밀폐공간에서의 소리파동과 신호처리에 관한 연구

전 용 우*·소 대 화**

A Study on Sound Wave and Signal Processing in Enclosed Space

Jeon, Yong-Woo* · Soh, Dea-Wha**

요 약: 소리의 파동, 특히 밀폐된 동굴 속에서 일어나는 음향파동에 대한 과학적 접근과 함께 첨단과학을 통한 소리의 분석기법을 통하여 소리과학과 동굴 및 그 구조에 따른 음파의 공명(증폭)현상과 인류생활의 소리문화의 상관성을 재조명하였다. 따라서 동굴 속에서 음악을 연주하는 경우 작은 소리라도 매우 웅장한 소리효과를 낼 수 있으며, 고음보다는 저음에서의 울림효과를 크게 가져 올 수 있다. 특히 이러한 파동현상과 음향효과를 통하여 기 발굴된 동굴의 체계적 관리 방안과 미 발굴 지하 동굴의 발굴에도 적용할 수 있을 것으로 기대되며, 동굴의 음향파동현상을 응용한 기술로 지각운동과 변화 및 동굴의 상태 분석과 변화 요인을 관찰하는데 효과적인 역할과 방법을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

Ⅰ. 들어가기

우리는 창문을 닫고 있어도 창밖의 소리를 들을 수 있으며 바다에서 육지로 밀려오는 파도가 굴이나 방파제의 문을 빠져나올 때 굴과 수문주위로 휘어지면서 퍼져나가는 것을 볼 수 있다. 일상생활에서 듣는 소리는 파장이 70cm정도로 문틈에 비하여 매우 크기때문에 회절이 잘 일어납니다. 그래서 문틈을 통과한 밖의 소리를 방안 어디에서도 잘 들을 수가 있는 것이다. 그러나 소리보다 파장이 짧아 회절이 잘 안되는 초음파는 직진이 잘되어 장애물의 영향을 잘 받게 되는데 한 예로 박쥐는 초음파의 이러한 성질을 이용하여 어두운 동굴속에서도 장애물에 충돌하지 않고 잘 날아다니는 경우를 볼 수 있다.

이와 같이 소리의 파동은 진행도중 장애물을 만나면 그 모서리에서 휘어져 장애물의 뒤쪽으로 전파되는 성질이 있는데 파동의 이러한 성질을 파동의 회절이라고 합니다 특히 동굴에서의 소리는 여러갈래로 퍼지고, 반사하고, 굴절하고, 간섭하기 때문에, 들리던 소리가 1미터만 움직여도 안들릴 수 있고 거리상 가까운 사람은 못 들었는데 더 멀리 있는 사람은 듣는 현상이 벌어지기도 한다. 이런 현상은 동굴의 구조(휘어짐, 재질, 반사면 등)가 소리의 전달에 여러가지 방법으로 상호작용을 하기 때문이다. 즉 현대의 과학적 지식으로 확산, 반사, 굴절, 간섭 등에 의한 효과로 볼 수 있다.

일반적으로 소리를 파동과 연계하여 설명할 수 있는데 창문을 닫고 있어도 창밖의 소리를 들을 수 있으며 바다에서 육지로 밀려오는 파도가 굴이나 방파제의 문을 빠져나올 때 굴과 수문주위로 휘어지면서 퍼져나가는 것을 볼 수 있다.

이와 같이 파동은 진행도중 장애물을 만나면 그 모서리에서 휘어져 장애물의 뒤쪽으로 전파되는 성질이 있는데 이러한 성질을 파동의 회절이라 한다.

---

* 성덕대학 교수
** 명지대학교 교수

본 논문에서는 위에서 언급한 소리의 파동, 특히 밀폐된 동굴 속에서 일어나는 음향파동에 대한 과학적 접근과 함께 첨단과학을 통한 소리의 분석을 통하여 소리과학과 동굴 및 그 구조에 따른 음파의 공명(증폭)현상과 인류생활의 소리문화의 상관성을 재조명한다.

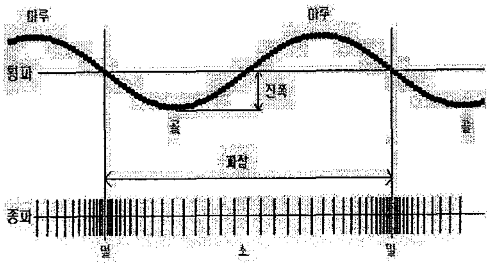
Ⅱ. 밀폐공간(동굴)속에서의 파동현상

1. 파동의 분석

파동이란 물질의 한 곳에서 발생한 진동이 다른 곳으로 퍼져 나가는 현상을 말한다. 이때 물질은 제자리에서 진동하고 운동 상태(에너지)와 모양의 변화가 물질을 따라 이동한다. 그림처럼 호랑이가 물을 먹을 때 물결로 퍼져 나가는 것이 파동이다. 파동현상의 기본 조건으로는 매질과 파원 그리고 파동의 전파로 구분할 수 있다.

매질은 소리나 물결과 같은 진동을 다른 곳으로 전달하는 물질(공기나 물)이나 파동이 전파되는 물질을 매질이라고 한다. 대부분의 경우 매질의 탄성 때문에 나타나는 운동에 의해 파동이 전달된다. 그러나 빛의 경우에는 전자기유도라고 하는 현상에 의해 전파되기 때문에 매질이 없는 곳에서도 전파된다. 파동이 처음 생긴 곳을 파원이라고 하며 바로 진동을 일으키는 물체나 장소라고 할 수 있다. 호수에 돌을 던지면 돌이 떨어진 곳의 물이 진동을 하게 되며 이로부터 물결이 사방으로 퍼져나가게 된다. 돌이 떨어진 곳을 파원이라고 하며 물결이 파동이고 여기서 물은 매질이 된다. 떨어진 돌이 물에 일을 하면서 에너지가 주어지고 이 에너지가 물결로 퍼져 나가는 것이다. 파동은 매질의 직접적인 이동 없이 매질의 각 부분들이 파원과 같은 운동을 차례대로 일으킴으로써 진동(에너지)을 다른 곳으로 전달하는 것이다.

