การออกแบบการทดลองแบบผสมเพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด ในการผลิตทินเนอร์สำหรับสีพ่นรถยนต์แห้งเร็วไนโตรเซลลูโลส

The Mixture Experiment Design for the Parameters Optimization of Nitrocellulose Automotive Refinish Paint Thinner Formulation

คำนำ

อุตสาหกรรมสีพ่นรถยนต์ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศมากขึ้น โดยเฉพาะเมื่อมีการขยายตัวอย่างรวดเร็วของธุรกิจอสังหาริมทรัพย์และอุตสาหกรรมรถยนต์ ในปัจจุบันอุตสาหกรรมสีทุกชนิดมีผู้ผลิตทั้งสิ้นมากกว่า 60 รายและผลิตภัณฑ์เกี่ยวเนื่องอีกมากกว่า 200 ราย จัดเป็นอุตสาหกรรมที่มีการแข่งขันสูง เนื่องจากมีมูลค่ามากกว่า 10,000 ล้านบาท (เรวดี 2540) นอกจากนี้ยังเป็นอุตสาหกรรมที่มีกระบวนการผลิตที่ง่ายไม่ต้องอาศัยเทคโนโลยีและเครื่องมือมากนัก จึงมีแนวโน้มว่าจะมีผู้ผลิตรายใหม่เข้าสู่อุตสาหกรรมอีกเป็นจำนวนมาก

สีสำหรับพ่นรถยนต์ (Automotive Refinish Paint) เป็นสีที่ใช้ในโรงงานผลิตรถยนต์และอู่พ่นสีรถยนต์อาจพ่นทั้งคันหรือพ่นเฉพาะแผลจากอุบัติเหตุรวมทั้งแก้ไขการผุกร่อนของตัวถังรถ มีส่วนแบ่งการตลาดร้อยละ 26 คิดเป็นมูลค่า 2,600 ซึ่งสูงเป็นอันดับที่สองของตลาดสี โดยรองจากสีทาอาคาร ที่มีส่วนแบ่งการตลาดร้อยละ 65 คิดเป็นมูลค่า 6,500 ล้าน (เรวดี 2540) จะสังเกตได้ว่าสีสำหรับพ่นรถยนต์นั้น ใช้ในอุตสาหกรรม ผลิตรถยนต์เพียงอย่างเดียวแต่มีมูลค่าในตลาดสีเป็นจำนวนที่สูง เป็นเพราะว่ามีต้นทุนการผลิตมากกว่าสีประเภทอื่นๆ

ส่วนประกอบของสีพ่นรถยนต์ที่สำคัญอย่างหนึ่งได้แก่ตัวทำละลาย (Solvent) ซึ่งทำหน้าที่ลดความหนืดของสีเพื่อความสะดวกในการผลิตและทำให้ง่ายต่อการใช้งาน การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายสารยึดเกาะหรือไนโตรเซลลูโลสเป็นคุณสมบัติสำคัญ ตัวทำละลายที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายคือ ทินเนอร์ (Thinner) เพราะนอกจากจะทำละลายได้ดีแล้วยังช่วยให้สีแห้งเร็วอีกด้วย โดยที่ทินเนอร์ที่ใช้เฉพาะในงานพ่นรถยนต์มีจะชื่อเรียกทางการค้าว่า ทินเนอร์สำหรับสีพ่นรถยนต์แห้งเร็วไนโตรเซลลูโลส (Nitrocellulose Automotive Refinish Paint Thinner)

ส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของทินเนอร์สำหรับสีพ่นรถยนต์แห้งเร็วไนโตรเซลลูโลสได้แก่ โทลูอีน (Toluene) หรือไซลีน (Xylene) สารประกอบประเภทคีโตน (Ketone) หรือเอสเทอร์ (Ester) และสารประกอบประเภทแอลกอฮอล์ (Alcohol) โดยเฉพาะโทลูอีนหรือไซลีนนั้นมีอยู่มากถึงประมาณร้อยละ 60 โดยปริมาตร เป็นสารอินทรีย์จากปิโตรเลียม ซึ่งมีการผลิตในประเทศน้อยจึงต้องมีการนำเข้าดังนั้นต้นทุนในการผลิตทินเนอร์จึงมีราคาสูง ทำให้ผู้ผลิตส่วนใหญ่มีความพยายามที่จะปรับปรุงส่วนผสมหรือสูตรของทินเนอร์อยู่เสมอ เพื่อให้มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุด แต่ยังคงไว้ซึ่งคุณภาพที่ลูกค้าพึงพอใจ

งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะค้นหาส่วนผสมที่เหมาะที่สุดของทินเนอร์สำหรับสีพ่นรถยนต์แห้งเร็วไนโตรเซลลูโลส ให้มีคุณภาพเป็นที่พอใจแก่ลูกค้าในขณะเดียวกันก็มีต้นทุนที่ต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยนำเอาทฤษฎีต่างๆของการออกแบบการทดลองแบบผสม มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ร่วมกับแนวทางการทดสอบคุณภาพของทินเนอร์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อออกแบบการทดลองหาระดับของส่วนผสมของทินเนอร์สำหรับสีพ่นรถยนต์แห้งเร็วไนโตรเซลลูโลสที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ให้มีคุณภาพที่ดีที่สุดโดยมีต้นทุนที่ต่ำที่สุดและเพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์หาระดับที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการผลิตอื่นๆในงานอุตสาหกรรมประเภทของผสม

ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้จะออกแบบการทดลองหาระดับของส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดของทินเนอร์สำหรับสีพ่นรถยนต์แห้งเร็วไนโตรเซลลูโลสเท่านั้น มิได้เกี่ยวข้องกับทินเนอร์ประเภทอื่นๆ โดยอาศัยแนวทางการทดสอบคุณสมบัติของทินเนอร์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมร่วมกับประสบการณ์ของผู้ประกอบการในโรงงานที่เป็นกรณีศึกษา

การตรวจเอกสาร

1. ทินเนอร์สำหรับสีพ่นรถยนต์แห้งเร็วไนโตรเซลลูโลส

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้ให้ความหมายของสีพ่นรถยนต์แห้งเร็วไนโตรเซลลูโลสเอาไว้ว่า สีพ่นรถยนต์แห้งเร็วไนโตรเซลลูโลส (Nitrocellulose Automotive Refinish Paint) หมายถึงสีที่ประกอบด้วย ไนโตรเซลลูโลส อัลขีด เรซิน ผงสี และอื่นๆ ที่ระเหยและแห้งเองได้เร็วและเกิดเป็นฟิล์มทึบแสง เหมาะสำหรับเคลือบผิวโลหะโดยเฉพาะรถยนต์

ทินเนอร์สำหรับสีพ่นรถยนต์แห้งเร็วไนโตรเซลลูโลส (Nitrocellulose Automotive Refinish Paint Thinner) หมายถึงทินเนอร์ที่เหมาะสำหรับใช้ผสมกับสีพ่นรถยนต์แห้งเร็วไนโตรเซลลูโลส มีลักษณะเป็นของเหลวโปร่งใสที่ระเหยง่าย ใช้ผสมกับสีเพื่อช่วยลดความหนืด และจะต้องผสมกับสีได้หมดเป็นเนื้อเดียวกันที่อุณหภูมิธรรมดา โดยไม่ทำให้ส่วนผสมตกตะกอนในขณะที่อยู่ในภาชนะบรรจุ หรือในฟิล์มขณะที่กำลังแห้ง และได้กำหนดปริมาณส่วนผสมต่างๆ ของทินเนอร์สำหรับสีพ่นรถยนต์แห้งเร็วไนโตรเซลลูโลสชั้นโดยประมาณไว้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงส่วนประกอบโดยประมาณของทินเนอร์สำหรับสีพ่นรถยนต์แห้งเร็วไนโตรเซลลูโลส

