

소리의 물리학

성균관대학교
박 홍 수

머 리 말

소리를 학문적으로 다루기 시작한것은 상당히 오랜 옛날 부터였는데, 중국에선 황제(皇帝)가 영륜(伶倫)을 시켜 곤륜산(昆崙山) 해곡죽(해곡竹)을 꺾거 12음률관(音律管)을 삼분손익법(三分損益法)으로 잘라 음계를, 또 고대그리스의 피다고라스(Pythagorean)은 수학적인 방법으로 피다고라스음계가 창안되고 있었으나, 그것의 과학적인 기초가 연구 확립되기 시작한 것은 비교적 근대의 일로서, 1635년 메르센느(Mersenne)는 음속을 측정하였으며, 현(絃)의 진동의 법칙(현의 진동중 기본진동에 관해서만)을 발견했다. 또 1738년 불란서 학사원(學士院)에선 공기중에서의 음속(音速)을 측정한바 있었으며, 19세기에 이르러 헬름홀쯔(H. Helmholtz)와 레일리(L. Ragleigh)에 의하여 소리의 물리학적 현상에 대한 이론적인 기초를 대성하여 금일의 음향학의 기초를 확립시키게 되었다. 음파는 탄성체(彈性體)의 진동이 주변을 둘러싸고 있는 매질(媒質)에 소밀파를 발생시키므로써 생기게된 것이므로, 음파는 탄성체의 진동양상에 따라서 탄성체 마다의 특유한 소리가 발생되고 있어, 물리학에선 소리의 물리적인 연구는 탄성체의 진동문제에 기초를 두고있는가 하면, 그 음파의 전달과정과, 전달과정에서 생기게 된 여러가지 현상들을 실험과 이론적으로 규명시키는데 있다. 그러한 현상규명에 전자기(電磁氣)적인 방법이 도입된 전기음향학 분야가 있다. 음향학에 전자기적인 방법의 도입은 금일과 같은 음향학의 발전을 가져오게된 계기가 되었으며, 그것은 소리로서 느낄 수 없는 초음파(超音波)의 영역까지 음향학의 영역을 확장시킬 수 있게 되었다. 이밖에 소리가 이끄는 감각을 통한 주관적인 판단에서 규명되고 있는 음향생리학(音響生理學)과 음향심리학(音響心理學) 분야도 있는데

이분야에 대해선 여러분의 전공분야이나, 저로서는 깊이 연구한바가 없습니다. 음향생리학 분야에서도 최근 주목을 끌고 있는것은 정보이론(情報理論)의 전계로서 음성학적인 언어(言語) 및 각국언어가 깊이 연구되고 있음은 주목을 끌기에 충분한 과제이기도 합니다. 따라서 음향학은 금일 대약 다음과 같은 여러 응용분야로 나누어지고 있습니다. 즉,

- I) 물리학으로서의 음향학
- II) 음악 음향학
- III) 전기 음향학
- IV) 음향 생리학
- V) 음향 심리학
- VI) 건축 음향학

이중 본인이 전공한 분야는 음악음향학 분야인데, 금일 물리학에서 다루고 있는 문제는, 이미 정립된 음파의 물리현상을 기초로하여 각종응용분야의 문제들을 전자기적 방법으로 규명하는 일입니다.

물리학적으로 본 소리의 특성

물리학에선 소리를 두 분야로 크게 나누고 있는데, 그 첫째를 악음(樂音), 다른 소리를 소음(騒音)이라 하는데, 악음이란 글자 그대로 들어서 쾌감을 주는 소리란데서 시작된 호칭이나, 그것의 특성은 발음체(發音體)가 주기적인 탄성진동을 했을때 생기게된 소리로서, 그것은 일정한 주파수와 진폭을 가지고 수음체(受音體)에 전해지는 일종의 파동이다. 다시 말해서 파동현상이 지니고 있어야 할 물리학적인 모든 특성을 구비하고 있어 소리가 지니고 있는 특성은 파동의 특성으로서 규명할 수 있는 소리, 즉 음파를 일컫는다. 여기비해 소음은 같은 소리는 소리로서 파동이 지니고 있는 일정한 주기성을, 다시말해서 파동이 아닌 순간적인 충격현상이 만드러내는 충격음을 일컫는 소리이다. 하나 이 두가지 소리도 모두

공기중에 생긴 소밀현상의 전달이므로 그 음속은 완전히 같다. 따라서 물리음향학에선 특수한 목적이 아닌 모든 경우엔 악음에 관해서만 연구되고 있다.

음파는 탄성체진동에서 생기므로 음파의 주파수(n)은 탄성체의 진동수와 일치하며, 음파의 속도(v)는 전달매질(傳達媒質)의 체적탄성률(體積彈性率)에 따라 변하는데, 공기중에서는 $3,3100\sqrt{1+0.00366t}$ (t는 섭시 온도)와 같으므로 15°C에선 339,965(m/sec)가 되며, 수중에선 1433(m/sec), 소금물 중에선 1560(m/sec)가 되어 파장은 매질중에서의 속도에 비례하여 길어지고 있음을 볼 수 있다.

