บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

<u>วิธีดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 3 ส่วน คือ</u>

3.1 การหาความแปรปรวนของน้ำหนักมาตรฐานกระดาษก่อนการปรับปรุง

3.1.1 การชักตัวอย่างเพื่อนำมาทดสอบน้ำหนักมาตรฐาน

โดยต้องชักตัวอย่างกระดาษมาทดสอบน้ำหนักมาตรฐานทั้งในแนวตามยาวเครื่อง (MD) และแนวตามขวางเครื่อง (CD) และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาความแปรปรวนของน้ำหนักมาตรฐานกระดาษ ซึ่งในการชักตัวอย่างในแต่ละแนวสามารถทำได้ดังนี้

3.1.1.1 *การชักตัวอย่างกระดาษในแนวตามยาวเครื่อง*

เนื่องจากเราไม่สามารถชักตัวอย่างที่มีระยะห่างหรือความถี่ต่างๆกันหลายความถี่มาทดสอบน้ำหนักมาตรฐานได้ เพราะจะเป็นการเสียเวลาและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูงมาก ดังนั้นเราจึงต้องหาระยะห่างหรือความถี่ที่เกิดความแปรปรวนแบบ คาบเวลาคงที่ (periodic) ที่มีขนาดสูง เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการชักตัวอย่าง โดยการตรวจวัดสัญญาณความดันน้ำเยื่อที่ท่อก่อนเข้าตัวปล่อยเยื่อ (Headbox) ซึ่งเป็นวิธีการตรวจหาสาเหตุของความแปรปรวนของน้ำหนักมาตรฐานกระดาษ เนื่องจากสัญญาณความดันที่ผิดปกตินี้จะมีความสัมพันธ์กับความแปรปรวนที่พบในกระดาษ

<u>การหาระยะห่างในการชักตัวอย่างในแนวตามยาวเครื่อง</u>

1. ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด โดยอุปกรณ์และวิธีการติดตั้งดังภาคผนวก 1 และ 2
2. ทำการตรวจวัดความดันของน้ำเยื่อ โดยวิธีวัดดังภาคผนวก 3
3. นำข้อมูลความถี่ของการวัดความดันน้ำเยื่อที่มีขนาดความดันสูงที่สุดมาพิจารณาเป็นแนวทางในการชักตัวอย่างโดยต้องชักตัวอย่างกระดาษที่ความถี่เป็น 2 เท่าของความถี่ที่พบจากการวัด
4. เก็บข้อมูลสภาวะกระบวนการผลิต (Operating Condition)
5. หาระยะห่างของการชักตัวอย่างกระดาษในแนวตามยาวเครื่อง ได้ดังนี้

$$d = S / (2 \times 60 \times f)$$

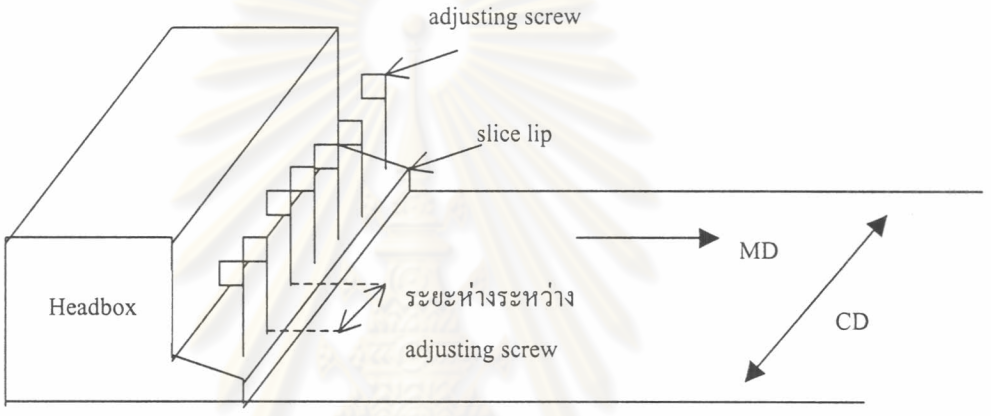
เมื่อ d = ระยะห่างของการชักตัวอย่าง (m)

S = ความเร็วของเครื่องจักร (m/min)

f = ความถี่ที่เกิดความดันสูงผิดปกติ (Hz)

