

초음파 스케일방지기(USP)에 의한 에너지 절약

이 승 구

(주)몰 코

ENERGY SAVING BY ULTRASONIC SCALE PREVENTER

SEONG - GOO LEE

Morko Co., Ltd.

요 약

초음파의 원리 중 동력적 원리인 진동의 원리, 공기방울생성의 원리, 표면적 증가의 원리, 파동의 원리, 스케일 제거원리, 기타의 원리 등을 이용하여 보일러 또는 열 설비의 스케일 생성의 방지와 탈락에 관한 실험 및 현장적용 실험결과 초음파스케일방지기에 의한 에너지절약 효과는 중소기업의 경우 평균 10-15%, 대기업 및 난방의 경우 3-10%의 절약 효과를 보았으며 그 외의 부대효과로는 화학세관에 따른 특정 폐기물의 배출량이 감소되었으며 인산 염 위주의 청관제 사용억제로 폐수 배출량을 줄일 수 있었다.

그러나 관리자 및 실무자의 의식과 능력에 따라 그 효과의 차이가 발생했으며 이는 다른 분야에도 적용되는 사항으로 의식개혁과 정부차원의 적절한 교육 및 인센티브 제도를 검토할 필요가 있다 하겠다.

Summary

We took test on the prevention of scale generation at a boiler heat facility in a lavatory and a field as well using a variety of principles on ultrasonic waves vibration, air bubble generation, increase in surface area, waves, scale elimination, etc. The result was that energy efficiency by ultrasonic scale protector records an average 10-15% for small and medium companies and 3-10% for large companies. The protector also has an effect of reducing particular wastewater by curbing the use of phosphoric acid salt-centered cleaner.

However, the efficiency varies form mind-set and capability of managers and workers concerned, which is also true of other industries. Change in mind-set, an appropriate education at a governmental level and incentives should be under consideration.

1. 서론

국내의 산업 및 건물에서 주로 사용되어 지는 열 설비 및 냉. 난방설비는 물에 의한 스케일 문제가 항상 수반되어 이로 인한 에너지의 낭비와 환경오염, 기기의 수명단축, 조업 중단 등 많은 낭비요인을 지니고 있으며 특히 근래에 공급 수(지하수, 하천 수, 지표수, 시수, 등)의 총경도치가 점차 증가하고 있으므로 인하여 스케일에 의한 위해가 높아지고 냉각수 계통의 총 경도를 낮추기 위한 브로우 량의 증가로 물 사용량이 증가하고 있으므로 앞으로 물 부족이 예상되는 상황에서 여기에 대한 대비가 있어야 되리라 판단되어 지며, 이러한 상황은 세계가 공통으로 가지고 있는 문제점으로 이에 대한 여러 가지 기술들이 세계각국에서 개발되어 왔고 현재도 개발되어 지고 있으며 그 중 한가지 새로운 기술이 러시아에서 최근에 개발된 초음파 이용 기술을 국내에 들여와 적용하여 본 결과를 토대로 러시아의 초음파 기반기술과 국내 및 세계적 여건을 감안한 새로운 초음파발생장치의 필요성을 절감 새롭게 개발한 초음파 발생장치(USP)에 의한 스케일의 방지효과를 분석하였다.

2. 개요

스케일 방지효과는 산업설비 중 고온상태의 물을 사용하고 에너지 소비량이 많은 보일러를 중심으로 스케일 생성과정과 국내의 보일러 운전 조건 등을 현장위주(즉 동일조건을 주지 않고 현장 여건상태 그대로에서 효과분석)로 효과분석과 실태를 파악했으며 그로 인하여 동일조건 시험과 같이 절약효과에 대한 개념성은 떨어지나 반면 동일조건을 부여하여 시행하는 시험이 현장 여건과의 불합리성은 극복할 수 있는 것으로 판단되어 현장위주로 분석하여 작성하였다.

