

맥놀이가 생기지 않는 적응 조율의 제안

° 권 범 준 , 성 광 모

서울대학교 전자공학과

An Adaptive Tuning for Beat-Free Scale

° Kwon Bomjun , Sung Koengmo

Department of Electronics Eng., Seoul National University

I. 서론

근대 이후의 거의 모든 음악은 평균율로 조율되어 연주된다. 평균율 조율법은 그 전에 존재하던 여러 조율법들의 타협안으로 나온 것으로 완벽한 조율법이라고 할 수는 없다. 그 이유는 평균율 구조 속에서는 각 음정이나 화음이 옥타브를 제외하고는 정확한 정수비가 아니기 때문에 많은 1차, 2차 맥놀이를 발생하게 되기 때문이다. 일반적으로 맥놀이는 사람에게 불안정한 느낌을 주게 된다. 또, 맥놀이 주파수가 높아진다거나 여러 맥놀이 성분이 함께 등장하는 경우, 사람은 맥놀이 하나하나를 인식하지는 못하지만, '지저분하다'는 느낌을 받게 된다. 그러나, 대안이 없기 때문에, 그리고 각 사람의 주관의 차이 때문에 사람들은 맥놀이 자체에 대해서 별로 민감하지 않게 되었고, 또한 평균율 구조가 가지는 음악적인 다양성과 안정성 때문에, 원칙적으로 본다면 상당히 불완전한 평균율이 수백년간 견재한 것이다.

하지만, 평균율의 맥놀이 발생 내용에 불만을 적극적으로 표하는 극소수의 사람을 제외하더라도, 음고가 고정되지 않을 수 있는 악기—이클레멘 바이올린—의 연주자가, 합주시에 평균율보다는 순정율적으로, 즉 맥놀이가 가능하면 안 생기는 쪽으로 음고를 취하는 일이 종종 있다는 것을 보아도 대다수의 사람들은 평균율의 한계를 소극적으로나마 불평하고 있음을 알 수 있다.

본 논문에서는 전자 악기의 경우 적용할 수 있도록, 곡에서 때 시간 미세한 피치의 조절을 통해서 맥놀이를 완전히 없앨 수 있는 알고리즘을 제안하고 이를 토대로 연주된 곡의 청취 시험을 통해서 그 효과를 조사하였다.

II. 청각의 주파수 辨別能

피치가 거의 비슷하나 약간 차이가 있는 두 음을 따로 들을 때, 그것이 차이가 있음을 지각하기 시작하는 역

치를 주파수 변별역(difference limen or just noticeable difference)이라 한다. (1) 그림 1에서 보듯이 500 Hz 까지는 약 2 Hz 로 거의 일정하다가 그 이후에는 주파수에 대해 거의 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 변별역 Δf 을 주파수로 나눈 값, 즉 $\Delta f/f$ 를 주파수 분해능이라 하는데, 이 값은 1000 Hz 이상에서는 0.5 % 정도로 일정하게 된다.

하지만, 위의 내용은 두 음이 귀에 동시에 들어오지 않는 경우에 해당하는 것이고, 만약 두 음을 함께 들게 된다면 생기는 다른 현상, 즉 맥놀이 현상은 피치를 변별하는데 새로운 단서가 된다. 즉, 변별역 이내의 두 음에 대해서 피치 자체의 변별은 불가능하지만 맥놀이 현상으로써 '지금 피치가 다른 두 음이 들린다.'는 사실은 알아낼 수 있는 것이다.

이런 사실로 볼 때, 본 논문에서 조율은 음계보다는 화음을 위한 것이라고 감히 주장하고자 한다. 대략 적어도 0.5% 인 변별역이내의 멜로디의 변화는 사람이 거의 감지할 수 없지만, 화음율 구성하고 있는 음에서 변별역보다 훨씬 작은 변화가 일어난다면, 맥놀이의 발생으로 그 음고의 변화를 알아낼 수 있는 것이다.