ส่วนประกอบ	ร้อยละโดยปริมาตร
1. ไซลีนหรือโทลูอีนต้อง ไม่เกิน	60
2. สารประกอบประเภทเอสเทอร์หรือ คีโตน รวมกันแล้วต้องไม่น้อยกว่า	30
3. สารประกอบประเภท แอลกอฮอล์ รวมกันแล้วต้องไม่เกิน	10

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (มอก.520/2527)

2. <u>สารเคมีนิยมใช้ผลิตทินเนอร์สำหรับสีพ่นรถยนต์แห้งเร็วไนโตรเซลลูโลส</u>

กรมควบคุมมลพิษ (2548) ได้แนะนำสารเคมีชนิดต่าง ๆ ที่มีคุณสมบัติที่สามารถนำมาผลิตทินเนอร์สำหรับสีพ่นรถยนต์แห้งเร็วไนโตรเซลลูโลส มีรายการดังต่อไปนี้

2.1 โทลูอีน (Toluene)

2.1.1 สูตรทางเคมี C_7H_8

2.1.2 ลักษณะทั่วไปทางกายภาพ เป็นของเหลวใสไม่มีสี ระเหยง่าย มีกลิ่นหอมหวานของอะโรมาติก ไม่ละลายน้ำแต่สามารถละลายได้ในแอลกอฮอล์ เบนซินและอีเทอร์ เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน มีความถ่วงจำเพาะ 0.873 (วัดที่อุณหภูมิ 25 $^{\circ}$C)

2.1.3 ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรม ใช้ในอุตสาหกรรมทำทินเนอร์ พลาสติก หมึกพิมพ์ น้ำหอมและวัตถุระเบิด เป็นส่วนประกอบของน้ำมันรถยนต์เพื่อเพิ่มออกเทนให้สูงขึ้น และใช้ผสมในน้ำมันเครื่องบิน

2.1.4 โทษต่อร่างกาย เป็นของเหลวที่ไวไฟมาก ไอระเหยของสารเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินอาหาร สารนี้มีผลทำลาย ตับ ไต กระเพาะปัสสาวะ และสมอง ร่างกายสามารถทนไอระเหยได้ 100 ส่วนในล้านส่วนของอากาศ

2.2 เมทธิลเอทธิลคีโตน (Methyl Ethyl Ketone)

2.2.1 สูตรทางเคมี C_4H_8O

2.2.2 ลักษณะทั่วไปทางกายภาพ เป็นของเหลวใสไม่มีสี ระเหยง่ายมีกลิ่นหอมเฉพาะตัว ละลายน้ำได้เล็กน้อย ละลายในแอลกอฮอล์ เบนซินและน้ำมันต่างๆได้ดี เป็นสารประกอบประเภทคีโตน มีความถ่วงจำเพาะ 0.793 (วัดที่อุณหภูมิ 25 $^{\circ}$C)

2.2.3 ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรม ใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับไนโตรเซลลูโลสแลคเกอร์ สี ทินเนอร์ กาวยาง หนังเทียม และใช้เป็นส่วนประกอบของน้ำยาลอกสี

2.2.4 โทษต่อร่างกาย เป็นของเหลวที่ไวไฟมาก ไอของสารมีพิษสูงมาก มีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง ปอด หน้าอก ระบบหายใจ ตับ รบกวนทางเดินอาหารและมีผลเป็นสารเสพติด ร่างกายสามารถทนไอระเหยได้ 100 ส่วนในล้านส่วนของอากาศ

2.3 อะซิโตน (Acetone)

2.3.1 สูตรทางเคมี C_3H_6O

2.3.2 ลักษณะทั่วไปทางกายภาพ เป็นของเหลวใสไม่มีสี ระเหยง่ายมีกลิ่นหอมเฉพาะตัว เป็นสารประกอบประเภทคีโตน ละลายได้น้ำ, ไฮโดรคาร์บอน, อีเทอร์และแอลกอฮอล์ มีความถ่วงจำเพาะ 0.807 (วัดที่อุณหภูมิ 25 °C)

2.3.3 ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรม ใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับไนโตรเซลลูโลส แลคเกอร์ สี ทินเนอร์ กาวยาง หนังเทียม แก้วนิรภัย เครื่องสำอางค์ และใช้เป็นส่วนประกอบของน้ำยาลอกสี ใช้เป็นตัวสกัดน้ำมันพืช น้ำมันหล่อลื่น ใช้เป็นน้ำยาทำความสะอาดในอุตสาหกรรมอิเล็คทรอนิคและใช้ในงานเภสัชกรรม

2.3.4 โทษต่อร่างกาย เป็นของเหลวที่ไวไฟมาก ถ้าสูดดมไอมากๆจะมีอาการมึนศีรษะ วิงเวียนและหมดสติ ถ้าดื่มเข้าไป จะทำให้ระบบย่อยอาหารเสีย มีอาการเมาและหมดสติ การสัมผัสนาน ๆ หรือเป็นประจำทางผิวหนัง จะก่อให้เกิดการระคายเคืองอย่างรุนแรง หรืออาจทำให้เกิดการอักเสบของผิวหนังได้ สารนี้มีผลทำลายปอด ทรวงอก ไต ท่อไต กระเพาะปัสสาวะร่างกายสามารถทนไอระเหยได้ 1000 ส่วนในล้านส่วนของอากาศ

2.4 เอทิล อะซิเตต (Ethyl Acetate)

2.4.1 สูตรทางเคมี $C_4H_8O_2$

2.4.2 ลักษณะทั่วไปทางกายภาพ เป็นของเหลว ใส ไม่มีสี ระเหยง่าย มีกลิ่นหอม เป็นสารประกอบประเภทเอสเทอร์ สารนี้ละลายในแอลกอฮอล์ อีเทอร์ กลีเซอรีน และไฮโดรคาร์บอน มีความถ่วงจำเพาะ 0.903 (วัดที่อุณหภูมิ 25 °C)

2.4.3 ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรม ใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับไนโตรเซลลูโลส แชล็ค และยาง ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่นผลิตสี ทินเนอร์ กาว พลาสติก เครื่องหนัง ใช้ทำเครื่องสำอางและงานเภสัชกรรม ใช้ในการสังเคราะห์สารอินทรีย์และในการผลิตไหมเทียม

2.4.4 โทษต่อร่างกาย สารนี้มีผลทำลายดวงตา ผิวหนัง และระบบทางเดินหายใจ ไอระเหยที่ความเข้มข้นสูงๆ จะทำให้ปวดศีรษะ รู้สึกมึนงงและหมดสติ การสัมผัสทางผิวหนังจะทำให้เกิดการอักเสบและทำลายชั้นไขมันของผิวหนังอย่างรุนแรง ร่างกายสามารถทนไอระเหยได้ 400 ส่วนในล้านส่วนของอากาศ

2.5 ไอโซบิวทิลแอลกอฮอล์ (Isobutyl Alcohol)

