

# B-스플라인 텐션 곡선을 이용한 음악 편곡

유민준<sup>1</sup>, 이인권<sup>2</sup>, 권대현<sup>3</sup>  
연세대학교 컴퓨터과학과<sup>1,2</sup>, (주)SOVICO<sup>3</sup>  
debussy@cs.yonsei.ac.kr<sup>1</sup>, iklee@yonsei.ac.kr<sup>2</sup>, dkwon0807@sovico.co.kr<sup>3</sup>

## Harmony Arrangements using B-Spline Tension Curves

Min-Joon, Yoo<sup>1</sup>, In-Kwon Lee<sup>2</sup>, Dae-Hyun Kwon<sup>3</sup>  
Department of Computer Science, Yonsei University<sup>1,2</sup>, SOVICO<sup>3</sup>

### 요약

음악을 들을 때 사람이 인지할 수 있는 긴장감을 뜻하는 텐션(tension)은 조성음악의 기분을 이루는 중요한 요소이다. 본 논문에서는 임의의 곡의 텐션의 움직임을 B-스플라인 곡선을 이용하여 표현하고 이 곡선을 수정하여 음악의 긴장도를 조정할 수 있는 방법을 제안한다.

먼저, 우리는 음악에서 사용되는 다양한 코드들의 긴장도를 측정하는 방법 세 가지를 제안한다. 첫 번째는 러달이 제시한 5도권 기반의 코드 거리 측정 방식을 개량한 것이며, 두 번째는 추가 제시한 나선형 모델의 거리 측정 방식을 응용한 것이며, 세 번째는 크럼한슬이 제시한 특정한 조성에서 각 구성 음들의 안정도와 구성 음들 사이의 음정의 조화성을 이용한 방법이다. 이 방법들을 이용하여 우리는 음악이 지니고 있는 긴장도를 수치적으로 나타낼 수 있다.

다음으로 B-스플라인 곡선을 이용하여 전체 곡의 텐션의 움직임을 표현한다. B-스플라인 곡선으로 표현된 텐션 곡선은 수정이 가해져 원곡의 긴장도를 변화시키는데 사용될 수 있다. 본 논문에서는 텐션 곡선의 높이를 이용하여 곡 전체의 긴장도를 변화시키는 방법과 스페이스-타임 최적화를 사용하여 특정 부분의 긴장도를 변화시키는 방법을 제안한다. 또한 B-스플라인 곡선을 통하여 새로운 코드 진행을 얻을 수 있는 방법을 소개한다.

게임이나 영화, 애니메이션에서 긴장되는 장면을 연출할 때 긴장감 있는 음악의 사용은 필수적인 요소이다. 본 논문에서 제안하는 방법을 통하여 음악의 긴장도라는 인지적인 요소를 B-스플라인 곡선이라는 수치적인 형태로 표현함으로써, 우리는 실시간으로 음악의 긴장도를 자동적으로 변화시킬 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안하는 방법은 게임 같은 인터랙티브한 환경에서 사용자의 몰입성을 증가시키는 방법으로 특히 효과적으로 사용될 수 있다.

Keyword : Tension curve, B-spline curve, Automatic harmony arrangement, Calculating of tension, Space-time optimization.

### 1. 서론<sup>a</sup>

우리가 일상적으로 쉽게 접하는 클래식, 재즈, 팝, 락 등 대부분의 조성음악은 긴장도 즉, 텐션(tension)의 움직임을 기본으로 하고 있다. 음악이 진행됨에 따라 긴장도가 높아졌다가 곧 이어 긴장도가 낮아짐으로써 상승하였던 긴장을 해소하는

과정이 연속적으로 일어난다. 또한 긴장되는 곡 분위기를 만들기 위하여 의도적으로 텐션을 높인 예도 자주 찾아볼 수 있다. 영화나 애니메이션에서 긴장되는 장면에서 사용되는 음악들을 분석해보면 텐션이 높은 화음을 많이 사용하는 것을 알 수 있다.

음악 심리 분야에서 텐션의 움직임을 곡선으로 나타내려는 시도를 몇 가지 찾아 볼 수 있다. 가

<sup>a</sup> 본 연구는 정보통신부 대학IT연구센터 육성지원사업의 연구 결과로 수행되었습니다.

