



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년02월01일
(11) 등록번호 10-2494233
(24) 등록일자 2023년01월27일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F02D 41/22 (2006.01) F02B 77/08 (2006.01)
F02D 19/06 (2006.01) F02D 19/08 (2006.01)
F02D 19/10 (2006.01) F02D 35/02 (2006.01)
F02D 41/00 (2006.01) F02D 41/30 (2006.01)
G01L 23/22 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
F02D 41/22 (2013.01)
F02B 77/085 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2019-7035637
- (22) 출원일자(국제) 2018년05월04일
심사청구일자 2021년05월03일
- (85) 번역문제출일자 2019년12월02일
- (65) 공개번호 10-2020-0004347
- (43) 공개일자 2020년01월13일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2018/031248
- (87) 국제공개번호 WO 2018/204881
국제공개일자 2018년11월08일
- (30) 우선권주장
62/502,285 2017년05월05일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
US20150219027 A1
(뒷면에 계속)

- (73) 특허권자
우드워드, 인크.
미국 콜로라도 80524 포트 콜린스 우드워드 웨이 1081
- (72) 발명자
바르타 제이슨
미국 80524 콜로라도주 포트 콜린스 우드워드 웨이 1081
햄프슨 그레고리 제임스
미국 80304 콜로라도주 볼더 알파인 웨이 420
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
김태홍, 김진희

전체 청구항 수 : 총 18 항

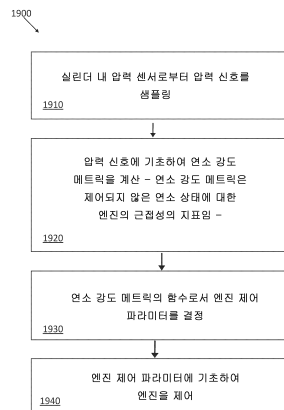
심사관 : 윤마루

(54) 발명의 명칭 이중 연료 연소 강도

(57) 요약

내연 엔진에서의 미제어 연소(uncontrolled combustion) 검출 방법은 엔진의 실린더 내의 압력을 측정하고 압력 신호를 생성하도록 구성된 실린더 내 압력 센서를 샘플링하는(sampling) 단계, 압력 신호에 기초하여 연소 강도 메트릭(metric)을 계산하는 단계, 연소 강도 메트릭에 기초하여 엔진이 미제어 연소 상태에 얼마나 가까운지를 설명하는 파라미터를 결정하는 단계, 및 파라미터 및 연소 강도 메트릭 중 하나 이상에 기초하여 제 1 연료 및 제 2 연료의 치환율을 제어하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도19



(52) CPC특허분류

F02D 19/0623 (2013.01)
F02D 19/0647 (2013.01)
F02D 19/081 (2013.01)
F02D 19/10 (2013.01)
F02D 35/023 (2013.01)
F02D 41/0027 (2013.01)
F02D 41/3047 (2013.01)
G01L 23/222 (2013.01)
F02D 2200/0404 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

US20150068506 A1
US20120016567 A1
US20110010074 A1
CN102735395 A

(72) 발명자

나야르 수라즈

미국 80524 콜로라도주 포트 콜린스 우드워드 웨이
1081

칼슨 제프리

미국 80524 콜로라도주 포트 콜린스 우드워드 웨이
1081

명세서

청구범위

청구항 1

내연 엔진에서의 미제어 연소(uncontrolled combustion) 검출 방법으로서,
 실린더 내 압력 센서로부터 압력 신호를 샘플링하는(sampling) 단계로서, 상기 압력 신호는 상기 엔진의 실린더 내에서 측정된 압력을 나타내는 것인, 단계;
 상기 압력 신호에 기초하여 연소 강도 메트릭(metric)을 계산하는 단계로서, 상기 연소 강도 메트릭은 미제어 연소 상태에 대한 상기 엔진의 근접도(proximity)의 지표이고, 상기 연소 강도 메트릭은 적어도 피크 실린더 압력, 실린더 압력 상승률, 실린더 압력 리플(ripple), 번(burn) 지속 시간, 및 열 방출 기울기의 함수인 것인, 단계;
 상기 연소 강도 메트릭의 함수로서 엔진 제어 파라미터를 결정하는 단계; 및
 상기 엔진 제어 파라미터에 기초하여 상기 엔진을 제어하는 단계를 포함하는, 미제어 연소 검출 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,
 상기 내연 엔진은 이중 연료 내연 엔진을 포함하고, 상기 엔진 제어 파라미터는 상기 엔진 제어 파라미터 또는 상기 연소 강도 메트릭 중 적어도 하나에 기초한 제 1 연료 및 제 2 연료의 치환율(substitution rate)을 포함하는 것인, 미제어 연소 검출 방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서,
 상기 제 1 연료는 디젤이고, 상기 제 2 연료는 천연 가스인 것인, 미제어 연소 검출 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,
 상기 연소 강도 메트릭은 상기 실린더 내 압력 센서의 상기 샘플링과 동일한 연소 사이클 내에서 계산되는 것인, 미제어 연소 검출 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,
 상기 압력 신호에 기초하여, 압력 메트릭, 열 방출 메트릭, 및 노크(knock) 메트릭을 계산하는 단계를 포함하고,
 상기 연소 강도 메트릭은 상기 압력 메트릭, 상기 열 방출 메트릭, 및 상기 노크 메트릭의 함수인 것인, 미제어 연소 검출 방법.

청구항 6

제 5 항에 있어서,
 상기 열 방출 메트릭은 상기 엔진의 실린더에서의 연소의 단열 열 방출율을 포함하는 것인, 미제어 연소 검출 방법.

청구항 7

제 1 항에 있어서,
 상기 압력 신호에 기초하여 다음의 연소 메트릭:
 피크 실린더 압력;
 피크 실린더 압력의 크랭크 각도;
 실린더 압력 상승률;
 실린더 압력 리플;
 실린더 압력 리플의 크랭크 각도;
 번 지속 시간;
 열 방출 기울기;
 열 방출 중심의 크랭크 각도; 또는
 최대 열 방출율의 크랭크 각도
 중 적어도 하나를 계산하는 단계를 포함하는, 미제어 연소 검출 방법.

청구항 8

제 7 항에 있어서,
 상기 연소 강도 메트릭은 또한:
 상기 피크 실린더 압력의 크랭크 각도;
 상기 실린더 압력 리플의 크랭크 각도;
 상기 열 방출 중심의 크랭크 각도; 또는
 상기 최대 열 방출율의 크랭크 각도
 중 적어도 하나의 함수인 것인, 미제어 연소 검출 방법.

청구항 9

제 1 항에 있어서,
 상기 연소 강도 메트릭 또는 상기 엔진 제어 파라미터 중 적어도 하나에 기초하여, 상기 엔진에 대한 연료 입력 신호, 스로틀 위치 신호, 및 점화 타이밍 신호를 결정하는 단계를 포함하는, 미제어 연소 검출 방법.

청구항 10

엔진 시스템의 이중 연료 내연 엔진의 작동을 제어하기 위한 제어기로서,
 상기 엔진 시스템은 상기 엔진의 실린더 내의 압력을 측정하고 대응하는 압력 신호를 생성하도록 구성된 압력 센서 및 상기 엔진의 크랭크 각도를 측정하고 대응하는 크랭크 각도 신호를 생성하도록 구성된 크랭크 각도 센서를 포함하고,
 상기 제어기는
 상기 압력 센서 및 상기 크랭크 각도 센서에 결합 가능한 프로세서; 및
 상기 제어기의 상기 프로세서가,
 (a) 상기 압력 신호를 샘플링하는 동작;
 (b) 상기 압력 신호에 기초하여 연소 강도 메트릭을 계산하는 동작으로서, 상기 연소 강도 메트릭은 미제어 연소 상태에 대한 상기 엔진의 근접도의 지표이고, 상기 연소 강도 메트릭은 적어도 피크 실린더 압력, 실린더 압력 상승율, 실린더 압력 리플, 번 지속 시간, 및 열 방출 기울기의 함수인 것인, 동작;
 (c) 상기 연소 강도 메트릭에 기초하여 상기 실린더로 전달되는 제 1 연료 및 제 2 연료의 치환율을 결정하는

동작; 및

(d) 상기 치환율에 기초하여 상기 이중 연료 내연 엔진을 제어하는 동작

을 포함하는 동작들을 수행하게 하도록 작동 가능한 명령어를 저장하는 적어도 하나의 비-일시적인 컴퓨터 판독 가능한 매체

를 포함하는 것인, 제어기.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 제 1 연료는 디젤이고, 상기 제 2 연료는 천연 가스인 것인, 제어기.

청구항 12

제 10 항에 있어서,

단계 (b) 및 (c)는 상기 실린더의 다음 사이클 내에서 발생하는 것인, 제어기.

청구항 13

제 10 항에 있어서,

상기 명령어는 상기 압력 신호에 기초하여, 압력 메트릭, 열 방출 메트릭, 및 노크 메트릭을 계산하는 것을 포함하고, 상기 연소 강도 메트릭은 상기 압력 메트릭, 상기 열 방출 메트릭, 및 상기 노크 메트릭의 함수인 것인, 제어기.

청구항 14

제 13 항에 있어서,

상기 열 방출 메트릭을 계산하는 것은 상기 엔진의 상기 실린더에서의 연소의 단열 열 방출율을 계산하는 것을 포함하는 것인, 제어기.

청구항 15

제 10 항에 있어서,

상기 명령어는 상기 압력 신호에 기초하여 다음의 연소 메트릭:

피크 실린더 압력;

피크 실린더 압력의 크랭크 각도;

실린더 압력 상승률;

실린더 압력 리플;

실린더 압력 리플의 위치;

번 지속 시간;

열 방출 기울기;

열 방출 중심의 크랭크 각도; 또는

최대 열 방출율의 크랭크 각도

중 적어도 하나를 계산하는 것을 포함하는 것인, 제어기.

청구항 16

제 15 항에 있어서,

상기 연소 강도 메트릭은 또한:

상기 피크 실린더 압력의 크랭크 각도;
 상기 실린더 압력 리플의 크랭크 각도;
 상기 열 방출 중심의 크랭크 각도; 또는
 상기 최대 열 방출율의 크랭크 각도
 중 적어도 하나의 함수인 것인, 제어기.

청구항 17

제 10 항에 있어서,

상기 명령어는:

상기 연소 강도 메트릭 또는 상기 치환율 중 적어도 하나에 기초하여, 상기 이중 연료 내연 엔진에 대한 연료 입력 신호, 스로틀 위치 신호, 또는 점화 타이밍 신호 중 적어도 하나를 결정하는 것, 및

상기 연료 입력 신호, 상기 스로틀 위치 신호, 또는 상기 점화 타이밍 신호 중 적어도 하나를 사용하여 상기 이중 연료 내연 엔진을 제어하는 것

을 포함하는 것인, 제어기.

청구항 18

엔진 시스템의 내연 엔진의 작동을 제어하기 위한 제어기로서,

상기 엔진 시스템은 상기 엔진의 실린더 내의 압력을 측정하고 대응하는 압력 신호를 생성하도록 구성된 압력 센서 및 상기 엔진의 크랭크 각도를 측정하고 대응하는 크랭크 각도 신호를 생성하도록 구성된 크랭크 각도 센서를 포함하고,

상기 제어기는

상기 압력 센서 및 상기 크랭크 각도 센서에 결합 가능한 프로세서; 및

상기 제어기의 상기 프로세서가,

(a) 상기 압력 신호를 샘플링하는 동작;

(b) 상기 압력 신호에 기초하여 연소 강도 메트릭을 계산하는 동작으로서, 상기 연소 강도 메트릭은 미제어 연소 상태에 대한 상기 엔진의 근접도의 지표이고, 상기 연소 강도 메트릭은 적어도 피크 실린더 압력, 실린더 압력 상승율, 실린더 압력 리플, 번 지속 시간, 및 열 방출 기울기의 함수인 것인, 동작;

(c) 상기 연소 강도 메트릭의 함수로서 엔진 제어 파라미터를 결정하는 동작; 및

(d) 상기 엔진 제어 파라미터에 기초하여 상기 엔진을 제어하는 동작

을 포함하는 동작들을 수행하게 하도록 작동 가능한 명령어를 저장하는 적어도 하나의 비-일시적인 컴퓨터 판독 가능한 매체

를 포함하는, 제어기.

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] **우선권 주장**

[0002] 본 출원은 2017년 5월 5일에 출원된 미국 특허 출원 번호 제62/502,285호를 우선권으로 주장하며, 그 내용 전체가 본 명세서에 참조로 포함된다.

배경 기술

[0003] 일반적으로 최종 가스의 급속 연소로부터 짧은 시간 내에 많은 양의 에너지가 방출되는 엔진 노크(knock)와 같은 미제어의 유해한 연소는 종종 고주파수 압력 진동이 뒤따르는 급속한 압력 상승률을 발생시킨다. 이러한 강렬한 압력파는 엔진 구조 컴포넌트에 높은 응력을 가하고, 열 전달율을 급격하게 증가시켜, 궁극적으로 엔진 손상을 초래한다. 이러한 미제어 연소(uncontrolled combustion)는 연료 품질 및 특성 불량, 연료-공기 혼합물의 비-균질성, 연소 챔버 내의 핫 스팟(hot spots), 침착물(deposits), 윤활유 증발, 실린더 차지(charge)의 버닝되지 않은 가스의 불리한 압력-시간 이력, 실린더 또는 차지의 주기적 변동, 부적절한 냉각 등과 같은 다양한 이유로 인해 발생할 수 있다. 비-정상 연소의 예측은 일반적으로 매우 어렵고, 일반적으로 엔진 설계 중에 대처된다.

발명의 내용

과제의 해결 수단

[0004] 본 명세서의 개념은 엔진 상에 적어도 하나의 실린더 내 압력 센서를 포함시키는 것을 포함하고, 엔진의 작동과 동시에 그리고, 일부 예들에서는, 실시간으로 다음의 연소 메트릭(metrics)이 계산된다: 피크 압력, 압력 상승률, 압력 리플(ripple), 번(burn) 지속 시간, 및 열 방출 변화율. 이러한 메트릭들은 그 후 방정식/알고리즘을 통해 수학적으로 조합되어 엔진이 미제어 연소에 얼마나 가깝게 작동하고 있는지를 결정한다. 이를 통해 엔진은 안전한 작동을 유지하면서 이중 연료 작동 시 더 농후한 혼합 또는 더 높은 치환율(substitution rates)과 같은 더 심각한(severe) 작동 조건으로 푸시될 수도 있다. 일부 예들에서, 엔진은 2 행정 또는 4 행정 엔진이고, 일부 예들에서, 실시간은 다음 사이클이 완료되기 전에, 동일한 사이클 내에서(예를 들어, 다음 흡입 전에), 다음 행정이 완료되기 전에, 또는 동일한 행정 내에서 연소 메트릭이 계산되는 것을 지칭한다.

[0005] 일부 구현들에서, 본 명세서의 개념들은 사이클-대-사이클에 기초하는 실린더 내 압력 정보뿐만 아니라 다음 알고리즘을 수집하여 처리할 수 있는 능력을 포함한다:

[0006] 피크 압력 - 하나의 이벤트 동안 최대 연소 압력

[0007] 압력 상승률 - 연소 동안 최대 압력 상승율

[0008] 압력 리플 - 델타(P)의 가산

[0009] 번 지속 시간 - CAx1과 CAx2 사이의 크랭크 각도

[0010] 열 방출 변화 - 연소 과정의 제 2 절반부에 대한 제 1 절반부 연소 과정의 결정.

[0011] 본 개시의 특정 양태는 위에서 열거된 연소 메트릭을 사용하여 엔진을 안전하게 최대 가스 치환으로 구동시키기 위해 제어 루프에서 사용될 수 있는 연소 강도 수를 결정하는 단계를 포함한다. 일부 구현들에서, 이중 연료 엔진에서 볼 수 있는 많은 다른 경우들을 커버하기 위해 이러한 모든 메트릭들이 필요하다. 일부 예들에서, 열 방출 변화는 정적으로 결정되거나 또는 동적으로 결정되어 연소 속도가 증가하는 변곡점이 정확하게 결정된다.

