บทประพันธ์เพลงอิเล็คโทรอะคูสติก ลอเรนซ์ เริสเลอร์ เฮนอน
สำหรับวงขนาดเล็กและซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์

โดย

ประดิษฐ์ แสงไกร

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม

หลักสูตรดุริยางคศาสตรมหาบัณฑิต

วิทยาลัยดนตรี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยรังสิต

ปีการศึกษา 2567

LORENZ, ROESSLER, HENON: ELECTROACOUSTIC COMPOSITION FOR CHAMBER ENSEMBLE AND MODULAR SYNTHESIZER

BY

PRADIT SAENGKRAI

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR

THE DEGREE OF MASTER OF MUSIC

CONSERVATORY OF MUSIC

GRADUATE SCHOOL, RANGSIT UNIVERSITY

ACADEMIC YEAR 2024

วิทยานิพนธ์เรื่อง

บทประพันธ์อิเล็กโทรอะคูสติก ลอเรนซ์ เริสเลอร์ เฮนอน
สำหรับวงขนาดเล็กและซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์

โดย
ประดิษฐ์ แสงไกร

ได้รับการพิจารณาให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาดุริยางคศาสตรมหาบัณฑิต

มหาวิทยาลัยรังสิต
ปีการศึกษา 2567

ศ. ดร.วิบูลย์ ตระกูลฮุ้น ประธานกรรมการสอบ	ดร. วงศ์วัชรสรรค์ กิจประเสริฐ กรรมการ
ผศ. ดร.พลังพล ทรงไพบูลย์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ดร.เจตนิพิฐ สังข์วิจิตร กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(ศ. ดร. สื่อจิตต์ เพ็ชร์ประสาน)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
16 สิงหาคม 2567

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

Thesis entitled

LORENZ, ROESSLER, HENON: ELECTROACOUSTIC COMPOSITION FOR CHAMBER ENSEMBLE AND MODULAR SYNTHESIZER

by

PRADIT SAENGKRAI

was submitted in partial fulfillment of the requirements
for the degree of Master of Music

Rangsit University
Academic Year 2024

Prof. Wiboon Trakulhun, D.A. Examination Committee Chairperson	Vongwatshson Kijpresert, D.F.A. Member
Asst. Prof. Palangpon Songpaiboon, D.F.A. Member and Advisor	Asst. Prof. Jetnipith Sungwijit, D.F.A. Member and Co-Advisor

Approved by Graduate School

(Prof. Suejit Pechprasarn, Ph.D.)
Dean of Graduate School
August 16, 2024

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณท่านต่างๆที่ได้มีส่วนสนับสนุนแก่วิทยานิพนธ์เรื่อง ลอเรนซ์, เริส เลอร์, เฮนอน บทประพันธ์เพลงสำหรับวงขนาดเล็กและซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์ นี้ ท่านแรกที่มีพระคุณอย่างสูงคือผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เด่น อยู่ประเสริฐ ที่ได้แนะนำให้ผู้วิจัยศึกษาในหลักสูตรดุริยางคศาสตรมหาบัณฑิต ท่านต่อมาคือ ครูพูนสุข สว่างเนตร ครูเลิศ ชูเกษม ที่เปรียบเสมือนบิดามารดาคนที่สองของผู้วิจัย ครูชาตรี อบนวล ครูสุจินต์ เฟื่องฟุ้ง ครูดนตรีไทยตั้งแต่สมัยที่ผู้วิจัยเรียนชั้นประถมจนถึงปัจจุบัน ครูเสรี หริมพานิช ครูสุเชาว์ หริมพานิช ผู้บ่มเพาะประสบการณ์การเป็นนักดนตรีไทย ผู้ช่วยศาสตรจารย์ สงบศึก ธรรมวิหาร ผู้ถ่ายทอดวิชาความรู้ด้านดนตรีไทย ครูบุญยงค์ เกตุคง ครูบุญยัง เกตุคง ครูจำเนียร ศรีไทยพันธุ์ ผู้ประสิทธิประสาทวิชาดนตรีไทยเพิ่มเติม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พันเอก ชูชาติ พิทักษากร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชูวิทย์ ยุระยง รองศาสตราจารย์ ดร. ณรุทธ์ สุทธจิตต์ ผู้ปูพื้นฐานด้านทฤษฎีดนตรีตะวันตกและจิตวิทยาการสอนดนตรีเมื่อครั้งผู้วิจัยศึกษาอยู่ที่คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาจารย์บรูซ แกสตัน ผู้แนะนำให้ศึกษาหาความรู้เพิ่มเติมด้านการประพันธ์เพลงศตวรรษที่ 20 คุณคีธ ฮิลล์แบรนท์ คุณแกรี่ ฮอลล์ คุณกัวร์ มัลสทีน ผู้ให้คำแนะนำและให้ประสบการณ์ความรู้เกี่ยวกับซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เจตนิพิฐ สังข์วิจิตร และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พลังพล ทรงไพบูลย์ ที่ให้คำปรึกษาและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้อย่างละเอียด

นอกจากนี้ยังมีผู้ช่วยศาสตราจารย์ บุญรัตน์ ศิริรัตนพันธ ผู้ให้คำปรึกษาในส่วนของการนำเสนอและเป็นวาทยากรบทประพันธ์เพลงทั้งสามบทนี้ อาจารย์ชัชพล เจียมจรรยง สำหรับคำแนะนำการใช้ศัพท์เฉพาะสำหรับเครื่องเป่า คุณวันวิสา อยู่ฤทธิชัยและทีมงานวิเดียโปร สำหรับการถ่ายภาพนิ่งและวิดีทัศน์เพื่อนำเสนอผลงาน และสุดท้ายคือ คุณอมลวัทน์ ฐกัดกุล ผู้คอยให้กำลังใจและสนับสุนให้ผลงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณท่านทั้งหลายเป็นอย่างสูง มา ณ ที่นี้ด้วย

ประดิษฐ์ แสงไกร

ผู้วิจัย

6006138 : ประดิษฐ์ แสงไกร
ชื่อวิทยานิพนธ์ : บทประพันธ์เพลงอิเล็กโทรอะคูสติก ลอเรนซ์ เริสเลอร์ เฮนอน สำหรับวงขนาดเล็กและซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์
หลักสูตร : ดุริยางคศาสตรมหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. พลังพล ทรงไพบูลย์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. ดร. เจตนิพิฐ สังข์วิจิตร

บทคัดย่อ

บทประพันธ์เพลง ลอเรนซ์, เริสเลอร์, เฮนอน สำหรับวงขนาดเล็กและอิเล็กทรอนิกเป็นบทประพันธ์เพลงอิเล็กโทรอะคูสติกที่ประพันธ์ขึ้นเพื่อสร้างสรรค์ผลงานดนตรีซึ่งผสมผสานลักษณะการประพันธ์เพื่อเครื่องดนตรีอะคูสติกและเสียงอิเล็กทรอนิกบนหลักการของการประพันธ์เพลงแบบสร้างเงื่อนไข โดยประยุกต์หลักการสร้างเงื่อนไขและดนตรีศตวรรษที่ 20 โดยเฉพาะการสร้างเงื่อนไขเพื่อให้ได้มาซึ่งค่าตัวแปรต่างๆของบทประพันธ์ตามเทคนิคการประพันธ์แบบดนตรีโครงสร้างนิจลักษณ์โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์เพื่อจัดการโครงสร้างของบทประพันธ์ทั้งค่าโน้ต ค่าความดัง ค่าความยาว โดยใช้วิธีการถอดค่าจากทฤษฎีโกลาหลลอเรนซ์, เริสเลอร์, เฮนอน แม็พ ตามลำดับ

บทประพันธ์แรกจะใช้ระบบเสียงแบบ 48 เสียงเท่าและ 12 เสียงเท่าบรรเลงไปพร้อมกัน บทที่สองผู้ประพันธ์ใช้โปรแกรมแม็กซ์เพื่อได้มาซึ่งค่าผลลัพธ์จากสมการเพื่อจัดการความดัง และความยาวเสียงภายใจบทประพันธ์ นอกจากนี้ยังใช้ระบบการสร้างรูปแบบจังหวะแบบยูคลิเดียนมาใช้ในช่วงกลางของบทประพันธ์ บทประพันธ์ที่สามได้ใช้หลักการสร้างเงื่อนไขบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อสร้างไฟล์มิดิขึ้น แล้วจึงนำทำนองที่ได้มากระจายให้เครื่องดนตรีต่างๆบรรเลงโดยคำนึงถึงขอบเขตระดับเสียงของเครื่องดนตรีนั้นๆเป็นหลัก บทประพันธ์ทั้งสามเพลงใช้ซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์เป็นเครื่องบรรเลงเดี่ยว อย่างไรก็ดี บทประพันธ์นี้มีความท้าทายต่อผู้บรรเลงเป็นอย่างสูงเนื่องจากความยากทั้งด้านการแสดงและเตรียมการ จำเป็นต้องมีการซ้อมอย่างเพียงพอและการเตรียมการบรรเลงที่มีประสิทธิภาพ

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 140 หน้า)

คำสำคัญ: ลอเรนซ์, เริสเลอร์, เฮนอน, อิเล็กโทรอะคูสติก, ดนตรีโครงสร้างนิจลักษณ์, ซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์

ลายมือชื่อนักศึกษา ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

6006138 : Pradit Saengkrai

Thesis Title : Lorenz, Roessler, Henon: Electroacoustic Composition for Chamber Ensemble and Modular Synthesizer

Program : Master of Music

Thesis Advisor : Asst. Prof. Palangpon Songpaiboon, D.F.A.

Thesis Co-Advisor : Asst. Prof. Jetnipith Sungwijit, D.F.A.

Abstract

The composition Lorenz, Roessler, Henon for chamber ensemble and modular synthesizer are the original electroacoustic music compositions. They were composed based on strange attractor equations which are applied to manage pitch, dynamic and note duration, combining acoustic and electronic composition techniques altogether, which is the identity of Formalized Music composition technique.

The process of each composition used different approaches on obtaining results from the equation. In the first composition, the 48 equal temperament and regular 12 equal temperament tuning systems were used together by the composer. In the second composition, the composer employed Max software to aid in finding values from the Roessler equation to manage pitch and duration in the composition. In addition, the composer used Euclidean rhythm pattern in the middle part of the composition. In the third composition, the composer used an algorithm on a software to generate a MIDI file, and then spread the obtained melody to all instruments in the ensemble according to the registration of each instrument. All of these compositions used a modular synthesizer to play the cadenza part. The next procedure is to prepare a musical raw material, plan various structures, and then develop and ensemble all materials together to get the composition which has rhythmic, melodic, harmonic and timbre variety. However, the compositions are challenging because of the difficulty. Thus, they need efficient preparation and rehearsal.

(Total 140 pages)

Keywords: Lorenz, Roessler, Henon, Electroacoustic Music, Formalized Music, Modular Synthesizer

Student's Signature …..... Thesis Advisor's Signature .....

Thesis Co-Advisor's Signature .....

สารบัญ

		หน้า
กิตติกรรมประกาศ		**ก**
บทคัดย่อภาษาไทย		**ข**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		**ค**
สารบัญ		**ง**
สารบัญตาราง		**ช**
สารบัญรูป		**ฌ**
สารบัญตัวอย่าง		**ฎ**
บทที่ 1	**บทนำ**	**1**
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์	2
	1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
	1.4 ขอบเขตการประพันธ์	3
	1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ	3
บทที่ 2	**ศึกษางานประพันธ์และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง**	**7**
	2.1 ผลงานและแนวคิดการประพันธ์	7
	2.1.1 ยานนิส เซนาคิส	7
	2.1.2 คาร์ลไฮนซ์ สต็อคเฮาเซน	11
	2.1.3 ปิแอร์ บูเลซ	17
	2.2 ทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้อง	20
	2.2.1 การสังเคราะห์เสียงแบบกล้ำความถี่ (Frequency Modulation Synthesis)	20
	2.2.2 การสังเคราะห์เสียงโดยใช้อณูเสียง (Granular Synthesis)	22

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
	2.2.3 การสังเคราะห์เสียงแบบตัดทอนความถี่ (Subtractive Synthesis)	24
	2.2.4 การสังเคราะห์เสียงแบบอ้างอิงกายภาพ (Physical Modeling Synthesis)	27
บทที่ 3	**แนวคิดเบื้องต้นสำหรับการประพันธ์**	**29**
	3.1 โครงสร้างบทประพันธ์	29
	3.2 การเรียบเรียงเสียงดนตรี	34
	3.3 การสร้างชุดวัตถุดิบสำหรับการประพันธ์	36
	3.4 การพัฒนาวัตถุดิบในการประพันธ์	39
	3.5 การสังเคราะห์เสียงที่ใช้ในบทประพันธ์	40
บทที่ 4	**อรรถาธิบายบทประพันธ์**	**42**
	4.1 บทประพันธ์ *ลอเรนซ์*	42
	4.1.1 การได้มาซึ่งค่าระดับเสียงและความยาวโน้ตในบทประพันธ์	42
	4.1.2 สีสันของเสียงในบทประพันธ์	46
	4.1.3 รูปแบบจังหวะในบทประพันธ์	47
	4.1.4 การพัฒนาบทประพันธ์จากตัวแปรต่างๆที่กำหนด	48
	4.1.5 สังคีตลักษณ์ของบทประพันธ์	54
	4.2 บทประพันธ์ *เริสเลอร์*	54
	4.2.1 การได้มาซึ่งค่าระดับเสียงและความยาวโน้ตในบทประพันธ์	54
	4.2.2 สีสันของเสียงในบทประพันธ์	60
	4.2.3 รูปแบบจังหวะในบทประพันธ์	62

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
	4.2.4 การพัฒนาบทประพันธ์จากตัวแปรต่างๆที่กำหนด	63
	4.2.5 สังคีตลักษณ์ของบทประพันธ์	64
	4.3 บทประพันธ์ *เสนอน*	68
	4.3.1 การได้มาซึ่งค่าระดับเสียงและความยาวโน้ตในบทประพันธ์	68
	4.3.2 สีสันของเสียงในบทประพันธ์	70
	4.3.3 รูปแบบจังหวะในบทประพันธ์	71
	4.3.4 การพัฒนาบทประพันธ์จากตัวแปรต่างๆที่กำหนด	72
	4.3.5 สังคีตลักษณ์ของบทประพันธ์	76
บทที่ 5	**สรุปบทประพันธ์**	**77**
	5.1 การประพันธ์เพลงอิเล็กโทรอะคูสติกบทใหม่	77
	5.2 ปัญหาและอุปสรรคที่คาดว่าจะได้พบในการแสดงผลงาน	78
	5.2.1 ปัญหาด้านความถูกต้องในการบรรเลง	78
	5.2.2 ปัญหาด้านการจัดการทางเทคนิคของเสียงซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์	79
	5.2.3 ปัญหาด้านการจัดความสมดุลย์ระหว่างเสียงอะคูสติกและซินธิไซเซอร์	79
	5.3 แนวทางการแก้ปัญหาที่คาดว่าจะได้พบในการแสดงผลงาน	79
	5.3.1 แนวทางแก้ไขปัญหาด้านความถูกต้องในการบรรเลง	79
	5.3.2 แนวทางแก้ไขปัญหาด้านการจัดการทางเทคนิคของเสียงซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์	80
	5.3.3 แนวทางแก้ไขปัญหาด้านการจัดความสมดุลย์ระหว่างเสียงอะคูสติกและซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์	80

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บรรณานุกรม		**81**
ภาคผนวก		**83**
ภาคผนวก ก	ตารางค่าระดับเสียงในระบบมีดี้	84
ภาคผนวก ข	โน้ตเพลง *ลอเรนซ์* สำหรับวงขนาดเล็กและซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์	86
ภาคผนวก ค	โน้ตเพลง *เริสเลอร์* สำหรับวงขนาดเล็กและซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์	96
ภาคผนวก ง	โน้ตเพลง *เฮนอน* สำหรับวงขนาดเล็กและซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์	107
ภาคผนวก จ	คิวอาร์โค้ดสำหรับรับชมบันทึกการแสดง	138
ประวัติผู้วิจัย		**140**

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	การเปรียบเทียบค่าสมการลอเรนซ์, เริสเลอร์, เฮนอนแม็พ	30
4.1	ค่าโน้ตที่ได้จากการถอดสมการลอเรนซ์	43
4.2	ค่าความถี่ที่ได้จากการสุ่มเก็บตัวอย่างจากสมการลอเรนซ์	45
4.3	ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าความถี่จริงและระดับเสียงในระบบ 48 เสียงเท่าที่ใกล้เคียง	46
4.4	ค่าจากการสุ่มเก็บตัวอย่างอัตราส่วนของคล็อกดิไวเดอร์	49
4.5	ค่าที่ได้จากการถอดสมการเริสเลอร์และแปลงค่าโน้ตในระบบมิดิจากซอฟท์แวร์แม็กซ์	58
4.6	ค่าระดับเสียงในระบบมิดิมาตรฐาน	60
4.7	ค่าจากตารางที่ 4.5 เมื่อแปลงเป็นค่าโน้ตปกติ	60
4.8	ค่าอัลฟ่าและเบต้าที่แนะนำสำหรับการใช้เว็บแอปพลิเคชั่นเพื่อสร้างไฟล์มิดิจากสมการเฮนอน	70

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	เมทริกซ์ตัวเลขลำดับที่ 1 จากบทประพันธ์ *คลาเวียร์สตึกหมายเลข 11*	12
2.2	เมทริกซ์จังหวะลำดับที่ 1 จากบทประพันธ์ *คลาเวียร์สตึกหมายเลข 11*	12
2.3	เมทริกซ์เลขโรมันลำดับที่ 1 จากบทประพันธ์ *คลาเวียร์สตึกหมายเลข 11*	13
2.4	ความสัมพันธ์ของค่าภายในเมทริกซ์เลขโรมัน เมทริกซ์ตัวเลข และเมทริกซ์จังหวะที่ 1	14
2.5	การแทนค่าโอเวอร์โทนฮาร์โมนิกด้วยตัวเลขในบทประพันธ์ *คลาเวียร์สตึก หมายเลข 11*	15
2.6	ผังการจัดวงสำหรับการบรรเลงบทประพันธ์ *เรปงส์*	19
2.7	แผนผังการไหลของสัญญาณจากหลักการซิมเปิลเอฟเอ็มของจอห์น โชว์นิง	21
2.8	ความสัมพันธ์ระหว่างโมดูเลชันอินเด็กซ์และความถี่ข้างเคียง	22
2.9	การทำงานของฟิลเตอร์ประเภทต่างๆ	25
2.10	โมเดลการสั่นสะเทือนของพื้นผิว	28
3.1	กราฟสมการลอเรนซ์	31
3.2	กราฟสมการเริสเลอร์	31
3.3	กราฟสมการเฮนอนแม็พ	31
3.4	เส้นเวลาแนวคิดของบทประพันธ์ทั้งสามบท	32
3.5	ผังการจัดวงดนตรี	33
3.6	กราฟแสดงค่าการแจกแจงแบบปกติ	35
4.1	ค่าโน้ตใกล้เคียงในระบบ 48 เสียงเท่าที่ได้จากการถอดสมการลอเรนซ์	44
4.2	แผนผังการไหลของสัญญาณบนซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์ ในบทประพันธ์ *ลอเรนซ์*	53
4.3	แพทช์บนโปรแกรมแม็กซ์ในส่วนของการแปลงค่าผลลัพธ์จากสมการในบทประพันธ์ *เริสเลอร์*	56
4.4	แพทช์บนโปรแกรมแม็กซ์ในส่วนของการจัดกลุ่มเพื่อนำไปใช้ควบคุมความยาวโน้ตในบทประพันธ์ *เริสเลอร์*	57

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.5	แผนผังการไหลของสัญญาณบนซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์ในบทประพันธ์ *เริสเลอร์*	62
4.6	เว็บแอปพลิเคชั่นเพื่อสร้างไฟล์มีดีจากสมการเฮนอน	69
4.7	แผนผังการไหลของสัญญาณบนซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์ในบทประพันธ์ *เฮนอน*	71

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

สารบัญตัวอย่าง

ตัวอย่างที่		หน้า
4.1	การเปลี่ยนแปลงสีสันของเสียงเครื่องดนตรีภายในกลุ่มเครื่องลมไม้	48
4.2	การเปลี่ยนแปลงสีสันของเสียงเครื่องดนตรีภายในกลุ่มเครื่องลมทองเหลือง	49
4.3	การสร้างความถี่เฮเตโรไดนิงภายในกลุ่มเครื่องสาย	49
4.4	การใช้เทคนิคกลิซซานโดเพื่อจำลองการเคลื่อนที่ของกราฟที่ได้จากสมการลอเรนซ์ห้องที่ 22-27	50
4.5	วลีจบของบทประพันธ์ *ลอเรนซ์*	52
4.6	การใช้ค่าโน้ตจากตารางที่ 4.5 ในบทประพันธ์ *เริสเลอร์*	65
4.7	การใช้รูปแบบจังหวะยูคลิเดียนในบทประพันธ์ *เริสเลอร์*	66
4.8	ท่อนจบของบทประพันธ์ *เริสเลอร์*	67
4.9	ทำนองหลักแนวเปียโนห้องที่ 1 ถึง 4 ของบทประพันธ์ *เฮนอน*	72
4.10	การกระจายโน้ตจากทำนองหลักในตัวอย่างที่ 4.10 ออกเป็นโน้ตสำหรับกลุ่มเครื่องสาย	72
4.11	การสร้างกลุ่มก้อนเสียงในบทประพันธ์ *เฮนอน*	73
4.12	การบันทึกโน้ตเสียงนอยส์สั้นที่สร้างด้วยซินธิไซเซอร์ในบทประพันธ์ *เฮนอน*	74
4.13	ช่วงสุดท้ายของบทประพันธ์ *เฮนอน*	75

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือที่สำคัญมากในการสร้างงานศิลปะ ดนตรีก็ถือเป็นสื่ออีกแขนงหนึ่งที่คอมพิวเตอร์เข้ามามีบทบาทอย่างสูงในหลายขั้นตอน หนึ่งในประเภทของดนตรีที่คอมพิวเตอร์เข้ามามีบทบาทเป็นอย่างมากก็คือดนตรีอิเล็กทรอนิกส์และดนตรีอิเล็กโทรอะคูสติก ทั้งนี้จะพบได้ว่านักประพันธ์หลายๆท่านได้ให้ความสนใจกับเทคนิกการประพันธ์หลายแบบที่เป็นวิถีใหม่ซึ่งต่างจากขนบการประพันธ์เพลง เช่น ดนตรีโครงสร้างนิจลักษณ์ที่ใช้คณิตศาสตร์เพื่อจัดการค่าต่างๆภายบทประพันธ์ ไม่ว่าจะเป็นการใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็น (Probability), ตรรกะ (Logic) หรือคณิตศาสตร์ขั้นสูง อาทิ บทประพันธ์ของยานนิส เซนาคิส (Iannis Xenakis) ในบทประพันธ์ไดอะมอร์โฟซีส *(Diamorphoses,* 1957*)* และคอนแคร็ท พีเอช *(Concret PH,* 1958*)* เทคนิคการประพันธ์แบบสิบสองแถวเรียงของคาร์ลไฮนซ์ สต็อคเฮาเซน (Karlheinz Stockhausen) ในบทประพันธ์*คลาเวียร์สตึคหมายเลข 11 (Klavierstück XI,* 1956*)* และการใช้เสียงสังเคราะห์เข้ามาผสมกับวงดนตรีอะคูสติก อาทิ บทประพันธ์ของปิแอร์ บูเลซ (Pierre Boulez) ในบทประพันธ์เรปงส์ (*Répons,* 1981) ก็ถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งเพื่อสร้างบทประพันธ์เพลงในยุคดังกล่าว

การประยุกต์คณิตศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์เพื่อการสร้างบทประพันธ์สามารถทำได้หลายรูปแบบ อาทิ ความน่าจะเป็น (Probability) หรือการใช้ทฤษฎีโกลาหล (Chaos Theory) ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของผลงานการประพันธ์เพลงแบบดนตรีโครงสร้างนิจลักษณ์ (Formalized Music) ในส่วนของความน่าจะเป็นนั้นสามารถจัดหมวดหมู่ได้โดยใช้รูปแบบการกระจายจากมัธยฐานแบบต่างๆ ทางด้านของทฤษฎีโกลาหลสามารถอธิบายได้ด้วยสูตรทางคณิตศาสตร์เช่นกัน ซึ่งมีทั้งการกระจายค่าแบบสองมิติและสามมิติ ซึ่งในทางคณิตศาสตร์จะใช้ส่วนหนึ่งของทฤษฎีโกลาหลดังกล่าวอธิบายการกระจายตัวของสสารที่ไม่สามารถคงสภาพได้อย่างถาวรอย่างเช่นแก๊ซหรือของเหลว การกระจายค่าของสสารดังกล่าวจะใช้สูตรการคำนวณที่เรียกว่าสเตรนจ์แอ็ทแทร็กเตอร์

(Strange Attractor) ยกตัวอย่างเช่น ชุดสมการลอเรนซ์ (Lorenz Equation) ชุดสมการเริสเลอร์ (Roessler Equation) ชุดสมการเฮนอนแมพ (Hénon Map Equation) เป็นต้น

ประเด็นที่น่าสนใจจากตัวอย่างบทประพันธ์ที่กล่าวมาข้างต้นอีกอย่างหนึ่งคือการสร้างเงื่อนไขโดยคณิตศาสตร์ขั้นสูงสำหรับการประพันธ์เพลง วิธีการได้มาซึ่งผลลัพธ์จากเงื่อนไขที่วางไว้สามารถทำได้ทั้งบนซอฟท์แวร์และฮาร์ดแวร์ ซึ่งจากประสบการณ์ของผู้ประพันธ์พบว่าทั้งสองระบบมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ซอฟท์แวร์ที่ใช้รับค่าต่างๆเพื่อมาประมวลผลในการสร้างบทประพันธ์แบบปฏิสัมพันธ์ที่พบเห็นในงานลักษณะเช่นนี้มีอยู่ด้วยกันหลายประเภท อาทิ แม็กซ์(Max) เพียวดาตา (Pure Data) ซุปเปอร์คอลไลเดอร์(Supercollider) ซีซาวนด์(Csound) เป็นต้น ซึ่งลักษณะเด่นของการใช้คณิตศาสตร์ขั้นสูงเพื่อช่วยในการประพันธ์เพลงแบบสร้างเงื่อนไขคือสามารถนำมาใช้เพื่อควบคุมโครงสร้างโดยรวมของบทประพันธ์ทั้งในมหภาคและจุลภาค ดังนั้นทิศทางในการประพันธ์เพลงประเภทนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การออกแบบอัลกอริธึมเพื่อสร้างเงื่อนไขเพื่อให้ได้มาซึ่งค่าต่างๆที่สามารถนำมาใช้สร้างบทประพันธ์ได้

จากแนวคิดและทฤษฎีดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นในการได้มาซึ่งค่าจากสมการลอเรนซ์ เริสเลอร์ และ เฮนอนแม็พ เป็นประเด็นที่ผู้ประพันธ์ให้ความสนใจ ดังนั้นผู้ประพันธ์จึงต้องการสร้างบทประพันธ์ใหม่ โดยการนำทฤษฎีที่กล่าวมาทั้งหมดมาผสมผสานกับการสร้างเสียงสังเคราะห์และเทคนิคการประพันธ์บทเพลงแบบสร้างเงื่อนไขโดยคณิตศาสตร์ขั้นสูงเพื่อประพันธ์บทเพลงใหม่สำหรับวงดนตรีขนาดเล็กและซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์สามบท อันได้แก่ ลอเรนซ์ เริสเลอร์ และเฮนอน ตามชุดสมการที่ได้กล่าวมาข้างต้น

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1.2.1 เพื่อประพันธ์เพลงอิเล็คโทรอะคูสติกบทใหม่ โดยนำเสนอรูปแบบการประพันธ์ที่ใช้หลักการประพันธ์แบบสร้างเงื่อนไขโดยประยุกต์ใช้คณิตศาสตร์ขั้นสูงเพื่อควบคุมค่าต่างๆในบทประพันธ์ตามหลักการของดนตรีโครงสร้างนิจลักษณ์

1.2.2 เพื่อเผยแพร่บทประพันธ์เพลงอิเล็กโทรอะคูสติกผ่านการแสดงในวาระต่างๆ ทั้งในแบบคอนเสิร์ต และในเทศกาลดนตรีร่วมสมัย

1.2.3 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้คณิตศาสตร์ขั้นสูงและเป็นแนวทางสำหรับผู้ที่สนใจสามารถนำไปสร้างบทประพันธ์เพลงของตนได้ต่อไป

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้แนวคิดใหม่ในการประพันธ์ โดยใช้หลักการโครงสร้างนิจลักษณ์ในการสร้างผลงานใหม่สำหรับดนตรีอิเล็กโทรอะคูสติก

1.3.2 ได้สร้างสรรค์งานประพันธ์เพลงอิเล็กโทรอะคูสติกบทใหม่

1.3.3 นำบทประพันธ์เพลงอิเล็กโทรอะคูสติกบทใหม่ออกเผยแพร่ในวาระต่างๆโดยเฉพาะในเทศกาลดนตรีร่วมสมัย

1.3.4 ผู้ที่สนใจการประพันธ์เพลงแบบโครงสร้างนิจลักษณ์สามารถศึกษาบทประพันธ์ทั้งสามบทเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาบทประพันธ์ของตัวเองต่อไป

1.4 ขอบเขตการประพันธ์

1.4.1 บทเพลงมีจำนวน 3 บท ประพันธ์ขึ้นสำหรับวงดนตรีขนาดเล็กและอิเล็กทรอนิกส์

1.4.2 บทประพันธ์นี้ ใช้วงดนตรีขนาดเล็กประกอบด้วยเครื่องดนตรีต่างๆดังต่อไปนี้

1.4.2.1 กลุ่มเครื่องลมไม้ คือ ฟลูต และ คลาริเน็ต

1.4.2.2 กลุ่มเครื่องลมทองเหลือง คือ ทรัมเป็ต ทรอมโบน

1.4.2.3 กลุ่มเครื่องสาย คือ ไวโอลิน วิโอลา เชลโล

1.4.2.4 เปียโน

1.4.2.5 ซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์

1.4.3 แต่ละบทเพลงมีความยาวประมาณ 4 นาที

1.4.4 บทเพลงแต่ละบทจะใช้เงื่อนไขในการได้มาซึ่งตัวแปรต่างๆของบทประพันธ์แตกต่างกัน

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

คำอธิบายความหมายของคำศัพท์เฉพาะทางดนตรีอิเล็กโทรอะคูสติกสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้ประพันธ์ได้กำหนดขึ้นเองโดยใช้คำทับศัพท์รวมถึงอ้างคำศัพท์จากเอกสารฉบับอื่นเพื่อใช้ประกอบการอธิบายบทประพันธ์

การสังเคราะห์เสียงแบบกล้ำความถี่ (Frequency Modulation Synthesis) หมายถึงการสังเคราะห์เสียงโดยการใช้ความถี่กล้ำ (Modulator Frequency) มาแปรค่าความถี่ของคลื่นเสียงหลัก (Carrier Frequency)

การสังเคราะห์เสียงโดยใช้อณูเสียง (Granular Synthesis) หมายถึงการสังเคราะห์เสียงโดยการแยกเสียงออกเป็นอณู ความยาวตั้งแต่ 3/1000 วินาที จนถึง 100/1000 วินาที แล้วนำเอาอณูต่างๆ มาสร้างเนื้อเสียงใหม่

การสังเคราะห์เสียงแบบตัดทอนความถี่ (Subtractive Synthesis) หมายถึงการสังเคราะห์เสียงที่ใช้ฟิลเตอร์ในการคัดกรองย่านความถี่ออกจากคลื่นเสียงที่ได้จากออสซิเลเตอร์

การสังเคราะห์เสียงแบบอ้างอิงกายภาพ (Physical Modeling Synthesis) หมายถึงการสังเคราะห์เสียงโดยจำลองหลักฟิสิกส์ของวัตถุที่ก่อกำเนิดเสียงในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์

เกท (Gate) หมายถึงการป้อนค่าเพื่อสั่งให้เอ็นเวโลปทำงานตั้งแต่ต้น โดยกำหนดความยาวได้

คล็อกดิไวเดอร์ (Clock Divider) หมายถึงอุปกรณ์แบ่งความเร็วสัญญาณคล็อกสำหรับซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์

ความกว้างช่วงคลื่น (Amplitude) หมายถึงความกว้างของรูปแบบคลื่นเสียงจากศูนย์ถึงจุดสูงสุดของกราฟ

ค่าแรงดันไฟฟ้าควบคุม (Control Voltage) หมายถึงค่าแรงดันไฟฟ้าภายในวงจรซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์ที่ใช้ควบคุมพารามิเตอร์ต่างๆ

ซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์ (Modular Synthesizer) หมายถึงอุปกรณ์สังเคราะห์เสียงที่แยกหน้าที่การทำงานของแต่ละโมดูลออกจากกัน ทำงานโดยการแพทช์สายจากโมดูลหนึ่งไปยังอีกโมดูลหนึ่ง

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

ทริกเกอร์(Trigger) หมายถึงการป้อนค่าเพื่อสั่งให้เอ็นเวโลปทำงานตั้งแต่ต้น โดยกำหนดความยาวไม่ได้ หรือการสั่งงานให้อุปกรณ์อย่างใดอย่างหนึ่งทำงานทั้งทางตรงและทางอ้อม

พารามิเตอร์ (Parameter) หมายถึงค่าตัวแปรต่างๆบนซอฟท์แวร์หรือฮาร์ดแวร์

แพทช์ (Patch) หมายถึงการต่อสายสัญญาณจากช่องหนึ่งไปยังอีกช่องหนึ่ง

ฟิลเตอร์ (Filter) เป็นอุปกรณ์คัดกรองย่านความถี่เสียง

มิดิ (MIDI) เป็นชุดคำสั่งดิจิตอลเพื่อใช้สื่อสารระหว่างเครื่องดนตรีไฟฟ้า

เมทริก (Matrix) หมายถึงออบเจคท์สำหรับบรรจุหรือส่งข้อมูลภายในโปรแกรมแม็กซ์ โดยสามารถระบุความละเอียดของข้อมูลได้

โมดูล (Module) หมายถึงหน่วยนับของซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์ต่อหนึ่งชิ้น

โมดูลปรับแต่งขอบเขตค่า (Attenuverter) เป็นโมดูลที่ใช้ปรับแต่งเพื่อกำหนดให้ค่าสัญญาณขาออกเพิ่มขึ้นหรือน้อยลงจากสัญญาณขาเข้าอย่างสัมพันธ์กัน

รีเวิร์บ (Reverb) เป็นเครื่องประมวลผลเสียงเอฟเฟคท์จำลองสภาพเสียงสะท้อนภายในสถานที่ใดสถานที่หนึ่ง

