

우리나라 산업용 보일러의 효율적 운용에 관한 연구

A Study on Efficient Operations of Industrial Boilers in Korea

글 / 趙興坤

(Cho, Hung Gon)

공조냉동기계기술사, KISTI 기술특허정보분석실장

E-mail : chohg@kisti.re.kr

목 차

1. 서론
2. 우리나라 산업용 보일러의 운용 실태
3. 보일러의 효율적 운용에 관한 고찰
4. 결론

1. 서론

보일러는 도로, 철도, 항만 등과 같은 국가 기반 산업 다음으로 각종 산업과 민생에 꼭 필요한 인프라 설비이면서도, 배기가스와 폐열을 발생시키기 때문에 사회적 편견을 가질 수밖에 없는 소위 "굴뚝산업의 원류 설비기기"로 분류되기도 한다.

특히 최근 보일러 등을 이용한 에너지의 변환·생산·소비를 둘러싼 사회적 패러다임이 {환경적으로 건전한 지속 가능한 개발¹⁾의 개념으로 변화되면서 에너지의 효율 향상, 안전성 확보, 삶의 질 향상, 환경 및 자연 보호 등이 생산 활동에서

Abstract

Almost every industrial plant or building has their own boiler systems, so boilers are often called "kinds of social infrastructures". In Korea, We have many indistinct problems on efficient operations of industrial boiler systems. In this paper, to elevate thermal operation efficiency and to diminish air pollutions of the boilers, especially in urban area, at present, "The multiple installation systems of small type once through boiler(gas fired)" are suggested.

우선 고려되어야만 하게 되었다. 즉, 보일러의 효율적 운용에 관한 일반적 시각이 크게 바뀐 것이다. 산업과 사회 구조의 변화, 지구환경 문제 등이 이전에 주안점을 이루던 고효율화 문제 못지않게 중요하게 되었으며, 당면한 주요 과제로는 NOx, SOx, CO₂ 등과 같은 온실효과 가스의 삭감을 위한 에너지 절약 대책과 보다 안정성이 추구된 보일러 운용 시스템의 구축 등을 꼽을 수 있다.

또한 우리나라의 도시 주변은 선진국처럼 연료의 가스(도시가스)화가 추진되어 보일러의 표면

1) Environmentally Sound Sustainable Development (世界環境開發委員會의 新造語)

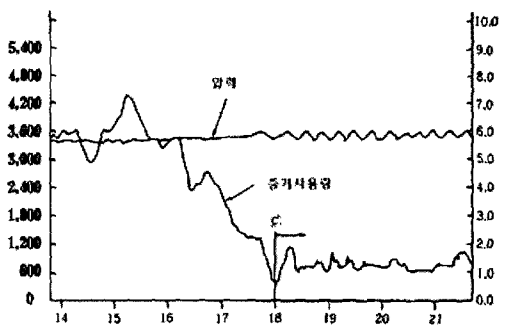
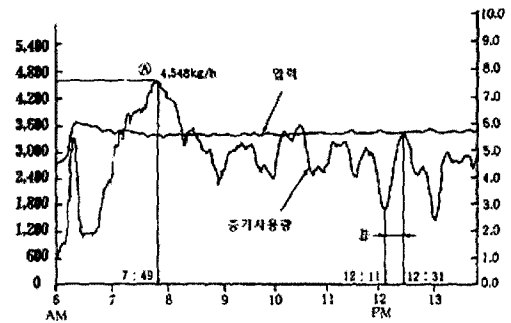
연소 버너 활용에 의한 저공기비 운전, NO_x의 배출을 선진국의 규제치 이하로 감소, 잠열 회수형 고효율 보일러 시스템의 구축, 보일러 단체 효율 95% 이상의 실현 등을 꾀할 수 있는 여건이 갖추어져 있다. 이와 함께 근년의 정보기술(IT) 발전은 각 분야의 혁신을 일으키고 있으며, 보일러 분야에서도 예외 없이 큰 영향을 미치고 있다. 보일러에 IT를 응용시키면 완전 자동 원격 운전, 보일러의 인텔리전트화, 메인テナンス의 자동화, 환경공해 문제의 해결 등을 시행할 수 있으며, 이미 선진국에서는 이미 훌륭한 사례가 많이 발표되었다.

