



## สารบัญ

	หน้า
<b>หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต</b>	
<b>สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล</b>	
การศึกษาประวัตัก์บั้งสีแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน	1
ผู้วิจัย: ญาดา พรหมโสภา	
<b>สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา</b>	
การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ของค่าความชื้นได้ของดินเม็ดหยาบโดยใช้ค่าสัดส่วน	3
การจัดเรียงตัวช่องว่างแบบสูงสุด	
ผู้วิจัย: อีราพัทธ์ ฐาหิรัญโรจน์	
<b>สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม</b>	
การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียโดยใช้เม็ดคอมโพสิต: เจลาติน/แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์	6
ผู้วิจัย: ธนยศร์ม ฝากไธสงเดชกุล	
การประเมินการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะมูลฝอยสำหรับชุมชน	8
ขนาดใหญ่	
ผู้วิจัย: นิตยา โฆษา	
การบำบัดน้ำเสียดังพาราด้วยกระบวนการร่วมเพนตันและโอโซน	10
ผู้วิจัย: เยาวลักษณ์ วงศ์คำขาว	
การดูดซับสารตะกั่ว (II) โดยใช้ฟิล์มคอมโพสิตเพคตินจากเปลือก <i>Passiflora edulis</i>	12
ผู้วิจัย: ศุภมิตรา คำผาลา	
การแปรรูปของเสียพลาสติกเป็นเชื้อเพลิง โดยใช้การไพโรไลซิสด้วยคลื่นไมโครเวฟ	14
ผู้วิจัย: สุภาดา คงเรียงศรี	
<b>สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม</b>	
การศึกษาและพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับร้านรับซื้อขยะรีไซเคิล	16
ผู้วิจัย: ชวลิต บัวพรม	
<b>หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต</b>	
<b>สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล</b>	
การศึกษาแนวทางการเพิ่มความสามารถในการรับแรงกระแทกของหมวกกันน็อคโดยการเสริม	19
ยางพาราธรรมชาติ	
ผู้วิจัย: คุณานนต์ ศักดิ์กำปัง	

สารบัญ

	หน้า
การศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองของท่ออลูมิเนียมเสริมแรงด้วยเส้นใยคาร์บอนไฟเบอร์ ภายใต้ภาระกระทำในแนวแกน	22
ผู้วิจัย: ชวงชัย ชูปวา	
คุณลักษณะคลื่นกระแทกใต้น้ำและการประยุกต์ใช้สำหรับเพิ่มผลผลิตน้ำมันปาล์ม	26
ผู้วิจัย: ประเมศวร์ สุทธิประภา	
<b>สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม</b>	
การผลิตแคโรทีนอยด์ในจุลสาหร่าย <i>Chlorococcum humicola</i> ด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ ในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพใช้แสงแบบอากาศยก	30
ผู้วิจัย: อัจฉริย์ กรมเมือง	
<b>สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม</b>	
พารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับรอยต่อชนในการเชื่อมเสียดทานแบบกวนของอะลูมิเนียมผสม หล่อกิ่งของแข็ง เกรด 5083	33
ผู้วิจัย: กลไกร นาโควงศ์	
การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ขนถ่ายลำเลียงอเนกประสงค์ในอุตสาหกรรม สุขภาพ	35
ผู้วิจัย: กิตติพงษ์ แสงบุคดี	
การหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการนำหัวเชื่อมลวดทองคำมาใช้ซ้ำเพื่อลดต้นทุน ในกระบวนการเชื่อมลวดทองคำ โดยการออกแบบการทดลอง	37
ผู้วิจัย: ฉัตรพล พิมพา	
การประเมินตัวแปรที่ส่งผลต่อคุณภาพรอยเชื่อมอะลูมิเนียมหล่อกิ่งของแข็ง เกรด 6063 จากการเชื่อมเสียดทานแบบกวน	41
ผู้วิจัย: ชัยยุทธ มิ่งาม	
การศึกษาและพัฒนาเครื่องต้นแบบบีบแยกส่วนประกอบโลหิตในอุตสาหกรรมสุขภาพ	43
ผู้วิจัย: วรวิทย์ สงวนพันธ์	
วิธีการแปรผันกลยุทธ์ในการหาค่าตอบใกล้เคียงแบบปรับค่าได้หลายวัตถุประสงค์เพื่อหา ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของการเชื่อมเสียดทานแบบกวนของอะลูมิเนียมหล่อกิ่งของแข็ง ADC12	47
ผู้วิจัย: ศุภชัย ชัยณรงค์	

## บทคัดย่อ

เรื่อง : การศึกษาประตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน  
 ผู้วิจัย : ญาดา พรหมโสภา  
 ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
 สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล  
 อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.อำไพศักดิ์ ทีบุญมา  
 คำสำคัญ : แผงผลิตไฟฟ้าและความร้อน, ประสิทธิภาพด้านความร้อน, ประสิทธิภาพด้านไฟฟ้า, รังสีแสงอาทิตย์

แผงเก็บรังสีแสงอาทิตย์ที่มีขนาดพื้นที่รับพลังงานตกกระทบ 1 ตารางเมตร และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุด 100 วัตต์ ถูกออกแบบและสร้างเพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพแผงเก็บรังสีแบบผสมผสานและเพื่อนำไปประยุกต์ร่วมกับการทดสอบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งในการศึกษาได้ดำเนินการทดสอบภายใต้เงื่อนไข พลังงานตกกระทบ 400, 600 และ 800 วัตต์ต่อตารางเมตร และความเร็วลม 1.0, 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ โดยมีพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการศึกษา คือ ประสิทธิภาพด้านความร้อน ประสิทธิภาพด้านไฟฟ้า ประสิทธิภาพรวม อัตราการอบแห้ง ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ และประสิทธิภาพเครื่องอบแห้ง

ผลจากการศึกษาพบว่า เมื่อพลังงานตกกระทบหรือความเร็วลมเพิ่มขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพด้านความร้อน ประสิทธิภาพด้านไฟฟ้า และประสิทธิภาพรวมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ผลการทดลองยังพบว่า ประสิทธิภาพรวมของระบบมีค่าสูงสุดเท่ากับ 55.5% ในส่วนการทดสอบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ผลจากการทดลองพบว่า เมื่อความเร็วลมและพลังงานตกกระทบเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการการอบแห้งลดลงและการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเพิ่มขึ้นและผลจากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ สูงสุดเท่ากับ 4.10%

**ABSTRACT**

TITLE : STUDY ON EFFICIENCY OF HYBRID SOLAR COLLECTOR  
 AUTHOR : YADA PROMSOAP  
 DEGREE : MASTER OF ENGINEERING  
 MAJOR : MECHANICAL ENGINEERING  
 ADVISOR : ASSOC. PROF. UMPHISAK TEEBOONMA, Ph.D.  
 KEYWORDS : PV/T COLLECTOR, THERMAL EFFICIENCY, ELECTRICAL EFFICIENCY,  
 SOLAR RADIATION

This research sought to study the efficiency of a flat-plate photovoltaic /thermal (PV/T) collector. The PV/T collector had an area of 1.0 m<sup>2</sup> and a solar module with a maximum electric power of 100 watts. These were designed and built for use in combined solar panel array performance tests and for applications in conjunction with solar dryer testing. The test was conducted under the following conditions: the incident energy was 400, 600 and 800 watts per square meter with wind speeds of 1.0, 1.5 and 2.0 meters per second, respectively. The parameters used as criteria for the study were thermal, electrical, and overall efficiency, drying rate, specific energy consumption, and dryer efficiency. The results of the study found that when the incident energy or wind speed increases, this results in increased thermal, electrical, and overall efficiency. In addition, the results showed that the overall efficiency of the system was as high as 55.5%. In the solar dryer test section, the results demonstrated that as wind and energy speeds increased, drying rates decreased and the specific energy consumption increased. Finally, the results of the experiment showed that the maximum efficiency of the solar dryers was 4.10%.

### บทคัดย่อ

เรื่อง : การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ของค่าความชื้นได้ของดินเม็ดหยาบโดยใช้  
ค่าสัดส่วนการจัดเรียงตัวช่องว่างแบบสูงสุด

ผู้วิจัย : อธิพัทธ์ ฐาภิรัฐโรจน์

ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร.ฉัตรภูมิวิรัตน์จันทร์

คำสำคัญ : แบบจำลองค่าความชื้นได้, อัตราส่วนช่องว่าง, ดินเม็ดหยาบ, กรวด, ทราย

งานวิจัยนี้มุ่งพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ค่าความชื้นได้ของดินเม็ดหยาบคือกรวดและทราย โดยแบ่งเป็นเม็ดดินสองช่วง จาก 0.2 มิลลิเมตร ถึงน้อยกว่า 2 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถใช้ทำนายค่าความชื้นได้ของทรายหยาบมาก ทรายหยาบ ทรายหยาบปานกลาง และบางส่วนของทรายละเอียด และจาก 2 มิลลิเมตร ถึง 12 มิลลิเมตร ซึ่งใช้ทำนายค่าความชื้นได้ของกรวด งานวิจัยได้นำเสนอแบบจำลองค่าความชื้นได้โดยใช้ค่าสัดส่วนการจัดเรียงตัวช่องว่างแบบสูงสุดหรือ “แบบจำลอง  $\beta$ ” ที่มีค่าขอบบนคือค่าความชื้นได้เมื่อดินจัดเรียงตัวในสภาพหลวมสุดและค่าขอบล่างเมื่อดินจัดเรียงตัวในสภาพแน่นสุด โดย  $\beta$  คือสัดส่วนของดินที่อยู่ในสภาวะหลวมสุด (อัตราส่วนช่องว่างในสภาวะหลวมสุดคือ 0.92 ตามทฤษฎี) และ  $(1-\beta)$  คือสัดส่วนของดินที่อยู่ในสภาวะแน่นสุด (อัตราส่วนช่องว่างในสภาวะแน่นสุดคือ 0.35 ตามทฤษฎี) ค่าอัตราส่วนช่องว่างใดๆระหว่าง 0.35 ถึง 0.92 จะถูกจำลองว่าเป็นการผสมผสานระหว่างการจัดเรียงตัวแบบหลวมสุดและการจัดเรียงตัวแบบแน่นสุดซึ่งสามารถคำนวณค่า  $\beta$  ได้จากอัตราส่วนช่องว่างใดๆ จากผลวิจัยนี้และค่าความชื้นได้จากงานวิจัยที่ผ่านมากรณีจำลองดินเป็นทรงกลมตันขนาดคงที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นได้และอัตราส่วนช่องว่างเป็นเส้นตรงแบบจำลองค่าความชื้นได้วิธี- $\beta$  จึงขึ้นอยู่กับค่าความชื้นได้สูงสุด และค่าความชื้นได้ต่ำสุดซึ่งเป็นฟังก์ชันของขนาดช่องว่างประสิทธิผลของเม็ดดิน โดยขนาดช่องว่างประสิทธิผลของเม็ดดินเป็นฟังก์ชันของขนาดเม็ดดิน ดังนั้นแบบจำลองค่าความชื้นได้วิธี- $\beta$  สามารถใช้ทำนายค่าความชื้นได้ของทรงกลมตันขนาด 0.2 มิลลิเมตร ถึง 12 มิลลิเมตร ที่มีการจัดเรียงตัวที่อัตราส่วนช่องว่างแตกต่างกันได้ แบบจำลองค่าความชื้นได้วิธี- $\beta$  สามารถทำนายค่าความชื้นได้ของ ดินกรวด ทรายหยาบ ทรายหยาบปานกลางและบางส่วนของทรายละเอียดได้ โดยใช้ค่า  $d_{10}$  เป็นขนาดเม็ดดินประสิทธิผลต่อค่าความชื้นได้ เหตุผลหลักของการใช้  $d_{10}$  เนื่องจาก  $d_{10}$  จะเป็นส่วนละเอียดของมวลดินโดยรวมและจะอุดอยู่ในช่องว่างของดินเม็ดใหญ่เป็นผลให้ค่าความชื้นได้ถูกควบคุมโดยดินขนาดเล็ก

ABSTRACT

TITLE : MATHEMATICAL MODELING DEVELOPMENT FOR COARSE GRAINED SOIL PERMEABILITY DETERMINATION USING MAXIMUM ORIENTATION RATIO

AUTHOR : TEERAPHAT RATHAHIRANROT

DEGREE : MASTER OF ENGINEERING

MAJOR : CIVIL ENGINEERING

ADVISOR : CHARTRABHUMI VIRATJANDR, Ph.D.

