# การประยุกต์การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเกรย์ ในการผลิตสมุนไพรแช่เท้า

# Applying Grey Relational Analysis in the Production of Herbal Foot Soak

สุวัฒนวงศ์ พันเพ็ชร[1*] สุรพงศ์ บางพาน[2] รตานรี สุทธิพงษ์[3] ภควดี โอสถาพร[4]
อธิวัฒน์ วังใหม่[5] และ ธราพงษ์ กาญจนปาริชาติ[6]

[1,3,4,5]ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
[2]สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
[6]วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา (ดอยสะเก็ด) อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ E-mail: suwattwong@gmail.com*

Suwattanarwong Phanphet[1*], Surapong Bangphan[2], Ratanaree Suttipong[3], Pakawadee Osataporn[4]
Athiwat Wangmai[5] and Tarapong Karnjanaaprichat[6]

[1,3,4,5]Department of Industrial Technology, Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai, 50300
[2]Department of Industrial Education and Technology, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai, 50300
[6]College of Integrated Science and Technology, Rajamangala University of Technology Lanna (Doisaket), Doisaket District, Chiang Mai, 50220
E-mail: suwattwong@gmail.com*

Received 25 Apr 2025; Revised 21 May 2025
Accepted 30 Jun 2025; Available online 30 Jun 2025

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้ได้ทำการผลิตสมุนไพรแช่เท้าจากสมุนไพรในท้องถิ่นเพื่อให้กลุ่มวิสาหกิจชุมชน เทศบาลตำบลหนองผึ้ง อำเภอสารภี จังหวัดเชียงใหม่ และเทศบาลตำบลเมืองงาย อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ มีความเข้มแข็ง โดยผลลัพธ์ที่ต้องการคือร้อยละความชื้นและน้ำหนักสมุนไพรแช่เท้าที่ดีที่สุด

ทำการออกแบบทดลองด้วยวิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเกรย์ การวัดค่าร้อยละความชื้นและน้ำหนักสมุนไพรแช่เท้า ในบทความนี้ได้นำเทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวนและวิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเกรย์สำหรับหาค่าที่ดีที่สุดของพารามิเตอร์ของกระบวนการในการทำสมุนไพรแช่เท้าใช้สำหรับทำนายค่าร้อยละความชื้นและน้ำหนักสมุนไพรแช่เท้า ข้อมูลที่ใช้ในการทำนายได้มาจากการทดลองในกระบวนการการผลิตสมุนไพรแช่เท้า ตามหลักการของวิธีการออกแบบการทดลอง (DoE) ปัจจัยนำเข้าที่นำพิจารณาในการทดลอง ได้แก่ เวลา อุณหภูมิ และช่องห่างระหว่างชั้นที่อบสมุนไพร

พบว่าพารามิเตอร์กระบวนการผลิตสมุนไพรแช่เท้า ที่ดีที่สุดสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) คือ ปัจจัยที่หนึ่งอุณหภูมิระดับที่ห้า เท่ากับ 100 องศาเซลเซียส เวลาระดับที่สองและห้าเท่ากับ 4 และ 10 ชั่วโมง และ

ช่องห่างระหว่างชั้นที่อบสมุนไพรแช่เท้าระดับที่หนึ่งและสี่ เท่ากับ 4 และ 16 เซนติเมตร ตามลำดับ ได้ผลตอบร้อยละความชื้นสมุนไพรเท่ากับ 8.4 และ 9.6 ส่วนน้ำหนักสมุนไพรแช่เท้าอยู่ที่ 88.1 และ 91.41 ตามลำดับ และการนวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับปัจจัยที่หนึ่ง (อุณหภูมิ) และปัจจัยที่สอง (เวลา) นั้นพบว่าไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ส่วนปัจจัยที่สาม (ช่องห่างระหว่างชั้นวางสมุนไพร) มีนัยสำคัญ ที่ระดับ R-Sq(adj) 93.81% ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนและการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเกรย์ตามลำดับ

**คำหลัก**: วิสาหกิจชุมชน สมุนไพรแช่เท้า การวิเคราะห์ความแปรปรวน การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเกรย์

**Abstract**

This research has produced herbs from local herbs for the community enterprise group, Nong Phueng Subdistrict Municipality, Saraphi District, Chiang Mai Province and Mueang Ngai Subdistrict Municipality, Mueang Ngai Subdistrict, Chiang Dao District Chiang Mai Province of strong. The desired result was the optimum off percentage of moisture and feet herbal weight.

The design of experiment using the Grey analysis method. The percentage of moisture content and weight of herbal foot soak are measured in this paper. The analysis of variance technique and the Grey analysis method for the optimum of the process parameters of herbal foot soak were used to predict the percentage of moisture content and weight of herbal foot soak. The data used for prediction, derived from experiments conducted in herbal foot soak operation of herbal foot soak process according to the principles of Design of Experiment (DoE) method. The input factors considered in the experiments were time, temperature, and the spacing between the layers of herbs respectively.