[0012] 본 개시의 특정 양태에서, 미제어 연소(폭발)는 더 이상 기존의 시간 기반 주파수 도메인으로부터 보이지 않고, 그 대신에 실제 엔진 한계에 기초하는 저속 직접 실린더 내 압력 정보로부터 보이게 된다.

[0013] 본 개시의 일 예는 내연 엔진에서의 미제어 연소 검출 방법이다. 이 방법은 엔진의 실린더 내의 압력을 측정하고 대응하는 압력 신호를 생성하도록 구성된 실린더 내 압력 센서를 샘플링하는(sampling) 단계, 대응하는 압력 신호에 기초하여 연소 강도 메트릭을 계산하는 단계, 및 연소 강도 메트릭에 기초하여 엔진이 미제어 연소 상태에 얼마나 가까운지를 설명하는 파라미터를 결정하는 단계를 포함한다.

[0014] 다른 예는 엔진의 실린더 내의 압력을 측정하고 대응하는 압력 신호를 생성하도록 구성된 실린더 내 압력 센서, 엔진의 크랭크 각도를 측정하고 대응하는 크랭크 각도 신호를 생성하도록 구성된 크랭크 각도 센서, 및 압력 센서 및 크랭크 각도 센서에 결합 가능한 엔진 제어 유닛을 포함하는 이중 연료 내연 엔진이다. 엔진 제어 유닛은: 압력 신호를 샘플링하고, 대응하는 압력 신호에 기초하여 연소 강도 메트릭을 계산하고, 엔진이 미제어 연

소 상태에 얼마나 가까운지를 설명하는 파라미터를 결정하고, 그리고 파라미터 및 연소 강도 메트릭 중 하나 이상에 기초하여 실린더로 전달되는 제 1 연료 및 제 2 연료의 치환율을 제어하도록 구성된다.

- [0015] 다른 예는 내연 엔진에서의 미세어 연소 검출 방법이다. 상기 방법은 실린더 내 압력 센서로부터 압력 신호를 샘플링하는 단계 - 이러한 압력 신호는 엔진의 실린더 내에서 측정된 압력을 나타냄 - , 압력 신호에 기초하여 연소 강도 메트릭을 계산하는 단계 - 이러한 연소 강도 메트릭은 미세어 연소 상태에 대한 엔진의 근접도 (proximity)의 지표임 - , 연소 강도 메트릭의 함수로서 엔진 제어 파라미터를 결정하는 단계, 및 엔진 제어 파라미터에 기초하여 엔진을 제어하는 단계를 포함한다.
- [0016] 일부 예들에서, 내연 엔진은 이중 연료 내연 엔진을 포함하고, 엔진 제어 파라미터는 파라미터 또는 연소 강도 메트릭 중 적어도 하나에 기초하는 제 1 연료 및 제 2 연료의 치환율을 포함한다.
- [0017] 일부 예들에서, 제 1 연료는 디젤이고, 제 2 연료는 천연 가스이다.
- [0018] 일부 예들에서, 연소 강도 메트릭은 실린더 내 압력 센서의 샘플링과 동일한 연소 사이클 내에서 계산된다.
- [0019] 일부 예들에서, 상기 방법은 압력 신호에 기초하여 압력 메트릭, 열 방출 메트릭 및 노크 메트릭을 계산하는 단계를 포함하며, 연소 강도 메트릭은 압력 메트릭, 열 방출 메트릭 및 노크 메트릭의 함수이다. 일부 예들에서, 열 방출 메트릭은 엔진의 실린더에서의 연소의 단일 열 방출율을 포함한다.
- [0020] 일부 예들에서, 상기 방법은 압력 신호에 기초하여 다음의 연소 메트릭: 피크 실린더 압력, 피크 실린더 압력의 크랭크 각도, 실린더 압력 상승률, 실린더 압력 리플, 실린더 압력 리플의 크랭크 각도, 번 지속 시간, 열 방출 기울기, 열 방출 중심의 크랭크 각도, 또는 최대 열 방출율의 크랭크 각도 중 적어도 하나를 계산하는 단계를 포함한다.
- [0021] 일부 예들에서, 연소 강도 메트릭은: 피크 실린더 압력, 피크 실린더 압력의 크랭크 각도, 실린더 압력 상승률, 실린더 압력 리플, 실린더 리플의 크랭크 각도, 번 지속 시간, 열 방출 기울기, 열 방출 중심의 크랭크 각도, 또는 최대 열 방출율의 크랭크 각도 중 적어도 하나의 함수이다.
- [0022] 일부 예들에서, 연소 강도 메트릭은 적어도 피크 압력, 압력 상승률, 압력 리플, 번 지속 시간, 및 열 방출 기울기의 함수이다.
- [0023] 일부 예들에서, 상기 방법은 연소 강도 메트릭 또는 파라미터 중 적어도 하나에 기초하여, 엔진에 대한 연료 입력 신호, 스로틀 위치 신호, 및 점화 타이밍 신호를 결정하는 단계를 포함한다.
- [0024] 또 다른 예는 엔진 시스템의 이중 연료 내연 엔진의 작동을 제어하기 위한 제어기에 관한 것으로서, 엔진 시스템은 엔진의 실린더 내의 압력을 측정하고 대응하는 압력 신호를 생성하도록 구성된 압력 센서 및 엔진의 크랭크 각도를 측정하고 대응하는 크랭크 각도 신호를 생성하도록 구성된 크랭크 각도 센서를 포함한다. 제어기는 압력 센서 및 크랭크 각도 센서에 결합 가능한 프로세서, 및 제어기의 프로세서가 동작들을 수행하게 하도록 작동 가능한 명령어를 저장하는 적어도 하나의 비-일시적인 컴퓨터 판독 가능한 매체를 포함한다. 여기서 상기한 동작들은 (a) 압력 신호를 샘플링하는 동작, (b) 압력 신호에 기초하여 연소 강도 메트릭을 계산하는 동작 - 연소 강도 메트릭은 미세어 연소 상태에 대한 엔진의 근접도의 지표임 - , (c) 연소 강도 메트릭에 기초하여 실린더로 전달되는 제 1 연료 및 제 2 연료의 치환율을 결정하는 동작, 및 (d) 치환율에 기초하여 이중 연료 내연 엔진을 제어하는 동작을 포함한다.
- [0025] 일부 예들에서, 제 1 연료는 디젤이고, 제 2 연료는 천연 가스이다.
- [0026] 일부 예들에서, 단계 (b) 및 (c)는 실린더의 다음 사이클 내에서 발생한다.
- [0027] 일부 예들에서, 명령어는 압력 신호에 기초하여, 압력 메트릭, 열 방출 메트릭 및 노크 메트릭을 계산하는 것을 포함하고, 연소 강도 메트릭은 압력 메트릭, 열 방출 메트릭 및 노크 메트릭의 함수이다.
- [0028] 일부 예들에서, 열 방출 메트릭을 계산하는 동작은 엔진의 실린더에서의 연소의 단일 열 방출율을 계산하는 것을 포함한다.
- [0029] 일부 예들에서, 명령어는 압력 신호에 기초하여 다음의 연소 메트릭: 피크 실린더 압력, 피크 실린더 압력의 크랭크 각도, 실린더 압력 상승률, 실린더 압력 리플, 실린더 압력 리플의 크랭크 각도, 번 지속 시간, 열 방출 기울기, 열 방출 중심의 크랭크 각도, 또는 최대 열 방출율의 크랭크 각도 중 적어도 하나를 계산하는 것을 포함한다.

- [0030] 일부 예들에서, 연소 강도 메트릭은: 피크 실린더 압력, 피크 실린더 압력의 크랭크 각도, 실린더 압력 상승률, 실린더 압력 리플, 실린더 리플의 크랭크 각도, 번 지속 시간, 열 방출 기울기, 열 방출 중심의 크랭크 각도, 또는 최대 열 방출율의 크랭크 각도 중 적어도 하나의 함수이다.
- [0031] 일부 예들에서, 연소 강도 메트릭은 적어도 피크 압력, 압력 상승률, 압력 리플, 번 지속 시간 및 열 방출 기울기의 함수이다.
- [0032] 일부 예들에서, 명령어는 연소 강도 메트릭 또는 파라미터 중 적어도 하나에 기초하여 이중 연료 내연 엔진에 대한 연료 입력 신호, 스로틀 위치 신호, 또는 점화 타이밍 신호 중 적어도 하나를 결정하는 동작, 및 연료 입력 신호, 스로틀 위치 신호, 또는 점화 타이밍 신호 중 적어도 하나를 사용하여 이중 연료 내연 엔진을 제어하는 동작을 포함한다.
- [0033] 또 다른 예는 엔진 시스템의 내연 엔진의 작동을 제어하기 위한 제어기에 관한 것으로서, 엔진 시스템은 엔진의 실린더 내의 압력을 측정하고 대응하는 압력 신호를 생성하도록 구성된 압력 센서 및 엔진의 크랭크 각도를 측정하고 대응하는 크랭크 각도 신호를 생성하도록 구성된 크랭크 각도 센서를 포함한다. 제어기는 압력 센서 및 크랭크 각도 센서에 결합 가능한 프로세서, 및 제어기의 프로세서가 동작들을 수행하게 하도록 작동 가능한 명령어를 저장하는 적어도 하나의 비-일시적인 컴퓨터 판독 가능한 매체를 포함한다. 상기한 동작들은 (a) 압력 신호를 샘플링하는 동작, (b) 압력 신호에 기초하여 연소 강도 메트릭을 계산하는 동작 - 연소 강도 메트릭은 미제어 연소 상태에 대한 엔진의 근접도의 지표임 -, (c) 연소 강도 메트릭의 함수로서 엔진 제어 파라미터를 결정하는 동작, 및 (d) 엔진 제어 파라미터에 기초하여 엔진을 제어하는 동작을 포함한다.
- [0034] 본 개시의 특정 양태들은 다음과 같은 장점들을 갖는다: 높은 치환율 이중 연료 엔진을 손상시킬 위험을 감소시킨다. 연소 강도 메트릭이 알려진 기계적 엔진 한계를 사용하므로, 미제어 연소를 검출하기 위한 교정 노력이 크게 감소된다. 특정 양태들은 또한 안전을 위한 마진을 추가할 필요 없이 엔진이 항상 최대 치환 제어로 작동할 수 있게 하여, 이중 연료 엔진 운전자에게 훨씬 더 양호한 가치 제안을 제공한다.

도면의 간단한 설명

- [0035] 도 1a는 엔진 제어 시스템을 포함하는 내연 엔진의 실린더의 단면도의 개략도이다.
- 도 1b는 엔진 제어 시스템의 개략도이다.
- 도 1c는 프로세서 및 메모리를 갖는 예시적인 엔진 제어 시스템의 블록도이다.
- 도 2는 가스 치환의 함수로서 처리된 가속도계 검출의 효과의 그래프이다.
- 도 3은 0 %, 60 % 및 90 % 가스 치환율에서의 실린더 내 압력 및 진동 트레이스의 플롯이다.
- 도 4는 진동 및 압력 노크 강도 대 가스 치환율의 플롯이다.
- 도 5a는 다양한 속도에서의 압력 노크 강도 대 가스 치환의 2-D 윤곽 플롯이다
- 도 5b는 다양한 속도에서의 진동 노크 강도 대 가스 치환의 2-D 윤곽 플롯이다.
- 도 6은 미제어 연소에 대한 근접도의 정도 및 가스 치환의 함수로서 연소 강도 메트릭 대 고전적 노크 강도 메트릭의 효과를 나타내는 그래프이다.
- 도 7은 0 %, 60 % 및 90 % 가스 치환율에서의 평활화된 열 방출 트레이스의 플롯이다.
- 도 8은 다양한 속도에서의 연소 강도 대 가스 치환의 2-D 윤곽 플롯이다.
- 도 9는 총 열 방출의 10 %, 50 % 및 90 %의 각도 위치 대 가스 치환의 플롯이다.
- 도 10은 0 %, 60 % 및 90 % 가스 치환율에서의 실린더 내 압력 대 크랭크 각도의 플롯이다.
- 도 11은 0 %, 60 % 및 90 % 가스 치환율에서의 평활화된 열 방출 트레이스 대 크랭크 각도의 플롯이다.
- 도 12는 연소 강도 및 노크 강도 메트릭 대 가스 치환율(GSR)의 플롯이다.
- 도 13은 80 % GSR에서 0 %, 10 % 및 15 % 프로판 가스 치환율(PSR)에서의 실린더 내 압력 트레이스의 플롯이다.
- 도 14는 80 % GSR에서 0 %, 10 % 및 15 % 프로판 가스 치환율(PSR)에서의 평활화된 열 방출 트레이스의 플롯이다.

도 15는 90 % GSR에서 연소 강도 및 노크 강도 메트릭 대 프로판 가스 치환율(PSR)의 플롯이다.

도 16은 연소 강도 및 노크 강도 메트릭 대 매니폴드 공기 온도(MAT)의 플롯이다.

도 17a는 GSR 및 PSR 대 시간의 플롯이다.

도 17b는 CI 메트릭의 응답에 대한 프로판 추가를 갖는 사인파 GSR 명령의 효과를 도시하는, 도 17a 중의 연소 강도 대 시간의 플롯이다.

도 18a는 매니폴드 공기 온도(MAT) 대 시간의 플롯이다.

도 18b는 연소 강도 메트릭의 응답에 대한 MAT의 효과를 도시하는, 도 18a에 대한 연소 강도 대 시간의 플롯이다.

도 19는 본 개시의 예시적인 양태의 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0036] 미제어 연소의 시작을 정확하게 예측할 수 있는 압력 및 열 방출 메트릭의 수학적 조합을 모니터링하는, 미제어 연소를 검출하는 새로운 접근법 - 즉, 연소 강도(CI) - 이 개시되어 있다. 스파크 점화 및 이중 연료 엔진으로부터의 데이터는, 극도로 급격한 최종 가스 번 속도에 이어 고주파수 진동이 발생하는 심각한 조건에서 가장 잘 작동하는 기존의 노크 유형, 진동 주파수 기반 접근 방식의 단점을 보여준다. 이 기술은 특히 이중 연료 연소에서, 신호를 모호하게 하는 디젤 연소 리플이 있을 때 그리고 특정 모드에서, 주파수 성분이 정상 검출 임계값 아래로 감소할 때는 미흡하다. 대조적으로, 본 명세서에 설명된 CI 메트릭의 실시예들은 모든 작동점에 걸쳐 가스 치환이 증가함에 따라 그리고 심지어 가스 품질, 매니폴드 공기 온도, 또는 다른 엔진 조건이 변할 때에도 단조로운 경향을 제공한다. 이는 일부 예들에서 연소 강도 목표표로 지정될 수 있는 결정적인 제어 작용 경로를 제공한다. 이러한 단계들이 발생하는 가스 치환율(GSR) 및 연소 강도의 심각도(severity)는 상이한 엔진 구성에 따라 다를 수 있지만, 그러나 여기에 개시된 본질적인 연소 현상은 보편적으로 관련이 있어야 한다.
- [0037] 가스 엔진을 그들의 희박/낮은 NOx 및 높은 BMEP 한계로 그리고 가스-디젤 이중 연료 엔진을 높은 치환율로 푸시하는 것은 종종 노크와 같은 성능을 제한하는 갑작스러운 미제어 연소를 초래한다. 비-정상 연소의 진행 과정을 이해하고 검출하는 것이 엔진 보호의 핵심이다. 본 개시의 양태들은 스파크 점화 및 이중 연료 엔진에서 실린더 내 압력을 사용하여 미제어 연소의 진행을 검출할 수 있는 능력을 포함한다. 가스 엔진의 경우, 압력 기반 노크 검출은 모든 노크 사이클을 캡처하는 한편, 진동 기반 노크 검출은 상당한 비율을 놓치게 된다. 이중 연료 엔진의 경우, 기존의 주파수 기반 검출 접근법은 심각한 연소 이벤트를 검출할 수 있지만, 그러나 연속적으로 증가하는 양호한 신호를 제공하지는 않는다. 이로 인해 엔진 제어 및 교정이 매우 어려워지므로, 따라서 안전 마진을 유지하기 위해 일반적으로 낮은 치환율을 구동한다. 이러한 거동은 실린더에 압력 리플을 생성하는 디젤 연소 공정으로 인한 것이다.
- [0038] 역사적으로, "노크"라는 단어는 화염 전방 외부의 가연성 가스 혼합물의 압축 및 가열로 인한 "자동 점화" 현상과 일반적으로 관련된 임의의 형태의 "미제어 연소"를 의미하도록 널리 사용되어 왔다. 제어된 연소는 전파 화염과 관련이 있는 버닝된 질량 분율의 규칙적인 진행으로 특징 지워질 것이다. 화염으로부터 발생하는 압력 및 온도로 인해 화염보다 먼저 최종 가스가 자동 점화하지만, 그러나 화염에 있지 않는 경우 고전적인 노크가 발생할 것이다. 자동 점화가 발생하면, 이것은 고주파수 압력 진동 및 잠재적인 진동 소음으로 검출되는 실린더에 걸친 압력 파를 보낸다.
- [0039] 미제어 연소는 열 방출율의 불연속적인 급격한 증가를 특징으로 할 수 있고, 이와 같은 열 방출율의 급격한 증가는 압력 트레이스 형태로 나타날 것이지만, 그러나 고주파수 압력 진동을 유발할 수도 있거나 또는 그렇지 않을 수도 있다. 미제어 연소가 시작부터 심각한 노크까지 심각도가 점진적으로 형성되어, 제어 작용을 위한 충분한 시간을 제공하는 스파크 점화 엔진과는 달리, 이중 연료 엔진에서 "미제어 연소"의 시작은 갑작스럽고 그리고 비-단조로울 수 있다. 이러한 "미제어 연소"가 발생하면, 종종 너무 늦을 때까지 실린더 내 압력 또는 진동 기반 노크 센서 신호에서 고주파수 진동이 항상 관측되는 것은 아니다.
- [0040] 치환율이 특정 지점을 넘어서 증가함에 따라, 진동 노크 특성이 감소하는 것으로 밝혀졌다. 과도한 가스 치환율, 변하는 가스 품질, 또는 다른 영향으로부터 보호하기 위해 엔진이 노크에 의존하는 경우, 안전한 엔진 작동을 유지하면서 치환을 최대화하기 위해 신호 피드백을 점진적으로 증가시키는 강력한 제어 시스템이 필요하다.
- [0041] 이를 달성하기 위해, 결정적인 제어 작용 경로를 제공하는 미제어 연소의 진행을 정확하게 예측할 수 있어 압력

