

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย Wireless Sensor Network (WSN) แบบ 2 เกตเวย์ โดยมุ่งเน้นการทดลองเพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพจากการเปรียบเทียบการทำงานของ WSN แบบ 2 เกตเวย์ คือเกตเวย์หลัก และเกตเวย์สำรอง กับ WSN แบบ 1 เกตเวย์ ที่มีเพียงเกตเวย์หลักเพียงอย่างเดียว

4.1 หาค่าพลังงานของเกตเวย์สำรองที่ใช้ไปและเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนเกตเวย์

ในการทดลองมีการส่งข้อมูลจากโหนดต้นทางไปยังเกตเวย์ โดยใช้ชนิดของข้อมูลแบบ CBR ขนาด 100 Byte และมีการปรับเปลี่ยนปริมาณของข้อมูลที่ส่งเข้าไป ในช่วงเวลาที่กำหนด โดยมีรายละเอียดของลำดับข้อมูลที่ใช้ในการทดลองตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 จำนวน packets ที่ใช้ในการทดลอง

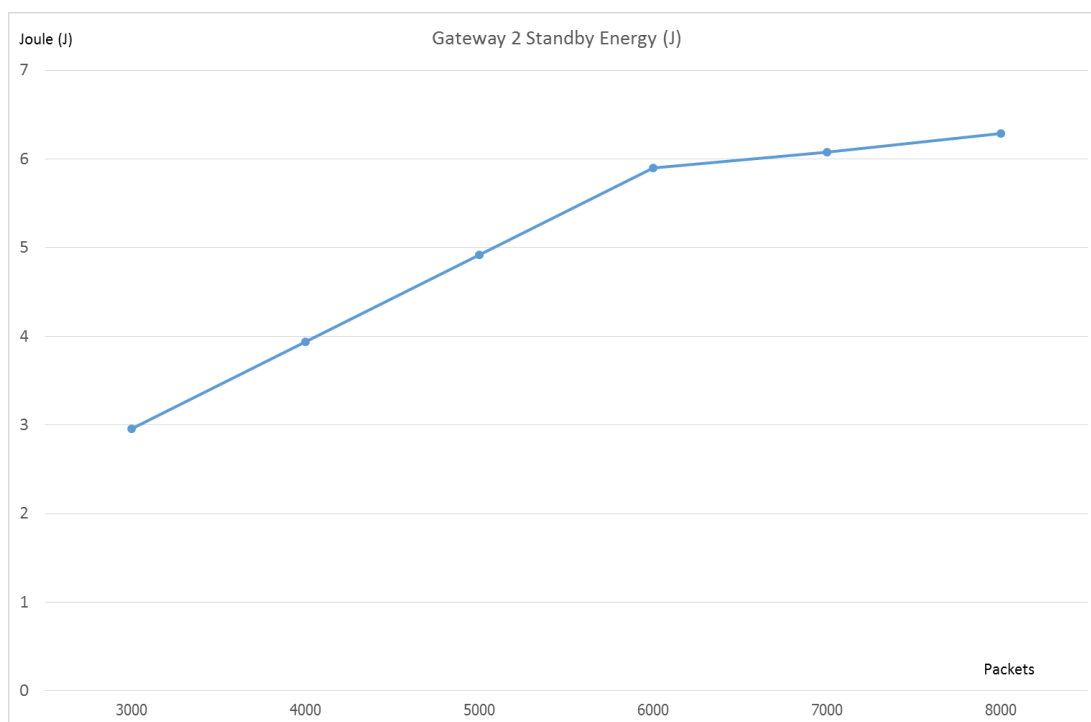
Time (sec)	40	40	40	40	40	40
Packets	3000	4000	5000	6000	7000	8000

ในการทดลองจะมีการกำหนดเวลาที่เกตเวย์หลัก จะเกิดปัญหาจนไม่สามารถทำงานได้ไว้ที่ วินาทีที่ 25 โดยมีลักษณะของปัญหาอยู่ 2 รูปแบบ คือ เกตเวย์หลักเสียหายแบบทันทีทันใด และเกตเวย์หลักมีการเคลื่อนที่ออกนอกเครือข่ายจากตำแหน่ง Y: 250m, X: 250m มาเป็น Y: 0.1m, X: 250m ด้วยความเร็ว 100m/s หลังการกำหนดเวลาในการทดสอบแล้ว จะทำการทดสอบโดยเริ่มส่ง packets ที่เวลา 5 วินาที และหยุดที่เวลา 45 วินาที

4.1.1 หาค่าพลังงานของเกตเวย์สำรอง

ในการทดลองบนเครือข่าย WSN แบบเกตเวย์หลายตัว ได้มีการหาค่าพลังงานที่เกตเวย์สำรองใช้ในการรอเพื่อที่จะทำงานเมื่อเกตเวย์หลักไม่สามารถรับส่งข้อมูลได้ ซึ่งแสดงให้เห็นรูปที่ 4.1 โดยเมื่อดูจากกราฟแล้วจะเห็นได้ว่าตัวเกตเวย์สำรองมีการใช้พลังงานไปในขณะรอ แสดงมีการ

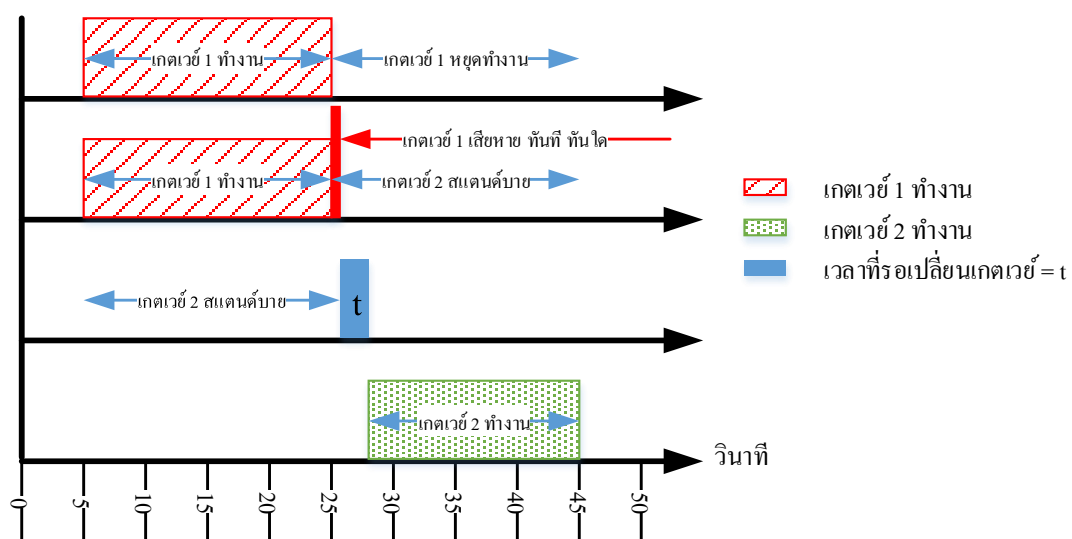
ใช้พลังงานมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อความหนาแน่นของข้อมูลมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากว่าตัวเกตเวย์สำรองก็จะทำหน้าที่ในการส่งต่อข้อมูลไปยังโหนดอื่นๆ ข้างเคียงด้วยเช่นกัน



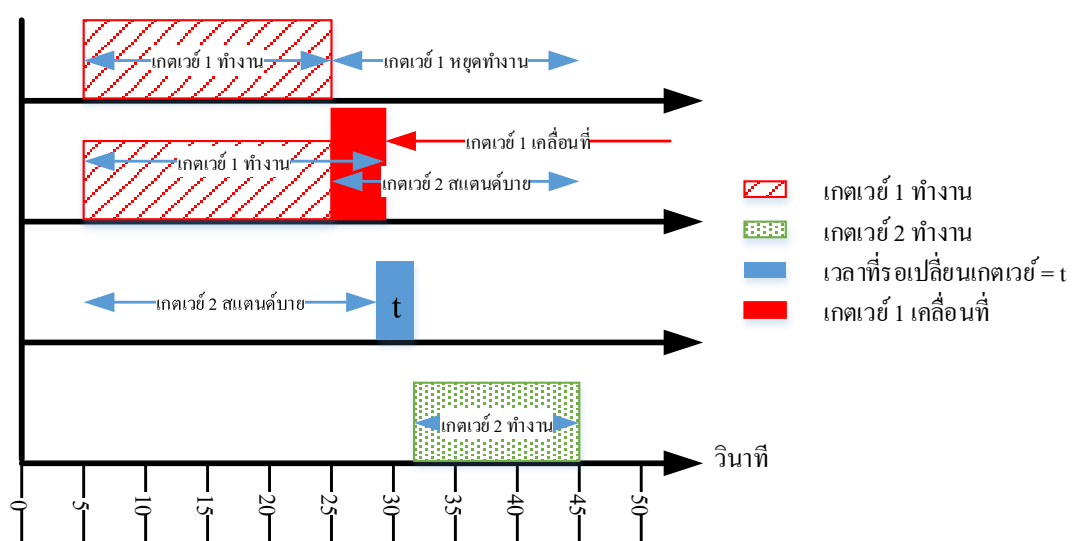
ภาพที่ 4.1 ค่าพลังงานของเกตเวย์สำรองที่ใช้ในขณะรอทำงาน

