อิทธิพลของเงื่อนไขการล้างที่มีต่อชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์บนเครื่องล้างอัลตราโซนิคอัตโนมัติ

EFFECT OF WASHING CONDITIONS ON HARD DISK PARTS ON AUTOMATED ULTRASONIC WASHING MACHINE

สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ, *ดวงตา ละเอียดดี, ปิยะชาติ อริยโชติมา*

Somkiat Tangjitsitcharoen, *Duangta Laiaddee, Piyachart Ariyachotima*

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์อุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering Chulalongkorn University.

บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของเงื่อนไขการล้างของเครื่องล้างอัลตราโซนิคอัตโนมัติในการชะล้างคราบน้ำมัน และคราบสกปรกอื่นๆ ออกจากชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ โดยเครื่องล้างอัลตราโซนิคอัตโนมัตินี้ใช้คลื่นอัลตราโซนิคเป็นเครื่องมือสำคัญในการชะล้างชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ โดยใช้สารชะล้างคือ Actrel 3356L ทั้งในกระบวนการล้างและกระบวนการอบของเครื่องล้างอัลตราโซนิคอัตโนมัตินี้ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสภาวะการล้างอันได้แก่ เวลาล้างชิ้นงาน เวลาอบชิ้นงานและเวลาสเปรย์ ซึ่งล้วนเป็นปัจจัยสำคัญในการลดคราบสกปรกออกจากผิวชิ้นงาน และได้นำสภาวะการล้างเหล่านี้มาออกแบบผลการทดลองเพื่อหาจุดที่เป็นสภาวะการทำงานที่ดีที่สุดของแต่ละชิ้นงานและทำการอธิบายผลการทดลองด้วยเส้นแนวโน้ม (trend line) แบบโพลิโนเมียลหลังจากหาสภาวะการล้างชิ้นงานสำเร็จทุกชิ้นงานแล้ว งานวิจัยนี้ได้ทำการประมาณค่าของเสียจากคราบสกปรกทุกประเภทที่เหลืออยู่จากล็อตชิ้นส่วนที่ทำการศึกษาแบบช่วงความเชื่อมั่นสำหรับค่าเฉลี่ยของประชากรที่มีการกระจายของความน่าจะเป็นแบบปกติ โดยที่ไม่ทราบค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานด้วยเพื่อกำหนดขอบเขตระดับคุณภาพจากการล้างชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ที่ทำการศึกษาและทำการคำนวณค่าใช้จ่ายด้วยสมการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายที่พัฒนาขึ้น

คำสำคัญ: คราบสกปรก อัลตราโซนิค เครื่องจักรกลซีเอ็นซี ชิ้นงานฮาร์ดดิสก์

Abstract

This research has studied on the effect of the washing conditions of the automated ultrasonic washing machine in order to clean the oil contamination and other contamination from the hard disk parts. This research focused on the use of ultrasonic to clean out the contamination by using Actrel 3356L as a part cleaner. This research illustrates the relation of the contamination, the dryer time and the spray time by employing the polynomial trend line as a tool. The trend line shows the optimum point

of the waste from the contamination and be applied to set for a standard working time for each washing tank of the ultrasonic hydrocarbon washing machine. The prediction interval for the mean of population is used to predict the mean of the waste of studied parts. The cost analysis model is developed to calculate the washing cost with the ultrasonic hydrocarbon washing machine.

บทนำ

เครื่องจักรซีเอ็นซีเป็นเครื่องจักรที่สามารถผลิตชิ้นงานให้ออกมาตามแบบวิศวกรรมโดยใช้การควบคุมด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ อย่างไรก็ตามเครื่องจักรซีเอ็นซีต้องการสารหล่อลื่นมาช่วยลดความร้อนและแรงเสียดทานขณะทำการผลิตชิ้นงาน แต่ชิ้นงานที่ต้องการความสะอาดเป็นพิเศษ เช่น ชิ้นงานที่ประกอบในฮาร์ดดิสก์ สารหล่อลื่นที่ตกค้างเหล่านี้จะเป็นอุปสรรคต่ออายุการใช้งานของฮาร์ดดิสก์เองจึงได้มีการศึกษาการล้างงานเพื่อลดคราบสกปรกอันเกิดจากสารหล่อลื่นเหล่านี้

คลื่นอัลตราโซนิคเป็นพลังงานทางกลชนิดหนึ่งในพลังงานสามประเภทที่สามารถใช้ในกระบวนการทำความสะอาดชิ้นงานได้ [1] โดยสามารถใช้ล้างชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนได้เป็นอย่างดี และมีการวิจัยศึกษาอิทธิพลของการล้างชิ้นงานบนถาดล้างแบบหมุด ซึ่งสามารถล้างชิ้นงานได้ดีกว่าการล้างชิ้นงานแบบธรรมดา [2]

การลดปัญหาคราบน้ำมันบนชิ้นงานด้วยเครื่องล้างอัลตราโซนิค ได้มีการวิจัยล้างชิ้นงานด้วยสารชะล้าง คือ น้ำที่ผ่านกระบวนการ Reverse Osmosis กับสารไฮโดรคาร์บอน ด้วยเครื่องล้างอัลตราโซนิคแบบกึ่งอัตโนมัติ [3] ซึ่งเป็นต้นแบบของเครื่องล้างอัลตราโซนิคอัตโนมัติที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

หลังจากพัฒนาเครื่องล้างอัลตราโซนิคอัตโนมัติเครื่องจากงานวิจัยข้างต้นของนักวิจัย โรงงานกรณีศึกษายังไม่ได้ทำการตั้งเวลาทำงานของถังล้างแต่ละถังในเครื่องล้างอัลตราโซนิคอัตโนมัติเพื่อเป็นการหาเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมกับชิ้นงานแต่ละประเภท งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาเวลาการทำงานที่เหมาะสมโดยอ้างอิงแนวทางจากงานวิจัยของนักวิจัยที่กล่าวข้างต้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการล้างด้วยเครื่องล้างอัลตราโซนิคอัตโนมัติชิ้นงานโดยที่ค่าเฉลี่ยของชิ้นงานที่มีคราบสกปรกไม่เกินหนึ่งเปอร์เซ็นต์ และทำการจัดตั้งเวลามาตรฐานในการล้างงานแต่ละชิ้นงาน โดยดูผลจากแต่ละเงื่อนไขที่เปลี่ยนไปและพิจารณาถึงต้นทุนในการล้างและกำลังการผลิตตามแผนการของโรงงานกรณีศึกษา

วิธีการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการศึกษาหาสภาวการณ์ล้างที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแต่ละชิ้นงาน โดยออกแบบการทดลองให้สอดคล้องกับข้อสมมติฐานในการขจัดคราบสกปรกทั้งประเภทคราบน้ำมัน และประเภทคราบใสและคราบสีขาว

2. นำสภาวะการล้างงานที่เหมาะสมสำหรับแต่ละชิ้นงานที่ศึกษานำไปทดลองใช้งานจริง

3. ทำการกำหนดช่วงความเชื่อมั่นสำหรับค่าเฉลี่ยของประชากรที่มีการกระจายของความน่าจะเป็นแบบปกติ โดยที่ไม่ทราบค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อหาสัดส่วนของเสียจากการล้างชิ้นงาน

4. ทำการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการล้างงานด้วยเครื่องล้างอัลตราโซนิคอัตโนมัติและการล้างงานด้วยกระบวนการล้างเดิมของโรงงานกรณีศึกษา

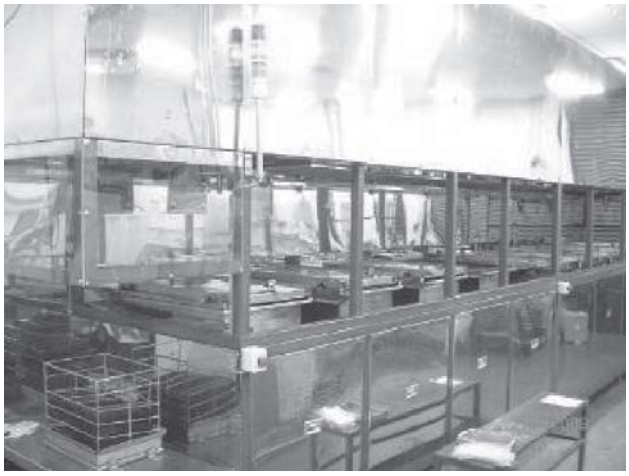
5. ทำการสร้างสมการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายใช้เหลือน้อยที่สุด

6. คำนวณและวิเคราะห์ความอ่อนไหวของสมการค่าใช้จ่าย

7. สรุปผลจากการล้างงานด้วยเครื่องล้างอัลตราโซนิคอัตโนมัติ

เครื่องล้างอัลตราโซนิคอัตโนมัติ

เครื่องล้างอัลตราโซนิคอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นโดยนักวิจัย (ภาพที่1) เป็นเครื่องล้างชิ้นงานด้วยสารไฮโดรคาร์บอนเป็นหลัก โดยอาศัยหลักการทางเคมีให้สารไฮโดรคาร์บอนเป็นตัวนำในการดึงคราบน้ำมันและสิ่งสกปรกที่ติดอยู่บนชิ้นงานหลุดออกมาด้วยพันธะทางเคมี ซึ่งคราบน้ำมันหลักที่ต้องล้างคือน้ำมันหล่อลื่น (Cutting oil) ชื่อว่า C825 ส่วนสารไฮโดรคาร์บอนที่ใช้ในเครื่องล้างของงานวิจัยคือ Actrel 3356L และน้ำยาล้างชิ้นงานอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ในถังล้างถังแรกคือ Careclean ซึ่งเป็นตัวทำละลายประเภทหนึ่ง



ภาพที่ 1 เครื่องล้างอัลตราโซนิคอัตโนมัติ

เครื่องล้างอัลตราโซนิคอัตโนมัตินี้ทำงานแบบอัตโนมัติด้วยระบบ PLC โดยจะทำการควบคุมแขนกลในการหยิบจับ ตะกร้าใส่ถาดชิ้นงานที่จะล้างไปยังถังต่างๆ ทั้งหมด 8 ถังจนจบกระบวนการล้างซึ่งแต่ละถังมีรายละเอียดต่างๆ กัน ดังนี้

1. ถังน้ำยา Careclean 1 ถัง (Dipping tank no.1)

2. ถังล้างด้วยไฮโดรคาร์บอนพร้อมระบบลิฟท์ภายใน 1 ถัง (Dipping tank no.2)

3. ถังล้างด้วยไฮโดรคาร์บอนพร้อมระบบลิฟท์และอัลตราโซนิค 1 ถัง (Ultrasonic)

4. ถังแช่สารไฮโดรคาร์บอน 1 ถัง (Waiting tank)

5. ถังล้างด้วยไฮโดรคาร์บอนพร้อมอัลตราโซนิคและระบบสุญญากาศถังที่ 1 (Vacuum no.1)

6. ถังล้างด้วยไฮโดรคาร์บอนพร้อมอัลตราโซนิคและระบบสุญญากาศถังที่ 2 (Vacuum no.2)

7. ถังอบชิ้นงานถังที่ 1 (Dryer no.1)

8. ถังอบชิ้นงานถังที่ 2 (Dryer no.2)

ตารางที่ 1 แสดงฟังก์ชันการทำงานของถังล้างที่หนึ่งถึงถังล้างที่แปด

ถังล้างที่	1	2	3	4	5	6	7	8
โซลเวนต์ Careclean	●	–	–	–	–	–	–	–
น้ำยา Actrel 3356L	–	●	●	●	●	●	●	●
ระบบลิฟท์	●	●	●	–	●	●	–	–
อัลตราโซนิค	–	–	●	–	●	●	–	–
ระบบสุญญากาศในถัง	–	–	–	–	●	●	●	●
อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส	–	–	–	–	–	–	●	●
พ่นสเปรย์	–	–	–	–	–	–	●	●

ชิ้นงานในการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้เลือกชิ้นงานที่จะศึกษา 4 ชิ้นงาน ได้แก่

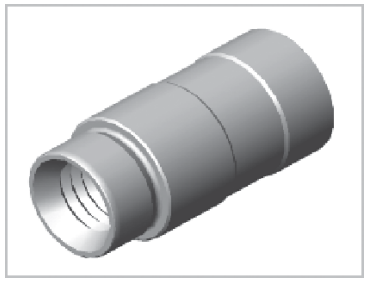
1. Sh-Aries เป็นชิ้นงานตัวแทนของชิ้นงาน Shaft ที่มีขนาดสั้น และมีปริมาณการผลิตมากที่สุด

