



가정용 보일러의 소음에 대하여



권 병 하

(소음진동 기술사, 귀뚜라미 냉난방기술연구소)

보일러와 온수기는 현대사회에서 필수불가결한 중요한 가전기기 중의 하나이다. 사실 보일러의 위치는 가전제품이라고 불리기에 애매하고, 산업설비라고 부르기에는 우리 생활에 너무나 밀접한 관계이다. 하지만 앞으로는 가전제품이라고 불려도 손색이 없을 것이리라. 빈집에 입주하려는데 가전제품 3가지를 선택하라고 하면 여러분을 어떤 것을 고르실 것인가? 나는 가스레인지, 냉장고, 보일러를 고를 것이다. 인간 생존에 필요한 음식을 조리하고 식재료를 보관하며 체온을 유지하며 안락한 휴식을 취할 수 있는 제품을 선택해야 생존의 필요조건이 된다고 본다. 아파트를 기준으로 보면, 과거에는 보일러가 집에 있는지 없는지 모를 정도의 위치에 설치되어 있었다. 하지만 주택구조가 판상형 아파트에서 타워형으로 바뀌면서 보일러는 드디어 우리의 눈에 띄면서 소음진동을 만들어 내기 시작했다. 그동안 가장 큰 소음의 원인인 냉장고는 지속적인 기술개발과 설치위치가 주방베란다 또는 거실에서 멀어지면서 문제가 계속 해결되고 있다. 하지만 보일러는 타워형 구조에 의해서 안방 또는 작은방 쪽으로 나오면서 소음진동 문제를 호소하는 민원인이 점차 증가하고 있다.

가정용 보일러의 분류는 KS기준에 의한 분류 방식이 있지만 여기서는 소음진동 관점에서 분류를 하였다. 버너형식, 열교환기 방식, 연료 방식 및 팬(fan) 설치위치에 따라서 구분이 될

수 있다(표 1).

보일러 생산에서는 위의 각 분류를 조합하여 제조사별로 다른 제품이 생산된다. 예를 들어 국내제품은 “콘덴싱+예혼합 버너+저탄식+LNG+배풍기”와 같은 방식으로 생산이 되거나 해외판매 제품은 “콘덴싱+예혼합 버너+저탄식+LNG+송풍기”와 같이 생산이 된다. 이러한 이유로 생산된 제품마다 다른 소음진동 특성을 나타내고 있다.

보일러 소음은 여러 가지 부품의 조합으로 인하여 다양한 소음진동원이 존재하며, 보일러제품에서 발생하는 소음진동에는 표 2와 같은 종류가 있다.

과거 판상형 아파트는 보일러 설치를 습식벽체에 하였으나 현재 타워형 구조에서는 건식벽체에 보일러가 설치되는 경우가 많다. 습식벽체에 설치하는 경우, 단열을 위하여 석고보드 위에 설치되는 경우가 있으며, 석고보드에 설치하는 것은 문제가 아니고 석고보드가 습식벽체에 잘 밀착되지 않거나 이격이 생기면 보일러 진동에 의하여 구조전달음이 발생하게 된다. 일부 구조에서는 별도의 보일러실에 설치를 하고 있으나 거주공간인 안방 근처에 설치되고 있다. 보일러 작동 시 팬, 펌프 및 연소진동에 의하여 구조진동이 발생, 전파되면서 다른 방에서 구조전달음을 유발하는 경우도 있다. 건설사에서는 보일러실 설치위치 맞은편 방에 불박이장을 설치하는 것

을 권고하고 있으나, 일부 세대는 권고에 따르지 않으며, 불박이장이 없는 경우에는 소음도가 2 dB~5 dB 정도의 차이를 보이고 있다. 즉, 불박이장을 설치한 소비자는 소음민원이 적으나 설치하지 않은 세대에서는 불박이장 위치에 침대를 설치하여 소음민원을 제기하는 경우가 많다. 소비자의 선택이고 강제할 수 없는 사항이라 소음에 시달리는 민원인을 보면 안타까울 따름이다. 쉐의 언밸런스 교정이 되지 않은 경우, 저주파 진동과 소음이 전파되기 때문에 상당히 먼 거리까지 전파가 된다. 일부 구조에서는 아파트 공동부를 통하여 보일러에서 발생한 공기전달음과 구조전달음이 상/하층으로 전달되어 민원을 발생시키는 경우도 있다(1층 망치질이 10층까지 전달되는 것과 같은 현상). 보일러 자체의 소음

