

โครงการที่ 38/2562 (วศบ.อุตสาหกรรม)



การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดสารเข้มข้นจากใบหม่อนเพื่อนำไป
แปรรูปเป็นเครื่องดื่มสมุนไพร

นายชวกร เป้าประจักษ์ รหัสนักศึกษา 590610572

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ปีการศึกษา 2562

หัวข้อโครงการ	การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดสารเข้มข้นจากใบหม่อนเพื่อนำไปแปรรูปเป็นเครื่องดื่มสมุนไพร
โดย	นายชวกร เป้าประจักษ์ รหัสนักศึกษา 580612136
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.เสริมเกียรติ จอมจันทร์ยอง
ปีการศึกษา	2562

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อนุมัติให้รับ
โครงการนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

กรรมการสอบโครงการ

..... ประธานกรรมการ
(รศ.ดร.เสริมเกียรติ จอมจันทร์ยอง)

..... กรรมการ
(รศ.ดร.อภิชาติ ไสยาแดง)

..... กรรมการ
(อ.ดร.วาปี มโนนิเวศ)

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงงานวิจัยเรื่อง“การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดสารเข้มข้นจากใบหม่อนเพื่อนำไปแปรรูปเป็นเครื่องดื่มสมุนไพรเพื่อสุขภาพ” ฉบับนี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงไปได้ต้องขอกราบขอบพระคุณ

รศ.ดร.เสริมเกียรติ จอมจันทร์ยอง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานวิจัยที่ได้ให้คำแนะนำและคอยชี้แนะแนวทางในการดำเนินงานตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆจนงานวิจัยเสร็จสมบูรณ์อีกทั้ง รศ.ดร.อภิชาติ โสภางค์ ผศ.ดร.ชนม์เจริญ แสงรัตน์ อ.ดร.สาธิต สันติธรรมากุล อ.ดร.วาปี มโนภินิเวศ ที่กรุณาเป็นกรรมการตรวจสอบโครงการและให้คำแนะนำอย่างดียิ่ง

ผศ.ดร.อาทิตย์ ยาวุฒิ อาจารย์จากวิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาเชียงใหม่ อาจารย์ผู้เป็นเจ้าของโครงงานและเครื่องสกัดด้วยไฟฟ้าแรงสูงแบบพัลส์ Pulse Electric Field หรือ PEF อาจารย์ได้ให้คำแนะนำและความรู้ในการใช้เครื่อง

Dr.Nobutaka Ito ที่ช่วยให้ความรู้เกี่ยวกับโครงการวิจัยและให้คำแนะนำในการทำการทดลองในการสกัดความเข้มข้นจากใบหม่อน

อ.ดร.ชวิศ บุญมี อาจารย์ได้ให้คำแนะนำความรู้เรื่อง การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment, DOE) และคำแนะนำในการใช้โปรแกรม มินิแทบ(Minitab)

รศ.ดร.ภญ.วรธิดา ชัยญาณะ อาจารย์จากคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อาจารย์ได้ให้คำแนะนำการทำโครงงานในส่วนของการทดลองทางเคมีตั้งแต่การเตรียมสารเคมี เตรียมอุปกรณ์ การใช้อุปกรณ์ต่างๆในห้องปฏิบัติการคณะเภสัชศาสตร์ และความรู้ในการใช้เครื่อง HPLC (High Performance Liquid Chromatography)

ภญ.ฉันทน์ ปัญญาใหญ่ ภญ.ปชาบดี มาทรัพย์ ปชาบดี มาทรัพย์ ภญ. รุ่งพีชบัณฑิตปริญาโท จากคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ รุ่งพีชได้ช่วยในการทดลองเช่น การเตรียมสารเคมี การเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ การใช้เครื่องต่างๆในห้องปฏิบัติการคณะเภสัชศาสตร์ และได้ให้ความรู้เรื่องการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment, DOE)

บิดา มารดา และญาติพี่น้อง ที่คอยสนับสนุนและเป็นแรงบันดาลใจที่สำคัญในการทำโครงงาน เพื่อนๆ รวมถึงผู้ที่มีได้กล่าวถึงทุกท่านที่คอยช่วยเหลือ และคอยให้กำลังใจซึ่งกันและกันท้ายสุดนี้หากโครงงานวิจัยมีข้อบกพร่องประการใดทางผู้วิจัยใคร่ขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วยและหวังว่าโครงงานวิจัยฉบับนี้จะมีประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจไม่มากนักน้อยขอมอบความดีนี้ให้แก่บุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งหมดที่ได้ให้คำปรึกษากำลังใจการสนับสนุนและให้ความช่วยเหลือที่ดีจนประสบผลสำเร็จ

ชวกร เป้าประจักษ์

หัวข้อโครงการ	การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดสารเข้มข้นจากใบหม่อนเพื่อนำไปแปรรูปเป็นเครื่องดื่มสมุนไพร
โดย	นายชวกร เป้าประจักษ์ รหัสนักศึกษา 580612136
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.เสริมเกียรติ จอมจันทร์ยอง
ปีการศึกษา	2562

บทคัดย่อ

ในยุคปัจจุบันผู้คนมีแนวโน้มหันมาดูแลสุขภาพกันมากขึ้น ไม่ว่าจะด้วยการออกกำลังกาย กินอาหารคลีน อาหารเพื่อสุขภาพ และการพักผ่อนที่เพียงพอ ทั้งหมดนี้เป็น 3 สิ่ง ปัจจัยที่ทำให้เกิดการใช้ชีวิตประจำวัน ได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งร่างกายและจิตใจ (Productive Routine) สาเหตุนั้นมาจากผู้คนนั้นทำงานกันอย่างเหน็ดเหนื่อย ในช่วงเวลาทำงานต้องเจอกับช่วงเวลาเร่งรีบ และเครียด ไม่ค่อยมีเวลาได้พักผ่อน เมื่อหลังจากทำงานเสร็จผู้คนจะเกิดการเหนื่อยล้า เป็นส่วนน้อยที่ผู้คนจะออกกำลังกายหลังจากทำงาน การกินอาหารนั้นเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ ดังนั้นหลังจากทำงานเสร็จมนุษย์ก็จะรับประทานอาหารและในปัจจุบันมีอาหารให้เลือกกินหลายอย่างมากมาย เมื่อผู้คนใช้ชีวิตเป็นวัฏจักรดังนี้โดยที่ไม่ได้ออกกำลังกายไม่มีการนำพลังงานส่วนเกินจากอาหารที่รับประทานไปเผาผลาญจึงทำให้เกิดไขมันหรือน้ำตาลตกค้างในร่างกาย ผมจึงสนใจที่จะทำโครงการเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพที่สกัดจากใบหม่อนที่มี 1-deoxynojirimycin (DNJ) เป็นสารสำคัญในการออกฤทธิ์ลดน้ำตาลในเลือดของใบหม่อนโดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ α -glucosidase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อยน้ำตาลโมเลกุลคู่ให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวจึงทำให้น้ำตาลในเลือดลดลงได้ในปัจจุบันเทคโนโลยีมีความก้าวหน้ามากขึ้นจึงเห็นถึงการประยุกต์การสกัดใบหม่อนกับเครื่องสกัดด้วยไฟฟ้าแรงสูงแบบพัลส์ ซึ่งเครื่องสกัดดังกล่าวนี้เป็นเทคโนโลยี Pulse Electric Field หรือ PEF เป็นการสร้างสนามไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสสูงเป็นจังหวะช่วงเวลาสั้นๆกระทำต่อวัสดุที่แช่อยู่ สารละลายที่เป็นตัวนำไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าแรงดันสูงเป็นที่ยอมรับและมีใช้งานด้านการกระตุ้นหรือสร้างความตึงเครียดบนผิวเซลล์การทำลายผนังเซลล์เพื่อนำสารเคมีเข้าหรือออกจากเซลล์การปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของเซลล์หรือการทำลายจุลินทรีย์หรือเชื้อโรคหรือการทำลายตะกอนในสารละลาย

โดยปัจจัยที่ใช้ทำการศึกษา คือ แรงดันไฟฟ้า ความถี่ในการจ่ายพัลส์ และเวลาที่ใช้ในการ สกัดโดยจากการดำเนินงานตามหลักการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2^k และทำซ้ำ 2 ครั้ง และมีผลตอบจากปัจจัย 3 ปัจจัย คือ ความเข้มข้นของสารสกัดจากใบหม่อนสองสายพันธุ์ คือ สาย พันธุ์สกลนคร และสายพันธุ์บุรีรัมย์ ที่ใช้เครื่องสกัดด้วยไฟฟ้าแรงสูงแบบพัลส์

Project Title	Finding the Most Suitable Condition of Mulberry Leaves Extraction to Produce the Herbal Health Drinks
Name	Chavakorn Paoprajak Code 590610572
Department	Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University
Project Advisor	Associate Professor Sermkiat Jomjunyong, Ph.D.
Academic	2018

ABSTRACT

In modern times, people tend to turn to health care more. Whether by exercising, eating clean food, healthy food And sufficient rest These are the 3 factors that cause daily life. Effectively both physically and mentally (Productive Routine). The reason is that people work tirelessly. During work hours, faced with a rush and stressful time Rarely have time to rest When after work is finished, people will become tired. A small percentage of people will exercise after work. Eating food is an important factor in human life. Therefore, after work is finished, humans will eat food and nowadays there are many foods to choose from. When people live their lives as follows, without exercise, without consuming excess energy from food to burn, resulting in fat or sugar remaining in the body. I am interested in doing a health drink project that is extracted from 1-deoxynojirimycin (DNJ) is an important substance in reducing the blood sugar of mulberry leaves by inhibiting the enzyme activity. α -glucosidase Which is an enzyme that digests double molecules of sugar into single molecules of sugar, which can reduce blood sugar. At present, the technology is more advanced and therefore sees the application of mulberry leaf extract with high-voltage pulses extractor. All The extractors are Pulse Electric Field (PEF) technology which creates a high-voltage, high-current electric field in a short period of time for the material immersed in the solution. Active against stimulation or tension on the cell surface, destroying the cell wall to bring chemicals into or out of the cell,

improving or changing the structure The physical characteristics of cells or bacteria or microbial degradation or destruction precipitate in solution.

In which the factors being studied are voltage, frequency of pulse distribution And the time it took for extraction by operating according to the design principles of 2k factorial experiments and repeated 2 times and with the response of 3 factors, namely the concentration of extracts from two species of mulberry leaves, namely Sakon Nakhon and Buriram strain using high-voltage pulse extractors

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 กรรมวิธีการผลิตน้ำไบหม่อน	4
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
บทที่ 3 ข้อมูลเกี่ยวกับโรงงาน	
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง	20
3.2 วิธีดำเนินการทดลอง	25
3.3 หาปัจจัยที่มีผลในการสกัด มีทั้งหมด 3 ปัจจัย	29
บทที่ 4 วิธีการดำเนินงานของโครงการวิจัย	
4.1 การออกแบบตารางการทดลองและป้อนข้อมูลโดยใช้โปรแกรม มินิแทบ (Minitab)	32
4.2 ผลการทดสอบความเข้มข้นด้วยเครื่อง HPLC	33
4.3 ผลการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็มจำนวน 2k	34

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 การคำนวณหาความเข้มข้นของสารสกัด	36
4.5 การวิเคราะห์แบบแฟคทอเรียลกรณีทำการทดลองซ้ำ	37
4.6 เก็บรวบรวมผลแล้วนำไปเปรียบเทียบโดยใช้ทักษะวิชาทางสถิติ	45
บทที่ 5 ผลการดำเนินงานของโครงการวิจัย	
5.1 สรุปผลการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็มจำนวน	48
5.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องและส่งผลกระทบต่อความเข้มข้นของสารสกัดจากใบหม่อนทั้ง สองสายพันธุ์	48
5.3 การวิเคราะห์ค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความเข้มข้นของสาร สกัดจากใบหม่อน	48
บรรณานุกรม	50
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ข้อมูลผลตอบหลังการทดลอง	51
ประวัติผู้เขียน	68

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
3.1	การออกแบบการทดลองที่ใช้ในการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดสาร เข้มข้นจากใบหม่อน	31
4.1	ตารางการทดลองและป้อนข้อมูลโดยใช้โปรแกรม มินิแทบ(Minitab)	32
4.2	ผลการหาค่าความเข้มข้นของใบหม่อนระหว่างสายพันธุ์ สกลนคร และ บุรีรัมย์	33
4.3	ผลการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็มจำนวน 2^k	34
4.4	ระดับที่เหมาะสมของการทดลอง	44
5.1	ปัจจัยที่ต้องการศึกษา	49
5.2	ปัจจัยที่ผ่านการทดลองและวิเคราะห์หาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดของสายพันธุ์ บุรีรัมย์	49

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1.1 ใบหม่อน	2
1.2 เครื่องสกัดด้วยไฟฟ้าแรงสูงแบบพัลส์	2
2.1 ใบหม่อนที่โดนแมลงกินและมีเชื้อราขึ้น	4
2.2 ตู้อบแบบลมร้อน	5
2.3 เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.01 กรัม	5
2.4 เครื่องปั่นใบหม่อน	6
2.5 เครื่องสกัดด้วยไฟฟ้าแรงสูงแบบพัลส์	6
2.6 การทดสอบด้วยเครื่อง HPLC (High Performance Liquid Chromatography)	7
2.7 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการ	7
2.8 ตัวอย่างกราฟการทดลองแฟคทอเรียล	12
2.9 ส่วนประกอบของการทดสอบด้วยเครื่อง HPLC (High Performance Liquid Chromatography)	18
3.1 ตู้อบแบบลมร้อน	15
3.2 เครื่องชั่งความละเอียด 0.01 กรัม	16
3.3 เครื่องปั่นใบหม่อน	16
3.4 เครื่องสกัดด้วยไฟฟ้าแรงสูงแบบพัลส์	22
3.5 ขวด Vial สีชา ขนาด 1.5 มิลลิลิตร 11.6 x 32 มิลลิเมตร	22
3.6 กระบอกฉีดยา ขนาด 1 ซีซี (Tuberculin Syringe)	23
3.7 ตัวกรองสารไนรอน	23
3.8 โหลแก้วสำหรับใส่สารสกัด	24
3.9 เครื่อง HPLC (High Performance Liquid Chromatography)	24
3.10 ใบหม่อนที่โดนแมลงกินและมีเชื้อราขึ้น	25

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า	
3.11	ตู้อบแบบลมร้อน	26
3.12	เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.01 กรัม	26
3.13	เครื่องปั่นใบหม่อน	27
3.14	เครื่องสกัดด้วยไฟฟ้าแรงสูงแบบพัลส์	27
3.15	กระบอกฉีดสารประกอบกับตัวกรองสารและฉีดลงในขวด Vial สีชา	28
3.16	หลักการอิเล็กโทรโพลีเซชัน	29
3.17	ลำดับขั้นของกระบวนการอิเล็กโทรโพลีเซชันที่เกิดขึ้นกับเซลล์ของจุลินทรีย์	30
4.1	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง พื้นที่(Area) และความเข้มข้น(Concentration)	36
4.2	แสดงผลการทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นสารสกัดใบหม่อนสายพันธุ์ สกลนคร	37
4.3	แสดงผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม มินิแทบ(Minitab) ของใบหม่อนสายพันธุ์ สกลนคร	38
4.4	แสดงผลการทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นสารสกัดใบหม่อนสายพันธุ์บุรีรัมย์	39
4.5	แสดงผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม มินิแทบ (Minitab) ของใบหม่อนสายพันธุ์ บุรีรัมย์	40
4.6	ประมาณค่าผลกระทบและค่าสัมประสิทธิ์เฉพาะปัจจัยที่สำคัญของสายพันธุ์ สกลนคร	41
4.7	ประมาณค่าผลกระทบและค่าสัมประสิทธิ์เฉพาะปัจจัยที่สำคัญของสายพันธุ์บุรีรัมย์	42
4.8	ภาพแสดงการวิเคราะห์ส่วนค้ำของผลตอบการทดลองสายพันธุ์สกลนคร	42
4.9	ภาพแสดงการวิเคราะห์ส่วนค้ำของผลตอบการทดลองสายพันธุ์บุรีรัมย์	43
4.10	การหาความแปรปรวนความเข้มข้นสารสกัด สายพันธุ์สกลนคร และสายพันธุ์ บุรีรัมย์	45
4.11	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม มินิแทบ(Minitab)	47
ก-1	กราฟความสัมพันธ์ Area และ Concentration สกลนครตัวอย่างชิ้นงานที่ 1	52

สารบัญญภาพ (ต่อ)

[illegible]

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
ก-23	กราฟความสัมพันธ์ Area และ Concentration บุรีรัมย์ตัวอย่างชิ้นงานที่ 7	63
ก-24	กราฟความสัมพันธ์ Area และ Concentration บุรีรัมย์ตัวอย่างชิ้นงานที่ 8	63
ก-25	กราฟความสัมพันธ์ Area และ Concentration บุรีรัมย์ตัวอย่างชิ้นงานที่ 9	64
ก-26	กราฟความสัมพันธ์ Area และ Concentration บุรีรัมย์ตัวอย่างชิ้นงานที่ 10	64
ก-27	กราฟความสัมพันธ์ Area และ Concentration บุรีรัมย์ตัวอย่างชิ้นงานที่ 11	65
ก-28	กราฟความสัมพันธ์ Area และ Concentration บุรีรัมย์ตัวอย่างชิ้นงานที่ 12	65
ก-29	กราฟความสัมพันธ์ Area และ Concentration บุรีรัมย์ตัวอย่างชิ้นงานที่ 13	66
ก-30	กราฟความสัมพันธ์ Area และ Concentration บุรีรัมย์ตัวอย่างชิ้นงานที่ 14	66
ก-31	กราฟความสัมพันธ์ Area และ Concentration บุรีรัมย์ตัวอย่างชิ้นงานที่ 15	67
ก-32	กราฟความสัมพันธ์ Area และ Concentration บุรีรัมย์ตัวอย่างชิ้นงานที่ 16	67

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำให้โครงการ

ในยุคปัจจุบันผู้คนมีแนวโน้มหันมาดูแลสุขภาพกันมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นด้วยการออกกำลังกาย กินอาหารคลีน อาหารเพื่อสุขภาพ และการพักผ่อนที่เพียงพอ ทั้งหมดนี้เป็น 3 สิ่ง ปัจจัยที่ทำให้เกิด การใช้ชีวิตประจำวันได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Productive routine) ทั้งร่างกายและจิตใจ สาเหตุนั้นมาจากผู้คนนั้นทำงานกันอย่างเหน็ดเหนื่อย ในช่วงเวลาทำงานต้องเจอกับช่วงเวลาเร่งรีบ และเครียด ไม่ค่อยมีเวลาได้พักผ่อน เมื่อหลังจากทำงานเสร็จผู้คนจะเกิดการเหนื่อยล้า เป็นส่วนน้อยที่ผู้คนจะออกกำลังกายหลังจากทำงาน การกินอาหารนั้นเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ ดังนั้นหลังจากทำงานเสร็จมนุษย์ก็จะรับประทานอาหารและในปัจจุบันมีอาหารให้เลือกกินหลายอย่างมากมาย เมื่อผู้คนใช้ชีวิตเป็นวัฏจักรดังนี้โดยที่ไม่ได้ออกกำลังกายไม่มีการนำพลังงานส่วนเกินจากอาหารที่รับประทานไปเผาผลาญจึงทำให้เกิดไขมันหรือน้ำตาลตกค้างในร่างกาย ผมจึงสนใจที่จะทำโครงการเกี่ยวกับเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพที่สกัดจากใบหม่อนดังภาพ 1.1 ที่มี 1-deoxynojirimycin (DNJ) เป็นสารสำคัญในการออกฤทธิ์ลดน้ำตาลในเลือดของใบหม่อนโดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ α -glucosidase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ย่อย น้ำตาลโมเลกุลคู่ให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวจึงทำให้น้ำตาลในเลือดลดลงได้ ในปัจจุบันเทคโนโลยีมีความก้าวหน้ามากขึ้นจึงเล็งเห็นถึงการประยุกต์การสกัดใบหม่อนกับเครื่องสกัดด้วยไฟฟ้าแรงสูงแบบพัลส์ ซึ่งเครื่องสกัดดังกล่าวนี้เป็นเทคโนโลยี Pulse Electric Field หรือ PEF ดังภาพ 1.2 โดยกระบวนการของเครื่องเป็นการสร้างสนามไฟฟ้าแรงดันสูง กระแสสูงเป็นจังหวะช่วงเวลาสั้นกระทำต่อวัสดุที่แช่อยู่สารละลายที่เป็นตัวนำไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าแรงดันสูงเป็นที่ยอมรับและมีใช้งานด้านการกระตุ้นหรือสร้างความตึงเครียดบนผิวเซลล์การทำลายผนังเซลล์เพื่อนำสารเคมีเข้าหรือออกจากเซลล์การปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ

ของเซลล์หรือการทำลายจุลินทรีย์หรือเชื้อโรคหรือการทำลายตะกอนในสารละลายแต่อุปกรณ์จ่ายสัญญาณ PEF ปัจจุบันมีขนาดใหญ่มีน้ำหนักไม่น้อยกว่า 200 กิโลกรัม บทความนี้เป็นการออกแบบและสร้างอุปกรณ์จ่ายสัญญาณ PEF ที่สามารถจ่ายสนามไฟฟ้าเป็นจังหวะ สำหรับใช้ในงานสกัดสารเคมีออกจากเซลล์พืชอย่างรวดเร็วอุปกรณ์ที่ออกแบบประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง กระแสตรง (DC High Voltage Generator) อุปกรณ์เก็บสะสมพลังงาน (Energy Storage Device) ชุดสวิตช์จ่ายพัลส์ (Pulse Switch) ชุดห้องสกัด (Extraction Chamber) ชุดแทงค์เก็บของเหลว (Liquid Tank) และชุดปั๊มของเหลว (Liquid Pump) ผลการจำลองสนามไฟฟ้าพบว่า เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดผลการทดสอบเบื้องต้นพบว่าสามารถจ่ายสัญญาณพัลส์ได้ตามที่ออกแบบไว้และเมื่อนำไปสกัดผิวมะกรูดเทียบกับวิธีการแช่ผิวมะกรูดในน้ำธรรมดาพบว่าได้สารสีเขียวออกมาอย่างรวดเร็ว



ภาพ 1.1 ใบหม่อน



ภาพ 1.2 เครื่องสกัดด้วยไฟฟ้าแรงสูงแบบพัลส์

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อหาเงื่อนไขในการสกัดไบโหม่อนจากเครื่องสกัดด้วยไฟฟ้าแรงสูงแบบพัลส์ให้ได้สาร 1-deoxynojirimycin (DNJ) เข้มข้น ภายใต้เงื่อนไขดังกล่าวนี้ คือ แรงดันไฟฟ้า ความถี่ในการจ่ายพัลส์ของเครื่องสกัด และเวลาที่ใช้ในการสกัด

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของไบโหม่อนสองสายพันธุ์ระหว่าง สายพันธุ์สกลนคร และสายพันธุ์บุรีรัมย์ โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง และทักษะวิชาทางสถิติ เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องสกัด

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 สายพันธุ์ของไบโหม่อนที่นำมาสกัด

1.3.2 ไบโหม่อนที่นำมาสกัดเป็นแบบสด

1.3.3 เงื่อนไขที่ดีที่สุดในการสกัดไบโหม่อนจากเครื่องสกัดด้วยไฟฟ้าแรงสูงแบบพัลส์

1.3.4 เปรียบเทียบความเข้มข้นของไบโหม่อนสองสายพันธุ์ระหว่าง สายพันธุ์สกลนคร และสายพันธุ์บุรีรัมย์โดยทักษะวิชาทางสถิติ

1.3.5 การนำสารสกัดที่ได้ไปทดสอบสารด้วยเครื่อง HPLC (High Performance Liquid Chromatography) เพื่อทำการแยกสารที่สนใจจากสารสกัดของไบโหม่อน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สารสกัดจากเครื่องสกัดด้วยไฟฟ้าแรงสูงแบบพัลส์ภายใต้เงื่อนไขที่ดีที่สุด

1.4.2 เปอร์เซนต์ yield ของไบโหม่อนที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบก่อนและหลังใช้เงื่อนไขที่ดีที่สุดในการสกัด

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในวิจัยเรื่องการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดสารเข้มข้นจากใบหม่อนเพื่อนำไปแปรรูปเป็นเครื่องดื่มสมุนไพรเพื่อสุขภาพผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้ารวบรวมแนวคิดทฤษฎีและผลงานที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาดังปรากฏในรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 กรรมวิธีการผลิตน้ำใบหม่อน

1. การเก็บเกี่ยวใบหม่อน ทำการเก็บใบหม่อนจากไร่ใบหม่อน
2. การคัดใบหม่อน ทำการคัดใบหม่อนที่ดีไว้เนื่องจากบางใบมีเชื้อราขึ้น หรือ บางใบโดน

แมลงกินใบไป ดังภาพ 2.1



ภาพ 2.1 ใบหม่อนที่โดนแมลงกินและมีเชื้อราขึ้น

3. การล้างใบหม่อน ใบหม่อนที่เก็บมาจากธรรมชาติไม่มีการใช้สารเคมีแต่มีแมลงและเชื้อราที่กัดกินใบจึงต้องล้างออกให้หมด

4. นำใบหม่อนไปตาก นำใบหม่อนที่ผ่านการล้างไปตากให้แห้ง

5. การอบใบหม่อน นำใบหม่อนที่ตากเสร็จแล้วไปอบในตู้อบแบบลมร้อนด้วยอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสดังภาพ 2.2