또 소리의 특징중의 하나인 음색(音色)은 발음체가 무엇인지를 판단하게 해주는 발음체가 무엇인지를 판단하게 해주는 가장 중요한 요소인데, 그것은 음파의 파형차에서 생기는 현상으로서, 그 파형(波形)은 발음체가 기본진동의에 매진동들을 어떻게 합성하고 있는지에 따라 천차만별의 파형이 생기게 된다. 따라서 한 음원이 내는 소리와 꼭 같은 소리를 재현시키기 위해선 음파의 스펙트럼을 분석할 필요가 있게 된다. 음향물리학에서의 가장 많이 연구되고 있는 과제중의 하나가 음스펙트럼을 연구하는 일이다. 그것은 발음체가 어떠한 진동을 하고있는지를 규명하기 위한 목적과, 가장 아름다운 소리를 낼 수 있는 발음체를 인공적으로 만들어 내기 위함인데, 최근 전자악기에선 아름다운 소리로 울리는 악음스펙트럼과 같은 스펙트럼의 발음체를 만드려 내기도 하며, 더 훌륭한 악음이 만드는 스펙트럼은 어떠한 것인지가 깊히 연구되고 있다. 뿐만이 아니라 성음의 연구나 언어의 연구에서도 이 방법이 사용되고 있다. 하나 이러한 목적을 위한 연구를 할 경우에 주의하여야 할 일은, 발음체가 내는 소리를 직접 음원으로 하여 스펙트럼분석을 하여야 한다는 점이다. 그러지 않고, 일단 녹음기에 녹음한 소리를 음원으로한 스펙트럼은 녹음기의 파장에 대한 특성 때문에 스펙트럼에 변화를

가져오기 때문이다. 전파장에 대한 특성차가 없는 녹음기의 개발도 지금으로선 전기 음향학 연구의 한 과제가 되고있다. 또 소리는 들어서 강약과 고저의 감각을 이르는 특성이 있다. Weber-Fechner는 의부에서 작용하는 자극(刺戟)의 변화량과, 심리학적으로 느끼게되는 소리의 크기와 고저(高低)의 감각의 변화량은 비례하되, 자극의 변화량이 등비급수적일때, 감각의 변화량은 등차급수적으로 일어난다 했다. 지금 가청최소음압(可聽最少音壓)을 P_0 , 이때 생기는 감각을 I_0 , 또 음압이 P일때의 감각을 I라 하면, 감각의 변화량 i는

$$i = I - I_0 = h \log P - k \log p.$$

$$k \log(p/p_0)$$

로 표시된다. 지금 비례상수 k가 10이 될때의 상용대수값인

$$i = 10 \log(p/p_0)$$

의 단위를 deciber라 정하고 있는데, 사람들의 가청최소음압은 2×10^{-4} bar, 이때 자극에너지는 10^{-9} (erg/cm² · sec), 이때에 생기는 주관적인 감각 i을 0 deciber로 정하고 있으므로 음압과 감각은 대략 다음 수표와 같다.

수표에서 표시된 객관적인 자극의 세기와 감각상에서 확인되는 소리의 크기는 주파수가 1,000Hz 때 수치이다. 만약에 주파수를 100Hz인 소리에서도 20 deciber 때와 같은 크기로 들리게 하려면 50 deciber의 Intensity Level가 필요함을 확인할 수 있어, 소리의 크기는 음파의 주파수와도 관계가 깊다. 그러하므로 실제로 귀로서 판단할 수 있는 소리의 크기를 측정하기 위해선 Loudness Level이 사용되며, 그 단위를 Phon이라 하나, 그 값은 매우 복잡하다. 미국에선 이 Phon 단위를 Phon이라하지 않고 deciber라 부르고 있어, 소음계(騒音計)에서의 deciber 단위는 Phon으로 해석하면 된다. 악음에서의 주파수는 소리의 높이와 직접 관계가 깊은량 이다. 따라서 음악에서의

수표 1.

객관적인 강도(erg/cm ² sec)	음 압(bar)	감 각(deciber)
10^{-9}	2×10^{-4}	0
10^{-7}	2×10^{-3}	20
10^{-5}	2×10^{-2}	40
10^{-3}	2×10^{-1}	60
10^{-1}	2×10^0	80
10	2×10^1	100
10^3	2×10^2	120

음계는 주파수(악기에선 진동수)의 비로서 정하고 있다. 최근에서와 같이 도시에서 들리는 소리에는 잡다한 악음과 소음의 합성음이 되고있어, 이러한 소리를 소음으로 취급하여 소음계로서 측정되고 있어, 악음도 경우에 따라서는 소음으로 취급된다. 사람에게 따라서 차이가 있으나 대체적으로 사람들이 들을 수 있는 최저주파수(最低周波數)는 16~20Hz이며, 가청최고주파수(可聽最高周波數)는 16~20kHz로 조사되고 있으므로 20kHz이상의 주파수의 소밀파를 초음파(超音波)로 분리하고 있는데 초음파도 역시 매질중으로 소밀파로 전달하므로 전파속도는 일반음파와 같이 주파수에 역비례하여 파장이 매우 짧아지므로 이 소밀파를 들을수 없는 소밀파로 볼 수 있어 초음파라 하여 음파와 같은 파동으로 물리학은 취급하고 있으나, 그것은 들을 수가 없기 때문에 전기음향학 분야에서 피에조(Piezo)전기법으로 측정되고 있다. 초음파는 지향성(指向性)이 강하므로 해중탐사(海中探査)용으로 이용되는가 하면, 파장이 극히 짧아 매질의 분자진동(分子振動)을 국부적으로 이르기므로 특수물체의 절단(切斷)이나 파괴나 화학변화용으로 이용되며, 물성물리학(物性物理學) 연구에도 많이 이용되고 있다.

