บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองการประกอบฟิลเตอร์เชื่อมกับใยแก้วนำแสง และทดสอบค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับเพื่อหาค่าที่เหมาะสมในกระบวนการประกอบ ดังนี้

4.1 การออกแบบการทดลองแบบฟูลแฟคทอเรียล (Full Factorial Design; 2^k)

จากการออกแบบการทดลองแบบฟูลแฟคทอเรียล (Full Factorial Design) เพื่อทำการคัดกรองตัวแปร และทำการหาค่าที่ดีที่สุดในการประกอบฟิลเตอร์เชื่อมกับใยแก้วนำแสงโดยทำการออกแบบการทดลองปัจจัย 4 ปัจจัย 2 ระดับ ทำการทดลองซ้ำ 1 ครั้ง จะได้จำนวนการทดลองทั้งหมด 16 การทดลอง ซึ่งในแต่ละการทดลองได้ทำวัดค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับด้วยระบบการวัดค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับ (Return loss measurement system) ด้วยการทดสอบค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับ 4 เส้นในพื้นที่เดียวกัน แล้วจึงมาทำการเฉลี่ยค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับ ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 4-1

ตาราง 4-1 ตารางออกแบบการทดลองในกระบวนการเชื่อมฟิลเตอร์กับใยแก้วนำแสง

ลำดับที่	ระดับปัจจัยที่ทำการศึกษา				ค่าการสูญเสียสะท้อนกลับ (dB)
	Depth (um)	Z-Feed (rpm)	Spindle (rpm)	Adjust filter	
1	250	0.2	10000	Yes	38.96
2	250	0.2	10000	No	35.82
3	250	0.2	20000	Yes	40.61
4	250	0.2	20000	No	41.17
5	250	1.1	10000	Yes	41.10
6	250	1.1	10000	No	40.63
7	250	1.1	20000	Yes	39.99

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ตาราง 4-1 ตารางออกแบบการทดลองในกระบวนการเชื่อมฟิลเตอร์กับใยแก้วนำแสง (ต่อ)

ลำดับที่	ระดับปัจจัยที่ทำการศึกษา				ค่าการสูญเสียสะท้อนกลับ (dB.)
	Depth (um)	Z-Feed (rpm)	Spindle (rpm)	Adjust filter	
8	250	1.1	20000	No	33.71
9	350	0.2	10000	Yes	40.96
10	350	0.2	10000	No	41.96
11	350	0.2	20000	Yes	41.39
12	350	0.2	20000	No	38.27
13	350	1.1	10000	Yes	41.67
14	350	1.1	10000	No	37.65
15	350	1.1	20000	Yes	40.91
16	350	1.1	20000	No	41.81

4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองตามแนวทางของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองแบบฟูลแฟคทอเรียล (Full Factorial Design)

4.2.1 การประมาณผลกระทบจากการทดลอง (Estimate Factor Effects)

ขั้นตอนแรกของการวิเคราะห์เชิงสถิติสำหรับการออกแบบการทดลองนั้น ต้องประมาณผลกระทบของเทอมต่าง ๆ ตรวจสอบเครื่องหมาย และขนาดของผลที่เกิดขึ้น ซึ่งทำให้ทราบว่าปัจจัยและอันตรกิริยาใดมีความสำคัญ แสดงดังตาราง 4.2 โดยค่า Effect คือ ค่าผลกระทบของปัจจัยแต่ละตัว ค่า Coefficient คือ ค่าสัมประสิทธิของปัจจัยแต่ละตัว ค่า Sum Square Error of Coefficient คือค่าผลรวมของค่าความผิดพลาด และค่า P คือ ความน่าจะเป็นที่ค่าทดสอบทางสถิติจะมีค่าเป็นอย่างน้อยที่จะทำให้ค่านี้มีค่ามากเท่ากับค่าสังเกตในทางสถิติเมื่อสมมติฐานหลักเป็นจริง และมีผลตอบของการทดลองคือ ค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับ (Return Loss)

4.2.2 การสร้างแบบจำลองเริ่มต้น (Form Initial Model)

แบบจำลองเริ่มต้นจะประกอบด้วยผลกระทบหลักและอันตรกิริยาร่วมของปัจจัยทั้งหมดจากค่าสัมประสิทธิ์ของการทดลองในตาราง 4.2 ซึ่งคำนวณจากค่าผลกระทบของแต่ละปัจจัยหารด้วยสอง โดยสมการ $\hat{y}$ คือค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับ (Return Loss)

4.2.3 การทดสอบทางสถิติ (Perform Statistical Testing)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล เพื่อที่จะทดสอบความมีนัยสำคัญและความสำคัญของผลกระทบของปัจจัยของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล (Montgomery 2005) สัดส่วนของความแปรปรวน (F Distribution) จะนำมาใช้ในการตัดสินใจเกี่ยวกับความแปรปรวนของข้อมูล การวิเคราะข้อมูลโดยโปรแกรม Minitab Version 14 โดยที่ $\alpha = 0.05$ ได้ผลดังนี้

