



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า

วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การวิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่สำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย
โดยใช้ฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับแผนที่ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

Analysis of Site Suitability for Photovoltaic Installed in Thailand Using GIS based and
Solar Radiation Map

นามผู้วิจัย นายสามารถ วงษ์ฤทธิ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปฐมาภรณ์ ศรีผดุงธรรม, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์วิชัย สุระพัฒน์, วศ.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การวิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่สำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยโดยใช้
ฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับแผนที่ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

Analysis of Site Suitability for Photovoltaic Installed in Thailand Using
GIS based and Solar Radiation Map

โดย

นายสามารถ วงษ์ฤทธิชัย

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สามารถ วงษ์ฤทธิ์ 2555: การวิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่สำหรับติดตั้งเซลล์
แสงอาทิตย์ในประเทศไทยโดยใช้ฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับแผนที่ความ
เข้มรังสีดวงอาทิตย์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปฐมภรณ์ ศรีผดุงธรรม, Ph.D. 125 หน้า

งานวิจัยนี้ทำการใช้โปรแกรมเพื่อวิเคราะห์และจำลองพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งเซลล์
แสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าในประเทศไทย โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบลำดับขั้น (Analytic
Hierarchy Process: AHP) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบเกณฑ์การคัดเลือกเป็นคู่ (Pairwise comparison
method) โดยการคัดเลือกเกณฑ์ทำการคัดเลือกจากฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic
Information System: GIS) และฐานข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ จากการคัดออกอย่างเข้มงวด
ของฐานข้อมูลทำให้ได้เกณฑ์การคัดเลือก คือ แผนที่ศักยภาพความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ แผนที่
ระดับความสูงเชิงเลขแสดงความชันของพื้นที่และแผนที่การใช้ประโยชน์ของพื้นที่

ผลของการนำเกณฑ์การคัดเลือกมาวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือ FLOWA ซึ่งเป็นรูปแบบ
เสริมในโปรแกรม ArcGIS พบว่า พื้นที่เหมาะสมที่สุดสำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์อยู่บริเวณ
ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคใต้โดยมีพื้นที่ 221,768 ตร.กม. หรือคิดเป็น 43% ของ
พื้นที่ประเทศไทย ซึ่งจากการจำลองพื้นที่ทำให้สามารถคัดเลือกพื้นที่ในการติดตั้งเซลล์
แสงอาทิตย์ได้อย่างเหมาะสม ทำให้การวิเคราะห์เพื่อคำนวณกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าต่อปีของ
เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ มีประสิทธิภาพมากขึ้นและทำให้ทราบถึงผลของประสิทธิภาพเซลล์
แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมสำหรับใช้งานในประเทศไทย

Samart Wongrit 2012: Analysis of Site Suitability for Photovoltaic Installed in Thailand Using GIS based and Solar Radiation Map. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Patamaporn Sripadungtham, Ph.D. 125 pages.

This paper presented a program to analyze and simulate suitable sites for installation of photovoltaic to generate electricity in Thailand. The analysis was performed by using Analytic Hierachy Process (AHP) with pairwise comparision method on the selection criteria process. The criteria are selected form a database of geographic information system and intensity of sunlight. The elimination of the strict selection criteria result in a high degree of numerical simulation maps; the potential of solar intensity, the advantage of area and the slope of area.

The selection criteria were analyzed using FLOWA as a supplement in ArcGIS found that the high site suitability for installation of photovoltaic to representing 43% of the total area in the country. It makes possible to calculate the power of electricity per year of different photovoltaic and determine the efficiency of photovoltaic for use in Thailand.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ปฐมภรณ์ ศรีผดุงธรรม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่
ให้คำปรึกษา แนะนำข้อคิดเห็น ตลอดจนให้ความช่วยเหลือต่างๆ รวมทั้งสละเวลาในการตรวจ
แก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณผู้มีส่วนร่วมทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือและสนับสนุนข้อมูล ทำให้
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดาและญาติพี่น้องทุกท่าน ที่คอยสนับสนุนและให้
ความช่วยเหลือ รวมทั้งเป็นกำลังใจในการศึกษามาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา หากวิทยานิพนธ์
ฉบับนี้มีข้อบกพร่องประการใด ข้าพเจ้ายินดีรับข้อเสนอแนะและขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

สามารถ วงษ์ฤทธิ
เมษายน ๒๕๕๕

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	42
อุปกรณ์	42
วิธีการ	42
ผลและวิจารณ์	69
ผล	69
วิจารณ์	74
สรุปและข้อเสนอแนะ	75
สรุป	75
ข้อเสนอแนะ	76
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	77
ภาคผนวก	80
ภาคผนวก ก การติดตั้ง โมดูล MCE – FLOWA	81
ภาคผนวก ข วิธีการใช้งานโปรแกรม ArcGIS 9.3	86
ภาคผนวก ค การประยุกต์การใช้งาน	111
ภาคผนวก ง แผนที่ในรูปแบบขยาย	120
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	125

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ประเด็นสำคัญของวิธีการสำหรับการให้ค่าถ่วงน้ำหนักเกณฑ์การตัดสินใจ	33
2	ค่าระดับของการตัดสินใจ	34
3	ค่าเปรียบเทียบระดับความสำคัญของเกณฑ์	35
4	การคำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก	36
5	ค่าดัชนีความไม่ขัดแย้งกันเชิงคู่ (R.I.) ตามขนาดของเมทริกซ์	37
6	ชั้นข้อมูล (Digital Map) สำหรับประมวลผลข้อมูลด้วย โปรแกรม ArcGIS 9.3	52
7	Total generation potential on highly suitable lands	73
ตารางผนวกที่		หน้า
ค1	Solar module information	118
ค2	การวิเคราะห์กำลังการผลิตของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ	119

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แผนที่แสดงศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย	4
2	ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รวมเฉลี่ยในช่วงเวลา 1 ปี	6
3	ลักษณะของรังสีอาทิตย์ รังสีตรง (Direct radiation) รังสีกระจาย (Scattering radiation)	6
4	มุมกับการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์	7
5	ทิศทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในช่วง 1 ปี	8
6	มุมที่ดวงอาทิตย์ทำมุมกับพื้นโลกในเวลาเที่ยงวัน	9
7	สเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ที่ AM = 0 (นอกบรรยากาศ) AM = 1.5 (บนพื้นโลก)	9
8	การเกิด โพลและอิเล็กตรอนอิสระ	11
9	สนามไฟฟ้าบริเวณรอยต่อ p - n	12
10	การผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	12
11	ตัวอย่างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ	14
12	ขั้นตอนต่างๆ ของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	14
13	ลักษณะข้อมูลแบบเวกเตอร์ (Vector) และแบบราสเตอร์ (Raster)	17
14	ลักษณะข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) ที่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลเชิงคุณลักษณะ (Attribute Data)	18
15	การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ โดยการใช้คอมพิวเตอร์ (Computer assisted approach)	21
16	การวิเคราะห์ข้อมูล โดยการซ้อนทับข้อมูลเชิงพื้นที่	22
17	ผลจากการใช้ตัวดำเนินการแบบบูลีน	22
18	การวิเคราะห์โครงข่ายหาเส้นทางที่สั้นที่สุด และเส้นทางที่ดีที่สุด	23
19	ลักษณะของ TIN และ DEM	24
20	การแสดงผลข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมร่วมกับ DEM	25

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
21	ตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์โดยแสดงผลในลักษณะแผนที่	29
22	Hierarchical structure of the objective and associated attributes	31
23	ชั้นข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์	38
24	ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา	43
25	ลักษณะของฐานข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์	44
26	แสดงการเลือกชั้นข้อมูลอำเภอซึ่งเป็นชั้นข้อมูลแสดงขอบเขตของประเทศไทยในลักษณะแสดงขอบเขตระดับอำเภอ	45
27	ลักษณะข้อมูลเชิงบรรยายของชั้นข้อมูลขอบเขตอำเภอ	46
28	การนำข้อมูลออก (Export Data)	46
29	การเลือกลักษณะข้อมูลที่นำออกและการจัดเก็บข้อมูลที่นำออก	47
30	ลักษณะข้อมูลเชิงคุณลักษณะของชั้นข้อมูลขอบเขตอำเภอ	47
31	การนำข้อมูลขอบเขตอำเภอต่อกับข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์	48
32	ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายเดือนต่อปี	48
33	ลักษณะหน้าต่างการเชื่อมโยงข้อมูล (Join Data)	49
34	ผลการของการเชื่อมโยงข้อมูล โดยแสดงลักษณะข้อมูลเชิงบรรยายและข้อมูลเชิงพื้นที่	50
35	ลักษณะข้อมูลเชิงพื้นที่ที่แสดงความชันมากกว่า 20 องศาแสดงขอบเขตอำเภอ	53
36	แสดงลักษณะข้อมูลเชิงพื้นที่ของแผนที่แสดงระดับความสูงเชิงเลข (DEM)	53
37	แสดงคำสั่งการซ้อนทับของชั้นข้อมูล	54
38	แสดงคำสั่ง Union ของ Amphoe.shp และ slope20p.shp	54
39	แสดงการซ้อนทับชั้นข้อมูลความชันและขอบเขตอำเภอ โดยแสดงลงบนชั้นข้อมูล DEM	55
40	แสดงชั้นข้อมูลเพื่อเตรียมพร้อมในการซ้อนทับข้อมูล	56
41	แสดงคำสั่งการซ้อนทับของชั้นข้อมูล	57

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
42	แสดงหน้าต่างคำสั่ง Union ของชั้นข้อมูลทั้ง 13 ชั้นข้อมูล	57
43	แสดงผลการซ้อนทับชั้นข้อมูล 13 ชั้น	58
44	หน้าต่างการแปลงข้อมูล Polygon to Raster	59
45	การกำหนดค่าที่ใช้ในการแปลงข้อมูล Polygon to Raster ของชั้นข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์	60
46	การกำหนดค่าที่ใช้ในการแปลงข้อมูล Polygon to Raster ของชั้นข้อมูลความสูงเชิงเลขแสดงความชันของพื้นที่	61
47	การกำหนดค่าที่ใช้ในการแปลงข้อมูล Polygon to Raster ของชั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ของพื้นที่จากเกณฑ์การคัดออกอย่างเข้มงวด	61
48	ผลของการแปลงข้อมูลเป็น Raster ของชั้นข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์	62
49	ผลของการแปลงข้อมูลเป็น Raster ของชั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ของพื้นที่จากเกณฑ์การคัดออกอย่างเข้มงวด	62
50	การเลือกชั้นข้อมูลเพื่อจะทำการวิเคราะห์ผล โดยเลือกข้อมูลที่ได้ทำการแปลงเป็นข้อมูลแบบ Raster	63
51	ทำการเลือกทุกชั้นข้อมูลแล้วทำการกด Next	63
52	การคัดเลือกเกณฑ์ในการวิเคราะห์พื้นที่เพื่อทำการหาค่ามาตรฐานของเกณฑ์การคัดเลือก (Criteria Standardization)	64
53	การคัดเลือก Methods of Standardization	64
54	ชั้นข้อมูลที่ได้ปรับปรุงค่ามาตรฐานซึ่งเป็นชั้นข้อมูลใหม่	65
55	การคัดเลือกจำนวนจุดประสงค์ของเกณฑ์ (Select Number of Objective)	65
56	ทำการเลือกค่าจำนวนจุดประสงค์	66
57	การทำ Pairwise comparision matrix	66
58	การเลือกระดับเกณฑ์การตัดสินใจในการทำ Pairwise comparision matrix	67
59	การยืนยันการเลือกระดับเกณฑ์การตัดสินใจ	67
60	การเริ่มทำการวิเคราะห์โดยคำสั่ง FLOWA	68

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
61	ผลการวิเคราะห์พื้นที่ด้วยโมดูลโปรแกรม FLOWA	68
62	แผนที่ศักยภาพความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของประเทศไทย (ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายวันต่อปี)	69
63	แผนที่ระดับความสูงเชิงเลขแสดงความชันของพื้นที่	70
64	แผนที่การใช้ประโยชน์ของพื้นที่จากเกณฑ์การคัดออกอย่างเข้มงวด	71
65	แผนที่แสดงความเหมาะสมของพื้นที่สำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย	72
ภาพผนวกที่		
ก1	การพิมพ์คำสั่ง regasm.exe ใน C:\Windows\Microsoft.NET\Framework\v2.0.50727	83
ก2	การติดตั้ง MCE-FLOWA ประสบผลสำเร็จ	83
ก3	แสดงการเลือกคำสั่งใน ArcMAP	84
ก4	แสดงคำสั่งต่างๆ ในแท็บ Commands	84
ก5	การเลือกคำสั่ง MCE – FLOWA	85
ก6	คำสั่ง FLOWA ใน Toolbar พร้อมสำหรับการนำไปใช้งาน	85
ข1	โครงสร้างของ โปรแกรม ArcGIS และ โครงสร้างของ โปรแกรม ArcView	88
ข2	ลักษณะหน้าจอของ ArcMap ArcCatalog และ ArcToolbox	89
ข3	การเปิดโปรแกรม ArcGIS	90
ข4	การเปิดข้อมูลใน ArcGIS	90
ข5	การเปิดข้อมูลที่มีอยู่แล้วใน ArcGIS	91
ข6	การเพิ่มชั้นข้อมูล	91
ข7	การจัดเก็บข้อมูล	92

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ข8 การเลือกที่จัดเก็บข้อมูล	92
ข9 ชุดคำสั่งในการจัดการข้อมูล	93
ข10 การ Select ข้อมูลบนแผนที่	93
ข11 การ Clear Selection ข้อมูลบนแผนที่	94
ข12 การเปิดตาราง Attribute	94
ข13 การ Select ข้อมูลในตาราง Attribute	95
ข14 การ Clear Selection ในตาราง Attribute	95
ข15 การเลือก Theme เพื่อทำ Label	96
ข16 การใส่ Label ให้แผนที่	96
ข17 ผลการใส่ Label ให้แผนที่	97
ข18 การเลือกแบบ Single symbol	98
ข19 การเลือกแบบ Unique value	99
ข20 การเลือกแบบ Quantities	99
ข21 การเลือกแบบ Charts	100
ข22 การเปิดตารางข้อมูลเชิงบรรยาย (Attribute Data)	101
ข23 การแก้ไขตารางโดยเลือก Start Editing	101
ข24 การแก้ไขตาราง	101
ข25 การ Add Field เพื่อเพิ่มข้อมูลตาราง	102
ข26 การเลือกลักษณะข้อมูลใน Field	102
ข27 การเปิด Layout View	103
ข28 เครื่องมือ Layout tool	103
ข29 การใส่ชื่อแผนที่	104
ข30 แผนที่เมื่อทำการใส่ชื่อแผนที่	104
ข31 การใส่คำอธิบายสัญลักษณ์	105
ข32 แผนที่ที่ทำการใส่สัญลักษณ์	105

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ข33 การใส่ทิศ	106
ข34 ลักษณะของสัญลักษณ์ทิศแบบต่างๆ	106
ข35 แผนที่ที่ทำการใส่สัญลักษณ์ทิศ	107
ข36 การใส่มาตราส่วน	107
ข37 ลักษณะของสัญลักษณ์มาตราส่วนแบบต่างๆ	108
ข38 แผนที่ที่ทำการใส่มาตราส่วน	108
ข39 การดำเนินการเพื่อใส่เส้นกริด	109
ข40 การเพิ่มเส้นกริดในแผนที่	109
ข41 การเลือกประเภทเส้นกริดในแผนที่	110
ข42 แผนที่ที่เพิ่มเส้นกริด	110
ค1 แสดงหน้าหน้าของโปรแกรม Google Earth	113
ค2 ทำการเปิดโปรแกรม ArcGIS 9.3	114
ค3 การจัดทำ Query Builder สำหรับคัดเลือกขอบเขตจังหวัดสุโขทัย	115
ค4 การเลือกชั้นข้อมูลจังหวัดสุโขทัย	115
ค5 การใช้คำสั่ง Conversion Tool เพื่อทำการแปลงไฟล์เป็น KML	116
ค6 หน้าต่าง Layer To KML เพื่อทำการกำหนดค่า	116
ค7 พื้นที่ที่ถูกเลือกด้วยชั้นข้อมูลจังหวัดสุโขทัย	117
ค8 พื้นที่ที่ถูกเลือกด้วยชั้นข้อมูลจังหวัดสุโขทัยเมื่อทำการ Zoom in	117
ง1 แผนที่ศักยภาพความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของประเทศไทยรูปแบบขยาย (ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายวันต่อปี)	121
ง2 แผนที่ระดับความสูงเชิงเลขแสดงความชันของพื้นที่รูปแบบขยาย	122
ง3 แผนที่การใช้ประโยชน์ของพื้นที่จากเกณฑ์การคัดออกอย่างเข้มงวดรูปแบบขยาย	123
ง4 แผนที่แสดงความเหมาะสมของพื้นที่สำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยรูปแบบขยาย	124

การวิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่สำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยโดย ใช้ฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับแผนที่ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

Analysis of Site Suitability for Photovoltaic Installed in Thailand Using GIS based and Solar Radiation Map

คำนำ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นพลังงานที่สะอาดและไม่ก่อให้เกิดมลพิษ ซึ่งปัจจุบันเทคโนโลยีด้านพลังงานแสงอาทิตย์สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cells) เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า หรือประยุกต์ใช้งานด้านความร้อน ดังนั้นในการนำมาใช้ประโยชน์จำเป็นต้องวางแผนและบริหารจัดการ โดยต้องมีการประเมินศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ว่ามีมากน้อยเพียงใดและต้องพิจารณาความเป็นไปได้ในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในพื้นที่ที่ต้องการ

ในประเทศไทยมีการจัดทำข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในลักษณะแผนที่เพื่อประเมินศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน โดยได้พัฒนาเทคนิคการคำนวณหาความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวโลก โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมร่วมกับข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาอื่นๆ ทำให้สามารถหาความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ได้ครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศไทย ซึ่งผลที่ได้สามารถใช้เป็นตัวแทนทางสถิติของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในพื้นที่นั้นๆ ได้ จากข้อมูลที่ได้เป็นเพียงข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ในการนำไปใช้ประโยชน์จำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยด้านอื่นๆ ด้วย เช่น ปัจจัยด้านพื้นที่ สภาพภูมิประเทศ สภาพแวดล้อม เป็นต้น เพื่อให้การนำไปใช้ประโยชน์เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด

งานวิจัยนี้ทำการใช้โปรแกรมเพื่อวิเคราะห์และจำลองพื้นที่สำหรับติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยใช้เทคนิคด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการคัดเลือกพื้นที่เพื่อให้การติดตั้งเป็นไปอย่างเหมาะสมกับศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่นั้นๆ ซึ่งจะมีผลต่อการประหยัดค่าใช้จ่ายและลดระยะเวลาในการคัดเลือกพื้นที่

วัตถุประสงค์

โดยสามารถแบ่งวัตถุประสงค์ออกเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

1. เพื่อทำการใช้ฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับแผนที่ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในการประเมินและวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์
2. เพื่อทำการประเมินเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งในพื้นที่ที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการวิเคราะห์พื้นที่
3. เพื่อใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการวิเคราะห์เชิงนโยบายด้านพลังงานแสงอาทิตย์
4. เพื่อนำไปประยุกต์ใช้เพื่อต่อยอดงานวิจัยทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์

การตรวจเอกสาร

การศึกษาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อคัดเลือกพื้นที่สำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย ผู้วิจัยได้ศึกษา ค้นคว้า รวบรวมเอกสาร แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ตามลำดับดังนี้

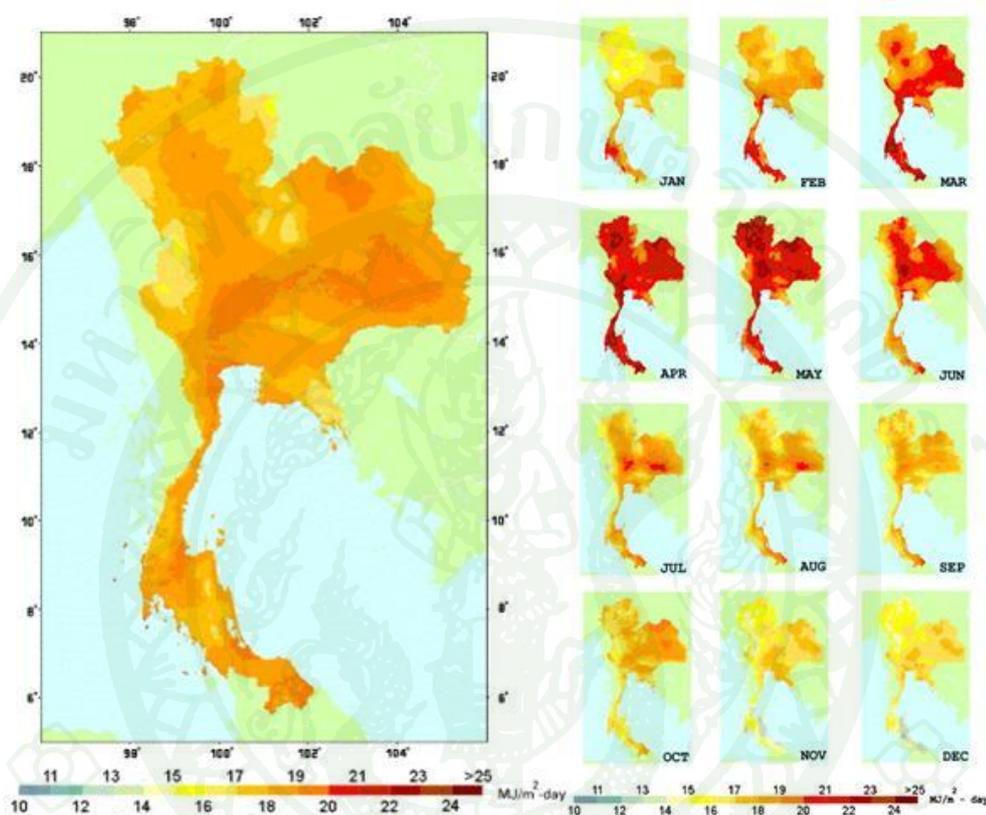
1. ทฤษฎีและแนวความคิด
2. ความรู้เกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์
3. การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
4. ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์
5. เทคนิคในการตัดสินใจเพื่อสนับสนุนการประเมินความเหมาะสมของพื้นที่
6. การกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก
7. การวิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่สำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย

1. ทฤษฎีและแนวความคิด

ปัจจุบันเทคโนโลยีที่เกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์มีการพัฒนาก้าวหน้าอย่างต่อเนื่อง โดยประโยชน์สามารถจำแนกได้สองด้านหลักๆ คือ การผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ และการผลิตความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเทคโนโลยีการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ที่นำมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพแบ่งเป็นสองชนิด คือ การใช้เซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตไฟฟ้า (Solar cell) และการใช้ระบบรวมแสงอาทิตย์เพื่อผลิตไฟฟ้า (Concentrating Solar Power) (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน สำนักพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์, 2551) จึงทำให้การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าได้รับความสนใจอย่างมาก ซึ่งการวางแผนหรือกำหนดนโยบายด้านพลังงานแสงอาทิตย์จำเป็นต้องมีการประเมินศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่ต่างๆ ให้ถูกต้องและใกล้เคียงกับความจริงและจะต้องพิจารณาความเป็นไปได้หรือความเหมาะสมของพื้นที่ต่างๆ ในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์

ในประเทศไทย มีการศึกษาศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้เผยแพร่และนำไปเป็นข้อมูลในการอ้างอิง โดย Janjai (2004) ได้จัดทำฐานข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์และจัดทำแผนที่เพื่อแสดงศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละพื้นที่ของประเทศไทย โดยหาความเข้มรังสีดวง

อาทิตย์เฉลี่ยรายเดือนและเฉลี่ยรายปี ดังภาพที่ 1 แต่ถ้การจัดทำแผนที่แสดงศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ได้นำข้อมูลทางสารสนเทศภูมิศาสตร์มาศึกษาและพิจารณาาร่วมด้วย จะทำให้การนำไปใช้เพื่อติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น



ภาพที่ 1 แผนที่แสดงศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

ที่มา : Janjai *et al.* (2004)

โดยการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์จำเป็นต้องพิจารณาข้อจำกัดเชิงพื้นที่ ไม่ว่าจะเป็นทางด้านสิ่งแวดล้อม สิ่งปลูกสร้าง สาธารณูปโภค และภูมิศาสตร์ ควบคู่กับการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์โดยอาศัยเทคนิคด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการคัดเลือกพื้นที่ที่มีความเป็นไปได้สำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในอนาคต ซึ่งจะมีผลต่อการประหยัดค่าใช้จ่ายและลดระยะเวลาการคัดเลือก

พื้นที่ อย่างไรก็ตามในความเป็นจริง ต้องพิจารณาปัจจัยทางด้านอื่นร่วมด้วย เช่น ด้านเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ การลงทุน ระยะเวลาการคุ้มทุน ด้านสังคม ได้แก่ ทัศนียภาพ เป็นต้น

2. ความรู้เกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์

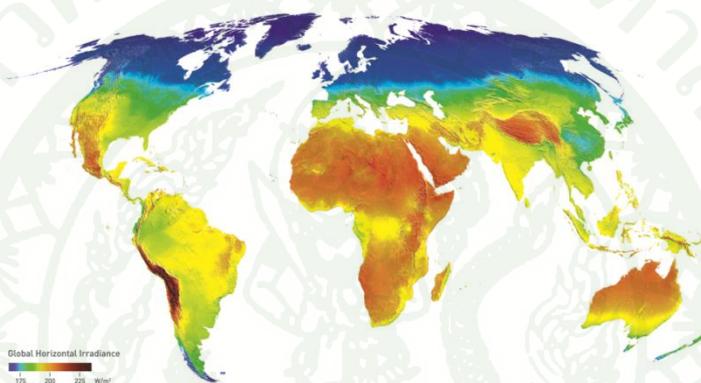
ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานซึ่งให้พลังงานในรูปรังสีดวงอาทิตย์ พลังงานจากดวงอาทิตย์นี้เป็นแหล่งพลังงานพื้นฐานของสิ่งมีชีวิตบนโลกนี้ หากพิจารณาถึงแกนกลางของดวงอาทิตย์แล้วจะมีนิวเคลียสหลายๆ นิวเคลียสของไฮโดรเจนหลอมละลายอยู่กับนิวเคลียสของฮีเลียม ในระหว่างกระบวนการนี้มวลสารต่างๆ ของดวงอาทิตย์ถูกแปลงให้เป็นพลังงาน หรือพูดได้อีกอย่างหนึ่งว่าดวงอาทิตย์เป็นนิวเคลียสพลังงานขนาดใหญ่มาก เนื่องจากดวงอาทิตย์อยู่ห่างจากโลกเป็นระยะทางที่ไกลมาก รังสีดวงอาทิตย์ที่ถูกส่งมายังผิวโลกจึงเป็นสัดส่วนจำนวนน้อย ซึ่งพลังงานที่ดวงอาทิตย์ส่งมายังโลกมีค่าเท่ากับ 1×10^{18} กิโลวัตต์ – ชั่วโมงต่อปี เมื่อเราพิจารณาถึงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่งมายังพื้นโลกจะพบว่ามีความต้องการพลังงานของโลกประมาณ 10,000 เท่า หรือพูดได้ว่าความต้องการพลังงานของมนุษย์มีประมาณ 0.01 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานทั้งหมดในแสงอาทิตย์ที่ส่งมายังพื้นโลก

2.1 การกระจายตัวของรังสีดวงอาทิตย์

ความหนาแน่นของรังสีดวงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างโลกและดวงอาทิตย์ หากพิจารณาในช่วงระยะเวลา 1 ปี ระยะทางระหว่างโลกและดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนแปลงระหว่าง 1.47×10^8 กิโลเมตร และ 1.52×10^8 กิโลเมตร ซึ่งทำให้ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 1,325 วัตต์ต่อตารางเมตร และ 1,412 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,367 วัตต์ต่อตารางเมตร ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เมื่อส่งผ่านมายังพื้นโลกจะถูกสะท้อนและดูดกลืนโดยโอโซน ไอน้ำ ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และทำให้เกิดการกระจายตัวของความเข้มรังสีอาทิตย์ หากเราสังเกตว่าในช่วงเที่ยงวันที่มีสภาพอากาศดี ท้องฟ้าแจ่มใส ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์อาจสูงถึง 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งค่านี้จะขึ้นกับที่ตั้งของแต่ละพื้นที่ ซึ่งหากพิจารณาจากภาพที่ 2 จะพบว่าค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รวมสำหรับประเทศไทยมีค่าเฉลี่ยอยู่ประมาณ 1,500 – 1,700 วัตต์ต่อตารางเมตร (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน สำนักพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์, 2551) แสดงตามภาพที่ 2

