

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

แบบจำลองอนุภาคในปอศักย์แบบต่าง ๆ ในกลศาสตร์ควอนตัม เป็นการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้จำลองสถานการณ์กรณีที่อนุภาคอยู่ภายในปอศักย์ ศึกษาพลังงานของอนุภาคซึ่งพบว่ามีค่าไม่ต่อเนื่อง ขนาดของพลังงานขึ้นอยู่กับเลขควอนตัมของระบบ แสดงฟังก์ชันคลื่นของอนุภาคที่อยู่ในปอศักย์นั้นที่เลขควอนตัมต่าง ๆ ฟังก์ชันคลื่นที่ได้จะนำไปสู่ความน่าจะเป็นที่จะพบอนุภาคภายในปอศักย์นั้น วิธีการดำเนินการวิจัย แบ่งเป็นหัวข้อดังนี้

- 3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
- 3.2 ขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรม
- 3.3 โครงสร้างของแฟ้มข้อมูล (Folder) ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม
- 3.4 การแปลโปรแกรมให้เป็น class file และบีบอัดให้เป็น Jar file

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัยซึ่งมีอยู่แล้ว ไม่จำเป็นต้องจัดหาเพิ่มเติม ดังต่อไปนี้

1. เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับใช้เขียนโปรแกรม และทดสอบโปรแกรม
2. ซอฟต์แวร์ Java SDK 6 (java Standard Development Kit) สามารถ download ได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายจาก <http://java.sun.com> ติดตั้งใช้งานภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (ในที่นี้ใช้ Windows XP service pack 3)
3. ซอฟต์แวร์ที่ใช้เป็น editor สำหรับเขียน source code ของโปรแกรม
4. ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของผลการคำนวณของโปรแกรม ในที่นี้จะใช้ MathematicA version 5.1 และโปรแกรมตารางคำนวณ Excel (Microsoft Excel version 2003) ช่วยในการพล็อตกราฟของฟังก์ชันคลื่น ในช่วงที่เขียนโปรแกรมในลักษณะ text mode
5. เครื่องคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่เป็น server หมายเลข IP คือ 203.158.100.100 ใช้โปรแกรม IIS 7 (Internet Information System version 7) เป็น web server ภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 2008 สำหรับทดสอบการทำงานของโปรแกรมผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

3.2 ขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรม

ในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อจำลองพฤติกรรมของอนุภาคในบ่อศักย์นั้น ได้แบ่งขั้นตอนการพัฒนาเป็นลำดับขั้นดังนี้

1. ประมวลผลความรู้และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับสมการชเรอดิงเงอร์ โดยเน้นไปที่กรณีสมการไม่ขึ้นกับเวลา (time independent) ใน 1 มิติ ศึกษาการแก้ปัญหาเชิงวิเคราะห์เมื่ออนุภาคที่ถูกจำกัดบริเวณในบ่อศักย์แบบต่าง ๆ (Bound state) รายละเอียดของเนื้อหา ดังปรากฏในบทที่ 2 ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2. ศึกษาและออกแบบระเบียบวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขที่ต้องใช้ในการหาผลเฉลยของสมการชเรอดิงเงอร์ ซึ่งเป็นสมการอนุพันธ์อันดับสอง ระเบียบวิธีที่ถูกเลือกใช้ในงานวิจัยขั้นนี้คือวิธีของ นูเมอโรฟ (Numerov) ใช้ในการหาค่าฟังก์ชันคลื่นของอนุภาคที่กำหนดค่าพลังงานมาให้การหาปริพันธ์ของฟังก์ชันซึ่งจะนำไปใช้ในการ normalize ฟังก์ชันคลื่น โดยใช้วิธีแบ่งพื้นที่เป็นสี่เหลี่ยมคางหมูเล็ก ๆ และรวมพื้นที่ทั้งหมดเข้าด้วยกัน การหารากสมการของฟังก์ชันใช้วิธีแบ่งครึ่งช่วง (Bisection) ตรวจสอบการคำนวณพลังงานของอนุภาคที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์หรือไม่