2.5.1 สูตรทางเคมี $C_4H_{10}O$

2.5.2 ลักษณะทั่วไปทางกายภาพ เป็นของเหลว ใส ไม่มีสี ระเหยง่าย มีกลิ่นฉุนเล็กน้อย เป็นสารประกอบประเภทอัลกอฮอล์ ละลายได้ในแอลกอฮอล์ คลอโรฟอร์ม อีเทอร์ และไฮโดรคาร์บอน ละลายน้ำได้เล็กน้อย มีความถ่วงจำเพาะ 0.804 (วัดที่อุณหภูมิ 25 °C)

2.5.3 ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรม สารนี้นำไปใช้เป็นตัวทำละลายในการผลิตสีแชล็ค มะนิลาและแลคเกอร์เพื่อช่วยลดการเป็นฝ้าเมื่อสัมผัสความชื้น ใช้ผสมน้ำยาทำความสะอาดและผสมของไหลในระบบไฮโดรลิก ใช้ในการผลิตสารเติมแต่งในพลาสติก และน้ำหอม

2.5.4 โทษต่อร่างกาย การหายใจเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคือง จมูกและลำคอและระบบทางเดินหายใจ การหายใจเข้าไปในปริมาณมากจะทำให้มีอาการไอและหายใจติดขัด มีฤทธิ์กดระบบประสาทส่วนกลาง ก่อให้เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน เวียนศีรษะและอาจหมดสติได้ ถ้ากลืนเข้าไปในปริมาณมากจะทำให้เกิดอาการที่รุนแรงขึ้นจนเสียชีวิต มีฤทธิ์ทำลายตับและไต ร่างกายสามารถทนไอระเหยได้ 100 ส่วนในล้านส่วนของอากาศ

2.6 ไอโซโพรพานอลแอลกอฮอล์ (Isopropanol Alcohol)

2.6.1 สูตรทางเคมี C_3H_8O

2.6.2 ลักษณะทั่วไปทางกายภาพ เป็นของเหลวใส ไม่มีสี ระเหยง่าย มีกลิ่นคล้ายเอทิลแอลกอฮอล์ เป็นสารประกอบประเภทอัลกอฮอล์ ละลายได้ในน้ำ แอลกอฮอล์และอีเทอร์ มีความถ่วงจำเพาะ 0.787 (วัดที่อุณหภูมิ 25 °C)

2.6.3 ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรม ใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับไนโตรเซลลูโลส แชล็ค มะนิลาและเรซิน ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่นทำหัวน้ำหอม สีย้อม หมึกพิมพ์ สารเคมีซักล้าง ใช้ทำเครื่องสำอาง และงานเภสัชกรรม

2.6.4 โทษต่อร่างกาย การหายใจเข้าไปไม่เป็นอันตรายมาก แต่เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ อาการที่แสดงต่อมาเมื่อได้รับสารเพิ่มขึ้น คือ ปวดหัว คลื่นไส้ และอาเจียน ถ้าได้รับปริมาณสูงขึ้นอาจทำให้หมดสติหรือตายได้ การสัมผัสถูกผิวหนังเป็นเวลานาน จะทำให้ผิวหนังแห้งและแตก ร่างกายสามารถทนไอระเหยได้ 400 ส่วนในล้านส่วนของอากาศ

2.7 เมทิลอัลกอฮอล์ (Methanol)

2.7.1 สูตรทางเคมี CH_4O

2.7.2 ลักษณะทั่วไปทางกายภาพ เป็นของเหลว ใส ไม่มีสี ระเหยง่าย มีกลิ่นคล้ายเอทิลอัลกอฮอล์ เป็นสารประกอบประเภทอัลกอฮอล์ ละลายได้ในน้ำ แอลกอฮอล์ คีโตนและไฮโดรคาร์บอน มีความถ่วงจำเพาะ 0.793 (วัดที่อุณหภูมิ 25 °C)

2.7.3 ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรม ใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับไนโตรเซลลูโลส มะนิลา เรซิน ใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่นเภสัชกรรม หมึกพิมพ์ สีย้อม และทินเนอร์ นอกจากนี้ยังใช้ล้างไขมันบนแผ่นโลหะก่อนชุบและใช้ผสมน้ำมันเครื่องบินเพื่อป้องกันการระเบิด

2.7.4 โทษต่อร่างกาย การหายใจเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคือง ตา จมูก ลำคอ และทางเดินหายใจ มีฤทธิ์กดระบบประสาทส่วนกลาง ทำให้ปวดศีรษะ เวียนศีรษะ ง่วงนอน ถ้าสัมผัสในปริมาณมากจะทำให้อาการเข้าขีดอันตรายถึงขั้นเสียชีวิต เนื่องจากระบบหายใจล้มเหลว การสัมผัสถูกผิวหนัง จะทำให้เกิดการสูญเสียชั้นไขมันของผิวหนัง ทำให้ผิวหนังแห้ง แตก และเกิดผื่นแดง การกลืนหรือกินเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคืองเยื่อเมือกของปากและลำคอ ร่างกายสามารถทนไอระเหยได้ 200 ส่วนในล้านส่วนของอากาศ

2.8 นอร์มอลบิวทิลอะซิเตท (Normal Butyl Acetate)

2.8.1 สูตรทางเคมี $C_6H_{12}O_2$

2.8.2 ลักษณะทั่วไปทางกายภาพ เป็นของเหลวใส ไม่มีสี ระเหยง่าย มีกลิ่นหอมคล้ายผลไม้ เป็นสารประกอบประเภทคีโตน ละลายได้ในแอลกอฮอล์และอีเทอร์ และไฮโดรคาร์บอน ละลายในน้ำได้เล็กน้อย มีความถ่วงจำเพาะ 0.883 (วัดที่อุณหภูมิ 25 °C)

2.8.3 ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรม ใช้ในอุตสาหกรรมทำสี ทินเนอร์ แลคเกอร์ เครื่องหนัง น้ำหอมและเครื่องสำอางค์ ใช้ในการสกัดสารทำเครื่องปรุงรส ใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับไนโตรเซลลูโลส ยาง มะนิลาและพลาสติก

2.8.4 โทษต่อร่างกาย การหายใจเข้าไปเป็นสาเหตุทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจทำให้มีอาการไอ หายใจถี่ และอาจทำให้มึนเมา การสัมผัสถูกผิวหนังจะทำให้ไขมันบริเวณผิวหนังลดลง จนเกิดการระคายเคืองและผิวเปลี่ยนสี ถ้ากระเด็นเข้าตาจะทำให้เกิดการระคายเคืองอย่างรุนแรง จะทำให้กระจกตาไหม้ได้ สารนี้ทำลายเลือด ปอด ตับ ทรวงอก และเป็นอันตรายต่อทารกในครรภ์ ร่างกายสามารถทนไอระเหยได้ 100 ส่วนในล้านส่วนของอากาศ

2.9 เอทิลไกลคอลอะซิเคท (Ethylglycol Acetate)

2.9.1 สูตรทางเคมี $C_6H_{12}O_3$

2.9.2 ลักษณะทั่วไปทางกายภาพ เป็นของเหลวใส ไม่มีสี ระเหยง่าย มีกลิ่นคล้ายเอสเทอร์ เป็นสารประกอบประเภทคีโตน ละลายได้ในแอลกอฮอล์และอีเทอร์ และไฮโดรคาร์บอน ละลายในน้ำได้เล็กน้อย มีความถ่วงจำเพาะ 0.975 (วัดที่อุณหภูมิ 25 $^{\circ}$C)

