



(19) 대한민국특허청(KR)
 (12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년01월15일
 (11) 등록번호 10-1938928
 (24) 등록일자 2019년01월09일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01F 25/00 (2006.01) *G01F 1/68* (2006.01)
G01F 15/02 (2006.01) *G01M 3/00* (2006.01)
G05D 7/00 (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2014-7027880
- (22) 출원일자(국제) 2013년03월04일
 심사청구일자 2018년01월31일
- (85) 번역문제출일자 2014년10월02일
- (65) 공개번호 10-2014-0136022
- (43) 공개일자 2014년11월27일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2013/028911
- (87) 국제공개번호 WO 2013/134148
 국제공개일자 2013년09월12일
- (30) 우선권주장
 61/607,968 2012년03월07일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문현
 US7881886 B1
 US20110011183 A1
 US20050010680 A1

- (73) 특허권자
 일리노이즈 툴 워크스 인코포레이티드
 미국 일리노이즈주 60025 글렌뷰 할렘 애비뉴 155
- (72) 발명자
 바나레스 베윈
 미국 일리노이주 60026 글렌뷰 3600 웨스트 레이크 애비뉴 일리노이즈 툴 워크스 인코포레이티드 내
 발렌타인 벌
 미국 일리노이주 60026 글렌뷰 3600 웨스트 레이크 애비뉴 일리노이즈 툴 워크스 인코포레이티드 내
 (뒷면에 계속)
- (74) 대리인
 김태홍

전체 청구항 수 : 총 20 항

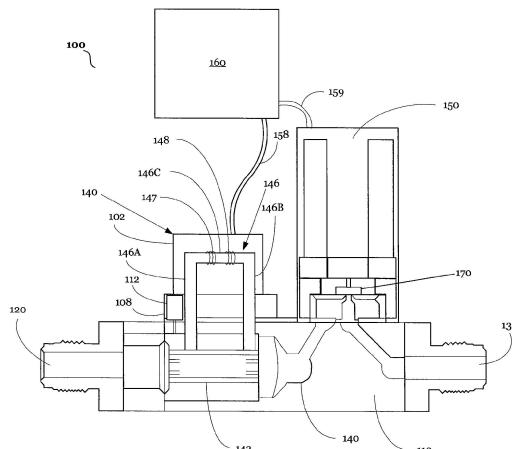
심사관 : 김홍래

(54) 발명의 명칭 질량 유량 제어기 또는 질량 유량 측정기의 실시간 측정과 제로 옵셋 및 제로 드리프트의 보정을 위한 감쇠율 측정을 사용하는 시스템과 방법

(57) 요약

개시된 실시예들은 자기 검증형 질량 유량 제어기 또는 질량 유량 측정기를 제공하는 방법, 장치, 컴퓨터 프로그램 제품을 포함한다. 예를 들어 한 실시예에서는, 질량 유량 제어기가 사용되는 툴/툴 제어부에 임의의 소프트웨어적 변경을 요하지 않는 자기 검증형 질량 유량 제어기가 개시된다. 다른 실시예에서는, 기존의 질량 유량 제어기에 임의의 하드웨어 또는 기계적 변경을 요하지 않는 자기 검증형 질량 유량 제어기가 개시된다. 개시된 실시예들은 또한 밸브 누설이 있을 때 밸브누설값과 센서 옵셋을 동시에 산정하여 제로 옵셋 또는 제로 드리프트가 되도록 질량 유량 제어기 출력의 실시간 현장 보정을 수행하는 자기 검증형 질량 유량 제어기를 더 포함한다.

대 표 도



(72) 발명자

률 존

미국 일리노이주 60026 글렌뷰 3600 웨스트 레이크
애비뉴 일리노이즈 툴 웍크스 인코포레이티드 내

케호 앤서니

미국 일리노이주 60026 글렌뷰 3600 웨스트 레이크
애비뉴 일리노이즈 툴 웍크스 인코포레이티드 내

엘르크 크리스

미국 일리노이주 60026 글렌뷰 3600 웨스트 레이크
애비뉴 일리노이즈 툴 웍크스 인코포레이티드 내

명세서

청구범위

청구항 1

유체를 수용하는 유입구;

유체가 통과하는 유동 경로;

이 유동 경로를 통한 유체의 질량 유동(mass flow)에 대응하는 신호를 제공하는 질량 유량 센서(mass flow sensor);

유동 경로에 결합되어 유동 경로의 한 점에서의 압력을 측정하도록 구성되는 압력 변환기;

툴 제어부(tool controller)와 통신하기 위한 통신 인터페이스;

적어도 하나의 처리 소자로서,

현장 감쇠율 측정(in-situ rate of decay measurement)을 수행하도록;

감쇠율 측정에 기초하여 제1 벨브누설값을 산정하도록;

현장 감쇠율 측정을 수행하는 동안 유량 센서를 사용하여 유동 측정을 수행하도록;

유량 센서에 의해 측정되는 제2 벨브누설값을 산정하도록;

제1 벨브누설값과 제2 벨브누설값 간의 차이에 기초하여 센서 옵셋 보정값을 산출하도록;

유량 센서의 영점조정(zeroing)에 센서 옵셋 보정값을 적용하도록

지시를 수행하게 구성된 적어도 하나의 처리 소자

를 포함하는 장치.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 적어도 하나의 처리 소자는, 또한, 문제해결, 경향 분석의 수행, 유지보수, 및 경보 적용을 위해 센서 옵셋 보정값의 값을 시간에 따라 로깅(logging)하라는 지시를 실행할 수 있게 구성되는 것인 장치.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 적어도 하나의 처리 소자는, 또한, 장치가 제로 설정점으로 복귀할 때마다 제1항의 상기 지시를 재실행하라는 지시를 실행하도록 구성되는 것인 장치.

청구항 4

제2항에 있어서, 상기 적어도 하나의 처리 소자는, 또한, 경향 분석으로부터의 데이터를 사용하여 주류(trending) 센서 옵셋 보정값을 산정하고 산정된 주류 센서 옵셋 보정값을, 유동하는 동안의 스팬 측정(span measurement)에 적용하도록 하는 지시를 수행하게 구성되는 것인 장치.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 적어도 하나의 처리 소자는, 또한, 툴 제어부가 현장 감쇠율 측정의 수행에 앞서 상류 격리밸브를 폐쇄하도록 요청하기 위해, 툴 제어부와 통신하는 소프트웨어 프로토콜을 수행하도록 하는 지시를 실행하도록 구성되는 것인 장치.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 적어도 하나의 처리 소자는, 또한, 툴 제어부로부터 처리 타이밍 정보를 수신하고, 이 처리 타이밍 정보로부터, 현장 감쇠율 측정이 중단 없이 완료될 수 있는 시간 간격을 식별하도록 하는 지시를 실

행할 수 있게 구성되는 것인 장치.

청구항 7

제1항에 있어서,

툴 파일롯밸브에 연결된 제1 공압배관을 수용하도록 구성된 내부 밸브

를 더 구비하고, 이 내부 밸브는 또한 내부 밸브로부터 도입구 상류의 외부 격리밸브에 제2 공압배관을 연결하도록 구성되고,

상기 적어도 하나의 처리 소자는, 또한, 현장 감쇠율 측정의 수행에 앞서 내부 밸브를 사용하여 제1 공압배관을 통해 공급받는 공기 유동을 차단함으로써 외부 격리밸브를 폐쇄하도록 하는 지시를 실행하도록 구성되는 것인 장치.

청구항 8

제1항에 있어서,

툴 제어부로부터의 제1 전기 배선과 툴 파일롯밸브로의 제2 전기 배선 간에 연결되도록 구성되는 전기적 릴레이

를 더 구비하고, 상기 적어도 하나의 처리 소자는, 또한, 현장 감쇠율 측정의 수행에 앞서 제2 전기 배선을 통해 툴 파일롯밸브에 밸브 폐쇄 신호를 전송함으로써 외부 격리밸브를 폐쇄하라는 지시를 실행하도록 구성되는 것인 장치.

청구항 9

제1항에 있어서,

외부 격리밸브에 연결되도록 구성되는 전기적 릴레이

를 더 구비하고, 상기 적어도 하나의 처리 소자는, 또한, 현장 감쇠율 측정의 수행에 앞서 외부 격리밸브에 밸브 폐쇄 신호를 전송함으로써 외부 격리밸브를 폐쇄하라는 지시를 실행하도록 구성되는 것인 장치.

청구항 10

제1항에 있어서, 상기 적어도 하나의 처리 소자는, 또한, 현장 감쇠율 측정의 결과를 툴 제어부에 통보하라는 지시를 실행하도록 구성되는 것인 장치.

청구항 11

제1항에 있어서, 상기 적어도 하나의 처리 소자는, 또한, 감쇠율 측정에 의해, 정해진 기간 동안 특정량만큼 장치의 특성이 변화되었음이 나타날 때, 경보를 제기하라는 지시를 실행하도록 구성되는 것인 장치.

청구항 12

현장 감쇠율 측정을 수행하는 단계;

감쇠율 측정에 기초하여 프로세서를 사용하여 제1 밸브누설값을 산정하는 단계;

현장 감쇠율 측정을 수행하는 동안 유동 센서(flow sensor)를 사용하여 유동 측정을 수행하는 단계;

유동 센서로 측정된 제2 밸브누설값을 산정하는 단계;

제1 밸브누설값과 제2 밸브누설값 간의 차이에 기초하여 센서 옵셋 보정값을 산정하는 단계;

유동 센서를 영점조정하는 데 센서 옵셋 보정값을 적용하는 단계

를 포함하는, 밸브 누설이 존재할 때 제로 드리프트(zero drift)를 고려하여 감지된 유동 측정을 실시간 보정하는 장치에 의해 현장 수행되는 자기 검증 방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

센서 옵셋 보정값의 값을 시간에 따라 로깅하는 단계
를 더 포함하는 자기 검증 방법.

청구항 14

제12항에 있어서,
상류 격리밸브를 차단하도록 툴 제어부에 요청하는 단계
를 더 포함하는 자기 검증 방법.

청구항 15

제12항에 있어서,
장치가 제로 설정점으로 복귀할 때마다 제12항의 단계들을 반복하는 것
을 더 포함하는 자기 검증 방법.

청구항 16

제12항에 있어서,
센서 옵셋 보정값의 값을 시간에 따라 로깅하는 단계;
로깅된 데이터의 경향 분석을 수행하는 단계;
주류 센서 옵셋 보정값을 산정하는 단계;
산정된 주류 센서 옵셋 보정값을 유동하는 동안의 스팬 측정에 적용하는 단계
를 더 포함하는 자기 검증 방법.

청구항 17

제12항에 있어서,
처리 타이밍 정보로부터, 현장 감쇠율 측정이 중단 없이 완료될 수 있는 시간 간격을 식별하는 단계
를 더 포함하는 자기 검증 방법.

청구항 18

제12항에 있어서,
구성 파라미터에 기초하여, 현장 감쇠율 측정의 수행에 앞서 상류 격리밸브가 폐쇄되었다고 가정하는 단계
를 더 포함하는 자기 검증 방법.

청구항 19

제12항에 있어서,
장치의 내부 밸브를 사용하여 상류 격리밸브를 폐쇄하는 단계
를 더 포함하는 자기 검증 방법.

청구항 20

제12항에 있어서,
툴 파일럿밸브에 밸브 폐쇄 신호를 전송하여 상류 격리밸브를 폐쇄시키는 단계
를 더 포함하는 자기 검증 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 유체의 질량 유량을 측정하는 방법과 시스템에 관한 것으로, 더 상세히는 질량 유량 제어기(MFC)와 질량 유량 측정기(MFM)의 작동에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

많은 산업 공정들이 다양한 공정 유체들의 정밀한 제어를 요구한다. 예를 들어 반도체 산업에서는 공정 챔버로 도입되는 공정 유체의 양을 정확히 측정하는 데 질량 유량 측정기(MFM)가 사용된다. 질량 유량의 측정에 더하여 공정 챔버에 도입되는 공정 유체의 양을 정확히 측정하고 제어하는 데 질량 유량 제어기(MFC)가 사용된다. 여기서 유체라는 용어는 제어된 유동이 관심 대상일 수 있는 임의의 유형의 가스나 증기에 적용될 것이다.

