

บทที่ 2

กรอบแนวคิดทางทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบการทดลองการเปลี่ยนขนาดของกลาสซับสเตรทจากกระบวนการชุบแข็งครั้งนี้ ผู้วิจัยได้การศึกษาค้นคว้าเอกสาร ตำรา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาเป็นแนวทางในการทำวิจัยดังนี้

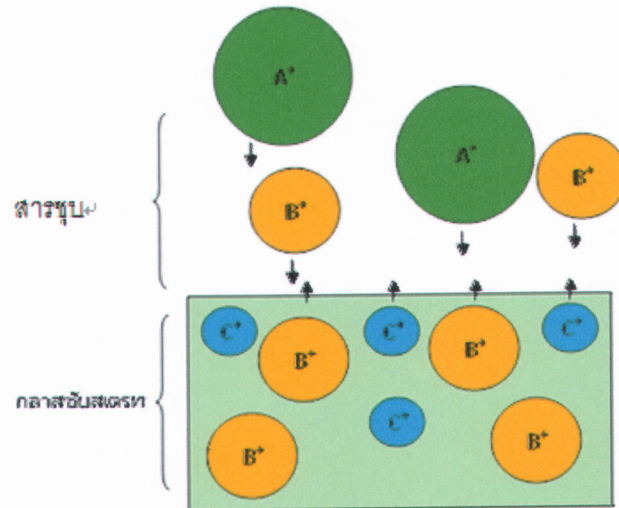
- (1) การขยายตัวของแก้วจากกระบวนการชุบ
- (2) การออกแบบการทดลอง
- (3) การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis testing)
- (4) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis)
- (5) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ (Multiple Linear Regression Analysis)
- (6) การออกแบบการทดลองแฟกทอเรียล (Factorial Experiment)
- (7) เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การขยายตัวของแก้วจากกระบวนการชุบ

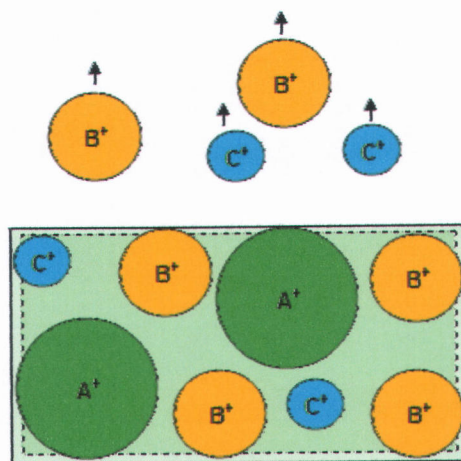
เนื่องด้วยกระบวนการผลิตกลาสซับสเตรท (Glass Substrate) นั้น จำเป็นต้องมีการชุบเพื่อเพิ่มความคงทนให้กับแก้ว ก่อนที่จะนำไปใช้ผลิตเป็นฮาร์ดดิสก์ โดยกระบวนการชุบนั้น เป็นกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างไอออนที่เป็นส่วนผสมของแก้ว เช่น B ไอออน และ C ไอออน กับไอออนที่เป็นส่วนผสมของสารชุบ เช่น B ไอออน และ A ไอออน ดังรูป 2.1

เมื่อพิจารณาจากขนาดของไอออนต่าง ๆ เปรียบเทียบกันแล้ว ไอออนที่มีขนาดใหญ่ที่สุดไปจนถึงเล็กที่สุด ดังนี้ A ไอออน B ไอออน และ C ไอออนตามลำดับ ซึ่งจากกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างสารชุบกับกลาสซับสเตรทนั้น จะเป็นการแทนที่ไอออนขนาดเล็กในแก้วคือ B ไอออน และ C ไอออน ด้วยไอออนขนาดใหญ่กว่าของสารชุบ คือ A ไอออน B ไอออน โดยหลักการแทนที่ไอออนขนาดเล็กด้วยไอออนขนาดใหญ่กว่าในกลาสซับสเตรทนั้นจะทำให้เกิดการขยายตัว ในทุกทิศทางทั้งทางด้านความหนาและขนาด ดังรูป 2.2 ดังนั้นกระบวนการชุบ

นอกจากจะทำให้กลาสซีสเตรทมีความแข็งแรงทนทานมากขึ้นแล้วยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านขนาดของกลาสซีสเตรทด้วยเช่นกัน โดยขนาดการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับสถานะการชุบทั้งด้านตัวแปร A ตัวแปร B ตัวแปร C และตัวแปร D หรือส่วนผสมของสารชุบที่ใช้สำหรับกระบวนการชุบด้วยเช่นกัน ซึ่งปัจจัยดังกล่าวได้มาจากการตรวจสอบเนื้อหาจากเอกสารและวารสารงานวิจัยต่าง ๆ ที่ตีพิมพ์อย่างแพร่หลาย



รูป 2.1 แสดงส่วนผสมของแก้วและสารเคมีในกระบวนการชุบ

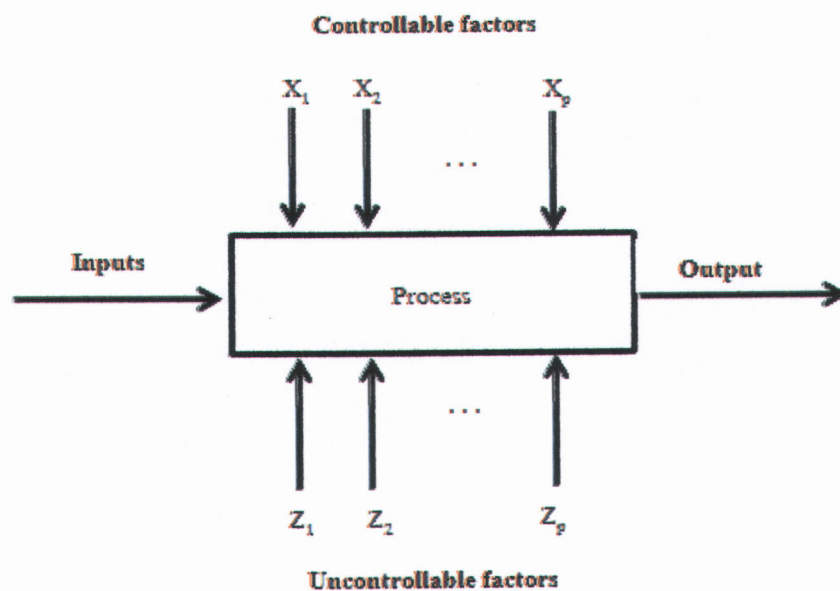


รูป 2.2 แสดงการขยายตัวของกลาสซีสเตรทจากการแลกเปลี่ยนไอออนในกระบวนการชุบ

จากรูป 2.2 จะเห็นได้ว่าการแทนที่ไอออนขนาดเล็ก ด้วยไอออนที่มีขนาดใหญ่กว่า หลังจากกลาสซัปสเตรทได้ผ่านกระบวนการชุบด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออนนั้น ขนาดของกลาสซัปสเตรทจะมีการขยายตัวและเปลี่ยนแปลงทางด้านขนาดในทุกทิศทาง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนั้น จะเกิดขึ้นในหน่วยของ นาโนเมตร (nm) และมากที่สุดถึงระดับไมโครเมตร (μm)