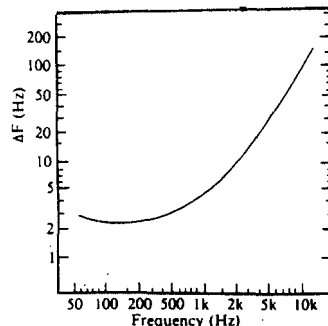


그림 1. 주파수 변별역 [1] [2]

맥놀이가 생기지 않는 적응 조율의 제안

III. 적응 조율의 제안

III.1 전체 과정

모든 음정 및 화음에서 깨끗한 어울림, 또한 전조화 이조시에도 전혀 어색하지 않음 — 이 두 가지가 이상적인 조율의 목표라 한다면, 원칙적으로 이것은 도달할 수 없다. 순정음은 첫번째를 얻으려고 두번째를 희생한 것이 라면 평균율은 그 반대인 것이다. 아예까지 살펴본 내용으로 볼 때, 음고를 순간순간 마음대로 조절할 수 있는 전자 악기의 경우, 이 두가지를 모두 만족할 수 있는 가능성이 있다. 매 순간 협화 음정 및 화음들을 순정음로 즉, 맥놀이가 안 생기도록 조절해주면 되는 것이다. 작업의 전체 블록도는 그림 2와 같다.

모든 화음이나 음정을 다 조절하지는 않는다. 이 작업은 음악의 획기적인 변화에 그 목적이 있지 않다. 평균율의 한계—맥놀이—를 조금이라도 벗어나보고자 하는 시도이므로 가장 기본적으로 많이 등장하는 화음, 음정만을 조절해도 충분하다. 그리하여 장 3화음, 단 3화음은 반드시 조절한다. 다음, 두 음의 음정만 있는 경우, 즉 화음을 구성하지 않는 경우도 일반적으로 협화음으로 인정되는 것은 조절한다. 다음, 화음 밖의 음들이 있는 경우, 조절하지 않는다. 음악적인 기능상, 맥놀이의 발생 여부가 전혀 중요하지 않을 수 있기 때문이다. 마찬가지로 이유로 증화음, 감화음, 숫자화음 등도 조절하지 않는다. 음정을 정수비로 구성한다는 입장은 비록 맥놀이가 안 생긴다는 장점은 있지만, 평균율에서는 당연히 보장받는 음계내의 일관성이 보장되지 못하는 단점이 있다. 그러므로 모든 음정을 정수비로 조절해서는 곤란하다.

음 높이를 그대로 평균율에서 따오는 음을 기준음이라 하자. 기준음은 맨 위의 음으로 한다. 받아들이는 음들을 관찰하여 조절 대상에 해당하는지를 결정하기 위하여 작업의 편의상, 각 음고에 해당되는 번호 즉, 음표 인덱스(index)를 붙인다. 이 음표 인덱스는 00 가 0이 되고 순서대로 나아가는 번호이다. 다음, 음표 인덱스에 대한 12의 나머지를 구하여 그것을 저장한다. 먼저 이 나머지의 종류 즉, 숫자 요소들의 갯수를 구한다. 요소의 갯수가 2이면, 두개의 음으로 음정만 있는 경우로 바로 다음 단계로 넘어가면 된다. 요소의 갯수가 3이면, 세 수를 크기 순대로 나열한 뒤, 각 수의 차이를 구한다. 그 차이를 나타내는 두개의 숫자가 다음 중의 하나가 될 때에 조절하는 것이다.

(3, 4), (4, 3), (3, 5), (5, 3), (4, 5), (5, 4), (5, 5)

위의 숫자쌍들은 조절하기로 한, 화음들에 대해서 각 음의 인덱스들의 차이를 구한 숫자이다. 예를 들면,

(3, 4)는 장3화음의 기본형, (4, 3)은 단3화음의 기본형, (3, 5)는 장3화음의 제 2전위, (5, 3)은 장3화음의 제 1전위 등으로 되는 것이다.

차이를 나타내는 숫자가 위의 것과 일치하지 않거나, 요소의 갯수가 4 이상이라면, 조절하지 않고, 그냥 평균율로, 또는 이전 조절 상태 그대로 내보낸다.

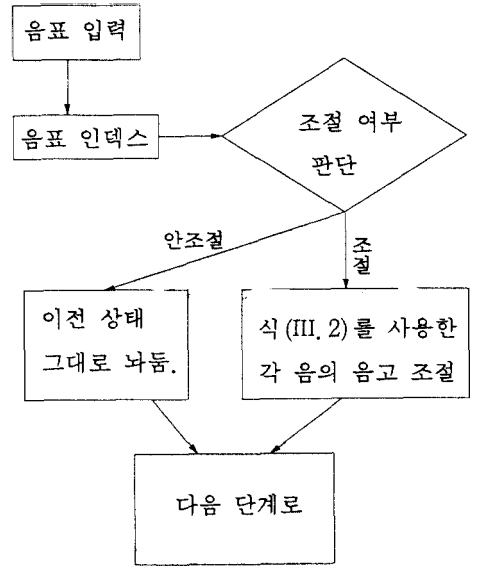


그림 2 적응 조율의 전체 알고리즘

III.2. 피치의 조절

조절할 대상을 받았을 때, 기준음으로부터 나머지 음들의 피치를 결정하는 공식을 만들어 본다. 앞절에서 언급한 음표 인덱스를 이용하여 음정을 구하고, 거기에 따르는 피치를 구할 수 있다.

