# บทที่ 2

## ความรู้เบื้องต้นทางดนตรีและประวัติของดนตรีคอมพิวเตอร์

ในบทนี้ จะนำเสนอพื้นฐานทั่วไปทางด้านดนตรี เพื่อให้ผู้อ่านเกิดความคุ้นเคยกับคำศัพท์พื้นฐานทางดนตรีที่จำเป็นต่อการอ้างอิง และเข้าใจความหมายของคำศัพท์เหล่านั้นพอสมควร เนื่องจาก ผู้วิจัยจำต้องบรรยายโดยอาศัยศัพท์เทคนิคทางดนตรีอยู่ค่อนข้างมาก นอกจากหัวข้อดังกล่าวแล้ว จะนำเสนอประวัติของดนตรีคอมพิวเตอร์ ที่ได้มีผู้วิจัยและพัฒนากันมาเป็นเวลานาน ดังนั้น ตัวบทจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนแรกเป็นเรื่องเกี่ยวกับ ความรู้พื้นฐานทั่วไปทางดนตรีและคำศัพท์เทคนิคที่สำคัญ และในส่วนที่สองจะกล่าวถึงประวัติของดนตรีคอมพิวเตอร์จนถึงยุคปัจจุบันโดยคร่าว ๆ

### ความรู้พื้นฐานทั่วไปทางดนตรีและศัพท์เทคนิคที่สำคัญ

ในโลกของดนตรี สิ่งที่ใช้สื่อสารกันก็ไม่ต่างไปจากการสื่อสารพื้นฐานทั่วไปนัก นั่นก็คือ สื่อที่ใช้ในการสื่อสารก็มีอยู่ 2 ประการคือ ภาษาพูด และภาษาเขียน หากจะให้เปรียบเทียบกับการสื่อสารธรรมดาแล้ว ภาษาพูดทางดนตรีก็คงจะอยู่ในลักษณะของเสียงเพลงหรือเสียงดนตรี ซึ่งอาจจะมีคำร้องหรือไม่ก็ได้ ที่เราได้ยินได้ฟังกันนั่นเอง การที่เสียงดนตรีจะดังขึ้นได้นั้นก็ทำนองเดียวกันกับการพูดในภาษามนุษย์คือ อาจเป็นผลมาจากการอ่านภาษาเขียน หรืออาจจะพูดออกมาจากความนึกคิด แต่สำหรับทางดนตรีนั้นนอกจากจะใช้คนเปล่งเสียงดนตรีแล้ว ยังมีเครื่องดนตรี (Musical Instrument) ที่สามารถใช้แสดงเสียงดนตรีแทนได้อีกด้วย สำหรับภาษาเขียนทางดนตรีนั้น อยู่ในรูปของระบบการใช้สัญลักษณ์เพื่อแทนตัวโน้ตทางดนตรี (Notation) ซึ่งได้มีการออกแบบและพัฒนาในรูปแบบต่าง ๆ มาเป็นเวลานับ 300 ปี จนกระทั่งได้มาตรฐานของระบบดังกล่าว เป็นระบบที่เราพบเห็นและใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน โดยมีวัตถุประสงค์ในการพัฒนา ดังนี้ (1:7-11)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. เพื่อใช้ระบบนี้เป็นแหล่งเก็บข้อมูล (Information Storage) และระบบเรียกใช้ข้อมูล (Retrieval System) สำหรับผู้แต่งเพลงและผู้เล่นดนตรี โดยผู้แต่งจะเก็บข้อมูลเกี่ยวกับความคิดทางดนตรี (Musical idea) ผ่านสัญลักษณ์ต่าง ๆ ทางดนตรี จากนั้นผู้เล่นดนตรีก็สามารถใช้ข้อมูลดังกล่าว เพื่อที่จะเล่นหรือแสดงออกมาให้ผู้ฟังรับทราบได้ทางเสียง

2. ใช้ระบบนี้เป็นเครื่องมือจารึกผลงานสำคัญ ๆ ของคีตกวีสมัยก่อนเก่า ซึ่งหากปราศจากเครื่องมือนี้แล้วผลงานชิ้นสำคัญ ๆ ในอดีต ก็คงไม่มีโอกาสตกทอดมาให้อนุชนรุ่นหลังได้รับฟังกัน

3. ใช้ระบบนี้เป็นเครื่องมือในการบันทึกงานที่สลับซับซ้อนและมีความยาวมาก ซึ่งหากคีตกวีไม่มีเครื่องมือที่ใช้บันทึก ก็คงไม่สามารถจดจำได้ว่า ได้ทำการแต่งเพลงไปถึงตอนไหน บทเพลงที่แต่งเป็นอย่างไรบ้าง เนื่องจากเพลงเพลงหนึ่งอาจใช้เวลาในการแต่งเป็นเวลาหลายวัน หรืออาจเป็นเวลาหลายเดือนก็ได้ และซ้ำบางครั้งยังอาจแต่งหลายเพลงไปพร้อม ๆ กันด้วย

4. ระบบนี้ใช้เป็นเครื่องสื่อสารระหว่างนักดนตรีทั่วโลก เนื่องจากเป็นภาษาสากลทำให้ไม่มีขอบเขตจำกัดในเรื่องชาติภาษา

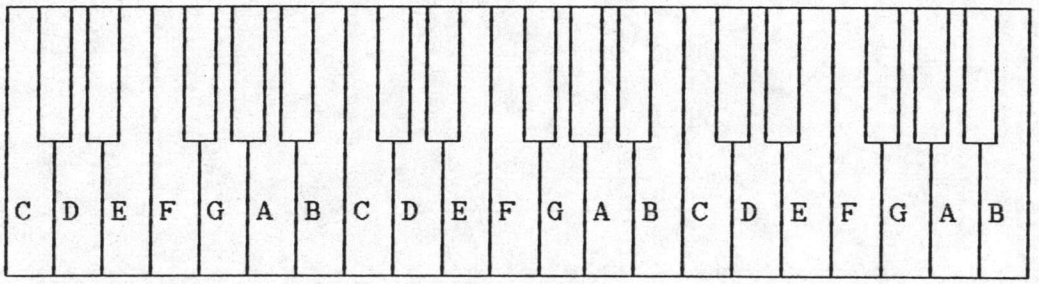
ในการแนะนำความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับดนตรีนี้ จำเป็นจะต้องอ้างอิงกับเครื่องดนตรี ซึ่งในที่นี้จะอ้างอิงกับเปียโน เนื่องจากเหตุผลสนับสนุน ดังนี้ (2:1)

1. คีย์ทั้ง 88 คีย์ของเปียโนก่อให้เกิดเสียงแต่ละเสียงที่มีความแตกต่างกัน (Unique Sound) ค่อนข้างชัดเจน
2. คุณภาพของเสียงของตัวโน้ตตัวหนึ่ง ๆ จะเหมือนเดิมเสมอ ถ้าคีย์นั้นถูกกดด้วยแรงเท่าเดิม
3. เปียโนเป็นที่ยอมรับกันมานานแล้วว่าเป็นเครื่องดนตรีที่สามารถใช้เล่นเพลงได้หลากหลายรูปแบบมากกว่าเครื่องดนตรีชิ้นอื่น

จากคุณสมบัติต่าง ๆ ดังกล่าว จึงเป็นการง่ายขึ้นเมื่อจะต้องเปรียบเทียบเปียโนกับคอมพิวเตอร์ ในเรื่องของคอมพิวเตอร์กับดนตรี

เมื่อนั่งอยู่หน้าเปียโน สิ่งที่เราเห็นก็คือคีย์บอร์ด (Keyboard) แต่ละคีย์จะแทนระดับเสียง (Pitch) 1 ระดับเสียง โดยที่คีย์ที่อยู่ทางขวามือ จะมีระดับเสียงสูงกว่าคีย์ที่อยู่ทางซ้ายมือ คีย์ต่าง ๆ ได้ถูกกำหนดชื่อให้เป็นตัวอักษรไล่กันไป ตั้งแต่ A ถึง G (3:1)

ภาพที่ 2.1 แสดงคีย์บอร์ด (Keyboard)



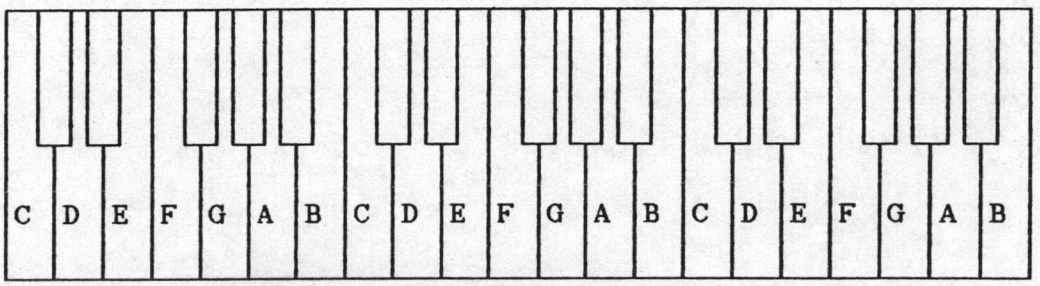

เมื่อสังเกตความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของตัวอักษร กับกลุ่มของคีย์เล็กที่อยู่ส่วนบน พบว่า ตัวอักษรจะซ้ำกันเป็นกลุ่ม ๆ คีย์ที่มีชื่อซ้ำกันเป็นคีย์แรกเรียกได้ว่า คีย์ทั้งสองอยู่ห่างจากกันเป็นระยะ 1 ออกเทฟ (Octave)

ระดับเสียงของแต่ละคีย์จะแตกต่างกัน คีย์ที่อยู่ติดกันจะมีระดับเสียงห่างกันครึ่งเสียง (Semitone) ดังนั้นจะเห็นได้ว่า E ห่างจาก F ครึ่งเสียง และ B ห่างจาก C ครึ่งเสียงเสมอ ส่วนคีย์อื่น ๆ นั้นจะถูกคั่นด้วยคีย์เล็ก ดังนั้นจึงมีระดับเสียงห่างกัน 1 เสียงเต็ม (Tone)

จากคุณสมบัติต่าง ๆ ดังกล่าว จึงเป็นการง่ายขึ้นเมื่อจะต้องเปรียบเทียบเปียโนกับคอมพิวเตอร์ ในเรื่องของคอมพิวเตอร์กับดนตรี

เมื่อนั่งอยู่หน้าเปียโน สิ่งที่เราเห็นก็คือคีย์บอร์ด (Keyboard) แต่ละคีย์จะแทนระดับเสียง (Pitch) 1 ระดับเสียง โดยที่คีย์ที่อยู่ทางขวามือ จะมีระดับเสียงสูงกว่าคีย์ที่อยู่ทางซ้ายมือ คีย์ต่าง ๆ ได้ถูกกำหนดชื่อให้เป็นตัวอักษรไล่กันไป ตั้งแต่ A ถึง G (3:1)

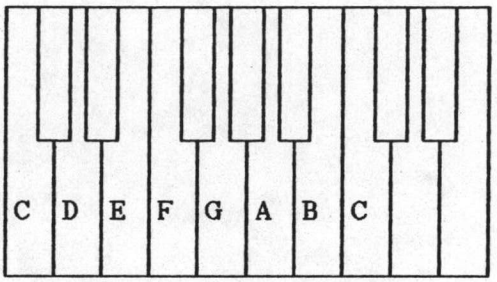
ภาพที่ 2.1 แสดงคีย์บอร์ด (Keyboard)




เมื่อสังเกตความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของตัวอักษร กับกลุ่มของคีย์เล็กที่อยู่ส่วนบน พบว่า ตัวอักษรจะซ้ำกันเป็นกลุ่ม ๆ คีย์ที่มีชื่อซ้ำกันเป็นคีย์แรกเรียกได้ว่า คีย์ทั้งสองอยู่ห่างจากกันเป็นระยะ 1 ออกเทฟ (Octave)

ระดับเสียงของแต่ละคีย์จะแตกต่างกัน คีย์ที่อยู่ติดกันจะมีระดับเสียงห่างกันครึ่งเสียง (Semitone) ดังนั้นจะเห็นได้ว่า E ห่างจาก F ครึ่งเสียง และ B ห่างจาก C ครึ่งเสียงเสมอ ส่วนคีย์อื่น ๆ นั้นจะถูกคั่นด้วยคีย์เล็ก ดังนั้นจึงมีระดับเสียงห่างกัน 1 เสียงเต็ม (Tone)

