

악곡구조 분석과 활용

서 정 범[†] · 배 재 학^{††}

요 약

본 논문에서는 음악수사법에 기초하여 악곡요약을 구현할 새로운 악곡구조 분석 방법론을 소개한다. 이 방법론에서는 악곡 구성요소 간의 유사도 분석을 통해 악곡의 결합구조를 파악한 뒤, 결합구조에서 해당 곡이 취하고 있는 음악양식을 추정한다. 그 후 악식의 음악적 수사구조가 가지는 전통적인 특징과 표현기법을 근거로 악곡구조 안에서 주요선율을 추출한다. 문서요약의 경우와 같이 주어진 악보에서 추출된 주요선율은 그 곡의 요약이라고 간주할 수 있다. 개발한 악곡구조 분석 방법론은 대중음악 사례를 통하여 그 효용성을 가늠해 보았다.

키워드 : 악곡분석, 악곡요약, 음악수사법, 악식, 주제선율, 유사도 분석

Music Structure Analysis and Application

Jung-Bum Seo[†] · Jae-Hak J. Bae^{††}

ABSTRACT

This paper presents a new methodology for music structure analysis which facilitates rhetoric-based music summarization. Similarity analysis of musical constituents suggests the structure of a musical piece. We can recognize its musical form from the structure. Musical forms have rhetorical characteristics of their own. We have utilized the characteristics for locating musical motifs. Motif extraction is to music summarization what topic sentence extraction is to text summarization. We have evaluated the effectiveness of this methodology through a popular music case study.

Key Words : Music Analysis, Music Summarization, Musical Rhetoric, Musical Form, Motif, Similarity Analysis

1. 서 론

현재 영화와 게임, 대중음악 등의 콘텐츠 산업이 새로운 소프트웨어 산업을 넘어 국방출력의 중요한 원동력으로 인식되고 있다. 디지털 신호처리 기술의 괄목할 만한 발전은 인터넷의 상용화, PC의 고성능화와 대용량 저장장치의 일반화와 함께 디지털 콘텐츠 시장의 성장을 더욱 가속시키고 있다. 디지털 콘텐츠 중에서 음악은 그 자체로서 또는 멀티미디어 저작물에 삽입되는 효과음과 배경음악으로서 콘텐츠를 즐기는 사람의 흥미와 몰입을 유발하는 필수 불가결적인 존재이다. 이에 따라 음악검색 분야도 정보검색의 유망한 분야로 그 자리를 차지하게 되었다. 현재는 음악 인식, 분류 및 검색 응용분야에 대한 이용자의 관심고조와 실용화 연구의 진척에 따라 새로운 상용 서비스 시장 개척도 이루어지고 있다.

음악검색의 대표적인 개발사례로는 해외의 경우, 300만곡

이상의 음악 식별자 라이브러리를 갖춘 Auditude의 ID3Man (www.auditude.com), 이와 비슷한 도구로서 MoodLogic (www.moodlogic.com), 그리고 Muscle Fish의 음악 검색 프로그램 Soundfisher (www.soundfisher.com) 등이 있다. 이와 함께 노래의 일부분을 흥얼거림(허밍, Humming)으로써 곡을 검색(Query By Humming, <http://querybyhum.cs.nyu.edu/>)하는 기술과, 분위기가 비슷한 음악의 검색 및 비교에 대한 연구 역시 활발히 진행되고 있다. 국내의 경우, KTF사의 서치 뮤직 (www.ktf.com) 서비스가 인기를 끌고 있다. 이것은 가입자가 휴대폰을 이용해 음악을 전송하면 곡명과 가수정보를 단문 서비스(SMS)로 보내주는 서비스이다.

음악 인식, 분류 및 검색 등과 같은 음악 정보처리 작업의 핵심은 악곡구조의 파악이다[1, 2, 3]. 악곡구조 분석은 전통적으로 음악학 분야에서 다루어 왔다[4, 5, 6, 7]. 최근에는 음악을 녹음한 디지털 음성(Audio) 자료의 양과 그 처리에 대한 수요가 급증함에 따라 컴퓨터공학 분야에서도 음성 신호 처리기술을 적용하여 악곡구조에 대한 정보를 얻고 있다. 이러한 연구는 다음[3]과 같이 음성신호의 특징(Feature)을 추출한 뒤 유사성 정합(Similarity Matching) 계산을 한

※ 본 논문은 정보통신부 정보통신연구진흥원에서 지원하고 있는 정보통신기초연구지원사업의 연구결과입니다.

† 이 논문은 2006년 울산대학교의 연구비에 의하여 연구되었음.

† 정 회 원 : 포스태이타(주)

†† 중신회원 : 울산대학교 컴퓨터·정보통신공학부 교수 (교신처자)
논문접수 : 2006년 9월 14일, 심사완료 : 2007년 1월 10일

다는 것을 기초로 하고 있다.

[2]에서는 음악신호를 음높이, 스펙트럼, 반음계(Chroma) 기반의 특징을 이용하여 분석하고 동적 프로그래밍(Dynamic Programming)을 사용한 유사도 계산으로 악곡의 반복구조를 찾아낸다. [8]에서는 반음계와 자기상관(Autocorrelation) 기법을 활용하여 곡의 선율을 감지하는 방법을 제안하였다. 반복되는 부분(Segment)은 유사한 부분으로 이루어지는 클러스터(Cluster)를 만들어서 발견한다. [9]에서는 소리의 높이(Pitch)와 반음계 특징을 담고 있는 벡터(Vector)를 구성하였다. 반복되는 부분은 벡터의 유사도 계산의 결과로 확인한다. [10]에서는 악곡에서 멜 주파수 캡스트럼 계수(MFCC: Mel-Frequency Cepstral Coefficient)를 추출하여 유사부분의 클러스터를 형성하고 은닉 마코프 모델(HMM: Hidden Markov Model)을 이용해서 반복되는 중요악구(Key Phrase)를 찾아낸다. [11]에서는 음악신호를 옥타브 기반의 스펙트럼 대비(Octave-Based Spectral Contrast) 및 MFCC 특징 매개변수를 이용하여 분석하고 악구(Music Phrase) 경계를 나누었다. 악곡의 중요부분은 출현빈도, 에너지, 위치가중치 등을 고려하여 찾아낸다. [12]에서는 음악신호를 시간과 주파수 차원에서 분석하였다. 특징 매개변수로서 선형예측계수(LPC: Linear Prediction Coefficient)와 MFCC를 채용하였다. 악곡에서 두드러진 부분은 적응형 클러스터링(Adaptive Clustering)으로 그 위치를 계산해낸다.