본고는 우리나라 산업용 보일러의 효율적 운영이 선진국처럼 효율뿐만 아니라 쾌적성 및 저공해성 등이 포함된 환경 친화성도 고려되어야 하며, 이에겐 소형 관류 보일러의 다관설치 운영 시스템에 기대하는 바가 크다는 것을 전제로 하여 우리나라와 선진국의 현황을 분석·연구함으로써 이 기술의 현 위치를 구체적으로 알아본 것이다.

2. 우리나라 산업용 보일러의 운용 실태

2.1 일반 사항

가동중인 산업용 보일러를 대상으로 5년 동안에 걸친 에너지 진단을 시행한 실적에서 각 업체별로 보일러 운전 효율과 보일러 부하율을 조사한 데이터에 의하면 보일러의 설계 효율은 대략 87%이었으나, 보일러의 운전 효율은 77% 정도 이었고, 보일러 부하율은 35~45%로 낮은 수준이었다. <그림 1>은 이 결과의 평균적인 1일중 보일러 부하율 데이터를 나타낸 것으로, 이 그림의 정확성은 별로 중요하지 않으나 그래프 형태에 관심을 가져볼 필요가 있다. 또한 이 그래프 형태를 해석해보는 것은 대단히 의미 있는 일이며 우리나라 산업용 보일러의 에너지 이용률을 높이는데 시사하는 바를 읽을 수 있을 것으로 판단된다.



<그림 1> 1일중 증기 사용량 및 압력의 변화

<그림 1>은 1일중 산업체에서 필요한 증기를 발생시키는 과정을 나타낸 것으로 이를 분석해보면 다음과 같다. 즉, 아침 일찍 6시 훨씬 이전에 보일러를 가동하기 시작하여 6시 10분경부터 증기가 발생되도록 하며 보일러 내부의 불순물 제거나 증기 공급 라인의 워밍업(warming-up)을 위하여 6시 30분경 증기를 방출 혹은 통기시킨 후 계속 증기를 생산·활용하여 일일중 최대 증기 발생량(4,548kg/hr)을 지나면서 증기 사용 플랜트의 가동이 정상적으로 이루어지고, 중식 시간을 위한 공장의 휴식시간에 맞추어 증기 발생량도 감소되는 과정을 거친다. 다시 부하가 상승되면서 15시 10분경에 또다시 증기 소비량이 극점에 도달되는 점까지 증가한 후 점점 감소한 후 종업원의 일과 종료와 함께 증기 소모량은 극소에 이르는 과정을 보여주고 있다. 또한 그림 중 ㉠ 구간은 보일러를 정상 가동시키기 위한 기동 시간대를 나타낸 것이며, ㉡ 구간은 중식후 다시 증기를 정

상적으로 활용하기 위한 재가동 시간을, © 구간은 일일중 증기의 사용량을 최소로 줄여서 야근에 필요한 증기량만 공급하거나 보틀업 운전(bottle-up operation)을 시행하는 구간이다. 또한 사용 증기의 압력은 6kgf/cm²G 정도로 1일중에서는 거의 일정하나, 사용 증기량이 상대적으로 적은 18시경부터 다음날 6시경까지는 다소의 변동폭이 생긴다.

2.2 보일러 효율 - 운전 효율 - 부하율 관계

(1) 보일러 효율

보일러의 효율²⁾은 급수에 전달되어 증기를 발생시키는데 이용된 열량과 노에 공급된 연료가 완전연소할 때 발생하는 열량과의 비로 표시된다.

(2) 보일러 운전 효율

카탈로그 등에 나타나 있는 보일러 효율은 최대 출력시를 기준으로 표시되는 것이 보통이며 설계상의 보일러 단체 효율 즉, “보일러 설계 효율”을 뜻하는 경우가 대부분이다. 예를 들어 보일러 효율(보일러 설계 효율) 90%인 보일러는 언제나 90%의 열효율을 나타내는 것이 결코 아니다. 보일러를 실제로 운전할 때의 보일러 효율을 “보일러 운전 효율(boiler operation efficiency)”이라고 하며, 에너지의 발생 및 소비 측면에서 보일러의 효율을 고려할 때는 “보일러 효율”과 “보일러 운전 효율”의 의미를 분명히 구별하여야 한다.