ภาพที่ 2.2 แสดงระยะ 1 ออกเทฟ




1 ออกเทฟ (Octave)

เพื่อที่จะให้คีย์เล็กมีชื่อเรียกเป็นตัวอักษรเช่นเดียวกัน จึงมีการกำหนดสัญลักษณ์พิเศษขึ้นมาอีก 5 สัญลักษณ์รวมเรียกว่า เครื่องหมายแปลงระดับเสียง (Accidental) ได้แก่ (3:2-3,17-18;4:1:3)

1. <u>เครื่องหมายชาร์ป</u> (Sharp #)

   เมื่อใส่เครื่องหมายนี้เข้าทางขวามือของตัวอักษร จะเป็นการอ้างอิงถึงคีย์ที่มีเสียงสูงขึ้นครึ่งเสียง เช่น G# จะหมายถึง คีย์เล็กอันแรกที่อยู่ทางขวามือของคีย์ G ดังนั้น จะสังเกตเห็นได้ว่า B# ก็คือ C และ E# ก็คือ F นั่นเอง

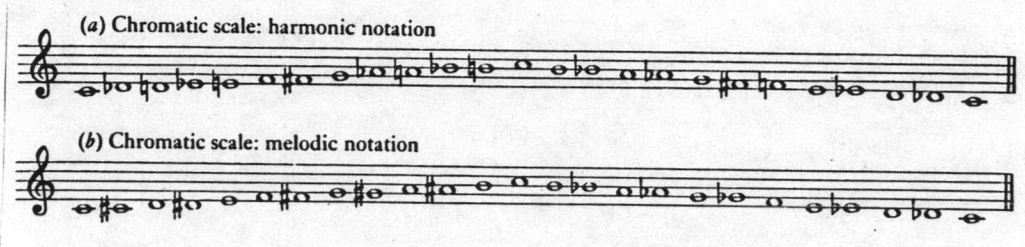
2. <u>เครื่องหมายแฟล็ต</u> (Flat b)

   เมื่อใส่เครื่องหมายนี้เข้าทางขวามือของตัวอักษร จะเป็นการอ้างอิงถึงคีย์ที่มีเสียงต่ำลงครึ่งเสียง เช่น Gb จะหมายถึง คีย์เล็กอันแรกที่อยู่ทางซ้ายมือของคีย์ G ดังนั้น จะสังเกตเห็นได้ว่า Cb ก็คือ B และ Fb ก็คือ E นั่นเอง

3. <u>เครื่องหมายเนเจอรัล</u> (Natural ♮)

   เมื่อใส่เครื่องหมายนี้เข้าทางขวามือของตัวอักษร จะเป็นการยกเลิกเครื่องหมาย # หรือ b ก่อนหน้านั้น ดังนั้น G♮ ก็คือ G นั่นเอง

ห่างระหว่างระดับเสียง (Interval) ที่แคบมาก คือห่างกันเพียงครึ่งเสียงเท่านั้น บันไดเสียงชนิดอื่น ๆ มักประกอบด้วยตัวโน้ตจากบันไดเสียงโครมาติก โดยจะทำการเลือกตัวโน้ตที่มีระดับเสียงแตกต่างกันจากบันไดเสียงโครมาติกนี้ ไปทำการจัดเรียงในลักษณะที่แตกต่างกัน ซึ่งจะก่อให้เกิดบันไดเสียงต่างประเภทกันขึ้น อันได้แก่ บันไดเสียงเมเจอร์ (Major Scale) และบันไดเสียงไมเนอร์ (Minor Scale) เป็นต้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ความแตกต่างระหว่างบันไดเสียงประเภทอื่น ๆ ที่สร้างขึ้นจากบันไดเสียงโครมาติกนี้ เกิดขึ้นจากรูปแบบการเลือกตัวโน้ตนั่นเอง แต่อย่างไรก็ตาม นักแต่งเพลงโดยทั่วไป จะเลือกใช้เฉพาะบางรูปแบบเท่านั้น ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป ภาพที่ 2.3 แสดงตัวอย่างของบันไดเสียงโครมาติกบนบรรทัด 5 เส้น




ภาพที่ 2.3 แสดงบันไดเสียงโครมาติก 2 รูปแบบ

2. <u>บันไดเสียงเมเจอร์และบันไดเสียงไมเนอร์</u> (Major and Minor Scale)

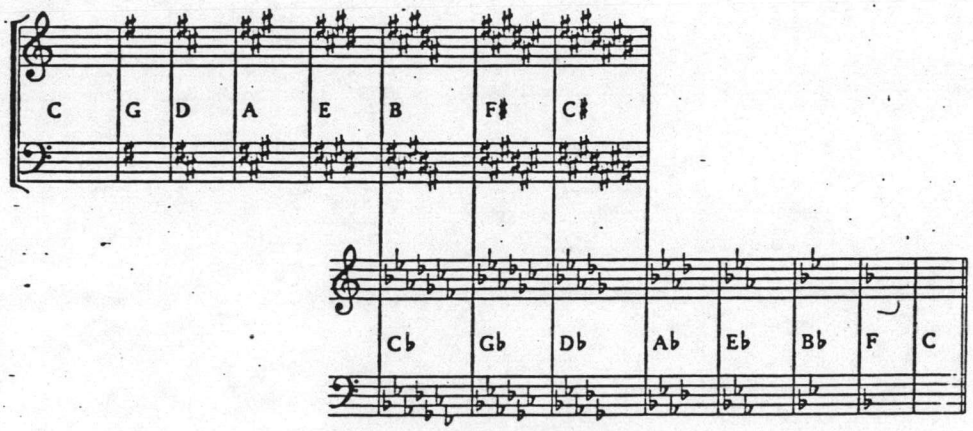
เป็นบันไดเสียงที่เกิดจาก การเลือกเอาตัวโน้ตที่มีระดับเสียงแตกต่างกัน 7 ระดับเสียง จากบันไดเสียงโครมาติก มาจัดรูปแบบการเรียงลำดับของระดับเสียงในลักษณะเฉพาะตัว โดยลักษณะการจัดเรียงของบันไดเสียงเมเจอร์ จะแตกต่างไปจากบันไดเสียงไมเนอร์

2.1 บันไดเสียงเมเจอร์ (Major Scale)

ในการสร้างบันไดเสียงเมเจอร์ จะเลือกเอาตัวโน้ตมา 7 ระดับเสียง โดยเลือกเอา 7 ระดับเสียงที่ไล่กันมา เพื่อจัดเรียงให้เกิดช่วงห่างระหว่างระดับเสียงแบบ 5 เสียงเต็มและ 2 ครึ่งเสียง โดยจัดเรียงให้ตำแหน่งของครึ่งเสียงแรกตกอยู่ระหว่างโน้ตตัวที่ 3 กับ 4 และครึ่งเสียงหลังตกอยู่ระหว่างโน้ตตัวที่ 7 กับ 8 การจัดเรียงในลักษณะดังกล่าว จะก่อ

ให้เกิดบันไดเสียงเมเจอร์ได้มากมาย เรียกชื่อตามชื่อของโน้ตตัวแรกของบันไดเสียงนั้น ตัวอย่างการจัดเรียงระดับเสียงของบันไดเสียงเมเจอร์ แสดงได้ดังนี้

| ตำแหน่งที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| บันไดเสียง C Maj | C | D | E | F | G | A | B |
| บันไดเสียง D Maj | D | E | F# | G | A | B | C# |
| บันไดเสียง Bb Maj | Bb | C | D | Eb | F | G | A |

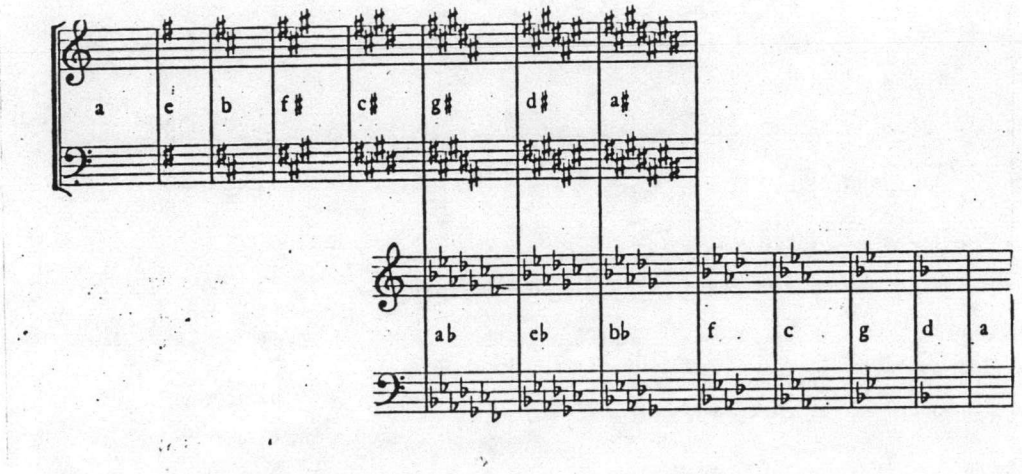



ภาพที่ 2.4 แสดงกุญแจเสียงของบันไดเสียงเมเจอร์ต่าง ๆ

จะสังเกตได้ว่า บันไดเสียง C เมเจอร์จะมีคุณสมบัติตรงตามที่ต้องการอยู่แล้ว ส่วนบันไดเสียง D และ Bb เมเจอร์นั้น หากไม่มีเครื่องหมายแปลงระดับเสียงแล้ว จะพบว่าไม่ได้จัดเรียงอยู่ในลักษณะที่ต้องการ ดังนั้นจึงต้องใช้เครื่องหมายแปลงระดับเสียงช่วย แต่ละบันไดเสียงจะใช้เครื่องหมายแปลงบันไดเสียงช่วยในลักษณะที่แตกต่างกันออกไป เช่น บันไดเสียง D เมเจอร์ จะใช้เครื่องหมายชาร์ป 2 ตัวที่ตัวโน้ต F และ C ในขณะที่บันไดเสียง Bb ใช้เครื่องหมายแฟล็ต 2 ตัว ที่โน้ต B และ E ดังนั้นในบางครั้ง จึงมีการนำเอาเอกลักษณ์ดังกล่าวมาใช้ในการระบุว่าบันไดเสียงนั้น ๆ เป็นบันไดเสียงอะไร โดยจะเรียกชื่อเอกลักษณ์ดังกล่าวว่า กุญแจเสียง (Key signature) ซึ่งหมายถึง กลุ่มของเครื่องหมายแปลงระดับเสียงของแต่ละบัน

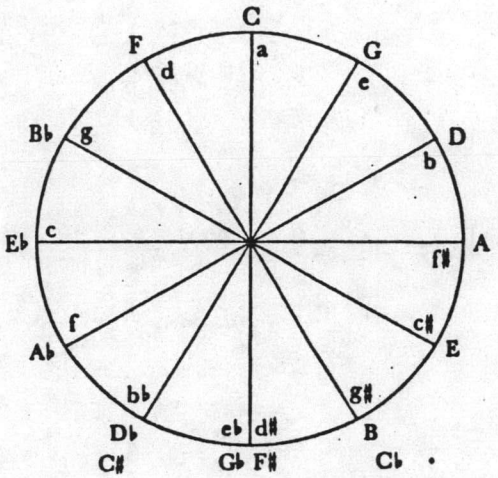
ไดเสียงที่ใช้ในการปรับให้บันไดเสียงนั้น ๆ มีลักษณะตามต้องการนั่นเอง ภาพที่ 2.4 จะแสดงกุญแจเสียงของบันไดเสียงเมเจอร์ที่นิยมใช้กันทั่วไป

2.2 บันไดเสียงไมเนอร์ (Minor Scale)

บันไดเสียงไมเนอร์ สามารถแยกประเภทออกได้อีกหลายแบบ ในที่นี้จะกล่าวถึงรูปแบบที่เป็นที่นิยมใช้ในการแต่งแนวทำนองมากที่สุด คือ บันไดเสียงไมเนอร์แบบฮาร์โมนิก (Harmonic Minor Scale)

