การพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์สำหรับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

นางสาวสมธิดา ไทยเที่ยง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2555

A JAVASCRIPT 3D GRAPHICS LIBRARY FOR GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM

Somtida Thaithieng

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Engineering in Computer Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2012

การพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์สำหรับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____

(รศ. ดร.กิตติศักดิ์ เกิดประสพ)
ประธานกรรมการ

_____

(ผศ. ดร.คะชา ชาญศิลป์)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

_____

(ผศ. ดร.พิชโยทัย มหัทธนาภิวัฒน์)
กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

_____ _____

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์) (รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

สมธิดา ไทยเที่ยง : การพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์สำหรับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (A JAVASCRIPT 3D GRAPHICS LIBRARY FOR GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คะชา ชาญศิลป์, 115 หน้า.

เป็นเวลากว่าสิบปีที่การเติบโตของการแสดงผลสามมิติบนเว็บเบราว์เซอร์เป็นเพียงการแสดงผลผ่านตัวเสริม (Plugins) เพิ่มเติมภายนอก ซึ่งส่วนใหญ่มีค่าลิขสิทธิ์ หลังจากที่ได้มีการพัฒนาคุณสมบัติทางด้านกราฟิก Canvas Element ภายใต้มาตรฐาน HTML5 ด้วยการเรียกใช้งานเทคโนโลยีเว็บจีแอล (Web Graphic Library : WebGL) ที่เชื่อมโยงการติดต่อระหว่างหน่วยประมวลผลกราฟิกและเว็บเบราว์เซอร์ โดยมีพื้นฐานบนชุดคำสั่งจาวาสคริปต์เชื่อมโยงกับชุดคำสั่งคลังกราฟิกแบบเปิด (OpenGL) เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการประมวลผลภาพสามมิติ ทำให้ผู้พัฒนาสามารถสร้างระบบกราฟิกผ่านเว็บเบราว์เซอร์โดยไม่ต้องทำการติดตั้งโปรแกรมเสริม

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ที่มุ่งเน้นโดยตรงสำหรับการจำลองข้อมูลเชิงพื้นที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เริ่มต้นจากการสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model) โดยการนำเข้าข้อมูลเมทริกซ์ระดับความสูงที่ได้จากการเฉลี่ยค่าความสูงด้วยวิธีการเชิงเลข แล้วจึงทำการขึ้นรูปแบบจำลองด้วย WebGL เพื่อให้สามารถดำเนินการแบบโต้ตอบด้านกราฟิกต่างๆ การสร้างลักษณะพื้นผิวจากการซ้อนทับ (Overlay Function) ด้วยการนำเข้าข้อมูลเวกเตอร์และชั้นข้อมูล (Shape File) และการเชื่อมโยงการประมวลผลกับคลังโปรแกรมภายนอก (External Library) โดยเป้าหมายของวิทยานิพนธ์นี้คือการพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์และการสร้างโปรแกรมประยุกต์ (Web Application) จากคลังที่สร้างขึ้นโดยแสดงผลลักษณะภูมิประเทศในรูปแบบจำลองระดับชนิดโครงข่ายสามเหลี่ยมสม่ำเสมอ (Regular Triangular Mesh) รวมถึงลำดับชั้นทางภูมิศาสตร์จากข้อมูลตัวอย่าง ได้แก่ พื้นที่เขตมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับคือ คลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์สำหรับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อเป็นเครื่องมือที่อำนวยความสะดวกในการทำงานเกี่ยวกับการจำลองข้อมูลเชิงพื้นที่ ซึ่งถูกจัดเก็บแบบมาตรฐาน เพื่อการแสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์โดยไม่ต้องติดตั้งโปรแกรมเสริม

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ปีการศึกษา 2555 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม_____

SOMTIDA THAITHIENG : A JAVASCRIPT 3D GRAPHICS LIBRARY FOR GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. KACHA CHANSILP, Ph.D., 115 PP.

JAVASCRIPT GRAPHICS LIBRARY/GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM

The rapid growth of 3D content on the web browser has manifest with the help for external plugin, mostly proprietary. With the emergence of HTML5, the new web standard has upon which the WebGL is designed as a rendering context. Drawing on HTML5 Canvas Element using WebGL is an efficient 3D mode rendering API designed for the web applications. Graphics specifications for JavaScript bindings to OpenGL enable the web browser to access the GPU without the need for plugin.

The objective of this thesis is to implement a JavaScript library for modeling 3D spatial data within the web browser. It provides the method to ease the use of WebGL on generating Digital Elevation Model from a set of contour lines on a regular grid, creating the Overlay Function by using ESRI shape file format for decision makers and interfacing the process with external library. The solution presented in this thesis is a JavaScript 3D graphics library for Geographical Information System which serves as simplifying utility for developers. To demonstrate the potential of the library, we created a demonstrating web application that creates a terrain surface of the Suranaree University of Technology area, where various GIS functionalities were built upon, without the requirement of plugin.

School of Computer Engineering

Academic Year 2012

Student's Signature_____

Advisor's Signature_____

Co-advisor's Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บุคคล และกลุ่มบุคคลต่างๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือ อย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คะชา ชาญศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสในการศึกษาครั้งนี้ และเป็นผู้ให้คำแนะนำปรึกษา ช่วยชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหา รวมทั้งช่วยตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรเมศวร์ ห่อแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและช่วยชี้แนะแนวทางการแก้ปัญหา รวมทั้งช่วยตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

อาจารย์ ดร. ชาญวิทย์ แก้วกสิ และอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ทุกท่าน ที่กรุณาให้คำปรึกษาทางด้านวิชาการ

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่างๆ ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน และขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้ความความรัก กำลังใจ อุปการะเลี้ยงดูอบรมและส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างดีมาโดยตลอด จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตตลอดมา

สมธิดา ไทยเที่ยง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญรูป ..... ญ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

1.3 สมมุติฐานการวิจัย 3

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น 4

1.5 ขอบเขตของการวิจัย 4

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ 5

1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์ 5

1.8 คำอธิบายศัพท์ 6

2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7

2.1 เทคโนโลยีเว็บ 7

2.1.1 มาตรฐาน HTML5 8

2.1.2 OpenGL 9

2.1.3 จาวาสคริปต์ 9

2.1.4 jQuery 10

2.2 เทคโนโลยีกราฟิกสามมิติผ่านเว็บเบราว์เซอร์ 11

2.2.1 VRML 11

2.2.2 X3D 12

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.3 O3D 12
2.2.4 WebGL 12
2.3 Web-based Graphics Library (WebGL) 13
2.3.1 Canvas 3D JS Library (C3DL) 13
2.3.2 Generic Graphics Library (GEGL) 14
2.3.3 SpiderGL 14
2.4 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ 15
2.5 ชั้นข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ 16
2.6 แบบจำลองข้อมูล (Data Models) 17
2.6.1 แบบจำลองระดับแบบเวกเตอร์ 18
2.6.2 แบบจำลองระดับแบบราสเตอร์ 19
2.7 การวิเคราะห์ข้อมูล 20
2.7.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ 20
2.7.2 การวิเคราะห์พื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลข 21
2.8 เทคนิคการประมาณค่าข้อมูล 25
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 27
2.9.1 การพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ 28
2.9.2 การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์สำหรับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ 30
3 วิธีการดำเนินการวิจัย 34
3.1 ระเบียบวิธีวิจัย 34
3.2 โครงสร้างข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย 35
3.2.1 โครงสร้างของระบบ 35
3.2.2 โครงสร้างของข้อมูล 36
3.2.3 โครงสร้างของชั้นข้อมูล 37
3.3 การเตรียมข้อมูล 41
3.3.1 การแปลงข้อมูลเส้นชั้นความสูงในรูปแบบเมทริกซ์ระดับความสูง 41

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.2 การแปลงข้อมูล (Data Transformation) 42
3.3.3 การคำนวณค่าแนวฉาก 43
3.4 การพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ 46
3.4.1 การขึ้นรูปแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข 47
3.4.2 การซ้อนแถบสีตามระดับความสูงของลักษณะภูมิประเทศ 47
3.4.3 การคำนวณแสงตกกระทบ 47
3.4.4 การใช้อุปกรณ์ควบคุมแบบจำลอง 47
3.4.5 การสร้างลำดับชั้นทางภูมิศาสตร์ต่างๆ ด้วยการนำเข้าชั้นข้อมูล 48
3.4.6 การเชื่อมโยงการประมวลผลกับคลังโปรแกรมภายนอก 48
3.5 การขึ้นรูปแบบจำลองสามมิติ 49
3.6 แถบสีแสดงระดับความสูงของลักษณะภูมิประเทศ (Layer Tinting) 51
3.7 แสงตกกระทบตามลักษณะภูมิประเทศ (Light and Shading) 53
3.8 การแปลงทางเรขาคณิต (Geometric Transformation) 56
3.8.1 การปรับขนาดแบบจำลอง (Scaling) 56
3.8.2 การหมุนของแบบจำลอง (Rotation) 57
3.9 การซ้อนทับลำดับชั้นข้อมูลทางภูมิศาสตร์ 58
3.10 การเชื่อมโยงการประมวลผลกับคลังโปรแกรมภายนอก 64
3.11 โครงสร้างการพัฒนาสร้างภาพกราฟิกด้วย WebGL 66
3.12 สรุปวิธีการดำเนินการวิจัย 67
4 การพัฒนาและผลการทดสอบ 68
4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย 68
4.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาและการทดสอบ 68
4.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาและการทดสอบ 69
4.2.3 ข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาและการทดสอบ 70
4.2 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองระดับความสูงเชิงตัวเลข 74
4.3 ขั้นตอนการซ้อนทับลำดับชั้นทางภูมิศาสตร์ 78

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4 ขั้นตอนการเชื่อมโยงการประมวลผลกับคลังโปรแกรมภายนอก 80
4.5 การวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล 80
4.5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลในด้านจำนวนบรรทัดของชุดคำสั่ง 81
4.5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลในด้านปริมาณหน่วยประมวลผลกลาง ขณะประมวลผล 82
4.5.3 การวิเคราะห์ข้อมูลในด้านเวลา 85
4.5.4 การวิเคราะห์ข้อมูลในด้านประสิทธิภาพของการซ้อนทับลำดับชั้นข้อมูล และการเชื่อมโยงการประมวลผลจากโปรแกรมภายนอก 89
4.6 การอภิปรายผล 94
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 95
5.1 สรุปผลการวิจัย 95
5.1.1 สรุปขั้นตอนการสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข 96
5.1.2 สรุปขั้นตอนการซ้อนทับชั้นข้อมูลทางภูมิศาสตร์ 96
5.1.3 สรุปขั้นตอนการเชื่อมโยงการประมวลผล กับคลังโปรแกรมภายนอก 97
5.2 ข้อจำกัดของงานวิจัย 98
5.3 ข้อเสนอแนะในงานวิจัยต่อไป 98
รายการอ้างอิง 100
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา 105
ประวัติผู้เขียน 115

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 แสดงข้อมูลบังคับที่ใช้ในการอ้างอิงถึงชั้นข้อมูล 16
2.2 แสดงข้อมูลตัวเลือกที่ใช้ในการอ้างอิงถึงชั้นข้อมูล 17
2.3 แสดงรูปแบบของการจัดเก็บค่าพิกัดจุดมุมของรูปสามเหลี่ยม 25
2.4 สรุปเปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ สำหรับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ 33
3.1 แสดงส่วนประกอบของชั้นข้อมูลสกุล *.shp 38
3.2 แสดงการจัดเก็บข้อมูลตามตำแหน่งไบต์ข้อมูลส่วนหัว 38
3.3 แสดงการจัดเก็บค่าข้อมูลส่วนหัวในตำแหน่งไบต์ที่ 32 เพื่อแยกประเภทชั้นข้อมูล 39
3.4 แสดงการจัดเก็บข้อมูลตามตำแหน่งไบต์ของข้อมูลระเบียนส่วนหัว 40
3.5 แสดงการจัดเก็บข้อมูลตามตำแหน่งไบต์ข้อมูลระเบียน ประเภทข้อมูลจุด (Point) 40
3.6 แสดงการจัดเก็บข้อมูลตามตำแหน่งไบต์ข้อมูลระเบียน ประเภทข้อมูลเส้น (Polyline) 40
3.7 แสดงการจัดเก็บข้อมูลตามตำแหน่งไบต์ข้อมูลระเบียน ประเภทโพลีกอน (Polygon) 41
3.8 แสดงตัวอย่างข้อมูลระนาบสามเหลี่ยมที่สัมพันธ์กับข้อมูลจุด 44
3.9 แสดงการแปลงทางเรขาคณิตตอบสนองการใช้งานเมื่อเกิดเหตุการณ์ 48
3.10 แสดงการกำหนดค่าสีตามระดับความสูงของภูมิประเทศ 52
4.1 แสดงพิกัดของพื้นที่สี่เหลี่ยมที่ครอบคลุมเส้นชั้นความสูงเขตพื้นที่ตัวอย่าง 70
4.2 แสดงชั้นข้อมูลเพื่อการซ้อนทับข้อมูลเชิงพื้นที่ในเขตพื้นที่ตัวอย่าง 71
4.3 เปรียบเทียบจำนวนบรรทัดของชุดคำสั่งการทำงาน 81
4.4 เปรียบเทียบร้อยละการใช้งานหน่วยประมวลผลกลางในการขึ้นรูปแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขขณะที่ใช้เบราว์เซอร์ Chrome และ Firefox ในการแสดงผล 83
4.5 เปรียบเทียบร้อยละการใช้งานหน่วยประมวลผลกลางในการซ้อนทับลำดับชั้นข้อมูลแต่ละชนิดข้อมูลขณะที่ใช้เบราว์เซอร์ Chrome และ Firefox ในการแสดงผล 84

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.6 แสดงเวลาที่ใช้ในการคำนวณพิกัดจุดและค่าสีก่อนทำการขึ้นรูปแบบจำลองระดับสูง เชิงเลขขณะที่ใช้เบราว์เซอร์ Chrome และ Firefox ในการแสดงผล 85
4.7 แสดงเวลาที่ใช้ในการคำนวณพิกัดจุดและค่าสีหลังทำการขึ้นรูปแบบจำลองระดับสูง เชิงเลขขณะที่ใช้เบราว์เซอร์ Chrome และ Firefox ในการแสดงผล 86
4.8 แสดงเวลาที่ใช้ในการคำนวณพิกัดจุดและค่าสีพร้อมกับทำการขึ้นรูปแบบจำลองระดับสูง เชิงเลขขณะที่ใช้เบราว์เซอร์ Chrome และ Firefox ในการแสดงผล 87
4.9 แสดงเวลาที่ใช้ในการคำนวณพิกัดจุดของชั้นข้อมูลและทำการซ้อนทับลำดับชั้นข้อมูล ขณะที่ใช้เบราว์เซอร์ Chrome และ Firefox ในการแสดงผล 88
4.10 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเลือกจุดจากผู้ใช้คน เดียวกัน (Intraobserver) และการเลือกจุดจากผู้ใช้งานหลายคน (Interobserver) 91

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1.1 แสดงขั้นตอนการเรียกใช้งานคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ 3

2.1 แสดงโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูล (a) แบบจำลองข้อมูลระดับแบบเวกเตอร์
(b) แสดงแบบจำลองข้อมูลระดับแบบราสเตอร์ (ที่มา : ดุษฎี ชาญลิขิต, 2550) 18

2.2 แสดงตัวอย่างลักษณะแบบจำลองระดับแบบเวกเตอร์
(ที่มา : การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย, 2555) 19

2.3 แสดงตัวอย่างลักษณะแบบจำลองระดับแบบราสเตอร์
(ที่มา : Environmental Systems Research Institute, Inc., 2005) 20

2.4 แสดงตัวอย่างการซ้อนทับข้อมูล
(ที่มา : (a) ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์กรุงเทพมหานคร, 2552)
(ที่มา : (b) วารสารสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกล แห่งประเทศไทย, 2549) 21

2.5 แสดงลักษณะการวัดพื้นผิว (ที่มา : สำนักเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ, 2552) 22

2.6 แสดงเส้นชั้นความสูง (ปรับปรุงจาก : Sequoia Aircraft Corporation, 2007) 22

2.7 แสดงโครงสร้างของแบบจำลองระดับแบบข่ายสามเหลี่ยมสม่ำเสมอ
(ปรับปรุงจาก : สำนักพัฒนาเทคโนโลยีการสำรวจและทำแผนที่ฯ, 2553) 23

2.8 แสดงโครงสร้างของแบบจำลองระดับแบบข่ายสามเหลี่ยมไม่ปกติ
(ที่มา : สำนักพัฒนาเทคโนโลยีการสำรวจและทำแผนที่ฯ, 2553) 24

2.9 แสดงลักษณะโครงข่ายสามเหลี่ยมที่ต่อเนื่องกันของแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข
(ปรับปรุงจาก : MapMart Global Mapping Solutions, 2010) 25

2.10 แสดงลักษณะพื้นผิวภูมิประเทศจากการประมาณค่าด้วยวิธีต่างๆ
(ที่มา : Colin Childs, 2004) 27

2.11 แสดงสถาปัตยกรรม SpiderGL (ที่มา : Marco Di Benedetto et al., 2010) 29

2.12 (a) แสดงผลการสร้างแบบจำลองสามมิติของโปรแกรมประยุกต์ MeShade จาก SpiderGL
(b) แสดงผลการสร้างแบบจำลองสามมิติของโปรแกรมประยุกต์ Motionview จาก C3DL
(ที่มา : (a) Marco Di Benedetto et al., 2010
(b) Catherine Leung และ Andor Salga, 2010) 30

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

2.13 แสดงแบบจำลองข้อมูลระดับสูงเชิงเลขจากการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ที่มีรูปแบบการใช้งานเฉพาะ (ที่มา : นิคม สุวรรณวร, 2544) 31

3.1 แสดงแผนภาพการใช้งานในแต่ละกรณี (Use Case Diagram) 36

3.2 แสดงโครงสร้างข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย 37

3.3 แสดงความสัมพันธ์ของพิกัดจุด ข้อมูลชุดสีและค่าเวกเตอร์แนวฉาก 37

3.4 แสดงการเฉลี่ยข้อมูลเส้นชั้นความสูงในรูปเมริกซ์ระดับความสูง 41

3.5 แสดงแนวฉาก (Surface Normal) ที่ชี้ในทิศทางตั้งฉากกับระนาบสัมผัสของวัตถุ (ที่มา : Wolfram Research, Inc., 2011) 43

3.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลระนาบและข้อมูลจุดบนโครงข่ายสามเหลี่ยม 44

3.7 แสดงรอยต่อของพื้นผิวจากค่าแนวฉากกับระนาบสัมผัสของพื้นผิวเรียบย่อย 45

3.8 แสดงรอยต่อของพื้นผิวจากค่าเฉลี่ยแนวฉากกับระนาบสัมผัสของพื้นผิวเรียบย่อยบนจุด 46

3.9 แสดงองค์ประกอบโดยรวมของคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ 46

3.10 แสดงการกำหนดแถบสีตามระดับความสูงของภูมิประเทศ 47

3.11 แสดงลำดับขั้นตอนการสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข 49

3.12 แสดงตัวอย่างการเลือกจุดในการสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขชนิดโครงข่ายสามเหลี่ยมสม่ำเสมอ 49

3.13 แสดงชุดคำสั่งการเรียกใช้ฟังก์ชันสำหรับวาดภาพทางเรขาคณิต 50

3.14 แสดงลักษณะการวาดรูปทรงเรขาคณิต (ปรับปรุงจาก : ไพศาล โมลีสกุลมงคล, 2550) 51

3.15 แสดงการทำงานของ WebGL สำหรับการระบายสี (ที่มา : Giles Thomas, 2009) 53

3.16 แสดงลักษณะของแสงที่กระทำกับวัตถุทรงกลม (ปรับปรุงจาก : DirectX Technical Information, 2006) 54

3.17 แสดงแหล่งกำเนิดแสง (a) แบบขนาน (b) แบบจุด (c) แบบสปอร์ตไลท์ (ปรับปรุงจาก : Panyaporn Prangjarote, 2010) 54

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.18 แสดงแสงตกกระทบบนพื้นผิวแบบจำลอง
(ปรับปรุงจาก : ไพศาล โมลีสกุลมงคล, 2550) 55
3.19 การแปลงทางเรขาคณิต (a) แสดงการย่อ/ขยายของโพลีกอนอ้างอิงกับจุดกำเนิด
(b) แสดงการหมุนวัตถุรอบแกน X (c) แสดงการหมุนวัตถุรอบแกน Y
(d) แสดงการหมุนวัตถุรอบแกน Z (ปรับปรุงจาก : ไพศาล โมลีสกุลมงคล, 2550) 58
3.20 แสดงแผนผังการทำงานทีละขั้นตอนของการอ่านชั้นข้อมูล *.shp 59
3.21 แสดงค่าความสูงของจุดที่ต้องการทราบบนระนาบ 60
3.22 แสดงตัวอย่างจุด p ที่ต้องการทำการประมาณค่า 61
3.23 แสดงค่าน้ำหนักที่ใช้ตรวจสอบจุด P เมื่อ P อยู่ภายนอกสามเหลี่ยม
(a) ค่าน้ำหนักค่าใดค่าหนึ่งน้อยกว่า 0 แสดงว่าจุด P อยู่ภายนอกสามเหลี่ยม
(b) ค่าน้ำหนัก $u + v + w > 1$ แสดงว่าจุด P อยู่ภายนอกสามเหลี่ยม 62
3.24 แสดงค่าน้ำหนักที่ใช้ตรวจสอบจุด P เมื่อ P อยู่ภายในสามเหลี่ยม
(a) ค่าน้ำหนัก $u = 0$, $v = 1$, $w = 0$ แสดงว่าจุด P อยู่ภายในสามเหลี่ยม
(b) ค่าน้ำหนัก $u + v + w = 1$ แสดงว่าจุด P อยู่ภายในสามเหลี่ยม 63
3.25 แสดงชุดคำสั่งการเรียกใช้ฟังก์ชันสำหรับกำหนดโคออร์ดิเนตการมอง 64
3.26 แสดงขั้นตอนการเชื่อมโยงการประมวลผลกับโปรแกรมภายนอก 64
3.27 แสดงชุดคำสั่งการเรียกใช้ฟังก์ชัน jQuery สำหรับการรับส่งข้อมูล 65
3.28 แสดงชุดคำสั่งการเรียกใช้ฟังก์ชันสำหรับเชื่อมโยงการประมวลผล
กับโปรแกรมภายนอก 65
3.29 แสดงขั้นตอนการสร้างรูปสามเหลี่ยมด้วย WebGL แสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์ 66
4.1 แสดงส่วนประกอบของคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ GISGL 68
4.2 แสดงขั้นตอนการสร้างแบบจำลองด้วยคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ GISGL 69
4.3 แสดงตัวอย่างที่ตั้งอาคาร Building.shp ที่จัดเก็บลักษณะข้อมูลโพลีกอน 71
4.4 แสดงตัวอย่างข้อมูลเส้นชั้นความสูง Contour.shp ที่จัดเก็บลักษณะข้อมูลเส้น 72
4.5 แสดงตัวอย่างข้อมูลถนน Road.shp ที่จัดเก็บลักษณะข้อมูลเส้น 72
4.6 แสดงตัวอย่างข้อมูลเขตพื้นที่ LandZone.shp ที่จัดเก็บลักษณะข้อมูลโพลีกอน 73

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.7 แสดงตัวอย่างข้อมูลแหล่งน้ำ WaterBody.shp ที่จัดเก็บลักษณะข้อมูลโพลีกอน 73
4.8 แสดงการเรียกใช้งานคลังกราฟิกและการกำหนดพื้นที่แสดงผลบนเบราว์เซอร์ 74
4.9 แสดงโครงร่างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขจากข้อมูลตัวอย่างขนาด 32x32 จุด 75
4.10 แสดงโครงร่างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขจากข้อมูลตัวอย่างขนาด 64x64 จุด 75
4.11 แสดงการซ้อนแถบสีตามระดับความสูงของข้อมูลตัวอย่างตามมาตรฐาน ESRI 76
4.12 แสดงการซ้อนแถบสีตามระดับความสูงของข้อมูลตัวอย่าง 77
4.13 แสดงลักษณะแบบจำลองข้อมูลตัวอย่าง เมื่อผู้ใช้กดแป้นพิมพ์ Page Up
และเปลี่ยนตำแหน่งเมาส์ 77
4.14 แสดงองค์ประกอบโดยรวมของการนำเข้าชั้นข้อมูล 78
4.15 แสดงการใช้ลักษณะเส้นแทนสิ่งปลูกสร้าง ถนน สนามเทนนิส แหล่งน้ำ
(ที่มา : ปฏิวัติ สอางชัย, 2551) 78
4.16 แสดงการซ้อนทับชั้นข้อมูลทางภูมิศาสตร์
ประกอบด้วยชั้นข้อมูลถนน อาคาร แหล่งน้ำ 79
4.17 แสดงการซ้อนทับข้อมูลภาพในเขตพื้นที่ตัวอย่าง 79
4.18 แสดงลักษณะการเชื่อมโยงการประมวลผลจากโปรแกรมภายนอก 80
4.19 แสดงกราฟเปรียบเทียบจำนวนบรรทัด ของชุดคำสั่งที่ไม่มีและมีการเรียกใช้งาน
คลังจาวาสคริปต์ โดยที่แกน x แสดงจำนวนบรรทัด
และแกน y แสดงฟังก์ชันการทำงาน 82
4.20 แสดงปริมาณหน่วยประมวลผลกลางที่ใช้ขณะขึ้นรูปแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข
ของชุดคำสั่งที่ไม่มีและมีการเรียกใช้คลังกราฟิก
โดยที่แกน x แสดงปริมาณหน่วยประมวลผลกลาง
และแกน y แสดงจำนวนข้อมูลจุด x, y, z บนโครงข่ายสามเหลี่ยม 83
4.21 แสดงปริมาณหน่วยประมวลผลกลางที่ใช้ขณะซ้อนทับชั้นข้อมูล
ของชุดคำสั่งที่ไม่มีและมีการเรียกใช้คลังกราฟิก
โดยที่แกน x แสดงปริมาณหน่วยประมวลผลกลาง
และแกน y แสดงจำนวนข้อมูลจุด x, y, z บนโครงข่ายสามเหลี่ยม 84

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.22 แสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบจำลอง โดยแยกการคำนวณ
จุดพิกัดและสีกับการขึ้นรูปของชุดคำสั่งที่ไม่มีและมีการเรียกใช้คลังกราฟิก
โดยที่แกน x แสดงจำนวนเวลา และแกน y แสดงจำนวนข้อมูลจุด x, y, z
บนโครงข่ายสามเหลี่ยม 86
4.23 แสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการคำนวณจุดพิกัดและค่าสี พร้อมกับ
ทำการขึ้นรูปแบบจำลองของชุดคำสั่งที่ไม่มีและมีการเรียกใช้งานคลังกราฟิก
โดยที่แกน x แสดงจำนวนเวลา และแกน y แสดงจำนวนข้อมูลจุด x, y, z
บนโครงข่ายสามเหลี่ยม 87
4.24 แสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการคำนวณจุดพิกัดและการซ้อนทับลำดับชั้นข้อมูล
ของชุดคำสั่งที่ไม่มีและมีการเรียกใช้งานคลังกราฟิก โดยที่แกน x แสดงจำนวนเวลา
และแกน y แสดงจำนวนข้อมูลจุด x, y, z บนโครงข่ายสามเหลี่ยม 89
4.25 แสดงจุดพิกัดเพื่อพิจารณาค่าความผิดพลาดของการซ้อนทับชั้นข้อมูล 91
4.26 แสดงการเปรียบเทียบผลการซ้อนทับชั้นข้อมูล และการเชื่อมโยงการประมวลผล
ขั้นตอน A โดยที่แกน x แสดงงค่าเฉลี่ยข้อมูล
และแกน y แสดงวิธีการสุ่มเลือกจากผู้สังเกต 92
4.27 แสดงการเปรียบเทียบผลการซ้อนทับชั้นข้อมูล และการเชื่อมโยงการประมวลผล
ขั้นตอน B โดยที่แกน x แสดงงค่าเฉลี่ยข้อมูล
และแกน y แสดงวิธีการสุ่มเลือกจากผู้สังเกต 92
4.28 แสดงการเปรียบเทียบผลการซ้อนทับชั้นข้อมูล และการเชื่อมโยงการประมวลผล
ขั้นตอน C โดยที่แกน x แสดงงค่าเฉลี่ยข้อมูล
และแกน y แสดงวิธีการสุ่มเลือกจากผู้สังเกต 93
4.29 แสดงการเปรียบเทียบผลการซ้อนทับชั้นข้อมูล และการเชื่อมโยงการประมวลผล
ขั้นตอน D โดยที่แกน x แสดงค่าเฉลี่ยข้อมูล
และแกน y แสดงวิธีการสุ่มเลือกจากผู้สังเกต 93

บทที่ 1
บทนำ

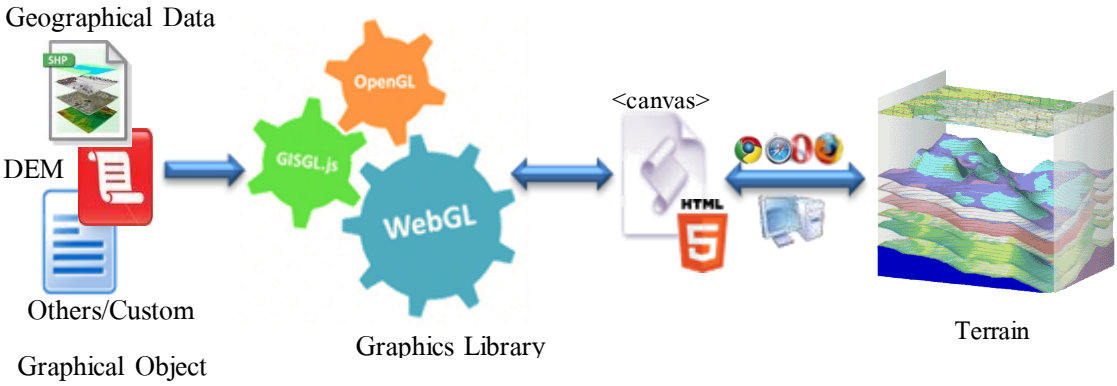
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นกระบวนการที่ใช้ระบบคอมพิวเตอร์ในการกำหนดข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) เชื่อมโยงความสัมพันธ์กับข้อมูลเชิงบรรยาย (Attribute Data) เพื่ออ้างอิงถึงตำแหน่งบนพื้นโลกหรือตำแหน่งบนแผนที่กับข้อมูลคุณลักษณะและข้อมูลสารสนเทศ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้สอดคล้องตามวัตถุประสงค์การใช้งาน เช่น การจัดการขยะมูลฝอยและการบำบัดน้ำเสีย (อภิชัย วิจักษณ์ประเสริฐ, 2552) การบริหารงานก่อสร้าง (สมลักษณ์ บุญณรงค์และคณะ, 2554) การศึกษาพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่า (เจนณรงค์ ชัยศิลปิน, 2550) การคำนวณทางชลศาสตร์ (เกษม ปิ่นทอง และสุวัฒนา จิตตลดากรม, 2555) การตัดสินใจในการบริหารจัดการและการใช้ประโยชน์ที่ดิน (สมบัติ อยู่เมือง, 2546) เป็นต้น การสร้างแบบจำลองทางภูมิศาสตร์จะแทนลักษณะต่างๆบนพื้นที่จริง ด้วยเส้น จุด และโพลีกอน ซึ่งองค์ประกอบหลักส่วนหนึ่งที่สำคัญของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ได้แก่ โปรแกรมหรือชุดคำสั่งที่ประกอบด้วยฟังก์ชันการทำงานและเครื่องมือที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการนำเข้าข้อมูลเชิงตัวเลขทางภูมิศาสตร์ การปรับแต่งรูปแบบข้อมูลให้เหมาะสมกับลักษณะงาน การบริหารข้อมูลเพื่อการสืบค้น การวิเคราะห์ข้อมูลและการประมวลผลภาพ ตัวอย่างโปรแกรมประยุกต์ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เช่น ArcGIS, Quantum GIS, MapWindow GIS เป็นต้น

งานด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จำเป็นต้องพึ่งพาประสิทธิภาพของการประมวลผลภาพเพื่อแสดงผลข้อมูล ซึ่งการเพิ่มประสิทธิภาพของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์สำหรับแสดงผลข้อมูลกราฟิกสามมิติผ่านทางเว็บเบราว์เซอร์ยังคงมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ในด้านการพัฒนาหน่วยประมวลผลกราฟิก (Graphics Processing Unit : GPU) สามารถประมวลผลข้อมูลเชิงตัวเลขลดภาระงานด้านการแสดงผลของหน่วยประมวลผลกลาง ช่วยในการประมวลผลภาพกราฟิกบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีความสมจริงมากยิ่งขึ้น และในด้านการพัฒนาคลังเว็บกราฟิก (Web-based Graphics Library : WebGL) ที่มีรูปแบบการใช้งานคุณสมบัติทางด้านกราฟิก

ภายใต้ข้อกำหนดของมาตรฐาน HTML5 ซึ่งมีพื้นฐานอยู่บนคลังกราฟิกแบบเปิด (Open Graphics Library for Embedded Systems : OpenGL ES 2.0) เชื่อมโยงกับชุดคำสั่งจาวาสคริปต์ เพื่อใช้งานส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ (Application Programming Interface : API) ในการติดต่อระหว่างเว็บเบราว์เซอร์กับหน่วยประมวลผลกราฟิกสำหรับแสดงผลภาพสามมิติผ่านเว็บเบราว์เซอร์โดยไม่จำเป็นต้องติดตั้งโปรแกรมเสริม (Khronos Group, 2010)

จากการสำรวจในเบื้องต้นผู้วิจัยพบว่าการประยุกต์ใช้งานในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ยังคงเป็นการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ที่มีรูปแบบการใช้งานเฉพาะ ทำงานโดยลำพังบนเครื่องเดียว (Standalone Program) โดยไม่มีการเชื่อมต่อเพื่อใช้ทรัพยากรร่วมกันกับเครื่องอื่นๆ เช่น การประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการคำนวณทางชลศาสตร์การให้น้ำแบบ Center Pivot (เกษม ปิ่นทอง และสุวัฒนา จิตตลดากรม, 2555) การสร้างข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขและภาพถ่ายออร์โธโดยใช้โฟโตแกรมเมตรีทางอากาศเชิงเลข (ปฏิวัติ สอางชัย, 2551) เป็นต้น ในขณะที่การพัฒนาคลังเว็บกราฟิก เช่น GEGL (George Lebl, 2011) SpiderGL (Marco Di Benedetto et al., 2010) SceneJs (Lindsay Kay, 2009) เป็นต้น ยังไม่ได้มีการมุ่งเน้นโดยตรงเกี่ยวกับการพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์สำหรับการจำลองข้อมูลเชิงพื้นที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ผ่านทางเว็บเบราว์เซอร์ จึงเป็นที่มาของการพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์สำหรับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และการสร้างโปรแกรมประยุกต์จากคลังกราฟิกที่สร้างขึ้น เพื่อนำเสนอแนวทางการนำคลังกราฟิกไปประยุกต์ใช้งาน ผู้วิจัยจึงได้จัดทำแบบจำลองลักษณะภูมิประเทศสามมิติชนิดโครงข่ายสามเหลี่ยมสม่ำเสมอจากข้อมูลตัวอย่างในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีผ่านเว็บเบราว์เซอร์ โดยไม่ต้องทำการติดตั้งโปรแกรมเสริม ทั้งนี้โดยมีขั้นตอนวิธีประกอบด้วยการนำเข้าข้อมูลเส้นชั้นความสูงที่ได้ทำการเฉลี่ยค่าความสูงของทุกจุดบนโครงข่ายกริดสี่เหลี่ยมด้วยวิธีการเชิงเลข การเรียกใช้งานคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ ชุดคำสั่งแบบเปิดและเว็บจีแอลเพื่อทำการขึ้นรูปแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข การซ้อนทับลำดับชั้นทางภูมิศาสตร์ การเชื่อมโยงการประมวลผลกับคลังโปรแกรมภายนอกและการดำเนินการแบบโต้ตอบด้านกราฟิกต่างๆ ซึ่งสามารถพัฒนาปรับแต่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ แสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์โดยใช้คุณสมบัติกราฟิก (Canvas Element) ของมาตรฐาน HTML5 ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แสดงขั้นตอนการเรียกใช้งานคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์สำหรับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สามารถแบ่งวัตถุประสงค์ย่อยได้ดังนี้

1.2.1 เพื่อพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์สำหรับการจำลองข้อมูลเชิงพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ แสดงผลแบบจำลองข้อมูลสามมิติผ่านเว็บเบราว์เซอร์ โดยที่ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องทำการติดตั้งโปรแกรมเสริม (Plugin)

1.2.2 เพื่อพัฒนาขั้นตอนวิธีการซ้อนทับลำดับชั้นทางภูมิศาสตร์ จากการนำเข้าชั้นข้อมูล (Shape File) แสดงลักษณะพื้นที่ตามสภาพธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้น และการเชื่อมโยงการประมวลผลจากคลังโปรแกรมภายนอก

1.2.3 เพื่อใช้เป็นเครื่องมือที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการสร้างโปรแกรมประยุกต์สำหรับแสดงผลภาพสามมิติในการจำลองข้อมูลเชิงพื้นที่

1.2.4 เพื่อนำเสนอรูปแบบการนำผลจากงานวิจัยไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สำหรับการประมวลผลภาพสามมิติและการวิเคราะห์ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

1.3 สมมุติฐานการวิจัย

1.3.1 สามารถพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ต้นแบบสำหรับแสดงผลแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขสามมิติผ่านเว็บเบราว์เซอร์ โดยที่ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องทำการติดตั้งโปรแกรมเสริม

1.3.2 สามารถซ้อนทับลำดับชั้นทางภูมิศาสตร์จากการนำเข้าชั้นข้อมูล เพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ และเชื่อมโยงการประมวลผลร่วมกับคลังโปรแกรมภายนอก

1.3.3 สามารถพัฒนาตัวอย่างโปรแกรมประยุกต์บนเว็บโดยเรียกใช้งานคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์สำหรับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์แสดงแบบจำลองลักษณะภูมิประเทศ

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.4.1 การพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ต้นแบบสำหรับการสร้างแบบจำลองทางภูมิศาสตร์ ประมวลผลภาพสามมิติผ่านเว็บเบราว์เซอร์ โดยใช้งานส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ WebGL (Web-based Graphics Library)

1.4.2 การพัฒนาตัวอย่างโปรแกรมประยุกต์บนเว็บจากคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์แสดงแบบจำลองลักษณะภูมิศาสตร์ชนิดโครงข่ายสามเหลี่ยมสม่ำเสมอ (Regular Triangular Mesh) จากข้อมูลเชิงพื้นที่ภายในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.4.3 การซ้อนทับลำดับชั้นข้อมูลทางภูมิศาสตร์บนแบบจำลองข้อมูลในข้อ 1.4.2 โดยใช้วิธีการเฉลี่ยค่าความสูงของแต่ละองค์ประกอบบนโครงข่ายกริดสี่เหลี่ยมด้วยวิธีการคำนวณทางเรขาคณิต (Barycentric Interpolation)

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 การพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์เพื่อการสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขชนิดโครงข่ายสามเหลี่ยมสม่ำเสมอในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

1.5.2 การพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์รองรับส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ WebGL 1.0 โดยอ้างอิงชุดคำสั่ง JavaScript 2.0 เชื่อมโยงกับชุดคำสั่ง OpenGL ES 2.0

1.5.3 การซ้อนทับลำดับชั้นข้อมูลทางภูมิศาสตร์รองรับการนำเข้าชั้นข้อมูลสกุล *.shp

1.5.4 การเชื่อมโยงการประมวลผลรองรับการทำงานกับโปรแกรมภายนอกสกุล *.exe

1.5.5 การแสดงผลแบบจำลองข้อมูลรองรับการทำงานกับเบราว์เซอร์ที่สนับสนุนรูปแบบการใช้งานคุณสมบัติด้านกราฟิก (Canvas Element) ภายใต้มาตรฐาน HTML5

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

โครงการวิจัยที่เสนอเป็นงานวิจัยสำหรับการพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์แสดงแบบจำลองลักษณะภูมิประเทศจากข้อมูลตัวอย่าง ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้จริง อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข ประมวลผลภาพสามมิติที่มีความสมจริง แสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์ซึ่งสามารถแบ่งปันข้อมูลร่วมกันบนระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และยังสามารถเป็นเครื่องมือที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการสร้างโปรแกรมประยุกต์ที่เกี่ยวข้องกับการจำลองข้อมูลทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อช่วยในการวางแผนและวิเคราะห์การใช้งานพื้นที่ทางกายภาพให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งท้ายที่สุดแล้วชุดคำสั่งย่อยจะอยู่ในแบบลิขสิทธิ์แบบเปิด (Open Source) ใช้งานและนำไปพัฒนาต่อยอดได้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย สามารถเผยแพร่ไปสู่กลุ่มเป้าหมาย อันประกอบด้วย หน่วยงานต่างๆ ที่ต้องการสำรวจพื้นที่ทางภูมิศาสตร์และบุคคลทั่วไปที่สนใจ

1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

รายละเอียดเกี่ยวกับงานวิจัยทั้งหมด จะกล่าวถึงในบทถัดไปดังนี้ คือ บทที่ 2 จะเป็นการกล่าวถึงปริทัศน์วรรณกรรมและรายละเอียดงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ โดยจะกล่าวถึงการใช้คุณสมบัติทางด้านกราฟิกภายใต้ข้อกำหนดมาตรฐาน HTML5 เทคโนโลยีกราฟิกสามมิติผ่านเว็บเบราว์เซอร์ คลังเว็บกราฟิกแบบจำลองระดับสูงเชิงตัวเลขและขั้นตอนวิธีการเชิงเลข บทที่ 3 จะเป็นการกล่าวถึงรายละเอียดขั้นตอนในการดำเนินงานการวิจัย โดยแบ่งออกเป็นการพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข ขั้นตอนวิธีการซ้อนทับชั้นข้อมูลทางภูมิศาสตร์และขั้นตอนการเชื่อมโยงการประมวลผลจากโปรแกรมภายนอก บทที่ 4 เป็นการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์จากคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์จากข้อมูลตัวอย่างในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และบทที่ 5 เป็นการสรุปและการอภิปรายผลการทดลอง ปัญหาและอุปสรรคที่พบ รวมทั้งข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป

1.8 คำอธิบายศัพท์

ชั้นข้อมูล (Shape File) หมายถึง ข้อมูลที่จัดเก็บในรูปแบบข้อมูลเวกเตอร์และข้อมูลคุณลักษณะ ใช้บอกถึงสภาพพื้นผิวโลกตามสภาพธรรมชาติ และที่มนุษย์สร้างขึ้น

แบบจำลองระดับสูงเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model : DEM) หมายถึง ข้อมูลตัวเลขแสดงค่าความสูงของภูมิประเทศบนผิวโลกที่จากการวัดความสูงหรือจุดระดับความสูงในรูปแบบข้อมูลตารางกริด โดยแต่ละตารางกริดจะจัดเก็บค่าพิกัดบนผิวโลกมีระยะห่างเท่ากันและความสูงทางภูมิประเทศ

โปรแกรมเสริม (Plugin) หมายถึง โปรแกรมที่เสริมฟังก์ชันการทำงานให้กับโปรแกรมอื่นให้สามารถใช้งานได้หลากหลายหรือมีประสิทธิภาพมากขึ้น

เว็บจีแอล (WebGL) หมายถึง ส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์แสดงผลคอมพิวเตอร์ มีรูปแบบการทำงานของ HTML5 ด้วยคุณสมบัติด้านกราฟิกที่สามารถแสดงผลภาพสามมิติผ่านเว็บเบราว์เซอร์โดยไม่ต้องทำการติดตั้งโปรแกรมเสริม

เว็บเบราว์เซอร์ (Web Browser) หมายถึง โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ผู้ใช้งานสามารถดูข้อมูลและโต้ตอบกับข้อมูลสารสนเทศที่จัดเก็บบนหน้าเว็บที่สร้างขึ้นด้วยภาษาเฉพาะในการติดต่อบนเครือข่ายคอมพิวเตอร์

ส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ (Application Programming Interface : API) หมายถึง วิธีการที่ระบบปฏิบัติการ คลังโปรแกรมหรือบริการอื่นๆ เปิดให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถติดต่อเรียกใช้งานได้

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอถึงการศึกษาและพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์สำหรับการจำลองข้อมูลเชิงพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ผ่านเว็บเบราว์เซอร์เพื่อการประมวลผลภาพสามมิติ ซึ่งในบทนี้จะเป็นการนำเสนอปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยหัวข้อที่ 2.1 เทคโนโลยีเว็บ จะกล่าวถึงมาตรฐาน HTML5 ชุดคำสั่ง OpenGL จาวาสคริปต์ jQuery ซอฟต์แวร์ไลบารี่ที่ใช้ในการติดต่อกับฮาร์ดแวร์ หัวข้อที่ 2.2 จะกล่าวถึงการพัฒนาเทคโนโลยีเว็บสามมิติผ่านเว็บเบราว์เซอร์ หัวข้อที่ 2.3 จะกล่าวถึงการพัฒนาคลังเว็บกราฟิกสามมิติ WebGL รวมถึงตัวอย่างการพัฒนาคลังโปรแกรมที่เกี่ยวข้อง หัวข้อที่ 2.4 จะกล่าวถึงความหมายและบทบาทความสำคัญของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หัวข้อที่ 2.5 จะกล่าวถึงชั้นข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หัวข้อที่ 2.6 จะกล่าวถึงแบบจำลองข้อมูล ในหัวข้อที่ 2.7 จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่โดยการซ้อนทับลำดับชั้นทางภูมิศาสตร์ และการวิเคราะห์พื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลขด้วยแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข ในหัวข้อที่ 2.8 จะกล่าวถึงเทคนิคการประมาณค่าข้อมูล และในหัวข้อที่ 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทฤษฎีอื่นๆ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 เทคโนโลยีเว็บ