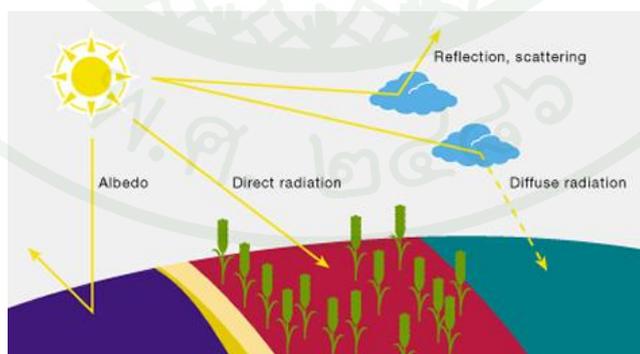
2.2 รังสีอาทิตย์ตรงและกระจาย

แสงอาทิตย์ที่ส่งมายังผิวโลกประกอบด้วย รังสีตรงและรังสีกระจาย โดยที่รังสีดวงอาทิตย์ตรงเป็นรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่งมาโดยตรงจากดวงอาทิตย์ และทำให้เกิดเงาของวัตถุขึ้น ส่วนรังสีดวงอาทิตย์กระจายเป็นรังสีดวงอาทิตย์ที่มีการกระจายตัวและไม่มีทิศทางที่แน่นอน ซึ่งรังสีดวงอาทิตย์ตรงและกระจายนี้มีค่าความเข้มข้นขึ้นอยู่กับสภาพของท้องฟ้าและช่วงเวลาในแต่ละวัน โดยลักษณะของรังสีดวงอาทิตย์แสดงตามภาพที่ 3



ภาพที่ 2 ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รวมเฉลี่ยในช่วงเวลา 1 ปี

ที่มา : German Solar Energy Society (2008)



ภาพที่ 3 ลักษณะของรังสีอาทิตย์ รังสีตรง (Direct radiation) รังสีกระจาย (Scattering radiation)

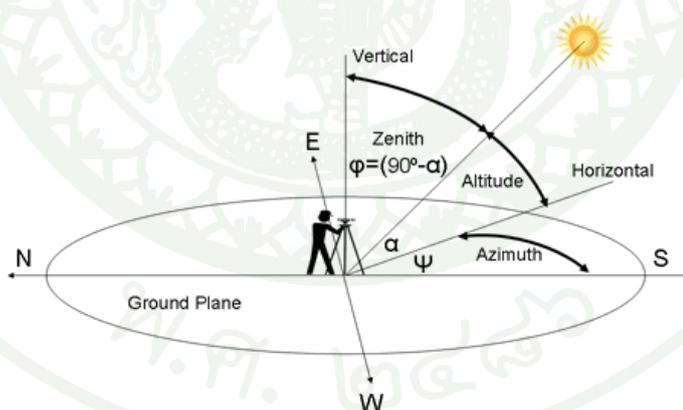
ที่มา : German Solar Energy Society (2008)

2.3 มุมของรังสีอาทิตย์

ความรู้เกี่ยวกับตำแหน่ง มุม และการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์เป็นสิ่งสำคัญที่ใช้ในการหาความเข้มรังสีอาทิตย์และพลังงานที่ได้จากดวงอาทิตย์ ในการบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์อาจบอกด้วยมุม ซึ่งมุมต่างๆ ที่ดวงอาทิตย์กระทำกับพื้นผิวโลกขึ้นอยู่กับตำแหน่งของการเคลื่อนที่ในแต่ละพื้นที่ หากเราพูดถึงระบบพลังงานแสงอาทิตย์ เราจะบอกตำแหน่งดวงอาทิตย์ด้วยระบบอาซิมุท – อัลติจูด (Azimuth – Altitude system)

มุมอาซิมุท เป็นมุมที่วัดจากแนวทิศใต้ไปยังเงาบนระนาบขอบฟ้าของเส้นตรงซึ่งเชื่อมระหว่างผู้สังเกตกับดวงอาทิตย์ โดยกำหนดว่า ถ้าเงาดังกล่าวอยู่ที่ด้านทิศตะวันออก มุมอาซิมุทมีค่าเป็นบวก แต่ถ้าอยู่ด้านทิศตะวันตกจะมีค่าเป็นลบ

มุมอัลติจูด เป็นมุมเฉย ณ ตำแหน่งผู้สังเกตของเส้นตรงที่เชื่อมระหว่างดวงอาทิตย์กับผู้สังเกต ดังนั้นทั้งมุมอาซิมุทและอัลติจูดจะกำหนดให้ทิศใต้มีมุม 0° ทิศตะวันออกมีมุม -90° ทิศตะวันตกมีมุม 90° และทิศเหนือมีมุม 180° ดังแสดงลักษณะตามภาพที่ 4



ภาพที่ 4 มุมกับการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

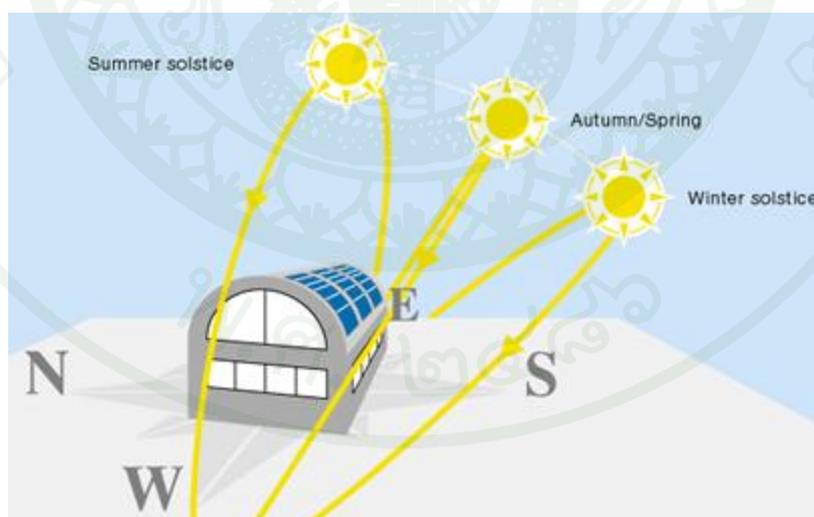
ที่มา : German Solar Energy Society (2008)

2.4 มุมที่ดวงอาทิตย์ทำมุมกับพื้น โลกและสเปกตรัม

ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับมุมที่ดวงอาทิตย์ทำมุมกับพื้นผิวโลก เมื่อดวงอาทิตย์มีการเคลื่อนในรอบวันหรือในรอบปีมุมนี้ก็จะมีการเปลี่ยนด้วย เมื่อดวงอาทิตย์ทำมุมตั้งฉากกับพื้นผิวโลก แสงอาทิตย์จะใช้เวลาดำเนินทางมาถึงพื้น โลกสั้นที่สุด แต่ยิ่งดวงอาทิตย์ทำมุมไกลกับพื้น โลกมากเท่าไร ระยะในการเดินทางของแสงอาทิตย์มาสู่พื้น โลกก็ยาวมากขึ้นเท่านั้น ดังแสดงในภาพที่ 5 แสงอาทิตย์จะถูกดูดซับและกระจายตัวทำให้ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มีค่าน้อย นั่นคือพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์ก็จะมีค่าน้อยตามไปด้วย ดังนั้น เราจะใช้ตัวประกอบที่เรียกว่ามวลอากาศ (Air Mass: AM) เป็นตัวกำหนดจำนวนครั้งที่แสงอาทิตย์มาตั้งฉากกับพื้นผิวโลก ที่มีความหนาของชั้นบรรยากาศน้อยที่สุด ความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่ดวงอาทิตย์ทำมุมกับพื้นผิวโลก (γ_s) และมวลของอากาศสามารถกำหนดได้ ดังสมการที่ (1) (German Solar Energy Society, 2008)

$$AM = \frac{1}{\gamma_s} \quad (1)$$

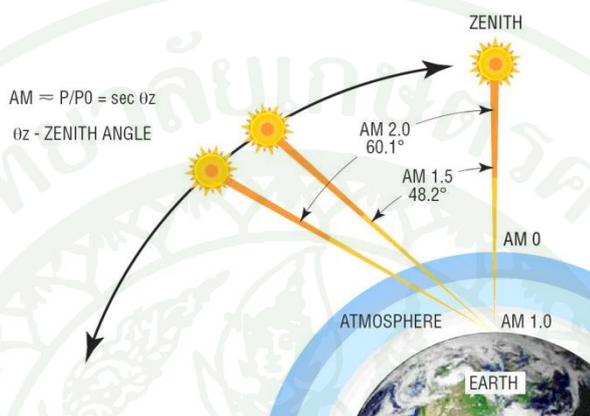
เมื่อมุมที่ดวงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นผิวโลก ($\gamma_s = 90^\circ$) จะทำให้ $AM = 1$



ภาพที่ 5 ทิศทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในช่วง 1 ปี

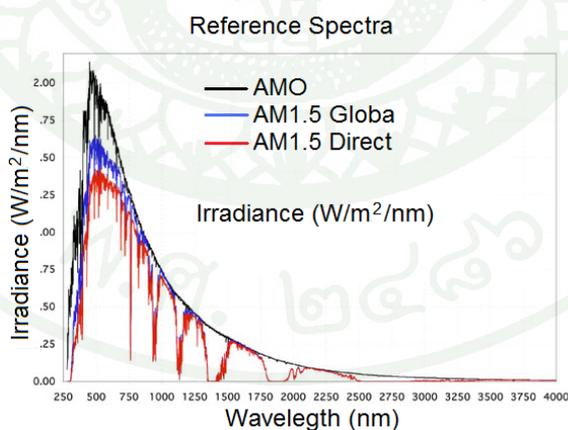
ที่มา : German Solar Energy Society (2008)

รังสีดวงอาทิตย์ในอวกาศซึ่งปราศจากการรบกวนของบรรยากาศโลก จะอ้างอิงเป็น AM0 ดังแสดงในภาพที่ 6 และเมื่อแสงอาทิตย์ผ่านบรรยากาศเข้ามาถึงพื้นผิวโลก ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ก็จะลดลงเนื่องจากการสะท้อนของบรรยากาศ ถูกดูดซับโดยโมเลกุล การกระจายตัวของโมเลกุล และการกระจายตัวของฝุ่นในบรรยากาศ ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 6 มุมที่ดวงอาทิตย์ทำมุมกับพื้น โลกในเวลาเที่ยงวัน

ที่มา : German Solar Energy Society (2008)



ภาพที่ 7 สเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ที่ AM = 0 (นอกบรรยากาศ) AM = 1.5 (บนพื้นโลก)

ที่มา : German Solar Energy Society (2008)

2.5 การสะท้อนแสงของพื้นดิน

ในการพิจารณาค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในระดับพื้นราบต้องพิจารณาถึงส่วนประกอบต่างๆ จากพื้นดินที่ทำให้เกิดการสะท้อนด้วย ซึ่งการสะท้อนของรังสีอาทิตย์ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติต่างๆ ของพื้นดิน และอัตราการสะท้อนกลับ (Albedo) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณของโปรแกรมการออกแบบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ต่างๆ

2.6 ค่าคงที่สุริยะ

ค่าคงที่สุริยะ คือ พลังงานแสงอาทิตย์ทุกความยาวคลื่นที่ตกกระทบตั้งฉากบนพื้นที่ 1 หน่วย ต่อ 1 หน่วยเวลา ณ ตำแหน่งห่างจากดวงอาทิตย์ 1 หน่วยดาราศาสตร์ (Astronomical: AU) โดยที่ 1 หน่วยดาราศาสตร์เท่ากับ 1.496×10^8 กิโลเมตร จากการวัดภาคพื้นดิน การวัดโดยอาศัยบอลลูน และการวัดด้วยเครื่องบินในระดับสูง พบว่าค่าคงที่สุริยะมีค่าเท่ากับ 1,367 วัตต์ต่อตารางเมตร หรือ 4,921 กิโลจูลต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง

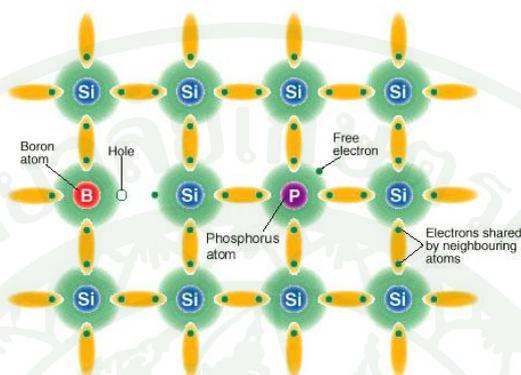
3. การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

3.1 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

ในการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟฟ้าสามารถทำได้ด้วยปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Photovoltaic Effect โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลงพลังงานดังกล่าวเรียกว่า เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) ปรากฏการณ์ Photovoltaic Effect ถูกค้นพบในปี 1839 โดย Alexandre Edmond Becquerel ในระหว่างที่เขากำลังทดลอง Electrolytic cell ซึ่งทำจากแผ่นโลหะ 2 แผ่น โดยพบว่าเมื่อมีแสงตกกระทบวัสดุที่ใช้ในการทดลองจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลขึ้น

เซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วยรอยต่อชั้นบางๆ ของวัสดุสารกึ่งตัวนำที่รู้จักกันในนามของ p (positive – type) และ n (negative – type) โดยสารกึ่งตัวนำนี้ปกติจะทำมาจากซิลิกอน ดังนั้นในที่นี้เราจะพิจารณาเฉพาะสารกึ่งตัวนำที่ทำมาจากซิลิกอนเท่านั้น สารกึ่งตัวนำชนิด n จะทำมาจากซิลิกอนที่ถูกเจือด้วยสารอื่น (โดยปกติจะใช้สารฟอสฟอรัส) ทำให้เกิดความไม่บริสุทธิ์ ซึ่งทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระส่วนเกินขึ้น ส่วนสารกึ่งตัวนำชนิด p ก็ทำมาจากซิลิกอนเช่นเดียวกันแต่เจือด้วย

สารอื่นที่แตกต่างกันออกไป (โดยปกติใช้สารโบรอน) ซึ่งจะทำให้เกิดการหายไปของอิเล็กตรอนอิสระ โดยเราจะเรียกการหายไปของอิเล็กตรอนอิสระว่า โฮล โดยแสดงลักษณะอิเล็กตรอนอิสระและโฮลตามภาพที่ 8



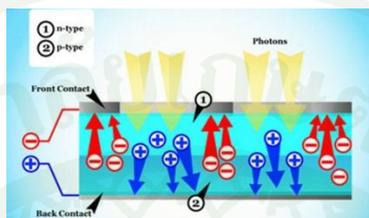
ภาพที่ 8 การเกิดโฮลและอิเล็กตรอนอิสระโดยการ doping

ที่มา : German Solar Energy Society (2008)

3.2 รอยต่อ p - n

เราสามารถสร้างรอยต่อ p - n ได้โดยการนำสารกึ่งตัวนำสองชนิดที่แตกต่างกันมาเชื่อมต่อกัน ซึ่งจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าสถิตขึ้นบริเวณรอยต่อ ในรอยต่อนี้จะเกิดการเคลื่อนที่ของประจุ โดยประจุลบจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางหนึ่ง ส่วนประจุบวกจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงกันข้าม แสดงดังภาพที่ 9 เราสามารถพิจารณาพลังงานแสงอาทิตย์ได้ในรูปขององค์ประกอบพลังงานส่วนเล็กๆ โดยเรียกว่า โฟตอน เมื่อโฟตอนจากแสงอาทิตย์มีค่าความยาวคลื่นที่เหมาะสมตกกระทบรอยต่อ p - n โฟตอนเหล่านี้จะถ่ายเทพลังงานไปสู่อิเล็กตรอนของวัสดุที่นำทำรอยต่อ p - n ทำให้อิเล็กตรอนมีค่าพลังงานสูงขึ้น โดยปกติแล้วอิเล็กตรอนเหล่านี้จะรวมอยู่กับโฮลที่เรียกว่า เวเลนซ์อิเล็กตรอนและติดอยู่กับอะตอม ซึ่งเวเลนซ์อิเล็กตรอนเหล่านี้ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ แต่เมื่อพลังงานในอิเล็กตรอนมีค่าสูงขึ้น อิเล็กตรอนเหล่านี้ก็จะถูกกระตุ้นทำให้กลายเป็นอิเล็กตรอนอิสระที่สามารถเคลื่อนที่ได้ ส่วนโฮลที่เหลืออยู่ก็สามารถเคลื่อนที่ได้เช่นกัน ซึ่งเรียกได้ว่าเป็นการไหลของกระแสไฟฟ้า ที่บริเวณรอยต่อ p - n อิเล็กตรอนที่อยู่ใกล้กับรอยต่อด้าน n จะถูกดึงดูดให้ไปรวมกับโฮลที่อยู่ใกล้ด้าน p ในทางเดียวกัน โฮลที่อยู่ในด้าน p ที่ใกล้รอยต่อจะถูกดึงดูดให้ไปรวม

กับอิเล็กตรอนที่อยู่ใกล้ด้าน n จากผลของเหตุการณ์นี้ จะทำให้บริเวณรอบๆ รอยต่อด้าน n มีประจุบวกมากกว่าประจุลบ และบริเวณรอบๆ รอยต่อด้าน p มีประจุลบมากกว่าประจุบวกทำให้เกิดสนามไฟฟ้ากลับขั้วบริเวณรอบๆ รอยต่อ และทำให้เกิดพื้นที่บริเวณรอยต่อไม่มีทั้งอิเล็กตรอนและโฮล ซึ่งเรารู้จักดีในนามพื้นที่ปลอดประจุ (Depletion region)

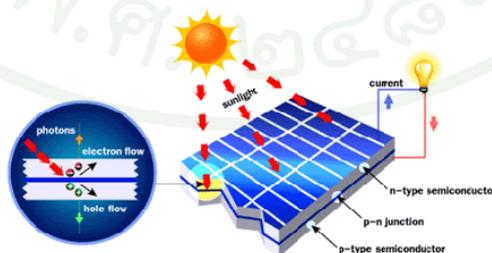


ภาพที่ 9 สนามไฟฟ้าบริเวณรอยต่อ p – n

ที่มา : German Solar Energy Society (2008)

3.3 ผลของรังสีดวงอาทิตย์ต่อเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่ออิเล็กตรอนในบริเวณรอยต่อถูกกระตุ้นด้วยโฟตอน อิเล็กตรอนจะเปลี่ยนย่านเวเลนซ์ไปสู่อันตวนา และจะทิ้งโฮลไว้ที่อันเวเลนซ์ภายใต้สนามไฟฟ้ากลับขั้วรอบๆ รอยต่อ อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปด้าน n และโฮลจะเคลื่อนที่ไปด้าน p การไหลของอิเล็กตรอนในด้าน n จะถูกให้จำกัดความเป็นการไหลของกระแสไฟฟ้า ถ้ามีการเชื่อมต่อวงจรก็จะทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าได้ ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 การผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา : คูสิต (2542)

3.4 เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ประดิษฐ์ขึ้นจากสารกึ่งตัวนำที่มีความบริสุทธิ์สูงซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ธาตุซิลิกอนเป็นหลัก เนื่องจากเป็นธาตุที่มีปริมาณมากที่สุดในโลกเป็นอันดับสองรองจากออกซิเจนในอากาศแต่ข้อจำกัดและอุปสรรคของการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบันก็คือการประยุกต์ใช้ซิลิกอนในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจำเป็นต้องใช้ซิลิกอนที่มีความบริสุทธิ์และยากในการสกัดจากธรรมชาติ ดังนั้นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่มีราคาแพงเนื่องจากเหตุผลดังกล่าวที่จะต้องใส่สารที่มีความบริสุทธิ์สูง แต่ในปัจจุบันได้มีความพยายามในการเสนอโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ในหลากหลายรูปแบบอีกทั้งชนิดของสารที่นำมาใช้ เพื่อเป็นการลดต้นทุนของกระบวนการผลิตให้ต่ำที่สุดตามเทคโนโลยีการผลิตนั้นๆ (สุกัลกษณ์, 2548)

3.5 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดหลักๆ คือ

3.5.1 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Silicon Solar Cell) หรือที่รู้จักกันในชื่อ Monocrystalline Silicon Solar Cell และชนิดผลึกรวม (Polycrystalline Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นแผ่นซิลิกอนแข็งและบางมาก มีประสิทธิภาพประมาณ 15 - 18% (German Solar Society, 2008) อายุการใช้งานยาวนานมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการผลิตไฟฟ้า น้อยมากจึงสามารถนำไปใช้งานในสถานที่โดดเดี่ยวได้ เช่น ดาวเทียมหรือประภาคาร มีข้อเสียคือราคาสูงเมื่อเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอื่น มีโครงสร้างการจัดเรียงอะตอมที่เป็นระเบียบ

3.5.2 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากอามอร์ฟัสซิลิกอน (Amorphous Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นฟิล์มบางเพียง 0.5 ไมครอน (0.0005 มม.) น้ำหนักเบามาก ประสิทธิภาพเพียง 5 - 7 % (Yates, 2003) และมีราคาถูกมากเมื่อเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอื่น

3.5.3 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำอื่นๆ เช่น แกลเลียม อาร์เซไนด์, แคดเมียมเทลลูไรด์ และคอปเปอร์อินเดียมไดเซเลไนด์ เป็นต้น มีทั้งชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline) และผลึกรวม (Polycrystalline)

โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่จะทำมาจากธาตุซิลิกอนที่เป็นโครงสร้างทั้งชนิดผลึกและชนิดฟิล์มบาง และโดยเฉพาะอย่างยิ่งในโครงสร้างเซลล์ชนิดฟิล์มบางจะมีการประยุกต์ใช้

ธาตุชนิดต่างๆ เพื่อนำมาผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ อาทิ Copper Indium Diselenide (CIS), Cadmium Telluride (CdTe) อีกด้วย นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ไปเป็นแบบ HIT หรือที่เรียกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไฮบริดที่พยายามรวมข้อดีของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเข้ากับชนิดฟิล์มบางซึ่งทำให้ประสิทธิภาพเซลล์โดยรวมสูงขึ้นอีกด้วย

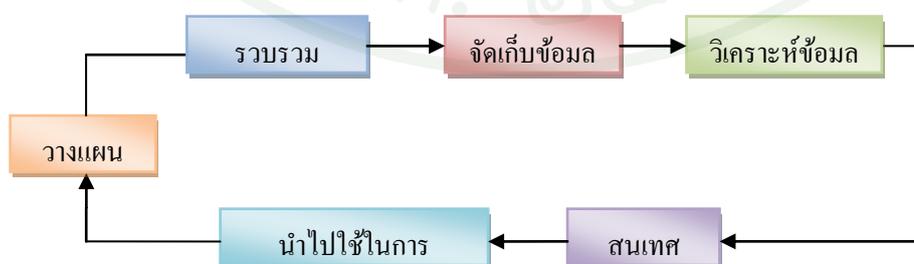


ภาพที่ 11 ตัวอย่างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ

ที่มา: คู่มือ (2535)

4. ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System; GIS) เป็นเครื่องมือและระบบฐานข้อมูลที่มีความสามารถในการรวบรวม จัดเก็บ จัดการ วิเคราะห์ และแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) ที่มีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกับข้อมูลเชิงคุณลักษณะ (Attribute Data) เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลเหล่านั้น โดยแสดงผลออกมาเป็นแผนที่และรายงาน สามารถบันทึกและจัดเก็บสามารถอธิบายข้อมูลโดยอ้างอิงตำแหน่งที่ตั้งเพื่อใช้ในการวางแผนอย่างเป็นระบบหรือนำไปใช้ประโยชน์ในการตัดสินใจในด้านต่างๆ (สรรัคใจ กลิ่นดาว, 2542) ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ขั้นตอนต่างๆ ของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

4.1 องค์ประกอบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ มีองค์ประกอบ 5 ประการ ดังนี้

4.1.1 ซอฟต์แวร์ (Software) โปรแกรมที่ใช้ในการจัดการข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการจัดเก็บ การวิเคราะห์ การเรียกใช้ข้อมูล ซึ่งส่วนประกอบของโปรแกรม ประกอบด้วย ตัวจัดการฐานข้อมูล เครื่องมือที่ใช้ในการรับข้อมูล เครื่องมือแสดงผล การเรียกคืนและระบบการเชื่อมต่อกับผู้ใช้ ซอฟต์แวร์ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มีความสามารถเชิงกราฟฟิกในการแสดงภาพรูปแบบต่างๆ และต้องมีความสามารถในการจัดการฐานข้อมูลหรือสามารถเชื่อมโยงไปยังโปรแกรมระบบจัดการฐานข้อมูลอื่นใด

4.1.2 ฮาร์ดแวร์ (Hardware) คือ อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ร่วมกับซอฟต์แวร์ รวมถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการนำเข้าข้อมูล อุปกรณ์ประมวลผล อุปกรณ์แสดงผลและผลิตผลลัพธ์จากการทำงานของคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มีปริมาณมากจึงต้องจัดเก็บแบบข้อมูลเชิงเลข ดังนั้นฮาร์ดแวร์คอมพิวเตอร์จึงมีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนกระบวนการทำงาน โดยฮาร์ดแวร์ทั้งหมดจะต้องมีสมรรถนะเพียงพอสำหรับการจัดการข้อมูลที่มีปริมาณมาก และมีความเข้ากันได้กับอุปกรณ์ต่อพ่วงอื่นๆ อีกทั้งยังต้องสามารถรองรับการทำงานของซอฟต์แวร์ได้

4.1.3 ขั้นตอนการทำงาน (Procedure/Method) คือ ความสำเร็จของงานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ขึ้นอยู่กับวิธีการ การกำหนด ขั้นตอนการปฏิบัติงาน การกำหนดแบบจำลอง และรูปแบบเพื่อให้งานเป็นไปตามขั้นตอนและมีความเชื่อถือได้

4.1.4 ข้อมูล (Data) คือ ข้อมูลต่างๆ ที่ใช้ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นองค์ประกอบที่จัดว่าสำคัญรองลงมาจากบุคลากร ข้อมูลบางส่วนต้องได้รับการนำเข้าเป็นดิจิทัลและเก็บในรูปแบบของแผนที่ทางภูมิศาสตร์ บางส่วนเก็บเป็นตารางข้อมูลที่มีความสัมพันธ์ และดูแลด้วยโปรแกรมระบบจัดการฐานข้อมูล (Database Management System: DBMS) ของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เนื้อหาข้อมูลต้องสมบูรณ์ มีความถูกต้อง เป็นมาตรฐานและทันสมัย ข้อมูลเชิงพื้นที่มักจะจัดสร้างโดยหลายหน่วยงาน ส่วนใหญ่จะแสดงในรูปแบบของแผนที่ ภาพถ่ายทางอากาศ ข้อมูลจากระบบกำหนดตำแหน่งพิภคบนพื้นโลก (Global Positioning System:

GPS) ตลอดจนข้อมูลจากรายงานต่างๆ ซึ่งเป็นข้อมูลตัวเลข ตัวอักษรหรือตาราง เนื่องจากข้อมูลมีที่มาจากหลายแหล่ง ทำให้มีรูปแบบการจัดเก็บที่หลากหลายและข้อมูลอาจมีระบบพิกัดที่ใช้ในการอ้างอิงแตกต่างกัน ดังนั้นต้องปรับแก้ให้อยู่ในระบบเดียวกัน

4.1.5 บุคลากร (User) เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ การใช้งานด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นงานทางด้านเทคนิค จึงจำเป็นที่จะต้องให้บุคลากรที่เกี่ยวข้องมีความรู้ ความเข้าใจในเรื่องทางเทคนิค สามารถออกแบบโครงสร้างข้อมูลพื้นฐานบางอย่างของตนเองได้ เนื่องจากงานด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ประกอบด้วยกระบวนการที่ซับซ้อน ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานจึงจำเป็นต้องมีความชำนาญเฉพาะทาง มีประสบการณ์ ตลอดจนมีความรู้ในสาขาวิชาอื่น เพื่อนำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ไปประยุกต์ใช้ โดยพื้นฐานแล้วบุคลากรด้านนี้ควรมีความรู้ด้านภูมิศาสตร์ การแผนที่ สารสนเทศและคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ควรมีประสบการณ์ในการใช้ซอฟต์แวร์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ อีกทั้งมีความเข้าใจในข้อมูลเชิงพื้นที่และมีความสามารถในการคิดและผสมผสานกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูล สามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการปฏิบัติงานได้

4.2 ข้อมูลที่ใช้ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ข้อมูลที่ใช้ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ จัดเก็บเป็นข้อมูลในรูปของชั้นข้อมูล (Data Layer) แสดงภาพพื้นผิวโลกตามสภาพธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้นซึ่งชั้นข้อมูลเหล่านี้ประกอบด้วย

ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) เป็นข้อมูลที่บอกถึงตำแหน่งที่ตั้งต่างๆ ในพื้นที่ซึ่งในการกำหนดหรือระบุที่ตั้งของข้อมูลภูมิศาสตร์นั้นจะอ้างอิงกับระบบพิกัด เช่น ระบบพิกัดภูมิศาสตร์ (Geographic Grid Coordinate System) ที่ประกอบด้วยเส้นละติจูดและเส้นลองจิจูด หรือระบบพิกัด UTM (Universal Transverse Mercator Grid System: UTM grid) ซึ่งข้อมูลเชิงพื้นที่ยังแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่