ภาพที่ 2.5 แสดงกุญแจเสียงของบันไดเสียงไมเนอร์ต่าง ๆ

ในการสร้างบันไดเสียงไมเนอร์แบบฮาร์โมนิกนี้ จะเลือกเอาตัวโน้ตมา 7 ระดับเสียง โดยเลือกเอา 7 ระดับเสียงที่ไล่กันมา เช่นเดียวกับบันไดเสียงเมเจอร์ เพื่อจัดเรียงให้เกิดช่วงห่างระหว่างระดับเสียงแบบ 3 เสียงเต็ม 2 ครึ่งเสียงและ 1 เสียงครึ่ง โดยจะจัดเรียงให้ตำแหน่งของครึ่งเสียงแรกตกอยู่ระหว่างโน้ตตัวที่ 2 กับ 3 และครึ่งเสียงที่สองตกอยู่ระหว่างโน้ตตัวที่ 5 กับ 6 ส่วนตำแหน่งของ 1 เสียงครึ่งนั้น ให้อยู่ระหว่างโน้ตตัวที่ 6 กับ 7 การจัดเรียงในลักษณะดังกล่าว จะก่อให้เกิดบันไดเสียงไมเนอร์ได้มากมาย เรียกชื่อตามชื่อของโน้ตตัวแรกของบันไดเสียงนั้น ตัวอย่างการจัดเรียงระดับเสียงของบันไดเสียงไมเนอร์แสดงได้ดังนี้

| ตำแหน่งที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| บันไดเสียง A Min | A | B | C | D | E | F | G# |
| บันไดเสียง B Min | B | C# | D | E | F# | G | A# |
| บันไดเสียง F# Min | F# | G# | A | B | C# | D | E# |



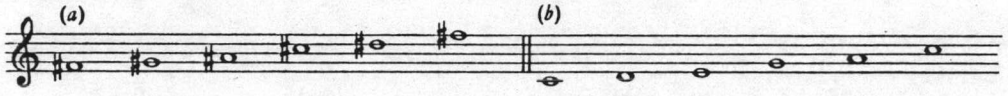
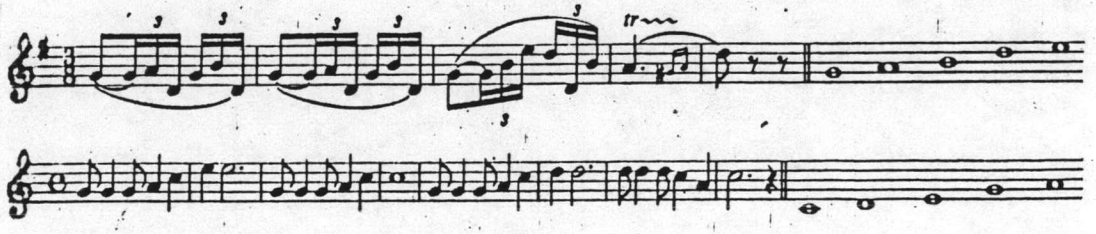

ภาพที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ของกุญแจเสียงระหว่างเมเจอร์กับไมเนอร์

เมื่อเปรียบเทียบดูระหว่างตารางกุญแจเสียงของบันไดเสียงประเภทเมเจอร์และไมเนอร์แล้ว จะสังเกตเห็นได้ชัด ถึงความสัมพันธ์ในการใช้กุญแจเสียงร่วมกันระหว่างบันไดเสียงทั้ง 2 ประเภทนี้ ดังนั้น เราจะเรียกบันไดเสียงไมเนอร์ ที่ใช้กุญแจเสียงเดียวกับบันไดเสียงเมเจอร์ว่า ไมเนอร์สัมพันธ์ (Relative Minor) และในทางกลับกัน จะเรียกบันไดเสียงเมเจอร์นั้นว่า เมเจอร์สัมพันธ์ (Relative Major) ภาพที่ 2.6 จะแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าว

3. <u>บันไดเสียงเพนตาโทนิก</u> (Pentatonic Scale) (1:38-39;4:2:1622)

บันไดเสียงเพนตาโทนิก เมื่อแปลตามชื่อจะหมายถึงบันไดเสียงซึ่งประกอบไป

ด้วย 5 ระดับเสียง เป็นบันไดเสียงที่เกิดจาก การเลือกเอาตัวโน้ตที่มีระดับเสียงแตกต่างกัน 5 ระดับเสียง จากบันไดเสียงโครมาติก มาจัดรูปแบบการเรียงลำดับของระดับเสียง ในลักษณะต่าง ๆ กัน โดยลักษณะการจัดเรียงของบันไดเสียงประเภทนี้ มีรูปแบบค่อนข้างหลากหลาย แต่ละรูปแบบก็มีผู้ตั้งชื่อไปต่าง ๆ กัน รูปแบบที่เป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางมีชื่อว่า แอนเฮมิโทนิก (Anhemitonic) ซึ่งเป็นรูปแบบที่พบกันมากในการแต่งดนตรีจีน และในดนตรีพื้นบ้านของทางยุโรป (European Folk Music) คุณสมบัติสำคัญของรูปแบบนี้ก็คือ จะไม่พบช่วงห่างระหว่างระดับเสียงในลักษณะครึ่งเสียงเลย โดยปกติแล้ว บันไดเสียงเพนตาโทนิกมักจะมีความเกี่ยวพันกับดนตรีตะวันออก แต่บางรูปแบบก็เป็นที่นิยมในการแต่งดนตรีตะวันตกเช่นกัน นอกจากนั้นบันไดเสียงประเภทนี้ ยังเป็นแหล่งของระดับเสียง สำหรับการแต่งดนตรีพื้นบ้านทั่วโลกอีกด้วย

ภาพที่ 2.7 แสดงรูปแบบของบันไดเสียงเพนตาโทนิก

ภาพที่ 2.8 แสดงตัวอย่างของเพลงพื้นเมืองตะวันตกที่ใช้บันไดเสียงเพนตาโทนิก

นอกจากบันไดเสียงประเภทต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังมีบันไดเสียงอีกนับไม่ถ้วนที่เกิดขึ้นในโลกนี้ บางบันไดเสียงเกิดขึ้นนานแล้ว แต่ยังไม่มีผู้ศึกษารูปแบบ ส่วนบางบันไดเสียงก็ถูกพัฒนาขึ้นโดยนักแต่งเพลงบางท่านด้วยวิธีการต่าง ๆ

ระบบจังหวะ (Rhythm)

จังหวะเปรียบเสมือนชีพจรของดนตรี (5:23) และเป็นองค์ประกอบพื้นฐานที่สำคัญประการหนึ่งที่ขาดเสียมิได้ในการแต่งแนวทำนอง องค์ประกอบที่สำคัญของระบบจังหวะ ได้แก่ (4:2:1562-1563)

1. ความยาวของตัวโน้ต (Duration)

การกำหนดความยาวของตัวโน้ต จะกำหนดเทียบกับโน้ตชนิดตัวดำ โดยกำหนดให้โน้ตตัวดำมีความยาวเท่ากับ 1 จังหวะ ส่วนโน้ตชนิดอื่น ๆ จะมีความยาวเป็นสัดส่วนกันไป แสดงได้ตามตารางที่ 2.1 (3:10)

| NAME | SIGN | VALUE COMPARED TO 𝅜 AND TO 𝅝 |
|---|---|---|
| BREVE | 𝅜 | — 2 × 𝅝 |
| SEMIBREVE | 𝅝 | $\frac{1}{2}$ 𝅜 and 𝅝 |
| MINIM | 𝅗𝅥 | $\frac{1}{4}$ 𝅜 and $\frac{1}{2}$ 𝅝 |
| CROTCHET | ♩ | $\frac{1}{8}$ 𝅜 and $\frac{1}{4}$ 𝅝 |
| QUAVER | ♪ | $\frac{1}{16}$ 𝅜 and $\frac{1}{8}$ 𝅝 |
| SEMIQUAVER | 𝅘𝅥𝅯 | $\frac{1}{32}$ 𝅜 and $\frac{1}{16}$ 𝅝 |
| DEMISEMIQUAVER | 𝅘𝅥𝅰 | $\frac{1}{64}$ 𝅜 and $\frac{1}{32}$ 𝅝 |

ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างรูปร่างของตัวโน้ตกับความยาว

2. เวลา (Metre)

เวลาในที่นี้ หมายถึงการกำหนดระบบนับเวลาของดนตรีชิ้นหนึ่ง ๆ ซึ่งระบุได้โดยใช้เครื่องหมายควบคุมเวลา (Time signature) โครงสร้างของเครื่องหมายควบคุมเวลาประกอบไปด้วย 2 ส่วน ส่วนล่างจะทำหน้าที่ระบุหน่วยของการนับ โดยนับสัมพัทธ์กับโน้ตชนิดตัวกลม (Semibreve) และส่วนบนจะระบุจำนวนหน่วยต่อ 1 ห้องเพลง (Bar) ซึ่งจะ

15546

เรียกสั้น ๆ ต่อไปว่า ห้อง ดังนั้นเครื่องหมายควบคุมเวลา 3:4 จะเป็นการระบุว่า ในหนึ่งห้องจะประกอบไปด้วยตัวโน้ตต่าง ๆ ที่มีความยาวรวมแล้วมีค่าเท่ากับความยาวของโน้ตตัวดำ 3 ตัว

เครื่องหมายควบคุมเวลา มีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ สามารถแยกออกได้เป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 2 ประเภทด้วยกัน คือ

1.1 เวลาแบบพื้นฐาน (Simple Time)

ในระบบเวลาประเภทนี้ พบว่าแต่ละหน่วยของการนับ จะประกอบไปด้วยส่วนย่อย ๆ 2 ส่วน ตัวอย่างของเวลาประเภทนี้ ได้แก่ เวลา 2:4 เวลา 3:4 และเวลา 4:4 เป็นต้น

ตารางที่ 2.2 แสดงตัวอย่างของเครื่องหมายควบคุมเวลาประเภทต่าง ๆ

| TIME \ BASIC UNIT | | | | |
|---|---|---|---|---|
| DUPLE | SIMPLE | 2/2 or ¢ | 2/4 | 2/8 |
| | COMPOUND | 6/4 | 6/8 | 6/16 |
| TRIPLE | SIMPLE | 3/2 | 3/4 | 3/8 |
| | COMPOUND | 9/4 | 9/8 | 9/16 |
| QUADRUPLE | SIMPLE | 4/2 | 4/4 or C | 4/8 |
| | COMPOUND | 12/4 | 12/8 | 12/16 |

1.2 เวลาแบบซับซ้อน (Compound Time)

ในระบบเวลาประเภทนี้ แต่ละหน่วยของการนับ จะประกอบไปด้วยส่วนย่อย ๆ 3 ส่วนด้วยกัน ตัวอย่างของเวลาประเภทนี้ที่รู้จักกันทั่วไป ได้แก่ เวลา 6:8 เวลา 9:8 และเวลา 12:8 เป็นต้น

3. ความเร็ว (Tempo)

ความเร็วมีความเกี่ยวข้องกับเครื่องหมายควบคุมเวลา ในแง่ของการกำหนดความเร็วของโน้ตที่ใช้เป็นหน่วยของการนับเวลา ในเชิงปฏิบัติจะใช้เครื่องตีจังหวะ (Metronome) ในการกำหนดความเร็ว

ประวัติของการแต่งดนตรีกับคอมพิวเตอร์

ตั้งแต่ในยุคสมัยโบราณ ดนตรีก็ได้มีความเกี่ยวพันกับศาสตร์ทางด้านคณิตศาสตร์มาช้านาน ตัวอย่างเช่น (2:223-232) ในยุคของโมสาร์ท (Mozart) นั้น โมสาร์ทเองได้เคยทำการแต่งแนวทำนอง (Melody) โดยใช้ลูกเต๋าในการเลือกสุ่มตัวโน้ตจากบันไดเสียง แล้วสร้างให้เกิดเป็นแนวทำนองขึ้น จากนั้นจึงทำการเรียบเรียงเสียงประสานแนวทำนองที่ได้ ในการกระทำดังกล่าว เขาอาจใช้วิธีการสุ่มแบบเดียวกันในการเลือกรูปแบบ (Pattern) ของจังหวะ (Rhythm) ด้วย แต่สำหรับในยุคของโมสาร์ทนั้น ยังไม่มีคอมพิวเตอร์ที่จะใช้ช่วยในการทำงาน อย่างไรก็ตาม เราอาจตั้งสมมติฐานได้ว่า เขาได้ประดิษฐ์หรือริเริ่มคิดค้นกระบวนการอันเป็นระบบ (Systemized procedure) และได้ใช้สิ่งนี้เป็นกรอบ (Frame work) ในการที่จะได้มาซึ่งตัวโน้ตจากจำนวนเลขที่ได้จากการโยนลูกเต๋า กระบวนการที่เขาได้คิดขึ้นนั้นน่าจะสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของภาษาคอมพิวเตอร์ได้ หากในยุคของเขาได้มีคอมพิวเตอร์แล้ว