ตาราง 4-2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับ (Return Loss) (Coded Units)

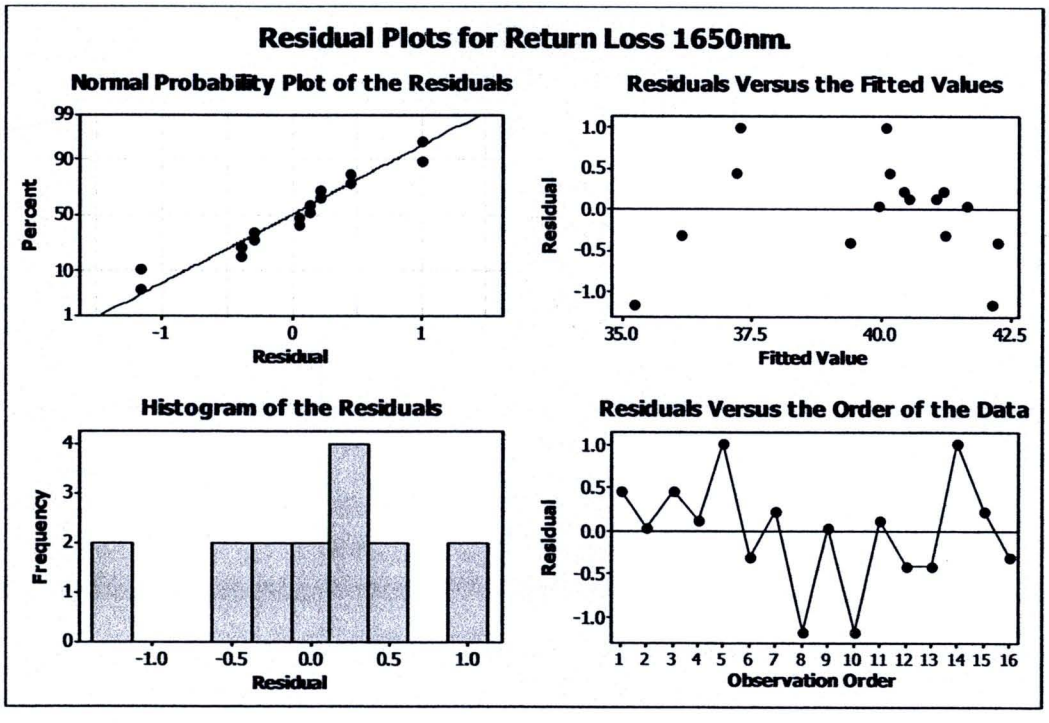
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		39.729	0.2468	160.99	0.000
Z-Feed	-0.256	-0.128	0.2468	-0.52	0.622
Depth	1.376	0.688	0.2468	2.79	0.032
Spindle	0.091	0.046	0.2468	0.18	0.859
Adjust filter	1.689	0.844	0.2468	3.42	0.014
Z-Feed*Depth*Spindle	2.759	1.379	0.2468	5.59	0.001
Z-Feed*Depth*Adjust filter	-0.514	-0.257	0.2468	-1.04	0.338
Z-Feed*Spindle*Adjust filter	0.176	0.088	0.2468	0.36	0.733
Depth*Spindle*Adjust filter	-0.231	-0.116	0.2468	-0.47	0.656
Z-Feed*Depth*Spindle*Adjust filter	-2.116	-1.058	0.2468	-4.29	0.005

Analysis of Variance for RL (Coded Units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	19.280	19.280	4.8199	4.95	0.042
3-Way Interactions	4	31.837	31.837	7.9592	8.17	0.013
4-Way Interactions	1	17.914	17.914	17.9141	18.38	0.005
Residual Error	6	5.847	5.847	0.9745		
Total	15	74.877				