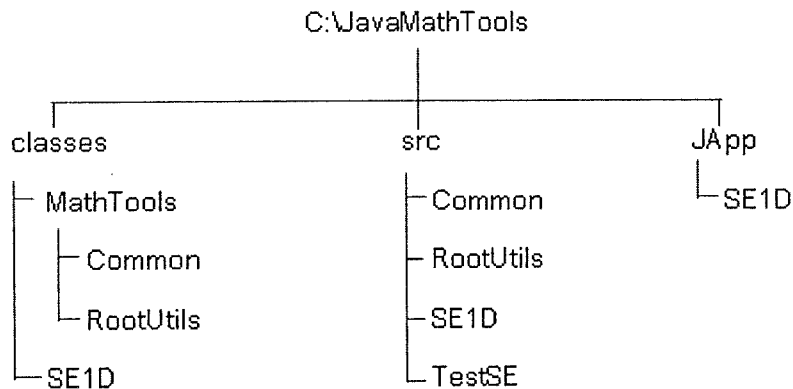
3. ออกแบบโปรแกรมและเขียนคำสั่งเป็นภาษาจาวา (Java) โดยแบ่งเป็น 2 ช่วง ช่วงแรกจะให้โปรแกรมแสดงผลเป็นแบบ text mode เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณว่าสอดคล้องกับทฤษฎี หรือไม่พบข้อผิดพลาดในการคำนวณแล้ว จึงดำเนินการช่วงที่ 2 โดยนำผลลัพธ์ที่ได้เป็นข้อมูลในการแสดงผลทางด้านกราฟิก เลือกใช้ GUI (Graphic User Interface) แบบ SWING ซึ่งมีการจัดการวางรูปแบบ (Layout Manager) ที่นำไปใช้งานได้ง่าย มีความยืดหยุ่นในการวางองค์ประกอบ เหมาะสมกับการใช้งานผ่าน เครือข่ายอินเทอร์เน็ต

4. ทดสอบการทำงานของโปรแกรมจำลองอนุภาคในบ่อศักย์ ในภาพรวมทั้งหมดปรับปรุงและแก้ไขชุดคำสั่ง ในกรณีที่ประมวลผลแล้วคลาดเคลื่อน หรือมีความบกพร่องในการแสดงผลทางกราฟิก

5. นำไปประกอบกับบทเรียน E-learning ที่เกี่ยวกับกลศาสตร์ควอนตัม เช่นในวิชากลศาสตร์ควอนตัม 1 ที่ใช้สอนนักศึกษาของสาขาวิชาฟิสิกส์ หรือวิชาฟิสิกส์ 2 ในหัวข้อ กลศาสตร์ควอนตัมเบื้องต้น ใช้สอนนักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ หรือวิชาฟิสิกส์ยุคใหม่ ในหัวข้อกลศาสตร์ควอนตัม ใช้สอนนักศึกษาของคณะครุศาสตร์และนักศึกษาที่เรียนสาขาฟิสิกส์ นำบทเรียนเหล่านี้ไปติดตั้งไว้ใน Web server ของสาขาวิชาฟิสิกส์ (<http://www.electron.rmutphysics.com/SE1D>)

3.3 โครงสร้างของแฟ้มข้อมูล (Folder) ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม

เพื่อความเป็นระเบียบและเป็นระบบในการพัฒนาโปรแกรม และเกิดความสะดวกในการนำไปใช้งาน และแก้ไขปรับปรุงโปรแกรมในอนาคต ผู้วิจัยจึงได้จัดสร้างแฟ้มข้อมูล มีลักษณะเป็นลำดับชั้นดังนี้ (แสดงเฉพาะแฟ้มข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาโปรแกรมแบบจำลองอนุภาคในปอดคักยเท่านั้น)



