

บทที่ 4

ผลการทดลอง และอภิปรายผลการทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์เสียงขลุ่ยเพียงออ

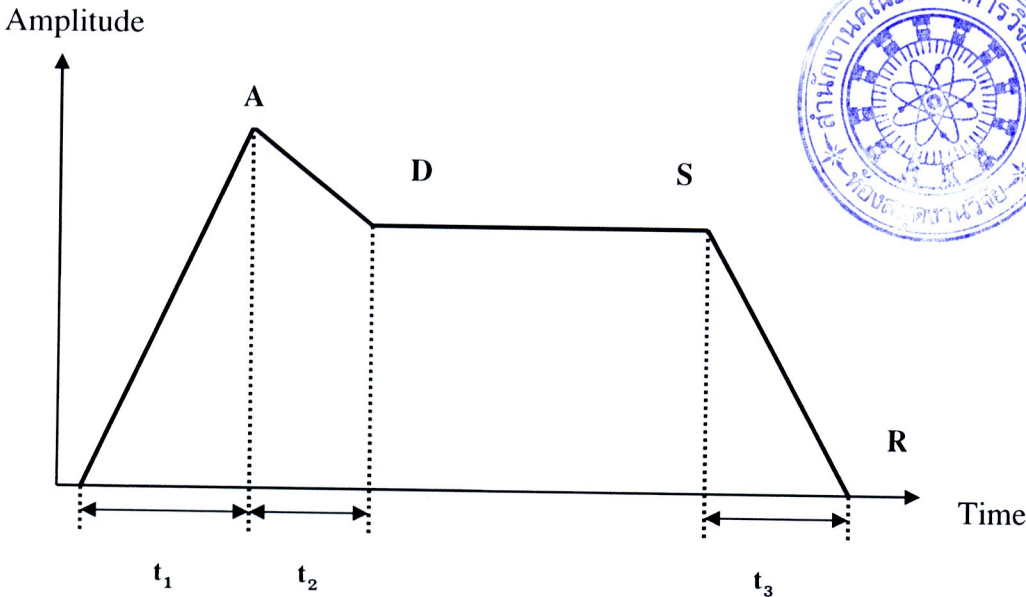
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์เสียงขลุ่ยเพียงออต้นฉบับโดยใช้ฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังด้วยกรรมวิธีของเวลช์ โดยจะใช้ในการเปรียบเทียบกับความถี่โดดเด่นของผลตอบสนองเชิงความถี่ของแบบจำลองตัวกำทอนสำหรับขลุ่ยเพียงออ ซึ่งจะใช้ในการวัดคุณภาพของแบบจำลองต่อไปในหัวข้อ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงความถี่ของเสียงขลุ่ยเพียงออ

ความถี่ (เฮิร์ตซ์) โน้ตเสียง	ความถี่มูลฐาน	ความถี่ฮาร์โมนิกที่ 2	ความถี่ฮาร์โมนิกที่ 3	ความถี่ฮาร์โมนิกที่ 4	ความถี่ฮาร์โมนิกที่ 5
โดต่ำ	463	920.5	1,384	1,846	2,309
เร	522.2	1,044	1,567	-	2,606
มี	576	1,147	1,723	-	2,875
ฟา	635.2	1,265	1,895	-	3,165
ซอล	694.4	1,389	2,078	-	3,467
ลา	759	1,518	2,283	3,042	3,801
ที	845.2	1,690	2,536	-	4,226
โดสูง	925.9	1,846	2,767	3,698	4,613

ซึ่งรูปสัญญาณเสียงขลุ่ยเพียงออต้นฉบับทั้งหมดพร้อมทั้งการคำนวณสเปกตรัมกำลังโดยกรรมวิธีของเวลช์จะแสดงในภาคผนวก ก.

4.2 แบบจำลองขอบของสัญญาณเสียงขลุ่ยเพียงออ



ภาพที่ 4.1 แบบจำลองขอบของสัญญาณเสียง

ตารางที่ 4.2 เวลาในแต่ละช่วงของแบบจำลองสัญญาณเสียงขลุ่ยเพียงออ

โน้ต	ค่าเฉลี่ย t_1 (วินาที)	ค่าเฉลี่ย t_2 (วินาที)	ค่าเฉลี่ย t_3 (วินาที)
โดต่ำ	0.2220	0.1027	0.2376
เร	0.1499	0.1251	0.1805
มี	0.1593	0.0935	0.3014
ฟา	0.0592	0.0473	0.2542
ซอล	0.0758	0.0460	0.2333
ลา	0.2735	0.0698	0.1594
ที	0.0749	0.1319	0.1571
โดสูง	0.0800	0.0307	0.1723

ตารางที่ 4.3 แอมพลิจูด ณ จุด A และ จุด D

โน้ต	แอมพลิจูดเฉลี่ย จุด A	แอมพลิจูดเฉลี่ย จุด D	เปอร์เซ็นต์การลดทอน
โดต่ำ	0.83	0.74	10.84
เร	0.86	0.74	13.95
มี	0.84	0.71	15.48
ฟา	1.00	0.60	40.00
ซอล	1.00	0.51	49.00
ลา	0.80	0.61	23.75
ที	0.90	0.61	32.22
โดสูง	0.92	0.70	23.91

จากตารางที่ 4.2 และ 4.3 สามารถนำข้อมูลไปสร้างแบบจำลองขอบของสัญญาณเสียง
ขลุ่ยเพียงออเพื่อใช้ในการสร้างเสียงสังเคราะห์ในหัวข้อถัดไป

4.3 ผลการประเมินคุณภาพแบบจำลองตัวกำทอนและผลการสังเคราะห์เสียงขลุ่ย
เพียงออโดยใช้การประมาณค่าเชิงเส้น

ตารางที่ 4.4-4.11 เป็นการเปรียบเทียบองค์ประกอบเชิงความถี่ของสัญญาณเสียงขลุ่ย
เพียงออกับความถี่โดดเด่นของผลตอบสนองเชิงความถี่ของแบบจำลองที่สร้างด้วยสัมประสิทธิ์
การประมาณค่าเชิงเส้นจากเสียงโดต่ำจนถึงเสียงโดสูง โดยวัดคุณภาพของแบบจำลองด้วยผลรวม
ความผิดพลาดกำลังสอง (Sum Square Error – SSE) ซึ่งคำนวณได้จากผลรวมของผลต่าง
ระหว่างองค์ประกอบเชิงความถี่ของสัญญาณเสียงต้นฉบับกับความถี่โดดเด่นของผลตอบสนองเชิง
ความถี่ที่ได้จากแบบจำลองตัวกำทอนยกกำลังสอง

ตารางที่ 4.4 ผลการจำลองตัวกำหนดโดยใช้การประมาณเชิงเส้นของเสียงโดต้า

อันดับที่	ความถี่ที่ 1	ความถี่ที่ 2	ความถี่ที่ 3	ความถี่ที่ 4	ความถี่ที่ 5	SSE
200	463	923.2	1,386	1,836	2,307	115.29
250	460.3	923.2	1,389	1,822	2,304	633.29
300	460.3	923.2	1,386	1,838	2,307	79.29
350	460.3	923.2	1,386	1,841	2,309	43.58
400	460.3	923.2	1,386	1,841	2,307	47.58

ตารางที่ 4.5 ผลการจำลองตัวกำหนดโดยใช้การประมาณเชิงเส้นของเสียงเร

อันดับที่	ความถี่ที่ 1	ความถี่ที่ 2	ความถี่ที่ 3	ความถี่ที่ 4	ความถี่ที่ 5	SSE
200	522.2	1,044	1,564	-	2,616	109
250	522.2	1,044	1,564	-	2,614	73
300	522.2	1,044	1,564	-	2,611	34
350	522.2	1,044	1,564	-	2,608	13
400	522.2	1,044	1,564	-	2,608	13

ตารางที่ 4.6 ผลการจำลองตัวกำหนดโดยใช้การประมาณเชิงเส้นของเสียงมี

อันดับที่	ความถี่ที่ 1	ความถี่ที่ 2	ความถี่ที่ 3	ความถี่ที่ 4	ความถี่ที่ 5	SSE
200	576	1,152	1,731	-	2,910	1,314
250	576	1,152	1,728	-	2,896	491
300	576	1,149	1,725	-	2,880	33
350	576	1,152	1,725	-	2,875	29
400	576	1,152	1,725	-	2,877	33

ตารางที่ 4.7 ผลการจำลองตัวกำหนดโดยใช้การประมาณเชิงเส้นของเสียงฟา

อันดับที่	ความถี่ที่ 1	ความถี่ที่ 2	ความถี่ที่ 3	ความถี่ที่ 4	ความถี่ที่ 5	SSE
200	635.2	1,265	1,898	-	3,165	9
250	635.2	1,265	1,900	-	3,165	25
300	635.2	1,268	1,900	-	3,165	34
350	635.2	1,268	1,900	-	3,165	34
400	635.2	1,265	1,900	-	3,165	25

ตารางที่ 4.8 ผลการจำลองตัวกำหนดโดยใช้การประมาณเชิงเส้นของเสียงซอล

อันดับที่	ความถี่ที่ 1	ความถี่ที่ 2	ความถี่ที่ 3	ความถี่ที่ 4	ความถี่ที่ 5	SSE
200	691.8	1,389	2,081	-	3,464	24.76
250	691.8	1,389	2,081	-	3,464	24.76
300	691.8	1,389	2,081	-	3,467	15.76
350	691.8	1,389	2,081	-	3,467	15.76
400	691.8	1,389	2,081	-	3,467	15.76

ตารางที่ 4.9 ผลการจำลองตัวกำหนดโดยใช้การประมาณเชิงเส้นของเสียงลา

อันดับที่	ความถี่ที่ 1	ความถี่ที่ 2	ความถี่ที่ 3	ความถี่ที่ 4	ความถี่ที่ 5	SSE
200	761.7	1,521	2,283	3,063	3,798	466.29
250	759	1,521	2,283	3,052	3,803	113
300	759	1,521	2,283	3,050	3,801	73
350	759	1,521	2,283	3,047	3,803	38
400	759	1,521	2,283	3,047	3,803	38

ตารางที่ 4.10 ผลการจำลองตัวกำหนดโดยใช้การประมาณเชิงเส้นของเสียงที่

อันดับที่	ความถี่ที่ 1	ความถี่ที่ 2	ความถี่ที่ 3	ความถี่ที่ 4	ความถี่ที่ 5	SSE
200	845.2	1,690	2,538	-	4,234	68
250	845.2	1,690	2,538	-	4,231	29
300	845.2	1,690	2,536	-	4,231	25
350	845.2	1,690	2,536	-	4,229	9
400	845.2	1,690	2,536	-	4,229	9

ตารางที่ 4.11 ผลการจำลองตัวกำหนดโดยใช้การประมาณเชิงเส้นของเสียงโดสูง

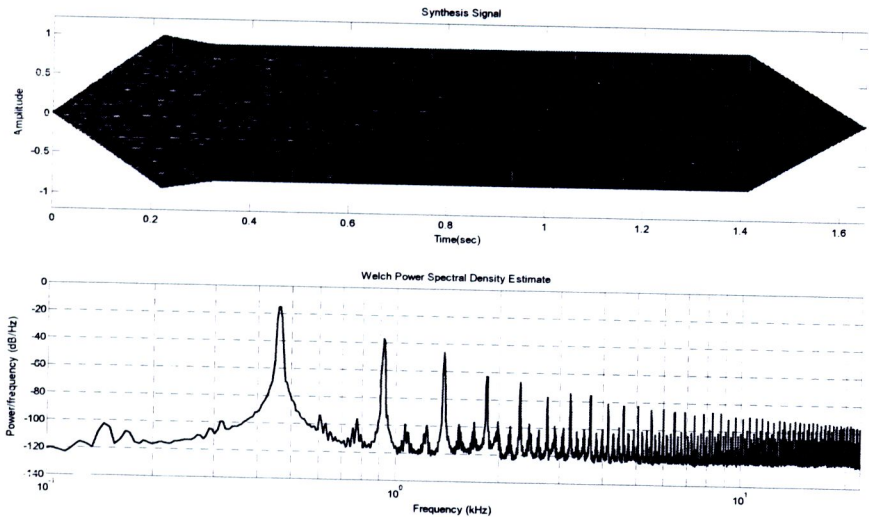
อันดับที่	ความถี่ที่ 1	ความถี่ที่ 2	ความถี่ที่ 3	ความถี่ที่ 4	ความถี่ที่ 5	SSE
200	923.2	1,846	2,767	3,720	4,611	495.29
250	923.2	1,846	2,767	3,712	4,611	207.29
300	923.2	1,846	2,767	3,698	4,613	7.29
350	923.2	1,846	2,770	3,701	4,613	25.29
400	923.2	1,846	2,770	3,704	4,613	52.29

สรุปผลการคำนวณค่า SSE ที่ได้จากตารางที่ 4.4-4.11 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบระหว่างองค์ประกอบเชิงความถี่ของสัญญาณเสียงลุ่มเพียงออกต้นฉบับกับความถี่โดดเด่นของผลตอบสนองเชิงความถี่ของแบบจำลองที่สร้างด้วยสัมประสิทธิ์การประมาณค่าเชิงเส้นจากเสียงโดต่ำจนถึงเสียงโดสูง แสดงได้ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ผลการคำนวณค่า SSE ของเสียงโดต่ำถึงโดสูงด้วยแบบจำลองที่สร้างด้วย
สัมประสิทธิ์การประมาณค่าเชิงเส้น

อันดับที่	200	250	300	350	400
โดต่ำ	115.29	633.29	79.29	43.58	47.58
เร	109	73	34	13	13
มี	1,314	491	33	29	33
ฟา	9	25	34	34	25
ซอล	24.76	24.76	15.76	15.76	15.76
ลา	466.29	113	73	38	38
ที	68	29	25	9	9
โดสูง	495.29	207.29	7.29	25.29	52.29
ค่าเฉลี่ย	325.20	199.54	37.67	25.95	29.24

จากตารางที่ 4.12 พบว่าการประมาณค่าเชิงเส้นที่อันดับ 350 มีค่าเฉลี่ย SSE ต่ำที่สุดดังนั้นในขั้นตอนการสังเคราะห์เสียงด้วยกรรมวิธี Subtractive Synthesis โดยการใช้การประมาณเชิงเส้นจะใช้อันดับที่ 350 มาใช้ในการสังเคราะห์เสียงขลุ่ยเพียงออด้วยกรรมวิธี Subtractive Synthesis โดยการใช้การประมาณค่าเชิงเส้น โดยผลการสังเคราะห์เสียงโดต่ำแสดงได้ดังภาพที่ 4.2 ซึ่งรูปสัญญาณเสียงขลุ่ยเพียงออสังเคราะห์ด้วยกรรมวิธีนี้ทั้งหมดพร้อมทั้งการคำนวณสเปกตรัมกำลังโดยกรรมวิธีของเวลช์จะแสดงในภาคผนวก ข.



ภาพที่ 4.2 สัญญาณเสียงโดต่ำสังเคราะห์และผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงความถี่

4.4 ผลการประเมินคุณภาพแบบจำลองตัวกำหนดและผลการสังเคราะห์เสียงลุ่ม
เพียงออโดยใช้การประมาณค่าเชิงเส้นแบบด้อย

ตารางที่ 4.13-4.20 เป็นการเปรียบเทียบองค์ประกอบเชิงความถี่ของสัญญาณเสียงลุ่ม
เพียงออต้นฉบับกับความถี่โดดเด่นของผลตอบสนองเชิงความถี่ของแบบจำลองที่สร้างด้วย
สัมประสิทธิ์การประมาณค่าเชิงเส้นโดยแบ่งเป็นแบนด์ความถี่ต่ำและแบนด์ความถี่สูงจากเสียงโด
ต่ำจนถึงเสียงโดสูง โดยวัดคุณภาพของแบบจำลองด้วยกรรมวิธีเช่นเดียวกันกับหัวข้อที่ผ่านมาคือ
ใช้ค่า SSE เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพ

ตารางที่ 4.13 ผลการจำลองตัวกำหนดโดยใช้การประมาณเชิงเส้นแบบด้อยของเสียงโดต่ำ

อันดับที่	ความถี่ที่ 1	ความถี่ที่ 2	ความถี่ที่ 3	ความถี่ที่ 4	ความถี่ที่ 5	SSE
40	460.9	923.8	1,387	1,836	2,309	124.30
42	460.9	923.8	1,387	1,840	2,311	64.3
44	460.9	923.8	1,387	1,846	2,311	28.3
46	460.9	923.8	1,389	1,848	2,309	40.3
48	460.9	923.8	1,387	1,848	2,307	32.3
50	460.9	921.9	1,387	1,848	2,307	32.3

ตารางที่ 4.14 ผลการจำลองตัวกำหนดโดยใช้การประมาณเชิงเส้นแบนด์ย่อยของเสียงเร

อันดับที่	ความถี่ที่ 1	ความถี่ที่ 2	ความถี่ที่ 3	ความถี่ที่ 4	ความถี่ที่ 5	SSE
40	521.5	1,043	1,564	-	2,605	11.49
42	521.5	1,043	1,564	-	2,605	11.49
44	521.5	1,043	1,564	-	2,605	11.49
46	521.5	1,043	1,564	-	2,607	11.49
48	521.5	1,043	1,564	-	2,607	11.49
50	521.5	1,043	1,564	-	2,607	11.49

ตารางที่ 4.15 ผลการจำลองตัวกำหนดโดยใช้การประมาณเชิงเส้นแบนด์ย่อยของเสียงมี

อันดับที่	ความถี่ที่ 1	ความถี่ที่ 2	ความถี่ที่ 3	ความถี่ที่ 4	ความถี่ที่ 5	SSE
40	574.2	1,150	1,732	-	2,875	93.24
42	574.2	1,150	1,730	-	2,873	65.24
44	574.2	1,150	1,729	-	2,875	48.24
46	574.2	1,150	1,729	-	2,875	48.24
48	574.2	1,150	1,729	-	2,873	52.24
50	574.2	1,150	1,729	-	2,873	52.24



ตารางที่ 4.16 ผลการจำลองตัวกำหนดโดยใช้การประมาณเชิงเส้นแบนด์ย่อยของเสียงฟา

อันดับที่	ความถี่ที่ 1	ความถี่ที่ 2	ความถี่ที่ 3	ความถี่ที่ 4	ความถี่ที่ 5	SSE
40	632.8	1,266	1,896	-	3,164	8.76
42	632.8	1,266	1,898	-	3,164	16.76
44	632.8	1,266	1,898	-	3,164	16.76
46	632.8	1,266	1,898	-	3,164	16.76
48	632.8	1,266	1,898	-	3,164	16.76
50	632.8	1,266	1,898	-	3,164	16.76

ตารางที่ 4.17 ผลการจำลองตัวกำหนดโดยใช้การประมาณเชิงเส้นแบนด์ย่อยของเสียงซอล

อันดับที่	ความถี่ที่ 1	ความถี่ที่ 2	ความถี่ที่ 3	ความถี่ที่ 4	ความถี่ที่ 5	SSE
40	691.8	1,389	2,083	-	3,472	56.76
42	691.8	1,389	2,083	-	3,470	40.76
44	691.8	1,389	2,083	-	3,472	56.76
46	691.8	1,389	2,083	-	3,470	40.76
48	691.8	1,389	2,083	-	3,470	40.76
50	691.8	1,389	2,083	-	3,470	40.76

ตารางที่ 4.18 ผลการจำลองตัวกำหนดโดยใช้การประมาณเชิงเส้นแบบด้อยของเสียงลา

อันดับที่	ความถี่ที่ 1	ความถี่ที่ 2	ความถี่ที่ 3	ความถี่ที่ 4	ความถี่ที่ 5	SSE
40	759	1,521	2,280	3,050	3,793	146
42	759	1,521	2,280	3,036	3,795	90
44	759	1,521	2,280	3,036	3,795	90
46	759	1,521	2,280	3,036	3,798	63
48	759	1,518	2,280	3,039	3,798	36
50	759	1,518	2,280	3,039	3,798	36

ตารางที่ 4.19 ผลการจำลองตัวกำหนดโดยใช้การประมาณเชิงเส้นแบบด้อยของเสียงที่

อันดับที่	ความถี่ที่ 1	ความถี่ที่ 2	ความถี่ที่ 3	ความถี่ที่ 4	ความถี่ที่ 5	SSE
40	845.2	1,693	2,538	-	4,231	38
42	845.2	1,693	2,538	-	4,231	38
44	845.2	1,693	2,538	-	4,231	38
46	845.2	1,693	2,538	-	4,229	22
48	845.2	1,693	2,538	-	4,229	22
50	845.2	1,693	2,538	-	4,229	22

ตารางที่ 4.20 ผลการจำลองตัวกำหนดโดยใช้การประมาณเชิงเส้นแบบด้อยของเสียงโดสูง

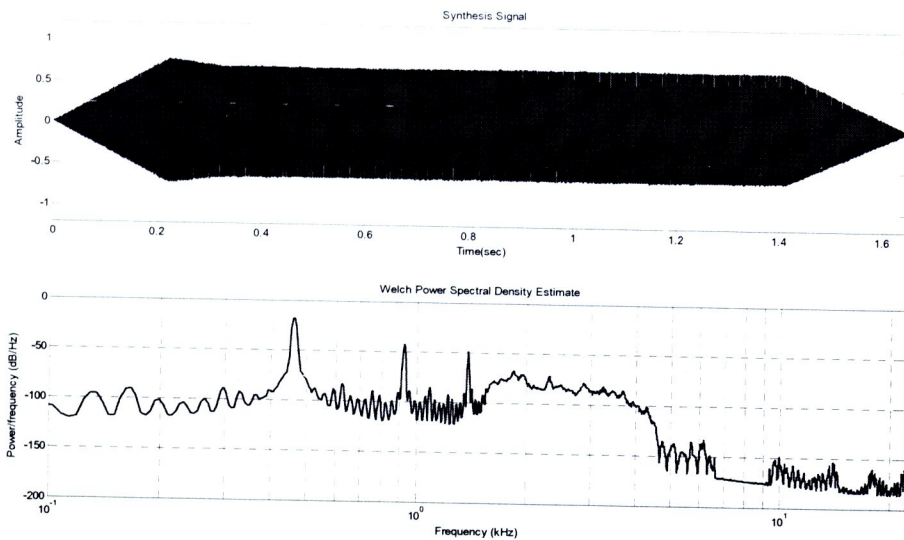
อันดับที่	ความถี่ที่ 1	ความถี่ที่ 2	ความถี่ที่ 3	ความถี่ที่ 4	ความถี่ที่ 5	SSE
40	923.2	1,846	2,767	3,706	4,613	71.29
42	923.2	1,846	2,767	3,706	4,613	71.29
44	923.2	1,846	2,767	3,706	4,613	71.29
46	923.2	1,846	2,767	3,704	4,613	43.29
48	923.2	1,846	2,767	3,704	4,613	43.29
50	923.2	1,846	2,767	3,704	4,613	43.29

