

□ 특 집 □

## 컴퓨터 음악

한국과학기술원 원 광 연\*  
한국표준과학연구원 윤 정 선\*

● 목

차 ●

I. 서 론	2.7 텔레커뮤니케이션(Telecommunication)
II. 컴퓨터와 음악	III. 음악의 인식과 계산론적 접근
2.1 소리 합성 및 편집(Sound Synthesis and Edition)	IV. 음악과 인공지능
2.2 작곡(Composition)	4.1 음악 문법(Musical Grammar)
2.3 악보 편집(Score Editing)	4.2 프레임(Frame)
2.4 미디 콘트롤(MIDI Control)	4.3 생산시스템(Production System)
2.5 자동반주(Automatic Accompaniment)	4.4 전문가 시스템(Expert System)
2.6 교육	V. 자동반주 시스템
	VI. 결 론

### I. 서 론

컴퓨터 음악이란 컴퓨터를 이용하여 음악 정보를 생성하거나 변형시켜 그 정보들을 컴퓨터의 제어신호와 함께 전자악기에 보내서 연주하도록 하여 만드는 음악이다. 작곡상의 세부내용을 위한 데이터 구축에 컴퓨터를 사용하려는 시도는 이미 1950년대 말에 시작되었고, 컴퓨터의 급격한 발전과 컴퓨터와 전자악기간의 프로토콜인 미디(MIDI)의 채용 이후 전자악기 및 컴퓨터 음악 분야의 소프트웨어의 발전은 급성장하여 오늘날에 이르렀다[20,13].

하드웨어 및 소프트웨어의 발전에 따라 컴퓨터 음악의 연구 분야도 다양해져서 음악의 표현(music representation), 음악언어(music language), 작곡(composition), 편곡(arrangement), 음악 교육등의 분야에서 많은 연구가 수행되고 있다[5,7,8,1,19,9,3]. 우리나라에서는 아직 전문적으로 컴퓨터 음악을 연구하는 곳이 없지만 외

국에서는 대학에서 컴퓨터 음악 연구를 수행하는 연구센터를 별도로 두어 수년동안 연구를 활발히 진행하고 있는 곳도 있다. 스텐포드 대학의 CCRMA(Center for Computer Research in Music and Acoustics), 캘리포니아 대학의 CC-MRC(Center for Computer Music Research and Composition) 등이 그것이다.

미디(MIDI)가 제정된 이래 소프트웨어 개발이 가속화되었고, 덕분에 컴퓨터 음악의 대중화도 이제는 간과할 수 없는 단계에 이르렀다. 컴퓨터 음악을 이용해서 작곡에서부터 연주까지 직접 참여하는 아마추어 음악가들이 늘어가고 있으며, 전문 음악가들도 컴퓨터와 신서사이저를 이용하여 대중음악이나 영상음악 등을 제작하는 사례가 늘고 있다. 이와같이 컴퓨터를 이용한 작곡과 시퀀싱(sequencing), 믹싱(mixing) 등의 분야 외에도 컴퓨터를 이용한 피아노 교육이라든지 컴퓨터를 이용한 음의 합성 등을 지원하는 소프트웨어가 여러종류 나와 있고, 그밖에 첨단 분야

\* 정회원

로서는 미디 신호로 컴퓨터 애니메이션, 조명 등을 제어하는 소프트웨어 등이 등장하고 있다 [16,4]. 음악과 인간 생활과의 밀접성을 생각해 볼 때 컴퓨터가 대중화 될수록 컴퓨터 음악도 인간의 생활과 불가분의 관계로 발전하리라는 것은 자명한 일이다.

국내 학계에서도 컴퓨터 음악에 관한 관심이 증가되는 가운데 이 분야에서의 연구가 서서히 진행중인데, 컴퓨터 음악이 제대로 발전하기 위해서는 예술적, 과학적, 기술적인 측면에서의 연계적인 연구가 필요하다.

본 고에서는 컴퓨터 음악에 관한 전반적인 내용을 포괄적으로 다루고 제 5장에서 필자의 연구내용을 개략적으로 기술하도록 한다.

## II. 컴퓨터와 음악

당연한 말처럼 들리겠지만 컴퓨터 음악은 컴퓨터 기술에 맞추어 발전하고 있다. 컴퓨터 음악은 컴퓨터 하드웨어와 소프트웨어 기술은 물론이러니와 인터페이스 기술의 발전과도 밀접한 관련이 있다. 또한 컴퓨터 과학, 특히 인공지능과 큰 상관관계를 보이고 있다. 따라서 컴퓨터 기술발전이 대비하여 컴퓨터 음악의 발전과정을 살펴보기로 하겠다.

예술장르 중 음악은 시간을 축으로 하여 전개되어 나간다. 따라서 기술적으로는 음악은 공기의 압력을 시간에 따라 표시한 time-series signal로 볼 수 있다. 컴퓨터 음악의 원조격인 Max Mathew가 음악을 이러한 아날로그 신호로 모델링한 것은 당연하다 하겠다. 그 후 디지털 컴퓨터의 발달에 편승하여 음악을 수치적(numerical)으로 모델링하는 방법이 보편화 되었다. 정수이론(number theory)과 음(tone)이론 간의 여러가지 흥미 있는 관계가 정립되었고 이를 컴퓨터 음악에 응용하는 사례가 증가하였다.

