

KIAS 초학제연구단 & SNU 동양음악연구소  
공동주관 워크숍 자료집

# 국악의 짜임새와 선율적 특징

-전통적 시각 혹은 과학적 시각-

일시 | 2022년 4월 22일(금) 14:00~18:00

장소 | 서울대학교 음악대학 55동 203호 시청각실

공동 주관



서울대 동양음악연구소  
고등과학원 초학제 독립연구단  
국악의 과학적 이해와 인공지능 국악



서울대학교 동양음악연구소



## 국악의 짜임새와 선율적 특징 -전통적 시각 혹은 과학적 시각-

일시: 2022년 4월 22일(금) 14:00~18:00  
장소: 서울대학교 음악대학 55동 203호 시청각실

시간	내용	발표자(소속)
13:00~14:00	참가자 등록	
14:00~14:10	인사말	이지영 (동양음악연구소 소장)
14:10~14:20	초학제 국악연구 소개 및 인공지능 음악 연주	정재훈 (포항공과대학교) 김정림 (국립국악원) 최영진 (한배아트스튜디오 대표)
14:20~14:50	AI도 탐내는 긴장과 이완의 방법 -전통 향피리 독주곡 상량산을 중심으로-	김경아 (서울대학교)
14:50~15:20	국악의 기하학적 구조와 AI 작곡	정재훈 (POSTECH)
15:20~15:50	한국전통음악의 음색과 장단에 관하여	허윤정 (서울대학교)
15:50~16:10	휴식	
16:10~16:40	국악 데이터 사이언스를 활용한 시김새 연구 -밀도드리를 중심으로-	최영준(온석대학원 대학교)
16:40~17:10	밀도드리 해금 선율과 cycle 분석	김명욱 (고등과학원)
17:10~17:40	종합토론	
17:40~18:00	폐회	



# 목 차

## 발제 1

- 시도 탐내는 긴장과 이완의 방법: 전통 향피리 독주곡 상량산을 중심으로 ..... 9쪽  
김경아(서울대학교)

## 발제 2

- 국악의 기하학적 구조와 AI 작곡 ..... 15쪽  
정재훈(포항공과대학교)

## 발제 3

- 한국전통음악의 음색과 장단에 관하여 ..... 27쪽  
허윤정(서울대학교)

## 발제 4

- 국악 데이터 사이언스를 활용한 시김새 연구: 밀도드리를 중심으로 ..... 33쪽  
최영준(온석대학원 대학교)

## 발제 5

- 밀도드리 해금 선율과 cycle 분석 ..... 47쪽  
김명옥(고등과학원)

## 종합토론



| 발제 1

## **시도 탐내는 긴장과 이완의 방법**

- 전통 향피리 독주곡 상량산을 중심으로-

(김경아, 서울대학교)






# AID 탐내는 긴장과 이완의 방법

-전통 향피리 독주곡 '상령산' 을 중심으로-

김경아(서울대학교)

## 1. 피리 독주곡 '상령산' 감상



## 피리 연주자 정재국

- 국가무형문화재 제46호  
피리정악 및 대취타 보유자
- 경력 2014.05-2016 국립국악원  
장악단 예술감독  
2011.03 한국예술종합학교  
명예교수  
2006 국립국악원 원로사범
- 수상 1942, 충청북도 진천 출생  
2011년 제18회 방일영 국악상  
2008년 보관문화훈장  
1989년 문화포장



## 2. 피리의 음역대

◆ 정악 연주용 향피리관 기준

黃 ♭ Eb

仲 律 備 無 黃 太 仲 林 南 無 漢 汰

## 3. 피리 독주곡 상령산의 주요 출현음

黃 ♭ Eb

侏 備 黃 太 姑 林

## 4. 음정 관계

黃 ♭ Eb

侏 備 黃 太 姑 林

◆ 단3도 : 긴장 / 퇴성, 추성, 요성

◆ 장2도 : 이완 / 퇴추

(退推, 음을 끌어내린 후 밀어 높은 소리를 낸다)

## 5. 그 밖의 긴장과 이완의 방법은?

◆ 다양한 테크닉



## 6. Q&A



| 발제 2

## 국악의 기하학적 구조와 AI 작곡

(정재훈, 포항공과대학교)



# 국악의 기하학적 구조와 AI 작곡<sup>1)</sup>

정재훈(포항공과대학교)

## <차 례>

- I. 서론
- II. 국악의 기하학적 시각화
- III. 국악의 인공지능 작곡 방법론
- IV. 국악의 인공지능 작곡 예
- V. 결론

## <국문요약>

본 발표에서는 국악을 구조적으로 분석한 최근 선행 연구를 소개하고 이를 이용한 인공지능 작곡 원리에 대해서 설명한다. 최근 선행연구에서는 국악을 음악 네트워크화하고 이 네트워크의 구조를 살펴보는 새로운 방법론을 제시하였고, 이들 구조에서 발견되는 패턴을 학습하여 새로운 음악을 만들어내는 방법론을 제시하였다. 기존의 인공지능 작곡 알고리즘이 많은 음악을 입력하여 비슷한 음악을 출력하는 방식의 블랙박스 형식의 작곡법이라고 한다면 본 발표에서 소개할 방법론은 음악의 구조를 학습하는 설명 가능한 작곡 방법론이라고 할 수 있다. 본 발표에서 소개되는 방법론은 아직 개선해야 할 점과 그 음악적 의미를 밝혀야 하는 과제를 안고 있는바 후속 연구가 필요하다.

<주제어> 국악 음악의 기하학적 구조 분석, 음악 네트워크, 알고리즘 작곡, 인공지능경망 작곡

1) 본 발표는 다음 2가지 논문에 기반하고 있다. Tran, Mai Lan, Park, Changbom, Jung, Jae-Hun, "Topological Data Analysis of Korean Music in Jeongganbo: A Cycle Structure", under review, <https://arxiv.org/abs/2103.06620>. Tran, Mai Lan, Lee, Dongjin, Jung, Jae-Hun, "Machine Composition of Korean Music via Topological Data Analysis and Artificial Neural Network", under review, <https://arxiv.org/abs/2203.15468>

## I. 서론

본 발표에서는 정악곡 중 [밀도드리 - 수연장지곡(壽延長之曲)]을 중심으로 논의를 진행하고자 한다. [밀도드리]는 정악곡 중에서 가장 많이 선호되는 곡 중의 하나로 도드리 혹은 환입(還入)이라고 하는 매우 독특한 음악 형식을 가지고 있다. 아래 【그림 1】은 해금 밀도드리곡을 오선보화한 것이다.

**【그림 1】 장식음 없이 오선보화된 해금 밀도드리곡 (Credit: 김명옥)**

선행연구에서는 밀도드리 음악이 가지고 있는 도드리와 환입이라고 하는 독특한 형식을 구조적으로 이해할 수 있도록 하는 방법론을 제시하였다. 이 방법론은 우선 단선율의 음악을 분해하여 음악을 만들어내는 가장 작은 단위의 요소를 음의 높낮이와 음의 길이의 순서쌍으로 표시하여 정의하였다. 즉, 음악이 만들어질 때 사용되는 기본적인 음의 요소들을 먼저 분류한 후 이들 음의 요소들이 만들어내는 기하학적 공간을 이해하고자 하였다.

이를 위해서 서양음악에서 흔히 사용되는 음악 네트워크(network) 방법론을 차용하였다<sup>2)</sup>.

2) Bergomi, Mattia G., and Adriano Barat`e. 2020. "Homological persistence in time series: application to music classification." *Journal of Mathematics and Music* 14 (2): 204-221.  
Bigo, Louis, Moreno Andreatta, Jean-Louis Giavitto, Olivier Michel, and Antoine Spicher. 2013. "Computation and Visualization of Musical Structures in Chord-Based Simplicial



즉, 음이 진행되면서 음의 요소들이 어떻게 배열되는지를 그래프(graph)형식으로 시각화하였다. 그리고 이렇게 그래프화된 음악의 기하학적 구조를 보기 위해서 위상수학적 데이터 분석(topological data analysis) 방법론<sup>3)</sup>을 이용하여 순환하는 구조를 찾아내려고 하였다. 위상수학 중 호몰로지는 특히 물체의 구멍(hole)의 구조에 대한 방법론을 제시하고 있고, 이 구멍을 중심으로 만들어지는 폐곡선은 순환하는 싸이클의 형식을 가지고 있으므로 음악의 특징인 반복과 순환을 설명하는데 적합하다고 판단하였다. 이 폐곡선은 각 꼭지점을 노드로 가지는데 이 노드들을 순환하는 구조로 시각화한 것이 싸이클이다. 실제 음악에서는 유한개의 싸이클을 발견할 수 있었다. 예를 들어서 밀도드리 - 수연장지곡의 경우 모두 33개의 노드가 찾아졌고, 위상수학적 데이터 분석을 통해서도 모두 8개의 싸이클이 발견되었다.

마지막으로 이들 8개의 싸이클들이 어떻게 분포되어 있는지를 보기 위해서 선행연구에서는 중첩행렬(重疊行列)이라는 새로운 기하학적 개념을 도입하였다. 중첩행렬은 음악이 진행되면서 어떻게 위에서 언급한 8개의 싸이클이 서로 연결되고 관계를 맺고 있는지를 행렬(行列)의 형식으로 시각화한 것이다. 중첩행렬의 행은 음의 진행 방향을 나타낸다. 예를 들어서 밀도드리의 경우 33개의 노드가 중복이 허락되면서 440개로 늘어놓은 순열이 되는데 중첩행렬의 각 행은 이들 각각의 순열을 순차적으로 배열한 것이라고 할 수 있다.

반면 중첩행렬의 열은 발견된 싸이클의 번호에 해당한다. 예를 들어서 밀도드리의 경우는 모두 8개의 싸이클이 있으므로 각 열은 이들 8개의 싸이클을 순서대로 늘어놓은 것이라고 할 수 있다. 중첩행렬의 전반적인 의미는 다음과 같다. 우선 중첩행렬이 0과 1만을 그 원소로 갖는 행렬이라고 생각한다(이를 선행연구에서는 이진(二進) 중첩행렬이라고 정의하였는데, 1에 해당하는 값 대신 노드의 번호를 주는 경우는 정수(整數) 중첩행렬이라고 정의하였다). 이진 중첩행렬의 한 행을 선택한다고 가정해 보자. 그럼, 이 행 중 1을 갖는 원소가 존재할 수 있다. 1의 원소 값에 해당하는 열을 찾을 수 있는데 이 열은 다시 특정한 싸이클에 해당한다. 즉, 어떤 특정한 행을 골랐을 때, 즉, 진행되고 있는 음악의 한 시점을 생각했을 때 중첩행렬의 그 행에서 다수의 1이 발견된다면 1에 해당하는 싸이클들이 중첩되어 나타난다고 할 수 있다. 다시 말해서 비록 그 시점에서 음악은 특정 노드를 연주하고 있지만 연주되는 노드를 통해서는 다양한 싸이클이 연상된다고 할 수 있다. 그런 의미에서 중첩이라고 명명되었다.

밀도드리의 음악은 도드리와 환입이라는 형식으로 되어있는데, 이것은 싸이클이 중첩행렬

Complexes." Vol. 7937, 06. Proceedings of the 12th International Society for Music Information Retrieval Conference, ISMIR 2011

Bryan, Nicholas, and Ge Wang. 2011. "Musical Influence Network Analysis and Rank of Sample-Based Music.." 01, 329-334. 12th International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR 2011)

3) Carlsson, Gunnar. 2009. "Topology and data." Bulletin of The American Mathematical Society 46: 255-308.

