 검출장치와 유사 오프가스 검출장치를 구성하는 단계; (ii) 상기 유사 오프가스 검출장

치가 작동되고 상기 오프가스 검출장치가 작동되는 것으로 체크되면 상기 오프가스 검출장치의 오작동으로 판단하는 단계; (iii) 상기 유사 오프가스 검출장치가 작동되지 않고 상기 오프가스 검출장치가 작동되는 것으로 체크되면 오프가스 검출 상태로 판단하는 단계; 및 (iv) 상기 유사 오프가스 검출장치의 작동 여부와 무관하게 상기 오프가스 검출장치가 작동되지 않는 것으로 체크되면 정상 상태로 판단하는 단계를 포함한다.

[0009] 상기한 본 발명의 다른 목적을 실현하기 위하여 일실시예에 따른 ESS용 리튬이온전지의 열폭주 방지용 오프가스 검출 시스템은, 에너지 저장 시스템(energy storage system, ESS)용 리튬이온전지의 오프가스 성분을 검출하는 오프가스 센서를 갖는 센서부를 포함하여, 오프가스와 유사 오프가스를 각각 검출하는 오프가스 검출장치 및 유사 오프가스 검출장치; 및 상기 오프가스 검출장치 및 유사 오프가스 검출장치에 연결된 데이터 변환기, 게이트웨이 제어부 및 모니터링장치부를 포함하는 검출장치용 제어-모니터링장치를 포함하되, 상기 모니터링장치는, (ii) 상기 유사 오프가스 검출장치가 작동되고 상기 오프가스 검출장치가 작동되는 것으로 체크되면 상기 오프가스 검출장치의 오작동으로 판단하고, (iii) 상기 유사 오프가스 검출장치가 작동되지 않고 상기 오프가스 검출장치가 작동되는 것으로 체크되면 오프가스 검출 상태로 판단하고, (iv) 상기 유사 오프가스 검출장치의 작동 여부와 무관하게 상기 오프가스 검출장치가 작동되지 않는 것으로 체크되면 정상 상태로 판단하는 것을 특징으로 한다.

[0010] 일실시예에서, 상기 오프가스 검출장치는 리튬이온전지에 인접하게 설치되고, 상기 유사 오프가스 검출장치는 외기 유입구에 설치될 수 있다.

[0011] 일실시예에서, ESS용 리튬이온전지의 열폭주 방지용 오프가스 검출 시스템은 챔버시스템부, 가열장치부 및 소화장치부를 포함하고, 리튬이온전지 오프가스 및 열폭주 시험을 수행하는 보조시험장치; 및 센싱선, 제어선, 온도 제어선 및 데이터계측선을 포함하는 신호선을 더 포함할 수 있다.

[0012] 일실시예에서, 상기 신호선은 차폐 케이블 또는 트위스트 페어 선을 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0013] 이러한 ESS용 리튬이온전지의 열폭주 방지용 오프가스 검출 방법 및 시스템에 의하면, 초기에 오프가스 성분을 검출하지 못하더라도 이후 발생하는 오프가스 성분 검출을 통해 최대한 신속하고 정확하게 오프가스 발생을 판단할 수 있다. 또한 오프가스 검출장치와 유사 오프가스 검출장치가 동시에 동작하여 유사 오프가스에 의한 오프가스 센서의 오동작을 방지할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0014] 도 1은 리튬이온전지 랙의 공기흐름을 고려한 오프가스 검출장치 설치 위치를 설명하기 위한 도면들이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 ESS용 리튬이온전지의 열폭주 방지용 오프가스 검출 시스템을 설명하기 위한 블록도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 ESS용 리튬이온전지의 열폭주 방지용 오프가스 검출 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 4는 열폭주 메커니즘 및 오프가스 검출장치의 설치 위치를 확인하기 위한 시험 A의 시험장치를 설명하기 위한 구성도이다.

도 5는 열폭주 메커니즘 및 오프가스 검출장치의 설치 위치를 확인하기 위한 시험 A의 오프가스 검출장치의 설치 위치를 설명하기 위한 도면이다.

도 6은 오프가스 검출을 통한 열폭주 방지 시험을 위한 시험 B의 시험장치를 설명하기 위한 구성도이다.

도 7은 유사 오프가스 유입에 따른 오프가스 센서의 오동작 방지 시험을 위한 시험 C의 시험장치를 설명하기 위한 구성도이다.

도 8은 리튬이온전지의 외부 가열시험에 의한 열폭주 특성을 설명하기 위한 도면이다.

도 9는 리튬이온전지 열폭주 및 설치 위치별 특성을 설명하기 위한 그래프이다.

도 10은 오프가스 검출장치의 동작 특성을 설명하기 위한 그래프이다.

도 11은 오프가스 오동작 방지 특성을 설명하기 위한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] 이하, 첨부한 도면들을 참조하여, 본 발명을 보다 상세하게 설명하고자 한다. 본 발명은 다양한 변형을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 본문에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 개시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변형, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0016] 각 도면을 설명하면서 유사한 참조부호를 유사한 구성요소에 대해 사용하였다. 첨부된 도면에 있어서, 구조물들의 치수는 본 발명의 명확성을 기하기 위하여 실제보다 확대하여 도시한 것이다.

[0017] 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다.

[0018] 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0019] 또한, 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[0020] ESS용 리튬이온전지의 오프가스와 열폭주가 발생하는 단계는 스트레스, 벤팅, 연기발생 및 열폭주로 분류된다.

[0021] 먼저, 스트레스 단계에서는 셀에 전기적, 열적, 물리적 외부 스트레스가 가해지거나, 품질 불량으로 인하여 셀 내부의 온도가 상승한다. 이때, 셀 내부의 온도 상승이 지속되면, 셀의 전해질이 기화되어 오프가스 기체로 변화된다. 이 단계의 오프가스 성분은 표 1과 같이 전해질 증기성분과 분해 및 반응 가스성분으로 구성되며, 이들 성분이 증가할수록 셀 내부의 압력도 증가한다.

[0022] [표 1]

battery electrolyte	decomposition gas	reaction gas
diethyl carbonate	butane	
ethylene carbonate	acetylene	
dimethyl carbonate	ethylene methane	hydrogen
ethyl Methyl carbonate	hexane	carbon monoxide
propylene carbonate	benzene	etc
vinylene carbonate	toluene	
etc	etc	

[0023]

[0024] 표 1을 참조하면, 분해가스(decomposition gas)는 전해질 성분의 분자식이 고온/고압에 의해 분리되어 새로운 가스로 생성되는 것이고, 반응 가스(reaction gas)는 전해질 가스와 양극재 등이 고온/고압에 의해 반응하여 새로운 가스로 결합되는 것이다.

