รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการขอรับการส่งเสริมและสนับสนุนจากเงินกองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ

โครงการเตือนภัยช้างผ่านระบบการสื่อสารเคลื่อนที่และเครือข่ายคอมพิวเตอร์

Elephant Warning Project via the Mobile Communication and Computer Network Systems

พิศิษฏ์ โภคารัตน์กุล
นริศ หนูหอม
แสวง เกิดประทุม
ไทรแก้ว กลิ่นคำ
สุธี เอี่ยมวิจิตต์
ชาญยุทธ ดิษฐศิริ

เมษายน 2560

กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ
(สำนักงาน กสทช.)

แบบ กทปส. ME-003

รายงานฉบับสมบูรณ์

ทุนส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยและพัฒนา
สัญญารับทุนเลขที่ T๒-๑-๐๐๑๔/๕๗

โครงการเตือนภัยช้างผ่านระบบการสื่อสารเคลื่อนที่และเครือข่ายคอมพิวเตอร์

Elephant Warning Project via the Mobile Communication and Computer Network Systems

คณะนักวิจัย

1.	ผศ.ดร.พิศิษฏ์ โภคารัตน์กุล	นักวิจัยหัวหน้าโครงการ
2.	ดร.นริศ หนูหอม	นักวิจัยร่วม
3.	นายแสวง เกิดประทุม	นักวิจัยร่วม
4.	นางไทรแก้ว กลิ่นคำ	นักวิจัยร่วม
5.	นายสุธี เอี่ยมวิจิตต์	นักวิจัยร่วม
6.	พ.ต.ชาญยุทธ ดิษฐศิริ	นักวิจัยร่วม

ได้รับทุนอุดหนุนจาก
กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ
(สำนักงาน กสทช.)

เมษายน 2560

แบบ กทปส. ME-003

บทสรุปผู้บริหาร

เมษายน 2560

การบุกรุกของช้างเข้าไปในบริเวณที่อยู่อาศัยและที่ทำกินของผู้คนทำให้เกิดความเสียหายต่อทรัพย์สิน ทำให้เกิดการบาดเจ็บและถึงแก่ชีวิตจึงมีความจำเป็นที่จะต้องลดความขัดแย้งระหว่างมนุษย์กับช้าง การพัฒนาระบบเตือนภัยช้างต้นแบบนี้มีวัตถุประสงค์แจ้งเตือนภัยจากช้างที่บุกรุกเข้ามา ลดความขัดแย้งระหว่างมนุษย์กับช้าง ตลอดจนสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับช้าง เพื่อให้มนุษย์กับช้างอยู่ร่วมกันได้ คณะผู้วิจัยได้พัฒนาและติดตั้งระบบเตือนภัยช้างต้นแบบขึ้นที่พื้นที่ชุมชนบ้านแสวงบ่า ตำบลเขาโจด อำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี โดยใช้เทคนิคตรวจจับคลื่นการสั่นสะเทือนจากการเดินหรือวิ่งของช้างด้วยเซนเซอร์จีโอโฟนยืนยันความถูกต้องด้วยภาพถ่ายอินฟราเรด แจ้งเตือนภัยช้างผ่านระบบการสื่อสารเคลื่อนที่และเครือข่ายคอมพิวเตอร์

ในการพัฒนาระบบเตือนภัยจากช้างต้นแบบทางโครงการได้ทดลองสร้างระบบต้นแบบจากการทดลองกับช้างที่วังช้างอยุธยาแลเพนียด จังหวัดพระนครศรีอยุธยา แล้วนำไปติดตั้งที่ช่องทางบุกรุกของช้างเข้ามาบริเวณพื้นที่เพาะของชุมชนบ้านแสวงบ่า ตำบลเขาโจด อำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี หนึ่งช่องทางเดินจากทั้งหมด 5 – 6 ช่องทาง เพื่อทดสอบระบบและเก็บข้อมูล ระบบเตือนภัยจากช้างจะสมบูรณ์ได้จะติดตั้งทุกช่องทางที่ช้างบุกรุกเข้ามา พฤติกรรมของช้างจะบุกรุกเข้ามากินพืชผล ทำลายทรัพย์สินในเวลากลางคืน