인공지능의 발전과 더불어 보편화된 심볼적 컴퓨팅(symbolic computing)은 컴퓨터 음악을 한단계 더 높은 수준으로 도약하게끔 하는 발판을 마련하였다. 음악은 단순한 수치가 아니라 심볼들의 적절한 조합으로 이루어지는 형식언어(formal language)로서 연구되기 시작했다. 이러

한 새로운 패러다임에 의거하여 음악의 제반활동, 즉 작곡, 편곡, 연주, 이해 등이 형식언어의 합성(synthesis), 변형(transformation), 분석(analysis 혹은 parsing)적인 각도에서 재조명 되었으며 컴퓨팅 이론, 특히 인공지능, 프로그래밍 언어, 계산이론, 알고리즘 분야에서의 새로운 이론과 기법의 적용 대상이 되고 있다. 최근에는 신경회로망, genetic 알고리즘, fractal 이론 등을 이용하여 음악의 인성적인(human-like)면을 모델링하는 시도가 행해지고 있다.

이상 이론적인 측면에서 컴퓨터와 음악간의 상관관계를 알아보았다. 엔지니어링적인 측면에서의 상관관계는 보다 우리 피부에 와 닿는 응용분야를 열거함으로써 기술하기로 한다.

### 2.1 소리 합성 및 편집(Sound Synthesis and Edition)

컴퓨터를 이용하여 샘플링이나 소리 합성 기법으로 여러가지 종류의 소리들을 만들어낸 다음 그 소리를 편집하고 분석한다. 이 작업에 그래픽 인터페이스를 제공하면 좀 더 편리하게 소리를 만들어낼 수 있다.

### 2.2 작곡(Composition)

컴퓨터를 이용하여 작곡을 할 수 있고 또한 음악을 알고리즘에 의해서 생성해낼수도 있다 [10,19]. 작곡 프로그램을 이용하면 여러악기들의 소리로 즉석에서 연주해볼 수 있기 때문에 전문 작곡가들에게 아주 유용한 시스템이 될 수 있다. 지금 개발되어 있는 소프트웨어들은 대부분 마우스를 이용한 것인데 펜을 사용한 온라인(on-line) 악보 기술로 작곡가들이 쉽게 이용할 수 있게 한다면 더욱 바람직할것이다.

### 2.3 악보 편집(Score Editing)

악보를 편집하는 데는 악보라는 2차원 언어 즉, 비주얼 언어를 컴퓨터에 1차원적으로 표현하는 문제가 있다. 다시 말해서 악보를 어떤 데이터 구조로 표현하는가가 문제가 될 수 있는데

이러한 문제를 해결하기 위해서는 악보 표기법들을 연구하고, 화면에 악보를 그려주는데 필요한 규칙들도 세워야 한다. 악보 편집은 가장 일반적이면서도 가장 많이 쓰이는 기능이다.

## 2.4 미디 콘트롤(MIDI Control)

소프트웨어로 만들어진 미디 시퀀서를 이용해서 소리생성(sound generating) 디바이스, 미디 이펙트 프로세서, 조명(lighting), 비디오 애니메이션 등을 실시간 콘트롤한다.

## 2.5 자동반주(Automatic Accompaniment)

독주자가 연주하는 것을 따라가며 상호 작용하에 실시간 자동반주를 한다.

## 2.6 교육

청음 교육, 화음교육, 피아노교육 등에 응용한다.

## 2.7 텔레커뮤니케이션(Telecommunication)

텔레커뮤니케이션은 가정용 마이크로 컴퓨터 음악 스튜디오의 표준이 된다. 음악네트워크를 통해서 원격미디 제어(Remote MIDI Control)를 하고 샘플 파일들을 보관하거나 읽어들이 수 있다.

## III. 음악의 인식과 계산론적 접근

고전음악을 즐기는 사람이라면 바하의 음악과 모짜르트의 음악을 쉽사리 구별한다. 낭만파의 음악에는 분명히 “낭만”적인 요소가 있음을 발견하고, 드뷔시로부터는 모네의 인상주의적인 분위기를 느낀다. 이는 우리가 음악을 “인식”하기 때문에 가능하다. 음악의 인식은 의미(semantics)나 감정(emotion)적인 면은 차치하고라도, 적어도 음악의 형식(syntactic)적인 면을 인식함으로써 가능하다. 실제로 음악의 인식(musical perception)은 음악의 모든 활동에 근간이 된다.

심지어 음악을 컴퓨터로 단순처리(processing)하기 위해서도 음악의 인식(perception)에 관한 연구가 선행되어야 한다[12]. 우리가 컴퓨터를 가지고 음악을 연주하거나 음악과 관련된 작업을 할 때 인식이 빠진 작업은 있을 수 없다. 악보를 인식하여 음원을 통해 연주시킬 때에는 악보 인식이 필요하고, 음원을 통해서 컴퓨터에 입력된 음악을 악보로 나타낼 때도 리듬(rhythm)의 인식, 톤(tone)의 인식과 같은 음악적 인식 과정이 필요하다. 이런 기초적인 작업에도 인식이 필수적이기 때문에 자동편곡, 자동반주, 즉흥연주 시스템과 같은 고급 작업에서는 두말할 나위도 없다[6].