[0025] 또한, 벤팅 단계는 셀의 내부 압력이 증가하여 일정 압력 값을 초과하는 경우, 셀의 보호기능 중 하나인 벤팅에 의하여 전해질 가스와 분해 및 반응 가스 등을 셀 밖으로 배출시키는 현상을 말한다. 이 단계에서 오프가스의 성분은 리튬이온전지의 종류(LCO, NMC, LFP, 등)와 스트레스 조건, 환경 조건, SOC 등에 따라 다르게 발생되며, 벤팅 발생의 초기에는 기화된 전해질 성분으로 구성되고, 시간이 경과 할수록 분해 및 반응 가스성분의 비율이 증가한다.

[0026] 한편, 연기발생 단계는 벤팅 발생 이후, 지속적인 스트레스로 인하여 셀의 내부 온도가 증가하고 분리막이 녹아 순간적으로 다량의 연기가 발생하는 현상을 말한다. 여기서, 내부 단락이 발생하는 경우, 고열에 의해 점화되어

화재가 발생할 수 있는데, 이러한 현상을 열폭주(thermal runaway) 또는 열폭주 단계라고 한다. 이러한 열폭주는 내부 에너지가 모두 소진될 때까지 끊임없이 열과 산소를 생성시키고, 인접한 셀에 열적 충격을 가하여 화재를 전파할 수 있다.

[0027] 본 발명에서는 리튬이온전지 오프가스를 정확하게 검출하여 열폭주를 신속하게 차단하고, ESS 화재를 방지할 수 있는 리튬이온전지의 열폭주 방지용 오프가스 검출 알고리즘을 제시한다.

[0028] 오프가스가 발생하는 벤팅 단계의 셀 내부는 고온, 고압의 환경이며, 이때 발생하는 오프가스 역시 고온 상태이다. 따라서, 발생한 오프가스는 대류현상에 의해 상승하게 되는데, 제조사마다 리튬이온전지 랙의 구성이 달라지기 때문에 벤팅 시 오프가스를 검출할 수 있는 위치가 상이하여, 획일화된 오프가스 검출 방식을 적용하면 검출 실패의 원인이 될 수 있다.

[0029] 따라서, 본 발명에서는 도 1과 같이 리튬이온전지(모듈 또는 랙)에 설치된 팬의 공기 흐름을 고려한 오프가스 검출장치의 적절한 설치 위치를 제안한다.

[0030] 도 1은 리튬이온전지 랙의 공기흐름을 고려한 오프가스 검출장치 설치 위치를 설명하기 위한 도면들이다.

[0031] 도 1의 (a)는 공기 흐름이 후면에서 전면으로 이동하는 전면 배출 구조를 나타내며, 전면 상단에 오프가스 검출장치를 설치하면 효과적이다. 도 1의 (b)는 전면에서 후면으로 공기 흐름이 이동하는 후면 배출 구조이며, 후면 상단에 오프가스 검출장치를 설치해야 한다. 도 1의 (c)는 상단에서 하단으로 공기 흐름이 있는 하단 배출 구조로, 하단 중앙에 오프가스 검출장치를 설치해야 한다. 도 1의 (d)는 하단에서 상단으로 공기 흐름이 있는 상단 배출 구조이기 때문에, 상단 중앙에 오프가스 검출장치를 설치해야 한다.

[0032] 예를 들어, 국내 제조업체 L사의 리튬이온전지 모듈은 전면에 팬이 설치되어 있어, 전면에서 공기를 흡입하여 후면으로 배출하는 구조이므로, 오프가스 검출장치는 후면 상단, 즉 도 1의 (b) 위치에 설치되어야 신속하고 정확하게 오프가스를 검출할 수 있다.

[0033] 한편, 오프가스 구성 성분은 구두약이나 접착제, 청소용 세정제 등 일상생활에서 쉽게 접할 수 있는 제품에도 포함되어 있어, 유사 오프가스 성분으로 인해 오프가스 검출장치가 오동작될 가능성이 있다.

[0034] 따라서, 계통에서 운용 중인 ESS가 검출장치의 동작으로 비상정지되면 손실이 발생 될 수 있어, 유사 오프가스 대책 방안이 요구된다.

[0035] 일반적으로 ESS용 리튬이온전지는 전지실과 같은 독립된 공간에 설치되어 외부와 내부를 구분할 수 있으므로, 리튬이온전지에서 발생하지 않은 유사 오프가스는 전지실 외부에서 유입되는 기체이다. 또한, 유사 오프가스를 검출하기 위해서는 출입문, 배기팬, 과압배출구 등 외기가 유입될 수 있는 위치에 오검출 방지용 오프가스 검출장치를 설치해야 한다.

[0036] 한편, 리튬이온전지에서 발생하는 오프가스와 외부에서 유입되는 유사 오프가스를 구분하기 위한 경우의 수를 나타내면 표 2와 같다.

[0037] [표 2]

off-gas sensor	irrelevant gas sensor	status	detection cases
no detection	no detection	no off-gas detection	normal
detection	no detection	off-gas detected	normal
no detection	detection	irrelevant gas detected	normal
detection	detection	irrelevant gas and off-gas detected	malfunction

[0038]

[0039] 표 2를 참조하면, 오프가스 미발생은 두 센서 모두 동작하지 않는 상태이며, 오프가스 발생은 오프가스 센서만 동작한 상태를 나타낸다. 또한, 유사 오프가스 유입은 오검출방지 센서만 동작한 상태이며, 오프가스 발생 및 유사 오프가스 유입은 두 센서 모두 동작한 상태를 나타낸다.