[0003]

질량 유량 제어기와 질량 유량 측정기는 유량 제어기(MFC) 공급자가 보증하는 잘 규정된 운전기준을 가진다. 사용자 공정(customer process)들은 장치가 최초 설치되어 공정이 조정(tune-up)된 후로부터의 반복적인 운전에 기초한다. 노후 등에 의해 드리프트(drift)가 생기거나 오염 등에 의해 막힌 질량 유량 제어기와 질량 유량 측정기는 반복성을 잃음으로써 공정 특성이 변화되어 수율이 낮아지거나 심지어 제조된 전 제품의 손실을 야기할 수 있다. 예를 들어 질량 유량 제어기가 노후됨에 따라 밸브 누설이 증가하여 질량 유량 제어기 드리프트의 한 원인이 된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004]

본 발명의 목적은, 밸브 누설과 센서 옵셋을 동시에 산정할 수 있는 자체 검증형 질량 유량 제어기를 제공하는 시스템과 방법뿐만 아니라, 밸브 누설이 발생할 때 질량 유량 제어기 또는 질량 유량 측정기의 출력이 제로 옵셋 또는 제로 드리프트가 되도록 실시간으로 현장교정하는 자체 검증 과정을 제공하여, 질량 유량 제어기(MFC) 또는 질량 유량 측정기(MFM)가 측정에 필요한 정지 시간(down time)이 없이도 실시간으로 정확한 정보를 제공하도록 하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0005]

상술한 문제들 중 하나 이상을 해결하기 위해, 여기에 개시된 본 발명의 실시예들은 밸브 누설(valve leakage)과 센서 옵셋(sensor offset)을 동시에 산정할 수 있는 자체 검증형 질량 유량 제어기를 제공하는 시스템과 방법을 포함한다. 개시된 실시예들은 또한, 밸브 누설이 발생할 때 질량 유량 제어기 또는 질량 유량 측정기의 출력이 제로 옵셋 또는 제로 드리프트가 되도록 실시간으로 현장교정하는 자체 검증 과정을 사용할 수 있다. 그러면 질량 유량 제어기(MFC) 또는 질량 유량 측정기(MFM)는 측정에 필요한 정지 시간(down time)이 없이도 실시간으로 정확한 정보를 제공하게 된다.

[0006]

개시된 실시예들은 자체 검증형 질량 유량 제어기 또는 질량 유량 측정기를 제공하기 위한 방법, 장치 및 컴퓨터 프로그램을 포함한다. 한 실시예에서, 질량 유량 제어기에 사용되는 툴/툴 제어부의 소프트웨어를 변경할 필요가 없는 자체 검증형 질량 유량 제어기가 개시된다. 다른 실시예에서는, 기존의 질량 유량 제어기에 대한 하드웨어적 변경 또는 기계적 변경이 필요 없는 자체 검증형 질량 유량 제어기가 개시된다. 개시된 실시예들은 또한 밸브 누설이 발생할 때 질량 유량 제어기 또는 질량 유량 측정기의 출력이 제로 옵셋 또는 제로 드리프트가 되도록 실시간으로 현장 교정하기 위해 동시에 밸브 누설 및 센서 옵셋을 산정하는 자체 검증형 질량 유량 제어기를 포함한다.

[0007]

본 발명의 한 예로 개시된 실시예들은 유체의 유동을 제어하는 질량 유량 제어기를 포함하는데, 이 질량 유량 제어기는 유체를 공급받는 유입구; 질량 유량 제어기를 통해 유체가 통과하는 유동 경로; 이 유동 경로를 통한 유체의 질량 유량에 대응하는 신호를 제공하는 질량 유량 센서; 질량 유량 제어기의 배출구로부터의 유량을 조정하는 가변 밸브; 이 가변 밸브를 요구되는 밸브 위치로 조절하여 질량 유량 제어기의 배출구로부터의 유량을 제어하는 밸브 제어 신호를 공급하는 제어기; 툴 제어부와 통신하는 통신 인터페이스; 밸브 누설의 발생을 식별하도록 현장(in-situ) 감쇠율(rate of decay) 측정의 수행 지시를 실행하도록 구성된 적어도 하나의 처리 소자(processing component)를 구비한다.

[0008]

본 발명의 다른 예로 제시된 실시예에서, 질량 유량 제어기는 유입구의 상류측에 외부 격리밸브를 가지는 가스 공급 배관으로부터 유체를 공급받는 유입구; 질량 유량 제어기를 통해 유체가 통과하는 유동 경로; 이 유동 경

로를 통한 유체의 질량 유량에 대응하는 신호를 제공하는 질량 유량 센서; 질량 유량 제어기의 배출구로부터의 유체의 유동을 조정하는 가변 밸브; 이 가변 밸브를 요구되는 밸브 위치로 조절하여 질량 유량 제어기의 배출구로부터의 유체의 유량을 제어하는 밸브 제어 신호를 공급하는 제어부; 툴 파일롯밸브(tool pilot valve)에 연결된 제1 공압배관을 받아 내부 밸브로부터 유입구 상류의 외부 격리밸브로 연결하는 제2 공압배관을 연결하는 내부 밸브; 내부 밸브로 제1 공압배관을 통해 공급받는 공기 유동을 차단하여 외부 격리밸브를 폐쇄하라는 지시를 실행한 뒤 현장 감쇠율 측정을 수행하라는 지시를 실행하도록 구성된 적어도 하나의 처리 소자를 구비한다.

[0009] 본 발명은 또한 유체의 유동을 제어하는 질량 유량 제어기의 다른 실시예를 개시하는데, 이 질량 유량 제어기는 유입구의 상류측에 외부 격리밸브를 가지는 가스 공급 배관으로부터 유체를 공급받는 유입구; 질량 유량 제어기를 통해 유체가 통과하는 유동 경로; 이 유동 경로를 통한 질량 유량에 대응하는 신호를 제공하는 질량 유량 센서; 질량 유량 제어기의 배출구로의 유량을 조정하는 가변 밸브; 이 가변 밸브를 요구되는 밸브 위치로 조절하여 질량 유량 제어기의 배출구로부터의 유량을 제어하는 밸브 제어 신호를 공급하는 제어부; 툴 제어부로부터의 제1 전기배선과 툴 파일롯밸브로의 제2 전기배선 사이에 연결된 전기적 릴레이; 제2 전기배선을 통해 툴 파일롯밸브로 밸브 폐쇄 신호를 전송함으로써 외부 격리밸브를 폐쇄하라는 지시를 실행한 뒤 현장 감쇠율 측정을 수행하라는 지시를 실행하도록 구성된 적어도 하나의 처리 소자를 구비한다.

[0010] 또한 본 발명은 유체 유동을 제어하는 질량 유량 제어기의 또 다른 실시예를 개시하는데, 이 질량 유량 제어기는 유입구의 상류측에 외부 격리밸브를 가지는 가스 공급 배관으로부터 유체를 공급받는 유입구; 질량 유량 제어기를 통해 유체가 통과하는 유동 경로; 이 유동 경로를 통한 유체의 질량 유량에 대응하는 신호를 제공하는 질량 유량 센서; 질량 유량 제어기의 배출구로의 유량을 조정하는 가변 밸브; 이 가변 밸브를 요구되는 밸브 위치로 조절하여 질량 유량 제어기의 배출구로부터의 유체의 유량을 제어하는 밸브 제어 신호를 공급하는 제어부; 외부 격리밸브에 연결된 전기적 릴레이; 외부 격리밸브에 밸브 폐쇄 신호를 전송하여 외부 격리밸브를 폐쇄하라는 지시를 실행한 뒤 현장 감쇠율 측정을 수행하라는 지시를 실행하도록 구성된 적어도 하나의 처리 소자를 구비한다.

[0011] 또한 본 발명의 개시된 실시예들은 또한 격리밸브를 포함하는데, 이 격리밸브는 공압배관에 연결되어 공압배관을 통해 공기 유동을 공급받음에 따라 개방되도록 구성된 제1 밸브; 전기적 신호를 수신하여 공압배관으로부터의 공기 유동을 차단함으로써 제1 밸브가 폐쇄되도록 하는 제2 밸브를 구비한다.

[0012] 본 발명의 또 다른 실시예에 개시된 질량 유량 제어기는, 유체를 공급받는 유입구; 질량 유량 제어기를 통해 유체가 통과하는 유동 경로; 이 유동 경로를 통한 유체의 질량 유량에 대응하는 신호를 제공하는 질량 유량 센서; 질량 유량 제어기의 배출구로부터의 유체의 유량을 조정하는 가변 밸브; 이 가변 밸브를 요구되는 밸브 위치로 조절하여 질량 유량 제어기의 배출구로부터의 유체의 유량을 제어하는 밸브 제어 신호를 공급하는 제어부; 툴 제어부와 통신하기 위한 통신 인터페이스; 현장 감쇠율 측정을 수행하고, 현장 감쇠율 측정에 기초한 제1 밸브 누설값을 결정하며, 현장 감쇠율 측정을 수행하는 동안 유량 센서를 사용하여 유량측정을 수행하고, 유량 센서에 의해 측정된 제2 밸브누설값을 결정하며, 제1 밸브누설값과 제2 밸브누설값의 차이에 기초하여 센서 옵셋 보정값을 결정하고, 유량 센서의 영점조정(zeroing)에서 이 센서 옵셋 보정값을 적용하도록 지시를 수행하는 적어도 하나의 처리 소자를 구비한다.

[0013] 상술한 질량 유량 제어기 실시예들에 설명된 각 특징들은, 예를 들어 질량 유량을 측정하지만 유량을 제어하는 제어부가 구비되지 않는 질량 유량 측정기에도 유사하게 구현될 수 있다. 다른 실시예들과 이점 및 신규한 특징들은 이하의 상세한 설명에 기술될 것이다.

발명의 효과

[0014] 본 발명에 따르면, 밸브 누설과 센서 옵셋을 동시에 산정할 수 있는 자체 검증 유량 제어기를 제공하는 시스템과 방법뿐만 아니라, 밸브 누설이 발생할 때 유량 제어기 또는 유량 측정기의 출력이 제로 옵셋 또는 제로 드리프트가 되도록 실시간으로 현장교정하는 자체 검증 과정을 사용하여, 유량 제어기(MFC) 또는 유량 측정기(MFM)가 측정에 필요한 정지 시간(down time)이 없이도 실시간으로 정확한 정보를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0015] 이하 본 발명의 예시적 실시예들이 인용함으로써 첨부되는 도면을 참조하여 상세히 설명될 것이다.

도 1은 개시된 실시예에 따른 질량 유량 제어기의 구성요소들을 보이는 도면;

도 2는 개시된 실시예에 따라 질량 유량 제어기 또는 질량 유량 측정기가 틀 제어부와 통신하는 환경의 일례를 보이는 도면;

도 3은 한 실시예에 따라 감쇠율 측정을 수행하기 위한 소프트웨어 프로토콜을 나타내는 시퀀스 다이어그램의 예를 제시하는 도면;

도 4는 다른 실시예에 따라 감쇠율 측정을 수행하기 위한 제2 소프트웨어 프로토콜을 나타내는 시퀀스 다이어그램의 예를 제시하는 도면;

도 5는 개시된 실시예에 따라 자기 검증형 질량 유량 제어기를 구현하는 한 실시예를 보이는 블록 다이어그램;

도 6 내지 도 8은 개시된 실시예에 따라 자기 검증형 질량 유량 제어기를 구현하는 다른 실시예들을 보이는 도면들;

도 9는 개시된 실시예에 따라 자기 검증형 질량 유량 제어기를 구현하는 두번째 실시예를 보이는 블록 다이어그램;

도 10은 개시된 실시예에 따라 자기 검증형 질량 유량 제어기를 구현하는 세번째 실시예를 보이는 블록 다이어그램;

도 11은 센서와 실제 유동 간의 이상적인 상태를 나타내는 그래프;

도 12는 양의 옵셋이 존재하는 경우의 센서를 보이는 그래프;

도 13은 음의 제로 옵셋이 존재하는 경우의 센서를 보이는 그래프;

도 14는 밸브가 누설될 때 밸브를 폐쇄한 후의 실제 유동을 정확히 반영한 센서를 보이는 그래프;

도 15는 센서의 부분적 보정을 나타내는 그래프;

도 16은 질량 유량 제어기가 실제 일정한 유동으로 누설되는 동안의 제로 출력을 보이는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0016]

여기 개시되는 실시예는 질량 유량 제어기의 출력이 제로 옵셋 또는 제로 드리프트를 나타내도록 실시간 현장 보정하는 자기검증 처리과정들 중 적어도 하나를 사용하는 자기 검증형 질량 유량 제어기를 제공하는 시스템, 방법 및 장치를 포함한다. 이에 따라 측정을 위한 임의의 틀 정지 시간 없이도 질량 유량 제어기가 실시간으로 정확한 정보를 제공하게 된다.

