

카오스 에어컨 개발

변일수·성시풍·심민섭·박종한
금성사 생활시스템연구소

1. 서론

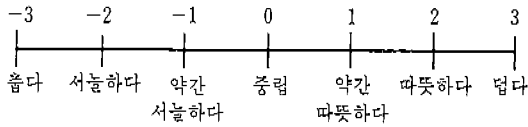
올여름은 무척이나 무더웠던 한해였다.

완벽한 공조시설을 갖춘 사무환경이라면 모를까, 공조시설이 갖추어지지 않은 건물이나 현장 근무자들은 정말 견디기 어려운 한해였을 것이다. 웬만한 더위쯤 아랑곳하지 않던 사람들도 불볕더위에 식을줄 모르고 한밤중까지 이어진 열대야를 며칠 겪고 나선 마침내 에어컨을 구하러 다니는 분주한 모습을 올여름엔 어렵지 않게 볼 수 있었다. 그런데 사람의 신체는 오묘해서 때에 따라서는 순간적으로 $-50^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ 까지 견딜 수 있는가 하면 조금만 온도차이가 나도 이내 냉·난방기를 찾기도 한다. 올해도 예년에 비해 평균온도가 몇도 높지 않았는데도 에어컨사용으로 인한 전력소비가 폭증해 일부지역에선 집단정전상태가 발생하는가 하면 공장에서는 전력공급이 제대로 되지 않아 가동이 중단되는 소동을 빚기도 했다.

그렇다고 일방적으로 자제력에만 호소하여 에어컨 대신 선풍기나 부채로 무더위를 식힐 수는 없는 노릇이므로 여기서 우리는 근본적으로 공조기에서 해결해야 할 두 가지 배치되는 문제를 생각해보지 않을 수 없다.

그 하나는 더위를 식혀줌으로써 좀 더 쾌적한

환경에서 생활하고자 하는 기본적인 요구이고 다른 하나는 그로 인하여 필연적으로 야기되는 소비 전력의 문제이다. 이를 좀 더 자세히 살펴보면 전자의 경우는 실내에 있는 사람들의 건강 및 쾌적성에 관한 문제로서 대개 사용자들을 더위를 빨리 식히기 위해 에어컨의 용량을 최대한으로 놓고 운전하다가 지나치게 냉방이 되어 추워지면 운전을 정지하고 다시 더워지면 최대한으로 높은 식의 운전을 하는 경우가 많은데 이 경우 인체는 반복적으로 큰 폭의 온도차에 계속 노출되므로 열적 스트레스를 받게 되며 이로 인해 피로감이 가중되고 냉방병에 걸리기도 한다. 따라서 먼저 인체가 어떠한 온도 환경에서 쾌적하게 되며 신진대사도 원활해져 작업을 능률적으로 할 수 있는가에 대한 실험적 연구가 필요하게 된다. 이러한 분야는 구미에선 이미 1920년대부터 꾸준히 연구되어 오다가 1970년에 온열환경에 대한 종합쾌적지수인 PMV (Predicted Mean Vote: 예상 평균 투표치)가 개발됨으로써 큰 진전을 보게 되었다. PMV는 덴마크 공과대학의 P.O.Fanger교수가 물리적 요소(온도, 습도, 복사온도, 풍속)와 인체측 요소(활동량, 착의량)를 변화시켰을 때의 온냉감 변화를 약 1300명의 남, 여 대학생을 대상으로 실험하여 그 투표치를 지수화한 것이다. 투표치는 다음 그



림과 같이 -3~+3까지 7단계의 춥다~덥다라는 감각으로 나타내 현재 환경에 대한 온냉감을 기술할 수 있도록 하였다.

이러한 PMV지수는 가정용 에어컨에도 응용되어 국내에서는 금성사에서 처음으로 이를 응용한 에어컨을 출시한 바 있다. 이를 공조기에 응용함으로써 사람이 어떤 온도환경에 있을 때 인체에 무리가 없이 춥지도 덥지도 않은 중립의 상태를 유지할 수 있는가에 대한 기본적인 요구사항을 만족시킬 수 있었으며 주변환경 및 사람의 상태를 감지할 수 있게 되어 불필요한 냉방을 최소화함으로써 절전효과를 얻을 수 있었다. 여기서 특히 소비전력 저감을 기기자체의 성능개선을 통해서 뿐 아니라 사용자중심의 관점에서도 바라볼 필요가 있는데 이는 자동차의 연료소모량은 연비에 비례하기도 하지만 실상은 운전자의 운전습관에 크게 좌우된다는 점을 생각하면 사용자의 수동조작을 최소화하면서 최적의 운전조건을 찾아 소비전력저감을 모색하는 것이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 이같이 PMV를 가정용 공조기에 적용함으로써 많은 성능상의 개선이 이루어졌지만 공조기의 궁극적 목표라는 차원에서 생각할 때에는 더 많은 부분을 고려할 필요가 있다.