นักแต่งเพลงได้นำคอมพิวเตอร์ มาช่วยในงานการเขียนเพลงตั้งแต่กลางปี คริสต์ศักราช 1950 การใช้คอมพิวเตอร์ในการแต่งเพลงนี้ ได้มีการเริ่มค้นคว้ากันมาก่อนการนำคอมพิว

เตอร์มาใช้ในศาสตร์การสังเคราะห์เสียงด้วย และก่อให้เกิดสไตล์ (Style) ของดนตรีและความคิดใหม่ ๆ ที่กว้างขวางไปอย่างมาก (6:265)

สิ่งที่คอมพิวเตอร์ได้กระทำในกระบวนการแต่งจริง ๆ นั้น (2:223-224) เป็นเพียงการสร้างรูปแบบของตัวเลข (Number pattern) ขึ้นมา แล้วทำการแปลรูปแบบเหล่านั้นให้เป็นลำดับเหตุการณ์ของเสียง (Sequences of sonic events) ภายใต้กฎเกณฑ์อันคงที่ชุดหนึ่งซึ่งถูกกำหนดขึ้นโดยโปรแกรมเมอร์ (Programmer) ในระยะเวลา 30 ปีที่ผ่านมา ได้มีนักแต่งเพลงจำนวนมากเพิ่มความสนใจในเรื่องเกี่ยวกับดนตรีสโตแชสติก (Stochastic music) ซึ่งหมายถึง ดนตรีที่แต่งมาจากตัวเลขสุ่ม (Random number) นี้มากขึ้น

การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการแต่งเพลงนี้ (2:224;6:291-297;7:49-55,76-77) ได้มีการบุกเบิกอย่างกว้างขวางโดย เลจาเรน ฮิลเลอร์ (Lejaren Hiller) และ เลโอนาร์ท ไอแซคซัน (Leonard Isaacson) ณ. มหาวิทยาลัยอิลลินอยส์ (University of Illinois) งานของพวกเขาได้ตีพิมพ์ในปี ค.ศ.1959 ในหนังสือชื่อ Experimental music ซึ่งกล่าวถึงผลงานการแต่งเพลงของคอมพิวเตอร์ 2 ชิ้นคือ Illiac Suite for String quartet และ Computer Cantata เทคนิคที่ใช้ในการแต่งผลงาน 2 ชิ้นแรกนี้ อยู่ที่การสร้างลำดับชุดของตัวโน้ตจากรูปแบบของตัวเลขสุ่ม (Random note pattern) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับวิธีการของโมสาร์ท

ต่อมา เอียนนิส เซนาคิส (Iannis Xenakis) ซึ่งเป็นชาวฝรั่งเศสได้นำคำว่า ดนตรีสโตแชสติกไปใช้และได้บรรยายเทคนิคของเขาในหนังสือ ซึ่งในภายหลังได้มีผู้แปลเป็นภาษาอังกฤษชื่อ Formalized music

ในการสร้างโครงสร้างของเสียงดนตรี นอกจากเซนาคิสจะใช้วิธีการสุ่มตัวเลขแล้ว เขายังได้ใช้หลักการทางด้านคณิตศาสตร์ ในเรื่องการกระจายของความน่าจะเป็น

(Probability Distribution) ซึ่งมีอยู่หลายรูปแบบ ประกอบกับกฎเกณฑ์อื่น ๆ เพื่อที่ว่าในที่สุดโครงสร้างของเสียงจะได้เป็นไปตามข้อจำกัดที่กำหนด ซึ่งจะก่อให้เกิดแนวทำนองที่มีความหมายทางดนตรี และมีสไตล์ (Style) หรือลีลาที่แน่นอนมากขึ้น

วิธีการต่าง ๆ ในการนำเอาคอมพิวเตอร์มาช่วยในการแต่งเพลงนี้ ได้มีผู้ค้นคว้าและบันทึกไว้อยู่มากมายหลายวิธี สามารถแยกออกได้เป็น 2 ประเภทกว้าง ๆ ดังนี้ (6:265-277)

1. การแต่งแบบอลีโทริก (Aleatoric Composition)
   เป็นวิธีการที่อาศัย คุณลักษณะทางสถิติของกระบวนการสุ่ม (Random Process) ในการสร้าง (Generate) ชุดของตัวโน้ตขึ้นมา
2. การแต่งแบบดีเทอร์มินิสติก (Deterministic Composition)
   เป็นดนตรีที่เกิดจาก การใช้คอมพิวเตอร์คำนวณหาลักษณะการจัดเรียงลำดับของชุดตัวโน้ตที่ได้ทำการเลือกไว้ล่วงหน้าแล้ว

นอกจาก 2 วิธีการดังกล่าวแล้ว ยังมีวิธีการอื่น ๆ อีกหลายวิธี แต่ไม่ได้นำมากล่าวไว้ ณ. ที่นี้ ผู้วิจัยจะนำเสนอเฉพาะวิธีการแรกคือ การแต่งแบบอลีโทริก

<u>การแต่งแบบอลีโทริก</u> (Aleatoric Composition)

ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว การแต่งแบบนี้จะอาศัยกระบวนการสุ่มในการสร้างองค์ประกอบทางดนตรีต่าง ๆ โดยจะใช้ในการสร้างองค์ประกอบใดบ้างนั้น ขึ้นอยู่กับวิจารณญานของผู้ออกแบบระบบ

ในเรื่องของการสุ่ม ย่อมจะต้องมีตัวแปรสุ่ม ซึ่งหมายถึงเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้น โดยโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ นั้น สามารถแสดงได้ในรูปของความน่าจะเป็น

ความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์ใด ๆ มีค่าเท่ากับ อัตราส่วนระหว่างจำนวนครั้งที่เกิดเหตุการณ์นั้น ต่อจำนวนเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นทั้งหมดในกระบวนการสุ่ม

ตัวอย่างเช่น สมมติให้ X เป็นตัวแปรสุ่ม ในกระบวนการสุ่มโยนลูกเต๋า 1 ลูก จะพบว่า X มีโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ ได้ 6 เหตุการณ์ เนื่องจากว่าตัวแปรสุ่ม X สามารถมีค่าได้ทั้งหมด 6 ค่า คือ 1, 2, 3, 4, 5 หรือ 6 ถ้าลูกเต๋านั้นถูกสร้างขึ้นอย่างดี มีน้ำหนักสม่ำเสมอและสมดุลย์ทั้งลูก จะพบว่าโอกาสที่ X จะได้ค่าต่าง ๆ มีเท่ากัน นั่นคือ ความน่าจะเป็นที่จะโยนลูกเต๋าได้เลข 2 มีค่า = 1/6 เมื่อเขียนในรูปของคณิตศาสตร์ ความน่าจะเป็น P จะสามารถเขียนได้ดังนี้

$$P\{X = 2\} = 1/6$$

นั่นหมายความว่า ความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์ X = 2 หรือความน่าจะเป็นที่จะโยนลูกเต๋าได้เลข 2 มีค่าเท่ากับ 1/6 ค่าความน่าจะเป็นดังกล่าวมีคุณสมบัติทั่วไปดังนี้

1. ค่าของความน่าจะเป็นจะอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 เสมอ ซึ่งจะแทนความหมายตั้งแต่เหตุการณ์ไม่มีโอกาสจะเกิดขึ้นเลย จนถึงเหตุการณ์ต้องเกิดขึ้นอย่างแน่นอน
2. ความน่าจะเป็นที่เหตุการณ์จะไม่เกิด จะสามารถคำนวณได้จากการลบความน่าจะเป็นที่เหตุการณ์จะเกิดขึ้น ออกจากค่า 1 และจากตัวอย่างข้างต้นในเรื่องของการโยนลูกเต๋า ความน่าจะเป็นที่จะโยนลูกเต๋าแล้วไม่ได้เลข 2 จะมีค่าดังนี้

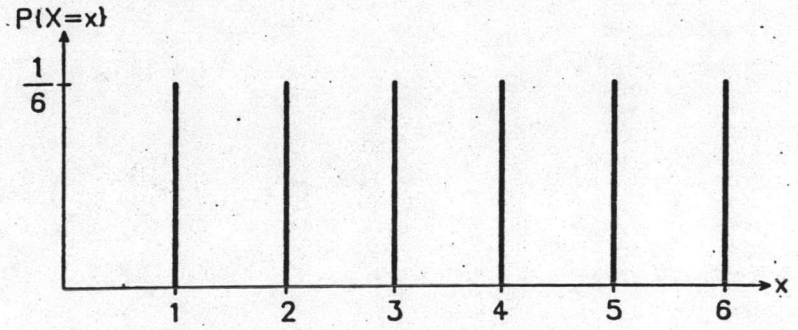
$$P\{X <> 2\} = 1 - P\{x = 2\} = 5/6$$

3. ความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์หลาย ๆ เหตุการณ์ จะมีค่าเท่ากับความน่าจะเป็นที่จะเกิดแต่ละเหตุการณ์รวมกัน จากตัวอย่างการโยนลูกเต๋า ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่จะโยนได้เลขคู่ มีค่าดังนี้

$$P\{X = \text{even}\} = P\{X = 2\} + P\{X = 4\} + P\{X = 6\}$$
$$= 1/2$$

4. ผลรวมของความน่าจะเป็นของทุก ๆ เหตุการณ์ จะมีค่าเท่ากับ 1

การแสดงค่าความน่าจะเป็นของแต่ละเหตุการณ์ที่เป็นไปได้นั้น มักจะแสดงในรูปของกราฟ ตัวอย่างแสดงในภาพที่ 2.9 เป็นการพล็อตค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ต่างๆ ในตัวอย่างข้างต้น ซึ่งในกรณีดังกล่าว จะพบว่า X เป็นตัวแปรสุ่มแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Random Variable) เพราะ X จะมีค่าเฉพาะเป็นจุด ๆ ไป




ภาพที่ 2.9 แสดงกราฟของความน่าจะเป็นของเหตุการณ์โยนลูกเต๋า

กระบวนการสุ่มที่ก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่มีความต่อเนื่องก็มี เช่น เมื่อ X แทนความยาวของตัวโน้ตตัวหนึ่ง ในการแสดงดนตรีหลาย ๆ ครั้ง พบว่า X จะมีค่าไม่แน่นอน เนื่องจากในการแสดงแต่ละครั้ง ผู้เล่นไม่สามารถเล่นตัวโน้ตให้มีความยาวเท่ากับเมื่อเล่นครั้งก่อนได้ โดย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิ... ...ย

อาจมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 0.95 ถึง 1.05 วินาที ซึ่งภายในช่วงดังกล่าว X มีโอกาสที่จะเป็นค่าต่าง ๆ ได้มากมายนับไม่ถ้วน ผลลัพธ์จากการสุ่มในลักษณะนี้เรียกได้ว่ามีความต่อเนื่อง ดังนั้น ตัวแปรสุ่มที่ใช้ในกระบวนการสุ่มลักษณะนี้ เรียกว่า ตัวแปรสุ่มต่อเนื่อง (Continuous Random Variable)

ความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มชนิดต่อเนื่อง มักจะแสดงในรูปของฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability density function) ซึ่งเมื่อพล็อตออกมาในรูปของกราฟแล้ว จะได้กราฟรูปต่าง ๆ หลายรูปแบบ ดังจะกล่าวต่อไป เนื่องจากตัวแปรสุ่มทั้งชนิดต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ล้วนมีประโยชน์ต่อศาสตร์ดนตรีคอมพิวเตอร์ (Computer Music) ดังนั้น จะนำเสนอกระบวนการสุ่มบางรูปแบบ ที่พบว่ามีประโยชน์ต่อการแต่งเพลง