및 열 방출 메트릭의 수학적 조합을 모니터링하는, 미제어 연소를 검출하는 새로운 접근법이 설명된다. 이러한 접근법에 의해, 디젤 이중 연료 엔진에서 치환율이 최대화될 수 있고, 원하는 안전 마진으로 유지될 수 있다.

[0042] 디젤 이중 연료 엔진에서 볼 수 있는 상이한 연소 모드들을 나타내기 위해 다양한 속도 및 부하에서 치환율을 변화시키기 위한 테스트가 수행되었다. 이러한 데이터는 이중 연료 엔진에서 미제어 연소를 검출하여 연소 강도(CI)라는 용어를 제안하는 더 양호한 접근법을 결정하기 위해 사용되었다. 본 명세서에 설명된 연소 강도 메트릭은 연소 사이클과 동시에 실린더 내 압력의 직접적인 모니터링에 기초하기 때문에, 미제어 연소에 대한 보호를 향상시키면서, 보다 양호한 제어 가능성을 제공하기 위해 연소 상태의 연속적으로 증가하는 측정을 전달한다.

[0043] 위에서 설명한 바와 같이, 이중 연료 엔진의 경우, 종래의 주파수 기반 검출 접근법은 심각한 연소 이벤트를 검출할 수 있지만, 그러나 심각도와 관련된 양호한 연속적으로 증가하는 신호를 제공하지는 않는다. 이것은 엔진 제어 및 교정을 매우 어렵게 만들고, 일반적으로 안전 마진을 유지하기 위해 치환율을 낮추도록 구동한다. 낮은 가스 치환율의 경우, 디젤 자동 점화가 실린더에서 압력 리플을 생성함에 따라 디젤 연소 공정이 지배적으로 된다. 가스가 새로운 차지에 추가됨에 따라, 디젤 점화 연소의 강도는 강도 면에서 증가한다 - 가스는 디젤 개시 연소의 효과를 증폭시킨다. 그러나, 치환율이 특정 지점을 넘어서 증가함에 따라, 연소가 모드를 "디젤 유사"에서 "미리 혼합된 가스 유사"로 이동시키고 추가적인 가스 치환으로 주파수 기반 성분이 감소하기 시작함에 따라 진동 노크 특성이 감소한다. 엔진이 과도한 가스 치환율, 변하는 가스 품질, 또는 다른 영향으로부터 보호하기 위해 진동 기반 노크 센서에 의존하는 경우, 안전한 엔진 작동을 유지하면서 치환을 최대화하기 위해 신호 피드백을 점진적으로 증가시키는 강력한 제어 시스템이 필요하다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 이중 연료 엔진에서 미제어 연소를 검출하는 새로운 접근법이 필요하다.

[0044] 본 명세서에 설명된 하나의 예시적인 해결책은 엔진 상에 적어도 하나의 실린더 내 압력 센서를 포함시키는 것이고, 엔진의 작동과 동시에 그리고, 일부 예들에서는, 실시간으로 다음의 연소 메트릭이 계산된다: 피크 압력, 피크 압력의 위치, 압력 상승률, 압력 리플, 리플의 위치, 번 지속 시간, 및 열 방출 기울기, 열 방출율의 중심 위치, 최대 열 방출율의 위치. 일부 예들에서, 이러한 메트릭은 그 후 엔진이 미제어 연소에 얼마나 가깝게 작동하고 있는지를 결정하기 위해 함께 사용된다. 이러한 결정에 기초하여, 엔진은 안전한 작동을 유지하면서 더 높은 치환율로 푸시될 수 있다.

[0045] 이중 연료 가스/디젤 연소의 가장 요구가 많은 버전은 본 명세서에서 기존의 디젤 엔진에 가스 연료를 추가하는 것을 지칭하지만, 스톱 압축비, 밸브 타이밍, 및 피스톤은 변경되지 않으며, 이 방법은 마이크로 파일럿을 포함하는 모든 이중 연료 가스/디젤 엔진에 적용된다. 가스는 일반적으로 천연 가스, 프로판 또는 바이오 가스로 구성되며, 이것은 흡입 시스템 내로 혼중 처리가 되는 단일 지점 또는 흡입 밸브 근처에 주입된 포트에서 도입된다. 일부 예들에서, 이중 연료는 천연 가스를 스톱 디젤 엔진의 연소 챔버에 연속적으로 추가하는 것을 지칭할 것이다. 가스 치환율이 증가함에 따라, 디젤은 목표 부하를 유지하기 위해 동일한 에너지 비율로 디젤 양을 감소시킴으로써 "관리"할 것이다.

[0046] 먼저 도 1a를 참조하면, 본 개시의 양태에 사용 가능한 예시적인 엔진 시스템(100)이 도시되어 있다. 엔진 시스템(100)은 엔진 제어 유닛(102), 공기/연료 모듈(104), 점화 모듈(106) 및 엔진(101)(여기서는 왕복 엔진으로 도시됨)을 포함한다. 도 1a는 예를 들어 내연 엔진(100)을 도시한다. 본 개시의 목적을 위해, 엔진 시스템(100)은 가스 연료 공급 왕복 피스톤 엔진으로서 설명될 것이다. 특정 경우에는, 엔진은 천연 가스 연료로 작동한다. 엔진은 연료의 유형(기체, 액체(예를 들어, 가솔린, 디젤 및/또는 기타), 동일한 상 또는 혼합 상 다중 연료 및/또는 다른 구성) 및 엔진의 물리적 구성(왕복, 방켈(Wankel) 회전, 및/또는 다른 구성) 모두에서, 임의의 다른 유형의 연소 엔진일 수 있다. 엔진 제어 유닛(102), 공기/연료 모듈(104) 및 점화 모듈(106)이 개별적으로 도시되어 있지만, 모듈(102, 104, 106)은 단일 모듈로 결합되거나 또는 다른 입력 및 출력을 갖는 엔진 제어기의 일부일 수 있다.

[0047] 왕복 엔진(101)은 엔진 실린더(108), 피스톤(110), 흡기 밸브(112) 및 배기 밸브(114)를 포함한다. 엔진(101)은 하나 이상의 실린더(108)(도 1a에는 단지 하나만이 도시되어 있음)를 포함하는 엔진 블록을 포함한다. 엔진(100)은 실린더(108), 피스톤(110) 및 헤드(130)에 의해 형성된 연소 챔버(160)를 포함한다. 스파크 플러그(120) 또는 직접 연료 인젝터 또는 프리 챔버가 점화 장치가 가연성 혼합물에 접근할 수 있게 하는 헤드(130) 내에 위치된다. 일반적으로, "스파크 플러그"라는 용어는 직접 연료 분사 장치 및/또는 스파크 플러그 또는 프리 챔버 내의 다른 점화 장치를 지칭할 수 있다. 스파크 플러그의 경우, 스파크 플러그(120)의 스파크 갭(122)은 연소 챔버(160) 내에 위치된다. 일부 예들에서, 스파크 갭(122)은 사이 내에 작은 공간을 갖는 2 개 이상

의 전극의 배열이다. 전극들 중 하나에 전류가 인가될 때, 전극들 사이의 작은 공간(즉, 스파크 갭)을 브리지 연결하는 전기 아크가 생성된다. 레이저 점화기, 고온 표면 점화기 및/또는 또 다른 유형의 점화기를 포함하는 다른 유형의 점화기가 사용될 수 있다. 각 실린더(108) 내의 피스톤(110)은 상사점(TDC) 위치와 하사점(BDC) 위치 사이에서 이동한다. 엔진(100)은 피스톤(110)이 각각의 실린더(108) 내의 TDC와 BDC 위치 사이에서 이동하고 크랭크 샤프트(140)를 회전시키도록 각각의 피스톤(110)에 연결된 크랭크 샤프트(140)를 포함한다. TDC 위치는 연소 챔버(160)의 최소 부피를 갖는 피스톤(110)의 위치(즉, 피스톤(110)이 스파크 플러그(120) 및 연소 챔버(160)의 상단에 가장 가깝게 접근한 위치)이고, BDC 위치는 연소 챔버(160)의 최대 부피를 갖는 피스톤(110)의 위치(즉, 피스톤(110)이 스파크 플러그(120) 및 연소 챔버(160)의 상단으로부터 가장 멀리 후퇴한 위치)이다.

[0048] 실린더 헤드(130)는 흡기 통로(131) 및 배기 통로(132)를 한정한다. 흡기 통로(131)는 흡기 매니폴드(116)로부터 연소 챔버(160) 내로 공기 또는 공기 및 연료 혼합물을 안내한다. 배기 통로(132)는 연소 챔버(160)로부터 배기 매니폴드(118) 내로 배기 가스를 안내한다. 흡기 매니폴드(116)는 흡기 통로(131) 및 흡기 밸브(112)를 통해 실린더(108)와 연통된다. 배기 매니폴드(118)는 배기 밸브(114) 및 배기 통로(132)를 통해 실린더(108)로부터 배기 가스를 수용한다. 흡기 밸브(112) 및 배기 밸브(114)는 각각의 실린더에 대한 밸브 작동 조립체를 통해 제어되며, 이는 전자적으로, 기계적으로, 유압적으로 또는 공압적으로 제어되거나 또는 캠 샤프트(도시되지 않음)를 통해 제어되는 것을 포함할 수 있다.

[0049] 각 실린더(108) 내의 TDC와 BDC 위치 사이에서 피스톤(110)의 이동은 흡기 행정, 압축 행정, 연소 또는 동력 행정 및 배기 행정을 한정한다. 흡기 행정은 흡기 밸브(112)가 개방되고 흡기 통로(131)를 통해 연료/공기 혼합물이 연소 챔버(160) 내로 흡입되는 상태에서 스파크 플러그(120)로부터 멀리 향하는 피스톤(110)의 이동이다. 압축 행정은 공기/연료 혼합물이 연소 챔버(160) 내에 있는 상태에서 스파크 플러그(120)를 향한 피스톤(110)의 이동이며 흡기 값(112) 및 배기 밸브(114)는 모두 폐쇄되고, 이로써 피스톤(110)의 이동이 연소 챔버(160)에서 연료/공기 혼합물을 압축할 수 있게 한다. 연소 또는 동력 행정은 스파크 플러그(120)가 스파크 갭(122)에 아크를 발생시킴으로써 연소 챔버에서 압축된 연료/공기 혼합물을 점화할 때 연소 행정 후에 발생하는 스파크 플러그(120)로부터 멀리 향하는 피스톤(110)의 이동이다. 점화된 연료/공기 혼합물은 연소되어 연소 챔버(160) 내의 압력을 신속하게 상승시켜, 스파크 플러그(120)로부터 멀리 향하는 피스톤(110)의 이동에 팽창력을 가한다. 배기 행정은 연소 행정 후 스파크 플러그(120)를 향한 피스톤(110)의 이동이며, 배기 밸브(114)가 개방되어 피스톤(110)이 배기 통로(118)를 통해 배기 매니폴드(118)로 연소 가스를 배출할 수 있게 한다.

[0050] 엔진(100)은 연료를 흡기 매니폴드(116) 내로 또는 연소 챔버(160) 내로 직접 안내하기 위한 연료 인젝터, 가스 혼합기 또는 다른 연료 공급 장치와 같은 연료 공급 장치(124)를 포함한다. 일부 예들에서, 엔진(100)은 연소 챔버(160) 내로의 2 개의 연료 소스를 갖는 이중 연료 엔진이다.

[0051] 일부 예들에서, 엔진 시스템(100)은 피스톤/실린더, 예를 들어 방켈 엔진(즉, 연소 챔버의 로터)을 갖지 않는 다른 유형의 내연 엔진(101)을 포함할 수 있다. 일부 예들에서, 엔진(101)은 각각의 연소 챔버(160)에 2 개 이상의 스파크 플러그(120)를 포함한다.

[0052] 엔진의 작동 중에, 즉 연소 챔버(160)에서 연소 이벤트 동안, 공기/연료 모듈(104)은 연소 챔버(160)에 들어가기 전에 흡기 매니폴드 내로 유입되는 공기의 흐름에 연료를 공급한다. 스파크 모듈(106)은 피스톤(110)의 각각의 연속 압축 및 연소 행정 사이의 일련의 점화 이벤트 동안 연소 챔버(160) 내에서 연료/공기 혼합물의 연소를 개시하는 아크 스파크 갭(122)의 아크 발생 타이밍을 조절함으로써 연소 챔버(160)에서 공기/연료의 점화를 제어한다. 각 점화 이벤트 동안, 스파크 모듈(106)은 점화 타이밍을 제어하고, 스파크 플러그(120)의 1 차 점화 코일에 파워를 제공한다. 공기/연료 모듈(104)은 연료 분사 장치(124)를 제어하고, 스로틀 밸브(126)를 제어하여 공기 및 연료를 목표 비로 엔진 실린더(108)에 전달할 수 있다. 공기/연료 모듈(104)은 엔진 제어 모듈(102)로부터 피드백을 수신하고, 공기/연료 비를 조정한다. 스파크 모듈(106)은 스파크 플러그에 전기적으로 결합되고 전원으로로부터 전류가 공급되는 점화 코일의 작동을 제어함으로써 스파크 플러그(120)를 제어한다. ECU(102)는 엔진 속도 및 부하에 기초하여 그리고 아래에 개시되는 본 시스템의 양태에 더하여 스파크 모듈(106)의 동작을 조절한다.