[0017]

본 발명의 개시된 실시예와 그 이점들은 도 1 내지 도 6을 참조함으로써 잘 이해될 것인데, 유사한 부호들은 여러 도면들에서 유사한 대응 부위에 사용된다. 이하의 도면과 상세한 설명들을 검토하면 당업계의 통상적인 전문가들에게, 개시된 실시예의 다른 특징과 이점들이 명백해질 것이다. 이와 같은 부가적 특징과 이점들은 개시된 실시예의 범위 내에 포함되도록 의도된 것이다. 또한 도시된 도면들은 단지 예시일 뿐이며, 다른 실시예들이 구현될 수 있는 환경, 아키텍처, 설계 또는 공정에 관해 어떤 제한을 가하거나 암시하는 것은 아니다.

[0018]

도 1은 유량 제어기(MFC)의 구성요소가 장착될 플랫폼인 스텝(110; step)을 구비하는 전형적인 질량 유량 제어기(100)을 개략적으로 도시하고 있다. 열적(thermal) 질량 유량 측정기(140)와, 밸브(170)을 포함하는 밸브 어셈블리(150)가 유체 도입구(120)와 유체 배출구(130) 사이에서 스텝(110) 상에 장착된다. 열적 질량 유량 측정기(140)는 대부분의 유체가 흐르게 되는 바이패스(142)와 유체 유동의 작은 일부가 통과하는 열적 유량 센서(146)를 구비한다.

[0019]

열적 유량 센서(146)는 장착판, 즉 베이스(108) 상에 장착된 센서 하우징(102)[센서(146)를 보여주기 위해 절개됨] 내에 수납된다. 센서(146)는 일반적으로 모세관이라고 불리는 소직경의 관인데, 센서 입구(146A), 센서 출구(146B), 그리고 그 주위에 두 저항 코일, 또는 저항 권선(147, 148)이 배치된 센서 측정부(146C)를 가진다. 작동 시에는 센서 측정부(146C)와 열적 접촉하고 있는 2개의 저항 권선(147, 148)에 전류가 공급된다. 저항 권선(147, 148)에 공급된 전류는 측정부(146)에서 유동하는 유체의 온도를, 바이패스(142)를 통해 유동하는 유체의 온도보다 높은 온도로 가열한다. 권선(147, 148)의 저항은 온도에 따라 변화한다. 유체가 센서 통로를 통과함에 따라 열은 상류측 저항(147)으로부터 하류측 저항(148)을 향해 전달되는데, 그 사이의 온도차이는 센서를 통과하는 질량 유량에 비례한다.

[0020]

센서를 통과하는 유체 유동에 관한 전기적 신호가 두 저항 권선(147, 148)으로부터 도출된다. 이 전기적

신호는, 예를 들어 두 저항 권선의 저항의 차이 또는 각 권선을 특정 온도로 유지하기 위해 각 저항 권선에 공급되는 에너지량의 차이 등으로부터 다양한 방법으로 도출될 수 있다. 열적 질량 유량 측정기에서 유체의 유량에 관련된 전기적 신호가 결정될 수 있는 다양한 방법의 일례는, 예를 들어 공지된 미국특허 제6,845,659호에 기술되어 있는데, 이는 인용함으로써 본 발명에 포함된다. 신호 처리 이후에 저항 권선(147, 148)으로부터 도출된 전기적 신호는 센서 출력 신호를 포함하게 된다.

[0021] 센서 출력 신호는 질량 유량 측정기 내의 질량 유량과 상관(correlation)되므로 이 전기적 신호를 측정하여 유량을 산정할 수 있다. 센서 출력 신호는 일차적으로 센서(146) 내의 유동에 상관되고 나아가 바이패스(142)의 질량 유량에 상관되므로, 유량 측정기를 통과하는 전체 유동이 산정될 수 있고 이에 따라 제어 밸브(170)가 제어될 수 있다. 센서 출력 신호와 유체 유동 간의 상관관계는 복잡하여 유체의 종류, 유량, 도입부 압력 및/또는 배출부 압력, 온도 등의 다양한 운전조건들에 좌우된다.

[0022] 초기 센서출력을 유량에 상관시키는 처리 과정은 질량 유량 제어기의 투닝(tuning) 및/또는 캘리브레이팅(calibrating)을 수반하는데, 이는 매우 고가의 노동집약적인 작업으로 흔히 한 명 이상의 숙련된 작업자와 특수 장비를 요구한다. 예를 들어, 센서부를 통해 기지의 유체를 기지의 유량으로 흘려 질량 유량 센서를 투닝하고, 유체 유동을 정확히 표시하는 반응을 나타내도록 소정의 신호 처리 파라미터를 조정한다. 예를 들어, 제로로부터 센서의 최고 유량까지에 대해 0V 내지 5V 등의 소정의 전압범위의 센서출력이 대응되도록 출력을 표준화 할 수 있다. 또한 출력의 변화가 유량의 변화에 선형적으로 대응하도록 센서 출력을 선형화할 수도 있다. 출력이 선형화되면, 예를 들어 유체 출력이 두 배가 될 때 전기적 출력도 두 배가 된다. 한편 유량 변화 또는 압력 변화가 산정될 때 압력이나 유량의 변화에 있어 부정확한 효과가 발생되면 이런 효과가 보상되도록 센서의 동적 반응도 산정된다.

[0023] 이때 바이패스가 센서에 장착될 수 있는데, 이 바이패스는 다양한 기지의 유량에 있어서 질량 유량 센서 내의 유체 유동과 바이패스 내의 유체 유동 간에 적절한 관계를 설정하도록 공지된 유체로 투닝되어, 유량 계량기를 통한 전체 유동이 센서 출력 신호로부터 산정될 수 있게 된다. 바이패스가 사용되지 않는 일부 질량 유량 제어기에서는 전체 유체가 센서를 통과한다. 질량 유량 센서부와 바이패스는 이어서 제어 밸브와 제어 전자부에 연결되어 기지의 조건들 하에서 다시 투닝된다. 이때 제어 전자부와 제어 밸브의 반응은 설정점 또는 입력 압력의 변화에 대한 시스템의 전체적 반응이 알려지는 것을 특징으로 하며, 이 반응은 시스템이 바람직한 반응을 제공하도록 제어하는 데 사용될 수 있다.

[0024] 최종 사용자가 사용할 유체의 종류가 투닝 및/또는 캘리브レーション에 사용된 유체와 달라지거나 최종 사용자가 사용할 도입부 압력 및 배출부 압력, 온도, 유량의 범위 등의 작동 조건이 투닝 및/또는 캘리브레이션에서 사용된 조건들과 달라지면 질량 유량 제어기의 작동은 일반적으로 열화된다. 이런 이유로, 유량 제어기는 추가적인 유체("대용 유체"로 호칭함) 및/또는 작동 조건에 대해 투닝 또는 캘리브레이션되어, 만족스러운 반응을 제공하기 위해 필요한 임의의 변화들은 룩업 테이블(lookup table)로 저장된다. 본 발명의 양수자가 보유하여 인용함으로써 본 발명에 참조된, 왕(Wang) 등의 "유량 센서 신호 변환"에 대한 미국특허 제7,272,512호는 서로 다른 공정 유체가 사용되는 장치를 캘리브레이션하기 위해 대용 유체를 사용하는 대신 반응의 조절에 다양한 가스들의 특성을 사용하는 시스템을 기술하고 있다.

[0025] 또한 질량 유량 제어기(100)은 유동 경로의 압력을 측정하기 위해 유체 경로의 어떤 위치에 결합된 압력 변환기(112)를 구비할 수 있는데, 그 위치는 한정하는 것은 아니지만 전형적인 예로 들면 바이패스(142)의 상류가 된다. 압력 변환기(112)는 압력을 나타내는 압력 신호를 제공한다. 개시된 실시예에 따르면, 압력 변환기(112)는 감쇠율을 측정하는 동안 압력을 측정하기 위해 사용된다.

[0026] 제어 전자부(160)는 요구되는 질량 유량을 나타내는 설정점과 센서 도관(sensor conduit) 내를 흐르는 실제 질량 유량을 나타내는 질량 유량 센서로부터의 전기적 유동 신호에 따라 제어 밸브(170)의 위치를 제어한다. 비례 제어나 적분 제어, 비례-적분 제어(PI), 미분 제어, 비례-미분 제어(PD), 적분-미분 제어(ID), 비례-적분-미분 제어(PID) 등의 전통적 피드백 제어방법들이 질량 유량 제어기 내의 유량을 제어하는 데 사용될 수 있다. 요구되는 유체의 질량 유량을 나타내는 설정점 신호와 질량 유량 센서에 의해 감지된 실제 질량 유량에 관한 피드백 신호 간의 차이인 오류 신호에 기초하여 제어 밸브 구동신호 등의 제어 신호가 생성된다. 제어 밸브는 유체 유동의 주경로(전형적으로 바이패스와 질량 유량 센서의 하류측)에 설치되어 제어(예를 들어 개방 또는 폐쇄)됨으로써 유체 유동의 주경로를 통하는 유체의 질량 유량을 변화시킬 수 있는데, 이러한 제어는 질량 유량 제어기에 의해 제공된다.

[0027] 개시된 실시예에서, 유량은 전기 도선(158)에 의해 폐루프 시스템 제어부(160)에 전압 신호로 공급된다. 이 신

호는 증폭, 처리되어 전기 도선(159)를 통해 제어 밸브 어셈블리(150)에 공급됨으로써 유동을 변경시킨다. 이를 위해 제어부(160)는 질량 유량 센서(140)로부터의 신호를 사전에 정해진 값과 비교하여 비례 밸브(170)를 조정함으로써 요구되는 유동을 달성하게 된다.

[0028] 도 1에서 설명된 질량 유량 제어기(100)는 열적 질량 유량 센서를 구비하고 있지만, 개시된 실시예에 의한 질량 유량 제어기(100)는 코리올리 방식(Coriolis type) 센서를 비롯하여 다른 방식의 질량 유량 센서들도 사용할 수 있다. 코리올리 방식 센서를 사용하면 온도, 유동 프로파일, 농도, 점도 및 균질성 등과 무관하게 질량 유량을 측정할 수 있는 이점이 있다.

[0029] 도 2는 개시된 실시예에 따라 자기 검증형 질량 유량 제어기를 제공하는 실시예를 보이는 블록 다이어그램이다. 개시된 실시예에 제시된 바와 같이, 질량 유량 제어기(100)는 가스 공급관(206)을 통한 질량 유량 제어기로의 가스 공급을 제어하는 툴 제어부(200)를 포함하는 툴 상에 장착된다. 격리밸브(210)가 가스 공급관(206) 상의 질량 유량 제어기(100) 상류에 위치한다. 격리밸브(210)는 툴 제어부(200)로 제어되는 파일롯밸브(204)에 연통 가능하게 연결된다. 격리밸브(210)는 전형적으로 상시 폐쇄 밸브다. 툴 파일롯밸브(204)가 개방되면 압축 공기가 격리밸브(210)를 개방시킨다. 툴 파일롯밸브(204)가 폐쇄되면 공기가 공급되지 않아 격리밸브(210)가 폐쇄됨으로써 질량 유량 제어기(100)로의 가스 공급을 차단하게 된다.

[0030] 그러므로 개시된 실시예에 따르면, 질량 유량 제어기(100)로의 가스 공급을 차단하기 위해 질량 유량 제어기(100)는 툴 제어부(200)와 통신하도록 소프트웨어 프로토콜을 구비하여, 툴 제어부가 상류의 격리밸브(210)을 폐쇄시키기 위해 툴 파일롯밸브(204)를 폐쇄시키는 파일롯밸브 제어 신호를 생성하도록 함으로써, 질량 유량 제어기(100)가 임의의 성능 저하의 자기검출을 위해 현장 감쇠율 측정을 수행할 수 있도록 질량 유량 제어기(100)로의 가스 공급을 차단시키게 된다.

[0031] 예를 들어 도 3은 개시된 실시예에 따라 감쇠율 측정을 수행하는 소프트웨어 프로토콜(300)을 보이는 시퀀스 다이어그램이다. 소프트웨어 프로토콜(300)은 도 1에 도시된 질량 유량 제어기의 제어부나 제어 전자부에 구현될 수 있다. 예를 들어 소프트웨어 프로토콜은 질량 유량 제어기의 하나 또는 복수의 프로세서를 사용하여 수행될 수 있다. 또한 툴 제어부는 질량 유량 제어기와 데이터 및 명령을 교환하도록 소프트웨어 프로토콜에 관한 지시를 실행할 수 있게 변경될 수 있다.