진동을 저감해야 하지만 건설사 입장에도 충분한 전달경로를 예상하여 보일러 설치위치를 결정하고 설계에 반영하여야 보일러 소음에서 해방될 수 있다.

보일러는 고객이 대리점이나 마트에서 선택하는 다른 가전제품과 달라 B2B 사업이 주축을 이루고 있다. 재건축, 리모델링 또는 개별 구입이 아닌 이상 보일러는 입주 또는 이사를 하게 되면 설치되어 있는 경우가 대부분이다. 이런 점으로 시장에서는 좋은 보일러보다 설치업체가 이익을 극대화하는 저가형 제품이 설치되고, 조사에서는 저가형 보일러에 충분한 방음방진 대책을 반영한 제품을 시장에 공급하기 어려운 실정이다.

보일러의 소음진동을 사내에서 분석하기 위하

표 1 가정용 보일러 종류

분류방식	상세구분	비고
잠열 이용	- 일반형 보일러 - 콘덴싱 보일러	- 일반형 보일러는 잠열 열교환기가 없는 보일러를 말하며 가장 보편적인 보일러임. 일반주택, 오피스텔 등에 많이 사용되고 있음 - 콘덴싱은 대기로 빠져나가는 배기가스의 열원을 재활용(잠열 열교환기)하기에 NOx 저감 효과가 있음 - 콘덴싱 방식에서는 응축수가 발생하기에 반드시 배수구가 필요하며 상대적으로 고가임
버너형식	- 분젠 버너 - 예혼합 버너	- 분젠버너는 온수기 및 일반형 보일러에 많이 사용되고 있음 - 예혼합버너는 주로 콘덴싱 보일러에 적용되고 있으며 연소효율이 좋고 NOx와 미세먼지 발생이 작음
온수공급방식	- 저탕식 - 순간식	- 제조사마다 채택하는 방식이 다르며 제품을 정의하는 대분류 중의 하나이다. - 저탕식은 물탱크에 온수를 보존하면서 온수 사용 시 즉시 온수를 공급할 수 있음 - 순간식은 작동을 하면 물이 가열되어 온수가 되는방식이로 순간 가열과 열불균형 상태로 인하여 내부 구조상 비등소음 발생 확률이 저탕식에 대비하여 높음
연료 종류	- 기체(LNG, LPG) - 액체(기름) - 고체(펠릿, 화목)	- 도시가스인 LNG가 대부분이며 LPG, 기름, 펠릿 및 화목은 설치환경과 사용용도에 따라서 결정됨 - 대부분의 연구는 LNG 및 LPG를 연구함
쉐 설치 위치	- 송풍기 - 배풍기	- 연소된 폐가스를 열교환기에서 뽑아내는 방식이 배풍기 방식이며 열교환기 내부로 공기와 연료를 밀어 넣는 방식이 송풍기임

여 무향실과 잔향실에 준하는 설비가 갖추어 져야한다. 그러나 일반적인 무향실과는 달리 보일러의 소음을 측정하기 위하여 무향실 내부에 가스 및 공기수 및 폐수 설비가 있어야 함으로 상당히 고난이도의 무향실이 필요하게 된다. 보일러 시험 중에 발생하는 배기가스를 배출하면서 외부 소음이 유입되지 않게 하며, 콘덴싱 보일러의 경우는 응축수가 발생하기 때문에 이에 대한 대비도 있어야 한다. 보일러 시험 시 연도에서 나오는 폐가스를 충분히 배출시키지 못하면 안전 사고가 날 수 있으므로 안전에 대한 충분한 주의

를 기울여야 한다.