อินเทอร์เน็ตเป็นบริการที่มีผู้ใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่น การโอนย้ายข้อมูล การสนทนาผ่านอินเทอร์เน็ต การสร้างสรรค์ผลงานคอมพิวเตอร์กราฟิก การสร้างสื่อการเรียนการสอนออนไลน์ เป็นต้น การบริการเหล่านี้ล้วนมีการแสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์ ผู้ใช้สามารถดูข้อมูลและโต้ตอบกับข้อมูลสารสนเทศที่จัดเก็บในหน้าเว็บที่สร้างด้วยภาษาเฉพาะ เช่น HTML จาวาสคริปต์ เป็นต้น ที่จัดเก็บไว้ในระบบบริการเว็บหรือเว็บเซิร์ฟเวอร์หรือระบบคลังข้อมูลอื่นๆ โดยเว็บเบราว์เซอร์เปรียบเสมือนเครื่องมือหรือโปรแกรมที่มีหน้าที่ในการติดต่อกับเครือข่ายคอมพิวเตอร์เพื่อขอข้อมูลที่ต้องการมาแสดงที่หน้าจอ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1.1 มาตรฐาน HTML5

คะชา ชาญศิลป์ (2554) ได้กล่าวว่า Hypertext Markup Language : HTML เป็นภาษาที่ใช้ในการนำเสนอข้อมูลต่างๆ ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ เริ่มพัฒนาโดย ทิม เบอร์เนอร์ส-ลี (Tim Berners-Lee) นักวิจัยที่ได้รวมรวบเทคโนโลยีสมัยใหม่ ได้แก่ HTML (HyperText Markup Language) ใช้ในการเขียนข้อมูลข่าวสารบนเว็บ HTTP (HyperText Transfer Protocol) ใช้ในการส่งข้อมูลข่าวสาร และ Web Browser Client Software โปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์ฝั่งลูกข่ายเพื่อใช้ในการรับ แปลง แสดงผลข้อมูล โดยให้ความสำคัญในการเข้าถึงข้อมูลของลูกข่ายจากทุกเครื่อง ทุกระบบปฏิบัติการ โดยใช้อินเทอร์เน็ตเป็นสื่อกลาง พร้อมทั้งมีบริการส่งข้อมูลไปยังเครื่องลูกข่าย และต่อมาได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยน นำเสนอข้อมูลบนเว็บ ภาษา HTML ได้รับการสนับสนุนและกำหนดมาตรฐานโดย World Wide Consortium (W3C) มีรูปแบบโครงสร้างคำสั่งที่อาศัยตัวควบคุม (Tag) ใช้ในการระบุรหัสคำสั่งควบคุมภายใน แท็กคู่เปิด แท็กคู่ปิด หรือ แท็กเดี่ยว เพื่อการแสดงผลข้อความ หัวข้อ รายการ รูปภาพ ส่วนเชื่อมโยง รวมถึงการสร้างแบบฟอร์มผ่านเว็บเบราว์เซอร์

Bijin Chen และ Zhiqi Xu (2011) ได้กล่าวว่า HTML5 เป็นมาตรฐานใหม่ของภาษา HTML มีลักษณะคล้ายมาตรฐาน HTML 4.01 และ XHTML 1.1 ที่ใช้ในการจัดโครงสร้างและการแสดงผลของเนื้อหาสำหรับเวิลด์ไวด์เว็บ ตัวอย่างคุณสมบัติของ HTML5 ด้านการแสดงภาพกราฟิก การสร้างพื้นที่วาดรูป ตกแต่งรูป เช่น <canvas> เป็นต้น ซึ่งควบคุมการทำงานโดยอาศัยชุดคำสั่งจาวาสคริปต์ในการกำหนดคุณลักษณะ เช่น การกำหนดชื่อเพื่อให้ง่ายต่อการเรียกใช้งาน การกำหนดขนาดความกว้างและความสูงของพื้นที่ที่ต้องการวาด เป็นต้น การใช้งานวิดีโอและเสียง เช่น <video> <audio> เป็นต้น การแสดงเนื้อหาและสามารถแก้ไขเนื้อหาภายในหน้าเว็บได้ เช่น <section> <article> <header> <nav> เป็นต้น การแสดงตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ การเก็บไฟล์ในลักษณะออฟไลน์ ความสามารถในการเก็บข้อมูลบนเครื่องผู้ใช้ การนำเข้าชนิดข้อมูลแบบใหม่ เช่น <search> <number> <range> <color> <tel> <url> <email> <date> <time> เป็นต้น นอกจากนี้ได้การนำเสนอแท็กควบคุมใหม่เพื่อตอบสนองการใช้งานของเว็บไซต์รุ่นใหม่ ด้านเมนูบอกทาง เช่น <nav> แทนการใช้ และ เป็นต้น และคุณสมบัติบางตัวของมาตรฐาน HTML 4.01 ได้ถูกยกเลิก เช่น <font> เป็นต้น ซึ่งถูกทดแทนด้วยการทำงานผ่าน CSS3

2.1.2 OpenGL

ไพศาล โมลิสกุลมงคล (2550) ได้กล่าวว่า Open Graphics Library : OpenGL เป็นซอฟต์แวร์ไลบารี่ที่ใช้ในการติดต่อกับฮาร์ดแวร์ เพื่อการแสดงภาพกราฟิก ซึ่งผู้พัฒนาโปรแกรมสามารถเรียกใช้คลังหรือไลบารี่ได้โดยไม่มีค่าลิขสิทธิ์ ทำให้มีการนำไปใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากความมีประสิทธิภาพสูงในการเร่งความเร็วของโปรแกรมประยุกต์สามมิติและเกมต่างๆ สามารถใช้งานกับข้อมูลจำนวนมาก การสร้างเอ็ฟเฟ็กต์สามมิติแบบทันทีทันใดได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถทำงานได้หลายแพล็ตฟอร์ม ทำการเคลื่อนย้ายโปรแกรมประยุกต์ระหว่างแพล็ตฟอร์มได้สะดวกและประหยัด มีเสถียรภาพในการทำงานสูง ทำงานร่วมกับคอมไพเลอร์ได้หลากหลาย เช่น C/C++ Delphi Visual Basic Java Perl Fortran Ada เป็นต้น

โครงสร้างของ OpenGL เป็นส่วนต่อประสานที่เป็นอิสระจากฮาร์ดแวร์ (Hardware-independent Interface) และไม่มีชุดคำสั่งที่จัดการกับระบบปฏิบัติการ สามารถใช้งานได้กับระบบปฏิบัติการหลายแบบ เช่น Windows UNIX Apple Mac OS เป็นต้น โดย OpenGL จะมีคำสั่งสำหรับการวาดภาพพื้นฐาน คือ จุด เส้น และรูปเหลี่ยมต่างๆ และการแสดงภาพราสเตอร์ สามารถใช้กำหนดคุณลักษณะและควบคุมการทำงานของโปรแกรมประยุกต์สามมิติ นอกจากนี้ยังมีคลังโปรแกรมที่ช่วยจัดการกับงานเฉพาะ เช่น GLU (OpenGL Utilities) เป็นคลังโปรแกรมที่ประกอบด้วยชุดคำสั่งในการจัดการมุมมองเพื่อแสดงรูปพื้นฐานและออปเจ็กต์ซับซ้อนจากการสร้างเส้นและรูปหลายเหลี่ยม ลูกบาศก์ การสร้างพื้นผิว GLUT (OpenGL Utility Tookit) เป็นไลบารีของระบบกราฟิกที่ช่วยในการติดต่อในการแสดงผลทางจอภาพ กำหนดหน้าจอแสดงผล (Display Window) เป็นต้น ช่วยอำนวยความสะดวกในการทำงานแก่ผู้พัฒนา

2.1.3 จาวาสคริปต์

สมบูรณ์ พัฒน์ธีรพงศ์ (2554) ได้กล่าวว่า จาวาสคริปต์ถูกพัฒนาโดย Brendan Eich บริษัท Netscape Communications Corporation เริ่มต้นชื่อว่า Mocha และได้เปลี่ยนเป็น Live Script ต่อมา Netscape ได้ร่วมมือกับ Sun Microsystems Incorporated ได้ตั้งชื่อใหม่ว่าจาวาสคริปต์ (JavaScript) ในปีค.ศ. 1996 จาวาสคริปต์อยู่ภายใต้การกำหนดและการดูแลมาตรฐานของ ECMA International จาวาสคริปต์ เป็นภาษาสคริปต์เชิงวัตถุ (Object Oriented Programming) ที่มีลักษณะการเขียนแบบ Prototyped-based Programming โดยมีโครงสร้างของภาษาและไวยกรณ์อยู่บนพื้นฐานของ

ภาษาซี ส่วนใหญ่ใช้งานบนหน้าเว็บเพจเพื่อทำการประมวลผลข้อมูลที่ฝั่งของผู้ใช้งาน ถูกออกแบบเพื่อเพิ่มความสามารถของเว็บเพจในการโต้ตอบกับผู้ใช้งาน การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนเว็บที่สามารถทำงานข้ามแพลตฟอร์มได้โดยสามารถทำงานร่วมกับภาษามาร์กอัป HTML ทางฝั่งผู้ใช้งาน (Client-Side JavaScript) มีลักษณะการทำงานรวมกันของจาวาสคริปต์และอ๊อบเจกต์ของเว็บเบราว์เซอร์ที่ถูกแปลทางฝั่งเครื่องคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้งาน เช่น เครื่องพีซี เครื่องแมคอินทอช เป็นต้น ซึ่งสามารถสร้างเว็บเพจแบบพลวัต (Dynamic) ที่เปลี่ยนแปลงตามเหตุการณ์ของผู้ใช้ จึงมีความเหมาะสมต่อการใช้งานของผู้ใช้ทั่วไปเป็นส่วนใหญ่

Marcos A Rodrigues, Mariza Kormann และ Lucy Davison (2011) ได้กล่าวว่า จาวาสคริปต์ เป็นภาษายุคใหม่สำหรับการเขียนโปรแกรมประยุกต์บนเว็บที่ได้รับความนิยมอย่างมาก ที่สามารถเขียนสคริปต์เพิ่มเข้าไปบนเว็บเพจเพื่อใช้ประโยชน์สำหรับงานด้านต่างๆ ทั้งด้านการแสดงผล การโต้ตอบกับผู้ใช้ได้อย่างทันที การรับข้อมูล การส่งข้อมูล ช่วยลดภาระการทำงานบนฝั่งเซิร์ฟเวอร์ด้วยการประมวลผลบนฝั่งไคล์เอนต์ ช่วยอำนวยความสะดวกในการตรวจสอบการเปรียบเทียบ การสร้างฟังก์ชันการทำงานเพิ่มเติม สามารถทำงานร่วมกับเทคโนโลยีอื่นได้โดยไม่ขึ้นกับแพล็ตฟอร์มใด มีรูปแบบคำสั่งการใช้งาน เช่น คำสั่งเพื่อการดำเนินการทางคณิตศาสตร์ ตรรกศาสตร์ สตริง รวมทั้งคำสั่งควบคุมลำดับการดำเนินงาน เป็นต้น อย่างไรก็ตามจาวาสคริปต์ยังคงมีข้อจำกัดในการทำงานบนเว็บเบราว์เซอร์ที่ต่างกันและการสร้างส่วนแสดงผลกับผู้ใช้งานต้องอาศัยรูปแบบคำสั่งในภาษาอื่น เช่น HTML เป็นต้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.1.4 jQuery

โกศล โสพสรุ่งเรือง (2553) ได้กล่าวว่า JavaScript Library : jQuery เป็นคลังโปรแกรมของจาวาสคริปต์ที่ช่วยอำนวยความสะดวกแก่ผู้พัฒนาในการสร้างเว็บเพจด้วยการเรียกใช้ฟังก์ชันหรือชุดคำสั่งสคริปต์ โดยอนุญาตให้สิทธิในการใช้งานทั้งแบบภายใต้ GNU Public License สำหรับการใช้งานร่วมกับซอฟต์แวร์ที่ไม่มีลิขสิทธิ์และ MIT License สำหรับการใช้งานร่วมกับซอฟต์แวร์ที่มีลิขสิทธิ์ ซึ่งผู้พัฒนาสามารถเข้าถึงข้อมูลในเอกสารจากการใช้งาน DOM Element การแก้ไขเนื้อหาด้วยส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ (API) เช่น การเปลี่ยนข้อความ การแทรกรูปภาพ การเรียงลำดับ การเขียนโครงสร้างเอกสาร HTML ใหม่หรือต่อเติมจากโครงสร้างเดิม เป็นต้น การทำงานร่วมกับคลังโปรแกรมภายนอก การดักจับเหตุการณ์เพื่อโต้ตอบการทำงานกับผู้ใช้

การแสดงภาพเคลื่อนไหว การกำหนดรูปแบบ CSS ที่มีประสิทธิภาพและเป็นมาตรฐานสำหรับทุกเบราว์เซอร์เพื่อการแสดงผลบนเว็บเพจ

jQuery ถูกปรับปรุงครั้งแรกในเดือนสิงหาคม ปี ค.ศ. 2005 โดย John Resig ต่อมาในเดือนสิงหาคม ปี ค.ศ. 2006 ได้เผยแพร่ jQuery 1.0 อย่างเป็นทางการ มีการสนับสนุนการจัดรูปแบบ CSS การจัดการเหตุการณ์ และการติดต่อแบบ AJAX ในเดือนมกราคม ปี ค.ศ. 2007 เผยแพร่ jQuery 1.1 ได้ปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น มีการรวมเมธอดที่จำเป็นเพื่อสนับสนุนการใช้งาน ต่อมาในเดือนกันยายน ปี ค.ศ. 2007 เผยแพร่ jQuery 1.2 ได้ปรับปรุงให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้น มีการพัฒนาโปรแกรมเสริม (Plugin) ด้วยการใช้ Namespaced Events และยังได้เผยแพร่ jQuery UI สนับสนุนการใช้โปรแกรมเสริมที่รวบรวมโปรแกรมย่อย (Widget) และเครื่องมือสำหรับสร้างส่วนย่อย (Element) ที่ทำงานซับซ้อน ในเดือนพฤษภาคม ปี ค.ศ. 2008 เผยแพร่ jQuery 1.2.6 สนับสนุนการทำงานของโปรแกรมเสริม Dimensions ของ Brandon Aaron มาใช้ในคลังโปรแกรมหลัก และในเดือนมกราคม ปี ค.ศ. 2009 เผยแพร่ jQuery 1.3 สนับสนุนเทคนิคการดักจับเหตุการณ์โดยใช้ตัวแทนจัดการอีเวนต์ (Event Delegation)

2.2 เทคโนโลยีกราฟิกสามมิติผ่านเว็บเบราว์เซอร์

เทคโนโลยีการแสดงผลภาพสามมิติ (3D Graphics) ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ มีทั้งการแสดงผลในรูปแบบที่ต้องทำการติดตั้งโปรแกรมเสริมและแบบที่ไม่ต้องทำการติดตั้งโปรแกรม ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดตัวอย่างเทคโนโลยีกราฟิกสามมิติเพื่อการแสดงผลภาพสามมิติผ่านเว็บเบราว์เซอร์ ดังนี้

2.2.1 VRML

Andre F. S. Barbosa และ Frutuoso G. M. Silva (2011) ได้กล่าวว่า Virtual Reality Modeling Language : VRML เป็นเทคโนโลยีเริ่มแรกที่ได้พัฒนาขึ้นสำหรับใช้เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ในการสร้างภาพกราฟิกสามมิติ มีลักษณะการเก็บข้อมูลในรูปแบบตัวอักษรที่อธิบายถึงลักษณะสี พื้นผิว ลวดลาย แสง ความสว่างของวัตถุโพลีกอนที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองกราฟิกสามมิติ สามารถทำงานร่วมกับชุดคำสั่งจาวาสคริปต์แสดงผลผ่านเบราว์เซอร์ที่สามารถโต้ตอบกับ

ผู้ใช้ได้ทันทีบนระบบเวิลด์ไวด์เว็บ (WWW) และยังสามารถทำงานร่วมกับมัลติมีเดียอื่นๆ เช่น เสียง รูปภาพ ภาพเคลื่อนไหว เป็นต้น

2.2.2 X3D

Web3D Consortium (2008) ได้กล่าวว่า การพัฒนาเทคโนโลยี X3D เป็นมาตรฐาน ISO ในรูปแบบไฟล์ XML ที่ใช้สำหรับแสดงภาพกราฟิกสามมิติซึ่งเป็นส่วนขยายของ VRML มีความสามารถในการเข้ารหัสข้อมูลในรูปแบบ XML และข้อมูลไบนารี่ ใช้สำหรับแสดงภาพกราฟิกสามมิติที่สามารถโต้ตอบกับผู้ใช้ได้ทันทีและทำงานได้ตามเวลาที่กำหนด สามารถสร้างภาพเลียนแบบการเคลื่อนไหวของมนุษย์ได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งผู้ใช้สามารถเคลื่อนย้ายวัตถุในมุมมองที่มีลักษณะสามมิติ อย่างไรก็ตามทั้ง VRML และ X3D ยังมีข้อจำกัดที่ต้องทำการติดตั้งโปรแกรมเสริม (Plug-in) เพื่อปรับแต่งคุณสมบัติเบราว์เซอร์ให้รองรับการทำงานการแสดงผลภาพกราฟิกสามมิติ

2.2.3 O3D

Johannes Behr, Perter Eschler, Yvonne Jung และ Michael Zollner (2009) ได้กล่าวถึง O3D ไว้ว่า มีลักษณะเป็นโอเพนซอร์สจาวาสคริปต์แอปพลิเคชัน (Application Programming Interface : API) ที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารระหว่างแอปพลิเคชันสามมิติภายในเว็บเบราว์เซอร์ ถูกพัฒนาขึ้นโดย Google ประกอบด้วย 2 เลเยอร์ ส่วนแรกคือ Lower Level ที่สร้างโดยใช้ C/C++ เหมือนเป็น เว็บเบราว์เซอร์ที่ทำการติดตั้งโปรแกรมเสริมและให้ผลออกมาในรูปแบบเรขาคณิต (Vertex Buffers) และการให้เฉดสีที่ผสมผสานกับ OpenGL หรือ DirectX ส่วนที่สองคือ Higher Level API ที่สร้างโดยใช้จาวาสคริปต์และให้ผลออกมาในรูปแบบ Scene-graph API เหมือนกับเป็น OpenSG (C++ based), Java3D (Java-based) หรือ C3DL (Javascript)

2.2.4 WebGL

Marco Di Benedetto et al. (2010) ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีเว็บสามมิติ WebGL ที่มีรูปแบบการทำงานของ HTML5 ด้วยคุณสมบัติด้านกราฟิก (Canvas Element) และการเข้าถึงส่วนต่อประสานของ Document Object Model (DOM) โดยใช้จาวาสคริปต์เชื่อมโยงการทำงาน ซึ่งสามารถแสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์ ได้แก่ Apple (Safari) Opera (Opera) Google (Chrome)

Mozilla (Firefox) โดยไม่ต้องทำการติดตั้งโปรแกรมเสริม ดังจะกล่าวถึงรายละเอียดเพิ่มเติมในหัวข้อถัดไป

2.3 Web-based Graphics Library (WebGL)

Francesco Di Cerbo, Gabriella Dodero และ Laura Papaleo (2010) ได้กล่าวว่า Web-based Graphics Library : WebGL เป็นส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์แสดงผลคอมพิวเตอร์จากสคริปต์บนเว็บเพจ แสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์โดยไม่ต้องทำการติดตั้งโปรแกรมเสริม สามารถสร้างกราฟิกสามมิติที่โต้ตอบการทำงานกับผู้ใช้ได้ทันที ซึ่ง WebGL เริ่มต้นการพัฒนาในปี 2006 โดย Mozilla (Firefox) ผู้ผลิตเว็บเบราว์เซอร์แรกที่ได้อธิบายเกี่ยวกับ Canvas 3D Prototype และต่อมาในช่วงปี 2009 Mozilla และ Khronos Groups ได้ร่วมกันพัฒนาต่อเป็น WebGL Working Group ซึ่งทางกลุ่ม Khronos ที่ดูแลมาตรฐาน OpenGL พยายามดึงกลุ่มต่างๆ เข้ามามีส่วนร่วมในมาตรฐาน WebGL นี้เพื่อให้มาตรฐานได้รับการยอมรับ

Kronos Group (2010) ได้กล่าวว่า WebGL เป็นรูปแบบส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ (API) เพื่อการแสดงผลภาพสามมิติทันทีผ่านเว็บเบราว์เซอร์ โดยมีลักษณะฟังก์ชันการทำงานที่คล้ายคลึงกับ OpenGL ES 2.0 ซึ่ง WebGL เป็นรูปแบบการใช้งานคุณสมบัติทางด้านกราฟิก (Canvas Element) ของมาตรฐาน HTML5 เปรียบเหมือนกับผ้าใบที่ใช้ในการวาดภาพสำหรับการแสดงผลบนหน้าเว็บ มีลักษณะเด่นในการทำงานของ WebGL คือ ความสามารถในการเร่งประสิทธิภาพของอุปกรณ์แสดงผลโดยใช้ชุดคำสั่งกราฟิกเปิด (OpenGL for Embedded System 2.0) เชื่อมโยงกับชุดคำสั่งจาวาสคริปต์ (JavaScript 2.0) ในการติดต่อระหว่างเว็บเบราว์เซอร์กับหน่วยประมวลผลกราฟิก เพื่อใช้งานส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์กราฟิกสามมิติแสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์ โดยไม่จำเป็นต้องติดตั้งโปรแกรมเสริม ด้วยเทคโนโลยีดังกล่าวมีผู้วิจัยหลายคณะได้พัฒนากรอบงาน (Framework) และคลังโปรแกรม (Library) สำหรับ WebGL แสดงดังตัวอย่างต่อไปนี้

2.3.1 Canvas 3D JS Library (C3DL)

Catherine Leung และ Andor Salga (2010) ได้เสนอ C3DL เป็น คลังกราฟิกจาวาสคริปต์ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้งานฟังก์ชันพื้นฐานและการสร้างภาพสามมิติให้ง่ายขึ้นสำหรับ

ผู้พัฒนาเว็บที่ต้องการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์กราฟิกสามมิติผ่านเว็บเบราว์เซอร์ เพื่อลดความยุ่งยากซับซ้อนของ WebGL และคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลสามมิติ มีรูปแบบการใช้งานดังนี้ คือ ระบบแสง ระบบกล้อง ระบบจัดการวัตถุแบบกลุ่ม การนำเข้าแบบจำลอง เส้นจุด ระบบโต้ตอบกับผู้ใช้งาน อันประกอบด้วย ภาพเคลื่อนไหว ภาพการ์ตูน ภาพสีและภาพขาวดำ

2.3.2 Generic Graphics Library (GEGL)

George Lebl (2011) ได้กล่าวว่า GEGL เป็นคลังเว็บกราฟิกที่พัฒนาสำหรับการประมวลผลภาพ ช่วยอำนวยความสะดวกในการสร้างฉาก สภาพแวดล้อมมีลักษณะเป็นภาพสามมิติที่มีความสมจริง และการใช้งาน WebGL ซึ่ง GEGL มีคุณสมบัติในการประมวลผลแบบ Floating Point และข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ จำนวนเต็ม 8 บิต 16 บิต และทศนิยม 32 บิตต่อคอมโพเนนต์บัฟเฟอร์ สามารถรองรับภาษา C, Java, C#, Python และ Ruby โดยใช้ส่วนต่อประสานที่สอดคล้องกัน ในการจัดการการประมวลผลกราฟ สามารถทำงานร่วมกับรูปแบบแฟ้มภาพ เช่น ไฟล์สกุล *.png *.jpeg *.svg *.exr *.raw *.ffmpeg .v4l เป็นต้น พร้อมทั้งการปรับแก้สี การแสดงข้อความ และกำลังพัฒนาให้สามารถทำงานร่วมกับรูปแบบ XML

2.3.3 SpiderGL

Marco Di Benedetto, Federico Ponchio, Fabil Ganovelli และ Roberto Scopigno (2010) ได้เสนอ SpiderGL เป็นคลังกราฟิกจาวาสคริปต์ที่ช่วยอำนวยความสะดวกแก่ผู้พัฒนาโปรแกรมประยุกต์สามมิติผ่านเว็บเบราว์เซอร์ ประกอบด้วยโครงสร้างข้อมูลและอัลกอริทึมที่ง่ายต่อการเรียกใช้งาน WebGL ในการขึ้นรูปแบบจำลองสามมิติ มีคุณสมบัติในการโหลดข้อมูลแบบไม่ประสานเวลา (Asynchronous Data Loading) สามารถแสดงผลและโต้ตอบกับผู้ใช้ได้อย่างทันที มีประสิทธิภาพ ช่วยลดภาระให้กับหน่วยประมวลผลกลาง สามารถเรียกใช้งานผ่านคลังโปรแกรมได้อย่างสะดวก (High Level Function) มีความยืดหยุ่นในการใช้งาน อำนวยความสะดวกในการทำงานแก่ผู้พัฒนาคอมพิวเตอร์กราฟิก

อย่างไรก็ตามการพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ดังกล่าวข้างต้น ยังคงมีข้อจำกัดทางด้านภูมิศาสตร์ในการนำเข้าชั้นข้อมูลและการเชื่อมต่อการประมวลผลจากโปรแกรมภายนอก ผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดในการพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์สำหรับระบบสารสนเทศ

ภูมิศาสตร์ที่สามารถซ้อนทับลำดับชั้นทางภูมิศาสตร์จากการนำเข้าชั้นข้อมูล (*.shp) และสามารถเชื่อมโยงการประมวลผลจากโปรแกรมภายนอก (*.exe)

2.4 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ดุษฎี ชาญลิขิต (2550) ได้กล่าวถึง ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System : GIS) เป็นศัพท์ทางวิชาการที่ประกอบขึ้นจากคำ 3 คำ ได้แก่ ภูมิศาสตร์ (Geography) คือ ลักษณะทางกายภาพของสิ่งต่างๆ บนพื้นโลก เช่น พื้นที่เกษตรกรรม ป่าไม้ แม่น้ำ ภูเขา ถนน อาคาร สิ่งปลูกสร้าง เป็นต้น แทนลักษณะทางกายภาพด้วยแผนที่ ในลักษณะจุด เส้น พื้นที่รูปปิด สารสนเทศ (Information) คือ ข้อมูลที่ผ่านการประมวลผล การวิเคราะห์ หรือสรุปให้อยู่ในรูปที่มีความหมาย สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และระบบ (System) คือ การใช้ระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการจัดเก็บ การเรียกค้นข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูล

สรุปได้ว่า ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ คือ กระบวนการทำงานเกี่ยวกับการกำหนดข้อมูลเชิงบรรยายที่มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งในเชิงพื้นที่ด้วยระบบคอมพิวเตอร์เพื่อการใช้ประโยชน์จากการวิเคราะห์ แสดงผลข้อมูลในการสนับสนุนการทำงานและการตัดสินใจที่เกี่ยวข้องกับการวางแผน การกำหนดนโยบาย และการปฏิบัติงาน ซึ่งองค์ประกอบในการทำงานของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ได้แก่ อุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ปฏิบัติงาน (Hardware) ซอฟต์แวร์ ชุดคำสั่งที่ใช้ในการดำเนินงาน (Software) ขั้นตอนการทำงาน (Methodology) การประยุกต์ใช้ข้อมูลที่จัดเก็บในฐานข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์ (Applications) ข้อมูล/สารสนเทศ (Data / Information) องค์การและบุคลากร (Organization and People)

การทำงานของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ประกอบด้วยชุดเครื่องมือที่สามารถนำเข้าข้อมูล (Input) ในรูปแบบข้อมูลเชิงตัวเลข (Digital Format) การปรับแต่งข้อมูล (Manipulation) ให้เหมาะสมกับงาน การบริหารข้อมูล (Management) จัดการฐานข้อมูลเพื่อจัดเก็บข้อมูลในรูปของตารางที่สัมพันธ์กัน การเรียกค้นและวิเคราะห์ข้อมูล (Query and Analysis) มาใช้ให้เกิดประโยชน์หรือเพื่อเรียกค้นข้อมูล เช่น การวิเคราะห์เชิงประมาณค่า (Proximity) การวิเคราะห์เชิงซ้อน (Overlay Analysis) เป็นต้น ซึ่งได้ผลลัพธ์ในรูปของตัวเลขหรือตัวอักษร การนำเสนอข้อมูล (Visualization) จะทำการประมวลผลภาพให้ผู้ใช้เข้าใจความหมาย สามารถอธิบายความสัมพันธ์

และอ้างอิงถึงตำแหน่ง เช่น การขึ้นรูปแบบจำลองแผนผังแสดงเขตที่เหมาะสมสำหรับการตั้งถิ่นอาศัย และพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูก เป็นต้น

2.5 ชั้นข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

Environmental System Research Institute, Inc. (ESRI) (1998) ได้กล่าวว่า ข้อมูลที่ใช้ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จัดเก็บเป็นข้อมูลในรูปของชั้นข้อมูล (Shapefile) คือ ข้อมูลที่จัดเก็บในรูปแบบข้อมูลเวกเตอร์และข้อมูลคุณลักษณะประกอบด้วยจุด เส้น โพลีกอน ทั้งข้อมูลสองมิติและสามมิติ โดยเก็บบันทึกข้อมูลทางพิกัดตำแหน่งในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน

ชั้นข้อมูลใช้บอกถึงสภาพพื้นผิวโลกตามสภาพธรรมชาติ และที่มนุษย์สร้างขึ้น ซึ่งชั้นข้อมูลเหล่านี้แสดงข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีพิกัดภูมิศาสตร์กำกับ และข้อมูลเชิงอรรถที่ให้รายละเอียดคุณลักษณะ ตัวอย่างชั้นข้อมูล เช่น ข้อมูลเส้นชั้นความสูง แหล่งน้ำทางธรรมชาติ สภาพการใช้ที่ดิน ถนนที่ใช้ในการสัญจร แนววางท่อประปา สายส่งไฟฟ้า เป็นต้น

สภาพความเป็นจริงเหล่านี้จะถูกพัฒนา บันทึก ขึ้นทะเบียนอย่างเป็นระบบ และควบคุมโดย ESRI ชั้นข้อมูลแบ่งออกเป็นข้อมูลบังคับและข้อมูลตัวเลือกที่ใช้ในการอ้างอิงทางภูมิศาสตร์ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูลบังคับที่ใช้ในการอ้างอิงถึงชั้นข้อมูล

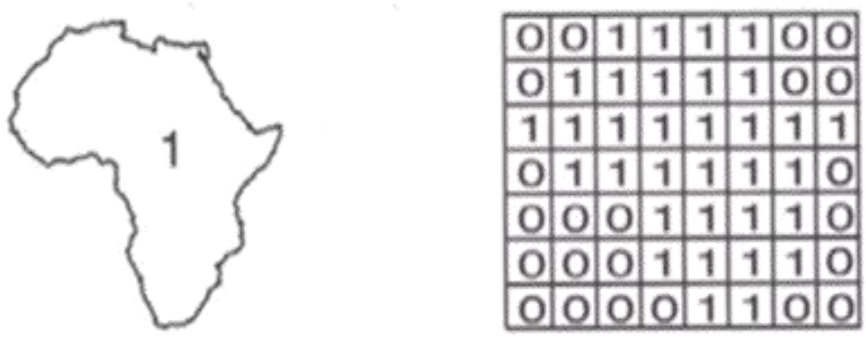
ข้อมูลบังคับ	รายละเอียด
ข้อมูลสกุล *.shp	ประกอบด้วยข้อมูลรูปร่างเรขาคณิต (Shape Format) เป็นข้อมูลหลักที่บ่งบอกลักษณะภูมิศาสตร์ อ้างอิงพิกัด UTM
ข้อมูลสกุล *.dbf	ประกอบด้วยข้อมูลคุณลักษณะ (Attribute Format) ในรูปแบบตารางฐานข้อมูล เพื่อแสดงข้อมูลคุณลักษณะและรายละเอียดของแต่ละเวกเตอร์
ข้อมูลสกุล *.shx	ประกอบด้วยข้อมูลดัชนีรูปร่าง (Shape Index Format) ทำหน้าที่ในการผสานข้อมูลสกุล *.shp และข้อมูลสกุล *.shp

ตารางที่ 2. 2 แสดงข้อมูลตัวเลือกที่ใช้ในการอ้างอิงถึงชั้นข้อมูล

ข้อมูลตัวเลือก	รายละเอียด
ข้อมูลสกุล *.prj	ประกอบด้วยข้อมูลการฉาย (Projection Format) ระบบพิกัด และตัวอักษรอธิบายข้อมูล
ข้อมูลสกุล *.shp และ *.sbx	ประกอบด้วยข้อมูลดัชนีพื้นที่
ข้อมูลสกุล *.fbn และ *.fbx	ประกอบด้วยข้อมูลดัชนีพื้นที่ สำหรับอ่านเพียงอย่างเดียว
ข้อมูลสกุล *.ain และ *.aih	ประกอบด้วยข้อมูลดัชนีคุณลักษณะของเขตข้อมูลในตาราง
ข้อมูลสกุล *.ixs	ประกอบด้วยข้อมูลดัชนีระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ สำหรับอ่านและเขียน
ข้อมูลสกุล *.mxs	ประกอบด้วยข้อมูลดัชนีระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ สำหรับอ่านและเขียน ในรูปแบบ ODB
ข้อมูลสกุล *.atx	ประกอบด้วยข้อมูลดัชนีคุณลักษณะของข้อมูลสกุล *.dbf
ข้อมูลสกุล *.shp.xml	ประกอบด้วยข้อมูลที่ใช้กำกับและอธิบายข้อมูลหลักหรือกลุ่มของข้อมูลในรูปแบบ XML เช่น ISO 19115 เป็นต้น
ข้อมูลสกุล *.cpg	ประกอบด้วยข้อมูลที่ทำหน้าที่ระบุหน้า (Code Page) สำหรับข้อมูลสกุล *.dbf

2.6 แบบจำลองข้อมูล (Data Models)

แบบจำลองข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นการจำลองลักษณะทางภูมิศาสตร์ที่ปรากฏบนพื้นผิวโลกในลักษณะข้อมูลเชิงพื้นที่เชื่อมโยงกับข้อมูลบรรยายเพื่อการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล เช่น การหาพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับกิจกรรมที่กำหนด การหาทิศทางสัมพันธ์ การเชื่อมต่อเส้นทางไปยังจุดหมาย เป็นต้น สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ แบบจำลองข้อมูลเวกเตอร์ และแบบจำลองข้อมูลราสเตอร์ มีโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลแสดงด้วยตัวเลขหรือตัวอักษร เช่น หมายเลข 0 แทนบริเวณนอกเขตพื้นที่ หมายเลข 1 แทนบริเวณเขตพื้นที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 เป็นต้น



(a) (b)

รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูล (a) แบบจำลองข้อมูลระดับแบบเวกเตอร์ (b) แสดงแบบจำลองข้อมูลระดับแบบราสเตอร์ (ที่มา : ดุษฎี ชาญลิขิต, 2550)

2.6.1 แบบจำลองระดับแบบเวกเตอร์

แบบจำลองระดับเวกเตอร์ เป็นลักษณะข้อมูลที่แสดงทิศทางในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ แทนสิ่งต่างๆ บนโลกที่เป็นลายเส้นและพื้นที่ด้วยสัญลักษณ์ ประกอบด้วย จุด เส้น และ โพลีกอน โดยที่จุด (Point) แทนลักษณะทางภูมิศาสตร์ที่มีตำแหน่งที่ตั้งเฉพาะเจาะจง เช่น หมุดหลักเขต บ่อน้ำ จุดชมวิว จุดความสูง อาคาร ตึก สิ่งก่อสร้าง เป็นต้น เส้น (Arc) แทนลักษณะทางภูมิศาสตร์ที่วางตัวระหว่างจุด 2 จุด เช่น ลำน้ำ ถนน โครงข่ายสาธารณูปโภค เส้นชั้นความสูง เป็นต้น โพลีกอน (Polygon) แทนลักษณะทางภูมิศาสตร์ที่มีพื้นที่เดียวกันจะถูกล้อมรอบด้วยเส้นเพื่อแสดงขอบเขต เช่น เขตตำบล อำเภอ จังหวัด ขอบเขตอุทยานแห่งชาติ เขตน้ำท่วม เป็นต้น

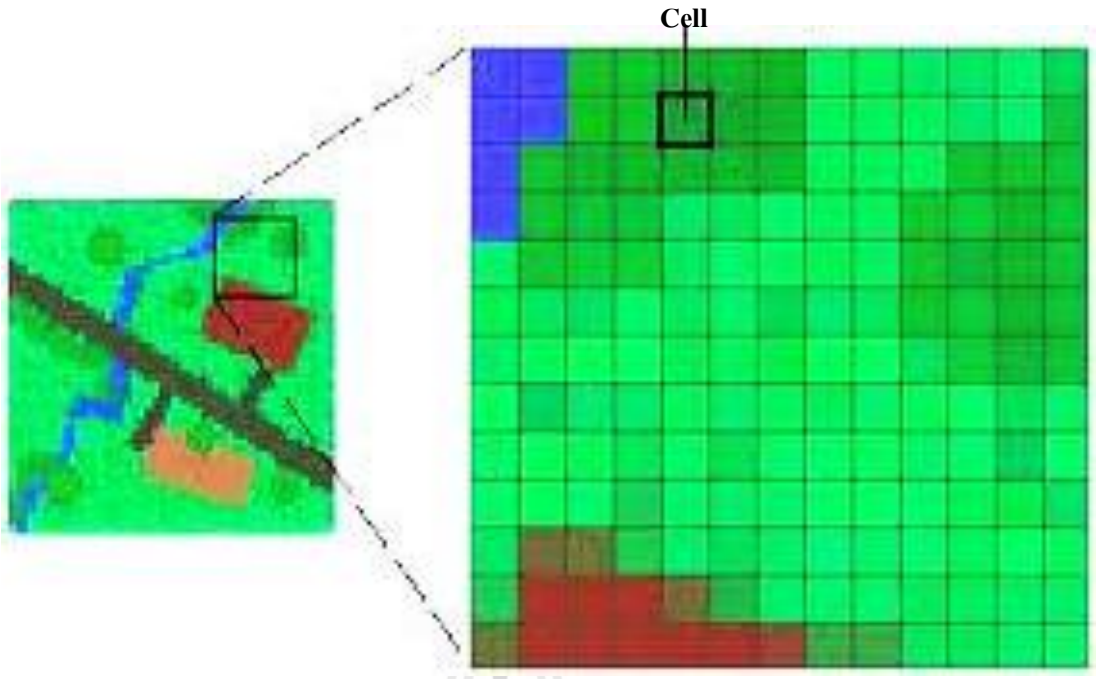
ลักษณะโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลจุดในตำแหน่งระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (x,y) มีหน่วยพื้นฐาน คือ ข้อมูลจุดและค่าพิกัดของจุดนั้น โดยข้อมูลจุดจะประกอบด้วยสายของข้อมูลจุดที่กำหนดความเป็นเส้นตรงและความโค้งของเส้น ข้อมูลโพลีกอนประกอบด้วยสายข้อมูลจุดที่มีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดเดียวกัน ทำให้สามารถแยกพื้นที่ภายในและภายนอกของรูปลักษณะทางพื้นที่ ตัวอย่างแบบจำลองระดับเวกเตอร์ เช่น เส้นชั้นความสูงบนแผนที่ จัดเก็บเวกเตอร์ที่ลากผ่านจุดระดับที่มีความสูงเท่ากัน พื้นที่เกาะ จัดเก็บเวกเตอร์ที่ลากผ่านพื้นที่ปิดมีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดร่วมกัน แผนที่จังหวัด จัดเก็บเวกเตอร์ที่ลากผ่านขอบเขตพื้นที่และเส้นทางคมนาคมต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เป็นต้น

รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างลักษณะแบบจำลองระดับแบบเวกเตอร์

(ที่มา : การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย, 2555)

2.6.2 แบบจำลองระดับแบบราสเตอร์

แบบจำลองระดับแบบราสเตอร์หรือกริด เป็นแบบจำลองระดับที่จัดเก็บพิกัดจุดเป็นตารางแถวในตำแหน่งที่แน่นอนเป็นระยะห่างที่เท่ากัน มีลักษณะพื้นที่จัดเก็บเป็นรูปตารางสี่เหลี่ยมขนาดเท่ากันและต่อเนื่องกัน ที่ใช้อ้างอิงถึงค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ การกำหนดขนาดความละเอียดในการจัดเก็บข้อมูลขึ้นอยู่กับการจัดแบ่งจำนวนแถวและจำนวนคอลัมน์ ตัวอย่างข้อมูลที่จัดเก็บโดยใช้ตารางกริด เช่น ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat แสดงลักษณะภูมิประเทศ จัดเก็บข้อมูลในแต่ละช่องด้วยพิกัดจุดและค่าสีบนตารางกริด ดังแสดงในรูปที่ 2.3 เป็นต้น

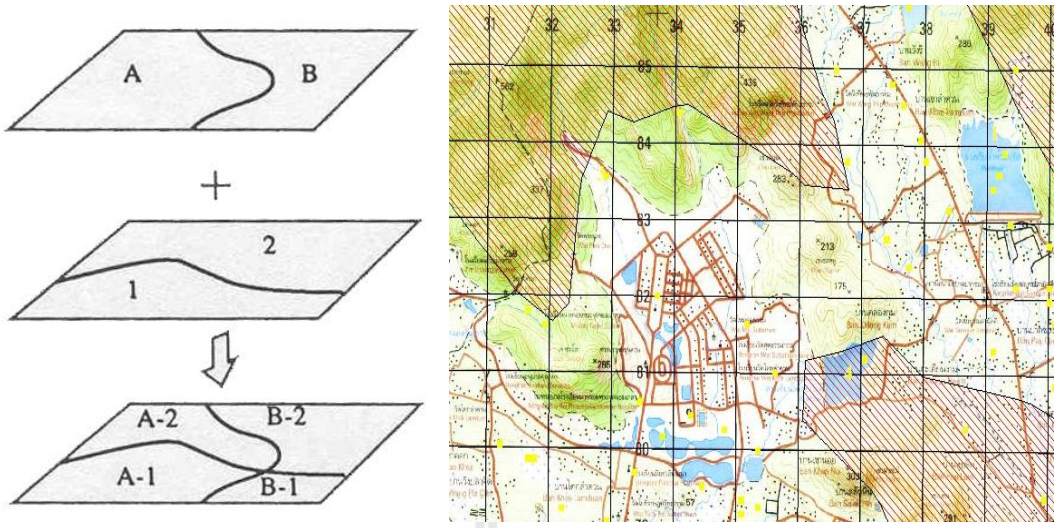


รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างลักษณะแบบจำลองระดับแบบราสเตอร์ (ที่มา : Environmental Systems Research Institute, Inc., 2005)

2.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

2.7.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่

เทคนิคการซ้อนทับข้อมูล (Overlay Function) เป็นเทคนิคที่นิยมใช้สำหรับการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ หาความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของพื้นที่ที่มีศักยภาพเพื่อการพัฒนาเขตพื้นที่ทำประโยชน์ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ เส้นทางคมนาคมที่ตั้ง โดยการวางซ้อนลักษณะจุดในโพลีกอน (Point in Polygon) เช่น จำนวนหมู่บ้านในเขตพื้นที่อุทกภัย เป็นต้น การวางซ้อนลักษณะเส้นในโพลีกอน (Line in Polygon) เช่น เส้นทางคมนาคม เส้นชั้นความสูงในเขตภูมิภาค เป็นต้น การวางซ้อนลักษณะรูปโพลีกอนบนโพลีกอน (Polygon in Polygon) เช่น พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหวบริเวณเชิงเขา ดังแสดงในรูปที่ 2.4 เป็นต้น หลักการซ้อนทับข้อมูลจะอาศัยจุดคู่ควบในการซ้อนทับข้อมูลเชิงบรรยายโดยใช้กระบวนการทางเลขคณิต ดังจะกล่าวถึงรายละเอียดเพิ่มเติมในหัวข้อเทคนิคการประมาณค่าข้อมูล



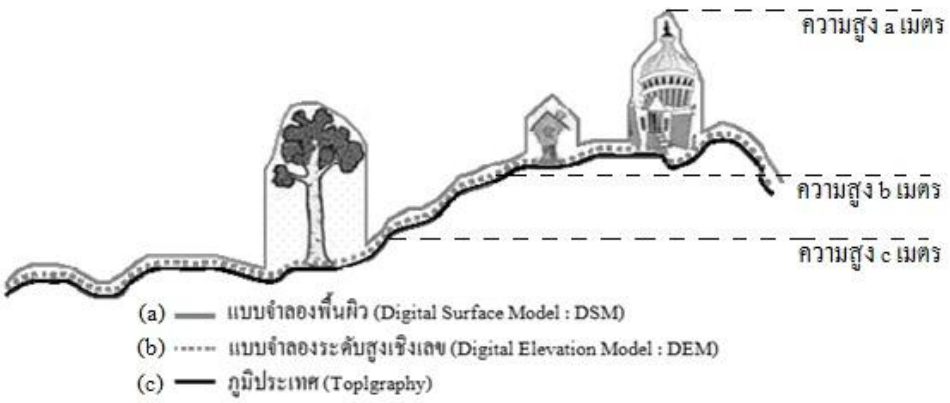
(a) (b)

รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างการซ้อนทับข้อมูล (ที่มา : (a) ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์ กรุงเทพมหานคร, 2552 (b) วารสารสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกล แห่งประเทศไทย, 2549)

2.7.2 การวิเคราะห์พื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลข

การสร้างแบบจำลองข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์และการประมวลผล สามารถสร้างได้จากหลายวิธี เช่น การสำรวจระยะไกล การสำรวจจากดาวเทียม การสำรวจภาคสนาม เป็นต้น สามารถรังวัดค่าความสูงตามลักษณะพื้นผิวโลกได้หลายลักษณะ เช่น แบบจำลองพื้นผิว (Digital Surface Model : DSM) เป็นแบบจำลองที่ใช้แสดงพื้นผิวและวัตถุที่ปรากฏบนพื้นโลก รวมถึงความสูงของต้นไม้และสิ่งปลูกสร้าง แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model : DEM) เป็นแบบจำลองเชิงเลขที่ใช้แสดงเฉพาะลักษณะสูงต่ำของพื้นผิวโลกด้านสัณฐานวิทยา ดังแสดงในรูปที่ 2.5 เป็นต้น

