การออกแบบเครื่องล้างจานในแนวตั้ง
Design of a Vertical Dishwasher

สุทิน พลบูรณ์[1]*

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
เลขที่ 64 ถนนทหาร ตำบลหมากแข้ง อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี 41000
*ติดต่อ: suthin_27@hotmail.com, เบอร์โทรศัพท์ 042-211-040 ต่อ 425, 095-7891183, เบอร์โทรสาร 042-221-978

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบและการสร้างเครื่องล้างจานในแนวตั้งเพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้าและเวลาในการล้างจานแต่ละครั้ง ในการทดลองนี้ใช้การป้อนจานทีละใบในแนวตั้งระหว่างลูกกลิ้งฟองน้ำล้างจานหนึ่งคู่ จานที่ใช้ในการทดลองนี้ทำมาจากวัสดุพลาสติกและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 18 cm เครื่องล้างจานที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยมอเตอร์ขับเคลื่อนขนาด 0.5 แรงม้า ความเร็วรอบ 1400 rpm เส้นผ่านศูนย์กลางของฟองน้ำล้างจานเท่ากับ 200 mm ความเร็วรอบของชุดลูกกลิ้งฟองน้ำล้างจานเท่ากับ 63 rpm มีการติดตั้งวาล์วเพื่อควบคุมการจ่ายน้ำแบบหยดก่อนการเติมน้ำยาล้างจาน ในการทดลองใช้น้ำยาล้างจานครั้งละ 10 cm^3 จากการทดลองพบว่าเครื่องล้างจานในแนวตั้งสามารถล้างจานได้เท่ากับ 395 ใบต่อชั่วโมง การสิ้นเปลืองน้ำล้างจานและน้ำยาล้างจานในหนึ่งชั่วโมงเท่ากับ 124,785 cm^3 และ 138 cm^3, ตามลำดับ สำหรับค่าไฟฟ้าในการล้างจานคิดเป็น 32.30 บาทต่อชั่วโมง ความสะอาดของจานอยู่ในเกณฑ์ดีมาก

คำหลัก: เครื่องล้างจาน, จานพลาสติก, ฟองน้ำล้างจาน, น้ำยาล้างจาน

Abstract

The aim of this research is to design and construct a vertical dishwasher to safe the electricity and the time for washing the dish. The dish was fed vertically with one piece of dish between a dishwashing sponge roller in this experiment. The dish was made from plastic material and the diameter of 18 cm. The dishwasher using in this experiment was included of a drive motor 0.5 hp, the speed of motor 1400 rpm, the diameter of a dishwashing sponge 200 mm and the speed of a dishwashing sponge roller 63 rpm. The water was controlled by a valve before filling the detergent. The detergent was used about 10 cm^3 for a dishwashing process. The result of dishwasher was showed that the capacity of machine was 395 pieces per hour. The loose of water and detergent for one hour were 124,785 cm^3 and 138 cm^3, respectively. The expense was paid about 32.30 baht per hour. The cleaning of dish was clean and clean.

Keywords: Dishwasher, Plastic dish, Dishwashing sponge, Detergent

1. บทนำ

การทำความสะอาดภาชนะหรือวัสดุอุปกรณ์ทั่วๆไปมีหลักในการทำความสะอาดที่แตกต่างกัน เช่น การใช้แปรงลูกกลิ้งขัดถูเพื่อให้อนุภาคของสิ่งแปลกปลอมหลุดออกไปจากภาชนะ [1] หรือ การใช้คลื่นความถี่อัลตราโซนิคส์ [2] ที่มีความถี่แตกต่างกันเพื่อใช้ในการทำความสะอาดอุปกรณ์ซึ่งพบว่าใช้เวลาน้อยกว่าการทำความสะอาดด้วยวิธีปกติทั่วไป ภาชนะที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของคนเราคือภาชนะบรรจุอาหาร เช่น จาน ได้มีการคิดค้นวิธีในการทำความสะอาดจาน [3-11] สำหรับใช้ในการบรรจุอาหารเพื่อใช้ในการรับประทาน มีคำแนะนำไว้ว่าหากมีการล้างด้วยมือธรรมดาให้ใช้การล้างด้วยน้ำยาล้างจานสำหรับการทำความสะอาดและใช้น้ำอุ่นที่มีอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ด้วยเวลา 10 นาที