장 처음으로 텐션 곡선을 이용하여 음악의 텐션을 분석하려는 시도는 닐센(Nielsen)의 핀란드어 논문 [1]에서 찾을 수 있다. 이후로 매드슨(Madson)과 프레드릭슨(Fredrickson)이 닐센의 연구를 보다 현대적인 장치를 이용한 실험으로 다시 수행하였다 [2]. 미국의 음악 심리학자 크럼한슬(Krumhansl)은 1996년 논문[3]에서 모차르트의 피아노 소나타 Eb 장조(K. 282)의 1 악장 텐션을 곡선형태로 그려서 표현하였다. 이러한 논문에서 텐션은 모두 실험을 통하여 측정이 되었다. 즉 피실험자는 음악을 들으면서 느껴지는 긴장도에 따라 측정장비에 입력을 하는 방식으로 긴장도의 값이 측정되었다. 이러한 방식으로 얻어진 텐션 곡선은 음악의 텐션을 분석하는 데는 유용하더라도 이 곡선을 변환하여 음악의 텐션을 변화시키는 데에 사용되기는 힘들다. 따라서 현재까지 텐션에 대한 연구는 단지 음악에서 느껴지는 텐션을 분석하는 수준에 머물고 있다.

본 논문에서는 임의의 음악의 텐션을 분석하는 것뿐만 아니라 이를 수치적으로 변경하여 음악에서 느껴지는 긴장도를 변화시키는 방법을 소개한다. 먼저 본 논문에서는 실험을 이용하지 않고 임의의 조성 음악의 텐션 곡선을 그릴 수 있는 방법을 제안한다. 음악에서 사용되는 각각의 코드(chord)들은 수치적인 방법으로 텐션의 양이 측정되고 이 값에 따라서 순위가 매겨진다. 이를 이용하여 텐션 곡선, 즉 시간에 따른 코드의 긴장도 그래프가 그려질 수 있다. 코드의 텐션의 양을 측정하는 방법은 본 논문에서 크게 3 가지 방법을 제시한다. 첫 번째는 러달(Lerdahl)[4]이 제시한 5도권 코드 기반의 코드 거리 측정방식을 개량한 것이며, 두 번째는 츠(Chew)가 제시한 나선형 모델의 거리 측정 방식을 이용한 것이며, 세 번째는 크럼한슬[5]이 제시한 특정한 조성에서의 각 음의 안정도와 이들의 음정 관계를 이용한 방법이다.

일반적으로 음악의 텐션의 움직임은 매우 복잡하기 때문에 본 논문에서는 B-스플라인 곡선을 통하여 텐션 곡선을 모델링하였다. 그 이유는 B-스플라인 곡선은 복잡한 곡선 형태를 수학적으로 나타내기 위한 가장 적절한 방법 중에 하나이기 때

문이다. 텐션 곡선이 B-스플라인 곡선으로 나타내어 질 수 있다면, 여러 가지 수학적 툴을 사용하여 이 텐션 곡선을 수정할 수 있다. 또한 이 수정된 곡선은 원본과는 다른 코드를 만들어 내기 때문에 결과적으로 원본과는 다른 긴장도를 가진 음악을 만들어 낼 수가 있다. 본 논문에서는 텐션 곡선의 높이를 변경하여 곡 전체의 긴장도를 변화시키는 방법과 스페이스-타임 최적화를 사용하여 특정 부분의 긴장도를 변화시키는 방법을 제안한다. 또한 B-스플라인 곡선을 통하여 새로운 코드 진행을 얻을 수 있는 방법을 소개한다.

본 논문에서는 우리가 인지적으로 느낄 수 있는 음악의 긴장도를 수치적인 모델을 사용하여 변화시킬 수 있음을 제안한다. 또한 모든 계산은 실시간에 이루어질 수 있으므로 게임 같은 인터랙티브한 환경에서 사용자의 상태에 따라서 배경 음악의 긴장도를 변경함으로써 사용자의 몰입성을 증가시키는 방법으로 유용하게 사용될 수 있다.

