보일러 초음파 수처리장치의 신뢰성향상에 관한 연구

김대룡 · 이근오*

에너지관리공단, *서울과학기술대학교

(2013년 7월 23일 접수, 2013년 9월 12일 수정, 2013년 9월 12일 채택)

A study on the reliability enhancement of Ultrasonic water treatment system to boiler

Dae-Ryong KIM · Keun-Oh LEE*

Korea Energy Management Corporation, *Seoul National University of Science and Technology

(Received 23 July 2013, Revised 12 September 2013, Accepted 12 September 2013)

요 약

이 논문은 보일러 운전중에 일어나는 결함요소의 하나인 스케일형성을 감소하기 위한 연구이다. 스케일의 결함은 보일러 튜브의 과열로 보일러 과열에 치명적인 영향을 미치거나, 보일러내부의 수의 순환 불량으로 내부의 물흐름에 영향을 미쳐 내부의 수의 불균등을 가져오기도 한다. 그리고 스케일은 보일러 재료보다 열전달이 되지 않음에 따른 에너지손실도 가져와 지구 온난화의 환경에 영향을 끼친다. 이러한 스케일의 형성을 방지하거나 제거하기 위하여 한국정부에서는 보일러수질관리를 위하여 2005년도에 스케일부착을 방지하거나 제거할 수 있는 장치를 시설하도록 하였다. 이러한 스케일형성 방지 및 제거하기 위한 기법에 관한 연구는 1821년 감자 전분에 의한 스케일형성 감소에 의한 연구를 시작으로 그 후 많은 연구가 있어왔다. 1994년 한국에 러시아 음향연구소의 한 과학자로부터 개발된 초음파 스케일 방지장치가 소개된 이래로 다양한 보일러에 보급되기 시작했다. 초음파 스케일방지 장치가 성능을 발휘할 수 있는 조건을 실증할 필요가 있다. 보일러는 대부분 원형 곡면의 본체와 튜브로 구성되어 있다. 보일러의 구성 요소 중 스케일결함 가장영향을 많이 미치는 원통형에 대한 실증을 실시하였다. 그 결과 초음파의 일정음압과 주파수에 도달하여야 스케일형성에 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있었다.

주요어 : 보일러 스케일, 초음파, 초음파 수처리장치

Abstract - This study was carried out to diminish the formation of scale in boilers which is one of the defect elements when they are operating. The defect relating to scale can cause a fatal impact on the explosion of boilers due to the overheating of their tubes, or it can affect the flow of water inside boilers with its bad circulation and result in a disparity of water inside the equipment. Heat transfer in the scale is low comparing to the boiler material, so it can lead to energy losses and has also impact on the global warming. In 2005, the Korean government introduced a system which requires boiler users to install the equipment which can prevent or eliminate the formation of scale to improve the management of water quality in boilers. The study on the techniques for preventing or eliminating the formation of scale started in 1821 and since then subsequently there have been lots of similar studies. The first one was about the scale reduction using potato starch. Since an ultrasonic scale preventer developed by a scientist from a Russian acoustic institute was introduced in 1993, a variety of equipment of this kind have been disseminated in Korea. There has been a need to demonstrate the condition for the best performances of such equipment. Boilers are mostly composed of the main body and

* To whom corresponding should be addressed.

Korea Energy Management Corp., 388, Poeun-daero, Suji-gu,
Yongin-si, Gyeonggi-do, 448-994, Korea
Tel : 031-260-4370 E-mail : drkim5@daum.net

the tube with a circular curved surface. I carried out a demonstration study on a circular tube which affects the scale defect the most among the boiler components. As a result of it, I found out the fact that the ultrasonic wave needs to reach a certain level of sound pressure and frequency to affect the formation of scale.

Key words : boiler scale, ultrasonic wave, Ultrasonic water treatment system

1. 서 론

보일러에 사용하는 원수 중에는 여러 가지 분순물이 포함되어 있다. 원수를 처리하지 않고 사용할 경우, 보일러 본체, 부속 기기에 스케일(Scale), 부식(Corrosion) 등의 장애를 일으킨다. 스케일은 고온의 전열면에 부착하여 전열방해, 열효율저하, 수의 순환불량, 과열의 원인으로 안전사고를 유발하기도 한다. 최근 보일러는 고성능화, Package화로 열부하가 높아져 안전성의 위험도를 증가 시킨다.

보일러 수처리를 실시하여 장애발생을 예방, 에너지의 효율적 이용, 수명연장에 도움을 주어야한다. 한국에서는 2005년도 보일러의 수질관리를 위한 스케일부착 방지나 제거를 위한시설을 보일러에 설치하도록 의무화했다. 보급초기의 초음파 스케일방지 및 제거장치는 중소기업 기술개발 투자여력부족, 제품의 신뢰성, 서비스대응 미비 등으로 고객들로부터 불만이 많았다. 이러한 보일러의 안전성향상을 위한 스케일의 관리에 보다 적극적인 기술발전에 기여코저 초음파를 활용한 스케일 제거장치의 기반기술인 초음파 스케일제거를 위한 시편개발과 실증실험에 대한 시험표준 메뉴얼과 최적의 초음파조사 진동수(주파수)와 음압(Sound Pressure)을 시험하여 보일러 스케일 생성방지 및 제거의 효과를 최적화하는 기술개발에 기여코저 한다.

Fig. 2-1-1. 원통형 시험조

2. 스케일 제거효과 측정시험

원통형 시험조에 표준시편을 넣고 초음파를 조사하여 음향진동 및 방사압으로 일정대역의 주파수에서 음압(sound pressure)의 크기에 따른 스케일제거 효과를 측정하였다.

2.1 시험조 및 시료

2.1.1 원통형시험조 :

지름 355 × 높이 250 원형수조에 초음파 변환기 장착

2.1.2 스케일 표준시편 :

가로25 × 세로75 × 두께 1.2, 무게 16g인 철판 표준시편에 스케일의 주성분인 탄산칼슘(시약 및 공업용 CaCO_3), 수산화칼슘(시약 및 공업용 $\text{Ca}(\text{OH})_2$), 탄산칼슘(CaCO_3)을 주성분한 퍼티(putty)등을 도포한 후 건조과정을 거쳐 시편의 질량을 21g(스케일 질량5g)으로 균일하게 만든다. 스케일시료 시험중 탄산칼슘(시약 및 공업용 CaCO_3), 수산화칼슘(시약 및 공업용 $\text{Ca}(\text{OH})_2$)시료는 물에 쉽게 분해됨으로 탄산칼슘(CaCO_3)이 주성분인 퍼티(putty)시료만 사용하여 시험한다.

2.1.3 부식 표준시편 :

가로25×세로75×두께1.2mm, 무게16g인 철판시편을 산화부식 시킨다.

2.1.4 스케일 튜브 실증시편 :

최적의 주파수와 음압으로 실증하기 위하여 운전

Fig. 2-1-2. 스케일 및 부식시료

Fig. 2-3-1. 주파수별 음압크기

중인 보일러에서 스케일이 부착된 실증 표준시편을 지름 $52.64 \times$ 길이100, 스케일(스케일주성분 : 탄산칼슘) 부착두께 약2mm정도 튜브를 샘플링한 시료(실증시편)를 준비한다.

2-2 시료시험방법

2-2-1 표준시료시험 :

원통형 시험조에 12 L의 물을 넣고 스케일에 음압이 미치는 일정 음압(sound pressure)의 주파수 대역을 15.2KHz, 16.8KHz 18.0KHz 20.4KHz 4단계로 정하여 각 주파수 대역별로 실험한다. 주파수 대역별로 스케일 표준시편 2개의 질량을 측정하고, 원통형시험조에 스케일시편 2개와 부식시편 1개를 투입하고 6시간동안 초음파를 조사한 후 스케일 시편의 상태와 질량을 측정하여 스케일잔량을 확인한다.

2-2-2 실증시료시험 :

스케일이 부착된 시편(실증시편)를 시험방법 2-2-1에서 음압측정결과가 가장 큰 주파수에서 원통형 수조에 실증시편을 투입하고 168시간 동안 초음파를 연속조사한 후 시료의 외경 및 질량의 변화를 측정하여 제거된 스케일질량을 확인한다.

2-3 시험결과

2-3-1 표준시편 시험 :

원통형시험조의 음압측정은 10KHz에서 22KHz까지 0.1KHz단위로 측정한 결과, 주파수대역에 따라 음압(sound pressure)의 크기가 달라지는 것을 알 수가 있었다. 음압이 가장 큰 주파수 대역은 15.2KHz로 음압의 전기신호 크기는 7,800mv로 측정되었다.

Fig. 2-3-2. 주파수별 스케일 잔량

15.2KHz를 기준으로 음압이 낮아지거나, 높아지는 것을 확인 할 수가 있었다. 스케일 및 부식시료 시험에서, 음압의 크기가 클수록 스케일 및 부식제거 효과가 커지는 것을 확인 할 수가 있었다. 15.2KHz에서 실험한 스케일시료 2개의 질량은 33.5g으로 도포된 스케일 10g중 85%가 제거 되었지만, 20.4KHz에서 실험한 스케일시료는 41.5g으로 5%가 제거되어 큰 차이를 보였다.

2-3-2 실증 시편시험 :

실증시편의 스케일 제거시험에서는 가장 높은 음압대역의 주파수에서 시간이 경과함에 따라 연관에 붙어있던 스케일이 연관표면부터 입자가 미소한 덩어리 형태로 분리 탈락이 빠르게 나타나는 것으로 실증되었다. 실증시편의 연관의 최초 질량은 332.5g 외경은 52.64이였으나, 168시간 조사한 후 질량은 315g, 외경은 51.71로 변화하여, 질량은 17.5g 외경은 0.93로 많은 양의 스케일이 제거된 것을 알 수 있었다.

