

บทที่ 4

การทดลองและการวิเคราะห์ผล

4.1 การทดลองบนโปรแกรมจำลองการทำงานของต้นแบบหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์

ในการทดลองนี้จะทำการวิเคราะห์ผลของการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของอัลกอริทึมแบบปรับตัวได้ วิเคราะห์คุณภาพของสัญญาณเสียงหัวใจที่ผ่านการลดเสียงรบกวนภายนอกโดยอัลกอริทึมแบบปรับตัวได้ และทำการเปรียบเทียบการใช้ข้อมูลเสียงจำลอง และข้อมูลเสียงจริง ทั้งนี้เพื่อศึกษาและหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของอัลกอริทึมแบบปรับตัวได้ ที่จะนำมาใช้ในการลดเสียงรบกวนภายนอกของต้นแบบหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์

4.1.1 การวิเคราะห์ผลของการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ในอัลกอริทึม

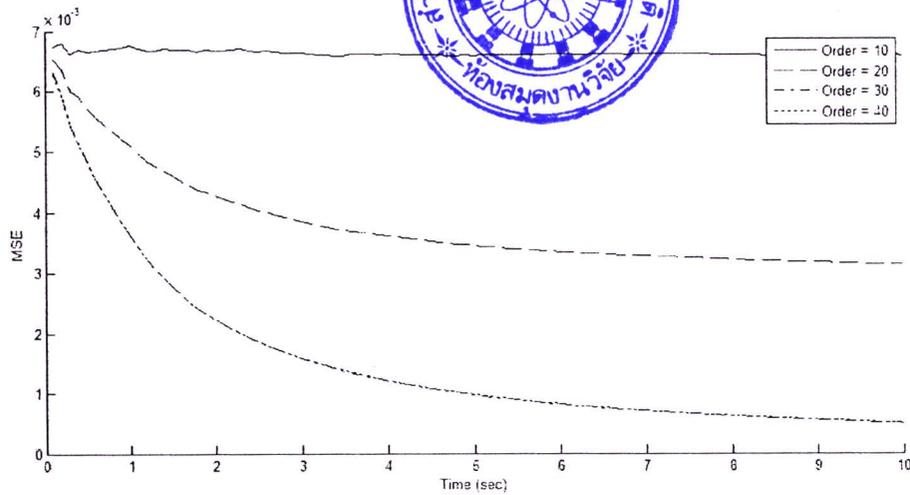
ในการทดลองนี้จะทำการวิเคราะห์ผลของการเปลี่ยนแปลง ค่าอันดับ (Order) และ ค่าอัตราการปรับตัว (Step Size) ของอัลกอริทึม LMS และ NLMS โดยประเมินจากกราฟแสดงค่า Mean Square Error (MSE) ณ เวลาต่างๆ ที่วัดจากสัญญาณเสียงหัวใจที่ผ่านการลดเสียงรบกวนภายนอก ($S_{denoise}$) เปรียบเทียบกับ สัญญาณเสียงหัวใจที่ไม่มีเสียงรบกวนภายนอก ($S_{original}$) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 25

$$MSE = E[(S_{denoise} - S_{original})^2] \quad (25)$$

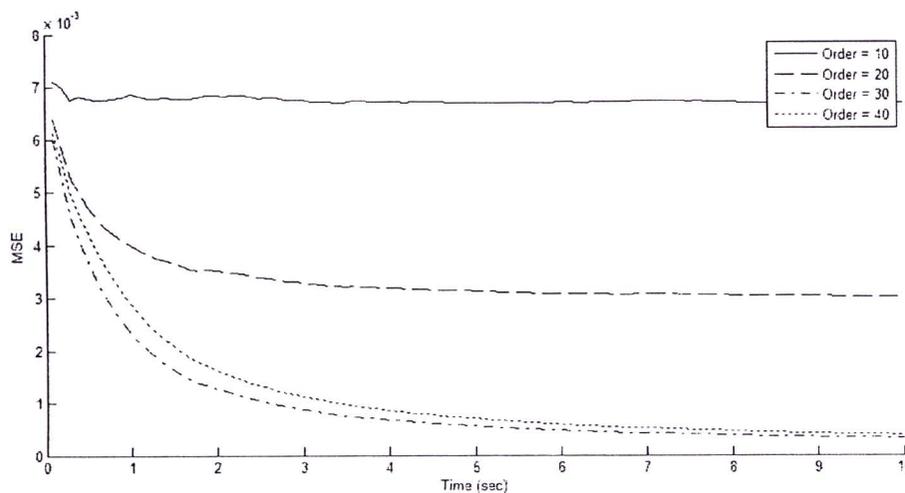
ในการทดลองนี้ เสียงหัวใจที่ใช้ คือ Pan Systolic Murmur เสียงรบกวนภายนอกที่ใช้ คือ White Noise ข้อมูลเสียงที่ใช้ คือ ข้อมูลเสียงจำลอง (Simulated Data)

1. การวิเคราะห์ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าอันดับ (Order)

