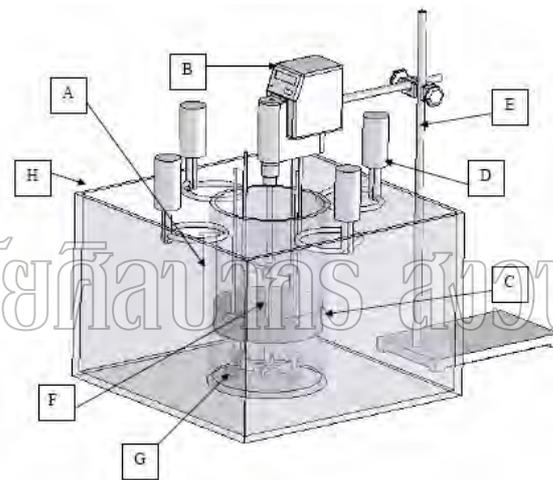


บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

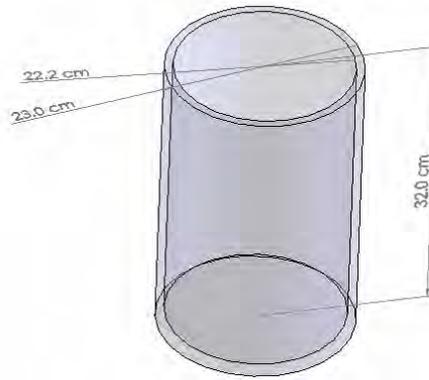
4.1 การออกแบบและนำอุปกรณ์มาประกอบเป็นระบบ

จากการทดลองออกแบบระบบการแยกพลาสติก HIPS และ ABS ที่ใช้ในเทคนิค froth flotation แสดงได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงการออกแบบระบบการแยกพลาสติก HIPS และ ABS ที่ใช้ในเทคนิค froth flotation

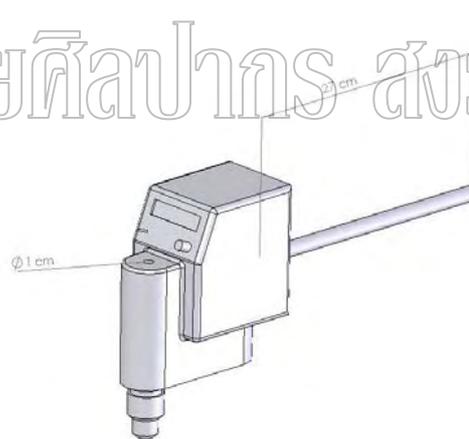
ส่วนประกอบ A คือ ตัวถังแก้วใบในรูปทรงกระบอก มีความยาวเส้นผ่านศูนย์กลาง 22.2 เซนติเมตร มีความสูง 32.0 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงส่วนประกอบ A ซึ่งเป็นตัวถังแก้วใบใน

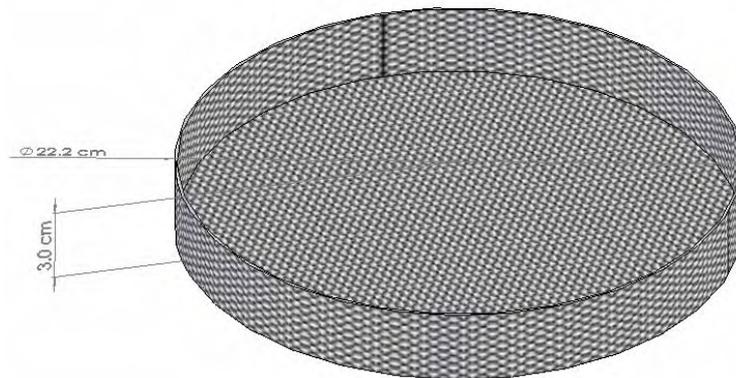
B คือ มอเตอร์ใช้ในการควบคุมอัตราเร็วในการกวาดแสดงดังรูปที่ 4.3 โดยมอเตอร์ที่เลือกใช้สามารถปรับเปลี่ยนอัตราเร็วในการหมุนได้สูงสุดเท่ากับ 2,000 รอบต่อนาที แสดงการวัดเป็นระบบตัวเลขเทียบความเร็วรอบเป็นระดับความเร็ว 10 ระดับ

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



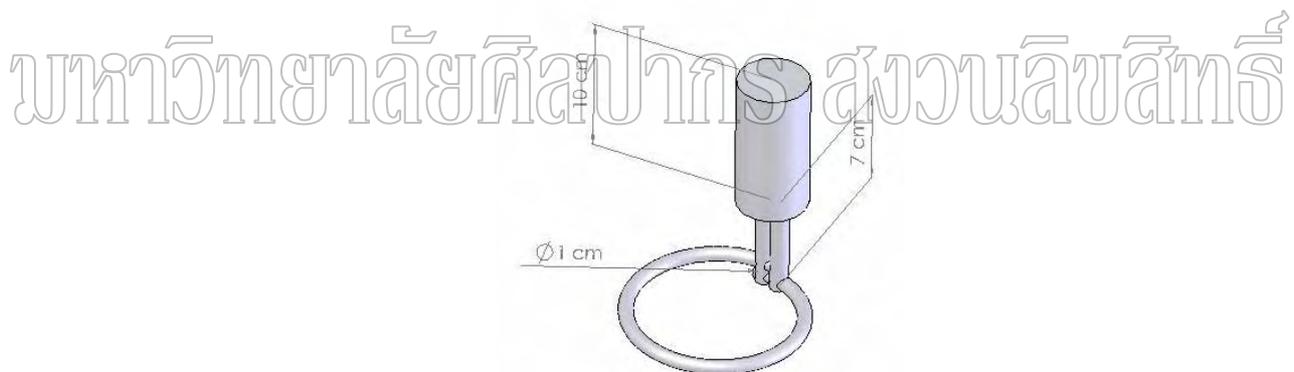
รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะของมอเตอร์ซึ่งเป็นส่วนประกอบ B

C คือ ตะแกรงควบคุมฟองอากาศและรองรับพลาสติกแสดงดังรูปที่ 4.4 โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูของตะแกรงมีค่าประมาณ 2 มิลลิเมตร หากตะแกรงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูขนาดเล็กกว่านี้ ฟองอากาศจะไม่สามารถผ่านรูของตะแกรงขึ้นมาได้อย่างสม่ำเสมอ แต่ถ้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูของตะแกรงมีขนาดใหญ่กว่านี้ เม็ดพลาสติกจะหล่นลงไปได้ตะแกรงเป็นจำนวนมาก เนื่องจากขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดพลาสติกรูปทรงกระบอกนั้น มีขนาดเท่ากับ 2.5 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะส่วนประกอบ C ซึ่งเป็นตะแกรงควบคุมฟองอากาศและรองรับพลาสติก

D คือ แท่งให้ความร้อนซึ่งจะต่อเข้ากับตัวควบคุมอุณหภูมิ โดยจะสามารถปรับเปลี่ยนการควบคุมอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 30°C ถึง 500°C มีลักษณะของแท่งให้ความร้อนแสดงดังรูปที่ 4.5



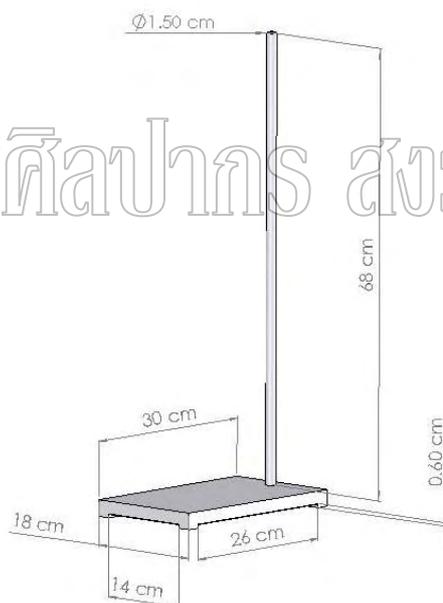
รูปที่ 4.5 แสดงส่วนประกอบ D ซึ่งเป็นแท่งให้ความร้อน

ส่วนประกอบ E คือ โครงเหล็กที่ใช้ติดตั้งมอเตอร์ ซึ่งจะสามารถเลื่อนเปลี่ยนระดับความสูงและหมุนเปลี่ยนตำแหน่งของมอเตอร์ได้ทำให้เกิดความสะดวกในการถอดใบกวนออกเมื่อทำการแยกพลาสติกเสร็จ มีลักษณะเป็นขาตั้งเหล็กที่ใช้ในห้องทดลองทั่วไปดังรูปที่ 4.6

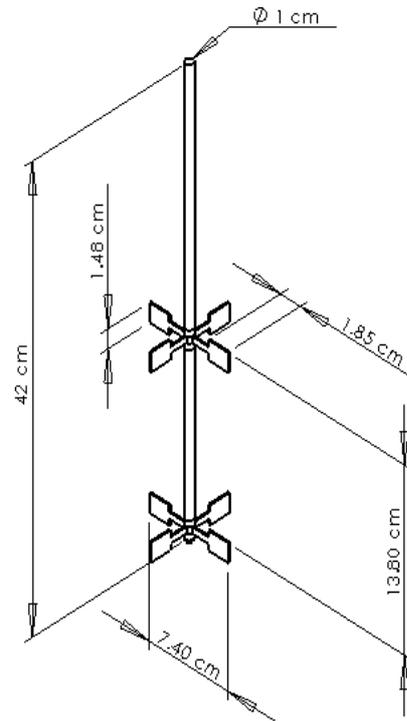
F คือ แท่งใบกวน stainless steel มีลักษณะเป็น turbine 2 ชั้น ชั้นละ 4 ใบพาย (ระบบการกวนแบบไม่มีครีบทีตัวถัง) ทั้งนี้ ใบกวนด้านล่างจะใช้ในการกระจายฟองอากาศจากลูกทรายแต่ละลูกให้มีการกระจายตัวสม่ำเสมอ ส่วนใบกวนด้านบนจะทำหน้าที่กระจายเม็ดพลาสติกไม่ให้เกาะกลุ่มกัน เนื่องจากในกรณีที่ไม่มีใบกวนให้กวนกับระบบ จะสังเกตเห็นว่าเม็ดพลาสติกทั้งชนิดจะเกาะ

กลุ่มกันทำให้สามารถแยกพลาสติกทั้งสองออกจากกันได้ไม่มากเท่าที่ควร[5] นอกจากนี้ใบกวนตัวบนยังทำหน้าที่ช่วยกระจาย reagent ไปที่ผิวของพลาสติกได้ดียิ่งขึ้น แท่งกวนและใบกวนทำจากวัสดุ stainless steel เบอร์ 304 เนื่องจากสภาวะที่ใช้ในการทดลองเป็นสภาวะเบสที่ค่อนข้างแรง ซึ่งวัสดุ stainless steel ชนิดนี้ จะสามารถทนทานต่อการกัดกร่อนได้ดี ไม่เปราะหรือแตกหักได้ง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุที่เป็นแก้ว โดยขนาดของใบกวนแสดงดังรูปที่ 4.7

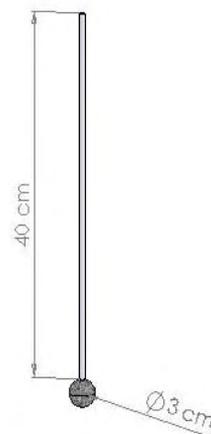
ส่วนประกอบ G คือ ท่อพลาสติก และลูกทรายปล่อยฟองอากาศแสดงในรูปที่ 4.8 และส่วนประกอบ H คือ ตัวถังแก้วใบนอกใช้สำหรับใส่น้ำเพื่อปรับอุณหภูมิของระบบแสดงในรูป 4.9 ซึ่งภายในถังจะทำการติดตั้งปั้มน้ำเพื่อทำให้เกิดน้ำวนในถังใบนอก ทำให้เกิดการการถ่ายเทความร้อนอย่างทั่วถึงทั้งระบบ ซึ่งการที่ถังใบนอก และใบในเป็นแก้วนั้น จะทำให้แสงทะลุผ่านสามารถสังเกตเห็นสิ่งที่เกิดขึ้นในระบบระหว่างการทดลองได้อย่างชัดเจน



