

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุและชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ

3.1.1 วัสดุที่ทำการทดสอบ

วัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือโลหะผสมแมกนีเซียม AZ61 (Mg-6%Al-1%Zn) ที่ผลิตโดยกระบวนการ extrude เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงผลกระทบเช่น รูพรุน หรือข้อบกพร่องอื่นๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมของการขยายตัวของรอยร้าวล้าอันจะเกิดจากกระบวนการผลิตโดยวิธีการหล่อ (casting) โดยวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีลักษณะเป็นแผ่นบางขนาด $3.0 \times 70 \times 1000$ มิลลิเมตร ซึ่งมีส่วนประกอบเคมี และคุณสมบัติทางกลดังแสดงในตารางที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ โดยมี microstructure แสดงดังในภาพที่ 3.1 ซึ่งมีขนาดเฉลี่ยของ grain size ประมาณ $12 \mu\text{m}$

ตารางที่ 3.1

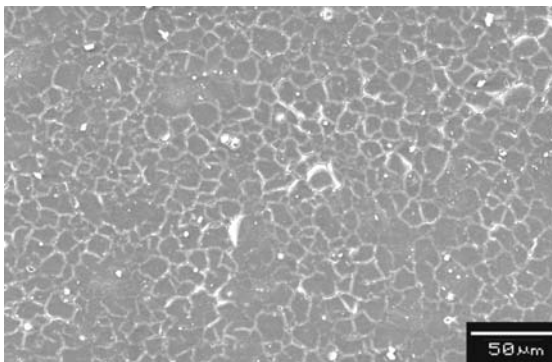
ส่วนประกอบทางเคมี ของโลหะผสมแมกนีเซียม AZ61 ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

Al	Zn	Fe	Ni	Cu	Si	Mn	Mg
5.95	0.26	0.64	0.005	0.009	0.0008	0.0007	Bal.

ตารางที่ 3.2

สมบัติทางกายภาพของโลหะผสมแมกนีเซียม AZ61 ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

	Yield stress $\sigma_{0.2}$ (MPa)	Tensile strength, σ_B (MPa)	Elongation (%)	Young's modulus E (GPa)
AZ61	200	290	18	43



ภาพที่ 3.1

แสดงภาพ microstructure ของ extrude AZ61 magnesium alloy

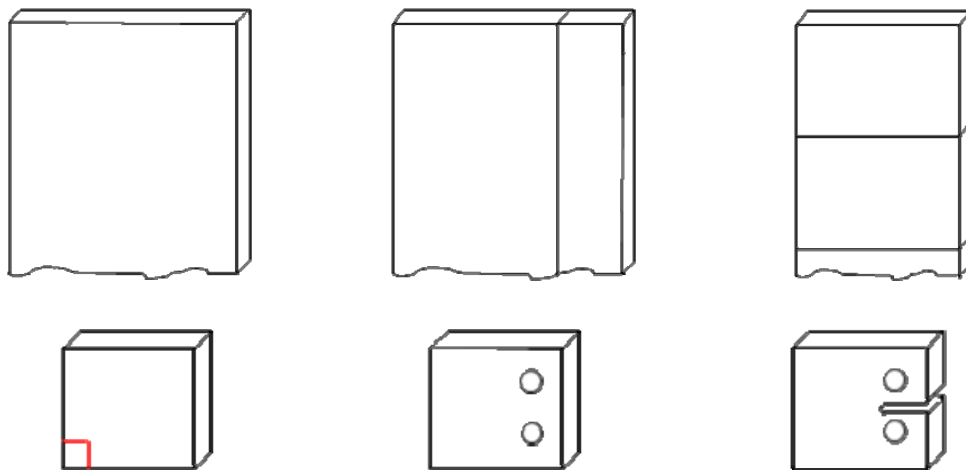
3.1.2 ลักษณะและการเตรียมชิ้นงานที่ทำการทดสอบ

ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ Fatigue crack growth (FCG) Tests (การทดสอบการขยายตัวของร้าวล้า) ถูกปฏิบัติกับชิ้นงานแบบ compact tension (CT) ขนาดหนา 3 mm โดยรายละเอียดขั้นตอนการเตรียมและลักษณะชิ้นงานดังที่แสดงในภาพที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานที่กำหนดใน ASTM E-647-95a [1] โดยมีทิศทางการขยายตัวของร้าวล้าในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางในกระบวนการ extrude ของวัสดุ

การกำจัดผลกระทบจากกระบวนการทางกลที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการสร้างชิ้นงานทดสอบ ชิ้นงานทดสอบทุกชิ้นก่อนที่จะนำไปทดสอบต้องมีการดำเนินการขัดผิวชิ้นงาน ซึ่งเริ่มโดยการขัดหยาบโดยกระดาษทรายที่ทำจากผงซิลิคอนคาร์ไบด์เบอร์ 600 800 1000 1200 และ 1500 ตามลำดับ หลังจากนั้นจึงนำชิ้นงานมาขัดละเอียดด้วยผงขัดที่ทำการขัดบนผ้าสักหลาดที่ทำการติดตั้งอยู่บนจานหมุนของเครื่องขัด ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้กับผงขัดแบบ diamond abrasive ขนาดอนุภาค 6 และ 3 μm ตามลำดับ