에서 중첩되면서 나타나고 사라지는 모양새와 매우 관계가 있다. 실제로 선행연구에서는 밀도드리와 웃도드리, 그리고 타령의 곡을 비교하였는데, 도드리 음악의 경우는 타령과 달리 매우 밀집된 중첩행렬을 만들어내었고, 반면 타령은 전혀 중첩성을 보이지 않아 도드리 음악과 확연히 구분되었다.

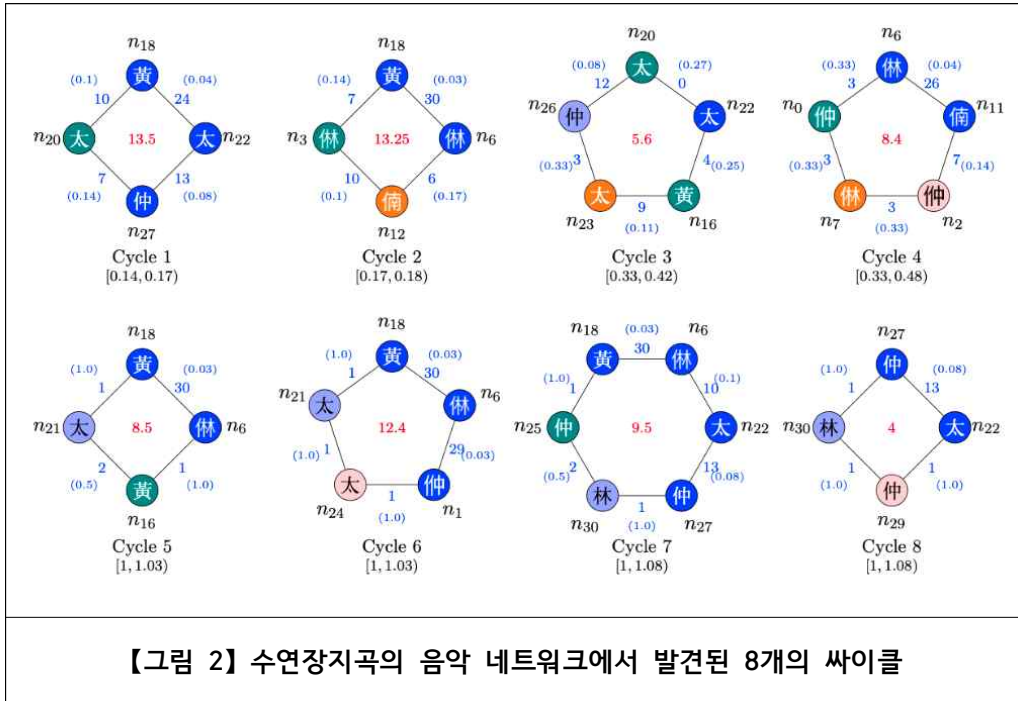
선행연구에서는 이러한 중첩행렬의 모양새를 일종의 작곡의 원리로 해석을 하였고, 이를 흉내 낸 음악을 작곡하는 방법론을 제시하였다. 첫 번째는 이들 노드와 싸이클 그리고 중첩행렬이 만드는 패턴을 그대로 수학적 모형으로 모사하는 방법론을 제시하였다. 그러나 이와 같이 동일한 패턴을 만들어내는 것은 매우 어려운 작업으로 두 번째 방법인 인공지능 학습의 개념으로 작곡하는 새로운 방법론 역시 제시하였다. 즉, 인공지능 학습의 경우 중첩행렬과 실제 음악을 학습함으로써 새로운 중첩행렬을 주었을 때 음악이 만들어지도록 하였다. 이러한 방식은 기존의 인공지능 기법과는 사뭇 다르다고 할 수 있다. 즉, 기존의 인공지능 작곡의 방식은 다수의 음악을 입력하여 기계로 하여금 학습하게 하고 이렇게 학습을 통해 인공지능망에 구축하고 이 인공지능망에 seed 음악을 제공함으로써 새로운 음악을 만들어내는 방식이다. 이것은 일종의 최적화 문제로 입력된 다수의 음악이 공통적으로 가지는 패턴을 최적화의 문제로 해석하여 최적화된 함수를 찾아내는 방식이라고 할 수 있다. 이러한 관점에서 이것은 일종의 블랙박스 알고리즘으로 실제 인공지능이 작곡을 하였다 하더라도 듣는 이는 어떤 작곡의 원리가 사용되었는지를 알 수 없다. 이러한 문제는 인공지능 분야에서 ‘설명가능한’ 인공지능이라는 문제로 알려져 있다.

반면, 본 선행연구에서 제시한 방법론은 작곡의 원리, 여기서는 중첩행렬을 학습함으로써 만들어진 음악을 해석하거나 그 작곡의 원리를 논할 수 있는 방법론이라고 할 수 있겠다.

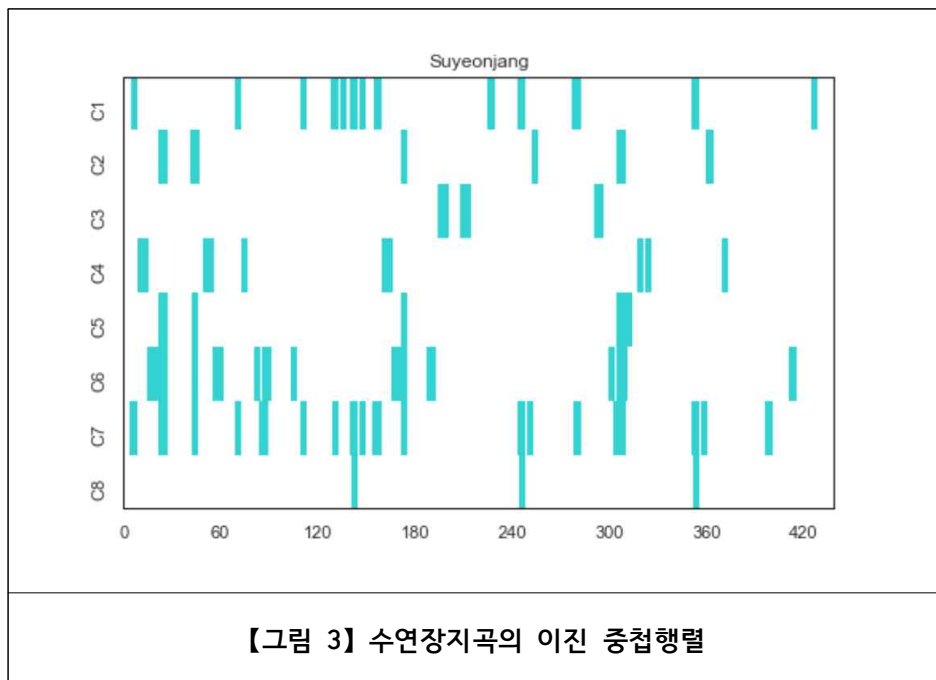
본 발표에서는 위에서 기술한 방법론을 소개하고 실제 작곡 시연을 보인다. 아울러 이러한 방법론이 가지고 있는 개선해야 할 문제점과 앞으로의 연구 방향 역시 논의하고자 한다.

## II. 국악의 기하학적 시각화

우선 아래 【그림 2】는 밀도드리를 네트워크화하고 위상수학적 데이터 분석 방법론을 적용했을 때 발견된 8개의 싸이클을 보여준다. 동그라미로 그려진 것은 음의 높낮이와 길이로 정의된 노드를 나타내고 이들 노드는 실선으로 연결되면서 폐곡선(싸이클)을 만든다. 선 위 괄호 안에 적힌 파란색 수는 노드들 간의 공간적인 길이를 나타낸다. 여기서 유의할 점은 이들 노드 사이의 거리가 만드는 공간은 평평한 유클리드(Euclid)공간이 아니라 휘고 뒤틀린 것 같은 복잡한 공간이다.

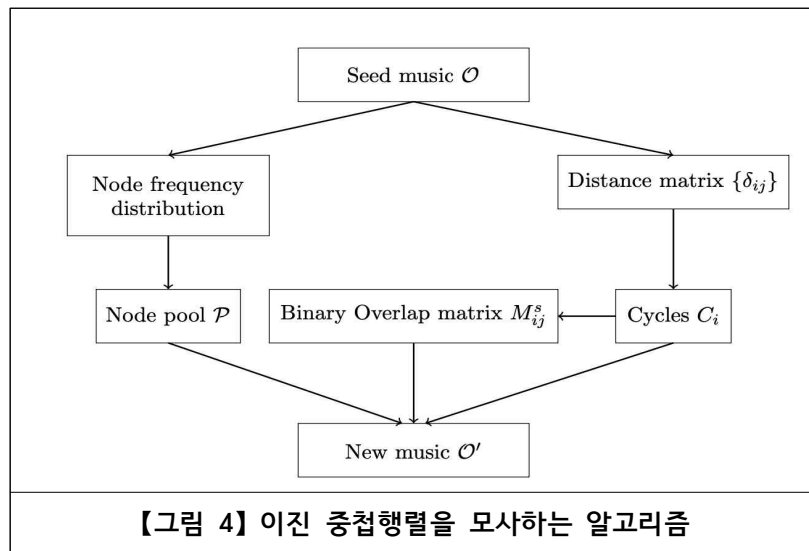


아래 【그림 3】은 밀도드리의 이진 중첩행렬을 보여준다.

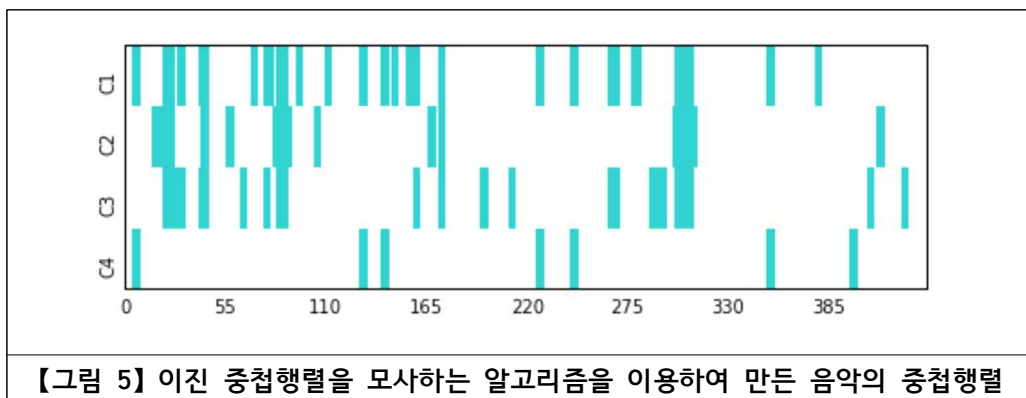


### III. 국악의 인공지능 작곡 방법론

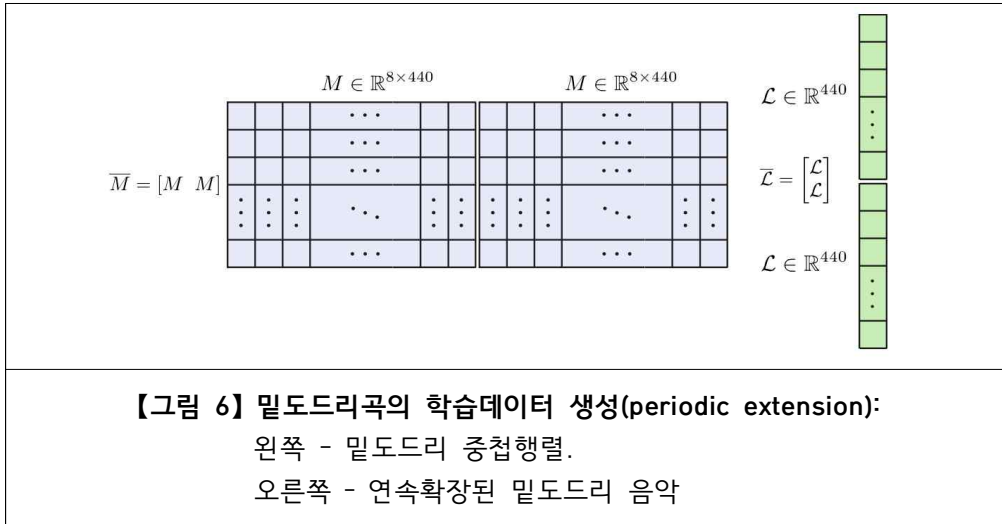
【그림 3】과 같은 중첩행렬에서 주는 패턴을 모사하기 위해서는 노드와 싸이클, 노드들 사이의 거리, 그리고 노드들의 빈도수가 대략 정의되어야 한다. 【그림 3】의 중첩행렬이 주는 규칙을 이러한 계측량을 이용하여 구현할 수 있는데 【그림 4】는 이러한 규칙을 재현하기 위한 알고리즘을 보여준다. 【그림 5】는 이러한 알고리즘을 이용하여 음악을 작곡하고 이렇게 작곡된 음악의 중첩행렬을 보여준다.



