

에밀레의 맥놀이와 다른 파동과의 상관관계

A Correlation between Emile Sound and Other Waves

안정근*, 진용욱**

(Jeong-Keun Ahn*, Yong-Ohk Chin**)

*김포대학 정보통신과, **경희대학교 정보통신대학원

(접수일자: 2000년 9월 14일; 채택일자: 2000년 11월 24일)

에밀레 소리 울림의 최대 특징은 맥놀이 파동의 생성이다. 이는 시간영역에서는 간섭 곱셈의 결과로 나타나며 반소파는 억제하면서 신호파가 좌우에 분포하는 대역 억압 양측파대 변조방식이다. 이러한 맥놀이파는 에밀레의 파동 이외도 폴리비닐에 대한 라만 분산신호, 음성신호, 수맥파와 조석파 등에서 관찰된다. 이러한 맥놀이의 발생원인은 대칭구조에서 비대칭구조로 발생함을 보여주고 있다.

핵심용어: 에밀레종, 맥놀이, 변조

투고분야: 음향 신호처리 분야 (1.1, 1.7)

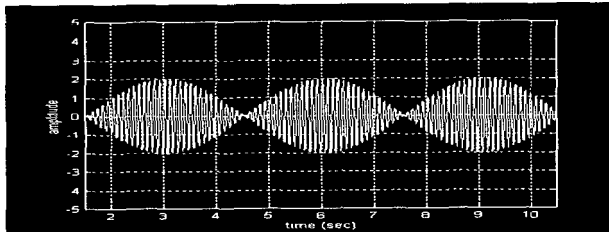
The most important characteristic of Emile Bell's sound is a beating. It is modulation phenomenon which appears as a result of interference multiplication in time domain. This modulation phenomenon can be modeled as DSB-SC which suppress carrier and signals distributed both sides. The beating wave is observed in Laman distribution signal for polyvinyl speech signal, water vein wave, tide wave. The beating wave is caused by asymmetry property of the bell.

Key words: Emile Bell, Beating, Modulation

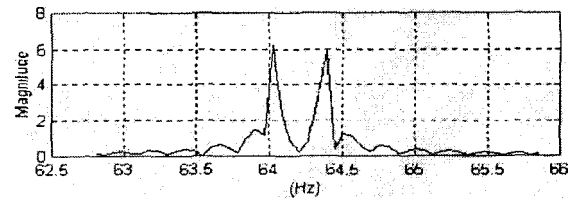
Subject classification: Acoustic signal processing (1.1, 1.7)

I. 들머리

에밀레의 소리 울림은 매우 특이하다. 처음 가격시의 파열음이 들리다가 2-3초가 지나면서 급속히 정상음으로 전환되고 오랜 동안 여음이 지속된다. 발생하는 주파수 성분은 64.07Hz를 기본으로 하여 168.281등이다. 이들 소리 울림 중 특이한 사항은 사라졌다가는 다시 살아나는 양상이 반복된다는 것이다.



(a) 맥놀이 파형 (시간영역)-제속



(b) 쌍떡잎 현상 (주파수영역)

그림 1. 맥놀이의 시간파형과 주파수 영역의 주파수 분포
Fig. 1. Time domain waveform and frequency distribution of beating.

이러한 소리울림의 특징은 맥놀이 때문이다. 세계적으로 볼 때 유래가 없으며 서양종이나 중국종에서는 나타나지 않거나 나타나더라도 아주 경미한 뿐이다. 즉 에밀레 최복[1]을 포함하여 한국의 범종에서만 특이하게 나타나는 현상이다. 그런데 왜 기본주파수를 64Hz로 정했으며, 맥놀이 주파수가 왜, 어째서, 어떻게 발생하겠는가, 그리고 맥놀이파가 인간에게 미치는 청음 심리학적 영향은 무엇인가와 의문에 생긴다. 이에 대한 상세한 분석이나 음향 심리학적 고찰에 대하여는 아직 보고된바 없다.