- [0040] 따라서, 오프가스 센서와 유사 오프가스 센서가 동시에 동작하는 경우, 유사 오프가스에 의한 오프가스 센서의 오동작을 방지할 수 있음을 알 수 있다.
- [0041] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 ESS용 리튬이온전지의 열폭주 방지용 오프가스 검출 시스템을 설명하기 위한 블록도이다.
- [0042] 도 2를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 ESS용 리튬이온전지의 열폭주 방지용 오프가스 검출 시스템은, 오프가스와 유사 오프가스를 검출하기 위해 각종 센서류를 포함하는 가스 검출장치(110), 제어-모니터링장치(120), 보조시험장치(130) 및 신호선(140)을 포함하여, 리튬이온전지의 오프가스를 정확하고 신속하게 검출할 수 있다.
- [0043] 가스 검출장치(110)는 먼지 센서, 산소 센서, 연기 센서, 오프가스 센서, 일산화탄소 센서 및 알코올 센서를 포함하여 오프가스와 유사 오프가스를 검출하는 센서부(112)와, MCU, DAC 발생장치 및 커넥터를 포함하는 DAC 변환부(미도시)를 포함한다. 본 실시예에서, 오프가스를 검출하는 가스 검출장치는 오프가스 검출장치로 칭하고 유사 오프가스를 검출하는 가스 검출장치는 유사 오프가스 검출장치로 칭하기로 한다. 즉, 오프가스를 검출하도록 센서를 구성하여 특정 위치에 배치하면 오프가스 검출장치이고, 유사 오프가스를 검출하도록 센서를 구성하여 특정 위치에 배치하면 유사 오프가스 검출장치이다. 먼지 센서는 $2.5\mu\text{m} \sim 10\mu\text{m}$ 크기의 먼지를 검출하고, 산소 센서는 0.01% 분해능을 가지며, 오프가스 센서는 기체 상태의 전지 전해질과 분해 및 반응 가스를 검출하고, 일산화탄소 센서는 0~500ppm의 일산화탄소 농도를 측정하며, 알코올 센서는 0~800ppm의 알코올 농도를 검출할 수 있다. 한편, 일반적인 센서는 아날로그 출력 값을 디지털변환 없이 사용하지만, 일부 센서는 아날로그 값으로 변환하는 DAC(digital to analog convert) 장치에 의해 구성한다. 구성된 센서 중에서, 먼지 센서와 산소 센서, 알코올 센서는 DAC 변환부와 연동하여 측정값을 출력한다. 여기서, DAC 변환부는 MCU와 DAC 발생장치, 커넥터, 등으로 구성될 수 있다. MCU는 각 센서들의 출력을 입력받아 DAC 발생장치에 전달하는 역할을 하며, 개발보드인 ARDUINO NANO로 구성한다. DAC 발생장치는 MCU의 출력 신호로부터 제어 및 모니터링부에 필요한 아날로그 전압(0 ~ 5V)으로 변환시키는 장치로, ARDUINO 개발보드와 호환성이 높은 MCP4725를 사용한다. DAC 발생장치의 아날로그 전압 출력 안정화를 위한 절연을 위하여, MCU와 DAC 발생장치간 포토-커플러를 설계 적용한다.
- [0044] 제어-모니터링장치(120)는 데이터 변환기(122)와, 가스 검출장치(110)와 보조시험장치(130)의 배기장치와 가열장치의 전원을 제공하는 전력변환장치(SMPS)(124a) 및 상태를 관리하는 차단제어장치(124b)을 포함하는 게이트웨이 제어부(124)와, DAQ(data acquisition)(126a) 및 PC(126b)를 포함하는 모니터링장치부(126)를 포함한다.
- [0045] 가스 검출장치(110)와 보조시험장치(130)에서 사용하는 전원은 직류(DC)이며 각각 사용 전압이 다르기 때문에, 출력 전압과 용량이 상이한 전력변환장치(SMPS)(124a)로 구성한다. 모니터장치부(126)는 DAQ(126a)와 PC(126b)로 구성되는데, 모든 센서의 DAC 변환장치에 의하여 전압으로 출력되며, 케이블형 온도센서를 설치하여 전지 표면온도를 측정하기 위해, DAQ(126a)는 7개 채널 이상의 전압/온도센싱 모듈로 채택한다. DAQ(126a)는 1kHz 이상의 샘플링 속도 성능을 가져야 하며, 각 측정채널의 전압범위는 직류 0~24V 이상 되어야 한다. 레코드 기능이 있어 센서들의 측정값을 실시간 저장하고 모니터링하고, 이를 PC(126b)에 그래프로 표현한다.
- [0046] 보조시험장치(130)는 챔버시스템부(132), 가열장치부(134) 및 배기장치부(138)를 포함하고, 리튬이온전지 오프가스 및 열폭주 시험을 수행한다. 여기서, 챔버시스템부(132)는 셀의 열폭주를 고려하여 프레임을 강철 금속으로 견고하게 제작하고, 전면 도어에는 강화 유리 또는 폴리카보네이트 재질의 투명 창을 구성한다. 도어의 창은 여닫는 역할이 아니라, 고정되어 내부 상황을 확인할 수 있는 역할을 한다. 또한, 챔버의 도어는 3중 시건장치를 장착하여 내부 시험간 열폭주로 인해 발생하는 폭발, 압력에 견딜 수 있도록 설계한다. 챔버 내부 하단에는 리튬이온전지 및 가열장치를 고정할 수 있는 선반과 바이스 장치를 구성하고, 상단에는 가스 검출장치(110)를 설치할 수 있는 선반과 브라켓을 구성한다. 한편, 가열장치부(134)는 구리동관, 열선, 온도 제어기로 구성된다. 원통형 전지를 구리동관(cooper pipe)에 삽입하고, 열선(heat wire)으로 구리동관을 균일하게 감싼 뒤, 열선관 연결된 온도제어기(136)의 제어를 통해 전지를 가열한다. 여기서, 온도제어기(136)에는 목표온도와 달성시간을 설정하는 기능인 RAMP 기능이 포함되어야 한다. 리튬이온전지와 구리동관 사이에 케이블형 온도센서를 고정하고 온도제어기(136)에 연결하여 온도 피드백을 받는다.
- [0047] 신호선(140)은 센싱선, 제어선, 온도제어선 및 데이터계측선을 포함한다. 여기서, 신호선(140)은 센서의 출력 값에 노이즈 영향을 최소화하기 위하여, 차폐 케이블(shielded cable) 또는 트위스트 페어 선(twisted-pair cable)으로 선정할 수 있다.
- [0048] 본 실시예에 따른 ESS용 리튬이온전지의 열폭주 방지용 오프가스 검출 시스템은 리튬이온전지 열폭주 시험이 가

능하고 유해가스로부터 인체에 안전이 보장되는 장소에 구축하는 것이 바람직하다.