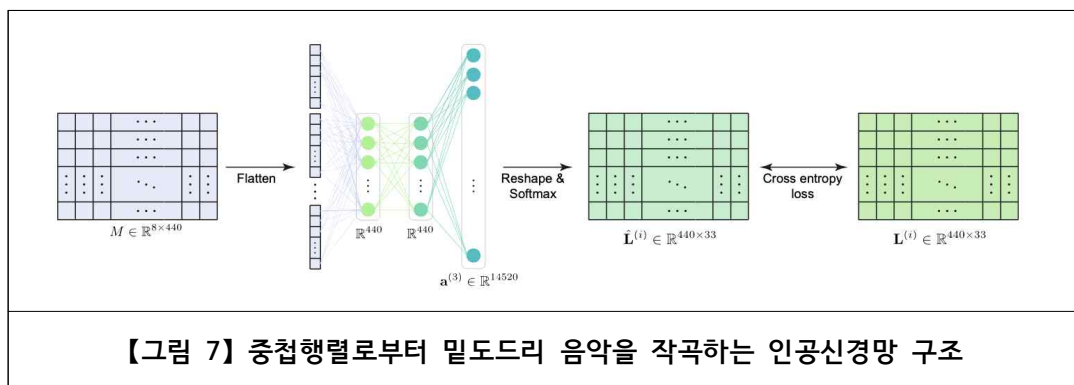
앞서 언급했던 것처럼 중첩행렬의 규칙을 모사하는 것은 수학적으로 어려움이 많다. 이 중첩행렬은 음악을 어떤 스케일에서 보느냐에 따라 달라질 수 있기 때문에 이 모든 스케일에서의 규칙을 반영하는 것은 그 복잡성이 매우 크다. 본 발표에서는 인공지능을 이용한 학습 방법을 설명하고자 한다.



【그림 6】은 인공지능 학습을 위한 데이터를 구축하는 간단한 방법을 보여준다. 물론 데이터를 구축하는 방법은 다양하고 더 좋은 방법론이 있을 수 있다. 예를 들어서 밀도드리곡은 단 한 개의 음악으로만 존재하는 단점이 있어 밀도드리의 연속확장 개념(periodic extension)을 이용하여 데이터를 생성할 수 있고 그림 6은 그와 같은 방법을 보여준다. 이것은 도드리 음악의 특성을 생각할 때 그 특성과 부합하는 방법론이라고 할 수 있다.



【그림 6】은 왼쪽의 중첩행렬이 오른쪽 음악 데이터와 상응하는 관계를 가지는 것을 암시하고 있다. 인공지능신경망을 이용하는 방법론은 이와 같이 암시되는 관계를 찾아내는 방법론으로 중첩행렬을 입력값으로 그리고 오른쪽 음악과 비슷한 음악을 출력값으로 도출한다. 이 사이의 관계는 복잡한 인공신경망을 차용하게 되는데 【그림 7】은 이러한 인공신경망을 보여준다. 【그림 7】은 2개의 인공층(層)를 갖는 인공신경망을 보여주고 각 층은 실제 음악의 길이와 같은 440개의 노드로 구성되어 있는 인공신경망을 보여준다.



## IV. 국악의 인공지능 작곡 예

【그림 8】은 【그림 4】와 【그림 7】의 알고리즘을 이용하여 기계작곡된 밀도드리 곡의 예를 보여준다. 맨 위는 원래 밀도드리 곡이고 중간은 그림 4의 알고리즘으로 작곡된 곡, 그리고 맨 아래는 【그림 7】의 알고리즘으로 작곡된 곡이다. 그림에서는 모든 곡의 도입부 일부만을 보여주고 있다.

**【그림 8】 밀도드리 음악 인공지능 작곡 예(도입부분).**

위: 원(原) 밀도드리 곡.  
중간: 그림 4의 알고리즘으로 작곡된 밀도드리.  
아래: 그림 7의 알고리즘으로 작곡된 밀도드리

기계작곡은 그 작곡이 실시간으로 진행되기 때문에 원하는 만큼 서로 다른 곡을 실시간으로 수없이 만들 수 있다. 【그림 8】의 두 곡은 기계적으로 작곡된 200개의 곡 중 무작위로 뽑은 곡이다. 더 많은 곡은 다음의 공연 유튜브 채널에서 들을 수 있다.

<https://www.youtube.com/watch?v=DKo8FjL7Mg&t=461s> (June 5, 2021).

<https://www.youtube.com/watch?v=AxXKoFRiQIQ&t=751s> (July 29, 2021).

## IV. 결론

본 발표에서는 선행연구에서 제시되었던 국악의 기하학적 구조 연구와 이를 이용한 인공지능 작곡법을 소개하였다. 이러한 방법론 개발은 아직 초기 단계로 여러 가지 후속연구를 필요로 한다. 예를 들어서 이러한 기하학적 구조에 대한 국악이론에 맞는 설명과 의미 분석, 그리고 인공지능 방법론과 관련하여 데이터 생성 방법과 인공지능망의 초기화 및 최적화 문제 등 아직 해결되어야 할 연구 주제들이 남아있다. 후속 연구가 지속 되면 이러한 연구의 음악학적 의미들을 설명하는데 도움이 될 것으로 예상된다.





| 발제 3

## 한국전통음악의 음색과 장단에 관하여

(허윤정, 서울대학교)



# 한국전통음악의 음색과 장단에 관하여

## -거문고 악기 구조와 음악을 통하여-

허윤정(서울대학교)

### 거문고의 구조

6현의 명칭 :

1현-文絃, 2현-遊絃, 3현-大絃, 4현- 標上淸, 5현- 標下淸, 6현-武絃

줄의 굵기 : 3-6-1-2-4-5

2, 3, 4 현은 16괘위에 1, 5, 6현은 3개의 안족(雁足) 위에 위치

-> 1, 4, 5, 6현은 개방현, 2, 3현은 주 기락을 연주

술대의 사용 : 타악기적 주법 '대점'





### 음색의 악기 거문고 (실연)

- 음양의 조화를 목적으로 한 현의 굵기와 배치
- 음정, 음역에 있어 저음과 고음의 극적인 대비
- 개방현과 꺾 위의 현이 교차 연주함으로 음색 변화
- 같은 음정을 다른 음색으로 연주
- 술대의 사용으로 인한 다양한 음색 표현법
- 괘를 이용한 다양한 음색 표현법

### 한국전통음악의 미의식

#### \*線의 음악\*

전통음악의 음은 하나하나가 살아 움직이며 독자성을 가짐.  
 한음 한음이 연결되어 나아가는 과정에서 선율이 만들어지는데 이때 반복이나 전형성보다 능음, 시김새 등을 통해 점진적이고 미시적인 변화를 만들어내며 선적인 흐름이 생성됨(1)

1) 이희진, 한국국악학회, 2005, 서양음악이 점들의 우위에서 선이 만들어지는 것이라면, 그래서 좌표 속에 정확하게 정해진 음들과 그것을 기록하는 악보가 중요하다면, 우리 음악에서는 선의 흐름을 만 들기 위해 정이 존재하진 하지만, 정해진 음들의 궤적을 알리며 따라 가며 선이 이루어지는 것이 아니므로 그 선을 그려 가는 음들을 모두 좌표 상에 정확하게 확정할 필요도 없다. 전자가 정적인 것이 선적인 것의 우위에 있다. 후자는 선적인 것이 정적인 것의 우위에 있는 것이다.

음과 양, 선과 면, 여백과 농담의 대비

모호함의 미학

음고와 음가가 확정적이고 이를 수평적(대위), 수직적(화성)으로 정확하게 위치시키는 서양음악과 달리 열린 구조와 음의 독자성, 불확정성이 특징인 전통음악은 내적인 질감이 외연에 드러나지 않는 모호함을 동반한다.

자연음 모방 - 미시적 비정형성, 거시적 정형성

열린 구조의 불 확정성

성음(聲音)의 추구 - 음고, 음가, 음색, 시김새, 이면 등이 모두 포함된 전통음악의 절대적 성취 기준

소크라테스의 죽음

자크루이 다비드-18세기



산수화

이경운(李慶胤) -16세기 말



### 장단의 악기 거문고 (실연)

장단의 기악화에 최적화된 악기

술대의 사용 - 동종의 Plucked Zither(샤미센, 비파 등)과 다른 주법

현의 굽기가 다름으로 인해 음색의 대비가 선명하고

강박과 약박이 극명하게 대비

정악, 특히 줄풍류 합주에서 박자와 강약을 조절하고 리드하는 역할

민속음악에서 저음부와 장단의 역할

### 정악 장단

- ① 10박의 세령산 ② 6박의 미환입 ③ 12박의 타령 ④ 양청도드리 ⑤ 취 타
- ⑥ 가곡 16박 ⑦ 가곡 10박 ⑧ 가사 5박 ⑨ 시조 5박

### 민속악 장단

- ① 6박의 진양조 ② 12박의 중모리, 중중모리, 자진모리, 굿거리
- ③ 4박의 휘모리 ④ 9박의 세마치 ⑤ 10박의 엇모리
- ⑥ 3박과 2박이 혼합된 장단들 (질채, 진쇠, 드령갱이 등)

## 전통음악의 미의식

**장단**은 음색과 더불어 전통음악의 근간을 이루는 중요한 요소

강박에서 시작해서 약박으로 끝나는 한국 전통음악

느리게 시작하여 빨라지는 만-중-삭 구조

속도의 다양성 -극적인 느낌과 빠른 속도 존재

비정형성과 즉흥성이 특징

박동과 호흡의 차이

다양한 길이의 프레임으로 이루어진 장단들은 특징적인

악센트를 사용

線적인 전통음악을 구조화하는데 있어 다변화된 장단이 골격을

만들어줌 -> 장단의 선율화 (민속음악)