어느 순간 매질의 이동거리가 최대가 되는 지점을 마루 또는 골이라고 하며 파동이 진행하는 동안 매질은 운동하게 되는데 매질들이 원래 위치로부터 최대로 이동한 거리를 진폭이라고 한다. 이 진폭은 전달되는 에너지와 관련이 있다. 이것은 여러분이 큰 진폭의 파동을 발생시키기 위하여 용수철이나 줄을 크게 진동시킬 때 많은 일을 해야 하는 것을 보아 쉽게 알 수 있을 것이다. 즉, 진폭이 클수록 전파되는 에너지의 양이 많게 된다. 파도의 파고(진폭)가 높을수록 위험한 것도 이 때문이다.



<그림 1> 파(Wave)의 종류

파동이 전파될 때 같은 운동상태가 일정한 간격으로 반복되는 것을 볼 수 있는데, 이 반복되는 최소 간격을 파장이라고 한다. 이것은 매질의 각 점들이 일정한 시간간격으로 똑 같은 운동을 하기 때문이다. 즉 파장은 매질의 각 점들이 한 번 진동하는 동안 파동이 진행한 거리라고도 할 수 있다. 매질의 각 점들의 운동상태는 수시로 변하며, 이 때 어느 순간 어떠한 운동상태에 있는가를 나타낸 것을 위상이라고 한다. 여기서 매질들의 운동을 살펴보면 sin곡선을 그린다는 것을 알 수 있다. 따라서 어느 순간 매질의 운동상태를 그 때의 sin곡선에서 각도로 나타내주면 편리할 것이다. 또 공간적으로 보면 이러한 운동상태가 반복되므로 한 파장의 어느 부분에 해당하는 가로 나타낼 수도 있다. 이와 같이 매질의 진

동상태를 나타내는 위상은 각도나 파장의 비율로 나타내어 사용하고 있다. 매질 안에서 위상이 같다는 것은 파동이 진행하고 있을 때 같은 시각에 이동거리와 진동상태가 같은 점들을 말한다.

1초 동안에 매질의 한 점이 진동하는 횟수로, 이것은 주기의 역수와 같고 단위는 Hz(헤르츠)를 쓴다. 이 진동수는 파원의 진동수에 의해 결정되며 매질과 관계가 없다. 그래서 우리는 파동을 보고 파원에 대한 정보를 얻을 수 있다. 목소리를 듣고 바로 목소리의 주인공을 알아낼 수 있는 것도 파동의 이러한 성질 때문이며 라디오나 TV등에 전파가 이용되는 것도 이 때문이다.

파동은 매질이 한번 진동하는 동안 한 파장만큼 진행하므로,

$$속력 = \frac{이동거리}{걸린시간} = \frac{파장}{주기} = 파장 \times 진동수$$

로 주어진다.

파동의 종류는 그림 1에서와 같이 횡파와 종파로 나뉜다. 파동의 진행방향과 매질의 운동방향이 서로 직각인 파동을 말한다. 줄을 잡고 좌우로 흔들었을 때 발생되는 파동과 같은 것으로 대표적인 횡파에는 빛이 있다. 빛은 매질의 운동과 관계는 없으나 빛을 전파시키는 전기장과 자기장의 진동방향이 진행방향에 수직이기 때문에 횡파로 분류한다.

파동의 진행방향과 매질의 운동방향이 서로 나란한 파동으로 굵은 용수철을 앞뒤로 흔들었을 때 발생되는 파동과 같은 것으로 대표적인 종파에는 소리(음파)가 있다. 여러분이 소리를 듣는 것은 바로 진행방향에 나란하게 공기를 진동시켜 전파되어온 소리가 역시 여러분의 귀의 고막을 앞뒤로 흔들기 때문이다. 소리의 이러한 성질 때문에 큰 폭발사고가 나면 근처에 있는 건물의 유리창들이 깨지는 것이다. 바로 소리가 유리창을 앞뒤로 강하게 흔들기 때문이다.

2. 파동의 전파와 반사

파동이 진행하는 것을 보면 매질의 진동상태(파동의 위상)가 같은 곳들이 있음을 발견하게 된다. 이것을 나타낸 선이나 면을 파면이라고 한다. 파면은 항상 파동의 진행방향에 수직으로 존재한다. 파동을 파면의 모양에 따라 구면파, 평면파 등으로 나누기도 한다.

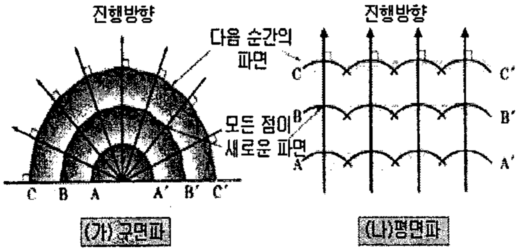


그림 2. 파면의 모양에 따른 파의 구분

파동이 전파될 때, 파면상의 모든 점은 새로운 파원이 되어 새로운 파동을 만들어 낸다. 파동의 전파는 모든 점들에서 발생한 파동들이 서로 중첩되어 마치 원래의 파면이 이동하는 것처럼 보인다.

파동은 전파되다가 다른 매질을 만나면 그 경계에서 그 일부가 되돌아오게 되는 데 이러한 현상을 파동의 반사라고 한다. 이때 두 매질의 상대적인 성질에 따라 반사되는 파동의 위상이 변할 수도 있으며 변하지 않을 수도 있다.

