



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การตรวจสอบวัตถุแปลกปลอมในเนื้อยางพาราก้อนถ้วย
EVALUATION OF METAL IN RUBBER

โดย

ดร.อำนวย	เรืองวารี
นายภาณุพงษ์	บรรจงศิริ
นายนรินทร์	อินปิ่น
นายโชคคณัย	ไยบัว

กรกฎาคม 2555

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการการตรวจสอบวัตถุแปลกปลอมในเนื้อยางพาราอย่างง่าย
EVALUATION OF METAL IN RUBBER

คณะผู้วิจัย

สังกัด

ดร.อำนวย	เรืองวารี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายภาณุพงษ์	บรรจงศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายณรินทร์	อินปิ่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นายโชคดนัย	ไยบัว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ชุดโครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหาร

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การตรวจสอบวัตถุแปลกปลอมในเนื้อยางพาราก้อนถ้วย

(ภาษาอังกฤษ) EVALUATION OF ADULTERATED THING IN CUP LUMP RUBBER

ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานสังกัด และที่อยู่

ชื่อ-สกุล นายอำนาจ เรืองวาริ

หน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ที่อยู่ 39 หมู่ 1 ต.คลองหก อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12110

โทรศัพท์/โทรสาร 02-5493594/02-5494622 E-mail address amnoi@hotmail.com

นักศึกษา/ผู้ร่วมวิจัย 1. นายภาณุพงษ์ บรรจงศิริ

2. นายนรินทร์ อินปิ่น

3. นายโชคดนัย ไยบัว

ระยะเวลาดำเนินการ 12 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 สิงหาคม 2554 ถึงวันที่ 31 กรกฎาคม 2555

ปัญหาที่ทําวิจัยและความสำคัญ

ขั้นตอนในการผลิตยางพาราก้อนถ้วยนั้นเริ่มตั้งแต่การกรีดยางจากต้นยางพารา จนถึงขั้นตอนสุดท้ายคือได้ผลผลิตเป็นลักษณะยางก้อนถ้วย การจำหน่ายยางก้อนถ้วยจะอาศัยการชั่งน้ำหนักของก้อนยางซึ่งจำนวนเงินที่ได้จะแปรผันตามน้ำหนักของยางพาราก้อนถ้วย ดังนั้นถ้ามีโลหะหรือก้อนกรวดปลอมปนอยู่ในเนื้อยางพาราจะทำให้น้ำหนักที่ได้ไม่ใช่น้ำหนักสุทธิของยางพาราเพียงอย่างเดียว ทางคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการตรวจสอบหาวัตถุเจือปนในเนื้อยางพาราก้อนถ้วยด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบบต่อเนื่องโดยในเครื่องต้นแบบรุ่นแรกนี้จะเน้นที่การตรวจหาโลหะที่ปลอมปนในเนื้อยางก้อนถ้วยเพียงอย่างเดียวก่อน ซึ่งการตรวจสอบจะไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของเนื้อยางพาราและปลอดภัยต่อมนุษย์

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษา ออกแบบ วิเคราะห์และสร้าง ระบบตรวจสอบวัตถุแปลกปลอมในเนื้อยางพาราก้อนถ้วย ได้แก่ โลหะ โดยอาศัยคุณสมบัติผลการตอบสนองของสัญญาณความถี่ต่อสภาพยอมสัมพัทธ์ (Relative Permittivity) ของเนื้อยางพาราก้อนถ้วยและของวัตถุแปลกปลอมในเนื้อยางขณะปราศจากน้ำเจือปน

ผลการดำเนินงาน

ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับคลื่นสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า การทดสอบแบบไม่ทำลายและคุณสมบัติทางกายภาพของยางก้อนถ้วยและโลหะ ออกแบบ จำลองแบบและวิเคราะห์ระบบการตรวจสอบยางพาราก้อนถ้วยที่มีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขต่างๆ ทางกายภาพด้วยเครื่องวัดสัญญาณทางไฟฟ้าร่วมกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ขั้นตอนต่อไปทำการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบจริงโดยมีส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องตรวจสอบคือ ส่วนกำเนิดสัญญาณทางไฟฟ้าที่ความถี่ประมาณ 460 MHz ส่วนแพร่กระจายคลื่นสัญญาณทางไฟฟ้าและส่วนรับคลื่นสัญญาณทางไฟฟ้าใช้สายอากาศแบบแบบขดลวดรวมกับตัวสะท้อนสัญญาณที่ทำจากแผ่นอลูมิเนียมที่มีโครงสร้างเป็นลักษณะโพรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ส่วนสุดท้ายคือส่วนแสดงผลของการตรวจสอบโดยใช้ลำโพงและหลอดแอลอีดี สำหรับกรณีเครื่องฯ ต้นแบบตรวจพบโลหะปลอมปนในเนื้อยางพาราก้อนถ้วย เครื่องฯ ต้นแบบจะมีสัญญาณเสียงดังและไฟแอลอีดีเปล่งแสงออกมา จากนั้นทำการ วาง

แผนการจำลองแบบ (Simulation) และทดลอง (Experiments) เครื่องทดสอบ โดยการทดสอบเครื่องตรวจสอบด้วยยางพาราก่อนถ้วย จะทดสอบภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ได้แก่ ตรวจสอบยางพาราก่อนถ้วยแบบไม่มีโลหะแปลกปลอมและแบบมีโลหะแปลกปลอมในเนื้อยางเพื่อแยกยางพาราก่อนถ้วยทั้งสองชนิดออกจากกัน ซึ่งการทดสอบจะมีการปรับเปลี่ยนขนาดของยางพาราก่อนถ้วยและขนาดโลหะที่ฝังในเนื้อยางพารา ซึ่งระหว่างการทดสอบได้มีการเก็บข้อมูลการทดสอบและทำการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากกับข้อมูลจริง เพื่อหาความผิดพลาด ทำการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองปรับปรุงแก้ไขเครื่องตรวจสอบ ผลลัพธ์ที่ได้พบว่าเครื่องตรวจสอบมีประสิทธิภาพผิดพลาดร้อยละ 3 ในขั้นตอนสุดท้ายทำการเผยแพร่งานวิจัย และส่งรายงานฉบับสมบูรณ์

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้พบว่าประสิทธิภาพของเครื่องตรวจสอบโลหะในเนื้อยางพาราก่อนถ้วยจะขึ้นอยู่กับ ขนาดของยางพาราก่อนถ้วยและโลหะที่ฝังในเนื้อยางพารา ถ้าขนาดยางพาราก่อนถ้วยมีขนาดใหญ่เกิน 10 ลูกบาศก์เซนติเมตรและขนาดโลหะมีขนาดเล็กกว่า 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร การตรวจสอบก็จะตรวจสอบจะไม่พบหรือพบโลหะที่แปลกปลอมน้อยซึ่งเป็นไปตามข้อจำกัดในขอบเขตของเครื่องทดสอบสำหรับงานวิจัยนี้ สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องฯ ต้นแบบจะใช้ยางพาราก่อนถ้วยขนาดไม่เกิน 10 ลูกบาศก์เซนติเมตรและโลหะมีขนาดไม่น้อยกว่า 1 ลูกบาศก์เซนติเมตรโดยได้แบ่งการทดสอบเป็น 3 กรณีคือกรณีแรกได้ทดสอบนำยางพาราก่อนถ้วยแบบบริสุทธิ์ 100 ก้อนพบว่ายางพาราก่อนถ้วยสามารถผ่านช่องตรวจรูของเครื่องตรวจสอบโดยไม่มีสัญญาณเตือนว่าพบโลหะแปลกปลอม จากนั้นในกรณีที่สอง นำยางพาราก่อนถ้วยที่มีการแทรกโลหะในเนื้อยางพาราก่อนถ้วย 100 ก้อนผ่านเครื่องตรวจสอบพบว่าเครื่องตรวจสอบตรวจพบยางพาราก่อนถ้วยที่มีโลหะแปลกปลอม 97 ก้อน ส่วนอีก 3 ก้อนไม่พบซึ่งถือว่าเป็นข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นคิดเป็นร้อยละ 3 และการทดสอบกรณีสุดท้ายได้นำยางพาราก่อนถ้วย 100 ก้อนมาทำการทดสอบโดยมียางพาราก่อนถ้วยที่มีการแทรกโลหะแปลกปลอมในเนื้อยางพารา 30 ก้อน ส่วนอีก 70 ก้อนเป็นเนื้อยางพาราก่อนถ้วยแบบบริสุทธิ์ผลการตรวจสอบโดยเครื่องฯ ต้นแบบพบว่าสามารถแยกยางสองประเภทได้ถูกต้องร้อยละ 100

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะควรวิจัยเพิ่มเติมและวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

จากการทดสอบเครื่องตรวจสอบโลหะแปลกปลอมยางพาราก่อนถ้วยนั้นพบว่าประสิทธิภาพของการตรวจสอบคือความถูกต้องของการตรวจพบโลหะแปลกปลอม นั้นขึ้นอยู่กับกำลังความเข้มของพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เครื่องตรวจสอบผลิตได้ที่ส่วนกำเนิดสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าคือภาคออสซิลเลเตอร์ของเครื่องตรวจสอบ ถ้ากำลังความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผลิตยิ่งมากยิ่งดีแต่ก็ต้องเป็นไปตามมาตรฐาน FCC (Federal communication commission) ที่กำหนด เพื่อไม่ให้เป็นอันตรายกับผู้ใช้งาน โดยหัวใจสำคัญของกำลังความเข้มของพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าคือการเลือกทรานซิสเตอร์ที่อยู่ในภาคออสซิลเลเตอร์ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์ที่ทำงานในย่านความถี่สูงได้ดี นอกจากนั้นการออกแบบช่องตรวจรูที่สร้างเป็นโพรงทรงสี่เหลี่ยมเพื่อให้ยางพาราก่อนถ้วยเคลื่อนผ่านสำหรับตรวจสอบนั้นควรติดตั้งแผ่นสะท้อนที่เป็นแผ่นอลูมิเนียมในระยะที่เกินระยะตรวจจับของเครื่องฯ ต้นแบบเพราะมีฉะนั้นจะทำให้การตรวจสอบผิดพลาดและควรมีการวิจัยเพิ่มเพื่อหาระยะที่เหมาะสมโดยสามารถคำนวณออกมาเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้

สำหรับส่วนสายพานลำเลียงเพื่อนำชิ้นงานทดสอบคือยางพาราก่อนถ้วย ถ้าเป็นระบบการใช้งานจริงในอุตสาหกรรมควรมีการออกแบบให้สามารถรับน้ำหนักและปริมาณยางพาราก่อนถ้วยได้มากกว่านี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องตรวจสอบ และสำหรับส่วนสุดท้ายการพัฒนาเครื่องฯ ต้นแบบนี้ควรมีการสนับสนุนทุนการวิจัยต่อยอดเพื่อให้เครื่องต้นแบบนี้สามารถตรวจสอบวัตถุอื่นนอกเหนือจากโลหะได้แก่ ก้อนกรวด ก้อน

คอนกรีต และไม้ เป็นต้นเนื่องจากทางความเป็นจริงแล้วโอกาสที่วัสดุเหล่านี้จะแปลกปลอมลงไปในเรื่อง
ยางพาราก่อนถ้วยได้เช่นกัน

ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

1. เกิดการศึกษาค้นคว้าด้านวัสดุศาสตร์และไฟฟ้าเพื่อนำมาใช้ประโยชน์จริงในงานเกษตรกรรมและ
ทำให้เกิดการบูรณาการด้านความคิดและการประยุกต์ใช้งานระหว่างสาขาคืองานด้านวิศวกรรมไปประยุกต์ใช้
กับงานด้านวัสดุศาสตร์ ด้านเกษตรกรรม คอมพิวเตอร์และด้านอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

2. พัฒนาองค์ความรู้เกี่ยวกับการตรวจสอบแบบไม่ทำลายในยางก้อนถ้วยโดยอาศัยหลักการทางด้าน
คลื่นสัญญาณไฟฟ้าและด้านที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นพื้นฐานในการพัฒนางานวิจัยและสามารถเผยแพร่ ในงาน
ประชุมวิชาการภายในประเทศหรือตีพิมพ์ในวารสารภายในประเทศอย่างน้อย 1 เรื่องพร้อมได้เครื่องตรวจสอบ
วัตถุแปลกปลอมในยางก้อนถ้วยต้นแบบ 1 เครื่องซึ่งสามารถพัฒนาให้เป็นเครื่องมือที่ครอบคลุมการใช้งาน
ได้มากขึ้น (สามารถตรวจสอบยางก้อนถ้วยในจำนวนมากกว่าและยังสามารถพัฒนาให้ตรวจหา สิ่งแปลกปลอม
ได้มากขึ้นดีกว่าเครื่องต้นแบบ)

3. เป็นการลดการใช้เทคโนโลยีหรือเครื่องมือจากต่างประเทศซึ่งมีต้นทุนที่สูงมาใช้เทคโนโลยีได้จาก
ภายในประเทศการนำเข้าเทคโนโลยีด้านการตรวจสอบแบบไม่ทำลายจากต่างประเทศมีราคาที่สูง

4. บริการความรู้แก่ภาคธุรกิจเพื่อนำไปสู่การผลิตเชิงพาณิชย์ เผยแพร่ข้อมูล ขั้นตอน ผลทดลองและ
รวมไปถึงประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบ ให้แก่ภาคธุรกิจที่สนใจเพื่อสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิต
เครื่องมือต้นทุนต่ำกว่าการนำเข้าจากต่างประเทศ

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันผลตอบแทนจากการค้าขายยางพาราก่อนด้วยธรรมชาติขึ้นอยู่กับน้ำหนักของยางพารา ซึ่งปัญหาการค้าขายยางพาราก่อนด้วยจะปรากฏเมื่อมีสิ่งปลอมปนภายในเนื้อยางพาราก่อนด้วยเช่นโลหะหรือก้อนหิน ทำให้น้ำหนักยางพาราที่ค้าขายไม่ถูกต้องตามความเป็นจริง การตรวจสอบด้วยตาเปล่าเป็นเรื่องที่ยุ่งยากและเสียเวลา

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว โดยทำการออกแบบและสร้างเครื่องตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในเนื้อยางพาราก่อนด้วย การทำงานของเครื่องฯ ต้นแบบเริ่มที่ส่วนกำเนิดสัญญาณ ในส่วนนี้ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ช่วงความถี่ไม่เกิน 960 เมกกะเฮิร์ตซ์ จากนั้นทำการส่งสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้ไปยังส่วนหน้าซึ่งประกอบไปด้วยวงจรความถี่สูงและสายอากาศ (ชนิดขดลวด) หลังจากวงจรส่วนหน้าสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าจะแผ่พลังงานผ่านอวกาศว่างผ่านสายอากาศและแพร่ไปยังยางพาราก่อนด้วย ในกรณียางพาราก่อนด้วยมีโลหะในเนื้อยาง โลหะจะสะท้อนสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้ากลับไปยังสายอากาศ ที่ตัวสายอากาศ สัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกแปลงไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ขั้นตอนสุดท้ายสัญญาณไฟฟ้าเหล่านั้นถูกส่งผ่านไปยังส่วนสุดท้ายของเครื่องฯ ต้นแบบคือส่วนแสดงผล ผลการตรวจสอบจะแสดงว่าพบโลหะในเนื้อยางพาราก่อนด้วยผ่านทางแอลอีดีและลำโพง สำหรับในกรณียางพาราก่อนด้วยบริสุทธิ์ เครื่องฯ ต้นแบบจะไม่ตรวจพบสัญญาณที่สะท้อนกลับมา

วัสดุที่ใช้สำหรับทดสอบเครื่องฯ ต้นแบบ เป็นยางพาราก่อนด้วยธรรมชาติ (มีโลหะและไม่มีโลหะภายใน) ขนาดไม่เกิน 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร ขั้นตอนแรกของการทดสอบ เริ่มจากการนำยางพาราป้อนให้เครื่องฯ บนสายพานลำเลียง (สายพานเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 37.5 เซนติเมตรต่อวินาที) จากนั้นยางพาราก่อนด้วยเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปยังช่องตรวจรู้ของเครื่องฯ โดยสายพานเพื่อทำการตรวจสอบ ระยะห่างระหว่างยางพาราก่อนด้วยที่วางบนสายพานแต่ละก้อนเท่ากับ 10 เซนติเมตร ผลการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบมีความคลาดเคลื่อนในการตรวจสอบเท่ากับร้อยละ 3 สำหรับยางทดสอบที่มีโลหะอยู่ในเนื้อขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ในกรณียางทดสอบมีโลหะขนาด 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าความผิดพลาดของเครื่องลดลงเหลือร้อยละ 1

คำสำคัญ การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า วัตถุโลหะ ยางพาราก่อนด้วย

ABSTRACT

In present, the payments of natural cup lump rubber trade are depending on rubber weight. The rubber trade problems will appear when the rubbers have adulterated things inside

such as metal or pebble. Those rubber weights will not truth. The naked eye evaluation is complex and waste time.

This research aims to resolve above problem by designed and fabricated machine for evaluation of metal in cup lump rubber. The prototype machine operation starts at signal generator section. This section generates electromagnetic signals with frequency of <960 MHz. Then, the electromagnetic signals send to font-end section. The font-end section is consisting of high frequency circuit and transceiver antenna (helix type). After font-end section, these signals radiate through free space and propagate to the cup lump rubber. In case of metal inside cup lump rubber, the metal has been reflecting electromagnetic signals and these signals will return to the transceiver antenna. At the transceiver antenna, the reflection electromagnetic signals are converting to electrical signal. Finally, those electrical signals transfer to last section which is display section. The evaluation results (detected metal) are showing on LED and speaker. In case of pure cup lump rubber, the prototype machine will not detect any reflection signal.

The materials for testing prototype machine are natural cup lump rubbers (metal and no metal inside rubber) with size of $<10\text{ cm}^2$. The first step of testing, these test rubbers feed in the conveyor (speed 37.5 cm/s). Then, the test rubbers move in cavity sensor by conveyor for evaluating. The gap between each rubber on the conveyor is 10 cm . The experiments are found that the prototype machine uncertainty is 3% for test rubbers with metal (size: 1 cm^2). In case of test rubbers with metal (size: 2 cm^2), the uncertainty reduces to 1% .

Keywords: Non-destructive testing, Electromagnetic wave, metal material, and cup lump rubber.

2. เนื้อหางานวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอ การออกแบบ และพัฒนาเครื่องตรวจสอบวัตถุแปลกปลอมในเนื้อยางพาราที่อ่อนนุ่ม โดยใช้หลักการสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้ร่วมกับหลักการของเรดาร์ทะลุพื้นดิน (Ground Penetrating Radar: GPR) ที่ช่วงความถี่ไม่เกิน 960 เมกะเฮิรตซ์ [1] หลักการคืออาศัยความสมมูลระหว่างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภาคส่งและภาครับ การถ่ายเทพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าโดยผ่านสายอากาศเมื่อมีวัสดุแปลกปลอมที่เป็นโลหะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งระดับสัญญาณและการเลื่อนเฟส ซึ่งเกิดจากการรบกวนสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อมีการตรวจสอบพบว่ามีสิ่งแปลกปลอมในเนื้อยางพาราที่เป็นโลหะ เครื่องตรวจสอบจะแสดงผลในภาครับ สัญญาณซึ่งใช้ LED และลำโพงส่งสัญญาณเสียงเป็นตัวแสดงผลการตรวจสอบเพื่อให้ทราบว่ามีโลหะอยู่ในยางพาราที่อ่อนนุ่ม

2.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ยางพาราถือเป็นพืชเศรษฐกิจซึ่งทำรายได้ให้กับประชากรในประเทศซึ่งอยู่ในอันดับต้นๆ ของรายได้หลักของประเทศไทย การพัฒนากระบวนการผลิตยางพาราให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นจะส่งผลดีทั้งต่อประเทศและเกษตรกรชาวสวนยาง อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มความเชื่อมั่นสำหรับลูกค้าที่มารับซื้ออีกด้วย โดยขั้นตอนในการผลิตยางพารา เริ่มตั้งแต่เริ่มกรีดยางจากต้น จนถึงขั้นตอนสุดท้ายคือได้ผลผลิตจากต้นยางที่เตรียมส่งขายให้กับผู้รับซื้อหรือโรงงานอุตสาหกรรม ปัจจุบันรูปแบบผลผลิตจากยางพาราที่ชาวสวนอย่างเตรียมส่งขายสามารถแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบหลักๆ ได้แก่ น้ำยาง ยางแผ่น และยางก้อนถ้วย ซึ่งผลผลิตในรูปแบบยางก้อนถ้วยเริ่มเป็นที่รู้จักของชาวสวน อีกทั้งมีการส่งเสริมจากรัฐบาลให้ชาวสวนทำยางก้อนถ้วยจึงทำให้ยางก้อนถ้วยเป็นที่ต้องการของโรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตยางแท่งมากยิ่งขึ้น ซึ่งแต่เดิมทางโรงงานอุตสาหกรรมจะรับซื้อขี้ยางเพื่อมาผลิตยางแท่งแต่เมื่อเปลี่ยนมาใช้ยางก้อนถ้วยจะสะดวกและทำให้ต้นทุนการผลิตยางแท่งลดลง