It was found that the process parameters of herbal foot soak The optimum for the analysis of variance (ANOVA) was factor one, temperature level five equal to 100 °C, time level two and five equal to 4 and 10 hours, and spacing between the first and fourth levels of herbal foot soak shelves equal to 4 and 16 cm, respectively. The results of the herb moisture percentage were 8.4 and 9.6, and the herbal foot soak weight was 88.1 and 91.41, respectively. The analysis of variance for factor one (temperature) and factor two (time) were found to be insignificant at the 95% confidence level. The third factor (spacing between herb shelves) was significant at the R-Sq(adj) level of 93.81% in the analysis of variance and Grey relational analysis, respectively.

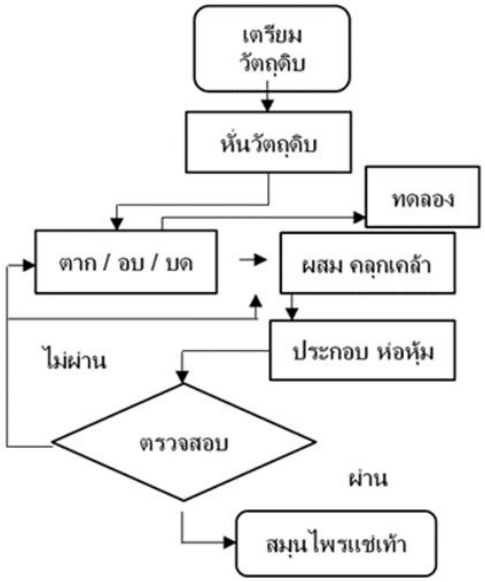
**Keywords:** Community enterprises, Herbal foot soak, analysis of variance (ANOVA), Grey relational analysis (GRA)

**บทนำ**

สมุนไพรในภาษาไทยใช้เรียกพืชทุกชนิดที่นำมาใช้เพื่อสุขภาพหรือยา นักสมุนไพรไทยพิจารณาพืชแต่ละชนิดตามส่วนประกอบ โดยผล กลีบดอก ใบ เปลือก ราก แต่ละชนิดมีประโยชน์ต่างกัน หลักฐานการใช้สมุนไพรไทยพบเมื่อ 8,000 ปีก่อน โดยนักโบราณคดี พบร่องรอยของพืชตระกูลอะลูไรต์และหมากในชุมชนยุคก่อนประวัติศาสตร์ที่บ้านเชียง เป็นพืชใช้รักษาโรคผิวหนังและช่องปาก สมุนไพรได้รับการยอมรับมากขึ้นเมื่อมีการนำอายุรเวชซึ่งเป็น “ศาสตร์แห่งชีวิต” เข้ามาจากอินเดีย แพทย์อายุรเวชผนวกเข้ากับการแพทย์แผนไทยในสมัยกรุงศรีอยุธยา เป็นพื้นฐานของวิธีการรักษาคงใช้มาถึงทุกวันนี้ ตามข้อมูลที่ปรากฏ [1]

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการทดลองการผลิตสมุนไพรแช่เท้า ซึ่งเป็นสมุนไพรที่มีอยู่ในพื้นที่ของท้องถิ่นและมีการรวมกลุ่มวิสาหกิจชุมชน และเพื่อช่วยให้ทางกลุ่มทำการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยใช้หลักการทดลองและการวิเคราะห์เชิงสัมพันธ์แบบเกรย์ ทำการ

ทดลองกับสมุนไพรประกอบด้วย ผิวมะกรูด ใบมะกรูด ตะไคร้ ไพร ใบมะขาม ขมิ้น การบูร (คงที่) ใบเปล้า เกลือ(คงที่) และใบเตย โดยมีขั้นตอนการการผลิตและทดลอง แสดงดังรูปที่ 1




*รูปที่ 1 ขั้นตอนการผลิตและทดลองสมุนไพรแช่เท้า*

**2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง**

แนวคิดที่จะดำเนินการพิจารณาในการเลือกสมุนไพรที่ได้จากท้องถิ่นมาทำสมุนไพรแช่เท้าโดยทำการออกแบบทดลองเพื่อต้องการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเกรย์ จึงได้กำหนดตัวแปรต้นสามตัวและห้าปัจจัยประกอบด้วย อุณหภูมิที่ 60,70,80,90 และ 100 องศาเซลเซียส เวลาที่ 2,4,6,8, และ 10 ชั่วโมง และช่องหว่างระหว่างชั้นวางสมุนไพรที่ 1,2,3,4 และ 5 ชั้น(ระยะห่างชั้นวาง 4 เซนติเมตรต่อชั้น) ตามลำดับ