หรือ อุณหภูมิ 77 - 82 องศาเซลเซียส ด้วยเวลา 2 นาที เพื่อการชำระล้างสิ่งปนเปื้อนออกจากจาน และถ้าหากเป็นการล้างด้วยเครื่องล้างจานให้ล้างและชำระสิ่งปนเปื้อนด้วยน้ำที่มีอุณหภูมิสูงเพียงพอคือ 82 องศาเซลเซียส ด้วยเวลา 2 นาที [3] ในเครื่องล้างจานที่ใช้ในครัวเรือนได้มีการติดตั้งปั๊มน้ำร้อนเพื่อให้ความร้อนกับเครื่องล้างจานซึ่งจะพบว่าประหยัดพลังงานไฟฟ้าลงถึง 24% เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เครื่องล้างจานทั่วไป [4] การนำความร้อนจากน้ำเสียของเครื่องล้างจานไปให้ความร้อนกับน้ำเพื่อนำไปใช้กับเครื่องล้างจานก็ช่วยลดการใช้พลังงานได้อีกทางหนึ่ง [5] พลังงานไฟฟ้าสูญเสียไป 70-90 % ในเครื่องล้างจานส่วนใหญ่จะถูกใช้ไปในการให้ความร้อนกับน้ำ [6] จึงได้มีการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในเครื่องล้างจาน [7] เพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้า นอกจากการให้ความสำคัญกับการใช้พลังงานในเครื่องล้างจานแล้วการไหลของน้ำภายในเครื่องล้างจานก็ยังมีความสนใจ [8] ในการจำลองการไหลของน้ำเพื่อศึกษาถึงความเร็วของการไหลของน้ำภายในเครื่องล้างจาน สิ่งแวดล้อมก็มีความเกี่ยวข้องกับการล้างจานจึงได้มีบริษัทพยายามพัฒนาน้ำยาล้างจาน [9] เพื่อลดการก่อมลพิษทางสิ่งแวดล้อม โดยเครื่องล้างจานที่กล่าวมาแล้วนั้นเป็นเครื่องล้างจานแบบอัตโนมัติที่ใช้พลังงานมาก ราคาแพงและสูญเสียเวลาในการล้างจานมาก เพื่อลดปัญหาที่กล่าวมานั้นได้มีการคิดค้นเครื่องล้างจานแบบกึ่งอัตโนมัติ [11] ที่ตัวเครื่องทำจากพลาสติกทั้งหมดทำให้น้ำหนักเบาและแบ่งส่วนการทำงานออกเป็น 3 ส่วน ทำให้สูญเสียเวลาในการทำงานน้อยลงเหมาะสำหรับใช้ในครัวเรือนเพื่อลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการล้างจาน

งานวิจัยนี้มีความสนใจในการลดปัญหาการใช้พลังงานไฟฟ้าและเวลาในการล้างจาน จึงได้มีการคิดค้นเครื่องล้างจานที่ใช้หลักการขัดถูคล้ายๆการล้างจานด้วยมือขึ้น เพื่อใช้ประโยชน์ในการล้างจานที่มีความต้องการใช้เครื่องล้างจานที่ไม่แพงจนเกินไปควบคู่กับการใช้แรงงานคนประกอบการทำงาน โดยจานที่สามารถใช้กับเครื่องล้างจานนี้ต้องทำมาจากวัสดุประเภทพลาสติก การวัดความสะอาดจะใช้การวัดด้วยการสังเกตเปรียบเทียบกับจานที่ยังไม่เคยผ่านการใช้งานมาก่อน ส่วนการวัดความสะอาดที่ระบุถึงเชื้อโรค สารปนเปื้อนหรือสารตกค้างที่มองไม่เห็นอยู่นอกเหนือขอบเขตในการวัดผลในครั้งนี้ ซึ่งเป็นเป้าหมายต่อไปในการทำการวิจัย

2. ทฤษฎี

2.1 อัตราทดความเร็วรอบ

อัตราทดความเร็วรอบ [12] ระหว่างเพลาขับและเพลาตามที่ใช้สายพานหรือเฟืองเป็นตัวส่งผ่านกำลังขับสามารถหาได้จากสมการ (1)

$$m_\omega = \frac{n_1}{n_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{D_2}{D_1} \quad (1)$$

เมื่อ

m_ω คือ อัตราทดความเร็วรอบ

n_1 คือ ความเร็วรอบเพลาขับ, rpm

n_2 คือ ความเร็วรอบเพลาตาม, rpm

N_1 คือ จำนวนฟันเฟืองขับ, ฟัน

N_2 คือ จำนวนฟันเฟืองตาม, ฟัน

D_1 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางล้อสายพานเพลาขับ, mm

D_2 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางล้อสายพานเพลาตาม, mm

2.2 ความยาวของสายพาน

ในการทดลองนี้ใช้การต่อสายพานแบบ Open drive ระหว่างเพลาขับและเพลาตาม สามารถหาความยาวของสายพานได้จากสมการ (2)

$$L = \left[4C^2 - (D-d)^2\right]^{1/2} + \frac{1}{2}(D\alpha_1 + d\alpha_2) \quad (2)$$