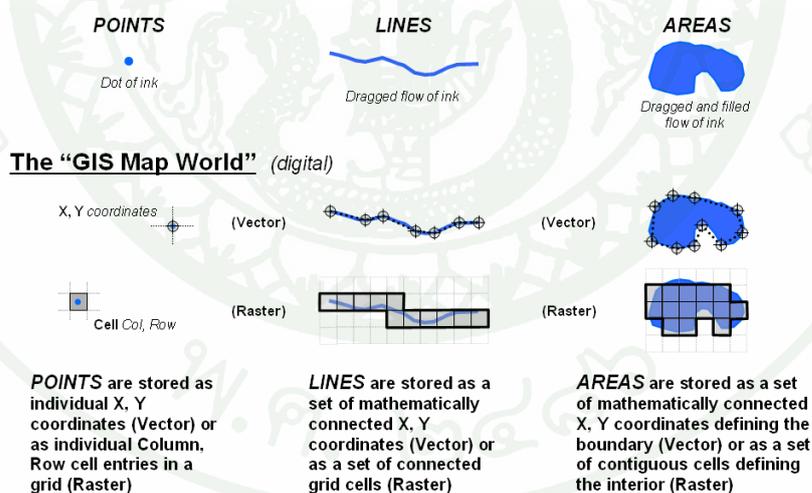
4.2.1 แบบเชิงเส้นหรือแบบเวกเตอร์ (Vector) เป็นข้อมูลที่จัดเก็บในรูปของค่าพิกัดและความสัมพันธ์เชิงเรขาคณิต โดยการใช้จุด เส้นและรูปปิด (Point, Line, Polygon) เป็นองค์ประกอบพื้นฐานในการจัดเก็บเชิงพื้นที่ โดยข้อมูลเหล่านี้มีคุณสมบัติของเวกเตอร์ ดังนี้

ก. จุด (Point) เป็นหน่วยย่อยที่สุดของเวกเตอร์ ซึ่งมีจุดเริ่มต้นโดยขนาดและทิศทางมีค่าเท่ากับศูนย์ โดยจุดเป็นเพียงตำแหน่งซึ่งไม่สามารถวัดพื้นที่ได้

ข. เส้น (Line) ประกอบด้วยเวกเตอร์ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นตรงเรียงต่อเนื่องกันเป็นลำดับ โดยเส้นมีเพียง 1 มิติ คือ มีความยาวแต่ไม่มีความกว้าง

ค. รูปปิด (Polygon) ประกอบด้วยเวกเตอร์ที่เรียงต่อเนื่องกันเป็นอนุกรมซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นปิด ข้อมูลประเภทรูปปิดสามารถวัดพื้นที่ได้

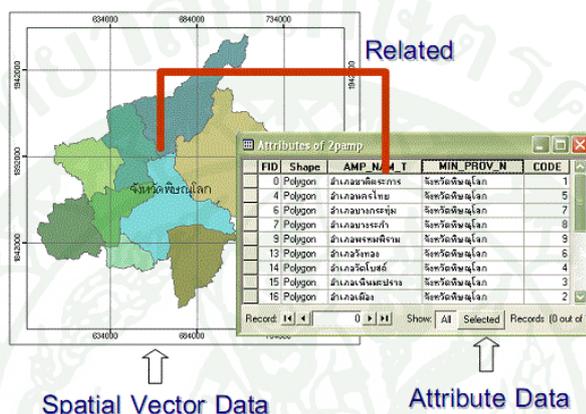
4.2.2 แบบเชิงตารางกริดหรือแบบราสเตอร์ (Raster) จัดเก็บข้อมูลในลักษณะของจุดภาพขนาดเล็ก (Picture Element) หรือนิยมเรียกย่อๆ ว่า Pixel (หรือเรียกว่า Grid Cell) ดังแสดงในภาพที่ 13 โดยที่แต่ละ Pixel จะเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดของข้อมูล นอกจากนี้ยังสามารถแทนข้อมูลได้อย่างมีความแม่นยำเชิงตำแหน่ง ตัวอย่างของข้อมูลในระบบราสเตอร์ ได้แก่ ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม



ภาพที่ 13 ลักษณะข้อมูลแบบเวกเตอร์ (Vector) และแบบราสเตอร์ (Raster)

ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. ออนไลน์. (ม.ป.ป.)

4.2.3 ข้อมูลเชิงคุณลักษณะ (Attribute Data) เป็นข้อมูลที่อธิบายคุณลักษณะของข้อมูลเชิงพื้นที่ว่ามีคุณลักษณะ (Attribute) อย่างไร ดังภาพที่ 14 ประกอบไปด้วยสาระอะไรบ้าง มีการจำแนกแบบใด การตรวจวัดแบบใด ตัวอย่างชั้นข้อมูลเหล่านี้ เช่น ความสูงต่ำของภูมิประเทศ ทางน้ำธรรมชาติ สภาพการใช้ที่ดิน ถนนที่ใช้สัญจรแบบต่างๆ แนววางท่อประปาและสายส่งไฟฟ้า เป็นต้น



ภาพที่ 14 ลักษณะข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) ที่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลเชิงคุณลักษณะ (Attribute Data)

ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. ออนไลน์. (ม.ป.ป.)

ข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่ปรากฏในหน่วยงานต่างๆ ของประเทศไทยนั้น มีหน่วยงานสำคัญที่ถือว่ามียุทธศาสตร์ในการเผยแพร่ข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นที่ยอมรับทั่วไปได้แก่ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ซึ่งได้เผยแพร่ที่ดินซึ่งเป็นข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ต่อสาธารณชนโดยมีการพัฒนาระบบโปรแกรมเพื่อสืบค้นข้อมูล เพื่อช่วยเหลือบุคลากรด้านต่างๆ ที่ไม่มีความรู้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ให้สามารถใช้งานได้ (นฤเทพ กาละดี, 2545)

4.3 รูปแบบการวิเคราะห์ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มีความแตกต่างจากระบบสารสนเทศอื่นๆ โดยที่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นการทำงาน และวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ โดยใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่และ

ข้อมูลเชิงบรรยายเป็นระบบฐานข้อมูลและเป็นการอ้างอิงเพื่อให้ได้คำตอบบนพิกัดภูมิศาสตร์ได้ ส่วนระบบสารสนเทศทั่วไปนั้นมีการวิเคราะห์ข้อมูลในฐานข้อมูลเชิงสถิติหรืออื่นๆ แต่ไม่สามารถบอกตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์

การวิเคราะห์ข้อมูลเป็นหลักการสำคัญที่ทำให้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มีประโยชน์ และแตกต่างจากวิธีอื่นที่ใช้ในการจัดทำแผนที่เพียงอย่างเดียวหรือจัดทำฐานข้อมูลเพียงอย่างเดียว โดยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จะใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลเชิงบรรยายในการวิเคราะห์ ผลลัพธ์ของวิเคราะห์สามารถแสดงในรูปแบบของภาพแผนที่ที่มีคำอธิบายเชื่อมโยงความสัมพันธ์กับข้อมูล สามารถอธิบายถึงปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นหรือคำตอบที่ต้องการนำไปใช้เพื่อการตัดสินใจได้อย่างชัดเจน

เมื่อเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และการวิเคราะห์ข้อมูลแบบดั้งเดิม การวิเคราะห์ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มีความแตกต่างจากการวิเคราะห์ทางสถิติ เพราะอาศัยคุณสมบัติของแผนที่ของข้อมูล ค่าพิกัดตำแหน่งและใช้การวิเคราะห์เพื่อแสดงผลลัพธ์กับในรูปแผนที่โดยใช้ระบบพิกัดที่ตรงกัน ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ยังสามารถนำค่าจากสถิติมาใช้ร่วมแล้วแสดงผลออกมาในรูปแบบแผนที่

การวิเคราะห์ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ แบ่งตามลักษณะได้ 3 แบบ คือ

4.3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยข้อมูลเชิงพื้นที่ สามารถแบ่งออกได้หลายประเภท ได้แก่ การสอบถาม การจัดกลุ่มใหม่ การสร้างกรอบใหม่ของข้อมูลเชิงพื้นที่และรูปแบบทางเรขาคณิต การซ้อนทับชั้นข้อมูล การวิเคราะห์การเชื่อมโยง การแปลงระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ การแปลงเส้นโครงแผนที่ การเปลี่ยนแปลงมาตราส่วน การเชื่อมต่อแผนที่ การเทียบขอบ การแก้ไขปัจจัยภูมิศาสตร์ หลักการเติมข้อมูล วิธีการเติมข้อมูลจุด หาเส้นโค้งที่เหมาะสม พื้นผิวที่เหมาะสม การเพิ่มข้อมูลภาพ การคำนวณพื้นที่ และการแปลงเชิงเรขาคณิต

4.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยข้อมูลเชิงคุณลักษณะ ได้แก่ การแก้ไขข้อมูลเชิงบรรยาย การสอบถามข้อมูลเชิงบรรยาย และการใช้กระบวนการทางสถิติ

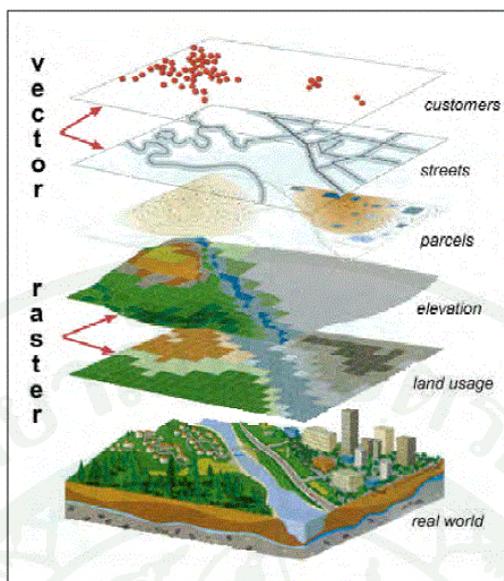
4.3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ร่วมกับข้อมูลเชิงคุณลักษณะ ได้แก่ การเรียกค้นข้อมูล การแบ่งกลุ่มข้อมูล การจัดกลุ่มใหม่ การสร้างกรอบของขอบเขตใหม่ การวัด การวิเคราะห์ การเชื่อมโยง การซ้อนทับข้อมูล (วิเชียร ฝอยพิกุล. 2547 : 182-199)

4.4 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

แบ่งตามลักษณะของการทำงานเป็น 2 รูปแบบ คือ

4.4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยมือ (Manual approach) หรือระบบแบบดั้งเดิม โดยการนำข้อมูลแผนที่หรือลายเส้นต่างๆ ถ่ายลงบนแผ่นใสหรือกระดาษลอกลายใส แผ่นใส 1 แผ่น มีชั้นข้อมูลเพียง 1 เรื่อง เช่น แผนที่เส้นทางน้ำ แผนที่เส้นถนน แผนที่ขอบเขตการปกครอง แล้วนำมาซ้อนทับกันบนโต๊ะฉายแสง หรือเครื่องฉายแผ่นใส กระบวนการนี้อาจเรียกว่า เทคนิคการซ้อนทับเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ แต่วิธีการนี้มีข้อจำกัดมาก เช่น จำนวนแผ่นใส การตรึงพิคัดแผนที่ของแผ่นใสให้ตรงกัน การวาดจุดอ้างอิง (Control point) จึงส่งผลต่อความผิดพลาดเชิงพื้นที่หรือตำแหน่งในการวิเคราะห์ข้อมูล

4.4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่โดยการใช้คอมพิวเตอร์ (Computer assisted approach) เป็นการนำระบบคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลแผนที่และสารสนเทศที่จัดเก็บในรูปดิจิทัล การเปลี่ยนรูปแบบของข้อมูลแผนที่ หรือลายเส้นให้เป็นเชิงตัวเลข แล้วนำข้อมูลดิจิทัลที่ได้มาทำการซ้อนทับกันโดยใช้หลักคณิตศาสตร์ และตรรกศาสตร์ เช่น นำข้อมูลมาบวก ลบ คูณ หรือหารกัน เพื่อให้ได้ผลลัพธ์แผนที่ชุดใหม่ ทำการเปรียบเทียบแผนที่ข้อมูลที่มีอยู่ การหาพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงบนแผนที่ วิธีการเก็บข้อมูลในรูปเชิงตัวเลขนั้นจึงช่วยลดเนื้อที่ในการเก็บข้อมูล และสามารถเรียกมาแสดง หรือทำการวิเคราะห์ซ้ำๆ ได้โดยง่าย รวมทั้งการพิมพ์ผลลัพธ์ได้อย่างรวดเร็ว ดังแสดงในภาพที่ 15 (วิเชียร ฝอยพิกุล. 2547 : 32-37)



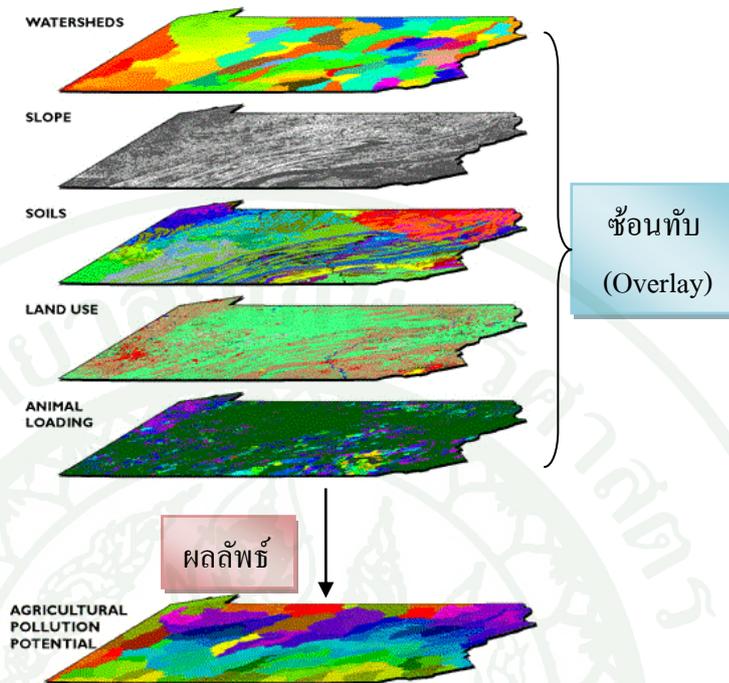
ภาพที่ 15 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่โดยการใช้คอมพิวเตอร์ (Computer assisted approach)

ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. ออนไลน์. (ม.ป.ป.)

การวิเคราะห์ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มีหลายรูปแบบ ซึ่งในที่นี้จะบรรยายถึงการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่โดยการใช้คอมพิวเตอร์ 4 รูปแบบหลักๆ ดังนี้

ก. พื้นที่กันชน (Buffer analysis) การสร้างแนวพื้นที่รอบสิ่งใดสิ่งหนึ่งเป็นระยะทางตามที่กำหนด เรียกว่า การสร้างพื้นที่กันชน สำหรับข้อมูลแบบเวกเตอร์ สามารถสร้างพื้นที่กันชนรอบจุด เส้นและพื้นที่ได้ ส่วนข้อมูลราสเตอร์ก็สามารถสร้างพื้นที่กันชนได้เช่นกัน แต่ด้วยลักษณะโครงสร้างข้อมูลซึ่งเป็นกริดเซลล์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ากริดเซลล์มีขนาดใหญ่ การสร้างพื้นที่กันชนก็จะมีผลคลาดเคลื่อนเชิงระยะทาง ดังนั้นการสร้างพื้นที่กันชนจึงมักจะใช้สำหรับข้อมูลแบบเวกเตอร์

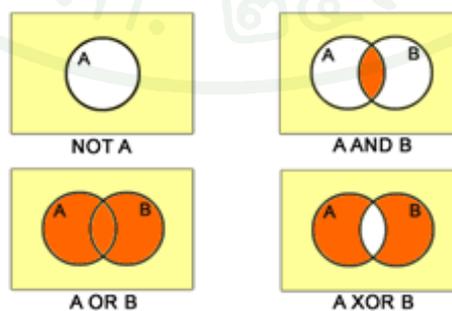
ข. การซ้อนทับข้อมูลเชิงพื้นที่ (Overlay analysis) เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลหลายชั้นข้อมูลร่วมกัน โดยข้อมูลเหล่านั้นต้องอยู่ในบริเวณเดียวกันและมีคุณลักษณะต่างกัน ผลจากการวิเคราะห์จะทำให้ได้ชั้นข้อมูลใหม่ เช่น การวิเคราะห์มลพิษที่เกิดจากเกษตรกรรม (Agricultural pollution potential) โดยชั้นข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์ประกอบด้วย พื้นที่ต้นน้ำ (Watersheds) ความลาดชัน (Slope) ดิน (Soils) การใช้ที่ดิน (Land use) และการใช้แรงงานสัตว์ (Animal loading) ซึ่งแผนผังการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงในรูปซ้อนทับข้อมูลเชิงพื้นที่ ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 การวิเคราะห์ข้อมูลโดยการซ้อนทับข้อมูลเชิงพื้นที่

ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. ออนไลน์. (ม.ป.ป.)

ในการซ้อนทับข้อมูลมีกระบวนการในการคำนวณโดยใช้หลักพีชคณิตบูลีน (Boolean Algebra) ซึ่งมีตัวดำเนินการ คือ NOT, AND, OR และ XOR โดยกำหนดให้มีพื้นที่ A และ B เมื่อใช้ตัวดำเนินการแบบต่างๆ กระทำกับพื้นที่ A และ B จะได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 17

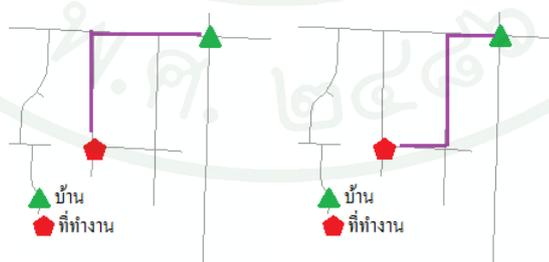


ภาพที่ 17 ผลจากการใช้ตัวดำเนินการแบบบูลีน

ซอฟต์แวร์ส่วนใหญ่จะมีตัวดำเนินการเพียง NOT, AND และ OR ถ้าหากการวิเคราะห์จำเป็นต้องใช้ XOR ก็สามารถผสมผสานตัวดำเนินการอื่นๆ เข้าด้วยกันโดย $A \text{ XOR } B = (A \text{ OR } B) \text{ AND NOT } (A \text{ AND } B)$

ในการกำหนดตัวดำเนินการเพื่อซ้อนทับข้อมูลต้องเป็นไปตามเงื่อนไขของการวิเคราะห์ เช่น ในหนองน้ำแห่งหนึ่งกำหนดพื้นที่ที่อนุบาลสัตว์น้ำต้องอยู่ห่างจากตลิ่งไม่เกิน 2 เมตร และต้องมีความลึกไม่เกิน 1 เมตร ดังนั้น การหาพื้นที่ที่เหมาะสมต้องใช้ชั้นข้อมูล 2 ชั้น โดยชั้นข้อมูลแรกเป็นพื้นที่กันชนที่สร้างเข้าไปในหนองน้ำเป็นระยะ 2 เมตร ส่วนชั้นข้อมูลที่สองเป็นพื้นที่ในหนองน้ำที่มีความลึก 1 เมตร ในการวิเคราะห์ต้องนำชั้นข้อมูลทั้งสองมาซ้อนทับกันโดยใช้ตัวดำเนินการแบบ AND เป็นต้น

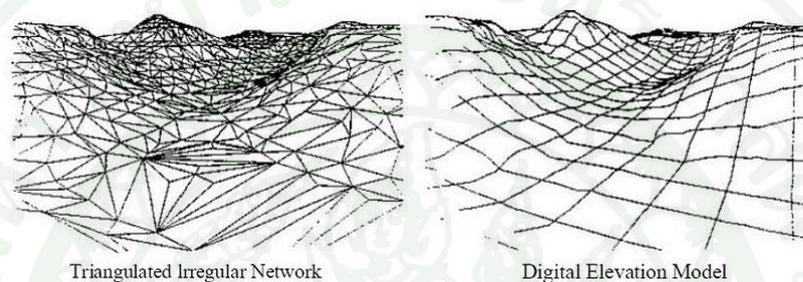
ค. การวิเคราะห์โครงข่าย (Network analysis) ในการวิเคราะห์โครงข่ายจะเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลประเภทเส้น (Line) เท่านั้น โดยข้อมูลประเภทเส้นในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ประกอบด้วยเส้นสมมติ เช่น เส้นรุ่ง เส้นแวง และเส้นขอบเขตการปกครอง ส่วนอีกประเภทหนึ่งเป็นข้อมูลประเภทเส้นที่ปรากฏจริง เช่น เส้นถนน เส้นแม่น้ำและเส้นทางสายไฟฟ้า ในการวิเคราะห์โครงข่ายจะวิเคราะห์เฉพาะข้อมูลเส้นที่ปรากฏอยู่จริง ส่วนใหญ่ในการวิเคราะห์โครงข่ายจะถูกนำไปประยุกต์ใช้กับเส้นทางคมนาคม เช่น การเดินทางจากบ้านไปทำงานต้องใช้เส้นทางใดจึงจะเป็นระยะทางที่สั้นที่สุด ในบางกรณีการหาระยะทางที่สั้นที่สุดไม่ใช่คำตอบที่ผู้วิเคราะห์ต้องการ แต่สิ่งที่ต้องการ คือเส้นทางที่ดีที่สุดโดยใช้เงื่อนไขระยะทางที่สั้นที่สุดกับเส้นทางที่ดีที่สุดอาจได้ผลจากการวิเคราะห์แตกต่างกัน ดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 การวิเคราะห์โครงข่ายหาเส้นทางที่สั้นที่สุด และเส้นทางที่ดีที่สุด

ง. การวิเคราะห์พื้นผิว (Surface analysis) เป็นการวิเคราะห์การกระจายของค่าตัวแปรตัวหนึ่งซึ่งเปรียบเสมือนเป็นมิติที่ 3 ของข้อมูลเชิงพื้นที่ โดยข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีค่าข้อมูลเชิงพื้นที่

มีค่าพิกัดตามแนวแกน X และ Y ส่วนตัวแปรที่นำมาวิเคราะห์เป็นค่า Z ที่มีการกระจายตัวครอบคลุมทั้งพื้นที่ ตัวอย่างของค่า Z ได้แก่ ข้อมูลความสูงของพื้นที่ ปริมาณน้ำฝน และอุณหภูมิ เป็นต้น ผลจากการวิเคราะห์พื้นผิวสามารถแสดงเป็นภาพ 3 มิติ ให้เห็นถึงความแปรผันของข้อมูลด้วยลักษณะสูงต่ำของพื้นผิวนั้น การแสดงข้อมูลพื้นผิวสามารถใช้โครงสร้างข้อมูลแบบเวกเตอร์ โดยการใช้ Triangulated Irregular Network (TIN) หรือใช้โครงสร้างแบบราสเตอร์โดยการใช้ Digital Elevation Model (DEM) ดังภาพที่ 19

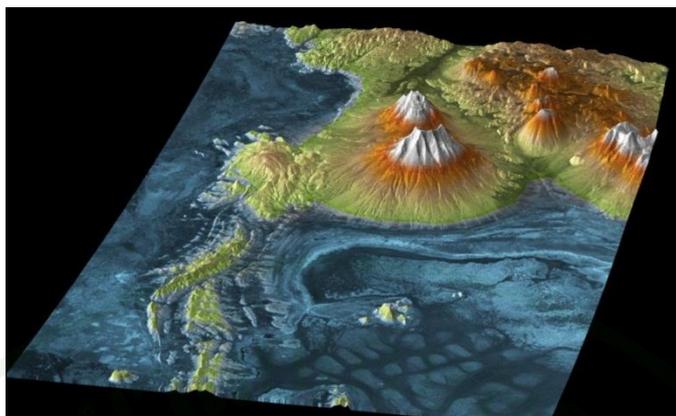


ภาพที่ 19 ลักษณะของ TIN และ DEM

ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. ออนไลน์. (ม.ป.ป.)

ในเบื้องต้นข้อมูลค่า Z ที่ใช้ในการวิเคราะห์พื้นผิวมีอยู่เพียงบางจุดในพื้นที่ศึกษา เช่น ข้อมูลน้ำฝนมีอยู่ที่ตำแหน่งของสถานีน้ำฝนซึ่งกระจายอยู่ในพื้นที่ศึกษาเท่านั้น การวิเคราะห์ค่า Z จึงจำเป็นต้องใช้การประมาณค่าเชิงพื้นที่ (Spatial Interpolation) ภายใต้อสมมติฐาน 2 ข้อ คือ ค่า Z ต้องมีการเปลี่ยนแปลงแบบต่อเนื่องค่อยเป็นค่อยไปและค่า Z ต้องมีความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ โดยค่า Z ของจุดที่ไม่ทราบค่าจะมีค่าใกล้เคียงกับจุดที่ทราบค่าอยู่ไกลออกไปเป็นระยะทางน้อยที่สุด

การวิเคราะห์พื้นผิวนำไปประยุกต์ใช้ได้หลายแนวทาง ไม่ว่าจะเป็นการวิเคราะห์ภาพตัดขวาง การแสดงลักษณะของพื้นผิว การวิเคราะห์ความสามารถในการมองเห็นภูมิประเทศจากมุมมองต่างๆ การคำนวณปริมาตรของพื้นที่และการแสดงลักษณะภูมิประเทศร่วมกับแผนที่ ดังภาพที่ 20



ภาพที่ 20 การแสดงข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมร่วมกับ DEM

ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. ออนไลน์. (ม.ป.ป.)