## 2. 화음의 텐션 측정 방법

조성 음악에서는 화음, 즉 코드(chord)를 기본으로 하여 음악이 이루어진다. 각 코드들은 크게 토닉(tonic), 서브도미넌트(subdominant), 도미넌트(dominant)의 3 가지 화성적 기능(harmonic function)으로 나누어진다. 토닉은 안정된 성질의 코드들의 집합이며, 도미넌트는 가장 불안정한 성질을 가진 코드들의 모임이다. 또한 각 화성적 기능에 속해 있는 코드들 사이에서도 상대적인 안정성의 차이가 존재한다. 본 논문에서는 크게 3 가지 방법으로 이 코드들 사이의 안정성, 즉 긴장도를 측정하는 방법을 제안한다.

### 2.1 러달(Lerdahl)의 이론 응용

러달은 조성 음정 공간(tonal pitch space) 이론[4]에서 임의의 두 코드 간의 거리를 구하는 방법을 제안하였다. 두 코드  $x$  와  $y$  간의 거리  $d$  는 다음과 같이 정의된다.

$$d(x \rightarrow y) = i + j + k$$

임의의 코드는 화음과 리전(region)으로 표현될 수 있다. 예를 들어 'I / C'는 C 장조의 I 도 화음을

뜻한다. 위 식에서  $i$  는 두 코드 리전의 5 도 순환(Circle of Fifths)상의 거리를 뜻한다. 또한  $j$  는 두 코드 화음 사이의 5 도 순환상의 거리를 뜻한다. 5 도 순환이란 장 5 도 거리에 있는 음들을 연결하여 만든 순환되는 시퀀스, 즉 C-G-D-A-E-B-Gb-Db-Ab-Eb-Bb-F-C 를 뜻한다. 마지막  $k$  는 두 코드의 도이취-페로의 알파벳 코딩 모델[6]에서 공통적이지 않은 피치클래스의 수를 의미한다. 또한 7 도음과 부가적인 텐션음은 별도의 추가 값이 더해지게 된다.

본 논문에서는 특정 조에서 가장 기본이 되는 코드(예를 들어 C 장조에서의 C 코드)를 기본으로 하여 다른 코드와의 거리를 구하여, 거리가 늘어날수록 코드의 불안정감, 즉 텐션이 높아진다고 가정하였다.

### 2.2 쉰(Chew)의 이론 응용

쉰은 5 도 순환을 3 차원 나선형 배열(Spiral Array)로 나타내어 이 배열 안에 피치, 코드, 키 같은 계층적인 음악적 요소를 기하학적인 점으로 나타내는 모델을 제안하였다[7]. 이 모델에서 각 음악적 요소간의 거리는 각 요소를 나타내는 점들 사이의 기하학적인 유클리디안 거리로 측정된다.

본 논문에서는 특정 조에 키를 나타내는 점에서 각 코드의 구성 음들을 나타내는 점들 사이의 유클리디안 거리를 모두 더하여 이 값을 각 코드의 텐션의 양이라고 보았다. 즉 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

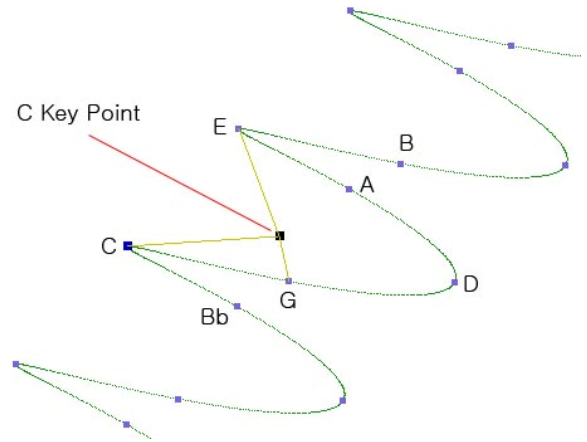
$$d(x) = \sum |p_i - p_c|$$

$p_i$  는 코드  $x$  의 구성 음  $i$  을 나타내는 3 차원 벡터이며,  $p_c$  는 음악의 키를 나타내는 3 차원 벡터이다. <그림 1>은 C 조에서 C 코드의 거리를 구하는 모습을 보여준다.

### 2.3 코드의 구성 음과 음정을 고려한 방법

각 코드는 2 개 이상의 구성 음으로 되어있으며, 이 음들 사이의 음정이 존재한다. 각 코드의 특성은 코드의 구성 음들과 이들이 만드는 음정의 성질에 따라서 결정된다. 이 방법은 각 구성 음들의

불안정성과 음정의 불안정성의 합으로 코드의 불안정성을 나타내는 방법이다.