เมื่อ

L คือ ความยาวของสายพาน, mm

C คือ ระยะห่างระหว่างเพลาทั้งสอง, mm

D คือ ขนาดล้อสายพานเพลาตาม, mm

d คือ ขนาดล้อสายพานเพลาขับ, mm

α_1 คือ มุมสัมผัสของสายพานกับล้อสายพานเพลาขับ, rad

α_2 คือ มุมสัมผัสของสายพานกับล้อสายพานเพลาตาม, rad

2.3 ขนาดของเพลา

การหาขนาดของเพลาขับและเพลาตามของเครื่องล้างจานในแนวตั้งสามารถหาได้จากสมการ (3) เมื่อเพลาทั้งสองด้านรองรับด้วยลูกปืน

$$d^3 = \frac{16}{\pi \tau_d}\left[(C_t T)^2 + (C_m M)^2\right]^{1/2} \quad (3)$$

เมื่อ

d คือ ขนาดของเพลา, mm

τ_d คือ ความเค้นเฉือนออกแบบของเพลา, N/mm^2
T คือ โมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นกับเพลา, N.mm
M คือ โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นกับเพลา, N.mm
C_t คือ ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด
C_m คือ ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด

2.4 โมเมนต์บิดที่เกิดจากเพลา

เมื่อเพลาขับรับกำลังมาจากมอเตอร์จะทำให้เกิดโมเมนต์บิด [13] ขึ้นที่เพลาขับและส่งถ่ายกำลังต่อไปยังเพลาตาม สามารถหาโมเมนต์บิดและกำลังระหว่างเพลาขับและเพลาตามแต่ละคู่ได้จากสมการ (4)

$$W_p = 2\pi n T \quad (4)$$

เมื่อ

W_p คือ กำลังงานที่เกิดขึ้น, W
T คือ โมเมนต์บิด, N.m
n คือ ความเร็วรอบ, rev/s

2.5 ความเค้นเฉือนที่เกิดกับฟองน้ำล้างจาน

เนื่องจากเพลามีการประกอบฟองน้ำสำหรับล้างจานทั้งเพลาขับและเพลาตาม เมื่อเพลาหมุนไปจะทำให้เกิดโมเมนต์บิดทั้งเพลาขับและเพลาตาม โดยโมเมนต์บิดนี้ส่งผลให้เกิดความเค้นเฉือนที่พื้นผิวของฟองน้ำล้างจานที่สัมผัสกับจาน จึงทำให้จานถูกขัดสีสิ่งสกปรกหลุดออกไป ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นระหว่างฟองน้ำล้างจานและจานหาได้จากสมการ (5)

$$\tau = \frac{V}{A} \quad (5)$$

เมื่อ

τ คือ ความเค้นเฉือน, N/m^2
V คือ แรงเฉือนที่เกิดจากโมเมนต์บิด, N
A คือ พื้นที่ของฟองน้ำที่สัมผัสกับจาน, m^2

2.6 ค่าเฉลี่ยของข้อมูล

ค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุดหนึ่ง [14] หาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละข้อมูลกับจำนวนข้อมูลทั้งหมดแสดงได้ดังสมการ (6)

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{N} X_i}{N} \quad (6)$$

เมื่อ

$\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูล
X_i คือ ข้อมูลตำแหน่งที่ i
N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