우선, 다음의 정수에서 자연수로의 대응을 생각하자. 두 집합

$$A = \{3, 4, 5, 7, 8, 9\}, B = \left\{ \frac{6}{5}, \frac{5}{4}, \frac{4}{3}, \frac{3}{2}, \frac{5}{3}, \frac{8}{5} \right\} \text{ 에서}$$

$F: A \rightarrow B$ 인 대응 F 를 다음과 같이 정한다.

$$F(3) = \frac{6}{5}, F(4) = \frac{5}{4}, F(5) = \frac{4}{3}, F(7) = \frac{3}{2}, F(8) = \frac{8}{5}, F(9) = \frac{5}{3}.$$

물론, 이것은 자의적인 대응은 아니다. 대응 규칙은 아래와 같다.

$$F(x) = (2^{\frac{x+12}{12}} \text{ 와 가장 가까운 집합 } B \text{ 의 원소}) \quad \text{(III. 1)}$$

기준음으로 정한 음고는 평균율에서 따오고 이를 f_0 라 하자. 기준음의 음표 인덱스를 x_0 , 구하고자 하는 음

의 인덱스를 x 라고 할 때, 이 음의 피치 f 는 일반적으로 다음 식으로 구할 수 있다.

$$f = 2^{\left\lfloor \frac{x_r - x}{12} \right\rfloor} \frac{F(x_r - x \bmod 12)}{2^{\frac{x_r - x}{12}}} f_r \quad (III. 2)$$

(단, $\lfloor \cdot \rfloor$ 는 \bullet 를 넘지 않는 최대의 정수)

이 식으로 매 시간, 음들의 기준음에 대하여 적용적으로 조절된 음을 구할 수 있는 것이다.

IV. 실험 및 결과 분석

IV.1 실험 장치 및 구현

그림 3에 위에서 제안한 알고리즘을 구현하기 위하여 본 실험에서 밝은 과정을 나타내었다. 실험에는 미디 시퀀서 프로그램인 CAKEWALK을 사용하였다. CAKEWALK의 데이터속에 휠 이벤트(wheel event)를 삽입하여 음고를 미세하게 조절해준다. 이 작업을 자동으로 해주기 위해서, 먼저 CAKEWALK에 함께 제공되는 유틸리티 wrk2asc.exe를 이용하여 이벤트들을 아스키 형태로 변환시켜주고, 그것에 FORTRAN으로 된 외부 프로그램을 실행시켜서 CAL을 생성한다. 이 CAL이 CAKEWALK 내에서 원하는 이벤트들을 자동으로 만들어주는 것이다. CAKEWALK은 IBM PC에서 수행되고, 이것은 미디 인터페이스인 MPU-401로 악기 Roland U-20과 연결된다.

악기는 물론 평균율로 조율되어 있기 때문에, 이 실험을 위해서는 식 (III.2)를 바로 이용할 수는 없다. 먼저, 악기가 휠 이벤트 값에 따라 평균율로부터 얼마나 벗어나는가를 알아야 한다. 다음, 식 (III.2)에서 계산된 피치가 원래의 평균율과 몇 센트 벗어나는가를 알아서, 이를 위해서 휠 벤더(wheel bender) 값을 얼마를 넣어주어야 하는가를 결정해야 한다.

피치의 정확한 측정을 위해서 DATA PRECISION사의 DATA 6000A를 사용하였다. 휠값을 -1100부터 1200까지 100 간격으로 넣어주고 각각 경우의 피치를 구하여 휠값의 변화에 대한 피치의 변화의 관계를 구하였다. 휠값의 최대치가 한음의 차이를 내도록 악기를 조정하고, 오르간 뜬으로, C4음에 대하여 측정하여 그 결과로 다음의 근사식을 얻었다.

$$\text{wheel value} = 162365.6 \log \frac{f}{f_r} + 61.3 \quad (IV. 1)$$

(단, f_r 은 기준되는 피치, f 는 조절할 피치)

IV.2 청취 시험

1993년도 한국음악학의 학술논문발표회 논문집(제 12권 1(a)호)