그러나 음성신호 처리기술에 근거한 악곡구조 분석법은 음악을 처리하는 데 있어서 정보의 손실을 피할 수 없고, 음악적 요소를 직접 활용하는 방법이 아니라는 데 그 한계가 있다. 음성신호 처리기술은 기본적으로 소리의 삼요소 즉, 높이(고저), 크기(강약), 맵시(음색) 등을 인식하고 처리하기 위한 것이다. 음악을 분석하기 위해서는 이보다 한 차원 높은 음색(Timbre), 선율(Melody), 화성(Harmony), 박자(Rhythm) 등과 같은 순수 음악적인 정보가 필요하다.

이에, 본 논문에서는 악곡의 음악적 요소를 직접 표현하고 있는 디지털 악보를 악곡구조 분석작업에 활용하였다. 음악분석은 작곡가가 구사하는 악곡의 결합구조[13] 및 음악적 수사법[14] 파악을 기반으로 한다. 악곡의 결합구조는 선율의 연속적인 유사 연결 구조를 지칭하는데, 해당악곡의 전통적인 음악양식을 결정짓는 역할을 한다. 음악 수사법은 글쓰기의 수사법[15, 16]에서처럼 지은이의 사상과 감정을 효과적으로 전달하기 위한 표현 및 내용 전개 기법을 말한다. 악곡 속에 내포된 수사기법과 결합구조를 파악할 수 있다면 하나의 악곡을 소나타 형식과 같은 내용전개 의미정보를 가진 정형화된 구조로 재구성해낼 수 있다. 이 구조 안에서 악곡을 대표하는 두 마디 길이 정도의 핵심선율을 추출해내어 악곡의 요약도 가능하다. 본 논문에서는 이러한 악곡 분석 과정을 구현할 새로운 방법론을 소개한다.

개발한 악곡구조 분석 방법론은 대중가요 사례를 통하여 그 효용성을 가늠해 보았다. 대중가요는 다른 장르의 악곡보다 음악적 구조가 간단하여서 개발한 방법론과 실험결과 의 유의성 검증에 사람의 직관을 활용하기가 용이하다는 장

점이 있다. 이 장르의 음악은 그 대중성 때문에 가사가 있는 악보를 구하기가 쉽고 연구결과물에 대한 상업화 가능성이 뛰어나다는 장점도 있다. 이와 아울러 특히 기술개발 측면에서는 대중가요가 가사와 악곡으로 구성되어 있어서 문서요약(Text Summarization)[17]과 음악요약(Music Summarization)에 대한 융합기술을 개발하고 검증하며 상업화하는 데 상승적인 효과를 거둘 수 있다는 특징을 지닌다.

2. 이론적 배경

2.1 주제선율

하나의 악곡은 각각 다른 박자와 높낮이를 가진 다수의 음표들로 이루어져 있다. 이러한 음표들이 일정한 규칙과 형식 하에 서로 어우러져 하나 이상의 선율(Melody)을 구성함으로써 악곡의 느낌과 분위기를 형성하게 된다. 한 악곡 내의 선율 중 곡의 여러 부분에 걸쳐 반복적으로 나타나는 일정 패턴의 짧은 선율이 있다. 이를 주제선율(Motif) 또는 동기(Motive)라고 부른다. 보통 동기는 두 마디 정도의 짧은 길이로 구성되며 한 악곡에 두 개 이상 존재하기도 한다.

(그림 1)은 베토벤 “운명교향곡”의 제1 주제부의 선율인데 곡 전체에 걸쳐 반복적으로 나타나며 곡을 대표하는 얼굴 역할을 한다. 또한 이 선율은 청자에게 곡을 기억할 수 있게 하는 중요한 구실을 하기도 한다.

(그림 2)는 들국화의 “돌고 돌고 돌고” 악곡의 일부이다. (그림 2)의 1, 2마디의 선율이 3, 4마디에 반복되어 나타난다. 또한 1, 2마디의 선율이 일부 변형되어 5, 6마디에 나타나고, 이것이 다시 7, 8 마디에서 반복된다.



(그림 1) 베토벤 “운명교향곡”의 제1주제



(그림 2) 들국화의 “돌고 돌고 돌고” 중 일부

(그림 1)과 (그림 2)에서 볼 수 있듯이 동기는 다음과 같은 세 가지 특징이 있다. 첫째, 작곡가가 곡을 만들게 되는 최초의 착상이다. 둘째, 악곡 내에서 자유롭게 반복 또는 변형되어서 악곡의 선율을 만들어 내는 원천이 된다. 셋째, 하나의 악곡이 사람에게 기억되게 하는 대표적인 핵심선율이며 곡 전체를 대표하는 주제역할을 한다.

2.2 음악 수사법과 악곡의 전개구조

수사법(Rhetoric)은 ‘웅변’이라는 뜻의 그리스어에서 나온 말이다. 본래는 ‘웅변을 잘하기 위한 기술, 곧 남을 잘 설득하는 기술’을 뜻하지만 좀 더 포괄적으로는 ‘어떻게 표현하는가’를 탐구하는 학문이라는 의미를 가진다[15, 16]. 이는 글쓴이의 사상과 감정을 보다 효과적으로 나타내기 위한 표현의 기교이다.

어문학에서와 같이 음악에서도 하나의 악곡에서 이야기하고자 하는 작곡가의 사상과 감정을 효과적으로 전달하기 위해 음악수사법[14]을 사용하게 된다. 음악수사법에는 여러 종류가 있지만 대표적으로, 반복법, 삽표 사용법, 불협화음 사용법, 음정 또는 박자 늘임법 등과 같이 구분할 수 있다.

문학작품이 시, 소설, 산문 등의 정형화된 양식을 따르고 있는 것처럼, 음악작품도 각 시대별 사조(思潮) 및 국가와 지역에 따라 다양한 양식으로 나타난다. 이러한 악곡의 다양한 양식을 악식(樂式, Musical Form)[4, 5, 6, 13]이라고 일컫는다. 악식에 따라 악곡의 길이와 전개구조 및 주요주제의 표현기법과 강조기법도 각각 다르게 나타난다.

알려진 악곡의 전통적인 주요 악식으로는 한도막 형식, 두도막 형식, 세도막 형식, 작은 세도막형식, 론도 형식, 소나타 형식, 주제와 변주곡 형식 등이 있다. 또한 두 마디로 이루어진 동기는 이러한 악곡의 형식을 구성하는 최소단위(Unit)로서 두 개의 동기가 모여 하나의 작은악절(악구,



(그림 4) 작은악절의 구조

<표 1> 악식별 결합구조 및 결합단위

악 식	결합구조	결합단위
작은악절	1. A + A' 2. A + B	동기
큰악절	1. A + B + A' + B' 2. A + B + C + A' 3. A + B + C + D 4. A + A' + B + B'	동기
한도막형식	1. A + A' 2. A + B	작은악절
두도막형식	1. A + B + A' + B' 2. A + A' + B + B' 3. A + B + C + A' 4. A + B + C + D	작은악절

Phrase)을 이루며, 다시 이 작은악절이 모여 하나의 큰악절(악절, Period)을 이룬다. 또, 하나의 큰악절은 그 자체로 한도막 형식의 악식으로 일컬어지며 2 ~ 3개의 큰악절이 모여 다시 두도막 형식, 세도막 형식을 구성한다. 이를 (그림 3)에 나타내었다[13].