4.5 หลักเกณฑ์และปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่โดยแนวคิดการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จำเป็นต้องมีการกำหนดวัตถุประสงค์และหลักเกณฑ์ให้ชัดเจนเกี่ยวกับความต้องการ และการนำข้อมูลไปใช้ โดยจัดลำดับกระบวนการคิดเป็นขั้นตอน ซึ่งเป็นการจัดทำแผนการดำเนินงานอย่างละเอียด ทั้งนี้เพื่อลดความซ้ำซ้อนในการทำงานและป้องกันความผิดพลาด

4.5.1 การจัดการฐานข้อมูล หลังจากได้กำหนดหลักเกณฑ์ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลในการคัดเลือกชัดเจนแล้ว ขั้นตอนต่อไป คือ การเตรียมฐานข้อมูลทั้งข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลเชิงบรรยาย

ก. ตรวจสอบฐานข้อมูลเพื่อให้แน่ใจว่าเป็นข้อมูลที่ถูกต้อง พิกัดและเวลาตรงตามที่ต้องการไม่มีค่าสูญหาย

ข. ฐานข้อมูลที่มีมาตราส่วนเดียวกันและระบบค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์เดียวกันนำมาทำการซ้อนทับข้อมูลที่มีขอบเขตพื้นที่เท่ากัน ช่วยประหยัดเนื้อที่และเวลาในการดำเนินการวิเคราะห์

ค. คุณภาพข้อมูลมีระดับความถูกต้อง หรือความแม่นยำ

4.5.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ประกอบด้วยขั้นตอนย่อย ดังนี้

ก. การวิเคราะห์ข้อมูลแต่ละชั้นข้อมูล โดยการสร้างแนวกันชนหรือการตัดข้อมูลในแต่ละชั้นข้อมูลตามหลักเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้

ข. เมื่อจัดเตรียมข้อมูลแล้ว การวิเคราะห์โดยการซ้อนทับข้อมูลแต่ละชั้นข้อมูลหรือมากกว่า 1 ชั้น โดยใช้คำสั่งการวิเคราะห์ข้อมูล

ค. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงบรรยายโดยทำการสืบค้นข้อมูลจากตารางด้วยเงื่อนไขตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดได้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงาน

ง. การประเมินผล และแปลความหมายของผลการวิเคราะห์ สรุปเป็นสารสนเทศส่งให้ผู้ตัดสินใจในการวางแผนและสั่งการต่อไป

จ. แสดงผลการวิเคราะห์ในรูปของแผนที่กระดาษหรือในรูปของแผนที่ดิจิทัล

4.5.3 กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่นั้นอาจดำเนินการได้ด้วยการใช้ข้อมูล (แผนที่) เพียงชั้นเดียว หรือหลายชั้นข้อมูลมาซ้อนทับกัน โดยประเภทของการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่สามารถแสดงได้ดังนี้

ก. การวิเคราะห์แบบคร่าวๆ เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่โดยใช้ปัจจัยเด่นเพียงปัจจัยเดียวในการกำหนดความเหมาะสม เป็นเงื่อนไขของการวิเคราะห์ เช่น การประเมินศักยภาพที่ดินเพื่อการเกษตร โดยใช้ชุดดินเป็นปัจจัยในการกำหนดว่า ดินทรายควรใช้ปลูกพืช ดินลูกรังไม่ควรใช้ เป็นต้น การวิเคราะห์แบบนี้เหมาะสมในกรณีที่มีผู้ชำนาญในเรื่องนั้นๆ หรือรู้สภาพพื้นที่เป็นอย่างดี

ข. การวิเคราะห์โดยวิธีการซ้อนทับข้อมูล ซึ่งเป็นการวิเคราะห์หาพื้นที่ (จุดหรือเส้น) ที่เหมาะสม หรือตรงตามเงื่อนไขของปัจจัย หรือข้อมูลจากแผนที่ตั้งแต่ 2 ชุดขึ้นไป เช่น การวิเคราะห์หาพื้นที่ที่มีความเหมาะสมกับการเกษตร และอยู่นอกเขตอุทยานแห่งชาติหรือที่สาธารณะ

ไม่เป็นพื้นที่ปิด เป็นต้น ดังนั้นการที่จะได้พื้นที่ดังกล่าวจำเป็นต้องเกิดจากการซ้อนทับแผนที่ดิน และแผนที่อุทยานแห่งชาติ ฯลฯ แล้วเลือกเฉพาะพื้นที่ที่ตรงตามเงื่อนไข

ก. การวิเคราะห์โดยการคำนวณทางคณิตศาสตร์ ซึ่งวิธีการนี้สามารถแบ่งออกได้ เป็น 2 ประเภท คือ การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เบื้องต้นและการวิเคราะห์โดยใช้สมการเชิงเส้นตรง

4.6 เทคนิคการวิเคราะห์ศักยภาพของพื้นที่ (Potential Surface Analysis: PSA)

ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ตามเงื่อนไขต่างๆ นั้น นอกเหนือจากการพิจารณาถึงปัญหาในพื้นที่แล้ว ยังเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการวางแผนเชิงพื้นที่เพื่ออนาคตด้วย ซึ่งต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ของพื้นที่และโอกาสแห่งการพัฒนา เพื่อความยั่งยืนในการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรของพื้นที่

เทคนิคการวิเคราะห์ศักยภาพของพื้นที่ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์โดยใช้สมการเชิงเส้นตรง ประเภทหนึ่ง เป็นการหาแนวทางการพัฒนาเพื่อให้มีการใช้พื้นที่อย่างเหมาะสมในอนาคต เทคนิคนี้ คิดค้นขึ้นมาเพื่อใช้วิเคราะห์ศักยภาพของการพัฒนาพื้นที่ ทำการศึกษาความเหมาะสมเพื่อทำการพัฒนา โดยการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่เป็นตัวกำหนด เช่น การขยายตัวของเมือง ในการวิเคราะห์จะทำการแสดงแนวเขตของปัจจัยต่างๆ อย่างคร่าวๆ พื้นที่ที่ว่างนอกเหนือจากตัวกำหนดนั้นจะถูกพิจารณาเพื่อกำหนดเป็นการใช้พื้นที่

การพัฒนาเทคนิคเพื่อใช้ในการวางแผนกายภาพในอดีตมีหลายเทคนิค เช่น เทคนิค “sieve mapping” ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ง่าย เนื่องจากข้อมูลต่างๆ แสดงเป็นภาพสามารถอ่าน และตีความได้จากแผนที่

ข้อเสียของเทคนิค PSA คือ การตีความข้อมูลด้วยภาพเป็นเทคนิคที่พิจารณาเฉพาะปัจจัยด้านกายภาพ โดยไม่คำนึงถึงปัจจัยด้านเศรษฐกิจและสังคม ผลลัพธ์ที่ได้จะมีคำตอบหรือทางแก้เพียงทางเดียวว่าบริเวณใดเหมาะสมหรือไม่เหมาะสม ปัจจัยต่างๆ ได้รับการพิจารณาโดยมีความสำคัญเท่าเทียมกัน ซึ่งใช้ได้กับเฉพาะปัญหาต่างๆ หรือกรณีที่มีปัจจัยน้อย หากปัญหาที่มีความซับซ้อนเพิ่มขึ้น วิธีนี้จะไม่มีประสิทธิภาพพอไม่สามารถให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องได้

ข้อดีของเทคนิค PSA คือ วิธีนี้เป็นวิธีการที่แปรสภาพพื้นที่ซึ่งเคยแสดงเป็นรูปภาพให้มาแสดงเป็นตัวเลข สามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลได้ทั้งข้อมูลด้านกายภาพ เศรษฐกิจ สังคม หรือสิ่งแวดล้อม ด้วยการวัดซึ่งมีอยู่หลายวิธี แล้วทำการบวก ลบ คูณหาร ถอดราก หรือยกกำลังตามหลักคณิตศาสตร์ เปลี่ยนหน่วยที่ใช้ในการวัดในแต่ละปัจจัยที่แตกต่างกัน เทคนิค PSA แสดงศักยภาพแห่งการพัฒนาทุกบริเวณบนแผนที่ เป็นระดับความเหมาะสมจากระดับต่ำสุดจนถึงสูงสุด และเป็นวิธีการวิเคราะห์ที่สามารถใช้กับพื้นที่ได้ทุกขนาด เช่น ขนาดระดับภาค ระดับจังหวัด และระดับเมือง (วิเชียร ฝอยพิกุล. 2547 : 175-178)

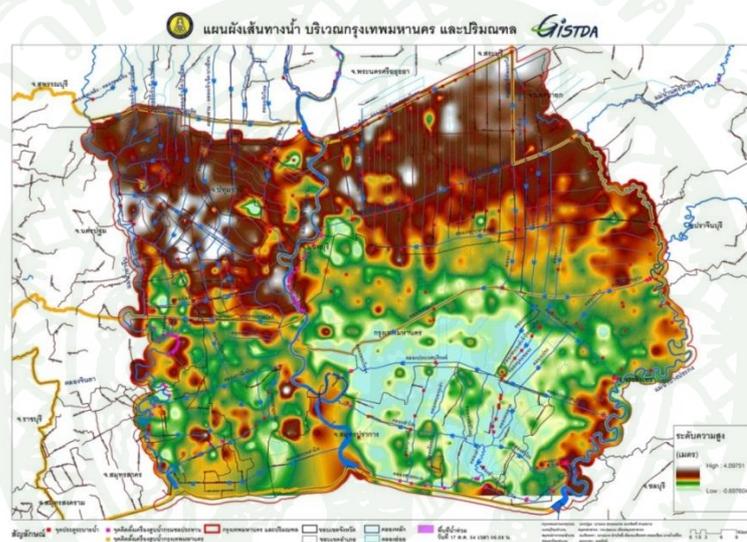
4.7 การแสดงผลข้อมูล (Data display)

การเรียกค้นข้อมูลหรือผลการวิเคราะห์ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สามารถแสดงผลออกมาในลักษณะของแผนที่ ตารางข้อมูล หรือพิมพ์เป็นภาพจัดทำเป็นรายการต่างๆ ซึ่งทำได้หลากหลายและสวยงาม การแสดงผลโดยการจัดเตรียมข้อมูลสารสนเทศของพื้นที่ การนำเสนอข้อมูลจากการเรียกค้นและวิเคราะห์ข้อมูล ผลลัพธ์ที่ได้อาจจะอยู่ในรูปของตัวเลขหรือตัวอักษร ซึ่งทำความเข้าใจ หรือตีความได้ยาก อาจนำเสนอข้อมูลในรูปแบบที่ดีกว่า เช่น การแสดงแผนที่แผนที่ภูมิรูปภาพของสถานที่จริง ภาพเคลื่อนไหวหรือแม้กระทั่งระบบสื่อมัลติมีเดียต่างๆ จะทำให้ผู้ใช้เข้าใจและมองภาพของผลลัพธ์ที่น่าเสนอได้ดียิ่งขึ้น ทั้งเป็นการดึงความสนใจของผู้ใช้งาน แต่ต้องเข้าใจว่าการจัดทำแผนที่ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงภูมิศาสตร์ด้วยคอมพิวเตอร์เป็นเพียงส่วนหนึ่งของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เท่านั้น เพราะในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ยังมีขั้นตอนอีกมากกว่านั้น อีก คือ ความสามารถในการวิเคราะห์ผลลัพธ์ การเชื่อมโยงข้อมูล เช่น การวางซ้อน การสร้างเขตกันชน การสร้างแบบจำลองมาก่อน จึงมาจัดทำแผนที่ที่เพื่อการแสดงผล ข้อเด่นของการแสดงผลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ คือ ความสามารถในการสร้างภาพที่เหมือนจริง ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่แสดงออกมาสื่อความหมายได้ง่าย เช่น ภาพมุมมองในสามมิติ การใช้ระบบมัลติมีเดีย เป็นต้น

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สามารถแก้ไขข้อผิดพลาดของข้อมูลได้ ไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มข้อมูลใหม่เข้าไปรวม หรือซ่อนข้อมูลแผนที่ ปรับปรุงข้อมูล เรียกค้นข้อมูลที่มีลักษณะตามต้องการได้ รายงานเกี่ยวกับข้อมูลแผนที่ และตารางข้อมูลพื้นที่ เป็นต้น

ประโยชน์จากการใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่เห็นได้ชัดเจน คือ ความสามารถในการผสมผสานข้อมูลหลายรูปแบบ (กราฟิก ตัวอักษร ตัวเลข ภาพ) จากแหล่งต่างๆ นำมาใช้ในการ

วิเคราะห์ นอกจากนั้นยังสามารถทำการปรับเปลี่ยนมาตราส่วนเส้นโครงแผนที่ การเชื่อมต่อระวางแผนที่และการผสมผสานกับข้อมูลสำรวจจากระยะไกล ซึ่งเพิ่มความสามารถในการใช้ประโยชน์ได้ การแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ทำให้มีการปรับปรุงแก้ไขข้อมูลให้ทันสมัยได้ง่าย สามารถจัดการกับระบบฐานข้อมูลขนาดใหญ่ได้ การประมวล และวิเคราะห์ข้อมูลที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำได้โดยสามารถเชื่อมโยงข้อมูลด้านสังคม เศรษฐกิจ การซ้่อ้นทับของข้อมูลเชิงพื้นที่ การสร้างแบบจำลอง การทดสอบการเปรียบเทียบทางเลือกก่อนที่จะมีการนำเสนอ ยุทธวิธีในการปฏิบัติจริง ดังแสดงในภาพที่ 21



ภาพที่ 21 ตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์โดยแสดงผลในลักษณะแผนที่

ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. ออนไลน์. (ม.ป.ป.)

โดยสรุประบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ครอบคลุมถึงการจัดเก็บข้อมูล การค้นหาข้อมูล การวิเคราะห์ และการแสดงข้อมูล ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์แตกต่างจากระบบฐานข้อมูล หรือระบบสารสนเทศประเภทอื่นๆ ตรงที่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์วางอยู่บนรากฐานของการอ้างอิงค่าพิกัดภูมิศาสตร์ ข้อมูลเชิงภาพ และข้อมูลบรรยายสามารถบ่งบอกคุณลักษณะต่างๆ ของตำแหน่งนั้นๆ ช่วยในการจัดเก็บข้อมูลแผนที่ที่มีปริมาณมากให้เป็นไปได้อย่างรวดเร็ว สามารถนำมาใช้ในการตัดสินใจ และการวางแผนได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามสิ่งที่ต้องคำนึงเสมอ คือ การใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ให้เกิดประโยชน์หรือตอบปัญหาได้ถูกต้องมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับความถูกต้องแม่นยำของข้อมูลเบื้องต้นที่ถูกนำเข้าไปในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

5. เทคนิคในการตัดสินใจเพื่อสนับสนุนการประเมินความเหมาะสมของพื้นที่

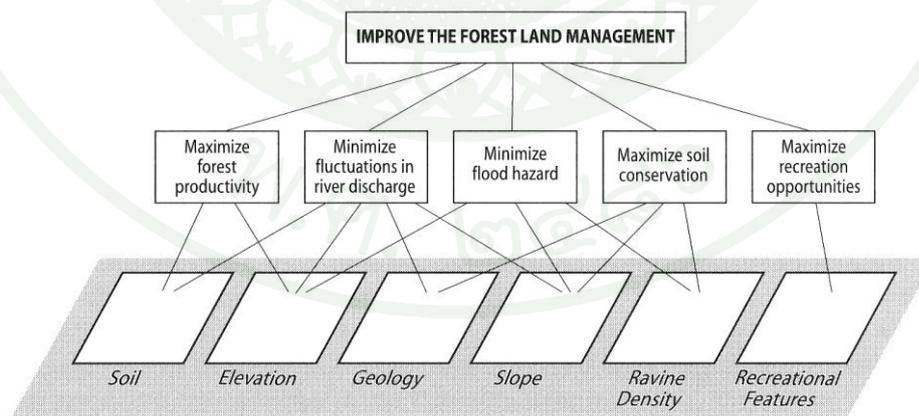
พื้นฐาน GIS ในการวิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่ มีพื้นฐานมาจากการประยุกต์ใช้เทคนิคเกี่ยวกับการซ้อนทับ โดยวิธีการซ้อนทับใน GIS สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่บนพื้นฐาน GIS คือ (1) การทำแผนที่ซ้อนทับโดยใช้คอมพิวเตอร์ (Computer-assisted overlay mapping), (2) วิธีการตัดสินใจด้วยหลายหลักการ (Multicriteria decision making) และ (3) วิธีการคำนวณด้วยเครื่องคำนวณ หรือ ภูมิศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการคิดคำนวณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ (artificial intelligence methods) (Malczewski, 2004) โดยในการศึกษาครั้งนี้จะขอกล่าวเฉพาะวิธีการประเมินค่าโดยใช้หลายหลักการ (Multicriteria decision making; MCDM) เท่านั้น

เทคนิค Multicriteria decision making (MCDM) เป็นเทคนิคการตัดสินใจที่ก้าวหน้าเป็นอย่างมากเกี่ยวกับการวิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่ (Caver, 1991) พื้นฐานของ MCDM สามารถคิดวิเคราะห์เกี่ยวกับกระบวนการรวมกัน และการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของข้อมูลเชิงพื้นที่ (Input) ไปสู่ผลของการตัดสินใจ (output) โดยวิธีการ MCDM (หรือกฎการตัดสินใจ) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลนำเข้า (Input) และผลการตัดสินใจ (Output) เกี่ยวกับการใช้ประโยชน์ข้อมูลภูมิศาสตร์ การตัดสินใจของผู้ดำเนินการ และการจัดการของข้อมูล การพิจารณาของ MCDM ที่สำคัญมี 2 หลักการ คือ (1) สมรรถนะของ GIS สำหรับข้อมูลที่ได้มา การสะสม การคืนสภาพเดิมได้ การจัดการ และการวิเคราะห์ และ (2) สมรรถนะของเทคนิค MCDM สำหรับการรวบรวมข้อมูลภูมิศาสตร์ และคุณสมบัติของผู้ทำการตัดสินใจ จำนวนกฎการตัดสินใจ

Multicriteria เป็นเครื่องมือ GIS เพื่อแก้ปัญหาความเหมาะสมของการใช้พื้นที่ที่สามารถจำแนกเป็น 2 วิธี คือ Multiobjective and multiattribute decision making methods โดย The multiobjective คือ วิธีการวิเคราะห์การตัดสินใจที่มีวัตถุประสงค์ปลายวัตถุประสงค์ ในขณะที่ The multiattribute คือ วิธีการวิเคราะห์ที่มีวัตถุประสงค์เดียว แต่มีข้อมูลในการตัดสินใจหลายข้อมูล และต้องตั้งสมมติฐานว่าสิ่งนั้นมีจำนวนของทางเลือก (แผน) ที่ชัดเจน ในขณะที่วิธี Multiobjective methods ทำให้เกิดทางเลือก (Malczewski, 1999)

5.1 Multiobjective methods

Multiobjective methods หมายถึง ทางเลือกที่กำหนดไว้ล่วงหน้าในเวลาหนึ่งๆ ของแบบจำลองการตัดสินใจ ประกอบด้วยวัตถุประสงค์ 2 ข้อ หรือมากกว่านั้นและการกำหนดกฎเกณฑ์ตัวแปรที่แน่นอน แบบจำลองการตัดสินใจสามารถอธิบายถึงทางเลือกที่กำหนดไว้ในเวลาหนึ่งๆ ของตัวแปร แบบจำลอง Multiobjective เป็นการเปลี่ยนแปลงจากวัตถุประสงค์ของปัญหาหนึ่งเป็นอีกวัตถุประสงค์ของปัญหาหนึ่ง เพื่อใช้แก้ปัญหา โดยวิธีการ Standard linear/Integer programming methods (Aerts, 2002) และ Eastman et al. (1993) พัฒนาวิธีการคำนวณ ซึ่งวิธีการคำนวณนี้สามารถนำไปใช้ในการแก้ไขปัญหานั้นที่ขนาดใหญ่ แต่ไม่ใช่วิธีแก้ปัญหานั้นที่ถูกต้องและเหมาะสมที่สุดและ Cromley and Hanink (1999) กล่าวว่า วิธีการค้นหาด้วยตนเองที่เหมาะสมก่อให้เกิดการแก้ไขปัญหานั้นที่มีความถูกต้องที่สุดและวิธีนี้ไม่สามารถพัฒนาได้เนื่องจากอยู่ภายใต้ข้อจำกัดของเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ จึงได้เสนอแนวคิดแบบจำลองงานที่มีลักษณะเพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมของการใช้พื้นที่ วิธีการนี้สามารถใช้ได้กับข้อมูล Raster ใน GIS ตัวอย่างดังภาพที่ 22 ซึ่งแสดงถึงวิธีคิดที่เริ่มต้นจากวัตถุประสงค์หลักเพื่อปรับปรุงการจัดการพื้นที่ป่าไม้ และแยกเป็นวัตถุประสงค์ย่อยๆ 5 วัตถุประสงค์ คือ (1) ผลผลิตป่าไม้ (2) ปริมาณน้ำที่ถูกปล่อยออกมา (3) ความเสี่ยงในการเกิดน้ำท่วม (4) การอนุรักษ์ดิน และ (5) ความเหมาะสมในกิจกรรมนันทนาการซึ่งในแต่ละวัตถุประสงค์จะมีปัจจัยที่กำหนดแตกต่างกันออกไป



ภาพที่ 22 Hierarchical structure of the objective and associated attributes

ที่มา: Malczewski (1999)

5.2 Multiattribute methods

Multiattribute methods เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่มีวัตถุประสงค์เดียว แต่มีข้อมูลในการตัดสินใจหลายข้อมูล และต้องตั้งสมมติฐานว่าสิ่งนั้นมีจำนวนของทางเลือก (แผน) ที่ชัดเจน วิธี Multiattribute เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจ ซึ่งประกอบด้วย Weighted Linear Combination (WLC), Ideal point methods, Concordance analysis และ Analytic Hierarchy Process (Banai, 1993) วิธีการเหล่านี้เป็นขั้นตอนการซ้อนทับกัน เช่น WLC และ Boolean [เช่น การตัดประสานกัน (AND) และ การรวมกัน(OR)] และนิยมนำวิธี WLC มากำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก โดยอยู่บนพื้นฐานแนวคิดของการเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก ผู้ตัดสินใจสามารถกำหนดน้ำหนักของความสำเร็จในแต่ละปัจจัยของแผน ซึ่งคะแนนทั้งหมดที่หาได้ในแต่ละตัวเลือกจะเป็นตัวกำหนดน้ำหนักความสำคัญในแต่ละปัจจัย โดยระดับค่าน้ำหนักตัวเลือกในแต่ละปัจจัยนั้นคูณด้วยค่าคะแนนของ Attributes ทั้งหมดคือผลรวมคะแนนทั้งหมดที่ได้รับการคำนวณ โดยตัวที่มีค่าคะแนนสูงสุดจะถูกเลือก

วิธี Multiattribute เป็นวิธีการที่สามารถใช้ได้ทั้งข้อมูล Raster และ Vector ใน GIS ซึ่งบางระบบมีการใช้ในรูปแบบการวิเคราะห์หลัก ซึ่งวิธี WLC ยังมีข้อจำกัดอยู่ ดังนั้น Jiang and Eastman (2000) เสนอวิธีการแก้ปัญหาของวิธี WLC โดยวิธี Ordered Weighted Averaging (OWA) ซึ่งเป็นการประยุกต์วิธีการรวมแผนที่ที่เป็นแบบแผนใน GIS ซึ่งเริ่มต้นจากการกำหนดวัตถุประสงค์เพื่อพื้นที่ที่เหมาะสม วิเคราะห์โดยการพิจารณาปัจจัยหลัก โดยในแต่ละปัจจัยหลักมีปัจจัยรองในแต่ละระดับชั้น เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยทั้งหมดหาพื้นที่ที่มีความเหมาะสมกับวัตถุประสงค์

5.3 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของเทคนิคในการตัดสินใจ

จากการรวมเทคนิคการตัดสินใจเพื่อสนับสนุนการประเมินความเหมาะสมของพื้นที่หลายๆ วิธี พบว่ามีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันไปโดยวิธี Computer-assisted overlay mapping เป็นวิธีการที่ธรรมดาในการวิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่ใน GIS และข้อจำกัดที่สำคัญของวิธีการนี้คือ ไม่สามารถเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจได้อย่างสมเหตุสมผล ซึ่งข้อจำกัดดังกล่าว สามารถแก้ไขได้โดย วิธี Multicriteria decision making (MCDM) แต่วิธีการนี้ยังมีข้อจำกัดที่สำคัญคือ ความแตกต่างในการคำนวณค่ามาตรฐานของแผนที่ และการระบุค่าน้ำหนัก ทำให้ผลลัพธ์ของแผนที่ที่ได้แตกต่างกัน ทำให้รูปแบบความเหมาะสมของพื้นที่ที่แตกต่างกันออกไปด้วย ซึ่งสามารถแก้ไขข้อจำกัดโดยวิธี Artificial intelligence (AI)

6. การกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก

Malczewski (1999) ได้กล่าวไว้ว่า ปัญหาของ MCDM คือ การให้ความสำคัญของเกณฑ์ที่แตกต่างกันของผู้ร่วมตัดสินใจ ดังนั้นการได้มาของลำดับความสำคัญของเกณฑ์ที่มีความสำคัญมาก ซึ่งการได้มาของค่าน้ำหนักแต่ละเกณฑ์สามารถหาได้โดยวิธีต่างๆ ดังนี้ (1) Ranking method (2) Rating method (3) Pairwise comparison method และ (4) Trade-off Analysis method โดยมีประเด็นสำคัญของแต่ละวิธีดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้จะขอก้าวโดยละเอียดเฉพาะ Pairwise comparison method เท่านั้นเพราะเป็นวิธีการที่นำมาใช้งานโมดูลคำสั่ง

ตารางที่ 1 ประเด็นสำคัญของวิธีการสำหรับการให้ค่าถ่วงน้ำหนักเกณฑ์การตัดสินใจ

ลักษณะพิเศษ	วิธีการ			
	Ranking	Rating	Pairwise comparison	Trade-off Analysis
จำนวนเกณฑ์ (N)	N	N	$N(N-1)/2$	$< N$
ค่าคำตอบ	ตามลำดับ	เป็นช่วง	อัตราส่วน	เป็นช่วง
การคิดเป็นลำดับชั้น	อาจเป็นไปได้	อาจเป็นไปได้	ใช่	ใช่
ทฤษฎีพื้นฐาน	ไม่มี	ไม่มี	Statistical/ heuristic	Axiomatic/ deductive
ความยากง่าย	ง่ายมาก	ง่ายมาก	ง่าย	ยาก
ความน่าเชื่อถือ	ต่ำ	มาก	มาก	ปานกลาง
ความแม่นยำ	ค่าประมาณ	ไม่แม่นยำ	แม่นยำ	แม่นยำ

ที่มา: Malczewski (1999)

Pairwise comparison method ถูกพัฒนาโดย Saaty ในปี ค.ศ. 1980 ในกระบวนการวิเคราะห์เป็นลำดับชั้น (Analytic hierarchy process: AHP) วิธีนี้เป็นการให้ค่าในตาราง Pairwise comparison matrix และคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักจากตารางเมทริกซ์ ในการหาลำดับความสำคัญของเกณฑ์ต่างๆ โดยวิธีนี้เราจะใช้การเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ เป็นคู่ ภายได้เกณฑ์การตัดสินใจแต่ละเกณฑ์ โดยเครื่องมือที่เหมาะสมในการเปรียบเทียบนั้น คือ ตารางเมทริกซ์ (Malczewski, 1999) โดยการอธิบายขอยกตัวอย่าง ดังนี้

ตัวอย่าง การพิจารณาความเหมาะสมของพื้นที่โดยการประเมินภายใต้เกณฑ์ ดังนี้ ราคา (P) ความลาดชัน (S) และทิวทัศน์ (V) โดยการใช้วิธี Pairwise comparison การวิเคราะห์ดำเนินการภายใต้ 3 ขั้นตอน คือ (1) การสร้างตาราง Pairwise comparison matrix (2) การคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักเกณฑ์ และ (3) การคำนวณหาค่าอัตราส่วนความไม่ขัดแย้งกัน (Consistency Ratio: C.R.)

6.1 การสร้างตาราง Pairwise Comparison matrix

การเปรียบเทียบเกณฑ์ที่ละคู่ที่ผู้ทำการตัดสินใจจะต้องทราบว่าเกณฑ์ที่ทำการพิจารณานั้นมีความสำคัญมากกว่าเกณฑ์อื่นที่ถูกนำมาเปรียบเทียบในระดับใด ซึ่งในการเปรียบเทียบผู้ทำการตัดสินใจจะต้องแสดงการเปรียบเทียบหรือออกความเห็นให้ออกมาในรูปคำพูดง่ายๆ เช่น มากกว่า น้อยกว่า มากที่สุด แล้วจึงใช้ค่าตัวเลขแทนค่าการเปรียบเทียบ โดยใช้ค่าระดับของการตัดสินใจ 9 ระดับ ของ Saaty (1990) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าระดับของการตัดสินใจ

ระดับของความสำคัญ	ความหมาย
1	สำคัญเท่ากัน
2	สำคัญระหว่างเท่ากันถึงปานกลาง
3	สำคัญปานกลาง
4	สำคัญระหว่างปานกลางถึงมาก
5	สำคัญมาก
6	สำคัญระหว่างมากถึงมากที่สุด
7	สำคัญมากที่สุด
8	สำคัญระหว่างมากที่สุดถึงสูงสุด
9	สำคัญสูงสุด

ที่มา: Malczewski (1999)

ผู้ทำการตัดสินใจจะต้องให้ค่าความสำคัญในระดับต่างๆ ในการเปรียบเทียบเกณฑ์เป็นคู่ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเปรียบเทียบระดับความสำคัญของเกณฑ์

เกณฑ์	ราคา (P)	ความลาดชัน (S)	ทิวทัศน์ (V)
ราคา (P)	1	4	7
ความลาดชัน (S)	1/4	1	5
ทิวทัศน์ (V)	1/7	1/5	1

จากตารางที่ 3 ค่าตัวเลขต่างๆ มีความหมายดังนี้

(1) แถวที่ 1 ของตารางมีค่าเท่ากับ 1 เสมอ เนื่องจากการเปรียบเทียบของเกณฑ์ที่เหมือนกัน ทำให้มีความสำคัญเท่ากัน เช่น ระยะห่างจากแหล่งน้ำกับระยะห่างจากแหล่งน้ำหรือค่าใช้จ่ายในการลงทุนกับค่าใช้จ่ายในการลงทุน เป็นต้น

(2) แถวที่ 1 คอลัมน์ที่ 2 มีค่าเท่ากับ 4 หมายความว่า ผู้ทำการตัดสินใจให้ความสำคัญกับราคา “มากกว่า” ความลาดชัน อยู่ในระดับปานกลางถึงมาก

(3) แถวที่ 1 คอลัมน์ที่ 3 มีค่าเท่ากับ 7 หมายความว่า ผู้ทำการตัดสินใจให้ความสำคัญกับราคา “มากกว่า” ทิวทัศน์ อยู่ในระดับมากที่สุด

(4) แถวที่ 2 คอลัมน์ที่ 3 มีค่าเท่ากับ 5 หมายความว่า ผู้ทำการตัดสินใจให้ความสำคัญกับความลาดชัน “มากกว่า” ทิวทัศน์ อยู่ในระดับมาก เป็นต้น

6.2 การคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักเกณฑ์ ขั้นตอนการคำนวณมีดังนี้

6.2.1 หาผลรวมในแนวนอนของตาราง Pairwise comparison matrix

6.2.2 หารแต่ละค่าในตาราง Pairwise comparison matrix ด้วยผลรวมในแนวนอน (ผลที่ได้เป็นการคำนวณค่า Normalized Matrix ของเมทริกซ์)

6.2.3 หาค่าเฉลี่ยของค่าในแต่ละแถวของขั้นตอนที่ 6.2.2 โดยมีวิธีการคำนวณดังตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยที่ได้เป็นค่าถ่วงน้ำหนักของเกณฑ์ที่มีค่าเท่ากับ 0.67 0.25 และ 0.07 สำหรับเกณฑ์ราคา ความลาดชัน และทิวทัศน์ ตามลำดับ หมายความว่าผู้ทำการตัดสินใจให้ความสำคัญกับราคามากที่สุด รองลงมาคือความลาดชันและทิวทัศน์

ตารางที่ 4 การคำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก

เกณฑ์	ขั้นตอนที่ 1			ขั้นตอนที่ 2			Weight
	P	S	V	P	S	V	
ราคา (P)	1	4	7	0.71	0.76	0.53	$(0.71 + 0.76 + 0.53)/3 = 0.67$
ความลาดชัน (S)	1/4	1	5	0.17	0.19	0.38	$(0.17 + 0.19 + 0.38)/3 = 0.25$
ทิวทัศน์ (V)	1/7	1/5	1	0.10	0.03	0.07	$(0.10 + 0.03 + 0.07)/3 = 0.07$
	1.39	5.20	13.00	1.00	1.00	1.00	1.00

6.3 การคำนวณหาค่าอัตราส่วนความไม่ขัดแย้งกัน (Consistency Ratio: C.R.)

