คาร์ลไฮนซ์ สต็อกเฮาเซ็น (Karlheinz Stockhausen, 1928–2007) กับการผสมผสาน musique concrète เข้ากับเสียงสังเคราะห์และอินทิกราลซีเรียลิสซึมในงาน Gesang der Junglinge (ตอนที่ 1)

บุญรัตน์ ศิริรัตนพันธ*

ภูมิหลัง

หลังจากสงครามโลกครั้งที่สองสิ้นสุดลง ถ้าไม่นับรวมญี่ปุ่นแล้ว ยุโรปกลายเป็นดินแดนที่บอบช้าสาหัสมากที่สุดเห็นจะเป็นผู้เริ่มก่อสงคราม นั่นคือเยอรมันนี ผลจากสงครามครั้งนี้นักคิดคนสำคัญในทุกสาขาอาชีพในยุโรปต่างรับผลกระทบไปโดยถ้วนหน้า ที่ประสบเคราะห์กรรมอย่างหนักน่าจะเป็นนักคิดเชื้อสายยิวท่านต่างๆ ที่พำนักอยู่ในเยอรมันนีและประเทศใกล้เคียง มีอัลเบิร์ต ไอน์สไตน์ เป็นตัวอย่างที่สำคัญยิ่งที่ต้องย้ายถิ่นฐานไปยังสหรัฐอเมริกา ทางด้านดนตรี อาร์โนลด์ เชิร์นแบร์ก ก็เป็นนักคิดคนสำคัญท่านหนึ่งที่ต้องลี้ภัยไปยังสหรัฐอเมริกาเนื่องเพราะมีเชื้อสายยิว และประพันธ์ดนตรี ที่พรรคนาซีเยอรมัน "ตัดสิน" ว่าเป็น "ดนตรีแบบบอลเชวิค"[1] และถือเป็นการทำลายวัฒนธรรมอันดีของดนตรี www.antonwebern.com)

ภายหลังจากสงครามนักคิดคนสำคัญของยุโรป หลายต่อหลายท่านจึงย้อนกลับมามองถึงประวัติศาสตร์ที่ผ่านมาว่าเกิดความผิดพลาดใดที่ทำให้เกิดสงครามครั้งที่ผ่านมา ในงานดนตรีก็เช่นกัน เกิดแนวความคิดอย่างใหม่ที่มองว่าดนตรีของ อันโตน เวเบิร์น *(Anton Webern, 1883-1945)* ซึ่งได้พัฒนาเทคนิคในการประพันธ์เพลงแบบซีเรียล ไปในทิศทางที่พ้นจากลักษณะภาษาแบบโรแมนติค กลุ่มคนที่หันกลับมามองดนตรีของเวเบิร์นเหล่านี้ได้ศึกษา วิเคราะห์งานดนตรีของเวเบิร์นและค้นพบว่าดนตรีของเวเบิร์นนั้น แม้จะมีรากฐานจากความคิดแบบประเพณีเพียงใดก็ตาม แต่ก็ไปพ้นขอบเขตที่คีตกวีรุ่นก่อนหน้าเคยไปมาแล้ว กล่าวคือดนตรีของเวเบิร์นมีลักษณะของทำนอง จังหวะ เสียงประสานที่แห้ง โล่ง เป็นจุด และพัฒนาระบบซีเรียลไปอย่างเต็มที่ อย่างไรก็ดี โอลิวิเยร์ เมสสิอัง *(Olivier Messiaen, 1908-1992)* มองว่าถ้าจะเติมเต็มสิ่งที่เวเบิร์นได้ปูทางเอาไว้ จำเป็นต้องให้เกิดการควบคุมองค์ประกอบพื้นฐานทางดนตรีอื่นที่นอกเหนือจากระดับเสียง *(pitch)*ด้วย ไม่ว่าจะใช้เทคนิคแบบซีเรียลหรือไม่ก็ตาม เมสสิอัง ทดลองแนวคิดนี้ในงานดนตรีที่มีชื่อว่า *Mode de valeur et d'intensitè* (1949) ซึ่งมีการควบคุมองค์ประกอบทางดนตรีอื่นๆ อย่างเช่นระดับความดัง-เบา *(dynamic)* การกระแทกของเสียง (attack) เป็นต้น ศิษย์สองท่านของเมสสิอังคือ สต็อกเฮาเซ็นและปิแอร์ บูเลซ์ *(Pierre Boulez, 1925-)* ได้พัฒนาแนวคิดดังกล่าวไปจนสุดโต่งเกิดเป็นแนวคิดที่เรียกว่า อินทิกราล ซีเรียลิสซึม (Integral Serialism)