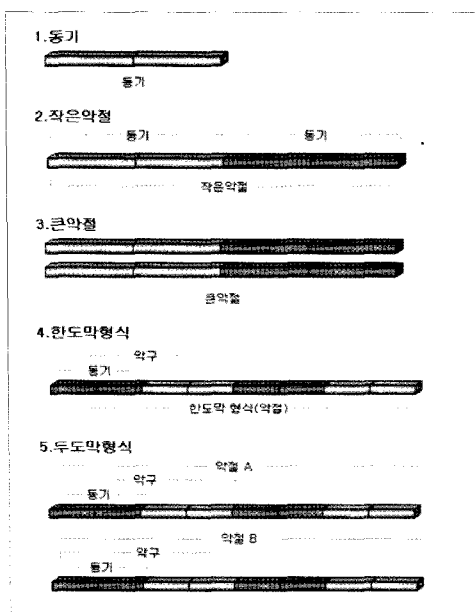
(그림 3)의 작은악절은 최소한의 음악적 의미정보를 지닌 두 동기가 결합된 것이다. 이의 구조에는 A + A' 와 A + B 의 형태가 있다. 첫 번째 A + A' 의 구조는 하나의 동기에 이어 그와 유사한 선율구조를 지닌 다른 동기가 연속되는 형태이다. 두 번째 A + B 구조는 하나의 동기에 이어 완전히 다른 선율구조를 지닌 또 다른 동기가 이어지는 모양이다. (그림 4)는 들국화의 “돌고 돌고 돌고”에서 이에 대한 예를 찾아 본 것이다.

작은악절뿐만 아니라 그 이상의 규모를 가진 악곡에서도 구성요소들이 다양하게 결합하여 전체 악곡구조를 형성한다. 또한 악곡구성의 규모에 따라 결합단위가 동기에서 작은악절로 커지기도 한다. 이를 <표 1>에 정리하였다.

주어진 악곡의 결합구조를 분석해낼 수 있다면 해당 악곡이 취하는 악식을 파악해 낼 수 있을 것이다. 또한 악곡의 악식이 파악되면 해당 악식에 전해 내려오는 전통적인 특징과 표현기법에 근거해 주어진 악곡내의 주요정보를 파악할 수 있고 악곡의 전개구조를 추론해 내는 것이 가능하다.

2.3 소나타형식

앞의 2.2절에서 살펴본 악곡의 양식들이 보다 복잡화되고



(그림 3) 악식구성의 체계

구체화되어 시대별로 다양한 음악양식으로 나타났다. 이중 특별히 주목할 만한 중요한 양식 중 하나로 소나타 형식이 있다. 이 양식은 고전시대에 나타난 기악음악의 대표적 양식으로 18세기 중엽부터 20세기 초까지 기악곡에서 악장을 구성할 때 즐겨 쓰던 양식이다. 또한 이것은 현대 대중음악의 악곡 양식 형성에 기초가 된 매우 중요한 음악적 양식이기도 하다. 현대 대중음악의 다양한 악곡의 형식들은 모두 이 시기의 소나타 형식의 유산을 물려받아 각자 다양한 개성을 지닌 양식들로 발전하여 자리 잡았다 하여도 과언이 아니다.

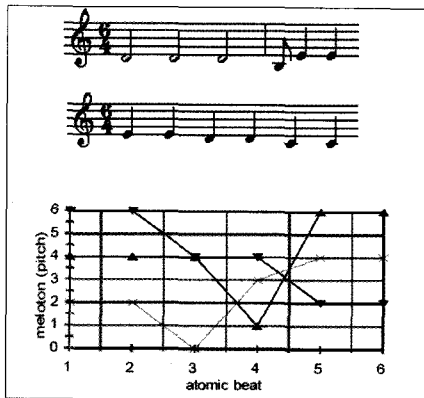
소나타 형식은 다섯 부분으로 구성되어 있다. 첫째, 음악의 시작을 알리는 서주부(Introduction), 둘째, 어떤 음악을 알려줄 것인지 암시하는 제시부(Exposition), 셋째, 본격적인 음악을 들려주는 전개부(Development), 넷째, 음악의 주제선율을 다시 한 번 상기시키는 재현부(Recapitulation), 다섯째, 악곡의 끝을 장식하는 종결부(Coda) 등. 소나타 형식의 곡에 있어서 곡의 주제선율은 대부분 전개부에 반복적으로 나타나며 때때로 재현부에서 다시 한 번 언급된다.

3. 악곡 구성요소 유사도

<표 1>과 같은 악식의 결합구조를 파악하기 위해서는 악곡을 이루고 있는 구성요소간의 유사도를 파악하여야 한다. 이를 위해 본 논문에서는 Conceptual Framework[18]를 활용하여 유사도를 계산하였다. 이 방법은 비교대상이 되는 두 개의 선율을 첫째, 고저(Pitch)의 유사성(Melotonic Similarity), 둘째, 장단(Duration)의 유사성(Chronotonic Similarity), 셋째, 강약(Loudness)의 유사성(Dynamic Similarity) 등의 세 가지 측면에서 고려한다. 그 후, 세 가지 부분 유사성의 비중에 따라 두 선율 간의 전체 유사도를 종합하여 계산해낸다.

3.1 부분 유사도

(그림 5)[18]는 각각 6개의 음표를 가진 두 선율 간의 고저(Pitch)의 유사성(Melotonic Similarity)을 분석한 것이다. 그래프에는 두 선율의 음높이의 변화가 꺾은선으로 나타나 있다. 또한 X 표시가 된 꺾은선은 두 선율 간 최종적인 음고 차이값을 나타낸다.



(그림 5) 고저의 유사도 분석

고저의 유사도를 계산하기 위해, 먼저 그래프에 나타난 두 선율 $f_1 = \{<1, 4>, <2, 4>, <3, 4>, <4, 1>, <5, 6>, <6, 6>\}$ 과 $f_2 = \{<1, 6>, <2, 6>, <3, 4>, <4, 4>, <5, 2>, <6, 2>\}$ 의 고저 차이를 계산한다. 이렇게 얻은 6개의 결과 값 <2, 2, 0, 3, 4, 4>를 (수식 1)[18]의 유사도 계산식($n = 6$)에 대입함으로써 두 선율이 고저 차원에서 어느 정도로 유사한지를 계산한다. 이 때 k 는 경험적 상수(Empirical Constant)인데 본 논문의 실험에서는 1로 정하였다.

