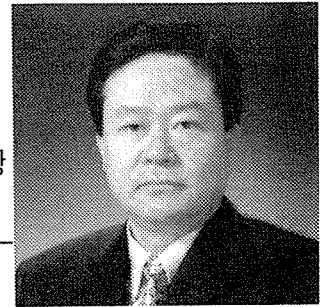


발전보일러 배열회수 증대기술 Technology for maximizing waste heat recovery in powerplant



에너지관리공단 진단지도실장

기술사 김 하 연

T : (0342)7106-140

국내 산업부문에는 현재 75개소 이상의 병합발전설비가 가동중이며 일반적으로 열병합발전시설을 보유한 업체는 에너지다소비업체이기 때문에 에너지관리자의 기술수준이 열병합발전설비를 보유하지 않은 업체에 비해 상대적으로 높다. 또한 보일러급수로 순수를 사용하고 있고 발전보일러의 배가스 최종배출온도도 150~200℃ 범위로서 일반업체의 200~300℃보다 월등히 낮게 배출되고 있을 뿐만 아니라 보일러효율도 평균 90% 수준의 고효율로 운전되고 있어서 더 이상의 보일러 효율향상이나 배열회수강화에 대해서는 특별히 에너지절약에 관심이 높은 업체가 아니면 고려하지 않고 있는 실정이다.

그러한 주된 원인은 B-C유 사용시 보일러의 배가스 온도를 150℃이하로 낮추면 배가스에 함유된 유황성분에 의한 저온부식이 발생하기 때문에 대부분의 업체에서 저온부식을 피하기 위하여 배가스 온도를 황산가스노점온도 이하로 낮추지 않고 있다.

그러나 주 연료인 B-C유 가격이 지난 1-2년 사이에 지속적으로 상승하여 90-120원/ℓ 수준에서 지금은 190-200원/ℓ 수준까지 인상되어 기업의 연료비 부담이 크게 가중되었으며 국제적인 에너지전문가들의 공통된 견해도 향후 에너지가격은 완만하나 지속적인 상승을 예측하고 있어서 최근에는 열병합발전보일러 등 대용량보일러를 보유한 업체를 중심으로

보일러 배가스 폐열회수 강화필요성에 대한 관심이 크게 증가되고 있어서 이와 관련한 기술과 개략적인 투자경제성을 소개하고자 한다.

◎ 저온부식 방지대책

저온부식을 피하기 위한 가장 보편적인 방법은 배가스의 산로점을 측정하여 배가스 온도를 로점 이상으로 유지하는 것이며 배가스의 산로점을 직접 측정하는 방법으로는 배가스를 이중수냉관 등으로 서서히 온도를 떨어트리면서 여과판을 통과시키고 여과판 위에 전기전도도를 측정할 수 있는 전극을 설치하면 산로점이 될 때 전도도가 급격하게 증가하므로 이때의 온도를 읽으면 비교적 용이하게 산로점을 측정할 수 있다.

배가스중의 SO₃가 H₂O와 결합하여 H₂SO₄가 되어야만 저온부식이 일어나게 되므로 실제 산로점 측정과 관계되는 성분은 H₂SO₄로서 SO₃와 직접 관계는 없다. 일반적으로 배가스 온도가 370℃를 넘으면 모든 H₂SO₄는 H₂O와 SO₃로 해리 되므로 순수한 SO₃와 물을 섞어서 보낼 때도 370℃를 넘으면 산로점은 나타나지 않기 때문에 저온부식이 발생하지 않으나 370℃ 이하에서는 H₂SO₄가 생기기 시작하며 205℃ 이하가 되면, 배가스중의 SO₃는 거의 전부 H₂SO₄가 되므로 저온부식이 발생하게 된다. 저온부식을 피하기 위하여 우리가 흔히 사용하는 방법으로는

- 첫째 유황성분이 적은 연료를 사용하고
- 둘째 SO₂의 SO₃전환반응을 억제하며
- 셋째 생성된 SO₃가스가 H₂SO₄가 되지 않도록 하거나
- 넷째 배가스 온도를 산로점 이상으로 운전하고

다섯째 황산에 부식되지 않는 내식성재료를 사용하는 방법이 이용되고 있다. 또한 연료 중의 유황농도를 1%까지 낮추는 것은 서온부식방지에 매우 효과적이거나 1% 이하시에는 그 효과가 상대적으로 감소되는 것으로 알려져 있으며 공기비가 1.15 이상이 되면 SO₂의 SO₃전환이 급격히 증가하여 저온부식이 크게 증가되므로 가급적 연소용 공기비를 낮게 유지하는 것도 저온부식 방지에 효과적이다.