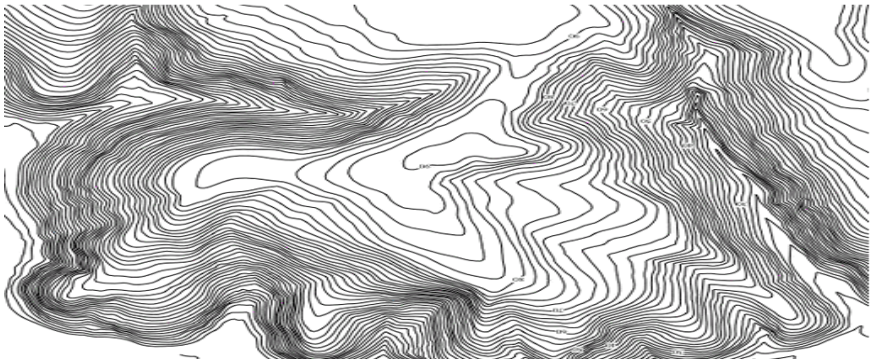
ศรีสอาด ตั้งประเสริฐ (2537) ได้กล่าวว่า พื้นที่แสดงลักษณะภูมิประเทศจะเป็นข้อมูลพื้นผิวที่มีความต่อเนื่องกัน แสดงด้วยเส้นชั้นความสูง เสมือนรูปหลายเหลี่ยมเชื่อมต่อกันเป็นชั้น ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงตัวเลข (Numeric Analysis) จะทำการแปรเปลี่ยนค่าข้อมูลเส้นชั้นความสูงให้อยู่ในรูปแบบจำลองระดับสูงเชิงตัวเลข ตัวอย่างการสร้างแบบจำลองเพื่อการวิเคราะห์พื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลข เช่น เส้นชั้นความสูง แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข แบบจำลองระดับชนิดโครงข่ายสามเหลี่ยมไม่สม่ำเสมอ เป็นต้น



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะการวัดพื้นผิว (ที่มา : สำนักเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ, 2552)

2.7.2.1 เส้นชั้นความสูง

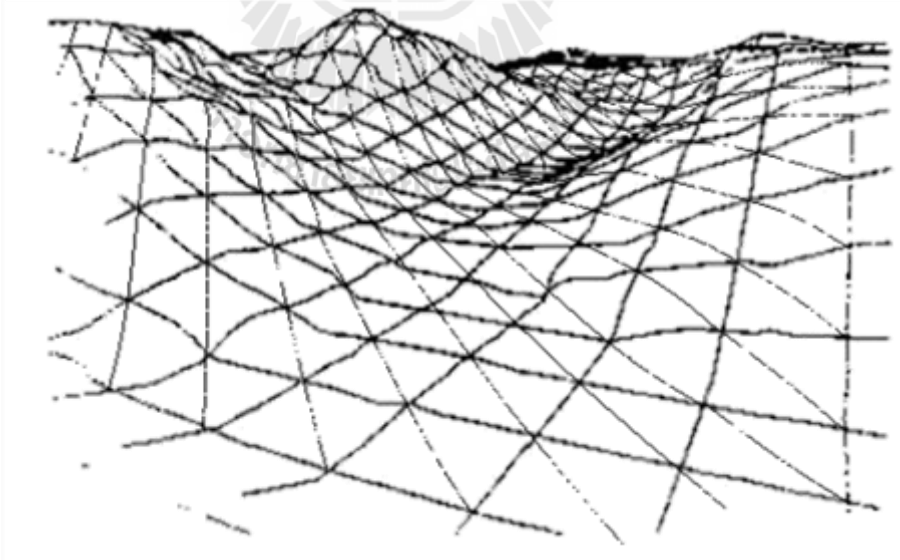
เส้นชั้นความสูงคือ เส้นจินตนาการระดับความสูงที่คงที่บนพื้นผิวภูมิประเทศ ได้จากการลากเส้นคงที่ผ่านจุดต่างๆ บนพื้นดินที่มีค่าระดับเท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ค่าข้อมูลเส้นชั้นความสูงที่มีค่าเป็นบวก คือ เส้นแสดงค่าความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง ส่วนเส้นชั้นความสูงที่มีค่าเป็นลบคือเส้นแสดงค่าความสูงใต้ระดับน้ำทะเลปานกลาง การกำหนดค่าความต่างของเส้นชั้นความสูง สามารถกำหนดได้จากลักษณะพื้นผิวดินตามธรรมชาติ มาตราส่วนแผนที่ จุดประสงค์การสำรวจ เนื้อที่การสำรวจ ระยะเวลา และค่าใช้จ่ายในการสำรวจ



รูปที่ 2.6 แสดงเส้นชั้นความสูง (ปรับปรุงจาก : Sequoia Aircraft Corporation, 2007)

2.7.2.2 แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข

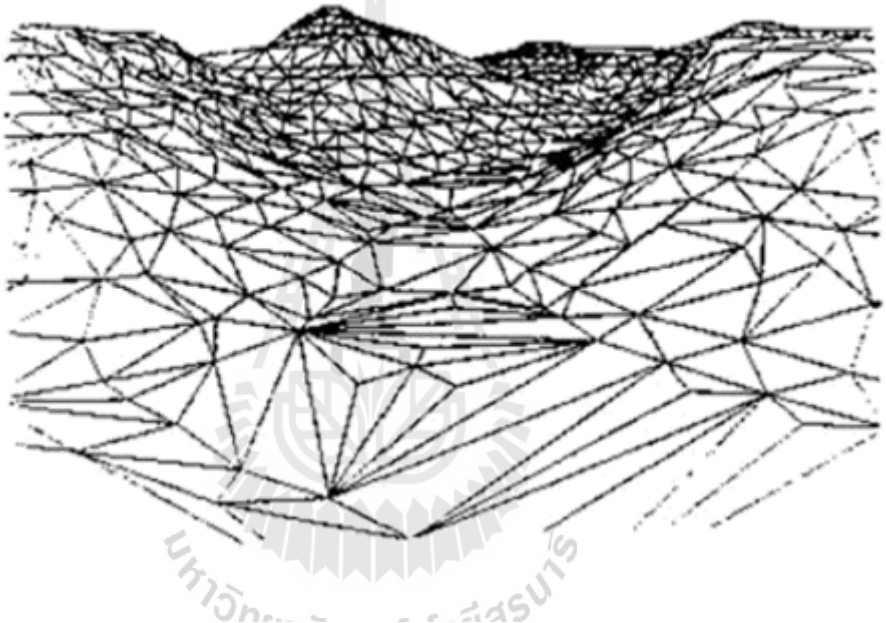
กองภูมิสารสนเทศ (2554) ให้รายละเอียดว่า แบบจำลองระดับสูงเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model : DEM) เป็นแบบจำลองข้อมูลตัวเลขแสดงค่าความสูงของภูมิประเทศบนผิวโลก ที่ได้จากการกระบวนการรังวัดความสูงหรือจุดระดับความสูงของภูมิประเทศ การอ่านค่าความสูง จากภาพถ่ายทางอากาศแบบสเตริโอด้วยเครื่องวาดสเตริโอเชิงวิเคราะห์หรือการสร้างเมทริกซ์ระดับ ความสูงโดยวิธีการประมาณค่า (Interpolation) ทำการจัดเก็บในรูปแบบข้อมูลตารางกริดหรือ เมทริกซ์ระดับความสูง โดยแต่ละตารางกริดจะจัดเก็บค่าพิกัดบนผิวโลกที่มีการกระจายข้อมูลจุด อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งโครงสร้างของแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขจะมีลักษณะเป็นโครงข่ายสามเหลี่ยม สม่ำเสมอที่ต่อเนื่องกัน เนื่องจากรูปสามเหลี่ยมเป็นรูปเรขาคณิตพื้นฐานในการสร้างภาพกราฟิก ทั่วไป (Larrión et al., 2002) สามารถแทนระนาบของพื้นผิวได้อย่างสมบูรณ์ มีด้านและจุดมุมที่ใช้ ร่วมกันทำให้สามารถคำนวณค่าตัวแปรในสามมิติได้โดยง่าย และสามารถนำไปใช้กับระบบ สารสนเทศภูมิศาสตร์แบบราสเตอร์เพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ และสร้างแบบจำลองสามมิติ ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ได้อย่างสะดวก



รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างของแบบจำลองระดับแบบข่ายสามเหลี่ยมสม่ำเสมอ
(ปรับปรุงจาก : สำนักพัฒนาเทคโนโลยีการสำรวจและทำแผนที่ฯ, 2553)

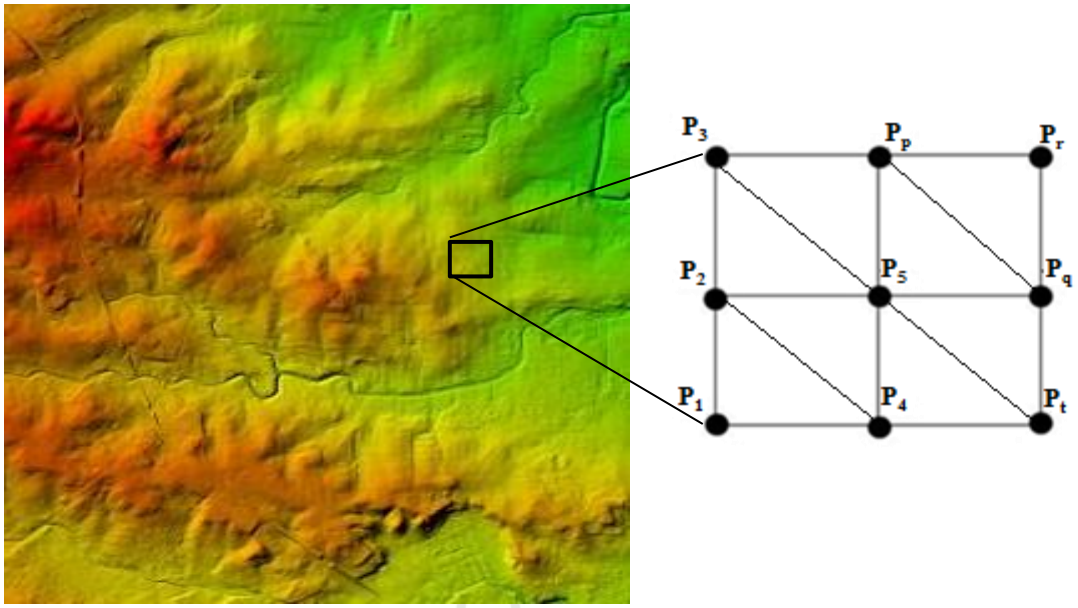
2.7.2.3 แบบจำลองระดับชนิดโครงข่ายสามเหลี่ยมไม่สม่ำเสมอ

แบบจำลองระดับชนิดโครงข่ายสามเหลี่ยมไม่สม่ำเสมอ (Triangulated Irregular Network : TIN) เป็นแบบจำลองที่มีข้อมูลพื้นผิวแบบโครงสร้างเวกเตอร์ ประกอบด้วยชุดรูปสามเหลี่ยมหลายรูปซึ่งมีด้านประชิดกันและใช้จุดยอดร่วมกันเรียงต่อเนื่องกันไป มีการจัดเก็บค่าความสูงของจุดยอดสามเหลี่ยมจะกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ โดยพื้นที่ที่มีความแตกต่างของค่าความสูงมากจะมีจุดอยู่ใกล้กัน แต่พื้นที่ที่มีค่าความสูงไม่แตกต่างกันนักจะมีจุดอยู่ห่างกัน



รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างของแบบจำลองระดับแบบข่ายสามเหลี่ยมไม่สม่ำเสมอ
(ที่มา : สำนักพัฒนาเทคโนโลยีการสำรวจและทำแผนที่ฯ, 2553)

แบบจำลองระดับแบบข่ายสามเหลี่ยม เป็นแบบจำลองที่ประกอบด้วยชุดของรูปสามเหลี่ยมที่โยงต่อเนื่องกัน ปรับตัวไปตามลักษณะภูมิประเทศ มีการเชื่อมต่อกันด้วยขอบหรือจุดยอดเดียวกัน ในลักษณะโครงข่ายที่ต่อเนื่องกัน มีโครงสร้างแบบราสเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 รูปแบบของการจัดเก็บแบบจำลองระดับแบบข่ายสามเหลี่ยมสม่ำเสมอ จะประกอบด้วยจุดมุมในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน สามารถระบุความสัมพันธ์ระหว่างจุดระดับที่อยู่ใกล้กันทีละ 3 จุด ซึ่งจุดมุมทั้ง 3 มุม จะจัดเก็บค่าระดับที่ต่างกัน โดยจุดมุมของแต่ละสามเหลี่ยมสามารถเชื่อมโยงกันได้ ดังแสดงในตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะโครงข่ายสามเหลี่ยมที่ต่อเนื่องกันของแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข
(ปรับปรุงจาก : MapMart Global Mapping Solutions, 2010)

ตารางที่ 2.3 แสดงรูปแบบของการจัดเก็บค่าพิกัดจุดมุมของรูปสามเหลี่ยม

รูปสามเหลี่ยม	จุดมุม	ค่าระดับ
△ p_1, p_2, p_4	$(x_1,y_1), (x_2,y_2), (x_4,y_4)$	H_1, H_2, H_4
△ p_2, p_5, p_4	$(x_2,y_2), (x_5,y_5), (x_4,y_4)$	H_2, H_5, H_4
△ p_2, p_3, p_5	$(x_2,y_2), (x_3,y_3), (x_5,y_5)$	H_2, H_3, H_5
△ p_p, p_r, p_q	$(x_p,y_p), (x_r,y_r), (x_q,y_q)$	H_p, H_r, H_q

2.8 เทคนิคการประมาณค่าข้อมูล

Colin Childs (2004) ได้กล่าวว่า การทำนายค่าความสูงด้วยวิธีการประมาณค่าข้อมูล (Interpolation) เพื่อการทำนายค่าให้กับจุดพื้นที่ที่ต้องการทราบจากข้อมูลจุดใกล้เคียงที่มีอยู่ในชั้นข้อมูล เช่น การซ้อนทับข้อมูลจากข้อมูลจุดคู่ควบในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (x, y) การสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงตัวเลขจากข้อมูลแบบจุดที่กระจายอย่างไม่สม่ำเสมอ เป็นต้น ซึ่งแต่ละ

วิธีการจะให้ผลที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับแบบจำลองที่ต้องการสร้างและลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลจุดตัวอย่าง ตัวอย่างการประมาณค่าข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ มีดังนี้

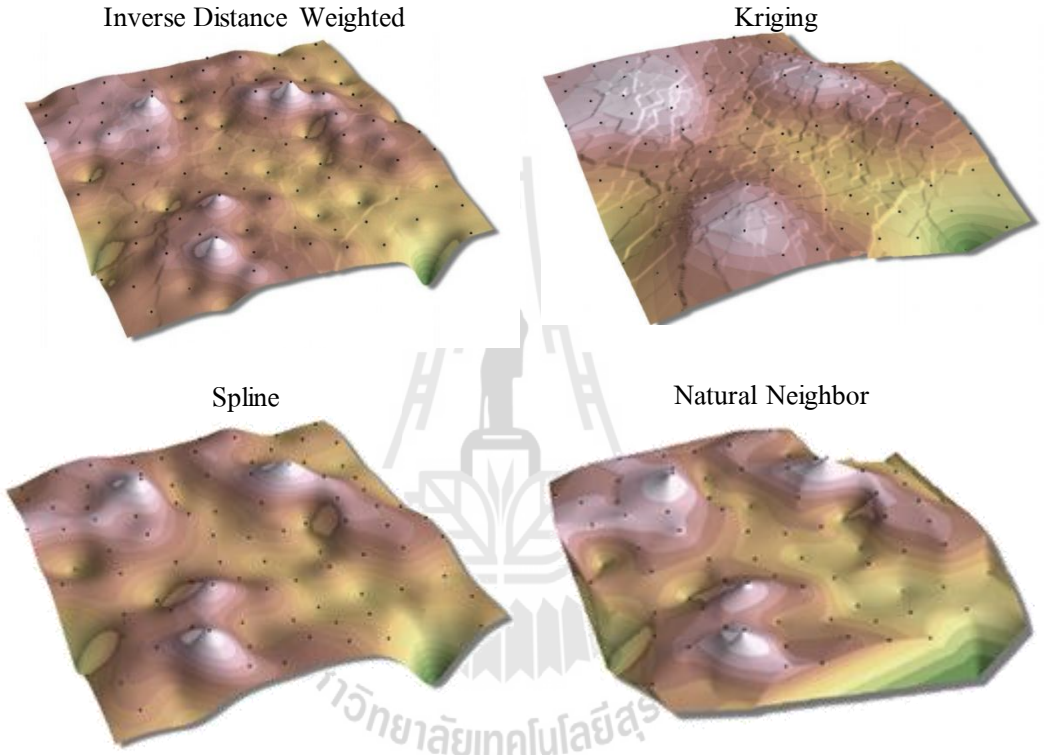
Watson D. และ Philip G. (1985) ได้ปรับปรุงและนำเสนอการประมาณค่าด้วยวิธี Inverse Distance Weighted (IDW) เป็นการประมาณค่าจากการสุ่มข้อมูลจุดตัวอย่างที่มีผลต่อจุดที่ต้องการทราบค่า ด้วยการปรับค่าตามข้อมูลจุดตัวอย่างที่อยู่บริเวณใกล้เคียงกับจุดที่ต้องการ ขึ้นอยู่กับตัวแปรที่กำหนด เช่น การกำหนดรัศมีแบบจำกัดตัวแปร การกำหนดรัศมีแบบจำกัดระยะทาง การกำหนดค่ากำลัง การกำหนดข้อมูลขอบ (Barriers) เป็นต้น ซึ่งจุดที่อยู่ใกล้กับจุดที่ต้องการจะมีค่าน้ำหนักมากกว่าจุดที่อยู่ไกลออกไปตามระยะทาง วิธีการนี้เหมาะสำหรับการสร้างแบบจำลองที่มีการปรับค่าตามระยะทางจากจุดตัวอย่าง

Sky McKinley และ Megan Levine (1998) ได้ปรับปรุงและนำเสนอการประมาณค่าด้วยวิธี Spline Interpolation เป็นการประมาณค่าจากสมการทางคณิตศาสตร์ในการกำหนดความโค้งโดยรวมอย่างน้อยที่สุดของพื้นผิว เหมาะสำหรับการสร้างพื้นผิวบนระนาบสองมิติที่มีลักษณะโค้งเว้า มีความกลมกลืน ประกอบด้วยส่วนโค้งของพื้นผิวที่พาดผ่านจุดตัวอย่าง วิธีการนี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ พื้นผิวแบบปกติ (Regularized) มีการเปลี่ยนแปลงค่าความแปรปรวนพื้นผิวแบบค่อยเป็นค่อยไป ค่าของจุดที่ต้องการทราบอาจผิดไปจากช่วงค่าจริงของจุดตัวอย่าง พื้นผิวที่ได้จะมีความกลมกลืน และพื้นผิวแบบตึงตัว (Tension) มีการปรับค่าระดับพื้นผิวที่สร้างขึ้นให้มีลักษณะราบ ค่าของจุดที่ต้องการทราบจะใกล้เคียงกับช่วงค่าจริงของจุดตัวอย่าง พื้นผิวที่ได้จะไม่ค่อยกลมกลืนนัก

Cooke R. A. และ S. Mostaghimi (1992) ได้ปรับปรุงและนำเสนอการประมาณค่าด้วยวิธี Kriging เป็นการประมาณค่าจากระยะทางหรือทิศทางระหว่างข้อมูลจุดตัวอย่างแต่ละจุด และการกระจัดเชิงพื้นที่ โดยการสร้างแผนภูมิความแปรปรวน (Variogram) และสมการความผันแปรร่วม (Covariance Function) ใช้พื้นฐานจากแบบจำลองทางสถิติต่างๆ และการวิเคราะห์ความเกี่ยวพันกันของข้อมูลโดยอัตโนมัติ ความสัมพันธ์ทางสถิติของจุดที่วัดได้ เพื่อประมาณค่าความเกี่ยวพันเชิงพื้นที่และสร้างพื้นผิวจากค่าที่ได้จากการทำนาย

Robin Sibson (1981) ได้นำเสนอการประมาณค่าด้วยวิธี Natural Neighbors เป็นการประมาณค่าโดยอาศัยการเฉลี่ยน้ำหนักของข้อมูลที่ได้จากการสร้างรูปสามเหลี่ยมดิลาเนย์ (Delaunay Triangulation) ของจุดตัวอย่างและทำการปรับค่าจุดตามค่าน้ำหนักโดยเลือกจุดที่อยู่ใกล้จุดเชื่อมของสามเหลี่ยมรอบพื้นที่ที่ต้องการ

Dianne Hansford (2007) กล่าวว่า วิธี Barycentric Coordinate เป็นการประมาณค่าความสูงของจุดใดๆ ด้วยวิธีการสร้างเมทริกซ์ระดับความสูง คำนวณพื้นที่สามเหลี่ยมของจุดที่ต้องการกับชุดข้อมูลจุดสามเหลี่ยมเทียบกับพื้นที่สามเหลี่ยมของชุดข้อมูลจุดสามเหลี่ยม เพื่อทำนายค่าความสูงของจุดที่ต้องการทราบจากค่าความสูงของชุดข้อมูลจุดสามเหลี่ยม เหมาะสำหรับการหาค่าความสูงของแบบจำลองที่มีลักษณะโครงข่ายสามเหลี่ยม



รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะพื้นผิวภูมิประเทศจากการประมาณค่าด้วยวิธีต่างๆ
(ที่มา : Colin Childs, 2004)

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนามาตรฐาน HTML5 ใช้คุณสมบัติ Canvas ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางด้านกราฟิกที่อำนวยความสะดวกแก่ผู้พัฒนากราฟิกสามมิติในการสร้างระบบกราฟิกต่างๆ ผ่านเว็บเบราว์เซอร์โดยไม่ต้องทำการติดตั้งโปรแกรมเสริม ทำให้เกิดการพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์สำหรับเวิลด์ไวด์เว็บอย่างหลากหลาย ดังจะยกตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ดังนี้

2.9.1 การพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์

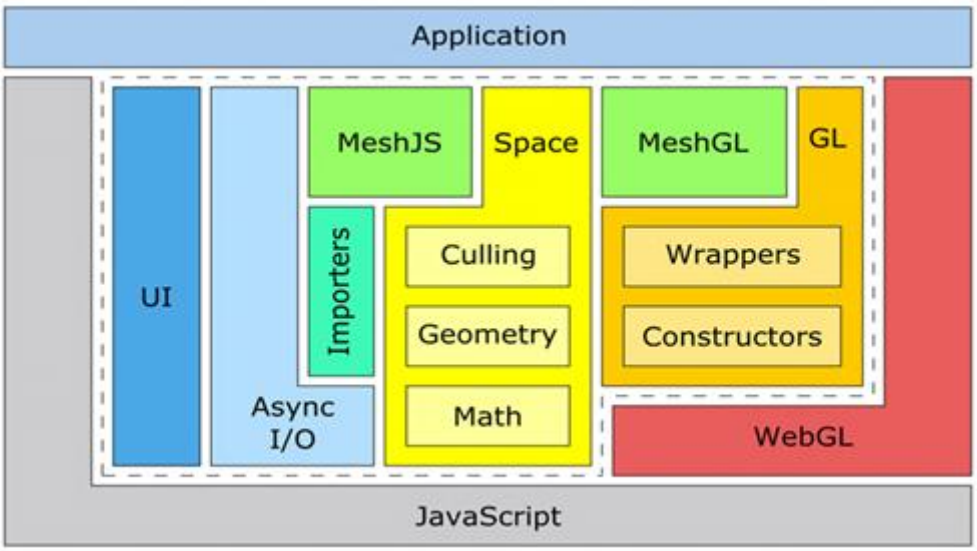
Benjamin P. DeLillo (2010) ได้นำเสนอ WebGLU การพัฒนาคลังโปรแกรมโอเพนซอร์สภายใต้ลิขสิทธิ์ของ MIT ที่ช่วยลดความซับซ้อนและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน มีเป้าหมายเพื่อกระจายการแสดงผลจากการออกแบบทั้งหมดของส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์และเป็นเครื่องมือที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการทำงาน ช่วยลดเวลาในการประมวลผลรหัสคำสั่งการทำงานของ WebGLU จะมีคลาสหลัก (Object Class) เพื่อเก็บข้อมูลอะเรย์ของ Shader Attribute Data และ WebGL Buffer ที่เกี่ยวข้อง มี Object ทำหน้าที่เชื่อมโยงบัฟเฟอร์และพื้นผิวต่างๆ ก่อนทำการ Rendering และสามารถเชื่อมโยงลำดับชั้นที่เกี่ยวข้องและกำหนดกระบวนการทำงานหรือคีย์เฟรมของการเคลื่อนไหว แม้แต่การรวมชนิดของภาพเคลื่อนไหวด้วย Single Hierarchy ในกระบวนการพัฒนารวมถึงการจำลองลักษณะทางฟิสิกส์และพฤติกรรมการเคลื่อนไหว

Catherine Leung และ Andor Salga (2010) ได้นำเสนอ C3DL เป็นโอเพนซอร์สคลังกราฟิกจาวาสคริปต์ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้งานฟังก์ชันพื้นฐานและลดต้นทุนในการสร้างโปรแกรมประยุกต์กราฟิกสามมิติ นอกจากนี้ยังได้เสนอโปรแกรมประยุกต์ Motionview ซึ่งเป็นกระบวนการจับลักษณะการเคลื่อนไหวร่างกายของผู้แสดง รวมถึงการเคลื่อนไหวของวัตถุต่างๆ โดยติดตั้งเซนเซอร์ที่จุดต่างๆ ของร่างกายแล้วทำการส่งข้อมูลเหล่านั้นไปยังโปรแกรม เพื่อสร้างตัวละครสามมิติที่แสดงท่าทางการเคลื่อนไหวได้อย่างนุ่มนวล

Marco Di Benedetto et al. (2010) ได้นำเสนอ SpiderGL เป็นคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการโหลดข้อมูล ง่ายต่อการใช้งาน WebGL ในการกำหนดและการขึ้นรูปโมเดลสามมิติ อำนวยความสะดวกแก่ผู้พัฒนา ซึ่งสถาปัตยกรรม SpiderGL แบ่งออกเป็น 5 โมดูล ได้แก่ GL MESH ASYNC UI และ SPACE ดังแสดงในรูปที่ 2.13

โมดูล GL : ใช้สำหรับการเข้าถึงฟังก์ชันต่างๆ ของ WebGL ซึ่งอยู่ในส่วน Low-Level Layer จัดการโครงสร้างข้อมูลที่เป็น Low-Level โดยไม่ยุ่งเกี่ยวกับ Logic และ High-Level Layer ประกอบด้วย Wrapper Object รวมถึงสิ่งอำนวยความสะดวกของ Orthogonal

โมดูล MESH : ใช้สำหรับการกำหนดการขึ้นรูปโมเดลแบบจำลองสามมิติและการแสดงผล โมดูลนี้เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการสร้างโครงข่ายบนโพลีกอน (SglMeshJS) ซึ่งผู้ใช้สามารถสร้างแก้ไขโมเดลแบบจำลองสามมิติและรูปภาพบนหน่วยประมวลผลกราฟิก (SglMeshGL) ได้



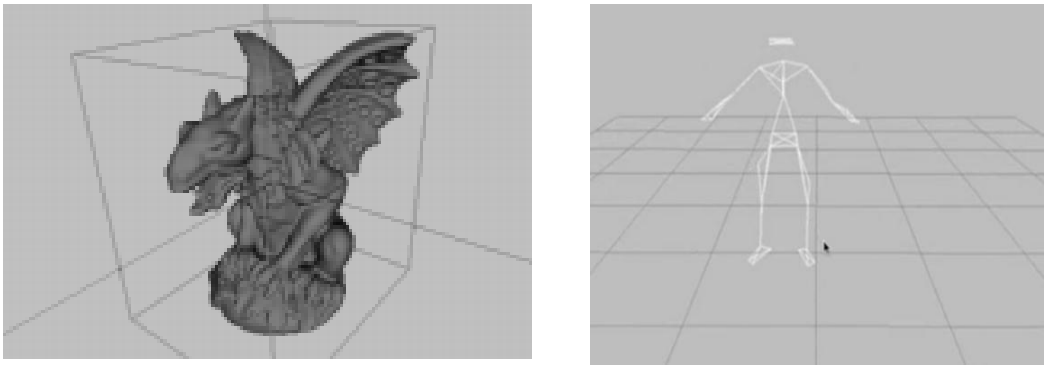
รูปที่ 2.11 แสดงสถาปัตยกรรม SpiderGL (ที่มา : Marco Di Benedetto et al., 2010)

โมดูล ASYNC : ใช้สำหรับการโหลดข้อมูลจากหน่วยความจำหลักภายนอกหรือข้อมูลระยะไกล ด้วยวิธี Asynchronous Content Loading เพื่อป้องกันการหยุดชะงักของข้อมูลโดยการทำงานแบบ Multithreading ด้วยการทำงานโดยเรียงตามลำดับความสำคัญของข้อมูล ซึ่งภาษาจาวาสคริปต์ไม่ได้รองรับการทำงานลักษณะนี้ จึงมีการใช้งานผ่าน XMLHttpRequest และ Image Objects ซึ่งจะทำหน้าที่ตอบกลับเมื่อมีการร้องขอข้อมูลเกิดขึ้น

โมดูล UI (User Interface) : ใช้สำหรับการแสดงผลในมุมมองทั่วไปของผู้ใช้งาน เช่น มุมมองของผู้เล่น เป็นต้น รวมถึงการขยาย การหมุนภาพ เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งาน

โมดูล SPACE : ใช้สำหรับการใช้งานฟังก์ชันคณิตศาสตร์และรูปทรงเรขาคณิต เช่น เวกเตอร์, เมทริกซ์ เป็นต้น ในการสร้างฉาก ตัวละครและลักษณะท่าทางการเคลื่อนไหว

นอกจากนี้ยังได้เสนอ MeShade เป็นโปรแกรมประยุกต์แสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์ที่ผู้ใช้สามารถโหลดและทำการแก้ไขลักษณะของแบบจำลองสามมิติผ่านเว็บเบราว์เซอร์ โดยจะทำการสร้างรหัสคำสั่งขึ้นมาสองส่วน ได้แก่ส่วน JSON เป็นส่วนที่เก็บรูปทรงเรขาคณิตและตำแหน่งของภาพ และส่วน HTML เป็นส่วนที่เก็บรหัสคำสั่งในรูปแบบภาษาสคริปต์



(a) (b)

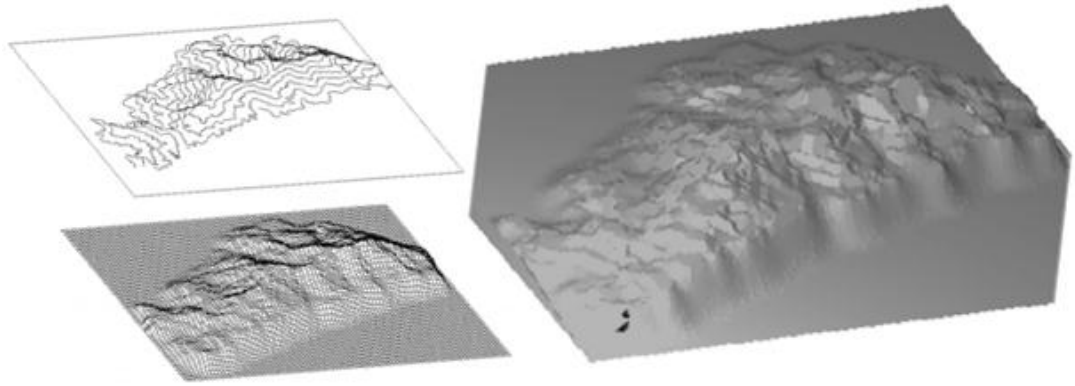
รูปที่ 2.12 (a) แสดงผลการสร้างแบบจำลองสามมิติของโปรแกรมประยุกต์ MeShade จาก SpiderGL (b) แสดงผลการสร้างแบบจำลองสามมิติของโปรแกรมประยุกต์ Motionview จาก C3DL (ที่มา : (a) Marco Di Benedetto et al., 2010 (b) Catherine Leung และ Andor Salga, 2010)

2.9.2 การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์สำหรับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

นิคม สุวรรณวร (2544) ได้นำเสนอวิธีการสร้างลักษณะพื้นผิวภูมิประเทศจากเส้นระดับชั้นความสูง สามารถแสดงสภาพจริงหรือพื้นผิวภูมิประเทศที่มีคุณภาพสูง ดังแสดงในรูปที่ 2.15 โดยใช้ข้อมูลทดสอบในเขตจังหวัดระนอง เก็บค่าข้อมูลเป็นลักษณะของตำแหน่ง (x, y) ที่มีความต่อเนื่องกัน เริ่มต้นการสร้างข้อมูลแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขด้วยการสร้างโครงข่ายกริดครอบเส้นระดับชั้นความสูง ทำการหาค่าเฉลี่ยความสูงเริ่มต้นของจุดตัดทุกจุดบนกริด ด้วยวิธี Thin Plate Interpolation เพื่อปรับค่าของข้อมูลความสูง ซึ่งสามารถแปลงผลข้อมูลค่าความสูงให้อยู่ในรูปแบบของชั้นข้อมูลของ ESRI เพื่อนำไปใช้ในการแสดงผลลักษณะภูมิประเทศได้

Arron R. Walker et al. (2003) ได้นำเสนอกรอบการทำงานที่ช่วยอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งานทั่วไปที่ไม่มีความรู้เชิงลึกทางด้านภูมิศาสตร์ ซึ่งการทำงานของเฟรมเวิร์คนี้ ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นการใช้ภาษาสอบถามในรูปแบบนามธรรมที่ผู้ใช้งานทั่วไปสามารถเข้าใจได้ง่าย โดยแบ่งข้อมูลเชิงพื้นที่ออกเป็นกลุ่มเช่น ภูเขา ป่า แม่น้ำ เป็นต้น แทนพื้นที่เหล่านั้นด้วยสัญรูป (Icon) ในรูปแบบ 3D Bounded Box เช่น แม่น้ำหรือถนนแทนด้วยเส้นที่เชื่อมระหว่างจุดเริ่มต้นไปยังจุดปลายทาง เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.15 (b) ส่วนที่สองเป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการสอบถามมาสร้างแบบจำลองแสดงความเชื่อมโยงในรูปแบบโครงสร้างต้นไม้ (Tree) แบบความสัมพันธ์หนึ่งต่อหนึ่ง (Peer-To-Peer) เพื่อให้ผู้ใช้งานทั่วไปเข้าใจง่าย มีการกำหนดน้ำหนัก

(Weight) ในช่วง [1, 10] แสดงความห่างไกลระหว่างสองพื้นที่ที่มีการเชื่อมโยงกัน ส่วนที่สามเป็นการหาความสัมพันธ์ของข้อมูล เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่แสดงความสัมพันธ์กันตามลักษณะทางภูมิศาสตร์



รูปที่ 2.13 แสดงแบบจำลองข้อมูลระดับสูงเชิงเลขจากการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ที่มีรูปแบบการใช้งานเฉพาะ (ที่มา : นิคม สุวรรณวร, 2544)

ปฏิวัติ สองชัย (2551) ได้นำเสนอการสร้างชุดข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขและภาพถ่ายทางออร์โธครอบคลุมพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยใช้วิธีโฟโตแกรมเมตรีทางอากาศเชิงเลขและ DGPS ได้แก่ การรังวัดแบบสถิตอย่างรวดเร็ว การรังวัดแบบจลน์ และการรังวัดแบบจลน์ที่มีการวัดย้อนกลับ พร้อมทั้งทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ได้จากการจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติและการจับคู่ภาพด้วยมือกับจุด ตรวจสอบการรังวัดด้วยกล้องสำรวจบนพื้นที่ราบและพื้นที่ต่างระดับ การสร้างภาพถ่ายทางอากาศสีพบว่าภาพที่ตัดแก้แบบออร์โธ (Orthogonal) มีความถูกต้องของค่าพิกัดสูงกว่าแบบโพลีเมียล (Polynomial) และพบว่าการเปรียบเทียบชั้นข้อมูลอาคาร ถนนและแหล่งน้ำที่ได้จากภาพถ่ายตัดแก้แบบโพลีเมียลและออร์โธด้วยการซ้อนทับ มีการคลาดเคลื่อนเล็กน้อย

Takeo Sakairi et al. (2008) ได้นำเสนอระบบจัดการวิกฤตการณ์ Web-GIS สำหรับสนับสนุนการจัดการภาวะวิกฤติในช่วงภัยพิบัติ สามารถแสดงข้อมูลภัยพิบัติบนแผนที่เพื่อการให้ความช่วยเหลือได้อย่างรวดเร็ว ระบบสามารถแบ่งได้ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่หนึ่งจะทำการรวบรวมข้อมูลภัยพิบัติ สถานที่ที่เกิดขึ้นและข้อมูลการให้ความช่วยเหลือในรูปแบบข้อมูลราสเตอร์ไปยัง GIS-Server ทำการสร้างเป็นแผนที่ข้อมูลบนฝั่งเครื่องผู้ใช้ด้วยชุดคำสั่งจาวาสคริปต์

ขั้นตอนที่สองหลังจากที่ GIS-Server ทำการส่งข้อมูล จะทำการซ้อนทับข้อมูลในรูปแบบเวกเตอร์และการตอบสนองอย่างรวดเร็วด้วยเทคโนโลยี AJAX ซึ่งผู้ใช้สามารถเข้าถึงข้อมูลได้อย่างรวดเร็วและดูข้อมูลซ้ำๆ ได้โดยไม่ต้องรอการตอบกลับจากเซิร์ฟเวอร์

Xiaojun Tan et al. (2008) ได้นำเสนอกรอบการทำงาน WebGIS สำหรับโปรแกรมประยุกต์บนเว็บที่มีพื้นฐานการทำงานบนการให้บริการของ Google Maps ด้วยเทคโนโลยี XMLHttpRequest ของ AJAX เพื่อการเรียกใช้ข้อมูล XML และการนำเข้าข้อมูลทางภูมิศาสตร์แบบพลวัต กรอบการทำงาน WebGIS มุ่งเน้นการทำงานแบบไม่ประสานเวลา (Asynchronous) ระหว่างเบราว์เซอร์และเว็บเซิร์ฟเวอร์โดยใช้ชุดคำสั่งจาวาสคริปต์ สามารถแบ่งปันข้อมูลทางภูมิศาสตร์บนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตจากข้อมูลในรูปแบบ XML ที่ถูกสร้างขึ้นจากหลายๆ แหล่งข้อมูล สามารถเข้าถึงข้อมูลได้อย่างกว้างขวางและรวดเร็ว นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาปรับแต่งโปรแกรมประยุกต์ร่วมกับการให้บริการของ Google Maps ได้อีกด้วย

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมดนั้น จะเห็นได้ว่าการสร้างโปรแกรมประยุกต์ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ยังมีรูปแบบการใช้งานเฉพาะ และเป็นการทำงานโดยลำพังบนเครื่องเดียวที่ไม่มีการเชื่อมต่อทรัพยากรกับเครื่องอื่นๆ อย่างไรก็ตามในการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์โดยการนำเข้าข้อมูลด้วยเทคโนโลยี AJAX ยังสามารถปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพในการรับส่งเพื่อประมวลผลข้อมูลจากโปรแกรมภายนอก ซึ่งสามารถประหยัดทรัพยากรและเพิ่มการประมวลผลที่รวดเร็ว นอกจากนี้การพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ยังไม่ได้มุ่งเน้นโดยตรง สำหรับการสร้างแบบจำลองข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ โครงการวิจัยที่ผู้วิจัยเสนอขึ้นนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์สำหรับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยอาศัยตัวอย่างลักษณะภูมิประเทศในเขตมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีบนระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ด้วยวิธีการสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงตัวเลขจากข้อมูลเส้นชั้นความสูงที่ได้ทำการเฉลี่ยค่าความสูงด้วยวิธี Berycentric Interpolation เพื่อทำนายค่าจุดบนโครงข่ายสี่เหลี่ยม โดยการเรียกใช้คลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ สามารถกำหนดคุณลักษณะด้านกราฟิกซึ่งสัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศ และทำการขึ้นรูปแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข ด้วยเทคโนโลยี WebGL ที่เชื่อมโยงชุดคำสั่งจาวาสคริปต์และชุดคำสั่งกราฟิกแบบเปิดโดยใช้คุณสมบัติด้านกราฟิก Canvas ของมาตรฐาน HTML5 ในการแสดงแบบจำลองผ่านเว็บเบราว์เซอร์โดยไม่ต้องทำการติดตั้งโปรแกรมเสริม ซึ่งรายละเอียดของขั้นตอนต่างๆ และวิธีการดำเนินการวิจัยทั้งหมดนั้นจะได้กล่าวถึงในบทถัดไป

ตารางที่ 2.4 แสดงสรุปการเปรียบเทียบประเด็นต่างๆของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยบทความวิจัยที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย “ก” แทนงานวิจัยของ Benjamin P. DeLillo (2010) “ข” แทนงานวิจัยของ Catherine Leung และ Andor Salga (2010) “ค” แทนงานวิจัยของ Marco Di Benedetto et al. (2010) “ง” แทนงานวิจัยของ นิคม สุวรรณวร (2544) “จ” แทนงานวิจัยของ Arron R. Walker et al. (2003) “ฉ” แทนงานวิจัยของ ปฏิวัติ สอางชัย (2551) “ช” แทนงานวิจัยของ Takeo Sakairi et al. (2008) “ซ” แทนงานวิจัยของ Xiaojun Tan et al. (2008) “ฌ” แทนงานวิจัยเรื่องการพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์สำหรับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (งานวิจัยของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้)

ตารางที่ 2.4 สรุปเปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์สำหรับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

กระบวนการทำงาน	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง								
	ก	ข	ค	ง	จ	ฉ	ช	ซ	ฌ
การพัฒนา									
พัฒนาในรูปแบบคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์	✓	✓	✓						✓
พัฒนาในรูปแบบกรอบการทำงาน					✓		✓		
พัฒนาในรูปแบบการนำเสนอวิธีการ				✓		✓			
พัฒนาในรูปแบบโปรแกรมประยุกต์	✓	✓	✓					✓	✓
การพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์									
การคำนวณทางคณิตศาสตร์	✓	✓	✓						✓
การนำเข้าข้อมูล *.dae		✓	✓						
การนำเข้าข้อมูล *.shp									✓
การสร้างแบบจำลองทางภูมิศาสตร์			✓						✓
การซ้อนแถบสีแสดงความสูง									✓
การเชื่อมโยงกับโปรแกรมภายนอก *.exe									✓
การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์									
ลักษณะ Standalone Application				✓	✓	✓			
ลักษณะ Web Based Application	✓	✓	✓				✓	✓	✓
การนำเข้าข้อมูลด้วยเทคโนโลยี AJAX							✓	✓	✓

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์สำหรับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อแสดงผลการจำลองลักษณะภูมิประเทศสามมิติผ่านเว็บเบราว์เซอร์ ประกอบด้วย การสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงตัวเลขโดยการนำเข้าข้อมูลเมทริกซ์ระดับความสูง การซ้อนแถบสีและแสงตกกระทบแสดงระดับความสูงของลักษณะภูมิประเทศการซ้อนทับลำดับชั้นข้อมูลทางภูมิศาสตร์ด้วยการนำเข้าชั้นข้อมูล และการเชื่อมโยงการประมวลผลจากคลังโปรแกรมภายนอกเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งในบทนี้จะอธิบายขั้นตอนงานวิจัยทั้งหมด โดยแบ่งขั้นตอนออกเป็น 4 ส่วนคือ ขั้นตอนวิธีการพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ ขั้นตอนวิธีการสร้างแบบจำลองระดับความสูงเชิงตัวเลข ขั้นตอนการซ้อนทับข้อมูลลำดับชั้นทางภูมิศาสตร์ และขั้นตอนการเชื่อมโยงการประมวลผลจากคลังโปรแกรมภายนอก

3.1 ระเบียบวิธีวิจัย

แนวทางการวิจัยของงานวิจัยนี้จะประกอบด้วยการพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์สำหรับการสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข การซ้อนทับลำดับชั้นข้อมูล และการเชื่อมโยงการประมวลผลกับโปรแกรมภายนอก โดยมีขั้นตอนในการทำวิจัยดังนี้

1) การศึกษาค้นคว้ากระบวนการเทคนิควิธีและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์และการสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงตัวเลขเพื่อการแสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์โดยไม่จำเป็นต้องติดตั้งโปรแกรมเสริม

2) การออกแบบและพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ โดยใช้ความสามารถของเว็บ-จีแอล (WebGL) ด้วยคุณสมบัติด้านกราฟิกของมาตรฐาน HTML5 ในการแสดงแบบจำลองสามมิติผ่านเว็บเบราว์เซอร์

3) การเตรียมข้อมูลจากเส้นระดับชั้นความสูงด้วยวิธีการเชิงเลข ประกอบด้วย

3.1) การแปลงข้อมูลเส้นชั้นความสูงในรูปแบบเมทริกซ์ระดับความสูง

3.2) การแปลงรูปแบบข้อมูลให้อยู่ในช่วงข้อมูลที่เหมาะสม

3.3) การคำนวณค่าแนวฉากเพื่อหาทิศทางของระนาบแสงตกกระทบ

4) การสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงตัวเลขชนิดโครงข่ายสามเหลี่ยมสม่ำเสมอ

4.1) การซ้อนแถบสีแสดงความสูงต่ำของลักษณะภูมิประเทศ

4.2) การคำนวณปริมาณแสงตกกระทบตามระดับความสูงลักษณะภูมิประเทศ

4.2) การใช้อุปกรณ์ควบคุมลักษณะของแบบจำลอง

5) การนำเข้าและการซ้อนทับชั้นข้อมูลทางภูมิศาสตร์เพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่