ในการทดลองนี้จะทำการเปลี่ยนค่าอันดับ (Order) เป็น 10, 20, 30 และ 40 และ กำหนดค่าอัตราการปรับตัว (Step Size) เป็นค่าเดียวกันตลอด เพื่อดูแนวโน้มผลของการเปลี่ยนแปลงค่า Order



รูปที่ 32 กราฟแสดงค่า MSE ที่ค่าอันดับต่างๆ ของอัลกอริทึม LMS

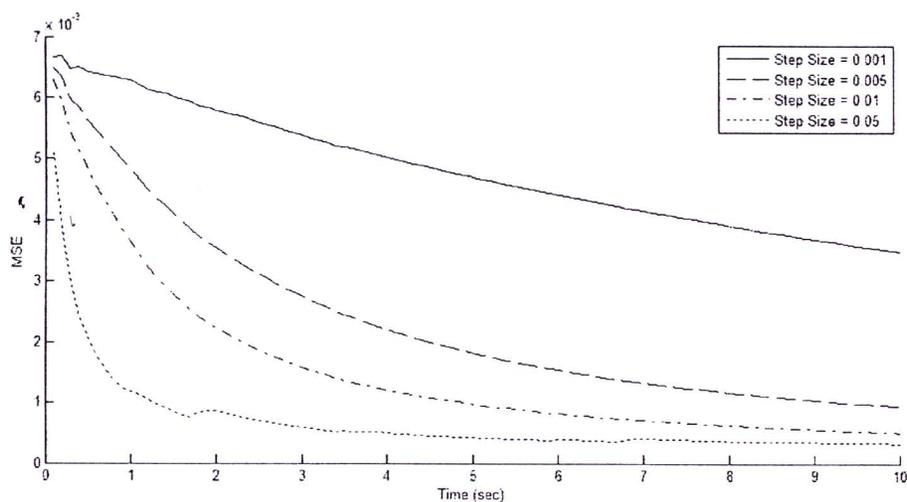


รูปที่ 33 กราฟแสดงค่า MSE ที่ค่าอันดับต่างๆ ของอัลกอริทึม NLMS

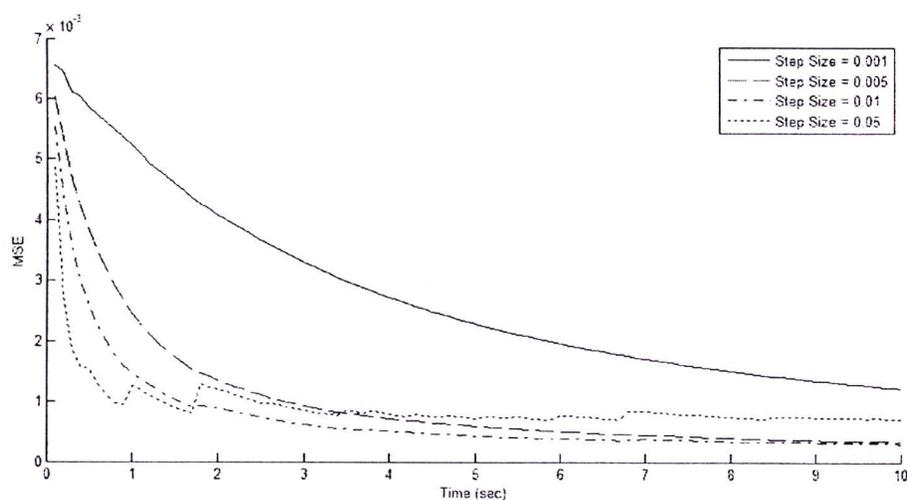
จากรูปที่ 32 และ 33 แสดงให้เห็นแนวโน้มของผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าอันดับ (Order) คือ ค่า Order ที่มากขึ้น จะส่งผลให้ค่า MSE ที่ลู่ออกค่าที่เริ่มคงที่ นั้นจะมีค่าน้อยลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สัญญาณเสียงหัวใจที่ผ่านการลดเสียงรบกวนภายนอกนั้นจะมีความผิดพลาดน้อยลง แต่การใช้ค่า Order ที่มากขึ้นจะส่งผลให้อัลกอริทึมต้องทำการประมวลผลมากขึ้นด้วย ค่า Order ที่เลือกใช้สำหรับอัลกอริทึม LMS และ NLMS คือ 32 แต่สำหรับอัลกอริทึม S-LMS และ S-NLMS ค่า Order จะเฉลี่ยไปตามจำนวนย่านความถี่ย่อย ซึ่งในการทดลองนี้แยกย่านความถี่ย่อยออกเป็น 4 ย่าน ดังนั้น ค่า Order ที่เลือกใช้สำหรับอัลกอริทึม S-LMS และ S-NLMS คือ 8

2. การวิเคราะห์ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการปรับตัว (Step Size)

ในการทดลองนี้จะทำการเปลี่ยนค่าอัตราการปรับตัว (Step Size) เป็น 0.001, 0.005, 0.01 และ 0.05 และ กำหนดค่าอันดับ (Order) เป็นค่าเดียวกันตลอด เพื่อดูแนวโน้มผลของการเปลี่ยนแปลงค่า Step Size