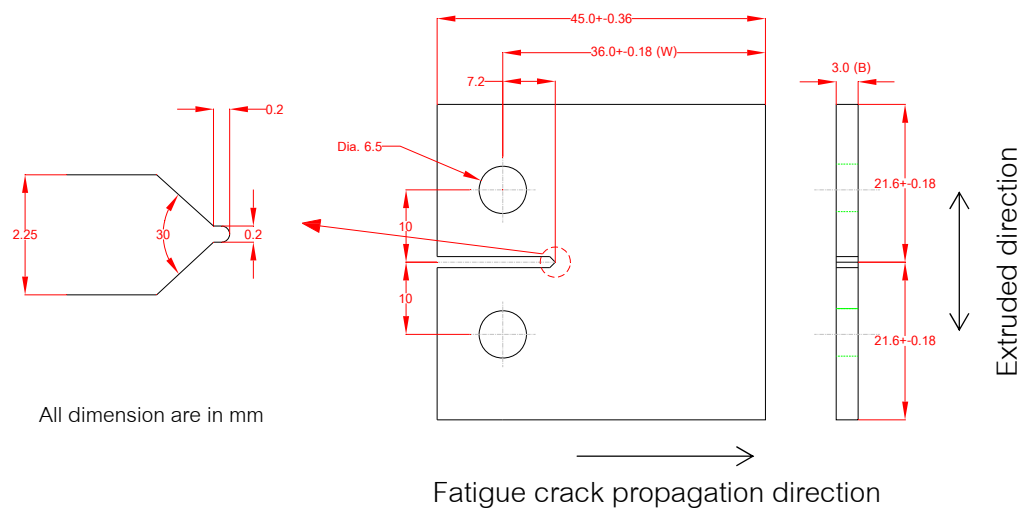
ในระหว่างการขัดผิวชิ้นงานในแต่ละขั้นตอนเป็นการขัดผิวแบบเปียกโดยใช้ ethanol เป็นสารหล่อเย็น และสารช่วยทำความสะอาดเศษผงวัสดุและผงซิลิคอนคาร์ไบด์ในระหว่างการขัด และเมื่อต้องการเปลี่ยนกระดาษทรายแผ่นต่อไป ควรขัดขึ้นตรวจสอบไปอีกแนวทางหนึ่งสลับกันเป็นตารางกับแนวเดิมดังที่ได้แสดงในภาพที่ 3.4 โดยทำเช่นนี้จนถึงกระดาษทรายแผ่นสุดท้าย และเช่นเดียวกันกับผงขัด diamond paste ซึ่งหลังจากเสร็จการขัดผิวในแต่ละขั้นตอนการขัดผิวชิ้นงานจะถูกนำมาล้างด้วย ethanol ในอ่างอัลตราโซนิก 5 นาที หลังจากนั้นจึงทำการเป่าให้แห้ง และเก็บชิ้นงานไว้ในที่เก็บสุญญากาศเพื่อป้องกันการทำปฏิกิริยากับอากาศหรือความชื้นจาก

สภาวะแวดล้อม โดยที่ผิวของชิ้นงานสุดท้ายมีลักษณะมันวาวคล้ายกระจกเงาเพื่อการตรวจสอบการขยายตัวของรอยร้าวได้อย่างชัดเจนในระหว่างการทดสอบ Fatigue crack growth



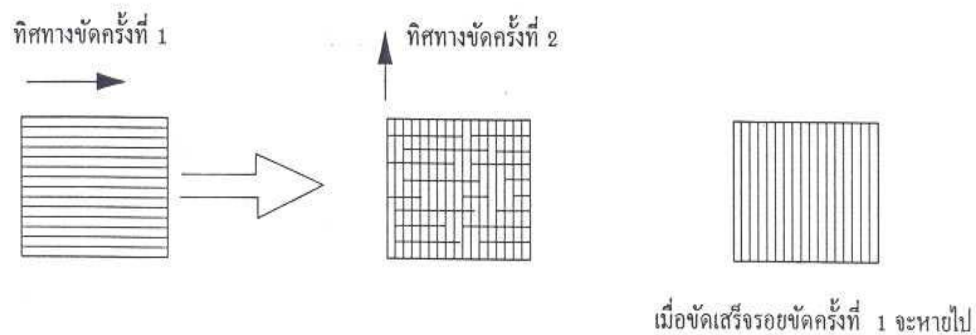
ภาพที่ 3.2

แสดงภาพขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน compact tension (CT specimen) ที่ใช้ในการทดสอบ fatigue crack growth



ภาพที่ 3.3

แสดงภาพลักษณะของชิ้นงาน compact tension (CT specimen) และ notch ที่ใช้ในการทดสอบ fatigue crack growth



ภาพที่ 3.4

แสดงภาพลักษณะ ลักษณะแนวทางการตัดขึ้นตรวจสอบสลับเป็นตาราง

3.2 Crack Monitoring

3.2.1 Crack measurement

Software ที่นำมาใช้ในการตรวจวัด crack length ในงานวิจัยนี้ถูกพัฒนาขึ้นโดย Toshiba Corporation, (TTCC) P.T.E โดยที่ software นี้ใช้หลักการ F-basic ซึ่งสอดคล้องตามมาตรฐาน ASTM E-647-95a [1] ซึ่งเป็นหลักการมาตรฐานสำหรับวัด fatigue crack growth rate (อัตราการขยายตัวของรอยร้าวล้า) โดยชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองเป็นชนิดงานแบบ Compact Tension (CT) specimen

โดย Stress intensity factor range, ΔK ที่ทำการใช้ใน software นี้สำหรับ compact tension specimen มีการคำนวณที่สอดคล้องตามมาตรฐานแสดงได้ดังสมการที่ (3.1) ดังนี้

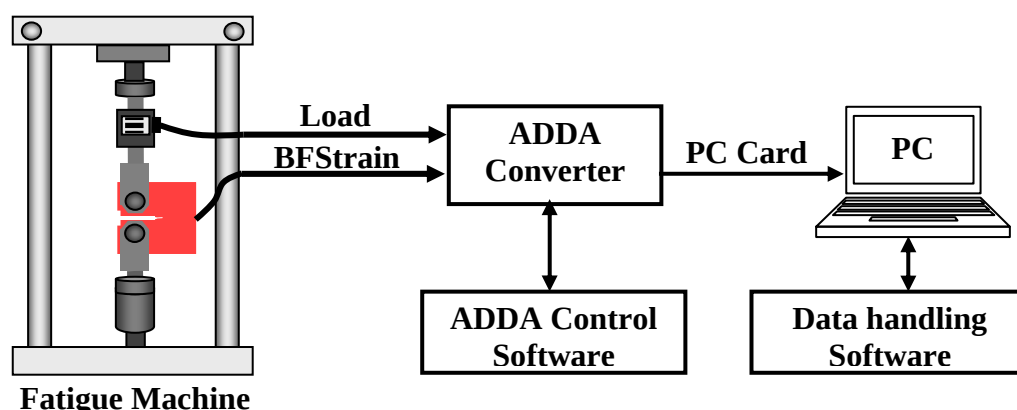
$$\Delta K = \frac{\Delta P}{B\sqrt{W}} \times F_I(\alpha), \alpha = \frac{a}{W} \quad (3.1)$$

โดยที่: $F_I(\alpha)$ คือ factor ที่เป็น function ของ อัตราส่วนระหว่าง crack length (a) และ width of the specimen (W) ซึ่ง $F_I(\alpha)$ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.2) ดังนี้

$$F_I(\alpha) = \frac{(2 + \alpha)}{(1 - \alpha)^{3/2}} (0.886 + 4.64\alpha - 13.31\alpha^2 + 14.72\alpha^3 - 5.6\alpha^4) \quad (3.2)$$