[0032] 도시된 실시예에서, 질량 유량 제어기(100)가 툴 제어부(200)에 처리 타이밍 정보를 요청한다(단계 302). 이 요청은 사전에 정해진 시간에 수행되거나 및/또는 사전에 특정된 시간 간격으로 반복적으로 발생될 수 있다. 처리 타이밍 정보 요청에 응답하여 툴 제어부(200)는 질량 유량 제어기(100)에 처리 타이밍 정보 데이터를 회신한다(단계 304). 대안적 실시예에서 툴 제어부(200)는 요청을 먼저 받지 않고 질량 유량 제어기(100)에 처리 타이밍 정보 데이터를 자동적으로 전송하도록 구성될 수도 있다.

[0033] 질량 유량 제어기(100)는 처리 타이밍 정보를 사용하여 질량 유량 제어기(100)가 감쇠율 측정을 완료할 수 있는 처리 시간 간격을 식별한다(단계 306). 예를 들어, 질량 유량 제어기(100)는, 감쇠율 측정이 중단 없이 완료될 수 있는 어떤 처리 시간 간격을 질량 유량 제어기(100)가 식별할 수 있도록 하는, 처리 시간 정보 내의 소정의 패턴을 인식하도록 패턴인식 신호를 실행하게 구성될 수 있다. 질량 유량 제어기는 질량 유량 제어기에 적용되는 가스의 방식 및 설정점 등의 인자들을 사용하여 감쇠율 측정의 완료에 필요한 시간을 결정하는 알고리즘을 실행할 수 있다.

[0034] 질량 유량 제어기(100)가 감쇠율 측정을 완료할 수 있는 처리 시간 간격을 식별하는 것에 응답하여, 질량 유량 제어기(100)는 툴 제어부(200)에 격리밸브(210)를 폐쇄하라는 요청을 생성한다(단계 308). 툴 제어부(200)는 툴 파일롯밸브(204)를 폐쇄하도록 파일롯밸브 제어 신호를 생성하고, 그러면 상류 격리밸브(210)가 폐쇄된다(단계 310). 이어서 툴 제어부(200)는 격리밸브가 폐쇄되었음을 나타내는 상태 확인신호를 질량 유량 제어기(100)에 전송한다(단계 314). 질량 유량 제어기(100)가 감쇠율 측정을 시작하여 그 결과를 평가한다(단계 316). 감쇠율 측정을 수행하고 결과를 검증한 뒤, 질량 유량 제어기(100)는 툴 제어부(200)에 격리밸브를 재개방하라는 요청을 전송한다(단계 318). 어떤 실시예에서는 질량 유량 제어기(100)가 결과를 툴 제어부(200)에 전송하거나 및/또는 내부 감쇠율 측정 결과에 의해 장치의 특성이 소정시간 동안 어떤 양만큼 변화되었음이 나타나면 경보를 발생시키도록 구성될 수 있다(단계 322). 예를 들어 소정의 설정점에서의 정확도가 2주에 걸쳐 2%를 초과하여 변동한 경우가 이에 해당한다. 대안적 실시예에 있어서는, 결과 및/또는 신호의 전송이 밸브 재개방 요청의 전송의 필요성을 대신할 수 있다(즉, 단계 318).

[0035] 도 4는 개시된 실시예에 따라 밸브 누설을 점검하기 위해 감쇠율 측정을 수행하는 질량 유량 제어기(100)와 툴

제어부(200) 간의 소프트웨어 프로토콜의 다른 예를 보인다. 이 실시예에서, 툴 제어부(200)는, 질량 유량 제어기(100)가 감쇠율 측정을 완료할 수 있는 처리 시간 간격을 식별하라는 지시를 실행할 수 있게 구성된다(단계 402). 유량 제어기(100)가 감쇠율 측정을 완료할 수 있는 처리 시간 간격을 식별함에 응답하여 툴 제어부(200)는 상류 격리밸브(210)가 폐쇄되도록 함으로써 가스 공급 중단을 간단하게 개시한다(단계 404). 툴 제어부(200)는 이어서 질량 유량 제어기(100)에 격리밸브(210)의 상태를 통보한다(단계 406). 격리밸브 상태의 수신에 응답하여 질량 유량 제어기(100)는 감쇠율 측정을 수행하고 결과를 평가한다(단계 408). 이 실시예에서 질량 유량 제어기(100)는, 결과를 평가한 뒤, 질량 유량 제어기(100)가 감쇠율 측정의 수행을 완료했음을 나타내는 감쇠율 측정의 결과 및/또는 경보신호를 툴 제어부(200)에 전송한다(단계 410). 수신된 결과에 기초하여, 툴 제어부(200)는 격리밸브(210)을 재개방하라는 신호를 생성할 수 있다(단계 412).

[0036] 추가적으로, 어떤 실시예에서는, 툴 제어부(200)가 질량 유량 제어기(100)에 추가적으로 히스토리 정보를 요청할 수 있다(단계 414). 질량 유량 제어기(100)는 이에 대응하여 히스토리 데이터를 포매팅하여(단계 416) 히스토리 데이터를 툴 제어부(200)에 제공하게 된다(단계 418).

[0037] 이에 따라, 상술한 바와 같이 개시된 실시예의 이점은, 밸브 누설을 점검하기 위한 감쇠율 측정을 위해 툴에 장착된 별도의 장치를 구비하거나 및/또는 감쇠율 측정을 오프라인(off-line)으로 수행할 필요 없이 하나 또는 복수의 소프트웨어 프로토콜과 관련된 지시를 실행하는 하나 또는 복수의 프로세서를 사용하는 자기 검증형 질량 유량 제어기를 제공하는 시스템과 방법을 포함하지만 이에 제한되는 것은 아니다. 또한 개시된 실시예는 기존의 질량 유량 제어기에 하드웨어적 또는 기계적으로 어떤 변경도 요구하지 않는다.

[0038] 전술한 소프트웨어 프로토콜 구현에 대한 대안으로서, 도 5는, 툴에 대해 어떤 소프트웨어적 변경 또는 하드웨어적 변경을 요구하지 않으면서 질량 유량 제어기에 대해 다른 하드웨어적 변경을 이용하는, 자기 검증형 질량 유량 제어기의 다른 실시예를 도시하고 있다.

[0039] 예를 들어, 도 5는 질량 유량 제어기에 대한 하드웨어적 변경을 채택한 자기 검증형 질량 유량 제어기의 제1 실시예를 개시하고 있다. 도 2와 달리 이 실시예는 가스 공급관(206)으로부터의 가스 공급을 중단시키기 위해, 공압 공급관(212)이 장치에 마련된 연결부를 사용하여 툴 파일롯밸브(204)를 통해 질량 유량 제어기(250)로 경로를 변경(re-route)한다. 질량 유량 제어기(250)는 도 1에 도시된 질량 유량 제어기(100)를 변경한 것이다. 질량 유량 제어기(250)는 툴 파일롯밸브(204)와 직렬로 연결된 내부 밸브(202)를 구비하도록 변경된다. 도시된 실시예에서 격리밸브(210)는 가스 공급관(206) 상의 질량 유량 제어기(250) 상류측의 외부에 위치한다. 그러나 어떤 실시예에서는 격리밸브(210)를 질량 유량 제어기(250)의 내부에 설치할 수도 있다. 여기서도 격리밸브(210)는 전형적으로 상시폐쇄 밸브로서, 압축공기가 공급되어 격리밸브(210)가 개방되도록 기동시킬 때만 개방된다.

[0040] 도 5에 개시된 구성을 사용하면, 내부 밸브(202)를 사용하는 질량 유량 제어기(250)는 툴 제어부(200)가 압축 공기를 공급할 때만[즉 툴 제어부가 파일롯밸브(204)를 개방할 때만] 압축공기를 중단시킬 수 있다는 것을 알 수 있다. 이에 따라 이 실시예에서는 툴 제어부(200)가 압축 공기를 공급하지 않으면 질량 유량 제어기(250)가 격리밸브(210)를 개방할 수 없다. 그러나 이 구성을 사용하면 질량 유량 제어기(250)가 내부 밸브(202)를 폐쇄할 수 있도록 구성되어 압축 공기의 공급을 차단하고, 그러면 격리밸브(210)가 질량 유량 제어기(250)로의 가스 공급을 차단할 수 있게 된다. 일단 폐쇄되면 질량 유량 제어기(250)는 감쇠율 측정을 개시 및 수행하도록 되어 있다. 감쇠율 측정을 수행하고 결과를 검증한 뒤, 질량 유량 제어기(250)는 내부 밸브(202)를 재개방함으로써, 질량 유량 제어기(250)에 가스 공급을 할 수 있도록 격리밸브를 개방한다.

[0041] 도 6 내지 도 8은 도 5로 설명된 질량 유량 제어기(250)를 구현하는 다양한 실시예들을 도시하고 있다. 예를 들어 도 6은 툴 파일롯밸브(204)에 직렬로 연결된 내부 밸브(202)를 구비하는 질량 유량 제어기(250)을 도시하고 있다. 내부 밸브(202)는 툴 파일롯밸브(204)로부터 제1 공압배관(212i)을 연결받아 격리밸브(210)로 제2 공압배관(212o)을 연결한다. 제시된 바로부터 알 수 있듯이, 제1 공압 배관 및 제2 공압배관은 질량 유량 제어기 상면의 개구부를 통해 배관된다. 그러나 도 7은 제1 공압배관 및 제2 공압배관이 질량 유량 제어기의 측면에 위치하는 개구부를 통해 질량 유량 제어기 내외로 배관되는 다른 실시예를 도시한다. 또한 도 8은 변경된 도입구 블록(280)과 피에조 밸브(282)를 구비하는 질량 유량 제어기를 통해 제1 공압배관 및 제2 공압배관이 배관되는 또 다른 실시예를 도시하고 있다.

[0042] 도 6 내지 도 8에 도시된 실시예들은 단순한 설명적 예시일뿐 질량 유량 제어기(250)를 구현하는 다양한 방식들을 제한하고자 하는 것은 아니다. 예를 들어, 제시된 각 실시예에서 내부 밸브(202)가 소정의 위치에 있는 것으로 도시되어 있지만 내부 밸브(202)는 질량 유량 제어기(250) 내의 다른 위치에 설치될 수 있다. 또한 제1 공압 배관 및 제2 공압배관을 배관하기 위한 질량 유량 제어기 내의 개구부들도 질량 유량 제어기 상에 임의의 개수

로 위치할 수 있다.

[0043] 도 5의 실시예에 비해, 도 9 및 도 10은 내부 밸브(202)를 구비하지 않는 자기 검증형 질량 유량 제어기를 제공하는 다양한 실시예를 도시하고 있다. 대신, 도 9와 도 10에 각각 도시된 질량 유량 제어기(340, 350)들은, 질량 유량 제어기가 격리밸브(210)을 차단하는 신호를 전송하기 위해 추가적인 전기적 구성요소 또는 변경된 전기적 구성요소를 구비한다. 예를 들어 도 9와 관련하여, 질량 유량 제어기(340)는, 툴 파일럿밸브(204)를 제어하기 위한 전기 도선(214)과 직렬로 연결된 전기적 릴레이(180)를 구비하도록 구성된다. 이 전기적 릴레이(180)는 질량 유량 제어기(340)의 제어 전자부(160)의 전기적 부품이거나 또는 제어 전자부에 의해 제어된다.

[0044] 한 실시예에서, 질량 유량 제어기(340)는 격리밸브(210)가 툴 제어부(200)에 의해 사전에 개방된 기간 동안 감쇠율 측정을 위해 격리밸브(210)를 폐쇄하도록 파일럿밸브 제어 신호를 보낼 수 있게 구성된다. 감쇠율 측정과 결과의 검증을 수행한 뒤, 질량 유량 제어기(340)는, 질량 유량 제어기(340)에 가스가 공급되도록 격리밸브(222)를 재개방하라는 제2 파일럿밸브 제어 신호를 전송할 수 있다. 바람직한 실시예에서, 질량 유량 제어기(340)는, 툴 제어부(200)가 폐쇄시켰을 때는 격리밸브(210)를 개방할 수 없게 구성된다. 도 3의 실시예에 대한 도 9의 실시예의 이점은, 질량 유량 제어기(340)가 추가적인 내부 밸브 구성요소를 필요로 하지 않으므로 질량 유량 제어기(340)의 생산 비용이 질량 유량 제어기(250)의 생산 비용보다 적다는 것이다. 그러나 툴 배선에 대한 요구가 증가되는 것이 단점이다.