S = 0.987150 R-Sq = 92.19% R-Sq(adj) = 80.48%

จากข้อมูลการวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยแต่ละตัวของผลตอบค่าการสูญเสียของแสงสะท้อนกลับในกระบวนการประกอบฟิลเตอร์เชื่อมกับใยแก้วนำแสง พบว่าเมื่อตัด 2-way Interaction ออกพบตัวแปรที่มีผลต่อค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับ (Return Loss) ความยาวคลื่นของแสงที่ 1650 nm. พบว่าความความลึกและการปรับตำแหน่งแผ่นฟิลเตอร์มีผลอย่างนัยสำคัญ และความสัมพันธ์ 3-Way ระหว่างอัตราการป้อนของแกน Z ความลึก และความเร็วรอบของเครื่องตัดมีผลต่อค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับอย่างมีนัยสำคัญ แต่หากพิจารณาค่าการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล จะพบว่า ค่า Main Effect และค่าความสัมพันธ์แบบ 3-Way, Interactions 4-Way Interactions มีผลต่อค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับอย่างมีนัยสำคัญที่สุด แต่ความสัมพันธ์แบบสามตัวแปรและสี่ตัวแปรผู้ทำการวิจัยจะไม่สนใจ เพราะได้เห็นค่าใช้จ่ายต้องเพิ่มขึ้นและจะต้องเสียค่าใช้จ่ายมากขึ้น ผู้ทำการวิจัยจึงได้หาความพันธ์จากการตัวแปรเดียวจาก Main Effect ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบมีนัยสำคัญสองตัวแปร คือความลึกจากการตัดและการปรับตำแหน่งฟิลเตอร์เพื่อให้ค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับมีค่าที่ดีที่สุดในกระบวนการประกอบฟิลเตอร์เชื่อมกับใยแก้วนำแสง ดังนั้นค่าความสัมพันธ์กันระหว่าง Main Effect พบอีกว่าความลึก และการปรับตำแหน่งฟิลเตอร์ (Filter) มีนัยสำคัญต่อค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับของ Filter

จากกราฟวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับของฟิลเตอร์พบว่าข้อมูลดังกล่าวตั้งอยู่บนสมมติฐานหลัก 3 ประการดังนี้

1) ข้อมูลส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติและค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ (Normality Assumption)

จากรูปที่ 4.1ในส่วนของกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot of the Residuals) พบว่าผลที่ได้จากการพล็อตกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้างทั้งสองผลตอบมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ไม่มีจุดใด ๆ ออกนอกเส้นตรงอย่างชัดเจน จึงสรุปได้ว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบมุมและความลึก มีแนวโน้มของการกระจายตัวเป็นแบบปกติ

ในทำนองเดียวกัน เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.1ในส่วนของกราฟฮีสโตแกรมของส่วนตกค้าง (Histogram of the Residuals) พบว่ามีการกระจายตัวของส่วนตกค้างในทุกช่วงของกราฟฮีสโตแกรม จึงสรุปได้ว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับมีแนวโน้มการกระจายตัวแบบปกติ

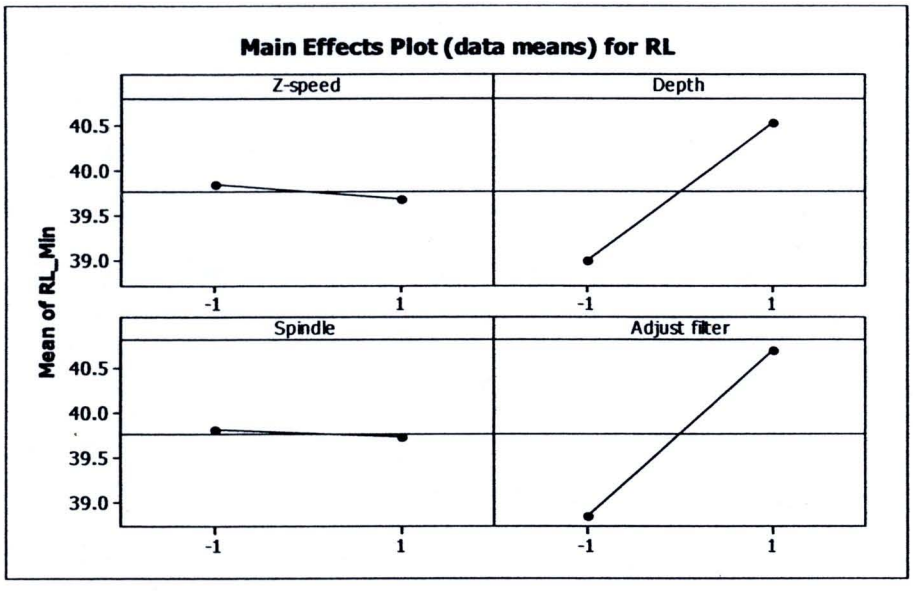
2) ส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่ (Constant Variance Assumption) ไม่เปลี่ยนแปลงตามระดับของปัจจัยหรือขึ้นอยู่กับค่าพยากรณ์ของผลตอบ

จากรูปที่ 4.1ในส่วนของกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกทำนาย (Residuals Versus the Fitted Values) ของข้อมูลผลตอบค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับพบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างทั้งสองผลตอบไม่มีแนวโน้มอย่างชัดเจน สามารถสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบอิสระไม่ขึ้นอยู่กับค่าที่ถูกทำนาย

3) ส่วนตกค้างต้องมีการกระจายตัวอิสระ (Independence Assumption) ไม่แปรผันตามปัจจัยหรือลำดับการทดลอง

จากรูปที่ 4.1ในส่วนของกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง (Plot of Residuals Versus the Observation Order of the Data) ของข้อมูลผลตอบการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับ (Return Loss) พบว่าจุดที่พล็อตไม่มีแนวโน้มใด ๆ จึงสรุปได้ว่าส่วนตกค้างทั้งสองผลตอบมีลักษณะการกระจายตัวแบบอิสระไม่ขึ้นอยู่กับลำดับการทดลอง กล่าวคือ