(3) 보일러 부하율

보일러 부하율(boiler load rate)은 보일러의 운전 효율과 깊은 관련이 있으며, 에너지 절감과 합리적 이용을 고려하는 경우 중요한 요인이 된다. 보일러 부하율(〈그림 1〉 참조)은 보일러 최대 증발량의 몇 %에 운전되고 있는가를 의미하

는 것이다. 보일러의 부하율과 운전 효율 사이에는 밀접한 관계가 있어서 보일러 부하율이 떨어지면 보일러 운전 효율도 떨어지기 마련이다.

2.3 보일러 다관설치의 필요성

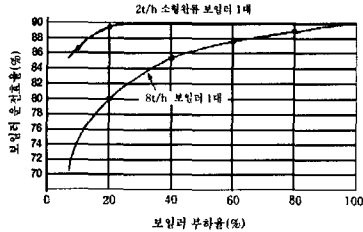
보일러의 다관설치(多罐設置) 시스템은 대량의 증기가 필요한 열사용 설비에 2대 이상의 보일러를 설치하여 증기 사용량에 맞추어 대수를 제어하는 방법으로 부하율의 저하를 막아 운전 효율을 높이는 방법을 이용한 것이다. 예를 들어 시간당 8톤의 증기가 필요한 어느 산업체에서 8t/hr의 보일러 1대와 2t/hr의 소형 관류 보일러 4대를 설치하여 이를 각각 감당시킬 경우를 고려해보기로 한다. 이 예의 필요한 증기량 8t/hr는 최대값을 기준으로 설계되는 것이 보통이며, 이 산업체(공장)는 아무리 호황기가 계속된다해도 설비를 항상 100% 완전 가동시킬 수는 없다.

즉, 이 산업체에서 필요한 증기량은 8t/hr 이하에서 일일중 혹은 연중 항상 변화되기 마련이다. 8t/hr 용량의 보일러에서는 설비 용량의 25%에 해당하는 증기만 필요한 경우에도 이를 기동하여 증기를 발생시키기까지는 시간과 연료 소비는 100% 경우와 마찬가지로 본격적인 가동 상태에서도 보일러 운전 효율은 〈그림 2〉에 나타난 것처럼 83%밖에 되지 않는다. 한편 2t/hr 용량의 소형 관류 보일러 4대가 설치·운용되는 다관설치 시스템에서는 3대는 완전히 정지시키고 1대만 100% 부하로 운전시킬 수 있어서 보일러 운전 효율을 90% 정도로 설계 효율에 가깝게 유지시키며 운용할 수 있다. 또한 필요한 증기량이 더욱 많아지거나 감소하게 되면 관류 보일러의 운전 대수도 최대 설치 대수까지 자동으로 증감되면서 그 상황하에서 최대 출력을 나타내도록 자동제어된다. 이와 같은 운전 기술을 자동으로 수행하여 보일러의 운전 효율을 높이는 방법을 이용한 것이

$$2) \eta_b = \frac{G \cdot h_1 - h_2}{B \cdot H} \cdot 100$$

단. η_b : 보일러의 효율 (%) G : 보일러의 실제 증발량 (kg/hr)
 h_1 : 발생한 증기의 엔탈피 (kcal/kg) h_2 : 급수의 엔탈피 (kcal/kg)
 B : 연료의 연소량 (kg/hr, Nm³/hr) H : 연료의 저위 발열량 (kcal/kg, kcal/Nm³)

소형 관류 보일러의 다관설치·대수제어 운용 시스템이다.



〈그림 2〉 운전 효율 비교

3. 보일러의 효율적 운용에 관한 고찰

3.1 보일러의 다관설치 시스템

소형 관류 보일러는 그 구조상 특성으로부터 승압시간(기증시간)이 5분 정도로 극히 짧고 응답 성능이 우수한 특징이 있어서 다관설치 시스템에 최적인 보일러로 평가되고 있다.