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n e^{-k \cdot (f_1(x_i) - f_2(x_i))^2}}{n}$$

(수식 1) 유사도 계산식

장단 및 강약의 유사성의 경우도 고저의 유사도 계산과 흡사한 방식으로 얻을 수 있다[18].

3.2 전체 유사도

고저의 유사도 S_m , (2) 장단의 유사도 S_c , 그리고 (3) 강약의 유사도 S_d 등을 계산한 다음에는 이들을 종합하여 두 선율 간의 전체 유사도 값을 구한다. 그 계산식은 아래의 (수식 2)[18]와 같다.

$$S = \mu S_m + \chi S_c + \delta S_d$$

(수식 2) 전체 유사도 계산식

여기에서 μ , χ , 그리고 δ 는 모두 경험적 상수이다. 이 식으로 같은 선율에 대하여 유사도 계산을 하면 그 값이 1이 되고, 차이가 나는 선율일수록 계산결과는 0에 근접하게 된다.

본 논문의 실험에서는 위의 계산식에서 소리의 강약에 따른 유사도는 제외하고 고저와 장단의 유사도만을 취하였다. 그 이유는 두 유사도가 음색(Timbre), 선율(Melody), 화성(Harmony), 박자(Rhythm) 등과 같은 순수 음악적인 요소 중에서 선율, 화성, 그리고 박자에 직접적인 관계를 가진 것들이기 때문이다.

4. 악곡 전개구조 파악

악곡의 음악적 수사구조를 파악하기 위해서는 곡이 따르고 있는 악식구성을 먼저 알아내어야 한다. 본 논문에서는 제3장에서 소개한 Conceptual Framework를 이용하여 악곡 구성요소들의 유사도를 계산하였다. 이 유사도에 근거하여 악곡의 결합구조를 밝혀낼 수 있고 해당 악곡이 취하는 악식을 결정할 수 있다. 이러한 과정을 들국화의 “돌고 돌고 돌고”에 적용해 보았다.

4.1 동기단위 악곡분리

먼저 (그림 6)과 같이 “돌고 돌고 돌고” 악곡 전체를 최소한의 음악적 의미를 지닌 두 마디 단위의 동기들로 분리

돌고돌고돌고
틀국화

헤 가 뜨 고 해 가 지 면
달 이 뜨 고 다 시 해 가 뜨 고
꽃 이 피 고 새 가 날 고
을 적 이 고 바 바 지 고
결 는 사 람 뉘 는 사 람
서 로 다 른 게 같 은 시 간 속 에
다 시 돌 고 돌 고

(그림 6) “돌고 돌고 돌고”의 동기별 분리 (일부)

4.2 음의 고저 및 장단의 수치화

다음으로 Conceptual Framework에 기반을 둔 고저 유사도 측정을 위하여 각 동기내 음표들의 음높이를 고유한 수치로 나타내었다. 이를 위해 (그림 8)과 같이 피아노 건반에 고유한 높이 값을 부여하였고 이에 따랐다.

그 다음에는 장단의 유사도를 측정하기 위해 음표와 쉼표가 나타내는 고유한 박자 값을 (그림 9)와 (그림 10)과 같이 수치화하였다. 쉼표의 경우 고유한 박자 값은 있으나 음높이 값은 없으므로 그 값을 모두 0으로 정하였다.

앞에서 본 (그림 8)에서 (그림 10)와 같이 만들어진 체계 안에서 “돌고 돌고 돌고” 악곡 전체를 이루는 음표들에 대한 고저 값과 장단 값을 모두 나타내면 각각 (그림 11), (그림 12)와 같다.

(그림 8) 음높이 값이 부여된 피아노 건반

(그림 7) “돌고 돌고 돌고” 1 ~ 14 번 동기별 번호 부여 및 동기별 음표수

(그림 9) 장단 값 부여를 위한 음표의 박자 수치

(그림 10) 장단 값 부여를 위한 쉼표의 박자 수치

하였다. 단, 곡의 1절과 2절 부분은 가사를 제외한 선율구조가 완전히 동일하다. 그래서 1절 연주 후 진행되는 2절 연주는 곡의 연속이라 간주하여 1절 선율 후반부에 이어 붙여 하나의 큰 악보로 간주하였다. 또한 본 악보의 마지막 반복적인 페이드아웃 부분은 후렴구에 해당하는 부분으로서 곡이 끝나는 느낌을 주기 위한 작곡기법의 일부이므로 분석대상에서 제외하였다.

이상과 같이 나누어진 악곡의 동기들에 각각 고유번호를 부여하였고 각 동기별 음표 개수를 세었다. 그 결과가 (그림 7)에 있다.

7	0	25	27	29	27	25				
6	0	25	24	22	22	22				
10	0	25	21	23	27	25	25	27	25	25
8	0	25	25	24	24	22	22	22		
7	0	22	20	20	22	25	25			
6	0	29	29	29	29	29				
8	0	25	25	25	24	25	25			
7	0	27	27	27	27	25	21			
7	0	24	25	22	22	29	29			
5	0	22	24	25	24					
8	0	25	27	25	29	27	29	29		
8	0	25	25	24	24	22	22	22		
5	29	30	30	29	29					
4	0	29	24	24						
5	0	24	25	22	22					
6	0	22	24	25	24					
4	0	27	29	29						
4	0	28	30	32	25	25				
6	0	30	30	30						
6	0	30	32	32	32	0				
7	0	25	27	29	27	25	25			
6	0	25	24	22	22	22				
10	0	25	27	29	27	25	25	27	25	25
8	0	25	25	24	24	22	22	22		
7	0	22	20	20	22	25	25			
6	0	29	29	29	29	29				
8	0	25	25	25	25	24	25	25	25	
7	0	27	27	27	27	25	27			
7	0	25	27	27	29	29	29			
8	0	22	25	25	27	29	29			
8	0	25	25	24	24	22	22	22		
5	29	30	30	29	29					
4	0	29	24	24						
5	0	24	25	22	22					
5	0	22	24	25	24					
6	0	25	30	32	25	25				
4	0	27	29	29						
4	0	29	30	30						
6	0	30	32	32	32	0				
9	0	0	29	29	27	27	29	29	0	
7	0	0	29	29	29	24	0			
6	29	29	29	29	29	0				
6	27	27	27	27	29	30				