그렇다면 공조기의 궁극적 목표는 무엇일까? 이는 공조기를 사용하는 주체가 결국 사람이라는 관점에서 생각한다면 사람에게 가장 편안하고 쾌적한 상태를 만들어 주는 것이 보다 우선되어야 할 것이며 이것은 인체에 생리적으로 가장 이상적인-초기 에네통산과 같은-자연의 상태와 동일한 환경을 제공하는 것을 의미한다. 이와 같은 쾌적한 자연의 상태를 한마디로 정의하는 것은 쉬운 일은 아니며 어느 한 가지 특성으로만 국한지어

생각할 수 없는 것 또한 사실이다. 그러나 우리는 누구나 무더운 여름날 시원한 계곡이나 나무밑에서 산들산들 불어 오는 자연의 바람에 더위를 식히며 쉬는 모습을 쉽게 연상할 수 있으며 이를 통해 에어컨의 바람도 이처럼 자연의 바람과 동일한 형태로 불어준다면 어떨까 하는 생각을 할 수 있을 것이다. 때로는 사무실환경도 이러한 자연속으로 옮겨 놓으면 업무능률도 좋아질텐데 하는 바람도 가져볼 수 있다. 이같이 볼 때 자연의 쾌적한 상태를 정의하는 요소들 가운데 중요한 것 중의 하나인 자연바람을 에어컨에서 구현한다면 자연에 근접한 쾌적성을 제공해줄 수 있을 것이다. 그렇다면 자연 바람과 에어컨의 바람은 무슨 차이가 있는 것일까? 만일 자연 바람과 에어컨의 바람이 차이점을 가지고 있으며 자연 바람속에 어떤 특징이 있다면 이 특징을 에어컨에서 실현하여 자연의 바람과 유사한 바람을 에어컨에서도 구현할 수 있을 것이다.

여기에서는 이같은 생각을 실현해 보고자 자연의 바람을 실제 측정하고 이를 여러 방법을 통해 분석하여 에어컨에서 구현한 내용에 대해 소개하고자 한다.

자연바람의 실측 및 분석을 통해 자연바람은 아무렇게나 무질서하게 부는 것이 아니라 어떤 규칙성을 가지고 있음을 알 수 있었는데 이러한 현상은 “카오스(Chaos: 혼돈, 무질서)”라는 특징을 가지고 있음을 알 수 있었으며 이를 에어컨에 응용하여 자연바람과 유사한 에어컨바람을 구현할 수 있었다.

2. 카오스

최근 “카오스”라는 용어가 신문이나 잡지, 언론매체를 통해 유행어처럼 보도되고 있으며 이와 관련된 서적이 베스트 셀러를 기록하는 등, 화제가 된 바 있다. 일반인들에게는 생소하고 낯선 이 카오스가 무엇이길래 이렇게 다양한 계층의 사람들에게 폭 넓은 인기를 누리고 있는 것일까? 카오

스에 대한 정의를 한마디로 내리기는 쉽지 않다. 왜냐하면 엄밀한 의미에서의 카오스에 대한 수학적 정의 자체가 아직 미흡하며 단지 이해하기 어려운 여러 자연현상들을 정량적이기보다는 정성적으로 해석하고 있기 때문이다. 어쩌면 이렇게 복잡한 수식으로 나타내기보다 많은 사람의 관심을 불러 일으킬 수 있도록 현상에 대해 정성적으로 관찰했기 때문에 카오스가 일반인에게 널리 알려질 수 있는 하나의 원인이 되었는지도 모른다. 실제로 우리는 그리 멀지 않은 주변속에서 많은 “카오스”와 만나고 있다. 단지 우리가 무관심속에서 혹은 관찰대상으로 삼기엔 너무 불규칙해 보여서 그냥 지나칠 뿐이다. 담배연기의 흐트러짐이나 시냇물의 흐름 속에 나타나는 소용돌이, 라면을 끓이기 위해 올려 놓은 냄비속의 물의 비등속에는 무심코 넘겨버린 카오스현상이 숨어 있다.