ช้างเป็นสัตว์ช่างสังเกตตรวจสอบสิ่งแวดล้อมในช่องทางเดินอยู่เสมอ การติดตั้งอุปกรณ์จะต้องซ่อนอำพราง และติดตั้งแบบค่อยเป็นค่อยไปเพื่อสร้างเคยชินให้กับช้าง เนื่องจากเป็นพื้นที่ห่างไกลไม่มีสัญญาณโทรศัพท์และไฟฟ้าใช้ ทางโครงการต้องตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ไว้บนบ้านต้นไม้ สร้างระบบเครือข่ายการสื่อสารไร้สายผ่านจานดาวเทียม ติดตั้งกล้องอินฟราเรดไว้บนต้นไม้ ฝังเซนเซอร์จีโอโฟนไว้ใต้ดิน และอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ ไว้ในบ่อใต้ดินทั้งหมด

การแจ้งเตือนภัยจากช้างกระทำผ่านสื่อสังคมออนไลน์และจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ไปยังเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง ส่วนในท้องถิ่นแจ้งผ่านไฟสัญญาณเตือนภัยจากช้าง และวิทยุสื่อสารซึ่งสามารถเชื่อมโยงกับระบบโทรศัพท์ได้ด้วย ระบบเตือนภัยต้นแบบนี้ยังต้องมีการพัฒนาให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นไปอีกจึงจะทำให้ลดปัญหาความขัดแย้งระหว่างมนุษย์กับช้าง ลดการสูญเสียชีวิตของคู่กรณี ป้องกันความเสียหายที่เกิดกับทรัพย์ของประชาชนและสามารถนำไปใช้วางแผนผลักดันช้างให้กลับสู่ป่าได้

เลขที่สัญญารับทุน T๒-๑-๐๐๑๔/๕๗

บทคัดย่อ

โครงการเตือนภัยช้างผ่านระบบการสื่อสารเคลื่อนที่และเครือข่ายคอมพิวเตอร์

พิศิษฏ์ โภคารัตน์กุล

เมษายน 2560

งานวิจัยนี้เสนอแนวทางการเตือนภัยช้างผ่านระบบการสื่อสารเคลื่อนที่และเครือข่ายคอมพิวเตอร์ สำหรับแจ้งเตือนการบุกรุกของช้างล่วงหน้าให้แก่ผู้คนในชุมชนเพื่อหลีกเลี่ยงการเผชิญหน้าระหว่างมนุษย์กับช้าง ระบบการแจ้งเตือนประกอบด้วยระบบวัดคลื่นการสั่นสะเทือนด้วยเซนเซอร์จีโอโฟน (geophone) ยืนยันความถูกต้องด้วยภาพช้างที่ถ่ายได้จากกล้องอินฟราเรด การตรวจจับความเคลื่อนไหวของช้างในงานวิจัยเป็นเซนเซอร์จีโอโฟนรุ่น GD-4.5 และ GD-10 ซึ่งสามารถตรวจจับความถี่การสั่นสะเทือนตั้งแต่ 5-1,000 Hz และ 10-1,200 Hz ตามลำดับ จากการทดลองกับช้างที่ควบคุมได้ที่วังช้าง แลเพนียด จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ปรากฏว่าเซนเซอร์จีโอโฟนที่ฝังอยู่ใต้ดินลึก 10 เซนติเมตร สามารถรับคลื่นการสั่นสะเทือนในช่วง 5-50 Hz จากการเดินของช้างได้ ซึ่งเป็นคลื่นการสั่นสะเทือนที่มนุษย์ไม่สามารถรู้สึกได้ โดยจะรับคลื่นการสั่นสะเทือนได้ดีในช่วงรัศมีไม่เกิน 0.5 เมตร และแอมปลจูดของคลื่นการสั่นสะเทือนจะลดลงไปตามลำดับภายในรัศมี 3 เมตร ซึ่งขึ้นกับลักษณะของดินด้วย การเกิดคลื่นการสั่นสะเทือนนี้ยังขึ้นอยู่กับลักษณะของเท้าสัตว์และขนาดน้ำหนักด้วย คลื่นการสั่นสะเทือนจากเท้าของมนุษย์มีความถี่ใกล้เคียงกับเท้าช้างแต่มีแอมปลจูดต่ำกว่า สัตว์เท้ากีบขนาดใหญ่จะให้แอมปลจูดของคลื่นการสั่นสะเทือนต่ำกว่าช้าง ส่วนสัตว์ขนาดเล็กจะให้คลื่นการสั่นสะเทือนที่มีแอมปลจูดต่ำมากหรืออาจไม่เกิดคลื่นการสั่นสะเทือนที่จีโอโฟนตรวจจับได้ ระบบเตือนภัยช้างต้นแบบนี้ได้นำไปทดลองติดตั้งในพื้นที่ชายป่าบ้านแสวงบ่า ตำบลเขาโจด อำเภอสรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี โดยแจ้งเตือนการบุกรุกของผ่านระบบ LAN ส่งผ่านจานดาวเทียมไปยังสื่อสังคมออนไลน์ และจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งสามารถรับข่าวสารทางคอมพิวเตอร์และโทรศัพท์เคลื่อนที่ ตลอดจนแจ้งเตือนผ่านวิทยุสื่อสารในท้องถิ่น ไฟสัญญาณแจ้งเตือนภัยในท้องถิ่นด้วย