청취 시험은 음악대학 4학년생 21명을 대상으로 실시하였다. 사용한 음색은 2가지 즉, 오르간 음색과 전자 피아노 소리였다. 시험은 먼저 주요 협화 음정중 완전 5도, 장 3도, 단 3도에 대해서, 그리고 장 3화음, 단 3화음에 대해서 평균음에 의한 것과 순정음에 의한 것을 번갈아가며 들려주고, 변별할 수 있는지 조사하였다. 다음, 실제 곡에 적용한 것으로, 가곡 '님이 오시는자'와 찬송가 '고요한 밤 거룩한 밤', 그리고 대중적인 멜로디를 가진 '사랑의 기쁨' 이렇게 3곡의 앞부분을 평균음 조율한 것과 적용 조율한 것을 차례로 들려주어, 어느 것이 더 좋았는지 조사하였고, 적용 조율에 대한 주관적인 느낌을 자유롭게 답하도록 하였다. '님이 오시는자'와 '고요한 밤 거룩한 밤'은 화성적인 코드 진행으로만, '사랑의 기쁨'은 멜로디 이외의 다른 성부를 아르페지오(arpeggio)로 처리하여 녹음하였다.

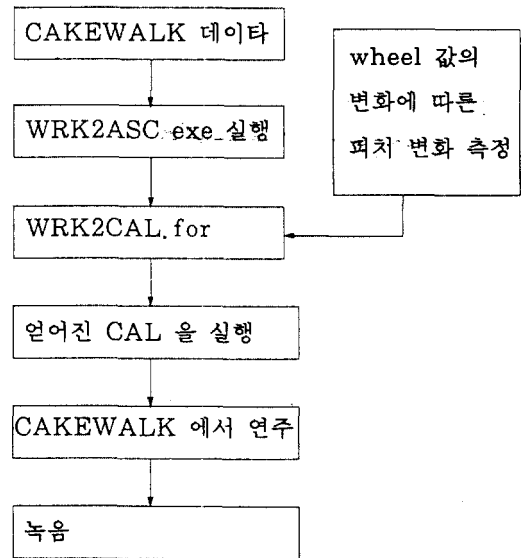


그림 3. 본 실험의 과정

IV.3 청취 시험 결과

시험 결과, 학생들은 맥놀이가 별로 많지 않은 완전 5도의 경우 전체의 54.8%만이 맥놀이 감소를 느꼈다. (그림4) 반면에 장3도, 단3도의 경우 각각 87.6%, 69.5%의 학생이 맥놀이의 감소를 느꼈다. 장 3화음, 단3화음의 경우 각각 61.8%, 61.9%가 맥놀이의 감소를 느꼈다. 대체로 오르간 음색보다 전자 피아노 음색에서 맥놀이의 차이를 비교적 많이 느낀 경향이 있다. 전체적으로 67.1%의 학생이 맥놀이의 감소를 느꼈다.

맥놀이가 생기지 않는 적응 조율의 경우

적응 조율의 청취 결과, '님이 오시는지', '고요한 밤 거룩한 밤', '사랑의 기쁨' 3곡은 각각 57.1%, 38.1%, 61.9%가 '좋아졌다'는 대답을 했다. 평균적으로 52.4%가 긍정적인 대답을 보였다. (그림5) 이는 맥놀이 감소를 인지한 학생의 78.1%에 해당하는 비율이다.

다음, 적응 조율에 대한 주관적인 진술에서 진술한 12명중 10명이 긍정적인 답을 하였다. 긍정적인 진술의 내용은 '음색이 깨끗해졌다.', '투명하고 밝다.', '고음과 저음 사이가 특히 잘 어울린다.', '경쾌하며 날카로우며 밝다.', '균형잡힌 소리가 난다.'는 것이 주류를 이루었다.