แผนผังการติดตั้งการทดลองโดยการใช้ compliance technique ได้ทำการแสดงไว้ตามภาพที่ 3.5 โดยที่ load หรือภาระที่ได้รับจาก fatigue machine และ strain gauge (อุปกรณ์ที่

ใช้สำหรับวัดความเครียด) จะถูกนำไปเชื่อมต่อกับ ADDA converter ซึ่งเป็นตัวที่ทำการเปลี่ยนสัญญาณที่ได้รับในรูปแบบที่เป็น analog data ให้กลายเป็นสัญญาณในรูปแบบ digital data และเพื่อที่จะนำสัญญาณที่ได้นั้นส่งต่อไปยัง PC card เพื่อทำการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้สามารถนำไปคำนวณหา crack length ที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำการทดลอง โดยที่หลังจากนั้น software จะให้ผลสรุปของค่า load, strain, crack length และ da/dN ในรูปแบบของ excel file



ภาพที่ 3.5

แสดงแผนผังการติดตั้งการทดลองโดยใช้ compliance technique

3.2.2 Input file

ในการทดลองนั้นหลังจากการติดตั้งชิ้นงาน และอุปกรณ์อื่นที่ใช้ในการทดสอบเสร็จสิ้นแล้วจึงทำการกำหนดค่า input file ซึ่งเป็นตัวกำหนดสภาวะต่างๆของการทดลอง เช่น frequency, load range, load ratio และอื่นๆเป็นต้น โดยที่ Input file จะอยู่ในไฟล์รูปแบบนามสกุล .txt form โดยตารางที่ 3.3 ได้ทำการแสดง input file และรายละเอียดในแต่ละสภาวะการทดลองต่างๆ ซึ่งทำการแสดงคำขยายความของแต่ละสภาวะในด้านขวาของตาราง

ตารางที่ 3.3

แสดงรายละเอียดของสภาวะต่างๆ สำหรับการทดลองใน input file

1 ** new input data Cyclic&Static	: For file comment
2 TestTitle=, Test for Silica C.G.	: Title of result file
3 TrialTest(No=0)=, 0	: -1= If would like to get static raw data 0 = Real test mode
4 TestMode(0=L1=DK)=, 1	: 0 = Load range control 1 = Stress Intensity Factor range control
5 ID-COD(0)BFS(1)=, 1	: 0 = Clip gage method 1 = Back face strain method
6 AD-channels=, 2	: Number of AD channels 1 ch = Load, 2 ch = Clip or Back face strain
7 LoadChnlNum=, 1	: Channel number of load
8 COD(0)ChnlNum=, 0	: Channel number of clip
9 BFS(1)ChnlNum=, 2	: Channel number of back face strain
10 TemperatureChnl=, 0	: Channel number of temperature
11 AddininalChanl3=, 0	: Additional channel
12 AddininalChanl4=, 0	: Additional channel
13 DA-outLoad1v-N=, 200.0	: Load(N)/1 volt of DA output signal
14 AD-inputLoad1v-N=, 100.0	: Load(N)/1 volt of AD input signal
15 Clip1v-mm=, 0.0	: mm/1 volt of clip gage (COD)
16 BFS1v-maicuro=, 100.0	: μ /1 volt of back face strain
17 Temp-Para(T=v*p)=, 0.0	: temp/1 volt of temperature input
18 AddininalCh3Para=, 0.0	: Parameter for additional channel
19 AddininalCh4Para=, 0.0	: Parameter for additional channel
20 LoadRange(N)=, 250.0	: Load range of testing (Valid when test mode = 0)
21 SIFRange(MPa)=, 0.7	: Stress intensity factor range of testing (Valid when test mode =1)
22 LoadRatio=, 0.1	: Ratio of load (SIF)
23 InitialC.leng=, 16.0	: Initial crack length in mm (Valid when test mode =1)
24 Frequence(Hz)=, 10.0	: Test frequency Hz
25 Samplingnumbers/1Wave=, 250	: Sampling number per 1 wave
26 MainWwaveNumbers=, 20	: Number of main wave
27 SubWaveNumbers=, 10	: Number of sub-wave for determining crack length
28 EffectiveLoadRange=, 0.3	: Minimum load level for calculating the compliance
29 MinimumC.Length(Da)=, 0.2	: Minimum crack length for getting growth rate
30 ReductionRateOfSIF=, 1.0	: Reduction rate of SIF when load decreasing test

ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

แสดงรายละเอียดของสภาวะต่างๆ สำหรับการทดลองใน input file

31 ThicknessOfSpn(B)=, 14.0	: B (mm) of CT specimen
32 LengthOfSpn(W)=, 66.0	: W (mm) of CT specimen
33 ElasticModulus(MPa)=, 12500.0	: Elastic modulus
34 DAMaxVoltLimit(v)=, 9.98	: Max volt
35 STOPCrackLeng=, 40.0	: Final crack length (mm)
36 STOPTotalCycles=, 99999999	: Final cycle
37 Index-ShiftOut(Non=0)=, 0	: Shift data information
38 Index-RowOut(Non=0)=, 0	: Raw data on load and BFS
39 IndexPhaseShift(=5)=, 5	: Modification of phase gap
40 AmpStartWave(0.5)=, 0.5	: Start wave rate
41 AmpFirstWave(0.95)=, 0.95	: First wave rate
42 DelaySecTimes(0.0)=, 0.045	: Delay time for machine start
43 PoralityOfCOD(1.0)=, 1.0	: Polarity of clip gage
44 PoralityOfBFS(-1.0)=, -1.0	: Polarity of BFS
45 DebugIndex(0=No1=Yes)=, 0	: Debug file for program checking

3.2.3 Software window

หลังจากทำการป้อน input file ตามที่ต้องการแล้ว program จะทำการแสดงสภาวะต่างๆของการทดลองในระบบปฏิบัติการ window โดยที่ software จะทำการแสดง crack length data ในสภาวะปัจจุบัน และทำการคำนวณ crack growth rate และ stress intensity factor range ร่วมกับข้อมูลที่ได้ทำการป้อนจากข้อมูล input file และทำการแสดงผลออกมดั่งตัวอย่างที่แสดงในภาพที่ 3.6

