

การศึกษาหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมในด้านการประหยัดพลังงานของเครื่องดักฝุ่นแบบถุงกรอง
ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

Optimization for energy saving of bag filter in cement industry

วิฑูลย์ ภัคดิศรี¹, วรณี แพงจันทัก¹

Witoon Pukdeesri¹, Woranee Paengtuek

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่ควบคุมได้ที่มีผลต่อการปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของพัดลมดูดของเครื่องดักฝุ่นแบบถุงกรองและหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยที่ส่งผลให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของพัดลมดูดมีค่าต่ำสุดโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบ 2^k Factorial Design ของโปรแกรม Minitab 15 โดยมีค่าปัจจัยสภาวะการทำงานของเครื่องดักฝุ่นแบบถุงกรองที่ใช้ศึกษาทั้งหมด 6 ปัจจัยซึ่งประกอบด้วย ค่าความดันตกคร่อมถุงกรอง (A) ความเร็วลมในท่อลมดูด (B) ความเร็วลมภายในตัวเครื่องดักฝุ่น (C) แรงดันลมยิงทำความสะอาด (D) ระยะเวลาในการยิงทำความสะอาดถุง (E) ช่วงห่างในการยิงทำความสะอาดแต่ละช่วง (F) โดยมีแปรตัวตอบสนองคือปริมาณกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ขับพัดลมดูดของเครื่องดักฝุ่น (Y) ผลจากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่ควบคุมได้และส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญนั้นประกอบด้วย ค่าความดันตกคร่อมถุงกรอง (A) ความเร็วลมในท่อลมดูด (B) และอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย A กับ B วิธีการที่นำมาใช้ในการพิจารณาคือการเปรียบเทียบค่าความเชื่อมั่นที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (P-Value) ของค่าปัจจัยกับค่าความเสี่ยงหรือค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ ที่กำหนด (α) โดยหากค่าความเชื่อมั่นที่คาดว่าจะเกิดขึ้นของปัจจัยหรือผลของอิทธิพลร่วมของปัจจัยมีค่าน้อยกว่าค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ให้ถือว่าปัจจัยนั้นรวมทั้งผลของอิทธิพลร่วมมีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งในการศึกษานี้ได้กำหนดให้ค่าความเสี่ยงหรือความผิดพลาดที่ยอมรับได้เท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ ($\alpha = 0.05$) หรือค่าความเชื่อมั่นที่เกิดขึ้นเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์ ผลการศึกษาจากโปรแกรม Minitab 15 จะได้สมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปัจจัยสภาวะการทำงานกับค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของพัดลมดูด คือ $Y = 33.7 - 0.339A + 1.14B + 0.0147A*B$ จากนั้นนำสมการดังกล่าวมาหาทำการหาค่าสภาวะการทำงานที่ส่งผลให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของพัดลมดูดมีค่าต่ำสุดโดยใช้ฟังก์ชัน Solver ในโปรแกรม Microsoft offices excel ผลการศึกษาพบว่าค่าสภาวะของปัจจัยมีค่าดังนี้ คือ ค่าความดันตกคร่อมถุงกรอง (A) เท่ากับ 15 มิลลิบาร์ และ ค่าความเร็วลมในท่อลมดูด (B) เท่ากับ 18 เมตรต่อวินาที ซึ่งจะทำให้ค่าปริมาณกระแสไฟฟ้าของพัดลมดูดมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 53.1 แอมแปร์

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี ชั้น 6 อาคารปฏิบัติการและวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต) ต.คลองหนึ่ง อ. คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