순정률(純正律)음계와 평균률(平均律) 음계

화성(和聲)의 기초는 화음(和音)에 있는데, 화음에는 협화음(協和音)과 불협화음(不協和音)의 두가지가 있는데, 그 협화음의 구성원소를 살펴보면, 두가지 소리 사이에 협화하는 정도는 일종의 수학적인 관계를 이루고 있음을 볼 수 있다. 즉 두가지 소리의

음정비(音程比) 다시말해서 진동수비(振動數比)가 간단한 정수비(整數比)가 될 수록 잘 협화한다는 현상은 옛 부터 잘 알려져 오고있다. 지금 자연수를 1에서 부터 10까지를 나열시켜 적은수분지 큰수의 비를 만들었을때, 금일 서양음악에서는 그 정수비를(수표 2)와 같은 호칭으로 불려지고 있는데, 아름다운 음악의 선률(旋律 melody)을 만들기 위해 재정된 각종음계들은 이러한 음정비의 음들을 택하여 만들고 있다.

1. 피타고라스 음계

피타고라스는 절대협화음인 팔도음과, 완전협화음인 완전도음과 완전사도음의 세가지 협화음을 기초로하여 만들어진 음계이다. 지금 C음을 기준으로 하여 완전사도음을 만들면

$$C \rightarrow f \rightarrow b \rightarrow e_b \rightarrow a_b \rightarrow d_b \rightarrow g_b \rightarrow C_b \rightarrow f_b \rightarrow b_b \rightarrow e_{bb} \dots$$

라는 음열이 생기며, 이와달리 C음을 기준하여 완전도음을 만들면

$$C \rightarrow g \rightarrow d \rightarrow a \rightarrow e \rightarrow h \rightarrow f_{\#} \rightarrow C_{\#} \rightarrow g_{\#} \rightarrow d_{\#} \rightarrow a_{\#} \rightarrow e_{\#} \dots$$

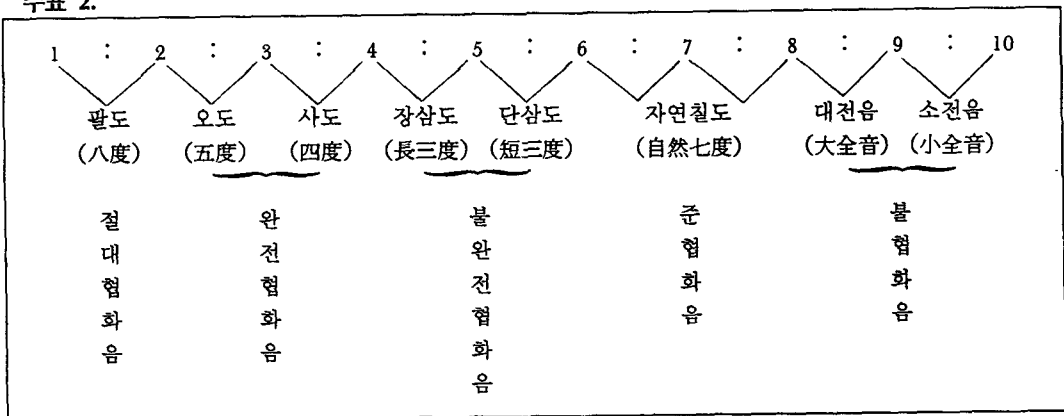
와 같은 음열이 생긴다. 이 두음열을 합하면

$$\dots \rightarrow a_b \rightarrow e_b \rightarrow b \rightarrow f \rightarrow c \rightarrow g \rightarrow d \rightarrow a \rightarrow e \rightarrow h \rightarrow f_{\#} \rightarrow C_{\#} \rightarrow g_{\#} \rightarrow d_{\#} \rightarrow a_{\#} \rightarrow e_{\#} \dots$$

와 같은 음열이 만들어지는데, 여기서 f음에서 a#음까지의 12음만을 택하여 1옥타브(octave)안에 포함시켜, 음정값의 크기순서대로 배열시키면 수표 3과 같아진다. 이것을 피타고라스음계라 한다. 따라서 피타고라스음계는 $(\frac{256}{243})$ 이란 소반음(小半音)과 $(\frac{2187}{2048})$

이란 대반음(大半音) 음으로 구성되고 있는데, 그 두반음의 음정차는 $(\frac{53}{52} \frac{1441}{4288})$ 와 같아 이것을 피타고라스코마(Pythagorean Comma)라 하며, 두반음의 합은 대전음인(9/8)이 되고있음을 볼 수 있다. 피타

수표 2.



수표 3.