วิธีการผลิตยางก้อนถ้วย [2] เริ่มเป็นที่นิยมมากขึ้นเนื่องจากขั้นตอนไม่ยุ่งยากเพียงแค่เตรียมกรดฟอร์มิคเจือจาง ซึ่งทำได้โดยใช้น้ำกรด 10 ส่วนผสมน้ำ 90 ส่วน จากนั้นขั้นตอนแรกทำการลอกขี้ยางเส้นออกจากหน้ากรีดเก็บใส่ภาชนะ ทำความสะอาดเช็ดด้วยยางก้อนรองน้ำยาง และเริ่มกรีดยางตามปกติจนครบทั้งแปลง เมื่อน้ำยางหยุดไหล หยดย่น้ำกรดที่เตรียมไว้ 12-15 ซีซีต่อต้น แล้วควนให้เข้ากัน ปลอ่ยให้น้ำยางจับตัวในถ้วย เสร็จแล้วเคาะยางเกี่ยวเสียใบที่ลวด 1 วัน หลังจากนั้นจึงเก็บใส่ถุง ตาข่ายในลอน แล้วนำมาผึ่งเกลี่ยบนแคร่ในร่ม เพื่อไม่ให้ก้อนยางติดกัน รอจำหน่ายแก่ผู้รับซื้อหรือโรงงานอุตสาหกรรม การจำหน่ายยางก้อนถ้วยจะอาศัยการชั่งน้ำหนักจำนวนเงินจากการขายยางจะแปรผันตามน้ำหนักของยางก้อนถ้วย ดังนั้นถ้ามีการแอบนำโลหะใส่ปลอมปนอยู่ในเนื้อยางก้อนถ้วยซึ่งสาเหตุอาจเกิดในขั้นตอนการเตรียมน้ำยางหรือขณะร่อนยางแข็งตัว เมื่อน้ำยางแข็งตัวเป็นยางก้อนถ้วยแล้วทำให้น้ำหนักที่ได้ไม่ใช่น้ำหนักสุทธิของยางเพียงอย่างเดียวทำให้ผู้รับซื้อหรือโรงงานอุตสาหกรรมเกิดความเสียหายได้ในระยะยาว

ทางคณะผู้วิจัยได้สอบถามข้อมูลจากทางเกษตรกรสวนยางพาราและผู้รับซื้อยางถ้วยก้อนถึงขั้นตอนในการตรวจสอบวัตถุแปลกปลอมในเนื้อยางพาราคำตอบส่วนใหญ่ที่ได้คือยังไม่มีเครื่องมือหรืออุปกรณ์ในการตรวจสอบและเป็นที่ทราบว่าการตรวจหาวัตถุปลอมปนด้วยตาเปล่านั้นกระทำไม่ได้ ทางคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการตรวจสอบหาวัตถุเจือปนในเนื้อยางด้วยส่งคลื่นสัญญาณทางไฟฟ้าผ่านเข้าไปในเนื้อยางก้อนถ้วยเพื่อตรวจสอบหาสิ่งปลอมปน โดยในเครื่องต้นแบบรุ่นแรกนี้จะเน้นที่การตรวจหาโลหะที่ปลอมปนในเนื้อยางก้อนถ้วยและจะพัฒนาให้สามารถ

ตรวจสอบวัตถุแปลกปลอมมากขึ้น อีกทั้งยังสามารถนำเครื่องต้นแบบนี้ไปประยุกต์ใช้กับการตรวจสอบคุณภาพยางรถยนต์ที่เสริมใยเหล็กกว่ามีการเสริมจริงหรือไม่ได้อีกกรณี การตรวจสอบด้วยเครื่องต้นแบบนี้จะไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของเนื้อยางพาราและปลอดภัยต่อมนุษย์

2.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาระบบการผลิตและตรวจสอบยางก้อนถ้วยให้มีความทันสมัย สะดวก ประหยัดเวลา และมีประสิทธิภาพ
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติและวิเคราะห์โดยการจำลองแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหาผลตอบสนองทางความถี่ทางด้านกายภาพของ ยางถ้วยก้อน โลหะ และก้อนหินต่อคลื่นสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อใช้เป็นข้อมูลและแนวทางในการพัฒนาระบบการผลิตยางพาราในอนาคต
3. เพื่อให้เกิดการพัฒนาแบบการบูรณาการโดยการนำความรู้และเทคโนโลยีทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มาประยุกต์รวมกับเกษตรกรรม
4. เพื่อลดการนำเข้าและซื้อเครื่องมือราคาแพงที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตยางจากต่างประเทศ
5. เพื่อพัฒนาการสร้างองค์ความรู้และสนับสนุนให้เกิดการพึ่งพาเทคโนโลยีที่สามารถผลิตได้เองในประเทศ

2.3 ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัยและผลงานที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากการรับซื้อยางก้อนถ้วยจะทำการคำนวณเงินที่รับซื้อตามน้ำหนักยาง ถ้ายางก้อนถ้วยที่นำมาขายนั้นเกิดมีการปลอมปนภายในด้วยโลหะหรือก้อนหิน (ดังตัวอย่างในอดีตในขณะนั้นกึ่งมีราคาสูงเคยมีการแอบเอาโลหะใส่ในหัวกึ่งเพื่อเพิ่มน้ำหนักกึ่ง) ทำให้น้ำหนักยางเพิ่มขึ้นแต่เนื้อยางเท่าเดิมอาจก่อให้เกิดความเสียหายแก่ผู้รับซื้อทั้งทางด้านคุณภาพของยางและทางด้านเศรษฐกิจ การตรวจสอบด้วยตาเปล่านั้นในขณะรับซื้อทำได้ไม่สะดวก อีกทั้งยังใช้เวลานาน ทางคณะวิจัยจึงเล็งเห็นปัญหาดังกล่าวจึงได้มีแนวคิดที่จะพัฒนากระบวนการผลิตยางพาราก่อนถ้วยให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นโดยเพิ่มขั้นตอนการตรวจสอบสิ่งปลอมปนที่อยู่ในเนื้อยางพาราก่อนถ้วยก่อนที่จะนำส่งไปจำหน่ายแก่ลูกค้าที่มารับซื้อและให้ผู้มารับซื้อได้ทำการตรวจสอบก่อนเพื่อได้อย่างก้อนถ้วยที่มีคุณภาพก่อนการรับซื้อเช่นกัน

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น การที่จะทำตรวจหาสิ่งปลอมปนที่อยู่ในเนื้อยางพาราก่อนถ้วยบางกรณีไม่สามารถทำได้ด้วยตาเปล่าแต่ต้องใช้เครื่องมือเช่น ของมีคม หรือความร้อนมาช่วยในกระบวนการตรวจสอบและต้องใช้เวลาในขั้นตอนดังกล่าว ดังนั้นทางคณะวิจัยจึงนำหลักการของตัวตรวจรู้เรดาร์ (Radar Sensors) [3] มาประยุกต์ใช้เพื่อตรวจหาโลหะแปลกปลอมปนในเนื้อยางก้อนถ้วยเพราะเล็งเห็นว่ามีประสิทธิภาพที่เชื่อถือได้และจะช่วยลดปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น งานวิจัยที่ผ่านมาเกอเนอร์ (Guenter Kompa) และคณะ [4-5] ศึกษาออกแบบและสร้างระบบตรวจรู้เรดาร์ใช้งานระยะใกล้ที่พัฒนามาจากระบบตรวจวัดระยะแบบ 3 มิติด้วยเลเซอร์ ซึ่งระบบตรวจรู้เรดาร์ระยะใกล้แบบทวิสติก (Bi-static near field radar) จากนั้น อำนวนย เรืองวารี [6] พัฒนาระบบตรวจรู้เรดาร์ระยะใกล้ได้ระบบใหม่เป็นแบบเอกสถิต (Mono-static near field radar) อีกทั้งได้พัฒนาระบบตรวจรู้เรดาร์แบบทวิสติก [4] เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ โดยระบบตรวจรู้เรดาร์ดังกล่าวได้ถูกนำมา

ประยุกต์ใช้งานกับงานหลายประเภทเช่น การตรวจวัดระดับน้ำ ตรวจหาโลหะในพื้นดินหรือสิ่งแปลกปลอมในทราย และตรวจวัดระยะทางของวัตถุเป็นต้น

จากระบบตรวจรู้เรดาร์ระยะใกล้ [6] ทางคณะวิจัยมีแนวคิดจะทำการพัฒนาระบบ เพื่อให้มีความเหมาะสมกับเครื่องตรวจสอบโลหะแปลกปลอมในยางพาราโดยอาศัยหลักการส่งสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าแบบคลื่นต่อเนื่อง (Continuous wave: CW) ในย่านแถบกว้างยิ่ง (Ultra-wideband: UWB) ซึ่งมีความถี่อยู่สองย่านความถี่คือ ย่านความถี่ต่ำมีช่วงความถี่ต่ำกว่า 960 เมกกะเฮิร์ตซ์ และย่านความถี่สูงมีช่วงความถี่ระหว่าง 3.1 – 10.6 กิกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าแบบคลื่นต่อเนื่องดังกล่าวจะถูกส่งออกอวกาศว่างโดยส่วนหน้าของเครื่องฯ ต้นแบบ ผ่านทางตัวสายอากาศไปยังยางพาราก่อนด้วย สัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าแบบคลื่นต่อเนื่องจะทะลุผ่านเนื้อยางพาราเนื่องจากค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ที่ต่ำ (ยางมีค่าสภาพยอมสัมพัทธ์อยู่ประมาณ 2-3) ทำให้ไม่สะท้อนสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า แต่เมื่อคลื่นต่อเนื่องดังกล่าวไปกระทบโลหะที่ปลอมปนในเนื้อยางพาราทำให้เกิดการสะท้อนสัญญาณกลับ (เพราะค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ของโลหะมีค่าสูงซึ่งมีค่ามากกว่า 100 ทำให้เกิดการสะท้อนเมื่อคลื่นมาตกกระทบ) ไปยังสายอากาศที่ส่วนหน้าของเครื่องฯ ต้นแบบและสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าแบบคลื่นต่อเนื่องถูกแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าโดยสายอากาศและส่งไปยังส่วนแสดงผลของเครื่องฯ ต้นแบบเพื่อแสดงผลการตรวจสอบว่าพบโลหะในเนื้อยางพารา ซึ่งถ้ายางพาราไม่มีโลหะปลอมปนสัญญาณคลื่นความถี่ทั้งหมดจะไม่มี การสะท้อนกลับมายังเครื่องฯ ต้นแบบ จากหลักการดังกล่าวจะสามารถตรวจสอบวัตถุแปลกปลอมในเนื้อยางพารา ก่อนด้วยได้ โดยขนาดยางพาราก่อนด้วยนั้นที่สามารถตรวจสอบได้มีขนาดประมาณมากกว่า 10 ซม.³

2.4 วิธีการ

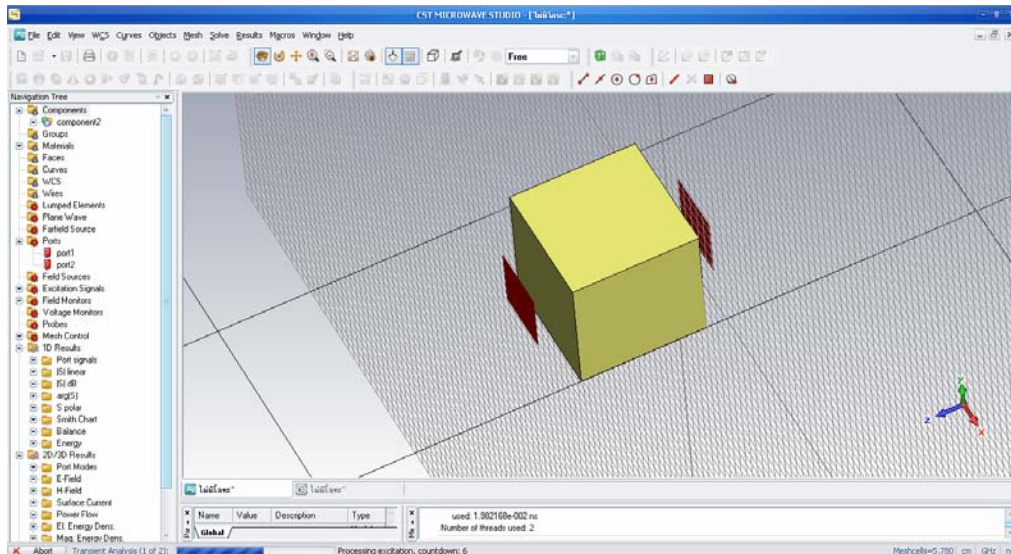
1. ทำการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับคลื่นสัญญาณทางไฟฟ้า การทดสอบแบบไม่ทำลายและคุณสมบัติทางกายภาพของยางพาราก่อนด้วยและโลหะ
2. ออกแบบ จำลองแบบและวิเคราะห์ระบบการตรวจสอบยางพาราก่อนด้วยที่มีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขต่างๆ ทางกายภาพด้วยคลื่นสัญญาณทางไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เฉพาะทาง
3. ออกแบบและสร้างส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องตรวจสอบได้แก่ ส่วนกำเนิดสัญญาณทางไฟฟ้า ส่วนแพร่กระจายคลื่นสัญญาณทางไฟฟ้า ส่วนรับคลื่นสัญญาณทางไฟฟ้าและส่วนแสดงผลการตรวจสอบ
4. วางแผนการทดลอง (Experiments)
5. ทำการทดลองเครื่องตรวจสอบยางพาราก่อนด้วยในเงื่อนไขต่างๆ เช่น แบบไม่มีวัตถุแปลกปลอม แบบมีวัตถุแปลกปลอมและปรับเปลี่ยนขนาดต่างๆ เป็นต้น
6. เก็บข้อมูลการทดสอบ
7. เปรียบเทียบผลการทดลองและทำการแก้ไขข้อบกพร่อง
8. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
9. เผยแพร่งานวิจัย และส่งรายงานฉบับสมบูรณ์

2.5 การจำลองแบบ

ในหัวข้อย่อหน้านี้จะนำเสนอการจำลองแบบผลตอบสนองของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีต่อก่อนยางบริสุทธิ์และก่อนยางที่มีการฝังโลหะไว้ในก่อนยางโดยใช้โปรแกรม CST (Computer simulation technology) ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับจำลองแบบสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถแสดงผลการจำลองแบบในลักษณะ 3 มิติ

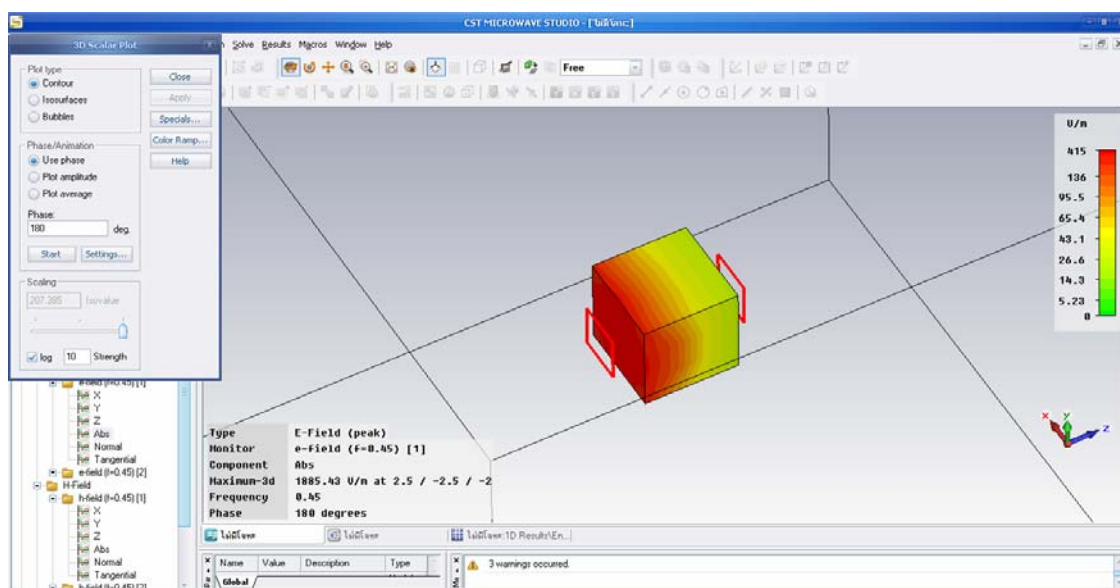
2.5.1 การจำลองแบบก้อนยางบริสุทธิ์

สำหรับการจำลองแบบในกรณีก้อนยางบริสุทธิ์ เริ่มต้นกำหนดโครงสร้างของก้อนยางซึ่งในการจำลองแบบนี้กำหนดให้ก้อนยางมีขนาด 10×10 ซม.² ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกเท่ากับ 3 [7] และกำหนดพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตสำหรับส่งและรับพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านก้อนยางทดสอบดังรูปที่ 1

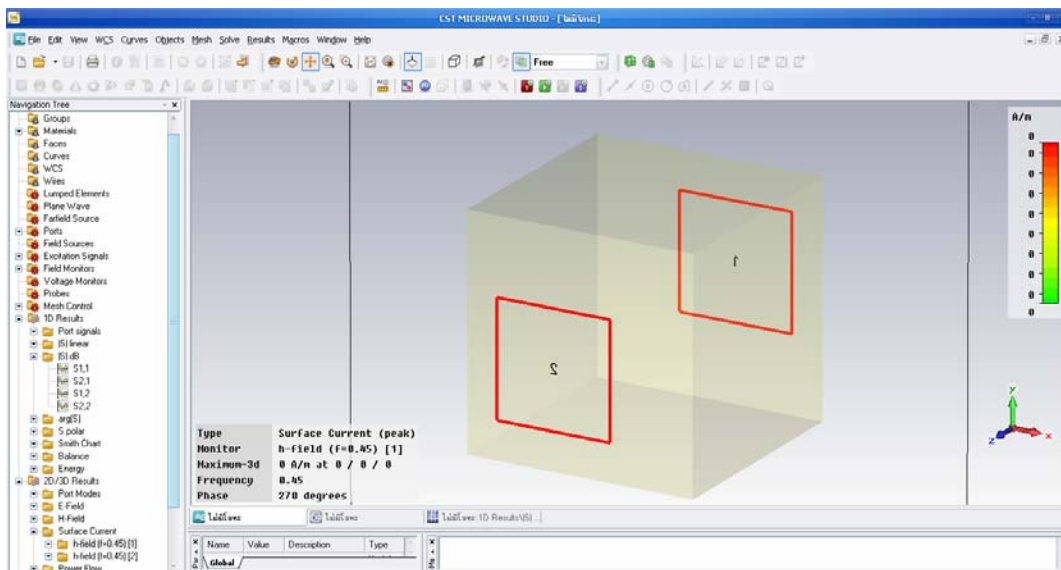


รูปที่ 1 โครงสร้างก้อนยางและอินพุต/เอาต์พุตพอร์ตในโปรแกรม CST เพื่อจำลองแบบสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

จากรูปที่ 1 เป็นการแสดงโครงสร้างก้อนยางซึ่งจะมีลักษณะเป็นก้อนสี่เหลี่ยมและในส่วนป้อนพลังงานจะทำการป้อนพลังงานผ่านพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตซึ่งลักษณะจะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมอยู่ทั้งทางด้านซ้ายและขวาของก้อนยางทดสอบ จากนั้นทำการจำลองแบบโดยป้อนสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านพอร์ตอินพุตส่งผ่านก้อนยางไปที่พอร์ตเอาต์พุตและสังเกตพฤติกรรมที่เกิดขึ้นบริเวณก้อนยางซึ่งผลการจำลองแบบแสดงได้ดังรูปที่ 2 และ 3



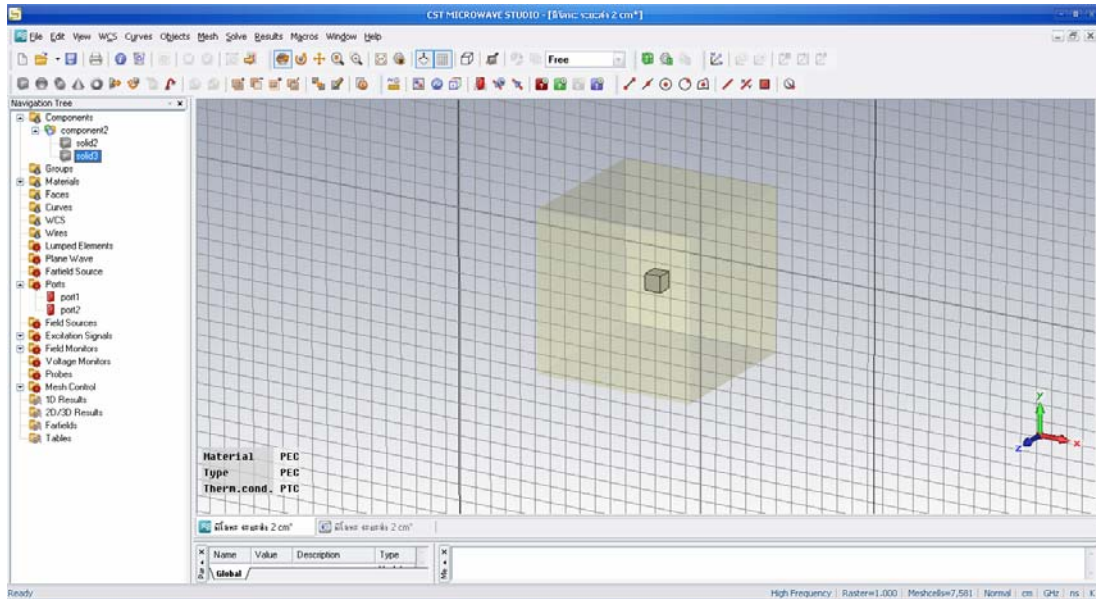
รูปที่ 2 การจำลองแบบ 3 มิติของพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายผ่านก้อนยางทดสอบ



รูปที่ 3 ผลการจำลองแบบ 3 มิติโครงสร้างภายในก้อนยางทดสอบที่ป้อนพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจายจากรูปที่ 2 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเคลื่อนที่ผ่านก้อนยางจากทางพอร์ตอินพุตซึ่งอยู่ทางซ้ายมือไปยังพอร์ตเอาต์พุตซึ่งอยู่ทางขวามือ สังเกตเห็นว่าบริเวณสีแดงที่ปรากฏบนก้อนยางทดสอบคือบริเวณที่มีพลังงานสนามไฟฟ้าหนาแน่นสูงสุดและบริเวณก้อนยางที่เป็นสีเขียวจะมีพลังงานสนามไฟฟ้าต่ำสุด และจากการจำลองแบบพบว่าไม่มีการสะท้อน (Reflection) และกระจาย (Dispersion) พลังงานปรากฏในก้อนยางทดสอบดังแสดงได้ในรูปที่ 3