4.1.2 เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนเกตเวย์

ผลจากการทดลอง ได้มีการเก็บค่าเวลาที่จะทำเริ่มทำการเปลี่ยนเกตเวย์ ที่ปริมาณข้อมูลตามตารางที่ 4.1 โดยจะมีค่าเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนเกตเวย์อยู่ 2 กรณีคือ ในกรณีเกตเวย์หลักเสียหายแบบทันทีทันใด และในกรณีเกตเวย์หลักมีการเคลื่อนที่ออกนอกเครือข่าย ซึ่งแสดงช่วงเวลาในการทดลองให้เห็นในภาพที่ 4.2 และ 4.3 โดยภาพที่ 4.4 ถึงภาพที่ 4.9 เป็นผลการทดลองของเครือข่าย 2 เกตเวย์ ในกรณีที่ 1 คือเมื่อเกตเวย์หลัก ไม่สามารถติดต่อได้ เนื่องจากได้รับความเสียหาย แบบทันทีทันใด ส่วนภาพที่ 4.10 ถึงภาพที่ 4.15 เป็นผลการทดลองของเครือข่าย 2 เกตเวย์ ในกรณีที่ 2 คือเมื่อเกตเวย์หลัก ไม่สามารถติดต่อได้ เนื่องจากมีการเคลื่อนที่ออกจากเครือข่าย



ภาพที่ 4.2 เวลาที่ใช้ในทดสอบ WSN กรณีเกตเวย์หลักหยุดทำงานแบบทันที ทันใด



ภาพที่ 4.3 เวลาที่ใช้ในทดสอบ WSN กรณีเกตเวย์หลักเคลื่อนที่ออกนอกเครือข่าย

```

ns2@ubuntu:~/cnd$ ns 2gw_move.tcl
num_nodes is set 3
warning: Please use -channel as shown in tcl/ex/wireless-mitf.tcl
id: 0
INITIALIZE THE LIST xListHead
id: 1
id: 2
CBR1 packet size = 100
CBR1 packet rate = 60000
CBR1 interval = 0.013333333333333334
channel.cc:sendUp - Calc highestAntennaZ_ and distCST_
highestAntennaZ_ = 1.5, distCST_ = 550.0
SORTING LISTS ...DONE!
Send error counting: 1
Current time to send error: 25.026265
ns2@ubuntu:~/cnd$

```

ภาพที่ 4.4 เวลาที่โหนดต้นทางได้รับ Message RERR เมื่อโหนดปลายทางเสียหาย จำนวน Packets ที่ใช้ทดสอบ เท่ากับ 3000

```

ns2@ubuntu:~/cnd$ ns aodv_wsn2gw.tcl
num_nodes is set 3
warning: Please use -channel as shown in tcl/ex/wireless-mitf.tcl
id: 0
INITIALIZE THE LIST xListHead
id: 1
id: 2
CBR1 packet size = 100
CBR1 packet rate = 80000
CBR1 interval = 0.01
channel.cc:sendUp - Calc highestAntennaZ_ and distCST_
highestAntennaZ_ = 1.5, distCST_ = 550.0
SORTING LISTS ...DONE!
Send error counting: 1
Current time to send error: 25.026265
ns2@ubuntu:~/cnd$

```

ภาพที่ 4.5 เวลาที่โหนดต้นทางได้รับ Message RERR เมื่อโหนดปลายทางเสียหาย จำนวน Packets ที่ใช้ทดสอบ เท่ากับ 4000

```

ns2@ubuntu:~/cnd$ ns aodv_wsn2gw.tcl
num_nodes is set 3
warning: Please use -channel as shown in tcl/ex/wireless-mitf.tcl
id: 0
INITIALIZE THE LIST xListHead
id: 1
id: 2
CBR1 packet size = 100
CBR1 packet rate = 100000
CBR1 interval = 0.00800000000000000002
channel.cc:sendUp - Calc highestAntennaZ_ and distCST_
highestAntennaZ_ = 1.5, distCST_ = 550.0
SORTING LISTS ...DONE!
Send error counting: 1
Current time to send error: 25.027865
ns2@ubuntu:~/cnd$ █

```

ภาพที่ 4.6 เวลาที่โหนดต้นทางได้รับ Message RERR เมื่อโหนดปลายทางเสียหาย จำนวน Packets ที่ใช้ทดสอบ เท่ากับ 5000

```

ns2@ubuntu:~/cnd$ ns aodv_wsn2gw.tcl
num_nodes is set 3
warning: Please use -channel as shown in tcl/ex/wireless-mitf.tcl
id: 0
INITIALIZE THE LIST xListHead
id: 1
id: 2
CBR1 packet size = 100
CBR1 packet rate = 120000
CBR1 interval = 0.00666666666666666671
channel.cc:sendUp - Calc highestAntennaZ_ and distCST_
highestAntennaZ_ = 1.5, distCST_ = 550.0
SORTING LISTS ...DONE!
Send error counting: 1
Current time to send error: 25.026055
ns2@ubuntu:~/cnd$ █

```

ภาพที่ 4.7 เวลาที่โหนดต้นทางได้รับ Message RERR เมื่อโหนดปลายทางเสียหาย จำนวน Packets ที่ใช้ทดสอบ เท่ากับ 6000

```

ns2@ubuntu:~/cnd$ ns aodv_wsn2gw.tcl
num_nodes is set 3
warning: Please use -channel as shown in tcl/ex/wireless-mitf.tcl
id: 0
INITIALIZE THE LIST xListHead
id: 1
id: 2
CBR1 packet size = 100
CBR1 packet rate = 140000
CBR1 interval = 0.0057142857142857143
channel.cc:sendUp - Calc highestAntennaZ_ and distCST_
highestAntennaZ_ = 1.5, distCST_ = 550.0
SORTING LISTS ...DONE!
Send error counting: 1
Current time to send error: 25.027335
ns2@ubuntu:~/cnd$

```

ภาพที่ 4.8 เวลาที่โหนดต้นทางได้รับ Message RERR เมื่อโหนดปลายทางเสียหาย จำนวน Packets ที่ใช้ทดสอบ เท่ากับ 7000

```

ns2@ubuntu:~/cnd$ ns aodv_wsn2gw.tcl
num_nodes is set 3
warning: Please use -channel as shown in tcl/ex/wireless-mitf.tcl
id: 0
INITIALIZE THE LIST xListHead
id: 1
id: 2
CBR1 packet size = 100
CBR1 packet rate = 160000
CBR1 interval = 0.0050000000000000001
channel.cc:sendUp - Calc highestAntennaZ_ and distCST_
highestAntennaZ_ = 1.5, distCST_ = 550.0
SORTING LISTS ...DONE!
Send error counting: 1
Current time to send error: 25.027335
ns2@ubuntu:~/cnd$ █

```

ภาพที่ 4.9 เวลาที่โหนดต้นทางได้รับ Message RERR เมื่อโหนดปลายทางเสียหาย จำนวน Packets ที่ใช้ทดสอบ เท่ากับ 8000

จากภาพที่ 4.6 ถึงภาพที่ 4.11 เป็นผลการทดลองของเครือข่าย 2 เกตเวย์ ในกรณีที่ 1 คือ เมื่อเกตเวย์ 1 ไม่สามารถติดต่อได้ ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อมีการปิดการทำงานของตัวเกตเวย์ 1 แล้วนั้น จะทำให้ตัวโพรโทคอล AODV ที่ปรับปรุงแล้ว มีการแสดงจำนวนครั้งที่มีการส่ง

ข้อมูล Error และแสดงค่าเวลาที่มีการส่ง message ERROR โดยผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองเมื่อเกตเวย์ 1 ไม่สามารถติดต่อได้

Packets	3000	4000	5000	6000	7000	8000
Even Time (sec)	25.000000	25.000000	25.000000	25.000000	25.000000	25.000000
Error Time (sec)	25.026265	25.026265	25.027865	25.026055	25.027335	25.027335
Response Time (sec)	0.02626	0.02626	0.02786	0.02605	0.02734	0.02734

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าค่าเวลาที่มีการตอบสนอง (Response time) หลังจากมีการปิดการทำงานของตัวเกตเวย์ 1 แล้วนั้น ที่ค่า packets ต่างๆ มีค่าไม่ต่างกันเฉลี่ยอยู่ประมาณ 0.02685 วินาที และมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 0.02605 วินาที และมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 0.02786 วินาที

```
ns2@ubuntu:~/cnd$ ns aodv_wsn2gw.tcl
num_nodes is set 3
warning: Please use -channel as shown in tcl/ex/wireless-mitf.tcl
id: 0
INITIALIZE THE LIST xListHead
id: 1
id: 2
CBR1 packet size = 100
CBR1 packet rate = 60000
CBR1 interval = 0.013333333333333334
channel.cc:sendUp - Calc highestAntennaZ_ and distCST_
highestAntennaZ_ = 1.5, distCST_ = 550.0
SORTING LISTS ...DONE!
Send error counting: 1
Current time to send error: 26.695492
ns2@ubuntu:~/cnd$
```

ภาพที่ 4.10 เวลาที่โหนดต้นทางได้รับ Message RERR เมื่อโหนดปลายทางเคลื่อนที่ออก จำนวน Packets ที่ใช้ทดสอบ เท่ากับ 3000

```

ns2@ubuntu:~/cnd$ ns aodv_wsn2gw.tcl
num_nodes is set 3
warning: Please use -channel as shown in tcl/ex/wireless-mitf.tcl
id: 0
INITIALIZE THE LIST xListHead
id: 1
id: 2
CBR1 packet size = 100
CBR1 packet rate = 80000
CBR1 interval = 0.01
channel.cc:sendUp - Calc highestAntennaZ_ and distCST_
highestAntennaZ_ = 1.5, distCST_ = 550.0
SORTING LISTS ...DONE!
Send error counting: 1
Current time to send error: 26.693705
ns2@ubuntu:~/cnd$ █

