

---

# B-스플라인 텐션 곡선을 이용한 음악 편곡

## Harmony Arrangements using B-Spline Tension Curves

유민준, Min-Joon Yoo\*, 이인권, In-Kwon Lee\*\*, 권대현, Dae-Hyun Kwon\*\*\*

---

**요약** 음악을 들을 때 사람이 인지할 수 있는 긴장감을 뜻하는 텐션(tension)은 조성음악의 기본을 이루는 중요한 요소이다. 본 논문에서는 임의의 곡의 텐션의 움직임을 B-스플라인 곡선을 이용하여 표현하고 이 곡선을 수정하여 음악의 긴장도를 조절할 수 있는 방법을 제안한다. 먼저, 우리는 음악에서 사용되는 다양한 코드들의 긴장도를 측정하는 방법 세 가지를 제안한다. 첫 번째는 러달이 제시한 5도권 기반의 코드 거리 측정방식을 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 곡 전체의 긴장도를 높이거나 낮추는 방법과 최적화를 이용하여 특정 부분의 긴장도를 변화시키는 방법을 제안한다. 그리고 원본 코드 진행에서 목표 코드 진행으로 점차적으로 변화하는 텐션의 움직임을 만드는 방법과, 임의의 두 곡이 부드러운 텐션의 움직임을 유지하면서 자연스럽게 연결될 수 있는 방법을 소개한다. 또한 B-스플라인 곡선을 통하여 새로운 코드 진행을 얻을 수 있는 방법을 소개한다. 본 논문에서는 B-스플라인 곡선이라는 수치적인 형태를 이용하여 음악의 긴장도라는 인지적인 요소를 조절할 수 있는 가능성을 보여주고 있다. 본 논문에 제안하는 여러 방법들은 모두 실시간에 계산이 가능하므로 게임 같은 인터랙티브한 환경에서 사용자의 감정과 시나리오에 따라 배경음악의 긴장도를 동적으로 변환시키는 것 같은 다양한 형태의 애플리케이션에 응용될 수 있다.

**Abstract** We suggest a graphical representation of the tension flow in tonal music using a piecewise parametric curve, which is a function of time illustrating the changing degree of tension in a corresponding chord progression. The tension curve can be edited by using conventional curve editing techniques to reharmonize the original music with reflecting the user's demand to control the tension of music. We introduce three different methods to measure the tension of a chord in terms of a specific key, which can be used to represent the tension of the chord numerically. Then, by interpolating the series of numerical tension values, a tension curve is constructed. In this paper, we show the tension curve editing method can be effectively used in several interesting applications: enhancing or weakening the overall feeling of tension in a whole song, the local control of tension in a specific region of music, the progressive transition of tension flow from source to target chord progressions, and natural connection of two songs with maintaining the smoothness of the tension flow. Our work shows the possibility of controlling the perceptual factor (tension) in music by using numerical methods. Most of the computations used in this paper are not expensive so they can be calculated in real time. We think that an interesting application of our method is an interactive modification of tension in background music according to the user's emotion or current scenario in the interactive environments such as games.

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

---

본 연구는 문화관광부 및 한국문화콘텐츠진흥원의 문화콘텐츠기술연구소(CT) 육성사업의 연구결과로 수행되었음.

\*주저자 : 연세대학교 컴퓨터과학과 박사과정

\*\*교신저자 : 연세대학교 컴퓨터과학과 교수; e-mail: iklee@yonsei.ac.kr

\*\*\*공동저자 : (주)SOVICO 기술마케팅이사, 연세대학교 컴퓨터과학과 겸임교수

## 1. 서론

우리가 일상적으로 쉽게 접하는 클래식, 재즈, 팝, 락 등 대부분의 조성음악은 긴장도 즉, 텐션(tension)의 움직임의 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 찾아볼 수 있다. 가장 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 1악장 텐션을 곡선 형태로 그려서 표현하였다. 이러한 논문에서 텐션은 모두 실험을 통하여 측정이 되었다. 즉 피실험자는 음악을 들으면서 느껴지는 긴장도에 따라 측정 장비에 입력을 하는 방식으로 긴장도의 값이 측정되었다. 이러한 방식으로 얻어진 텐션 곡선은 음악의 텐션을 분석하는 데에 유용하다. 이 곡선을 변환하여 음악의 텐션을 변화시키는 데에 사용되기는 힘들다. 즉, 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 3가지 방법을 제시한다. 첫 번째는 러달(Lerdahl)[4]이 제시한 5도권 코드 기반의 코드 거리 측정방식을 개량한 것이며, 두 번째는 쉰(Chew)이 제시한 나선형 모델[5]의 거리 측정 방식을 이용한 것이며, 세 번째는 크럼한슬[6]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 때문이다. 텐션 곡선이 B-스플라인 곡선으로 나타내어질 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 스페이스타임 수정을 사용하여 특정 부분의 긴장도를 변화시키는 방법을 제안한다. 또한 임의의 코드 진행에서 다른 코드 진행으로 점차적으로 변화하는 코드 진행을 얻는 방법과, 두 코드 진행을 부드럽게 연결하는 방법을 제안한다. 마지막으로 B-스플라인 곡선을 통하여 보다 다양한 코드 진행을 얻을 수 있는 방법을 소개한다.