[0053] 일부 예들에서, ECU(102)는 ECU(102)의 프로세서에 의해 실행되는 통합 소프트웨어 알고리즘으로서 스파크 모듈(106) 및 연료/공기 모듈(104)을 포함하고, 이로써 엔진 전체에 걸쳐 위치될 수 있는 하나 이상의 센서(도시되지 않음)로부터 수신된 입력에 응답하여, 엔진을 단일 하드웨어 모듈로서 작동시킨다. 일부 예들에서, ECU(102)는 설명된 연료/공기 모듈(104) 및 스파크 모듈(106)의 동작에 대응하는 개별 소프트웨어 알고리즘을

포함한다. 일부 예들에서, ECU(102)는 연료/공기 모듈(104) 및 스파크 모듈(106)의 설명된 기능의 구현 또는 제어를 돕는 개별 하드웨어 모듈을 포함한다. 예를 들어, ECU(102)의 스파크 모듈(106)은 스파크 플러그(120)의 점화 코일로의 전류 전달을 조절하기 위한 ASIC을 포함할 수 있다. 엔진(100)의 작동 파라미터를 모니터링하기 위한 복수의 센서 시스템이 존재하며, 이는 예를 들어, 크랭크 샤프트 센서, 엔진 속도 센서, 엔진 부하 센서, 흡기 매니폴드 압력 센서, 실린더 내 압력 센서 등을 포함할 수 있다. 일반적으로 이러한 센서는 엔진 작동 파라미터에 응답하여 신호를 생성한다. 예를 들어, 크랭크 샤프트 센서(171)는 크랭크 샤프트(140)의 각도 위치를 나타내는 신호를 판독하고 생성한다. 예시적인 실시예에서, 고속 압력 센서(172)는 엔진(100)의 작동 동안 실린더 내 압력을 측정한다. 센서(171, 172)는 감지를 용이하게 하기 위해 ECU(102)에 직접 연결될 수 있거나, 또는 일부 예들에서, 하나 이상의 센서로부터 고속 데이터를 획득하고 ECU(102)에 저속 데이터 출력을 제공하도록 구성된 실시간 연소 진단 및 제어(RT-CDC) 유닛과 통합된다. 일부 예들에서, 본 명세서에 기술된 점화 제어는 ECU(102) 및 스파크 모듈(106)의 동작을 제공하는 독립 점화 제어 시스템이다. 센서는 ECU(102) 또는 RT-CDC와 같은 제어 모듈 중 하나에 통합될 수 있다. 다른 센서들도 가능하며, 여기에 설명된 시스템은 위에서 설명한 엔진 작동 파라미터의 감지를 용이하게 하기 위해 하나 초과의 이러한 센서를 포함할 수 있다.

[0054] 도 1b는 도 1a의 엔진 시스템(100)의 엔진 제어 시스템(200)의 개략도이다. 도 1b는 엔진(101)을 제어하도록 구성된 엔진 제어 시스템(200) 내의 ECU(102)를 도시한다. 위에서 설명한 바와 같이, 고속 압력 데이터(272)는 각각 연소 챔버에 직접 접근하도록 장착된 압력 센서(172)에 의해 생성된다. 압력 신호(272)는 엔진(101)의 사이클 당 높은 크랭크 동기 속도, 예를 들어 0.25° 분해능 또는 2880 샘플로 캡처된다. 이러한 합성 크랭크 각도 신호는 저 분해능 크랭크 위치 신호로부터 생성된다. 예를 들어, 디스크 상에서 치형부의 에지의 통과를 감지함으로써 크랭크 각도 신호(215)를 생성하는 전형적인 크랭크 각도 인코더(171)에서, 디스크는 크랭크와 함께 회전하도록 장착되고, 크랭크 위치의 분해능은 치형부의 개수에 기초한다. 일반적인 60-2 치형부 휠의 분해능은 6°이다. 그러나, 일부 예들에서, 에지들 사이의 공간에서 크랭크 각도를 결정하기 위해 보간이 사용된다. 따라서, 에지들 사이의 간격은 이전에 관찰된 치형부 주기를 원하는 각도 샘플링 분해능을 달성하는데 필요한 에지의 개수로 나눈 값을 사용한다. 평균 엔진 속도가 일정하고 인코더 시스템이 각각의 에지에서 재-동기화되는 경우에도 볼 수 있는 크랭크 치형부 사이의 작은 변동성을 설명한다.

[0055] 일부 예들에서, 결과적인 고 분해능 압력 신호(272)는 실시간 연소 진단 및 제어(Real-time Combustion Diagnostics and Control)(RT-CDC)(211) 모듈의 연소 진단 루틴에 의해 사용되어, 아래에서 더 상세하게 논의되는 바와 같이, 예를 들어 IMEP, P_{max} , CA50, 연소 품질 및 연소 강도와 같은, 사이클 당, 실린더마다 연소 진단(219)을 생성한다. 메트릭(218)은 후속적으로 엔진 제어 액추에이터 설정(219)을 변조함으로써 주요 연소 성능 특성을 조정하기 위한 피드백 신호로서 ECU(102)에 의해 사용된다.

[0056] 도 1c는 여기에 개시된 시스템 및 방법의 양태를 갖도록 구성된 예시적인 엔진 제어 유닛(102)의 블록도이다. 예시적인 엔진 제어 유닛(102)은 프로세서(191), 메모리(192), 저장 장치(193), 및 하나 이상의 입력/출력 인터페이스 장치(194)를 포함한다. 컴포넌트들(191, 192, 193 및 194) 각각은 예를 들어 시스템 버스(195)를 사용하여 상호 연결될 수 있다.

[0057] 프로세서(191)는 엔진 제어 유닛(102) 내에서 실행을 위한 명령어를 처리할 수 있다. 본 명세서에서 사용되는 용어 "실행"은 프로그램 코드가 프로세서로 하여금 하나 이상의 프로세서 명령어를 수행하게 하는 기술을 지칭한다. 일부 구현들에서, 프로세서(191)는 단일 스레드(single-threaded) 프로세서이다. 일부 구현들에서, 프로세서(191)는 멀티 스레드 프로세서이다. 프로세서(191)는 메모리(192) 또는 저장 장치(193)에 저장된 명령어를 처리할 수 있다. 프로세서(191)는 연소 강도의 계산과 같은 동작을 실행할 수 있다.

[0058] 메모리(192)는 엔진 제어 유닛(102) 내에 정보를 저장한다. 일부 구현들에서, 메모리(192)는 컴퓨터 판독 가능한 매체이다. 일부 구현들에서, 메모리(192)는 휘발성 메모리 유닛이다. 일부 구현들에서, 메모리(192)는 비-휘발성 메모리 유닛이다.

[0059] 저장 장치(193)는 엔진 제어 유닛(102)에 대해 대용량 저장 장치를 제공할 수 있다. 일부 구현들에서, 저장 장치(193)는 비-일시적인 컴퓨터 판독 가능한 매체이다. 다양한 상이한 구현들에서, 저장 장치(193)는 예를 들어 하드 디스크 장치, 광 디스크 장치, 솔리드 스테이트 드라이브, 플래시 드라이브, 자기 테이프 또는 일부 다른 대용량 저장 장치를 포함할 수 있다. 입력/출력 인터페이스 장치(194)는 엔진 제어 유닛(102)에 대한 입력/출력 동작을 제공한다. 일부 구현들에서, 입력/출력 인터페이스 장치들(194)은 실린더 내 압력 센서(172), 크랭크 각도 센서(171), 또는 다른 엔진 센서들을 포함할 수 있다.

[0060] 일부 예들에서, 엔진 제어 유닛(102)은 단일 집적 회로 패키지 내에 포함된다. 프로세서(191) 및 하나 이상의

다른 컴포넌트들 모두가 단일 집적 회로 패키지 내에 포함되고 그리고/또는 단일 집적 회로로서 제조되는 이러한 종류의 엔진 제어 유닛(102)은 때때로 마이크로 제어기로 불린다. 일부 구현들에서, 집적 회로 패키지는 예를 들어 하나 이상의 입력/출력 인터페이스 장치(1140)로 그리고 하나 이상의 입력/출력 인터페이스 장치로부터 신호를 통신하는데 사용될 수 있는 입력/출력 포트에 대응하는 핀들을 포함한다.

- [0061] 본 명세서에 설명된 개념들의 특정 양태는 사이클-대-사이클에 기초하는 실린더 내 압력 정보뿐만 아니라 다음 알고리즘을 수집하여 처리할 수 있는 능력을 포함한다:
- [0062] (I) 피크 압력 - 하나의 이벤트 동안 최대 연소 압력
- [0063] (II) 압력 상승률 - 연소 동안 최대 압력 상승률
- [0064] (III) 압력 리플 - "압력 기반 노크 지수"라고도 알려져 있는 델타(P)의 가산
- [0065] (IV) 번 지속 시간 - CAx1과 CAx2 사이의 크랭크 각도
- [0066] (V) 열 방출 기울기 - 연소 공정의 제 2 절반부와 비교되는 제 1 절반부 연소 공정의 결정
- [0067] (VI) 피크 압력의 위치
- [0068] (VII) 리플의 위치
- [0069] (VIII) 열 방출율의 중심 위치
- [0070] (IX) 최대 열 방출율의 위치
- [0071] 본 개시의 특정 양태는 위에서 열거된 연소 메트릭을 사용하여, 엔진을 최대 가스 치환으로 안전하게 구동하기 위해 제어 루프에서 사용될 수 있는 연소 강도 수를 결정한다. 이중 연료 엔진에서 볼 수 있는 많은 상이한 경우들을 커버하기 위해 이러한 모든 메트릭들이 필요하다.
- [0072] 본 명세서에 개시된 인에이블링 기술의 일 예는 번 지속 시간뿐만 아니라 열 방출 변화 알고리즘이다. 열 방출 변화는 정적으로 결정되거나 또는 동적으로 결정되어, 연소 속도가 증가하는 변곡점이 정확하게 결정될 수 있다.
- [0073] 이전에, 이중 연료 엔진에서, 진동 센서가 사용되었지만, 그러나 이들은 극단적인 자동 점화의 존재로 인해 제어기가 심한 노크를 검출할 수 있게 할 뿐이다. 기존 해결 방안은 가속도계를 사용하여 폭발을 검출하기 위해 주파수와 진폭을 결정한다. 그러나 기존 해결 방안은 이중 연료 엔진에 적합하지 않은데, 더 높은 치환율에 도달하면 신호가 감소하기 때문이다. 이것은 통제되지 않은 연소에 대한 근접도를 이해하는 것을 매우 어렵게 만든다. 더 높은 치환율이 요구되는 경우, 제어기가 작동하는 임계값은 정상적인 이중 연료 연소 동안 가장 높은 신호보다 더 커야 한다. 안전한 엔진 작동을 유지하기 위해, 노크 임계값은 가장 높은 강도보다 낮아야 하지만, 그러나 이는 도 2에 도시된 바와 같이 허용 가능한 치환율을 제한할 것이다. 도 2는 아래에서 더 상세히 논의되는 바와 같이, 예시적인 엔진에서 처리된 가속도계 검출이 가스 치환의 기능으로서 수행하는 것의 플롯을 도시한다. 이 기술은 특정 이중 연료 모드에서 신호를 모호하게 하는 디젤 연소 리플로 인해 이중 연료 연소에서 특히 실패하며, 나중에 모든 주파수 성분이 높은 GSR에서 사라져 미제어 연소에 대한 안전 마진을 명확하게 표시하지 않는다. 연소 상태를 캡처할 수 있는 더 강력한 검출 방법론이 필요하다. 이를 염두에 두고, 연소 강도(CI) 메트릭이 공식화되었다.
- [0074] 본 개시의 특정 양태는 치환율이 계속해서 증가함에 따라 검출 신호를 증가시키기 위해 특정 조합으로 사용될 수 있는 엔진 메트릭을 계산하기 위한 실린더 내 직접 압력 측정의 사용에 관한 것이다. 이를 통해 엔진 제어기는 엔진이 미제어 연소에 얼마나 가까운지를 이해하여 이에 따라 안전한 엔진 작동을 유지하면서 최대 치환율 달성할 수 있다. CI 메트릭의 하나의 예는 압력 리플 및 피크 압력과 같은 고전적인 메트릭을 포함하여, 열 방출율 및 압력 상승률 메트릭의 가중 합계로 표현된다. 일부 예들에서, CI는 다항식, 가중 합, 지수 또는 멱 법칙의 합, 또는 비선형 함수, CI = 함수와 같이 위에서 식별된 임의의 파라미터의 임의의 수학적 조합일 수 있다 (피크 압력, 압력 상승률, 압력 리플, 번 지속 시간, 열 방출 변화율, 노크 지수).
- [0075] 하나의 예시적인 연소 강도 메트릭은 아래에서 식 1에 도시된 바와 같은 파라미터의 선형 합으로 표현된다.
- [0076] 식 1:
- [0077] $CI = (a_1 \cdot \text{피크 압력}) + (a_2 \cdot \text{압력 상승률}) + (a_3 \cdot \text{압력 리플}) + (a_3 \cdot \text{번 지속 시간}) + (a_4 \cdot \text{열 방출 변화율})$

+ (a5 · 노크 지수)

- [0078] 이 CI 메트릭은 압력 기반 정보 및 열 방출 정보를 사용하고 종래의 진동 기반 검출의 제한을 갖지 않는다. 일부 예들에서, CI 메트릭은 압력 메트릭, 열 방출 메트릭, 및 기존의 노킹 메트릭의 합이다.
- [0079] 일부 예들에서, CI 메트릭은 엔진의 기계적 한계에 대한 지식으로 쉽게 교정될 수 있는 실제 엔진 한계를 포함한다. 일부 예들에서, 이러한 CI 메트릭은 또한 2 차 안전성 측정을 위해 기존의 노크 검출 및 피크 압력 한계를 통합한다. CI 메트릭은 실험실에서 교정하는 동안 압력 트레이스에서 관찰될 수 있는 정성적 연소 센스와 밀접한 관련이 있다. 도 6에 도시된 연소 강도 메트릭은 가스 치환이 증가함에 따라 30%로부터 94 %로 점진적으로 증가한다. 이하의 예 1에서 보다 상세하게 논의되는 도 6은 미제어 연소에 대한 근접도의 정도로서 연소 강도 메트릭 대 기존의 노크 강도 메트릭을 나타내는 가스 치환의 함수로서 연소 강도 메트릭이 수행하는 것을 도시한다. 미제어 연소로부터 원하는 안전 마진을 유지하면서 가스 치환을 최대화하도록 제어기를 대상으로 할 수 있는 명확한 선형 제어 작동 경로가 설정될 수 있다. 일부 예들에서, 연소 강도 메트릭은 엔진이 미제어 연소에 얼마나 가깝게 작동하고 있는지를 설명한다(또는 결정하는데 사용된다). 이것은 예를 들어 연소 강도 메트릭을 사용하여 미제어 연소를 유발하지 않으면서 GSR의 증가를 제어함으로써 안전한 엔진 작동을 유지하면서도 GSR을 증가시킬 수 있게 함으로써, 안전 작동을 유지하면서 엔진이 더 높은 치환율로 푸시될 수 있게 한다. 연소 강도 메트릭은 예를 들어 미제어 연소의 가능성에 따라 CI 메트릭이 증가하기 때문에 현재 연소 상태의 보다 정확한 '픽처'를 제공함으로써 이러한 안전한 증가를 가능하게 한다. 따라서, 엔진 제어에서 CI 메트릭을 사용하면, 예를 들어 타겟 CI 값을 선택한 다음 제어 루프에서 CI 메트릭을 사용하여 타겟 CI 내에서 GSR을 최대화할 수 있게 한다. 일부 예들에서, CI 메트릭은 교정 요구 사항을 감소시킨다.
- [0080] 본 개시의 양태는 미제어 연소(폭발)가 더 이상 전통적인 시간 기반 주파수 도메인에서 고려되지 않고, 그 대신에 실제 엔진 한계에 기초한 직접 실린더 내 압력 정보로부터 고려될 수 있게 한다. 양태들은 높은 치환율의 이중 연료 엔진을 손상시킬 위험을 감소시킨다. 연소 강도 메트릭이 알려진 기계적 엔진 한계를 사용하므로 미제어 연소를 검출하기 위한 교정 노력이 크게 감소된다. 예시적인 구현에는 또한 이중 연료 엔진 운전자에게 훨씬 더 양호한 가치 제안을 제공하는 안전을 위한 마진을 추가할 필요 없이 엔진이 항상 최대 치환 제어로 작동할 수 있게 한다.
- [0081] 진동 기반 검출로부터의 예시적인 개선은 연소와 동시에 열 방출을 포함시키는 것인데, 이는 아래에서 예 1에서 보다 상세하게 논의되는 바와 같이, 도 7에 도시된 0 %, 60 % 및 90 % 가스 치환율(GSR)에서 평활화된 열 방출 트레이스의 플롯에서 볼 수 있는 바와 같이 천연 가스를 추가하는 주요 효과이기 때문이다. 천연 가스가 추가됨에 따라, 기존의 디젤 예혼합 스파이크가 감소되고, 이 경우 60%에서 매우 공격적인 열 방출율로 진행된다. 이것은 연소 강도의 현재 상태를 이해하기 위해 모니터링될 수 있다. 90 % GSR 이상에서는, 연소가 완전히 가스 지배적이 되며, 엔진은 거의 스파크 점화 엔진 또는 마이크로 파일럿 점화 가스 엔진과 같이 거동한다.
- [0082] CI 메트릭은 연소 상태의 점진적인 측정치이며, 다음 예에서 볼 수 있는 바와 같이 미제어 연소에 대한 근접도에 대한 양호한 지표이다.
- [0083] **예 1**
- [0084] 디젤-천연 가스 이중 연료 엔진의 원래 디젤 연소 특성에 대한 가스 추가의 영향에 대한 연구가 수행되었으며, 여기서 원래 디젤 엔진의 스톱 엔진 압축비는 변하지 않은 채로 유지되었다. 연구에 사용된 이중 연료 엔진의 사양은 표 1에 도시되어 있다. 우드워드(Woodward) 노크 센서(WLEKS) 및 키슬러(Kistler) 6058A 압전 실린더 내 압력 센서를 사용하여, 더베틀론(Dewetron) 연소 분석기에서 200 kHz로 샘플링한 임의의 미제어 연소를 캡처하였다. 화학 에너지 분할 계산을 사용하여 가스가 디젤을 치환하기 전에, 엔진은 IMEP 및 MAT에 대한 100 % 디젤 타겟팅 설정 값으로 항상 안정적인 작동 조건으로 설정되었다. 디젤 연료는 엔진이 작동하는 속도 부하 맵에서의 위치에 따라, 상사점 이전 2 내지 8 도 사이에 분사되었다. 가스 치환율(GSR)은 10 % 증분의 단계들로 증가되고, 다른 속도 및 부하 지점에서 반복되었다. 다음 도면(도 2 내지 도 11)에 표시된 데이터는 300 회 이상의 연소 사이클에 대한 평균이다. 이 연구에 사용된 천연 가스의 메탄가는 대략 82이고, 84 % 메탄, 9 % 에탄 및 1 % 프로판이다.