3. 국내의 현황

현재 국내에는 43,000여기('96 에너지관리공단 검사 대상 기기 자료)의 보일러가 건물 및 산업체에서 가동되고 있으며 이들은 보일러의 관리가 잘 되고 있는 특정 몇몇 업체 외는 거의가 스케일이 0.5 - 10mm이상까지 스케일이 있는 상태에서 보일러 운전이 되고 있으며 특히 보일러 관리가 취약한 중소기업에서의 1 T/H - 8 T/H사이의 보일러 보유

숫자가 많으며 스케일 또한 많은 상태에서 운전되고 있고 에너지 다 소비업종의 경우는 스케일의 두께가 10mm이상까지 이르는 업체가 많으며 그로 인한 에너지 손실은 엄청나다 하겠다.

참고로 에너지 다 소비업종인 염색, 화공, 목재, 제지 등의 스케일을 Fig. 1에서 볼 수 있으며 이는 보일러의 가동시간과 수 처리의 방법, 보일러의 설치위치, 분출배관의 상태, 운전자의 분출 시기 및 방법에 따라 그 스케일의 생성에 많은 차이가 나는 것을 알 수 있다.



Fig. 1

1) 보일러 내의 스케일 형성에 영향을 미치는 요인.

가. 분출배관의 부적합

보일러의 분출배관은 보일러의 동체 출구로부터 하향 구배로 설치되고 배관의 뒤편에 저항을 최소화하므로 보일러의 분출수가 보일러 동체 밖으로 분출되면서 급격히 체적이 증가하면서 분출되므로 뒤쪽의 저항을 줄여주므로 분출을 용이하게 하여 찌꺼기가 원활히 배출되어야 하는데 동일업종, 동일지역 중에도 위와 같이 분출배관이 되어 있지 않은 보일러에 스케일이 많이 끼여 있었다.

특히 지하층에 보일러가 있으면서 분출배관을 보일러 하부로부터 지상까지 많은 개소를 굽혀 분출하는 경우,

그리고 지상의 동일 조건이라도 분출 배관 뒤편에 별도의 탱크를 설치하여 탱크로 유입되는 경로에 많은 밸브를 설치하고 분출수가 탱크의 높이로 다시 역류하여 분출되는 경우. 사전에 충분한 지식과 관리 능력이 없으면서 분출을 자동화 시켜 점검이 제대로 이루어지지 않고 자동밸브가 고장이 났는데도 방치한 경우, 등 Fig. 2

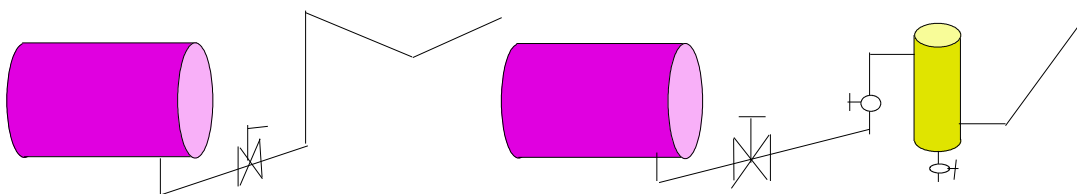


Fig. 2

나. 응축 수 배관을 통하여 공정중의 불순물이 보일러 내로 유입되는 사례

증기의 사용목적은 물을 가열하여 증기로 만들어 수송을 용이하게 하고 그 잠열을 이용하는데 있으며 보통 단순한 에너지만 사용하는 것이 아니라 온도의 개념도 수반되므로 통상 가열과 냉각을 반복하는 공정이 산업체에 많이 있으며 특히 냉각을 하는 공정과 증기를 사용하고 공정을 쉬는 중 물이 증기가 되고 응축이 되는 과정에서 증기의 통로나 머무르는 장소에서 조그마한 핀 홀이라도 발생되면 증기가 응축하는 과정에서 진공이 형성되고 그 과정에 핀 홀을 통하여 피 가열물체가 응축 수 배관계통으로 유입되어 보일러 내로 유입되는 사례가 많이 있었으며 그러한 요인들이 보일러내의 스케일형성을 촉진하는 경우가 많았으며 때로는 청 관제의 오용으로 인하여 오히려 보일러 내부의 스케일형성에 악영향을 미친 경우(carry over로 보일러수의 유입량을 늘이고 청 관제의 성분 자체가 스케일 화되는 경우) 등 이는 보일러의 급수만 잘 관리한다고 보일러내의 스케일을 방지한다고 할 수 없다는 이유이다. (Fig. 3)