3.1.1.2 *การชักตัวอย่างกระดาษในแนวตามขวางเครื่อง*

เนื่องจาก slice lip เป็นตำแหน่งที่ปล่อยน้ำเยื่อออกมาตลอดหน้ากว้าง การเปิด slice lip มากน้อยจะมีผลต่อน้ำหนักมาตรฐานในแนวตามขวางเครื่องมาก ดังนั้น slice lip แต่ละตำแหน่งตลอดหน้ากว้าง จะสามารถปรับละเอียดให้เปิดมากน้อยได้ด้วย adjusting screw ซึ่งมีทั้งหมด 16 ตัวดังรูปที่ 3-1 ดังนั้นในการชักตัวอย่างจึงทำที่ระยะห่างเท่ากับระยะห่างระหว่าง adjusting screw ของ slice lip คือ 14 cm โดยมีทั้งหมด 16 ตัวอย่างตลอดแนวขวางเครื่อง เพื่อให้สามารถตรวจสอบความบกพร่องที่เกิดจาก slice lip ได้



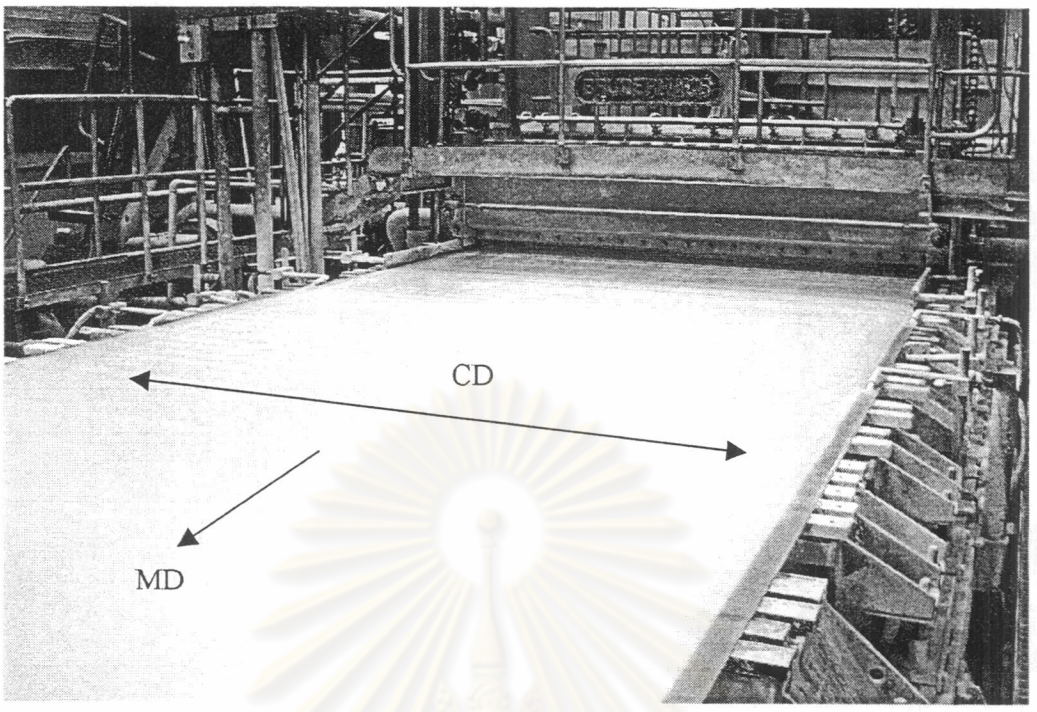
รูปที่ 3-1 แสดงตำแหน่งของ slice lip และ adjusting screw

3.1.2 การเตรียมตัวอย่างและทดสอบน้ำหนักมาตรฐาน

น้ำหนักมาตรฐาน (basis weight) คือ น้ำหนักต่อด้วยหน่วยพื้นที่ ซึ่งโดยทั่วไปมีหน่วยเป็น กรัมต่อตารางเมตร (g/m^2)

ทิศทางแนวตามขวางเครื่อง (Cross-machine direction ,CD) คือ ทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางของการวิ่งของเครื่องผลิตกระดาษ ดังรูปที่ 3-2

ทิศทางแนวตามยาวเครื่อง (Machine direction ,MD) คือ ทิศทางที่ขนานไปกับทิศทางการวิ่งของเครื่องผลิตกระดาษ ดังรูปที่ 3-2