표 1

실린더	4
보어	82 mm
행정	90.4 mm
압축비	17.5 : 1
연료 공급 - 디젤	커먼 레인
연료 공급 - 가스	주입 포트

정격 토크	315 nM @ 2000 RPM
최대 BMEP	20 bar

[0085]

[0086]

표 1: 이중 연료 엔진 사양

[0087]

10 bar IMEP, 1400 rpm에서 캡처된 실린더 내 원 압력 및 진동 노크 트레이스의 예가 도 3에 도시되어 있다. 도 3은 1400 rpm 및 10 bar IMEP에서 0 %, 60 % 및 90 % 가스 치환율 301, 302, 303(GSR)에서의 실린더 내 압력 및 진동 트레이스의 플롯이다. 도 3은 0 % 가스(100 % 디젤) 작동에서 압력 리플(디젤 연소)이 보이는 것을 도시한다. 가스가 0%로부터 30 % GSR로 증가함에 따라(도시되지 않음), 전체 연소는 초기에 더 조용해지며, 여기서 디젤 연소가 여전히 지배적이다. 60 %까지의 추가적인 증가(제 2 곡선)는 소음이 더 많은 디젤 가스 연소의 영역을 나타내며, 증가된 노크 주파수 성분은 진동 및 실린더 내 압력 센서 모두에 의해 검출된다. 이것은 압력 및 진동 노크 강도가 60 % GSR에서 최대에 도달하는 도 2에서 볼 수 있다. 90 % GSR에서, 진동 신호는 가장 조용하다(제 3 곡선).

[0088]

도 4는 진동 및 압력 노크 강도 대 가스 치환율의 플롯이다. 도 3 및 도 4는 도전을 보여준다: 진동 노크 특성은 이 작동점에서 0%로부터 60 % GSR로 강도가 증가하고, 이는 도 4에서도 캡처되며, 그러나 그 후 매우 강한 연소 노크가 관찰되기 직전에 (그리고 도 2에 언급되어 있지만, 그러나 300 사이클을 초과하여 기록할 수 없음) - 90 % 치환에서 최저 값으로 되어 감소한다. 가스 치환이 60 %로부터 85 %로의 가스 치환으로 증가함에 따라, 연소의 후반부 동안 가스 연소가 점점 지배적으로 된다. 이 단계에서, 모든 주파수 성분은 도 4에 도시된 바와 같이 사라진다. 압력 리플 또는 노크 스펙트럼 성분에 대한 기존의 접근법은 노크 또는 미제어 연소에 대한 근접도를 검출하기가 어려워진다. 이는 엔진이 미제어 연소 근처에서 작동할 때 폐쇄 루프 제어를 정확하게 수행하기 어렵기 때문에, 엔진 제어기에 대해 매우 어려운 제어 문제를 발생한다. 이는 진동 기반 노크가 빛, 매체 및 무거운 노크를 검출할 수 있으므로, 따라서 제어기에 무거운/심각한 노크가 발생하기 전에 엔진 파라미터를 조정할 수 있는 능력을 제공하는 스파크 점화 가스 엔진과는 다르다. 이중 연료 엔진에서는, 진동 센서가 사용될 수 있지만, 그러나 이들은 극단적인 자동 점화의 존재로 인해 제어기가 심한 노크만을 검출할 수 있게 한다. 노크 레벨을 단조로운 범위로 유지하기 위해 개방 루프 테이블 또는 훨씬 더 낮은 허용 가능한 GSR을 사용하는 것이 양호할 것이다. 더 높은 치환율이 요구되는 경우, 제어기가 작동하는 임계값은 정상 이중 연료 연소 동안 가장 높은 신호보다 커야 한다. 안전한 엔진 작동을 유지하기 위해, 노크 임계값이 가장 높은 강도보다 낮아야 한다; 그러나, 이는 도 2에 도시된 바와 같이 허용 가능한 치환율을 제한할 것이다.

[0089]

도 5a는 다양한 속도에서의 압력 노크 강도 대 가스 치환의 2-D 윤곽 플롯이고, 도 5b는 다양한 속도에서의 진동 노크 강도 대 가스 치환의 2-D 윤곽 플롯이다. 도 5a 및 도 5b는 비-단조형 그리고 비선형 경향을 나타내며, 이는 강력한 제어를 설계하기 어렵다는 것을 입증할 것이다. 압력 노크 강도 및 진동 노크 강도 기술은 특정 이중 연료 모드에서 신호를 모호하게 하는 디젤 연소 리플로 인해 이중 연료 연소에서 실패하고, 나중에 모든 주파수 성분이 높은 GSR에서 사라지면, 미제어 연소에 대한 안전 마진의 명확한 표시를 제공하지 않는다.

[0090]

도 6은 미제어 연소에 대한 근접도의 정도 및 가스 치환의 함수로서 연소 강도(CI) 메트릭 대 기존의 노크 강도 메트릭의 효과를 나타내는 그래프이다. 본 개시의 CI 메트릭은 연소 상태를 캡처할 수 있는 보다 강력한 검출 방법론이다. 도 6은 CI 메트릭이 미제어 연소에 대한 근접도에 대한 양호한 지표를 제공하고, 일부 예들에서,

CI 메트릭은 연소의 상태의 점진적인 측정치라는 것을 나타낸다. CI 메트릭은 엔진의 기계적 한계에 대한 지식으로 교정될 수 있는 실제 엔진 한계를 포함한다. 일부 구현예에서, 그리고 식 1에서 위에서 나타낸 바와 같이, CI는 압력 리플 및 피크 압력과 같은 기존의 메트릭을 포함하는 것 외에, 열 방출율 및 압력 상승율 메트릭의 가중 합이다. 일부 예들에서, 압력 기반 정보 및 열 방출 정보를 사용하는 CI 메트릭은 기존의 진동 기반 검출의 제한을 갖지 않는다. 일부 예들에서, CI 메트릭은 또한 2 차 안전성 측정을 갖기 위해 기존의 노크 검출 및 피크 압력 제한을 포함한다. 일부 구현예들에서, CI 메트릭은 실험실에서 교정 동안 압력 트레이스에서 관찰될 수 있는 정성적 연소 센스와 밀접한 관련이 있다.

[0091] 도 7은 0 %(701), 60 %(702) 및 90 %(703) 가스 치환율에서의 평활화된 열 방출 트레이스의 플롯이다. 진동 기반 검출의 주요 개선 사항은 실시간 열 방출을 통합하는 것인데, 이는 도 7에 도시된 0 %, 60 % 및 90 % 가스 치환율(GSR)에서 평활화된 열 방출 트레이스의 플롯에서 볼 수 있는 바와 같이 천연 가스를 추가하는 주요 효과이기 때문이다. 천연 가스가 추가됨에 따라, 기존의 디젤 예혼합 스파이크가 감소되고, 그 후에 60 %에서 매우 공격적인 조합된 열 방출율로 진행된다. 이것은 연소 강도의 현재 상태를 이해하기 위해 모니터링될 수 있다. 90 % GSR 이상에서, 연소가 완전히 가스 지배적이 되며, 엔진은 거의 스파크 점화 엔진 또는 마이크로 파일럿 점화 가스 엔진과 같이 거동한다.

[0092] 다시 도 6을 참조하면, 가스 치환이 30 %로부터 94 %로 증가함에 따라, CI 메트릭은 점진적으로 증가하였다. 미세어 연소로부터 원하는 안전 마진을 유지하면서 가스 치환을 최대화하도록 제어기를 대상으로 할 수 있는 명확한 선형 제어 작동 경로가 설정될 수 있다. 이러한 선형성은 도 8에 도시된 연소 강도의 2-D 윤곽 플롯에서도 보여지며, 모든 속도에 걸쳐 단조로운 경향이 존재한다. 이 메트릭을 선형화하는데 도움이 되는 CI 계산에서의 메트릭 중 하나는 열 방출율인데, 도 9에 도시되어 있는 바와 같이, 더 많은 가스가 추가됨에 따라 번 지속 시간의 후반부에서의 연소가 더 빨라지기 때문이다.

[0093] 도 9는 총 열 방출 대 가스 치환의 10 %(901), 50 %(902) 및 90 %(903)의 각도 위치의 플롯이다. 도 9에서, 총 열 방출의 10 %, 50 % 및 90 %의 크랭크 각도 위치가 도시되어 있으며, 이는 연소 페이징(phasing), 점화 지연 및 번 속도를 이해하는데 도움이 된다. 디젤이 가스로 대체됨에 따라, 분사의 시작(SOI) 및 CA50은 이 작동점에서 영향을 받지 않으므로, 연소 페이징이 크게 변하지 않는다는 것을 보여주었다. GSR이 증가함에 따라, CA90과 CA50 사이의 각도 간격이 급격히 감소하여, 최종 가스의 더 빠른 번을 나타낸다. 또한, GSR이 0%로부터 70 %로 증가함에 따라, CA10이 약간 증가하여 더 큰 점화 지연을 나타낸다. 가스가 공기를 대체함에 따라, 산소 농도는 더 낮아져서, 혼합물이 더 농후하고, 점화 지연이 더 길어진다. 이에 따라, 가스/공기 혼합물이 더 농후해짐에 따라, 최종 가스 자동 점화를 위한 조건과 같이 매우 짧은 번 지속 시간이 분명해질 때까지 화염 속도가 연속적으로 증가한다. 상기 도시된 작동점에서, 최종 가스 자동 점화 조건에 도달하지 못했고, GSR은 94 %로 푸시되었으며, 이 지점에서 디젤 인젝터 전달의 한계에 도달했다.

[0094] GSR의 증가는 0 %(1001), 60 %(1002) 및 90 %(1003) 가스 치환율에서의 실린더 내 압력 대 크랭크 각도, 및 0 %(1101), 60 %(1102) 및 90 %(1003) 가스 치환율에서의 평활화된 열 방출 트레이스 대 크랭크 각도의 플롯을 도시하는 도 10 및 도 11에서 압력 및 열 방출율 트레이스로 도시된 바와 같이, 압력에서 큰 리플을 갖는 최종 가스 자동 점화로 이어진다. 도 12는 연소 강도 및 노크 강도 메트릭 대 가스 치환율(GSR)의 플롯이며, 심각한 최종 가스 노크가 존재할 때, 압력 및 진동 노크 강도 메트릭이 모두 연소 강도와 함께 급격히 증가하는 것을 보여준다. 따라서, 진동 또는 압력 리플의 스펙트럼 성분과 같은 주파수 기반 검출 기술은 강렬한 노크가 발생할 때까지 명확하게 보이지 않는 것 같다. 낮은 부하에서, 이러한 진동 또는 압력 기술은 경향이 비-단조로우므로 노크에 대한 마진을 명확하게 식별하는데 미흡하다. 간단한 임계값 기반 심각도가 결정되는 경우, 이 예는 높은 임계값 수준이, 갑자기 발생할 수 있는 엔진 손상을 일으키는 심각한 노크의 이벤트만을 캐치할 것이라는 것을 보여준다. 더 낮은 임계값 수준을 사용하여 심각도를 정량화한 경우, 엔진은 50 내지 60 % 가스 치환을 넘어 푸시되어서는 안 된다. 대조적으로, 본 CI 메트릭은 연소 상태의 연속적으로 증가하는 측정을 제공하여, 미세어 연소에 대한 보호를 개선시키면서, 보다 양호한 제어 가능성을 제공하고 최대 안전한 가스 치환(예를 들어, 최대 95 % 가스 치환)을 증가시킨다.

[0095] **예 2**

[0096] 예 2에서, 천연 가스 대신에 프로판으로 치환함으로써 가스 품질의 효과가 시뮬레이션되었다. 도 13 및 도 14는 프로판 치환율(PSR)이 1800 rpm, 16 bar IMEP 및 80 %의 고정된 (전체) 가스 치환에서 0 %로부터 15 %로 증가함에 따라, 압력(1301, 1302, 1303) 및 평활화된 열 방출율(1401, 1402, 1403)을 보여준다. 이 테스트에서 디젤 기여는 20 %로 유지되고, 화학 에너지 분할 계산을 사용하여 5 % PSR의 증분으로 프로판으로 천연 가스를

치환하였다. 이 플롯은 작은 비율의 프로판조차도 큰 가시적 압력 진동과 함께 급격한 열 방출 및 압력 상승률을 유발했다는 것을 나타낸다. 도 15는 CI(1503) 및 노크 강도 메트릭(1501, 1502) 대 프로판 가스 치환율(PSR)의 그래프이고, 프로판이 추가되어 매우 불안정한 연소를 나타내기 때문에 CI 메트릭이 여전히 신뢰할 수 있다는 것을 나타낸다.

[0097] 도 16은 연소 강도(1603) 및 노크 강도 메트릭(1601, 1601) 대 매니폴드 공기 온도(MAT)에 대한 플롯이다. 도 16은 미제어 연소에 대한 근접도의 검출에 대한 차지(charge) 공기 온도 또는 밀도의 영향을 도시한다. 차지 공기 온도의 증가는 엔진의 점화 지연, 실린더 내 온도 상승률 및 자동 점화 경향에 영향을 줄 수 있다. 매니폴드 공기 온도(MAT)가 1800 rpm, 16 bar IMEP에서 40 °C로부터 60 °C로 증가함에 따라 메트릭이 비교된다. 결과는 CI 메트릭만이 MAT와 함께 선형적으로 증가하고, 미제어 연소에 대한 근접도으로서 신뢰성 있게 사용될 수 있는 반면, 다른 노크 강도 메트릭은 명확한 경향을 제공하지 않는다는 것을 나타낸다.