โดยที่ส่วน window ของ software ออกเป็นส่วนหลักๆได้ 5 ส่วนด้วยกัน

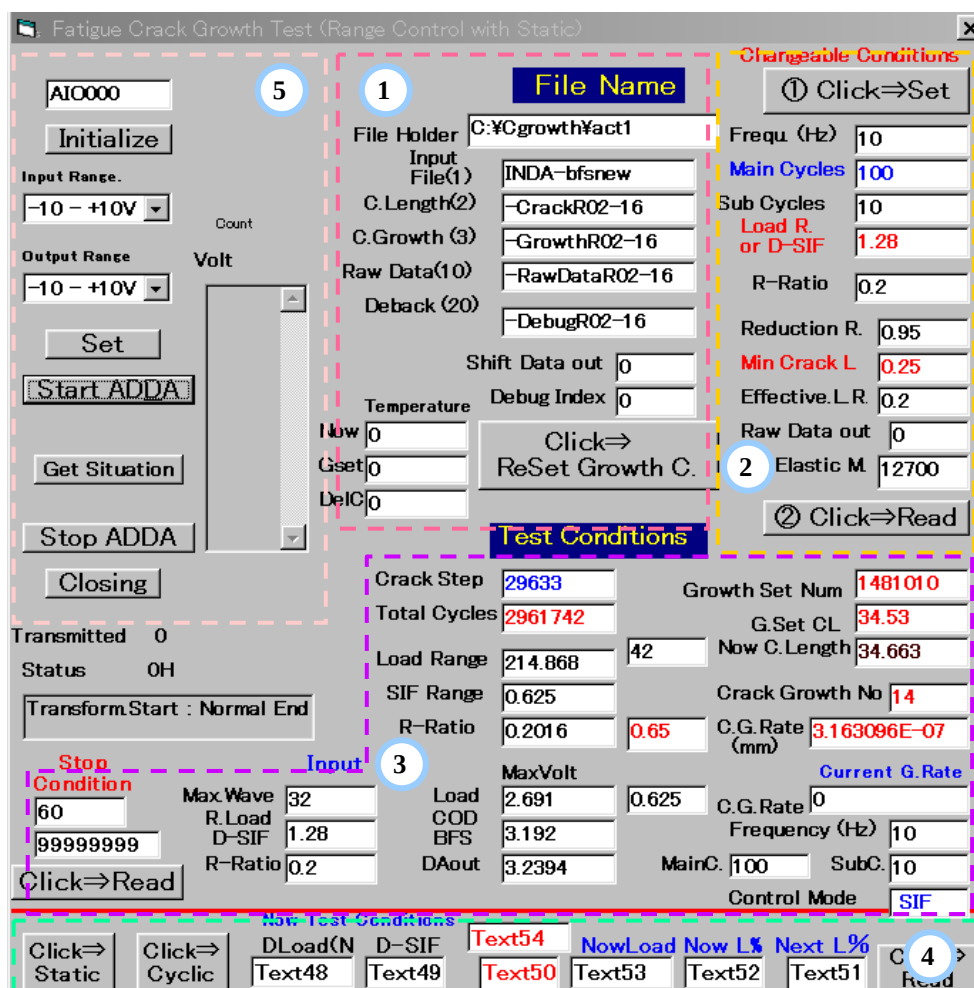
ส่วนที่ 1 คือส่วน operating the data file ซึ่งในส่วนนี้นั้น software จะทำการแสดงผลที่อ่านจาก input file และ ทุกๆสภาวะที่ทำการกำหนดใน input file โดย software

ส่วนที่ 2 เป็นส่วนของสภาวะการทดลองที่สามารถทำการปรับเปลี่ยนได้ในขณะทำการทดลอง เช่น frequency, load range และ load ratio เป็นต้น

ส่วนที่ 3 เป็นส่วนที่แสดงผลแบบ real time data ซึ่งข้อมูลทั้งหมดที่กำลังทำการแสดงในส่วนนี้นั้นจะถูกคำนวณโดย software และทำการแสดงผลเช่น crack growth rate และ number of cycle ในรูปแบบ real time

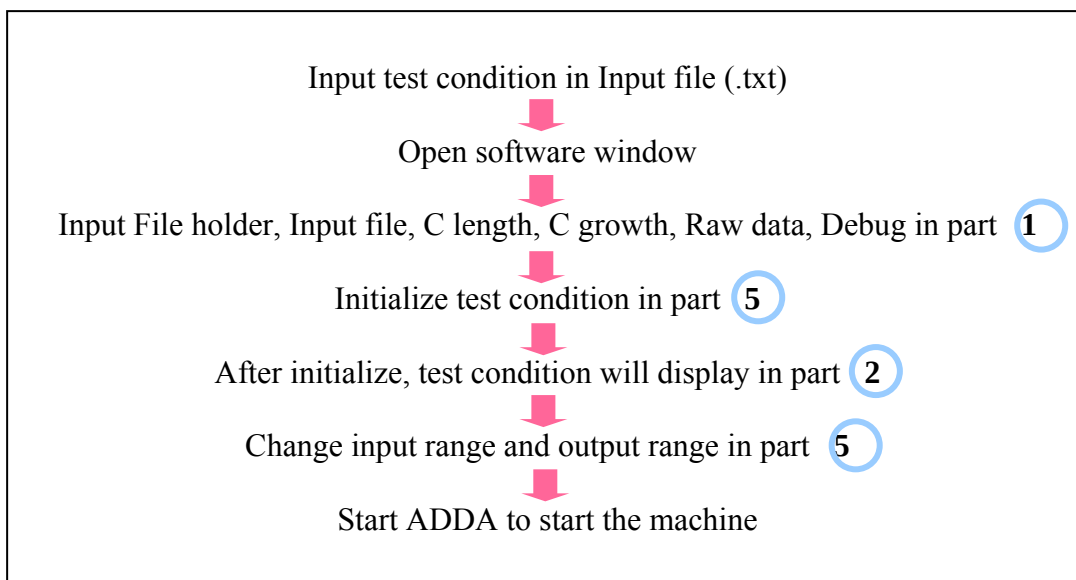
ส่วนที่ 4 เป็นในส่วนที่ใช้สำหรับการปรับเปลี่ยนชนิดของ load หรือ ภาระที่ให้กับชิ้นงาน โดยสามารถกำหนดให้ load เป็นในรูปแบบ static load (ภาระที่ให้มีความคงที่) หรือ cyclic load (ภาระที่เป็นรูปแบบวัฏจักร)