ภายใต้โฟลเดอร์ C:\JavaMathTools จะมีโฟลเดอร์ย่อยที่สำคัญ 3 โฟลเดอร์คือ

โฟลเดอร์ classes จะใช้เก็บ class file ที่ได้จากการแปลภาษาจาวาเป็น byte code ในโฟลเดอร์นี้จะแยกออกเป็น class ที่เกี่ยวกับการคำนวณเชิงตัวเลข จะเก็บไว้ในโฟลเดอร์ MathTools ซึ่งจะแยกไปตามหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณเชิงตัวเลข ค่าคงที่หรือตัวแปร รวมทั้งคลาสที่ต้องใช้ร่วมกันจะถูกเก็บไว้ใน Common การหารากสมการของฟังก์ชันใด ๆ จะถูกเก็บไว้ใน RootUtils ส่วนการคำนวณฟังก์ชันคลื่น และระดับพลังงานค่าต่าง ๆ หรือการคำนวณใดที่เกี่ยวข้องกับสมการชเรอดิงเงอร์ จะถูกเก็บไว้ใน SE1D (ย่อมาจาก Schrodinger Equation 1 Dimension)

โฟลเดอร์ src จะเก็บไฟล์ต้นฉบับ (source code) ที่มีนามสกุลไฟล์เป็น .java การเก็บไฟล์ต้นฉบับจะเก็บในโฟลเดอร์ย่อยที่มีชื่อเหมือนกับโฟลเดอร์ classes โฟลเดอร์ที่เพิ่มขึ้นมาคือ TestSE จะเก็บไฟล์ต้นฉบับที่ใช้ในการทดสอบโปรแกรมที่อยู่ในโฟลเดอร์ SE1D หรือเป็นไฟล์ต้นฉบับที่เรียกใช้งานคลาสอื่น ๆ ผสมกับคลาสที่อยู่ในโฟลเดอร์ SE1D ด้วยเช่นกัน ในโฟลเดอร์นี้อาจพบโฟลเดอร์ย่อย เรียงลำดับตั้งแต่ 01, 02, 03, หมายถึงการพัฒนาโปรแกรมที่มีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงเรียงลำดับตามรุ่นที่พัฒนา โดยที่ยังคงรักษาต้นฉบับของรุ่นก่อน ๆ ไว้ เพื่อไว้ในบางครั้งในการพัฒนาอาจได้ผลลัพธ์ที่ไม่ตรงกับจุดประสงค์ หรือโปรแกรมมีข้อบกพร่องหรือมีความคลาดเคลื่อนที่แก้ไขได้ยาก ผู้พัฒนาสามารถย้อนกลับไปยังจุดก่อนหน้านั้น โดยไม่ต้องเริ่มต้นที่ศูนย์ใหม่

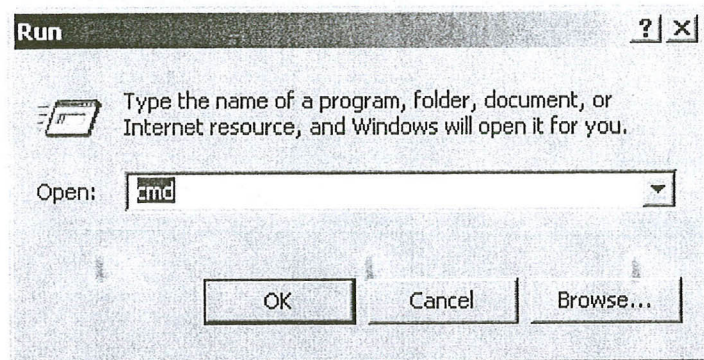
โฟลเดอร์ JApp จะเก็บ class files ที่ได้จากการแปลโปรแกรมต้นฉบับที่เก็บไว้ในโฟลเดอร์ TestSE ส่วนที่เป็น main ของโปรแกรมจะถูกเก็บไว้ในโฟลเดอร์นี้

3.4 การแปลโปรแกรมให้เป็น class file และบีบอัดให้เป็น Jar file

ในการแปลโปรแกรมหรือ compile โปรแกรมต้นฉบับ (ที่มีนามสกุล .java) ให้เป็น class file และถูกจัดเก็บไว้ในโฟลเดอร์ที่เหมาะสมนั้น จะต้องใช้คำสั่ง และ option ในการแปลโปรแกรมให้ถูกต้องด้วย มิฉะนั้นผลที่ตามมาคือโปรแกรมไม่สามารถทำงานได้