6) การเชื่อมโยงการประมวลผลจากคลังโปรแกรมภายนอก

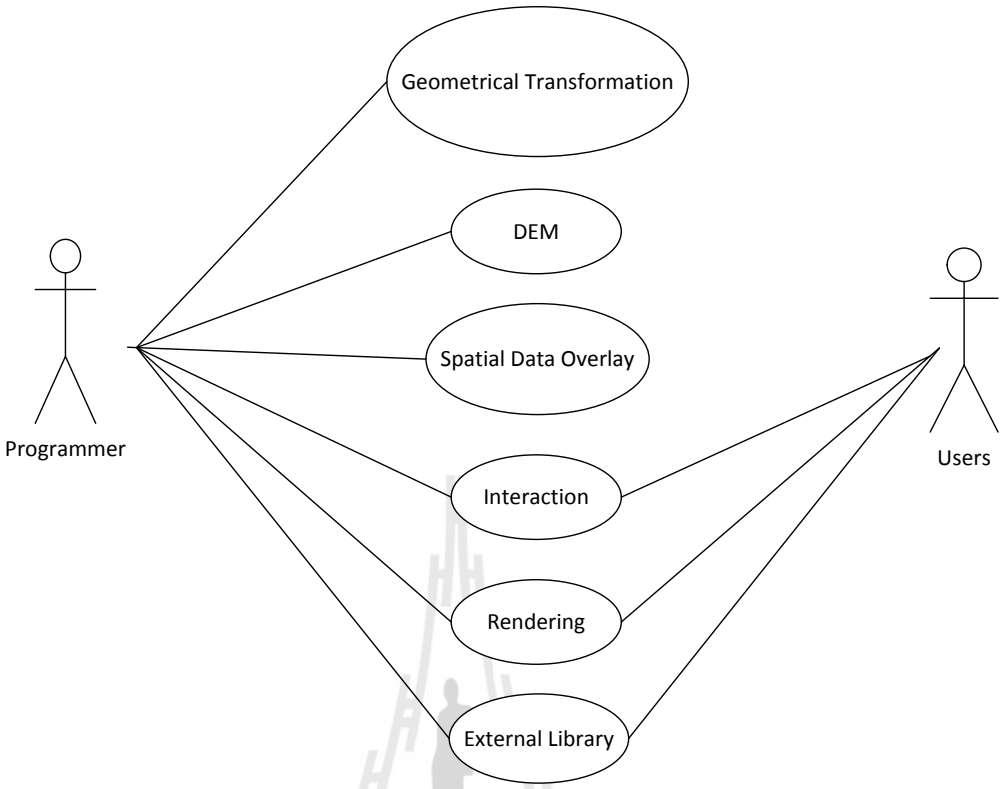
7) การพัฒนาตัวอย่างโปรแกรมประยุกต์บนเว็บเพื่อแสดงลักษณะภูมิประเทศในเขตมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีโดยเรียกใช้งานคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์

8) การวิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

3.2 โครงสร้างข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 โครงสร้างของระบบ

การทำงานของคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์สำหรับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สามารถอธิบายข้อมูลด้วยแผนภาพการใช้ในแต่ละกรณี (Use Case Diagram) พร้อมทั้งอธิบายบทบาทและความเกี่ยวข้อง ได้แก่ผู้พัฒนา (Programmer) คือ กลุ่มผู้ใช้งานที่มีบทบาทหน้าที่ในการสร้างโปรแกรมประยุกต์บนเว็บ และผู้ใช้งาน (User) คือ กลุ่มผู้ใช้งานที่มีบทบาทในการเรียกใช้โปรแกรมประยุกต์บนเว็บผ่านเบราว์เซอร์ ซึ่งสามารถแบ่งโมดูลการทำงานได้ดังนี้ คือ การแปลงรูปแบบข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม มีความกว้างของช่วงข้อมูลเท่ากัน การสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงตัวเลข รวมถึงการแสดงแถบสีตามระดับความสูงและระบบแสงเงา การซ้อนทับลำดับชั้นทางภูมิศาสตร์ การโต้ตอบการใช้งานกับผู้ใช้ การขึ้นรูปแบบจำลองระดับสูงเชิงตัวเลขด้วยเทคโนโลยี WebGL การแสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



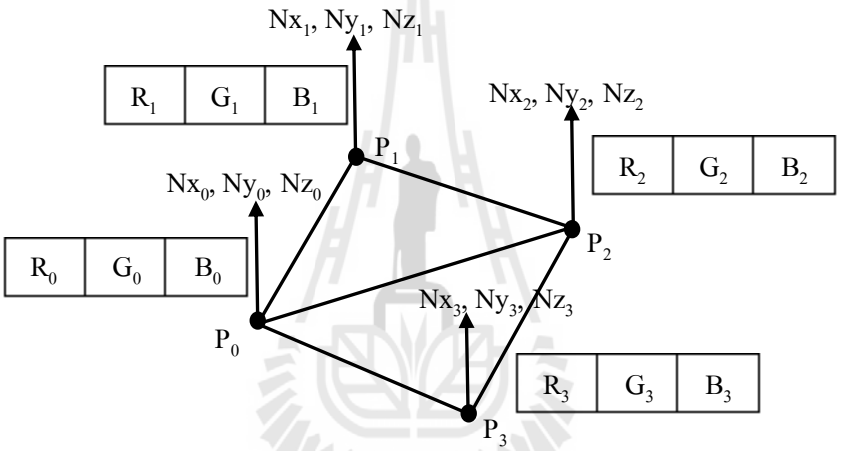
รูปที่ 3.1 แสดงแผนภาพการใช้งานในแต่ละกรณี (Use Case Diagram)

3.2.2 โครงสร้างของข้อมูล

แบบจำลองข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขชนิดโครงข่ายแบบสามเหลี่ยมสม่ำเสมอ การขึ้นรูปแบบจำลองจะอาศัยโครงสร้างข้อมูล ได้แก่ โครงสร้างข้อมูลของจุด (Vertex) ประกอบด้วยจุดในระบบพิกัดคาร์ทีเซียนบนระนาบสามมิติ (Px, Py, Pz) ข้อมูลชุดสี (Color) ประกอบด้วยข้อมูลชุดสีของแต่ละจุด (R, G, B) เวกเตอร์ทิศทาง (Normal Vector) ประกอบด้วยข้อมูลแสดงทิศทางของแต่ละจุดบนสามเหลี่ยม (Nx, Ny, Nz) ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งในการขึ้นรูปแบบจำลองจะอาศัยดัชนีของแต่ละโครงสร้างในการกำหนดความเชื่อมโยงกัน เช่น ดัชนีที่ 0 เชื่อมโยงจุด Px_0, Py_0, Pz_0 กับค่าสี R_0, G_0, B_0 และค่าแนวฉาก Nx_0, Ny_0, Nz_0 ดังแสดงในรูปที่ 3.3 เป็นต้น

Vertex	Px_0, Py_0, Pz_0	Px_1, Py_1, Pz_1	Px_2, Py_2, Pz_2	Px_3, Py_3, Pz_3	…
Normal Vector	Nx_0, Ny_0, Nz_0	Nx_1, Ny_1, Nz_1	Nx_2, Ny_2, Nz_2	Nx_3, Ny_3, Nz_3	…
Color	R_0, G_0, B_0	R_1, G_1, B_1	R_2, G_2, B_2	R_3, G_3, B_3	…

รูปที่ 3.2 แสดงโครงสร้างข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์ของพิกัดจุด ข้อมูลชุดสีและค่าเวกเตอร์แนวฉาก

3.2.3 โครงสร้างของชั้นข้อมูล

ชั้นข้อมูลของ ESRI ประกอบด้วยข้อมูลหลัก (Main File) ข้อมูลดรรชนี (Index File) และตารางฐานข้อมูล (dBASE Table) ในการเข้าถึงข้อมูลจะไปที่ส่วนข้อมูลหลัก ซึ่งมีทำหน้าที่เก็บขนาดของข้อมูลจุดที่อธิบายลักษณะพื้นที่ในแต่ละส่วน โดยจะมีข้อมูลดรรชนีเป็นส่วนเก็บข้อมูลเพิ่มเติม

ชั้นข้อมูลหลัก (Main File) สกุล *.shp เป็นข้อมูลที่มีการจัดเก็บข้อมูลโดยการกำหนดค่าข้อมูลตามตำแหน่งไบต์ ซึ่งในแต่ละชั้นข้อมูลจะประกอบด้วยข้อมูลส่วนหัว (File Header) ข้อมูลระเบียนส่วนหัว (Record Header) และข้อมูลระเบียน (Record Contents) ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบของชั้นข้อมูลสกุล *.shp

File Header	
Record Header	Record Contents
Record Header	Record Contents
Record Header	Record Contents
…	…
Record Header	Record Contents

ข้อมูลส่วนหัว (Main File Header) จะมีขนาดทั้งหมด 100 ไบต์ เก็บค่าข้อมูลตามตำแหน่งไบต์เพื่ออธิบายลักษณะข้อมูลเชิงบรรยาย จัดเก็บข้อมูลได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ ชนิดข้อมูล Integer ขนาดข้อมูล 4 ไบต์ เช่น ไบต์ที่ 0 เก็บค่าข้อมูลเท่ากับ 9994 ชนิดข้อมูล Integer ใช้พื้นที่ขนาด 4 ไบต์ ดังนั้นไบต์ถัดไปจึงเริ่มต้นในไบต์ที่ 4 เป็นต้น ชนิดข้อมูล Double ขนาดข้อมูล 8 ไบต์ เช่น ไบต์ที่ 36 เก็บค่าข้อมูลพิกัด X ที่มีค่าน้อยสุดของชั้นข้อมูล ชนิดข้อมูล Double ใช้พื้นที่ขนาด 8 ไบต์ ดังนั้นไบต์ถัดไปจึงเริ่มต้นในไบต์ที่ 44 เป็นต้น ซึ่งในแต่ละไบต์จะทำหน้าเก็บค่าข้อมูลที่ต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงการจัดเก็บข้อมูลตามตำแหน่งไบต์ข้อมูลส่วนหัว

Position	Field	Value	Type	Byte Order
Byte 0	Field Code	9994	Integer	Big
Byte 4	Unused	0	Integer	Big
Byte 8	Unused	0	Integer	Big
Byte 12	Unused	0	Integer	Big
Byte 16	Unused	0	Integer	Big
Byte 20	Unused	0	Integer	Big
Byte 24	File Length	File Length	Integer	Big
Byte 28	Version	1000	Integer	Little
Byte 32	Shape Type	Shape Type	Integer	Little
Byte 36	Bounding Box	Xmin	Double	Little
Byte 44	Bounding Box	Ymin	Double	Little

Position	Field	Value	Type	Byte Order
Byte 52	Bounding Box	Xmax	Double	Little
Byte 60	Bounding Box	Ymax	Double	Little
Byte 68*	Bounding Box	Zmin	Double	Little
Byte 76*	Bounding Box	Zmax	Double	Little
Byte 84*	Bounding Box	Mnin	Double	Little
Byte 92*	Bounding Box	Mmax	Double	Little
* Unused, with value 0.0, if not Measured or Z type				

การจัดเก็บข้อมูลในตำแหน่งไบต์ที่ 32 เก็บค่าข้อมูลไบต์เพื่อจำแนกลักษณะข้อมูล (Shape Type) เช่น จุด (Polygon) เส้น (PolyLine) โพลีกอน (Polygon) ดังแสดงในตารางที่ 3.3 เป็นต้น

ตารางที่ 3.3 แสดงการจัดเก็บค่าข้อมูลส่วนหัวในตำแหน่งไบต์ที่ 32 เพื่อแยกประเภทชั้นข้อมูล

Value	Shape Type
0	Null Shape
1	Point
3	PolyLine
5	Polygon
8	MultiPoint
11	PointZ
13	PolyLineZ
15	PolygonZ
18	MultiPointZ
21	PointM
23	PolyLineM
25	PolygonM
28	MultiPointM
31	MultiPath

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ข้อมูลระเบียนส่วนหัว (Record Header) มีขนาด 8 ไบต์ ทำการจัดเก็บหมายเลขข้อมูลและความยาวของข้อมูลจุดในแต่ละชนิดข้อมูล แสดงรูปแบบการจัดเก็บข้อมูลระเบียนส่วนหัว (Record Header) ดังแสดงในตารางที่ 3.4 และตัวอย่างรูปแบบการจัดเก็บข้อมูลระเบียน (Record Contents) ประเภทข้อมูลจุด ดังแสดงในตารางที่ 3.5 ประเภทข้อมูลเส้น ดังแสดงในตารางที่ 3.6 ประเภทข้อมูลโพลีกอน ดังแสดงในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.4 แสดงการจัดเก็บข้อมูลตามตำแหน่งไบต์ของข้อมูลระเบียนส่วนหัว

Position	Field	Value	Type	Byte Order
Byte 0	Record Number	Record Number	Integer	Big
Byte 4	Content Length	Content Length	Integer	Big

ตารางที่ 3.5 แสดงการจัดเก็บข้อมูลตามตำแหน่งไบต์ข้อมูลระเบียนประเภทข้อมูลจุด (Point)

Position	Field	Value	Type	Number	Byte Order
Byte 0	Shape Type	1	Integer	1	Little
Byte 4	X	X	Double	1	Little
Byte 12	Y	Y	Integer	1	Little

ตารางที่ 3.6 แสดงการจัดเก็บข้อมูลตามตำแหน่งไบต์ข้อมูลระเบียนประเภทข้อมูลเส้น (Polyline)

Position	Field	Value	Type	Number	Byte Order
Byte 0	Shape Type	3	Integer	1	Little
Byte 4	Box	Box	Double	4	Little
Byte 36	NumParts	NumParts	Integer	1	Little
Byte 40	NumPoints	NumPoints	Integer	1	Little
Byte 44	Parts	Parts	Integer	NumParts	Little
Byte X	Points	Points	Point	NumPoints	Little
Note : X = 44 + 4 * NumParts					

ตารางที่ 3.7 แสดงการจัดเก็บข้อมูลตามตำแหน่งไบต์ข้อมูลระเบียนประเภทโพลีกอน (Polygon)

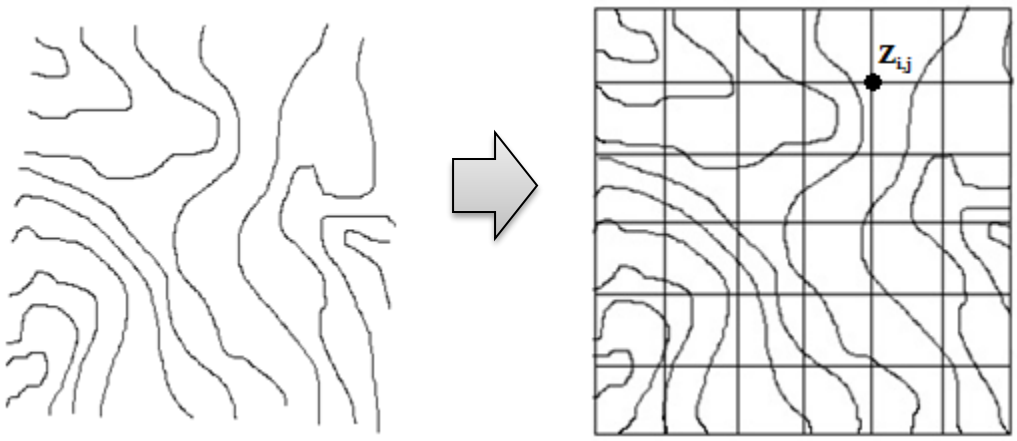
Position	Field	Value	Type	Number	Byte Order
Byte 0	Shape Type	5	Integer	1	Little
Byte 4	Box	Box	Double	4	Little
Byte 36	NumParts	NumParts	Integer	1	Little
Byte 40	NumPoints	NumPoints	Integer	1	Little
Byte 44	Parts	Parts	Integer	NumParts	Little
Byte X	Points	Points	Point	NumPoints	Little
Note : X = 44 + 4 * NumParts					

หมายเหตุ ที่มา : Environmental System Research Institute, Inc., 1998

3.3 การเตรียมข้อมูล

3.3.1 การแปลงข้อมูลเส้นชั้นความสูงในรูปแบบเมทริกซ์ระดับความสูง

ข้อมูลเส้นชั้นความสูงเป็นข้อมูลที่บอกถึงแนวระดับพื้นที่ภูมิประเทศที่มีระดับความสูง z เท่ากัน จัดเก็บค่าข้อมูลในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน x, y ที่ต่อเนื่องกัน ในการขึ้นรูปแบบจำลองจากเส้นชั้นความสูงจะต้องทำการเฉลี่ยข้อมูลเส้นชั้นความสูงให้อยู่ในรูปแบบตารางกริดหรือเมทริกซ์ระดับความสูงเพื่อความสม่ำเสมอของพื้นผิวแบบจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงการเฉลี่ยข้อมูลเส้นชั้นความสูงในรูปเมริกซ์ระดับความสูง

Michael B. Gousie (1988) ได้กล่าวว่าการเฉลี่ยค่าความสูงของเส้นชั้นความสูงด้วยวิธี Partial Differential Equations (PDEs) หรือสมการความร้อน (Heat-flow Equation) โดยอาศัยหลักการแทนค่าแต่ละจุดพิกัด Zi,j ด้วยอุณหภูมิที่ทราบค่า ทำให้แต่ละจุดบนพื้นผิวจะเบนเข้าหาอุณหภูมิที่สมดุล ดังสมการที่ 3.1 แล้วจึงทำการปรับค่าความสูงสำหรับทุกตำแหน่งบนกริดด้วยวิธีการ Thin Plate Interpolation ดังสมการที่ 3.2 จะเฉลี่ยค่าความสูงจากพิกัดจุดรอบข้าง 12 จุดของแต่ละพิกัด Zi,j ทำซ้ำไปเรื่อยๆ จนการเปลี่ยนแปลงของค่าความสูงครั้งปัจจุบันเทียบกับครั้งก่อนมีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยความผิดพลาด คือ 0.005

$$0 = z_{i-1,j} + z_{i+1,j} + z_{i,j-1} + z_{i,j+1} - 4z_{i,j} \tag{3.1}$$

$$\begin{aligned} 0 = {} & z_{i-2,j} + z_{i,j-2} + z_{i+2,j} + z_{i,j+2} \\ & + 2\left(z_{i-1,j-1} + z_{i-1,j+1} + z_{i+1,j+1} + z_{i+1,j-1}\right) \\ & - 8\left(z_{i,j-1} + z_{i-1,j+1} + z_{i+1,j}\right) + 20z_{i,j} \end{aligned} \tag{3.2}$$

โดยที่ $Z_{i,j}$ คือ ค่าความสูง ณ จุดใดๆ บนกริด

3.3.2 การแปลงข้อมูล (Data Transformation)

เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเป็นข้อมูลในรูปแบบพิกัดคาร์ทีเซียนที่มีการนำเข้าชั้นข้อมูลหลายประเภทซึ่งในแต่ละประเภทมีการจัดเก็บค่าข้อมูลภายในบริเวณพื้นที่ ($x_{min}, y_{min}, x_{max}, y_{max}$) ที่ต่างกันและมีช่วงข้อมูลกว้าง ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการการแปลงค่าข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม มีช่วงข้อมูลสั้นลงด้วยวิธี Min-max Normalization ดังแสดงในสมการที่ 3.5 เพื่อการแสดงผลบนกรอบมาตรฐานเดียวกันโดยแปลงข้อมูลให้อยู่ในช่วงใหม่ คือ [0, 1] ดังนี้

$$X^* = \frac{X - \min(X)}{\max(X) - \min(X)} \left(new_{\max(X)} - new_{\min(X)}\right) + new_{\min(X)} \tag{3.3}$$

โดยที่ X* คือ ค่าที่ได้จากการแปลงรูปแบบข้อมูล จะมีค่าอยู่ในช่วง [0, 1]

X คือ ค่าที่ต้องการทำการแปลงรูปแบบข้อมูล

min(X) คือ ค่าที่น้อยที่สุดของข้อมูลที่ต้องการทำการแปลงรูปแบบข้อมูล

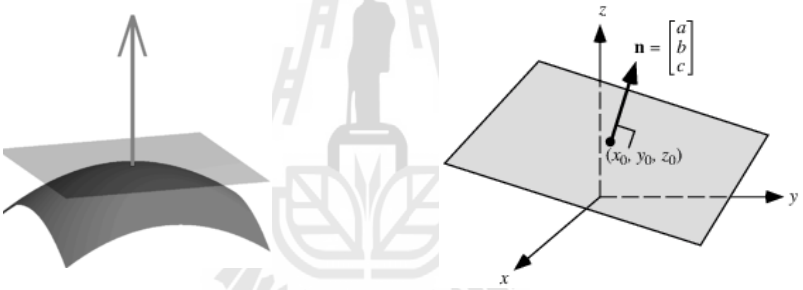
max(X) คือ ค่าที่มากที่สุดของข้อมูลที่ต้องการทำการแปลงรูปแบบข้อมูล

$new_{min(X)}$ คือ ช่วงค่าต่ำสุดที่ต้องการและ $new_{max(X)}$ คือ ช่วงค่าสูงสุดที่ต้องการ

ทั้งนี้สำหรับแนวแกน y และ z ใช้รูปแบบการแปลงข้อมูลด้วยวิธี Min-max Normalization ทำนองเดียวกันในการแปลงรูปแบบข้อมูลจะเลือกค่าข้อมูลที่มีช่วงข้อมูล (Range) มากที่สุดของแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขเพื่อเป็นเกณฑ์สำหรับแปลงรูปแบบข้อมูลการซ้อนทับลำดับชั้นเชิงพื้นที่ทั้งหมด ทำให้เกิดจุดพิกัดที่ตรงกันและมีอัตราส่วนเดียวกันของข้อมูลแต่ละลำดับชั้น

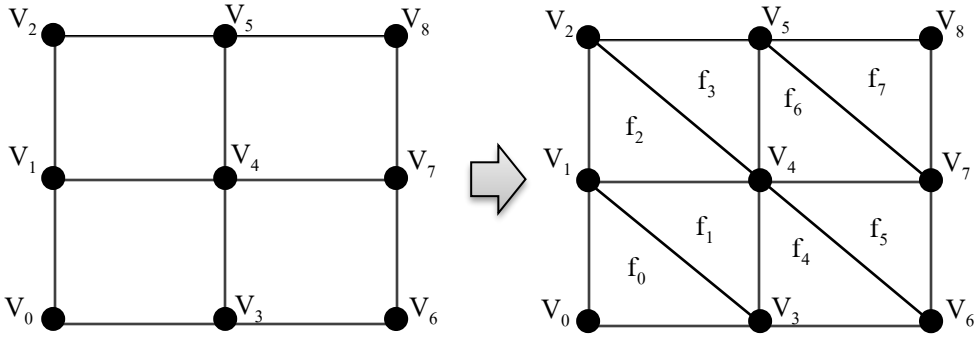
3.3.3 การคำนวณค่าแนวฉาก (Computing Surface Normal)

เวกเตอร์ทิศทาง (Normal Vector) เป็นค่าเวกเตอร์ที่ชี้ในทิศทางตั้งฉากกับระนาบสัมผัสของวัตถุจะกำหนดมุมที่พื้นผิวหันไปในทิศทางของแหล่งกำเนิดแสงหรือกำหนดลักษณะการวางตัวของพื้นที่ผิววัตถุเพื่อคำนวณการสะท้อนของแสงและปริมาณแสงตกกระทบพื้นผิว เพื่อควบคุมความสม่ำเสมอของลักษณะแสงเงาและสีของวัตถุที่มองเห็น



รูปที่ 3.5 แสดงแนวฉาก (Surface Normal) ที่ชี้ในทิศทางตั้งฉากกับระนาบสัมผัสของวัตถุ (ที่มา : Wolfram Research, Inc., 2011)

เนื่องจากพื้นผิวแบบจำลองมีลักษณะเป็นโครงข่ายสามเหลี่ยมที่เรียงต่อเนื่องกันประกอบด้วยจุด เส้นขอบ และระนาบสามเหลี่ยมที่ใช้จุดร่วมกัน ในการกำหนดเวกเตอร์ทิศทางของแต่ละจุดบนสามเหลี่ยม (Nx, Ny, Nz) คำนวณได้จากค่าแนวฉากของระนาบสามเหลี่ยม (Face) ที่จัดเก็บข้อมูลจุดของแต่ละระนาบ และพิกัดจุด (Vertex) ที่จัดเก็บข้อมูลระนาบสามเหลี่ยมที่ใช้ร่วมกันแต่ละจุดสูงสุดไม่เกิน 6 ระนาบต่อจุด ดังแสดงในรูปที่ 3.6 และแสดงความสัมพันธ์ของการจัดเก็บตัวอย่างข้อมูลระนาบสามเหลี่ยมและตัวอย่างพิกัดจุด ดังแสดงในตารางที่ 3.8



รูปที่ 3.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลระนาบและข้อมูลจุดบนโครงข่ายสามเหลี่ยม

ตารางที่ 3.8 แสดงตัวอย่างข้อมูลระนาบสามเหลี่ยมที่สัมพันธ์กับข้อมูลจุด

ระนาบ	จุด
f0	v0, v1, v3
f1	v1, v4, v3
f2	v1, v2, v4
f3	v2, v5, v4
f4	v3, v4, v6
f5	v4, v7, v6
f6	v4, v5, v7
f7	v5, v8, v7

จุด	พิกัด (x,y,z)	ระนาบ
v0	0.000000,0.000000,0.005087	f0
v1	0.015873,0.000000,0.005087	f0, f1, f2
v2	0.031746,0.000000,0.005087	f2, f3
v3	0.000000,0.045920,0.009394	f0, f1, f4
v4	0.015873,0.045920,0.009394	f1, f2, f3, f6, f5, f4
v5	0.031746,0.045920,0.009395	f3, f6, f7
v6	0.000000,0.091840,0.013342	f4, f5
v7	0.015873,0.091840,0.013343	f5, f6
v8	0.031746,0.091840,0.013345	f6, f7

การหาค่าแนวฉากของโพลีกอน สามารถหาได้จากเวกเตอร์หนึ่งหน่วยของผลคูณไขว้เวกเตอร์ขอบสองด้านของแต่ละระนาบสามเหลี่ยมแล้วทำการหาผลรวมของค่าแนวฉากในแต่ละระนาบสามเหลี่ยมที่ใช้จุดร่วมกันเพื่อหาค่าแนวฉากของแต่ละจุดพิกัด ซึ่งค่าแนวฉากจะมีค่ามากกว่า 0 (ค่าบวก) และมีทิศทางชี้ไปในทิศเดียวกันทั้งหมดเนื่องจากการเรียงลำดับจุดตามลักษณะทวนเข็มนาฬิกา โดยใช้กฎมือขวาช่วยในกำหนดทิศทางของแนวฉากของระนาบโพลีกอน

สำหรับพื้นผิววัตถุที่มีความเรียบสม่ำเสมอจะมีค่าเวกเตอร์ชี้ไปในทิศทางตั้งฉากกับระนาบสัมผัสของพื้นผิววัตถุเท่าๆ กันในทิศทางเดียวกันทุกจุด แต่สำหรับพื้นผิววัตถุที่มีความโค้ง

ซึ่งประกอบด้วยพื้นผิวเรียบย่อยเรียงต่อเนื่องกัน การกำหนดค่าเวกเตอร์ชี้ในทิศทางตั้งฉากกับระนาบสัมผัสของวัตถุจะทำให้มองเห็นรอยต่อของพื้นผิวได้ชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 3.7 เนื่องจากทิศทางของค่าแนวฉากไม่ต่อเนื่องกันที่บริเวณรอยต่อของพื้นผิว จึงต้องทำการเฉลี่ยค่าเวกเตอร์ที่ชี้ในทิศทางตั้งฉากกับระนาบสัมผัสของวัตถุที่ใช้จุดพิกัดร่วมกัน ดังแสดงในสมการที่ 3.4 เพื่อจะได้ค่าเวกเตอร์ลัพธ์ชี้ในทิศทางตั้งฉากกับจุดพิกัดแต่ละจุด ทำให้มองเห็นรอยต่อของพื้นผิววัตถุที่มีความสม่ำเสมอกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.8

$$\overrightarrow{n_f} = \left(\overrightarrow{P_1P_2} \times \overrightarrow{P_1P_3}\right)$$

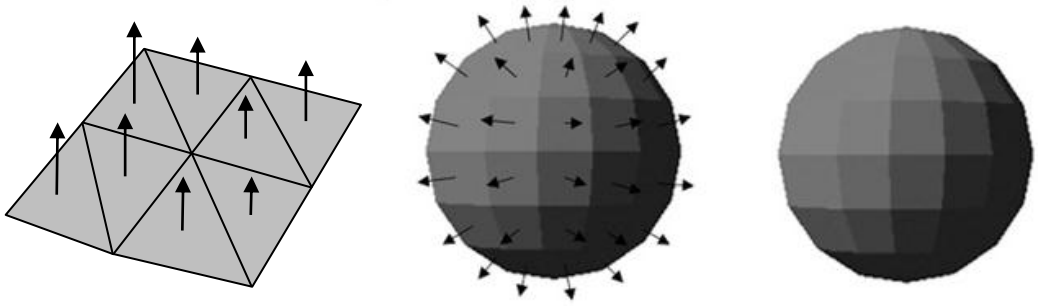
$$A_f = \left\|\overrightarrow{P_1P_2} \times \overrightarrow{P_1P_3}\right\|$$

$$\overrightarrow{n_v} = \frac{\sum_{f=0}^{f=m}\left(\overrightarrow{n_f} \times A_f\right)}{\sum_{f=0}^{f=m} A_f} \qquad (3.4)$$

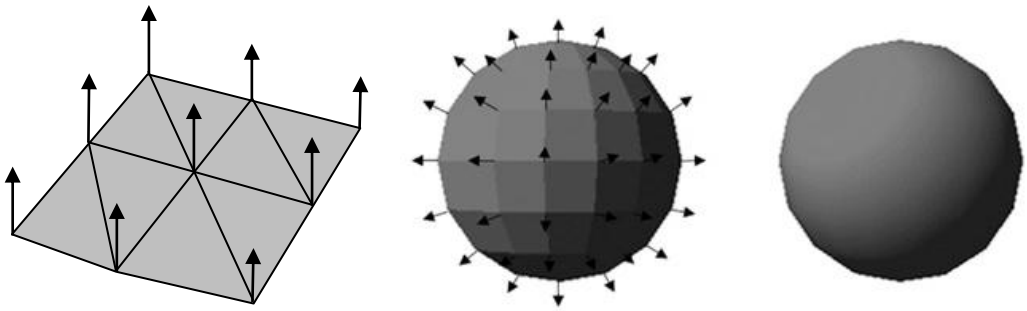
โดยที่ $\overrightarrow{n_f}$ คือ ค่าแนวฉากของแต่ละหน้าสามเหลี่ยม (Facet)

A_f คือ ค่าพื้นที่ของแต่ละหน้าสามเหลี่ยม (Facet)

$\overrightarrow{n_v}$ คือ ค่าแนวฉากของแต่ละจุด (Vertex)



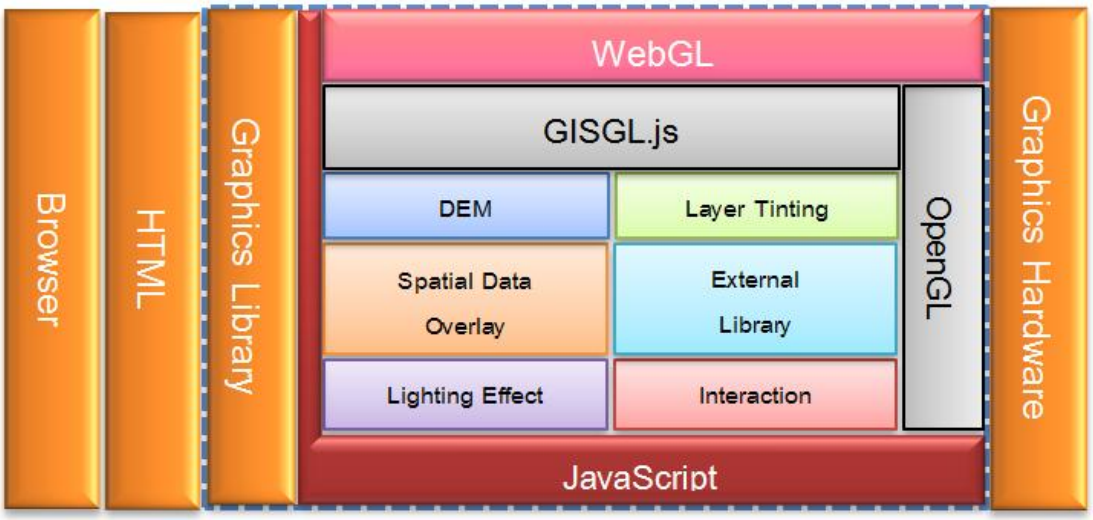
รูปที่ 3.7 แสดงรอยต่อของพื้นผิวจากค่าแนวฉากกับระนาบสัมผัสของพื้นผิวเรียบย่อย



รูปที่ 3.8 แสดงรอยต่อของพื้นผิวจากค่าเฉลี่ยแนวฉากกับระนาบสัมผัสของพื้นผิวเรียบย่อยบนจุด

3.4 การพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์

ดังที่ได้แสดงให้เห็นข้างต้นว่าระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เกี่ยวกับการคำนวณทางคณิตศาสตร์และเรขาภาพที่ซับซ้อนแต่มีพื้นฐานร่วมกัน คลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์สำหรับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ประกอบด้วยฟังก์ชันพื้นฐานที่ช่วยลดความซับซ้อนในการคำนวณทางคณิตศาสตร์และการเรียกใช้งานเว็บจีแอล ในการติดต่อการทำงานระหว่างคลังกราฟิกกับอุปกรณ์แสดงผล ซึ่งสามารถแสดงผลภาพบนเบราว์เซอร์โดยใช้คุณสมบัติทางด้านกราฟิกของ HTML5 แสดงองค์ประกอบโดยรวมและส่วนเชื่อมโยงของคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ GISGL ดังแสดงในรูปที่ 3.9 โดยผู้พัฒนาโปรแกรมสามารถดำเนินการแบบโต้ตอบด้านกราฟิกต่างๆ ดังนี้



รูปที่ 3.9 แสดงองค์ประกอบโดยรวมของคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์

3.4.1 การขึ้นรูปแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข

แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model : DEM) เป็นข้อมูลตัวเลขแสดงค่าความสูงของภูมิประเทศบนผิวโลกในรูปแบบข้อมูลตารางกริด โดยแต่ละตารางกริดจะเก็บค่าพิกัดบนผิวโลกและความสูงทางภูมิประเทศ ในลักษณะของตำแหน่งระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (x, y, z) ที่มีความต่อเนื่องกัน

3.4.2 การซ้อนแถบสีตามระดับความสูงของลักษณะภูมิประเทศ

การแสดงลักษณะภูมิประเทศโดยการใช้แถบสีแสดงความสูงต่ำของภูมิประเทศที่แตกต่างกัน เช่น สีน้ำเงินแสดงบริเวณพื้นที่ระดับน้ำทะเล สีเขียวแสดงพื้นที่ราบ สีเหลืองจนถึงสีส้มแสดงบริเวณที่มีลักษณะเป็นที่สูง สีน้ำตาลแสดงบริเวณที่มีลักษณะเป็นภูเขา เป็นต้น โดยการกำหนดค่าสีในระบบสี RGB ตามมาตรฐานของ ESRI (Knippers และ Westen, 2009) ดังแสดงในรูปที่ 3.10

รูปที่ 3.10 แสดงการกำหนดแถบสีตามระดับความสูงของภูมิประเทศ

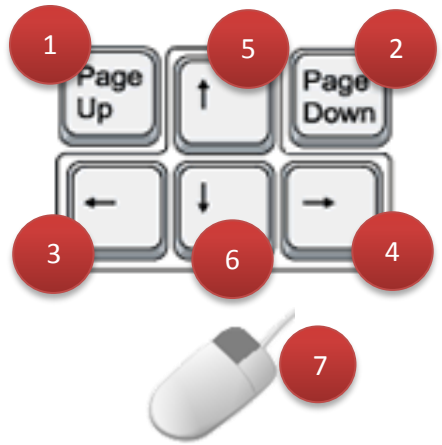
3.4.3 การคำนวณแสงตกกระทบ

แหล่งกำเนิดแสงจะมีผลต่อพื้นผิวที่มีการดูดซับ หรือสะท้อนแสง โดยแต่ละพื้นผิวอาจมีลักษณะต่างกันจะมีการสะท้อนแสงหรือกระจายแสงไปในทิศทางที่ต่างกันตามระดับความสูงต่ำและความลาดชันของพื้นผิวภูมิประเทศ

3.4.4 การใช้อุปกรณ์ควบคุมแบบจำลอง

การตอบสนองกับผู้ใช้งานเมื่อเกิดเหตุการณ์ด้วยวิธีการแปลงทางเรขาคณิต (Geometric Transformation) เช่น เหตุการณ์เมื่อผู้ใช้กดปุ่มบนแป้นคีย์บอร์ดเพื่อทำการย่อ ขยาย เลื่อนแบบจำลอง เหตุการณ์เมื่อผู้ใช้กดปุ่มบนเมาส์หรือมีการเปลี่ยนตำแหน่งของเมาส์เพื่อทำการหมุนแบบจำลอง เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 แสดงการแปลงทางเรขาคณิตตอบสนองการใช้งานเมื่อเกิดเหตุการณ์

เหตุการณ์	หมายเลข	การแปลงทางเรขาคณิต
	1	ขยายแบบจำลอง
	2	ย่อแบบจำลอง
	3	เลื่อนแบบจำลองไปทางซ้าย
	4	เลื่อนแบบจำลองไปทางขวา
	5	เลื่อนแบบจำลองขึ้น
	6	เลื่อนแบบจำลองลง
	7	หมุนแบบจำลอง

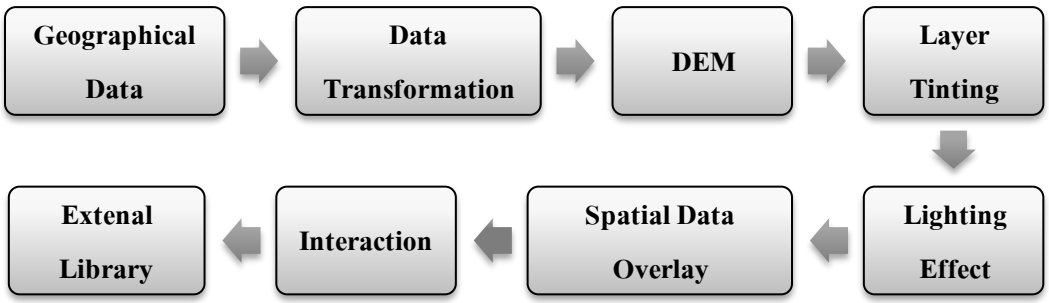
3.4.5 การสร้างลำดับชั้นทางภูมิศาสตร์ต่างๆ ด้วยการนำเข้าชั้นข้อมูล

ชั้นข้อมูล (Shape File) เป็นข้อมูลที่จัดเก็บในรูปแบบข้อมูลเวกเตอร์และข้อมูลคุณลักษณะ ประกอบด้วยจุด เส้น โพลีกอน ที่ใช้บอกถึงข้อมูลเชิงพื้นที่ การสร้างลำดับชั้นทางภูมิศาสตร์ เป็นการนำข้อมูลมารวมกัน เช่น เส้นทางคมนาคม เขตที่ดิน ที่ตั้งชุมชน เป็นต้น เพื่อแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลเชิงบรรยาย

3.4.6 การเชื่อมโยงการประมวลผลกับคลังโปรแกรมภายนอก

คลังโปรแกรมเป็นส่วนรวบรวมชุดคำสั่งย่อยที่ใช้ในการทำงานของโปรแกรม การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ที่สามารถเชื่อมโยงการประมวลผลจากคลังโปรแกรมภายนอกจะช่วยอำนวยความสะดวกในการพัฒนาต่อยอดและช่วยลดภาระงานของผู้พัฒนา

ในหัวข้อถัดไปจะกล่าวถึงขั้นตอนการสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข เริ่มต้นจากการแปลงข้อมูลทางภูมิศาสตร์ให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมและเป็นรูปแบบเดียวกัน การซ้อนแถบสีตามระดับความสูง การคำนวณแสงตกกระทบ การซ้อนทับชั้นข้อมูลทางภูมิศาสตร์ การโต้ตอบการใช้งาน และการเชื่อมโยงการประมวลผลกับโปรแกรมภายนอก ดังแสดงในรูปที่ 3.11

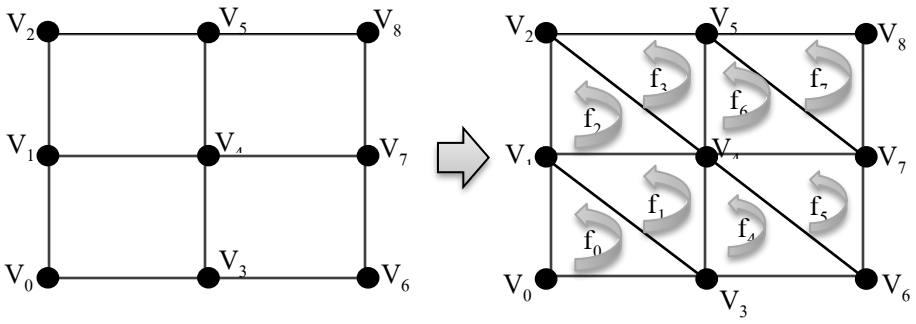


รูปที่ 3.11 แสดงลำดับขั้นตอนการสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข

3.5 การขึ้นรูปแบบจำลองสามมิติ

การขึ้นรูปแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขด้วยข้อมูลตัวเลขแสดงค่าความสูง ในแต่ละตารางกริดจะจัดเก็บค่าพิกัดบนผิวโลกและความสูงทางภูมิประเทศในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน x, y, z ที่มีความต่อเนื่องกัน ระบุความสัมพันธ์ระหว่างจุดระดับที่อยู่ใกล้กัน 3 จุด

การอ้างอิงจะเริ่มต้นจากจุดมุมล่างซ้ายมือแล้วเลื่อนในแนวตั้ง ซึ่งค่าในแนวแกน x จะคงที่ในขณะที่ค่าในแนวแกน y จะเพิ่มขึ้นจากล่างขึ้นบน ทำการวาดรูปสามเหลี่ยมในระนาบสามเหลี่ยม f0 และ f1 ตามลำดับ โดยจะวาดครั้งละ 2 ระนาบ จนกระทั่งถึงค่าสูงสุดในแนวแกน y จึงเริ่มต้นวาดรูปสามเหลี่ยมในแนวแกน x ถัดไป ซึ่งจะกำหนดทิศทางการเรียงตัวของพิกัดจุดในลักษณะหมุนทวนเข็มนาฬิกา ตามกฎมือขวา เพื่อให้ค่าแนวฉากมีทิศทางเดียวกัน จะได้ลักษณะภูมิประเทศในรูปแบบจำลองระดับแบบข่ายสามเหลี่ยมสม่ำเสมอ (Regular Triangular Mesh) ที่ประกอบด้วยชุดของสามเหลี่ยมที่ปรับตัวไปตามลักษณะพื้นผิวภูมิประเทศ ดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงตัวอย่างการเลือกจุดในการสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข ชนิดโครงข่ายสามเหลี่ยมสม่ำเสมอ

การใช้งานฟังก์ชันพื้นฐานใน WebGL สำหรับการขึ้นรูปแบบจำลองข้อมูล เรียกใช้งานฟังก์ชัน drawArrays เพื่อการวาดรูปทรงเรขาคณิตจากข้อมูลจุด มีรายละเอียดแต่ละฟังก์ชัน ดังนี้

```
void drawArrays(ulong mode, long first, ulong count)
values are: POINS   LINES   LINE_LOOP   TRIANGLES
            LINE_STRIP   TRIANGLES_STRIP   TRIANGLE_FAN
```

รูปที่ 3.13 แสดงชุดคำสั่งการเรียกใช้ฟังก์ชันสำหรับวาดภาพทางเรขาคณิต

gl.POINTS สำหรับการวาดแต่จุดตามตำแหน่งที่กำหนด

gl.LINES สำหรับการวาดเส้นตรงโดยลากเชื่อมจุด 2 จุด จะได้ส่วนของเส้นตรงที่ไม่เชื่อมต่อกับเส้นตรงอื่น เช่น จุด V0-V3 จะทำการลากเส้นจากจุด V0-V1 และ V2-V3 เป็นต้น หากมีจุดเป็นจำนวนคี่ จะทำให้จุดสุดท้ายถูกละทิ้ง

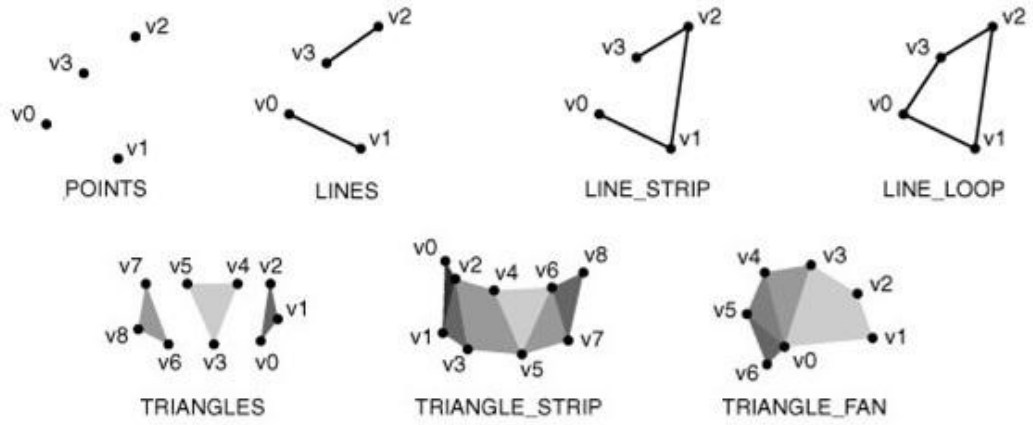
gl.LINE_STRIP สำหรับการวาดเส้นตรงระหว่างจุด 2 จุด จะได้ส่วนของเส้นตรงที่ลากเส้นเชื่อมต่อเนื่องกัน เช่น จุด V0-V3 จะทำการลากเส้นจากจุด V0-V1, V1-V2 และ V2-V3 เป็นต้น

gl.LINE_LOOP สำหรับการวาดเส้นตรงระหว่างจุด 2 จุดและจะลากเส้นจากจุดสุดท้ายกลับไปยังจุดเริ่มต้นทำให้เกิดเป็นรูปปิด เช่น จุด V0-V3 จะทำการลากเส้นจากจุด V0-V1, V1-V2, V2-V3 และ V3-V0 เป็นต้น

gl.TRIANGLE สำหรับการวาดรูปสามเหลี่ยมโดยใช้จุด 3 จุด เช่น จุด V0-V5 จะทำการลากเส้นจากจุด V0-V1-V2 และ V3-V4-V5 เป็นต้น หากมีจุดไม่ครบ 3 จุด จะละทิ้งจุดที่เหลือ

gl.TRIANGLE_STRIP สำหรับการวาดรูปสามเหลี่ยมต่อเนื่องโดยใช้จุด 3 จุดที่เปลี่ยนกลุ่มไป จะได้สามเหลี่ยมที่มีลักษณะเหมือนแผ่นพับ เช่น จุด V0-V5 จะทำการลากเส้นจากจุด V0-V1-V2, V2-V1-V3, V2-V3-V4 และ V4-V3-V5 เป็นต้น

gl.TRIANGLE_FAN สำหรับการวาดรูปสามเหลี่ยมในลักษณะพัดโดยใช้จุดแรกเป็นจุดยอดของสามเหลี่ยม เช่น จุด V0-V5 จะทำการลากเส้นจากจุด V0-V1-V2, V0-V2-V3, V0-V3-V4 และ V0-V4-V5 เป็นต้น