카오스의 사전적 정의는 “천지 창조 이전의 완전히 질서가 없는 대혼란 상태”라고 되어 있으나 “카오스 이론”의 출현이후 정의가 약간 달라지게 되었다. 이는 과거에는 너무 불규칙해 보여서 완전히 질서가 없는 것 같던 현상들의 내면속에 있던 “불규칙속의 질서”를 발견하기 시작했기 때문이다. 카오스가 오늘날의 “카오스”로 된 데에는 미국의 기상학자인 로렌츠가 카오스의 가장 큰 특징중의 하나인 초기조건에 대한 민감성을 발견하면서부터라고 할 수 있다. 그는 불규칙한 기상변화를 수식화하기 위해 기상데이터를 분석하던 중 초기조건으로 입력한 수치의 아주 작은 변화에 의해서도 얼마후에는 완전히 다른 결과가 나타남을 발견하였다. 그는 이러한 특성을 중국 북경에서 나비 한마리가 날개짓을 하며 그 기류변동의 영향으로 미국 뉴욕에서 대폭우를 유발할 수 있다는 비유와 함께 나비효과(Butterfly Effect)라고 불렀다.

카오스는 이같이 불규칙하고 무질서한 가운데 나타나는 규칙성으로 비단 자연현상뿐 아니라 인체의 맥박이나 뇌파 등과 같은 생리현상에서 주식시세나 유행의 등장시기 예측 등에도 이용되는

실로 광범위한 분야에서 발견되고 있다.

3. 자연바람의 측정 및 분석

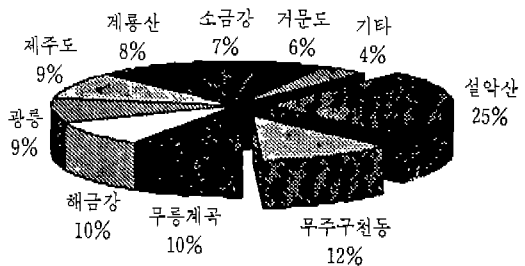
먼저 자연바람을 측정하기 위해 사람들에게 많이 알려진 유명한 휴양지를 설문지를 통해 조사하였으며 그 결과는 아래 그림 1과 같이 설악산, 무주구천동 등의 순으로 나타났다. 이같은 결과를 바탕으로 '93년 7월말~9월초까지 설악산, 무주구천동, 무릉계곡, 남한산성, 광릉 수목원 등을 대상으로 자연바람측정을 실시하였다.

측정장비 및 변수는 다음 표와 같으며 특히 자연바람이 인체 생리에 미치는 영향을 관찰하기 위해 적외선 열화상카메라를 이용, 피부온도의 변화를 관찰하였다.

측정 변수	측정 간격	사용 장비
온 도	5분	T1213 Indoor Comfort Meter
습 도	5분	(B & K)
풍 속	0.2초	54N50 저풍속계(DANTEC)
풍 향	연속	Tuft method(8mm 켈코더)
피부온 변화	5분	Thermal Video Camera (Sanei)
피험자 응답	5분	준비된 설문지에 기록

측정은 피험자를 대상으로 약 1시간 동안 실시하였으며 매 5분마다 미리 준비된 설문지에 현재의 쾌적감이나 온냉감 등을 기록하도록 하였고 기타 물리량들은 각 기기에서 측정하여 Notebook PC에 저장하였다. 아래 그림 2는 본 실험에 사용된 측정장비의 구성도를 나타낸 사진이다.