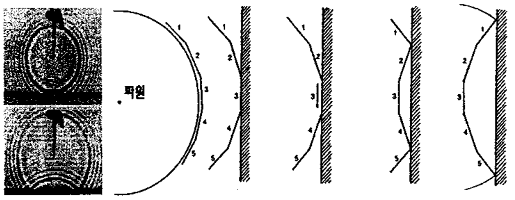
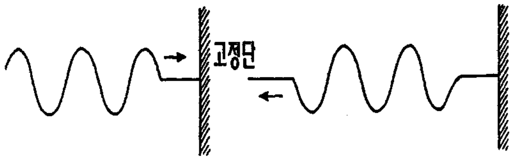
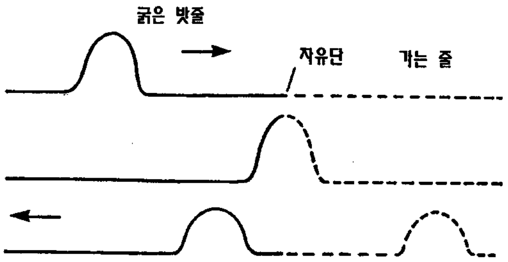


그림 3. 파동의 반사

고정단과 자유단에서의 파동의 반사는 그림 4에서와 같이 그 원리를 설명할 수 있다. 용수철에서 생긴 파동이 굵은 철사를 만나면 그 경계점에서 그 모양이 뒤바뀌어 반사된다. 이와 같이 반사될 때 파동의 위상이 180도 변하는 매질의 경계면을 고정 단이라고 한다.



가. 고정단에서의 반사



나. 자유단에서의 반사

그림 4. 위상변화에 따른 파동의 반사 형태

용수철에서 생긴 파동이 가벼운 실을 만나서 반사되는 파동의 모습을 보면 위상이 바뀌지 않고 그대로 되돌아온다. 이와 같이 반사될 때 파동의 위상이 변하지 않는 매질의 경계면을 자유단이라고 한다. 또한 파동이 반사될 때 입사각과 반사각은 항상 같다. ·이때 입사파와 법선, 그리고 반사파는 항상 같은 평면상에 있다.

3. 파동의 중첩과 공명

파동들이 진행하다가 서로 만나면 복잡한 모습을 나타내지만 잠시 후 겹쳐진 상태를 벗어나 처음의 모습으로 되돌아가서 각자 원래의 진행 방향으로 진행해 간다. 파동들은 서로 영향을 주거나 받지 않는 성질을 갖고 있는 데 파동의 이러한 성질을 파동의 독립성이라고 한다. 파동의 이러한 성질 때문에 여러 가지 소리가 들리는 곳에서도 우리는 소리들을 구별할 수가 있으며, 라디오나 TV등에서 원하는 방송을 선택할 수 있다.

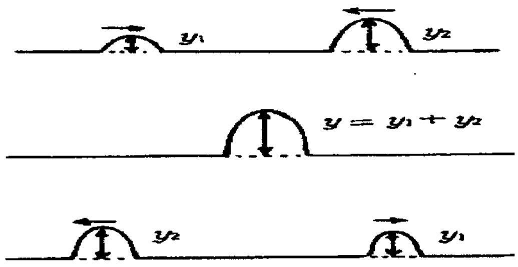


그림 5. 파동의 중첩

둘 이상의 파가 동시에 진행하고 있을 때, 중첩되어 생겨나는 합성파의 진동 위치는 각각의 파동이 독립적으로 진행할 때 나타나는 진동위치의 합과 같다.

진폭과 진동수가 같은 두 파동이 서로 반대방향으로 진행하여 중첩되어 나타나는 모습을 보면 마치 파동이 이동하지 않고 제자리에서 진동하는 것처럼 보인다. 중첩된 이러한 파동을 정상파라고 한다. 정상파를 보면 진동하지 않는 점(이 점들을 마디라고 한다.)들이 있는 가하면 진폭이 두 배가 되는 점(이 점들을 배라고 한다.)들이 있다.

파동이 다른 매질을 만났을 때 그 경계면에서 반사율이 좋으면(반사파의 진폭이 입사파의 진폭과 거의 같으면) 입사파와 반사파가 중첩되어 정상파가 생긴다. 이 때 경계면이 고정 단이면 그 경계면에서 입사파와 반사파의 위상이 서로 반대(또는 180도)가 된다. 즉, 중첩의 원리에 의해 경계면에서 입사파와 반사파는 상쇄되어

그 곳에서는 정상파의 마디가 생긴다. 그러나 경계면이 자유단이면 입사파와 반사파의 위상이 같아 중첩될 때 진폭이 두 배가 되어 진동하게 된다. 즉 경계면에서는 정상파의 배가 생기게 된다. 거문고와 같은 현악기의 경우 현의 양쪽을 고정시킨 줄을 진동시켜 줄에서 생기는 정상파를 이용한 것이다. 즉, 줄에서 생긴 정상파들이 파원으로 소리를 만들어낸다. 줄의 양끝은 고정단이므로 양끝에서는 정상파의 마디가 생긴다. 그러한 경우는 줄의 길이가 반파장의 정수배가 되는 파동뿐이다.