2.5.1 การจำลองแบบก้อนยางที่มีโลหะปลอมปน

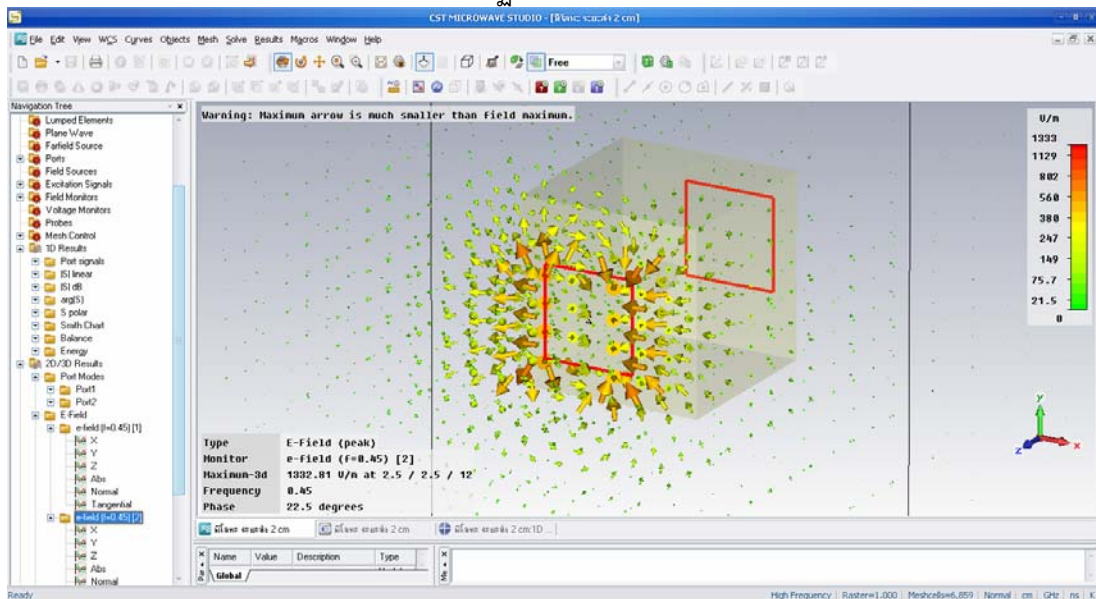
สำหรับการจำลองแบบก้อนยางที่มีโลหะปลอมปน จะมีขั้นตอนคล้ายกับการจำลองแบบก้อนยางก้อนยางบริสุทธิ์ต่างกันคือในกรณีนี้จะทำการโครงสร้างโดยการเพิ่มโลหะขนาด $1 \times 1 \text{ ซม}^2$ เข้าไปในก้อนยางทดสอบขนาด $10 \times 10 \text{ ซม}^2$ ดังแสดงได้ดังรูปที่ 4



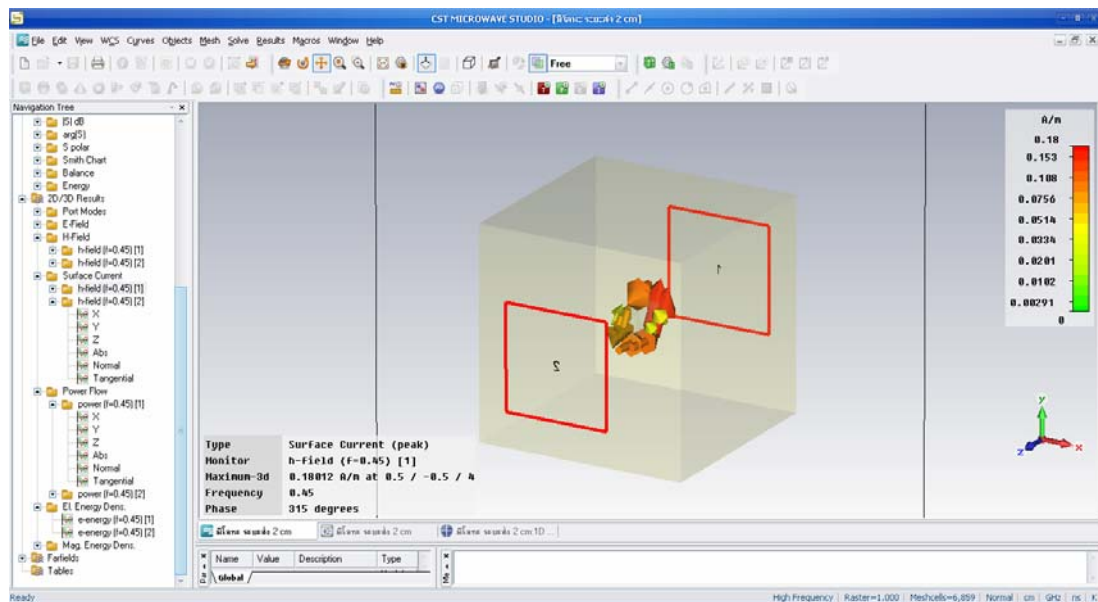
รูปที่ 4 โครงสร้าง 3 มิติในโปรแกรม CST ของก้อนยางทดสอบที่มีโลหะอยู่ภายใน

หลังจากวาดโครงสร้างก้อนยางทดสอบที่มีโลหะอยู่ภายในแล้ว จากนั้นทำการจำลองแบบของก้อนยางดังกล่าวโดยป้อนสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าที่พอร์ตอนพุตและสังเกตพฤติกรรมของการเคลื่อนที่ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 5-6 ซึ่งจากรูปทั้งสองจะพบว่าเกิดการเหนี่ยวนำขึ้นที่โลหะภายในก้อนยางทดสอบ สังเกตจากหัวลูกศรแสดงทิศทางกระไหลของกระแสที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ

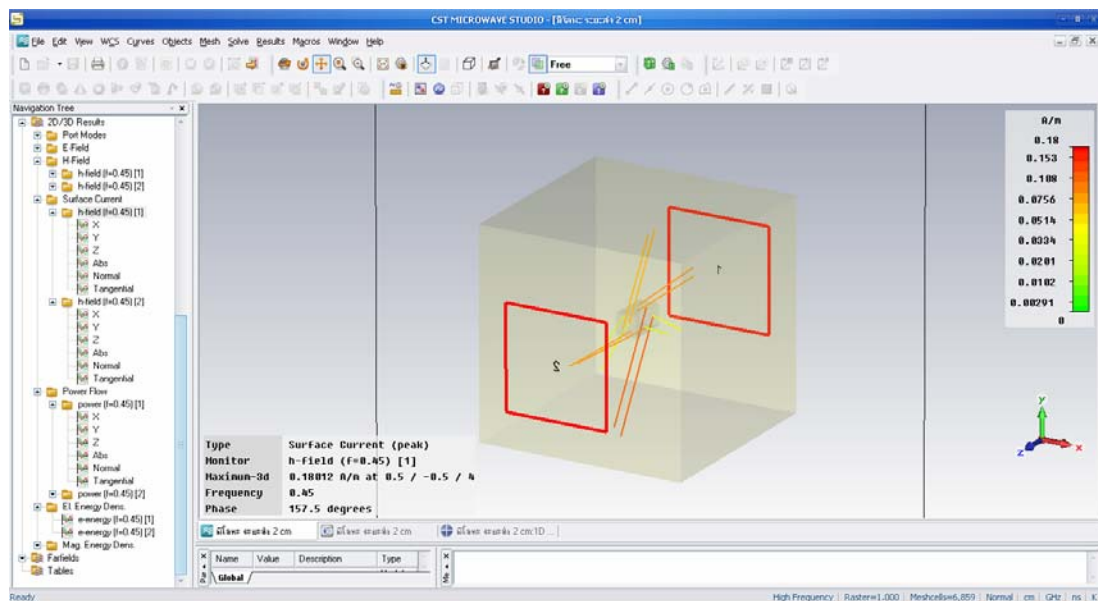
จากรูปที่ 7 แสดงการเกิดการสะท้อนและกระจายของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ผ่านก้อนยางทดสอบและมาตกกระทบโลหะภายในส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาดังกล่าวทั้งสอง



รูปที่ 5 การจำลองแบบ 3 มิติของพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายผ่านก้อนยางทดสอบที่มีโลหะภายใน



รูปที่ 6 ผลการจำลองแบบ 3 มิติการเกิดกระแสที่ผิวของโลหะที่อยู่ในก้อนยางทดสอบ



รูปที่ 7 ผลการจำลองแบบ 3 มิติของการสะท้อนและกระจายพลังงานที่เกิดจากโลหะที่อยู่ภายในก้อนยางทดสอบ

2.5.2 การออกแบบ

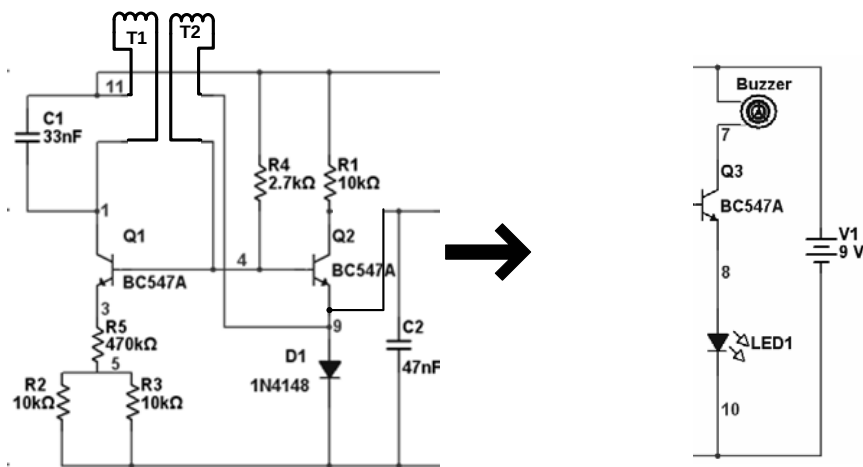
จากผลการจำลองแบบที่ปรากฏในส่วนก่อนหน้านี้นี้ทำให้ทราบว่าโลหะจะส่งผลทำให้เกิดการสะท้อนและกระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จึงนำแนวคิดดังกล่าวมาประกอบเพื่อการออกแบบเครื่องตรวจสอบวัตถุแปลกปลอมในเนื้อยางพาราก้อนด้วย โดยแนวคิดการออกแบบได้แบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่สามารถอธิบายดังต่อไปนี้

- ส่วนหน้า ประกอบไปด้วย สายอากาศแบบขดลวดซึ่งจะทำงานที่ความถี่ 450 เมกกะเฮิร์ตซ์ ทำหน้าที่แผ่พลังงานและรับคลื่นสัญญาณทางไฟฟ้า และวงจรกำเนิดสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของเครื่องฯ ต้นแบบ หัวใจสำคัญของวงจรจะใช้ทรานซิสเตอร์คู่เบอร์ BC547A ทำหน้าที่เป็นวงจรออสซิลเลตกำเนิดสัญญาณความถี่ 450 เมกกะเฮิร์ตซ์ โดยมีการกำหนดกระแสและแรงดันให้ตัวทรานซิสเตอร์ทำงานจะใช้ความต้านทานค่าต่างๆ เป็นตัวกำหนดไบอัส จากนั้นสัญญาณด้านเอาต์พุตของตัวทรานซิสเตอร์ถูกส่งผ่านสายอากาศแบบขดลวด T1 ซึ่งอยู่ด้านบนของวงจร แหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรจะออกแบบให้ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงขนาดแรงดันเท่ากับ 9 โวลต์ วงจรต้นแบบสามารถแสดงได้ในรูปที่ 8 (ก)

- ส่วนแสดงผล การออกแบบในส่วนนี้จะใช้การแสดงผลแบบง่ายคือใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ BC547A ทำหน้าที่เป็นสวิทช์อิเล็กทรอนิกส์ การทำงานคือเมื่อส่วนหน้าของเครื่องฯ ต้นแบบตรวจพบโลหะทำให้เกิดการสะท้อนของสัญญาณกลับมายังสายอากาศ ทำให้เกิดสัญญาณไฟฟ้ามากระตุ้นทรานซิสเตอร์ทำงานทำให้ตัวแสดงผลทำงาน โดยเครื่องต้นแบบนี้จะใช้การแสดงผลอยู่ 2 ชนิดคือ

- ก) ใช้ลำโพง Buzzer แสดงเอาต์พุตในส่วนของการแสดงผลด้วยเสียง เมื่อมีการตรวจจับเจอโลหะ buzzer ก็จะทำงานโดยส่งเสียงเตือนออกมา

- ข) ใช้ LED แสดงเอาต์พุตส่วนของการแสดงผลด้วยแสง ทำหน้าที่แสดงผลเช่นเดียวกับ Buzzer เมื่อตรวจจับโลหะได้ LED ติดสว่างวงจรในส่วนแสดงผลแสดงได้ดังรูป 8 (ข)



(ก) ส่วนวงจรสร้างความถี่

(ข) ส่วนแสดงผล

รูปที่ 8 ส่วนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องตรวจสอบวัตถุแปลกปลอมในเนื้อยางพาราก้อนด้วย

2.5.3 หลักการทำงาน

- หลักการของวงจรกำเนิดความถี่ (Oscillator)

วงจรกำเนิดความถี่หรือออสซิลเลเตอร์เกิดจากนำวงจรรีโซแนนซ์ที่ประกอบด้วยทรานซิสเตอร์มาต่อแบบขนานกันดังรูปที่ 8 (ก) เมื่อเริ่มจ่ายแรงดันไฟกระแสตรงขนาด 9 โวลต์ให้กับวงจรทำให้มีกระแสไฟไหลผ่าน

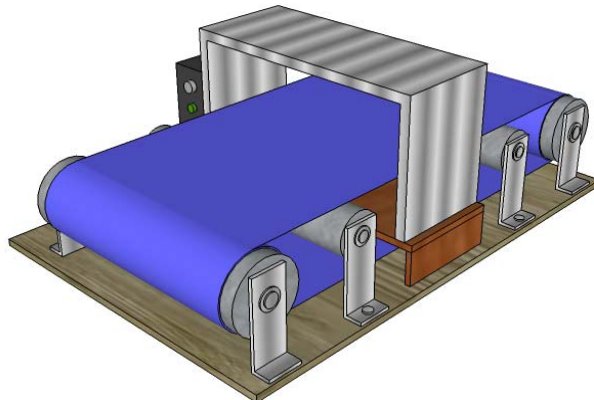
สายอากาศแบบขดลวด T1 และเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดขึ้นบริเวณสายอากาศขดลวด T1 ขณะที่ไหลผ่านจะยังไม่เกิดสัญญาณใดๆ ออกมาจากสายอากาศ T1 จนกระทั่งถ้ามีโลหะมาวางด้านหน้าของสายอากาศแบบขดลวด จะทำให้เกิดการสะท้อนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าไปสายอากาศแบบขดลวด T2 ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำเกิดกระแสไหลผ่านเขาไปยังขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q1 ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 ทำงานเมื่อทรานซิสเตอร์ Q1 ทำงานก็จะเกิดกระแสไหลผ่านวงจรรีโซแนนซ์ จากนั้นแรงดันที่ตกคร่อมสายอากาศแบบขดลวด T2 มีกระแสไหลไปยังไดโอด D1 ซึ่งทำหน้าที่เรียงกระแสแรงดันทำให้ทรานซิสเตอร์ Q2 ทำงานเมื่อทรานซิสเตอร์ Q2 นำกระแสจึงทำให้กระแสไหลไปไบอัสทรานซิสเตอร์ Q3 ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q3 ทำงานและทำให้เกิดเสียงที่ลำโพงและหลอด LED เกิดติดสว่างแสดงว่าตรวจพบโลหะ ในกรณีนอกเหนือจากนี้ Q2 จะไม่ทำงานและทำให้ Q3 ไม่ทำงานแสดงว่าไม่มีการตรวจพบโลหะ

- หลักการของวงจรแสดงผล (Display)

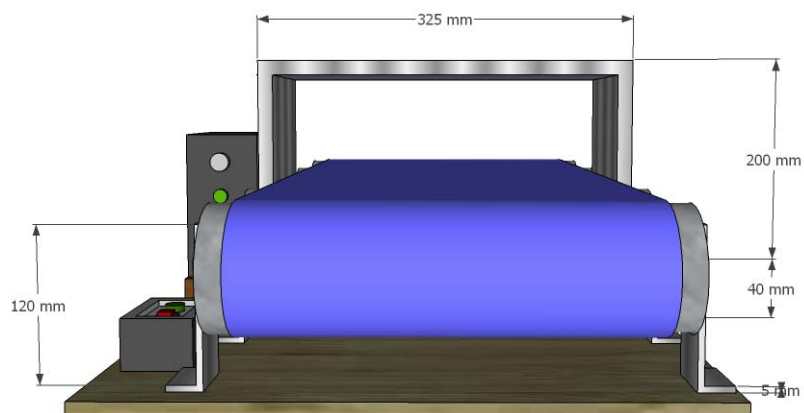
การทำงานของส่วนแสดงผลเริ่มจากเมื่อทรานซิสเตอร์ Q2 ทำงานทำให้มีแรงดันไบอัสที่ขาเบสทรานซิสเตอร์ Q3 และทรานซิสเตอร์ Q3 ทำงานทำให้เกิดกระแสไหลในวงจรทำให้มีแรงดันตกคร่อมบัสเซอร์และ LED ทำให้เกิดเสียงและหลอดติด หรือในกรณีเมื่อทรานซิสเตอร์ Q2 ไม่ทำงาน (ไม่พบโลหะ) ก็จะทำให้ไม่เกิดแรงดันไบอัสที่ขาเบสทรานซิสเตอร์ Q3 เป็นผลให้ทรานซิสเตอร์ Q3 ไม่ได้รับการไบอัสและไม่เกิดกระแสไหลในวงจรทำให้ไม่มีแรงดันตกคร่อมบัสเซอร์และ LED ทำให้บัสเซอร์และ LED ไม่ทำงาน การทำงานของทรานซิสเตอร์ Q3 นี้กล่าวได้ว่าจะขึ้นอยู่กับการนำกระแสหรือไม่นำกระแสของทรานซิสเตอร์ Q2 ซึ่งเป็นตัวกำหนดการทำงานของวงจรส่วนแสดงผล

2.5.4 การสร้างเครื่อง

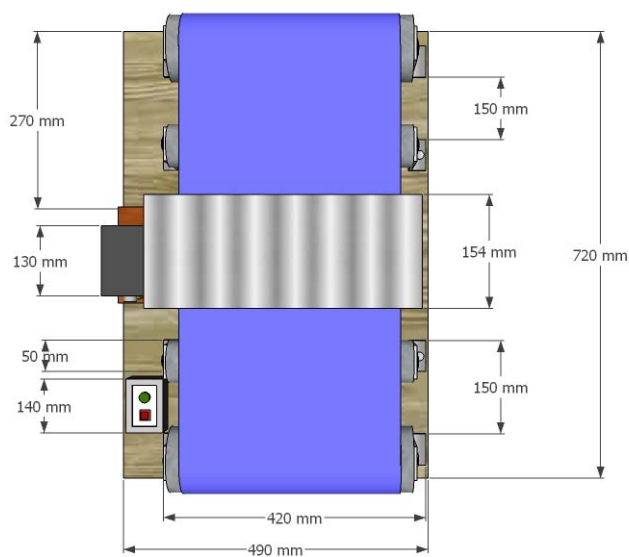
หลังจากทราบแนวคิดและทำการออกแบบวงจรส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ดังแสดงในรูปที่ 8 จากนั้นทำการสร้างวงจรในส่วนอิเล็กทรอนิกส์และนำมาประกอบลงบนตัวโครงสร้างของเครื่องฯ ต้นแบบโดยรายละเอียดการออกแบบและสร้างในส่วนเครื่องฯ ต้นแบบแสดงในลักษณะภาพ 3 มิติประกอบด้วย ด้านบน ด้านข้าง และด้านหน้า สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 9



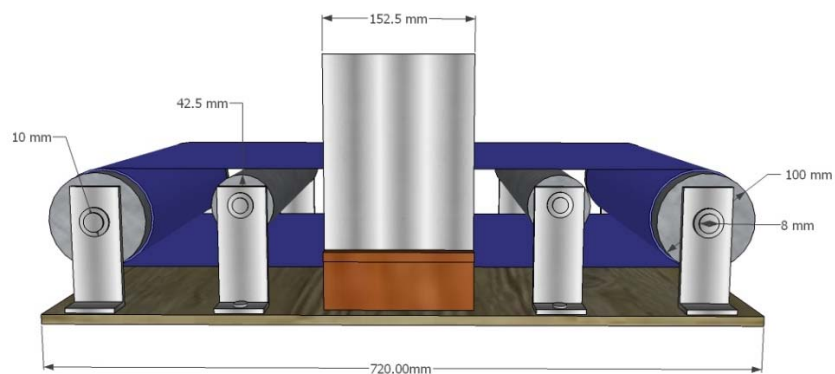
(ก) โครงสร้างเครื่องฯ ต้นแบบ 3 มิติ



(ข) โครงร่างเครื่องฯ ต้นแบบ ด้านหน้า



(ค) โครงร่างเครื่องฯ ต้นแบบ ด้านบน



(ง) โครงร่างเครื่องฯ ต้นแบบ ด้านข้าง

รูปที่ 9 โครงร่างพร้อมขนาดของเครื่องฯ ต้นแบบ 3 มิติ

2.6 ผลการวิจัย

การทดสอบเครื่องตรวจสอบวัตถุแปลกปลอมในเนื้อยางพาราก่อนถวัลย์ จะแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 กรณีด้วยกันคือ กรณีแรกจะตรวจสอบยางพาราก่อนถวัลย์ที่บริสุทธิ์ไม่มีโลหะปลอมปนจำนวน 100 ก้อน กรณีที่สองจะตรวจสอบเฉพาะยางพาราก่อนถวัลย์ที่มีการปลอมปนด้วยโลหะทั้งหมด 100 ก้อนและกรณีที่สุดท้ายจะนำยางพาราก่อนถวัลย์แบบบริสุทธิ์ 70 ก้อนปนกับยางพาราที่มีการปลอมปนโลหะ 30 ก้อนมาคละเข้าด้วยกันแล้วใช้เครื่องตรวจสอบเพื่อทำการแยกยางพาราทั้งสองแบบออกจากกัน โดยตัวอย่างทดสอบจะใช้อย่างพาราที่มีลักษณะเป็นก้อนถวัลย์ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับก้อนยางพาราที่เกษตรกรสวนยางส่งขาย ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 10