2. Sh-Falcon เป็นชิ้นงานตัวแทนของชิ้นงาน Shaft ที่มีรูด้านเดียว

3. Sl-Nighthawk 1HD เป็นชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนที่สุดของกลุ่ม Sleeve ที่มีรูขนาดใหญ่

4. Sl-Aries b เป็นชิ้นงานตัวแทนของกลุ่มชิ้นงาน Sleeve ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว และมีการผลิตมากที่สุดในกลุ่มนี้ ชิ้นงานนี้ไอสเปรย์จะสัมผัสผิวด้านในได้ยากกว่าชิ้นงานอื่น

ข้อจำกัดที่กำหนดไว้สำหรับการเลือกชิ้นงานเหล่านี้ คือ ชิ้นงานที่ศึกษาต้องเป็นชิ้นงานที่มีรูตรงกลางและใช้ถาดหมุดในการล้างด้วยเครื่องล้างอัลตราโซนิคเครื่องใหม่ยกเว้นชิ้นงาน Sh-Falcon ที่ใช้การวางนอนกระจายบนถาดแสตนเลส



ภาพที่ 2 แสดงชิ้นงานตัวอย่าง Sh-Aries

การกำหนดช่วงความเชื่อมั่นสำหรับค่าเฉลี่ยของประชากรที่มีการกระจายของความน่าจะเป็นแบบปกติ โดยที่ไม่ทราบค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อหาสัดส่วนของเสียจากการล้างชิ้นงาน

หลังจากทำการล้างชิ้นงานด้วยสภาวะการล้างที่ออกแบบว่าดีที่สุดแล้ว จึงได้ทำการประมาณค่าของเสียโดยกำหนดช่วงความเชื่อมั่นสำหรับค่าเฉลี่ยของประชากร เพื่อหาสัดส่วนของเสียจากการล้างชิ้นงานโดยกำหนดให้ สัดส่วนของเสียจากการสุ่มที่มีการกระจายตัวความน่าจะเป็นแบบปกติ μ คือ ค่าเฉลี่ยของของเสียจากประชากรซึ่งในที่นี้คือล็อตชิ้นงาน ($\overline{X}$) โดยได้เก็บจำนวนข้อมูลมาเท่ากับ n ล็อตชิ้นงาน ส่วนค่าเฉลี่ยของสัดส่วนของเสียกำหนดให้แทนด้วยสัญลักษณ์ $\overline{X}$ และ S คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการกระจายตัวของตัวอย่าง

ในการกำหนดช่วงความเชื่อมั่นสำหรับค่าเฉลี่ยของประชากรจะต้องทำการกำหนดขอบเขตความเชื่อมั่นด้านสูงและความเชื่อมั่นด้านต่ำ ในการวิจัยนี้ได้กำหนดสัญลักษณ์ให้ U แทน ขอบเขตความเชื่อมั่นด้านสูง และ L แทนขอบเขตความเชื่อมั่นด้านต่ำ สำหรับแบบความเชื่อมั่นสองด้านและตั้งระดับความเชื่อมั่น 95% จะได้ว่า

$$L = \overline{X} - t_{0.025,n-1} \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

$$U = \overline{X} - t_{0.025,n-1} \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

การสร้างสมการวิเคราะห์ค่าใช้จ่าย

การพิจารณาหาปริมาณการล้างที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละชิ้นงานต่อวันด้วยเครื่องล้างอัลตราโซนิคอัตโนมัติเพื่อลดค่าใช้จ่าย (Z) ให้เหลือน้อยที่สุด โดยลักษณะของสมการคณิตศาสตร์มีดังนี้

Objective function:	Minimize cost Z
Subject to:	Constraint 1
	Constraint 2
	.
	.
	Constraint n

ส่วนประกอบของสมการวิเคราะห์ค่าใช้จ่าย

ค่าใช้จ่าย (Z) ที่สนใจศึกษา ประกอบด้วย ค่าไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายจากค่าน้ำยาล้างชิ้นงาน ค่าใช้จ่ายจากคราบสกปรกที่เหลือค้าง และค่าเสียโอกาสจากการเดินเครื่องล้างอัลตราโซนิคอัตโนมัติเปล่าโดยไม่ได้ล้างงานเลยรวมถึงการไม่ได้ล้างงานด้วยกระบวนการล้างแบบเดิม

สมการจำกัดเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ใช้ในสมการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายเพื่อคำนวณหาปริมาณการล้างงานด้วยกระบวนการล้างเดิมและเครื่องล้างอัลตราโซนิคให้ค่าใช้จ่ายเหลือน้อยที่สุด การกำหนดสมการจำกัดนั้นจะสร้างจากข้อกำหนดของโรงงานในด้านต่างๆ ที่เกิดขึ้นจริงในการล้างงาน สมการจำกัดที่ใช้ในสมการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการวิจัยได้แก่ จำนวนชิ้นงานของแต่ละชิ้นงานที่ต้องล้างด้วยเครื่องล้างอัลตราโซนิคอัตโนมัติ กำลังการผลิตของเครื่องจักรซีเอ็นซี และเวลาทำงานของแต่ละชิ้นงานที่ทำได้ในหนึ่งวัน

แนวทางการลดปัญหาคราบใสและคราบสีขาวบนผิวชิ้นงาน

ความแห้งของชิ้นงานนั้นมีผลต่อคราบสกปรกประเภทคราบใส โดยพบว่าชิ้นงานที่แห้งสนิทดีจะพบคราบใสน้อยลง ส่วนชิ้นงานที่ยังชื้นอยู่หรือเปียกหมาดๆ เมื่อแห้งดีแล้วจะมีคราบใส

ปรากฏขึ้นมา ส่วนคราบสีขาวนั้นเกิดจากน้ำยาล้างชิ้นงาน Actrel 3356L เมื่อระเหยออกไปแล้วจะเหลือคราบสีขาวของน้ำยาปรากฏอยู่ที่ผิว การลดปัญหาคราบสกปรกทั้งสองประเภทนี้ต้องใช้การอบให้แห้งสนิทดี โดยการอบชิ้นงานให้แห้งนั้นมีข้อสันนิษฐานดังนี้