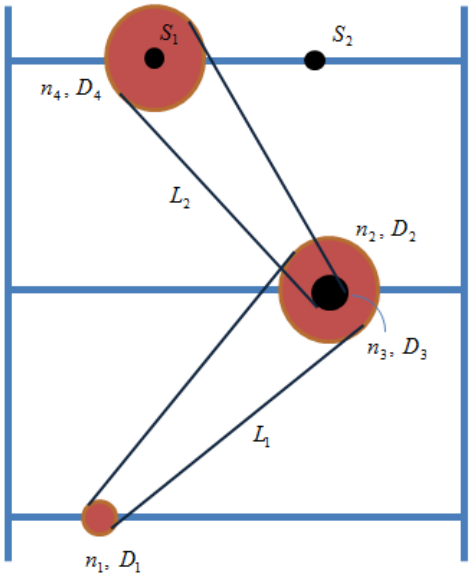
3. วิธีการทดลอง

3.1 ส่วนประกอบและหลักการทำงานเครื่องล้างจาน

แบบจำลองส่วนประกอบของเครื่องล้างจานในแนวตั้งที่ใช้ในการทดลองรายละเอียดแสดงดังรูปที่ 1 มอเตอร์ที่ใช้สำหรับเครื่องล้างจานในแนวตั้งมีกำลังขนาด 0.5 แรงม้า ความเร็วรอบ 1400 rpm ล้อสายพานของเพลาขับและเพลาตามของเพลาทั้งสองชุดมีขนาดเท่ากับ 64 mm และ 300 mm, ตามลำดับ ส่งผลให้สามารถลดความเร็วรอบที่ส่งมาจากมอเตอร์ลง 2 ครั้ง เหลือความเร็วรอบของเพลาที่ติดกับฟองน้ำล้างจานเพื่อใช้ในการทำงานเท่ากับ 63 rpm เพลาที่ติดกับฟองน้ำล้างจานมี 1 คู่ ขนาดของเพลาเท่ากับ 25.4 mm โดยเพลาของฟองน้ำล้างจานคู่นี้ใช้เฟืองตรงหนึ่งคู่ในการส่งถ่ายกำลัง มีจำนวนฟันเท่ากับ 55 ฟัน และเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์เท่ากับ 170 mm และสายพานส่งกำลังจากมอเตอร์มีสองเส้นความยาวเท่ากับ 1498.6 mm และ 1193.8 mm, ตามลำดับ สำหรับสายพานที่รับกำลังมาจากมอเตอร์โดยตรงและสายพานเส้นที่ติดกับเพลาของฟองน้ำล้างจาน โดยฟองน้ำล้างจานมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากันทั้งสองลูก คือ 200 mm ฟองน้ำล้างจานมีความยาวและความกว้างหน้าสัมผัสกับจานขณะล้างเท่ากับ 30 cm และ 7 cm, ตามลำดับ ทำให้มีพื้นที่ของฟองน้ำที่สัมผัสกับจานเท่ากับ 210 cm^2

รายละเอียดของตัวแปรตามรูปที่ 1 แสดงด้านล่าง

n_1 คือ ความเร็วรอบของมอเตอร์, rpm
n_2 คือ ความเร็วรอบของเพลาตามตัวที่ 1, rpm
n_3 คือ ความเร็วรอบเพลาขับตัวที่ 2, rpm
n_4 คือ ความเร็วรอบเพลาฟองน้ำล้างจาน, rpm
D_1 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางล้อสายพานเพลาขับตัวที่ 1, mm
D_2 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางล้อสายพานเพลาตามตัวที่ 1, mm
D_3 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางล้อสายพานเพลาขับตัวที่ 2, mm
D_4 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางล้อสายพานเพลาตามตัวที่ 2, mm
s_1 คือ เพลาฟองน้ำล้างจานตัวขับ
s_2 คือ เพลาฟองน้ำล้างจานตัวตาม
L_1 คือ ความยาวสายพานเส้นที่ 1, mm
L_2 คือ ความยาวสายพานเส้นที่ 2, mm



รูปที่ 1 แบบจำลองส่วนประกอบเครื่องล้างจานในแนวตั้งแบบสองมิติ

รูปที่ 2 เครื่องล้างจานในแนวตั้งที่ประกอบเสร็จ

เครื่องล้างจานในแนวตั้งที่ประกอบเสร็จพร้อมทำงานแสดงดังรูปที่ 2 โดยมีหลักการทำงานและขั้นตอนการใช้งานเครื่องล้างจาน เริ่มต้นด้วยการเปิดวาล์วเติมน้ำเพื่อพรมฟองน้ำล้างจานให้มีความชุ่มชื้นแล้วปิดวาล์ว เติมน้ำยาล้างจานให้กับฟองน้ำล้างจานทั้งสองด้านๆละเท่าๆกัน เมื่อเกิดฟองของน้ำยาล้างจานแล้วให้ป้อนจานทีละใบในแนวตั้งลงไประหว่างฟองน้ำล้างจานหนึ่งคู่โดยใช้แผ่นกั้นจานประคองจานเอาไว้ระหว่างการขัดถูของฟองน้ำล้างจานกับจาน จนสังเกตว่าจานมีความสะอาดแล้วให้ปล่อยแผ่นกั้นจานลงเป็นอันเสร็จขั้นตอนการล้างจานหนึ่งใบ ต่อจากนั้นก็ให้ป้อนจานใบที่ต้องการล้างเข้าไปล้างโดยทำซ้ำอย่างนี้ไปเรื่อยๆจนกระทั่งฟองน้ำของน้ำยาล้างจานหมดสภาพความเป็นฟองน้ำให้หยุดเครื่องล้างจานในแนวตั้งแล้วนำจานที่ผ่านเครื่องล้างจานในแนวตั้งไปวัดความสะอาด นับจำนวนจานที่สะอาดและไม่สะอาด วัดปริมาณน้ำล้างจานและน้ำยาล้างจานที่สูญเสียไปต่อการล้างจานแต่ละครั้ง พร้อมทั้งจับเวลาและวัดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการล้างจานใบแรกจนใบสุดท้ายของการล้างจานแต่ละครั้งของการเติมน้ำยาล้างจาน