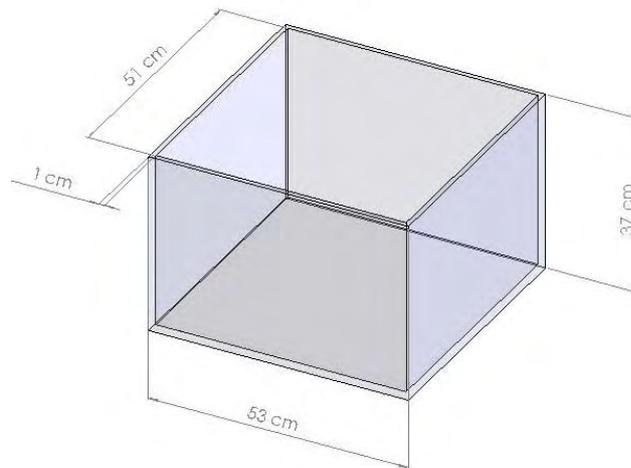
รูปที่ 4.6 แสดงส่วนประกอบ E ซึ่งเป็นโครงเหล็กที่ใช้ติดตั้งมอเตอร์



รูปที่ 4.7 แสดงลักษณะของส่วนประกอบ F ซึ่งเป็นแท่งโบริกวน stainless steel

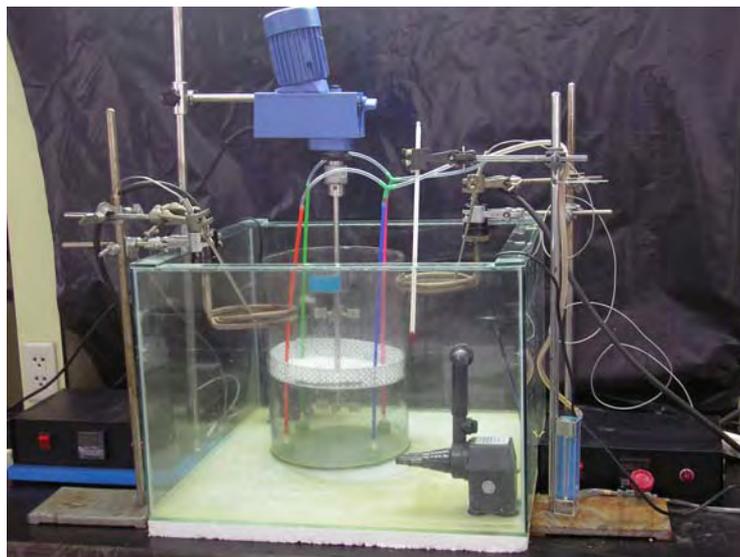


รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะของส่วนประกอบ G ซึ่งเป็นแกนท่ออากาศ และลูกทรายปล่อยฟองอากาศ



รูปที่ 4.9 แสดงส่วนประกอบ H ซึ่งเป็นถังแก้วใบนอก

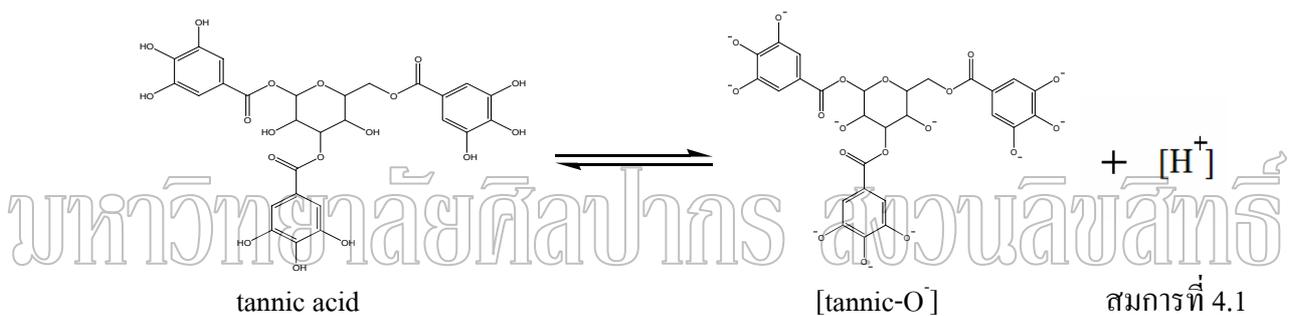
โดยจากแบบที่เขียนไว้นั้น เมื่อนำอุปกรณ์ต่างๆ มาประกอบเข้ากันเป็นระบบที่ใช้จริง จะได้ดังรูปที่ 4.10 ในส่วนของการปล่อยฟองนั้น จะป้อนอากาศผ่านวาล์วและเครื่องวัดอัตราการไหล เพื่อควบคุมอัตราการไหลของอากาศก่อนที่จะผ่านเข้าสู่ท่อพลาสติกต่อไปยังลูกทรายเพื่อทำให้เกิดฟองอากาศ



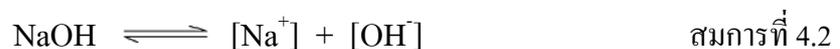
รูปที่ 4.10 แสดงระบบการแยกพลาสติก HIPS และ ABS ที่ใช้ในเทคนิค froth flotation

4.2 ผลการปรับเปลี่ยนสถานะในการแยกพลาสติก

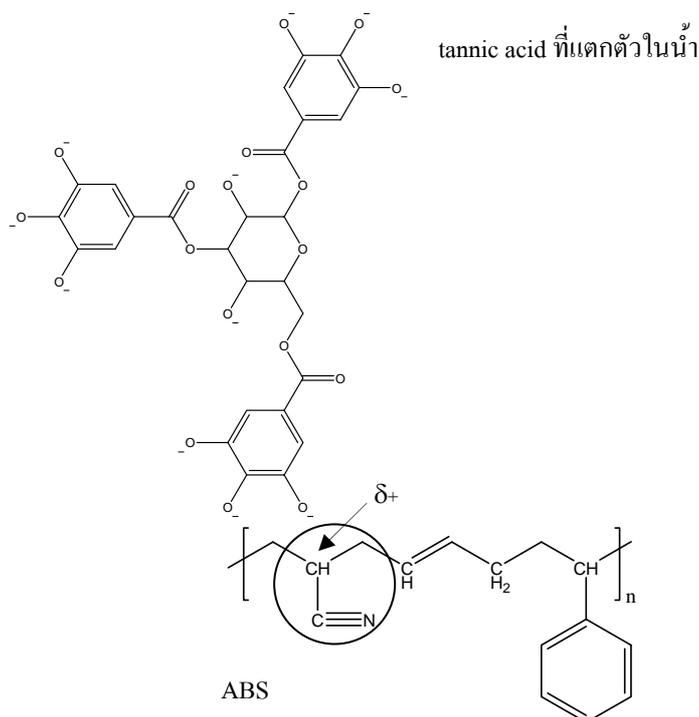
ในระหว่างการทดลองที่มีการปรับเปลี่ยนสถานะต่างๆ สำหรับการแยกพลาสติก HIPS และ ABS นั้น พบว่า ทุกสถานะการทดลอง พฤติกรรมการแยกออกของพลาสติกจะเป็นดังนี้ คือ ในตอนแรกของการแยก เมื่อเทพลาสติกผสมลงในสารละลายตัวกลาง พบว่าพลาสติกทั้งสองชนิดนั้นจมลงในสารละลายเนื่องจากความหนาแน่นที่มากกว่าสารละลายตัวกลาง จากนั้นจะลอยกลับขึ้นมาที่ผิวของสารละลายทันที แต่เมื่อปรับเปลี่ยนสถานะต่างๆ ทั้งอุณหภูมิของสารละลายตัวกลาง อัตราเร็วในการกวน และอัตราการไหลของฟอง พบว่าพลาสติก ABS ส่วนใหญ่นั้นจมลงในสารละลายตัวกลางโดยมีการปนเปื้อนของ HIPS ที่จมลงมาด้วยน้อยกว่า 4% ในทุกช่วงสถานะที่ทำการทดลอง ทั้งนี้เนื่องจาก tannic acid นั้นเป็นสารประเภท polyphenol ซึ่งจะเกิดการแตกตัวในน้ำ ดังสมการที่ 4.1



โดยสถานะเป็นกลาง ที่อุณหภูมิห้อง tannic acid จะเป็นกรดอ่อนมีค่าคงที่การแตกตัวที่ต่ำ ($pK_a = 10$) และที่ pH สูงๆ (ในการทดลองเท่ากับ pH 11.5) หรือในสถานะต่าง tannic acid จะเกิดการแตกมากขึ้น เนื่องจาก NaOH ซึ่งจะแตกตัวให้ $[OH^-]$ จะไปจับกับ $[H^+]$ ได้เป็นโมเลกุลของน้ำทำให้ปฏิกิริยาดำเนินไปข้างหน้าดังสมการที่ 4.2 และ 4.3



ซึ่งผิวของเม็ดพลาสติก ABS จะดูดซับ $[tannic-O^-]$ เนื่องจาก ABS มีส่วนประกอบของ acrylonitrile ซึ่งมีความเป็นขั้ว ดังรูปที่ 4.11 ดังนั้นเมื่อ $[tannic-O^-]$ ไปดูดซับที่ผิวของ ABS แล้วจะทำให้ ABS เปียกผิวสมบูรณ์ และจมลงในสารละลายตัวกลางได้



รูปที่ 4.11 แสดงการเป็ยกผิวของ ABS โดย tannic acid ที่แตกตัวในน้ำ

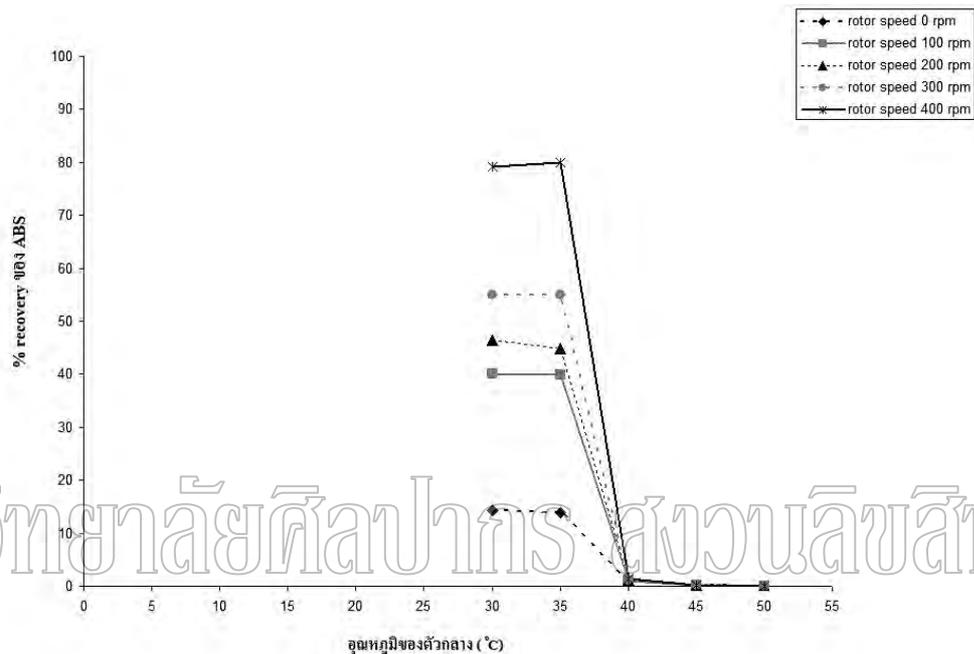
มหาวิทยาลัยศิลปากร สังกัดคณะศิลปกรรมศาสตร์