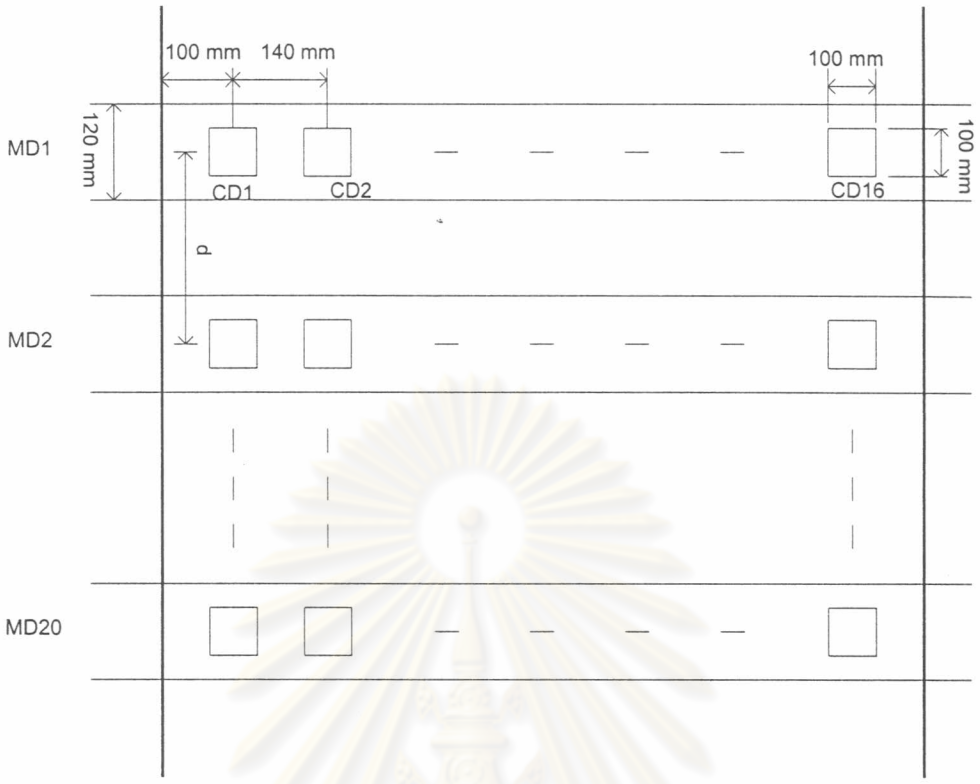


รูปที่ 3-2 แสดงทิศทางแนวตามยาวเครื่อง (MD) และแนวตามขวางเครื่อง (CD)

<u>การเตรียมตัวอย่างและทดสอบน้ำหนักมาตรฐาน</u>

เนื่องจากเราไม่สามารถผลิตกระดาษโดยใช้สภาวะการผลิตที่เหมือนเดิมได้ ดังนั้นจึงเลือกการทดสอบน้ำหนักมาตรฐานแบบ 1 ครั้งต่อเซลล์ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. เก็บตัวอย่างกระดาษตลอดหน้ากว้างที่มีความยาวอย่างน้อย 20 เท่าของความถี่ในการชักตัวอย่าง เพื่อให้ได้ตัวอย่างในแนวตามยาวเครื่อง 20 ค่า
2. ตัดกระดาษกว้างประมาณ 12 cm. ยาวตลอดหน้ากว้าง 20 แผ่น โดยให้ตำแหน่งกึ่งกลางกระดาษห่างกันเท่ากับระยะห่างของการชักตัวอย่าง และเก็บไว้ในห้องที่ควบคุมสภาวะอากาศ ที่ความชื้น 65%RH อุณหภูมิ 27°c เพื่อให้กระดาษปรับสภาวะสู่สมดุล
3. นำกระดาษแต่ละแผ่นไปเข้าเครื่องตัดกระดาษที่มีขนาด 100x100 mm.widthxmm.length ตลอดหน้ากว้างตามแนว CD โดยเริ่มตัดจุดกึ่งกลางตำแหน่งแรกห่างจากริมกระดาษเข้ามา 10 cm และให้จุดกึ่งกลางถัดไปห่างกัน 14 cm. ซึ่งเท่ากับระยะห่างระหว่าง adjusting screw ของปาก slice ดังรูปที่ 3-3



รูปที่ 3-3 แสดงการตัดตัวอย่างกระดาษ

4. นำตัวอย่างกระดาษที่ตัดเสร็จแล้วขนาด 100x100 mmxmm มาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก
5. บันทึกน้ำหนักและแปลงเป็นน้ำหนักมาตรฐานลงในตารางที่ 3-1