```

ภาพที่ 4.11 เวลาที่โหนดต้นทางได้รับ Message RERR เมื่อโหนดปลายทางเคลื่อนที่ออก จำนวน Packets ที่ใช้ทดสอบ เท่ากับ 4000

```

ns2@ubuntu:~/cnd$ ns aodv_wsn2gw.tcl
num_nodes is set 3
warning: Please use -channel as shown in tcl/ex/wireless-mitf.tcl
id: 0
INITIALIZE THE LIST xListHead
id: 1
id: 2
CBR1 packet size = 100
CBR1 packet rate = 100000
CBR1 interval = 0.008000000000000000002
channel.cc:sendUp - Calc highestAntennaZ_ and distCST_
highestAntennaZ_ = 1.5, distCST_ = 550.0
SORTING LISTS ...DONE!
Send error counting: 1
Current time to send error: 26.690585
ns2@ubuntu:~/cnd$ █

```

ภาพที่ 4.12 เวลาที่โหนดต้นทางได้รับ Message RERR เมื่อโหนดปลายทางเคลื่อนที่ออก จำนวน Packets ที่ใช้ทดสอบ เท่ากับ 5000


```

ns2@ubuntu:~/cnd$ ns aodv_wsn2gw.tcl
num_nodes is set 3
warning: Please use -channel as shown in tcl/ex/wireless-mitf.tcl
id: 0
INITIALIZE THE LIST xListHead
id: 1
id: 2
CBR1 packet size = 100
CBR1 packet rate = 120000
CBR1 interval = 0.0066666666666666671
channel.cc:sendUp - Calc highestAntennaZ_ and distCST_
highestAntennaZ_ = 1.5, distCST_ = 550.0
SORTING LISTS ...DONE!
Send error counting: 1
Current time to send error: 26.689049
ns2@ubuntu:~/cnd$

```

รูปที่ 4.13 เวลาที่โหนดต้นทางได้รับ Message RERR เมื่อโหนดปลายทางเคลื่อนที่ออก จำนวน Packets ที่ใช้ทดสอบ เท่ากับ 6000

```

ns2@ubuntu:~/cnd$ ns aodv_wsn2gw.tcl
num_nodes is set 3
warning: Please use -channel as shown in tcl/ex/wireless-mitf.tcl
id: 0
INITIALIZE THE LIST xListHead
id: 1
id: 2
CBR1 packet size = 100
CBR1 packet rate = 140000
CBR1 interval = 0.0057142857142857143
channel.cc:sendUp - Calc highestAntennaZ_ and distCST_
highestAntennaZ_ = 1.5, distCST_ = 550.0
SORTING LISTS ...DONE!
Send error counting: 1
Current time to send error: 26.688724
ns2@ubuntu:~/cnd$

```

ภาพที่ 4.14 เวลาที่โหนดต้นทางได้รับ Message RERR เมื่อโหนดปลายทางเคลื่อนที่ออก จำนวน Packets ที่ใช้ทดสอบ เท่ากับ 7000

```

ns2@ubuntu:~/cnd$ ns aodv_wsn2gw.tcl
num_nodes is set 3
warning: Please use -channel as shown in tcl/ex/wireless-mitf.tcl
id: 0
INITIALIZE THE LIST xListHead
id: 1
id: 2
CBR1 packet size = 100
CBR1 packet rate = 160000
CBR1 interval = 0.00500000000000000001
channel.cc:sendUp - Calc highestAntennaZ_ and distCST_
highestAntennaZ_ = 1.5, distCST_ = 550.0
SORTING LISTS ...DONE!
Send error counting: 1
Current time to send error: 26.688724
ns2@ubuntu:~/cnd$

```

ภาพที่ 4.15 เวลาที่โหนดต้นทางได้รับ Message RERR เมื่อโหนดปลายทางเคลื่อนที่ออก จำนวน Packets ที่ใช้ทดสอบ เท่ากับ 8000

จากภาพที่ 4.10 ถึงภาพที่ 4.15 เป็นผลการทดลองของเครือข่าย 2 เกตเวย์ ในกรณีที่ 1 คือเมื่อเกตเวย์ 1 ไม่สามารถติดต่อได้ เนื่องจากการเคลื่อนที่ออกนอกเครือข่าย ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อมีการปิดการทำงานของตัวเกตเวย์ 1 แล้วนั้น จะทำให้ตัวโพรโทคอล AODV ที่ปรับปรุงแล้ว มีการแสดงจำนวนครั้งที่มีการส่งข้อมูล Error และแสดงค่าเวลาที่มีการส่ง message ERROR โดยผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองเมื่อเกตเวย์ 1 เคลื่อนที่ออกจากเครือข่าย

Packets	3000	4000	5000	6000	7000	8000
Even Time (sec)	25.00000	25.00000	25.00000	25.00000	25.00000	25.00000
Error Time (sec)	26.69549	26.69371	26.69059	26.68905	26.68872	26.68872
Response Time (sec)	1.69549	1.69371	1.69059	1.68905	1.68872	1.68872

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าค่าเวลาที่มีการตอบสนอง (Response time) หลังจากที่ได้ตัวเกตเวย์ 1 เคลื่อนที่ออกนอกเครือข่ายที่ค่า packets ต่างๆ ค่าเวลาตอบสนองที่ส่งออกมา มีค่าไม่

ต่างกันเฉลี่ยอยู่ประมาณ 1.69105 วินาที และมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 1.68872 วินาที และมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 1.69549 วินาที

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าเวลาการตอบสนอง Error ของเครือข่าย WSN แบบ 2 เกตเวย์

Packets	3000	4000	5000	6000	7000	8000
Even Time (sec)	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000
Response Time (sec)						
Turn-Down	0.02626	0.02626	0.02786	0.02605	0.02734	0.02734
Response Time (sec)						
Move	1.69549	1.69371	1.69059	1.68905	1.68872	1.68872

จากตารางที่ 4.4 ได้ว่าค่าเวลาการตอบสนอง Error หลังจากมีการทดลองการทำงานทั้ง 2 รูปแบบคือ แบบเกตเวย์หยุดทำงาน กับแบบเกตเวย์เคลื่อนที่นั้น พบว่าแบบเกตเวย์เคลื่อนที่ที่มีการตอบสนอง Error ช้ากว่าแบบเกตเวย์หยุดทำงาน ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่า ตัวเกตเวย์ที่กำลังเคลื่อนที่ออกจากเครือข่ายนั้น ยังคงสามารถติดต่อกับตัวโหนดต้นทางได้อยู่ แม้กระทั่งในขณะที่ตัวเองเคลื่อนที่จะกระทั้งตัวเองหลุดออกจากเครือข่าย จึงมีการตอบสนองต่อ Error ดังนั้นจึงทำให้เกิดการตอบสนองช้ากว่า แต่อย่างไรก็ตามการทดลองทั้งสองแบบก็สามารถ ส่งค่าเวลาและสถานะ เพื่อทำการเปลี่ยนเกตเวย์ได้

4.2 หาประสิทธิภาพของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายแบบ 2 เกตเวย์ เทียบกับ แบบ 1 เกตเวย์

หลังจากทำการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลในรูปแบบของ trace file เรียบร้อยแล้ว ก็เอาข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ โดยการหาค่าที่ต้องการดังนี้

- 1 หาค่าการหน่วงเวลาจากโหนดต้นทาง ไปยังโหนดปลายทาง (packets delay)
- 2 หาค่าความสำเร็จในการส่งข้อมูลจากโหนดต้นทาง ไปยังโหนดปลายทาง (%PDR)
- 3 หาค่าปริมาณข้อมูลที่สูญเสียในเครือข่าย (%packets drop)
- 4 หาค่าปริมาณข้อมูลที่เกตเวย์หลักและเกตเวย์สำรองรับได้เทียบกับเวลา (Throughput kbps)