รูปแบบคลื่นเสียง (Waveform) หมายถึงเส้นกราฟที่แสดงการขึ้นลงของคลื่นเสียงตามช่วงเวลา

โลว์พาสเกท (Low Pass Gate) หมายถึงวงจรไฟฟ้าที่รวมลักษณะการทำงานของฟิลเตอร์และการกำหนดรูปแบบความดังเสียงด้วยเอ็นเวโลปเข้าด้วยกัน

ออบเจคท์ (Object) หมายถึงชุดคำสั่งบนโปรแกรมแม็กซ์

ออฟเซ็ต (Offset) เป็นการยกค่าทั้งชุดขึ้นหรือลงไปจากตำแหน่งเดิม

ออสซิเลเตอร์ (Oscillator) หมายถึงวงจรไฟฟ้าที่กำเนิดคลื่นเสียง

เอ็นเวโลป (Envelope) หมายถึงรูปร่างการเปลี่ยนแปลงภายในองค์ประกอบของเสียง

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

บทที่ 2

งานประพันธ์และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในอดีตมีบทประพันธ์ดนตรีมากมายที่มีบทบาทในการประพันธ์ดนตรีแบบสร้างเงื่อนไข แนวคิดดังกล่าวได้พัฒนาจากเทคนิคการประพันธ์เพลงในยุคศตวรรษที่ยี่สิบ ซึ่งกระบวนการได้มาซึ่งแนวคิดในการประพันธ์สามารถทำได้หลายวิธี อย่างเช่น การใช้คณิตศาสตร์เข้ามาช่วยในการจัดการค่าต่างๆของโน้ตเพลง นักประพันธ์ที่มีวิธีการประพันธ์เด่นชัดในการประยุกต์ใช้คณิตศาสตร์มาใช้ในบทประพันธ์คือยานนิส เซนาคิส (Iannis Xenakis, ค.ศ. 1947-1997) คาร์ลไฮนส์ สต็อกเฮาเซน (Karlheinz Stockhausen, ค.ศ. 1928-2007) และปีแอร์ บูเลซ(Pierre Boulez, ค.ศ. 1925-2016) ซึ่งแนวคิดดังกล่าวได้สร้างรากฐานต่อการประพันธ์ดนตรีแบบสร้างเงื่อนไขในยุคหลังจากนั้น

2.1 ผลงานและแนวคิดการประพันธ์

2.1.1 ยานนิส เซนาคิส

เซนาคิสเป็นนักประพันธ์เพลงและสถาปนิกชาวโรมาเนีย ในปีค.ศ. 1947 เซนาคิสได้ย้ายถิ่นฐานไปอาศัย ณ กรุงปารีส ประเทศฝรั่งเศสและได้ร่วมงานกับเลอคอร์บูซิเย (Le Corbusier, ค.ศ. 1887 - 1965) สถาปนิกผู้มีชื่อเสียงในยุคนั้นในฐานะวิศวกร และในปีค.ศ. 1949 เซนาคิสได้เริ่มศึกษาด้านการประพันธ์เพลงที่สถาบันเอโคลนอร์มาลเดอมูสิค (École Normale de Musique) และได้ศึกษาเพิ่มเติมจากโอลิเวียร์ เมสซิยอง (Olivier Messiaen) ในปีค.ศ. 1951 เซนาคิสได้กล่าวถึงดนตรีในศตวรรษที่ 20 ในหนังสือฟอร์มาไลซ์มิวสิค (Formalized Music, 1990) ว่า

> ดนตรีแบบไร้กุญแจเสียงได้ทลายฟังก์ชั่นของดนตรีแบบอิงกุญแจเสียงในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมานี้และได้เบิกทางใหม่คู่ขนานไปกับวิทยาการด้านต่างๆ แต่ในเวลาเดียวกันดนตรีแบบไร้กุญแจเสียงก็ถูกผูกมัดด้วยการควบคุมแบบสมบูรณ์ของดนตรีแถวเรียง (Xenakis, 1990, p. 4)

นอกจากนี้เซนาคิสยังได้กล่าวถึงดนตรีแถวเรียงในบทความเรื่อง เดอะไครซิสออฟซีเรียลมิวสิค (The Crisis of Serial Music, 1955) ว่า

> เสียงประสานเชิงเส้นได้ทำลายตัวเองโดยความซับซ้อนของมันเอง สิ่งที่บุคคลหนึ่งได้ยินในชีวิตจริงเป็นเพียงมวลเสียงต่างๆที่เกิดขึ้นกลุ่มช่วงเสียงต่างๆ และความซับซ้อนนี้เองที่กีดกันผู้ฟัง (Xenakis, 1990, p. 8)

จากคำกล่าวที่ได้ยกมานี้ เซนาคิสจึงได้ใช้การสร้างเงื่อนไขและคณิตศาสตร์ขั้นสูงในการเลือกใช้ค่าโน้ตในแต่ละช่วง เป็นการใช้เงื่อนไขเพื่อกำหนดโครงสร้างของบทประพันธ์ ถ้าหากมองถึงโครงสร้างที่เล็กลงไปในระดับวลี, โน้ต หรือแม้แต่สีสันของเสียง รูปแบบของการจัดการเวลาในระดับต่างๆ นี่เองนึงเป็นจุดเริ่มต้นของวิธีการประพันธ์เพลงแบบดนตรีโครงสร้างนิจลักษณ์ (Formalized Music) และดนตรีจัดเรียง (Stochastic Music) เซนาคิสได้ใช้วิธีการดังกล่าวเพื่อประพันธ์เพลงทั้งสำหรับเครื่องดนตรีอะคูสติกและดนตรีไฟฟ้า ทั้งนี้ในยุคสมัยของเซนาคิสก็เริ่มมีการใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยคำนวณค่าต่างๆเพื่อจัดการกับเสียงในระดับจุลภาค ดังจะเห็นได้จากงานชื่อ *ไดอะมอร์โฟซิส (Diamorphoses,* 1957*)* ซึ่งเป็นงานประพันธ์ดนตรีไฟฟ้าชิ้นแรกของเซนาคิส และ*คอนแคร็ท พีเอ็ช (Concret PH*, 1958) เทคนิคการประพันธ์ที่เซนาคิสใช้ในงานไดอะมอร์โฟซิสเรียกว่ามูสิกคอนแคร็ท (Musique Concrète) เทคนิคดังกล่าวจะใช้วิธีการตัดต่อเทป เปลี่ยนแปลงความเร็วในการเล่น การเล่นเทปย้อนหลัง และการผสมเสียงโดยที่ไม่มีการประมวลผลเพิ่มเติม อาทิ การแปรค่าสัญญาณและการใช้ฟิลเตอร์ โจเอล ชาดาบี (Joel Chadabe) ได้อธิบายบทประพันธ์ชิ้นนี้ว่า

> เซนาคิสได้เลือกใช้เสียงของเครื่องยนต์เครื่องบินเจ็ท, เสียงรถชน, เสียงแผ่นดินไหว, เนื้อเสียงจากการเลื่อนระดับเสียง, เสียงที่ใกล้เคียงเสียงนอยส์ และเพิ่มความแตกต่างของเนื้อเสียงที่เลือกใช้ด้วยการสอดแทรกเสียงคล้ายระฆังที่ความถี่ย่านสูง (Chadabe, 1997, p. 42)

จากหนังสืออิเล็กโทรอะคูสติกมิวสิค (Electroacoustic Music) ซึ่งเป็นหนังสือวิเคราะห์กรณีศึกษาสำหรับดนตรีอิเล็กโทรอะคูสติก รวบรวมบทวิเคราะห์โดยโธมัส ลิคาตา (Licata, 2002, p. 44) ได้วิเคราะห์ถึงบทประพันธ์ *ไดอะมอร์โฟซิส* ว่าบทประพันธ์ดังกล่าวสามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ซึ่งในแต่ละช่วงมีลักษณะเฉพาะดังต่อไปนี้

1) ช่วง 0:00-2:47 นาที เซนาคิสได้เลือกใช้เสียงที่แตกต่างจากกันสองเสียงทั้งในด้านของย่านความถี่และเอ็นเวโลปของเสียง

2) ช่วง 2:47-4:11 นาที ถือเป็นช่วงพัฒนาจากช่วงที่ 1 เซนาคิสได้แยกการใช้เสียงทั้งสองเสียงจากในช่วงที่ 1 ออกจากกันโดยสิ้นเชิง และได้เพิ่มเสียงที่คล้ายคลึงกับเสียงดังกล่าวในเชิงของย่านความถี่และเอ็นเวล็อปของเสียง

3) ช่วง 4:11-6:50 นาที เซนาคิสได้ทำการแปรรูปเสียง, เปรียบเทียบเสียงโดยการจัดวางตำแหน่งในบทประพันธ์ และสร้างความขัดแย้งของเสียงที่ใช้ด้วยการสอดแทรกเสียงอื่น

ซึ่งช่วงเวลาของเหตุการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้นในบทประพันธ์นั้น เคอร์ติส โรดส์ (Curtis Roads, ค.ศ. 1951 – ปัจจุบัน) ได้กล่าวถึงผลงานของเซนาคิสในหนังสือไมโครซาวนด์ (Microsound, 2001, pp. 3–4) ไว้ว่าเซนาคิสได้จัดระดับของช่วงเวลาในเชิงดนตรีไว้หลายช่วงซึ่งสามารถแยกแยะระดับตามความสั้นยาวได้ดังนี้ (Roads,2001, p. 3)

1) ช่วงเวลาระดับมหภาค(Macro Time Scale) คือช่วงเวลาที่กำหนดองค์ประกอบของบทประพันธ์หรือรูปแบบของบทประพันธ์ มีหน่วยนับเป็นนาทีหรือชั่วโมง

2) ช่วงเวลาระดับกลาง(Meso Time Scale) คือช่วงเวลาของท่อนต่างๆซึ่งเกิดจากการรวมกลุ่มของวลีขนาดต่างๆ มีหน่วยนับเป็นนาทีหรือวินาที

3) ช่วงเวลาระดับวัตถุเสียง (Sound Object Time Scale) คือช่วงเวลาที่เป็นพื้นฐานของโครงสร้างทางดนตรีโดยมองที่โน้ตหรือเสียงหนึ่งเสียง

4) ช่วงเวลาระดับจุลภาค (Micro Object Time Scale) คือช่วงเวลาระดับอนุภาคของเสียงไปจนถึงค่าเพดานในการรับรู้เสียงของมนุษย์ มีหน่วยเป็น 0.001 วินาที

5) ช่วงเวลาปัจจุบัน (Infinitesinal Time Scale) คือช่วงเวลา ณ ขณะนั้น ไม่สามารถนับด้วยหน่วยนับใดๆได้

บทประพันธ์ชิ้นนี้เป็นงานที่มีความยาวเพียง 6:50 นาที แต่เซนาคิสจัดการกับโครงสร้างของบทประพันธ์อย่างละเอียดทั้งในแง่ของระดับมหภาคจนถึงจุลภาค สังเกตได้จากการที่เซนาคิสได้คำนวณโครงสร้างหลักของบทประพันธ์โดยใช้อัตราส่วนทอง (Golden Ratio) ซึ่งเป็นคำเรียกอัตราส่วนของ $\frac{1+\sqrt{5}}{2}$ มีค่าประมาณ 1.618 (Essendelft, 2020, p. 2) ทั้งนี้การใช้สัดส่วนทองในผลงานการประพันธ์ชิ้นนี้ของเซนาคิสคาดว่าได้รับแรงบันดาลใจจากการได้ร่วมงานกับเลอคอร์บูซิเย ซึ่งผลงานการออกแบบอาคารของเลอคอร์บูซิเยมักจะใช้อัตราส่วนทองเพื่อกำหนดรูปร่างของอาคาร (Licata, 20021, p. 44) ความยาวของช่วงแรกจะเท่ากับ 0.382 เท่าของความยาวทั้งหมด ซึ่งค่า 0.382 มาจากอัตราส่วนกลับของค่าอัตราส่วนทอง ช่วงที่สองมีความยาวเท่ากับ 0.618 เท่าของความยาวทั้งหมด รวมช่วงที่ 1 และช่วงที่สองเท่ากับ 1 พอดี (Licata, 2002, p. 44)

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

นอกจากนี้เซนาคิสยังใช้ภาษาคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการประพันธ์เพลงอีกด้วย จากบทความเรื่อง สโตคาสติกคอมโพซิชั่นแอนด์สโตคาสติกไทม์เบอร์: เจนดายทรีบายยานนิส เซนาคิส (Xenakis, 2012) ยังได้กล่าวถึงเรื่องนี้ว่า ในช่วงแรกเซนาคิสเริ่มจากการใช้ซอฟท์แวร์ที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อการประพันธ์เพลงโดยเฉพาะ มีชื่อว่าสโตคาสติกมิวสิคโปรแกรม (Stochastic Music Program) เซนาคิสได้ใช้ซอฟท์แวร์ดังกล่าวในการกำหนดทั้งโครงสร้างของบทประพันธ์ในระดับมหภาคและจุลภาค ต่อมาในภายหลังเซนาคิสก็ได้พัฒนาซอฟท์แวร์ขึ้นมาอีกหนึ่งชุด มีชื่อว่าเจเนอเรชั่นไดนามิก (Generation Dynamic) หรือเรียกย่อๆว่าเจนดาย (GENDY) เพื่อใช้เขียนบทประพันธ์ที่มีชื่อว่า *เจนดาย 3 (GENDY3)* โดยผลงานชิ้นดังกล่าวได้จัดแสดงรอบปฐมทัศน์ ณ เมืองมอนทรีออล ประเทศแคนาดา ในปีพ.ศ. 2534 (Serra, 1993, p. 239) โดยแนวคิดของภาษาคอมพิวเตอร์ดังกล่าวได้ถูกนำมาปรับใช้ในการประพันธ์เพลงมากขึ้น ยกตัวอย่างเช่นภาษาซีซาวนด์ (Csound) ที่มีลักษณะการเขียนสกอร์โดยแยกการประมวลผลเสียงเป็นไฟล์ .orc กับการกำหนดเวลาในการเล่นของเสียงนั้นๆเป็นไฟล์ .sco ออกจากกัน ผู้ประพันธ์อาจจะใช้เครื่องดนตรีในไฟล์ .orc ประมวลผลคลื่นเสียงความถี่ต่ำ (Low Frequency Oscillator) เพื่อควบคุมโครงสร้างบทประพันธ์ในระดับมหภาคหรืออาจจะละเอียดถึงระดับแซมเปิ้ลอย่าง เช่น การใช้คณิตศาสตร์ขั้นสูงเพื่อใช้สร้างรูปแบบคลื่นเสียงที่ไม่สามารถพบได้ในเครื่องดนตรีทั่วไปก็ได้ ในทางคณิตศาสตร์มีค่าอยู่ประเภทหนึ่งที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่น่าสนใจ นั่นคือทฤษฎีโกลาหล (Chaos Theory) จากหนังสือสเตรนจ์แอ็ทแทร็คเตอร์ส ครีเอติงแพทเทิร์นอินเคออส (Strange Attractors: Creating Patterns in Chaos) ได้กล่าวถึงสมการการเคลื่อนตัวของมวลของเหลวหรือก๊าสเพื่อสร้างรูปแบบคลื่นเสียง ซึ่งในทางคณิตศาสตร์สามารถอธิบายหลักการเคลื่อนตัวของมวลของเหลวหรือก๊าสในตัวกลางว่าสเตรนจ์แอ็ทแทร็คเตอร์ (Strange Attractor) ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ อย่างเช่นสมการลอเรนซ์ที่มีรูปแบบสมการดังต่อไปนี้ (Sprott, 2000, p. 326)

$$x = \sigma(y - x)$$

$$y = -xz + rx - y$$

$$z = xy - bz$$

คลื่นเสียงที่ได้จากสมการดังกล่าวจะซับซ้อนมากกว่ารูปแบบคลื่นเสียงปกติ เนื่องจากโดยทั่วไปการประมวลผลสัญญาณเสียงจะมองคลื่นเสียงเป็นเพียงแค่ 2 มิติ แต่จากสมการนี้จะเห็นได้ว่าเราได้ค่า 3 มิติ คือค่า x, y และได้ค่า z เพิ่มเติมเข้ามาซึ่งโดยทั่วไปค่า z จะใช้ประมวลผลความตื้นลึกของกราฟแสดงผล

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

สมการอีกหนึ่งชุดที่นิยมนำมาใช้สร้างคลื่นเสียงก็คือสมการเริสเลอร์ (Rössler) รูปแบบของสมการมีดังนี้ (Sprott, 2000, p. 327)

$$x = -(y + z)$$

$$y = x + az$$

$$z = b + z(x - c)$$

ดังนั้นกล่าวอย่างย่อคือแนวคิดของเซนาคิสคือการใช้คณิตศาสตร์ขั้นสูงเพื่อจัดการองค์ประกอบต่างๆในบทประพันธ์ และในบทประพันธ์บางบทเซนาคิสก็ได้ใช้คอมพิวเตอร์เพื่อเข้ามาช่วยประมวลผลค่าต่างๆเพื่อควบคุมองค์ประกอบบทประพันธ์ดังกล่าวอีกด้วย

2.1.2 คาร์ลไฮนส์ สต็อคเฮาเซน

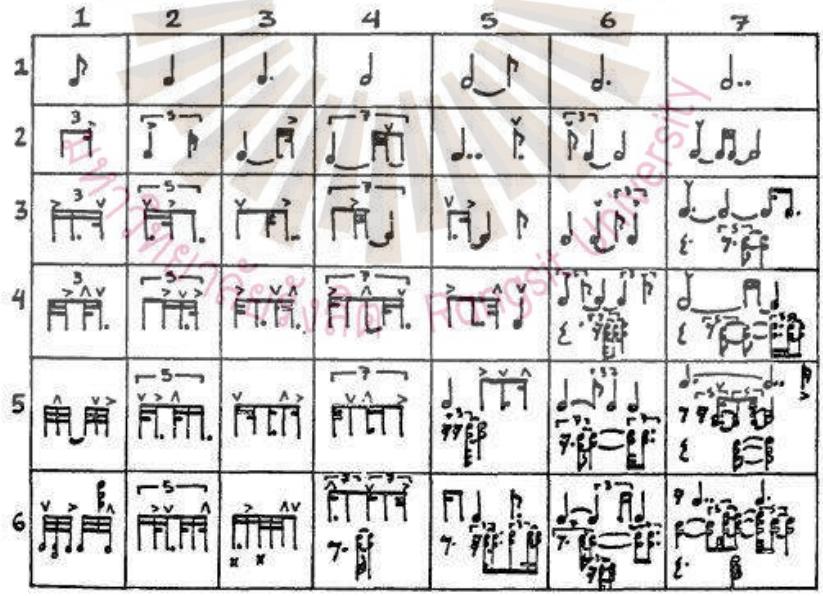
สต็อคเฮาเซนเป็นนักประพันธ์เพลงชาวเยอรมันผู้มีบทบาทสำคัญในการริเริ่มทฤษฎีการประพันธ์เพลงระบบซีเรียลสมบูรณ์ (Total Serialism) ซึ่งพัฒนามาจากแนวคิดการประพันธ์เพลงของอาร์โนลด์ เชินแบร์ก (Arnold Schoenberg, ค.ศ. 1874-1951) และเป็นหนึ่งในผู้บุกเบิกการประพันธ์ดนตรีอิเล็กทรอนิกและอิเล็กโทรอะคูสติกในช่วงศตวรรษที่ 20

จากวิทยานิพนธ์เรื่อง คาร์ลไฮนส์ สต็อคเฮาเซนส์ คลาเวียร์สตึค 11 (Karlheinz Stockhausen's Klavierstück XI, 1984) ได้กล่าวไว้ว่าบทประพันธ์ *คลาเวียร์สตึกหมายเลข 11* ของคาร์ลไฮนส์ สต็อคเฮาเซนจัดว่าเป็นบทประพันธ์ที่ได้รับความนิยมอย่างสูงสุดบทหนึ่งในบรรดาบทประพันธ์ *คลาเวียร์สตึก* ทั้งหมด สิ่งที่น่าสนใจในบทประพันธ์ดังกล่าวคือการผนวกวิธีการทางคณิตศาสตร์เข้ากับวิธีการประพันธ์แบบสุ่มที่เปิดโอกาสให้ผู้บรรเลงเปียโนสามารถเลือกได้ว่าจะบรรเลงส่วนย่อยชิ้นใด (Truelove, 1984, p. 5) ส่วนย่อยทั้ง 19 ส่วนในบทประพันธ์คลาเวียร์สตึกหมายเลข 11 นี้ หลักการของสต็อกเฮาเซนที่ใช้ในบทประพันธ์นี้คือการใช้เมทริกซ์ 3 ประเภทในการสร้างเมทริกซ์ 3 ประเภทประกอบด้วยเมทริกซ์จังหวะ เมทริกซ์ตัวเลข และเมทริกซ์ระบบเลขโรมันเพื่อสร้างเมทริกซ์สรุปรวมในท้ายที่สุด (Truelove, 1984, p. 8)

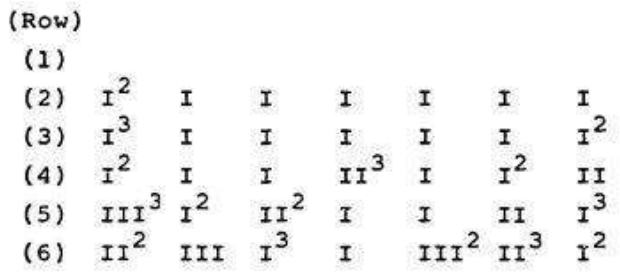
นอกจากนี้ทรูเลิฟได้แสดงตัวอย่างให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างเมทริกซ์ทั้งสามประเภทด้วยการวิเคราะห์ร่างบทประพันธ์ที่สต็อคเฮาเซนอนุญาตให้ทรูเลิฟถ่ายสำเนาเอกสารดังกล่าวซึ่งมีความยาว 26 หน้า (Truelove, 1984, p. 4) จากรูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นถึงเมทริกซ์ตัวเลขที่ 1 เมทริกซ์ตัวเลขนี้จะเป็นตัวระบุตำแหน่งของช่องในเมทริกซ์จังหวะที่ 1 แล้วย้อนกลับมาเป็นเลขลำดับในเมทริกซ์จังหวะ ความสัมพันธ์ของเมทริกซ์ทั้งสามชุดแสดงให้เห็นถึงกระบวนการได้มาซึ่งค่าจังหวะและจำนวนแนวเสียงที่ใช้ในส่วนย่อยต่างๆของบทประพันธ์

6	1	4	3	7	5	2
1	3	6	5	2	7	4
4	6	2	1	5	3	7
3	5	1	7	4	2	6
7	2	5	4	1	6	3
5	7	3	2	6	4	1

รูปที่ 2.1 เมทริกซ์ตัวเลขลำดับที่ 1 จากบทประพันธ์ *คลาเวียร์สตึกหมายเลข 11*
ที่มา: Truelove, 1984, p. 13



รูปที่ 2.2 เมทริกซ์จังหวะลำดับที่ 1 จากบทประพันธ์ *คลาเวียร์สตึกหมายเลข 11*
ที่มา: Truelove, 1984, p. 13



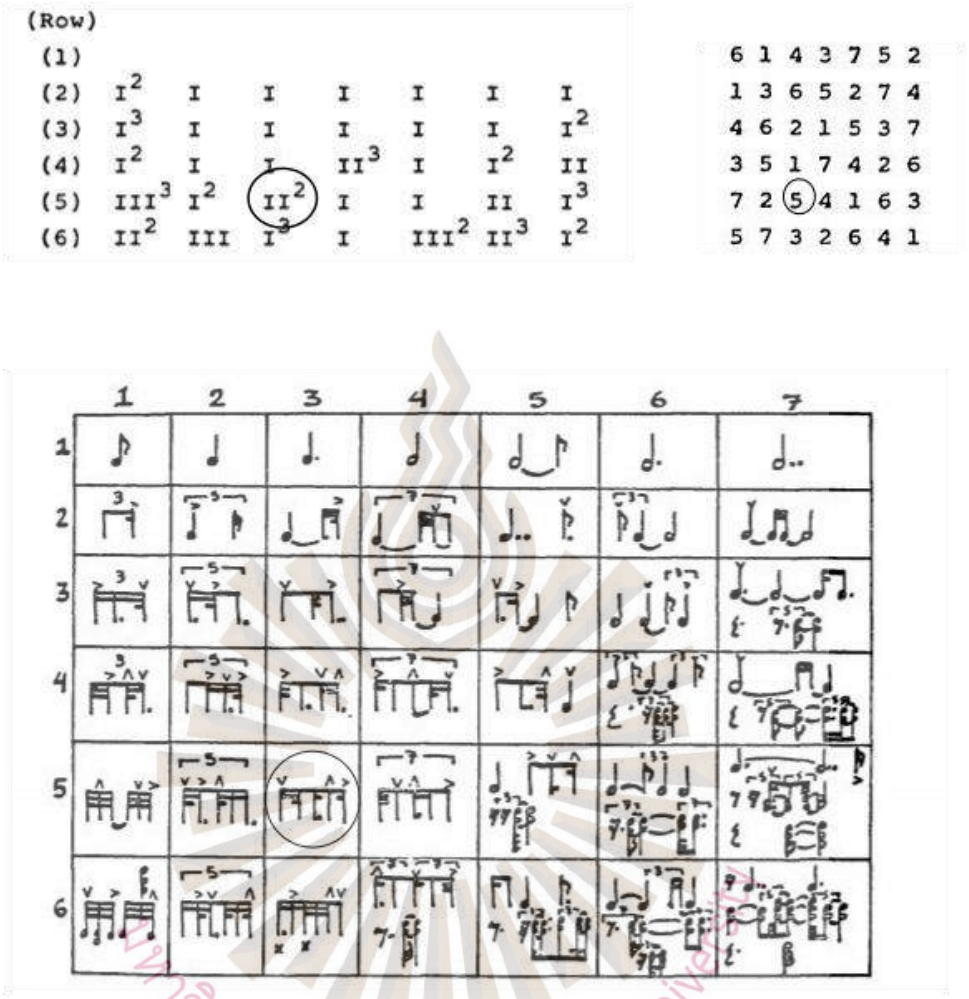
(Row)							
(1)							
(2)	I^2	I	I	I	I	I	I
(3)	I^3	I	I	I	I	I	I^2
(4)	I^2	I	I	II^3	I	I^2	II
(5)	III^3	I^2	II^2	I	I	II	I^3
(6)	II^2	III	I^3	I	III^2	II^3	I^2

รูปที่ 2.3 เมทริกซ์เลขโรมันลำดับที่ 1 จากบทประพันธ์ *คลาเวียร์สติ๊กหมายเลข 11*

ที่มา: Truelove, 1984, p. 14

จากรูปที่ 2.3 ซึ่งเป็นเมทริกซ์จังหวะจะเห็นได้ว่าแถวบนสุดเป็นโน้ตเดี่ยวโดยที่ช่องทางขวามือจะมีค่ามากกว่าช่องทางซ้ายมือ เมทริกซ์เลขโรมันจะถูกนำมาจัดการระดับเสียงโดยใช้หลักการที่ว่าตัวเลขระดับเสียงจะถูกเพิ่มไปยังเสียงตามเมทริกซ์จังหวะ เมทริกซ์เลขโรมันจะอยู่ในรูปแบบตาราง 5x7 โดยไม่นับแถวบนซึ่งเว้นว่างไว้ ค่าภายในเมทริกซ์เลขโรมันประกอบไปด้วยเลขโรมันธรรมดาและเลขชี้กำลัง เลขโรมันจะเป็นตัวกำหนดจำนวนแนวเสียง เลขชี้กำลังจะเป็นตัวกำหนดจำนวนระดับเสียงที่จำกัดให้เล่นต่อความยาวโน้ต 1 ตัว เมทริกซ์เลขโรมันดังกล่าวจะเป็นตัวระบุจำนวนโน้ตที่เล่นซ้อนทับขึ้นไปในเมทริกซ์จังหวะ ยกตัวอย่างเช่น จากรูปที่ 2.6 จะได้ว่า II^2 ในคอลัมน์ที่ 3 แถวที่ 5 จากรูปดังกล่าวจะสัมพันธ์กับแถวที่ 5 คอลัมน์ที่ 3 ในรูปที่ 2.4 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5 แล้วจึงนำค่าที่ได้ไปใช้เลือกค่าจังหวะจากเมทริกซ์จังหวะที่ 1 ในตำแหน่งเดียวกัน ซึ่งหลักการดังกล่าวสามารถอธิบายได้ตามค่าในเมทริกซ์ภายในวงกลมดังที่ปรากฏในรูปที่ 2.4

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

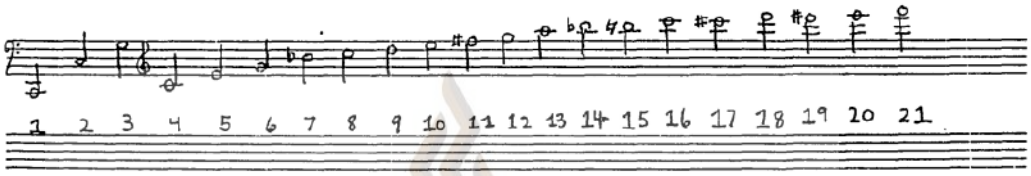


รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ของค่าภายในเมทริกซ์เลขโรมัน เมทริกซ์ตัวเลข และเมทริ**กซ์จังหวะชุดที่** 1

ที่มา: Truelove, 1984, p. 10

สำหรับการจัดการระดับเสียงในบทประพันธ์นี้ สต็อคเฮาเซนได้อ้างอิงจากลำดับของโอเวอร์โทนฮาร์โมนิกตามธรรมชาติของเสียงโดยไม่ได้ใช้ระดับเสียงตรงกับโอเวอร์โทนฮาร์โมนิกทั้งหมด ยกตัวอย่างเช่น ถ้าหากแทนค่าของความถี่หลักให้เท่ากับ 1 และกำหนดให้โอเวอร์โทนฮาร์โมนิกแรกเท่ากับ 2 ถึง 12 จะสามารถแทนค่าโอเวอร์โทนฮาร์โมนิกต่อความถี่หลักเป็นอัตราส่วน 2:1 หรือมีค่าเท่ากับคู่แปด ถ้าหากแทนค่าโอเวอร์โทนฮาร์โมนิกที่สองเป็น 3 อัตราส่วนระหว่างโอเวอร์โทนฮาร์โมนิกที่ 3 ต่อโอเวอร์โทนฮาร์โมนิกที่ 2 จะเท่ากับ 3:2 หรือมีค่าเท่ากับคู่ 5 เพอร์เฟคเป็นต้น ซึ่งการเลือกใช้อัตราส่วนที่บ่งบอกถึงโอเวอร์โทนฮาร์โมนิกเพื่อใช้กำหนดระดับเสียงนั้น

ทั้งนี้สามารถอนุโลมใช้ระดับเสียงข้างเคียงอัตราส่วนนั้นๆ ได้ตามแต่ผลลัพธ์ที่ผู้ประพันธ์ต้องการ อาทิ ถ้าหากอัตราส่วนที่คำนวณออกมาเป็น 2:1 หรือคู่แปด ผู้ประพันธ์สามารถใช้คู่ 7 เมเจอร์หรือคู่ 9 ไมเนอร์แทนได้ จากการถอดค่าโอเวอร์โทนฮาร์โมนิกผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นโครงสร้างของการสร้างบันไดเสียงโครมาติกดังที่ปรากฏในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การแทนค่าโอเวอร์โทนฮาร์โมนิกด้วยตัวเลขในบทประพันธ์ *คลาเวียร์สตึก หมายเลข 11*
ที่มา: Truelove, 1984, p. 13

จากหลักการคำนวณค่าอัตราส่วนดังกล่าว หนังสือมิวสิแมติก (Musimathics, 2006) ได้อธิบายเพิ่มเติมเรื่องนี้ว่า เมื่อพิจารณาจากขั้นคู่ทั้งหมดจากโอเวอร์โทนฮาร์โมนิกของเสียงตามทฤษฎีของจิโอวานนี บาตติสตา เบเนเดตติ (Giovanni Battista Benedetti, ค.ศ. 1530-1590) ซึ่งคำนวณจากค่าความยาวช่วงคลื่นของเสียงจะได้ค่าอัตราส่วนของขั้นคู่ต่างๆ เป็น 3 หมวดหมู่คือ ขั้นคู่สมบูรณ์ ขั้นคู่ไม่สมบูรณ์ และขั้นคู่กระด้าง โดยแต่ละหมวดหมู่จะแบ่งออกได้ดังนี้ (Loy, 2006, p. 57)

ขั้นคู่สมบูรณ์

1) คู่หนึ่งสมบูรณ์ มีอัตราส่วนของความถี่เป็น 1/1
2) คู่แปดสมบูรณ์ มีอัตราส่วนของความถี่เป็น 2/1
3) คู่ห้าสมบูรณ์ มีอัตราส่วนของความถี่เป็น 3/2
4) คู่สี่สมบูรณ์ มีอัตราส่วนของความถี่เป็น 4/3

ขั้นคู่ไม่สมบูรณ์

5) คู่หกเมเจอร์ มีอัตราส่วนของความถี่เป็น 5/3
6) คู่สามเมเจอร์ มีอัตราส่วนของความถี่เป็น 5/4
7) คู่สามไมเนอร์ มีอัตราส่วนของความถี่เป็น 6/5

ขั้นคู่กระด้าง

8) คู่หกไมเนอร์ มีอัตราส่วนของความถี่เป็น 8/5
9) คู่สองเมเจอร์ มีอัตราส่วนของความถี่เป็น 9/8
10) คู่เจ็ดเมเจอร์ มีอัตราส่วนของความถี่เป็น 15/8
11) คู่เจ็ดไมเนอร์ มีอัตราส่วนของความถี่เป็น 16/9
12) คู่สองไมเนอร์ มีอัตราส่วนของความถี่เป็น 16/15
13) ทริยโทน มีอัตราส่วนของความถี่เป็น 64/45

สต็อคเฮาเซนได้กล่าวไว้บนข้อความบนโปสการ์ดที่ส่งให้ยังทรูเลิฟ ข้อความดังกล่าวได้ถูกตีพิมพ์ในวิทยานิพนธ์เรื่อง คาร์ลไฮนส์ สต็อคเฮาเซนส คลาเวียร์สตึค 11ว่า

> บทประพันธ์ *อิเล็กทรอนิกสตัดดี 1* (*Electronic Study I*) เป็นตัวอย่างบทประพันธ์แรกที่ใช้อัตราส่วนของโอเวอร์โทนซีรีย์เพื่อคำนวณระดับเสียง ความยาวเสียง ความเข้มเสียง และสังคีตลักษณ์ บทประพันธ์ *กรุปเปน* (*Gruppen*) ก็เป็นอีกตัวอย่างหนึ่ง (Stockhausen, 1984, p. 103)