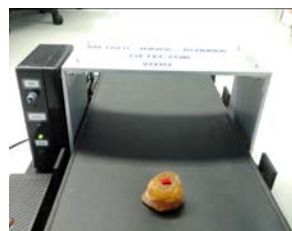
รูปที่ 10 ตัวอย่างยางพาราก่อนถวัลย์และโลหะที่ใช้ทดสอบ



รูปที่ 11 เครื่องตรวจสอบวัตถุแปลกปลอมในเนื้อยางพาราก่อนถวัลย์

ขั้นตอนแรกการทดสอบเริ่มจากการทดสอบปรับเปลี่ยนขนาดโลหะที่ทดสอบโดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 รอบซึ่งในแต่ละรอบจะเพิ่มขนาดของโลหะตั้งแต่ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตรและ 2 ลูกบาศก์เซนติเมตรเพื่อวัดผลความสามารถในการตรวจสอบโลหะว่าขนาดของโลหะที่อยู่ในยางพาราก่อนถวัลย์มีผลต่อประสิทธิภาพการตรวจสอบของเครื่องตรวจสอบโลหะในยางพาราก่อนถวัลย์อย่างไร โดยความเร็วในการเคลื่อนที่ของยางพาราก่อนถวัลย์ผ่านช่องตรวจสอบถูกกำหนดโดยความเร็วของสายพานลำเลียงซึ่งมีความเร็วเท่ากับ 37.5 เซนติเมตร/วินาที ระยะห่างระหว่างยางพาราก่อนถวัลย์เท่ากับ 10 เซนติเมตรพบว่า ขนาดของโลหะที่ฝังในเนื้อยางขนาด 2 ลูกบาศก์เซนติเมตรสามารถตรวจพบ จากนั้นทำการลดขนาดโลหะให้เหลือเพียง 1 ลูกบาศก์เซนติเมตรผลการทดสอบพบว่าเครื่องฯ ต้นแบบยังสามารถตรวจพบก้อนยางที่มีโลหะฝังในก้อนยาง และสุดท้ายทำการลดขนาดโลหะให้เล็กลงกว่า 1 ลูกบาศก์เซนติเมตรเป็น 0.75 และ 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรตามลำดับผลการทดสอบพบว่าเครื่องไม่สามารถตรวจสอบได้ว่ามีโลหะฝังในก้อนยางทดสอบได้ ดังนั้นจึงสรุปในขั้นตอนนี้ว่าขนาดโลหะที่ฝังในก้อนยางที่เครื่องต้นแบบสามารถตรวจหาได้จะมีขนาดไม่เล็กกว่า 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร จึงเลือกโลหะขนาดดังกล่าวฝังในก้อนยางซึ่งตรงกับขอบเขตที่กำหนดของงานวิจัยนี้

ขั้นตอนการทดสอบต่อมาคือจะทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องฯ ต้นแบบโดยการทดสอบแบ่งเป็น 3 รูปแบบได้แก่ 1. ตรวจสอบยางพาราก่อนถวัลย์บริสุทธิ์ไม่มีโลหะปลอมปน 2. ตรวจสอบยางพาราก่อนถวัลย์ที่มีโลหะปลอมปน และ 3. ตรวจสอบแบบผสมรวมโดยมียางก้อนบริสุทธิ์ 70 ก้อน และยางก้อนที่มีโลหะฝัง 30 ก้อน ดังแสดงในรูปที่ 12 และ 13 โดยจากรูปจะสังเกตเห็นว่ายางก้อนที่มีโลหะปลอมปนจะต่างกับยางก้อนบริสุทธิ์คือมีการทำเครื่องหมายไว้ที่บนก้อนยางเพื่อสามารถทราบด้วยตาเปล่าได้ว่าก้อนยางที่ทำการทดสอบนั้นมีโลหะฝังอยู่ภายใน ผลการทดสอบทั้ง 3 รูปแบบแสดงได้ดังตารางที่ 1



ก. ตรวจสอบยางพาราก่อนถั่วปกติ

ข. ตรวจสอบยางพาราก่อนถั่วที่มีโลหะ

รูปที่ 12 เครื่องตรวจสอบโลหะในยางพาราก่อนถั่วแบบปกติและมีโลหะ



รูปที่ 13 ตรวจสอบโลหะในยางพาราก่อนถั่วแบบรวมโดยมียางพาราปกติ 70 ก่อนและยางพารามีโลหะ 30 ก่อน

ตารางที่ 1 การทดสอบเครื่องตรวจสอบโลหะในยางพาราก่อนถั่วที่มีโลหะขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

การตรวจสอบแบบแยกชนิดก่อนยางทดสอบ				การตรวจสอบแบบผสมก่อนยางทดสอบ	
ครั้งที่	ผลการตรวจสอบ ยางก่อนบริสุทธิ์	ครั้งที่	ผลการตรวจสอบ ยางก่อนมีโลหะ	ครั้งที่ (มี/ไม่มีโลหะ)	ผลการตรวจสอบยางก่อน ผสมระหว่างมีและไม่มีโลหะ
1	ตรวจไม่พบโลหะ	1	ตรวจพบโลหะ	1 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 1
2	ตรวจไม่พบโลหะ	2	ตรวจพบโลหะ	2 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
3	ตรวจไม่พบโลหะ	3	ตรวจพบโลหะ	3 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
4	ตรวจไม่พบโลหะ	4	ตรวจพบโลหะ	4 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
5	ตรวจไม่พบโลหะ	5	ตรวจไม่พบโลหะ	5 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
6	ตรวจไม่พบโลหะ	6	ตรวจพบโลหะ	6 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 2
7	ตรวจไม่พบโลหะ	7	ตรวจไม่พบโลหะ	7 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
8	ตรวจไม่พบโลหะ	8	ตรวจพบโลหะ	8 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
9	ตรวจไม่พบโลหะ	9	ตรวจพบโลหะ	9 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 3
10	ตรวจไม่พบโลหะ	10	ตรวจพบโลหะ	10 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
11	ตรวจไม่พบโลหะ	11	ตรวจพบโลหะ	11 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
12	ตรวจไม่พบโลหะ	12	ตรวจพบโลหะ	12 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 4
13	ตรวจไม่พบโลหะ	13	ตรวจพบโลหะ	13 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
14	ตรวจไม่พบโลหะ	14	ตรวจพบโลหะ	14 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 5
15	ตรวจไม่พบโลหะ	15	ตรวจพบโลหะ	15 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
16	ตรวจไม่พบโลหะ	16	ตรวจพบโลหะ	16 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
17	ตรวจไม่พบโลหะ	17	ตรวจพบโลหะ	17 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
18	ตรวจไม่พบโลหะ	18	ตรวจพบโลหะ	18 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
19	ตรวจไม่พบโลหะ	19	ตรวจพบโลหะ	19 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
20	ตรวจไม่พบโลหะ	20	ตรวจพบโลหะ	20 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 6

[illegible]

[illegible]

85	ตรวจไม่พบโลหะ	85	ตรวจพบโลหะ	85 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
86	ตรวจไม่พบโลหะ	86	ตรวจพบโลหะ	86 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
87	ตรวจไม่พบโลหะ	87	ตรวจพบโลหะ	87 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
88	ตรวจไม่พบโลหะ	88	ตรวจพบโลหะ	88 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 26
89	ตรวจไม่พบโลหะ	89	ตรวจพบโลหะ	89 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
90	ตรวจไม่พบโลหะ	90	ตรวจพบโลหะ	90 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
91	ตรวจไม่พบโลหะ	91	ตรวจพบโลหะ	91 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 27
92	ตรวจไม่พบโลหะ	92	ตรวจพบโลหะ	92 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
93	ตรวจไม่พบโลหะ	93	ตรวจพบโลหะ	93 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
94	ตรวจไม่พบโลหะ	94	ตรวจพบโลหะ	94 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 28
95	ตรวจไม่พบโลหะ	95	ตรวจพบโลหะ	95 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
96	ตรวจไม่พบโลหะ	96	ตรวจพบโลหะ	96 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
97	ตรวจไม่พบโลหะ	97	ตรวจพบโลหะ	97 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
98	ตรวจไม่พบโลหะ	98	ตรวจพบโลหะ	98 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 29
99	ตรวจไม่พบโลหะ	99	ตรวจพบโลหะ	99 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
100	ตรวจไม่พบโลหะ	100	ตรวจพบโลหะ	100 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ

จากตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องฯ ต้นแบบโดยการตรวจสอบยางก้อนที่มีและไม่มีโลหะในยางก้อนถ้วยซึ่งโลหะที่ใช้มีขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร สรุปได้ว่าเครื่องฯ ต้นแบบทำการตรวจสอบ 100 ครั้งพบว่ากรณีแรกก่อนยางทดสอบเป็นแบบบริสุทธิ์ เครื่องฯ ต้นแบบทำงานถูกต้องร้อยละ 100 คือไม่แสดงผลว่าไม่พบก้อนยางที่มีโลหะปลอมปนเลย กรณีที่สองเปลี่ยนก่อนยางทดสอบเป็นชนิดมีโลหะฝังในก้อนยางทั้งหมด 100 ก้อน ผลการทำงานของเครื่องฯ ต้นแบบมีความผิดพลาด 3 ครั้งใน 100 ครั้งคือไม่แสดงผลการตรวจพบก้อนยาง 3 ครั้ง และกรณีสุดท้ายเปลี่ยนก่อนยางทดสอบเป็นแบบผสมคือมีก้อนยางพาราบริสุทธิ์ 70 ก้อนปนกับก้อนยางที่มีโลหะปลอมปน 30 ก้อน ผลการทำงานของเครื่องฯ ต้นแบบพบว่าความผิดพลาด 1 ครั้ง คือขึ้นก้อนยางที่ทดสอบมีโลหะปลอมปนแต่เครื่องฯ ต้นแบบไม่สามารถตรวจพบ แสดงว่าความผิดพลาด 1 ใน 30 แต่กรณีก้อนยางแบบบริสุทธิ์ 70 ก้อนทำงานตรวจสอบถูกต้อง จากนั้นทำการทดสอบซ้ำเช่นเดียวกับตารางที่ 1 แต่ปรับเปลี่ยนขนาดของโลหะที่ใช้ฝังในก้อนยางจาก 1 ลูกบาศก์เซนติเมตรเป็น 2 ลูกบาศก์เซนติเมตรซึ่งผลการทดสอบแสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การทดสอบเครื่องตรวจสอบโลหะแปลกปลอมในยางพาราก้อนถ้วย โลหะขนาด 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร

การตรวจสอบแบบแยกชนิดก้อนยางทดสอบ				การตรวจสอบแบบผสมก้อนยางทดสอบ	
ครั้งที่	ผลการตรวจสอบ ยางก้อนบริสุทธิ์	ครั้งที่	ผลการตรวจสอบ ยางก้อนมีโลหะ	ครั้งที่ (มี/ไม่มีโลหะ)	ผลการตรวจสอบยางก้อนผสม ระหว่างมีและไม่มีโลหะ
1	ตรวจไม่พบโลหะ	1	ตรวจพบโลหะ	1 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
2	ตรวจไม่พบโลหะ	2	ตรวจพบโลหะ	2 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
3	ตรวจไม่พบโลหะ	3	ตรวจพบโลหะ	3 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
4	ตรวจไม่พบโลหะ	4	ตรวจพบโลหะ	4 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 1
5	ตรวจไม่พบโลหะ	5	ตรวจพบโลหะ	5 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ

[illegible]

[illegible]

72	ตรวจไม่พบโลหะ	72	ตรวจพบโลหะ	72 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 21
73	ตรวจไม่พบโลหะ	73	ตรวจพบโลหะ	73 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
74	ตรวจไม่พบโลหะ	74	ตรวจพบโลหะ	74 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
75	ตรวจไม่พบโลหะ	75	ตรวจพบโลหะ	75 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 22
76	ตรวจไม่พบโลหะ	76	ตรวจพบโลหะ	76 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
77	ตรวจไม่พบโลหะ	77	ตรวจพบโลหะ	77 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 23
78	ตรวจไม่พบโลหะ	78	ตรวจพบโลหะ	78 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
การตรวจสอบแบบแยกชนิดก่อนยางทดสอบ				การตรวจสอบแบบผสมก่อนยางทดสอบ	
ครั้งที่	ผลการตรวจสอบ ยางก้อนบริสุทธิ์	ครั้งที่	ผลการตรวจสอบ ยางก้อนมีโลหะ	ครั้งที่ (มี/ไม่มีโลหะ)	ผลการตรวจสอบยางก้อน ผสมระหว่างมีและไม่มีโลหะ
79	ตรวจไม่พบโลหะ	79	ตรวจพบโลหะ	79 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
80	ตรวจไม่พบโลหะ	80	ตรวจพบโลหะ	80 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
81	ตรวจไม่พบโลหะ	81	ตรวจพบโลหะ	81 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
82	ตรวจไม่พบโลหะ	82	ตรวจพบโลหะ	82 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 24
83	ตรวจไม่พบโลหะ	83	ตรวจพบโลหะ	83 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
84	ตรวจไม่พบโลหะ	84	ตรวจพบโลหะ	84 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
85	ตรวจไม่พบโลหะ	85	ตรวจพบโลหะ	85 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 25
86	ตรวจไม่พบโลหะ	86	ตรวจพบโลหะ	86 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
87	ตรวจไม่พบโลหะ	87	ตรวจพบโลหะ	87 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 26
88	ตรวจไม่พบโลหะ	88	ตรวจพบโลหะ	88 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
89	ตรวจไม่พบโลหะ	89	ตรวจพบโลหะ	89 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
90	ตรวจไม่พบโลหะ	90	ตรวจพบโลหะ	90 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
91	ตรวจไม่พบโลหะ	91	ตรวจพบโลหะ	91 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
92	ตรวจไม่พบโลหะ	92	ตรวจพบโลหะ	92 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 27
95	ตรวจไม่พบโลหะ	95	ตรวจพบโลหะ	95 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 28
96	ตรวจไม่พบโลหะ	96	ตรวจพบโลหะ	96 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 29
97	ตรวจไม่พบโลหะ	97	ตรวจพบโลหะ	97 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
98	ตรวจไม่พบโลหะ	98	ตรวจพบโลหะ	98 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
99	ตรวจไม่พบโลหะ	99	ตรวจพบโลหะ	99 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
100	ตรวจไม่พบโลหะ	100	ตรวจพบโลหะ	100 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 30

จากตารางที่ 2 เป็นการทดสอบเครื่องตรวจสอบโลหะในยางพาราก้อนถ้วยที่มีกรณีใช้ยางก้อนแบบบริสุทธิ์ และยางก้อนแบบมีโลหะขนาด 2 ลูกบาศก์เซนติเมตรปลอมปน สรุปได้ว่าเครื่องตรวจสอบโลหะในยางพาราก้อนถ้วย ที่การตรวจสอบก่อนยางพารา 100 ครั้งพบว่าเครื่องฯ ต้นแบบ กรณีแรกทำการตรวจสอบยางก้อนบริสุทธิ์ 100 ก้อนทำงานถูกต้องร้อยละ 100 คือไม่มีการแสดงผลว่าพบก้อนยางที่เป็นโลหะปลอมปน กรณีที่ 2 เปลี่ยน

ชิ้นงานทดสอบเป็นก้อนยางที่มีการปลอมปนโลหะจำนวน 100 ก้อนพบข้อผิดพลาด 1 ครั้งในการตรวจ 100 ครั้ง กรณีสุดท้ายเป็นการผสมชิ้นงานทดสอบโดยเป็นยางก้อนบริสุทธิ์ 70 ก้อน และยางก้อนแบบมีโลหะ 30 ก้อน ผลการตรวจพบว่ามีความถูกต้องร้อยละ 100 คือไม่พบการแสดงผลการตรวจที่ผิดพลาด

2.7 วิจารณ์ผล

จากผลการทดสอบเครื่องตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในเนื่อยางพาราก้อนด้วยพบว่าเครื่องฯ ต้นแบบในรุ่นแรกที่สร้างขึ้นจากงานวิจัยนี้สามารถตรวจหาวัตถุแปลกปลอมได้เฉพาะวัตถุที่เป็นโลหะ หลักการทำงานของเครื่องต้นแบบคือจะทำการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่ำกว่า 960 เมกกะเฮิร์ตซ์ ตามค่ากำหนดของมาตรฐานเรดาร์ทะลุพื้นดินของ FCC [1] ผ่านสายอากาศแบบขดลวดผ่านมาที่ช่องตรวจสอบวัตถุที่ประกอบไปด้วยชุดสะท้อนคลื่นทำจากอลูมิเนียมที่มีความหนา 6 มิลลิเมตร ผลการทดสอบประสิทธิภาพของการตรวจสอบหาโลหะที่แปลกปลอมในเนื่อยางพาราด้วยก้อนที่ขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตรจะมีค่าความผิดพลาดร้อยละ 3 และเมื่อทำการปรับเพิ่มขนาดโลหะที่แปลกปลอมจากขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตรมาเป็นขนาด 2 ลูกบาศก์เซนติเมตรพบว่าค่าความผิดพลาดของเครื่องต้นแบบจะลดลงเหลือร้อยละ 1 ตัวแปรที่มีผลกระทบโดยตรงกับการตรวจสอบว่าจะพบหรือไม่พบโลหะแปลกปลอมในเนื่อยางพาราด้วยประกอบด้วย 3 ส่วนคือ 1. ความแรงของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าต้องมีความเหมาะสม ดังนั้นก่อนทำการใช้เครื่องต้องมีการปรับความแรงของสัญญาณของภาคกำเนิดสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 2. ขนาดช่องชุดสะท้อนสัญญาณควรมีความสูงและความกว้างพอเหมาะและสัมพันธ์กับความแรงของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าเพราะจะทำให้เกิดการเรโซแนนซ์ของสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับโลหะในงานวิจัยนี้ปรับเลือกใช้ขนาดความกว้าง 32.5 เซนติเมตรและขนาดความยาว 15.4 เซนติเมตร สำหรับตัวแปรที่ 3 คือความเร็วของยางพาราก้อนด้วยที่เคลื่อนที่ผ่านช่องตรวจสอบของชุดสะท้อนสัญญาณที่ โดยความเร็วขึ้นอยู่กับมอเตอร์ที่ใช้ขับสายพาน งานวิจัยนี้ความเร็วที่ยางพาราเคลื่อนที่เท่ากับ 37.5 เซนติเมตรต่อวินาที ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นสามารถลดลงได้เมื่อทำการปรับค่าตัวแปรทั้ง 3 ส่วนให้เหมาะสมที่สุด

2.8 สรุปผล

จากการทดสอบตามขั้นตอนผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ซึ่งเป็นการสรุปและข้อเสนอแนะต่างๆ ในการออกแบบ สร้างและทดสอบการทำงานของเครื่องตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในเนื่อยางพาราด้วยมีดังนี้ ประสิทธิภาพของเครื่องตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในเนื่อยางพาราด้วยจะขึ้นอยู่กับขนาดของโลหะที่แปลกปลอมในเนื่อยางพาราด้วยคือถ้าขนาดใหญ่จะพบความผิดพลาดในการตรวจสอบน้อยกว่าขนาดโลหะที่เล็กกว่า ประสิทธิภาพของเครื่องเมื่อคิดเป็นร้อยละของความผิดพลาดความผิดพลาดสูงสุดของเครื่องมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 3 โดยความเร็วของการตรวจสอบเท่ากับ 37.5 เซนติเมตรต่อวินาทีและระยะห่างระหว่างยางพาราก้อนด้วยเท่ากับ 10 เซนติเมตร

2.9 ข้อเสนอแนะ

จากการสร้างเครื่องตรวจสอบโลหะแปลกปลอมในเนื่อยางพาราด้วยนั้นพบว่า ทรานซิสเตอร์ที่เป็นส่วนประกอบหลักของภาคกำเนิดสัญญาณหรือภาคส่วนออสซิลเลเตอร์ควรเลือกออกแบบโดยใช้ทรานซิสเตอร์ที่ทำงานสำหรับย่านความถี่สูงโดยเฉพาะ เนื่องจากจะช่วยเรื่องคุณภาพของสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทางด้าน

เอาต์พุตของระบบซึ่งจะส่งผลทำให้เครื่องตรวจจับโลหะมีประสิทธิภาพและความแม่นยำสูงขึ้น ในส่วนการออกแบบช่องตรวจสอบวัตถุที่ประกอบไปด้วยชุดสะท้อนสัญญาณทำจากแผ่นอะลูมิเนียม ควรติดตั้งแผ่นสะท้อนที่มีความสูงในระยะที่เกินระยะความแรงของสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของเครื่องฯ และส่วนสุดท้ายคือความเร็วขอมอเตอร์ขับเคลื่อนสายพานที่ใช้วางยางพาราก่อนถั่วที่ใช้ตรวจสอบ ควรปรับความเร็วมอเตอร์เพื่อควบคุมความเร็วของสายพานลำเลียง

2.10 เอกสารอ้างอิง

- [1] Federal Communications Commission, *Notice of inquiry in the matter of Revision of part 15 of the commission's rules regarding ultra-wideband transmission systems*. Document # 02-48, April 2002.
- [2] การทำยางก้อนถ้วย. (ออนไลน์). Available:
<http://www.live-rubber.com/index.php/para-rubber-articles/51-para-rubber/185-cup-lump-selling>. (22 ธันวาคม 2551).
- [3] G. Kompa, A. Biernat, "A laser radar for precise 2D- and 3D-object imaging", EOS 14th Topical Meeting on Optoelectronic Distance/Displacement Measurements and Applications, Topical Meetings Digests Series: Volume 14, Session: Time-of-Flight 1 on July 9, Nantes, France, July 8 - 10, 1997.
- [4] A. Ghose, M. Ring, and G. Kompa, "Simultaneous Gain and Noise Matching of a Wideband Optical Receiver Front End," APMC 2003, Seoul Korea, Paper No. 589.
- [5] A. Ruengwaree, R. Yowuno, and G. Kompa, "A novel rugby-ball antenna for pulse radiation", European Microwave Conference Proceedings, pp.1855-1858, Paris, October 2005.
- [6] A. Ruengwaree, Design of UWB Radar Sensors, Doctoral Thesis, University of Kassel, November 2007.
- [7] Dielectric constant reference guide. (Online). Available:
<http://www.asiinstr.com/technical/Dielectric%20Constants.htm#Section R>.