---

* อาจารย์ประจำ มหาวิทยาลัยรังสิต

[1] มีนัยยะเปรียบดนตรีของสำนักเวียนนาที่สอง (Second Viennese School) เป็นดังพรรคบอลเชวิคของสหภาพโซเวียต

อินทิกราลซีเรียลิสซึม (integral serialism)

แนวคิดดังกล่าวนับเป็นแนวคิดที่ขุดรากถอนโคนการประพันธ์ดนตรีในแบบเก่าเกือบจะสมบูรณ์ เนื่องจากคีตกวีมีหน้าที่เลือกชุดของโน้ตทั้ง 12 ตัวมาจัดเรียงในตารางเมทริกซ์ แล้วเลือกเอาตัวแปรอีกสองถึงสามอย่าง ที่เหลือตัวงานดนตรีจะเกิดขึ้นเองโดยอัตโนมัติ ตัวอย่างที่มักจะถูกอ้างถึงเป็นประจำคือ งานชิ้นสำคัญอย่าง *Structure Ia*[2] ประพันธ์โดยบูเลซ์ในปี ค.ศ.1952 บูเลซ์ได้เลือกชุดของโน้ตโดยยืมมาจากงาน *Mode de valeur et d'intensitè* ของเมสสิอัง โน้ตทั้ง 12 คือ

Eb	D	A	Ab	G	F#	E	C#	C	Bb	F	B
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

จากนั้นบูเลซ์สร้างตารางเมทริกซ์ขึ้นมาจากโรวดังกล่าวแล้วแทนที่โน้ตต่างๆ ด้วยตัวเลขได้ผลดังตารางในตัวอย่างที่ 1 ด้านล่าง

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	8	4	5	6	11	1	9	12	3	7	10
3	4	1	2	8	9	10	5	6	7	12	11
4	5	2	8	9	12	3	6	11	1	10	7
5	6	8	9	2	10	4	11	7	2	3	1
6	11	9	12	10	3	5	7	1	8	4	2
7	1	10	3	4	5	11	2	8	12	6	9
8	9	5	6	11	7	2	12	10	4	1	3
9	12	6	11	7	1	8	10	3	5	2	4
10	3	7	1	2	8	12	4	5	11	9	6
11	7	12	10	3	4	6	1	2	9	5	8
12	10	11	7	1	2	9	3	4	6	8	5

ตัวอย่างที่ 1 *ตารางเมทริกซ์ I*

[2] งานชิ้นนี้มีสามกระบวนด้วยกันคือ Ia Ib และ Ic แต่ละกระบวนจะมุ่งเป้าไปในการพัฒนาองค์ประกอบทางดนตรีเป็นอย่างๆ ไป

บูเลซ์สร้างตารางที่สองขึ้นมาจากโรวที่พลิกกลับขั้นคู่ของโรวที่ 1 ในตารางเมทริกซ์ P ได้ผลเป็นโน้ต Eb E A Bb B C D F F# G# C# G ตามลำดับแล้วสร้างตารางเมทริกซ์ตัวเลขขึ้นมาอีกชุดเป็นตารางเมทริกซ์ I