음 명	C	C#	d	d#	e	f	f#	g	g#	a	a#	h	C ¹
음정값	1	$(\frac{2187}{2048})$	$(\frac{9}{8})$	$(\frac{9}{8})$	$(\frac{81}{64})$	$(\frac{4}{3})$	$(\frac{4}{3})$	$(\frac{3}{2})$	$(\frac{3}{2})$	$(\frac{27}{16})$	$(\frac{27}{16})$	$(\frac{243}{128})$	2
음정차	$(\frac{2187}{2048})$	$(\frac{256}{243})$	$(\frac{256}{243})$	$(\frac{256}{243})$	$(\frac{256}{243})$	$(\frac{2187}{2048})$	$(\frac{2187}{2048})$	$(\frac{256}{243})$	$(\frac{256}{243})$	$(\frac{256}{243})$	$(\frac{2187}{2048})$	$(\frac{256}{243})$	$(\frac{256}{243})$

고라스음열은 C음을 기준하여 바른쪽으로의 각음정 값은 완전 5도씩 높아져가며, 반대쪽으로 역행하면 완전4도씩 높아지고 있으므로 이러한 음열이 만드는 음계를 1차음계라하기도 한다.

2. 장음계(長音階)

금일 서양음악에서 사용되고 있는 장음계는, D₀음을 기준하여 완전5도음과 장3도(長三度)음을 기준으로 하여 구성되고 있다. 이 세음을 장삼화음(長三和音)이라기도 한다. 장3도음 대신에 단3도(短三和音)음을 대신했을때의 경우는 단삼화음(短三和音)이라고 하는데, 단음계는 단3화음의 반복으로 구성되고 있다. 지금 이 삼화음을 정삼각형의 정점에다 배치시킨 것을 돌아보면 Fig. 3에서와 같은 형태로 되겠는데, 지금 장3화음을 Fig. 4에서와 같이 3중구조(三重構造)로 만들어 그 각각의 음정에다 D₀, Re Mi Fa S₀, L_a Ti란 음정명을 주어, 그 음정 값의 순서대로 배열시키면, Fig. 5와 같이 되어, 하나의 순정률(純音律)의 장음계가 얻게된다. 이 음계는 피타고라스음계에 비하여, 기준음인 D₀음과 사이의 각각 음정값이 간단한 정수비가 되게 구성되고 있어 가장 화성적인 음계로 볼 수 있어, 이 음계가 만드는 선률은 가장 쾌감을 주게 될 것임을 알 수 있다. 이 음계는 (16/15)이란 반음과, (9/8)란 대전음과 (10/9)이란 소전음으로 이루어지고 있는데, 대전음과 소전음의 음정차는 (9/8) ÷ (10/9) = (81/80)만차 있어 그 차이는 한음의 약 (1/9)정도가 있음을 알 수 있다. 이 음정차를 신토닉콤마(Syntonic Comma)라 부른다. 이 값은 대연주가는 충분히 청별되는 소리의 높이차라 한다.

3. 단음계(短音階)

단음계는 Fig. 2에서와 같은 단삼화음(短三和音)에서 구성된 것이다. 지금 단삼화음을 삼중으로 연결시켜 각 음정값을 계산하면 아래 Fig. 6과 같아지는데, 이때의 음정값은 장음계 때와 많은 차이가 생기므로 음정명을 같이하기 위해 기준음을 단삼도음으로 옮겨보면, 각 음정값은 Fig. 7과 같이된다. 이 값의 크기순서대로 배열시키면 다음과 같은 음계가 형성된다. 이때 R_e음의 음정값은 장음계때 R_e음 보다는 신토닉콤마 만차 낮은 음정값을 가지므로 그러한 사실을 R_e음 밑에다 R_e란 표시를 하여 표시하고 있다. 여기서 기준음명을 D₀로 하지않고 La로 표시한 것은, 실제로는 기준음인 La가 D₀음이기는 하나, 장음계에

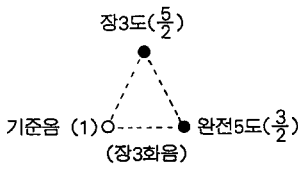


Fig. 1.

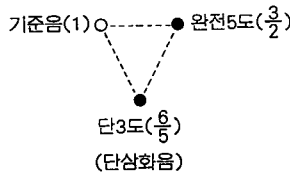


Fig. 2.

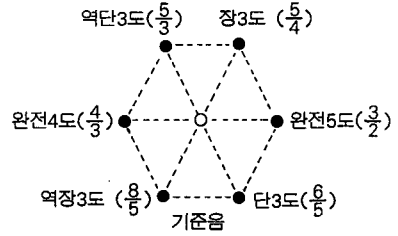


Fig. 3.

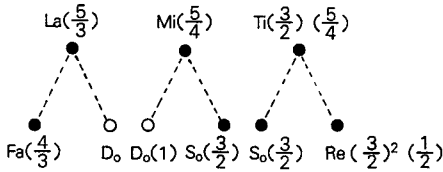


Fig. 4.

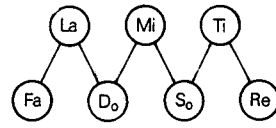


Fig. 5.

수표 4.

음 명		D ₀	Re	Mi	Fa	S ₀	La	Ti	D ₀
음정값 1 (진동수비)									
음정차	진동수비		$(\frac{9}{8})$	$(\frac{5}{4})$	$(\frac{4}{3})$	$(\frac{3}{2})$	$(\frac{5}{3})$	$(\frac{15}{8})$	2
	대수값*		51	46	28	51	4	51	28

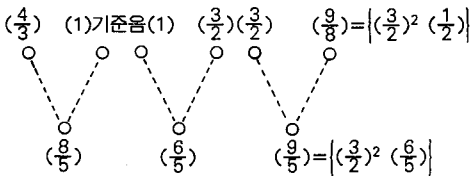


Fig. 6.