นอกจากนี้วิทยานิพนธ์เรื่องเดียวกันยังระบุว่าในช่วงแรกเริ่มร่างบทประพันธ์นี้สต็อกเฮาเซนได้นำเสนอแนวคิดเรื่องการใช้ขั้นคู่มากกว่า 1 ขั้นคู่เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ด้านความยาวเสียงอันสัมพันธ์กับอัตราส่วนดังกล่าว ยกตัวอย่างเช่นเมื่อบรรเลงระดับเสียง D และ C# จะทำให้ได้คู่ 7 เมเจอร์หรือคู่ 9 ไมเนอร์ จากผลลัพธ์นี้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการคำนวณขั้นคู่ได้ทั้งในรูปแบบธรรมดาหรือพลิกกลับ การปรับแต่งค่าโน้ตจะกระทำเพื่อยังคงความเป็นระบบไร้กุญแจเสียงโดยการหลีกเลี่ยงคู่แปดและการสร้างเสียงประสานแบบทริยแอด สต็อกเฮาเซนได้คำนวณโดยใช้ตัวหารร่วมมากเป็นหลัก เช่น เมื่อคำนวณอัตราส่วนความยาวของตัวดำประจุดสองจุดกับเขบ็ตหนึ่งชั้นประจุด ในกรณีนี้โน้ตเขบ็ตสองชั้นจะเป็นตัวหารร่วมมาก จำนวนเขบ็ตสองชั้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวดำประจุดสองจุดเท่ากับ 7 ตัว จำนวนเขบ็ตสองชั้นเมื่อเปรียบเทียบกับเขบ็ตหนึ่งชั้นประจุดเท่ากับ 3 ตัว ดังนั้นจึงได้อัตราส่วน 7/3 เช่นเดียวกับเมื่อเปรียบเทียบโน้ตตัวขาวประจุดสองจุดกับตัวดำประจุด โดยที่ตัวหารร่วมมากคือเขบ็ตหนึ่งชั้น หรืออีกนัยหนึ่งอาจจะตีความเป็นอัตราส่วน 14/6 เมื่อใช้เขบ็ตสองชั้นเป็นตัวหารร่วมมากก็ได้เช่นกัน หลังจากนั้นสต็อคเฮาเซนจึงนำค่าอัตราส่วนนี้ไปคำนวณเพื่อหาค่าระดับเสียงต่อไป (Truelove, 1984, pp. 105-106)

จากบทวิเคราะห์ดังกล่าวจะเห็นได้ว่าสต็อกเฮาเซนได้พยายามควบคุมองค์ประกอบภายในบทประพันธ์ *คลาเวียร์สตึก หมายเลข 11* โดยการใช้การกำหนดกฎเกณฑ์ขึ้นโดยใช้เมทริกซ์ 3

รูปแบบเพื่อหารูปแบบจังหวะ แล้วจึงใช้รูปแบบจังหวะที่ได้เพื่อคำนวณหาค่าระดับเสียงที่สอดคล้องกับรูปแบบจังหวะดังกล่าวอีกทอดหนึ่ง ซึ่งแตกต่างไปจากการประพันธ์เพลงตามหลักการประพันธ์ดนตรีแถวเรียงทั่วไป

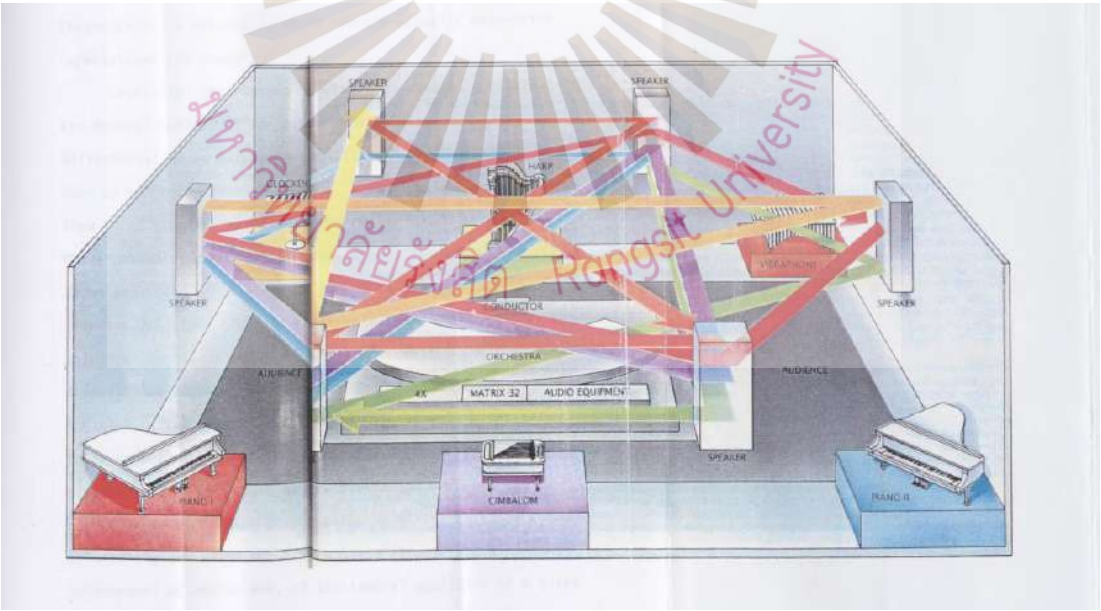
2.1.3 ปิแอร์ บูเลซ

ปิแอร์ บูเลซเป็นนักประพันธ์เพลงชาวฝรั่งเศสผู้มีบทบาทเป็นอย่างยิ่งในการสร้างดนตรีอัตโนมัติ (Automated Music) และการใช้เทคโนโลยีเพื่อเอื้อต่อการสร้างบทประพันธ์ อีกทั้งยังเป็นผู้ก่อตั้งสถาบันวิจัยและความร่วมมือเรื่องสวนศาสตร์/ดนตรี (Institut de Recherché et de Coordination Acoustique/Musique) อันเป็นสถาบันวิจัยที่มีบทบาทกับเทคโนโลยีดนตรีในปัจจุบันเป็นอย่างมาก

ผลงานของปิแอร์ บูเลซมีอยู่ด้วยกันหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นบทประพันธ์สำหรับออเคสตร้า วงขนาดเล็ก และอิเล็กโทรอะคูสติก ทั้งนี้ผลงานที่ถือว่าเป็นชิ้นเอกอีกชิ้นหนึ่งของบูเลซคือบทประพันธ์ *เรปงส์ (Répons*, 1981) สำหรับวงขนาดเล็ก เครื่องเดี่ยวหกชิ้นและเสียงอิเล็กทรอนิก ซึ่งบูเลซได้กล่าวถึงแนวคิดในการประพันธ์เพลงบทนี้ในวิทยานิพนธ์เรื่องดีเทอร์ไมนิงอินดีเทอร์มิเนซี (Determining Indeterminacy) เขียนโดยแคทรีน วิทนีย์ (Kathryn Whiteney)ได้หยิบยกคำกล่าวของบูเลซซึ่งเป็นแนวคิดเริ่มต้นในการประพันธ์เพลงดังกล่าวที่ถูกตีพิมพ์ในบทความเรื่อง อือเบอร์เรปงส์ (Über Répons, 1985)ว่า

> บทประพันธ์หนึ่งชิ้นไม่เหมือนกับงานจิตรกรรม การเสพงานจิตรกรรมจะสำเร็จก็ต่อเมื่อผู้ชมเข้าชมผลงาน มองที่ภาพนั้นและพิจารณาถึงตัววัตถุแต่เพียงผู้เดียว ผู้ชมแต่ละคนมีการรับรู้ในมิติของเวลาแตกต่างจากผู้ฟังผลงานการประพันธ์เพลง เวลาในการเสพผลงานจิตรกรรมได้ถูกบรรจุอยู่ในผลงานแล้ว แต่สำหรับดนตรีมิติของเวลาจะถูกผูกติดอยู่กับโอกาส กล่าวคือรายละเอียดในการเสพงานดนตรีจะแตกต่างกันครั้งต่อครั้ง สกอร์เพลงสำหรับข้าพเจ้าเป็นเพียงแบบแผนเท่านั้น และการที่จะทำให้มันน่าสนใจขึ้นมาได้จำเป็นจะต้องทำให้มันมีชีวิตขึ้นมาถึงแม้ว่ามันจะผิดพลาดก็ตาม หรืออาจจะใช้งานได้ในวิถีที่แตกต่างออกไปผ่านการตีความ ซึ่งเป็นดั่งวัตถุที่บุคคลสามารถทำให้ยืดหยุ่นได้ จากแนวคิดเรื่องเวลานี้เองเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดสำหรับดนตรี(Boulez, 1985, p. 165)

จากวิทยานิพนธ์เรื่องเดียวกันยังได้กล่าวเพิ่มเติมว่า จากแนวคิดดังกล่าวบูเลซแบ่งแนวคิดนี้ออกเป็นส่วนประกอบ 3 ส่วนด้วยกันคือสกอร์เพลง การแสดง และความผกผันซึ่งเป็นผลมาจากการตีความซึ่งเป็นกระบวนการที่อยู่ระหว่างสกอร์และผู้แสดง และแนวคิดนี้ส่งผลให้ผลงานชิ้นนี้ของบูเลซแตกต่างออกไปจากผลงานก่อนหน้านี้ นั่นคือบทประพันธ์ *เอ็กพลอซองท์ ฟิกซ์* (*..Explosante-fixe..*, ค.ศ. 1972) ภายในสกอร์แสดงให้เห็นถึงการควบคุมลักษณะเสียงของโครงสร้างการแสดงจะสัมฤทธิ์ผลด้วยปัจจัยหลักคือการผสมผสานเนื้อเสียงแบบต่างๆทั้งเครื่องดนตรีอะคูสติก เสียงอิเล็กทรอนิก และเสียงเครื่องดนตรีอะคูสติกที่ผ่านการแปลงเสียงด้วยหน่วยประมวลผลโฟร์เอ็กซ์ (4X) และเครื่องผสมเสียงเมทริกซ์เทอร์ตีทู(Matrix 32) โฟร์เอ็กซ์เป็นหน่วยประมวลผลคอมพิวเตอร์ที่สามารถบรรจุเสียงที่กำหนดไว้ล่วงหน้าอยู่ก่อนแล้วและสามาถสร้างมันขึ้นมาใหม่โดยเสียงที่ถูกสร้างขึ้นใหม่นี้เป็นส่วนหนึ่งของเนื้อเสียงที่มีความยืดหยุ่นตามแนวคิดของบูเลซ เมื่อประกอบกับการประมวลผลเครื่องดนตรีอะคูสติกเมื่อผ่านเครื่องผสมเสียงเมทริกซ์เทอร์ตีทูแล้วจึงส่งสัญญาณที่ผ่านการขยายเสียงแล้วไปแปรรูปและนำไปแปรเปลี่ยนท่วงท่าในเชิงดนตรีซึ่งบรรเลงด้วยเครื่องดนตรีอะคูสติกอีกทอดหนึ่ง ดังนั้นรูปแบบการจัดวงในการแสดงบทประพันธ์นี้จึงต้องเป็นรูปแบบจำเพาะเพื่อเอื้ออำนวยต่อการถ่ายทอดแนวคิดของบูเลซ ซึ่งลักษณะการจัดวงเป็นไปดังรูปที่ 2.6 ดังนี้



รูปที่ 2.6 ผังการจัดวงสำหรับการบรรเลงบทประพันธ์ *เรปงส์*

ที่มา: Whiteney, 1985, p. 177

ในปีค.ศ. 1989ได้มีบทความที่เขียนขึ้นเกี่ยวกับบทประพันธ์นี้ ในบทความชื่อ L'Ordinateur et l'écriture musicale (Gerzso, 1988) ได้เขียนถึงบทประพันธ์นี้ว่า

> ด้วยวิทยาการของหน่วยประมวลผลโฟร์เอ็กซ์และเครื่องผสมเสียงเมทริกซ์เทอร์ตีทู ผู้ประพันธ์สามารถผสมเสียงจากคอมพิวเตอร์และเครื่องดนตรีอื่นๆได้อย่างง่ายดาย และทลายกำแพงระหว่างเสียงอิเล็กทรอนิกกับเสียงอะคูสติก ผู้ประพันธ์เพลงสามารถสำรวจอาณาเขตของดนตรีในรูปแบบใหม่และเขียนบทประพันธ์ขึ้นสำหรับเครื่องดนตรีที่รู้จักกันเป็นอย่างดีได้ (Gerzso, 1988, p. 199)

จากหนังสือเรื่องแรชันนัลไลซิงคัลเชอร์ (Rationalizing Culture, 1995) ได้กล่าวถึงสถาบันวิจัยและความร่วมมือเรื่องสวนศาสตร์และดนตรี (ชื่อของสถาบันดังกล่าวในภาษาฝรั่งเศสคือ Institut de Recherché et de Coordination Acoustique/Musique) หรือที่มีชื่อย่อว่า IRCAM (โดยทั่วไปอ่านว่า เอียร์แคม) ว่า ในเบื้องต้นดังกล่าวได้วางแผนการตลาดสำหรับการผลิตหน่วยประมวลผลโฟร์เอ็กซ์เพื่อเข้าถึงตลาดนักดนตรีในวงกว้างมากกว่าที่จะเป็นการผลิตเพื่อนักดนตรีเฉพาะกลุ่มในแบบที่ผู้ผลิตหน่วยประมวลผลแบบเดียวกันทั้งทางฝั่งอเมริกาและญี่ปุ่นวางแผนการตลาด (Born, 2019, p. 184)ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นผลพวงมาจากการแสดงรอบปฐมทัศน์ของบทประพันธ์ *เรปงส์* จนในภายหลังสถาบันได้ร่วมมือกับบริษัทโซจิเทคเพื่อดำเนินงานตามแผนการดังกล่าว จากหนังสือเรื่องเดียวกันนี้ บูเลซได้กล่าวถึงบทบาทของตนในการสร้างหน่วยประมวลผลโฟร์เอ็กซ์และเครื่องผสมเสียงเมทริกซ์เทอร์ตีทูว่า

> ด้วยความสามารถของผู้สร้างผลงานเพียงอย่างบางครั้งไม่สามารถเอื้ออำนวยการสร้างสรรค์ผลงานได้ ดังนั้นมันจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องสร้างความร่วมมือระหว่างทีมนักวิจัยเพื่อมองไปยังอนาคตภายหน้า การร่วมมือระหว่างนักวิทยาศาสตร์และนักดนตรีจึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อเตรียมการบูรณาการ
> (Boulez, 1976, p. 1)

บูเลซถือว่าเป็นผู้บุกเบิกการสร้างดนตรีปฏิสัมพันธ์โดยผลงานดังกล่าวของบูเลซเป็นการหลีกหนีความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างผู้แสดงและบทประพันธ์ ซึ่งบูเลซได้ใช้เทคโนโลยีเข้ามามีส่วนช่วยทำให้ผลงานชิ้นนี้มีความน่าสนใจและมีมิติมากขึ้นด้วย

2.2 ทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 การสังเคราะห์เสียงแบบกล้ำความถี่ (Frequency Modulation Synthesis)

จากหนังสือเดอะคอมพิวเตอร์มิวสิคทิวทอเรียล (The Computer Music Tutorial) ได้บรรยายถึงการสังเคราะห์เสียงประเภทนี้ว่า การสังเคราะห์เสียงแบบกล้ำความถี่เป็นการสังเคราะห์เสียงในระบบดิจิตอลที่เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายอันเนื่องจากความอนุเคราะห์โดยบริษัทยามาฮ่า จอห์น โชว์นิง (John Chowning, ค.ศ. 1934 - ปัจจุบัน) จากมหาวิทยาลัยสแตนฟอร์ดเป็นผู้ริเริ่มการใช้หลักการกล้ำความถี่สำหรับการสร้างผลงานการประพันธ์ (Roads, 1996, p. 224) ซึ่งจอห์น โชว์นิงได้กล่าวถึงหลักการสร้างเสียงด้วยที่มาของแนวคิดเรื่องการสังเคราะห์เสียงแบบกล้ำความถี่ไว้ว่า

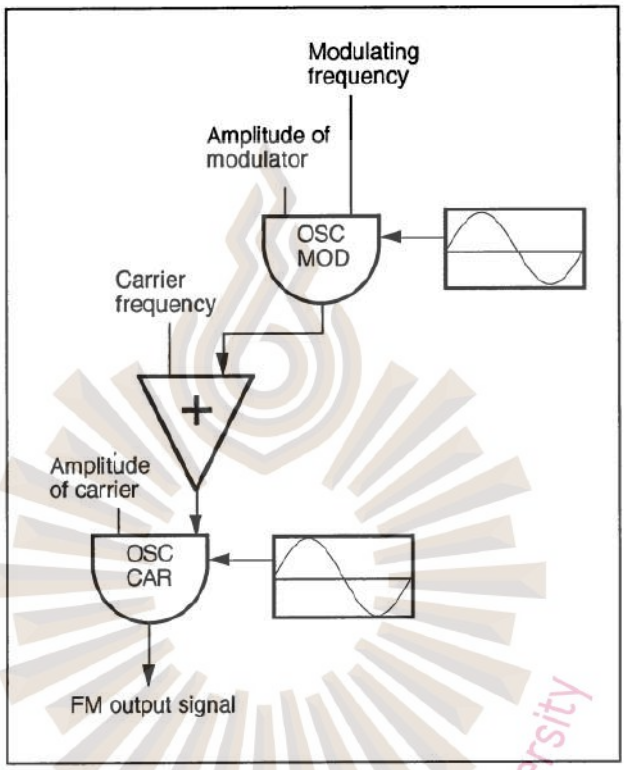
> ในธรรมชาติ ความถี่ของเสียงต่างๆที่เราได้ยินมีส่วนผสมทางด้านย่านความถี่ที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดหรือมักจะอ้างอิงจากเวลาที่เปลี่ยนไป พลังงานของส่วนผสมเหล่านี้มักจะเปลี่ยนแปลงในเชิงที่สลับซับซ้อน โดยเฉพาะในส่วนของหัวเสียงและส่วนของการเสื่อมสลายของเสียง (Chowning, 1973, p. 226)

ผลจากแนวคิดดังกล่าวโชว์นิงได้เล็งเห็นวิธีการสร้างเสียงสังเคราะห์ที่จำลองการเคลื่อนที่ของสเปคตรัมตามแนวคิดที่กล่าวข้างต้นอันเกิดจากการทดลองโดยจำลองเทคนิควิบราโตที่ความถี่เร็วมากจนกระทั่งผลลัพธ์ของวิบราโตกลืนเข้ากับเนื้อเสื่องของสัญญาณ

> ข้าพเจ้าได้พบว่าเมื่อใช้คลื่นเสียงไซน์สองคลื่นข้าพเจ้าสามารถสร้างคลื่นเสียงที่ซับซ้อนได้ซึ่งถือเป็นเครื่องมือการประพันธ์ที่ทรงพลังกว่าแต่ก่อน ถ้าคุณต้องการสร้างเสียง ยกตัวอย่างเช่น มี 50 ฮาร์โมนิก เมื่อก่อนคุณต้องใช้ออสซิเลเตอร์ถึง 50 ตัวในการสร้าง แต่ข้าพเจ้าสามารถใช้ออสซิเลเตอร์เพียง 2 ตัวเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกันได้ (Chowning, 1987, p. 226)

ต่อมาหลังจากการทดลองเป็นที่สัมฤทธิผล ในปีค.ศ. 1975 บริษัทนิปปอนกาคคิ ซึ่งในปัจจุบันคือบริษัทยามาฮ่าได้ถือครองลิขสิทธิของผลิตภัณฑ์ที่ใช้วิทยาการการสังเคราะห์เสียงแบบเอฟเอ็มโดยผลิตซินธิไซเซอร์รุ่นจีเอสวันข (GS1) ขึ้นในปีค.ศ. 1980 และตามด้วยซินธิไซเซอร์ดีเอ็กซ์เซเว่น (DX7) ในฤดูใบไม้ร่วงปีค.ศ. 1983 ซึ่งซินธิไซเซอร์ดีเอ็กซ์เซเว่นนี่เองที่ทำให้เทคโนโลยี

การสังเคราะห์เสียงแบบกล้ำความถี่เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย หนังสือเล่มเดียวกันได้ยกตัวอย่างเพิ่มเติมถึงหลักการเบื้องต้นที่โชว์นิงได้พัฒนาขึ้น ซึ่งในขณะนั้นเรียกว่าซิมเปิลเอฟเอ็ม (Simple FM) หรือโชว์นิงเอฟเอ็ม (Chowning FM) ว่า หลักการดังกล่าวคือผลลัพธ์ของคลื่นเสียงพาหะ (Carrier Frequency) ถูกกล้ำความถี่ด้วยคลื่นเสียงกล้ำ (Modulator Frequency) (Chowning, 1973, p. 227)



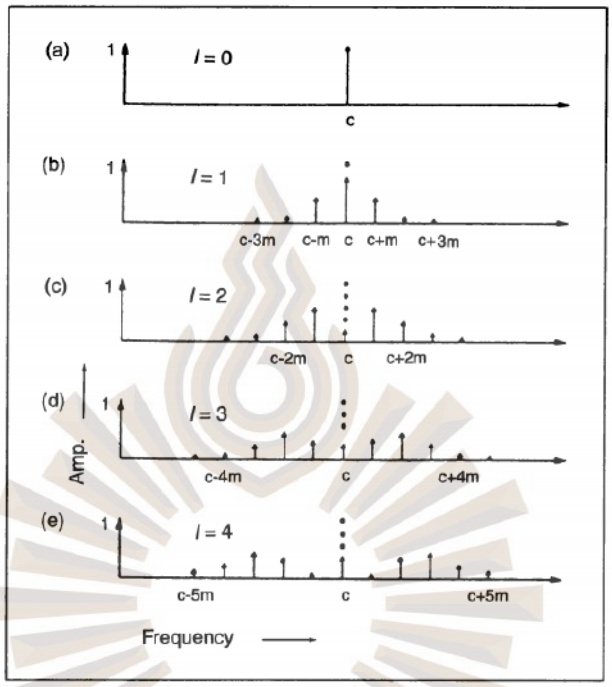
รูปที่ 2.7 แผนผังการไหลของสัญญาณจากหลักการซิมเปิลเอฟเอ็มของจอห์น โชว์นิง

ที่มา: Roads, 1996, p. 227

จากทฤษฎีดังกล่าวสามารถสร้างความถี่ข้างเคียง (Sideband) ได้อย่างมากมาย ขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นเสียงพาหะและคลื่นเสียงกล้ำ ซึ่งสามารถมองเป็นอัตราส่วนได้ โดยเรียกอัตราส่วนนี้ว่าอัตราส่วนซีต่อเอ็ม (C: M Ratio) เมื่ออัตราส่วนเป็นเลขจำนวนเต็ม เช่น 4: 1 ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นสเปคตรัมเสียงที่สอดคล้องกัน แต่ถ้าหากค่าอัตราส่วนไม่เป็นจำนวนเต็ม เช่น 8: 2.1 ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นสเปคตรัมเสียงกระด้าง

ปัจจัยอีกอย่างหนึ่งที่ส่งผลเป็นอย่างมากในการสังเคราะห์เสียงรูปแบบนี้คือโมดูเลชันอินเด็กซ์ (Modulation Index) จากหนังสือเล่มเดียวกันนี้ได้กล่าวไว้ว่าค่าโมดูเลชันอินเด็กซ์คือผลลัพธ์การหารระหว่างค่าแผลลัพธ์การหารระหว่างค่าความแตกต่างของค่าความถี่พาหะหารด้วยค่าความถี่

ของคลื่นเสียงกล้ำ ยกตัวอย่างเช่นเมื่อความถี่พาหะมีค่าเท่ากับ 100 เฮิร์ตซ และค่าความถี่กล้ำมีค่าเท่ากับ 100 เฮิร์ตซ ผลลัพธ์ของค่าโมดูเลชันอินเด็กซ์จะเท่ากับ 1.0 ซึ่งค่าโมดูเลชันอินเด็กซ์จะส่งผลให้เกิดความถี่ข้างเคียงมากน้อยแตกต่างกันไปตามผลลัพธ์ของค่าดังกล่าว



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างโมดูเลชันอินเด็กซ์และความถี่ข้างเคียง

ที่มา: Roads, 1996, p. 230

2.2.2 การสังเคราะห์เสียงโดยใช้อณูเสียง (Granular Synthesis)

จากเทคนิคการประพันธ์เพลงของยานนิส เซนาคิสที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น จากบทความเรื่องการประพันธ์เพลงบนพื้นฐานของการสังเคราะห์เสียงแบบกรานูล่าร์ (ประดิษฐ์ แสงไกร, 2563) ได้เขียนไว้ว่าเซนาคิสได้ให้ความสนใจกับการใช้เสียงในรูปแบบของการรวมกลุ่มก้อนของเสียงขนาดสั้นๆ ซึ่งอัตลักษณ์ของกลุ่มก้อนเสียงนี้สามารถเปรียบเทียบได้กับลักษณะของกลุ่มก้อนเมฆซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 5 ประเภท คือ

1) คุมุลุส (Cumulus) เป็นเมฆที่มีลักษณะคล้ายปุยนุ่น

2) สตราโตคุมุลุส (Stratocumulus) คือเมฆแบบคุมุลุสที่ถูกลมเปลี่ยนรูปร่างให้ผิดเพี้ยนออกไป

3) สตราตุส (Stratus) เป็นเมฆที่มีลักษณะเป็นเส้นบางๆ

4) นิมโบสตราตุส (Nimbostratus) เป็นเมฆที่มีลักษณะแผ่เป็นแผ่นมีสีเทาหรือขาวและทึบแสง

5) เซอร์รุส (Cirrus) มีลักษณะเป็นแผ่นแต่แยกออกจากกัน

หากวิเคราะห์ถึงรูปแบบการใช้กลุ่มก้อนเสียงเพื่อสร้างเนื้อเสียงแล้ว จะสังเกตได้ว่าเมื่อเพิ่มความหนาแน่นของกลุ่มเสียงจะทำให้เสียงเด่นชัดขึ้นและเมื่อลดความหนาแน่นลง กลุ่มเสียงเหล่านั้นจะสลายตัวกลายเป็นเสียงสั้นๆห่างกันหรือที่เรียกว่าพ้อยทิลิสติก (Pointilistic) หรือลดหน้าที่ลงไปเป็นเพียงฉากหลังของมิติการรับเสียงของมนุษย์ ซึ่งการสร้างเสียงแบบดังกล่าวเป็นทีมาของวิธีการสังเคราะห์เสียงแบบกรานูล่าร์

โรดส์ได้กล่าวถึงที่มาของการสังเคราะห์เสียงแบบดังกล่าวเพิ่มเติมว่าการสังเคราะห์เสียงแบบดังกล่าวเป็นเฉกเช่นกับการที่นักปรมาณูศาสตร์มองพลังงานเสียงเป็นแบบเดียวกันกลับพลังงานชนิดอื่นนั่นคือสามารถแยกออกได้เป็นอณูต่างๆ โดยแนวคิดเรื่องอณูเสียงได้ถูกยกขึ้นมาโดยเดนนิส กาเบอร์ (Dennis Gabor, ค.ศ. 1900 - 1979) ในบทความว่าด้วยเรื่องควอนตัมฟิสิกส์สองเรื่องที่ตีพิมพ์ในปีค.ศ. 1946 และ 1947 ตามลำดับ จากทฤษฎีของกาเบอร์อธิบายว่าเสียงต่างๆสามารถนำเสนอองค์ประกอบผ่านรูปแบบของอณูเสียงได้ ซึ่งการนำเสนอดังกล่าวสามารถทำได้โดยใช้ทฤษฎีการแปลงฟูเรียร์อย่างสั้น (Short-time Fourier Transform) (Schroeder and Atal, 1962) ซึ่งในภายหลังในปีค.ศ. 1960 เซนาคิสได้นำเอาแนวคิดนี้มีใช้ในการประพันธ์เพลง *อะนาลอจิค เอ – บี* สำหรับสตริงออเคสตร้าและเทป (*Analogique A-B*, 1959) โดยใช้เครื่องสร้างเสียงระบบอะนาล็อกและการตัดต่อเทปบันทึกเสียงเพื่อสร้างเสียงตามหลักการดังกล่าว (Roads, 1996, p. 169)

บทความเรื่องการประพันธ์เพลงบนพื้นฐานของการสังเคราะห์เสียงแบบกรานูล่าร์ยังได้กล่าวเพิ่มเติมว่า ในเชิงวิทยาศาสตร์ หูของมนุษย์จะรับรู้ความยาวของเสียงได้สั้นที่สุดที่ 1/20 วินาที ผงของเสียงที่นำมาใช้ในการสังเคราะห์เสียงแบบกรานูล่าร์มักจะมีความยาวใกล้เคียงกับความยาวดังกล่าว ซึ่งผงเสียงแต่ละผงจะถูกกำหนดรูปร่างความดังด้วยแอมปลิจูดเอ็นเวลอป (Amplitude Envelope) หรือในเชิงการประมวลผลสัญญาณดิจิตอลจะเรียกว่าวินโดว์ฟังก์ชั่น (Window Function) หลังจากนั้นจึงนำมาเล่นต่อกันโดยคำนึงถึงองค์ประกอบเรื่องความยาวของผงเสียงและอัตราความถี่ของการเปลี่ยนแปลงค่าความยาวผงเสียง จะทำให้ได้ผลลัพธ์ดังนี้

1) ความยาวของผงเสียงเท่ากับ 200 ไมโครวินาที มีการปรับเปลี่ยนค่าความยาวไปมาที่อัตราความถี่ 5000 ครั้งต่อวินาที ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นเสียงใกล้เคียงกับนอยส์

2) ความยาวของผงเสียงเท่ากับ 1/1000 วินาที มีการปรับเปลี่ยนค่าความยาวไปมาที่อัตราความถี่ 1000 ครั้งต่อวินาที ผลลัพธ์ที่ได้คือจะเกิดความคลุมเครือของระดับเสียง

3) ความยาวของผงเสียงเท่ากับ 1/100 วินาที มีการปรับเปลี่ยนค่าความยาวไปมาที่อัตราความถี่ 100 ครั้งต่อวินาที ผลลัพธ์ที่ได้คือเสียงกระพือ (Flutter)

4) ความยาวของผงเสียงเท่ากับ 1/20 วินาที มีการปรับเปลี่ยนค่าความยาวไปมาที่อัตราความถี่ 20 ครั้งต่อวินาที ผลลัพธ์ที่ได้คือระดับเสียงจะคงที่

5) ความยาวของผงเสียงเท่ากับ 1/5 วินาที มีการปรับเปลี่ยนค่าความยาวไปมาที่อัตราความถี่ 5 ครั้งต่อวินาที ผลลัพธ์ที่ได้จะคล้ายคลึงกับการรัวโน้ตบนเครื่องเป่า

2.2.3 การสังเคราะห์เสียงแบบตัดทอนความถี่ (Subtractive Synthesis)

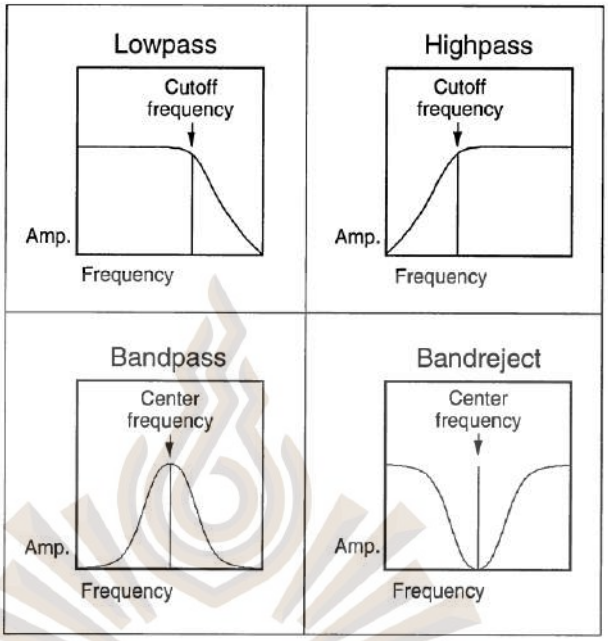
โรดส์ได้บรรยายถึงการสังเคราะห์เสียงประเภทนี้ว่า หลักการสำคัญของการสังเคราะห์เสียงแบบตัดทอนความถี่คือการใช้ฟิลเตอร์เพื่อกำหนดรูปร่างสเปคตรัมของเสียงจากแหล่งกำเนิด เมื่อสัญญาณไหลผ่านฟิลเตอร์แล้ว ฟิลเตอร์จะทำหน้าที่เลือกขอบเขตของย่านความถี่ ถ้าหากว่าแหล่งกำเนิดเสียงมีความสมบูรณ์ทางย่านความถี่ การสังเคราะห์เสียงแบบตัดทอนความถี่จะสามารถสังเคราะห์เสียงที่มีความใกล้เคียงกับเสียงในธรรมชาติหลากหลายประเภทหรือสร้างสีสันของเสียงแบบใหม่ขึ้นได้ (Roads, 1996, p. 185) นอกจากนี้โรดส์ยังได้กล่าวถึงหลักการทำงานของฟิลเตอร์เพิ่มเติมว่า คำนิยามที่พบเห็นได้โดยทั่วไปของฟิลเตอร์คืออุปกรณ์ที่ใช้เพิ่มหรือลดขอบเขตสเปคตรัมเสียง โดยวิธีการทำงานของฟิลเตอร์สามารถทำได้ด้วยกัน 2 วิธีคือ

1) หน่วงสำเนาของสัญญาณขาเข้าในเวลาอันสั้นมากและรวมสัญญาณที่ผ่านการหน่วงแล้วเข้ากับสัญญาณขาเข้าชิ้นใหม่ เรียกฟิลเตอร์ประเภทนี้ว่า ฟีดฟอร์เวิร์ดอิมพัลส์รีสพอนด์ (Feedforward Impulse Response หรือเรียกอย่างย่อว่า FIR)

2) หน่วงสำเนาของสัญญาณขาออกและนำไปรวมกับสัญญาณเข้ากับสัญญาณขาเข้า เรียกฟิลเตอร์ประเภทนี้ว่า ฟีดแบ็คอิมพัลส์รีสพอนด์ (Feedback Impulse Response หรือเรียกอย่างย่อว่า IIR)

ประเภทของฟิลเตอร์แต่ละประเภทมีลักษณะของความถี่ตอบสนองแตกต่างกัน รูปแบบของความถี่ตอบสนองที่พบเห็นได้มากมีอยู่ด้วยกัน 4 ประเภทคือโลว์พาสฟิลเตอร์ (Lowpass Filter) ไฮ

พาสฟิลเตอร์ (Highpass Filter) แบนด์พาสฟิลเตอร์ (Bandpass Filter) และแบนด์รีเจคท์ฟิลเตอร์ (Bandreject Filter) หรือในบางกรณีเรียกว่านอทช์ (Notch) (Roads, 1996, p. 186)