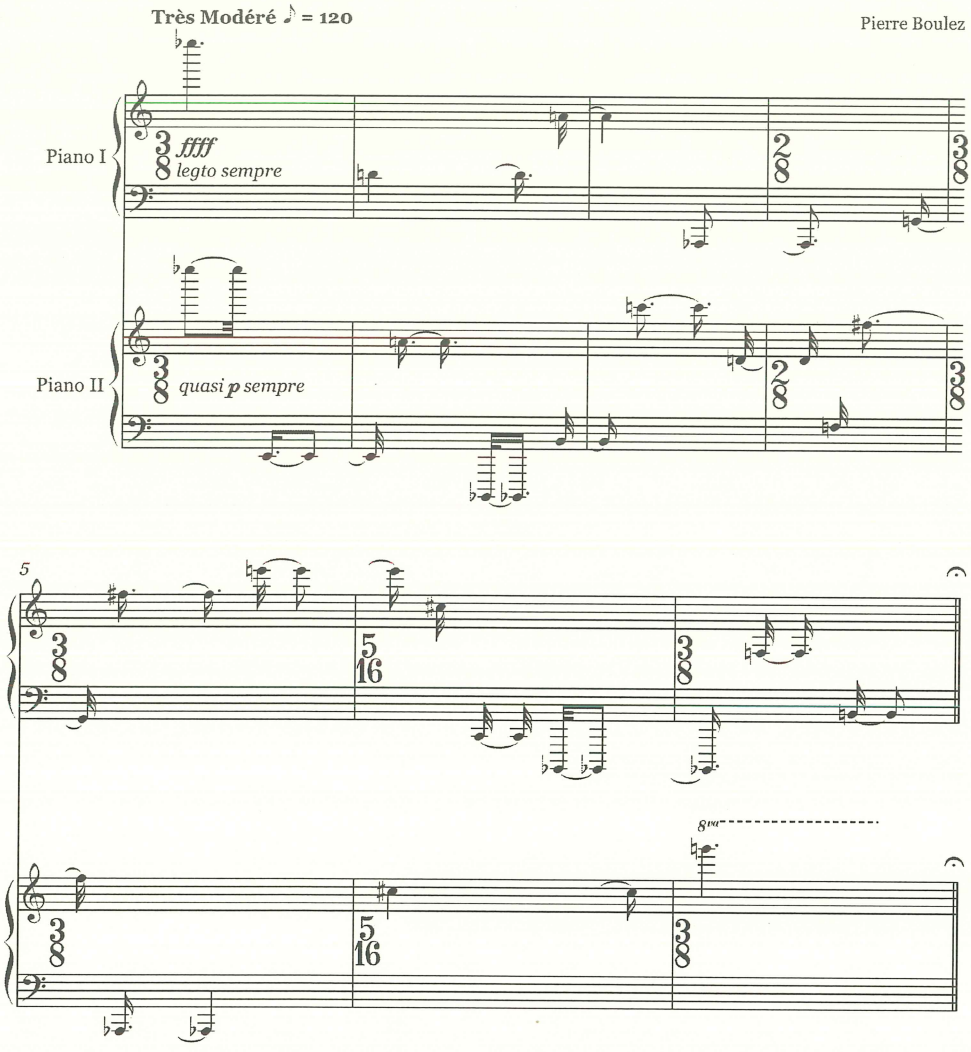
1	7	3	10	12	9	2	11	6	4	8	5
7	11	10	12	9	8	1	6	5	3	2	4
3	10	1	7	11	6	4	12	9	2	5	8
10	12	7	11	6	5	3	9	8	1	4	2
12	9	11	6	5	4	10	8	2	7	3	1
9	8	6	5	4	3	12	2	1	11	10	7
2	1	4	3	10	12	8	7	11	5	9	6
11	6	12	9	8	2	7	5	4	10	1	3
6	5	9	8	2	1	11	4	3	12	7	10
4	3	2	1	7	11	5	10	12	8	6	9
8	2	5	4	3	10	9	1	7	6	12	11
5	4	8	2	1	7	6	3	10	9	11	12

ตัวอย่างที่ 2 *ตารางเมทริกซ์ P*

จากนั้นบูเลซ์กำหนดให้โรวทั้ง 12 ของแต่ละตารางเมทริกซ์ (ทั้งขาไปและขากลับ) เป็นตัวสร้างความยาวของโน้ตทั้ง 576 ตัวในงานชิ้นนี้ (12 โน้ต x 48 โรว) โดยใช้ 1 เท่ากับโน้ตเขบ็ต 3 ชั้น ค่าของโน้ตตัวอื่น ๆ จึงเท่ากับนำเขบ็ตสามชั้นมาคูณด้วยตัวเลขในโรวตั้งแต่ 1-12 ดังนั้น 9 จึงเท่ากับ ตัวดำ 1 ตัว บวกด้วยตัวเขบ็ตสามชั้น 1 ตัวเป็นต้น ในตัวอย่างที่ 3 ด้านล่างบูเลซ์ใช้โรวสุดท้ายของตารางเมทริกซ์ I สร้างความยาวของโน้ตในเปียโนแนวที่ 1 ขณะที่เปียโนแนวที่สองใช้โรวสุดท้ายของเมทริกซ์ P โดยที่ใช้ทั้งสองโรวในแบบย้อนกลับ (retrograde) หรือ R

ในการกำหนดความดังเบา (dynamic) และอาร์ทิกูเลชัน (articulation) ของงานชิ้นนี้ บูเลซ์ได้ทำการจัดระดับขั้นของไดนามิคเป็น 12 ขั้นจาก *pppp* ไปจนถึง *ffff* และจัดลำดับโหมดของการกระแทกเสียง (modes of attack) ออกเป็น 10 โหมดด้วยกัน โดยในตัวงานให้แต่ละโรว (ทั้งระดับเสียงและความยาวโน้ต) มีระดับความดังเบาและวิธีการกระแทกเสียงเพียงอย่างเดียว เมื่อครบโรวแล้วจึงเปลี่ยนระดับความดังเบาและการกระแทกต่อไป ทั้งสององค์ประกอบนี้บูเลซ์เลือกใช้ตัวเลขในแนวทะแยงของ

ตารางเมทริกซ์ซึ่งพบว่า ขาดหมายเลข 4 และ 10 ไป ทำให้ไม่มีโหมดทั้งสองในโหมดของการกระแทก เมื่อสร้างกระบวนการที่กล่าวมาข้างต้นเรียบร้อยแล้ว จึงเริ่มทำการบันทึกโน้ตออกมาซึ่งทำให้ได้ผลดังตัวอย่างที่ 3



ตัวอย่างที่ 3 *บูเลซ์ : Structure Ia (1952) ห้องที่ 1-7*

มูสิค คอนแคร็ต (Musique concrète)

ราวปลายคริสตทศวรรษที่ 1940 ถึงต้น 1950 ปิแอร์ แชฟเฟร์ *(Pierre Schaeffer, 1910-1995)* ซึ่งเป็นนักจัดรายการวิทยุ ได้ทดลองปรับเปลี่ยนเสียงจากแผ่นเสียงเพื่อให้เกิดเสียงใหม่ ทั้งโดยการเพิ่ม-ลดความเร็วในการเล่น เล่นย้อนกลับ ฯลฯ วิธีการนี้ได้รับการพัฒนาเพิ่มขึ้นในเวลาต่อมา เมื่อมีแถบบันทึกเสียงเกิดขึ้น ตัวแชฟเฟร์เองได้ทดลองปรับเปลี่ยนหรือประกอบเสียงที่ได้จากการบันทึกเสียงจากสภาพแวดล้อมรอบตัว และประพันธ์เสียงเหล่านั้นขึ้นเป็นดนตรีโดยปราศจากการบันทึกโน้ต และเรียกวิธีการนี้ว่าเป็น "ดนตรีรูปธรรม" หรือ "มูสิค คอนแคร็ต" (musique concrète) เพราะนอกจากจะมีวัตถุดิบเป็นเสียงจริงๆ จากธรรมชาติแล้ว ยังไม่ต้องพึ่งการตีความจากนักดนตรีหลังจากการประพันธ์อีกด้วย ผู้ฟังจึงควรได้ยินเสียงที่เกิดจากการความตั้งใจของคีตกวีเองจริงๆ งานชิ้นแรกๆ ในกลุ่มนี้ก็คือ *ètude violette* (แบบฝึกสีม่วง) และ *tude aux chemin de fer* (แบบฝึกจากทางรถไฟ) แต่งานที่สำคัญจริงๆ เป็นงานที่แชฟเฟร์ร่วมกับ ปิแอร์ อองรี *(Pierre Henry, 1927-)* ชื่อว่า *Symphonie pour un homme seul (1950)* ซึ่งเป็นการประพันธ์เสียงที่บันทึกมาจากร่างกายของคนใน 12 กระบวน *(movement)*

ในปี ค.ศ. 1951 ตัวแชฟเฟร์เปิดห้องบันทึกเสียงมูสิคคอนแคร็ตของตน[3] ให้แก่คีตกวีรุ่นเยาว์ เพื่ออบรมวิธีการใช้เครื่องมือและวิธีคิดของตน ในจำนวนงานทั้งหลายที่เกิดขึ้นงานที่มีแนวโน้มที่จะใช้เทคนิคซีเรียลิสมากที่สุดก็คือ *ètude concrète* สองบทที่ประพันธ์ขึ้นโดยบูเลซ์นั่นเอง งานทั้งสองชิ้นมีลักษณะที่ค่อนข้างแตกต่างจากงานประเภทเดียวกันของสต็อกเฮาเซนคือ *Konkrete Etüde* ตรงที่งานของบูเลซ์นั้นจะประพันธ์โดยอิงตามลักษณะของวัตถุดิบที่บันทึกมา และจะจัดระบบเสียงเหล่านั้นตามตารางเมทริกซ์อีกที ในขณะที่สต็อกเฮาเซนมักจะเลือกเอาวัตถุดิบที่สามารถจะนำมาดัดแปลงได้โดยง่ายในภายหลัง ทั้งตัวสต็อกเฮาเซนเองก็ดัดแปลงองค์ประกอบของเสียงที่ได้มานั้นอย่างอิสระจากตัววัตถุดิบเดิมเต็มที่ นี่เป็นพื้นฐานของการสังเคราะห์เสียงในเวลาต่อมา

จุดเริ่มต้นของการสังเคราะห์เสียง (Synthesis)

ตัวสต็อกเฮาเซนพบว่าเสียงที่สามารถดัดแปลงได้โดยง่ายเหล่านี้กลายเป็นเสียงพื้นฐาน หรือเป็น "อะตอม" ของแทมเบรอะที่จะจะนำไปใช้ต่อไป "อะตอม" เหล่านี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ กับเทคนิคแบบซีเรียลิสได้อีกด้วย โดยเรียกว่าสามารถใช้ซีเรียลในการควบคุมแทมเบรอะได้เลยทีเดียว งานชิ้นแรกที่สต็อกเฮาเซนสร้างขึ้นจากแนวความคิดนี้ก็คือ *Study I (1953)* ซึ่งประพันธ์ขึ้นโดยแนวความคิดที่จะไม่ใช้ทั้งเสียงที่บันทึกมา จากธรรมชาติและจะไม่ใช้เสียงที่สร้างขึ้นจากเครื่องดนตรีไฟฟ้าที่มีอยู่ก่อนอย่างเช่น เทราโทเนียม (Trautonium) เธเรมิน (Theremin) หรือ องด์ส์ มาร์เตอโนต์ (Ondes Martenot) แต่จะใช้เครื่องกำเนิดเสียงหรือออสซิเลเตอร์ (Tone generator หรือ Oscillator) ในการสร้างซายน์เวฟ[4] ขึ้นมา จากนั้นจึง

---

[3] ตั้งอยู่ในสถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งชาติฝรั่งเศสหรือ Radio France

[4] sine wave เป็นคลื่นเสียงพื้นฐานที่มีลักษณะการเคลื่อนที่คงที่ และในกรณีที่สามารถสร้างซายน์เวฟบริสุทธิ์ได้ จะทำให้คลื่นเสียงชนิดนี้ปราศจากโอเวอร์โทนฮาร์โมนิค

นำซายน์เวฟในความถี่ต่าง ๆ ที่ได้มาบันทึกลงแถบบันทึกเสียง แล้วมาผสมเข้าด้วยกันจนเกิดเป็นเสียงใหม่ขึ้น งานชิ้นที่สร้างขึ้นในห้องบันทึกเสียงเยอรมันนีตะวันตก[5] นี้เปิดหนทางให้แก่ *Study II* (1953) ซึ่งเป็นงานที่ใช้กลุ่มเสียงของซายน์เวฟห้ากลุ่มจัดซ้อนกัน และยังเปิดหนทางให้แก่งานชิ้นสำคัญอย่าง *Gesang der Jünglinge* (1955-56) อีกด้วย

Gesang der Jünglinge กับการผสานมูสิคคอนแคร็ตและเสียงสังเคราะห์เข้าด้วยกัน

โดยปกติแล้วในงานของสต็อกเฮาเซนมักจะมีแนวความคิดใด ๆ เป็นแนวคิดหลักของเพลงอยู่เพียงแนวคิดเดียว ในงานชิ้นนี้ก็เช่นกัน ตัวสต็อกเฮาเซนเองหลังจากที่ทดลองกับเรื่องของซายน์เวฟมาจนได้งาน Study ทั้งสองชิ้นแล้วก็มองว่าน่าจะถึงเวลาที่จะผสานสิ่งใหม่เข้าไป นั่นก็คือเสียงร้องของคน ดังที่ท่านได้กล่าวเอาไว้เมื่อปี ค.ศ.1955 ในบทความ Aktuelles ความว่า

"...Als elementares Ausgangsmaterial brauchten wir bisher nur Sinustöne. Die neue Arbeit verbindet gesungene Sprache mit elektronishen Klängen..." *(Stockhausen, K., 1988: 51)*

หมายความว่า

"...เมื่อวัตถุดิบที่เราจำเป็นต้องใช้จริง ๆ ในขณะนี้ (หมายถึงปี ค.ศ. 1955-*ผู้เขียน*) มีแค่ซายน์เวฟเท่านั้น สิ่งที่ต้องทำต่อไปก็คือเชื่อมเสียงร้องที่มีภาษาเข้ากับเสียงไฟฟ้า..."

และ

"...Die Verbindung der gegebenen Laute mit komponierten elektronischen Klängen soll ganznatürlich sein. Das kann nur geschehen, wenn die gesungenen Sprachlaute durch ein künstliches Verfahren objektiviert und in die Natur der elektronischen Klangwelt eingeschmolzen werden." (เล่มเดียวกัน, หน้าเดียวกัน)

หมายความว่า

"...การเชื่อมเสียงที่มีอยู่ให้เข้ากับเสียงที่ถูกสร้างขึ้นมาควรจะต้องเป็นธรรมชาติมากที่สุด ซึ่งจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อเสียงร้องนั้นได้รับการปรุงแต่งและหลอมรวมเข้าไปในโลกแห่งเสียงไฟฟ้าแล้ว..."

ในการหลอมรวมดังกล่าว สต็อกเฮาเซนประยุกต์เอาวิธีที่ได้จากการสร้างงานอย่าง *Study II* มาใช้ นั่นคือการสร้างเสียงที่มีลักษณะ "ไม่คงที่"[6] ซึ่งเป็นเสียงที่ใกล้เคียงเสียงในธรรมชาติ โดยแยกแยะตัวแปรในการควบคุมเสียงออกมา ตัวแปรเหล่านี้ในปัจจุบันนักดนตรีไฟฟ้าอาจเรียกว่าเอนเวลโลป (envelope) หรือ

---

[5] Wesdeutscher Rundfunk อยู่ในเมืองโคโลญ

[6] ถอดความมาจากคำภาษาอังกฤษว่า nonstationary (Licata, T., 2002, 2)

โมดูเลเตอร์ (modulator) แต่ในช่วงแรกเรียกสิ่งเหล่านี้ว่า attack sustain และ decay[7] ผู้บุกเบิกทางด้านดนตรีอิเล็คโทรอคูสติค ฟริทซ์ วิงเคล *(Fritz Winckel, 1907-2000)* บรรยายถึงขั้นตอนต่างๆ ของตัวแปรดังนี้

แอทแทก (attack) คือการที่เหตุการณ์ใดๆ เกิดขึ้นในการสั่นของเสียง

ซัสเทน (sustain) คือการที่พาร์เชียลทั้งหลายของเสียงทำปฏิกิริยาต่อกัน และแปลงคุณลักษณะของเสียงในทุกขณะ

และสุดท้าย **ดีเคย์ (decay)** คือการที่แทมเบรอะค่อยๆ ถูกทำลายกระทั่งถูกลดทอนลงเป็นองค์ประกอบบางอย่างและค่อยๆ หายไปในที่สุด" *(Licata,T., 2002, 2)*

เมื่อตัดเอาซัสเทนซึ่งอาจต้องการคำอธิบายเพิ่มเติมมากกว่านี้ออกไป ที่เหลือเราจะสามารถจัดกลุ่มของทิศทางของเสียงขั้นพื้นฐานที่เกิดขึ้นได้ 4 ชนิดคือ

1

2

3

4

ซึ่งก็คือการเคลื่อนที่ของเสียงจากสูงไปต่ำ (1) ต่ำไปสูง (2) แบบที่ 1 และ 2 ผสมกัน (3) และแบบสุดท้ายกลับด้าน (4) ในการประพันธ์สต็อกเฮาเซนนำเอารูปแบบการเคลื่อนที่ทั้ง 4 มาประกอบและซ้อนกันในรูปแบบต่างๆ ที่ซับซ้อนมากขึ้น และสามารถนำไปใช้ในการจัดการองค์ประกอบอื่นๆ ของดนตรี นอกเหนือจากระดับเสียงเช่นเดียวกับที่บูเลซ์ได้พัฒนาไปใน *Stucture Ia* ที่ได้แสดงวิธีการไปในช่วงก่อนหน้านี้ จนทำให้มีความหลากหลายของเสียงเป็นอย่างยิ่ง

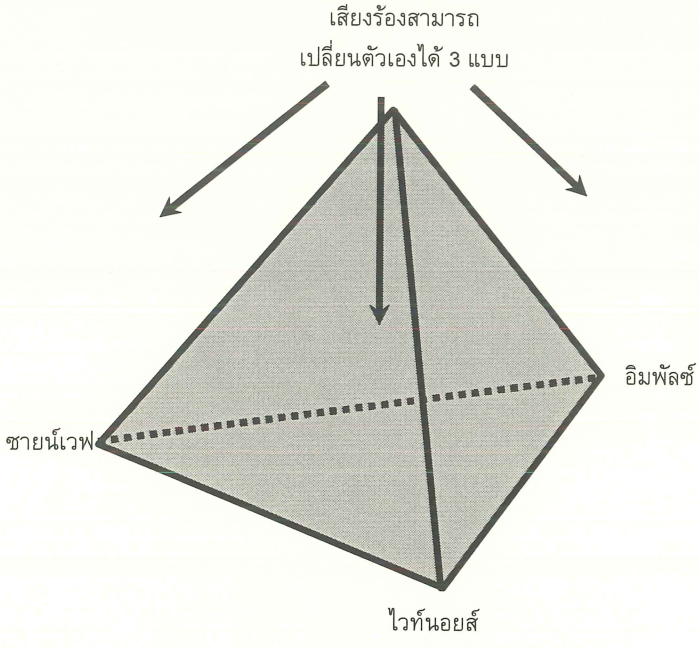
ซายน์เวฟและไวท์นอยส์ (white noise) เป็นเสมือนขั้วตรงข้ามของเสียง โดยมองจากมุมของระดับเสียง กล่าวคือตัวซายน์เวฟมีคลื่นเสียงเพียงความถี่เดียวที่เกิดขึ้นและคงที่อยู่อย่างนั้น ในขณะที่ไวท์นอยส์ประกอบไปด้วยทุกย่านความถี่ในย่านความถี่ที่กำหนดไว้แต่ก็คงที่อยู่อย่างนั้นเช่นกัน แต่ในแง่ของความยาวเสียงแล้ว สต็อกเฮาเซนมองว่าตัวคลื่นเสียงทั้งสองมีลักษณะคงที่เช่นเดียวกัน ไม่เหมือนกับอิมพัลซ์เวฟ

---

[7] ทั้งสามกลายมาเป็นตัวแปรสำคัญในเอนเวลโลปแบบคลาสสิคที่พบได้ในอนาล็อคซินธิไซเซอร์ ที่ขาดไปก็คือ รีลิส (release)