[0045] 도 10에는 질량 유량 제어기(350)가 격리밸브(210M)을 폐쇄하라는 신호를 격리밸브(210M)에 전송할 수 있도록 하는 전기적 구성요소(190)를 구비하는 질량 유량 제어기(350)의 다른 실시예가 도시되어 있다. 격리밸브(210M)는 전형적인 격리밸브를 수정한 것이다. 격리밸브(210M)는 질량 유량 제어기(350)로부터 격리밸브 제어 신호를 수신하는 추가적 구성요소와, 질량 유량 제어기(350)로부터 격리밸브 제어 신호를 수신함에 응답하여 공압배관(212)으로 공급받는 압축 공기를 차단하여 격리밸브(210M)를 폐쇄함으로써 질량 유량 제어기(350)가 감쇠율 측정을 수행할 수 있도록 질량 유량 제어기(350)로의 가스 유동을 차단할 수 있는 추가적 밸브(211)를 구비할 수 있다. 한 실시예에 있어서, 이 밸브(211)는 솔레노이드 밸브가 된다. 또 어떤 실시예에서는, 이 밸브(211)가 기존의 격리밸브에 결합될 수 있는 예를 들어 캡(cap) 등의 별도 부품이 될 수 있다.

[0046] 상술한 바와 같이, 개시된 질량 유량 제어기의 각 실시예들(질량 유량 제어기; 100, 250, 340 및 350)은 감쇠율 측정을 위한 요구조건에 기초하여 처리가 진행되는 동안 격리밸브(210)가 폐쇄 또는 개방될 때 제어할 수 있게 된다. 또한 질량 유량 제어기는, 감쇠율 측정을 완료하는 데 필요한 시간을 결정하고, 툴 공정을 간섭하지 않으면서(즉 툴이 오프라인이 될 필요없이) 질량 유량 제어기가 감쇠율 측정을 완료할 수 있게 하는 처리 시간 세그먼트를 식별하도록 처리 시간의 패턴을 분석하고, 감쇠율 측정의 결과를 평가하여, 내부 감쇠율 측정에 의해 질량 유량 제어기의 특성이 소정 시간 동안 소정량만큼 변화했음이 나타나면 경보를 발생시키도록 프로그램된다. 예를 들어, 소정의 설정점에서의 정확도가 2주에 걸쳐 2%를 초과하여 변화한 경우 등이 이에 해당된다. 이에 따라, 개시된 실시예들은 측정을 위한 정지 시간이 없이도 실시간 정보를 제공할 수 있는 자기 검증형 질량 유량 제어기를 제공한다.

[0047] 또한 어떤 실시예에서는, 개시된 질량 유량 제어기가 상술한 감쇠율 측정에 기초하여 캘리브레이션 및 옵셋을 자기보정(self-correction)하도록 구성될 수 있다. 예를 들어 감쇠율 측정에 기초하여 일단 밸브 누설이 판정되면 유량 제어기(MFC)가 판정된 밸브 누설을 조절하도록 영점조정될 수 있다.

[0048] 툴 상의 유량 제어기(MFC)의 영점조정(zeroing)은 장치의 작동에 정확한 영점을 제공하기 위해 많은 인자들을 정확히 맞추도록 요구하는 매우 정교한 작업들이다. 예를 들어, 격리밸브의 상태, 도입부 압력, 방향성 및 다른 파라메타는 모두 센서가 영점 흐름(zero flow)을 판독하는 데 영향을 끼친다. 장치를 부정확하게 영점조정하면, 장치가 부정확한 동안에는 요구 유동을 낮출수록 실제 유동에 더 큰 영향을 미치게 된다. 예를 들어 영점오류가 0.01%FS라면 1% 풀 스케일(full scale) 설정점에서 설정점 오류가 1%로 나타난다. 사용자는 점점 더 큰 부하조정비(turn down ratio)를 요구하게 되므로, 즉 최저 설정점이 10%로부터 풀 스케일의 2.5% 내지 0.5%로 변화되므로, 이 효과는 점점 더 커지게 된다.

[0049] 이 문제에 대한 현재의 대안은 영점이 지나치게 드리프트되면 부품을 영점조정하지 않고 그냥 교체해 버리거나, 작동유체를 배출(purging)시키고 격리밸브를 시퀀싱(sequencing)하여 통제된 방법으로 설정점을 세팅하는 과정을 따르는 매우 복잡한 방법을 사용하는 것이다. 전자의 방법은 정지 시간이 필요하고, 영점보정하면 아직 쓸 수 있는 부품을 쓸데 없이 교체하므로 사용자와 공급자에게 비용 부담을 야기한다. 후자의 방법은 여전히 오류가 발생되기 쉬우므로 장치가 부정확하게 영점조정되어 상황을 악화시키고 더 많은 장비 교체를 초래하게 된다.

- [0050] 이에 따라 개시된 실시예의 목적은, 이러한 벨브 누설 및 이에 국한되지 않고 감쇠율의 자기 검증형 측정을 위한 반복적이고 제어 가능한 방법을 사용하는 것인데, 상술한 방법과 장치들은 측정값을 유동 센서에 의해 보고된 값과 비교하여 그 차이를 수정함으로써 유동 센서에 정확한 영점값을 제공하게 된다.
- [0051] 현재의 질량 유량 제어기에 있어서, 장치에서 연산되는 유동은 다음과 같다.
- $$(연산된 유동) = (\text{고유 센서 읍셋}) + (\text{마지막 영점보정값}) + (\text{센서로 측정된 벨브누설값}) \quad (\text{식 } 1)$$
- [0053] 센서가 적절하게 영점조정되었다면 마지막 영점보정값이 고유 센서 읍셋을 상쇄하여 "연산된 유동"이 벨브누설 값이 될 것이다. 문제는 장치가 영점조정되었을 때 벨브 누설이 제로(0)임이 보장되지 않는다는 것이다. 그러므로 "연산된 유동"이 산정되어도 식 1의 우변의 각 항(즉 "고유 센서 읍셋", "마지막 영점보정값", "센서로 측정된 벨브누설값")이 식별될 수 없으므로 고유 센서 읍셋이 마지막 영점보정에 의해 완전히 보정된다는 보장이 없는 것이다.
- [0054] 예를 들어 도 11을 참고하면, 센서와 실제 유동 간의 이상적인 상황을 도시한 그래프가 도시되어 있다. 도시된 그래프에 있어서, 시간 t_0 에서 제로 설정점이 장치에 전송되어 제어 벨브가 폐쇄되고 유동의 출력은 제로(0)가 된다. 장치는 순간 t_1 에서 영점조정되므로 유동의 판독값도 제로가 되고 센서 출력도 제로가 된다.
- [0055] 도 12는 (시간상의 드리프트 또는 이전의 부정확한 영점에 대해) 양(+)의 읍셋을 가지는 기존의 센서를 보이는 그래프이다. 순간 t_1 에서 장치가 제로가 되고 읍셋이 보정되지만, 장치는 제로 유동에 대해 제로 출력을 보이지 않는다. 이와 유사하게 도 13은 음(-)의 제로 읍셋을 가지는 기존의 센서를 나타내는 그래프를 도시하고 있다.
- [0056] 도 14는 벨브가 폐쇄된 후의 실제 유동을 정확히 반영하지만 누설이 있는 센서를 나타내는 그래프를 보이고 있다. 장치가 순간 t_1 에 영점조정되면 센서는 실제 유동에 영점조정된다. 가스가 누설될 때 실제 유동이 정지되는 시간까지 센서는 음의 읍셋을 가지게 된다. 도 15는 센서가 이미 읍셋을 가진다면 순간 t_1 에서의 영점조정이 이를 부분적으로 보정할 것이지만 도 14에서와 같은 문제가 여전히 존재함을 나타낸다. 도 16은 누설이 일정하다면 순간 t_1 에서 센서가 영점조정되어 장치가 실제 일정한 유동으로 누설되는 동안 제로 출력을 나타냄을 도시하고 있다.
- [0057] 이에 따라, 개시된 실시예의 일 양태는 상술한 자기 검증형 감쇠율 측정을 사용하며 질량 유량 제어기가 제로 조정을 하는 시간에 유량 측정을 할 수 있게 구현하는 것이다. 그럼으로써 벨브 누설이 센서와 독립적으로 측정될 수 있게 한다. 그러면 질량 유량 제어기는 센서 읍셋을 다음과 같이 산출한다.
- $$(\text{고유 센서 읍셋}) = (\text{연산된 유동}) - (\text{마지막 영점보정값}) - (\text{감쇠율 측정으로부터의 벨브누설값}) \quad (\text{식 } 2)$$
- [0059] "밸브누설값"은 이상기체방정식을 통해 감쇠율(ROD) 측정으로부터 결정될 수 있다. (압축성이 고려된) 이상기체 방정식에 따라 주어진 체적 내의 질량은 다음과 같다.
- [0060] $n = PV / ZRT$ (식 3)
- [0061] 여기서, P는 압력,
- [0062] V는 용적,
- [0063] n은 몰 질량(또는 몰 수),
- [0064] Z는 압축률,
- [0065] R은 보편기체상수,
- [0066] T는 절대온도이다.
- [0067] 이 식에서 압력, 압축률(Z), 온도는 시간에 따라 변화된다. 상수항들과 시간에 따른 변수항들을 묶으면
- [0068] $n = [P/ZT] * [V/R]$ (식 4)
- [0069] 몰 질량을 시간에 대해 미분하면, 질량 유량은 다음과 같다.
- [0070] $dn/dt = d[P/ZT]/dt * [V/R]$ (식 5)
- [0071] 여기서,

- [0072] $P/ZT = f_{mDvMg}$ = 검사용적 내의 질량 (공중에 개시되고 본 발명에 참조된 미국특허 제7,905,139호, "개선된 유체동역학적 특성의 질량 유량 제어기"를 참고)
- [0073] f_{mDvMg} 를 식 5에 대입하고 양변에 시간도함수를 취하면,
- [0074] $Q_{ROD} = df_{mDvMg}/dt * ConvConst$ (식 6)
- [0075] 여기서, Q_{ROD} 는 SEMI 사양서 E12-96에 따른 표준밀도(표준 온도와 압력에서 등가 이상기체의 밀도)에서의 가스 용적 유량이다. Q_{ROD} 는 표준 밀도라고 불리며 예를 들어 sccm 등의 표준 유동 단위에서의 질량 유량으로도 또한 흔히 불린다.
- [0076] $ConvConst$ = 검사용적에서의 측정된 질량 변화율을 질량 유량으로 변환하는 변환상수(V/R).
- [0077] f_{mDvMg} 신호는 측정된 압력을 측정된 온도 및 연산된 압축률로 나눔으로써 유량 제어기(MFC)의 내부 압력 변환 기로부터 도출된다. $ConvConst$ 는 용적이 정확히 알려지면 간단한 계산으로 구할 수 있다. 용적을 충분한 정확도로 알 수 없을 경우 $ConvConst$ 는 간단히 기지의 일정한 유량 제어기(MFC) 유량에서 감쇠율(ROD) 측정을 수행한 뒤 식 6을 사용하여 변환상수를 구함으로써 얻어질 수 있다.
- [0078] 밸브 누설 측정이 개시되면, 유량 제어기(MFC)는 상류 밸브를 제어하여 유량 제어기(MFC)로의 가스 공급원을 제로 설정점에서 계획적으로 차단한다. 밸브 누설이 있다면 검사용적[상류 격리밸브와 유량 제어기(MFC) 제어 밸브 사이의 가스] 내의 가스가 누출된다. 검사용적 내의 가스를 감소시키는 과정에서 검사용적 내의 가스 질량의 변화율, 즉 f_{mDvMg} 가 시간에 대해 측정된다. 검사용적 내의 가스 질량의 변화율에 유동 변환상수를 곱하면 식 2에 사용되는 감쇠율(ROD) 측정 밸브누설값이 산출된다.
- [0079] [감쇠율(ROD) 측정 누설값] = [df_{mDvMg}/dt] * $ConvConst$ (식 7)
- [0080] 또한 새로운 항 "센서 읍셋 보정값"이 추가적으로 사용될 수 있는데,
- [0081] (센서 읍셋 보정값) = - (고유 센서 읍셋) (식 8)
- [0082] 위 식 8을 이용하여 식 1을 변형하면 다음 식이 얻어진다.
- [0083] (연산된 유동) = (센서 읍셋) + (마지막 영점 보정값) + (센서로 측정된 밸브누설값) - (센서 읍셋 보정값) (식 9)
- [0084] 그러면 이와 같은 연산을 사용하여 장치가 제로설정점으로 복귀할 때마다 질량 유량 제어기가 "고유 센서 읍셋"(식 2)과 "센서 읍셋 보정값"(식 8)을 결정하도록 구성될 수 있다. 이와 같이 센서 읍셋이 실시간으로 보정될 수 있다. 장치의 영점을 신뢰성 있게 알게 되면, 질량 유량 제어기는 유동이 진행되는 스팬(span) 측정에 대해서도 유사한 보정을 적용할 수 있다.
- [0085] 또한 질량 유량 제어기는 수리나 유지보수, 경보발동 등을 위해 "센서 읍셋 보정값"을 시간에 대한 함수로 로깅(logging)하는 로깅 메커니즘을 구비할 수도 있다.
- [0086] 다른 적용예에 있어서, 이러한 누설 측정은, 유량 측정기(MFC) 제어 밸브가 아닌 툴 상의 가스 경로를 따른 누설을 측정하는 데 사용될 수 있다. 예를 들어, 상술한 바와 같은 원리를 사용하고 격리밸브들 및 유량 제어기(MFC) 제어 밸브의 시퀀싱과 상태만을 바꿔 상류 격리밸브 및 하류 격리밸브로 누설을 점검할 수 있다.
- [0087] 또한 어떤 실시예에서는, 하류측의 격리밸브의 상태를 알면 측정이 더 개선될 수 있다. 예를 들어, 한 실시예에서는 질량 유량 제어기가 소프트웨어 프로토콜을 사용하여 툴/툴 제어부 하류의 격리밸브의 상태를 요구하거나 소프트웨어 프로토콜을 구비하게 구성될 수 있다. 다른 실시예에서는 질량 유량 제어기가 한정하는 것은 아니지만 밸브누설값 측정 종료 시의 도입부 압력의 최종값 등의 다른 파라미터들이나 압력 감쇠곡선의 형태를 검토하여 하류 격리밸브의 상태를 결정하도록 구성될 수 있다.
- [0088] 이상에 설명된 실시간 영점조정이 자기 검증형 질량 유량 제어기의 구현에 대해 개시된 방법과 장치를 사용하는 반면, 본 발명의 청구범위는 상술한 실시간 영점조정의 수행을 위한 감쇠율 측정에 사용될 수 있는 다른 방법과 장치들을 포함하도록 의도된다. 예를 들어, 다른 실시예로서, 질량 유량 제어기는, 툴 제어부와 통신하거나 격리밸브를 폐쇄하는 수단을 구비하지 않고, 격리밸브가 감쇠율 측정을 위해 폐쇄된다고 단순히 가정하기 위해 설정 파라미터들로 프로그래밍될 수 있다. 예를 들어, 이 설정 파라미터는 영점 설정으로부터 소정 시간 후 또는 0이 아닌(non-zero) 설정을 수신하기 전에 소정 시간 후 격리밸브가 폐쇄된다고 가정하는 파라미터들을 포함할