2.2 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง คือ การทดสอบเพียงครั้งเดียวหรือต่อเนื่อง โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรนำเข้า (Input Variables) ในกระบวนการที่สนใจศึกษา เพื่อที่จะทำให้สามารถสังเกตและชี้ถึงสาเหตุต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่ได้ (Outputs or Responses) จากกระบวนการนั้น โดยตัวแปรนำเข้า จะถูกจัดแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ควบคุมได้ เรียกว่า “ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Control Factor)” และกลุ่มที่ไม่สามารถควบคุมได้ เรียกว่า “ปัจจัยที่รบกวนระบบ (Uncontrollable Factor)” ดังรูป 2.3



รูป 2.3 แบบจำลองทั่วไปของกระบวนการ (Montgomery, 2005)

หลักการพื้นฐาน 3 ประการสำหรับการออกแบบการทดลองซึ่งจะช่วยให้ผลการทดลองมีความถูกต้องเที่ยงตรงและแม่นยำมากยิ่งขึ้น มีดังนี้

1. การทดลองซ้ำ (Replication) คือการทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขการทดลองเดียวกันมากกว่า 1 ครั้ง เพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับการทดลองเพิ่มมากขึ้น และยังทำการทดลองเพิ่มมากขึ้นเท่าใด ก็จะได้ข้อมูลจากการทดลองเพิ่มมากขึ้นเท่านั้น เพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องของผลการทดลองและเพิ่มความเที่ยงตรง แม่นยำของข้อมูลมากยิ่งขึ้น ซึ่งส่งผลให้การวิเคราะห์ และผลการสรุปจากการทดลอง มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น โดยการทดลองซ้ำมีประโยชน์คือช่วยให้ผู้ทดลองสามารถประมาณค่าความผิดพลาดในการทดลองได้ ซึ่งใช้สำหรับเปรียบเทียบกับผลของปัจจัยที่สนใจศึกษาได้

2. การสุ่ม (Randomization) คือการจัดลำดับในการทดลองให้เป็นแบบสุ่ม โดยการสุ่มสามารถช่วยลดความผิดพลาดในการวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งการสุ่มจะช่วยกระจายความผิดพลาดในการทดลองที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ไปสู่ทุก ๆ การทดลองด้วยโอกาส และขนาดเท่า ๆ กัน เพื่อให้ความผิดพลาดในการวิเคราะห์ผลเกิดขึ้นน้อยที่สุด

3. การควบคุม (Blocking หรือ Control) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรง แม่นยำ (Precision) ในการทดลอง โดยป้องกันการรบกวนจากปัจจัยภายนอก (Noise , Nuisance , Factors) และลดความผิดพลาดในการทดลอง โดยบล็อกเดียวกันหมายถึงการควบคุมสภาพในการทดลองให้มีสภาพใกล้เคียงกันมากที่สุด เช่นวัสดุที่ใช้ทดลองควรมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน ใช้เครื่องจักรเครื่องเดียวกัน ผู้ทดลองคนเดียวกัน วิธีการทดลองเดียวกัน ในช่วงเวลาทดลองใกล้เคียงกัน โดยเปลี่ยนแปลงเฉพาะเงื่อนไขของปัจจัยที่สนใจศึกษาเท่านั้น

2.3 การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing)

การทดสอบสมมติฐานถือเป็นกระบวนการทางสถิติที่เป็นทางเลือกหนึ่งในการสรุปข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะทางคุณภาพของระบบ หรือค่าพารามิเตอร์ที่สนใจของประชากร

2.3.1 หลักการทดสอบสมมติฐาน

การอนุมานทางสถิติ คือ การสรุปข้อความเกี่ยวกับพารามิเตอร์ ที่สนใจศึกษา

การทดสอบสมมติฐาน คือ การทดสอบเพื่อสรุปหรือพิสูจน์ข้อความซึ่งเป็นข้อสมมติเกี่ยวกับระบบหรือกระบวนการที่สนใจศึกษาว่า เป็นไปตามที่คาดคะเนไว้หรือไม่ ในการทดสอบสมมติฐานนั้น จะแบ่งข้อสมมติเป็นสองส่วน ดังนี้

สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis, H_0) ประกอบด้วยข้อสมมติหรือข้อความที่ต้องการพิสูจน์ว่าเท็จ หรือ ข้อความที่ต้องการปฏิเสธ ข้อความที่ระบุในสมมติฐานหลักจะเป็นส่วนกลับของสมมติฐานรองเสมอ

สมมติฐานรอง (Alternate Hypothesis, H_a หรือ H_1) ประกอบด้วยข้อสมมติหรือข้อความที่ต้องการจะพิสูจน์ว่าจริง หรือต้องการยอมรับ ยกเว้น กรณีที่พิสูจน์ว่าเท่ากัน เครื่องหมายเท่ากับจะปรากฏในสมมติฐานหลัก

2.3.2 ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน แบ่งได้เป็น 5 ขั้นตอน คือ

1) การตั้งสมมติฐาน คือ การระบุข้อความที่ต้องการพิสูจน์เกี่ยวกับระบบหรือประชากร โดยทั่วไปจะกำหนด H_1 ก่อนและ ส่วนกลับของข้อความใน H_1 จะระบุไว้ใน H_0

2) กำหนดระดับทดสอบหรือระดับนัยสำคัญ โดยทั่วไปค่าที่นิยมใช้คือ 5% หรือ $\alpha = 0.05$ แต่ตามความเป็นจริงแล้วค่า α ที่ใช้สามารถใช้ได้ในช่วง 1% ถึง 10% หรือมีระดับความเชื่อมั่นไม่ต่ำกว่า 90%