컴퓨터가 음악을 인식하게끔 하기 위해서는 다음과 같은 연구가 필요하다.

첫째, 음악 이론에 관한 연구가 필요하다. 우리는 먼저 음의 본질에 관해서 알고 있어야 한다. 박자와 가락, 그리고 다른 장식용 부호들, 악상 기호 등에 관한 계산이론적 지식을 갖고 있어야 인식에 관한 연구를 할 수 있다.

둘째, 우리는 심리학적인 측면에서 음악의 인식 메카니즘을 이해하고 있어야 한다. 우리가 들은 음악이 우리의 내부에서는 어떻게 표현되는가? 어떤 메카니즘을 통하여 우리가 들은 음악을 기억하고 또 이해하는가? 더 넓게는 우리가 들은 음악이 내부의 심리적 다른 요소들과 어떻게 반응을 하는가? 이런 것들을 이해할 때 우리는 더 강력한 논리로 음악을 표현할 수 있으며 컴퓨터 음악의 활용 범위를 넓힐 수 있다.

셋째, 실제로 음악이 연주될 때 그 음악이 어떤 형태를 갖추게 되는지를 실험을 통해서 연구해야 한다. 우리가 악보대로 똑같이 연주한다고 하여도 그것이 악보에 표기된 대로 연주되지 않는기 때문이다.

이 세가지 측면에서의 연구를 토대로 할 때, 음악에 관한 계산 이론적접근을 시도했다고 할 수 있으며 한걸음 더 나아가서 사람이 음악을 만들어내는 것과 근접한 구현을 할 수 있을 것이다[14].

음악의 인식은 음(tone)의 인식과 리듬(rhythm)의 인식 두가지로 대별할 수 있다. 음(tone)이라는 것은 우리가 잘 인식하지 못하는 범위가

지 매우 큰 영역을 차지하고 있다. 우리가 보통 듣고 기본적으로 구별하는 음은 피아노 전반에서 나오는 소리 정도이고, 실제 악보에 표기하는 것도 그 정도에 그친다. 우리가 바이올린과 같은 현악기의 소리를 들을 때에 느낄 수 있듯이 음은 한음과 반음 사이에도 1/4음, 1/8음 등 여러 단계의 소리로 나누어진다. 실제로도 서툰 연주자라면 이런 사이음들을 많이 낼 것이다. 이 경우 인간은 보통 이러한 사이 음들을 그것에서 가장 가까운 음으로 근접(approximation)시켜서 듣는다. 그러나, 컴퓨터가 음을 인식할 때는 절대주파수를 이용하므로 사람의 귀보다는 더 정밀하게 인식한다. 따라서 컴퓨터가 그 음을 실제음의 근접음 -연주자가 의도했던 음 -으로 인식할 수 있도록 사상(mapping)해 주어야 한다.

똑같은 리듬구조를 연주하더라도 연주하는 사람마다 그 내용이 달라지며, 혹은 같은 사람이 연주하더라도 연주할 때마다 조금씩 다르게 연주된다. 이렇게 어떤 리듬 구조를 연주한다는 것은 일대다 사상(one-to-many mapping)이라고 할 수 있다. 역으로 생각하면 연주할 때마다 다르게 표현되는 음악을 하나의 특정 리듬 구조로 인식한다는 것은 다대일 사상(many-to-one mapping)이 된다. 따라서 리듬의 인식 문제에 있어서도 컴퓨터같이 까다로운 청자가 연주때 마다 조금씩 다르게 표현되는 리듬구조를 하나의 리듬구조로 인식하도록 하는 사상(mapping)이 필요하다.

피아노로 4분음표 네개를 연달아서 친다고 하자. 악보상으로는 개개의 4분음표를 한박자씩 짝 채워서 소리를 내주어야 하나 실제로 우리는 그렇게 연주하지 않는다. 피아노라는 악기는 페달을 누르지 않고 연주를 한다면, 손가락을 건반에서 떼었을 때 소리가 끊어진다. 우리는 보통 한음에서 다른 음으로 옮겨갈 때 진의 음을 눌렀던 손가락을 떼 다음에 그다음의 음을 눌러야 하기 때문에 그동안의 시간 간격이 생긴다. 그러나 피아노가 아닌 다른 악기의 경우에는 또 문제가 달라진다. 오르간과 같은 악기는 손가락을 떼어도 그 음이 오래도록 지속되기 때문에 엄밀하게 박자를 인식하기 위해서는 악기별로 인식 방법이 달라야 할 것이다.

박자와 관계된 악상기호들이 관계되면 문제는 더 복잡해진다. 레가토(legato), 페르마타(fermata), 리타르단도(ritardando), 아첼레란도(accelerando) 등이 그것인데 이런것들을 컴퓨터가 이해하고 인식하는 데에는 어려움이 있다. 박자는 템포와도 밀접한 관계를 맺고 있다. 템포가 빨라지면 악보상에는 똑같은 길이로 표기된 음 이더라도 연주되어 나오는 음의 길이가 템포가 느릴때보다 더 짧아진다. 원래 리듬이라는 것은 매우 불규칙한 현상이기 때문에 이것을 단순한 알고리즘을 사용하여 컴퓨터가 인식할 수 있도록 하는 것은 매우 어려운 일이다.