กระบวนการสุ่มที่ใช้ในการสร้าง (Generate) องค์ประกอบต่าง ๆ ของเพลง มีอยู่ 2 รูปแบบด้วยกัน คือ

1. กระบวนการสุ่มที่มีลักษณะอิสระต่อกัน (Random processes with - Independent observations)

ในการสุ่มแบบนี้ สิ่งที่ได้จากการสุ่มแต่ละครั้งจะไม่คำนึงถึงและไม่ขึ้นอยู่กับผลจากการสุ่มครั้งก่อน ๆ ค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการสุ่มจะกระจายอยู่ในช่วงหนึ่ง โดยผลลัพธ์ที่ได้จะมีรูปแบบแตกต่างกันออกไป ตามลักษณะการกระจายของความน่าจะเป็นของกระบวนการสุ่ม ซึ่งมีอยู่หลายลักษณะด้วยกัน ได้แก่

การกระจายแบบยูนิฟอร์ม (Uniform Distribution)

การกระจายแบบเส้นตรง (Linear Distribution)

การกระจายแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential Distribution)

การกระจายแบบเกาเซียน (Gaussian Distribution)

การกระจายแบบคอชี (Cauchy Distribution)

การกระจายแบบเบต้า (Beta Distribution)

การกระจายแบบเวบูล (Weibull Distribution)

การกระจายแบบปัวซอง (Poisson Distribution)

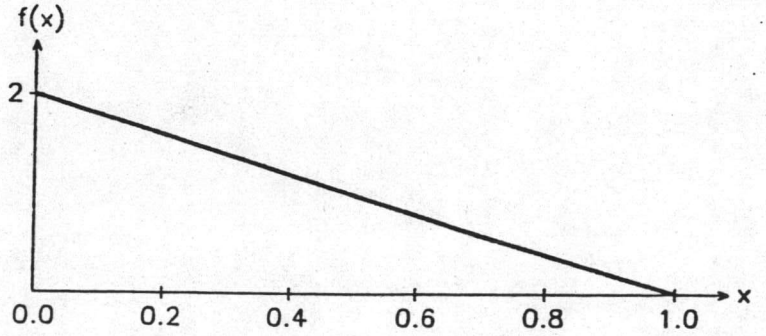
1.1 การกระจายแบบยูนิฟอร์ม

ประเภทของการสุ่มที่ใช้กันมากที่สุด มีการกระจายของความน่าจะเป็นแบบยูนิฟอร์ม ลักษณะของการกระจายประเภทนี้ก็คือ โอกาสในการเกิดเหตุการณ์ทุก ๆ เหตุการณ์มีค่าเท่ากัน อัลกอริทึมที่ใช้ในการสร้าง (Generate) ตัวเลขสุ่มบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่ จะใช้กระบวนการสุ่มตัวเลข ที่มีการกระจายของความน่าจะเป็นใกล้เคียงกับการกระจายแบบยูนิฟอร์มมาก ผู้วิจัยเองก็ได้ใช้สมมติฐานนี้ในการพัฒนาระบบช่วยแต่งแนวทำนองด้วย

1.2 การกระจายแบบเส้นตรง

กราฟแสดงฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น ของตัวแปรสุ่ม ที่มีความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ กระจายเป็นแบบเส้นตรง แสดงได้ดังภาพที่ 2.10 รูปแบบของฟังก์ชันดังกล่าวเป็นดังนี้

$$f(x) = \begin{cases} 2(1-x) & ; \quad 0 < x < 1 \\ 0 & ; \quad \text{elsewhere} \end{cases}$$




ภาพที่ 2.10 แสดงฟังก์ชันความหนาแน่นของการกระจายแบบเส้นตรง

1.3 การกระจายแบบเอ็กซโปเนนเชียล

ตัวแปรสุ่มที่มีการกระจายแบบเอ็กซโปเนนเชียลนี้ จะมีผลให้โอกาสที่จะได้ผลลัพธ์มีค่าเข้าใกล้ศูนย์มีมากขึ้น รูปแบบของฟังก์ชันความหนาแน่นจะเป็นดังนี้

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad ; \quad x > 0$$

ค่า $\lambda$ จะเป็นตัวควบคุมปริมาณการแผ่กระจายตามแนวนอนของฟังก์ชัน โดย การเพิ่มค่า $\lambda$ จะมีผลทำให้ ความน่าจะเป็นที่จะได้ผลลัพธ์มีค่าน้อยมีค่าสูง ค่าเฉลี่ยของการกระจายคือ 0.69315 หารด้วย $\lambda$ ตัวแปรสุ่มในที่นี้จะมีค่ามากกว่าศูนย์ขึ้นไป และโดยทฤษฎีแล้ว ไม่มีขอบเขตจำกัดบน(Upper limit) สำหรับขนาดของตัวเลขที่จะสร้างได้ แต่อย่างไรก็ตามโอกาสที่จะสร้างได้ค่ามาก ๆ นั้นมีค่อนข้างน้อย ปรากฏการณ์ธรรมชาติหลายปรากฏการณ์มีขนาดของการเกิดเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการกระจายของความน่าจะเป็นแบบนี้ อาทิเช่น ขนาดของแผ่นดินไหว (Magnitude of Earthquakes) เป็นต้น

1.4 การกระจายแบบเกาเซียน

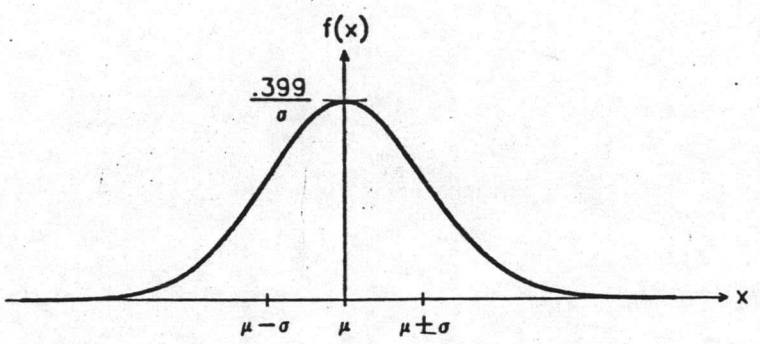
การกระจายในรูปแบบนี้นับเป็นรูปแบบที่รู้จักกันดีและมีชื่อเสียง เรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า การกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) ฟังก์ชันความหนาแน่นมีลักษณะดังนี้

$$f(x) = [1/(\sqrt{2\pi}\ \sigma)]e^{-(x-\mu)^2/(2\sigma^2)}$$

จากภาพที่ 2.11 จะเห็นกราฟรูประฆังซึ่งจะแปรผันไปตามตัวแปร 2 ตัว คือ $\mu$ และ $\sigma$ โดยที่ศูนย์กลางของฟังก์ชันความหนาแน่นนี้ก็คือ $\mu$ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่ม ส่วนการแผ่กระจายของความหนาแน่นนี้วัดได้จากตัวแปร $\sigma$ ซึ่งคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน พบว่า 68.26% ของผลลัพธ์จะอยู่ในช่วงที่มีความกว้างเท่ากับ $-\sigma$ ถึง $+\sigma$ โดยมีศูนย์กลางอยู่ใกล้ค่า

เฉลี่ย ตัวแปรสุ่มประเภทนี้ ไม่มีขอบเขตจำกัดของค่าแต่อย่างใด และพบว่า 99.74% ของผลลัพธ์ทั้งหมดจะตกอยู่ในช่วง $-3\sigma$ ถึง $+3\sigma$

ภาพที่ 2.11 แสดงฟังก์ชันความหนาแน่นของการกระจายแบบเกาเซียน



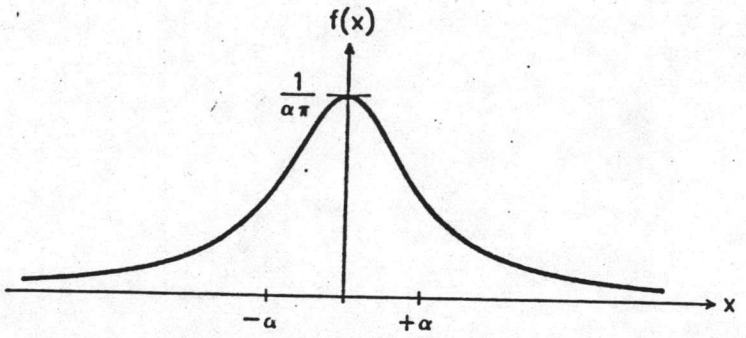

1.5 <u>การกระจายแบบคอชี</u>

ภาพที่ 2.12 จะแสดงกราฟฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่ม ที่มีการกระจายของความน่าจะเป็นแบบคอชี ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟมีลักษณะสมมาตรกัน และค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่มคือ 0 ฟังก์ชันดังกล่าวมีลักษณะดังนี้

$$f(x) = \frac{\alpha}{[\pi(\alpha^2 + x^2)]}$$

เช่นเดียวกับการกระจายแบบเกาเซียน กราฟของฟังก์ชันจะไม่มีขอบเขตจำกัดใดๆ แต่เมื่อตัวแปรสุ่มมีค่ามากขึ้น จะพบว่าความน่าจะเป็นจะเข้าใกล้ศูนย์ ความหนาแน่นของฟังก์ชันจะแปรผันตามค่าของ $\alpha$ โดยที่เมื่อ $\alpha$ มีค่ามาก กราฟที่ได้จะกว้างมากขึ้น พบว่า 50% ของผลลัพธ์ตกอยู่ในช่วง $-\alpha$ ถึง $+\alpha$ และ 99.9% ของผลลัพธ์จะอยู่ในช่วง $-318.3\alpha$ ถึง $+318.3\alpha$

ภาพที่ 2.12 แสดงฟังก์ชันความหนาแน่นของการกระจายแบบคอชี




1.6 การกระจายแบบเบต้า

ฟังก์ชันความหนาแน่นของตัวแปรสุ่ม ที่มีการกระจายของความน่าจะเป็นแบบเบต้านี้ มีกราฟได้หลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ a และ b ลักษณะของฟังก์ชันเป็นดังนี้

$$f(x) = \frac{1}{B(a,b)} x^{a-1} (1-x)^{b-1} \quad ; \quad 0 \leq x \leq 1$$

B(a,b) คือ ฟังก์ชันเบต้าของออยเลอร์ (Euler's beta function) B(a,b) เป็นฟังก์ชันปรับขนาด (Scaling function) ซึ่งยังผลให้เกิดพื้นที่ใต้กราฟ ภายในช่วง 0 ถึง 1 โดยไม่ได้มีผลกระทบต่อรูปร่างของกราฟแต่อย่างใด ส่วนสำหรับพารามิเตอร์ a และ b นั้นมีผลกระทบต่อรูปร่างของกราฟค่อนข้างมาก

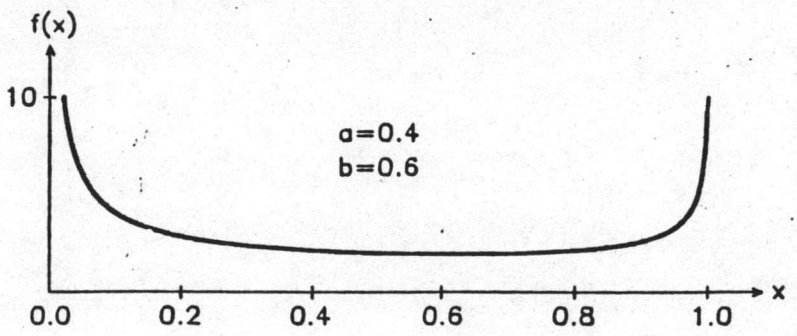
เมื่อ a และ b มีค่ามากกว่า 1 ทั้งคู่ กราฟจะอยู่ในรูปที่คล้ายกับระฆังของแบบเกาเซียน เมื่อ a = b = 1 รูปแบบของกราฟจะกลายเป็นกรณีย่อยพิเศษ ของการกระจายแบบ ยูนิฟอร์ม กรณีที่น่าสนใจมากที่สุด คือ กรณีที่ทั้ง a และ b มีค่าน้อยกว่า 1 ซึ่งยังผลให้ความน่าจะเป็นที่ผลลัพธ์จะมีค่าเข้าใกล้ 0 และ 1 มีค่ามากพอ ๆ กัน ซึ่งในกรณีนี้พบว่า