รูปที่ 3.14 แสดงลักษณะการวาดรูปทรงเรขาคณิต (ปรับปรุงจาก : ไพศาล โมลีสกุลมงคล, 2550)

3.6 แถบสีแสดงระดับความสูงของลักษณะภูมิประเทศ (Layer Tinting)

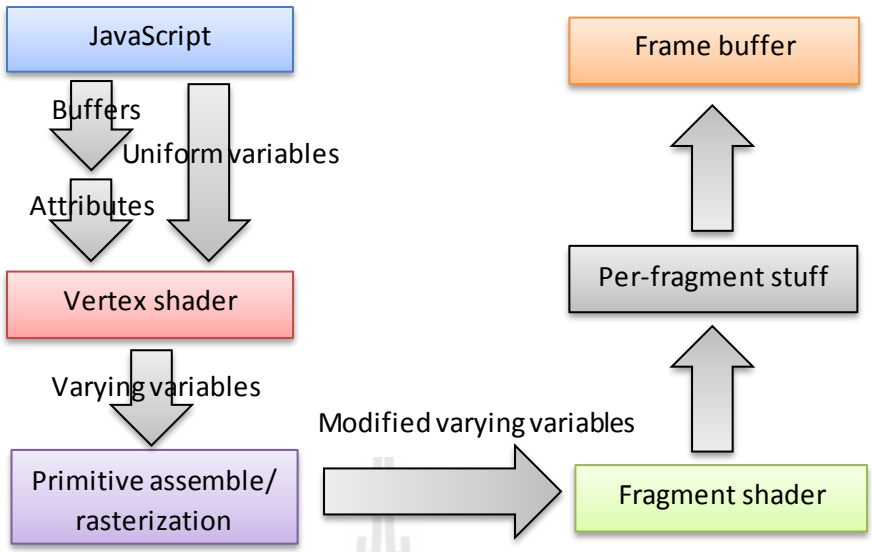
การสร้างแบบจำลองเพื่อแสดงลักษณะพื้นผิวดินด้วยสัญลักษณ์ที่เป็นสากลในการกำหนดตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ การแสดงลักษณะทางกายภาพโดยการใช้แถบสีแสดงระดับความสูงของภูมิประเทศที่แตกต่างกัน ด้วยการกำหนดค่าสีในระบบสี RGB (Red-Green-Blue) เป็นระบบสีที่เกิดจากการรวมตัวกันของแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน

การใช้ระบบสีแทนสิ่งที่ปรากฏบนแบบจำลองให้ผู้ใช้งานเข้าใจความหมายและทราบรายละเอียดของลักษณะภูมิประเทศตามมาตรฐานของ ESRI (Knippers และ Westen, 2009) ดังแสดงในตารางที่ 3.10 เช่น สีน้ำเงินแสดงพื้นที่ระดับน้ำทะเลในช่วงระดับความสูง 0-20 เมตร สีเขียวแสดงพื้นที่ราบในช่วงระดับความสูง 20-100 เมตร สีเหลืองแสดงพื้นที่ราบสูงในช่วงระดับความสูง 300-400 เมตร สีน้ำตาลแสดงพื้นที่ภูเขาสูงในช่วงระดับความสูง 750-1,000 เมตร สีขาวแสดงพื้นที่ยอดเขาสูงมีหิมะปกคลุมในช่วงระดับความสูง 1,500-3,000 เมตร เป็นต้น นอกจากนี้การกำหนดค่าสีในฟังก์ชันของ WebGL ยังมีพารามิเตอร์แสดงค่าแอลฟ่า (Alpah Value) สำหรับกำหนดค่าสีเพื่อความกลมกลืน เช่น Alpha=0 พื้นผิวจะมีลักษณะโปร่งใส Alpah=1 พื้นผิวจะมีลักษณะทึบแสง เป็นต้น

ตารางที่ 3.10 แสดงการกำหนดค่าสีตามระดับความสูงของภูมิประเทศ

Bound	Height (m.)	Color	R	G	B
-100	Lower than -100		0	255	230
-50	From -100 to -50		96	243	235
-10	From -50 to -10		155	255	223
0	From -10 to -50		205	255	255
20	From 0 to 20		0	255	164
100	From 20 to 100		66	255	134
200	From 100 to 200		128	255	120
300	From 200 to 300		166	255	88
400	From 300 to 400		146	255	0
500	From 400 to 500		255	255	80
750	From 500 to 750		255	215	121
1000	From 750 to 1000		255	167	101
1500	From 1000 to 1500		255	197	154
3000	From 1500 to 3000		255	255	255

การเรียกใช้งานฟังก์ชัน WebGL สำหรับการระบายสี ชุดคำสั่งจาวาสคริปต์จะส่งค่าตำแหน่งพิกัดจุดและโปรเจ็กต์ชันไปยัง Vertex Shader เพื่อการเก็บตำแหน่ง การแปลงภาพสามมิติเป็นสองมิติในแต่ละพิกเซล ต่อมาเรียกใช้ Fragment Shader เพื่อทำการลงสี ซึ่งจะกำหนดสีให้แต่ละพิกัดจุด (Vertex) มีลักษณะการระบายสี โดยไล่โทนสีจากพิกัดจุดหนึ่งไปยังพิกัดจุดอื่นที่ใกล้เคียงด้วยเทคนิค Linear Interpolation แล้วส่งค่าผลลัพธ์ไปยัง Frame Buffer เพื่อนำไปแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แสดงการทำงานของ WebGL สำหรับการระบายสี (ที่มา : Giles Thomas, 2009)

3.7 แสงตกกระทบตามลักษณะภูมิประเทศ (Light and Shading)

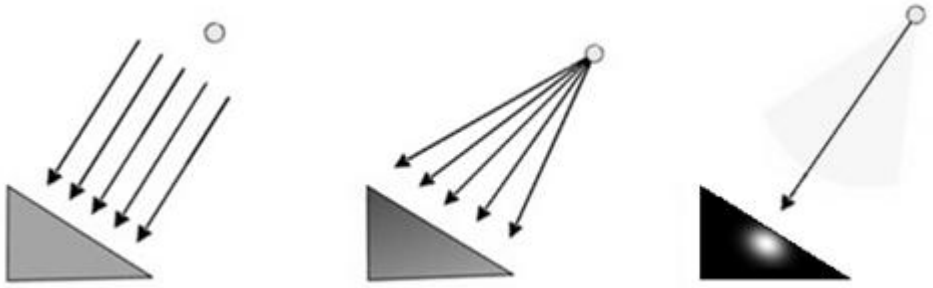
แสงมีความสำคัญมากในการสร้างแบบจำลองสามมิติ เช่น แสงในธรรมชาติ แสงสะท้อน แสงทะลุผ่าน เป็นต้น การใช้แสงเงาเพื่อแสดงลักษณะภูมิประเทศตามธรรมชาติ เกิดจากแหล่งกำเนิดแสงที่ส่องมาด้านใดด้านหนึ่งของแบบจำลอง เมื่อแสงตกกระทบพื้นผิวแบบจำลอง เกิดการสะท้อนในอากาศหรือพื้นผิวของวัตถุ มีทิศทางที่แตกต่างกัน ทำให้เซลล์ประสาทตาของมนุษย์รับสีที่แตกต่างกัน แสงบางส่วนจะถูกดูดกลืนและส่วนที่เหลือจะสะท้อนกับพื้นผิวแบบจำลอง เช่น พื้นที่ที่มีระดับความสูงชันจะมีลักษณะเงาเข้ม เป็นต้น

รูปแบบของแหล่งกำเนิดแสงใน OpenGL มีการแบ่งเป็น 4 แบบ คือ แสงเปล่ง (Emitted Light) เป็นแสงที่เปล่งออกมาจากวัตถุ สะท้อนมาจากวัตถุในทิศทางเดียวกัน แสงเปล่งจะปรากฏลักษณะเดียวกันกับแหล่งกำเนิดแสงอื่น ซึ่งไม่มีผลกระทบกับตำแหน่งของการมองเห็น แสงโดยรอบ (Ambient Light) เป็นแสงที่กระจัดกระจายมาจากทิศทางที่ไม่แน่นอน เมื่อแสงตกกระทบวัตถุจะสะท้อนเท่ากันในทุกทิศทาง เกิดความสว่างในทุกพื้นผิว แสงโดยรอบจะมีบางส่วนที่ถูกดูดซับและบางส่วนจะสะท้อนกลับ แสงแพร่ (Diffuse Light) เป็นแสงที่มาจากแหล่งกำเนิดโดยตรง มีทิศทางที่แน่นอน เมื่อกระทบวัตถุจะสะท้อนออกไปเท่ากันในทุกทิศทาง ซึ่งแสงบางส่วนจะถูกดูดซับและบางส่วนจะสะท้อนกลับ เช่น วัตถุที่มีพื้นผิวหยาบ เป็นต้น แสงกล้า (Specular Light) เป็น

แสงที่มาจากแหล่งกำเนิดที่เจาะจง มีความเข้มของแสงที่ชัดเจนและสะท้อนกลับในทิศทางที่เจาะจง มีมุมสะท้อนเท่ากับมุมตกกระทบ ทำให้เกิดจุดสว่างบนวัตถุเป็นวงแคบ เช่น กระจก เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 3.16

รูปที่ 3.16 แสดงลักษณะของแสงที่กระทำกับวัตถุทรงกลม (ปรับปรุงจาก : DirectX Technical Information, 2006)

แหล่งกำเนิดแสงในคลังกราฟิกแบบเปิด OpenGL สามารถกำหนดให้มาได้จากหลายทิศทาง โดยสามารถกำหนดให้มาจากทิศทางที่แน่นอนหรือสะท้อนให้กระจายไปในทุกทิศทาง แบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสงแบบขนาน ทิศทางของแสงมาจากทิศเดียวกัน แหล่งกำเนิดแสงแบบจุด ทิศทางของแสงขึ้นอยู่กับตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงกับตำแหน่งของพื้นผิว เหมาะสำหรับการสร้างต้นกำเนิดที่เป็นแสงจากหลอดไฟ และแหล่งกำเนิดแสงแบบสปอร์ตไลท์ ทิศทางของแสงมาจากตำแหน่งที่ชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 3.17

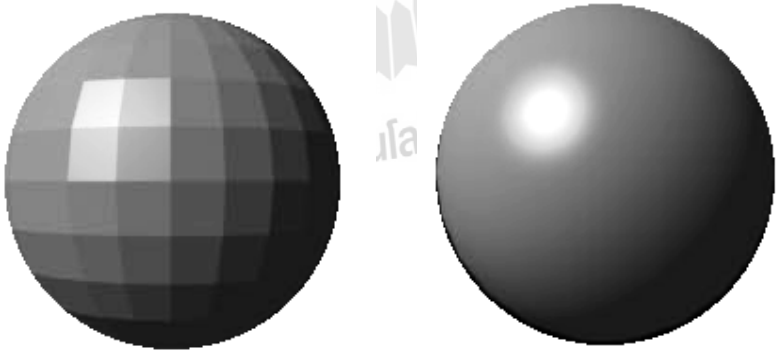


รูปที่ 3.17 แสดงแหล่งกำเนิดแสง (a) แบบขนาน (b) แบบจุด (c) แบบสปอร์ตไลท์ (ปรับปรุงจาก : Panyaporn Prangjarote, 2010)

เงาเป็นบริเวณมืดเกิดหลังวัตถุที่เป็นตัวกลางบดบังทิศทางของแสง ความเข้มของเงาขึ้นอยู่กับความเข้มของแสง เทคนิควิธีที่ใช้ในการแสดงเงาที่เกิดจากแสงตกกระทบวัตถุแล้วสะท้อนมายังเซลล์ประสาทตาของมนุษย์ เป็นการเติมค่าสีในโพลีกอนให้ทั่วพื้นที่ โดยใช้ค่าสีของจุด แบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ ได้แก่

1) Flat Shading เป็นการเติมค่าสีในโพลีกอนด้วยสีเดียว ซึ่งเลือกจากค่าสีที่จุดใดจุดหนึ่งบนโพลีกอน โดยอาศัยค่าเวกเตอร์แนวฉาก (Normal Vector) ของโพลีกอนย่อยแต่ละชิ้น ทำให้มองเห็นเส้นขอบระหว่างโพลีกอนย่อยได้ชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 3.18 (a)

2) Smooth Shading เป็นการเติมค่าสีของโพลีกอนให้มีความต่อเนื่องกัน แบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ Gouraud Shading เป็นการเติมค่าสีของโพลีกอนด้วยการผสมสีระหว่างจุด 2 จุดบนโพลีกอน โดยอาศัยค่าเวกเตอร์แนวฉาก (Normal Vector) ของจุดยอดโพลีกอนย่อยแต่ละจุด ทำการไล่สีด้วยการประมาณค่า (Interpolation) จากด้านข้างของโพลีกอนไปตามสัดส่วนของระยะจากจุดเริ่มต้นไปถึงจุดสุดท้ายจนเต็มพื้นที่โพลีกอน และ Phong Shading (B. T. Phong., 1975) เป็นการเติมค่าสีของโพลีกอนด้วยการระบุเวกเตอร์เพิ่มขึ้นบนโพลีกอนเพื่อใช้ในการกำหนดทิศทางของพื้นผิวในแต่ละจุด เกิดค่าสีที่ถูกต้องของแต่ละจุดของโพลีกอน ดังแสดงในรูปที่ 3.18 (b)



(a) (b)

รูปที่ 3.18 แสดงแสงตกกระทบบนพื้นผิวแบบจำลอง (a) Flat Shading (b) Smooth Shading (ปรับปรุงจาก : ไพศาล โมลีสกุลมงคล, 2550)

3.8 การแปลงทางเรขาคณิต (Geometric Transformation)

คอมพิวเตอร์กราฟิกช่วยอำนวยความสะดวกในการเปลี่ยนแปลงแบบจำลอง ตอบสนองกับผู้ใช้งานเมื่อเกิดเหตุการณ์ โดยอาศัยการคำนวณทางคณิตศาสตร์ด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าข้อมูลทางกราฟิก เช่น การย้ายตำแหน่ง การย่อ/ขยาย การหมุนแบบจำลอง เป็นต้น

3.8.1 การปรับขนาดแบบจำลอง (Scaling)

การปรับขนาด คือ การเปลี่ยนขนาดของแบบจำลองให้มีขนาดใหญ่ขึ้นหรือเล็กลง ดังแสดงในรูปที่ 3.19 (a) ตำแหน่งของแบบจำลองที่เกิดจากการย่อ/ขยาย ขึ้นอยู่กับขนาดของจอภาพที่ทำให้เกิดการขริบภาพ ซึ่งการย่อ/ขยายทางเรขาคณิต ทำได้โดยการคูณตำแหน่ง (x, y) ด้วยค่าสเกลลิงแฟคเตอร์ (Scaling Factor) S_x, S_y ทำให้ได้พิกัดระบบโคออร์ดิเนต (x', y') ดังนี้

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Sx & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Sy & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Sz & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}.$$

$$X' = X \cdot Sx \qquad Y' = Y \cdot Sy \qquad Z' = Z \cdot Sz$$

โดยที่ X' คือ ค่าเวกเตอร์ในแนวแกน X ที่ได้จากการปรับขนาด

Y' คือ ค่าเวกเตอร์ในแนวแกน Y ที่ได้จากการปรับขนาด

Z' คือ ค่าเวกเตอร์ในแนวแกน Z ที่ได้จากการปรับขนาด

Sx คือ ค่าสเกลลิงแฟคเคอร์ในแนวแกน X

Sy คือ ค่าสเกลลิงแฟคเคอร์ในแนวแกน Y

Sz คือ ค่าสเกลลิงแฟคเคอร์ในแนวแกน Z

การปรับขนาดย่อ/ขยายจะเปลี่ยนตำแหน่งของโพลีกอนอ้างอิงกับจุดกำเนิด ถ้าค่าของสเกลลิงแฟคเตอร์ Sx, Sy, Sz มีค่ามากกว่า 1 จะเป็นการขยายภาพในแนวแกนนั้น แต่ถ้าค่าของสเกลลิงแฟคเตอร์ Sx, Sy, Sz มีค่าน้อยกว่า 1 จะเป็นการย่อภาพในแนวแกนนั้น ส่วนถ้าค่าของสเกลลิงแฟคเตอร์มีค่า -Sx, -Sy, -Sz จะเป็นการย่อขยายและกลับภาพ

3.8.2 การหมุนของแบบจำลอง (Rotation)

การหมุนโพลีกอนจะต้องกำหนดแกนอ้างอิงสำหรับการหมุน ซึ่งการหมุนที่มีมุมเป็นบวกจะเป็นการหมุนทวนเข็มนาฬิการอบแกนนั้น ส่วนการหมุนที่มีมุมเป็นลบจะเป็นการหมุนตามเข็มนาฬิกา

การหมุนรอบแกน X

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$X' = X \qquad Y' = Y\cos\theta - Z\sin\theta \qquad Z' = Y\sin\theta + Z\cos\theta$$

การหมุนรอบแกน Y

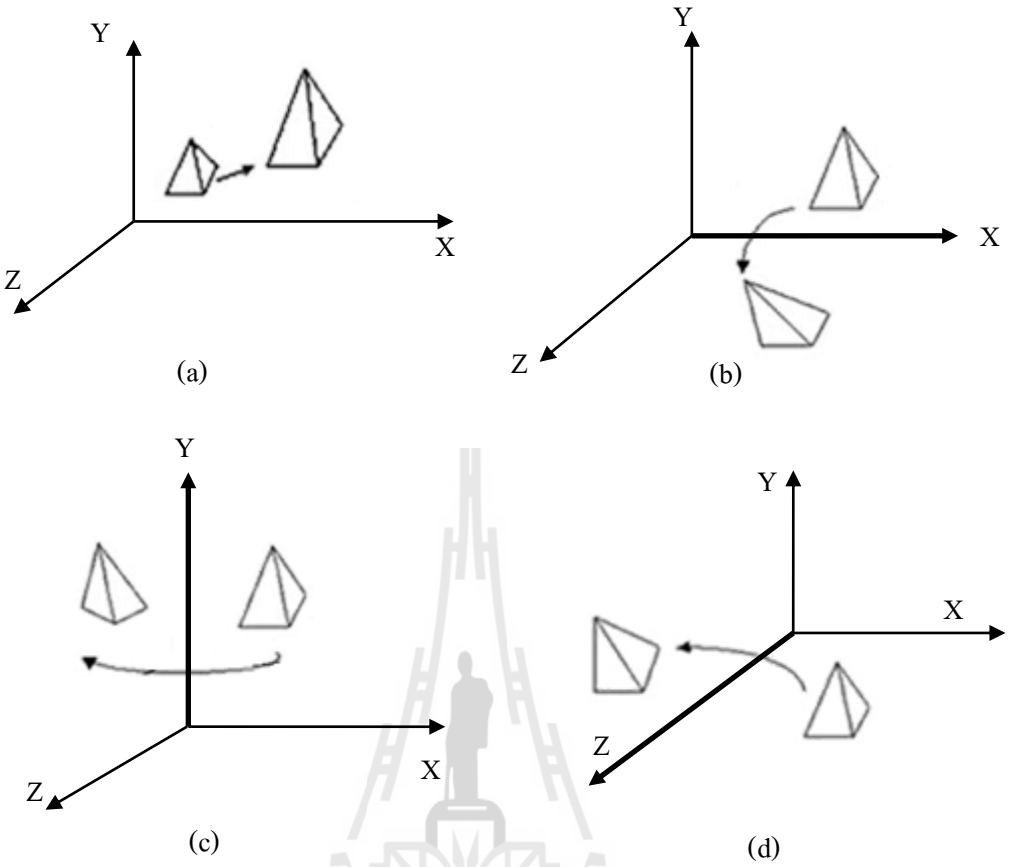
$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$X' = Z\sin\theta + X\cos\theta \qquad Y' = Y \qquad Z' = Z\cos\theta - X\sin\theta$$

การหมุนรอบแกน Z

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

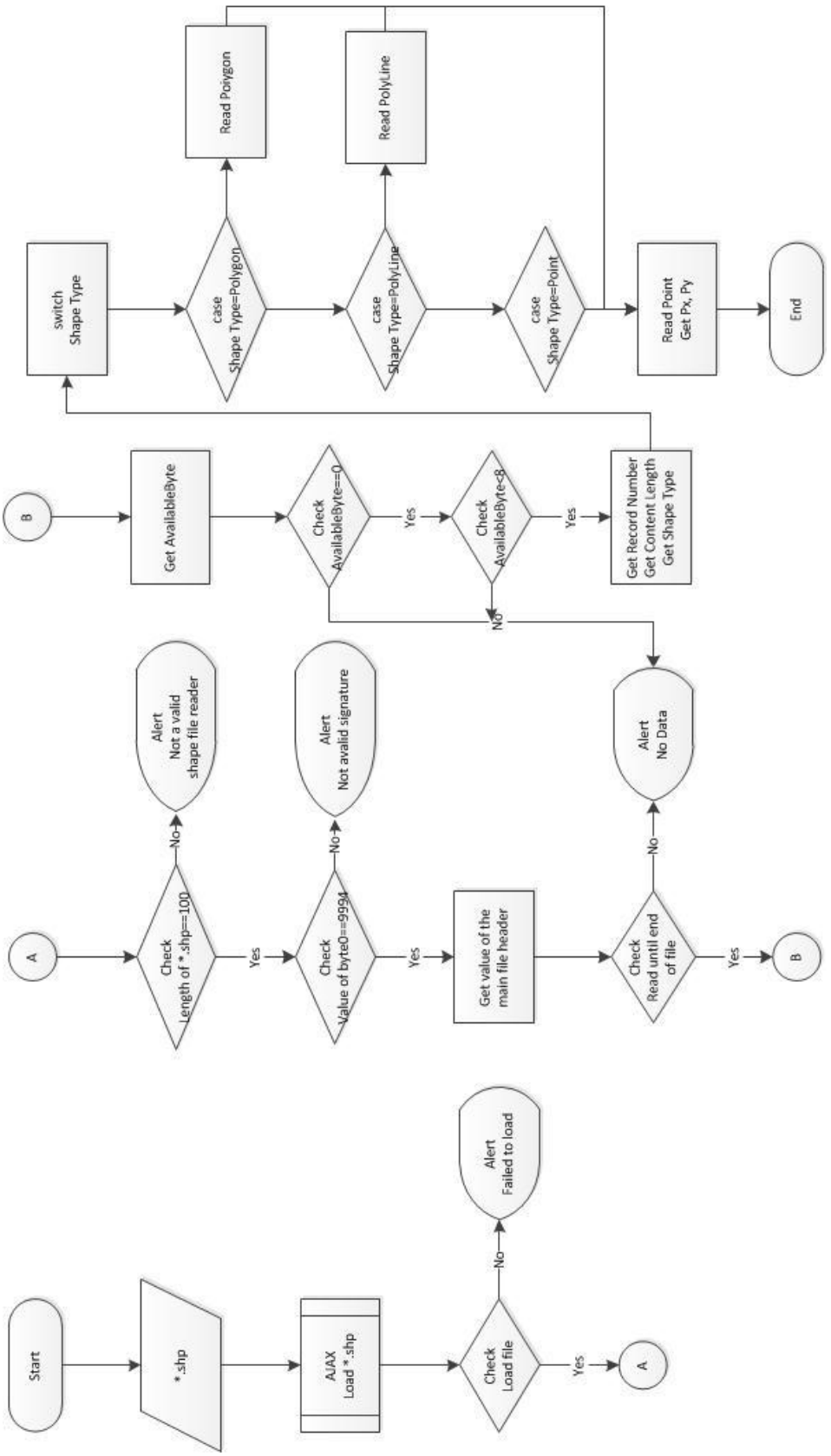
$$X' = X\cos\theta - Y\sin\theta \qquad Y' = X\sin\theta + Y\cos\theta \qquad Z' = Z$$



รูปที่ 3.19 การแปลงทางเรขาคณิต (a) แสดงการย่อ/ขยายของโพลีกอนอ้างอิงกับจุดกำเนิด (b) แสดงการหมุนวัตถุรอบแกน X (c) แสดงการหมุนวัตถุรอบแกน Y (d) แสดงการหมุนวัตถุรอบแกน Z (ปรับปรุงจาก : ไพศาล โมลีสกุลมงคล, 2550)

3.9 การซ้อนทับลำดับชั้นข้อมูลทางภูมิศาสตร์

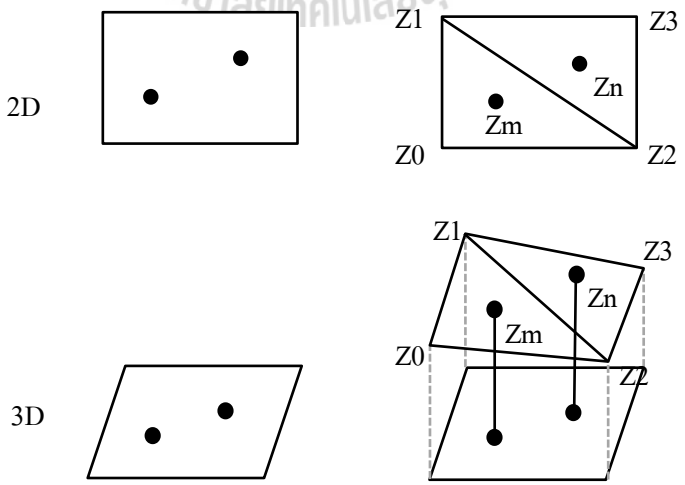
การซ้อนทับข้อมูลเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นการนำเข้าชั้นข้อมูลต่างๆ เช่น เส้นทางคมนาคม การแบ่งเขตพื้นที่ เป็นต้น โดยใช้จุดพิกัดคาร์ทีเซียน x, y ที่ได้จากการอ่านค่าชั้นข้อมูลด้วยวิธีการเรียกใช้คลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ ใช้เทคนิคการประมาณค่าข้อมูลเพื่อหาค่าความสูงในแต่ละจุดพิกัด และทำการซ้อนทับบนพื้นผิวภูมิประเทศเพื่อการอธิบายข้อมูลเชิงบรรยาย สามารถอธิบายวิธีการอ่านชั้นข้อมูลด้วยแผนผังการทำงาน (Flow Chart) ดังแสดงในรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 แสดงแผนผังการทำงานทีละขั้นตอนของการอ่านชั้นข้อมูล *.shp

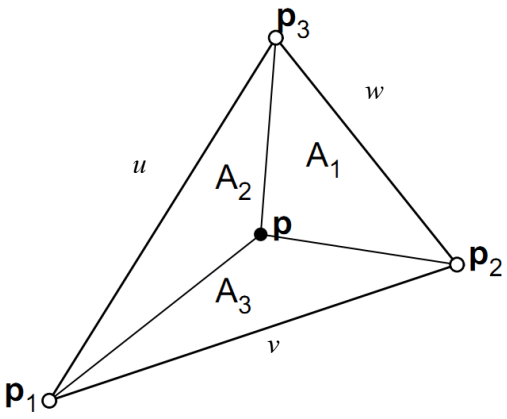
ขั้นตอนการอ่านชั้นข้อมูลจะนำเข้าชั้นข้อมูล *.shp ด้วยเทคโนโลยี AJAX เพื่อการเรียกใช้งาน XMLHttpRequest ในการเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างเว็บเบราว์เซอร์กับเซิร์ฟเวอร์ เมื่อสามารถบรรจุชั้นข้อมูลจะทำการตรวจสอบและรับค่าข้อมูลที่จัดเก็บในข้อมูลส่วนหัว (Main File Header) เพื่อจำแนกลักษณะข้อมูล (Shape Type) ของชั้นข้อมูล จากนั้นทำการตรวจสอบและรับค่าข้อมูลระเบียบส่วนหัว (Record Header) เพื่อจัดเก็บขอบเขตของข้อมูลพิกัดจุด ต่อมาจึงทำการรับค่าข้อมูลในข้อมูลระเบียน (Record Content) ตามประเภทข้อมูลโดยการอ่านข้อมูลทีละพิกัดจุดตามตำแหน่งไบต์จนสิ้นสุดความยาวของข้อมูลทั้งหมด ซึ่งผลที่ได้จากการอ่านชั้นข้อมูลจะอยู่ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน x, y ที่ต่อเนื่องกัน

เนื่องจากค่าชั้นข้อมูลที่อ่านได้เป็นข้อมูลบนระนาบสองมิติ (2D) ในการซ้อนทับชั้นข้อมูลลงบนพื้นผิวแบบจำลองสามมิติ (3D) ที่ใช้รูปเรขาคณิตสามเหลี่ยมเป็นองค์ประกอบพื้นฐานแทนระนาบพื้นผิว จำเป็นต้องใช้วิธีการประมาณค่าความสูง z แต่ละจุดของชั้นข้อมูล การประมาณค่าข้อมูลด้วยวิธี Barycentric Coordinate (Dianne Hansford, 2007) จึงเป็นวิธีการประมาณค่าที่เหมาะสมสำหรับการหาค่าความสูงของจุดที่ต้องการทราบในสามเหลี่ยมจากค่าความสูงจุดยอดที่ทราบค่าของสามเหลี่ยมเพื่อการสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข เช่น การหาค่าความสูง Zm ในสามเหลี่ยมจากจุดยอด Z0, Z1, Z2 และการหาค่าความสูง Zn ในสามเหลี่ยมจากค่าความสูงจุดยอด Z1, Z2, Z3 เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 3.21



รูปที่ 3. 21 แสดงค่าความสูงของจุดที่ต้องการทราบบนระนาบ

วิธีการทำนายค่าความสูง เริ่มจากการตรวจสอบจุดที่ต้องการทราบ p ว่าอยู่ภายในพื้นที่ของระนาบสามเหลี่ยมใด แล้วจึงทำการประมาณค่าจุดที่ต้องการทราบจากข้อมูลจุดยอดของสามเหลี่ยมนั้นๆ เช่น ค่าความสูง ค่าสี เป็นต้น ซึ่งในการตรวจสอบพื้นที่ระนาบสามเหลี่ยมจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ A_1 A_2 A_3 และมีค่าน้ำหนัก u v w ของเส้นขอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 แสดงตัวอย่างจุด p ที่ต้องการทำการประมาณค่า

เริ่มต้น $$\mathrm{p} = u\mathrm{p}_1 + v\mathrm{p}_2 + w\mathrm{p}_3$$

โดยที่ $$1 = u + v + w$$

เขียนในรูปเมทริกซ์ $$\begin{bmatrix}\mathrm{p}\\1\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\mathrm{p}_1 & \mathrm{p}_2 & \mathrm{p}_3\\1 & 1 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}u\\v\\w\end{bmatrix}$$

ใช้กฎของ Cramer ในการแก้ปัญหา ทำการหาพื้นที่สามเหลี่ยมแต่ละรูป

$$\mathrm{A} = \begin{vmatrix}\mathrm{p}_1 & \mathrm{p}_2 & \mathrm{p}_3\\1 & 1 & 1\end{vmatrix}$$

$$\mathrm{A}_1 = \begin{vmatrix}\mathrm{p} & \mathrm{p}_2 & \mathrm{p}_3\\1 & 1 & 1\end{vmatrix}$$

$$\mathrm{A}_2 = \begin{vmatrix}\mathrm{p}_1 & \mathrm{p} & \mathrm{p}_3\\1 & 1 & 1\end{vmatrix}$$

$$\mathrm{A}_3 = \begin{vmatrix}\mathrm{p}_1 & \mathrm{p}_2 & \mathrm{p}\\1 & 1 & 1\end{vmatrix}$$

โดย A คือ พื้นที่ของสามเหลี่ยม $P_1P_2P_3$

A_1 คือ พื้นที่ของสามเหลี่ยมย่อย PP_2P_3

A_2 คือ พื้นที่ของสามเหลี่ยมย่อย P_1PP_3

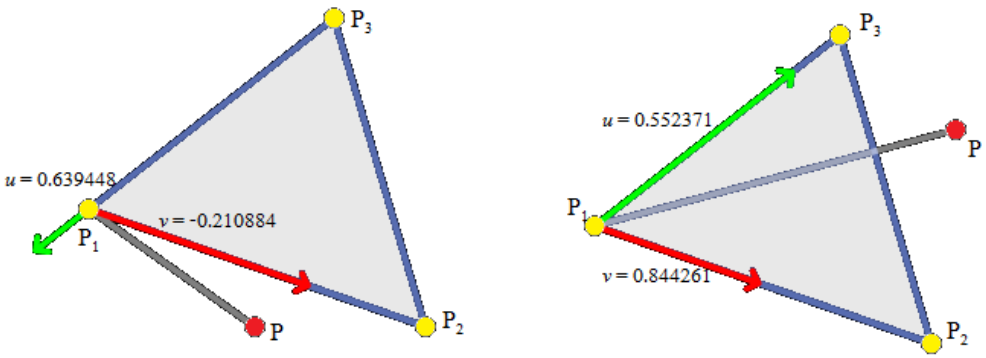
A_3 คือ พื้นที่ของสามเหลี่ยมย่อย P_1P_2P

ทำการหาค่าน้ำหนักของเส้นขอบสามเหลี่ยม

$$u = A_1 / A \qquad v = A_2 / A \qquad w = A_3 / A \tag{3.9}$$

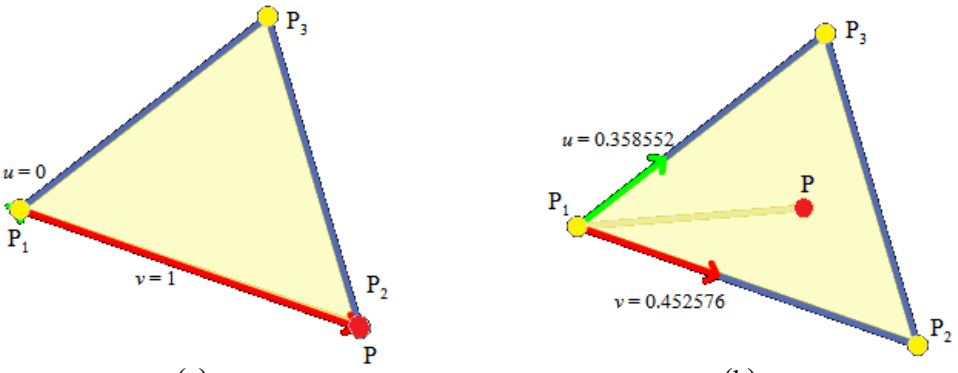
โดยที่ u, v, w คือ ค่าน้ำหนักของเส้นขอบสามเหลี่ยม

ค่าน้ำหนักที่ได้จะถูกใช้เพื่อตรวจสอบจุดที่ต้องการทราบอยู่ภายในสามเหลี่ยมหรือไม่ โดยค่าน้ำหนักแต่ละค่าจะมีอยู่ในช่วง [0, 1] หากค่าน้ำหนักตัวใดตัวหนึ่งเท่ากับ 1 โดยที่ $u+v+w=1$ แสดงว่าจุดที่ต้องการทราบอยู่บนจุดใดจุดหนึ่งของสามเหลี่ยม แต่หากค่าน้ำหนักมีค่าน้อยกว่า 0 แสดงว่าจุดที่ต้องการทราบนั้นอยู่ภายนอกสามเหลี่ยม ดังแสดงในรูปที่ 3.23



(a) (b)

รูปที่ 3.23 แสดงค่าน้ำหนักที่ใช้ตรวจสอบจุด P เมื่อ P อยู่ภายนอกสามเหลี่ยม
(a) ค่าน้ำหนักค่าใดค่าหนึ่งน้อยกว่า 0 แสดงว่าจุด P อยู่ภายนอกสามเหลี่ยม
(b) ค่าน้ำหนัก $u+v+w>1$ แสดงว่าจุด P อยู่ภายนอกสามเหลี่ยม



รูปที่ 3.24 แสดงค่าน้ำหนักที่ใช้ตรวจสอบจุด P เมื่อ P อยู่ภายในสามเหลี่ยม
(a) ค่าน้ำหนัก $u=0, v=1, w=0$ แสดงว่าจุด P อยู่ภายในสามเหลี่ยม
(b) ค่าน้ำหนัก $u+v+w=1$ แสดงว่าจุด P อยู่ภายในสามเหลี่ยม

เมื่อตรวจสอบแล้วว่าจุดที่ต้องการทราบอยู่ภายในสามเหลี่ยม จะทำการเฉลี่ยค่าความสูงของแต่ละจุด เพื่อหาค่าความสูงของจุดที่ต้องการทราบ Z_p ดังนี้

$$z_P = \frac{A_1 \cdot Z_1 + A_2 \cdot Z_2 + A_3 \cdot Z_3}{A_1 + A_2 + A_3} \tag{3.10}$$

เมื่อ $A = A_1 + A_2 + A_3$

หรือ $z_P = u \cdot z_1 + v \cdot z_2 + w \cdot z_3$

เมื่อ $1 = u + v + w$

หลังจากที่ได้ทำการคำนวณหาค่าความสูงของแต่ละจุดพิกัดของชั้นข้อมูล แล้วทำการซ้อนทับชั้นข้อมูลลงบนพื้นผิวของแบบจำลอง จะได้ลักษณะเส้นชั้นข้อมูลที่วาดทับกันสนิทกับพื้นผิวแบบจำลอง ทำให้บางส่วนของเส้นแสดงชั้นข้อมูลถูกบดบัง จึงทำการเรียกใช้ฟังก์ชัน `depthRange();` เพื่อกำหนดโคออร์ดิเนตการมองบนจอแสดงผลให้มีช่วงการมองของชั้นข้อมูลน้อยกว่าช่วงการมองของแบบจำลองโดยกำหนดช่วงการมองของชั้นข้อมูลเป็น $[0, 0.9]$ ส่วนช่วงการมองของแบบจำลองเป็น $[0, 1]$ แสดงรูปแบบคำสั่งดังรูปที่ 3.25

```
void depthRange(float zNear, float zFar)

  zFar:  Clamped to the range 0 to 1
  zNear: Clamped to the range 0 to 1  Must be less than
         or equal to zFar
```

รูปที่ 3.25 แสดงชุดคำสั่งการเรียกใช้ฟังก์ชันสำหรับกำหนดโคออร์ดิเนตการมอง

3.10 การเชื่อมโยงการประมวลผลกับคลังโปรแกรมภายนอก

การเชื่อมโยงการประมวลผลกับโปรแกรมภายนอกใช้เทคโนโลยีเอแจ็กซ์ (Asynchronous JavaScript and XML : AJAX) เพื่อการเรียกใช้งาน XMLHttpRequest ในการรับส่งข้อมูลและการติดต่อกับเซิร์ฟเวอร์ จากการทำงานของชุดคำสั่งพีเอชพีเพื่อเชื่อมโยงการประมวลผลกับโปรแกรมภายนอก *.exe มีขั้นตอนแผนผังการทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.26

รูปที่ 3.26 แสดงขั้นตอนการเชื่อมโยงการประมวลผลกับโปรแกรมภายนอก

jQuery เป็นคลังจาวาสคริปต์ขนาดเล็กที่เก็บรวบรวมฟังก์ชันการทำงานเพื่อการใช้งานเทคโนโลยี AJAX ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถรองรับการทำงานได้ทุกเบราว์เซอร์และสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็ว อำนวยความสะดวกในการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ต่างๆ ในงานวิจัยนี้เรียกใช้งาน jQuery เพื่อการติดต่อกับชุดคำสั่งพีเอชพีในการรับส่งค่าข้อมูลตัวแปรอะเรย์สัมพันธ์จากเซิร์ฟเวอร์ในรูปแบบ HTTP_POST โดยใช้ `jQuery.post()` ตัวอย่างการติดต่อกับชุดคำสั่ง controller.php ในการรับส่งข้อมูลจากฟอร์ม click เมื่อเกิดเหตุการณ์ส่งค่าข้อมูลจากผู้ใช้ โดยมีรูปแบบคำสั่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.27

```
jQuery.post(url[,data][,success(data,textStatus,jqXHR)]
[,dataType]);
```

โดยที่ `url`: ที่อยู่ของข้อมูลที่ต้องการเชื่อมต่อ `data`: ข้อมูลที่ต้องการส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์

`success`: ข้อมูลที่ได้รับกลับมา `data Type`: ชนิดข้อมูลที่ต้องการรับ

index.html

```
<script>
$.post('controller.php',$('form#click').serialize(),function(r){
      alret(r);
 });
</script>
```

รูปที่ 3.27 แสดงชุดคำสั่งการเรียกใช้ฟังก์ชัน jQuery สำหรับการรับส่งข้อมูล

ชุดคำสั่งพีเอชพี (PHP Hypertext Preprocessor : PHP) สำหรับ PHP4 และ PHP5 สามารถเรียกใช้ฟังก์ชัน `exec()` เพื่อเชื่อมโยงการประมวลผลกับโปรแกรมภายนอกภาษาซี *.cpp ที่ได้รับการแปล (Compile) ในรูปแบบ *.exe แสดงรูปแบบคำสั่งดังรูปที่ 3.28

controller.php

```
<?php
$data=$_POST['data'];
exec("program.exe {$data}",$output);
foreach($output as $line){      echo $line; }
?>
```