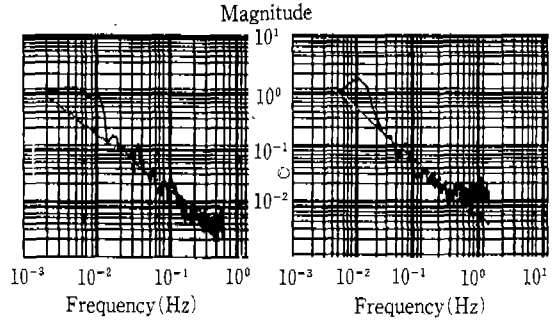
이같은 측정된 자연바람의 데이터에 대해 여러



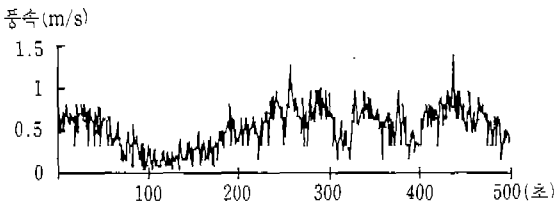
<그림 1> 유명 휴양지에 대한 설문결과



<그림 2> 실험장치 구성도



<그림 4>



<그림 3> 자연바람의 풍속데이터

형태의 분석을 실시하였는데 그림 3은 이를 시간 축에 대하여 나타낸 것으로 매우 불규칙하고 무질서해 보인다는 것을 알 수 있다. 이는 카오스의 한 특성으로 시간축상에서는 일반적으로 어떤 질서를 발견하기 어려워 다른 분석방법이 요구되며 많은 연구자들이 이에 대한 방안들을 제시해 놓고 있다. 여기서는 이들 중 널리 사용되고 있는 주파수 분석법, 상태공간 분석법, 상관차원 분석법 등을 통해 자연바람의 특징들을 관찰해 보고자 한다.

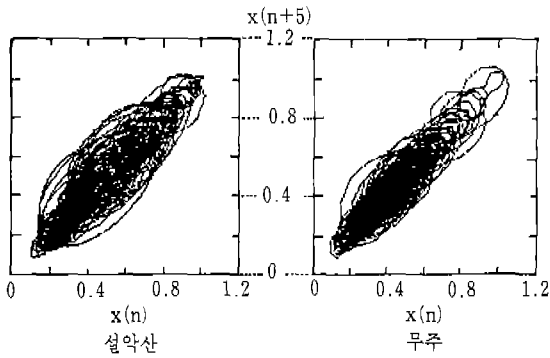
(1) 주파수 특성 분석

앞서와 같은 복잡한 시간축상의 데이터도 주파수 영역에서 나타내면 쉽게 파악되는 경우가 많다. 주파수 분석법은 현재 가장 널리 사용되고 있는 분석법 중의 하나인데 시간축상의 신호를 각기 다른 주파수를 갖는 정현파(sine, cosine함수)들의 합으로 변환한 것이며 이를 특히 푸리에 변환(Fourier Transform)이라 한다. 이 연산을 컴퓨터상에서 고속으로 수행하여 횡축을 각 주파수항

으로, 종축을 각 주파수가 갖는 파워량으로 나타낸 그림을 FFT(Fast Fourier Transform)라 한다. 그림 4는 설악산과 무주구천동의 바람을 FFT 분석한 것으로 그림과 같이 기울기가 -45° 인 $1/f$ 의 특성을 보여준다. $1/f$ 는 자연계중에서 특히 사람에게 친숙하고 편안한 느낌을 주는 현상에 공통적으로 존재한다고 알려져 있는데 아름다운 새소리나 시냇물 소리, 감미로운 음악 등에 이와 같은 특성이 나타난다는 것이 연구되어 있다.

(2) 상태 공간(State Space)분석

상태공간이란 우리가 관찰하고자 하는 시스템(여기선 자연의 바람)이 시간에 따라 변화해 가는 모습을 그 시스템을 대표하는 변수(혹은 상태(state), 여기선 풍속)들로 좌표축을 구성하여 나타낸 좌표공간을 말한다. 이때 또 다른 축은 보통 동일한 측정값으로 하되 적당한 시간 지연을 주는데 이와 같이 함으로써 본래의 관찰 대상을 단일 변수만으로 근사하게 표현할 수 있다는 것이 알려져 있다. 이와 같이 하여 나타난 공간상의 궤적을 끌개(Attractor)라고 하며 카오스특성을 가지고 있지 않을 때에는 정해진 형태의 타원이나 도우넛형상의 끌개를 갖지만 카오스의 경우는 일반적으로 자신만이 가지는 고유한 모양의 끌개를 보여준다. 그림 5에 자연바람의 끌개의 형상을 도시하였다. 주파수 분석에서와 마찬가지로 자연바람의 경우는 모두 일정한 형상의 끌개를 가지고 있어 카오스특성을 가지고 있음을 알 수 있다.