เพื่อเป็นการทดสอบว่าผลของการเปรียบเทียบคู่ที่ได้ดำเนินมาในข้อ 6.2.3 นั้น มีความขัดแย้งกันหรือไม่ ทำได้โดยการคำนวณหาค่าอัตราส่วนความไม่ขัดแย้งกัน โดยมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้ (Malczewski, 1999)

ขั้นตอนที่ 1 การคำนวณค่า λ (Consistency vector) คือผลคูณค่าวินิจฉัยของแต่ละปัจจัย ในแถวอนแต่ละแถวกับค่าเฉลี่ยในแถวอนแต่ละแถว แล้วนำเอาผลคูณที่ได้มารวมกัน ผลลัพธ์ที่ได้จะเท่ากับจำนวนปัจจัยทั้งหมดที่ถูกนำมาเปรียบเทียบ ซึ่งในกรณีที่การวินิจฉัยในปัจจัยนั้นมีความสอดคล้องกันอย่างสมบูรณ์ จะทำให้ค่า $\lambda = n$

$$\lambda = \frac{3.25+3.11+3.01}{3} = 3.12 \quad (2)$$

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณค่าดัชนีวัดความไม่ขัดแย้งกัน(Consistency Index; C.I.) หาได้จากสูตร

$$C.I. = \frac{(\lambda - n)}{(n-1)} = \frac{3.12-3}{3-1} = 0.06 \quad (3)$$

ขั้นตอนที่ 3 หาค่าดัชนีความไม่ขัดแย้งกันเชิงสุ่ม (Random Consistency Index: R.I.) โดยที่ค่า R.I. เป็นค่าที่ขึ้นกับขนาดของเมทริกซ์ตั้งแต่ 1 x 1 จนถึง 15 x 15 ผลคูณของ R.I. ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าดัชนีความไม่ขัดแย้งกันเชิงสุ่ม (R.I.) ตามขนาดของเมทริกซ์

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
R.I.	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณหาอัตราส่วนความไม่ขัดแย้งกัน (Consistency Ratio; C.R.) คือ การหาอัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างค่า C.I. ที่คำนวณจากตารางเมทริกซ์กับค่า R.I. ที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างจากตาราง ค่า C.R. หาได้จากสูตรดังนี้

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} = \frac{0.06}{0.58} = 0.11 \quad (4)$$

ซึ่งผลจากการคำนวณถ้า $C.R. \leq 0.10$ แสดงว่าการเปรียบเทียบความสำคัญของเกณฑ์ไม่มีความขัดแย้งกัน แต่ถ้าหาก $C.R. > 0.10$ แสดงว่าการเปรียบเทียบความสำคัญของเกณฑ์มีความขัดแย้งกัน โดยผู้ตัดสินใจจะต้องทบทวนการให้สเกลการเปรียบเทียบใหม่อีกครั้งจนค่า C.R. ลดลง

แนวทางการแก้ไขปัญหาความขัดแย้งกันคือ เรียงลำดับเกณฑ์ตามน้ำหนักที่ได้จากการเปรียบเทียบครั้งแรก ต่อจากนั้นสร้างตารางเมทริกซ์เพื่อเปรียบเทียบหาลำดับความสำคัญใหม่โดยดูว่าลำดับเปลี่ยนไปในทางที่เป็นเหตุผลและตรงกับสถานการณ์ของปัญหาซึ่งความไม่ขัดแย้งของเหตุผลก็จะสูงขึ้น

7. การวิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่สำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย

ในการวิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่เราจะนำฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งได้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจ โดยเป็นฐานข้อมูลที่มีความละเอียดและมีความยืดหยุ่นสูง และสามารถประยุกต์ใช้ได้โดยตรงกับแผนที่แสดงศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ ฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ถูกจัดทำเป็นชั้นข้อมูลต่างๆ โดยได้ทำการขอความอนุเคราะห์ในหน่วยงานของภาครัฐ และเอกชน ตลอดจนหน่วยงานที่ให้บริการด้านวิจัย เช่น กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ชั้นข้อมูลที่ได้ขอความอนุเคราะห์ได้มีการตรวจสอบคุณภาพ แก้ไข และปรับปรุงบางส่วน โดยมีการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องและขอความช่วยเหลือจากผู้เชี่ยวชาญ โดยชั้นข้อมูลแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มย่อย คือ ด้านสิ่งแวดล้อม สิ่งปลูกสร้าง และภูมิศาสตร์ ประกอบด้วยเกณฑ์เชิงพื้นที่ทั้งหมด 13 ชั้นข้อมูล คือ ข้อมูลพื้นที่อุทยานและวนอุทยาน ข้อมูลพื้นที่คุ้มครองพันธุ์สัตว์ป่า ข้อมูลพื้นที่คุ้มครองสิ่งแวดล้อม ข้อมูลพื้นที่ห้ามล่า ข้อมูลพื้นที่ลุ่มน้ำชั้น 1 เอ ข้อมูลพื้นที่ป่าไม้ ข้อมูลแหล่งน้ำธรรมชาติ ข้อมูลถนน ข้อมูลทางรถไฟ ข้อมูลสนามบิน ข้อมูลโบราณสถาน ข้อมูลพื้นที่อุตสาหกรรม ข้อมูลพื้นที่ชุมชนเมืองและย่านการค้า ข้อมูลความชันของพื้นที่ แสดงดังภาพที่ 22

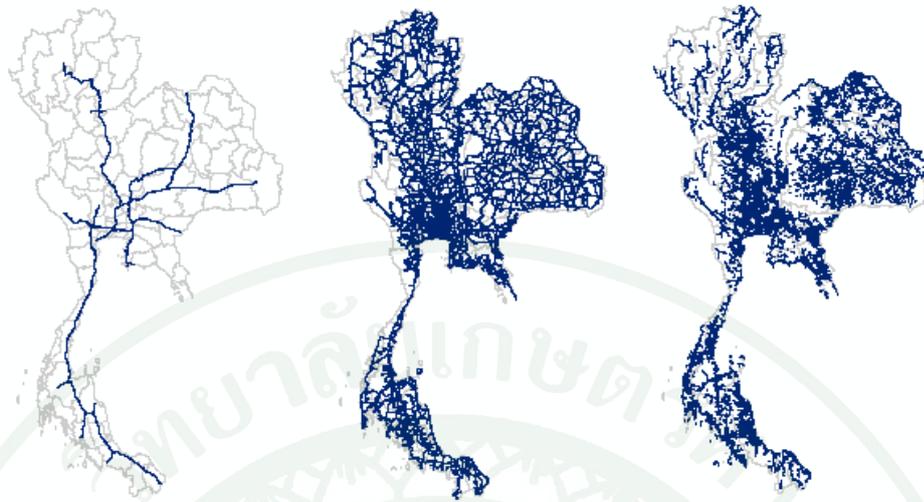


ก. พื้นที่อุทยานและวนอุทยาน

ข. เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า

ค. พื้นที่ลุ่มน้ำชั้น 1 เอ

ภาพที่ 23 ชั้นข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์



ง. ทางรถไฟ

จ. ถนน

ฉ. แหล่งน้ำธรรมชาติ

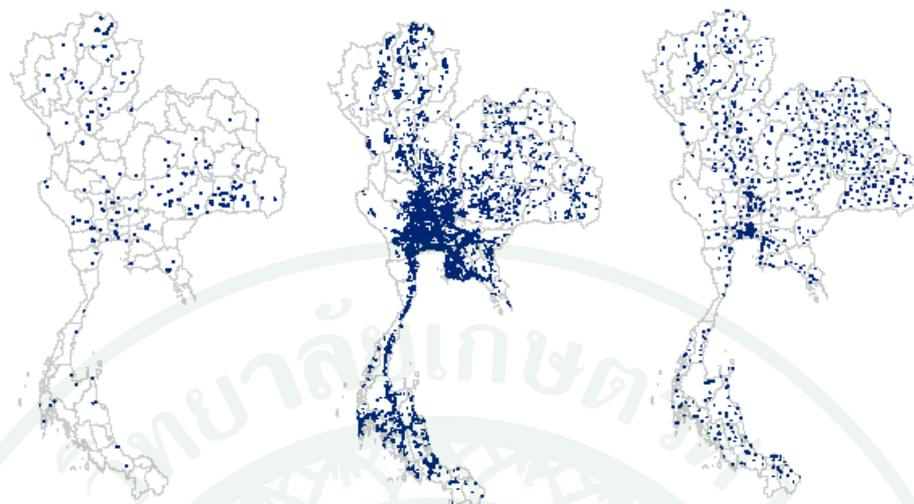


ช. เขตห้ามล่าสัตว์ป่า

ซ. พื้นที่ควบคุมสิ่งแวดล้อม

ฅ. สนามบิน

ภาพที่ 23 (ต่อ)



ณ. โบราณสถาน

ณ. พื้นที่อุตสาหกรรม

ณ. พื้นที่ชุมชนเมืองและย่านการค้า



จ. พื้นที่ความชื้น

ภาพที่ 23 (ต่อ)

ชั้นข้อมูลทั้งหมด มีการใช้เทคนิคการคัดเลือกเกณฑ์แบบลอจิกฟัซซี่ (Fuzzy Logic) (J. Malczewski, 2006) โดยเป็นเกณฑ์เชิงพื้นที่แบบคัดออก (Exclusion Criteria) โดย Yassin (2011) ได้ทำการปรับปรุงและแก้ไขชั้นข้อมูลเหล่านั้น โดยอาศัยเทคนิคด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน โดยบ่งชี้เป็นระดับความสามารถในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในพื้นที่ที่เหมาะสม โดยแบ่งออกเป็น 4 ระดับได้แก่ พื้นที่ที่เหมาะสมมาก (Highly suitable) พื้นที่ที่เหมาะสมปานกลาง (Moderate suitable) พื้นที่ที่เหมาะสมเล็กน้อย (Marginal suitable) และพื้นที่ที่ไม่เหมาะสม (Unsuitable)

ชั้นข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ดังกล่าว สามารถใช้งานได้กับโปรแกรมด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ต่างๆ เช่น ArcView ArcGIS และ ArcExplorer เป็นต้น ซึ่งมีทั้งที่เป็นโปรแกรมเชิงพาณิชย์และไม่เชิงพาณิชย์ ในกรณีนี้ได้เลือกใช้โปรแกรม ArcGIS ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการจัดการและแก้ไขชั้นข้อมูลโดย Boroushaki and Malezewski (2008) ได้พัฒนาโปรแกรมในลักษณะเพิ่มเติมในโปรแกรม ArcGIS โดยนำไปใช้งานร่วมกับขั้นตอนการวิเคราะห์ชั้นข้อมูลทำให้เกิดตัวดำเนินการแบบผสมผสานหลายเกณฑ์ ทำให้การวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจเชิงพื้นที่ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มีความสะดวกต่อการวิเคราะห์

Gastli (2009) ได้ทำการประเมินศักยภาพพื้นที่เพื่อติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศโอมานและได้ทำการประมาณกำลังการผลิตไฟฟ้าต่อปีของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ชั้นข้อมูลของฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์มาซ้อนกับแผนที่แสดงศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์และใช้เทคนิคทางสารสนเทศภูมิศาสตร์เข้าช่วยในการคำนวณทำให้ทราบถึงศักยภาพของพื้นที่ที่มีการใช้งานได้อย่างเหมาะสมโดยมีการวิเคราะห์เงื่อนไขต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

โดยกำลังการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้ทำการประเมินศักยภาพพื้นที่ที่สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5 (Gastli, 2009)

$$GP = SR \times CA \times AF \times \eta \quad (5)$$

เมื่อ	GP	คือ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (MWh)
	SR	คือ พลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้ต่อพื้นที่ (MWh/km ² /year)
	CA	คือ พื้นที่โดยรวมทั้งหมด (km ²)
	AF	คือ อัตราส่วนของพื้นที่ที่ประเมินศักยภาพต่อพื้นที่ทั้งหมด
	η	คือ ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

จากการคำนวณตามสมการที่ 5 ผลของการคำนวณทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ โดยแสดงเป็นความจุของกระแสไฟฟ้าต่อพื้นที่ใช้งานจริงกับช่วงประสิทธิภาพจากข้อมูลอ้างอิง

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์
2. โปรแกรมประมวลผล (Microsoft office) และ โปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (ArcGIS 9.3)
3. เครื่องพิมพ์

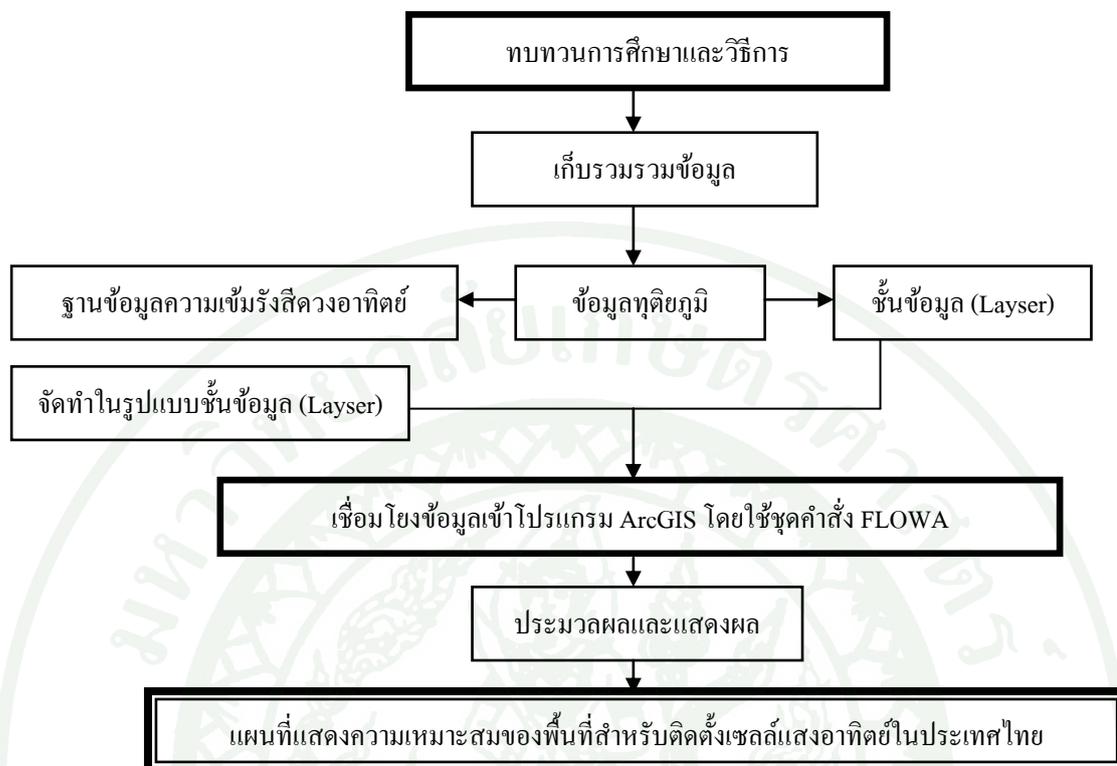
วิธีการ

ขั้นตอนการศึกษา

การดำเนินการศึกษาได้ทำการเลือกใช้อินเทอร์เน็ตเพื่อรวบรวมข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการวิเคราะห์ ซึ่งขั้นตอนการดำเนินการได้นำเสนอ ตามภาพที่ 24 โดยอธิบายเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

ทบทวนการศึกษาและวิธีการ

การศึกษาเป็นการวิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่สำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยโดยใช้ฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับแผนที่ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ โดยเริ่มจากการนำข้อมูลที่ได้จากแหล่งข้อมูล เช่น ข้อมูลสถิติ เอกสารทางวิชาการ บทความที่เกี่ยวข้อง เพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลผ่านระบบการนำเสนอโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ซึ่งสามารถวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ได้ ตลอดจนการศึกษาค้นคว้าความเป็นไปได้ในการตัดสินใจติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ ในพื้นที่ที่เหมาะสม



ภาพที่ 24 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

ฐานข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

ฐานข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ดังภาพที่ 25 ได้รับความอนุเคราะห์จากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน สำนักพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ ข้อมูลอยู่ในรูปแบบฐานข้อมูล เป็นข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายวัน ตั้งแต่ปี พ.ศ.2548 ประกอบด้วยข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์และข้อมูลอุณหภูมิ โดยการออกแบบ จัดการข้อมูลและสร้างชั้นข้อมูล (Layer) จึงต้องทำการนำเข้าและจัดการฐานข้อมูลทั้งข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) และข้อมูลเชิงคุณลักษณะ (Attribute data) เพื่อให้ข้อมูลทั้งสองส่วนเชื่อมโยงกันเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel และ ArcGIS 9.3.1 โดยมีการจัดทำ ดังนี้

1. นำเข้าฐานข้อมูลเชิงคุณลักษณะจากการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel (*.xls)

2. นำเข้าและแก้ไขฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยโปรแกรม ArcGIS 9.3 ที่จัดเก็บในรูปของชั้นข้อมูล Shape file (*.shp) ที่ได้จากการรวมข้อมูลกับชั้นข้อมูลขอบเขตอำเภอที่มีการบดพื้นที่และพิกัดทางภูมิศาสตร์

3. การออกแบบชั้นข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ได้กำหนดรูปแบบโครงสร้างของฐานข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของข้อมูลเชิงพื้นที่แสดงรายละเอียดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยต่อปีต่อพื้นที่ (kWh/m²/year) ของขอบเขตประเทศไทยในระดับอำเภอและข้อมูลเชิงคุณลักษณะ พร้อมทั้งกำหนดความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้ง 2 ประเภท

ID	PROV	DIST	T06	T07	T08	T09	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17
1	KRABI	MUANG	0.04163	0.26915	0.49665	0.66649	0.828	0.91066	0.95536	0.97501	0.99829	0.85216	0.56819	0.28423
2	KRABI	KO LANTA	0.04361	0.27902	0.51443	0.65973	0.80643	0.81047	0.76549	0.81049	0.97554	0.85638	0.5697	0.28301
3	KRABI	KHAO PHANOM	0.05847	0.36097	0.66347	0.93924	1.14824	1.28991	1.28909	1.29623	1.1659	0.94768	0.63128	0.31489
4	KRABI	KHLONG THOM	0.06063	0.36778	0.67492	0.96311	1.20169	1.33214	1.33456	1.32587	1.2032	0.96609	0.64226	0.31843
5	KRABI	PLAI PHRAYA	0.0565	0.36269	0.66888	0.93528	1.12733	1.25066	1.27843	1.23174	1.15001	0.96224	0.6426	0.32297
6	KRABI	LAMTHAP	0.06254	0.36466	0.66679	0.95592	1.16599	1.28539	1.30882	1.28144	1.15345	0.92811	0.61634	0.30457
7	KRABI	NUEA KHLONG	0.05281	0.33357	0.61432	0.8718	1.08752	1.19461	1.18107	1.16404	1.10939	0.92807	0.61823	0.3084
8	KRABI	AO LOUK	0.05155	0.34444	0.63733	0.89351	1.09458	1.21216	1.22766	1.22049	1.13741	0.95425	0.63778	0.32131
9	BANGKOK	KHLONG TOEI	0.09098	0.3473	0.60362	0.87725	1.06813	1.11243	1.06958	0.98907	0.91963	0.75467	0.49967	0.24468
10	BANGKOK	KHLONG SAN	0.09037	0.34788	0.60539	0.88502	1.06457	1.12013	1.08528	0.99562	0.91616	0.74959	0.49665	0.24371
11	BANGKOK	KHLONG SAMWA	0.09495	0.35329	0.61164	0.90413	1.1024	1.20936	1.16369	1.06775	0.96368	0.77618	0.51314	0.2501
12	BANGKOK	KHANNA YAO	0.09465	0.35457	0.61449	0.91151	1.10351	1.19487	1.13803	1.04545	0.94458	0.76844	0.50819	0.24794
13	BANGKOK	CHATUCHAK	0.0904	0.34405	0.59771	0.8794	1.07163	1.15936	1.13382	1.05936	0.92332	0.7497	0.4965	0.24331
14	BANGKOK	CHOM THONG	0.0917	0.35518	0.61865	0.90829	1.08917	1.13959	1.11157	1.02285	0.93362	0.75604	0.50114	0.24623
15	BANGKOK	DON MUANG	0.0921	0.34888	0.60567	0.89473	1.10521	1.21331	1.20416	1.13983	0.96694	0.76877	0.5091	0.24943
16	BANGKOK	DIN DAENG	0.0904	0.34457	0.59875	0.87867	1.05698	1.12385	1.09892	1.03469	0.92163	0.75224	0.49813	0.24402
17	BANGKOK	DUSIT	0.09015	0.34554	0.60093	0.87828	1.06006	1.13164	1.09198	1.03653	0.92154	0.75783	0.50206	0.24629
18	BANGKOK	THALING CHAN	0.09007	0.34931	0.60855	0.89406	1.07233	1.15216	1.10581	1.04569	0.9293	0.75924	0.50343	0.24763
19	BANGKOK	THAWEE WATTHANA	0.08691	0.34081	0.59471	0.87229	1.05909	1.14976	1.11076	1.05093	0.92273	0.74225	0.49263	0.24302
20	BANGKOK	THUNG KHRU	0.0862	0.33249	0.57878	0.82363	0.96977	0.99007	0.9485	0.89864	0.86765	0.72355	0.47932	0.23509
21	BANGKOK	THONBURI	0.09041	0.349	0.60759	0.88927	1.06588	1.12921	1.09374	0.99938	0.91492	0.7457	0.49419	0.24268
22	BANGKOK	BANGKOK NOI	0.08984	0.34647	0.60309	0.8787	1.05023	1.12627	1.08976	1.02367	0.92108	0.75588	0.50098	0.24607
23	BANGKOK	BANGKOK YA	0.08953	0.34546	0.60138	0.87842	1.04889	1.12078	1.08811	1.00237	0.91135	0.74728	0.49526	0.24323
24	BANGKOK	BANG KAPI	0.09144	0.34773	0.60403	0.88672	1.06363	1.12774	1.09273	1.02273	0.92317	0.75704	0.50117	0.2453
25	BANGKOK	BANG KHUN THIAN	0.08129	0.3173	0.55332	0.7951	0.92244	0.9542	0.9114	0.88968	0.85329	0.71472	0.47389	0.23305
26	BANGKOK	BANG KHEN	0.09297	0.34871	0.60446	0.90094	1.09776	1.19356	1.17679	1.08126	0.95637	0.75727	0.50099	0.2447
27	BANGKOK	BANG KHO LAEM	0.09174	0.35236	0.61297	0.89152	1.07526	1.12254	1.08524	0.99761	0.93131	0.75573	0.50059	0.24544
28	BANGKOK	BANG KHAE	0.09003	0.35154	0.61305	0.89534	1.06968	1.13259	1.10295	1.03619	0.92502	0.75126	0.49832	0.24539
29	BANGKOK	BANG SU	0.09025	0.34558	0.60092	0.87518	1.06906	1.1498	1.13404	1.06528	0.92723	0.75934	0.5031	0.24686
30	BANGKOK	BANG NA	0.09363	0.35484	0.61605	0.8979	1.09054	1.11821	1.05606	0.99594	0.92601	0.76073	0.50329	0.24586

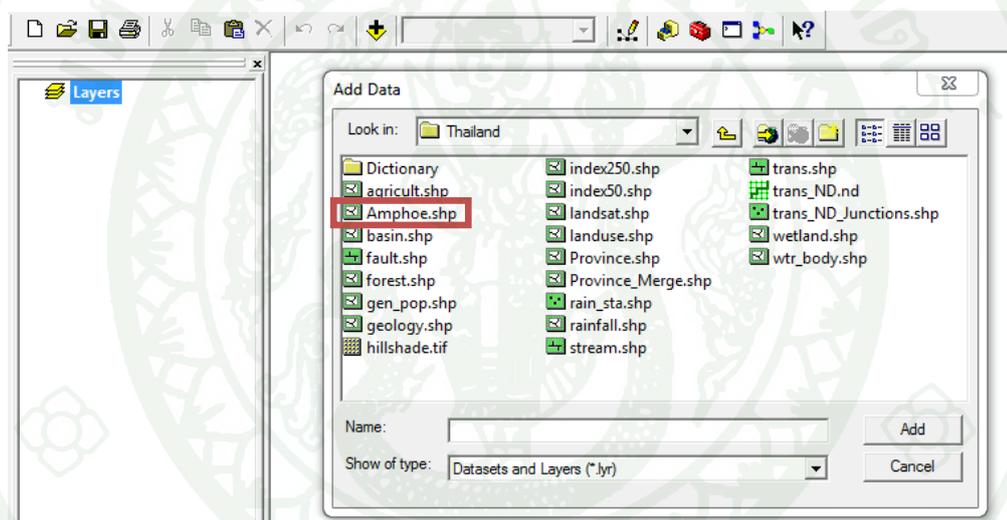
ภาพที่ 25 ลักษณะของฐานข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

จากขั้นตอนที่กล่าวมาเป็นการออกแบบฐานข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลเชิงคุณลักษณะ (Attribute data) ซึ่งต้องมีการเชื่อมโยงกับข้อมูลเชิงพื้นที่ที่โดยนำเข้าข้อมูลเชิงพื้นที่ของชั้นข้อมูลขอบเขตอำเภอ โดยมีการจัดทำชั้นข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ให้อยู่ในรูปแบบชั้นข้อมูลศักยภาพความเข้มรังสีดวงอาทิตย์โดยแสดงในรูปแบบแผนที่ ดังนี้

แผนที่ศักยภาพความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

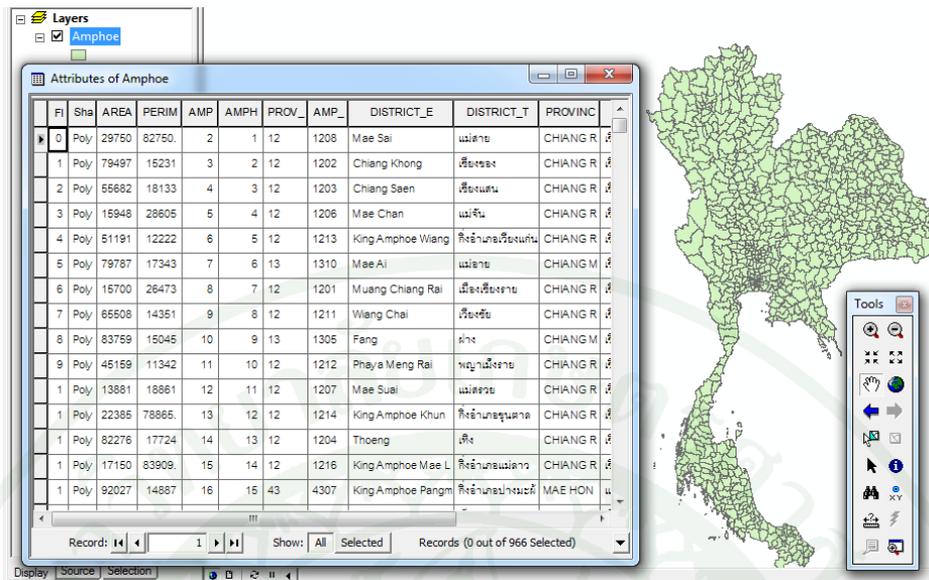
จากการนำเข้าสู่ฐานข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในลักษณะข้อมูลเชิงคุณลักษณะต่อไป เป็นการจัดทำข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลเชิงพื้นที่ โดยใช้วิธีการนำเข้าข้อมูลและจำลองพื้นที่ของ Gastli (2010) โดยจะทำการนำชั้นข้อมูลเชิงพื้นที่ของขอบเขตอำเภอมาต่อกับข้อมูลเชิงคุณลักษณะของข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ โดยมีการจัดทำดังนี้

นำเข้าชั้นข้อมูลขอบเขตอำเภอโดยเลือกเครื่องหมาย  และเลือกไฟล์ Amphoe.shp
 ดั่งภาพที่ 26



