

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^2 ของ F และ G

ค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะ (Adhesion) ของการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^2 ของ F และ G จำนวน 2 เพลทได้ถูกดำเนินการ ซึ่งมีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลดังนี้

4.1.1 การตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล (Normal Distribution)

จากภาคผนวก ค ภาพที่ ค-1 พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residuals) สำหรับค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะ (Adhesion) ของการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^2 จำนวน 2 เพลทของปัจจัย F และ G แสดงให้เห็นลักษณะการกระจายตัวประมาณได้เป็นเส้นตรง ทำให้สรุปได้ว่าข้อมูลมีแนวโน้มการกระจายตัวแบบปกติ และข้อมูลนั้นน่าเชื่อถือ

4.1.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent)

จากภาคผนวก ค ภาพที่ ค-2 การกระจายตัวของข้อมูลไม่มีรูปแบบที่แน่นอน และไม่สามารถทำนายได้ แสดงให้เห็นว่าส่วนตกค้างของค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะมีแนวโน้มเป็นอิสระต่อกัน (Independent)

4.1.3 การตรวจสอบเสถียรภาพของความแปรปรวน (Variance Stability)

จากภาคผนวก ค ภาพที่ ค-3 ซึ่งเป็นแผนภาพการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง กับค่า Fitted Value ของข้อมูลจากค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะ (Adhesion) แสดงให้เห็นว่าความแปรปรวนของส่วนตกค้างมีการกระจายจากแนวเส้นศูนย์ทั้งด้านบน และด้านล่างใกล้เคียงกัน แสดงว่าความแปรปรวนของส่วนตกค้างมีความเสถียร และความแปรปรวนมีแนวโน้มกระจายตัวแคบลงเมื่อค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะเพิ่มขึ้น

จากภาคผนวก ค ภาพที่ ค-4 ซึ่งเป็นแผนภาพการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างของค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะเทียบกับระดับของปัจจัย F พบว่าความแปรปรวนของส่วนตกค้างมีการกระจายจากแนวเส้นศูนย์ทั้งด้านบน และด้านล่างใกล้เคียงกันแสดงว่าความแปรปรวนของส่วนตกค้างมีความเสถียร และความแปรปรวนการแนวนอนมีค่าที่ระดับต่ำของปัจจัย F

จากภาคผนวก ค ภาพที่ ค-5 ซึ่งเป็นแผนภาพการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างของค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะเทียบกับระดับของปัจจัย G พบว่าความแปรปรวนของส่วนตกค้างมีการกระจายจากแนวเส้นศูนย์ทั้งด้านบน และด้านล่างใกล้เคียงกันแสดงว่าความแปรปรวนของส่วนตกค้างมีความเสถียร และความแปรปรวนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นที่ระดับสูงของปัจจัย G

4.1.4 การวิเคราะห์และการสรุปผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^2 ของปัจจัย F และ G

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์การทดลอง 2^2 ของปัจจัย F และ G จำนวน 2 เพลทเคต

Full Factorial Design

Factors: 2 Base Design: 2, 4
Runs: 8 Replicates: 2
Blocks: 1 Center pts (total): 0
All terms are free from aliasing.

Factorial Fit: Adhesion versus G, F

Estimated Effects and Coefficients for Adhesion (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		3.5875	0.02795	128.35	0.000
G	0.0250	0.0125	0.02795	0.45	0.678
F	-0.2250	-0.1125	0.02795	-4.02	0.016
G*F	0.0250	0.0125	0.02795	0.45	0.678

S = 0.0790569 R-Sq = 80.58% R-Sq(adj) = 66.02%

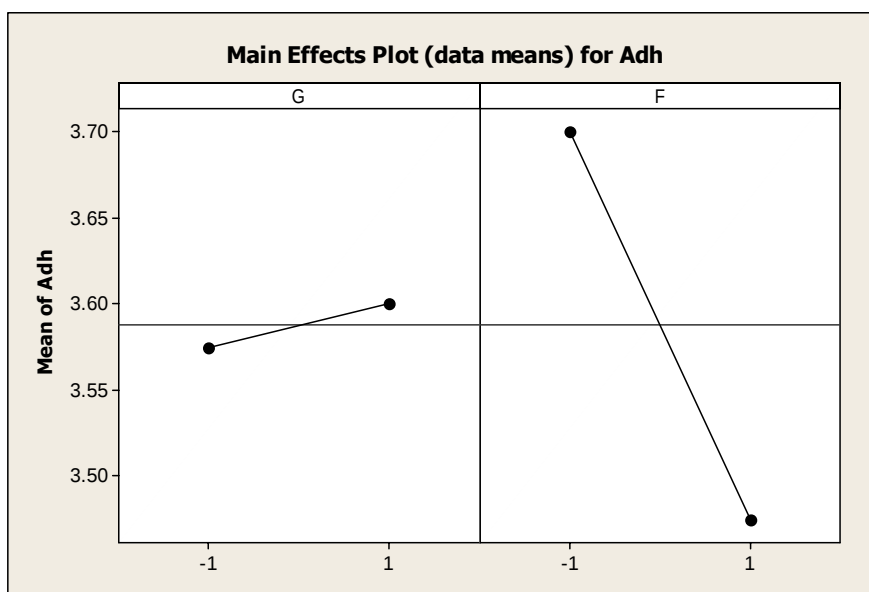
Analysis of Variance for Adhesion (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	0.102500	0.102500	0.051250	8.20	0.038
2-Way Interactions	1	0.001250	0.001250	0.001250	0.20	0.678
Residual Error	4	0.025000	0.025000	0.006250		
Pure Error	4	0.025000	0.025000	0.006250		
Total	7	0.128750				

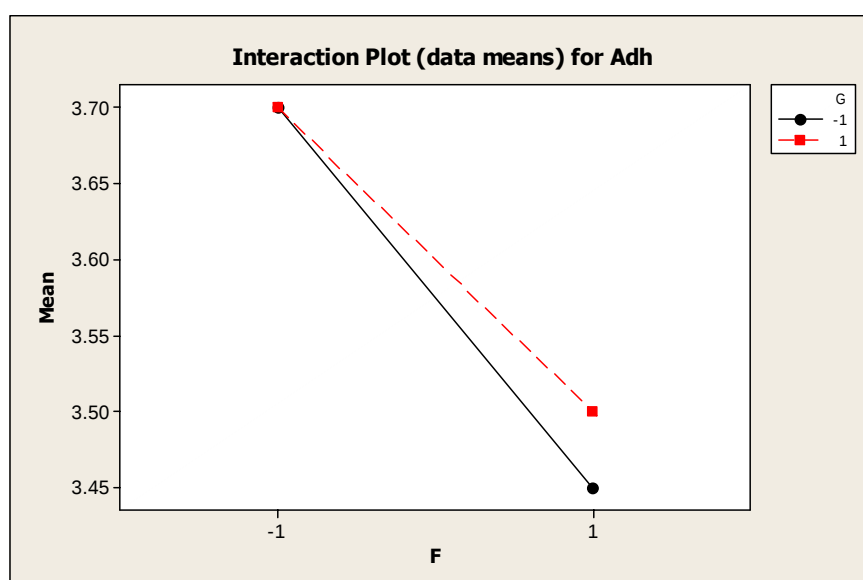
Least Squares Means for Adhesion

	Mean	SE Mean
G		
-1	3.575	0.03953
1	3.600	0.03953
F		
-1	3.700	0.03953
1	3.475	0.03953
G*F		
-1 -1	3.700	0.05590
1 -1	3.700	0.05590
-1 1	3.450	0.05590
1 1	3.500	0.05590

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งพบว่าปัจจัย G และ อันตรกิริยาของ F และ G ไม่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญในช่วงความเชื่อมั่น 95% ส่วนปัจจัย F มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญในช่วงความเชื่อมั่น 95% โดยมีอิทธิพลในทางลบต่อค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะ



ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงอิทธิพลหลักของการทดลอง 2^2 ของ F และ G จำนวน 2 เพลลิกेट



ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงอิทธิพลของอันตรกิริยาของการทดลอง 2^2 ของ F และ G 2 เพลลิกेट