ภาพ 2.2 ตู้อบแบบลมร้อน

6. นำใบหม่อนไปชั่ง นำใบหม่อนไปชั่งด้วยเครื่องชั่งความละเอียด 0.01 กรัม ดังภาพ 2.3 เพื่อจะนำใบหม่อนตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ไปผสมกับน้ำ



ภาพ 2.3 เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.01 กรัม

7. การปั่นใบหม่อน นำใบหม่อนที่ตากเสร็จแล้วไปปั่นด้วยเครื่องปั่น ดังภาพ 2.4 และผสมกับน้ำอัตราส่วน 1 ต่อ 4



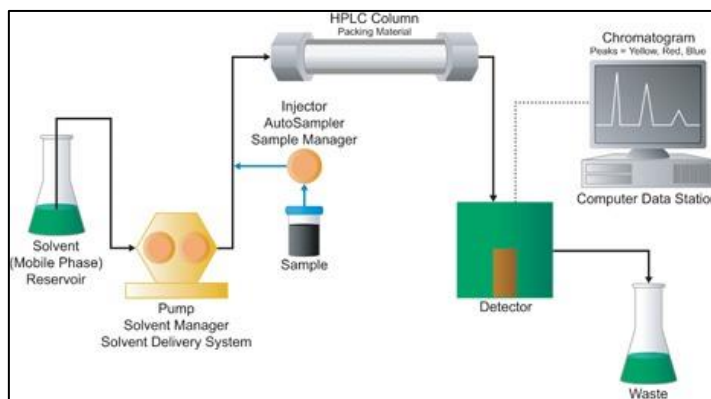
ภาพ 2.4 เครื่องปั่นใบหม่อน

8. การสกัดน้ำใบหม่อน นำใบหม่อนปั่นไปสกัดด้วยเครื่องสกัดด้วยไฟฟ้าแรงสูงแบบพัลส์ดัง
ภาพ 2.5



ภาพ 2.5 เครื่องสกัดด้วยไฟฟ้าแรงสูงแบบพัลส์

9. การทดสอบฤทธิ์และทดสอบโลหะหนักในน้ำใบหม่อน นำน้ำใบหม่อนไปทดสอบสารเคมีต่างๆในน้ำใบหม่อนโดยการทดสอบด้วยเครื่อง HPLC (HighPerformanceLiquidChromatography) ดังภาพ 2.6

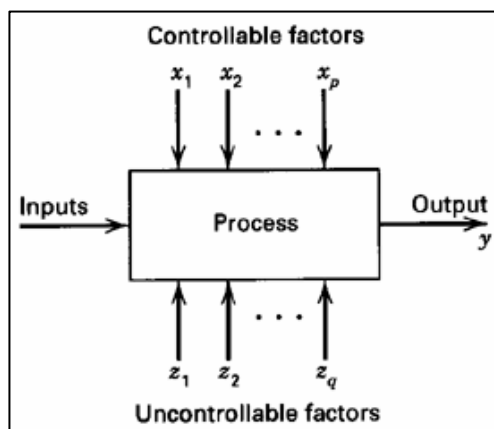


ภาพ 2.6 การทดสอบด้วยเครื่อง HPLC (High Performance Liquid Chromatography)

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ทฤษฎีการออกแบบการทดลอง Design of Experiment

พื้นฐานเกี่ยวกับการออกแบบการทดลองตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการออกแบบการทดลอง โดยทั่วไปการทดลองมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของกระบวนการโดยเลือกใช้ตารางออกแบบการทดลองที่เหมาะสมเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยนำเข้าว่ามีผลต่อผลตอบในกระบวนการอย่างไรบ้างโดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหรือระบบที่ศึกษาแสดงดังภาพ 2.7



ภาพ 2.7 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการ

มากก็น้อยโดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องประกอบด้วยปัจจัยที่สามารถควบคุมได้และที่ไม่สามารถควบคุมได้แต่ในการทดลองจะเลือกศึกษาเฉพาะปัจจัยที่ควบคุมได้และคาดว่าจะมีผลต่อการทดลองอย่างมีนัยสำคัญดังนั้นในระหว่างทำการทดลองระดับของปัจจัยที่ไม่ได้เลือกในการศึกษามีการเปลี่ยนแปลงระดับในระหว่างทำการทดลองจะส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการทดลอง (Experimental Errors) ซึ่งเรียกว่าปัจจัยรบกวน (Nuisance / Noise Factors) แม้ผลของปัจจัยรบกวนแต่ละปัจจัยอาจส่งผลต่อการทดลองเพียงเล็กน้อยแต่เนื่องจากอาจมีปัจจัยรบกวนจำนวนมากทั้งจากแหล่งที่รู้และไม่รู้และบางปัจจัยก็สามารถควบคุมได้และควบคุมไม่ได้ซึ่งจะส่งผลกระทบร่วมกันจนอาจส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการทดลองถ้าเปรียบเทียบความผิดพลาดในการทดลองกับการชั้รยนต์โดยความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในการทดลองเปรียบเสมือนหมอกที่เกิดขึ้นในระหว่างขับรถถ้าในขณะที่ขับรถมีหมอกมากก็จะทำให้การขับที่ลำบากมองเห็นวิสัยทัศน์ในระยะไกลเท่านั้นต้องขับช้าลงถ้าขับในทางที่ไม่คุ้นเคยอาจหลงทางหรือเกิดอุบัติเหตุได้เช่นเดียวกันความแปรปรวนที่แสดงความผิดพลาดในการทดลองที่เกิดจากปัจจัยรบกวนถ้ามีมากก็ลดความน่าเชื่อถือของข้อมูลและลดความสามารถในการแยกแยะว่าปัจจัยใดส่งผลต่อการทดลองอย่างมีนัยสำคัญบ้างดังนั้นถ้าสามารถลดขนาดของความผิดพลาดในการทดลองได้มากเท่าใดก็จะเพิ่มความสามารถในการแยกแยะหรือคัดกรองปัจจัยที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญออกจากปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการน้อยได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นเปรียบเสมือนกำลังของแว่นขยายโดยถ้าความแปรปรวนในการทดลองมีมากกำลังขยายของแว่นจะลดลงแต่ถ้าความแปรปรวนในการทดลองมีน้อยกำลังขยายของเลนส์จะมากขึ้นโดยในระหว่างทำการทดลองปัจจัยรบกวนอาจส่งผลในหลายรูปแบบดังนี้ ส่งผลต่อการทดลองเป็นครั้งคราวไม่สามารถคาดการณ์หรือทำนายได้ ส่งผลต่อการทดลองตลอดเวลาและเกิดขึ้นอย่างเป็นระบบ

หลักการพื้นฐานที่สำคัญ 4 ประการที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลองและเป็นหลักการเพื่อช่วยให้ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลมีความถูกต้องเที่ยงตรงและแม่นยำมากขึ้นประกอบด้วย 1. หลักการทดลองซ้ำ (Replication) 2. หลักการควบคุม (Control) 3. หลักการสุ่ม (Randomization) 4. หลักการควบคุม (Blocking) อธิบายได้ดังนี้

1. การทดลองซ้ำ (Replication) คือการทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขการทดลองเดียวกันมากกว่า 1 ครั้งเพื่อยืนยันผลและเพิ่มความแม่นยำ (Precision) หรือลดความแปรปรวนของผลการทดลองนอกจากนี้ข้อมูลจากการทดลองซ้ำแสดงแนวโน้มของข้อมูลว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้นในข้อมูลใดหรือไม่และยังช่วยให้ผู้ทดลองสามารถคำนวณค่าความผิดพลาด (Error / Random Noises) ในการทดลองเพื่อใช้ในการประมาณค่าความแปรปรวนในการทดลองที่ใช้เป็นหน่วยพื้นฐานสำหรับทดสอบสมมติฐานว่าผลกระทบของปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ(ถ้าพบว่าผลกระทบของปัจจัยไม่มีผลต่อการทดลองอย่างมีนัยสำคัญแสดงว่าผลการทดลองที่เปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดในการทดลองและมีใช้เกิดจากผลของปัจจัยนั้นอย่างแท้จริง) โดยการทดลองในกรณีนี้ หมายถึงการทำซ้ำอย่างแท้จริง (True Independent Replication) หมายถึงการทำทดลองเงื่อนไขเดียวกันมากกว่า 1 ครั้งและในการทดลองแต่ละครั้งต้องเริ่มทำการทดลองตั้งแต่

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในกระบวนการที่เลือกศึกษาประกอบด้วยตัวแปร 2 ประเภทดังนี้ 1. ตัวแปรนำเข้า (Input Variables) และ 2. ตัวแปรผลตอบของกระบวนการ (Output Responses Variables) หรือเรียกอีกอย่างว่าตัวแปรตามเพราะระดับของตัวแปรผลตอบจะขึ้นกับระดับของตัวแปรนำเข้าอธิบายได้ดังนี้

1. ตัวแปรนำเข้า (Input Variables) คือตัวแปรอิสระในกระบวนการและสามารถแบ่งประเภทของตัวแปรนำเข้าแบ่งได้หลายแบบดังนี้

1.1 แบ่งตามชนิดของข้อมูลของตัวแปรได้แก่ ตัวแปรต่อเนื่อง (Continuous Variables) หรือตัวแปรเชิงปริมาณ (Quantitative Data) เช่นอุณหภูมิความถ่วงจำเพาะขนาดของชิ้นงาน ตัวแปรไม่ต่อเนื่อง (Discrete Variables) หรือตัวแปรเชิงคุณภาพ (Qualitative Data) เช่นของเครื่องจักรระดับของปัจจัยที่สามารถปรับได้ 5 ระดับประเภทของวัตถุดิบ

1.2 แบ่งตามความสามารถในการควบคุมปัจจัยในการทดลองได้แก่ ตัวแปรที่ควบคุมหรือปรับค่าได้ (Controllable Variables) คือตัวแปรในระบบที่ผู้ทดลองสามารถควบคุมปรับเปลี่ยนระดับของตัวแปรเหล่านี้ได้ตามต้องการโดยตัวแปรบางตัวสามารถควบคุมได้ง่ายหรือยากต่างกันหรือบางตัวแปรอาจต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงในการควบคุมโดยในการทดลองจะเลือกศึกษาเฉพาะตัวแปรที่สามารถปรับค่าได้เท่านั้นส่วนตัวแปรอื่นๆที่ปรับค่าได้แต่ไม่ได้ถูกเลือกในการศึกษาจะต้องควบคุมให้อยู่ในระดับเดียวกันตลอดทุกการทดลอง ตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Variables) คือตัวแปรในระบบที่เกี่ยวข้องและอาจมีผลต่อการทดลองจะมากหรือน้อยก็ตามแต่เนื่องจากไม่สามารถควบคุมระดับของปัจจัยเหล่านี้ได้ในระหว่างการทดลองดังนั้นผลของปัจจัย (ที่ควบคุมไม่ได้) เหล่านี้จะปนเปื้อน (หรือรบกวน) ผลการทดลองส่งผลให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงโดยทั่วไปเรียกอีกอย่างว่าปัจจัยรบกวน (Nuisance Factors แม้ว่าปัจจัยรบกวนส่วนใหญ่อาจมีผลต่อการทดลองน้อยแต่ถ้ามีจำนวนมากผลกระทบรวมของปัจจัยเหล่านั้นอาจส่งผลรบกวนต่อการทดลองอย่างมีนัยสำคัญได้

2. ตัวแปรผลตอบจากกระบวนการ (Output Responses Variables) คือผลลัพธ์ของกระบวนการหรือจากการทดลองหรือคือตัวแปรตามที่ขึ้นกับระดับของตัวแปรนำเข้าในการทดลองเดียวกันอาจมีผลลัพธ์จากการทดลองมากกว่าหนึ่งอย่างผู้วิจัยจะต้องเลือกผลตอบจากการทดลองที่เหมาะสมและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในการศึกษาในกรณีปกติในการวิเคราะห์ผลผู้วิจัยมักเลือกผลตอบเพียงหนึ่งผลตอบส่วนกรณีวิเคราะห์ผลโดยมีผลตอบมากกว่าหนึ่งผลตอบจะต้องใช้เทคนิคการวิเคราะห์ที่มีความซับซ้อนมากขึ้นนอกจากนี้ผลตอบในการทดลองอาจเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพหรือเชิงปริมาณแต่ในการวิเคราะห์ผลทางสถิติผลตอบเชิงคุณภาพจะต้องแปลงให้เป็นผลตอบเชิงปริมาณ

หลักการพื้นฐานในการออกแบบการทดลองการทำการทดลองเพื่อศึกษากระบวนการมักจะเกิดความผิดพลาดในการทดลองขึ้นเสมอแม้จะวางแผนและทำการทดลองเป็นอย่างดีแล้วก็ตามเนื่องจากในกระบวนการที่เลือกศึกษามักมีปัจจัยจำนวนมากเกี่ยวข้องและส่งผลกระทบต่อผลตอบของกระบวนการไม่

ขั้นตอนแรกจนถึงขั้นตอนสุดท้ายและควรแยกความแตกต่างให้ออกระหว่างการทดลองกับการวัดโดยการวัดซ้ำ (Repeated Measurement) หมายถึงการวัดผลมากกว่าหนึ่งครั้งจากการทำการทดลองครั้งเดียวกันแสดงรายละเอียดในตัวอย่างต่อไปโดยการกำหนดจำนวนครั้งในการทดลองซ้ำที่เหมาะสมขึ้นกับหลายปัจจัยเช่น ขนาดของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่แสดงความผิดพลาดในการทดลอง (ความแม่นยำในการทดลอง) และความสามารถในการตรวจจับขนาดของความแตกต่างที่เกิดขึ้นในการทดลองโดยถ้าจำนวนการทดลองเพิ่มขึ้นจะช่วยลดขนาดของความแปรปรวนที่แสดงความผิดพลาดในการทดลองและช่วยเพิ่มความสามารถในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของผลกระทบจากการทดลองแม้การเปลี่ยนแปลงขนาดเล็ก ทรัพยากรในการทดลองที่มีอยู่อย่างจำกัดประกอบและเวลาที่ใช้ในการทำแต่ละการทดลองดังนั้นถ้าทำการทดลองซ้ำจำนวนมากจะส่งผลให้ทรัพยากรในการทดลองเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะการทดลองที่ทรัพยากรในการทดลองมีราคาสูงค่าใช้จ่ายในการทดสอบหรือวัดผลการทดลองมีราคาสูงและที่สำคัญการทดลองที่ประยุกต์ใช้ในโรงงานการทำการทดลองจะต้องรบกวนกระบวนการ ข้อจำกัดในการทดลองอื่น ๆ ทำให้ไม่สามารถทำการทดลองซ้ำได้หรือจำนวนการทดลองมีจำนวนจำกัดกรณีที่ไม่สามารถทดลองซ้ำที่ทุกเงื่อนไขการทดลองได้อาจเลือกทดลองซ้ำเฉพาะที่จุดกึ่งกลางการทดลอง (Replication at Center Points) หรือที่เงื่อนไขการทดลองที่กำหนดระดับของทุกปัจจัยไว้ที่จุดกึ่งกลางของแต่ละปัจจัยใช้ประโยชน์สำหรับตรวจสอบว่ามีเหตุผิดปกติเกิดขึ้นในระหว่างการทดลองหรือไม่ใช้ประมาณความแปรปรวนที่แสดงความผิดพลาดในการทดลอง นอกจากนี้ยังใช้เป็นข้อมูลในการตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองว่าแบบจำลองโพลิโนเมียลอันดับ 1 เหมาะสมหรือไม่หรือต้องเพิ่มเทอมอันดับที่สูงขึ้นในสมการ

2. การควบคุม (Control) หลักการพื้นฐานสำคัญในการออกแบบการทดลองที่ช่วยให้ผลการทดลองมีความถูกต้องโดยมีจุดประสงค์เพื่อกำจัดและลดผลของปัจจัยรบกวน (จากแหล่งที่รู้และส่งผลอย่างมีระบบ) ซึ่งอาจเป็นเป็นผลการทดลองส่งผลให้ผลการทดลองผิดพลาดหรือคลาดเคลื่อนโดยปัจจัยรบกวนบางปัจจัยอาจมีผลต่อการทดลองมากและบางปัจจัยมีผลต่อการทดลองน้อยแม้ปัจจัยรบกวนส่วนใหญ่จะมีผลรบกวนการทดลองน้อยแต่ถ้ามีจำนวนปัจจัยรบกวนจำนวนมากอาจส่งผลร่วมกันและส่งผลต่อความถูกต้องของผลการทดลองดังนั้นผู้ทดลองจะต้องวางแผนการทดลองโดยควบคุมหรือป้องกันผลของปัจจัยรบกวนเหล่านั้นโดยในกรณีรู้แหล่งและสามารถควบคุมได้โดยใช้เทคนิค “ควบคุม” เพื่อกำจัดผลของปัจจัยรบกวนที่เกิดขึ้นอย่างเป็นระบบ ดังนั้นการควบคุมคือควบคุมระดับของปัจจัยรบกวนอื่น ๆ นอกเหนือจากปัจจัยที่เลือกศึกษาให้มีระดับและสภาวะคล้ายคลึงกันตลอดทุกการทดลองโดยใช้คณะผู้ทดลองชุดเดียวกันสถานที่ทดลองเดียวกันกำหนดขั้นตอนการทดลองเดียวกันที่เป็นมาตรฐานทดลองภายในวันเดียวกันใช้เครื่องมือวัดและพนักงานวัดผลชุดเดียวกันและกำหนดวิธีการวัดที่เป็นมาตรฐานเดียวกันนอกจากนี้ควรทำการทดลองในช่วงเวลาใกล้เคียงกันเพราะช่วงเวลาต่างกัน

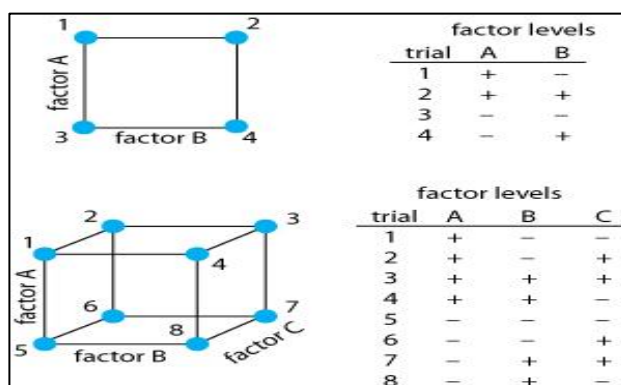
3. การบล็อก (Blocking) การทดลองในกรณีที่สามารถควบคุมระดับของปัจจัยรบกวนให้อยู่ในระดับเดียวกันตลอดทุกการทดลองเพื่อให้สภาวะแวดล้อมในการทดลองมีความคล้ายคลึงกัน

และเปลี่ยนแปลงเฉพาะระดับของปัจจัยที่เลือกศึกษาตามเงื่อนไขในตารางทดลองที่ออกแบบไว้จะทำให้สามารถสังเกตเห็นผลการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่สนใจศึกษาได้อย่างชัดเจนขึ้นแต่ในกรณีที่มีข้อจำกัดในการทดลองเช่น การทดลองมีขนาดใหญ่ต้องใช้เวลาสำหรับการทดลองหลายวันไม่สามารถทำการทดลองทุกเงื่อนไขให้เสร็จภายในเวลาใกล้เคียงกันหรือสิ่งที่ใช้ทดลองอาจต้องใช้จากหลายล็อต การทดลองต้องใช้วัตถุดิบในการทดลองจำนวนมากจึงต้องใช้วัตถุดิบหรือสิ่งของในการทดลองจากต่างล็อตหรือจากหลายแผ่น การทดลองต้องใช้พื้นที่ในการทดลองหลายแปลงหรือหลายพื้นที่ การทดลองมีความซับซ้อนใช้เวลานานเมื่อลำต้นนั้นต้องใช้ผู้ทดลองหรือผู้วัดผลหลายชุด การทดลองต้องใช้เวลาหลายวันหลายสัปดาห์ และการทดลองต้องใช้อุปกรณ์เครื่องจักรหรือเครื่องมือวัดหลายชุด จะเห็นได้ว่าในกรณีเหล่านี้ระดับของปัจจัยรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการทดลองหรือไม่สามารถควบคุมระดับของปัจจัยรบกวนให้มีความคล้ายคลึงกันตลอดทุกการทดลองส่งผลให้ผลของการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยรบกวนจะไปปนกับผลของปัจจัยที่เลือกในการศึกษาโดยเทคนิคการบล็อกจะช่วยจัดการความคลาดเคลื่อนที่ปนเปื้อนในการทดลองที่เกิดจากการเปลี่ยนระดับของปัจจัยรบกวนไปสู่ทุกเงื่อนไขการทดลองอย่างสมดุลและไม่ส่งผลต่อการวิเคราะห์ผล

4. หลักการสุ่ม (Randomization) โดยจัดลำดับที่เกี่ยวข้องในการทดลองโดยใช้ลำดับสุ่ม ได้แก่ การจัดหรือแบ่งกลุ่มสิ่งของที่ใช้ในการทดลอง (สิ่งที่ใช้ทดลองแต่ละตัวอย่างอาจส่งผลในเชิงบวกหรือเชิงลบต่อผลการทดลองได้) การจัดลำดับการทำการทดลองและการจัดลำดับการวัดผล (ลำดับก่อนหรือหลังอาจส่งผลในเชิงบวกและเชิงลบต่อผลการทดลองเช่นผลจากการเรียนรู้ผู้ผลกระทบบที่เกิดจากการเหนี่ยวนำผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมโดยหลักการสุ่มจะช่วยสมดุลความผิดพลาดที่เกิดจากปัจจัยรบกวน (ที่ไม่สามารถควบคุมได้หรือไม่ทราบแหล่งหรือที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้) ไปสู่แต่ละเงื่อนไขการทดลองด้วยโอกาสเท่า ๆ กันลดความผิดพลาดที่เกิดจากอคติโดยความผิดพลาดในการทดลองที่เกิดจากปัจจัยรบกวนที่ควบคุมไม่ได้จะหักล้างกัน (Average Out) ไม่ส่งผลต่อการวิเคราะห์ผลนอกจากนี้ข้อกำหนดเบื้องต้นในการวิเคราะห์ทางสถิติมักกำหนดว่าข้อมูลและความผิดพลาดในการทดลองจะต้องเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบสุ่มและมีความเป็นอิสระต่อกัน (Independently Distributed Random Variables) และสุ่มมาจากกลุ่มประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติโดยมีค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนคงที่แต่อย่างไรก็ตามในการทดลองมักมีปัจจัยรบกวนที่ส่งผลต่อการทดลองเนื่องจากลำดับหรือเวลาในการทดลองส่งผลให้ผลการทดลองมีความสัมพันธ์ (Correlated) กับเวลาหรือปัจจัยรบกวนอื่น ๆ ซึ่งส่งผลให้ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดเบื้องต้นในการวิเคราะห์ทางสถิติซึ่งหลักการสุ่มจะช่วยสนับสนุนให้สอดคล้องกับข้อกำหนดดังกล่าวมากขึ้น

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Experiment) การออกแบบการทดลองในกรณีที่มีการศึกษามากกว่า 2 ปัจจัยได้ภายใต้ทั้งยังสามารถศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยแต่

ละปัจจัยภายในคราวเดียวกันได้นอกจากนี้ยังสามารถให้ข้อสังเกตเกี่ยวกับอิทธิพลของการกระทำร่วมกัน(Interaction Effect) ระหว่างปัจจัยเหล่านี้ด้วยการทดลองแฟคทอเรียลนี้จะทำให้การออกแบบการทดลองมีประสิทธิภาพสูงกว่าลักษณะของการทำการทดลองหลายๆครั้งที่ละปัจจัยสามารถใช้ข้อมูลทั้งหมดในการประมาณอิทธิพลของปัจจัยทุกปัจจัย การออกแบบการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียลเมื่อมีจำนวนปัจจัยที่พิจารณาจำนวน k ปัจจัยแต่ละปัจจัยสามารถปรับเปลี่ยนได้ระดับเรียกว่าระดับสูง (High level) แทนด้วยเครื่องหมาย “ + ” และระดับต่ำ (Low level) แทนด้วยเครื่องหมาย “ - ” ดังนั้นจำนวนของการทดลองจึงเป็นแบบ $2 \times 2 \times \dots \times 2$ จำนวน 4 ครั้งจึงเรียกได้ว่าเป็นการทดลองแฟคทอเรียลหรือแบบ 2^k แฟคทอเรียลซึ่งตามปกติถือว่าระดับของปัจจัยทั้งหมดเป็นค่าคงที่ เช่น ถ้ามีปัจจัยที่ต้องการศึกษาจำนวน 2 ปัจจัยคือ A และ B ระดับสูงและระดับต่ำของปัจจัย A จะแทนได้ด้วย A+ และ A- ตามลำดับและระดับสูงและระดับต่ำของปัจจัย B จะแทนได้ด้วย B+ และ B- ดังภาพ 2 ตามลำดับแบบการทดลองที่ง่ายที่สุดสำหรับกรณีนี้คือ $k = 2$ หรือมี 2 ปัจจัยซึ่งเรียกว่า 2^k Factorial Design 4Combinations หรือ Runs หมายถึง แฟคทอเรียลทรีตเมนต์ (Treatment combination) จะต้องนำไปทดลองตามแบบแผนที่กำหนดซึ่งอาจเป็นแบบแผนใดแบบแผนหนึ่งโดยอาจมีจำนวนการทดลองซ้ำรูปแบบของการทดลองแฟคทอเรียลได้จากภาพ 2.8