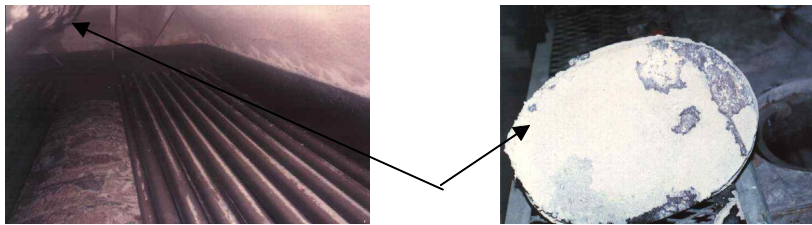


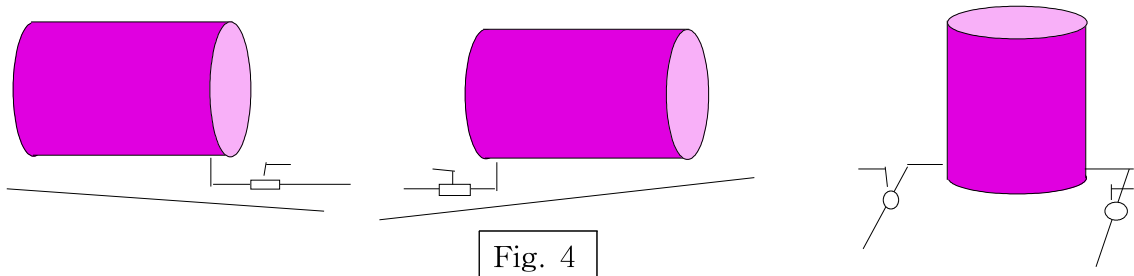
Fig. 3

다. 보일러의 설치 부적합

국내의 보일러의 경우 보통 분출배관의 설치위치는 노통연관식의 경우 보일러 하부의 앞쪽, 중간, 뒤쪽에 설치되고 수관식의 경우 하부의 중간, 뒤쪽, 뒤 경관 부의 약간 높은 위치, 관류보일러의 경우는 대개 하부 관 모음에 한쪽에만 설치되어 있다.

이는 분출배관이 설치되어 있는 반대쪽으로 하향 구배가 되어 있는 경우 분출이 용이치 않았으며 약간 상향 구배된 보일러 보다 스케일이 동일조건에서 많았다.

또한 관류보일러의 경우 스케일 형성확률이 높은 업종 및 여건에서는 분출배관을 대칭되게 2개소에 설치할 경우 분출의 효과가 높아 스케일의 형성이 적었다(인도네시아의 경우). (Fig. 4)



라. 분출시기 및 횟수의 부적합

보일러의 분출시기는 보일러내의 관 수가 전열면적의 열 부하에 따라 대류가 거의 일어나지 않는 시점 즉 보일러 가동 정지 후 와 가동 전, 그러나 산업체의 경우 대개 24 시간 가동하므로 그 시점을 잡는 것이 용이치 않으며 특히 보일러 운전자들이 다른 업무를 병행하므로 보일러의 적정한 분출관리는 사실상 어려운 여건이 많다 하겠으나 최대한 이 원칙을 지키는 보일러와 그렇지 못한 보일러의 스케일 량의 차이는 많았으며 같은 보일러라 할지라도 그 관리에 따라 차이가 많았다.

심지어 초음파 스케일 방지기의 결과를 나쁘게 하기 위하여 분출을 하지 않은 경우도 있었다.

마. 보일러 보급원수의 악화

점차 지하수 및 하천수의 수질이 악화(이는 지역별로 차이는 있으나 대략 시 수의 수질이 총경도 100 -120ppm 수준으로 약 15년 전 보다 30 -40ppm 정도 상승되고 일본의 경우보다는 70 -80 ppm 정도가 높은 수준임)되어 오래 전에 설치된 정수기의 경우 정수기 수지탱크의 수지 용량부족으로 이미 정수의 한계가 넘은 개소도 있었으며 업체의 관리자 부족과 예산의 어려움으로 제대로 수지의 부활과 관리가 제대로 되지 못한 경우도 있었다.(Table. 1 , 2) ¹⁾

구 분	한 국	일 본	비 고
공업용수	80 - 160	16 - 46	일본은 공업용수, 수도수의 구분이 없음.
수도수	50 - 60	“	
지하수	150이상	37 - 52	

Table. 1

*위 도표의 일본기준은 오사카지방의 기준으로 오사카지방은 일본기준보다 높은 편임.