이제까지 아날로그(analog) 신호로 음악이 들어온다고 가정하고 음악의 인식 문제를 살펴 보았다. 만약 MIDI를 사용하여 디지털신호로 음악을 받는다면 음의 인식은 어느정도 해결될 수 있다. 그러나 리듬의 인식에서는 상당 부분이 미해결의 문제로 남는다. 이러한 문제들을 해결하기 위해서는 다양한 실험을 거쳐 보편적인 규칙들을 발견해나가는 것이 바람직하리라 본다.

조성 음악이란 조가 있는 음악을 총칭하는 말인데, 음악계에서는 1600년대부터 1900년대까지 쓰여진 음악을 통틀어 조성음악(tonal music)이라 부른다. 즉, 우리가 흔히 고전음악(classical music)이라 하는 것을 조성음악으로 보면 될 것이다. 조성 음악과 반대되는 개념으로 무조 음악이 있는데 현대 음악의 일부분이 무조 음악에 속한다.

계산적인 측면에서 조성음악은 하나의 클래스(class)로 볼 수 있으며 그 자체가 엘리먼트와 오퍼레이션을 가진 음악 언어라고 할 수 있다 [15]. 여기에서 엘리먼트에는 음표, 쉼표 및 그 외의 음악 기호들이 포함되며 각각의 엘리먼트들을 운영하는 화성이나 그 외의 각종 음악 규칙이 오퍼레이션에 해당된다. 또한 음악은 주로 부호화된 악보로 표현되고, 이산심볼(discrete symbol)로 이루어진 이 악보는 전부 코딩(coding)될 수 있기 때문에 계산연구(computational study)로 접근할 수가 있다. 이와 같은 특징들과 함께 다음의 세가지 특성들은 조성 음악이 계산 연구에 적합하다는 것을 보여 준다.

첫째, 조성음악은 일반적으로 예술음악의 역

사에서 중요한 위치를 차지하고 있으므로, 조성 음악을 계산 이론으로 설명하는 것은 매우 의미 있는 일이라고 할 수 있다.

둘째, 조성음악은 매우 정형화된 법칙(syntax)을 가지고 있으므로 계산적 모델(computational model)을 적용하기에 적합하다.

마지막으로, 조성음악은 구조면에 있어서 각 각이 악곡의 엘리먼트라고 볼 수 있는 여러 스트라타(strata)로 구성되어 있다. 스트라타란 악곡에서 하나의 패턴으로 분류될 수 있는 부분을 지칭하는 용어로서 악곡에서의 패턴은 단순한 것에서부터 복잡한 것 까지 계층 구조를 이루고 있다. 복잡한 스트라타는 단순한 스트라타에 오퍼레이션을 취하여 만들어 낼 수가 있다. 이 스트라타라는 계층 구조는 고전음악의 악절과 악절 사이, 마디와 마디 사이에서도 발견할 수가 있다. 또한 음악 이론적으로 분석해 보면 악보상으로는 엄연히 다른 각 복잡한 변주곡들도 사실은 기본 테마(theme)를 포함한 하나의 스트라타를 공유하고 있음을 알 수 있다.

숙련된 음악가들은 음조(tonality)를 구성하는 엘리먼트와 오퍼레이션에 관하여 잘 이해하고 있으나 그 이해는 추상적이고 불명료하다. 그 불명료한 것을 명료한 것으로 바꾸는 것이 음악 이론의 연구에 필수적인데, 음악 부호(notation)를 심볼(symbol)로 바꾸고 스트라타 간의 관계에 기초가 되는 오퍼레이션(operation)을 발견하면 음악계산이론을 확립할 수 있다.

음악 이론을 확립하기 위해서 우선적으로 요구되는 것은 악보가 입력되었을 때 그 음악이 정격(authentic)인지 아닌지 구분하고 정격 음악이라면 간단한 것부터 복잡한 것까지 그 음악의 여러 스트라타를 만들어내는 것이다. 곧, 음악 이론은 의미가 있는 멜로디와 의미가 없는 멜로디를 구분해내는 것으로부터 출발하나, 이러한 구분은 매우 어려운 일이다.

그 다음으로 음악 이론을 적용하여 음악의 0부터 n까지의 스트라타에 규칙을 적용하여 n+1 번째 계층의 음악을 만들 수 있어야 한다. 이때 적용되는 규칙은 만들려는 음악의 형식에 따라 다르다. 즉, 소나타인지 협주곡인지 아니면 교향곡인지 등등에 따라 만들어지는 스트라타의 내

용이 다르게 된다.

이렇게 계산적 구현(computational implementation) 방법을 사용하여 음악 이론을 정립하는 것은 쉬운 일이라 할 수 없으나, 이런 종류의 문제에 있어서는 그래도 가장 적절한 방법이라고 볼 수 있다.

#### IV. 음악과 인공지능

컴퓨터를 음악의 연구나 연주에 기계적으로만 사용하게 한다면 매우 제한된 사용이 될 것이다. 컴퓨터가 편리한 인터페이스(interface)와 강력한 툴(tool), 더 나아가서 지능을 보유할 때에 순수 음악 분야에도 기여하는 바가 크리라 본다. 우리가 원하는 것은 톱이나 망치 수준의 도구가 아니라 창조적인 일에서 우리의 동료로서의 역할을 담당할 수 있는 지능을 갖춘 도구이다. 컴퓨터를 이용하여 수행할 수 있는 계산적 절차(computational procedure)는 이러한 역할을 감당할 수 있으리라는 가능성을 보여준다.