ภาพ 2.8 ตัวอย่างกราฟการทดลองแฟคทอเรียล

2.2.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็มจำนวนกรณีทดลองซ้ำ

มีความสำคัญและขั้นตอนการวิเคราะห์แบบแฟคทอเรียลกรณีทำการทดลองซ้ำคือการทดลองซ้ำคือการทดลองเงื่อนไขเดียวกันมากกว่า 1 ครั้งปกติการทดลองซ้ำสำหรับแต่ละเงื่อนไขการทดลองจะมีจำนวนเท่ากันการทำการทดลองซ้ำช่วยให้ผลการทดลองมีความน่าเชื่อถือมากขึ้นโดยเฉพาะในงานวิจัยหรือการศึกษาที่ต้องการระดับความน่าเชื่อถือหรือความถูกต้องสูงการวิเคราะห์ผลเช่นการคำนวณค่าผลกระทบใช้ค่าเฉลี่ยในการคำนวณนอกจากนี้การทดลองซ้ำทำให้สามารถประมาณค่าความแปรปรวนที่เกิดจากความผิดพลาดในการทดลองได้ (MS หรือ S) หรือเรียกว่า “Replication Errors” หรือ “Pure Errors” การทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขเดียวกันผู้ทดลองอาจคาดหวังว่าผลตอบจากการทดลองจะมีค่าเท่ากันแต่ในการทดลองจริงเป็นไปได้ยากแม้จะทำการทดลองอย่างระมัดระวังและมีการวางแผนอย่างดีแต่ก็ยังเกิดความผิดพลาดในการทดลองเพราะมีปัจจัยรบกวนอื่นที่อยู่เหนือการควบคุมเช่นเครื่องมือผู้ทดลองวัตถุดิบสภาวะแวดล้อมต่างๆโดยค่าความแปรปรวนดังกล่าวใช้สำหรับตรวจสอบว่ามีผลกระทบใดบ้างมีผลต่อกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญและใช้สำหรับวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงกระบวนการโดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2 ระดับ

1. คำนวณค่าผลกระทบได้แก่ผลกระทบหลักและผลกระทบร่วม

$$Effect = \frac{1}{2^{k-1} \times n} (Contrast of Effect) \quad (2.1)$$

2. เขียนแบบจำลอง (Initial Model) เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมว่ามีผลต่อกระบวนการอย่างไรบ้างโดยเบื้องต้นเขียนในรูปแบบจำลองแบบเต็มจำนวน (Full Model) ซึ่งประกอบด้วยค่าคงที่ผลกระทบหลักและผลกระทบร่วม (ปกติอาจไม่จำเป็นเพียงแต่ทราบว่าแบบจำลองแบบเต็มจำนวนมีเทอมใดบ้าง)

3. คัดกรองเฉพาะผลกระทบที่มีผลต่อกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญ-กรณีมีการทดลองซ้ำโดยใช้การทดสอบทางสถิติได้จากการทดสอบแบบ t-test หรือตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน-กรณีไม่มีการทดลองใช้กราฟปกติของผลกระทบหรือประมาณค่าความแปรปรวนจากผลกระทบร่วมอันดับสูงหรือใช้การทดลองซ้ำแบบเทียมหรือการทดลองซ้ำเฉพาะที่จุดกึ่งกลาง

4. เขียนแบบจำลอง (Refine Model) การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีนัยสำคัญกับผลตอบโดยแบบจำลองจะรวมเฉพาะเทอมที่จำเป็นได้แก่เทอมที่มีผลต่อกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญและตัดเทอมที่ไม่จำเป็นออกเพื่อให้แบบจำลองมีความกะทัดรัดและไม่ซับซ้อนเกินไปเพื่อใช้ทำนายผลการทดลองโดยแบบจำลองความสัมพันธ์ต้องมีการตรวจสอบความเหมาะสม (Appropriateness) และความพอเพียงของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking)

5. ตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง (Appropriateness) โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจหรือ R-squared (Coefficient of Correlation) หรือ R-Squared (adj) หรือค่า LOF (Lack of Fit)

6. ตรวจสอบความพอเพียง (Model Adequacy Checking) ของแบบจำลองโดยวิธีวิเคราะห์ส่วนค้ำ (Residual Analysis) เพื่อตรวจสอบข้อกำหนดเบื้องต้นของคุณสมบัติของความแปรปรวนของแบบจำลอง

7. แปลผลและหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดและแสดงผลการวิเคราะห์โดยใช้กราฟตามความจำเป็นเช่นกราฟผลกระทบหลักกราฟผลกระทบร่วมกราฟพื้นผิวตอบ

8. ทำการทดลองยืนยันผลสำหรับเงื่อนไขที่เหมาะสมโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจากการทดลองยืนยันผลกับช่วงความเชื่อมั่นของค่าทำนาย

2.2.3 วิธีการตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) สมการแบบจำลองที่สร้างจากข้อมูลในการทดลองมีประโยชน์สำหรับใช้ทำนายผลพฤติกรรมของกระบวนการโดยกำหนดให้ คือค่าทำนายที่ได้จากการแทนค่าตัวแปรอิสระสำหรับแต่ละเงื่อนไขการทดลองโดยแบบจำลองที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพควรประกอบด้วยเทอมที่จำเป็นและสามารถทำนายผลตอบที่เงื่อนไขต่างๆได้ใกล้เคียงกับผลการทดลองจริงและกำหนดค่าส่วนค้ำหรือ residual คือค่าที่แสดงความแตกต่างหรือที่ค่าความคลาดเคลื่อนจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าทำนายผลจากแบบจำลองกับผลการทดลองจริงเพื่อแสดงความผันแปร (Variation) ที่เกิดขึ้นในการ

ค่าส่วนค้ำ (Residuals) ใช้สำหรับตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลองได้โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ส่วนค้ำ (Residual Analysis) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับตรวจสอบความผันแปรในการทดลองแบบจำลองว่ามีคุณสมบัติตรงตามข้อกำหนดเบื้องต้นที่ว่า “ความคลาดเคลื่อนในการทดลองมี

การแจกแจงแบบปกติเป็นอิสระต่อกันมีค่าคงที่และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์” วิเคราะห์ส่วน
ค้ำเป็นวิธีการตรวจสอบเป็นวิธีการตรวจสอบเบื้องต้นที่ไม่ซับซ้อนโดยคำนวณส่วนค้ำจากสมการ
แบบจำลองที่มีความเหมาะสมกับกระบวนการดังกล่าวและตรวจสอบจากกราฟส่วนค้ำกับตัวแปร
อิสระอื่นที่เกี่ยวข้องในกระบวนการได้แก่ค่าทำนายลำดับการทดลองหรือเวลาและตัวแปรอิสระอื่นๆ
กราฟปกติของส่วนค้ำโดยกราฟส่วนค้ำไม่ควรมีรูปแบบใดๆ (Patterns) และมีการกระจายตัวแบบ
สุ่ม (Random Patterns) มีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

1. วิเคราะห์กราฟแบบปกติของส่วนค้ำเพื่อตรวจสอบว่าส่วนค้ำมีการแจกแจงแบบปกติ
และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์หรือไม่โดยถ้าส่วนค้ำแจกแจงแบบปกติหรือใกล้เคียงปกติข้อมูลส่วนค้ำ
ส่วนใหญ่ควรจะอยู่บนเส้นที่ลากผ่านแกนกำเนิด (Imaginary line) ของกราฟปกติและไม่สอดคล้อง
กับข้อกำหนดดังกล่าวในกรณีที่มีบางจุดไม่อยู่บนเส้นตรงดังกล่าวและมีค่าห่างมากจากค่าบนเส้นตรง
ควรตรวจสอบเพื่อหาสาเหตุที่เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าว

2. วิเคราะห์กราฟส่วนค้ำกับตัวแปรอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการทดลองโดยส่วนค้ำควรมีการ
กระจายตัวแบบสุ่มไม่มีรูปแบบหรือแนวโน้มที่แน่นอนโดยทั่วไปพิจารณาจาก

- 2.1 กราฟส่วนค้ำกับเวลาหรือลำดับในการทดลอง (Run order) เพื่อตรวจสอบว่า
นางมีการแจกแจงอย่างเป็นอิสระไม่มีรูปแบบหรือแนวโน้มใดๆที่ขึ้นกับเวลาและลำดับในการทดลอง

- 2.2 กราฟส่วนค้ำกับค่าทำนาย (Fitted Value) เพื่อตรวจสอบว่าส่วนค้ำมีการ
กระจายตัวแบบสุ่มเป็นอิสระไม่มีรูปแบบหรือแนวโน้มใดๆที่ขึ้นกับขนาดของค่าทำนาย

- 2.3. กราฟส่วนค้ำกับตัวแปรอิสระที่เกี่ยวข้องกับการทดลองเช่นระดับของปัจจัย
ในการทดลองรุ่นของวัตถุดิบพนักงานทดลองเพื่อตรวจสอบว่าส่วนค้ำมีการกระจายตัวแบบสุ่มและมี
ความเป็นอิสระไม่ขึ้นกับตัวแปรอิสระ

- 2.2.5 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองตรวจสอบความเหมาะสมของ
แบบจำลองเนื่องจากแบบจำลองที่คาดการณ์ไว้ในเบื้องต้นอาจไม่สอดคล้องกับข้อมูลจากการทดลอง
ส่งผลให้แบบจำลองดังกล่าวไม่สามารถทำนายพฤติกรรมของกระบวนการได้อย่างเหมาะสมและการ
นำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้จะก่อให้เกิดความผิดพลาดและคลาดเคลื่อนได้ไม่สอดคล้องกับพฤติกรรม
ของกระบวนการที่แท้จริงในขั้นตอนนี้มีจุดประสงค์เพื่อตรวจสอบและวินิจฉัยแบบจำลองโดยมีคำถาม
เบื้องต้น 2 ประการคือประการที่ 1 เทอมต่างๆที่รวมในแบบจำลองเป็นเทอมที่จำเป็นหรือไม่โดยใน

แบบจำลองจะเลือกเฉพาะเทอมที่มีนัยสำคัญเท่านั้นเพื่อให้แบบจำลองมีความกะทัดรัดไม่ซับซ้อนจนเกินไปโดยใช้วิธีแบบ t-test ประการที่ 2 เทอมต่างๆที่รวมในแบบจำลองพอเพียงหรือไม่ซึ่งสามารถตรวจสอบได้ในบางกรณีโดยใช้การวิเคราะห์ส่วนค้ำงและใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดต่อไปสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบแทนและตัวแปรอิสระในกระบวนการที่ศึกษาแต่ก่อนที่จะนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการจริงจะต้องตรวจสอบแบบจำลองก่อนว่าเหมาะสมหรือเพียงพอที่จะใช้นำเสนอพฤติกรรมของกระบวนการหรือไม่ถ้าไม่เหมาะสมผู้วิจัยต้องปรับปรุงแบบจำลองภายใต้ชุดข้อมูลเดิมหรืออาจจะต้องเก็บข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อพัฒนาแบบจำลองที่เหมาะสมต่อไป

2.2.4 การนำสารสกัดที่ได้ไปทดสอบด้วยเครื่อง HPLC (High Performance Liquid Chromatography)

HPLC เป็นเครื่องมือใช้สำหรับแยกสารประกอบที่สนใจ ที่ผสมอยู่ในตัวอย่าง โดยกระบวนการแยกสารประกอบที่สนใจจะเกิดขึ้นระหว่างเฟส 2 เฟส คือ เฟสอยู่กับที่ (stationary phase) หรือ คอลัมน์(column) กับเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) ซึ่งจะถูกแยกออกมาในเวลาที่แตกต่างกัน สารผสมที่อยู่ในตัวอย่าง สามารถถูกแยกออกจากกันได้นั้น จะขึ้นอยู่กับความสามารถในการเข้ากันได้ดีของสารนั้นกับเฟสที่เคลื่อนที่ หรือเฟสที่อยู่กับที่โดยสารประกอบตัวไหนที่สามารถเข้ากันได้ดีกับเฟสที่เคลื่อนที่สารนั้นก็就会被แยกออกมาก่อน ส่วนสารที่เข้ากันได้ไม่ดีกับเฟสที่เคลื่อนที่ หรือเข้ากันได้ดีกับเฟสอยู่กับที่ก็จะถูกแยกออกมาทีหลัง โดยสารที่ถูกแยกออกมาได้นี้จะถูกตรวจวัดสัญญาณด้วยตัวตรวจวัดสัญญาณ (detector) และสัญญาณที่บันทึกได้จากตัวตรวจวัดจะมีลักษณะเป็นพีค ซึ่งจะเรียกว่าโครมาโตแกรม (chromatogram) หลักการทำงานของ HPLC เป็นเครื่องมือใช้สำหรับแยกสารประกอบที่สนใจ ที่ผสมอยู่ในตัวอย่าง โดยกระบวนการแยกสารประกอบที่สนใจ จะเกิดขึ้นระหว่างเฟส 2 เฟส คือ เฟสอยู่กับที่ (stationary phase) หรือ คอลัมน์ (column) กับเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) ซึ่งจะถูกแยกออกมาในเวลาที่แตกต่างกัน สารผสมที่อยู่ในตัวอย่าง สามารถถูกแยกออกจากกันได้นั้น จะขึ้นอยู่กับความสามารถในการเข้ากันได้ดีของสารนั้น กับเฟสที่เคลื่อนที่ หรือเฟสที่อยู่กับที่โดยสารประกอบตัวไหนที่สามารถเข้ากันได้ดี กับเฟสที่เคลื่อนที่สารนั้นก็就会被แยกออกมาก่อน ส่วนสารที่เข้ากันได้ไม่ดีกับเฟสที่เคลื่อนที่ หรือเข้ากันได้ดีกับเฟสอยู่กับที่ก็จะถูกแยกออกมาทีหลัง โดยสารที่ถูกแยกออกมาได้นี้จะถูกตรวจวัดสัญญาณด้วยตัวตรวจวัดสัญญาณ (detector) และสัญญาณที่บันทึกได้จากตัวตรวจวัดจะมีลักษณะเป็นพีค ซึ่งจะเรียกว่าโครมาโตแกรม (chromatogram)

2.2.5 ส่วนประกอบของการทดสอบด้วยเครื่อง HPLC (High Performance Liquid Chromatography) ดังภาพ 2.9 มีต่อไปนี้อย่างนี้

Mobile phase / Solvent : หรือตัวทำละลายที่ใช้ในการชะหรือแยกตัวอย่าง เป็นเฟสเคลื่อนที่ มีลักษณะเป็นของเหลว ทำหน้าที่ในการนำสารตัวอย่างและตัวทำละลายเข้าสู่ stationary phase (ในที่นี้คือ คอลัมน์) เพื่อให้เกิดกระบวนการแยกภายในคอลัมน์

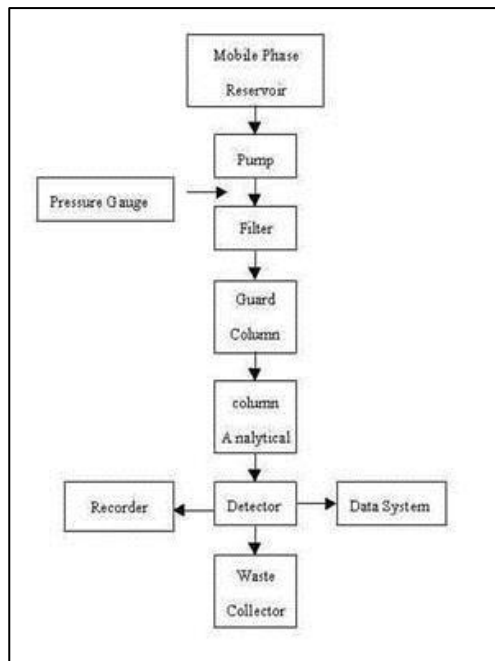
Degaser : ทำหน้าที่กำจัดฟองอากาศ อากาศที่มีอยู่ใน mobile phase เพื่อไม่ให้ฟองอากาศเข้าสู่ column และ detector

Pump : ทำหน้าที่ดึงตัวทำละลาย (mobile phase) เข้าสู่ระบบ HPLC เนื่องจากในการแยกสารผสมในเทคนิค HPLC จะอาศัยหลักการไหลของเฟสเคลื่อนที่ผ่านเฟสอยู่กับที่ที่มีขนาดอนุภาคเล็กมาก จึงทำให้เกิดความต้านทานการไหล ระบบปั๊มจึงมีความสำคัญมากในการที่จะทำให้เกิดความดันสูงเพื่อที่จะเอาชนะแรงต้านทาน Injector

Autosampler : ทำหน้าที่ในการฉีดสารตัวอย่างเข้าสู่ระบบ HPLC

Column : หรือจะเรียกว่า stationary phase มีลักษณะเป็นของแข็งหรือเจล เป็นเฟสอยู่กับที่ ทำหน้าที่ให้เกิดกระบวนการแยกของสารที่สนใจ โดยการบวนการแยกเกิดขึ้นระหว่าง mobile phase กับ stationary phase

Detector : คือ ตัวตรวจวัดสัญญาณ ทำหน้าที่ในการตรวจวัดสัญญาณของสารที่สนใจที่ได้จากกระบวนการแยก มีหลายชนิดด้วยกัน การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับตัวอย่างที่สนใจว่าสามารถตอบสนองกับDetectorชนิดไหนได้ดี



ภาพ 2.9 ส่วนประกอบของการทดสอบด้วยเครื่อง HPLC (High Performance Liquid Chromatography)

งานวิเคราะห์ทดสอบ HPLC สามารถวิเคราะห์สารได้หลายชนิด เช่น สารอินทรีย์ สารประกอบทางชีวภาพ โพลีเมอร์ คู่อิออนไนต์ สารประกอบที่เสถียรได้ง่าย สารประกอบที่ระเหยยาก ไอออนขนาดเล็ก ไมโครโมเลกุลตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ ต้องเป็นของแข็งหรือของเหลวต้องละลายได้ 100 % (กรองด้วย) การแยกสารจะประสบความสำเร็จได้ก็ต่อเมื่อสารมีอัตราการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกันภายในคอลัมน์ สารประกอบที่ถูกแยกนั้นจะเคลื่อนที่ไปตามความยาวทั้งหมดของคอลัมน์ โดยมี Mobile Phase เป็นตัวพาไป ตัวอย่างการทดสอบด้วย HPLC เช่น หาปริมาณวิตามินซี ในเลือด น้ำผลไม้ วิตามินอีในอาหารสัตว์ น้ำตาลในน้ำผลไม้ กลีเซอรอลในน้ำมัน และอื่นๆ

2.3 งานวิจัยในอดีต

ในอดีตได้มีโครงการวิจัยของคุณ เยาวลักษณ์ วัฒนวรสกุล เรื่อง การหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการผลิตเอทานอลจากข้าวโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง โดยกล่าวไว้ว่า ปัจจุบันราคาน้ำมันดิบและน้ำมันสำเร็จรูปขยับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องส่งผลกระทบต่อค่าครองชีพของมนุษย์ในปัจจุบันจึงต้องพึงพาการนำเข้าเป็นหลักทำให้ประเทศไทยสูญเสียเงินตราออกนอกประเทศเพื่อนำเข้าเชื้อเพลิงหลายล้านบาทและในอนาคตราคาน้ำมันในโลกมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆทำให้หลายประเทศหันมาให้ความสำคัญและเร่งพัฒนาอย่างจริงจังโดยการคิดค้นหาแหล่งพลังงานทดแทนใหม่ๆเช่นพลังงานน้ำพลังงานลมพลังงานแสงอาทิตย์พลังงานจากชีวมวลเป็นต้นแต่แหล่งพลังงานหลายๆแหล่งเช่นพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม มีข้อจำกัดที่ต้องนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงการพัฒนาแหล่งพลังงานดังกล่าวจึงทำได้ยากแม้ประเทศจะมีความได้เปรียบมากที่จะนำแหล่งพลังงานดังกล่าวมาใช้แหล่งพลังงานที่เหมาะสมกับประเทศไทยในขณะนี้จึงเป็นพลังงานชีวมวลเนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีแหล่งชีวมวลจากภาคการเกษตรมากมายจึงมีความได้เปรียบทางวัตถุดิบปัจจุบันหลายฝ่ายที่มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งภาครัฐและเอกชนต่างให้ความสนใจกับการพัฒนาพลังงานทดแทนจากชีวมวลเช่นก๊าซชีวภาพ (Biogas) ไบโอดีเซล (Bioethanol) และไบโอดีเซล (Biodiesel)

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัยและแผนการดำเนินงานค้นคว้า

ในวิจัยเรื่องการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดสารเข้มข้นจากใบหม่อนเพื่อนำไปแปรรูปเป็นเครื่องดื่มสมุนไพรเพื่อสุขภาพผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้ารวบรวมแนวคิดทฤษฎีและผลงานที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาดังปรากฏในรายละเอียดต่อไปนี้

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

3.1.1 ตู้อบแบบลมร้อน อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ดังภาพ 3.1



ภาพ 3.1 ตู้อบแบบลมร้อน

3.1.2 เครื่องชั่งแบบดิจิตอลความละเอียด 0.01 กรัม ดังภาพ 3.2



ภาพ 3.2 เครื่องชั่งความละเอียด 0.01 กรัม

3.1.3 เครื่องปั่นใบหม่อน ดังภาพ 3.3



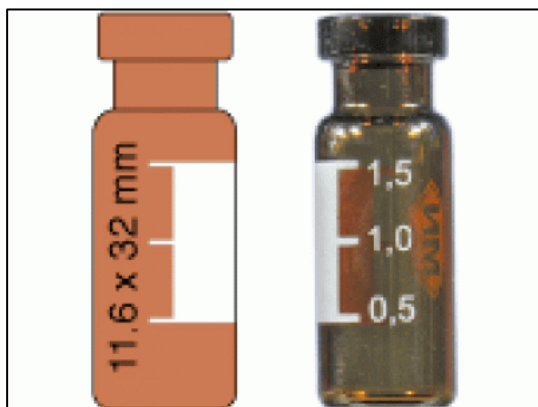
ภาพ 3.3 เครื่องปั่นใบหม่อน

3.1.4 เครื่องสกัดด้วยไฟฟ้าแรงสูงแบบพัลส์ ดังภาพ 3.4



ภาพ 3.4 เครื่องสกัดด้วยไฟฟ้าแรงสูงแบบพัลส์

3.1.5 ขวด Vial สีชา ขนาด 1.5 มิลลิลิตร 11.6 x 32 มิลลิเมตร 32 ใบ ดังภาพ 3.5



ภาพ 3.5 ขวด Vial สีชา ขนาด 1.5 มิลลิลิตร 11.6 x 32 มิลลิเมตร

3.1.6 กระบอกฉีดยา ขนาด 1 ซีซี (Tuberculin Syringe) จำนวน 32 กระบอก



ภาพ 3.6 กระบอกฉีดยา ขนาด 1 ซีซี (Tuberculin Syringe)

3.1.7 ตัวกรองสารไนรอน ขนาด 13 มิลลิเมตร จำนวน 32 ชิ้น



ภาพ 3.7 ตัวกรองสารไนรอน

3.1.8 โหลแก้วสำหรับใส่สารสกัด จำนวน 32 ใบ



ภาพ 3.8 โหลแก้วสำหรับใส่สารสกัด

3.1.5 เครื่อง HPLC (High Performance Liquid Chromatography) ดังภาพ 3.9



ภาพ 3.9 เครื่อง HPLC (High Performance Liquid Chromatography)

3.2 วิธีดำเนินการทดลอง

1. การเก็บเกี่ยวใบหม่อน ทำการเก็บใบหม่อนจากไร่ใบหม่อน
2. การคัดใบหม่อน ทำการคัดใบหม่อนที่ดีไว้เนื่องจากบางใบมีเชื้อราขึ้น หรือ บางใบโดนแมลงกินใบไป ดังภาพ 3.10

แมลงกินใบไป ดังภาพ 3.10



ภาพ 3.10 ใบหม่อนที่โดนแมลงกินและมีเชื้อราขึ้น

3. การล้างใบหม่อน ใบหม่อนที่เก็บมาจากธรรมชาติไม่มีการใช้สารเคมีแต่มีแมลงและเชื้อราที่กัดกินใบจึงต้องล้างออกให้หมด
4. นำใบหม่อนไปตาก นำใบหม่อนที่ผ่านการล้างไปตากให้แห้ง

5. การอบไบหม่อน นำไบหม่อนที่ตากเสร็จแล้วไปอบในตู้อบแบบลมร้อนด้วยอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสดังภาพ 3.11



ภาพ 3.11 ตู้อบแบบลมร้อน

6. นำไบหม่อนไปชั่ง นำไบหม่อนไปชั่งด้วยเครื่องชั่งความละเอียด 0.01 กรัม ดังภาพ 3.12 เพื่อจะนำไบหม่อนตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ไปผสมกับน้ำ



ภาพ 3.12 เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.01 กรัม

7. การปั่นใบหม่อน นำใบหม่อนที่ตากเสร็จแล้วไปปั่นด้วยเครื่องปั่น ดังภาพ 3.13 และผสมกับน้ำอัตราส่วน 1 ต่อ 4



ภาพ 3.13 เครื่องปั่นใบหม่อน

8. การสกัดน้ำใบหม่อน นำใบหม่อนปั่นไปสกัดด้วยเครื่องสกัดด้วยไฟฟ้าแรงสูงแบบพัลส์ดัง
ภาพ 3.14