ภาคผนวก

ระบบตรวจหาสิ่งแปลกปลอมในเนื้อยางพาราก้อนถ้วย*

The evaluated adulterated thing in cup lump rubber

อำนวย เรืองวารี

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

ธัญบุรี

ถนนรังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

Amnoiy Ruengwaree

Department of electronics and telecommunication, Faculty of engineering, Rajamangala University of

Technology Thanyaburi, Rangsit - Nakhonnayok road, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani, 12110

เนื้อหา (Text)

งานวิจัยนี้นำเสนอ การออกแบบ และพัฒนาเครื่องตรวจสอบวัตถุแปลกปลอมในเนื้อยางพาราก้อนถ้วย ในเครื่องฯ ดันแบบรุ่นแรกจะตรวจหาวัตถุแปลกปลอมที่เป็นโลหะ โดยใช้หลักการสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้ร่วมกับเรดาร์ทะลุพื้นดิน (Ground Penetrating Radar: GPR) ที่ช่วงความถี่ต่ำกว่า 960 เมกะเฮิรตซ์ (FCC, 2002) หลักการคืออาศัยความสมดุลระหว่างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภาคส่งและภาครับ การถ่ายเทพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าโดยผ่านสายอากาศเมื่อมีวัตถุแปลกปลอมจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งระดับสัญญาณและการเลื่อนเฟส ซึ่งเกิดจากการรบกวนสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อมีการตรวจสอบพบว่ามีสิ่งแปลกปลอมในเนื้อยางพาราที่เป็นโลหะ เครื่องตรวจสอบจะแสดงผลในภาครับสัญญาณซึ่งใช้ LED สัญญาณเสียงเป็นตัวแสดงผลการตรวจสอบ เพื่อให้ทราบว่ามีโลหะอยู่ในก้อนยางพาราก้อนถ้วย

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันผลตอบแทนจากการค้าขายยางพาราก้อนถ้วยธรรมชาติขึ้นอยู่กับน้ำหนักของยางพารา ซึ่งปัญหาการค้าขายยางพาราก้อนถ้วยจะปรากฏเมื่อมีสิ่งปลอมปนภายในเนื้อยางพาราก้อนถ้วยเช่น โลหะหรือ ก้อนหิน ทำให้น้ำหนักยางพาราที่ค้าขายไม่ถูกต้องตามความเป็นจริง การตรวจสอบด้วยตาเปล่าเป็นเรื่องที่ยุ่งยากและเสียเวลา

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว โดยทำการออกแบบและสร้างเครื่องตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในเนื้อยางพาราก้อนถ้วย การทำงานของเครื่องฯ ดันแบบเริ่มที่ส่วนกำเนิดสัญญาณ ในส่วนนี้ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ช่วงความถี่ไม่เกิน 960 เมกะเฮิรตซ์ จากนั้นทำการส่งสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้ไปยังส่วนหน้าซึ่งประกอบไปด้วยวงจรความถี่สูงและสายอากาศ (ชนิดขดลวด) หลังจากวงจรส่วนหน้าสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าจะแผ่พลังงานผ่านอวกาศว่างผ่านสายอากาศและแพร่ไปยังยางพาราก้อนถ้วย ในกรณียางพาราก้อนถ้วยมีโลหะในเนื้อยาง โลหะจะสะท้อนสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้ากลับไปยังสายอากาศ ที่ตัวสายอากาศ สัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกแปลงไปเป็นสัญญาณ

ทางไฟฟ้า ขั้นตอนสุดท้ายสัญญาณไฟฟ้าเหล่านั้นถูกส่งผ่านไปยังส่วนสุดท้ายของเครื่องฯ ดันแบบคือส่วนแสดงผล ผลการตรวจสอบจะ

*สัญญาเลขที่ RDG5450053: โครงการ “โครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี”

แสดงว่าพบโลหะในเนื้อยางพาราก่อนด้วยผ่านทางแอลอีดีและลำโพง สำหรับในกรณียางพาราก่อนด้วยบริสุทธิ์ เครื่องฯ ดันแบบจะไม่ตรวจพบสัญญาณที่สะท้อนกลับมา

วัสดุที่ใช้สำหรับทดสอบเครื่องฯ ดันแบบ เป็นยางพาราก่อนด้วยธรรมชาติ (มีโลหะและไม่มีโลหะภายใน) ขนาดไม่เกิน 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร ขั้นตอนแรกของการทดสอบ เริ่มจากการนำยางพาราป้อนให้เครื่องฯ บนสายพานลำเลียง (สายพานเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 37.5 เซนติเมตรต่อวินาที) จากนั้นยางพาราก่อนด้วยเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปยังช่องตรวจรู้ของเครื่องฯ โดยสายพานเพื่อทำการตรวจสอบ ระยะห่างระหว่างยางพาราก่อนด้วยที่วางบนสายพานแต่ละก้อนเท่ากับ 10 เซนติเมตร ผลการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพของเครื่องดันแบบมีความคลาดเคลื่อนในการตรวจสอบเท่ากับร้อยละ 3 สำหรับยางทดสอบที่มีโลหะอยู่ในเนื้อขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ในกรณียางทดสอบมีโลหะขนาด 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าความผิดพลาดของเครื่องลดลงเหลือร้อยละ 1

คำสำคัญ การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า วัสดุโลหะ ยางพาราก่อนด้วย

Abstract

In present, the payments of natural cup lump rubber trade are depending on rubber weight. The rubber trade problems will appear when the rubbers have adulterated things inside such as metal or pebble. Those rubber weights will not truth. The naked eye evaluation is complex and waste time.

This research aims to resolve above problem by designed and fabricated machine for evaluation of metal in cup lump rubber. The prototype machine operation starts at signal generator section. This section generates electromagnetic signals with frequency of <960 MHz. Then, the electromagnetic signals send to front-end section. The front-end section is consisting of high frequency circuit and transceiver antenna (helix type). After front-end section, these signals radiate through free space and propagate to the cup lump rubber. In case of metal inside cup lump rubber, the metal has been reflecting electromagnetic signals and these signals will return to the transceiver antenna. At the transceiver antenna, the reflection electromagnetic signals are converting to electrical signal. Finally, those electrical signals transfer to last section which is display section. The evaluation results (detected metal) are showing on LED and speaker. In case of pure cup lump rubber, the prototype machine will not detect any reflection signal.

The materials for testing prototype machine are natural cup lump rubbers (metal and no metal inside rubber) with size of $<10\text{ cm}^2$. The first step of testing, these test rubbers feed in the conveyor (speed 37.5 cm/s). Then, the test rubbers move in cavity sensor by conveyor for evaluating. The gap between each rubber on the conveyor is 10 cm . The experiments are found that the prototype machine uncertainty is 3% for test rubbers with metal (size: 1 cm^2). In case of test rubbers with metal (size: 2 cm^2), the uncertainty reduces to 1% .

Keywords: Non-destructive testing, Electromagnetic wave, metal material, and cup lump rubber.

คำนำ (Introduction)

ยางพาราถือเป็นพืชเศรษฐกิจซึ่งทำรายได้ให้กับประชากรในประเทศซึ่งอยู่ในอันดับต้นๆ ของรายได้หลักของประเทศไทย การพัฒนาขบวนการผลิตยางพาราให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นจะส่งผลดีทั้งต่อประเทศและเกษตรกรชาวสวนยาง อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มความเชื่อมั่นสำหรับลูกค้าที่มารับซื้อยางอีกด้วย โดยขั้นตอนในการผลิตยางพารา เริ่มตั้งแต่การกรีดยางจากต้น จนถึงขั้นตอนสุดท้ายคือได้ผลผลิตจากต้นยางที่เตรียมส่งขายให้กับผู้รับซื้อหรือโรงงานอุตสาหกรรม ปัจจุบันรูปแบบผลผลิตจากยางพาราที่ชาวสวนอย่างเตรียมส่งขายสามารถแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบหลักๆ ได้แก่ น้ำยาง ยางแผ่น และยางก้อนถ้วย ซึ่งผลผลิตในรูปแบบยางก้อนถ้วยเริ่มเป็นที่รู้จักของชาวสวน อีกทั้งมีการส่งเสริมจากรัฐบาลให้ชาวสวนทำยางก้อนถ้วยจึงทำให้ยางก้อนถ้วยเป็นที่ต้องการของโรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตยางแท่งมากยิ่งขึ้น ซึ่งแต่เดิมทางโรงงานอุตสาหกรรมจะรับซื้อน้ำยางเพื่อมาผลิตยางแท่งแต่เมื่อเปลี่ยนมาใช้ยางก้อนถ้วยจะสะดวกและทำให้ต้นทุนการผลิตยางแท่งลดลง วิธีการผลิตยางก้อนถ้วย (สมดุล, 2552) เริ่มเป็นที่นิยมมากขึ้นเนื่องจากขั้นตอนไม่ยุ่งยากเพียงแค่เตรียมกรดฟอร์มิกเจือจาง ซึ่งทำได้โดยใช้น้ำกรด 10 ส่วนผสมน้ำ 90 ส่วน จากนั้นขั้นตอนแรกทำการลอกชียางเส้นออกจากหน้ากรีดเก็บใส่ภาชนะ ทำความสะอาดเช็ดด้วยยางก้อนรองน้ำยาง และเริ่มกรีดยางตามปกติจนครบทั้งแปลง เมื่อน้ำยางหยุดไหล หยอดน้ำกรดที่เตรียมไว้ 12-15 ซีซีต่อต้น แล้วคนให้เข้ากัน ปล่อยให้ น้ำยางจับตัวในถ้วย เสร็จแล้วและยางเกี่ยวเสียบไว้ที่ลวด 1 วัน หลังจากนั้นจึงเก็บใส่ถุง ตากแห้งในลอน แล้วนำมาผึ่งเกลี่ยบนแคร่ในร่ม เพื่อไม่ให้ก้อนยางติดกัน รอจำหน่ายแก่ผู้รับซื้อหรือโรงงานอุตสาหกรรม การจำหน่ายยางก้อนถ้วยจะอาศัยการชั่งน้ำหนัก จำนวนเงินจากการขายยางจะแปรผันตามน้ำหนักของยางก้อนถ้วย ดังนั้นถ้ามีการแอบนำโลหะใส่ปลอมปนอยู่ในเนื้อยางก้อนถ้วยซึ่งสาเหตุอาจเกิดในขั้นตอนการเตรียมน้ำยางหรือขณะรอยางแข็งตัว เมื่อน้ำยางแข็งตัวเป็นยางก้อนถ้วยแล้วทำให้น้ำหนักที่ได้ไม่ใช่น้ำหนักสุทธิของยางเพียงอย่างเดียวทำให้ผู้รับซื้อหรือโรงงานอุตสาหกรรมเกิดความเสียหายได้ในระยะยาว

ทางคณะผู้วิจัยได้สอบถามข้อมูลจากทางเกษตรกรสวนยางพาราและผู้รับซื้อยางก้อนถ้วยถึงขั้นตอนในการตรวจสอบวัตถุปลอมปนในเนื้อยางพาราคำตอบส่วนใหญ่ที่ได้คือยังไม่มีเครื่องหรืออุปกรณ์ในการตรวจสอบและเป็นที่ทราบว่าการตรวจหาวัตถุปลอมปนด้วยตาเปล่านั้นกระทำไม่ได้ ทางคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการตรวจสอบหาวัตถุเจือปนในเนื้อยางด้วยส่งคลื่นสัญญาณทางไฟฟ้าผ่านเข้าไปในเนื้อยาง

ก่อนด้วยเพื่อตรวจสอบหาสิ่งปลอมปน โดยในเครื่องต้นแบบรุ่นแรกนี้จะเน้นที่การตรวจหาโลหะที่ปลอมปนในเนื้อยางก้อนถ้วยและจะพัฒนาให้สามารถตรวจสอบวัตถุแปลกปลอมมากขึ้น อีกทั้งยังสามารถนำเครื่องต้นแบบนี้ไปประยุกต์ใช้กับการตรวจสอบคุณภาพยางรถยนต์ที่เสริมใยเหล็กกว่ามีการเสริมจริงหรือไม่ได้อีกกรณี การตรวจสอบด้วยเครื่องต้นแบบนี้จะไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของเนื้อยางพาราและปลอดภัยต่อมนุษย์ จากงานวิจัยที่ผ่านมา (Kompa et al., 1997), (Ghose et al., 2003) และ (Ruengwaree et al., 2005) ได้ศึกษา ออกแบบและสร้างระบบตรวจรู้เรดาร์ใช้งานระยะใกล้ที่พัฒนามาจากระบบตรวจวัดระยะแบบ 3 มิติด้วยเลเซอร์ ซึ่งระบบตรวจรู้เรดาร์เป็นแบบ Bi-static จากนั้น (Ruengwaree, 2007) ได้พัฒนาระบบตรวจรู้เรดาร์ระยะใกล้ได้ระบบใหม่เป็นแบบ Mono-static อีกทั้งได้พัฒนาระบบตรวจรู้เรดาร์แบบ Bi-static (Ruengwaree et al., 2005) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบโดยระบบตรวจรู้เรดาร์ดังกล่าวได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานกับงานหลายประเภทเช่น การตรวจวัดระดับน้ำ ตรวจหาโลหะในพื้นที่ดินหรือสิ่งแปลกปลอมในทราย และตรวจวัดระยะทางของวัตถุเป็นต้น

จากระบบตรวจรู้เรดาร์ระยะใกล้ (Ruengwaree, 2007) ทางคณะวิจัยมีแนวคิดจะทำการพัฒนาระบบเพื่อให้มีความเหมาะสมกับระบบตรวจสอบโลหะและสิ่งแปลกปลอมในยางพาราโดยอาศัยหลักการใช้คลื่นต่อเนื่อง (Continuous wave: CW) ในย่านแถบกว้างที่สุด (Ultra-wideband: UWB) ซึ่งมีความถี่อยู่สองย่านความถี่คือ ต่ำกว่า 960 เมกะเฮิร์ตซ์ และช่วง 3.1 – 10.6 กิกะเฮิร์ตซ์ ส่งโดยภาคส่งของตรวจสอบวัตถุแปลกปลอมในเนื้อยางพาราก่อนถ้วยผ่านตัวสายอากาศตัวส่งไปยังเนื้อยางพาราก่อนถ้วย (มีค่าสภาพ ขอมสัมพัทธ์อยู่ประมาณ 2-3 จากนั้นจะมีสายอากาศอีกตัวทำหน้าที่รับคลื่นต่อเนื่องที่ผ่านยางพาราเนื่องจากค่าสภาพ ขอมสัมพัทธ์ที่ต่ำจะไม่สะท้อนคลื่นต่อเนื่องและส่งไปยังภาครับของเครื่องตรวจสอบวัตถุแปลกปลอมในเนื้อยางพาราก่อนถ้วยเพื่อแสดงผลการตรวจสอบ ซึ่งถ้ายางพาราไม่มีโลหะหรือก้อนหินปลอมปนสัญญาณคลื่นความถี่ทั้งหมดจากภาคส่งจะผ่านไปยังภาครับแต่ถ้ามีวัตถุแปลกปลอมคลื่นต่อเนื่องบางส่วนจะสะท้อนไม่ทะลุไปยังภาครับทั้งหมดเพราะค่าสภาพขอมสัมพัทธ์ของสิ่งแปลกปลอมเช่น โลหะมีค่ามากกว่าของยางพารามากและจะสะท้อนคลื่นต่อเนื่อง จากหลักการดังกล่าวจะสามารถตรวจสอบวัตถุแปลกปลอมในเนื้อยางพาราก่อนถ้วยได้ โดยขนาดยางพาราก่อนถ้วยนั้นที่สามารถตรวจสอบได้มีขนาดประมาณมากกว่า 10 ซม³

อุปกรณ์และวิธีการ (Materials and Methods)

การทำวิจัยครั้งนี้เป่าประสงค์สำคัญคือการศึกษาและทดสอบพฤติกรรมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่ต่ำกว่า 960 เมกะเฮิร์ตซ์ที่กระทำต่อวัสดุที่มีความสภาพขอมสัมพัทธ์ที่มีความแตกต่างกันมากได้แก่ค่าสภาพขอมสัมพัทธ์ของยางพาราและวัสดุที่เป็นโลหะดังนั้นเครื่องมือและอุปกรณ์จะมุ่งเน้นไปที่เครื่องมือวัดคุณลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอุปกรณ์และเครื่องมือหลักที่ใช้สำหรับการศึกษาและวิจัยคือ เครื่องวิเคราะห์จายรข่ายรุ่น E8363B ยี่ห้อ Agilent รองรับการวัดสัญญาณความถี่ได้ตั้งแต่ 0.1 - 4 กิกะเฮิร์ตซ์ เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมยี่ห้อ Agilent รองรับการประยุกต์ใช้งานได้ที่ความถี่ต่ำกว่า 1 กิกะเฮิร์ตซ์ และดิจิตอลมัลติเตอร์แบบพกพา รุ่น U1231A ยี่ห้อ Agilent ในส่วนของอุปกรณ์ที่ใช้สร้างระบบทดสอบสามารถแบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ ดังนี้

1. อุปกรณ์เชิงไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งแบ่งได้เป็นสองประเภทคือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทประเภทพาสซีฟได้แก่ ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำ สายไฟ ตะกั่วบัดกรี แผ่นวงจรพิมพ์และสายอากาศแบบขดลวด และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทแอกทีฟได้แก่ ทรานซิสเตอร์

2. อุปกรณ์เชิงกลได้แก่ มอเตอร์ไฟฟ้า สายพาน แผ่นอะลูมิเนียม แผ่นไม้อัด ก่อ่งพลาสติก ตะปูเกลียว สลักและแท่นเกลียว เป็นต้น

วิธีการดำเนินงานสามารถแบ่งออกเป็นข้อๆ ได้ดังต่อไปนี้

1. ทำการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับคลื่นสัญญาณทางไฟฟ้า การทดสอบแบบไม่ทำลายและคุณสมบัติทางกายภาพของยางพาราก่อนด้วยและโลหะ

2. ออกแบบ จำลองแบบและวิเคราะห์ระบบการตรวจสอบยางพาราก่อนด้วยที่มีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขต่างๆ ทางกายภาพด้วยคลื่นสัญญาณทางไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เฉพาะทาง

3. ออกแบบและสร้างส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องตรวจสอบได้แก่ ส่วนกำเนิดสัญญาณทางไฟฟ้า ส่วนแพร่กระจายคลื่นสัญญาณทางไฟฟ้า ส่วนรับคลื่นสัญญาณทางไฟฟ้าและส่วนแสดงผลการตรวจสอบ

4. วางแผนการทดลอง (Experiments)

5. ทำการทดลองเครื่องตรวจสอบยางพาราก่อนด้วยในเงื่อนไขต่างๆ เช่น แบบไม่มีวัตถุแปลกปลอม แบบมีวัตถุแปลกปลอม ปรับเปลี่ยนขนาดต่างๆ และปรับตำแหน่งวัตถุแปลกปลอม เป็นต้น

6. เก็บข้อมูลการทดสอบ

7. เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากการทดลองและทำการแก้ไขข้อบกพร่อง

8. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

9. เผยแพร่งานวิจัย และส่งรายงานฉบับสมบูรณ์

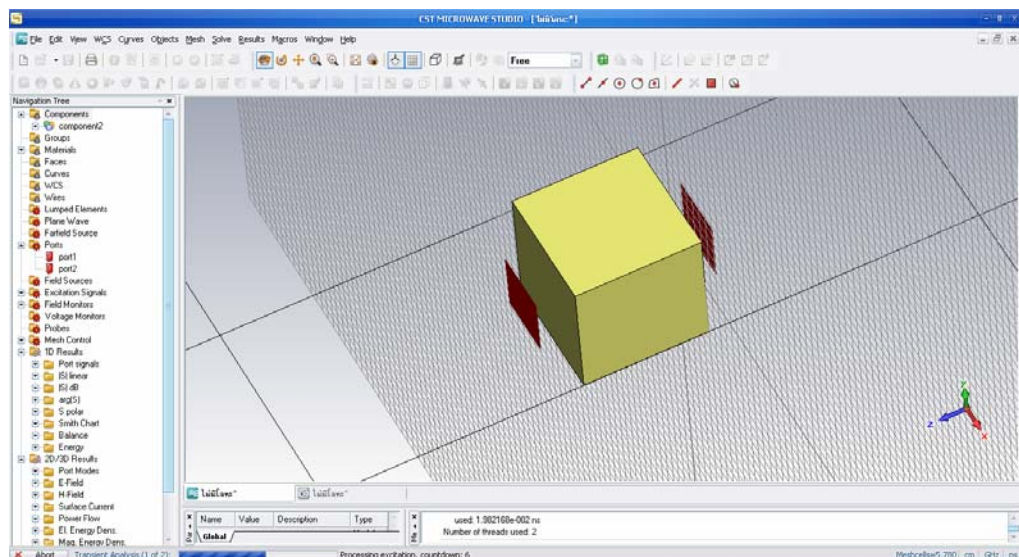
ผล (Results)

การจำลองแบบ

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอการจำลองแบบผลตอบสนองของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีต่อก้อนยางบริสุทธิและก้อนยางที่มีการฝังโลหะไว้ในก้อนยางโดยใช้โปรแกรม CST (Computer simulation technology) ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับจำลองแบบสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถแสดงผลการจำลองแบบในลักษณะ 3 มิติ