น้ำหนักมาตรฐาน (g/m^2) = 10^6. น้ำหนัก (g) / พื้นที่ (mm^2)

ตารางที่ 3-1 แสดงบันทึกน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษทั้ง 2 แนว

MD	CD sample Position					
Position	1	2	3	.	.	n
1	y_{11}	y_{12}	y_{13}	.	.	y_{1n}
2	y_{21}	y_{22}	y_{23}	.	.	y_{2n}
3	y_{31}	y_{32}	y_{33}	.	.	y_{3n}
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
m	y_{m1}	y_{m2}	y_{m3}	.	.	y_{mn}

3.1.3 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (GR&R)

การวิเคราะห์ความแม่นยำมีความสำคัญมากในระบบการวัด ถ้ากล่าวถึงความแม่นยำของระบบการวัด สามารถแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น ความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability) และความสามารถในการทำเหมือน (Reproducibility) โดยที่ความหมายของรีพีททะบิลิตี้ คือ ค่าความแตกต่างเนื่องจากการวัดโดยใช้ชิ้นงานเดียวกัน เครื่องมือเดียวกัน และพนักงานเดียวกัน ส่วนรีโปรดิวซิบิลิตี้ คือ ค่าความแตกต่างของการวัดโดยใช้พนักงานแตกต่างกันแต่ชิ้นงานและเครื่องมือเดียวกัน เนื่องจากการวิเคราะห์หรือแก้ไขปัญหาทางด้านคุณภาพมีความจำเป็นที่ต้องอาศัยข้อมูลที่สามารถตีความกระบวนการผลิตได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นเครื่องมือวัดต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตต้องมีความแม่นยำ เพื่อที่จะให้ผลลัพธ์ที่มีความน่าเชื่อถือและยอมรับได้

การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด ในงานวิจัยนี้คือ การทดสอบน้ำหนักมาตรฐานกระดาษ โดยจะใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เลือกพนักงานที่ผ่านการอบรมการทดสอบน้ำหนักมาตรฐาน มา 2 คน
2. เลือกตัวอย่างกระดาษอย่างสุ่ม 10 ตัวอย่าง
3. ทำการสอบเทียบเครื่องชั่งน้ำหนัก เพื่อให้มั่นใจว่ามีความถูกต้อง
4. ทดลองสุ่มตัวอย่างกระดาษ มาวัดจนครบทุกตัวอย่างและวัดซ้ำอีก 1 ครั้งด้วยวิธีการเดียวกัน
5. บันทึกค่า และป้อนค่าลงในโปรแกรม MINITAB หาค่าผลลัพธ์ของความแม่นยำของการทดสอบน้ำหนักมาตรฐาน

3.1.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมและดัชนีสมรรถนะรวมของกระบวนการ

หาความแปรปรวนรวมของน้ำหนักมาตรฐานกระดาษและดัชนีสมรรถนะรวมของกระบวนการ(overall process capability,P_p) ก่อนการปรับปรุงเพื่อเปรียบเทียบกับหลังการปรับปรุง โดยใช้โปรแกรม MINITAB ในการวิเคราะห์ผล ซึ่งมีหลักการคำนวนดังนี้

$$P_p = (USL-LSL) / (6\sigma)$$

เมื่อ USL = ค่าขอบเขตค่าสูงของสเป็ค (upper specification limit)

LSL = ค่าขอบเขตค่าต่ำของสเป็ค (lower specification limit)

σ = ค่าเบี่ยงเบียนมาตรฐานรวม (standard deviation)

3.2 การหาสาเหตุของความแปรปรวนของน้ำหนักมาตรฐานกระดาษ

3.2.1 การหาสาเหตุว่าเกิดจากปัจจัยทางด้านแนวตามขวางเครื่องและหรือด้านแนวตามยาวเครื่อง

เนื่องจากความแปรปรวนของน้ำหนักมาตรฐานกระดาษเกิดจากปัจจัย 2 ปัจจัยคือปัจจัยทางด้านแนวตามขวางเครื่อง (Cross direction, CD) และปัจจัยทางด้านแนวตามยาวเครื่อง (Machine direction,