คำค้น: การเผชิญหน้าระหว่างมนุษย์กับช้าง การตรวจจับความเคลื่อนไหวของช้าง ไซซมิกเซนเซอร์ คลื่นการสั่นสะเทือน

เลขที่สัญญารับทุน T๒-๑-๐๐๑๔/๕๗

Elephant Warning Project via the Mobile Communication and Computer Network Systems

Pisit Phokharatkul

April 2017

This paper proposed the elephant warning system for alert the elephant intrusion via the mobile communication and computer networks. The purpose of this system have been try to reduce human-elephant conflict or the confrontation between human and elephants. The elephant presence detection consisted of the seismic sensors verify with infrared camera. The seismic sensors use the geophones GD-4.5 and GD-10, respectively. In detection, the sensors can detect 5-50 Hz seismic waves or vibration waves from the footfalls of elephants. The testing with the elephants at Wangchang Laepaneit, Phranakhon Sri Ayudhya province, the ability of underground geophones 10 cm. depth can detect the vibration waves in the frequency range 5-50 Hz. Human can not to sense this frequency range. The vibration waves can be detected in 0.5 m. radius of the geophone sensors. The amplitude of vibration waves will be reduced follow the range of 3 m. radius and depend on the type of soil. Furthermore, the vibration waves still depend of foot pattern and animal's weight. The vibration waves from human and hoof are nearly frequency compare with the elephant, but its lower amplitude. The seismic sensor can not to detect the vibration waves from the small animals. The prototype warning elephant system was constructed at Ban Swang Ba, Tambol Khaojod, Amphoe Si Sawat, Kanchanaburi Province. The warning information sent to social media and electronic mail using LAN via the satellite antenna. The local area, the warning information sent to the communication radio and warning light.

Keyword: human-elephant conflict, elephant presence detection, seismic sensors, vibration waves

เลขที่สัญญารับทุน T๒-๑-๐๐๑๔/๕๗

สารบัญ

บทสรุปผู้บริหาร I
บทคัดย่อภาษาไทย II
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ III
สารบัญตาราง VI
สารบัญภาพ VII

บทที่ 1. บทนำ
1.1 ที่มา และความสำคัญของโครงการ 1
1.2 วัตถุประสงค์ และขอบเขตของโครงการ 2
1.3 ขอบเขตของโครงการ 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2.1 **ทฤษฎี และแนวความคิดการทำวิจัยของโครงการเตือนภัยช้าง** **4**
2.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8

บทที่ 3. ระเบียบวิธีวิจัย
3.1 ขั้นตอนวิธีการวิจัยของระบบการตรวจจับคลื่นการสั่นสะเทือนจากการเดินของช้าง 12
3.2 ขั้นตอนวิธีการวิจัยของระบบการวิเคราะห์ภาพช้าง 26
3.3 การสำรวจพื้นที่และติดตั้งระบบการตรวจจับคลื่นการสั่นสะเทือนจากการเดินของช้าง 28
3.4 การส่งข้อมูลการบุกรุกของช้างเพื่อแจ้งเตือน 32
3.5 การเตือนภัยช้างผ่านระบบการสื่อสารเคลื่อนที่และเครือข่ายคอมพิวเตอร์ 33
3.6 การติดตั้งระบบ LAN ในพื้นที่บ้านแสวงบ่า ตำบลเขาโจด อำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี 34
3.7 การพัฒนาระบบเตือนภัยช้างต้นแบบ 39
3.8 การติดตั้งระบบเตือนภัยช้างต้นแบบ 47

บทที่ 4. ผลการวิจัย และการวิจารณ์ผล

4.1 ผลการวิจัย 53

4.2 การวิเคราะห์และวิจารณ์ผล 66

บทที่ 5. สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย 76

5.2 ข้อเสนอแนะ 79

บรรณานุกรม 81

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก 83

ภาคผนวก ข 87

ประวัตินักวิจัย 93

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1 จำนวนประชากรช้างป่าในพื้นที่อนุรักษบางแห่งของประเทศไทยในพื้นที่อนุรักษ์บางแห่ง 28