ภาพ 3.14 เครื่องสกัดด้วยไฟฟ้าแรงสูงแบบพัลส์

9. นำใบหม่อนที่ได้จากการสกัดไปบรรจุลงขวดโหล

10. นำสารที่สกัดในขวดโหลมากรองสารโดยใช้ กระบอกฉีดสารประกอบกับตัวกรองสาร และฉีดลงในขวด Vial สีชา ดังภาพ 3.15



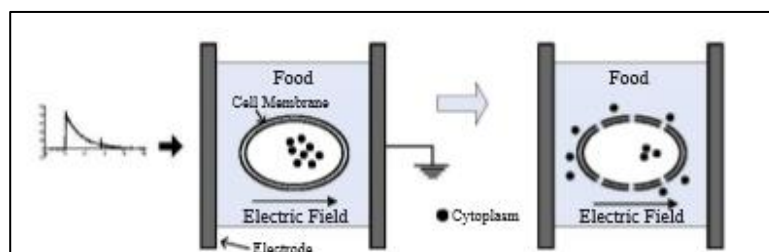
ภาพ 3.15 กระบอกฉีดสารประกอบกับตัวกรองสารและฉีดลงในขวด Vial สีชา

11. เมื่อฉีดสารสกัดลงในขวด Vial สีชา ครบทุกตัวอย่างแล้วนำตัวอย่างสารสกัดทั้งหมดไป
เข้าเครื่อง HPLC

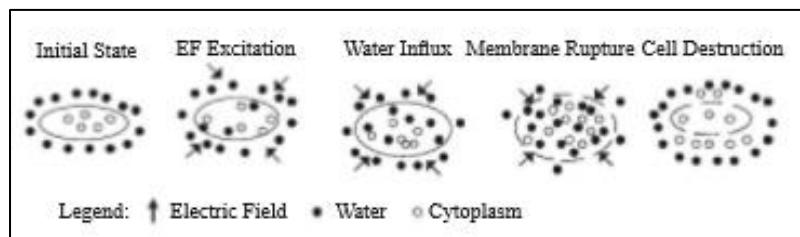
3.3 หาปัจจัยที่มีผลในการสกัด มีทั้งหมด 3 ปัจจัย

ในการวิจัยโครงการได้ทำการเก็บรวมข้อมูลและวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดเข้มข้น มีทั้งหมด 3 ปัจจัยดังนี้

1. หลักการอิเล็กโทรโพลีเซชันดังภาพ 3.6 แสดงหลักการอิเล็กโทรโพลีเซชัน (Electroporation) ที่ประกอบด้วยขั้วอิเล็กโทรด 2 ขั้ววางซ้อนกันโดยจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบพัลส์ให้กับขั้วหนึ่งและให้อีกขั้วหนึ่งมีศักย์ไฟฟ้าเป็นกราวด์ (Ground) โดยการสกัดสารจากใบหม่อนด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์คือการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell Membrane) ในใบหม่อนด้วยกระบวนการอิเล็กโทรโพลีเซชันซึ่งเป็นกระบวนการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์โดยการเพิ่มความนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) และค่าสภาพยอมไฟฟ้า (Permeability) ของเยื่อหุ้มเซลล์โดยการเพิ่มความนำไฟฟ้าและสภาพยอมไฟฟ้าของเยื่อหุ้มเซลล์สามารถทำได้โดยการใช้สนามไฟฟ้าที่มีลักษณะเป็นพัลส์หรือเป็นช่วงเวลาเกิดจากการจ่ายพัลส์แรงดันไฟฟ้าให้กับอิเล็กโทรดที่มีความเข้มสนามไฟฟ้า (Electric Field Strength) เยื่อหุ้มเซลล์และทำให้เกิดรูพรุน (Pores) เล็กๆจำนวนมากขึ้นที่เยื่อหุ้มเซลล์โดยลำดับขั้นของกระบวนการอิเล็กโทรโพลีเซชันที่เกิดขึ้นกับเซลล์ของจุลินทรีย์แสดงดังภาพ 3.7 สนามไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์เมื่อเยื่อหุ้มเซลล์เกิดรูพรุนจะทำให้เกิดการถ่ายเทระหว่างของเหลวภายนอกเซลล์กับไซโทพลาซึม (Cytoplasm) ซึ่งเป็นของเหลวภายในเซลล์ทำให้เซลล์เกิดการขยายตัวเพิ่มขึ้นและนำไปสู่การแตกตัวของเยื่อหุ้มเซลล์การเกิดรูพรุนที่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์อันเนื่องมาจากความเครียดสนามไฟฟ้ารูพรุนที่เกิดขึ้นมีผลต่อการเพิ่มอัตราการถ่ายโอนมวลสารเข้าออกผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เท่านั้นเซลล์ไม่ถูกทำลายมากประยุกต์ใช้กับการเตรียมชิ้นต้นก่อนการดองน้ำออกแบบออสโมซิสได้



ภาพ 3.16 หลักการอิเล็กโทรโพลีเซชัน



ภาพ 3.17 ลำดับขั้นของกระบวนการอิเล็กโทรโพลีเซชันที่เกิดขึ้นกับเซลล์ของจุลินทรีย์

2. ความถี่ในการปล่อยกระแสมีค่าสูงสุดต่ำสุดดังนี้คือ 1 เฮิร์ตซ์เป็นค่าต่ำสุด และ 3 เฮิร์ตซ์เป็นค่าสูงสุด

3. เวลาที่ใช้ในการสักรัดมีค่าสูงสุดต่ำสุดดังนี้คือ 10 นาทีเป็นค่าต่ำสุด และ 30 นาทีเป็นค่าสูงสุด

3.2.2 ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง

การประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองสำหรับปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพในกระบวนการอย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผลทุกคนที่เกี่ยวข้องในการทดลองมีความจำเป็นต้องมีความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับหลักการในแต่ละขั้นตอนของการออกแบบการทดลองอย่างชัดเจนโดยมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดปัญหาและวัตถุประสงค์ในการทดลองให้ชัดเจน (Define Problems) การกำหนดขอบเขตของปัญหาในการทดลองไม่ควรกำหนดกว้างเกินไปเช่น “ปรับปรุงคุณภาพวิธีการผลิต” ควรกำหนดขอบเขตของปัญหาให้ชัดเจนว่าจะทดลองศึกษาในขั้นตอนใดสำหรับผลิตภัณฑ์ใด และดัชนีชี้วัดของปัญหาคืออะไรก่อนทำการทดลองหรือผู้วิจัยควรทำความเข้าใจและศึกษาปัญหาที่จะทำการทดลองอย่างละเอียดโดยหาข้อมูลเพิ่มเติมจากการศึกษาค้นคว้าจากตำราจากวารสารทางวิชาการจากงานวิจัยจากการดูงานจากผู้ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการที่เกิดปัญหาหรือจากผังการทำงาน of กระบวนการ (Flow Process Chart) ข้อมูลเหล่านี้มีส่วนสำคัญในการกำหนดวัตถุประสงค์ในการทดลองช่วยให้เข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่จะเกิดขึ้นและช่วยให้การหาคำตอบของปัญหาในการทดลองได้ง่ายขึ้นการกำหนดปัญหาในการทดลองไม่ควรกำหนดปัญหาที่ซับซ้อนหรือกำหนดปัญหาที่มีขนาดใหญ่เกินไปอาจเกิดความผิดพลาดได้ง่ายทำให้เสียเวลาละไม่ได้คำตอบตามที่ต้องการดังนั้นผู้ทดลองควรทำการทดลองแบบเป็นลำดับขั้น (a Sequential Approach) โดยแบ่งชุดการทดลองขนาดใหญ่เป็นการทดลองชุดย่อยหลายชุดเปรียบเสมือนขั้นตอนการสาม

3.2.3 นำปัจจัยที่เลือกไปออกแบบการทดลองในโปรแกรม Minitab โดยป้อนค่าสูงสุดต่ำสุดแต่ละปัจจัยลงปดังตาราง 3.1

ตาราง 3.1 การออกแบบการทดลองที่ใช้ในการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดสารเข้มข้นจากใบหม่อน

+	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8 ☒	C9 ☒
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	แรงดันไฟ	ความถี่	เวลาในการสกัด	สกลนคร	บุรีรัมย์
1	5	1	1	1	5	1	30	0.01	5.91
2	11	2	1	1	5	3	10	1.14	3.97
3	2	3	1	1	10	1	10	1.17	3.87
4	6	4	1	1	10	1	30	1.93	3.86
5	16	5	1	1	10	3	30	0.01	3.04
6	13	6	1	1	5	1	30	0.01	5.60
7	4	7	1	1	10	3	10	1.48	2.87
8	15	8	1	1	5	3	30	1.83	3.07
9	14	9	1	1	10	1	30	1.94	3.92
10	8	10	1	1	10	3	30	0.01	2.92
11	3	11	1	1	5	3	10	1.22	3.96
12	7	12	1	1	5	3	30	1.79	3.19
13	12	13	1	1	10	3	10	1.48	2.81
14	10	14	1	1	10	1	10	1.14	3.97
15	9	15	1	1	5	1	10	1.40	4.45
16	1	16	1	1	5	1	10	1.35	4.44

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการดำเนินการทดลองตามขั้นตอนที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 บทนี้จะนำเสนอส่วนที่เป็นผลการทดลองพร้อมกับวิเคราะห์ผลการทดลอง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การออกแบบตารางการทดลองและป้อนข้อมูลโดยใช้โปรแกรม มินิแทบ(Minitab)

ตาราง 4.1 ตารางการทดลองและป้อนข้อมูลโดยใช้โปรแกรม มินิแทบ(Minitab)

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8 ☒	C9 ☒
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	แรงดันไฟ	ความถี่	เวลาในการสกัด	สกลนคร	บุรีรัมย์
1	5	1	1	1	5	1	30	0.01	5.91
2	11	2	1	1	5	3	10	1.14	3.97
3	2	3	1	1	10	1	10	1.17	3.87
4	6	4	1	1	10	1	30	1.93	3.86
5	16	5	1	1	10	3	30	0.01	3.04
6	13	6	1	1	5	1	30	0.01	5.60
7	4	7	1	1	10	3	10	1.48	2.87
8	15	8	1	1	5	3	30	1.83	3.07
9	14	9	1	1	10	1	30	1.94	3.92
10	8	10	1	1	10	3	30	0.01	2.92
11	3	11	1	1	5	3	10	1.22	3.96
12	7	12	1	1	5	3	30	1.79	3.19
13	12	13	1	1	10	3	10	1.48	2.81
14	10	14	1	1	10	1	10	1.14	3.97
15	9	15	1	1	5	1	10	1.40	4.45
16	1	16	1	1	5	1	10	1.35	4.44

จากตาราง 4.1 เป็นการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม มินิแทบ(Minitab) และนำข้อมูลจากการทดลองป้อนเข้าไปเพื่อใช้โปรแกรมเป็นเครื่องมือวิเคราะห์

4.2 ผลการทดสอบความเข้มข้นด้วยเครื่อง HPLC

ตาราง 4.2 ผลการหาค่าความเข้มข้นของใบหม่อนระหว่างสายพันธุ์ สกลนคร และ บุรีรัมย์

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของแต่ละสายพันธุ์(มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	
	สกลนคร	บุรีรัมย์
1	1.35	4.44
2	1.22	3.96
3	1.17	3.87
4	1.48	2.87
5	0.01	5.91
6	1.79	3.19
7	1.93	3.86
8	0.01	2.92
9	1.40	4.45
10	1.14	3.97
11	1.14	3.97
12	1.48	2.81
13	0.01	5.60
14	1.83	3.07
15	1.94	3.92
16	0.01	3.04
ค่าเฉลี่ย	1.12	3.87

จากข้อมูลที่ทำการศึกษาทดสอบหาค่าความเข้มข้นด้วยเครื่อง HPLC (High Performance Liquid Chromatography) ดังตาราง 4.2 ใบหม่อนแต่ละสายพันธุ์ระหว่าง สกลนคร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.12 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และบุรีรัมย์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.87 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

4.3 ผลการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็มจำนวน 2^k

ผลการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็มจำนวน 2 ในการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็มจำนวนนี้มีจำนวนปัจจัยที่ต้องการศึกษา 3 ปัจจัยคือแรงดันไฟฟ้า ความถี่ และเวลาที่ใช้ในการสกัด ดังนั้นจะได้การทดลองทั้งหมด 2^3 หรือ 8 การทดลองและทำซ้ำ 2 ครั้งข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งหมด 16 การทดลองแสดงได้ดังตาราง 4.2

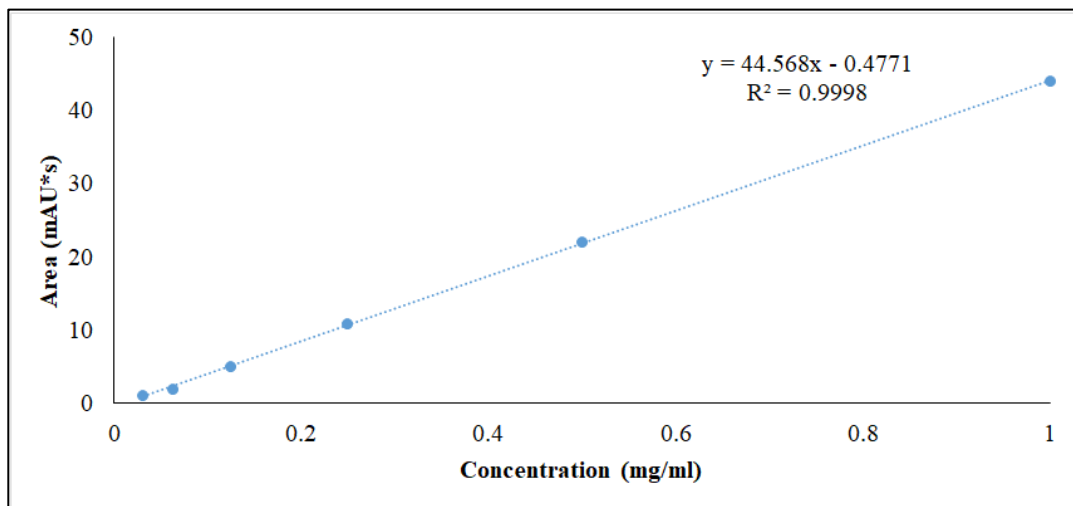
ตาราง 4.3 ผลการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็มจำนวน 2^k

ตัวอย่าง	ปัจจัยที่ต้องการศึกษา			ความเข้มข้นของแต่ละสายพันธุ์ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	
	แรงดันไฟฟ้า (กิโลโวลต์ต่อ เซนติเมตร)	ความถี่ (เฮิรตซ์)	เวลาที่ใช้ใน การสกัด (นาที)	สกลนคร	บุรีรัมย์
1	5	1	30	0.01	5.91
2	5	3	10	1.14	3.97
3	10	1	10	1.17	3.87
4	10	1	30	1.93	3.86
5	10	3	30	0.01	3.04
6	5	1	30	0.01	5.60
7	10	3	10	1.48	2.87
8	5	3	30	1.83	3.07
9	10	1	30	1.94	3.92
10	10	3	30	0.01	2.92
11	5	3	10	1.22	3.96
12	5	3	30	1.79	3.19
13	10	3	10	1.48	2.81
14	10	1	10	1.14	3.97
15	5	1	10	1.40	4.45
16	5	1	10	1.35	4.44

จากการทดลองพบว่าการทดลองที่ให้ค่าความเข้มข้นของสารสกัดมากที่สุด คือ ตัวอย่าง การทดลองที่ 1 เป็นสายพันธุ์ บุรีรัมย์ ที่ได้ค่าความเข้มข้นเท่ากับ 5.91 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งเป็น การทดลองที่ใช้แรงดันไฟฟ้า 5 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ความถี่ในการจ่ายพัลส์เท่ากับ 1 เฮิร์ตซ์ และ ใช้เวลาในการสกัดเท่ากับ 30 นาที และการทดลองที่ได้ค่าความเข้มข้นต่ำที่สุด คือการทดลองที่ 1 5 6 และ 10 เป็นสายพันธุ์ สกลนคร ที่ได้ค่าความเข้มข้นเท่ากับ 0.01 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งเป็นการ ทดลองที่ใช้แรงดันไฟฟ้า 5 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ความถี่ในการจ่ายพัลส์เท่ากับ 1 เฮิร์ตซ์ และใช้ เวลาในการสกัดเท่ากับ 30 นาที การทดลองที่ใช้แรงดันไฟฟ้า 10 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ความถี่ใน การจ่ายพัลส์เท่ากับ 3 เฮิร์ตซ์ และใช้เวลาในการสกัดเท่ากับ 30 นาที

4.4 การคำนวณหาความเข้มข้นของสารสกัด

วิธีการคำนวณโดยข้อมูลและสมการจากกราฟ ดังภาพ 4.1



ภาพ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง พื้นที่(Area) และความเข้มข้น(Concentration)

เมื่อเราได้ข้อมูลจากการตรวจสอบสารสกัดโดยผ่านเครื่อง HPLC มาแล้วให้นำข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาได้นำไปคำนวณโดยใช้สมการ 4.1

$$X = \frac{Y+b}{a} \quad (4.1)$$

โดย **X** = ความเข้มข้นของสารสกัด หน่วย (mg/ml)

Y = Area หน่วย (mAU*s)

a = ความชัน

b = ค่าคงที่

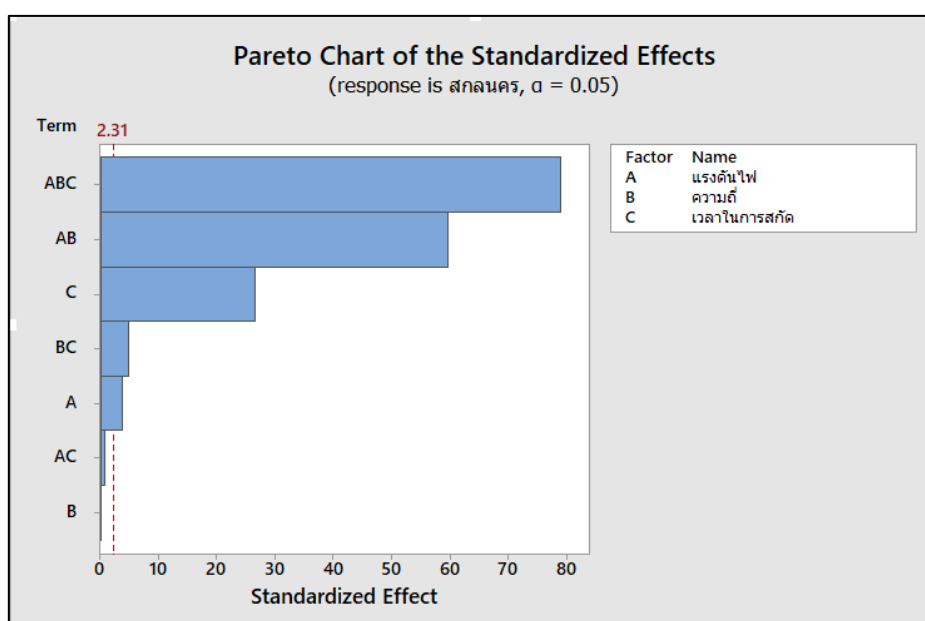
4.5 การวิเคราะห์แบบแฟคทอเรียลกรณีทำการทดลองซ้ำ

เมื่อได้ผลการทดลองและผลตอบที่เราต้องการแล้วต่อไปจะเป็นขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยใช้โปรแกรม มินิแทบ (Minitab) เป็นเครื่องมือในการช่วยวิเคราะห์

ขั้นตอนการวิเคราะห์แบบแฟคทอเรียลกรณีทำการทดลองซ้ำ โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น ขั้นตอนดังนี้

1. ทำการทดสอบผลกระทบว่ามีผลจากการทดลองมีปัจจัยหรือปัจจัยร่วมใดบ้างที่มีผลต่อการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ

ปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นสารสกัดของใบหม่อนสายพันธุ์สกลนคร สารเข้มข้นที่สกัดได้จากเครื่องสกัดด้วยไฟฟ้าแรงสูงแบบพัลส์ Pulse Electric Field หรือ PEF ดังภาพ 4.1



ภาพ 4.2 แสดงผลการทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นสารสกัดใบหม่อนสายพันธุ์สกลนคร

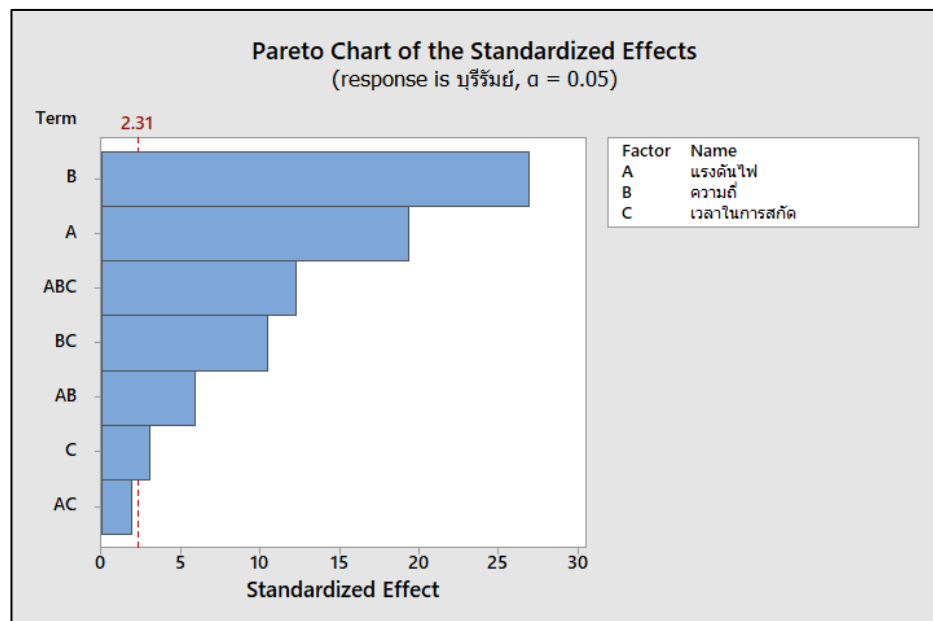
พบว่าผลร่วมระหว่าง A B และ C มีผลต่อความเข้มข้นสารสกัดใบหม่อนสายพันธุ์ สกลนคร มากที่สุด รองลงมาเป็นผลร่วมระหว่าง A และ B รองลงมาอีกเป็น C ผลร่วมระหว่าง B และ C และ สุดท้ายเป็น A ซึ่งปัจจัย A คือ แรงดันไฟฟ้า ปัจจัย B คือ ความถี่ของพัลส์ และปัจจัย C คือ เวลาที่ใช้ในการสกัด

Source	P-Value
Model	0.000
Linear	0.000
แรงดันไฟ	0.005
ความถี่	0.928
เวลาในการสกัด	0.000
2-Way Interactions	0.000
แรงดันไฟ*ความถี่	0.000
แรงดันไฟ*เวลาในการสกัด	0.426
ความถี่*เวลาในการสกัด	0.001
3-Way Interactions	0.000
แรงดันไฟ*ความถี่*เวลาในการสกัด	0.000
Error	
Total	

ภาพ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม มินิแทบ(Minitab) ของใบหม่อนสายพันธุ์สกลนคร

ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม มินิแทบ(Minitab) ดังภาพ 4.2 ผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า ปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นของสารสกัด คือ แรงดันไฟฟ้า ซึ่งมีค่า P-Value เท่ากับ 0.005 ปัจจัย เวลาที่ใช้ในการสกัด ที่ P-Value เท่ากับ 0.000 ปัจจัยแรงดันไฟฟ้าร่วมกับความถี่ ที่ P-Value เท่ากับ 0.000 ปัจจัยความถี่ร่วมกับเวลาในการสกัด เท่ากับ 0.001 ปัจจัยแรงดันไฟฟ้าร่วมกับความถี่และ เวลาที่ใช้ในการสกัด ที่ P-Value เท่ากับ 0.000 และเนื่องจากเกิดการ Interaction ระหว่าง A B และC ทำให้ B มีผลด้วยปัจจัยความถี่จึงมีผลด้วย ส่วนปัจจัยที่ไม่มีผลความเข้มข้นของสารสกัด คือ ปัจจัยแรงดันไฟฟ้าร่วมกับเวลาที่ใช้ในการสกัด ที่ P-Value เท่ากับ 0.426

ปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นสารสกัดของใบหม่อนสายพันธุ์บุรีรัมย์ สารเข้มข้นที่สกัดได้จากเครื่องสกัดด้วยไฟฟ้าแรงสูงแบบพัลส์ Pulse Electric Field หรือ PEF ดังภาพ 4.3



ภาพ 4.4 แสดงผลการทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นสารสกัดใบหม่อนสายพันธุ์บุรีรัมย์

พบว่าปัจจัย B มีผลต่อความเข้มข้นสารสกัดใบหม่อนสายพันธุ์ บุรีรัมย์ มากที่สุด รองลงมา เป็นปัจจัย A รองลงมาอีกเป็น ผลร่วมระหว่าง A B และ C ผลร่วมระหว่าง B และ C ผลร่วมระหว่าง A และ B สุดท้ายคือ ปัจจัย C ซึ่งปัจจัย A คือ แรงดันไฟฟ้า ปัจจัย B คือ ความถี่ของพัลส์ และปัจจัย C คือ เวลาที่ใช้ในการสกัด