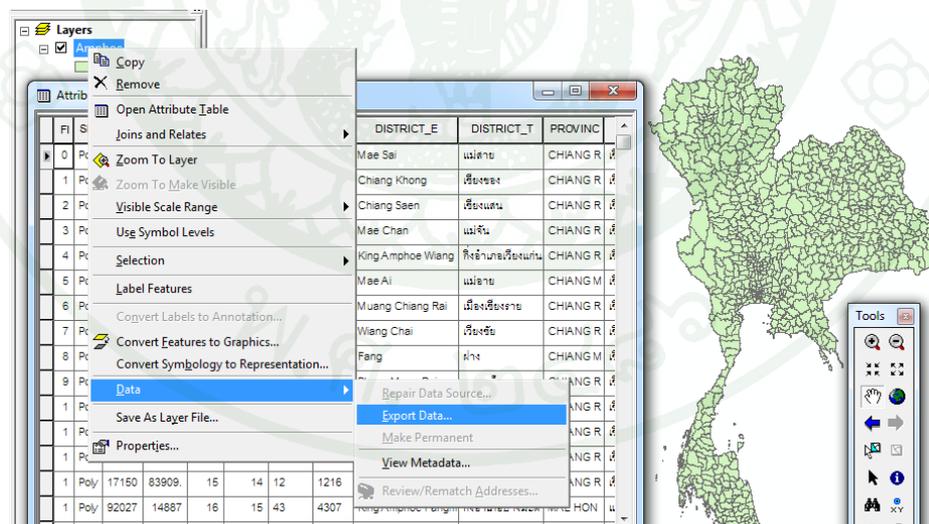
ภาพที่ 26 แสดงการเลือกชั้นข้อมูลอำเภอซึ่งเป็นชั้นข้อมูลแสดงขอบเขตของประเทศไทยในลักษณะแสดงขอบเขตระดับอำเภอ

ลักษณะข้อมูลเชิงพื้นที่ โดยแสดงรายละเอียดข้อมูลเชิงบรรยายของชั้นข้อมูลขอบเขตอำเภอ
 ดั่งภาพที่ 27 และภาพที่ 28



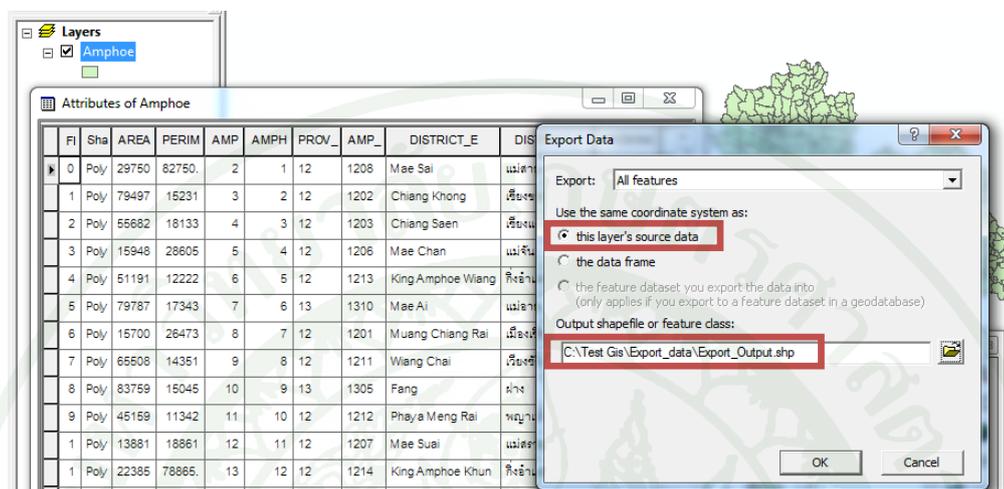
ภาพที่ 27 ลักษณะข้อมูลเชิงบรรยายของชั้นข้อมูลขอบเขตอำเภอ

ทำการนำข้อมูลออกให้อยู่ในรูปแบบ Microsoft Excel โดยเลือก Data > Export Data... โดยการนำข้อมูลเชิงพื้นที่ออกเพื่อทำการเชื่อมต่อกับข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์



ภาพที่ 28 การนำข้อมูลออก (Export Data)

เลือกลักษณะข้อมูลที่ทำการนำออกโดยเลือก this layer's source data และจัดเก็บข้อมูล
 ดังภาพที่ 29 ในโฟลเดอร์ที่ทำการสร้าง



ภาพที่ 29 การเลือกลักษณะข้อมูลที่นำออกและการจัดเก็บข้อมูลที่นำออก

ลักษณะข้อมูลเชิงพื้นที่ของชั้นข้อมูลขอบเขตอำเภอที่ถูกนำออกโดยแสดงเป็นข้อมูลเชิง
 คุณลักษณะ แสดงดังภาพที่ 30

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	AREA	PERIMETER	AMPHOE_	AMPHOEPR	AMP	DISTRICT_E	DISTRICT_T	PROVINCE_E	
2	297500000.000	82750.914	2	1	12	1208 Mae Sai	แม่สาย	CHIANG RAI	
3	794970000.000	152315.125	3	2	12	1202 Chiang Khong	เชียงขง	CHIANG RAI	
4	556820000.000	181335.125	4	3	12	1203 Chiang Saen	เชียงแสน	CHIANG RAI	
5	1594900000.000	286053.250	5	4	12	1206 Mae Chan	แม่จัน	CHIANG RAI	
6	511910000.000	122224.469	6	5	12	1213 King Amphoe Wang Kaen	กิ่งอำเภอเวียงแก่น	CHIANG RAI	
7	797880000.000	173438.688	7	6	13	1310 Mae Ai	แม่เมาะ	CHIANG MAI	
8	1570000000.000	264739.906	8	7	12	1201 Muang Chiang Rai	เมืองเชียงราย	CHIANG RAI	
9	655090000.000	143514.047	9	8	12	1211 Wiang Chai	เวียงชัย	CHIANG RAI	
10	837590000.000	150459.547	10	9	13	1305 Fang	ฝาง	CHIANG MAI	
11	451590000.000	113422.906	11	10	12	1212 Phaya Meng Rai	พญาเม็งราย	CHIANG RAI	
12	1388200000.000	188611.250	12	11	12	1207 Mae Suai	แม่สรวย	CHIANG RAI	
13	223850000.000	78865.789	13	12	12	1214 King Amphoe Khun Tan	กิ่งอำเภอกุนตาล	CHIANG RAI	
14	822760000.000	177248.141	14	13	12	1204 Thoeng	เทิง	CHIANG RAI	
15	171510000.000	83909.859	15	14	12	1216 King Amphoe Mae Lao	กิ่งอำเภอแม่ลาว	CHIANG RAI	
16	920270000.000	148871.438	16	15	43	4307 King Amphoe Pangmapha	กิ่งอำเภอบางมะผ้า	MAE HONG SON	

ภาพที่ 30 ลักษณะข้อมูลเชิงคุณลักษณะของชั้นข้อมูลขอบเขตอำเภอ

นำขอบเขตอำเภอที่อยู่ในรูปข้อมูลเชิงคุณลักษณะมาต่อกับข้อมูลเชิงคุณลักษณะของข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์โดยข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ได้มีการปรับปรุงโดยมีการปรับค่าหน่วยของพลังงานจากเมกะจูล (MJ) เป็นกิโลวัตต์ต่อชั่วโมง (kWh) และจัดทำข้อมูลให้แสดงข้อมูลในลักษณะช่วงเวลาพร้อมหาค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จากต่อเดือนเป็นต่อปี ดังภาพที่ 31

ID	PROV	DIST	0600-0700	0700-0800	0800-0900	0900-1000	1000-1100	1100-1200
1	KRABI	MUANG	0	0.41997	0.98683	1.72294	2.28458	2.6851
2	KRABI	KO LANTA	0	0.42589	0.98891	1.71771	2.30948	2.73
3	KRABI	KHAO PHANOM	0	0.41041	0.96082	1.692	2.25736	2.6171
4	KRABI	KHLONG THOM	0	0.41591	0.96407	1.63221	2.22498	2.632
5	KRABI	PLAI PHRAYA	0	0.41282	0.97869	1.70466	2.32606	2.738
6	KRABI	LAMTHAP	0	0.40393	0.93236	1.58804	2.15834	2.562
7	KRABI	NUFA KHLONG	0	0.42065	0.9842	1.66828	2.2248	2.64

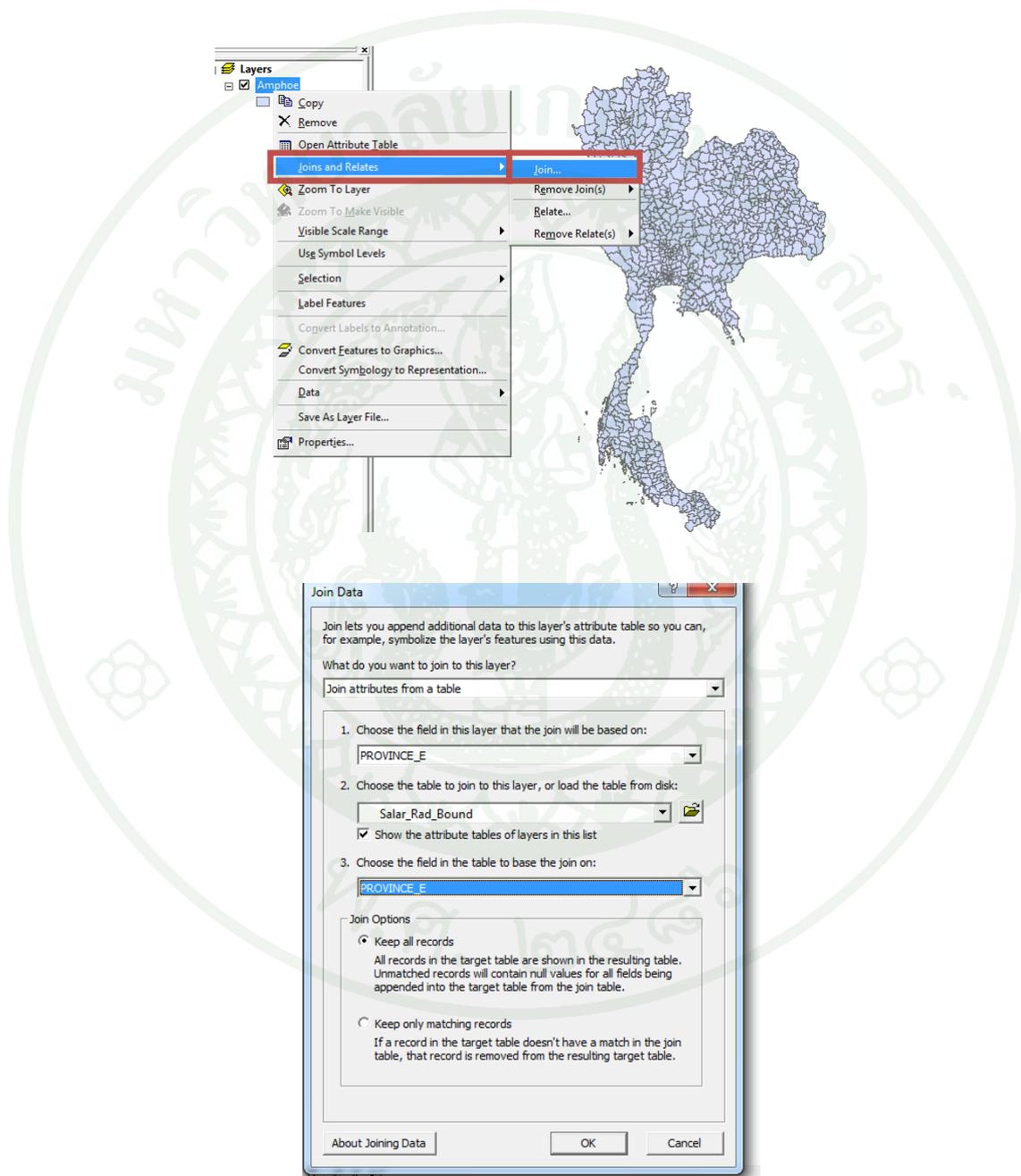
ภาพที่ 31 การนำข้อมูลขอบเขตอำเภอต่อกับข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่มีการปรับค่าเฉลี่ยของแต่ละเดือน ดังภาพที่ 32

ID	PROV	DIST	Avg_มิถุนายน	Avg_กรกฎาคม	Avg_สิงหาคม	Avg_กันยายน	Avg_ตุลาคม	Avg_พฤศจิกายน	Avg_ธันวาคม	Avg_เฉลี่ย
1	KRABI	MUANG	1.563225	1.642440833	1.696911667	1.722544167	1.710490033	1.688269167	1.671089167	1.642183333
2	KRABI	KO LANTA	1.567361667	1.654085	1.70287	1.7108775	1.698145	1.663843333	1.638625833	1.608454167
3	KRABI	KHAO PHANOM	1.554364167	1.6154025	1.668896667	1.7093225	1.689633333	1.662865833	1.643395	1.615825833
4	KRABI	KHLONG THOM	1.5491925	1.6298525	1.676435	1.706288333	1.695088333	1.67121	1.650171667	1.62225
5	KRABI	PLAI PHRAYA	1.562754167	1.65288	1.715328333	1.7498475	1.726473333	1.696555	1.670089167	1.641216667
6	KRABI	LAMTHAP	1.491655833	1.5759325	1.623994167	1.672364167	1.663740833	1.640780833	1.6213675	1.600698333
7	KRABI	NUFA KHLONG	1.538979167	1.6196175	1.667945833	1.707695	1.701423333	1.677868333	1.658436667	1.636551667
8	KRABI	AO LOUK	1.586983333	1.666885	1.709769167	1.744826667	1.717163333	1.688650833	1.6618775	1.637441667
9	BANGKOK	KHLONG TOEI	1.3826125	1.487243333	1.595324167	1.595686667	1.6111925	1.618460833	1.604339167	1.5848475
10	BANGKOK	KHLONG SAN KHLONG	1.374625833	1.473181667	1.547538333	1.595968333	1.612269167	1.618416667	1.604973333	1.587299167
11	BANGKOK	SAMNIA	1.3444025	1.44564	1.508931667	1.554611667	1.575595	1.576818333	1.555338333	1.5349225
12	BANGKOK	KHANNA YAO	1.345216667	1.4470875	1.5103225	1.560103333	1.5777	1.580215	1.562631667	1.542015
13	BANGKOK	CHATUCHAK	1.314891667	1.413026667	1.493029167	1.537880833	1.5545325	1.5580325	1.5418675	1.520929167
14	BANGKOK	CHOM THONG	1.365226333	1.464741667	1.55964	1.61138667	1.623358333	1.630720833	1.6146125	1.596173333
15	BANGKOK	DON MUANG	1.296363333	1.396956667	1.465113333	1.52958667	1.5393825	1.540158933	1.526958333	1.5097925
16	BANGKOK	DIN DAENG	1.342118333	1.450258333	1.5230175	1.5679275	1.581664167	1.587771667	1.57322	1.554206667
17	BANGKOK	DUSIT	1.342773333	1.4438	1.521225833	1.570026667	1.5846175	1.590728333	1.576890833	1.5592525
18	BANGKOK	THALING CHAN THAWEE	1.34774	1.458115	1.534109167	1.5874375	1.60802	1.609958333	1.594326667	1.5349225
19	BANGKOK	WATTANA	1.341466667	1.4488625	1.521769167	1.582866667	1.60137	1.605016667	1.58786	1.56798
20	BANGKOK	THUNG KHRU	1.3398575	1.451618333	1.5299375	1.579053333	1.584375	1.583533333	1.5666025	1.553114167
21	BANGKOK	THONBURI	1.378195	1.479360833	1.550999167	1.602270833	1.617874167	1.6257025	1.610915833	1.5919875
22	BANGKOK	BANGKOK NOI	1.35335	1.460316667	1.5298325	1.580091667	1.5991275	1.609531667	1.598421667	1.569935833
23	BANGKOK	BANGKOK YA	1.364961667	1.472445	1.5427175	1.591470833	1.610060833	1.616143333	1.6042775	1.584188333

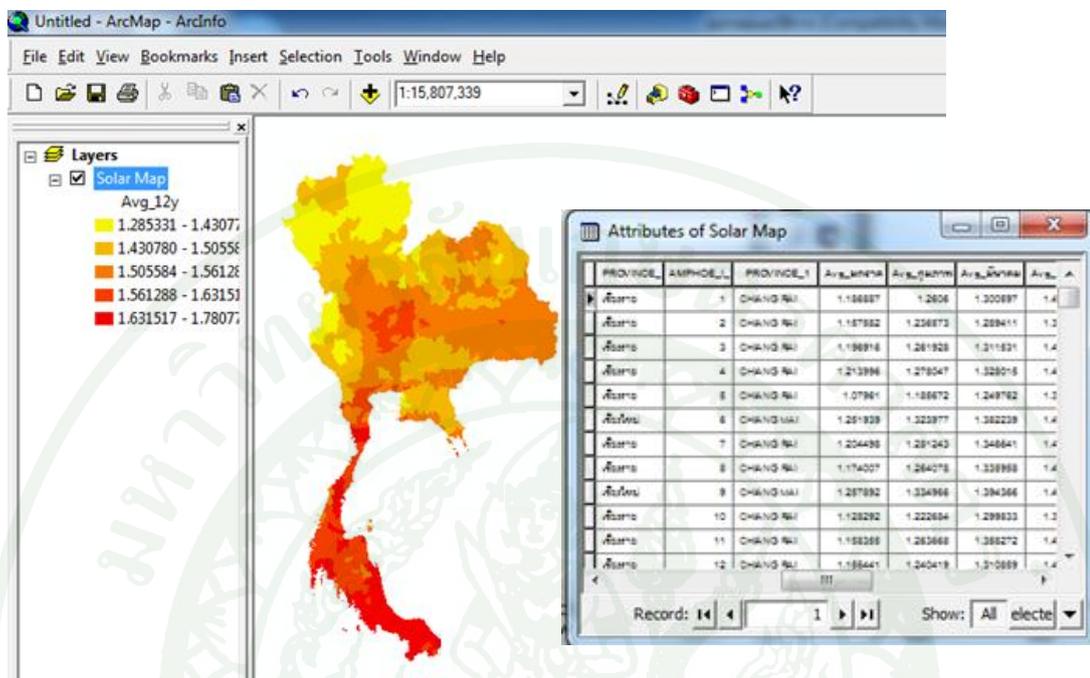
ภาพที่ 32 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายเดือนต่อปี

ทำการนำข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่มีการปรับปรุงข้อมูลตามขั้นตอนที่ 7 โดยนำเข้าข้อมูลเพื่อให้อยู่ในรูปข้อมูลเชิงพื้นที่โดยเลือกคำสั่ง **Joins and Relates** จากนั้นเลือกคำสั่ง **Join...** เพื่อทำการเชื่อมข้อมูล ดังแสดงในภาพที่ 33 จากนั้นก็จะเข้าสู่หน้าต่างการเชื่อมข้อมูลโดยเลือกคำสั่งต่างๆ



ภาพที่ 33 ลักษณะหน้าต่างการเชื่อมโยงข้อมูล (Join Data)

ผลการเชื่อมโยงในรูปแบบข้อมูลเชิงคุณลักษณะและรูปแบบข้อมูลเชิงพื้นที่ ดังภาพที่ 34



ภาพที่ 34 ผลการของการเชื่อมโยงข้อมูล โดยแสดงลักษณะข้อมูลเชิงบรรยายและข้อมูลเชิงพื้นที่

ชั้นข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้จัดทำสามารถบอกข้อมูลเชิงพื้นที่ในลักษณะความเข้มรังสีอาทิตย์ต่อพื้นที่ในระดับอำเภอ ซึ่งสามารถบอกได้ว่าจังหวัดใด อำเภอใด มีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยต่อปีเป็นเท่าไร ซึ่งเป็นการจัดทำเกณฑ์การคัดเลือกพื้นที่เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป และนำชั้นข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มาจัดทำในลักษณะแผนที่ศักยภาพความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาพื้นที่ โดยวิธีการจัดทำแผนที่แสดงในภาคผนวก ข

ข้อมูลที่อยู่ในรูปชั้นข้อมูล (Layer)

ข้อมูลที่อยู่ในรูปชั้นข้อมูล เป็นข้อมูลที่สามารถนำมาประมวลผลข้อมูลด้วยโปรแกรม ArcGIS 9.3 เพื่อใช้แสดงผลการใช้งานในรูปแบบแผนที่ ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากหน่วยงานต่างๆ จากการคัดเลือกและปรับปรุงข้อมูลทำให้ต้องมีการพิจารณาชั้นข้อมูล(อ้างอิง) เพื่อแสดงขอบเขตของพื้นที่ที่ไม่ควรหรือไม่เหมาะสมสำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ โดยได้กำหนดระดับการคัดออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

1. อย่างเข้มงวด (Stringent) หมายถึง ไม่อนุญาตหรือไม่สามารถติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ได้
2. อย่างมีเงื่อนไขสูง (High sensitive) หมายถึง ในทางทฤษฎีไม่สามารถติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ยกเว้นมีการศึกษาถึงผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและแสดงว่าไม่มีผลกระทบหรือได้รับอนุญาตอย่างถูกต้องตามข้อกำหนดหรือมีความเป็นไปได้ทางวิศวกรรมในการให้ติดตั้ง
3. อย่างมีเงื่อนไข (Sensitive) หมายถึง คล้ายกับระดับมีเงื่อนไขสูงแต่ไม่สูงเท่า

จากนั้นทำการกำหนดเกณฑ์การคัดออก ซึ่งได้จำนวนเกณฑ์การคัดออกของข้อมูลทั้ง 20 ชั้นข้อมูล (อ้างอิง) ในที่นี้มีจำนวนเกณฑ์การคัดออกของข้อมูลทั้งสิ้น 13 ชั้นข้อมูล โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ 1. สิ่งแวดล้อม 2. สิ่งปลูกสร้างและสาธารณูปโภค และ 3. ภูมิศาสตร์ โดยทั้ง 13 ชั้นข้อมูลเป็นเกณฑ์การคัดออกอย่างเข้มงวด จากตาราง 6 ได้แสดงรายละเอียดของชั้นข้อมูลที่ใช้สำหรับแต่ละเกณฑ์ ที่ได้พิจารณาจากการศึกษานี้

ตารางที่ 6 ชั้นข้อมูล (Digital Map) สำหรับประมวลผลข้อมูลด้วยโปรแกรม ArcGIS 9.3

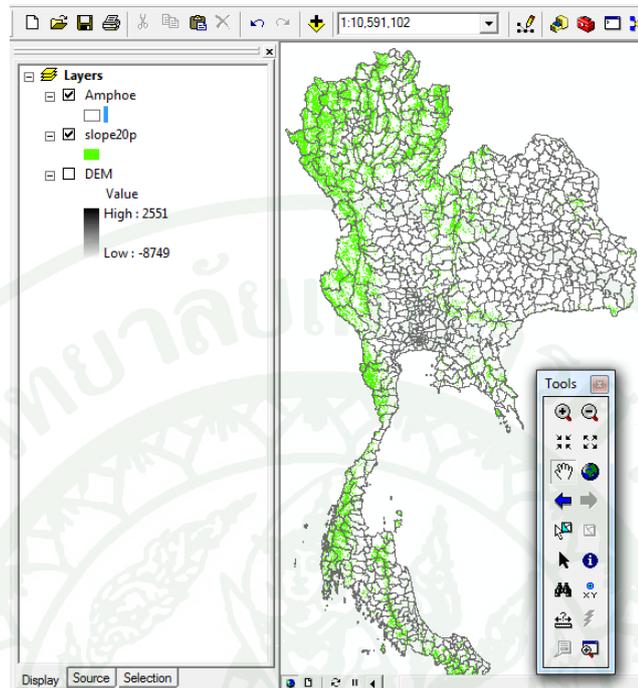
กลุ่ม	ลำดับ	ชั้นข้อมูล (Digital Map)	ชนิด
สิ่งแวดล้อม	1	พื้นที่อุทยานและวนอุทยาน	Polygon
	2	พื้นที่คุ้มครองสิ่งแวดล้อม	Polygon
	3	เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า	Polygon
	4	เขตห้ามล่าสัตว์ป่า	Polygon
	5	พื้นที่ลุ่มน้ำชั้น 1 A	Polygon
	6	แหล่งน้ำธรรมชาติ	Polygon
สิ่งปลูกสร้างและสาธารณูปโภค	7	ถนน	Line
	8	ทางรถไฟ	Line
	9	สนามบิน	Polygon
	10	โบราณสถาน	Polygon
	11	พื้นที่อุตสาหกรรม	Polygon
	12	พื้นที่ชุมชนและย่านการค้า	Polygon
ภูมิศาสตร์	13	ความชัน > 20 ⁰	Polygon

ชั้นข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปประยุกต์โดยจัดทำเป็นแผนที่ระดับความสูงเชิงเลข โดยแสดงความชันของพื้นที่และแผนที่การใช้ประโยชน์ของพื้นที่จากเกณฑ์การคัดออกอย่างเข้มงวดได้ดังนี้

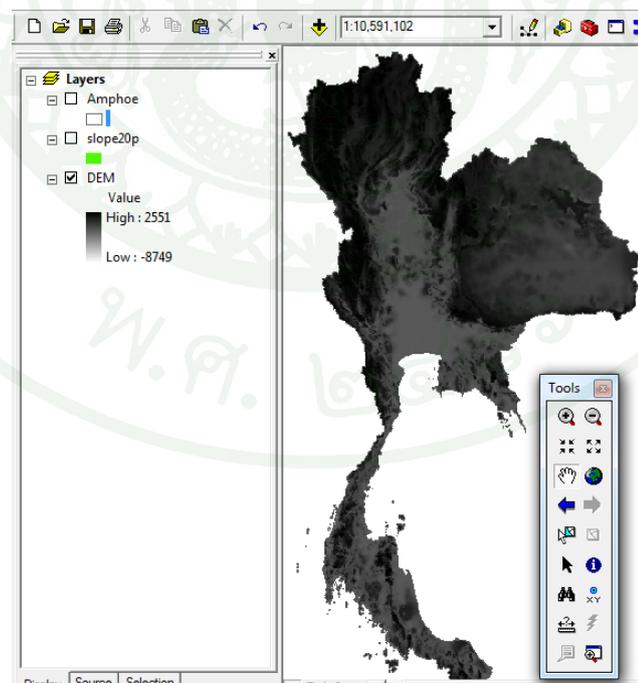
แผนที่ระดับความสูงเชิงเลขโดยแสดงความชันของพื้นที่

เตรียมข้อมูลนำเข้าการจำลองพื้นที่ (Gastli, 2010) โดยใช้ข้อมูลระดับความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model: DEM) มาใช้เทคนิคด้าน GIS ในการซ้อนทับ (Overlay) (สรศักดิ์ใจ, 2542) กับขอบเขตพื้นที่ประเทศไทย โดยมีขั้นตอนการจัดทำดังนี้

ทำการเพิ่มชั้นข้อมูล โดยเปิดไฟล์ชื่อ Amphoe.shp, slope20p.shp และ DEM.img
 ดังภาพที่ 35 และภาพที่ 36

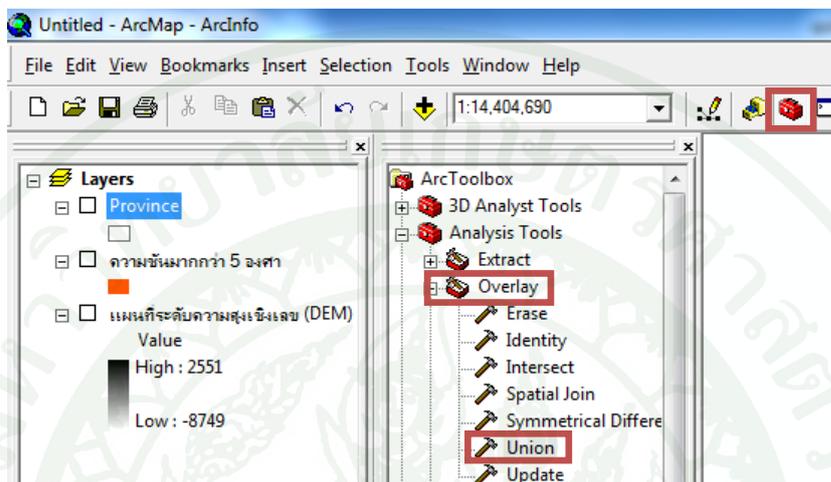


ภาพที่ 35 ลักษณะข้อมูลเชิงพื้นที่ที่แสดงความชันมากกว่า 20 องศาแสดงขอบเขตอำเภอ



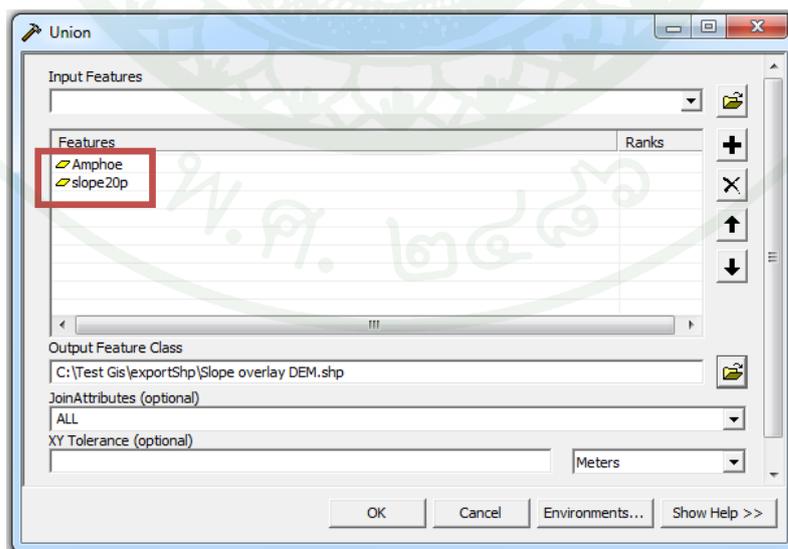
ภาพที่ 36 แสดงลักษณะข้อมูลเชิงพื้นที่ของแผนที่แสดงระดับความสูงเชิงเลข (DEM)