3.2 จานที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องล้างจานในแนวตั้งนี้ใช้หลักการทำความสะอาดจานด้วยการเปลี่ยนโมเมนต์บิดจากการหมุนของเพลาเป็นความเค้นเฉือนในฟองน้ำล้างจาน ทำให้ฟองน้ำล้างจานขัดสีกับจานซ้ำไปซ้ำมาจนทำให้สิ่งสกปรกหลุดออกไปเนื่องจากถูกเฉือน ดังนั้น จานที่จะนำมาใช้กับเครื่องล้างจานในแนวตั้งนี้จะเป็นจานที่ทำมาจากวัสดุประเภทพลาสติกที่มีความยืดหยุ่นสูงและทนการกระแทกได้ดีและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 18 cm เนื่องจากพื้นที่ในการรับแรงของฟองน้ำมีปริมาณจำกัดและในการทดลองนี้ใช้จานที่มีรูปแบบเดียวกันตลอดการทดลอง

3.3 การวัดความสะอาดของจาน

ในการวัดความสะอาดของจานที่ผ่านการล้างด้วยเครื่องล้างจานในแนวตั้งใช้เกณฑ์การตรวจวัดด้วยสายตาแบ่งออกเป็น 2 ระดับ คือ สะอาดและไม่สะอาด โดยการเปรียบเทียบจานที่ผ่านการล้างกับจานที่ยังไม่เคยใช้งานด้วยผู้ตรวจ 2 คน เพื่อความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ที่ได้

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองล้างจานด้วยเครื่องล้างจานในแนวตั้งมีขั้นตอนในการทดลองดังนี้

1) เปิดสวิตช์มอเตอร์เครื่องล้างจานในแนวตั้งให้ทำงาน
2) เปิดวาล์วเพื่อเติมน้ำให้กับฟองน้ำล้างจานเพื่อให้มีความชุ่มชื้นพอประมาณแล้วปิดวาล์ว
3) เติมน้ำยาล้างจานให้กับฟองน้ำล้างจานแต่ละด้านๆละ 5 cm^3 รวมเป็น 10 cm^3
4) นำจานที่ต้องการล้างหย่อนลงไปในช่องระหว่างลูกกลิ้งฟองน้ำล้างจานในแนวดิ่งทีละใบ
5) ยกแผ่นกั้นจานขึ้นค้างไว้เพื่อรองรับจานระหว่างที่ฟองน้ำกำลังขัดถูกับจานจนสังเกตว่าจานสะอาด
6) ปล่อยแผ่นกั้นจานลงเพื่อวางจานที่ล้างเสร็จแล้วลงไปยังถังรองรับจาน
7) ทำซ้ำข้อที่ 4-6 จนกระทั่งฟองของน้ำยาล้างจานหมดสภาพความเป็นฟองแล้วจึงหยุดการทำงานของมอเตอร์เครื่องล้างจานในแนวตั้ง ทั้งนี้ให้จับเวลาและวัดกระแสไฟฟ้าในการล้างจานตั้งแต่ใบแรกจนใบสุดท้ายบันทึกผลการทดลอง

8) นำจานทั้งหมดไปล้างด้วยน้ำสะอาดที่ไหลผ่านวาล์วด้วยความเร็วสม่ำเสมอ หลังจากนั้นผึ่งจานให้แห้งแล้วทำการวัดความสะอาดของจานที่ล้างเสร็จแล้วด้วยการวัดด้วยสายตาเปรียบเทียบกับจานที่ยังไม่ได้ใช้งานด้วยกรรมการผู้ตรวจวัด 2 คน บันทึกผลการทดลอง
9) วัดปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างจาน บันทึกผลการทดลอง
10) ทำการทดลองซ้ำข้อที่ 1-9 ทั้งหมด 3 ครั้ง เพื่อหาความน่าเชื่อถือของการทำงานของเครื่องล้างจานในแนวตั้ง