2.9.3 ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรม ใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับไนโตรเซลลูโลส ในอุตสาหกรรมทำสี ทินเนอร์ เครื่องหนัง หมึกพิมพ์ และสิ่งทอ ใช้เป็นส่วนประกอบในน้ำยาลอกสี และใช้ผสมแลคเกอร์เพื่อลบรอยแปรง

2.9.4 โทษต่อร่างกาย การหายใจเข้าไปในปริมาณมากจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ การสัมผัสถูกผิวหนังติดต่อกันเป็นเวลานานทำให้ผิวหนังอักเสบ สารนี้สามารถดูดซึมผ่านผิวหนังได้ และเป็นอันตรายต่อตับ ไต เลือด ทางเดินอาหาร ท่อไต ตลอดจนกระเพาะปัสสาวะ และทำให้ระบบประสาทส่วนกลางถูกทำลาย สารนี้เป็นอันตรายต่อทารกในครรภ์ ร่างกายสามารถทนไอระเหยได้ 100 ส่วนในล้านส่วนของอากาศ

2.10 ไอโซโพรพิลอะซิโตน (Isopropyl Acetone)

2.10.1 สูตรทางเคมี $C_6H_{12}O$

2.10.2 ลักษณะทั่วไปทางกายภาพ เป็นของเหลวใส ไม่มีสี ระเหยง่าย มีกลิ่นของคีโตน เป็นสารประกอบประเภทคีโตน ละลายได้ในน้ำมันต่างๆ และในตัวทำละลายอินทรีย์ทุกชนิด ละลายในน้ำได้เล็กน้อย มีความถ่วงจำเพาะ 0.803 (วัดที่อุณหภูมิ 25 $^{\circ}$C)

2.10.3 ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรม ใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับไนโตรเซลลูโลส ในอุตสาหกรรมทำสี ทินเนอร์ เครื่องหนังเทียม หมึกพิมพ์ กาวยางและใช้ในการแยกขี้ผึ้งและน้ำมันออกจากน้ำมันปิโตรเลียม

2.10.4 โทษต่อร่างกาย การหายใจเข้าไปในปริมาณมากอาจเกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ อาการที่แสดงต่อมาเมื่อได้รับสารในปริมาณที่เพิ่มขึ้นคือ ปวดศีรษะ คลื่นไส้ และอาเจียน ร่างกายสามารถทนไอระเหยได้ 100 ส่วนในล้านส่วนของอากาศ

2.11 ไซลีน (Xylene)

2.11.1 สูตรทางเคมี C_8H_{10}

2.11.2 ลักษณะทั่วไปทางกายภาพ เป็นของเหลวใส ไม่มีสี ระเหยง่าย มีกลิ่นเฉพาะตัวเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ละลายได้ในแอลกอฮอล์ อีเทอร์ ไม่ละลายน้ำ มีความถ่วงจำเพาะ 0.875 (วัดที่อุณหภูมิ 25 $^{\circ}$C)

2.11.3 ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรม ใช้เป็นตัวทำละลายไขมัน น้ำมัน จารบีในอุตสาหกรรมทำสี แลคเกอร์ กาวยางและทำใยสังเคราะห์ ใช้เป็นน้ำมันเครื่องบินและใช้เป็นตัวกลางในการสังเคราะห์วิตามินในงานเภสัชกรรม

2.11.4 โทษต่อร่างกาย การสัมผัสถูกผิวหนังจะก่อให้เกิดการระคายเคือง เกิดแผลแสบไหม้ และทำให้ผิวหนังอักเสบ การกลืนหรือกินเข้าไป เป็นอันตรายต่อร่างกาย ทำให้มีการขับของน้ำลายออกมามาก มีเหงื่อออก คลื่นไส้ อาเจียน ท้องร่วงและเบื่ออาหาร มีฤทธิ์ทำลายระบบประสาท เม็ดเลือดเลือด ดวงตา หู ตับ ไต และเป็นอันตรายต่อทารกในครรภ์ ร่างกายสามารถทนไอระเหยได้ 100 ส่วนในล้านส่วนของอากาศ

3. <u>การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของทินเนอร์</u>

ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อปรับปรุงคุณภาพหรือค้นหาส่วนผสมที่ดีที่สุด จำเป็นต้องมีการทดสอบและวิเคราะห์คุณภาพของทินเนอร์สำหรับสีพ่นรถยนต์แห้งเร็วไนโตรเซลลูโลสที่ปรับปรุงส่วนผสมใหม่โดยอาศัยแนวทางการทดสอบ ที่สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมและผู้ประกอบการแนะนำไว้ดังนี้

3.1 ทดสอบการเกิดคราบ

ทินเนอร์สำหรับสีพ่นรถยนต์แห้งเร็วไนโตรเซลลูโลสที่มีคุณภาพดีเมื่อแห้งแล้วต้องไม่ทิ้งรอยคราบ ทดสอบโดยวางกระดาษกรองวัตแมนเบอร์ 42 บนกระจกนาฬิกาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 เซนติเมตร ใช้ปิเปตที่สะอาดและแห้งดูดทินเนอร์ตัวอย่างที่ผสมได้มา 0.2 ลูกบาศก์เซนติเมตร หยดลงบนกระดาษกรอง ทิ้งไว้จนแห้งแล้วตรวจพินิจรอยคราบที่เหลืออยู่บนกระดาษกรองโดบส่องดูกับแสงสว่าง

3.2 ทดสอบความสามารถในการทำละลายสีพ่นรถยนต์แห้งเร็วไนโตรเซลลูโลส

ทินเนอร์สำหรับสีพ่นรถยนต์แห้งเร็วไนโตรเซลลูโลสต้องมีความสามารถในการทำละลายได้ดี ทดสอบความสามารถในการทำละลายได้โดยวัดที่ความเร็วในการทำละลายหรือตีสีแตกได้หมด ทดสอบได้โดยเตรียมขวดแก้วรูปกรวยขนาด 100 ลูกบาศก์เซนติเมตรวางลงบนกระดาษสีขาวเพื่อให้มองเห็นการแตกตัวของสีได้อย่างชัดเจน

เติมทินเนอร์ตัวอย่างลงไป 50 ลูกบาศก์เซนติเมตรใช้ปิเปตดูดสีพ่นรถยนต์แห้งเร็วชั้นคุณภาพทางการค้า 0.1 cc หยดลงในขวดแก้วรูปกรวยที่ใส่ทินเนอร์โดยเปิดนิ้วมือให้สีไหลลงมาอย่างช้าๆ จนหมด จับเวลาตั้งแต่สีหยดลงไปหมดปิเปตจนกระทั่งสีแตกตัวหมดภายใต้สภาพความชื้นสัมพัทธ์ 55 % และอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จากการสอบถามผู้ที่ทำงานพ่นสีรถยนต์ ทินเนอร์ที่ทีคุณสมบัติของการละลายสีที่ดีไม่ควรใช้เวลานานเกิน 10 นาที

3.3 ทดสอบความเร็วในการแห้งตัวเมื่อผสมกับสีพ่นรถยนต์แห้งเร็วไนโตรเซลลูโลส

ทินเนอร์สำหรับสีพ่นรถยนต์แห้งเร็วไนโตรเซลลูโลสที่มีคุณภาพดีเมื่อผสมสีแล้วควรจะแห้งตัวได้อย่างรวดเร็วเนื่องจากต้องพ่นซ้ำอีกหลายครั้ง หากพ่นซ้ำในขณะที่สีเดิมยังไม่แห้ง จะมีรอยคลื่นและไม่เรียบเงา โดยทั่วไปจะทิ้งระยะเวลาในการพ่นซ้ำ 10 นาที