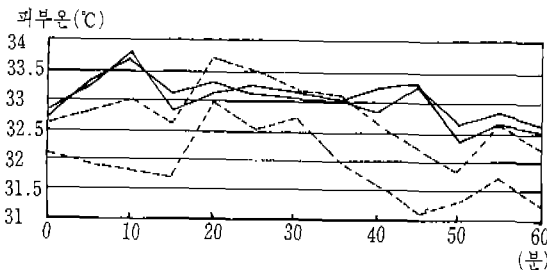
<그림 5> 자연바람의 끌개현상

(3) 상관 차원(Correlation Dimension)분석

카오스분석의 대표적인 방법중의 하나가 상관차원분석으로 이는 특히 실험을 통해 얻어진 데이터의 카오스분석에 가장 일반적으로 사용되는 분석 방법중의 하나이다. 카오스특성을 나타내는 경우는 상관차원의 계산값이 우리가 일상적으로 체험하고 있는 1,2,3차원 등의 정수차원이 아니라 비정수 차원값을 나타내며 자연바람의 경우는 공통적으로 대략 1.6차원 정도의 결과를 보여주었다.

(4) 피험자의 피부 온도 변화 분석

인체가 자연에 노출되었을 때의 피부온도는 시간에 따라 어떻게 변화하는가를 관찰하기 위해 적외선 열화상 카메라로 피부온도를 측정하여 분석하였다. 그림 6은 자연바람에 노출되었을 때와 기존 에어컨에 노출되었을 때의 피부온도 변화를 시간축상에서 비교한 것이다. 피부온도는 바람의 변

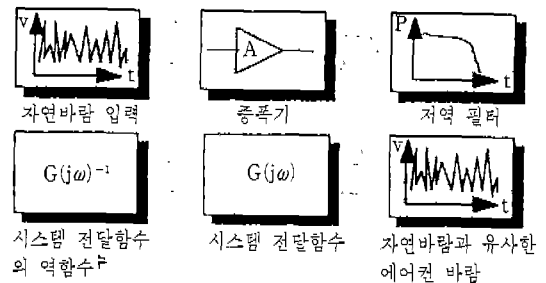


<그림 6> 자연바람과 기존 에어컨바람에 의한 피부온도 변화 비교

화에 가장 민감한 부분중 하나인 팔부분을 측정하여 비교하였다. 그림에서 실선은 자연바람, 점선은 기존 에어컨에 의한 양팔의 피부온도변화로 자연바람의 경우는 양팔의 온도차가 거의 없이 일정하게 유지되나 기존 에어컨의 경우 온도차가 심하게 생겨 신체의 일부분이 국부적으로 냉각되어 불쾌한 요소로 작용하며 건강상으로도 좋지 않음을 알 수 있다.

4. 제어기 구성 및 적용

지금까지 자연바람의 특성을 분석하여 본 결과 자연의 바람은 불규칙하고 무질서한 것이 아니라 그 가운데에서 어떤 일관된 특징을 보여주고 있는데 $1/f$ 과 일정한 상관차원 및 신체를 끌고루 냉각시켜 국부 냉각에 의한 불쾌감을 방지해 주는 것등이 그것이다. 이러한 자연바람을 에어컨에서 구현하기 위해 그림 7과 같은 제어블록도를 구성하였다. 이 블록도의 기본구성은 자연의 바람을 에어컨에서 구현하기 위해 자연의 바람을 그대로 에어컨의 팬-모터구동신호로 입력한다는 것이다. 그러나 이때 에어컨에서 나오는 바람은 에어컨의 팬-모터와 실내공간을 통해 사람에게 전달이 되므로 원래의 자연바람과는 다른 특성을 갖게 된다. 따라서 먼저 제어입력과 팬-모터간의 전달특성 및 팬-모터와 실내공간간의 전달특성을 구하여 이를 제어 입력에 보상해 주어야 한다. 여기서는 이들 전달특성을 실험을 통해 구한 후 이의 역함



<그림 7> 제어 블록도

수를 제어신호에 보상해주는 방법을 통해 에어컨의 모터제어신호를 구하였다.