Source	P-Value
Model	0.000
Linear	0.000
แรงดันไฟ	0.000
ความถี่	0.000
เวลาในการสกัด	0.015
2-Way Interactions	0.000
แรงดันไฟ*ความถี่	0.000
แรงดันไฟ*เวลาในการสกัด	0.089
ความถี่*เวลาในการสกัด	0.000
3-Way Interactions	0.000
แรงดันไฟ*ความถี่*เวลาในการสกัด	0.000
Error	
Total	

ภาพ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม มินิแทบ (Minitab) ของใบหม่อนสายพันธุ์บุรีรัมย์

ผลการผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม มินิแทบ (Minitab) ดังภาพ 4.4 ผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นของสารสกัด คือ แรงดันไฟฟ้า ซึ่งมีค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ปัจจัยความถี่ของพัลส์ P-Value 0.000 และปัจจัยเวลาที่ใช้ในการสกัด ที่ P-Value เท่ากับ 0.015 ปัจจัยแรงดันไฟฟ้าร่วมกับความถี่ ที่ P-Value เท่ากับ 0.000 ปัจจัยความถี่ร่วมกับเวลาในการสกัด เท่ากับ 0.000 และปัจจัยแรงดันไฟฟ้าร่วมกับความถี่และเวลาที่ใช้ในการสกัด ที่ P-Value เท่ากับ 0.000 ส่วนปัจจัยที่ไม่มีผลความเข้มข้นของสารสกัด คือ ปัจจัยความถี่ ที่ P-Value เท่ากับ 0.928 และปัจจัยแรงดันไฟฟ้าร่วมกับเวลาที่ใช้ในการสกัด ที่ P-Value เท่ากับ 0.089

2. เขียนแบบจำลอง (Initial Model) เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลกระทบหลัก และผลกระทบร่วมว่ามีผลของกระบวนการอย่างไรบ้างโดยแบบจำลองแบบเต็มจำนวนที่ได้จากการทดลองมีดังนี้

$$Y_1 = 5.268 - 0.5228 X_A - 1.9175X_B - 0.33150X_C + 0.26425X_{AB} + 0.042675X_{AC} + 0.15600X_{BC} - 0.021225X_{ABC}$$

โดย Y_1 = ผลตอบที่ทำการแปลง (FและT) มาจากผลตอบที่เป็นค่าความเข้มข้นของสารสกัดใบหม่อนสายพันธุ์สกลนคร

X = ตัวแปรอิสระที่สามารถปรับค่าได้ (ค่าต่ำสุด , ค่าสูงสุด)

A = แรงดันไฟฟ้า

B = ความถี่

C = เวลาที่ใช้ในการสกัด

$$Y_2 = 2.470 + 0.2048X_A + 1.175X_B + 0.2440X_C - 0.1758X_{AB} - 0.02498X_{AC} - 0.11150X_{BC} + 0.011575X_{ABC}$$

โดย Y_2 = ผลตอบที่ทำการแปลง (FและT) มาจากผลตอบที่เป็นค่าความเข้มข้นของสารสกัดใบหม่อนสายพันธุ์สกลนคร

X = ตัวแปรอิสระที่สามารถปรับค่าได้ (ค่าต่ำสุด , ค่าสูงสุด)

A = แรงดันไฟฟ้า

B = ความถี่

C = เวลาที่ใช้ในการสกัด

3. ตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง (Appropriateness)

ตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองเนื่องจากแบบจำลองที่ได้ทำการคาดการณ์ไว้อาจไม่สอดคล้องกับข้อมูลผลการทดลองส่งผลให้แบบจำลองไม่สามารถนำไปใช้ได้เพราะอาจก่อให้เกิดความผิดพลาดและไม่สอดคล้องกับพฤติกรรมที่แท้จริงโดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจหรือ R-squared (Coefficient of Correlation) หรือ R-squared (adj)

Model Summary			
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0268095	99.92%	99.86%	99.70%

ภาพ 4.6 ประมาณค่าผลกระทบและค่าสัมประสิทธิ์เฉพาะปัจจัยที่สำคัญของสายพันธุ์สกลนคร

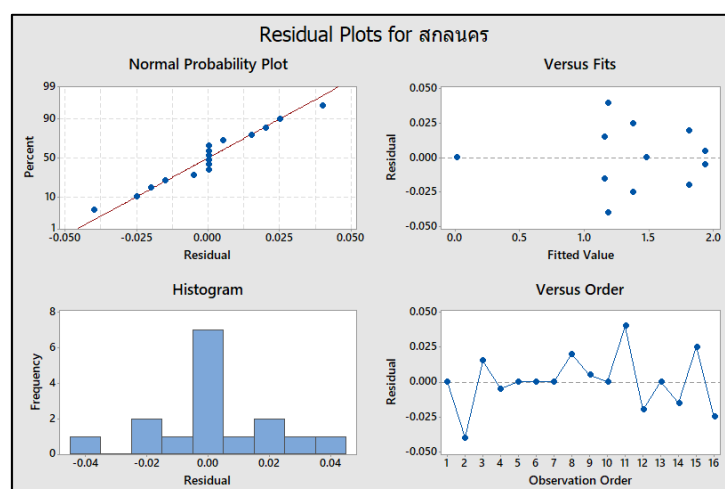
จากตาราง จะเห็นว่าค่า R-Sq มีค่าเท่ากับ 99.92 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงถึงร้อยละความแปรปรวนทั้งหมดจากข้อมูลการทดลองที่สามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองซึ่งโดยปกติควรมีค่ามากกว่า 0.80 หรือ 80% โดยปกติถ้าหากเพิ่มจำนวนเทอมในแบบจำลองค่า R-Sq จะมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งอาจหมายความว่าแบบจำลองได้รวมเทอมที่ไม่จำเป็นเพื่อให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นจึงตัดแปลงค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจของแบบจำลองขึ้นมาใหม่คือ R-Sq(adj) โดยค่าดัชนีนี้อาจมีค่าลดลงถ้าเพิ่มเทอมที่ไม่จำเป็นในสมการแบบจำลองซึ่งในแบบจำลองนี้จะเห็นได้ว่า R-Sq (adj) มีค่าเท่ากับ 99.86 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าแบบจำลองมีความเหมาะสม

Model Summary			
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0943067	99.44%	98.95%	97.75%

ภาพ 4.7 ประมาณค่าผลกระทบและค่าสัมประสิทธิ์เฉพาะปัจจัยที่สำคัญของสายพันธุ์บุรีรัมย์

จากตาราง จะเห็นว่าค่า R-Sq มีค่าเท่ากับ 99.44 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงถึงร้อยละความแปรปรวนทั้งหมดจากข้อมูลการทดลองที่สามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองซึ่งโดยปกติควรมีค่ามากกว่า 0.80 หรือ 80% โดยปกติถ้าหากเพิ่มจำนวนเทอมในแบบจำลองค่า R-Sq จะมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งอาจหมายความว่าแบบจำลองได้รวมเทอมที่ไม่จำเป็นเพื่อให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นจึงตัดแปลงค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจของแบบจำลองขึ้นมาใหม่คือ R-Sq(adj) โดยค่าดัชนีนี้อาจมีค่าลดลงถ้าเพิ่มเทอมที่ไม่จำเป็นในสมการแบบจำลองซึ่งในแบบจำลองนี้จะเห็นได้ว่า R-Sq (adj) มีค่าเท่ากับ 98.95 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าแบบจำลองมีความเหมาะสม

4. ทำการตรวจสอบความพอเพียง (Model Adequacy Checking) โดยทำการตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลองโดยวิธีวิเคราะห์ส่วนค้าง (Residual Analysis) เพื่อตรวจสอบข้อกำหนดเบื้องต้นของคุณสมบัติของความแปรปรวนของแบบจำลองเมื่อเราได้สมการแบบจำลองที่มีความเหมาะสมแล้วจะทำการตรวจสอบคุณสมบัติว่าสมการแบบจำลองมีความพอเพียงหรือไม่โดยพิจารณาจากค่าส่วนค้าง



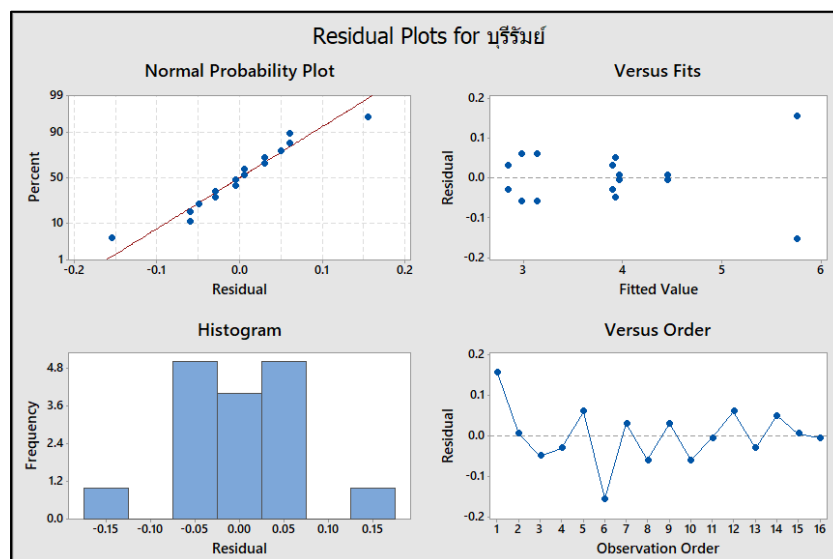
ภาพ 4.8 ภาพแสดงการวิเคราะห์ส่วนค้างของผลตอบการทดลองสายพันธุ์สกลนคร

จากภาพ 4.5 สามารถวิเคราะห์คุณสมบัติของความเข้มข้นสารสกัดใบหม่อนสายพันธุ์ สกลนครได้ดังนี้

4.1 วิเคราะห์กราฟแบบปกติของส่วนค้ำจากกราฟ (Normal, Probability Plot) ข้อมูล ส่วนค้ำส่วนใหญ่มีการกระตัวอยู่ใกล้เส้นแกนกำเนิด (Imaginary Line) ของกราฟปกติและไม่มีข้อมูล ส่วนค้ำที่เห็นได้ชัดเจนว่าออกนอกเส้นหรือห่างแกนกำเนิดจึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลส่วนค้ำมีการ แจกแจงแบบปกติ

4.2 วิเคราะห์กราฟส่วนค้ำกับค่าทำนาย (Fitted Values) จากกราฟ (Versus Fits) จะ เห็นได้ว่าข้อมูลส่วนค้ำมีการกระจายตัวแบบสุ่มเป็นอิสระไม่มีรูปแบบหรือแนวโน้มใดๆที่ขึ้นค่า ทำนายที่เกี่ยวข้องกับการทดลองก็สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลส่วนค้ำมีความสม่ำเสมอของความผันแปร ตลอดช่วงของปัจจัย

4.3 วิเคราะห์กราฟส่วนค้ำกับเวลาหรือลำดับการทดลอง (Run orders) จากกราฟ (Versus Order) ข้อมูลส่วนค้ำมีการแกว่งขึ้นลงไม่มีรูปแบบหรือแนวโน้มใดๆจึงสามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลส่วนค้ำมีความเป็นอิสระต่อกันไม่ขึ้นอยู่กับลำดับการทดลองเมื่อข้อมูลส่วนค้ำมีคุณสมบัติครบ ทุกประการจึงสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองมีความพอเพียงสามารถนำไปใช้ได้



ภาพ 4.9 ภาพแสดงการวิเคราะห์ส่วนค้ำของผลตอบการทดลองสายพันธุ์บัวรัมย์

จากภาพ 4.6 สามารถวิเคราะห์คุณสมบัติของความเข้มข้นสารสกัดใบหม่อนสายพันธุ์ สกลนครได้ดังนี้

4.1 วิเคราะห์กราฟแบบปกติของส่วนค้ำจากกราฟ (Normal, Probability Plot) ข้อมูล ส่วนค้ำส่วนใหญ่มีการกระตัวอยู่ใกล้เส้นแกนกำเนิด (Imaginary Line) ของกราฟปกติและไม่มีข้อมูล ส่วนค้ำที่เห็นได้ชัดเจนว่าออกนอกเส้นหรือห่างแกนกำเนิดจึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลส่วนค้ำมีการ แจกแจงแบบปกติ

4.2 วิเคราะห์กราฟส่วนค้ำกับค่าทำนาย (Fitted Values) จากกราฟ (Versus Fits) จะ เห็นได้ว่าข้อมูลส่วนค้ำมีการกระจายตัวแบบสุ่มเป็นอิสระไม่มีรูปแบบหรือแนวโน้มใดๆที่ขึ้นค่า ทำนายที่เกี่ยวข้องกับการทดลองก็สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลส่วนค้ำมีความสม่ำเสมอของความผันแปร ตลอดช่วงของปัจจัย

4.3 วิเคราะห์กราฟส่วนค้ำกับเวลาหรือลำดับการทดลอง (Run orders) จากกราฟ (Versus Order) ข้อมูลส่วนค้ำมีการแกว่งขึ้นลงไม่มีรูปแบบหรือแนวโน้มใดๆจึงสามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลส่วนค้ำมีความเป็นอิสระต่อกันไม่ขึ้นอยู่กับลำดับการทดลองเมื่อข้อมูลส่วนค้ำมีคุณสมบัติครบ ทุกประการจึงสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองมีความพอเพียงสามารถนำไปใช้ได้

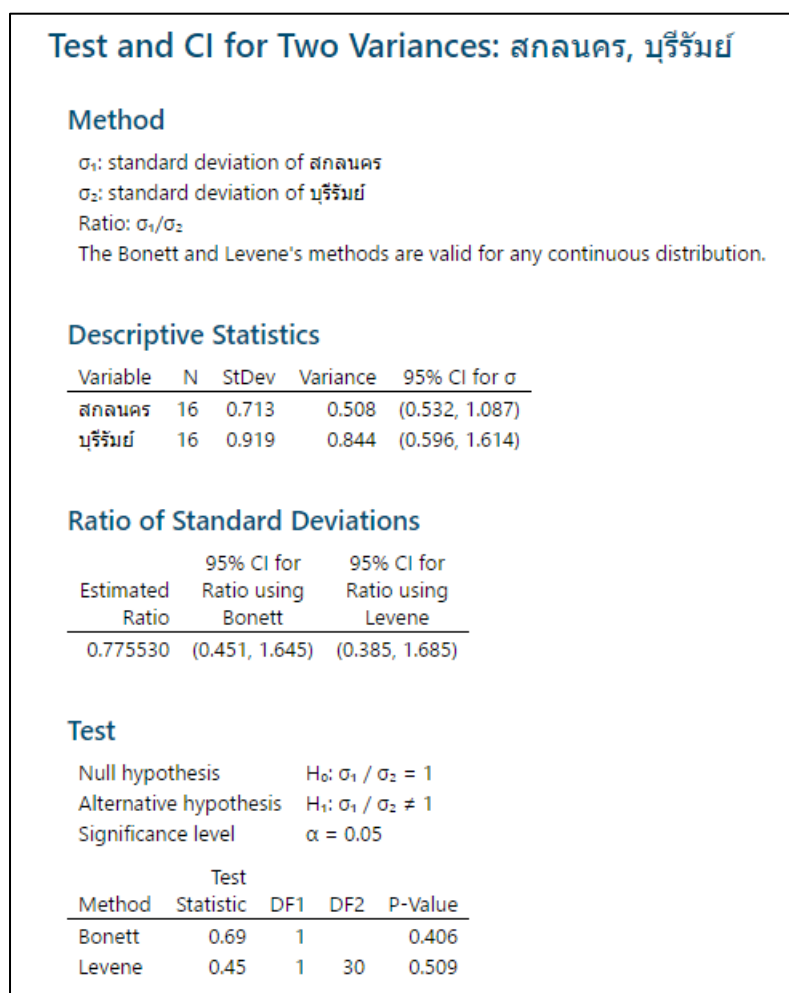
5. แพลตฟอร์มหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด ดังตาราง 4.4

ตาราง 4.4 ระดับที่เหมาะสมของการทดลอง

ปัจจัยที่ต้องการศึกษา	ระดับของปัจจัย	
	ต่ำ	สูง
แรงดันไฟฟ้า (กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร)	5	10
ความถี่ (เฮิรตซ์)	1	3
เวลาที่ใช้ในการสกัด(นาท)	10	30

4.6 เก็บรวบรวมผลแล้วนำไปเปรียบเทียบโดยใช้ทักษะวิชาทางสถิติ

1. การหาความแปรปรวนความเข้มข้นสารสกัด



ภาพ 4.10 การหาความแปรปรวนความเข้มข้นสารสกัด สายพันธุ์สกลนคร และสายพันธุ์บุรีรัมย์

จากภาพ 4.6 ใช้โปรแกรม มินิแทบ(Minitab) เพื่อหาความแปรปรวนของความเข้มข้นสารสกัดจากใบหม่อนสายพันธุ์สกลนคร และสายพันธุ์บุรีรัมย์ ซึ่งได้ผลออกมาว่า ความแปรปรวนของสายพันธุ์สกลนครมีค่าเท่ากับ 0.508 และสายพันธุ์บุรีรัมย์มีค่าเท่ากับ 0.844 ค่าความแปรปรวนทั้งสองมีค่าไม่เท่ากัน เมื่อความแปรปรวนไม่เท่ากัน ค่าองศาอิสระ (Degree of Freedom) ที่จะนำไปคิดต่อในขั้นตอนวิเคราะห์สมมติฐานของความเข้มข้นสารสกัดทั้งสองสายพันธุ์

โดยกรณีที่ 1 กรณีที่ความแปรปรวนที่ 1 เท่ากับความแปรปรวนที่ 2 $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ จะต้องหาค่าองศาอิสระ (Degree of Freedom) จากสมการดังนี้

$$v = n_2 + n_1 - 2 \quad (4.2)$$

กรณีที่ 1 กรณีที่ความแปรปรวนที่ 1 ไม่เท่ากับความแปรปรวนที่ 2 $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ จะต้องหาค่าองศาอิสระ (Degree of Freedom) จากสมการดังนี้

$$v = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2} \right)}{\frac{(s_1^2/n_1)^2}{n_1-1} + \frac{(s_2^2/n_2)^2}{n_2-1}} \quad (4.3)$$

โดย v = องศาอิสระ (Degree of Freedom)

S_1^2 = ค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างที่ 1

S_2^2 = ค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างที่ 2

n_n = จำนวนตัวอย่าง

2. การใช้สถิติอนุมานสำหรับประชากรสองกลุ่มของความเข้มข้นสารสกัดจากใบหม่อนสายพันธุ์สกลนคร และสายพันธุ์บุรีรัมย์

Two-Sample T-Test and CI: สกลนคร, บุรีรัมย์

Method

μ_1 : mean of สกลนคร

μ_2 : mean of บุรีรัมย์

Difference: $\mu_1 - \mu_2$

Equal variances are not assumed for this analysis.

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
สกลนคร	16	1.120	0.713	0.18
บุรีรัมย์	16	3.867	0.919	0.23

Estimation for Difference

Difference	95% Upper Bound for Difference
-2.747	-2.253

Test

Null hypothesis $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Alternative hypothesis $H_1: \mu_1 - \mu_2 < 0$

T-Value	DF	P-Value
-9.45	28	0.000

ภาพ 4.11 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม มินิแทบ(Minitab)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองโดยใช้วิชาทางสถิติ ดังภาพ 4.38 เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลของใบหม่อนสองสายพันธุ์ คือ สายพันธุ์สกลนคร และสายพันธุ์บุรีรัมย์ โดยตั้งสมมติฐาน $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$ และ $H_1: \mu_1 - \mu_2 < 0$ หลังจากนั้นเมื่อได้ป้อนข้อมูลลงในโปรแกรม Minitab ทำให้ได้ค่า T-value = -9.45 ที่เปอร์เซ็นต์ความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์ หรือที่ $\alpha = 0.05$ เนื่องจากค่าที่ได้จากการเปิดตาราง $-1.697 > T\text{-value} = -1.697 > -9.45$ ดังนั้น ไม่สามารถยอมรับ H_0 ที่ $\alpha = 0.05$ ได้

4.7 ผลการตรวจสอบสารสกัดและการคำนวณ

วิธีการคำนวณโดยดูข้อมูลและสมการจากกราฟ ดังภาพ 4.5

ภาพ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง พื้นที่(Area) และความเข้มข้น(Concentration)

เมื่อเราได้ข้อมูลจากการตรวจสอบสารสกัดโดยผ่านเครื่อง HPLC มาแล้วให้นำข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาได้นำไปคำนวณโดยใช้สมการ 4.1

$$X = \frac{Y+b}{a} \quad (4.1)$$

โดย X = ความเข้มข้นของสารสกัด หน่วย (mg/ml)

Y = Area หน่วย (mAU*s)

a = ความชัน

b = ค่าคงที่

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลในบทที่ 4 สามารถนำมาสรุปผลได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็มจำนวน

จากการทดลองทั้งหมด 16 การทดลองมีการทดลองที่ให้ค่าความเข้มข้นของสารสกัดจากใบหม่อนสูงสุด คือ สายพันธุ์บุรีรัมย์ ที่ความเข้มข้นสารสกัดเท่ากับ 5.91 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรและค่าความเข้มข้นของสารสกัดจากใบหม่อนต่ำสุด คือ สายพันธุ์สกลนคร ที่ความเข้มข้นสารสกัด เท่ากับ 0.01 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

5.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องและส่งผลต่อความเข้มข้นของสารสกัดจากใบหม่อนทั้งสองสายพันธุ์

จากปัจจัยที่ต้องการศึกษามีทั้งหมด 3 ปัจจัย คือ แรงดันไฟฟ้า ความถี่ในการจ่ายพัลส์ และเวลาที่ใช้ในการสกัด พบว่าปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยมีผลกระทบต่อความเข้มข้นของสารสกัดจากใบหม่อน และยังมีปัจจัยร่วมที่ส่งผลเช่นกัน คือ ปัจจัยแรงดันไฟฟ้าร่วมกับความถี่ ปัจจัยความถี่ร่วมกับเวลาในการสกัด และปัจจัยแรงดันไฟฟ้าร่วมกับความถี่และเวลาที่ใช้ในการสกัดที่ส่งผลอีกด้วย

5.3 การวิเคราะห์ค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นของสารสกัดจากใบหม่อน

แต่เดิมได้ศึกษาปัจจัยของเครื่องสกัดด้วยไฟฟ้าแรงสูงแบบพัลส์พบว่า มี 3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความเข้มข้นของสารสกัดจากใบหม่อน ดังตาราง 5.1

ตาราง 5.1 ปัจจัยที่ต้องการศึกษา

ปัจจัยที่ต้องการศึกษา	ระดับของปัจจัย	
	ต่ำ	สูง
แรงดันไฟฟ้า (กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร)	5	10
ความถี่ (เฮิรตซ์)	1	3
เวลาที่ใช้ในการสกัด(นาทีก)	10	30

เมื่อผ่านการทดลองโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองทำให้ได้เงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด
ดังตาราง 5.2

ตาราง 5.2 ปัจจัยที่ผ่านการทดลองและวิเคราะห์หาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดของสายพันธุ์บุรีรัมย์

ปัจจัยที่ต้องการศึกษา	ระดับของปัจจัย
แรงดันไฟฟ้า (กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร)	5
ความถี่ (เฮิรตซ์)	1
เวลาที่ใช้ในการสกัด(นาทีก)	30

บรรณานุกรม

เยาวลักษณ์ วัฒนารสกุล “การหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการผลิตเอทานอลจากข้าวโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง” วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ , 2554

ปารเมศ ชูติมา “การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม” สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2545

ผศ.ดร.อาทิตย์ ยาวุฒิ “การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์สกัดสารจากพืชแบบพกพา” อาจารย์จากวิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาเชียงใหม่

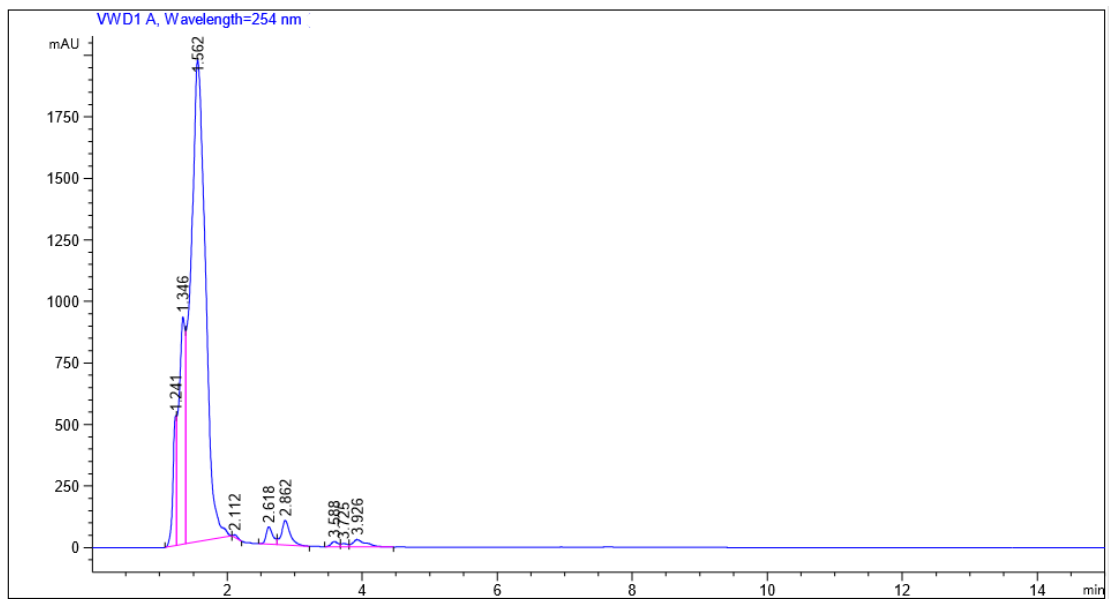
ผศ.ดร.ชมพูนุท เกษมเศรษฐ์ “เอกสารคำสอน วิชา 255201 Quantitative Methods for Industrial Engineering” สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ผศ.ดร.สรยุทธชัย ชิวสุทธิศิลป์ “กลยุทธ์การออกแบบการทดลองในงานวิศวกรรม” สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ภาคผนวก ก