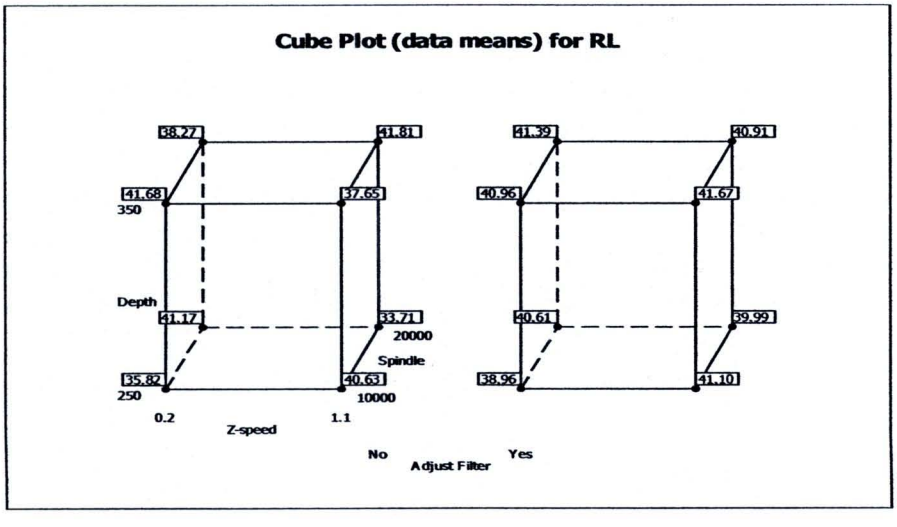
จากผลการทดสอบสมมติฐานทั้ง 3 ข้อของส่วนตกค้างของข้อมูลสามารถสรุปได้ว่าผลตอบมีส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับฟิลเตอร์ (Return Loss) มีการกระจายตัวแบบปกติและค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์มีความแปรปรวนคงที่และมีการกระจายตัวอิสระ



รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับ (Return Loss)

จากผลการวิเคราะห์ในรูปที่ 4.2 พบว่าค่าการสูญเสียของแสงจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการปรับค่าความลึก (Depth) และปรับตำแหน่งฟิลเตอร์ แต่อัตราการป้อยแกน Z (Z-Feed) และความเร็วรอบของแกนหมุนเครื่อง Micro Slicer (Spindle) เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าการสูญเสียของแสงลดลงไม่มาก

จากผลการวิเคราะห์ในรูปที่ 4.3 พบว่าการปรับตำแหน่งฟิลเตอร์ และการปรับค่าความลึกมีผลต่อค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับ (Return Loss) ที่ความยาวคลื่น 1650 nm



รูปที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์แต่ละปัจจัยที่มีผลต่อค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับ (Return Loss)

4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองตามแนวทางของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองสมการถดถอย (Regression Analysis)

ทำการวิเคราะห์ปัจจัยจากผลการทดลองจากสมการถดถอย (Regression Analysis) ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิคการออกแบบสมการถดถอย (Regression Analysis) เพื่อค้นหาปัจจัยที่มีเหมาะสมต่อค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับที่ความยาวคลื่น1650 nm ในกระบวนการประกอบฟิลเตอร์เชื่อมกับใยแก้วนำแสง โดยหาค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับที่เหมาะสมที่สุดจะต้องมีค่ามากที่สุด จะทำให้ส่งสัญญาณแสงกลับไปตรวจสอบระบบได้ดี

ผลการออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิคการออกแบบสมการถดถอย (Regression Analysis) ออกแบบการทดลองทั้งหมด 16 การทดลอง โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และทำการทดลองซ้ำที่ศูนย์กลาง (Centre point) 2 ครั้ง โดยผลการทดลองดังตารางที่ 4-3

ตาราง 4-3 แสดงผลการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการสมการถดถอย (Regression Analysis)

ลำดับที่	ระดับปัจจัยที่ทำการศึกษา		ค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับ (dB.)
	Depth	Filter Adjust	
1	350	Yes	41.35
2	250	Yes	40.51
3	250	No	39.60
4	350	No	37.17
5	350	No	37.41
6	300	No	38.54
7	250	No	39.97
8	250	Yes	40.23
9	250	Yes	40.58
10	350	Yes	41.74
11	250	No	39.78
12	300	Yes	41.15
13	350	No	37.03
14	300	No	38.90
15	350	Yes	41.92
16	300	Yes	41.01