본 논문에서는 우리가 인지적으로 느낄 수 있는 음악의 긴장도를 수치적인 모델을 사용하여 변화시킬 수 있음을 보여준다. 이 논문에서 소개하는 방법들의 모든 계산은 실시간에 이루어질 수 있다. 따라서 게임 같은 인터랙티브한 환경에서 사용자의 상태에 따라 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 3가지 코드 패밀리(chord family)로 나누어진다. 토닉은 안정된 성질의 코드들의 집합이며, 도미넌트는 가장 불안정한 성질을 가진 코드들의 모임이다. 또한 각 코드 패밀리 안에 속해있는 코드들 사이에서도 상대적인 안정성의 차이가 존재한다. 본 논문에서는 크게 3가지 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.  $k_x$  조의 코드  $x = \{p_1, p_2, \dots\}$ 와  $k_y$  조의 코드  $y = \{q_1, q_2, \dots\}$ 가 있다고 하자.  $\{p_i\}$ 와  $\{q_i\}$ 는 각 코드의 구성 음을 의미한다. 두 코드  $x$ 와  $y$  간의 거리는 다음과 같이 정의된다.

$$d(x \rightarrow y) = a + b + c \quad (1)$$

위 식에서  $a$ 는 두 코드  $k_x$  와  $k_y$  간의 5도 순환(Circle of Fifths)상의 거리를 뜻하며  $b$ 는 두 코드  $x, y$  사이의 5도 순환상의 거리를 뜻한다. 5도 순환이란 장5도 거리에 있는 음들을 연결하여 만든 순환되는 시퀀스, 즉 C-G-D-A-E-B-Gb-Db-Ab-Eb-Bb-F-C를 뜻한다. 마지막  $c$ 는 두 코드의 도이취-페로의 알파벳 코딩 모델[7]에서 공통적이지 않은 피치클래스의 수를 의미한다. 또한 7도 음과 부가적인 텐션 음은 별도의 추가 값이 더해지게 된다.

본 논문에서는 특정 조  $k$ 의 코드  $x$ 의 텐션 값을 구할 때, 특정 조  $k$ 의 가장 기본이 되는 토닉 코드  $k_b$ 에서 코드  $x$ 와의 거리가 멀수록, 이 코드의 텐션 값은 높아진다고 가정하였다.

## 2.2 츠(Chew)의 이론 응용

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

$k$ 조의 코드  $x=\{p_1, p_2, \dots\}$ 가 있을 때, 츠의 모델에서 각 음들  $p_1, p_2, \dots$ 과 조  $k$ 는 각각 3D 점  $v_1, v_2, \dots$ 과  $w$ 로 나타낼 수 있다. 이 방법에서 코드  $x$ 의 텐션 값은 조를 나타내는 점  $w$ 에서 각 음들을 나타내는 점들  $v_i$ 간의 거리의 합으로 나타난다. 즉 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$d(x) = \sum_i \|v_i - w\| \quad (2)$$

그림 1은 C조에서 C코드의 거리를 구하는 모습을 보여준다.

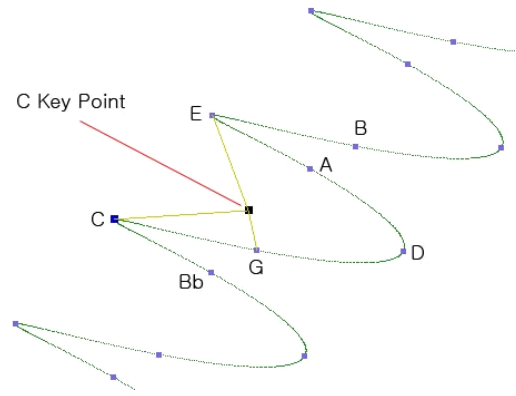


그림 1. 츠의 나선형 배열에서 C코드 거리 구하기

## 2.3 코드의 구성 음과 음정을 고려한 방법

코드는 2개 이상의 구성 음으로 되어있으며, 이 음들 사이에 음정이 존재한다. 각 코드의 특성은 코드의 구성 음들이 만드는 음정의 성질에 따라서 결정된다. 이 방법은 각 구성 음들의 불안정성과 음정의 불안정성의 합으로 코드의 불안정성을 나타내는 방법이다.