수 있다.

[0089] 이에 따라, 전술한 바와 같이, 개시된 실시예들의 이점은, 밸브 누설의 점검을 위한 감쇠율 측정의 수행에 있어서 툴 상에 설치된 별도의 장치를 구비할 필요가 없는 자기 검증형 질량 유량 제어기를 제공하는 시스템과 장치를 포함하는 것이지만, 이에 국한되는 것은 아니다. 개시된 실시예는 또한 밸브 누설의 발생에 응답하여 밸브 누설과 센서 옵셋을 동시에 결정함으로써 질량 유량 제어기의 출력이 제로 옵셋 또는 제로 드리프트가 되도록 실시간으로 현장 보정하는 자기 검증형 질량 유량 제어기를 제공하는 시스템과 방법을 포함한다. 이에 따라 유량 제어기(MFC)는 측정을 위한 정지 시간이 없이 실시간으로 정확한 정보를 제공할 수 있게 된다.

[0090] 뿐만 아니라, 개시된 실시예는 기존의 툴 소프트웨어의 변경 없이 유량 제어기(MFC)의 내부에서 감쇠율 측정이 수행될 수 있게 한다. 개시된 장치에 대한 변경이 기존의 툴 설치에 대해 하위호환성을 가지므로 사용자에게 추가적 경비나 번잡성을 부담시키지 않는다. 또한 도 6 내지 도 8에 도시된 바와 같이 개시된 실시예들은 여전히 기존의 질량 유량 제어기의 구조/ftware 내에 들어맞으므로 기존의 툴 구성과 호환성을 유지 및 구현하기 위한 비용을 절감시키게 된다. 또한 개시된 실시예들은 (추가적인 배선을 제외하면) 기존 툴에 대한 임의의 소프트웨어적 변경 또는 하드웨어적 변경을 요하지 않고 기존의 툴들에 새로운 진단 능력을 부가하게 된다. 뿐만 아니라 개시된 실시예들은 가스 스틱(gas stick) 상의 기존의 부품들(즉 한정하는 것은 아니지만 상류 격리밸브 등 가스 공급관 상의 부품들)을 사용함으로써 비용을 절감시키고 기존의 툴들과 호환성을 유지할 수 있다. 부가적인 이점으로, 가스 유동을 정지시키기 위해 질량 유량 제어기에 전용의 격리밸브를 설치하는 대신 가스 스틱 상의 상류 격리밸브를 사용함으로써 비용을 절감시키고 더 큰 내부용적을 가지는 질량 유량 제어기를 제공하게 된다.

[0091] 또한, 질량 유량 제어기가 격리밸브를 제어하도록 하는 이점은, 질량 유량 제어기 제어 시스템이 매우 신속하게 작동하여 툴 제어부가 필요한 시간제약 내에서 수행할 수 없었던 임계치 연산 및 논리적 결정을 내릴 수 있다는 것이다. 뿐만 아니라 질량 유량 제어기가 툴의 작동자가 아닌 질량 유량 제어기 공급자에 의해 설정되므로 질량 유량 제어기 공급자는 질량 유량 제어기가 제어를 상실하는 조건에 빠지지 않도록 보장할 수 있다. 예를 들어, 소정의 유량과 도입부 압력에서 정확한 측정을 위해 필요한 압력 강하가 아무리 크더라도 그리고 정확한 측정에 소요되는 시간이 아무리 길더라도, 질량 유량 제어기는 용인할 수 있는 압력 상의 변화의 크기를 알 수 있도록 구성될 수 있다. 또한 질량 유량 제어기는, 상술한 바와 같이 측정을 수행할 수 있을 때에 대해 그리고 설정점에 대한 변화나 툴을 정지(shut off)시키는 명령 등 사용자로부터의 지시에 기초하여 측정을 신속히 취소할 수 있을 때에 대해 지능적 판단을 내릴 수 있도록 구성될 수 있다.

[0092] 측정과 그 결과에 대한 한도를 설정하도록 다양한 파라미터가 프로그래밍될 수 있다. 예를 들어 장치는 지속적으로, 또는 5초, 5분, 5시간이나 임의의 다른 시간 간격마다 자동적으로 측정을 수행하도록 프로그램될 수 있다. 또한 어떤 설정점에서만 또는 일단 각 설정점 변화 후 등에서만 측정을 수행하도록 프로그램될 수도 있다. 질량 유량 제어기는 또한 측정의 완료에 충분한 시간이 있다고 판단되지 않으면 감쇠율 측정을 개시하지 않도록 구성될 수 있다. 장치는 또한 여러 가지 다른 측정 모드를 가질 수 있다. 예를 들어, 낮은 분해능의 "신속" 측정이 빈번히 수행되어 평균화되는 반면, 툴에 대해 주기적으로 수행되는 일간 유지 점검 동안에는 높은 분해능의 "유지보수용" 측정이 수행될 수 있다.

[0093] 감쇠율 측정의 지속 시간을 제어하기 위해 다른 파라미터들도 설정될 수 있는데, 즉 압력 감쇠를 강제하도록 상류 밸브를 얼마나 오랫동안 폐쇄하도록 설정하는지가 이에 해당한다. 예를 들어, 이는 측정에 시간 제한을 두거나 허용되는 최대 압력 강하를 설정하는 것에 의해 제어될 수 있다. 어느 하나 또는 둘 모두를 제한하면, 측정은, 겨우 수 초간 지속되는 바와 같이 설정점 등으로 처리시간이 제한될 때 수행되거나 또는 압력이 복구될 때 나타날 수 있는, 유동에 대한 요동을 제한하게 된다.

[0094] 질량 유량 제어기는 또한, 한정하는 것은 아니지만 수행된 감쇠율 측정, 시간에 따른 유동 특성의 변화, 장치 옵셋과 밸브나 툴을 통한 누설의 변화, 장치에서 관찰된 최대 압력과 온도, 제로 루틴(zero routine)의 요청 등과 같이 질량 유량 제어기 내에서 다양한 측정의 데이터를 타임스탬프(time stamp)와 함께 로깅하고 경향 분석(trending analysis)하도록 하는 추가적인 플래시 메모리를 더 구비할 수 있다.

[0095] 이상에서 질량 유량 제어기의 다양한 실시예들을 개시했는데, 당 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면, 질량 유량 측정기의 출력이 제로 옵셋 또는 제로 드리프트를 나타내도록 실시간 현장 보정을 제공하는 자기 검증형 질량 유량 측정기를 구현하는 질량 유량 측정기의 구성에 개시된 변경사항이 유사하게 적용될 수 있음을 알 수 있을 것이다. 개시된 질량 유량 제어기와 질량 유량 측정기 간의 주된 차이는, 질량 유량 제어기에서처럼 요구 유량을 달성하기 위해 밸브를 조정하도록 작동하는 제어부를 질량 유량 측정기에 구비하지 않는다는 것이다. 첨부

된 청구범위는 질량 유량 측정기뿐 아니라 질량 유량 제어기와 임의의 다른 유사한 유량 측정/제어 장치들을 포함하도록 의도된 것이다.

[0096] 이상에서 전술한 실시예들에 관한 구체적인 세부사항이 상세히 설명되었지만, 상술한 하드웨어 및 소프트웨어에 관한 설명들은 단순히 예시적 실시예들로 의도되며 개시된 실시예들의 구조나 구성을 제한하도록 의도된 것이 아니다.

[0097] 뿐만 아니라, 위에서 개략적으로 설명한 바와 같이 개시된 실시예들의 어떤 특성들은 하나 이상의 처리 장치/부품을 사용하여 실행될 수 있는 소프트웨어로 구현될 수 있다. 기술의 프로그램 양태들은 전형적으로 기계 판독 가능한 매체의 형태로 탑재되거나 구현되는 실행 가능한 코드 및/또는 관련 데이터의 형태로서의 "제품" 또는 "제조 물품"으로 간주될 수 있다. 유형(有形)의 비휘발성 "스토리지"형 매체는, 소프트웨어 프로그래밍에 언제라도 스토리지를 제공할 수 있는 다양한 반도체 메모리, 테이프 드라이브, 디스크 드라이브, 광학 디스크 또는 자기 디스크 등과 같은 어떤 또는 모든 메모리 또는 컴퓨터나 프로세서 등에 사용되는 다른 스토리지 혹은 관련 모듈들을 포함한다.

[0098] 당업계에 통상의 지식을 가진 자라면 본 교시내용이 다양하게 변경 및/또는 개선에 대해 수정 가능함을 알 수 있을 것이다. 상술한 내용은 최선의 형태 및/또는 다른 예들로 간주되는 것을 설명한 것이지만, 거기에 다양한 변경이 가능할 수 있고 여기 개시된 주제들은 다양한 형태와 예들로 구현될 수 있으며, 여기에는 겨우 일부만이 설명되어 있지만 교시내용이 다양하게 응용될 수 있음을 이해해야 할 것이다. 그와 같은 변경들은 본 교시내용의 실제 범위 내로 포함되는 것으로 의도된 것이다.

[0099] 또한 도면의 플로우차트, 시퀀스 다이어그램, 블록 다이어그램들은 본 발명의 다양한 실시예들에 따른 시스템, 방법 및 컴퓨터 프로그램 제품의 가능한 구성들의 구조, 기능성 및 작동을 제시한다. 또한 어떤 대안적 실시예들에서는 블록에 기재된 기능들이 도시된 순서를 벗어나 구현될 수 있음에 주목해야 할 것이다. 예를 들어, 순차적으로 도시된 2개의 블록이 실제로는 거의 동시에 실행되거나 관련된 기능성에 따라 이들 블록이 때로는 역순으로 실행될 수도 있다. 또한 블록 다이어그램 및/또는 플로우차트에 도시된 각 블록이나 블록 다이어그램 및/또는 플로우차트에 도시된 블록들의 조합이 특정한 기능이나 작동을 하는 특수 목적의 하드웨어 기반 시스템 또는 특수 목적의 하드웨어와 컴퓨터 지시들의 조합으로 구현될 수 있음을 주목해야 할 것이다.