◎ 열교환기 재질별 특성

폐열회수를 위한 각종 금속계 열교환기의 경우 철강재료인 탄소강 및 저합금강, 주철, 스테인레스강과 기타의 합금강, 비철재료인 구리, 알루미늄과 그들의 합금으로 분류할 수 있으며 미국의 Buttele 연구소에서 90여종의 금속재료에 대한 부식실험을 실시한 결과 다음과 같은 재질은 응축형 열교환기 재질로 적합하지 않다는 결론을 얻었다.

- 탄소강, 저합금강, 주철
- 크롬성분이 없는 니켈합금
- 몰리브덴성분이 없는 니켈크롬합금
- 모든 구리 및 알루미늄 합금
- 주석, 아연, 카드뮴

금속재료중 저온부식현상이 없는 재료로는 규소철, 티타늄, 페라리움, 인코넬, 하스텔로이 등이 있으나 대부분 가격이 고가로서 특수용도에만 사용하고 있을 뿐이어서 폐열회수용 범용열교환기로는 경제성이 매우 낮다.

황산증기나 수용액에 대한 내식성이 강한 비금속재료로는 세라믹, 유리, 내산법랑, 불소

수지코팅재, 에폭시, 플라스틱, 실리콘재료가 있다. 탄화규소질 세라믹은 800℃ 이상의 고온 폐열회수에 적합하며 유리는 내산성은 우수하나 부스러지는 성질의 극복이 어렵고 내산법랑은 글래스라이닝이라고도 불리며 일반적으로 화학용기 탱크 류등에 많이 사용되고 있으나 대형화된 소성로가 필요하고 제작비용이 많이들어 폐열회수용 열교환기 재질로는 특수용도를 제외하고는 부적합하다.

불소수지란 불소원자를 함유한 합성고분자(플라스틱)를 말하며 1938년 미국의 듀폰사에 의해 테프론이라는 이름으로 소개된 이래 코팅방법에 의해 응용범위가 광범위하게 확산되어 있으며 통상 PTFE, PFA, FEP, EPE, ETFE, PCTFE, ECTFE, PVDP, PVF 등이 쓰이며 열교환기코팅재료는 내열성이 우수한 PTFE, PFA가 주로 사용된다.

불소수지는 표면온도 300℃미만의 산성용액 및 가스분위기에서 강력한 내산성이 있어 이를 금속표면에 코팅하여 사용하면 금속재가 갖는 구조적 안정성과 테프론이 갖는 내화학적, 내식성, 비점착성, 발액성, 미끄럼성, 전기절연성 등의 장점을 고루 갖추고 있어 내구성이 높은 열교환기를 제작할 수 있어서 부식성 가스 분위기에서의 폐열회수에 널리 이용되고 있다.

불소수지코팅재는 소형베어링, 대형선박의 프로펠러, 콘베어벨트, 우주항공산업에 많이 이용되며 미국의 듀폰, 스위스의 에어후로리히, 일본의 다이킨인더스트리, 육초자, 독일의 웨스트사 등에서 본 기술을 상품화하여 전문 품목별로 전세계를 대상으로 활발하게 보급중이며 폐열회수용으로는 에어후로리히사에서 보일러, 소각로, 배연탈황장치(FGD)의 백연방지용열교환기(GGH), 내식성배기덕트 등에 내식성열교환기를 보급하고 있다.

국내에서도 내식성열교환기 재질의 개발필요성이 대두되어 에너지기술연구소와 중소기업인 (주)신현기업이 정부의 지원하에 지난 3

년간 불소수지재료 및 코팅기술을 개발중이며 현재 소용량보일러를 대상으로 시제품의 현장 적용시험을 추진중이다.

◎ 불소수지 코팅재의 특성

○ 비점착성

불소수지코팅 열교환기는 표면에 물을 떨어 뜨려 접촉각을 측정한 결과 접촉각이 매우 커서 보일러 배가스 중의 분진 및 SOOT 또는 급수중의 스케일이 잘 달라붙지 않으며 달라붙더라도 물세척 등으로 간단히 제거할 수 있어서 장기 사용시에도 전열성능의 저하가 매우 적기 때문에 오염물질이 많은 폐가스 열회수에 매우 적합한 특성을 갖고 있다. 또한 불소수지코팅 표면에는 물이나 기름이 잘 묻지 않기 때문에 청소가 용이하고 많은 경우 장시간 사용 시에도 표면이 오염되지 않고 자동적으로 청결하게 유지된다.

○ 내열성

불소수지의 내열성은 열교환기 표면온도가 260℃까지는 장기 안정적으로 사용이 가능하고 간헐적으로는 290℃까지 상승하여도 사용상 문제가 없는 것으로 알려져 있으며 안정사용온도 이상의 고온에서 사용하면 수지의 열분해가 일어나서 수명이 단축된다. 또한 저온에서의 내구력도 높아 초저온에서도 사용이 가능한 것으로 알려져 있다.