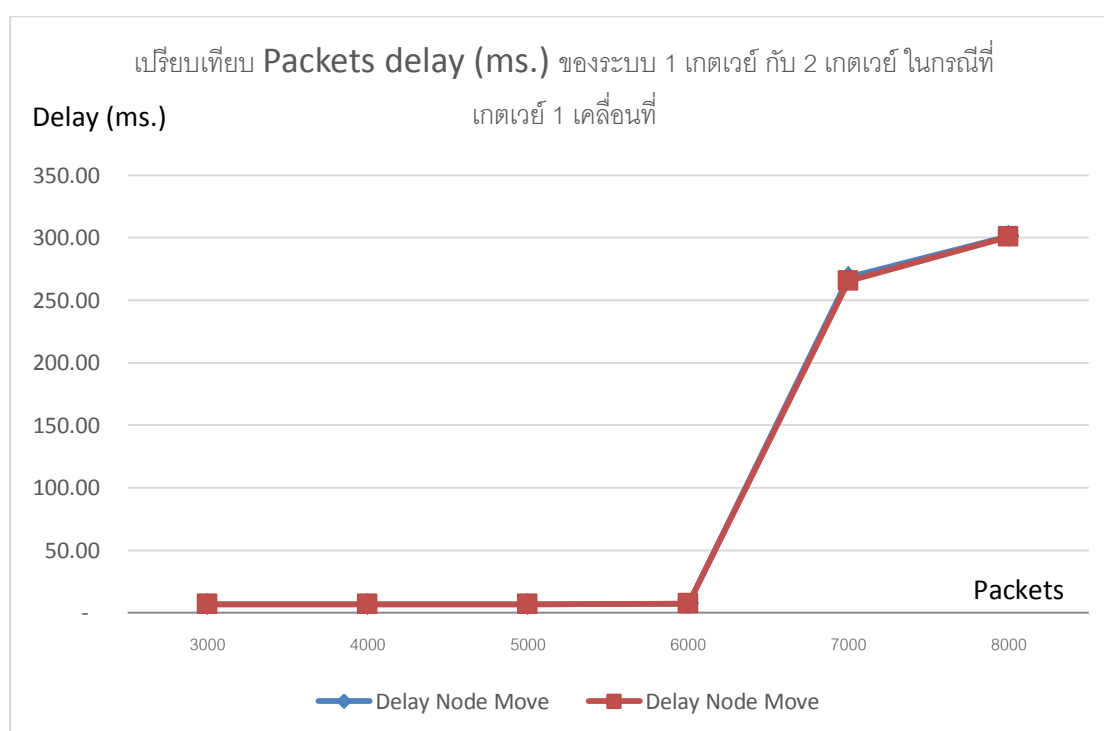
ในการหาประสิทธิภาพของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายแบบ 2 เกตเวย์ เทียบกับ แบบ 1 เกตเวย์นั้น ในแต่ละแบบจะประกอบไปด้วยการทดลองแบบปิดการทำงานของเกตเวย์เดิม กับการย้ายตำแหน่งของเกตเวย์เดิมออกนอกเครือข่าย

4.2.1 หาค่าการหน่วงเวลาจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง (packets delay)

ในส่วนนี้จะเป็นการหาค่าการหน่วงเวลาจากโหนดต้นทาง ไปยังโหนดปลายทาง (packets delay) ซึ่งจะทำให้การหาค่าเวลาสูงสุด และต่ำสุดของแต่ละ packet จากนั้นจึงนำค่าที่ได้มาหาค่าส่วนต่าง แล้วนำมารวมกัน จากนั้นหารด้วยจำนวน packets ทั้งหมดเพื่อหาค่าเฉลี่ย ซึ่งได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.5 ค่าการหน่วงเวลา packets delay ของแบบเกตเวย์ 1 เคลื่อนที่ออกนอกเครือข่าย

Packets	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000
1 Gateway	6.980	6.977	6.977	7.335	268.475	301.322
2 Gateway	6.954	6.963	6.969	7.379	265.403	300.660



ภาพที่ 4.16 เปรียบเทียบ Packets delay (ms) ของระบบ 1 เกตเวย์ กับ 2 เกตเวย์ ในกรณีที่เกตเวย์ 1 เคลื่อนที่

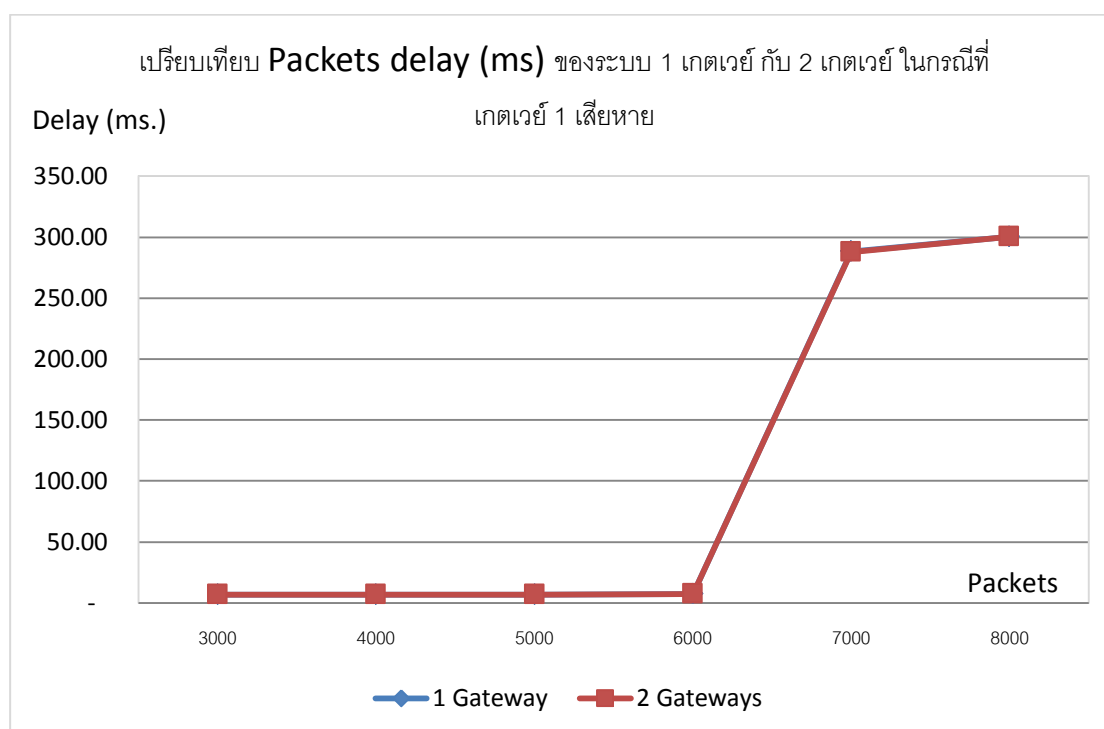
จากตารางที่ 4.5 นำมาแสดงในรูปแบบของกราฟเส้นได้ ตามภาพที่ 4.19 จะเห็นได้ว่าค่าการหน่วงเวลา packet delay ของเครือข่าย WSN แบบ 2 เกตเวย์ กับแบบ 1 เกตเวย์ จะมีค่าไม่ต่างกันมากเกือบทุกๆ ขนาด packets ที่ส่งเข้าไป เนื่องจากการทำงานของเครือข่าย WSN แบบ 2 เกตเวย์

นั่น ตัวเกตเวย์ 1 กับ 2 ไม่ได้ทำงานพร้อมกัน จึงไม่มีผลในการช่วยรับข้อมูลจากโหนดต้นทาง โดยในตัวเกตเวย์ 2 จะทำงานก็ต่อเมื่อ เกตเวย์ 1 เคลื่อนที่ออกนอกเครือข่ายเท่านั้น

ตารางที่ 4.6 ค่าการหน่วงเวลา packets delay ของแบบเกตเวย์ 1 เสียหาย

Packets	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000
1 Gateway	6.988	6.982	6.980	7.340	288.135	300.478
2 Gateway	6.957	6.962	6.969	7.385	287.923	300.478

จากตารางที่ 4.6 เป็นผลการทดลองของเครือข่าย WSN แบบ 2 เกตเวย์ กับเครือข่ายแบบ 1 เกตเวย์ โดยเป็นการหาค่าการหน่วงเวลา packets delay ของเครือข่าย ในกรณีที่เกตเวย์ 1 ได้รับความเสียหาย ซึ่งนำมาแสดงเปรียบเทียบให้เห็นตามภาพที่ 4.20.



ภาพที่ 4.17 เปรียบเทียบ Packets delay (ms) ของระบบ 1 เกตเวย์ กับ 2 เกตเวย์ ในกรณีที่เกตเวย์ 1 เสียหาย

ในภาพที่ 4.20 จะเห็นได้ว่าค่าการหน่วงเวลา ของเครือข่าย WSN แบบ 2 เกตเวย์ กับ เครือข่ายแบบ 1 เกตเวย์ นั้นมีค่าไม่ต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งผลการทดลองมีลักษณะคล้ายกับแบบ กรณิที่เกตเวย์ 1 เคลื่อนที่ออกนอกเครือข่าย ทั้งนี้ก็เนื่องเพราะการทำงานของเครือข่าย WSN แบบ 2 เกตเวย์ นั้น ตัวเกตเวย์ 1 กับ 2 ไม่ได้ทำงานพร้อมกัน จึงไม่มีผลในการช่วยรับข้อมูลจากโหนดต้นทาง โดยในตัวเกตเวย์ 2 จะทำงานก็ต่อเมื่อ เกตเวย์ 1 เสียหายเท่านั้น