2 ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการที่วังช้างแลเพนียด จังหวัดอยุธยา 53

3 ข้อมูลการแจ้งเตือนจากการทดลอง 56

4 ข้อเปรียบเทียบพื้นที่บ้านแสวงบ่ากับบ้านเขากล้วย 76

5 ข้อเปรียบเทียบตัวตรวจรู้ 77

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ไดอะแกรมอุปกรณ์ระบบตรวจวัดคลื่นการสั่นสะเทือนของพื้นดิน	4
2 การเชื่อมต่อของระบบตรวจวัดการสั่นของของพื้นดิน	5
3 เซนเซอร์วัดคลื่นการสั่นสะเทือนรุ่น 801S	5
4 เซนเซอร์จีโอโฟน	6
5 ไมโครคอนโทรลเลอร์พร้อมระบบ LAN	**6**
6 ผังการทำงานของระบบ	7
7 ตัวอย่างการกำหนดบริเวณตรวจสอบการเคลื่อนไหวเพื่อสั่งบันทึกภาพ	9
8 ภาพถ่ายอินฟราเรดจากกล้องถ่ายภาพความร้อน	9
9 สถานที่ทดลองบริเวณวังช้างแลเพนียด จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	12
10 หนังสือขอความอนุเคราะห์ในการทดสอบอุปกรณ์ตรวจรู้ความเคลื่อนไหวของช้าง	13
11 เปรียบเทียบตัวตรวจรู้แบบแผ่นกลมแบนทำจากสแตนเลส หนา 1.2 มม. ขนาดส้นผ่าศูนย์กลาง 60 ซม. ติดตั้งเซนเซอร์การสั่นสะเทือนตรงจุดศูนย์กลางของแผ่น กับตัวตรวจรู้แบบที่สามเป็นลักษณะท่อโลหะกลมหนา 1.2 มม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 ซม. ยาว 1 เมตรติดตั้งเซนเซอร์การสั่นสะเทือนที่ปลายด้านบน	14
12 เปรียบเทียบตัวตรวจรู้แบบแผ่นกลมแบนทำจากสแตนเลส หนา 1.0 มม. ขนาดส้นผ่าศูนย์กลาง 28.9 ซม. กับตัวตรวจรู้แบบที่สามเป็นลักษณะท่อโลหะกลมหนา 1.2 มม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 ซม. ยาว 1 เมตร	15
13 การวางตัวตรวจรู้แบบแผ่นกลมแบนบนหลุมเพื่อตรวจจับการเคลื่อนไหวของช้าง	15
14 การกลบฝังตัวตรวจรู้แบบแผ่นกลมแบนบนหลุมเพื่อตรวจจับการเคลื่อนไหวของช้าง	16
15 การเกลี่ยดินกลบทับตัวตรวจรู้แบบแผ่นกลมแบนให้มีสภาพพื้นดินเหมือนเดิมเพื่อตรวจจับการเคลื่อนไหวของช้าง	16
16 อุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับตัวตรวจรู้	17
17 ระบบแสดงผลข้อมูลการวัดความเคลื่อนไหวของช้าง ทั้งหมด 6 ช่องสัญญาณ แต่ในการทดลองนี้ใช้เพียง 3 ช่องสัญญาณ	17

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

18 การทดสอบการทำงานของระบบตรวจจับความเคลื่อนไหวของช้าง 18

19 ระบบเชื่อมต่อสัญญาณไร้สาย ยังไม่ได้ทดสอบการส่งสัญญาณไร้สาย 18

20 การทดสอบการทำงานของระบบก่อนการทดลองให้ช้างเดินในบริเวณที่ฝั่งตัวตรวจรู้ 19

21 การทดสอบการทำงานของตัวตรวจรู้ความเคลื่อนไหวของช้าง โดยให้ช้างเดินผ่านไปบนตัวตรวจรู้ที่ฝั่งไว้ใต้ดิน 19

22 ช้างเดินผ่านตัวตรวจรู้ความเคลื่อนไหวของช้างตัวตรวจรู้แบบแผ่นกลมแบน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 28.9 ซม. 20

23 ช้างเดินกลับในทางเดิมอีกครั้ง 20

24 บริเวณที่ฝั่งตัวตรวจรู้ความเคลื่อนไหวของช้างกับระบบคอมพิวเตอร์ที่ประมวลผลข้อมูลที่ท้ายรถยนต์ 21