4.2.1 ผลของอุณหภูมิตัวกลางที่มีต่อการแยก

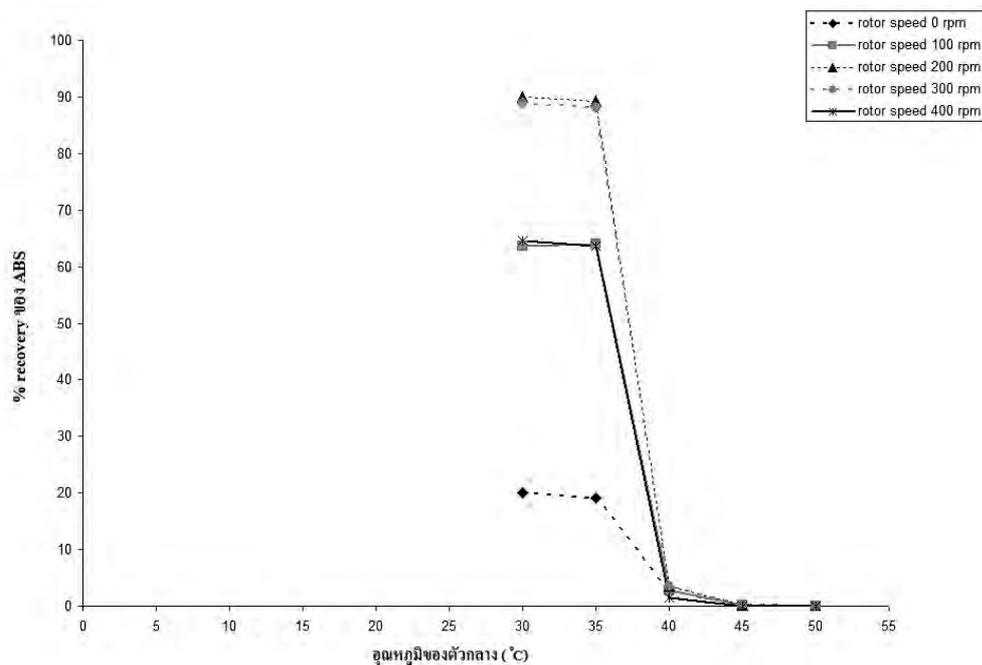
จากการทดลองสามารถแสดงค่า %recovery ของ ABS ที่อุณหภูมิต่างๆ โดยไม่มีฟองอากาศให้กับระบบได้ดังรูปที่ 4.12 กล่าวคือในกรณีที่ไม่มีการปล่อยฟองอากาศให้กับระบบเลยพบว่าเมื่ออุณหภูมิของระบบสูงขึ้นจะส่งผลให้ %recovery ของ ABS มีค่าลดต่ำลงในทุกอัตราเร็วในการกวน โดยเฉพาะที่อุณหภูมิตั้งแต่ 40°C ขึ้นไปจนถึง 50°C จะมี %recovery ของ ABS ที่ต่ำมาก โดยมี %recovery ของ ABS ไม่เกิน 4% และไม่สามารถสังเกตเห็นแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลง %recovery ของ ABS ในแต่ละอัตราเร็วในการกวนได้ แต่ที่อุณหภูมิ 30°C ถึง 35°C %recovery ของ ABS นั้นมีค่าในระดับที่ใกล้เคียงกันมาก กล่าวคือที่อัตราเร็วในการกวนเท่ากับ 0 (ไม่มีการกวนให้กับระบบ), 100, 200, 300 และ 400 รอบต่อนาที ค่า %recovery ของ ABS ที่ได้จะมีค่าประมาณ 14%, 40%, 46%, 54% และ 79% ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.13 เมื่อเพิ่มอัตราการไหลเป็น 0.6 ลิตรต่อนาที พบว่าที่อุณหภูมิ และอัตราเร็วในการกวนเท่ากัน ค่า %recovery ของ ABS ที่ได้จากการทดลองจะมีค่าสูงขึ้นมากกว่าเดิมคือที่อัตราการกวนเท่ากับ 0 (ไม่มีการกวนให้กับระบบ), 100, 200, 300 และ 400 รอบต่อนาที %recovery ของ ABS จะมีค่าประมาณ 20%, 64%, 90%, 88% และ 64% ตามลำดับ ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าที่อัตราเร็วในการกวน 400 รอบต่อนาที จะมีค่า %recovery ของ ABS ที่ต่ำลงเมื่อเปรียบกับระบบ

ที่ไม่มีการปล่อยฟองอากาศเลยเนื่องจากที่อัตราเร็วในการกวนนี้จะทำให้เกิดการดึงผิวหน้าของสารละลายลงไปจนถึงใบกวนตัวบน เกิดการตีให้มีฟองอากาศมากขึ้นที่บริเวณผิวหน้าใกล้กับใบกวน ทำให้เกิดเป็นฟองอากาศไปเกาะกับเม็ดพลาสติกทั้ง 2 ชนิดโดยไม่มีการเลือกสรร จึงไม่เกิดการเปียกผิวอย่างสมบูรณ์ของพลาสติก ABS ทำให้ที่อัตราเร็วในการกวน 400 รอบต่อนาที นั้นมี %recovery ของ ABS ต่ำลง



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %recovery ของ ABS กับ อุณหภูมิตัวกลาง ที่อัตราเร็วในการกวนต่างๆ โดยไม่มีฟองอากาศให้กับระบบ

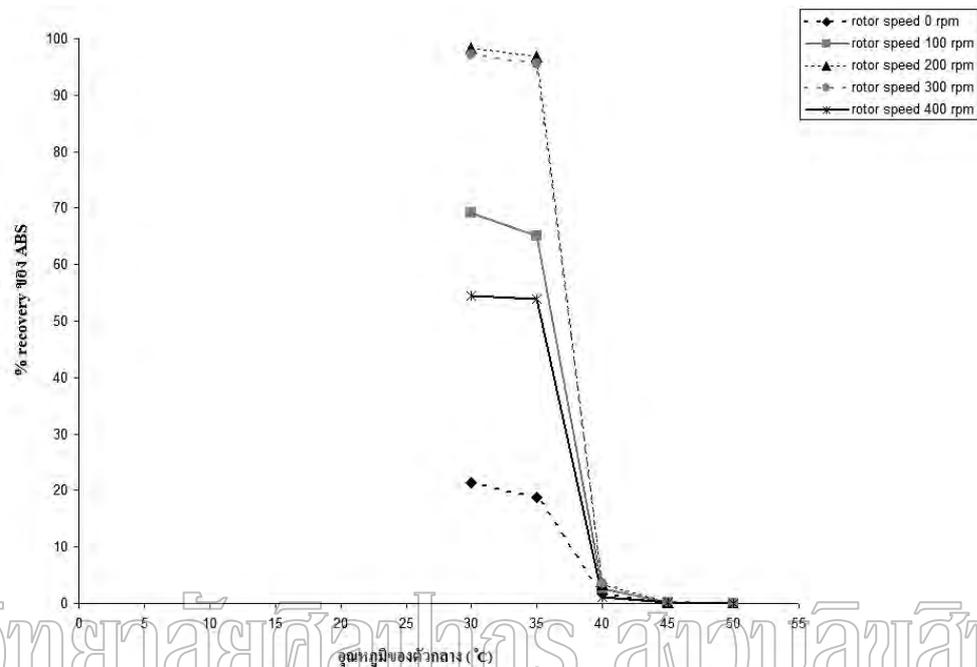


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %recovery ของ ABS กับ อุณหภูมิตัวกลาง ที่อัตราเร็ว

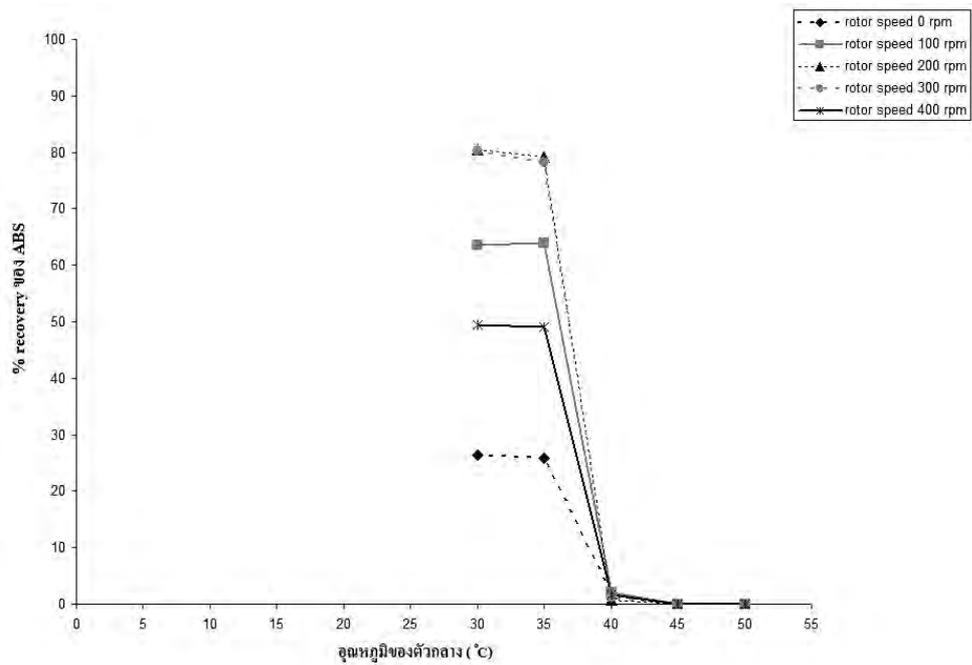
ในการกวาดต่างๆ โดยมีการให้อัตราการไหลของฟองอากาศกับระบบเท่ากับ 0.6 ลิตรต่อ นาที

ในทำนองเดียวกันเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของฟองอากาศเป็น 1.0, 1.5 และ 2.0 ลิตรต่อ นาที ผลกระทบของอุณหภูมิจะเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับที่อัตราการไหลของฟองอากาศเท่ากับ 0 และ 0.6 ลิตรต่อ นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.14, 4.15 และ 4.16 กล่าวคือ ที่อุณหภูมิ 30°C และ 35°C เมื่ออัตราเร็วในการกวาดเท่ากัน พบว่าค่า %recovery ของ ABS ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันคือ ที่อัตราการไหลของฟองอากาศเป็น 1.0 ลิตรต่อ นาที อัตราเร็วในการกวาด 0 (ไม่มีการกวาดให้กับระบบ), 100, 200, 300 และ 400 รอบต่อ นาที ค่า %recovery ของ ABS ที่ได้จะมีค่าประมาณ 21%, 67%, 98%, 97% และ 54% ตามลำดับ ที่อัตราการไหลของฟองอากาศเป็น 1.5 ลิตรต่อ นาที อัตราเร็วในการกวาด 0 (ไม่มีการกวาดให้กับระบบ), 100, 200, 300 และ 400 รอบต่อ นาที ค่า %recovery ของ ABS ที่ได้จะมีค่าประมาณ 26%, 64%, 80%, 79% และ 49% ตามลำดับ และที่อัตราการไหลของฟองอากาศเป็น 2.0 ลิตรต่อ นาที อัตราเร็วในการกวาด 0 (ไม่มีการกวาดให้กับระบบ), 100, 200, 300 และ 400 รอบต่อ นาที ค่า %recovery ของ ABS ที่ได้จะมีค่าประมาณ 30%, 48%, 64%, 64% และ 35% ตามลำดับ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 40°C, 45°C และ 50°C จะเห็นว่า %recovery ของ ABS จะ