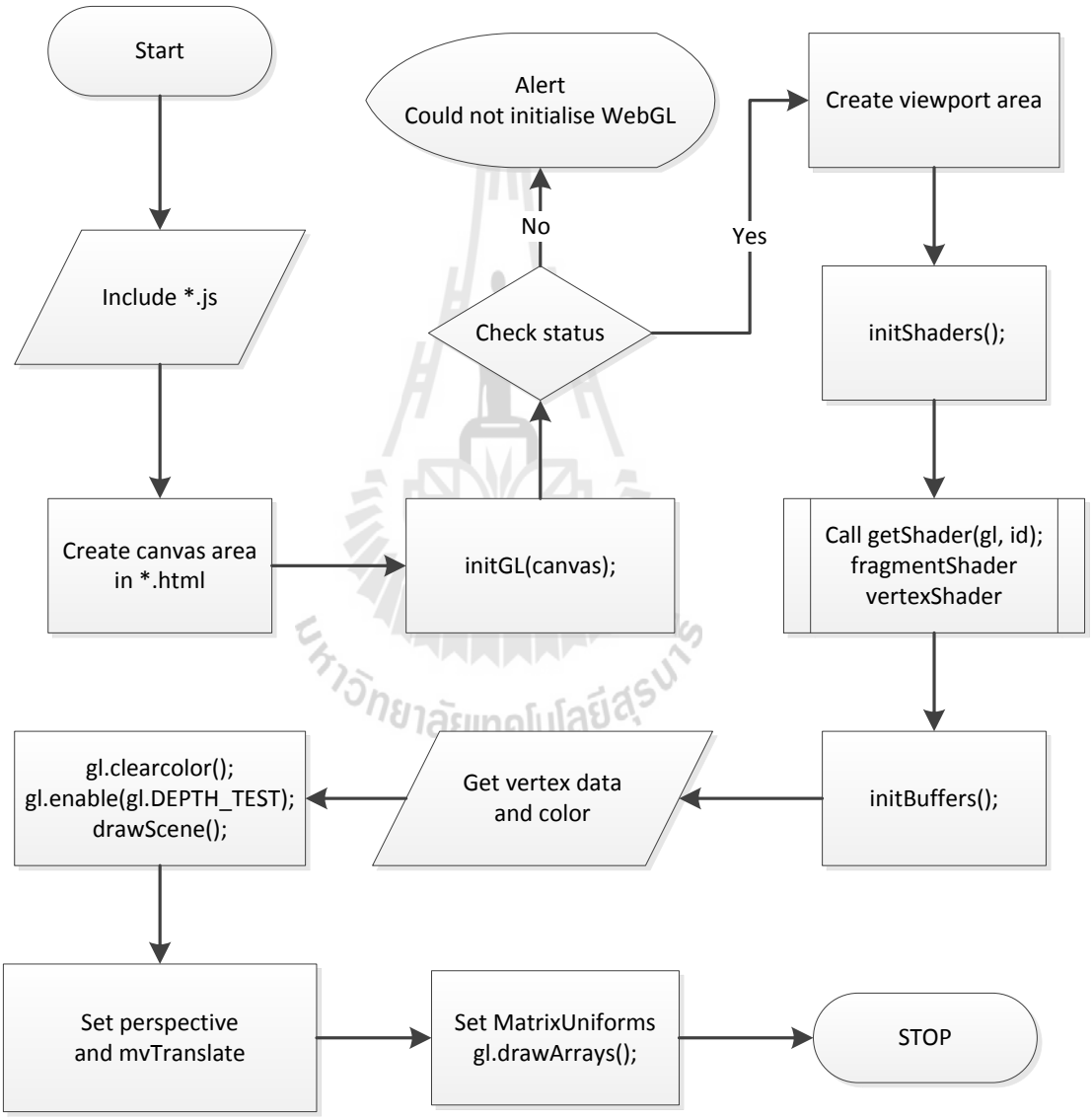
program.cpp

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main(int argc, char *argsv[]){
  cout<<"You clicked "<<argsv[1]<<endl;
}
```

รูปที่ 3.28 แสดงชุดคำสั่งการเรียกใช้ฟังก์ชันสำหรับเชื่อมโยงการประมวลผลกับโปรแกรมภายนอก

3.11 โครงสร้างการพัฒนาสร้างภาพกราฟิกด้วย WebGL

การสร้างภาพกราฟิกด้วยเทคโนโลยี WebGL มีรูปแบบการทำงานของคุณสมบัติด้านกราฟิก (Canvas Element) ของ HTML5 ใช้ชุดคำสั่งจาวาสคริปต์เชื่อมโยงการทำงานกับ OpenGL เพื่อแสดงผลภาพกราฟิกสามมิติผ่านเบราว์เซอร์ โดยไม่ต้องติดตั้งโปรแกรมเสริม มีขั้นตอนแผนผังการทำงาน ดังนี้



รูปที่ 3.29 แสดงขั้นตอนการสร้างรูปสามเหลี่ยมด้วย WebGL แสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์

ขั้นตอนการสร้างภาพกราฟิกเริ่มจากการดึงข้อมูล *.js เพื่อเชื่อมโยงกับคลังโปรแกรมที่รวบรวมฟังก์ชันการทำงาน การสร้างพื้นที่วาดเพื่อกำหนดพื้นที่ในการแสดงผลบนเว็บเพจ การเชื่อมโยงพื้นที่วาดกับแบบจำลองที่ต้องการสร้างจากการเรียกใช้งานเทคโนโลยี WebGL ด้วยฟังก์ชัน `initGL()` เพื่อกำหนดตำแหน่งการมองตามขนาดพื้นที่วาด การกำหนดแสงและเงาของแบบจำลองด้วยฟังก์ชัน `intiShaders()` การกำหนดค่าพิกัดจุดและค่าสีที่สัมพันธ์กันด้วยฟังก์ชัน `initBuffers()` หลังจากนั้นทำการกำหนดค่าสีพื้นหลังของพื้นที่วาด การกำหนดตำแหน่งของแบบจำลองด้วยฟังก์ชัน `drawScene()` เพื่อกำหนดลักษณะการฉายแบบจำลองบนระนาบการมองเห็นภาพสามมิติเพื่อแปลงภาพสามมิติลงบนจอภาพสองมิติ แล้วจึงทำการวาดแบบจำลอง

3.12 สรุปวิธีการดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัยที่กล่าวมาในข้างต้น มีจุดประสงค์เพื่ออธิบายการพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ ขั้นตอนการดำเนินงานพร้อมกับเทคนิควิธีการที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงตัวเลขจากข้อมูลเส้นชั้นความสูงและการซ้อนทับข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ ซึ่งจะได้กล่าวถึงตัวอย่างการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์และการใช้งานคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ในบทต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
การพัฒนาและผลการทดสอบ

ในบทนี้จะอธิบายถึงการพัฒนาตัวอย่างโปรแกรมประยุกต์จากข้อมูลตัวอย่าง การเรียกใช้งานคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ และอธิบายการทดสอบและผลการทดสอบของงานวิจัยทั้งหมด โดยแบ่งขั้นตอนออกเป็น 3 ส่วน คือ ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองระดับความสูงเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model) ขั้นตอนการซ้อนทับลำดับชั้นทางภูมิศาสตร์ (Overlay Function) และขั้นตอนการเชื่อมโยงการประมวลผลจากคลังโปรแกรมภายนอก (External Library)

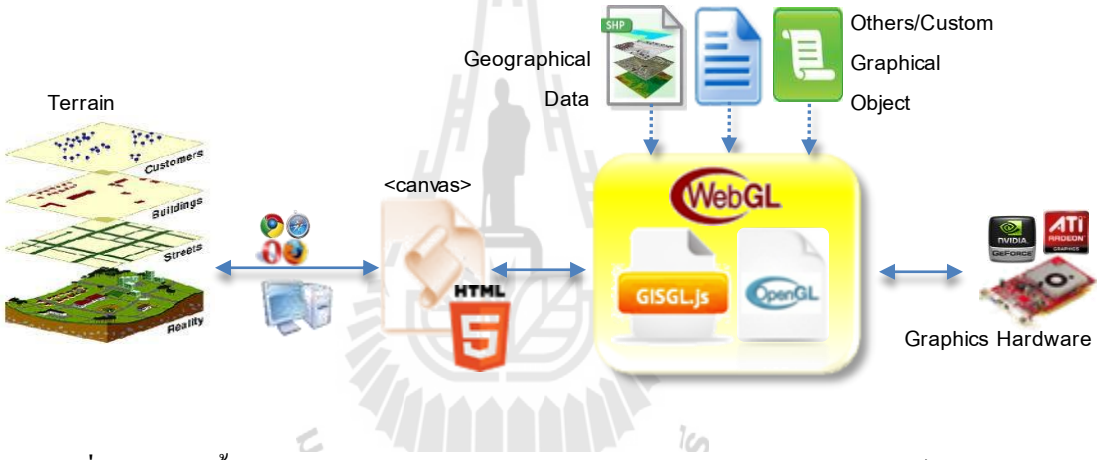
4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

4.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาและการทดสอบ

คลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์สำหรับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ GISGL ประกอบด้วยคลังโปรแกรม *.js ได้แก่ DEM เป็นคลังโปแกรมที่ใช้สำหรับการแปลงข้อมูล การคำนวณทางคณิตศาสตร์ การประมาณค่าข้อมูลเพื่อการสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข Shp เป็นคลังโปรแกรมที่ใช้สำหรับอ่านชั้นข้อมูล *.shp เพื่อทำการซ้อนทับชั้นข้อมูลบนแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข External Library เป็นคลังโปรแกรมที่ใช้สำหรับเชื่อมโยงการประมวลผลกับโปรแกรมภายนอก *.exe และ WebGL เป็นคลังโปรแกรมที่ใช้สำหรับเรียกใช้งาน WebGL เพื่อการคำนวณเมทริกซ์และการขึ้นรูปแบบจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 แสดงส่วนประกอบของคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ GISGL

ผู้พัฒนาสามารถเรียกใช้คลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ในการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนเว็บ เริ่มต้นจากการกำหนดพื้นที่วาดภาพ (Canvas) บนเว็บเพจด้วยคุณสมบัติด้านกราฟิกของมาตรฐาน HTML5 การนำเข้าข้อมูลทางภูมิศาสตร์ เช่น ข้อมูลเมทริกซ์ระดับความสูง ชั้นข้อมูล เป็นต้น การสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข การเชื่อมโยงแบบจำลองที่สร้างกับพื้นที่วาดภาพด้วยการเรียกใช้งานเว็บจีแอลจากชุดคำสั่งจาวาสคริปต์และคลังกราฟิกแบบเปิดเพื่อเชื่อมโยงในการติดต่อระหว่างเว็บเบราว์เซอร์กับหน่วยประมวลผลกราฟิก ผู้พัฒนาสามารถดำเนินการแบบโต้ตอบทางด้านกราฟิก การซ้อนทับลำดับชั้นทางภูมิศาสตร์จากชั้นข้อมูล และการเชื่อมโยงการประมวลผลจากคลังโปรแกรมภายนอก ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงขั้นตอนการสร้างแบบจำลองด้วยคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ GISGL

4.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาและการทดสอบ

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการพัฒนาและทดสอบตัวอย่างโปรแกรมประยุกต์มีรายละเอียดดังนี้

- หน่วยประมวลผลกลาง : Intel® Core™ i5 430M 2.26 GHz
  3 MB L2 Cache
- หน่วยความจำหลัก : 4.00 GB DDR3
- หน่วยความจำสำรอง : 500 GB 5400 RPM
- หน่วยประมวลผลกราฟิก : ATi Radeon HD 5650

2. ระบบปฏิบัติการและโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้ในการพัฒนาและทดสอบตัวอย่างโปรแกรมประยุกต์ ประกอบด้วย

- ระบบปฏิบัติการ : Window 7 Ultimate 64-bit Operating System
- เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา : Notepad, Dev C++
- เว็บเบราว์เซอร์ (Google) Chrome รุ่น 20.0.1132.57
- เว็บเบราว์เซอร์ (Mozilla) Firefox 11.0 / (Mozilla) Aurora รุ่น 12.0a2

4.2.3 ข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาและการทดสอบ

ข้อมูลทดสอบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรเมศวร์ ห่อแก้ว ประกอบด้วยข้อมูลเมทริกซ์ระดับความสูงในรูปโคออร์ดิเนตคาร์ทีเซียนสามมิติ x, y, z และชั้นข้อมูลตัวอย่างในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จัดเก็บในรูปแบบข้อมูลสกุล *.shp ซึ่งกรอบพิกัดของพื้นที่สี่เหลี่ยมที่ครอบคลุมพื้นที่ตัวอย่าง ในทิศทางดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงพิกัดของพื้นที่สี่เหลี่ยมที่ครอบคลุมเส้นชั้นความสูงเขตพื้นที่ตัวอย่าง

ทิศ	พิกัดภูมิศาสตร์ (องศา)	UTM (เมตร)
ตะวันตก	101.993549	176494.749592
ตะวันออก	102.041427	181552.036951
เหนือ	14.903291	1649764.205867
ใต้	14.858610	1644887.371848

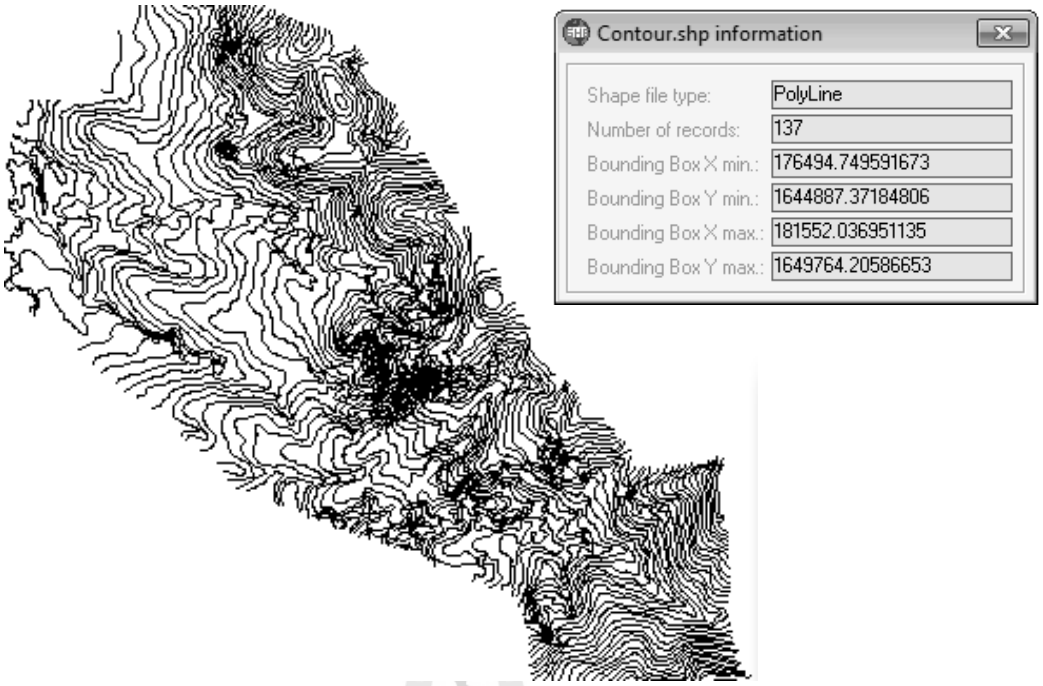
ในงานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาตัวอย่างโปรแกรมประยุกต์บนเว็บจากการเรียกใช้งานคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์เพื่อสร้างแบบจำลองข้อมูลระดับสูงเชิงเลขชนิดโครงข่ายสามเหลี่ยมสม่ำเสมอ ข้อมูลเมทริกซ์ระดับความสูงที่นำมาใช้สร้างแบบจำลอง เป็นข้อมูลที่มีความละเอียดของกริดขนาด 64x64 จุด แสดงลักษณะภูมิประเทศของข้อมูลตัวอย่างในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และการซ้อนทับลำดับชั้นทางภูมิศาสตร์ต่างๆ ที่มีองค์ประกอบเชิงพื้นที่เป็นเส้นและพื้นที่รูปปิด ประกอบด้วยชั้นข้อมูล ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงชั้นข้อมูลเพื่อการซ้อนทับข้อมูลเชิงพื้นที่ในเขตพื้นที่ตัวอย่าง

ชั้นข้อมูล	ชนิดข้อมูล
เส้นชั้นความสูง (Contour)	Line
ถนน (Road)	Line
เขตการใช้พื้นที่ (Land Zone)	Polygon
อาคาร (Building)	Polygon
แหล่งน้ำผิวดิน (Water Body)	Polygon

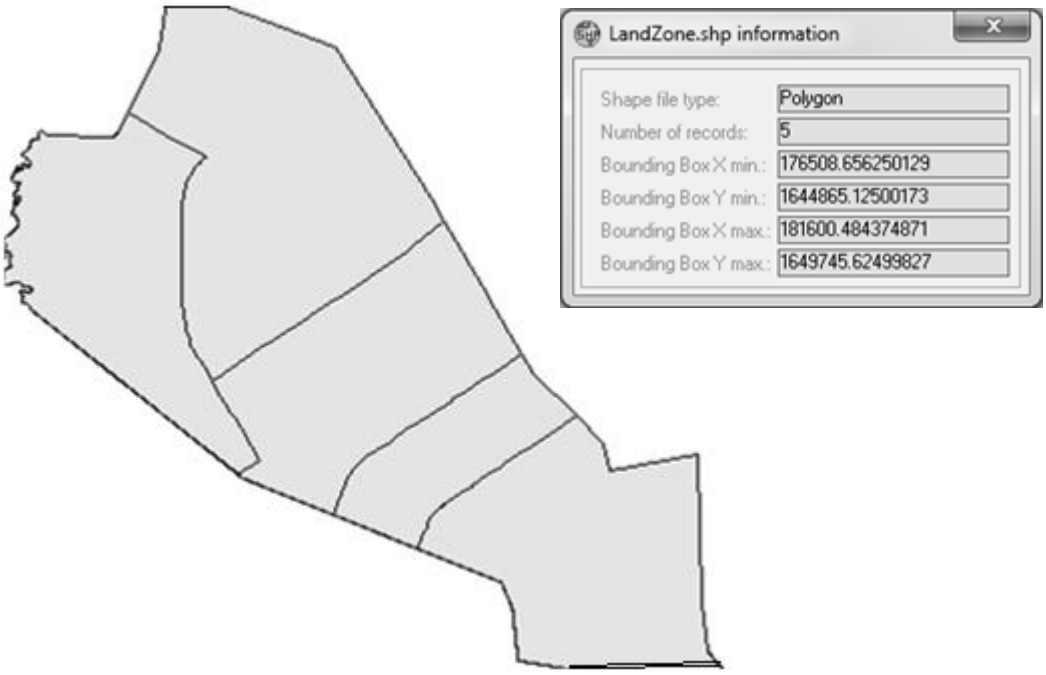
ชั้นข้อมูลที่ใช้ในการซ้อนทับทางภูมิศาสตร์เพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ แสดงชั้นข้อมูลสองมิติด้วยเครื่องมือ Shape Viewer 1.20 (Mohammed Hammoud, 2005)

รูปที่ 4.3 แสดงตัวอย่างที่ตั้งอาคาร Building.shp ที่จัดเก็บลักษณะข้อมูลโพลีกอน



รูปที่ 4.4 แสดงตัวอย่างข้อมูลเส้นชั้นความสูง Contour.shp ที่จัดเก็บลักษณะข้อมูลเส้น

รูปที่ 4.5 แสดงตัวอย่างข้อมูลถนน Road.shp ที่จัดเก็บลักษณะข้อมูลเส้น



รูปที่ 4.6 แสดงตัวอย่างข้อมูลเขตพื้นที่ LandZone.shp ที่จัดเก็บลักษณะข้อมูลโพลีกอน

รูปที่ 4.7 แสดงตัวอย่างข้อมูลแหล่งน้ำ WaterBody.shp ที่จัดเก็บลักษณะข้อมูลโพลีกอน

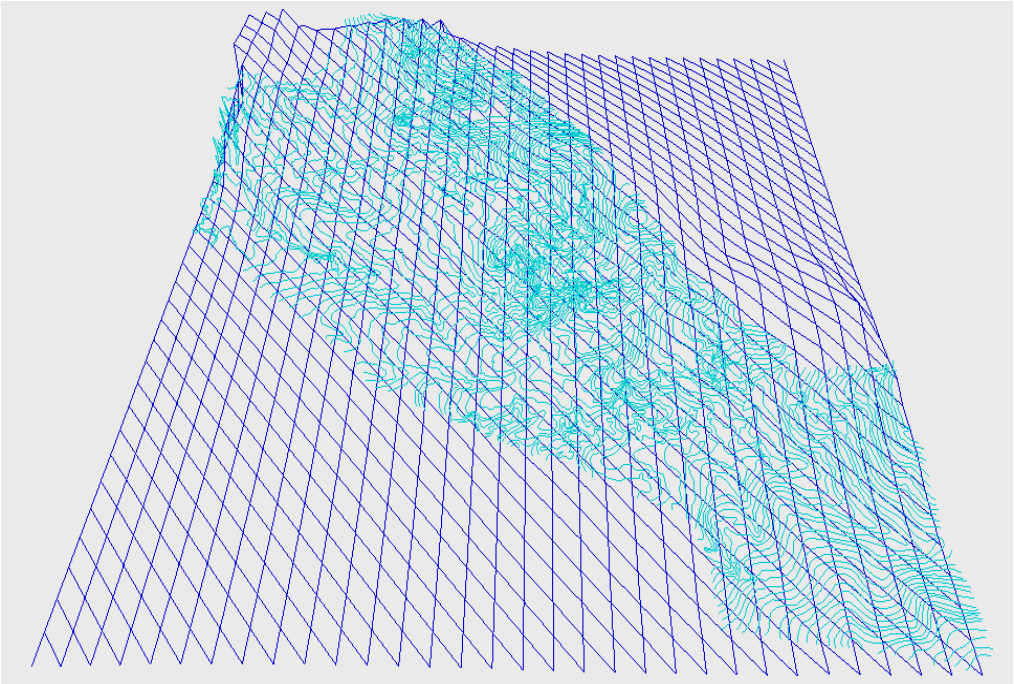
4.2 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองระดับความสูงเชิงตัวเลข

การเรียกใช้งานคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ใน *.html ทำการดึงข้อมูล *.js ไว้ภายในส่วนแท็กควบคุม <head> และการกำหนดชื่อและขนาดของพื้นที่วาดภาพเพื่อกำหนดส่วนแสดงผลแบบจำลองข้อมูลบนเบราว์เซอร์โดยใช้คุณสมบัติด้านกราฟิก (Canvs Element) ภายในส่วนแท็กควบคุม <body> ดังแสดงในรูปที่ 4.8

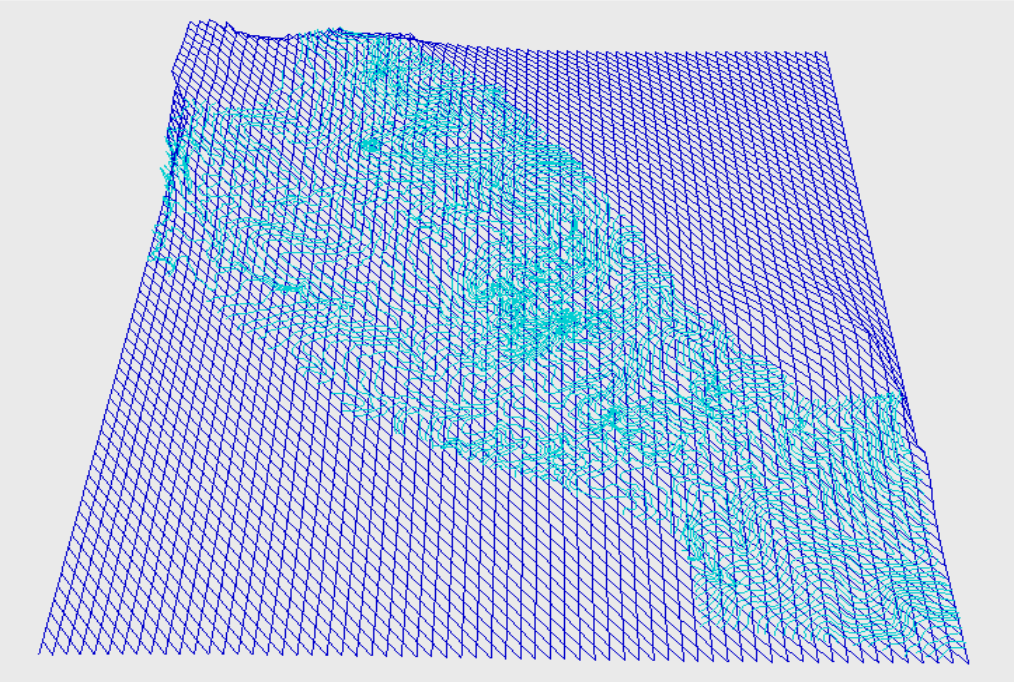
```
<html>
    <head>
       <script type=”text/javascript” src=”GISGL/src/shp/shp.js”>
       </script>
    </head>
    <body>
       <canvas id="Terrain" width="800" height="600">
       </canvas>
    </body>
</html>
```

รูปที่ 4.8 แสดงการเรียกใช้งานคลังกราฟิกและการกำหนดพื้นที่แสดงผลบนเบราว์เซอร์

หลังจากที่ได้ทำการประมาณค่าข้อมูลเส้นชั้นความสูงบนตารางกริดด้วยวิธีการเชิงเลข จัดเก็บข้อมูลเมทริกซ์ระดับความสูงเพื่อทำการขึ้นรูปแบบจำลองระดับสูงเชิงตัวเลขด้วยการเรียกใช้งานคลังกราฟิกสำหรับฟังก์ชัน initBuffers(); ในการสร้างบัฟเฟอร์ตำแหน่งข้อมูลและค่าสีของพิกัดจุดสามเหลี่ยม และฟังก์ชัน drawScene(); ในการกำหนดค่าสีพื้นหลัง การกำหนดตำแหน่งการมองเห็นบนจอภาพ การโปรเจกต์ชันแบบเพอร์สเปกทีฟเพื่อกำหนดลักษณะของแบบจำลองที่อยู่ไกลออกไปจากระนาบการมองเห็นให้มีขนาดเล็กลง การกำหนดตำแหน่งของแบบจำลองและการขึ้นรูปแบบจำลอง แสดงผลแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขผ่านเว็บเบราว์เซอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10

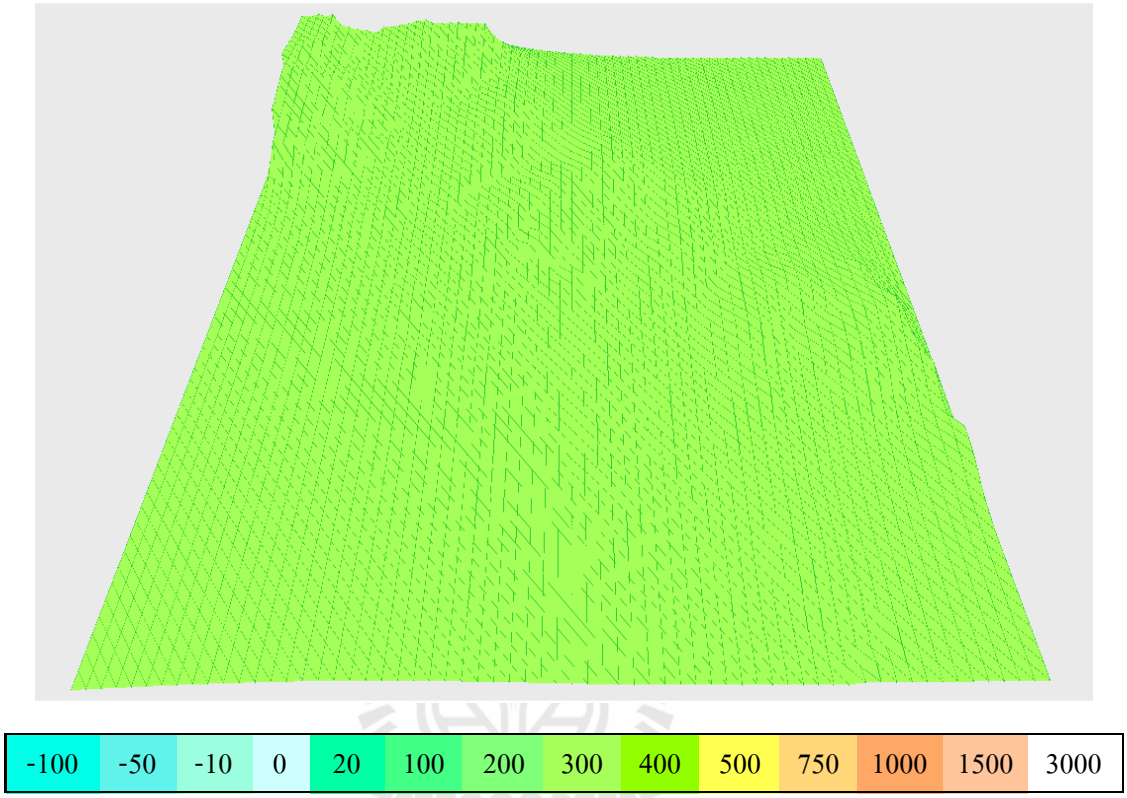


รูปที่ 4.9 แสดงโครงร่างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขจากข้อมูลตัวอย่างขนาด 32x32 จุด



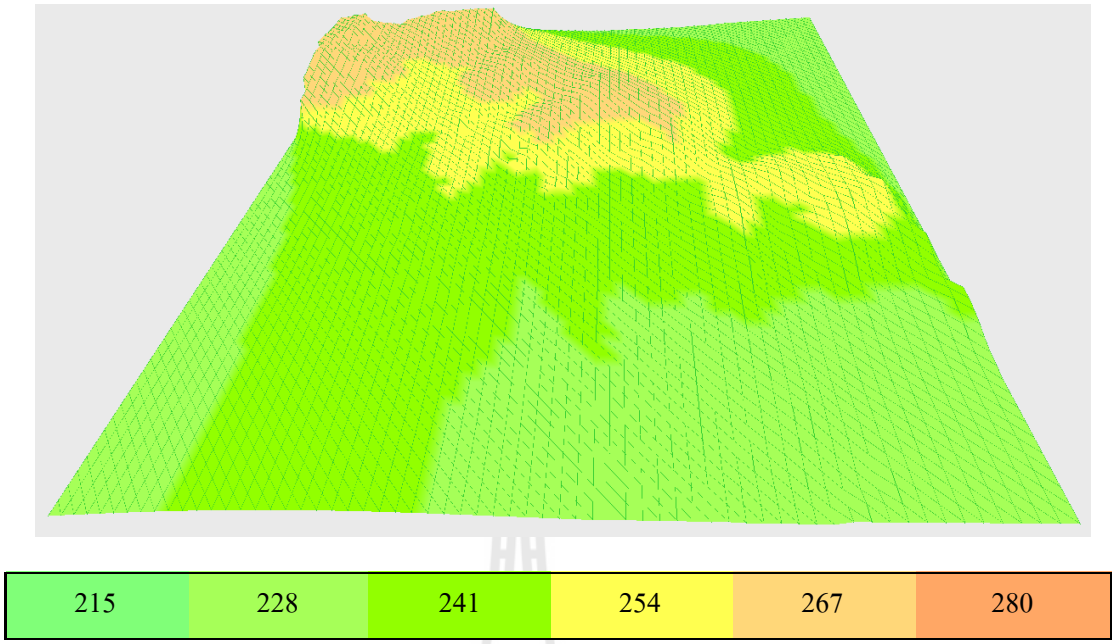
รูปที่ 4.10 แสดงโครงร่างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขจากข้อมูลตัวอย่างขนาด 64x64 จุด

การกำหนดค่าสีของแต่ละพิกัดจุดสามเหลี่ยมตามค่าระดับความสูงของแบบจำลองโดยอาศัยมาตรฐานการกำหนดค่าสีของ ESRI ดังแสดงในรูปที่ 4.11



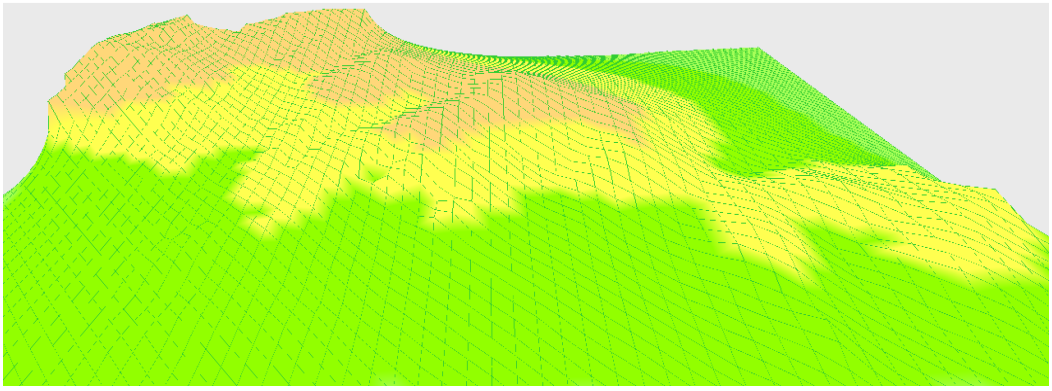
รูปที่ 4.11 แสดงการซ้อนแถบสีตามระดับความสูงของข้อมูลตัวอย่างตามมาตรฐาน ESRI

เนื่องจากค่าระดับความสูงของข้อมูลตัวอย่างอยู่ในช่วง 219 – 274 เมตรจากระดับน้ำทะเล ซึ่งเป็นระดับความสูงในช่วงแถบสีเดียวกัน ทำให้แถบสีของแบบจำลองแสดงค่าสีเพียงสีเดียว ผู้วิจัยจึงทำการแปลงช่วงข้อมูลความสูงให้มีความละเอียดเพิ่มขึ้นโดยการกำหนดความกว้าง (Range) ของข้อมูลความสูงเพิ่มขึ้นด้วยวิธี Min-max Normalization เพื่อให้เกิดแถบสีตามความสูงที่ชัดเจนมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แสดงการซ้อนแถบสีตามระดับความสูงของข้อมูลตัวอย่าง

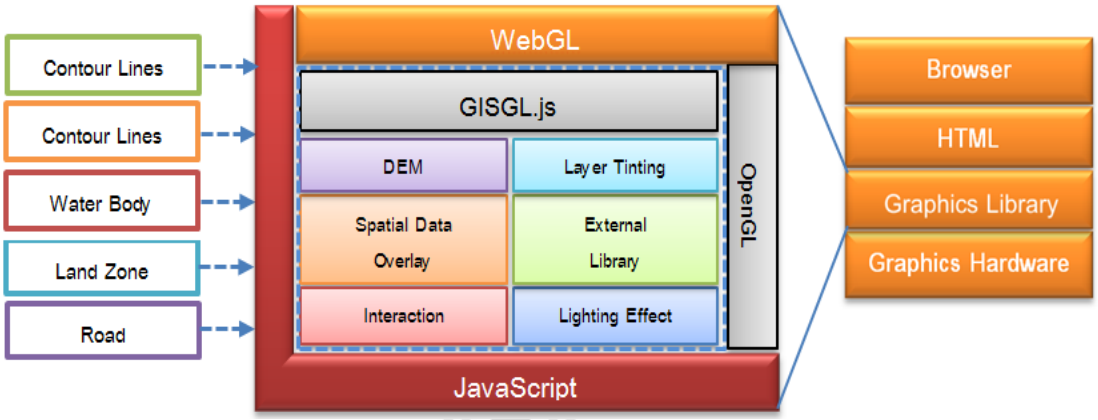
การใช้อุปกรณ์ควบคุมตอบสนองการทำงานกับผู้ใช้ด้วยวิธีการแปลงทางเรขาคณิต เช่น เมื่อผู้ใช้กดแป้นพิมพ์ Page Up และ Page Down จะทำการปรับขนาดแบบจำลอง เมื่อผู้ใช้กดแป้นพิมพ์ ลูกศรซ้าย ขวา บน ล่าง จะทำการเลื่อนแบบจำลองไปในทิศทางที่กำหนด เมื่อผู้ใช้ทำการลาก เปลี่ยนตำแหน่งเมาส์ จะทำการหมุนแบบจำลอง เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 แสดงลักษณะแบบจำลองข้อมูลตัวอย่างเมื่อผู้ใช้กดแป้นพิมพ์ Page Up และเปลี่ยนตำแหน่งเมาส์

4.3 ขั้นตอนการซ้อนทับลำดับชั้นทางภูมิศาสตร์

การนำเข้าชั้นข้อมูลเพื่อการซ้อนทับลำดับชั้นทางภูมิศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลเชิงบรรยายด้วยการเรียกใช้คลังกราฟิกจาวาสคริปต์ ดังรูปที่ 4.14

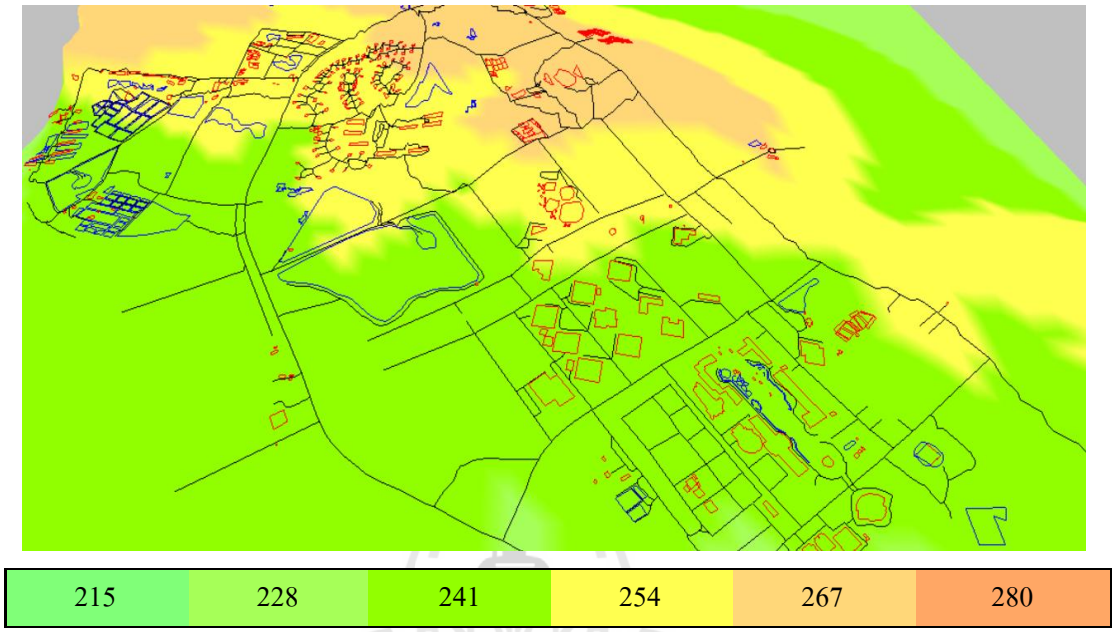


รูปที่ 4.14 แสดงองค์ประกอบโดยรวมของการนำเข้าชั้นข้อมูล

ลักษณะทางภูมิศาสตร์จะใช้จุด เส้นและพื้นที่รูปปิดเป็นตัวแทนของสิ่งที่ปรากฏต่างๆ เช่น แทนถนนด้วยเส้น แทนแหล่งน้ำและสิ่งปลูกสร้างด้วยรูปปิด เป็นต้น ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.15

รูปที่ 4.15 แสดงการใช้ลักษณะเส้นแทนสิ่งปลูกสร้าง ถนน สนามเทนนิส และแหล่งน้ำ (ที่มา : ปฏิวัติ สองชัย, 2551)

ตัวอย่างการซ้อนทับลำดับชั้นข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ ประกอบด้วยชั้นข้อมูลถนน แหล่งน้ำผิวดิน อาคารและสิ่งก่อสร้าง ดังแสดงในรูปที่ 4.16 และการซ้อนทับพื้นผิว (Texture) ด้วยข้อมูลภาพเพื่อแสดงลักษณะภูมิประเทศจริง ดังแสดงในรูปที่ 4.17

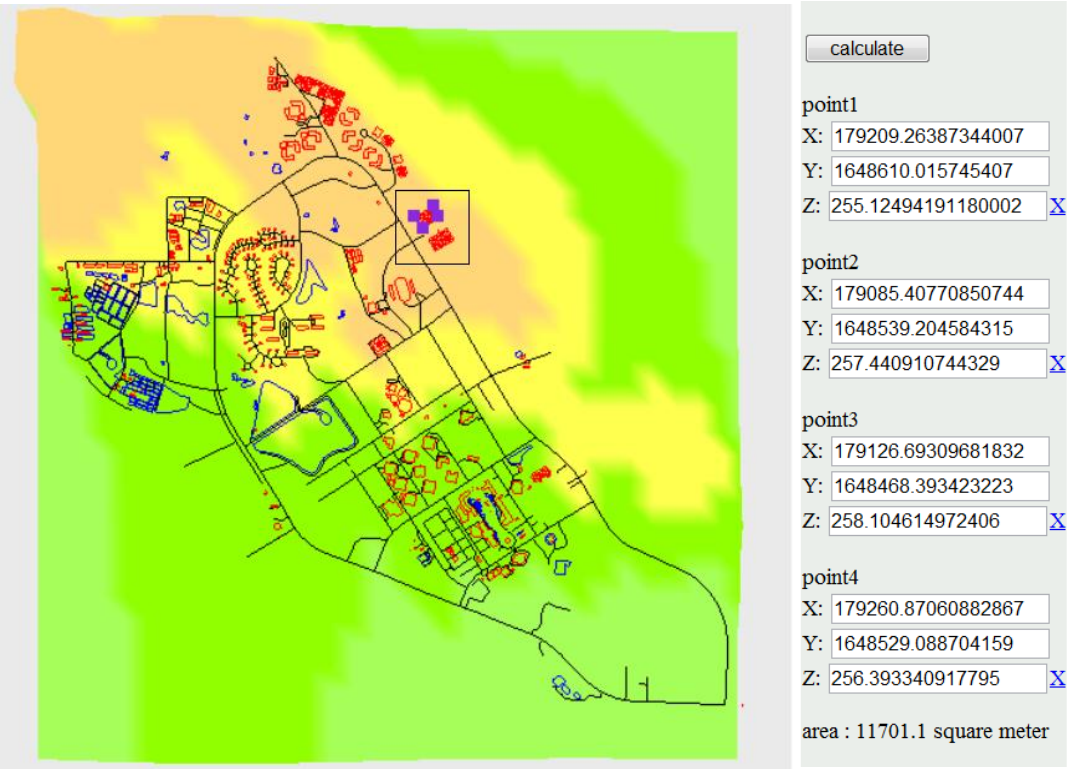


รูปที่ 4.16 แสดงการซ้อนทับชั้นข้อมูลทางภูมิศาสตร์ ประกอบด้วยชั้นข้อมูลถนน อาคาร แหล่งน้ำ

รูปที่ 4.17 แสดงการซ้อนทับข้อมูลภาพในเขตพื้นที่ตัวอย่าง

4.4 ขั้นตอนการเชื่อมโยงการประมวลผลกับคลังโปรแกรมภายนอก

ตัวอย่างโปรแกรมประยุกต์แสดงการเชื่อมโยงการประมวลผลเพื่อเรียกใช้เทคโนโลยี AJAX ด้วยชุดคำสั่ง jQuery ผ่านชุดคำสั่ง controller.php เพื่อการติดต่อกับโปรแกรมภายนอก program.exe สำหรับการคำนวณพื้นที่จากจุดที่ผู้ใช้เลือกพิกัดบนแบบจำลองข้อมูลระดับสูงเชิงเลข ดังแสดงในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 แสดงลักษณะการเชื่อมโยงการประมวลผลจากโปรแกรมภายนอก

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล

ประสิทธิภาพที่ต้องการทดสอบประกอบด้วย การเปรียบเทียบหน่วยความจำที่ใช้ในขณะประมวลผล เวลาที่ใช้ในการประมวลผลของชุดคำสั่งที่ไม่มีและมีการเรียกใช้คลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ ความถูกต้องของการซ้อนทับชั้นข้อมูล ภายใต้องค์ประกอบของข้อมูลตัวอย่างเดียวกัน โดยเครื่องมือที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- จำนวนบรรทัดของชุดคำสั่ง : บันทึกค่าจากการนับบรรทัดด้วยโปรแกรม EditPlus3
- ขนาดของไฟล์ : ดูขนาดไฟล์จากหน้าคุณสมบัติของไฟล์
- ปริมาณการใช้งานหน่วยประมวลผลกลางในขณะประมวลผล : บันทึกค่าจากโปรแกรม Resource Monitor
- เวลาที่ใช้ในการประมวลผล : ระบุให้แสดงเวลาที่ใช้ด้วย `console.log();` ในขณะทำการแสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์ (Google) Chrome รุ่น 20.0.1132.57 และ (Mozilla) Firefox 11.0
- ประสิทธิภาพความถูกต้องของการซ้อนทับชั้นข้อมูลและการเชื่อมโยงการประมวลผลจากโปรแกรมภายนอก

4.5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลในด้านจำนวนบรรทัดของชุดคำสั่ง

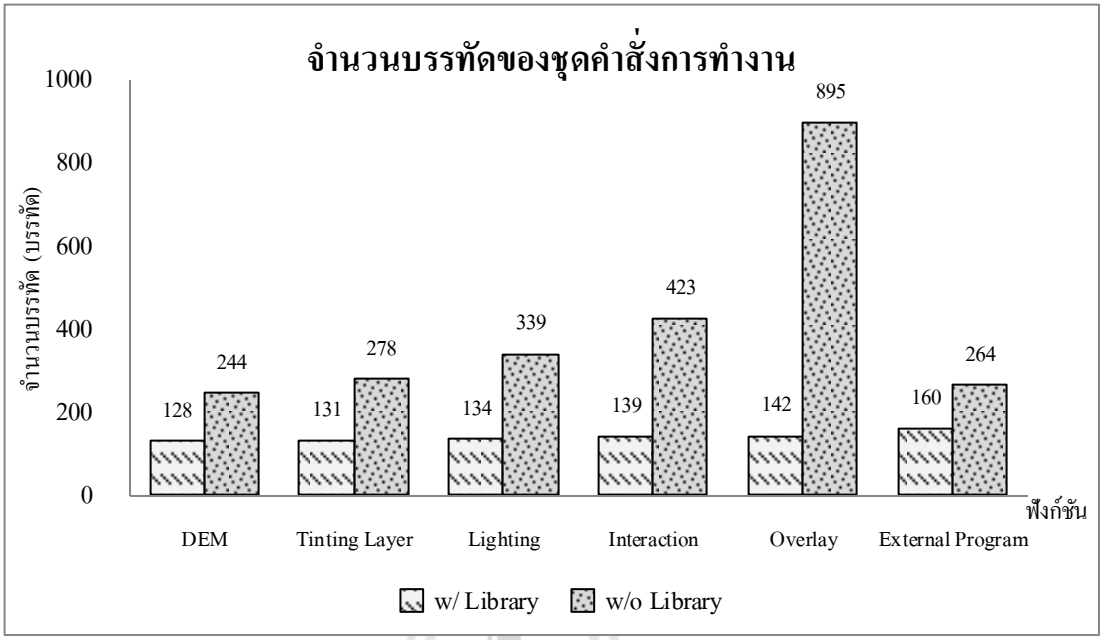
การวิเคราะห์ในประเด็นนี้เป็นการเปรียบเทียบจำนวนบรรทัดชุดคำสั่งของแต่ละฟังก์ชันการทำงาน โดยเปรียบเทียบระหว่างชุดคำสั่งการทำงานที่ไม่มีและมีการเรียกใช้งานคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบจำนวนบรรทัดของชุดคำสั่งการทำงาน

การทำงาน	จำนวนบรรทัด (บรรทัด)	
	Library	Without Library
การขึ้นรูปแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข	128	244
การซ้อนแถบสีตามระดับความสูง	131	278
การคำนวณแสงตกกระทบตามระดับความสูง	134	339
การใช้อุปกรณ์ควบคุมแบบจำลอง	139	423
การซ้อนทับลำดับชั้นข้อมูล	142	895
การเชื่อมโยงโปรแกรมภายนอก	160	264

ข้อมูลในตารางที่ 4.3 และข้อมูลกราฟในรูปที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนบรรทัด จะเห็นว่าจำนวนบรรทัดของชุดคำสั่งที่พัฒนาโดยการเรียกใช้งานคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์นั้นมี “น้อยกว่า” ชุดคำสั่งที่ไม่ได้เรียกใช้งานคลังกราฟิก เนื่องจากคลังกราฟิกประกอบด้วย

ชุดคำสั่งฟังก์ชันในการคำนวณคณิตศาสตร์ทางเรขาภาพที่ซับซ้อน การอ่านชั้นข้อมูลและส่วนเชื่อมโยงการประมวลผลที่อำนวยความสะดวกแก่ผู้พัฒนา



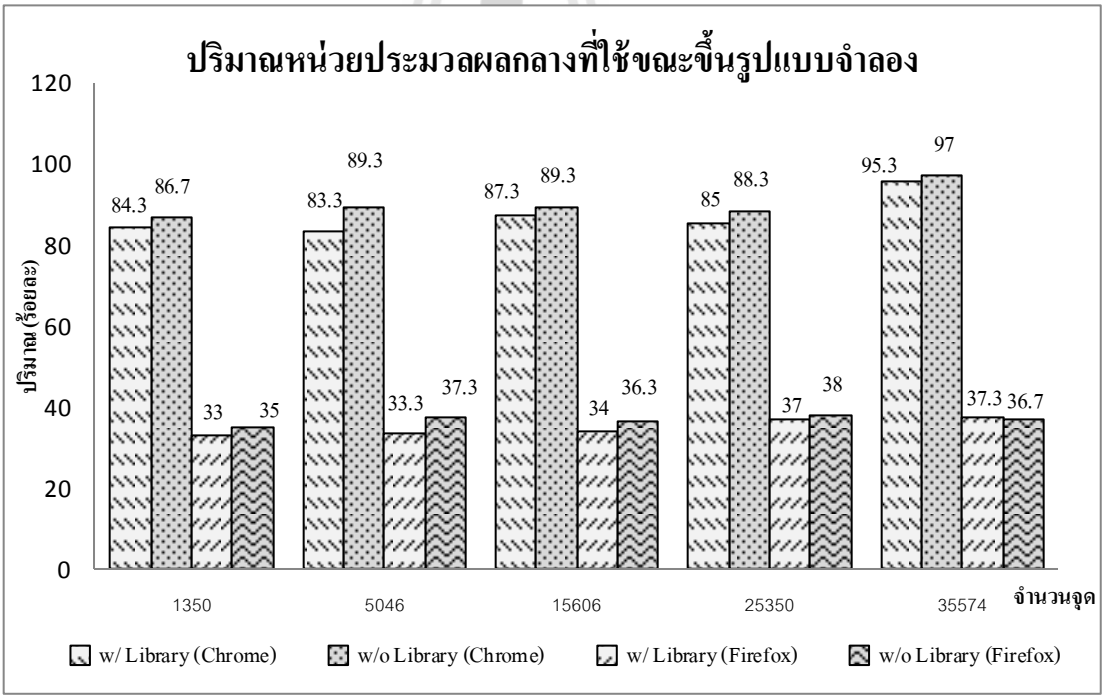
รูปที่ 4.19 แสดงกราฟเปรียบเทียบจำนวนบรรทัดของชุดคำสั่งที่ไม่มีและมีการเรียกใช้งานคลังจาวาสคริปต์ โดยที่แกน x แสดงจำนวนบรรทัด และแกน y แสดงฟังก์ชันการทำงาน

4.5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลในด้านปริมาณหน่วยประมวลผลกลางขณะประมวลผล

ในประเด็นของการเปรียบเทียบร้อยละของปริมาณหน่วยประมวลผลกลางกับจำนวนจุดบนโครงข่ายและขนาดไฟล์ข้อมูลที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขด้วยการสังเกตและการจดบันทึกค่าการใช้งานปริมาณหน่วยประมวลผลขณะประมวลผลข้อมูล จากโปรแกรม Resource Monitor แสดงข้อมูลร้อยละการใช้งานหน่วยประมวลผลกลางทั้งหมดในขณะทำการแสดงผลผ่านเบราว์เซอร์ โดยทำการบันทึกค่าเป็นจำนวน 3 ครั้งและทำการหาค่าเฉลี่ยร้อยละ ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบร้อยละการใช้งานหน่วยประมวลผลกลางในการขึ้นรูปแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขขณะที่ใช้เบราว์เซอร์ Chrome และ Firefox ในการแสดงผล

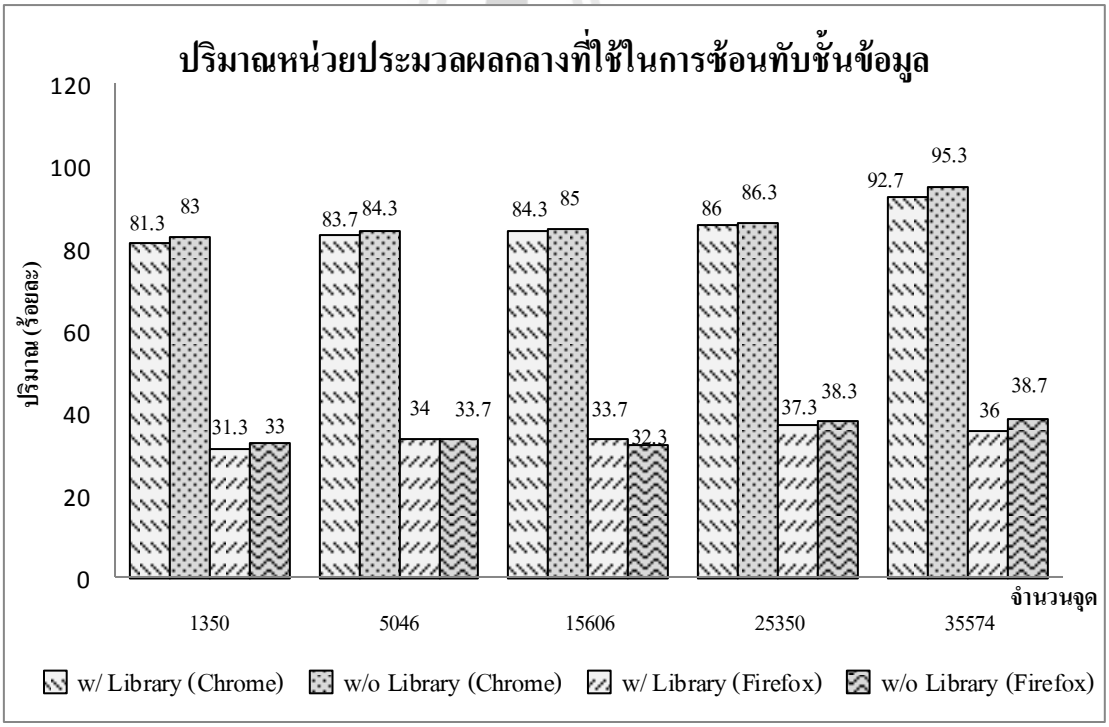
จำนวนจุดข้อมูลเส้นชั้นความสูง (จุด)	ขนาดของแฟ้มข้อมูล (KB)	ปริมาณ (ร้อยละ)			
		Chrome		Firefox	
		with Library	without Library	with Library	without Library
1350	12	84.3	86.7	33.0	35.0
5046	40	83.3	89.3	33.3	37.3
15606	119	87.3	89.3	34.0	36.3
25350	191	85.0	88.3	37.0	38.0
35574	267	95.3	97.0	37.3	36.7



รูปที่ 4.20 แสดงปริมาณหน่วยประมวลผลกลางที่ใช้ขณะขึ้นรูปแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขของชุดคำสั่งที่ไม่มีและมีการเรียกใช้คลังกราฟิก โดยที่แกน x แสดงปริมาณหน่วยประมวลผลกลาง และแกน y แสดงจำนวนข้อมูลจุด x, y, z บนโครงข่ายสามเหลี่ยม

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบร้อยละการใช้งานหน่วยประมวลผลกลางในการซ้อนทับลำดับชั้นข้อมูลแต่ละชนิดข้อมูลขณะที่ใช้เบราว์เซอร์ Chrome และ Firefox ในการแสดงผล

การนำเข้าข้อมูลและการซ้อนทับลำดับชั้นข้อมูล	ขนาดของแฟ้มข้อมูล (KB)	ปริมาณ (ร้อยละ)			
		Chrome		Firefox	
		with Library	without Library	with Library	without Library
13179	129	81.3	83.0	31.3	33.0
13761	135	83.7	84.3	34.0	33.7
22515	220	84.3	85.0	33.7	32.3
28533	279	86.0	86.3	37.3	38.3
190083	1857	92.7	95.3	36.0	38.7



รูปที่ 4.21 แสดงปริมาณหน่วยประมวลผลกลางที่ใช้ขณะซ้อนทับชั้นข้อมูลของชุดคำสั่งที่ไม่มีและมีการเรียกใช้คลังกราฟิก โดยที่แกน x แสดงปริมาณหน่วยประมวลผลกลางและแกน y แสดงจำนวนข้อมูลจุด x, y, z บนโครงข่ายสามเหลี่ยม

จากตารางที่ 4.4 และตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณการใช้งานหน่วยประมวลผลกลาง จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของร้อยละปริมาณการใช้งานหน่วยประมวลผลกลางขณะแสดงผลของชุดคำสั่งที่มีการเรียกใช้งานคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ “น้อยกว่า” ชุดคำสั่งที่ไม่ได้เรียกใช้งานคลังกราฟิก นอกจากนี้ค่าเฉลี่ยของร้อยละปริมาณการใช้งานหน่วยประมวลผลกลางขณะแสดงผลของแต่ละเบราว์เซอร์มีลักษณะ “คงที่” แสดงให้เห็นว่าปริมาณการใช้งานหน่วยประมวลผลกลางไม่ขึ้นอยู่กับจำนวนจุดข้อมูลที่เพิ่มขึ้น

4.5.3 การวิเคราะห์ข้อมูลในด้านเวลา

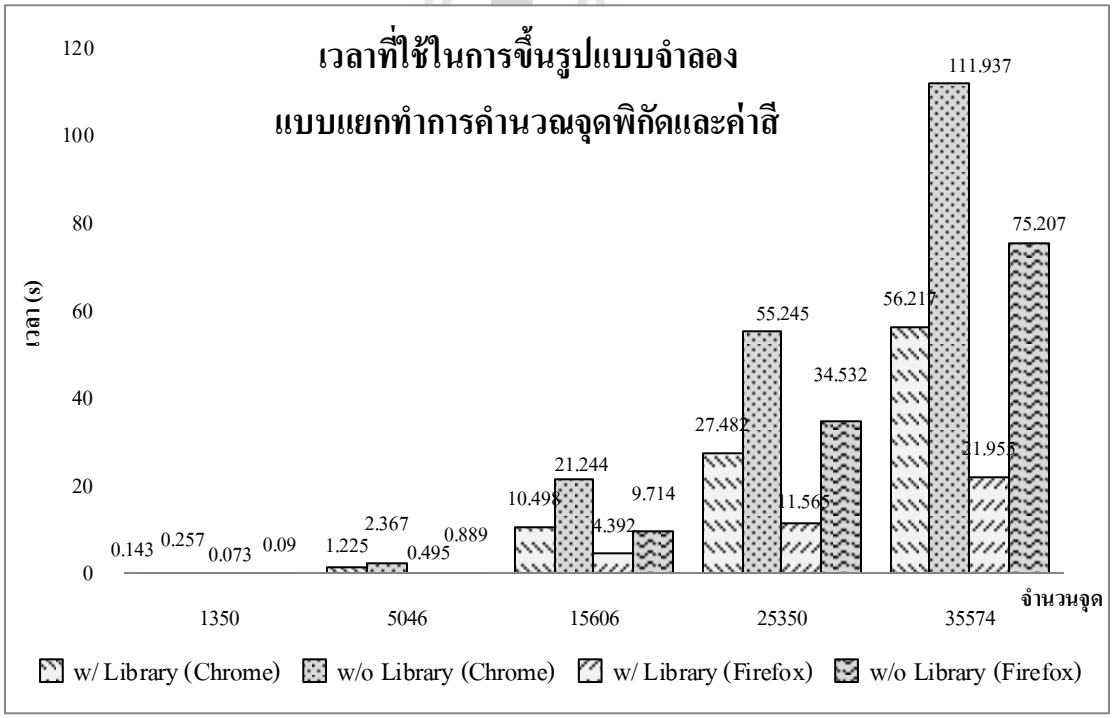
การวิเคราะห์ในประเด็นนี้เป็นการเปรียบเทียบจำนวนเวลาที่ใช้ในการประมวลผลกับจำนวนจุดข้อมูลที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขของชุดคำสั่งที่ไม่มีและมีการเรียกใช้งานคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ด้วยการสังเกตและการจดบันทึกเวลาที่ใช้ตามปริมาณข้อมูลจุดพิกัดโดยระบุคำสั่ง `console.log();` ให้แสดงเวลาที่ใช้ขณะทำการแสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงเวลาที่ใช้ในการคำนวณพิกัดจุดและค่าสีก่อนทำการขึ้นรูปแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขขณะที่ใช้เบราว์เซอร์ Chrome และ Firefox ในการแสดงผล

จำนวนจุดข้อมูล (จุด)	เวลา (s)			
	Chrome		Firefox	
	with Library	without Library	with Library	without Library
1350	0.008	0.109	0.007	0.022
5046	0.042	1.169	0.033	0.301
15606	0.078	10.642	0.400	3.177
25350	0.108	27.613	0.924	9.958
35574	0.338	55.913	1.780	19.757

ตารางที่ 4.7 แสดงเวลาที่ใช้ในการคำนวณพิกัดจุดและค่าสีหลังทำการขึ้นรูปแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขขณะที่ใช้เบราว์เซอร์ Chrome และ Firefox ในการแสดงผล

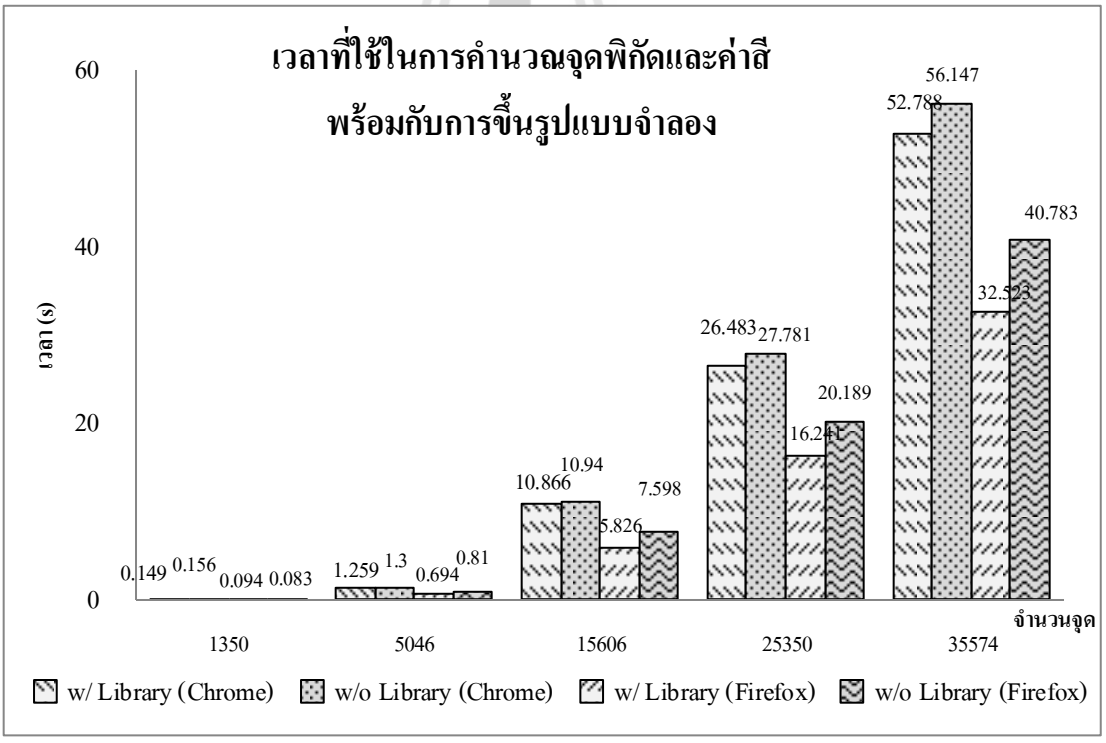
จำนวนจุดข้อมูล (จุด)	เวลา (s)			
	Chrome		Firefox	
	with Library	without Library	with Library	without Library
1350	0.135	0.148	0.066	0.068
5046	1.183	1.198	0.462	0.588
15606	10.420	10.602	3.992	0.6537
25350	27.374	27.632	10.641	24.574
35574	55.879	56.024	20.175	55.450



รูปที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบจำลองโดยแยกการคำนวณจุดพิกัดและสีกับการขึ้นรูปของชุดคำสั่งที่ไม่มีและมีการเรียกใช้คลังกราฟิก โดยที่แกน x แสดงจำนวนเวลา และแกน y แสดงจำนวนข้อมูลจุด x, y, z บนโครงข่ายสามเหลี่ยม

ตารางที่ 4.8 แสดงเวลาที่ใช้ในการคำนวณพิกัดจุดและค่าสีพร้อมกับทำการขึ้นรูปแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขขณะที่ใช้เบราว์เซอร์ Chrome และ Firefox ในการแสดงผล

จำนวนจุดข้อมูล (จุด)	เวลา (s)			
	Chrome		Firefox	
	with Library	without Library	with Library	without Library
1350	0.149	0.156	0.094	0.083
5046	1.259	1.300	0.694	0.810
15606	10.866	10.940	5.826	7.598
25350	26.483	27.781	16.241	20.189
35574	52.788	56.147	32.523	40.783



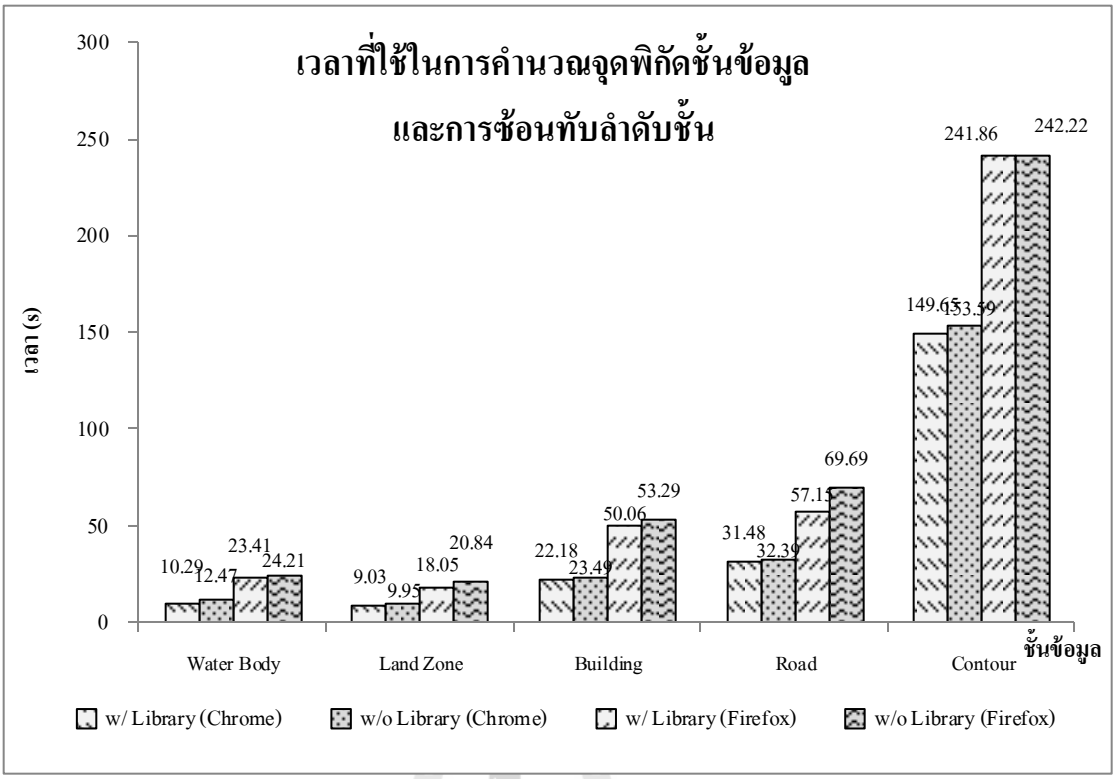
รูปที่ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการคำนวณจุดพิกัดและค่าสีพร้อมกับทำการขึ้นรูปแบบจำลองของชุดคำสั่งที่ไม่มีและมีการเรียกใช้งานคลังกราฟิก โดยที่แกน x แสดงจำนวนเวลา และแกน y แสดงจำนวนข้อมูลจุด x, y, z บนโครงข่ายสามเหลี่ยม

จากข้อมูลกราฟในรูปที่ 4.22 แสดงเวลารวมที่ใช้โดยแยกการคำนวณค่าจุดพิกัดและค่าสีและการขึ้นรูปแบบจำลอง และข้อมูลกราฟในรูปที่ 4.23 แสดงเวลาที่ใช้ในการคำนวณจุดพิกัดและค่าสีพร้อมกับทำการขึ้นรูปแบบจำลอง แสดงให้เห็นว่าชุดคำสั่งที่มีการเรียกใช้งานคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์จะใช้เวลา “น้อยกว่า” ชุดคำสั่งที่ไม่มีการเรียกใช้งานคลังกราฟิก นอกจากนี้เวลาที่ใช้ในการคำนวณจุดพิกัดและค่าสีพร้อมกับทำการขึ้นรูปแบบจำลองจะใช้เวลา “น้อยกว่า” การคำนวณจุดพิกัดและค่าสีแยกกับการขึ้นรูปแบบจำลอง

ตารางที่ 4.9 แสดงเวลาที่ใช้ในการคำนวณพิกัดจุดของชั้นข้อมูลและทำการซ้อนทับลำดับชั้นข้อมูลขณะที่ใช้เบราว์เซอร์ Chrome และ Firefox ในการแสดงผล

การซ้อนทับลำดับชั้นข้อมูล	จำนวนข้อมูล (จุด)	เวลา (s)			
		Chrome		Firefox	
		with Library	without Library	with Library	without Library
แหล่งน้ำผิวดิน	13179	10.29	12.47	23.41	24.21
เขตพื้นที่	13761	9.03	9.95	18.05	20.84
อาคาร	22515	22.18	23.49	50.06	53.29
ถนน	28533	31.48	32.39	57.15	69.69
เส้นชั้นความสูง	190083	149.65	153.59	241.86	242.22

จากข้อมูลในตารางที่ 4.10 และข้อมูลกราฟในรูปที่ 4.24 แสดงเวลาที่ใช้ในการคำนวณจุดพิกัดและการซ้อนทับลำดับชั้นข้อมูล จะเห็นว่าชุดคำสั่งที่มีการเรียกใช้งานคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์จะใช้เวลา “ใกล้เคียง” กับชุดคำสั่งที่ไม่มีการเรียกใช้งานคลังกราฟิก ซึ่งผู้พัฒนาสามารถเรียกใช้งานคลังกราฟิกที่รวบรวมชุดคำสั่งย่อยในด้านการนำเข้าชั้นข้อมูลและการคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนได้อย่างสะดวก



รูปที่ 4.24 แสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการคำนวณจุดพิกัดและการซ้อนทับลำดับชั้นข้อมูลของชุดคำสั่งที่ไม่มีและมีการเรียกใช้งานคลังกราฟิก โดยที่แกน x แสดงจำนวนเวลาและแกน y แสดงจำนวนข้อมูลจุด x, y, z บนโครงข่ายสามเหลี่ยม

4.5.4 การวิเคราะห์ข้อมูลในด้านประสิทธิภาพของการซ้อนทับลำดับชั้นข้อมูลและการเชื่อมโยงการประมวลผลจากโปรแกรมภายนอก

ในประเด็นของการทดสอบประสิทธิภาพความถูกต้องของการซ้อนทับลำดับชั้นข้อมูลและการเชื่อมโยงการประมวลผลจากโปรแกรมภายนอก ทำการเลือกจุดบนแบบจำลอง เพื่อทดลองทำการเปรียบเทียบการใช้งานระหว่างทดสอบค่าแปรฝัน ของการซ้อนทับชั้นข้อมูลและการคำนวณหาพื้นที่จากพิกัดจุดสำหรับการสุ่มเลือกจากผู้สังเกตคนเดียวกัน (Intra Observer Variability) กับทดสอบค่าแปรฝันระหว่างกลุ่มผู้สังเกต (Inter Observer Variability) ด้วยวิธีการวัดระยะห่างเฉลี่ย (Mean) ดังแสดงในสมการที่ 4.1 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ดังแสดงในสมการที่ 4.2 ของจุดข้อมูลที่ได้ทำการซ้อนทับบนพื้นผิวแบบจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.25 ได้แก่

- ทดสอบค่าแปรผันสำหรับผู้สังเกต 1 ราย (Intra Observer Variability) โดยให้ผู้สังเกตเลือกจุดในขั้นตอน A เป็นการเลือกจุดพิกัดเพียงจุดเดียวในแต่ละรอบเพื่อทดสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากระยะห่างระหว่างจุดในรอบก่อนหน้าและจุดในรอบปัจจุบัน ขั้นตอน B เป็นการเลือกจุดพิกัด 2 จุดเพื่อหาระยะห่างเฉลี่ยจากระยะห่างในแต่ละรอบ ขั้นตอน C เป็นการเลือกจุดพิกัด 3 จุดเพื่อหาพื้นที่เฉลี่ยของสามเหลี่ยมในแต่ละรอบ และขั้นตอน D เป็นการเลือกจุดพิกัด 4 จุดเพื่อหาพื้นที่เฉลี่ยของสี่เหลี่ยมในแต่ละรอบ ทำการทดลองเช่นนี้ทั้งหมดจำนวน 10 รอบ รอบละ 3 ครั้ง

- ทดสอบค่าแปรผันสำหรับผู้สังเกต 10 ราย (Inter Observer Variability) โดยให้ผู้สังเกตเลือกจุดในขั้นตอน A เป็นการเลือกจุดพิกัดเพียงจุดเดียวในแต่ละรอบเพื่อทดสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากระยะห่างระหว่างจุดในรอบก่อนหน้าและจุดในรอบปัจจุบัน ขั้นตอน B เป็นการเลือกจุดพิกัด 2 จุดเพื่อหาระยะห่างเฉลี่ยจากระยะห่างในแต่ละรอบ ขั้นตอน C เป็นการเลือกจุดพิกัด 3 จุดเพื่อหาพื้นที่เฉลี่ยของสามเหลี่ยมในแต่ละรอบ และขั้นตอน D เป็นการเลือกจุดพิกัด 4 จุดเพื่อหาพื้นที่เฉลี่ยของสี่เหลี่ยมในแต่ละรอบ ทำการทดลองเช่นนี้จำนวนคนละ 1 รอบ รอบละ 3 ครั้ง

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \tag{4.1}$$

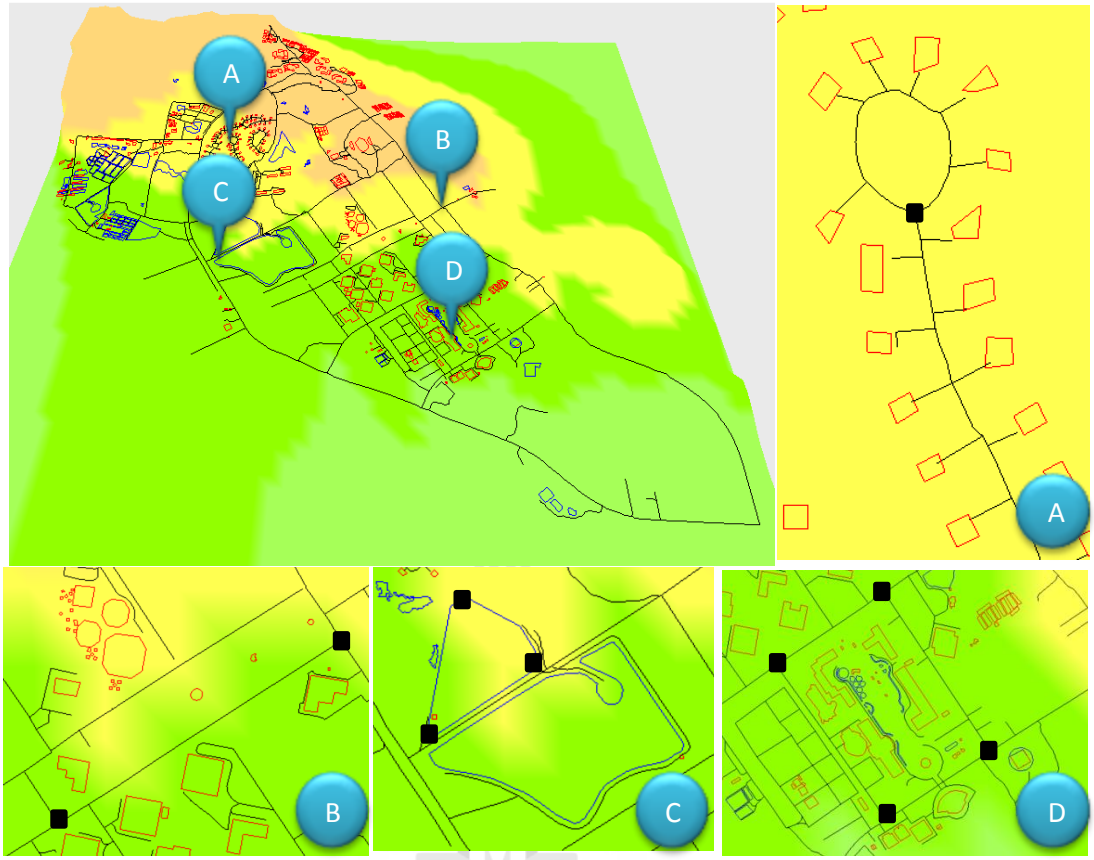
$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \tag{4.2}$$

โดยที่ $\sum_{i=1}^{n} x_i$ คือ ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยข้อมูล

n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

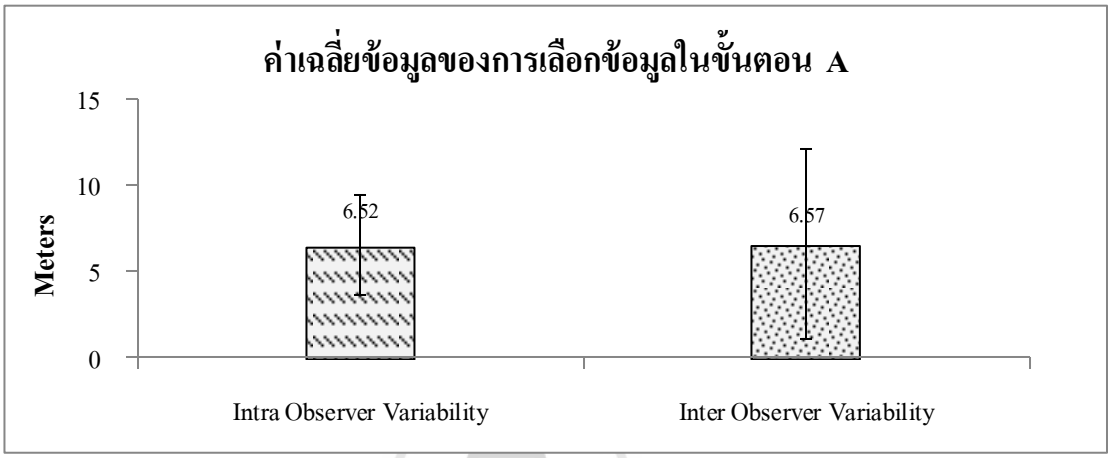


รูปที่ 4.25 แสดงจุดพิกัดเพื่อพิจารณาค่าความผิดพลาดของการซ้อนทับชั้นข้อมูล

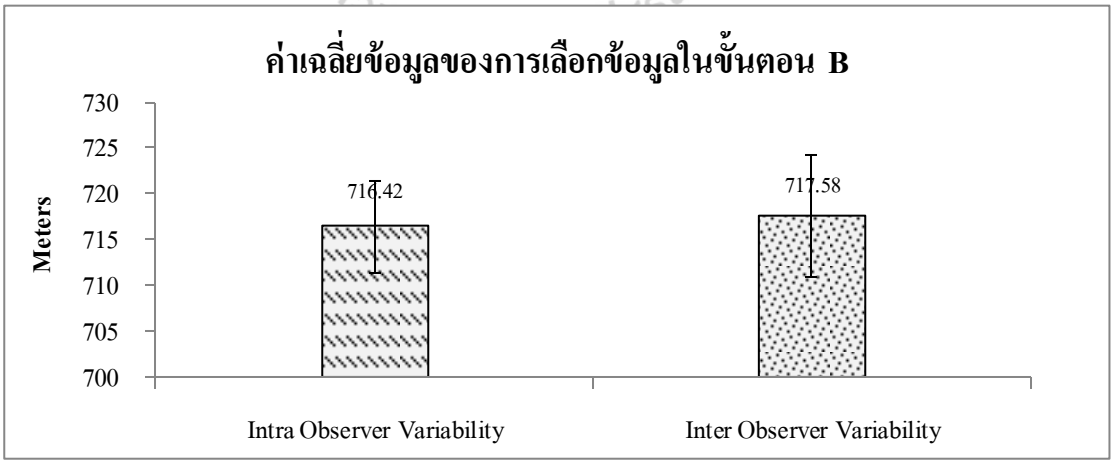
ตารางที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเลือกจุดจากผู้ใช้คนเดียวกัน และการเลือกจุดจากผู้ใช้งานหลายคน

จุด	ผู้ใช้งานคนเดียว (Intra Observer Variability)		ผู้ใช้งานหลายคน (Inter Observer Variability)	
	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ค่าเบี่ยงเบน (S.D.)	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ค่าเบี่ยงเบน (S.D.)
A	6.52 เมตร	2.86	6.57 เมตร	5.50
B	716.42 เมตร	5.01	717.58 เมตร	6.55
C	52092.58 ตารางเมตร	3048.37	53988.59 ตารางเมตร	3398.50
D	213207.80 ตารางเมตร	8758.34	214697.20 ตารางเมตร	11126.87

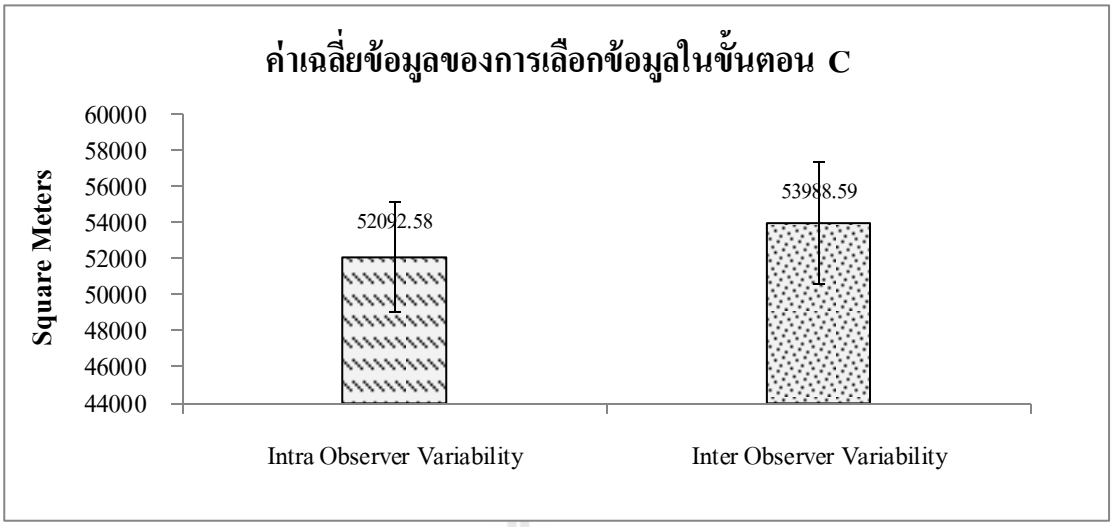
จากตารางที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเลือกข้อมูลในแต่ละจุด จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยข้อมูลของการเลือกจุดจากผู้สังเกตคนเดียว “ใกล้เคียง” กับการเลือกจุดจากผู้สังเกตหลายคน จะมีเพียงการเลือกในขั้นตอน C ที่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยพื้นที่สามเหลี่ยมเนื่องจากเป็นการหาพื้นที่ของแหล่งน้ำ ซึ่งไม่มีขอบมุมที่ชัดเจน และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเลือกจุดจากผู้ใช้งานคนเดียว “น้อยกว่า” การเลือกจุดจากผู้ใช้หลายคน



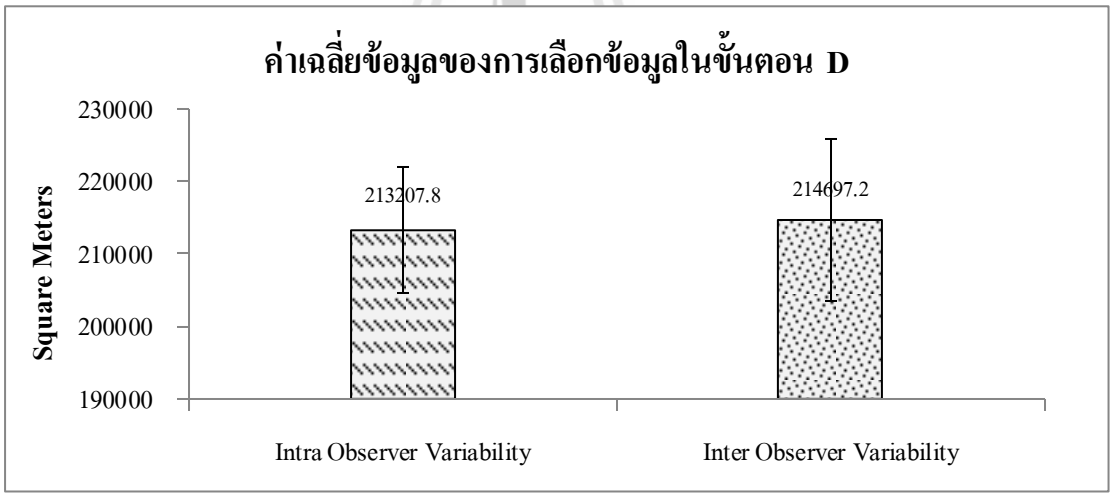
รูปที่ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบผลการซ้อนทับชั้นข้อมูลและการเชื่อมโยงการประมวลผลขั้นตอน A โดยที่แกน x แสดงค่าเฉลี่ยข้อมูล และแกน y แสดงวิธีการสุ่มเลือกจากผู้สังเกต



รูปที่ 4.27 แสดงการเปรียบเทียบผลการซ้อนทับชั้นข้อมูลและการเชื่อมโยงการประมวลผลขั้นตอน B โดยที่แกน x แสดงค่าเฉลี่ยข้อมูล และแกน y แสดงวิธีการสุ่มเลือกจากผู้สังเกต



รูปที่ 4.28 แสดงการเปรียบเทียบผลการซ้อนทับชั้นข้อมูลและการเชื่อมโยงการประมวลผลขั้นตอน C โดยที่แกน x แสดงค่าเฉลี่ยข้อมูล และแกน y แสดงวิธีการสุ่มเลือกจากผู้สังเกต



รูปที่ 4.29 แสดงการเปรียบเทียบผลการซ้อนทับชั้นข้อมูลและการเชื่อมโยงการประมวลผลขั้นตอน D โดยที่แกน x แสดงค่าเฉลี่ยข้อมูล และแกน y แสดงวิธีการสุ่มเลือกจากผู้สังเกต

4.6 การอภิปรายผล

ในการทดสอบคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์จากการพัฒนาตัวอย่างโปรแกรมประยุกต์ในแต่ละขั้นตอน เริ่มตั้งแต่การขึ้นรูปแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขเพื่อแสดงลักษณะภูมิประเทศในเขตพื้นที่ตัวอย่าง การซ้อนทับลำดับชั้นข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ และการเชื่อมโยงการประมวลผลกับคลังโปรแกรมภายนอก จากการทดสอบชุดคำสั่งที่ไม่มีและมีการเรียกใช้งานคลังกราฟิก แสดงให้เห็นว่าคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ประกอบด้วยฟังก์ชันที่อำนวยความสะดวกสำหรับผู้ที่ต้องการสร้างแบบจำลองสามมิติทางภูมิศาสตร์ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ สามารถการกำหนดคุณลักษณะด้านกราฟิกซึ่งสัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศ การแปลงข้อมูลนำเข้าเพื่อการสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข การควบคุมและโต้ตอบการใช้งาน มีประสิทธิภาพที่เชื่อถือได้ในการสร้างลำดับชั้นข้อมูลและการเลือกจุดเพื่อเชื่อมโยงการประมวลผลกับโปรแกรมภายนอก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์เพื่อแสดงแบบจำลองข้อมูลเชิงพื้นที่ทางภูมิศาสตร์บนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตยังคงไม่เป็นที่แพร่หลายนัก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาและพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์สำหรับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อเป็นเครื่องมือที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการทำงานเกี่ยวกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ มีบทบาทสำคัญในการสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข การซ้อนทับชั้นข้อมูล และการเชื่อมโยงการประมวลผลกับคลังโปรแกรมภายนอกแสดงผ่านเว็บเบราว์เซอร์โดยผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องติดตั้งโปรแกรมเสริม

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็นสามส่วน โดยส่วนแรกจะเป็นการศึกษาเทคนิคกระบวนการวิธีที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ ส่วนที่สองจะเป็นการพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ด้วยเทคโนโลยี WebGL โดยใช้คุณสมบัติทางด้านกราฟิกของมาตรฐาน HTML5 และการทดสอบประสิทธิภาพของคลังกราฟิก มีขั้นตอนวิธีที่เกี่ยวข้อง คือ การสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขชนิดโครงข่ายสามเหลี่ยมสม่ำเสมอ (Digital Elevation Model) การซ้อนทับลำดับชั้นทางภูมิศาสตร์ (Overlay Function) และการเชื่อมโยงการประมวลผลจากคลังโปรแกรมภายนอก (External Library) ส่วนที่สามจะเป็นการพัฒนาตัวอย่างโปรแกรมประยุกต์บนเว็บจากการเรียกใช้งานคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ แสดงผลลักษณะภูมิประเทศจากข้อมูลตัวอย่างผ่านเว็บเบราว์เซอร์

5.1 สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์สำหรับการจำลองข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยการใช้งานคุณสมบัติด้านกราฟิก Canvas ของมาตรฐาน HTML5 ด้วยเทคโนโลยี WebGL ที่เชื่อมโยงระหว่างเบราว์เซอร์กับหน่วยประมวลผลกราฟิกเพื่อแสดงผลแบบจำลองข้อมูลสามมิติผ่านเว็บเบราว์เซอร์ในรูปแบบที่ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องติดตั้งโปรแกรมเพิ่มเติม สามารถสรุปขั้นตอนการพัฒนาได้ดังนี้

5.1.1 สรุปขั้นตอนการสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข

การสร้างแบบจำลองแสดงลักษณะพื้นผิวภูมิประเทศในรูปแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขชนิดโครงข่ายสามเหลี่ยมสม่ำเสมอเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเลข เป็นขั้นตอนส่วนหนึ่งของการพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์เพื่ออำนวยความสะดวกเกี่ยวกับการคำนวณทางคณิตศาสตร์และเรขาภาพที่ซับซ้อนสำหรับการสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนในการนำเข้าข้อมูลเมทริกซ์ระดับความสูง การแปลงรูปแบบข้อมูลให้มีรูปแบบเดียวกัน การซ้อนแถบสีตามระดับความสูงของภูมิประเทศตามข้อกำหนด ESRI (Environmental System Research Institute, Inc.) การหาค่าแนวฉากเพื่อคำนวณแสงตกกระทบบนพื้นผิวภูมิประเทศ และการขึ้นรูปโดยการเรียกใช้งาน WebGL เพื่อการแสดงผลแบบจำลองสามมิติผ่านเว็บเบราว์เซอร์โดยที่ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องติดตั้งโปรแกรมเสริม จากผลการทดสอบพบว่าเมื่อข้อมูลมีความละเอียดเพิ่มขึ้น จะใช้เวลาในการประมวลผลเพิ่มขึ้น เนื่องจากการสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขชนิดโครงข่ายสามเหลี่ยมสม่ำเสมอ จัดเก็บข้อมูลในทุกตำแหน่งบนกริด มีจำนวนระนาบสามเหลี่ยมขึ้นอยู่กับจำนวนจุดพิกัดบนตารางกริด เมื่อจำนวนจุดข้อมูลเพิ่มขึ้น ทำให้มีจำนวนระนาบสามเหลี่ยมเพิ่มขึ้น ซึ่งจะใช้เวลาในการประมวลผลเพิ่มขึ้นตามไปด้วย สามารถสรุปได้ว่าการพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์สำหรับการสร้างแบบจำลอง สามารถแสดงผลลักษณะภูมิประเทศได้จริงและมีความถูกต้องเป็นที่ยอมรับได้ ซึ่งสามารถนำผลที่ได้จากการพัฒนาไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สำหรับการประมวลผลภาพสามมิติและการวิเคราะห์ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้