1박을 2소박이 아닌 3소박으로 나누는 장단 한국 전통장단의 특성

과 3+2 혼합박의 보편적 수용이 엄청난 리듬 구조를 발전시킴

| 발제 4

**국악 데이터 사이언스를 활용한 시김새 연구**

-밀도드리를 중심으로-

(최영준, 온석대학원 대학교)





# 국악 데이터 사이언스를 활용한 시김새 연구

## -밀도드리를 중심으로-

최영준(온석대학원 대학교)

### <차 례>

- I. 문제제기
- II. 국악악보 자동 채보 시스템
- III. 한계 및 제언

### <국문요약>

인공지능(AI)은 인간의 지능을 모방하는 기초 지능을 가진 컴퓨터로 인간처럼 사고하고 행동한다. 인공지능 연구를 기계학습을 통한 분석, 분석한 데이터들로부터 예측 그리고 예측된 데이터의 활용 세 단계로 단순화시킨다면, 인공지능 국악연구도 기계학습을 통한 음악의 분석, 분석한 데이터들로부터 예측, 그리고 예측한 데이터를 활용(예, 작곡, 편곡 등)으로 단순화시킬 수 있을 것이다. 예측한 데이터를 작곡에만 국한하지 않고 다른 측면을 생각해 본다면 노래방에서 본인의 가창 실력이 점수로 나오듯 본인의 연주가 얼마나 정간보를 기점으로 여러 명인들의 연주에 가까운지를 측정해 볼 수 있는 재귀적 평가에도 사용할 수 있을 것이다. 초기의 인공지능을 활용한 음악 연구들은 악보를 미디(MIDI) 신호로 변환하고 변환된 숫자들을 기반으로 연구가 진행되었다. 미디데이터가 아티큘레이션(Articulation)과 장식음을 포함하는 경우도 있지만 악보에 나오지 않는 연주자 개개인의 특성들을 데이터화 한다는 것은 오디오 파일을 듣고 채보하는 행위에 많은 시간을 할애해야 한다는 것을 의미한다. 국악의 맛과 멋을 내는 중요한 요소인 시김새는 악보에 포함되어 있지 않는 경우가 있으며 그것들을 포함하지 않고서는 진정한 국악 데이터의 모델링을 할 수 있다. “국악 데이터 사이언스를 활용한 시김새 연구”는 이러한 문제점의 제기로부터 시작하였으며, 인공지능 국악연구를 하기 위한 선행연구로 진행되었다. 본 연구의 결과물로 나온 프로그램들을 활용하면 원천 음원 데이터를 정제하여 정간보에 나타난 음들과 정간보에 나타나지 않는 유파에 의한 다양한 시김새의 모양들을 비교하고 데이터 세트를 만들어낼 수 있다. 원천데이터가 정제되고 데이터 세트가 만들어져야 다음 단계인 기계 학습

이 가능해지게 된다. 그러나 정간보의 음악이 국악 연주자들 간 혹은 유파 간의 다양한 해석이 존재하여 서로 다르게 연주되고 있고, 정제된 데이터 세트는 다양한 변이(變異, variant)가 존재하게 되며 구성원들의 의견 합의를 이루기 힘들다. 국악 공동체 구성원들의 합의 하에 데이터가 수집되고 기계 학습이 되어야 신뢰할 수 있는 데이터 세트가 만들어질 텐데 그러지 못하여 인공지능 국악 연구의 첫 단추부터 꿰지 못하는 어려움이 있다. 그래서 학계와 다양한 연주자들의 기호를 충족시키기 위한 과학적인 방법이 필요하게 되었으며 본 연구를 통하여 정간보의 디지털화, 시김새 추출 및 비교, 연주 검증틀 개발 그리고 예측을 통한 작곡 프로그램을 기획 하게 된다. “국악 데이터 사이언스를 활용한 시김새 연구”는 기계학습을 통한 분석, 분석한 데이터들로부터 예측 그리고 예측된 데이터의 활용의 세단계 연구 중 앞의 두단계에 대하여 다룬다.

<주제어> : 인공지능, 국악연구, 데이터사이언스, 기계학습, 정간보, 시김새, 연주

## I. 문제 제기

파이썬<sup>4)</sup>은 강력한 수학 및 통계 라이브러리를 가지고 있으며 간결하고 쉬운 문법으로 인해 인공지능개발을 위한 최적의 프로그래밍 언어이다. 초기의 인공지능을 활용한 음악 연구들은 악보를 미디(MIDI)신호로 변환하고 변환된 숫자들을 기반으로 연구가 진행되었다. 그러므로 파이썬은 숫자(벡터)로 된 음악의 데이터 사이언스에 최적의 도구이다.

파이썬을 음악분석에 활용하기 위하여서는 프로그램의 구성요소로, 공통으로 사용될 수 있는 특정한 기능들을 모듈화한 라이브러리가 필요한데 그 라이브러리는 MIT에서 개발한 MUSIC21 이다. MUSIC21은 서양음악의 분석에 중점을 두었기 때문에 국악의 시김새까지 라이브러리로 만들어 놓지는 않았으며 이 작업을 위해서는 국악의 데이터 사이언스를 위한 라이브러리의 개발이 필요하다. 미디데이터가 아티큘레이션(Articulation)과 장식음을 포함하는 경우도 있지만 악보에 나오지 않는 연주자 개개인의 특성들을 데이터화 한다는 것은 오디오 파일을 듣고 채보하는 행위에 많은 시간을 할애해야 한다는 것을 의미한다.

국악 자료를 신경망에 입력해 학습시키기 위해 데이터 전 처리를 할 필요가 있다. 이를 위해 대표적인 국악 곡 35개(진도 아리랑, 널리리야, 강강술래, 풍년가 등)를 MIDI 신호로 바꾸고 이를 MUSIC21 라이브러리를 이용해 벡터화하는 과정을 거쳤다. 국악 곡을 MIDI 데이터로 만들고 전 처리를 하여 벡터화를 해야 파이썬과 MUSIC21 라이브러리에서 그다음 작업, 예를 들어 분석, 기계학습, 추측 등을 할 수 있게 된다.<sup>5)</sup>

4) 파이썬(영어: Python)은 1991년 네덜란드계 프로그래머인 귀도 반 로섬이 발표한 고급 프로그래밍 언어로, 플랫폼에 독립적이며 인터프리터식, 객체지향적, 동적 타이핑(dynamically typed) 대화형 언어이다.

5) 배준, 「인공지능을 이용한 국악 멜로디 생성기에 관한 연구」, 『한국정보통신학회논문지』 제25집 7권.

그러나 이러한 연구에서 국악을 국악답게 하며 연주자의 맛과 멋을 내는 중요한 요소인 시김새는 악보에 포함되어 있지 않은 경우가 있는데, 그것들을 포함하지 않고서는 진정한 국악 데이터의 모델링을 할 수 없다. 또한, 국악 연주자들 간 혹은 유파 간의 다양한 해석이 존재하여 서로 다르게 연주 되어지고 있고, 정제된 데이터 세트는 다양한 변이(變異, variant)가 존재하게 되기 때문에 구성원들의 의견 합의를 이루기 힘들다. 국악 공동체 구성원들의 합의 하에 데이터가 수집되고 기계 학습이 되어야 신뢰할 수 있는 데이터 세트가 만들어질 텐데 그러지 못하여 인공지능 국악 연구의 첫 단추부터 껴지 못하는 어려움이 있다.

그러므로 학계와 다양한 연주자들의 기호를 충족시키기 위한 과학적인 방법이 필요하며 본 연구를 통하여 정간보의 디지털화, 시김새 추출 및 비교, 연주 검증 툴 개발 그리고 예측을 통한 작곡 프로그램을 개발하게 된다. 이를 위해 국악 음원을 녹음하고, 국악 음원을 분석하고, 국악 음원을 벡터화하여 분석한 후, 시김새를 추출하고, 시김새를 분류하고, 비교하는 작업을 하게 된다. 이 작업을 반복하게 되면 전 처리된 데이터 세트는 더욱 정교해지고 유파별 시김새 세트가 만들어진다. 기존의 연구는 음의 높낮이와 길이만 있다. 국악 연주에 가장 중요한 시김새가 빠져 있다. 그러나 본 연구는 추후 데이터 사이언스에 사용하기 위하여 국악 연주에 가장 중요한 시김새를 어떻게 전처리를 하는지에 대해서 다루고자 한다.

## II. 국악악보 자동채보 시스템

### 1. 밀도드리 녹음

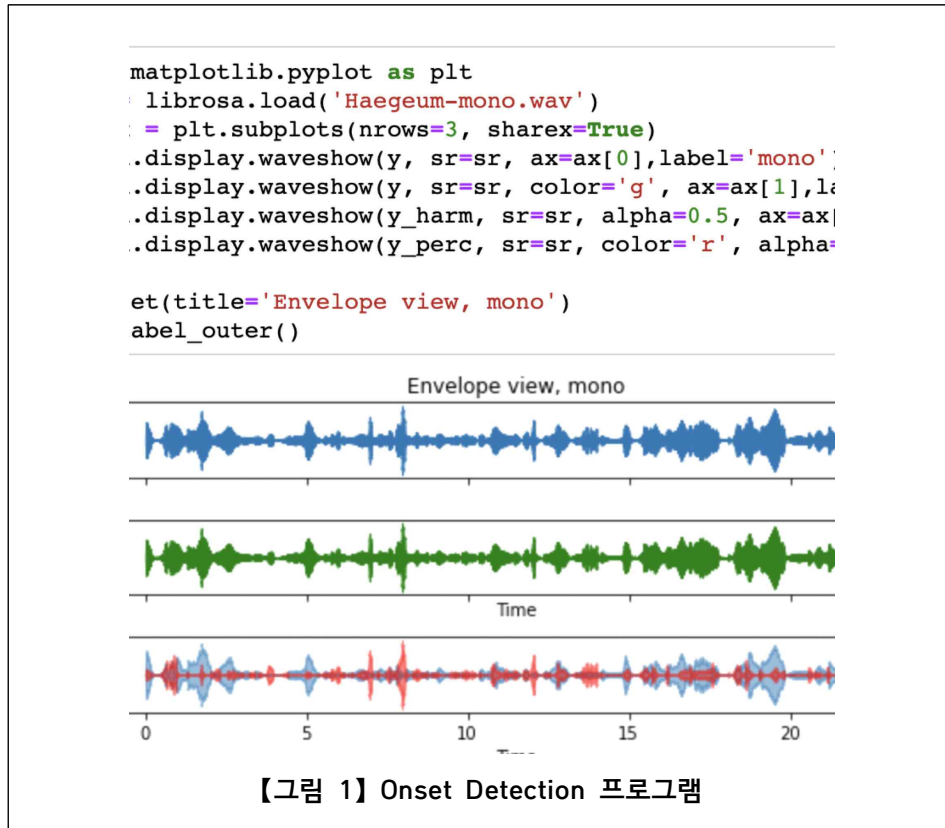
국악악보 자동 채보 시스템을 시작하기 위하여 2021년 12월 16일 실버스톤 스튜디오, 경기도, 용인 스튜디오에서 국립국악원 민속악단 해금 지도단원 김정립 명인의 연주로 <밀도드리>를 녹음한다.