ลดลงอย่างมากจนเข้าใกล้ 0% โดยที่อุณหภูมิ 40°C, 45°C, 50°C จะมี %recovery ของ ABS ไม่เกิน 4%, 0.3% และ 0.04% ตามลำดับ

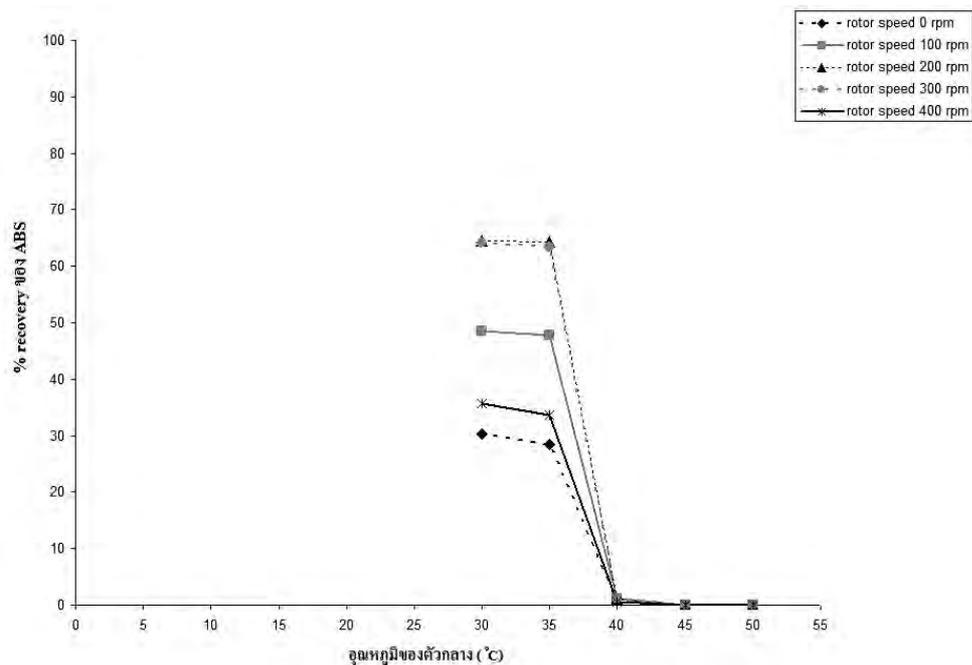


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %recovery ของ ABS กับ อุณหภูมิตัวกลาง ที่อัตราเร็วในการกวนต่างๆ โดยมีการให้อัตราการไหลของฟองอากาศกับระบบเท่ากับ 1.0 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %recovery ของ ABS กับ อุณหภูมิตัวกลาง ที่อัตราเร็ว

ในการกวนต่างๆ โดยมีกราฟให้อัตราการไหลของฟองอากาศกับระบบเท่ากับ 1.5 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %recovery ของ ABS กับ อุณหภูมิตัวกลาง ที่อัตราเร็ว

ในการกวาดต่างๆ โดยมีการให้อัตราการไหลของฟองอากาศกับระบบเท่ากับ 2.0 ลิตรต่อวินาที

ซึ่งจากผลกระทบบของอุณหภูมิตัวกลางที่มีต่อ %recovery ของ ABS แสดงให้เห็นว่าระบบ froth flotation ในลักษณะนี้ สามารถทำการแยกพลาสติก ABS ให้จมลงในสารละลายตัวกลางได้ใกล้เคียงกันที่อุณหภูมิตัวกลาง 30°C และ 35°C โดยมีค่า %recovery ของ ABS ตั้งแต่ประมาณ 14% ขึ้นไปจนถึง 98% แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงมากกว่า 35°C เป็น 40°C ผลการทดลองจะมี %recovery ของ ABS ลดต่ำลงอย่างเห็นได้ชัดเจน ในทุกอัตราการไหลของฟองอากาศ และทุกอัตราเร็วในการกวาด โดยมีค่า %recovery ของ ABS ที่อุณหภูมิตัวกลาง 40°C , 45°C และ 50°C สูงสุด ประมาณ 4%, 0.3% และ 0.04% ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาค่าแรงดึงผิวของสารละลายดังตารางที่ 4.1 จะพบว่าแรงดึงผิวของสารละลายจะมีค่าใกล้เคียงกันทุกอุณหภูมิ ซึ่งจะมีค่าใกล้เคียงกับแรงดึงผิวของ ABS (แรงดึงผิวของสารละลายมีค่ามากกว่าเล็กน้อย) ซึ่งจากทฤษฎีเกี่ยวกับแรงดึงผิว [2] กล่าวไว้ว่าการที่ผิวหน้าของของแข็ง หรือพลาสติกจะเปียกผิวด้วยของเหลว หรือสารละลายได้นั้น แรงดึงผิวหรือพลังงานผิวหน้าของของเหลว หรือสารละลายนั้นจะต้องมีค่าน้อยกว่าแรงดึงผิวหรือพลังงานผิวหน้าของของแข็ง หรือพลาสติกนั้น ดังนั้นเมื่อแรงดึงผิวของสารละลายมีค่าใกล้เคียงกัน และใกล้เคียงกับค่าแรงดึงผิวของ ABS ในทุกอุณหภูมิ (ABS มีแรงดึงผิวเท่ากับ 43 mN/m)[2] จึงน่าจะทำให้เกิดการเปียกผิวได้ในทุกอุณหภูมิเช่นกันแต่ไม่ดีมากนัก เนื่องจากแรงดึง

ผิวของสารละลายใกล้เคียงกับแรงตึงผิวของ ABS มาก(43 mN/m)[5] ดังนั้นผลของการที่จะทำให้เกิดการเปื่อยผิวสมบูรณ์ได้นั้น จึงมาจากอีกปัจจัยหนึ่งคือ การที่ tannic acid แตกตัวให้ $[H^+]$ และ $[tannic-O^-]$ ซึ่ง $[tannic-O^-]$ จะไปดูดซับหรือล้อมที่ผิวของ ABS

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าแรงตึงผิวของสารละลายตัวกลางที่ใช้ในการทดลองที่อุณหภูมิต่างๆ (แรงตึงผิวของน้ำที่อุณหภูมิ 30°C มีค่าเท่ากับ 67.6 mN/m)

อุณหภูมิของสารละลายตัวกลาง (°C)	แรงตึงผิว (mN/m)
30	49.7
35	47.7
40	49.5
45	46.3
50	48.8

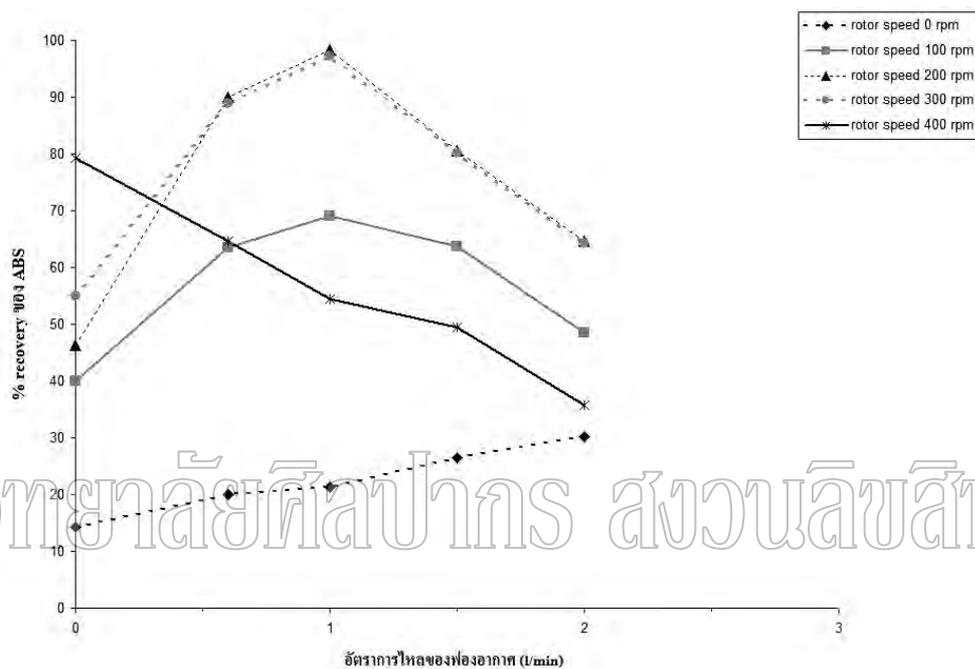
จากการที่อุณหภูมิสูงขึ้นนั้นจะส่งผลทำให้การแตกตัวของ tannic acid มีค่าการแตกตัวลดลงดังแสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า pH ของสารละลาย tannic acid มีค่าสูงขึ้น เช่นเดียวกันกับที่ Randall H. Mennett และ T. O.M. Nakayama แห่งมหาวิทยาลัย Georgia ได้รายงานไว้ในงานวิจัยเรื่อง Temperature Dependence of Tannin Adsorption by Poly-N-Vinyl Pyrrolidone[34] โดยพบว่า การดูดซับที่ดีของ tannic acid จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นมากกว่า 35°C จึงทำให้ไม่มีปริมาณไอออนเพียงพอที่จะไปล้อมผิวเม็ดพลาสติก ABS ทำให้เกิดการเปื่อยผิวอย่างสมบูรณ์ และจมลงในสารละลายตัวกลางได้ จึงไม่สามารถทำการแยกพลาสติก ABS ออกจากระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพในทุกๆ อัตราเร็วในการกวน และอัตราการไหลของฟองอากาศ

ตารางที่ 4.2 แสดงค่า pH ของสารละลาย tannic acid ความเข้มข้น 0.00625 %w/w ที่อุณหภูมิต่างๆ (ความเข้มข้นเท่ากับที่ใช้แยกพลาสติก HIPS และ ABS ออกจากกันในการทดลองโดยน้ำที่ใช้มีค่า pH 7.43)

อุณหภูมิ (°C)	30	35	40	45	50
pH	7.15	7.18	7.22	7.28	7.34

4.2.2 ผลของอัตราการไหลของฟองอากาศที่มีต่อการแยก

จากผลการทดลองเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของฟองอากาศโดยควบคุมให้อุณหภูมิให้คงที่ ที่ 30°C อัตราเร็วในการกวน 100, 200, 300 และ 400 รอบต่อนาที ตามลำดับ สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %recovery ของ ABS และอัตราการไหลของฟองอากาศ แสดงได้ดังรูปที่ 4.17