1. ชิ้นงานที่ยิ่งอบนานจะยิ่งแห้งดีขึ้น

2. การพ่นไอน้ำยาหรือสเปรย์ปริมาณที่เหมาะสมจะช่วยให้ชิ้นงานแห้งดีขึ้น หากปริมาณน้อยเกินไปจะทำให้ชิ้นงานยังคงเปียกอยู่เนื่องจากไม่มีตัวพาความร้อนที่เพียงพอที่จะทำให้ของเหลวที่ผิวชิ้นงานเดือดแห้งหมด แต่หากปริมาณเยอะเกินไปก็จะทำให้ผิวของชิ้นงานเป็นรอยเปียกชื้นหรือเป็นปัญหาคราบใสบนผิวชิ้นงานได้เช่นกัน ซึ่งอัตราส่วนที่สนใจนี้จะใช้สัญลักษณ์ คือ S/D ซึ่งย่อมาจากอัตราส่วนเวลาสเปรย์กับเวลาอบ (Spray time/Dryer time)

3. เวลาในการอบที่ถังอบที่เจ็ดและแปดของเครื่องล้างอัลตราโซนิคอัตโนมัติต้องนานเพียงพอที่จะให้อุณหภูมิกลับสูงขึ้นมาเหมือนก่อนจะใส่ตะกร้าชิ้นงานเข้าสู่ถังอบ มิฉะนั้นหากทำการใส่งานตะกร้าต่อๆ ไปเข้าสู่ถังอบอย่างต่อเนื่องจะทำให้อุณหภูมิของถังอบลดลงต่ำกว่า ระดับอุณหภูมิที่ใช้ทำงาน ทำให้ผลการอบชิ้นงานออกมาไม่มีประสิทธิภาพ

หลักในการปรับตั้งเวลาในการทดลองเพื่อหาจุดทำงานที่เหมาะสม (Optimum point) ของถังอบมีดังนี้

1. เริ่มปรับตั้งเวลาอบ (Dryer time) จากจุดที่พบว่าชิ้นงานเริ่มแห้งดี โดยของเหลวที่ปรากฏบนผิวชิ้นงานนั้นหายไปกลายเป็นคราบใสแทน

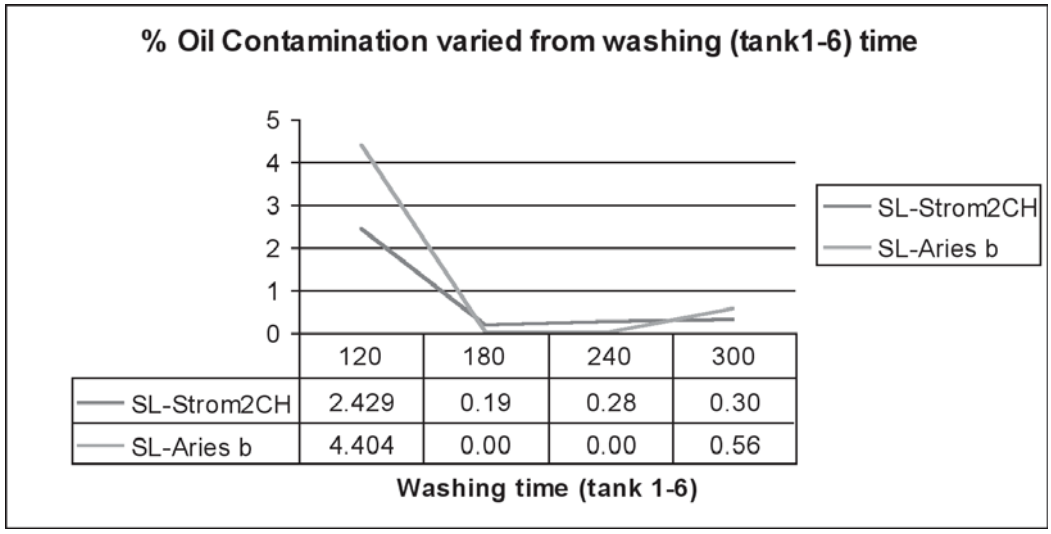
2. การปรับเวลาที่ถังอบนั้นจะทำการปรับให้สูงขึ้นระดับละสองนาที เนื่องจากจะทำให้ระดับความแห้งของชิ้นงานเห็นชัดเจนขึ้นโดยรอบเวลาทำงานยังเปลี่ยนแปลงแค่หนึ่งนาทีเนื่องจากเครื่องล้างอัลตราโซนิคอัตโนมัตินี้มีถังอบสองถัง เท่ากับมี 2 สถานีทำงาน

3. เวลาอบนั้นไม่ควรนานเกิน 840 วินาที เนื่องจากจะมีผลกระทบต่อกำลังการผลิตของเครื่องล้างอัลตราโซนิคอัตโนมัติที่โรงงานยอมรับได้

4. ปรับเวลาพ่นสเปรย์ (Spray time) เพิ่มขึ้นระดับละ 1 นาที เพื่อสังเกตแนวโน้มของเสียจากคราบสกปรกว่าลดลงถังระดับไหนและจุดไหนจึงจะเป็นจุดทำงานที่เหมาะสมของชิ้นงานนั้นๆ

แนวทางการลดปัญหาคราบน้ำมัน (Oil Contamination)

ปัญหาเรื่องคราบน้ำมันนั้นเกิดจากการที่ไม่สามารถล้างเอาคราบน้ำมันออกจากเครื่องจักรซีเอ็นซีออกไปได้หมด ดังนั้นในเบื้องต้นการกำจัดคราบน้ำมันออกจากชิ้นงานจึงต้องเพิ่มเวลาล้างในเครื่องล้างให้มากขึ้น สำหรับเครื่องล้างอัลตราโซนิคอัตโนมัติจึงต้องเพิ่มเวลาล้างงานที่ถังที่ 1 ถึง 6 ให้มากขึ้น โดยเริ่มทดลองจากการปรับเวลาล้างตั้งแต่สามถึงห้านาที กับชิ้นงานตัวอย่าง SI-Storm 2 CH และ SI-Aries b ซึ่งได้ผลออกมาดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ร้อยละของเสียคราบน้ำมันจากการเปลี่ยนเวลาล้างที่ถังที่ 1-6