4. ผลการทดลอง

4.1 ความสามารถในการทำงานของเครื่องล้างจาน

การล้างจานในแต่ละครั้งใช้น้ำยาล้างจานข้างละ 5 cm^3 รวมเป็น 10 cm^3 กับฟองน้ำล้างจานของเครื่องล้างจานในแนวตั้ง โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ผลการทดลองพบว่า การทดลองล้างจานครั้งที่ 1, 2 และ 3 ให้ปริมาณจานที่ได้เป็น 29, 27 และ 30 ใบ, ตามลำดับ โดยสาเหตุที่ทำให้ผลของการล้างจานในแต่ละครั้งไม่เท่ากันอาจจะมีสาเหตุมาจากการป้อนจานไม่สม่ำเสมอหรือใช้เวลาในปล่อยแผ่นกั้นระหว่างจานแต่ละใบไม่เท่ากันเนื่องจากความสกปรกของจานแต่ละใบไม่เท่ากัน เมื่อนำจานที่ผ่านการล้างด้วยเครื่องล้างจานในแนวตั้งให้กรรมการตรวจวัดความสะอาดจำนวน 2 คน ผลการตรวจวัดแสดงดังตารางที่ 1 และ 2 จะเห็นว่ากรรมการตรวจวัดทั้ง 2 คนให้ความเห็นชอบผลของการล้างจานเหมือนกันคือการทดลองครั้งที่ 1, 2 และ 3 มีความสะอาดเท่ากับ 29, 27 และ 30 ใบ, ตามลำดับ ซึ่งเท่ากับจำนวนจานที่ล้างได้ในแต่ละครั้ง หมายความว่าจำนวนจานที่ล้างได้จากเครื่องล้างจานในแนวตั้งกับความสะอาดของจานคิดเป็นร้อยเปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยของการล้างจานเท่ากับ 28.67 ใบ เมื่อใช้น้ำยาล้างจานรวม 10 cm^3 สำหรับการล้างจานแต่ละครั้ง

เพื่อให้เห็นความชัดเจนของผลการทดลองล้างจานด้วยเครื่องล้างจานในแนวตั้งจึงได้เปรียบเทียบลักษณะของจานก่อนล้างรูปที่ 3 (ก) และหลังการล้างรูปที่ 3 (ข) จะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนระหว่างจานก่อนล้างและหลังผ่านการล้างด้วยเครื่องล้างจานในแนวตั้งเมื่อเปรียบเทียบกับจานที่ยังไม่เคยใช้งานมาก่อนดังรูปที่ 3 (ค)

ตารางที่ 1 ผลการตรวจวัดของกรรมการคนที่ 1

ลำดับที่	วัดด้วยสายตา (ใบ)		รวม (ใบ)
	สะอาด	ไม่สะอาด	
1	29	0	29
2	27	0	27
3	30	0	30
เฉลี่ย	28.67	0.00	28.67

ตารางที่ 2 ผลการตรวจวัดของกรรมการคนที่ 2

ลำดับที่	วัดด้วยสายตา (ใบ)		รวม (ใบ)
	สะอาด	ไม่สะอาด	
1	29	0	29
2	27	0	27
3	30	0	30
เฉลี่ย	28.67	0.00	28.67

(ก) ก่อนล้าง (ข) หลังล้าง

(ค) ยังไม่เคยใช้งาน

รูปที่ 3 ลักษณะของจานที่ใช้ในการทดลอง

4.2 การสิ้นเปลืองน้ำล้างจานและน้ำยาล้างจาน

การล้างจานด้วยเครื่องล้างจานในแนวตั้งในครั้งนี้ใช้น้ำยาล้างจานเป็นตัวแปรควบคุมในการกำหนดการล้างจานในแต่ละครั้งว่าจะหยุดการล้างจานเมื่อน้ำยาล้างจาน

หมดสภาพฟองน้ำ ดังนั้น จึงใช้น้ำยาล้างจานหยอดที่ฟองน้ำล้างจานข้างละ 5 cm^3 รวมใช้น้ำยาล้างจานแต่ละครั้งในการล้างจานเท่ากับ 10 cm^3 โดยใช้การล้างจานทั้งหมด 3 ซ้ำ เฉลี่ยใช้น้ำล้างจานเท่ากับ 9,040 cm^3 รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3 สำหรับเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเปรียบเทียบน้ำล้างจานแต่ละครั้งกับค่าเฉลี่ยที่ใช้ในการล้างจาน พบว่า การล้างจานครั้งที่ 1 ใช้น้ำล้างมากกว่าค่าเฉลี่ยอยู่ 6.97% และ การล้างจานครั้งที่ 2 และ 3 ใช้น้ำน้อยกว่าค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.2% และ 1.77% ตามลำดับ โดยค่าความแตกต่างไม่เกิน 10% ซึ่งถือว่ามีความแตกต่างไม่มาก