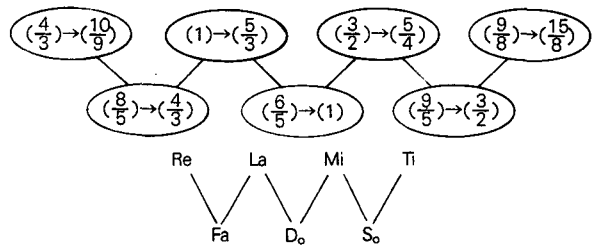


Fig. 7.

서의 음정명으로 표시하기 위함인데, 그것은 단음계의 음정차이는 마치 장음계에서의 La 음을 D₀음으로 취했을때의 음계와 비슷하게 되어 있기 때문이다. 따라서 실제로 단음계에서의 기준음을 La를 D₀로 취했을때가 되고 있음이 특징이다. 이상에서와 같이 순정률의 장음계와 단음계는 피타고라스 음열에 속한 f(F_a)-c(D₀)-g(S₀)-d(R_e)음 외에 장삼도음인 La Mi.

Ti음과 단삼도음이 Fa D₀ S₀로 포함되고 있어 음계를 구성하는 음이 풍부하여, 음계로서는 피타고라스음 %에 비하여 발전된 음계라 하겠으며, 음계구성을 위한 음의 배치도 평면적이 되고있어 이 음계를 2차음계라기도 한다. 하나 이 음계는 각음 사이의 음정차가 매우 복잡하여, 여기 기준하여 만들어진 건반악기

수표 5.

음 정 명		La	Ti	D ₀	Re	Mi	Fa	S ₀	La
음정값 (진동수비)		La	9/8	6/5	4/3	3/2	8/5	9/5	2
음정차	진동수비		9/8	16/15	10/9	9/8	16/15	9/8	10/9
	대수값		51	28	46	51	28	51	46

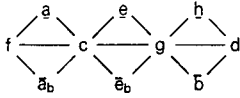


Fig. 8.

(鍵盤樂器)는 주음(主音)을 다른음으로 옮기는 변조(變調)가 불가능함이 큰 약점이라 하겠다.

지금 장삼화음과 단삼화음들을 피다고라스 음명으로 표시한다면* 각음들의 배치 상태는 아래 Fig. 9과 같이 확장시킬 수 있게된다. 지금 이러한 많은 음들 중에서 기준음열의 a_b 음과 상1열의 $g\#$ 음과의 음정차를 계산하면 피다고라스콤마보다 신토닉콤마만치 적은값이 되고 있어,* 그것은 한음정의 약 100분의1 (대수값으로 0.49, 또는 센트(Cent)값으로 1.95 Cent) 정도가 되어 이러한 두 음정차는 귀로선 청별할 수 없는 음정차가 된다. 이 음정차를 스키스마(Skhisma)라 부른다. 이러한 음들을 AA'선과 BB'선으로 제외시킨다.

또 하3열 음중 cb 음을 택하여 그보다 위로 5번째 음열음인 $g\#$ 음의 장3도음인 $b\#$ 와의 음정차를 계산하면 한음정의 약 25분의1(대수값은 2.03 센트값은 8.1 cent)이 되어** 이 두 음정차도 청별하기 힘들다. 이 음정차를 크라이스마(Kleisma)라 한다. 이러한 음을 CC'선과 DD'선으로 제외하면, C음을 중심으로 청별될 수 있는 1옥타브(Octave)속에 포함되는 순정음의 총수는 53음이 된다. 이 53음 사이의 음정차도 일정하지 않아, 그것들은 4종류의 음정차가 있게된다 (그것들은 1, 신토닉콤마, 2, 신토닉콤마+크라이스마, 3, 신토닉콤마-스키스마, 4, 신토닉콤마+크라이스마-스키스마). 또 장음계와 단음계에서 그 주음을 마음대로 옮기는 변조(變調)를 실시하려면 이 중에서 30음만 취하면 가능성이 연구되고 있기는 하나, 한 옥타브안에 30음이 있기 때문에 변조는 극히 복잡하게 되어있음이 또 하나의 난제로 남아있다.

4. 평균률 음계(平均律 音階)

장음계나 단음계나 53음계에서와 같이 두음 사이의 협화도가 좋은 음들로 구성된 음계에선, 각 음정사이의 음정차가 일정하지 않아, 주음을 C음 이외의 음으로 옮기는 변조가 거이 불가능했다. 이것을 가능하게 하기위한 연구도 이루어지곤 있었으나, 그러기 위해선 1옥타브안에 30음이 필요했으며, 그 많은 음들중 주음에 따라서 필요한음이 있는가 하면 불필요한