3) ระบุค่าตัวทดสอบทางสถิติหรือการแจกแจงทางสถิติที่ใช้ทดสอบ และ คำนวณค่าโดยอาศัยข้อมูลจากตัวอย่าง แบ่งได้เป็น การทดสอบเกี่ยวกับค่าเฉลี่ย และการทดสอบเกี่ยวกับความแปรปรวน

4) กำหนดบริเวณวิกฤตหรือบริเวณปฏิเสธสมมติฐานหลัก

5) สรุปผลการทดลอง

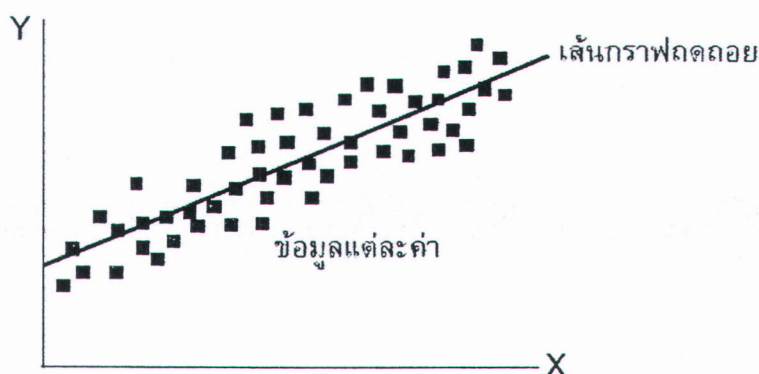
2.3.3 ค่า P-Value และการคำนวณ

P-Value คือ ระดับนัยสำคัญที่น้อยที่สุดที่จะสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ในการทดสอบสมมติฐาน ดังนั้นการใช้ P-Value ในการทดสอบสมมติฐาน จะทำให้ทราบความเชื่อมั่นที่แท้จริง ที่สำคัญโปรแกรมสำเร็จรูปโดยทั่วไปจะคำนวณค่านี้ให้โดยอัตโนมัติ โดยจะทำการปฏิเสธ H_0 เมื่อค่า $P\text{-Value} < \alpha$



2.4 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว (ในที่นี้คือตัวแปร X และ Y) ที่มีความสัมพันธ์กันในลักษณะเชิงเส้น (Linear) โดยมีสมการถดถอย คือ $Y = \alpha + \beta X$ ในที่นี้ Y ก็คือค่าเฉลี่ยของ Y (ไม่ใช่ค่า Y แต่ละค่า) เนื่องจากในการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่ายนั้น ตัวแปร X จะถูกกำหนดค่าไว้ก่อน และค่า Y จะเปลี่ยนแปลงไปตามตัวแปร X เนื่องจากค่า X ค่าหนึ่ง จะมีค่า Y ที่เป็นคู่ของค่า X หลาย ๆ ค่า เมื่อนำค่า X และ Y ทั้งหมดไปพล็อตบนแกน X และ Y แล้วลากเส้นเชื่อมระหว่างจุดที่ปรากฏ เส้นกราฟที่ได้จะเป็นเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของตัวแปร X กับตัวแปร Y ซึ่งก็คือเส้นกราฟถดถอย (Regression Line) ดังรูป 2.4



รูป 2.4 การกระจายของข้อมูลและเส้นกราฟถดถอย

จากสมการเส้นตรง $Y = \alpha + \beta X$ ซึ่ง α และ β เป็นพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า จึงจะต้องประมาณค่าโดยใช้ข้อมูลจากตัวอย่าง โดยวิธีที่นิยมใช้ในการประมาณค่าของ α และ β คือวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (The Least Squares Method) ซึ่งจะแทนค่าของ α และ β โดยค่า a และ b โดยที่ a คือค่าคงที่ (Constant) เป็นค่าที่เส้นกราฟถดถอยตัดกับแกน Y ส่วน b เป็น ความชัน (Slope) ของเส้นกราฟ ซึ่งแสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของ Y เมื่อ X เปลี่ยนแปลง เรียกส่วนนี้ว่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient) หรือสัมประสิทธิ์การพยากรณ์

สํานักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่..... 18 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน..... 247885.....
เลขเรียกหนังสือ.....

สมการถดถอยอย่างง่ายเขียนได้ดังนี้

$$Y = a + bX$$

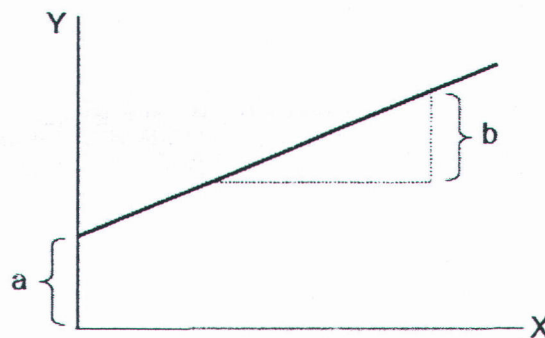
เมื่อ Y = ตัวแปรตาม (เนื่องจากค่าของ Y ขึ้นอยู่กับค่าของ X)

X = ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้น

a = ค่าคงที่ (Constant) เป็นค่าที่ตัดกับแกน Y

b = ความชัน (Slope) ของเส้นกราฟ

สามารถเขียนเป็นสมการเส้นตรงได้ดังรูป 2.5



รูป 2.5 สมการเส้นตรงของการถดถอย

สัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient) หรือสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ เป็นค่าของ b ที่เป็นความชันของกราฟเส้นตรง ที่เกิดจากสมการเชิงเส้น ถ้าทราบค่าของ b และค่าของ a แล้ว ก็จะสามารถพยากรณ์ค่าของตัวแปร Y ได้ซึ่งสรุปได้ดังนี้