현재 이 연구소에서 보유하고 있는 무향실은 보일러 업계에서는 세계최고의 수준이며 보일러 제품 및 부품에 대한 시험을 진행할 수 있는 세계 최고 수준의 소음실을 보유하고 있으며 반무향실의 배경소음도는 16 dB 수준이며 연결된 소음실의 배경소음도 또한 어떠한 소음 문제도 대응할 수 있도록 구축이 되어 있다. 기존에 외국인증기관에서 진행하는 시험을 충분히 대체할 수 있는 소음측정 시스템을 구축하고 있다. 그림 1은 필자가 소속된 연구소의 본사에서 보유중인

표 2 보일러 소음 분류

소음진동 종류	발생현상	발생 위치 및 원인
벉고동 소음	<ul style="list-style-type: none"> · 착화 초기에 발생하며 저주파의 고음을 발생 · 온도가 낮았을 때 주로 발생하며 3분정도 유지하다가 열교환기 내부의 온도가 상승하면 소음이 줄어드나 소음유발 주파수는 계속 존재함 · 겨울에 주로 발생하며 주요 소음민원 사항 · 심한 경우 진동을 유발함 	<ul style="list-style-type: none"> · 열교환기 연소실 구조 · 온도 · 유속 · 웬 RPM · 가스와 공기비 불일치 · 기타
비등 소음	<ul style="list-style-type: none"> · 화염에 의해 열교환기의 물온도가 올라가면서 팝콘튀기는 소음 발생 · 특정부위가 가열되면서 고주파 소음 발생 · 유압이 작은 경우에 주로 발생 	<ul style="list-style-type: none"> · 열교환기 내부 · 열교환기 구조와 관련되어 있으며 대책이 많지 않음 · 기타
착화 소음	<ul style="list-style-type: none"> · 버너에 점화가 될 때 발생하는 소음. · 버너에 화염이 충분하지 않을 때 발생하는 소음 · 정상상태에서는 문제가 되지 않으며, 착화지연이 발생하는 경우에 폭발성 소음이 발생함 	<ul style="list-style-type: none"> · 연소실 내부 · 착화 지연
밸브류 소음	<ul style="list-style-type: none"> · 밸브류가 개방되면서 '딱! 딱!' 소음 발생함 · 민감한 민원인의 경우 문제가 될 수 있음 	<ul style="list-style-type: none"> · 각종 밸브류 · 밸브가 열리며 충격에 의한 소음발생
웬 소음	<ul style="list-style-type: none"> · 송풍기 임펠러의 언밸런스 교정이 되지 않을 경우저주파 소음과 진동을 유발함 · 깃통과 주파수에 의한 소음 · 저 RPM에서 모터 코깅(cogging) 소음 · 모터 전자기음 	<ul style="list-style-type: none"> · 임펠러 · 모터 · 기타
펌프 소음	<ul style="list-style-type: none"> · Mechanical 펌프의 조립불량에 의한 소음 · 펌프모터의 스위칭 소음 	<ul style="list-style-type: none"> · 펌프

소음실이다. 그림 1 상단의 반무향실은 ISO에 의한 sound power를 측정할 수 있는 규모의 무향실이며, 그림 1 하단의 반무향실은 환, 밸브류, 부품류 및 보일러의 간이 시험을 진행할 수 있는 소음실이다. 양측 모두 가스와 물이 공급 가능하며 보일러 시험을 진행할 수 있다.