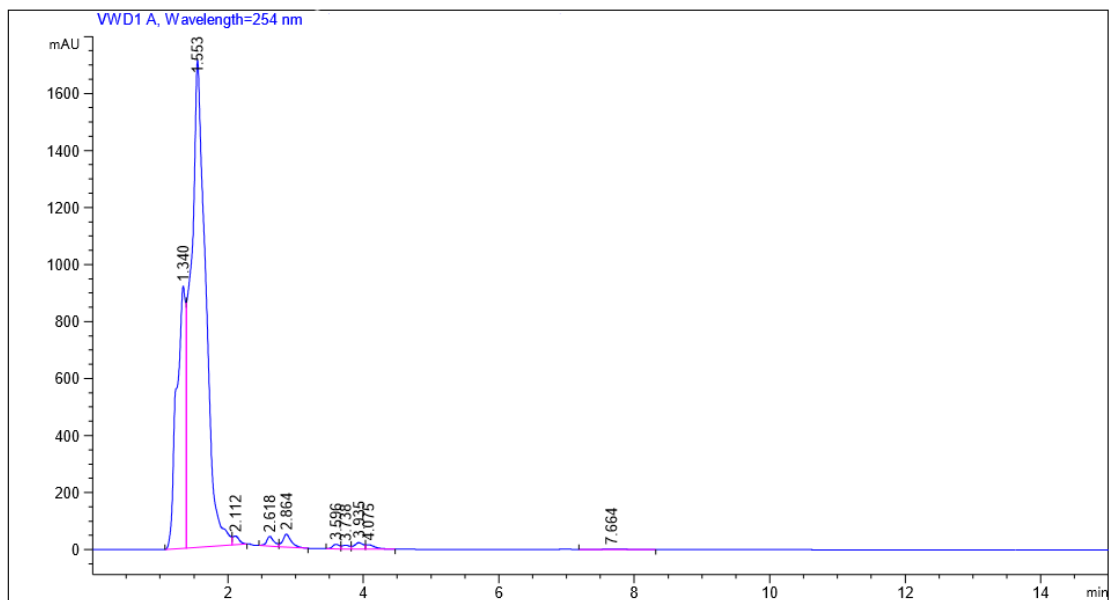
ข้อมูลผลตอบหลังการทดลอง

ผลการตรวจสอบสารสกัดสกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 1 เงื่อนไข 5:1:30 ดังภาพ 4.6



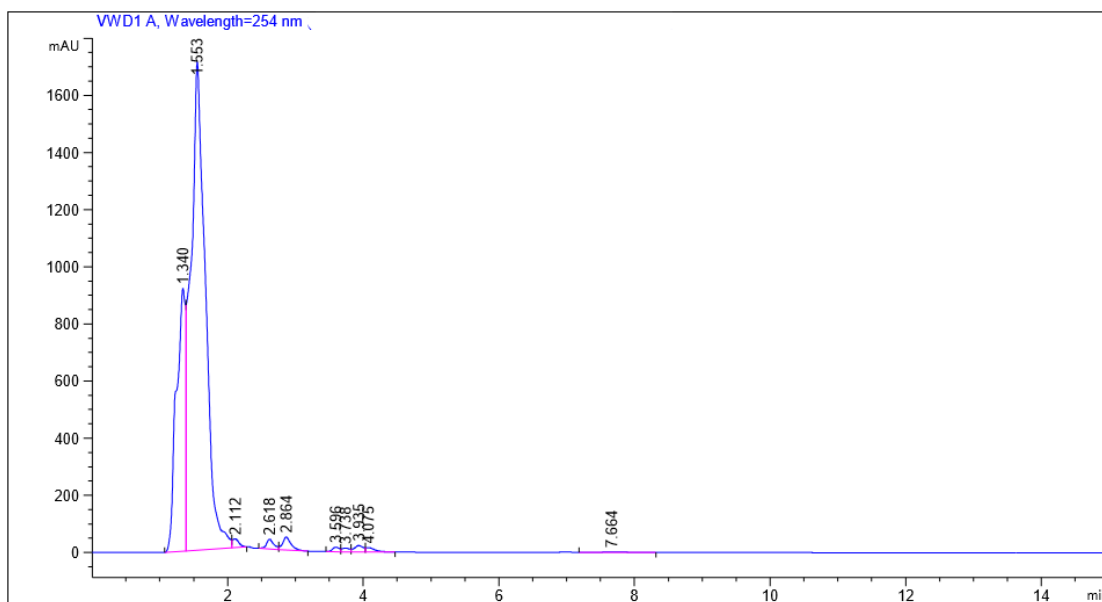
ภาพ ก-1 กราฟความสัมพันธ์ พื้นที่ และความเข้มข้น สกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 1

ผลการตรวจสอบสารสกัดสกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 2 เงื่อนไข 5:3:10 ดังภาพ 4.7



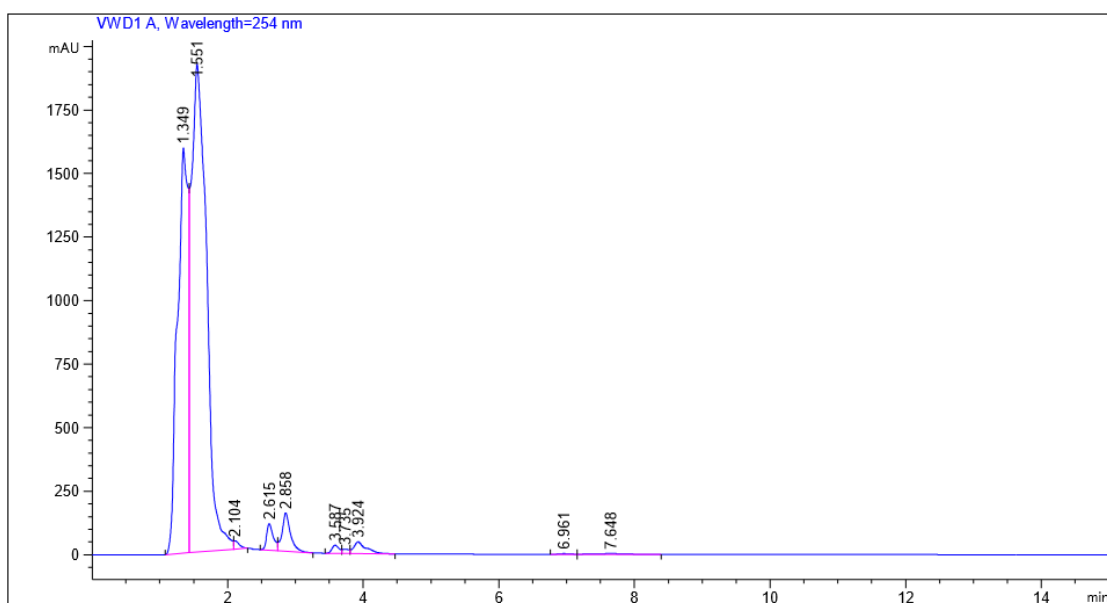
ภาพ ก-2 กราฟความสัมพันธ์ พื้นที่ และความเข้มข้น สกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 2

ผลการตรวจสอบสารสกัดสกลนครตัวอย่างชิ้นงานที่ 2 เจือจาง 10:1:10 ดังภาพ 4.8



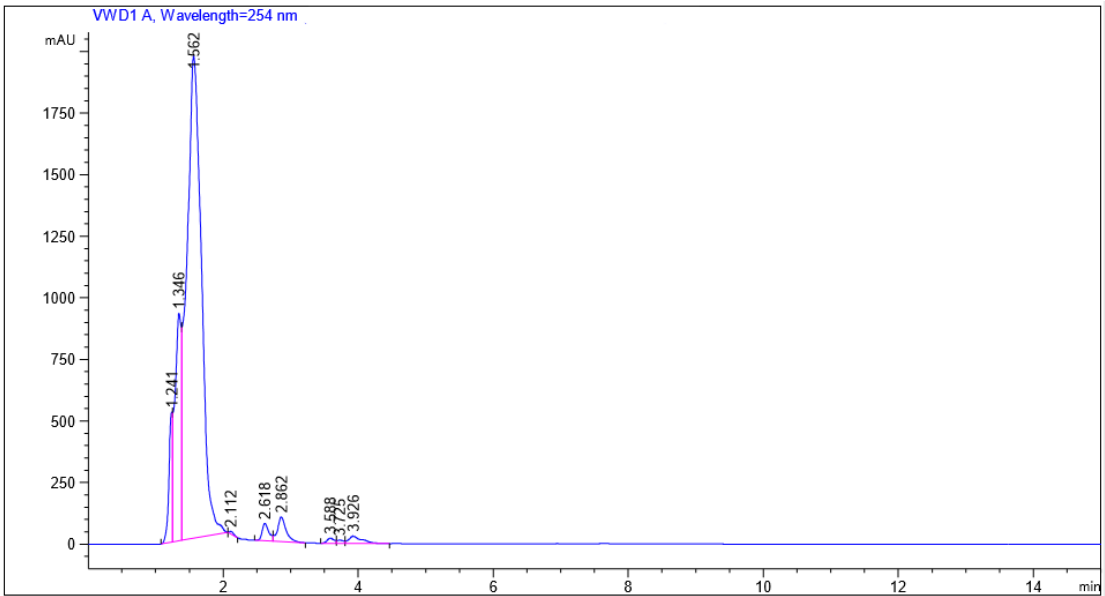
ภาพ ก-3 กราฟความสัมพันธ์ พื้นที่ และความเข้มข้น สกลนครตัวอย่างชิ้นงานที่ 3

ผลการตรวจสอบสารสกัดสกลนครตัวอย่างชิ้นงานที่ 4 เจือจาง 10:1:30 ดังภาพ 4.9



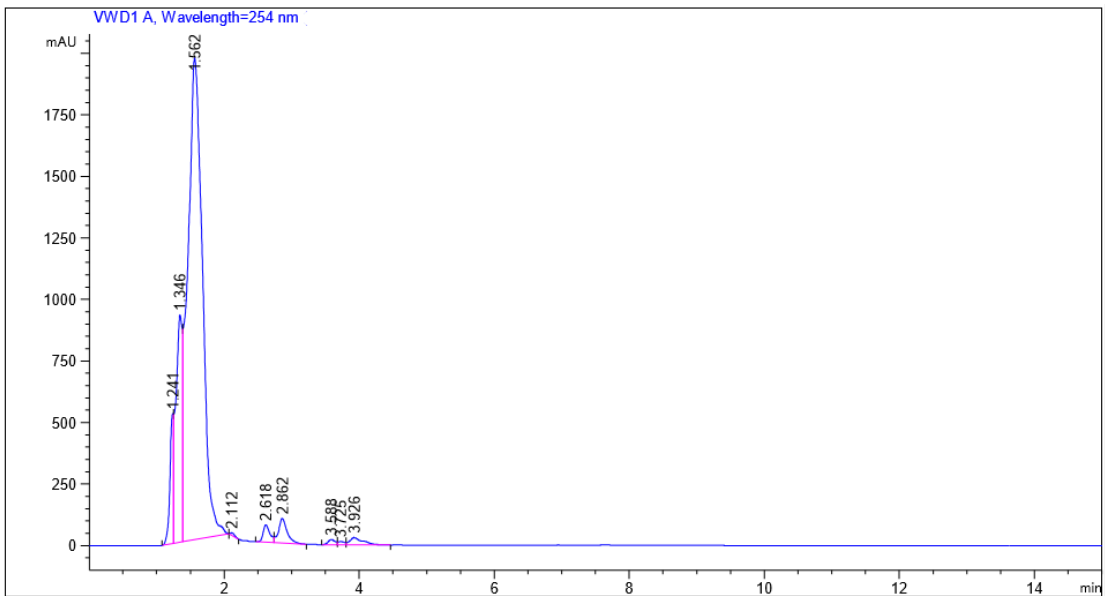
ภาพ ก-4 กราฟความสัมพันธ์ พื้นที่ และความเข้มข้น สกลนครตัวอย่างชิ้นงานที่ 4

ผลการตรวจสอบสารสกัดสกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 5 เจือไน 10:3:30 ดังภาพ 4.10



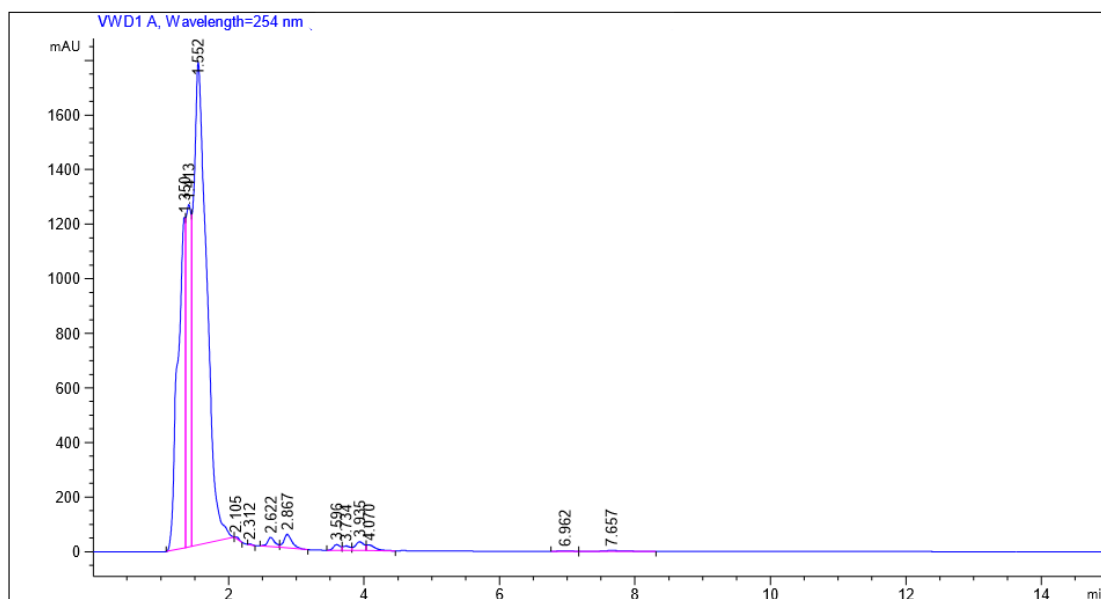
ภาพ ก-5 กราฟความสัมพันธ์ พื้นที่ และความเข้มข้น สกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 5

ผลการตรวจสอบสารสกัดสกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 6 เจือไน 5:1:30 ดังภาพ 4.11



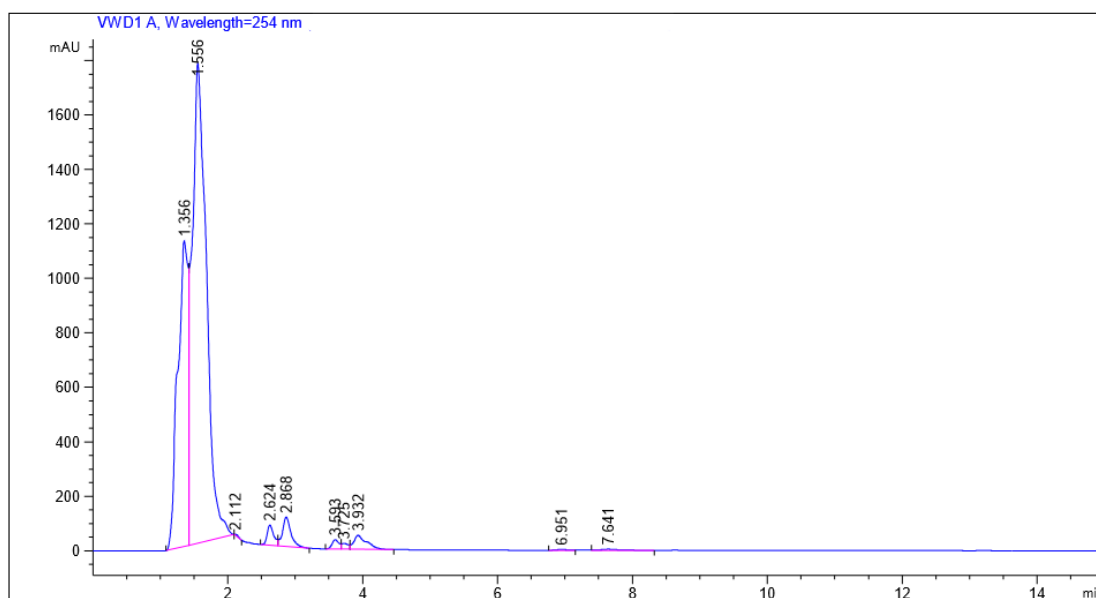
ภาพ ก-6 กราฟความสัมพันธ์ พื้นที่ และความเข้มข้น สกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 6

ผลการตรวจสอบสารสกัดสกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 7 เงื่อนไข 10:3:10 ดังภาพ 4.12



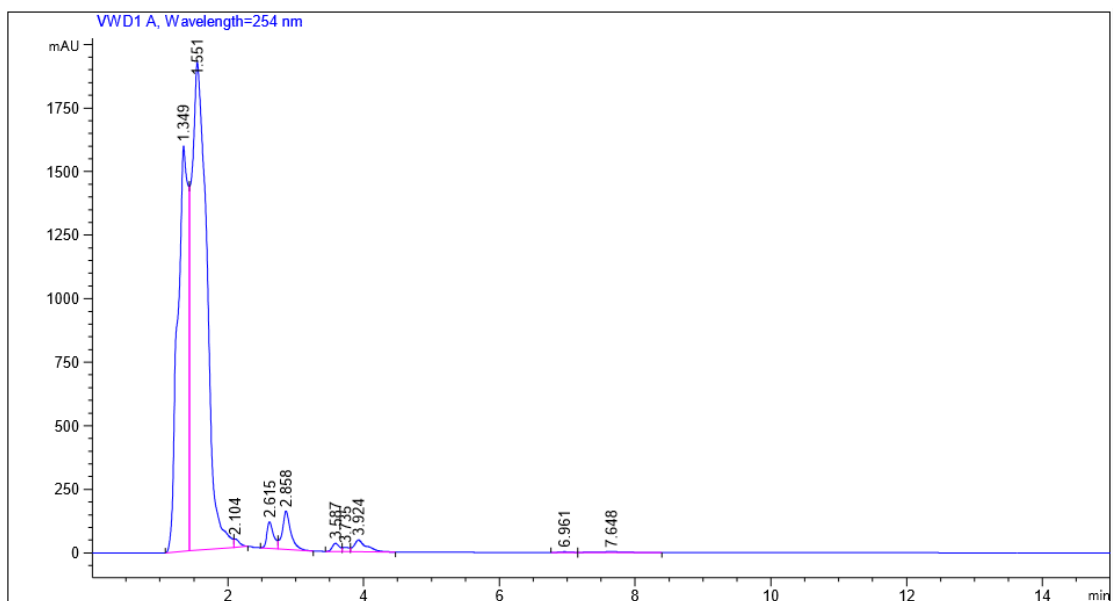
ภาพ ก-7 กราฟความสัมพันธ์ พื้นที่ และความเข้มข้น สกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 7

ผลการตรวจสอบสารสกัดสกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 8 เงื่อนไข 5:3:30 ดังภาพ 4.13



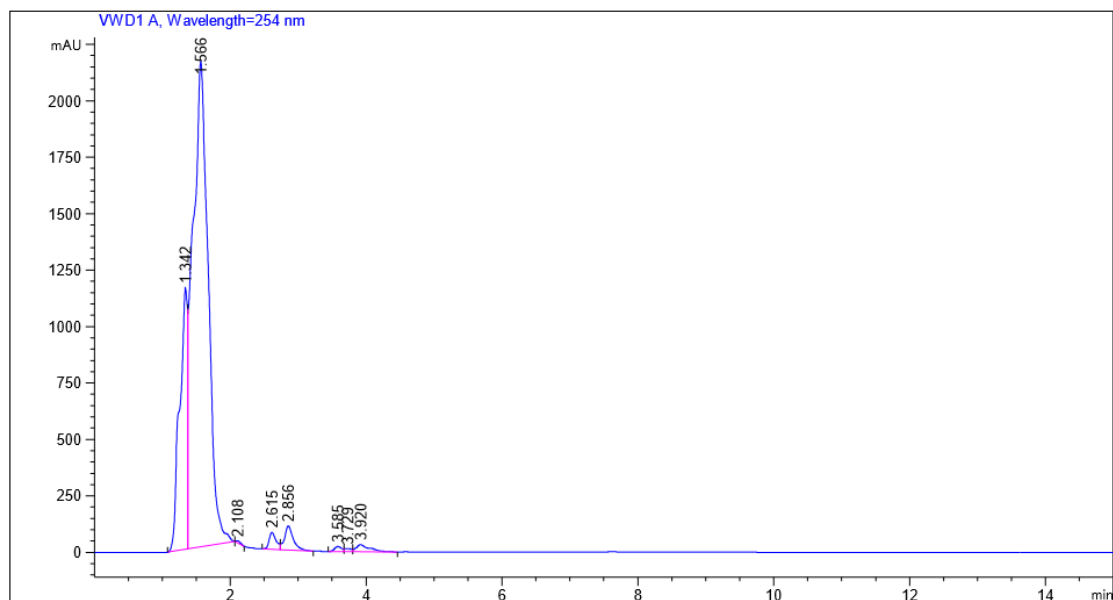
ภาพ ก-8 กราฟความสัมพันธ์ พื้นที่ และความเข้มข้น สกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 8

ผลการตรวจสอบสารสกัดสกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 9 เจือไน 10:1:30 ดังภาพ 4.14



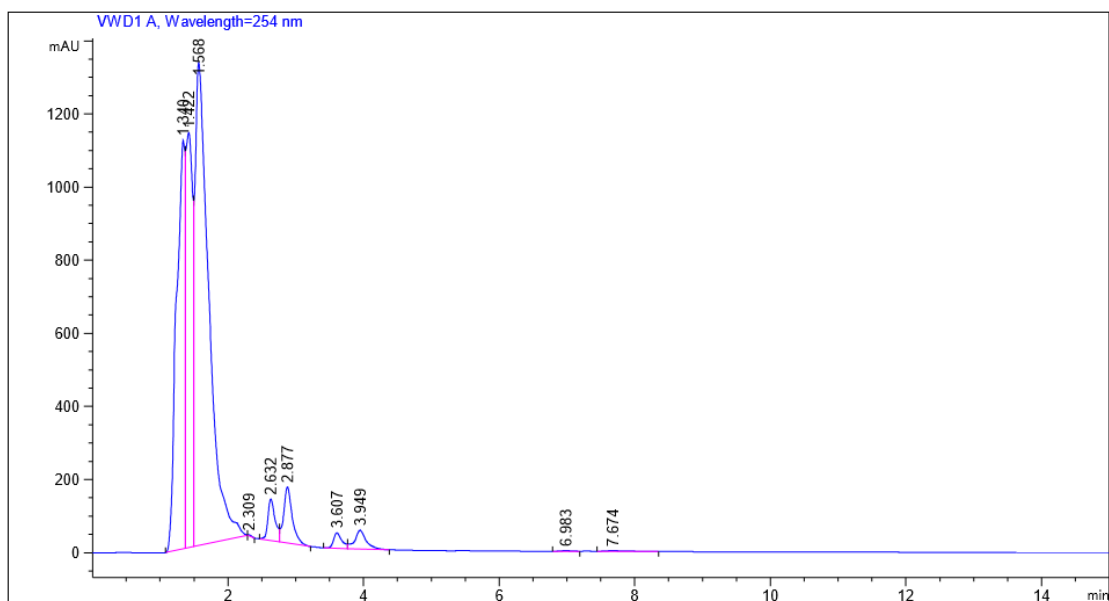
ภาพ ก-9 กราฟความสัมพันธ์ พื้นที่ และความเข้มข้น สกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 9

ผลการตรวจสอบสารสกัดสกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 10 เจือไน 10:3:30 ดังภาพ 4.15