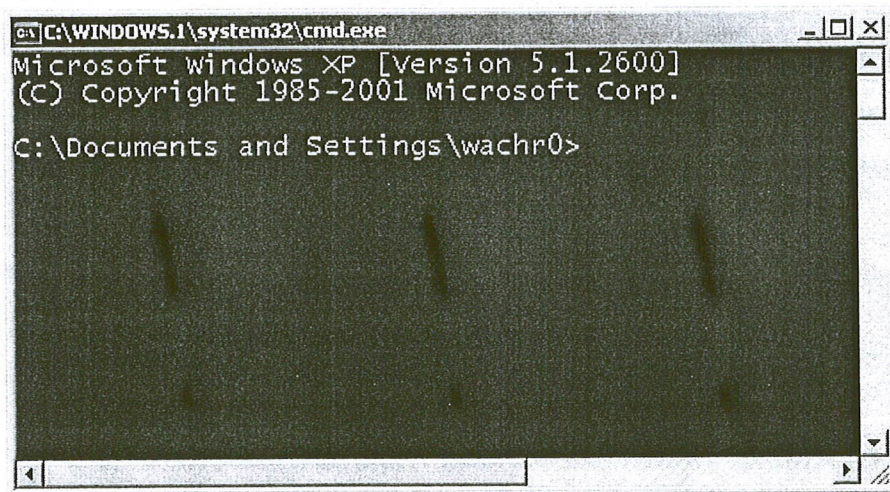
ในการคอมไพล์โปรแกรมเริ่มต้นดังนี้

1. คลิกที่ปุ่ม Start และคลิกที่คำสั่ง run แล้วพิมพ์คำสั่ง cmd ดังรูป เพื่อเข้าสู่ DOS mode หรือ Command mode



รูปที่ 3.1 การเข้าสู่ DOS mode

2. เมื่อคลิกที่ปุ่ม OK จะได้หน้าต่าง command mode

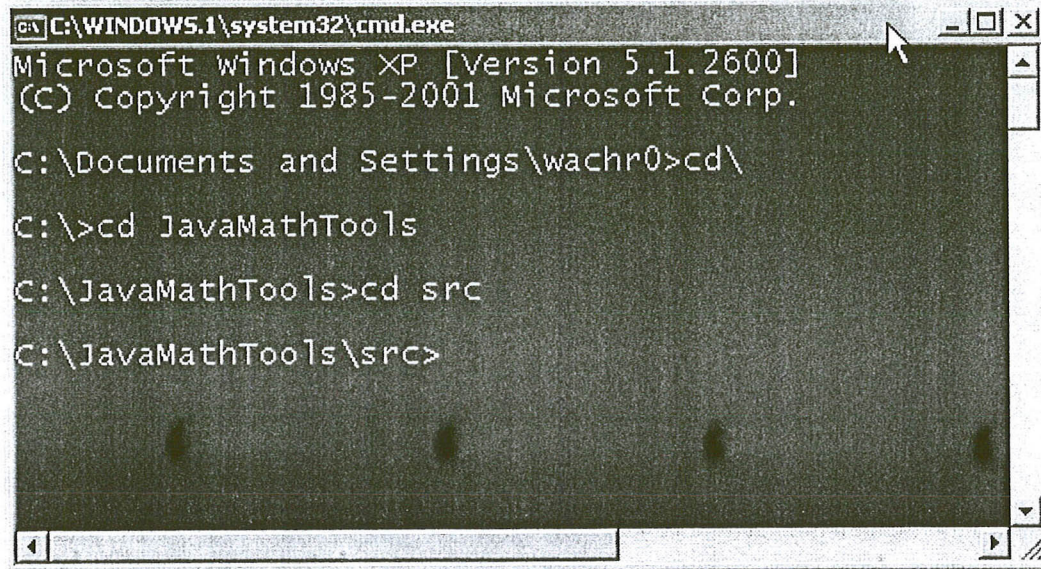


รูปที่ 3.2 แสดงหน้าต่าง เมื่อเข้าสู่ DOS mode

3. พิมพ์คำสั่ง cd (ย่อมาจาก change directory) ดังปรากฏในภาพ เพื่อเข้าไปอยู่ในโฟลเดอร์ JavaMathTools/src
ความหมายของคำสั่งมีดังนี้