Abstract

This research had the purpose to study the controllable factors affecting to filter fan motor current for bag filter and to find out the optimum conditions setting of the controllable factors that to minimize the filter fan motor current. The procedure of the experiment was designed 2^k Factorial design of Minitab 15 was employed to study for six operation parameters of bag filter following. There are pressure drop across filter bag (A), air velocity in de-dusting pipe line (B), can velocity (C), compress air purging pressure (D), compress air purging time (E), cleaning frequency (F). The response was the filter fan motor current(Y). The results analysis indicated that the significant of controllable factors was as follows: the pressure drop across filter bag (A), air velocity in de-dusting pipe line (B) and the interaction between factor A and factor B by compared between the probability value (P-Value) and the significant level (Alpha: α). If the p-value less than alpha that factor is show significant. but another factor or aliases of them not indicate the significant level at alpha (α) equal 0.05 by consider from P- Value. The filter fan motor current(Y) was found to be fitted by a regression model $Y = 33.7 - 0.339A + 1.14B + 0.0147A*B$. The optimization result that used by the solver function from Microsoft office excel to find the minimize of filter fan motor current that found the pressure drop across filter bag = 15 mbar, air duct velocity = 18 m/s, and the minimal filter fan motor current = 53.1 A

Keywords: Bag filter, Controllable factor, 2^k Factorial design, Optimization

คำนำ

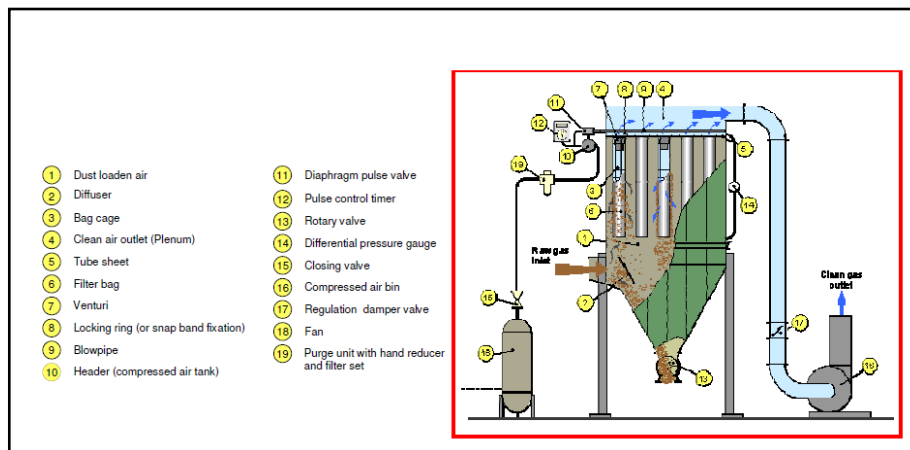
เครื่องดักฝุ่นแบบถุงกรองเป็นเครื่องจักรที่มีความสำคัญในกระบวนการดักจับฝุ่นที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์โดยการศึกษาวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาที่บริษัทปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน) สายการผลิตโรงงาน 2 ซึ่งมีปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมสำหรับเครื่องดักฝุ่นเท่ากับ 1,779 กิโลวัตต์ ทำให้มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าในส่วนนี้ถึง 30 ล้านบาทต่อปี หากสามารถหาแนวทางในการปรับปรุงการประสิทธิภาพทำงานของเครื่องจักรโดยปรับค่าสภาวะการทำงานให้เหมาะสมและส่งผลให้เกิดผลในด้านการประหยัดพลังงาน ก็จะมีส่วนช่วยให้องค์กรมีค่าใช้จ่ายด้านต้นทุนการผลิตที่ลดลง โดยที่ยังคงรักษาประสิทธิภาพในการดักฝุ่น