구 분	한 국	일 본	비 고
시설업체수	30%정도	90%이상	산업 + 난방
실제운영업체수	5%미만	90%이상	

Table. 2

2) 실제 국내보일러의 운영실태 및 스케일상태

가. 운영실태

국내의 보일러운영 실태를 대별하면 산업용과 난방용으로 구별되며 산업용은 대기업

과 중소기업으로 구분할 수 있고 난방용은 보일러 사용시간과 운전부하에 따라 단순히 난방과 급탕 만을 위하여 운전하는 경우와 그 외 영업의 목적으로 통상적인 가동시간이 산업체 정도에서부터 단순 난방과 급탕 만을 위한 보일러 보다 많은 시간을 가동하는 것으로 구분할 수 있다.

위의 분류는 보일러의 운전관리 상태 및 스케일정도, 관리자들의 수준, 시설보유상태 등에서 어느 정도의 차이를 갖고 있으며 특히 스케일의 양적인 면을 고려 할 때는 확연하게 차이가 난다.

나) 스케일의 상태

가)항의 분류에 따라 현황을 파악해 보면 보통 기업체의 규모, 관리자의 수준, 시설, 보일러의 사용용도, 응축수회수율 등이 스케일 형성에 주요한 인자이며 그러한 사항들을 평균적으로 분류하면 예외도 있겠으나 Table. 3과 같다.

구 분	분 류	평균관리상태,관리자수준	정수기보유 및 관리	스케일상태
산업용	대기업	양호, 상	보유, 적정관리	0.5mm 이하
	중소기업	중간 및 부적합, 중하	보유 미보유, 부적합	1mm이상
난방용	단 순 난 방 , 급탕	부적합, 관리인력부족(하)	미보유, 부적합	0.5mm이하
	상업용	양호, 중	보유, 부적합	0.5-5mm

Table. 3

* 위의 Table은 평균적인 사항을 기재하였으며 중소기업이라도 수준이 대기업을 능가하는 업체도 있음.

4. 초음파 스케일방지기의 원리

1)초음파란 ?

일반적으로 사람의 귀에 들리지 않는 주파수를 말하며 통상 10Khz이상의 주파수를 생각할 수 있으나 엄격하게 주파수의 한계를 규정하기에는 어려움이 있다.

2) 진동의 원리

초음파는 금속, 액체, 기체순으로 전달 속도가 빠르며 보통 설비를 구성하고 있는 재료는 대부분 금속이므로 금속을 통하여 설비 전체에 진동이 전달된다.

그러나 그 진동은 극히 미미하다. 그리고 알루미늄 재질에는 초음파를 사용할 수 없다.

이는 초음파의 원리 중 cavitation 작용에 의하여 알루미늄 재질이 손상되기 때문이다.

3) 공기방울 생성의 원리(cavitation)

초음파가 금속의 표면을 통하여 물에 전달되면 물 속에서 수많은 기포가 생성, 소멸되면서 물 속의 가스체를 흡수하고 폭발을 반복하면서 물 속의 입자를 분쇄하며 폭발 할 때는 수만도 k° 의 온도를 방출하나 공기 방울이 워낙 작아 온도의 상승은 극히 미약하다. 이는 pilot실험을 통하여 확인 할 수 있고 장시간 실험을 할 경우 실험조의 물의 온도는 여러 가지 요인에 의하여 약간 상승하는 것을 알 수 있다.

또한 공기방울 생성의 양 즉 cavitation 현상은 물의 온도와 주파수에 따라 다르며 설비의 구조, 두께에 따라 같은 주파수에도 cavitation 현상은 틀려진다.

4) 표면증가의 원리

물 속의 입자가 초음파에 의하여 분쇄되면 입자의 표면적은 증대되고 증대된 표면에 다시 입자가 결합되고 다시 분쇄되는 과정을 반복하며 입자는 미세하게 분쇄된다.

이는 공기방울 생성의 원리에서 설명되었으며 동시에 일어나는 원리이며 이 역시 pilot 실험에서 눈으로 확인 할 수 있다.

5) 파동의 원리

초음파가 금속을 통하여 물에 전달되면 물과 금속 표면 사이에 미세한 파동이 일어나 설비의 표면에 입자와 가스체가 붙는 것이 억제되고 대류에 의한 열 전달이 좋아진다.

6) 스케일 제거의 원리

관 또는 금속의 표면에 붙어 있는 스케일에는 항상 갈라진 틈이 있다. 이는 금속과 스케일의 열팽창 계수 차이에 기인하는 것이며 열 설비와 모든 설비는 온도의 변화가 수반되므로 팽창, 수축을 반복하는 과정에서 틈이 발생된다.

초음파가 금속을 통하여 물에 전달되는 과정에 있어서 공동현상의 원리에 의하여 생긴 공기방울이 스케일의 미세한 틈으로 침투하여 폭발하고 그 폭발하는 에너지로 기준의 스케일이 덩어리 형태로 떨어진다.

7) 기타의 원리

여러 가지 부차적인 물리적, 화학적 원리가 동시에 작용하지만 이러한 원리들은 기본의 원리에 비하여 극히 작은 효과만 갖기 때문에 구체적으로 언급할 필요가 없다.

그러나 초음파를 냉각수 순환계통에 적용하여 본 결과 냉각수 순환수의 탄산칼슘 농도가

현저히 떨어지는 것을 확인 할 수 있었다.

5. 초음파 스케일방지기(USP) 효과 분석

1) 효과분석방법

효과분석은 초음파스케일방지기를 설치하기 전의 보일러 내부의 스케일 상태를 확인하고 설치 후 시간경과에 따라 보일러를 개방하여 그 진행상태를 점검하여 스케일 두께를 감안하여 에너지 절감량을 추정 산출했으며 초음파 스케일 방지기설치전과 설치후의 보일러 관수를 분석하여 초음파스케일방지기가 제 성능을 발휘하고 있는지 관수의 차이는 어떻게 나는지 등을 분석했으며 또한 초음파의 원리대로 고온, 고압의 보일러 내에서 제대로 작용이 일어나는지 등을 분석하였음. (Table. 4)

물질명	그을음 (soot)	규 산 염 주 체 의 스케일	탄 산 염 주 체 의 스케일	황 산 염 주 체 의 스케일	물	연강	동	주석	유지분	철 산 화 물 (헤 미 타이 트)	철 산 화 물 (마 그 네 타 이트)
열전도율 Kcal/m.h.℃	0.06- 0.1	0.2 - 0.4	0.4- 0.6	0.6- 2.0	0.5- 0.6	40- 60	320- 360	0.06- 1	0.1	1.0	3-5

Table. 4

*부착스케일의 두께에 연료사용량의 증가율을 살펴보면, 1mm두께의 탄산칼슘 주체의 스케일이 부착하면 연료의 4%정도 증가시켜야하고 실리카 주체의 스케일이라면 8%정도의 연료를 증가시켜야만 스케일이 부착하지 않은 때와 동일한 열효율을 나타나게 된다. ¹⁾

2) 효과 분석

사례 1

◇현대자동차 연구소의 예

보일러 형식 : 노통연관 10 T/H

초음파스케일방지기 : USP-1000 (ACOUSTIC POWER 15 W)

설치년월일 : 1997. 2. 23 효과확인일시 :1997. 5.19

● 환경규제내용

수질환경보존법 시행규칙 제40조 규정에 의거 공공기초환경시설에 대한 방류 수 수질기준이 '96년도부터 강화되고 질소 인 등의 새로운 기준이 적용됨. (Table. 5)

<하수, 폐수종말처리 시설>

구분	B O D	C O D	S S	총질소	총인
하수종말처리시설	30('95) → 20('96)	50 →40	70 → 60	— → 60	— → 8
폐수종말처리시설 (농공단지 오. 폐수 종말처리 시설포함)	30 → 30	50 → 40	70 → 30	— → 60	— → 8

Table. 5

* 방류수 수질기준 강화현황 ('95→'96) *

※당 연구소 청 관제 사용으로 인한 배출 총 인량 = 30~ 40 ml/l

※당 연구소는 보일러 청관제 사용으로 방류수 수질기준을 상위 하는바 단속 대상이 되므로 청관제 사용을 자제하여 환경오염방지에 만전을 기하여 기업 이미지를 향상하고자 함.

◎효과

※당 연구소 화성군청에서 실시한 환경 단속시 초음파 스케일 방지기 설치로 청관제를 미 사용하여 단속 대상에서 제외 됨.('97년 3월 단속점검)

※1차로 10 T/H 보일러에 설치한 3개월 후에 점검한 결과 스케일 및 부식방지 효과가 우수하다고 판단되어 2차로 나머지 보일러에 추가 설치하고자 함.

- ◇ 청 관제 사용중지로 환경오염방지 및 비용절감 - 환경단속대상에서 제외
- ◇ 보일러 검사를 위한 세관 중지로 세관비용 절감
- ◇ 세관 시 발생하는 폐수발생 발생 방지
- ◇ 보일러 검사기간 단축으로 보일러 정지시간 단축
- ◇ 스케일 방지로 열 효율증대 및 연료비 절감. (1.1%)
- ◇ 보일러 수명연장
- ◇ 양질의 스팀공급(청 관제 미사용)

* 현대자동차 연구소의 내부 결과 보고서 인용 *

사례 2

◇대우중공업(주)의 예

보일러형식 : 수관식 3T/H

초음파스케일방지기 : USP-500(ACOUSTIC POWER 7.5W)

설치년월일 : 1997. 8. 4 설치 효과확인일시 : 1997. 8. 21(1차 수질분석)

1997. 10. 23(2차 수질분석) 1997. 10. 27 보일러 개방 육안검사 실시

< 수질분석 Date>

항목	PH	Cu	Zn	Fe	염분	SS	So ₄	Na	K	Ca	Al	Sio ₂	Mg
설치전	8.5	0.02	0.31	1.33	17.7	113.7	28.8	3.98	1.02	22.44	0.17	-	3.64
1차	10.5	0.02	3.32	29.0	117.0	673.2	119.4	35.6	15.87	104.7	0.59	-	0.93
2차	10.7	0.03	3.42	26.81	184.4	984.0	271.1	98.75	29.66	111.6	0.66	-	7.38

Table. 6

◎효과

※수질 분석

모든 수질 측정항목의 Date 상승 (Table. 6)

- PH 상승

- USP 가동 시 보일러 관수 중 Scale 생성 촉진 성분인 Fe, Ca, Mg 등의 함량이 농축 증가되고 있는 것으로 나타나 보일러 내벽에 Scale 생성억제 / 기존 Scale 제거되고 있다고 판단.

※육안 확인 검사

-새로 교체된 수관 : Scale 생성 부착 없음.

 꺾끄러운 촉감정도 (Sand Paper)의 미립자 상 물질 있음.

-기존 Drum : 기존 부착된 Scale이 박리되어 하부에 퇴적

 Sludge(진흙 형태)와 Scale 상태로 박리진행 / 퇴적

※결론

별도의 수 처리를 하지 않는 상태 하에서의 수질분석과 육안 확인에 의한 종합분석 결과 Scale 생성억제 / 제거 효과가 있다고 판단됨.

* 대우중공업(주)의 내부 결과보고서 인용 *

사례 3

◇애경백화점의 예

보일러형식 : 노통연관 6 T/H 2대 노통연관 8 T/H 1대

초음파스케일방지기 : USP-900 3대 (ACOUSTIC POWER 10 W 3대)

설치년월일 : 1997. 7. 26

효과분석확인 : 1년간 운전일지 (전년대비)

◎효과

난방설비는 도시가스용 노통연관 보일러 3대에 초음파스케일 방지기를 설치하여 운전한 결과 연간 사용량의 15%에 해당하는 115,909m³(약 4,400만원)의 절감효과를 보았으며 운전시간 경감으로 인한 CO₂, NO_x, SO_x 등의 환경오염 물질발생을 줄일 수 있음은 물론 기기의 화학 세관 중단으로 매년 20TON씩 발생하는 화학 폐기물의 발생을 억제함으로써 수질오염 방지에도 기여하고 있다. ²⁾

사례 4

◇세아염직의 예

보일러형식 : 노통연관 5 T/H

초음파스케일방지기 : UZU-2 (ACOUSTIC POWER 1 W)

설치년월일 : 1993. 5. 11 효과분석일시 : 1993. 6. 20(1차 개방확인)

1993. 7. 4 (2차 개방확인 및 청소)

◎효과

초음파 스케일 방지기 설치 전 보일러 화학 세관 후 약 2mm의 스케일이 전열면에 부착된 상태에서 초음파 스케일 방지기를 설치(1993.5.11)하여 40일이 경과한 1993.6.20 보일러를 개방하여 육안 확인결과 스케일이 박리되고 있었으며 더 이상 스케일의 진행이 되고 있지 않았으며 54일 경과 한 1993.7.4 보일러를 개방하여 본 육안 검사 시 스케일이 거의 제거되고 물로만 청소를 시행하였음. (Fig. 5)

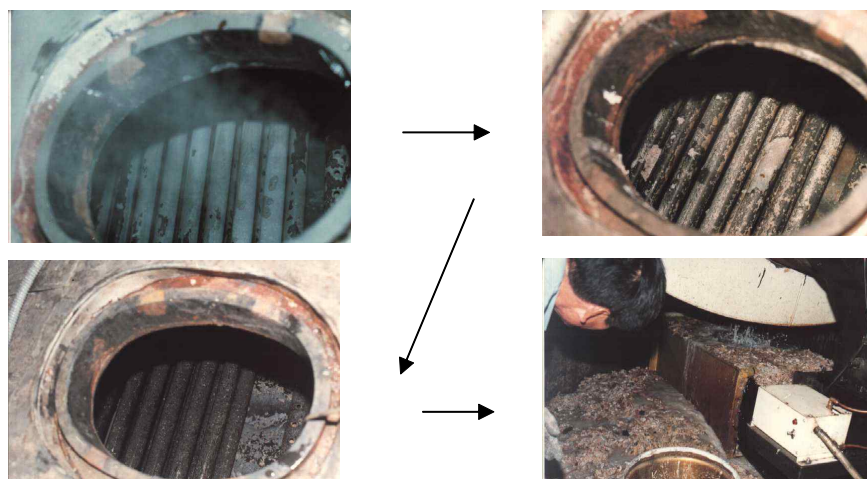


Fig. 5

6. 결 론

상기의 현황대로 우선 악조건의 열 설비와 보일러에 적용한 결과 때로는 화학 세관 없이 보일러가 깨끗한 상태로 유지되는 곳도 있고 악 조건의 경우 정기적으로 보일러 개방 후 탈락된 스케일 제거 및 청소를 실시하여 관 수의 TDS(total dissolved solids)를 낮추어 주어야 하였으며 전반적으로 에너지 절약효과는 악조건의 수질일수록 중소기업의 경우 엄청나게 높았다.

대구 H사의 경우 휴일 후 보일러의 승압 시간이 2시간에서 30분으로 단축되었으며 연간 연료가 약20%이상의 절약효과가 인정(사장님의 별도 연료사용량 기장에서 파악)되고 일부 대기기업의 경우도 한때 물 관리 잘못으로 부분적인 스케일이 초음파로 제거되는 등의 효과가 있었으며 대구지역의 경우 한때 초음파스케일 방지기로 인하여 인산 염을 주로 하는 청관 제의 사용량을 월간 3톤 이상 줄이기도 하였다.

그러나 효과 분석에서 나타나는 공통적인 사항은 중소기업인 경우 대표자의 의지와 전체적으로는 관리자 및 실무자의 의식과 의지에 따라 동일 조건에서도 결과의 차이는 컸었다.

초음파스케일방지기에 의한 에너지 절약효과는 중소기업의 경우 평균 10 - 15 %, 대기기업 및 난방의 경우 평균 3 - 10 %의 절약효과를 보았으며 관리자 및 실무자의 의식과 능력에 따라 차이가 많이 발생했다.

이는 모든 분야에서도 적용되는 사항으로 의식개혁과 정부차원의 적절한 교육 및 인센티브 제도를 검토해야 할 필요가 있는 것으로 판단된다.

사 용 기 호

TDS : Total Dissolved Solids

참 고 문 헌

- 1)월간에너지관리 : 1997.9.5발행 / 통권 256호 (에너지관리공단)
- 2)월간 열관리 : 1999.1.1발행 /99.1 Vol. 14, No. 148