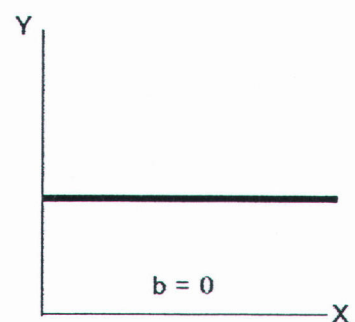
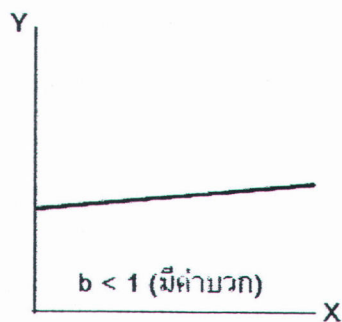
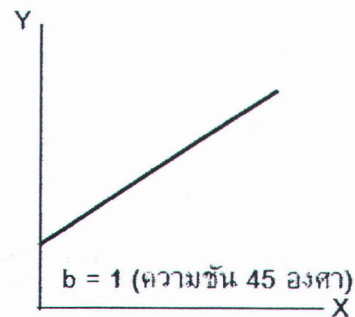
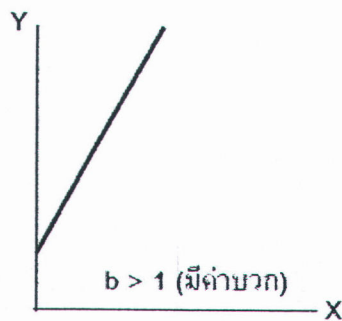
1. ถ้า $b > 0$ แสดงว่า X และ Y มีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ถ้า X มีค่าสูงขึ้น ค่าของ Y ก็จะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย

2. ถ้า $b < 0$ แสดงว่า X และ Y มีความสัมพันธ์กันในทิศทางตรงกันข้าม กล่าวคือ ถ้า X มีค่าสูงขึ้น ค่าของ Y จะต่ำลง

3. ถ้า b มีค่าใกล้ 0 แสดงว่า X และ Y มีความสัมพันธ์กันน้อย

4. ถ้า $b = 0$ แสดงว่า X และ Y ไม่มีความสัมพันธ์กันเลย เส้นกราฟที่ได้จะเป็นเส้นตรงค่าของ Y จะมีค่าเท่ากับค่าคงที่ (a)

5. ถ้า $b = 1$ แสดงว่าความชันของเส้นกราฟมีค่าเท่ากับ 45 องศา ค่า X และ Y จะมีค่าเท่ากัน ในกรณีที่ค่าคงที่ a เท่ากับศูนย์



รูป 2.6 สมการเส้นตรงของการถดถอยเมื่อค่า b มีค่าต่าง ๆ กัน

ลักษณะของเส้นกราฟถดถอยอย่างง่าย มีดังนี้

1. ค่า a เป็นค่าคงที่ จะมีค่าเป็นบวก เมื่อเส้นกราฟตัดกับแกน Y เหนือเส้นแกน X ขึ้นไป

หากเส้น กราฟตัดที่จุดกำเนิด (0,0) ค่า a จะมีค่าเป็นศูนย์ ณ จุดนี้ค่า Y จะขึ้นอยู่กับผลของค่า X กับ สัมประสิทธิ์การถดถอยเท่านั้น แต่ถ้าเส้นกราฟตัดกับแกน Y ต่ำกว่าเส้นแกน X ค่า a จะมีค่าเป็นลบ

2. ค่า b ที่เป็นค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยเป็นความชันของเส้นกราฟ เป็นค่าที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของเส้นกราฟ เมื่อตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้น (X) เปลี่ยนแปลงไปหนึ่งหน่วย จะทำให้ตัวแปร Y เปลี่ยนแปลงไป b หน่วย ถ้าเส้นกราฟมีความชันมาก การเปลี่ยนแปลงของตัวแปร X จะทำให้ค่าของ Y เปลี่ยนแปลงไปเป็นจำนวนมาก แต่ถ้าความชันมีค่าเท่ากับ 1 การเปลี่ยนแปลงของตัวแปร X จะส่งผลให้ค่าของ Y เปลี่ยนแปลงไปเป็น จำนวนที่เป็นสัดส่วนกับค่า X และ ถ้าความชันมีค่าต่ำ ๆ ($b < 1$) จะทำให้ค่าของ Y เปลี่ยนแปลงเป็น จำนวนน้อยกว่าค่าของ X

3. ในกรณีที่ a มีค่าเป็นศูนย์ และ b มีค่าเท่ากับ 1 เส้นกราฟจะผ่านจุดกำเนิด และความชัน เป็น 45 องศา ซึ่งทำให้ค่าของ X และ Y มีค่าเท่ากัน

4. ถ้าเส้นกราฟชี้ไปทางควอดแรนท์ที่ 1 ($Q1$) ค่า b จะมีค่าเป็นบวก แต่ถ้าเส้นกราฟชี้ไป ทางควอดแรนท์ที่ 2 ($Q2$) ค่า b จะมีค่าเป็นลบ

2.5 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ (Multiple Linear Regression Analysis)

การวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ (Multiple regression Analysis) เป็นวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Y) หรือตัวแปรเกณฑ์ (Criterion Variable) จำนวน 1 ตัว กับตัวแปรอิสระ (X) หรือตัวแปรพยากรณ์ หรือตัวแปรทำนาย (Predictor Variable) ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป เป็นเทคนิคทางสถิติที่อาศัยความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรมาใช้ในการทำนาย โดย เมื่อทราบค่าตัวแปรหนึ่งก็สามารถทำนายอีกตัวแปรหนึ่งได้ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้อยู่ในรูป ของสมการทำนาย สิ่งสำคัญที่ต้องการหาในการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ คือ สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์พหุคูณ สมการพยากรณ์ในรูปคะแนนดิบ หรือในรูปคะแนนมาตรฐาน หรือทั้งคู่ และ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์

2.6 การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียล (Factorial Experiment)

การทดลองแฟคทอเรียล คือ การทดลองที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการออกแบบการทดลอง เนื่องจากสามารถศึกษาปัจจัยได้หลายปัจจัยพร้อมกัน โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือ ศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย หรือที่เรียกว่า “อันตรกิริยา” (Interaction) เช่น กรณีที่ศึกษา 3 ปัจจัย คือ A, B และ C ผลกระทบที่เกิดขึ้นสามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภทคือ

- 1) ผลกระทบหลัก หรือผลกระทบปัจจัยเดี่ยว (Main effect) คือผลกระทบกรณีที่สนใจพิจารณาปัจจัยเดี่ยว ได้แก่ ผลกระทบของปัจจัย A ผลกระทบของปัจจัย B ผลกระทบของปัจจัย C
- 2) ผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย (Two-Factor or 2-ways Interaction) คือผลกระทบที่เกิดจากการพิจารณาปัจจัยพร้อมกันเป็นคู่ (ครั้งละ 2 ปัจจัย) ได้แก่ ผลกระทบของปัจจัยร่วม (อันตรกิริยา) AB, BC และ AC
- 3) ผลกระทบร่วม 3 ปัจจัย (Three-Factor or 3-ways Interaction) คือ ผลกระทบที่เกิดจากการพิจารณาปัจจัยสามปัจจัยพร้อมกัน ในที่นี้จะได้แก่ ผลกระทบร่วม ABC