(그림 11) “돌고 돌고 돌고”의 고저 값

7	3.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	3.0			
6	3.0	2.0	2.0	1.0	1.0	3.5				
10	3.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	2.0
8	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.5			
7	3.0	2.0	1.0	1.0	1.5	0.0	3.5			
6	3.0	2.0	2.0	3.0	3.0	3.0				
8	3.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.5	3.0			
7	3.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.5			
7	3.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	3.0			
5	3.0	2.0	2.0	3.5						
8	3.0	2.0	1.0	1.0	2.0	1.0	3.0			
8	3.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.5			
5	3.0	3.0	2.5	1.0	3.0					
4	3.0	2.5	1.0	4.0						
5	3.0	1.0	2.0	1.0	4.0					
5	3.0	2.5	0.0	3.0	4.0					
6	3.0	2.0	2.0	2.5	1.0	3.0				
4	3.0	2.5	1.0	4.0						
4	2.0	2.5	1.0	4.0						
6	3.0	2.5	1.0	4.0	3.0	3.0				
7	3.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	3.0			
6	3.0	2.0	2.0	1.0	1.0	3.5				
10	3.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	2.0
8	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.5			
7	3.0	2.0	1.0	1.0	1.5	0.0	3.5			
6	3.0	2.0	2.0	3.0	3.0	3.0				
8	3.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.5	3.0			
7	3.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.5			
7	3.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	3.0			
5	3.0	2.0	2.0	2.0	3.5					
9	3.0	2.0	1.0	1.0	2.0	1.0	3.0			
8	3.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.5			
5	3.0	3.0	2.5	1.0	3.0					
4	3.0	2.5	1.0	4.0						
5	3.0	1.0	2.0	1.0	4.0					
5	3.0	2.5	0.0	3.0	4.0					
6	3.0	2.0	2.0	2.5	1.0	3.0				
4	3.0	2.5	1.0	4.0						
4	2.0	2.5	1.0	4.0						
6	3.0	2.5	1.0	4.0	3.0	3.0				
4	3.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	3.0		
7	3.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	2.0	3.0	
6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	2.0			
6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	2.0			

(그림 12) “돌고 돌고 돌고”의 장단 값

4.3 음표수 보정

Conceptual Framework을 이용해 모든 동기들의 유사도를 구하기 위해서는 각 동기별 음표 개수가 일치하여야 한다. 이에 유사도 계산에 앞서 “돌고 돌고 돌고” 악곡 내의 각 동기별 음표수 보정작업을 실시하였다. 그 첫 예로 (그림 13)과 같은 경우, 작은 악절내의 두 번째 동기의 음표수를 첫 번째 동기의 음표수와 일치시키기 위하여 두 번째 동기의 5번 음표의 3박자를 각각 2박자와 1박자로 나누었다. 음표수 보정의 두 번째 예로서 (그림 14)의 작은악절과 같은 경우, 첫 번째 동기의 2번 음표와 3번 음표는 각각 8분 음표이나 음의 높이가 같아서 4분 음표 하나로 병합하였다. 그 결과 두 번째 동기의 음표 개수와 일치시킬 수 있다. 음표수 보정작업에 있어 두 개 이상의 음표를 병합하는 작업은, 각 음표 고유의 높이 값을 상실하지 않기 위해서 음표들의 음높이 값이 같은 경우만으로 한정하였다.

한편, 쉼표의 경우도 (그림 15)와 같이 각 쉼표의 장단 값을 고려하여 다수의 쉼표를 합치거나 하나의 쉼표를 여러 개로 분리하였다. 쉼표의 경우, 음높이 값이 없으므로 음표의 경우보다 더 자유롭게 병합과 분리를 실시할 수 있다.

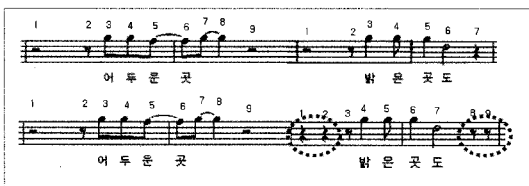
위와 같은 방법으로 “돌고 돌고 돌고” 악곡 전체에 대해 고저 값과 장단 값에 따른 음표 개수 보정작업을 실시하였다. 그 결과 각 동기별로 8개의 음표수를 가진 수치화된 악보를 (그림 16), (그림 17)과 같이 얻을 수 있었다.