<그림 1> 쉰의 나선형 배열에서 C 코드 거리 구하기

구성 음들의 불안정성은 크럼한술의 프로브 톤(probe tone)[5]을 이용하였다. 프로브 톤은 특정 조의 스케일 상에 있는 12 개의 음이 그 조 안에서 얼마나 안정적인 값을 가지고 있는지에 대하여 실험을 통하여 구한 값이다.

또한 음정들간의 불안정성은 전통적인 음악이론에 따른 음정들간의 화성 조화 순위를 이용하였다. 즉 각각의 음정은 다음과 같은 순서로 불안정성이 높아진다 : 완전 1 도-완전 5 도-완전 4 도-장 3 도-장 6 도-단 3 도-단 6 도-장 2 도-단 7 도-장 7 도-단 2 도-트라이톤.

이 방법에서 코드  $x$  의 텐션은 다음과 같은 식으로 나타내어진다.

$$d(x) = w_p \frac{1}{N(p)} \sum u_p + w_i \frac{1}{N(i)} \sum u_i$$

$N(p)$  는 구성 음의 수,  $u_p$  는 프로브 톤을 이용한 각각 구성 음의 불안정성 값이며  $N(i)$  는 음정의 수,  $u_i$  는 화성 조화 순위에 따른 각 음정의 불안정성 값이다. 가중치  $w_p$  와  $w_i$  는 두 요소가 동일한 비율을 갖도록 조절하는데 사용된다.

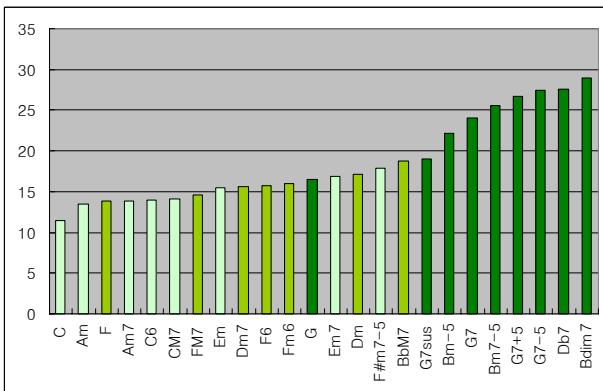
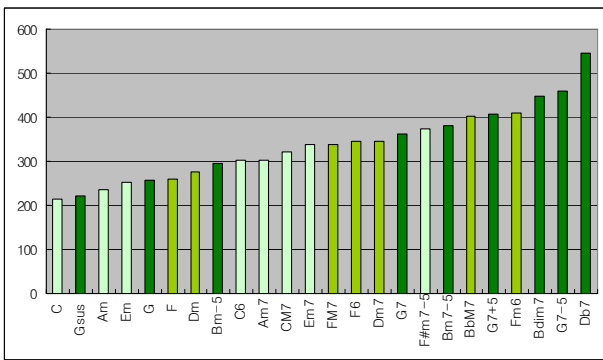
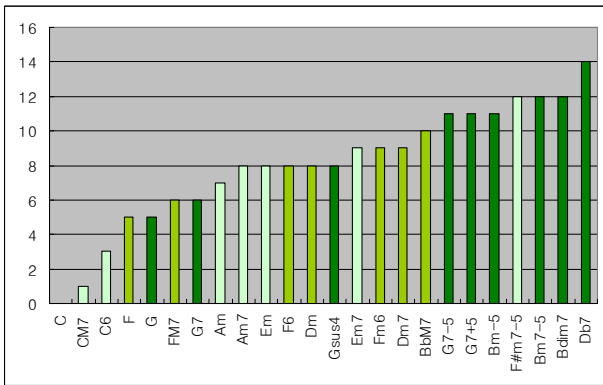
### 2.4 세 가지 방법 비교

본 논문에서는 토닉 코드 8 개, 서브도미넌트 코

드 7 개, 도미넌트 코드 9 개, 총 24 개의 코드를 사용하였다. 사용된 코드는 <표 1>과 같다. 위 3 가지 방법으로 각각의 코드들의 텐션의 양을 구하여 이를 정렬하였다. 결과를 <표 2>에 나타내었다.