MD) ดังนั้นจึงต้องหาสาเหตุของความแปรปรวนว่าเกิดจากปัจจัยทางด้านแนวตามขวางเครื่อง และหรือปัจจัยทางด้านแนวตามยาวเครื่อง โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. ทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยน้ำหนักมาตรฐานในแนวตามยาวเครื่อง และค่าเฉลี่ยน้ำหนักมาตรฐานในแนวตามขวางเครื่อง โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากปัจจัย 2 ปัจจัย (Two Factor ANOVA) ด้วยโปรแกรม MINITAB แต่เนื่องจากในการทดลองไม่สามารถเก็บข้อมูลตัวอย่างซ้ำได้ เนื่องจากไม่สามารถควบคุมสภาวะการผลิตให้คงที่เพื่อเก็บตัวอย่างซ้ำ ในการทดลองนี้จึงเป็นแบบ 1 เรพลิเคต ดังนั้นผลของอันตรกิริยาสองปัจจัยและความผิดพลาดเนื่องจากการทดลองจะไม่สามารถแยกออกจากกันได้ การทดสอบผลหลักจะทำได้ก็ต่อเมื่อผลของอันตรกิริยาไม่มีนัยสำคัญ ซึ่งการทดสอบการมีอัตรกิริยาหรือไม่นั้นสามารถทดสอบด้วย Tukey's nonadditivity test โดยการคำนวณ ตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 Tukey's nonadditivity test

Direction	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F_0
CD	SS_{CD}	n-1	MS_{CD}	MS_{CD}/MS_{error}
MD	SS_{MD}	m-1	MS_{MD}	MS_{MD}/MS_{error}
Nonadditivity	SS_N	1	MS_N	MS_N/MS_{error}
Error	SS_{error}	(n-1)(m-1)-1	MS_{error}	
Total	SS_T	nm-1		

การทดสอบว่ามีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยทางด้านแนวตามขวางเครื่องและปัจจัยทางด้านแนวตามยาวเครื่องหรือไม่เราจะคำนวณเพื่อหาค่า F_0 โดยที่

$$F_0 = SS_N/\{SS_{error}/[(a-1)(b-1)-1]\}$$

ถ้า $F_0 > F_{\alpha,1,(a-1)(b-1)-1}$ เราจะปฏิเสธสมมติฐานของการไม่มีอันตรกิริยา

โดยที่

$$SS_{CD} = \sum y_{i.}^2/m - y_{..}^2/nm$$

$$SS_{MD} = \sum y_{.j}^2/n - y_{..}^2/nm$$

$$SS_T = \sum\sum y_{ij}^2/n - y_{..}^2/nm$$

$$SS_{residual} = SS_T - SS_{CD} - SS_{MD}$$

$$SS_N = (\sum\sum y_{ij}y_{i.}y_{.j} - y_{..}(SS_{CD} + SS_{MD} + y_{..}^2/(nm)]^2/(nmSS_{CD}SS_{MD})$$

$$SS_{error} = SS_{residual} - SS_N$$

$$MS_{CD} = SS_{CD}/(n-1)$$

MS_{MD} = $SS_{MD}/(m-1)$

MS_{N} = $SS_{N}/1$

MS_{error} = $SS_{error}/[(n-1)(m-1)-1]$

ในกรณีที่ผลของอันตรกิริยาไม่มีนัยสำคัญแล้วจึงทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยน้ำหนักมาตรฐานในแนวตามยาวเครื่อง และทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยน้ำหนักมาตรฐานในแนวตามขวางเครื่อง โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากปัจจัย 2 ปัจจัย โดยใช้โปรแกรม MINITAB ซึ่งมีหลักการคำนวณดังตารางที่ 3-3 แต่หากผลของอันตรกิริยามีนัยสำคัญ จำเป็นต้องทำการเก็บตัวอย่างซ้ำ เพื่อหาผลของอันตรกิริยา

ตารางที่ 3-3 Two Factor Analysis of Variance

Direction	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F_0
CD	SS_{CD}	n-1	MS_{CD}	MS_{CD}/MS_{res}
MD	SS_{MD}	m-1	MS_{MD}	MS_{MD}/MS_{resr}
Residual	SS_{res}	(n-1)(m-1)	MS_{res}	
Total	SS_{T}	nm-1		