KEYWORDS : PERMEABILITY MODEL, VOID RATIO, COARSE GRAINED SOIL, GRAVEL, SAND

This research aims to develop a mathematical model for the permeability of coarse-grained soils such as gravel and sand. In order to predict soil permeability, grains were divided into two ranges, from 0.2 mm to less than 2 mm, which was used to predict the permeability of very coarse, coarse, medium-coarse, and some fine sand ranging from 2 mm to 12 mm. The research has presented a model of permeability by using the maximum orientation ratio or " $\beta$  model". An upper boundary maintains absorption where the soil is arranged in the loosest state and a lower boundary where the soil is arranged in the densest state.  $\beta$  is the proportion of soil in the loosest state (The gap ratio in the loosest condition is 0.92 according to theory) and  $(1 - \beta)$  is the proportion of soil in the densest condition. (The gap ratio in the densest condition is 0.35 according to theory.) Any gap ratio between 0.35 to 0.92 will be simulated as a combination of the loosest and densest arrangement, which can be calculated  $\beta$  from any gap ratio. From this and past research, the soil simulation is a stable size, showing the relationship between the absorption and the gap ratio. The  $\beta$  model of absorption depends on both the maximum and the minimum absorption, which is the function of the gap, and hence, the effectiveness of the soil. Therefore, the  $\beta$  model of absorption can be used to predict the absorption of coarse soil of 0.2 millimeters to 12 millimeters, arranged at different gap ratios. The  $\beta$  model of absorption method can predict the absorption of the soil,

gravel, coarse, and very coarse, medium, and some fine sand. The  $d_{10}$  has been used as a parameter in the  $\beta$  model to predict the permeability of soil because  $d_{10}$  is the fine part of the soil that controls flow through the soil.

บทคัดย่อ

เรื่อง : การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียโดยใช้เม็ดคอมโพสิต: เจลาติน/  
 แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์

ผู้วิจัย : ธนย์รัศม์ ผากโธสงเดชกุล

ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ อัมพช

คำสำคัญ : เม็ดคอมโพสิต, รีแอกทีฟแบล็ค 5, เจลาติน, แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปร,  
 การดูดซับ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการดูดซับสีย้อมรีแอกทีฟแบล็ค 5 (Reactive Black 5: RB5) บนเม็ดคอมโพสิต (Mo-T-Gel) Mo-T-Gel ทำมาจากแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรด้วยสารลดแรงตึงผิว (Mo-T) และขึ้นรูปด้วยเจลาติน (Gel) พื้นที่ผิวจำเพาะ เส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเฉลี่ย และปริมาตรรูพรุนรวมของ Mo-T-Gel มีค่าน้อยกว่า Mo-T ผลการวิเคราะห์ IR แสดงให้เห็นว่า ไออาร์สเปกตรัมของ Mo-T-Gel มีการปรากฏพีคของ Gel และ Mo-T ร่วมด้วยสัญญาณวิทยาของตัวดูดซับ แสดงให้เห็นว่าพื้นผิวภายนอกของ Mo-T-Gel มีการปรากฏของอนุภาคของ Mo-T ยึดเกาะอยู่บนพื้นผิวผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของตัวดูดซับ แสดง ปริมาณธาตุ C ของ Mo-T-Gel สูงกว่า Mo-T ซึ่งเป็นการยืนยันว่า Mo-T-Gel มี Gel และ Mo-T เป็นองค์ประกอบจุดไร่ประจุของ Mo-T-Gel เท่ากับ 7.54 จากผลการศึกษาการดูดซับแบบกะ ร้อยละการกำจัดสีย้อม RB5 ของ Gel, Mo-T-Gel และ Mo-T เท่ากับ 6.31 94.39 และ 95.62 ตามลำดับ ปริมาณการดูดซับสูงสุดของ Mo-T-Gel อยู่ที่สภาวะพีเอช 2.04 เวลาสัมผัส 180 นาที ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม 200 mg/L และอุณหภูมิในช่วง 30 - 50 °C (อุณหภูมิมีผลต่อปริมาณการดูดซับน้อยมาก) ข้อมูลผลการทดลองมีความสอดคล้องกับไอโซเทอมแบบแลงเมียร์และแบบจำลองปฏิกิริยาอันดับสองที่หามาปริมาณการดูดซับแบบขั้นเดียวสูงสุดเท่ากับ 33.22 mg/g จากผลการทดลองข้างต้น การขึ้นรูป Mo-T เป็น Mo-T-Gel ยังคงรักษาประสิทธิภาพในการดูดซับ Mo-T-Gel สามารถใช้เป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพสำหรับการกำจัดสีย้อม RB5 จากน้ำเสีย



**ABSTRACT**

TITLE : REMOVAL OF DYE FROM WASTEWATER USING COMPOSITE BEAD:  
GELATIN/MONTMORILLONITE CLAY

AUTHOR : THANAIRAT FAKTHAISONGDECHAKUL

DEGREE : MASTER OF ENGINEERING

MAJOR : ENVIRONMENTAL ENGINEERING

ADVISOR : ASSOC. PROF. CHAKKRIT UMPUCH, Ph.D.

KEYWORDS : COMPOSITE BEAD, REACTIVE BLACK 5, GELATIN,  
MONTMORILLONITE CLAY MODIFIED, ABSORPTION

The objective of this research was the adsorption of Reactive Black 5 (RB5) dye on composite pellets (Mo-T-Gel). Mo-T-Gel is made from montmorillonite clay, modified with surfactant (Mo-T) and pelletized with gelatin (Gel). The specific surface area, average pore diameter, and total pore volume of Mo-T-Gel are less than those of Mo-T. IR analysis results show that Mo-T-Gel's IR spectra indicate the presence of Gel and Mo-T peaks. Adsorbent morphology revealed that the outer surface of Mo-T-Gel showed the presence of Mo-T particles adhering to the surface. Elemental analysis of the adsorbent showed that the carbon content of Mo-T-Gel was higher than that of Mo-T, which confirmed that Mo-T-Gel consists of Gel and Mo-T. The point of zero charge for the Mo-T-Gel is 7.54. Batch experimental results demonstrated that the percentage removal of RB5 dyes of Gel, Mo-T-Gel, and Mo-T were 6.31, 94.39, and 95.62, respectively. The maximum adsorption content of Mo-T-Gel was at pH 2.04 with an exposure time of 180 min, an initial dye concentration 200 mg/L and temperatures in the range of 30 - 50 °C. It was observed that the influence of temperature on adsorption capacity was minimal. The experimental data conform to the Langmuir isotherm and pseudo-second order reaction model. The maximum monolayer adsorption capacity was 33.22 g/g. From the above results, the pelletizing of Mo-T to Mo-T-Gel still maintains adsorption efficiency. Mo-T-Gel can be used as an effective adsorbent for RB5 removal from wastewater.

บทคัดย่อ

เรื่อง : การประเมินการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะมูลฝอย สำหรับชุมชนขนาดใหญ่

ผู้วิจัย : นิตยา โฆษา

ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมภพ สอนองราชบุรี

คำสำคัญ : ก๊าซเรือนกระจก, การจัดการขยะมูลฝอย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาปริมาณและองค์ประกอบของขยะมูลฝอย ที่ใช้ในการประเมินการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับชุมชนขนาดใหญ่ จากผลการศึกษา พบว่า องค์ประกอบของ ขยะมูลฝอยที่ผ่านการคัดแยกที่ต้นทางสำหรับชุมชนขนาดใหญ่ที่มีประชากรจำนวน 1,586 คน ประจําปีงบประมาณ 2563 มีขยะอินทรีย์ประเภทเศษผัก และเศษอาหาร จำนวน 29,590.05 kg คิดเป็นร้อยละ 69.27 รองลงมา คือ ขวดแก้ว และพลาสติก จำนวน 10,520.50 kg และ 1,509.30 kg คิดเป็นร้อยละ 24.63 และ 3.54 ตามลำดับ และมีอัตราการเกิดขยะมูลฝอยที่คัดแยก เท่ากับ 0.07 kg/คน/วัน และประเมินการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินงานจัดการขยะมูลฝอยทั้งหมด เท่ากับ 41,111.78 kgCO<sub>2</sub>eq ซึ่งการดำเนินงานที่มีการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คือ การนำเศษอาหารหรือผักไปใช้ในการเลี้ยงสัตว์ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลง เท่ากับ 16,812.09 kgCO<sub>2</sub>eq คิดเป็นร้อยละ 40.89 รองลงมา คือ การทำปุ๋ยหมักจากเศษผัก และเศษอาหาร และการทำน้ำหมักชีวภาพจากเศษผักและเศษอาหาร ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลง เท่ากับ 7,733.82 kgCO<sub>2</sub>eq และ 7,414.60 kgCO<sub>2</sub>eq คิดเป็นร้อยละ 18.81 และ 18.04 ตามลำดับ และมีอัตราการลดลงของก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินงานจัดการขยะมูลฝอย เท่ากับ 0.07 kgCO<sub>2</sub>eq/คน/วัน จากผลการศึกษาครั้งนี้สามารถนำข้อมูล ที่ได้ไปใช้เป็นพื้นฐานในการวางแผนแก้ไข และลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับชุมชนอื่น ๆ ต่อไป

## ABSTRACT

TITLE : ASSESSMENT OF THE REDUCTION OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM SOLID WASTE MANAGEMENT FOR A LARGE COMMUNITY

AUTHOR : NITTAYA KOSA

DEGREE : MASTER OF ENGINEERING

MAJOR : ENVIRONMENTAL ENGINEERING

ADVISOR : ASST. PROF. SOMPOP SANONGRAJ, Ph.D.

KEYWORDS : GREENHOUSE GAS, SOLID WASTE MANAGEMENT

The objective of this research was to study the quantity and composition of solid waste to assess the reduction of greenhouse gas emissions for a large community. From the results of the study, it was found that the composition of solid waste that has been sorted out at the source for a large community with a population of 1,586 people for the fiscal year 2020 had 29,590.05 kg of organic and food waste, representing 69.27%, followed by glass bottles and plastics at 10,520.50 kg and 1,509.30 kg accounting for 24.63% and 3.54% respectively. The incidence of segregated solid waste was 0.07 kg/person/day. In order to assess reductions of greenhouse gas emissions for operations management, the total solid waste was found to be equal to 41,111.78 kgCO<sub>2</sub>eq. The method with the greatest reduction in greenhouse gas emissions was to use food and vegetable scraps for animal husbandry. The amount of greenhouse gas reduced was 16,812.09 kgCO<sub>2</sub>eq accounting for 40.89%, followed by composting and making bio-fermented water from vegetable and food scraps. The reduction in greenhouse gas emissions was 7,733.82 kgCO<sub>2</sub>eq and 7,414.60 kgCO<sub>2</sub>eq, equal to 18.81% and 18.04%, respectively. The reduction of greenhouse gas emissions from solid waste management operations was 0.07 kgCO<sub>2</sub>eq/person/day. From the results of this study, the data can be used for preparing a problem-solving plan and reducing the amount of greenhouse gas emissions for other communities.

บทคัดย่อ

เรื่อง : การบำบัดน้ำเสียยางพาราด้วยกระบวนการร่วมเฟนตันและโอโซน  
 ผู้วิจัย : เยาวลักษณ์ วงศ์คำชา  
 ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
 สาขาวิชา : วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
 อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาดา เดชะปัญญา  
 คำสำคัญ : กระบวนการร่วมเฟนตันและโอโซน, กระบวนการเฟนตัน, โอโซน, น้ำเสียยางพารา, การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียยางพาราด้วยกระบวนการร่วมเฟนตันและโอโซน โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central composite design; CCD) การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการบำบัดน้ำเสียยางพาราด้วยกระบวนการเฟนตัน ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ อัตราส่วนโดยมวลระหว่าง H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> : FeSO<sub>4</sub>•7H<sub>2</sub>O เท่ากับ 5:1 10:1 และ 15:1 และระยะเวลาสัมผัส (Contact time) เท่ากับ 30 60 และ 90 min มีประสิทธิภาพการกำจัดค่า COD มากสุด เท่ากับ 78.46±0.17 % การบำบัดค่า TDS พบว่า ที่อัตราส่วนโดยมวลระหว่าง H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: FeSO<sub>4</sub>•7H<sub>2</sub>O 5:1 และระยะเวลาสัมผัสที่ 30 min มีค่าลดลงจากค่าเริ่มต้นมากที่สุด มีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 3.31±0.08 % และการบำบัดค่า SS ในน้ำเสียยางพารา พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นหลังผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการเฟนตัน การทดลองในส่วนที่ 2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการบำบัดน้ำเสียยางพาราด้วยกระบวนการร่วมเฟนตันและโอโซน ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ อัตราการฟ่นโอโซนที่แตกต่างกัน ได้แก่ 600 800 และ 1,000 mg/hr และระยะเวลาสัมผัส คือ 30 60 และ 90 min พบว่า ที่อัตราการฟ่นโอโซนที่ใช้ในการบำบัด เท่ากับ 800 mg/hr มีประสิทธิภาพการกำจัดค่า COD สูงสุด ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 94.70±0.02-98.12±0.07 % ในขณะที่ค่า TDS และ SS มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อบำบัดด้วยกระบวนการร่วมเฟนตันและโอโซน

**ABSTRACT**

TITLE : TREATMENT OF PARA RUBBER WASTEWATER USING COMBINATION OF FENTON AND OZONATION PROCESS

AUTHOR : YAOWALAK WONGKAMCHAO

DEGREE : MASTER OF ENGINEERING

MAJOR : ENVIRONMENTAL ENGINEERING

ADVISOR : ASSOC. PROF. WIPADA DECHAPANYA, Ph.D.