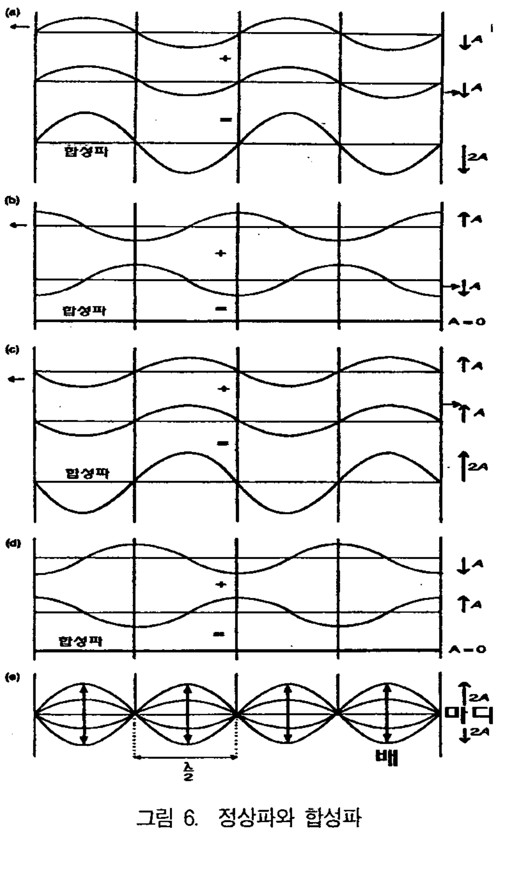


그림 6. 정상파와 합성파

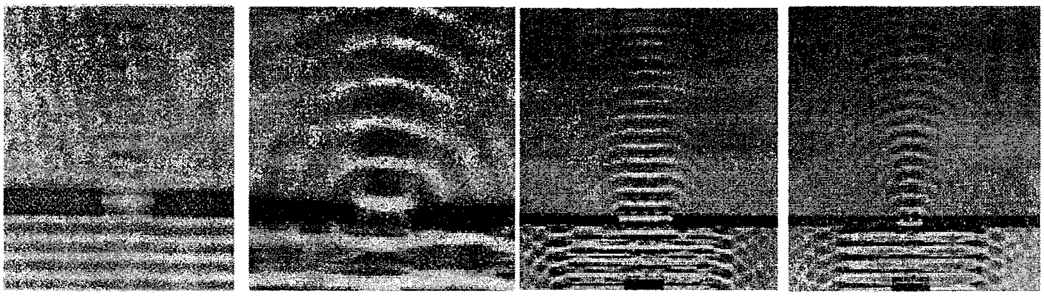
4. 파동의 회절과 간섭

우리는 창문을 닫고 있어도 창밖의 소리를 들을 수 있으며 바다에서 육지로 밀려오는 파도가 굴이나 방파제의 문을 빠져 나올 때 굴과 수문 주위로 휘어지면서 퍼져나가는 것을 볼 수 있다. 이와 같이 파동은 진행도중 장애물을 만나면 그 모서리에서 휘어져 장애물의 뒤쪽으로 전파되는 성질이 있는데 파동의 이러한 성질을 파동의 회절이라고 하는데 우리가 일상생활에서 듣는 소리는 파장이 70cm정도로 문틈에 비하여 매우 크기 때문에 회절이 잘 일어난다. 그래서 문틈을 통과한 밖의 소리를 방안 어디에서도 잘 들을 수가 있는 것이다. 그러나 소리보다 파장이 짧아 회절이 잘 안 되는 초음파는 직진이 잘되어 장애물의 영향을 잘 받게 된다. 박쥐는 초음파의 이러한 성질을 이용하여 어두운 동굴 속에서도 장애물에 충돌하지 않고 잘 날아다닐 수 있다. 파동의 회절은 파장이 클수록 잘 일어나며 파동의 회절은 틈(슬릿)의 크기가 작을수록 잘 일어난다.

공간의 한 곳에서 두 물체가 만나면 충돌하여 속도가 변하는 것과는 달리 파동들은 동시에 같은 곳에 있을 수 있다. 같은 장소에 있는 파동들은 중첩의 원리에 의해 겹쳐진다. 이때 합성파는 위치에 따라 진폭이 다르게 되는 데 이러한 현상을 파동의 간섭이라고 한다. 두 파동의 위상에 따라 파동의 진폭이 커지는 곳과 작아지는 곳이 생기는데, 진폭이 커지는 현상을 보강 간섭이라고 하고 진폭이 작아지는 상쇄 간섭현상을 그림 8에서 확인할 수 있으며 보강간섭과 상쇄간섭으로 구분 할 수 있다.

그림 8은 같은 위상으로 진동하는 두 점파원에서 발생한 물결파가 중첩되어 나타내는 것을 보여주고 있다. 보강간섭되는 부분과 상쇄간섭되는 부분이 선으로 나타나는 것을 볼 수 있다.

보강 간섭은 두 점파원에서 발생한 두 파동이 같은 위상으로 지나야 하므로 두 점파원으로부터 경로차가 파장의 정수배 (반파장의 짝수 배)가 되는 곳에서 일어난다.