심리학자 크럼한슬(Krumhansl)은 특정 조의 스케일 상에 있는 12개의 음들의 안정성을 프로브 톤(probe tone) 기술을 이용하여 수치적으로 구하였다[6] (표 1 참조). 각 코드는 여러 구성 음들로 이루어지고 텐션은 이 구성 음들을 통해 만들어지므로 이 안정성정도를 이용하여 코드의 텐션을 구할 수 있다.

표 1. 크럼한슬이 제시한 C코드 스케일에서 각 음들의 안정성 [6]을 이용하여 각 음들의 불안정성을 나타낸 표

	C	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	B
Major	0	100	70	97	48	55	94	27	97	67	100	85
Minor	0	96	73	27	96	73	100	42	62	96	77	85

또한 코드의 텐션은 각 구성 음들 못지않게 각 구성 음들 간에 이루는 음정에서도 크게 영향을 받게 된다. 음정들 간의 불안정성은 전통적인 음악이론에 따른 음정들 간의 화성 조화 순위를 이용하여 얻어질 수 있다. 우리는 다음과 같은 순서의 음정에 선형적으로 증가하는 값을 대입하였다 (표 2 참조).

완전1도-완전5도-완전4도-장3도-장6도-단3도-단6도-장2도-단7도-장7도-단2도-트라이톤(tritone).

표 2. 각 음정에 따른 불안정성도. (P:완전, m:단, M:장, TRI:트라이톤)

interval	P1	m2	M2	m3	M3	P4	TRI	P5	m6	M6	m7	M7
value	0	91	64	46	27	18	100	9	55	36	73	82

이 방법에서 코드의 텐션은 다음과 같이 구해진다.

$$d(x) = w_1 \sum s + w_2 \sum r \quad (3)$$

여기에서  $s$ 는 코드  $x$ 의 각 구성 음들의 불안정성의 값(표 1)이며,  $r$ 은 음정의 불안정성에 따른 값(표 2)이다. 가중치  $w_1, w_2$ 를 이용하여 두 요소의 비율을 조절 할 수 있다(본 논문에서는 두 요소가 동일한 비율로 코드  $x$ 의 텐션에 영향을 미치도록 하였다).

## 2.4 세 가지 방법 비교

본 논문에서는 토닉 코드 8개, 서브도미넌트 코드 7개, 도미넌트 코드 9개, 총 24개의 코드를 사용하였다. 앞서 소개한 3가지 방법으로 각각의 코드들의 텐션의 양을 구하여 이를 정렬하였다. 표 3에 각 코드들의 텐션값과 이에 따른 순위를 토닉 - 서브도미넌트 - 도미넌트의 3가지 종류로 나누어 나타내었다.

표 3. 3가지 텐션 측정 방법에 따른 24개의 코드의 텐션 값과 순위.

러달의 방법		추의 방법		구성음 - 음정의 방법	
코드	텐션값	코드	텐션값	코드	텐션값
C	0.00	C	0.00	C	0.00
CM7	0.07	Am	0.06	Am	0.08
C6	0.21	Em	0.11	Em	0.17
Am	0.50	C6	0.26	C6	0.35
Am7	0.57	Am7	0.26	Am7	0.37
Em	0.57	CM7	0.32	CM7	0.38
Em7	0.64	Em7	0.37	Em7	0.55
F#m7-5	0.86	F#m7-5	0.48	F#m7-5	0.67
F	0.36	F	0.13	F	0.09
FM7	0.43	Dm	0.18	Dm	0.24
F6	0.57	FM7	0.37	FM7	0.41
Dm	0.57	F6	0.39	F6	0.45
Fm6	0.64	Dm7	0.39	Dm7	0.47
Dm7	0.64	BbM7	0.56	BbM7	0.66
BbM7	0.71	Fm6	0.59	Fm6	0.66
G	0.36	G	0.13	G	0.22
G7	0.43	Bm-5	0.24	G7sus4	0.42
G7sus4	0.57	G7sus4	0.33	Bm-5	0.47
Bm-5	0.79	G7	0.44	G7	0.73
G7-5	0.79	Bm7-5	0.50	Bm7-5	0.81
G7+5	0.79	G7+5	0.58	G7+5	0.86
Bm7-5	0.86	Bdim7	0.70	Db7	0.94
Bdim7	0.86	G7-5	0.74	G7-5	0.95
Db7	1.00	Db7	1.00	Bdim7	1.00

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 4는 서브도미넌트 코드가 토닉 코드보다 안정된 텐션 값이 나온 경우,

도미넌트 코드가 서브도미넌트 혹은 토닉 코드보다 안정된 텐션 값이 나온 경우의 개수를 측정한 결과이다.