화성기능	코드 목록
토닉	C, CM7, C6, Am, Am7, Em, Em7, F#m7-5
서브도미넌트	F, FM7, F6, Fm6, Dm, Dm7, Bbm7
도미넌트	G, Gsus4, G7, G7+5, G7-5, Bm-5, Bm7-5, Bdim7, Db7

<표 1> 본 논문에서 사용된 코드.



<표 2> 세 가지 방법에 따른 코드 순위. 위로부터 ‘러달의 방법 응용’, ‘추의 방법 응용’, ‘코드의 구성음과 음정을 고려한 방법’

<표 2>에서 화성적 기능에 따라 3 가지 색으로 표현하였다. 일반적인 음악 이론에 따르면 코드의 안정성은 토닉→서브도미넌트→도미넌트 순서로 증가한다. 따라서 이들의 순위를 평가할 수 있는 한 가지 방법은 이 코드들이 얼마나 위 순서들을 따르고 있는지를 측정하는 것이다. <표 3>은 서브도미넌트 코드가 토닉 코드보다 안정된 결과가 나온 경우, 도미넌트 코드가 서브도미넌트 혹은 토닉 코드보다 안정된 결과가 나온 경우의 개수를 측정한 결과이다.

텐션 측정 방법	어긋난 개수
러달의 방법	46
추의 방법	55
구성음-음정의 방법	20

<표 3> 세 가지 방법에서 토닉, 서브도미넌트, 도미넌트 코드의 순서가 바뀐 개수.

즉 구성 음-음정을 고려한 방법이 가장 정확하게 화성적 기능에 맞추어서 텐션의 양이 측정됨을 알 수 있다. 하지만 코드의 긴장감은 사람의 인지적인 측면이 강한 요소이므로 다른 두 가지 방법을 통한 코드의 순위도 고유의 의미를 가질 수 있다. 특히 추의 방법에 따른 코드의 순위는 화성적 기능의 순서에는 가장 크게 어긋나지만, 3 음 화음과 4 음 화음의 구분이 뚜렷하다는 장점이 있다.

### 3. 텐션 곡선의 구성 및 수정

#### 3-1 텐션 곡선의 구성

각각 코드들을 3 가지 화성적 기능에 따라 모으고 각 화성적 기능 안에서 상대적인 텐션의 양에 따라 정렬한다. 화성적 기능에 따라 모으는 이유는, 각 화성적 기능마다 조성음악에서 고유한 역할이 있으며 어떤 화음의 화성적 기능이 변화하면 느낌의 변화가 크기 때문이다. 우리의 실험에서 원본 코드의 화성적 기능과 동일한 코드로 변화하는 것이 보다 듣기 좋은 결과를 만들어냄을 알 수 있었다.

텐션 곡선은 앞서 얻어진 코드의 순위를 Y 축으

로 하고 시간을 X 축으로 하여 각 마디, 혹은 1/2 마디마다 샘플링을 하고, 이 샘플링 값들을 B-스플라인 곡선을 이용하여 보간(interpolation)을 함으로써 얻어진다. <그림 2> 에서 간단한 텐션 곡선의 예를 보여준다.



<그림 2> 텐션 곡선의 예. 원본 코드는 C-C-Am-Am-F-G-Am-Am-C-C-Am-Am-F-G-C 이다.

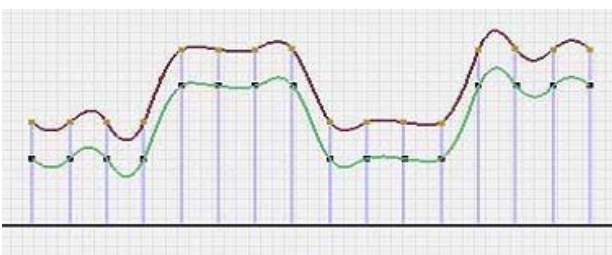
최근 베티의 논문[8]에서는 음 높이의 변화를 피스와이즈(piecewise) 베지어 곡선을 이용하여 표현한 예가 있다. 하지만 텐션 곡선과 같이 훨씬 더 복잡한 형태의 곡선에서는 B-스플라인 곡선을 사용하는 것이 연속성 보존 측면이나 계산 효율성 측면에서 장점이 있다.

### 3-2 텐션 곡선의 수정

음악의 텐션 움직임이 B-스플라인 곡선 형태로 표현이 된 후에는 이제 이 곡선의 수치를 변화시켜 원본 음악에 수정을 가할 수 있다. 본 논문에서는 3 가지 수정 방법을 제시한다.