[0100] 여기서 사용된 용어들은 특정한 실시예들을 설명하는 목적으로만 사용된 것으로서, 본 발명을 제한하려는 의도가 아니다. 여기서 사용된 단수형 표현은 달리 명시되지 않은 한 복수형을 또한 포함하도록 의도된 것이다. "포함하다" 및/또는 "포함하는"이라는 용어는 이 명세서 및/또는 청구범위에 사용될 때 기술된 특징, 정수, 단계, 작동, 요소 및/또는 부품의 존재를 규정하지만, 하나 이상의 다른 특징, 정수, 단계, 작동, 요소, 부품 및/또는 이들의 조합의 존재나 추가를 부정하는 것은 아니다. 이하의 청구범위에서의 해당 구조, 재질, 작동, 모든 수단 또는 단계 및 기능요소들의 등가물은 별도로 청구된 다른 청구범위 요소들과 조합으로 기능을 수행하도록 하는 어떤 구조, 재질 또는 작동 등을 포함하도록 의도된 것이다. 본 발명의 상세한 설명이 예시와 설명의 목적으로 제시되었으나, 이는 본 발명을 개시된 형태만으로 한정짓거나 제한하고자 하는 의도가 아니다. 당업계의 통상의 전문가라면 본 발명의 범위와 정신을 벗어나지 않고도 여러 가지 변경과 변형이 가능함이 명백할 것이다. 실시예는 본 발명의 범위와 실용적 응용분야를 설명하고, 고려될 수 있는 특정 목적에 적합한 다양한 변경사항들을 가진 다양한 실시예들에 대해 당업계의 통상의 전문가가 본 발명을 이해할 수 있도록 선택되고 기술되었다. 청구범위는 개시된 실시예들과 임의의 그러한 변경들을 광범위하게 포함하도록 의도된 것이다.

부호의 설명

[0101] 100, 250, 340, 350 : 질량 유량 제어기(MFC; Mass Flow Controller)

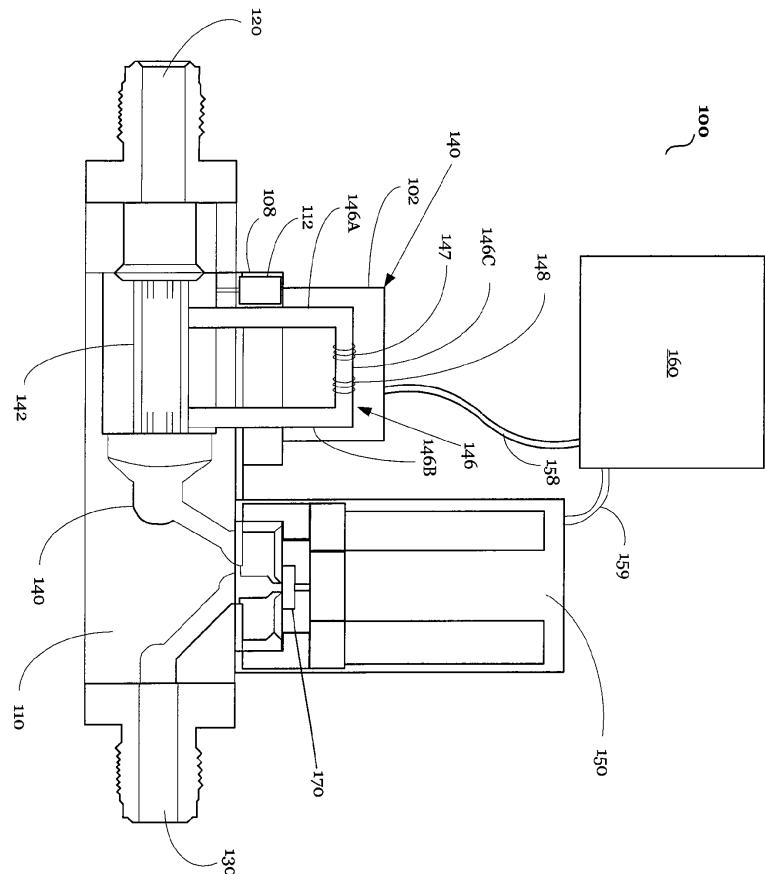
200 : 툴 제어부(tool controller)

204 : 파일롯밸브(pilot valve)

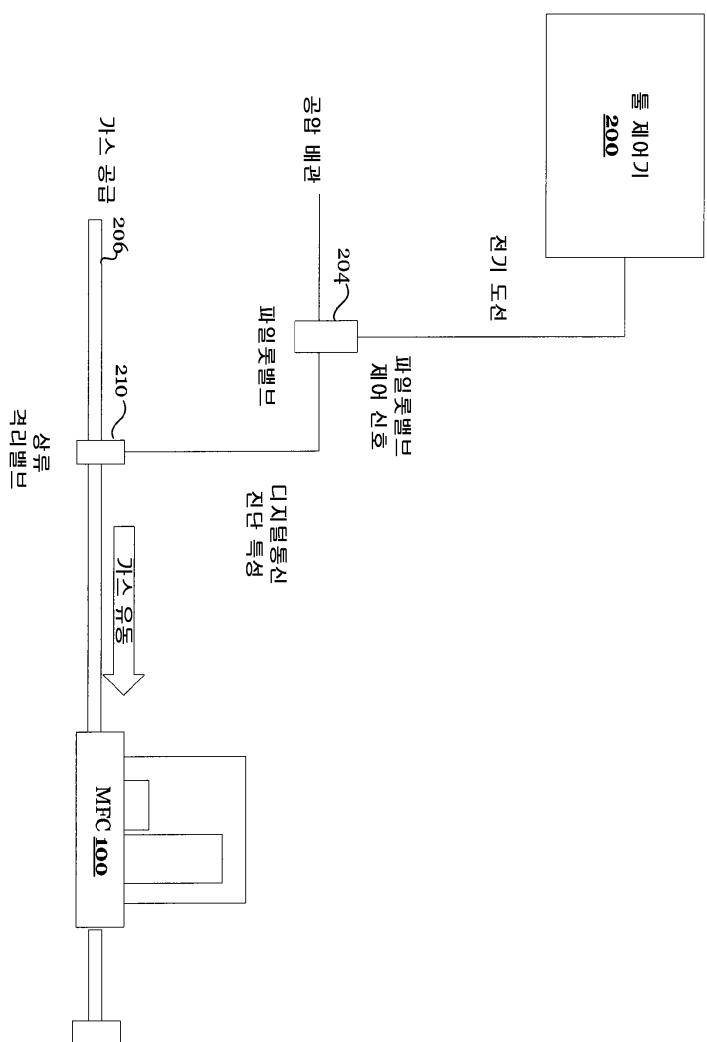
210, 210M : 격리밸브(isolation valve)