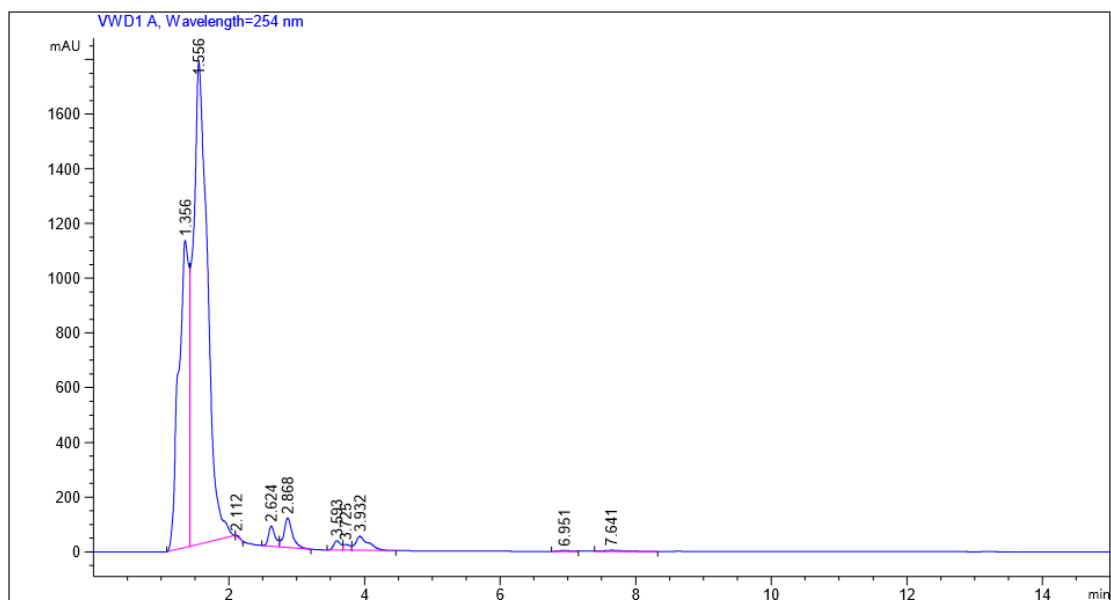
ภาพ ก-10 กราฟความสัมพันธ์ พื้นที่ และความเข้มข้น สกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 10

ผลการตรวจสอบสารสกัดสกลนครตัวอย่างชิ้นงานที่ 11 เจือจาง 5:3:10 ดังภาพ 4.16



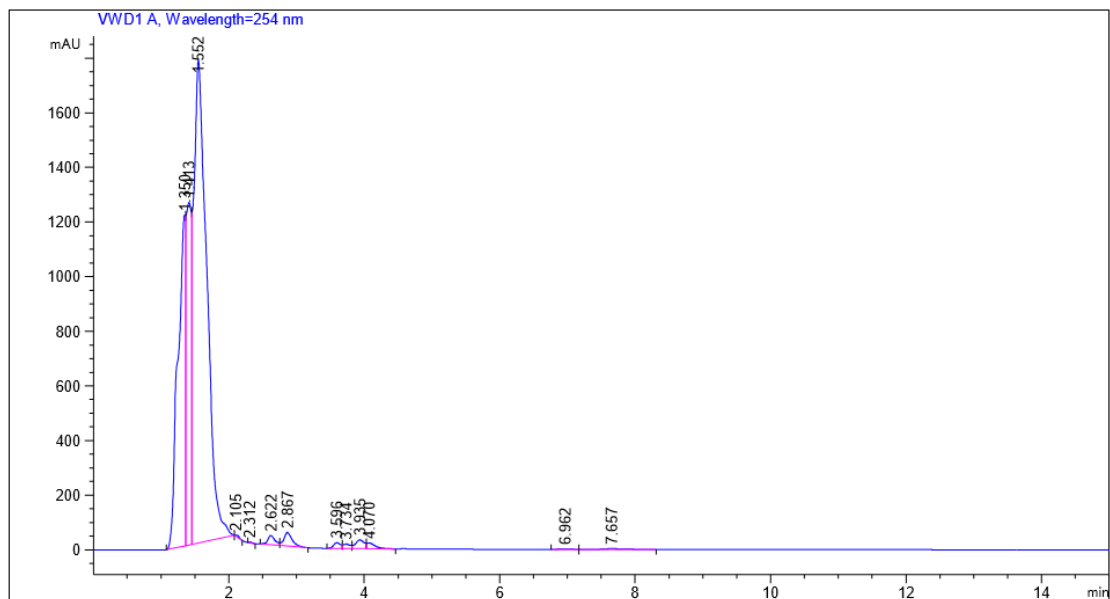
ภาพ ก-11 กราฟความสัมพันธ์ พื้นที่ และความเข้มข้น สกลนครตัวอย่างชิ้นงานที่ 11

ผลการตรวจสอบสารสกัดสกลนครตัวอย่างชิ้นงานที่ 12 เจือจาง 5:3:30 ดังภาพ 4.17



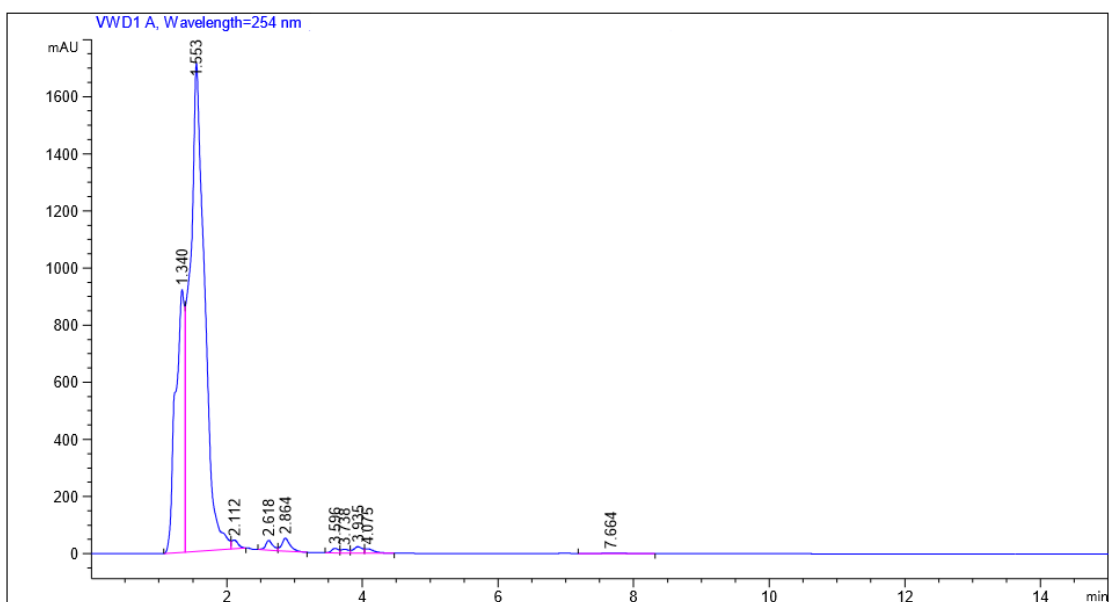
ภาพ ก-12 กราฟความสัมพันธ์ พื้นที่ และความเข้มข้น สกลนครตัวอย่างชิ้นงานที่ 12

ผลการตรวจสอบสารสกัดสกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 13 เงื่อนไข 10:3:10 ดังภาพ 4.18



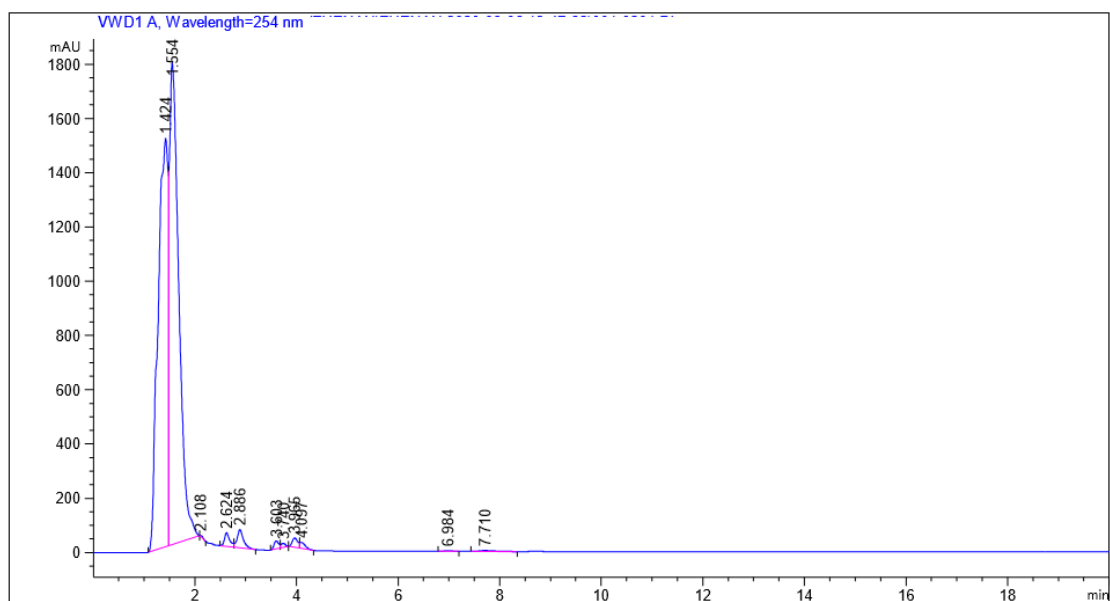
ภาพ ก-13 กราฟความสัมพันธ์ พื้นที่ และความเข้มข้น สกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 13

ผลการตรวจสอบสารสกัดสกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 14 เงื่อนไข 10:1:10 ดังภาพ 4.19



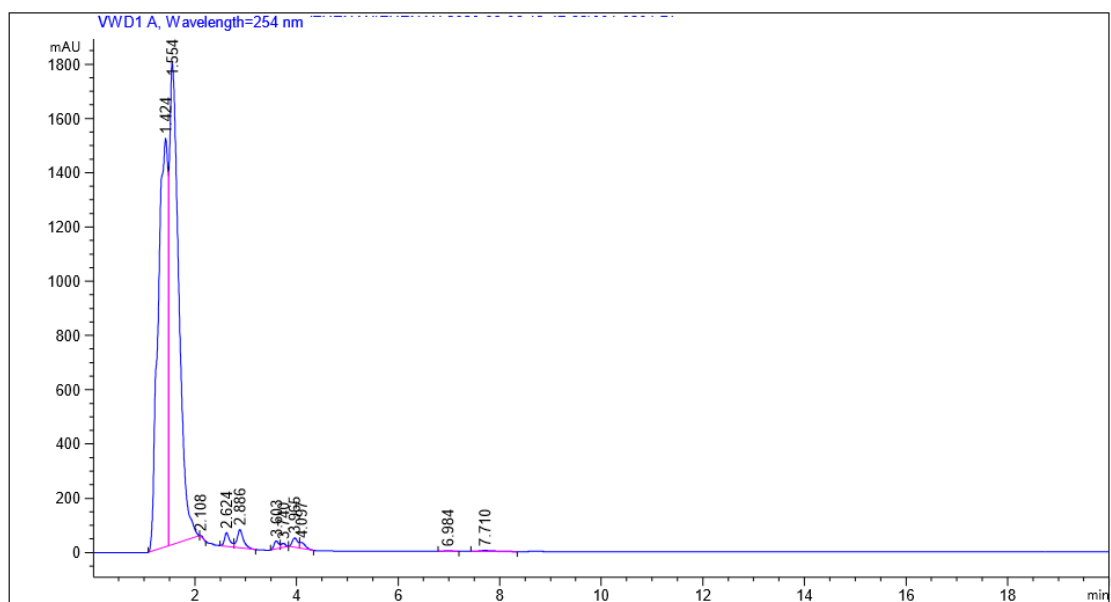
ภาพ ก-14 กราฟความสัมพันธ์ พื้นที่ และความเข้มข้น สกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 14

ผลการตรวจสอบสารสกัดสกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 15 เงื่อนไข 5:1:10 ดังภาพ 4.20



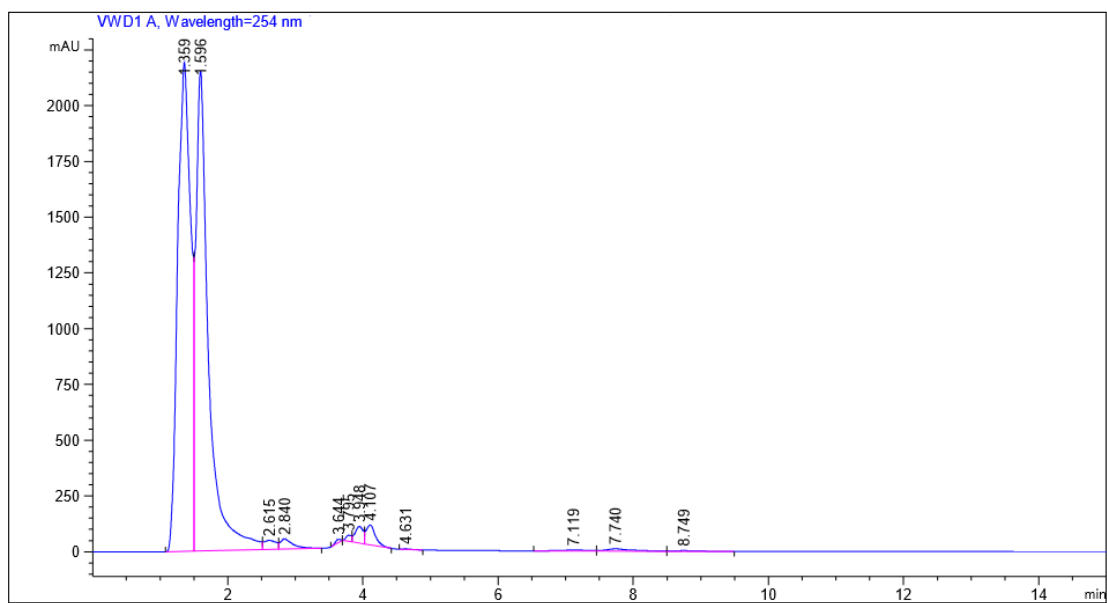
ภาพ ก-15 กราฟความสัมพันธ์ พื้นที่ และความเข้มข้น สกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 15

ผลการตรวจสอบสารสกัดสกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 16 เงื่อนไข 5:1:10 ดังภาพ 4.21



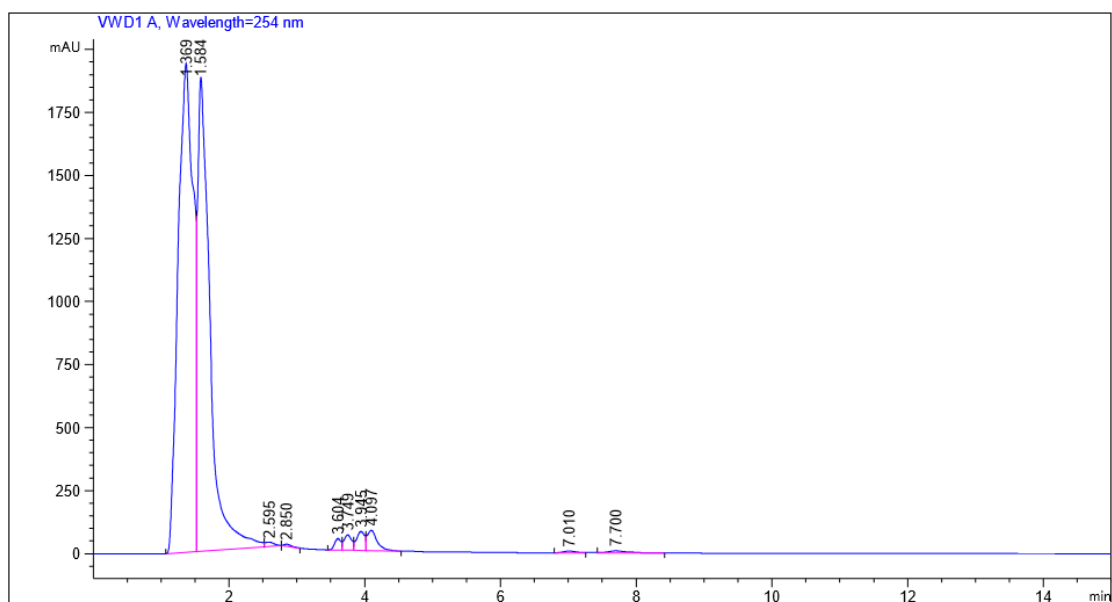
ภาพ ก-16 กราฟความสัมพันธ์ พื้นที่ และความเข้มข้น สกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 16

ผลการตรวจสอบสารสกัดสกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 1 เงื่อนไข 5:1:30 ดังภาพ 4.22



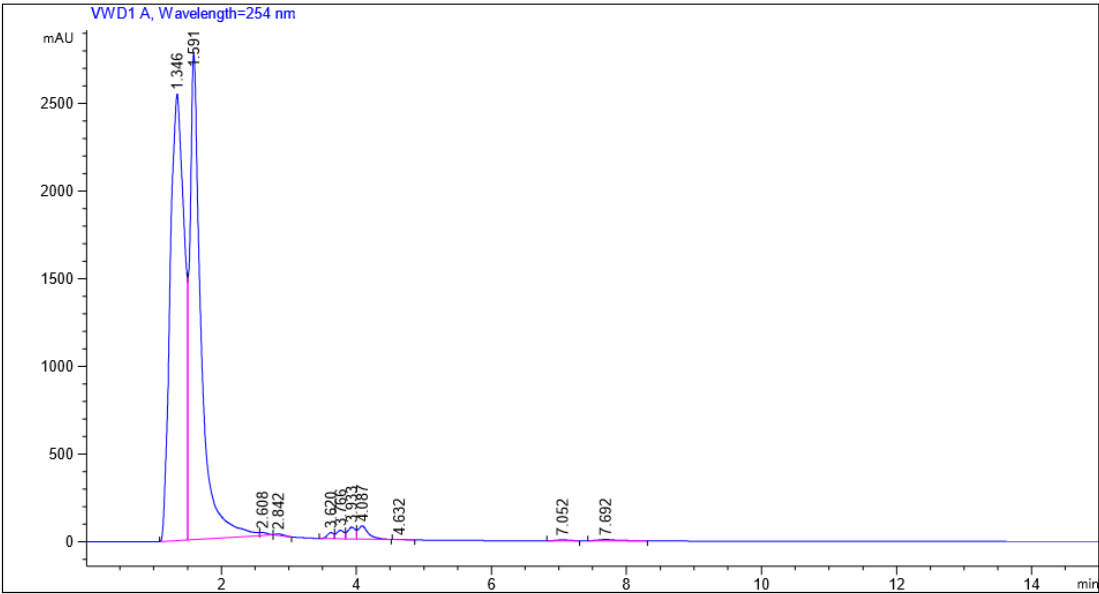
ภาพ ก-17 กราฟความสัมพันธ์ พื้นที่ และความเข้มข้น บุริรัมย์ตัวอย่างขึ้นงานที่ 1

ผลการตรวจสอบสารสกัดสกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 2 เงื่อนไข 5:3:10 ดังภาพ 4.23



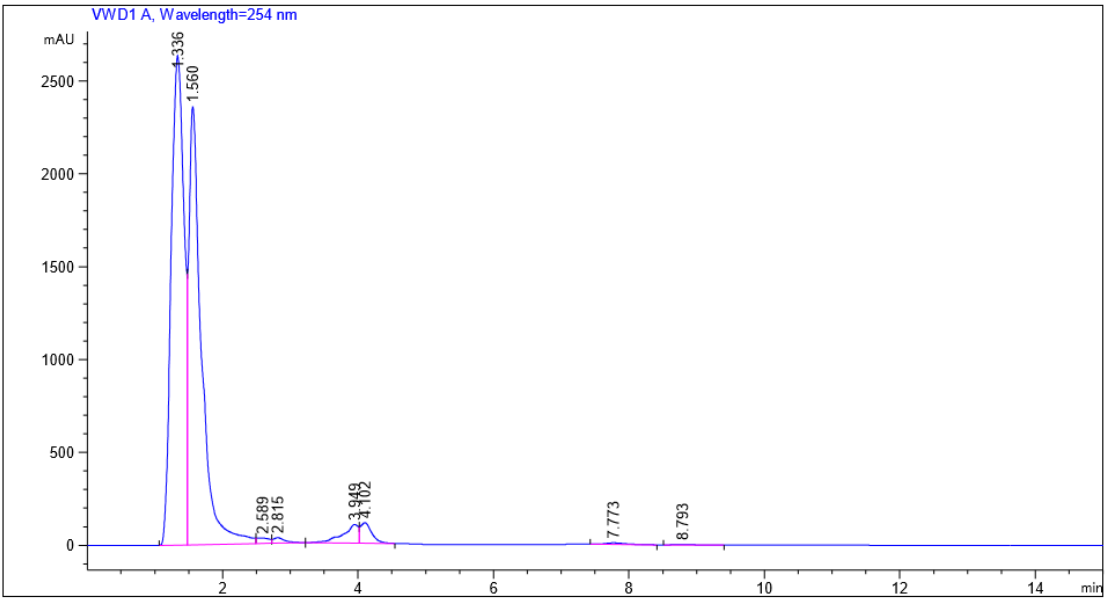
ภาพ ก-18 กราฟความสัมพันธ์ พื้นที่ และความเข้มข้น บุริรัมย์ตัวอย่างขึ้นงานที่ 2

ผลการตรวจสอบสารสกัดสกลนครตัวอย่างชิ้นงานที่ 3 เจือจาง 10:1:10 ดังภาพ 4.24



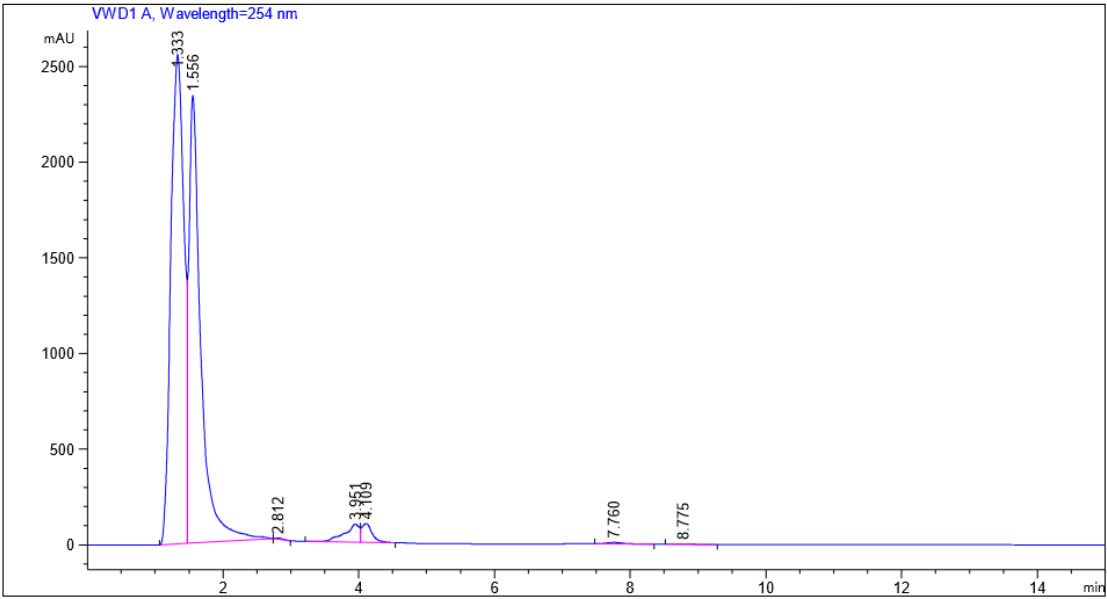
ภาพ ก-19 กราฟความสัมพันธ์ พื้นที่ และ ความเข้มข้น บุริรัมย์ตัวอย่างชิ้นงานที่ 3

ผลการตรวจสอบสารสกัดสกลนครตัวอย่างชิ้นงานที่ 4 เจือจาง 10:1:30 ดังภาพ 4.25



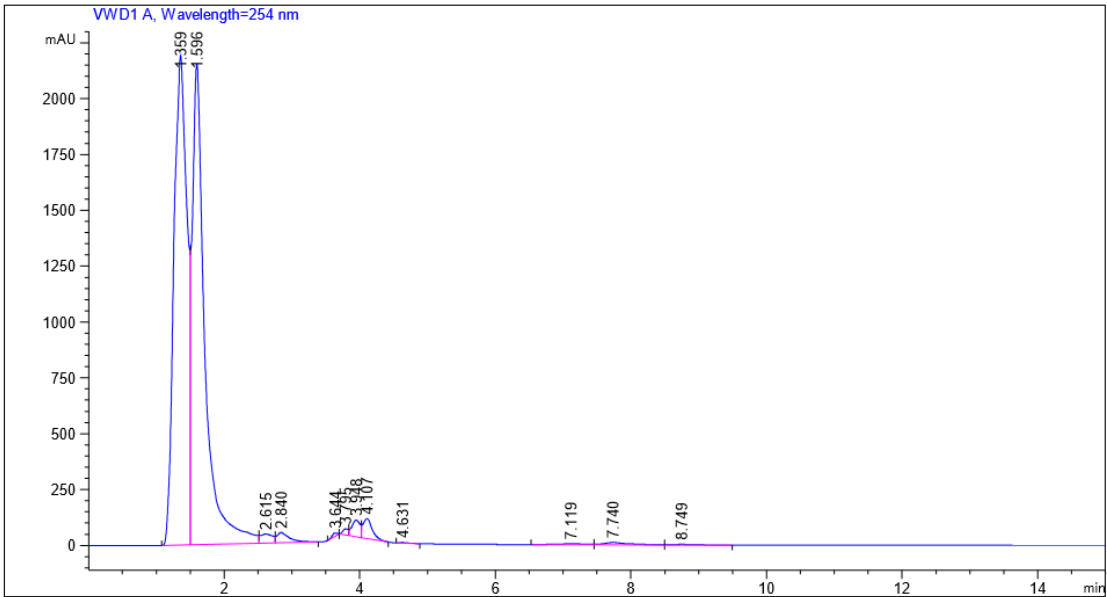
ภาพ ก-20 กราฟความสัมพันธ์ พื้นที่ และ ความเข้มข้น บุริรัมย์ตัวอย่างชิ้นงานที่ 4

ผลการตรวจสอบสารสกัดสกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 5 เจือจาง 10:3:30 ดังภาพ 4.26



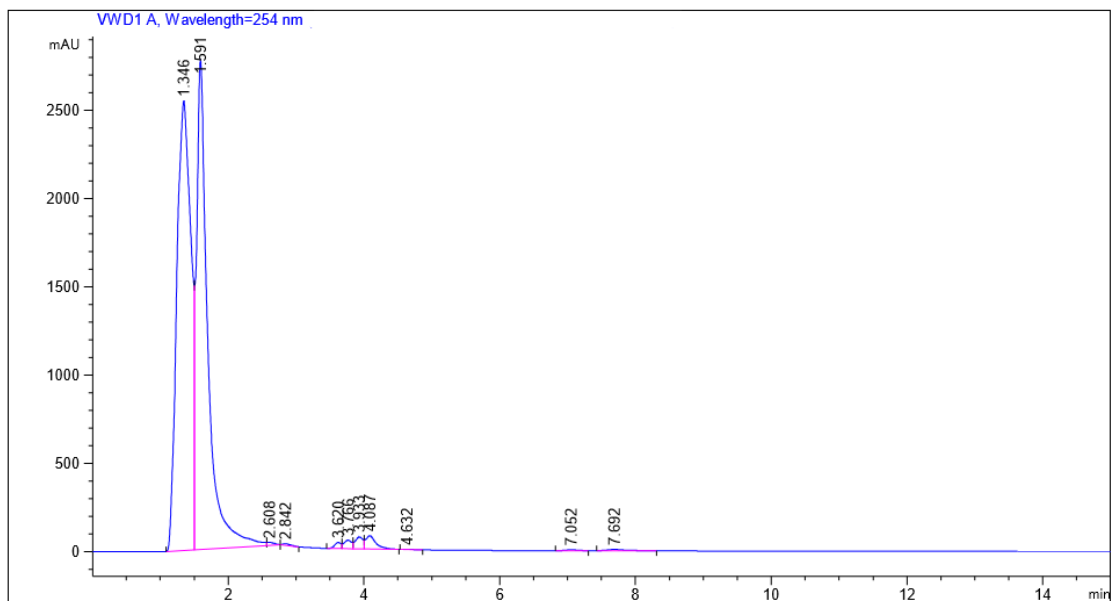
ภาพ ก-21 กราฟความสัมพันธ์ พื้นที่ และความเข้มข้น บุริรัมย์ตัวอย่างขึ้นงานที่ 5

ผลการตรวจสอบสารสกัดสกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 6 เจือจาง 5:1:30 ดังภาพ 4.27



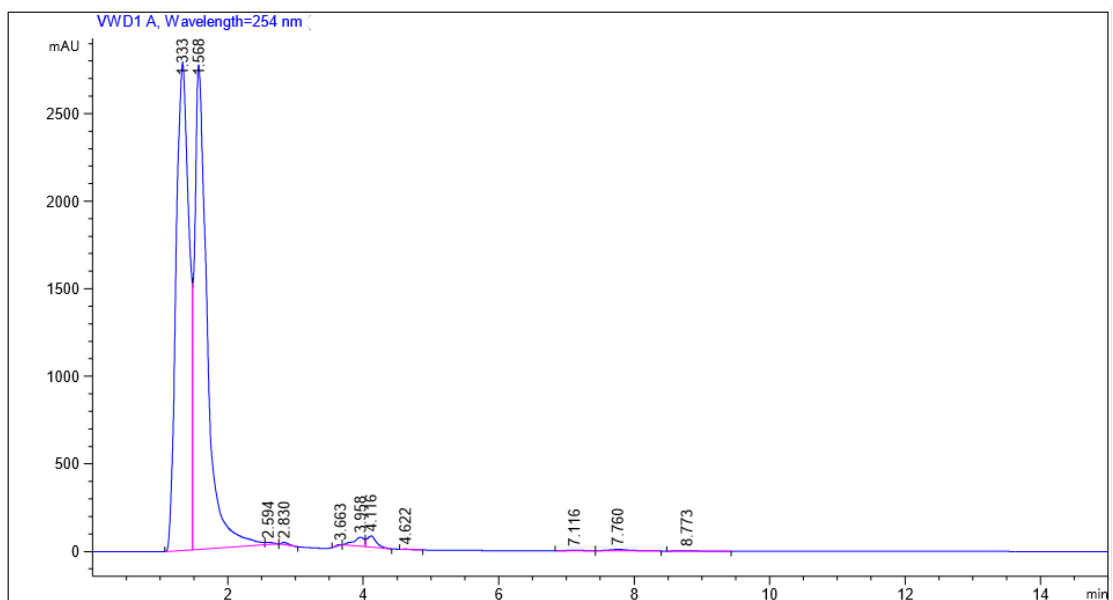
ภาพ ก-22 กราฟความสัมพันธ์ พื้นที่ และความเข้มข้น บุริรัมย์ตัวอย่างขึ้นงานที่ 6

ผลการตรวจสอบสารสกัดสกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 7 เจือไน 10:3:10 ดังภาพ 4.28



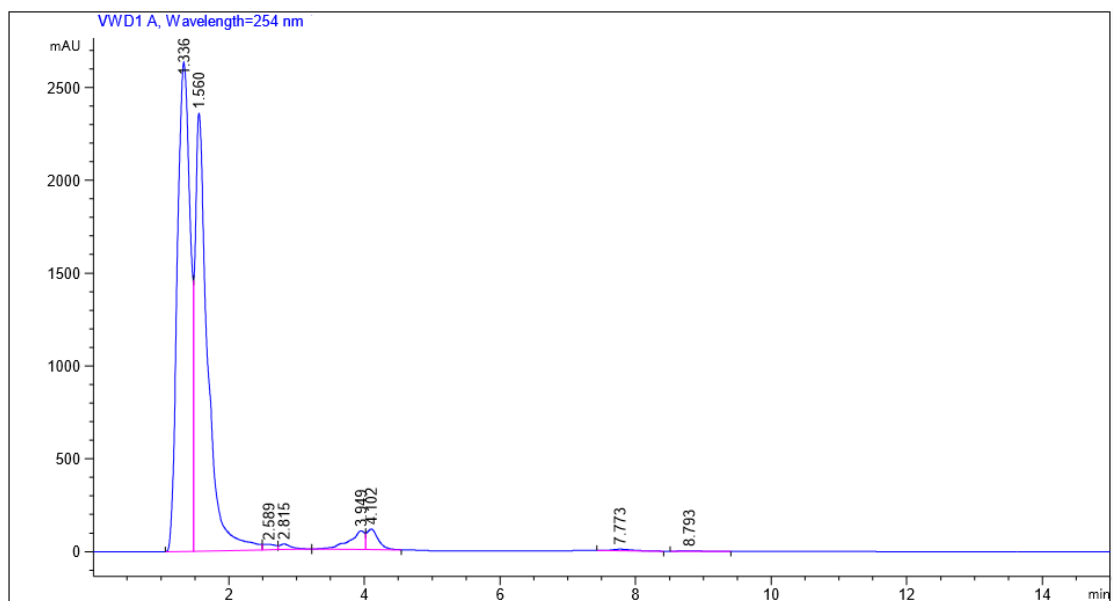
ภาพ ก-23 กราฟความสัมพันธ์ พื้นที่ และความเข้มข้น บุริรัมย์ตัวอย่างขึ้นงานที่ 7

ผลการตรวจสอบสารสกัดสกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 8 เจือไน 5:3:30 ดังภาพ 4.29



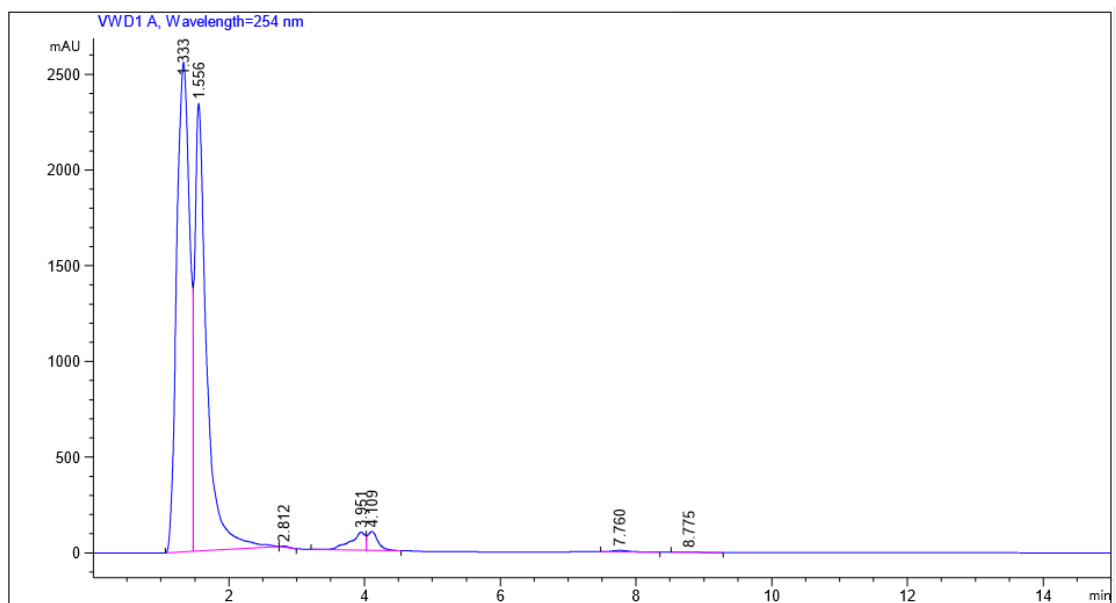
ภาพ ก-24 กราฟความสัมพันธ์ พื้นที่ และความเข้มข้น บุริรัมย์ตัวอย่างขึ้นงานที่ 8

ผลการตรวจสอบสารสกัดสกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 9 เงื่อนไข 10:1:30 ดังภาพ 4.30



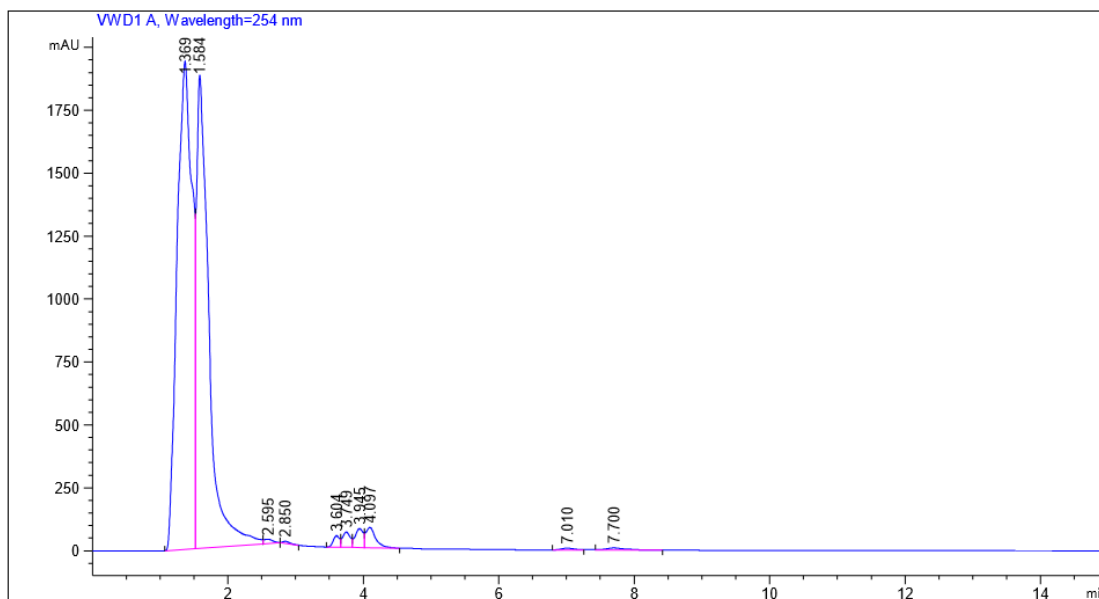
ภาพ ก-25 กราฟความสัมพันธ์ พื้นที่ และความเข้มข้น บุริรัมย์ตัวอย่างขึ้นงานที่ 9

ผลการตรวจสอบสารสกัดสกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 10 เงื่อนไข 10:3:30 ดังภาพ 4.31



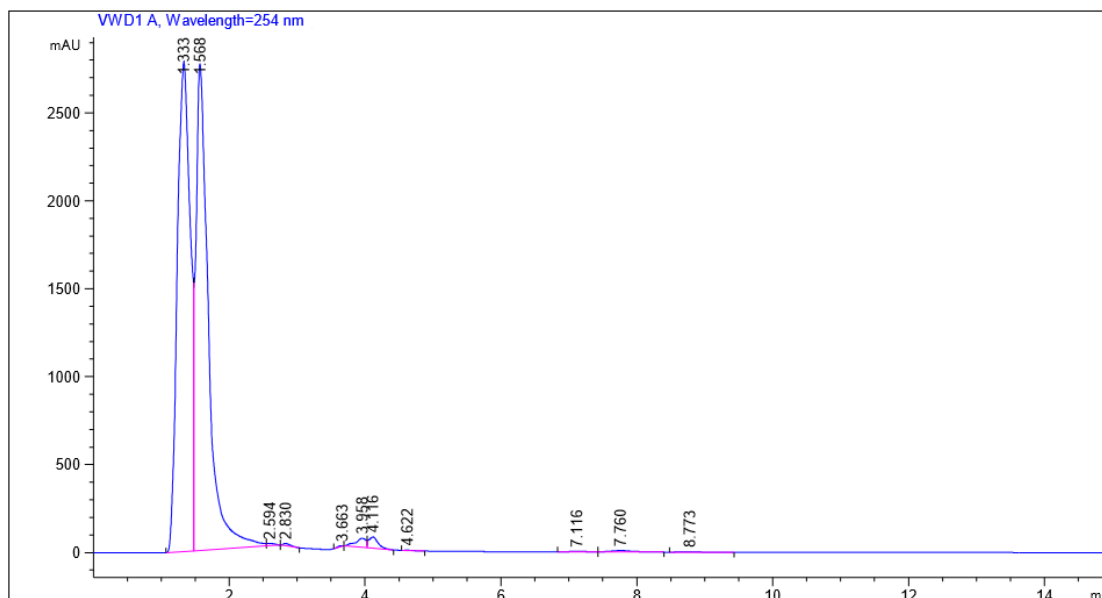
ภาพ ก-26 กราฟความสัมพันธ์ พื้นที่ และความเข้มข้น บุริรัมย์ตัวอย่างขึ้นงานที่ 10

ผลการตรวจสอบสารสกัดสกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 11 เงื่อนไข 5:3:10 ดังภาพ 4.32



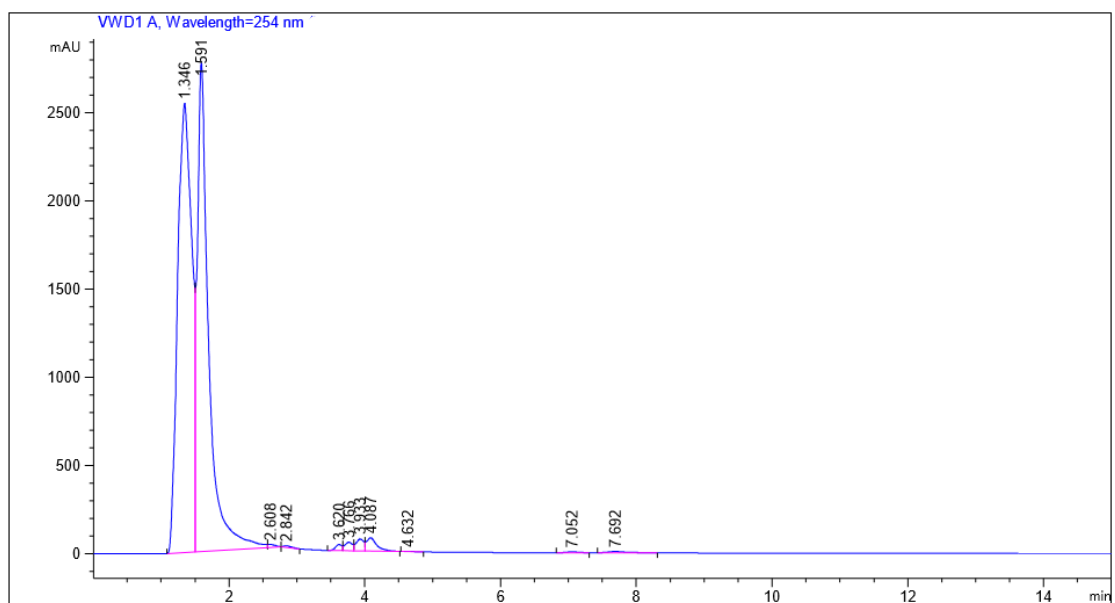
ภาพ ก-27 กราฟความสัมพันธ์ พื้นที่ และความเข้มข้น บุริรัมย์ตัวอย่างขึ้นงานที่ 11

ผลการตรวจสอบสารสกัดสกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 12 เงื่อนไข 5:3:30 ดังภาพ 4.33



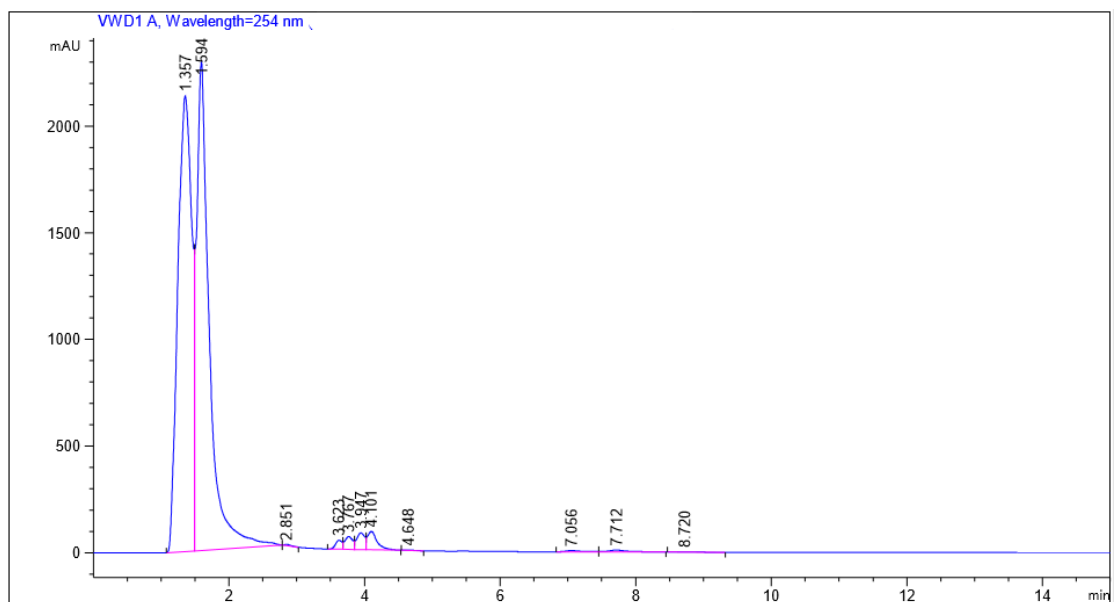
ภาพ ก-28 กราฟความสัมพันธ์ พื้นที่ และความเข้มข้น บุริรัมย์ตัวอย่างขึ้นงานที่ 12

ผลการตรวจสอบสารสกัดสกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 13 เงื่อนไข 10:3:10 ดังภาพ 4.34



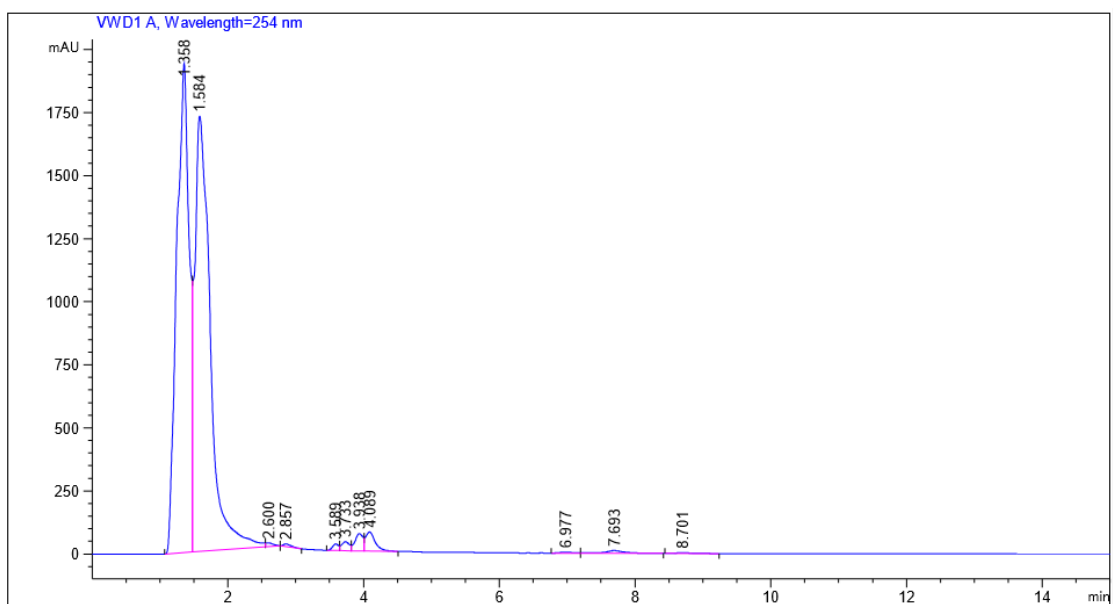
ภาพ ก-29 กราฟความสัมพันธ์ พื้นที่ และความเข้มข้น บุริรัมย์ตัวอย่างขึ้นงานที่ 13

ผลการตรวจสอบสารสกัดสกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 14 เงื่อนไข 10:1:10 ดังภาพ 4.35



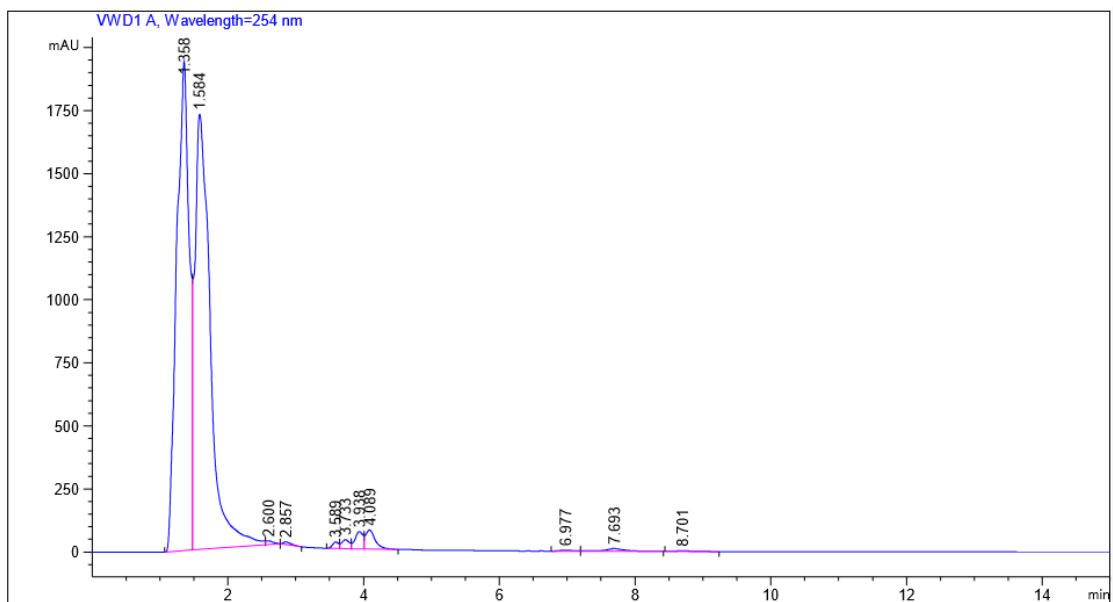
ภาพ ก-30 กราฟความสัมพันธ์ พื้นที่ และความเข้มข้น บุริรัมย์ตัวอย่างขึ้นงานที่ 14

ผลการตรวจสอบสารสกัดสกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 15 เจือจาง 5:1:10 ดังภาพ 4.36



ภาพ ก-31 กราฟความสัมพันธ์ พื้นที่ และความเข้มข้น บัวรัมย์ตัวอย่างขึ้นงานที่ 15

ผลการตรวจสอบสารสกัดสกลนครตัวอย่างขึ้นงานที่ 16 เจือจาง 5:1:10 ดังภาพ 4.37



ภาพ ก-32 กราฟความสัมพันธ์ พื้นที่ และความเข้มข้น บัวรัมย์ตัวอย่างขึ้นงานที่ 16

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นาย ขวกร เป้าประจักษ์

รหัสนักศึกษา 590610572

วัน เดือน ปี เกิด 6 มกราคม 2540

ที่อยู่ปัจจุบัน 330/51 หมู่ที่ 2 ต.หนองจ่อม อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50210

ประวัติการศึกษา :

ระดับมัธยมปลายจาก โรงเรียนมงฟอร์ตวิทยาลัยแผนกมัธยม จังหวัดเชียงใหม่

ปัจจุบัน ศึกษาในระดับอุดมศึกษา ชั้นปีที่ 4 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชา

วิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สถานที่ฝึกงาน บริษัท เคฮิน (ไทยแลนด์) จำกัด