#### 3-2-1 텐션 증가

텐션 곡선의 높이(Y 값)를 증가시킨 후, 원본 코드를 변경된 곡선의 값에 해당하는 새로운 코드로 변경하면 원곡 전체의 텐션의 양을 증가시킬 수 있다(<그림 3>참고).



<그림 3> 텐션 증가 곡선의 예. 녹색 곡선은 원본

텐션 곡선, 갈색 곡선은 텐션이 증가된 곡선이다.

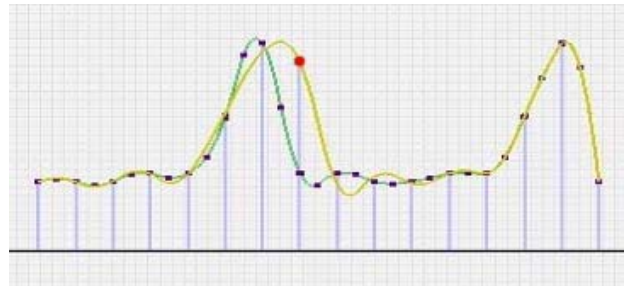
#### 3-2-2 최적화를 이용한 수정

때로는 음악의 특정 부분에 텐션의 양만 조절을 할 필요도 있다. 우리는 텐션 곡선을 지역적으로 수정하기 위하여 스페이스타임(spacetime) 최적화 [9]를 이용하였다. 스페이스타임 최적화는 원래 애니메이션에서 사용되는 기술로서 특정 시간에 특정한 이벤트가 발생하게 하는 제한조건을 만족시키면서도 원본과 가장 비슷한 모습의 결과를 만들어 내는 기술이다. 본 논문에서 사용한 스페이스타임 최적화식은 다음과 같다.

$$\min \sum_{b \in M} (B_m(b) - B_o(b))^2,$$

$$\text{제한조건 : } B_m(b_s) = c_s$$

$B_m$  과  $B_o$  는 각각 수정된 B-스플라인 커브와 원본 B-스플라인 커브를 나타낸다.  $b$  는 전체 음악 ( $M$ )의 박(beat)를 나타내며,  $b_s$  와  $c_s$  는 각각 사용자가 제한조건으로 준 특정 박(시간)과 코드를 나타낸다. 즉 위 최적화는 특정 시간에 특정 코드를 갖게 하는 제한조건을 만족하면서도 기존의 B-스플라인 텐션 곡선의 모양과 가장 유사한 모양의 텐션 곡선을 만들어내게 된다. <그림 4>에서 최적화의 결과를 보여준다.

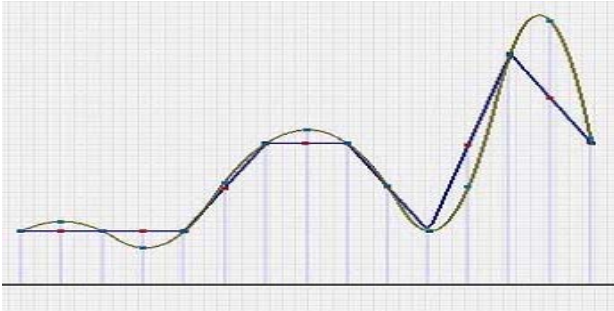


<그림 4> 최적화를 이용한 텐션 곡선 수정. 녹색 곡선은 원본 텐션 곡선이며, 노란 곡선은 제한조건(빨간 점)을 만족시키는 수정된 텐션 곡선이다.

#### 3-2-3 더블 샘플링

본 논문에서는 두 코드 사이를 곡선을 사용하여 보간한다. 따라서 연속되는 코드 사이에 기존에 존재하지 않았던 코드를 새롭게 만들어 낼 수가 있다. 특히 차수가 2 이상인 B-스플라인 곡선을 사용한다면 단순한 직선 형태가 아닌 곡선 형태로

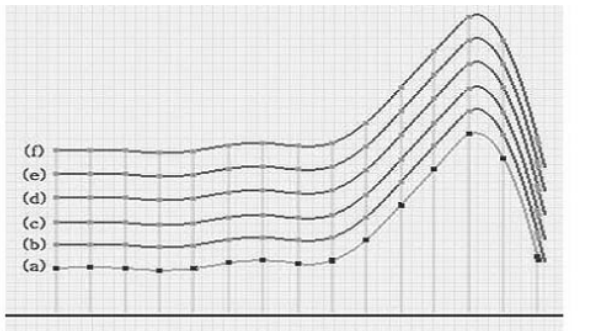
보간 되기 때문에 보다 다양한 코드들이 얻어지게 된다. B-스플라인 곡선의 차수를 높일수록 새롭게 얻어진 코드의 텐션 변화량은 커진다. <그림 5>에서 선형적인 방법과 곡선 형태의 방법의 차이를 보여주고 있다.