จากภาพที่ 3 สามารถสรุปได้ว่า การตั้งเวลาล้างชิ้นงานสำหรับเครื่องอัลตราโซนิคอัตโนมัติในถังที่หนึ่งถึงถังที่หกควรตั้งให้มากกว่าหรือเท่ากับ 180 วินาที (3 นาที) โดยหากตั้งเวลาดังกล่าวแล้วจะไม่พบความแตกต่างของผลล้างจากคราบน้ำมันอีกต่อไป นอกจากนี้ยังเอาผลจากกราฟดังกล่าวมาตั้งเป็น เวลามาตรฐานเบื้องต้นในการล้างชิ้นงาน โดยตั้งเวลาล้างชิ้นงานสำหรับถังที่ 1-6 เท่ากับ 180 วินาที สำหรับทุกชิ้นงาน

การออกแบบการทดลองและผลการทดลอง

เนื่องจากการเพิ่มเวลาล้างงานในถังที่หนึ่งถึงถังที่หกมากกว่าหรือเท่ากับ 3 นาที ไม่พบความแตกต่างของผลการล้างอย่างชัดเจนอีกต่อไป โดยคราบสกปรกจากคราบน้ำมันจะลดลงเหลือต่ำกว่าร้อยละ 1 (ตามนโยบายของโรงงานกรณีศึกษากำหนด) จึงเลือกเวลาการล้างชิ้นงานที่ต่ำที่สุดสำหรับถังท ี่ 1-6 ให้ทำงานถังละ 3 นาที

หลังจากลดของเสียจากคราบน้ำมันแล้ว การวิจัยจึงมุ่งสนใจการลดของเสียจากคราบใสและคราบสีขาวเป็นอันดับต่อไปด้วยการปรับสภาวะการทำงานของถังอบซึ่งเป็นถังที่ 7 และ 8 ในเครื่องล้างอัลตราโซนิคอัตโนมัติ โดยทำการออกแบบการทดลองสำหรับแต่ละชิ้นงาน ซึ่งแบบการทดลองสำหรับแต่ละชิ้นงานจะแตกต่างกันออกไป

สำหรับเวลาอบชิ้นงานจะเริ่มตั้งระดับการทำงานแรกที่ระดับที่พบว่าชิ้นงานเริ่มแห้งดี เพิ่มระดับต่อไประดับละสองนาทีจนกระทั่งถึงระดับเวลาอบสูงสุดที่โรงงานกรณีศึกษายอมรับได้เท่ากับ 840 วินาที

สำหรับเวลาสเปรย์นั้นจะมีระดับเริ่มต้นและระดับสูงสุดที่ตั้งไว้สำหรับการทดลองแตกต่างกันไป โดยตั้งช่วงให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับค่าอัตราส่วนเวลาสเปรย์กับเวลาอบ (Spray time/Dryer time) ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ S/D ให้สามารถแสดงแนวโน้มการเกิดของเสียจากคราบสกปรกด้วยเส้นแนวโน้มได้และสามารถแสดงจุดทำงานที่เหมาะสมได้โดยการออกแบบการทดลองของชิ้นงาน Sh-Aries แสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การออกแบบการทดลองชิ้นงาน Sh-Aries

Model	Sh-Aries
Dryer time	720, 840
Spray time	120, 180, 240, 300

จากการทดลองหาสภาวการณ์ล้างงานที่เหมาะสมที่สุดโดยศึกษาผลจากความสัมพันธ์ระหว่างของเสียจากคราบสกปรกกับเวลาอบและเวลาสเปรย์ ได้ผลการทดลองสำหรับชิ้นงาน Sh-Aries แสดงได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดลองชิ้นงาน Sh-Aries

Test no.	Condition	Sample	NG	Proportion	%NG
1	Dryer time = 720 sec	880	215	0.2443	24.43
	Spray time = 120 sec	850	207	0.2435	24.35
	sum	1730	422	0.2439	24.39
2	Dryer time = 720 sec	879	63	0.0717	7.17
	Spray time = 180 sec	869	182	0.2094	20.94
	sum	1748	245	0.1402	14.02
3	Dryer time = 720 sec	866	12	0.0139	1.39
	Spray time = 240 sec	834	354	0.4245	42.45
	sum	1700	366	0.2153	21.53
4	Dryer time = 720 sec	831	123	0.1480	14.80
	Spray time = 300 sec	880	13	0.0148	1.48
	sum	1711	136	0.0795	7.95
5	Dryer time = 840 sec	869	347	0.3993	39.93
	Spray time = 120 sec	852	133	0.1561	15.61
	sum	1721	480	0.2789	27.89
6	Dryer time = 840 sec	426	67	0.1573	15.73
	Spray time = 180 sec	862	140	0.1624	16.24
	sum	1288	207	0.1607	16.07
7	Dryer time = 840 sec	870	156	0.1793	17.93
	Spray time = 240 sec	871	198	0.2273	22.73
	sum	1741	354	0.2033	20.33
8	Dryer time = 840 sec	865	139	0.1607	16.07
	Spray time = 300 sec	792	321	0.4053	40.53
	sum	1657	460	0.2776	27.76

จากการทดลองชิ้นงาน Sh-Aries พบว่าสภาวะล้างงานจากการทดลองที่ 4 ด้วยค่าอัตราส่วนเวลาสเปรย์ 720 วินาที ต่อเวลาอบ 300 วินาที ให้ผลล้างที่ดีที่สุด

การกำหนดช่วงความเชื่อมั่นสำหรับค่าเฉลี่ยของประชากร เพื่อหาสัดส่วนของเสียจากการล้างชิ้นงาน

จากผลการทดลองได้หาจุดสภาวะการล้างงานที่เหมาะสมกับการล้างชิ้นงานแต่ละประเภทได้แล้ว จึงได้ทำการกำหนดช่วงความเชื่อมั่นสำหรับค่าเฉลี่ยของประชากร โดยไม่ทราบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเนื่องจากเป็นกระบวนการที่พึ่งปรับปรุงใหม่และยังไม่มีตัวอย่างจากการใช้งานจริงมากนัก ทำให้ต้องทำการประมาณค่าของเสียโดยกำหนดเป็นช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ย [4] ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงค่าขอบเขตความเชื่อมั่นค่าเฉลี่ยของเสียของชิ้นงาน