รูปที่ 2.9 การทำงานของฟิลเตอร์ประเภทต่างๆ

ที่มา: Roads, 1996, p. 188

จากหนังสืออะนาล็อกเดย์ ดิอินเวนชันแอนด์อิมแพคท์ออฟเดอะโมกซินธิไซเซอร์ (Analog Days: the invention and impact of the moog synthesizer) ได้กล่าวว่าในปัจจุบันเสียงซินธิไซเซอร์ได้อยู่ในแนวเพลง ในปีค.ศ. 1964 เมื่อโรเบิร์ต โมก (Robert Moog, ค.ศ. 1934–2005) ซึ่งเกิดที่เมืองนิวยอร์ค มลรัฐนิวยอร์ค ประเทศสหรัฐอเมริกา และดอน บุคลา (Don Buchla, ค.ศ. 1937–2016) ซึ่งเกิดที่เมืองเซาท์เกท มลรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกาได้ผลิตซินธิไซเซอร์รุ่นโปรโตไทป์ของพวกเขาโดยที่ทั้งสองท่านไม่ทราบว่าอีกฝ่ายหนึ่งกำลังผลิตซินธิไซเซอร์รุ่นโปรโตไทป์ของตนเองอยู่เช่นกัน ในยุคนั้นเสียงอิเล็กทรอนิกยังคงใช้ในวงจำกัด อย่างเช่น การสร้างสเปเชียลเอฟเฟคท์ในวงการภาพยนตร์ฮอลลีวูดหรือในงานประพันธ์เพลงจากนักประพันธ์เพลงอย่างเช่นคาร์ลไฮนซ์ สต็อกเฮาเซนและจอห์น เคจ (John Cage, ค.ศ. 1912–1992) (Pinch, 2002, p. 6) ถึงแม้ว่าชื่อของโรเบิร์ต โมกและดอน บุคลาจะไม่โด่งดังมากนักแต่ถือว่าเป็นผู้ที่มีคุณูปการกับวงการดนตรีเป็นอย่างยิ่ง นอกจากนี้หนังสือเล่มดังกล่าวยังได้อธิบายถึงความแตกต่างระหว่างซินธิไซเซอร์ที่ออกแบบโดยทั้งสองท่านว่าซินธิไซเซอร์บุคลามีการใช้หน่วยวงจรสังเคราะห์เสียงแบบกล้ำความเข้มเสียง (Ring Modulator) และใช้ซีเควนเซอร์เป็นตัวควบคุมค่าแรงดันไฟฟ้าควบคุม (Control Voltage หรือเรียกอย่างย่อว่า cv) ในภายหลังซินธิไซเซอร์โมกจึงพัฒนาซีเควนเซอร์ของตัวเองโดยใช้หลักการกล้ำ

ความเข้มเสียงที่ออกแบบโดยฮาราลด์ โบด (Harald Bode, ค.ศ. 1909 – 1987) ซึ่งออกแบบก่อนหน้าซินธิไซเซอร์รุ่นโปรโตไทป์ของทั้งสองบริษัท แต่อีกด้านหนึ่งซินธิไซเซอร์โมกมีฟิลเตอร์ซึ่งในภายหลังซินธิไซเซอร์บุคลาก็ได้เพิ่มฟิลเตอร์เช่นกัน ทั้งนี้จุดที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดคือซินธิไซเซอร์บุคลามักจะไม่ใช้ลิ่มนิ้วแบบมาตรฐานเพื่อควบคุมเสียงแต่ใช้อุปกรณ์ระบบสัมผัสเพื่อใช้สร้างแรงดันไฟฟ้า 3 แบบขึ้นอยู่กับแรงกดบนอุปกรณ์ (Pinch, 2002, pp. 42-43) หลายๆท่านกล่าวว่าบุคลามีความคิดปฏิปักษ์ต่อการควบคุมเสียงด้วยอุปกรณ์ประเภทลิ่มนิ้วซึ่งถือว่าเป็นความเข้าใจผิด บุคลากล่าวว่าอุปกรณ์ประเภทลิ่มนิ้วจัดว่าเป็นอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมเสียงในระบบ 12 เสียงเท่าได้ดีด้วยตัวของมันเองอยู่แล้ว แต่บุคลามีวิสัยทัศน์ที่ต้องการสร้างสิ่งประดิษฐ์ใหม่ ดังคำกล่าวของบุคลาที่กล่าวไว้ว่า

> ฉันรู้สึกว่าการเดินตามเส้นทางของการใช้อุปกรณ์ประเภทลิ่มนิ้วเป็นการย้อนกลับไปสู่เทคโนโลยีที่เก่ากว่า ฉันจึงไม่มีเหตุผลที่จะหยิบยืมหลักการของอุปกรณ์ประเภทดังกล่าวซึ่งเป็นกลไกที่กำหนดให้ค้อนพุ่งไปกระทบสายซึ่งภายหลังพัฒนามาเป็นออร์แกนไฟฟ้าหรือเครื่องดนตรีที่ใกล้เคียง (Buchla, 2002, p. 44)

ด้วยเหตุผลดังกล่าวบุคลาจึงต้องการอุปกรณ์ควบคุมที่เอื้อต่อจินตนาการของผู้ใช้และสอดคล้องกับผู้ใช้ในการสร้างแหล่งเสียงใหม่ อุปกรณ์ควบคุมของบุคลาสามารถปรับแต่งให้เล่นระบบ 12 เสียงเท่าหรือระบบการเทียบเสียงแบบอื่นก็ย่อมทำได้เช่นกัน แนวคิดของบุคลานี้ได้ก่อร่างสร้างตัวขึ้นโดยการที่บุคลาได้พบกับจอห์น เคจ และเดวิด ทูดอร์ (David Tudor, ค.ศ. 1926–1996) โดยเคจได้ใช้อุปกรณ์ควบคุมของบุคลาเพื่อควบคุมอุปกรณ์ชิ้นโปรดของเคจ นั่นคือเครื่องรับสัญญาณวิทยุเอฟเอ็ม แถบควบคุมแต่ละแถบบนอุปกรณ์ควบคุมของบุคลาได้ใช้ควบคุมสัญญาณจากสถานีวิทยุแตกต่างกัน (Pinch, 2002, p. 44)

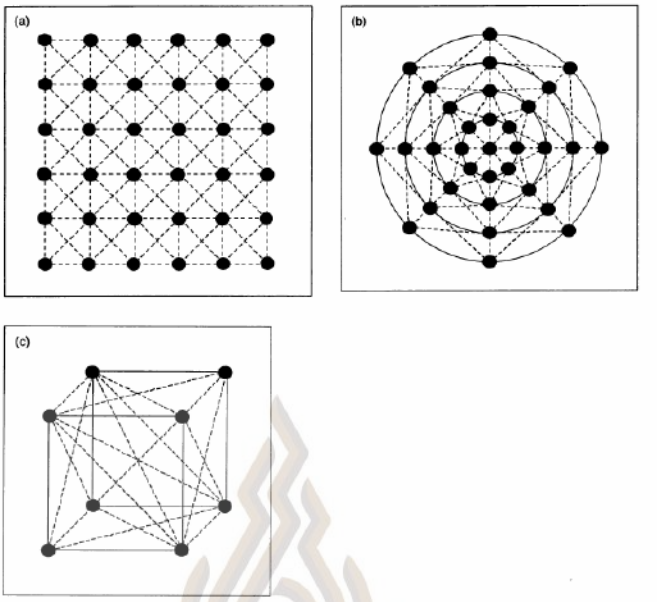
ข้อแตกต่างอีกอย่างหนึ่งระหว่างเทคโนโลยีของบุคลาและโมกคือสายแพทช์ที่ใช้ บุคลาใช้สายแพทช์ 2 ประเภทโดยประเภทหนึ่งใช้สำหรับเสียบเข้าช่องสัญญาณออดิโอ และอีกประเภทหนึ่งใช้สำหรับเสียบเข้าช่องแรงดันไฟฟ้าควบคุมซึ่งความถี่จะต่ำกว่าสัญญาณจากช่องสัญญาณออดิโอ โดยบุคลาได้เลือกใช้หัวสัญญาณแบบบานานาสำหรับแรงดันไฟฟ้าควบคุม และใช้หัวสัญญาณแบบอาร์ซีเอสำหรับสัญญาณออดิโอ ส่วนซินธิไซเซอร์โมกใช้หัวแจ็คขนาดมาตรฐานสำหรับสัญญาณทุกประเภท (Pinch, 2002, p. 45)

หนังสือเดอะซินธิไซเซอร์ (The Synthesizer) ยังได้กล่าวเพิ่มเติมเกี่ยวกับซินธิไซเซอร์บุคลาว่าบุคลาได้ออกแบบวงจรโลว์พาสเกท (Lowpass Gate) โดยใช้ตัวแยกแสงแบบต้านทานภายในวงจรโลพาสเกทสามารถทำงานเป็นวงจรควบคุมความเข้มเสียง (Voltage Control Amplifier หรือเรียกอย่างย่อว่า VCA) ฟิลเตอร์ หรือทำงานผสมผสานทั้งคู่เข้าด้วยกัน (Viel, 2014, p. 338)

2.2.4 การสังเคราะห์เสียงแบบอ้างอิงกายภาพ (Physical Modeling Synthesis)

จากหนังสือเดอะคอมพิวเตอร์มิวสิคทิวทอเรียลได้กล่าวถึงการสังเคราะห์เสียงประเภทนี้ว่ามีจุดเริ่มมาจากโมเดลทางคณิตศาสตร์ตามหลักการฟิสิกส์ตามการสร้างเสียงของเครื่องดนตรีอะคูสติก วิธีการสังเคราะห์เสียงรูปแบบนี้ยังมีชื่อเรียกอีกหลายแบบ เช่น การสังเคราะห์เสียงด้วยกฎเกณฑ์ (Synthesis by Rule, Ferretti, 1965) การสังเคราะห์เสียงจากปฐมหลักการ (Weinreich, 1983) หรือสวนศาสตร์เสมือน (Yamaha, 1993) (Roads, 1995, p. 265)

หลักการเบื้องต้นของการสังเคราะห์เสียงแบบอ้างอิงกายภาพคือการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวกระตุ้นและความกำทอน ตัวกระตุ้นคือการกระทำที่ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนของพื้นผิววัตถุ เช่น การสีด้วยหางม้า การตีด้วยไม้ตี หรือการเป่าลม ความกำทอนคือการตอบสนองของตัวเครื่องดนตรีเมื่อมองจากหลักการประมวลผลสัญญาณ ส่วนตัวเครื่องดนตรีจะทำหน้าที่เปรียบเสมือนฟิลเตอร์และตัวกระตุ้นคือสัญญาณขาเข้า รูปแบบย่อยของการสังเคราะห์เสียงแบบอ้างอิงกายภาพรูปแบบหนึ่งคือการสังเคราะห์เสียงแบบโมดาล (Modal Synthesis, Adrien, 1990) ซึ่งอ้างอิงจากการเคลื่อนตัวของมวลบนเส้นขดลวดสปริง เริ่มจากการเปรียบเทียบแหล่งกำเนิดเสียงให้เป็นพลังงานที่ทำให้โครงสร้างย่อยของวัตถุเกิดการสั่นสะเทือน จำนวนของโครงสร้างย่อยดังกล่าวมักจะมีขนาดเล็ก ซึ่งโครงสร้างย่อยดังกล่าวปรากฏบนเครื่องดนตรีอะคูสติกโดยทั่วไป เช่น หย่องไวโอลิน ลำตัวของไวโอลิน ท่อลม ลำตัวของกลอง เป็นต้น เมื่อถูกกระตุ้นโดยตัวกระตุ้นแล้ว โครงสร้างย่อยของเครื่องดนตรีจะสร้างโหมดของการสั่นสะเทือนตามธรรมชาติ โหมดดังกล่าวจะเกิดขึ้นแตกต่างกันไปตามแต่องค์ประกอบทางฟิสิกส์ของโครงสร้างนั้นๆ (Roads, 1995, p. 268)



รูปที่ 2.10 โมเดลการสั่นสะเทือนของพื้นผิว โดย (a) คือการสั่นสะเทือนในแนวระนาบ (b) คือการสั่นสะเทือนของหนังกลอง (c) คือการสั่นสะเทือนของพื้นที่ 3 มิติ

ที่มา: Roads, 1995, p. 274

สำหรับบทประพันธ์ *ลอเรนซ์ เริสเลอร์ เฮนอน* สำหรับวงดนตรีขนาดเล็กและซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์ ผู้ประพันธ์นำแนวคิดต่างๆทั้งหมดเหล่านี้มาประยุกต์ใช้เพื่อประพันธ์บทเพลง โดยจะอธิบายถึงรายละเอียดทางเทคนิคเหล่านี้ในบทที่ 3 ต่อไป

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

บทที่ 3

แนวคิดเบื้องต้นสำหรับการประพันธ์

จากการศึกษาผลงานจากนักประพันธ์ที่กล่าวมาทั้งหมดในบทที่ 2 และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ผู้ประพันธ์ได้เลือกนำแนวคิด รวมถึงวิธีการบางประการของนักประพันธ์เหล่านั้น พร้อมทั้งทฤษฎีและเทคนิคต่างๆที่เป็นประโยชน์มาประยุกต์ใช้ในบทประพันธ์เพลงอิเล็กโทรอะคูสติก *ลอเรนซ์ เริสเลอร์ เฮนอน สำหรับวงดนตรีขนาดเล็กและซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์* เพื่อให้บรรลุต่อวัตถุประสงค์ตามที่ตั้งไว้ ดังนี้

1) ประพันธ์และพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อใช้เป็นแหล่งกำเนิดองค์ประกอบต่างๆและโครงสร้างของบทประพันธ์ตามหลักการของดนตรีโครงสร้างนิจลักษณ์

2) ประยุกต์ใช้หลักการทางคณิตศาสตร์เพื่อกำหนดโครงสร้างของบทประพันธ์ทั้งระดับมหภาคและจุลภาค

3) วางโครงสร้างของบทเพลงในมิติต่างๆ ทั้งความยาวของแต่ละบทประพันธ์ ความเร็ว น้ำหนักดัง-เบา ระดับเสียงสูง-ต่ำ และอื่นๆ

4) ออกแบบเสียงด้วยทฤษฎีการสังเคราะห์เสียงประเภทต่างๆ โดยใช้ซินธิไซเซอร์ระบบโมดูล่าร์

5) สร้างบทเพลงจากองค์ประกอบทางดนตรีต่างๆและข้อกำหนดที่วางไว้

3.1 โครงสร้างบทประพันธ์

บทประพันธ์ลอเรนซ์, เริสเลอร์, เฮนอนได้รับแรงบันดาลใจจากทฤษฎีผีเสื้อขยับปีก (Butterfly Effect) ซึ่งค้นพบโดยดร.เอ็ดเวิร์ด เอ็น ลอเรนซ์ (Edward N. Lorenz, ค.ศ. 1917-2008) ที่พยายามใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อพยากรณ์อากาศ นักวิทยาศาสตร์ท่านนี้ใช้ชีวิตกับการป้อนข้อมูลตัวเลขเข้าแบบจำลองคณิตศาสตร์ ตัวเลขดังกล่าวปกติแล้วมักประกอบด้วยตัวเลขหลังจุดทศนิยมหลายหลัก แต่การตัดจุดทศนิยมแบบปัดเศษเพียงเล็กน้อยมีผลกระทบอย่างมหาศาลกับค่าผลลัพธ์ที่ได้ ซึ่งทฤษฎีดังกล่าวสอดคล้องกับวลีที่ว่าเด็ดดอกไม้สะเทือนถึงดวงดาว ต่อมาในภายหลังก็มีทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ที่สืบเนื่องทฤษฎีผีเสื้อขยับปีกเกิดขึ้นมากมายเพื่อจุดประสงค์ในการ

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

จำลองปรากฏการณ์ต่างๆในธรรมชาติ ซึ่งทฤษฎีเหล่านี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับโครงสร้างบทประพันธ์ได้ทั้งระดับมหภาคอย่างโครงสร้างหลักของบทประพันธ์ย่อยลงไปถึงระดับอนุภาคอย่างการสังเคราะห์เสียงดังนั้นผู้ประพันธ์จึงต้องการจำลองการเปลี่ยนแปลงค่าที่ใช้ในสมการตามทฤษฎีดังกล่าวเพื่อสร้างบทประพันธ์ตามหลักการของการประพันธ์เพลงโครงสร้างนิจลักษณ์ (Xenakis, 1992) ซึงชุดสมการที่ผู้ประพันธ์เลือกใช้มีอยู่ 3 ชุดด้วยกันคือ สมการลอเรนซ์ สมการเริสเลอร์ และสมการเฮนอนแม็พ สมการทั้งสามชุดมีค่าสมการดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบค่าสมการลอเรนซ์, เริสเลอร์, เฮนอนแม็พ

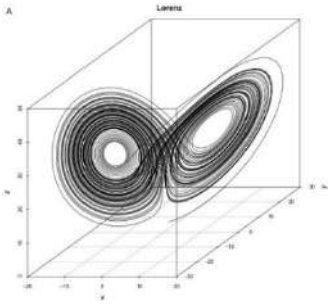
ชุดสมการ	x_{n+1}	y_{n+1}	z_{n+1}
ลอเรนซ์	$\sigma(y-x)$	$-xz+rx-y$	$xy-bz$
เริสเลอร์	$-y-z$	$x+ay$	$b+z(x-c)$
เฮนอนแม็พ	$1-ax^2+y$	bx	

ค่าตัวแปรในสมการลอเรนซ์มีอยู่ด้วยกัน 6 ค่าคือ x, y, z, σ, r, b ซึ่งค่าตัวแปรต่างๆแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือค่าที่กำหนดตายตัวคือค่า σ, r, b และค่าที่มีการวนซ้ำเพื่อให้ได้ซึ่งค่าใหม่หลังจากผ่านการคำนวณตามสมการแล้วคือค่า x, y, z โดยในที่นี้กำหนดให้ x_{n+1}, y_{n+1}, z_{n+1} เป็นค่าใหม่ของ x, y, z

ค่าตัวแปรในสมการเริสเลอร์มีอยู่ด้วยกัน 6 ค่าคือ x, y, z, a, b, c ซึ่งค่าตัวแปรต่างๆแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือค่าที่กำหนดตายตัวคือค่า a, b, c และค่าที่มีการวนซ้ำเพื่อให้ได้ซึ่งค่าใหม่หลังจากผ่านการคำนวณตามสมการแล้วคือค่า x, y, z โดยในที่นี้กำหนดให้ x_{n+1}, y_{n+1}, z_{n+1} เป็นค่าใหม่ของ x, y, z

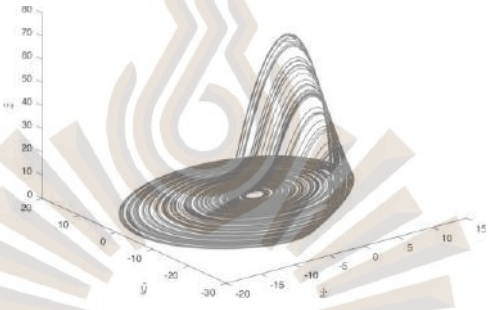
ค่าตัวแปรในสมการเฮนอนแม็พมีอยู่ด้วยกัน 4 ค่าคือ x, y, a, b ซึ่งค่าตัวแปรต่างๆแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือค่าที่กำหนดตายตัวคือค่า a, b และค่าที่มีการวนซ้ำเพื่อให้ได้ซึ่งค่าใหม่หลังจากผ่านการคำนวณตามสมการแล้วคือค่า x, y โดยในที่นี้กำหนดให้ x_{n+1}, y_{n+1} เป็นค่าใหม่ของ x, y

เมื่อสร้างกราฟจากสมการทั้งสามชุดจะได้รูปแบบกราฟดังนี้



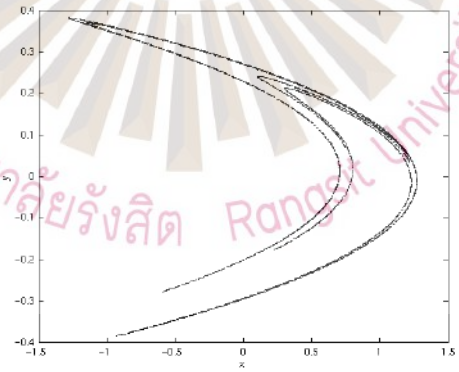
รูปที่ 3.1 กราฟสมการลอเรนซ์

ที่มา: Weisstein, 2023b



รูปที่ 3.2 กราฟสมการเริสเลอร์

ที่มา: Weisstein, 2023c



รูปที่ 3.3 กราฟสมการเฮนอนแม็พ

ที่มา: Weisstein, 2023a

ผู้ประพันธ์ได้ประยุกต์ใช้ชุดสมการทั้ง 3 ชุดมาปรับใช้โดยยึดหลักตามวิธีการประพันธ์ดนตรีแบบโครงสร้างนิจลักษณ์ผนวกกับการใช้โมดูลซินธิไซเซอร์หรือคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยคำนวณค่าจากสมการ แล้วนำค่าผลลัพธ์ที่ได้มาใช้ควบคุมบทประพันธ์ตามองค์ประกอบของเสียงดังนี้

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

1) ระดับเสียง

2) ความเข้มของเสียง

3) ความยาวของเสียง

ทั้งนี้ผู้ประพันธ์ได้กำหนดในบทประพันธ์ทั้งสามบทมีความแตกต่างกันโดยไล่เรียงการควบคุมค่าต่างๆภายในบทประพันธ์จากน้อยไปหามาก โดยผู้ประพันธ์ได้วางแนวคิดจากการใช้ชีวิตจากอดีตจนถึงปัจจุบัน ไล่เรียงจากการที่มนุษย์ซึ่งใช้อารมณ์และความรู้สึกในการเลือกทางเลือกต่างๆไล่ไปจนถึงการใช้เทคโนโลยีเพื่อช่วยในการตัดสินทางเลือกอย่างสมบูรณ์ซึ่งสามารถอธิบายด้วยเส้นเวลาดังต่อไปนี้

รูปที่ 3.4 เส้นเวลาแนวคิดของบทประพันธ์ทั้งสามบท

ที่มา: ผู้วิจัย

จากรูปที่ 3.4 ผู้ประพันธ์ได้ตีความให้บทประพันธ์แรกใช้โครงสร้างนิจลักษณ์แบบหลวมคือกำหนดภาพรวมและผลลัพธ์ที่คาดว่าน่าจะได้ แต่สามารถสอดแทรกค่าโน้ตที่อยู่นอกเหนือจากผลลัพธ์ที่ได้จากสมการได้เล็กน้อยตามความเหมาะสมตามการเคลื่อนที่ของทำนอง บทประพันธ์ที่สองการควบคุมค่าต่างๆในบทประพันธ์จะอยู่ตรงกลางระหว่างการสอดแทรกอารมณ์ความรู้สึกของผู้ประพันธ์และการใช้เทคโนโลยีเข้ามาควบคุม บทประพันธ์ที่สามจะเป็นการใช้ค่าจากสมการเพื่อควบคุมบทประพันธ์อย่างสมบูรณ์

สำหรับเครื่องดนตรีที่ใช้ ผู้ประพันธ์ได้คำนึงถึงการทับซ้อนของโอเวอร์โทนฮาร์โมนิกของเสียงเครื่องดนตรีตระกูลต่างๆโดยสลับสับเปลี่ยนเพื่อให้เกิดความหลากหลายของเสียงโดยใช้หลักการคิดเบื้องต้นอ้างอิงถึงสมการทั้งสามชุดเป็นสมการที่ใช้จำลองสิ่งที่มีอยู่ในธรรมชาติดั่งวลีที่กล่าวไว้ว่าเด็ดดอกไม้สะเทือนถึงดวงดาว ผู้ประพันธ์จึงเลือกใช้เครื่องดนตรีทั้งประเภทเครื่องสี เครื่องลมไม้ เครื่องลมทองเหลือง เครื่องกระทบ ดังมีรายชื่อดังต่อไปนี้

1) ไวโอลิน 1

2) ไวโอลิน 2

3) วิโอล่า

4) เชลโล่

5) ฟลูต

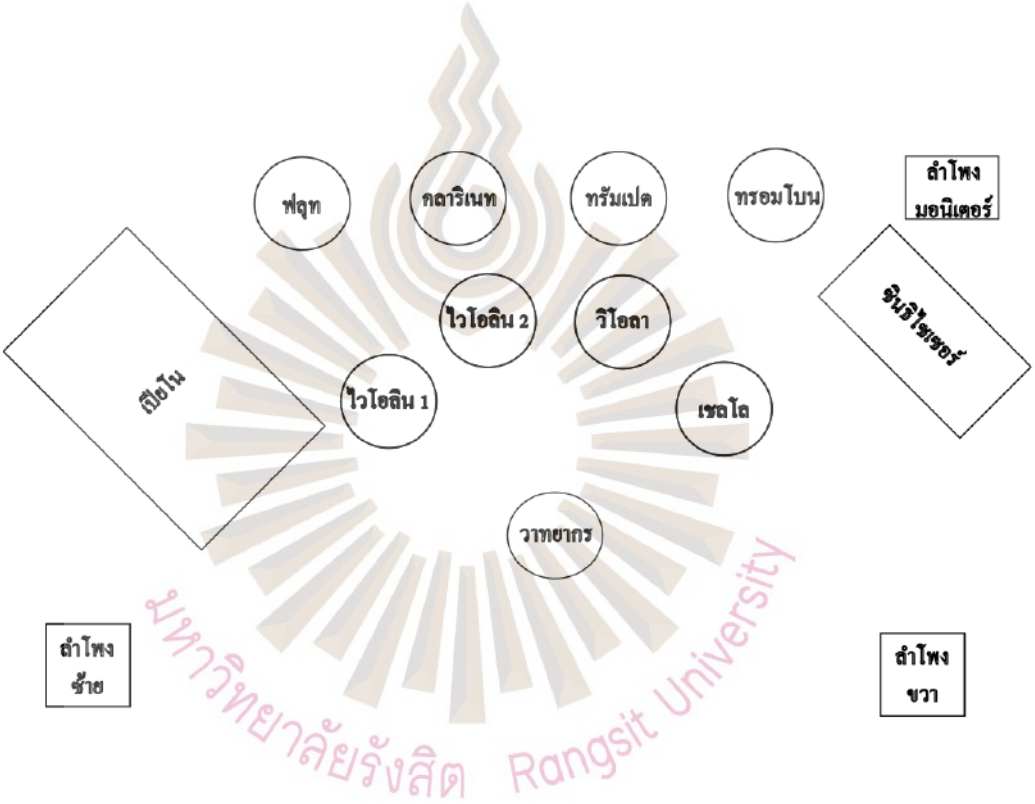
6) คลาริเนท

7) ทรัมเปต

8) ทรอมโบน

9) เปียโน

10) ซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์



รูปที่ 3.5 ผังการจัดวงดนตรี

ที่มา: ผู้วิจัย

นอกจากนี้ผู้ประพันธ์ได้เลือกใช้กระบวนการสร้างคลื่นเสียงบนซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์เพื่อเป็นโครงสร้างหลักของบทประพันธ์และการสร้างเสียงประสานจากเสียงสังเคราะห์ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะใช้ข้อมูลขาออกที่ได้จากการประมวลผลบนหน่วยประมวลผลของโมดูลซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์ควบคุมค่าพารามิเตอร์ต่างๆบนโมดูลซินธิไซเซอร์ประเภทออสซิเลเตอร์

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

3.2 การเรียบเรียงเสียงดนตรี

3.2.1 บทประพันธ์ *ลอเรนซ์ (Lorenz)*

บทเพลงนี้ได้ใช้โครงสร้างของสมการลอเรนซ์ซึ่งมีลักษณะคล้ายปีกผีเสื้อเป็นโครงสร้างหลักในการประพันธ์ มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆอย่างเชื่องช้าเพื่อให้เห็นชัดถึงลักษณะการเคลื่อนที่ของค่า x, y, z โดยใช้ค่า x ควบคุมระดับเสียงสูง-ต่ำ ใช้ค่า y ควบคุมความเข้มของเสียง ใช้ค่า z ควบคุมค่ามิติตื้นลึกของเสียง กลุ่มเครื่องดนตรีจะแบ่งเป็น 4 กลุ่ม

1) กลุ่มที่ 1 มีฟลูต คลาริเนท ทรัมเปต ทรอมโบน ใช้ดำเนินทำนองและสร้างนอยส์ในรูปแบบต่างๆเพื่อจำลองสภาพการเคลื่อนไหวของมวลอากาศ

2) กลุ่มที่ 2 เป็นสตริงควอเต็ท ใช้เลียนค่าจากการถอดจากสมการเพื่อสร้างระดับเสียงสูง-ต่ำและความดัง-เบา อีกทั้งยังทำหน้าที่เชื่อมโยงระหว่างเสียงนอยส์จากเครื่องกลุ่มที่ 1 และเครื่องกลุ่มที่ 3

3) กลุ่มที่ 3 เปียโน ใช้เพิ่มลดแรงกระแทกของมวลเสียงโดยรวม

4) กลุ่มที่ 4 เป็นเสียงจากโมดูลซีโรพอยท์ออสซิลเลเตอร์ (Zero Point Oscillator) ซึ่งควบคุมผ่านการรับค่าสัญญาณขาเข้าจากเครื่องดนตรีกลุ่มที่ 1, 2, 3 และรีเวิร์บที่สร้างจากโมดูลไมโครเบิร์ส (uBurst)

แนวคิดสำคัญในบทประพันธ์นี้คือการกำหนดค่าระดับเสียงไว้อย่างละเอียดกว่าบทประพันธ์ทั่วไปอันเนื่องจากผู้ประพันธ์ต้องการให้เกิดการแกว่งของความถี่เมื่อเครื่องดนตรีที่เล่นระบบ 12 เสียงเท่าบรรเลงพร้อมกับเครื่องดนตรีที่เล่นระบบ 48 เสียงเท่า ผลลัพธ์จากการแกว่งดังกล่าวทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่าความถี่เฮเตอโรไดนิง ดังนั้นผู้ประพันธ์จะกำหนดผลลัพธ์ที่ต้องการไว้อย่างชัดเจน แต่เมื่อผู้เล่นบรรเลงผิดเพี้ยนจากผลลัพธ์ที่ต้องการก็ถือว่าอนุโลมให้เกิดขึ้นได้เพื่อแสดงให้เห็นถึงแนวคิดรวมของบทประพันธ์ที่ว่าการเปลี่ยนแปลงสิ่งต่างๆเพียงเล็กน้อยก็ก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่เปลี่ยนแปลงอย่างมหาศาลได้

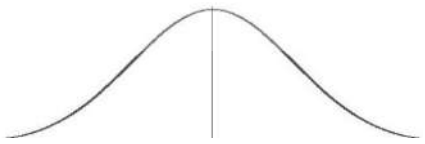
มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

3.2.2 บทประพันธ์ *เริสเลอร์ (Roessler)*

บทประพันธ์นี้ผู้ประพันธ์ได้ใช้โครงสร้างของสมการเริสเล่อร์ซึ่งมีลักษณะคล้ายก้นหอยเป็นโครงสร้างหลักในการประพันธ์ ผู้ประพันธ์จะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการคำนวณค่าและแปลงค่าที่ได้ออกมาเป็นค่าควบคุมโครงสร้างของบทประพันธ์ (Cope, 1997) โดยแบ่งเป็นค่าระดับเสียงและค่าความยาวโน้ต สำหรับค่าระดับเสียงที่ใช้จะประยุกต์เอาแนวคิดของเทคนิคการประพันธ์เพลงแบบแถวเรียงผนวกกับแบบโครงสร้างนิจลักษณ์ ทั้งนี้การประยุกต์ใช้แนวคิดของการประพันธ์ดนตรีแบบแถวเรียงนี้มิได้ทำตามกฎของวิธีการประพันธ์ดังกล่าวทั้งหมด กล่าวคือผู้ประพันธ์อนุโลมให้ใช้ค่าที่ได้จากการคำนวณซ้ำได้ตามผลการคำนวณเป็นหลักและอนุโลมให้ใช้ผลลัพธ์ที่ออกมาเป็นคอร์ดเมเจอร์หรือไมเนอร์ได้ โดยจะกำหนดนำค่าที่ได้มาใช้ตามกลุ่มเครื่องดนตรีดังนี้

1) กลุ่มที่ 1 มีฟลูต คลาริเนท ใช้บรรเลงทำนองที่ได้ค่ามาจากการถอดสมการ
2) กลุ่มที่ 2 มีทรัมเปต ทรอมโบน ใช้บรรเลงทำนองที่ได้มาจากการถอดสมการ
3) กลุ่มที่ 3 เป็นสตริงควอเต็ท ใช้บรรเลงทำนองรองซึ่งได้มาจากการถอดสมการ
4) กลุ่มที่ 4 เปียโน ใช้สร้างภาพรวมของเสียงประสาน ระดับเสียง
5) กลุ่มที่ 5 เป็นเสียงจากโมดูลซีโรพอยท์ออสซิลเลเตอร์ โดยใช้การเลียนเสียงซินธิไซเซอร์บุคลา หรือนิยมเรียกเสียงประเภทนี้ว่าเสียงซินธิไซเซอร์ฝั่งตะวันตก

ในบทประพันธ์ที่สองนี้จะแบ่งออกเป็นสามช่วง แต่ละช่วงจะมีความแตกต่างกัน โดยผู้ประพันธ์ได้แรงบันดาลใจของภาพรวมของบทประพันธ์นี้จากกราฟแสดงค่าการแจกแจงแบบโค้งปกติซึ่งเป็นกราฟแสดงผลการแจกแจงรูปแบบหนึ่งตามรูปที่ 3.4 ดังปรากฏดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.6 กราฟแสดงค่าการแจกแจงแบบปกติ
ที่มา: Statisticshowto.com., 2023

จากกราฟดังกล่าวผู้ประพันธ์ได้นำมาประยุกต์ใช้โดยนำมาควบคุมความหนาแน่นของเสียงในบทประพันธ์ กล่าวคือในช่วงต้นจะมีความหนาแน่นของเสียงไม่มาก ไล่ระดับความหนาแน่นของเสียงที่ใช้จากเครื่องดนตรีให้มากขึ้นในช่วงกลางบทประพันธ์ และกลับมาเบาบางอีกครั้งในช่วงท้ายของบทประพันธ์

3.2.3 บทประพันธ์ *เฮนอน (Henon)*

บทเพลงนี้ได้ใช้โครงสร้างของสมการเฮนอนแม็พซึ่งแตกต่างจากสมการทั้งสองชุดที่ใช้ก่อนหน้านี้เนื่องจากมีค่าขาออกเพียงสองค่าคือ x และ y รูปแบบจังหวะเร็วและคงที่แสดงให้เห็นถึงความโกลาหล ใช้การจำลองค่าจากสมการโดยใช้ซอฟท์แวร์ หลังจากนั้นจึงเอ็กซ์พอร์ตออกมาเป็นไฟล์มิดิแล้วนำมาอิมพอร์ตลงในโปรแกรมบันทึกโน้ต หลังจากนั้นจึงกระจายโน้ตวลีต่างๆตามความสมบูรณ์ของวลีที่ได้ แล้วจึงกระจายโน้ตภายในวลีออกเป็นโน้ตของแต่ละเครื่องดนตรีโดยคำนึงถึงระดับเสียงที่เครื่องนั้นๆสามารถบรรเลงได้เป็นหลัก กลุ่มเครื่องดนตรีจะแบ่งเป็น 4 กลุ่ม