파장이 작을 때 　　파장이 클 때 　　슬릿의 폭이 클 때 　　슬릿의 폭이 작을 때

그림 7. 각 특성에 따른 파동의 회절

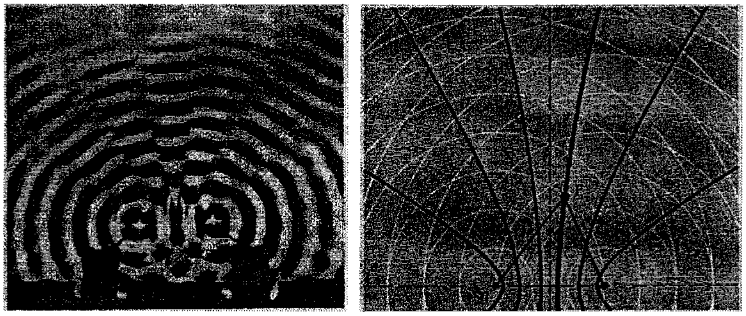


그림 8. 간섭현상에 따른 물결파의 중첩 현상

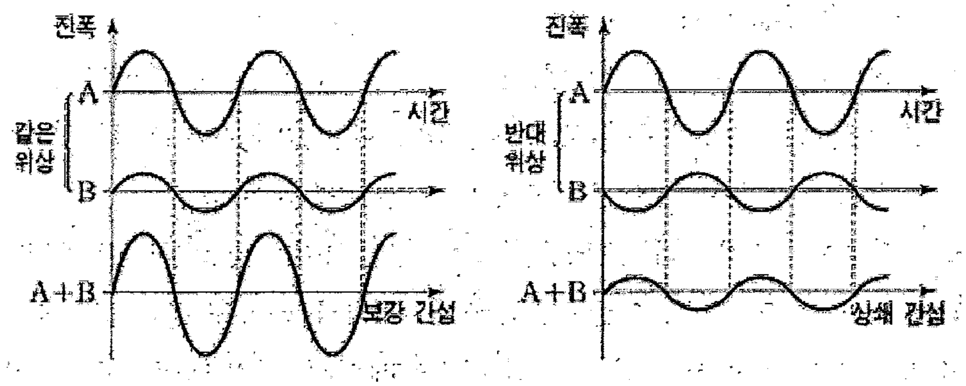


그림 9. 보강간섭과 상쇄간섭

$$S_1P - S_2P = (2m)\lambda/2, \quad (m=0, 1, 2, 3, \cdot\cdot\cdot)$$

상쇄간섭은 두 점파원에서 발생한 두 파동이 반대위상(위상차 180도)으로 지나야 하므로 두 점파원으로부터 경로차가 반파장의 홀수배가 되는 곳에서 일어난다.

$$S_1P - S_2P = (2m+1)\lambda/2, \quad (m=0, 1, 2, 3, \cdot\cdot\cdot)$$

Ⅲ. 음향의 전자공학적 접근

1. 소리의 음향학적 해석과 음성 신호처리

음향학은 소리의 과학이다. 음악을 포함한 모든 종류의 소리는 '공기의 진동'으로부터 비롯되며, 그렇기 때문에 음향학자들은 음악을 공기 속에서 일어나는 진동 현상의 하나로 간주한다. 좀 더 구체적으로 설명하자면 '소리를 낸다'는 것은 그 음원과 그 주위의 공기에 압력의 변화를 일으키는 것이며, 이러한 자극은 주변 공기의 밀도에 변화를 일으켜 공기의 입자들로 하여금 움직이게 하는 것이다. 이러한 진동은 점차 그 주위의 공기를 통해 퍼져나가고 마침내 인간의 청각기관에 의해 진동이 감지되었을 때, 우리는 그것을 '소리'라고 하는 것이다

고전적인 소리(音)또는 음악을 과학적인 논리로 분석하면, 우리의 청각을 통해 들을 수 있는 '진동'을 의미한다. 우리가 기타줄을 튕기면 기타 줄은 왕복운동 즉, 진동을 하게 된다.

우리들이 일상생활을 영위하고 있는 지구상에는 공기압이 존재한다. 음(Sound) 또는 음파(Sound Wave)란 음원에서 발생한 진동이 공기압의 주기적인 변화를 일으켜서 조밀파의 형태로 전파(Propagation)되는 현상을 말한다. 예를 들면 시그널 제너레이터에서 20Hz 정도의 저주파신호를 대출력 앰프에 가하면, 스피커의 진동막이 신호에 따라서 앞뒤로 크게 떨리는 모습을 쉽게 관측할 수 있다. 이때, 스피커의 진동막이 앞으로 움직이면 스피커 가까이에 있는 공기는 압축되고, 뒤로 움직이면 팽창된다. 이와 같이 공기의 탄성적인 성질에 의해서 발생하는 매질의 상태변화가 교류적인 물결로 주위에 전달된다고 해서 음을 탄성파 또는 조밀파라고 부르고 있다. 그림2와 같이 공기압력이 변화하면 음파가 형성된다. 즉 소리는 물리적 관점에서 파(Wave)로 설명되고, 이를 음파(Sound Wave)라고 한다.

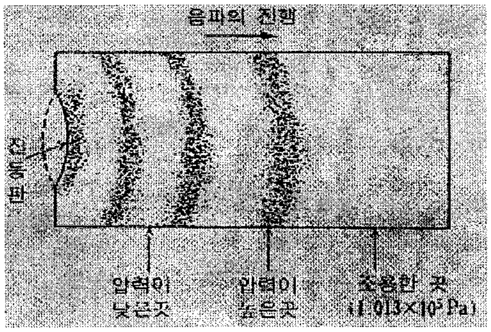


그림 10. 음파의 형성과 진행

소리를 분석하는 방법으로는 물리적인 방법이 일반적이나 음악의 경우 심리적인 요소인 음의 높낮이(Pitch), 음의 크기(Loudness)로 구분하여 분석하고 있다.