ทดสอบได้โดยผสมสีพ่นรถยนต์แห้งเร็วไนโตรเซลลูโลสชั้นคุณภาพทางการค้า 50 ลูกบาศก์เซนติเมตรกับทินเนอร์ตัวอย่างที่ผสมได้ 60 ลูกบาศก์เซนติเมตรในภาชนะที่สะอาด คนให้ละลายเข้ากันเทลงในกาพ่นสี พ่นลงบนแผ่นเหล็กขนาด 70×150×1 มิลลิเมตรให้ห่างจากชิ้นงานประมาณ 20 เซนติเมตร จับเวลาในการแห้งตัวของสีภายใต้สภาพความชื้นสัมพัทธ์ 55 % และอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

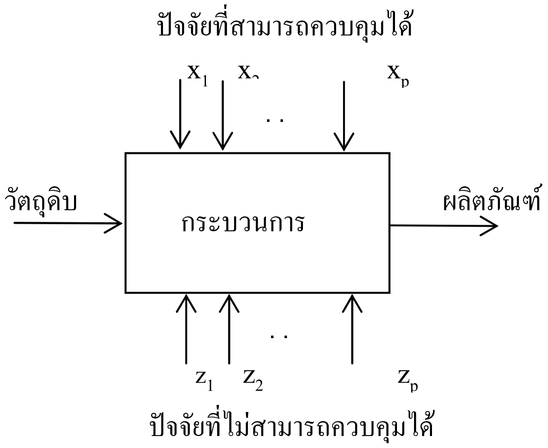
3.4 ทดสอบการติดแน่นหลังการพ่นลงบนพื้นผิวที่ใช้งาน

ทดสอบโดย นำแผ่นเหล็กที่ได้จากการทดสอบความเร็วในการแห้งตัว ในหัวข้อที่ 3.3 มาใช้ทดสอบต่อ โดยใช้ใบมีดที่มีมุมของคมมีด 30 องศา หรือคัตเตอร์ชนิดปลายแหลม วางบนแผ่นทดสอบทำมุมประมาณ 60 องศากับทิศทางของแนวที่จะขีด ขีดเป็นเส้นลึกถึงผิวเหล็กไปตามความ

ยาว และขวางให้ได้ตาราง 100 ช่องความกว้างของแต่ละช่องประมาณ 2 มิลลิเมตร แล้วใช้แถบกาวเซลโลเฟนขนาดหน้ากว้าง 24 มิลลิเมตร ปิดบนพื้นที่ๆ ขีดไว้ รีดให้เรียบแล้วดึงออกอย่างรวดเร็ว นับจำนวนชิ้นฟิล์มที่หลุดติดแผ่นกาวออกมา โดยการนับให้นำชิ้นฟิล์มที่หลุดไม่เต็มชิ้นรวมกันแล้วต้องไม่เกิน 1 ชิ้น

4. <u>การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)</u>

Montgomery (1991) กล่าวว่าการออกแบบการทดลองเชิงสถิติหมายถึงกระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ ซึ่งจะทำให้เราสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้ วัตถุประสงค์ของการทดลองคือเพื่อศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการทำงานของกระบวนการและระบบซึ่งแสดงดังภาพที่ 1



<u>ภาพที่ 1</u> แบบจำลองทั่วไปของกระบวนการผลิต

จากภาพที่ 1 กระบวนการคือการนำเอาทรัพยากรทั้งหลายที่เป็นปัจจัยของการผลิตได้แก่ คน เครื่องจักร วัตถุดิบและวิธีการ มาเปลี่ยนให้เป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งตัวแปรในกระบวนการผลิต บางชนิดเป็นตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ แต่บางตัวก็เป็นตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้น วัตถุประสงค์หลักๆของการออกแบบการทดลองจึงมีดังต่อไปนี้

1. หาตัวแปรที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์มากที่สุด
2. หาวิธีการปรับตั้งตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ
3. หาวิธีการปรับตั้งตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแปรปรวนน้อยที่สุด
4. หาวิธีการปรับตั้งตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อผลิตภัณฑ์ เพื่อทำให้ผลของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้มีค่าน้อยที่สุด

4.1 หลักการพื้นฐานที่สำคัญของการออกแบบการทดลอง

4.1.1 การทำการทดลองซ้ำ (Replication) มีคุณสมบัติที่สำคัญสองประการคือ ทำให้ผู้ทดลอง สามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้และถ้าค่าเฉลี่ยถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลองแล้วการทำการทดลองซ้ำ จะสามารถทำให้ผู้ทดลองหาค่าประมาณที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้นในการประมาณผลกระทบนี้

4.1.2 การทำการทดลองแบบสุ่ม (Randomization) หมายถึง การทดลองที่มีลำดับของการทดลองและการใช้วัสดุอุปกรณ์ในการทดลองแบบสุ่ม เนื่องจากวิธีการเชิงสถิติกำหนดว่าข้อมูลหรือความผิดพลาดจะต้องมีการกระจายอย่างอิสระ การที่เราได้ทำการทดลองแบบสุ่ม จะทำให้เราลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจปรากฏในการทดลองได้

4.1.3 การทำการทดลองแบบบล็อก (Blocking) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรง (Precision) ให้แก่การทดลอง บล็อกอันหนึ่ง อาจหมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุ ที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน มากกว่าเซตทั้งหมดของวัสดุ

4.2 ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง

Montgomery (1991) กล่าวว่า การใช้วิธีเชิงสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง มีขั้นตอนในการดำเนินการดังต่อไปนี้

4.2.1 ทำความเข้าใจถึงปัญหา โดยการศึกษาและทำความเข้าใจในกระบวนการ เพื่อกำหนดปัญหาและวัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลองได้อย่างชัดเจน

4.2.2 เลือกปัจจัยและกำหนดค่าของปัจจัยที่ทำการทดลอง โดยตรวจสอบดูว่าปัจจัยใดมีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของผลการทดลอง

4.2.3 เลือกตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ใช้ในการวัดผลของกระบวนการ โดยจะเลือกตัวแปรตอบสนองที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่ทำการทดลองอยู่

4.2.4 เลือกวิธีการออกแบบการทดลอง ในการเลือกวิธีการออกแบบการทดลองจะต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองเสมอ เนื่องจากการออกแบบการทดลองมีมากมายหลายรูปแบบล้วนแต่มีรูปแบบเฉพาะ และมีความเหมาะสมกับการทดลองที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงขนาดของตัวอย่าง จำนวนการทดลองซ้ำและการบล็อกด้วย

4.2.5 ทำการทดลอง ติดตามดูการทำงานของกระบวนการอย่างระมัดระวัง เพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินการทุกอย่างเป็นไปตามแผน ถ้ามีอะไรผิดพลาดเกี่ยวกับการทดลองในขั้นนี้ จะทำให้การทดลองนี้ใช้ไม่ได้

4.2.6 วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้หลักการทางสถิติ คือการนำเอาวิธีการทางสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อหาข้อสรุปว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลองหรือไม่

4.2.7 สรุปผลการทดลองและทำข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้ตั้งกระบวนการคราวต่อไป