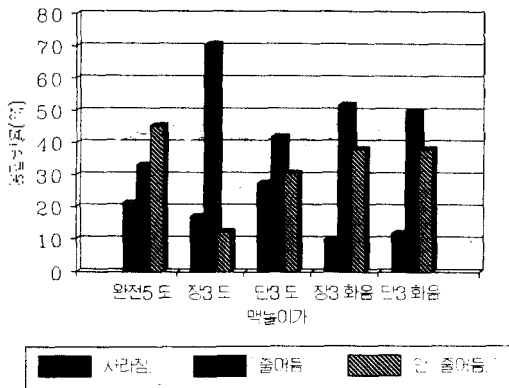


그림 4 순정율의 맥놀이 감소에 대한 반응 조사

표 1. 청취 시험 결과

a) 순정율의 맥놀이 감소에 대한 반응 조사

	맥놀이가 사라졌다.	줄어들었다.	안 줄었다.	
완전 5도	오르간	9.5%	47.6%	42.9%
	전자피아노	33.3%	19.0%	47.6%
	평균	21.4%	33.3%	45.2%
장 3도	오르간	23.8%	61.9%	14.3%
	전자피아노	10.5%	78.9%	10.5%
	평균	17.2%	70.4%	12.4%
단 3도	오르간	14.3%	42.9%	42.9%
	전자피아노	40.9%	40.9%	18.2%
	평균	27.6%	41.9%	30.5%
장 3화음	오르간	9.5%	66.7%	23.8%
	전자피아노	10.5%	36.8%	52.6%
	평균	10.0%	51.8%	38.2%
단 3화음	오르간	4.8%	47.6%	47.6%
	전자피아노	19.0%	52.4%	28.6%
	평균	11.9%	50.0%	38.1%
전체평균	17.6%	49.5%	32.9%	

b) 적응 조율된 곡의 선호도 조사

	좋아졌다.	나빠졌다.	모르겠다.
님이...	57.1%	38.1%	4.8%
고요한밤...	38.1%	33.3%	28.6%
사랑의...	61.9%	33.3%	4.8%
평균	52.4%	34.9%	12.7%

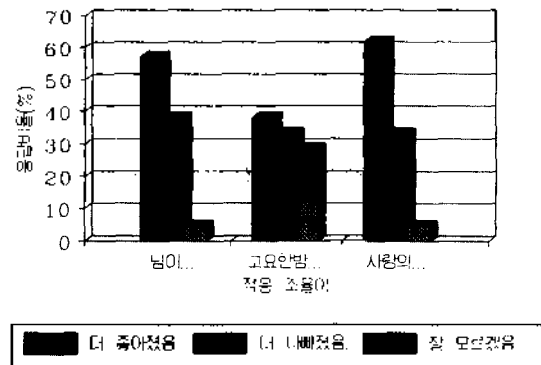


그림 5. 적응 조율된 곡의 선호도 조사

V. 결론

지금까지 맥놀이가 완전히 배제되는 새로운 조율 구조의 알고리즘을 제안하고 이를 구현하여 실험해 보았다. 청취 시험 결과 음악을 전공하는 학생들로 구성된 피험자 중 52.4%가 적응 조율에 대해 긍정적인 반응을 보였으며 이는 맥놀이를 인식한 피험자중 78.1%에 해당하는 비율이다. 물론, 맥놀이가 비록 원칙적으로는 아름다운 소리를 내는 데에 방해물 주기는 하나 맥놀이가 완전히 사라진 것이 반드시 옳은 것이라고 생각되지는 않는다. 사람은 이미 평균을 속의 맥놀이에 상당히 익숙해져 있고, 또 '규칙속의 불규칙성'을 사람은 더 선호한다는 사실을 볼 때, 전체의 47.6%에 해당하는 보통 혹은 부정적인 답을 한 피험자도 의미있는 반응을 보였다고 생각한다.

본 적응 조율은 불가능한 조율의 목표를 어느 정도 제한적인 범위내에서 완전히 달성한 시도로서 의미가 있으며, 사람이 이것을 얼마나 선호할 것인지는 예측할 수는 없으나 앞으로 부분적인 용도로서 적용은 가능하다고 보여진다. 이를테면, 본 실험에서처럼 이미 갖추어진 미디 시스템에서 소프트웨어적으로 처리하지 않고 전자 악기를 설계할 때 적용하여 사용자가 마음대로 선택할 수 있게 할 수도 있을 것이다. 즉, 어떤 순간에 눌러 있는 건반을 받아들여서 이것으로 적응적으로 음높이를 변화시킨다면 가능하다. 이것은 비교적 간단한 알고리즘이므로 실시간으로 구현하는데 그다지 어려운 것으로 보이지 않는다.

참고 문헌

- [1] E.Zwicker, "Psychoakustik", pp.55.
Springer-Verlag, 1982.
- [2] T.D.Rossing, "The Science of Sound,"
pp.111~127,147~163, 2nd ed.,Addison-
Westey,1990.
- [3] J.Backus, "The Acoustical Foundations of
Musics," pp.121~124,126~157, 2nd ed.,
W.W.Norton,1976.