จากภาพที่ 4.1 พบว่าค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะของปัจจัย G ที่ระดับต่ำและสูง เกือบจะคงที่ และค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะลดลงอย่างมากที่ปัจจัย F ที่ระดับสูง จากภาพที่ 4.2 พบว่าไม่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย F และ G และผลตอบสนองสูงสุดได้จากปัจจัย F และ G ที่ระดับต่ำ (ระดับต่ำคือไม่มีสาร F และ G ในน้ำยา) จากการทดลอง 2^2 ในการทดลองขั้นที่ 1 สามารถสรุปได้ว่าสารเคมี F และ G ไม่มีอิทธิพลในทางบวกต่อค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะ ดังนั้นการทดลองในขั้นที่ 2 จะดำเนินการต่อในการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^5 ของปัจจัย A, B, C, D และ E เรพลีเคตที่ 1 ต่อไป

4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองแฟกทอเรียล 2^5 ของปัจจัย A,B,C,D และ E เรพลีเคตที่ 1

4.2.1 การตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล (Normal Probability Plot)

จากภาคผนวก ง ภาพที่ ง-1 แสดงการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residuals) สำหรับค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะ (Adhesion) ของการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^5 เรพลีเคตที่ 1 ของปัจจัย A, B, C, D และ E ซึ่งพบว่าลักษณะการกระจายตัวประมาณได้เป็นเส้นตรง ทำให้สรุปได้ว่าข้อมูลมีแนวโน้มการกระจายตัวแบบปกติ และข้อมูลนั้นน่าเชื่อถือได้

4.2.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent)

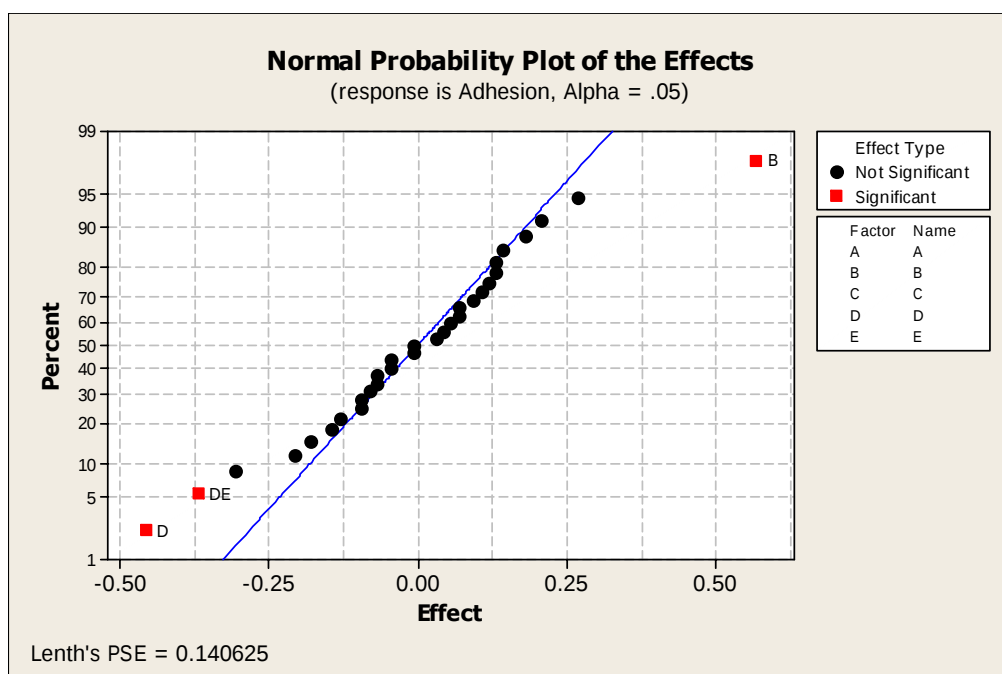
จากภาคผนวก ง ภาพที่ ง-2 แสดงการกระจายตัวของข้อมูลที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน และไม่สามารถทำนายได้ แสดงให้เห็นว่า ส่วนตกค้างของค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะ มีแนวโน้มเป็นอิสระต่อกัน (Independent)

4.2.3 การตรวจสอบเสถียรภาพของความแปรปรวน (Variance Stability)

จากภาคผนวก ง ภาพที่ ง-3 แสดงการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง กับค่า Fitted Value ของข้อมูลจากค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะ (Adhesion) ซึ่งแสดงให้เห็นการกระจายตัว

4.2.4 การวิเคราะห์และการสรุปผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2⁵ ของปัจจัย A, B, C, D และ E เรพลิเคตที่ 1

ค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะ (Adhesion) ของการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2⁵ ของปัจจัย A, B, C, D และ E เรพลิเคตที่ 1 ได้นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนและแสดงผลในภาพที่ 4.3 และตารางที่ 4.2 พบว่าปัจจัย B มีอิทธิพลทางบวกอย่างมีนัยสำคัญในช่วงความเชื่อมั่น 95% ส่วนปัจจัย D และ อันตรกิริยาของ DE มีอิทธิพลทางลบอย่างมีนัยสำคัญในช่วงความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 4.3 กราฟ Normal Probability Plot of Standard Effect ของ A,B,C,D และ E เรพลิเคตที่ 1

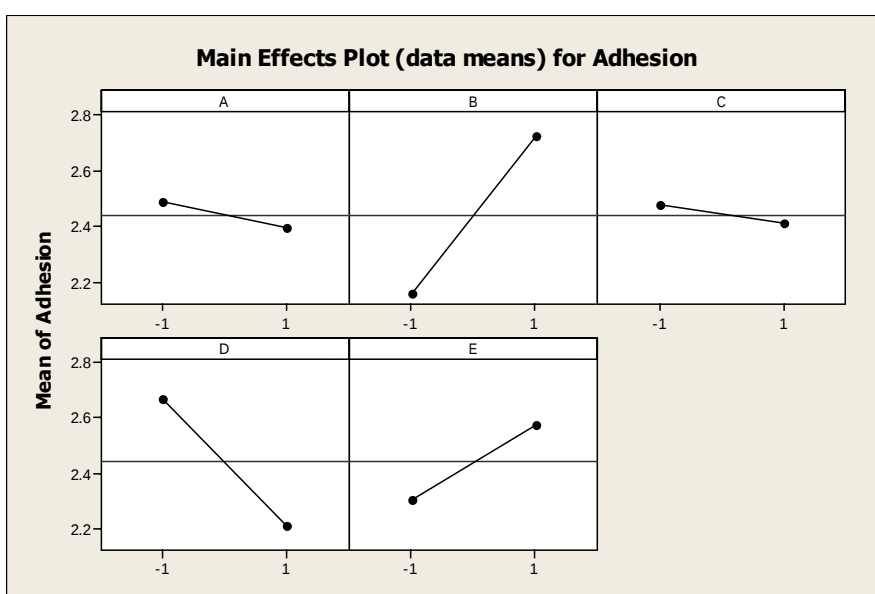
จากภาพที่ 4.4 พบว่าค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะทั้งที่ระดับต่ำและสูงของปัจจัย A และ C เกือบจะมีค่าคงที่ นอกจากนี้ค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะลดลงอย่างมากในปัจจัย D ที่ระดับสูง และ ค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะมีค่าเพิ่มขึ้นในปัจจัย B และ E ที่ระดับสูง จากภาพที่ 4.5 พบว่ามีแนวโน้มของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย BD, CE และ DE

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนการทดลอง 2^5 ของ A, B, C, D และ E เรพลิเคตที่ 1