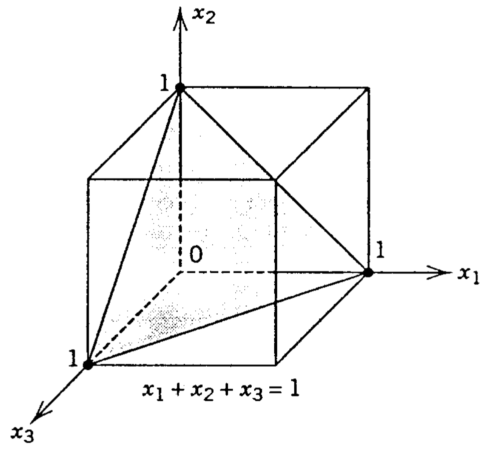
5. <u>การทดลองแบบผสม (Mixture Experiment)</u>

Myers and Montgomery (2002) กล่าวว่าการออกแบบการทดลองแบบผสม คือการทดลองวิเคราะห์ค่าผลตอบที่เป็นฟังค์ชันของเปอร์เซ็นต์ของส่วนประกอบ (Components) ยกตัวอย่างเช่นการทดสอบความเหนียวของเส้นใยผ้า ที่เป็นผลมาจากสัดส่วนของการผสมส่วนประกอบของการทอเส้นใยสามชนิดคือ ใยฝ้าย ใยสังเคราะห์และใยลินิน เป็นต้น มีวัตถุประสงค์คือสำรวจผลตอบเพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ของแต่ละส่วนประกอบที่จะทำให้ผลตอบมีค่าที่ดีที่สุด หรือเป็นไปตามที่ผู้ทดลองต้องการ

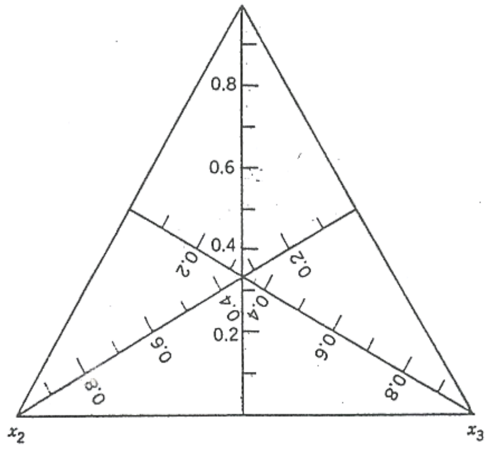
การทดลองแบบผสมเป็นการออกแบบพื้นผิวผลตอบประเภทหนึ่งที่มีข้อจำกัดคือ ระดับของปัจจัยหรือส่วนประกอบจะไม่เป็นอิสระต่อกัน ยกตัวอย่างเช่น ถ้าของผสมที่จะทำการทดลองประกอบไปด้วย 3 ส่วนผสมแล้ว เป็นไปได้ว่าแต่ละส่วนผสมจะถูกใช้เป็นสัดส่วนตั้งแต่ 0 เปอร์เซ็นต์จนถึง 100 เปอร์เซ็นต์ และผลรวมของแต่ละส่วนผสมจะต้องเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์พอดี หรือคิดเป็น 1 ส่วน ข้อจำกัดนี้ถูกแสดงเป็นกราฟฟิกดังรูปที่ 2 ช่องว่างระหว่างปัจจัย (ส่วนที่แรเงา) สำหรับการออกแบบจะรวมเอาค่าทั้งหมดของทั้งสามส่วนผสม ที่อยู่บนส่วนของเส้นตรง $x_1+x_2+x_3 = 1$ ซึ่งแต่ละส่วนผสมจะถูกจำกัดด้วยขอบเขต 0 และ 1 สำหรับแต่ละจุดยอดของสามเหลี่ยมเรียกว่า

เป็นส่วนผสมบริสุทธิ์ (Pure Blend) นั่นคือส่วนผสมที่มี 100 เปอร์เซ็นต์ของส่วนประกอบนั้นเพียงอย่างเดียว

เมื่อมี 3 ส่วนผสมบริเวณของการทดลองที่ถูกจำกัดสามารถเขียนอยู่บนกราฟแกนสามเส้นดังแสดงในรูปที่ 3 แต่ละด้านของทั้งสามด้านจะไม่มีส่วนผสมของทั้งสามส่วนประกอบนี้ และจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆถึง 100 เปอร์เซ็นต์ (ชื่อของส่วน ประกอบจะถูกเขียนอยู่ที่จุดยอดที่อยู่ตรงกันข้าม)



<u>ภาพที่ 2</u> ช่องว่างที่ถูกจำกัดของปัจจัยของส่วนผสมที่มี 3 ส่วนผสม



<u>ภาพที่ 3</u> ระบบโคออร์ดิเนทแกนสามเส้น

Scheffe (1973) ได้แนะนำการออกแบบโครงตาข่ายอย่างง่าย (Simplex Lattice Design) เพื่ออำนวยความสะดวกในการเลือก สูตรผสมให้กับผู้ทดลองโดยเลือกมาจาก สูตรผสมทั้งหมดที่เป็นไปได้จริงซึ่งมีจำนวนนับไม่ถ้วน การออกแบบโครงตาข่ายอย่างง่าย (Simplex Lattice Design) สำหรับ p ส่วนผสม สามารถกำหนดได้ ด้วยพิกัด (Coordinate) ต่อไปนี้

$$x_i = 0, 1/m, 2/m, \ldots, 1$$

เมื่อ x_i แทนสัดส่วนของส่วนประกอบที่ i
m แทนส่วนแบ่งที่เท่ากันของส่วนประกอบที่ i
p แทนจำนวนส่วนผสม
$i = 1, 2, 3, \ldots, p$
$m = 1, 2, 3, \ldots, p$

จำนวนสูตรผสมที่ผู้ทดลองต้องผสมทั้งหมดที่ระบุบนโครงตาข่ายอย่างง่าย คำนวณได้จาก

$$N = (p+m-1)!/(m!(p-1)!)$$

เช่น จำนวนสูตรที่ผสมจาก 3 ส่วนผสม เมื่อกำหนดให้ m = 2 จะได้ 6 สูตรดังนี้

$$(x_1, x_2, x_3) = (1, 0, 0), (0, 1, 0), (0, 0, 1), (1/2, 1/2, 0),$$
$$(1/2, 0, 1/2), (0, 1/2, 1/2)$$

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของการออกแบบการทดลองแบบผสมจะแตกต่างจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ใช้การวิเคราะห์การถดถอยตามปกติ รูปแบบมาตรฐานของแบบจำลองการถดถอยที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือ

แบบเชิงเส้น $$y = b_0 + \sum_{i=1}^{k-1} b_i x_i$$

แบบควอดราติก $$y = b_0 + \sum_{i=1}^{k-1} b_i x_i + \sum_{i=1}^{k-1} b_{ii} x_i^2 + \sum_{i<j=2}^{k-1} b_{ij} x_i x_j$$

เราเรียกส่วน $\sum_{i=1}^{k-1} b_i x_i$ ว่าส่วนผสมเชิงเส้น (Linear Blending Portion) และเมื่อมีส่วนโค้งที่เกิดขึ้นเนื่องจากสวนผสมที่ไม่เป็นเชิงเส้นระหว่างคู่ของส่วนประกอบจะมีพารามิเตอร์ b_{ij} เกิดขึ้น พารามิเตอร์นี้จะแสดงส่วนผสมที่มีอันตรกิริยา (Interaction) ต่อกัน ซึ่งอาจเป็นการส่งเสริมกัน (Synergisms) หรือขัดแย้งกัน (Antagonisms) ก็ได้