**2.1 ทฤษฎี**

เลือกทำการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยสำหรับการคำนวณด้วยอัตราส่วน S/N อัตราส่วน S/N เป็นทางด้านคุณภาพมุ่งเน้นไปที่ผลกระทบสำหรับการเปลี่ยนแปลงโดยค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการสมรรถนะของกระบวนการหรือผลผลิตที่ได้จากการประเมิน โดยทั่วไปการได้รับสัญลักษณ์ที่ดีกว่าเมื่อเสียงที่ได้น้อยกว่ามาก ดังนั้น ผลผลิตของอัตราส่วน S/N ที่มีขนาดมากกว่าจะดีกว่าผลลัพธ์ที่ช่วงสุดท้าย ของค่าเฉลี่ย ความแตกต่างผลลัพธ์สุดท้ายกลายเป็นค่าที่น้อยที่สุด อัตราส่วน S/N งานวิจัยนี้เลือกแบบปัญหา Larger-is-Better (ค่าเฉลี่ยของผลตอบ) เพื่อต้องการค่าร้อยละความชื้นและน้ำหนักสมุนไพรแช่เท้าให้เหมาะสมและดีที่สุด [2] พิจารณาผลกระทบในการป้อนค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการกลึงในการกลึงชิ้นงานที่ทำจากเหล็กกล้าผสมคาร์บอนสูง และมีดกลึงที่ทำจากเหล็กรอบสูงโดยใช้วิธีการทากุชินั้น พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือความเร็วเพลาหมุน 510 รอบต่อนาที อัตราการป้อน 1.147 มิลลิเมตรต่อรอบ และระยะการป้อนลึกเท่ากับ 0.50 มิลลิเมตรทำให้ได้ร้อยละอัตราการกำจัดเศษอยู่ที่ 0.99 กรัมต่อวินาที ใช้เวลาในการกลึงน้อยสุดเท่ากับ 7.07 นาที อัตราส่วน S/N อยู่ที่ -0.08730 และค่า Mean เท่ากับ 0.99 การทดลองเพื่อยืนยันผลมีค่ามากกว่าผลจากการคำนวณโดยวิธีทากุชิ ถือว่าเป็นที่ยอมรับได้ เลือกชนิดปัญหาช Larger-is-Better เป็นการสมมติอัตราส่วน S/N เป้าหมายคือค่าสูงสุดของผลตอบและเป็นค่าที่เหมาะสมเมื่อแสดงพิกัดความเผื่อจำกัด หาได้ดังสมการที่ 1

$$S/N_L = -10\log\left(\frac{1}{n}\sum\frac{1}{y_i^2}\right) \qquad (1)$$

หมายเหตุ:

Signal to noise ratio (SNR, *S/N*)

คือ ค่าอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวน

$n$ = จำนวนค่าที่ได้จากการวัดในทดลอง

$y_i$ = เป้าหมายหรือผลตอบที่ต้องการ

**2.2. การวิเคราะห์เชิงสัมพันธ์แบบเกรย์ (Grey Relational Analysis: GRA)**

ใช้แนวคิดเฉพาะของข้อมูล กำหนดสถานการณ์ที่ไม่มีข้อมูลเป็นสีดำ สถานการณ์ที่มีข้อมูลที่สมบูรณ์แบบเป็นสีขาว ผลวิจัยของ สุรพงศ์ บางพาน [1] ยังใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ตรวจสอบปัจจัยที่มีอิทธิพลที่สำคัญต่อผลตอบที่ต้องการในการผลิต พบว่าการทดสอบยืนยันโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ในการผลิต

สมุนไพรที่เหมาะสมที่สุด กำหนดวิธีการปรับค่าปัจจัยให้เหมาะสมด้วยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเกรย์ [3] ได้วิเคราะห์ สังเกตผลเกี่ยวกับวิธีเพิ่มประสิทธิภาพ ในบทสรุปของการศึกษาวิจัยนี้

จากการวิจัยของ [2,3,4] พบว่าการวิเคราะห์เชิงสัมพันธ์แบบเกรย์ ขั้นตอนแรกคือดำเนินการสร้างเชิงสัมพันธ์โดยผลลัพธ์การทดลองทำให้เป็นมาตรฐานในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1 เนื่องจากหน่วยวัดต่างกัน ข้อมูลก่อนประมวลผลการผลิตสมุนไพรได้สมุนไพร ที่สอดคล้องกับเกณฑ์ที่น้อยกว่าแต่ดีกว่าสามารถแสดงอยู่ในสมการที่ (1) และ (2),

$$x_i^*(k) = \frac{\max y_i(k) - y_i(k)}{\max y_i(k) - \min y_i(k)} \quad (2)$$

โดยที่ i=1,2,3,…,m,m คือจำนวนการทดลองในตารางมุมฉากของ Taguchi ตารางมุมฉาก L25 จะถูกเลือก ที่ n=25,k=1,2…,n,n คือจำนวนคุณสมบัติคุณภาพ/ผลตอบของกระบวนการผลิตสมุนไพรแช่เท้าที่เลือกดังนั้น n=25 min yi (k) คือค่าที่น้อยที่สุดของ yi (k)สำหรับคำตอบที่k Max yi(k) คือค่าที่มากที่สุดของ yi (k)สำหรับคำตอบที่ kxi (k) คือค่าหลังจากการสร้างเชิงสัมพันธ์แบบเกรย์ ค่าปกติคือร้อยละความชื้นและน้ำหนักสมุนไพรแช่เท้าที่ต้องการ โดยในแต่ระดับของทดลอง คำนวณโดยแสดงอยู่ในสมการ (1) และ (2) ตามข้อมูลที่ปรากฏของ [3]

**2.3 สัมประสิทธิ์เชิงสัมพันธ์แบบเกรย์และเกรดเชิงสัมพันธ์แบบเกรย์ (Grey Relational Coefficient and Grey Relation Grade)**