표 4. 텐션을 측정하는 세 가지 방법에서 토닉, 서브도미넌트, 도미넌트 코드의 순서가 바뀐 개수

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

즉 구성음-음정을 고려한 방법이 가장 정확하게 토닉-서브도미넌트-도미넌트 순서에 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. 우리의 실험에서 3가지 방법의 인지적인 차이는 사소한 것으로 밝혀졌다. 따라서 3가지 방법 모두 텐션의 값을 측정하는데 유용하게 사용될 수 있다.

## 3. 텐션 곡선의 구성 및 수정

### 3.1 텐션 곡선의 구성

텐션 곡선을 구성할 때 우리는 토닉 코드는 서브도미넌트 코드들보다 텐션 값이 낮다고 가정하였으며, 서브도미넌트 코드는 도미넌트 코드들보다 텐션 값이 낮다고 가정하였다. 그리고 각 코드 패밀리(chord family) 안에서 각 코드들은 위에서 소개한 방법에 의해 순위가 정해지게 된다. 따라서 각 코드들의 순서는 표 3의 순서를 따르게 된다. 코드들을 코드 패밀리에 따라 모으는 이유는, 각 코드 패밀리마다 조성음악에서 고유한 역할이 있으며 코드 패밀리가 변화하면 느낌의 변화가 크기 때문이다.

원본 곡 안에 모든 코드들의 텐션 값이 구해지면 곡선 보간(interpolation) 기술을 이용하여 이 텐션 값들을 잇는 부드러운 커브를 만들 수 있다. 본 논문에서는 B-스플라인 보간 기술[8]을 이용하여 1D 3차 B-스플라인 곡선  $T(t)$ 를 만들었다. 그림 2에서 간단한 텐션 곡선의 예를 볼 수 있다. 수평(X)축은 시간 파라미터  $t$ 를 나타내며, 수직(Y)축은 텐션 값  $T$ 를 나타낸다.

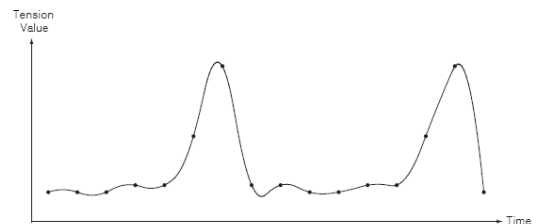


그림 2. 텐션 곡선의 예. 원본 코드는 C-C-C-Am-Am-F-G-Am-Am-C-C-Am-Am-F-G-C 이다.

최근 베티의 논문[9]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

#### 3.2.1 텐션 증가

원본 음악 전체의 텐션은 원본 텐션 커브 텐션  $T(t)$ 를  $T^*(t)=T(t)+(0, \Delta T)$ 로 수정함으로써 변화시킬 수 있다. 여기에서  $\Delta T$ 가 양수이면 전체 텐션이 높아지며,  $\Delta T$ 가 음수이면 전체 텐션이 낮아진다. 그림 3에서 전체적인 텐션을 높이는 텐션 곡선을 볼 수 있다.

새롭게 계산된 텐션 곡선  $T^*(t)$ 는 새로운 코드 진행을 생성하게 된다. 즉 적절한 시간간격(한 마디, 혹은 1/2 마디)으로  $T^*(t)$ 를 샘플링하면 원본 곡에서 변화된 새로운 코드 진행을 얻을 수 있다.

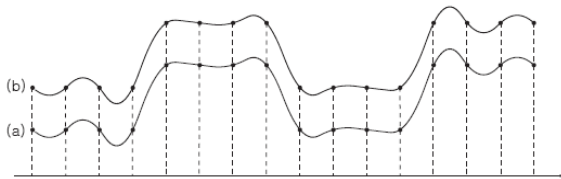


그림 3. 텐션 증가 곡선의 예. (a)는 원본 텐션 곡선, (b)는 텐션이 증가된 곡선.