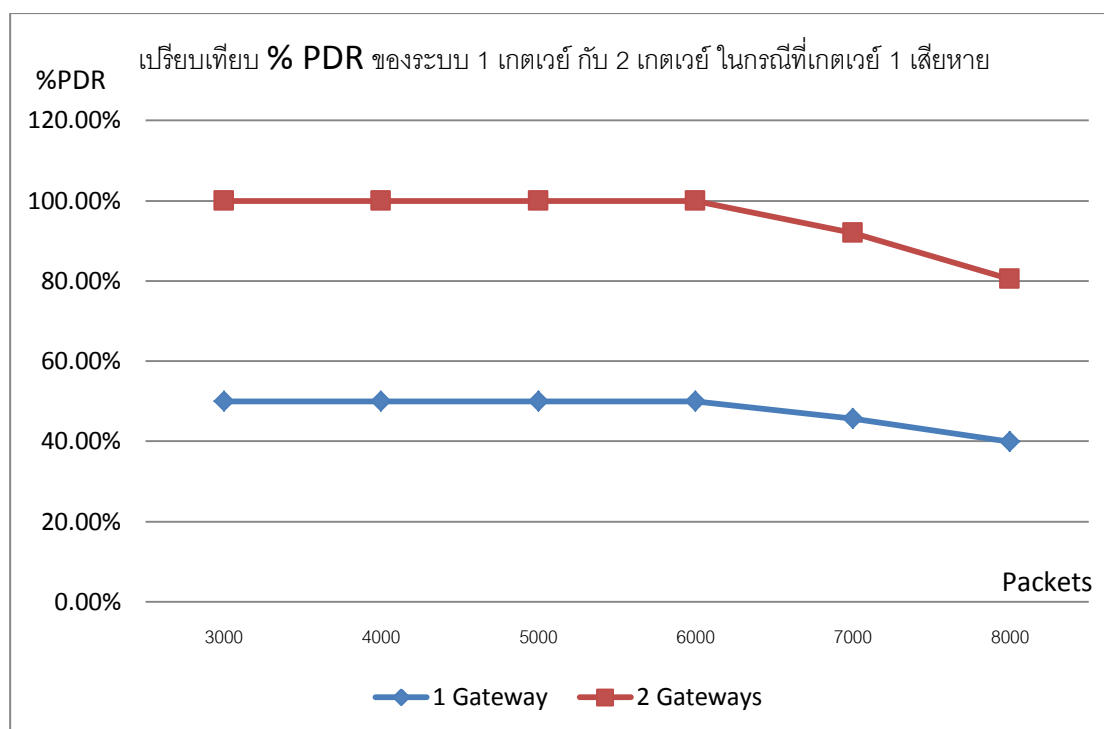
4.2.2 หาค่าความสำเร็จในการส่งข้อมูลจากโหนดต้นทาง ไปยังโหนดปลายทาง (%PDR)

ในส่วนนี้จะเป็นการหาค่าความสำเร็จในการส่งข้อมูลจากโหนดต้นทาง ไปยังโหนด ปลายทาง (%PDR) โดยจะทำการเปรียบเทียบผลการทดลองทั้งแบบเครือข่าย WSN แบบ 2 เกตเวย์ และแบบเครือข่ายแบบ 1 เกตเวย์ ซึ่งมีทำการทดลองใน 2 กรณี คือ กรณีที่เกตเวย์ 1 เคลื่อนที่ออก จากเครือข่าย กับกรณีที่เกตเวย์ 1 เกิดการเสียหาย โดยผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 4.7 และ ต่างที่ 4.8

ตารางที่ 4.7 ค่าความสำเร็จในการส่งข้อมูล %PDR ของเครือข่าย WSN แบบ 2 เกตเวย์ โดยที่เกต-
เวย์ 1 เกิดการเสียหาย

Packets	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000
1 Gateway	50.00%	49.99%	50.00%	49.98%	45.65%	39.95%
2 Gateway	99.93%	99.93%	99.92%	99.92%	91.97%	80.48%

จากตารางที่ 4.7 เป็นตารางแสดงผลการทดลองหาค่าความสำเร็จในการส่งข้อมูล %PDR ของ แบบเกตเวย์ 1 เสียหาย ซึ่งนำมาแสดงเป็นกราฟเส้นได้ตามภาพที่ 4.21



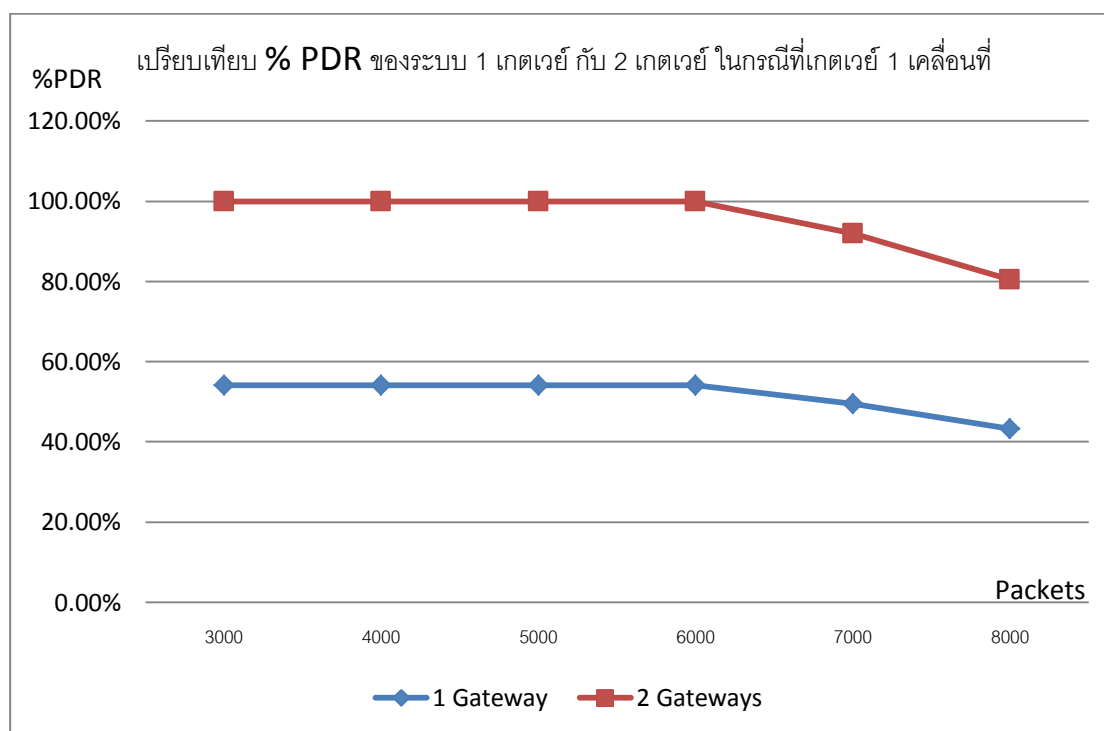
ภาพที่ 4.18 เปรียบเทียบ % PDR ของระบบ 1 เกตเวย์ กับ 2 เกตเวย์ ในกรณีที่เกตเวย์ 1 เสียหาย

ในภาพที่ 4.21 เป็นกราฟเส้นแสดงผลการทดลองหาค่าความสำเร็จในการส่งข้อมูล %PDR ของ แบบเกตเวย์ 1 เสียหาย ซึ่งจะเห็นได้ว่า ค่า %PDR ของเครือข่าย WSN แบบ 2 เกตเวย์ มีค่าสูงกว่า แบบ 1 เกตเวย์ ประมาณเกือบ 2 เท่า ที่ทุกๆ ปริมาณ packets ที่ส่งเข้าไป โดยตั้งแต่ 3000 ถึง 6000 packets ค่า %PDR ของแบบ 2 เกตเวย์สูงเกือบ 100% ส่วนตั้งแต่ 6000 ถึง 8000 เริ่มลดลง ที่เป็นเช่นนี้น่าจะเกิดจาก ความเร็วของข้อมูลที่ถึงส่งเข้ามามีค่าสูงขึ้น จนเกิดปัญหาเรื่องจาก Drop ของข้อมูล จากปัญหาเรื่องของขนาด Buffer ที่จำกัดของตัวโหนดเอง ซึ่งลักษณะเช่นนี้เกิดขึ้นในทิศทางเดียวกันทั้งแบบ 1 เกตเวย์ และ 2 เกตเวย์

ตารางที่ 4.8 ค่าความสำเร็จในการส่งข้อมูล %PDR ของเครือข่าย WSN แบบ 2 เกตเวย์ โดยที่มีเกตเวย์ 1 เคลื่อนที่ออกนอกเครือข่าย

Packets	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000
1 Gateway	54.17%	54.16%	54.18%	54.17%	49.46%	43.29%
2 Gateway	99.90%	99.93%	99.94%	99.93%	92.00%	80.50%

จากตารางที่ 4.8 เป็นตารางแสดงผลการทดลองหาค่าความสำเร็จในการส่งข้อมูล %PDR ของ แบบเกตเวย์ 1 เคลื่อนที่ออกนอกเครือข่าย ซึ่งนำมาแสดงเป็นกราฟเส้นได้ตามภาพที่ 4.22



ภาพที่ 4.19 เปรียบเทียบ % PDR ของระบบ 1 เกตเวย์ กับ 2 เกตเวย์ ในกรณีที่เกตเวย์ 1 เคลื่อนที่

ในภาพที่ 4.19 เป็นกราฟเส้นแสดงผลการทดลองหาค่าความสำเร็จในการส่งข้อมูล %PDR ของ แบบเกตเวย์ 1 เคลื่อนที่ออกนอกเครือข่าย ซึ่งจะเห็นว่า ค่า %PDR ของเครือข่าย WSN แบบ 2 เกตเวย์ มีค่าสูงกว่า แบบ 1 เกตเวย์ ประมาณเกือบ 2 เท่า ที่ทุกๆ ปริมาณ packets ที่ส่งเข้าไป โดยตั้งแต่ 3000 ถึง 5000 packets ค่า %PDR ของแบบ 2 เกตเวย์สูงเกือบ 100% ส่วนตั้งแต่ 6000 ถึง 8000 เริ่มลดลง ที่เป็นเช่นนี้น่าจะเกิดจาก ความเร็วของข้อมูลที่ถูส่งเข้ามามีค่าสูงขึ้น จนเกิดปัญหาเรื่องจาก Drop ของข้อมูล จากปัญหาเรื่องของขนาด Buffer ที่จำกัดของตัวโหนดเอง ซึ่งลักษณะเช่นนี้เกิดขึ้นในทิศทางเดียวกันทั้งแบบ 1 เกตเวย์ และ 2 เกตเวย์