KEYWORDS : PROCESS, OZONE, PARA RUBBER WASTEWATER, CENTRAL COMPOSITE DESIGN

This research investigated the determination of optimum conditions for treating para rubber wastewater by using the combined Fenton and ozonation process and by employing a central composite design (CCD) as an experimental design. The experiment was divided into 2 parts. The first part studied the optimal conditions of para rubber wastewater treatment by the Fenton process. The factors studied were the mass ratio between  $\text{H}_2\text{O}_2$ :  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  5:1, 10:1, 15:1, with contact times of 30, 60, and 90 min. From the results,  $\text{H}_2\text{O}_2$ : $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  at 5:1 and a contact time of 90 min yielded the highest COD removal efficiency of  $78.46 \pm 0.17$  %. For TDS treatment, it was found that  $\text{H}_2\text{O}_2$ :  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  5:1 and an exposure time of 30 min resulted in a maximum decrease from the initial values. The removal efficiency was  $3.31 \pm 0.08$  % while the SS value in para rubber wastewater increased after being treated by the Fenton process. The experiment in Part 2 studied the optimum conditions of rubber wastewater treatment by Fenton and Ozonation co-processing. The factors studied were the different ozone output rates at 600, 800 and 1000 mg/hr, with exposure times of 30, 60, and 90 min. It was found that at the ozone spray rate used in the treatment was 800 mg/hr, the highest COD removal efficiency was in the range  $94.70 \pm 0.02$ - $98.12 \pm 0.07$  %, while the TDS and SS values increased when treated with Fenton and Ozonation processes.

บทคัดย่อ

เรื่อง : การดูดซับสารตะกั่ว (II) โดยใช้ฟิล์มคอมโพสิตเพคตินจากเปลือก *Passiflora edulis*

ผู้วิจัย : ศุภมิตรา คำผาลา

ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ อัมพูช

คำสำคัญ : ตะกั่ว, การดูดซับ, ฟิล์มคอมโพสิตเพคติน, ฟิล์มเพคติน, แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้คือการดูดซับตะกั่ว (II) โดยใช้ฟิล์มคอมโพสิตเพคติน (CN film) ที่ประกอบด้วยเพคตินจากเปลือกเสาวรส (*Passiflora edulis*) และแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ (MMT) การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรก การวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกลของตัวดูดซับ พบว่า ลักษณะพื้นผิวของ CN film มีความราบเรียบ ขณะที่พื้นผิวของ MMT มีความพรุนสูง พื้นที่ผิวจำเพาะของ CN film มีค่าน้อยกว่า MMT ขณะที่มีความหนาของรูพรุนเฉลี่ยใหญ่กว่ามีการพบหมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏบนพื้นผิวของ MMT บนพื้นผิว CN film ปริมาณธาตุคาร์บอนของ CN film สูงกว่า MMT CN film มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าฟิล์มเพคติน (PN film) เช่น มีความทนแรงดึงสูงกว่าและค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืดที่จุดขาดสูงกว่าส่วนที่ 2 การหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่ว (II) ของ CN film พบว่า ปริมาณการดูดซับเกิดขึ้นสูงสุดเท่ากับ 109.15 mg/g ภายใต้สภาวะเวลาสัมผัส 150 นาที อุณหภูมิ 40 °C ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารตะกั่ว (II) 100 mg/L และ pH เริ่มต้น 5 นอกจากนี้ ผลการทดลองสอดคล้องกับไอโซเทอร์มแลงเมียร์มากกว่าไอโซเทอร์มฟรุนดลิช ซึ่งเห็นว่าการดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว ข้อมูลสอดคล้องกับสมการปฏิกิริยาอันดับสองเทียม แสดงว่า ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาที่พื้นผิวของตัวดูดซับเป็นขั้นกำหนดอัตราการใช้ 0.1 M HCl เป็นสารชะละลาย ทำให้เกิดการคายซับสูงสุดถึง 90.54% ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า CN film เป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารตะกั่ว (II) ในน้ำเสียสังเคราะห์

**ABSTRACT**

TITLE : ADSORPTION OF LEAD (II) USING COMPOSITE PECTIN FILMS FROM PASSIFLORA EDULIS PEEL

AUTHOR : SUPAMITTRA KHAMPALA

DEGREE : MASTER OF ENGINEERING

MAJOR : ENVIRONMENTAL ENGINEERING

ADVISOR : ASSOC. PROF. CHAKKRIT UMPUCH, Ph.D.

KEYWORDS : LEAD, ADSORPTION, PECTIN COMPOSITE FILMS, PECTIN FILMS, MONTMORILLONITE CLAY

The purpose of this study is to adsorb lead (II) using a composite pectin film (CN film) containing pectin derived from passion fruit peel (*Passiflora edulis*) and montmorillonite clay (MMT). The research was divided into 2 parts. First, the physical and mechanical properties of the adsorbents were determined. The CN film has a smooth, flat surface, whereas the MMT film is highly porous. CN film has a smaller specific surface area than MMT, but its average pore size is larger. Functional groups discovered on the surface of MMT can also be found on CN film. CN film has a higher carbon content than MMT. The mechanical properties of the CN film are superior to those of the pectin film (PN film), such as higher tensile strength and a higher percentage of elongation at break. Second, the optimum condition for lead (II) adsorption on CN film was determined. A contact time of 150 minutes with a temperature of 40 °C and an initial lead (II) concentration of 100 mg/L, with an initial pH of 5.0 was found to have the highest adsorption capacity at 109.15 mg/g. In addition, the results were more consistent with the Langmuir isotherms than the Freundlich isotherms, indicating monolayer adsorption. The data correspond to the pseudo-second order reaction equation, indicating that the rate of reaction on the adsorbent surface is a rate-determining step. Using 0.1 M HCl as an eluent, the highest percent desorption of lead (II) was recorded at 90.54 percent. The findings indicate that CN film is an effective adsorbent for adsorbing lead (II) in synthetic wastewater.

บทคัดย่อ

- เรื่อง : การแปรรูปของเสียพลาสติกเป็นเชื้อเพลิง โดยใช้การไพโรไลซิส  
ด้วยคลื่นไมโครเวฟ
- ผู้วิจัย : สุภาดา คงเรียงศรี
- ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
- สาขาวิชา : วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
- อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมภพ สอนองราชฎ์
- คำสำคัญ : การไพโรไลซิสพลาสติกด้วยคลื่นไมโครเวฟ, ตัวดูดซับคลื่นไมโครเวฟ,  
ถ่านกัมมันต์, ถ่าน

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสของเสียพลาสติกด้วยคลื่นไมโครเวฟ และศึกษาลักษณะสมบัติของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากผลการศึกษาพบว่า ชนิดและปริมาณตัวดูดซับคลื่นไมโครเวฟที่เหมาะสม คือ ถ่านกัมมันต์ 5% ประเภทของของเสียพลาสติกมีผลต่อการปริมาณและองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้ โดยของเสียพลาสติกประเภท PS ให้ค่าร้อยละและอัตราการเกิดผลิตภัณฑ์ของเหลวต่อกรัมพลาสติกสูงที่สุด คือ 62.40 และ 0.016 ml/นาที่ ตามลำดับ ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่ คือ C5 –C8 แต่อย่างไรก็ตามควรมีการพัฒนาขนาดของถังปฏิกรณ์ที่มีขนาดเหมาะสมต่อกระบวนการผลิตต่อไป



**ABSTRACT**

TITLE : TRANSFORMATION OF PLASTIC WASTE TO FUEL USING  
MICROWAVE PYROLYSIS

AUTHOR : SUPAMITTRA KHAMPALA

DEGREE : MASTER OF ENGINEERING

MAJOR : ENVIRONMENTAL ENGINEERING

ADVISOR : ASST. PROF. SOMPOP SANONGRAJ, Ph.D.

KEYWORDS : MICROWAVE PLASTIC PYROLYSIS, MICROWAVE ABSORBER,  
ACTIVATED CARBON, CHARCOAL

The objective of this research is to study factors affecting liquid products obtained by pyrolysis of plastic waste by microwave and the properties of the resulting liquid products. From the results of the study, it was found that the most appropriate quantity and type for the microwave absorber is 5% activated carbon. The type of plastic waste affects the quantity and chemical composition of the resulting liquid product. The PS-type plastic waste yields the highest percentage and production rate (per gram of plastic) of the liquid product that is equal to 62.40 and 0.016 ml/min, respectively. Most of the chemical composition is C5 – C8, however, the appropriate size of the reactor for the production process should be further developed.

บทคัดย่อ

เรื่อง : การศึกษาและพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับร้านรับซื้อขยะรีไซเคิล  
 ผู้วิจัย : ขวลิต บัวพรหม  
 ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
 สาขาวิชา : วิศวกรรมอุตสาหการ  
 อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธารชุตตา พันธนิกุล  
 คำสำคัญ : ร้านรับซื้อขยะ, ขยะรีไซเคิล, ลูกค้ำ, แอปพลิเคชัน

การวิจัยครั้งนี้ศึกษากระบวนการปฏิบัติงานของธุรกิจร้านรับซื้อขยะ รีไซเคิลโดยศึกษาสภาพการทำงานปัจจุบัน เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการรับรายการเสนอขายจากลูกค้า จนถึงกระบวนการออกไปรับขยะจากลูกค้าพบว่ากระบวนการปฏิบัติงานของพนักงานฝ่ายที่ออกไปรับซื้อขยะจากลูกค้าและพนักงานฝ่ายบัญชี มีการปฏิบัติงานบางขั้นตอนยังมีความยุ่งยากและซ้ำซ้อน ทั้งในการบันทึกข้อมูล การคำนวณ การสรุปยอดรายการประเภทขยะต่างๆ โดยงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับช่วยสนับสนุนร้านรับซื้อขยะรีไซเคิลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการทำงานโดยนำหลักการ ECRS มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพขั้นตอนการดำเนินงานเริ่มจากใช้เทคนิคทางวิศวกรรมอุตสาหการ ได้แก่ การศึกษากระบวนการปฏิบัติงาน แผนผังการไหล แผนภูมิกระบวนการปฏิบัติงาน แผนภาพแสดงเหตุและผล การวิเคราะห์ 5W 1H และประยุกต์ใช้หลักการ ECRS เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงาน จากนั้นออกแบบและสร้างแอปพลิเคชัน ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบแอปพลิเคชัน ด้วยโปรแกรม AppSheet เชื่อมโยงฐานข้อมูลกับ Spread Sheet ซึ่งเป็นการเก็บฐานข้อมูลออนไลน์ ระบบสามารถบันทึกรายการรับซื้อ และคำนวณรายการ สร้างใบเสร็จ และแจ้งเตือนผ่านโปรแกรม Line และ E-mail ไปยังผู้ที่เกี่ยวข้องภายในองค์กร

ผลการพัฒนาแอปพลิเคชันเปรียบเทียบกับกระบวนการปฏิบัติงานแบบเดิมพบว่ากระบวนการปฏิบัติงานของพนักงานฝ่ายรับซื้อขยะเดิมมีขั้นตอนการปฏิบัติงาน 7 ขั้นตอนลดเหลือ 4 ขั้นตอนใช้เวลาลดลงจากเดิม 547.41 วินาที คิดเป็นร้อยละ 43.32 และกระบวนการปฏิบัติงานของพนักงานฝ่ายบัญชี เดิมมีขั้นตอนการปฏิบัติงาน 8 ขั้นตอนลดเหลือ 6 ขั้นตอนใช้เวลาลดลงจากเดิม 821.46 วินาที คิดเป็นร้อยละ 57.09 และมีผลความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างต่อแอปพลิเคชันโดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 4.19 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.46

**ABSTRACT**

TITLE : A STUDY AND DEVELOPMENT OF APPLICATION FOR RECYCLED WASTE COLLECTION WAREHOUSE

AUTHOR : CHAVALIT BUAPROM

DEGREE : MASTER OF ENGINEERING

MAJOR : INDUSTRIAL ENGINEERING

ADVISOR : ASST. PROF. THANCHUDA PHANNIKUL, Ph.D.