#### 3.2.2 최적화를 이용한 수정

때로는 음악에서 특정 부분의 텐션의 양만을 조절을 할 필요가 있다. 이는 텐션 곡선이 일정부분에서만 변화하게 함으로써 해결될 수 있다. 우리는 텐션 곡선을 지역적(local)으로 수정하기 위하여 스페이스타임(spacetime) 최적화[10]를 이용하였다. 스페이스타임 수정은 최적화(optimization) 방법을 사용하여 원본 텐션 곡선과 우리의 요구 조건을 만족하는 수정된 텐션 곡선의 차이가 가장 작도록 만드는 방법이다.

원본 텐션 곡선을  $T(t)$ 라고 하자. 우리는 이 텐션 곡선이 특정 시간  $t_*$ 에 우리가 원하는 텐션 값  $v$ 를 갖는, 즉  $T(t_*)=v$  라는 제한조건을 만족하는 텐션 곡선으로 변화시키고 싶다. 그러면 우리는 다음과 같은 최적화식을 이용하여 새롭게 계산되는 곡선  $S(t)$ 를 얻을 수 있다.

$$\text{minimize } (T(t)-S(t))^2 \text{ subject to } T(t_*)=v. \quad (4)$$

이 방법을 통해 우리는 우리가 원하는 지역적인 제약조건을 만족하면서도 원본 곡선과 가장 가까운 곡선을 얻을 수

있다. 즉 특정시간에 특정한 텐션을 느끼게 하면서도 전체의 텐션의 움직임은 원본과 같도록 만들 수 있다. 본 논문에서 곡선  $T(t)$ 와  $S(t)$ 는 3차 B-스플라인 곡선으로 표현된다. 따라서 위 최적화식에서 구하고자 하는 변수는 새롭게 계산되는 곡선  $S(t)$ 의 컨트롤 포인트들이다. 그림 4에서 최적화의 결과를 보여준다.

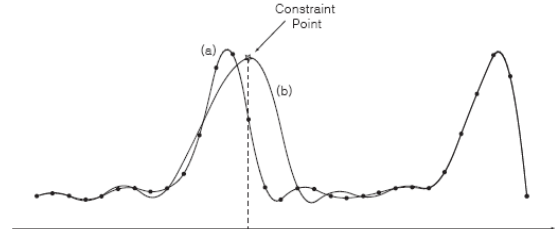


그림 4. 스페이스타임 수정을 이용한 텐션 곡선 수정. (a)는 원본 텐션 곡선이며, (b)는 제한조건(별 모양으로 표시)을 만족하는 수정된 텐션 곡선이다.

#### 3.2.3 두 코드 진행의 몰핑과 블렌딩

우리는 곡선 몰핑 기술을 이용하여 하나의 코드 진행에서 또 다른 코드 진행으로 점차적으로 변화하는 코드들의 변화 단계를 계산할 수 있다. 간단한 몰핑 방법으로 다음과 같은 식이 사용될 수 있다.

$$S(t)=s \cdot T_1(t)+(1-s) \cdot T_2(t), \quad 0 \leq s \leq 1. \quad (5)$$

여기에서  $S(t)$ 는 하나의 코드 진행  $T_1(t)$ 에서 또 다른 코드 진행  $T_2(t)$ 로 점차적으로 변화하는 코드 진행을 의미한다. 파라미터  $s$ 의 값을  $[0..1]$  안에서 변화함으로써 우리는 여러 단계의 중간 코드 진행들을 얻을 수가 있다. 이 방법을 통하여 우리는 두 개의 다른 코드 진행 사이의 부드러운 텐션의 움직임을 생성해낼 수 있다. 그림 5에서 곡선 몰핑의 예를 볼 수 있다.

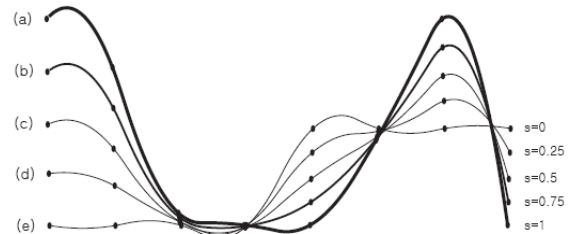


그림 5. 텐션 곡선 몰핑. 코드(a)는 코드(e)로 점차적으로 변화한다. (b)~(d)는 중간코드들이다.

두 개의 다른 코드 진행은 곡선 블렌딩 기술을 사용하여 부드럽게 연결될 수 있다. 우리는 두 텐션 곡선을 연결하는 블렌딩 곡선을 계산하기 위해 허미트(Hermite) 보간 방법[8]을

사용하였다. 그림 6에서 두 코드 진행이 겹쳐지는 부분에서 부드럽게 연결되는 블렌딩 곡선 예를 볼 수 있다.