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเครื่องดักฝุ่นแบบถุงกรองที่ผ่านมานั้นทำการวิจัยเพื่อวัดความหนาและการกระจายตัวของฝุ่นที่จับอยู่บนผิวด้านนอกของถุงกรองพบว่าความหนาของฝุ่นมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆและมีค่ามากที่สุดเมื่อสิ้นสุดกระบวนการดักจับฝุ่นโดยค่าแรงดันตกคร่อมถุงมีค่าสูงขึ้นและมีค่ามากที่สุดหากระบบลมแรงดันทำ ความสะอาดถุงไม่ทำงานหรือหยุดไป(M. Saleem., 2006)

e-mail address: witoon.pukdeesri@sccc.co.th

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการหาค่าสภาวะที่เหมาะสมที่ผ่านมา เช่น การศึกษาถึงผลกระทบจากการนำ ยางรถยนต์มาใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของปริมาณยาง รถยนต์ที่ไม่ส่งผลกระทบต่อทั้งทางด้านสิ่งแวดล้อม และคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยใช้รูปแบบการออกแบบการ ทดลองแบบ RSM และนำค่าสภาวะของปัจจัยต่าง ๆ มาประมวลผลด้วยโปรแกรม Minitab 15 จากผล การศึกษาทำให้ทราบถึงค่าช่วงของปัจจัยแต่ละตัวที่เหมาะสมต่อผลตอบสนองที่สนใจ นั่นคืออัตราการป้อนยาง รถยนต์ที่เหมาะสมโดยไม่ส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ (สิทธิเดช, 2010)

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าสภาวะของปัจจัยการทำงานของเครื่องดักฝุ่นแบบถุงกรองที่ ส่งผลให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของมอเตอร์ขับเคลื่อนมีค่าต่ำสุดโดยมีตัวแปรสภาวะของปัจจัยและช่วงของ ค่าตัวแปรดังนี้ ความดันตกคร่อมถุงกรองฝุ่น (A) 7 – 15 มิลลิบาร์, ความเร็วลมในท่อลมดูด (B) 18-24 เมตร/ วินาที, ความเร็วลมภายในตัวเครื่องดักฝุ่น (C) 1.0 -1.3 เมตร/วินาที, แรงดันลมยิงทำความสะอาด (D) 4- 6 บาร์,ระยะเวลาในการยิงทำความสะอาด (E) 100 – 150 มิลลิวินาที, ช่วงห่างในการยิงทำความสะอาดในแต่ละ ช่วง (F) 7 -30 วินาที ซึ่งกระบวนการทำงานของเครื่องดักฝุ่นนั้นเริ่มจากลมสกปรกหรือลมที่มีฝุ่นจะไปตามท่อ ทางดูดและไหลรวมกันเข้าทางด้านล่างของตัวเครื่องดักฝุ่น จากนั้นลมสกปรกทั้งหมดจะไหลเข้ามาปะทะ ด้านนอกของถุงกรองและฝุ่นทั้งหมดจะถูกดักจับที่ตัวถุงกรอง จากนั้นลมสะอาดที่ผ่านการกรองแล้วจะ ไหลผ่านตรงกลางถุงและลมที่ผ่านการกรองของแต่ละถุงแล้วจะไหลมารวมกันในห้องลมที่สะอาดของ เครื่องดักฝุ่นเมื่อลมสะอาดทั้งหมดไหลมารวมกันแล้วจากนั้นอากาศที่ผ่านการกรองทั้งหมดจะไหลออกที่ ปลายปล่องของเครื่องดักฝุ่น โดยรูปจำลองลักษณะการทำงานและอุปกรณ์ทั้งหมดของเครื่องดักฝุ่นสามารถ แสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบของเครื่องดักฝุ่นแบบถุงกรอง (Transport and Dust collecting Manual Version 1.05: Holcim Page B1/4)