KEYWORDS : RECYCLED WASTE COLLECTION WAREHOUSE BUSINESS, RECYCLED WASTE, CUSTOMERS, APPLICATION

This research investigated the operational procedures of a waste recycling collection warehouse business by studying current working conditions, starting from the process of receiving an offer from customers through to the process of going out to receive waste from customers. It was found that among the work procedures of staff who went out to buy waste from customers, many operations were complicated and redundant and also on the side of the accounting staff, whether in recording data, calculations, or summarizing various types of waste. This research is the development of an application to support recycled waste collection warehouses to optimize their work processes by applying ECRS principles to improve operational efficiency, starting with the use of industrial engineering techniques, consisting of the study of operational procedures, flow charts, operational process charts, cause-and-effect diagrams, 5W 1H analysis, and applying ECRS principles to find ways to improve performance, then designing and creating applications. The researcher designed an application with the AppSheet program to link the database with Spread Sheet, an online database storage system. The system can record purchases and calculate transactions, create receipts, and send notifications via Line and E-mail programs to relevant parties within the organization.

The results of the application development, compared with conventional operating procedures, showed that the work process of the conventional waste purchasing staff employed 7 steps that were reduced to 4 steps, decreasing work

time 547.41 seconds, accounting for a 43.32 percent decrease. Previously, the work process of accounting staff had 8 operational procedures which were reduced to 6, and the time taken was reduced 821.46 seconds, a 57.09 percent reduction. The sample's overall satisfaction with the application was at a high level with a mean of 4.19 and a standard deviation of 0.46.

บทคัดย่อ

เรื่อง : การศึกษาแนวทางการเพิ่มความสามารถในการรับแรงกระแทกของหมวกกันน็อกโดยการเสริมยางพาราธรรมชาติ

ผู้วิจัย : คุณานนต์ ศักดิ์กำปัง

ชื่อปริญญา : ปรัชญาดุษฐ์บัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์

คำสำคัญ : การทดสอบแรงกระแทก, ภาวะโหลต, ความเร่ง, การบาดเจ็บที่ศีรษะ, ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาแนวทางการนำฟองน้ำยางพารามาใช้เพื่อประยุกต์ใช้ในหมวกกันน็อกของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์โดยผู้วิจัยได้เลือกหมวกแบบครึ่งใบ เต็มใบและเต็มใบปิดหน้า มาทำเสริมฟองน้ำยางพาราแบบคลุมทั้งพื้นที่และแบบเสริมเฉพาะพื้นที่ที่มีความหนา 1 cm และ 1.6 cm ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงกระแทก โดยใช้น้ำหนักของหัวค้อนตกระแทก 10 kg ที่ความเร็ว 4.85 5.42 5.94 และ 6.26 m/s เพื่อวิเคราะห์ผลของภาวะโหลตที่เกิดจากการกระแทก จากนั้นศึกษาการรับแรงกระแทกของหมวกโดยวิธีการตามมาตรฐานการทดสอบหมวกกันน็อกที่ความเร็ว 5.94 m/s สำหรับหมวกแบบครึ่งใบ ความเร็ว 7.67 m/s สำหรับหมวกแบบเต็มใบและเต็มใบปิดหน้าเพื่อศึกษาความเร่งสูงสุด (Peak Acceleration, PACC) และค่าการบาดเจ็บที่ศีรษะ (HIC) ซึ่งผลการทดลองทุกกรณีจะทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดลองโดยใช้การวิเคราะห์โดยระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEA) จากการศึกษาพบว่าหมวกกันน็อกที่เสริมฟองน้ำยางพาราสามารถลดภาวะโหลตจากการกระแทกได้ในทุกกรณี ซึ่งสามารถลดภาวะโหลตสูงสุดได้ถึง 42.91 % โดยหมวกแบบเต็มใบปิดหน้าจะมีความสามารถในการรับแรงกระแทกที่ดีที่สุด ในส่วนผลของการทดสอบความเร่งสูงสุด (PACC) และค่าการบาดเจ็บที่ศีรษะ (HIC) ตามมาตรฐานการทดสอบหมวกกันน็อกพบว่าหมวกกันน็อกแบบเสริมฟองน้ำยางพาราสามารถลดค่าความเร่งสูงสุด (PACC) และ HIC ลงได้โดยค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในออกขายเชิงพาณิชย์ได้ ซึ่งเมื่อนำผลการทดลองในห้องปฏิบัติการมาเปรียบเทียบผลวิเคราะห์จากแบบจำลองโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEA) พบว่าผลมีความใกล้เคียงกันกับผลของการทดลองในทุกกรณี สุดท้ายสามารถสรุปได้ว่าหมวกกันน็อกทุกแบบที่เสริมฟองน้ำยางพารามีผลการทดสอบอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานในเชิงพาณิชย์ โดยหากพิจารณาในด้านของน้ำหนักและความสะดวกสบายในการสวมใส่นั้น หมวกกันน็อกแบบเสริมฟองน้ำยางพาราเฉพาะพื้นที่ที่มีความหนา 1 cm ก็มีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานมากที่สุด

**ABSTRACT**

TITLE : THE STUDY ON CRASHWORTHINESS IMPROVEMENT OF HELMET  
USING NATURAL RUBBER

AUTHOR : KUNANON SAKKAMPANG

DEGREE : DOCTOR OF PHILOSOPHY

MAJOR : MECHANICAL ENGINEERING

ADVISOR : ASSOC. PROF. CHAWALIT THINVONGPITUK, Ph.D.

KEYWORDS : IMPACT TEST, IMPACT LOAD, ACCELERATION, HEAD INJURY  
CRITERION, FINITE ELEMENT ANALYSIS

The objective of this study was to examine the use of para rubber sponge as an impact absorber in motorcycle helmets. There were three types of helmets used in this study: a half-face, open-face, and full-face helmet. The specimens were reinforced with two different patterns of rubber sponge: full area reinforcing and Oregon Aero reinforcing. The thickness of the rubber sponge ranged from 1 cm to 1.6 cm. The reinforced helmets were examined by using an impact testing machine. A 10-kg hammer was freely dropped at the speed of 4.85, 5.42, 5.94, and 6.26 m/s to investigate the effect of the impact load. The impact load was then studied by a standard helmet test method at 5.94 m/s for the half-face helmet, and 7.67 m/s for the open-face and full-face helmet to study Peak Acceleration (PAcc) and Head Injury Criterion (HIC) values. The results of all cases were analyzed and compared through a Finite Element Analysis (FEA) model. The results of this study revealed that the helmets that were reinforced with this rubber sponge can reduce impact loads in all cases. This can reduce the maximum load by up to 42.91%, and a full-face helmet has the ability to provide the best shock absorption. As for the results of PAcc and HIC values, the rubber sponge reinforced helmet can reduce the maximum acceleration (PAcc) and HIC values to better than the standard value used commercially. When the results of the laboratory experiments were compared with the results from the model by Finite Element Analysis (FEA), it was found that the results were similar to the results of the experiments in all cases. Finally, it can be

concluded that all helmets reinforced with this rubber sponge can reduce the impact load in the helmet, but the weight and comfort for the users must be taken into consideration. A helmet with 1-cm rubber sponge reinforcement is most suitable for users.

บทคัดย่อ

เรื่อง : การศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองของท่ออลูมิเนียมเสริมแรงด้วยเส้นใยคาร์บอนไฟเบอร์ภายใต้ภาระกระทำในแนวแกน

ผู้วิจัย : ชวงชัย ชูปวา

ชื่อปริญญา : ปรัชญาดุขฎิบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์

คำสำคัญ : ท่อไฮบริด, การกระแทก, ไฟไนต์เอลิเมนต์, พลาสติกเสริมเส้นใยคาร์บอนไฟเบอร์

งานศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาพฤติกรรมของท่อโครงสร้างร่วมระหว่าง ท่ออลูมิเนียมหุ้มด้วยพลาสติกเสริมคาร์บอนไฟเบอร์ (AL/CFRP) ภายใต้แรงชนกระแทกในแนวแกน โดยมุ่งศึกษาอิทธิพลของการวางมุมของเส้นใยคาร์บอนไฟเบอร์ จำนวนชั้นของเส้นใยคาร์บอนไฟเบอร์ และลำดับการเรียงทับซ้อนของเส้นใยคาร์บอนไฟเบอร์ที่มีผลต่อพฤติกรรมการเสียหายของโครงสร้างเป็นหลัก ในการศึกษาวิจัยนี้ใช้ชิ้นงานที่สร้างมาจากท่ออลูมิเนียมทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 44.45 mm หนา 1.15 mm และยาว 100 mm หุ้มด้วยพลาสติกเสริมเส้นใยคาร์บอนไฟเบอร์ (CFRP) จำนวน 1, 2 และ 3 ชั้น ชิ้นงานถูกทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการชนกระแทก น้ำหนักของหัวค้อน 30 kg ปลอยจากความสูง 2.43 m คำนวณความเร็วการชนได้ประมาณ 6.9 m/s รูปแบบการเสียหาย ค่าภาระสูงสุด และค่าภาระเฉลี่ยการทดสอบ ถูกบันทึกและนำมาประกอบการวิเคราะห์ นอกจากนี้ยังได้ทำการสร้างแบบจำลองด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์และทำการเปรียบเทียบผลกับการทดลองที่สภาวะเดียวกันพบว่าผลของการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์กับผลการทดลองมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ท่อไฮบริด AL/CFRP สามารถต้านทานการกระแทกได้ดีกว่าท่ออลูมิเนียมเปล่าในทุกกรณี เมื่อพิจารณาค่าภาระสูงสุดและค่าภาระเฉลี่ยของชิ้นงาน ค่าภาระสูงสุด ค่าภาระเฉลี่ย และค่าพลังงานดูดซับมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามจำนวนชั้นของเส้นใยที่เพิ่มขึ้น ในส่วนอิทธิพลของลำดับการซ้อนทับและการวางมุมของเส้นใย พบว่าการจัดวางมุมเส้นใย 45 องศาส่งผลต่อต่อค่าภาระไม่มากนัก ในขณะที่การจัดวางมุมเส้นใย 0 และ 90 องศาให้ผลค่าภาระที่ต่ำกว่า และยังพบอีกว่าชิ้นงานทดสอบที่มีการวางมุมเส้นใยชั้นในแบบ 0 องศา ประกอบกับการวางมุมเส้นใยแบบ 90 องศา ไว้ที่ชั้นนอกสุด มีความสามารถในการรับแรงชนกระแทกที่ดีที่สุด จึงสามารถสรุปได้ว่ามุมของเส้นใยคาร์บอนไฟเบอร์แบบ 0 องศา กับแบบ 90 องศา และลำดับการเรียงซ้อนทับกันของชั้นเส้นใย



คาร์บอนไฟเบอร์ มีอิทธิพลอย่างมาก ต่อรูปแบบการเสียหาย และความสามารถในการป้องกัน  
โครงสร้างห้องผู้โดยสารจากการชนกระแทก

**ABSTRACT**

TITLE : THE STUDY ON CRASHWORTHINESS OF HYBRID AL/CFRP TUBE  
SUBJECTED TO AXIAL IMPACT LOAD

AUTHOR : CHUANGCHAI CHUPAVA

DEGREE : DOCTOR OF PHILOSOPHY

MAJOR : MECHANICAL ENGINEERING

ADVISOR : ASSOC. PROF. CHAWALIT THINVONGPITUK, Ph.D.