รูปที่ 34 กราฟแสดงค่า MSE ที่ค่าอัตราการปรับตัวต่างๆ ของอัลกอริทึม LMS



รูปที่ 35 กราฟแสดงค่า MSE ที่ค่าอัตราการปรับตัวต่างๆ ของอัลกอริทึม NLMS

จากรูปที่ 34 และ 35 แสดงให้เห็นแนวโน้มของผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการปรับตัว (Step Size) คือ ถ้าใช้ค่า Step Size ที่มีค่ามาก จะใช้เวลาน้อยในการที่ค่า MSE จะเข้าสู่ค่าที่เริ่มคงที่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า จะใช้เวลาน้อยในการที่สัญญาณเสียงหัวใจจะได้รับการลดเสียงรบกวนภายนอกจนถึงระดับที่เริ่มคงที่ แต่ค่า MSE ที่เข้าสู่ค่าที่เริ่มคงที่ นั้นจะมีค่ามาก ซึ่งแสดงให้เห็น

เห็นว่า สัญญาณเสียงหัวใจที่ผ่านการลดเสียงรบกวนภายนอกนั้นจะมีความผิดพลาดมาก ในทางกลับกัน ถ้าใช้ค่า Step Size ที่มีค่าน้อย จะใช้เวลามากในการที่ค่า MSE จะลู่เข้าสู่ค่าที่เริ่ม คงที่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า จะใช้เวลามากในการที่สัญญาณเสียงหัวใจจะได้รับการลดเสียงรบกวน ภายนอกจนถึงระดับที่เริ่มคงที่ แต่ค่า MSE ที่ลู่เข้าสู่ค่าที่เริ่มคงที่ นั้นจะมีค่าน้อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สัญญาณเสียงหัวใจที่ผ่านการลดเสียงรบกวนภายนอกนั้นจะมีความผิดพลาดน้อย ดังนั้นจึงไม่ควร ใช้ค่า Step Size ที่มากหรือน้อยเกินไป

4.1.2 การวิเคราะห์คุณภาพของสัญญาณเสียงหัวใจ

ในการทดลองนี้จะทำการวิเคราะห์คุณภาพของสัญญาณเสียงหัวใจที่ผ่านการลดเสียง รบกวนภายนอกโดยอัลกอริทึม LMS, NLMS, S-LMS และ S-NLMS โดยพิจารณาจากค่า Signal to Noise Ratio (SNR) ของสัญญาณเสียงหัวใจที่มีเสียงรบกวนภายนอก (S_{noisy}) และ สัญญาณเสียงหัวใจที่ผ่านการลดเสียงรบกวนภายนอก ($S_{denoise}$) ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 26 และ 27

$$SNR_{noisy} = 10 \log\left(\frac{E[S_{original}^2]}{E[(S_{noisy} - S_{original})^2]}\right) \quad (26)$$

$$SNR_{denoise} = 10 \log\left(\frac{E[S_{original}^2]}{E[(S_{denoise} - S_{original})^2]}\right) \quad (27)$$

ในการทดลองนี้จะใช้ค่าอันดับ (Order) ที่ได้จากการทดลองที่ผ่านมา และใช้ค่าอัตราการ ปรับตัว (Step Size) ต่างๆ ตั้งแต่ 0.001 ถึง 1 เสียงหัวใจที่ใช้ คือ Pan Systolic Murmur เสียง รบกวนภายนอกที่ใช้ คือ White Noise, Pink Noise, Babble Noise และ Factory Noise ข้อมูล เสียงที่ใช้ คือ ข้อมูลเสียงจำลอง (Simulated Data)

ตารางที่ 1 แสดงค่า SNR ของอัลกอริทึม LMS

Step Size	SNR (dB)				
	White	Pink	Babble	Factory	Average
-	5.5114	6.6085	6.9677	3.6642	5.6880
0.001	9.3513	11.6106	11.8861	12.7096	11.3894
0.005	15.0062	15.4041	16.9378	13.8609	11.8370
0.01	17.6132	16.6118	19.1757	12.3716	16.4431
0.05	18.7710	13.3157	22.5449	7.1821	15.4534

ตารางที่ 2 แสดงค่า SNR ของอัลกอริทึม NLMS

Step Size	SNR (dB)				
	<i>White</i>	<i>Pink</i>	<i>Babble</i>	<i>Factory</i>	<i>Average</i>
-	5.5114	6.6085	6.9677	3.6642	5.6880
0.001	13.8895	16.1176	18.2643	15.0897	15.8402
0.005	19.0900	15.6824	20.3950	11.4956	16.6658
0.01	19.1301	12.8628	19.1295	8.8125	14.9837
0.05	15.0700	5.9560	12.8382	3.4013	9.3164