- [0049] 이상에서 설명된 바와 같이, 오프가스를 검출하도록 각종 센서들을 구성하여 특정 위치에 오프가스 검출장치를 배치하고, 유사 오프가스를 검출하도록 각종 센서들을 구성하여 특정 위치에 유사 오프가스 검출장치를 배치하여 운용한다. 이에 따라, 특정 오프가스 성분 검출 센서만 사용할 경우 오프가스 초기 검출에 실패할 가능성이 있으나, 본 발명에서는 다양한 성분의 가스들을 검출하는 센서에 의한 오프가스 검출 방안을 제안하므로 초기에 오프가스 성분을 검출하지 못하더라도 이후 발생하는 오프가스 성분 검출을 통해 최대한 신속하고 정확하게 오프가스 발생을 판단할 수 있다. 이러한 다중화(redundancy) 기능을 통하여 일부 센서의 고장으로 인해 특정 성분을 검출하지 못하는 경우, 다른 정상적인 센서들에 의하여 오프가스 성분을 검출할 수 있다. 또한 오프가스 검출장치와 유사 오프가스 검출장치가 동시에 동작하여 유사 오프가스에 의한 오프가스 센서의 오동작을 방지할 수 있다.
- [0050] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 ESS용 리튬이온전지의 열폭주 방지용 오프가스 검출 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.
- [0051] 도 3을 참조하면, 다수의 복합센서들을 이용하여 오프가스 검출장치 및 유사 오프가스 검출장치를 구성하여 설치한다(단계 S102).
- [0052] 이어, 오프가스 검출장치가 제대로 설치되었는지의 여부를 체크한다(단계 S104).
- [0053] 단계 S104에서 오프가스 검출장치가 제대로 설치되지 않은 것으로 체크되면, 오프가스 및 유사 오프가스 검출장치의 설치 위치를 재구성한 후(단계 S106), 단계 S104로 피드백한다.
- [0054] 단계 S104에서 오프가스 검출장치가 제대로 설치된 것으로 체크되면, 유사 오프가스 검출장치가 작동하는지의 여부를 체크한다(단계 S108).
- [0055] 단계 S108에서 유사 오프가스 검출장치가 작동하는 것으로 체크되면 오프가스 검출장치가 작동하는지의 여부를 체크한다(단계 S110).
- [0056] 단계 S110에서 오프가스 검출장치가 작동하는 것으로 체크되면 오프가스 검출장치의 오동작으로 판단한 후(단계 S112), ESS용 리튬이온전지의 열폭주 방지용 오프가스 검출 동작을 종료한다.
- [0057] 한편, 단계 S108에서 유사 오프가스 검출장치가 작동하지 않은 것으로 체크되면 오프가스 검출장치가 작동하는지의 여부를 체크한다(단계 S114).
- [0058] 단계 S114에서 오프가스 검출장치가 작동하는 것으로 체크되면 오프가스 검출 상태로 판단한 후(단계 S112), ESS용 리튬이온전지의 열폭주 방지용 오프가스 검출 동작을 종료한다.
- [0059] 한편, 단계 S110 및 단계 S114에서 오프가스 검출장치가 작동하지 않은 것으로 체크되면 정상 상태로 판단한 후(단계 S118), ESS용 리튬이온전지의 열폭주 방지용 오프가스 검출 동작을 종료한다.
- [0060] 이상에서 설명된 바와 같이, 본 발명에 따르면, 오프가스 검출장치와 유사 오프가스 검출장치가 동시에 동작하여 유사 오프가스에 의한 오프가스 센서의 오동작을 방지할 수 있다.
- [0061] 이하에서, 시험 결과 및 분석에 대해서 설명한다.
- [0062] 본 발명에서 제안한 리튬이온전지의 열폭주 방지용 오프가스 검출 알고리즘의 유효성을 검증하기 위하여, 리튬이온전지 열폭주 메커니즘 및 오프가스 검출장치 설치 위치 확인시험(시험 A)과 오프가스 검출을 통한 열폭주 방지 시험(시험 B) 및 유사 오프가스 유입에 따른 오프가스 센서의 오동작 방지 시험(시험 C)을 수행하였다.
- [0063] 또한, 시험 조건은 표 3와 같다.

[0064] [표 3]

item	test A	test B	test C
test type	thermal runaway and detection device installation test	thermal runaway prevention test	malfunction test
sample	cylindrical cell		± DEC solution
SOC	SOC 100%		
stress	external heating		
stress parameter	heat up 5 to 7℃ per minute		
stress control	ramp and sock		
after off-gas detection	removing off-gas detector	stopping heat	-

[0065]

[0066] 표 3를 참조하면, 시험 A와 시험 B에서 SOC 100%의 국내 리튬이온전지 제조사의 원통형 전지를 사용하였다. 한편, 시험 C는 유사 오프가스 투입을 위해 DEC(diethyl carbonate) 용액의 증기를 시료로 사용하였으며, 외기유입구에 시료를 투입하여 오프가스의 오검출 여부를 판단하였다.

[0067] 먼저, 열폭주 메커니즘 및 오프가스 검출장치 설치 위치 확인 시험(시험 A)의 상세한 구성을 나타내면 도 4와 같다.

[0068] 도 4는 열폭주 메커니즘 및 오프가스 검출장치의 설치 위치를 확인하기 위한 시험 A의 시험장치를 설명하기 위한 구성도이다.

[0069] 도 4를 참조하면, 리튬이온전지에 열적 스트레스를 가하기 위하여, 가열장치에 원통형 리튬이온전지를 삽입하고 외부에서 가열한다. 이후 리튬이온전지에서 벤팅이 발생하더라도, 계속해서 열적 스트레스를 인가하여 열폭주를 발생시킨다. 또한, 도 5와 같이 시험장치의 공기 흐름 구조를 고려한 위치(α)와 고려하지 않은 위치(β)에 각각 오프가스 검출장치를 설치하여 시험한다.

[0070] 도 5는 열폭주 메커니즘 및 오프가스 검출장치의 설치 위치를 확인하기 위한 시험 A의 오프가스 검출장치의 설치 위치를 설명하기 위한 도면이다.

[0071] 또한, 오프가스 검출을 통한 열폭주 방지 시험(시험 B)은 도 6와 같이 구성한다.

[0072] 도 6은 오프가스 검출을 통한 열폭주 방지 시험을 위한 시험 B의 시험장치를 설명하기 위한 구성도이다.

[0073] 도 6을 참조하면, 오프가스 검출장치를 적용하여 리튬이온전지의 벤팅으로 인한 오프가스 검출의 유효성을 확인한다. 상기의 시험 A와 동일한 조건으로 리튬이온전지를 외부 가열하고, 벤팅 이후 오프가스 검출장치의 센서 중 하나라도 검출되면 온도제어기의 전지 가열을 멈추고 열폭주 발생 여부를 확인한다.

[0074] 한편, 유사 오프가스 유입에 따른 오프가스 센서의 오동작 방지 시험(시험 C)은 도 7과 같이 구성한다.

[0075] 도 7은 유사 오프가스 유입에 따른 오프가스 센서의 오동작 방지 시험을 위한 시험 C의 시험장치를 설명하기 위한 구성도이다.