3. 초음파영향에 따른 상태변화

3-1 온도 상승변화 :

원통형 시험수조의 12L물은 초음파를 조사할 때와 하지 않을 때의 시간흐름에 따라 물을 가열시 온도 상승변화를 측정하였다. 측정은 각3번을 시험 한 후 평균값을 산정하여 비교하였다.

3-2 시험결과 :

시험결과 초음파를 조사하지 않고 가열하는 경우와 초음파를 조사하면서 가열하는 경우에서 초음파의

Fig. 2-3-3. 주파수 15.2KHz 음압크기와 스케일제거 상태

Fig. 2-3-4. 주파수 16.8KHz 음압크기와 스케일제거 상태

Fig. 2-3-5. 주파수 18KHz 음압크기와 스케일제거 상태

Fig. 2-3-6. 주파수 20.4KHz 음압크기와 스케일제거 상태

Fig. 2-3-7. 주파수 15.2KHz 부식제거 상태비교

Fig. 2-3-8. 주파수 16.8KHz 부식제거 상태비교

Fig. 2-3-9. 주파수 18.0KHz 부식제거 상태비교

Fig. 2-3-10. 주파수 20.4KHz 부식제거 상태비교

Fig. 2-3-6. 연관스케일의 두께변화

진동과 파장에너지가 대류열전달을 높여 물의 온도가 상승효과가 크지는 것을 알 수 있었다.

4. 결론

이번 연구에서 보일러의 안전성향상을 위한 스케일 부착 방지와 제거위하여 설치하는 음향 수처리 장치에 대하여 최적의 스케일 제거효과를 도출하기 위한 최대음압의 주파수 대역을 검증하는 신뢰성기술에 대하여 표준화된 알고리즘을 찾는 데 목적을 두고 표준화된 시편과 실증시료를 제시하였고, 그 시험방법의 합리적인 방향을 제시하는 중점을 두고 연구하였다. 일반적으로 각 분야의 기술발전에 있어 가장 중요한 요소는 어떤 시험방법으로 증명하고, 최적의 조건에서 가장 효과적으로 목적을 두는 것이 각 기기의 신뢰도를 높일 수 있는 것이 기본이라고 볼 때, 이번 연구는 그 효과가 매우 크다 하겠다. 구체적으로 이번 연구에서 수처리 음향 처리법인 초음파에 의한 스케

일 부착을 방지하는 장치를 설치함에 있어 각 초음파 조사시 적정 음압에 대한 최적의 주파수 대역과 음압의 상관관계를 도출하고, 실증시험까지 도출하는 시험방법을 정립하는 계기가 되었다. 스케일에 의한 보일러 사고 예방과 보일러 효율향상을 위한 음향 수처리 장치의 스케일방지 적정음압 대역을 제시하기 위하여 실험한 결과, 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 초음파 스케일 방지기의 성능에 대한 시험방법과 절차를 제시하여 시편의 스케일 도포방법으로 시험한 결과 효과적인 실험값을 얻을 수 있는 방법을 개발하였다.
- (2) 시편에 의한 시험방법으로 도출된 초음파의 일정 주파수 대역에서 최대의 음압을 제시하여, 스케일을 가장 잘 제거될 수 있는 기법을 개발하였다.
- (3) 시편에서 스케일제거가 가장 효과가 큰 주파수 대역으로 실증실험결과, 스케일제거 효과가 가장 큰 주파수 대역임이 평가되었다.
- (4) 스케일 부착방지에 의한 안전성향상, 초음파의 유동원리에 의한 보일러의 열효율향상을 가져올 수 있다는 것이 입증되었다.

이번 연구 제시된 최적의 주파수 대역값을 가지기 위한 음향 수처리 장치의 표준화된 시험방법의 알고리즘을 제시하여 더욱 다양해지는 보일러에 설치되는 음향 수처리장치의 적정 주파수 대역을 찾기 위한 기술개발 등 보일러의 스케일 장애해소를 위한 다양한 알고리즘 기술개발에 기여될 것을 예상된다.

참고문헌

1. H, Hatano (1972), "High Frequency Ultrasonic

- Cleaning Tank Utilizing Oblique Incidence.”,
IEEE Transactions on Ultrasonics, v.43, n.2,
pp.531-535
2. A, P, Pandey, K.K. Mallick, P.C. Pandey, S,
Varma (1983), “Prevention of Scale Sepsition
on Heat Exchanger Surfaces by use of high
Intensity Ultrasonic waves during Concentration
of Wet Process Phosphoric Acid”, Fert, News,
v.28, n.6, pp. 45_48
 3. A. E. Clark (1974) : AIP Conf. Proc., No.18,
American Institute of Physics New Jersey,P.190
 4. Peter D Edmonds(1981),MethodofExperimentalPh
ysicsUltrasonics, Acadimic Press, New York-Lo
ndon