(그림 13) A + A' 구조의 음표수 보정



(그림 14) A + B 구조의 음표수 보정



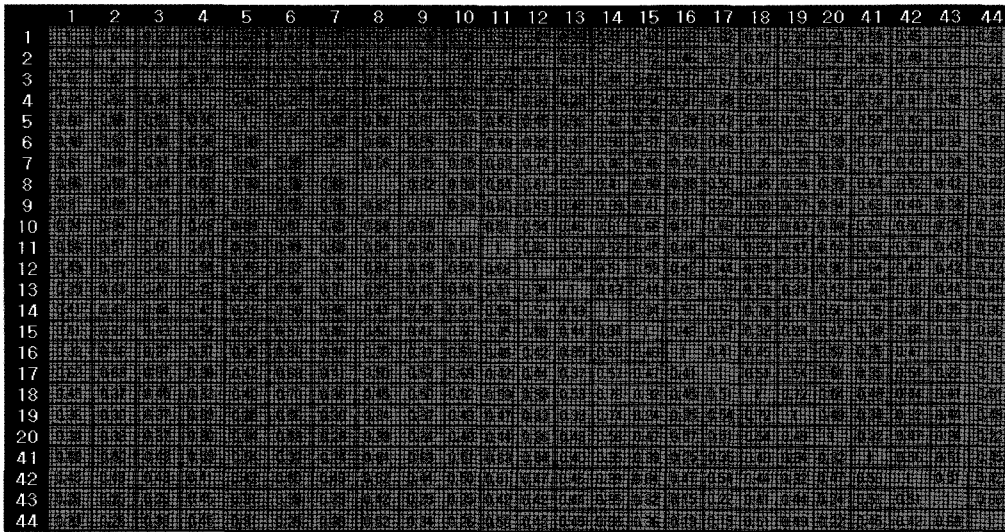
(그림 15) 쉼표의 음표수 보정

0	0	25	27	29	27	25	25	22		
0	0	25	24	22	22	22	22	22		
0	0	25	27	29	27	25	27	25		
0	0	25	25	24	24	22	22	22		
0	0	22	20	20	22	25	25	25		
0	0	23	23	29	25	23	29	29		
0	0	25	25	25	24	25	25	25		
0	0	27	27	27	25	27	27	27		
0	0	25	27	29	27	29	29	29		
0	0	25	24	22	25	25	25	25		
0	0	25	27	25	29	27	29	29		
0	0	25	25	24	24	22	22	22		
29	30	32	29	29	29	29	29	29		
0	29	24	24	24	24	24	24	24		
0	24	25	22	22	22	22	22	22		
0	22	24	25	24	24	24	24	24		
0	29	30	32	25	25	25	25	25		
0	27	29	29	29	29	29	29	29		
0	29	30	30	30	30	30	30	30		
0	30	32	32	0	0	0	0	0		
0	25	27	29	27	25	25	25	25		
0	0	25	24	22	22	22	22	22		
0	0	25	27	29	27	25	27	25		
0	0	25	25	24	24	22	22	22		
0	22	20	20	22	25	25	25	25		
0	29	29	29	29	29	29	29	29		
0	25	25	25	24	25	25	25	25		
0	27	27	27	25	27	27	27	27		
0	25	27	29	27	29	29	29	29		
0	25	24	22	25	25	25	25	25		
0	25	27	25	29	27	29	29	29		
0	25	25	24	24	22	22	22	22		
29	30	32	29	29	29	29	29	29		
0	29	24	24	24	24	24	24	24		
0	24	25	22	22	22	22	22	22		
0	29	24	24	24	24	24	24	24		
0	24	25	22	22	22	22	22	22		
0	22	24	25	24	24	24	24	24		
0	29	30	32	25	25	25	25	25		
0	27	29	29	29	29	29	29	29		
0	29	30	30	30	30	30	30	30		
0	30	32	32	0	0	0	0	0		
0	25	27	29	27	25	25	25	25		
0	0	25	24	22	22	22	22	22		
0	0	25	27	29	27	25	27	25		
0	0	25	25	24	24	22	22	22		
0	22	20	20	22	25	25	25	25		
0	29	29	29	29	29	29	29	29		
0	25	25	25	24	25	25	25	25		
0	27	27	27	25	27	27	27	27		
0	25	27	29	27	29	29	29	29		
0	25	24	22	25	25	25	25	25		
0	25	27	25	29	27	29	29	29		
0	25	25	24	24	22	22	22	22		
29	30	32	29	29	29	29	29	29		
0	29	24	24	24	24	24	24	24		
0	24	25	22	22	22	22	22	22		
0	22	24	25	24	24	24	24	24		
0	29	30	32	25	25	25	25	25		
0	27	29	29	29	29	29	29	29		
0	29	30	30	30	30	30	30	30		
0	30	32	32	0	0	0	0	0		
0	0	29	29	27	29	0	0	0		
0	0	29	29	24	0	0	0	0		
29	29	29	29	0	0	0	0	0		
27	27	27	29	30	30	30	30	30		

(그림 16) “돌고 돌고 돌고”의 고저 값에 따른 음표수 보정

0	3.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	2.0	2.0		
0	3.0	2.0	2.0	1.0	1.0	2.0	2.0	2.0		
0	3.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	0.0	2.25		
0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.5		
0	3.0	2.0	1.0	1.0	1.5	0.0	3.0	2.0		
0	3.0	2.0	2.0	3.0	3.0	2.0	1.0	1.0		
0	3.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.5	3.0		
0	3.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	1.0	
0	3.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	2.0	2.0		
0	3.0	2.0	2.0	1.0	1.0	2.0	2.0	2.0		
0	3.0	2.0	2.0	1.0	1.0	2.0	2.0	2.0		
0	3.0	2.0	1.0	1.0	1.0	2.0	1.0	3.0		
0	3.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.5	
0	3.0	2.0	2.0	3.0	3.0	2.0	1.0	1.0		
0	3.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.5	3.0	
0	3.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	1.0	
0	3.0	2.0	2.0	1.0	1.0	2.0	2.0	2.0		
0	3.0	2.0	2.0	1.0	1.0	2.0	2.0	2.0		
0	3.0	2.0	1.0	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0	3.0	
0	3.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.5		
0	3.0	3.0	2.5	1.0	2.0	1.0	0.0	0.0		
0	3.0	2.5	1.0	3.0	2.0	1.0	0.0	0.0		
0	3.0	2.5	1.0	3.0	2.0	1.0	0.0	0.0		
0	3.0	1.0	2.0	1.0	3.0	2.0	1.0	1.0		
0	3.0	2.5	0.0	0.0	3.0	2.0	1.0	1.0		
0	3.0	2.0	2.0	2.5	1.0	2.0	1.0	1.0		
0	3.0	2.5	1.0	3.0	2.0	1.0	0.0	0.0		
0	2.0	2.5	1.0	3.0	2.0	1.0	0.0	0.0		
0	3.0	2.5	1.0	4.0	3.0	2.0	1.0	1.0		
0	3.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.5	3.0		
0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	3.0	1.0	1.0		
0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	1.0	0.0	0.0		
0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	1.0	0.0	0.0		

(그림 17) “돌고 돌고 돌고”의 장단 값에 따른 음표수 보정



(그림 21) 유사도 값이 1인 동기들을 제거한 후의 유사도 표

(1→9),(2→10),(3→1),(4→12),(5→7),(6→18),(7→12),(8→1),(9→1),(10→2),(11→12)(12→4),(13→18),(14→18),(15→2),(16→14),(17→10),(18→14),(19→14),(20→6),(41→7)(42→15),(43→24),(44→23)

(그림 22) 유사 동기 쌍 형성

<표 2> 삭제된 동기번호 목록

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	41	42	43	44
유사도	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	X	X	X	X
유사도	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	X	X	X	X

<표 3> 유사 동기 및 측정값 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
유사도	9	10	1	12	7	18	12	1	1	2	12	4
유사도	0.91	0.94	0.82	0.94	0.60	0.70	0.74	0.66	0.91	0.94	0.66	0.94

<표 4> 유사 동기 및 측정값 2

	13	14	15	16	17	18	19	20	41	42	43	44
유사도	18	18	2	14	10	14	14	6	7	15	24	23
유사도	0.53	0.78	0.72	0.59	0.69	0.78	0.74	0.59	0.74	0.64	0.68	0.68

5. “돌고 돌고 돌고” 악곡구조 분석

5.1 동기별 유사도 계산

“돌고 돌고 돌고”의 수치화된 악보가 (그림 16)과 (그림 17)에 있다. 여기에 Conceptual Framework을 적용하여 전체 44개 동기들 간의 고저의 유사도 및 장단의 유사도를 각각 구하였다. 그런 다음, 고저와 장단의 유사도 값에 가중치를 부여하여 각 동기 쌍에 대하여 전체 유사도를 계산하였다. 이러한 유사도 계산을 원활히 하기 위하여, 악곡분석기(MSA: Music Structure Analyzer)를 구현하여 활용하였다. 이 도구를 활용하여 전체 유사도 계산식에 있는 경험적 상수 값도 결정할 수 있었다. MSA를 이용하여 얻은 경험적

가중치는 고저(음고)의 유사도에 대해서 0.3이었고 장단(리듬)의 유사도에 대해서는 0.7이었다.