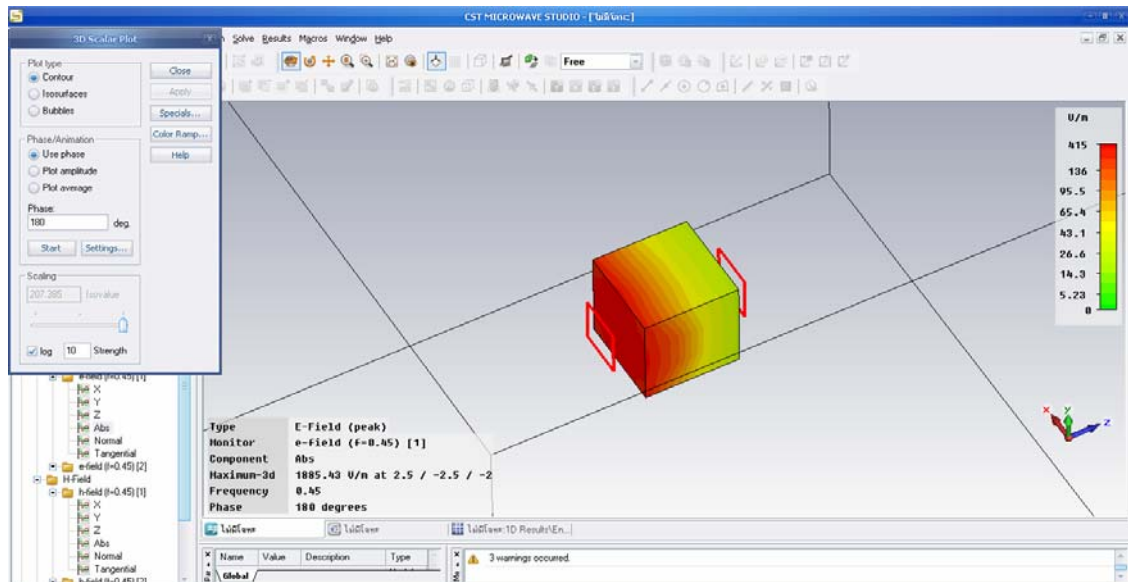
การจำลองแบบก้อนยางบริสุทธิ

สำหรับการจำลองแบบในกรณีก้อนยางบริสุทธิ เริ่มต้นกำหนดโครงสร้างของก้อนยางซึ่งในการจำลองแบบนี้กำหนดให้ก้อนยางมีขนาด 10×10 ซม² ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกเท่ากับ 3 [7] และกำหนดพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตสำหรับส่งและรับพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านก้อนยางทดสอบดังรูปที่ 1

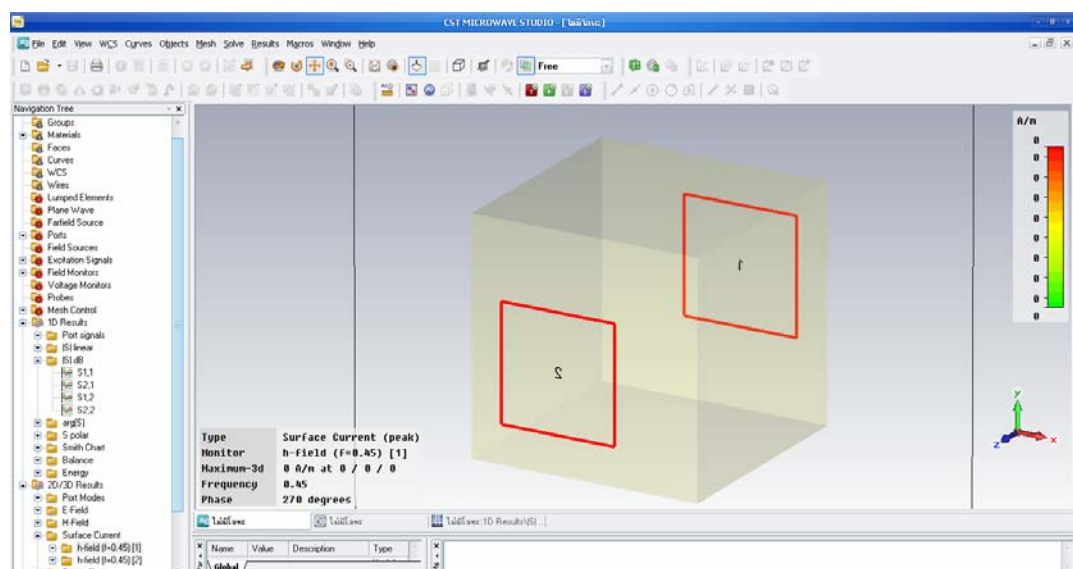


รูปที่ 1 โครงสร้างก้อนยางและอินพุต/เอาต์พุตพอร์ตในโปรแกรม CST เพื่อจำลองแบบสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

จากรูปที่ 1 เป็นการแสดงโครงสร้างก่อนยางซึ่งจะมีลักษณะเป็นก้อนสี่เหลี่ยมและในส่วนป้อนพลังงานจะทำการป้อนพลังงานผ่านพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตซึ่งลักษณะจะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมอยู่ทั้งทางด้านซ้ายและขวาของก้อนยางทดสอบ จากนั้นทำการจำลองแบบโดยป้อนสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านพอร์ตอินพุตส่งผ่านก้อนยางไปที่พอร์ตเอาต์พุตและสังเกตพฤติกรรมที่เกิดขึ้นบริเวณก้อนยางซึ่งผลการจำลองแบบแสดงได้ดังรูปที่ 2 และ 3



รูปที่ 2 การจำลองแบบ 3 มิติของพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายผ่านก้อนยางทดสอบ

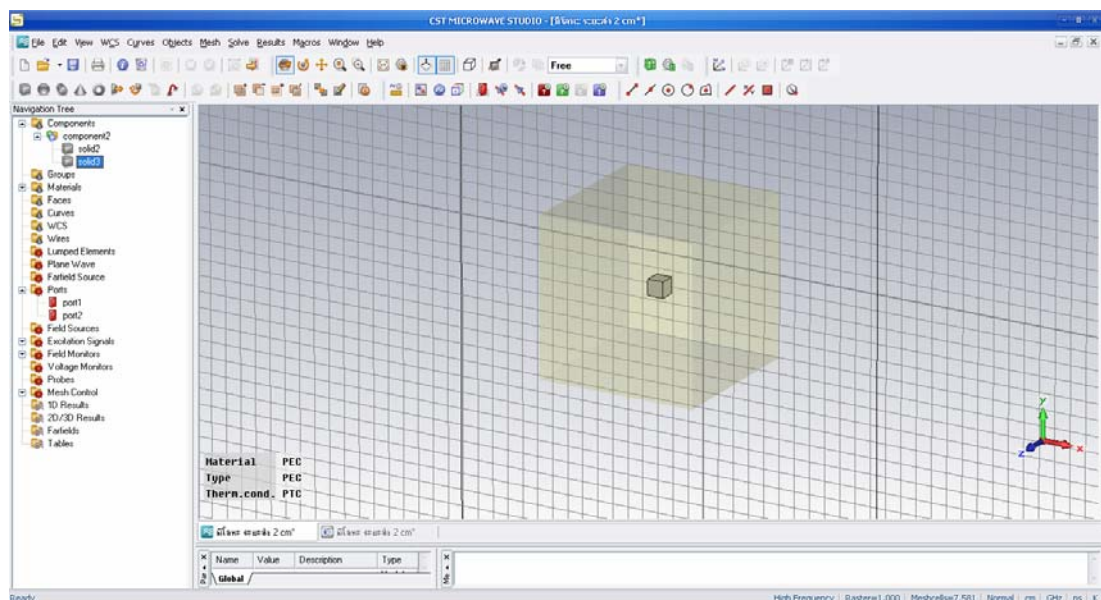


รูปที่ 3 ผลการจำลองแบบ 3 มิติโครงสร้างภายในก้อนยางทดสอบที่ป้อนพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจาย

จากรูปที่ 2 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเคลื่อนที่ผ่านก้อนยางจากทางพอร์ตอินพุตซึ่งอยู่ทางซ้ายมือไปยังพอร์ตเอาต์พุตซึ่งอยู่ทางขวามือ สังเกตเห็นว่าบริเวณสีแดงที่ปรากฏบนก้อนยางทดสอบคือบริเวณที่มีพลังงานสนามไฟฟ้าหนาแน่นสูงสุดและบริเวณก้อนยางที่เป็นสีเขียวจะมีพลังงานสนามไฟฟ้าต่ำสุด และจากการจำลองแบบพบว่าไม่มีการสะท้อน (Reflection) และกระจาย (Dispersion) พลังงานปรากฏในก้อนยางทดสอบดังแสดงได้ในรูปที่ 3

การจำลองแบบก้อนยางที่มีโลหะปลอมปน

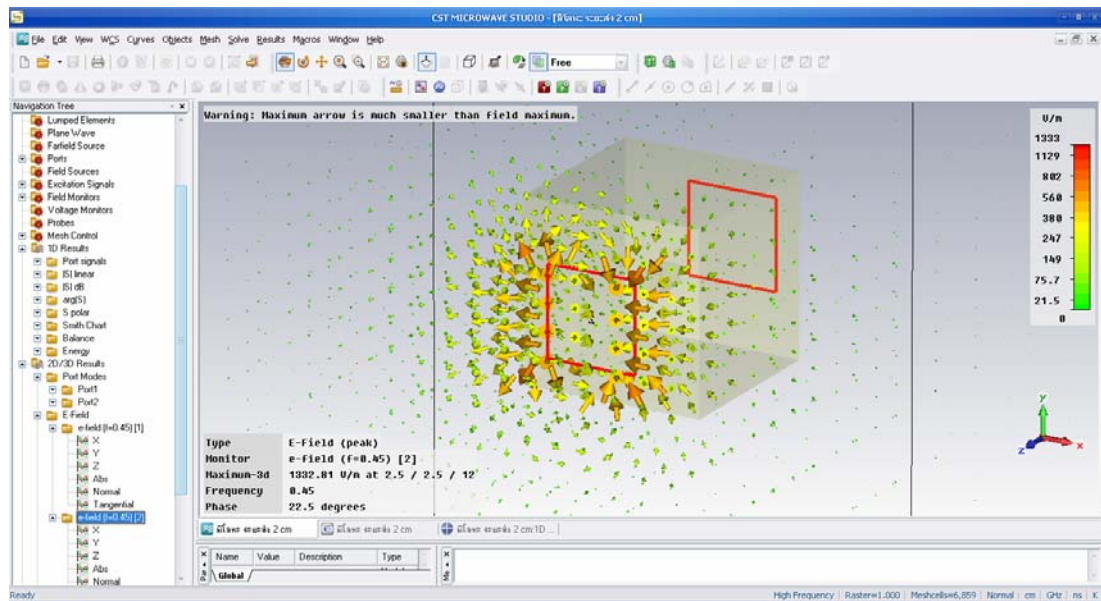
สำหรับการจำลองแบบก้อนยางที่มีโลหะปลอมปน จะมีขั้นตอนคล้ายกับการจำลองแบบก้อนยางก้อนยางบริสุทธิ์ต่างกันคือในกรณีนี้จะทำการโครงสร้างโดยการเพิ่มโลหะขนาด 1×1 ซม.² เข้าไปในก้อนยางทดสอบขนาด 10×10 ซม.² ดังแสดงได้ดังรูปที่ 4



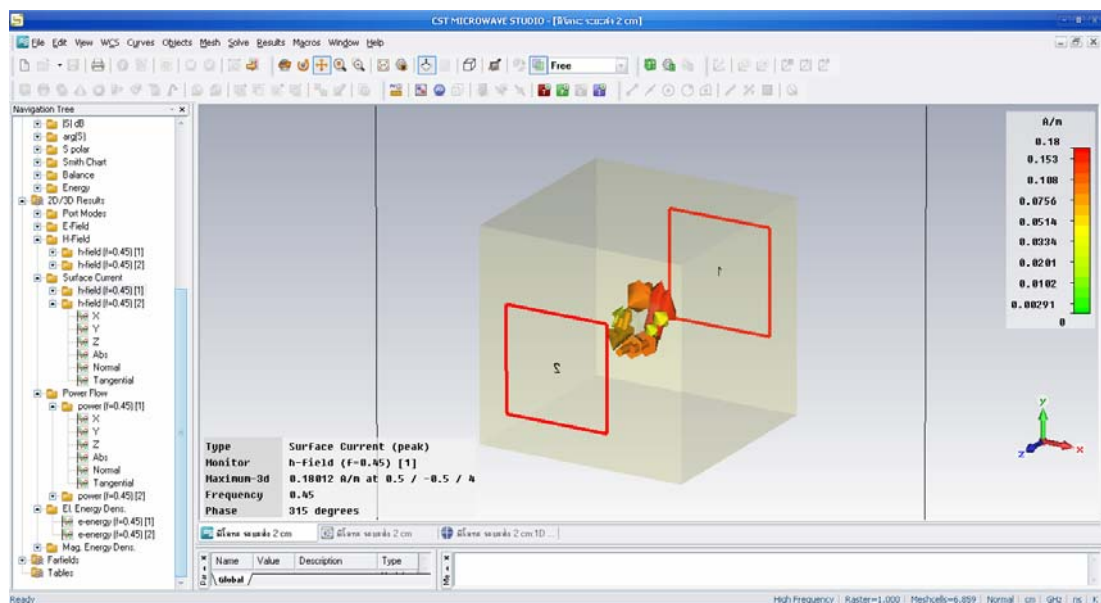
รูปที่ 4 โครงสร้าง 3 มิติในโปรแกรม CST ของก้อนยางทดสอบที่มีโลหะอยู่ภายใน

หลังจากวาดโครงสร้างก้อนยางทดสอบที่มีโลหะอยู่ภายในแล้ว จากนั้นทำการจำลองแบบของก้อนยางดังกล่าวโดยป้อนสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าที่พอร์ตอินพุตและสังเกตพฤติกรรมของการเคลื่อนที่ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 5-6 ซึ่งจากรูปทั้งสองจะพบว่าเกิดการเหนี่ยวนำขึ้นที่โลหะภายในก้อนยางทดสอบ สังเกตจากหัวลูกศรแสดงทิศทางไหลของกระแสที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ

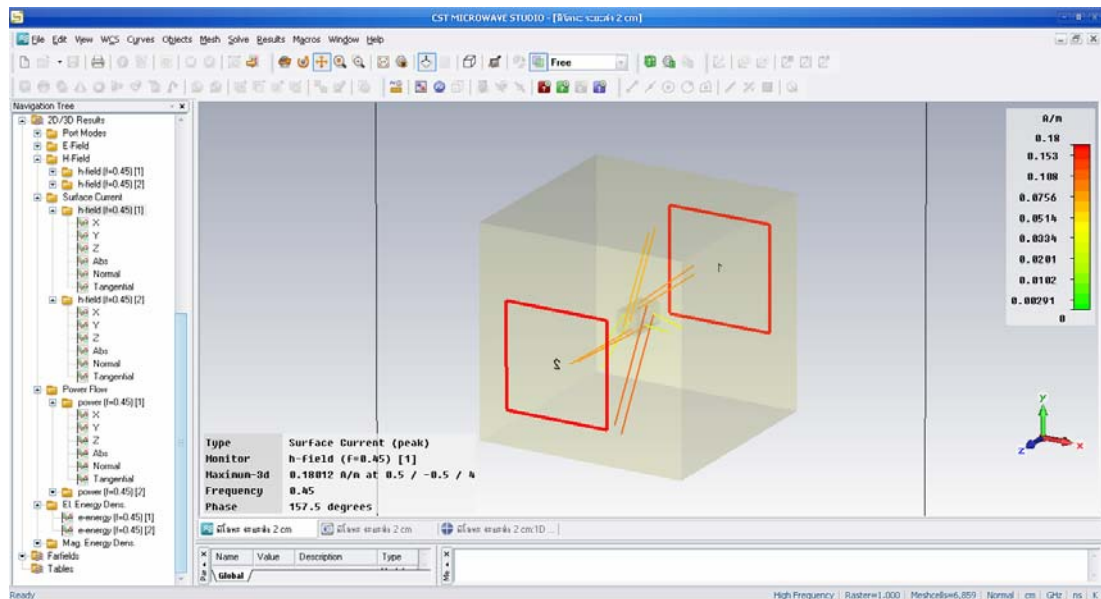
จากรูปที่ 7 แสดงการเกิดการสะท้อนและกระจายของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ผ่านก้อนยางทดสอบและมาตกกระทบโลหะภายในส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาดังกล่าวทั้งสอง



รูปที่ 5 การจำลองแบบ 3 มิติของพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายผ่านก้อนยางทดสอบที่มีโลหะภายใน



รูปที่ 6 ผลการจำลองแบบ 3 มิติการเกิดกระแสที่ผิวของโลหะที่อยู่ในก้อนยางทดสอบ



รูปที่ 7 ผลการจำลองแบบ 3 มิติของการสะท้อนและกระจายพลังงานที่เกิดจากโลหะที่อยู่ภายในก้อนยางทดสอบ

การออกแบบ

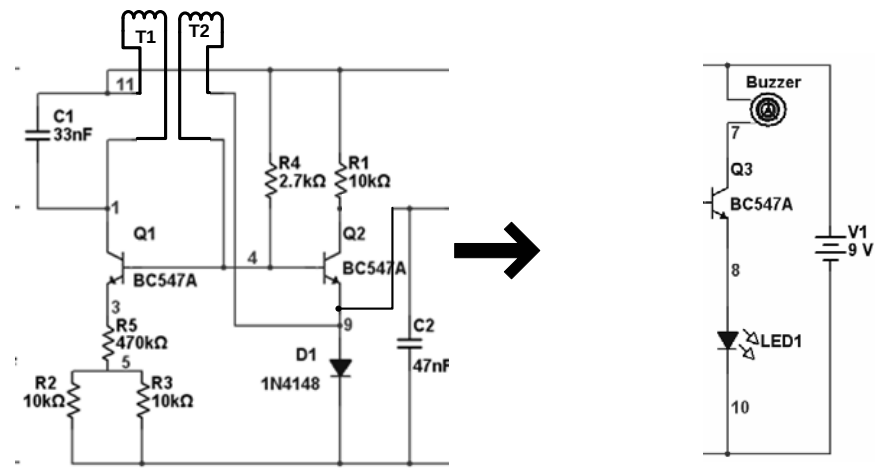
จากผลการจำลองแบบที่ปรากฏในส่วนก่อนหน้านี้ทำให้ทราบว่าโลหะจะส่งผลทำให้เกิดการสะท้อนและกระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จึงนำแนวคิดดังกล่าวมาประกอบเพื่อการออกแบบเครื่องตรวจสอบวัตถุแปลกปลอมในเนื้อยางพาราก้อนด้วย โดยแนวคิดการออกแบบได้แบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่สามารถอธิบายดังต่อไปนี้

- ส่วนหน้า ประกอบไปด้วย สายอากาศแบบขดลวดซึ่งจะทำงานที่ความถี่ 450 เมกกะเฮิร์ตซ์ ทำหน้าที่แผ่พลังงานและรับคลื่นสัญญาณทางไฟฟ้า และวงจรกำเนิดสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของเครื่องฯ ดันแบบ หัวใจสำคัญของวงจรจะใช้ทรานซิสเตอร์คูเบอร์ BC547A ทำหน้าที่เป็นวงจรออสซิลเลตกำเนิดสัญญาณความถี่ 450 เมกกะเฮิร์ตซ์ โดยมีการกำหนดกระแสและแรงดันให้ตัวทรานซิสเตอร์ทำงานจะใช้ความต้านทานค่าต่างๆ เป็นตัวกำหนดไบอัส จากนั้นสัญญาณด้านเอาต์พุตของตัวทรานซิสเตอร์ถูกส่งผ่านสายอากาศแบบขดลวด T1 ซึ่งอยู่ด้านบนของวงจร แหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรจะออกแบบให้ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงขนาดแรงดันเท่ากับ 9 โวลต์ วงจรดันแบบสามารถแสดงได้ในรูปที่ 8 (ก)

- ส่วนแสดงผล การออกแบบในส่วนนี้จะใช้การแสดงผลแบบง่ายคือใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ BC547A ทำหน้าที่เป็นสวิทช์อิเล็กทรอนิกส์ การทำงานคือเมื่อส่วนหน้าของเครื่องฯ ดันแบบตรวจพบโลหะทำให้เกิดการสะท้อนของสัญญาณกลัมายังสายอากาศ ทำให้เกิดสัญญาณไฟฟ้ามากระตุ้นทรานซิสเตอร์ทำงานทำให้ตัวแสดงผลทำงาน โดยเครื่องดันแบบนี้จะใช้การแสดงผลอยู่ 2 ชนิดคือ

- ก) ใช้ลำโพง Buzzer แสดงเอาต์พุตในส่วนของการแสดงผลด้วยเสียง เมื่อมีการตรวจจับเจอโลหะ buzzer ก็จะทำงานโดยส่งเสียงเตือนออกมา

- ข) ใช้ LED แสดงเอาต์พุตส่วนของการแสดงผลด้วยแสง ทำหน้าที่แสดงผลเช่นเดียวกับ Buzzer เมื่อตรวจจับโลหะได้ LED ติดสว่างวงจรในส่วนแสดงผลแสดงได้ดังรูป 8 (ข)



(ก) ส่วนวงจรสร้างความถี่

(ข) ส่วนแสดงผล

รูปที่ 8 ส่วนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องตรวจสอบวัตถุแปลกปลอมในเนื้อยางพาราที่อ่อนตัว

หลักการทำงาน

- หลักการของวงจรกำเนิดความถี่ (Oscillator)

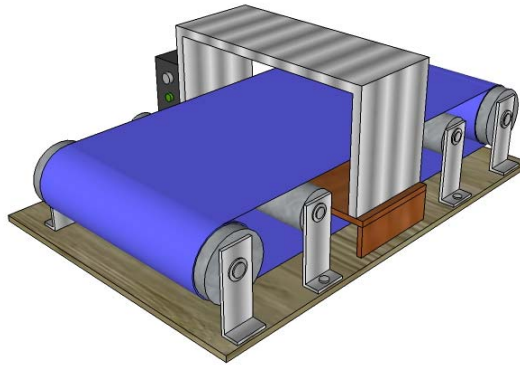
วงจรกำเนิดความถี่หรือออสซิลเลเตอร์เกิดจากนำวงจรรีโซแนนซ์ที่ประกอบด้วยทรานซิสเตอร์มาต่อแบบขนานกันดังรูปที่ 8 (ก) เมื่อเริ่มจ่ายแรงดันไฟกระแสตรงขนาด 9 โวลต์ให้กับวงจร ทำให้มีกระแสไหลผ่านสายอากาศแบบขดลวด T1 และเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดขึ้นบริเวณสายอากาศขดลวด T1 ขณะที่ไหลผ่านจะยังไม่เกิดสัญญาณใดๆ ออกมาจากสายอากาศ T1 จนกระทั่งถ้ามีโลหะมาวางด้านหน้าของสายอากาศแบบขดลวดจะทำให้เกิดการสะท้อนของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าไปสายอากาศแบบขดลวด T2 ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำเกิดกระแสไหลผ่านเขาไปยังขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q1 ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 ทำงานเมื่อทรานซิสเตอร์ Q1 ทำงานก็จะเกิดกระแสไหลผ่านวงจรรีโซแนนซ์ จากนั้นแรงดันที่ตกคร่อมสายอากาศแบบขดลวด T2 มีกระแสไหลไปยังไดโอด D1 ซึ่งทำหน้าที่เรียงกระแสแรงดันทำให้ทรานซิสเตอร์ Q2 ทำงานเมื่อทรานซิสเตอร์ Q2 นำกระแสจึงทำให้กระแสไหลไปไบอัสทรานซิสเตอร์ Q3 ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q3 ทำงานและทำให้เกิดเสียงที่ลำโพงและหลอด LED เกิดติดสว่างแสดงว่าตรวจพบโลหะ ในกรณีนอกเหนือจากนี้ Q2 จะไม่ทำงานและทำให้ Q3 ไม่ทำงานแสดงว่าไม่มีการตรวจพบโลหะ