도면

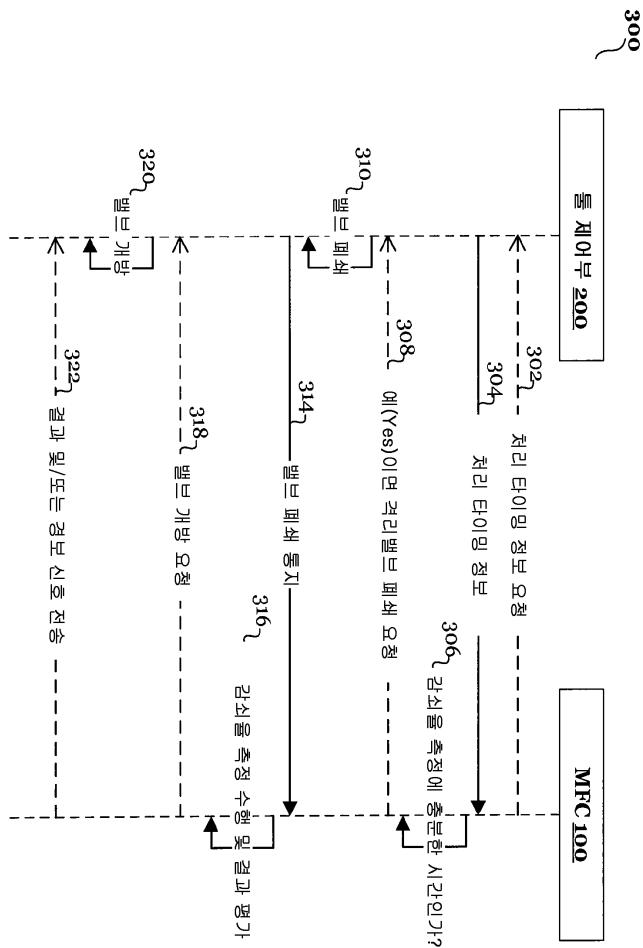
도면1



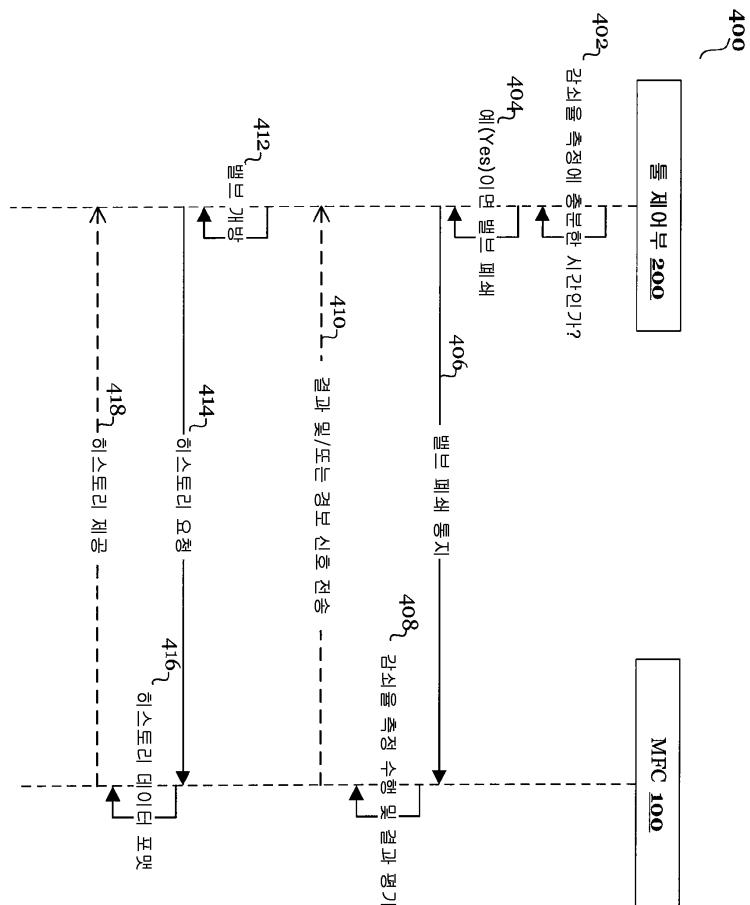
도면2



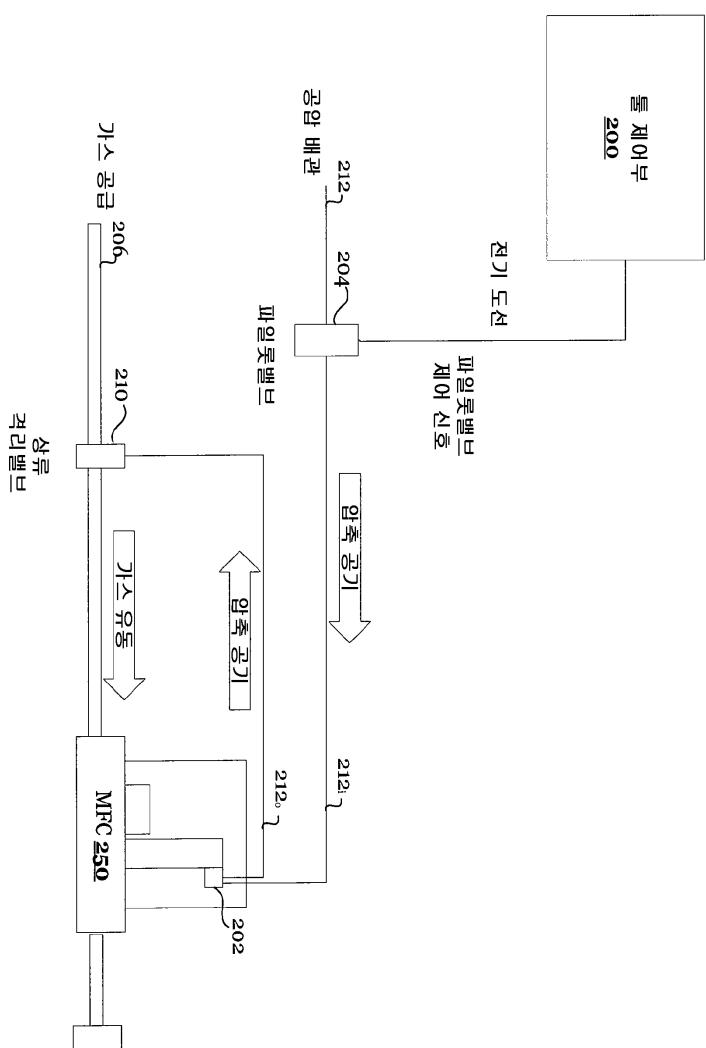
도면3



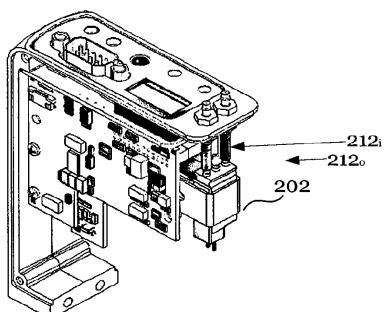
도면4



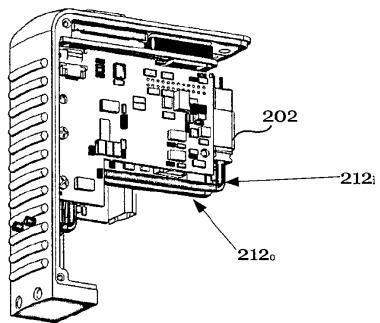
도면5



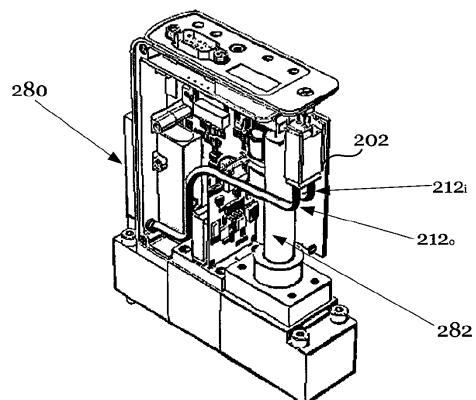
도면6



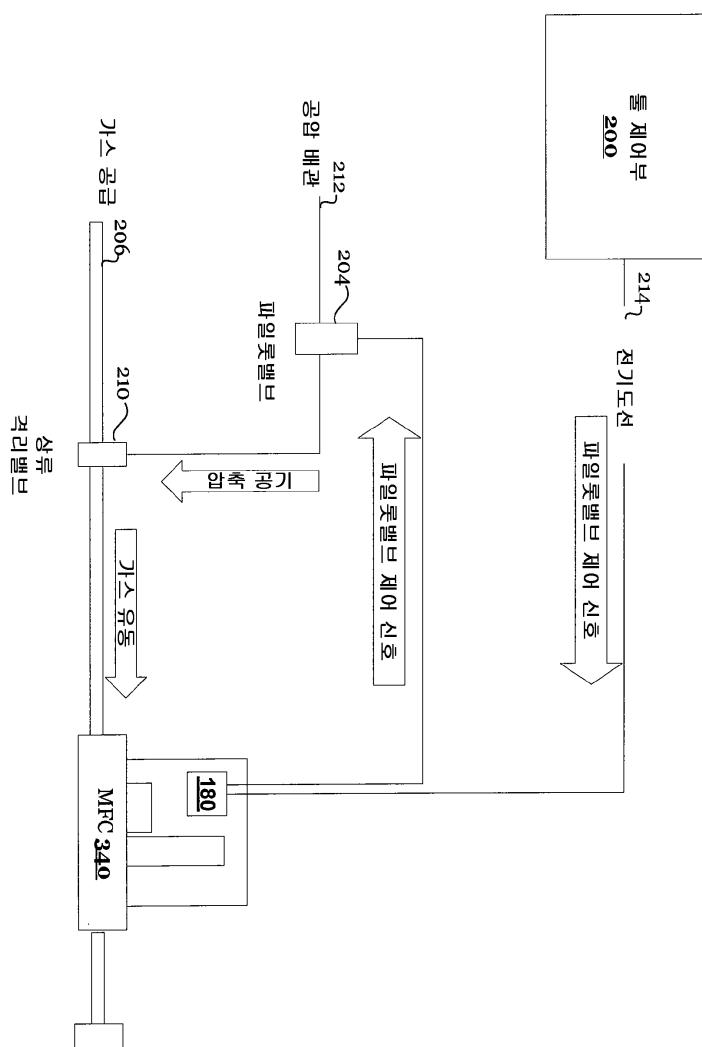
도면7



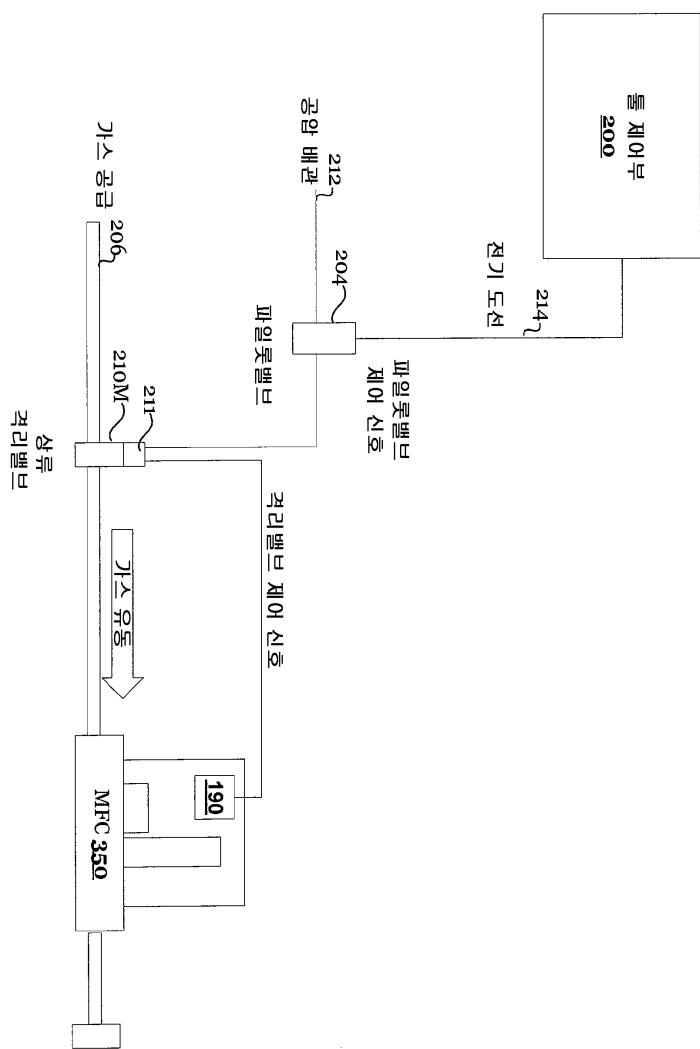
도면8



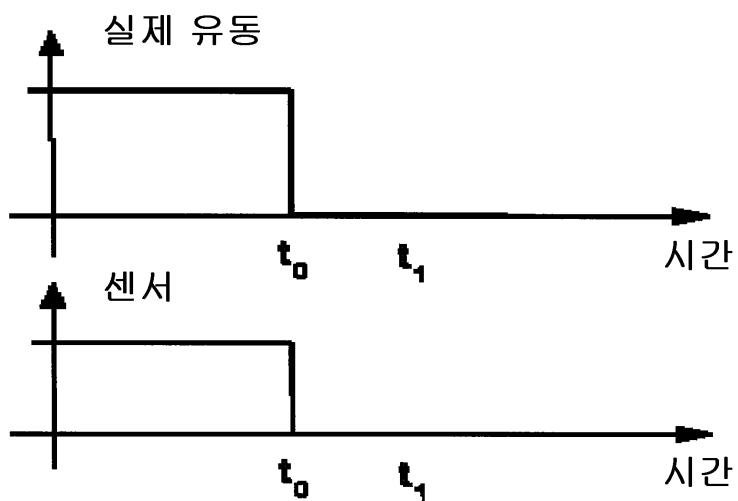
도면9



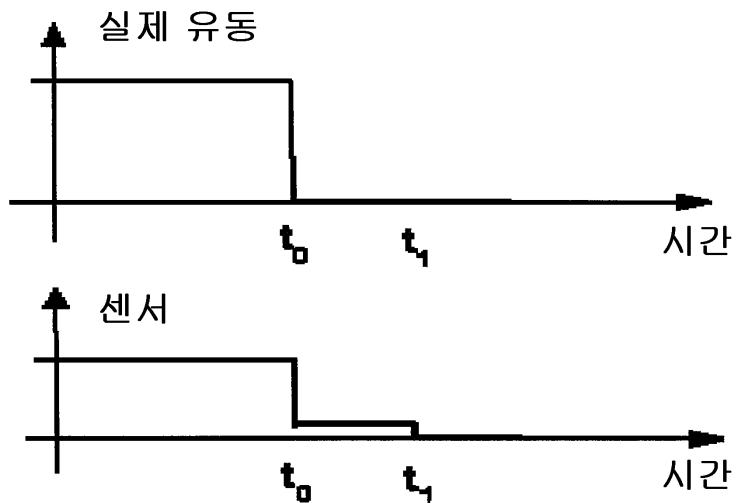
도면10



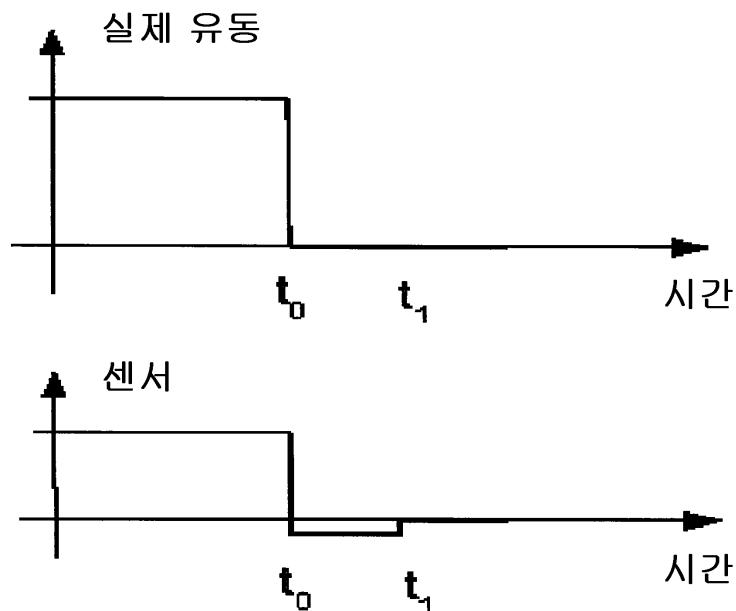
도면11



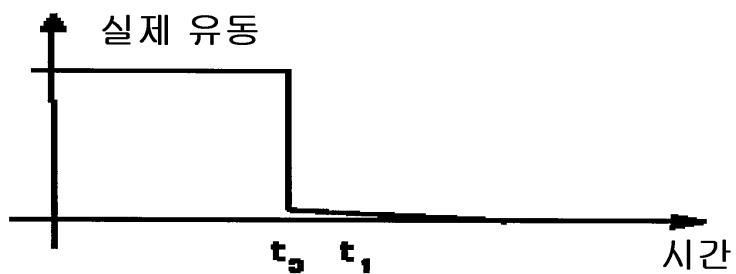
도면12



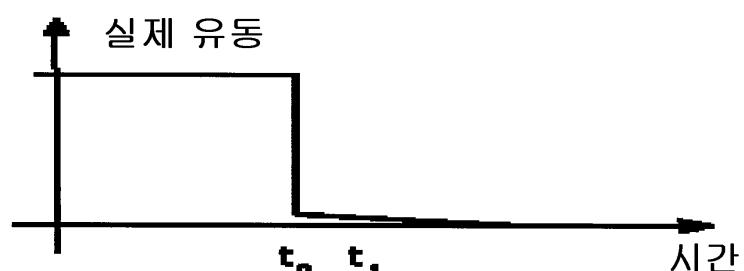
도면13



도면14



도면15



도면16