다음에 보이는 (그림 18)과 (그림 19)는 각각 고저의 유사도 값과 장단의 유사도 값을 나타내며, (그림 20)은 이 두 유사도에 경험상수를 곱하여 전체 유사도를 계산한 값을 나타낸다. 각 그림의 표에서 행과 열의 제목 줄은 각 동기의 고유번호를 나타내며 행과 열이 만나는 곳에 있는 값은 두 동기간의 전체 유사도를 나타낸다.

5.2 유사 동기 쌍 형성

(그림 20)의 전체 유사도를 이용하여 각 동기별로 자신과 가장 유사한 동기들의 쌍을 찾아낼 수 있다. 본 작업에 앞

서 44개의 동기에 대해서 자신과 유사도 값이 1로 측정된 동기는 동기번호를 기억해 둔 후 표에서 삭제해 나간다. 삭제 후 기억된 동기번호 목록은 <표 2>와 같으며 이후의 유사도 표는 다음 (그림 21)과 같이 간소화된다.

(그림 21)과 같이 간소화된 유사도 표에서 각 동기별로 자신과 가장 유사도 값이 큰 동기 하나씩을 각각 찾아내어 쌍으로 묶을 수 있다. 이러한 과정 및 그 결과를 각각 <표 3>과 <표 4> 그리고 (그림 22)에 나타내었다.

5.3 유사 동기 모임 형성

(그림 22)의 유사도 쌍을 이용하여 각 동기별 유사성 상관관계를 방향성 그래프로 나타내어 보면, 유사한 동기들의 모임이 형성됨을 관찰할 수 있다. (그림 23)은 각 유사도 쌍을 방향성 그래프 구조로 나타낸 것으로 A에서 E까지 5개의 모임이 형성됨을 볼 수 있다. 또한 각 모임 안에서 방향성 그래프의 지향성과, 각 모임 형성시 중심이 되는 동기와 중심동기로부터 떨어져 있는 거리를 따져 봄으로써 모임 안에서 유사도에 따라 동기들을 A, A', A'', 등으로 분류할 수 있다.

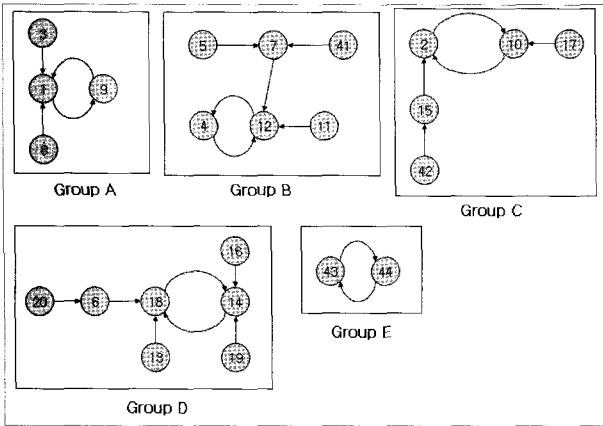
(그림 24)는 모임 C를 형성하는 동기들의 연결관계를 보이고 있다. 2번 동기와 10번 동기는 동등한 유사도 값을 가지고 모임의 중심이 되는 바, 이를 C로 분류하였다. 또한 중

심이 되는 2번 동기와 10번 동기에서 한 단계 떨어져있는 17번과 15번 동기를 C'로, 중심동기인 2와 10에서 두 단계 떨어져 있는 42번 동기를 C''로 각각 분류하였다. 그 외 나머지 모임의 연결관계도 동일한 방식으로 분석해 낼 수 있다.

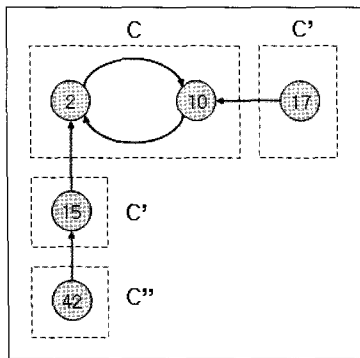
5.4 악곡의 결합구조 분석과 요약

이상과 같은 방법에 의거하여 “돌고 돌고 돌고” 악곡을 분석하여 이를 이루고 있는 구성요소간의 결합구조를 파악하였다. 그 결과를 도식화해 보면 (그림 25)와 같이 나타낼 수 있다. 이때 <표 2>의 정보에 의해 1에서 20번까지의 동기는 각각 유사도 값이 1이므로 21에서 40번까지의 동기와 동일한 것으로 취급한다. 21에서 40번까지의 동기는 곡의 2절인데 1에서 20번까지의 동기의 완전한 반복구조로 나타나 있다.

위의 결과로 나타난 “돌고 돌고 돌고” 악곡의 전반에 걸친 구성요소들의 전체적인 결합 구조를 살펴보았을 때 제시부, 전개부, 재현부의 전개구조를 가진 소나타 양식의 형태가 나타남을 알 수 있다. 이에 소나타 양식의 악곡이 지니는 전통적인 특징에서 본 악곡의 핵심 주제선율에 해당하는 곳을 알아낼 수 있는 단서를 발견할 수 있다. 소나타 양식의 곡에 있어서 주제선율은 대부분 전개부에 반복적으로 나타나며 때때로 재현부에서 다시 한 번 언급된다. 그렇다면 이 곡을 요약하고 대표하는 주제선율은 모임 D의 중심마디인 14번과 18번 마디라고 할 수 있다. 흥미롭게도 이러한 마디에 붙어 있는 가사가 이 곡의 제목에 나타나 있다. 이 악곡의 경우 곡과 가사의 중심이 잘 일치하고 있다.



(그림 23) 유사 동기 모임 형성



(그림 24) 모임 C에 속한 동기의 분류

제시부	1. 새가 날고			C
	6. 새가 날고			D'
전개부	13. 다시 돌고	14. 돌고	D'	D
	16. 돌고		C	D'
	17. 돌고	18. 돌고	C	D
	19. 돌고	20. 돌고	D'	D''
제시부				C
		26. 해매이다		D
				C
전개부	33. 다시 돌고	34. 돌고	D'	D
	36. 돌고		C	D'
	37. 다시 돌고	38. 돌고	C	D
	39. 돌고	40. 돌고	D'	D''
재현부	43. 앞서다가	44. 뒤서다가 다시	E	E

(그림 25) “돌고 돌고 돌고”의 결합구조 분석

6. 결론 및 향후과제

악곡 구성요소 간의 유사도 분석을 통해 악곡의 결합구조를 파악할 수 있다. 또한 파악된 결합구조에서 해당 악곡이 취하고 있는 음악양식을 판독해 낼 수 있다. 악곡의 양식이 지니는 전통적인 특징과 표현기법을 근거로 해당 악곡의 내용 전개구조를 짐작할 수 있고 그 구조 안에서 주요선율을 추출할 수 있다. 문서요약[17]의 경우와 같이 추출된 주요선율은 그 곡의 요약이라고 간주할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 악곡요약 과정[19, 20, 21, 22]을 구현할 새로운 악곡구조 분석 방법론을 확립하였다. 개발한 방법론은 구체적인 사례를 통하여 그 효용성을 가늠해 보았다.

