



이승구 대표
(주)울코
morko@morko.com

1. 머리말

세계적으로 열 발생설비 및 물을 매개로 하여 열 교환작용이 일어나는 설비의 가장 문제로 대두되는 것이 전열 면에 형성되는 스케일에 의한 열효율 저하, 설비의 정비에 따른 운전정지 및 시간과 경비문제, 설비의 수명단축, 안전문제, 환경오염 등이었다.

스케일로 인하여 야기되는 많은 문제점을 안고 있으면서도 산업사회 이후 보편적인 스케일 방지 방법이 개발되지 못한 것은 각 지역별, 계절별, 수원 등이 모두 다르고 또한 설비의 운영을 담당하고 있는 운영자들의 기술, 의식, 노력들이 모두 다르기 때문이며 제대로 된 보편적인 스케일 방지 방법이 없었기 때문이다.

특히 근래에 와서 환경 문제가 민감하게 대두되고 세계기후변화협약 등 국제적인 환경문제로 인한 규제 및 부담이 가중되고 있는 시점에서는 설비의 효율저하와 환경오염물질 배출은 기업 및 국가의 생존차원과 연계되어 있다해도 과언이 아니다.

그런 와중에 전자 산업의 발달로 구 소련에서 이러한 문제점들을 해결하기 위한 노력으로 강력 초음파를 이용한 스케일의 형성방지 및 제거기술이 80년대 초에 개발되었으며, 국내에는 '92년 기술 소개, '93년 대구지역에 최초로 설치되어 세계 두 번째로 초음파에 의한 스케일 방지기술을 사용하게 되었다.

국내에 최초로 설치된 이후 많은 우여곡절과 국내의 여건이 러시아와 다르다는 문제, A/S 문제, 국내 운영자의 의식 등 제반 문제점 등으로 인하여 보급이 원활하게 이루어지지 못하였다. 그런 어려운 여건 속에서도 꾸준한 연구 개발이 이루어져 이제는 도입 초기 단계보다 월등한 기술과 제품을 생산하게 되었을 뿐만 아니라 기반 기술은 빈약하여도 스케일 방지기술에 관하여는 러시아보다 진일보하였다 평가할 수 있으며 수출도 이루어지는 등 짧은 기간 내에 많은 발전을 거듭하였다.

초음파의 원리에 의하여 스케일이 방지되고 제거되는 보편 타당한 기술로서 점차 수질이 나빠지고

있고 물이 부족해지는 시점에서 국내의 열 발생 및 열 사용설비의 효율을 증대시키고 환경오염 물질을 억제시킬 수 있는, 이로 인하여 기업의 경쟁력 및 에너지 절약에 크게 기여할 수 있는 기술로서 ESCO관련 업체에서는 채택하기 쉬워 널리 보급해야 할 기술이라 할 수 있겠다.

2 초음파 이용기술의 원리

1) 초음파란 ?

일반적으로 사람의 귀에 들리지 않는 주파수를 말하며 통상 20Khz이상의 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.



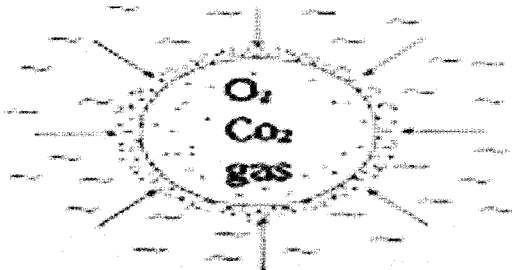
3) 공기방울 생성의 원리(cavitation)

초음파가 금속의 표면을 통하여 물에 전달되면 물 속에서 수많은 기포가 생성, 소멸되면서 물 속의 가

스케일을 흡수하고 폭발을 반복하면서 물 속의 입자를 분쇄하며 폭발할 때는 수만도 K°의 온도를 방출하나 공기 방울이 워낙 작아 온도의 상승은 극히 미약하다.

이는 Pilot실험을 통하여 확인할 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 주

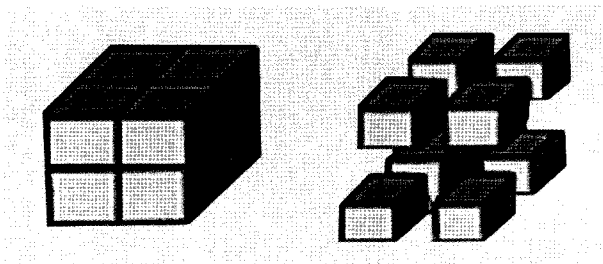


파수에도 Cavitation 현상은 달라진다.