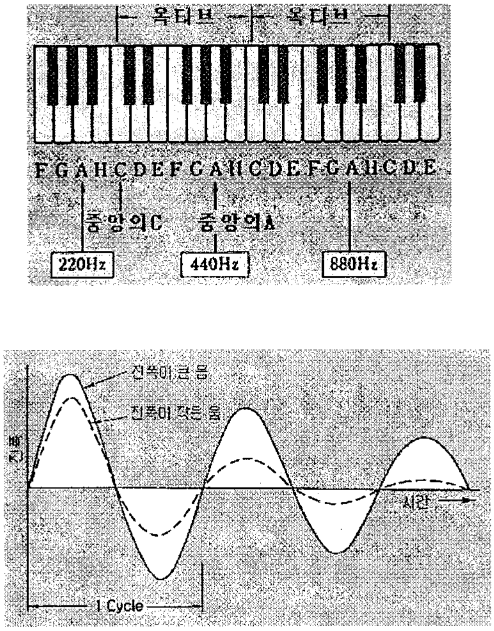


그림 11. 음의 높이와 음파의 진폭 변화

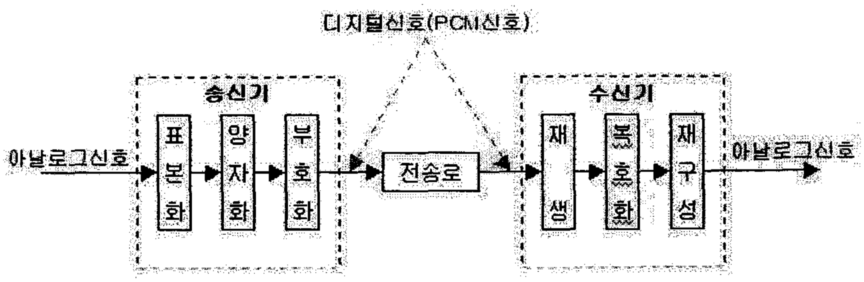


그림 12. 신호의 전송재생과정

음의 높이 (Pitch)는 음파의 기본음이 가지는 기본 주파수에 의해서 결정된다. 즉, 1초에 440번 진동하는 피아노의 A음은 440㎐의 음 높이를, 1초에 880번 진동하는 음은 880㎐의 음 높이를 가진 A음을 낸다.(그림 4. 참조) 따라서 주파수가 높은 음은 높게, 주파수가 낮은 음은 낮게 들린다. '낮은 도'음에서 다음의 '높은 도'까지의 음계를 1옥타브(Octave)라고 부르는데, 1옥타브의 주파수는 그림과 같이 낮은 '도'음의 2배가 된다. 즉, 1옥타브 위의 음은 기본 주파수에 대해 2배의 주파수, 2옥타브 위의 음은 4배의 주파수만큼 높은 주파수의 음을 의미한다.

음의 크기 (Loudness)는 음파의 진동진폭의 대소에 의해서 결정된다. 즉, 진폭이 큰 음은 크게, 진폭이 작은 음은 작게 들리며 음색(Timbre)은 음의 종류, 구별에 대응한 청각적인 인상인 것이다.

2. 소리의 저장과 재현을 위한 디지털 신호처리 기술

소리는 본래 아날로그 형태의 음압 변화가 진동 음으로 발생되어 전파과정을 거쳐 상대측에 전달되는 데, 이때의 음압 변화에 의한 전달 에너지를 그 크기에 비례하는 연속적 전기에너지(신호) 형태로 변환하여 적절한 방법으로 저장하거나 또는 증폭, 재현시켜 이용하게 된다.

음성, 음악 영상 등 통신시스템에 사용되는 대부분의 정보원은 아날로그 형태를 갖는데 이들 아날로그 정보원은 디지털 통신시스템의 첫 번째 과정은 아날로그 신호를 디지털로 변환하는 A/D 변환과 수신측 에서는 D/A 변환을 하여 아날로그 정보원을 복원한다.

- 음성의 디지털 부호화 기술은 파형부호화(Waveform coding)와 파원부호화(Source coding = Vocoding), 그리고 혼합부호화(Hybrid coding) 등이 있다.

아날로그 신호가 디지털 신호로 변환되기 위해서는 크게 표본화(sampling), 양자화(quantizing), 부호화(encoding)등의 3단계로 나누어진 PCM(Pulse Code Modulation) 과정을 거쳐야 한다.

1) 표본화(sampling)

필요한 정보를 추출하기 위해 원 신호를 시간축 상에서 일정한 주기로 추출하는 것을 말하여 추출된 신호의 진폭을 표본 값이라 한다. 따라서 표본 값으로 이루어진 펄스열은 펄스진폭변조(PAM: Pulse Amplitude Modulation)가 된다. 표본화의 반대는 역(상대적 반대)은 PAM신호에서 연속신호로의 복조인데, 이것은 PAM펄스열의 표본 값 사이를 연결해 주는 역할을 뜻하며 이

를 보간(interpolation)이라 한다. 이것은 주로 저역통과필터(LPF)로 행해진다. 이와 같이 연속신호를 일정주기인 표본점의 순시 값으로 전송하며 이를 수신측에서는 원신호로 재생할 수가 있다.

전송할 원 신호에 포함되어 있는 최고 주파수의 2배 이상으로 샘플링해서 전송해야만 그 샘플 값을 가지고 원 신호를 완전히 재생할 수 있다. 즉 원신호의 주파수 대역이 0~B로 제한된다면 표본 율(sampling rate; fs)은 fs≥2B 이어야 한다. 예를 들어 전호음성의 경우 전송대역이 약 4㎑(300~3400㎐)이므로 4㎑의 2배인 8㎑(주기시간으로 125㎲)로 sampling 해야 한다.

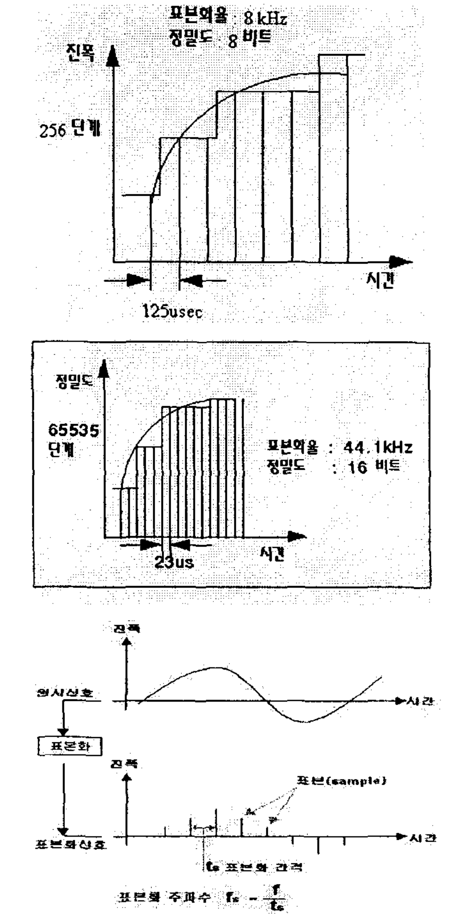


그림 13. 소리의 표본화율(동일원음의 재생기준) 및 표본화

전송할 원 신호에 포함되어 있는 최고 주파수의 2배 이상으로 샘플링해서 전송해야만 그 샘플 값을 가지고 원 신호를 완전히 재생할 수 있다. 즉 원신호의 주파수 대역이 0~B로 제한된다면 표본 율(sampling rate; fs)은 fs≥2B 이어야 한다. 예를 들어 전호음성의 경우 전송대역이 약 4㎑(300~3400㎐)이므로 4㎑의 2배인 8㎑(주기시간으로 125㎲)로 sampling 해야 한다.