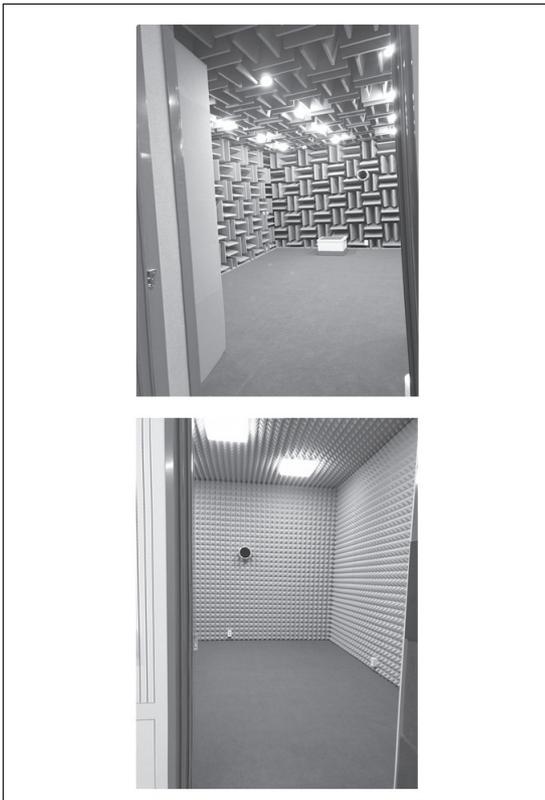


그림 1 무향실 및 소음실 전경

앞에서 보일러 소음의 종류와 원인을 간단하게 언급하였으며, 보일러의 소음진동은 다양하게 존재하며 가장 많은 민원 문제가 발생하는 소위 ‘뱃고동’ 소음의 연구결과에 대하여 소개한다. 뱃고동 소음은 기온이 떨어질수록 더 크게 더 오래 발생하는 특성을 가지고 있고 순간적으로 핑음을 발생하는 경우가 많다. 주간에 발생하는 경우 크게 놀라지 않으나 기온이 떨어지는 새벽에 발생하면 해당세대와 이웃세대에도 영향을 미치게 됨으로 소음민원이 증가하게 된다. 동절기를 지나고 나면 뱃고동 소음의 크기와 지속시간이 줄어드는 현상을 나타내고 있으며, 열교환기 내부의 열평형을 이루는 시간과 관계가 있음을 예상할 수 있다. 보일러 소음진동은 공기전달음과 구조전달음을 유발하는 요소와 진동에 의한 구조전달음으로 나누어 볼 수 있다. 뱃고동 소음, 연소소음과 환은 소음과 진동을 동시에 유발하는 요소이다. 여기서 발생한 진동은 아파트의 건식벽체를 통하여 고체전달음 형태로 전달이 되게 된다. 뱃고동 소음은 초기 상태에서 발생하기에 공기전달음의 영향이 더 크나, 다른 요소들은 정상상태에서 문제를 발생시키기 때문에 고체전달음의 형태로 더 많이 발생된다. 보일러가 안방의 화장실 반대편에 설치되어 있는 세대에서 보일러의 고체전달음이 안방에 전달된 사례도 있다.