【사진 1】 밀도드리 해금 녹음

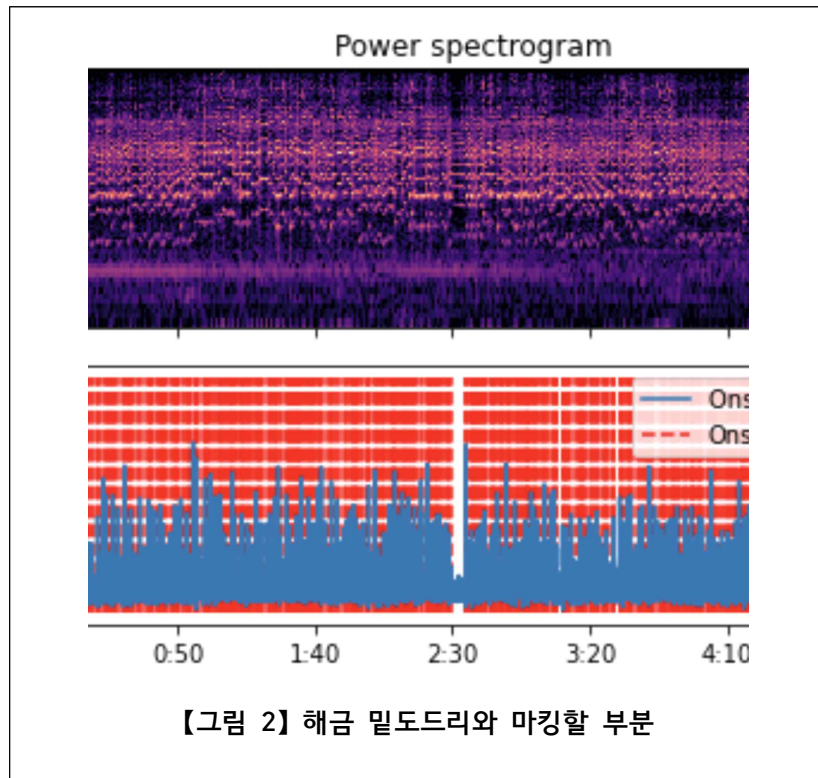
## 2. 시김새 추출 및 비교

녹음된 연주 “Haegeum-mono.wav” 파일은 파이썬 프로그램의 Onset Detection 을 통하여 Transient 부분을 마킹 하게 되고 잘라내는 시작, 끝 지점으로 삼는다.



웨이블릿(Wavelet)을 분석해 보면 스펙트럼에는 옥타브로 분리된 두 개의 뚜렷한 피크가 존재한다. 또한, 동시에 연주된 두 개의 멜로디 라인으로 구성된 오디오 세그먼트의 웨이블릿 분석(Analysing wavelet)은 한 옥타브로 분리된 두 개의 음표가 연주된 지점을 강조 표시한다. 이러한 점은 흥미로우나, 이는 다음과 같이 일반적인 변환, 즉 음악 입력의 다양한 기능을 강조하는 것이 바람직하다.<sup>6)</sup>

6) “Analysing wavelet has two distinct peaks in its spectrum separated by an octave. Wavelet analysis of an audio segment consisting of two melodic lines played simultaneously then highlights points where two notes separated by an octave were played. Whilst this is an interesting example, a more general transform suited to highlighting various features in musical input is desirable.”  
Crawford Tait, “Wavelet Analysis for Onset Detection,” (PhD thesis, University of Glasgow, 1997), p.23.

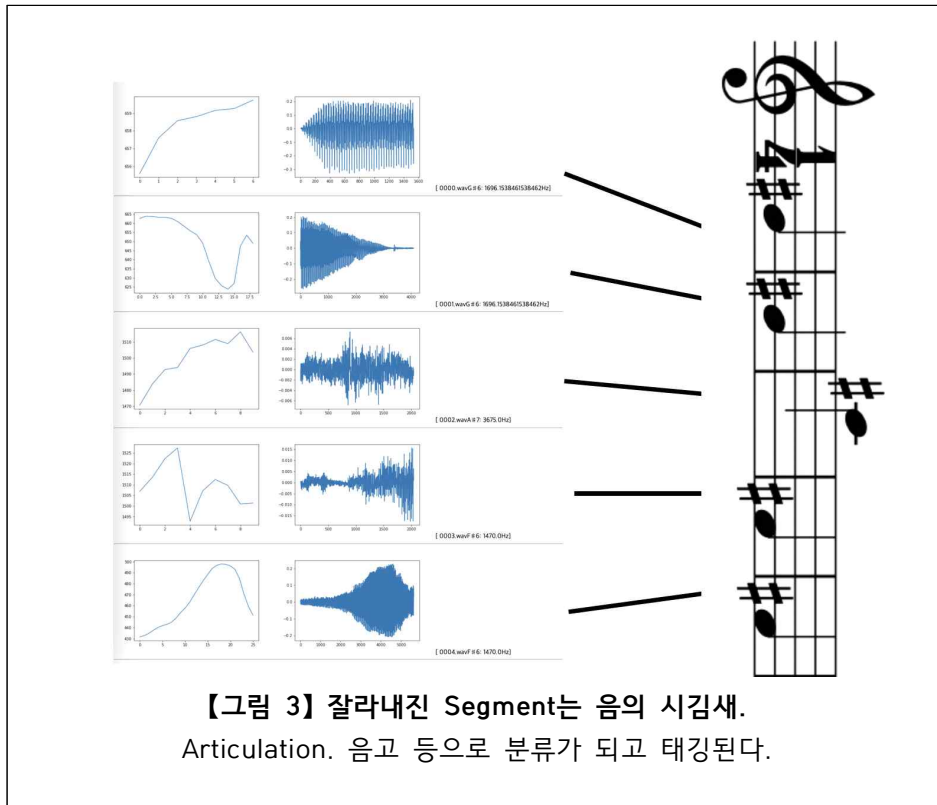


이번에 녹음된 밀도드리 연주는 567개의 Segment로 잘렸다. 모든 파일이 567개로 잘리는 것이 아니라 녹음된 음원과 Transient에 따라 그 수는 다르다.

## 2. 녹음된 음원을 악보와 시김새로 변환

전통음악은 서양음악과 달라 각 음 간의 음정도 다르고, 하나의 음을 표현하는 방식도 다양하고 복잡하며, 각각의 음을 하나로 묶는 리듬 형태도 다르다. 따라서 최선의 방법은 오선보를 사용하되 전통음악의 특성을 최대한으로 표현할 수 있는 방법의 하나로 음향학적으로 분석하여 음악적 표기로 돕는 방법이다.<sup>7)</sup> 녹음된 해금 밀도드리를 최대한 컴퓨터가 이해할 수 있는 방안으로 연주된 모든 음들을 잘라낸 후 그것들의 음의 모양을 태그(TAG)로 만들고 각 음의 모양을 태깅(Tagging)한다. 잘라내진 음들은 시김새의 모형을 정형화시키고 유사도를 판단하는 기초 자료로 사용한다.

7) 박형순, 「음성 시각기를 이용한 판소리 채보연구」, 전북대학교 석사학위논문, 2003, 8쪽.

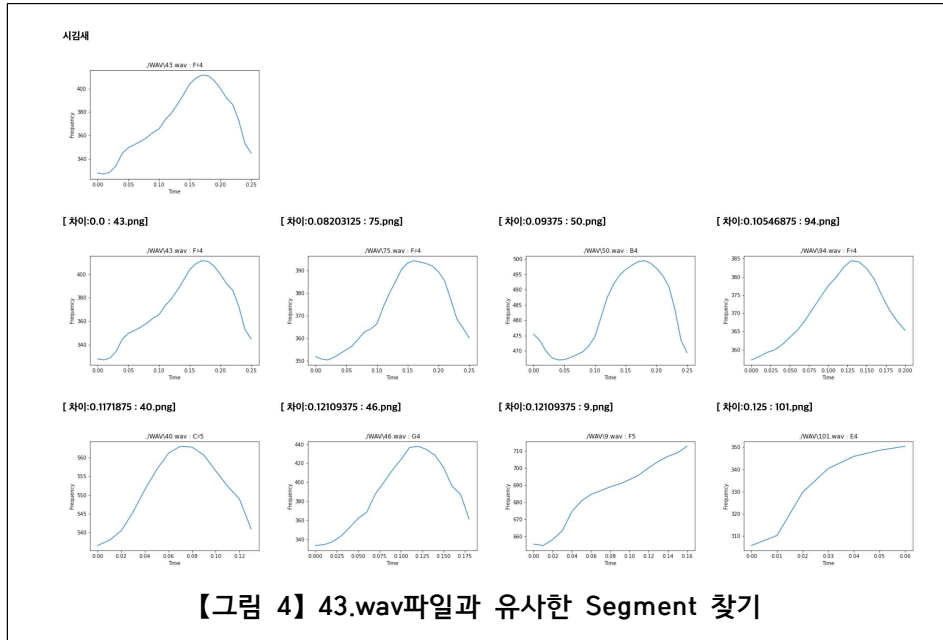


【그림 3】은 녹음된 음원을 시김새와 파형의 모습으로 만든 악보이다. 세로가 음악의 진행 방향이며 3가지의 자료를 보여준다. 먼저, 맨 좌측은 음의 피치 변화로 시김새를 판단하는 주요한 자료이다. 두 번째는 음의 높낮이는 주파수를 검출하고 주파수는 노트값으로 변환되어있다. 세 번째는 파일 이름과 노트 이름(예, G#6) 과 피치 주파수를 보여준다. 녹음된 음원을 악보와 시김새로 변환하는 프로그램은 녹음된 음원에서 청음된 음들을 미디 값으로 변환시킬 수 있다. 아직은 미디 값으로 변환할 때에 시김새의 분류데이터는 저장되지 않으나 후에 MIDI NRPN(Non Registered Parameter Number)값으로 저장할 수도 있다. 【그림 4】의 우측은 Export된 MIDI 파일을 시벨리우스 음악 사보 프로그램에서 열어본 화면을 캡처한 것인데 현재 음의 길이 값은 분류하지 않았다.

### 3. 시김새 클러스터링 프로그램으로 시김새 유사도 찾기

국악 악보 자동 채보 시스템에서 사용한 유사한 시김새를 찾는 방법은 다음과 같다. 특징 공간(feature space)은 고차원의 데이터를 저차원으로 압축시키면서 특징 벡터로 만드는데, 이때 이 특징 벡터들이 존재하는 차원 공간이다. 특징 공간은 임베딩(feature embedding)

을 통하여 데이터를 특징벡터로 만드는 과정을 거쳐 모델을 만든다. 특정 벡터로의 변환을 목표로 데이터를 압축하기 때문에 단순한 데이터 압축이 아니며 그 안에 들어있는 시김새의 특성들이 보존된다. 43번 음과 유사한 음을 찾아 클러스터링 하는 예제를 설명한다.