ทำการซ้อนทับชั้นข้อมูล โดยเลือก  จากนั้นเลือกคำสั่ง  Overlay โดยจะมีคำสั่งย่อยให้เลือก คือ  Union โดยแสดงดังภาพที่ 37

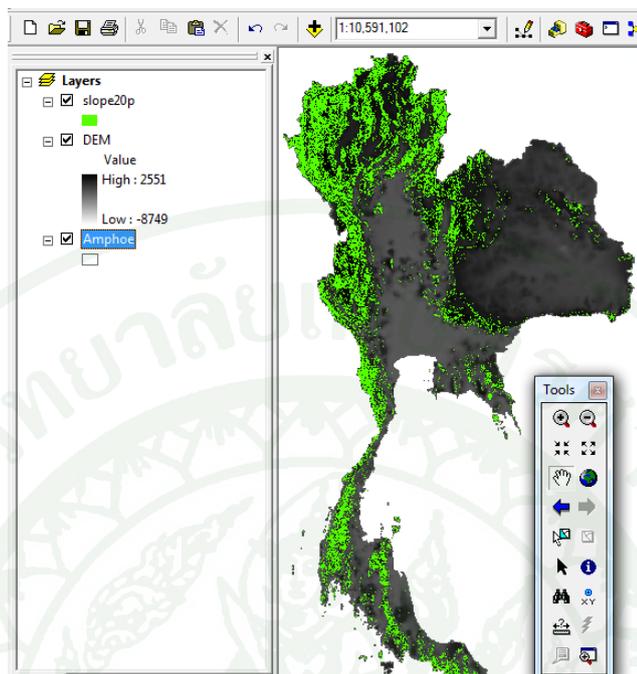


ภาพที่ 37 แสดงคำสั่งการซ้อนทับของชั้นข้อมูล

ขั้นตอนที่ 3 ทำการใส่ชั้นข้อมูลที่จะทำการ Union ดังแสดงในภาพที่ 38 ซึ่งประกอบด้วยชั้นข้อมูล Amphoe และชั้นข้อมูล slope20p ซึ่งผลที่ได้ตามภาพที่ 39



ภาพที่ 38 แสดงหน้าต่างคำสั่ง Union ของ Amphoe.shp และ slope20p.shp



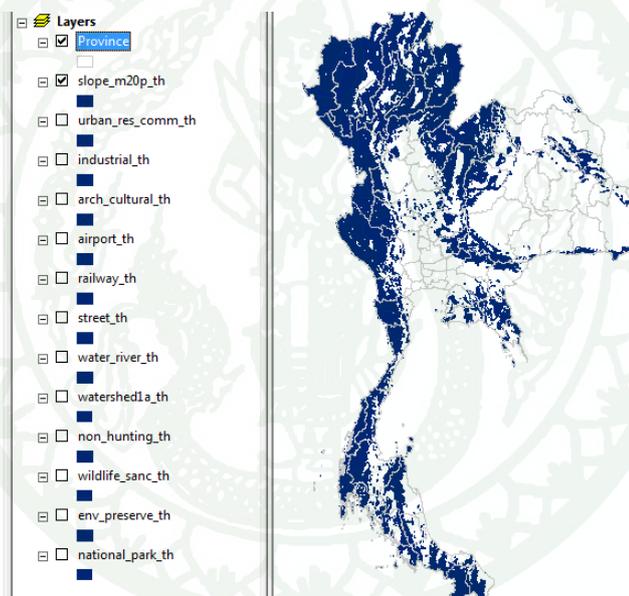
ภาพที่ 39 แสดงการซ้อนทับชั้นข้อมูลความชันและขอบเขตอำเภอ โดยแสดงลงบนชั้นข้อมูล DEM

ชั้นข้อมูลที่ได้จัดทำเป็นชั้นข้อมูลระดับความสูงเชิงเลข โดยแสดงความชันของพื้นที่ โดยสามารถบอกได้ว่าพื้นที่ส่วนใดใช้ประโยชน์ได้หรือไม่ได้ โดยลักษณะข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีความชันจะเป็นพื้นที่ที่ไม่สามารถนำไปใช้งานได้ซึ่งถูกคัดออก โดยจะได้เกณฑ์การคัดออกของพื้นที่ในลักษณะพื้นที่ที่มีความชันไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ จากนั้นนำชั้นข้อมูลที่จัดทำในลักษณะแผนที่ระดับความสูงเชิงเลขโดยแสดงความชันของพื้นที่เพื่อสะดวกต่อการวิเคราะห์พื้นที่ต่อไป โดยการจัดทำแผนที่แสดงในภาคผนวก ข

แผนที่การใช้ประโยชน์ของพื้นที่จากเกณฑ์การคัดออกอย่างเข้มงวด

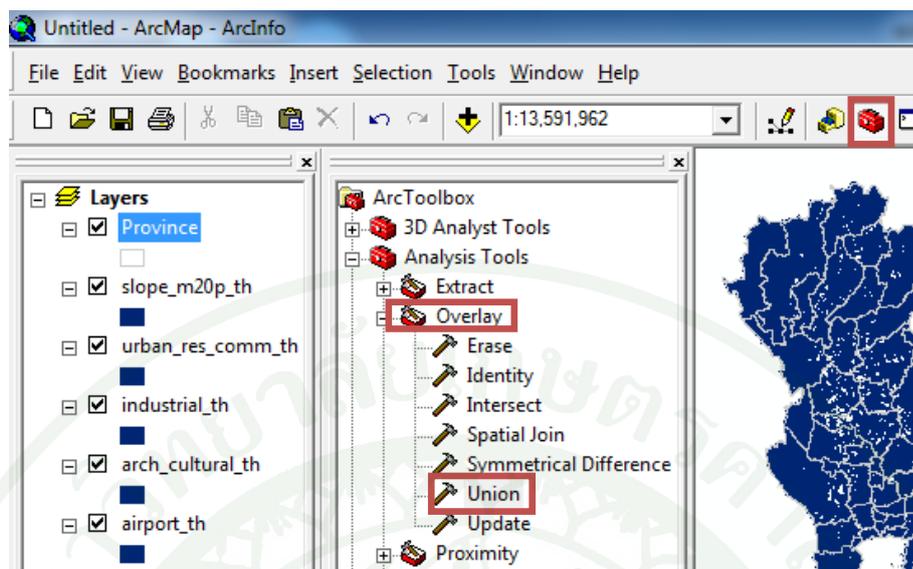
วิเคราะห์ข้อจำกัดและเงื่อนไขที่สำคัญต่างๆ ที่มีผลต่อการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ โดยพิจารณาข้อมูลเชิงพื้นที่ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด (Charabi, 2011) ทำการรวบรวมข้อมูลโดยใช้โปรแกรม ArcGIS ทำการซ้อนทับ (Overlay) (สรรค์ใจ, 2542) ชั้นข้อมูลจากเกณฑ์การคัดออกอย่างเข้มงวด (Kasemsan, 2010) ซึ่งประกอบด้วย 13 ชั้นข้อมูล โดยมีการจัดทำดังนี้

ทำการเปิดชั้นข้อมูล ทั้ง 13 ชั้นเพื่อเตรียมการซ้อนทับชั้นข้อมูล ดังภาพที่ 40



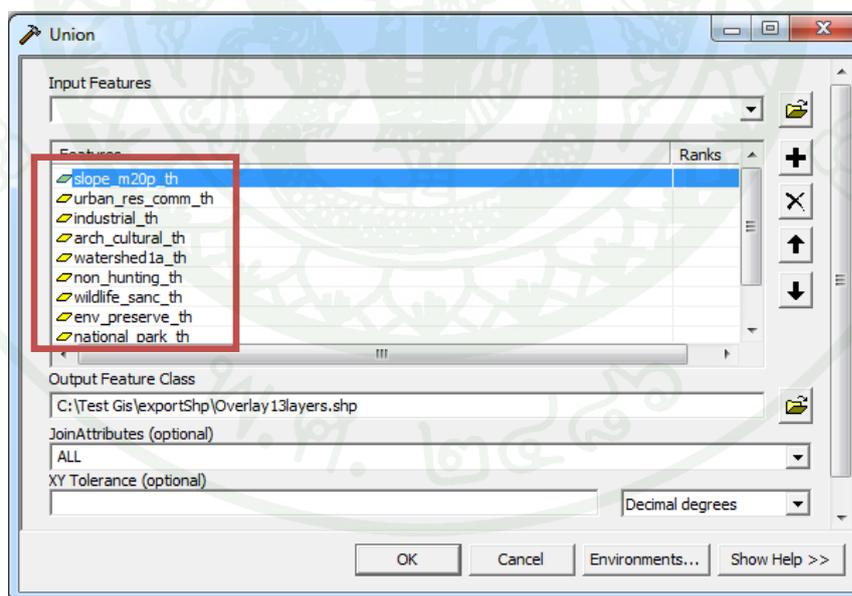
ภาพที่ 40 แสดงชั้นข้อมูลเพื่อเตรียมพร้อมในการซ้อนทับข้อมูล

ขั้นตอนที่ 2 ทำการซ้อนทับชั้นข้อมูล โดยเลือก  จากนั้นเลือกคำสั่ง  Overlay โดยจะมีคำสั่งย่อยให้เลือก คือ  Union โดยแสดงดังภาพที่ 41



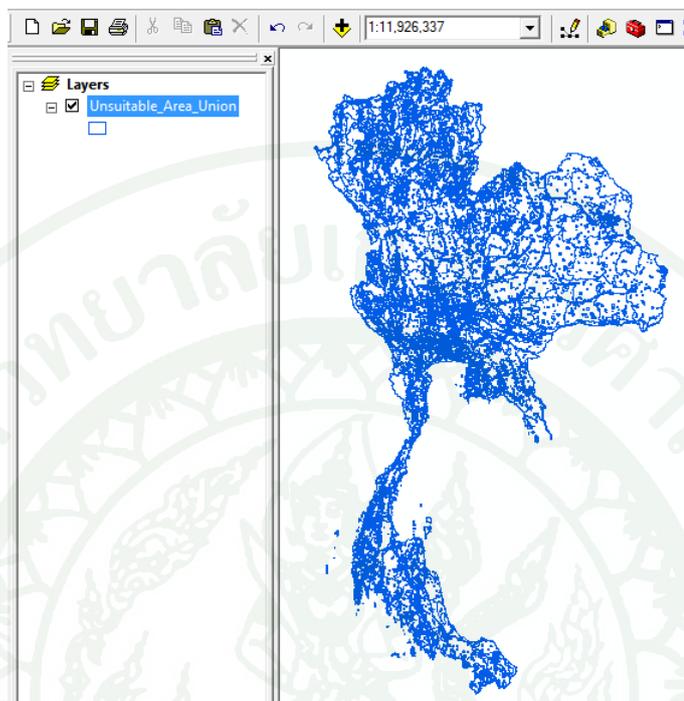
ภาพที่ 41 แสดงคำสั่งการซ้อนทับของชั้นข้อมูล

ทำการใส่ชั้นข้อมูล ดังแสดงในภาพที่ 42 ซึ่งประกอบด้วยชั้นข้อมูล ทั้ง 13 ชั้น



ภาพที่ 42 แสดงหน้าต่างคำสั่ง Union ของชั้นข้อมูลทั้ง 13 ชั้นข้อมูล

จากนั้นทำการปรับแต่งสีให้ดูชัดเจน ดังแสดงในภาพที่ 43



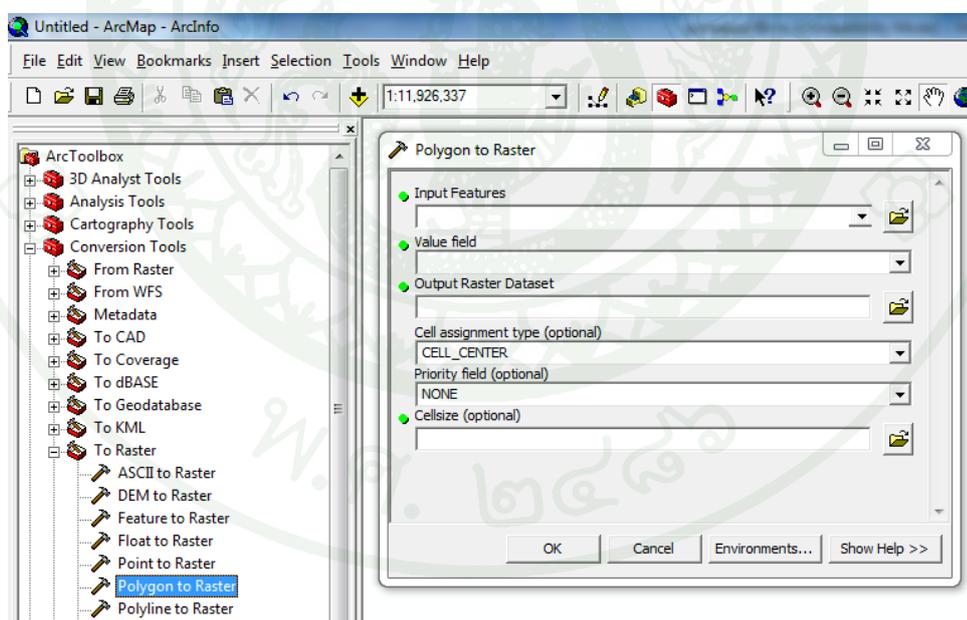
ภาพที่ 43 แสดงผลการซ้อนทับชั้นข้อมูล 13 ชั้น

ชั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ของพื้นที่เป็นการคัดเลือกพื้นที่โดยพิจารณาจากเกณฑ์การใช้งานพื้นที่หรือคัดออก โดยพื้นที่ที่มีการใช้งานซึ่งประกอบด้วย 13 ชั้นข้อมูล ถ้ามีสิ่งปลูกสร้างหรือเป็นพื้นที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้การพิจารณาเราจะทำการคัดออกโดยบ่งบอกพื้นที่เหล่านั้นว่าเป็นพื้นที่ใช้งานไม่ได้ โดยจากการคัดออกของพื้นที่ที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ก็จะเหลือพื้นที่ที่นำมาใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งจะนำไปวิเคราะห์ในการหาความเหมาะสมในการใช้งานพื้นที่ต่อไป จากนั้นนำชั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ของพื้นที่ไปจัดทำในรูปแบบแผนที่เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ โดยการจัดทำแผนที่แสดงในภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่สำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย

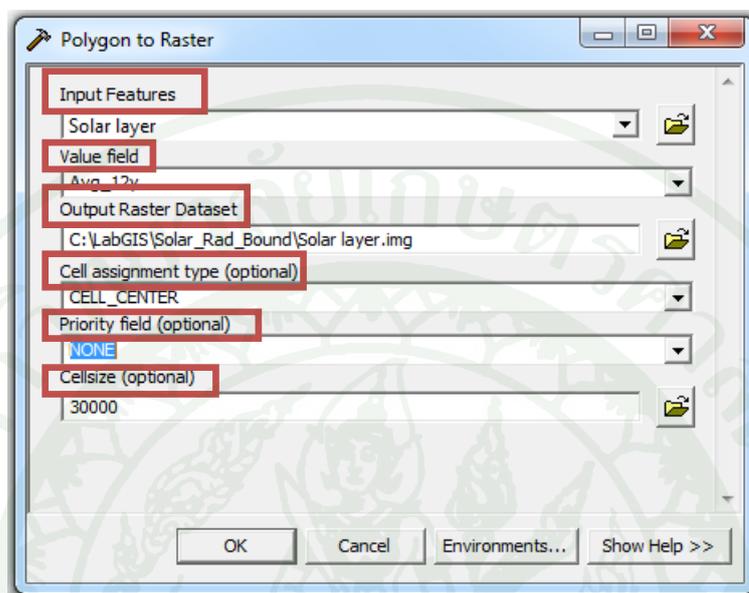
นำชั้นข้อมูลศักยภาพความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ชั้นข้อมูลระดับความสูงเชิงเลขแสดงความชันของพื้นที่และชั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ของพื้นที่จากเกณฑ์การคัดออกอย่างเข้มงวด (มีจำนวนชั้นข้อมูล 13 ชั้นข้อมูล) มาทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือ Fuzzy Logic Order Weight Average (FLOWA) ซึ่งเป็นโมดูลโปรแกรมซึ่งใช้เทคนิคการทำ Pairwise comparison matrix ซึ่งถูกเขียนโปรแกรมโดย Boroushaki (2008) และ Diakoulaki (2007) ในโปรแกรม ArcGIS (วิธีการติดตั้งโมดูล FLOWA แสดงในภาคผนวก ก) โดยมีการวิเคราะห์ดังนี้

ทำการแปลงข้อมูล โดยแปลง Shape file เป็น Raster file ก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ เนื่องจากในการใช้งานโมดูล FLOWA ต้องใช้ไฟล์ที่เป็นลักษณะแผนภาพหรือ Raster โดยทำการเลือก  จากนั้นเลือกคำสั่ง  Conversion Tools และ  Polygon to Raster จากนั้นจะปรากฏหน้าต่างดังภาพที่ 44



ภาพที่ 44 หน้าต่างการแปลงข้อมูล Polygon to Raster

ตัวอย่างการแปลงข้อมูล polygon เป็น raster ของแผนที่ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์โดยใช้ค่าตามตารางที่ได้แสดงดังภาพที่ 45



ภาพที่ 45 การกำหนดค่าที่ใช้ในการแปลงข้อมูล Polygon to Raster ของชั้นข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

Input Features

คือ ชั้นข้อมูลที่ทำทำการแปลงข้อมูล

Value field

คือ ค่าของข้อมูลที่ใช้แสดงผลเมื่อทำการแปลงข้อมูล

Output Raster Dataset

คือ ที่จัดเก็บข้อมูลเมื่อทำการแปลงข้อมูล

Cell assignment type (optional)

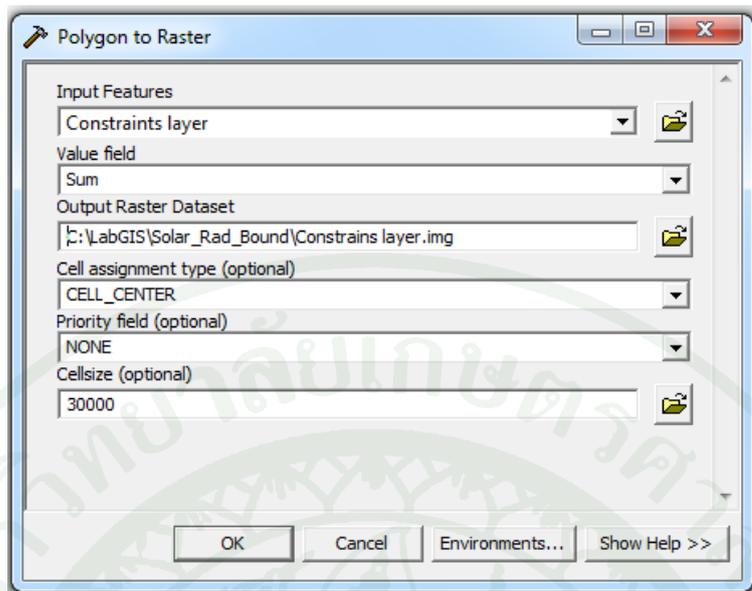
คือ ประเภทการกำหนดเซลล์

Priority field (optional)

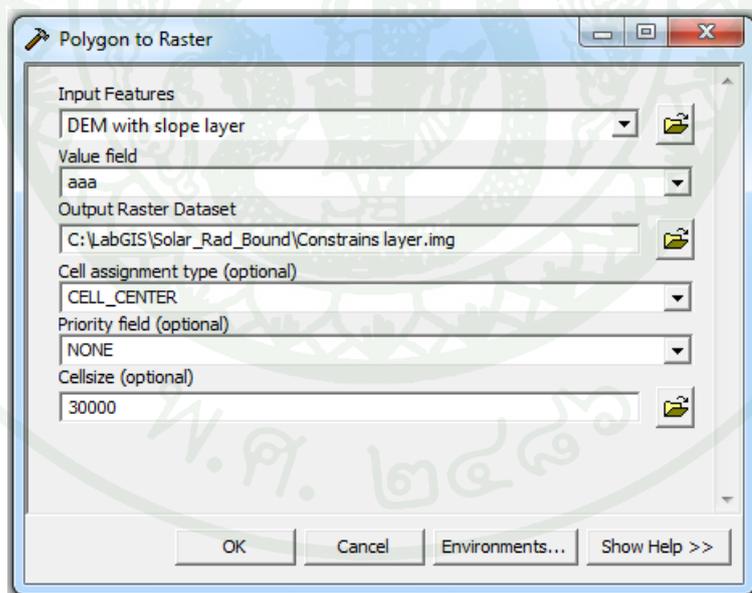
คือ ลักษณะความสำคัญของข้อมูล

Cellsize (optional)

คือ ขนาดของข้อมูลที่ทำทำการแปลงข้อมูล

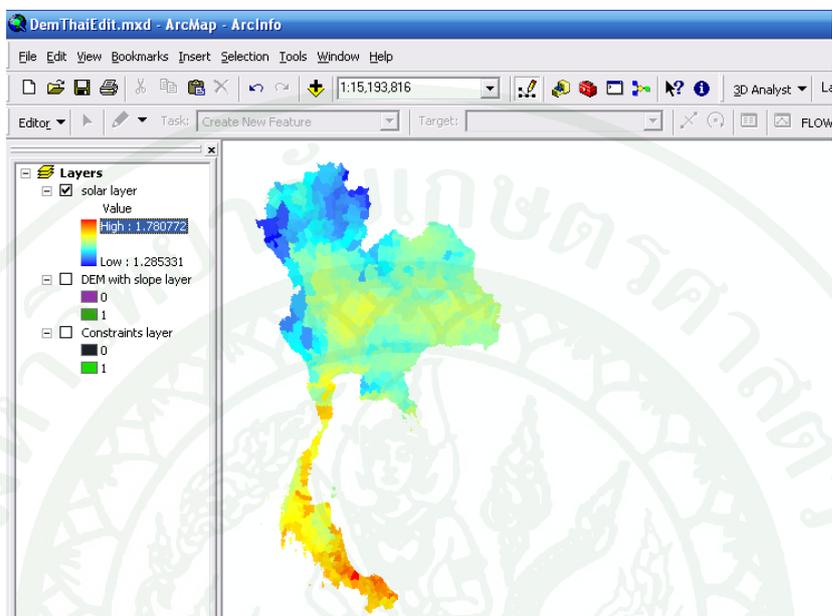


ภาพที่ 46 การกำหนดค่าที่ใช้ในการแปลงข้อมูล Polygon to Raster ของชั้นข้อมูลความสูงเชิงเลข แสดงความชันของพื้นที่

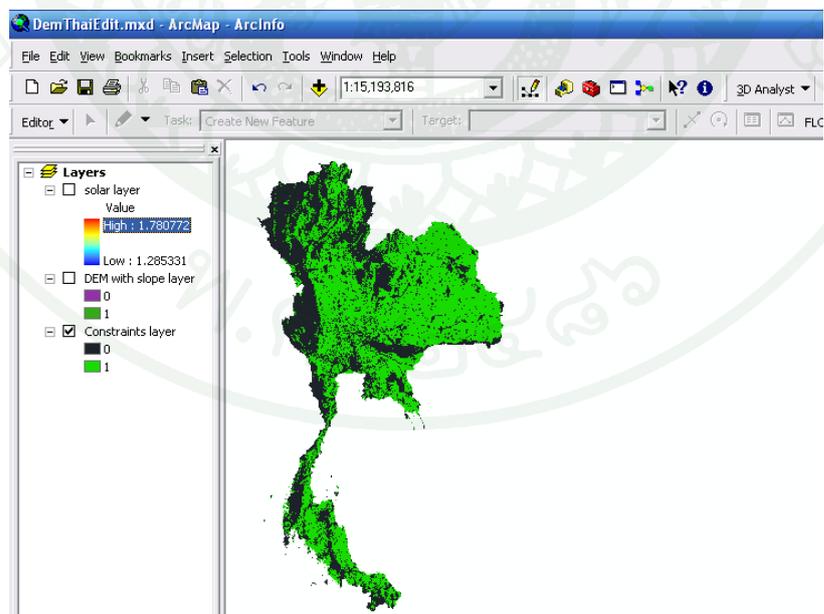


ภาพที่ 47 การกำหนดค่าที่ใช้ในการแปลงข้อมูล Polygon to Raster ของชั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ ของพื้นที่จากเกณฑ์การคัดออกอย่างเข้มงวด

จากการแปลงข้อมูล Shape file ทำให้ได้ข้อมูลในลักษณะเป็นข้อมูลแผนภาพ (Raster) ซึ่ง
ชั้นข้อมูลจะบอกเพียงค่าในช่วง และ ค่ามากที่สุด ต่ำสุด เท่านั้น ดังภาพที่ 48 และภาพที่ 49

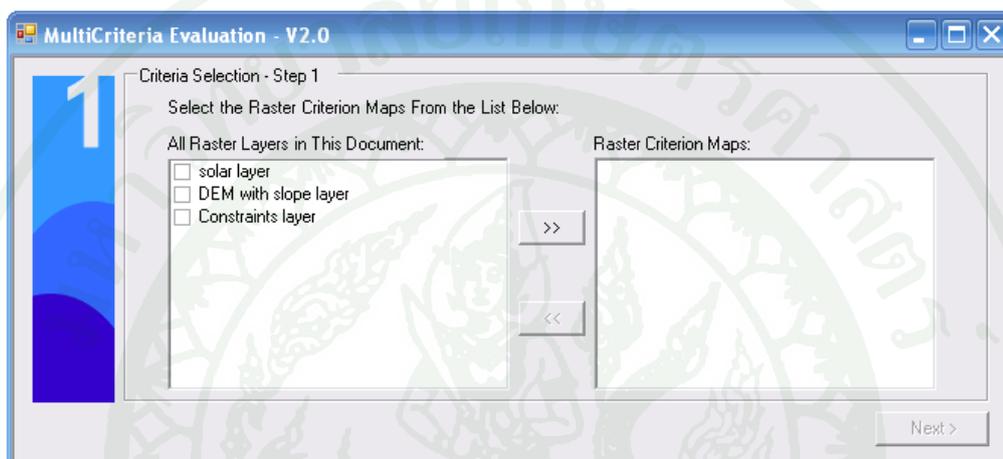


ภาพที่ 48 ผลของการแปลงข้อมูลเป็น Raster ของชั้นข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

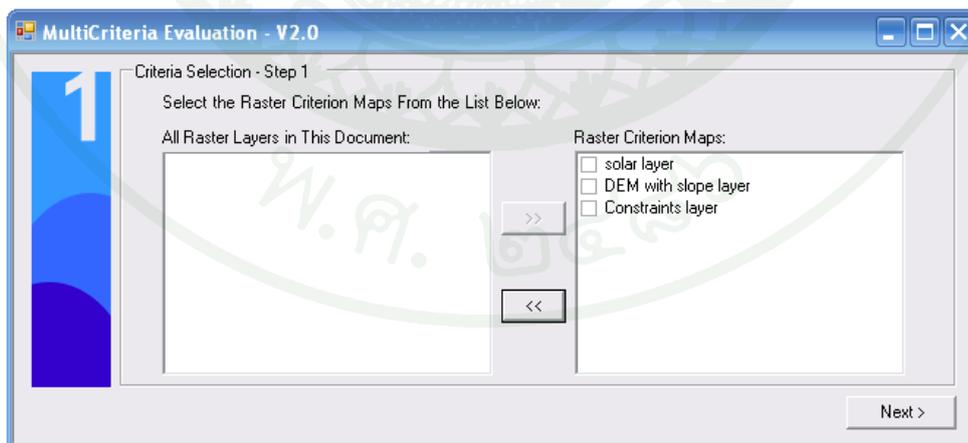


ภาพที่ 49 ผลของการแปลงข้อมูลเป็น Raster ของชั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ของพื้นที่จากเกณฑ์
การคัดออกอย่างเข้มงวด