그림 2는 민원현장에서 발생한 뱃고동 소음이다. 착화 초기에 상당한 크기로 소음이 발생하다

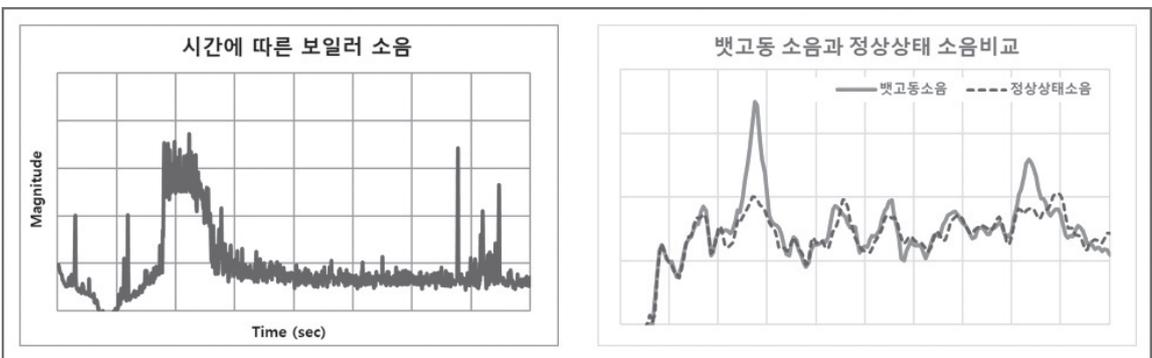


그림 2 민원현장에서의 뱃고동 소음

가 일정온도가 되면 순식간에 소음이 사라지는 것을 확인할 수 있다. 주파수를 분석해보면 뱃고동 소음 발생 시 거의 순음성분의 주파수가 나타나다가 사라지는 것을 알 수가 있다. 그러나 주파수를 보면 순수한 순음성 성분이라고 보기에 는 상당히 두터운 특성을 가지고 있으며 이는 웬 RPM에 의한 것인지 온도에 따른 고유진동수가 변하는 것인지는 추가적인 연구를 통하여 규명하여야 한다. 정상상태에서의 뱃고동 소음 유발 주파수가 남아 있는 것을 보아 열교환기 내부의 음장 모드와 관련이 있는 것으로 판단하고 있다.

그림 3은 뱃고동 소음이 발생하였을 때 현상을 나타낸 것이다. 착화초기에 소음이 발생하다가 열교환기 내부의 온도가 상승하면서 소음이 점차로 저감되는 것을 알 수가 있다. 이 시험은 자사 연구실에서 측정한 것이며 민원현장에서 측

정한 것과 동일하게 순음성분이면서 상당히 두터운 주파수 대역을 보이고 있다. 따라서 뱃고동 소음은 온도변화와 관련되어 내부 고유진동수가 변동하는 것으로 판단하고 있다(냉장고용 압축기 내부의 고유진동수가 온도가 상승함에 따라 변동하는 것에 대한 경험을 한 적이 있음).

소음저감을 위하여 여러 가지 대책 중 두 가지를 적용하였는데 대책 1, 대책 2에서 상당부분 소음이 감소된 것을 확인할 수 있었다. 시험을 진행 전 내부 유동특성만을 반영한 해석을 통하여 저감 대책을 수립하였다. 특히 대책 2는 뱃고동 소음이 완전히 사라진 것을 시험적으로 확인하였다. 하지만 실제로 제품에 적용하기에는 연소사양과 NOx 발생량을 확인해야 하기 때문에 양산적용까지 시간이 필요하다.

그림 4는 뱃고동 소음이 유동과 온도의 영향이

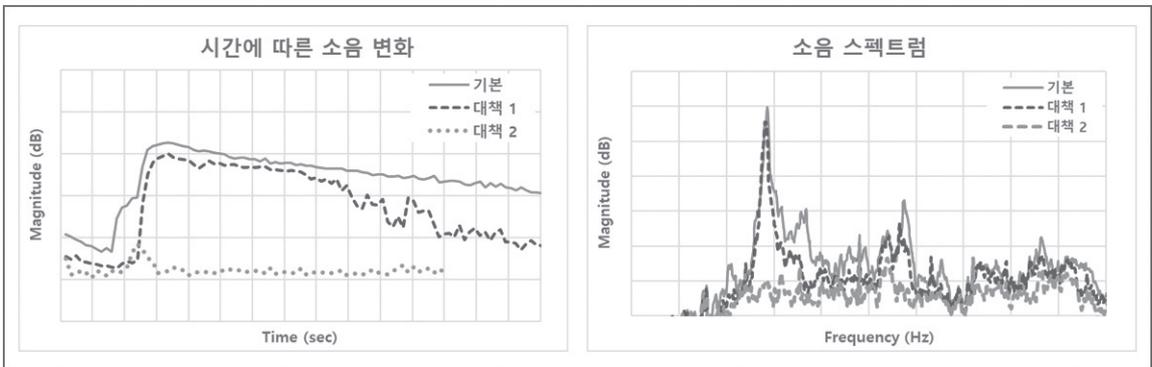


그림 3 뱃고동 소음 발생 현상

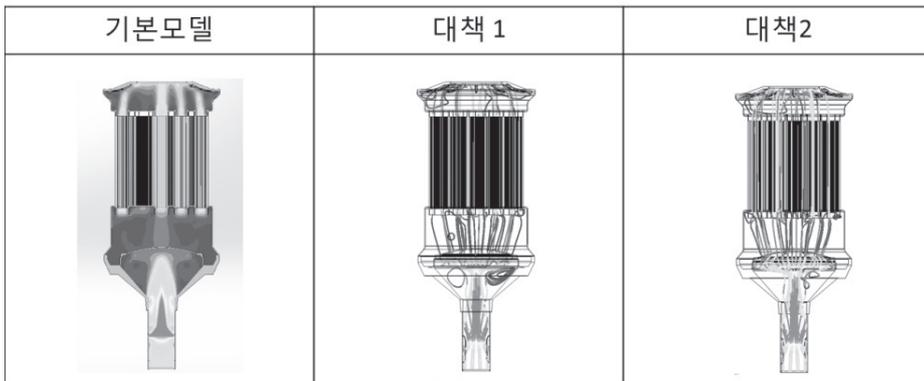


그림 4 열교환기 내부의 유동 해석

지배적인 것으로 판단하여 유동해석을 진행한 결과이다. 와류의 생성이 있는지, 내부 유선의 흐름이 일정한지를 판단하여 대책을 수립하였다. 하지만 연소가 포함된 버너에 대한 정확한 모델링을 아직 수립하지 않아서 유동만으로 확인하였다. 버너의 온도는 1,200 ℃ 정도이며, 1분 이내로 상승을 하면서 가열된 내부 공기의 유동이 찬 공기를 밀어내면서 배고동 소음으로 발생하는 것으로 판단하고 있으며, 연소에 의한 공기 유동과 관련된 분야는 소음해석과 관련된 분야가 아니기 때문에 금번 해석에서는 반영하지 못하였다. 추후 연소와 관련된 것을 반영한 유동해석을 진행하면 어느 정도 소음 발생 기제에 대한 것을 규명할 수 있을 것으로 보고 있으며 이와 동시에 시험적으로 증명하고자 다양한 시험을 준비를 하고 있다.

그림 5는 열교환기 내부 음장의 압력을 측정하여 주파수 분석을 한 결과이다. 배고동 소음의 주파수와 내부음장의 관계를 규명하고자 하였다. 소음 발생 주파수 대역과 동일한 주파수가 있음을 확인하였으나 어떠한 기제로 배고동 소음을 유발하는가에 대한 것은 연구 중에 있다. 상세한 시험방법 및 분석방법은 회사 방침으로 언급하기 어려운 점이 있다.

향후 지속적으로 연구가 되어야 할 보일러 소음진동의 연구과제는 다음과 같은 것들이 있다. 보일러 분야는 시장규모가 작아서 그 동안 학계

에서는 무관심(?)한 분야였으며 제조사 역시 소음진동이 사회적으로 이슈가 되지 않았기 때문에 투자를 하지 않는 측면도 존재하고 있다.

우선적으로 대응할 문제는 민원과 관련한 문제이다. 제조업체는 소비자의 반응이 가장 중요하며 이에 대응하여 신제품 설계에 반영하는 것이 가장 중요한 문제라고 보고 있다. 양산을 하는 제조업체는 연구자나 개발자의 흥미가 아니라 시장에서 나오는 반응을 제품에 반영하여 개선하는 것이 가장 중요하기 때문이다.

(1) 배고동 소음: 이 글에서 주로 다룬 내용이지만 아직도 연구할 과제가 많이 존재하며, 성능과 밀접한 연관 관계가 있는 것으로 screen test에서 밝혀졌기 때문에 실제 저감대책이 양산에 적용되기까지는 많은 시간이 소요될 것으로 보인다. 지금까지 연구 결과 온도와 유동 속도 또는 유량과 관계가 있는 것으로 보이며, 시험과 해석을 병행해야 좋은 결과를 얻을 것으로 보인다.