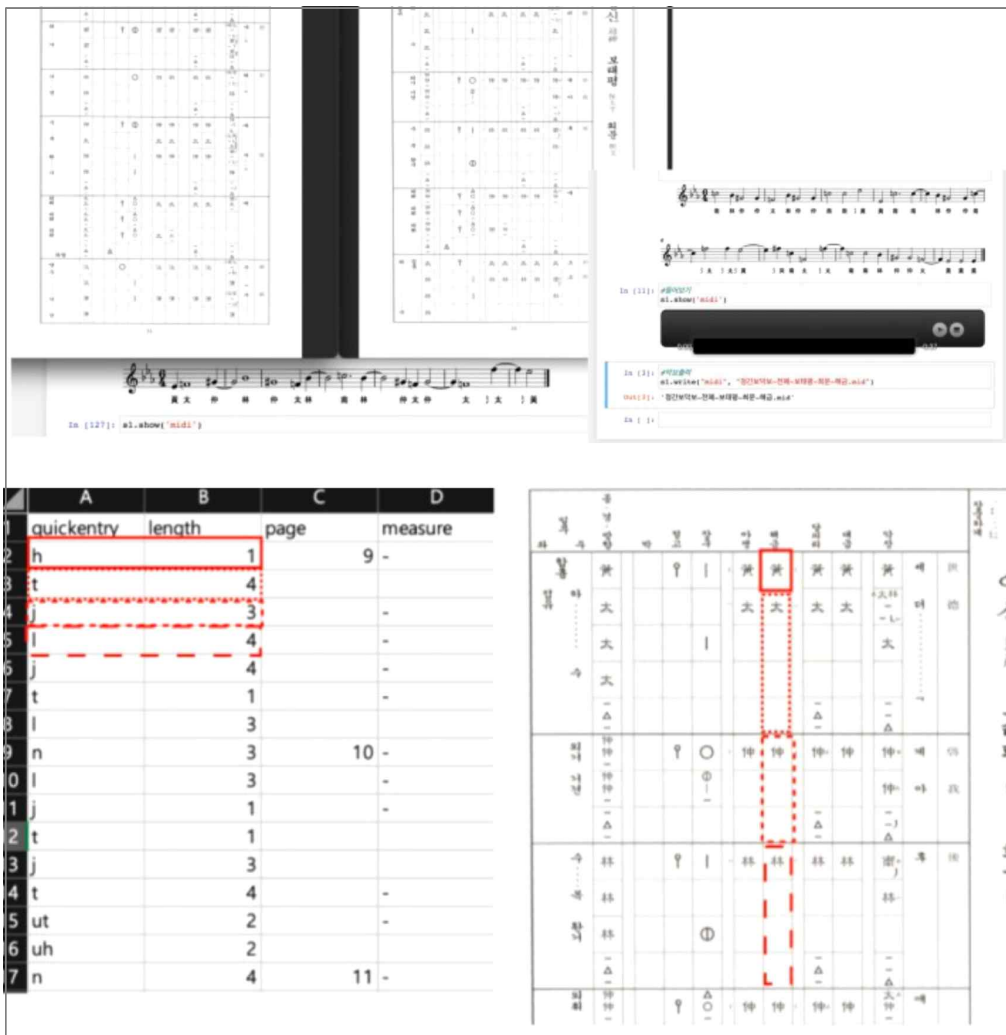


F#4 음을 갖는 [43.wav] 파일의 시김새 모양은 [75.wav] 파일의 시김새 모양과 유사하다. 이에 [43.wav] 와 [43.wav] 자신을 비교하면 차이는 0.0 이며, [43.wav] 와 [75.wav] 의 차이는 0.08203125 에 해당한다. 차이가 0.0 에 가까울수록 자신과 유사하다는 것을 의미하는데, [43.wav] 와 [50.wav] 의 차이는 0.09375 로 비슷하지만 다르다. 그리고 [43.wav] 와 [94.wav] 의 차이는 0.10546875 인데. 귀로 들으면 다른 시김새로 인식되어 들린다. 그러므로 차이가 0.1 이상 되면 다른 시김새로 봐야 한다. 그리고 3단계 혹은 coefficient가 0.1 이상 되면 다른 articulation 이 되니 같은 Segment로 볼 수 없다.

### 5. 정간보 디지털화를 위한 정간보 엑셀 변환 프로그램

녹음된 음원과 원래의 정간보를 비교하기 위하여 정간보의 데이터를 디지털화 해야 할 필요성이 있다. 데이터 사이언스를 하는 프로그램인 파이썬에서 정간보를 다루려면 음의 높낮이와 길이 등이 간단한 숫자로 되어있어야 한다. 그것에 최적화된 파일은 “CSV (파일 형식 - comma separated value, 쉼표를 기준으로 항목을 구분하여 저장한 데이터)” 가 편하

다. 마이크로소프트 엑셀은 초등학교 교과과정 중에 포함되어 있으며 CSV파일을 다루기에 편리하다. 정간보 디지털화에는 입력하는데 정간보를 읽을 수 있는 많은 음대생이 필요하다. 복잡한 전용 프로그램이나 피날레, 시벨리우스, 로직, 큐베이스 등 사람마다 다 사용하는 프로그램이 다르기 때문에 추후에 다시 재변환을 해야 하는 번거로움이 있다. 그러므로 정간보를 읽을 줄 알고, 가장 간단한 엑셀 프로그램은 정간보를 디지털화 하는데 가장 간결한 조합이 된다.



【그림 5】 정간보 엑셀 변환 프로그램

## 6. 도드리 인공지능 검증 프로그램

“도드리 인공지능 검증 프로그램”은 현재 약 600여 곡의 인공지능으로 작곡된 밀도드리



곡들을 분류하는 프로그램이다.

A	B	C	D	E
filename	tae-hwang	jung-tae	nam-im	tae-nam
A1_SYJ_Scale4_0.mid	29	24	11	
A1_SYJ_Scale4_15.mid	29	24	15	
A1_SYJ_Scale4_2.mid	26	18	15	
A1_SYJ_Scale4_38.mid	25	25	6	
A1_SYJ_Scale4_28.mid	24	19	10	1
A1_SYJ_Scale4_39.mid	24	18	14	1
A1_SYJ_Scale4_11.mid	24	25	10	1
A1_SYJ_Scale4_29.mid	23	16	16	
A1_SYJ_Scale4_20.mid	23	21	8	
A1_SYJ_Scale4_24.mid	23	27	18	1
A1_SYJ_Scale4_5.mid	22	25	11	
A1_SYJ_Scale4_10.mid	22	22	7	
A1_SYJ_Scale4_36.mid	22	16	14	
A1_SYJ_Scale4_9.mid	22	25	13	1
A1_SYJ_Scale4_4.mid	21	18	10	1
A1_SYJ_Scale4_34.mid	21	22	21	
A1_SYJ_Scale4_35.mid	21	22	17	1

【그림 5】 인공지능으로 작곡된 음악들의 검증 프로그램.

위의 엑셀 파일은 밀도드리(수연장지곡 SYJ) 음악들의 내부 구성음들 중 ‘태-황’, ‘중-태’, ‘태-남’의 진행들이 얼마나 많은가를 찾아내고 그 찾아낸 음들의 구성성분을 밀도드리 원곡과 비교 한다.

밀도드리 원곡	
태-황	22번
중-태	27번
태-남	12번

그 결과, 태-황’ 이 22번, ‘중-태’ 가 27번 그리고 ‘태-남’ 이 12번 등으로 밀도드리에서는 ‘태-황’, ‘중-태’, ‘태-남’의 진행이 두드러지게 나타난다. 그러므로 인공지능으로 작곡된 곡들도 ‘태-황’, ‘중-태’, ‘태-남’의 진행이 비슷한 분포로 나타나는 것이 밀도드리의 진행과 유사하다고 볼 수 있는지의 여부를 “도드리 인공지능 검증 프로그램”으로 판단해 볼 수 있다.

### III. 한계 및 제언

국악 데이터 사이언스를 활용한 시김새 연구는 총 5단계의 프로그램으로 구성되어 있다.

1. 국악악보자동채보시스템
2. 정간보 디지털화를 위한 정간보 엑셀 변환 프로그램
3. 시김새 클러스터링 프로그램으로 시김새 유사도 찾기
4. 디지털 정간보와 추출된 시김새의 기계 학습
5. 도드리 인공지능 검증 프로그램

디지털 정간보와 추출된 시김새의 기계 학습 부분은 정간보 디지털화와 시김새 클러스터링 프로그램으로 충분한 데이터가 모인 후부터 작동이 가능하므로 이 페이퍼가 발표될 즈음부터는 연구가 재개될 것으로 보인다. “국악 데이터 사이언스를 활용한 시김새 연구”는 데이터 학습 세트가 많아질수록 더욱 정교한 데이터 세트가 만들어진다. 이 말은 더욱 더 똑똑한 인공지능프로그램으로 발전되어 녹음되어 제공되는 음원이 어떠한 음악적, 시김새를 가지고 있는지를 나타낼 수 있게 된다. 그러므로 더욱 많은 데이터를 녹음하고 프로그램에 학습시켜야 한다. 이를 위해서는 음반 자료나 유튜브의 자료를 학습시키는 방법 외에도 직접 녹음을 통해 진행할 수 것이다. 다만 음반 자료나 유튜브의 자료는 이 연구의 목적을 설명하지 않은 상태의 연주라 결과가 상이할 수 있으므로 가장 좋은 방법은 연주자에게 “국악 데이터 사이언스를 활용한 시김새 연구”의 목적과 결과물 활용에 대하여 충분히 설명하고 녹음 데이터를 얻는 것이 가장 바람직하다고 생각한다.

3M에서 포스트 잇 은 강력한 접착제를 만들려다 만들어진 부산물이라고 한다. “정간보 디지털화를 위한 정간보 엑셀 변환 프로그램”을 만들다 보니 엑셀로 타이핑을 하는 것만으로 음악을 만들 수 있는, 엑셀 프로그램으로 직접 정간보를 작성해 음악을 들어 볼 수 있게 되었다. 또한, “시김새 클러스터링 프로그램”을 통하여 분류된 샘플들은 앞서 엑셀 프로그램으로 직접 작성한 정간보로 만들어진 음악으로부터 다양한 시김새가 가미된 샘플 재조합 방식의 뮤직 프로덕션 가상악기를 만드는 기반이 되었다. 이는 본인이 20여 년 전부터 개발한 국악 가상악기의 한계점이었던 시김새 표현이 인공지능과 국악 데이터 사이언스를 활용한 시김새 연구를 통하여 한 단계 앞으로 나가는 계기가 될 것이기도 하다.

샘플기반의 국악 가상악기는 다양한 시김새를 표현하는 것이 한계가 있었다. 샘플용 음원을 녹음하기 위해서는 음악 연주 속에 자연스럽게 녹아 들어가 있는 시김새를 표현하는 것이 아니라, 시김새들을 따로 녹음을 하기 때문에 부자연스러울 수밖에 없는 태생적인 한계를 가지기 때문이다.

그러나 인공지능을 활용한 시김새의 태깅과 분류 작업은 일일이 수작업으로 가상악기용 샘플데이터를 편집해야 하는 수고를 줄여줌으로써 대용량의 데이터로부터 가상악기용 시김새 연주 샘플을 얻어 낼 수 있게 된다. 그러므로 이러한 과정에서 얻어진 샘플들로부터 가상악기를 제어한다면 더욱 사실적인 샘플기반의 국악 음악을 만들어 낼 수 있을 것이다.



| 발제 5

**밀도드리 해금 선율과 cycle 분석**

(김명옥, 고등과학원)



## 밀도드리 해금 선율과 cycle 분석

김명옥(고등과학원)

<차 례>

- I. 서론
- II. 밀도드리 해금 선율 분석
- III. TDA cycle structure 비교
- IV. 결론

<국문요약>

도드리의 변천과정과 특징에 관한 국악 분야의 다양한 연구에 더하여 최근 위상수학적 분석방법론(TDA)을 적용한 밀도드리 해금 선율 분석 연구가 있었다. 이는 최근 대두되고 있는 인공지능 음악 연구의 일환으로, 그 분석이 음악의 특징을 적절히 반영하고 있는지에 대한 검토가 필요하다. 특히 TDA의 분석 방법은 ‘울’과 ‘길이’ 결합을 단위로 하는 각 노드를 대입하여 이루어졌기 때문에 보편적으로 인식하는 음악의 특징과 부합하는지 살펴볼 필요가 있다. 이에 따라 밀도드리 해금 선율의 동일반복선율을 찾고, 다시 선율을 1장단보다 작은 선율 조각으로 나누어 원선율과 반복·변형선율로 분류하였다. 이를 통해 분석한 선율의 양상을 비교한 결과 TDA에서 환cycle의 형성 및 환구조cycle structure로 드러난 밀도드리 환cycle의내재적 순환구조와 선율의 반복과 변형에 의한 밀도드리의 반복 및 순환구조의 특징이 상당히 일치함을 알 수 있었다.