รูปการณ์ที่ได้จะมีลักษณะแตกต่างออกไปจากรูปกราฟที่แล้ว ๆ มาทั้งสิ้น ภาพที่ 2.13 จะแสดงกราฟของการกระจายชนิดนี้ เมื่อมีพารามิเตอร์ a = 0.4 และ b = 0.6

ข้อสรุปบางประการเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทั้งสอง กับรูปร่างของกราฟ มีดังนี้

1. พารามิเตอร์ a เป็นตัวควบคุมความน่าจะเป็นของการเกิดผลลัพธ์ที่มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ส่วนพารามิเตอร์ b เป็นตัวควบคุมความน่าจะเป็นของการเกิดผลลัพธ์ที่มีค่าเข้าใกล้ 1
2. เมื่อพารามิเตอร์ a มีค่าน้อยลง ความน่าจะเป็นที่ผลลัพธ์จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์หรือ 1 จะมีค่าสูงขึ้น และความน่าจะเป็นที่ผลลัพธ์จะมีค่าเข้าใกล้ .5 จะมีค่าต่ำลง
3. เมื่อค่า a = b ความหนาแน่นจะมีความสมมาตรเกิดขึ้น และมีค่าประมาณ 0.5
4. เมื่อ a <> b ความหนาแน่นจะมีลักษณะเทลาด และมีค่าความน่าจะเป็นสูงที่จะได้ผลลัพธ์มีค่าสูงสุดหรือต่ำสุด ภายใต้ความควบคุมของพารามิเตอร์ที่มีค่าน้อยกว่า
5. ค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่มคือ a / (a + b)

ภาพที่ 2.13 แสดงฟังก์ชันความหนาแน่นของการกระจายแบบเบต้า



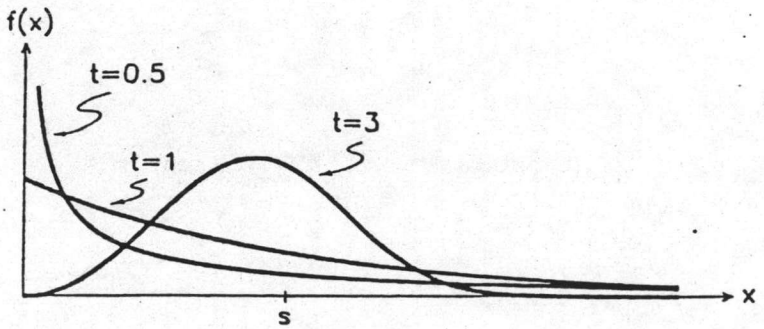
## 1.7 การกระจายแบบเวบูล

ตัวแปรสุ่มของกระบวนการสุ่มที่มีการกระจายของความน่าจะเป็นในลักษณะนี้ จะมีค่ามากกว่าศูนย์ขึ้นไป โดยไม่มีขอบเขตจำกัดบน กราฟของฟังก์ชันความหนาแน่นของการกระจายประเภทนี้ ควบคุมโดยพารามิเตอร์ 2 ตัว คือ s และ t ฟังก์ชันดังกล่าวมีลักษณะดังนี้

$$f(x) = \frac{tx^{t-1}}{s} e^{-(x/s)^t} \quad ; \quad x > 0$$

พารามิเตอร์ s จะมีผลต่อการแผ่กระจายของกราฟไปทางแนวนอน ส่วนพารามิเตอร์ t จะมีผลอย่างมากต่อรูปร่างของกราฟ ตัวอย่างของกราฟฟังก์ชันนี้ โดยใช้พารามิเตอร์ที่มีค่าต่าง ๆ แสดงได้ดังภาพที่ 2.14 พบว่าเมื่อ t มีค่าน้อยกว่า 1 ผลลัพธ์ที่ได้มีโอกาสที่จะได้ค่าน้อยสูง ส่วนในกรณีที่ t = 1 พบว่ากราฟที่ได้จะมีลักษณะเหมือนการกระจายแบบเอ็กซโปเนนเชียล เมื่อ t มีค่ามากกว่า 1 พบว่ากราฟจะมีจุดสูงสุดอยู่บริเวณใกล้ ๆ ค่า s และเมื่อ t = 3.2 พบว่ากราฟมีลักษณะใกล้เคียงกับกราฟของเกาเซียน t ที่มีค่าสูงจะเน้นความแหลมของยอดกราฟ ซึ่งจะเพิ่มโอกาสที่จะสุ่มได้ค่าเข้าใกล้ค่า s

ภาพที่ 2.14 แสดงฟังก์ชันความหนาแน่นของการกระจายแบบเวบูล



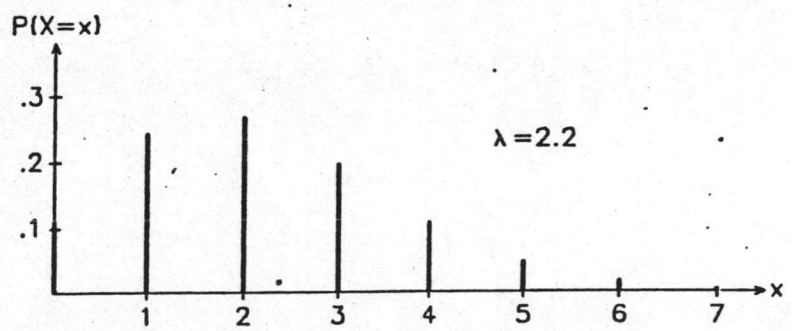
1.8 การกระจายแบบปัวซอง

การกระจายของความน่าจะเป็นชนิดนี้ เป็นรูปแบบของการกระจายความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มแบบไม่ต่อเนื่อง โดยตัวแปรสุ่มจะมีค่าเป็นเลขจำนวนเต็ม มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 ขึ้นไป โดยไม่มีขอบเขตบน การกระจายแบบนี้ถูกควบคุมโดยพารามิเตอร์ $\lambda$ ดังนั้น ความน่าจะเป็นที่ตัวแปรสุ่มจะมีค่าเท่ากับเลขจำนวนเต็ม $j$ ใด ๆ มีลักษณะดังนี้

$$P\{X = j\} = e^{-\lambda}(\lambda^{j}/j!) \quad ; \quad x > 0$$

พบว่าค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ $\lambda$ เหตุการณ์ที่มีโอกาสเกิดขึ้นสูงคือเหตุการณ์ที่ $j$ มีค่าเท่ากับจำนวนเต็มของ $\lambda$ ในกรณีที่ $\lambda$ เป็นเลขจำนวนเต็ม พบว่าความน่าจะเป็นที่จะสุ่มได้ค่า $\lambda-1$ มีมากพอ ๆ กับความน่าจะเป็นที่จะสุ่มได้ค่า $\lambda$ ภาพที่ 2.15 แสดงกราฟของการกระจายแบบปัวซองที่ $\lambda = 2.2$

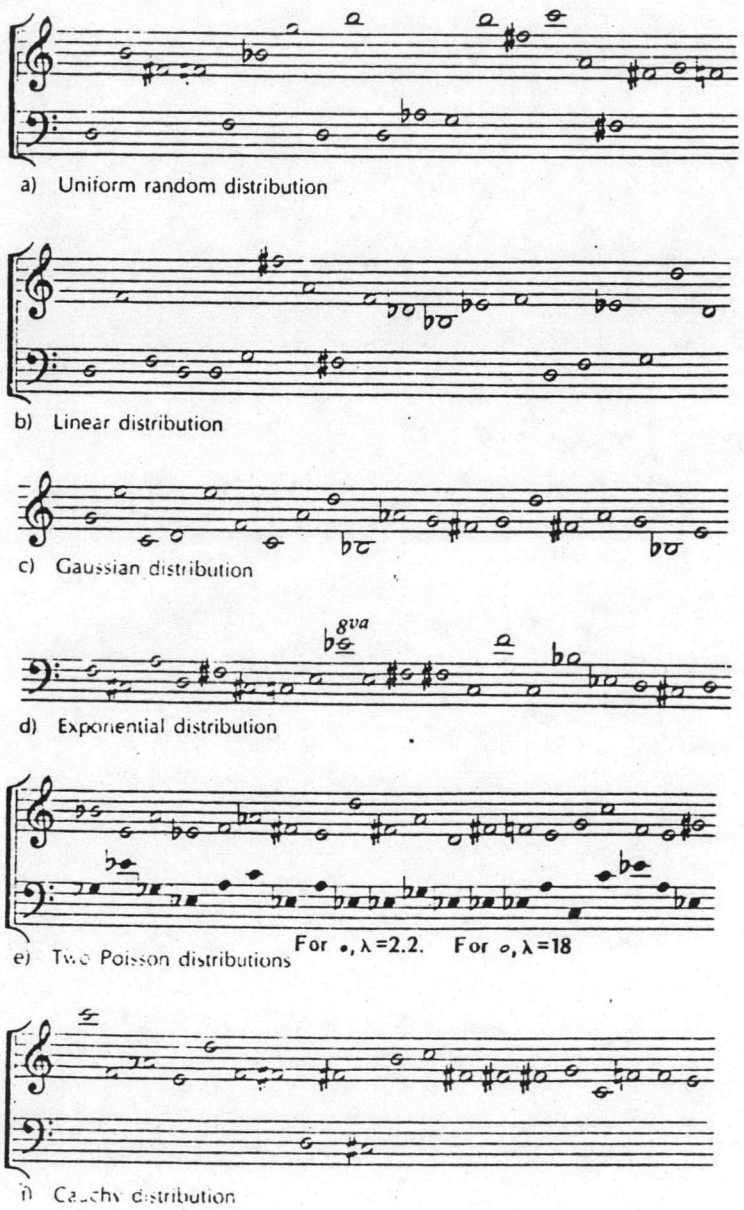
ภาพที่ 2.15 แสดงฟังก์ชันความหนาแน่นของการกระจายแบบปัวซอง




ภาพที่ 2.16 แสดงอัลกอริทึมสำหรับกระบวนการสุ่มที่มีการกระจายของความน่าจะเป็นในรูปแบบต่าง ๆ และตัวอย่างของการใช้การกระจายความน่าจะเป็นแบบต่าง ๆ ในการสร้างแนวทำนองแสดงได้ดังภาพที่ 2.17 (6:279)

ภาพที่ 2.16 แสดงโปรแกรมสำหรับกระบวนการสุ่ม
ที่มีลักษณะการกระจายของความน่าจะเป็นในรูปแบบต่าง ๆ

```
      FUNCTION XLNEAR(KDUMMY)
C  THE ARGUMENT KDUMMY HAS NO MEANING.
      U1=RAND(0)
      U2=RAND(0)
      IF(U2.LT.U1) U1=U2
C  U1 NOW CONTAINS THE SMALLER NUMBER.
      XLNEAR=U1
      RETURN
      END



      FUNCTION GAUSS(SIGMA,XMU)
C  SIGMA AND XMU ARE THE STANDARD DEVIATION AND MEAN, RESPECTIVELY.
      N=12
C  N IS THE NUMBER OF RANDOM NUMBERS USED IN THE CALCULATION.
      XNOVR2=6.0
C  XNOVR2 IS N/2.
      SCALE=1.0
C  SCALE VARIES WITH N AS:  SCALE=1/(SQRT(N/12))
      SUM=0.0
      DO 20 K=1,N
      SUM=SUM+RAND(0)
20    CONTINUE
      GAUSS=SIGMA*SCALE*(SUM-XNOVR2)+XMU
      RETURN
      END



      FUNCTION EXPONE(XLMBDA)
C  XLMBDA IS THE PARAMETER LAMBDA.  IT MUST BE > ZERO.
22    U=RAND(0)/XLMBDA
      IF(U.EQ.0.)GO TO 22
      EXPONE=-ALOG(U)
      RETURN
      END



      FUNCTION KPOISS(XLMBDA)
C  RETURNS A NON-NEGATIVE INTEGER VALUE.
C  XLMBDA IS THE CONTROL PARAMETER LAMBDA.  IT MUST BE > 0.
      N=0
      U=RAND(0)
      V=EXP(-XLMBDA)
90    IF(U.LT.V) GOTO 100
      N=N+1
      U=U*RAND(0)
      GOTO 90
100   KPOISS=N
      RETURN
      END



      FUNCTION CAUCHY(ALPHA)
C  ALPHA IS THE SCALING PARAMETER
      S=3.1415927
C  S=PI
22    U=RAND(0)
      IF(U.EQ.0.5)GO TO 22
      U=U*S
      CAUCHY=ALPHA*TAN(U)
      RETURN
      END
```