<그림 5> 더블 샘플링 예제. 곡선으로 표현된 코드 진행(녹색)에서는 선형으로 표현된 코드 진행(파란색)보다 더욱 다양한 코드들을 얻을 수 있다.

#### 4. 결과 및 논의

음악에 텐션이 높아지면 보다 긴장되고 모호한 느낌을 받는다. 종종 재즈에서는 의도적으로 텐션이 높은 코드를 사용하기도 한다. <그림 6>에서는 텐션 곡선의 높이를 상승시킴으로써 보다 긴장감 있는 코드들이 얻어지는 결과를 보여준다.



original	C	C	C	Am	Am	F	G7	Am
(a)	C	C	C	Am	Am	F	G7	Am
(b)	Am	C#	Am	Am	C#	C#	CM7	F#7
(c)	Am7	Am7	Am7	Am7	Am7	Am7	Am7	Am7
(d)	CM7	CM7	CM7	CM7	Em	Em	CM7	Em
(e)	Em	Em7	Em	Em	Em7	Em7	Em7	F
(f)	F#m6	F#m6	F#m6	Em	F#m6	F	Bbm7	Dm7

<그림 6> (a)는 더블 샘플링을 이용하여 원본 텐션 커브에서 새로운 코드를 생성한 예. (b)-(f)는 점차적으로 텐션 곡선의 높이를 높인 후 새롭게 생성

된 코드이다.

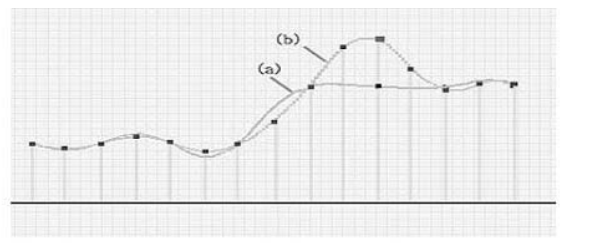
우리는 실험을 통하여 결과를 검증하였다. 피실험자는 모두 12명이었으며, 음악적 경험이 풍부한 사람이 5명, 그렇지 않은 사람이 7명이었다. 피실험자들은 위 텐션 곡선으로 생성된 음악을 듣고 느껴지는 긴장도의 차이를 평가하였다. <표 4>는 그 결과이다.

단계	상대적인 차이
(a) ~ (b)	2.4
(b) ~ (c)	1.8
(c) ~ (d)	2.2
(d) ~ (e)	3.0
(e) ~ (f)	3.6

<표 4> <그림 6>의 코드 진행을 피실험자에게 들려준 후 측정한 텐션 변화량. 상대적인 차이는 -5 ~ +5 사이의 값을 가지며 값이 클수록 오른편의 코드진행의 텐션의 양이 더욱 크게 느껴짐..

즉 텐션 곡선의 높이가 상승할수록 인지되는 텐션의 양도 증가함을 알 수 있었다. 특히 Em7 코드와 F#m7-5 코드가 주로 사용되는 (d)~(e), (e)~(f) 단계에서 그 차이가 큰데, 이는 2 장에서 살펴본 코드 순위에서 위 두 코드의 텐션의 값이 높게 나온 결과와도 동일하게 해석할 수 있다.

다음은 스페이스타임 최적화를 사용하여 지역적으로 텐션을 높인 결과이다<그림 7>.



original	C	C	C	C	F	F	F	F
(a)	C	C	C	Am	G	C	C	Em
(b)	C	C	C	Am	G	C	C	Em
(c)	C	C	C	C#	G	G	G	Dm7
(d)	C	C	C	Am	C	C	C	Em

<그림 7> (a)는 더블 샘플링을 이용하여 원본 텐션 커브에서 새로운 코드를 생성한 예. (b)~(d) 최적화를 사용하여 변화된 코드들의 예. 제한코드는 빨간색 테두리로 표시하였다. 또한 별 표시(\*)가 있는 코드는 최적화의 결과로 수정된 코드들이다.