<주제어> : 밀도드리, 해금, 위상수학TDA, 반복, 변형, 환cycle, 환구조cycle structure

# 문제제기 및 연구목적

## • 위상수학적 분석방법론을 적용한 밀도드리 선행 연구 :

Tran, Mai Lan, Park, Changbom, Jung, Jae-Hun, "Topological Data Analysis of Korean Music in Jeongganbo: A Cycle Structure", under review, <https://arxiv.org/abs/2103.06620>.

- 수연장: 8개의 cycle 정의
- Overlap matrix: 시각화, cycle structure 분석
- 수연장, 송구여, 타령의 비교 분석

➤ a. TDA 선행연구 결과의 검토 필요

## • 국악분야 밀도드리 선행연구:

- 연구내용: 보허자와 파생관계, 변천과정
- 연구방법: 선율비교연구
  - 선율론적 연구의 필요성
- 밀도드리 해금의 동일선율 62.5% (박해진, 2012)

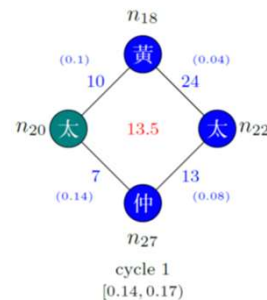
➤ b. 밀도드리의 선율론적 분석 필요: 구조 파악

➤ 연구목적 a+b: b를 통한 a의 검토

# 연구문제

1. TDA에서 도출된 환cycle과 환구조cycle structure가 밀도드리 해금 선율과 관련이 있는가?

2. 도드리의 '환입(換入)'이라는 명칭과 별개로, 도드리 선율에 반복에 의한 순환구조가 존재하는가?





# 연구방법

- 연구대상 악보: 국립국악원, 『국악전집 제6집:여민락-도드리』(1978)의 밑도드리 해금 선율
- 분석 기준: 시김새 제의(\*이때 시김새는 농음, 추성, 퇴성)
- 분석 방법: 오선보 역보, 선율출현위치 '1-2-전(후)', '4-1-①②' 등으로 표기

## • 연구방법:

### 1. 밑도드리 해금 선율분석:

- 동일반복선율
- 선율 조각의 반복과 변형
  - 전체 선율을 '선율 조각'으로 나눔
  - '선율 조각'의 정의: 1장단 이하 3점간 또는 2점간 등 길이에서 하나의 악구를 이루는 선율  
1장단이 도드리에서 더 작은 악구로 반복, 변형되지 않는 경우에만 1장단 단위로 구분
  - 원선율에 대한 반복선율, 변형선율을 유사성에 따라 분류
- 두가지의 양상 종합
  - 반복, 변형양상에 따른 순환구조 파악

### 2. TDA cycle, cycle structure와 비교

# TDA: 밑도드리 해금의 cycle

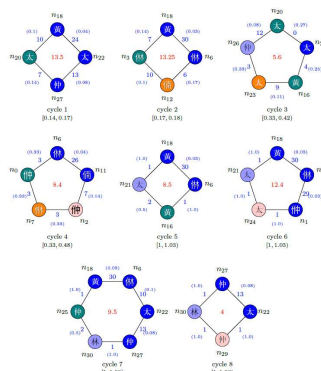


Figure 7. The 8 cycles identified by TDA in Stowonjang. Each cycle shows the persistence interval, the node number, edge weight (normal size in blue), distance between node (small size in blue in brackets) and the average weight (red in center). Cycle 2 is corresponding to the shortest persistence in ID barcode. Cycle 1 is corresponding to the longest persistence in ID barcode. Cycles 6, 7 and 8 do not appear in actual music in their whole consecutive form. Their corresponding persistence starts from  $d = 1$  in ID barcode. The average node number is 4.625. The average weight is 0.30275.



## 밀도드리 해금의 동일반복선율(2장단이상 단위)

해금

밀도드리  
죽목한산 시일새재요.

2

해금

역보: 김명옥

## 밀도드리 해금의 동일반복선율(1장단단위 포함)

해금

밀도드리  
죽목한산 시일새재요.

3

해금

역보: 김명옥

## 밑도드리 해금의 동일반복선율

- 2장단 이상의 동일반복선율:

- 밑도드리에서는 1장과 2장·4장 그리고 6장과 7장에서 큰 틀의 역할을 하는 **집합적 동일반복선율**이 출현한다.
- 2장단~5장단 길이

- 1장단 단위 동일반복선율:

- 출현 위치가 불규칙적이다.
- 1장단 단위로만 출현한다.
- 첫 출현과 두 번째 출현 사이의 **거리가 먼 경향이 있다.\***
  - 총11회 중 7회: 장(章)을 넘어 출현
- 두 번째 출현이 밑도드리 **후반부에 위치**하는 경향이 있다.\*
  - 총11회 중 8회: 후반부 출현

\* 반드시 예외가 존재한다.



- 단점:

동일반복선율 이외의 선율 특징 파악의 난점

## 선율의 반복과 변형

- 선율조각: 3정간, 2정간, 4정간의 최소 악구 단위(예외적 6정간)
- 원선율 vs 반복선율, 변형선율
- 변형선율: 원선율과의 유사성에 의한 분류
  - 유사성 판단 기준: 출현음, 선율선, 리듬

# 원선율, 반복선율, 변형선율

해금

밀도드리  
국악전집, 시감새제외.

# 유사성에 따른 분류

• 원선율

- 1-2-후는 4회의 반복선율이 출현한다.
- 1-2-후는 4종의 변형선율이 출현한다.
- 반복선율 2-4-후, 3-2-후, 4-2-후는 상대적으로 가까운 위치에 출현한다.
- 반복선율 6-14-후는 상대적으로 먼 위치에 출현한다.
- 변형선율의 순차적 재변형이 출현한다.
- 1-2-후는 2장까지 두 번째 변형과 두번째 변형의 재변형이 출현한다.
- 1-2-후의 두번째 변형 2-2-후는 3회의 반복선율이 출현한다.
- 두번째 변형의 재변형은 반복선율이 없으며 각 한가지 요소를 변형한다.(리듬 또는 음)
- 7-12-전에서는 변형에 이전보다 과감한 요소가 사용된다.

# 유사성에 따른 분류

## \* 원선율

- 1-2-후에는 세 번째, 네 번째 변형선율이 출현한다.
- 원선율 뿐만 아니라 변형선율의 반복선율도 출현한다.
- 원선율과 변형선율의 반복선율은 전반부, 후반부에 모두 출현한다.
- 네 번째 변형은 6장에서 출현하여, 이후 6~7장에서 4회의 반복선율을 갖는다.
- 변형의 방법은 한가지 요소를 사용하였다.(이조, 음의 변형)

# 소결: 밀도드리 해금의 반복 및 변형 양상

## 동일반복선율

- 2장단 이상 단위 동일반복선율:
  - 1장과 2장·4장 그리고 6장과 7장에서 큰 틀의 역할을 하는 **집합적 동일반복선율** 출현
- 1장단 단위 동일반복선율:
  - 불규칙적인 출현위치
  - 1장단 단위로만 출현
  - 첫 출현과 두 번째 출현 사이의 **거리가 먼 경향**
  - 두 번째 출현이 밀도드리 **후반부에 위치**하는 경향

## 선율 조각의 반복 및 변형

- 밀도드리에서 15개의 원선율 추출
- 원선율과 변형선율은 각각의 반복선율과 변형선율을 가질 수 있다.
- 밀도드리 해금의 모든 선율 조각은 원선율의 반복선율, 변화선율에 해당한다.
- 1~4장에서 점진적 변화, 최소한의 선율요소 변화
- 5장에서 새로운 선율의 출현
- 6~7장에서는 다양하고 과감한 변형방법 시도
- 6~7장에도 반복선율 출현

➤ 그러므로 밀도드리 해금 선율에는 반복 및 변형에 의한 반복과 순환의 구조가 있다.

# TDA cycle structure 비교

Node symbol (in cycle [Pines 7])	Music note		
	Name	Pitch	Length
n0	평 (Jeong)	G#3	1/3
n1	평 (Jeong)	G#3	1
n2	평 (Jeong)	G#3	2
n3	평 (Jeong)	G#3	1/3
n4	평 (Jeong)	G#3	1
n5	평 (Jeong)	G#3	5/3
n6	평 (Jeong)	G#3	1
n7	평 (Jeong)	G#3	5/3
n8	평 (Jeong)	G#3	1
n9	평 (Jeong)	G#3	5/3
n10	평 (Jeong)	G#3	1
n11	평 (Jeong)	G#3	5/3
n12	평 (Jeong)	G#3	1
n13	평 (Jeong)	G#3	5/3
n14	평 (Jeong)	G#3	1
n15	평 (Jeong)	G#3	5/3
n16	평 (Jeong)	G#3	1
n17	평 (Jeong)	G#3	5/3
n18	평 (Jeong)	G#3	1
n19	평 (Jeong)	G#3	5/3
n20	평 (Jeong)	G#3	1
n21	평 (Jeong)	G#3	5/3
n22	평 (Jeong)	G#3	1
n23	평 (Jeong)	G#3	5/3
n24	평 (Jeong)	G#3	1
n25	평 (Jeong)	G#3	5/3
n26	평 (Jeong)	G#3	1
n27	평 (Jeong)	G#3	5/3
n28	평 (Jeong)	G#3	1
n29	평 (Jeong)	G#3	5/3
n30	평 (Jeong)	G#3	1

Table 5: Information of all nodes that appear in cycles identified by TDA in Suyeonjang. All nodes are listed in ascending order in terms of pitch. There are all 30 nodes that appear in one of 3 cycles. The table shows the name, pitch and length.

Node symbol	Music note		
	Name	Pitch	Length
n0	평 (Jeong)	G#3	1/3
n1	평 (Jeong)	G#3	1
n2	평 (Jeong)	G#3	2
n3	평 (Jeong)	G#3	1/3
n4	평 (Jeong)	G#3	1
n5	평 (Jeong)	G#3	5/3
n6	평 (Jeong)	G#3	1
n7	평 (Jeong)	G#3	5/3
n8	평 (Jeong)	G#3	1
n9	평 (Jeong)	G#3	5/3
n10	평 (Jeong)	G#3	1
n11	평 (Jeong)	G#3	5/3
n12	평 (Jeong)	G#3	1
n13	평 (Jeong)	G#3	5/3
n14	평 (Jeong)	G#3	1
n15	평 (Jeong)	G#3	5/3
n16	평 (Jeong)	G#3	1
n17	평 (Jeong)	G#3	5/3
n18	평 (Jeong)	G#3	1
n19	평 (Jeong)	G#3	5/3
n20	평 (Jeong)	G#3	1
n21	평 (Jeong)	G#3	5/3
n22	평 (Jeong)	G#3	1
n23	평 (Jeong)	G#3	5/3
n24	평 (Jeong)	G#3	1
n25	평 (Jeong)	G#3	5/3
n26	평 (Jeong)	G#3	1
n27	평 (Jeong)	G#3	5/3
n28	평 (Jeong)	G#3	1
n29	평 (Jeong)	G#3	5/3
n30	평 (Jeong)	G#3	1

Table 6: All nodes in Suyeonjang.