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลใช้มากในการทดลองที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายปัจจัย การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลที่มีความสำคัญมากที่สุด คือ กรณีที่มีปัจจัย k ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ เราเรียกการออกแบบลักษณะนี้ว่าการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ $2k$ (Full Factorial Designs at Two Levels) โดย k เท่ากับจำนวนปัจจัยที่สนใจศึกษา และ 2 คือ ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง ระดับเหล่านี้อาจเกิดจากข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น อุณหภูมิ ความดัน หรือ อาจเกิดจากข้อมูลเชิงคุณภาพก็ได้ เช่น เครื่องจักร คนงาน และใน 2 ระดับนี้จะแทนด้วยระดับ “สูง” หรือ “ต่ำ” หรือการ “มี” หรือ “ไม่มี” ของปัจจัยนั้น ๆ การทดลองรูปแบบนี้เป็นการทดลองที่สามารถศึกษาผลของปัจจัยทุกตัวที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับของทุกปัจจัยพร้อม ๆ กัน แต่อยู่ภายใต้สมมติฐาน 3 ประการ คือ ปัจจัยของผลกระทบเป็นแบบคงที่ (Fixed Effect Model) การออกแบบเป็นแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completed Randomized) และ ข้อมูลที่ได้รับจากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution)



2.7 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้น ทางผู้วิจัยได้แบ่งประเด็นการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องออกเป็น 2 หัวข้อใหญ่ ๆ ดังนี้

2.7.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการชุบแก้ว (Glass Strengthening)

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการชุบของแก้ว ผู้วิจัยส่วนใหญ่ได้กล่าวถึงกระบวนการนี้ว่า เป็นกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) ระหว่างสารประกอบของแก้วที่เป็นอัลคาไลไอออน (Alkali ions) กับ สารประกอบของเกลือ (Molten salt) ที่เป็นอัลคาไลเช่นกัน โดยกระบวนการนี้จะเกิดโดยการใช้สารเคมีที่ความร้อนสูง (Chemical Tempering) (Rene, 2008) การแลกเปลี่ยนไอออนนี้ อัลคาไลไอออนขนาดเล็กของแก้ว จะถูกแทนที่ด้วย อัลคาไลไอออนขนาดใหญ่ของเกลือ ในอัตราส่วนน้ำหนักของโมเลกุลที่เท่ากัน (Chabane et al., 2003) โดยการแทนที่ด้วยอัลคาไลไอออนจากสารประกอบเกลือจะเกิดขึ้นที่บริเวณผิวชั้นบนของแก้ว (Rene, 2008)

โดยทั่วไปสารประกอบของแก้วจะมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้ $\text{SiO}_2 / \text{Na}_2\text{O} / \text{K}_2\text{O} / \text{CaO} / \text{MgO} / \text{Al}_2\text{O}_3$ (Mallick and Holland, 2005) หรือ $\text{SiO}_2 / \text{CaO} / \text{Na}_2\text{O} / \text{MgO} / \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_2\text{O}_3$ (Chabane et al., 2003) โดยจะสังเกตได้ว่าองค์ประกอบหลักของแก้วนั้นมาจากสารประกอบที่เป็นธาตุอัลคาไล ดังตาราง 2.1 และ 2.2

การชุบด้วยสารเคมี (Chemical strengthening) ด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนส่วนใหญ่จะเป็นการแทนที่ของโซเดียมไอออน (Na^+) ในแก้วด้วยโพแทสเซียมไอออน (K^+) ที่มีขนาดของโมเลกุลใหญ่กว่า (David, 2003) หรือเป็นการแทนที่โซเดียมไอออน หรือ ลิเทียมไอออน (Li^+) ด้วยอัลคาไลไอออนขนาดใหญ่ในเกลือในเตา ซึ่งกลไกการเกิดสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งการแทนที่ลิเทียมไอออน ด้วยโซเดียมไอออน จากอ่างเกลือโซเดียม (Sodium salt baths) และการแทนที่โซเดียมไอออน ด้วยโพแทสเซียมไอออน จากอ่างเกลือโพแทสเซียม (Potassium salt baths) (Mallick and Holland, 2005)

ตาราง 2.1 สัดส่วนของสารประกอบที่อยู่ในแก้วแบบร็อคแวร์ (Rockware base), (Mallick and Holland, 2005)

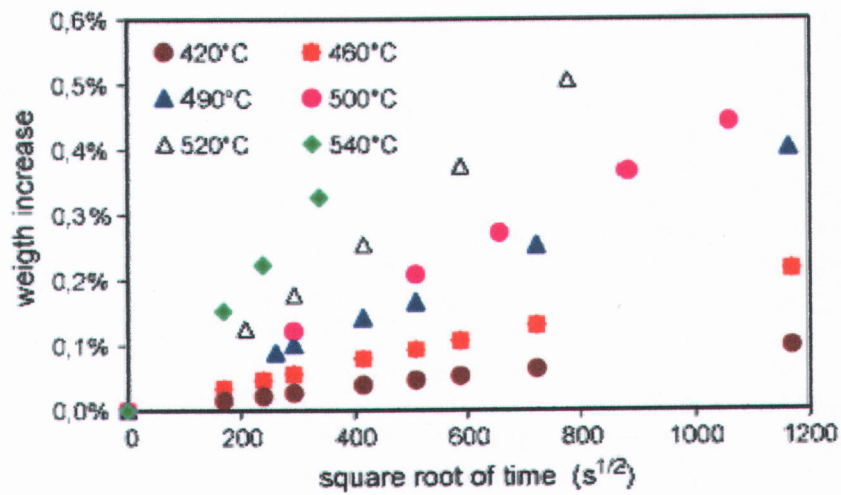
Code	Composition (wt%)			
	R4795	R4795/3	R4795/5	R4795/10
SiO ₂	73	70.87	69.51	66.35
Na ₂ O	11.60	11.26	11.05	10.54
K ₂ O	0.47	0.46	0.45	0.43
CaO	11.34	11.01	10.80	10.31
MgO	2.12	2.06	2.02	1.93
Al ₂ O ₃	1.17	4.05	5.88	10.15

ตาราง 2.2 ค่าเฉลี่ยของสารประกอบที่ใช้ผลิตแก้ว (Chabane et al., 2003)

