



등록특허 10-2225810



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년03월11일
(11) 등록번호 10-2225810
(24) 등록일자 2021년03월04일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G21C 17/028 (2006.01) *G01N 1/10* (2006.01)
G01N 1/22 (2006.01) *G01N 1/24* (2006.01)
G21C 17/04 (2006.01) *G21C 17/10* (2006.01)
G21C 19/303 (2006.01) *G21C 9/004* (2006.01)
G21D 3/04 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
G21C 17/028 (2013.01)
G01N 1/2247 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2015-7032590
- (22) 출원일자(국제) 2014년03월24일
심사청구일자 2019년01월18일
- (85) 번역문제출일자 2015년11월13일
- (65) 공개번호 10-2016-0002921
- (43) 공개일자 2016년01월08일
- (86) 국제출원번호 PCT/EP2014/055804
- (87) 국제공개번호 WO 2014/173594
국제공개일자 2014년10월30일

- (30) 우선권주장
10 2013 207 595.2 2013년04월25일 독일(DE)

(56) 선행기술조사문현

JP05188177 A*
JP08075886 A*
DE102012005204 B3
JP2012230057 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문현

전체 청구항 수 : 총 11 항

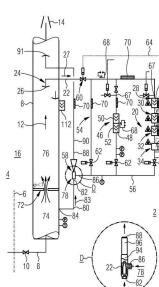
심사관 : 이용호

(54) 발명의 명칭 원자력 발전 플랜트의 배기 시스템의 방출 감시 시스템

(57) 요 약

본 발명은 높은 신뢰성과, 유용성, 측정 결과의 품질을 가지면서, 특히 낮은 전기 에너지를 소비하도록 구성된 원자력 발전 플랜트(4)의 배기 시스템(16)을 위한 방출 감시 시스템(2)에 관한 것이다. 이를 위해 본 발명에 의한 방출 감시 시스템(2)은 원자력 발전 플랜트(4)의 격납용기(6)에 연결되며 고압부(74)와 저압부(76)를 가지는

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1

압력 방출 배관(8)과, 흡입측이 압력 방출 배관(8)의 저압부(76)로 개방되고 거기서 기능성 경로(20, 46)로 연장되며 이를 통해 시료 흐름이 흐를 수 있는 시료채취 배관(22)과, 펌프 유체 연결구(82)와 흡입 연결구(86)와 유출 연결구(88)를 가지는 배출기(78)와, 흡입측이 압력 방출 배관(8)의 고압부(74)로 개방되고 거기서 배출기(78)로 연장되어 펌프 유체 연결구(82)에 연결되는 펌프 유체 공급 배관(80)과, 그리고 기능성 경로(20, 46)로부터 배출기(78)로 연장되어 흡입 연결구(86)에 연결되는 시료 복귀 배관(56)를 구비한다.

(52) CPC특허분류

G21C 17/044 (2013.01)
G21C 17/10 (2013.01)
G21C 19/303 (2013.01)
G21C 9/004 (2013.01)
G21D 3/04 (2013.01)
G01N 2001/1037 (2013.01)
G01N 2001/242 (2013.01)
Y02E 30/30 (2020.08)

명세서

청구범위

청구항 1

원자력 발전 플랜트(4)의 격납용기(6)에 연결되며, 고압부(74)와 저압부(76)를 가지는 압력 방출 배관(8)과 분석기와 여과기를 포함하는 그룹에서 선택된 적어도 하나를 포함하는 기능부(20, 46)와,

흡입측이 압력 방출 배관(8)의 저압부(76)로 개방되고, 거기서 상기 기능부(20, 46)로 연장되며, 이를 통해 시료 흐름이 흐를 수 있는 시료채취 배관(22)과,

추진제 연결구(82)와 흡입 연결구(86)와 유출 연결구(88)를 가지는 제트 펌프(78)와,

흡입측이 압력 방출 배관(8)의 고압부(74)로 개방되고, 거기서 제트 펌프(78)로 연장되어 추진제 연결구(82)에 연결되는 추진제 공급 배관(80)과, 그리고

상기 기능부(20, 46)로부터 제트 펌프(78)로 연장되어 흡입 연결구(86)에 연결되는 시료 복귀 배관(56)를 구비하는 것을

특징으로 하는 원자력 발전 플랜트(4)의 배기 시스템(2)의 방출 감시 시스템(2).

청구항 2

제1항에 있어서,

복귀 배관(90)이 제트 펌프(78)의 유출 연결구(88)로부터 압력 방출 배관(8)의 저압부(76)로 연장되어 거기서 유출측으로 배출되는 것을

특징으로 하는 방출 감시 시스템(2).

청구항 3

제2항에 있어서,

압력 방출 배관(8)의 배기 흐름의 흐름 방향(12)에서 보아 시료채취 배관(22)의 흡입 개구부(84) 뒤에 복귀 배관(90)의 유출단(91)이 배치되는 것을

특징으로 하는 방출 감시 시스템(2).

청구항 4

제1항에 있어서,

시료 채취 배관(22)과 선택적으로 시료 복귀 배관(56)이 그 내부로 가열 매체가 흐르는 자켓 관(100) 내로 연장되는 것을

특징으로 하는 방출 감시 시스템(2).

청구항 5

제4항에 있어서,

자켓 관(100)에 배기 흐름에서 분기된 부분 흐름이 제공되어 압력 방출 배관(8) 내의 가열 매체로 작용하는 것을

특징으로 하는 방출 감시 시스템(2).

청구항 6

제5항에 있어서,

가열 매체가 시료 흐름과 동일한 방향으로 흐르는 것을
특징으로 하는 방출 감시 시스템(2).

청구항 7

제1항에 있어서,
상기 기능부(20, 46)가 압력 방출 배관(8)의 외부에 배치되는 것을
특징으로 하는 방출 감시 시스템(2).

청구항 8

제1항에 있어서,
기능부가 연무 여과기(50) 및 요드 여과기(52) 중 적어도 하나를 가지는 여과부(46)를 구비하는 것을
특징으로 하는 방출 감시 시스템(2).

청구항 9

제1항에 있어서,
기능부가 관련된 방사능을 포착하기 위한 연무 분석기(28), 희유가스 분석기(32), 요드 분석기(30)들로부터 선택된 복수의 온라인 분석기(18)를 가지는 분석부(20)를 구비하는 것을
특징으로 하는 방출 감시 시스템(2).

청구항 10

제1항에 있어서,
드로틀 오리피스(72) 형태의 드로틀부가 고압부(74)와 저압부(76) 사이에 위치하는 것을
특징으로 하는 방출 감시 시스템(2).

청구항 11

배기 시스템(16)과
제1항 내지 제10항 중의 어느 한 항의 방출 감시 시스템(2)을
구비하는 것을 특징으로 하는 원자력 발전 플랜트(4).

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 원자력 발전 플랜트(nuclear power plant)의 배기 시스템(venting system)의 방출 감시 시스템(emission monitoring system)에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 원자력 발전 플랜트의 중대 사고의 경우, 증기의 유출에 더하여 특히 지르코늄-물 반응에 기인하여 다양한 수소의 방출이 발생될 수 있다. 효율적인 대책이 없으면, 제어되지 않은 반응의 경우 격납용기(containment)를 위협하는 폭발성(또한 폭발 가능한) 혼합물이 방지될 수 없다. 또한 특히 (5,000 내지 15,000m³의) 비교적 작은 불활성(inerted) 비등수형 원자로(boiling water reactor)의 경우에는 증기와 함께 비응축성(non-condensable) 수소의 누출에 기인하여 급속한 압력 상승이 발생되고, 이는 설계 압력을 초과하여 격납용기의 파괴 압력(failure pressure)까지 도달할 수 있다.

[0003] 격납용기의 파압 파괴를 방지하기 위해, 플랜트는 얼마 전부터 여과된 압력 방출(filtered pressure relief)을

채택해왔다. 여과에도 불구하고 압력 방출 동안에는 주변 환경으로의 어느 정도의 방사능 유출이 발생된다. 이 유출은 전형적으로 방출 감시 시스템에 의해 측정 및 기록된다. 확인된 데이터는 주민들에게 통지하고 사고 대책을 도출하는데 사용된다.

[0004] 현재 설치된 방출 감시 시스템은 작동에 있어서 응축(condensation)을 방지하고 연무(aerosol)의 축적(accumulation)을 방지하기 위해 시료채취 배관(sampling line)을 가열하는데 양적으로 상당한 에너지 공급을 요구한다. 또한 시료를 여과기로 이송하고 분석기(analyzer)를 작동시키는 데도 에너지가 필요하다. 현재로서는 비상 전력 디젤망(emergency power diesel network)을 통해 (약 4 내지 8kW의) 전력 공급만이 가능하다. 배터리만을 통한 바람직한 전력 공급은 배터리 용량 때문에 실행하기 어렵다. 특히 이 방식은 배터리와 공간 때문에 높은 비용을 요구한다. 뿐만 아니라 플랜트는 지진 부하에도 적합해야 하는데, 디젤 발전기 세트와 관련된 연료탱크, 설치 공간들 등 때문에 문제가 복잡하다. 내부 발전 플랜트의 완전한 실패(SBO = 발전소 블랙아웃(station blackout))를 수반하는 사고 시퀀스(accident sequence)에서는, 현재 설치된 감시 시스템은 사용이 불가능하거나 겨우 제한된 형태로만 사용가능하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명은 이와 같은 문제에 대해 해결책을 제시하고 높은 수준의 신뢰성, 유용성, 그리고 측정 결과의 품질을 가지면서 특히 전기 에너지를 적게 소모하도록 설계된, 위에 말한 방식의 방출 감시 시스템을 제공한다는 목적에 기초하고 있다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 발명에 의하면 이와 같은 목적은 청구범위 제1항의 특징에 의해 달성된다.

[0007] 이 기본적 개념의 바람직한 실시예들과 구체화는 종속항들과 이하의 상세한 설명의 주제이다.

[0008] 본 발명에 의한 시스템을 사용하면 SBO 사건중에도 방출 감시가 수행될 수 있다. 청구된 방출 감시 시스템은 시료 이송을 위한 배기 폐기ガ스 흐름(venting exhaust gas stream)의 열수력학적 에너지(thermohydraulic energy) 성분과 시료채취 배관에서의 응축을 방지하기 위한 내부 매체(intrinsic medium)에 의한 가열을 유용하게 이용하고 있다. 이 최적화된 에너지 공급 컨셉은 정상적으로 동작할 수 있는 전력 공급의 실패로부터 격납용기 배기 과정(venting process)의 개시후 수동적(pressive) 에너지 공급의 시작후까지 배터리 완충(battery buffering)을 가능하게 한다.

발명의 효과

[0009] 사용자 또는 오퍼레이터의 관점에서 본 본 발명의 기본적인 이점들을 요약하면 다음과 같다.

[0010] - SBO의 경우라도 가스 방출(폐기ガ스 감시)에 대한 측정과 감시 과업의 자동적 처리.

[0011] - SBO 동안에도 방사능 유출에 대한 정보의 항목들(items)이 가능하다.

[0012] - 심각한 사고 대책을 도출할 정보가 제공된다.

[0013] - (요드, 연무, 희유ガ스(noble gas) 등의) 온라인 모니터의 작동에 낮은 에너지 소모.

[0014] - 저장 배터리에 의한 에너지 공급이 가능하다.

[0015] - 작은 배터리 용량이 요구된다.

[0016] - 시스템의 에너지 공급에 대한 작은 공간 요구치.

[0017] - 방출 감시 시스템이 배기 시스템의 유량에 비례하는 대표적 시료를 수집한다.

[0018] - 시료 증기의 통제(regulation)가 생략될 수 있다.

[0019] - 시료채취(sampling)가 배기 증기에 의한 수동적인 자동 조절(self-regulating) 방식으로 이뤄지므로 시료채취의 능동적인 스위칭(turn on)이 생략될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0020] 이하에 본 발명의 예시적 실시예들을 도면을 참조하여 상세히 설명한다. 도면들은 매우 간략화되고 개략적으로 도시되어 있다.

도 1은 원자력 발전 플랜트의 배기 시스템의 방출 감시 시스템의 제1 실시예의 개략적 회로도, 그리고

도 2는 원자력 발전 플랜트의 배기 시스템의 방출 감시 시스템의 제2 실시예의 개략적 회로도이다.

두 도면에서 동일하거나 동일하게 작용하는 부분들은 같은 참조번호가 부여되어 있다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 도 1에 개략적으로 도시된 방출 감시 시스템(emission monitoring system; 2)은 원자력 발전 플랜트(nuclear power plant; 4)의 소위 배기(venting) 동안 주변환경에 유출되는 주로 가스 상(狀)의 방출(emission)을 주로 그 방사능에 대해 측정 및 감시하는데 사용된다.

[0022] 여기서 배기는 다량의 증기와 가스 방출을 가지는 심각한 사고의 경우, 이에 따라 외부 주변의 대기에 대해 높은 과압(overpressure)을 가지는 원자력 발전 플랜트(4)의, 격납용기(containment)로도 지칭되며 개략적이고 부분적으로만 도시된 안전 용기(safety container; 6) 내의 제어된 압력 감소(controlled pressure reduction)를 지칭한다. 이를 위해 배기 배관으로도 지칭되는 압력 방출 배관(pressure relief line; 8)이 격납용기(6) 외부로 인출되는데, 이 배관은 원자력 발전 플랜트(6)의 정상 운전 중에는 차단 밸브(shutoff valve; 10)에 의해 폐쇄되어 있다. 압력 방출을 개시시키기 위해 차단 밸브(10)가 개방되면, 주로 가스 상인 압력 방출 흐름이 흐름 방향(12)을 따라 형성되고, 굴뚝(chimney; 14) 등을 통해 주변으로 배출된다. 격납용기 내의 과압은 임계치 이하의 값으로 감소된다.

[0023] 배기 동안 주변환경의 오염을 가능한 한 낮게 유지시키기 위해, 다양한 여과 및/또는 세척 유닛, 특히 건식 여과기, 습식 세척기 및/또는 흡착식 여과기(sorbent filter)들이 배기호름(vent stream)으로도 지칭되는 압력 방출 흐름(pressure relief stream)에 대해 압력 방출 배관(8)의 여기 확대 도시한 특히 상류측 부분, 선택적으로 하류측 부분에도 연결된다. 이를 여과된 격납용기 배기로 지칭한다. 이 유닛들(도시 안됨)은 희유가스(noble gas), 요드또는 요드 화합물, 그리고 연무(aerosol) 등의 형태의 배기 흐름에 포함된 방사성 물질들을 대부분 보류(retain)시키도록 설계되어 있다. 배기 과정에 관련된 모든 요소들을 전체적으로 배기 시스템(16)으로도 지칭한다.

[0024] 그러나 특히 부적절한 보류 유닛을 가지는 낡은 플랜트에서는 어떤 심각한 사고 시나리오에서 주목할 만한 양의 방사능이 배기 흐름과 함께 주변환경으로 탈출한다. 이 경우 구조수단의 설계와 조정시 감안해야 할 적어도 발전 플랜트 대지의 일시적 오염의 위협이 있다. 방출 감시 시스템이 이 목적을 위해 제공되는데, 이것은 배기 흐름에서 가스 시료를 채취하여 이를 복수의 분석기(analyzers; 18)에 공급한다. 바람직하기로 관통 흐름 내에서 동작하는 분석기(18)는 바람직하기로 실시간("온라인 감시(online monitoring)") 또는 어느 경우든 신속히 가스 시료 내에 포함된 희유가스(noble gas), 요드 및 요드화합물, 그리고 연무 등의 존재 성분을 측정 및/또는 이 성분들에 방사능(radiological activity)이 포함되었는지 확인한다. 또한 분석부(analysis section; 20)에는 예를 들어 수소 농도를 측정하는 가스 분석기가 통합될 수 있다.

[0025] 이 목적을 위해 특히 시료를 채취하는 배관(sample taking line) 또는 줄여서 시료채취 배관(sampling line; 22)이 배기 흐름을 안내하는 압력 방출 배관(8)으로부터 인출되어 압력 방출 배관(8) 외부에 배치된 분석부(20)에 부착 또는 연결된다. 시료채취 배관(22)의 흡입측에는 시료채취 노즐(sampling nozzle; 24) 또는 탐측기(probe)가 구비되는데, 이는 압력 방출 배관(8) 내부에 위치하여 배기 흐름 내로 돌출하는 흡입 개구부(intake opening 26)을 가진다. 이와는 달리, 시료채취 배관이 압력 방출 배관(8)에서 분기(branch)하여 분석부로 들어갈 수도 있다. 이와 같은 방식으로 배기 흐름의 일부가 시료채취 배관(22)으로부터 분석부(20)을 향하는 흐름 방향(27)의 시료 흐름으로 공급된다.

[0026] 분석부(20)는 이 실시예에서 상술한 실시간 동작이 가능한 복수의 분석기(18)를 구비하는데, 구체적으로 연무 분석기(28), 요드 및 요드화합물 분석기(30), 희유가스 분석기(32), 그리고 수소 분석기(34)들인데, 이들은 모두 관통류(through-flow) 원리에 따라 작동되며 흐름에 대해 직렬로 연결되어 있다. 다른 및/또는 추가적인 분석기(18)가 구비될 수 있고, 직렬 회로 대신에 분석기의 병렬 회로나 두 배관 방식의 조합이 채택될 수도 있음을 자명하다. 이를 위해 대응하는 배관 분기나 병합이 선택적으로 제공될 수 있다.

[0027] 추가적으로/대체적으로, 이러한 분석기(18)들이 특히 배기 증기 내의 요드와 연무 성분의 온라인 감시를 위해 압력 방출 배관(8)에 직결되거나 그 내부에 설치될 수 있다. 예를 들어 이를 위해, (약 3mm의) 축소된 벽 두께

를 가지는 팽창부(expansion part)가 압력 방출 배관(8)에 위치될 수 있는데, 바람직하기로 감소된 벽을 통해 외측에 설치된 연무/요드 모니터(112)의 감도(sensitivity)를 향상시키기 위해 배관의 저압부(low-pressure part; 76)에 설치된다. (이하 참조).

[0028] 이 예시적 실시예에 있어서, 분석기(18)는 기록된 측정 데이터를 관련된 신호 배선(signal line; 36)을 통해 공유된 제어 및 (예비) 분석 유닛으로 전송하는데, 이는 예를 들어 원자력 발전 플랜트(4)의 비상 제어실에 설치될 수 있다. 이와는 달리 복수의 분산형(decentralized) 분석 유닛들이 설치될 수도 있다. 어떤 환경에서는, 이 유닛들의 기능은 데이터 수집과 선택적인 데이터 처리에 한정되고 실제 분석은 하류의 유닛(도시 안됨)에서 이뤄지도록 할 수 있다. 또한 미가공 데이터 및/또는 처리 데이터를 원격 측정(telemetry) 등의 수단으로 외부 관측소(observation station)로 전송할 수도 있다.

[0029] 제어 및 분석 유닛(38)과 필요하다면 개별적인 분석기(18)에 원자력 발전 플랜트(4)의 온전한(intact) 고유의 전력 공급장치로부터 일반적인 플랜트 전력망(plant power network; 40)을 통해, 그 실패시에는 바람직하기로 필요시 무정전 전력 공급장치(uninterruptible power supply; UPS)의 원리로 기동(activate)되는 자동 비상전력망(alternative emergency power network; 42)을 통해 전력 공급이 수행된다. 바람직하기로 비상 전력망은 재충전 가능한 배터리/축전지(accumulator)(44)에 의해 공급되는데, 이는 플랜트 전력망(40)이 온전하다면 이로부터 재충전될 수 있지만 연료전지 유닛 및/또는 디젤 발전기 세트도 구비할 수 있다.

[0030] 도 1에 의한 예시적 실시예에 있어서, 복수의 여과기/수집기(collector)(48)를 가지는 여과부(filter section; 46)가 분석부(20)의 흐름에 대해 병렬로 시료채취 배관(22)에 연결되는데, 예를 들어 연무 여과기(aerosol filter; 50)와 요드 여과기/요드화합물 여과기(52)가 장비되어 있다. 이에 따라 시료채취 배관(22)을 통해 수집된 시료 흐름의 일부 흐름이 여과부(46)를 통해 흐르게 된다. 온라인 감시는 여과부(46)의 여과기/수집기(48)에는 제공되지 않으며, 이들은 오히려 배기 과정중이나 늦어도 사고가 완화(abatement)되고 보류된 방사능 운반물(activity carrier)에 대한 연구가 끝나면 제거될 수 있다. 온라인 분석기(18)가 전체적으로 실패하는 경우라도 배기로 의해 유출된 방출의 후속적으로 분석 가능한 요약 기록(summary documentation)은 여전히 가능하다.

[0031] 상술한 여과기에 부가하거나 대체적으로, 예를 들어 H-3(트리튬), C-14(탄소)용 여과기/수집기가 필터부(46)에 연결될 수 있다.

[0032] 또한 바이패스부(bypass section; 54)가 분석부(20)와 여과부(46)의 흐름에 대해 병렬회로로 연결될 수 있다. 그 외측에는, 세 부분 배관(partial line) 모두가 공통의(shared) 복귀 배관(collection line) 또는 시료 복귀 배관(sample return line; 56)으로 배출되는데, 뒤에 더 상세히 설명할 흡입 펌프(suction pump; 58) 또는 진공 펌프가 더 하류측에 연결된다. 여기서 사용된 명칭과는 달리, 시류채취 노즐(24)과 흡입 펌프(58) 사이의 시류취출 및 분석 시스템의 전체 배관망을 간단히 시료채취 배관으로 지칭할 수 있다. 구분해야 할 부분 배관과 배관부가 더 적으로 이 대체적인 명칭을 이하에서는 특히 도 2와 관련하여 사용할 것이다.

[0033] 다양한 부분적 흐름을 설정하거나 제어하거나 조절하기 위해 바람직하기로 복수의 차단 및 조절 밸브들이 이 시료채취 시스템의 배관망 내에 제공된다. 일단에서, 설정 가능한 차단 밸브(shutoff valve; 60)가 바이패스부(54), 여과부(46), 그리고 분석부(20)의 분기점(branch)의 상류측에 제공되어 시료채취 배관(22)을 통하는 유량, 즉 시료 흐름(sample stream)을 전체적으로 설정할 수 있다. 타단에서, 시료채취 배관(22)으로 분기하여 상술한 기능부(20, 46, 54)들을 형성하는 배관들이 각 부분적 흐름들을 설정하는 그 자체의 조절 밸브(regulating valve; 62)들이 장비된다. 조절 밸브(62)들은 이 예시적 실시예에서 각 기능성 유닛들의 하류에 배치되는데, 다시 말해 여과기/수집기(48)와 분석기(18)들의 하류에 설치된다. 부가적으로 또는 대체적으로, 이러한 조절 및/또는 차단 밸브들은 기능성 유닛들의 상류에 설치되어 하나 또는 복수의 부분 배관들이 예를 들어 유지보수 및 교체 작업과 여과기/수집기(48)의 검사를 위해 운전 작동중에 시료채취 배관(22)으로부터의 흐름에 대해 선택적으로 분리(decouple)될 수 있다. 그러나 특히 시스템의 간단한 실시예에서, 조절 및/또는 차단 밸브는 거의 또는 완전히 생략될 수도 있는데, 이에 따라 오류의 발생 가능성성이 제어 비용이 저감된다. 특히 차단 밸브(60)를 생략하면 시료채취가 배기 흐름에 의해 자동 조절 방식으로 수동적으로 수행되어 자동으로 기동(activate)되므로 시료채취의 능동적 스위칭(swapping)이 생략될 수 있다.

[0034] 또한, 도 1에 도시된 바와 같이 시료채취 배관(22)의 차단 밸브(60)는 불활성 가스(inert gas) 배관(64) 또는 플러싱 가스(flushing gas) 배관 등의 추가적 배관 연결을 가지는 삼방 밸브(three-way valve)로 설계될 수 있다. 이에 따라, 예를 들어 불활성 가스 또는 플러싱 가스, 특히 질소(N₂)는 압축가스 병 등의 압축 저장용기(66)으로부터 필요에 따라 시료채취 배관(22)으로 투입되어 시료 흐름에 혼합될 수 있다. 삼방 밸브(60)를 이에 따라 선택적으로 설정하면, 불활성 가스 또는 플러싱 가스는 전적으로 시료채취 배관(22)의 다음 부분을 통해서

만 흐르도록 할 수도 있다. 이와 유사한 방식으로 기능부의 각 부분적 배관에도 불활성 가스, 플러싱 가스 또는 각 부분 흐름을 화학적 제어하기 위한 시약(reagent)까지 필요에 따라 공급하기 위한 배관 연결구(line fitting; 67)들을 가질 수 있다. 중요한 밸브들의 제어 또는 조절은 바람직하기로 중앙 제어 유닛(central control unit; 18)을 통해 수행되고, 대체적으로 수동으로 수행될 수 있다.

[0035] 문제의 방사능과 가스 조성을 가장 신뢰성 높게 측정하기 위해서는, 시료 증기 내의 기화된 부분의 응축이나 연무(aerosol)의 축적이 여과부(46)의 여과기/수집기(48)과 분석부(20)의 분석기(18)로의 경로상에서 가능한 한 완전히 제거되어야 한다.

[0036] 이를 위해, 방출 감시 시스템(2)의 대기 작동, 즉 원자력 발전 플랜트(4)의 정상 작동 중에 시료채취 배관(22)과 여과기(48)과 분석기(18)로 가는 부분적 배관들의 예열(preheating)이 적어도 선택된 배관 부위와 선택적으로 여과기(48)와 분석기(18) 자체에 제공된다. 이 대기 가열은 도 1에 의한 방출 감시 시스템(2)에서 원자력 발전 플랜트(4)의 일반적인 플랜트 전력망(40)에 의해 정상적으로 작동 전류가 공급되는 관 추적 전기 가열기(electric pipe trace heater)에 의해 구현된다. 배관 주위에 설치되거나 관벽(pipe wall)에 통합된 가열코일/가열부재(68)가 도 1의 배관망의 몇 위치에만 예시적으로 도시되어 있다. 전체 가열 시스템의 가열 전력은 시료 흐름이 측정 작동중에 기대되는 이슬점 온도(dewpoint temperature) 이상이 되도록 보장하는 (약 150°C 내지 200°C보다 큰) 온도로 설계된다.

[0037] 일반적인 발전소 전력망이 실패하는 소위 발전소 블랙아웃(station blackout) 상황은 특히 방출 감시 시스템의 기동이나 작동 중에 전형적으로 나타나는데, 배터리 유닛, 연료전지 유닛 또는 디젤 발전기 세트에 기반하는 상술한 비상 전력망(42)이 배관 전기 가열의 적어도 초기에 전력 공급을 담당하므로 시료 이송 중의 불가피한 열손실을 보상할 수 있다.

[0038] 이 열손실을 가능한 한 낮게 (약 500W보다 작게) 유지하기 위해, 시료채취 배관(22), 이로부터 분기하여 기능성 유닛(여과기/수집기(48)과 분석기(18))들로 가는 부분적 배관들, 그리고 기능성 유닛 그 자체에는 가능한 한 완전히, 적어도 필요한 부분과 영역에 특히 도 1의 몇 위치에만 개략적으로 도시된 단열 자켓(insulation jacket; 70) 형태의 단열이 제공된다. 이에 더하여 바람직하기로 낮은 열전도성의 재질이 관벽이나 하우징 벽(housing wall)에 사용된다.

[0039] 흐름 경로의 벽에 연무가 축적되지 않도록 하기 위해, 시료 채취 배관(22)과 이로부터 분기되어 기능성 유닛들로 연장되는 부분적 배관들은 바람직하기로 내벽에 텐플론(Teflon) 피복이나 알미늄 피복을 가지거나 또는 수압 연마(hydraulically smooth), 전해 폴리싱(electropolished)된 스테인리스 강으로 구현된다.

[0040] 비상 전력 공급(42) 또는 에너지 저장을 가능한 한 낮게 유지하면서도, 증기 응축을 방지하면서 기능성 모듈들에 대한 시료의 신뢰성 높은 이송을 보장하기 위해 도 1에 의한 방출 감시 시스템(2)이 거의 수동적 또는 반수동적(semi-passive) 시스템을 형성하도록 하는 일련의 수단들(array of measures)이 제공된다. (물론 분석 및 제어 유닛(38)과 분석기(18)는 일반적으로 어느 정도 양의 전류는 필요하므로 비상 전력망(42)로부터 완전히 분리한다는 의미의 완전한 수동성은 이 실시예에서 구현 가능하기는 하지만 어려움을 수반한다.) 이 수단들을 이하에 상세히 설명한다.

[0041] 일면에서는, 이 실시예에서 드로틀 오리피스(throttle orifice; 72) 형태의 드로틀부가 배기 흐름을 안내하는 압력 방출 배관(8) 내에 배치된다. 드로틀 오리피스(72) 상류에는 대략 원자력 플랜트(4)의 격납용기 내부압력에 대응하는 가스 압력(일반적으로 배기의 시작시 절대압력 3 내지 6bar)이 여과 및/또는 세척 유닛들을 포함하여 흐름 상류에 연결된 배관부에서 1 또는 2bar 이상의 압력 강하(pressure drop)에 의해 감소된다. 약 절대압력 1bar인 주변압력으로의 압력 감소는 드로틀 오리피스(72)에 의해 수행된다. 그러므로 압력 방출 배관(8)을 드로틀 오리피스(72) 상류 측의 고압부(74)와 드로틀 오리피스(72) 하류의 저압부(76)로 지칭할 수 있다.

[0042] 배기 흐름의 건조와 과열(overheating)이 드로틀링에 의해 발생될 수 있는데, 시료취출 작동에서 시료취출 배관(22)의 차단 밸브(60)를 개방하면 바람직하기로 드로틀 오리피스(72) 하류에 배치된 시료채취 노즐(24)을 통해 과영된 시료가 치료채취 배관(22)으로 도입되고, 시료의 증기 성분은 (상대습도 1 미만으로) 이미 이슬점과 충분한 거리를 가진다.

[0043] 또한, 여과기(48)과 분석기(18)로부터 연장되는 복귀 배관(collection line; 56)에 연결된 흡입 펌프(58)에 의해 시료 이송을 구동하거나 보조하는 부분적 진공이 시료채취와 분석을 위한 배관 시스템의 상류부에 형성된다. 부분적 진공에 의해 시료 흐름 내의 증기 성분은 등엔탈피 천이(isenthalpic relaxation)에 의해 열역학적 상태 도의 과열 영역(overheating region)으로 유도된다. 이와 같이 하여 이슬점 온도는 드로틀 오리피스(72) 이전의

지배적인 포화 증기압 온도(saturation vapor temperature) 이하로 감소된다. 여과부(46)와 분석부(20)를 포함하여 시료채취 배관(22)이 등엔탈피 천이하는 내부적 매체(intrinsic medium)을 사용하여 가열되므로 전기적 가열은 완전히 작동 안해 에너지 수지(energy balance)에서 완전히 제거될 수 있다. 이에 따라 시료채취와 가열이 전체 배기 과정에 걸쳐 완전히 수동으로 이뤄진다. (어느 경우에건, 어떤 상황에서 보충수단으로 전기 가열이 함께 스위칭되는 짧은 초기 개시 국면(initial startup phase) 이후부터).

[0044] 흡입 펌프(58)는 원칙적으로 원자력 발전 플랜트(4)의 플랜트 전력망(40) 또는 비상 전력망(42)을 통해 전력을 공급받는 전기적 구동 펌프다. 그러나 압력 방출 배관(8)의 배기 흐름, 특히 고압부에 존재하는 흐름 에너지로 구동되면 바람직한 수동적 시스템 설계에 특히 유용하다.

[0045] 이를 위해, 도 1에 의한 방출 감시 시스템(2)의 흡입 펌프(58)는 배출기(ejector)로 불리기도 하는 제트 펌프(jet pump; 78)로 구현되었다. 원자력 발전 플랜트(4)의 압력 방출 배관(8)의 고압부(74) - 드로틀 오리피스(72)의 상류부 -로부터의 배기 흐름의 일부 흐름이 추진체로서 복귀된다. 즉 내압 추진체 공급 배관(pressure resistant propellant supply line; 80)이 압력 방출 배관(8)의 고압부(74)로부터 제트 펌프(78)의 추진체 연결구(propellant fitting; 82)로 연결되고 이를 통해 흐름 방향(83)으로 흐름이 발생된다. 도 1에 도시된 바와 같이 추진체 공급 배관(80)이 압력 방출 배관(8)으로부터 단순한 분기판으로 형성되거나, 시료채취 배관(22)의 바람직한 실시예에서와 같이 흐름 통로 내로 둘출하는 시료채취 노즐로 구현될 수 있다.

[0046] 시료채취 배관 시스템의 여과부(46), 분석부(20), 그리고 선택적으로 바이페스부(54)의 유출측의 시료 흐름의 복귀 배관 또는 시료 복귀 배관(56)이 제트 펌프(78)의 흡입 연결구(86) 또는 흡입 연결 부품에 연결된다. 유출 배관 또는 복귀 배관(90)이 제트 펌프(78)의 유출 연결구(88)에 연결되어, 바람직한 실시예에서 타단인 유출단(91)로 복귀하여 압력 방출 배관(8), 특히 시료채취 배관(22)의 시료채취 노즐(24) 하류에 있는 드로틀 오리피스(72) 하류의 저압부(76)로 연결된다.

[0047] 제트 펌프(78)는 일반적인 구조로 구현되고, 추진체 흡입측에는 추진체 제트가 주변 영역에서 흡입한 흡입수단과 만나는 혼합실(mixing chamber; 94)보다 더 하류에 추진체 노즐(propellant nozzle; 92)을 가질 수 있고, 유출 측에는 도 1의 부분확대도 D에 도시된 바와 같이 부분적 압력 교정(partial pressure reclamation)을 위한 선택적인 확산기(diffuser; 96)를 가질 수 있다. 이와는 달리 간단한 벤튜리 노즐(Venturi nozzle; 97) 역시 가능한데, 그 수축점(constriction point), 즉 목(throat)(98)에는 흡입 연결구(86)가 관벽의 개구부(opening)로 형성되어 있다. 이와 같은 설계는 도 2의 부분 확대도 E에 도시되어 있다. (거기에 추가적으로 도시된 자켓 관(jacket pipe)에 의한 시료채취 배관(22)의 선택적인 외피(envelope)에 대해서는 뒤에 상세히 설명한다.)

[0048] 제트 펌프(78)의 공지의 작동원리에 따라, 시료채취 흐름에서의 흡입을 위한 부분적 진공이 노즐부 또는 목(98)에 형성됨으로써 압력 에너지가 흐름 속도로 변환된다. 흡입된 시료채취 흐름은 주로 추진 흐름에서 전파된 모멘텀(momentum)으로 흡수되어 동시에 혼합된다. 비교적 낮은 압력의 - 두 경우 모두 배기 흐름의 부분적 흐름인 - 결과적인 추진체와 흡입수단의 혼합물은 유출 연결구(88)와 거기에 연결된 복귀 배관(90)을 통해 제트 펌프(78)를 떠나, 바람직하기로 상술한 바와 같이 남은 배기 흐름에 재합류하여 주변환경으로 함께 배출된다. 그러므로 시료채취 흐름의 수동적인 과열도 추가적으로 보장되면서 시료채취와 시료 이송이 배기 흐름에 존재하는 흐름 에너지에 의해 완전히 수동적으로 수행된다.

[0049] 도 2에 도시된 방출 감시 시스템(2)는 도 1에 도시된 실시예와 다음과 같이 다르다.

[0050] 이 시스템에는 연무/요드 감시가 온라인으로 제공되지 않는다. 이에 따라 분석부(20)가 생략된다. 바이페스부(54) 역시 제공되지 않는다. 연무 여과기(50) 및/또는 요드 여과기(52)를 가지는 여과부(46)만이 구비된다. 이 시스템은 방출 감시 시스템(2) 대신에 방출 기록 시스템(emission documentation system)으로 부를 수도 있다. 물론 이러한 변경은 도 1에 따라 다양하게 구현될 수 있다.

[0051] 추가적으로, 전체 시료채취 배관(22)이 외피 자켓 관(enveloping jacket; pipe 100) 내에서 시료채취 노즐(24)로부터 연무 여과기(50) 및/또는 요드 여과기(52)를 통해 제트 펌프(78)의 흡입 연결구(86)로 연결되어, 가열 매체는 시료 채취 관(sampling pipe; 102)의 외벽과 자켓 관(100)의 내벽 사이의 중간 공간을 통해 흐르게 된다. 이 실시예에서 시료채취 관(102)은 바람직하기로 (예를 들어 알미늄 등의) 높은 열전도성의 재질을 사용하는 반면, 자켓 관(100)은 바람직하기로 낮은 열도전성을 가지거나 및/또는 단열 자켓(thermal insulation jacket; 104)이 구비되어 가열 매체로부터 시료 흐름으로의 열전달을 촉진하는 한편 외부 환경으로의 열소산(heat dissipation)을 최소화한다.

[0052] 배기 배관(8)로부터의 배기 흐름의 일부 흐름은 바람직하기로 가열 매체로 분기된다. 이를 위해, 자켓 관(100)

은 예를 들어 상세도 F에 도시된 바와 같이 시료채취 배관(22)의 시료채취 노즐(24) 영역의 비교적 고온의 배기 가스를 위한 고리형(ring-shaped)의 흡입 개구부(intake opening; 106)를 가진다. 그러므로 이 실시예에서 시료 채취 노즐(24)은 이미 가열될 수 있다. 가열 매체로 사용되는 배기가스는 이어서 시료채취 관(102)과 자켓 관(100) 사이의 중간 공간을 시료 흐름과 같은 방향으로 흐름으로써 여과기/수집기(48)을 가지는 여과부를 내부에 포함하는 시료채취 배관(22) 내의 시료를 원하는 대로 과열시킨다. 여과부의 하류에서 가열 흐름과 시료 흐름은 바람직하기로 합류하는데, 예를 들어 상세도 E에 도시한 바와 같이 시료채취 관(102)의 외벽에 형성된 이송 슬롯(slotted transfer; 108)을 통해 합류되고, 상호 혼합 이후/혼합시 제트 펌프(78)의 흡입 연결구(86)로 함께 흡입된다. 시료채취 관(102)로의 원치 않는 역류(backflow)를 방지하기 위해 드로틀 오리피스(109)가 시료채취 관(102)의 이송 슬롯(108)의 상류에 배치될 수 있다.

[0053] 이와 같은 방식으로, 특히 방출 감시 시스템(2)의 대기 작동중 시료채취 배관(22)이 아직 폐쇄된 상태에서도 시료채취 배관(22)의 예열은 전적으로 자켓 관(100)을 통한 배기가스 흐름의 수동적인 흡입만에 의해 수행될 수 있다. 이 가열은 이후 시료채취 배관(22)이 개방되어 실제 시료채취 작동에서도 유지된다. 도 2에 선택적인 가열부재(110)로 도시된 시료채취 배관(22)의 전기적 예열은 흐름과 온도 조건에 대한 적절한 설계와 설정으로 완전히 생략될 수 있다.

[0054] 배기가스가 관통하여 흐르는 자켓 관(100)을 가지는 이러한 관 가열의 설계는 도 1에 의한 더 복잡한 시스템에도 최소한 개별적인 부분 배관에는 원칙적으로 적용 가능하다. 그러나 가열 요구를 이 방식으로 완전히 감당하는 것이 더 달성하기 어렵고, 특히 분석부(20)에 대해서는 더 어렵다. 배관이 다양하게 분기 및 통합되므로 그 설계 난이도도 상당하므로 이 설계 자체가 도 2에 도시된 바와 같은 단순한 시스템으로 유지될 것을 제안한다.

[0055] 상술한 바와 같이, 도 1과 도 2에 제공된 개별적 요소와 부분들의 다양한 조합들이 구현될 수 있다. 온라인 측정값 취득의 초점은 특히 방출된 방사성 희유가스이다. 바람직하기로 분석부(20)에 배치된 희유가스 분석기(32)는 이 목적을 위해 예를 들어 믿을만한(robust) 감마선 센서(gamma sensor)를 가진다. 희유가스 분석기(32)에 의한 측정값은 바람직하기로 지속적으로 기록되고 온라인으로 전송되어, 배기 흐름에 포함된 희유가스의 유량(mass flow)과 농도(concentration), 그리고 이에 대응하는 특정 핵종(nuclide-specific) 방사율(activity rate)에 관한 결론이 가능하도록 한다. 배기 증기의 포함된 방사성 연무와 요드 성분의 양과 유출 방사선에 대한 그 기여도(contribution)는 이들 요소 자체를 온라인 감시하지 않고 이로부터 모델화된 추산이나 시뮬레이션(modeled rough estimate or simulation)으로 신속히(이상적으로 준 실시간(quasi-real time)으로) 확인(ascertain)될 수 있다. 이 목적으로 각 개별적인 원자로 형식을 고려하는 정교한 시뮬레이션 프로그램 등이 사용될 수 있다. 달리 말해 연무 분석기(28)은 온라인으로 작동하지만 도 1의 요드 분석기(30)는 분석 품질에 상당한 손실 없이도 선택적으로 생략될 수 있다.

[0056] 그러나 여과부(46)의 여과기/수집기(48)에서 연무와 요드, 그리고 선택적으로 H-3 및 C-14의 선택적 시료채취는, 시료 흐름의 고온 및 고압에 대응하여 대단히 튼튼하게 설계되었으므로 배기중에도 수행될 수 있다. 배기 과정의 종료후 수집된 방사성 물질의 분석은 (특히 방사능 방출 증거의 기록과 보존에 대해) 실험실에서 수행된다. 이 후속 분석을 기준으로, 이전의 온라인 캡처(capture) 및/또는 모델을 기준으로 특정 핵종 유출량과 방사율에 대한 측정값의 수정이 선택적으로 수행될 수 있다. Rb-88 또는 Cs-137 등의 단수명의 희유가스 분해생성물이 배기중의 방사(radiation)에 있어서 배기 흐름을 지배하므로, 환경 스트레스의 평가에 특히 중요한 예를 들어 I-131, Cs-137 등의 장수명 방사성 동위원소(long-lived radioactive isotope)가 배기 중 어렵게 직접적으로만 수치적으로 캡처될 수 있는 상황도 고려된다.

부호의 설명

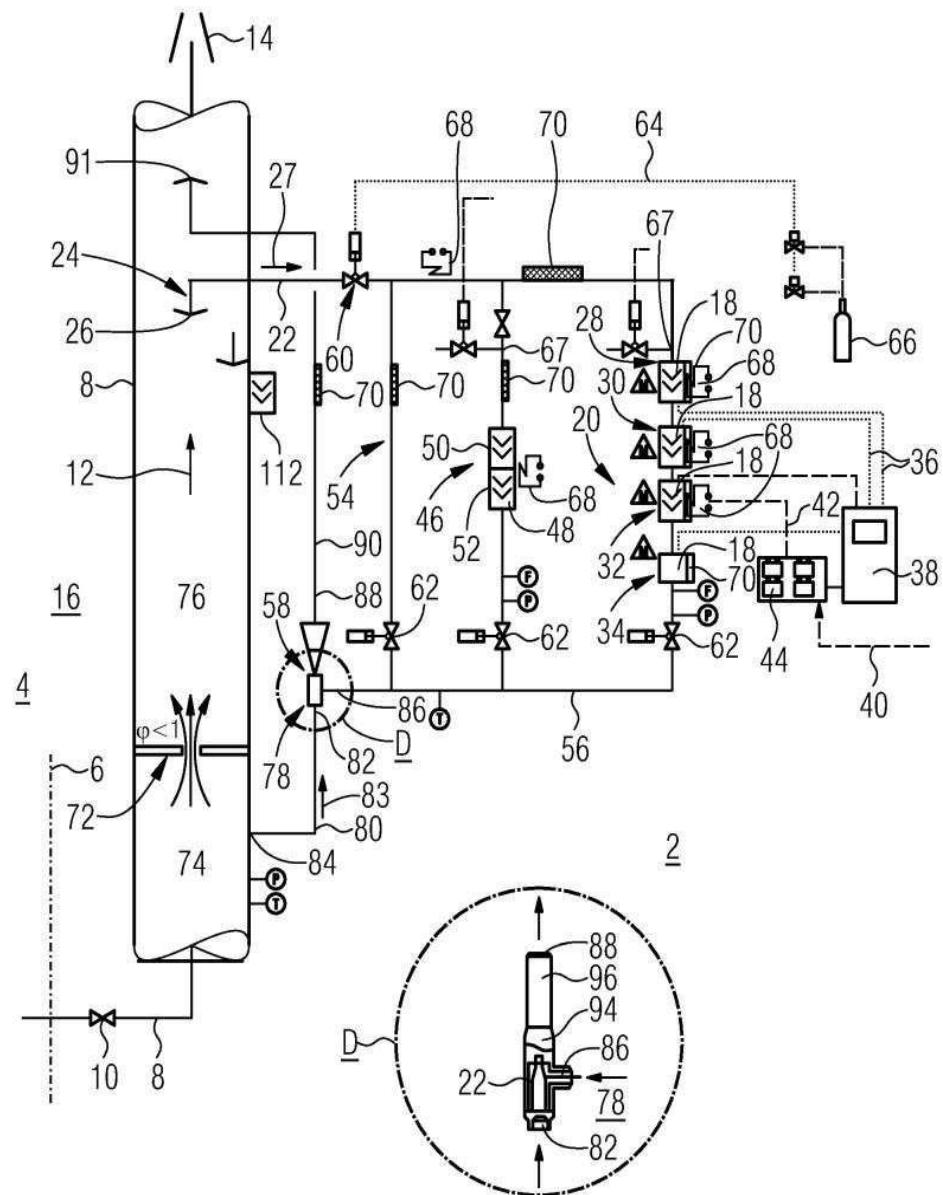
- 2: 방출 감시 시스템(emission monitoring system)
- 4: 원자력 발전 플랜트(nuclear power plant)
- 6: 안전 용기/격납용기(safety container/containment)
- 8: 압력 방출/배기 배관(pressure relief line/vent line)
- 10: 차단 밸브(shutoff valve)
- 12: 흐름 방향(flow direction)
- 14: 굴뚝(chimney)

- 16: 배기 시스템(venting system)
- 18: 분석기(analyzer)
- 20: 분석부(analysis section)
- 22: 시료채취 배관(sampling line)
- 24: 시료채취 노즐(sampling nozzle)
- 26: 흡입 개구부(intake opening/intake mouth)
- 27: 흐름 방향(flow direction)
- 28: 연무 분석기(aerosol analyzer)
- 30: 요드 분석기(iodine analyzer)
- 32: 희유가스 분석기(noble gas analyzer)
- 34: 수소 분석기(hydrogen analyzer)
- 36: 신호 배선(signal line)
- 38: 제어 및/또는 분석 유닛(control and/or analysis unit)
- 40: 플랜트 전력망(plant power network)
- 42: 비상 전력망(emergency power network)
- 44: 배터리/축전지(battery/accumulator)
- 46: 여과부(filter section)
- 48: 여과기/수집기(filter/collector)
- 50: 연무 여과기(aerosol filter)
- 52: 요드 여과기(iodine filter)
- 54: 바이패스부(bypass section)
- 56: 귀환 배관/시료 귀환 배관(collection line/sample return line)
- 58: 흡입 펌프(suction pump)
- 60: 차단 밸브/삼방 밸브(shutoff valve/three-way valve)
- 62: 조절 밸브(regulating valve)
- 64: 불활성 가스/플러싱 가스 배관(inert gas line/flushing gas line)
- 66: 저장 용기(storage container)
- 67: 배관 연결구(line fitting)
- 68: 가열 코일/가열부재(heating coil/heating element)
- 70: 단열 자켓(insulation jacket)
- 72: 드로틀 오리피스(throttle orifice)
- 74: 고압부(high-pressure portion)
- 76: 저압부(low-pressure portion)
- 78: 제트 펌프(jet pump)
- 80: 추진제 공급 배관(propellant supply line)
- 82: 추진제 연결구(propellant fitting)

- 83: 흐름 방향(flow direction)
- 84: 흡입 개구부(intake opening)
- 86: 흡입 연결구(suction fitting)
- 88: 유출 연결구(outlet fitting)
- 90: 복귀 배관(return line)
- 91: 유출단(outlet end/outlet mouth)
- 92: 추진제 노즐(propellant nozzle)
- 94: 혼합실(mixing chamber)
- 96: 확산기(diffuser)
- 97: 벤투리 노즐(Venturi nozzle)
- 98: 목(throat)
- 100: 자켓 관(jacket pipe)
- 102: 시료채취 관(sampling pipe)
- 104: 단열 자켓(thermal insulation jacket)
- 106: 흡입 개구부(intake opening)
- 108: 이송 슬롯(transfer)
- 109: 드로틀 오리피스(throttle orifice)
- 110: 가열부재(heating element)
- 112: 연무/요드 모니터(aerosol/iodine monitor)
- M: 온라인 감시(online monitoring)
- N2: 질소(nitrogen)
- D, E, F: 부분확대 상세도(details)

도면

도면1



도면2