알고리즘의 계산적인 절차(computational procedure)는 음악 이론가가 그의 가정(assumption)을 테스트하는 데 사용될 수 있다. 첫째, 특정 구조를 갖는 음악을 생성해내도록 하는 이론(theory)을 알고리즘으로 구현해서 테스트해 볼 수 있다. 둘째, 이론의 바탕이 되는 원리(principle)를 알고리즘으로 구현함으로써 현재 존재하는 음악을 분석할 수 있다. 이렇게 테스트와 분석의 목적으로 계산적 접근을 시도할 수 있으며, 그 수준을 더욱 높이면 인간의 음악 인식 작용을 모델링하는 데도 이용할 수 있다. 이 밖에도 프로그램 형태로 제공되는 자동화된 도구는 다양한 음악이론의 근거를 이루는 가정들도 통합해서 테스트하거나 분석할 수 있다는 장점이 있다.

컴퓨터가 인간의 동료로서의 역할을 담당하려면 인간이 음악을 어떻게 듣고 어떻게 작곡을 하는지에 대한 연구가 선행되어야 하고, 그에 따라 알고리즘화 할 수 있으며 인간의 역할을 분담할 수 있을만한 작업들을 컴퓨터에 구현해야 한다. 그러나 이러한 작업들을 손쉽게 파악하기란 쉽지 않으리라 사료된다. 그 이유는 음악의 감상, 이해 및 창작 등 인간이 직접 관련된 음악

작업은 지식 표현 및 추론과 같이 비교적 높은 레벨에서의 인지 활동이 수반되기 때문이다. 계산 언어학에서의 접근 방법과 유사하게, 음악 지식에 관한 요소(element)와 규칙(rule)을 발견하여 음악을 대표할 수 있는 모델을 세우고, 이 모델 상에서 인간이 음악에 대하여 수행하는 일들을 컴퓨터로 시뮬레이션하는 것이 기본적인 접근 방법이라 할 수 있다[5]. 바로 이러한 이유에서 컴퓨터 음악 분야중 음악의 인식등 인지와 관련되는 분야는 인공지능 기법으로 접근하는 것이 적절하리라 본다.

그러나, 전통적인 인공지능 연구와 음악과 인공지능이 결합했을 때의 연구에는 차이가 있다. 보통의 인공지능 문제가 그 관련 영역이 어느 정도 한정되어 있는 반면에 음악 활동의 문제는 그것이 어느 영역과 직접 관계가 있는지 분명하지 않다. 음악의 관련 영역이 감정(emotion), 인식(perception), 지능(intelligence), 심리(psychology), 생리(physiology) 등 어느영역과 가장 밀접한 관계가 있는지, 혹은 이 모든 것의 상호작용이 되는지 명확하지 않다.

그러나 이런 난점에도 불구하고 인공지능 기법을 이용한 다양한 연구가 수행되고 있는데 이에 해당하는 것이 음악문법(musical grammar), 프레임(frame), 생산 시스템(production system), 전문가 시스템(expert system) 등이다. 이러한 기법들이 어떻게 컴퓨터 음악 연구에 적용되었는지 하나씩 살펴보기로 하겠다.

#### 4.1 음악 문법(Musical Grammar)

가락(melody)의 일반 규칙과 특정 형식(style)에 기반을 둔 규칙을 문법으로 정의한다. 그러나 음악 문법이 강력한 분석 도구일지라도 그것이 음악의 계산 이론에 기여하는 바는 불투명하다. 왜냐하면 특별한 경우에 한해서 제한 조건(constraint)들을 약화시키는 것이 어렵고, 음악의 인식에서의 모호성(ambiguity)을 음악 문법으로는 쉽게 표현할 수 없기 때문이다.

Smoliar의 Schenkerian 분석을 위한 프로그램을 음악 문법의 범주에 넣을 수가 있다. 또다른 예로 음악 연주의 마이크로 레벨과 매크로 레벨

특징을 표현하는 Sundberg의 규칙 시스템(rule system)이 있다[17,18].

#### 4.2 프레임(Frame)

음악 지식을 관계(relation)의 네트워크(network)를 형성함으로써 다양한 방법으로 설명할 수 있도록 표현한다. 프레임 이론이 음악의 고급 개념은 설명할 수 있으나, 구문적 요소를 발견하는 것과 그 요소들 간의 관계를 발견하는 것을 구별할 수 없다는 단점이 있다. 프레임 표현과 프로토콜 분석 기술은 Laske에 의해서 개발된 시스템에서 사용되고 있다[11].

#### 4.3 생산 시스템(Production System)

규칙과 데이터와 실시간 오퍼레이션을 설명함으로써 음악을 듣고 이해하는 작업에 포함된 다양한 레벨의 작업들을 자세히 묘사할 수 있다. 생산 시스템은 목적(goal)과 규칙이 서로 밀접한 관계를 가지기 때문에 목적 지향 시스템이라고 할 수 있다. 반면에 개념을 정의하고 규칙들 간의 대립(conflict)을 해결하는 것이 명확하지 않다는 단점이 있다. Ashley의 KSM 시스템이 생산 시스템의 예가 될 수 있다[2].