ขั้นตอนที่สองคำนวณสัมประสิทธิ์เชิงสัมพันธ์แบบเกรย์ตามข้อมูลการทดลองที่ทำให้เป็นมาตรฐานเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลการทดลองที่ต้องการตามจริง เกรดเชิงสัมพันธ์แบบเกรย์รวมคำนวณจากการหาค่าสัมประสิทธิ์เชิงสัมพันธ์แบบเกรย์ที่สอดคล้องกันกับลักษณะการทำงานแต่ละชนิด เป็นผลให้มีการประเมินปัจจัยร่วมที่เหมาะสมที่สุดของค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการโดยพิจารณาจากเกรดเชิงสัมพันธ์แบบเกรย์ที่สูงสุดโดยใช้วิธี Taguchi จากข้อมูลการทดลองที่ทำให้เป็นมาตรฐาน สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์แบบเกรย์สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการต่อไปนี้ [3,4]

$$\xi_i(k) = \frac{\Delta_{\min} + \zeta \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(k) + \zeta \Delta_{\max}} \quad (3)$$

$$\Delta_{0i}(k) = \left\| x_0(k) - x_i(k) \right\|, \quad (4)$$

$$\Delta_{\max} = \max_{\forall j \in i} \max_{\forall k} \left\| x_0(k) - x_i(k) \right\|, \quad (5)$$

$$\Delta_{\min} = \min_{\forall j \in i} \min_{\forall k} \left\| x_0(k) - x_i(k) \right\|, \quad (6)$$

โดยที่ $\Delta_{0i} = \left\| x_0(k) - x_i(k) \right\|$ คือค่าความแตกต่างของค่าสัมบูรณ์ระหว่าง $x_0(k)\ and\ x_i(k), x_0(k)$ คือ ลำดับอ้างอิงของลักษณะคุณภาพที่ *k* [5]

$\Delta_{\min} and\ \Delta_{\max}$ เป็นค่าต่ำสุดและสูงสุดของผลต่างสัมบูรณ์ $(\Delta_{0i})$ ของลำดับการเปรียบเทียบทั้งหมดตามลำดับ [3,4]

$\zeta$ เป็นสัมประสิทธิ์การจำแนก ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อลดผลกระทบของ $\Delta_{\max}$ เมื่อมีค่ามากเกินไป และด้วยเหตุนี้จึงขยายนัยสำคัญความแตกต่างของสัมประสิทธิ์เชิงสัมพันธ์ ในกรณีปัจจุบัน $\zeta = 0{,}5$ จะถูกนำมาใช้เนื่องจากมีผลแตกต่างปานกลางและความเสถียรของผลลัพธ์ที่ดี [3,4]

ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์แบบเกรย์ของลักษณะการทำงานแต่ละแบบอย่าง ภายหลังจากค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์เชิงสัมพันธ์แบบเกรย์แล้ว เกรดเชิงสัมพันธ์แบบเกรย์ $\gamma_i$ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n} \xi_i(k), \quad (7)$$

โดยที่ $\gamma_i$ = 1, 2, 3 ... 25, (เลือกจากตารางมุมฉาก *L*25), $\xi_i(k)$ คือค่าสัมประสิทธิ์เชิงสัมพันธ์แบบเกรย์ของ

ผลตอบที่ $k$ ในการทดลอง และ n คือจำนวนของผลตอบ ระดับที่เหมาะสมที่สุดของค่าพารามิเตอร์กระบวนการคือระดับที่มีเกรดเชิงสัมพันธ์แบบเกรย์สูงสุด [3,4] หลังจากกำหนดปัจจัยร่วมที่เหมาะสมของค่าพารามิเตอร์กระบวนการแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการปรับปรุงเกรดเชิงสัมพันธ์แบบเกรย์ผ่านการดำเนินการทดสอบเพื่อยืนยัน ค่าที่คาดการณ์ของเกรดเชิงสัมพันธ์แบบเกรย์สำหรับระดับที่เหมาะสมที่สุดสามารถที่ยอมรับได้ดังสมการ (8)

$$\hat{\gamma} = \gamma_m + \sum_{i=1}^{0} (\bar{\gamma} - \gamma_m), \qquad (8)$$

โดยที่เกรดเชิงสัมพันธ์แบบเกรย์เฉลี่ยทั้งหมดคือเกรดเชิงสัมพันธ์แบบเกรย์เฉลี่ยระดับที่เหมาะสมที่สุดของค่าพารามิเตอร์แต่ละตัว และค่า 0 คือจำนวนของค่าพารามิเตอร์กระบวนการที่มีอย่างนัยสำคัญ [6]

ค่าที่สูงกว่าของเกรดเชิงสัมพันธ์แบบเกรย์สอดคล้องกับระดับความสัมพันธ์ที่มีผลกระทบระหว่างลำดับที่อ้างอิง $x_0(k)$ และลำดับที่กำหนด $x_i(k)$ ค่าสัมประสิทธิ์เชิงสัมพันธ์แบบเกรย์และเกรดเชิงสัมพันธ์แบบเกรย์คำนวณแสดงอยู่ในสมการ (3) และ (6) ตามลำดับ เกรดเชิงสัมพันธ์แบบเกรย์ที่ดีสุดคือลำดับที่ 2,3,22 และ 25

ปัญหาการปรับให้เหมาะสมแบบหลากหลายตามวัตถุประสงค์ได้กลายเป็นปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพของฟังก์ชันตามวัตถุประสงค์ที่เทียบเท่าเพียงปัญหาเดียวโดยใช้การวิเคราะห์เชิงสัมพันธ์แบบเกรย์ [3,4] การผสมผสานที่เหมาะสมที่สุดของค่าพารามิเตอร์กระบวนการจะได้รับการประเมินโดยการพิจารณาจากเกรดเชิงสัมพันธ์แบบเกรย์สูงสุด