[0098] **예 3 및 예 4**

[0099] 우드워드 대형 엔진 제어 모듈(LECM)은 실시간 연소 피드백이 AUX(보조) 모듈을 사용하여 수행될 수 있게 하는 실제 임베디드 ECU 상에서 CI 메트릭을 테스트하기 위해 사용되었다. 연소의 변화를 검출하기 위한 CI 메트릭의 감도를 보여주기 위해 2 개의 경우가 테스트되었다. 도 17a 및 도 17b는 도 17a에 도시된 바와 같이 사인파가 오프셋 50 % 및 진폭 20 %로 GSR(1701)에 대해 명령된 제 1 테스트 경우를 도시한다. 도 17b는 메트릭이 0 %로부터 90 % 강도로 갈수록 CI 메트릭이 변화에 잘 응답한다는 것을 보여준다. 그런 다음 진폭이 10 %로 감소되고, CI 메트릭은 피크에서 50 %의 강도를 나타냈다. 그런 다음 사인파가 계속 명령되는 동안, 가스 품질 변화를 시뮬레이션하기 위해 10 % 프로판(1702)으로 천연 가스를 치환하였고, CI 메트릭(1701)은 더 높은 강도를 표시함으로써 변화를 검출했다는 것을 알 수 있다.

[0100] 제 2 경우에 대해, 매니폴드 공기 온도(MAT)는 도 18a에 도시된 바와 같이 약 55 °C로 상승한 후 빠르게 냉각하도록 될 수 있다. 도 18b는 예상대로 MAT가 증가함에 따라 CI 메트릭이 증가한 것을 보여준다. 결과는 CI 메트릭이 외부 교란들을 매우 잘 검출한다는 것을 보여준다. 일부 예들에서, CI 메트릭은 엔진을 정의된 한계로 제어하도록 사용된다. 본 명세서에 개시된 CI 메트릭 양태들은 이 중 연료 엔진에 대해 일반적으로 고려되는 안전 마진의 양뿐만 아니라 교정량도 상당히 감소시킬 수 있다. 이 검출 방법은 더 높은 치환율이 달성될 수 있게 해야 한다.

[0101] 도 19는 본 개시의 예시적인 양태의 흐름도(1900)이다. 엔진 제어기(예를 들어, ECU(102))는 실린더 내 압력 센서로부터 압력 신호를 샘플링하고(1910), 압력 신호에 기초하여 연소 강도 메트릭을 계산하고 - 여기서 연소 강도 메트릭은 미제어 연소 상태에 대한 엔진의 근접도의 지표이며 - (1920), 연소 강도 메트릭의 함수로서 엔진 제어 파라미터를 결정하고(1930), 그리고 엔진 제어 파라미터에 기초하여 엔진을 제어한다(1940).

[0102] 연소 강도 메트릭을 계산하는 것과 같은 본 명세서에 설명되는 주제의 구현예들은 하나 이상의 컴퓨터 프로그램 제품, 즉, 예를 들어 프로세싱 시스템에 의해 실행되거나 또는 프로세싱 시스템의 동작을 제어하기 위해, 유형의 프로그램 캐리어, 예를 들어 컴퓨터 판독 가능한 매체 상에 인코딩된 컴퓨터 프로그램 명령어의 하나 이상의 모듈로서 구현될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능한 매체는 기계 판독 가능한 저장 장치, 기계 판독 가능한 저장 기판, 메모리 장치, 또는 이들 중 하나 이상의 조합일 수 있다.

[0103] "엔진 제어 유닛"이라는 용어는 예로서 프로그래밍 가능한 프로세서, 컴퓨터, 또는 다중 프로세서 또는 컴퓨터를 포함하여, 데이터를 처리하기 위한 모든 장치, 디바이스, 및 기계를 포함할 수 있다. 프로세싱 시스템은, 하드웨어 외에, 해당 컴퓨터 프로그램에 대한 실행 환경을 생성하는 코드, 예를 들어, 프로세서 펌웨어, 프로토클 스택, 데이터베이스 관리 시스템, 운영 체제, 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 구성하는 코드를 포함할 수 있다.

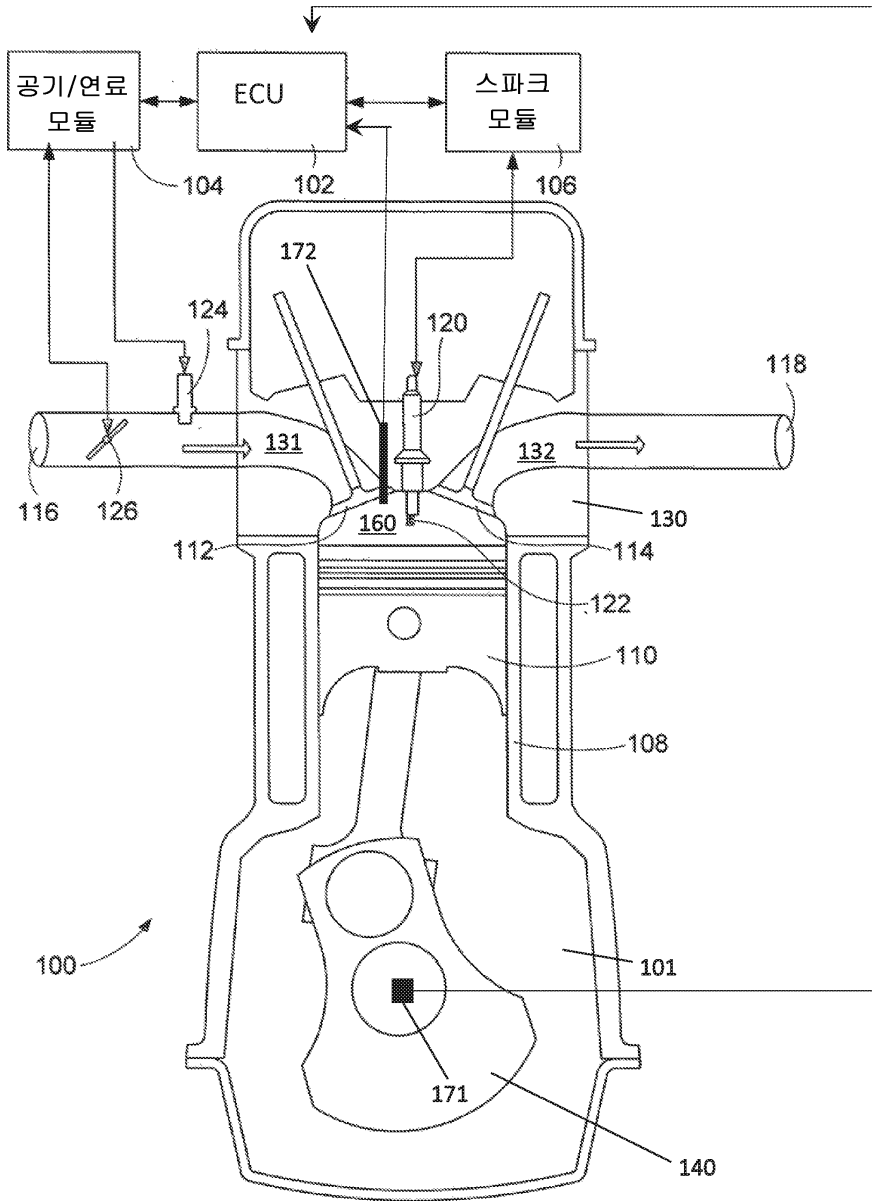
[0104] 컴퓨터 프로그램(프로그램, 소프트웨어, 소프트웨어 애플리케이션, 스크립트, 실행 가능한 로직 또는 코드로도 알려져 있음)은 컴파일링된 또는 해석된 언어, 또는 선언적 또는 절차적 언어를 포함하는, 임의의 형태의 프로그래밍 언어로 기록될 수 있으며, 독립형 프로그램 또는 컴퓨팅 환경에서 사용하기에 적합한 모듈, 컴포넌트, 서브 루틴 또는 다른 유닛을 포함하여, 임의의 형태로 배포될 수 있다. 컴퓨터 프로그램이 반드시 파일 시스템의 파일에 해당하는 것은 아니다. 프로그램은 다른 프로그램 또는 데이터(예를 들어, 마크업 언어 문서에 저장된 하나 이상의 스크립트)를 보유하는 파일의 일부에, 해당 프로그램 전용의 단일 파일에, 또는 복수의 조정된 파일(예를 들어, 하나 이상의 모듈, 서브 프로그램, 또는 코드의 일부를 저장하는 파일)에 저장될 수 있다. 컴퓨터 프로그램은 하나의 컴퓨터 상에서, 또는 하나의 사이트에 위치되거나 또는 복수의 사이트에 걸쳐 분산되어

있고 통신 네트워크에 의해 상호 연결된 복수의 컴퓨터 상에서 실행되도록 배포될 수 있다.

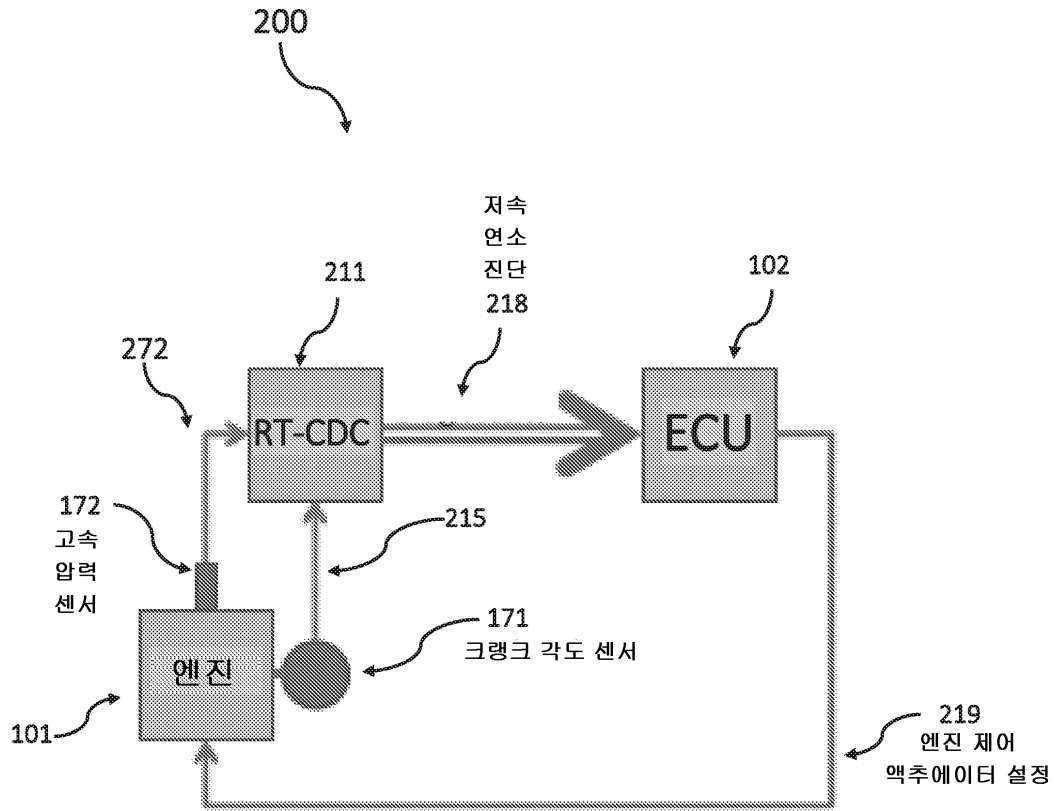
- [0105] 컴퓨터 프로그램 명령어 및 데이터를 저장하기에 적합한 컴퓨터 판독 가능한 매체는 예를 들어 반도체 메모리 장치, 예를 들어, EPROM, EEPROM, 및 플래시 메모리 장치; 자기 디스크, 예를 들어, 내부 하드 디스크 또는 제거 가능한 디스크 또는 자기 테이프; 광 자기 디스크; 및 CD-ROM, DVD-ROM, 및 Blu-Ray 디스크를 포함하는 모든 형태의 비-휘발성 또는 휘발성 메모리, 매체 및 메모리 장치를 포함한다. 프로세서 및 메모리는 특수 목적 논리 회로에 의해 보완되거나 또는 여기에 통합될 수 있다.
- [0106] 두문자어/약어들:
- [0107] ATDC = 상사점 이후
- [0108] BTDC = 상사점 이전
- [0109] CA50 = 50 % 질량 분율 번의 위치(ATDC 크랭크 각도 도)
- [0110] CAN = 제어기 영역 네트워크
- [0111] COV = 변동 계수
- [0112] ECU = 엔진 제어 유닛
- [0113] EGR = 배기 가스 재순환
- [0114] HCCI = 균질 차지 압축 점화
- [0115] IMEP = 표시된 평균 유효 압력(bar)
- [0116] IVC = 흡기 밸브 폐쇄 각도
- [0117] LTC = 저온 연소
- [0118] MAP = 매니폴드 절대 압력(bar)
- [0119] MAT = 매니폴드 절대 온도(K)
- [0120] NOx = 질소 산화물
- [0121] PCCI = 미리 혼합된 차지 압축 점화
- [0122] P_{loc} = 피크 압력의 위치(ATDC 크랭크 각도 도)
- [0123] P_{max} = 최대 실린더 압력(bar)
- [0124] R&D = 연구 개발
- [0125] RCCI = 반응성 제어 압축 점화
- [0126] RPR = 압력 상승률(bar/크랭크 각도 도)
- [0127] RT-CDC = 실시간 연소 진단 및 제어
- [0128] SOC = 연소 시작(ATDC 크랭크 각도 도)
- [0129] 많은 실시예들이 설명되었다. 그럼에도 불구하고, 다양한 변형이 이루어질 수 있다는 것이 이해될 것이다. 따라서, 다른 실시예는 다음의 청구범위의 범위 내에 있다.