นำข้อมูลที่ได้จากการบันทึกมาทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab version 16 เพื่อหาระดับของปัจจัยที่มีผลต่อค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับที่เหมาะสมที่สุด จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิคการออกแบบสมการถดถอย (Regression Analysis) เพื่อค้นหาปัจจัยที่เหมาะสมต่อค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับในการประกอบฟิลเตอร์เชื่อมกับใยแก้วนำแสงและได้สมการไว้สำหรับการประเมินค่าของปัจจัยที่เหมาะสมต่อค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับในการประกอบฟิลเตอร์เชื่อมกับใยแก้วนำแสง ทำการคำนวณหาค่าที่เหมาะสมของค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับ (Return Loss) ที่ความยาวคลื่น 1650 nm ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดต่อค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับในการประกอบฟิลเตอร์เชื่อมกับใยแก้วนำแสง

4.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับด้วยการวิเคราะห์สมการถดถอย (Regression Analysis)

ค่าผลตอบที่ใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับด้วยการวิเคราะห์สมการถดถอย (Regression Analysis) หาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ ค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับในการประกอบฟิลเตอร์เชื่อมกับใยแก้วนำแสง ในช่วงความยาวคลื่น 1650 nm $\alpha = 0.05$ ดังตารางที่ 4-4 ด้วยโปรแกรม Minitab Version 16

ตาราง 4-4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับในการประกอบฟิลเตอร์เชื่อมกับใยแก้วนำแสง (RL)

```
Regression Equation
Filter  Adjust

No      RL = 41.8544+0.0044Depth-5.03333e-005Depth*Depth

Yes     RL = 32.9356+0.0425Depth-5.03333e-005Depth*Depth

Coefficients

Term                    Coef  SE Coef         T      P
Constant             41.8544  4.30858    9.7142  0.000
Depth                 0.0044  0.02917    0.1508  0.883
Filter Adjust
  Yes                -8.9188  0.73556  -12.1252  0.000
Depth*Depth          -0.0001  0.00005   -1.0371  0.322
Depth*Filter Adjust
  Yes                 0.0381  0.00243   15.7003  0.000

Summary of Model

S = 0.210159      R-Sq = 98.72%         R-Sq(adj) = 98.26%
PRESS = 1.02788   R-Sq(pred) = 97.30%
```

ตาราง 4-4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับในการประกอบฟิลเตอร์เชื่อมกับใยแก้วนำแสง (RL) (ต่อ)

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Seq MS	F	P
Regression	4	37.5270	37.5270	9.3817	212.416	0.000000
Depth	1	1.3669	0.0286	1.3669	30.948	0.000169
Filter Adjust	1	25.2255	6.4934	25.2255	571.141	0.000000
Depth*Depth	1	0.0475	0.0475	0.0475	1.076	0.321964
Depth*Filter Adjust	1	10.8871	10.8871	10.8871	246.499	0.000000
Error	11	0.4858	0.4858	0.0442		
Lack-of-Fit	1	0.0305	0.0305	0.0305	0.670	0.432163
Pure Error	10	0.4553	0.4553	0.0455		
Total	15	38.0128				

จากตารางที่ 4-4 วิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยแต่ละตัวของผลตอบค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับของการประกอบฟิลเตอร์เชื่อมกับเส้นใยแก้วนำแสง พบว่าความลึก การปรับตำแหน่งฟิลเตอร์ และความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างความลึก การปรับตำแหน่งฟิลเตอร์มีผลต่อค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับของการประกอบฟิลเตอร์เชื่อมกับใยแก้วนำแสงอย่างมีนัยสำคัญ α=0.05