ชิ้นงาน	ขอบเขตด้านบน	ขอบเขตด้านล่าง	ค่าเฉลี่ย
Sh-Aries	1.0577%	0.0000%	0.30%
Sh-Falcon	1.4528%	0.0000%	0.59%
SI-Nighthawk 1HD	1.4238%	0.0000%	0.37%
SI-Aries b	0.9373%	0.0000%	0.36%

จากตารางพบว่า ถึงแม้ขอบเขตบนของช่วงความเชื่อมั่นจะมีค่าเกินร้อยละ 1 ก็ตาม แต่ค่าขอบเขตบนที่สูงเช่นนี้เกิดจากตัวอย่างชิ้นงานล้างที่มีจำนวนล้างที่มีจำนวนน้อยเพียงประมาณ 3 ล็อตต่อประเภทชิ้นงานเท่านั้น จึงคาดว่าหากเพิ่มจำนวนตัวอย่างให้มากขึ้นเกินกว่า 30 ตัวอย่างขึ้นไป ค่าขอบเขตบนของค่าเฉลี่ยของเสียที่เกิดขึ้นจากการล้างชิ้นงานด้วยเครื่องล้างอัลตราโซนิคอัตโนมัติควรจะมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 1 ส่วนค่าขอบเขตล่างแสดงประสิทธิภาพที่ดีคือมีค่าเท่ากับร้อยละ 0 ซึ่งเป็นที่น่าพอใจ

การหาจำนวนล้างชิ้นงานที่ประหยัดค่าใช้จ่ายมากที่สุดด้วยสมการวิเคราะห์ค่าใช้จ่าย

เมื่อได้ทำการกำหนดช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ยแล้วจึงนำค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองนำสภาวะการล้างงานที่เหมาะสมของแต่ละชิ้นงานมาคำนวณด้วยสมการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายโดยกำหนดให้สภาวะการล้างงานมีผลกระทบต่อเวลาล้างงานของชิ้นงานในหนึ่งวัน ส่วนค่าเฉลี่ยของเสียของชิ้นงานจะนำไปประเมินเป็นค่าใช้จ่ายเช่นกัน ได้ผลดังตารางที่ 5

กำหนดให้ X_1 คือ จำนวนล็อตชิ้นงาน Sh-Aries ที่ล้างด้วยเครื่องล้างอัลตราโซนิคอัตโนมัติ, X_2 คือ จำนวนล็อตชิ้นงาน Sh-Falcon ที่ล้างด้วยเครื่องล้างอัลตราโซนิคอัตโนมัติ, X_3 คือ จำนวนล็อตชิ้นงาน SI-Nighthawk 1HD ที่ล้างด้วยเครื่องล้างอัลตราโซนิคอัตโนมัติ, X_4 คือ จำนวนล็อตชิ้นงาน SI-Aries b ที่ล้างด้วยเครื่องล้างอัลตราโซนิคอัตโนมัติ, Y_1 คือ จำนวนล็อตชิ้นงาน Sh-Aries ที่ล้างด้วยเครื่องกระบวนการล้างแบบเมทิลีนคลอไรด์ซึ่งเป็นกระบวนการล้างแบบเดิมที่โรงงานกรณีศึกษาใช้อยู่, Y_2 คือ จำนวนล็อตชิ้นงาน Sh-Falcon ที่ล้างด้วยเครื่องกระบวนการล้างแบบเมทิลีนคลอไรด์, Y_3 คือ จำนวนล็อตชิ้นงาน SI-Nighthawk 1HD ที่ล้างด้วยเครื่องกระบวนการล้างแบบเมทิลีนคลอไรด์, Y_4 คือจำนวนล็อต ชิ้นงาน SI-Aries b ที่ล้างด้วยเครื่องกระบวนการล้างแบบเมทิลีนคลอไรด์ และ T คือ เวลาว่างของเครื่องล้างอัลตราโซนิคอัตโนมัติในหนึ่งวัน เมื่อแทนค่าจะได้สมการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายดังนี้

Minimize Z = X_1[(840){(0.00406+0.00364+0.00145+0.00738}+(838)(0.0030)(0.0559)] +
Y_1[(0.0559)838+838(0.0117)(0.0559)]+
X_2[(840){(0.00406+0.00364+0.00145+0.00738}+(888)(0.0059)(0.0451)] +
Y_2[(0.0451)888+888(0.0724)(0.0451)]+
X_3[(600){(0.00406+0.00364+0.00145+0.00738}+(780)(0.0037)(0.0559)] +
Y_3[(0.0559)780+780(0.0029)(0.0559)]+
X_4[(720){(0.00406+0.00364+0.00145+0.00738}+(967)(0.0036)(0.0451)] +
Y_4[(0.0451)967+967(0.0063)(0.0451)]+
T{0.00406+0.00364+0.00145+0.00738+0.1498+0.1668}

Subject to

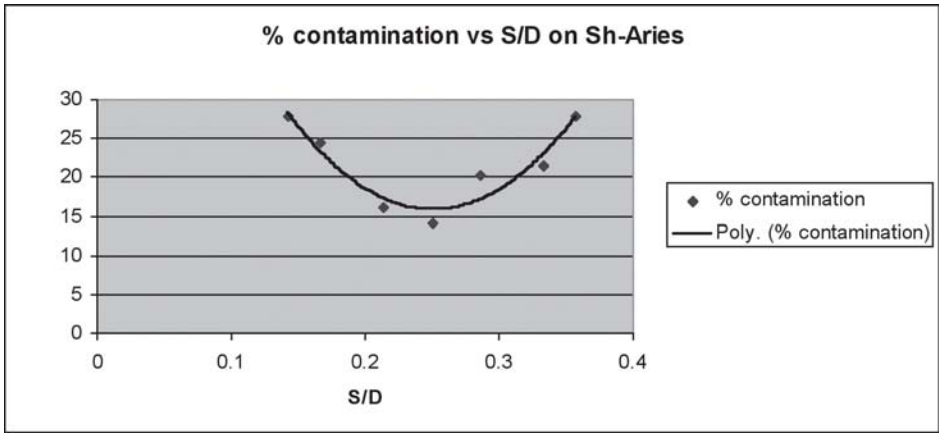
$420X_1+420X_2+300X_3+360X_4+T = 86400$	(เวลาล้างงานของชิ้นงานใน 1 วัน)
$X_1+Y_1 = 48$	(จำนวนล๊อตชิ้นงานของ Sh-Aries)
$X_2+Y_2 = 31$	(จำนวนล๊อตชิ้นงานของ Sh-Falcon)
$X_3+Y_3 = 17$	(จำนวนล๊อตชิ้นงานของ Sl-Nighthawk 1HD)
$X_4+Y_4 = 68$	(จำนวนล๊อตชิ้นงานของ Sl-Aries b)
$X_1 \geq 0$	(Nonnegativity)
$X_2 \geq 0$	(Nonnegativity)
$X_3 \geq 0$	(Nonnegativity)
$X_4 \geq 0$	(Nonnegativity)
$Y_1 \geq 0$	(Nonnegativity)
$Y_2 \geq 0$	(Nonnegativity)
$Y_3 \geq 0$	(Nonnegativity)
$Y_4 \geq 0$	(Nonnegativity)
$T \geq 0$	(Nonnegativity)