พิมพ์คำสั่ง `cd \` (cd ตามด้วยเครื่องหมาย back slash) เป็นคำสั่งที่ให้กลับไปโฟลเดอร์ราก คือ `c:\`

คำสั่ง `cd JavaMathTools` และ `cd src` เป็นการสั่งให้ไปที่โฟลเดอร์ย่อย JavaMathTools และโฟลเดอร์ย่อยลงไปอีกชื่อ src



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Microsoft Windows XP [Version 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.

C:\Documents and Settings\wachr0>cd\

C:\>cd JavaMathTools

C:\JavaMathTools>cd src

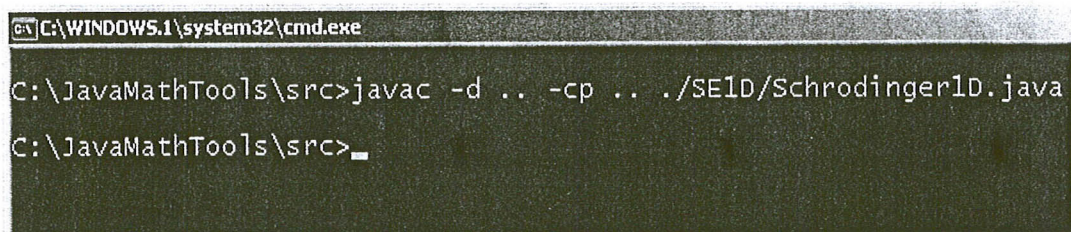
C:\JavaMathTools\src>
```

รูปที่ 3.3 แสดงโฟลเดอร์ที่เก็บ source code

4. สมมติว่าจะคอมไพล์โปรแกรมชื่อ `Schrodinger1D.java` ซึ่งถูกเก็บไว้ใน โฟลเดอร์ `src/SE1D` ให้ใช้คำสั่งดังนี้

`javac -d .. -cp .. ./SE1D/Schrodinger1D.java` กดปุ่ม Enter

ถ้าโปรแกรมต้นฉบับไม่มีข้อผิดพลาด หน้าจอจะไม่แสดงข้อผิดพลาดใด ๆ จะเป็นดังรูป



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe

C:\JavaMathTools\src>javac -d .. -cp .. ./SE1D/Schrodinger1D.java

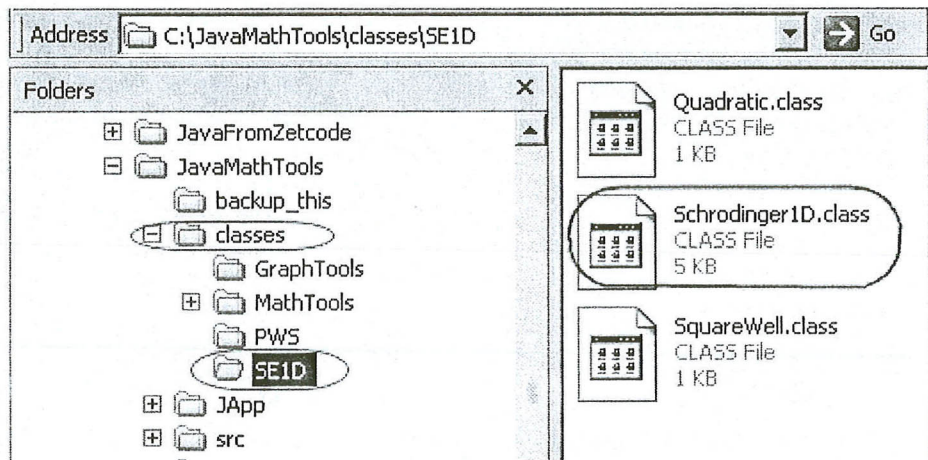
C:\JavaMathTools\src>_
```