5.1.2 สรุปขั้นตอนการซ้อนทับชั้นข้อมูลทางภูมิศาสตร์

การซ้อนทับลำดับชั้นทางภูมิศาสตร์สำหรับแสดงสภาพภูมิประเทศ เป็นขั้นตอนส่วนหนึ่งของการพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์เพื่ออำนวยความสะดวกในการนำเข้าชั้นข้อมูล ซึ่งจัดเก็บข้อมูลที่แทนลักษณะต่างๆ บนพื้นโลกด้วยจุด เส้น และโพลีกอนโดยการวางซ้อนชั้นข้อมูลสำหรับแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเชิงพื้นที่กับข้อมูลเชิงบรรยายเพื่อใช้ในการตัดสินใจแก้ปัญหา (Decision Making) จากผลการทดสอบพบว่า ชั้นข้อมูลที่มีจำนวนจุดมากขึ้น จะใช้เวลาในการประมวลผลมากขึ้น เนื่องจากชั้นข้อมูลสกุล *.shp จัดเก็บข้อมูลแบบเวกเตอร์ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียนสองมิติ ในการซ้อนทับชั้นข้อมูลลงบนแบบจำลองที่มีการจัดเก็บข้อมูล

ราสเตอร์ จึงจำเป็นต้องทำนายค่าความสูงของพิกัดให้อยู่ในรูประบบพิกัดคาร์ทีเซียนสามมิติ ด้วยวิธี Barycentric Interpolation โดยค้นหาจุดพิกัดบนระนาบสามเหลี่ยมและทำการประมาณค่าข้อมูลจากจุดยอดของระนาบสามเหลี่ยม ทำให้ใช้เวลาในการประมวลผลมากขึ้น สามารถสรุปได้ว่าการพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์สำหรับการซ้อนทับข้อมูลทางภูมิศาสตร์ สามารถซ้อนทับชั้นข้อมูลได้จริงและมีความถูกต้องเป็นที่น่าพอใจ สามารถนำผลที่ได้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อประเมินสภาพของทรัพยากรธรรมชาติ และนำไปประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมได้

5.1.3 สรุปขั้นตอนการเชื่อมโยงการประมวลผลกับคลังโปรแกรมภายนอก

การเชื่อมโยงการประมวลผลกับคลังโปรแกรมภายนอกเป็นขั้นตอนส่วนหนึ่งของการพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์เพื่อการเชื่อมโยงการประมวลผลกับคลังโปรแกรมซึ่งเป็นส่วนที่รวบรวมชุดคำสั่งที่จำเป็นในการทำงานของโปรแกรม เช่น โปรแกรมสำหรับการพัฒนาระบบกราฟิกที่รองรับการทำงานของ OpenGL สำหรับ C/C++ ในรูปแบบข้อมูล *.exe ที่เป็นที่นิยมสามารถประมวลผลเรขาภาพและคณิตศาสตร์เชิงซ้อนได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ เป็นต้น โดยใช้เทคโนโลยี AJAX ในการติดต่อกับชุดคำสั่งพีเอชพีเพื่อการรับส่งค่าข้อมูลตัวแปรอะเรย์สัมพันธ์จากเซิร์ฟเวอร์ในรูปแบบ HTTP_POST แสดงผลลัพธ์ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ที่ผู้ใช้งานทั่วไปสามารถเข้าถึงได้ง่ายบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ทำให้โปรแกรมมีลักษณะเป็น web base application ที่สามารถพัฒนาเพิ่มเติมได้ จากผลการทดสอบพบว่าค่าเฉลี่ยของการเลือกจุดและการคำนวณหาพื้นที่ในบริเวณที่กำหนดจากผู้ใช้คนเดียวกัน (Intra Observer Variability) กับต่างผู้ใช้งาน (Inter Observer Variability) มีความใกล้เคียงกัน สามารถสรุปได้ว่าการพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์สำหรับการเชื่อมโยงการประมวลผลกับคลังโปรแกรมภายนอก สามารถเชื่อมต่อการประมวลผลได้จริง ช่วยลดภาระงานของผู้พัฒนาและสามารถพัฒนาต่อยอดได้อย่างสะดวกและมีความถูกต้องที่เชื่อถือได้

5.2 ข้อจำกัดของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์สำหรับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ดังนั้นจึงมีข้อจำกัด ดังนี้

1) สนับสนุนการทำงาน WebGL 1.0 OpenGL|ES 2.0 และ JavaScript 2.0 และสามารถแสดงผลแบบจำลองบนเบราว์เซอร์ที่รองรับมาตรฐาน HTML5

2) แบบจำลองข้อมูลที่ได้จากการเรียกใช้งานคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์เป็นแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขชนิดโครงข่ายสามเหลี่ยมสม่ำเสมอ

3) การซ้อนทับลำดับชั้นทางภูมิศาสตร์สนับสนุนชั้นข้อมูลประเภท*.shp ชนิดเส้น (Line) และโพลีกอน (Polygon)

4) เชื่อมโยงการประมวลผลด้วยเทคโนโลยี jQuery v1.8.0 เพื่อติดต่อกับโปรแกรมภายนอก *.exe ผ่านชุดคำสั่ง *.php ที่รองรับการทำงาน PHP4 และ PHP5

5.3 ข้อเสนอแนะในงานวิจัยต่อไป

การพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ ประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญคือ การสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงตัวเลขแสดงลักษณะภูมิประเทศ การซ้อนทับลำดับชั้นทางภูมิศาสตร์ และการเชื่อมโยงการประมวลผลกับโปรแกรมภายนอก ซึ่งขั้นตอนวิธีดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ ได้อีกมากมาย ดังนั้นการพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์สำหรับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จึงน่าจะเป็นประโยชน์แก่นักวิจัยและนักพัฒนาที่สนใจในการพัฒนาเทคโนโลยีเว็บกราฟิกสามมิติเพื่อการแสดงผลภาพสามมิติและสร้างโปรแกรมประยุกต์ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ โดยไม่จำเป็นต้องติดตั้งโปรแกรมเสริม ซึ่งแนวทางการวิจัยที่จะพัฒนาต่อไปได้ก็คือ

1) การพัฒนาขั้นตอนวิธีการซ้อนทับวัตถุสามมิติบนพื้นผิวแบบจำลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความสมจริงในการแสดงผล

2) การลดทอนรายละเอียดวัตถุเพื่อลดเวลาในการประมวลผลและการแสดงผล

3) การวิจัยเพื่อลดเวลาในขั้นตอนการประมาณค่าข้อมูล โดยการเลือกใช้เทคนิควิธีการค้นหาจุดในสามเหลี่ยมก่อนทำนายค่าข้อมูล เช่น Binary Search เป็นต้น

4) การวิจัยเพื่อเพิ่มความถูกต้องของการทำนายค่าข้อมูลด้วยการพิจารณาค่า Elevation Gradient ตามลักษณะทิศทางการลาดเอียงของเส้นชั้นความสูง

5) การวิจัยเพื่อเพิ่มส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface) ที่สามารถสร้างและแก้ไขแบบจำลองข้อมูลผ่านเว็บเบราว์เซอร์

6) การพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ในรูปแบบการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ (Object-oriented Programming : OOP)

รายการอ้างอิง

การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย (2555). **การท่องเที่ยวและการเดินทาง** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://thai.tourismthailand.org/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%80%E0%B8%94%E0%B8%B4%E0%B8%99%E0%B8%97%E0%B8%B2%E0%B8%87

กองภูมิสารสนเทศ (2554). **แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://gis.pwa.co.th/manual/แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข.pdf

เกษม ปิ่นทอง และสุวัฒนา จิตตลดากร. (2555). การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการคำนวณทางชลศาสตร์ การให้น้ำแบบ CENTER PIVOT. ใน **การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 17** (หน้า 1-7). อุดรธานี: โรงแรม เซ็นทารา แอนคอนเวนชั่นเซ็นเตอร์.

โกศล โสพสรุ่งเรือง. (2553). **ออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์ด้วย jQuery (Learning jQuery 1.3).** สำนักพิมพ์ บมจ.ซีเอ็ดยูเคชั่น. 528 หน้า

คะชา ชาญศิลป์. (2554). **คู่มือเรียน Web Programming ด้วย PHP, MySQL และ AJAX.** สำนักพิมพ์ บริษัท โปรวิชั่น จำกัด. 352 หน้า

เจนณรงค์ ชัยศิลปิน. (2550). การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ศึกษาพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่า : กรณีศึกษาเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าดอยผาเมือง จังหวัดลำพูนและจังหวัดลำปาง. **วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาการจัดการมนุษย์กับสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.**

ดุษฎี ชาญลิขิต. (2550). ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. **โครงการฝึกอบรมหลักสูตร “การฝึกอบรมภูมิสารสนเทศการเกษตร” ศูนย์สารสนเทศ กรมพัฒนาที่ดิน** [ออนไลน์]. ได้จาก : http://kmcenter.rid.go.th/kmc14/gis_km14/gis_km14(23).pdf

นิคม สุวรรณวร. (2554). **การพัฒนาโมเดลเทอร์เรนเซอร์เฟสโดยกริดอินเตอร์โปเลชั่น Development of a Terrain Surface Model using Grid Interpolation.** ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ปฏิวัติ สอางชัย. (2551). การสร้างข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขและภาพถ่ายออร์โธโดยใช้โฟโตแกรมเมตรีทางอากาศเชิงเลข: พื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. Construction of digital elevation model data and orthophoto using digital aerial photogrammetry: Suranaree University of Technology campus area. **วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาการรับรู้จากระยะไกล สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.**

ไพศาล โมลิสกุลมงคล. (2550). **คอมพิวเตอร์กราฟิกใช้ OpenGL (Computer Graphics using OpenGL).** หจก.ไทยเจริญการพิมพ์ ลาดพร้าว บางกะปิ กรุงเทพฯ. จำนวน 575 หน้า

วารสารสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกล และสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย. (2549). การจัดการทรัพยากรน้ำด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์#3. **Journal of Remote Sensing and GIS Association of Thailnad.** ปีที่ 7 ฉบับที่ 3 (พ.ย. - ธ.ค. 2549) สมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย. ศูนย์ราชการเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา 5 ธันวาคม 2550 เลขที่ 120 หมู่ 3 อาคารรวมหน่วยราชการ (อาคาร B) ชั้น 6 และชั้น 7 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10210

ศรีสอาด ตั้งประเสริฐ. (2537). **ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการประเมินค่าทรัพยากรที่ดิน.** กรุงเทพฯ : ศูนย์พัฒนาหนังสือ กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ. 395 หน้า

ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์กรุงเทพมหานคร. (2552). **BMA GIS Center**. ศาลาว่าการกรุงเทพมหานคร 173 ถนนดินสอ เขตพระนคร กรุงเทพฯ 10200 [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.bangkokgis.com/modules.php

สมบัติ อยู่เมือง. (2546). **โครงการพัฒนาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจ ในการบริหารจัดการและการใช้ประโยชน์ที่ดิน** กรณีศึกษา: ในเขตพื้นที่สูงบริเวณอำเภอเขาค้อ และอำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์. (งานวิจัยให้กับสำนักนายกรัฐมนตรี กันยายน พ.ศ. 2545 - พฤษภาคม พ.ศ. 2546).

สมบูรณ์ พัฒน์ธีรพงศ์. (2554). **JavaScript Programming Guide,** คอนเทนต์บลู พับลิชชิ่ง, กรุงเทพ. บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน) แขวงบางนา กรุงเทพฯ. 280 หน้า.

สมลักษณ์ บุญณรงค์, นงลักษณ์ ปาสองห้อง และเทพรัตน์ สะเภาทอง. (2554). การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อบริหารงานก่อสร้าง. **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ** ปีที่ 21 ฉบับที่ 1 ม.ค. – เม.ย. 2554: 52 – 60.

สำนักพัฒนาเทคโนโลยีการสำรวจและทำแผนที่. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2553). **Triangulated Irregular Network (TIN) และ Digital Elevation Model (DEM).** [ออนไลน์]. ได้จาก : http://osm.ldd.go.th/pdf_file/tin_dem.pdf

สำนักเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ. (2552). **แบบจำลองข้อมูล GIS.** การประปาส่วนภูมิภาค, หลักสี่ กรุงเทพฯ 10210. [ออนไลน์]. ได้จาก: http://gis.pwa.co.th/manual

อภิชัย วิจักษณ์ประเสริฐ. (2552). ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการจัดการขยะมูลฝอยและการบำบัดน้ำเสียขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น. **วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ สำนักวิชาเทคโนโลยีสังคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.**

Andre F. S. Barbosa and Frutuoso G. M. Silva. (2011). OxyBlood. In **Information Systems and Technologies (CISTI), 2011 6th Iberian Conference**. Chaves, Portugal. Page(s): 1-4

Arron R. Walker, Binj Pham and Anthony Maeder. (2003). A framework for a dynamic interactive 3D GIS for non-expert users. In **Proceedings of the 1st international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australasia and South East Asia.** Melbourne, Australia. Page(s) 283 – 284.

Benjamin P. DeLillo. (2010). WebGLU Development Library for WebGL. In **SIGGRAPH '10: SIGGRAPH 2010 Posters**. Los Angeles, California, July 25 – 29, 2010.

Bijin Chen and Zhiqi Xu. (2011). A Framework for Browser-based Multiplayer Online Games using WebGL and WebSocket. In **Multimedia Technology (ICMT), 2011 International Conference**. Hangzhou, China. July 26-28, 2011. Page(s): 471 – 474.

B. T. Phong. (1975). Illumination for computer generated pictures. In **Communications of ACM.** Volume 18 Issue 6. Page(s) 311–317.

Catherine Leung and Andor Salga. (2010). Enabling WebGL. In **WWW '10: Proceedings of the 19th international conference on World wide web**. Raleigh, North Carolina, USA. Page(s) 1369-1370.

Colin Childs. (2004). **Interpolating Surfaces in ArcGIS Spatial Analyst. ESRI Education Services. ArcUser.** [On-line]. Available: http://www.esri.com/news/arcuser/0704/files /interpolating.pdf

Cooke, R. A. and S. Mostaghimi. (1992). A microcomputer based routine for obtaining mean watershed precipitation from point values. In **Computers and Geosciences.** Volume 18 Issue 7. Page(s) 823-837.

Dianne Hansford. (2007). **Barycentric Coordinates Introduction to Computer Graphics.** Arizona State University. August 22, 2007 . [On-line]. Available: http://www. farinhansford.com/dianne/teaching/cse470/materials/BarycentricCoords.pdf

DirectX Technical Information. (2006). **Lesson 3: An Overview of the Third Dimension.** [On-line]. Available: http://www.directxtutorial.com/tutorial9/b-direct3dbasics/dx9B3.aspx

Environmental System Research Institute, Inc. (ESRI). (1988). **ESRI Shapefile Technical Description.** New York Street, Redlands, CA, USA.

Environmental System Research Institute, Inc. (2005). **GIS data structure types** [On-line]. Available: http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.1/body.cfm?tocVisable=1&ID=69&TopicName=gis%20data%20structure%20types

Francesco Di Cerbo, Gabriella Dodero and Laura Papaleo. (2010). Integrating a Web3D Interface into an E-learning Platform. In **Web3D 2010** . Los Angeles, California, July 24-25, 2010. Page(s) 83-92.

George Lebl. (2011). **GEGL (Generic Graphics Library).** [On-line]. Available: http://gegl.org/index.html

Giles Thomas. (2009). **Learning WebGL**. [On-line]. Available: http://learningwebgl.com/blog/

Johannes Behr, Perter Eschler, Yvonne Jung and Michael Zollner. (2009). X3DOM-A DOM-based HTML5/X3D Intergration Model. In **Web3D 2009.** Darmstadt, Germany, June 16-17, 2009. Page(s) 127-135

Knippers, A., R. and Westen, C.J., van. (2009). **Layer tinting and shading.** Dept. of Geoinformatics and Dept. of Earth Resources Surveys, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), P.O. Box 6, 7500 AA Enschede, The Netherlands.

Khronos Group. (2010). **The WebGL web technology: Web graphics library.** [On-line]. Available: http://www.khronos.org/webgl/.

Larrión F., Neumann-Lara V., Pizaña M. A. (2002). Whitney triangulations, local girth and iterated clique graphs. In **Discrete Mathematics 258**. Page(s) 123–135

Lindsay Kay. (2009). **3D Scene Graph Engine for WebGL.** [On-line]. Available: http://scenejs.org/

MapMart Global Mapping Solutions. (2010). **Digital Elevation Models.** [On-line]. Available: http://www.mapmart.com/Products/DigitalElevationModel.aspx

Marco Di Benedetto, Federico Ponchio, Fabil Ganovelli and Roberto Scopigno. (2010). SpiderGL : A JavaScript 3D Graphics Library for Next-Generation WWW. In **Web3D 2010** . Los Angeles, California, July 24-25, 2010. Page(s) 165-174.

Marcos A Rodrigues, Mariza Kormann and Lucy Davison. (2011). A Case Study of 3D Technologies in Higher Education: Scanning the Metalwork Collection of Museums Sheffield and its Implications to Teaching and Learning. In **Information Technology**

Based Higher Education and Training (ITHET), 2011. Kusadasi, Turkey, August 4-6, 2011. Page(s) 1-6

Michael B. Gousie. (1988). CONTOURS TO DIGITAL ELEVATION MODELS: GRID-BASED SURFACE RECONSTRUCTION METHODS. **A Thesis Submitted to the Graduate Faculty of Rensselaer Polytechnic Institute** in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of DOCTOR OF PHILOSOPHY Major Subject: Computer Science.

Mohamed Hamoud (2005). **Shape Viewer** [On-line]. Available: http://www.qarah.com /shapeviewer/

Panyaporn Prangjarote. (2010). **Chapter 4: Lighting & Shading.** Faculty of Liberal Arts and Science, Kasertsart University.

Robin Sibson. (1981). A brief description of natural neighbor interpolation (Chapter 2). In V. Barnett. Interpreting Multivariate Data. Chichester: John Wiley. Page(s) 21–36.

Sequoia Aircraft Corporation. (2007). **TOPO TOOLS. Richmond, Virginia, USA** [On-line]. Available: http://www.seqair.com/WildTools/TopoTools/SectionProfile.html

Sky McKinley and Megan Levine. (1998). **Cubic Spline Interpolation. Math 45: Linear Algebra** [On-line]. Available: http://online.redwoods.cc.ca.us/instruct/darnold/laproj /fall98/skymeg/proj.pdf

Takeo Sakairi1 , Takashi Tamada1 and Hideo Nakata . (2008). GIS Crisis-management Systems Using Ajax Technology. In **SICE Annual Conference 2008.** August 20-22, 2008, The University Electro-Communications, Japan. Page(s) 3043 - 3046.

Watson D. and Philip G. (1985). A refinement of inverse distance weighted interpolation. **Geo-Processing 2.** Page(s) 315-327.

Web3D Consortium. (2008). **Open Standards for Real-Time 3D Communication** [On-line]. Available: http://www.web3d.org/realtime-3d/

Wolfram Research, Inc. (2011). **Normal Vector** [On-line]. Available: http://mathworld.wolfram .com/NormalVector.html

Xiaojun Tan, Mu Zhou, Xiang Zuo and Yuyong Cui. (2008). Integration WebGIS with AJAX and XML Based on Google Maps. In **Intelligent Networks and Intelligent Systems, 2008. ICINIS '08.** Page(s) 376- 379.

ภาคผนวก ก

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

สมธิดา ไทยเที่ยง คะชา ชาญศิลป์ และปรเมศวร์ ห่อแก้ว (2555). **คลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์สำหรับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการเกษตรกรรม.** การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 50 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 31 มกราคม – 2 กุมภาพันธ์ 2555. หน้า 94-101.

สมธิดา ไทยเที่ยง คะชา ชาญศิลป์ และปรเมศวร์ ห่อแก้ว (2555). **คลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์สำหรับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์.** การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัย มหาวิทยาลัยพายัพ, 17 กุมภาพันธ์ 2555. หน้า 109-116.

S. Sonnum, S. Thaithieng, S. Ano, K. Kusolchu and N. Kerdprasop (2011). **Approximate Web Database Search Based On Euclidean Distance Measurement.** The 2011 IAENG International Conference on Internet Computing and Web Services., Hong Kong, 16-18 March, 2011. pp. 702-706.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์สำหรับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการเกษตรกรรม

A JavaScript 3D Graphics Library for Agricultural Geographic Information System

สมธิดา ไทยเที่ยง* คะชา ชาญศิลป์* และ ปรเมศวร์ ห่อแก้ว*

Somtida Thaithieng* Kacha Chansilp* and Paramate Horkaew*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ GISGL ที่มุ่งเน้นสำหรับการสร้างแบบจำลองข้อมูลเชิงพื้นที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และการสร้างโปรแกรมประยุกต์บนเว็บเพื่อการเกษตรกรรม SUTTerrain จากคลังที่สร้างขึ้นโดยแสดงผลลักษณะภูมิประเทศในรูปแบบจำลองระดับแบบข่ายสามเหลี่ยมปกติ รวมถึงลำดับชั้นทางภูมิศาสตร์ต่างๆ จากข้อมูลตัวอย่าง ได้แก่ เขตพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยเริ่มต้นจากการสร้างแบบจำลองระดับความสูงเชิงตัวเลข ซึ่งได้จากการประมาณข้อมูลเส้นชั้นความสูงบนโครงข่ายสี่เหลี่ยมหรือกริดด้วยวิธีการเชิงเลข แล้วจึงทำการขึ้นรูปแบบจำลองด้วยเว็บจีแอล การดำเนินการแบบโต้ตอบด้านกราฟิกต่างๆ กับลำดับชั้นทางภูมิศาสตร์เพื่อกิจกรรมทางการเกษตร สามารถพัฒนาปรับแต่งได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยอาศัยคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์สำหรับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการแสดงผลการจำลองข้อมูลเชิงพื้นที่ซึ่งถูกจัดเก็บแบบมาตรฐาน ผ่านเว็บเบราว์เซอร์โดยไม่ต้องติดตั้งโปรแกรมเสริม

ABSTRACT

This paper introduces GISGL, a JavaScript library for developing 3D graphic applications within a web browser. Its role is essentially simplifying the geometric modeling of 3D spatial data with customized GUI. We demonstrate the potential of the purposed GISGL by applying the library to the development of an Agricultural Geographical Information Systems. The target application makes use of the simple yet effective components that GISGL has to offer. Their implementations include but not limited to the creation of a Digital Elevation Model on a regular grid from a set of contour lines. Other geographical information in shape file format can be incorporated into the system and rendered into the 3D WebGL framework, without plugin required. Thus, a variety of graphical interactions such as layer tinting, lighting effect, geometrical transformation, spatial data overlay and according annotation could be performed effectively, letting programmers to focus primarily on the actual applications at hands.

Key Words: JavaScript, Library, WebGL, GIS

e-mail address: somtida.th@gmail.com

*สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000

*School of Computer Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000.

คำนำ

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นกระบวนการที่ใช้ระบบคอมพิวเตอร์ในการกำหนดข้อมูลเชิงพื้นที่เชื่อมโยงความสัมพันธ์กับข้อมูลเชิงบรรยายเพื่ออ้างอิงถึงตำแหน่งในระบบพิกัดภูมิศาสตร์กับข้อมูลคุณลักษณะและข้อมูลสารสนเทศ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้สอดคล้องตามวัตถุประสงค์ด้านสถาปัตยกรรมและการเกษตร เช่น การวางผังเมือง ระบบขนส่ง การชลประทาน การพยากรณ์อากาศ การเกิดอุทกภัย การกำหนดเขตพื้นที่เพื่อการเกษตร การสร้างแบบจำลองทางภูมิศาสตร์โดยแทนลักษณะต่างๆ ด้วยเส้น จุด และโพลีกอน เป็นต้น องค์ประกอบหลักส่วนหนึ่งที่สำคัญของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ได้แก่ ส่วนชุดคำสั่งที่ประกอบด้วยฟังก์ชันการทำงานและเครื่องมือที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการนำเข้าข้อมูลเชิงตัวเลขทางภูมิศาสตร์ การปรับแต่งรูปแบบข้อมูลให้เหมาะสมกับลักษณะงาน การบริหารข้อมูลเพื่อการสืบค้นที่มีประสิทธิภาพ การวิเคราะห์ข้อมูลและการประมวลผลภาพเพื่อแสดงผลข้อมูล

การพัฒนาชุดคำสั่งและคลังเว็บกราฟิกสำหรับการแสดงผลข้อมูลกราฟิกสามมิติผ่านทางเว็บเบราว์เซอร์โดยใช้เว็บจีแอล (WebGL, 2010) เป็นส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์แสดงผลของคอมพิวเตอร์จากสคริปต์บนเว็บเพจ มีรูปแบบการใช้งานคุณสมบัติทางด้านกราฟิก (Canvas Element) ของมาตรฐานเอชทีเอ็มแอลห้า ที่อำนวยความสะดวกแก่ผู้พัฒนากราฟิกสามมิติในการสร้างระบบกราฟิกต่างๆ สร้างโดยกลุ่มโครโนส (Khronos, 2010) โดยมีพื้นฐานอยู่บนคลังกราฟิกเปิด (OpenGL, 2010) เชื่อมโยงชุดคำสั่งจาวาสคริปต์ ในการติดต่อระหว่างเว็บเบราว์เซอร์กับหน่วยประมวลผลกราฟิกเพื่อใช้งานส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์สำหรับแสดงผลภาพกราฟิกสามมิติผ่านเว็บเบราว์เซอร์โดยไม่จำเป็นต้องติดตั้งตัวเสริม ตัวอย่างการพัฒนาคลังกราฟิก เช่น GLGE (Brunt P., 2010) SpiderGL (Benedetto M. Di et al., 2010) SceneJs (Kay, 2009) เป็นต้น ผู้วิจัยพบว่าการพัฒนาคลังกราฟิกดังกล่าวยังไม่ได้มีการมุ่งเน้นโดยตรงเกี่ยวกับการพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์สำหรับการจำลองข้อมูลเชิงพื้นที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ นอกจากนี้การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เช่น ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และการสำรวจระยะไกลเพื่อการจัดการธุรกิจเกษตรในอนาคต (สุดชาย และ จุฑาลักษณ์,2553) การประยุกต์ใช้ข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติงานด้านป่าไม้ (วิชิต, 2552) เป็นต้น ยังคงเป็นการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ที่ทำงานโดยลำพังบนเครื่องเดียว (Standalone Program) ไม่มีการเชื่อมต่อเพื่อใช้ทรัพยากรร่วมกันกับเครื่องอื่นๆ ซึ่งโปรแกรมเหล่านี้ไม่สามารถปรับแต่งได้ตามความต้องการและมีรูปแบบการใช้งานเฉพาะ

ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้ มีแนวคิดในการพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ที่มุ่งเน้นสำหรับการสร้างแบบจำลองข้อมูลเชิงพื้นที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ พร้อมทั้งนำเสนอตัวอย่างการนำคลังกราฟิกไปพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนเว็บเพื่อการสร้างเทคโนโลยีทางการเกษตรขึ้นมาใหม่ให้มีความเหมาะสมกับพื้นที่และลักษณะของทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่ ใช้ในการวางแผนและวิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่ทางด้าน

กายภาพสำหรับการเกษตรกรรม จากข้อมูลตัวอย่างในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยเริ่มจากการนำเข้าข้อมูลตัวเลขที่ได้จากการประมาณค่าความสูงบนกริดและชั้นข้อมูล ทำการขึ้นรูปแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขและการซ้อนทับข้อมูลลำดับชั้นทางภูมิศาสตร์ด้วยการเรียกใช้งานคลังกราฟิกจาวาสคริปต์และเว็บจีแอล ดำเนินการแบบโต้ตอบด้านกราฟิก แสดงผลลักษณะภูมิประเทศในรูปแบบจำลองระดับแบบข่ายสามเหลี่ยมปกติและลำดับชั้นทางภูมิศาสตร์ ผ่านเว็บเบราว์เซอร์โดยไม่ต้องติดตั้งโปรแกรมเสริม

อุปกรณ์และวิธีการ

การนำเข้าข้อมูล

ข้อมูลเส้นชั้นความสูง เป็นข้อมูลที่ใช้บอกระดับความสูงที่คงที่ มีค่าระดับความสูงเท่าๆ กันบนพื้นดิน การนำเข้าข้อมูลเส้นชั้นความสูงที่นำมาใช้สร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขในงานวิจัยนี้ เป็นข้อมูลที่ได้ทำการเฉลี่ยค่าความสูงของทุกจุดบนกริดด้วยวิธีการเชิงเลข (Gabano et al., 2011) เก็บค่าข้อมูลในลักษณะของตำแหน่งระบบพิกัดคาร์ทีเซียน x,y,z ที่มีความต่อเนื่องกัน นอกจากนี้ยังสามารถซ้อนทับ (Overlay) ลำดับชั้นทางภูมิศาสตร์ต่างๆ ด้วยนำเข้าชั้นข้อมูล Shape File (ESRI, 1998) ซึ่งเป็นข้อมูลที่จัดเก็บในรูปแบบข้อมูลเวกเตอร์และข้อมูลคุณลักษณะประกอบด้วยจุด เส้น โพลีกอน ใช้บอกถึงข้อมูลเชิงพื้นที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

คลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ GISGL

GISGL เป็นคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ประกอบด้วยฟังก์ชันพื้นฐานที่ช่วยลดความซับซ้อนในการคำนวณทางคณิตศาสตร์เชิงซ้อนและการเรียกใช้งานเว็บจีแอล ช่วยอำนวยความสะดวกสำหรับผู้ที่ต้องการพัฒนาแบบจำลองสามมิติทางภูมิศาสตร์ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ โดยผู้พัฒนาโปรแกรมสามารถดำเนินการแบบโต้ตอบด้านกราฟิกต่างๆ ดังนี้

การสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข: แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model: DEM) เป็นข้อมูลตัวเลขแสดงค่าความสูงของภูมิประเทศบนผิวโลกที่จากการวัดระดับความสูงในรูปแบบข้อมูลตารางกริด (Sun Yan et al., 2009) โดยแต่ละตารางกริดจะเก็บค่าพิกัดบนผิวโลกและความสูงทางภูมิประเทศ งานวิจัยนี้แสดงผลลักษณะภูมิประเทศในรูปแบบจำลองระดับแบบข่ายสามเหลี่ยมปกติ (Regular Triangular Mesh) เป็นการจัดเก็บค่าระดับที่มีการระบุความสัมพันธ์ระหว่างจุดระดับที่อยู่ใกล้กัน 3 จุด ซึ่งแบบจำลองจะประกอบด้วยสามเหลี่ยมขนาดต่างๆ ที่ปรับตัวไปตามลักษณะภูมิประเทศ

การใส่แถบสีตามระดับความสูงของลักษณะภูมิประเทศ: การแสดงลักษณะภูมิประเทศโดยการใช้แถบสีแสดงความสูงต่ำของภูมิประเทศที่แตกต่างกัน เช่น สีน้ำเงินแสดงบริเวณพื้นที่ระดับน้ำทะเล สีเขียวแสดงพื้นที่ราบ สี เหลือง

จนถึงสีส้มแสดงบริเวณที่มีลักษณะเป็นที่สูง สีน้ำตาลแสดงบริเวณที่มีลักษณะเป็นภูเขา เป็นต้น โดยการกำหนดค่าสีในระบบสีของแสง RGB (Knippers and Westen, 2009)

การใส่แสงตกกระทบตามระดับความสูงของลักษณะภูมิประเทศ: แหล่งกำเนิดแสงจะมีผลต่อพื้นผิวที่มีการดูดซับหรือสะท้อนแสง โดยแต่ละพื้นผิวอาจมีลักษณะต่างกันจะมีการสะท้อนแสงหรือกระจายแสงไปในทิศทางที่ต่างกันตามระดับความสูงต่ำ ความลาดชันของพื้นผิวภูมิประเทศ

การใช้เมาส์ควบคุมการหมุนของแบบจำลอง: การตอบสนองกับผู้ใช้งานเมื่อเกิดเหตุการณ์ เช่น เหตุการณ์เมื่อผู้ใช้กดปุ่มบนเมาส์หรือมีการเปลี่ยนตำแหน่งของเมาส์เพื่อทำการหมุนแบบจำลอง เป็นต้น

การสร้างลำดับชั้นทางภูมิศาสตร์ต่างๆ ด้วยการนำเข้าชั้นข้อมูล (Shape File): ชั้นข้อมูลเป็นข้อมูลที่จัดเก็บในรูปแบบข้อมูลเวกเตอร์และข้อมูลคุณลักษณะประกอบด้วยจุด เส้น โพลีกอน ที่ใช้บอกถึงข้อมูลเชิงพื้นที่ การสร้างลำดับชั้นทางภูมิศาสตร์ เป็นการนำข้อมูลมารวมกัน เช่น เส้นทางคมนาคม เขตที่ดิน ที่ตั้งชุมชน เป็นต้น เพื่อแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลเชิงบรรยาย

โดยสรุป คลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ GISGL ประกอบด้วยฟังก์ชันที่อำนวยความสะดวกในการกำหนดคุณลักษณะด้านกราฟิกซึ่งสัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศ การแปลงข้อมูลนำเข้าเพื่อการสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข การควบคุมและโต้ตอบการใช้งานและการซ้อนทับลำดับชั้นทางภูมิศาสตร์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนหนึ่งของส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์เว็บจีแอล เชื่อมโยงชุดคำสั่งจาวาสคริปต์กับคลังกราฟิกเปิดในการติดต่อระหว่างเว็บเบราว์เซอร์กับหน่วยประมวลผลกราฟิก สามารถแสดงองค์ประกอบโดยรวมและส่วนเชื่อมโยงของคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ GISGL พร้อมแสดงส่วนนำเข้าชั้นข้อมูลประเภทเส้นชั้นความสูง เส้นทางคมนาคม เขตพื้นที่ แหล่งน้ำ ดังแสดงใน Fig. 1

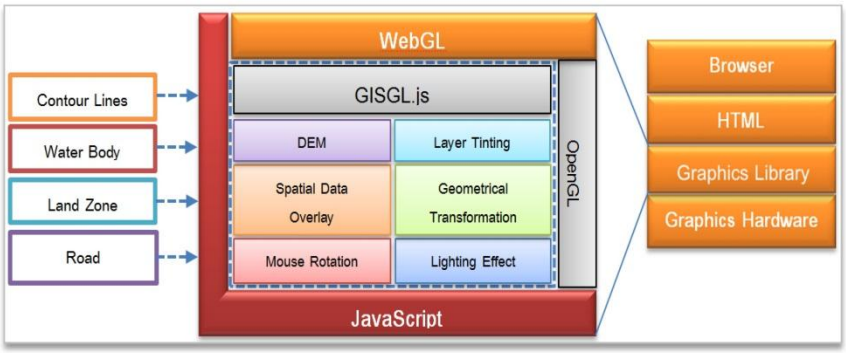


Figure 1 Overview showing the components of the GISGL

ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองด้วย GISGL

ผู้พัฒนาสามารถเรียกใช้คลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ GISGL ดังกล่าวข้างต้น ในการสร้างโปรแกรมประยุกต์บนเว็บ เริ่มต้นจากการกำหนดชื่อและขนาดของพื้นที่ (Canvas) บนเว็บเพจ สร้างฉาก (Scene) ทำการเชื่อมโยงฉากที่สร้างกับพื้นที่ นำเข้าข้อมูล เรียกใช้งานเว็บจีแอลจากคลังกราฟิกเปิดเชื่อมโยงชุดคำสั่งจาวาสคริปต์ในการติดต่อระหว่างเว็บเบราว์เซอร์กับหน่วยประมวลผลกราฟิก การสร้างลำดับชั้นข้อมูลทางภูมิศาสตร์จากชั้นข้อมูลและดำเนินการแบบโต้ตอบทางด้านกราฟิก ตามลำดับ ดังแสดงใน Fig. 2

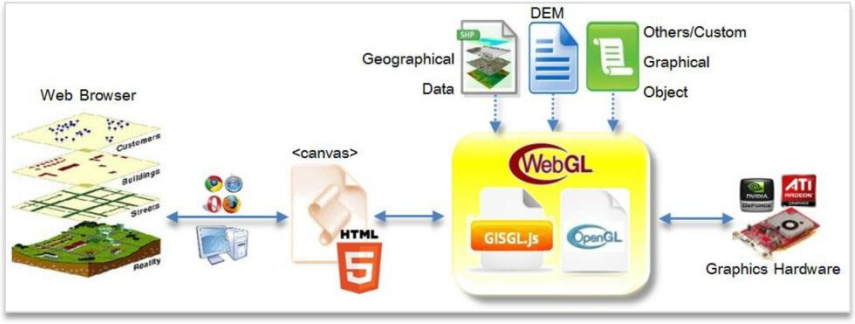


Figure 2 Steps to create a scene with GISGL

ตัวอย่างการเขียนรหัสคำสั่งการเชื่อมโยงพื้นที่วาดกับการดำเนินการแบบโต้ตอบทางด้านกราฟิกในการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนเว็บ SUTTerrain ที่สร้างจากคลังกราฟิก GISGL แสดงแบบจำลองลักษณะภูมิประเทศสามมิติในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีและการซ้อนทับลำดับชั้นทางภูมิศาสตร์ ดังแสดงใน Fig. 3