25 สภาพพื้นที่ภายหลังการทดลองเสร็จสิ้นลง 21

26 ก.) โครงสร้างจีโอโฟนประกอบด้วยขดลวดและแท่งแม่เหล็ก 23

ข.) ภาพโมเดลตัดขวางด้านข้างของจีโอโฟน

27 ก.) เซนเซอร์จีโอโฟน GD-4.5 24

ข.) กราฟความถี่กับความไวของจีโอโฟน GD-4.5

28 ช้างเดินเหยียบบริเวณที่ติดตั้งจีโอโฟน28 ผังการทำงานของระบบ 25

29 ผังการทำงานของระบบ 27

30 ทางเข้าหมู่บ้านแสวบ่า ตำบลเขาโจด อำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี 29

31 ช้างบุกรุกเข้าทำลายพืชผลของชาวบ้านที่บ้านแสวงบ่า ตำบลเขาโจด อำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี เมื่อวันที่ 18 กรกฎาคม 2559 30

32 แสดงพื้นที่สำรวจเพื่อเลือกบริเวณทดสอบอุปกรณ์ 30

33 บริเวณพื้นที่สำรวจบ้านเขากล้วย ตำบลพวา อำเภอแก่งหางแมว จังหวัดจันทบุรี 31

34 ตัวส่งสัญญาณไร้สายความแรงสูง 32

35 หน้าจอแสดงค่าคลื่นการสั่นสะเทือนของเซนเซอร์ 33

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
36	สถาปัตยกรรมของการสื่อสารและรับส่งข้อมูลของระบบเตือนภัยช้าง	33
37	เครือข่าย LAN ที่บ้านแสวงบ่า ตำบลเขาโจด อ.ศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี	34
38	บริเวณที่ป่าที่ติดตั้งระบบเตือนภัย	35
39	การติดตั้งสถานีทวนสัญญาณระบบ wifi จากระบบ 2.4 GHz ไปยังระบบ 5 GHz เพื่อแจ้งเตือนในพื้นที่	36
40	ศูนย์แจ้งเตือนข่าวสาร	37
41	จานรับส่งสัญญาณผ่านดาวเทียม	37
42	ไฟสัญญาณแจ้งเตือนในพื้นที่การบุกรุกของช้าง	38
43	ตัวแปลงสัญญาณวิทยุและวิทยุสื่อสาร	38
44	ขุดหลุมฝั่งอุปกรณ์ตรวจวัดความสั่นสะเทือน	39
45	ตัวตรวจรู้เพื่อตรวจจับความสั่นสะเทือนสั่นสะเทือน	40
46	ติดตั้งเครื่องวัดความสั่นสะเทือน	40
47	ระบบส่งสัญญาณของเครื่องวัดความสั่นสะเทือน	41
48	ก. ภาพถ่ายดาวเทียมบริณบ้านแสวงบ่า ข. ภาพถ่ายดาวเทียมจุดรับสัญญาณห่างออกไปประมาณ 1 กิโลเมตร เพื่อส่งผ่านดาวเทียมไปยังระบบการสื่อสารเคลื่อนที่	42
49	ทดสอบการรับสัญญาณผ่าดาวเทียม	43
50	การติดตั้งเซนเซอร์แบบวัดความสั่นสะเทือน	44
51	ก.) กล่องบรรจุจีโอโฟน ข.) การทดสอบการทำงานของจีโอโฟน	45
52	การติดตั้งตัวตรวจรู้แบบจีโอโฟน	46
53	การเชื่อมสัญญาณไร้สายเข้ากับระบบการสื่อสารเคลื่อนที่และเครือข่ายคอมพิวเตอร์	47
54	การติดตั้งเซนเซอร์จีโอโฟน	48
55	การเชื่อมต่อของระบบตรวจวัดคลื่นการสั่นสะเทือนของพื้นดิน	49
56	การติดตั้งตู้อุปกรณ์สำหรับระบบการตรวจจับภาพช้างบนต้นไม้	50
57	ตู้อุปกรณ์สำหรับระบบการตรวจจับภาพช้างที่ผ่านการพ่นสีลายพลาง	50