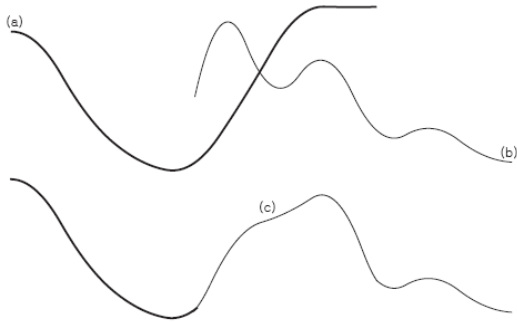


그림 6. 텐션 곡선 블렌딩. 곡선 (c)는 두 곡선 (a), (b)를 부드럽게 연결하는 블렌딩 곡선이다.

### 3.2.4 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 더욱 다양한 코드들이 얻어지게 된다. B-스플라인 곡선의 차수를 높일수록 새롭게 얻어진 코드의 텐션 변화량은 커진다.

그림 7에서 선형적인 방법과 곡선 형태의 방법에 따른 샘플링의 차이를 보여주고 있다. 텐션 곡선 그래프에서 Y축은 텐션의 값을 나타낸다. 즉 그림 7에서 곡선으로 표현된 코드 진행(a)에서는 선형으로 표현된 코드 진행(b)보다 더욱 텐션의 양이 다양한 코드들을 샘플링하여 새로운 코드 진행을 만들 수 있게 된다.

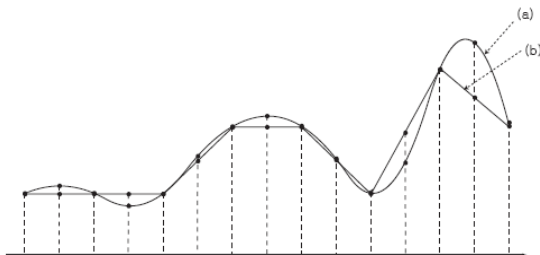


그림 7. 더블 샘플링 예제. 곡선으로 표현된 코드 진행(a)에서는 선형으로 표현된 코드 진행(b)보다 더욱 다양한 코드들을 얻을 수 있다.

## 4. 결과 및 논의

음악에 텐션이 높아지면 보다 긴장되고 모호한 느낌을 받는다. 종종 재즈에서는 의도적으로 텐션이 높은 코드를 사용하기도 한다. 그림 8에서는 텐션 곡선의 높이를 계속해서 상승시킴으로써 보다 긴장되는 느낌의 코드 진행들이 얻어지는 결과를 보여준다.

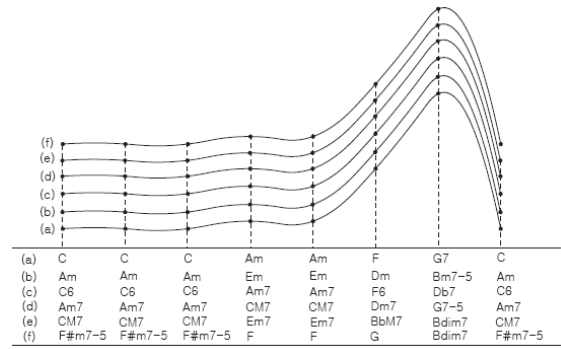


그림 8. (a)는 낮은 긴장도를 갖는 원본 코드 진행. 우리는 이 코드 진행의 텐션 곡선의 높이를 점차적으로 상승시킴으로써 보다 긴장되는 코드 진행(b)~(f)들을 얻을 수 있다.

우리는 실험을 통하여 결과를 검증하였다. 피실험자는 모두 12명이었으며, 음악적 경험이 풍부한 사람이 5명, 그렇지 않은 사람이 7명이었다. 피실험자들은 그림 8에 제시되어 있는 코드 진행을 듣고 각자 느껴지는 긴장도의 차이를 평가하였다. 표 5는 그 결과이다.

표 5. 그림 8의 코드 진행을 피실험자에게 들려준 후 측정된 텐션 값. 상대적인 차이는 -5.0 ~ +5.0 사이의 값을 가지며 값이 클수록 오른쪽의 코드 진행의 텐션의 양이 더욱 크게 느껴짐을 의미함.

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

즉 텐션 곡선의 높이가 상승할수록 인지되는 텐션의 양도 증가함을 알 수 있었다. 특히 Em7 코드와 F#m7-5 코드가 사용되는 (d)~(e), (e)~(f) 단계에서 그 차이가 큰데, 이는 표 3에 제시되어 있는 코드 순위에서 두 코드의 텐션의 값이 높게 나온 결과와도 동일하게 해석할 수 있다.