#### 4.4 전문가 시스템(Expert System)

전문가 시스템 기법으로 음악 지식을 모델할 수 있다. Ebcioğlu의 CHORAL이 그 좋은 예이다[9].

이렇듯 많은 접근 방법들이 있으나 경우에 따라 차이가 있기 때문에 어느 것이 더 좋다는 결론은 내리기가 어렵다. 그러나, 인공지능과 음악 연구의 공통 목적을 달성할 수 있는 방향으로 연구가 진행되는 것이 바람직하고, 컴퓨터를 사용하는 음악가들에게 더욱 편리한 도구를 제공하는 것이 인공지능적 음악연구의 목적중의 하나가 될 수 있다. 예술의 수준을 높이기 위해서는 사람을 컴퓨터의 수준으로 끌어내리는 것이 아니라 컴퓨터에게 음악과 상호작용하는 법과 함께 음악가와 상호작용하는 법을 가르쳐야 한다. 이

러한 수준에 도달하기 위해서는 여러 각도에서 연구가 꾸준히 진행되어야 한다고 본다.

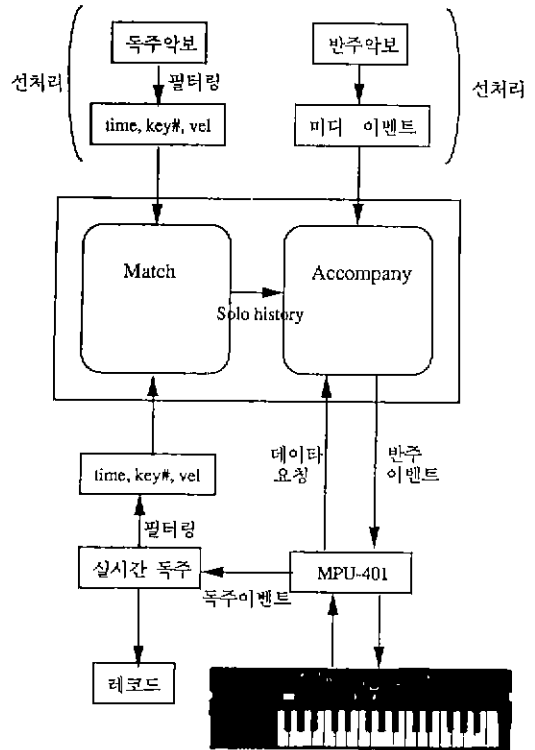
### V. 자동반주 시스템

이 장에서는 두번째 필자의 석사논문 연구로서, 독주자의 연주에 맞추어 컴퓨터가 반주를 해주는 자동반주 시스템을 기술하고자 한다. 자동반주시스템의 특징은 독주자와 반주자인 컴퓨터가 실시간 대화 형식의 상호 작용을 한다는 것이다. 인간 반주자는 처음부터 끝까지 처음에 지정된 빠르기대로 일관된 연주를 하지 않고, 독주자의 연주를 따라가며 그에 대응하는 반주를 하게된다. 즉, 독주자의 연주 도중의 실수를 알아차리고 재빨리 그에 적응하여 반주가 독주에 맞도록 하며, 독주자의 연주속도가 느려지거나 빨라지더라도 짧은 시간안에 같은 템포가 되도록 적응한다.

이 시스템은 반주가 필요한 솔로악기의 주자나 오른손 부분만을 연주할 수 있는 서툰 피아노 주자에게 즐거움을 줄 수 있을 것이다. 예를 들어, 관악기 주자나 현악기 주자는 피아노 반주와 맞추어서 연습을 할 필요가 있는 경우, 윈드미디(Wind MIDI)등의 악기를 컴퓨터와 연결하여 자동 반주에 맞추어 연습을 하면 많은 도움이 될 것이다. 이것은 피아노 교육용 시스템의 한 부분이 되어서 교육적 효과를 높이는데도 쓰일 수 있다.

본 연구는 인간을 대신하는 반주기의 구현에 그 목표를 두었으므로, 인간 반주자의 이러한 속성들을 컴퓨터에 표현하고 사용하는데에 중점을 두었다. 이러한 속성들을 구현하는데는 연주자의 실수를 고려하여 독주자의 연주를 따라가는 기술, 즉 원래의 독주정보와 독주자에 의해서 만들어지는 오류가 섞인 연주 정보를 매칭(matching)하는 기술과 또한 매칭이 끝난 다음 자연스럽게 연주 속도를 맞추어주는 기술이 필요하므로 이러한 기술을 알고리즘화하는 것이 연구의 주안점이 되었다.

전체적인 시스템의 구조는 그림 1에서 보는 바와 같이 독주 악보와 독주 연주를 입력으로 받아서 매치(match)를 시키는 Matcher 모듈과



(그림 1) 자동반주 시스템의 구조

Matcher로부터 독주 연주의 진행 상태에 대한 정보를 받아들여 반주를 적당한 템포로 출력해주는 Accompaniment 모듈로 구성된다.