รูปที่ 3.4 เมื่อใช้คำสั่ง `javac` คอมไพล์โปรแกรม

Option ที่ปรากฏท้ายคำสั่ง `javac` คือ `-d` หมายถึง โฟลเดอร์ที่จะเก็บโปรแกรมซึ่งมีนำสกุลเป็น class ในที่นี้เป็น จุด 2 จุด หมายถึงให้เก็บ class file ที่ได้จากการคอมไพล์นี้ไว้ในโฟลเดอร์ที่อยู่ในเหนือ src ขึ้นไป 1 ลำดับชั้น

-cp นั้นย่อมาจากคำว่า class path เป็นการระบุว่า class file ที่เป็น library นั้น ตัวคอมไพเลอร์สามารถไปค้นหาโดยเริ่มต้นจากโฟลเดอร์ที่อยู่เหนือ src ไป 1 ลำดับชั้นเช่นเดียวกัน ./SE1D/Schrodinger1D.java เป็นการระบุชื่อไฟล์ที่จะทำการคอมไพล์

ไฟล์ Schrodinger1D.class ที่ผ่านการคอมไพล์แล้วจะถูกเก็บไว้ในโฟลเดอร์ classes/SE1D/ ดังรูป



รูปที่ 3.5 แสดงโฟลเดอร์ที่เก็บ class file

การคอมไพล์ไฟล์ต้นฉบับอื่น ๆ ก็ทำเช่นเดียวกัน เพียงแต่ระบุโฟลเดอร์ของไฟล์ต้นฉบับให้ถูกต้องตามที่เป็นจริงเท่านั้น เช่นการคอมไพล์ไฟล์ชื่อ Common.java ใช้คำสั่งดังนี้

```
javac -d .. -cp .. ./Common/Common.java
```

หรือจะคอมไพล์ไฟล์ Biseciton.java ใช้คำสั่งดังนี้

```
javac -d .. -cp .. ./RootUtils/Bisection.java
```

การสร้าง Jar file

ไฟล์นามสกุล .class ที่เกิดจากการคอมไพล์จะมีเป็นจำนวนมาก อาจไม่สะดวกในการขนย้าย เมื่อนำไปใช้กับเครื่องอื่น ๆ หรือใช้งานในระบบเครือข่าย การนำคลาสไฟล์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดมารวบรวมและบีบอัดให้มีขนาดไฟล์เล็กลง สามารถขนย้ายโดยใช้ไฟล์นี้เพียงไฟล์เดียว เรียกไฟล์นี้ว่า Jar file ย่อมาจากคำว่า Java Archive file การรวบรวมคลาสไฟล์ให้เป็น Jar file ทำได้ดังนี้

1. สร้าง Manifest file ชื่อ SEManifest.txt เก็บไว้ใน c:\JavaMathTools โดยใช้ editor (เช่น Notepad) พิมพ์ข้อความต่อไปนี้

Main-Class: JApp.SE1D.mainApp

แล้ว save เก็บไว้ในชื่อ SEManifest.txt

2. ในการสร้างไฟล์ SE1D.jar ใช้คำสั่งดังนี้

```
C:\JavaMathTools>jar -cvmf SEManifest.txt SE1D.jar JApp/SE1D classes/SE1D
classes/MathTools/Common
```



```
C:\JavaMathTools>jar -cvmf SEManifest.txt SE1D.jar JApp/SE1D classes/SE1D class
es/MathTools/Common
```