4.3 เวลาที่ใช้ในการล้างจาน

ในการล้างจานด้วยเครื่องล้างจานในแนวตั้งทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง แต่ละครั้งจับเวลาในการล้างจานเริ่มตั้งแต่จานใบแรกจนถึงใบสุดท้ายเมื่อน้ำยาล้างจานหมดสภาพความเป็นน้ำยารายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4 พบว่าโดยเฉลี่ยจาน 28.67 ใบ ใช้เวลาในการล้างจานเฉลี่ยเท่ากับ 4.35 นาที หรือ ในเวลา 1 ชั่วโมงการทำงานสามารถล้างจานได้จำนวน 395 ใบ สำหรับเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของเวลาในการล้างแต่ละครั้งเทียบกับค่าเฉลี่ยของการล้างจาน เครื่องหมายลบหมายถึงใช้เวลาน้อยกว่าค่าเฉลี่ย ส่วนเครื่องหมายบวกใช้เวลามากกว่าค่าเฉลี่ย จะเห็นว่าความแตกต่างไม่เกิน 10%

4.4 ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการล้างจาน

การล้างจานด้วยเครื่องล้างจานในแนวตั้งมีการวัดกระแสไฟฟ้าในแต่ละครั้งของการล้างจานเพื่อนำไปคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้สำหรับล้างจานรายละเอียดของผลการวัดค่ากระแสไฟฟ้าแสดงดังตารางที่ 5 โดยนำค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการล้างจานจำนวน 28.67 ใบ เท่ากับ 1.68 แอมแปร์ ไปใช้สำหรับคิดค่าไฟฟ้าตามหลักการคิดค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคประเภทที่ 8 การใช้ไฟฟ้าชั่วคราว โดยคิดค่าพลังงานไฟฟ้าหน่วยละ 6.3434 บาท พบว่า จานจำนวน 28.67 ใบ ใช้ไฟฟ้าไปเท่ากับ 1.68 แอมแปร์ คิดค่าไฟฟ้าได้เท่ากับ 0.17 บาท หรือ คิดต่อ 1 ชั่วโมงที่เครื่องสามารถล้างจานได้เท่ากับ 395 ใบ เสียค่าไฟฟ้าไปเป็นจำนวนเงินเท่ากับ 32.30 บาท หรือ จาน 1 ใบเสียค่าไฟฟ้าเป็นเงิน 8.2 สตางค์

ตารางที่ 3 ปริมาณน้ำและน้ำยาล้างจานที่ใช้

ลำดับที่	ปริมาณจาน (ใบ)	น้ำล้างจาน cm^3	% ความแตกต่าง	น้ำยาล้างจาน cm^3
1	29	9670	6.97	10
2	27	8570	-5.20	10
3	30	8880	-1.77	10
เฉลี่ย	28.67	9040		10

ตารางที่ 4 เวลาที่ใช้ในการล้างจาน

ลำดับที่	ปริมาณจาน (ใบ)	เวลา (นาที)	% ความแตกต่าง
1	29	4.25	-2.22
2	27	4.35	0.00
3	30	4.44	2.15
เฉลี่ย	28.67	4.35	

ตารางที่ 5 ค่าไฟฟ้าที่ใช้สำหรับล้างจาน

ลำดับที่	ปริมาณจาน (ใบ)	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	ค่าไฟฟ้า (บาท)
1	29	1.67	0.17
2	27	1.67	0.17
3	30	1.69	0.17
เฉลี่ย	28.67	1.68	0.17

5. สรุปผลการทดลอง

เครื่องล้างจานในแนวตั้งที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้สำหรับการลดปัญหาการใช้พลังงานไฟฟ้าและเวลาในการล้างจาน โดยเครื่องล้างจานในแนวตั้งนี้ประกอบด้วยมอเตอร์ขับเคลื่อนขนาด 0.5 แรงม้า ความเร็วรอบ 1400 rpm เพลาของฟองน้ำล้างจานมีจำนวน 2 เพลา หมุนในทิศทางตรงกันข้ามโดยใช้เฟืองตรงเป็นตัวส่งกำลังทำให้เพลามีความเร็วใช้งาน 63 rpm พื้นที่ของฟองน้ำล้างจานที่สัมผัสกับจานขณะล้างจานเท่ากับ 210 cm^2 โดยจานที่จะนำมาล้างกับเครื่องล้างจานในแนวตั้งนี้ทำมาจากวัดสุพลาสติกที่มีความยืดหยุ่นและทนการกระแทกได้ดี ในการทดลองนี้ใช้น้ำยาล้างจานเป็นตัวแปรควบคุมสำหรับการล้างจานแต่ละครั้ง จากการทดลองพบว่าเครื่องล้างจานในแนวตั้งสามารถล้างจานได้จำนวน 395 ใบต่อชั่วโมง โดยเสียค่า