도면

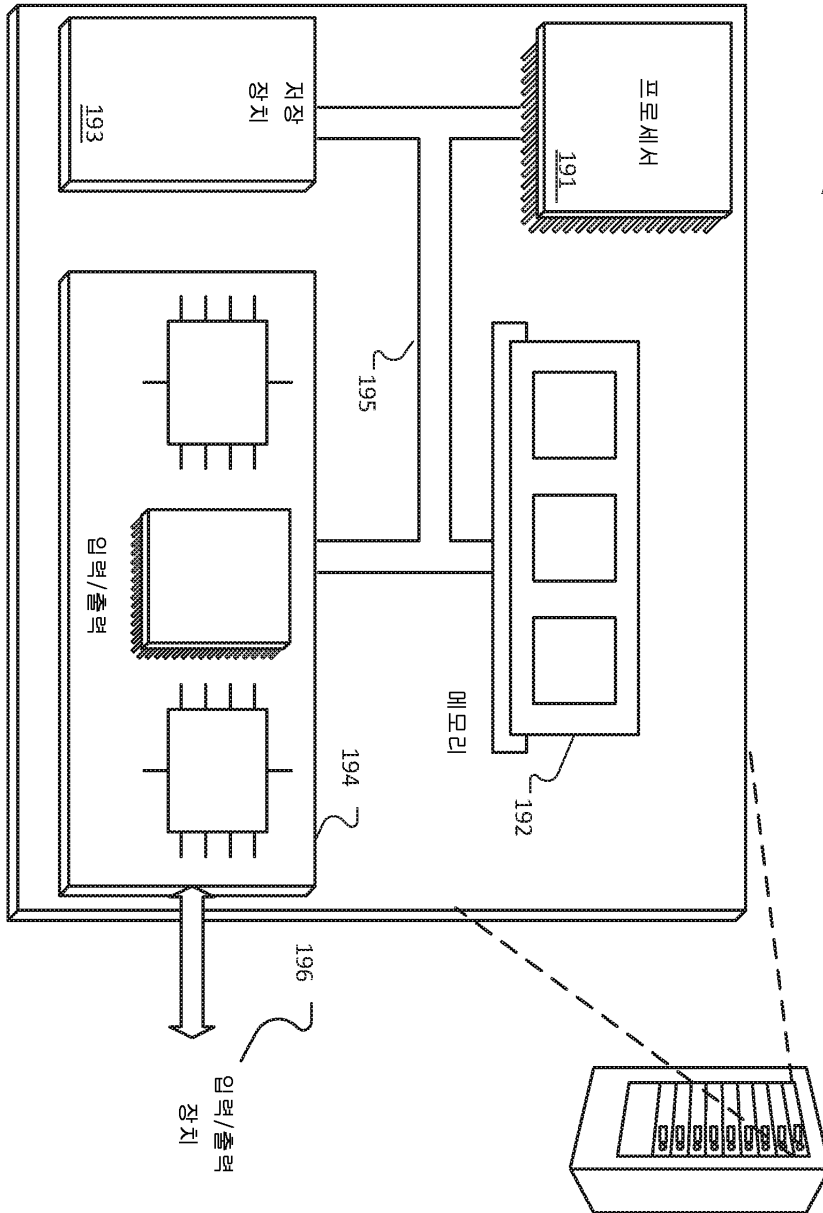
도면1a



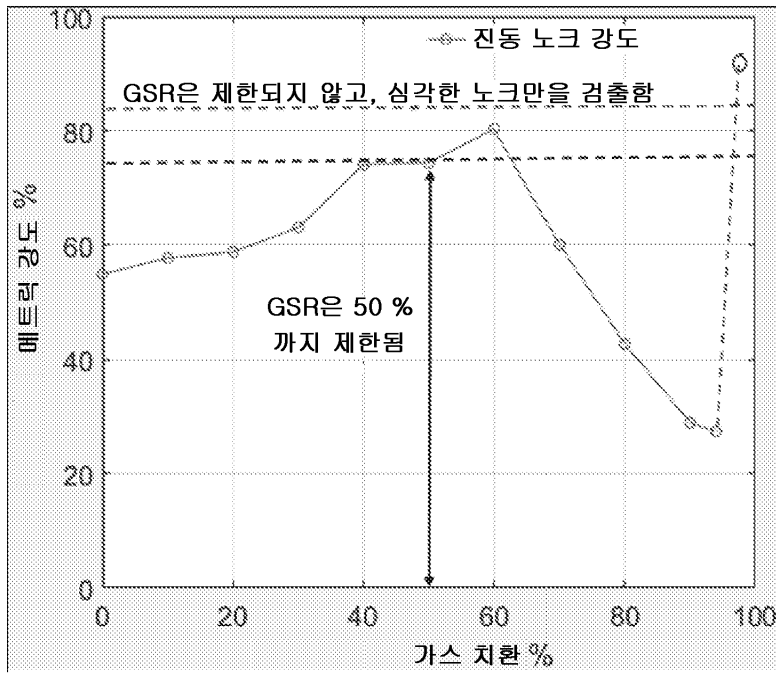
도면1b



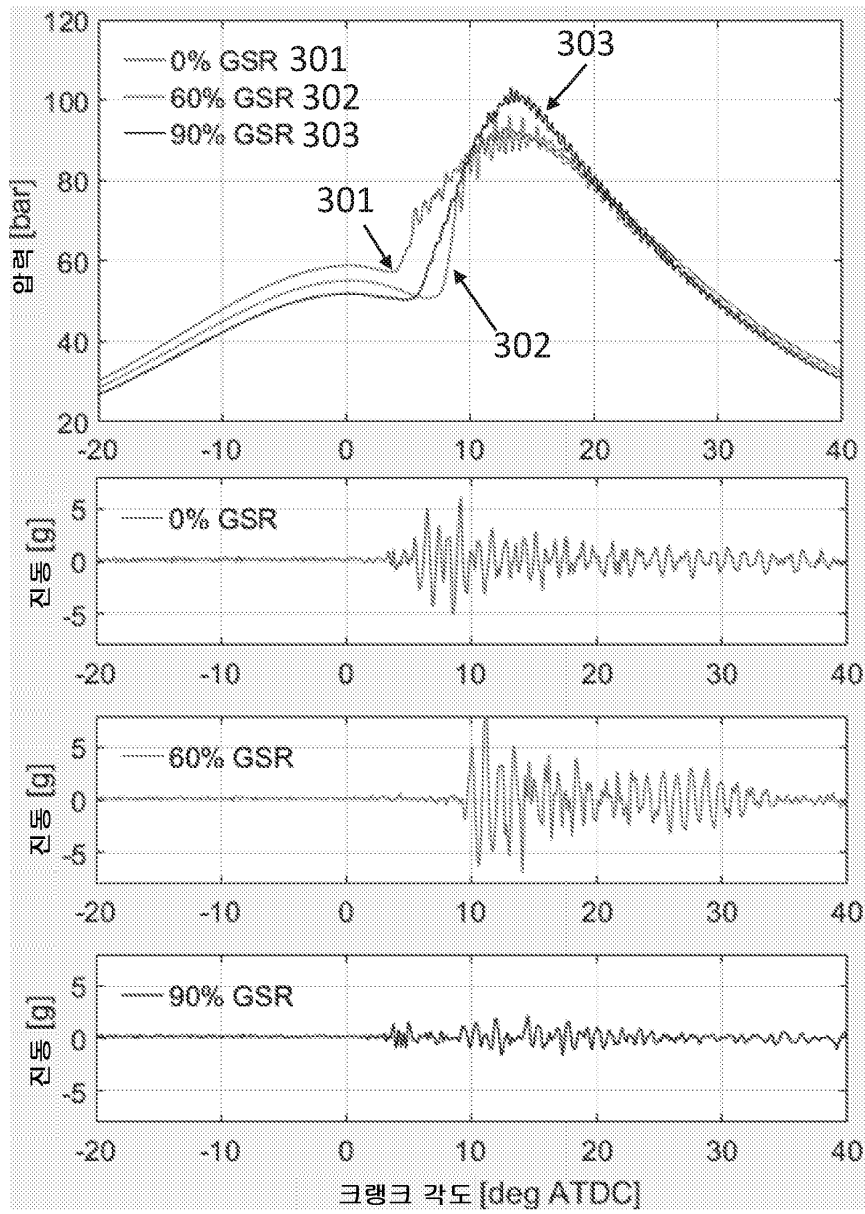
도면1c



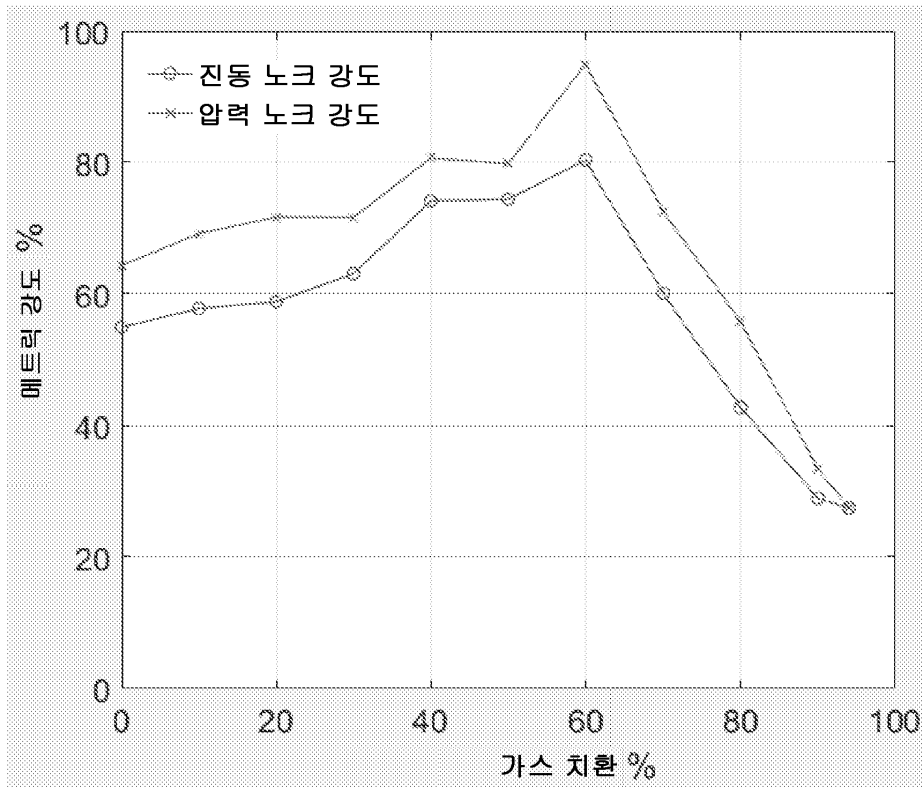
도면2



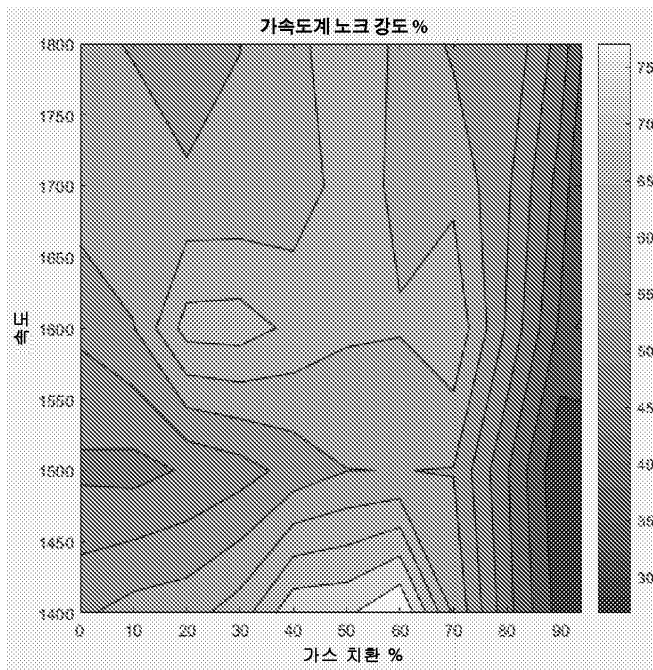
도면3



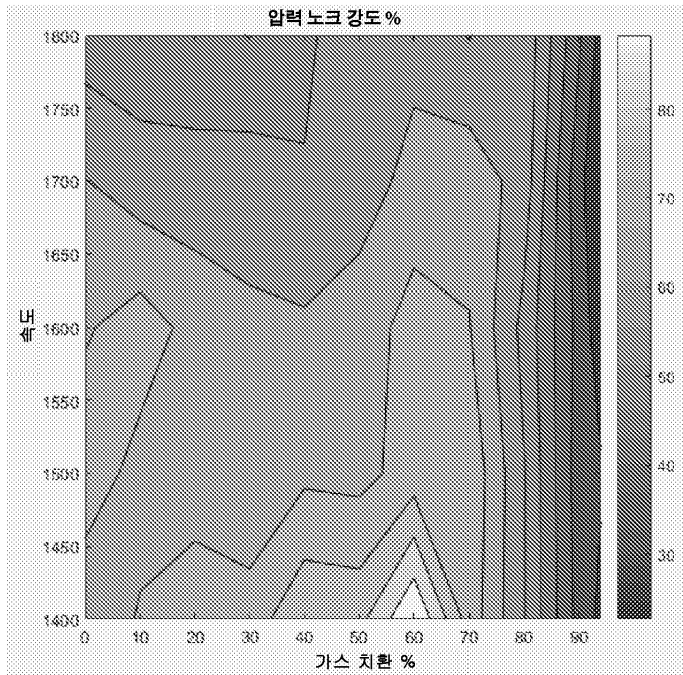
도면4



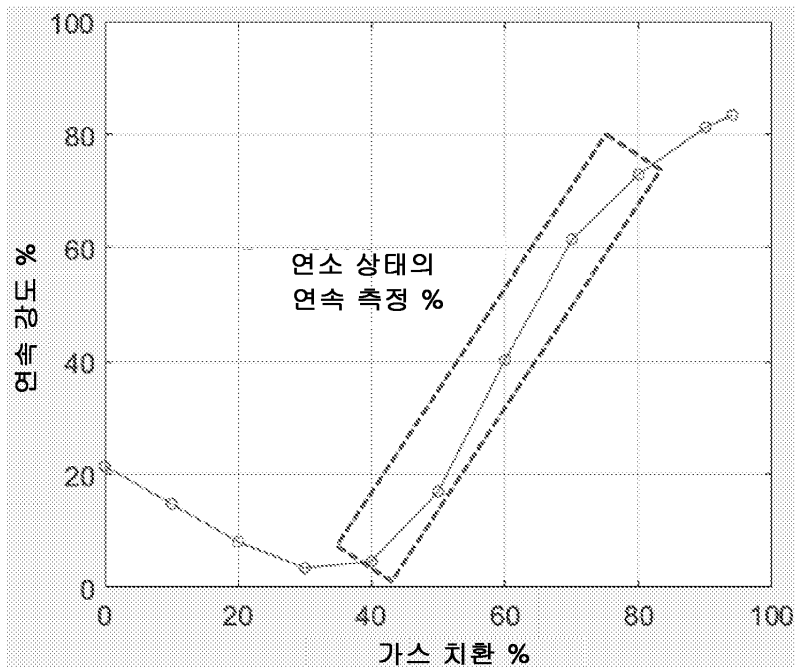
도면5a



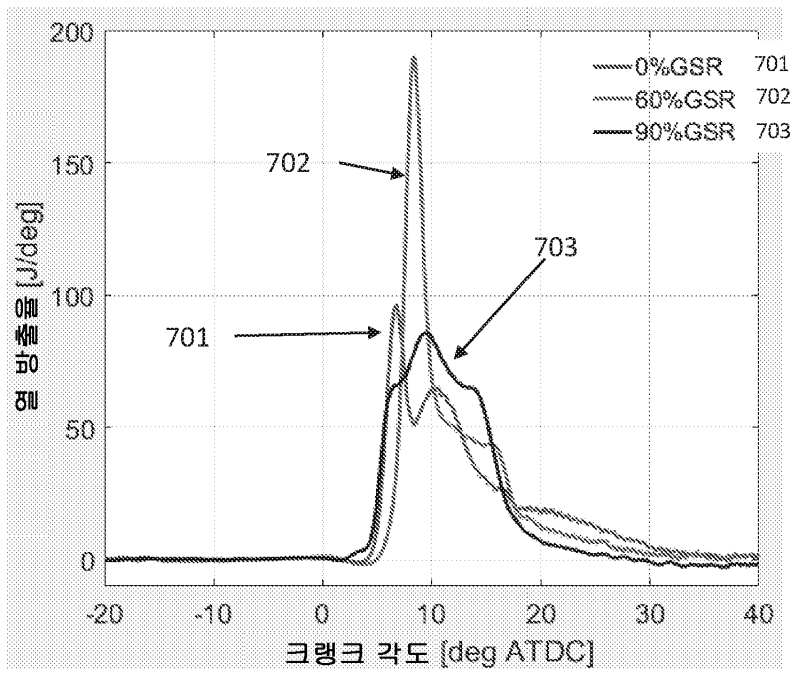
도면5b



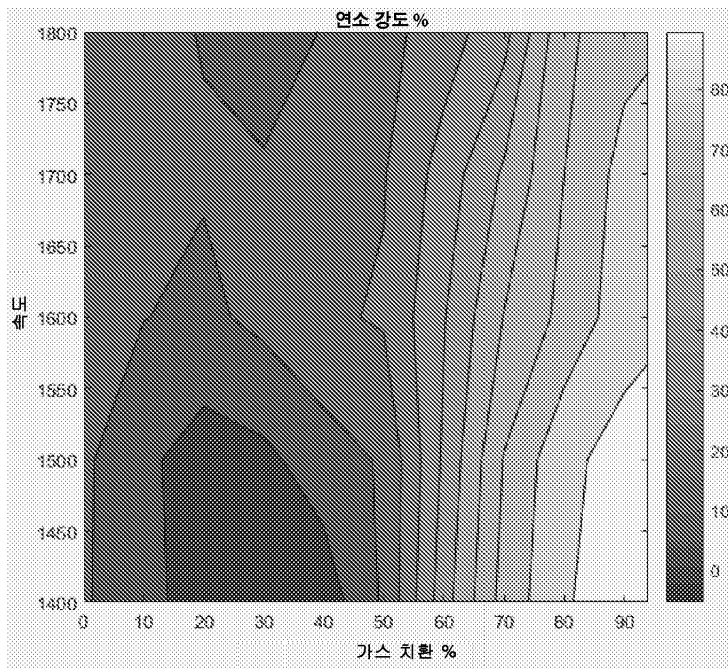
도면6



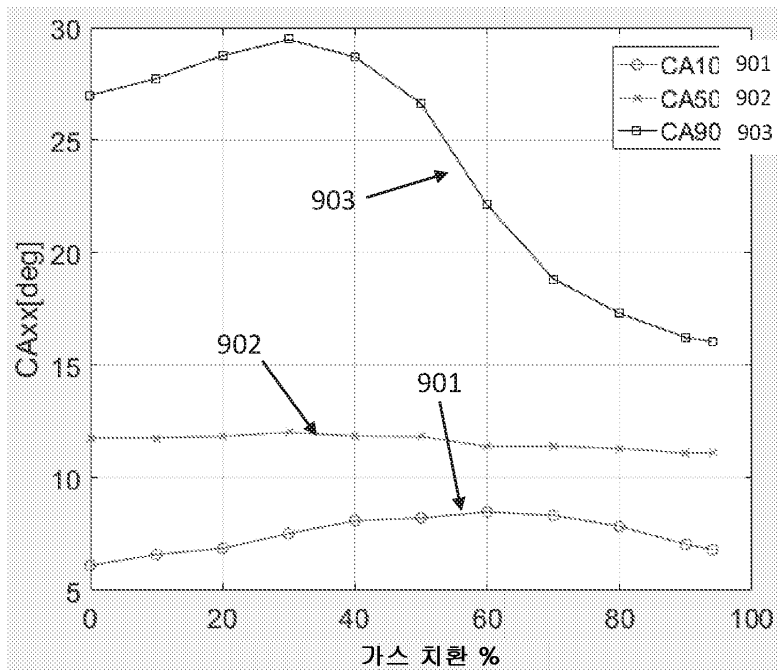
도면7



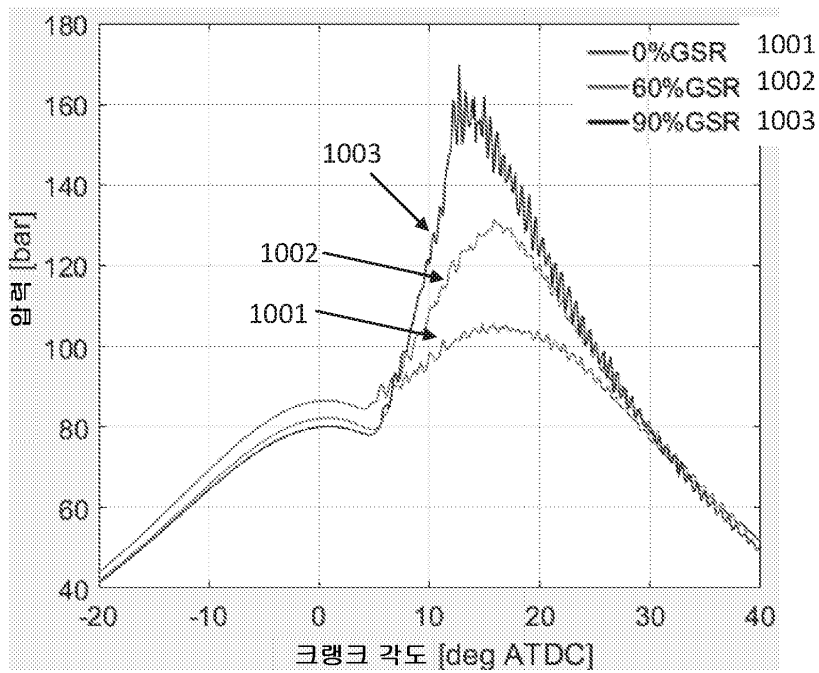