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
58	บริเวณที่ลาดเชิงเขาสำหรับติดตั้งระบบตรวจจับภาพช้าง	51
59	การติดตั้งตู้อุปกรณ์สำหรับระบบการตรวจจับภาพช้างบนต้นไม้	52
60	การรับสัญญาณคลื่นการสั่นสะเทือนจากตัวตรวจรู้แบบจีโอโฟน (สีแดง-แถวแรก) และตัวตรวจรู้แบบการวัดคลื่นการสั่นสะเทือน (สีน้ำเงิน-แถวที่สอง) ผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ จากบ้านแสวงบ่า ตำบลเขาโจด กาญจนบุรี	54
61	การรับสัญญาณคลื่นการสั่นสะเทือนจากตัวตรวจรู้แบบจีโอโฟน (สีแดง-แถวแรก) และตัวตรวจรู้แบบการวัดคลื่นการสั่นสะเทือน (สีน้ำเงิน-แถวที่สอง)ผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ จากบ้านเขากล้วย ตำบลพวา อำเภอแก่งหางแมว จันทบุรี	54
62	ช้างเดินเหยียบบริเวณที่ติดตั้งจีโอโฟน	55
63	ทดสอบการรับสัญาณผ่าดาวเทียม	56
64	ทดสอบการส่งจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ผ่านเครือข่ายดาวเทียม	57
65	การทดลองแจ้งเตือนภัยช้าง	57
66	ควาญช้างควบคุมการเดินช้างเพื่อวิเคราะห์ลักษณะการเดินของช้าง	59
67	ลักษณะการก้าวเท้าของช้าง	60
68	แสดงการเดินของช้างเริ่มจากก้าวเท้าขวาหลังไปสิ้นสุดที่การก้าวเท้าซ้ายหลัง	61
69	แสดงรูปแบบการก้าวเท้าเดินของช้าง	61
70	ภาพช้างลักษณะท่าทางต่าง ๆ ในช่วงเวลากลางวัน	64
71	ภาพช้างลักษณะท่าทางต่าง ๆ ในช่วงเวลากลางคืน	66
72	สัญญาณความสั่นสะเทือนจากการก้าวเท้าเดินของช้าง O ขวาหลัง □ ขวาหน้า	68
73	สัญญาณความสั่นสะเทือนจากการก้าวเท้าใน Time domain	68
74	แสดงภาพรวมการทำงานของการวิเคราะห์ภาพช้าง	69
75	ภาพ Dilation Operation	71
76	ภาพ Erosion Operation	71
77	ภาพ Opening Operation	72
78	ภาพ Closing Operation	72
79	ภาพผลลัพธ์จากระบบที่ทำนายว่าเป็นช้างได้อย่างถูกต้อง	75

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

80 ในกรณีที่ระบบทำนายไม่ถูกต้อง 77
81 เซลล์แสงอาทิตย์แหล่งพลังงานบนบ้านต้นไม้ 78
82 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในภาชนะกันน้ำในบ่อใต้ดิน 79
83 คณะผู้วิจัยถ่ายรูปร่วมกับเจ้าหน้าที่ติดตาม กทปส. และเจ้าหน้าที่เทศบาลเขาโจด 84
84 คณะผู้วิจัยประชุมร่วมกันกับเจ้าหน้าที่ติดตาม กทปส. และเจ้าหน้าที่เทศบาลเขาโจด84
85 สถานีทวนสัญญาณ WIFI 85
86 อุปกรณ์ตรวจจับคลื่นการสั่นสะเทือนในถังกันน้ำ ในบ่อใต้ดิน 85
87 เซลล์แสงอาทิตย์บนบ้านต้นไม้ 86
88 พื้นที่เพาะปลูกของชุมชน 86
89 เซนเซอร์จีโอโฟน 88
90 การทดลองตรวจจับคลื่นการสั่นสะเทือนที่วังช้างอยุธยาแลเพนียด จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 88
91 การฝึกหัดช้างที่วังช้างอยุธยาแลเพนียด จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 89
92 การต่อเซนเซอร์จีโอโฟนในการทดลอง 89
93 การฝังเซนเซอร์วัดคลื่นการสั่นสะเทือนแบบ vibration 90
94 เส้นทางไปบ้านแสวงบ่า ตำบลเขาโจด อำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี 90
95 มูลช้างที่บ้านแสวงบ่า ตำบลเขาโจด อำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี 91
96 รอยเท้าช้างที่บ้านแสวงบ่า ตำบลเขาโจด อำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี 91
97 ความเสียหายของไร่ข้าวโพดจากการบุกรุกของช้างที่บ้านแสวงบ่า ตำบลเขาโจด อำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี 92