ตารางที่ 3 แสดงค่า SNR ของอัลกอริทึม S-LMS

Step Size	SNR (dB)				
	<i>White</i>	<i>Pink</i>	<i>Babble</i>	<i>Factory</i>	<i>Average</i>
-	5.5114	6.6085	6.9677	3.6642	5.6880
0.001	6.7897	7.6355	7.5741	6.7158	7.1788
0.005	7.5399	9.4524	9.1187	10.3929	9.1260
0.01	8.4083	10.6619	10.5921	11.8051	10.3669
0.05	13.0806	14.2686	15.4002	14.1152	14.2162
0.1	15.7938	15.8992	17.6314	13.5375	15.7155
0.5	18.9395	15.8613	22.0308	8.5585	16.3476
1	17.8995	12.2589	22.0306	6.3651	14.6386

ตารางที่ 4 แสดงค่า SNR ของอัลกอริทึม S-NLMS

Step Size	SNR (dB)				
	<i>White</i>	<i>Pink</i>	<i>Babble</i>	<i>Factory</i>	<i>Average</i>
-	5.5114	6.6085	6.9677	3.6642	5.6880
0.001	13.5355	14.2359	15.3720	12.9578	14.0253
0.005	18.4737	17.5154	20.6942	15.4780	18.0403
0.01	18.5111	16.3786	21.0580	13.9103	17.4645
0.05	14.3797	9.6279	17.1350	7.5898	12.1830

จากตารางที่ 1-4 เมื่อพิจารณา ค่า Step Size ที่ให้ค่า SNR เฉลี่ยที่ดีที่สุดของแต่ละอัลกอริทึม จะได้ว่า ค่า Step Size ที่ควรเลือกใช้สำหรับอัลกอริทึม LMS และ S-LMS คือ 0.01 และ 0.5 ตามลำดับ ส่วน ค่า Step Size ที่ควรเลือกใช้สำหรับอัลกอริทึม NLMS และ S-NLMS คือ 0.005 สังเกตได้ว่า ค่า Step Size ของอัลกอริทึม S-LMS จะมากกว่าของอัลกอริทึม LMS เนื่องจากเมื่อแยกย่านความถี่จะส่งผลให้ค่ากำลังของสัญญาณแต่ละย่านมีค่าลดลง ส่งผลให้จำเป็นต้องปรับค่า Step Size ให้มากขึ้น ตามหลักการเลือกใช้ค่า Step Size ที่เหมาะสม ซึ่งจะแปรผกผันกับค่ากำลังของสัญญาณขาเข้า แต่สำหรับอัลกอริทึม S-NLMS ค่า Step Size ที่เหมาะสมจะเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับของอัลกอริทึม NLMS เนื่องจาก การเปลี่ยนแปลงค่ากำลังของสัญญาณ แทบจะไม่ส่งผลต่อการทำงานของอัลกอริทึม NLMS เพราะอัลกอริทึม NLMS มีส่วนของ การ Normalized สัญญาณขาเข้า

ตารางที่ 5 แสดงค่า SNR เฉลี่ยที่ดีที่สุดของแต่ละอัลกอริทึม

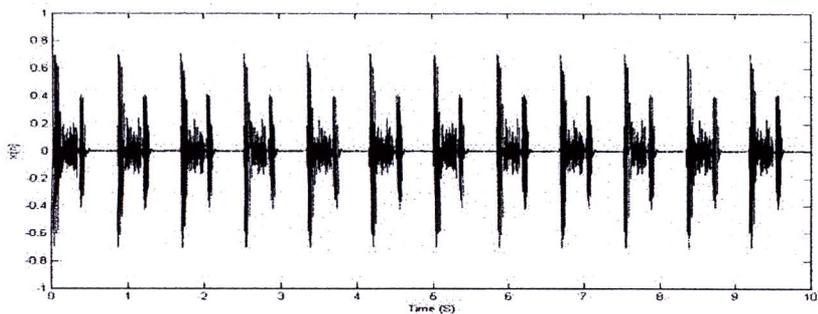
Algorithm	SNR (dB)				
	White	Pink	Babble	Factory	Average
-	5.5114	6.6085	6.9677	3.6642	5.6880
LMS	17.6132	16.6118	19.1757	12.3716	16.4431
NLMS	19.0900	15.6824	20.3950	11.4956	16.6658
S-LMS	18.9395	15.8613	22.0308	8.5585	16.3476
S-NLMS	18.4737	17.5154	20.6942	15.4780	18.0403

จากตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่า ค่า SNR ของสัญญาณเสียงหัวใจที่ผ่านการลดเสียงรบกวนภายนอกมีค่าสูงขึ้นมากพอสมควร โดยพบว่าอัลกอริทึม S-NLMS ให้ค่า SNR เฉลี่ยสูงที่สุด ส่วนอัลกอริทึมอื่นๆ จะให้ค่า SNR เฉลี่ยใกล้เคียงกัน