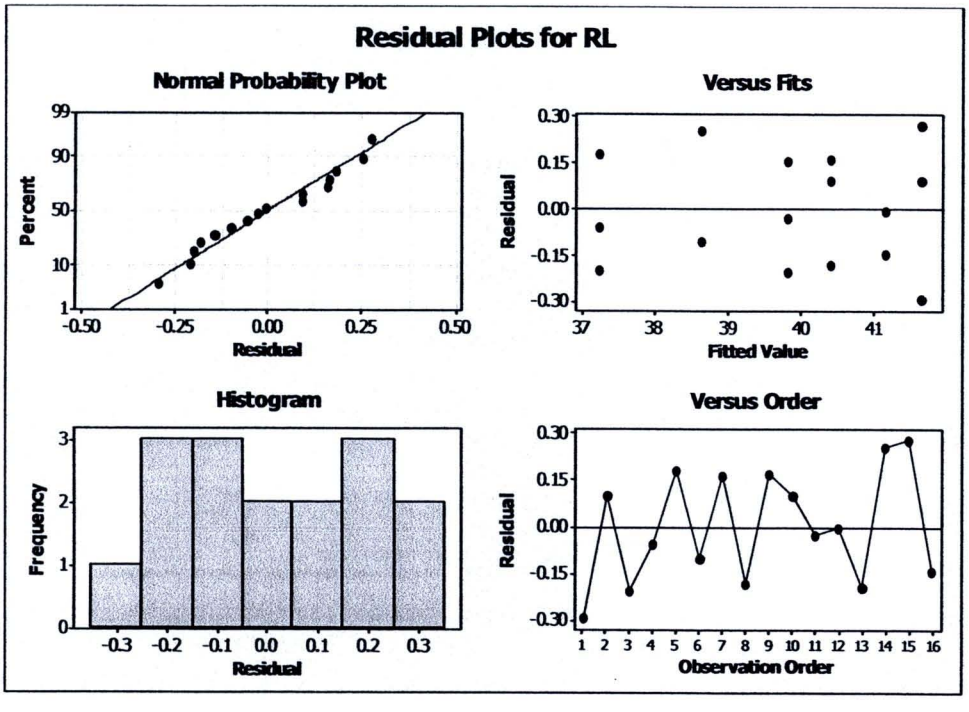
4.5 สร้างสมการการทำนาย

จากข้อมูลในตารางที่ 4-4 พบว่าความลึก การปรับตำแหน่งฟิลเตอร์ และความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างความลึก การปรับตำแหน่งฟิลเตอร์มีผลต่อค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับในการประกอบฟิลเตอร์เชื่อมกับใยแก้วนำแสงอย่างมีนัยสำคัญ สามารถสร้างสมการถดถอยจำลองผลตอบการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับของการประกอบฟิลเตอร์เชื่อมกับใยแก้วนำแสงในช่วงความยาวคลื่น 1650 nm โดยนำสัมประสิทธิ์ (Coefficients) ของปัจจัยไปเขียนสมการทำนายค่าการสูญเสียของแสงที่เหมาะสมที่สุด โดยมีการปรับตำแหน่งฟิลเตอร์ ได้ดังสมการ

Regression Equation
Filter Adjust

$$\text{Yes} \quad RL = 32.9356 + 0.0425\ \text{Depth} \qquad (4.1)$$

จากสมการ (4.1) หาค่าที่เหมาะสมที่สุดของค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับ ช่วงความยาวคลื่น 1650 nm ค่าการสูญเสียของการสะท้อนกลับยิ่งมากจะทำให้สามารถ ส่งผ่านสัญญาณแสงสะท้อนกลับไปตรวจสอบระบบการส่งสัญญาณแสงได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นผู้ค้นคว้าคำนวนค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับจากสมการเพื่อหาค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับที่มากที่สุด ถ้าหากไม่มีการปรับตำแหน่งฟิลเตอร์ (No Filter Adjust) ค่าการสูญเสียเมื่อสะท้อนกลับน้อยกว่าเมื่อมีการปรับตำแหน่งฟิลเตอร์ (Filter Adjust) จากการวิเคราะห์ค่าสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ 47.81 dB. จากสมการ (4.1) โดยมีการปรับค่าความลึก (Depth) 350 μm มีการปรับตำแหน่งฟิลเตอร์ (Filter Adjust) ความเร็วของแกนหมุน (Spindle) 20000 rpm และอัตราการป้อนแกน Z (Z-Feed) 1.1 mm/min โดยตั้งค่าในเครื่องตัด (Micro Slicer machine)



รูปที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับ (RL) ช่วงความยาวคลื่น 1650 nm ของการประกอบฟิลเตอร์เชื่อมกับใยแก้วนำแสง

จากรูปที่ 4.4 วิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับ (RL) พบว่าข้อมูลดังกล่าวตั้งอยู่บนสมมติฐานหลัก 3 ประการดังนี้

1) ข้อมูลส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติและค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ (Normality Assumption)

ความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot of the Residuals) พบว่าผลที่ได้จากการพล็อตกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้างทั้งสองผลตอบมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ไม่มีจุดใด ๆ ออกนอกเส้นตรงอย่างชัดเจน จึงสรุปได้ว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างของข้อมูล มีแนวโน้มของการกระจายตัวเป็นแบบเหมาะสม ในทำนองเดียวกัน เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.4 ในส่วนของกราฟฮีสโตแกรมของส่วนตกค้าง (Histogram of the Residuals) พบว่ามีการกระจายตัวของส่วนตกค้างในทุกช่วงของกราฟฮีสโตแกรม จึงสรุปได้ว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับของการประกอบฟิลเตอร์เชื่อมกับใยแก้วนำแสงมีแนวโน้มการกระจายตัวแบบปกติ

2) ส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่ (Constant Variance Assumption) ไม่เปลี่ยนแปลงตามระดับของปัจจัยหรือขึ้นอยู่กับค่าพยากรณ์ของผลตอบ

จากรูปที่ 4.4 ในส่วนของกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกทำนาย (Residuals Versus the Fitted Values) ของข้อมูลผลตอบค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับในการประกอบฟิลเตอร์เชื่อมกับใยแก้วนำแสงพบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างทั้งสองผลตอบไม่มีแนวโน้มอย่างชัดเจน สามารถสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบอิสระไม่ขึ้นอยู่กับค่าที่ถูกทำนาย

3) ส่วนตกค้างต้องมีการกระจายตัวอิสระ (Independence Assumption) ไม่แปรผันตามปัจจัยหรือลำดับการทดลอง

จากรูปที่ 4.4 ในส่วนของกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง (Plot of Residuals Versus the Observation Order of the Data) ของข้อมูลผลตอบค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับในการประกอบฟิลเตอร์เชื่อมกับใยแก้วนำแสงพบว่าจุดที่พล็อตไม่มีแนวโน้มใด ๆ จึงสรุปได้ว่าส่วนตกค้างทั้งสองผลตอบมีลักษณะการกระจายตัวแบบอิสระไม่ขึ้นอยู่กับลำดับการทดลอง กล่าวคือ

จากผลการทดสอบสมมติฐานทั้ง 3 ข้อของส่วนตกค้างของข้อมูลสามารถสรุปได้ว่าผลตอบ มีส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับในการประกอบฟิลเตอร์เชื่อมกับใยแก้วนำแสงมีการกระจายตัวแบบปกติและค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์มีความแปรปรวนคงที่และมีการกระจายตัวอิสระ

หลังจากทราบค่าความสำคัญของแต่ละปัจจัย หาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Response Optimizer) เพื่อหาปัจจัยที่มีเหมาะสมต่อค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับในการประกอบฟิลเตอร์เชื่อมกับใยแก้วนำแสงพบว่าทั้ง 2 ปัจจัย ทั้งความลึก และการปรับตำแหน่งฟิลเตอร์มีผล

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

อย่างนัยสำคัญ เมื่อกำหนดค่าผลตอบของค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับ (Return Loss) เป้าหมายของค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับในการประกอบฟิลเตอร์เชื่อมกับใยแก้วนำแสงที่เหมาะสมที่สุดทำให้ค่าการสูญเสียสะท้อนกลับ 47.81 dB. จะต้องใช้ค่าความลึก 350 μm และมีการปรับตำแหน่งฟิลเตอร์

ผลการวิเคราะห์หาปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดต่อค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับ (RL) ช่วงความยาวคลื่น 1650 nm ในการประกอบฟิลเตอร์เชื่อมกับใยแก้วนำแสงแต่ละปัจจัยได้ผลดังนี้

1. ค่าความเร็วรอบ (Spindle) 20000 rpm
2. อัตราการป้อนแกน Z (Z-Feed) 1.1 mm/min
3. ค่าความลึก (Depth) 350 μm
4. มีการปรับตำแหน่งฟิลเตอร์ (Filter Adjust)

จากการวิเคราะห์สมการถดถอยหาค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับ ช่วงความยาวคลื่น 1650 nm ของการประกอบฟิลเตอร์เชื่อมกับใยแก้วนำแสง ผู้ทำการวิจัยจึงกำหนดค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับของการประกอบฟิลเตอร์เชื่อมกับใยแก้วนำแสงโดยค่าที่ทำให้ค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับ (Return Loss) มีค่าที่เหมาะสม และดีที่สุดในการประกอบฟิลเตอร์เชื่อมกับใยแก้วนำแสงคือ 47.81 dB ที่ความเร็วรอบของเครื่องตัด Micro Slicer (Spindle) 20000 rpm อัตราการป้อนของแกน Z (Z-Feed) 1.1 mm/min ความลึกที่ 350 μm และมีการปรับตำแหน่งฟิลเตอร์ (Filter Adjust)

4.6 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Cp)

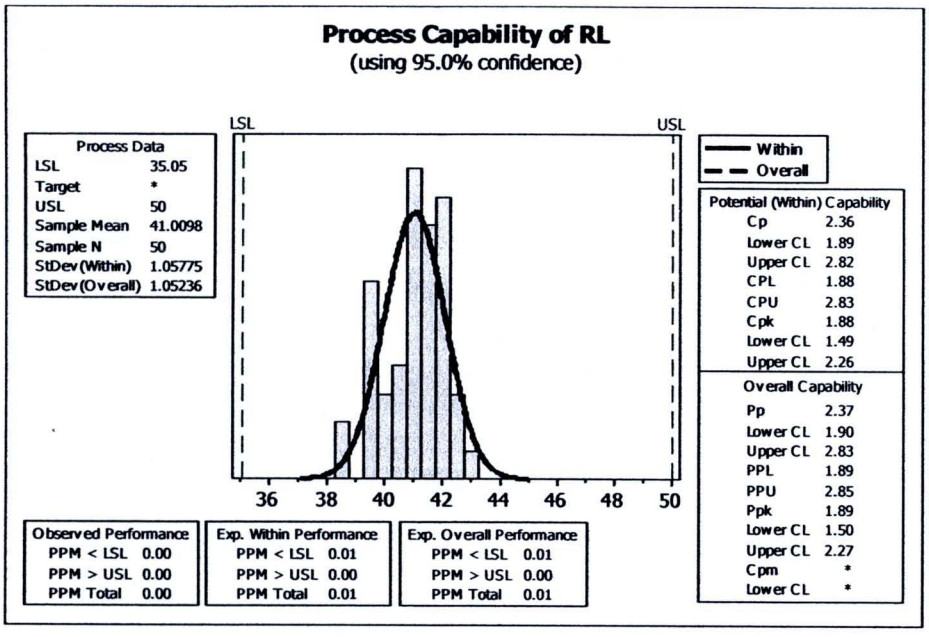
จากค่าที่ได้จากการออกแบบการทดลองปัจจัยที่เหมาะสมต่อค่าการสูญเสียของแสงสะท้อนกลับ ความยาวคลื่น 1650 nm คือค่าความเร็วรอบ (Spindle) 20000 rpm ความเร็วแกน Z (Z-feed) 1.1 mm/min ค่าความลึก 350 μm และมีการปรับตำแหน่งฟิลเตอร์ นำค่าดังกล่าวไปทดสอบค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับในกระบวนการประกอบฟิลเตอร์เชื่อมกับใยแก้วนำแสงจำนวน 50 ชิ้นได้ผลตามตารางที่ 4-5