อุปกรณ์และวิธีการ

หลักการและวิธีการที่นำมาใช้ในการศึกษาวิจัยนั้นคือการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าของมอเตอร์ขับเคลื่อนของเครื่องดักฝุ่นแบบถุงกรอง เพื่อหาจุดเหมาะสมของแต่ละปัจจัย ซึ่งเป็นการการศึกษาวิจัยเชิงทดลองโดยปรับค่าสภาวะการทำงานของเครื่องดักฝุ่น ซึ่งถุงกรองนั้นทำจากวัสดุโพลีเอสเตอร์โดยมีขนาดของถุงกรอง คือ (DxL=120x2950มิลลิเมตร) และมีจำนวนถุงกรองเท่ากับ 210 ถุง โดยชนิดของถุงกรองนั้นแสดงดังตารางที่ 1 และฝุ่นที่ทำการดักจับคือฝุ่นที่เกิดจากกระบวนการลำเลียงวัตถุดิบก่อนเข้าสู่กระบวนการบดวัตถุดิบ ซึ่งมีคุณสมบัติแสดงดังตารางที่ 2 ในการวิจัยนี้จะใช้ข้อมูลจากการทดลองมาทำการวิเคราะห์ ซึ่งจำเป็นต้องใช้ความรู้ความเข้าใจในเรื่องการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองเป็นอย่างมากเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยได้ที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองและเพื่อลดระยะเวลาในการทำการทดลอง การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้ใช้โปรแกรม Minitab Version 15 ช่วยในการสร้างแบบแผนการทดลอง โดยใช้รูปแบบของการออกแบบการทดลองเป็นแบบ 2^k Factorial design เพื่อใช้ศึกษาปัจจัยที่มีผลปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ขับเคลื่อนของเครื่องดักฝุ่นแบบถุงกรอง ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ ความดันตกคร่อมถุงกรอง (A) ความเร็วลมในท่อลมดูด(B) ความเร็วลมภายในตัวเครื่องดักฝุ่น (C) แรงดันลมยิงทำความสะอาด (D) ระยะเวลาในการยิงทำความสะอาดถุง (E) ช่วงห่างในการยิงทำความสะอาดแต่ละช่วง (F) ตัวตอบสนองคือปริมาณกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ขับเคลื่อนของเครื่องดักฝุ่น (Y) โดยออกแบบการทดลองนั้น มีตัวแปรที่สนใจศึกษา 6 ตัวแปร มีตัวแปรตอบสนอง 1 ตัวแปร และกำหนดให้มีค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เท่ากับ 0.05 (α) มีการทำการทดลองที่มุมเท่ากับ 64 จุด เพื่อให้แบบผลของแบบจำลองสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและผลของตัวแปรตอบสนองเป็นที่ยอมรับ ดังนั้นจะต้องทำการทดลองซ้ำเท่ากับ 2 ซ้ำ ซึ่งจะทำให้มีจำนวนของการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 128 การทดลอง เมื่อได้แผนการทดลองแล้วนำแผนการทดลองดังกล่าวมาลงในโปรแกรม Microsoft offices excel จากนั้นนำแผนการทดลองที่ได้ไปทำการทดลองปรับค่าสภาวะการทำงานของเครื่องจักรตามแผนการทดลองที่ได้และบันทึกค่าผลลัพธ์นั้นคือค่าของกระแสไฟฟ้าของพัดลมดูด จากนั้นนำผลดังกล่าวมาประมวลผลในโปรแกรม Minitab เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของแบบแผนการทดลอง โดยวิธีการที่ใช้ในการตรวจสอบคือการใช้หลักการของ ANOVA ซึ่งจะมีสมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ 3 ประการ คือ ข้อมูลที่ทำการทดลองทดสอบมีการแจกแจงของข้อมูลแบบปกติ ข้อมูลมีความแปรปรวนของข้อมูลแบบคงที่ ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเป็นแบบตัวแปรสุ่มและมีความเป็นอิสระต่อกันขั้นตอนต่อไปคือการทดสอบหาปัจจัยค่าสภาวะการทำงานที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง โดยใช้วิธีการเปรียบเทียบระหว่างค่าความเชื่อมั่นที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (P-Value) กับค่าความเสี่ยงหรือค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (α) และเมื่อทราบว่าปัจจัยใดมีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญแล้วขั้นตอนต่อไปที่มีความสำคัญอย่างมากคือการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสภาวะการทำงานของเครื่องจักรกับผลของตัวแปรตอบสนองนั้นคือค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าของพัดลมดูดซึ่งสามารถทำได้โดยใช้วิธีการของ Regression Analysis ของโปรแกรม Minitab 15 และขั้นตอนสุดท้ายซึ่งถือว่ามีผลสำคัญที่สุดของการศึกษาวิจัยนี้คือการหาค่าสภาวะปัจจัยที่มีผล