(2) 연소에 의한 소음: 연소소음에 대한 변수는 연구된 것이 많지가 않다. 해외 논문 중 분젠 버너와 예혼합 버너의 특징과 소음특성에 관한 것이 있으나 현재 가정용 가스보일러에 대하여 적용하기가 쉽지가 않다. 연소소음이 잘못될 경우, 소음과 진동을 유발하며 소음의 특성은 broad band 특성을 나타내고 있다. 주로 500 Hz

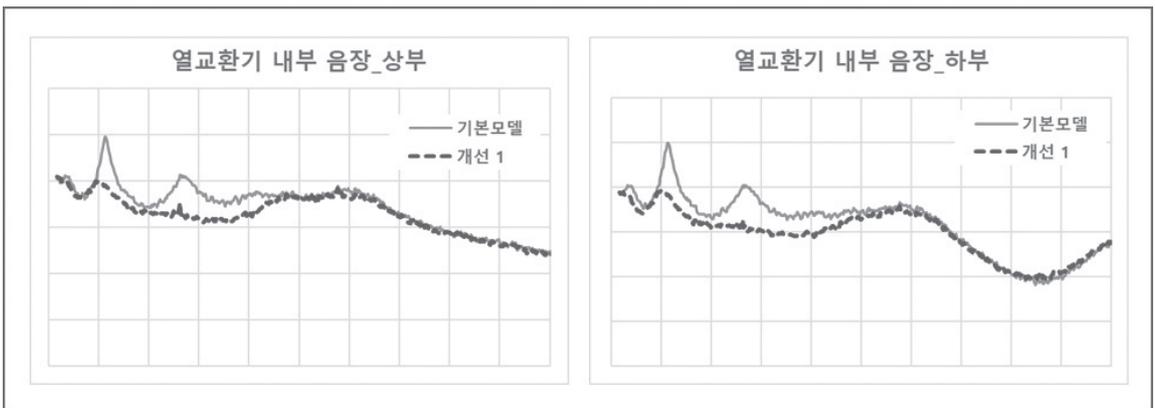


그림 5 열교환기 내부의 음장

이하라고 판단하고 있으며 뱃고동 소음이나, 웬 소음과 비교하여 상대적으로 소음도가 낮아서 연구주제에서는 하위 순위이나 성능과 연계되어 있기 때문에 자장 어려운 분야이다.

(3) 유체 유동 소음: 공기가 흡입되면서 연료와 혼합 후 버너에서 연소가 되면서 열교환이 일어나는 동안에 유체는 밀도와 온도 변화가 심하게 발생이 된다. 특히 열교환기 구조에 의하여 일부분에서 와류가 발생하면서 성능과 소음에 영향을 미친다. 이러한 것을 해결하기 위하여 해석틀을 사용해야 하며 시험적인 방법을 통하여 온도, 압력, 유속을 입력해야만 정확한 결과를 얻을 수 있다. 뱃고동 소음 다음으로 중요한 소음원 중의 하나이며 많은 연구 시간을 요하는 것으로 보고 있다. 소음의 특징은 순음성 소음이 아니라 broad band 소음이기 때문에 저감해야 할 정확한 주파수 대역을 선정하기 어려운 특징이 있다. 열교환기 내부의 고온 및 웬의 특성에

따라 시험방법 또한 수립하기가 쉽지가 않다.

(4) 기타 소음: 웬 및 부품과 관련된 소음들로 자세한 사항은 다음 기회에 논의할 예정이다.

이 글에서는 가정용 가스보일러에서 발생하는 여러 가지 소음진동 문제를 아주 좁은 시각에서 정리한 것으로 주로 아파트 위주에서 발생하는 소음진동을 언급하였으며 개발 현장에서는 여기에 소개된 것보다 더 많은 연구과제를 진행하면서 보일러의 품질을 향상시키고 있다. 보일러 소음은 국내외에서 연구가 많이 되지 않은 부분이 많아서 참고할 만한 논문이 많이 없고, 특히 국내의 발표된 연구는 전무한 것이 현실이다. 특히 연소라는 어려운 부분이 포함되어 있기 때문에 쉽게 접근하기 어렵고, 시장의 크기가 크지 않아서 많은 연구가 진행되지 않았다고 보고 있다. 하지만 지속적인 연구와 개선을 통해 좋은 품질의 보일러가 시장에 공급될 것으로 예상된다. [KSNVE](#)