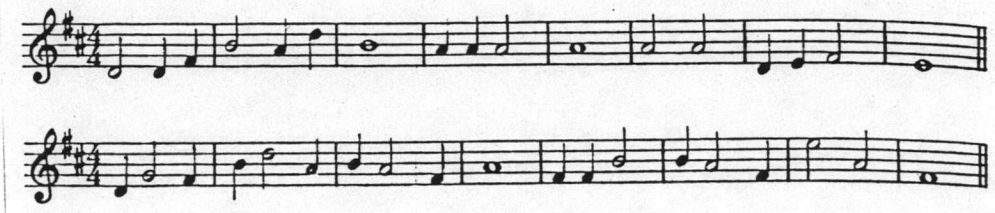
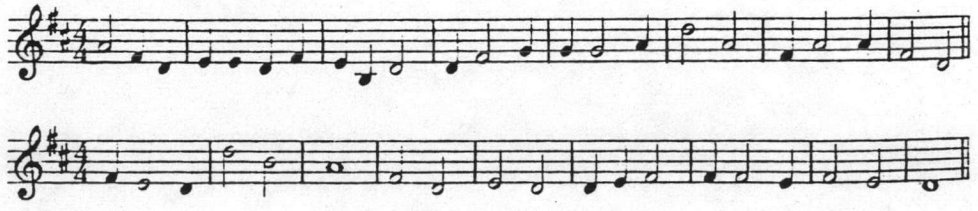
ภาพที่ 2.17 แสดงตัวอย่างของการใช้
การกระจายของความน่าจะเป็นแบบต่าง ๆ ในการสร้างแนวทำนอง

ในกรณีที่ ฟังก์ชันการกระจายของความน่าจะเป็นแบบต่อเนื่อง ถูกใช้ในการสุ่มตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่องที่เป็นผลลัพธ์จากการสุ่ม สามารถเปลี่ยนให้เป็นตัวแปรสุ่มแบบไม่ต่อเนื่องได้ ซึ่งในการนี้ทำได้โดย การโยงค่า (Map) ตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่องไปยังช่วงที่เหมาะสม แล้วใช้ฟังก์ชัน INT เปลี่ยนให้ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าเป็นจำนวนเต็ม ซึ่งจะเป็นค่าแบบไม่ต่อเนื่อง ความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มแบบไม่ต่อเนื่อง จะให้กราฟรูปร่างเดียวกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่อง (6:278)

2. <u>กระบวนการสุ่มที่มีลักษณะขึ้นต่อกัน</u> (Random processes with dependent observations)

ในกระบวนการสุ่มประเภทนี้ ค่าที่ได้จากการสุ่มครั้งก่อน ๆ จะมีผลกระทบ หรือมีอิทธิพลต่อผลลัพธ์ในการสุ่มครั้งปัจจุบัน วิธีการที่ใช้ในเชิงปฏิบัติ เพื่อให้ได้มาซึ่งกระบวนการสุ่มประเภทนี้ จะนำเสนอ 2 วิธี ดังนี้

2.1 <u>การใช้ตารางความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข</u> (Conditional Probability Tables) (6:283-288;2:236;8:1164-1166)

ได้มีการทดลองนำความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขมาใช้ในการวิเคราะห์เพลงของสตีเฟน ฟอสเตอร์ (Stephen Foster) โดยออลเซ็น (Harry F.Olson) ได้ทำการทดลองนำเพลงของฟอสเตอร์เป็นจำนวน 11 เพลง ซึ่งเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย มาทำการวิเคราะห์เชิงสถิติ เพื่อคำนวณหาความน่าจะเป็นของการใช้โน้ตต่าง ๆ ในเพลงของเขา ความน่าจะเป็นที่เขาใช้เป็นความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข กล่าวคือ นอกจากจะมีการคำนวณหาความน่าจะเป็นในการเกิดโน้ตเดี่ยว ๆ ตัวหนึ่งตัวใดแล้ว ยังมีการคำนวณหา ความน่าจะเป็นที่โน้ต 2 ตัวใด ๆ จะเกิดขึ้นติดต่อกันด้วย ความน่าจะเป็นดังกล่าวเรียกว่า ความน่าจะเป็นของการเกิดโน้ต 2 ตัวใด ๆ (Dinote Probability) นอกจากนี้ งานที่มีความสลับซับซ้อนเพิ่มขึ้นไปอีกก็คือ การเพิ่มจำนวนโน้ตที่จะพิจารณาในการหาความน่าจะเป็น ซึ่งในที่นี้ ได้มีการคำนวณหาความน่าจะเป็นของการเกิดโน้ต 3 ตัวใด ๆ ติดต่อกัน วิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติดังกล่าวไม่เพียงแต่สามารถใช้กับโน้ตเท่านั้น ยังสามารถนำไปดัดแปลงเพื่อใช้กับจังหวะ เพื่อคำนวณหา

ความน่าจะเป็นของการเกิดรูปแบบของจังหวะในลักษณะต่าง ๆ ได้อีกด้วย ตารางที่ 2.3, 2.4 และ 2.5 แสดงผลจากการวิเคราะห์ดังกล่าว ตั้งแต่ระดับการเกิดโน้ตเดี่ยว จนถึงการเกิดโน้ต 3 ตัวติดกัน ตารางที่ 2.6 แสดงผลจากการวิเคราะห์การใช้รูปแบบของจังหวะ โดยอาศัยข้อมูลจากตารางดังกล่าว ทดลองให้คอมพิวเตอร์สร้างแนวทำนองขึ้น ปรากฏผลดังภาพที่ 2.18 และ 2.19

ภาพที่ 2.18 แสดงผลการสร้างแนวทำนอง
ซึ่งได้โครงจังหวะมาจากตารางที่ 2.6 และได้ระดับเสียงจากตารางที่ 2.4

ภาพที่ 2.19 แสดงผลการสร้างแนวทำนอง
ซึ่งได้ระดับเสียงมาจากตารางที่ 2.4

| PITCH | PROBABILITY |
|---|---|
| B3 | .0047 |
| C'4 | .0490 |
| D4 | .1578 |
| E4 | .0708 |
| F'4 | .1035 |
| G4 | .0626 |
| G'4 | .0463 |
| A4 | .1824 |
| B4 | .1143 |
| C'5 | .0789 |
| D5 | .0816 |
| E5 | .0481 |

ตารางที่ 2.3 แสดงความน่าจะเป็นสัมพัทธ์ของการเกิดโน้ตเดี่ยว
ในเพลงทั้ง 11 ของฟอสเตอร์ วิเคราะห์โดยออลเซ็น

| NEXT PITCH \ LAST PITCH | B3 | C'4 | D4 | E4 | F'4 | G4 | G'4 | A4 | B4 | C'5 | D5 | E5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B3 | 0 | 0 | .0625 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C'4 | 0 | 0 | .0625 | .0625 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D4 | 1 | 1 | .1250 | .3750 | .1250 | 0 | 0 | .0625 | .0625 | 0 | 0 | 0 |
| E4 | 0 | 0 | .3125 | .1875 | .2500 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F'4 | 0 | 0 | .1875 | .2500 | .3125 | .2500 | 0 | .3125 | .0625 | 0 | 0 | 0 |
| G4 | 0 | 0 | .0625 | 0 | .1250 | .1875 | 0 | .0625 | .0625 | 0 | 0 | 0 |
| G'4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | .0625 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A4 | 0 | 0 | .0625 | .0625 | .1250 | .3750 | 1 | .2500 | .5625 | 0 | .2500 | .3750 |
| B4 | 0 | 0 | 0 | 0 | .0625 | .1875 | 0 | .1875 | .1250 | .5000 | .4375 | 0 |
| C'5 | 0 | 0 | .0625 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | .1875 | .6250 |
| D5 | 0 | 0 | .0625 | .0625 | 0 | 0 | 0 | .0625 | .1250 | .5000 | .0625 | 0 |
| E5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

ตารางที่ 2.4 แสดงความน่าจะเป็นสัมพัทธ์ของการเกิดโน้ตคู่ใด ๆ เพลงของฟอสเตอร์

ตารางที่ 2.5 แสดงความน่าจะเป็นสัมพัทธ์ของการเกิดโน้ต 3 ตัวใด ๆ ติดกัน ในเพลงของสตีเฟน ฟอสเตอร์

| PREVIOUS PAIR OF PITCHES | | NEXT PITCH | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | B3 | C'4 | D4 | E4 | F'4 | G4 | G'4 | A4 | B4 | C'5 | D5 | E5 |
| B3 | D4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C'4 | D4 | 0 | 0 | .3125 | .3750 | 0 | 0 | 0 | .3125 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D4 | B3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D4 | C'4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D4 | D4 | 0 | .1250 | .1250 | .5625 | .1250 | .0625 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D4 | E4 | 0 | 0 | .1875 | .2500 | .5000 | 0 | 0 | .0625 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D4 | F'4 | 0 | 0 | 0 | .4375 | .1875 | .1250 | 0 | .2500 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D4 | G4 | 0 | 0 | 0 | 0 | .6875 | 0 | 0 | 0 | .3125 | 0 | 0 | 0 |
| D4 | A4 | 0 | 0 | 0 | 0 | .2500 | 0 | 0 | .7500 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D4 | C'5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| D4 | D5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | .1250 | .6875 | .1875 | 0 | 0 |
| E4 | C'4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E4 | D4 | .0625 | 0 | .0625 | .2500 | .3125 | 0 | 0 | .0625 | 0 | .0625 | .1875 | 0 |
| E4 | E4 | 0 | .0625 | .7500 | .0625 | .1250 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E4 | F'4 | 0 | 0 | .0625 | .1875 | .3750 | .2500 | 0 | .0625 | .0625 | 0 | 0 | 0 |
| E4 | A4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | .8125 | .1875 | 0 | 0 | 0 |
| E4 | D5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| F'4 | D4 | 0 | 0 | 0 | .7500 | .1875 | .0625 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F'4 | E4 | 0 | .1250 | .4375 | .1875 | .1250 | 0 | 0 | .0625 | 0 | 0 | .0625 | 0 |
| F'4 | F'4 | 0 | 0 | .1875 | .2500 | .3750 | .1250 | 0 | .0625 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F'4 | G4 | 0 | 0 | 0 | 0 | .2500 | .1875 | 0 | .3750 | .1875 | 0 | 0 | 0 |
| F'4 | A4 | 0 | 0 | 0 | 0 | .1250 | 0 | 0 | .6250 | .1875 | 0 | .0625 | 0 |
| F'4 | B5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| G4 | F'4 | 0 | 0 | 0 | .5000 | 0 | .5000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| G4 | G4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | .5000 | 0 | .5000 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| G4 | A4 | 0 | 0 | .1250 | 0 | 0 | 0 | 0 | .6250 | 0 | 0 | .2500 | 0 |
| G4 | B4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| G'4 | A4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| A4 | D4 | 0 | 0 | 0 | .6875 | .3125 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A4 | F'4 | 0 | 0 | .3125 | .2500 | .1875 | .0625 | 0 | .1250 | .0625 | 0 | 0 | 0 |
| A4 | G4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A4 | G'4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| A4 | A4 | 0 | 0 | 0 | 0 | .2500 | .0625 | .0625 | .3125 | .3125 | 0 | 0 | 0 |
| A4 | B4 | 0 | 0 | .0625 | 0 | .0625 | 0 | 0 | .7500 | .0625 | 0 | .0625 | 0 |
| A4 | D5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | .3750 | .3125 | .1875 | .1250 | 0 |
| B4 | D4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| B4 | F'4 | 0 | 0 | 0 | .6875 | .3125 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| B4 | G4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| B4 | A4 | 0 | 0 | .0625 | 0 | .5625 | .0625 | 0 | .1250 | .0625 | 0 | .1250 | 0 |
| B4 | B4 | 0 | 0 | 0 | 0 | .1250 | 0 | 0 | .7500 | 0 | 0 | .1250 | 0 |
| B4 | D5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | .5625 | .1250 | .3125 | 0 | 0 |
| C'5 | B4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C'5 | D5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | .3750 | 0 | 0 | .6250 |
| D5 | A4 | 0 | 0 | 0 | 0 | .8750 | 0 | 0 | .1250 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D5 | B5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | .0625 | 0 | .3125 | .3750 | 0 | .2500 | 0 |
| D5 | C'5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | .7500 | 0 | .2500 | 0 |
| D5 | D5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| D5 | E5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | .3125 | 0 | .6875 | 0 | 0 |
| E5 | A4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E5 | C'5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |

ใหม่ 5 ธ.ค.