- หลักการของวงจรแสดงผล (Display)

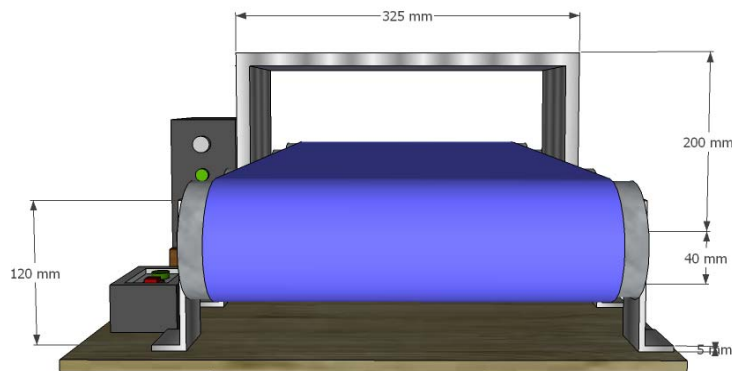
การทำงานของส่วนแสดงผลเริ่มจากเมื่อทรานซิสเตอร์ Q2 ทำงานทำให้มีแรงดันไบอัสที่ขาเบสทรานซิสเตอร์ Q3 และทรานซิสเตอร์ Q3 ทำงานทำให้เกิดกระแสไหลในวงจรทำให้มีแรงดันตกคร่อมบัลลิสเตอร์และ LED ทำให้เกิดเสียงและหลอดติด หรือในกรณีเมื่อทรานซิสเตอร์ Q2 ไม่ทำงาน (ไม่พบโลหะ) ก็จะทำให้ไม่เกิดแรงดันไบอัสที่ขาเบสทรานซิสเตอร์ Q3 เป็นผลให้ทรานซิสเตอร์ Q3 ไม่ได้รับการไบอัสและไม่เกิดกระแสไหลในวงจรทำให้ไม่มีแรงดันตกคร่อมบัลลิสเตอร์และ LED ทำให้บัลลิสเตอร์และ LED ไม่ทำงาน การทำงานของทรานซิสเตอร์ Q3 นี้กล่าวได้ว่าจะขึ้นอยู่กับการนำกระแสหรือไม่นำกระแสของทรานซิสเตอร์ Q2 ซึ่งเป็นตัวกำหนดการทำงานของวงจรส่วนแสดงผล

การสร้างเครื่อง

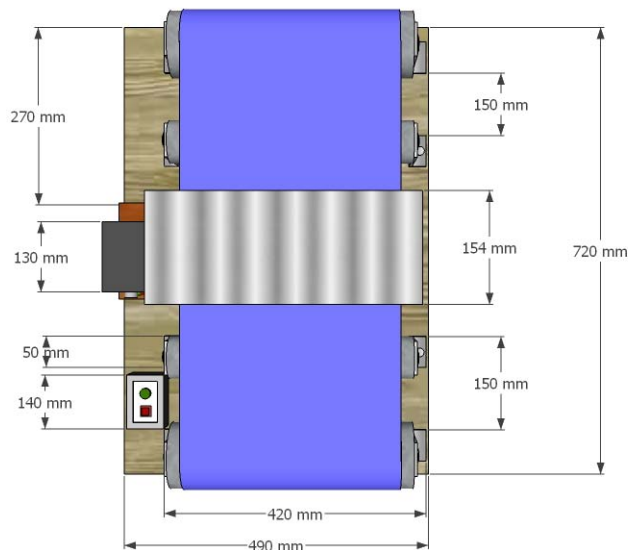
หลังจากทราบแนวคิดและทำการออกแบบวงจรส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ดังแสดงในรูปที่ 8 จากนั้นทำการสร้างวงจรในส่วนอิเล็กทรอนิกส์และนำมาประกอบลงบนตัวโครงสร้างของเครื่องฯ ต้นแบบ โดยรายละเอียดการออกแบบและสร้างในส่วนเครื่องฯ ต้นแบบแสดงในลักษณะภาพ 3 มิติประกอบด้วย ด้านบน ด้านข้าง และด้านหน้า สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 9



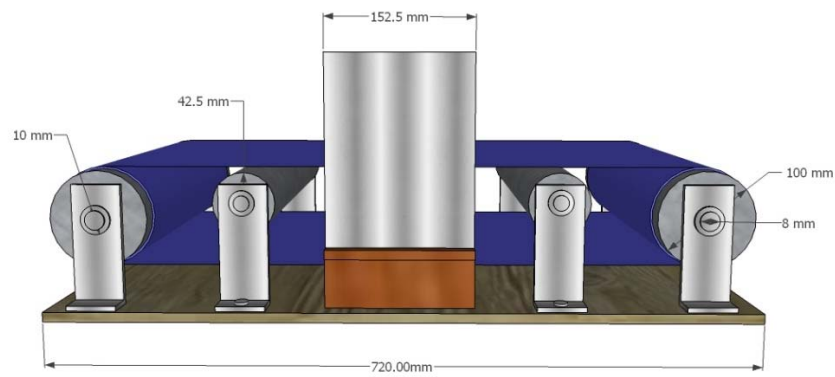
(ก) โครงร่างเครื่องฯ ต้นแบบ 3 มิติ



(ข) โครงร่างเครื่องฯ ต้นแบบ ด้านหน้า



(ค) โครงร่างเครื่องฯ ต้นแบบ ด้านบน



(ง) โครงร่างเครื่องฯ ด้านแบบ ด้านข้าง

รูปที่ 9 โครงร่างพร้อมขนาดของเครื่องฯ ด้านแบบ 3 มิติ

ผลการทดสอบ

การทดสอบเครื่องตรวจสอบวัตถุแปลกปลอมในเนื้อยางพาราก้อนด้วย จะแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 กรณีด้วยกันคือ กรณีแรกจะตรวจสอบยางพาราก้อนที่บริสุทธิ์ไม่มีโลหะปลอมปนจำนวน 100 ก้อน กรณีที่สองจะตรวจสอบเฉพาะยางพาราก้อนที่มีการปลอมปนด้วยโลหะทั้งหมด 100 ก้อนและกรณีที่สุดท้ายจะนำยางพาราก้อนด้วยแบบบริสุทธิ์ 70 ก้อนปนกับยางพาราที่มีการปลอมปนโลหะ 30 ก้อนมาละเลงเข้าด้วยกันแล้วใช้เครื่องตรวจสอบเพื่อทำการแยกยางพาราทั้งสองแบบออกจากกัน โดยตัวอย่างทดสอบจะใช้ยางพาราที่มีลักษณะเป็นก้อนด้วยซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับก้อนยางพาราที่เกษตรกรสวนยางส่งขาย ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ตัวอย่างยางพาราก้อนด้วยและโลหะที่ใช้ทดสอบ

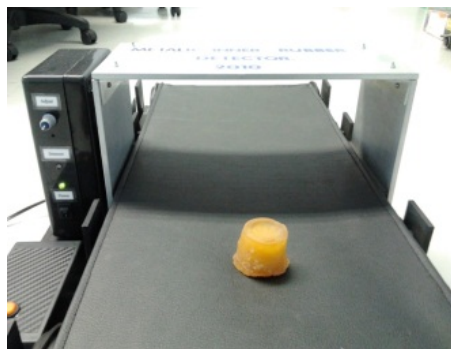


รูปที่ 11 เครื่องตรวจสอบวัตถุแปลกปลอมในเนื้อยางพาราก้อนด้วย

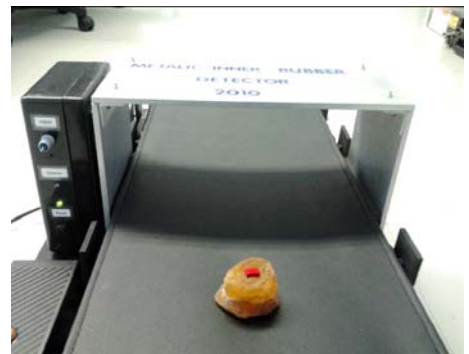
ขั้นตอนแรกการทดสอบเริ่มจากการทดสอบปรับเปลี่ยนขนาดโลหะที่ทดสอบโดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 รอบซึ่งในแต่ละรอบจะเพิ่มขนาดของโลหะตั้งแต่ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตรและ 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อวัดผลความสามารถในการตรวจสอบโลหะว่าขนาดของโลหะที่อยู่ในยางพาราก้อนด้วยมีผลต่อประสิทธิภาพการตรวจสอบของเครื่องตรวจสอบโลหะในยางพาราก้อนด้วยอย่างไร โดยความเร็วในการเคลื่อนที่ของยางพาราก้อนด้วยผ่านช่องตรวจสอบถูกกำหนดโดยความเร็วของสายพานลำเลียงซึ่งมีความเร็วเท่ากับ 37.5 เซนติเมตร/วินาทีระยะห่างระหว่างยางพาราก้อนด้วยเท่ากับ 10 เซนติเมตรพบว่าขนาดของโลหะที่ฝังในเนื้อยางขนาด 2 ลูกบาศก์เซนติเมตรสามารถตรวจพบ จากนั้นทำการลดขนาดโลหะ

ให้เหลือเพียง 1 ลูกบาศก์เซนติเมตรผลการทดสอบพบว่าเครื่องฯ ดันแบบยังสามารถตรวจพบก้อนยางที่มีโลหะฝังในก้อนยาง และสุดท้ายทำการลดขนาดโลหะให้เล็กลงกว่า 1 ลูกบาศก์เซนติเมตรเป็น 0.75 และ 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรตามลำดับผลการทดสอบพบว่าเครื่องไม่สามารถตรวจสอบได้ว่ามีโลหะฝังในก้อนยางทดสอบได้ ดังนั้นจึงสรุปในขั้นตอนนี้ว่าขนาดโลหะที่ฝังในก้อนยางที่เครื่องดันแบบสามารถตรวจหาได้จะมีขนาดไม่เล็กกว่า 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร จึงเลือกโลหะขนาดดังกล่าวฝังในก้อนยางซึ่งตรงกับขอบเขตที่กำหนดของงานวิจัยนี้

ขั้นตอนการทดสอบต่อมาก็จะทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องฯ ดันแบบโดยการทดสอบแบ่งเป็น 3 รูปแบบได้แก่ 1. ตรวจสอบยางพาราก้อนด้วยบริสุทธิ์ไม่มีโลหะปลอมปน 2. ตรวจสอบยางพาราก้อนด้วยที่มีโลหะปลอมปน และ 3. ตรวจสอบแบบผสมรวมโดยมียางก้อนบริสุทธิ์ 70 ก้อน และยางก้อนที่มีโลหะฝัง 30 ก้อน ดังแสดงในรูปที่ 12 และ 13 โดยจากรูปจะสังเกตเห็นว่ายางก้อนที่มีโลหะปลอมปนจะต่างกับยางก้อนบริสุทธิ์คือมีการทำเครื่องหมายไว้ที่บนก้อนยางเพื่อสามารถทราบด้วยตาเปล่าได้ว่าก้อนยางที่ทำการทดสอบนั้นมีโลหะฝังอยู่ภายใน ผลการทดสอบทั้ง 3 รูปแบบแสดงได้ดังตารางที่ 1



ก. ตรวจสอบยางพาราก้อนด้วยปกติ



ข. ตรวจสอบยางพาราก้อนด้วยที่มีโลหะ

รูปที่ 12 เครื่องตรวจสอบโลหะในยางพาราก้อนด้วยแบบปกติและมีโลหะ



รูปที่ 13 ตรวจสอบโลหะในยางพาราก้อนด้วยแบบรวมโดยมียางพาราปกติ 70 ก้อนและยางพารามีโลหะ 30 ก้อน

ตารางที่ 1 การทดสอบเครื่องตรวจสอบโลหะในยางพาราก้อนด้วยที่มีโลหะขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

การตรวจสอบแบบแยกชนิดก้อนยางทดสอบ				การตรวจสอบแบบผสมก้อนยางทดสอบ	
ครั้งที่	ผลการตรวจสอบ ยางก้อนบริสุทธิ์	ครั้งที่	ผลการตรวจสอบ ยางก้อนมีโลหะ	ครั้งที่ (มี/ไม่มีโลหะ)	ผลการตรวจสอบยางก้อน ผสมระหว่างมีและไม่มี โลหะ
1	ตรวจไม่พบ โลหะ	1	ตรวจพบโลหะ	1 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 1
2	ตรวจไม่พบ โลหะ	2	ตรวจพบโลหะ	2 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
3	ตรวจไม่พบ โลหะ	3	ตรวจพบโลหะ	3 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
4	ตรวจไม่พบ โลหะ	4	ตรวจพบโลหะ	4 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
5	ตรวจไม่พบ โลหะ	5	ตรวจไม่พบโลหะ	5 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
6	ตรวจไม่พบ โลหะ	6	ตรวจพบโลหะ	6 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 2
7	ตรวจไม่พบ โลหะ	7	ตรวจไม่พบโลหะ	7 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
8	ตรวจไม่พบ โลหะ	8	ตรวจพบโลหะ	8 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
9	ตรวจไม่พบ โลหะ	9	ตรวจพบโลหะ	9 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 3
10	ตรวจไม่พบ โลหะ	10	ตรวจพบโลหะ	10 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
11	ตรวจไม่พบ โลหะ	11	ตรวจพบโลหะ	11 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
12	ตรวจไม่พบ โลหะ	12	ตรวจพบโลหะ	12 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 4
13	ตรวจไม่พบ โลหะ	13	ตรวจพบโลหะ	13 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ

14	ตรวจไม่พบ โลหะ	14	ตรวจพบโลหะ	14 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 5
15	ตรวจไม่พบ โลหะ	15	ตรวจพบโลหะ	15 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
16	ตรวจไม่พบ โลหะ	16	ตรวจพบโลหะ	16 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
17	ตรวจไม่พบ โลหะ	17	ตรวจพบโลหะ	17 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
18	ตรวจไม่พบ โลหะ	18	ตรวจพบโลหะ	18 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
19	ตรวจไม่พบ โลหะ	19	ตรวจพบโลหะ	19 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
20	ตรวจไม่พบ โลหะ	20	ตรวจพบโลหะ	20 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 6
21	ตรวจไม่พบ โลหะ	21	ตรวจพบโลหะ	21 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
22	ตรวจไม่พบ โลหะ	22	ตรวจพบโลหะ	22 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 7
23	ตรวจไม่พบ โลหะ	23	ตรวจพบโลหะ	23 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
24	ตรวจไม่พบ โลหะ	24	ตรวจพบโลหะ	24 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
25	ตรวจไม่พบ โลหะ	25	ตรวจพบโลหะ	25 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
26	ตรวจไม่พบ โลหะ	26	ตรวจพบโลหะ	26 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 8
27	ตรวจไม่พบ โลหะ	27	ตรวจพบโลหะ	27 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 9
28	ตรวจไม่พบ โลหะ	28	ตรวจพบโลหะ	28 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
29	ตรวจไม่พบ โลหะ	29	ตรวจพบโลหะ	29 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
30	ตรวจไม่พบ	30	ตรวจพบโลหะ	30 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 10

	โลหะ				
31	ตรวจไม่พบโลหะ	31	ตรวจพบโลหะ	31 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
32	ตรวจไม่พบโลหะ	32	ตรวจพบโลหะ	32 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
การตรวจสอบแบบแยกชนิดก่อนแยกทดสอบ				การตรวจสอบแบบผสมก่อนแยกทดสอบ	
ครั้งที่	ผลการตรวจสอบ ยาก่อนบริสุทธิ์	ครั้งที่	ผลการตรวจสอบ ยาก่อนมีโลหะ	ครั้งที่ (มี/ไม่มีโลหะ)	ผลการตรวจสอบยาก่อน ผสมระหว่างมีและไม่มี โลหะ
33	ตรวจไม่พบโลหะ	33	ตรวจพบโลหะ	33 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
34	ตรวจไม่พบโลหะ	34	ตรวจพบโลหะ	34 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
35	ตรวจไม่พบโลหะ	35	ตรวจพบโลหะ	35 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
36	ตรวจไม่พบโลหะ	36	ตรวจพบโลหะ	36 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
37	ตรวจไม่พบโลหะ	37	ตรวจพบโลหะ	37 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 11
38	ตรวจไม่พบโลหะ	38	ตรวจพบโลหะ	38 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
39	ตรวจไม่พบโลหะ	39	ตรวจพบโลหะ	39 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
40	ตรวจไม่พบโลหะ	40	ตรวจพบโลหะ	40 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 12
41	ตรวจไม่พบโลหะ	41	ตรวจพบโลหะ	41 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
42	ตรวจไม่พบโลหะ	42	ตรวจพบโลหะ	42 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 13
43	ตรวจไม่พบโลหะ	43	ตรวจพบโลหะ	43 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
44	ตรวจไม่พบโลหะ	44	ตรวจพบโลหะ	44 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ

45	ตรวจไม่พบ โลหะ	45	ตรวจพบโลหะ	45 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 14
46	ตรวจไม่พบ โลหะ	46	ตรวจพบโลหะ	46 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
47	ตรวจไม่พบ โลหะ	47	ตรวจพบโลหะ	47 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 15
48	ตรวจไม่พบ โลหะ	48	ตรวจพบโลหะ	48 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 16
50	ตรวจไม่พบ โลหะ	50	ตรวจพบโลหะ	50 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
51	ตรวจไม่พบ โลหะ	51	ตรวจพบโลหะ	51 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 17
52	ตรวจไม่พบ โลหะ	52	ตรวจพบโลหะ	52 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
53	ตรวจไม่พบ โลหะ	53	ตรวจพบโลหะ	53 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 18
54	ตรวจไม่พบ โลหะ	54	ตรวจพบโลหะ	54 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
55	ตรวจไม่พบ โลหะ	55	ตรวจพบโลหะ	55 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
56	ตรวจไม่พบ โลหะ	56	ตรวจพบโลหะ	56 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
57	ตรวจไม่พบ โลหะ	57	ตรวจพบโลหะ	57 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 19
58	ตรวจไม่พบ โลหะ	58	ตรวจพบโลหะ	58 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
59	ตรวจไม่พบ โลหะ	59	ตรวจพบโลหะ	59 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 20
60	ตรวจไม่พบ โลหะ	60	ตรวจพบโลหะ	60 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
61	ตรวจไม่พบ โลหะ	61	ตรวจพบโลหะ	61 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
62	ตรวจไม่พบ	62	ตรวจพบโลหะ	62 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 21

	โลหะ				
63	ตรวจไม่พบโลหะ	63	ตรวจพบโลหะ	63 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
64	ตรวจไม่พบโลหะ	64	ตรวจพบโลหะ	64 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
65	ตรวจไม่พบโลหะ	65	ตรวจพบโลหะ	65 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
66	ตรวจไม่พบโลหะ	66	ตรวจไม่พบโลหะ	66 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
การตรวจสอบแบบแยกชนิดก่อนแยกทดสอบ				การตรวจสอบแบบผสมก่อนแยกทดสอบ	
ครั้งที่	ผลการตรวจสอบ อย่างก่อนบริสุทธิ	ครั้งที่	ผลการตรวจสอบ อย่างก่อนมีโลหะ	ครั้งที่ (มี/ไม่มีโลหะ)	ผลการตรวจสอบอย่างก่อน ผสมระหว่างมีและไม่มี โลหะ
67	ตรวจไม่พบโลหะ	67	ตรวจพบโลหะ	67 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 22
68	ตรวจไม่พบโลหะ	68	ตรวจพบโลหะ	68 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
69	ตรวจไม่พบโลหะ	69	ตรวจพบโลหะ	69 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
70	ตรวจไม่พบโลหะ	70	ตรวจพบโลหะ	70 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
71	ตรวจไม่พบโลหะ	71	ตรวจพบโลหะ	71 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
72	ตรวจไม่พบโลหะ	72	ตรวจพบโลหะ	72 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 23
73	ตรวจไม่พบโลหะ	73	ตรวจพบโลหะ	73 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
74	ตรวจไม่พบโลหะ	74	ตรวจพบโลหะ	74 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
76	ตรวจไม่พบโลหะ	76	ตรวจพบโลหะ	76 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
77	ตรวจไม่พบโลหะ	77	ตรวจพบโลหะ	77 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ

78	ตรวจไม่พบ โลหะ	78	ตรวจพบโลหะ	78 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 24
79	ตรวจไม่พบ โลหะ	79	ตรวจพบโลหะ	79 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
80	ตรวจไม่พบ โลหะ	80	ตรวจพบโลหะ	80 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
81	ตรวจไม่พบ โลหะ	81	ตรวจพบโลหะ	81 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 25
82	ตรวจไม่พบ โลหะ	82	ตรวจพบโลหะ	82 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
83	ตรวจไม่พบ โลหะ	83	ตรวจพบโลหะ	83 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
84	ตรวจไม่พบ โลหะ	84	ตรวจพบโลหะ	84 (มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
85	ตรวจไม่พบ โลหะ	85	ตรวจพบโลหะ	85 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
86	ตรวจไม่พบ โลหะ	86	ตรวจพบโลหะ	86 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
87	ตรวจไม่พบ โลหะ	87	ตรวจพบโลหะ	87 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
88	ตรวจไม่พบ โลหะ	88	ตรวจพบโลหะ	88 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 26
89	ตรวจไม่พบ โลหะ	89	ตรวจพบโลหะ	89 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
90	ตรวจไม่พบ โลหะ	90	ตรวจพบโลหะ	90 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
91	ตรวจไม่พบ โลหะ	91	ตรวจพบโลหะ	91 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 27
92	ตรวจไม่พบ โลหะ	92	ตรวจพบโลหะ	92 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
93	ตรวจไม่พบ โลหะ	93	ตรวจพบโลหะ	93 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
94	ตรวจไม่พบ	94	ตรวจพบโลหะ	94 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 28