[0076] 도 7을 참조하면, 외기유입구에 오검출 방지용 오프가스 검출장치를 설치한 후, 시험 시료를 두고 유사 오프가스를 유입시켜 오프가스 알람 발생 여부를 확인한다. 그리고, 시험 장소의 공기를 환기시켜 오프가스 검출장치의 동작을 초기화한 후, 리튬이온전지 근처에 시험 시료를 두어 오프가스 알람이 발생하는지 확인한다.

[0077] 상술된 시험 조건을 바탕으로 리튬이온전지의 외부 가열 시험 결과와 리튬이온전지 열폭주 메커니즘의 특성을 나타내면 각각 도 8과 같다.

[0078] 도 8은 리튬이온전지의 외부 가열시험에 의한 열폭주 특성을 설명하기 위한 도면이다.

[0079] 도 8의 (a)와 같이 리튬이온전지에 스트레스를 인가한 후, 33분경에 도 8의 (b)와 같이 소음에 의하여 리튬이온전지에서 벤팅 및 오프가스가 발생한 것을 알 수 있다. 또한, 약 7분 경과 후, 도 8의 (c)와 같이 연기가 다량으로 배출되고, 수초 후 도 8의 (d)와 같이 화염과 함께 열폭주가 발생함을 알 수 있다.

[0080] 따라서, 스트레스(가열) 단계 - 벤팅 단계 - 연기발생 단계 - 열폭주 단계로 리튬이온전지 열폭주 메커니즘이

발생함을 알 수 있다.

- [0081] 한편, 오프가스 검출장치의 설치 위치에 따른 오프가스 검출 특성을 나타내면 도 9과 같다.
- [0082] 도 9는 리튬이온전지 열폭주 및 설치 위치별 특성을 설명하기 위한 그래프이다.
- [0083] 도 9를 참조하면, α 지점에 설치된 오프가스 검출장치는 적합한 위치에 설치되어 벤팅 시 오프가스를 검출함을 알 수 있지만, β 지점에 설치된 오프가스 검출장치는 적합한 위치에 설치되지 않아 오프가스가 검출되지 않음을 알 수 있다.
- [0084] 따라서, 공기 흐름을 고려하지 않은 위치에 오프가스 검출장치를 설치하면 오프가스 검출에 실패할 수 있음을 알 수 있다.
- [0085] 상술된 시험조건을 바탕으로 오프가스 검출장치의 동작특성을 나타내면 도 10와 같다.
- [0086] 도 10은 오프가스 검출장치의 동작 특성을 설명하기 위한 그래프이다.
- [0087] 도 10을 참조하면, 시험 시작 후 34분경 소음과 함께 벤팅이 발생함을 알 수 있다. 또한, 약 4초 후 A 오프가스 검출센서에서 오프가스 알람이 발생되고, 벤팅 발생 4분 후, B 오프가스 검출센서에서 일산화탄소가 검출되어 오프가스 검출장치가 정상적으로 동작됨을 알 수 있다. 한편, 오프가스 검출에 의하여 외부 가열을 중지하고 39분이 지나면 전지의 표면온도가 하락하기 시작하여, 열폭주가 발생하지 않음을 알 수 있다.
- [0088] 따라서, 리튬이온전지의 오프가스 검출 이후 외부 스트레스 요인을 제거하면 열폭주가 발생하지 않음을 알 수 있고, 오프가스 검출장치에서 2개 센서가 오프가스를 검출하여, 복합센서로 구성된 오프가스 검출장치의 오프가스 검출 알고리즘의 유효성을 확인할 수 있었다.
- [0089] 상술된 시험 조건에 따라 오프가스 오동작 방지 시험의 특성을 나타내면 도 11과 같다.
- [0090] 도 11은 오프가스 오동작 방지 특성을 설명하기 위한 그래프이다.
- [0091] 도 11을 참조하면, 약 5초 후, 외기유입구에 설치된 유사 오프가스 검출장치에서 유사 오프가스가 검출되고, 약 40초 후, 리튬이온전지에 설치한 오프가스 검출장치에서 오프가스가 검출됨을 알 수 있다.
- [0092] 따라서, 오프가스 센서와 유사 오프가스 센서가 동시에 동작하는 경우, 유사 오프가스에 의한 오프가스 센서의 오동작을 방지할 수 있음을 확인할 수 있었다.
- [0093] 본 발명에서는 ESS용 리튬이온전지의 열폭주 방지를 위해, 리튬이온전지의 오프가스 검출을 통한 열폭주 방지 알고리즘을 제안하고, 검출특성을 분석하는 시험장치를 구현하여 ESS용 리튬이온전지의 오프가스 검출 알고리즘 유효성을 검증하였다. 이에 대한 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.
- [0094] (1) ESS용 리튬이온전지에서 발생하는 열폭주는 스트레스(가열) - 벤팅 - 연기발생 - 열폭주 단계로 열폭주 메커니즘이 발생함을 확인하였다.
- [0095] (2) 오프가스 검출을 정확하게 수행하기 위하여 공기 흐름을 고려한 적절한 위치에 오프가스 검출장치가 설치되어야 하며, 적합하지 않은 위치에 오프가스 검출장치를 설치하면 오프가스 검출에 실패할 수 있음을 알 수 있었다.
- [0096] (3) 리튬이온전지의 오프가스 검출 이후 외부 스트레스 요인을 제거하면 열폭주가 발생하지 않음을 알 수 있었고, 본 연구에서 제시한 복합센서로 구성된 오프가스 검출장치의 유효성을 확인하였다.
- [0097] (4) 유사 오프가스의 특성시험에 의하면, 오프가스 검출장치와 유사 오프가스 검출장치가 동시에 동작하여 유사 오프가스에 의한 오프가스 센서의 오동작을 방지할 수 있음을 알 수 있었다.
- [0098] 이상에서는 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구의 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

부호의 설명

- [0099] 110 : 오프가스 검출장치 112 : 센서부
120 : 제어-모니터링장치 122 : 데이터 변환기

124 : 게이트웨이 제어부 124a : 전력변환장치(SMPS)