โดยที่ SS_{CD} = $\sum y^2_{i.}/m - y^2_{..}/nm$

SS_{MD} = $\sum y^2_{.j}/n - y^2_{..}/nm$

SS_{T} = $\sum\sum y^2_{ij}/n - y^2_{..}/nm$

$SS_{residual}$ = $SS_{T} - SS_{CD} - SS_{MD}$

MS_{CD} = $SS_{CD}/(n-1)$

MS_{MD} = $SS_{MD}/(m-1)$

MS_{res} = $SS_{res}/[(n-1)(m-1)]$

2. ทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของน้ำหนักมาตรฐานในแนวตามยาวเครื่อง และความแปรปรวนของน้ำหนักมาตรฐานในแนวตามขวางเครื่อง โดยใช้ Bartlett's test ดังนี้

สมมติฐานหลักที่จะทดสอบ คือ

H_0 : $\sigma^2_{CD1} = \sigma^2_{CD2} = \sigma^2_{CD3} = \dots \sigma^2_{CD16}$

H_1 : $\sigma^2_{CDi} \neq \sigma^2_{CDj}$ for at least one pair (i,j)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และ H_0 : $\sigma^2_{MD1} = \sigma^2_{MD2} = \sigma^2_{MD3} = \dots \sigma^2_{MD20}$

H_1 : $\sigma^2_{MDi} \neq \sigma^2_{MDj}$ for at least one pair (i,j)

การวิเคราะห์ใช้วิธี Bartlett's test ดังนี้

χ^2_0 = 2.3026 q/c

เมื่อ q = $(N-a).\log(S^2_p) - \sum (n_i-1).\log(S^2_i)$

c = $1+[1/3(a-1)].[\sum (n_i-1)^{-1} - (N-a)^{-1}]$

S^2_p = $\sum (n_i-1)S^2_i / (N-a)$

N = จำนวนตัวอย่างทั้งหมด

a = n เมื่อหาความเท่ากันของความแปรปรวนในแนวตามขวางเครื่อง

= m เมื่อหาความเท่ากันของความแปรปรวนในแนวตามยาวเครื่อง

n_i = m เมื่อหาความเท่ากันของความแปรปรวนในแนวตามขวางเครื่อง

= n เมื่อหาความเท่ากันของความแปรปรวนในแนวตามยาวเครื่อง

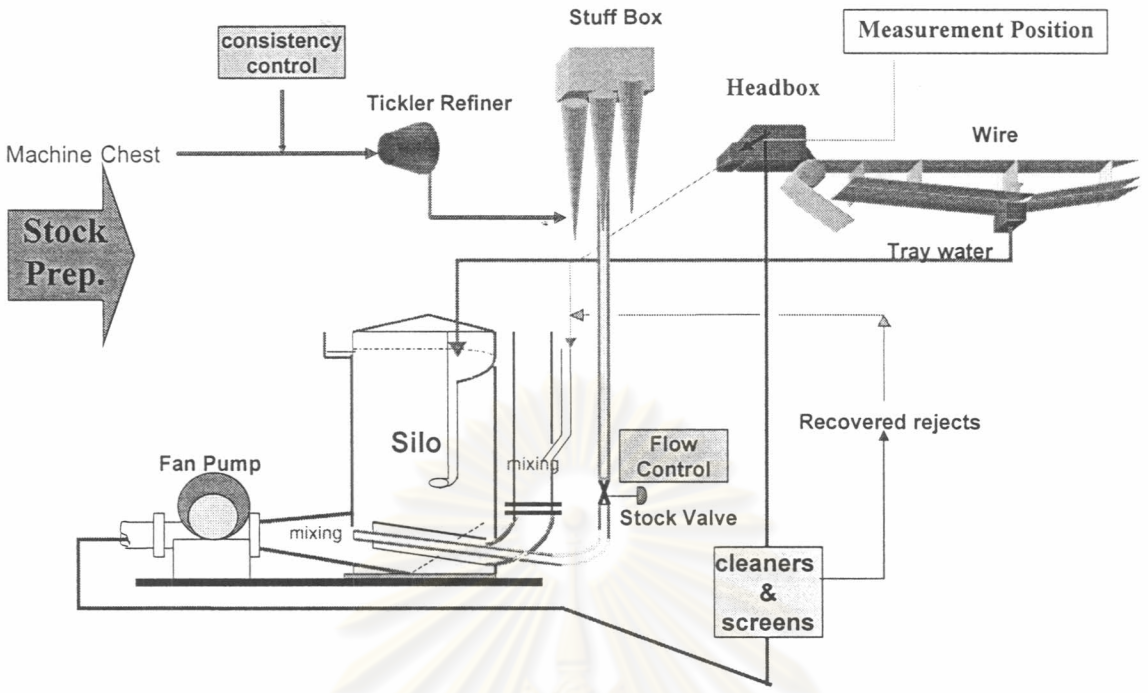
S^2_i = sample variance of the ith population