(im-pulse)[8]ที่มีลักษณะกึ่งกลางระหว่างซายน์เวฟและไวท์นอยส์ถ้ามองในแง่ของความถี่ของเสียง แต่ตัวคลื่นนี้มีดีเคย์ ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับเสียงเพอร์คัสชันในธรรมชาติ ทั้งสามประกอบกันขึ้นเป็นรูปสามเหลี่ยมของคุณลักษณะของแทมเบรอะซึ่งสต็อกเฮาเซนใช้เป็นเสมือนแผนที่ของเสียงที่ท่านจะเดินทางไป

เสียงร้องถูกมองว่าเป็นเครื่องมือที่มีส่วนประกอบของทั้งสามคลื่นเสียงที่กล่าวไปแล้ว เพราะเสียงร้องโดยเฉพาะเสียงสระนั้นก่อให้เกิดคุณลักษณะเฉกเช่นการซ้อนกันของซายน์เวฟ เสียงที่เกิดจากการกระแทกในช่องปากหรือเสียงที่ลอดตามไรฟันออกมามีลักษณะเหมือนนอยส์ที่ผ่านฟิลเตอร์ (filter)[9] เสียงที่เกิดการออกเสียงจากริมฝีปากและไรฟันแต่ลดระดับความดังอย่างรวดเร็วก็มีลักษณะเหมือนกับอิมพัลซ์นั่นเอง ด้วยคุณลักษณะดังกล่าวเราอาจสร้างภาพกราฟฟิคขึ้นมาเพื่อให้เห็นภาพชัดเจนมากขึ้นดังตัวอย่างที่ 4 ด้านล่าง



ตัวอย่างที่ 4

เททราเฮดรอน (tetrahedron) แสดงความสัมพันธ์ของวัตถุดิบชนิดต่างๆ ของเพลง Gesang der Jünglinge

ในตอนที่สองผู้เขียนจะนำเสนอรายละเอียดในการสร้างแต่ละองค์ประกอบต่างๆ เทคนิควิธีการแบบซีเรียลที่ถูกใช้ในงานชิ้นนี้ พร้อมทั้งโครงสร้างและเนื้อหาโดยรวมของงานชิ้นนี้

---

[8] ในปัจจุบัน โดยมาตรฐานจะเรียกคลื่นเสียงชนิดนี้เป็นสองชื่อว่า สแควร์เวฟ (square wave) และซอว์ทูธเวฟ (sawtooth wave) แต่ในบทความนี้น่าจะหมายถึงอย่างหลังมากกว่า เพราะคุณลักษณะของตัวซอว์ทูธเวฟเอง

[9] เครื่องมือที่ใช้ในการกรองหรือตัดย่านความถี่

บรรณานุกรม

Stockhausen, K. (1988). **Texte zu eigenen Werken zur Kunst Anderer Aktuelles Band 2.** Köln: DuMont Buchverlag.

Stolba, K. M.(1998). **The Development of Western Music (3rd Ed.).** USA: The McGraw-Hill Company, Inc.

Licata. T., Decroupet P. & Ungeheuer E. (2002). **Through the Sensory Looking-Glass: The Aesthetic and Serial Foundations of Gesang der Jünglinge.** Electroacoustic Music. page 1-39. Connecticut: Greenwood Press.

Kostka, S. (1999): **Materials and techniques of Twentieth-Century Music.** New Jersey: Prentice Hall, Inc.

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

Prendergast, M. (2000): **The Ambient Century.** New York: Bloomsbury Publishing.

Wikipedia. (n.d.). Musique concrète [online]. available: http://en.wikipedia.org/wiki/Musique_concrète. [2008, 18 May].

Wikipedia. (n.d.). Fritz Winckel [online]. available: http://en.wikipedia.org/wiki/Fritz_Winckel. [2008, 18 May].

Wikipedia. (n.d.). Pierre Schaeffer [online]. available: http://en.wikipedia.org/wiki/Pierre_Schaeffer. [2008, 18 May]

Wikipedia. (n.d.). Gesang der Jünglinge [online]. available: http://en.wikipedia.org/wiki/Gesang_der_Jünglinge. [2008, 17 May]