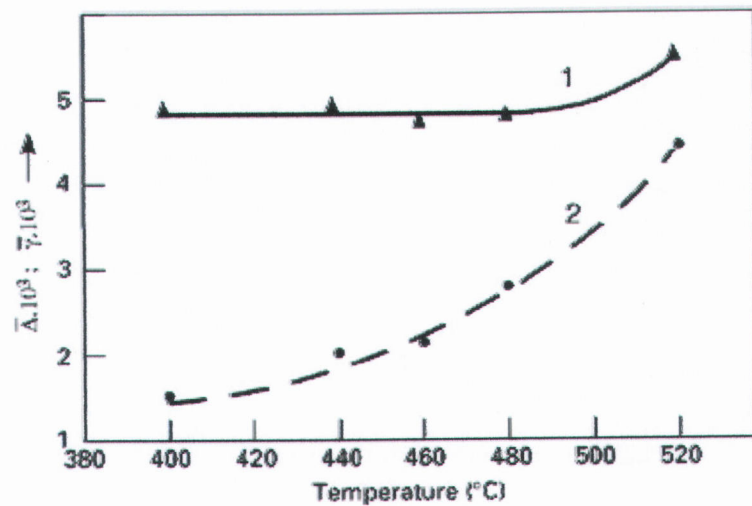
Oxides	SiO ₂	CaO	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Others
Mass (%)	71.56	7.92	13.73	4.21	1.32	0.097	1.163

จากงานวิจัยพบว่าอัลคาไลไอออนหลักบนแก้วคือโซเดียมไอออน จะทำการแลกเปลี่ยนกับโปแตสเซียมไอออนซึ่งเป็นอัลคาไลไอออนหลักของเกลือเช่นกัน โดยการแทนที่ด้วยโปแตสเซียมไอออนซึ่งมีน้ำหนักที่มากกว่าโซเดียมไอออนนี้ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของแก้วด้วยเช่นกัน โดยเมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาในการชุบที่เท่ากันหากมีการใช้อุณหภูมิในการชุบที่สูงกว่า จะส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนัก หรือมีปริมาณการแลกเปลี่ยนไอออนที่มากกว่า (Rene, 2008) ดังรูป 2.7

ในแง่ของการเปลี่ยนแปลงขนาด จะเห็นได้ว่าการปรับเพิ่มอุณหภูมิในการชุบก็ส่งผลต่ออัตราการเพิ่มขนาดของแก้วได้เช่นเดียวกัน (Arun, 2010) ดังรูป 2.8



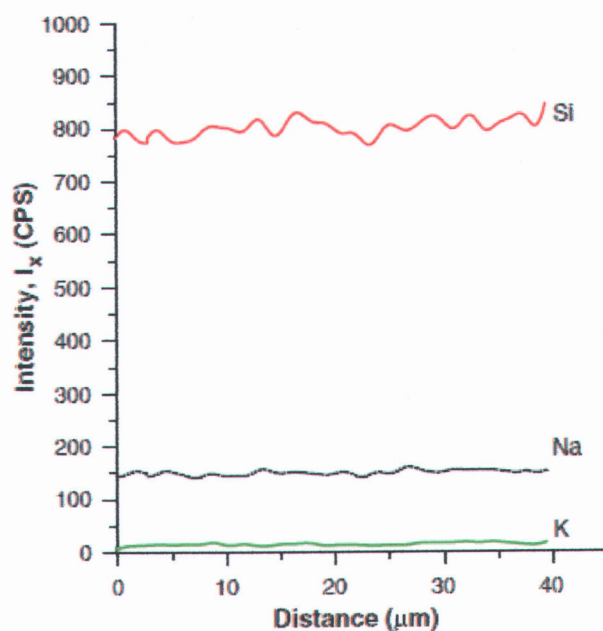
รูป 2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักกับการใช้สารเคมีที่ความร้อนสูง
(Rene, 2008)



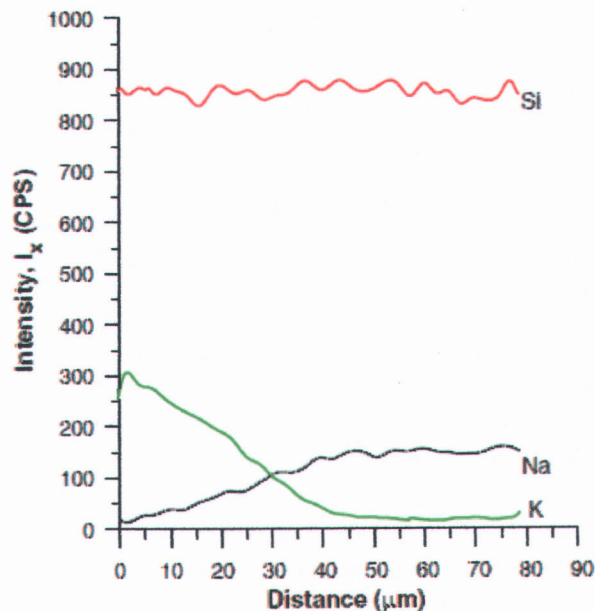
รูป 2.8 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงขนาดของแก้วเนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิในการชุบ
(Arun, 2010)

เพื่อเป็นการยืนยันสมมติฐานการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างโซเดียมไอออนของแก้วกับโปแตสเซียมไอออนของเกลือ จึงได้มีการตรวจสอบประมาณความเข้มของซิลิกอน (Si),

โซเดียม (Na) และ โพแทสเซียม (K) บนชั้นผิวของแก้ว ณ ความลึกต่าง ๆ กัน โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างแก้วมาตรฐาน กับ แก้วที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน พบว่า แก้วที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน จะพบปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียมบริเวณชั้นผิวของแก้วมากขึ้น และลดลงตามความลึกที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่งไม่พบความแตกต่าง ณ ความลึกจากชั้นผิวระดับหนึ่ง ส่วนโซเดียมนั้นให้ผลในทางตรงกันข้าม (Haifeng et al., 2008) ดังรูป 2.9 และ 2.10



รูป 2.9 การกระจายความเข้มข้นของ Na , Si และ K ณ ความลึกต่าง ๆ ของแก้วมาตรฐาน
(Haifeng et al., 2008)



รูป 2.10 การกระจายความเข้มข้นของ Na , Si และ K ณ ความลึกต่าง ๆ ของแก้วที่ผ่านการแลกเปลี่ยนไอออน (Haifeng et al., 2008)