4) 표면증가의 원리

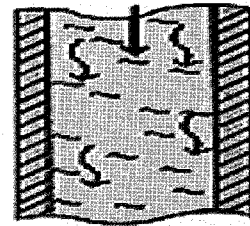
물 속의 입자가 초음파에 의하여 분쇄되면 입자의 표면적은 증대되고 증대된 표면에 다시 입자가 결합되고 다시 분쇄되는 과정을 반복하며 입자는 미세하게 분쇄된다.

이는 공기방울 생성의 원리에서 설명되었으며 동시에 일어나는 원리이며 이 역시 Pilot 실험에서 눈으로 확인할 수 있다.



5) 파동의 원리

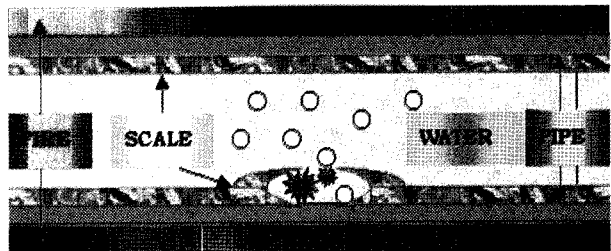
초음파가 금속을 통하여 물에 전달되면 물과 금속 표면 사이에 미세한 파동이 일어나 설비의 표면에 입자와 가스가 붙는 것이 억제되고 대류에 의한 열 전달이 좋아진다.



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 기존의 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 확인할 수 있었다.

3. 초음파 기술의 국내외 동향

초음파의 이용범위는 실로 다양하며 계속적으로 그 이용범위가 확대되고 있다.

대별하면 신호, 즉 통신적인 이용방법과 동력적인 이용방법으로 구분할 수 있으며, 이는 산업과 생활 여러 분야에서 사용되어지고 있다.

쉽게 볼 수 있는 것이 병원에서 사용되어지는 각종 초음파진단, 초음파치료 등이고, 생활에서는 초음파 세척기, 미용기, 시계, 자동차 후방센서 등이며, 산업에서는 유량계, 측정기, 스케일방지기, 드릴링기 등 그 이용분야는 헤아릴 수 없이 많다.

그러나 여기서는 주로 국내의 산업 분야, 그 중에서도 동력이용분야만을 주로 언급하고자 한다.

현재 국내의 산업분야에서 사용되어지고 있는 초음파의 동력이용분야는 단연 각종 부품의 세척 분야이다.

기계부품의 세척에서부터 반도체, PCB 등 세척이 필요한 여러 분야에서 초음파의 Cavitation 에너지를 이용하여 세척을 하며 그 사용 주파수대도 15~100 kHz 이상까지 다양하게 사용되어지고 있다.

다음으로 용착(용접) 분야를 들 수 있다. 초음파의 높은 진동을 이용하여 압력을 가하면 플라스틱이나, 박판의 금속 등이 접촉면에서 마찰열에 의하여 모재끼리 접착되는 원리를 이용한다. 이는 열 용착 방식보다 모재가 깨끗하고 변형이 없으며 외관도 미려하여 앞으로 여러 분야에서 이용을 확대하고 있는 실정이다.

위의 두 가지 이용분야는 초음파의 동력적 에너지 이용방법의 예로 Cavitation 이용과 진동이용의 대표적인 방법이라 하겠다.

그 외에 당사에서 최근 개발한 초음파를 이용한 발전소 냉각수 유입구의 물고기 접근방지 방법, 초음파 조류 퇴치기, 섬유 염색가공분야의 염색기 이용 초음파 장치, 감량기 이용 초음파 장치, 폐수 농축증발기, 연료유의 개질 및 에멀전화, 멸균 등 국내에서도 그 이용방법이 점차 확대되어 가고 있는 실정이다.

또한 앞으로 에너지와 환경 문제가 사회 전반에서

점차 그 비중이 높아지므로 국내의 각 연구소, 대학교 등에서 그 효율성을 인식하고 여러 분야에서 초음파의 이용을 연구하고 있다.

그 이용분야는 IT, BT, NT 등 한국에서 향후 국가 발전의 기본전략 기술분야에서 많은 연구와 노력이 진행되고 있어 앞으로의 초음파 이용은 더욱 확대되리라 생각되어지며 그 전망도 매우 밝다고 할 수 있다.

이는 ESCO 분야에 종사하는 여러 기업 및 임직원들도 주의 깊게 관찰 연구할 필요가 있으며 진단시 고려하여야 할 기술분야로 생각되어진다.

왜냐하면 앞에서 설명한 바와 같이 초음파의 이용기술은 에너지 환경 분야에서 필요하며 보다 많은 사람들이 연구 개발에 참여함으로써 좀 더 나은 기술들이 개발될 수 있기 때문이다.