5.1 การมีขีดจำกัดล่างของส่วนประกอบ

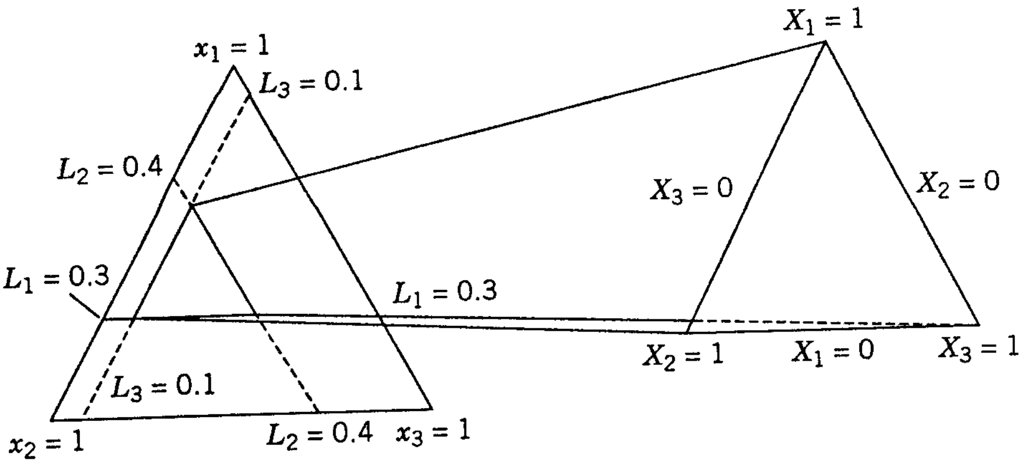
ในหลายๆการทดลอง จะพบว่าจำเป็นต้องมีการกำหนดค่าต่ำที่สุดที่จะเป็นไปได้ให้แก่ส่วนผสมบางตัว อาจเนื่องมาจากเหตุผลของการทำปฏิกิริยาในกรณีที่เป็นสารเคมี เหตุผลด้านการลดต้นทุน หรือเหตุผลอื่น ๆ จะใช้สัญลักษณ์ $L_i \leq x_i \leq 1$, i = 1,2,3,…q โดยที่ L_i แทนขอบเขตล่าง ซึ่งหมายถึงปริมาณน้อยที่สุดที่ยอมให้มีได้ของส่วนผสมนั้น ๆ

ภาพที่ 4 แสดงให้เห็นการมีขอบเขตล่างเพียงอย่างเดียวของส่วนผสมสามชนิด เมื่อขีดเส้นจำกัดขอบเขตแล้ว บริเวณที่เป็นไปได้ของการผสมยังเป็นรูปสามเหลี่ยม หมายความว่าการออกแบบโครงตาข่ายอย่างง่าย ยังคงสามารถนำมาใช้งานได้ เพียงแต่ต้องมีการปรับตัวเลข โดยอาศัยวิธีเทียบบัญญัติไตรยางค์ให้มีส่วนประกอบรวมได้ 100 % เพื่อให้ค่าขอบเขต สอดคล้องกับการนำไปผสมจริง เรียกส่วนผสมในการออกแบบผลึกว่าส่วนผสมเทียม (Pseudo Components) และส่วนผสมที่รวมได้ 100% ว่าส่วนผสมจริง (Real Components or Original Components)

การกำหนดส่วนผสมเทียมก็เพื่อให้ผู้ทดลองทราบตำแหน่งของจุดทดลองบนโครงตาข่ายอย่างง่าย และสามารถกระจายการเลือกจุดได้อย่างทั่วถึง ส่วนการกำหนดส่วนผสมจริงนั้นเพื่ออำนวยความสะดวกในการผลิตหรือทดลองผสมเนื่องจากแปลงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ในทันที

5.2 การมีขีดจำกัดบนของส่วนประกอบ

บางครั้งการผสมส่วนประกอบที่มีอันตรายมากหรือมีราคาต้นทุนที่สูง จำเป็นต้องกำหนดระดับว่ามิให้ใช้เกินค่าที่กำหนดไว้ จะใช้สัญลักษณ์ $0 \leq xi \leq Ui$, i = 1,2,3,…q โดยที่ Ui แทนขอบเขตบน ซึ่งหมายถึงปริมาณมากที่สุดที่ยอมให้มีได้ในส่วนผสม



ภาพที่ 4 แสดงการออกแบบ Simplex Lattice เมื่อส่วนประกอบมีขอบเขตล่าง
ที่มา: Lawson (2001)

การระบุเช่นนี้เท่ากับเป็นการมีขีดจำกัดบน หมายความว่าผู้ทดลองอาจไม่ใส่ส่วนประกอบนั้น ๆ เลย หรือจะใส่เท่าใดก็ได้ แต่ต้องไม่มากกว่าระดับที่กำหนดไว้ เมื่อตีกรอบอาณาบริเวณของสูตรการผสมที่เป็นไปได้นั้น พื้นที่ยังคงเป็นรูปสามเหลี่ยมอยู่ เพียงแต่เป็นสามเหลี่ยมที่กลับหัวลง เรียกว่าเป็นการออกแบบโครงตาข่ายอย่างง่ายแบบกลับหัว (Inverted Simplex Lattice Design) การออกแบบโครงตาข่ายอย่างง่ายจึงยังคงสามารถนำมาใช้ได้ แต่ต้องมีการปรับตัวเลขเช่นเดียวกับการมีขีดจำกัดล่างเพียงอย่างเดียวดังแสดงในตารางที่ 2

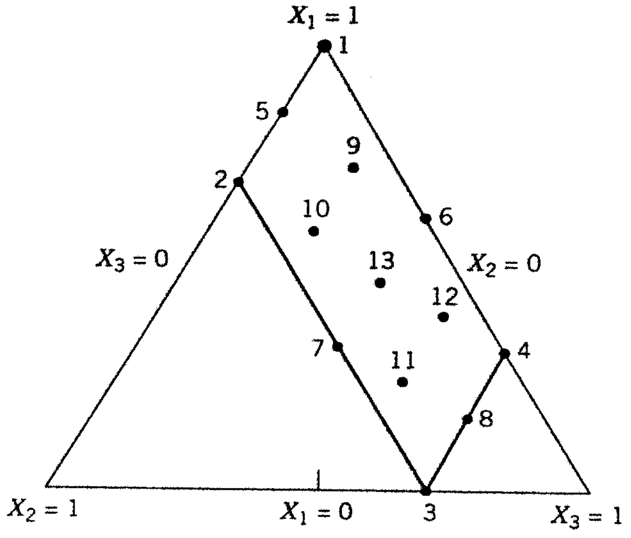
ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบการออกแบบส่วนผสมเทียมและส่วนผสมจริง

Pseudo Components			Original Components		
X_1	X_2	X_3	x_1	x_2	x_3
1	0	0	0.5	0.4	0.1
0	1	0	0.3	0.6	0.1
0	0	1	0.3	0.4	0.3
1/2	1/2	0	0.4	0.5	0.1
1/2	0	1/2	0.4	0.4	0.2
0	1/2	1/2	0.3	0.5	0.2
1/3	1/3	1/3	0.3667	0.4667	0.1666