ในกรณีการแลกเปลี่ยนไอออนของลิเทียมไอออนนั้น ได้มีการวิจัยเกี่ยวกับการเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของลิเทียมไอออน บนผิวแก้วระหว่างแก้วที่ไม่ได้ผ่านการชุบ กับแก้วที่ผ่านการชุบมาแล้วนั้นพบว่า ปริมาณความเข้มข้นของลิเทียมไอออนบนชั้นผิวของแก้วที่ยังไม่ได้ผ่านการชุบนั้นมากกว่าปริมาณความเข้มข้นของลิเทียมไอออนบนชั้นผิวของแก้วที่ผ่านการชุบมาแล้วอย่างมีนัยยะสำคัญ ซึ่งจากผลการวิจัยนี้ทำให้สามารถสรุปได้ว่า การเพิ่มขึ้นของความแข็งของแก้วมาจากการเพิ่มขึ้นของการเปลี่ยนถ่ายลิเทียมไอออน (Mallick and Holland, 2005)

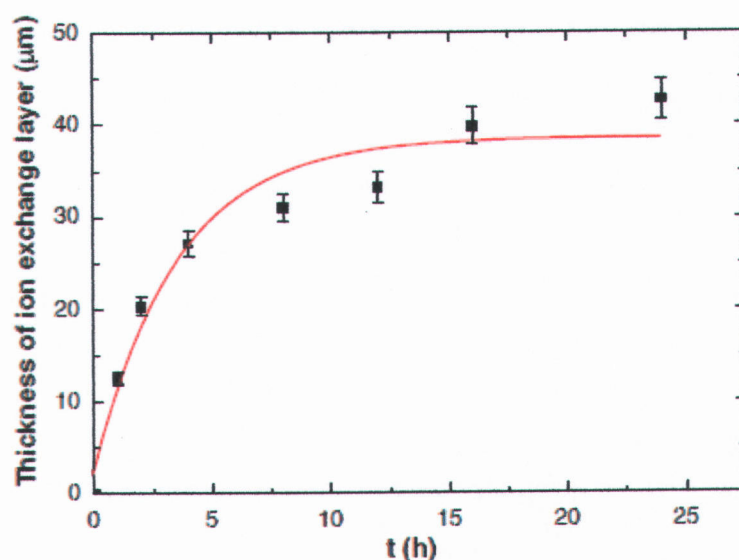
ในเชิงกายภาพงานวิจัยข้างต้นยังได้ศึกษาครอบคลุมไปถึงการเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นผิว ที่มีการแลกเปลี่ยนไอออนด้วยเวลาการแลกเปลี่ยนที่ต่าง ๆ กัน ซึ่งพบว่าการปรับเพิ่มและปรับลดเวลาการแลกเปลี่ยนนั้น มีผลโดยตรงต่อการเพิ่มขึ้นและลดลงของความหนาของชั้นผิวเช่นกัน ดังตาราง 2.3 (Mallick and Holland, 2005), (Haifeng et al., 2008)

นอกจากการวัดปริมาณการแลกเปลี่ยนอัลคาไลไอออน ซึ่งมีผลโดยตรงต่อความแข็งของแก้ว ด้วยการวัดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนัก และการเปลี่ยนแปลงของความหนาของชั้นผิวของแก้วดังรูป 2.11 แล้วนั้น (Rene, 2008) ยังได้มีการนำวิธีการวัดชั้นความเครียด (Stress Layer)

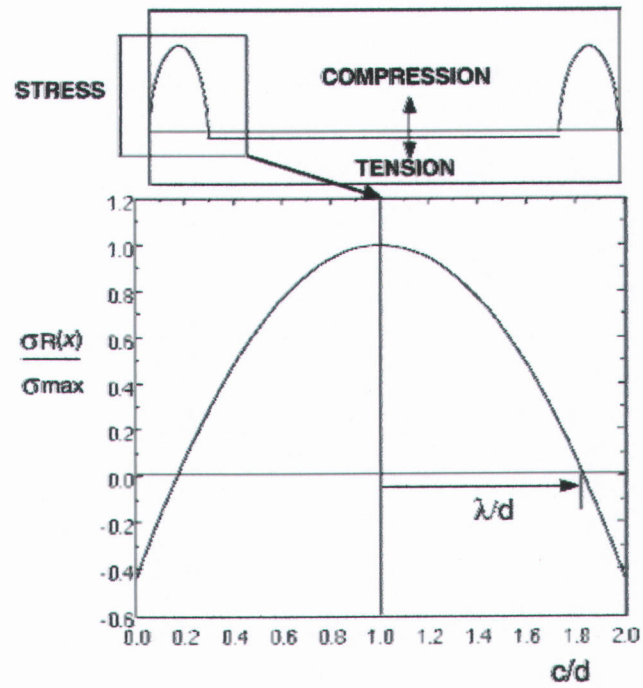
ด้วยการถ่ายภาพโพลาไรซ์ (Polariscope) มาเป็นตัววัดปริมาณการแลกเปลี่ยนไอออนด้วยเช่นกัน ดังรูป 2.12 และ 2.13 โดยที่แรงบีบอัด (Compression) คือ แรงที่เกิดจากการแทนที่ด้วยอัลคาไล ไอออนที่ขนาดใหญ่กว่า ซึ่งทำให้เกิดการขยายตัว (Expansion) ที่ชั้นผิวของแก้ว และแรงดึง (Tension) คือแรงที่เกิดภายในแก้ว ซึ่งคอยสร้างความสมดุลกับแรงบีบอัด (Chabane et al., 2003)

ตาราง 2.3 สรุปความหนาของชั้นผิวที่เวลาการแลกเปลี่ยนต่าง ๆ (Mallick and Holland, 2005)