ทำให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของพัดลมดูดมีค่าต่ำสุด ซึ่งวิธีการที่ใช้คือการนำสมการความสัมพันธ์ที่ได้มาทำการหาค่าต่ำสุดของผลตอบสนอง โดยใช้ฟังก์ชัน Solver ในโปรแกรม Microsoft office excel 2010 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้คือค่าของสภาวะปัจจัยแต่ละตัว ที่ทำให้ผลตอบสนองมีค่าต่ำสุด

ตารางที่ 1 แสดงชนิดและคุณสมบัติของถุงกรองฝุ่น (Holcim Group Support Ltd CTS - Mechanical Process Technology)

Properties of Various Filter Media											Legend: 1 excellent 2 very good 3 good 4 fair 5 poor	
	Fabric, Trademark	Chemical Classification	DIN 60 001	Tensile strength N/mm ²	max. Operating Temperature [°C] long time short time		Acide Resist.	Alkali Resist.	Abrasion Resist.	Moist Heat Resist.	Price Rating	Density [g/m ³]
Natural Fibers	Cotton	Cellulose	(CO)	410-670	70-90	120	5	3	2	3-4	\$	150-400
	Wool	Keratin (protein)	(WO)	120-230	90	120	3-4	4	3-4	3-4	\$\$	400-600
	Acrilan, AC/AC	Polyacrylonitrile - copolymer	(PAN)	200-530	100-110	100-120	3	3-4	3-4	1	\$\$	500-600
	Dralon, Orion, Zefran, Dolanit	Polyacrylonitrile - homopolymer	(PAN)	200-530	110-120	120-140	2-3	3-4	3-4	1	\$\$	500-600
Synthetic	Polypropylene, Meraklon	Polypropylene	(PP)	260-640	90-100	100-120	1-2	1-2	1-2	1-2	\$	550
Organic Fibers	Trevira, Dacron, Terylene, Tergal, Vestan, Kodel	Polyester	(PES)	560-820	130-150	150-180 (dry)	3-4	3-4	2	5	\$	400-600
	Nylon, Perlon	Polyamide (aliphatic)		370-850	90-110	100-120	4	2	1-2	3-4	\$	300

ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติของฝุ่นที่ผ่านผ่านกระบวนการบดก่อนเข้าสู่กระบวนการเผาปูน (Holcim Group Support Basic Cement Chemistry)

	Raw Mix [%]
<u>L.o.I.</u> (Loss on ignition)	35.1
SiO₂	14.2
Al₂O₃	3.6
Fe₂O₃	2.0
CaO	42.0
MgO	1.7
SO₃	0.23
K₂O	0.61
Na₂O	0.22
TiO₂	0.17
Mn₂O₃	0.10
P₂O₅	0.06
Cl	0.01
Total	100.0

ผลและวิจารณ์การทดลอง

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Minitab 15 เพื่อใช้ในการออกแบบการทดลอง วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองรวมทั้งการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสภาวะการทำงานกับตัวแปรตอบสนองและทำที่ที่สุดคือใช้โปรแกรม Microsoft office excel 2010 เพื่อหาค่าของสภาวะของปัจจัยแต่ละตัวที่ส่งผลให้ค่าของผลตอบสนองมีค่าต่ำสุดนั่นคือค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าของพัดลมดูดซึ่งผลศึกษาโดยใช้โปรแกรม Minitab 15 และ Microsoft office excel 2010 สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

