

막분리법을 이용한 산소부화공기의 제조와 연소장치에의 응용

박 준 택

한국에너지기술연구소

1. 서 론

막분리(membrane separation)법은 막 전후의 압력차, 농도차 등을 추진력(driving force)으로 하여 분리대상물질에 대한 막의 선택투과성 차이를 이용, 분리를 행하는 것이다. 이 분리법은 기존의 분리공정인 심냉법(cryogenic separation)과는 달리 상변환 공정이 필요없어 에너지가 적게 들고 또한 PSA(pressure swing adsorption)법에서와 같은 cycle 운전이 필요없어 연속적으로 분리가 가능하며 시스템도 간단하다.

최근 기체 막분리의 경우 수소 및 탄산가스의 회수정제, 공기중의 산소와 질소의 분리 등에 실용화되고 있다. 여기서는 공기중의 산소를 분리하여 30-40%의 산소부화공기(oxygen enriched air)를 간편하게 제조할 수 있는 산소부화막장치와 연소장치에의 응용기술 및 연구결과에 대해 간략히 소개하고자 한다.

2. 막 소재

산소부화막은 일반적으로 유기고분자 소재로 구성된 물리적으로 세공이 없는 비다공질막(non-porous)이 사용되고 있으며, 막내에서의 질소와 산소의 투과성 차이를 이용하여 공기중에 21% 함유된 산소를 보다 높은 농도(30-40%)로 부화할 수 있는 막이다.

막 소재를 사용하여 산소부화막으로서 실용화할 때 요구되는 것은 얻을 수 있는 산소부화공기의 농도와 투과량이다. 따라서 막소재에 요구되는 기본조건은 분리계수와, 투과량 관련인자인 산소투과계수 및 막 두께이다. 즉 분리계수가 높은 소재일 수록 고농도의 산소를 얻을 수 있고, 산소투과계수가 높은 소재일 수록 산소투과량이 증대되며, 막 두께가 얇을 수록 투과량이 증대된다. 그리고 압력차와 막면적이 클 수록 투과량이 증대되나, 압력차와 막면적의 증가는 장치의 대형화를 가져와 바람직 하지 않다 그러므로 소재의 박막화 또는 복합박막(thin film composit)의 제조기술이 필요하다.

산소부하막 소재로서는 각종 **polymer**가 있지만, 산소투과계수와 분리계수는 거의 반비례 관계가 있으므로, 소재의 개발방향은 산소투과계수를 저하시키지 않으면서 분리계수를 향상시키는 방향으로 진행되고 있다.

3. 막 모듈

막을 실용화하기 위해서는 선택한 막을 일정한 용기중에 고밀도로 충전하여 공급가스 및 투과가스, 그리고 잔류가스측이 별도로 배관과 연결가능한 구조의 단위로 조립해야 하는데, 이를 **module**이라 하며 용기를 제외한 부분을 **element**라고 한다.

산소부하막 모듈에는 평막형(**plate & frame type**), 나권형(**spiral wound type**) 및 중공사형(**hollow fiber type**)이 있다. 각 모듈의 형식별 특징을 비교하면 다음과 같다. 평막형은 막의 지지체 구조가 복잡하고 막충진밀도가 적기 때문에 비교적 처리량이 적은 경우에 적합하다. 나권형 및 중공사형은 막의 지지체 구조가 간단하고 막충진밀도가 크므로 처리량이 적은 것부터 큰 경우까지 적용가능하다.

나권형은 중공사형에 비하여 막충진밀도가 작지만 단위면적당 투과량이 크고 압력손실이 적어 조작압력이 낮아도 된다. 중공사형은 투과량이 적으므로 가압식으로 운전하는 경우가 많으며, 나권형은 투과량이 크므로 진공식으로 운전가능하다.

산소부하막 모듈로서는 일반적으로 중공사형 또는 평막형이 바람직하며 개발의 주류로 되고 있다. 제조회사들은 모듈을 설계함에 있어서 각사의 막소재나 고유기술을 토대로 형식과 구조에 관한 연구를 계속하고 있는데, 공업용에서는 모듈의 비용과 운전비를 최소로 하는 구조설계가 요구된다.

4. 막 장치

막모듈을 장치화하는 방식에는 진공방식(**vacuum mode**)과 가압방식(**pressurized mode**)이 있다.

진공방식은 분리막 내외의 기체투과의 추진력으로 되는 압력차를 얻기 위해 진공펌프로써 막내부를 부압으로 하는 방식이며, 주요 구성기기로는 모듈유닛, 진공펌프, **blower** 등이 있다. **blower**는 부화공기발생량에 대한 공급공기량의 비와 산소농도와의 관계를 파악하여 선정하며, 공급공기량이 많을 수록 산소부화농도는 이론치에 가깝게 되지만 농도 향상 효과와 **blower** 동력비를 검토하여 공기공급량을 선정한다.