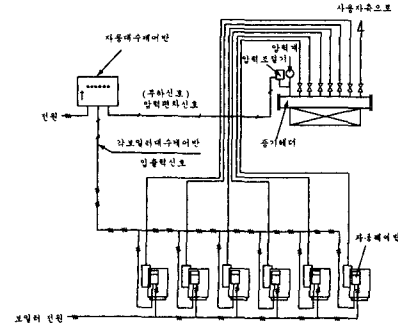
소형 관류 보일러의 다관설치 시스템을 대용량의 증기 이용 설비에 적용하면 이상적인 효율적 운용 시스템이 된다(〈그림 3〉 참조).

3.2 대수제어

대수제어(臺數制御)란 복수대의 보일러가 설치된 경우 증기 사용 설비의 증기 사용 변동 상황에 대응하여 보일러의 운전 효율을 높게 유지시킬 수 있도록 자동적으로 보일러의 운전 대수를 제어하는 것을 뜻한다. 소형 관류 보일러 다관설치의 대수제어 시스템에서는 컴퓨터와 프린터를 조합하여 효율적인 대수제어를 수행함은 물론 공장이라든가 사업장 전체에서의 에너지 관리가 가능하도록 제어의 기능을 확대시킬 수 있다.

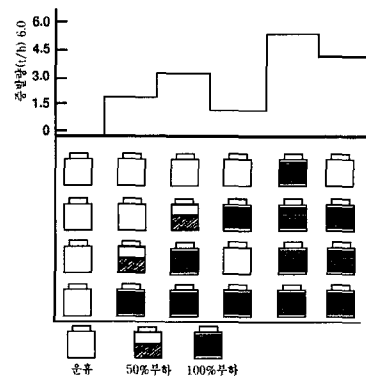
기본적인 소형 관류 보일러 다관설치 대수제어 방식은 〈그림 3〉에 나타낸 바와 같이 다관설치의 대수제어 전용 마이크로 컴퓨터를 조립한 {자동대수제어반}과 각 보일러의 자동제어반을 연결하고, 증기 헤더에 설치된 압력 조절기(압력 센서)에 의하여 각 증기 사용 설비(사용자)의 부하 변동

을 증기 헤더의 압력 변화로 알아내며, 증기 헤더의 압력과 압력 센서 설정 압력과의 차이를 검출하여, 이 압력 편차 신호를 부하 신호로 하여 자동대수제어반에 보낸다.



〈그림 3〉 다관설치 대수제어 방식의 기본 계통도

상술한 바와 같이 보일러의 부하율이 50% 정도로 낮아지면 운전 효율은 눈에 띄게 떨어지기 시작하며, 부하율이 30%, 20%, 10%로 더욱 낮아지게 되면 운전 효율은 2차 혹은 3차 함수적으로 비례하여 더욱 극심하게 떨어진다. 그 주요 원인은 보일러의 연소가 온·오프 혹은 3위치 제어 방식으로 이루어지기 때문에 저부하에서는 온·오프 동작이 빈번해지고 이에 따른 시동과 정지로 포스트 및 프리 퍼지(post-pre purge), 정지중의 자연 통풍에 의한 방열 손실 등이 발생하여 부하율이 낮으면 낮을수록 열손실은 커지게 되기 때문이다.



〈그림 4〉 다관설치 대수제어 시스템의 개념도

〈그림 4〉는 이 기술을 구체적으로 설명한 것으로, 증발량 1.5t/hr 용량의 보일러를 4대 설치할 때의 다관설치에 따른 대수제어 시스템의 개념을 나타낸다.