4. 에너지 절약 효과분석 및 실제 적용사례

1) 효과분석방법

효과분석은 초음파스케일방지기를 설치하기 전의 보일러 내부의 스케일 상태를 확인하고 설치 후 시간 경과에 따라 보일러를 개방하여 그 진행상태를 점검하였다. 스케일 두께를 감안하여 에너지 절감량을 추정 산출했으며 초음파 스케일 방지기 설치 전과 설치 후의 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 분석하였다(표 1).

※부착스케일의 두께에 연료사용량의 증가율을 살펴보면, 1mm 두께의 탄산칼슘 주체의 스케일이 부착하면 연료의 4% 정도 증가시켜야 하고 실리카 주체의 스케일이라면 8% 정도의 연료를 증가시켜야만 스케일

<표 1> 초음파스케일 방지기 설치 후 효과분석

물질명	그을음 (soot)	규산염 주체의 스케일	탄산염 주체의 스케일	황산염 주체의 스케일	물	연강	동	주석	유지분	철산화물 (헤미타이트)	철산화물 (마그네타이트)
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

이 부착하지 않은 때와 동일한 열효율이 나타나게 된다.

2) 효과 분석

〈사례 1〉

● 현대자동차 연구소의 예

- 보일러 형식 : 노통연관 10 T/H
- 초음파스케일방지기 : USP-1000 (ACOUSTIC POWER 15W)
- 설치년월일 : 1997. 2. 23
- 효과확인일시 : 1997. 5. 19
- 환경규제내용

수질환경보존법 시행규칙 제40조 규정에 의거 공공기초환 경시설에 대한 방류수 수질기준이 '96년도부터 강화되고 질 소, 인 등의 새로운 기준이 적용된다(표 2).

〈표 2〉 하수, 폐수종말처리시설

구 분	BOD	COD	SS	총질소	총인
하수종말처리시설	30('95) 20('96)	50 40	70 60	10 60	1 8
폐수종말처리시설 (농공단지 오, 폐수 종말처리시설포함)	30 30	50 40	70 30	10 60	1 8

● 방류수 수질기준 강화현황 ('95 ~ '96)

※당 연구소 청관제 사용으로 인한 배출 총 인량 = 30~40 ml/t

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

■ 효과

※당 연구소는 화성군청에서 실시한 환경 단속시 초음파 스케일방지기 설치로 청관제를 미사용하여 단속 대상에서 제외됨('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.

- 청관제 사용중지로 환경오염방지 및 비용절감
- 환경단속대상에서 제외
- 보일러 검사를 위한 세관 중지로 세관비용 절감
- 세관시 발생하는 폐수발생 방지
- 보일러 검사기간 단축으로 보일러 정지시간 단축
- 스케일 방지로 열 효율증대 및 연료비 절감(1.1%).
- 보일러 수명연장
- 양질의 스팀공급(청관제 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 효과 확인일시 : 1997. 8. 21(1차 수질분석)/1997. 10. 23(2차 수질분석) / 1997. 10. 27 보일러 개방 육안검사 실시

■ 효과

※수질 분석

모든 수질 측정항목의 Date 상승(표 3)

〈표 3〉 수질분석Date

항 목	PH	Cu	Zn	Fe	염 분	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

- PH 상승
- USP 가동시 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.

겉끄러운 촉감정도 (Sand Paper)의 미립자 상 물질 있음.

- 기존 Drum : 기존 부착된 Scale이 박리되어 하부에 퇴적, Sludge(진흙 형태)와 Scale 상태로 박리 진행 / 퇴적

※결론

별도의 수처리를 하지 않는 상태 하에서의 수질분석과 육안 확인에 의한 종합 분석 결과 Scale 생성억제/제거 효과가 있다고 판단됨.

※대우중공업(주)의 내부 결과보고서 인용

<사례 3>

●애경백화점의 예

- 보일러형식 : 노통연관 6T/H 2대 노통연관 8T/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 환경오염물질발생을 줄일 수 있음은 물론 기기의 화학 세관 중단으로 매년 20TON씩 발생하는 화학폐기물의 발생을 억제함으로써 수질오염 방지에도 기여하고 있다.

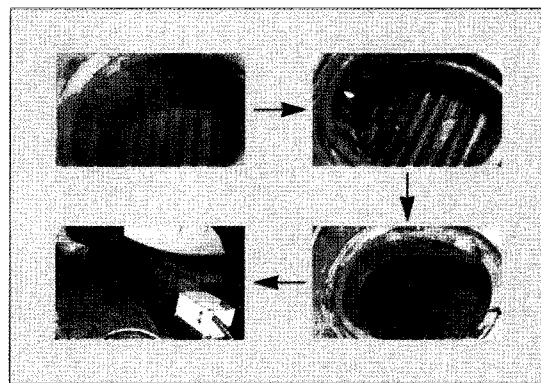
<사례 4>

●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

초음파스케일방지기 설치 전 보일러 화학 세관 후 약 2mm의 스케일이 전열면에 부착된 상태에서 초음파스케일방지기를 설치(1993.5.11)하여 40일이 경과한 후 보일러를 개방하여 육안 확인결과 스케일이 박리되고 있었으며 더 이상 스케일의 진행이 되고 있지 않았으며 54일이 경과한 후 보일러를 개방하여 본 육안 검사시 스케일이 거의 제거되고 물로만 청소를 시행하였다(사진 1).



<사진 1> 보일러 개방 후 스케일 제거 확인작업

<기타 사례>

●염색기 부착(서광산업) 및 액류 감량기(한비염직) 부착 예

- 염색기 형식 : 레피드 1 Tube
- 초음파 장치 : Generator : 220V single phase,
Power consumption : 1 kW

Frequency : 15.6 kHz

Transducer 수 : 6 개 (박판용 자기왜곡변환기 부착)

- 설치년월일 : 1999. 12

■ 효과

- 에너지 절약 : 증기 4 ~ 6%

전기 30 ~ 38% (운전시간 단축에 의한 모터 구동전기)

- 액류감량기 형식 : 2 Nozzle

- 초음파 장치 : Generator : 220V single phase,

Power consumption : 1 kW

Frequency : 23.8 kHz

Transducer 수 : 6개 (박판용 자기왜곡변환기 부착)

- NaOH 사용량 50% 절감

- 용수 절약 및 고농도 폐수 발생량 감소

(용수 : 1회 사용 수세물 5~6회 사용,

감량 폐액 : 3~4회 재사용 6~8회 재사용)

- 조제사용량 감소 (소포제 사용량 50% 감소)

- 에너지절감효과 약 10% 이상 예상(동일조건 감량시 시간 단축 효과)

5. 결론

초음파의 동력적 에너지를 이용하여 보일러나 열 설비에 스케일방지 및 염색, 감량시간 단축 및 효과를 파악해본 결과, 상기의 현황대로 우선 악조건의 열 설비와 보일러에 적용한 결과 때로는 화학 세관 없이 보일러가 깨끗한 상태로 유지되는 곳도 있고 악조건의 경우 정기적으로 보일러 개방 후 탈락된 스케일 제거 및 청소를 실시하여 관수의 TDS(Total Dissolved Solids)를 낮추어 주어야 하였으며 전반적으로 에너지 절약효과는 악조건의 수질일수록 중소기업의 경우 엄청나게 높았다.

대구 H사의 경우 휴일 후 보일러의 증압 시간이 2시간에서 30분으로 단축되었으며 연간 연료가 약 20% 이상의 절약효과가 인정(사장님의 별도 연료사용량 기장에서 파악)되고 일

부 대기업의 경우도 한때 물 관리 잘못으로 부분적인 스케일이 초음파로 제거되는 등의 효과가 있었으며 대구지역의 경우 한때 초음파스케일 방지기로 인하여 인산염을 주로 하는 청관제의 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%, 대기업 및 난방의 경우 평균 3~10%의 절약효과를 보았으며 관리자 및 실무자의 의식과 능력에 따라 차이가 많이 발생했다.

또한 염색가공 설비나 감량설비, 수세설비 등에서도 초음파의 이용효과는 에너지 절약 이외에 환경오염 방지효과도 높았음을 알 수 있다.

이와 같이 초음파의 사용용도는 넓고 앞으로도 에너지 절약과 환경 개선적인 측면에서 이용분야의 확대가 필요하다고 판단되며 많은 기업이나 분야에서 더욱 연구노력이 필요할 것으로 사료된다. ☞

참고 문헌

- 1) 월간 에너지관리 : 1997. 9. 5 발행 / 통권 256호(에너지관리공단)
- 2) 월간 열관리 : 1999. 1. 1 발행 / Vol. 14, No. 148
- 3) 초음파를 접목한 폴리에스테르 직물의 액류감량기술개발(한국섬유개발연구원) 1999
- 4) Magnetostrictive형 초음파 장치를 접목한 액류염색기술 및 장치개발(산업자원부) 2000
- 5) 신 합섬 섬유용의 감량기술개발(중소기업 기술혁신개발사업 연구보고서) 2001