1) กลุ่มที่ 1 ประกอบไปด้วยเครื่องลมไม้และเครื่องลมทองเหลืองทั้งหมด

2) กลุ่มที่ 2 เปียโน ใช้สร้างรูปแบบและทำนองหลัก

3) กลุ่มที่ 3 เป็นสตริงควอเต็ท ใช้สร้างทำนองหลักควบคู่ไปกับเสียงประสาน

4) กลุ่มที่ 4 เป็นเสียงจากซินธิไซเซอร์ระบบโมดูล่าร์ โดยจะใช้โมดูลมิวเทเบิลอินสตรูเมนท์แพลท (Mutable Instruments Plait)

3.3 การสร้างชุดของวัตถุดิบสำหรับการประพันธ์

วัตถุดิบในการประพันธ์สำหรับบทเพลงทั้ง 3 บทมี 3 ส่วนที่สำคัญคือเสียงนอยส์ที่สร้างจากเครื่องดนตรี, ระดับเสียงที่ได้จากการถอดสมการทั้ง 3 ชุดและจังหวะยูคลิเดียน

3.3.1 นอยส์

เสียงนอยส์ที่ใช้ในบทประพันธ์ประกอบไปด้วยเสียงจากเครื่องลมไม้, เครื่องสาย ซึ่งใช้จำลองแนวคิดเบื้องต้นของสมการที่ใช้อธิบายการเคลื่อนตัวของสภาพภูมิอากาศบนโลก ประกอบกับเสียงอิเล็กทรอนิกที่ได้จากการสังเคราะห์เสียง ลักษณะของการสร้างเสียงนอยส์มีดังต่อไปนี้

1) เสียงลมเป่าบนเครื่องเป่า (Stone, 1980, p. 186)

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

2) เสียงตัดลมด้วยลิ้น (Stone, 1980, p. 188)

3) การกระแทกลิ้นบนเครื่องเป่า (Stone, 1980, p. 188)

4) การตบกำพวด (Stone, 1980, p. 200)

5) การกระทบสายของเครื่องสายด้วยหางม้า (Stone, 1980, p. 315)

6) การสีเครื่องสายใกล้หย่อง (Stone, 1980, p. 308)

7) การสีเครื่องสายบนหย่อง (Stone, 1980, p. 308)

8) เสียงนอยส์จากซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์

3.3.2 ชุดระดับเสียง

ชุดระดับเสียงที่ใช้ในบทประพันธ์บทแรกจะใช้วิธีการจัดลำดับขั้นค่าผลลัพธ์จากสมการตามชื่อบทประพันธ์โดยกำหนดให้บทประพันธ์แรกใช้ระบบเสียงแบบ 48 เสียงเท่าคู่ขนาดไปกับระบบ 12 เสียงเท่าแบบดั้งเดิม เพลงที่สองใช้ระบบ 12 เสียงเท่า และบทประพันธ์ที่สามให้อยู่ในระดับ 12 เสียงเท่าโดยแบ่งเป็นชุดระดับเสียงที่ใช้บนเครื่องดนตรีอะคูสติกและชุดระดับเสียงที่ใช้กับเสียงสังเคราะห์ โดยกระบวนการได้มาซึ่งค่าโน้ตจะดำเนินการตามลำดับโดยลำดับแรกผู้ประพันธ์จะสุ่มเก็บตัวอย่างค่าที่ได้จากสมการอันเกิดจากการประมวลผลบนโมดูลออร์นาเมนท์แอนด์ไครม์ จากนั้นจึงนำค่าที่ได้มาตรวจวัดเป็นค่าความถี่ในหน่วยเฮิร์ตซแล้วนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบหาค่าระดับเสียงที่ใกล้เคียงในระบบ 12 เสียงเท่าพร้อมทั้งหาค่าความเพี้ยนในระบบเซ็นต์เพื่อไปเปรียบเทียบหาค่าระดับเสียงในระบบ 48 เสียงเท่า หลังจากนั้นจึงกำหนดสมมติฐานในด้านผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้จากการบรรเลงเสียงของทั้งระบบ 12 เสียงเท่าและ 48 เสียงเท่าพร้อมกัน

ในบทประพันธ์ที่สองจะใช้คอมพิวเตอร์ในการช่วยคำนวณให้ได้มาซึ่งค่าโน้ตและค่าความยาวโน้ต โดยผู้ประพันธ์กำหนดให้ใช้ระดับเสียงในระบบ 12 เสียงเท่าตลอดบทประพันธ์ ทั้งนี้กระบวนการให้ได้มาซึ่งค่าโน้ตมีลำดับความคิดและกระบวนการเริ่มจากจำลองค่าจากสมการด้วยชุดคำสั่งบนซอฟท์แวร์คอมพิวเตอร์ กำหนดมิติพิกัดในการคำนวณให้มีขนาด 12 แถว 10 คอลัมน์ จากนั้นจึงกำหนดการใช้แถวและคอลัมน์โดยให้คอลัมน์ที่ 1 ถึง 7 เป็นระดับเสียงสำหรับเครื่องดนตรี และคอลัมน์ที่ 8 ถึง 10 เป็นความยาวเสียงโดยมีหน่วยนับเป็นเขบิ็ตสองชั้น แล้วจึงเลือกแถวหรือคอลัมน์ที่เหมาะสมโดยพิจารณาถึงระดับเสียงและขอบเขตเสียงของเครื่องดนตรีอะคูสติกเป็นสำคัญ

ในบทประพันธ์ที่สามผู้ประพันธ์จะใช้อัลกอริทึมที่วางไว้เป็นตัวกำหนดค่าระดับเสียงและความยาวโน้ตในระบบมิดิโดยระดับเสียงที่ใช้จะเป็นระบบ 12 เสียงเท่า หากผลลัพธ์ที่ได้สูงหรือต่ำเกินไปกว่าขอบเขตระดับเสียงที่เครื่องดนตรีจะสามารถเล่นได้ให้แปลงค่าที่ได้ให้เป็นตัวหยุด

3.3.3 รูปแบบจังหวะ

รูปแบบจังหวะที่ใช้ในบทประพันธ์บทแรกจะไม่ยึดจังหวะตายตัว การบันทึกโน้ตจะเป็นเพียงการกำหนดเวลาคร่าวๆว่าเหตุการณ์ต่างๆในบทประพันธ์เกิดขึ้นที่เวลาใดและจะเกิดความถี่เฮเตอโรไดนิงที่ความถี่เท่ากับกี่เฮิร์ตซ ความยาวโน้ตจะไม่ได้ขึ้นอยู่กับค่าจากสมการทั้งหมด

บทประพันธ์ที่สองจะแบ่งออกเป็นสามช่วง ช่วงแรกจะใช้ค่าที่ได้จากสมการซึ่งใช้โปรแกรมแม็กซ์ในการช่วยคำนวณเพื่อถอดค่าจากสมการซึ่งผู้ประพันธ์จะนำค่าที่ได้จากการคำนวณความยาวโน้ตมาใช้อย่างตรงตัวตามหลักการประพันธ์ดนตรีแบบโครงสร้างนิจลักษณ์ ซึ่งความยาวโน้ตที่ได้นี้จะเป็นตัวกำหนดรูปแบบจังหวะ โดยที่กำหนดให้เปียโนบรรเลงในจังหวะตกของแต่ละห้องเพื่อเป็นจังหวะนับซึ่งง่ายต่อการที่เครื่องดนตรีชิ้นอื่นๆจะฟังเพื่อเป็นสัญญาณในการนับจังหวะ ส่วนที่สองของบทประพันธ์จะใช้จังหวะแบบยูคลิเดียนในการคำนวณและแบ่งวลีต่างๆ ทั้งหมดในอัตราจังหวะที่แตกต่างกัน โดยที่ในจังหวะแบบยูคลิเดียนจะใช้ชุดตัวเลขความยาวของรูปแบบจังหวะ (n) และจำนวนจังหวะ (k) ซึ่งทั้งค่า n และ k จะต้องไม่เกิน 32 จังหวะ จากรูปแบบจังหวะที่ได้ผู้ประพันธ์กำหนดให้ 1 คือจังหวะเคาะ 0 สามารถเป็นได้ทั้งตัวหยุดหรือลากเสียงยาวไปยังโน้ตถัดไปก็ได้ ทั้งนี้จังหวะนับจะมีความยาวเท่ากับโน้ตใดก็ได้แต่จำเป็นจะต้องเป็นจังหวะนับที่สม่ำเสมอเท่ากันตลอด และในส่วนที่สามจะกลับไปใช้เทคนิคการบรรเลงคล้ายคลึงกับบทประพันธ์แรกแต่มิได้ระบุว่าต้องการความถี่เฮเตอโรไดนิงแบบจำเพาะ

ส่วนบทประพันธ์สุดท้ายจะใช้ค่าจังหวะต่างๆจากการถอดค่าด้วยวิธีการที่แตกต่างออกไป คือการใช้เงื่อนไขที่คิดค้นโดยเครก สจวร์ต แซป(Craig Steward Sapp) โดยอัลกอริธึมที่นำมาใช้จะได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นค่าโน้ตที่ก่อให้เกิดจังหวะแบบอสมมาตร เมื่อได้ค่าโน้ตที่สร้างขึ้นเป็นไฟล์มิดิแล้วจึงกระจายโน้ตที่ได้ออกเป็นส่วนของเครื่องดนตรีต่างๆ โดยคำนึงถึงขอบเขตของเสียงเครื่องดนตรีนั้นๆเป็นหลัก (Sapp, 2002)

3.4 การพัฒนาวัตถุดิบในการประพันธ์

จากกระบวนการให้ได้มาซึ่งค่าต่างๆตามที่กล่าวมาแล้วในข้อ 3.1 และ 3.2 นั้น ผู้ประพันธ์จะนำองค์ประกอบต่างๆมาจัดระเบียบโดยแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือการควบคุมระดับเสียง (Pitch Organization) และ การสร้างกระสวนและอัตราจังหวะ (Rhythmic Organization)

3.4.1 การควบคุมระดับเสียง (Pitch Organization)

ผู้ประพันธ์พัฒนาวัตถุดิบโดยคาดคะเนผลที่คาดว่าจะได้รับจากการเล่นระดับเสียงนั้นๆตามหลักการของการสังเคราะห์เสียง ซึ่งมีทั้งผลทางตรงจากการเล่นระดับเสียงบนเครื่องดนตรีซึ่งเกิดจากการถอดสมการเพื่อใช้ควบคุมระดับเสียง และผลทางอ้อมอันเกิดมาจากตัวแปรที่ได้วางไว้คือ

1) การสร้างคลื่นความถี่เฮเตอโรไดนิง (Heterodyning Frequency) ของเสียงเครื่องดนตรีกับข้อมูลขาออกซึ่งเป็นเสียงอิเล็กทรอนิกส์ วิธีการดังกล่าวทำได้โดยการเล่นระดับเสียงที่ใกล้เคียงกันเช่น 440 เฮิร์ตซ และ 444 เฮิร์ตซมาเล่นพร้อมกัน ผลลัพธ์ที่ได้จะเท่ากับคลื่นความถี่เฮเตอโรไดนิงที่ 4 เฮิร์ตซ ทั้งนี้แนวคิดดังกล่าวสามารถทำได้เป็นทอดๆ อาจจะสร้างความถี่ขัดแย้งระหว่างเครื่องดนตรีกับเครื่องดนตรีเพื่อให้เกิดความถี่ขัดแย้งที่หนึ่ง แล้วนำไปสร้างความถี่ขัดแย้งกับเสียงอิเล็กทรอนิกส์ ทั้งนี้ผู้ประพันธ์จะอ้างอิงผลลัพธ์จากการบรรเลงเครื่องดนตรีจริงในระบบ 12 เสียงเท่าและ 48 เสียงเท่าพร้อมกันเป็นหลักซึ่งเป็นผลทางอ้อมจากการสร้างเสียงที่ความถี่ต่างกันเล็กน้อยก่อให้เกิดความถี่ผลลัพธ์ที่แตกต่างออกไปจากความถี่ต้นกำเนิด(Risset, 1986)

2) การเชื่อมโยงระดับเสียง (Portamento) เนื่องจากค่าของผลลัพธ์ของสมการที่ใช้ในบทประพันธ์แรกและบทประพันธ์ที่สองเป็นค่าต่อเนื่อง การเชื่อมโยงระดับเสียงจึงให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับค่าผลลัพธ์จากสมการมากที่สุด อีกทั้งยังเป็นการแสดงให้เห็นลักษณะการเคลื่อนไหวของค่าผลลัพธ์ที่ได้จากสมการอีกด้วย

3.4.2 การสร้างกระสวนและอัตราจังหวะ (Rhythmic Organization)

ในบทประพันธ์แรกผู้ประพันธ์จะยึดถือค่าความถี่เฮเตอโรไดนิงที่คาดว่าจะได้ขณะบรรเลงเป็นตัวกำหนดอัตราจังหวะ ยกตัวอย่างเช่นหากเกิดความถี่เฮเตอโรไดนิงที่ 1 เฮิร์ตซจะเทียบเท่าจังหวะนับ 1 ครั้งต่อวินาทีหรือค่าความยาวโน้ตเป็นตัวดำ แต่ถ้าหากเกิดความถี่เฮเตอโรไดนิงที่ 4

เฮิร์ซจะเทียบเท่าจังหวะนับ 4 ครั้งต่อวินาทีหรือค่าความยาวโน้ตเป็นเขบ็ตสองชั้นเป็นต้น จากนั้นจะยึดถือช่วงเวลาที่เกิดปรากฏการณ์ตามสมมติฐานที่วางไว้เป็นที่ตั้ง แล้วทำการจัดรูปแบบอัตราจังหวะตามเหตุการณ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

ในบทประพันธ์ที่สองผู้ประพันธ์จะยึดถือประโยคการบรรเลงของเปียโนในช่วงกลางของบทประพันธ์ซึ่งอยู่ในรูปแบบจังหวะยูคลิเดียน E{11, 8} เป็นจุดเริ่มต้นในการคำนวณค่าอัตราจังหวะ กำหนดให้กลุ่มเครื่องเป่าไม้และเครื่องเป่าทองเหลืองใช้รูปแบบจังหวะยูคลิเดียน E{6, 5} และกลุ่มเครื่องสายใช้รูปแบบจังหวะยูคลิเดียน E{9, 6} จากนั้นจึงคำนวณว่าหากบรรเลงในรูปแบบจังหวะยูคลิเดียนดังกล่าวโดยใช้โน้ตทั้ง 12 ตัวจากคอลัมน์ที่ผ่านการถอดค่าโดยใช้ซอฟท์แวร์จะต้องบรรเลงทั้งหมดประมาณ 11 ห้อง เหลือเศษเพียงเล็กน้อย จากนั้นจึงนำสิ่งที่ได้จากการคำนวณนี้ไปใช้ในช่วงแรกของบทประพันธ์ ช่วงท้ายของบทประพันธ์จะใช้การนับจังหวะโดยอ้างอิงวินาที

ในบทประพันธ์ที่สามผู้ประพันธ์จะยึดถือค่าจังหวะที่ได้จากอัลกอริทึมอย่างเคร่งครัด โดยจัดรูปแบบประโยคตามวลีที่ได้จากการสร้างค่าต่างๆตามเงื่อนไขที่กำหนด แล้วจึงแบ่งอัตราจังหวะของแต่ละวลีเพื่อสะดวกต่อการให้จังหวะของวาทยากร

3.5 การสังเคราะห์เสียงที่ใช้ในบทประพันธ์

ผู้ประพันธ์ได้ใช้ซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์ในการสังเคราะห์เสียงต่างๆในบทประพันธ์ ซึ่งแบ่งออกเป็น

1) โมดูลประเภทสร้างคลื่นเสียง (Oscillator) ได้แก่ โซลิดสเตทเฟทซีโรพอยท์ออสซิเลเตอร์ (Solid State Fate Zero Point Oscillator), มิวเทเบิลอินสตรูเมนท์แพลทส์ (Mutale Instruments Plaits), เมคนอยส์วอกเกิลบัก (Make Noise Wogglebug)

2) โมดูลประเภทสร้างรูปร่างเสียง (Envelope Generator) ได้แก่ มิวเทเบิลอินสตรูเมนท์ไทด์ (Mutable Instruments Tides) และเบฟาโคแรมเพจ (Befaco Rampage)

3) โมดูลประเภทปรับแต่งเสียง (Effect) ได้แก่ ไมโครเบิร์ส (uBurst)

4) โมดูลประเภทสร้างค่าแรงดันไฟฟ้า (Gate and CV generator) ได้แก่ ไมโครออร์นาเมนท์แอนด์ไครม์ (Micro Ornament and Crime), เมคนอยส์วอกเกิลบัก (Make Noise Wogglebug)

5) โมดูลประเภทออฟเซ็ตและปรับแต่งขอบเขตค่า (Offset and Attenuverter) ได้แก่อินเทลลิเจลควอแดร์ท (Intellijel Quadratt)

6) โมดูลอินเทลลิเจลมัลท์ (Intellijel Mult)

โดยที่วิธีการสังเคราะห์เสียงจะประกอบด้วยเสียงจากการสังเคราะห์เสียงแบบกล้ำความถี่ (Frequency Modulation)ในบทประพันธ์แรก การเลียนลักษณะซินธิไซเซอร์ฝั่งตะวันตกในบทประพันธ์ที่สอง การสังเคราะห์เสียงแบบอ้างอิงกายภาพ (Physical Modeling Synthesis)ในบทประพันธ์ที่สาม ประกอบกับการสังเคราะห์เสียงโดยใช้อณูเสียง (Granular Synthesis) และเอฟเฟกต์ต่างๆเพื่อเพิ่มมิติให้บทเพลง

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

บทที่ 4

อรรถาธิบายบทประพันธ์

ผู้ประพันธ์ได้ประพันธ์บทเพลง *ลอเรนซ์ เริสเลอร์ เฮนอน* ใช้แนวคิดทางการประพันธ์เพลงจากสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายทฤษฎีโกลาหล นำมาผสานกับวิธีการประพันธ์เพลงสำหรับดนตรีวงขนาดเล็กและซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์ โดยประยุกต์แนวคิดของการประพันธ์เพลงจากบทประพันธ์และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องตามที่ได้ศึกษาจากวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 จากแนวคิดเริ่มต้นดังกล่าวผู้ประพันธ์ได้นำมาใช้ในบทเพลงทั้งสามบทโดยอ้างอิงจากค่าที่ได้จากสมการทั้ง 3 ชุด โดยใช้วิธีการถอดค่าจากสมการแตกต่างกันในแต่ละบท แล้วนำค่าจากสมการมาจัดการองค์ประกอบต่างๆทางดนตรีในบทประพันธ์

บทนี้เป็นการอรรถาธิบายบทประพันธ์เริ่มจากการอธิบายถึงการได้มาซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ การจัดระเบียบค่าโน้ตที่ได้จากการถอดค่าสมการทั้ง 3 ชุดดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 มาใช้ในบทประพันธ์ รูปแบบจังหวะต่างๆ ต่อด้วยการสังเคราะห์เสียงอิเล็กทรอนิกด้วยซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์ แล้วจึงเป็นการอธิบายถึงการพัฒนาบทเพลงจากองค์ประกอบทั้งหมด จากนั้นจึงอธิบายถึงโครงสร้างก่อนจะอธิบายถึงสังคีตลักษณ์ของบทประพันธ์เป็นลำดับสุดท้าย

4.1 บทประพันธ์ *ลอเรนซ์*

4.1.1 การได้มาซึ่งค่าระดับเสียงและความยาวโน้ตในบทประพันธ์

การได้มาซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆในบทเพลง ลอเรนซ์ ใช้แนวคิด 2 รูปแบบด้วยกัน คือ การถอดค่าจากสมการลอเรนซ์ และการตีความจากรูปทรงของกราฟที่ได้จากสมการโดยผู้ประพันธ์เอง ในส่วนของการถอดค่าจากสมการนั้น ผู้ประพันธ์ได้ใช้โหมดโลวเรนซ์ (Low Rents) บนโมดูลไมโครออร์นาเมนท์แอนด์ไครม์(Micro Ornament and Crime) ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 โดยกำหนดความเร็วในการอัพเดตค่าบนโมดูลเท่ากับ 80 กำหนดค่าโรเท่ากับ 127 ผู้ประพันธ์พิจารณาจากลักษณะของค่าที่ได้จะมีรูปแบบวนซ้ำโดยแต่ละครั้งจะวนซ้ำอยู่ในรูปแบบเดิมแต่ค่าตั้งตนจะ

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

เปลี่ยนไป ดังนั้นผู้ประพันธ์จึงใช้การสุ่มเก็บค่าเพียงรอบเดียวคือค่าที่โมดูลสร้างขึ้นในครั้งแรก จากนั้นจึงนำไปเปรียบเทียบเป็นค่าระดับเสียงได้ผลลัพธ์เป็นค่าโน้ตในระบบมีดีดังนี้

ตารางที่ 4.1 ค่าโน้ตที่ได้จากการถอดสมการลอเรนซ์

ค่าโน้ตใกล้เคียงที่ได้ในระบบมีดี	ค่าความเพี้ยนจากระบบ 12 เสียงเท่า (เซ็นต์)
F#4	+00
A#5	+30
A#5	-47
G7	+46
C9	+35
F#7	-26
D7	-17
A3	-32
G8	-28
F#8	+14
G3	-07

ทั้งนี้ผลลัพธ์ค่าความเพี้ยนที่ได้ผู้ประพันธ์อ้างอิงจากระบบการตรวจวัดด้วยเครื่องเทียบเสียง ซึ่งมีขอบเขตความเพี้ยนในระดับเสียงหนึ่งอยู่ที่ -50 ถึง +50 เซ็นต์ จากนั้นจึงนำผลลัพธ์ระดับเสียงที่ได้ไปคำนวณเพื่อหาค่าความถี่โดยใช้สมการปรับค่าดังนี้

$$f_{k,v} = f_R \cdot 2^{v+k/N}$$

โดยที่ $f_{k,v}$ คือผลลัพธ์ความถี่ที่ต้องการ f_R คือความถี่อ้างอิงหรือโน้ตโทนิก N มีค่าเท่ากับจำนวนขั้นระดับเสียงในหนึ่งคู่แปด k คือลำดับของระดับเสียง และ v คือลำดับคู่แปด ทั้งนี้จากตารางที่ 1 จะพบได้ว่าในการตรวจวัดความเพี้ยนของระดับเสียงที่ได้จะใช้ระบบเซ็นต์คือในหนึ่งขั้นคู่ครึ่งเสียงจะแบ่งออกเป็น 100 ส่วนเท่าๆกัน ดังนั้นค่า N จึงเท่ากับ 100 ดังนั้นเมื่อแทนค่าในสมการเพื่อแปลงค่าระดับเสียงเป็นความถี่ได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 4.2 ค่าความถี่ที่ได้จากการสุ่มเก็บตัวอย่างจากสมการลอเรนซ์

ค่าโน้ตใกล้เคียงที่ได้ในระบบมีดี	ค่าความเพี้ยนจากระบบ 12 เสียงเท่า (เซ็นต์)	ผลรวมของค่าความถี่ของระดับเสียงกับค่าความเพี้ยน (เฮิร์ตซ)
F#3	+00	369.994423
A#4	+30	1147.829821
A#4	-47	673.107465
G6	+46	4313.648911
C8	+35	10670.644603
F#6	-26	2471.822977
D6	-17	2088.174235
A2	-32	176.235373
G7	-28	5165.502707
F#7	+14	6523.179942
G2	-07	186.714874

จากตารางที่ 4.2 ผู้ประพันธ์ได้นำมาเปรียบเทียบเพื่อหาค่าความถี่ที่ใกล้เคียงค่าความถี่ในคอลัมน์ที่ 3 เพื่อให้ได้ชุดระดับเสียงในระบบ 48 เสียงเท่าโดยสามารถเคลื่อนย้ายไปอยู่ในคู่แปดใดก็ได้อันเนื่องมาจากหลักการทางฟิสิกส์ที่ใช้อธิบายค่าโน้ตในรูปที่ 4.1 เป็นเพียงระดับเสียงที่ใช้อ้างอิงในการคำนวณหาโอเวอร์โทนฮาร์โมนิกของระดับเสียงนั้นๆเท่านั้น โดยที่เมื่อบรรเลงระดับเสียงในคู่แปดที่แตกต่างออกไปจะมีผลทำให้ผลรวมของค่าความถี่กับความเพี้ยนแตกต่างจากเดิมแต่ยังคงอัตราส่วนที่สัมพันธ์กับค่าในคอลัมน์ที่ 3 จากตารางที่ 4.2 ตามแต่ลำดับคู่แปดที่ใช้ นอกจากนี้การเคลื่อนย้ายไปอยู่ในคู่แปดใดก็ได้ยังเป็นไปตามหลักการของดนตรีแถวเรียงตามที่ได้ศึกษาจากผลงานของคาร์ลไฮนส์ สต็อคเฮาเซนในบทที่ 2 อีกด้วย โดยระดับเสียงจากตารางที่ 4.2 สามารถบันทึกโน้ตโดยสังเขปดังนี้

รูปที่ 4.1 ค่าโน้ตใกล้เคียงในระบบ 48 เสียงเท่าที่ได้จากการถอดสมการลอเรนซ์

ที่มา: ผู้วิจัย

จากนั้นผู้ประพันธ์จึงได้หาค่าความถี่จากระบบ 48 เสียงเท่าที่ได้ตามระดับเสียงที่ถอดจากสมการเพื่อคาดคะเนผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้นเมื่อบรรเลงเสียงในระบบ 12 เสียงเท่าและ 48 เสียงเท่าพร้อมกัน ได้ค่าตามตารางที่ 4.3 ดังนี้

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าความถี่จริงและระดับเสียงในระบบ 48 เสียงเท่าที่ใกล้เคียง

ค่าโน้ตใกล้เคียงที่ได้ในระบบมิดิ	ค่าความถี่ของโน้ตใกล้เคียงในระบบมิดิ	ผลรวมของค่าความถี่ของระดับเสียงกับค่าความเพี้ยน(เฮิร์ตซ)	ระดับเสียงใกล้เคียงในระบบ 48 เสียงเท่า	ผลต่างโดยประมาณ (เฮิร์ตซ)
F#3	369.994423	369.994423	F sharp	0
A#4	932.327522	1147.829821	A 3-quarter sharp	215
A#4	932.327522	673.107465	A quarter sharp	-259
G6	3135.963483	4313.648911	G quarter sharp	1178
C8	8372.01807	10670.644603	C quarter sharp	2298
F#6	2959.955377	2471.822977	F semi-quarter sharp	-488
D6	2349.31814	2088.174235	D half natural	261
A2	220.00	176.235373	A quarter flat	-44
G7	6271.926962	5165.502707	G quarter flat	-1106
F#7	5919.910751	6523.179942	F 3-quarter sharp	604
G2	195.997718	186.714874	G	-9

เมื่อได้ค่าตามตารางที่ 4.3 แล้วผู้ประพันธ์จึงนำค่าดังกล่าวมาใช้ โดยใช้หลักการสร้างความถี่เฮเตอโรไดนิงซึ่งวิธีการดังกล่าวใช้หลักการหักล้างกันของคลื่นเสียงสองคลื่นเพื่อสร้างความถี่ใหม่จากค่าความต่างของคลื่นเสียงสองคลื่นดังกล่าว เช่น เมื่อความถี่ของคลื่นเสียงไซน์ที่ 440 และ 441 เฮิร์ตซเล่นพร้อมกันจะเกิดการหักล้างกันและให้ผลลัพธ์ที่ 1 เฮิร์ตซ เป็นต้น ปรากฏการณ์นี้ผู้ประพันธ์กำหนดให้สร้างความถี่ที่ต้องการจากการบรรเลงเครื่องดนตรีมากกว่าหนึ่งชนิดเมื่อ

บรรเลงพร้อมกัน ทั้งนี้ผู้ประพันธ์กำหนดให้ค่าความถี่เฮเตอโรไดนิงเกิดขึ้นตามชุดค่าเบี่ยงเบนตามตารางที่ 4.3 โดยกระจายโน้ตต่างๆเพื่อสร้างเสียงประสานจะเกิดขึ้นจากเครื่องดนตรีสองประเภท คือ กลุ่มเครื่องดนตรีที่กำหนดระดับเสียงตายตัว ประกอบด้วยเปียโน และเครื่องดนตรี ที่สามารถเล่นเสียงในระบบไมโครโทนได้ ประกอบด้วยกลุ่มเครื่องสาย, เครื่องลมไม้, เครื่องลมทองเหลือง และซินธิไซเซอร์ โดยยึดเอากลุ่มเครื่องดนตรีที่กำหนดระดับเสียงตายตัวเป็นหลัก แล้วใช้เสียงในระบบ 48 เสียงเท่าของกลุ่มเครื่องสายและเครื่องเป่าสร้างเสียงหักล้างให้ได้ความถี่ตามที่กำหนด

4.1.2 สีสันของเสียงในบทประพันธ์

เนื่องจากสมการดังกล่าวเป็นการจำลองและอธิบายสภาพการเคลื่อนที่ของสภาวะต่างๆได้หลายกรณี ซึ่งกรณีที่มักจะถูกกล่าวถึงอยู่บ่อยๆคือการใช้สมการดังกล่าวเพื่ออธิบายลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศอันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของความกดอากาศสูงและต่ำ ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในเชิงอุณหภูมิ กล่าวง่ายๆคือสมการดังกล่าวใช้จำลองการเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศที่หมุนเวียนบนโลก ด้วยเหตุผลนี้ผู้ประพันธ์จึงได้เลือกลักษณะการสร้างเสียงนอยส์โดยเครื่องดนตรีจริงเพื่อจำลองสภาพการเคลื่อนไหวของลม ซึ่งสามารถจำแนกเทคนิคการบรรเลงออกตามประเภทเครื่องดนตรีดังต่อไปนี้

1) กลุ่มเครื่องสาย ประกอบไปด้วยเทคนิคการบรรเลงดังนี้

การสีบนหย่อง (bow on bridge) โดยไม่ต้องออกแรงกดหางม้ามาก ลักษณะเสียงที่ได้จะเป็นเสียงใกล้เคียงกับไวท์นอยส์

การสีใกล้หย่อง (sul ponticello) ลักษณะเสียงที่ได้จะมีระดับเสียงมากกว่าการสีบนหย่อง

2) กลุ่มเครื่องลมไม้ ประกอบไปด้วยเทคนิคการบรรเลงดังนี้

การกระแทกลิ้น (tongue ram) ลักษณะเสียงที่ได้จะเป็นเสียงนอยส์แบบสั้นและเสียงกำทอนจากลำตัวของเครื่องดนตรีซึ่งขึ้นอยู่กับระดับเสียงที่บันทึก

3) กลุ่มเครื่องลมทองเหลือง ประกอบไปด้วยเทคนิคการบรรเลงดังนี้

การตบกำพวด ลักษณะเสียงที่ได้จะเป็นเสียงนอยส์แบบสั้นและเสียงกำทอนจากลำตัวของเครื่องดนตรีซึ่งขึ้นอยู่กับระดับเสียงที่บันทึก

การเป่าลมเปล่า ลักษณะเสียงที่ได้จะเป็นเสียงนอยส์แบบสั้นและเสียงกำทอนจากลำตัวของเครื่องดนตรี

อีกด้านหนึ่งของการออกแบบเสียงในบทประพันธ์เกิดขึ้นจากการแพทช์สายบนโมดูลาร์ซินธิไซเซอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนคาเดนซ่าผู้ประพันธ์จะใช้โมดูลไมโครออร์นาเมนท์แอนด์ไครม์โดยใช้โหมดโลวเรนซ์ในการควบคุมค่าต่างๆบนโมดูลาร์ซินธิไซเซอร์ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 ซึ่งค่าที่ผู้ประพันธ์เลือกนำมาใช้ประกอบไปด้วยค่า Lx, Ly, Lz หลังจากนั้นจึงนำค่าทั้งสามไปควบคุมส่วนต่างๆของเสียงดังนี้

1) ค่า Lx ใช้ควบคุมค่าความถี่หลักของโมดูลสเตดดีสเตทเฟท ซีโรพอยท์ออสซิลเลเตอร์ (Steady State Fate Zero Point Oscillator)

2) ค่า Ly ใช้ควบคุมค่าปริมาณสัญญาณขาเข้า (Gain) ของโมดูล 100 กริท (100 Grit) ซึ่งเป็นโมดูลประเภทฟิลเตอร์ ใช้เพื่อคัดกรองย่านความถี่บางส่วนของเสียงออก และใช้ควบคุมความถี่ของโมดูลมิวเทเบิลอินสตรูเมนท์ไทด์ (Mutable Instruments Tides)

3) ค่า Lz ใช้ควบคุมค่าการคัดกรองความถี่ (Cutoff Frequency) ของโมดูล 100 กริท และปริมาณรีเวิร์บของโมดูลไมโครเบิร์ส (uBurst) ซึ่งเป็นโมดูลประเภทเอฟเฟคท์ ใช้สร้างเสียงรีเวิร์บเพื่อสร้างมิติความตื้นลึกของเสียง

ในด้านการสังเคราะห์เสียงในบทประพันธ์แรกนี้ผู้ประพันธ์ได้ใช้วิธีการสังเคราะห์เสียงแบบกล้ำความถี่และกรานูล่าร์เป็นหลัก โดยใช้โมดูลโซลิดสเตทเฟทซีโรพอยท์ออสซิเลเตอร์เป็นคลื่นเสียงพาหะและใช้โมดูลมิวเทเบิลอินสตรูเมนท์ไทด์เป็นคลื่นเสียงกล้ำ หลังจากนั้นจึงส่งสัญญาณขาออกไปยังโมดูลวันฮันเดรทกริทเพื่อคัดกรองย่านความถี่แล้วส่งสัญญาณไปยังช่องสัญญาณขาเข้าของโมดูลไมโครเบิร์สเพื่อสร้างเสียงแบบกรานูล่าร์ ต่อไป

4.1.3 รูปแบบจังหวะในบทประพันธ์

สำหรับการกำหนดความยาวโน้ตเพื่อสร้างรูปแบบจังหวะ ผู้ประพันธ์ได้ใช้การสุ่มค่าสัญญาณขาออกของโมดูลออร์นาเมนท์แอนด์ไครม์เป็นครั้งที่สองหลังจากที่สุ่มเพื่อให้ได้ค่าระดับเสียงแล้ว จากนั้นจึงใช้ค่าที่สุ่มที่ได้มาเปรียบเทียบและนำไปจัดระเบียบค่าใหม่ให้ผลลัพธ์ไม่เกิน 4 ปรากฏผลลัพธ์ตามตารางที่ 4.4 ดังนี้