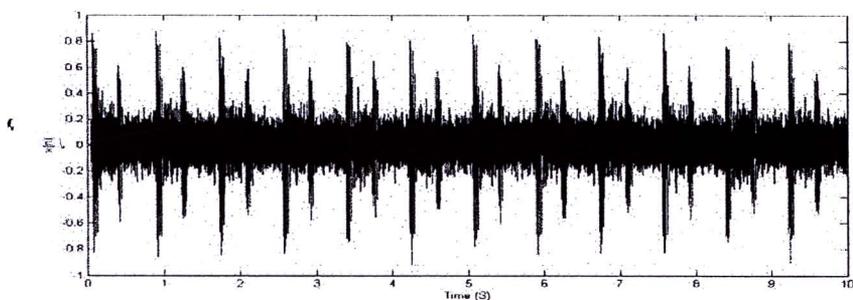
4.1.3 การเปรียบเทียบการใช้ข้อมูลเสียงจำลองและข้อมูลเสียงจริง

ในการทดลองนี้จะทำการเปรียบเทียบการใช้ข้อมูลเสียงจำลอง (Simulated Data) และข้อมูลเสียงจริง (Actual Data) ที่ผ่านการลดเสียงรบกวนภายนอก โดยใช้อัลกอริทึม LMS และ NLMS โดยพิจารณาจากค่า Signal to Noise Ratio (SNR)

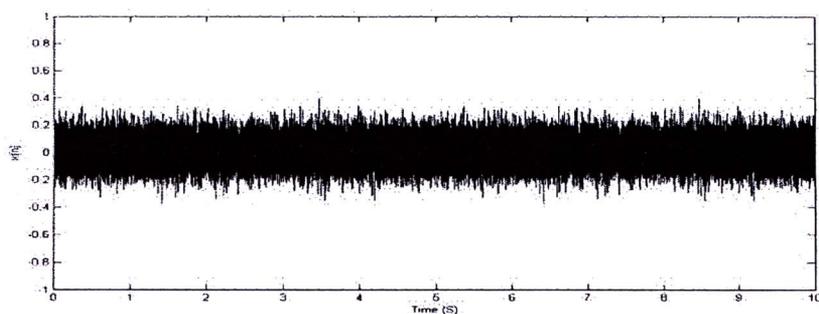
ในการทดลองนี้จะใช้ค่าอันดับ (Order) และค่าอัตราการปรับตัว (Step Size) จากการทดลองที่ผ่านมา เสียงหัวใจที่ใช้ คือ Pan Systolic Murmur เสียงรบกวนภายนอกที่ใช้ คือ White Noise ข้อมูลเสียงที่ใช้ คือ ข้อมูลเสียงจำลอง (Simulated Data) และข้อมูลเสียงจริง (Actual Data)



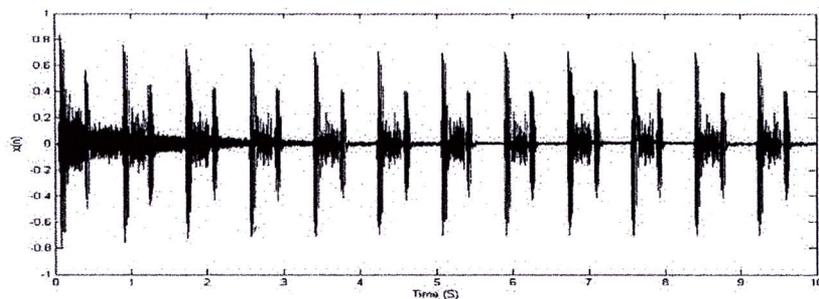
รูปที่ 36 ข้อมูลเสียงจำลอง : สัญญาณเสียงหัวใจที่ไม่มีเสียงรบกวนภายนอก



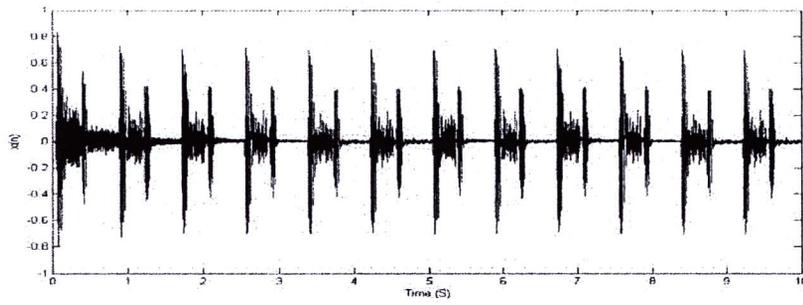
รูปที่ 37 ข้อมูลเสียงจำลอง : สัญญาณเสียงหัวใจที่มีเสียงรบกวนภายนอก (ไมโครโฟนตัวที่ 1)



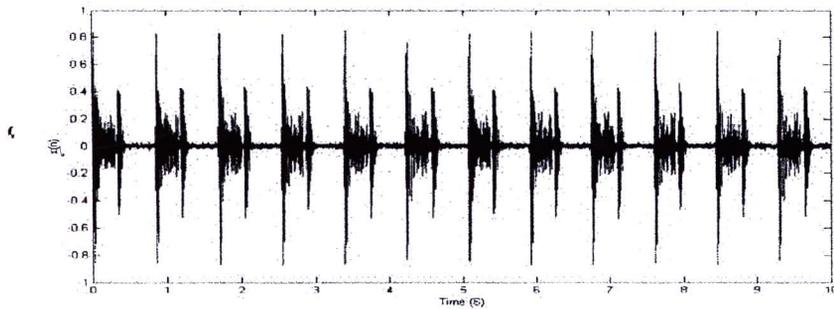
รูปที่ 38 ข้อมูลเสียงจำลอง : สัญญาณเสียงรบกวนภายนอก (ไมโครโฟนตัวที่ 2)