ตารางที่ 5 แสดงผลการคำนวณสมการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายเพื่อหาจำนวนล้างที่เหมาะสมที่สุดเพื่อลดค่าใช้จ่าย

ชิ้นงาน	จำนวนล๊อตชิ้นงานล้าง (ล็อต)		ค่าใช้จ่าย/หน่วย	ค่าใช้จ่าย
	เครื่องล้างอัลตราโซนิค	กระบวนการเดิม		
Sh-Aries	48	0	14.0257	673.2336
Sh-Falcon	31	0	14.1215	437.7665
Sl-Nighthawk 1HD	17	0	10.0793	171.3481
Sl-Aries b	68	0	12.0586	819.9848
เวลาว่าง (วินาที)	23640		0.32859	7767.8676
ค่าใช้จ่ายรวม				**9870.2006**

วิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยเส้นแนวโน้ม (Trend line)



ภาพที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลของสัดส่วนของเสียกับอัตราส่วน S/D (Sh-Aries)

จากภาพที่ 4 พบว่า ความสัมพันธ์ของค่าสัดส่วนของเสียจากคราบสกปรกและค่าอัตราส่วน S/D มีแนวโน้มอยู่ในรูปแบบของโพลิโนเมียล [5] ซึ่งพบว่า Dryer time เท่ากับ 720 วินาที และ Spray time เท่ากับ 180 วินาที ให้ผลการล้างที่ดีที่สุดโดยคิดอัตราส่วน S/D ได้เท่ากับ 0.250 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่า S/D ของชิ้นงาน Sh-Falcon จึงสรุปได้ว่าชิ้นงานที่หน้าตาคล้ายกันจะใช้อัตราส่วน S/D เท่ากัน อย่างไรก็ตามพบว่าของเสียที่เกิดขึ้นยังสูงกว่าหนึ่งเปอร์เซ็นต์ จึงได้ทำการปรับเวลาอบให้สูงขึ้นเป็น 840 วินาที โดยยังคงอัตราส่วน S/D ให้เท่าเดิมโดยใช้เวลาสเปรย์เท่ากับ 210 วินาที พบว่าค่าเฉลี่ยของของเสียลดลงต่ำกว่าหนึ่งเปอร์เซ็นต์

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายด้วยสมการวิเคราะห์ค่าใช้จ่าย

Microsoft Excel 11.0 Sensitivity Report
Worksheet: [Solver.xls]Sheet1
Report Created: 10/12/2009 3:33:14 PM

Adjustable Cells

Cell	Name	Final Value	Reduced Cost	Objective Coefficient	Allowable Increase	Allowable Decrease
B14	Solution x1	48	0	14.0257	171.3744	1E+30
C14	Solution x2	31	0	14.1215	166.8246	1E+30
D14	Solution x3	17	0	10.0793	132.2261	1E+30
E14	Solution x4	68	0	12.0586	150.1198	1E+30
F14	Solution y1	0	171.3744	47.3923	1E+30	171.3744
G14	Solution y2	0	166.8246	42.93829999	1E+30	166.8246
H14	Solution y3	0	132.2261	43.7284	1E+30	132.2261
I14	Solution y4	0	150.1198	43.88599998	1E+30	150.1198
J14	Solution t	23640	0	0.32859	1E+30	0.397201429

Constraints

Cell	Name	Final Value	Shadow Price	Constraint R.H. Side	Allowable Increase	Allowable Decrease
K7	Cap of Sh-Aries Totals	48	-123.9821	48	56.28571429	48
K8	Cap of Sh-Falcon Totals	31	-123.8863	31	56.28571429	31
K9	Cap of SI-Nighthawk 1HD Totals	17	-88.4977	17	78.8	17
K10	Cap of SI-Aries b Totals	68	-106.2338	68	65.66666667	68
K6	Working time Totals	86400	0.32859	86400	1E+30	23640

ภาพที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity) ของสมการ

จากการคำนวณด้วยสมการดังภาพที่ 5 จะได้คำตอบว่าควรทำการผลิตด้วยเครื่องล้างอัลตราโซนิคอัตโนมัติทั้งหมดเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายที่ถูกกว่ากระบวนการล้างแบบเก่า โดยคิดค่าใช้จ่ายจากการดำเนินการล้างในแต่ละวันเท่ากับ 9870.21 บาท เมื่อคิดถึงค่าเสียโอกาสจากการเดินเครื่องเปล่า โดยหากพิจารณาชิ้นงานแค่ 4 ประเภทนี้ พบว่าชิ้นงานที่ควรล้างด้วยเครื่องนี้มากที่สุด คือ ชิ้นงานจำพวก Sh-Aries และ Sh-Falcon โดยสังเกตได้จากค่า Shadow Price [6] ที่มีค่าติดลบสูงกว่าชิ้นงานจำพวก Sleeve ซึ่งให้ความหมายว่าหากทำการล้างชิ้นงานประเภทนี้เพิ่มขึ้นอีก 1 ล็อต ค่าใช้จ่ายจากที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการนี้จะลดลง เช่น หากนำชิ้นงาน Sh-Bronco b ซึ่งมีรูปร่างคล้ายกับชิ้นงาน Sh-Aries มาล้างด้วยเครื่องล้างอัลตราโซนิคอัตโนมัติค่าใช้จ่ายจากการล้างจะลดลง 123.98 บาท จึงสรุปได้ว่าเครื่องล้างอัลตราโซนิคอัตโนมัตินี้เหมาะกับการล้างชิ้นงานจำพวก Shaft มากกว่าชิ้นงานจำพวก Sleeve