도면8



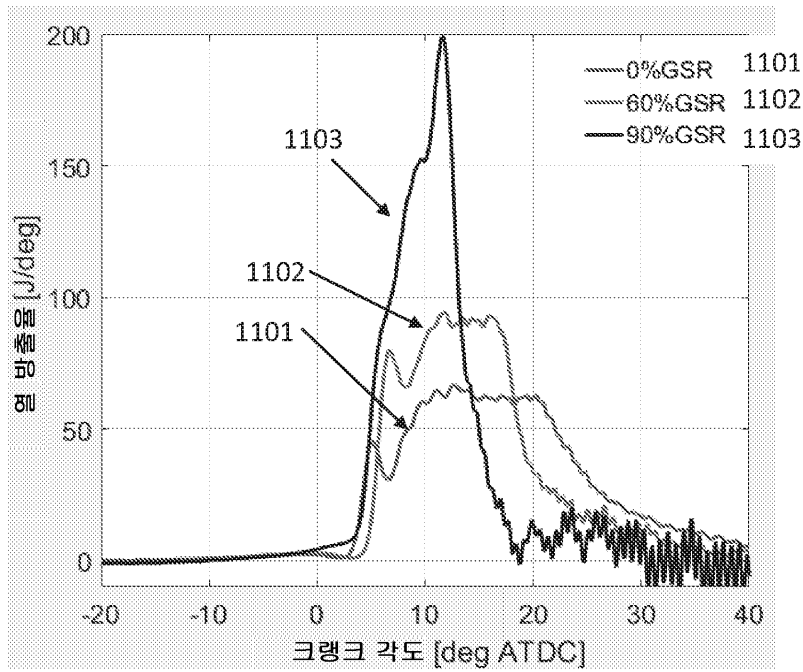
도면9



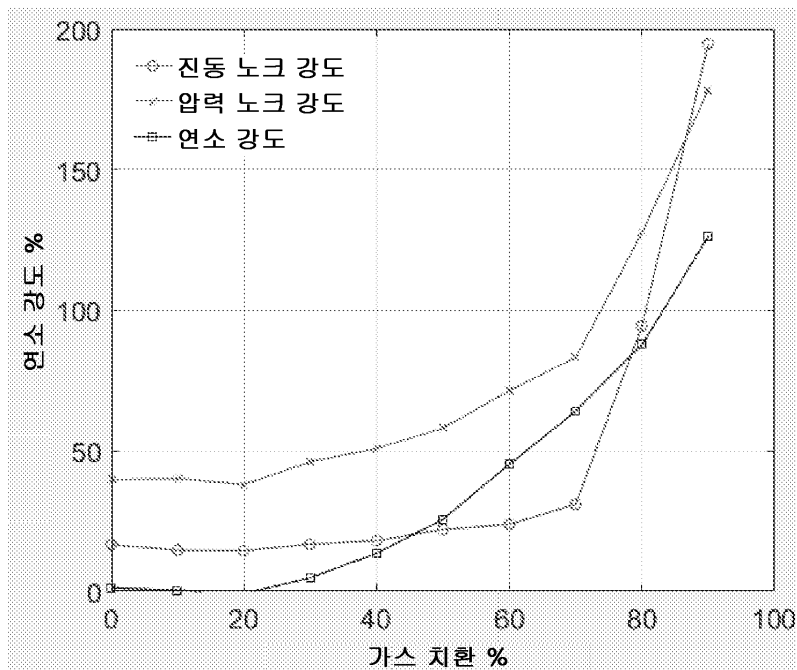
도면10



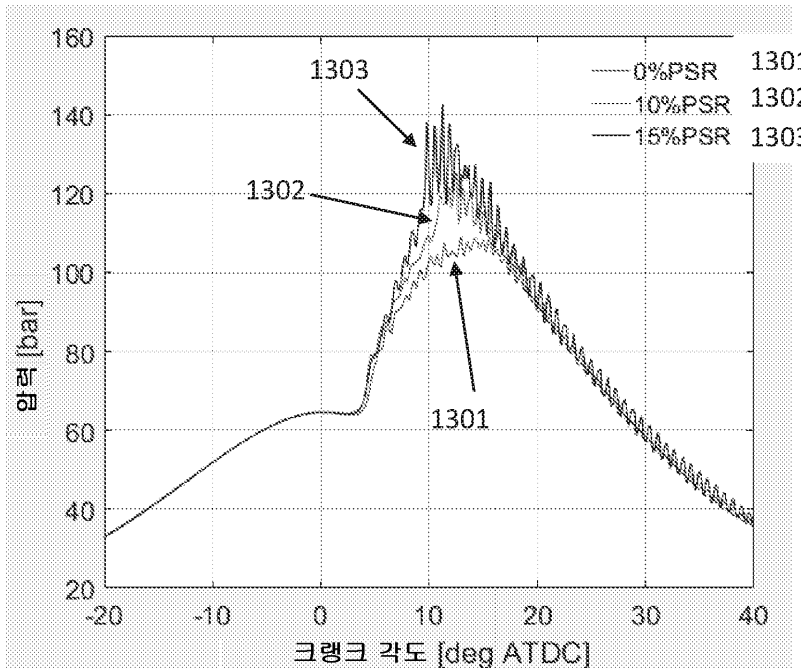
도면11



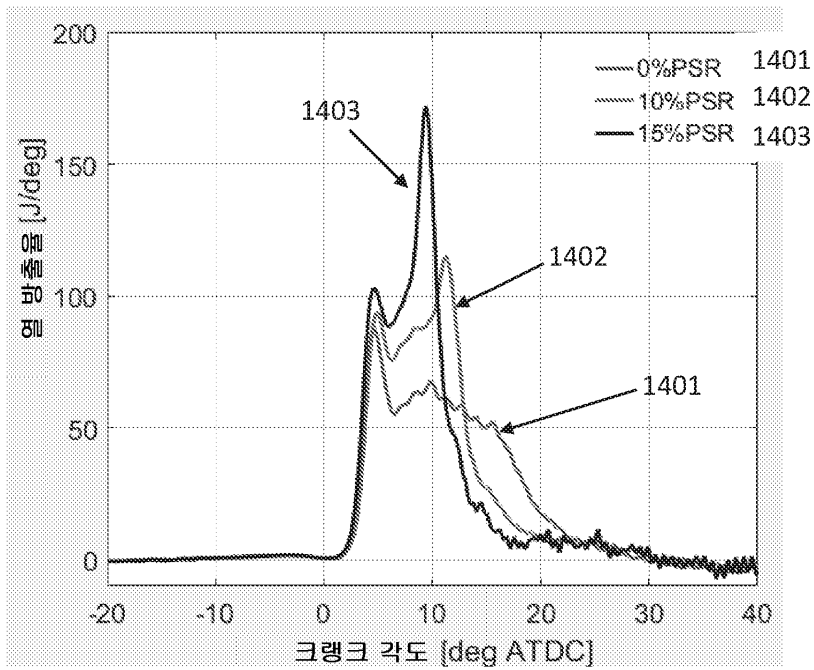
도면12



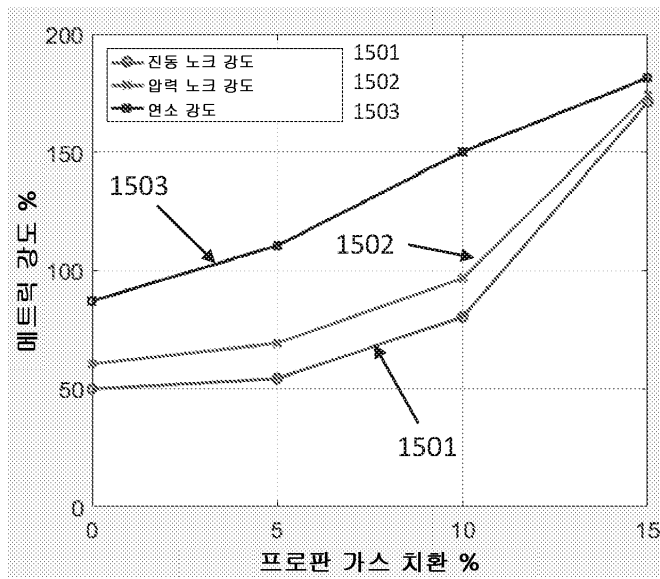
도면13



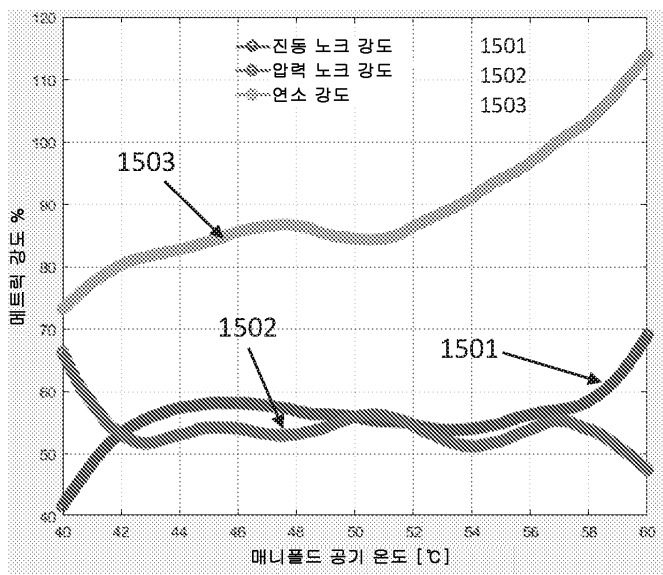
도면14



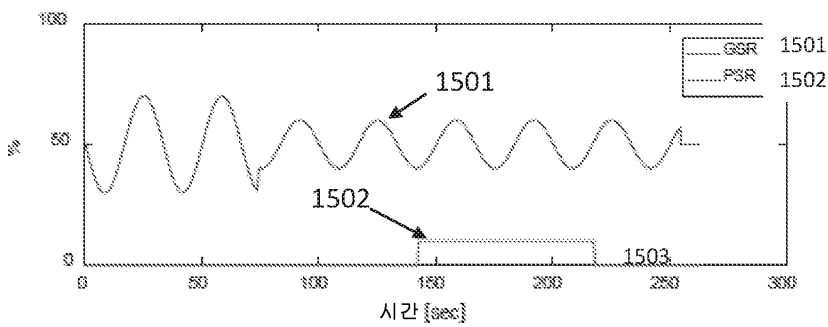
도면15



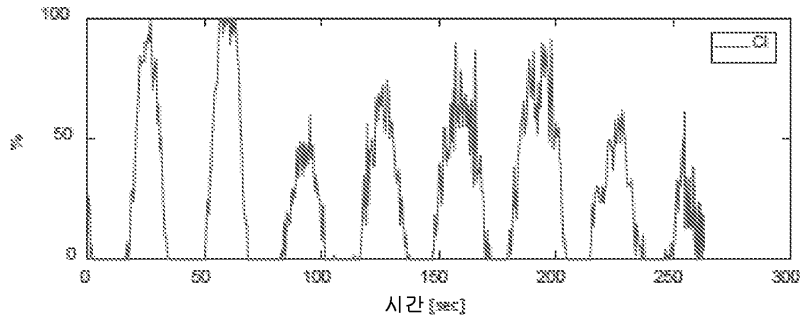
도면16



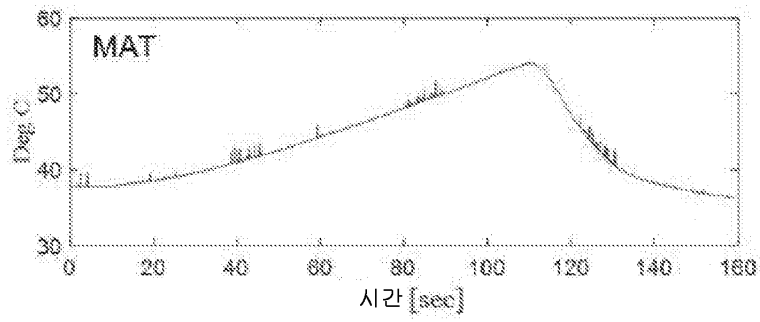
도면17a



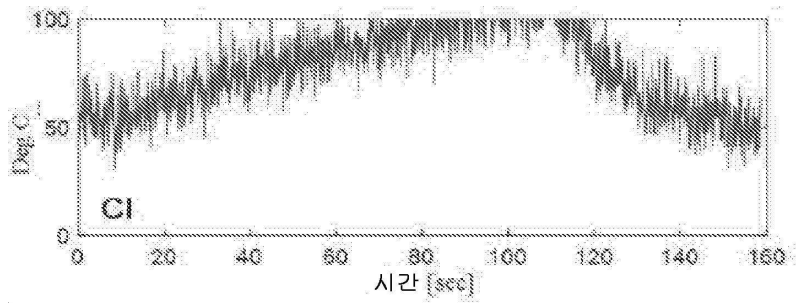
도면17b



도면18a



도면18b



도면19

1900