และส่วนที่ 5 เป็นส่วนที่ควบคุมการ start หรือ stop software โดยขั้นตอนของการดำเนินการใช้งาน software ได้ทำการแสดงดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.6

แสดงภาพ Window ของ compliance program ที่ใช้สำหรับการตรวจวัด crack length



ภาพที่ 3.7

แสดงภาพขั้นตอนของการดำเนินการใช้งาน software

3.3 การทดสอบการขยายตัวรอยร้าวล้า (Fatigue crack growth (FCG) Tests)

ชิ้นงานที่นำมาทำการทดสอบการขยายตัวรอยร้าวล้า (Fatigue crack growth (FCG) Tests) จะถูกนำมาดำเนินการทำ pre-cracked จนมีความยาว 9.8 mm ในสภาวะบรรยากาศในห้องปฏิบัติการที่มีการควบคุมอุณหภูมิ 20°C และ relative humidity (ความชื้นสัมพัทธ์) 55% ทำการปฏิบัติโดยเครื่อง servo-hydraulic fatigue machine ที่มี maximum capacity ที่ 10kN ด้วยการให้ภาระเป็นวงรอบในรูปแบบ sinusoidal loading waveform โดยวิธีการควบคุม ΔP สำหรับการทดสอบทั้ง ΔK -decreasing และ ΔK -increasing เพื่อให้ได้เส้นโค้งที่สมบูรณ์ของ FCG โดยใช้ชิ้นงานทดสอบเพียงชิ้นเดียวสำหรับในแต่ละ load ratios ($R = P_{min}/P_{max}$) ภายใต้สภาวะความถี่ $f = 5$ Hz ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการปฏิบัติการทดสอบ FCG ใน 2 สภาวะคือ

1. สภาวะควบคุมในห้องปฏิบัติการภายใต้สภาวะความชื้นต่ำ (ความชื้นสัมพัทธ์ 55%, 20°C)
2. สภาวะพ่นละออง 3.5% NaCl (salt spray) ที่มีการติดตั้งสอดคล้องตามมาตรฐาน ASTM B-117-02 ดังที่แสดงในภาพที่ 3.9 โดยที่มีการควบคุมแรงดันของ compressed air ที่ต่อเข้ากับ nozzle สำหรับการสร้างละอองสารละลายเกลือไว้ที่ 0.1 MPa/m² และควบคุมปริมาณละอองเกลือไว้โดยที่มีปริมาณของ

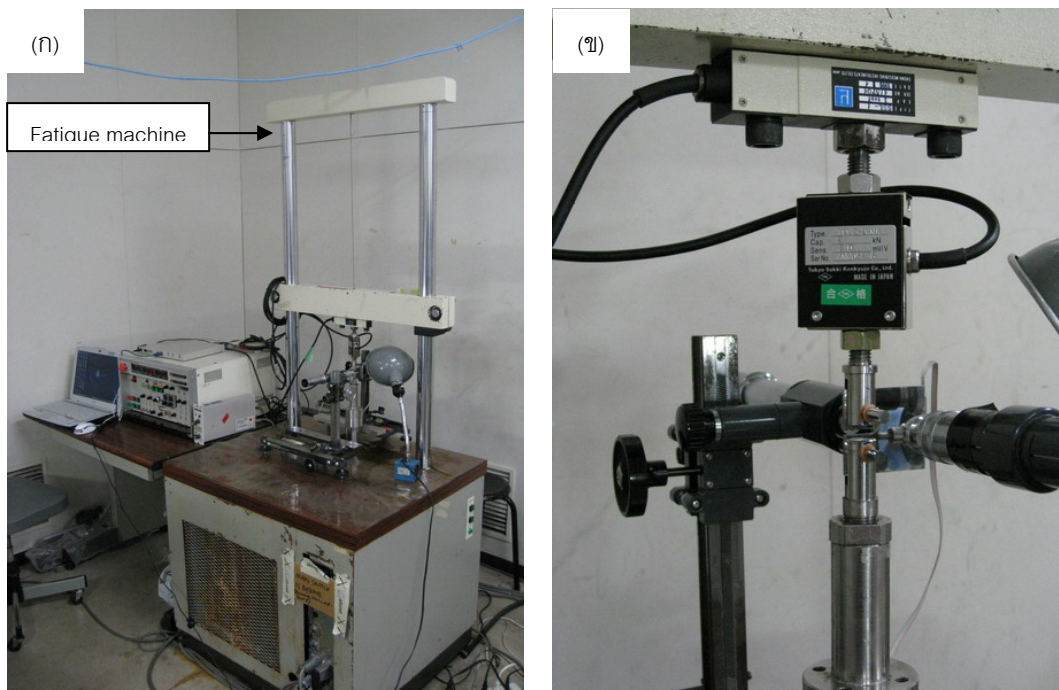
ละอองสารละลายเกลือกลั่นตัวเป็นสารละลายเกลือที่เก็บใน chamber ประมาณระหว่าง 1.0 to 2.0 ml ต่อชั่วโมง ซึ่งความเข้มข้นของ NaCl ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีความเข้มข้น 3.5% ซึ่งเป็นปริมาณที่ใกล้เคียงกับความเข้มข้นของน้ำทะเล และควบคุม pH ของสารละลายไว้ในช่วง pH 6.5 ถึง 7.2 โดยชิ้นงานที่ผ่านการดำเนินการ pre-cracked แล้วจะถูกนำมาติดตั้งเข้ากับอุปกรณ์ใน chamber ที่ควบคุมสภาวะแวดล้อมให้เป็นไปตามกำหนดที่กล่าวมาแล้วก่อนทำการทดสอบ FCG เป็นระยะเวลา 10 นาทีก่อนที่จะเริ่มดำเนินการ FCG test ต่อไป

ดังที่ได้กล่าวในส่วนวรรณกรรมปริทัศน์ว่าความถี่เป็นตัวแปรที่มีผลกระทบต่ออัตราการขยายตัวของรอยร้าวอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะจะมีผลกระทบที่เห็นได้อย่างเด่นชัดที่ความถี่ต่ำในสภาวะที่มีอิทธิพลของการกัดกร่อน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการปฏิบัติการทดสอบการขยายตัวของรอยร้าวที่ความถี่ต่ำคือ 5 Hz เพื่อวัตถุประสงค์ในการตรวจสอบพฤติกรรมของการขยายตัวของรอยร้าวที่มีต่อโลหะผสมแมกนีเซียมในสภาวะกัดกร่อน