가압방식은 공기압축기에 의해 막의 외측으로부터 가압공기를 공급하는 방식이며, 주요 구성기기로는 모듈 유닛과 공기압축기가 있다. 압축기의 동력비를 고려하여 공기공급량을 설정해야 한다.

가압식과 진공식의 특징을 비교하면, 가압식은 진공식에 비해 압력차가 크기 때문에 모듈 유닛당 산소부화공기의 발생량이 다량으로 된다. 따라서 동 용량의 산소부화장치에서 모듈유닛량을 줄일 수 있어 장치의 소형화가 가능하다는 특징을 가지고 있다. 그러나 처리하는 공기의 전량을 송풍, 압축해야 하므로 다량의 공급공기를 가압하는데 소요되는 동력비가 커서 운전비용이 높게 된다. 이에 비해 진공식은 처리된 산소부화공기만을 흡입하기 때문에 송풍기의 동력비와 운전비용을 줄일 수 있다. 따라서 일반적으로 가압식은 소용량의 장치에 적합하다 할 수 있다.

5. 산소부화연소

5-1. 산소부화연소의 효과

통상의 연소반응에 관여하는 산소의 양은 송풍공기량의 21% 밖에 되지 않는다. 이에 비해 산소부화연소((Oxygen Enriched Combustion)에서는 인위적으로 통상의 공기보다 산소농도가 높은 공기, 즉 산소부화공기로 연소시킴으로서 일반적으로 다음과 같은 효과를 얻을 수 있다.

(1) 화염온도가 높게 되어 전열효과가 촉진된다.

(2) 연소용공기량이 줄어들므로 인해 연소생성가스량이 적게되어 배가스열손실이 감소한다.

일반적으로 산소농도가 증가함에 따라 배가스열손실량이 감소하지만 반면에 대기오염물질의 하나인 질소산화물(NO_x)의 농도는 증가된다. 따라서 NO_x 저감과 에너지절약을 동시에 달성할 수 있는 연소법 개발이 요구된다.

5-2. 산소부화연소방법

산소부화연소방법에는 보조부화(supplemental oxygen enrichment)와 동량부화(equivalent oxygen enrichment)가 있으며, 산소부화연소에 의해 얻고자 하는 효과에 따라 그 방법을 달리한다. 보조부화법은 기존의 기존의 송풍량을 유지하면서 여분의 산소부화공기를 첨가시켜 산소함량을 증가시키는 방법이며, 일반적으로 생산속도를 증대시키고자 할 때 이용된다. 반면, 동량부화법은 기존의 송풍량을 줄이고 줄어든 양만큼에 해당하는 산소를 공급해 주는 방법으로, 일정 생산속도를 유지하면서 연료절감을 꾀하고자 할 경우 사용된다.

5-3. 산소부화연소 적용결과

창원 주물단지에 소재한 아주금속의 열풍수냉식 5톤 큐포라를 실험대상으로 선정하여 약 6개월 간 PSA법에 의한 산소부화연소 조업을 실시하고 소기의 목적을 달성하였다. 산소부화방법은 코우크스 절감을 목적으로 동량부화방식을 적용하여 산소부화로 인해 상승된 온도분만큼의 코우크스 장입량을 조정하였다. 또 장입비는 코우크스외에는 기존조업과 동일하게 하였으며 송풍량은 $54\text{-}58\text{Nm}^3/\text{min}$, 산소부화율은 0.5-4%로 단계적으로 변화시켜 가면서 실험하였다. 이때 부화율은 21시간 이상의 연속조업로이기 때문에 내화물 손상이 조업에 지장을 주지 않도록 하기 위해 비교적 저부화율에서 하게 되었다. 본 실험을 통하여 얻은 결과는 다음과 같다.

- (1)산소주입방법 : Injection tube 및 Diffuser 방식간의 효과 차이는 뚜렷하지 않으나 Diffuser 방식이 다소 좋게 나타났다.
- (2)적정산소부화농도 : 22.5-23%
- (3)산소부화조업 가능시간 : 18시간 이상 연속조업 가능
- (4)산소발생장치 용량 : $70\text{Nm}^3/\text{hr}$
- (5)코우크스 절감 약 3.5% 및 용해속도 0.5% 증대 효과로
약 15년에 투자비 회수

6. 결 론

산소부화연소기술은 고온 연소로에 적용시 에너지절약 및 생산성 증대 등 효과를 꾀할 수 있는 유효한 기술이다. 그러나 현재와 같은 저유가하에서는 주물용해로를 제외한 다른 로의 경우 경제성을 기대하기 어렵다. 금후 막장치의 고성능화 및 저가의 장치개발로 보다 저렴한 산소부화공기의 제조기술과 함께 각종 연소로에 대한 응용기술 개발이 막장치의 경제성을 높이기 위한 기술적 과제라 하겠다.