**3 วิธีการดำเนินการวิจัย**

ศึกษา วิเคราะห์ ปัจจัยที่เหมาะสมต่อการผลิตสมุนไพรแช่เท้า ทดลองเบื้องต้นแสดงในตารางที่ 1 ทำการศึกษาช่วงปัจจัยทั้ง 3 คืออุณหภูมิ เวลาและระยะห่างชั้นวางสมุนไพร สมุนไพรและส่วนประกอบแสดงดังรูปที่ 1 วิธีการและเครื่องอบทำการผลิตสมุนไพรแช่เท้าแสดงดังรูปที่ 2

*ตารางที่ 1 ปัจจัยและระดับในการทดลอง*

| ปัจจัยควบคุม | ระดับการทดลอง | | | | | T W | M |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| อุณหภูมิ (องศา C) | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | - | - |
| เวลา (ชั่วโมง) | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | - | - |
| ระยะห่าง(ซม.) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | - | - |

หมายเหตุ: Total Weight น้ำหนักที่ต้องการ (กรัม) Herbal Moisture (%) คือความชื้นที่ต้องการ (%)

ทดลองด้วยวิธี Taguchi ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตสมุนไพร ดังรูปที่ 2 ปัจจัยที่ทดสอบมีทั้งหมด 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 5 ระดับ ใช้ Orthogonal array (OAs) แบบ L-25 (53) ทดลองครั้งแรกและทำการทดลองซ้ำ เพื่อยืนยันผล หาประสิทธิภาพ การทดสอบเป็นชุดค่าปัจจัยที่ดีที่สุดของค่าพารามิเตอร์เพื่อให้ได้สมุนไพรแช่เท้าที่มีคุณภาพทั้ง 25 การทดลอง ทดลองครั้งแรกและทำการทดลองซ้ำเพื่อยืนยันผล หาประสิทธิภาพ จึงได้ทำการทดลองเท่ากับ 25 รัน(run) รวมทดลองซ้ำทั้งหมดเท่ากับ 5 รัน(run) หรือ 30 ลำดับการทดลอง

ปัจจัยทั้งสามประกอบด้วยอุณหภูมิ เวลาและระยะห่างระหว่างชั้นวางสมุนไพร อยู่ระหว่าง 60 ถึง 100 องศา C เวลาระหว่าง 2 ถึง 10 ชั่วโมงและระยะห่างระหว่างชั้นวาง ระหว่าง 1 ถึง 5 ชั้น หากน้อยกว่าหรือมากกว่าที่กำหนด จะมีผลต่อผลิต

*รูปที่ 2 ขั้นตอนการผลิตสมุนไพรแช่เท้า*

**4. ผลการวิจัยและอภิปราย**

**4.1 ศึกษาประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตสมุนไพรแช่เท้า**

ผ่านการตากแดดและอบสมุนไพรควบคุมปัจจัยสามปัจจัยทั้งสาม คืออุณหภูมิ เวลาและระยะห่างชั้นวาง กำหนดการบูรและเกลือเป็นค่าคงที่ ทดสอบหาประสิทธิภาพของปัจจัยทั้งสามกับน้ำหนักรวมและความชื้นสมุนไพรที่เหมาะสมที่ดีที่สุดตามสภาวะที่ได้จากการออกแบบโดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเกรย์ 25 การทดลอง

*ตารางที่ 2 ค่าการสร้างความสัมพันธ์แบบเกรย์*

| ที่ | ผลตอบ [0-1] | | ที่ | ผลตอบ [0-1] | |
|---|---|---|---|---|---|
| | T.W. | M | | T.W. | M |
| 1 | 0.0489 | 0.1205 | 13 | 0.3667 | 0.9217 |
| 2 | 0.0244 | **0.0000** | 14 | 0.5868 | 0.9277 |
| 3 | **0.0000** | 0.1205 | 15 | 0.6357 | 0.9157 |
| 4 | 0.0489 | 0.1807 | 16 | 0.6357 | 0.9337 |
| 5 | 0.0978 | 0.2410 | 17 | 0.6601 | 0.9398 |
| 6 | 0.0978 | 0.3614 | 18 | 0.7090 | 0.9458 |
| 7 | 0.1467 | 0.5422 | 19 | 0.7335 | 0.9518 |
| **8** | 0.1956 | 0.6024 | **20** | 0.7579 | 0.9578 |
| **9** | 0.2445 | 0.7229 | **21** | 0.7311 | 0.9217 |
| **10** | 0.2934 | 0.7831 | **22** | **1.0000** | 0.9277 |
| **11** | 0.3178 | 0.8554 | **23** | 0.9487 | 0.9337 |
| **12** | 0.3423 | 0.8855 | **24** | 0.8068 | 0.9458 |
| **25** | 0.9267 | **1.0000** | | | |