2) 양자화

표본화에서 얻은 PAM 신호를 디지털화하기 위해서 그림 2와 같이 진폭 축으로 이상 값을 갖도록 처리하는 것을 양자화(quantization)라고 한다. PAM 신호를 양자화하기 위한 출력레벨의 간격을 양자화 폭(quantizing step)이라 하며 양자화 폭의 수는 이진부호의 비트수에 의해 정해진다. 비트 수를 많게 하면 원 신호를 충실히 부호화할 수 있으나 부호-복호기(CODEC)와 중계기 등의 고속화가 필요하다. 따라서 품질과 경제성을 고려해서 비트 수를 결정해야 한다. 현재 전화음성의 경우 샘플 당 8비트(최대 피크 값과 최소 피크 값 간에 256단계)로 부호화하고 있다. 양자화 시 연속되는 양을 이산 값으로 근사 화시킬 때 발생하는 오차를 양자화 잡음이라 하는데 디지털화에 따르는 품질저하의 요인이 되므로 최대로 작게 할 필요가 있다. 따라서 이러한 양자화 잡음을 줄이기 위해 양자화 폭을 일정하게 고정하는 선형 양자화를 행하지 않고 신호의 진폭이 작은 영역에서는 양자화 폭을 세밀하게 하고 신호의 진폭이 큰 영역에서는 양자화 폭을 넓게 하는 방법으로 전체에 대한 신호 대 잡음(S/N)비를 개선할 수 있다. 이러한 방법을 비선형 양자화라 하며 압신(companding)에 의해 실현된다. 전화음성에 대한 압신의 종류에는 ITU-T에서 권고하는 A-low(북미방식)와 U-low(유럽방

식)가 있다.

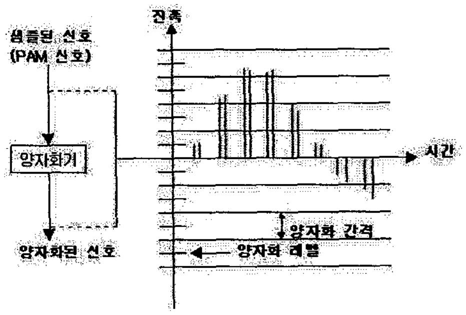


그림 14. 양자화

3) 부호화 전송

양자화 된 샘플들은 음성신호의 256레벨과 같이 샘플진폭의 큰 수 사이를 구분할 수 있는 재생기(regenerator)의 구성이 어려우므로 전송신호로는 부적당하다. 따라서 양자화 된 샘플은 양자화 레벨의 수 n에 따라 2n 비트로 부호화 된다. 그림 2.5는 8개의 양자화 레벨을 갖는 양자화 된 샘플의 부호화를 나타내고 있다.

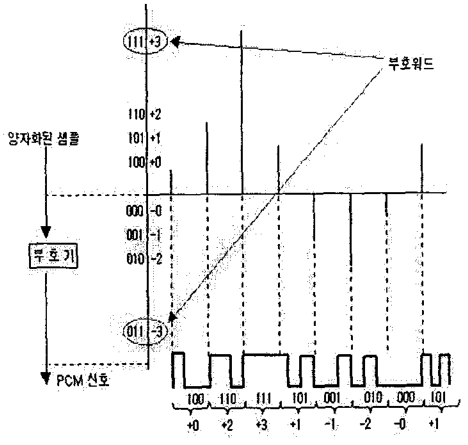


그림 15. 부호화의 예

이와 같이 한 샘플을 비트로 구현한 것을 PCM워드라 한다. 일반적으로 전화음성의 경우 PCM워드는 8비트로 부호화하고 하고 있으며, 부호를 2진법으로 나타낼 때 2진법의 최상위 비트(MSB: Most Significant Bit)는 +, −를 표시하는 부호비트 이므로 +측과 −측을 각 128단계로 구분해서 표현하게 된다. 이러한 부호기에는 병렬 형, 계수형, 귀환 형, 종속 형 등의 각종 부호기가 있다.

귀환 형 부호기에는 국부복호기의 각 기준전압과 입력한 PCM의 진폭 값을 쫓아다니면서 비교 하므로 오차가 최소가 되는 값을 구하고, PCM신호는 상위비트로부터 순차적으로 해당비트에 "1"이 있는지 없는지를 비교해서 1비트씩 연속해서 출력한다. 현재 전화음성의 경우PCM워드(1샘플 당 비트수)는 8비트이고 표본화 정리에 의해 8000샘플/초 이므로 PCM전송속도는 64Kb/s가 된다.