สรุปผลการคำนวณค่า SSE ที่ได้จากตารางที่ 4.13-4.20 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบระหว่างองค์ประกอบเชิงความถี่ของสัญญาณเสียงขลุ่ยเพียงออกกับความถี่โดดเด่นของผลตอบสนองเชิงความถี่ของแบบจำลองที่สร้างด้วยสัมประสิทธิ์การประมาณค่าเชิงเส้นแบบด้อยจากเสียงโดต่ำจนถึงเสียงโดสูง โดยแสดงได้ดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 ผลการคำนวณค่า SSE ของเสียงโดต่ำถึงโดสูงด้วยแบบจำลองที่สร้างด้วยสัมประสิทธิ์การประมาณค่าเชิงเส้นแบบด้อย

อันดับที่	40	42	44	46	48	50
โดต่ำ	124.30	64.3	28.3	40.3	32.3	32.3
เร	11.49	11.49	11.49	11.49	11.49	11.49
มี	93.24	65.24	48.24	48.24	52.24	52.24
ฟา	8.76	16.76	16.76	16.76	16.76	16.76
ซอล	56.76	40.76	56.76	40.76	40.76	40.76
ลา	146	90	90	63	36	36
ที	38	38	38	22	22	22
โดสูง	71.29	71.29	71.29	43.29	43.29	43.29
ค่าเฉลี่ย	68.73	49.73	45.11	35.73	31.84	31.86

จากตารางที่ 4.21 พบว่าการประมาณค่าเชิงเส้นแบนด์ย่อยที่อันดับ 48 มีค่าเฉลี่ย SSE ต่ำที่สุดดังนั้นในขั้นตอนการสังเคราะห์เสียงด้วยกรรมวิธี Subtractive Synthesis โดยการใช้การประมาณเชิงเส้นแบนด์ย่อยจะใช้อันดับที่ 48 มาใช้ในการสังเคราะห์เสียงขลุ่ยเพียงออด้วยกรรมวิธี Subtractive Synthesis โดยการใช้การประมาณค่าเชิงเส้นแบนด์ย่อย โดยผลการสังเคราะห์เสียงโดต้าแสดงได้ดังภาพที่ 4.3 ซึ่งรูปสัญญาณเสียงขลุ่ยเพียงออสังเคราะห์ด้วยกรรมวิธีนี้ทั้งหมดพร้อมทั้งการคำนวณสเปกตรัมกำลังโดยกรรมวิธีของเวลช์จะแสดงในภาคผนวก ค.



ภาพที่ 4.3 สัญญาณเสียงโดต้าสังเคราะห์และผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงความถี่

จากการทดลองฟังเสียงสังเคราะห์ที่ได้จากแบบจำลองตัวกำทอนที่สร้างจากสัมประสิทธิ์การประมาณค่าเชิงเส้น ให้คุณภาพที่ดีกว่าแบบจำลองตัวกำทอนที่สร้างจากสัมประสิทธิ์การประมาณค่าเชิงเส้นแบนด์ย่อยพอสมควรในด้านความเป็นธรรมชาติ อีกทั้งแบบจำลองตัวกำทอนที่สร้างจากสัมประสิทธิ์การประมาณค่าเชิงเส้นแบนด์ย่อยสามารถลดอันดับการประมาณเชิงเส้นปกติลงได้ จากอันดับที่ 350 เหลือเพียงอันดับที่ 48 เท่านั้น