124b : 차단제어장치 126 : 모니터링장치부

126a : DAQ(data acquisition) 126b : PC

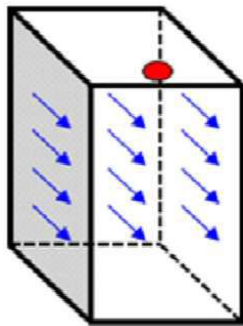
130 : 보조시험장치 132 : 챔버시스템부

134 : 가열장치부 138 : 배기장치부

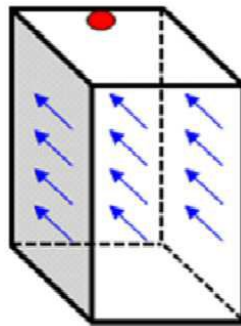
140 : 신호선

도면

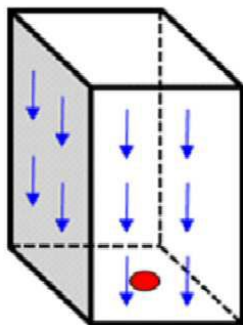
도면1



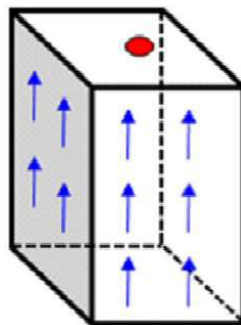
(a) rear → front



(b) front → rear

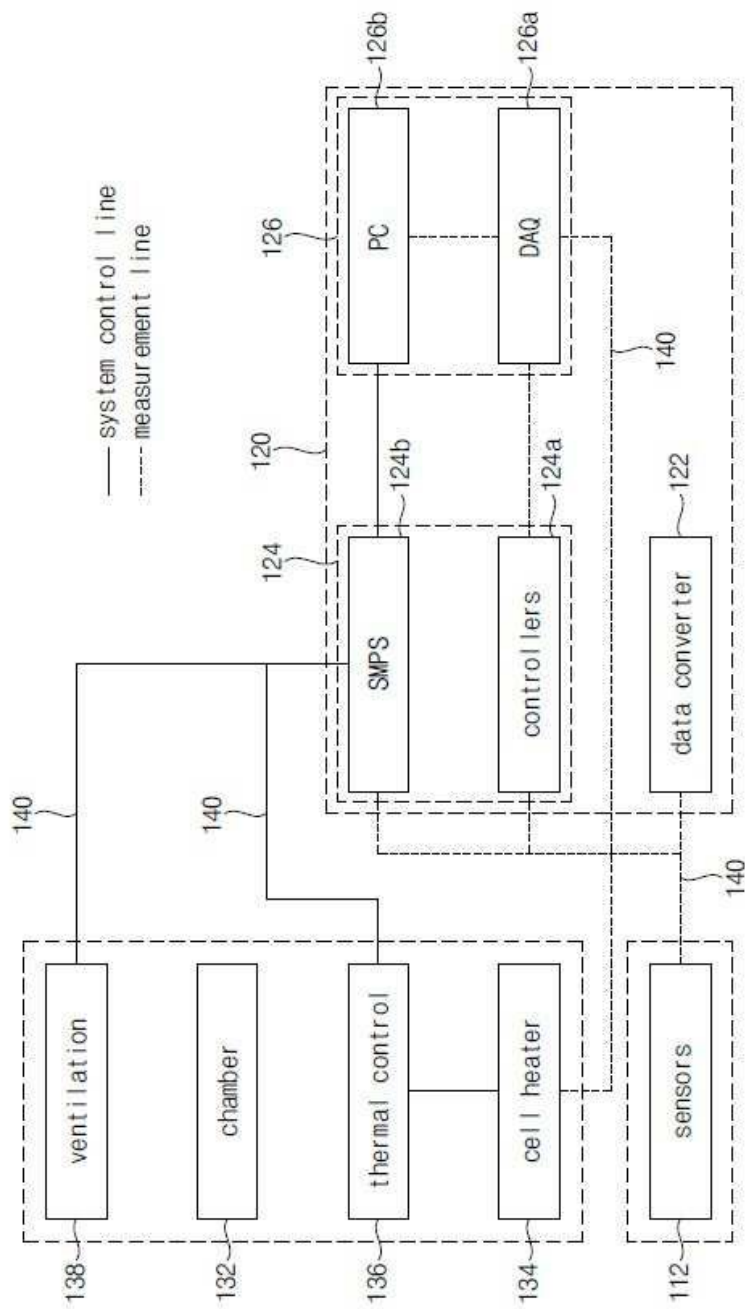


(c) top → bottom

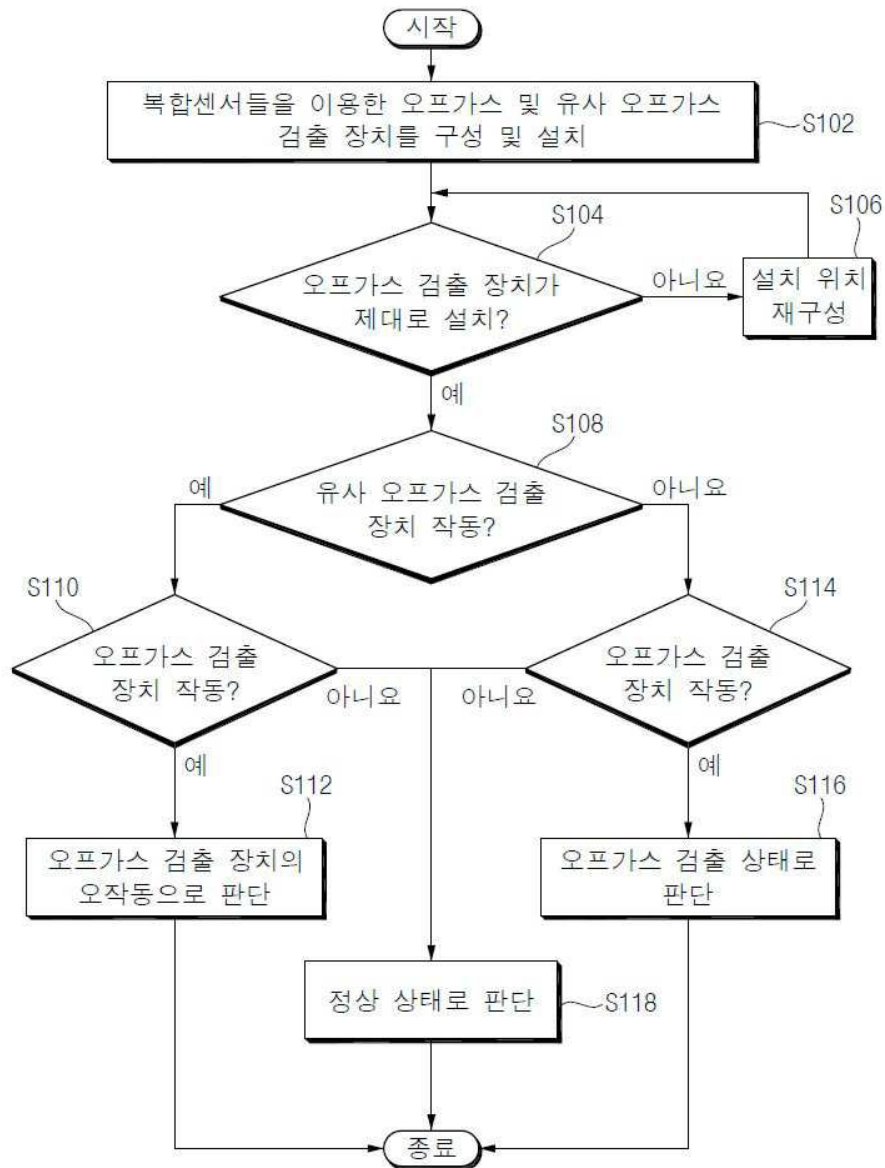


(d) bottom → top

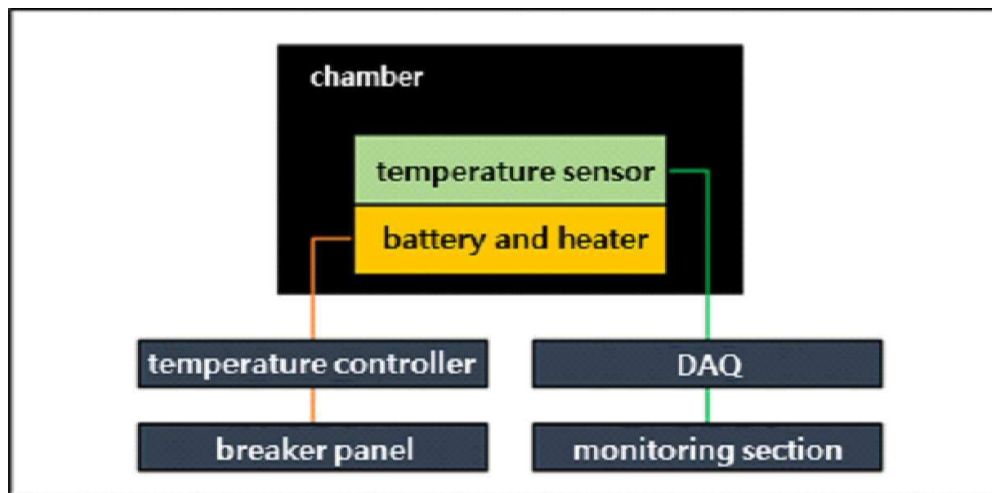
도면2



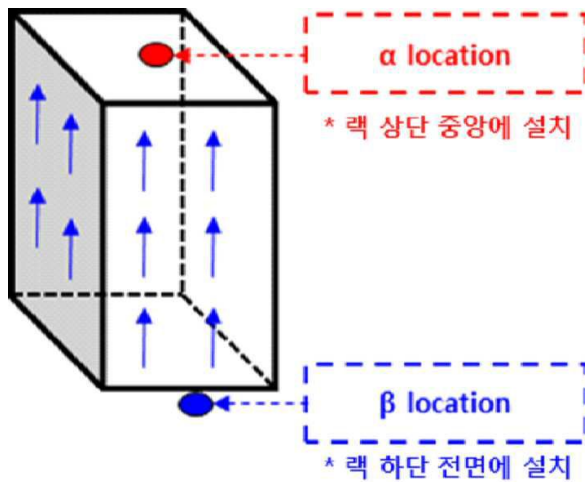