KEYWORDS : HYBRID TUBE, CRASHWORTHINESS, IMPACT LOAD, FINITE ELEMENT,  
CFRP

This research study aims to study the structural behavior of aluminum tubes clad in carbon fiber reinforced plastic (AL/CFRP) under axial impact. This was done with an aim to study the influence of the angular orientation of the carbon fiber layers, the number of layers of carbon fiber filament, and how the stacking sequence of carbon fibers affects structural damage behavior. In this study, specimens were constructed of cylindrical aluminum tubes with a diameter of 44.45 mm, a thickness of 1.15 mm, and a length of 100 mm, covered with 1, 2, and 3 layers of carbon fiber reinforced plastic (CFRP). Specimens were tested with an impact testing machine. The weight of the hammerhead was 30 kg, released from a height of 2.43 m with a collision velocity of approximately 6.9 m/s. The failure mode, maximum load, and the average test load were recorded and used for analysis. In addition, finite element analysis was modeled and the results were compared with experiments under the same conditions. The simulation results for all study cases accorded well with those experiments. The results showed that the AL/CFRP hybrid tube had better shock resistance than the bare aluminum tube in all cases. The values of maximum and average loads and energy absorption were likely enhanced by increasing the number of fiber layers. On the influence of the superposition sequence and fiber angle placement, it was found that a 45-degree fiber angle arrangement had little effect on the load value, whereas the 0 and 90-degree fiber angle arrangement provides better load values. It was also found that a specimen with an innermost 0-degree fiber angle

placement coupled with a 90-degree fiber angle placement on the outermost layer has the best ability to withstand impacts. It could be concluded that the fiber angles of 0 and 90 degree and its combination as well as its stacking sequence highly affected the collapse mode and the crashworthiness capacity of hybrid tube.

## บทคัดย่อ

เรื่อง : คุณลักษณะคลื่นกระแทกใต้น้ำและการประยุกต์ใช้สำหรับเพิ่มผลผลิตน้ำมันปาล์ม

ผู้วิจัย : ประเมศวร์ สุทธิประภา

ชื่อปริญญา : ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง

คำสำคัญ : การปล่อยประจุไฟฟ้าแรงดันสูง, การเพิ่มผลผลิต, คลื่นกระแทกใต้น้ำ, คลื่นกระแทกแบบโพกัส, ปาล์มน้ำมัน

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอวิธีการเพิ่มผลผลิตน้ำมันปาล์มใช้คลื่นกระแทกใต้น้ำที่ไม่มีตัวสะท้อน เพื่อช่วยในการสกัดน้ำมันปาล์ม คลื่นกระแทกใต้น้ำทำลายเซลล์เนื้อเยื่อที่มีน้ำมันและจึงนำไปสู่กระบวนการการสกัดน้ำมันภายหลัง ในงานวิจัยนี้ ได้มีการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดคลื่นกระแทกใต้น้ำต้นแบบ ขณะที่เทคนิค Schlieren ถูกใช้สังเกตปรากฏการณ์ที่ไม่คงที่ของการแพร่กระจายคลื่นกระแทกคลื่น กระแทกใต้น้ำเกิดจากวิธีการปล่อยประจุไฟฟ้าแรงสูง แบบมีและไม่มีตัวสะท้อนอิเล็กโทรดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง ระหว่าง 3, 6 และ 9 มม. ช่องว่างที่ช่วง 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิเมตร และตัวอย่างที่วางที่ตำแหน่ง 10, 30 และ 50 มิลลิเมตร ถูกทดสอบด้วยแรงดันไฟฟ้าสูงที่มีประจุในช่วง 2, 4, 6, 8 และ 10 กิโลโวลต์ความดันในน้ำวัดโดย พอลิไวเนลิลีนฟลูออไรด์ ตัวอย่างที่ทดสอบคือ ผลปาล์มน้ำมันที่สกัดน้ำมันด้วยวิธีการกดสกรูและการใช้สารละลาย (ปิโตรเลียม อีเทอร์) เป็นผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย สังเกตลักษณะที่เสียหายของโครงสร้างผนังเซลล์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) นอกจากนี้ยังศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิของน้ำ แรงดันไฟ และ จำนวนพัลส์ การจำลอง CFD ยังได้ดำเนินการเพื่อตรวจสอบปรากฏการณ์คลื่นกระแทกและแรงดันที่เกิดขึ้น จากการทดลอง พบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของอิเล็กโทรดที่เหมาะสมและช่องว่างของอิเล็กโทรดสำหรับการคายประจุที่ไม่สะท้อนแสงและสะท้อนแสงคือ 6 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยต้องการตำแหน่งตัวอย่าง 50 มิลลิเมตร ผลปาล์มน้ำมันถูกสกัดโดยการกดสกรูเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่บำบัดด้วย USW และตัวอย่าง USW ที่ไม่ผ่านการบำบัดโดยไม่ใช้ตัวช่วยสะท้อนก่อนทำการสกัดน้ำมัน พบว่า USW บำบัดที่การปลดปล่อยประจุไฟฟ้า 2, 4, 6, 8 และ 10 กิโลโวลต์ และตัวอย่างที่ไม่ผ่านการบำบัดคือ 64.33, 64.66, 65.08, 65.23, 66.35 และ 64.37% ตามลำดับ ในขณะที่การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Petroleum ether) เท่ากับ 66.18, 66.58, 67.00, 67.44, 70.38 และ 66.21% ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์ผลผลิตน้ำมันของการสกัดด้วยสกรูและการสกัดด้วยตัวทำละลายสามารถ

เพิ่มขึ้น 3.1 และ 6.3% ตามลำดับ ค่ากรดไขมันอิสระเท่ากับ 3.28, 3.41, 3.46, 3.61, 2.79 และ 3.71% พบว่าอยู่ในช่วงมาตรฐาน (< 5%) ตามลำดับ ค่ากรด (AV) เท่ากับ 7.18, 7.46, 7.57, 7.88, 6.11 และ 8.11% ตามลำดับ SEM ที่ใช้ในการสังเกตโครงสร้าง พบว่า โครงสร้างได้รับความเสียหายต่อโครงสร้างผนังเซลล์ และมีน้ำมันบางส่วนรั่วไหลบนพื้นผิวโดยใช้ USW บำบัด สาเหตุนี้เกิดจากความเสียหายต่อโครงสร้างผนังเซลล์ของผลปาล์มน้ำมันเนื่องจากอยู่ภายใต้ USW ในการศึกษาปรากฏการณ์ของ USW ที่เกิดจากอิเล็กโทรดแบบจุดต่อจุด เกิดคลื่นกระแทกสามคลื่นด้วยแรงดัน 46.28, 41.97 และ 19.10 MPa และพบอิเล็กโทรดแบบจุดต่อแผ่น พบว่า เกิดคลื่นกระแทก 2 ระลอก โดยมีความดัน 37.33 และ 4.85 MPa ดังต่อไปนี้ นอกจากนี้ การศึกษาปรากฏการณ์ของ USW โดยใช้ตัวสะท้อนแสงกึ่งวงรีเปิดเผยว่าคลื่นแรงดันถูกสร้างขึ้นใต้น้ำ แรงกดกระแทกที่ 1 และ 2 ปรากฏขึ้นใกล้กับจุดโฟกัส (F2) เป็นดังนี้ 21.40 และ 31.99 MPa ความดันกระแทกที่ 1 และ 2 ปรากฏขึ้นใกล้กับจุดโฟกัส (F2) เป็นดังนี้ 21.40 และ 31.99 MPa จากการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิของน้ำ แรงดันไฟ และจำนวนคลื่นกระแทกใต้น้ำที่เหมาะสมกับการใช้ใน กระบวนการฆ่าเชื้อ พบว่าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส, 5 กิโลโวลต์ และจำนวนพัลส์ 5 พัลส์ ให้ค่าความ กระด้าง 2.56 นิวตัน ซึ่ง ใกล้เคียงกับการฆ่าเชื้อ 2.13 นิวตัน ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะใช้คลื่นกระแทกใต้น้ำเพื่อช่วยสกัดน้ำมันปาล์มหรือวัตถุดิบทางการเกษตรอื่น ๆ

**ABSTRACT**

TITLE : CHARACTERISTIC OF UNDER WATER SHOCK WAVES AND IT'S APPLICATION FOR YIELD ENHANCEMENT OF PALM OIL

AUTHOR : PARAMET SUTTIPRAPA

DEGREE : DOCTOR OF PHILOSOPHY

MAJOR : MECHANICAL ENGINEERING

ADVISOR : PROF. KULACHATE PIANTHONG, Ph.D.

KEYWORDS : HIGH VOLTAGE ELECTRIC DISCHARGE, YIELD ENHANCEMENT, UNDERWATER SHOCK WAVE, FOCUSED SHOCK WAVE, OIL PALM

The objective of this research is to propose methods to increase palm oil yield. It uses non-reflective underwater shock waves (USW) to assist with palm oil extraction. The USW destroys the oily tissue cells thereby leading to the subsequent oil extraction process. In this research, a prototype underwater shock wave generator was designed and built, while the Schlieren technique was used to observe the unstable phenomena of shock wave propagation. Underwater shock waves are produced by means of a high voltage electric discharge (HVED) method with and without a reflector. Electrodes with diameters between 3, 6, and 9 mm, gaps at intervals of 1, 2, 3, 4, and 5 mm, and samples placed at positions 10, 30, and 50 mm were tested with high-voltage charges ranging from 2, 4, 6, 8 to 10 kV. The pressure in the water was measured by polyvinylidene fluoride (PVDF). Test samples were palm oil fruit where the oil was extracted by the screw press method and solution experiments (petroleum ether) were the final products. The damaged characteristics of the cell wall structure were observed by a scanning electron microscope (SEM). The effect of water temperature, voltage, and the number of pulses were also studied. CFD simulations were also performed to examine the shock wave phenomena and its generated pressure. From the experiments, it was found that the optimum electrode diameter and the electrode gap for non-reflective and reflective discharges were 6 mm and 2 mm respectively, for the preferable sample position of 50 mm. The oil palm fruit was extracted by screw press compared to the USW-

treated samples and untreated USW samples without reflector assistance prior to the oil extraction. USW was treated at 2, 4, 6, 8, and 10 kV discharges and the untreated samples were 64.33, 64.66, 65.08, 65.23, 66.35, and 64.37%, respectively, while the solvent extractions (Petroleum ether) were 66.18, 66.58, 67.00, 67.44, 70.38, and 66.21%, respectively. The oil yield percentage of screw press extraction and solvent extraction can be increased by 3.1 and 6.3%, respectively. The free fatty acid values were 3.28, 3.41, 3.46, 3.61, 2.79, and 3.71%, found to be in the standard range (< 5%), respectively. The acid values (AV) were 7.18, 7.46, 7.57, 7.88, 6.11, and 8.11%, respectively. The SEM which was used to observe the structure found structural damage to the cell wall and some oil spilled over the surface by using the USW treatment. This is caused by damage to the cell wall structure of the oil palm fruit due to being subjected to USW. In a study of the phenomenon of the USW generated by point-to-point electrodes, three shock waves were generated with pressures of 46.28, 41.97, and 19.10 MPa, and point-to-plate electrodes were found, and it was determined that two shock waves were formed with the following pressures of 37.33 and 4.85 MPa. Moreover, studies of the USW phenomenon using a semi-elliptical reflector revealed that pressure waves were generated underwater. The impact pressure of the first and second appeared near the focus point (F2) were 21.40 and 31.99 MPa respectively. The study of the effect of water temperature, voltage, and the number of submersible shock waves suitable for use in the sterilization process showed that 60°C, 5 kV, and with 5 pulses, give a hardness value of 2.56 N, which is close to 2.13 N sterilization. Therefore, it is feasible to use underwater shock waves to aid in the extraction of palm oil or other agricultural raw materials.