다음은 스페이스타임 수정을 이용하여 지역적으로 텐션을 높인 결과이다. 그림 9에서 우리는 원본 코드 진행(a)의 6번째 코드(F)를 더욱 텐션이 높은 코드(BbM7)로 변화시키고자 한다. 스페이스타임 수정의 결과로 새롭게 생성된 코드 진행(b)은 6번째 코드 주변에서 적절하게 텐션의 변화를 주게 된다. 그러면서도 이 부분을 제외한 전체적인 텐션의 흐름은 원본 코드와 동일하게 된다. 제한(constraint) 코드 주변에 얼마나 많은 코드들에게 영향을 주는지는 텐션 곡선으로 사용하는 B-스플라인 곡선의 차수에 영향을 받는다. 우리의 실험으로는 3차의 차수를 갖는 B-스플라인 곡선이 텐션 움직임 나타내는 것과 지역적으로 코드를 수정할 때 가장 적절한 곡선임을 알 수 있었다.



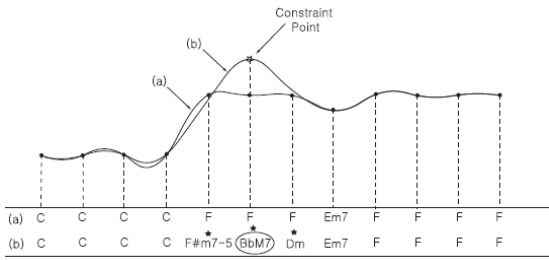


그림 9. (a)는 원본 코드 진행. (b)는 스페이스타임 수정으로 인해 새롭게 생성된 코드 진행. 제한 코드는 타원으로 표시되어 있으며, 별 표시(\*)가 있는 코드들은 스페이스타임 수정 결과 변화된 코드들이다.

다음은 곡선 물뿔 기술을 사용하여 하나의 코드 진행에서 점차적으로 다른 코드 진행으로 변화하는 과정을 나타낸 예제이다. 그림 10에서 코드 진행(a)는 코드 진행(e)로 점차적으로 변화해간다.

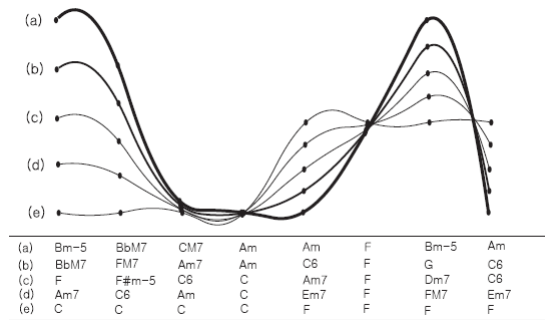


그림 10. 하나의 코드 진행(a)에서 다른 코드 진행(e)으로 점차 변화해가는 예제. (b)~(d)는 중간 단계에서 생성된 코드 진행들이다.

마지막으로, 곡선 블렌딩 기술을 사용하여 두 코드 진행이 부드럽게 연결되는 예제를 보여준다. 그림 11과 그림 12에서 두 텐션 곡선은 서로 겹쳐지는 부분에서 새로운 블렌딩 곡선을 사용하여 부드럽게 연결된다. 블렌딩 곡선으로 새롭게 생성된 코드 진행은 두 개의 다른 코드 진행의 텐션의 움직임을 부드럽게 연결하는 효과가 있다.

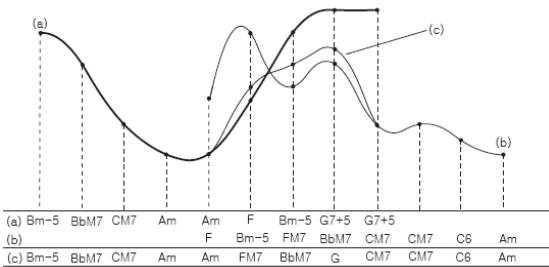


그림 11. 블렌딩 곡선의 예 1. 두 코드 진행(a)(b)에 서로 겹쳐지는 부분을 부드럽게 연결하는 코드 진행(c). 결과 음악은 두 코드 진행이 부드럽게 연결되는 효과가 있다.

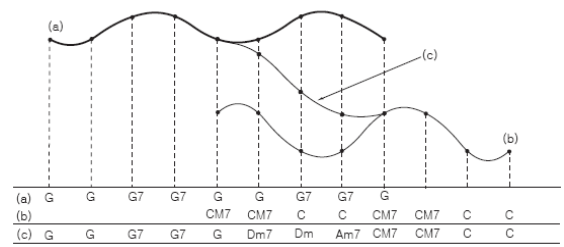


그림 12. 블렌딩 곡선의 예 2. 두 개의 평범한 코드 진행(a)(b)와 두 코드 진행을 블렌딩하는 코드 진행(c). 이 예제에서는 어떻게 블렌딩 곡선(c)이 원본 코드 진행에는 없던 코드들을 새롭게 만들어 내어 두 코드 진행사이를 부드럽게 연결하는 지를 보여주고 있다.

## 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. 또한 두 코드 진행 사이의 부드러운 연결 방법을 제한하였다.

B-스플라인 곡선을 이용하여 만들어진 코드 진행이 때로는 약간 어색하게 들리는 경우가 있다. 이는 본 연구에서 코드 진행에 대한 여러 가지 음악적 법칙 등이 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] F. V. Nielson, *Oplevelse af Musikalsk Spænding (The Experience of Musical Tension)*, Akademisk Forlag, Copenhagen, 1983.
- [2] C.K. Madson and W.E. Fredrickson, "The Experience of Musical Tension: A Replication of Nielsen's Research Using the Continuous Response Digital Interface," *Journal of Music Therapy*, Vol.30, pp.46-63, 1993.
- [3] C.L. Krumhansl, 1996. "A Perceptual Analysis of Mozart's Piano Sonata K.282: Segmentation, Tension, and Musical Ideas," *Music Perception*, Vol.13, No.3, pp.401-432, 1996.
- [4] F. Lerdahl, "Calculating Tonal Tension," *Music Perception*, Vol.13, p.319-363, 1996
- [5] E. Chew, "Towards a Mathematical Model of Tonality," Doctoral dissertation, MIT, Cambridge, MA, 2000.

- [6] C.L. Krumhansl and R.N. Shepard, "Quantification of the Hierarchy of Tonal Functions within the Diatonic Context," *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, Vol 5, pp.579-594, 1979.
- [7] D. Deutsch and J. Feroe, "The Internal Representation of Pitch Sequences in Tonal Music," *Psychological Review*, Vol.88, pp.503-522, 1981.
- [8] E. Cohen, R.F. Riesenfeld and G. Elber, *Geometric Modeling with Splines: An Introduction*, Natick, MA, 2001.
- [9] B. Battey, "Bezier Spline Modeling of Pitch-Continuous Melodic Expression and Ornamentation." *Computer Music Journal*, Vol.28, No.4, pp.25-39, 2004.
- [10] A. Witkin and M. Kass, "Spacetime Constraints," *ACM Proceedings of SIGGRAPH*, pp.159-168, 1998.



자통신연구원 가상현실연구개발센터 연구원. 2003년 3월 ~ 현재 주식회사 SOVICO 기술마케팅 이사, 2004년 3월 ~ 2005년 8월 서울예술대학 디지털아트학부 겸임교수, 2005년 9월 ~ 현재 연세대학교 컴퓨터과학과 겸임교수. 관심분야는 대규모 멀티미디어 시스템, Show Control System, Entertainment Engineering임.



#### 유민준

1999년 3월 ~ 2004년 2월 아주대학교 정보 및 컴퓨터공학과 졸업(공학사) 및 수학과 졸업(이학사). 2004년 3월 ~ 2006년 2월 연세대학교 컴퓨터과학과 졸업(공학석사). 2006년 3월 ~ 현재 연세대학교 컴퓨터과학과 박사과정 재학 중. 관심분야는 Music Technology 임.



#### 이인권

1985년 3월 ~ 1989년 2월 연세대학교 전산과학과 졸업(이학사). 1989년 3월 ~ 1992년 2월 포항공과대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학석사). 1992년 3월 ~ 1997년 2월 포항공과대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학박사). 1997년 9월 ~ 1999년 2월 비엔나 공대 박사 후연구원. 1999년 2월 ~ 2001년 2월 포항공과대학교 정보통신연구소 선임연구원. 2001년 3월 ~ 2003년 8월 아주대학교 미디어학과 교수. 2003년 8월 ~ 현재 연세대학교 컴퓨터과학과 교수. 관심분야는 컴퓨터 그래픽스와 컴퓨터 음악 임.

#### 권대현

1988년 3월 ~ 1991년 2월 동국대학교 전자계산학과 졸업(공학사). 1995년 9월 ~ 1997년 7월 조지워싱턴 대학교 전자전산공학과 졸업(공학석사). 1998년 1월 ~ 2001년 9월 한국전