จากการวิเคราะห์พบว่าการทดลองที่ทำให้ได้ค่าประเมินด้วย $\Delta_{0i}$ สภาวะเหมาะสมที่สุด คือ การทดลองที่ 2 และ 3 ค่าความชื้นสมุนไพรแช่เท้า = 0.000 ณ อุณหภูมิระดับที่หนึ่ง = 60 องศา C เวลาระดับสอง = 4 ชั่วโมงและระยะห่างระหว่างชั้นวางสมุนไพรระดับที่สองอยู่ที่ 8 ซม. ค่าน้ำหนัก อยู่ระดับที่หนึ่ง = 60 องศา C เวลาระดับที่สามที่ 6 ชั่วโมง ช่องห่างของชั้นวางสมุนไพรแช่เท้าระดับที่สาม = 3 ชั้น (24 ซม., หนึ่งชั้นเท่ากับ 4 ซม.) ได้ค่าน้ำหนัก128 และ 129 กรัม ร้อยละความชื้นสมุนไพร = 25 และ 23 ตามลำดับ การทดลองที่ 22 ได้ค่าน้ำหนักและความชื้นสมุนไพรแช่เท้าอยู่ที่ 1.000 โดยมีปัจจัยที่หนึ่งได้แก่อุณหภูมิระดับที่ห้า = 100 องศา C (ทั้งสองค่า) เวลาระดับที่สองและห้าเท่ากับ 4 และ 10 ชั่วโมง ได้ร้อยละความชื้นเท่ากับ 9.6 และ 8.4 และน้ำหนักเท่ากับ 88.1 และ 91.1 กรัม ตามลำดับ สร้างความสัมพันธ์แบบเกรย์ต่ำสุดลำดับที่ 8 เท่ากับ 0.000 ส่วนค่าสูงสุดลำดับที่ 25 คือ 1.000 จากตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์เชิงสัมพันธ์แบบเกรย์ใช้สมการ (4) ค่าของค่าสัมประสิทธิ์ความแตกต่างเท่ากับ 0.5 มีการให้น้ำหนักที่เท่ากันกับคุณลักษณะด้านคุณภาพทั้งสอง ผลลัพธ์ดังแสดงตารางที่ 3 เกรดเชิงสัมพันธ์แบบเกรย์ (GRG) และค่าสัมประสิทธิ์เชิงสัมพันธ์แบบเกรย์ ใช้สมการ (9) ผลกระทบของพารามิเตอร์กระบวนการแต่ละตัวที่ระดับต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2 และค่าเฉลี่ยของเกรดเชิงสัมพันธ์แบบเกรย์ดังแสดงในตารางที่ 4

*ตารางที่ 3 สัมประสิทธิ์แบบเกรย์และค่าความสัมพันธ์แบบเกรย์*

| ที่ | $\Delta_{0i}$ | | GRC | | GRC | | RANK |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | T.W. | M | T.W. | M | T.W. | M | |
| 1 | 0.9511 | 0.8795 | 0.3446 | 0.3624 | 0.6478 | 0.6210 | 1 |
| 2 | 0.9756 | **1.0000** | 0.3389 | 0.3333 | 0.6572 | 0.6667 | **2** |
| 3 | **1.0000** | 0.8795 | 0.3333 | 0.3624 | 0.6667 | 0.6210 | **3** |
| 4 | 0.9511 | 0.8193 | 0.3446 | 0.3790 | 0.6478 | 0.5991 | 4 |
| 5 | 0.9022 | 0.7590 | 0.3566 | 0.3971 | 0.6294 | 0.5781 | 5 |
| 6 | 0.9022 | 0.6386 | 0.3566 | 0.4392 | 0.6294 | 0.5389 | 6 |
| **7** | 0.8533 | 0.4578 | 0.3695 | 0.5220 | 0.6114 | 0.4899 | 7 |
| 8 | 0.8044 | 0.3976 | 0.3833 | 0.5570 | 0.5939 | 0.4673 | 8 |
| 9 | 0.7555 | 0.2771 | 0.3982 | 0.6434 | 0.5769 | 0.4603 | 9 |
| 10 | 0.7066 | 0.2169 | 0.4144 | 0.6975 | 0.5605 | 0.4572 | 10 |
| 11 | 0.6822 | 0.1446 | 0.4230 | 0.7757 | 0.5526 | 0.4601 | 11 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 2 | 0.65 77 | 0.11 45 | 0.43 19 | 0.81 37 | 0.54 48 | 0.46 41 | 12 |
| 1 3 | 0.63 33 | 0.07 83 | 0.44 12 | 0.86 46 | 0.53 72 | 0.47 14 | 13 |
| 1 4 | 0.41 32 | 0.07 23 | 0.54 75 | 0.87 37 | 0.48 04 | 0.47 30 | 14 |
| 1 5 | 0.36 43 | 0.08 43 | 0.57 85 | 0.85 57 | 0.47 14 | 0.47 00 | 15 |
| 1 6 | 0.36 43 | 0.06 63 | 0.57 85 | 0.88 30 | 0.47 14 | 0.47 46 | 16 |
| 1 7 | 0.33 99 | 0.06 02 | 0.59 53 | 0.89 25 | 0.46 76 | 0.47 64 | 17 |
| 1 8 | 0.29 10 | 0.05 42 | 0.63 21 | 0.90 22 | 0.46 16 | 0.47 82 | 18 |
| 1 9 | 0.26 65 | 0.04 82 | 0.65 23 | 0.91 21 | 0.45 94 | 0.48 01 | 19 |
| 2 0 | 0.24 21 | 0.04 22 | 0.67 38 | 0.92 22 | 0.45 79 | 0.48 22 | 20 |
| 2 1 | 0.26 89 | 0.07 83 | 0.65 02 | 0.86 46 | 0.45 96 | 0.47 14 | 21 |
| 2 2 | **0.00 00** | 0.07 23 | 1.00 00 | 0.87 37 | 0.50 00 | 0.47 30 | **22** |
| 2 3 | 0.05 13 | 0.06 63 | 0.90 69 | 0.88 30 | 0.47 91 | 0.47 46 | 23 |
| 2 4 | 0.19 32 | 0.05 42 | 0.72 13 | 0.90 22 | 0.45 72 | 0.47 82 | 24 |
| 2 5 | 0.07 33 | **0.00 00** | 0.87 21 | 1.00 00 | 0.47 27 | 0.50 00 | **25** |