ส่วน Allowable Increase และ Allowable Decrease นั้นบอกถึงขอบเขตของค่าที่สนใจสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยยังได้คำตอบที่ดีที่สุดเหมือนเดิม ส่วน Reduced Cost นั้นหมายถึงค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นจากการผลิตตัวแปรนั้นๆ ขึ้นมาหนึ่งหน่วย

สรุปและอภิปรายผล

สรุปผลการทดลอง

เครื่องล้างอัลตราโซนิคอัตโนมัติมีความสามารถในการล้างงานได้เป็นอย่างดี โดยสามารถลดของเสียให้ต่ำลงจากกระบวนการล้างเดิมของกรณีศึกษาได้อย่างชัดเจน จากการวิจัยพบว่าสภาวะการใช้งานที่เหมาะสมคือ ตั้งเวลาล้างชิ้นงานในถังที่หนึ่งถึงถังที่หกเท่ากับถังละ 3 นาที ส่วนการอบชิ้นงานที่ถังที่ 7 และ 8 นั้นจะใช้สภาวะการทำงานที่แตกต่างกันโดยสรุปไว้ในตารางที่ 6 โดยพบว่าตัวแปรที่มีผลต่อการกำจัดคราบสกปรกในถังอบชิ้นงานไม่ใช่เวลาอบหรือเวลาสเปรย์แต่เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างเวลาอบและเวลาสเปรย์ที่ใช้สัญลักษณ์คือ S/D โดยความสัมพันธ์ระหว่างของเสียจากคราบสกปรกและอัตราส่วน S/D สามารถอธิบายได้ด้วยเส้นแนวโน้มแบบโพลินอเมียลเป็นกราฟรูประฆังหงายซึ่งแสดงจุดที่ล้างงานได้ดีที่สุดอ้างอิงตามค่า S/D ซึ่งสามารถนำอัตราส่วน S/D นี้ไปประยุกต์ใช้ล้างงานหาสภาวะล้างงานที่เหมาะสมได้เป็นที่ดี โดยนำอัตราส่วนนี้ไปขยายหาเวลาอบและเวลาสเปรย์ที่เหมาะสมได้ตามกำลังการผลิตโรงงานกรณีศึกษา แต่สามารถนำไปใช้กับช่วงเวลาอบที่ชิ้นงานที่สนใจศึกษาเริ่มแห้งแล้วเท่านั้น

ตารางที่ 6 ตารางสรุปสภาวะการล้างชิ้นงานที่ศึกษา

Model	Dryer time	Spray time	S/D	% contamination
Sh-Aries	840	210	0.2500	0.33
Sh-Falcon	840	240	0.2857	0.00
Sl-Nighthawk 1HD	600	180	0.3000	0.11
Sl-Aries b	720	300	0.4167	0.61

ข้อเสนอแนะ

การปรับปรุงพัฒนาประสิทธิภาพการล้างของเครื่องล้างอัลตราโซนิคอัตโนมัติ

1. ทำการลดเวลาที่ใช้ในการอบชิ้นงานให้น้อยลงโดยของเสียยังคงมีค่าใกล้เคียงกับของเดิม โดยปรับเวลาและอัตราส่วน S/D (Spray time/Drying time) ให้เท่าเดิม

2. ทำการศึกษาอัตราส่วน S/D ให้ละเอียดขึ้น ซึ่งอาจจะช่วยลดของเสียให้ต่ำลงกว่าเดิม และนำไปใช้ลดเวลาทำงานที่ถังอบให้น้อยลงตามแนวทางข้อ 1. ได้ด้วย

3. ทำการปรับจังหวะการพ่นไอน้ำยา (Spray) ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยออกแบบให้มีจังหวะสุญญากาศที่เหมาะสมที่จะทำให้ไอน้ำยามีโอกาสสัมผัสผิวชิ้นงานได้มากกว่าเดิมทำให้ผลล้างออกมาดีขึ้นด้วย

การปรับปรุงเพื่อลดค่าใช้จ่ายจากการล้างงาน

1. จากการคำนวณด้วยสมการศึกษาการทำงานเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการล้าง เครื่องล้างยังมีเวลาว่างจากการล้างชิ้นงานทั้งสี่ชิ้นอยู่ถึง 23,640 วินาที ซึ่งคิดค่าเสียโอกาสจากการเดินเครื่องเปล่าและการไม่ล้างงาน

2. จากผลวิเคราะห์เรื่องความไว (sensitivity) ของผลการล้าง ควรนำชิ้นงานประเภท Shaft มาล้างมากกว่า นอกจากนี้หากดูจากผลล้างแล้วจะพบว่าการล้างชิ้นงานจำพวก Sleeve ด้วยเครื่องล้างไม่ได้ให้ผลที่แตกต่างจากการล้างด้วยกระบวนการเก่ามากนัก

เอกสารอ้างอิง

[1] Kenneth, R.A. (2007). Ultrasonics-A practical approach, *Metal Finishing.* 99(105): 122-128.

[2] Angsumalin Senjuntichai, Somkiat Tangjitsitcharoen, and Napassavong Rojanarowan. (2008). Improvement of Washing for Machining Part due to Oil Contamination. *IE Network Conference*, Thailand, October 20-22, pp. 456-469.

[3] Angsumalin Senjuntichai, Somkiat Tangjitsitcharoen, and Napassavong Rojanarowan. (2009). INVESTIGATION OF ULTRASONIC WASHING SYSTEM ON REDUCTION OF OIL CONTAMINATION ON MACHINING PARTS. *International Symposium on Scheduling*, Nagoya, Japan, July 4-6, pp. 111-116.

[4] Mendenhall, W., R.J. Beaver, and B.M. Beaver. (2006). *Probability and Statistics.* 12th Ed. USA, Thomson Books.

[5] ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ; และ จันทนา จันทโร. (2550). *สถิติสำหรับงานวิศวกรรม.* กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[6] Hamdy A. Taha. (2007). *Operations research: An introduction.* 8th Ed. Singapore, Pearson Education, Inc.