บทคัดย่อ

เรื่อง : การผลิตแคโรทีนอยด์ในจุลสาหร่าย *Chlorococcum humicola* ด้วยน้ำเสีย  
 สังกะหราทีในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพใช้แสงแบบอากาศยก

ผู้วิจัย : อัจฉริย์ กรมเมือง

ชื่อปริญญา : ปรัชญาดุขฎิบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย กัญยาฐ

คำสำคัญ : การบำบัดน้ำเสีย, จุลสาหร่ายสีเขียว, แคโรทีนอยด์, เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพ

การเลี้ยงจุลสาหร่ายในน้ำเสียชุมชนเป็นการบำบัดทางชีวภาพที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในการลดมลพิษทางน้ำซึ่งสามารถใช้ในการผลิตแคโรทีนอยด์ซึ่งมีมูลค่าสูงทางการตลาด งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหนาแน่นเริ่มต้นของเซลล์ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีองค์ประกอบหลักใกล้เคียงกับน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดในขั้นตอนทุติยภูมิ และสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแคโรทีนอยด์ด้วยจุลสาหร่าย *Chlorococcum humicola* (TISTR 8551) ที่เลี้ยงในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพใช้แสงแบบ ALPBR ปริมาตร 10 L พบว่าความหนาแน่นเริ่มต้นของจุลสาหร่ายเท่ากับ  $6.12 \times 10^6 \pm 0.28 \times 10^6$  cell mL<sup>-1</sup> มีความเหมาะสมมากที่สุดในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีอัตราส่วนโดยโมลของธาตุอาหารไนโตรเจนรวมต่อฟอสฟอรัสรวม (TN:TP) เท่ากับ 22.8:1 ให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งโดยใช้ระยะเวลาสั้นที่สุดเท่ากับ 7 วัน และมีประสิทธิภาพในการบำบัด TN, TP และค่า COD ณ วันที่กึ่งกลางของระยะคงตัวเท่ากับร้อยละ 95.21, 93.35 และ 28.29 ตามลำดับ การขยายระยะเวลาเลี้ยงจุลสาหร่ายอีก 15 วันหลังจากสิ้นสุดการเลี้ยงในวันที่ 9 ซึ่งมีความเข้มข้นของ TN คงเหลือในน้ำเสียสังเคราะห์ร้อยละ 5 ของค่าเริ่มต้น ส่งผลให้ได้ผลผลิตแคโรทีนอยด์จำเพาะเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 10.0 เมื่อเปรียบเทียบกับ การเลี้ยงแบบกะ 14 วัน ทั้งนี้เป็นผลมาจากการขาดแคลน TN ในช่วงที่มีการขยายระยะเวลาเลี้ยง การเพิ่มความเข้มของแสงและระดับความเค็มของน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยการเติมเกลือ NaCl ช่วยกระตุ้นให้จุลสาหร่ายผลิตแคโรทีนอยด์เพิ่มมากขึ้น โดยการให้แสงที่มีความเข้มเพิ่มขึ้นจาก 3,500 เป็น 60,000 ลักซ์ ร่วมกับการเติม NaCl ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการบำบัดให้มีความเข้มข้นรวมเท่ากับ 300 mM พบว่าเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตแคโรทีนอยด์โดยมีผลผลิตแคโรทีนอยด์จำเพาะเพิ่มขึ้นอีกคิดเป็นร้อยละ 41.4 จากกรณีของการขาดแคลน TN เพียงปัจจัยเดียว ผลลัพธ์ที่ได้นี้ชี้ให้เห็นว่าจุลสาหร่าย *Chlorococcum humicola* มีศักยภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดในขั้นตอนทุติยภูมิและการผลิตแคโรทีนอยด์โดยทั้งสองขั้นตอนนี้สามารถดำเนินการต่อเนื่องกันได้



**ABSTRACT**

TITLE : CAROTENOID PRODUCTION IN THE MICROALGA *CHLOROCOCCUM HUMICOLA* WITH SYNTHETIC WASTEWATER IN AN AIRLIFT PHOTOBIOREACTOR

AUTHOR : ATCHARI KROMMUANG

DEGREE : DOCTOR OF PHILOSOPHY

MAJOR : ENVIRONMENTAL ENGINEERING

ADVISOR : ASST. PROF. CHATCHAI KUNYAWUT, Ph.D.

KEYWORDS : WASTEWATER TREATMENT, GREEN MICROALGAE, CAROTENIDS, PHOTOBIOREACTOR

Microalgae cultivation in municipal wastewater is an environmentally friendly approach for water pollution reduction and can be used to produce carotenoids, a bio-product with high market value. The objectives of this research were to determine the optimal initial cell density efficiency in synthetic municipal wastewater treatments which are similar to secondary treatments of standard municipal wastewater for TN (total nitrogen), TP (total phosphorus), and COD, and produce carotenoids by microalgae *Chlorococcum humicola* (TISTR 8551) cultured in a 10 L ALPBR light bioreactor. It was found that the optimum initial cell density for microalgae was a figure of  $6.12 \times 10^6 \pm 0.28 \times 10^6$  cell mL<sup>-1</sup> most suitable for synthetic wastewater having a TN:TP molar ratio of approximately 22.8:1. The TN, TP and COD concentration during a 7 day period was in accord with the standard wastewater treatment, and the efficacy for treating TN, TP and COD measured at a middle stationary growth period was 95.21, 93.35, and 28.29 percent, respectively. An extension the microalgae cultivation period for 15 days commenced from the end of the ninth cultivation day, with a residual concentration of TN remaining in the synthetic wastewater at about 5% of the initial concentration. This resulted in a 10.0% increase in specific carotenoid yields compared to 14-day batch cultures. This was due to TN deficiency during the extended period of cultivation. Increasing the light intensity and salinity level of the synthetic wastewater with the addition of NaCl salts stimulated the microalgae to

produce more carotenoids. By increasing the intensity of light from 3,500 to 60,000 lux in combination with the addition of NaCl in the treated synthetic wastewater to a total concentration of 300 mM, conditions were found to be optimal for carotenoid production. Specific carotenoid yields increased by 41.4% in the instance of TN deficiency. These results suggest that the microalgae *Chlorococcum humicola* has the potential for further treatment of secondarily treated municipal wastewater and to produce carotenoids, both of which can be performed in succession.

บทคัดย่อ

เรื่อง : พารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับรอยต่อชนในการเชื่อมเสียดทานแบบกวนของ อะลูมิเนียมผสมหล่อกิ่งของแข็ง เกรด 5083

ผู้วิจัย : กลไกโร นาโควงค์

ชื่อปริญญา : ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติมา ศิลปษา

คำสำคัญ : อะลูมิเนียมผสมหล่อกิ่งของแข็ง เกรด 5083, การเชื่อมเสียดทานแบบกวน, วิธีการทาทุชิ, พารามิเตอร์ที่เหมาะสม

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ของการเชื่อมที่มีผลต่อสมบัติทางกล โครงสร้างทางโลหะวิทยา และพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับรอยต่อชนในการเชื่อมเสียดทานแบบกวนของอะลูมิเนียมผสมหล่อกิ่งของแข็ง เกรด 5083 วิเคราะห์ค่าความแข็งแรงดึง ค่าความแข็ง ค่าความแข็งแกร่งต่อความล้าและโครงสร้างจุลภาค หาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยใช้เทคนิค Taguchi และการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ผลการวิจัยพบว่า พารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับค่าความแข็งแรงดึง คือ ความเร็วรอบการหมุนของเครื่องมือเชื่อม 1000 รอบต่อนาที ความเร็วเคลื่อนที่การเชื่อม 10 มิลลิเมตรต่อนาที และรูปทรงของเครื่องมือเชื่อมรูปทรงกระบอกเกลียว มีค่าความแข็งแรงดึง เท่ากับ 235.2 MPa นอกจากนี้ ค่าเฉลี่ยความแข็งบริเวณโซนกวน คือ ความเร็วรอบการหมุนของเครื่องมือเชื่อม 1200 รอบต่อนาที ความเร็วเคลื่อนที่การเชื่อม 10 มิลลิเมตรต่อนาที และรูปทรงของเครื่องมือเชื่อมรูปทรงกระบอกเกลียว มีค่าเฉลี่ยความแข็งบริเวณโซนกวน เท่ากับ 80.6 HV จากผลลัพธ์ที่ได้จาก ANOVA พบว่า ความเร็วเคลื่อนที่การเชื่อม เป็นพารามิเตอร์กระบวนการที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงดึง ในทางตรงกันข้าม ไม่มีพารามิเตอร์ใดที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งบริเวณโซนกวน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 การตรวจสอบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และเอ็กซ์เรย์สเปกโตรสโคปแบบกระจายพลังงาน (EDS) แสดงให้เห็นโครงสร้างเกรนที่ยาวขึ้นและเกิด Void defect ที่ปลายพินด้าน Advancing ในบริเวณโซนกวน การกระจายอนุภาคมีความสม่ำเสมอ ประกอบด้วยเฟส  $Al_2O_3$  และเฟส  $SiO_2$  นอกจากนี้ ปริมาณของธาตุ C, O, Al, F และ Mg ลดลงตามลำดับ

**ABSTRACT**

TITLE : OPTIMIZED PARAMETERS FOR BUTT JOINT IN FRICTION STIR  
WELDING OF SEMI-SOLID ALUMINUM ALLOY 5083

AUTHOR : KONKRAI NAKOWONG

DEGREE : DOCTOR OF PHILOSOPHY

MAJOR : INDUSTRIAL ENGINEERING

ADVISOR : ASST. PROF. KITTIMA SILLAPASA, Ph.D.

KEYWORDS : SEMI-SOLID METAL (SSM) 5083 ALUMINUM ALLOY, FRICTION STIR  
WELDING, TAGUCHI METHOD, OPTIMIZED PARAMETER

This research is experimental. The objective was to study the influence of welding parameters on the mechanical properties, metallurgical structure, and optimal parameters for butt joints in friction stir welding of semi-solid aluminum alloy 5083. The tensile strength, hardness, fatigue strength, and microstructure were analyzed. Optimal parameters were determined using Taguchi and Analysis of Variance (ANOVA) techniques. The results revealed that the optimal parameters obtained for tensile strength were a tool rotational speed of 1000 rpm, a welding speed of 10 mm/min, and a threaded cylindrical tool pin with a tensile strength of 235.2 MPa. In addition, the average hardness values in the stirring zone (SZ) were a tool rotational speed of 1200 rpm, a welding speed of 10 mm/min, and a threaded cylindrical tool pin with a mean hardness value in the SZ of 80.6 HV. According to the results obtained by ANOVA, it was found that the welding speed was the most significant process parameter in terms of influencing the tensile strength. On the contrary, no parameter influenced the average hardness values in the SZ at a statistically significant 0.05 level. The examination using scanning electron microscopy (SEM) and an energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS) revealed an elongated grain structure and void defects at the pin tip on the advancing side (AS) in the SZ. The particle distribution was uniform with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub> phases. Moreover, the quantities of C, O, Al, F, and Mg decreased accordingly.

บทคัดย่อ

เรื่อง : การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ขนถ่ายลำเลียงอเนกประสงค์ในอุตสาหกรรม  
สุขภาพ  
ผู้วิจัย : กิตติพงษ์ แสงบุตดี  
ชื่อปริญญา : ปรัชญาดุขฎิบัณฑิต  
สาขาวิชา : วิศวกรรมอุตสาหการ  
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิต ภูนิคม  
คำสำคัญ : อุปกรณ์ขนถ่ายลำเลียงอเนกประสงค์, การออกแบบและพัฒนา, เครื่องมือทาง  
วิศวกรรม, หลักการการยศาสตร์, อุตสาหกรรมสุขภาพ

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบอุปกรณ์ การยกขึ้นลงในแนวตั้ง สำหรับใน  
อุตสาหกรรมเพื่อสุขภาพ โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพเพื่อสิ่งแวดล้อม  
(Quality Function Deployment(QFD)) เพื่อในการออกแบบอุปกรณ์การยกขึ้นลงในแนวตั้ง ให้  
ตอบสนองต่อ กลุ่มผู้ใช้งานการดำเนินงานวิจัยนี้ เริ่มต้นจาก การศึกษาข้อมูลของผู้ใช้งาน คือเจ้าหน้าที่  
ในธนาคารคลังกลางเลือด โรงพยาบาลศรีนครินทร์ จังหวัดขอนแก่น แผนงานเตรียมส่วนประกอบ  
ของเลือด ในกระบวนการปั่นเลือด การออกแบบอุปกรณ์การยกขึ้นลงในแนวตั้ง ให้มี รูปร่าง และ  
ลักษณะการใช้งาน ที่เที่ยงตรงต่อความต้องการของผู้ใช้งานเพื่อเป็นข้อมูลในการกำหนด กลุ่มตัวอย่าง  
ในการดำเนินงานวิจัย จากนั้นจึง ทำการศึกษาเสียงความต้องการของผู้ใช้งาน (Voice of Customer:  
VOC) และทำการออกแบบสอบถามเพื่อหาคะแนน ความสำคัญในแต่ละความต้องการของผู้ใช้งานซึ่ง  
ข้อมูลความต้องการของผู้ใช้งาน และ คะแนนความสำคัญจะนำไป เป็นข้อมูล ในการวิเคราะห์ด้วย  
เทคนิค QFD การวิเคราะห์เทคนิค แยกออกเป็น 2 เมตริกซ์คือ (1) เมตริกซ์การวางแผนระบบการปั่น  
เลือด ด้วยการแปลงความ ต้องการของผู้มีส่วนผู้ใช้งาน ให้เป็นความต้องการด้านทางเทคนิค  
(2) เมตริกซ์เพื่อการออกแบบ ให้เป็นความต้องการทางด้านเทคนิค หลังจากนั้นจึงนำเป้าหมาย ด้าน  
ทางเทคนิค ไปออกแบบอุปกรณ์การยกขึ้นลงในแนวตั้ง ให้ตรงต่อความต้องการของผู้ใช้งาน จาก  
ผลงานวิจัยพบว่าเป้าหมายด้านทางเทคนิค ที่มีระดับความสำคัญมากที่สุด 5 อันดับแรกคือ อุปกรณ์  
ควบคุมมีคุณภาพและมาตรฐาน 18.54 ล้อมีความแข็งแรงไม่ลื่น 18 วัสดุโครงสร้างเป็นมิตรกับ  
สิ่งแวดล้อม 16.05 ระบบมีความยืดหยุ่น 12.64 และ ความคงทนของชิ้นส่วน 11.07

**ABSTRACT**

TITLE : DESIGN AND DEVELOPMENT OF MULTITY PROPOSE HANDLING  
EQUIPMENT IN HEALTH INDUSTRY

AUTHOR : KITTIPONG SANGBUDDEE

DEGREE : DOCTOR OF PHILOSOPHY

MAJOR : INDUSTRIAL ENGINEERING

ADVISOR : ASST.PROF. KITTIMA SILLAPASA, Ph.D.