ตารางที่ 4.4 ค่าจากการสุ่มเก็บตัวอย่างอัตราส่วนของคล็อกดิไวเดอร์

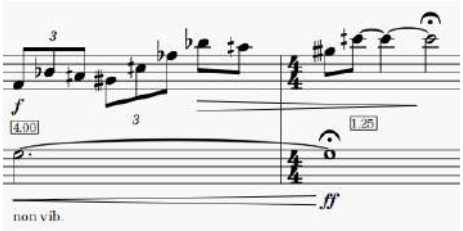
0	0.825	0.75	1.0	1.25	1.0	4.0	0.25	1.0	0.625	1.75

จากค่าที่ได้ตามที่ระบุในตารางที่ 4.4 ผู้ประพันธ์ได้นำค่าดังกล่าวมาควบคุมความยาวโน้ต โดยกำหนดให้ค่าความยาวโน้ตตัวดำเท่ากับ 1, เขบิ็ตสองชั้นเท่ากับ 4 อันเนื่องมาจากค่าเขบิ็ตสองชั้น 4 ตัวเท่ากับตัวดำ 1 ตัว, ตัวกลมเท่ากับ 0.25, ตัวดำสามพยางค์เท่ากับ 0.75, เขบิ็ตหนึ่งชั้นห้าพยางค์เท่ากับ 1.25, เขบิ็ตหนึ่งชั้นเจ็ดพยางค์เท่ากับ 1.75, เขบิ็ตหนึ่งชั้นหกพยางค์เท่ากับ 0.825 เขบิ็ตหนึ่งชั้นสิบพยางค์เท่ากับ 0.625 และ 0 เท่ากับตัวหยุด แล้วนำค่าความยาวโน้ตดังกล่าวมาควบคุมอัตราส่วนโน้ตในบทประพันธ์ต่อไป

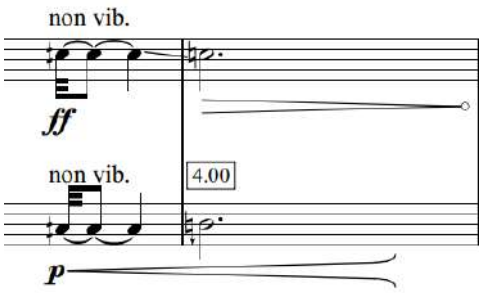
4.1.4 การพัฒนาบทประพันธ์จากตัวแปรต่างๆที่กำหนด

ในบทประพันธ์นี้ผู้ประพันธ์พัฒนาส่วนต่างๆของบทประพันธ์โดยใช้แนวคิดของดนตรีอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ระดับเสียงตามตารางที่ 4.1 เป็นจุดเริ่มต้น แล้วพัฒนาเสียงโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปลี่ยนสีสันของเสียงจากเครื่องดนตรีภายในกลุ่มเดียวกันหรือต่างกลุ่มเครื่องดนตรี โดยใช้ลักษณะการเปลี่ยนแปลงสีสันของเสียงจากรูปแบบหนึ่งไปยังอีกรูปแบบหนึ่ง ทั้งนี้ความเร็วในการเปลี่ยนแปลงผู้ประพันธ์ได้นำแนวคิดของการใช้เอ็นเวโลปบนเครื่องดนตรีประเภทซินธิไซเซอร์และการเปลี่ยนผ่านของสีสันเสียง (โดยทั่วไปเรียกว่าการมอร์ฟ ภาษาอังกฤษใช้คำว่า morph) มาใช้ในบทประพันธ์

ตัวอย่างที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงสีสันของเสียงเครื่องดนตรีภายในกลุ่มเครื่องลมไม้

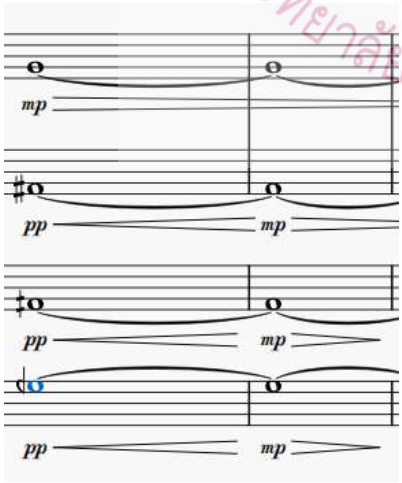


ตัวอย่างที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงสีสันของเสียงเครื่องดนตรีภายในกลุ่มเครื่องลมทองเหลือง



จากตัวอย่างที่ 4.2 เป็นห้องที่ 1 และ 2 ของทรัมเปตและทรอมโบนซึ่งเป็นกลุ่มเครื่องดนตรีเดียวกัน ผลลัพธ์ที่ได้ในห้องที่ 2 จะเป็นการผสมผลลัพธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงสีสันของเสียงทั้งในด้านความถี่และความดัง นอกจากนั้นยังมีผลลัพธ์ข้างเคียงซึ่งผู้ประพันธ์ตั้งใจให้เป็นอัตลักษณ์ของบทประพันธ์นั่นคือการสร้างความถี่เฮเตอโรไดนิงด้วยเครื่องดนตรีอะคูสติก โดยผู้ประพันธ์ได้กำหนดความถี่เฮเตอโรไดนิ่งที่ต้องการด้วยตัวเลขภายในกรอบสี่เหลี่ยม จากตัวอย่างที่ยกมาในตัวอย่างที่ 4.2 ผู้ประพันธ์ต้องการให้เกิดการตีกันของความถี่ ความถี่ดังกล่าวผู้ฟังไม่สามารถได้ยินด้วยหูแต่สามารถรู้สึกได้ถึงการเกิดขึ้นของปรากฏการณ์ ทั้งนี้อัตราการตีกันของความถี่เฮเตอโรไดนิงจะเป็นไปตามค่าในตารางที่ 4.1

ตัวอย่างที่ 4.3 การสร้างความถี่เฮเตโรไดนิงภายในกลุ่มเครื่องสาย



มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

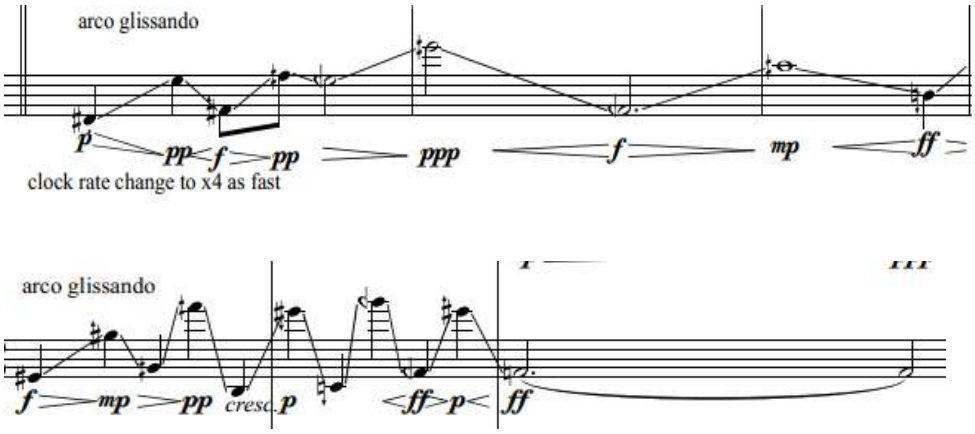
จากตัวอย่างที่ 4.3 เป็นตัวอย่างของการสร้างความถี่เฮเตอโรไดนิงระหว่างไวโอลิน 1, ไวโอลิน 2, วิโอลา, เชลโล โดยที่ไวโอลิน 1 และ 2 จะเล่นโน้ตในระบบ 12 เสียงเท่าแต่วิโอลาและเชลโลจะบรรเลงในระบบควอเตอร์โทน ซึ่งสามารถจับคู่ผลที่เกิดขึ้นเป็นสองกลุ่ม คือความถี่เฮเตอโรไดนิงระหว่างไวโอลิน 1 กับเชลโล และไวโอลิน 2 กับวิโอลา

สำหรับในส่วนของเปียโน ผู้ประพันธ์ได้ใช้เสียงเปียโนเป็นการเพิ่มความคมชัดของหัวเสียง เพราะเปียโนเป็นเครื่องดนตรีที่มีลักษณะเอ็นเวโลปในส่วนของเวลาพุ่งขึ้นเร็ว ซึ่งแตกต่างจากเครื่องอื่นๆที่ใช้ในบทประพันธ์ ในส่วนของเสียงที่มีการเหยียบที่เหยียบเพื่อค้างเสียง ผู้ประพันธ์ต้องการให้จำลองสภาพการค้างเสียงใกล้เคียงกับหางเสียงของรีเวิร์บ

ในห้องที่ 6 ผู้ประพันธ์เลือกใช้เทคนิคการรัวลิ้นของฟลุ้ทเพื่อจำลองเสียงที่ได้จากการสังเคราะห์เสียงแบบกรานูลาร์อย่างเดียวกันกับที่ได้จากเอฟเฟคท์บนโมดูลไมโครเบิร์ส ซึ่งได้เสียงในลักษณะคล้ายเสียงที่ถูกหั่นออกเป็นชิ้นเล็กๆแล้วนำมาเรียงต่อกัน อีกทั้งยังต้องการให้เกิดความถี่เฮเตอโรไดนิงกับเครื่องดนตรีกลุ่มเครื่องสายอีกด้วย

ในห้องที่ 10 ผู้ประพันธ์เริ่มสอดแทรกการถอดค่าจากกราฟแล้วนำมาใช้กับไวโอลิน 1 ด้วยการใช้เทคนิคกลิซซานโดเพื่อแสดงถึงรูปแบบการเคลื่อนที่ของค่าจากสมการ ซึ่งการใช้เทคนิคดังกล่าวจะสอดแทรกในส่วนต่างๆของบทประพันธ์โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มเครื่องสาย ทั้งนี้จะเห็นได้ชัดที่สุดในการบรรเลงวิโอลาตั้งแต่ห้องที่ 22 ถึง 27 ดังปรากฏในตัวอย่างที่ 4.4 ดังต่อไปนี้

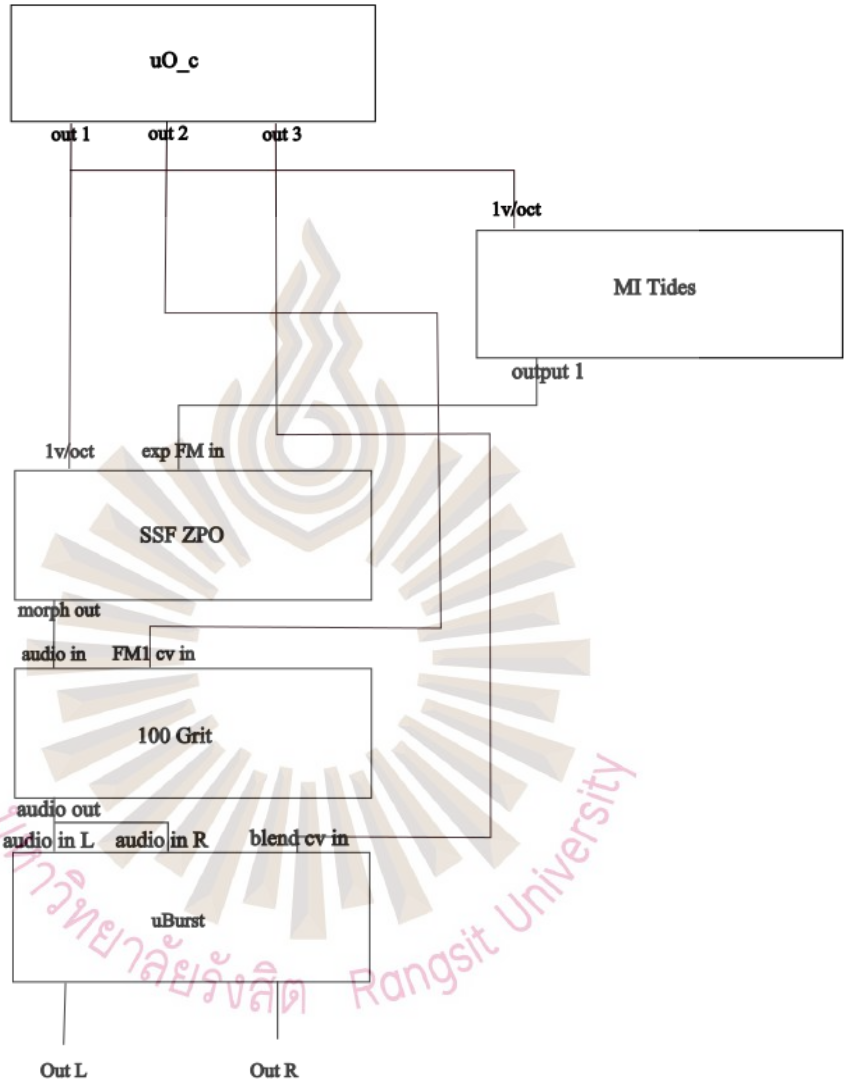
ตัวอย่างที่ 4.4 การใช้เทคนิคกลิซซานโดเพื่อจำลองการเคลื่อนที่ของกราฟที่ได้จากสมการลอเรนซ์ ห้องที่ 22-27



ในห้องที่ 29 ถึงห้องที่ 35 เป็นส่วนคาเดนซาซึ่งในบทประพันธ์นี้ได้เลือกใช้ซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์เป็นเครื่องสำหรับบรรเลงเดี่ยว ทั้งนี้ผู้ประพันธ์ได้วางโครงสร้างในการบรรเลงเดี่ยวไว้อย่างสังเขป คือให้ซินธิไซเซอร์บรรเลงโดยปรับค่าการอัพเดตค่าที่ได้จากโมดูลไมโครออร์นาเมนท์แอนด์ไครม์ที่ความเร็วตั้งแต่ 79 ถึง 80 แล้วเร่งความเร็วในการอัพเดตขึ้นที่ความยาวประมาณ 40 วินาที หลังจากนั้นให้ปรับลดค่าการอัพเดตค่าลงไปจนกระทั่งเป็น 1 อีกประมาณ 20 วินาที รวมความยาวในส่วนนี้จะอยู่ที่ประมาณ 1 นาที ทั้งนี้ผู้ประพันธ์จะใช้วิธีการบันทึกโน้ตแค่เพียงกำหนดโครงสร้างคร่าวๆว่าต้องการให้เกิดเหตุการณ์ใด อันเนื่องมาจากการทำงานของซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์โดยเฉพาะโมดูลไมโครออร์นาเมนท์แอนด์ไครม์ซึ่งเป็นโมดูลสร้างความถี่ที่ใช้ในบทประพันธ์นี้จะมีค่าเริ่มต้นแบบสุ่ม ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้จึงไม่สามารถจำเพาะเจาะจงได้ว่าโมดูลจะเริ่มต้นค่าแรกที่ความถี่เท่าใด

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

ตัวอย่างที่ 4.6 วลีจบของบทประพันธ์ *ลอเรนซ์*



รูปที่ 4.2 แผนผังการไหลของสัญญาณบนซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์ในบทประพันธ์ *ลอเรนซ์*
ที่มา: ผู้วิจัย

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

4.1.5 สังคีตลักษณ์ของบทประพันธ์

บทประพันธ์ *ลอเรนซ์* ได้ใช้กระบวนการสร้างแรงดันไฟฟ้าจากโมดูลไมโครออร์นาเมน์แอนด์ไครม์เป็นตัวกำหนดโครงสร้างของบทประพันธ์ แล้วจึงถอดค่าที่ได้มากำหนดตัวแปรต่างๆในบทประพันธ์อันได้แก่ระดับเสียง, ความดัง และมิติการเกิดเสียง ผนวกกับการสุ่มซึ่งเกิดจากการสร้างค่าแรงดันไฟฟ้าจากโมดูลไมโครออร์นาเมน์แอนด์ไครม์ในช่วงคาเดนซา ภาพรวมสังคีตลักษณ์บทประพันธ์แรกอยู่ในรูปแบบ ABCD ซึ่งแต่ละส่วนจะใช้ท่วงท่าและความหนาแน่นแตกต่างกันออกไป

4.2 บทประพันธ์ *เริสเลอร์*

4.2.1 การได้มาซึ่งค่าระดับเสียงและความยาวโน้ตในบทประพันธ์

กระบวนการได้มาซึ่งค่าระดับเสียงและความยาวโน้ตในบทประพันธ์นี้ ผู้ประพันธ์ได้ใช้โปรแกรมแมกซ์เพื่อช่วยในการคำนวณหาค่าดังกล่าว ซึ่งหลักการทำงานของโค้ดในโปรแกรมแมกซ์จะใช้หลักการของภาษาคอมพิวเตอร์ประเภท Object-oriented Programming Language หรือ OOP แต่ละคำสั่งจะสั่งการโดยใช้ออบเจคท์เพื่อพิมพ์คำสั่ง โดยสามารถแบ่งประเภทของการทำงานได้เป็น 3 ประเภท คือ

1) การจัดการข้อมูลทั่วไป

2) การจัดการข้อมูลออดิโอ ออบเจคท์ประเภทนี้จะมีเครื่องหมาย ~ กำกับด้านหลังคำสั่ง

3) การจัดการข้อมูลด้านภาพ ออบเจคท์ประเภทนี้จะมีคำว่า jit นำหน้าคำสั่ง

นอกจากนี้ยังมีคำสั่งบางประเภทที่เป็นคำสั่งสำเร็จรูปพร้อมใช้ มีดังต่อไปนี้

1) Bang เป็นคำสั่งให้ออบเจคท์ที่เชื่อมต่อกับ bang ส่งค่าออกในทันที

2) Toggle เป็นคำสั่งเปิดปิดการทำงานของออบเจคท์ที่เชื่อมต่อกับ toggle

3) Comment เป็นการเขียนข้อความกำกับเพื่อช่วยให้ง่ายต่อการใช้งาน โดยที่โปรแกรมจะไม่นำไปประมวลผล

4) Int เป็นการป้อนค่าตัวเลขจำนวนเต็ม

5) Float เป็นการป้อนค่าตัวเลขแบบทศนิยม

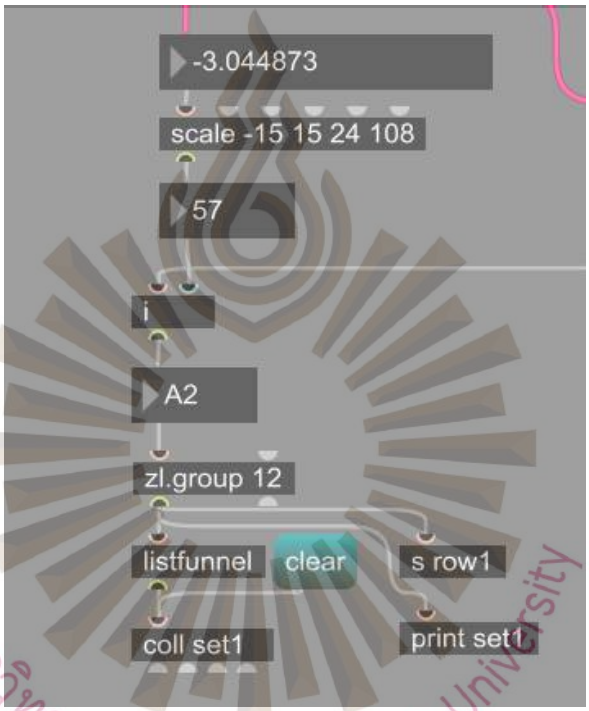
6) Slider ทำหน้าที่ปรับแต่งค่าแทนการพิมพ์ใน int หรือ float

7) Message ใช้ป้อนค่าประเภทข้อความหรือตัวอักษร

จากแพทช์ที่ผู้ประพันธ์ได้เขียนขึ้นเพื่อช่วยในการคำนวณหาค่าระดับเสียงและความยาวเสียงเองนั้น ผู้ประพันธ์ได้จำลองสมการเริสเลอร์โดยการสร้างกราฟเป็นเบื้องต้น โดยใช้การเรนเดอร์กราฟด้วยภาษาโอเพนจีแอลซึ่งเป็นภาษาสำหรับสร้างภาพกราฟิกทั้งในรูปแบบ 2 มิติและ 3 มิติ ในเบื้องต้นนั้นจำเป็นจะต้องสร้างพิกัดแบบสุ่มเพื่อเป็นค่าตั้งต้นโดยในที่นี้ใช้ออบเจคท์ jit.noise กำหนดให้มิติของนอยส์ที่ได้จากออบเจคท์ดังกล่าวเป็น 3 มิติ มีความละเอียดของข้อมูลเป็นทศนิยม 6 หลัก โดยใช้พื้นที่จัดเก็บข้อมูลที่ 32 บิต ส่วนของการคำนวณสมการจะอยู่ในออบเจคท์ jit.gen ซึ่งออบเจคท์ jit.gen ที่อยู่ด้านล่างของออบเจคท์ jit.noise จะทำหน้าที่ออฟเซ็ตค่าที่ได้ เนื่องจากค่าที่ออบเจคท์ jit.noise สร้างขึ้นจะเริ่มต้นที่ศูนย์ แต่ค่าที่ผู้ประพันธ์ต้องการจำเป็นจะต้องมีค่าทั้งบวกและลบตามลักษณะของสมการ ดังนั้นการออฟเซ็ตค่าจึงจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อให้ค่าที่ได้กระจายทั้งหน้าจอและอยู่กึ่งกลาง โดยพิกัดเบื้องต้นมีจำนวน 12x10 จุด ซึ่งตัวเลข 12 มาจากจำนวนโน้ตในหนึ่งออคเตฟ และตัวเลข 10 มาจากจำนวนเครื่องดนตรีที่ใช้ในบทประพันธ์ จากนั้นนำค่าที่ได้ส่งไปยังออบเจคท์ jit.matrix เพื่อบันทึกและอัพเดตค่าที่ได้ แล้วจึงส่งค่าไปยังออบเจคท์ jit.gen ชุดที่สอง ซึ่งจะเป็นส่วนของการคำนวณค่าสมการ เมื่อได้ค่าที่คำนวณตามสมการแล้วจึงส่งข้อมูลฟีดแบ็คกลับไปยังออบเจคท์ jit.matrix เพื่ออัพเดตค่า จากนั้นจึงเรนเดอร์เป็นภาพกราฟิกด้วยออบเจคท์ jit.gl.mesh ซึ่งกำหนดให้เรนเดอร์ในลักษณะจุดของแต่ละพิกเซล จากนั้นจึงส่งค่าไปแสดงผลเป็นรูปแบบ 3 มิติด้วยออบเจคท์ jit.world ค่าที่ได้จากโค้ดดังกล่าวจะได้ผลลัพธ์เป็นกลุ่ม ประกอบไปด้วยค่า x, y, z ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องจำแนกค่าออกเป็น 10 กลุ่ม กลุ่มละ 12 ค่า โดยใช้ออบเจคท์ zl.group จึงจะได้เป็นดัชนีค่าผลลัพธ์และค่าจากสมการ จากนั้นจึงนำค่า z มาควบคุมความดังของค่าโน้ตตามที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น

ออบเจคท์ jit.gen เป็นออบเจคท์ซึ่งประมวลผลได้ในความละเอียดระดับแซมเปิล พร้อมทั้งยังสามารถอัพเดตค่าได้ภายใน jit.gen อีกด้วย ภายในออบเจคท์ดังกล่าวจำเป็นจะต้องแยกค่าจากค่ากลุ่มให้เป็นค่า x, y, z ด้วยออบเจคท์ swiz แล้วจึงนำไปคำนวณต่อไป เมื่อได้ผลลัพธ์แล้วจำเป็นจะต้องรวมค่าทั้งหมดกลับมาเป็นกลุ่มด้วยออบเจคท์ vec เพื่อส่งต่อไปยัง jit.gl.mesh ค่าที่ได้จากสมการลอเรนซ์จะมีขอบเขตตั้งแต่ -15 ถึง 15 ผู้ประพันธ์จึงใช้คำสั่ง scale เพื่อปรับขอบเขตของผลลัพธ์ให้เป็นค่าในระบบมีดีซึ่งมีความละเอียด 7 บิท กล่าวคือมีขอบเขตตั้งแต่ 0 ถึง 127 ทั้งนี้ผู้ประพันธ์เลือกใช้ค่าเฉพาะ 24 ถึง 108 เท่านั้น เนื่องจากตามผลลัพธ์ที่ได้ความเป็นไปได้ที่ค่าจะออก

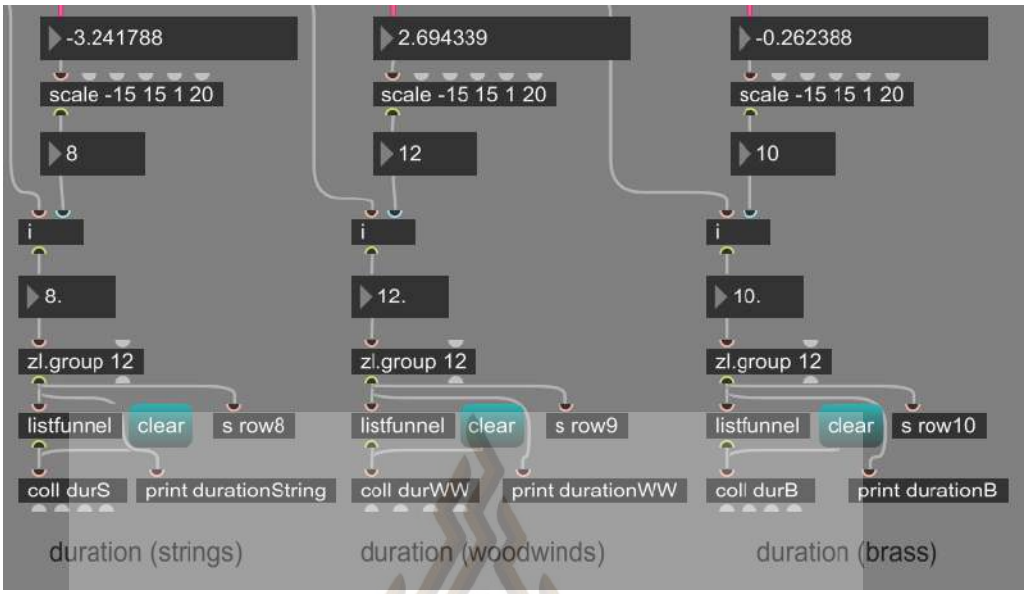
มาถึงค่าสูงสุดหรือต่ำสุดมีอยู่น้อยมาก การปรับขอบเขตที่ 24 ถึง 108 จะทำให้ค่าที่ปรับขอบเขตแล้วกระจายตัวได้กว้างกว่าและไม่ต่ำหรือสูงจนเกินไป จากนั้นจึงเปรียบเทียบค่าโดยที่ 24 จะเท่ากับโน้ต C0 ในระบบมีดี้หรือ C ออคเตฟแรกของเปียโน อันเนื่องมาจากค่าโน้ตในระบบมิดิจะมีขอบเขตกว้างกว่าการนำมาใช้จริงบนเครื่องดนตรี ยกตัวอย่างเช่นบนเปียโนซึ่งเป็นเครื่องดนตรีที่มีขอบเขตระดับเสียงกว้างที่สุดมีโน้ตเพียง 88 โน้ตเท่านั้น ดังนั้นการกำหนดขอบเขตของระดับเสียงจึงเป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้ค่าที่ได้จากสมการสามารถนำมาใช้ได้จริง



รูปที่ 4.3 แพทช์บนโปรแกรมแม็กซ์ในส่วนของการแปลงค่าผลลัพธ์จากสมการในบทประพันธ์ *เริสเลอร์*

ที่มา: ผู้วิจัย

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University



รูปที่ 4.4 แพทช์บนโปรแกรมแม็กซ์ในส่วนของการจัดกลุ่มเพื่อนำไปใช้ควบคุมความยาวโน้ตในบทประพันธ์ *เริสเลอร์*

ที่มา: ผู้วิจัย

จากกระบวนการถอดค่าและปรับขอบเขตค่าได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นเซ็ตของระดับเสียงทั้งหมด 7 ชุด และเซ็ตของความยาวโน้ตอีก 3 ชุด โดยมีผลลัพธ์ตามตารางที่ 4.5 ดังนี้

ตารางที่ 4.5 ค่าที่ได้จากการถอดสมการเริสเลอร์และแปลงค่าเป็นโน้ตในระบบมิดิจากซอฟท์แวร์แม็กซ์

	คอลัมน์ที่ 1	คอลัมน์ที่ 2	คอลัมน์ที่ 3	คอลัมน์ที่ 4	คอลัมน์ที่ 5	คอลัมน์ที่ 6	คอลัมน์ที่ 7	คอลัมน์ที่ 8	คอลัมน์ที่ 9	คอลัมน์ที่ 10
แถวที่ 1	77	65	68	73	92	51	83	14	15	8
แถวที่ 2	71	62	66	59	83	64	73	8	14	8
แถวที่ 3	71	62	64	56	89	65	71	8	14	8
แถวที่ 4	71	61	59	51	80	71	63	7	12	8

ตารางที่ 4.5 ค่าที่ได้จากการถอดสมการเริสเลอร์และแปลงค่าเป็นโน้ตในระบบมิดิจากซอฟท์แวร์แม็กซ์ (ต่อ)

แถวที่ 5	64	60	65	57	47	90	61	6	9	9
แถวที่ 6	64	62	71	60	47	89	65	7	6	11
แถวที่ 7	57	64	66	52	60	87	64	8	5	12
แถวที่ 8	46	68	72	67	64	74	60	12	4	13
แถวที่ 9	42	72	65	71	68	58	65	14	11	10
แถวที่ 10	44	73	70	65	73	51	73	15	8	12
แถวที่ 11	55	72	62	67	76	42	91	17	13	10
แถวที่ 12	72	69	74	61	74	41	91	15	16	5

จากตารางที่ 4.5 แปลงเป็นค่าโน้ตตามระบบมีดีโดยใช้ค่าโน้ตควบคู่กับลำดับคู่แปดโดยระดับเสียงซี กลางมีค่าเท่ากับ 60 หรือ C3 ตามมาตรฐานของระบบมิดิโดยมีขอบเขตอยู่ที่ 0 ถึง 127 เนื่องจากข้อมูลค่าระดับเสียงในระบบมิดิมีความละเอียดเท่ากับ 7 บิท กล่าวคือมีความละเอียดของข้อมูลอยู่ที่ 2^7 เท่ากับ 128 หรือขอบเขต 0 ถึง 127 เมื่อนับรวม 0 ด้วย ดังนั้นค่าระดับเสียงในระบบมิดิจึงประกอบไปด้วยค่าตามตารางที่ 4.6 ดังนี้

ตารางที่ 4.6 ค่าระดับเสียงในระบบมิดิมาตรฐาน

ระดับเสียง	ลำดับคู่แปด										
	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
C	0	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120
C#/Db	1	13	25	37	49	61	73	85	97	109	121
D	2	14	26	38	50	62	74	86	98	110	122

ตารางที่ 4.6 ค่าระดับเสียงในระบบมิดิมาตรฐาน (ต่อ)

ระดับเสียง	ลำดับคู่แปด										
	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
D#/Eb	3	15	27	39	51	63	75	87	99	111	123
E	4	16	28	40	52	64	76	88	100	112	124
F	5	17	29	41	53	65	77	89	101	113	125
F#/Gb	6	18	30	42	54	66	78	90	102	114	126
G	7	19	31	43	55	67	79	91	103	115	127
G#/Ab	8	20	32	44	56	68	80	92	104	116	-
A	9	21	33	45	57	69	81	93	105	117	-
A#/Bb	10	22	34	46	58	70	82	94	106	118	-
B	11	23	35	47	59	71	83	95	107	119	-

เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากโปรแกรมแมกซ์ตามตารางที่ 4.5 กับค่าระดับเสียงในระบบมิดิมาตรฐานตามตารางที่ 4.6 ได้ผลลัพธ์ตามตารางที่ 4.7 ดังนี้

ตารางที่ 4.7 ค่าโน้ตจากตารางที่ 4.5 เมื่อแปลงเป็นค่าโน้ตปกติ

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
R1	F4	F3	G#3/Ab3	C#4/Db4	G#5/Ab5	D#2/Eb2	B4
R2	B3	D3	F#3/Gb3	B2	B4	E4	C#4/Db4
R3	B3	D3	E3	G#2/Ab2	F5	F4	F4
R4	B3	C#3/Db3	B2	D#2/Eb2	G#4/Ab4	F4	D#3/Eb3
R5	E3	C3	F3	A2	B1	F#5/Gb5	C#3/Db3
R6	E3	D3	B3	C3	B1	F5	F3
R7	A2	E3	F#3/Gb3	E2	C3	D#4/Eb4	E3
R8	A#1/Bb1	G#3/Ab3	C4	G3	E3	D4	C3
R9	F#1/Gb1	F3	F3	B3	G#3/Ab3	C3	F3
R10	G#1/Ab1	A#3/Gb3	A#3/Bb3	F3	C#4/Db4	B4	C#4/Db4
R11	G2	D3	D3	G3	E4	F#1/Gb1	G5
R12	C4	D4	D4	C#3/Db3	D4	F1	G5

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

ในส่วนของความยาวโน้ตในบทประพันธ์นี้ ผู้ประพันธ์ได้ใช้หลักการคำนวณความยาวโน้ต 2 รูปแบบด้วยกันคือ การนำค่าจากสมการเริสเล่อร์จากตารางที่ 4.5 คอลัมน์ที่ 8 ถึง 10 โดยกำหนดให้คอลัมน์ที่ 8 เป็นความยาวโน้ตของกลุ่มเครื่องสาย คอลัมน์ที่ 9 เป็นความยาวของโน้ตกลุ่มเครื่องลมไม้ คอลัมน์ที่ 10 เป็นความยาวของโน้ตกลุ่มเครื่องลมทองเหลืองมาใช้ในช่วงแรกของบทประพันธ์

4.2.2 สีสันของเสียงในบทประพันธ์

ในบทประพันธ์ *เริสเลอร์* นี้ได้แบ่งกลุ่มของเครื่องดนตรีออกเป็น 5 กลุ่มด้วยกันคือ กลุ่มเครื่องสาย ได้แก่ ไวโอลิน 1, ไวโอลิน 2, วิโอลาและเชลโล กลุ่มเครื่องลมไม้ ได้แก่ ฟลู้ทและคลาริเนท กลุ่มเครื่องลมทองเหลือง ได้แก่ ทรัมเปตและทรอมโบน เปียโน และซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์ ทั้งนี้ผู้ประพันธ์ใช้หลักการของการผสมเสียงของเครื่องดนตรีในแต่ละกลุ่มตามความสอดคล้องของโอเวอร์โทนฮาร์โมนิกของเสียงในเครื่องกลุ่มเดียวกันอันเนื่องมาจากปัจจัยของลักษณะทางกายภาพของเครื่องดนตรี หากแต่ต่างกันที่ขนาดของเครื่องดนตรีที่ทำให้ขอบเขตเสียงที่เครื่องดนตรีแต่ละชิ้นสามารถเล่นได้แตกต่างกัน