โดยเมื่อพิจารณาจากภาพที่ 4.18 และภาพที่ 4.19 แล้ว จะเห็นได้ว่าผลการทดลองมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือตั้งแต่ 3000 ถึง 6000 packets ค่า %PDR ของแบบ 2 เกตเวย์สูง

เกือบ 100% ส่วนตั้งแต่ 6000 ถึง 8000 เริ่มลดลง ดังนั้นขนาดของ Buffer จึงน่าจะมีผลต่อค่าความสำเร็จการส่งข้อมูล %PDR

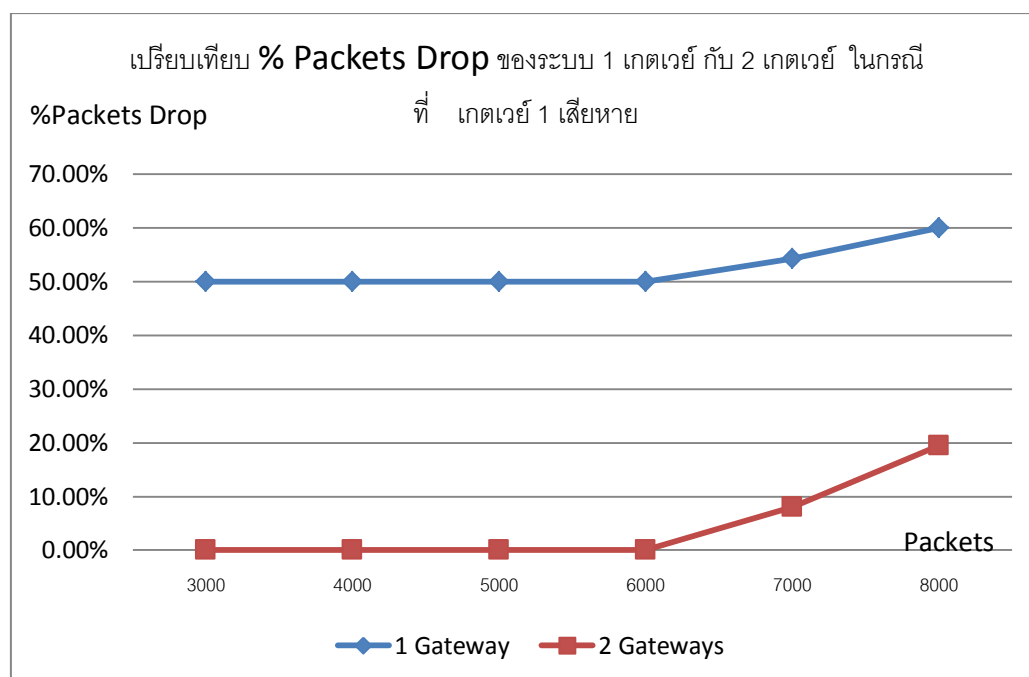
4.2.3 หาค่าปริมาณข้อมูลที่สูญเสียในเครือข่าย (% Packets drop)

ในส่วนนี้จะเป็นการหาค่าปริมาณข้อมูลที่สูญเสียในเครือข่าย (% Packets drop) ซึ่งจะทำการนับจำนวน packets drop ที่เกิดขึ้นในเครือข่าย ในการทดลองนี้จะนับในส่วนของ CBR packets drop ที่เกิดขึ้นที่ โหนดต่างๆ ในเครือข่าย WSN ทั้งแบบ 1 เกตเวย์ และแบบ 2 เกตเวย์ โดยพิจารณาทั้งในกรณี ที่เกตเวย์ 1 เกิดการเสียหาย และกรณีที่เกตเวย์ 1 เคลื่อนที่ออกนอกเครือข่าย แล้วนำค่าที่นับได้มาเทียบกับจำนวน CBR packets ที่ส่งเข้าไปในเครือข่าย ที่ปริมาณความหนาแน่นของ packets ที่ต่างกัน ในช่วงเวลาเดียวกัน ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.9 ค่าปริมาณข้อมูลที่สูญเสียในเครือข่าย (% Packets drop) ของเครือข่าย WSN แบบ 2 เกตเวย์ โดยมีเกตเวย์ 1 เสียหาย

Packets	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000
1 Gateway	50.00%	50.00%	50.00%	50.02%	54.34%	60.05%
2 Gateway	0.07%	0.05%	0.08%	0.08%	8.01%	19.53%

จากตารางที่ 4.9 เป็นตารางแสดงผลการทดลองหาค่าปริมาณข้อมูลที่สูญเสียในเครือข่าย (% Packets drop) ของเครือข่าย WSN แบบ 2 เกตเวย์ โดยมีเกตเวย์ 1 เสียหาย ซึ่งนำมาแสดงเป็นกราฟเส้นได้ตามภาพที่ 4.20



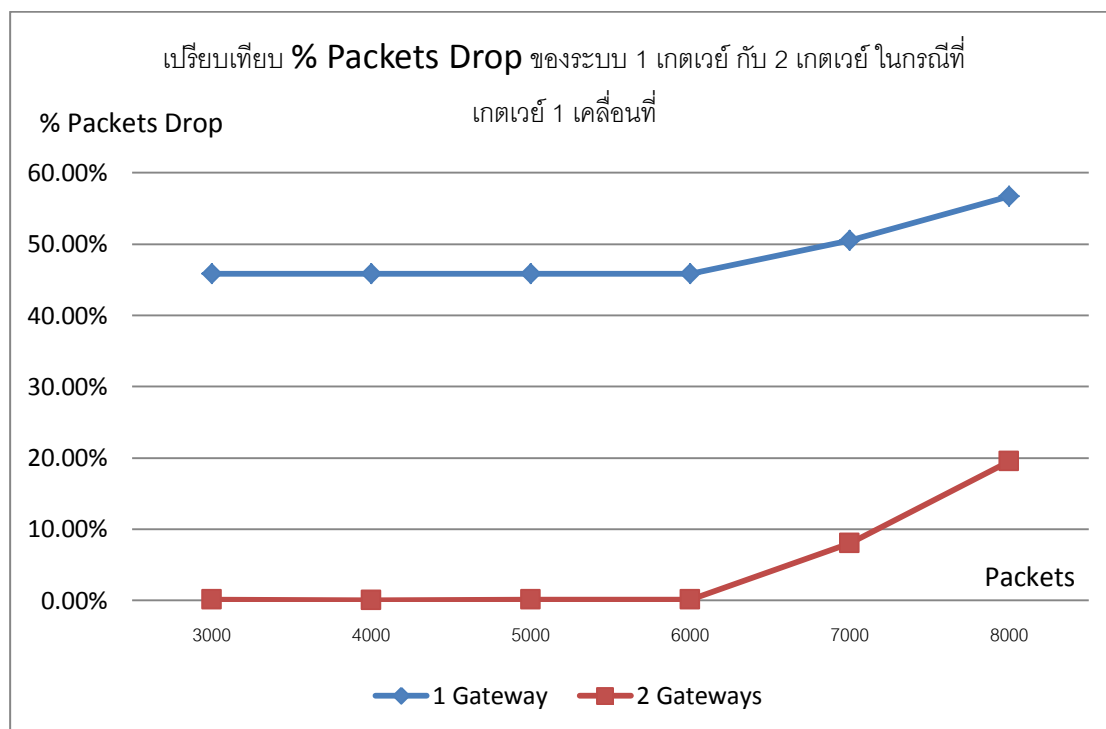
ภาพที่ 4.20 เปรียบเทียบ % Packets Drop ของระบบ 1 เกตเวย์ กับ 2 เกตเวย์ ในกรณีที่เกตเวย์ 1 เสียหาย

ในภาพที่ 4.20 เป็นกราฟเส้นแสดงผลการทดลองหาค่าปริมาณข้อมูลที่สูญเสียในเครือข่าย (% Packets drop) ของเครือข่าย WSN แบบ 2 เกตเวย์ โดยที่มีเกตเวย์ 1 เสียหาย ซึ่งจะเห็นได้ว่า ค่า %Packets drop ของเครือข่าย WSN แบบ 1 เกตเวย์ มีค่าสูงกว่า แบบ 2 เกตเวย์ ประมาณเกือบ 45% ที่ทุกๆ ปริมาณ packets ที่ส่งเข้าไป โดยตั้งแต่ 3000 ถึง 6000 packets ค่า %Packets drop ของแบบ 2 เกตเวย์ต่ำเกือบ 0% ส่วนตั้งแต่ 6000 ถึง 8000 เริ่มมีค่ามากขึ้น ที่เป็นเช่นนี้น่าจะเกิดจากความเร็วของข้อมูลที่ส่งเข้ามามีค่าสูงขึ้น จนเกิดปัญหาเรื่องจาก Drop ของข้อมูล จากปัญหาเรื่องขนาด Buffer ที่จำกัดของตัวโหนดเอง ซึ่งลักษณะเช่นนี้เกิดขึ้นในทิศทางเดียวกันทั้งแบบ 1 เกตเวย์ และ 2 เกตเวย์

ตารางที่ 4.10 ค่าปริมาณข้อมูลที่สูญเสียในเครือข่าย (% Packets drop) ของเครือข่าย WSN แบบ 2 เกตเวย์ โดยที่มีเกตเวย์ 1 เคลื่อนที่ออกนอกเครือข่าย

Packets	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000
1 Gateway	45.83%	45.83%	45.82%	45.83%	50.53%	56.71%
2 Gateway	0.10%	0.05%	0.06%	0.07%	7.99%	19.50%