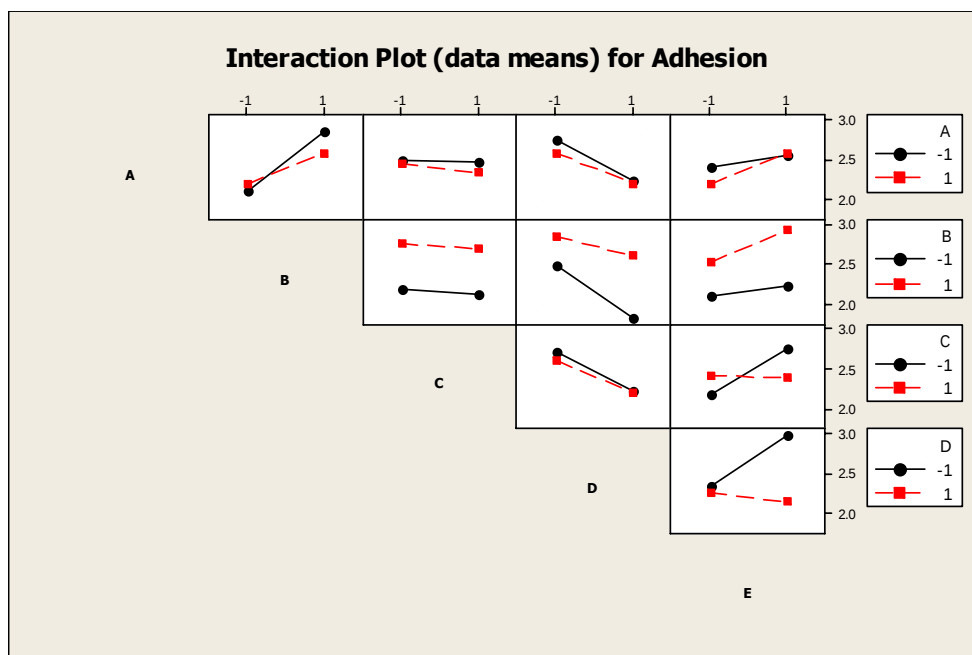
Factorial Fit: Adhesion versus A, B, C, D, E

Estimated Effects and Coefficients for Adhesion (coded units)

Term	Effect	Coef
Constant		2.4406
A	-0.0937	-0.0469
B	0.5687	0.2844
C	-0.0687	-0.0344
D	-0.4562	-0.2281
E	0.2688	0.1344
A*B	-0.1812	-0.0906
A*C	-0.0438	-0.0219
A*D	0.0687	0.0344
A*E	0.1187	0.0594
B*C	-0.0062	-0.0031
B*D	0.2063	0.1031
B*E	0.1313	0.0656
C*D	0.0437	0.0219
C*E	-0.3063	-0.1531
D*E	-0.3688	-0.1844
A*B*C	-0.2063	-0.1031
A*B*D	0.0563	0.0281
A*B*E	-0.1438	-0.0719
A*C*D	-0.1312	-0.0656
A*C*E	0.0938	0.0469
A*D*E	0.0313	0.0156
B*C*D	-0.0688	-0.0344
B*C*E	0.1813	0.0906
B*D*E	0.0687	0.0344
C*D*E	-0.0938	-0.0469
A*B*C*D	0.1312	0.0656
A*B*C*E	0.1063	0.0531
A*B*D*E	0.1438	0.0719
A*C*D*E	-0.0438	-0.0219
B*C*D*E	-0.0813	-0.0406
A*B*C*D*E	-0.0063	-0.0031



ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงอิทธิพลหลักของการทดลอง 2^5 ของ A, B, C, D และ E เรพลิเคตที่ 1



ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงอันตรกิริยาของการทดลอง 2^5 ของ A, B, C, D และ E เรพลีเคตที่ 1

4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^5 ของ A, B, C, D และ E เรพลีเคตที่ 2

4.3.1 การตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล (Normal Probability Plot)

จากภาคผนวก จ ภาพที่ จ-1 แสดงการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residuals) สำหรับค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะ (Adhesion) ของการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^5 เรพลีเคตที่ 1 และ 2 ของปัจจัย A, B, C, D และ E ซึ่งแสดงให้เห็นลักษณะการกระจายตัวประมาณได้เป็นเส้นตรง ทำให้สรุปได้ว่าข้อมูลมีแนวโน้มการกระจายตัวแบบปกติ และข้อมูลนั้นน่าเชื่อถือได้

4.3.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent)

จากภาคผนวก จ ภาพที่ จ-2 การกระจายตัวของข้อมูลไม่มีรูปแบบที่แน่นอน และไม่สามารทำนายได้ แสดงให้เห็นว่า ส่วนตกค้างของค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะ มีแนวโน้มเป็นอิสระต่อกัน (Independent)

4.3.3 การตรวจสอบเสถียรภาพของความแปรปรวน (Variance Stability)

จากภาคผนวก จ ภาพที่ จ-3 ซึ่งเป็นแผนภาพการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง กับ ค่า Fitted Value ของข้อมูลจากค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะ (Adhesion) แสดงให้เห็นการกระจายตัวของส่วนตกค้าง จากแนวเส้นศูนย์ทั้งด้านบนและด้านล่างใกล้เคียงกัน จึงประมาณได้ว่าค่าเฉลี่ยของส่วนตกค้างมีค่าใกล้เคียงศูนย์ แสดงว่าความแปรปรวนของส่วนตกค้างมีความเสถียร

จากภาคผนวก จ ภาพที่ จ-4 ซึ่งเป็นแผนภาพการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างของค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะ (Adhesion) เทียบกับระดับของปัจจัย A แสดงให้เห็นว่าความแปรปรวนของส่วนตกค้างมีการเบี่ยงเบนไปทางด้านบวกและทางด้านลบใกล้เคียงกัน จึงประมาณได้ว่าค่าเฉลี่ยของส่วนตกค้างมีค่าใกล้เคียงศูนย์ แสดงว่าความแปรปรวนมีความเสถียร

จากภาคผนวก จ ภาพที่ จ-5 ซึ่งเป็นแผนภาพการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างของค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะ (Adhesion) เทียบกับระดับของปัจจัย B แสดงให้เห็นว่าความแปรปรวนของส่วนตกค้างมีการเบี่ยงเบนไปทางด้านบวกและทางด้านลบใกล้เคียงกัน จึงประมาณได้ว่าค่าเฉลี่ยของส่วนตกค้างมีค่าใกล้เคียงศูนย์ แสดงว่าความแปรปรวนมีความเสถียร และมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจนที่ระดับสูงของปัจจัย B

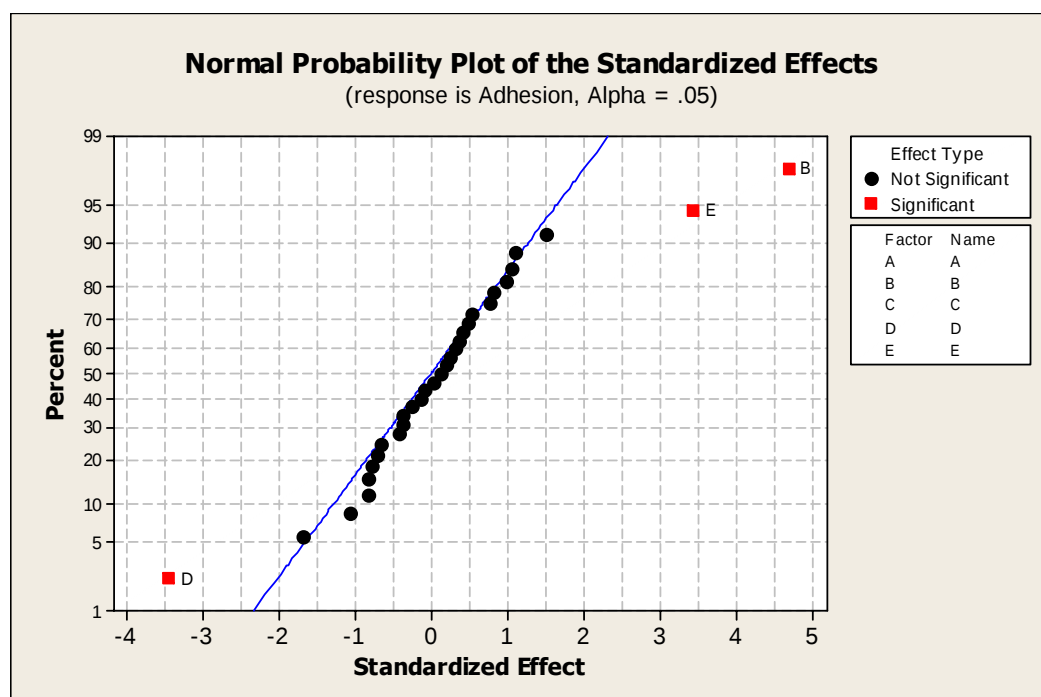
จากภาคผนวก จ ภาพที่ จ-6 ซึ่งเป็นแผนภาพการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างของค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะ (Adhesion) เทียบกับระดับของปัจจัย C แสดงให้เห็นว่าความแปรปรวนของส่วนตกค้างมีการเบี่ยงเบนไปทางด้านบวกและทางด้านลบใกล้เคียงกัน จึงประมาณได้ว่าค่าเฉลี่ยของส่วนตกค้างมีค่าใกล้เคียงศูนย์ แสดงว่าความแปรปรวนมีความเสถียร

จากภาคผนวก จ ภาพที่ จ-7 ซึ่งเป็นแผนภาพการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างของค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะ (Adhesion) เทียบกับระดับของปัจจัย D แสดงให้เห็นว่าความแปรปรวนของส่วนตกค้างมีการเบี่ยงเบนไปทางด้านบวกและทางด้านลบใกล้เคียงกัน จึงประมาณได้ว่าค่าเฉลี่ยของส่วนตกค้างมีค่าใกล้เคียงศูนย์ แสดงว่าความแปรปรวนมีความเสถียร

จากภาคผนวก จ ภาพที่ จ-8 ซึ่งเป็นแผนภาพการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างของค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะ (Adhesion) เทียบกับระดับของปัจจัย E แสดงให้เห็นว่าความแปรปรวนของส่วนตกค้างมีการเบี่ยงเบนไปทางด้านบวกและทางด้านลบใกล้เคียงกัน จึงประมาณได้ว่าค่าเฉลี่ยของส่วนตกค้างมีค่าใกล้เคียงศูนย์ แสดงว่าความแปรปรวนมีความเสถียร

4.3.4 การวิเคราะห์และการสรุปผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^5 ของปัจจัย A, B, C, D และ E เรพลิเคตที่ 1 และ 2

ค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะ (Adhesion) ของการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^5 ของปัจจัย A, B, C, D และ E เรพลิเคตที่ 1 และ 2 ได้นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนและแสดงผลในภาพที่ 4.6 และ ตารางที่ 4.3 ซึ่งพบว่าปัจจัย B และ E มีอิทธิพลทางบวกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนปัจจัย D มีอิทธิพลทางลบอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งผลการทดลองที่ได้ ให้ผลใกล้เคียงกับการวิเคราะห์และสรุปผลในเรพลิเคตที่ 1 และจากค่า P-Value ของ บล็อกมีค่าสูง จึงสรุปว่าบล็อก (ความแตกต่างในล็อตของวัตถุดิบและล็อตของยางที่ใช้ทดสอบ) ไม่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 4.6 Normal Probability Plot of Standard Effect ของ A,B,C,D และ E เรพลิเคตที่ 1 และ 2

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ของ A, B, C, D และ E เรพลิเคตที่ 1 และ 2

Factorial Fit: Adhesion versus Block, A, B, C, D, E

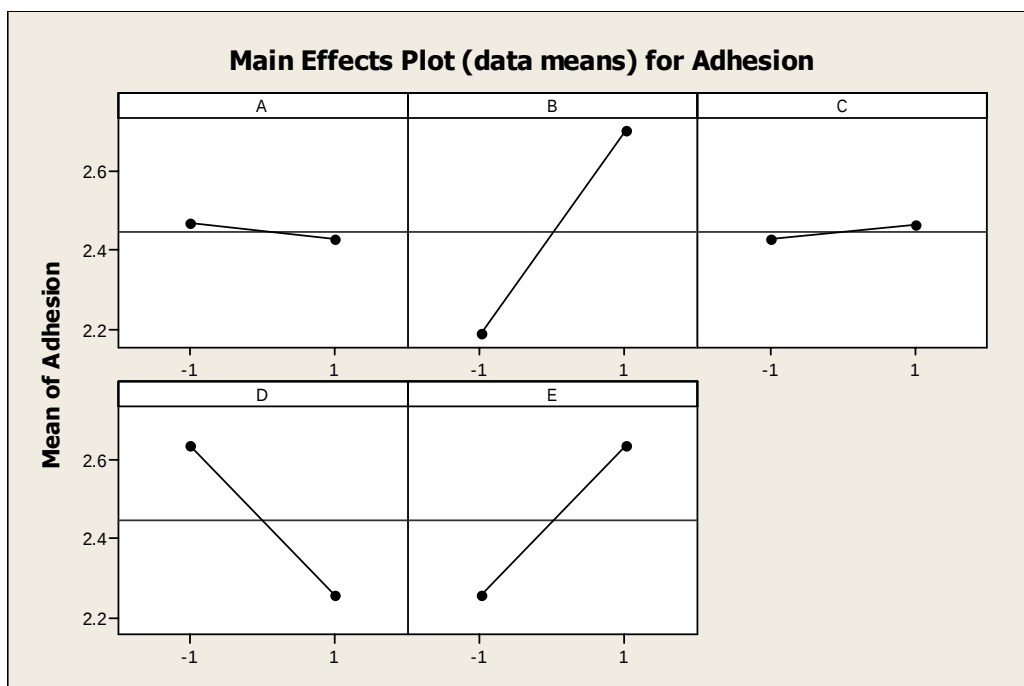
Estimated Effects and Coefficients for Adhesion (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		2.4453	0.05487	44.56	0.000
Block		0.0047	0.05487	0.09	0.932
A	-0.0406	-0.0203	0.05487	-0.37	0.714
B	0.5156	0.2578	0.05487	4.70	0.000
C	0.0344	0.0172	0.05487	0.31	0.756
D	-0.3781	-0.1891	0.05487	-3.45	0.002
E	0.3781	0.1891	0.05487	3.45	0.002
A*B	-0.1156	-0.0578	0.05487	-1.05	0.300
A*C	-0.0469	-0.0234	0.05487	-0.43	0.672
A*D	0.0156	0.0078	0.05487	0.14	0.888
A*E	0.0469	0.0234	0.05487	0.43	0.672
B*C	-0.0281	-0.0141	0.05487	-0.26	0.799
B*D	0.1219	0.0609	0.05487	1.11	0.275
B*E	0.1156	0.0578	0.05487	1.05	0.300
C*D	0.0906	0.0453	0.05487	0.83	0.415
C*E	-0.0906	-0.0453	0.05487	-0.83	0.415
D*E	-0.0406	-0.0203	0.05487	-0.37	0.714
A*B*C	-0.1844	-0.0922	0.05487	-1.68	0.103
A*B*D	0.1656	0.0828	0.05487	1.51	0.141
A*B*E	0.0844	0.0422	0.05487	0.77	0.448
A*C*D	-0.0156	-0.0078	0.05487	-0.14	0.888
A*C*E	0.0531	0.0266	0.05487	0.48	0.632
A*D*E	-0.0719	-0.0359	0.05487	-0.65	0.517
B*C*D	0.0031	0.0016	0.05487	0.03	0.977
B*C*E	0.1094	0.0547	0.05487	1.00	0.327
B*D*E	-0.0781	-0.0391	0.05487	-0.71	0.482
C*D*E	-0.0844	-0.0422	0.05487	-0.77	0.448
A*B*C*D	0.0219	0.0109	0.05487	0.20	0.843
A*B*C*E	0.0281	0.0141	0.05487	0.26	0.799
A*B*D*E	0.0406	0.0203	0.05487	0.37	0.714
A*C*D*E	-0.0906	-0.0453	0.05487	-0.83	0.415
B*C*D*E	-0.0094	-0.0047	0.05487	-0.09	0.932
A*B*C*D*E	0.0594	0.0297	0.05487	0.54	0.592

S = 0.438972 R-Sq = 66.36% R-Sq(adj) = 31.64%

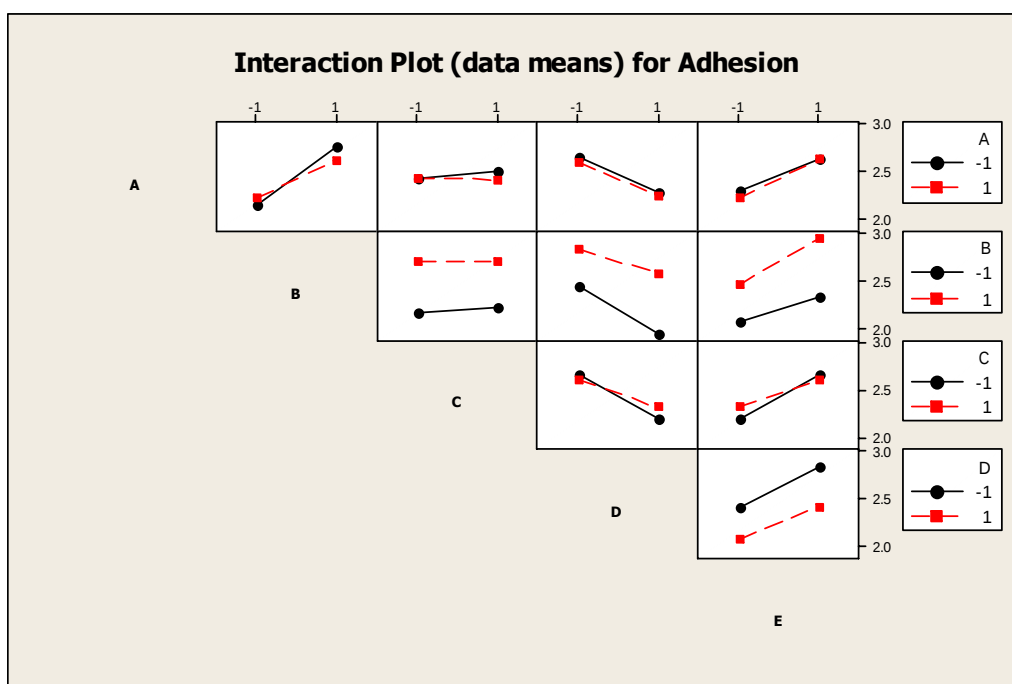
Analysis of Variance for Adhesion (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	1	0.0014	0.00141	0.00141	0.01	0.932
Main Effects	5	8.8745	8.87453	1.77491	9.21	0.000
2-Way Interactions	10	1.0416	1.04156	0.10416	0.54	0.848
3-Way Interactions	10	1.6316	1.63156	0.16316	0.85	0.589
4-Way Interactions	5	0.1795	0.17953	0.03591	0.19	0.966
5-Way Interactions	1	0.0564	0.05641	0.05641	0.29	0.592
Residual Error	31	5.9736	5.97359	0.19270		
Total	63	17.7586				



ภาพที่ 4.7 อิทธิพลหลักของการทดลอง 2^5 ของ A, B, C, D และ E เรพลีเคตที่ 1 และ 2

จากภาพที่ 4.7 พบว่าค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะทั้งที่ระดับต่ำและสูงของปัจจัย A และ C เกือบจะมีค่าคงที่ นอกจากนั้นค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะลดลงอย่างมากในปัจจัย D ที่ระดับสูง และ ค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะมีค่าเพิ่มขึ้นในปัจจัย B และ E ที่ระดับสูง



ภาพที่ 4.8 อันตรกิริยาของการทดลอง 2^5 ของ A, B, C, D และ E เรพลีเคตที่ 1 และ 2

จากภาพที่ 4.8 พบว่ามีแนวโน้มของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย AB, AE, CD และ CE แต่พิจารณาจากค่า P-Value แล้วไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.4 การทดลองการป็นขึ้นด้วยความชันสูงสุด

จากผลการทดลอง Full Factorial แบบ 2^5 ของปัจจัย A, B, C, D และ E จำนวน 2 เรี พลิกเต สามารถสร้างแบบจำลองการถดถอยของผลตอบสนอง โดยพิจารณาเฉพาะปัจจัยที่มีผล อย่างมีนัยสำคัญได้ดังนี้

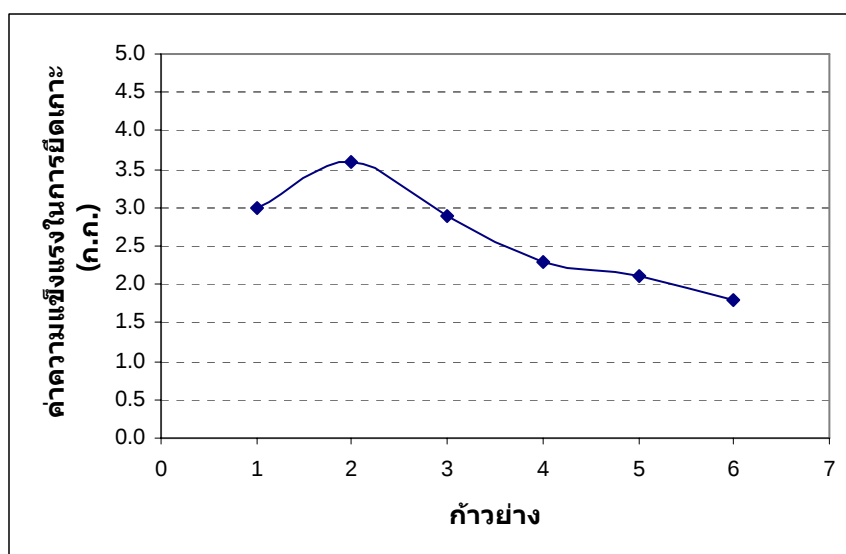
$$Y = 2.4453 + 0.2578 B - 0.1891 D + 0.1891 E$$

จากการพล็อตความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง และกราฟส่วนตกค้างกับค่า Adhesion ที่ถูกทำนาย ไม่พบสิ่งผิดปกติอันใด ดังนั้นข้อสรุปที่เกิดจากการวิเคราะห์ในการทดลอง นี้สมเหตุสมผล

เนื่องจากค่าผลตอบสนองจะให้ค่าสูงที่ระดับต่ำของปัจจัย D ซึ่งระดับต่ำของปัจจัย D ในการทดลองนี้คือไม่มีปัจจัย D และเนื่องจากการไม่มีปัจจัย D ในน้ำยาจะช่วยลดปัญหาอนุภาค สะสมในกระบวนการผลิต ดังนั้นสมการแบบจำลองของการถดถอยสามารถลดรูปพิจารณาเป็น

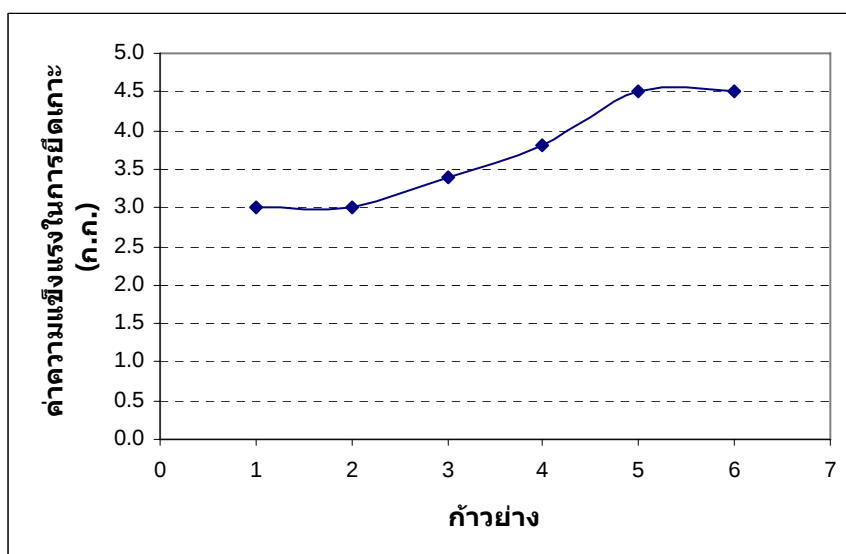
$$\text{Adhesion} = 2.4453 + 0.2578 B + 0.1891 E$$

ขั้นต่อไปจะทำการทดลองต่อโดยเคลื่อนที่จาก $B = 0$ และ $E = 0$ โดยเคลื่อนที่ 0.2578 หน่วยในทิศทาง B สำหรับทุกๆ 0.1891 หน่วยการเคลื่อนที่ในทิศทางของ E โดยกำหนด 1 ก้าวอย่างในตัวแปรที่ถูกเข้ารหัส B ของ $\Delta B = 1$ ดังนั้น $\Delta E = (0.1891 / 0.2578) \Delta B = 0.7335$ ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้



ภาพที่ 4.9 กราฟของค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะกับก้าวย่างตามเส้นทางของการป็นขึ้นด้วยความชันสูงสุดครั้งที่ 1

จากภาพที่ 4.9 การเพิ่มขึ้นของผลตอบสนองพบได้จนกระทั่งถึงก้าวย่างที่ 2 ก้าวย่างที่เกินไปกว่าจุดนี้ จะทำให้เกิดการลดลงในค่าผลตอบสนอง ดังนั้นการทดลองก้าวย่างตามเส้นทางของการป็นขึ้นด้วยความชันสูงสุดครั้งที่ 2 จึงถูกดำเนินการโดยปรับให้ก้าวย่างตามธรรมชาติลดลงซึ่งได้ผลดังภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 กราฟของค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะกับก้าวย่างตามเส้นทางของการป็นขึ้นด้วยความชันสูงสุดครั้งที่ 2

จากผลการทดลองในการก้าวอย่างตามเส้นทางของการปีนขึ้นด้วยความชันสูงสุดครั้งที่ 2 พบว่าการเพิ่มขึ้นของผลตอบสนองพบได้จนกระทั่งถึงก้าวอย่างที่ 5 ก้าวอย่างที่ 6 ได้ค่าผลตอบสนองคงที่เท่ากับก้าวอย่างที่ 5 ซึ่งผลตอบสนองของทั้งก้าวอย่างที่ 5 และ 6 ถือได้ว่าเป็นค่าที่สูงที่สุดที่ได้จากการทดลอง และจะได้นำไปวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองกำลังสองต่อไป

4.5 การวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองด้วยการทดลองเชิงแฟกทอเรียลของปัจจัย B และ E

การทดลองพื้นผิวตอบสนองแบบแฟกทอเรียลของปัจจัย B และ E จำนวน 2 เวกเตอร์ โดยทำการบล็อกที่เรพลิเคตได้ถูกดำเนินการทดลองโดยกำหนดระดับของปัจจัย B และ E จากระดับที่ให้ค่าผลตอบสนองสูงสุด จากการทดลองการปีนขึ้นด้วยความชันสูงสุดเป็นค่ากลาง

4.5.1 การตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล (Normal Distribution)

จากภาคผนวก ข ภาพที่ ข-1 พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residuals) สำหรับค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะ (Adhesion) ของการทดลองเชิงแฟกทอเรียล จำนวน 2 เวกเตอร์ ของปัจจัย B และ E แสดงให้เห็นลักษณะการกระจายตัวประมาณได้เป็นเส้นตรง ทำให้สรุปได้ว่าข้อมูลมีแนวโน้มการกระจายตัวแบบปกติ และข้อมูลนั้นน่าเชื่อถือ ซึ่งสามารถสอดคล้องกันจากภาพที่ ข-2 ซึ่งแสดงฮิสโตแกรมของส่วนตกค้างจากการทดลองแฟกทอเรียลของปัจจัย B และ E มีลักษณะกระจายข้อมูลแบบปกติ

4.5.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent)

จากภาคผนวก ข ภาพที่ ข-3 การกระจายตัวของข้อมูลไม่มีรูปแบบที่แน่นอน และไม่สามารทำนายได้ แสดงให้เห็นว่าส่วนตกค้างของค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะมีแนวโน้มเป็นอิสระต่อกัน (Independent)

4.5.3 การตรวจสอบเสถียรภาพของความแปรปรวน (Variance Stability)

จากภาคผนวก ข ภาพที่ ข-4 ซึ่งเป็นแผนภาพการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง กับค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะ (Adhesion) แสดงให้เห็นว่าความแปรปรวนของส่วนตกค้างมีการกระจายจากแนวเส้นศูนย์ทั้งด้านบน และด้านล่างใกล้เคียงกันแสดงว่าความแปรปรวนของส่วนตกค้างมีความเสถียร

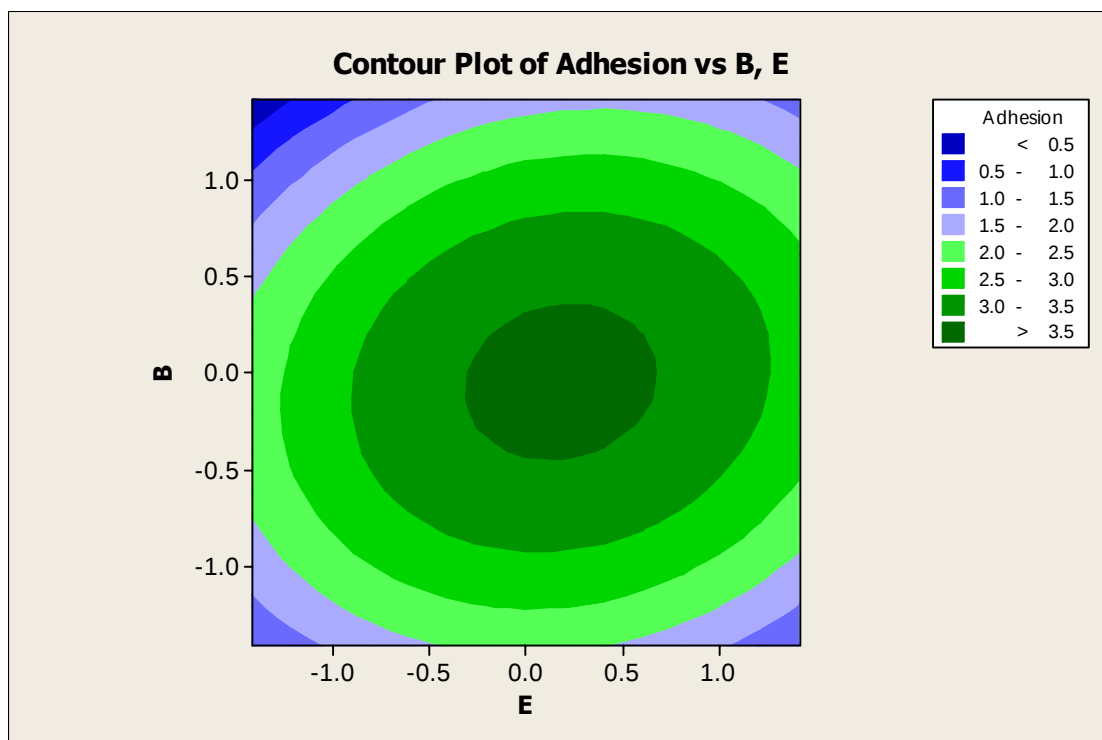
จากภาคผนวก ข ภาพที่ ข-5 และ ข-6 ซึ่งเป็นแผนภาพการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างของค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะ (Adhesion) กับระดับของปัจจัย B และ E แสดงให้เห็นว่าความแปรปรวนของส่วนตกค้างมีการกระจายจากแนวเส้นศูนย์ทั้งด้านบน และด้านล่างใกล้เคียงกัน จึงประมาณได้ว่าค่าเฉลี่ยของส่วนตกค้างมีค่าใกล้เคียงศูนย์ แสดงว่าความแปรปรวนของส่วนตกค้างมีความเสถียร

จากภาคผนวก ข ภาพที่ ข-7 ซึ่งเป็นแผนภาพการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างของค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะ (Adhesion) กับบล็อกที่ 1 และ 2 แสดงให้เห็นว่าความแปรปรวนของส่วนตกค้างมีการกระจายจากแนวเส้นศูนย์ทั้งด้านบน และด้านล่างใกล้เคียงกันทั้งในบล็อกที่ 1 และ 2 จึงประมาณได้ว่าค่าเฉลี่ยของส่วนตกค้างมีค่าใกล้เคียงศูนย์ แสดงว่าความแปรปรวนของส่วนตกค้างมีความเสถียร

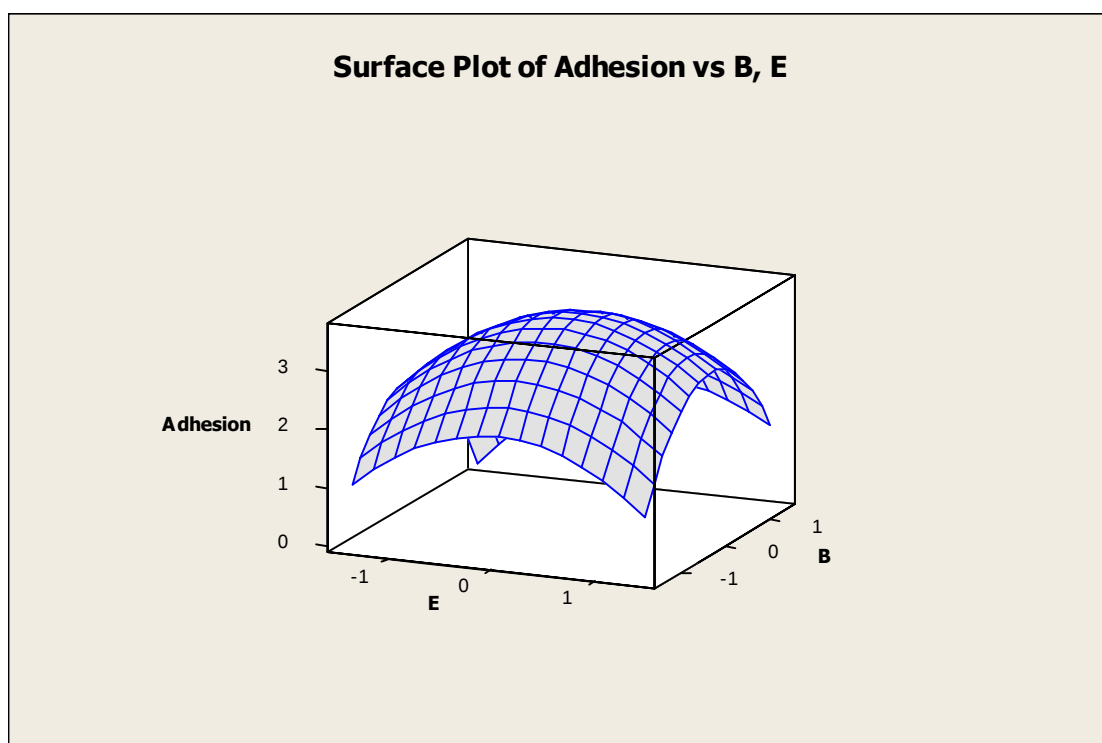
4.5.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองพื้นผิวตอบสนองแบบเซ็นทรัลคอมโพสิตของปัจจัย B และ E จำนวน 2 เรพลิเคต

จากการทดลองพื้นผิวกำลังสองได้ผลตอบสนองสูงสุดบริเวณค่ากลางของระดับการทดลอง โดยแสดงในภาพที่ 4.11 และ 4.12

จากตารางที่ 4.4 ค่า P-Value ของพจน์ของแบบจำลองกำลังสอง มีนัยสำคัญในการกำหนดแบบจำลองค่าผลตอบสนองต่อปัจจัย B และ E นอกจากนี้ ไม่พบนัยสำคัญต่อผลตอบสนองจากอันตรกิริยาของปัจจัย B และ E และไม่พบผลกระทบที่มีนัยสำคัญต่อผลตอบสนองจากความแตกต่างของบล็อก



ภาพที่ 4.11 กราฟโครงร่างแสดงจุดหยุดนิ่งที่ให้ผลตอบสนองมากที่สุด



ภาพที่ 4.12 กราฟแสดงพื้นผิวตอบสนองจากเซ็นทรัลคอมโพสิตของปัจจัย B และ E

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองเซ็นทรัลคอมโพสิตของปัจจัย B และ E จากโปรแกรม Minitab

Response Surface Regression: Adhesion versus Block, E, B

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Adhesion

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	3.61000	0.1911	18.889	0.000
Block	0.03846	0.1185	0.325	0.749
E	0.20847	0.1511	1.380	0.184
B	-0.10858	0.1511	-0.719	0.481
E*B	-0.54562	0.1620	-3.368	0.003
B*B	-0.83313	0.1620	-5.142	0.000
E*B	0.15000	0.2137	0.702	0.491

S = 0.6044 R-Sq = 66.0% R-Sq(adj) = 55.2%

Analysis of Variance for Adhesion

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	1	0.0385	0.0385	0.03846	0.11	0.749
Regression	5	13.4234	13.4234	2.68468	7.35	0.001
Linear	2	0.8840	0.8840	0.44200	1.21	0.320
Square	2	12.3594	12.3594	6.17971	16.92	0.000
Interaction	1	0.1800	0.1800	0.18000	0.49	0.491
Residual Error	19	6.9397	6.9397	0.36525		
Lack-of-Fit	11	4.5997	4.5997	0.41815	1.43	0.313
Pure Error	8	2.3400	2.3400	0.29250		
Total	25	20.4015				

Estimated Regression Coefficients for Adhesion using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	3.61000
Block	0.0384615
E	0.208471
B	-0.108579
E*B	-0.545625
B*B	-0.833125
E*B	0.150000

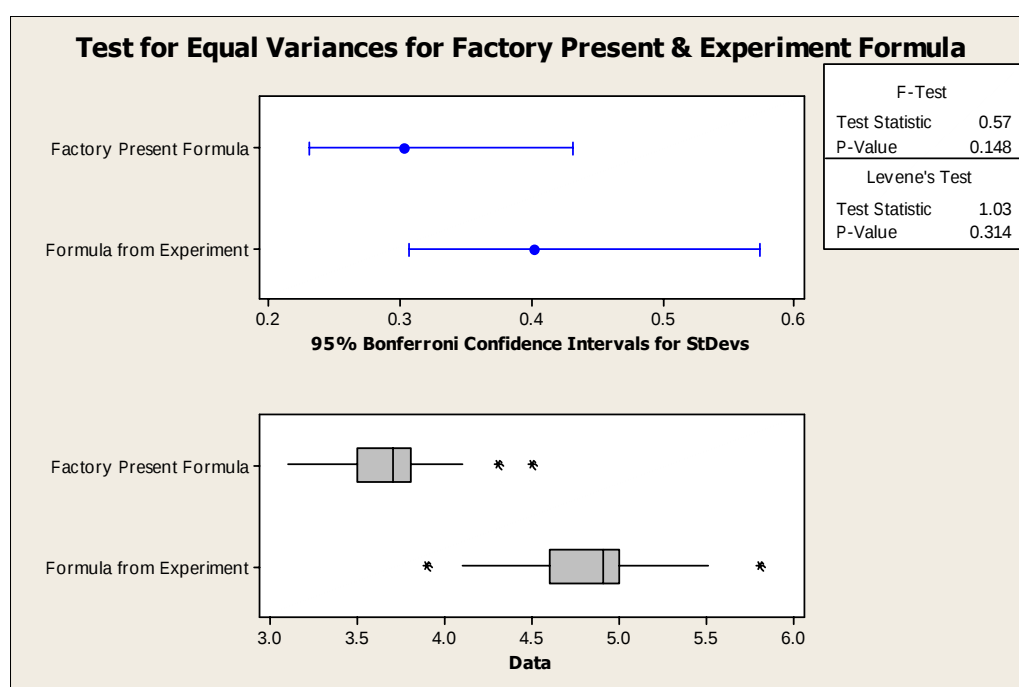
4.6 การตรวจสอบสภาวะที่ดีที่สุดจากการวิจัยกับสภาวะการผลิตในปัจจุบัน

ค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะ (Adhesion) ของสภาวะที่ดีที่สุดของน้ำยาชุบเคมีที่ได้จากการวิจัย กับสูตรน้ำยาชุบเคมีสำหรับการผลิตในปัจจุบันได้ถูกตรวจสอบโดยทดสอบเปรียบเทียบกันซึ่งได้ผลดังนี้

4.6.1 การตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล (Normal Distribution)

จากภาคผนวก ข ภาพที่ ข-1 และ ข-2 แสดงการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residuals) สำหรับค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะ (Adhesion) ของสูตรน้ำยาชุบเคมีในการผลิตปัจจุบัน และ สูตรน้ำยาชุบเคมีที่ได้จากการวิจัย ซึ่งแสดงให้เห็นลักษณะการกระจายตัวประมาณได้เป็นเส้นตรง ทำให้สรุปได้ว่าข้อมูลมีแนวโน้มการกระจายตัวแบบปกติ และข้อมูลนั้นน่าเชื่อถือ

4.6.2 การตรวจสอบความแปรปรวนของสูตรน้ำยาชุบเคมีในการผลิตปัจจุบันกับสูตรที่จากการวิจัย



ภาพที่ 4.13 การตรวจสอบความแปรปรวนของผลทดสอบของค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะระหว่างสูตรน้ำยาชุบเคมีในการผลิตปัจจุบัน กับสูตรที่ให้ค่าสูงสุดที่ได้จากการวิจัย

จากการตรวจสอบความแปรปรวนของผลทดสอบของค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะระหว่างสูตรน้ำยาชุบเคมีในการผลิตปัจจุบันกับสูตรที่ให้ค่าสูงสุดที่ได้จากการวิจัยที่แสดงในภาพที่ 4.13 และ ตารางที่ 4.5 พบว่าค่าความแปรปรวนของสองประชากรมีความไม่ต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.5 การตรวจสอบความแปรปรวนของผลทดสอบของค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะระหว่างสถานะการผลิตในปัจจุบันกับสถานะที่ดีที่สุดจากการวิจัย

Test for Equal Variances: Factory Present Formula, Formula from Experiment

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

	N	Lower	StDev	Upper
Factory Present Formula	28	0.231527	0.302437	0.431591
Formula from Experiment	28	0.307176	0.401255	0.572608

F-Test (normal distribution)

Test statistic = 0.57, p-value = 0.148

Levene's Test (any continuous distribution)

Test statistic = 1.03, p-value = 0.314

4.6.2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประชากรของสูตรน้ำยาชุบเคมีในการผลิตปัจจุบันกับสูตรที่ได้จากการวิจัย

ตารางที่ 4.6 การทดสอบสมมติฐานของผลทดสอบของค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะระหว่างสถานะการผลิตในปัจจุบันกับสถานะที่ดีที่สุดจากการวิจัย

Two-Sample T-Test and CI: Factory Present Formula, Formula from Experiment

Two-sample T for Factory Present Formula vs Formula from Experiment

	N	Mean	StDev	SE Mean
Factory Present	28	3.696	0.302	0.057
Formula from Exp	28	4.821	0.401	0.076

Difference = μ (Factory Present Formula) - μ (Formula from Experiment)

Estimate for difference: -1.12500

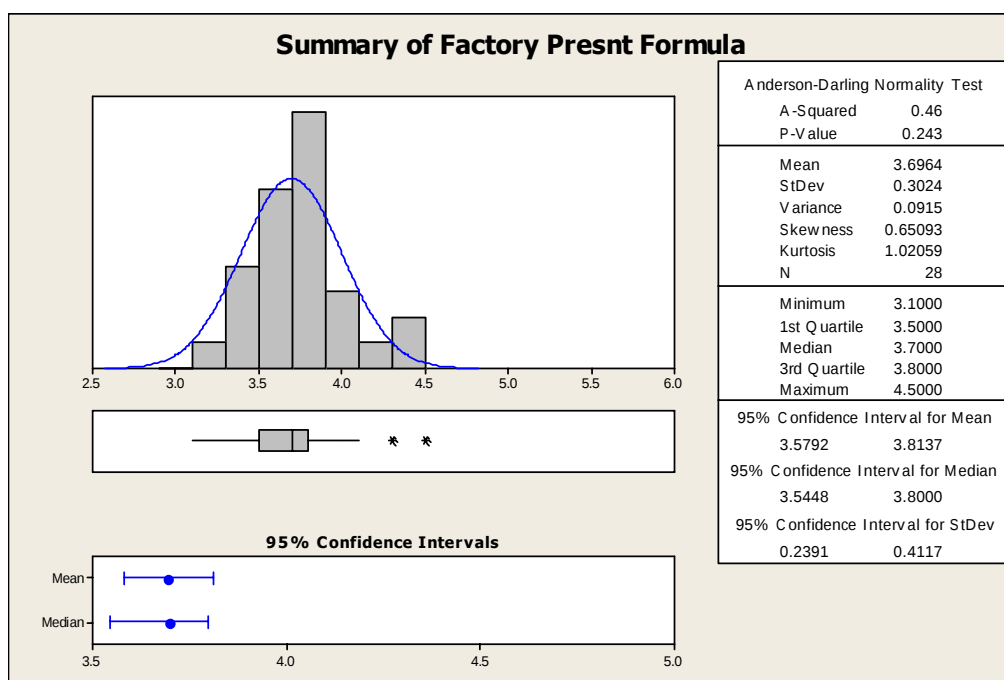
95% upper bound for difference: -0.96586

T-Test of difference = 0 (vs <): T-Value = -11.85 P-Value = 0.000 DF = 54

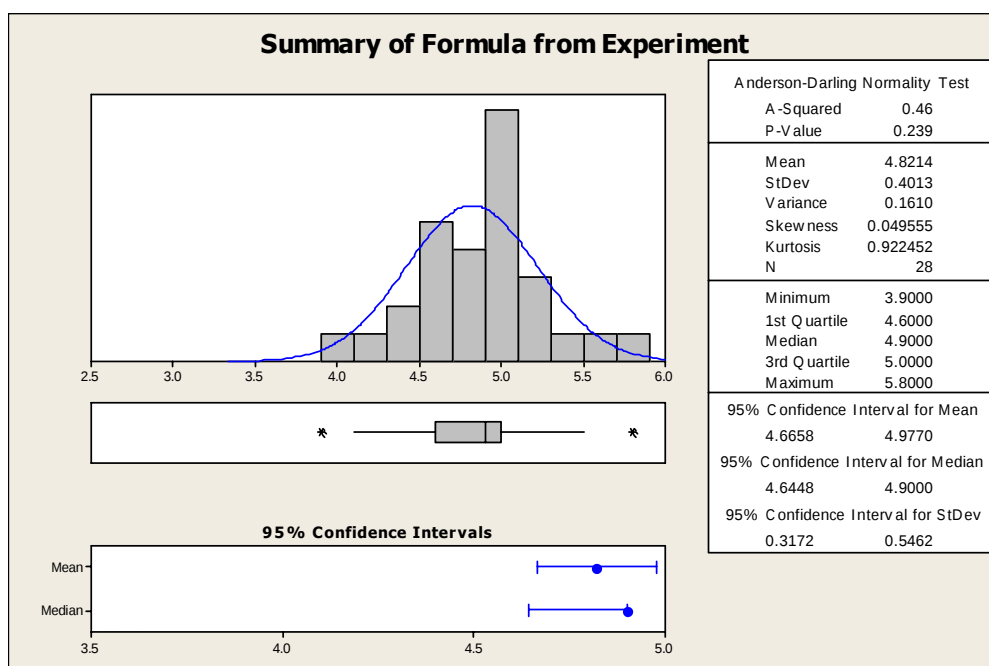
Both use Pooled StDev = 0.3553

จากภาพที่ 4.14 และ 4.15 พบว่าค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะที่ได้จากสูตรน้ำยาชุบเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตปัจจุบันมีค่าระหว่าง 3.6 – 3.8 ก.ก. ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะที่ได้จากสูตรน้ำยาชุบเคมีจากการวิจัยมีค่าระหว่าง 4.7 – 5.0 ก.ก. ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งจะเห็นว่าค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะของสูตรน้ำยาชุบเคมีที่ได้จากการวิจัยมีค่าสูงกว่าสูตรในกระบวนการผลิตปัจจุบันมาก

จากตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบสมมติฐานของค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะ (Adhesion) ซึ่งยืนยันว่าค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะของสูตรน้ำยาชุบเคมีที่ได้จากการวิจัยมีค่ามากกว่าสูตรการผลิตในปัจจุบันที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 4.14 ค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะของสูตรน้ำยาชุบเคมีในการผลิตปัจจุบัน



ภาพที่ 4.15 ค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะของสูตรน้ำยาชุบเคมีที่ได้จากการวิจัย

ค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงในการยึดเกาะของสูตรน้ำยาชุบเคมี ที่ใช้ในกระบวนการผลิตปัจจุบันมีค่าประมาณ 3.7 ก.ก. ขณะที่ค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะของสูตรน้ำยาชุบเคมีจากการวิจัยมีค่าประมาณ 4.8 ก.ก. ซึ่งโดยประมาณแล้วค่าความแข็งแรงในการยึดเกาะของสูตรน้ำยาชุบเคมีที่ได้จากการวิจัยมีค่าสูงกว่าสูตรในกระบวนการผลิตปัจจุบันถึงประมาณ 30%