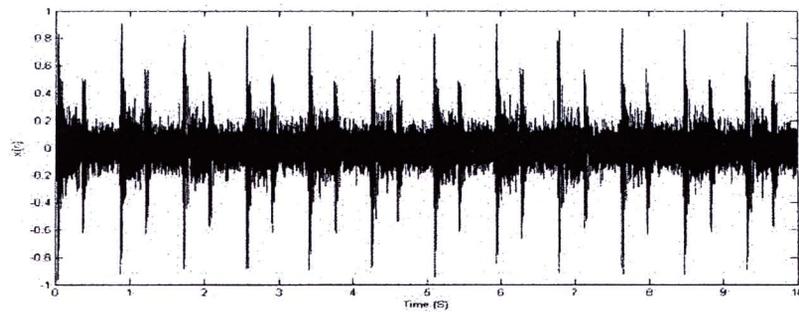
รูปที่ 39 ข้อมูลเสียงจำลอง : สัญญาณเสียงหัวใจที่ผ่านอัลกอริทึม LMS



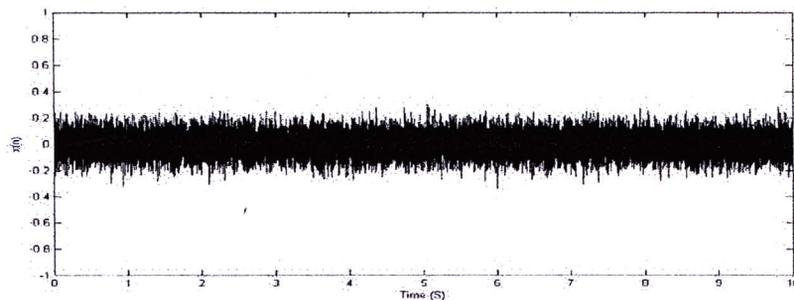
รูปที่ 40 ข้อมูลเสียงจำลอง : สัญญาณเสียงหัวใจที่ผ่านอัลกอริทึม NLMS



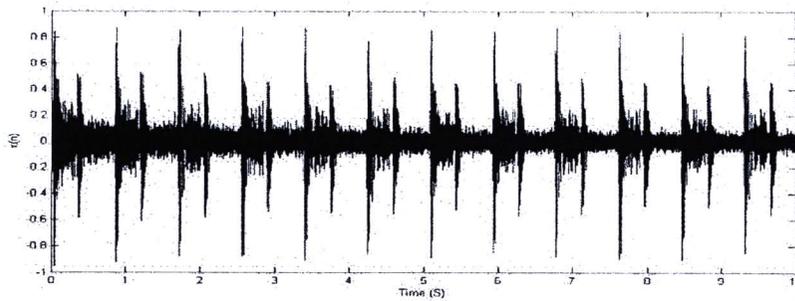
รูปที่ 41 ข้อมูลเสียงจริง : สัญญาณเสียงหัวใจที่ไม่มีเสียงรบกวนภายนอก



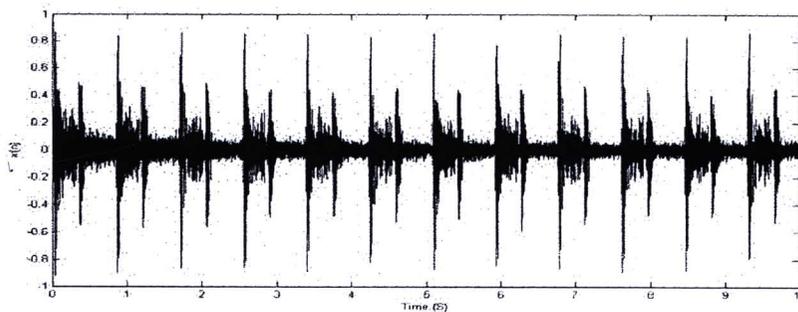
รูปที่ 42 ข้อมูลเสียงจริง : สัญญาณเสียงหัวใจที่มีเสียงรบกวนภายนอก (ไมโครโฟนตัวที่ 1)



รูปที่ 43 ข้อมูลเสียงจริง : สัญญาณเสียงรบกวนภายนอก (ไมโครโฟนตัวที่ 2)



รูปที่ 44 ข้อมูลเสียงจริง : สัญญาณเสียงหัวใจที่ผ่านอัลกอริทึม LMS



รูปที่ 45 ข้อมูลเสียงจริง : สัญญาณเสียงหัวใจที่ผ่านอัลกอริทึม NLMS

ตารางที่ 6 แสดงค่า SNR ของข้อมูลแต่ละชนิด

Data	SNR (dB)		
	-	LMS	NLMS
Simulated	5.5187	18.1182	20.4901
Actual	6.8807	12.4933	18.0148