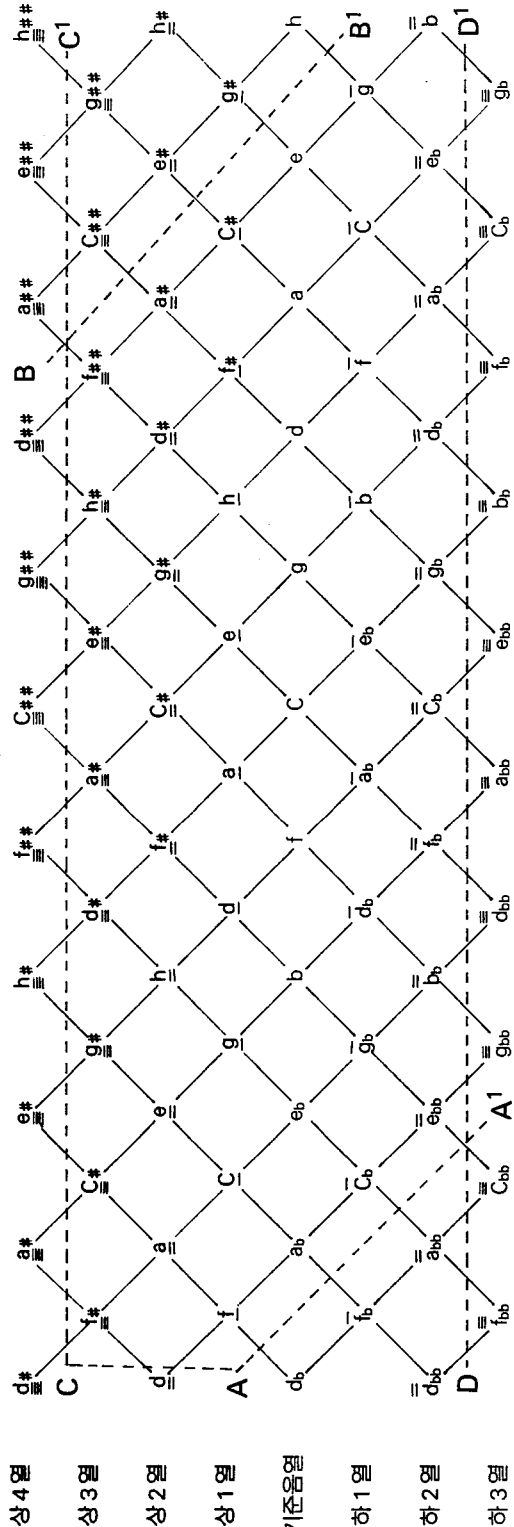


Fig. 9.

음도있어, 실제 연주자에겐 큰 난제가 되고있다. 이 문제 해결을 위해 고안된 것이 바로 평균률음계이다. 평균률 음계란 1옥타브를 똑같은 음정차가 되게 수학적으로 등분한 음계이다. 따라서 평균률 음계에는 전음정(全音程) 음계로 만든 6등분된 것과 12등분된 12률 음계와, 53등분된 평균률 음계이외에도 많은 종류의 평균률 음계가 연구되고 있으나, 여기서 단일 서양음악에서 사용되고 있는 12평균률 음계에 대해 살펴 본다. 다음 수표에서(수표 6) 보듯이 순정률 장음계에서의 음정값과 평균률 음계에서의 음정값을 비교해 보았을때 그 음들 중에는 청별될 수 있을 정도의 음정차들이 있어 심한것은 1/13음정 정도의 차가 생기고 있음을 볼 수 있어, 일차음계 보다 2차음계는 화성상(和聲上) 우수하다 했지만 평균률의 경우는 그러한 우수성도 거의가 사라지고 있음을 볼 수 있다. 이러한 음계로선 변조엔 편리하나 음의 협화도 면에선 많은 문제가 있음을 보여준다. 이러한 이유에서 이론음악가들은 순정률 음정과 평균률 음정사이의 음정차가 적은 53평균률을 주장하는이가 많다.

5. 국악음계(國樂音階)

한국음악에는 두종류가 있는데, 그중 하나는 삼국및 통일신라와 세종대를 거쳐 전해오고 있는 전통민속악이며, 또하나는 고려말 중국 송(宋)의 휘종(徽宗) 때 위한진(魏漢津)에 의하여 완성된 대성악(大晟樂)을 보내온것을 세종때 박연(朴堧)이 국악으로 정돈하여 전해지고 있는 국악이다. 따라서 금일의 국악음계는 중국음악음계 인데, 그것은 황종음(黃鐘音)을 내게 만들어진 황종률관(黃鐘律管)의 길이를 삼분손익법(三分損益法)으로 잘라 만들어진 12률관이 내는 소리를 12률로 한 5음음계 이다. 최근 본인의 연구에 의하면 세종때 향악(鄕樂)으로 불려지고 있었던 우리나라 전통음악의 음계는 중국 상고때 순제악(舜帝樂)와 일치하고 있어, 역시 삼분손익법 음계였다. 삼분손익법 음계란, 황종률관의 길이를 3등분하여 그중 3분의1 길이를 없앤 3분의 2의 길이관이 내는 소리를 임종(林鐘), 또 임종률관을 3등분하여 그 3분지1만한 길이가 더긴 륜관이 내는 소리를 태주(太簇), 또 태주률관을 3등분하여 그중 3분의1 길이를 없앤 륜관이 내는 소리를 남여(南呂), 또 남여률관의 길이를 3등분하여 그 3분의1 길이만치 더 길게 만든 륜관이 내는 소리를 고선(姑洗)이라하며, 이러한 삼분손익법을 1, 2차례 반복하여 얻게된 12음률을 12률로 하고, 그중