도면3



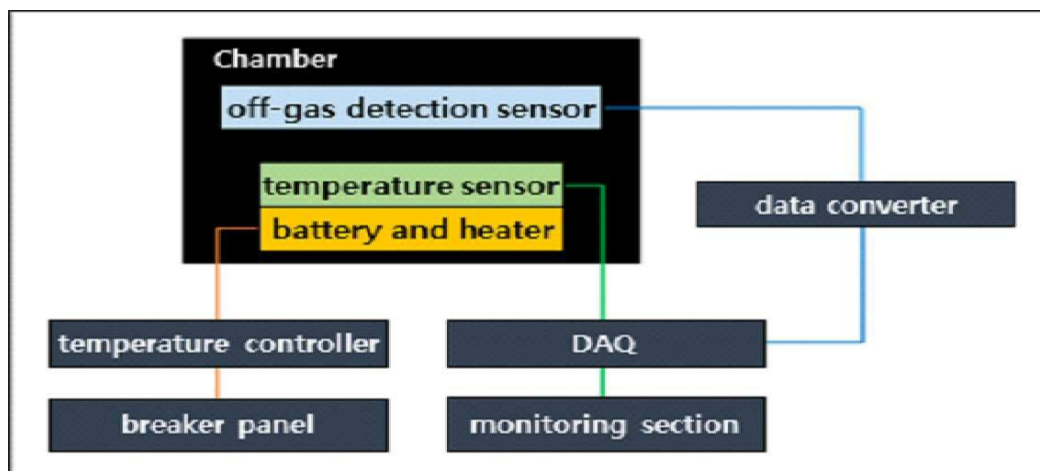
도면4



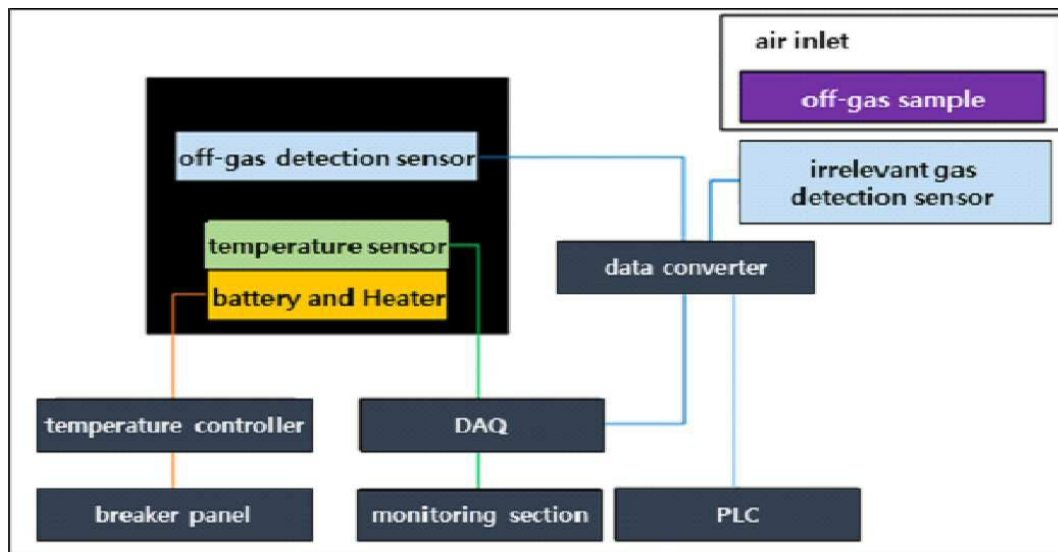
도면5



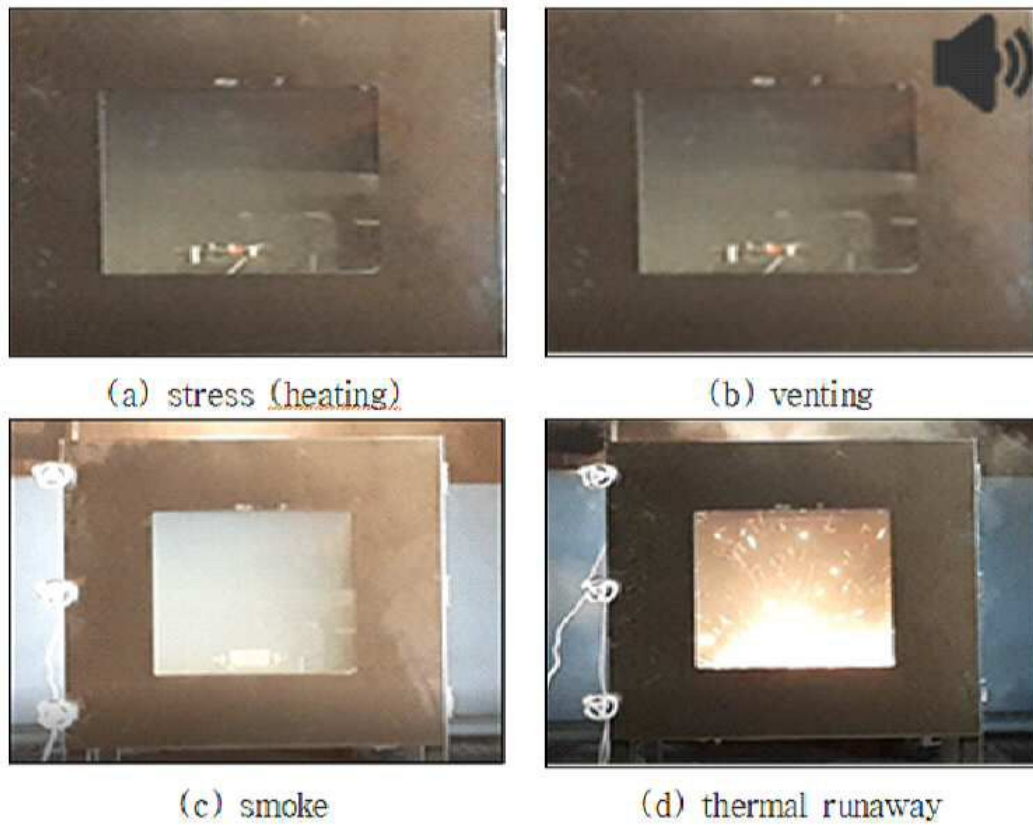
도면6



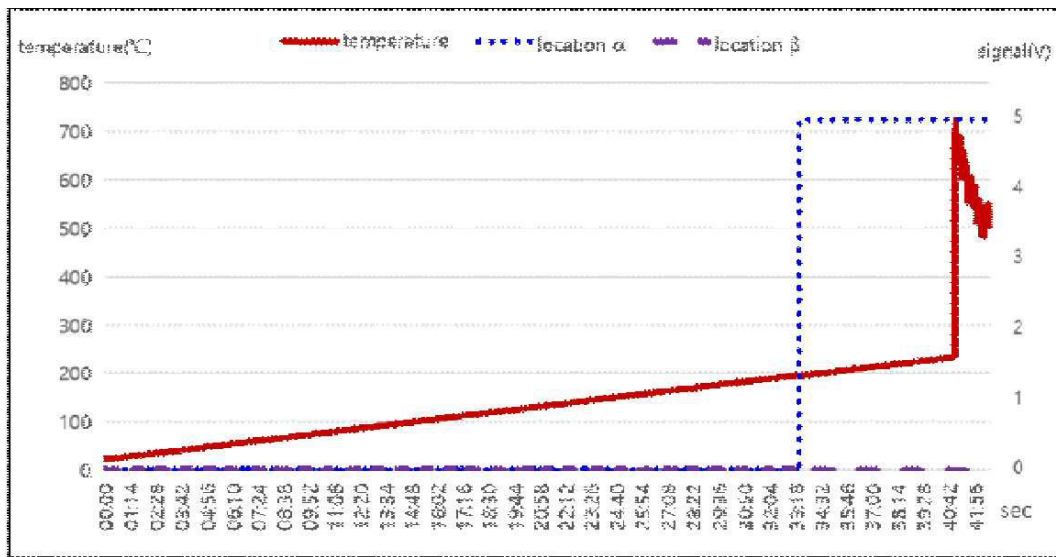
도면7



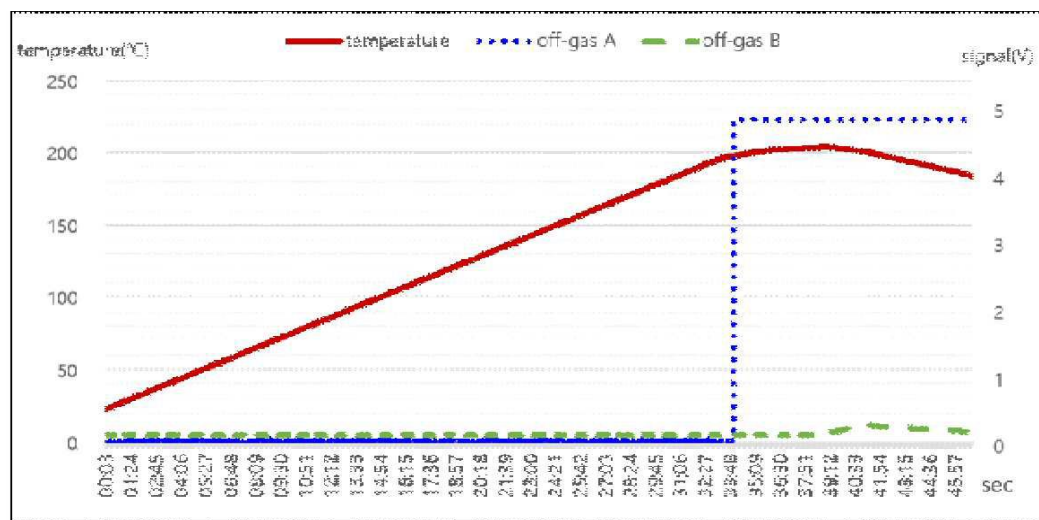
도면8



도면9



도면10



도면11