- 노드 node=(음, 길이)

출처: Tran, Mai Lan, Park, Changbom, Jung, Jae-Hun, "Topological Data Analysis of Korean Music in Jeonganbo: A Cycle Structure", under review, <https://arxiv.org/abs/2103.06620>.

# 밀도드리의 선율과 cycle 비교

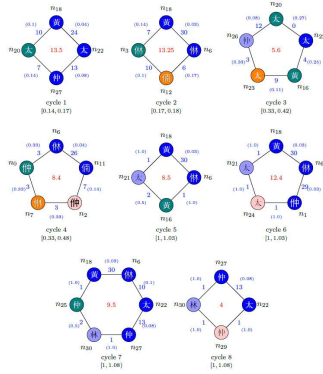


Figure 7: The 8 cycles identified by TDA in Stevie Nicks. Each cycle shows the persistence interval, the node number, edge weight (normal size in blue), distance between node (small size in blue in brackets) and the average weight (red in center). Cycle 2 is corresponding to the shortest persistence in 1D barcode. Cycle 4 is corresponding to the longest persistence in 1D barcode. Cycles 6, 7 and 8 do not appear in actual music in their whole consecutive form. Their corresponding persistence start from  $d = 1$  in 1D barcode. The average node number is 4.625. The average weight is 9.30375.

출처: Tran, Mai Lan, Park, Changbom, Jung, Jae-Hun, "Topological Data Analysis of Korean Music in Jeongganbo: A Cycle Structure", under review, <https://arxiv.org/abs/2103.06620>.

Ex.1



Ex.2



- 연구문제: TDA에서 정의된 cycle이 인식가능한 음악을 반영하고 있는가?
- 분석방법:
  - 선율 조각에서 연결부를 제외한 **음악적 선율부분만** cycle에 적용
  - 선율 조각의 연결부분만 cycle에 적용

# 선율선과 cycle의 관계

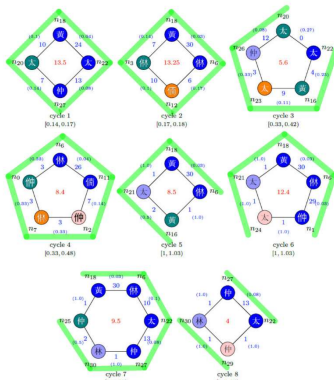


Figure 9: The 8 cycles identified by TDA in Stevie Nicks. Each cycle shows the persistence interval, the node number, edge weight (normal size in blue), distance between node (small size in blue in brackets) and the average weight (red in center). Cycle 2 is corresponding to the shortest persistence in 1D barcode. Cycle 4 is corresponding to the longest persistence in 1D barcode. Cycles 6, 7 and 8 do not appear in actual music in their whole consecutive form. Their corresponding persistence start from  $d = 1$  in 1D barcode. The average node number is 4.625. The average weight is 9.30375.

- 선율 조각의 선율선만 적용했을 때 cycle 1~8 모두에 출현
- 제외된 edge는 출현빈도가 1 또는 0으로 낮음
- Cycle 1~8은 모든 노트(음, 길이)를 적용한 것이므로 음악적으로 의미가 낮은 장단과 장단 사이, 선율 조각과 조각 사이의 연결을 모두 포함하여 도출한 결과이다.
- 선율 조각의 '선율선'만을 적용한 결과에서 모든 cycle에 나타났다. 주요 edge에 모두 포함되었다는 점에서 의미가 있다. (초록색)



## 연결부와 cycle의 관계

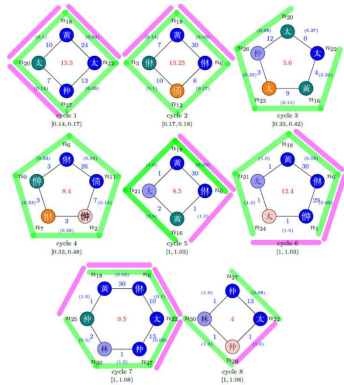


Figure 7: The 8 cycles identified by TDA in Suyeonjang. Each cycle shows the persistence interval, the node number, edge weight (normal size in blue), distance between node (small size in blue in brackets) and the average weight (red in center). Cycle 2 is corresponding to the shortest persistence in ID barcode. Cycle 4 is corresponding to the longest persistence in ID barcode. Cycles 6, 7 and 8 do not appear in actual music in their whole consecutive form. Their corresponding persistence starts from  $d = 1$  in ID barcode. The average node number is 4.625. The average weight is 9.26575.

- 선율 조각의 '선율선' 부분만 적용했을 때 cycle 1~8 모두에 출현
- 제외된 edge는 출현이 1 또는 0으로 낮음
- Cycle 1~8은 모든 노드(음, 길이)를 적용한 것이므로 음악적으로 의미가 낮은 장단과 장단 사이, 선율 조각과 조각 사이의 연결이 포함되어 있다.
- 선율 조각의 '선율선'만을 적용한 결과에서 모든 cycle에 나타났다는 점, 주요 edge에 모두 포함되었다는 점에서 의미가 있다. (초록색)
- 반면 선율 조각의 '연결부'만 적용한 경우, 일부 cycle의 일부 edge에만 나타났다. (분홍색)

## 밀도드리의 cycle structure

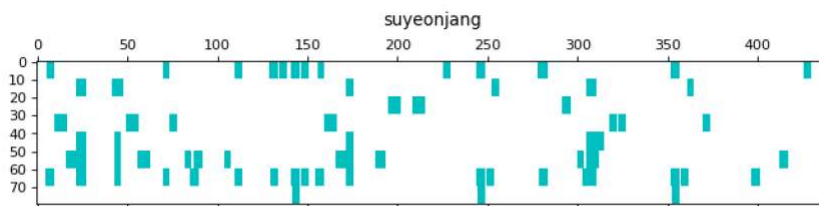


Figure 9: Overlap matrix on 4-scale for Suyeonjang. This shows consecutive sequences of at least 4 nodes involved in cycles of Suyeonjang. Similar plot as Figure 8. Those cycles are displayed when at least 4 nodes in the cycle are appearing in the music. Notice that Cycles 6, 7 and 8 are appearing in the figure.

출처: Tran, Mai Lan, Park, Changbom, Jung, Jae-Hun, "Topological Data Analysis of Korean Music in Jeongganbo: A Cycle Structure", under review, <https://arxiv.org/abs/2103.06620>.

\* 중첩행렬 overlap matrix : 밀도드리의 cycle structure의 시각화

# 밀도드리의 cycle structure

- 1~4장에서 cycle의 중첩이 활발히 나타남
- 집합적 동일반복선율에서 cycle의 중첩이 활발히 나타남
- 새로운 선율이 출현하는 5장에서 cycle과 cycle 중첩이 낮게 나타남
- 후반부 즉, 6~7장에서 cycle의 밀도가 낮음
- 그러나 6~7장에서 cycle의 중첩과 반복이 나타남

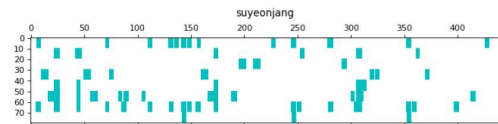


Figure 9: Overlap matrix on 4-scale for Suyeonjang. This shows consecutive sequences of at least 4 nodes involved in cycles of Suyeonjang. Similar plot as Figure 8. Those cycles are displayed when at least 4 nodes in the cycle are appearing in the music. Notice that Cycles 6, 7 and 8 are appearing in the figure.

## 소결: TDA의 cycle structure 비교

### a. TDA cycle 분석

- ① 1~4장에서 cycle의 중첩이 활발히 나타남
- ② 집합적 동일반복선율에서 cycle의 중첩이 활발히 나타남
- ③ 새로운 선율이 출현하는 5장에서 cycle과 cycle 중첩이 낮게 나타남
- ④ 중후반부 5~7장에서 cycle의 출현빈도가 낮음
- ⑤ 그러나 6~7장에서 cycle의 중첩과 반복이 나타남

### b. 밀도드리 선율 분석

- ① 1~4장에서 **반복선율**의 출현이 많고 변형선율에서 최소한의 요소만 변형함
- ② 특정 선율의 반복이 많을수록 cycle을 구성할 수 있는 가능성이 높기 때문
- ③ 새로운 선율이 출현할 수록 (울, 길이)의 새로운 결합이 나타나 cycle이 성립하기 어려운 조건 형성
- ④ 5~7장에서 보다 과감하고 다양한 요소의 변형이 나타남
- ⑤ 밀도드리에서 반복과 변형은 강한 경향일 뿐, 항상 예외가 있다.
  - ✓ 6장과 7장은 첫 5장단을 동일반복하여 구조적 관점에서 강한 유사성이 있으나 제6장단 이후에는 전반부에서 출현한 선율의 반복 선율을 불규칙하게 배치하는 가운데 보다 도전적으로 변화된 변화 선율을 비중이 높게 배치한다.

# 결론

- 밀도드리에는 2~5장단 단위의 집합적 동일반복선율이 각 장에 위치하여 반복의 큰 틀을 이룬다.
- 1장단 단위 동일반복선율은 주로 6~7장에서 출현 비중이 높고 불규칙한 위치에 출현한다.
- 밀도드리 해금의 선율분석에서 15가지의 원선율과 그 반복 및 변형선율이 출현하였다.
- 반복선율의 분포는 1~4장에서 비중이 높고 5~7장에서 낮았다.
  - 그러므로 밀도드리 해금 선율에는 반복과 순환의 구조가 있음을 알 수 있다.
- 8개의 cycle은 밀도드리의 모든 노트를 적용하여 정의된 점과 비교해, 밀도드리의 선율 조각에서 음악적 '선율선' 부분만을 cycle에 적용했을 때에도 8개의 모든 cycle에 포함되었다.
  - TDA에서 정의된 cycle이 밀도드리의 음악적 내용과 부합함을 알 수 있다.

# 결론

- 1~4장에서 반복선율의 출현이 상대적으로 많고 변형선율에서 최소한의 요소만 변형하였다.
  - 반면 6~7장에서 보다 과감하고 다양한 요소의 변형이 나타났다.
  - 1~4장에서 cycle의 중첩이 활발히 나타났고 후반부 5~7장에서 cycle의 출현빈도가 낮고 중첩의 빈도도 낮았다.
  - 집합적 동일반복선율의 출현위치에서 cycle의 중첩이 활발히 나타났다.
    - 반복선율과 최소한의 변형선율의 비중이 높은 1~4장에서 cycle의 출현과 중첩이 활발히 나타나고 새로운 선율, 과감한 변형선율의 비중이 높은 5~7장에서는 cycle의 출현과 중첩의 비중이 상대적으로 낮다. 그러나 5~7장에서도 cycle의 중첩이 나타나며 이는 주로 집합적 동일반복선율에 따른 것으로 보인다.
  - 변형선율은 1~4장에서 최소한의 요소를 적용, 5~7장에서 좀더 다양하고 과감한 요소를 적용하였
    - 다양한 변형과 새로운 선율의 출현은 새로운 노트(울, 길이)가 나타나 cycle이 성립하기 어려운 조건을 형성하므로 5~7장에서 cycle의 출현빈도가 낮고 중첩도 적게 나타나는 것으로 보인다.
- ❖ 밀도드리 해금 선율에는 선율의 반복과 변형에 의한 반복 및 순환구조가 존재하며 그 특징은 TDA 분석에 따른 환구조cycle structure의 내재적순환구조와 상당히 일치한다.