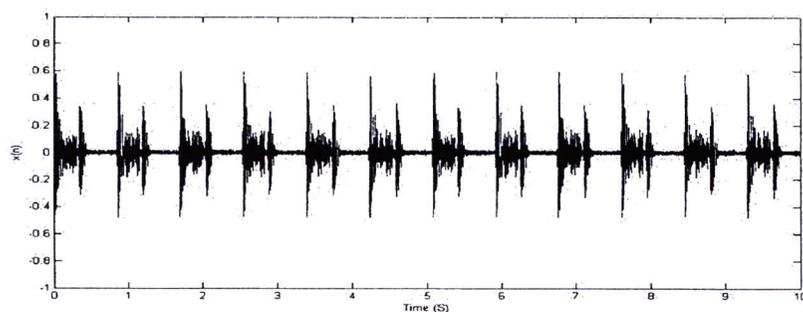
จากรูปที่ 36 ถึง 45 และตารางที่ 6 แสดงให้เห็นว่า การลดเสียงรบกวนภายนอก โดยอัลกอริทึม LMS และ NLMS เมื่อใช้ข้อมูลเสียงจริง ลดเสียงรบกวนภายนอกได้น้อยกว่า เมื่อใช้ข้อมูลเสียงจำลอง ทั้งนี้เนื่องจากประสิทธิภาพของการลดเสียงรบกวนภายนอกขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของเสียงรบกวนภายนอกในไมโครโฟนตัวที่ 1 และ 2 สำหรับข้อมูลเสียงจำลอง เสียงรบกวนภายนอกของไมโครโฟนตัวที่ 1 เกิดจากการนำเสียงรบกวนภายนอกของไมโครโฟนตัวที่ 2 มาผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่ 3000 Hz ส่งผลให้ความสัมพันธ์ของเสียงรบกวนภายนอกมีความซับซ้อนน้อย ในขณะที่ข้อมูลเสียงจริง ความสัมพันธ์ของเสียงรบกวนภายนอกของไมโครโฟนตัวที่ 1 และ 2 ขึ้นอยู่กับตำแหน่งและระยะห่างระหว่างไมโครโฟน ส่งผลให้ความสัมพันธ์ของเสียงรบกวนภายนอกมีความซับซ้อนมาก ดังนั้น การลดเสียงรบกวนภายนอกโดยใช้ข้อมูลเสียงจำลอง จึงสามารถลดเสียงรบกวนภายนอกได้มากกว่าการใช้ข้อมูลเสียงจริง

เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพของอัลกอริทึม LMS และ NLMS จะเห็นว่า เมื่อใช้ข้อมูลเสียงจริง ค่า SNR ของอัลกอริทึม LMS จะต่ำลงมาก ในขณะที่ค่า SNR อัลกอริทึม NLMS จะต่ำลงเล็กน้อย เนื่องจากการใช้ข้อมูลเสียงจริง ค่ากำลังของสัญญาณขาเข้าอาจจะเปลี่ยนแปลงไปจากการใช้ข้อมูลเสียงจำลอง ซึ่งได้ทำการทดลองและหาค่าอัตราการปรับตัว (Step Size) ที่เหมาะสมแล้ว สำหรับอัลกอริทึม LMS เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังของสัญญาณขาเข้า จะทำให้ค่า Step Size ที่เหมาะสมเปลี่ยนแปลงไปด้วย ตามหลักการการเลือกใช้ค่า Step Size ที่เหมาะสม ซึ่งจะแปรผกผันกับค่ากำลังของสัญญาณขาเข้า แต่สำหรับอัลกอริทึม NLMS จะมีส่วนของการ Normalized สัญญาณขาเข้า ทำให้การเปลี่ยนแปลงค่ากำลังของสัญญาณขาเข้าแทบจะไม่ส่งผลต่อการปรับตัวของอัลกอริทึม ซึ่งเป็นข้อดีของอัลกอริทึม NLMS

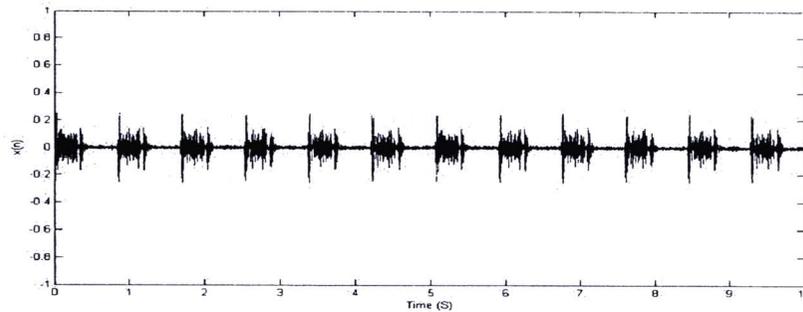
4.2 การทดลองบนต้นแบบหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์