KEYWORDS : QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT (QFD), VERTICAL LIFTING  
DEVICES

This research aimed to design vertical lifting devices in the healthcare industry. Quality Function Deployment (QFD) was applied to design vertical lifting devices that can meet users' requirements. Methodologically, the first step was to collect information about the users who are the staff at the blood component preparation department of the Blood Transfusion Centre, Srinagarind Hospital, Khon Kaen, and to study the design of vertical lifting devices with an appearance and function that meet user needs. Second, the researcher identified the "Voice of the Customer" (VOC) and drew up questionnaires to determine the important requirements according to user ratings. Moreover, user requirements and ratings were analyzed by means of QFD. This technique consists of 2 matrices: (1) a planning matrix that translates user requirements into technical specifications and (2) a part deployment matrix that translates technical specifications into technical goals applied to design vertical lifting devices to fulfill users' needs. The results of the research indicated that the top 5 most important technical targets are 1.) qualified device controllers (18.54), 2.) strong and no-slip wheels (18), 3.) eco-friendly materials (16.05), 4.) a flexible system (12.64), and 5.) durability of parts (11.07).

บทคัดย่อ

เรื่อง : การหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการนำหัวเชื่อมลวดทองคำมาใช้ซ้ำเพื่อลดต้นทุนในกระบวนการเชื่อมลวดทองคำ โดยการออกแบบการทดลอง

ผู้วิจัย : ฉัตรพล พิมพา

ชื่อปริญญา : ปรัชญาดุฆฎิบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ สินธุเชาวน์

คำสำคัญ : การเชื่อมลวดทองคำ, การลดต้นทุน, การออกแบบการทดลอง, การหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอวิธีการและผลการทดลองจากการนำหัวเชื่อมลวดทองคำที่หมดอายุมาใช้ในกระบวนการเชื่อมลวดทองคำของการผลิต IC Packaging โดยใช้การออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิต ซึ่งงานวิจัยจะศึกษาค่ามาตรฐานของการเชื่อมลวดทองคำ 2 ประเภทคือ ค่าแรงดึงและค่าแรงเฉือน โดยศึกษาปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อมาตรฐานของการเชื่อมลวดทองคำจำนวน 5 ปัจจัย ประกอบด้วย แรงกดในการเชื่อมลวดทองคำ (Bond force) เวลาในการเชื่อมลวดทองคำ (Bond time) ค่าพลังงานที่ใช้ในการสันสะเทือนแบบอัลตราโซนิก (USG Power) ค่ากระแสที่ปล่อยผ่าน Electronic Flame Off (EFO) เพื่อหลอมลวดทองคำ (EFO current) และค่าระยะห่างระหว่าง EFO กับลวดทองคำให้ช่วงที่หลอมละลายลวด (EFO gap)

ผลจากการวิจัยนั้นแสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่ามาตรฐานของการเชื่อมลวดทองคำเมื่อนำหัวเชื่อมลวดทองคำมาใช้ซ้ำจำนวน 1 ปัจจัย คือ แรงกดในการเชื่อมลวดทองคำ (Bond force) สำหรับผลของสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยสำหรับค่ามาตรฐานแรงดึงคือการปรับตั้งค่าแรงกดในการเชื่อมลวดทองคำ (Bond force) เท่ากับ 82 กรัมและเวลาในการเชื่อมลวดทองคำ (Bond time) 2.1 มิลลิวินาที ซึ่งจะทำให้ได้ค่าแรงดึงสูงสุดที่ 23.62 กรัม และผลการหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของค่ามาตรฐานแรงเฉือนคือ การปรับตั้งค่าแรงกดในการเชื่อมลวดทองคำ (Bond force) เท่ากับ 90 กรัมและเวลาในการเชื่อมลวดทองคำ (Bond time) 1 มิลลิวินาที ค่าพลังงานที่ใช้ในการสันสะเทือนแบบอัลตราโซนิก (USG current) 50 มิลลิแอมป์ ค่ากระแสที่ปล่อยผ่าน EFO เพื่อหลอมลวดทองคำ (EFO current) 50 มิลลิแอมป์และค่าระยะห่างระหว่าง EFO กับลวดทองคำให้ช่วงที่หลอมละลายลวด (EFO gap) 35 ไมครอนซึ่งจะทำให้ได้ค่าแรงเฉือนสูงสุดที่

54.13 กรัม โดยผลการใช้สภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวนี้จะทำให้หัวเชื่อมลวดทองคำที่หมดอายุสามารถใช้งานได้มากขึ้นกว่าเดิมร้อยละ 56 โดยที่ไม่ส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงานที่ผลิต



**ABSTRACT**

TITLE : FINDING OPTIMAL CONDITIONS FOR REUSE OF THE GOLD WIRE BONDING CAPILLARY TO REDUCE PRODUCTION COST IN THE GOLD WIRE BONDING PROCESS BY DESIGNS OF EXPERIMENT

AUTHOR : CHATPON PHIMPHA

DEGREE : DOCTOR OF PHILOSOPHY

MAJOR : INDUSTRIAL ENGINEERING

ADVISOR : ASST. PROF. SOMBAT SINDHUCHARO, Ph.D.

KEYWORDS : GOLD WIRE BONDING, COST REDUCTION, DESIGN OF EXPERIMENT OPTIMIZATION

The objective of this research is to propose methods and experimental results from using expired gold wire welding heads in the gold wire welding process for IC packaging production using an experimental design to determine optimal conditions for the manufacturing process. The research studied the two types of standard values for gold wire welding: tensile and shear strength. Five factors expected to affect the standard of gold wire welding were studied: welding pressure (bond force), welding time (bond time), energy values used in ultrasonic vibrations (USG Power), current emitted through Electronic Flame Off (EFO) to melt gold wire (EFO current), and the distance between the EFO and the gold wire provides the wire melting range (EFO gap). Results indicated that the one factor that had a statistically significant effect on the standard value of gold wire welding when reusing a gold electrode was the welding pressure (bond force). The optimal conditions for tensile stress are a gold wire welding pressure (bond force) at 82 g., the duration for gold wire welding (bond time) was 2.1 ms. resulting in maximum tensile strength of 23.62 g. and optimal conditions for gold wire welding shear strength is pressure (bond force) at 90 g., gold wire welding duration (bond time) was 1 ms, energy values used in ultrasonic vibrations (USG current) were at 50 mA., the EFO current emitted to melt gold wire (EFO current) was at 50 mA. and the distance between the EFO and the gold wire provides a wire melting range (EFO gap) of 35  $\mu$  and results in maximum shear

strength of 54.13 g. By employing such optimum conditions, the expired gold wire welding heads can be used 56% more without affecting the quality of the work piece produced.

บทคัดย่อ

เรื่อง : การประเมินตัวแปรที่ส่งผลต่อคุณภาพรอยเชื่อมอะลูมิเนียมหล่อกิ่งของแข็ง  
เกรด 6063 จากการเชื่อมเสียดทานแบบกวน

ผู้วิจัย : ชัยยุทธ มีงาม

ชื่อปริญญา : ปรัชญาดุษฐ์บัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติมา ศิลปะษา

คำสำคัญ : การเชื่อมเสียดทานแบบกวน, อะลูมิเนียมหล่อกิ่งของแข็ง เกรด 6063,  
การออกแบบการทดลอง, โครงสร้างก้อนกลม

งานวิจัยนี้ศึกษาการเชื่อมเสียดทานแบบกวนของอะลูมิเนียมหล่อกิ่งของแข็ง เกรด 6063 ที่ส่งผลต่อคุณภาพรอยเชื่อม ตัวแปรในการทดลอง ได้แก่ ความเร็วรอบในการหมุนเชื่อมที่ 1110, 1320, 1750 และ 2200 รอบต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อมที่ 30, 60, 90 และ 120 มิลลิเมตรต่อนาที และรูปทรงของเครื่องมือกวนแบบทรงกระบอก แบบทรงสามเหลี่ยม แบบทรงสี่เหลี่ยม แบบทรงห้าเหลี่ยม ตามลำดับ ชิ้นงานเชื่อมเตรียมรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ขนาด 75x150x6 ลูกบาศก์มิลลิเมตรจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานหลังการเชื่อมเสียดทานแบบกวนมีความสมบูรณ์ที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามพบว่าชิ้นงานในทุกการทดลองมีการเชื่อมประสานเข้ากันได้ดี ผลการทดสอบแรงดึงแสดงให้เห็นว่าค่าแรงดึงเฉลี่ยสูงสุดมีค่า 123.59 MPa ประสิทธิภาพรอยต่อ 82.95 เปอร์เซ็นต์ จากความเร็วรอบในการหมุนกวน 1320 รอบต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อม 60 มิลลิเมตรต่อนาที ในทางตรงกันข้ามความเร็วรอบในการหมุนกวน 1100 รอบต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อม 120 มิลลิเมตรต่อนาที ของเครื่องมือกวนรูปทรงสามเหลี่ยม ให้ค่าแรงดึงเฉลี่ยต่ำสุด มีค่าที่ 47.93 MPa ประสิทธิภาพรอยต่อ 32.17 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ผลจากการวิเคราะห์ความร้อนด้วยระเบียบวิธีวิจัยไฟไนต์อีลิเมนต์พบว่าบริเวณรอยเชื่อม (ใต้บ่าเครื่องมือกวน) เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 530 องศาเซลเซียสการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคพบว่าอนุภาคของสารละลายของแข็งเดิมของ  $Al_5FeSi$  มีขนาด 79–114 ไมโครเมตร แต่เกิดการแตกหักจากความร้อนและแรงกระทำทางกลทำให้ขนาดลดลงที่ 8–13 ไมโครเมตร มีลักษณะเกรนละเอียด สูดท้ายจากการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อประเมินระดับความเชื่อมั่นในการทดลองของงานวิจัยนี้ พบว่าที่ระดับนัยสำคัญ ( $\alpha$ ) 0.05 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 95.09 เปอร์เซ็นต์

## ABSTRACT

TITLE : EVALUATION OF PARAMETERS AFFECTING THE WELD QUALITY OF SEMI-SOLID METAL 6063 ALUMINUM ALLOY USING FRICTION STIR WELDING

AUTHOR : CHAIYOOT MEENGAM

DEGREE : DOCTOR OF PHILOSOPHY

MAJOR : INDUSTRIAL ENGINEERING

ADVISOR : ASST. PROF. KITTIMA SILLAPASA, Ph.D.