```
<html>
<head>
<script type="text/javascript"
src="GISGL.js"></script>
<script type="text/javascript">
function webGLStart() {
    var canvas =
document.getElementById("/*this.id*/"
);
    initGL(canvas);
    initBuffers();
    canvas.onmousedown =
handleMouseDown;
  }
</script>
</head>
<body onload="webGLStart();">
<canvas id="/*this.id*/"
width="/*this.
Width*/"height="/*this. Height*/ ">
</canvas>
</body></html>
```

SUTTerrain.html

```
function tinting(/*Parameter z*/){
  var colors;
  if(/*Condition z>=100&&z<200*/)
     colors = colors.concat([/*R, G,
B, Alpha*/]);
  else if(/*Condition
z>=200&&z<300*/)
     colors = colors.concat([/*R, G,
B, Alpha*/]);
  return colors;}
```

```
function ShpRecord(/*src*/) {
  var availableBytes =
src.getLength() - src.position;
  switch(this.shapeType) {
    case ShpType.SHAPE_POINT:
      this.shape = new ShpPoint(src,
this.contentLengthBytes);
}
```

GISGL.js

Figure 3 HTML scene associated with the WebGL and canvas (left) Examples of library components in GISGL used in the left hand side code (right)

ผลการทดลองและวิจารณ์

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการเกษตรได้หลายลักษณะ เช่น ระบบข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อช่วยประเมินทางเลือกในการใช้ที่ดินทางเกษตร (เมธี, 2536) การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการหาพื้นที่เหมาะสมในการปลูกยางพาราเพื่ออนุรักษ์ต้นน้ำ (มนต์รวี, 2554) การเกษตรกรรมและเทคโนโลยีการสำรวจจากระยะไกล (แก้ว และ สิรินทร์, 2549) การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในงานด้านการชลประทาน (กรมชลประทาน, 2553) เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้พัฒนา SUTTerrain เป็นโปรแกรมประยุกต์บนเว็บที่สร้างจากคลังกราฟิก GISGL แสดงแบบจำลองลักษณะภูมิประเทศสามมิติในรูปแบบจำลองระดับแบบข่ายสามเหลี่ยมปกติ การนำเข้าข้อมูลเส้นชั้นความสูงที่นำมาใช้สร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขในงานวิจัยนี้ เป็นข้อมูลที่ใช้มีความละเอียดของกริดขนาด 64x64 จุด แสดงลักษณะภูมิประเทศในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และสร้างลำดับชั้นทางภูมิศาสตร์ต่างๆ ด้วยนำเข้าชั้นข้อมูล ได้แก่ เส้นชั้นความสูง เส้นทางคมนาคม เขตพื้นที่และแหล่งน้ำ เพื่อใช้ในการวางแผนและวิเคราะห์การเลือกใช้พื้นที่ให้เหมาะสม เช่น การเลือกพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับทำฟาร์มเกษตรภายในมหาวิทยาลัย โดยคำนึงถึงอัตราส่วนพื้นที่ ระยะห่างจากชุมชน เส้นทางคมนาคมขนส่ง แหล่งน้ำที่อยู่ใกล้ ปริมาณน้ำที่เพียงพอต่อการปลูกพืช สภาพภูมิประเทศที่เหมาะสมกับพืช

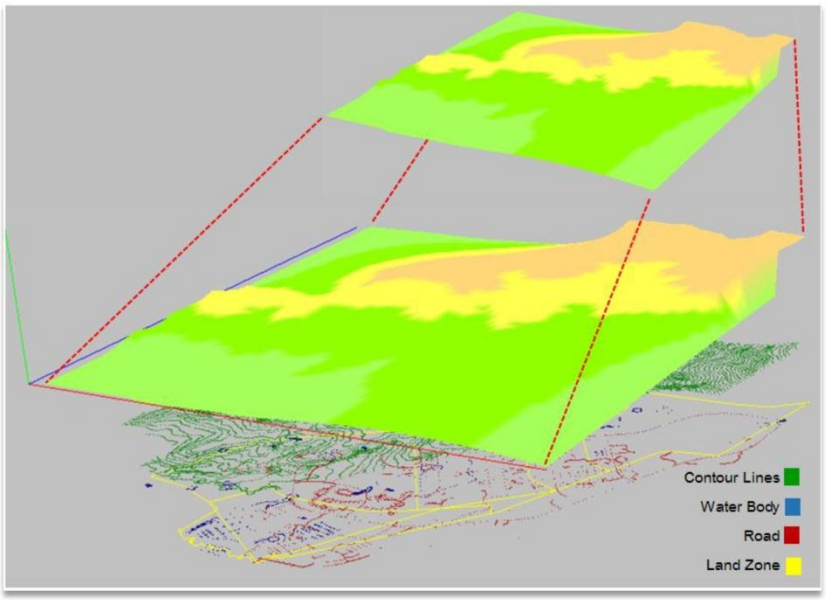


Figure 4 Screenshots of SUTTerrain running in Google Chrome

สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอ การพัฒนาคลังกราฟิกสามมิติจาวาสคริปต์ GISGL ที่มุ่งเน้นสำหรับการสร้างแบบจำลองข้อมูลเชิงพื้นที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ผ่านเว็บเบราว์เซอร์โดยไม่ต้องติดตั้งโปรแกรมเสริม เพื่อเป็นเครื่องมือที่อำนวยความสะดวกในการทำงานเกี่ยวกับการจำลองข้อมูลเชิงพื้นที่ซึ่งถูกจัดเก็บแบบมาตรฐาน โดยผู้พัฒนาสามารถเรียกใช้งานการแบบโต้ตอบด้านกราฟิกต่างๆ และได้นำเสนอโปรแกรมประยุกต์บนเว็บ SUTTerrain เพื่อการสร้างเทคโนโลยีใหม่ทางการเกษตรให้มีความเหมาะสมกับพื้นที่และลักษณะของทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่ จากคลังกราฟิก GISGL แสดงลักษณะภูมิประเทศสามมิติและการซ้อนทับลำดับชั้นภูมิศาสตร์ในเขตมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประกอบด้วยพื้นที่แถบสีเขียว สีเหลือง สีส้ม แสดงลักษณะพื้นที่ทางกายภาพเป็นพื้นที่ราบสูงและแสดงลำดับชั้นภูมิศาสตร์ เส้นทางคมนาคมโดยรอบ แหล่งน้ำกระจายทั่วไป เพื่อใช้ในการวางแผนและวิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่ทางด้านกายภาพสำหรับการเกษตรกรรม ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการซ้อนทับข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลชุดดิน การกำหนดเขตเศรษฐกิจเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยทางกายภาพและปัจจัยทางเศรษฐกิจ

เอกสารอ้างอิง

แก้ว นวลฉวี และ สิรินทร์ ช่วงโชติ. 2549. การเกษตรกรรมและเทคโนโลยี การสำรวจจากระยะไกล(รีโมตเซนซิง). **สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ** เล่มที่ 16. 2549: 39-44.

ฝ่ายบริหารจัดการน้ำ ส่วนจัดสรรน้ำและบำรุงรักษา กรมชลประทาน. 2553. **การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์**. แหล่งที่มา: http://www.rid-1.com/gis_rid1/applygis.php, 1 พฤศจิกายน 2554

มนต์รวี อินทรศิริ.2554. **การหาพื้นที่เหมาะสมในการปลูกยางพาราเพื่ออนุรักษ์ต้นน้ำ จังหวัดราชบุรี โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เมธี เอกะสิงห์. 2536. ระบบข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อช่วยประเมินทางเลือกในการใช้ที่ดินทางเกษตร. **ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่**. Agricultural Technical Report No.23: 78.

วิชิต จิรมงคลการ. 2552. **การประยุกต์ใช้ข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติงานด้านป่าไม้ ในระดับปฏิบัติการ จังหวัดอุบลราชธานี**. แหล่งที่มา: http://202.28.48.140/isaninfo/wp-content/uploads/2011/08/4.pdf, 20 กันยายน 2554

สุดชาย กำเนิดมณี และ จุฑาลักษณ์ วงค์ชัยชนะ. 2553. **การสำรวจระยะไกลเพื่อการจัดการธุรกิจเกษตรในอนาคต**. แหล่งที่มา: http://www1.stkc.go.th/stportalDocument/stportal_1116482123.DOC

Benedetto, M. Di., Ponchio, F., Ganovelli, F. and Scopigno, R. 2010. SpiderGL: A javascript 3d graphics library for next generation www. *In* **Web3D 2010**. July 24-25, 2010, Los Angeles, California.

Brunt P. 2010. **Glge: webgl for the lazy**. Available Source: http://www.glge.org. October 1, 2011.

Environmental Systems Research Institute, Inc. 1998. **ESRI Shapefile Technical Description**. New York Street, Redlands, CA, USA.

Gabano, J.-D., Poinot, T. and Kanou, H. 2011. Identification of a thermal system using continuous linear parameter-varying fractional modeling, pp. 889 – 899. *In* **The Institution of Engineering and Technology 2011**. October 22, 2010, United Kingdom.

Khronos. 2010. **Open standards for media authoring and acceleration**. Available Source: http://www.khronos.org, October 1, 2011.

Lindsay Kay. 2009. **SceneJs-WebGL Scene Graph Library**. Available Source: http:// www.scenejs.com, October 10, 2011.

OpenGL, 2010. **The OpenGL Graphics System: A Specification (version 2.0 - October 22, 2004)**. Available Source: http://www.opengl.org/documentation/specs/version2.0/glspec20.pdf

Knippers, A., R. and Westen, C.J., van. 2009. **Layer tinting and shading**. Dept. of Geoinformatics and Dept. of Earth Resources Surveys, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), P.O. Box 6, 7500 AA Enschede, The Netherlands.

Sun Yan, Wang Cheng and Xie Fei. 2009. Method for Joining Intersected Contour Lines Intelligently, Page(s): 469 - 471. *In* **2009 International Forum on Information Technology and Applications, IFITA '09**. May 15, 2009, Chengdu, China.

WebGL. 2010. **WebGL-OpenGL ES 2.0 for the web**. Available Source: http://www.khronos.org/webgl, October 1, 2011.

ประวัติผู้เขียน

นางสาวสมธิดา ไทยเที่ยง เกิดเมื่อวันที่ 21 พฤศจิกายน พ.ศ. 2531 ที่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ เริ่มศึกษาชั้นประถมศึกษาที่โรงเรียนอนุบาลวชิร ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1-3 ที่โรงเรียนสรรพวิทยาคม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 ที่โรงเรียนพิจิตรพิทยาคม จังหวัดพิจิตร และเข้าศึกษาในระดับปริญญาตรี ในปีการศึกษา 2549 ที่สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา และสำเร็จการศึกษาเมื่อปี พ.ศ. 2552 เกียรตินิยมอันดับ 1 ระหว่างที่ศึกษาในระดับปริญญาตรีได้เข้ารับการฝึกปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ณ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จ.ปทุมธานี ในหัวข้อการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนเว็บเพื่อการวัดผลและประสิทธิภาพการบริหารงานขององค์กร (Balanced Scorecard) ทำให้เกิดความสนใจในด้านการพัฒนาเว็บและการประมวลผลภาพกราฟิก และเป็นแรงจูงใจในการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปี พ.ศ. 2553 ในขณะที่ศึกษาได้รับความอนุเคราะห์อย่างดียิ่งจากคณาจารย์ในสาขาวิชา โดยได้รับความไว้วางใจให้เป็นผู้ช่วยสอนในรายวิชา การโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Computer Programming) มีผลงานวิจัยตีพิมพ์เผยแพร่จำนวน 3 เรื่อง โดยเป็นผลงานที่ตีพิมพ์ระดับชาติ 2 เรื่อง และผลงานที่ตีพิมพ์ระดับนานาชาติอีก 1 เรื่อง ดังแสดงในภาคผนวก ก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี