

	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 (43) 공개일자	10-2013-0121309 2013년11월06일
(51) 국제특허분류(Int. Cl.)	F23N 1/02 (2006.01) F23N 5/00 (2006.01) F23D 14/60 (2006.01)	(71) 출원인	부경대학교 산학협력단
(21) 출원번호	10-2012-0044390		부산광역시 남구 신선로 365 (용당동, 부경대학교)
(22) 출원일자	2012년04월27일	(72) 발명자	박정
심사청구일자	2012년04월27일		부산광역시 해운대구 좌동 대림1차아파트 106동 2003호
			이의주
			부산광역시 해운대구 좌동 대동아파트 509동 1501호
			오창보
			부산광역시 남구 대연3동 대우그린1차아파트 102동 904호
			(74) 대리인
			정인규

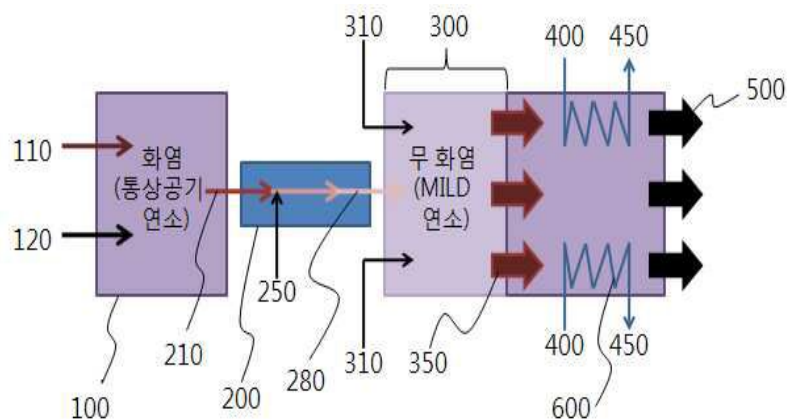
전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 **상온공기 연소기에서 고온공기를 연속으로 공급받는 마일드 연소기**

(57) 요약

본 발명은 오염물질 배출이 적고 열효율이 높은 MILD 연소 시스템 구성에 관한 것이며, 보다 상세하게는 상온공기와 상온연료를 이용하여 고온상태의 배기가스를 배출하는 과정에서 배기가스 중의 CO 농도는 높을 수 있지만 NOx 농도는 충분히 낮도록 운전할 수 있는 상온공기 연소기를 포함하고, 이 상온공기 연소기에서 배출되는 고온 배기가스에 별도로 공급되는 상온공기를 혼합하여 MILD 연소실로 공급함으로써 별도의 열재생기를 갖지 않고도 연속적으로 공급되는 고온공기를 이용할 수 있으며, 상온공기 연소기에서 발생한 CO도 MILD 연소과정을 통해 소멸시킴으로써 저 NOx와 저 CO 배출을 동시에 구현할 수 있는 MILD 연소기를 구성하고, MILD 연소장 하류에 기체-액체간 열교환기를 배열하여 MILD 연소기의 배기가스 온도를 물을 응축시킬 수 있을 정도의 온도까지 충분히 낮추어 열효율을 극대화 시키는 MILD 연소 시스템 구성에 관한 것이다.

대표도 - 도8



특허청구의 범위

청구항 1

상온공기 연소기에서 고온공기를 연속으로 공급받는 마일드(MILD) 연소 방법에 있어서,

공급된 상온공기(120)과 상온연료(110)가 희박조건(당량비 $\ll 1$) 상태에서 연소하는 상온공기연소기(100)를 운전함으로써 상온공기 연소기의 배기가스에 소량의 NO_x 및 다량의 CO가 포함되도록 하는 단계(s100);

상기 상온공기연소기(100)에서 배출되는 상온공기연소기 배기가스(210)는 외기로 배출됨이 없이, 상온의 공기(250)와 함께, 제어기에 의하여 혼합됨으로써, 마일드(MILD) 연소기(300)에 인입되기 위한 고온 혼합공기(280)가 준비되는 단계(s200);

상기 고온혼합공기(280)가 마일드(MILD) 연소기(300)에 연속적으로 유입된 후, MILD 연소가 이루어진 뒤 생성되는 마일드(MILD) 연소기 배기가스와 냉각수(400)가 열교환을 하는 단계(s300)를 포함함을 특징으로 하는,

상온공기 연소기에서 고온공기를 연속으로 공급받는 마일드(MILD) 연소 방법.

청구항 2

상온공기 연소기에서 고온공기를 연속으로 공급받는 마일드(MILD) 연소 방법에 있어서,

공급된 상온공기(120)과 상온연료(110)가 희박조건(당량비 $\ll 1$) 상태에서 연소하는 상온공기연소기(100)를 운전함으로써 상온공기 연소기의 배기가스에 소량의 NO_x 및 다량의 CO가 포함되도록 하는 단계(s100);

상기 상온공기연소기(100)에서 배출되는 상온공기연소기 배기가스(210)는 외기로 배출됨이 없이, 상온의 공기(250)와 함께 혼합됨으로써, 마일드(MILD) 연소기(300)에 인입되기 위한 고온 혼합공기(280)가 준비되는 단계(s200);

상기 고온혼합공기(280)가 마일드(MILD) 연소기(300)에 연속적으로 유입된 후, MILD 연소가 이루어진 뒤 생성되는 마일드(MILD) 연소기 배기가스와 냉각수(400)가 열교환을 하는 단계(s300)를 포함함을 특징으로 하는,

상온공기 연소기에서 고온공기를 연속으로 공급받는 마일드(MILD) 연소 방법.

청구항 3

상온공기 연소기에서 고온공기를 연속으로 공급받는 마일드(MILD) 연소기에 있어서,

상온공기(120)와 상온연료(110)를 공급받아 희박조건(당량비 $\ll 1$) 상태에서 연소하여 상온공기 연소기의 배기가스에 소량의 NO_x 및 다량의 CO가 포함되도록 하는 상온공기연소기(100);

상기 상온공기연소기(100)에서 배출되는 상온공기연소기 배기가스(210)를 외기로 배출됨이 없이, 상온의 공기(250)와 소정의 비율로 혼합하는 제어기가 구비된 혼합기(200);

상기 제어기에 의해 혼합된 고온혼합공기(280)를 연속적으로 받아들여 마일드(MILD) 연소가 이루어지는 MILD 연소기(300);

상기 마일드(MILD) 연소기(300)의 배기가스(350)의 열을 냉각수로 전달하는 열교환기(600);

를 포함하는 상온공기 연소기에서 고온공기를 연속으로 공급받는 마일드(MILD) 연소기.

청구항 4

상온공기 연소기에서 고온공기를 연속으로 공급받는 마일드(MILD) 연소기에 있어서,

상온공기(120)와 상온연료(110)를 공급받아 희박조건(당량비 $\ll 1$) 상태에서 연소하여 상온공기 연소기의 배기가

스에 소량의 NO_x 및 다량의 CO가 포함되도록 하는 상온공기연소기(100);

상기 상온공기연소기(100)에서 배출되는 상온공기연소기 배기가스(210)를 외기로 배출됨이 없이, 상온의 공기(250)와 소정의 비율로 혼합하는 혼합기(200);

상기 제어기에 의해 혼합된 고온혼합공기(280)를 연속적으로 받아들여 마일드(MILD) 연소가 이루어지는 MILD 연소기(300);

상기 마일드(MILD) 연소기(300)의 배기가스(350)의 열을 냉각수로 전달하는 열교환기(600);

를 포함하는 상온공기 연소기에서 고온공기를 연속으로 공급받는 마일드(MILD) 연소기.

청구항 5

청구항 3 또는 4에 있어서,

상기 혼합기 및 상기 상온공기연소기에는 외부로의 열손실을 줄이는 단열부가 더 형성됨을 특징으로 하는 마일드(mild)연소기 .

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 고온공기를 이용하여 오염물질이 적게 배출되면서 연소효율이 높은 MILD 연소 시스템을 구성함에 있어서 별도의 열재생기 없이 통상의 상온공기 연소기를 이용하여 연속적으로 고온공기를 공급받는 컴팩트한 MILD 연소 시스템 구성에 관한 것이다.

배경기술

[0002] MILD 연소에서 MILD는 Moderate or Intense Low Oxygen Dilution의 약자로서 이 연소방식은 기존의 통상적인 연소방식에 비해 몇 가지 중요한 특징을 가지고 있다.

[0003] 첫째는 배기가스로 버려지는 열의 많은 부분을 연소실로 공급되는 공기로 재순환시킴으로써 열효율을 높일 수 있어 동일한 열량을 얻기 위해서는 연료를 절감할 수 있기 때문에 결과적으로는 CO₂를 저감시킬 수 있는 장점이 있다.

[0004] 둘째로는 열재순환에 의해 유입공기의 온도를 높이지만 공기류 중의 산소의 농도를 낮추어 연소함으로써 연소실 내부에서는 연소에 의한 최고온도가 높지 않고 균일한 분포를 보이게 된다.

[0005] 이러한 방식으로 연소를 진행하게 되면 온도에 민감한 NO_x나 Soot 등의 오염물질 배출량이 저감되고 온도가 균일하기 때문에 연소실 내부에서 열응력의 발생이 줄어들어 연소기의 건전성을 유지하기 용이하며 화염에 의한 연소소음이 작고 균일한 복사열전달 특성을 갖는 장점이 있는 것으로 알려져 있다.

[0006] 그러나 현재의 MILD 연소기에서는 대부분 자신의 연소기에서 배출되는 배기가스에 함유된 열을 재순환하여 유입공기의 온도를 높이는 방식을 채택하고 있다.

[0007] 이러한 방식에서 배기가스의 열을 유입공기 쪽으로 전달하기 위해서는 기체에서 기체로의(Gas-to-gas) 열전달 방식을 취해야 한다. 열전달 방식 중에서 기체-기체의 전열효율은 높지 않기 때문에 기본적으로 매우 큰 체적의 열교환기를 필요로 한다.

- [0008] 이럴 경우 연소기 전체를 콤팩트하게 구성하기 어렵기 때문에 현재의 대부분 MILD 연소기는 유입공기의 온도를 상승시키기 위해서 열재생기(Heat Recuperator)를 채택하고 있다.
- [0009]
- [0010] 열재생기에서는 고온 배기가스가 배출되면서 직접 접촉했던 열교환부를 유입되는 공기가 직접 접촉하는 방식으로 열을 전달시키는 장치로서 콤팩트한 구성을 할 수 있지만 고온 배기가스와 저온 유입공기가 교번식으로 번갈아 열교환부를 통과하면서 열을 전달해야 하는 어려운 점이 있다.
- [0011] 또한 교번식 열재생 방법을 채택하게 되면 배기가스가 나가던 통로를 유입공기가 통과하면서 열교환하기 때문에 배기가스에서 유입공기로 순서가 바뀌는 순간에 배기가스와 유입공기의 충돌로 인하여 통로가 차단되고 연소실 내부에는 유입공기가 짧은 순간동안 공급되지 않아 순간적인 화염 불안정성이 동반될 수 있다.
- [0012] 한편, 고온공기를 그대로 연소에 이용할 경우 화염 최고온도가 오히려 더 높아지게 되고 NOx 등의 오염물질 배출특성이 더 나빠지게 된다.
- [0013] MILD 연소기법의 중요한 특징 중의 하나가 유입공기의 온도는 높여서 공급하지만 산소의 농도는 낮추어서 연소함으로써 최고 화염온도가 높아지는 문제를 극복하게 된다.
- [0014] 통상의 MILD 연소방식에서는 연소기 내부에서 연소실로 유입되는 고온공기와 내부에 있던 배기가스 중의 일부를 혼합하여 연소를 진행함으로써 고온공기 중의 산소농도를 낮추는 방식을 취하게 된다.
- [0015] 이 경우에는 연소실 내부에서 배기가스와 고온공기의 혼합특성이 MILD 연소기의 전체 성능을 좌우할 수 있는 중요한 변수가 되며, 기존 대부분의 MILD 연소기들은 이러한 연소실 내부의 혼합특성을 개선시키기 위한 다양한 기술을 채택하고 있으며 현재도 많은 연구개발이 진행 중에 있다.
- [0016] 본 출원기술은 MILD 연소기 설계에서 가장 핵심적인 두 개의 기술인 열재생기술과 연소실 내부에서 배기가스와 유입되는 고온공기의 혼합을 획기적으로 제어할 수 있는 기술을 포함하고 있다.
- [0017] 또한 본 출원기술을 적용하게 되면 배기가스와 유입공기의 교번에 의한 열재생방법을 연속식으로 바꿀 수 있게 되기 때문에 교번식의 순간적인 화염 불안정성을 개선할 수 있고 전체적으로 콤팩트한 MILD 연소 시스템을 구성할 수 있는 장점을 가지고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0018] 본 발명의 첫 번째 목적은 통상적인 상온공기 연소기의 배기가스를 이용하여 유입공기를 가열하는 방식을 취함으로써 종래의 MILD 연소기에서 자신의 고온 배기가스를 이용하여 유입공기를 교번식으로 가열하는 방식의 단점을 극복하여 연속 운전이 가능한 MILD 연소기 구성에 대한 기술을 제시하고자 한다. 두 번째로는 통상적인 상온공기 연소기의 배기가스에 유입공기를 혼합하여 MILD 연소기로 공급하는 방식을 취함으로써 종래의 MILD 연소기 내부에서 배기가스와 유입공기와 혼합을 위한 복잡한 구조를 단순화할 수 있는 기술을 제시하고자 한다. 세 번째로는 종래의 MILD 연소기의 열재생기의 문제점과 열재생 방식을 단순화할 수 있는 기술을 제공함으로써 콤팩트하고 화염 안정성이 우수한 MILD 연소 시스템 설계기술을 제시하고자 한다.

과제의 해결 수단

- [0019] 상기 과제를 해결하기 위한 수단은 다음과 같다.
- [0020] 즉 상온공기 연소기에서 고온공기를 연속으로 공급받는 마일드(MILD) 연소 방법에 있어서,
- [0021] 공급된 상온공기(120)과 상온연료(110)가 희박조건(당량비 $\ll 1$) 상태에서 연소하는 상온공기연소기(100)를 운전함으로써 상온공기 연소기의 배기가스에 소량의 NO_x 및 다량의 CO가 포함되도록 하는 단계(s100);
- [0022] 상기 상온공기연소기(100)에서 배출되는 상온공기연소기 배기가스(210)는 외기로 배출됨이 없이, 상온의 공기(250)와 함께, 제어기(미도시)에 의하여 혼합됨으로써, 마일드(MILD) 연소기(300)에 인입되기 위한 고온 혼합공기(280)가 준비되는 단계(s200);
- [0023] 상기 고온혼합공기(280)가 마일드(MILD) 연소기(300)에 연속적으로 유입된 후, MILD 연소가 이루어진 뒤 생성되는 마일드(MILD) 연소기 배기가스와 냉각수(400)가 열교환을 하는 단계(s300)를 포함함을 특징으로 하는, 상온공기 연소기에서 고온공기를 연속으로 공급받는 마일드(MILD) 연소 방법이 제시된다.
- [0024] 상기 제어기는 고온 혼합공기의 성분비를 결정하는데 사용되며, 성분비가 미리 정해진 상태라면 제어기가 필요하지 않을 수도 있을 것이다.
- [0025] 기타 발명의 상세한 설명은 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용에서 설명한다.

발명의 효과

- [0026] 본 발명은 통상적인 상온공기 연소기의 배기가스를 이용하여 유입공기를 가열하는 방식을 취함으로써 교번방식이 아닌 연속운전이 가능한 MILD 연소기를 구성할 수 있는 장점이 있다.
- [0027] 통상의 상온공기 연소기를 이용하지만 NO, CO, Soot 등의 오염물질 배출특성과 연소효율, 열효율은 기존의 MILD 연소기와 유사한 수준으로 맞출 수 있는 장점이 있다.
- [0028] 상온공기 연소기의 배기가스에 유입공기를 원하는 양만큼 혼합하여 MILD 연소실로 공급하기 때문에 배기가스 혼합비 또는 산소농도를 정확하게 제어할 수 있어 최적 MILD 연소조건을 구현할 수 있는 장점이 있다.
- [0029] 근원적으로 기존 MILD 연소기에서 많이 사용하는 교번식 열재생기를 사용하지 않기 때문에 교번에 필요한 유로계(Flow system)도 필요 없게 되어 전체 연소시스템 구조가 간단해지고 유지보수와 제작비용을 절감할 수 있는 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

- [0030] 도 1은 본 발명에서 가장 핵심적인 제트 MILD 연소 시의 오염물질 배출특성을 검토하기 위해 전산해석을 수행한 MILD 모델 연소기에 대한 기하학적 형상을 도시하고 있다.
- 도 2는 제트 MILD 모델 연소기에 대한 전산해석 결과로서 유입되는 공기온도와 배기가스 혼합비를 변화시켰을 경우에 연소기 내부의 2차원 온도분포를 도시한 것이다.
- 도 3은 유입공기 온도와 배기가스 혼합비 변화에 따른 제트 MILD 모델 연소기 내부의 최고온도 변화를 도시한 것이다.
- 도 4는 유입공기 온도와 배기가스 혼합비 변화에 따른 제트 MILD 모델 연소기의 EINO값 변화를 도시한 것이다.
- 도 5는 유입공기 온도와 배기가스 혼합비 변화에 따른 제트 MILD 모델 연소기의 EICO값 변화를 도시한 것이다.
- 도 6은 유입공기 온도와 배기가스 혼합비 변화에 따른 제트 MILD 모델 연소기의 $EICO_2$ 값을 변화를 도시한 것이다.
- 도 7은 유입공기 온도, 배기가스 혼합률 및 총괄 스트레인율(Global strain rate) 변화에 따른 대향류 유동장에서 MILD 연소를 진행할 경우의 EICO값 변화를 도시한 것이다.
- 도 8는 본 발명에서 제시하는 상온공기 연소기에서 고온공기를 연속으로 공급받는 MILD 연소 시스템 구성에 대

한 개략도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0031] 이하 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 구체적으로 설명한다.
- [0032] 다만 본 발명의 권리범위는 특허청구범위와 균등 발명에까지 권리범위가 미친다는 것을 밝혀 둔다.
- [0033] 본 발명의 구성은 다음과 같다.
- [0034] 즉 상온공기(120)와 상온연료(110)를 공급받아 희박조건(당량비<<1) 상태에서 연소하여 상온공기 연소기의 배기가스에 소량의 NOx 및 다량의 CO가 포함되도록 하는 상온공기연소기(100);
- [0035] 상기 상온공기연소기(100)에서 배출되는 상온공기연소기 배기가스(210)를 외기로 배출됨이 없이, 상온의 공기(250)와 소정의 비율로 혼합하는 제어기가 구비된 혼합기(200);
- [0036] 상기 제어기에 의해 혼합된 고온혼합공기(280)를 연속적으로 받아들여 마일드(MILD) 연소가 이루어지는 MILD 연소기(300);
- [0037] 상기 마일드(MILD) 연소기(300)의 배기가스(350)의 열을 냉각수로 전달하는 열교환기(600); 를 포함하는 상온공기 연소기에서 고온공기를 연속으로 공급받는 마일드(MILD) 연소기이다.
- [0038] 상기 제어기(미도시)는 혼합비를 제어하는 장치이며 만약, 상온공기연소기 배기가스(210)와 상온공기(250)의 비율이 일정 비율로만 고정된 상태로 혼합될 경우라면 생략될 수 있는 구성요소이다.
- [0039] 상기 혼합기 및 상기 상온공기연소기에는 외부로의 열손실을 줄이는 단열부(미도시)가 더 형성될 수도 있다. 단 열부에 관한 기술은 공지사항으로서 상세 설명을 생략한다.
- [0040] 본 발명의 전체 공정도는 도 8에서 도시된 바와 같으며, 상온공기 연소기(100)에서 고온공기를 연속으로 공급받는 마일드(MILD) 연소기(300)를 포함한 연소 시스템 구성을 도시하고 있다. 본 발명의 연소 시스템은 두 단계로 나뉘어진다.
- [0041] 도 8과 같이, 상온의 연료와 상온의 공기를 받아들여 연소를 하는 단계는 상온공기연소기(100)에서 이루어지고, 이때 발생된 배기가스는 배출됨이 없이 상온의 공기(250)와 혼합되어 MILD 연소기(300)로 인입된다. 이때 MILD 연소기에 인입되는 공기류(즉, 배기가스 및 상온의 공기가 혼합된 공기류)는 저농도의 일산화질소(NO) 및 고농도의 일산화탄소(CO)를 함유하고 있다.
- [0042] 이어서 MILD 연소기(300)의 연소과정을 거침으로써 일산화탄소 농도가 매우 낮은 상태의 연소가스가 생성되는 것이 본 발명의 핵심적인 특징이며 그 근거 및 실험적 검증과정은 후술한다.
- [0043] 먼저 도 1은 도 8의 구성요소중 MILD 연소기(300)의 구성에 필요한 기초 정보를 얻기 위해 수행한 전산해석의 대상이 되는 제트 마일드(MILD) 모델 연소기의 기하학적 형상을 보여주고 있다.
- [0044] 도 1에서 Fuel 로 표기된 것은 도 8의 MILD 연소기(300) 입구에서 유입되는 상온연료(310)에 해당하며, Air로 표기된 것은 도 8의 고온혼합공기(280)에 해당한다. 도 8에 대한 자세한 사항은 후술한다.
- [0045] 연소가 이루어질 제트 MILD 연소장은 지름 120mm, 높이 1.2m의 원통형 벽면으로 한정된 공간이며 전산 해석을 위해 전체적으로 106만개 정도의 격자를 이용하여 3차원 격자계를 구성하였다.
- [0046] 제트 MILD 모델 연소기에 대한 전산해석은 ANSYS사의 FLUENT 13.0을 이용하여 수행되었다. 계산시간은 Clock speed 3.4 GHz를 갖는 Intel(R) i7-2600K CPU가 장착된 컴퓨터에서 7개의 코어(Core)를 이용한 병렬계산을 수행하여 조건 당 약 15시간 정도가 소요되었다.

[0047] 연료노즐은 내경이 5mm이며, 연료노즐 외부의 내경 70mm 영역에서 고온공기가 공급된다. 이때 연료와 주위 공기류의 유속은 각각 6m/s와 3m/s로 고정하였다.

[0048] MILD 연소를 구현하기 위한 연료는 도시가스의 주요성분인 CH₄를 사용하였다. 배기가스의 주요성분은 CH₄ 연료를 당량비 1.0조건으로 완전혼합 반응기(Perfectly-stirred reactor; PSR)에서 정상상태로 연소될 때의 배기가스 조성 중 주요 성분인 CO₂, CO, H₂O 및 N₂만을 배기가스로 간주하여 혼합하였다.

[0049] 이러한 배기가스 혼합비 변화에 따라 공기에 혼합할 경우 얻어지는 각 화학종의 몰분율은 표 1에 나타내었다. 여기서 배기가스 혼합비 Ω 는 다음식과 같이 정의된다.

수학식 1

$$\Omega = \frac{\text{혼합된 배기가스 체적}}{(\text{공기} + \text{혼합된 배기가스 체적})}$$

[0050]

표 1

[0051]

화학종	배기가스 혼합비(Mixing rate; Ω)			
	0.0	0.3	0.5	0.7
O ₂	0.21	0.147	0.105	0.063
N ₂	0.79	0.766	0.750	0.734
CO	0.00	0.003	0.005	0.007
CO ₂	0.00	0.027	0.045	0.063
H ₂ O	0.00	0.057	0.095	0.133

[0052]

[0053] 연료의 온도는 300K으로 고정하였고, 공기류의 온도는 900K, 1100K, 1300K으로 변화시켰으며, 공기류 중의 연소생성물 혼합비는 표 1과 같은 조건으로 변화시키면서 계산을 수행하였다.

[0054] 벽면의 온도는 기존의 MILD 연소기 실험결과들을 참조하여, MILD 연소기 벽면온도와 유사한 범위에 있도록 900K으로 고정시켰으며 유속에 대해서는 벽면 경계조건을 부여하였다. 제트 연소장의 하류출구에서는 출구 경계조건으로 처리하였다.

[0055] 유입공기류의 온도 변화와 배기가스 혼합비 변화에 따른 각 조건에서의 총괄 당량비(Global equivalence ratio)를 표 2에 나타내었다.

표 2

[0056]

유입공기류 온도 (K)	배기가스 혼합비(Mixing rate; Ω)			
	0.0	0.3	0.5	0.7
900	0.29	0.42	화염형성 안됨	화염형성 안됨
1100	0.36	0.51	0.71	화염형성 안됨

1300	0.42	0.60	0.84	1.41/0.70
------	------	------	------	-----------

[0057]

[0058] 표 2에서 보는 바와 같이 유입공기류의 온도를 고정된 상태에서 배기가스 혼합비를 증가시키면 유입공기류의 유속을 고정시킨 상태이기 때문에 총괄 당량비는 점차 증가하게 된다.

[0059] 유입공기류의 온도가 1300K의 경우 배기가스 혼합비가 0.7이 되면 총괄 당량비가 1.41이 되어 공급되는 연료를 전부 연소시킬 수 없는 조건이 된다. 따라서 이 조건에 대해서는 배기가스 혼합비를 0.7로 유지시키면서 유입공기류의 유량을 2배로 증가시켜 공급되는 연료가 전부 연소될 수 있는 조건에 대해서도 추가적으로 검토하였다.

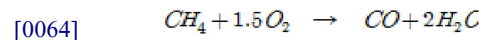
[0060] 또한 유입공기류의 온도가 낮은 경우에는 배기가스의 혼합비가 너무 증가하게 되면 화염 안정성이 나빠지게 되어 화염이 형성되지 않음을 확인할 수 있었다.

[0061] 전산해석을 위해 유동의 해석은 수정된 표준 k-난류모델을 이용하였다. 복사효과를 고려하기 위하여 DO(Discrete Ordinates)법과 WSGM(Weighted Sum of Gray Gases Model)을 사용하였다.

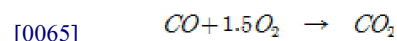
[0062] 또한 연소반응의 계산을 위하여 최근 연구들에서 MILD 연소특성 검토에 적합하다고 알려진 EDC(Eddy Dissipation Concept) 모델을 사용하였다.

[0063] 이 모델은 Arrhenius 형태의 화학반응률을 고려할 수 있는데, 본 발명에서는 다음과 같은 3단계의 총괄 화학반응식을 고려하였다.

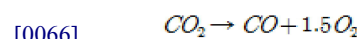
화학식 1



화학식 2



화학식 3



[0067] MILD 연소장에서의 일산화질소(NO) 발생량을 고찰하기 위해서 썬열(Thermal) NO와 프람프트(Prompt) NO의 생성이 고려되도록 하였다.

[0068] 도 2는 공기류의 온도를 900K, 1100K 및 1300K으로 공급했을 때 배기가스 혼합비에 따른 연소기 내부의 온도분포를 보여주고 있다.

[0069] 도 2의 결과는 배기가스 혼합비가 증가할수록 화염 최고온도는 점차 낮아지게 되고 온도가 연소장 전체에 걸쳐 균일하게 나타나게 되어 MILD 연소특성을 가짐을 보여주고 있다.

[0070] 도 3은 제트 MILD 모델 연소기 내부의 최고온도를 보여주는 것으로서 최고온도는 배기가스 혼합비와 유입공기의 온도에 따라 달라짐을 보여주고 있다.

[0071] 마일드(MILD) 연소의 정의에 의하면 유입공기의 온도는 연료의 자발화온도(Auto-ignition temperature) 이상이 되어야 하며, 연소에 의한 온도상승은 유입공기 온도보다 낮아야 한다.

[0072] CH₄의 자발화온도는 구체적인 조건에 따라서 약간씩 상이하지만 문헌의 결과들을 종합해 보면 대략 810K ~ 905K 정도에 이른다.

[0073] 만약 CH₄의 자발화온도를 850K 정도라고 한다면 유입공기의 온도가 1100K의 조건에서는 배기가스 혼합비가 대략 0.35 이상일 때 최고온도가 1950K(유입공기 온도 : 1100K + 자발화온도 : 850K)보다 낮게 되어 전 연소장에서 MILD 연소가 구현되었다고 할 수 있다.

[0074] 또한 유입공기의 온도가 1300K의 조건에서는 배기가스 혼합비가 대략 0.25 이상일 때 최고온도가 2150K보다 낮아지게 되어 전 연소장에서 MILD 연소가 구현되었다고 할 수 있다.

[0075] 오염물질 배출특성을 정량화하기 위하여 아래 수학적식 (2)와 같이 정의되는 배출지수(Emission index)를 도입하였다.

[0076] 여기서 배출지수는 물리적으로 공급되는 연료 1kg에 대해 배출되는 NO, CO 및 CO₂의 질량(g 또는 kg)을 나타내는 것으로서 연소조건이 다양할 때 각 조건에 대한 오염물질 배출량을 정량적으로 고찰하기에 매우 적합한 물리량이다.

수학적식 2

$$EI_i = \frac{\text{생성된 화학종 } i \text{의 질량}}{\text{소모된 연료의 질량}} = \frac{(\dot{m}_{tot} \times Y_i)_{outlet} - (\dot{m}_{air} \times Y_i)_{inlet}}{(\dot{m}_{CH_4})_{inlet} - (\dot{m}_{tot} \times Y_{CH_4})_{outlet}}$$

[0077]

[0078] 수학적식 (2)에서 $\dot{m}_{CH_4}$ 는 연료의 질량유량, $\dot{m}_{air}$ 는 배기가스 성분을 포함한 공기류의 질량유량을 의미한다. 또한 $\dot{m}_{tot}$ 은 원형관에서 배출되는 총 질량유량으로서 입구에서 공급되는 $\dot{m}_{CH_4} + \dot{m}_{air}$ 로부터 계산된다. Y_i 는 고려되는 화학종의 질량분율이다. 하첨자 inlet과 outlet은 입구와 출구위치를 의미한다.

[0079] 수학적식 (2)를 이용하여 배출지수를 정의하기 위해서는 연소기 배출구의 반경방향 농도가 균일하여야 한다. 배출구에서의 각 화학종 농도분포를 확인한 바에 의하면 농도 변동치는 최대 2-3% 정도로서 수학적식 (2)를 이용하여 배출지수를 계산하여도 무방함을 확인하였다.

- [0080] 도 4의 제트 MILD 모델 연소기의 EINO값(NO의 배출지수(EI)) 변화를 보면 유입공기류의 온도와 배기가스 혼합비가 증가함에 따라 NO의 배출량은 현저히 감소됨을 알 수 있다. 또한 동일한 배기가스 혼합비에서는 유입공기류의 온도가 높아질수록 NO 배출량은 많아지는 것을 알 수 있다.
- [0081] 그러나, 유입공기류의 온도가 높아지면 충분히 높은 배기가스 혼합비까지 화염을 유지시킬 수 있기 때문에 NO 배출량을 줄이는데 더욱 효과적임을 알 수 있다.
- [0082] 도 4에서 상온공기(300K)를 이용한 통상연소에 대한 EINO값과 유입공기류 온도를 높이고 배기가스 혼합비를 높인 MILD 연소에서의 EINO값을 비교하면 MILD 연소조건에서 훨씬 적은 양의 NO가 발생하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 기존의 MILD 연소의 장점을 다시 한번 잘 확인시켜 주고 있다.
- [0083] 도 5의 제트 MILD 모델 연소기의 EICO값 변화를 보면 유입공기류의 온도와 배기가스 혼합비가 증가함에 따라 CO의 배출량은 점차 감소됨을 알 수 있다.
- [0084] 각 유입공기류 온도조건에 대해 배기가스를 조금만 첨가, 희석하여도($\phi > 0.05$ 영역) 상온공기를 이용한 통상연소에서의 EICO값보다 작은 EICO값을 갖게 되는 것을 확인할 수 있다.
- [0085] 도 5에서 유입공기류 온도가 1300K이고 배기가스 혼합비가 0.7인 조건에서 총괄 당량비가 1.41의 경우에는 공급되는 연료를 충분히 연소시킬 수 없을 정도의 공기가 공급되기 때문에 불완전 연소에 의해 CO는 급격히 증가하게 된다.
- [0086] 그러나 유입공기류 온도가 1300K이고 배기가스 혼합비가 0.7인 조건에서도 총괄 당량비를 0.70이 되어 충분한 산소를 공급하게 되면 EICO의 값은 급격히 줄어들게 된다.
- [0087] 도 5의 결과에서 매우 특이한 현상은 배기가스 혼합비가 특정값 이상에서는 EICO값이 음(-)의 값을 갖는 것이다. 이러한 현상은 유입공기류에 배기가스 성분으로 포함된 CO 조차 MILD 연소장에서 소멸된다는 것을 의미한다.
- [0088] 도 5의 EICO 경향은 MILD 연소는 CO의 저감에도 매우 효과적임을 단적으로 보여주는 결과로서, MILD 연소과정에서는 CO를 적게 생성시킬 뿐만 아니라 MILD 연소실에 별도의 CO를 공급하더라도 공급된 CO를 소멸시키는 메카니즘을 포함하고 있음을 보여주고 있다.
- [0089] 도 6의 EICO₂ 경향을 보면 도 5에서 설명하였던 연소상태를 잘 알 수 있다. 각 조건별로 공급되는 연료량을 고정시켰기 때문에 연료가 완전 연소되었을 때 발생하는 CO₂의 양은 고정되어 있으며, 완전 연소반응식을 이용하여 EICO₂를 구해보면 2.75(kg/kg)의 값을 갖게 된다.
- [0090] 따라서 도 6에서 배기가스 혼합비가 증가된 구간에서 대략 2.75(kg/kg)값보다 EICO₂가 높게 나오는 것은 공급되는 연료에서 발생한 CO₂에 기인한 것이 아니라 유입공기류에 배기가스 성분으로 희석된 CO가 CO₂로 변환된 것임을 명확히 보여주고 있다.

- [0091] 도 7에서는 제트 MILD 모델 연소기의 결과와 비교하기 위하여 대향류 연소장에서 MILD 연소조건을 구현했을 때 전산화석을 통해 얻어진 EICO 결과를 보여주고 있다.
- [0092] 도 7의 결과는 CH₄의 연소과정 해석에 매우 적합한 것으로 알려져 있는 53개 화학종과 325개의 가역반응으로 구성된 GRI(Gas research institute)-v3.0 화학반응기구를 적용하여 얻은 것이다.
- [0093] 도 7에서 보는 바와 같이 배기가스 혼합비를 0.7로 고정하고 유입공기류의 온도를 변화시켜 보았을 때 도 6의 결과와 유사하게 EICO값이 음(-)의 값을 갖는 것을 다시 한번 확인할 수 있으며 이 결과가 화학반응기구의 차이에 기인한 것이 아님을 확인할 수 있다.
- [0094] 따라서 MILD 연소장에서는 공급되는 CO를 소멸시키는 메카니즘을 포함하고 있는 것을 확인할 수 있다. 이러한 MILD 연소장에서의 CO 소멸 메카니즘은 기존의 연구에서 밝혀지지 않은 매우 독특한 현상이다.
- [0095] 이러한 MILD 연소장에서의 CO 소멸 메카니즘을 적절히 이용한다면 기존의 MILD 연소시스템의 구성을 획기적으로 개선할 수 있다.
- [0096] 이하 도 8을 참조하며 본 발명의 연소 공정 단계를 구체적으로 설명한다. 상술된 바와 같이, 도 8은 본 발명에서 제안하는 MILD 연소기 구성도로서, 기존의 MILD 연소기 구성과는 근본적으로 다르게 재생기가 필요하지 않다. 종래의 MILD 연소에 구비된 재생기는 연소용 공기를 고온상태로 만들기 위한 장치였다.
- [0097] 본 발명에서 제안하는 MILD 연소시스템은 도 5와 7을 참고로 상술한 MILD 연소장의 CO 소멸 메카니즘을 이용하여 오염물질 배출특성이 매우 우수한 새로운 형태로 구성된다.
- [0098] 본 발명의 MILD 연소시스템의 구성은 도 8에서 보는 바와 같이 상온공기(120) 및 상온연료(110)를 이용하는 상온공기연소기(100)와, 상온공기 연소기의 배기가스와 새로 유입되는 상온공기를 혼합시키는 혼합기(200)와, 종전의 MILD 연소시스템에 필수요소이었던 재생기를 필요로 하지 않는 MILD 연소기(300) 및, 기체-액체(Gas-to-liquid)간 열교환기(600)를 포함한다. 즉 상온공기연소기(100)로부터 배출된 연소가스 및 상온의 공기(250)가 혼합된 고온의 공기를 연속적으로 MILD 연소기(300)에서 연속적으로 공급받는다.
- [0099] 다시 구체적으로 설명하면 본 발명의 연소 공정은 두 단계로 나뉘는데, 상온의 연료와 상온의 공기를 받아들여 연소를 하는 단계는 상온공기연소기(100)에서 이루어지고, 이때 발생된 배기가스는 배출됨이 없이 상온의 공기(250)와 혼합되어 MILD 연소기(300)로 인입된다. 이때 MILD 연소기에 인입되는 공기류(즉, 배기가스 및 상온의 공기가 혼합된 공기류)는 저농도의 일산화질소(NO) 및 고농도의 일산화탄소(CO)를 함유하고 있다. 이어서 MILD 연소기(300)의 연소과정을 거침으로써 일산화탄소 농도가 매우 낮은 상태의 연소가스가 생성되는 것이 본 발명의 핵심적인 특징이다.
- [0100] 도 8의 MILD 연소시스템의 최초 연소가 이루어지는 상온공기 연소기(100)에서는 상온공기(120) 및 상온공기연소기용 연료(110)를 이용한 통상적인 연소에서는, 상온공기 연소기의 연소조건은 CO의 배출량은 높은 반면, NO_x의 배출량이 충분히 낮도록 총괄 당량비를 1보다 충분히 작은 희박한 상태가 되도록 운전한다. 이렇게 상온공기 연소기를 운전하게 되면 상온공기 연소기의 배기가스에는 적은 양의 NO_x가 포함되지만 CO의 양은 많이 포함될 수가 있다.
- [0101]
- [0102] 통상의 연소기에서 NO_x와 CO의 배출특성은 서로 반대의 경향을 갖기 때문에 NO_x를 줄이면 CO가 증가하

고 CO를 줄이면 NOx가 증가하여 NOx와 CO를 동시에 저감시키는 기술의 개발은 쉽지 않다.

- [0103] 그러나, 본 발명에서 제시하는 연소시스템의 상온공기 연소기(100)는 저NOx만 달성할 수 있는 조건에서 운전하면 되기 때문에 화염 안정성에만 초점을 두어 설계하면 되므로 매우 단순한 구조를 가질 수 있다.
- [0104] 상온공기 연소기(100)에서 배출되는 고온의 배기가스(210)는 혼합기(200)에서 상온의 유입공기와 혼합되어 전체적인 산소의 농도는 낮아지면서 고온상태의 공기류를 형성시킬 수 있다.
- [0105] 이때 원하는 공기류의 온도와 산소의 농도에 따라 상온공기 연소기의 배기가스량과 새로 공급되는 상온 공기량만을 조절하여 MILD 연소기(300)에 투입시킨다. 이때 별도의 재생기가 필요하지 않고, MILD 연소기(300) 연소실로 공급되는 고온공기류의 온도와 산소농도의 제어가 매우 용이해진다.
- [0106] 상온공기 연소기의 연소실과 혼합기(200)에는 주위 공기로의 열손실을 최소화하기 위하여 주위 공기와 의 단열부(미도시)를 갖도록 구성하거나, 혼합기(200)로 유입되는 상온공기가 연소실 주변을 순환하여 상온공기 연소기 연소실에서 손실되는 열을 회수하여 혼합기(200)로 공급되도록 구성할 수 있다.
- [0107] 이렇게 온도와 산소농도가 원하는 값으로 제어된 고온공기인 고온혼합공기(280)를 MILD 연소기(300)의 연소실 내부로 공급하며, 그와 동시에 MILD 연소를 위한 별도의 상온 연료(310)도 공급한다. 도 8에서 부호 280은 부호 210의 배기가스와 부호 250인 상온공기(250)가 혼합된 흐름에 해당한다.
- [0108] 도 8의 MILD 연소기(300)에는 배기가스가 이미 포함된 고온혼합공기(280)가 유입되기 때문에 상온 연료(310)를 고온혼합공기류 방향으로 분사하도록 하면 되어 연소실 내부의 구조도 단순해질 수 있다.
- [0109] MILD 연소기(300) 연소실에서는 최고 화염온도가 높지 않으면서 균일한 온도분포를 갖는 MILD 연소가 진행된다. 이 때 공급된 고온공기류에는 상온공기 연소기(100)에서 발생한 NOx와 CO도 포함되어 있게 된다.
- [0110] 한편, 상술된 상온공기 연소기(100)는 저 NOx 조건으로 운전되므로, MILD 연소실(300)에 유입되는 고온 혼합공기(280)는 저농도 NOx, 고농도 CO의 상태이다.
- [0111] 도 5와 7에서 확인한 바와 같이 마일드(MILD) 연소장에서는 CO의 소멸 메카니즘이 확인된 바, MILD 연 소기 연소실에 공급되는 저농도 NOx 및 고농도 CO 인 배기가스 즉, 상온공기연소기배기가스(210)는, MILD 연소 실의 연소과정을 통해 나오는 MILD 연소기 배기가스(350)는 NOx는 낮은 농도를 그대로 유지한 채로, 고농도의 CO는 그 농도가 매우 줄어든다.
- [0112] 냉각수(400)로 열을 전달한 뒤, MILD 연소기 배기가스(350)는 냉각수(400)에 열을 전달한 뒤, 저온상태가 되어 최종적인 저온배기가스(500)는 전체적으로 매우 낮은 NOx와 CO 농도로 배출된다.
- [0113] 이러한 점이 바로 본 발명에서 가장 강조하고자 하는 본 발명의 특징인 것이며 녹스(NOx) 및 일산화탄소 배출을 저감시키는 공정 과정이다.
- [0114] 또한 MILD 연소기(300) 연소실은 주변 공기로의 열손실을 줄일 수 있는 단열부를 가지며, 연소실의 연소 열은 다시 유입공기로 순환하지 않고 배출되게 되는 데, 이 과정에서 기체-액체간의 열교환기(600)를 통해 배기 가스 중의 물을 응축시킬 수 있을 정도의 낮은 온도까지 배기가스 온도를 낮춤으로써 높은 열효율을 가질 수 있

다.

[0115] 현재의 기술로도 기체-액체간의 열교환기 전열효율은 충분히 높은 상태이다. 콘텐싱보일러 등에도 이미 이러한 고효율의 기체-액체간 열교환기를 적용하고 있기 때문에 이러한 기체-액체간 열교환기 장착에는 큰 어려움이 없다.

[0116] 오히려 MILD 연소기 내부에서는 그다지 높지 않으면서 균일한 온도분포를 갖기 때문에 열교환기를 MILD 연소장 내부에 설치할 경우 기존의 통상 연소기에서보다 열교환기 내구성을 유지하는 측면에서 유리하고 균일한 열전달을 통해 전열효율을 더 높일 수 있는 추가적인 장점이 있다.

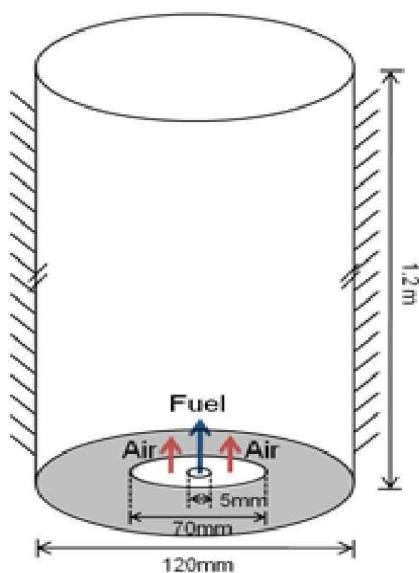
[0117] 본 발명의 바람직한 실시 예를 도면을 참조하여 설명하였으나 당업자 수준에서 용이하게 변형 가능한 발명은 모두 본 발명의 권리범위에 속함은 자명하다는 것을 밝혀둔다.

부호의 설명

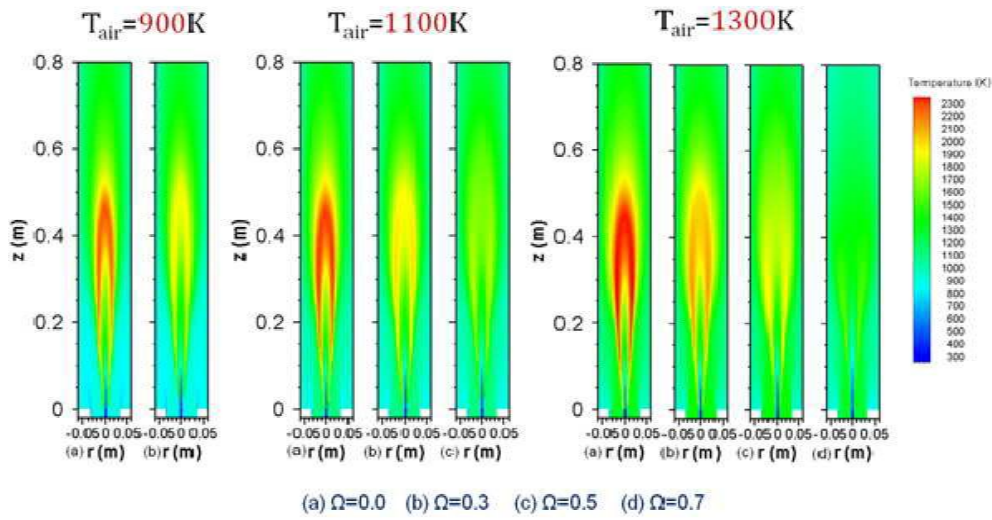
[0118] 100: 상온공기연소기
 110: 상온공기연소기용 연료 120: 상온공기
 200: 혼합기 210: 상온공기 연소기 배기가스
 250: 상온공기 280: 고온혼합공기
 300: 마일드(MILD) 연소기 310: 마일드(MILD) 연소기용 연료
 350: 마일드(MILD) 연소기 배기가스 310: 상온연료
 400: 냉각수 500: 저온배기가스 600: 열교환기

도면

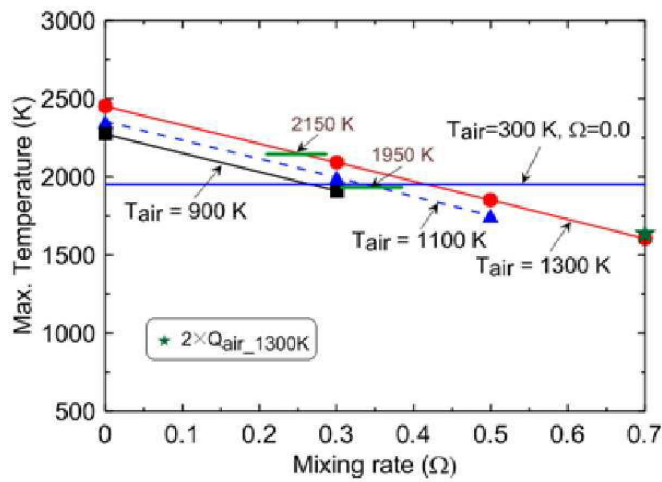
도면1



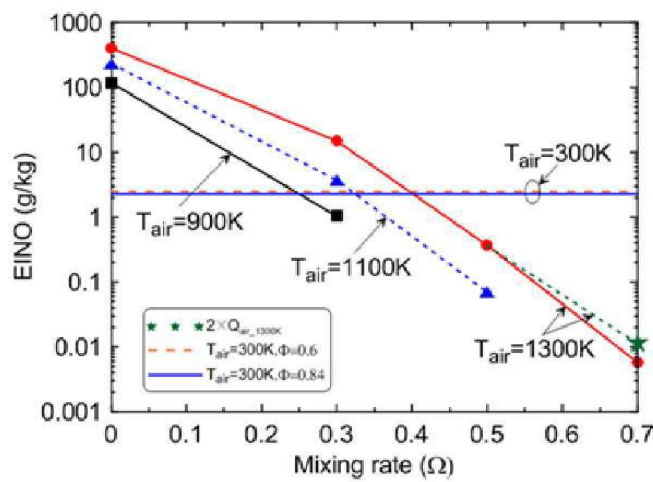
도면2



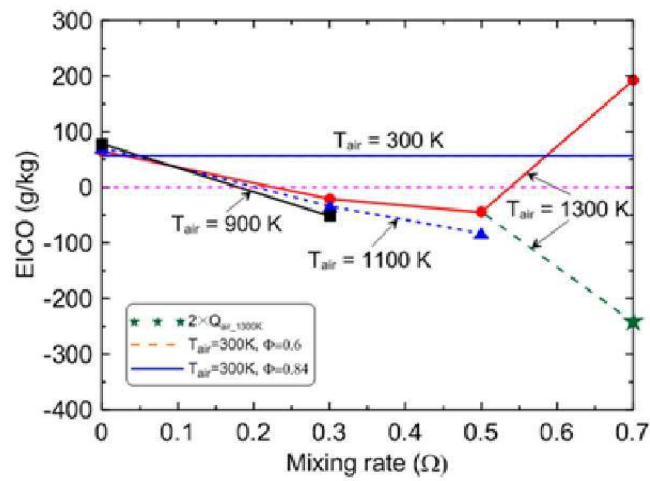
도면3



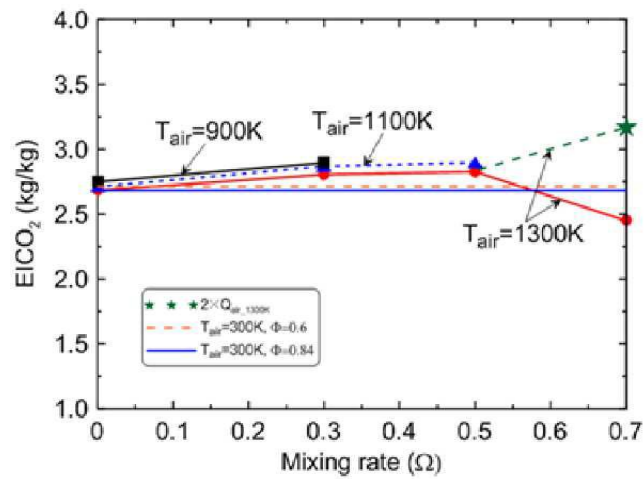
도면4



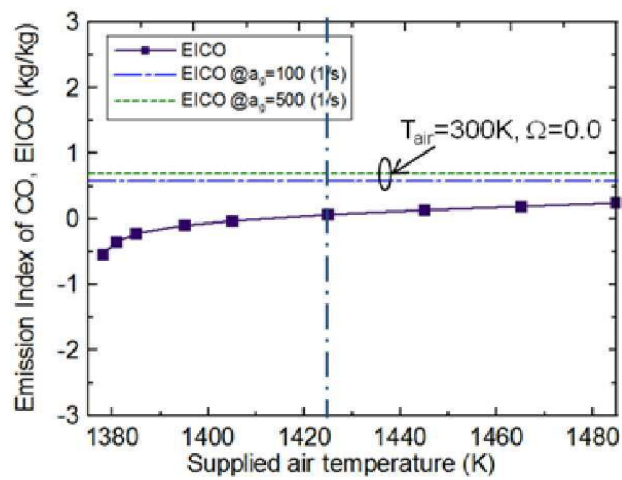
도면5



도면6



도면7



도면8