สำหรับการออกแบบเสียงสำหรับซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์ ผู้ประพันธ์ได้ออกแบบเสียงสังเคราะห์โดยใช้หลักการของซินธิไซเซอร์ฝั่งตะวันตกซึ่งมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างจากซินธิไซเซอร์ฝั่งตะวันออกที่การใช้ออสซิเลเตอร์ที่สามารถกล้ำความถี่ได้ในตัวโมดูลได้ (Complex Oscillator) และการใช้โลว์พาสเกท (Low Pass Gate) เพื่อสร้างเสียงเป็นหลัก โดยยังคงใช้โมดูลสเตดดีสเตทเฟท ซีโรพอยท์ออสซิลเลเตอร์และเมคนอยส์วอกเกิลบักเป็นตัวสร้างคลื่นเสียง ควบคู่กับโมดูลเมคนอยส์ออปโตมิกซ์ (Make Noise Optomix) ซึ่งเป็นโมดูลประเภทโลว์พาสเกท โดยมีโมดูลเบฟาโคแรมเพจ (Befaco Rampage) เป็นฟังก์ชันเจเนอเรเตอร์

การออกแบบแพทช์ในบทประพันธ์นี้จะใช้โมดูลสเตดดีสเตทเฟท ซีโรพอยท์ออสซิลเลเตอร์เป็นออสซิเลเตอร์แรก และเมคนอยส์วอกเกิลบักเป็นออสซิเลเตอร์ที่สอง หลังจากนั้นนำสัญญาณจากออสซิเลเตอร์แรกต่อสัญญาณเข้าช่องสัญญาณขาเข้าของโมดูลเมคนอยส์ออปโตมิกซ์โดยแยกออสซิเลเตอร์หลักเข้าช่องสัญญาณขาเข้าของโมดูลออปโตมิกซ์ช่องที่หนึ่ง และออสซิเลเตอร์ที่สองเข้าช่องสัญญาณขาเข้าของโมดูลออปโตมิกซ์ช่องที่สอง จากนั้นนำสัญญาณขาออกจากโมดูลเบฟาโคแรมเพจช่อง A เข้าช่องสัญญาณขาเข้า CTRL ช่องบนของโมดูลเมคนอยส์ออปโตมิกซ์ และสัญญาณขาออกจากโมดูลเบฟาโคแรมเพจช่อง B เข้าช่องสัญญาณขาเข้า CTRL ช่องล่าง

ของโมดูลเมคนอยส์ออปโตมิกซ์ กำหนดค่าในการพุ่งขึ้น (Rise) และค่าการดิ่งลง (Fall) สั้น กำหนดสวิทช์ขอบเขต (Range) ในตำแหน่งกึ่งกลางซึ่งเป็นขอบเขตเวลาสั้น เพื่อให้เป็นไปตามลักษณะเฉพาะของซินธิไซเซอร์ฝั่งตะวันตก แล้วจึงนำสัญญาณขาออกรวมทั้งช่องสัญญาณหนึ่งและสองของโมดูลเมคนอยส์ออปโตมิกซ์ส่งเป็นสัญญาณออดิโอต่อไป

ในส่วนของการทริกเกอร์โมดูลเบฟาโคแรมเพจและการป้อนค่าความถี่เพื่อสั่งงานออสซิเลเตอร์ ผู้ประพันธ์ได้ใช้การส่งค่ามีดีจากคอมพิวเตอร์ไปยังโมดูลผ่านโมดูลเฮ็กซ์อินเวอร์เตอร์ มิวแทนท์เบรน (Hexinverter Mutant Brain) โดยผ่านสายสัญญาณมีดี จากนั้นผู้ประพันธ์ได้แปลงข้อมูลจากโปรแกรมบันทึกโน้ตมิวส์สกอร์ (Musescore) เพื่อให้ได้ไฟล์มีดี หลังจากนั้นจึงเล่นและส่งค่าโน้ตเพื่อควบคุมโมดูลต่างๆ ทั้งนี้การกำหนดหน้าที่ของช่องสัญญาณขาออกแต่ละช่องจำเป็นจะต้องไปทำการกำหนดบนเว็บไซต์ของผลิตภัณฑ์ และทำการเอ็กซ์พอร์ตไฟล์ซึ่งเป็นรูปแบบของไฟล์ประเภทซิสเตมเอ็กซ์คลูซีฟ (System Exclusive) หรือเรียกอย่างย่อว่าซีสเอ็กซ์ (SysEx) แล้วจึงโอนถ่ายข้อมูลไปยังโมดูลด้วยโปรแกรมมีดีโอเอ็กซ์ (MIDI-OX) บนวินโดวส์หรือซีสเอ็กซ์ไลบราเรียน (SysEx Librarian) บนแม็ค ผ่านสายสัญญาณมีดีแบบ 5 พิน โดยผู้ประพันธ์ได้กำหนดหน้าที่การส่งค่าของช่องสัญญาณต่างๆดังนี้

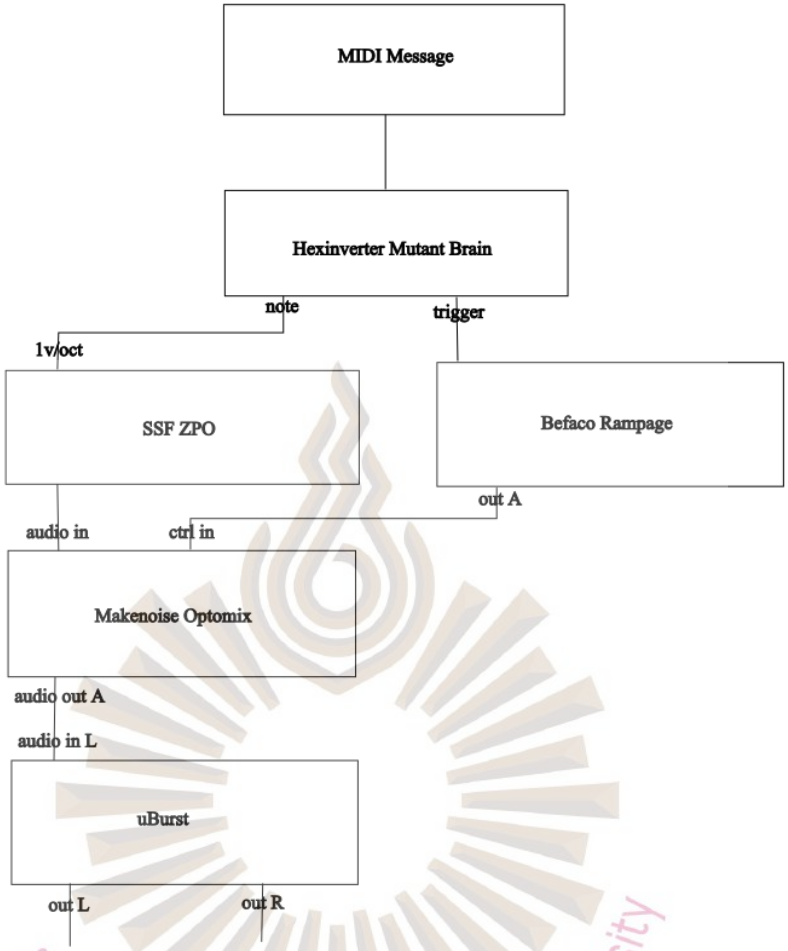
1) ช่อง CV1 ใช้ส่งค่าระดับเสียงไปยังช่อง v/oct ของโมดูลสเตดดีสเตทเฟท ซีโรพอยท์ออสซิลเลเตอร์

2) ช่อง Gate1 ใช้ส่งค่าเพื่อทริกเกอร์โน้ตไปยังโมดูลเบฟาโคแรมเพจช่อง A

3) ช่อง Gate2 ใช้ส่งค่าเพื่อทริกเกอร์โน้ตไปยังโมดูลเบฟาโคแรมเพจช่อง B

ทั้งนี้ในส่วนของรีเวิร์บที่ใช้ในบทประพันธ์นี้ยังคงใช้โมดูลไมโครเบิร์สเช่นเดียวกับบทประพันธ์ *ลอเรนซ์* โดยควบคุมค่าโดยผู้บรรเลงตามที่ได้บันทึกโน้ตไว้

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University



รูปที่ 4.5 แผนผังการไหลของสัญญาณบนซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์ในบทประพันธ์ *เริสเลอร์*
ที่มา: ผู้วิจัย

4.2.3 รูปแบบจังหวะในบทประพันธ์

รูปแบบจังหวะในบทประพันธ์นี้มีอยู่ 2 รูปแบบด้วยกันคือการนำค่าจากสมการเริสเล่อร์จากตารางที่ 4.2 คอลัมน์ที่ 8 ถึง 10 โดยกำหนดให้คอลัมน์ที่ 8 เป็นความยาวโน้ตของกลุ่มเครื่องสาย คอลัมน์ที่ 9 เป็นความยาวของโน้ตกลุ่มเครื่องลมไม้ คอลัมน์ที่ 10 เป็นความยาวของโน้ตกลุ่มเครื่องลมทองเหลืองมาใช้ในช่วงแรกของบทประพันธ์ ตั้งแต่ห้องที่ 1 ถึงห้องที่ 29 โดยจัดขอบเขตของค่าที่ได้ให้อยู่ในค่าระหว่าง 1 ถึง 20 โดยเทียบกับอัตราจังหวะ 11/16 แล้วให้ค่า 1 เท่ากับเขบ็จสองชั้น 1 ตัว และ 20 เท่ากับเขบ็จสองชั้น 20 ตัวหรือเท่ากับ ตัวขาวสองตัวรวมกับเขบ็จหนึ่งชั้นประจุด

นอกจากนี้ก็ยังมีการสร้างรูปแบบจังหวะแบบยูคลิเดียนมาใช้ในช่วงกลางบทเพลงตั้งแต่ห้องที่ 30 ไปจนถึงห้องที่ 40 สำหรับหลักการสร้างจังหวะแบบยูคลิเดียนนั้น ผู้ประพันธ์ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 ผู้ประพันธ์ได้เลือกใช้รูปแบบจังหวะยูคลิเดียนทั้งหมด 3 รูปแบบคือ E(6,5) สำหรับกลุ่มเครื่องเป่า, E(11, 8) สำหรับเปียโน และ E(9, 6) สำหรับกลุ่มเครื่องสาย เมื่อมองจากชุดรูปแบบจังหวะยูคลิเดียนทั้ง 3 ชุดแล้วจะเห็นได้ว่าตัวเลขจำนวนจังหวะที่มากที่สุดคือ 11 ดังนั้นผู้ประพันธ์ใช้การจัดรูปแบบจังหวะเป็น 11/16 ตามค่าที่กำหนดที่มากที่สุดจากจำนวนจังหวะใน 1 ประโยค ทั้งนี้ในบทประพันธ์นี้จะไม่มีการใช้ค่าจากสมการเพื่อควบคุมค่าความดัง

4.2.4 การพัฒนาบทประพันธ์จากตัวแปรต่างๆที่กำหนด

ในบทประพันธ์นี้ผู้ประพันธ์ได้สร้างเงื่อนไขเพื่อประพันธ์โดยยึดค่าโน้ตที่ได้จากตารางที่ 4.7 และ 4.8 โดยที่กำหนดให้เครื่องในกลุ่มเครื่องสาย, กลุ่มเครื่องลมไม้ และกลุ่มเครื่องลมทองเหลืองบรรเลงโน้ตตามคอลัมน์จากตาราง และกำหนดให้เปียโนเป็นเครื่องเดียวที่บรรเลงโน้ตจากตารางในแนวนอน อันเนื่องมาจากต้องการให้เปียโนเป็นเสียงที่เชื่อมกลุ่มเครื่องดนตรีทั้งสามกลุ่มเข้าด้วยกัน อีกทั้งยังเป็นส่วนที่เน้นให้เสียงประสานชัดเจนขึ้น โดยคอลัมน์ต่างๆที่ใช้สำหรับการประพันธ์สำหรับเครื่องดนตรีต่างๆผู้ประพันธ์ได้เขียนกำกับไว้ด้วยข้อความในกรอบสี่เหลี่ยม

สำหรับส่วนคาเดนซายังคงให้ซินธิไซเซอร์เป็นเครื่องบรรเลงเดี่ยวเช่นเดียวกับบทประพันธ์แรก แต่กำหนดค่าโน้ตและพารามิเตอร์ต่างๆไว้อย่างชัดเจนอันเนื่องมาจากเงื่อนไขที่วางไว้ในบทประพันธ์นี้จำเป็นจะต้องใช้ระดับเสียงจากตารางที่ 4.2 และ 4.3 เท่านั้น ซึ่งเสียงซินธิไซเซอร์ที่ใช้มีทั้งส่วนที่ระบุระดับเสียงได้และเสียงประเภทนอยส์ แต่เสียงทั้งหมดจะเป็นเสียงที่สั้นตามเอกลักษณ์ของซินธิไซเซอร์ฝั่งตะวันตก

สำหรับรูปแบบจังหวะนั้น ในช่วงแรกจะมีเพียงเปียโนเท่านั้นที่บรรเลงที่จังหวะที่ 1 เพื่อเป็นการย้ำจังหวะให้ชัดเจน ในขณะที่เครื่องดนตรีอื่นๆจะบรรเลงเหลื่อมจังหวะแต่ยังเป็นไปตามเงื่อนไขที่วางไว้ ในช่วงกลางของบทประพันธ์จะมีการใช้รูปแบบจังหวะยูคลิเดียนแตกต่างกันในแต่ละกลุ่มเครื่องดนตรีเพื่อจำลองสภาพความโกลาหลตามสภาพการเปลี่ยนแปลงตัวแปรภายในสมการ และในท้ายที่สุดผู้ประพันธ์ได้กลับมาใช้หลักการสร้างเสียงจากความถี่เฮเตอโรไดนิงอีกครั้ง โดยใช้ฟลูท, ทรัมเปต และไวโอลิน 1 บรรเลงเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ผู้ประพันธ์ต้องการ

4.2.5 สังคีตลักษณ์ของบทประพันธ์

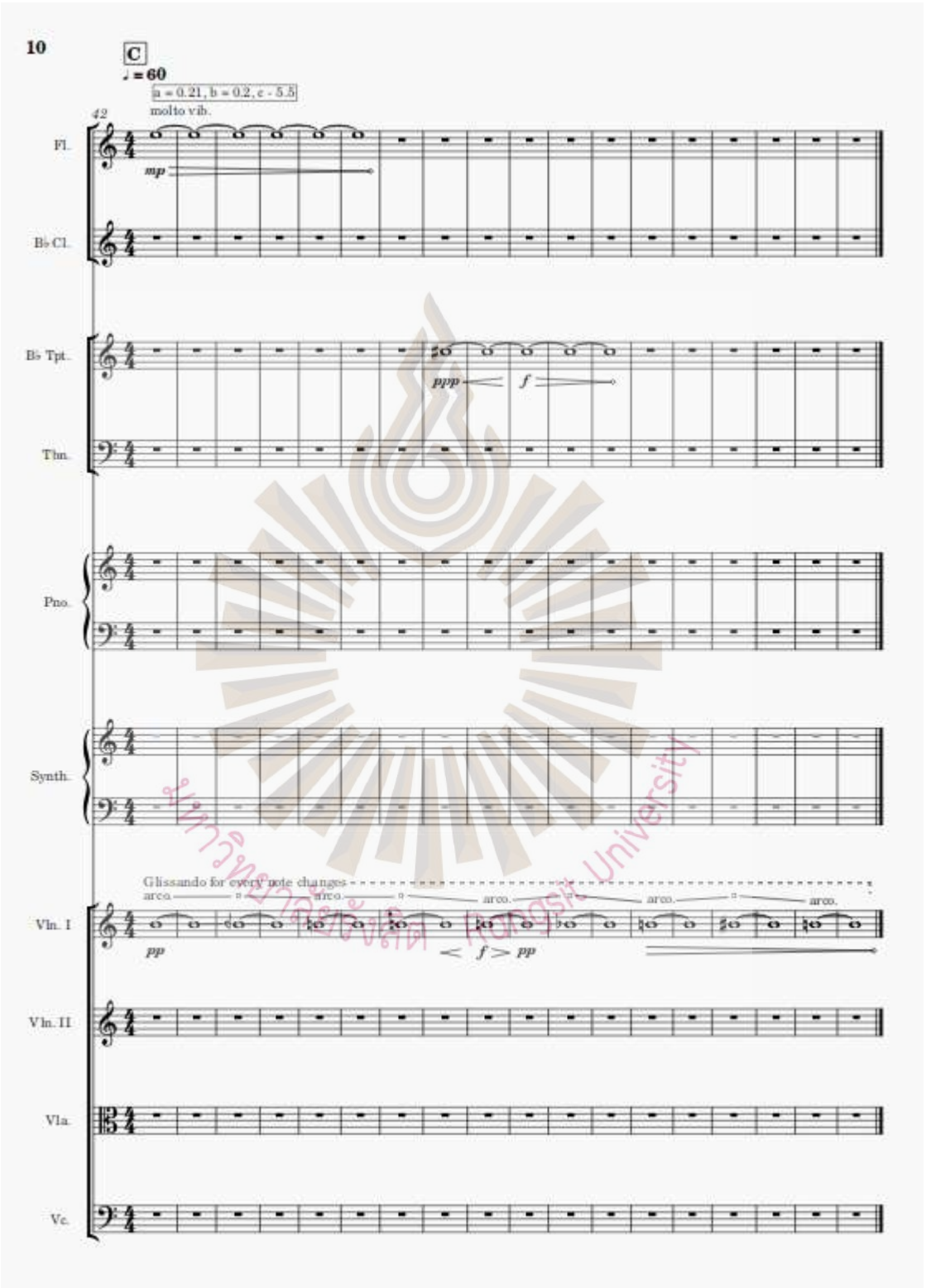
ในบทประพันธ์นี้ผู้ประพันธ์ได้นำวิธีการกำหนดโครงสร้างของบทประพันธ์ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ตามหลักการของดนตรีโครงสร้างนิจลักษณ์โดยประยุกต์ใช้ลักษณะกราฟการแจกแจงแบบปรกติเพื่อกำหนดความหนาแน่นของเสียงดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 เมื่อมองย่อยลงไปในสังคีตลักษณ์แล้วสามารถจำแนกได้เป็นรูปแบบ ABC โดยวิธีการดังกล่าวผู้ประพันธ์ได้ประยุกต์จากวิธีการสร้างบทประพันธ์ *คลาเวียร์สตึคหมายเลข 11* ของคาร์ลไฮนซ์ สต็อกเฮาเซน กล่าวคือผู้ประพันธ์ได้สร้างเงื่อนไขโดยใช้การคำนวณให้ได้มาซึ่งค่าตัวแปรต่างๆ จากนั้นจึงใช้ค่าที่ได้เพื่อควบคุมโครงสร้างบทประพันธ์

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

ตัวอย่างที่ 4.6 การใช้ค่าโน้ตจากตารางที่ 4.5 ในบทประพันธ์ *เริสเลอร์*

ตัวอย่างที่ 4.7 การใช้รูปแบบจังหวะยูคลิเดียนในบทประพันธ์ *เริสเลอร์*

ตัวอย่างที่ 4.8 ท่อนจบของบทประพันธ์ *เริสเลอร์*



4.3 บทประพันธ์ *เฮนอน*

4.3.1 การได้มาซึ่งค่าระดับเสียงและความยาวโน้ตในบทประพันธ์

ในบทประพันธ์นี้ผู้ประพันธ์ได้ใช้วิธีการได้มาซึ่งค่าต่างๆแตกต่างจากบทประพันธ์สองเพลงแรก คือมิได้ใช้โปรแกรมแม็กซ์เพื่อคำนวณสมการเพื่อให้ได้มาซึ่งค่าต่างๆ หากแต่ผู้ประพันธ์ได้ใช้วิธีการคำนวณค่าโน้ตจากสมการเฮนอนแม็พโดยใช้การจัดแบ่งค่าจากสมการดังกล่าวเพื่อให้เป็นค่าโน้ตด้วยสูตรดังต่อไปนี้

midikey = floor((x + 1.0)/2.0 * 127.0 + 0.5)

ทั้งนี้ floor หมายถึงการตัดเศษของผลลัพธ์ที่เป็นทศนิยมออก คงเหลือเพียงจำนวนเต็มหน้าจุดทศนิยม ซึ่งตรงข้ามกับ round ซึ่งหมายถึงการปัดเศษขึ้น โดยค่า x จะมีขอบเขตอยู่ที่ -1 ถึง 1 ยกตัวอย่างเช่นเมื่อค่า x เป็น 0 ผลลัพธ์ที่ได้จะเท่ากับ

= ((0 + 1.0)/2.0 * 127.0 + 0.5)

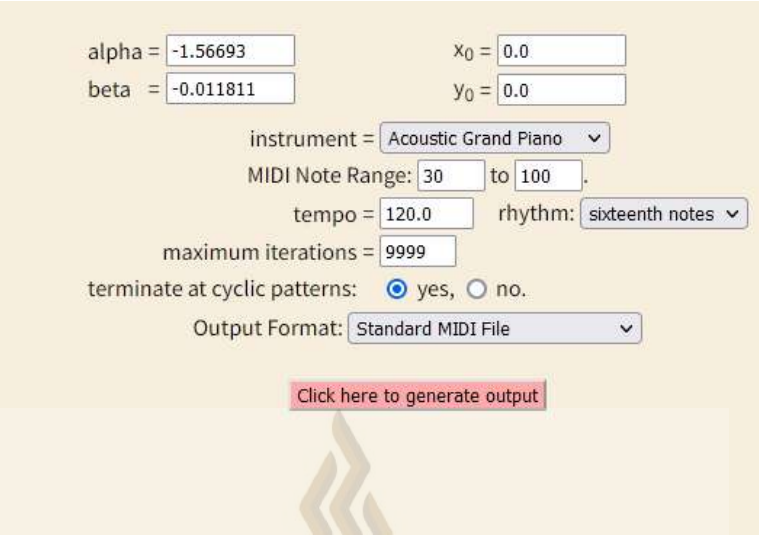
= (1.0/2.0 * 127.0 + 0.5)

= (0. 5 *127.0 + 0.5)

= (63.5 + 0.5)

= 64

ในกรณีนี้เห็นได้ว่าผลลัพธ์เป็น 64 ซึ่งตรงกับโน้ต E3 ในระบบมิดิ เป็นต้น ทั้งนี้สามารถดูค่าระดับเสียงในระบบมีดีได้ในภาคผนวก วิธีการได้มาซึ่งโน้ตในระบบมิดิดังกล่าวได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยเครก สจวร์ต แซป โดยผู้ใช้สามารถสร้างไฟล์มิดิได้ที่เว็บไซต์ http://henon.sapp.org/ ตามที่ปรากฏในรูปที่ 4.6 ดังนี้



รูปที่ 4.6 เว็บแอปพลิเคชั่นเพื่อสร้างไฟล์มีดีจากสมการเฮนอน

ที่มา: Henon Map Melody Generator, 2023

จากเว็บแอปพลิเคชั่นดังกล่าว ผู้ใช้จำเป็นจะต้องกำหนดค่าอัลฟ่าและเบต้าก่อน ซึ่งค่าดังกล่าวจะมีผลทำให้ทำนองที่สร้างจากเงื่อนไขดังกล่าวแตกต่างออกไป ทั้งนี้จากเว็บแอปพลิเคชั่นดังกล่าวได้แนะนำดังค่าอัลฟ่าและเบต้าตามที่ปรากฏในตารางที่ 4.8 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.8 ค่าอัลฟ่าและเบต้าที่แนะนำสำหรับการใช้เว็บแอปพลิเคชั่นเพื่อสร้างไฟล์มีดีจากสมการเฮนอน

ค่าอัลฟ่า	ค่าเบต้า
-1.56693	-0.01181
0.42	-0.999
0.22	-0.999
0.22	-1.0
-0.989	0.51
-1.191	0.31
-1.595	0.21
-1.4	0.3

การกำหนดขอบเขตของค่าโน้ตในระบบมีดีในบทประพันธ์นี้เป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง เช่นเดียวกับบทประพันธ์สองเพลงแรก ผู้ประพันธ์ได้เลือกกำหนดค่าอัลฟ่าที่ -1.56693 ค่าเบต้าที่ -0.01181 ขอบเขตของค่าโน้ตให้อยู่ในขอบเขตค่าโน้ต 30 ถึง 100 หรือโน้ต F#0/Gb0 ถึง E6 กำหนด

ความเร็วของบทประพันธ์ที่ 80 จังหวะนับต่อนาที กำหนดการวนซ้ำในการคำนวณ (Iteration) ที่ 100 ครั้ง กำหนดให้ปฏิเสธการปิดโปรแกรมช่วยสร้างไฟล์มีดี้เมื่อพบรูปแบบจังหวะซ้ำ และท้ายที่สุดกำหนดให้สร้างไฟล์ในรูปแบบของไฟล์มิดิมาตรฐานโดยใช้นามสกุลไฟล์ .mid

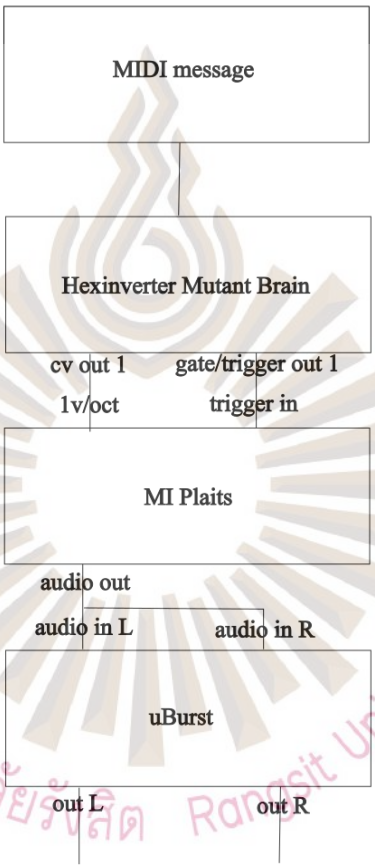
ลักษณะทำนองที่ได้จากสมการแปลงค่านี้จะได้ผลลัพธ์เป็นรูปแบบทำนองที่มีความคล้ายคลึงกันในแต่ละวลีโดยที่จะมีความแตกต่างกันในแต่ละวลีเล็กน้อย ถ้าหากผลลัพธ์จากการคำนวณค่าจากสมการเป็นโน้ตในระบบมีดีแล้วพบว่ามีโน้ตอยู่นอกขอบเขตที่กำหนด โปรแกรมจะแปลงโน้ตที่อยู่นอกขอบเขตให้เป็นตัวหยุดตามความยาวของโน้ตนั้นๆ ซึ่งการสร้างค่าโน้ตและตัวหยุดนี้เองเป็นการสร้างรูปแบบจังหวะที่ใช้ในบทประพันธ์ซึ่งรูปแบบการทำงานของโค้ดภายในโปรแกรมนี้เป็นการสร้างเงื่อนไขตามหลักการของภาษาคอมพิวเตอร์และภาษาที่ใช้ควบคุมการทำงานของระบบมิดิ ข้อมูลสำคัญที่โปรแกรมได้สร้างขึ้นภายในไฟล์มิดิประกอบไปด้วยค่าการเริ่มเล่นโน้ต (Note on) ซึ่งประกอบไปด้วยชุดข้อมูลที่ภายในประกอบด้วยค่าสถานะ ค่าแชนแนลในการรับส่งข้อมูล ค่าระดับเสียงในระบบมิดิ และค่าความดัง

4.3.2 สีสันของเสียงในบทประพันธ์

ในบทประพันธ์นี้ผู้ประพันธ์ได้เลือกใช้เสียงสั้นเป็นหลักโดยต้องการให้เสียงในบทประพันธ์มีลักษณะเลียนเครื่องกระทบซึ่งมีหางเสียงสั้นและไม่สามารถค้างเสียงไว้ได้นานเท่ากับเครื่องสายหรือเครื่องเป่า ในช่วงกลางของบทประพันธ์มีการใช้เสียงลากยาวของเครื่องลมทองเหลืองเพื่อสร้างความแตกต่าง เปรียบเสมือนการที่มนุษย์พยายามขัดขืนเงื่อนไขที่ถูกสร้างขึ้นจากอัลกอริธึมดังกล่าว

ในการออกแบบเสียงสังเคราะห์สำหรับบทประพันธ์นี้ ผู้ประพันธ์ได้เลือกใช้โมดูลมิวเทเบิลอินสตรูเมนท์แพลท (Mutable Instruments Plait) เป็นโมดูลหลักในการสร้างเสียง โดยจะใช้โมดูลเฮ็กซ์อินเวอร์เตอร์มิวแทนท์เบรนในการส่งค่ามิดิซึ่งได้จากกการสร้างไฟล์มิดิตามกระบวนการในข้อ 4.1.3.1 ไปยังโมดูลมิวเทเบิลอินสตรูเมนท์แพลท ซึ่งไฟล์ซีสเอ็กซ์ที่ใช้ยังคงเป็นไฟล์เดียวกันกับบทประพันธ์ *เริสเลอร์* การทำงานของโมดูลดังกล่าวมีอยู่ด้วยกัน 24 รูปแบบ ทั้งนี้ผู้ประพันธ์ได้เลือกใช้การทำงานบนโหมดสีแดงโหมดย่อยที่ 5 คือโหมดการสร้างเสียงตามหลักกายภาพ (Physical Modelling Synthesis) ประเภทเครื่องกระทบเพื่อให้สอดคล้องกับเสียงของเครื่องดนตรีอะคูสติกโดยมีค่าที่สามารถปรับแต่งได้ในโหมดนี้ประกอบด้วยปุ่มหมุน Harmonics ใช้ปรับแต่งค่าความ

สอดคล้องของโอเวอร์โทนฮาร์โมนิกของเสียงที่ต้องการ, ปุ่มหมุน Timbre ใช้ปรับแต่งค่าความใสของเสียง และปุ่มหมุน Morph ใช้ปรับแต่งค่าระยะเวลาการผ่อนพลังงานของเสียง และใช้โมดูลไมโครเบิร์สเพื่อสร้างรีเวิร์บ และในขณะเดียวกันผู้ประพันธ์กำหนดให้กลุ่มเครื่องลมไม้และกลุ่มเครื่องสายบรรเลงแบบพรมนิ้ว ดังนั้นเมื่อรวมกับเสียงซินธิไซเซอร์จึงเกิดผลลัพธ์แบบการสังเคราะห์เสียงแบบกรานูล่าร์ซ้อนกันหลายชั้น ส่งผลให้เกิดผลลัพธ์เป็นกลุ่มก้อนเสียง



รูปที่ 4.7 แผนผังการไหลของสัญญาณบนซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์ในบทประพันธ์ *เฮนอน*
ที่มา: ผู้วิจัย

4.3.3 รูปแบบจังหวะในบทประพันธ์

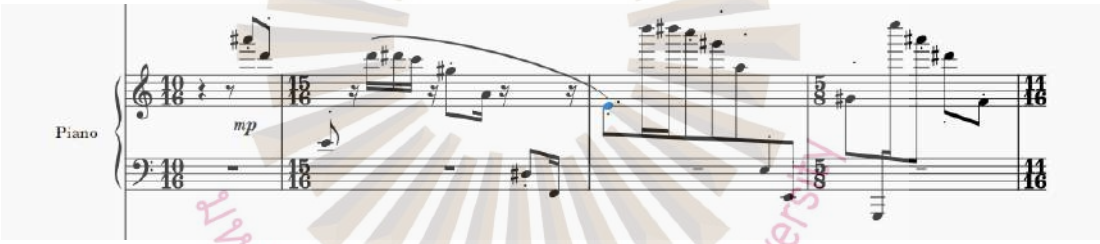
ผู้ประพันธ์ได้วิเคราะห์วลีที่ได้จากอัลกอริทึมและเขียนเครื่องหมายกำกับจังหวะโดยคำนึงถึงความยาวของแต่ละวลี ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้เป็นแบบอสมมาตรและมีโอกาสในการที่ความยาวของแต่ละวลีซ้ำกันในห้องถัดไปน้อยมาก ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์วลีที่ได้ประกอบไปด้วยอัตรา

จังหวะ 15/16, 11/16, 16/16, 9/16, 8/16, 5/16, 4/16, 6/16, 7/16, 6/16, 8/16, 17/16, 14/16, 10/16, 16/16, 13/16, และ 18/16 ทั้งนี้การจัดรูปแบบจังหวะในแต่ละวลี ผู้ประพันธ์ได้ทำตามผลลัพธ์ที่ได้อย่างเคร่งครัด

4.3.4 การพัฒนาบทประพันธ์จากตัวแปรต่างๆที่กำหนด

ในบทประพันธ์สุดท้ายนี้ผู้ประพันธ์ได้กำหนดให้เปียโนบรรเลงทำนองหลักที่ได้จากการถอดสมการจากเว็บแอปพลิเคชั่นดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.3.1 หลังจากนั้นจึงได้ประพันธ์แยกโน้ตออกเป็นเครื่องดนตรีต่างๆตามกลุ่มเครื่องดนตรี โดยแบ่งบรรเลงตามขอบเขตเสียงที่เครื่องดนตรีนั้นๆสามารถเล่นได้ ยกตัวอย่างเช่น ไวโอลินบรรเลงเสียงสูง วิโอลาบรรเลงเสียงกลาง และเชลโลบรรเลงเสียงต่ำ เป็นต้น และใช้กลุ่มเครื่องลมทองเหลืองบรรเลงส่วนที่ต้องการเน้นจังหวะ

ตัวอย่างที่ 4.9 ทำนองหลักแนวเปียโนห้องที่ 1 ถึง 4 ของบทประพันธ์ *เฮนอน*



ตัวอย่างที่ 4.10 การกระจายโน้ตจากทำนองหลักในตัวอย่างที่ 4.10 ออกเป็นโน้ตสำหรับกลุ่มเครื่องสาย

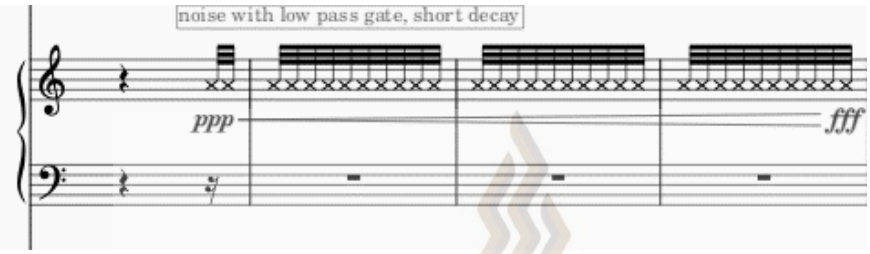
มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