ตารางที่ 2.6 แสดงความน่าจะเป็นสัมพัทธ์ของการเกิดโครงจังหวะรูปแบบต่าง ๆ

| PATTERN | PROBABILITY |
|---|---|
| 𝅝 | .125 |
| 𝅗𝅥 𝅗𝅥 | .250 |
| ♩ ♩ ♩ ♩ | .125 |
| 𝅗𝅥 ♩ ♩ | .125 |
| ♩ ♩ 𝅗𝅥 | .125 |
| ♩ 𝅗𝅥 ♩ | .125 |
| 𝄽 | .125 |

## 2.2 การเดินแบบสุ่ม (Random Walks) (6:289)

ตัวอย่างที่เป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวาง คือกระบวนการของมาร์คอฟ (Markov) ซึ่งจะพิจารณาวิถีทางเดินในแต่ละก้าวของชายคนหนึ่ง บนบันไดซึ่งมีอยู่ทั้งหมด 3 ขั้น ด้วยการโยนเหรียญ ถ้าเหรียญออกหัวเขาจะก้าวขึ้น และถ้าเหรียญออกก้อยเขาจะก้าวลง กระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการปิด เนื่องจากมีขอบเขตของทางเดินอยู่แล้วว่า ไม่เกินบันได 3 ขั้นนี้เท่านั้น อัลกอริทึมในภาพที่ 2.20 จำลองกระบวนการเดินแบบสุ่มที่ได้อธิบายข้างต้น นักแต่งเพลงบางท่าน อาทิเช่น เทรซี่ ปีเตอร์เซ็น (Tracy Petersen) ได้ใช้กระบวนการเดินแบบสุ่มนี้ ในการกำหนดทางเดินของระดับเสียง (Pitch contour) โดยให้ขอบเขตของการเดินแปรเปลี่ยนไปตามเวลา

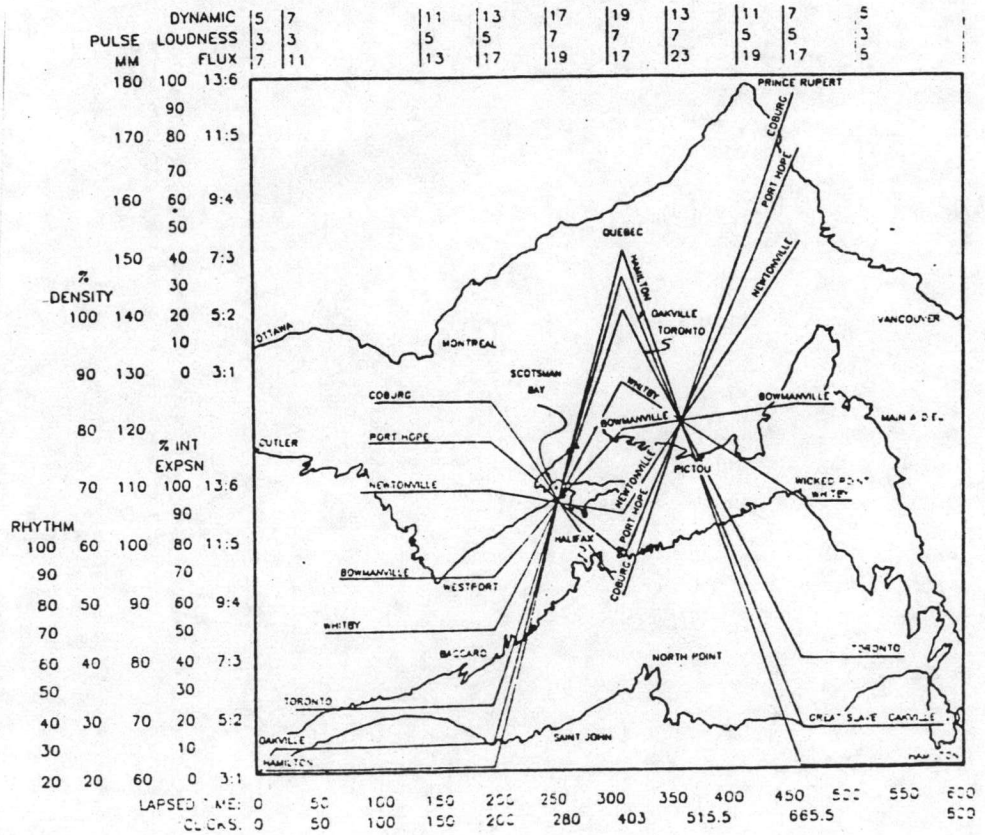
ภาพที่ 2.20 แสดงโปรแกรมที่จำลองกระบวนการเดินแบบสุ่ม

```
      FUNCTION IWALK(LAST)
C  THE ARGUMENT, LAST, IS THE PREVIOUS POSITION OF THE WALKER.
      I=1
      U=RAND(0)
      IF(U.LT..5) I=-1
      J=LAST+I
C  THE FOLLOWING TWO STATEMENTS TEST FOR THE UPPER AND LOWER
C  BOUNDARIES, RESPECTIVELY.
      IF(J.GT.4) J=3
      IF(J.LT.1) J=2
      IWALK=J
      RETURN
      END
```

## 2.3 การใช้กระบวนการทางธรรมชาติ (6:301-303)

ตั้งแต่ปี ค.ศ.1960 เป็นต้นมา ลาร์รี ออสติน (Larry Austin) ผู้เป็นนักแต่งเพลงในระดับแนวหน้าของสหรัฐอเมริกา ได้เริ่มใช้คอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์ช่วยเหลือทั้งในด้านการแต่งเพลงและในด้านการสังเคราะห์เสียง ในปี ค.ศ.1976 เขาได้ทดลองใช้กระบวนการทางธรรมชาติ ในการแต่งบางส่วนของผลงานชื่อ มารูนเบลส์ (Maroon Bells) โดยแนวทำนองบางส่วนของเพลง ดำเนินไปตามรูปแบบช่วงของภูเขา (Mountain range)

ภาพที่ 2.21 แสดงแผนผังที่ออสตินใช้ในการแต่งผลงานชื่อ แคเนเดียนโคสต์ไลน์



ต่อมาในปี ค.ศ. 1981 ออสตินได้ใช้คอมพิวเตอร์สร้าง (Generate) องค์ประกอบทางดนตรีหลายอย่าง เพื่อการแต่งเพลง และในที่สุดผลงานชื่อ แคเนเดียนโคสต์ไลน์ (Canadian Coastlines) ก็ออกสู่สายตาประชาชน โดยผ่านบริษัท Canadian -Broadcasting Corporation ในการสร้างองค์ประกอบทางดนตรีเหล่านั้น ออสตินอาศัยข้อมูลจากแผนภาพโครงสร้างชายฝั่งของประเทศแคนาดา แผนภาพดังกล่าวแสดงได้ในภาพที่ 2.21

ประโยชน์ของกระบวนการสุ่มในงานทางด้านดนตรีที่เห็นได้ชัดก็คือ (6:266) การใช้กระบวนการสุ่มในการเลือกองค์ประกอบต่าง ๆ ทางด้านดนตรี เพื่อใช้ในการแต่ง แต่อย่างไรก็ดี ในการใช้กระบวนการสุ่มวิธีการต่าง ๆ ในงานการแต่งเพลงนั้น ไม่ว่าจะใช้การสุ่มแบบใดก็ตาม ผลที่ได้จากการสุ่มมักไม่ได้นำมาทำการแปลให้เป็นดนตรีเลยโดยตรง แต่มักจะนำไปทำการตรวจสอบความเหมาะสมในเชิงดนตรีเสียก่อน การตรวจสอบดังกล่าวจะครอบคลุมช่วงของความเป็นไปได้อันกว้างขวาง นั่นคือผลลัพธ์จากกระบวนการสุ่มหนึ่ง ๆ จะสามารถก่อให้เกิดเป็นดนตรีรูปแบบต่าง ๆ มากมาย ภายใต้ลักษณะของการตรวจสอบแต่ละลักษณะ ดังนั้นจะสังเกตได้ว่า ดนตรีที่ได้จากการสุ่มนี้จะประสบผลสำเร็จมากน้อยเพียงใดนั้น จะได้รับผลกระทบอย่างมากจากเงื่อนไขหรือกฎเกณฑ์ในการตรวจสอบ ซึ่งควบคุมกระบวนการสุ่มนั้น ๆ อยู่

จากที่ได้กล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่า การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการแต่งแนวทำนองจำเป็นจะต้องมีกลุ่มของกฎเกณฑ์ ที่จะช่วยควบคุมให้ชุดของตัวเลขสุ่มที่ได้ก่อตัวขึ้นนั้น เป็นแนวทำนองที่มีความหมายในเชิงศิลปะ ในที่นี้ผู้วิจัยจะนำเสนอกฎเกณฑ์บางประการที่ใช้ในการควบคุมแนวทางการแต่งทำนอง เพื่อหลีกเลี่ยงการก่อให้เกิดแนวทำนองที่ไม่ต้องการ

<u>กฎเกณฑ์</u> (Rules)*

กฎเกณฑ์สำคัญที่ใช้ประกอบการแต่งแนวทำนอง ได้แก่

1. แนวทำนองควรขึ้นต้นด้วย โน้ตตัวแรกของบันไดเสียงที่เลือกใช้ และควรจบลงด้วยเสียงเดียวกัน

2. ในการเขียนแนวทำนองหนึ่ง ๆ ควรกำหนดช่วง (Range) ของระดับเสียงให้แน่นอน ว่าระดับเสียงต่ำสุดจะเป็นระดับเสียงใด และระดับเสียงสูงสุดเป็นระดับเสียงใด โดยช่วงดังกล่าว ไม่ควรอยู่ห่างกันเกิน 8 เสียงเต็ม
3. ในแนวทำนอง อาจมีการกระโดดข้ามของระดับเสียงได้ แต่ไม่ควรเกิน 4 เสียงเต็ม ยกเว้นในกรณีที่กระโดดข้ามไป 1 ออกเทฟหรือ 6 เสียงเต็มพอดี
4. ระหว่างระดับเสียง 2 ระดับเสียงใด ๆ ไม่ควรมีช่วงห่างระหว่างระดับเสียงเป็นแบบออกเมนเท็ด (Augmented) หรือดิมินิช (Diminished) และในกรณีที่แนวทำนอง ประกอบไปด้วย ระดับเสียงที่มีแนวทางเดินไปในทิศทางเดียวกันมากกว่า 3 ระดับเสียง ก็จะต้องพิจารณาตามกฎนี้ สำหรับระดับเสียงที่ 1 และ 3 ด้วยเช่นกัน

จากที่ได้บรรยายมาดังกล่าว พอจะสรุปได้ว่า ในการนำเอาคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการสร้างแนวทำนองนั้น จะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบพื้นฐานที่สำคัญ 4 ประการ คือ

1. บันไดเสียง (Scales) เป็นแหล่งที่เก็บของตัวโน้ตที่มีระดับเสียงต่าง ๆ กันไว้
2. จังหวะ (Rhythm) ทำหน้าที่กำหนดความยาวพื้นฐานให้กับตัวโน้ต และควบคุมจังหวะของแนวทำนอง

---

* กฎเกณฑ์เหล่านี้ อ้างอิงจากคำแนะนำของอาจารย์แมนรัตน์ ศรีกรานนท์

3. ลักษณะของกระบวนการสุ่ม (Random processes with various kinds of distribution) ใช้ในการสร้างองค์ประกอบทางดนตรีต่าง ๆ
4. กฎเกณฑ์ควบคุมการแต่งแนวทำนอง (Rules) ทำหน้าที่ควบคุมแนวทางการแต่งแนวทำนอง เพื่อหลีกเลี่ยงการก่อให้เกิดแนวทำนองที่ไม่ต้องการ