โดยในการตรวจสอบหาพฤติกรรมการปิดรอยร้าว (crack closure) งานวิจัยนี้ได้ทำการปฏิบัติการทดสอบการขยายตัวของรอยร้าวโดยการใช้อัตราส่วนความเค้น คือ $R = 0.1$ และ 0.7 เพื่อวัตถุประสงค์ในการตรวจสอบหาอิทธิพลของอัตราส่วนความเค้นที่มีผลต่อ พฤติกรรมการปิดรอยร้าว (crack closure) โดยตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัยได้ทำการแสดงดังในตารางที่ 3.4

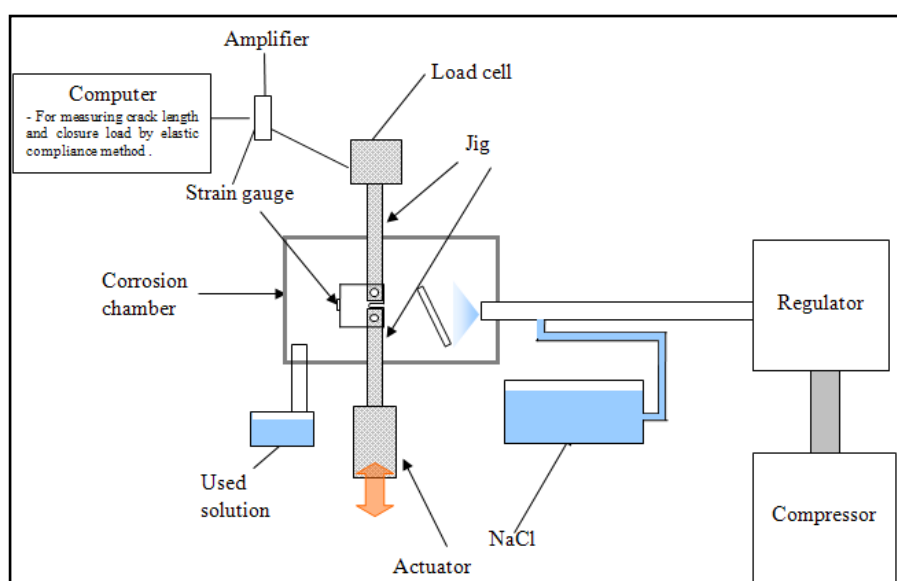
ตารางที่ 3.4
ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปรควบคุม	ค่าตัวแปร
ชิ้นงานทดลอง	Extruded Magnesium AZ61, CT specimen
สภาวะในการทดลอง	(1) in a laboratory control room (20°C and relative humidity 55%)
	(2) in 3.5% NaCl fogging environment (salt spray)
อัตราส่วนความเค้น (R)	0.1, 0.7
Wave form	Sinusoidal
frequency	5 Hz



ภาพที่ 3.8

แสดงภาพการติดตั้งการทดสอบ FCG สภาวะควบคุมในห้องปฏิบัติการภายใต้สภาวะความชื้นต่ำ
(ความชื้นสัมพัทธ์ 55%, 20°C)



ภาพที่ 3.9

แสดงภาพการติดตั้งการทดสอบ FCG สภาวะพ่นละออง 3.5% NaCl

ความยาวของรอยร้าวล้า (fatigue crack length) ที่ปรากฏขึ้นบนผิวชิ้นงานทั้งสอง ด้านของชิ้นงานที่ผ่านการขัดจะถูกตรวจวัดโดยมีความละเอียดที่ $1\ \mu\text{m}$ โดยการใช้ compliance technique ที่ควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ และยังคงถูกตรวจสอบด้วย traveling optical microscope ซึ่ง crack length ที่วัดได้จาก compliance technique มีค่าเท่ากับที่วัดได้จาก traveling microscope ภายใต้สภาวะความชื้นต่ำ (ความชื้นสัมพัทธ์ 55%, 20°C) ที่ควบคุมในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นจึงสามารถเชื่อมั่นได้ว่า crack length ที่ทำการวัดโดย compliance technique สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้กับสภาวะพ่นละออง 3.5% NaCl โดยที่ crack length ที่ทำการวัดโดย traveling microscope สามารถคำนวณได้โดยสมการที่ (3.3)

$$a = a_0 + \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (3.3)$$

โดยที่; a_0 คือ initial crack length ($= 7.2\ \text{mm}$ ที่ทำการวัดได้จาก notch ถึง crack tip), d_1, d_2 คือ crack extension length บนแต่ละด้านของชิ้นงาน

Crack growth curve (crack growth rate da/dN vs stress intensity factor range ΔK) สามารถได้รับการดำเนินการตามหลักการ K -decreasing และ K -increasing test procedure โดยที่ขั้นตอนในการเพิ่มหรือลดค่า load ในระหว่างกระบวนการดำเนินการของ K -decreasing และ K -increasing test นั้น load จะต้องมีการเพิ่มหรือลด ต่ำ 10% ของ load ในขั้นตอนก่อนหน้าซึ่งสอดคล้องตามมาตรฐาน ASTM E647-95a [1] โดยที่ Stress intensity factor range, ΔK ของ CT specimen สามารถคำนวณได้จาก

$$\Delta K = \frac{\Delta P}{B\sqrt{W}} \times \frac{(2 + \alpha)}{(1 - \alpha)^{3/2}} (0.886 + 4.64\alpha - 13.31\alpha^2 + 14.72\alpha^3 - 5.6\alpha^4) \quad (3.4)$$