수표 6. 12음 음계에서의 순정률과 평균률 비교표

音 各	純正律音程值		平均律音程值		音程差 Cent 值	各音의 振動數	
	振動數值	Cent 值	振動數值	Cent 值		純正律音階	平均律音階
C	1	0	1	0	0	264,000	261,626
C# D _b			$(12\sqrt[2]{2})1$	100			277,183
D	9/8	203.93	$(12\sqrt[2]{2})2$	200	+ 3.93	297,000	293,665
D# E _b			$(12\sqrt[2]{2})3$	300			311,127
E	5/4	386.35	$(12\sqrt[2]{2})4$	400	- 13.56	330,000	329,628
F	4/3	498.09	$(12\sqrt[2]{2})5$	500	- 1.91	352,000	349,228
F# G _b			$(12\sqrt[2]{2})6$	600			369,994
G	3/2	702.02	$(12\sqrt[2]{2})7$	700	- 2.02	396,000	391,995
G# A _b			$(12\sqrt[2]{2})8$	800			415,305
A	5/3	884.45	$(12\sqrt[2]{2})9$	900	- 15.55	440,000	440,000
A# B			$(12\sqrt[2]{2})10$	1,000			466,164
H	15/8	1,088.38	$(12\sqrt[2]{2})11$	1,100	- 11.62	495,000	493,883
C ¹	2	1,200	$(12\sqrt[2]{2})12=2$	1,200	0	528,000	523,251

律 5音 階長

律音各	音程	音程差	音階種類(調)				
			宮	商	角	徵(平)	羽(●)
● 鐘(●)	1		◎	●	○	○	○
大呂	$\frac{2187}{2048}$	$(\frac{9}{8})$					
太絲(音)	$\frac{9}{8}$		○	◎	●	○	○
來鐘	$(\frac{9}{8}) \frac{2187}{2048}$	$(\frac{9}{8})$					
姑洗(角)	$(\frac{9}{8})$		○		◎	●	○
仲宮	$(\frac{9}{8}) \frac{2187}{2048}$	$(\frac{9}{8})$					
● 濱(徵)	$(\frac{729}{512})$	$(\frac{256}{243})$					
林鐘(徵)	$(\frac{3}{12})$		○	○	○	◎	●
夷則	$(\frac{3}{2}) (\frac{2187}{2048})$	$(\frac{9}{8})$					
南宮(羽)	$(\frac{27}{16})$		○	○	○	○	◎
無射	$(\frac{27}{16}) (\frac{2187}{2048})$	$(\frac{9}{8})$					
應鐘(變宮)	$(\frac{243}{128})$	$(\frac{9}{8})$					
潢鐘(宮)	2	$(\frac{256}{243})$	●	○	○	○	○
潢鐘	$2 (\frac{531441}{524288})$						

*潢鐘음은 潢鐘음보다 피다고라스 콤마만치 높은 음의 長示.

◎其 決音(主音)

●絡音

에서 최초로 연계된 5종의 틀음이 가지는 음정을 5음계로 한 음계를 말한다. 삼분손익법에 의하여 만들어지고 있었던 중국음악에서의 음계는 5번째 음률관인 고선률관을 다시 계속하여 3분손1된 관이 내는 소리를 음중(應鐘), 음존률관을 3분의1한 관이 내는 소리를 유빈(유濱)이라 하며, 12률음중 이 7음이 만드는 12률 7음계로 되고있어 우리나라 음계와는 차이가 있다. 중국음계도 상고때는 5음계 였으나 주(周)나라초 주공(周公)에 의하여 7음음계로 개혁된 것이므로, 우리나라 민속악은 적어도 주공이전에 도입되었거나, 본시 동이음악(東夷音樂)이 전해진 것으로 해석되어야 했다. 따라서 7음음계로 된 대성악을 도입하여 국악으로 제정하기는 했으면서도 전통악법인 5음음계로 개혁된 것은 전국민이 5음음계에 익숙해 있었기 때문이었을 것으로 생각된다. 삼분손익법 음계는 앞에서 설명한것처럼 황중음을 기준하여 3분손1음인 임중을 얻는법은 완전5전도음을 구하는 방법이며, 임중에서 3분의1하여 연계된 태주음은 임중에서 완전4도법으로 얻는 방법이 였으므로, 완전5도법과

완전4도법을 반복하여 연계되는 음계이므로 혹자는 피다고라스음계와 일치한다고 하나, 그것은 큰 잘못이다. 그 이유는 음열의 구성원리가 다르기 때문인데, 그러한 결과가 피다고라스 음계에서의 f음은 음정값이 $(\frac{4}{3})$ 이나, 삼분손익법 음계에서의 중여(仲呂)음의 음정값은 $(\frac{81}{64}) (\frac{2187}{2048})$ 이 되어야 했기 때문이다. 중국음악에서의 음계는 궁조(宮調)란 음계 이외에도 상조(商調), 각조(角調), 치조(徵調), 우조(羽調)란 5종의 음계가 있는데, 최근 국악에선 치조음계는 평조(平調)와 우조(羽調)의 음계로, 또 우조란 음계는 계면조(界面調)란 음계로 불려져 사용되고 있다. 국악음계도 순정률음계이므로 각음사이의 협화도는 매우 우수하나 주음을 바꾸는 변조가 불가능하여, 악기도 정해진 주음의 음계를 위한 악곡만 연주할 수 있게 만들어져 있으며, 화음을 가지는 합주도 이루어지지 못하게 되어 현재까진 모든악기는 제주(齊奏)를 하게 된것이다. 즉 평조는, 주음은 고선 음계는 치조, 우조는 주음은 남여, 음계는 치조다. 또 평조계면조는, 주음은 고선, 음계는 계면조며, 우조

계면조는, 주음은 남여, 음계는 계면조의 경우이다. 이러한 이유에서 통일신라때는 7종의 악조곡을 연주하기 위한 삼죽이, 즉 대금(大琴), 중금(中琴), 소금(小琴)이 만드러져 연주되고 있었으나, 지금은 평조를 위한 대금만이 연주되고, 나머지 악조들의 악곡과 연주법은 망실되고 말았다.