**4.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์**

แบบจำลองการถดถอยพหุคูณได้รับการพัฒนาสำหรับผลตอบ ได้แก่ น้ำหนักรวมและร้อยละความชื้นสมุนไพรระดับความเชื่อมั่น 95% โดยพิจารณาอุณหภูมิ (TEMP) เวลา (TIME) และช่องห่างระหว่างชั้นวางสมุนไพร (DISTANCE) เป็นพารามิเตอร์นำเข้า มีการตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลองโดยการประเมินค่าสัมประสิทธิ์การ กำหนด ($R^2$) ค่า $R^2$ ยิ่งมาก เช่น ความสำคัญของแบบจำลองมากขึ้น จากผลการทดลอง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์อันดับสองสำหรับร้อยละความชื้นและน้ำหนักสมุนไพรแช่เท้าที่ดีที่สุดแสดงในสมการที่ 3, 4, 5 และ 8 ด้วยค่า $R^2$ ตามลำดับ ($R^2$adjust=93.81%) หุ่นจำลองอันดับสองคือ

*GRG = Constant (24.8072)+Temp60(5.2097)+Temp70(1.5444)+Temp80 (-1.8065)+Temp9 (2.4653)+Time2(0.6857)+Time4(0.4127) +Time6(0.0226)+Time8(0.3720)+Distance1(-0.3632) +Distance2(0..5636)+Distance3(0.2455)+Distance4( -0.1240)*

*ตารางที่ 4 ผลกระทบค่าเฉลี่ยผลตอบของ GRG*

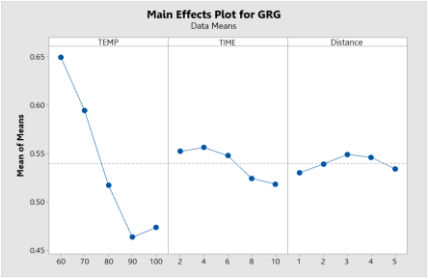
| ปัจจัย | ค่าเฉลี่ยของ GRG อันดับที่ | | | | Max-Min |
|---|---|---|---|---|---|
| | ลำดับที่ | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| *TEMP* | 0.6498 1 | 0.5944 | 0.5173 | 0.4636 | 0.4737 |
| *TIME* 2 | 0.5522 | 0.5562 | 0.5477 | 0.5243 | 0.5184 |
| *DIST* 3 | 0.5300 | 0.5393 | 0.5492 | 0.4461 | 0.0191 |
| ผลรวมค่าเฉลี่ยผลตอบ GRG = 0.5398 | | | | | |

ตารางที่ 5 แสดงความสำคัญค่าพารามิเตอร์กระบวนการของผลตอบ จากตาราง ANOVA พบอุณหภูมิและเวลาเป็นค่าพารามิเตอร์กระบวนการที่สำคัญส่งผลต่อผลตอบที่ต้องการ ค่า *p* น้อยกว่า 0.05 อย่างมีนัยสำคัญ ระดับความเชื่อมั่น 95% ระยะห่างระหว่างชั้นวางไม่แสดงนัยสำคัญต่อผลตอบ(ร้อยละความชื้นและน้ำหนักสมุนไพรแช่เท้า)

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับค่า GRG

| Source | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|---|
| TEMP | 4 | 32.2078 | 32.2078 | 8.05194 | 88.86 | **0.000** |
| TIME | 4 | 1.5379 | 1.5379 | 0.38447 | 4.24 | 0.023 |
| Distance | 4 | 0.2871 | 0.2871 | 0.07179 | 0.79 | 0.552 |
| Residual Error | 12 | 1.0874 | 1.0874 | 0.09062 | | |
| Total | 24 | 35.1202 | | | | |

| S | R-Sq | R-Sq(adj) |
|---|---|---|
| 0.3010 | 96.90% | 93.81% |




*รูปที่ 3 โครงร่างผลกระทบหลักของ GRG*

**5. บทสรุป**

บทความนี้นำเสนอวิธีการการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเกรย์ ได้ถูกนำไปใช้กับพฤติกรรมของกระบวนการผลิตสมุนไพรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของผลตอบแบบหลายจุดของกระบวนการผลิตถูกนำมาใช้เพื่อให้ได้ส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดที่ให้น้ำหนักรวมที่ต้องการใกล้เคียงหรือเท่ากับ 100 กรัม ความชื้นสมุนไพรแช่เท้าใกล้เคียงเท่ากับร้อยละ 10 การวิเคราะห์เชิงสัมพันธ์แบบเกรย์ รวมลักษณะคุณภาพเข้าไว้ด้วยกันเป็นคุณลักษณะเฉพาะด้านประสิทธิภาพโดยตรงที่เรียกว่าเกรดเชิงสัมพันธ์แบบเกรย์ การผสมผสานที่เหมาะสมของพารามิเตอร์กระบวนการได้รับการประเมินตามเกรดเชิงสัมพันธ์แบบเกรย์ที่สูงสุด