ไฟฟ้าเป็นเงินจำนวน 32.30 บาทต่อชั่วโมง และใช้น้ำยาและน้ำล้างจานเท่ากับ 138 cm^3 และ 124,785 cm^3, ตามลำดับ ความสะอาดเมื่อวัดจากการสังเกตด้วยตาเปล่าของกรรมการ 2 คน เปรียบเทียบกับจานที่ยังไม่ผ่านการใช้งานจะพบว่าจานที่ผ่านการล้างด้วยเครื่องล้างจานในแนวตั้งมีความสะอาดคิดเป็นร้อยเปอร์เซ็นต์ของจำนวนจานที่ล้างได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณาจารย์และบุคลากรสาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานีสำหรับคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัยครั้งนี้และขอขอบคุณ นายธนารักษ์ บุตรแสน นายวิทยา มัจฉา และนายพงศ์ศิริ สายสุด ที่อุทิศเวลาในการเก็บข้อมูลของเครื่องล้างจานในแนวตั้งจนงานสำเร็จลงด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] เกรียงไกร อัศวมาศบันลือ และ อรรถพล ชัยมนัสกุล (2555). การพัฒนาเครื่องทำความสะอาดำรวยกรองน้ำยางข้น, *วิศวกรรมสาร มก.*, 25, เมษายน – มิถุนายน 2555, หน้า 61-69.

[2] เอกรัฐ อินต๊ะวงศา (2558). ผลของคลื่นความถี่เลื่อยลันดา, *วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง*, 8, กรกฎาคม – ธันวาคม 2558, หน้า 122-132.

[3] Cowan, M.E., Allen, J. and Pilkington, F. (1995). Small dishwashers for hospital ward kitchens, *Journal of Hospital Infection*, vol. 29, 1995, pp. 227-231.

[4] Bengtsson, P., Berghel, J. and Renstrom, R. (2015). A household dishwasher heated by a heat pump system using an energy storage unit with water as the heat source, *International Journal of Refrigeration*, vol. 49, 2015, pp. 19-27.

[5] Paepe, M.D., Theuns, E., Lenaers, S. and Loon, J.V. (2003). Heat recovery systems for dishwashers, Applied *Thermal Engineering*, vol. 23, 2003, pp. 743-756.

[6] Persson, T. (2007). Dishwasher and washing machine heated by a hot water circulation loop, *Applied Thermal Engineering*, vol. 27, 2007, pp. 120-128.

[7] Person, T. and Ronnelid, M. (2007). Increasing solar gains by using hot water to heat dishwashers and washing machines, *Applied Thermal Engineering*, vol. 27, 2007, pp. 646-657.

[8] Mohedan, R.P., Letzelter, N., Amadot, C., Vanderroest, C.T. and Bakalis, S. (2015). Positon Emission Paticle Tracking (PEPT) for the ananlysis of water motion in a domestic dishwasher, *Chemical Engineering Journal*, vol. 259, 2015, pp. 724-736.

[9] Igos, E., Moeller, R., Benetto, E., Biwer, A., Guiton, M. and Dieumegard, P. (2014). Development of USEtox characterissation factors for dishwasher ditergents using data made available under REACH, *Chemosphere*, vol. 100, 2014, pp. 160-166.

[10] Santori, G., Frazzica, A., Freni, A., Galieni, M., Bonaccorsi, L., Polonara, F. and Restuccia, G. (2013). Optimization and testing on an adsorption dishwasher, *Energy*, vol. 50, 2013, pp. 170-176.

[11] Dhale, A.D., Ghodke, L.S., Hase, P.U., Jarag, S.V. and Shelar, S.S. (2015). Design and development of semi-automatic dishwasher, *International Journal of Engineering Research and General Science*, vol. 3, May-June 2015, pp. 108-112.

[12] วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน (2541). การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2, กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

[13] วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน (2556). การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1, กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

[14] สรชัย พิศาลบุตร (2553). สถิติวิศวกรรม, กรุงเทพฯ : วิทยพัฒน์.