우선 입력으로 자동반주 시스템에 독주 악보와 반주 악보가 파일의 형태로 들어간다. 독주 악보는 독주자의 연주를 따라가는 데 필요하고, 반주 악보는 독주자의 연주에 맞추어 반주하기 위해서 필요하다. 물론 반주도 자동으로 만들어 줄 수 있으나 본연구에서는 독주를 따라가는 부분에 중점을 두고 있으므로 이미 만들어진 반주 악보를 입력하여 사용하였다. 이러한 악보들은 오선 악보가 아닌 계산에 편리한 형태로 입력된 연주 정보이다. 독주악보는 매치(match)에 필요한 정보들만 뽑아서 만들었고 반주 악보는 미디 인터페이스에 보내기만 하면 곧바로 연주될 수 있는 형태의 미디데이터들로 입력되었다.

가장 중요한 입력 정보로서 실시간으로 들어가는 독주자의 연주가 있다. 독주자의 연주는 미디악기로 입력되는데, 건반이 눌러지면 곧바로

미디 데이터가 컴퓨터로 들어오고, 컴퓨터는 이 데이터를 미리 입력된 독주 악보와 비교한다. 그림의 Matcher에서 이작업을 담당한다. 독주자의 연주에는 오류가 있을 수 있기 때문에 Matcher는 오류의 원인을 추측하여 독주자가 의도했던 연주를 파악하여 그에 맞는 반주를 할 수 있도록 Accompaniment 모듈에 현재 독주의 진행 사항을 알려준다. Accompaniment 모듈에서는 Matcher로부터 받은 정보를 가지고 템포를 맞추어 반주를 미디 악기로 출력해 준다.

자동 반주 시스템의 성능을 평가하는 때에는 수치적인 분석보다는 현상적인 분석이 필요하기 때문에 그 분석이 어렵다. 듣기에 좋은 반주가 생성되면 동작이 잘 된다고 할 수 있고, 들었을 때 어색한 반주가 되면 성능이 좋지 못하다고 평가할 수 있기 때문이다. 실험에서는 보통의 가요 수준의 곡들을 사용하였는데 고향의 봄, 질투, 미녀와 야수 등이 그에 속한다. 독주자로는 바이엘 이상의 수준을 갖춘 사람 30명 정도가 참여하였다.

본 시스템은 곡의 음폭이 크고, 리듬 패턴이 복잡하지 않은 곡들에서, 그리고 악보 정도는 금방 읽을 수 있는 독주자가 연주했을 경우 대체로 자연스러운 반주를 할 수 있었다. 곡의 음폭이 좁은데다가 독주자가 많이 서툴거나 실수를 많이 할 때에는 자연스러운 반주가 되지 못했는데, 실수가 지나치게 많은 경우에 대해서는 인간 반주자라도 따라가기가 어렵다.

또한 빠른 템포 변화에 적응하여 반주하는데에 비교적 긴 시간이 걸린다. 보통의 인간 반주자가 독주자의 템포에 맞추는 때에는 기껏해야 두박자 정도의 시간이 걸리는데 반해, 자동 반주 시스템은 템포를 맞추는데 인간 반주자의 2배 가량의 시간이 걸렸다.

매칭 문제를 떠나서 연주자의 심리를 파악해야 하는 경우가 있는데 다음에 언급하는 사항이 이에 해당한다. 곡의 중간에 여러 마디를 쉬어야 하는 경우라든지, 두박자 이상을 쉬어야 하는 경우, 독주자가 박자를 잘 세지 못하고 미리 들어가는 경우가 많았고, 원래의 길이보다 많이 쉬고 제때에 들어가지 못하는 경우도 있었다. 실험에 의하면 대부분의 독주자들이 반주를 별로

의식하지 않고, 독주 연주에만 주의를 기울였는데 이러한 경우들에서 오류가 많이 일어났다.

## VI. 결 론

본 고에서는 컴퓨터 음악에 관한 전반적인 내용과 함께 필자의 연구내용을 기술하였다. 자동반주시스템은 1년에 걸친 준비작업과 그 후 1년 간의 알고리즘 개발과 시스템 구현 작업 끝에 이루어졌다. 이 작업을 통하여 얻은 몇가지 경험과 교훈은 다음과 같다.

첫째, 이런 종류의 실시간 컴퓨팅에서는 시스템의 성능과 계산시간 사이의 trade-off가 매우 중요하다. 또한 trade-off 자체가 자동적으로, 지능적으로 행하여지는 것이 바람직하다. 이점은 필자가 현재 연구중인 가상현실감 시스템에서도 공히 적용되고 있다.

둘째, 인간에 필적하는 반주를 생성하기 위해서 음악신호 정보만을 이용하는 방법에는 한계가 있다. 독주자의 모델링, 연주곡의 이해등이 고려된 음악 인식 문제가 대두된다. 앞서 언급 했듯이 이점은 자동반주 뿐만 아니라 모든 컴퓨터 음악에 나타날 것이다. 기계번역이나 문자인식이 인간의 지식표현과 추론과 같은 근본문제와 연결되어 있듯이 컴퓨터 음악도 인간의 이성과 감성에 관한 제반 문제에 그 해답이 숨겨져 있다고 보여진다.