ถ้า $\chi^2_0 > \chi^2_{\alpha, a-1}$ แสดงว่าความแปรปรวนในแต่ละตำแหน่งมีความแตกต่างกัน

3.2.2 การหาปัจจัยที่เป็นสาเหตุความแปรปรวนของน้ำหนักมาตรฐานในแนวตามยาวเครื่องและแนวตามขวางเครื่อง

3.2.2.1 *การหาปัจจัยที่เป็นสาเหตุของความแปรปรวนของน้ำหนักมาตรฐานในแนวตามยาวเครื่อง*

ในการหาปัจจัยที่เป็นสาเหตุของความแปรปรวนของน้ำหนักมาตรฐานในแนวตามยาวเครื่อง สามารถทำได้โดยการตรวจวัดสัญญาณความดันน้ำเยื่อที่ท่อก่อนเข้าตัวปล่อยเยื่อ (Headbox) ดังรูปที่ 3-4 ว่าความดันที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงผิดปกติที่ความถี่ใด ซึ่งที่ความถี่นี้จะเป็นความถี่ที่ตรงกับความถี่ของแหล่งกำเนิดของความแปรปรวนน้ำหนักมาตรฐานในแนวตามยาวเครื่อง ทั้งนี้เนื่องจากความดันของน้ำเยื่อก่อนเข้าตัวปล่อยเยื่อที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงผิดปกตินี้ อาจทำให้อัตราการไหลของน้ำเยื่อที่ออกจากตัวปล่อยเยื่อมีการเปลี่ยนแปลงตาม ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความแปรปรวนของน้ำหนักมาตรฐานกระดาษในแนวตามยาวเครื่อง (6) ซึ่งสามารถตรวจสอบการมีนัยสำคัญของความแปรปรวนนี้จากการทดสอบน้ำหนักมาตรฐานกระดาษที่ 2 เท่าของความถี่นี้ได้



รูปที่ 3-4 แสดงตำแหน่งวัดความดันน้ำเยื่อก่อนเข้าตัวปล่อยเยื่อ

ในกรณีพบว่าค่าเฉลี่ยน้ำหนักมาตรฐานในแนวตามยาวเครื่องมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าความถี่ของอุปกรณ์ที่มีขนาดสูงผิดปกติอาจเป็นสาเหตุของความแปรปรวน และนำความถี่นี้ไปเทียบกับ rotational frequency ของอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิต เพื่อหาแหล่งกำเนิดที่เป็นสาเหตุของความแปรปรวนต่อไป

3.2.2.2 *การหาปัจจัยที่เป็นสาเหตุของความแปรปรวนของน้ำหนักมาตรฐานในแนวตามขวางเครื่อง*

ในกรณีพบว่าค่าเฉลี่ยน้ำหนักมาตรฐานในแนวตามขวางเครื่องมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เราจะหาปัจจัยที่มีผลต่อน้ำหนักมาตรฐานในแนวตามขวางเครื่องโดยนำแผนผังเหตุและผล (Casues and Effect Diagram) มาช่วยในการวิเคราะห์ปัญหา และนำปัจจัยหลักที่มีผลนี้มาทดสอบสมมติฐานว่าปัจจัยดังกล่าวนี้ทำให้ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักมาตรฐานในแนวตามขวางเครื่องมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ เนื่องจากต้องการตัดผลกระทบของปัจจัยทางด้านแนวตามยาวเครื่องออกให้เหลือแต่ผลของปัจจัยทางด้านแนวตามขวางเครื่อง จึงต้องใช้ Paired T-test ในโปรแกรม MINITAB ในการวิเคราะห์

3.3 การลดความแปรปรวนของน้ำหนักมาตรฐานกระดาษ

ทำการปรับปรุงแก้ไขปัจจัยที่มีผลต่อน้ำหนักมาตรฐานกระดาษ ยกเว้นกรณีการปรับปรุงแก้ไขที่ต้องติดตั้งหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่ที่ต้องใช้เวลานาน หลังจากนั้นหาความแปรปรวนรวมของน้ำหนักมาตรฐานกระดาษและดัชนีสมรรถนะรวมของกระบวนการหลังการปรับปรุงเทียบกับก่อนปรับปรุง