รูปที่ 3.6 การใช้คำสั่ง Jar

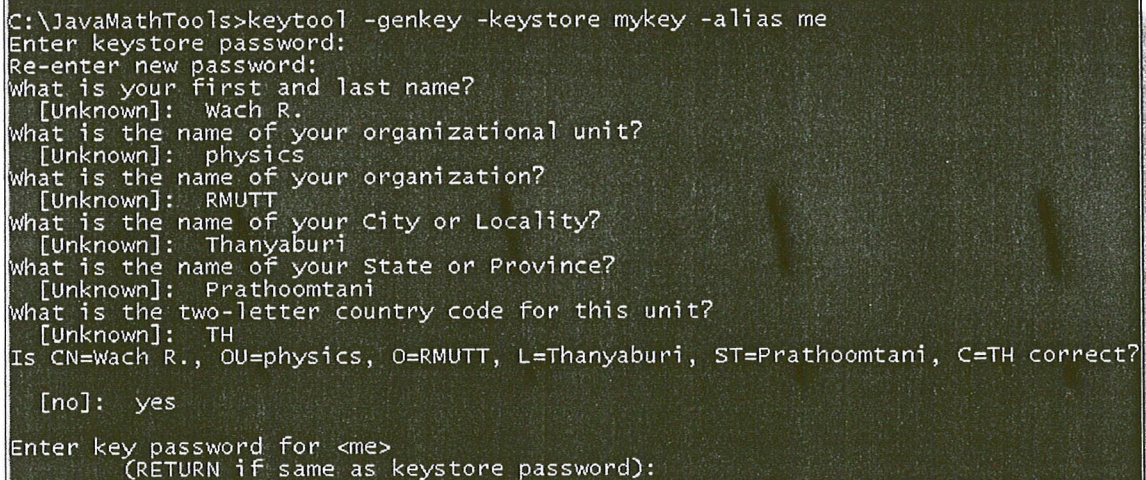
การนำ jar file ไปไว้ในแมชชีนอินเทอร์เน็ต จำต้องสร้างลายเซ็นสำหรับ jar file นี้ก่อน จุดประสงค์ของลายเซ็นนี้คือเป็นเครื่องหมายแสดงความปลอดภัยสำหรับการให้โปรแกรมนี้ทำงานผ่านเทคโนโลยี Java web start ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงแก้ไขโปรแกรม (อาจเกิดจากไวรัส หรือผู้ไม่ประสงค์ดีนำคำสั่งมาเพิ่มเติม) หลังจากการสร้างลายเซ็นนี้แล้ว โปรแกรมจะถูกห้ามมิให้ทำงานเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นตามมาภายหลัง

สร้างลายเซ็น ตามลำดับดังนี้

1. สร้าง mykey สำหรับสร้าง self sign certificate เริ่มต้นนี้

```
C:\JavaMathTools>keytool -genkey -keystore mykey -alias me
```

ใส่ Password ตามที่ต้องการ แต่ต้องจำไว้เพราะจะต้องนำไปใช้ในตอนท้าย ๆ ด้วย



```
C:\JavaMathTools>keytool -genkey -keystore mykey -alias me
Enter keystore password:
Re-enter new password:
What is your first and last name?
[Unknown]: Wach R.
What is the name of your organizational unit?
[Unknown]: physics
What is the name of your organization?
[Unknown]: RMUTT
What is the name of your City or Locality?
[Unknown]: Thanyaburi
What is the name of your State or Province?
[Unknown]: Prathoomtani
What is the two-letter country code for this unit?
[Unknown]: TH
Is CN=Wach R., OU=physics, O=RMUTT, L=Thanyaburi, ST=Prathoomtani, C=TH correct?
[no]: yes
Enter key password for <me>
(RETURN if same as keystore password):
```

รูปที่ 3.7 การสร้าง key สำหรับการเข้ารหัส jar file

2. สร้าง certificate สำหรับการ sign ไฟล์ SE1D.jar โดยใช้ keytool สร้าง self signed certificate

C:\JavaMathTools>keytools -selfcert -alias me -keystore mykey

ใส่ password ตามที่เคยใส่มาแล้วในข้อ 1

```
C:\JavaMathTools>keytool -selfcert -alias me -keystore mykey
Enter keystore password:
C:\JavaMathTools>
```

รูปที่ 3.8 การใช้ keytools สร้าง self certificate

3. sign ไฟล์ SE1D.jar โดยใช้คำสั่ง jarsigner —

Passphrase ที่ใช้คือ ตัวเดียวกับที่ใช้มาแล้วข้างต้น

c:\JavaMathTools>jarsigner -keystore mykey SE1D.jar me

```
C:\JavaMathTools>jarsigner -keystore mykey SE1D.jar me
Enter Passphrase for keystore:
Warning:
The signer certificate has expired.
```

รูป 3.9 การสร้างลายเซ็นโดยใช้คำสั่ง jarsigner