KEYWORDS : FRICTION STIR WELDING, SSM 6063 ALUMINUM ALLOY, EXPERIMENTAL DESIGN, GLOBULAR MICROSTRUCTURE

The research studied the friction stir welding (FSW) of semi-solid cast aluminum alloy 6063 affecting weld quality. The variables in the experiment involved rotation speeds at 1110, 1320, 1750, and 2200 rpm, welding speeds at 30, 60, 90, and 120 mm/min, and the pin tool's geometric shape - cylindrical, triangular, square, and pentagonal respectively. Welded rectangular samples with dimensions of 75x150x6 cubic millimeters were prepared. The results showed that the physical characteristics of the samples after FSW were different, however, the samples from all experiments were strongly bonded. With a rotational speed of 1320 rpm and a 60 mm/min welding speed, the average maximum tensile strength was 123.59 MPa, with 82.95 percent joint efficiency. In contrast, the use of the triangular tool at a rotational speed of 1100 with a 120 mm/min welding speed resulted in a minimum average tensile strength of 47.93 MPa, and 32.17 percent joint efficiency. The results of thermal analysis using finite element methodology revealed that at the area of the SZ (under the shoulder of the tool) the maximum temperature change was about 530°C. Microstructural examination revealed that the base particles of the solid solution of  $Al_3FeSi$  were 79–114  $\mu m$  in size, and when fractured by thermal and mechanical forces, the size was reduced to 8–13  $\mu m$  and became finely grained. Finally, the statistical analysis of the tensile strength had a significance level ( $\alpha$ ) of 0.05 with a coefficient of determination ( $R^2$ ) of 95.09 percent.

## บทคัดย่อ

เรื่อง : การศึกษาและพัฒนาเครื่องต้นแบบบีบแยกส่วนประกอบโลหิตในอุตสาหกรรม  
สุขภาพ

ผู้วิจัย : วรวิทย์ สงวนพันธ์

ชื่อปริญญา : ปรัชญาดุฆฎิบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิตกร ภูนิคม

คำสำคัญ : เครื่องบีบแยกส่วนประกอบโลหิต, การศึกษาและพัฒนาเครื่องต้นแบบ,  
เครื่องมือทางวิศวกรรม, อุตสาหกรรมสุขภาพ

วิทยานิพนธ์เพื่อศึกษาวัตถุประสงค์ระบบวัดและประเมินกระบวนการบีบแยกส่วนประกอบในห้องปฏิบัติการเตรียมส่วนแยกของเลือด คลังเลือดกลาง โรงพยาบาลศรีนครินทร์ พบว่า ปัญหาหลักในกระบวนการบีบแยกเลือดได้แก่ เครื่องจักรใช้งานไม่เต็มประสิทธิภาพใช้งานไม่คุ้มค่ากับงบประมาณที่ลงทุนประกอบกับเครื่องจักรมีความซับซ้อนในการใช้ มีราคาแพง และมีเงื่อนไขการใช้งานที่จำกัด ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมมาช่วยในการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ปัญหา หาต้นเหตุปัญหา และได้แนวทางการแก้ไขปัญหารวมทั้งเลือกแนวทางที่เหมาะสมมาใช้อย่างเป็นระบบ วิธีการดำเนินการวิจัยเริ่มจากการรวบรวมปัจจัยที่ส่งผลต่อการออกแบบพัฒนาเครื่องบีบแยกส่วนประกอบของเลือด โดยใช้ผู้เชี่ยวชาญเข้าร่วมในการระดมสมองและมีการยืนยันผลการวิจัยที่ถูกต้อง จากนั้นนำปัจจัยที่ได้ไปจัดกลุ่มและเป็นปัจจัยหลักและปัจจัยรอง พร้อมกลั่นกรองปัจจัยดังกล่าวให้มีความสอดคล้องตรงประเด็นและสามารถนำไปใช้งาน จากนั้นนำไปสู่กระบวนการออกแบบและพัฒนาโดยประยุกต์หลักการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) ร่วมกับการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (AHP) โดยการแปลงความต้องการซึ่งหาได้จากปัจจัยข้างต้น โดยนำมาจัดลำดับความสำคัญโดยผู้เชี่ยวชาญซึ่งต้องเป็นความต้องการของลูกค้า/ผู้บริโภค ซึ่งเป็นเสาที่ 1 ของบ้านคุณภาพ จากนั้นผู้วิจัยได้แสดงวิธีการประยุกต์ใช้ QFD อย่างเป็นขั้นตอน จนได้แบบพิมพ์เขียวและนำมาสู่เครื่องต้นแบบ นำเครื่องต้นแบบไปตรวจสอบความถูกต้อง โดยนำเครื่องต้นแบบไปใช้งานและให้ผู้ใช้งานได้ประเมินคุณลักษณะของเครื่องต้นแบบว่าเหมาะสมกับความต้องการของลูกค้า (เริ่มต้น) มากน้อยเพียงใดจากการวิเคราะห์เพื่อยืนยันผลความถูกต้องของเครื่องบีบแยกส่วนประกอบของเลือดที่พัฒนาขึ้นในภาพรวมโดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่า คะแนนความพึงพอใจต่อคุณลักษณะเครื่องต้นแบบที่มีระดับสูงสุด 5 อันดับแรก ได้แก่ง่ายต่อการทำความสะอาด สามารถตรวจเช็คการปนเปื้อนของเม็ดเลือดแดงได้แม่นยำ มีระบบการตรวจจับปริมาณพลาสมา ได้แก่ ลดระยะเวลาในการทำงาน สามารถควบคุมการทำงานง่าย (ไม่ซับซ้อน)

ผลการยืนยันการตรวจสอบความถูกต้องบ่งบอกถึงการออกแบบและการพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้เครื่องต้นแบบมีราคาดลดลง 50% น้ำหนักของเครื่องลดลง 50% มีการใช้งานที่สะดวกไม่ซับซ้อน มีความคุ้มค่าต้องใช้งานทั้งการซื้อเริ่มแรกและการบำรุงรักษา มีความง่ายในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งในการทำงาน

**ABSTRACT**

TITLE : STUDY AND DEVELOPMENT OF THE PROTOTYPE EQUIPMENT FOR BLOOD SEPARATOR IN HEALTHY INDUSTRY

AUTHOR : WARAVIT SAGUANPHAN

DEGREE : DOCTOR OF PHILOSOPHY

MAJOR : INDUSTRIAL ENGINEERING

ADVISOR : ASST.PROF. KANISORN PHUNIKOM, Ph.D.

KEYWORDS : BLOOD SEPARATION MACHINE, STUDY AND DEVELOPMENT OF PROTOTYPE, ENGINEERING TOOLS, HEALTH INDUSTRY

This thesis aims to examine the measurement system, extraction process and overall evaluation of laboratory blood separation at Central Blood Storage, Srinagarin Hospital. The principal problems found were that the machines are inefficient, expensive, complicated to use, have limited operating conditions and are not worth the investment. Engineering tools were applied to help gather information and analyze problems, identify the cause, find solutions and selecting the appropriate solution. The research began by assembling the factors affecting the design of the blood separator. Expert brainstorming confirmed the correct results. The factors obtained were then categorized as “primary” and “secondary”. Consistent, relevant, and applicable factors were examined leading to a design and development process that applied the qualitative function conversion (QFD) principle with hierarchical analysis (AHP) by demand conversion, which can be obtained from the above factors. The experts prioritized the needs of the consumer as the first principle of quality. The researcher then demonstrated a step-by-step application of QFD until getting a blueprint and creating a prototype to check the appropriateness of the process. The prototype was used to ascertain its appropriateness for consumer use along with an analysis of the accuracy of the blood separator. The top five categories for prototype operation were 1) ease of cleaning, 2) accuracy of blood cell contamination readings 3) plasma detection, 4) reduction of work time and 5) ease of operation. The

validation of the results showed the effectiveness of the prototype. This resulted in a 50% reduction in the price and weight of the prototype machine. It was found to be cost-effective, and convenient to use. The working position is also easily adjusted.



บทคัดย่อ

- เรื่อง : วิธีการแปรผันกลยุทธ์ในการหาคำตอบใกล้เคียงแบบปรับค่าได้หลาย  
วัตถุประสงค์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของการเชื่อมเสียดทานแบบ  
กวนของอะลูมิเนียมหล่อกิ่งของแข็ง ADC12
- ผู้วิจัย : ศุภชัย ชัยณรงค์
- ชื่อปริญญา : ปรัชญาดุชะฎิบัณฑิต
- สาขาวิชา : วิศวกรรมอุตสาหการ
- อาจารย์ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส
- คำสำคัญ : การเชื่อมเสียดทานแบบกวน, หลายวัตถุประสงค์, อะลูมิเนียมหล่อกิ่งของแข็ง  
ADC12

งานวิจัยนี้นำเสนออัลกอริทึมใหม่ในการค้นหาพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดของการเชื่อมเสียดทานแบบกวน เพื่อให้ได้ความแข็งแรงดึงและแรงดัดสูงสุดของรอยเชื่อมต่อชนที่ทำมาจากอะลูมิเนียมหล่อกิ่งของแข็ง ADC12 โดยมีพารามิเตอร์ในการเชื่อมที่สนใจ ได้แก่ ความเร็วรอบเครื่องมือกวน ความเร็วในการเดินเชื่อม มุมเอียงของเครื่องมือกวน รูปทรงของเครื่องมือกวน และทิศทางการหมุนของเครื่องมือกวน ผู้วิจัยใช้วิธีการแปรผันกลยุทธ์ในการหาคำตอบใกล้เคียงแบบปรับค่าได้หลายวัตถุประสงค์เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด โดยเลือกใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบ D-optimal ในการสร้างแบบจำลองของสมการถดถอยของทั้งสองวัตถุประสงค์ หลังจากนั้นนำวิธีการแปรผันกลยุทธ์ในการหาคำตอบใกล้เคียงแบบปรับค่าได้หลายวัตถุประสงค์ใช้หา Pareto front ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และนำวิธีการ TOPSIS ใช้หาพารามิเตอร์ที่มีแนวโน้มดีที่สุด ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากวิธีการแปรผันกลยุทธ์ในการหาคำตอบใกล้เคียงแบบปรับค่าได้หลายวัตถุประสงค์ของความต้านทานและแรงดัด ซึ่งมีค่าความแตกต่างจากการทดลองจริง 2.13-10.27% ซึ่งดีกว่าของวิธีทางพันธุกรรม (GA) วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (DE) และวิธีแบบ D-optimal พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ได้รับจากวิธีการแปรผันกลยุทธ์ในการหาคำตอบใกล้เคียงแบบปรับค่าได้หลายวัตถุประสงค์ คือ ความเร็วรอบเครื่องมือกวน 1469.44 รอบต่อนาที ความเร็วในการเดินเชื่อม 80.35 มม./นาที มุมเอียงของเครื่องมือกวน 1.01° รูปทรงของเครื่องมือกวน แบบทรงกระบอก และทิศทางการหมุนของเครื่องมือกวนแบบหมุนตามเข็มนาฬิกา

**ABSTRACT**

TITLE : MULTI-OBJECTIVE VARIABLE NEIGHBORHOOD STRATEGY ADAPTIVE  
SEARCH FOR TUNING OPTIMAL PARAMETERS OF SEMI-SOLID  
METAL ADC 12 ALUMINUM FRICTION STIR WELDING

AUTHOR : SUPPACHAI CHAINARONG

DEGREE : DOCTOR OF PHILOSOPHY

MAJOR : INDUSTRIAL ENGINEERING

ADVISOR : PROF. RAPEEPAN PITAKASO, Ph.D.

KEYWORDS : FRICTION STIR WELDING, MULTI-OBJECTIVE, SSM-ASC 12

This research presents a new algorithm for finding the most promising parameters of friction stir welding to maximize the ultimate tensile strength (UTS) and maximum bending strength (MBS) of a butt joint made of semi-solid metal (SSM) ADC12 aluminum. The relevant welding parameters are rotational speed, welding speed, tool tilt, tool pin profile, and rotation direction. The researcher used a multi-objective variable neighborhood strategy adaptive search (MOVaNSAS) to find the optimal parameters. The D-optimal is used to find the regression model to predict for both objectives subjected to the given range of parameters. Subsequently, MOVaNSAS is used to find the Pareto front of the objective functions, and the Technique for Order Preference by Similarity to the Ideal Solution (TOPSIS) is used to find the most promising set of parameters. The computational results show that the UTS and MBS of MOVaNSAS generate a 2.13 to 10.27% better solution than those of the genetic algorithm (GA), differential evolution algorithm (DE), and D-optimal solution. The optimal parameters obtained from MOVaNSAS are a stirring tool rotation speed of 1469.44 rpm, a welding speed of 80.35 mm/min, a tool tilt of 1.01°, a tool pin profile as cylindrical, and a clockwise rotational direction.