ในการทดลองนี้จะทำการวิเคราะห์คุณภาพของสัญญาณเสียงหัวใจที่ผ่านการลดเสียงรบกวนภายนอก โดยเลือกใช้รูปแบบของต้นแบบหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์ 2 รูปแบบ คือ ทั่วไป (Default) และ ลดเสียงรบกวนภายนอก (Denoise) ซึ่งรูปแบบ Default จะกรองเสียงให้อยู่ในช่วง Extended ส่วนรูปแบบ Denoise จะกรองเสียงให้อยู่ในช่วง Extended และ ลดเสียงรบกวนภายนอกโดยใช้อัลกอริทึม LMS (เนื่องจากอัลกอริทึม NLMS มีปัญหาเรื่องการ Saturation ของข้อมูลเมื่อประมวลผลบนบอร์ดประมวลผล จึงเลือกใช้อัลกอริทึม LMS แทน) โดยพิจารณาจากค่ากำลังของสัญญาณเสียงรบกวนภายนอกที่ลดลง

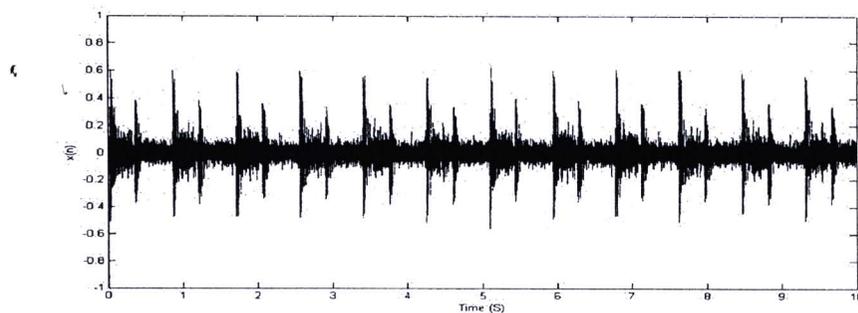
ในการทดลองนี้ เสียงหัวใจที่ใช้ คือ Pan Systolic Murmur เสียงรบกวนภายนอกที่ใช้ คือ White Noise ข้อมูลเสียงที่ใช้ คือ ข้อมูลเสียงจริง (Actual Data)



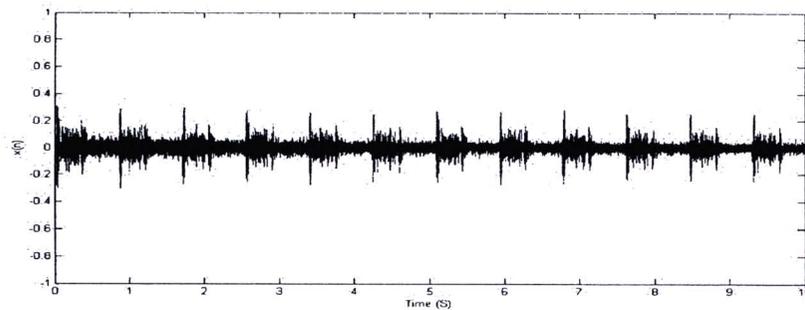
รูปที่ 46 ต้นแบบหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์ : สัญญาณเสียงหัวใจที่ไม่มีเสียงรบกวนภายนอกที่ผ่านรูปแบบ Default



รูปที่ 47 ต้นแบบหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์ : สัญญาณเสียงหัวใจที่ไม่มีเสียงรบกวนภายนอก
ที่ผ่านรูปแบบ Denoise



รูปที่ 48 ต้นแบบหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์ : สัญญาณเสียงหัวใจที่มีเสียงรบกวนภายนอก
ที่ผ่านรูปแบบ Default



รูปที่ 49 ต้นแบบหูฟังแพทย์แบบอิเล็กทรอนิกส์ : สัญญาณเสียงหัวใจที่มีเสียงรบกวนภายนอก
ที่ผ่านรูปแบบ Denoise

จากรูปที่ 46 ถึง 49 แสดงให้เห็นว่า สัญญาณเสียงหัวใจที่มีเสียงรบกวนภายนอกที่ผ่านรูปแบบ Denoise จะมีระดับของเสียงรบกวนภายนอกค่อยๆ ต่ำลง โดยพบว่าการกำจัดของสัญญาณเสียงรบกวนภายนอก ที่วัดจากช่วงที่ไม่มีเสียงหัวใจ ตอนเริ่มต้นเปรียบเทียบกับตอนสุดท้าย ลดลงประมาณ 5 dB เมื่อให้อาสาสมัครแพทย์ฟัง พบว่า สามารถได้ยินเสียง Murmur ได้ชัดเจนขึ้น แม้ว่าสัญญาณเสียงหัวใจที่ผ่านรูปแบบ Denoise จะมีลักษณะของเสียงหัวใจที่ลดลง

ไปบ้าง โดยเฉพาะเสียง S1 และ S2 ซึ่งเป็นเสียงความถี่ต่ำ เนื่องจากผลของการทำงานของตัวกรองแบบปรับตัวได้ แต่ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการขยายเสียงในช่วงความถี่ต่ำให้ดังขึ้น