○ 내화학성

거의 모든 화학약품에 대하여 반응성이 없고 불활성이므로 어떠한 용제에도 분해하지 않는 이상적인 화학구조를 가지고 있으나 알카리금속에 불소수지를 코팅할 경우에는 알카리금속과 고도의 반응성을 지닌 불소화합제의 침투가 일어날 수 있으므로 주의가 요구된다.

○ 전기적 특성

불소수지는 광대역 주파수에서 높은 절연성, 낮은 손실율과 우수한 표면저항율을 가지고

있어 정전기 방지목적의 절연코팅재로도 사용되며 특히 고주파에 대한 특성이 좋아 위성방송부품, 컴퓨터전선 등에도 사용되고 있다.

○ 전열성능

불소수지 자체의 전열계수는 강재의 1/100정도로 낮기 때문에 전열성능은 불량하나 불소수지 코팅두께가 0.1mm 이하로 극히 얇으므로 전열성능에 크게 영향을 미치지 않는다.

○ 단점

위와 같은 장점에도 불구하고 강도가 약하고 열팽창계수가 크며 특히 15-20℃에서 결정구조변화에 의한 급격한 치수 변화가 있고 고전압에 약하여 코로나방전이나 스파방전에 주의가 필요하다.

◎ 주요 적용대상

- 대용량보일러의 급수예열기(Economizer), 공기에열기(Air Preheater)
- 폐기물소각로의 연소가스 폐열회수장치
- 고유황연료 보일러의 백연 방지장치

열병합발전소의 경우는 일반적으로 응축수 회수율이 낮은 편이며 응축수 회수율이 높다 하더라도 응축수를 재처리하는 장치(이온교환수지)의 허용온도범위가 높지 않기 때문에 일반적으로 탈기기로 공급되는 급수온도가 낮아서 이코노마이저를 설치할 때 대수평균온도차(LMTD)가 커지므로 열교환기의 전열면적이 감소되므로 급수예열기를 설치하는 것이 투자경제성 측면에서 가장 우수하다.

또한 열병합발전소에는 융그스트림식 공기에열기의 저온부식을 방지하기 위하여 공기에열기 입구에 증기가열기(SAH)가 설치되어 있으나 내식성공기에열기를 추가로 설치하면 SAH가 필요 없게되므로 급기에열용 증기를 절감할 수 있고 또한 공기에열기의 급기온도가 낮아지므로 공기에열기의 전열면적이 감소되고 투자경제성이 향상된다.

◎ 투자 경제성

내식성 열교환기 설치시의 최종배가스 배출 온도는 연돌에서의 백연발생을 피하기 위해 배가스의 수증기로점(55-65℃)보다 30℃이상 높게 유지하여야 하므로 대략 100℃를 약간 상회하는 수준으로 유지하는 것이 보편적이다.

폐열회수에 대한 투자경제성은 연료단가, 설비용량, 가동율, 회수열량, 투자비에 따라 업체별로 상당한 차이가 나게되며 일반적으로 B-C유를 사용하는 발전소 중 탈기급수온도가 낮거나 증기가열기의 증기소비량이 많은 업체

는 투자비 회수기간이 1-2년 이내로서 경제성이 상당히 높은 것으로 분석되고 있다.

급수예열기를 설치할 경우 열교환기 전열면적 계산을 위한 총괄전열계수(U)는 80kcal/m'.h.℃를 적용하고 공기에열기 설치시에는 30kcal/m'.h.℃를 적용하면 무리가 없으며 내식성열교환기 단위면적당 가격은 용량이 클수록 낮아지나 평방미터당 대략 50만-80만원 수준이며 보다 상세한 자료가 필요한 경우에는 에너지관리공단 진단지도실 또는 전자우편주소 hykim@www.kemco.or.kr로 문의 바랍니다.

<내식성열교환기 투자경제성 검토사례>

항 목	단위	A사	B사	C사	D사	E사	F사
열교환기 외측		배가스			공기		
유량	kg/h	31,547	181,975	349,853	119,769	203,100	1,400,000
입구온도	℃	197	210	200	60	53	44
출구온도	℃	120	130	120	100	85	81
압력손실	mmAq	96	92	90	51		
열교환기 내측		물			배가스		
유량	kg/h	9,500	96,000	207,000	116,692	198,300	1,400,000
입구온도	℃	35	40	81	153	145	125
출구온도	℃	102	79	116	113	113	86
압력손실	mmAq	1,750	303	666	105		
설계기준							
전열용량	Mcal/h	621	3,768	7,261	1,213	1,624	12,950
평균온도차	℃	90	108	58	52	60	43
절감효과	toe/년	602	3,597	6,898			
	백만원/년	113	687	1,317	381	510	4,063
투자비	백만원	80	370	1,100	550	730	6,900
회수기간	년	0.7	0.5	0.8	1.5	1.5	1.7