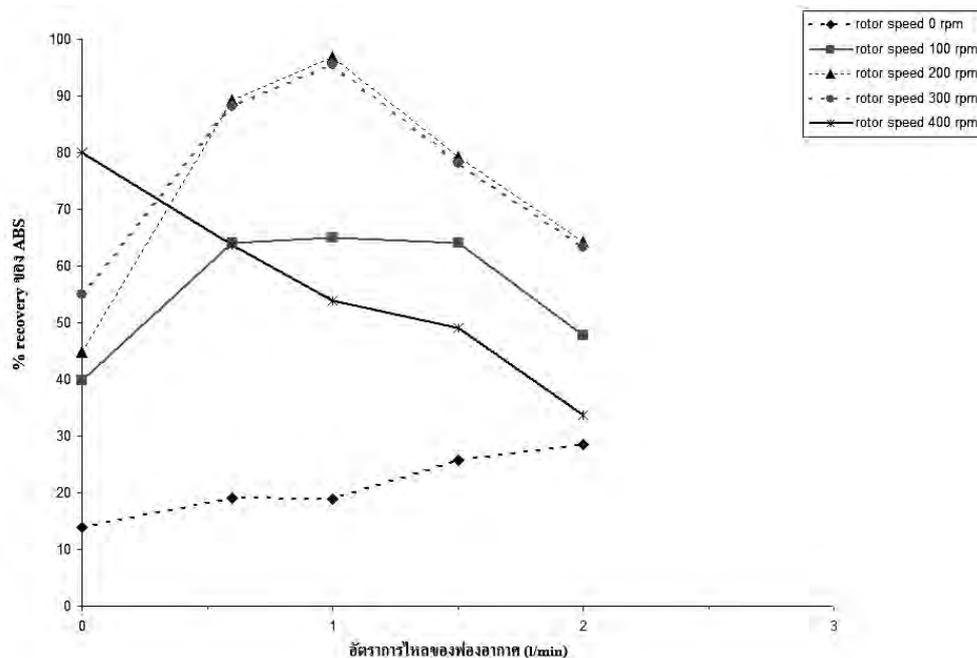


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %recovery ของ ABS กับ อัตราการไหลของฟองอากาศ ที่อัตราเร็วในการกวนต่างๆ โดยอุณหภูมิตัวกลางเท่ากับ 30°C

จากรูปที่ 4.17 ที่สภาวะอุณหภูมิตัวกลาง 30°C ไม่มีการกวนให้กับระบบ จะพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของฟองอากาศจะส่งผลทำให้ระบบสามารถแยกพลาสติก HIPS และ ABS ออกจากกันได้มากขึ้น ค่า %recovery ของ ABS จึงมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีอัตราการไหลของฟองอากาศเพิ่มขึ้น คือ ที่อัตราการไหลของฟองอากาศเป็น 0 (ไม่มีฟองอากาศให้กับระบบ), 0.6, 1.0, 1.5 และ 2.0 ลิตรต่อนาที จะมีค่า %recovery ของ ABS ประมาณ 14%, 20%, 21%, 26% และ 30% ตามลำดับ และเมื่อมีการกวนให้กับระบบที่อัตราเร็วในการกวนเท่ากับ 100, 200 และ 300 รอบต่อนาที พบว่าระบบจะมีแนวโน้มของ %recovery ของ ABS ที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยค่า %recovery ของ ABS จะสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของฟองอากาศที่ให้เข้าไปในระบบมีปริมาณมากขึ้น จนถึง

ปริมาณ 1.0 ลิตรต่อนาที หรือ ประมาณ 1 ส่วนใน 10 ส่วนของปริมาตรถัง เมื่อให้อัตราการไหลของ ฟองอากาศมากกว่านี้ จะทำให้แนวโน้มของ %recovery ของ ABS ที่ได้นั้นมีค่าลดลง กล่าวคือ ที่ อัตราเร็วในการกวน 100 รอบต่อนาที อัตราการไหลของฟองอากาศเป็น 0 (ไม่มีฟองอากาศให้กับ ระบบ), 0.6, 1.0, 1.5 และ 2.0 ลิตรต่อนาที จะมีค่า %recovery ของ ABS ประมาณ 40%, 63%, 69%, 63% และ 48% ตามลำดับ ที่อัตราเร็วในการกวนเป็น 200 รอบต่อนาที อัตราการไหลของ ฟองอากาศเป็น 0 (ไม่มีฟองอากาศให้กับระบบ), 0.6, 1.0, 1.5 และ 2.0 ลิตรต่อนาที จะมีค่า %recovery ของ ABS ประมาณ 48%, 90%, 98%, 80% และ 65% ตามลำดับ และที่อัตราเร็วในการ กวนเป็น 300 รอบต่อนาที อัตราการไหลของฟองอากาศเป็น 0 (ไม่มีฟองอากาศให้กับระบบ), 0.6, 1.0, 1.5 และ 2.0 ลิตรต่อนาที จะมีค่า %recovery ของ ABS ประมาณ 55%, 89%, 97%, 80% และ 64% ตามลำดับ แต่ในสถานะที่มีการกวนให้กับระบบเท่ากับ 400 รอบต่อนาที จะพบว่า เมื่อให้อัตราการไหลของฟองอากาศเข้าไปในระบบมากขึ้นจะส่งผลทำให้แยกพลาสติกได้น้อยลง คือ มี %recovery ของ ABS ลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของฟองอากาศ โดยที่อัตราการไหลของ ฟองอากาศเป็น 0 (ไม่มีฟองอากาศให้กับระบบ), 0.6, 1.0, 1.5 และ 2.0 ลิตรต่อนาที จะมีค่า %recovery ของ ABS ประมาณ 79%, 64%, 54%, 49% และ 35% ตามลำดับ

ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นเช่นเดียวกันกับการทดลองที่อุณหภูมิตัวกลางเท่ากับ 35°C ดังแสดงในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %recovery ของ ABS กับ อัตราการไหลของ

ฟองอากาศ ที่อัตราเร็วในการกวาดต่างๆ โดยอุณหภูมิตัวกลางเท่ากับ 35°C

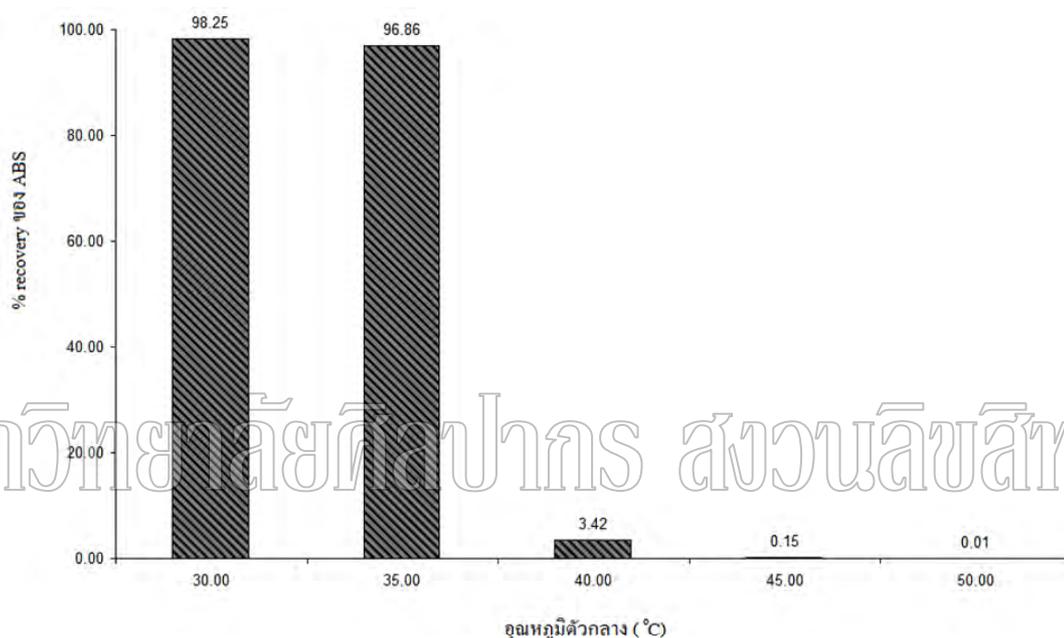
จากรูปที่ 4.18 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของ %recovery ของ ABS ที่เกิดขึ้นเมื่ออัตราการไหลของฟองอากาศที่ให้กับระบบมีการเปลี่ยนแปลง ที่อุณหภูมิตัวกลางเท่ากับ 35°C ซึ่งแนวโน้มจะเป็นเช่นเดียวกันกับที่อุณหภูมิตัวกลางเท่ากับ 30°C คือ ในกรณีที่ไม่มี การกวาดให้กับระบบ จะพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของฟองอากาศจะส่งผลทำให้ระบบสามารถแยกพลาสติก HIPS และ ABS ออกจากกันได้มากขึ้น ค่า %recovery ของ ABS จึงมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีอัตราการไหลของฟองอากาศเพิ่มขึ้นคือ ที่อัตราการไหลของฟองอากาศเป็น 0 (ไม่มีฟองอากาศให้กับระบบ), 0.6, 1.0, 1.5 และ 2.0 ลิตรต่อนาที จะมีค่า %recovery ของ ABS ประมาณ 14%, 19%, 18%, 25% และ 28% ตามลำดับ และเมื่อมีการกวาดให้กับระบบที่อัตราเร็วในการกวาดเท่ากับ 100, 200 และ 300 รอบต่อนาที พบว่า ระบบจะมีแนวโน้มของ %recovery ของ ABS ที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ ค่า %recovery ของ ABS จะสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของฟองอากาศที่ให้เข้าไปในระบบมีปริมาณมากขึ้น จนถึงปริมาณ 1.0 ลิตรต่อนาที หรือ ประมาณ 1 ส่วนใน 10 ส่วนของปริมาตรถัง แต่เมื่อให้อัตราการไหลของฟองอากาศมากกว่านี้ จะทำให้แนวโน้มของ %recovery ของ ABS ที่ได้นั้นมีค่าลดลง กล่าวคือ ที่อัตราเร็วในการกวาด 100 รอบต่อนาที อัตราการไหลของฟองอากาศเป็น 0 (ไม่มีฟองอากาศให้กับระบบ), 0.6, 1.0, 1.5 และ 2.0 ลิตรต่อนาที จะมีค่า %recovery ของ ABS ประมาณ

40%, 64%, 65%, 64% และ 48% ตามลำดับ เมื่ออัตราเร็วในการกวนเป็น 200 รอบต่อนาที ที่อัตราการไหลของฟองอากาศเป็น 0 (ไม่มีฟองอากาศให้กับระบบ), 0.6, 1.0, 1.5 และ 2.0 ลิตรต่อนาที จะมีค่า %recovery ของ ABS ประมาณ 45%, 90%, 97%, 79% และ 64% ตามลำดับ และเมื่ออัตราเร็วในการกวนเป็น 300 รอบต่อนาที ที่อัตราการไหลของฟองอากาศเป็น 0 (ไม่มีฟองอากาศให้กับระบบ), 0.6, 1.0, 1.5 และ 2.0 ลิตรต่อนาที จะมีค่า %recovery ของ ABS ประมาณ 55%, 88%, 96%, 78% และ 63% ตามลำดับ แต่ในสถานะที่มีการกวนให้กับระบบเท่ากับ 400 รอบต่อนาที จะพบว่าเมื่อให้อัตราการไหลของฟองอากาศเข้าไปในระบบมากขึ้นจะส่งผลทำให้แยกพลาสติกได้น้อยลง คือ มี %recovery ของ ABS ลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของฟองอากาศ โดยที่อัตราการไหลของฟองอากาศเป็น 0 (ไม่มีฟองอากาศให้กับระบบ), 0.6, 1.0, 1.5 และ 2.0 ลิตรต่อนาที จะมีค่า %recovery ของ ABS ประมาณ 80%, 64%, 54%, 49% และ 34% ตามลำดับ

โดย %recovery ของ ABS ของทั้งสองสถานะอุณหภูมิตัวกลาง 30°C และ 35°C นี้จะมีค่าใกล้เคียงกันดังกล่าวมาแล้วในส่วนของผลของอุณหภูมิตัวกลางที่มีต่อการแยก