향후 연구과제로서 먼저 유사도 분석의 전처리 작업에 관련된 것이 있다. 첫째, 악곡 전체를 음악적 최소의미 단위인 동기로 분리하는 작업의 자동화, 둘째, 유사도 계산에 필요한 악보 수정 및 보정 작업의 자동화 등. 그 다음으로는 셋째, 오선지 악보는 물론 다양한 음성 파일도 처리할 수 있게 하는 방법론의 확장, 넷째, 악곡의 결합구조에서 악식을 추정하는 기술의 개발, 끝으로 다섯째, 가사와 곡을 동시에 고려하는 요약융합(Summarization Fusion)에 대한 연구 등이 있다.

본 논문에서 소개한 악곡구조 분석 방법론의 활용방안은 다음과 같이 여덟 가지로 나누어 생각해 볼 수 있다. 첫째, 악곡의 감상 및 선별 효율성 제고, 둘째, 악곡 분류와 검색의 체계화, 셋째, 악곡의 '미리 듣기' 위치식별, 넷째, 악곡의 표절유무 조사, 다섯째, 요약융합 기술개발, 여섯째, 악곡의 음악적 충실성 평가, 일곱째, 악곡의 유행가능성 예측, 마지막으로 여덟째, 작곡가의 창작활동 지원 등.

참고 문헌

[1] N. Scaringella, G. Zoia and D. Mlynek, "Automatic Genre Classification of Music Content: A Survey," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 23, No. 2, pp. 133-141, March 2006.

[2] W. Chai, 'Automated Analysis of Musical Structure', Ph.D. Dissertation, MIT, 2005.

[3] N. C. Maddage, "Automatic Structure Detection for Popular Music," *IEEE Multimedia*, Vol. 13, No. 1, pp. 65-77, January-March 2006.

[4] 최형덕, '음악적 설계', 한국기타문예원, <http://www.kguitar.net/>.

[5] W. Berry, 'Form in Music: An Examination of Traditional Techniques of Musical Structure and their Application in Historical and Contemporary Styles', Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, Inc., 1966.

[6] P. Spencer and P. M. Temko, 'A Practical Approach to the Study of Form in Music', Prospect Heights, Illinois: Waveland Press, Inc., 1994.

[7] G. Cooper and L. B. Meyer, 'The Rhythmic Structure of Music', Univ. of Chicago Press, 1960.

[8] R. B. Dannenberg and N. Hu, "Discovering Music Structure in Audio Recording," In Proc. 2nd Int'l Conf. Music and Artificial Intelligence, pp. 43-57, 2002.

[9] M. A. Goto, "Chorus-Section Detecting Method for Musical Audio Signals," In Proc. IEEE Int'l Conf. Acoustics Speech and Signal Processing, IEEE CS Press, 2003.

[10] B. Logan and S. Chu, "Music Summarization Using Key

Phrases," In Proc. IEEE Int'l Conf. Acoustics Speech and Signal Processing, 2000.

[11] L. Lu and H. Zhang, "Automated Extraction of Music Snippets," In Proc. ACM Multimedia, ACM Press, pp. 140-147, 2003.

[12] C. S. Xu, N. C. Maddage, and X. Shao, "Automatic Music Classification and Summarization," *IEEE Trans. Speech and Audio Processing*, Vol. 13, pp. 441-450, 2005.

[13] 박정화, '박정화의 현대음악 홈페이지', <http://neuemusik.new21.net>.

[14] M. Nastassi, "Rhetoric in Music: As Interpreted by C.Ph.E. Bach and His sonata for Solo Flute in A-Minor," Translated from the German by Nedra Eileen Bickham, <http://www.splendicentury.com/pumpkin.html>.

[15] 김옥동, '수사학이란 무엇인가', 민음사, 2002.

[16] W. C. Mann and S. A. Thompson, "Rhetorical Structure Theory: Toward a functional theory of text organization," *Text*, Vol. 8, No. 3, pp. 243-281, 1988.

[17] J.-H. J. Bae and J.-H. Lee, "Mid-Depth Text Understanding by Abductive Chains for Topic Sentence Selection," *International Journal of Computer Processing of Oriental Languages*, Vol. 15, No. 3, pp. 341-357, 2002.

[18] L. Hofmann-Engl, "An evaluation of melodic similarity models" *chameleongroup online publication* 2005, <http://www.chameleongroup.org.uk>.

[19] 서정범, 배재학. "음악 수사법을 이용한 악곡의 주제선율 추출", 제23회 한국정보처리학회 춘계학술발표대회 논문집 제12권 제1호, pp. 751-754, 2005.

[20] 서정범, 배재학. "수사법을 활용한 대중음악 분석", 한국정보과학회, 한국컴퓨터학술대회 논문집 제32권 제1호, pp. 502-504, 2005.

[21] 서정범, 배재학. "악식분류를 위한 악곡의 결합구조 분석", 한국디지털아트미디어학회 학술발표대회 논문집 제3권 제1호, pp. 61-64, 2005.

[22] 서정범, 배재학. "선율 간 유사도 분석에 의한 악곡양식 판별", 한국정보처리학회 제24회 추계학술발표대회 논문집 제12권 제2호, pp. 683-686, 2005.



서 정 범

e-mail : seojb@posdata.co.kr
 2003년 울산대학교 컴퓨터·정보통신공학부(공학사)
 2006년 울산대학교 컴퓨터·정보통신공학부(공학석사)
 2006년 3월~현재 포스테이타(주)
 관심분야: 악곡 분석 및 요약, 전략경영정보시스템
 지식경영 및 기술



배 재 학

e-mail : hjhbae@ulsan.ac.kr
 1981년 중앙대학교 전자계산학과(이학사)
 1983년 한국과학기술원 전산학과(공학석사)
 2003년 포항공과대학교 컴퓨터공학과(공학박사)
 1985년~현재 울산대학교 컴퓨터·정보통신공학부 교수

관심분야: 자동문서요약, (자동, 논리)프로그래밍, 지식경영 및 기술, 전략경영정보시스템, 교육인적자원정보시스템