셋째, 인공지능의 근본문제는 아직 미해결인 채로 남아있으나 전문가 시스템과 같은 응용 분



(그림 2) 음악교육용 시스템



야는 존재하듯이 컴퓨터 음악에서도 실용적인 응용은 무궁무진하다. 그림 2는 필자가 그간의 경험과 기술을 바탕으로 연구개발 중인 음악교육 시스템을 보여준다. 이시스템은 컴퓨터 음악, 멀티미디어, 인공지능, 특히 지능형 교수법 등이 적절히 가미되어 어린이들에게 피아노 연주와 더불어 음악을 즐기며 배우도록 설계되어 있다.

필자는 자동반주 시스템 외에도 신경회로망을 이용하여 작곡을 하는 간단한 프로그램을 구현한 적이 있으나, 표본으로 학습시킨 곡의 변주 수준에 그쳐 만족스러운 결과는 얻지 못했다. 작곡이라는 것은 반주와는 달리 창의성이 많이 요구되는 작업이므로, 작곡 법칙에 대한 지식 뿐만 아니라 인간의 작곡 과정에 대한 연구가 분석적으로 이루어져야 한다.

이와같이 컴퓨터 음악의 연구는 컴퓨터에게 고도의 지능을 요구하므로 음악에 대한 인간 심리 및 행위에 관한 연구가 함께 수행되어야 한다. 결국 컴퓨터 음악은 음악에 대한 이해, 전산학 연구, 인간에 대한 연구가 연계적으로 수행될 때 인간의 요구를 만족시키는 결과를 얻을 수 있리라 본다.

## 참 고 문 헌

1. D. P. Anderson, "Formula : A Programming Language for Expressive Computer Music", *IEEE COMPUTER*, pp. 12~21, July, 1991.
2. R. D. Ashley, "Listen and Learn : On the use of formal Models of Music Listening and Learning", In H. Brown and P. McFal (Eds.) *Music Cognition and Theories of Music*, Purdue University, 1987.
3. M. J. Baker, "Design of Intelligent Tutoring System for Musical Structure and Interpretation", In M. Balaban, K. Ebcioglu, and O. Laske (Eds.), *Understanding Music with AI*, The MIT Press, pp. 467~489, 1992.
4. M. Boom, *Music Through MIDI*, Microsoft Press, 1987.
5. L. Camilleri, "Computational Theories of Music", In A. Marsden and A. Pople (Eds.), *Computer Representations and Models in Music*, Academic Press, pp. 171~185, 1992.
6. F. Chun and S. Wu, "An Efficient Algorithm for Rhythm-finding", *Computer Music Journal*, Vol. 16, No. 2, Summer 1992.
7. D. Cope, "Recombinant Music" *IEEE COMPUTER*, pp. 22~28, July 1991.
8. R. B. Dannenberg, "Fugue : A Functional Language for Sound Synthesis" *IEEE COMPUTER*, pp. 36~41, July 1991.
9. K. Ebcioglu, "An expert system for harmonizing four-part chorales", *Computer Music Journal*, pp. 43~51, December 1988.
10. R. C. Eberhart and R. W. Dobbins, "Making Music", In *Neural Network PC Tools*, Academic Press, Inc., pp. 295~327, 1990.
11. O. Laske, "Towards a computational theory of musical listening," In L. Apostel, H. Sabbe and F. Vandamme (eds.), *Reason, emotion and music : towards a common structure for arts, sciences and philosophies, based on a conceptual framework for the description of music*, Communication and Cognition, 1986.
12. H. C. Longuet-Higgins, "The Perception of Music", *Interdisciplinary Science Reviews*, Vol. 3, No. 2, 1978.
13. G. Loy, "Musician Make a Standard : The MIDI Phenomenon", *Computer Music Journal*, Vol. 9, No. 4, Winter 1985.
14. J. Rahn, "On Some Computational Models of Music Theory", *Computer Music Journal*, Vol. 4, No. 2, Summer 1980.
15. J. Rothgeb, "Simulating Musical Skills by Digital Computer", *Computer Music Journal*, Vol. 4, No. 2, Summer 1980.
16. J. Simonton, "Build This MIDI Interface for Your PC", *Radio-Electronics*, pp. 33~39, March 1992.
17. S. W. Smoliar, "A Computer Aid for Shenkerian Analysis", *Computer Music Journal*, April 1980.
18. J. Sundberg, "Computer Synthesis of Music Performance", In J. Sloboda (Ed.), *Generative Processes in Music*, Oxford University Press, 1987.
19. P. Todd, "A Sequential Network Design for Musical Application", 1988.
20. C. Yavelow, "Music and Microprocessor : MIDI and the State of the Art", In C. Road(Ed.), *Music Machine*, The MIT Press, 199~234, 1989.

---

---

원 광 연



1984 Maryland대학 졸업(이  
학박사)  
1984 ~1986 Havard대학 응  
용과학부 강사  
1986 ~1991 Pennsylvania대  
학 전산학과 조교수  
1991 ~현재 KAIST 전산학과  
부교수  
관심 분야 : 시각정보처리, 인  
공현실감, 컴퓨터 음악



윤 정 선

1991 KAIST 학사과정 졸업  
1993 KAIST 전산학 석사  
1993 ~현재 한국표준과학연  
구원  
관심 분야 : 컴퓨터 음악, 인  
공현실감, HCI

---

---