จากรูปที่ 4.17 และ 4.18 สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองร่วมกันได้ว่าเมื่อไม่มีการกวนในระบบ จากนั้นทำการเพิ่มอัตราการไหลของฟองอากาศ จะทำให้ระบบมีการกระจายตัวของเม็ดพลาสติกเพิ่มมากขึ้น reagent จะกระจายตัวไปที่ผิวของเม็ดพลาสติก ABS ได้มากขึ้นจึงส่งผลให้ %recovery ของ ABS เพิ่มมากขึ้น ส่วนในกรณีที่อัตราเร็วในการกวนเป็น 100, 200 และ 300 รอบต่อนาที นั้น เมื่ออัตราการไหลของฟองอากาศ เพิ่มขึ้นจนถึง 1.0 ลิตรต่อนาที ระบบจะมีการกระจายตัวของ reagent ที่ดีและเป็นอัตราการกวนที่เหมาะสม แต่เมื่ออัตราการไหลของฟองอากาศมากกว่านี้ ระบบจะมีฟองอากาศมากเกินไปทำให้เข้าไปเกาะที่ผิวของ ABS ด้วย แต่เนื่องจากผิวของ ABS ยังไม่เกิดการเปียกผิวอย่างสมบูรณ์ในช่วงแรกของการทดลอง ฟองอากาศเหล่านี้จะไปขัดขวางการเข้ามาเคลือบผิวของ reagent จึงทำให้ %recovery ของ ABS ลดต่ำลงเมื่ออัตราการไหลของฟองอากาศสูงขึ้น สำหรับที่อัตราเร็วในการกวน 400 รอบต่อนาที นั้น %recovery ของ ABS มีค่าลดต่ำลงมาก เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของฟองอากาศ เนื่องจากที่อัตราเร็วในการกวนนี้จะทำให้เกิดการดึงผิวหน้าของสารละลายลงไปจนถึงใบกวนตัวบน เกิดการตีให้มีฟองอากาศมากขึ้นที่บริเวณผิวหน้าใกล้กับใบกวน จึงส่งผลให้ฟองอากาศที่เกิดขึ้นนี้ไปเกาะกับเม็ดพลาสติกทั้ง 2 ชนิดโดยไม่มีการเลือกสรร จากนั้นสารละลายตัวกลางจะไม่สามารถเข้าไปเปียกผิวได้ เนื่องจากบริเวณนี้มีฟองอากาศหนาแน่นเกินไปไม่สามารถควบคุมปริมาณฟองอากาศได้ จึงไม่เกิดการเปียกผิวอย่างสมบูรณ์ของพลาสติก ABS ทำให้ที่อัตราเร็วในการกวน 400 รอบต่อนาที นั้นเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของฟองอากาศ %recovery ของ ABS จึงมีค่าลดลง

โดยจากผลการทดลองที่ทั้ง 2 อุณหภูมิตัวกลาง คือ 30°C และ 35°C จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของฟองอากาศจะสังเกตเห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ %recovery ของ ABS ได้อย่างชัดเจน แต่เมื่ออุณหภูมิตัวกลางสูงมากกว่า 35°C คืออุณหภูมิ 40°C , 45°C และ 50°C นั้นพบว่าค่า %recovery ของ ABS ก็จะลดลงอย่างมาก หรือกล่าวได้ว่าไม่สามารถแยกพลาสติกทั้ง 2 ชนิดนี้ออกจากกันได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.19

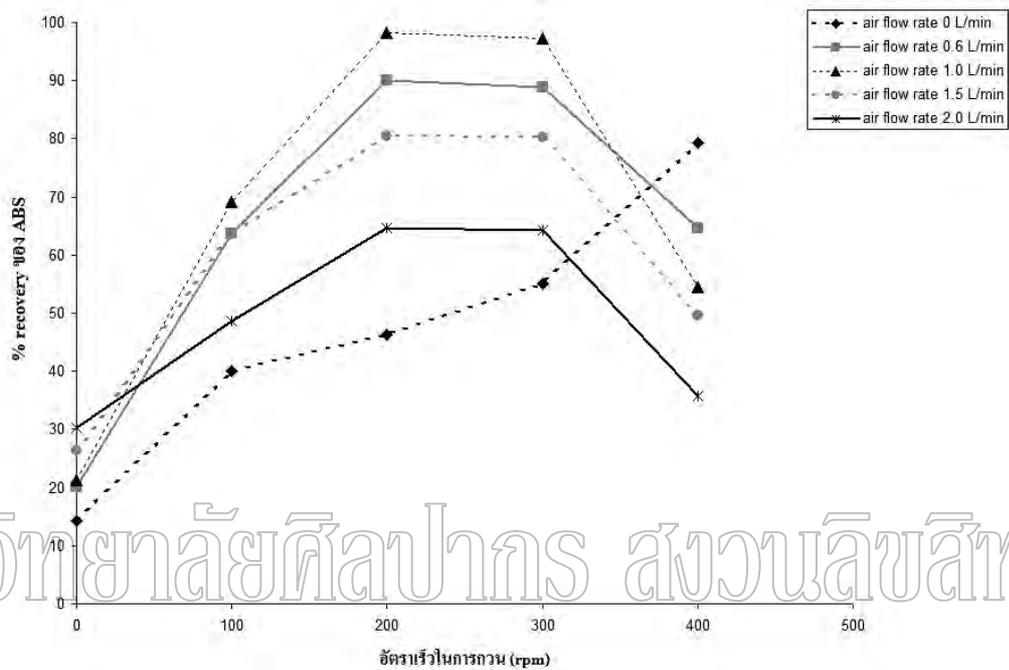


รูปที่ 4.19 แผนภูมิแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %recovery ของ ABS กับ อุณหภูมิตัวกลาง ที่อัตราการไหลของฟองอากาศ 1.0 ลิตรต่อนาที อัตราเร็วในการกววน 200 รอบต่อนาที

จากรูปที่ 4.19 เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง %recovery ของ ABS กับ อุณหภูมิตัวกลาง เป็นสถานะการแยกพลาสติก HIPS และ ABS ที่อัตราการไหลของฟองอากาศ 1.0 ลิตรต่อนาที อัตราเร็วในการกววน 200 รอบต่อนาที จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 40°C , 45°C และ 50°C นั้นมีค่า %recovery ของ ABS ที่ต่ำมากคือ 3.42%, 0.15% และ 0.01% ตามลำดับ ดังนั้นจึงไม่สามารถแยกพลาสติกทั้ง 2 ชนิดนี้ออกจากกันได้

4.2.3 ผลของอัตราเร็วในการกวนที่มีต่อการแยก

จากผลการทดลองเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วในการกวนโดยควบคุมให้อุณหภูมิและอัตราการไหลของฟองอากาศคงที่ พบว่า ที่อุณหภูมิตัวกลาง 30°C ค่า %recovery ของ ABS ในการทดลองที่อัตราการไหลของฟองอากาศต่างๆ แสดงได้ดังรูปที่ 4.22

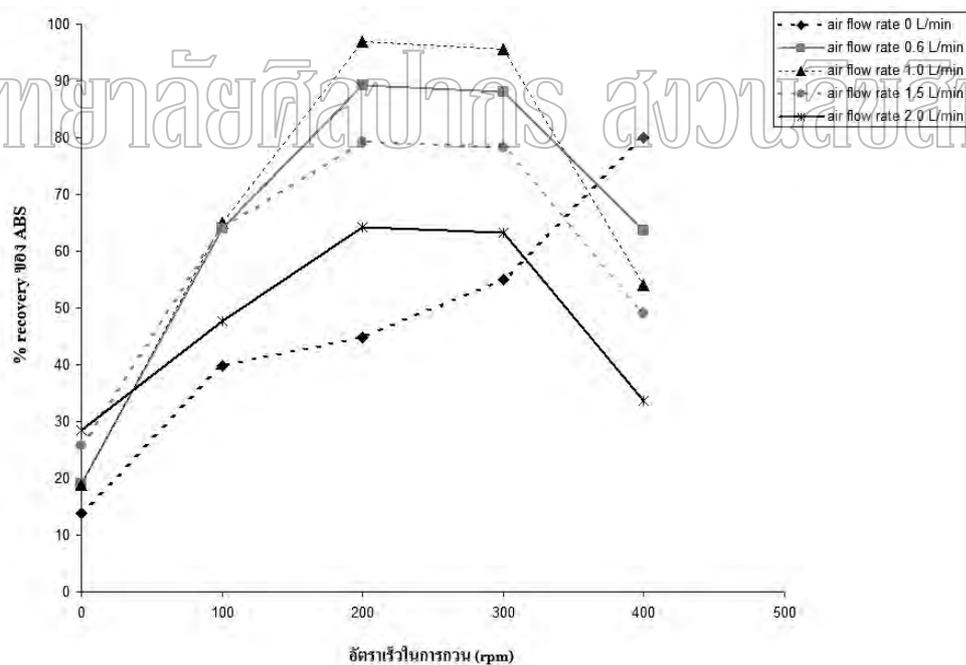


รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %recovery ของ ABS กับ อัตราการเร็วในการกวน ที่อัตราการไหลของฟองอากาศต่างๆ โดยอุณหภูมิตัวกลางเท่ากับ 30°C

จากรูปที่ 4.22 แสดงให้เห็นว่า ที่อุณหภูมิตัวกลาง 30°C เมื่อไม่มีการให้ฟองอากาศกับระบบ จะพบว่าเมื่ออัตราเร็วในการกวนมากขึ้นจะส่งผลให้ %recovery ของ ABS ที่ได้มีค่ามากขึ้นไปด้วย คือ ที่อัตราเร็วในการกวนเป็น 0 (ไม่มีการกวนให้กับระบบ), 100, 200, 300 และ 400 รอบต่อนาที %recovery ของ ABS ที่ได้ มีค่าประมาณ 14%, 40%, 48%, 54% และ 79% ตามลำดับ แต่ในกรณีที่มีการให้ฟองอากาศเข้าไปในระบบจะพบว่า ค่า %recovery ของ ABS ที่ได้นั้นจะเพิ่มขึ้นตามอัตราเร็วในการกวนที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่ง ถึงช่วงอัตราเร็วในการกวนเท่ากับ 200 ถึง 300 รอบต่อนาที จะมีค่า %recovery ของ ABS ที่ได้จากการทดลองใกล้เคียงกัน และที่อัตราเร็วในการกวนมากกว่านี้คือที่ 400 รอบต่อนาที จะทำให้ %recovery ของ ABS มีค่าน้อยลง คือ ที่อัตราการไหลของฟองอากาศเป็น 0.6 ลิตรต่อนาที อัตราเร็วในการกวนเป็น 0 (ไม่มีการกวนให้กับระบบ), 100, 200, 300 และ 400 รอบต่อนาที %recovery ของ ABS ที่ได้ มีค่าประมาณ 20%, 64%, 90%, 89% และ

65% ตามลำดับ เมื่อมีอัตราการไหลของฟองอากาศเป็น 1.0 ลิตรต่อนาที ที่อัตราเร็วในการกวนเป็น 0 (ไม่มีการกวนให้กับระบบ), 100, 200, 300 และ 400 รอบต่อนาที %recovery ของ ABS ที่ได้ มีค่าประมาณ 21%, 69%, 98%, 97% และ 55% ตามลำดับ เมื่อมีอัตราการไหลของฟองอากาศเป็น 1.5 ลิตรต่อนาที ที่อัตราเร็วในการกวนเป็น 0 (ไม่มีการกวนให้กับระบบ), 100, 200, 300 และ 400 รอบต่อนาที %recovery ของ ABS ที่ได้ มีค่าประมาณ 26%, 64%, 80%, 80% และ 50% ตามลำดับ และเมื่อมีอัตราการไหลของฟองอากาศเป็น 2.0 ลิตรต่อนาที ที่อัตราเร็วในการกวนเป็น 0 (ไม่มีการกวนให้กับระบบ), 100, 200, 300 และ 400 รอบต่อนาที %recovery ของ ABS ที่ได้ มีค่าประมาณ 30%, 49%, 65%, 64% และ 36% ตามลำดับ

ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นเช่นเดียวกันกับการทดลองที่อุณหภูมิตัวกลางเท่ากับ 35°C ดังแสดงในรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %recovery ของ ABS กับ อัตราการเร็วในการกวน ที่อัตราการไหลของฟองอากาศต่างๆ โดยอุณหภูมิตัวกลางเท่ากับ 35°C

จากรูปที่ 4.23 เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง %recovery ของ ABS กับ อัตราการเร็วในการกววน ที่อัตราการไหลของฟองอากาศต่างๆ โดยอุณหภูมิตัวกลางเท่ากับ 35°C จะเห็นได้ว่ามีลักษณะของความสัมพันธ์เป็นเช่นเดียวกันกับที่อุณหภูมิ 30°C กล่าวคือ เมื่อไม่มีการให้ฟองอากาศกับระบบ จะพบว่าเมื่ออัตราเร็วในการกววนมากขึ้นจะส่งผลให้ %recovery ของ ABS นั้นมีค่ามากขึ้นตามไปด้วยแต่ในกรณีที่มีการให้ฟองอากาศเข้าไปในระบบจะพบว่า ค่า %recovery ของ ABS ที่ได้นั้นจะเพิ่มขึ้นตามอัตราเร็วในการกววนที่เพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงช่วงอัตราเร็วในการกววนเท่ากับ 200 – 300 รอบต่อนาที จะมีค่า %recovery ของ ABS ที่ได้จากการทดลองใกล้เคียงกันและที่อัตราเร็วในการกววนมากกว่านี้คือที่ 400 รอบต่อนาที จะทำให้ %recovery ของ ABS มีค่าน้อยลง กล่าวคือ ที่อัตราเร็วในการกววนเป็น 0 (ไม่มีการกววนให้กับระบบ), 100, 200, 300 และ 400 รอบต่อนาที %recovery ของ ABS ที่ได้ มีค่าประมาณ 14%, 40%, 45%, 55% และ 80% ตามลำดับ แต่ในกรณีที่มีการให้ฟองอากาศเข้าไปในระบบจะพบว่า ค่า %recovery ของ ABS ที่ได้นั้นจะเพิ่มขึ้นตามอัตราเร็วในการกววนที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่ง ถึงช่วงอัตราเร็วในการกววนเท่ากับ 200 ถึง 300 รอบต่อนาที จะมีค่า %recovery ของ ABS ที่ได้จากการทดลองใกล้เคียงกัน และที่อัตราเร็วในการกววนมากกว่านี้คือที่ 400 รอบต่อนาที จะทำให้ %recovery ของ ABS มีค่าน้อยลง คือ เมื่อมีอัตราการไหลของฟองอากาศเป็น 0.6 ลิตรต่อนาที ที่อัตราเร็วในการกววนเป็น 0 (ไม่มีการกววนให้กับระบบ), 100, 200, 300 และ 400 รอบต่อนาที %recovery ของ ABS ที่ได้ มีค่าประมาณ 19%, 64%, 89%, 88% และ 64% ตามลำดับ เมื่อมีอัตราการไหลของฟองอากาศเป็น 1.0 ลิตรต่อนาที ที่อัตราเร็วในการกววนเป็น 0 (ไม่มีการกววนให้กับระบบ), 100, 200, 300 และ 400 รอบต่อนาที %recovery ของ ABS ที่ได้ มีค่าประมาณ 18%, 65%, 97%, 96% และ 54% ตามลำดับ เมื่อมีอัตราการไหลของฟองอากาศเป็น 1.5 ลิตรต่อนาที ที่อัตราเร็วในการกววนเป็น 0 (ไม่มีการกววนให้กับระบบ), 100, 200, 300 และ 400 รอบต่อนาที %recovery ของ ABS ที่ได้ มีค่าประมาณ 26%, 64%, 79%, 78% และ 49% ตามลำดับ และเมื่อมีอัตราการไหลของฟองอากาศเป็น 2.0 ลิตรต่อนาที ที่อัตราเร็วในการกววนเป็น 0 (ไม่มีการกววนให้กับระบบ), 100, 200, 300 และ 400 รอบต่อนาที %recovery ของ ABS ที่ได้ มีค่าประมาณ 28%, 48%, 64%, 63% และ 34% ตามลำดับ (ผลการทดลองมีแนวโน้มลักษณะเดียวกันทั้งที่อุณหภูมิ 30°C และ 35°C

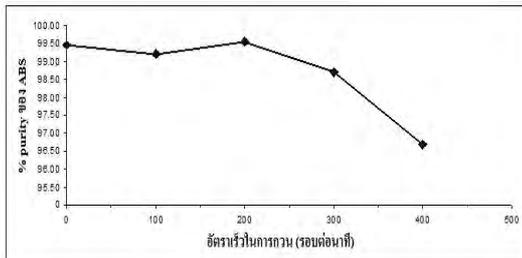
จากสถานะทั้ง 2 อุณหภูมิ นั้นจะมีแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง %recovery ของ ABS กับอัตราเร็วในการกววนไปในทิศทางเดียวกัน จึงทำให้สามารถอธิบายและวิเคราะห์ผลรวมกันได้ว่า ที่ไม่มีอัตราการไหลของฟองอากาศ เมื่ออัตราเร็วในการกววนเพิ่มขึ้น จะทำให้ %recovery ของ ABS มีค่าสูงขึ้นเนื่องจากเมื่อมีการกววนเพิ่มมากขึ้นระบบจะมีความปั่นป่วนมากขึ้นทำให้เม็ดพลาสติก และ reagent มีการกระจายตัวในระบบได้ดี %recovery ของ ABS จึงเพิ่มสูงขึ้น

โดยที่อัตราการไหลของฟองอากาศเป็น 0.6, 1.0, 1.5 และ 2.0 ลิตรต่อนาที จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มอัตราเร็วในการกวนจะส่งผลให้ %recovery ของ ABS มีค่าสูงขึ้นเช่นกัน แต่จะลดลงเมื่ออัตราเร็วในการกวนเท่ากับ 400 รอบต่อนาที โดยที่อัตราเร็วในการ 200 และ 300 รอบต่อนาทีนั้น จะให้ %recovery ของ ABS ใกล้เคียงกัน เนื่องจากที่อัตราเร็วการกวนในช่วงนี้นั้นเหมาะสมกับปริมาณฟองอากาศที่ให้เข้าไปในระบบ ถ้าอัตราเร็วในการกวนมากกว่าช่วงนี้ (ที่อัตราเร็วในการกวน 400 รอบต่อนาที) จะทำให้เกิดการดึงผิวหน้าของสารละลายลงไปในจนถึงใบกวนตัวบน เกิดการตีให้มีฟองอากาศมากขึ้นทำให้มีปริมาณฟองอากาศมากเกินไป ดังนั้น %recovery ของ ABS จึงมีค่าลดลง

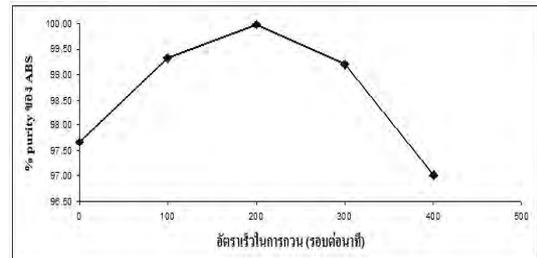
แต่ในกรณีที่อุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 40°C, 45°C และ 50°C จะพบว่าค่า %recovery ของ ABS ก็ลดลงอย่างมาก มีการเปลี่ยนแปลงค่า %recovery ของ ABS แบบไม่แน่นอน และไม่มีรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนเช่นเดียวกันกับผลกระทบของอัตราการไหลของฟองอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.19

4.3 การหาสถานะในการแยกที่เหมาะสมและการพิจารณาผลรวมของแต่ละปัจจัย

จากสถานะในการทดลองทั้งหมดพบว่าอุณหภูมิตัวกลางที่เหมาะสมในการแยก จะอยู่ในช่วง 30°C - 35°C อัตราเร็วในการกวน 200 - 300 รอบต่อนาที อัตราการไหลของฟองอากาศ 1.0 ลิตรต่อนาที โดยที่ 30°C จะมีค่า %recovery ของ ABS เท่ากับ 98.25 และที่อุณหภูมิตัวกลาง 35°C ค่า %recovery ของ ABS จะเท่ากับ 96.86 จะเห็นว่าที่ 30°C จะสามารถแยก ABS ออกจากพลาสติก HIPS ผสม ABS ได้มากกว่าที่ อุณหภูมิ 35°C เล็กน้อย และเมื่อพิจารณาถึงค่า %purity ของ ABS ที่แยกออกมาได้นั้น จะเห็นได้ว่าที่อัตราเร็วในการกวน 200 รอบต่อนาที จะมี %purity ของ ABS มากกว่าอัตราเร็วในการกวน 300 รอบต่อนาที เล็กน้อยเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.27 โดยจากข้อมูลทั้งหมดจะสามารถบอกได้ว่าสถานะที่เหมาะสมในการแยกพลาสติกทั้ง 2 ชนิด ด้วยระบบ froth flotation ในงานวิจัยซึ่งมีขนาดปริมาตรตั้งในการแยก 12.39 ลิตร และทำการแยกที่ปริมาตรสารละลายตัวกลาง 10 ลิตร คือสถานะที่ใช้อุณหภูมิตัวกลาง 30°C อัตราเร็วในการกวน 200 รอบต่อนาที และอัตราการไหลของฟองอากาศ 1.0 ลิตรต่อนาที



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %purity ของ ABS กับ อัตราเร็วในการกวน ที่อัตราการไหลของฟองอากาศ 1.0 ลิตรต่อนาทีโดยรูป (ก) ที่อุณหภูมิตัวกลาง 30°C และ (ข) ที่อุณหภูมิตัวกลาง 35°C

จากผลการทดลองทั้งหมดเมื่อนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนสามทาง (three-way ANOVA) ได้ผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการคำนวณความแปรปรวน 3 ทางจากโปรแกรม SPSS

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	196043.452 ^a	124	1580.996	1053.681	.000
Intercept	85017.147	1	85017.147	56661.10	.000
TEMP	137986.986	4	34496.747	22990.93	.000
AIR_FLOW	1872.546	4	468.136	311.997	.000
ROTOR_SP	9760.074	4	2440.018	1626.191	.000
TEMP * AIR_FLOW	2852.251	16	178.266	118.808	.000
TEMP * ROTOR_SP	16536.078	16	1033.505	688.797	.000
AIR_FLOW * ROTOR_SP	3140.004	16	196.250	130.794	.000
TEMP * AIR_FLOW * ROTOR_SP	5227.091	64	81.673	54.433	.000
Error	75.023	50	1.500		

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = .999)

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าค่า sig. ของผลของ อุณหภูมิของตัวกลาง อัตราการไหลของฟองอากาศ และ อัตราเร็วในการกวน มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.010 นั้นหมายความว่าที่ระดับความมั่นใจ 99% ผลของแต่ละปัจจัยทั้ง 3 ชนิดนี้มีผลต่อ %recovery ของ ABS กล่าวคือ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของตัวกลางหรืออัตราการไหลของฟองอากาศ หรืออัตราเร็วในการกวนอย่างใดอย่างหนึ่งก็จะส่งผลทำให้ %recovery ของ ABS ที่ได้มีค่าเปลี่ยนแปลงด้วยเช่นกัน