จากตารางที่ 4.10 เป็นตารางแสดงผลการทดลองหาค่าปริมาณข้อมูลที่สูญเสียในเครือข่าย (% Packets drop) ของเครือข่าย WSN แบบ 2 เกตเวย์ โดยที่มีเกตเวย์ 1 เคลื่อนที่ออกนอกเครือข่าย ซึ่งนำมาแสดงเป็นกราฟเส้นได้ตามภาพที่ 4.24



ภาพที่ 4.21 เปรียบเทียบ % Packets Drop ของระบบ 1 เกตเวย์ กับ 2 เกตเวย์ ในกรณีที่เกตเวย์ 1 มีการเคลื่อนที่

ในภาพที่ 4.21 เป็นกราฟเส้นแสดงผลการทดลองหาค่าปริมาณข้อมูลที่สูญเสียในเครือข่าย (% Packets drop) ของเครือข่าย WSN แบบ 2 เกตเวย์ โดยที่มีเกตเวย์ 1 เคลื่อนที่ออกนอกเครือข่าย ซึ่งจะเห็นว่า ค่า %Packets drop ของเครือข่าย WSN แบบ 1 เกตเวย์ มีค่าสูงกว่า แบบ 2 เกตเวย์ ประมาณเกือบ 45% ที่ทุกๆ ปริมาณ packets ที่ส่งเข้าไป โดยตั้งแต่ 3000 ถึง 6000 packets ค่า %Packets drop ของแบบ 2 เกตเวย์ต่ำเกือบ 0% ส่วนตั้งแต่ 6000 ถึง 8000 เริ่มมีค่ามากขึ้น ที่เป็นเช่นนี้จะเกิดจาก ความเร็วของข้อมูลที่วิ่งส่งเข้ามามีค่าสูงขึ้น จนเกิดปัญหาเรื่องจาก Drop ของข้อมูล จากปัญหาเรื่องขนาด Buffer ที่จำกัดของตัวโหนดเอง ซึ่งลักษณะเช่นนี้เกิดขึ้นในทิศทางเดียวกันทั้งแบบ 1 เกตเวย์ และ 2 เกตเวย์

โดยเมื่อพิจารณาจากภาพที่ 4.20 และภาพที่ 4.21 แล้ว จะเห็นได้ว่าผลการทดลองมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือตั้งแต่ 3000 ถึง 6000 packets ค่า %Packets drop ของเครือข่าย WSN แบบ 2 เกตเวย์ มีค่าต่ำเกือบ 0% ส่วนตั้งแต่ 6000 ถึง 8000 เริ่มสูงขึ้น ดังนั้นขนาดของ Buffer จึงน่าจะมีผลต่อค่าปริมาณข้อมูลที่สูญเสียในเครือข่าย (% Packets drop)

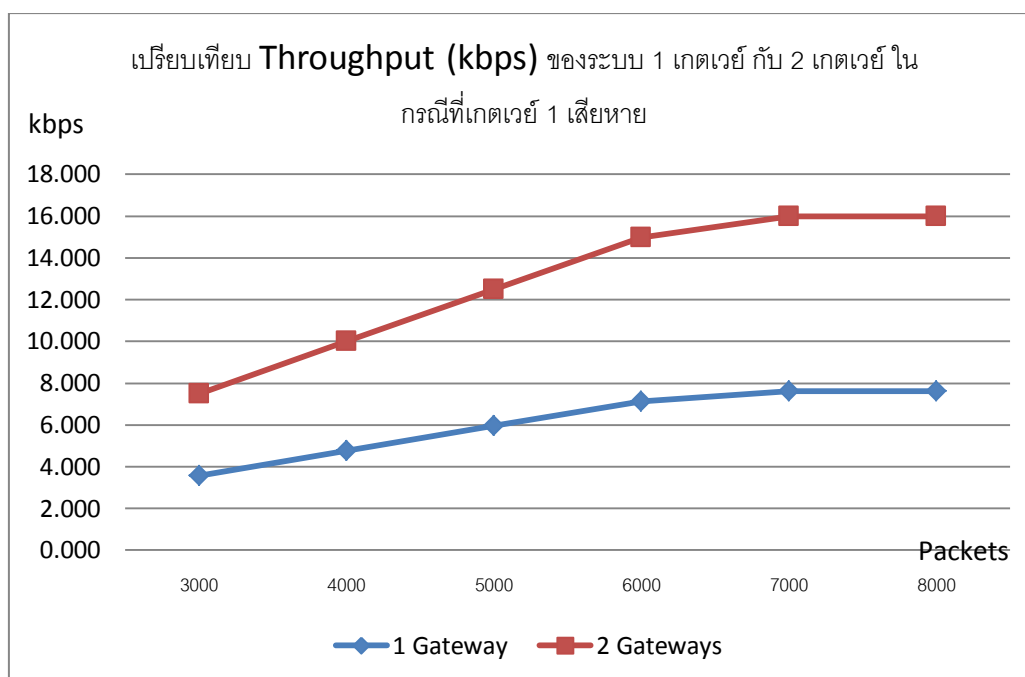
4.2.4 หาค่าปริมาณข้อมูลที่เกตเวย์ 1 และเกตเวย์ 2 รับได้เทียบกับเวลา (Throughput kbps)

ในการทดลองส่วนสุดท้ายนี้จะเป็นการหาค่าปริมาณข้อมูลที่เกตเวย์ 1 และเกตเวย์ 2 รับได้เทียบกับเวลา (Throughput kbps) ซึ่งจะทำให้การนับจำนวน CBR packets ที่ส่งเข้าไปในเครือข่าย เทียบกับ CBR packets ที่สามารถรับได้ที่เกตเวย์ 1 เกตเวย์ 2 แล้วนำค่าที่ได้มารวมกัน บนเครือข่าย WSN ทั้งแบบ 1 เกตเวย์ และแบบ 2 เกตเวย์ โดยพิจารณาทั้งในกรณี ที่เกตเวย์หลักเกิดการเสียหาย และกรณีที่เกตเวย์หลักเคลื่อนที่ออกนอกเครือข่าย ซึ่งได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.11 ปริมาณข้อมูลที่เกตเวย์ 1 และเกตเวย์ 2 รับได้เทียบกับเวลา (Throughput kbps) กรณีเกตเวย์ 1 เสียหาย

Packets	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000
1 Gateway	3.57	4.76	5.95	7.14	7.61	7.61
2 Gateway	7.50	9.99	12.49	14.99	15.97	15.97

จากตารางที่ 4.11 เป็นตารางแสดงผลการทดลองหาค่าปริมาณข้อมูลที่เกตเวย์ 1 และที่เกตเวย์ 2 สามารถรับได้เทียบกับเวลา (Throughput kbps) ของเครือข่าย WSN แบบ 2 เกตเวย์ โดยที่มีเกตเวย์ 1 เสียหาย ซึ่งนำมาแสดงเป็นกราฟเส้นได้ตามภาพที่ 4.25



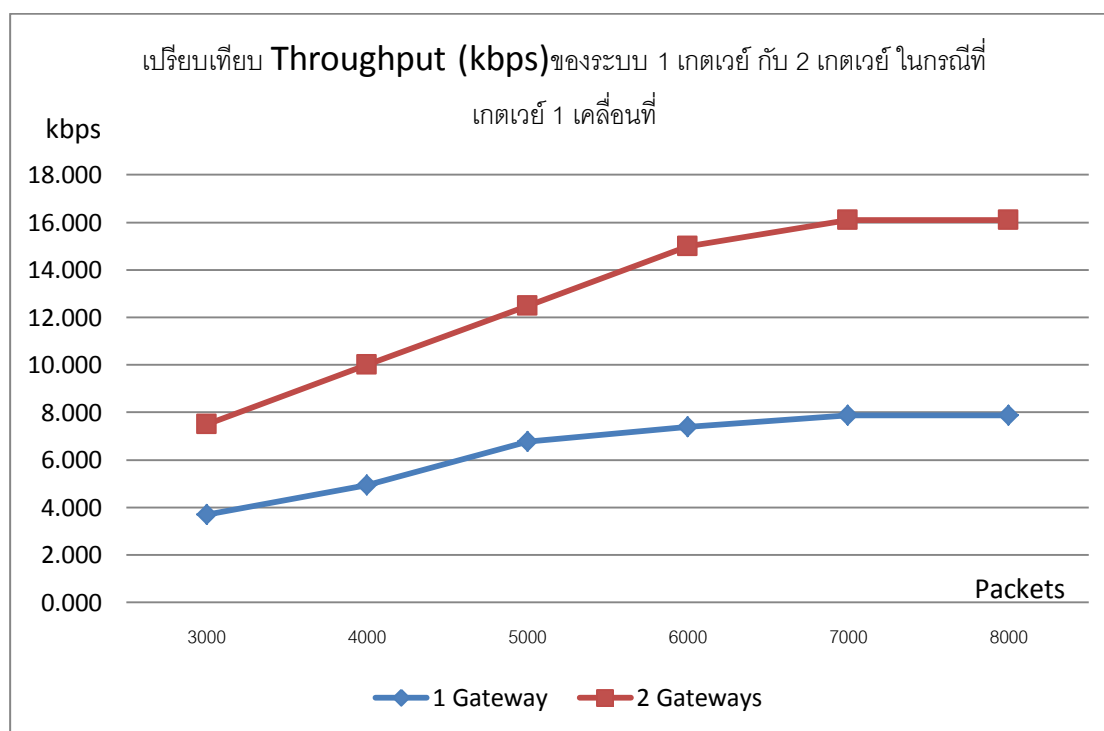
ภาพที่ 4.22 เปรียบเทียบ Throughput (kbps) ของระบบ 1 เกตเวย์ กับ 2 เกตเวย์ ในกรณีที่เกตเวย์ 1 เสียหาย