	โลหะ				
95	ตรวจไม่พบโลหะ	95	ตรวจพบโลหะ	95 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
96	ตรวจไม่พบโลหะ	96	ตรวจพบโลหะ	96 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
97	ตรวจไม่พบโลหะ	97	ตรวจพบโลหะ	97 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
98	ตรวจไม่พบโลหะ	98	ตรวจพบโลหะ	98 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 29
99	ตรวจไม่พบโลหะ	99	ตรวจพบโลหะ	99 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
100	ตรวจไม่พบโลหะ	100	ตรวจพบโลหะ	100 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ

จากตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องฯ ดันแบบโดยการตรวจสอบยางก้อนที่มีและไม่มีโลหะในยางก้อนถ้วยซึ่งโลหะที่ใช้มีขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร สรุปได้ว่าเครื่องฯ ดันแบบทำการตรวจสอบ 100 ครั้งพบว่ากรณีแรกก่อนยางทดสอบเป็นแบบบริสุทธิ์ เครื่องฯ ดันแบบทำงานถูกต้องร้อยละ 100 คือไม่แสดงผลว่าไม่พบยางก้อนที่มีโลหะปลอมปนเลย กรณีที่สองเปลี่ยนก่อนยางทดสอบเป็นชนิดมีโลหะฝังในยางก้อนทั้งหมด 100 ก้อน ผลการทำงานของเครื่องฯ ดันแบบมีความผิดพลาด 3 ครั้งใน 100 ครั้งคือไม่แสดงผลการตรวจพบยางก้อน 3 ครั้ง และกรณีสุดท้ายเปลี่ยนก่อนยางทดสอบเป็นแบบผสมคือมียางพาราบริสุทธิ์ 70 ก้อนปนกับยางก้อนที่มีโลหะปลอมปน 30 ก้อนผลการทำงานของเครื่องฯ ดันแบบพบว่าความผิดพลาด 1 ครั้ง คือขึ้นก่อนยางที่ทดสอบมีโลหะปลอมปนแต่เครื่องฯ ดันแบบไม่สามารถตรวจพบ แสดงว่าความผิดพลาด 1 ใน 30 แต่กรณีก่อนยางแบบบริสุทธิ์ 70 ก้อนทำงานตรวจสอบถูกต้อง จากนั้นทำการทดสอบซ้ำเช่นเดียวกับตารางที่ 1 แต่ปรับเปลี่ยนขนาดของโลหะที่ใช้ฝังในยางจาก 1 ลูกบาศก์เซนติเมตรเป็น 2 ลูกบาศก์เซนติเมตรซึ่งผลการทดสอบแสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การทดสอบเครื่องตรวจสอบโลหะแปลกปลอมในยางพาราด้วย โลหะขนาด 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร

การตรวจสอบแบบแยกชนิดก่อนยางทดสอบ				การตรวจสอบแบบผสมก่อนยางทดสอบ	
ครั้งที่	ผลการตรวจสอบยางก้อนบริสุทธิ์	ครั้งที่	ผลการตรวจสอบยางก้อนมีโลหะ	ครั้งที่ (มี/ไม่มีโลหะ)	ผลการตรวจสอบยางก้อนผสมระหว่างมีและไม่มีโลหะ
1	ตรวจไม่พบโลหะ	1	ตรวจพบโลหะ	1 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ

2	ตรวจไม่พบ โลหะ	2	ตรวจพบโลหะ	2 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
3	ตรวจไม่พบ โลหะ	3	ตรวจพบโลหะ	3 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
4	ตรวจไม่พบ โลหะ	4	ตรวจพบโลหะ	4 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 1
5	ตรวจไม่พบ โลหะ	5	ตรวจพบโลหะ	5 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
6	ตรวจไม่พบ โลหะ	6	ตรวจพบโลหะ	6 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 2
7	ตรวจไม่พบ โลหะ	7	ตรวจพบโลหะ	7 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
8	ตรวจไม่พบ โลหะ	8	ตรวจพบโลหะ	8 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
9	ตรวจไม่พบ โลหะ	9	ตรวจพบโลหะ	9 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
10	ตรวจไม่พบ โลหะ	10	ตรวจพบโลหะ	10 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 3
11	ตรวจไม่พบ โลหะ	11	ตรวจพบโลหะ	11 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 4
12	ตรวจไม่พบ โลหะ	12	ตรวจพบโลหะ	12 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
13	ตรวจไม่พบ โลหะ	13	ตรวจพบโลหะ	13 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
14	ตรวจไม่พบ โลหะ	14	ตรวจพบโลหะ	14 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 5
16	ตรวจไม่พบ โลหะ	16	ตรวจพบโลหะ	16 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
17	ตรวจไม่พบ โลหะ	17	ตรวจพบโลหะ	17 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 6
18	ตรวจไม่พบ โลหะ	18	ตรวจพบโลหะ	18 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
19	ตรวจไม่พบ	19	ตรวจพบโลหะ	19 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 7

	โลหะ				
20	ตรวจไม่พบโลหะ	20	ตรวจพบโลหะ	20 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
21	ตรวจไม่พบโลหะ	21	ตรวจพบโลหะ	21 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
การตรวจสอบแบบแยกชนิดก่อนแยกทดสอบ				การตรวจสอบแบบผสมก่อนแยกทดสอบ	
ครั้งที่	ผลการตรวจสอบ อย่างก่อนบริสุทธิ์	ครั้งที่	ผลการตรวจสอบ อย่างก่อนมีโลหะ	ครั้งที่ (มี/ไม่มีโลหะ)	ผลการตรวจสอบอย่างก่อน ผสมระหว่างมีและไม่มี โลหะ
22	ตรวจไม่พบโลหะ	22	ตรวจพบโลหะ	22 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
23	ตรวจไม่พบโลหะ	23	ตรวจพบโลหะ	23 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
24	ตรวจไม่พบโลหะ	24	ตรวจพบโลหะ	24 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 8
25	ตรวจไม่พบโลหะ	25	ตรวจพบโลหะ	25 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
26	ตรวจไม่พบโลหะ	26	ตรวจพบโลหะ	26 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
27	ตรวจไม่พบโลหะ	27	ตรวจพบโลหะ	27 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 9
28	ตรวจไม่พบโลหะ	28	ตรวจพบโลหะ	28 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
29	ตรวจไม่พบโลหะ	29	ตรวจพบโลหะ	29 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 10
30	ตรวจไม่พบโลหะ	30	ตรวจพบโลหะ	30 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
31	ตรวจไม่พบโลหะ	31	ตรวจพบโลหะ	31 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
32	ตรวจไม่พบโลหะ	32	ตรวจพบโลหะ	32 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
33	ตรวจไม่พบโลหะ	33	ตรวจพบโลหะ	33 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ

34	ตรวจไม่พบ โลหะ	34	ตรวจพบโลหะ	34 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
35	ตรวจไม่พบ โลหะ	35	ตรวจพบโลหะ	35 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 11
36	ตรวจไม่พบ โลหะ	36	ตรวจพบโลหะ	36 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
37	ตรวจไม่พบ โลหะ	37	ตรวจพบโลหะ	37 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
38	ตรวจไม่พบ โลหะ	38	ตรวจพบโลหะ	38 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
39	ตรวจไม่พบ โลหะ	39	ตรวจพบโลหะ	39 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 12
40	ตรวจไม่พบ โลหะ	40	ตรวจพบโลหะ	40 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
42	ตรวจไม่พบ โลหะ	42	ตรวจพบโลหะ	42 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
43	ตรวจไม่พบ โลหะ	43	ตรวจพบโลหะ	43 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
44	ตรวจไม่พบ โลหะ	44	ตรวจพบโลหะ	44 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 14
45	ตรวจไม่พบ โลหะ	45	ตรวจพบโลหะ	45 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
46	ตรวจไม่พบ โลหะ	46	ตรวจพบโลหะ	46 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
47	ตรวจไม่พบ โลหะ	47	ตรวจพบโลหะ	47 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
48	ตรวจไม่พบ โลหะ	48	ตรวจพบโลหะ	48 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
49	ตรวจไม่พบ โลหะ	49	ตรวจพบโลหะ	49 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 15
50	ตรวจไม่พบ โลหะ	50	ตรวจพบโลหะ	50 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
51	ตรวจไม่พบ	51	ตรวจพบโลหะ	51 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ

	โลหะ				
52	ตรวจไม่พบโลหะ	52	ตรวจพบโลหะ	52 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
53	ตรวจไม่พบโลหะ	53	ตรวจพบโลหะ	53 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 16
54	ตรวจไม่พบโลหะ	54	ตรวจไม่พบโลหะ	54 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
55	ตรวจไม่พบโลหะ	55	ตรวจพบโลหะ	55 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 17
การตรวจสอบแบบแยกชนิดก่อนแยกทดสอบ				การตรวจสอบแบบผสมก่อนแยกทดสอบ	
ครั้งที่	ผลการตรวจสอบ อย่างก่อนบริสุทธิ	ครั้งที่	ผลการตรวจสอบ อย่างก่อนมีโลหะ	ครั้งที่ (มี/ไม่มีโลหะ)	ผลการตรวจสอบอย่างก่อน ผสมระหว่างมีและไม่มี โลหะ
56	ตรวจไม่พบโลหะ	56	ตรวจพบโลหะ	56 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
57	ตรวจไม่พบโลหะ	57	ตรวจพบโลหะ	57 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
58	ตรวจไม่พบโลหะ	58	ตรวจพบโลหะ	58 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
59	ตรวจไม่พบโลหะ	59	ตรวจพบโลหะ	59 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
60	ตรวจไม่พบโลหะ	60	ตรวจพบโลหะ	60 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
61	ตรวจไม่พบโลหะ	61	ตรวจพบโลหะ	61 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 18
62	ตรวจไม่พบโลหะ	62	ตรวจพบโลหะ	62 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
63	ตรวจไม่พบโลหะ	63	ตรวจพบโลหะ	63 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 19
64	ตรวจไม่พบโลหะ	64	ตรวจพบโลหะ	64 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
65	ตรวจไม่พบโลหะ	65	ตรวจพบโลหะ	65 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ

66	ตรวจไม่พบ โลหะ	66	ตรวจพบโลหะ	66 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
68	ตรวจไม่พบ โลหะ	68	ตรวจพบโลหะ	68 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
69	ตรวจไม่พบ โลหะ	69	ตรวจพบโลหะ	69 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
70	ตรวจไม่พบ โลหะ	70	ตรวจพบโลหะ	70 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
71	ตรวจไม่พบ โลหะ	71	ตรวจพบโลหะ	71 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
72	ตรวจไม่พบ โลหะ	72	ตรวจพบโลหะ	72 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 21
73	ตรวจไม่พบ โลหะ	73	ตรวจพบโลหะ	73 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
74	ตรวจไม่พบ โลหะ	74	ตรวจพบโลหะ	74 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
75	ตรวจไม่พบ โลหะ	75	ตรวจพบโลหะ	75 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 22
76	ตรวจไม่พบ โลหะ	76	ตรวจพบโลหะ	76 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
77	ตรวจไม่พบ โลหะ	77	ตรวจพบโลหะ	77 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 23
78	ตรวจไม่พบ โลหะ	78	ตรวจพบโลหะ	78 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
79	ตรวจไม่พบ โลหะ	79	ตรวจพบโลหะ	79 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
80	ตรวจไม่พบ โลหะ	80	ตรวจพบโลหะ	80 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
81	ตรวจไม่พบ โลหะ	81	ตรวจพบโลหะ	81 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
82	ตรวจไม่พบ โลหะ	82	ตรวจพบโลหะ	82 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 24
83	ตรวจไม่พบ	83	ตรวจพบโลหะ	83 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ

	โลหะ				
84	ตรวจไม่พบโลหะ	84	ตรวจพบโลหะ	84 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
85	ตรวจไม่พบโลหะ	85	ตรวจพบโลหะ	85 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 25
86	ตรวจไม่พบโลหะ	86	ตรวจพบโลหะ	86 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
87	ตรวจไม่พบโลหะ	87	ตรวจพบโลหะ	87 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 26
88	ตรวจไม่พบโลหะ	88	ตรวจพบโลหะ	88 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
89	ตรวจไม่พบโลหะ	89	ตรวจพบโลหะ	89 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
การตรวจสอบแบบแยกชนิดก่อนยางทดสอบ				การตรวจสอบแบบผสมก่อนยางทดสอบ	
ครั้งที่	ผลการตรวจสอบ ยางก่อนบริสุทธิ	ครั้งที่	ผลการ ตรวจสอบยาง ก่อนมีโลหะ	ครั้งที่ (มี/ไม่มีโลหะ)	ผลการตรวจสอบยาง ก่อนผสมระหว่างมีและ ไม่มีโลหะ
90	ตรวจไม่พบโลหะ	90	ตรวจพบโลหะ	90 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
91	ตรวจไม่พบโลหะ	91	ตรวจพบโลหะ	91 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
92	ตรวจไม่พบโลหะ	92	ตรวจพบโลหะ	92 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 27
95	ตรวจไม่พบโลหะ	95	ตรวจพบโลหะ	95 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 28
96	ตรวจไม่พบโลหะ	96	ตรวจพบโลหะ	96 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 29
97	ตรวจไม่พบโลหะ	97	ตรวจพบโลหะ	97 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
98	ตรวจไม่พบโลหะ	98	ตรวจพบโลหะ	98 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ
99	ตรวจไม่พบโลหะ	99	ตรวจพบโลหะ	99 (ไม่มีโลหะ)	ตรวจไม่พบโลหะ

100	ตรวจไม่พบ โลหะ	100	ตรวจพบ โลหะ	100 (มีโลหะ)	ตรวจพบโลหะ 30
-----	-------------------	-----	----------------	--------------	---------------

จากตารางที่ 2 เป็นการทดสอบเครื่องตรวจสอบโลหะในยางพาราก้อนด้วยที่มีกรณีใช้อย่างก่อนแบบบริสุทธิ์และยางก้อนแบบมีโลหะขนาด 2 ลูกบาศก์เซนติเมตรปลอมปน สรุปได้ว่าเครื่องตรวจสอบโลหะในยางพาราก้อนด้วย ที่การตรวจสอบก่อนยางพารา 100 ครั้งพบว่าเครื่องฯ ดันแบบ กรณีแรกทำการตรวจสอบยางก้อนบริสุทธิ์ 100 ก้อนทำงานถูกต้องร้อยละ 100 คือไม่มีการแสดงผลว่าพบก้อนยางที่เป็นโลหะปลอมปน กรณีที่ 2 เปลี่ยนชิ้นงานทดสอบเป็นก้อนยางที่มีการปลอมปนโลหะจำนวน 100 ก้อนพบข้อผิดพลาด 1 ครั้งในการตรวจ 100 ครั้งกรณีสุดท้ายเป็นการผสมชิ้นงานทดสอบโดยเป็นยางก้อนบริสุทธิ์ 70 ก้อน และยางก้อนแบบมีโลหะ 30 ก้อนผลการตรวจพบว่ามีความถูกต้องร้อยละ 100 คือไม่พบการแสดงผลการตรวจที่ผิดพลาด

อภิปรายและวิจารณ์ (Discussion)

จากผลการทดสอบเครื่องตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในเนื้อยางพาราก้อนด้วยพบว่าเครื่องดันแบบในรุ่นแรกที่สร้างขึ้นจากงานวิจัยนี้สามารถตรวจหาวัตถุแปลกปลอมได้เฉพาะวัตถุที่เป็นโลหะ หลักการทำงานของเครื่องดันแบบก็จะทำการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่ำกว่า 960 เมกกะเฮิร์ตซ์ ตามค่ากำหนดของมาตรฐานเรดาร์ทะลุพื้นดินของ FCC (FCC,2002) ผ่านสายอากาศแบบขดลวดผ่านมาที่ช่องตรวจสอบวัตถุที่ประกอบไปด้วยชุดสะท้อนคลื่นทำจากอลูมิเนียมที่มีความหนา 6 มิลลิเมตร ผลการทดสอบประสิทธิภาพของการตรวจสอบหาโลหะที่แปลกปลอมในเนื้อยางพาราด้วยก้อนที่ขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตรจะมีค่าความผิดพลาดร้อยละ 3 และเมื่อทำการปรับเพิ่มขนาดโลหะที่แปลกปลอมจากขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตรมาเป็นขนาด 2 เซนติเมตรพบว่าค่าความผิดพลาดของเครื่องดันแบบจะลดลงเหลือร้อยละ 1 ตัวแปรที่มีผลกระทบโดยตรงกับการตรวจสอบว่าจะพบหรือไม่พบโลหะแปลกปลอมในเนื้อยางพาราก้อนด้วยประกอบด้วย 3 ส่วนคือ 1. ความแรงของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าต้องมีความเหมาะสม ดังนั้นก่อนทำการใช้เครื่องต้องมีการปรับความแรงของสัญญาณของภาคกำเนิดสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 2. ขนาดช่องชุดสะท้อนสัญญาณความถี่สูงและความกว้างพอเหมาะและสัมพันธ์กับความแรงของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าเพราะจะทำให้เกิดการเรโซแนนซ์ของสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับโลหะในงานวิจัยนี้ปรับเลือกใช้ขนาดความกว้าง 30 เซนติเมตรและขนาดความยาว 10 เซนติเมตร สำหรับตัวแปรที่ 3 คือความเร็วของยางพาราก้อนด้วยที่เคลื่อนที่ผ่านช่องตรวจสอบของชุดสะท้อนสัญญาณที่ โดยความเร็วขึ้นอยู่กับมอเตอร์ที่ใช้ขับสายพาน งานวิจัยนี้ความเร็วที่ยางพาราก้อนด้วยเคลื่อนที่เท่ากับ 37.5 เซนติเมตรต่อวินาที ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นสามารถลดลงได้เมื่อทำการปรับค่าตัวแปรทั้ง 3 ส่วนให้เหมาะสมที่สุด

สรุป (Conclusion)

จากการทดสอบตามขั้นตอนผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ซึ่งเป็นการสรุปและข้อเสนอแนะต่างๆ ในการออกแบบ สร้างและทดสอบการทำงานของเครื่องตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในเนื้อยางพารา ก้อนด้วยมีดังนี้ ประสิทธิภาพของเครื่องตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในเนื้อยางพาราก้อนด้วยจะขึ้นอยู่กับขนาดของโลหะที่แปลกปลอมในเนื้อยางพาราก้อนด้วยคือถ้าขนาดใหญ่จะพบความผิดพลาดในการตรวจสอบน้อยกว่าขนาดโลหะที่เล็กกว่า ประสิทธิภาพของเครื่องเมื่อคิดเป็นร้อยละของความผิดพลาด ความผิดพลาดสูงสุดของเครื่องมีค่าเท่ากับร้อยละ 3 โดยความเร็วของการตรวจสอบเท่ากับ 37.5 เซนติเมตร ต่อวินาทีและระยะห่างระหว่างยางพาราก้อนด้วยเท่ากับ 10 เซนติเมตร

คำขอบคุณ (Acknowledgements)

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้การสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล รัตนบุรีที่ให้การสนับสนุนด้านเครื่องมือวัด และขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัยทุกท่านช่วยเหลือให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง (References)

- _____.Federal Communications Commission: FCC. Notice of inquiry in the matter of Revision of part 15 of the commission's rules regarding ultra-wideband transmission systems. Document # 02-48, April 2002.
- Kompa, G. and Biernat, A. A laser radar for precise 2D- and 3D-object imaging. EOS 14th Topical Meeting on Optoelectronic Distance/Displacement Measurements and Applications Topical Meetings Digests Series Session: Time-of-Flight 1 on July 9. 1997, 14, 97-100.
- Ghose, A., Ring, M. and Kompa, G. Simultaneous Gain and Noise Matching of a Wideband Optical Receiver Front End. APMC. 2003, 589-592.
- Ruengwaree, A., Yowuno, R. and Kompa, G. A novel rugby-ball antenna for pulse radiation. European Microwave Conference Proceedings. 2005, 1855-1858.
- Ruengwaree, A. Design of UWB Radar Sensors: Doctoral Thesis. Kassel University. 2007, 8-32.
- สมดุล พวกเกาะ. ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตรจังหวัดหนองคาย(พืชสวน). 2555. วิธีผลิดยาง ก้อนด้วย. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://www.aopdr01.doae.go.th/cuplump1.htm> (30 มิถุนายน 2552).

4. วางแผนการทดลอง Experiments และ Simulation												
5. ทำการทดลอง Experiments และ Simulation เปรียบ ตรวจสอบยางก้อนถ้วย ในเงื่อนไขต่าง ๆ เช่น แบบไม่มีวัตถุ แปลกปลอม แบบมี วัตถุแปลกปลอม ปรับเปลี่ยนขนาด ต่างๆ และปรับ ตำแหน่งวัตถุ แปลกปลอม เป็นต้น												
6. เก็บข้อมูลการ ทดสอบ												
7. เปรียบเทียบผลการ ทดลองที่ได้จาก Experiments และจาก Simulation												
8. วิเคราะห์และ สรุปผลการทดลอง												
9. เผยแพร่งานวิจัย และส่งรายงานฉบับ สมบูรณ์												

..... แผนการดำเนินงาน

———— การดำเนินงานจริง

หมายเหตุการดำเนินการจริงเกิดความล่าช้าจากแผนการดำเนินการที่วางเนื่องจากช่วงเดือนตุลาคม 2554 ถึงเดือนมกราคม 2555 มหาวิทยาลัยเกิดปัญหาอุทกภัยไม่สามารถดำเนินการต่างๆ ได้