3.3 정보기술 응용 고성능화 시스템

최근의 소형 관류 보일러에는 종래의 시퀀스 제어 대신에 정보기술(IT)을 응용하여 제어와 인텔리전트화가 이루어져 있다. 인텔리전트 보일러는 각종 센서가 장비되고 마이크로 컴퓨터가 여러 가지 정보를 처리하여 판단함으로써 고도의 연소 제어, 예지, 백업, 정보 통신 등을 시행할 수 있다. 또한 종래의 보일러 운용 시스템에서는 고장을 미리 알아내어 방지하기 어려웠으나, 인텔리전트 보일러 운용 시스템에서는 각종 정보를 바탕으로 한 고장의 예측이 가능하여 일반 전화 회선을 이용한 보일러 메이커 혹은 애프터서비스 회사에 자동 통보로 빠른 메인テナンス를 수행할 수 있어서, 미연에 보일러의 고장을 막고 만일의 사고 대책에도 완벽하게 대처할 수 있을 정도로 기술이 발전되어 있다. 또한 자기진단 기능에 의하여 센서의 열화라든가 불량을 알아내어 백업 운전을 시행함으로써 보일러의 안전성과 신뢰성을 높이고 있다.

일본에서는 현재 소형 관류 보일러는 유류용 혹은 가스용을 불문하고 밀착 설치를 전제로 하여 생산되는 경우가 많으며, 콤팩트화되고 팩키지화된 복수대의 보일러를 밀착 연결하여 설치할 수

있기 때문에 설치 공간을 종래의 절반 정도로 줄일 수 있다.

대수제어장치는 2~15대가 설치된 보일러를 증기 헤더의 압력을 매개변수로 한 연소 대수제어를 시행하고 이상시에는 백업 제어를 수행한다.

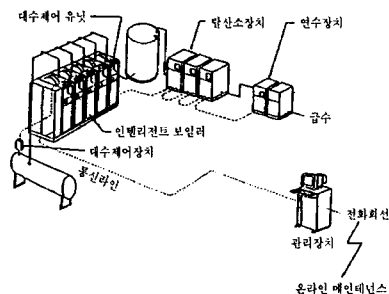
3.4 보일러의 저공해화와 설치 공간 축소

요즘 사회의 이슈가 되고 있는 지구환경 문제 중에서 질소산화물(NOx)과 탄산가스(CO2) 배출량 삭감이 보일러와 관계되는 가장 큰 테마이며, 연료의 종류에 따라서는 황산화물(SOx)의 배출도 문제가 되고 있다.

탄산가스는 연소와 함께 생기기 마련이어서 연소되는 연료를 줄여서 배출되는 탄산가스의 총량을 줄이거나, 연료중 탄소 성분이 적은 것(예를 들면 석유보다는 가스)을 사용하는 것이 바람직하다. 즉 탄산가스의 배출량을 줄이기 위해서는 현실적으로 연료를 절감하고 사용 증기량을 줄이는 수밖에 없으며 보일러의 운전 효율을 높여야 한다는 뜻이 된다. 또한 전술한 바와 같이 소형 관류 보일러의 다관설치·운용 시스템의 대원칙은 필요할 때 필요한 양만큼의 증기만을 필요한 곳에 곧바로 공급하는 것이며 보일러 운전 효율을 보일러 설계 효율에 가능한 한 가깝게 운전하는 것이므로 탄산가스의 배출량 감소에 큰 기여를 할 수 있다.

이러한 이유 때문에 수관식 혹은 노통 연관식 보일러를 소형 관류 보일러 복수대로 바꾸는 것이 산업용 보일러의 효율적 운용에 대한 기본일 것이며, 이의 열원으로는 도시가스를 사용하는 사례가 급증하여만 할 것이다.

질소산화물 배출량의 삭감에는 지금까지 배기가스 재순환법, 다만 연소 혹은 특수 버너의 활용 등이 제한적으로 사용되기도 하지만 아직 근본적인 대책이 될 수준까지는 발전되지 못하고 있는 실정이다. 그러나 최근에 개발된 가스 연소식 관



〈그림 5〉 인력 절감 운용 시스템

류 보일러에는 버너와 보일러 수관의 특수 배열에 의하여 이에 관한 해결 실마리를 찾은 것도 있어서 주목을 받고 있다.