ในภาพที่ 4.22 เป็นกราฟเส้นแสดงผลการทดลองหาค่าปริมาณข้อมูลที่เกตเวย์ 1 และเกตเวย์ 2 สามารถรับได้เทียบกับเวลา (Throughput kbps) ของเครือข่าย WSN แบบ 2 เกตเวย์ โดยที่มีเกตเวย์ 1 เสียหาย ซึ่งจะเห็นได้ว่า ค่า Throughput ของเครือข่าย WSN แบบ 2 เกตเวย์ มีค่าสูงกว่าแบบ 1 เกตเวย์ ที่ทุกๆ ปริมาณ packets ที่ส่งเข้าไป โดยตั้งแต่ 3000 ถึง 7000 packets ค่า Throughput ของเครือข่ายมีความชันสูงกว่าค่า Throughput ของข้อมูลตั้งแต่ 7000 ถึง 8000 ที่เป็นเช่นนั้นน่าจะเกิดจากความเร็วของข้อมูลที่ส่งเข้ามามีค่าสูงขึ้น จนเกิดปัญหาเรื่องจาก Drop ของข้อมูล จากปัญหาเรื่องขนาด Buffer ที่จำกัดของตัวโหนดเอง ซึ่งลักษณะเช่นนี้เกิดขึ้นในทิศทางเดียวกันทั้งแบบ 1 เกตเวย์ และ 2 เกตเวย์

ตารางที่ 4.12 ปริมาณข้อมูลที่เกตเวย์ 1 และเกตเวย์ 2 รับได้เทียบกับเวลา (Throughput kbps) กรณีเกตเวย์ 1 เคลื่อนที่ออกนอกเครือข่าย

Packets	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000
1 Gateway	3.69	4.93	6.77	7.39	7.87	7.87
2 Gateway	7.49	10.00	12.49	14.99	16.10	16.10

จากตารางที่ 4.12 เป็นตารางแสดงผลการทดลองหาค่าปริมาณข้อมูลที่เกตเวย์ 1 และที่เกตเวย์ 2 สามารถรับได้เทียบกับเวลา (Throughput kbps) ของเครือข่าย WSN แบบ 2 เกตเวย์ โดยที่มีเกตเวย์ 1 เคลื่อนที่ออกนอกเครือข่าย ซึ่งนำมาแสดงเป็นกราฟเส้นได้ตามภาพที่ 4.26



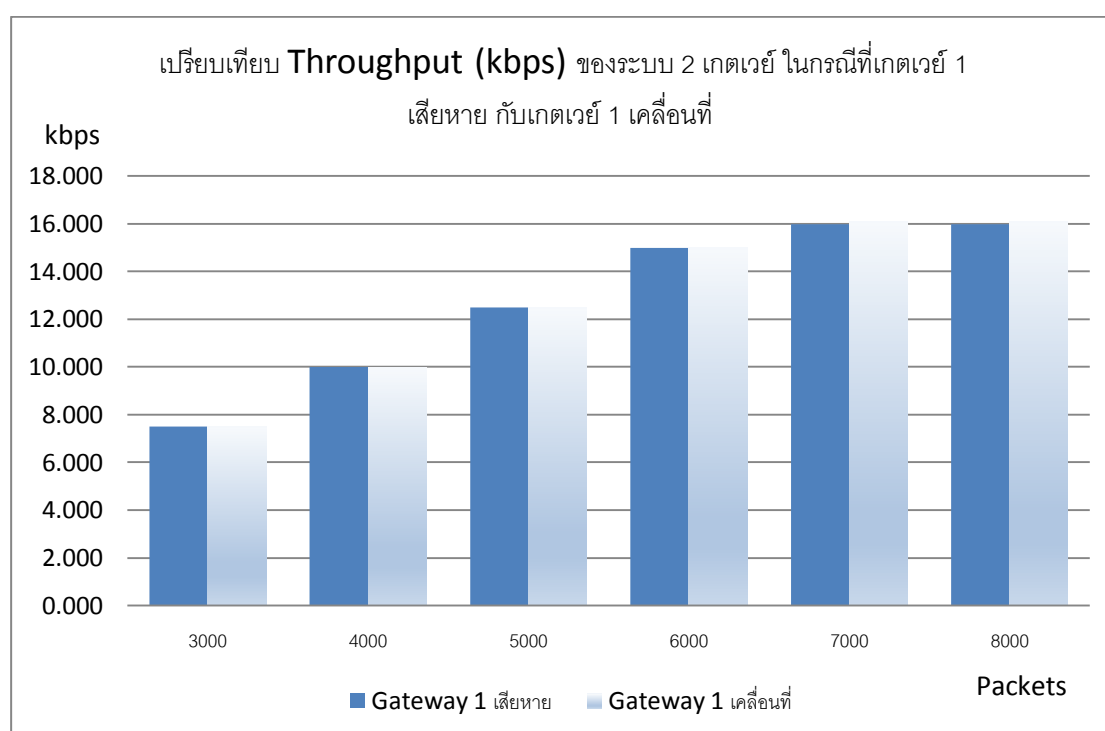
ภาพที่ 4.23 เปรียบเทียบ Throughput (kbps) ของระบบ 1 เกตเวย์ กับ 2 เกตเวย์ ในกรณีที่เกตเวย์ 1 เคลื่อนที่

ในภาพที่ 4.23 เป็นกราฟเส้นแสดงผลการทดลองหาค่าปริมาณข้อมูลที่เกตเวย์ 1 และที่เกตเวย์ 2 สามารถรับได้เทียบกับเวลา (Throughput kbps) ของเครือข่าย WSN แบบ 2 เกตเวย์ โดยที่มีเกตเวย์ 1 เคลื่อนที่ออกนอกเครือข่าย ซึ่งจะเห็นได้ว่า ค่า Throughput ของเครือข่าย WSN แบบ 2 เกตเวย์ มีค่าสูงกว่า แบบ 1 เกตเวย์ ที่ทุกๆ ปริมาณ packets ที่ส่งเข้าไป โดยตั้งแต่ 3000 ถึง 7000 packets ค่า Throughput ของเครือข่ายมีความชันสูงกว่าค่า Throughput ของข้อมูลตั้งแต่ 8000 ถึง 8000 ที่เป็นเช่นนี้น่าจะเกิดจาก ความเร็วของข้อมูลที่ส่งเข้ามามีค่าสูงขึ้น จนเกิดปัญหาเรื่องจาก Drop ของข้อมูล จากปัญหาเรื่องขนาด Buffer ที่จำกัดของตัวเอง ซึ่งลักษณะเช่นนี้เกิดขึ้นในทิศทางเดียวกันทั้งแบบ 1 เกตเวย์ และ 2 เกตเวย์

ตารางที่ 4.13 ปริมาณข้อมูลของเครือข่ายแบบ 2 เกตเวย์ ที่รับได้เทียบกับเวลา (Throughput kbps) โดยเปรียบเทียบกรณีเกตเวย์ 1 เสียหาย และกรณีเกตเวย์ 1 เคลื่อนที่ออกนอกเครือข่าย

Packets	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000
Gateway 1 damage	7.50	9.99	12.49	14.99	15.97	15.97
Gateway 1 move	7.49	10.00	12.49	14.99	16.10	16.10

จากตารางที่ 4.13 เป็นตารางแสดงผลการทดลองหาค่าปริมาณข้อมูลของเครือข่ายแบบ 2 เกตเวย์ ที่รับได้เทียบกับเวลา (Throughput kbps) โดยเปรียบเทียบกรณีเกตเวย์ 1 เสียหาย และกรณีเกตเวย์ 1 เคลื่อนที่ออกนอกเครือข่าย ซึ่งนำมาแสดงเป็นกราฟเส้นได้ตามภาพที่ 4.27



ภาพที่ 4.24 เปรียบเทียบ Throughput (kbps) ของระบบ 2 เกตเวย์ ในกรณีที่เกตเวย์ 1 เสียหาย กับเกตเวย์ 1 เคลื่อนที่

จากภาพที่ 4.24 แสดงให้เห็นถึงผลการเปรียบเทียบปริมาณ Throughput ของเครือข่าย WSN แบบใช้ 2 เกตเวย์ โดยเกตเวย์ตัวที่ 2 จะทำงานก็ต่อเมื่อ เกตเวย์ 1 เสียหาย หรือ เคลื่อนที่ออกนอกเครือข่าย ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองทั้ง 2 กรณีแล้ว พบว่าสามารถทำงานได้ใกล้เคียงกันมาก โดยแบบเกตเวย์ 1 เคลื่อนที่ จะเริ่มมีค่า Throughput มากกว่าเล็กน้อย ในกรณีที่ปริมาณข้อมูลในเครือข่ายมีค่าตั้งแต่ 6000 ถึง 8000 ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากความเร็วในการส่งข้อมูลต่อเวลาที่มากขึ้นจึงทำให้มีโอกาสที่ปริมาณข้อมูลที่ได้รับได้ที่เกตเวย์ มีค่ามากกว่ากรณีที่มีความเร็วในการส่งข้อมูลต่อเวลาที่ต่ำกว่า และมีปริมาณ %Packets drop ในกรณีเกตเวย์เคลื่อนที่ มีค่าน้อยกว่ากรณีที่เกตเวย์เสียหาย