โดยที่; ΔP คือ load range ($= P_{\max} - P_{\min}$), B คือ ความหนาของชิ้นงาน, W คือ ความยาวที่วัดจากจุดศูนย์กลาง hole ถึงขอบด้านหลัง notch ของชิ้นงาน, α คือ a/W

$$\Delta K = K_{\max} - K_{\min} = \Delta \sigma \sqrt{\pi a} \cdot F(\alpha) \quad (3.5)$$

$$K_{\max} = \sigma_{\max} \sqrt{\pi a} \cdot F(\alpha) \text{ และ } K_{\min} = \sigma_{\min} \sqrt{\pi a} \cdot F(\alpha) \quad (3.6)$$

load range ΔP สามารถคำนวณได้จาก

$$\Delta P = P_{\max} - P_{\min} \quad (3.7)$$

load ratio R สามารถพิจารณาได้จาก

$$R = \frac{K_{\min}}{K_{\max}} = \frac{P_{\min}}{P_{\max}} \quad (3.8)$$

โดยที่ crack length increment, Δa (ระยะของรอยร้าวที่เพิ่มขึ้น) ในแต่ละขั้นตอน ที่ทำการเพิ่มหรือลดขนาดของ Load หรือภาระ ให้สอดคล้องกับค่า ΔK นั้นๆ ระยะของ Δa จะต้องมากกว่าช่วง plastic zone size ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\Delta a \geq \frac{3}{\pi} \left(\frac{K'_{\max}}{\sigma_{ys}} \right)^2 \quad (3.9)$$

โดยที่ $K'_{\max}$ คือค่า $K_{\max}$ ในช่วงก่อน

threshold stress intensity factor range, ΔK_{th} คือค่าที่ตรงกันกับค่า ΔK ที่ไม่สามารถสังเกตการเติบโตของ crack หลังจากให้ภาระกับชิ้นงานมากกว่า 10^6 cycles โดยที่ในระหว่างการทดสอบ FCG crack closure point สามารถทำการประเมินโดยใช้หลักการ elastic compliance method.

The effective stress intensity factor range, ΔK_{eff} สามารถหาได้จาก

$$\Delta K_{eff} = K_{\max} - K_{cl} = U \times \Delta K \quad (3.10)$$

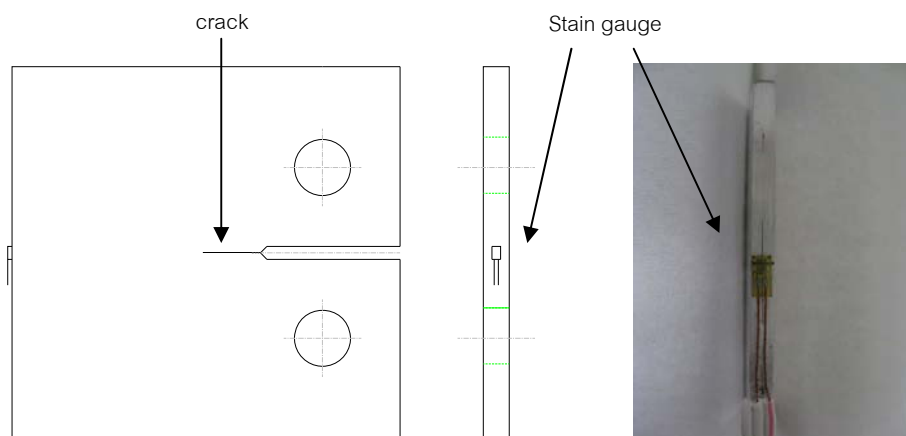
โดยที่; $K_{\max}$ คือ the stress intensity factor ที่คำนวณได้จาก maximum load และ K_{cl} คือ the stress intensity value ที่ crack closure load, $P_{closure}$ U คือ the effective stress intensity range ratio หรือ the crack closure ratio ซึ่ง Crack closure ratio U สามารถคำนวณได้จาก

$$U = \Delta K_{eff} / \Delta K \quad (3.11)$$

โดยที่พื้นผิวเสียหายสุดท้าย (fracture surface) สามารถตรวจสอบโดยใช้ scanning electron microscope (SEM) ซึ่ง corrosion product สามารถทำการวิเคราะห์ได้โดยการใช้อุปกรณ์ energy dispersive spectroscopy (EDS).

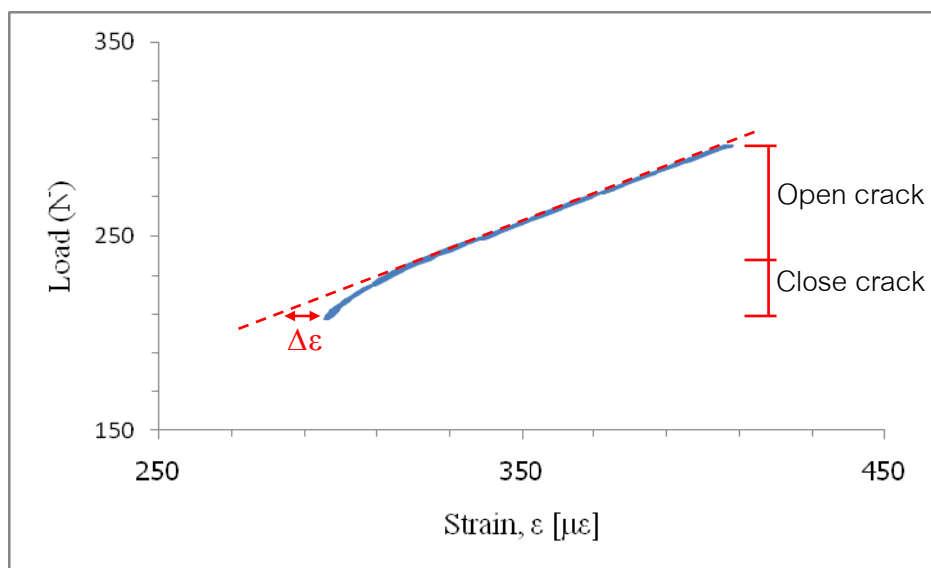
จากสมการที่ 3.10 และ 3.11 แสดงให้เห็นได้ว่ามีเพียงแค่ load range ระหว่าง และ maximum load เท่านั้นที่ผลกระทบต่อ the fatigue crack growth rate

โดย strain gage จะถูกทำการติดตั้งบริเวณด้านหน้าของ crack tip ที่ทางด้านขอบของชิ้นงานดังแสดงในภาพที่ 3.10 เพื่อจุดประสงค์ในการตรวจสอบ ซึ่ง compliance technique (เส้นโค้งแสดงความชันของ stain ต่อ load) ได้ถูกนำมาใช้เพื่อการพิจารณาตัดสินค่า closure load ดังแสดงในรูปที่ 3.11