ตารางผลการทดลอง

ผลจากการใช้โปรแกรม Minitab 15 เพื่อสร้างแผนการทดลองตามตัวแปรปัจจัยสภาวะและระดับของปัจจัย ภายหลังจากปรับค่าสภาวะการทำงานของเครื่องดักฝุ่นตามแผนที่กำหนด ผลลัพธ์ที่ได้คือ ค่าปริมาณกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ขับพัดลมดูดซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดลองที่ระดับสภาวะของตัวแปรที่สนใจศึกษาที่ระดับต่าง ๆ ของตัวแปร

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A : Pressure drop (mbar)	B : Duct Velocity (m/s)	C : Can Velocity (m/s)	D : Purging Press (bar)	E : Purging Time (msec)	F : Frequency (sec)	y: Motor Current (A)
19	1	1	1	7	24	1	4	150	7	59.8
18	2	1	1	15	18	1	4	150	7	52.2
3	3	1	1	7	24	1	4	100	7	60.2
83	4	1	1	7	24	1	4	150	7	60.4
95	5	1	1	7	24	1.3	6	150	7	60.5
102	6	1	1	15	18	1.3	4	100	30	52.4

การทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลองการทดลอง

ก่อนทำการวิเคราะห์ข้อมูลนั้นตามหลักการของ ANOVA จำเป็นต้องทำการตรวจสอบสมมติฐานทั้ง 3 ประการ นั่นคือ การตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลแบบปกติ การตรวจสอบความแปรปรวนของข้อมูลแบบคงที่ การตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนเป็นตัวแปรสุ่มและมีความเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งผลจากการศึกษาจากโดยใช้โปรแกรม Minitab 15 โดยผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 2 ซึ่งจะเห็นว่ากราฟทั้งหมดมีรูปแบบเป็นไปตามสมมติฐานของ ANOVA นั่นหมายความว่า ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่ และข้อมูลมีการกระจายตัวแบบสุ่ม ซึ่งแนวทางในการพิจารณาสามารถแสดงดังรายละเอียดดังนี้

1. การตรวจสอบความน่าจะเป็นของรูปแบบการแจกแจงข้อมูลแบบปกติ (Normal probability Plot)

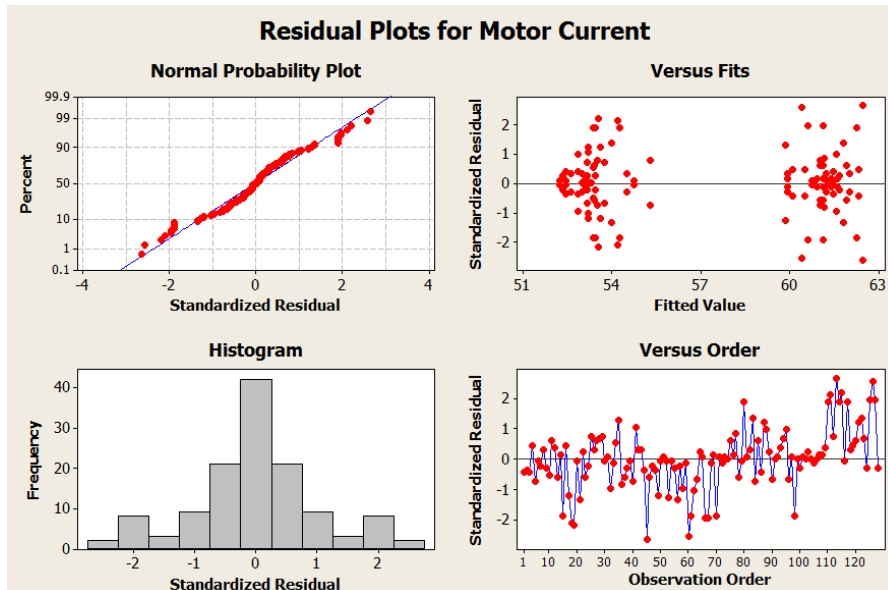
ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบสมมาตร (แบบปกติ) ข้อมูลจะอยู่ในตำแหน่งเส้น $Y=X$ ใน Symmetry Plot โดยโปรแกรม Minitab จะสร้างเส้นอ้างอิงในกราฟเพื่อเป็นเส้นอ้างอิงความสมมาตรของข้อมูล เมื่อทำการเปรียบเทียบจุดข้อมูลและเส้นอ้างอิงข้อมูลที่มีความสมมาตรมากจะมีจุดข้อมูลอยู่ใกล้เส้นอ้างอิง

2. การทดสอบความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อน

ข้อมูลมีค่าเฉลี่ยของความแปรปรวนคงที่รูปแบบของกราฟที่แสดงจะมีลักษณะของจุดแต่ละจุดมีการกระจายตัวรอบตรงที่ระดับศูนย์อย่างสม่ำเสมอ โดยจะมีการกระจายตัวในแนวนอน และไม่เป็นรูปลำโพงบานออก

3. การทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนเป็นตัวแปรสุ่มและมีความเป็นอิสระต่อกัน

ค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลมีการกระจายตัวแบบสุ่มและเป็นอิสระต่อกันแล้วลักษณะของจุดแต่ละจุดที่กระจายตัวรอบเส้นสมมาตรที่ระดับศูนย์จะไม่มีรูปแบบที่ชัดเจน แต่หากค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลไม่เป็นอิสระต่อกันรูปแบบการกระจายตัวของค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลจะมีรูปแบบของการกระจายตัวรอบเส้นสมมาตรที่ระดับศูนย์อย่างชัดเจน



รูปที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าส่วนเกิน (Residual) ปริมาณกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ขับพัดลมดูด การวิเคราะห์ห่าปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง

ผลจากการศึกษาเพื่อทดสอบหาปัจจัยสภาวะการทำงานของเครื่องดักฝุ่น ที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองนั้นคือปริมาณกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ขับพัดลมดูดของเครื่องดักฝุ่น (Y) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3 จะเห็นว่าจากข้อมูลในหน้าต่าง Session ของโปรแกรม Minitab พบว่าที่ระดับค่าความผิดพลาด 5 เปอร์เซ็นต์ ($\alpha = 0.05$) นั้นค่า P-Value ของอิทธิพลร่วมระหว่างตัวแปร A และ B มีค่าน้อยกว่าค่า Alpha ซึ่งแสดงว่าผลของปัจจัย A,B และ A*B มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ

Factorial Fit: Motor Current versus A, B, C, D, E, F					
Estimated Effects and Coefficients for Motor Current (coded units)					
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		57.2781	0.08275	692.22	0.000
A	-0.2437	-0.1219	0.08275	-1.47	0.146
B	7.7969	3.8984	0.08275	47.11	0.000
C	0.0656	0.0328	0.08275	0.40	0.693
D	0.2906	0.1453	0.08275	1.76	0.084
E	-0.0937	-0.0469	0.08275	-0.57	0.573
F	-0.3094	-0.1547	0.08275	-1.87	0.066
A*B	0.3531	0.1766	0.08275	2.13	0.037
A*C	-0.2219	-0.1109	0.08275	-1.34	0.185
A*D	0.2281	0.1141	0.08275	1.38	0.173

รูปที่ 3 หน้าต่าง Session แสดงผลของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองที่ค่า $\alpha = 0.05$

การวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์

เมื่อทราบว่ามีปัจจัยใดรวมทั้งอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยใดที่ส่งผลกระทบต่อแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ ขั้นตอนต่อไปคือการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่สนใจศึกษากับตัวแปรตอบสนอง รูปแบบของสมการถดถอยของโปรแกรม Minitab 15 สามารถแสดงได้ดังนี้

$$Y = 33.7 - 0.339A + 1.14B + 0.0147A*B$$

- โดย Y : กระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ขับพัดลมดูด (แอมแปร์)
 A : ความดันตกคร่อมถุงกรอง (มิลลิบาร์)
 B : ความเร็วลมในท่อลมดูด (เมตรต่อวินาที)
 A*B : อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย A และ B