소형 관류 보일러끼리 서로 인접하여 다관설치하면 같은 용량의 노통연관식이나 수관식에 비하여 설치 공간을 30% 이상 줄일 수 있으며, 고장시 등을 대비하여 예비용 보일러가 필요한 경우는 70% 이상의 설치 공간 감소를 기대할 수 있다. 또한 도시가스는 파이프라인으로 공급되기 때문에 수요자측에서 연료 저장 설비(탱크, 펌프, 연료 공급을 위한 여유 공간 등)를 필요로 하지 않아 설치 공간을 더욱 줄일 수 있으며, 유황분이나 회분이 포함되어 있지 않기 때문에 황산화물이나 매연 제거 시설 등이 필요 없어서 공간을 유효하게 활용할 수 있다. 따라서 관류 보일러의 다관설치 시스템의 장점은 도시가스 연료를 활용하는 경우에 더욱 두드러지게 나타나며, 일본에서 도시가스를 이용한 소형 보일러의 다관설치 시스템이 급증하고 있는 것은 이 때문이다.

4. 결론

우리나라 산업용 보일러는 현재 소형 관류식보다 노통연관식이나 수관식이 많이 설치되어 있으며(일본의 경우 2001년말 현재 발전용 등 초대형 보일러를 제외하고 설치 대수의 97% 이상, 용량의 86% 이상을 소형 관류 보일러가 차지하고 있음), 더욱이 이를 복수대 설치하여 운용하는 고성능 시스템 응용 기술은 아직 시작 단계를 벗어나지 못하고 있다. 따라서 이 시스템이 가지는 여러 가지 장점(에너지 절약, 인건비 절감, 안전성 확보, 환경 공해 문제 완화 등)과 우리나라의 각종 열기기 사용 현황(특히 중소기업의 열이용 상황)을 감안할 때 가능한 한 빠른 시일 내에 우리나라에도 일본처럼 이 시스템의 보급이 널리 이루어져서 이 시스템의 장점이 산업발전에 적극적으로 활

용되도록 해야 한다고 판단된다.

끝으로 본고에서 다룬 여러 가지 사항이 굴뚝산업의 원류인 보일러에 첨단기술의 근본을 이루는 정보기술을 적용시킨 가스 연소식 소형관류보일러 운용 시스템을 바라보는 관계기관 및 산업체의 시각을 새롭게 하여 보다 적극적인 열에너지 활용 개념을 정립시켜서, 우리나라의 영원한 숙제인 환경공해문제, 에너지원의 다변화와 안정적 공급 문제, 에너지 절약과 쾌적 생활 문제 등을 해결하는데 일조가 되길 바란다.

참고문헌

- 조흥곤, {고성능 보일러 운용 시스템 현황}, KISTI 연구보고서 121호, 2001.
- 日本小型貫流ボイラ協會, {小型貫流ボイラ-のてびき}, 65p, 日本(東京), 2000.1.
- 日本ガス協會, {가스보일러燃焼設備の安全技術指標}, 127p, 日本(東京), 2000.6.
- 日本産業機械工業會 高性能ボイラ開發委員會, {高性能ボイラ-技術の開發に關する調査研究}, 日本(東京), 1997.
- Ma X. et al., "Heat Recovery, Once Through Boiler System", Applied Thermal Engineering(GBR), vol.18, no.3, 1998, pp.179-186.
- 黒木 茂, "高效率&低NOx型, 油焚き小型貫流ボイラ", {産業機械} no.602, 2000, pp.6~8.
- 小畑 直樹, "小型貫流ボイラ多罐設置システムの高度化", {産業機械} no.585, 1999, pp.18~20.
- 岡田 莊一, "小型貫流ボイラへの期待 -省エネルギーと環境保全-", {暖房} no.401, 1995, pp.17~19.
- 荒谷 秀治, "排ガスボイラと小型多罐貫流ボイラの組合せ", {クリーンエネルギー-}, vol.4, no.10, 1995, pp.39~42.
- "Once Through Tubular Water Heater", US Patent US 4825813.
- "Steam or Vapour Heating System" England Patent GB 1375377
- "貫流ボイラの臺數制御方法" 日本公開特許 93-288302

(원고 접수일 2002. 8. 6)