ตาราง 4-5 ค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับในกระบวนการประกอบฟิลเตอร์เชื่อมกับใยแก้วนำแสงที่ความยาวคลื่น 1650 nm

No.	RL(dB)	No.	RL(dB)	No.	RL(dB)	No.	RL(dB)
1	41.56	14	41.06	27	39.55	40	42.61
2	41.46	15	39.62	28	40.05	41	41.26
3	41.88	16	39.34	29	39.27	42	42.07
4	40.95	17	39.62	30	42.87	43	41.06
5	40.74	18	41.01	31	41.81	44	40.65
6	40.41	19	41.89	32	41.61	45	40.87
7	41.44	20	41.69	33	42.46	46	41.02
8	39.58	21	41.18	34	42.06	47	42.23
9	39.55	22	39.94	35	42.42	48	41.26
10	41.59	23	41.01	36	40.86	49	41.82
11	41.18	24	38.7	37	42.19	50	42.04
12	40.46	25	41.31	38	41.15		
13	38.49	26	39.75	39	41.89		

จะเห็นได้ว่าค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับ หลังการทดสอบค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับที่เหมาะสมจากการวิเคราะห์สมการถดถอย จากรูปที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยของค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับหลังการปรับค่าของปัจจัยที่ได้จากการสมการถดถอย คำนวนค่าที่เหมาะสมที่สุดกับและเปรียบเทียบผลจากการปรับปรุง ผลหลังปรับค่าปัจจัย พบว่าค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับ ที่ช่วงความยาวคลื่นเฉลี่ยอยู่ที่ 41.01 dB. มีความคลาดเคลื่อนจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบหลังการปรับปรุง และสามารถยอมรับได้ในประบวนการประกอบฟิลเตอร์เชื่อมกับใยแก้วนำแสง เนื่องจากมุมจากการตัดยังมีความคลาดเคลื่อน และสามารถยอมรับได้ ฟิลเตอร์ยังสามารถเคลื่อนที่ได้ก่อนกาวแข็งตัวก็อาจทำให้ค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับคลาดเคลื่อนได้

จากการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการประกอบฟิลเตอร์เชื่อมกับใยแก้วนำแสง โดยโปรแกรม Minitab version 16 ได้ผลดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (C_p) ของค่าการสูญเสียของแสงเมื่อสะท้อนกลับ (RL) ในการประกอบฟิลเตอร์เชื่อมกับใยแก้วนำแสง

Cp คือดัชนีที่แสดงถึงความสามารถของกระบวนการซึ่งพิจารณาจากความแปรผันภายในของกระบวนการเมื่อเทียบกับข้อกำหนด (Specification) โดยไม่คำนึงถึงค่ากลางของกระบวนการ ซึ่งจากกราฟ ค่า Cp มีค่า 2.36 ถือว่าความสามารถของกระบวนการมีค่าที่ดีเยี่ยม เมื่อพิจารณาดัชนีความสามารถของกระบวนการด้านสมรรถนะที่กระบวนการเบี่ยงเบนไประยะสั้น Cpk ซึ่งมีค่า 1.88 ถือว่าเป็นดัชนีที่บ่งบอกว่ากระบวนการมีความสามารถที่ได้มาตรฐานดีเยี่ยม และเพื่อให้ความเชื่อมั่นของกระบวนการว่ากระบวนการประกอบฟิลเตอร์เชื่อมกับใยแก้วนำแสงที่นำค่าปัจจัยทั้ง 4 มาประยุกต์ใช้จริงนั้นทำให้ความสามารถของกระบวนการมีค่าที่ดีเยี่ยม ถือว่ากระบวนการประกอบฟิลเตอร์เชื่อมกับใยแก้วผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Cp) นำแสงนี้มีความน่าเชื่อถือ