การสร้างกลุ่มก้อนเสียงภายในบทประพันธ์เพื่อเลียนลักษณะเสียงซินธิไซเซอร์ที่ใช้หลักการสังเคราะห์เสียงแบบกรานูลาร์ก็ถือเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ผู้ประพันธ์เลือกใช้เพื่อให้เสียงจากเครื่องดนตรีอะคูสติกและเสียงจากซินธิไซเซอร์กลมกลืนกัน โดยผู้ประพันธ์เลือกให้เครื่องดนตรีกลุ่มเครื่องลมไม้บรรเลงรัวเพื่อสร้างความผันผวนของโอเวอร์โทนฮาร์โมนิกรวมในบทประพันธ์ดังที่แสดงในตัวอย่างที่ 4.12

ตัวอย่างที่ 4.11 การสร้างกลุ่มก้อนเสียงในบทประพันธ์ *เฮนอน*

ลักษณะเสียงสังเคราะห์อีกรูปแบบหนึ่งที่ใช้ในบทประพันธ์นี้คือการใช้นอยส์เป็นออสซิเลเตอร์แล้วนำสัญญาณผ่านโลว์พาสเกท ใช้เอ็นเวลอปแบบ AD โดยใช้เวลาพุ่งขึ้นและเบาลงสั้นเพื่อแทนเสียงกลองสแนร์โดยใช้การบันทึกโน้ตแบบไร้ระดับเสียงดังตัวอย่างที่ 4.13 ดังนี้

ตัวอย่างที่ 4.12 การบันทึกโน้ตเสียงนอยส์สั้นที่สร้างด้วยซินธิไซเซอร์ในบทประพันธ์ *เฮนอน*



ในช่วงสุดท้ายของบทประพันธ์ตั้งแต่ห้องที่ 119 ไปจนจบ ผู้ประพันธ์ได้เลือกให้เปียโนบรรเลงทำนองหลักเพียงเครื่องเดียวและใช้การยืดจังหวะให้ช้าลงพร้อมทั้งปล่อยเสียงค้างไว้จนพลังงานเสียงคลี่คลายลงไปสู่ความเงียบ

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

ตัวอย่างที่ 4.13 ช่วงสุดท้ายของบทประพันธ์ *เสนอน*

4.3.5 สังคีตลักษณ์ของบทประพันธ์

ในบทประพันธ์ *เฮนอน* ผู้ประพันธ์ได้ใช้อัลกอริธึมการถอดค่าจากสมการเฮนอนเพื่อสร้างรูปแบบจังหวะและทำนองอันเกิดจากกระบวนการดนตรีอัตโนมัติ (Generative) โดยผู้ประพันธ์ได้สร้างเงื่อนไข แล้วให้เงื่อนไขสร้างค่าตัวแปรต่างๆขึ้นเองโดยอ้างอิงจากหลักการของบทประพันธ์ *เรปงส์* ของปีแอร์ บูเลซ เมื่อมองย่อยลงไปในสังคีตลักษณ์แล้วสามารถจำแนกได้เป็นรูปแบบ ABCD โดยที่ B C และ D มีรูปแบบทำนองและจังหวะอ้างอิงมาจาก A

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

บทที่ 5

สรุปบทประพันธ์

บทประพันธ์ *ลอเรนซ์, เริสเลอร์, เฮนอน* ถูกประพันธ์ขึ้นจากแนวคิดของการประพันธ์โดยวิธีการสร้างเงื่อนไขโดยประยุกต์สมการทางคณิตศาสตร์เพื่อควบคุมตัวแปรต่างๆในบทประพันธ์ผนวกเข้ากับวิธีการประพันธ์ดนตรีอิเล็กทรอนิกโดยใช้ซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์เพื่อการออกแบบเสียงและกำหนดโครงสร้างของบทประพันธ์ ทั้งนี้ผลจากการวิจัยพบว่าสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ได้วางไว้

องค์ประกอบต่างๆของบทประพันธ์ทั้งสามบทถูกสร้างขึ้นจากการถอดค่าจากสมการโกลาหล 3 ชุด คือสมการลอเรนซ์, เริสเลอร์, เฮนอนแม็พ เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าระดับเสียง ค่าความดัง ค่ามิติตื้นลึกของเสียง การประยุกต์การสร้างเงื่อนไขแบบต่างๆของดนตรีในศตวรรษที่ 20 โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้แนวคิดทางคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์เข้ามาจัดการบทประพันธ์ อาทิ บทประพันธ์ของยานนิส เซนาคิส คาร์ลไฮนส์ สต็อคเฮาเซน และปิแอร์ บูเลซ สามารถสรุปตามวัตถุประสงค์ของการค้นคว้าได้ดังนี้

5.1 การประพันธ์เพลงอิเล็กโทรอะคูสติกบทใหม่

บทประพันธ์ *ลอเรนซ์, เริสเลอร์, เฮนอน* ถูกสร้างขึ้นจากการถอดค่าจากสมการโกลาหล 3 ชุด คือสมการลอเรนซ์, เริสเลอร์, เฮนอนแม็พ เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าระดับเสียง ค่าความดัง ค่ามิติตื้นลึกของเสียง การประยุกต์การสร้างเงื่อนไขแบบต่างๆของดนตรีในศตวรรษที่ 20 โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้แนวคิดทางคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์เข้ามาจัดการบทประพันธ์ อาทิ บทประพันธ์ของยานนิส เซนาคิส, คาร์ลไฮนส์ สต็อคเฮาเซน และปิแอร์ บูเลซ สามารถสรุปตามวัตถุประสงค์ของการค้นคว้าได้ดังนี้

ก. ผู้ประพันธ์ได้ประพันธ์เพลงอิเล็คโทรอะคูสติกบทใหม่ โดยนำเสนอรูปแบบการประพันธ์ที่ใช้หลักการประพันธ์แบบสร้างเงื่อนไขโดยประยุกต์ใช้คณิตศาสตร์ขั้นสูงเพื่อควบคุมค่าต่างๆในบทประพันธ์ตามหลักการของดนตรีโครงสร้างนิจลักษณ์

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

ข. ผู้ประพันธ์ได้เผยแพร่บทประพันธ์เพลงอิเล็กโทรอะคูสติกผ่านช่องทางยูทูบแชนแนลของผู้ประพันธ์เอง และในอนาคตสามารถนำผลงานการประพันธ์ชิ้นนี้ไปแสดงในเทศกาลดนตรีต่างๆได้

ค. ผู้ประพันธ์ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้คณิตศาสตร์ขั้นสูง ซึ่งสามารถขยายผลได้เป็นวงกว้างและหลากหลาย เนื่องจากในทางคณิตศาสตร์ยังมีสมการอีกหลากหลายประเภทที่สามารถนำมาใช้ควบคุมตัวแปรในบทประพันธ์ได้ พร้อมทั้งเป็นแนวทางสำหรับผู้ที่สนใจสามารถนำไปสร้างบทประพันธ์เพลงของตนได้

ผู้ประพันธ์คาดหวังผลที่ได้จากการประพันธ์เพลงอิเล็กโทรอะคูสติกบทนี้ สามารถให้คุณค่าต่อการฟังทั้งทางแนวและสุนทรียภาพ รวมถึงคุณค่าทางวิชาการด้านการประพันธ์เพลงอิเล็กโทรอะคูสติกและดนตรีโครงสร้างนิจลักษณ์ของประเทศไทย อีกทั้งเป็นตัวอย่างให้แก่ผู้ที่สนใจเทคนิคการประพันธ์แบบดังกล่าวจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ พร้อมทั้งเป็นแนวทางหนึ่งเพื่อใช้พัฒนาแนวคิดและวิธีการประพันธ์เพลงอิเล็กโทรอะคูสติกของตนเองได้ต่อไป

5.2 ปัญหาและอุปสรรคที่คาดว่าจะได้พบในการแสดงผลงาน

บทประพันธ์ *ลอเรนซ์, เริสเลอร์, เฮนอน สำหรับวงขนาดเล็กและซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์* นี้ เป็นบทประพันธ์ที่ต้องใช้นักดนตรีที่มีความสามารถสูงพอสมควร เนื่องจากมีเทคนิคการบรรเลงที่ค่อนข้างยากอยู่หลายช่วง ทั้งยังต้องอาศัยเสียงจากซินธิไซเซอร์มาผสมผสานอีกด้วย ทำให้ต้องมีการบริหารจัดการเพื่อความสัมฤทธิ์ผลตามที่ต้องการ สามารถแบ่งปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นได้เป็น 3 กลุ่มดังนี้

5.2.1 ปัญหาด้านความถูกต้องในการบรรเลง

เป็นปัญหาสำคัญเนื่องจากบทประพันธ์ *ลอเรนซ์, เริสเลอร์, เฮนอน* มีความซับซ้อนทั้งในส่วนของจังหวะและระดับเสียงเป็นอย่างมากอันเนื่องมาจากผู้ประพันธ์ได้ปฏิบัติตามเงื่อนไขต่างๆในระดับที่แตกต่างกันในแต่ละบท โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบทเพลง *เฮนอน* ซึ่งเป็นบทเพลงที่ยากที่สุดในบทประพันธ์ทั้งสามบท เนื่องจากรูปแบบจังหวะและทำนองของวลีต่างๆคล้ายคลึงกันอยู่หลายแห่ง ประกอบกับการแบ่งกลุ่มจังหวะภายในวลีมีความหลากหลายพอสมควร และเป็นบทเพลงที่มีอัตราจังหวะค่อนข้างเร็ว จึงยากต่อการบรรเลง

ปัญหาอีกอย่างหนึ่งที่คาดว่าจะได้พบในการแสดงผลงานคือการควบคุมจังหวะให้สม่ำเสมอ และสอดคล้องกันระหว่างวงดนตรีและซินธิไซเซอร์ อันเกิดมาจากความไม่สม่ำเสมอในการนับจังหวะ อีกทั้งในบทเพลงทั้งสามบทมีการเปลี่ยนความเร็วอยู่บ่อยครั้ง

5.2.2 ปัญหาด้านการจัดการทางเทคนิคของเสียงซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์

เสียงอิเล็กทรอนิกที่สร้างจากซินธิไซเซอร์ในระบบโมดูลาร์ในบางครั้งจะออกมาในลักษณะคล้ายการสุ่ม จึงยากต่อการคาดเดาและไม่เหมือนกันในการบรรเลงแต่ละครั้ง เนื่องจากการทำงานของโมดูลบางตัวเป็นรูปแบบอะนาล็อก ทำให้เกิดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ไม่ตรงกันในการบรรเลงแต่ละครั้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบทประพันธ์ *ลอเรนซ์* ในช่วงบรรเลงเดี่ยว

5.2.3 ปัญหาเรื่องการจัดความสมดุลย์ระหว่างเสียงอะคูสติกและซินธิไซเซอร์

การบรรเลงเพลงที่ผสมเสียงอะคูสติกและอิเล็กทรอนิกอยู่ด้วยกันนั้น มักจะมีปัญหาทางด้านความสมดุลย์ระหว่างเสียงทั้งสองประเภทอยู่เสมอ

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการแก้ปัญหาที่คาดว่าจะได้พบในการแสดงผลงาน

ผู้ประพันธ์มีข้อเสนอแนะเพื่อให้ได้ผลลัพธ์การบรรเลงอย่างถูกต้องและเป็นที่น่าพอใจโดยแบ่งตามหัวข้อตามที่ได้ระบุไว้ในข้อ 5.2 ทั้งหมดดังต่อไปนี้

5.3.1 แนวทางแก้ไขปัญหาด้านความถูกต้องในการบรรเลง

ในด้านของปัญหาที่เกิดขึ้นในการบรรเลง นักดนตรีและวาทยากรจำเป็นต้องวิเคราะห์และจดจำบทเพลงบางส่วนให้ได้ก่อนบรรเลง พร้อมทั้งมีการวางแผนในการฝึกซ้อมมาเป็นอย่างดี รวมถึงการจัดเตรียมเดโมเพื่อให้นักดนตรีได้ฟังเพื่อเป็นแนวทางสำหรับการฝึกซ้อมและบรรเลง

5.3.2 แนวทางแก้ไขปัญหาด้านการจัดการทางเทคนิคของเสียงซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์

ในด้านของการควบคุมจังหวะ ผู้ประพันธ์จำเป็นจะต้องจัดเตรียมแทร็คเมโทรนอม แล้วส่งสัญญาณออดิโอไปยังวาทยากร โดยที่วาทยากรจำเป็นจะต้องใส่หูฟังในขณะทำการแสดง วิธีการนี้จำเป็นจะต้องเจาะจงความเร็วของจังหวะตายตัวบนโปรแกรมทำดนตรี อาทิ แอปเปิลลอจิกโปร (Apple Logic Pro) เอเบิลตันไลฟ์ (Ableton Live) หรือรีพเปอร์ (Reaper) แล้วทำการส่งสัญญาณจากแทร็คเมโทรนอมในระบบมิดิจากโปรแกรมไปยังวาทยากร หรืออีกทางหนึ่งคือผู้บรรเลงซินธิไซเซอร์ใช้วิธีการเคาะจังหวะตามจังหวะในขณะบรรเลงเป็นระยะเพื่อเป็นการอัพเดตอัตราความเร็วบนนาฬิกาของซินธิไซเซอร์ ทั้งนี้ทั้งสองวิธีที่ได้กล่าวมามีทั้งข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน วิธีการแรกข้อดีคือความเร็วจะไม่คลาดเคลื่อน แต่ก็มีข้อเสียคือ จังหวะอาจมีความแข็งกระด้างและไม่เป็นธรรมชาติ วิธีที่สองมีข้อดีคือจังหวะขณะบรรเลงเป็นธรรมชาติ ไม่แข็งกระด้างจนเกินไป แต่มีข้อเสียคืออาจเกิดความคลาดเคลื่อนในเชิงจังหวะได้ ทั้งนี้วิธีการแรกจำเป็นจะต้องใช้อุปกรณ์เพิ่มเติมคืออุปกรณ์รับส่งสัญญาณเสียงหรือออดิโออินเทอร์เฟซเพื่อลดความหน่วงของสัญญาณจากคอมพิวเตอร์ไปยังปลายทาง ส่วนปัญหาด้านผลลัพธ์จากการที่ค่าไฟฟ้าจากซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์ที่ออกมาไม่แน่นอนในบางครั้งอันเนื่องมาจากโมดูลออสซิเลเตอร์เป็นโมดูลแบบอะนาล็อก ผู้ประพันธ์จึงใช้วิธีการกำหนดเวลาให้แน่นอนพร้อมทั้งการเขียนคำสั่งในการควบคุมค่าพารามิเตอร์ต่างๆในการบันทึกโน้ตแบบระบุเหตุการณ์เพื่อให้การบรรเลงร่วมกันระหว่างซินธิไซเซอร์และวงดนตรีขนาดเล็กเป็นไปอย่างราบรื่น

5.3.3 แนวทางแก้ไขปัญหาด้านการจัดการความสมดุลย์ระหว่างเสียงอะคูสติกและซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์

การใช้ระบบการขยายเสียงโดยใช้ไมโครโฟนเพื่อจับเสียงเครื่องดนตรีอะคูสติก แล้วจึงส่งสัญญาณผ่านมิกเซอร์ออกไปยังระบบขยายเสียงเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้ความสมดุลย์ของเครื่องดนตรีทั้งสองประเภทเป็นไปอย่างราบรื่น การซักซ้อมและปรับระดับเสียงอิเล็กทรอสิกให้พอดีกับเสียงอะคูสติกอย่างน้อย 1 ชั่วโมงก็จะช่วยทำให้ความสมดุลย์ระหว่างเครื่องดนตรีทั้งสองประเภทอยู่ในระดับที่พอดี ไม่ดังหรือเบาจนกลบเสียงของเครื่องดนตรีอีกประเภทหนึ่ง นอกจากนี้ยังมีปัญหาของสภาพอะคูสติกของสถานที่ที่ทำการแสดง เนื่องจากสถานที่การแสดงแต่ละที่จะมีมิติของสถานที่และวัสดุที่ใช้ ซึ่งส่งผลต่อสภาพเสียงก้องเมื่อทำการแสดงอีกด้วย

บรรณานุกรม

Born, G. (1995). *Rationalizing Culture: IRCAM, Boulezm and the Institutionalization of the Musical Avant-Garde.* California: University of California Press.

Cope, D. (1997). *Techniques of the Contemporary Composer*. New York: Schirmer Books.

Essendelft, A. V. (2020) *The Golden Ratio: Mathematics in Nature and Art.* Retrieved from https://cklixx.people.wm.edu/teaching/math400/GoldenRatio-paper.pdf

Kanach, S. (2008). *Music and Architecture by Iannis Xenakis.* New York: Pendragon Press.

Licata, T. (2022). *Electroacoustic Music: analytical perspectives*. Connecticut : Greenwood Press.

Loy, G. (2006). *Musinathics: The Mathematical Foundations of Music.* Massachusetts: The MIT Press.

Pinch, T., & Trocco, F. (2004). *Analog Days: The Invention and Impact of The Moog Synthesizer.* Massachusetts: Harvard University Press.

Roads, C. (1996). *The Computer Music Tutorial.* Massachusetts: The MIT Press.

Roads, C. (2001). *Microsound.* Massachusetts: The MIT Press.

Saengkrai, P. (2020). Music Composition Technique Based on Granular Synthesis. *Rangsit Music Journal, 15*(1), 16-25. Retrieved from https://so06.tci-thaijo.org/index.pho/rmj/article/view/26356

Serra, M. (1993). Stochastic Composition and Stochastic Timbre: GENDY3 by Iannis Xenakis. *Perspectives of New Music, 31*(1), 236-357.

Sprott, J. (2000). *Strange Attractors: Creating Patterns in Chaos.* Wisconsin: University of Wiscontin.

Statistichowto.com. (2023). *Normal Distributions.* Retrieved from https://www.statistichowto.com/Probability-and-statistics/normal-distributions

Stone, K. (1980). *Music Notation in the Twentieth Century*. New York: W.W. Norton & Company.

Truelove, N. (1984). Karlheinz Stockhausen's "Klavierstuck XI": an Analysis of Its Composition via a Matrix System of Serial Polyphony and The Translation of Rhythm into Pitch. *Perspectives of New Music, 36*(1), 189-220. Retrieved from https://www.jstor.org/stable/833580

Veil, M. (2014). *The Synthesizer.* New York: Oxford University Press.

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

บรรณานุกรม (ต่อ)

Weisstein, E. W. (2023a). *Hénon Map.* Retrieved from https://mathworld.wolfram.com/HenonMap.Html

Weisstein, E. W. (2023b). *Lorenz Attractor.* Retrieved from https://mathworld.wolfram.com/LorenzAttractor.html

Weisstein, E. W. (2023c). *Rössler Attractor.* Retrieved from https://mathworld.wolfram.com/RoesslerAttractor.html

Xenakis, I. (1992). *Formalized Music: thought and mathematics in composition* (Revised ed.). New York : Pendragon Press.

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

ภาคผนวก ก

ตารางค่าระดับเสียงในระบบมิดิมาตรฐาน

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

ออคเตฟ	C	C#/Db	D	D#/Eb	E	F	F#/Gb	G	G#/Ab	A	A#/Bb	B
-2	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
-1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
1	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
2	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
3	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
4	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83
5	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
6	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107
7	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119
8	120	121	122	123	124	125	126	127				

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

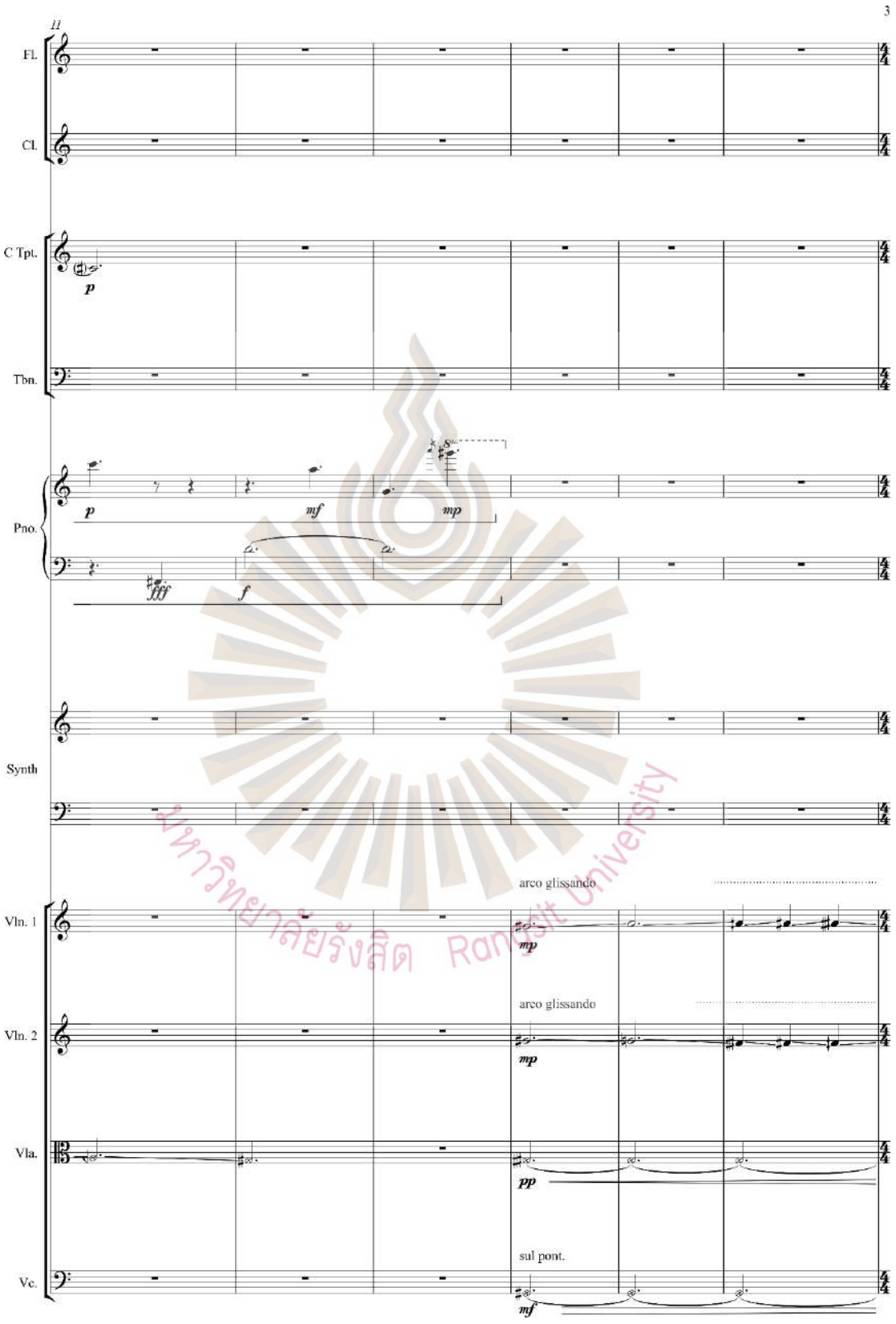
ภาคผนวก ข

โน้ตเพลง *ลอเรนซ์ สำหรับวงขนาดเล็ก และซินธิไซเซอร์ระบบ*โมดูลาร์

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University



มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

21
5
molto vib.
Fl.
Cl.
C Tpt.
Tbn.
Pno.
Synth
Vln. I
Vln. 2
Vla.
Vc.
cresc.
sul pont.
arco
arco glissando
4.00
0.625

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

ภาคผนวก ค

โน้ตเพลง *เริสเลอร์ สำหรับวงขนาดเล็ก และซินธิไซเซอร์ระบบ*โมดูลาร์

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

Roessler
for chamber ensemble
and modular synthesizer
Pradit Saengkrai
A
♩ = 60
Flute
Clarinet in B♭
Trumpet in B♭
Trombone
Piano
Synthesizer
Violin I
Violin II
Viola
Violoncello
espress.
Column 2
mf
espress.
Column 4
p
mf
Row 1
p
Ped.
Ped.
Ped.
Column 1
non vib.
mp
non vib.
molto vib.
mp
vib.
mf
espress.
mp

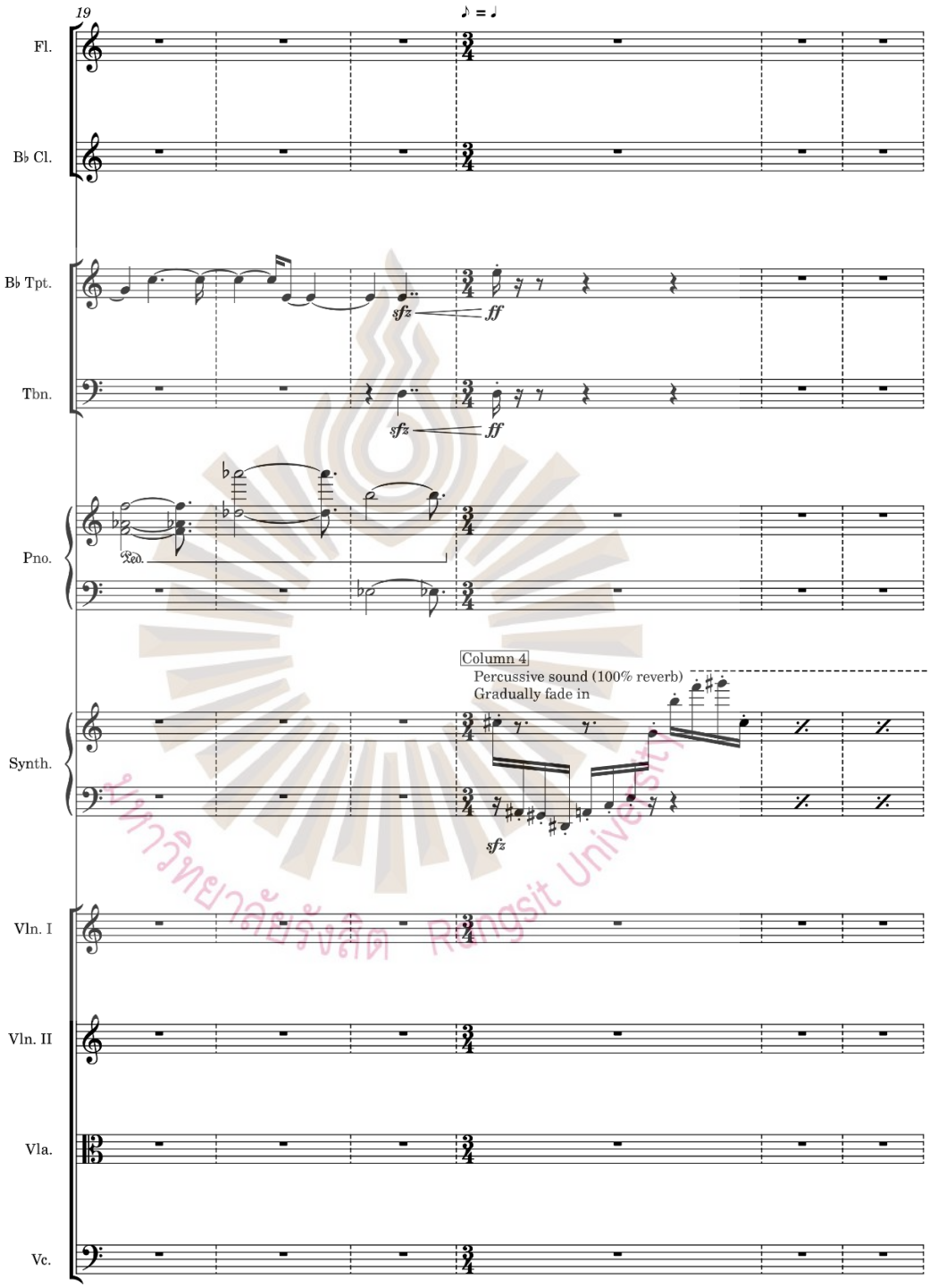
2

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

3

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

4



มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

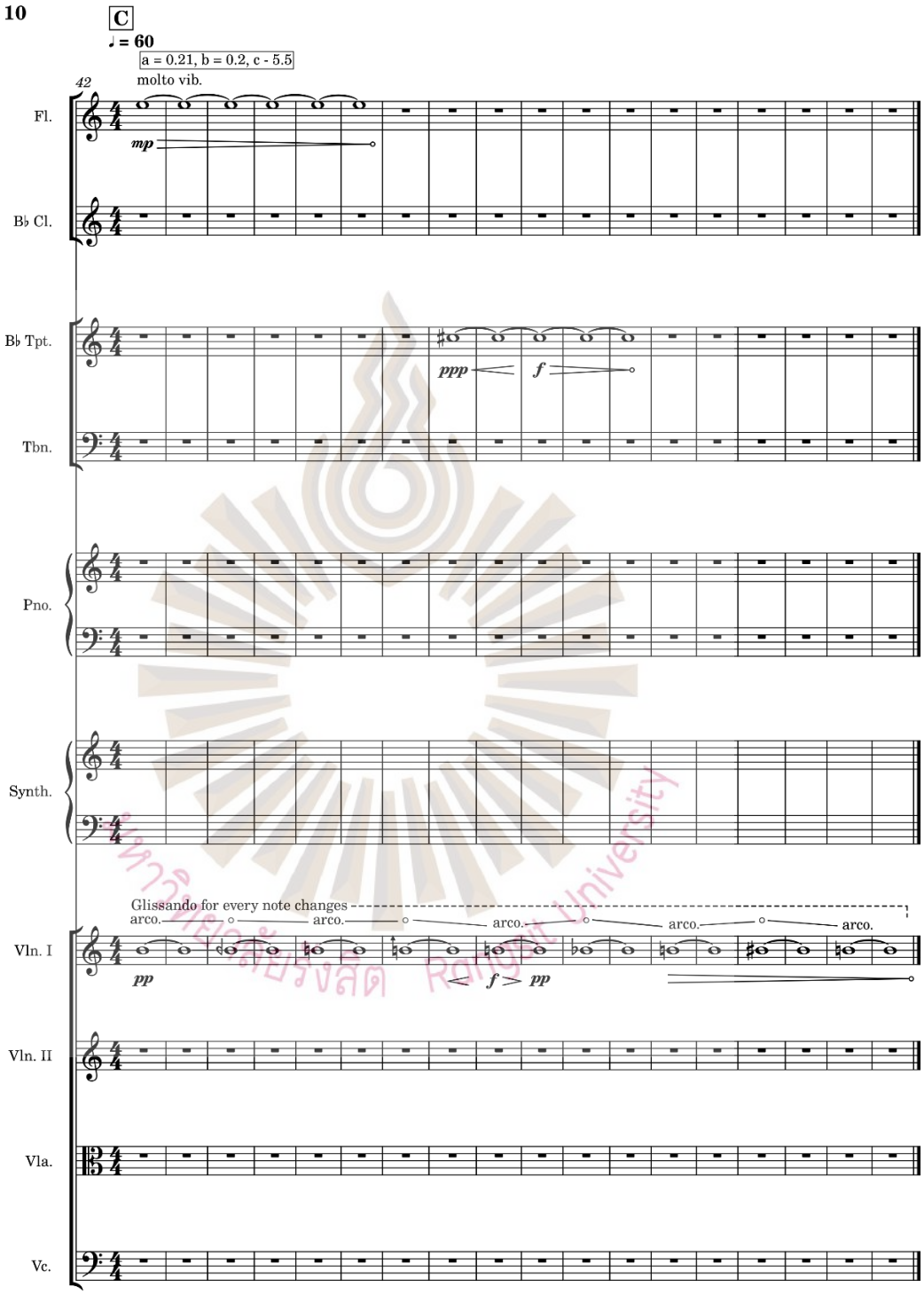
มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

6
B
♪ = 120
30
Column 7
E(6, 5)
Fl.
ff
Column 7
E(6, 5)
B♭ Cl.
ff
B♭ Tpt.
fff
Column 6
Tbn.
fff
Column 5
E(11,8)
mp
Pno.
noise with short envelope and no reverb
fff
Synth.
pizz.
Column 6
E(9, 6)
ff
Vln. I
pizz.
ff
Vln. II
pizz.
ff
Vla.
pizz.
ff
Vc.

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University


10
C
♩ = 60
a = 0.21, b = 0.2, c - 5.5
42
molto vib.
Fl.
mp
B♭ Cl.
B♭ Tpt.
ppp
f
Tbn.
Pno.
Synth.
Glissando for every note changes
arco.
arco.
arco.
arco.
arco.
Vln. I
pp
f
pp
Vln. II
Vla.
Vc.

ภาคผนวก ง

โน้ตเพลง *เฮนอน สำหรับวงขนาดเล็ก และซินธิไซเซอร์ระบบโมดูลาร์*

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

Henon

for chamber ensemble
and modular synthesizer

Pradit Saengkrai

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

3
8
Fl.
B♭ Cl.
B♭ Tpt.
Tbn.
Pno.
Synth.
Vln. 1
Vln. 2
Vla.
Vc.
fff

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

5
19
Fl.
B♭ Cl.
B♭ Tpt.
Tbn.
Pno.
Synth.
Vln. 1
Vln. 2
Vla.
Vc.

6
27
Fl.
B♭ Cl.
B♭ Tpt.
Tbn.
Pno.
fff
Synth.
Vln. 1
Vln. 2
Vla.
Vc.

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

8
39
Fl.
B♭ Cl.
B♭ Tpt.
Tbn.
Pno.
Synth.
Vln. 1
Vln. 2
Vla.
Vc.

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

10
47
Fl.
B♭ Cl.
B♭ Tpt.
Tbn.
Pno.
Synth.
Vln. 1
Vln. 2
Vla.
Vc.
fff

52
11
Fl.
B♭ Cl.
B♭ Tpt.
Tbn.
Pno.
Synth.
Vln. 1
Vln. 2
Vla.
Vc.
sfz
f
cresc.
fff
ppp

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

16
66
D
Fl.
B♭ Cl.
B♭ Tpt.
ppp
Tbn.
Pno.
Ped.
noise with low pass gate, short decay
Synth.
ppp
Vln. 1
Vln. 2
Vla.
Vc.

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

18
75
Fl.
B♭ Cl.
B♭ Tpt.
Tbn.
fff
Pno.
Synth.
noise with low pass gate, short decay
ppp
Vln. 1
Vln. 2
Vla.
Vc.

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

21
80
Fl.
B♭ Cl.
B♭ Tpt.
Tbn.
Pno.
Synth.
fff
Vln. 1
Vln. 2
Vla.
Vc.

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

มหาวิทยาลัยศิลปากร Silpakorn University

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

ภาคผนวก จ

คิวอาร์โค้ดสำหรับรับชมบันทึกการแสดง

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	ประดิษฐ์ แสงไกร
วัน เดือน ปีเกิด	3 มกราคม 2521
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปริญญาครุศาสตรบัณฑิต สาขาการสอนเครื่องดนตรีและวงดนตรีไทย, 2544 มหาวิทยาลัยรังสิต ปริญญาดุริยางคศาสตรมหาบัณฑิต, 2567
ที่อยู่ปัจจุบัน	209/490 หมู่บ้านบุศรินทร์ หมู่ที่ 3 ถนนบ้านกล้วย-ไทรน้อย ตำบลพิมลราช อำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี
สถานที่ทำงาน	วิทยาลัยดนตรี มหาวิทยาลัยรังสิต
ตำแหน่งปัจจุบัน	อาจารย์

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University