การหาค่าของปัจจัยที่ทำให้ค่าตัวแปรตอบสนองมีค่าต่ำสุด

ผลลัพธ์จากการหาค่าสภาวะของปัจจัยที่ส่งผลให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าต่ำสุด เป็นดังนี้ ค่าความดันตกคร่อมถ่วงกรอง (A) = 15 มิลลิบาร์ ค่าความเร็วลมในท่อทางดูด (B) = 18 เมตรต่อวินาที ทำให้ค่าปริมาณกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ขับเคลื่อนดูด (Y) = 53.1 แอมแปร์

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาเพื่อหาค่าตัวแปรสภาวะปัจจัยการทำงานทั้ง 6 ตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ขับเคลื่อนดูดของเครื่องดักฝุ่นแบบถ่วงกรอง ผลการศึกษาพบว่า มีเพียง 2 ปัจจัยที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งประกอบด้วย ค่าความดันตกคร่อมถ่วงกรอง (A) ค่าความเร็วลมในท่อทางดูด (B) และผลของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย A กับ B จากการหาค่าสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ผลตอบสนองมีค่าต่ำสุดและพบว่า ค่าความดันตกคร่อมถ่วงกรอง (A) = 15 มิลลิบาร์ ค่าความเร็วลมในท่อทางดูด (B) = 18 เมตรต่อวินาที ทำให้ค่าปริมาณกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ขับเคลื่อนดูด (Y) = 53.1 แอมแปร์

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณ บริษัท ปูนซีเมนต์ นครหลวง จำกัด (มหาชน) ที่ช่วยเอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องจักรในการทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- จันทร์เพ็ญ อนุรัตน์นนท์. 2554. การหาจุดเหมาะสมโดยใช้การออกแบบการทดลอง CCD ในกระบวนการผลิต แล็กเกอร์. การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.
- โปรดปราน สิริธีรศาสน์. 2554. การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับกระบวนการทางวิศวกรรมเคมี; ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี.
- ประเสริฐ ชุมปัญญา และ ชลิตา ชาญวิจิตร. 2011. การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการขึ้นรูปด้วยระบบสุญญากาศสำหรับพลาสติกชนิดโพลีไวนิลคลอไรด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาเทคโนโลยีการผลิตเครื่องมือและแม่พิมพ์.
- พิชิต สุขเจริญพงษ์. 2555. การออกแบบการทดลอง DOE: Design of Experiments; สถาบันเทคโนโลยีไทย – ญี่ปุ่น, กรุงเทพฯ.
- สิทธิเดช มองเพชร. 2009. ศึกษาผลกระทบของการใช้ยางรถยนต์ที่ใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงร่วมในการผลิตปูนซีเมนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี.
- เอราวิล ถาวร และ ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา. 2011. การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตแกน

กระทู้คลังศัพท์ที่มีผลต่อผลตอบสนองของหลายตัวกรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, ภาควิชา
วิศวกรรมอุตสาหกรรม.

In-Jun Jeong, Kwang – Jae Kim. 2009. An interactive desirability function method to multiresponse optimization. *European Journal of Operation Research*. 195: 412-426

Mahmood Saleem, Gernot Kramme. 2007. Effect of filtration velocity and dust concentration of cake formation and filter operation in a pilot scale jet pulsed bag filter. *Journal of Hazardous Materials*. 144: 667-681

Mahmood Saleem, Gernot Krammer. 2007. Optical in-situ measurement of filter cake height during bag filter plant operation. *Powder Technology*. 173: 93-106

N. Aslan. 2007. Application of response surface methodology and central composite rotatable design for modeling the influence of some operating variables of Multi-Gravity Separator for coal cleaning. *Fuel*. 86: 769-776