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิของตัวกลางร่วมกับอัตราการไหลของฟองอากาศ พบว่าค่า sig. ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.010 และเมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิของตัวกลางร่วมกับอัตราเร็วในการกวนพบว่าค่า sig. ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.010 เช่นกัน นั่นหมายความว่าที่ระดับความมั่นใจ 99% ผลของปัจจัยอุณหภูมิของตัวกลางเมื่อพิจารณาร่วมกับอัตราการไหลของฟองอากาศ และผลของปัจจัยอุณหภูมิเมื่อพิจารณาร่วมกับอัตราเร็วในการกวน จะมีผลต่อ %recovery ของ ABS เช่นเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตัวกลางและอัตราการไหลของฟองอากาศ หรือมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตัวกลางและอัตราเร็วในการกวนก็จะส่งผลทำให้ %recovery ของ ABS ที่ได้มีค่าเปลี่ยนแปลงด้วยเช่นกัน

เมื่อพิจารณาผลของอัตราการไหลของฟองอากาศร่วมกับอัตราเร็วในการกวน พบว่าค่า sig. ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.010 นั่นหมายความว่าที่ระดับความมั่นใจ 99% ผลของอัตราการไหลของฟองอากาศร่วมกับอัตราเร็วในการกวน เมื่อพิจารณาร่วมกันจะมีผลต่อ %recovery ของ ABS เช่นกัน กล่าวคือ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของฟองอากาศและอัตราเร็วในการกวนจะส่งผลทำให้ %recovery ของ ABS ที่ได้มีค่าเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

เมื่อพิจารณาผลของทั้ง 3 ปัจจัยร่วมกันคืออุณหภูมิของตัวกลาง อัตราการไหลของฟองอากาศ และ อัตราเร็วในการกวน ค่า sig. ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.010 นั่นหมายความว่าที่ระดับความมั่นใจ 99% ผลรวมของปัจจัยทั้งสามจะมีผลต่อ %recovery ของ ABS ด้วยเช่นเดียวกันกับที่พิจารณาแยกผลของแต่ละปัจจัย หรือ 2 ปัจจัยร่วมกัน กล่าวคือ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตัวกลาง อัตราการไหลของฟองอากาศ และอัตราเร็วในการกวนเกิดขึ้นพร้อมกันทั้ง 3 ปัจจัยนี้จะส่งผลร่วมกันทำให้ %recovery ของ ABS มีการเปลี่ยนแปลงด้วยเช่นกัน

จากการพิจารณาทั้งหมดจะเห็นได้ว่าไม่ว่าจะพิจารณาแยกทีละปัจจัย หรือ พิจารณาร่วมทีละคู่ปัจจัย หรือพิจารณาร่วมทั้ง 3 ปัจจัย ก็จะส่งผลต่อค่า %recovery ของ ABS ในทุกกรณี

4.4 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าของกระบวนการแยกพลาสติก HIPS และ ABS ด้วยกระบวนการ froth flotation

จากกระบวนการแยกพลาสติกแยกพลาสติก HIPS และ ABS ด้วยเทคนิค froth flotation สามารถสรุปค่าใช้จ่ายต้นทุนในการแยกได้ดังตารางที่ 4.4 ซึ่งเป็นราคาต้นทุนในกระบวนการแยกพลาสติกผสมระหว่าง HIPS และ ABS ต่อ 1 batch (0.5 กิโลกรัมต่อ 1 batch) ซึ่งราคาต้นทุนรวมในการแยกเท่ากับ 10.57 บาท ซึ่งเมื่อแยกพลาสติก ทั้ง 2 ชนิดนี้ออกจากกันได้จะสามารถขายพลาสติก HIPS ในราคาประมาณกิโลกรัมละ 25 บาท และ ABS ราคา กิโลกรัมละ 35 บาท ดังนั้นถ้าคิดราคาในการแยกเพื่อให้ได้ HIPS และ ABS อย่างละ 1 กิโลกรัม ต้องทำการแยก 4

batch คิดเป็นราคาต้นทุนการแยกเท่ากับ 42.28 บาท ซึ่งเมื่อแยกได้จะสามารถขายพลาสติกทั้ง 2 ชนิดนี้รวมกันในราคา 60 บาท ซึ่งจะทำให้ได้กำไรจากการแยก พลาสติกทั้ง 2 ชนิดนี้ประมาณ 18 บาท (HIPS 1 กิโลกรัม และ ABS 1 กิโลกรัม)

ตารางที่ 4.4 แสดงต้นทุนในกระบวนการแยกในระดับการทดลอง
(กรณีที่ใช้ขยะพลาสติก HIPS และ ABS)

รายการ	ราคา	ปริมาณที่ใช้ต่อ batch	ราคา (บาท)
1. ค่าสารเคมี			
1.1 tannic acid	2,000 บาท / 500 กรัม	0.625 กรัม	2.5
1.2 NaOH (commercial)	40 บาท / 1 กิโลกรัม	10 กรัม	0.4
1.3 เกลือ NaCl (commercial)	100 บาท / 30 กิโลกรัม	600 กรัม	2.0
1.4 pine oil	200 บาท / 500 มิลลิลิตร	0.625 มิลลิลิตร	0.25
2. เม็ดพลาสติก			
2.1 ขยะพลาสติก HIPS และ ABS รวมกัน	10 บาท / กิโลกรัม	0.5 กิโลกรัม	5.0
3. ค่าใช้จ่ายในการแยกพลาสติก			
3.1 ค่าน้ำประปา	0.017 บาท/ลิตร	10 ลิตร	0.17
3.2 ค่าไฟฟ้า (ในการปั๊มอากาศ ปั๊มน้ำ และหมูนมอเตอร์)	0.25 บาท/ชั่วโมง	1 ชั่วโมง	0.25
รวม			10.57

ข้อมูลพื้นฐานในการคำนวณ

- คิดค่าไฟ หน่วยละ 3.5 บาท
- ปั๊มน้ำ 32 วัตต์ 2 ตัว
- ปั๊มอากาศ 3.5 วัตต์ 2 ตัว

เมื่อพิจารณาความเป็นไปได้ในด้านการตลาดของระบบ froth flotation ที่ใช้ในการแยกพลาสติก HIPS และ ABS ในระดับการทดลอง จะพบว่าต้องมีการลงทุนค่าเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อใช้ในการสร้างระบบ เป็นเงินจำนวน 36,670 บาท ซึ่งอายุการใช้งานเฉลี่ยของอุปกรณ์ต่างๆ จะมีอายุประมาณ 10 ปี ดังนั้นเมื่อคิดค่าเสื่อมราคาของอุปกรณ์ต่างๆ จะมีค่าเท่ากับ 3,667 บาท ต่อปี แสดงดังตารางที่ 4.5 ซึ่งทำให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในด้านการตลาดสำหรับการลงทุนสร้างระบบการแยกพลาสติกนี้ในระดับการทดลอง โดยจากตารางที่ 4.5 ทำให้ทราบว่าต้นทุนในส่วนของอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ซึ่งจะทำการลงทุนซื้อหรือสร้างขึ้นในปีแรกนั้น คิดเป็นจำนวนเงิน 40,120 บาท ยกเว้นตะแกรงที่ใช้รองรับเม็ดพลาสติกซึ่งเกิดการผุกร่อนได้ง่ายจึงต้องทำการเปลี่ยนตะแกรงที่ใช้รองรับเม็ดพลาสติกทุกๆ 10 วัน คิดเป็นมูลค่าปีละ 3,600 บาท

ในส่วนของต้นทุนผันแปรรายปีจะเกิดจากต้นทุนขยะพลาสติกผสมระหว่าง HIPS กับ ABS และค่าสารเคมีต่างๆ รวมทั้งค่าน้ำ ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการแยกพลาสติกทั้ง 2 ชนิดนี้ออกจากกัน ซึ่งต้นทุนผันแปรรายปีทั้งหมดจะเท่ากับ 30,384 บาท

ระบบ froth flotation ในระดับการทดลองจะสามารถทำการแยกพลาสติก HIPS และ ABS เป็นจำนวน 12 batch ต่อวัน ทำให้ได้พลาสติกทั้ง 2 ชนิด ชนิดละ 3 กิโลกรัมต่อวัน และเวลาทำงานในการแยกพลาสติกทั้ง 2 ชนิด คิดเป็น 240 วันต่อปี ทำให้สามารถแยกพลาสติก HIPS และ ABS รวมกันได้ปีละ 1,440 กิโลกรัม โดยจากต้นทุนในการรับซื้อขยะพลาสติกผสมระหว่าง HIPS และ ABS คือ 10 บาทต่อกิโลกรัม เมื่อทำการแยกพลาสติกทั้ง 2 ชนิดออกจากกันจะทำให้สามารถขายพลาสติก HIPS ได้ในราคา กิโลกรัมละ 25 บาท และ ABS ในราคา กิโลกรัมละ 35 บาท ซึ่งจากกำลังการผลิตข้างต้นจะสามารถขายพลาสติก HIPS ได้ปีละ 18,000 บาท และพลาสติก ABS ปีละ 25,200 บาท ทำให้ในแต่ละปีมีกำไรจากการแยกขยะพลาสติก HIPS และ ABS ปีละ 5,549 บาท และเมื่อนำมาคิดถึงระยะเวลาคุ้มทุนจะพบว่าเวลาที่คุ้มทุนจะอยู่ที่ปีที่ 7 ของการดำเนินการ

ตารางที่ 4.5 แสดงราคาของต้นทุนในการสร้างระบบ froth flotation ในระดับการทดลอง
 ราคาต้นทุนในกระบวนการแยกพลาสติก HIPS และ ABS ในระดับการทดลอง และระยะเวลาคุ้ม
 ทุนของการแยก (ราคาในหน่วยบาท)

detail	quantity / batch	price	12 batch / day	year 1	year 2	year 3	year 4	year 5	year 6	year7
capital cost										
spager	4	5 baht	-	20	0	0	0	0	0	0
flow meter	1	2,500 baht	-	2,500	0	0	0	0	0	0
internal tank	1	200 baht	-	200	0	0	0	0	0	0
external tank	1	800 baht	-	800	0	0	0	0	0	0
water pump	2	250 baht	-	500	0	0	0	0	0	0
temp controller	2	6,000 baht	-	12,000	0	0	0	0	0	0
motor	1	20,000 baht	-	20,000	0	0	0	0	0	0
rotor blade	1	500 baht	-	500	0	0	0	0	0	0
sieve	1	150 baht	1 unit per 10 days	3,600	3,600	3,600	3,600	3,600	3,600	3,600
sum capital cost				40,120	3,600	3,600	3,600	3,600	3,600	3,600
depreciation				3,667	3,667	3,667	3,667	3,667	3,667	3,667
total capital cost				43,787	7,267	7,267	7,267	7,267	7,267	7,267
variable cost										
tannic acid	0.625 g	4 baht/g	30 baht	7,200	7,200	7,200	7,200	7,200	7,200	7,200
NaOH (commercial)	10 g	0.04 baht/g	4.8 baht	1,152	1,152	1,152	1,152	1,152	1,152	1,152
NaCl (commercial)	600 g	0.0033 baht/g	23.76 baht	5,702	5,702	5,702	5,702	5,702	5,702	5,702
pine oil	0.625 ml	0.4 baht/ml	3 baht	720	720	720	720	720	720	720
ABS+HIPS	0.5 kg	10 baht/kg	60 baht	14,400	14,400	14,400	14,400	14,400	14,400	14,400
operation cost										
water	10 L	0.017 baht/L	2.04 baht	490	490	490	490	490	490	490
electric	0.25 baht/hr	1 hr	3 baht	720	720	720	720	720	720	720
sale	HIPS	25 baht / kg	3 kg	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000
	ABS	35 baht / kg	3 kg	25,200	25,200	25,200	25,200	25,200	25,200	25,200
profit		baht		-30,971	5,549	5,549	5,549	5,549	5,549	5,549
sum profit		baht		-30,971	-25,422	-19,873	-14,324	-8,775	-3,226	2,323