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และการวิเคราะห์ความถดถอย ถูกนำมาใช้เพื่อปรับพารามิเตอร์การผลิตสมุนไพรให้เหมาะสมโดยพิจารณาจากเกรดเชิงสัมพันธ์แบบเกรย์ จากการวิเคราะห์ค่าผสมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตสมุนไพรแช่เท้า ร้อยละความชื้นและน้ำหนักสมุนไพรแช่เท้า ลักษณะประสิทธิภาพหลายประการคือ ปัจจัยที่หนึ่งอุณหภูมิระดับที่ห้า เท่ากับ 100 องศาเซลเซียส เวลาระดับที่สองและห้าเท่ากับ 4 และ 10 ชั่วโมง และช่องห่างระหว่างชั้นที่อบสมุนไพรแช่เท้าระดับที่หนึ่งและสี่ เท่ากับ 4 และ 16 เซนติเมตร ตามลำดับ ได้ผลตอบร้อยละความชื้นสมุนไพรเท่ากับ 8.4 และ 9.6 ส่วนน้ำหนักสมุนไพรแช่เท้าอยู่ที่ 88.1 และ 91.41 ตามลำดับ และการวิเคราะห์ความแปรปรวนปัจจัยที่หนึ่ง อุณหภูมิ และปัจจัยที่สอง เวลา พบว่าไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ส่วนปัจจัยที่สาม (ช่องห่างระหว่างชั้นวางสมุนไพร) มีนัยสำคัญ ที่ระดับ R-Sq(adj) 93.81%

วิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเกรย์สามารถใช้เลือกตัวแปรการผลิตสมุนไพรได้สมุนไพรแช่เท้าได้ดีกว่าวิธีทากูชิเนื่องจากใช้เลือกตัวแปรในกรณีที่มีหลายผลตอบได้สร้างความมั่นใจในการผลิตสมุนไพรได้เป็นอย่างดี เช่น ได้ค่าเข้าใกล้หรือเท่ากับค่าเป้าหมายที่ต้องการ (น้ำหนักรวมสมุนไพรและร้อยละความชื้นสมุนไพรเป็นค่าที่ดีที่สุด) วิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเกรย์สามารถพิสูจน์ได้ว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตสมุนไพรแช่เท้าได้เป็นอย่างดียิ่ง

**กิตติกรรมประกาศ**

ขอขอบคุณสาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาและภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏ ให้ใช้สถานที่ทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพ และเทศบาลตำบลหนองผึ้ง อำเภอสารภี จังหวัดเชียงใหม่ เทศบาลตำบลเมืองงาย ตำบลเมืองงาย อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงการหนึ่งตำบลหนึ่งมหาวิทยาลัยได้นำไปถ่ายทอดและขยายผลให้กับชุมชนบางหมู่บ้านทั้งสองตำบล ที่ทำการผลิตลูกประคบและสมุนไพรแช่เท้า ที่ได้รับทุนสนับสนุนบางส่วนในงานวิจัยนี้

**เอกสารอ้างอิง**

[1] เฉลียว ปิยะชน. อายุรเวท ศาสตร์แห่งชีวิต. กรุงเทพฯ: สถาบันการแพทย์แผนไทย; 2537.

[2] สุรพงศ์ บางพาน. การประยุกต์วิธีการทากุชิสำหรับกระบวนกลึงที่ดีที่สุดโดยศึกษาค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต.วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.. ปีที่ 7; ฉบับที่ 2: 104-112. 2557

[3] Chan JWK, Tong TKL. Multi- criteria material selections and end – of - life product strategy: Grey relational analysis approach. Materials & Design. 2007; 28-5:1539-1546.

[4] สุรพงศ์ บางพาน, สุวัฒนวงศ์ พันเพ็ชร, อธิวัฒน์ วังใหม่, ธราพงษ์ กาญจนปาริชาติ, จิรสันต์ คำคุณ และรตานรี สุทธิพงษ์. วิธีการทากุชิแบบฐานเกรย์เพื่อให้ได้ค่าดีที่สุดในกระบวนการผลิตข้าวกล้อง. เอกสารสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี พ.ศ.2567; 15-17 พฤษภาคม พ.ศ.2567; โรงแรมเซ็นทารา. อุบลราชธานี; 2567. 1-7.

[5] Puh F, Jurkovic Z, Perinic M, Brezocnik M, Buljan S. Optimization of machining parameters for turning operation with multiple quality characteristics using Grey relational analysis. TehniČki vjesnik. 2016; 23-2: 377-382.

[6] Sahoo AK, Sahoo B. Performance studies of multilayer hard surface coatings ( TiN/ TiCN/ Al2O3/ TiN) of indexable carbide inserts in hard machining: Part-II (RSM, grey relational and techno economical approach). Measurement. 2013; 46-8: 2868-28