5.3 การมีทั้งขีดจำกัดบนและล่างของส่วนประกอบ

ในกรณีที่ส่วนประกอบบางตัวหรือทุกตัว มีทั้งขอบเขตบนและขอบเขตล่าง เมื่อตีกรอบบริเวณที่เป็นไปได้แล้วมักไม่เป็นรูปสามเหลี่ยมแต่เป็นรูปหลายเหลี่ยม การออกแบบซิมเพลกซ์ไม่สามารถทำได้ ต้องเลี่ยงมาใช้การออกแบบ D-Optimal เพื่อคัดเลือกจุดทดลองที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขขีดจำกัด โดยคัดเลือกมาจากจุดทั้งหมดที่เป็นไปได้ และควรจะเป็นเลือกจุดที่สามารถระบุพิกัดได้โดยง่ายและถูกต้อง

สำหรับความละเอียดของการเลือกจุดที่จะนำมาทดลองผสมนั้น ขึ้นกับผู้ทดลองว่าต้องการตัวแบบทางคณิตศาสตร์อย่างไร โดยทั่วไปแล้วการทดลองแบบผสมมักต้องการให้มีเทอมอันตรกิริยาอยู่ในตัวแบบด้วย Lawson and Erjavec (2001) แนะนำว่าจุดที่จะถูกเลือกมาทดลองควรประกอบด้วย จุดยอดมุมของรูปหลายเหลี่ยมที่กำหนดได้ (Extreme Vertices), จุดกึ่งกลางด้าน (Edge Center), จุดศูนย์กลางของรูปหลายเหลี่ยมนั้น (Overall Centroid), จุดบนแกนสำคัญเช่นเส้นทแยงมุมหรือแกนสมมาตรของรูปหลายเหลี่ยมนั้น (Axial Point) ก็พอเพียงที่จะสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่มีเทอมอันตรกิริยาได้แล้วซึ่งจุดทั้งหมดที่กล่าวมานั้นแสดงให้เห็นดังภาพที่ 5



<u>ภาพที่ 5</u> แสดงการกำหนดจุดด้วยการออกแบบ D-Optimal

ที่มา: Lawson (2001)

6. การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยเป็นวิธีการทางสถิติอย่างหนึ่งที่ใช้ในการตรวจหาหรือตรวจสอบลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลสองชุดโดยข้อมูลชุดแรกเรียกว่าตัวแปรตามหรือตัวแปรตอบสนอง (Dependent or Response Variable) นิยมเขียนแทนด้วย Y อาจมีได้มากกว่าหนึ่งตัวและข้อมูลอีกชุดหนึ่งที่อาจมีมากกว่าหนึ่งตัวเช่นกัน เรียกว่าตัวแปรอิสระหรือตัวแปรพยากรณ์ (Independent or Predictor Variable) นิยมเขียนแทนด้วย x เพื่อนำความสัมพันธ์อันนี้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในอนาคต ซึ่งขั้นตอนการวิเคราะห์การถดถอยมีดังนี้

6.1 สร้างแบบจำลองการถดถอย

ปารเมศ (2545) กล่าวว่า ปัญหาส่วนมากเกี่ยวข้องกับตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันตั้งแต่สองตัวขึ้นไป แบบจำลองความสัมพันธ์ของตัวแปรเหล่านี้ จะถูกสร้างเพื่อนำไปพยากรณ์หาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการดำเนินกระบวนการ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเหล่านี้ จะถูกกำหนดโดยแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น คำว่าเชิงเส้นถูกนำมาใช้เนื่องจากว่า สมการเป็นฟังค์ชันเชิงเส้นของพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า β_j ปกติแล้วตัวแปรผลตอบ Y อาจเกี่ยวข้องกับตัวแปรถดถอย X เป็นจำนวน k ตัว สามารถเขียนรูปแบบฟังก์ชันทั่วไปได้คือ $Y = f(x_1, x_2, x_3, \ldots, x_k)$ ซึ่งมีแบบจำลองการถดถอยดังนี้

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \ldots + \beta_k x_{ki} + \varepsilon_i$$

เมื่อ Y_i แทน ค่าสังเกตที่ i ของตัวแปรตาม

x_{1i} แทน ค่าสังเกตที่ i ของตัวแปรอิสระ j

β_j แทน สัมประสิทธิ์ของการถดถอยลำดับที่ j

ε_I แทน ความคลาดเคลื่อน (error term) ของค่าสังเกตที่ i เป็นค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงของ Y กับค่า Y ที่คำนวณได้จากสมการถดถอย

$i = 1, 2, \ldots, n$

$j = 0, 1, 2, \ldots, k$ โดยที่ $x_{0i} = 1$

k = จำนวนตัวแปรอิสระ

n = จำนวนข้อมูล

ก่อนที่จะสร้างตัวแบบที่เหมาะสม ต้องเก็บรวบรวมข้อมูลเสียก่อนโดยข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ได้นั้นมีสมมติฐานว่า $\varepsilon_i \sim NID(0,\sigma^2)$ มีรายละเอียดดังนี้

1) ความคลาดเคลื่อน (error term , ε_i) ต้องมีการแจกแจงแบบปกติ
2) ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อน (error term , ε_i) มีค่าเท่ากับศูนย์
3) ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน (error term , ε_i) มีค่าคงที่ [$V(\varepsilon_i) = \sigma^2$]
4) ค่าความคลาดเคลื่อนแต่ละตัวเป็นอิสระต่อกัน [$Cov(\varepsilon_i,\varepsilon_j) = 0$ เมื่อ $i \neq j$]

ภายใต้สมมติฐานข้อแรก ความคลาดเคลื่อน (error term, ε_i) ต้องมีการแจกแจงแบบปกติ สามารถตรวจสอบได้ด้วยการทำ Normal Probability Plot คือการเขียนจุดแสดงค่าความคลาดเคลื่อนลงบนกระดาษกราฟการแจกแจงแบบปกติ ถ้าหากจุดที่เขียนบนกระดาษกราฟส่วนใหญ่มีการเรียงตัวในแนวเส้นตรง ก็สามารถสรุปได้ว่าความคลาดเคลื่อน มีการแจกแจงแบบปกติ

ภายใต้สมมติฐานข้อที่สองและสามว่า ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากับศูนย์ และมีความแปรปรวน เท่ากับค่าคงที่ [$V(\varepsilon_i) = \sigma^2$] ถ้าหากแบบจำลองการถดถอยที่สร้างขึ้นมีความเหมาะสมกับข้อมูลแล้ว ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นก็ไม่ควรจะมีรูปแบบใด ๆทั้งสิ้น ตรวจสอบได้จากการพล๊อดค่าความคลาดเคลื่อนเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากสมการถดถอย

ภายใต้สมมติฐานข้อสุดท้ายค่าความคลาดเคลื่อนแต่ละตัวเป็นอิสระต่อกัน ตรวจสอได้จากการพล๊อตค่าความคลาดเคลื่อนกับลำดับของการเก็บข้อมูล ลักษณะการกระจายของแผนภาพที่ได้ต้องไม่เกิดแนวโน้มหรือมีรูปแบบ (pattern) จึงจะเป็นการแสดงว่าข้อมูลแต่ละค่ามีความเป็นอิสระกันและไม่ขึ้นอยู่กับลำดับของการเก็บข้อมูล

6.2 การประมาณค่าพารามิเตอร์

จากแบบจำลองการถดถอยที่กล่าวมาแล้ว สมการถดถอยอาจเขียนได้ในรูปของเมตริกซ์คือ

$$Y = X\beta + \varepsilon$$