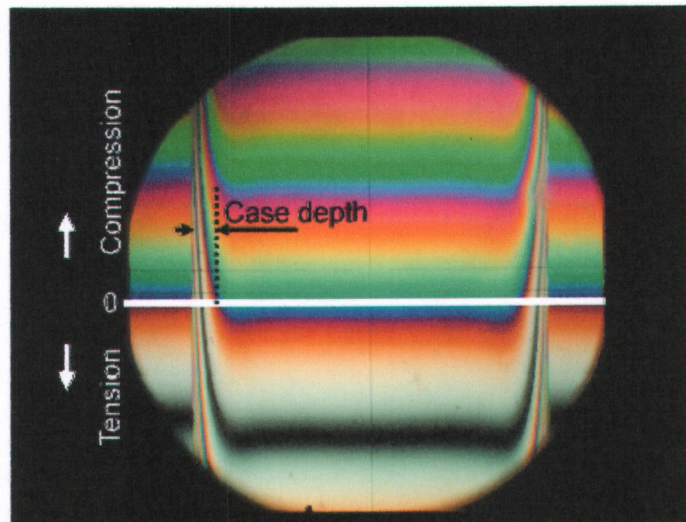
Glass	Duration of exchange (t)	Average layer thickness (μm)	Modulus of rupture (MPa)
R4795/10	Pristine	—	192 ± 12
	10	20	224 ± 6
	20	27	253 ± 19
	30	39	295 ± 7
	1 min	54	400 ± 18
	1.5 min	61	448 ± 7
	2 min	70	506 ± 11



รูป 2.11 ความหนาของชั้นของการแลกเปลี่ยนไอออนแปรผันตามเวลา (Haifeng et al., 2008)



รูป 2.12 รูปแบบของความเครียดที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนไอออน (David, 2003)



รูป 2.13 รูปแบบของความเครียดที่ได้จากการถ่ายภาพโพลาไรซ์ (Rene, 2008)

ปัจจุบันการชุบแก้วนั้น ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น กระจกห้องควบคุมของเครื่องบิน กระจกของรถไฟความเร็ว กระจกหน้าจอของเครื่องถ่ายภาพสาร รวมถึงกลาสซัสเตรทที่ใช้ในการผลิตฮาร์ดดิสก์ (Rene, 2008)

จากการรวบรวมงานวิจัยเกี่ยวกับการชุบแก้วด้วยเกลือในเตรทที่ความร้อนสูงพบว่า ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความแข็ง ความหนา และน้ำหนักของแก้วนั้น คือ ปริมาณความเข้มข้นของลิเทียมไอออน อุณหภูมิของเกลือในเตรท และเวลาในการชุบ (Rene, 2008), (Mallick and Holland, 2005)

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้มีความสนใจในการศึกษาปัจจัยข้างต้นของกระบวนการชุบที่มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งของแก้ว ต่อการเปลี่ยนแปลงของขนาดของกลาสซัสเตรท เพื่อหาตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของกลาสซัสเตรท และหาสมการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงขนาดของกลาสซัสเตรทจากสถานะเกลือในเตรทที่แตกต่างกันตามอายุการใช้งาน

2.7.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลอง

จากการศึกษางานวิจัยต่าง ๆ เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟคตอเรียล พบว่ามีการใช้งานอย่างแพร่หลาย ด้วยเหตุผลที่ว่า การออกแบบการทดลองแบบ 2 ระดับ (2^k ครั้งการทดลอง, k คือจำนวนของปัจจัยที่ศึกษา) โดยกำหนดค่าต่ำสุด และสูงสุดของช่วงที่ต้องการศึกษาของปัจจัย (Julien et al., 2008) เป็นวิธีการที่สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดลองปริมาณมากได้

การนำการออกแบบการทดลองไปใช้ในงานต่าง ๆ นั้น ผู้วิจัยได้พบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่ที่เกี่ยวข้องกับการหาความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่าตอบสนองที่กับอัตราส่วนความเข้มข้นของสารเคมี อุณหภูมิ เวลา นั้น ได้ถูกศึกษาโดยใช้การออกแบบการทดลองหลายวิธี เช่น การออกแบบการทดลองแบบแฟคตอเรียลแบบเต็มรูป 2 ระดับ ในการหาภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับปริมาณของ โครเมียม (Cr (VI)) บนแผ่นแอคทิเวท คาร์บอน (Ramakrishna and Susmita, 2010) การออกแบบการทดลองแบบเต็มรูปในการหาภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับตะกั่ว (Pb(II)) บนเปลือกผลวอลนัท (Saadat and Jashi, 2011) การออกแบบการทดลองแบบเต็มรูปในการศึกษาผลของปัจจัยต่าง ๆ บนคาร์บอนไฟเบอร์ขนาดเล็ก (Nabeel, 2009) การออกแบบการทดลองแบบเต็มรูป ในการหาภาวะที่เหมาะสมของการสกัดสารปริมาณน้อยโดยเทคนิคเฮกสเปช

เพื่อวิเคราะห์หาสารที่เป็นแสดงรสชาติในชีส (Julien et al., 2008) การออกแบบการทดลองแบบเต็มรูปแบบ ในการหาภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับทองแดง (Cu (II)) บน *Ascophyllum nodosum* (Olga et al., 2009) การออกแบบการทดลองเชิงเศษส่วน ในการหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดไอออน แลนทานัม (La^{3+}) ซีเซียม (Ce^{3+}) และ ซาแมเรียม (Sm^{3+}) แบบซูเปอร์คริติคอลโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ (Shahryar et al., 2011) การออกแบบการทดลองเชิงเศษส่วน ในการหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดออกไซด์ของแลนทานัม ภายใต้ภาวะซูเปอร์คริติคอลในน้ำ (Nejad et al., 2010) การออกแบบการทดลองในการหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดทองแดง (Cu (II)) และ โลหะที่มีพิษโดยใช้กระบวนการการเร่งปฏิกิริยาโดยการฉายแสง (Maris et al., 2009) การออกแบบการทดลองแบบเต็มรูปแบบในการหาปริมาณการดูดซับฟีนอลบนแอคติเวทคาร์บอนของสาหร่ายทะเล (Aravindhana et al., 2011), การออกแบบการทดลองแบบเต็มรูปแบบในการกำจัดฟอสเฟตจากสารละลายโดยใช้โคลนแดง (Ying et al., 2009) การออกแบบการทดลองเชิงเศษส่วนเพื่อหาแบบจำลองการดูดซับโครเมียม แคดเมียม และ ทองแดงบนแอคติเวทคาร์บอน (Liliane et al., 2011) เป็นต้น

จากงานวิจัยข้างต้น ได้มีการนำเครื่องมือหรือโปรแกรมสำเร็จรูปในการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติเข้ามาใช้อย่างหลากหลาย ตัวอย่างเช่น โปรแกรม Design-Expert 7.1 (Ramakrishna and Susmita, 2010), (Liliane et al., 2011) โปรแกรม MODDE 7.0 (Maris et al., 2009) Box-Behnken Design (Olga et al., 2009) โปรแกรม Minitab 15 (Shahryar et al., 2011) เป็นต้น