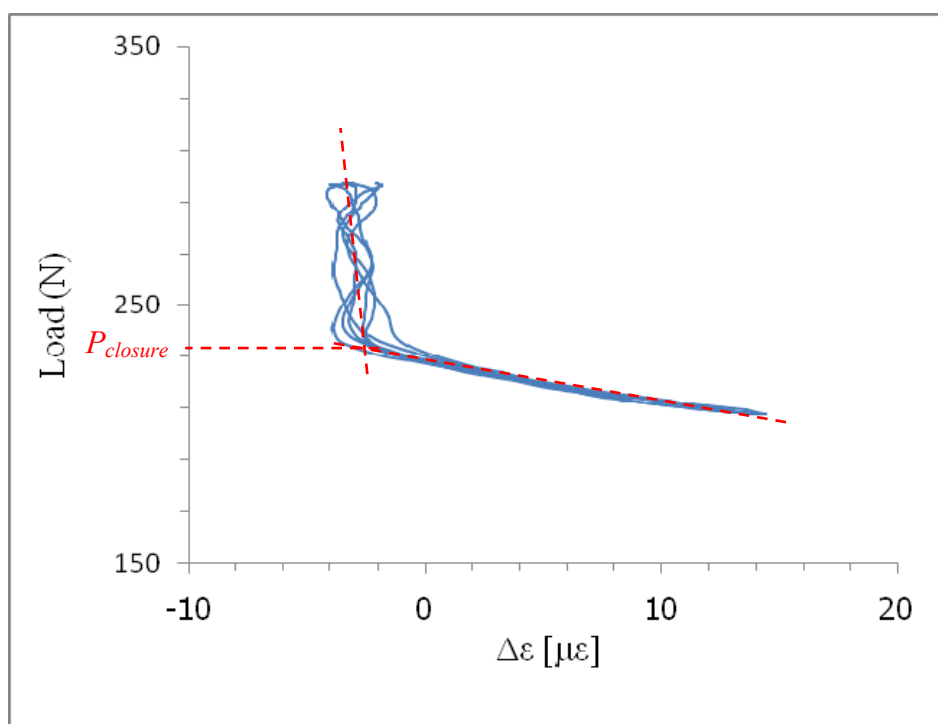


ภาพที่ 3.10

แสดงภาพ CT specimen ที่ทำการติดตั้ง strain gauge



(ก)

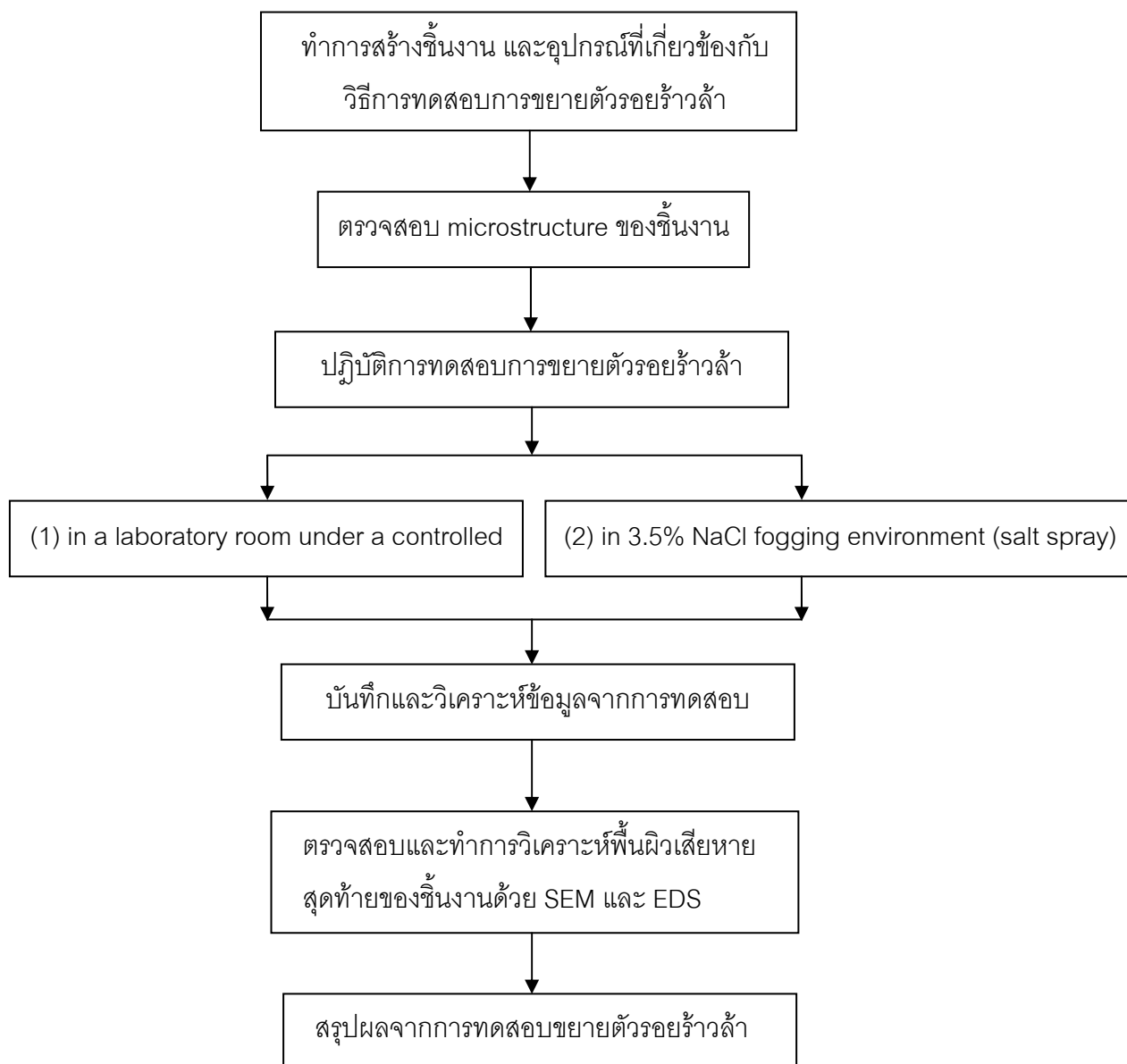


(ข)

ภาพที่ 3.11

แสดงภาพการตรวจสอบ crack closure load ซึ่งใช้วิธี compliance technique (เส้นโค้งแสดงความชันของ stain ต่อ load) เพื่อการพิจารณาตัดสินค่า closure load (ก) แสดงช่วง Loading (Open crack) และ Unloading (Close crack) (ข) การพิจารณาตัดสินค่า $P_{closure}$

3.4 แผนงานวิจัย



ภาพที่ 3.12
ขั้นตอนแผนงานวิจัย