B-스플라인 곡선을 이용한 스페이스타임 최적화의 장점은 제한조건 코드뿐만 아니라 그 주변 몇 개의 코드들도 함께 수정이 된다는 것이다(수정되는 코드의 개수는 B-스플라인 곡선의 차수에 따라서 달라진다). 우리는 이 차이를 측정하기 위하여 다음과 같은 실험을 수행하였다 : 제한코드 하나만 수정된 코드 진행과 스페이스타임 최적화의 결과로 제한코드 주변의 코드들도 함께 수정된 코드 진행을 들려준 후 느껴지는 텐션의 양을 측정하게 한다. <표 5>는 그 결과이다.

최적화의 결과로 제한코드 주변의 코드가 함께 변화하는 경우가 더욱 텐션량이 높게 느껴진다는 평가를 받았다. 또한 수정되는 코드의 수가 적을 수록 그 차이는 더 적음을 알 수 있다.

예제	상대적인 차이
(b)	2.4
(c)	1.5
(d)	2.6

<표 5> 제한코드하나만 변화시킨 코드와 최적화의 결과로 제한코드 주변의 코드들도 변화시킨 결과의 인지되는 텐션량 비교. 상대적인 차이값은 -5 ~ +5 값을 가지며, 양수의 값은 최적화의 결과에서 텐션이 더 강하다는 의미이다. <그림 7>의 코드 진행을 이용.

### 5. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구에서는 음악에서 인지되는 텐션의 양을 B-스플라인 곡선을 이용하여 수치적으로 모델링하는 방법을 제안하였다. 또한 텐션 곡선을 수정하여 원본 음악의 텐션을 전체적으로 혹은 지역적으로 수정하는 방법을 제안하였다. 이를 통하여 원본 음악보다 더욱 긴장되는 음악 혹은 더 편안한 음악을 만들어 낼 수 있다.

B-스플라인 곡선을 이용하여 만들어진 코드진행이 때로는 약간 어색하게 들리는 경우가 있다. 이는 본 연구에서 코드진행에 대한 여러가지 음악적 법칙등이 고려되지 않았기 때문이다. 만일 B-스플라인 곡선으로 생성된 코드에 다양한 음악적 법칙을 적용하여 수정을 한다면 보다 듣기 좋은 코드

진행이 나오리라 생각한다. 또한 텐션뿐만 아니라 음악의 다양한 요소들을 곡선 형태로 표현하고 이를 이용하는 것도 의미 있는 일이라 생각한다.

### 참고문헌

[1] Nielson, F.V. 1983. *Oplevelse af musikalsk spænding (The experience of musical tension)*. Copenhagen: Akademisk Forlag.

[2] Madson, C.K., and Fredrickson, W.E. 1993. The experience of musical tension: A replication of Nielsen's research using the continuous response digital interface. *Journal of Music Therapy*, Volume 30, p. 46-43.

[3] Krumhansl, C.L. 1996. A Perceptual Analysis of Mozart's Piano Sonata K.282: Segmentation, Tension, and Musical Ideas. *Music Perception*, Vol.13, No.3, p.401-432.

[4] Lerdahl, F. 1996. Calculating tonal tension. *Music Perception*, Vol.13, p.319-363.

[5] Krumhansl, C.L.,and Shepard, R.N. 1979. Quantification of the hierarchy of tonal functions within the diatonic context. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, Vol 5, p.579-594.

[6] Deutsch, D., and Feroe, J. 1981. The internal representation of pitch sequences in tonal music. *Psychological Review*, Vol.88, p.503-522.

[7] Chew, E. 2000. *Towards a Mathematical Model of Tonality*. Doctoral dissertation, MIT, Cambridge, MA.

[8] Battey, B. 2004. Bézier Spline Modeling of Pitch-Continuous Melodic Expression and Ornamentation. *Computer Music Journal*, Vol.28, No.4, p. 25-39.

[9] Witkin, A., and Kass, M. Spacetime constraints. *In Proceeding of SIGGRAPH 1988*, p.159-168.