II. 64Hz를 기본주파수로 삼은 이유에 대하여

에밀레 쇠북의 진동은 길이나 두께에 대하여 반비례한다. 그러므로 낮은 주파수를 내기 위해서는 거대한 규모로 구조되어야 한다. 따라서 64Hz가 나오려면 현재의 크기 정도에서만 가능하다. 그런데 64Hz는 16Hz의 2배 옥타브 주파수이며 16Hz는 인간이 들을 수 있는 최저한계이다. 만약 기준이 1에서 시작된다면 64Hz는 2의 6승 즉 6옥타브에 해당하며 피아노 건반의 기본음 C₆와 일치한다.

에밀레의 구조 전에 이미 에밀레보다 작은 상원사의 쇠북의 구조가 서기 725년 전에 있었고, 서기 754년 그보다 훨씬 큰 황룡사의 거대한 쇠북의 구조가 있었다. 상원사의 동종은 지금도 들어보면 청아하다는 평을 받는다. 하지만 에밀레 소리보다는 떨어진다는 평이다. 황룡사의 대종은 에밀레보다 3배 이상이나 큰 종이어서 둔중한 낮은 소리가 나오겠지만 그 소리느낌은 분명히 에밀레에 미치지 못하였을 것이다. 황룡사의 거대한 쇠북이 지금은 사라지고 없는 마당에서 에밀레보다 듣기 좋은 소리가 나오지 않았다고 단정적으로 말할 수는 없다.

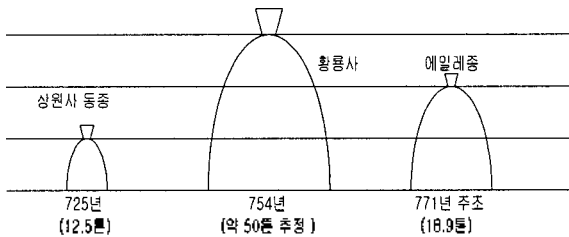


그림 2. 에밀레 구조의 역사
Fig. 2. History of Emile casting.

그렇다면 64Hz는 어떻게 맞추고 무엇으로 조율했을까? 이러한 의문에 대해서도 판단할만한 근거자료는 아직 없다. 다만, 50여년 이후 771년에 주조된 사실에서 어떤 암시를 던져주고 있을 뿐이다.

그러나 아무리 분석 능력이 뛰어난 사람이라 할지라도 단 한번의 주물로 64Hz를 맞추는 것은 불가능하다. 적어도 몇 번의 시행착오 끝에 64Hz에 근접하게 되었으며 보다 미세한 조절은 다른 조절 방법을 사용했을 것이다. 그 가능성 중 하나는 천장 속에 붙어 있는 덩쇠를 갈아냄으로써 가능했을지도 모르겠다[2].

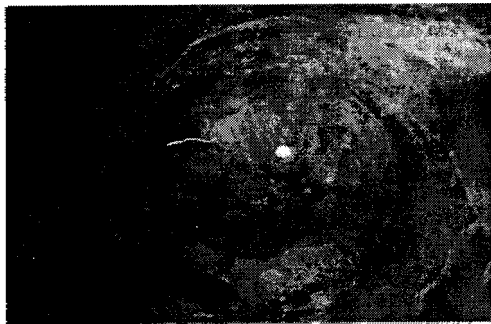


그림 3. 에밀레 내부의 덩쇠 (사진)
Fig. 3. Extra metal of Emile's inner part.

옛날부터 동양 문화권에서는 정치의 근본을 예와 악에 우선성을 두었다. 서양과는 달리 형과 벌은 나중에 법률로 정하였다. 여기에서 법률은 법(法)과 율(律)의 합성어이다. 법은 물(水)이 흘러가(去) 수평을 유지하는 것으로 보았다. 그러나 기원 1,500년경 온대의 갑골문에는 물수자가 없으며 주대에 이르러 금문에 나와있는 것을 보면 법이란 나중에 나타났다는 점을 시사하는 것이다. 율은 율수(律修)에서 나온 말이다. 12음계의 소리(12律)에 대한 높고 낮음을 표시하는 수량적 차이를 말하는 것으로 소리의 기준을 피리의 길이에서 정하고 여기에서 나오는 소리로 도량형의 척도를 삼았다는 유래에서 나온 말이다.

이집트에서는 나일강의 범람 이후 농경지의 재분할을 위해 측량에 기반을 둔 기하학이 발전되었다. 그러나 동양에서는 물의 자연적 흐름에 대한 계측의 기준틀을 소리에서 찾은 것이다. 기하학이 수량 위주라면 율수는 형태가 없이도 소리를 들어 계측 기준을 삼았다. 그러므로 소리의 기준이 흔들리면 도량형이 흔들리고 법률이 서지 않는다고 생각하여 소리의 기준이 정치의 시발임을 강조해왔다. '소리(音)가 흐트러질 때 악(樂)이 문란해지고 악이 문란하며 정신이 사악해진다'고 생각하였다. 이를 바로잡는 일은 다스리는 자의 도리라고 생각하여 소리의 정리를 으뜸 덕목으로 삼았다. 우리나라에서도 이러한 전통에 의하여 소리의 기준을 정하였는데 세종대에 이르러 이를 집대성하였다.

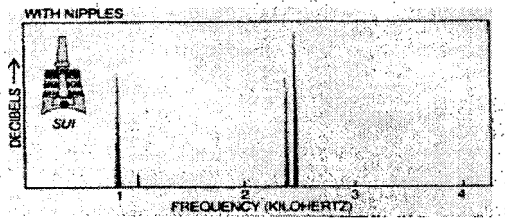
세종은 악악을 정리하기 위해 천연산 검은 기장(鉅黍:거서)을 해주에서 구하고 채석(採石)을 남양에서 구하였다. 기장으로는 12울의 정음 고저를 표시하는 수량적 차이를 낱알 개수로 계산해서 황종판을 만들어 악기 제작의 기준으로 삼았으며 돌로 경(磬)을 만들어 소리의 표준을 정한 다음 악곡을 창작하고 악보를 만들 때 장단강약의 빠르고 더듬을 판정하였다. 세종 시대가 우리 역사상 문화적 최음성기라고 볼 때 그 출발은 소리기준의 제정에서 시작한 것이며 이를 표준으로 하여 발생기호로 정한 것이 그 유명한 훈민정음 창제로 나타난 것이다.

이런 점을 상고할 때 에밀레의 구조 목적은 국민안과 효친의 목적에서 비롯되었지만 더불어 통일신라의 국가 봉치적 차원에서 소리의 표준이 절실히 필요했을 것이며 이를 위해 에밀레 쇠북을 주조면 그 기준 음을 삼았을 것이다. 에밀레의 소리울림과 크기는 이를 증명하는 유력한 증거인 것이다.

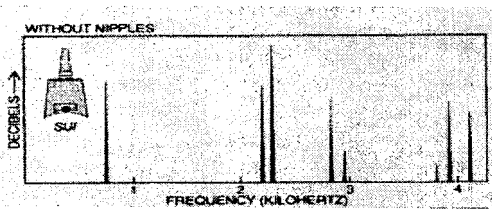
III. 맥놀이 주파수 0.34Hz는 어떻게 실험했을까

정밀측정에 의하면 한국범종의 맥놀이 기본주파수는 64.0625와 63.375이며 이 둘의 차이는 0.34이다[5]. 이의 역수가 주기임으로 대략 1초 간격이 된다. 1초마다 소리의 강약이 반복되는 느낌을 주는 것은 이때문이다. 에밀레의 명문에 "용의 울음" 같다는 표현은 여기에서 유래되는 것으로 짐작된다. 이만한 거대 쇠북에서 맥놀이가 발생한다는 것은 매우 희귀한 사례에 속한다. 더구나 0.34Hz는 뇌파신호와 일치하고 있다[4].

맥놀이가 일어나는 요인은 원천적으로 비대칭이나 비선형적 요인에 의하여 두 개 이상의 주파수가 발생하고 양자를 혼합시키는 곱셈작용의 요소가 있어야 한다. 그렇다면 에밀레의 내부 어딘가에 이러한 요소가 작용하고 있다는 말이 된다. 흔들이의 동시성과의 일치[5,11,12]라고 분석한 경우는 있다. 또한 매김 자리 (당좌)의 앞 뒤 위치가 15도쯤 비틀어져 있기 때문이라는 보고도 있다 [6,11,12]. 그러나 맥놀이 주파수 0.34를 위상으로 환산하면 60-120도가 됨으로 정량적인 분석과는 일치되지 않으며 동시성이 없는 쇠북 이외 다른 경우에도 맥놀이는 관찰되고 있다.



(a) 들기가 있는 용종의 주파수 분포



(b) 들기가 없는 용종의 주파수 분포

그림 4. 용종의 구조와 주파수 분포
Fig. 4. Structure and frequency distribution of Yong Bell.

먼저 주목해야 할 사항은 두 개의 상이한 근접주파수가 어떻게 나타나는 가이다. 이를 알기 위해서는 두 개의 음조가 나타나는 사례를 분석해야 한다. 주대의 용종에 정중음을 가졌을 때 2개의 다른 주파수가 울려나온다. 이러한 이유로 용종은 서양식 번역으로 2음조 벨 (2 tone bell)이라는 별칭을 가지고 있다. 납작한 타원모양의 합와식 (合瓦式) 용종을 가졌다면 먼저 수축하고 그 반동으로 다시 팽창하는 진동과정을 살펴볼 때 수축할 때와 팽창할 때는 분명히 다른 꼴 (모드)을 드러낸다. 이러한 떨림꼴 (진동모드)의 차이가 주파수의 차이로 나타나는 것이다. 그러나 용종에서는 2개의 다른 음조가 분명히 나타나지만 맥놀이는 일어나지 않는다. 즉 곱셈작용이 없다는 것이다. 또한 주위에 들기가 없을 때 주파수 이조가 일어남을 볼 수 있다 [그림 4].

그러나, 2개의 다른 음조를 가진 소리굽쇠 두 개를 통속에 나란히 꽂아 놓고 동시에 가졌다면 맥놀이 현상을 발견할 수가 있다[7]. 이는 통속에서 두 개의 다른 음조가 서로 곱해지는 주파수 합성작용이 일어나기 때문이다. 두 가지 사례에서 알 수 있듯이 에밀레의 내부에서는 두 가지의 서로 다른 떨림꼴을 형성한 다음에 합성작용이 동시에 일어나고 있다는 것을 시사하고 있다. 과연 어디

에서 이와 같은 작용이 일어날까?

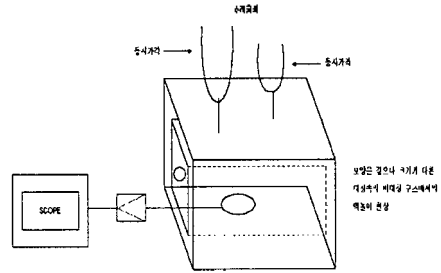


그림 5. 울통과 주파수 합성의 상관실험
Fig. 5. Sound chamber and frequency synthesis experiment.

에밀레의 길모습은 매김 자리를 기준으로 균형이 잘 잡힌 항아리와 같은 좌우대칭 모습을 보여주고 있다. 이러한 균형 속에는 윗머 (상대) 바로 아래에 4군데의 테두리(유각)속에 36개의 언꽃돌기가 돌을 세김 (양각)으로 새겨져 있으며 그 아래쪽으로 내려와 선녀의 비천상이 각각 90도의 위치에 놓여있다. 그러나 세로로 보면 비천상과 테두리는 각각 45도쯤 비껴려 있다. 그 아래 조금 내려와 2개의 매김자리 (당좌)가 180도씩 앞뒤로 있으며, 그리고 맨 아래쪽에는 8통형의 아래머 (하대)가 파도처럼 둘러쳐져 있다. 말하자면 4, 4, 2, 8,의 배치를 취하고 있는 것이다.

매김 자리를 가졌하여 수축되는 순간에는 매김 자리 (당좌)를 중심으로 위쪽 테두리 1에서 반시계 방향으로 비천1- 테두리- 비천2- 매김자리 2와 테두리 3f 비천3- 테두리4- 비천4의 순서로 가로 길쭉한 타원을 형성하여 장축의 정점에는 테두리 2, 4만이 배치되어 있게 된다. 반대로 반동으로 팽창할 때는 세로축 정점에서 매김 자리 1, 2와 테두리 1과 3이 위치하고 있다. 분명히 양자간의 떨림꼴은 차이가 있으며 이 차이가 0.34의 주파수 차로 나타날 것이다. 말하자면 수축과 팽창 시에 대칭 속의 비대칭 꼴이 형성된다는 것이다.

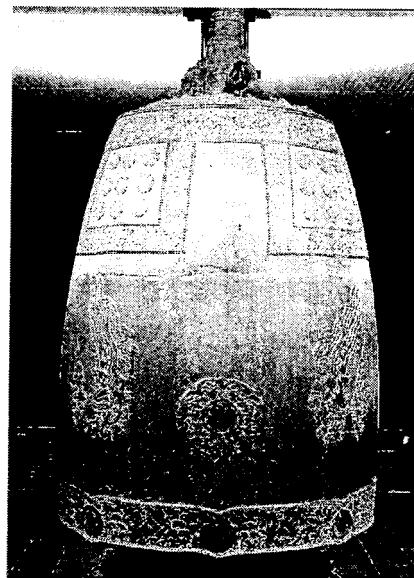


그림 6. 에밀레의 대칭구조
Fig. 6. Symmetrical structure of Emile.

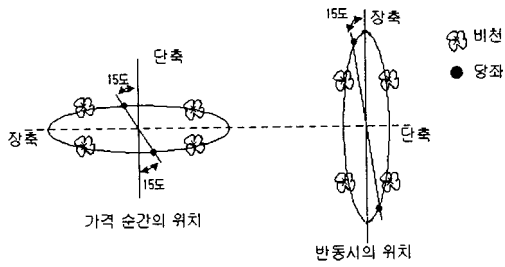


그림 7. 비천과 당좌의 모습위치 변동
Fig. 7. Location change of Bichun and dangjaa.

● 그 외의 맥놀이파 분석

• 폴리비닐의 라만산란파의 스펙트럼 분석도(IR Spectrography)

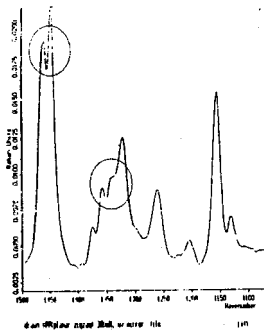


그림 8. 폴리비닐의 라만산란파의 스펙트럼 분석도 (IR Spectrography)
Fig. 8. Polyvinyl's laman scottering wave spectrum.

그렇다면 곱셈작용은 어디에서 나타날까? 모든 파형은 동일배율에서 무한히 진행하다가 배율이 다른 곳에 이르면 반사가 일어나고 이는 진행해오는 파형과 겹쳐지게 된다. 이때 겹쳐지는 파형을 정재파라 부른다. 정재파는 두 파동의 합성의 결과이지만 수학적으로는 곱셈작용으로 일어난다. 에밀레 쇠북의 경우도 주물로 형성된 낫쇠의 매질공간에서 탄성파가 진행될 때 반사파와 진행파가 합쳐져 정재파를 형성하게 된다. 즉 매김 자리에서 발생된 진동은 상하좌우 여러 방향으로 쇠북의 낫쇠 내부로 퍼져 나가다가 한 바퀴를 돌고 난 뒤에 다시 돌아오면서 다른 쪽에서 밀려온 파동끼리 서로 충돌하여 간섭이 일어난다. 이때 어울릴 수 있는 파형들은 더하기로 정리되어 커지는 쪽으로 작용하지만 어울릴 수 없는 파형들은 빼기(즉 나누어짐)로 작용하여 진폭이 작아지고 스러지게 된다. 이와 같은 현상은 비록 에밀레 쇠북에서만 일어나는 것이 아니라 모든 종이나 진동체에서 일반적으로 일어나는 현상이다. 그러므로 쇠북의 표면에 새겨놓은 조각들이 각각 다른 주파수의 파형을 만드는 요인이 되고 낫쇠 내부에서 형성된 정재파의 곱셈 작용으로 맥놀이가 형성된다고 보겠다. 맥놀이 파형은 에밀레에서만 일어나는 것이 아니라 다른 진동이나 파동에서도 발견된다.

IV. 그 외의 맥놀이파 분석 : 성문, 주문울성, 폴리비닐의 분산도, 외기공의 신호파

음성신호를 분석하면 여러 가지 형태의 맥놀이파 형태가 관찰된다. 이를 잘 해석하면 화자별, 사상체질 감별, 한의학적 문진(問診)과 원격 문진(問診) 등에 응용할 수 있다.

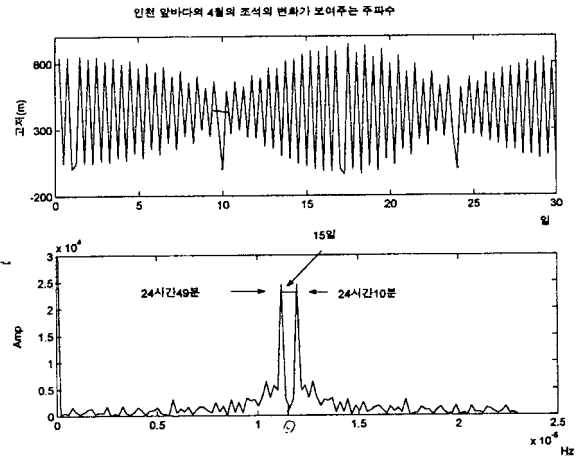


그림 9. 조석파의 맥놀이 현상
Fig. 9. Beating of tide.

• 수맥파의 발생원리

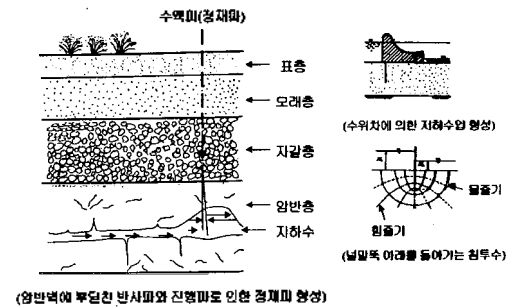
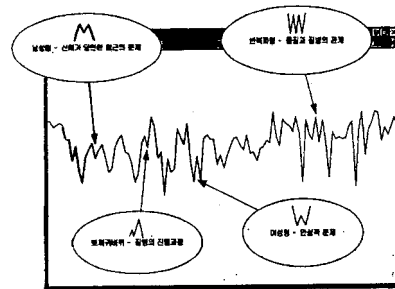


그림 10. 수맥파의 발생원리
Fig. 10. Generation principle of water vein wave.

성문(Voice print)에서의 맥놀이 파형

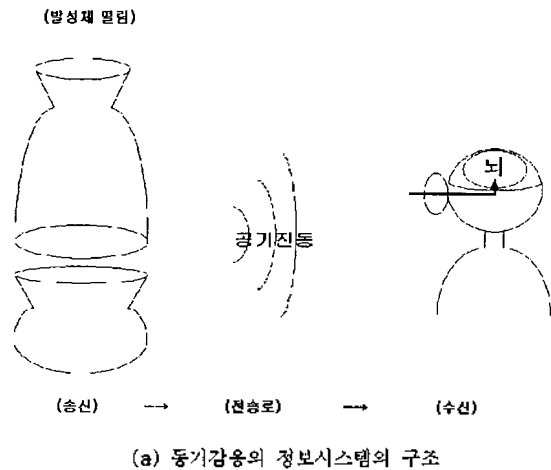


After Raulen K. Garfield
2000 음성인식 원리(2000-140046호 중 221.60-239.42호 구간)을 초저주파(16-32kHz) 음원으로 변환한 폴리스펙트럼 (수 많은 맥놀이파가 존재하고 있다.)

그림 11. 성문 (Voice print)에서의 맥놀이 파형
Fig. 11. Beating wave of voice print.

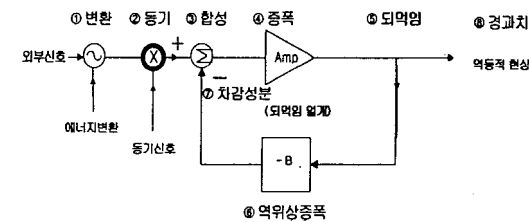
속련된 기공사의 외기공으로 발사되는 에너지 안에는 미약한 에너지이지만 자세히 분석하면 쌍떡잎과 같은 역동적인 신호가 실려있다[9]. 받아들이는 상대방은 이 신호에 동기가 맞아야 검출이 가능하고 그렇지 못하면 아무리 에너지가 강해도 받아들이지 못한다. 이를 통신공학에서는 동기검출 (Coherent detect)이라 한다. 검출된 신호(정보)는 내부에서 되먹임 (feedback)작용으로 자기증폭을 시키다가 어느 단계 이상에 이르러 수용한계를 넘을 때 스스로 넘어지게 되는 것이다. (이를 뒤로 되먹임; negative feedback 구조라 한다). 다시 말하면 외기 발사에 의하여 넘어지는 것은 물리적 에너지에 의해 넘어뜨리는 것이 아니라 스스로 넘어지게 만든다는 것이다.

여기에서 중요한 점은 보내는 사람이나 받아 쓰러지는 사람 모두가 정신적 동조현상인 적어도 동기감응 (우리의 전통사상에도 이러한 개념이 있어 왔다)이 일어나야만 가능하다는 점이다. 이러한 역동적인 정보현상을 관찰해 보는 수단의 하나는 맥놀이와 간섭무늬꼴 (홀로그램)로 파악하는 방법이 널리 알려진 사실처럼 이들은 모두 위상의 간섭으로 형성되는 무늬 형태이며 다만 맥놀이가 일차원적인 현상이라면 파동간섭무늬는 2차원적 그림꼴 (패턴)이다.



● 동기감응(발레파사)의 시스템 공학적 이해

외부신호에 의한 내부적동기외 비동적역동 작용이 핵심 역할



<동기()감응의 시스템 공학적 일기>

(b) 동기감응의 시스템공학적 이해

그림 11. 동기감응
Fig. 11. Co-reaction.

이들 4가지의 신호에서 공통적인 현상은 모두 맥놀이 파 즉 간섭을 일으키는 요소가 내부의 시스템으로 존재한다는 것을 알 수 있다. 즉 외기 발생시의 정신집중, 음성 파 주문 발생시의 흡기와 호기 동작, 에밀레 쇄복의 메김 자리 (당좌)위치와 타격, 폴리비닐의 자외선 조사 같은 외부작용이 가해질 때 내부시스템에서 맥놀이파를 발생시킨다는 것이다. 이 시스템의 기본 기능은 에너지 변환과 파동간섭 현상을 일으키는 일정한 무늬틀 (패턴)을 가진 구조라고 이해된다. 초기청하 음파나 원소의 원적외선 발생이 에너지변환의 예라면, 64Hz와 64패, 2진 분화 7음계 옥타브와 주기율표 등은 일정한 무늬틀을 가진 대표적 예가 되겠다. 이러한 현상은 에밀레 쇄복과 폴리비닐에서 보듯이 생명체뿐만 아니라 무생물에서도 발생 가능한 현상인 것이다[10].

따라서 우주와 생명체의 근원적 정보를 담은 에너지는 결국 파동현상으로 파악되며 에너지 현상을 결정하는 정보현상으로 파악해야 함을 강하게 시사하고 있다. 따라서 에너지는 누구나 파악할 수 있는 보편적 기호라면 정보는 뜻을 가진 기호 즉 부호라고 말할 수 있으므로 단순한 기호가 아니라 뜻을 가진 부호인 셈이다. 최근 생명체의 본질을 64개의 코돈배열로 설명되는데 이는 64패와 정확히 일치한다. 이 배열에 따라 단백질 구조에 차이를 보인다. 한편 성문에서 나타난 초기청하 맥놀이 무늬 꼴은 신체구성인지를 반영한 결과로 이를 파악하여 진단이 가능하다. 그렇다면 폴리비닐의 역부호를 생성하면 고질적인 폐비닐처리 새로운 가능성을 제시할 수 있음을 뜻한다.

그런데 중요한 점은 이들 무늬들이 나타나려면 단순한 파동의 중첩만이 아니라 단일주파수 (coherent)를 형성하고 그 주파수에서 위상을 중첩할 수 있어야 한다는 것이다. 이를 위해서는 시스템 내부 어딘가에서 비선형적인 요소가 개재되어야 한다는 것이다. 시스템 공학적으로 볼 때 곱셈작용이 있어야 하는 것이다. 주파수와 위상은 삼각함수에서 보듯이 곱하기나 나누기는 더하기나 빼기로 표현되는 것과 같다. 이를 물리학에서는 더하기 (빼기)간섭성이라 하며 통신공학에서는 변조라 칭한다.

V. 결 어

맥놀이는 대대칭속의 비대칭꼴은 비록 에밀레에서만 생성되는 것이 아니라 우리나라 문화전반에서 나타나는 공통적인 현상인 것으로 생각된다. 예컨대 사물놀이의 북, 장고, 징과 쟁과리는 각각 2조씩 8개 요소로 구성되어 있다. 움직이지 않을 때는 단순한 대칭꼴이 되지만 일단 시작하여 움직이는 순간 평행이 깨지고 역동적인 움직임에 따라 점점 대칭속의 비대칭꼴이 커지게 된다. 이것이 주위의 상황과 결합되어 상승작용을 일으켜 거대한 맥놀이 현상을 일으킨다. 이것이 신바람의 요체가 요인이 된다. 바꾸어 말하면 신바람을 일으키려면 대칭속의 비대칭을 조성하는 역동성을 고취하여 조화 속에서 변화를 이끌어 내야 한다. 그러므로 우리는 정적인 대칭적 질서의 강요보다는 역동적으로 움직이는 비대칭 꼴의 질서를 이끌어 내야 하는 것이다.

참 고 문 헌

1. 진용옥 외, “에밀레의 음향측정보고서,” 국립경주박물관, 1999.
2. 남천우, “유물의 재발견,” 정음사, 1987.
3. 진용옥 외, “에밀레 음향의 금속학적 정량 분석” (작성중).
4. 진용옥, 김영수, “에밀레 석복의 소리와 진동의 신호 처리기법,” 한국음향학회지, 1998.
5. 배명진 외, “에밀레의 신비를 찾았다,” 조선일보, 1999.
6. 이장무 외, “성덕대왕신종의 설계와 진동음향특성의 상관관계,” 경주박물관 에밀레 보고서, 1999.
7. 안정근, 다류멘터리 10대 문화계기획, 한국방송공사, 27, Dem. 1997.
8. 정신과학회 학술발표회 및 중국과 일본의 여러사례참조.
9. 진용옥, “에밀레의 신호와 기 현상의 상관성,” 한국 정신과학회 발표 논문집, July 1999.
10. 김양한, “음향진동 측정을 통한 성덕대왕신종의 소리 특성 탐구,” 한국음향학회지, 16권 8호, pp. 20-27.
11. 김양한, 박연규, 김영기, “성덕대왕신종의 3차원 진동신호 측정 및 분석결과,” 한국음향학회지 16권 6호, pp. 41-48.

▲ 안 정 근 (Jeong-Keun Ahn)



1991년 : 경희대 전자공학과 공학사
 1993년 : 경희대 전자공학과 공학석사
 1993년 ~ 현재 : 경희대 전자공학과
 박사과정
 현재 : 김포대학 정보통신과 조교수

▲ 진 용 옥 (Yong-Ohk Chin)

한국 음향학회지 제19권 제7호 참조
 현재 : 경희대학교 정보통신대학원 원장