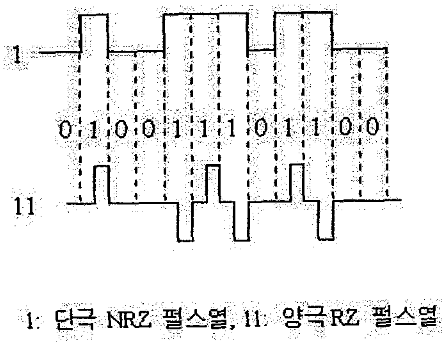


그림 16. 단극 NRZ 펄스열과 양극 RZ 펄스열

단말기내의 디지털신호는 보통 NRZ(NonReturn-to-Zero) 형태의 단극(unipolar)펄스열로 전송된다. 이러한 신호형태는 장거리 전송에는 적합하지 않다. 따라서 좀 더 개선된 신호형태로서는 양극(bipolar) RZ(Return-to-Zero)이 있는데 장점은 첫째 펄스의 교번(alternating)극성에 의해 무 직류 성분을 갖기 때문에 스펙트럼

의 저역에 전력이 없다.

둘째 심벌 간 간섭(inter-symbol interference)이 RZ에 의해 감소된다. 신호들은 전송되는 동안 감쇠되고 찌그러지게 되며 잡음이 첨가되어 신호가 손상될 수 있으므로 전송 선로 상에서 복구되어야 한다. 따라서 재생중계기에 의해 "1"과 "0"의 새로운 신호를 재생하여 전송한다. 많은 수의 재생중계기를 통과한 신호일지라도 부호신호는 실질적으로 원 신호와 동일하다. 이것은 PCM전송 시스템이 갖는 높은 전송품질 때문이다.

Ⅳ. 나가기

모든 소리는 물체의 진동에 의해 만들어진다. 기타는 현을 진동시키고, 섹스폰은 리드를 진동시킴으로써 소리를 만들고, 플루트는 관내의 공기 기둥이 진동하면서 소리를 낸다. 또 사람의 목소리는 성대의 떨림으로 만들어진다. 하지만 이러한 모든 소리는 공기가 있기 때문에 들린다는 것이 흥미롭다. 만약 우리가 사는 곳이 진공상태라면 우리는 아무런 소리도 들을 수 없다. 그 이유는 바로 진동을 전달하는 물질, 즉 매질이 없어진 결과다.

방안에서 '아'하고 소리를 내본다. 이 소리는 모든 방향으로 퍼져나가는 파동을 만들고 이 파동은 용수철을 앞뒤로 진동시키는 것처럼 공기를 진동시킨다. 공기의 진동은 귀의 바로 앞부분까지 진동해 고막을 울림으로써 소리를 듣게 한다. 그렇지만 소리는 공기만을 통해서 전달되는 것은 아니다. 소리는 철과 같은 고체, 물과 같은 액체 속에서도 전달되고, 전달 속도도 더 빠르다. 과거 인디언들은 귀를 땅에 대고 멀리서 달려오는 말발굽 소리를 공기를 통해서 듣는 것보다 더 빠르게 들었다고 한다.

또 모터보트가 달리는 곳에서 수영을 할 경우 물속에서 듣는 모터 소리가 물 밖에서 듣는 소리보다 훨씬 크다는 것을 느낄 수 있다. 일반적으로 소리는 기체보다는 액체나 고체에서 더 빠르게 전달된다.

동굴에서의 소리는 주위에 퍼지고, 반사하고, 굴절하며, 간섭을 일으키는 현상이 밀폐되지 않은 상태 즉, 대향 면에서 흡수 될 수 있는 일반적 조건보다도 반사가 크며 상대적으로 큰 공명현상을 야기한다. 이런 현상은 동굴의 구조(굴곡과 휘어짐, 재질, 반사면 등)가 소리의 전달에 여러 가지 방법으로 상호작용을 일으키기 때문이다. 흔히 소리를 표현하는 말로 소리가 '낮다, 높다', '크다, 작다'라는 표현을 쓴다. 두 표현은 과학적으로 그 의미가 엄밀히 다르다. 소리가 높다는 말은 소리, 음파의 진동수가 많다는 뜻이다. 특히 음파의 반사 진동 을 극대화 할 수 있는 동굴의 경우 소리의 파동은 더욱 크게 작용한다. 따라서 동굴 속에서 음악을 연주하는 경우 작은 소리라도 매우 웅장한 소리효과를 낼 수 있으며, 고음보다는 저음의 울림효과를 가져 올 수 있다. 특히 이러한 파동현상과 음향효과를 통하여 발굴된 동굴의 체계적 관리 및 미 발굴 동굴의 발굴에도 적용할 수 있을 것으로 기대되며, 동굴의 음향파동현상을 응용한 기술로 지각의 변화나 동굴의 상태 및 변화 요인을 분석 관찰하는데 효과적인 역할을 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

文 獻

음악을 위한 음향학 (박관우, 안정모 역) 서울: 삼호출판사, 1990.

음이란 무엇인가 (전지호 역) : 음향학에의 접근. 서울: 삼호출판사, 1991.

Eargle, John M. Music, Sound and Technology. New

York: Van Nostrand Reinhold, 1990.
Hall, Donald E. Musical Acoustics: An Introductiuon. Belmont, California: Wadsworth, 1980.
Hunt, Frederick, V. Electroacoustics: The Analysis of Transduction, and its Historical Background. American Institute of Physics, 1982.
Levarie, Sigmund and Levy, Ernst. Tone: A Study in Musical Acoustics, Kent, OH: The Kent State University Press, 1980.
E. Schrödinger, "Quantisierung als Eigenwertproblem," Annalen der Physik 79 (1926), 361-376; Annalen der Physik 79 (1926), 489-527; Annalen der Physik 80 (1926), 437-490; Annalen der Physik 81 (1926), 109-139.
E. Schrödinger, "Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik," Naturwissenschaften 23 (1935), 807-812; 823-828; 844-849.
E. Schrödinger, What is Life? (Cambridge: Cambridge University Press, 1944).
C. Davison and L.H. Germer, "The Scattering of Electrons by a Single Crystal of Nickel," Nature 119 (1927), 558-560.
G.P. Thomson, "Experiments on the Diffraction of Cathode Rays," Proceedings of the Royal. Society of London A 117 (1928), 600-609.