위와 같은 방법으로 제어했을 때의 에어컨바람은 자연바람의 경우와 동일한 방법으로 분석하여 결과를 비교하였다. 그림 8과 9는 각각 기존 에어컨과 개발된 에어컨바람의 주파수특성과 끌개특성을 도시한 것이다. 기존 에어컨의 경우 주파수특성은 자연바람의 경우와 많은 차이가 있으나 개발된 에어컨의 주파수특성은 자연바람의 경우와 마찬가지로 $1/f$ 에 가까운 형태를 보여주고 있다. 끌개의 모습도 개발된 에어컨의 경우가 자연바람의 경우에 거의 비슷하게 닮아 있음을 볼 수 있다. 그밖에 상관차원 분석이나 열화상카메라에 의한 피부온도 비교를 통해서도 개발된 에어컨바람은 자연바람의 결과와 유사하게 닮아 있음을 확인할

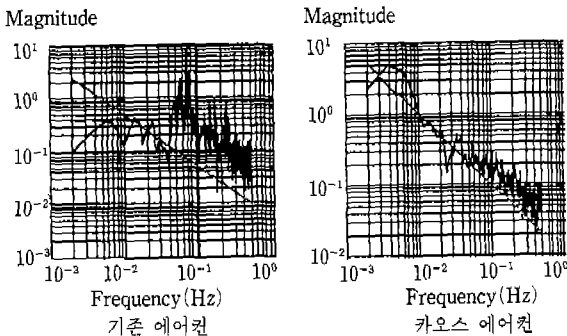
수 있었다. 이같은 자연바람을 에어컨에서 유사하게 제어할 수 있게 됨으로써 사용자에게 보다 쾌적한 환경을 제공할 수 있을 뿐 아니라 빠른 시간에 원하는 만족감을 얻을 수 있게 되어 절전 측면에서도 유리한 에어컨을 개발할 수 있게 되었다.

5. 결론 및 향후과제

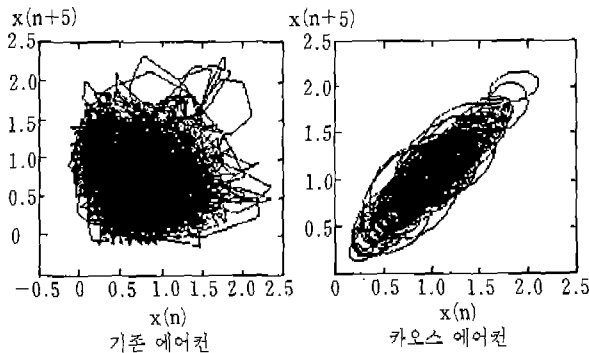
자연바람은 카오스로 분석하고 이를 에어컨에서 구현하고자 하는 시도를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① 자연의 바람은 무질서하고 불규칙한 신호가 아니고 $1/f$ 의 주파수 특성 및 일정값의 상관차원값을 갖는 카오스특성을 가지고 있다.
- ② 자연의 바람은 인체를 골고루 냉각시켜 온도차를 없애주며 온열 생리적으로 국부 온도차에 의한 불쾌감을 주지 않는다.
- ③ 자연의 바람과 시스템 전달특성을 이용한 제어신호를 생성하여 에어컨을 제어한 결과 자연바람과 유사한 카오스특성을 갖는 에어컨바람을 구현하였으며 온열 생리적으로도 국부온도차가 발생하지 않아 자연의 쾌적함을 구현할 수 있었다.

에어컨의 궁극적 목표가 인간에게 가장 이상적인 자연환경조건을 도출하여 그것을 구현하는 것이라고 볼 때 에어컨의 역할을 단지 온도조건만을 조절해 주는 기능을 갖는데 국한시킬 수는 없다. 자연이 주는 쾌적감을 단지 온도조건으로만 결정되는 것이 아니라 공기의 질이나 시각적, 청각적인 조건 등을 종합적으로 만족할 때 비로소 자연과 동일한 쾌적감을 제공할 수 있기 때문이다. 이번의 카오스 에어컨은 그 중에서 현재 공조기가 할 수 있는 가장 근본적이고 필수적인 공조환경의 구현을 만족시키고자 한 시도이며 차후에는 여타 다른 가전제품 등과 연계하여 시각적으로나 청각적으로도 만족감을 제공할 수 있는 제품을 개발하는 것이 필요하다고 하겠다.



〈그림 8〉 주파수 특성 비교



〈그림 9〉 끌개 비교