5. 음악의 기본음

모든 음악은 음계와 기본음(基本音)이 정해져 있다. 2차대전 이전에 불란서는 국제음악협회를 만들어 서양음악의 표준음을 정했는데, 그때 정해진 A음의 높이(Pitch)는 435Hz 였다. 이 핏치를 음악의 국제표준 핏치라 했다. 하나 2차대전후 독일 음악가들은 이 국제표준 핏치를 사용하지 않고, 독일이 옛날 부터 사용해온 핏치인 440Hz를 사용하기 시작하자 금일엔 440Hz가 국제표준음핏치가 되고있다. 이러한 사실을 보아서 서구에선 오랜옛날 부터 음악의 기준음을 음계의 주음인 C(D₀) 음으로 정하지 않고 A(L_a)음을 기준음으로 정하고 있었으며, 또 주음을 A음이라 하지않고, 주음을 C음으로 정해온 이유도 알려져 있지 않다. 440이란 핏치는 갓태어난 아기의 첫울음 소리의 핏치와 일치하고 있다는 정도만 알려지고 있다. 보통사람들이 낼 수 있는 목소리는 대략 G(98Hz)음에서 g²(784Hz)음 까지의 약 3옥타브정도이나 훈련된 성악가들은 이보다 아래위로 2~3음정 더 낼 수 있다하니, A음 440인 주음C의 264Hz는 목소리의 중간음 보다는 한음정이 낮게 정해졌음이 된다. 하나 최근 연주가들 중에는 연주효과를 내기위해 핏치를 450으로 하는 이도 있다. 중국음악에서의 기준음은 황중음인데, 상고때 황중음엔 두 종류가 있었다. 황제음악이 전해진 것이, 1972년에 중국 장사(長沙)한묘(漢墓)에서 출토된 12음률관이 만드는 음계의 음악이며, 순제음악은 한지(漢志)에서 밝힌 주나라 음계의 음악이다. 따라서 순제음악의 황중음의 핏치는 신라음악의 핏치와 같은 364Hz가 되고 있었으며, 황제음악의 황중음은 순제음악의 황중음을 고선음으로 했을때에 남여음에 해당되어 453Hz가 되고 있었

다. 남여음은 서양음계의 A음에 해당되고 있어, 동서간의 기준음의 위치가 일치하고 있는점이 서양음악의 기준음을 A음에 정한 사실과 어떠한 연관이 있었을 것으로 추측된다. 또 북위(北魏)의 고조(高祖)음악의 기준음은 수(隋) 당(唐)을 거쳐 송나라 대성악의 기준이 되었으므로 세종악의 기준음도 이와 일치했는데, 세종악의 황중음의 핏치는 269Hz가 되어 서양음악의 A음 453Hz에 해당되는 핏치를 가지고 있음이 밝혀진다. 따라서 순제음악인 동이음악의 기준음은 세종악의 기준음보다 반음정이 높았던 결과가 된다. 하나 최근의 국악의 기준음은 낮아져 서양음악에 거의 가까와 지고 있는가 하면 음계도 평균률 음계에 가까워지고 있어 세종음악은 완전히 사라져 가고있음을 볼 수 있다.

*[註] 대수값은 실제의 대수값의 1000배한 값이다.

*[註 1] C음은 C음보다 신토닉코마의 2배만치 높은 음이란 표시여, C는 C음보다 신토닉코마의 2배만치낮은 음이란 표시.

**[註 2] G#음은, a_b음을 기준하여 완전5도를 12회반복하여 얻게된 음이므로 2음정은 a_b음보다 피다고라스코마만치 높은음정을 가진다. 즉 $(\frac{3}{2})^{12} = (2)^7 \frac{531441}{524288}$ 이므로 이것을 1옥타브안에 포함시키기위해(2)⁷으로 나누면 결국 피다고라스코마가 얻게된다. 또 g#음은 g#보다신토닉코마 만치 낮은음이므로 대수값은 5,8851 - 5,3950 = 0.4901, 1옥타브의대수값은 3c₁, 션트값은 1200 따라서 1.95션트가된다.

***[註 3] h#음은 C_b음을 기준하여 완전5도를 19번 반복하여 얻게되며, C_b음은 C_b음보다 3배의 신토닉코마만치 높은음이며, h#음은 h#음보다 신토닉코마 3배음정만치 낮은음이다. 따라서 음정차는 $(\frac{3}{2})^{19} = (2)^{11} \times 1.08244034$ 에서, 이 두음이 1옥타브안에 드러오게 했을때의 음정차의 대수값은 log1,08244034 = 34,40397 따라서 h#와 C_b의 음정차의 대수값은 34,40397 따라서 h#와 C_b의 음정차의 대수값은 34,40397 - 5,39504 × 6 = 2,03373 션트값으로선 8,1078이되어 한음정의 약 25분의1이된다.