นำข้อมูลที่ได้ทำการแปลงข้อมูลมาทำการวิเคราะห์โดยใช้คำสั่ง FLOWA (การติดตั้งโมดูลโปรแกรมอยู่ในภาคผนวก ก) โดยใส่เกณฑ์การพิจารณาพื้นที่โดยใช้ข้อมูลดังนี้ ชั้นข้อมูลศักยภาพความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (Solar layer) ชั้นข้อมูลระดับความสูงเชิงเลขแสดงความชันของพื้นที่ (DEM with slope layer) และชั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ของพื้นที่จากเกณฑ์การคัดออกอย่างเข้มงวด (Constraints layer)

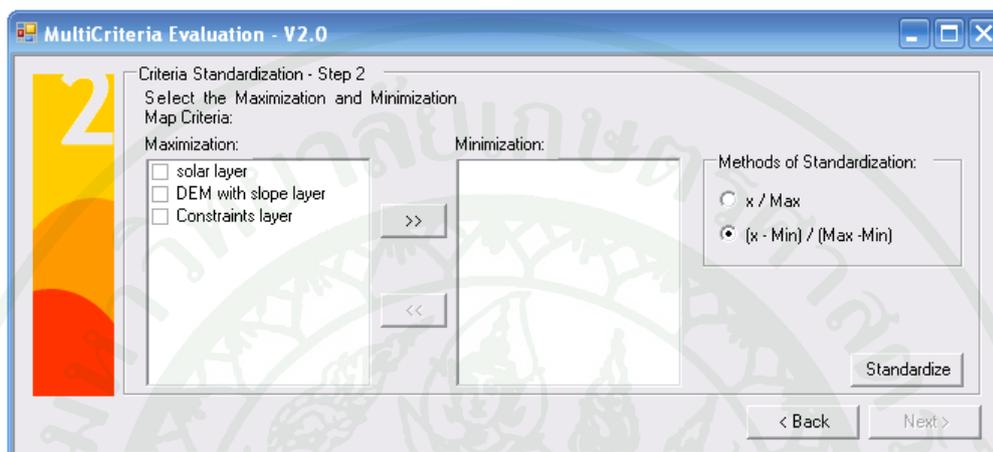


ภาพที่ 50 การเลือกชั้นข้อมูลเพื่อจะทำการวิเคราะห์ผล โดยเลือกข้อมูลที่ได้ทำการแปลงเป็นข้อมูลแบบ Raster



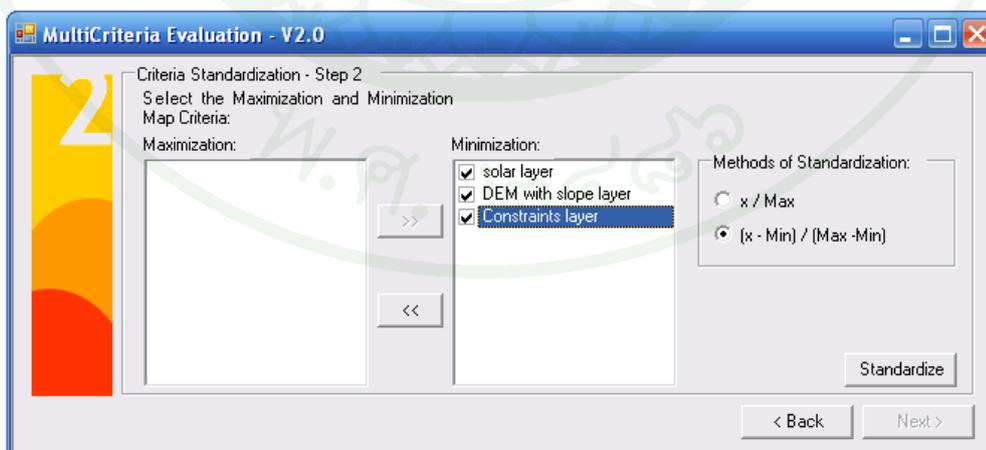
ภาพที่ 51 ทำการเลือกทุกชั้นข้อมูลแล้วทำการกด Next

ทำการคัดเลือกเกณฑ์ที่พิจารณาเพื่อทำการหาค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของเกณฑ์การคัดเลือก โดยจะทำการหาค่ามาตรฐานของเกณฑ์การคัดเลือกแต่ละเกณฑ์ ซึ่งสามารถจะเลือกได้ว่าจะใช้วิธีการหาค่ามาตรฐานแบบไหน ซึ่งทำการคัดเลือกดังภาพที่ 52



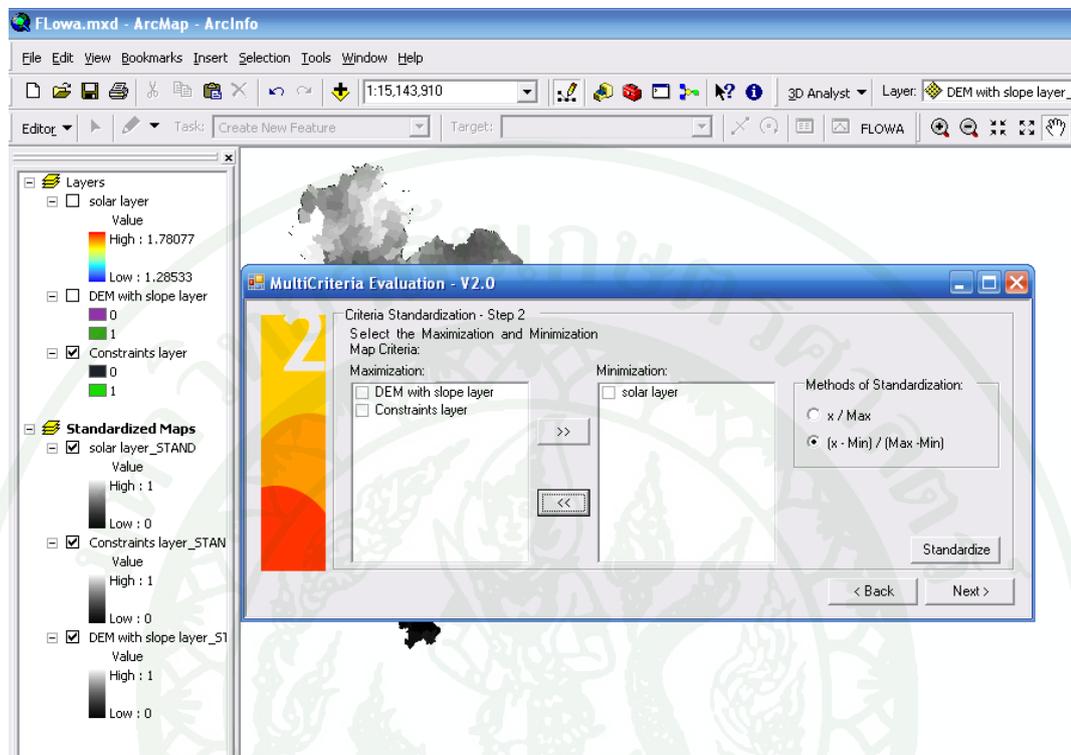
ภาพที่ 52 การคัดเลือกเกณฑ์ในการวิเคราะห์พื้นที่เพื่อทำการหาค่ามาตรฐานของเกณฑ์การคัดเลือก (Criteria Standardization)

ทำการหาค่ามาตรฐานเกณฑ์ข้อมูลทั้งหมด โดยเลือก Methods of Standardization ดังภาพที่ 53



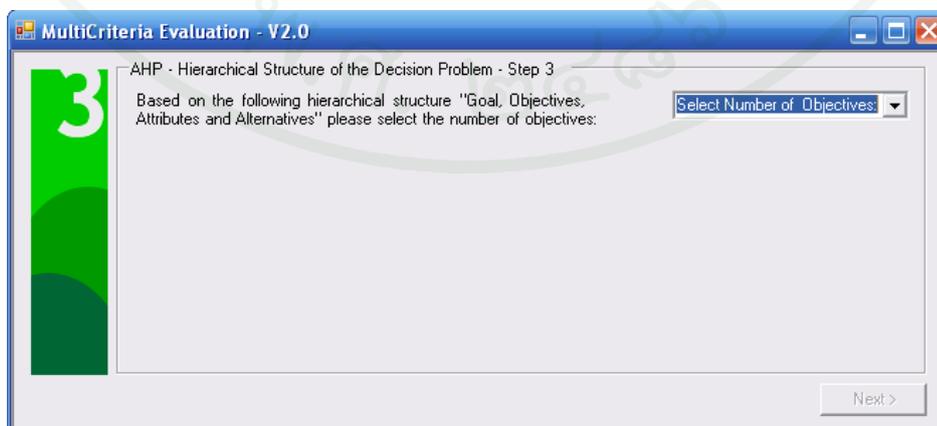
ภาพที่ 53 การคัดเลือก Methods of Standardization

เมื่อทำการเลือกค่ามาตรฐานแล้วจะปรากฏชั้นข้อมูลที่ได้ปรับค่ามาตรฐาน ดังภาพที่ 54

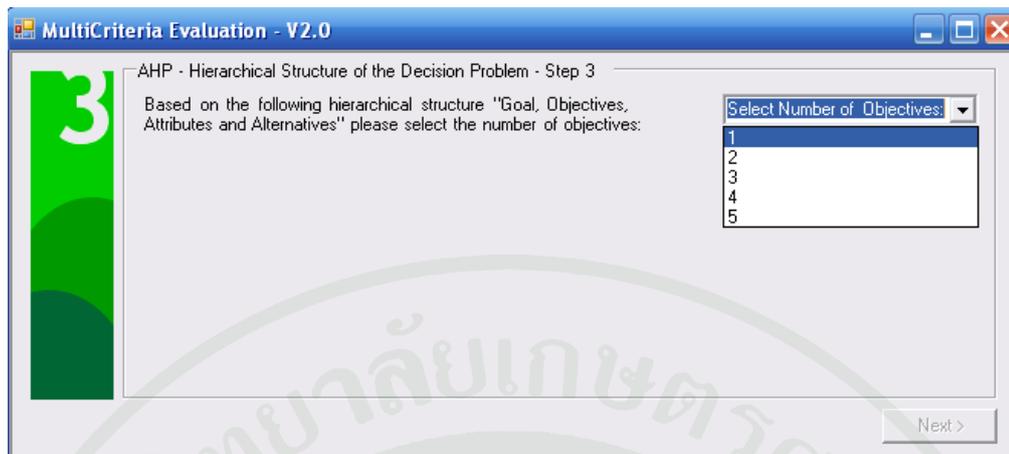


ภาพที่ 54 ชั้นข้อมูลที่ได้ปรับปรุงค่ามาตรฐานซึ่งเป็นชั้นข้อมูลใหม่

เลือกจำนวนจุดประสงค์ในการตัดสินใจของเกณฑ์การคัดเลือกพื้นที่ ทำการเลือกจำนวนจุดประสงค์ ดังภาพที่ 55 และภาพที่ 56

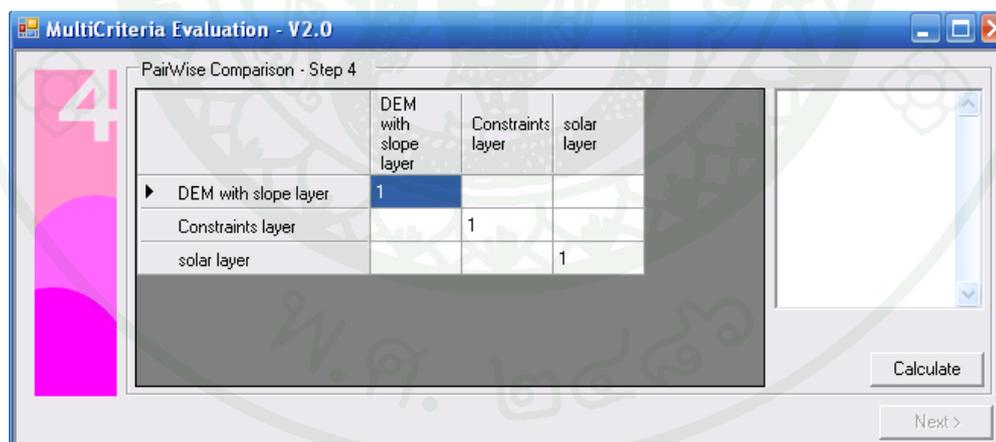


ภาพที่ 55 การคัดเลือกจำนวนจุดประสงค์ของเกณฑ์ (Select Number of Objective)



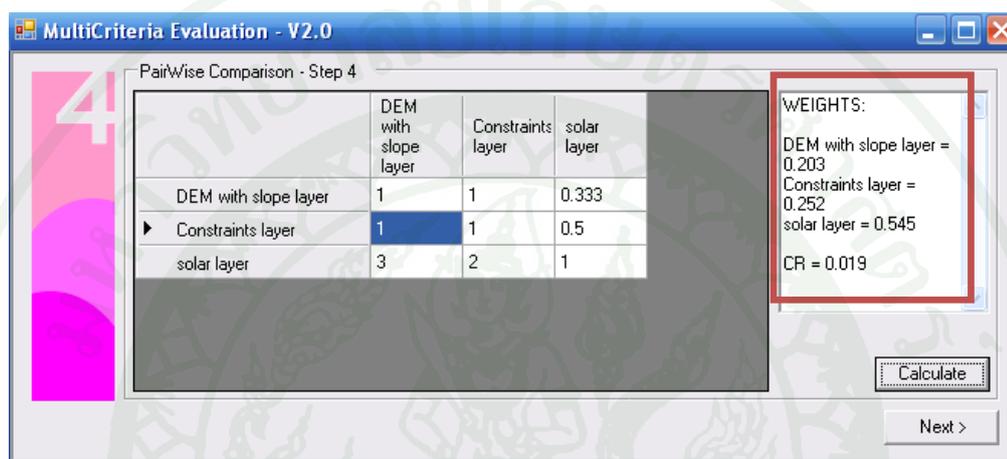
ภาพที่ 56 ทำการเลือกค่าจำนวนจุดประสงค์

จากนั้นจะปรากฏตารางการทำ Pairwise comparison matrix โดยจะทำการประเมินภายใต้เกณฑ์ที่ได้กำหนด จากนั้นกำหนดค่าระดับการตัดสินใจของเกณฑ์ ซึ่งผู้ทำการตัดสินใจจะต้องให้ค่าความสำคัญในระดับต่างๆ ในการเปรียบเทียบเกณฑ์เป็นคู่ โดยใช้ตารางของ Saaty (1990) โดยวิธีการกำหนดค่าคู่ได้ที่หัวข้อการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก



ภาพที่ 57 การทำ Pairwise comparison matrix

เมื่อใส่ค่าระดับความสำคัญต่างๆ แล้วโปรแกรมก็จะมีการกำหนดค่าอัตราส่วนความไม่
 ขัดแย้ง (Consistency Ratio: C.R.) เพื่อเป็นการเปรียบเทียบว่าผลที่ได้ดำเนินการมามีความขัดแย้งกัน
 หรือไม่ โดยถ้าค่า $C.R. \leq 0.10$ แสดงว่าการเปรียบเทียบความสำคัญของเกณฑ์มีความไม่ขัดแย้งกัน
 สามารถทำขั้นตอนต่อไปได้ แต่ถ้า $C.R. > 0.10$ ควรจะมีการทบทวนการใส่ค่าใหม่ จนได้ C.R. ลดลง จาก
 ภาพที่ 58 ค่าที่ใส่เป็นค่าที่ทำให้ C.R. มีค่าน้อยที่สุดและภาพที่ 59 แสดงการยืนยันการเลือก

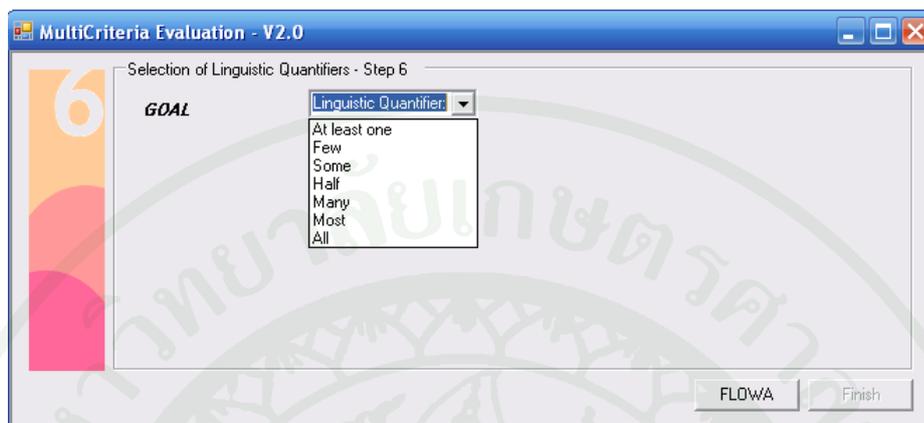


ภาพที่ 58 การเลือกระดับเกณฑ์การตัดสินใจในการทำ Pairwise comparison matrix



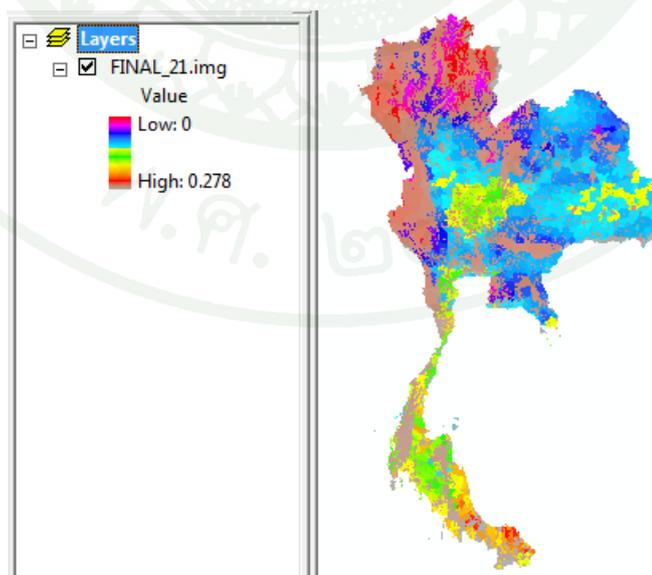
ภาพที่ 59 การยืนยันการเลือกระดับเกณฑ์การตัดสินใจ

ทำการเลือกเป้าหมายของปัญหาการตัดสินใจของวัตถุประสงค์ที่ได้จัดทำ จากนั้นทำการกด FLOWA เพื่อเป็นการดำเนินการวิเคราะห์ จนแสดงข้อความเสร็จสิ้นกระบวนการ



ภาพที่ 60 การเริ่มทำการวิเคราะห์โดยคำสั่ง FLOWA

ผลที่ได้จากการจัดทำวิเคราะห์พื้นที่โดยใช้โมดูล FLOWA ซึ่งสามารถหาพื้นที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย แสดงในภาพที่ 61 โดยต้องมีการปรับปรุงรายละเอียดต่างๆ และจัดทำชั้นข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาพื้นที่ โดยการจัดทำแผนที่ที่มีการแสดงในภาคผนวก ข



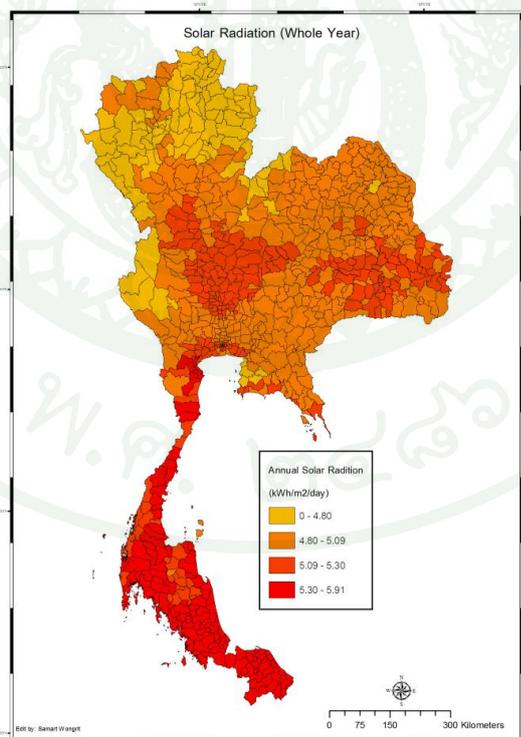
ภาพที่ 61 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ด้วยโมดูลโปรแกรม FLOWA

ผลและวิจารณ์

ผล

ผลการจำลองแผนที่ศักยภาพความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

จากการศึกษาและทำการจำลองพบว่าศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในบริเวณต่างๆ โดยเฉลี่ยทั้งปีสามารถแสดงได้ด้วยแผนที่ศักยภาพความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี ดังภาพที่ 62 จากภาพจะเห็นว่าบริเวณที่มีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สูงแผ่เป็นบริเวณกว้างทางตอนล่างของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวมทั้งบางส่วนของภาคกลาง และภาคใต้บางส่วน สำหรับส่วนที่เหลือจะมีศักยภาพลดหลั่นกันตามที่แสดงในแผนที่ โดยพบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มีค่าประมาณ 5.019 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{day}$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง (Janjai, 2005)

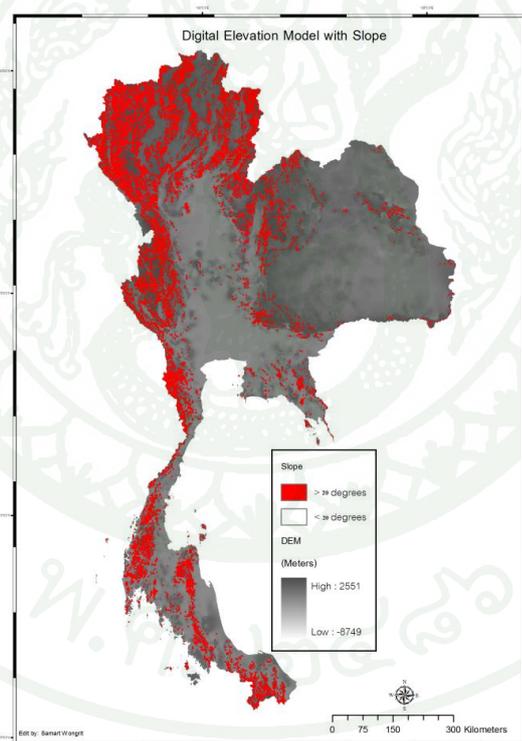


ภาพที่ 62 แผนที่ศักยภาพความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของประเทศไทย
(ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายวันต่อปี)

ผลการจำลองแผนที่ระดับความสูงเชิงเลขแสดงความชันของพื้นที่

ความชันของพื้นที่ที่สามารถส่งผลกระทบต่อความเข้มรังสีดวงอาทิตย์และเป็นอุปสรรคต่อการเข้าถึงพื้นที่เพื่อติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าความชันที่เหมาะสมต่อการติดตั้งไม่ควรมีค่าเกิน 20° (Gastli, 2010)

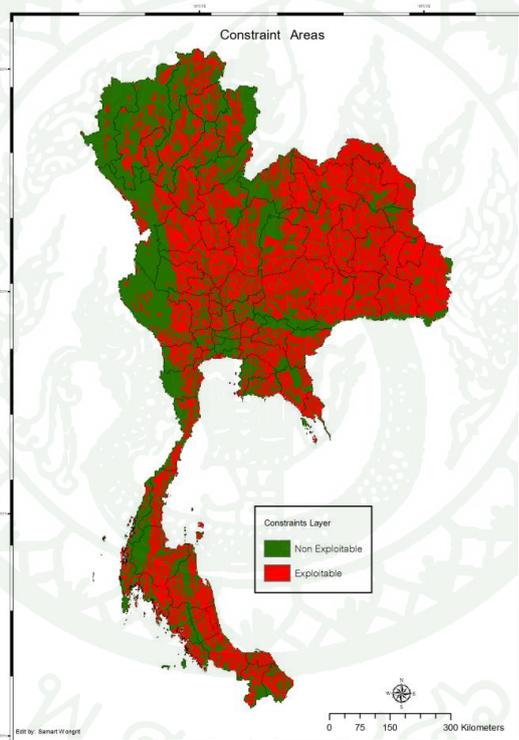
โดยภาพที่ 63 แสดงสีความชันของพื้นที่ โดยสีแดงเป็นพื้นที่ที่มีความชันมากกว่า 20° ซึ่งเป็นพื้นที่มีลักษณะเป็นเนินเขาของประเทศไทย โดยมีความต่อเนื่องจากภาคเหนือถึงภาคใต้รวมถึงภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคตะวันออกบางส่วน สีเทาดำแสดงความชันที่ต่ำกว่า 20° ลักษณะเป็นพื้นที่ราบซึ่งเป็นพื้นที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ประโยชน์ในการติดตั้ง



ภาพที่ 63 แผนที่ระดับความสูงเชิงเลขแสดงความชันของพื้นที่

ผลการจำลองแผนที่การใช้ประโยชน์ของพื้นที่จากเกณฑ์การคัดออกอย่างเข้มงวด

จากผลการนำชั้นข้อมูลทั้งหมดมา overlay ด้วยวิธีการทาง GIS ทำให้ได้แผนที่แสดงการใช้ประโยชน์ของพื้นที่ จากภาพที่ 64 พบว่าพื้นที่ที่แสดงด้วยสีเขียวเป็นพื้นที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ กล่าวคือเป็นพื้นที่เงื่อนไชที่อยู่ในเกณฑ์การคัดออกอย่างเข้มงวดซึ่งไม่สามารถนำพื้นที่ไปใช้ประโยชน์ในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ได้ พื้นที่ที่แสดงด้วยสีแดงเป็นพื้นที่ใช้ประโยชน์ได้ เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่ไม่ได้อยู่ในเงื่อนไชการคัดออกของพื้นที่ ซึ่งเป็นพื้นที่ว่างไม่ได้ใช้ประโยชน์หรือเป็นพื้นที่เกษตรกรรมที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

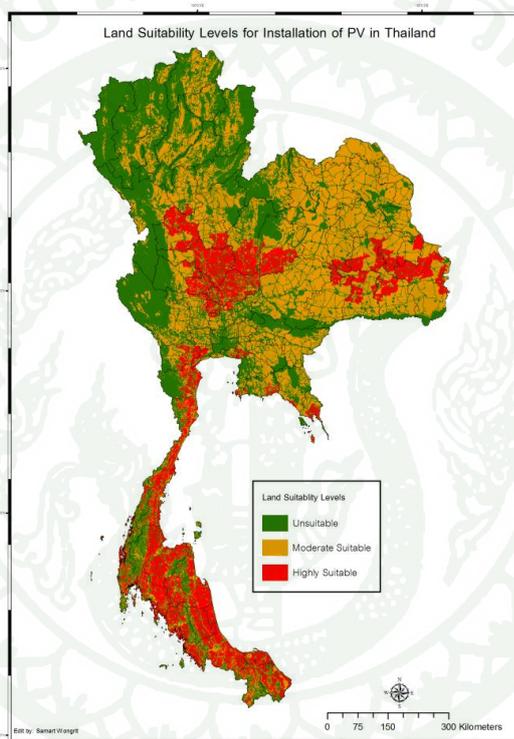


ภาพที่ 64 แผนที่การใช้ประโยชน์ของพื้นที่จากเกณฑ์การคัดออกอย่างเข้มงวด

ผลการจำลองแผนที่แสดงความเหมาะสมของพื้นที่สำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย

จากการนำแผนที่ศักยภาพความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ แผนที่ระดับความสูงเชิงเลขแสดงความชันของพื้นที่และแผนที่การใช้ประโยชน์ของพื้นที่จากเกณฑ์การคัดออกอย่างเข้มงวด (มีจำนวนชั้นข้อมูล 13 ชั้นข้อมูล) มาทำการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค FLOWA ในโปรแกรม ArcGIS ทำให้ได้ผล

ลัพท์ตามภาพที่ 65 คือ พื้นที่ที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ได้ถูกแสดงเป็นสีแดง โดยเฉพาะพื้นที่ในภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และภาคใต้ คิดเป็นพื้นที่ทั้งหมด 221,768 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็น 43% ของพื้นที่ในประเทศไทยทั้งหมด ถึงกระนั้น ยังมีพื้นที่ที่มีความเหมาะสมปานกลางกระจายออกไปตามภาคต่างๆ โดยแสดงเป็นสีส้ม ซึ่งก็ยังมีความเป็นไปได้ในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์และสีเขียวเป็นพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมในการติดตั้งซึ่งเป็นพื้นที่ป่าไม้ พื้นที่อยู่อาศัยหรือพื้นที่อุตสาหกรรม เป็นต้น



ภาพที่ 65 แผนที่แสดงความเหมาะสมของพื้นที่สำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย

จากผลการจำลองแผนที่ด้านบน ทำให้สามารถคำนวณกำลังการผลิตไฟฟ้าต่อปีของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ โดยแสดงผลของการคำนวณโดยใช้สมการที่ (5) ในตารางที่ 7 โดยประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ η ใช้ข้อมูลการทดลองของ สวทช. โดยแบ่งเป็นชนิดต่างๆ CA คือ พื้นที่ศักยภาพความเหมาะสมสูงจากการจำลองแผนที่ที่มีค่า 221,768 ตารางกิโลเมตร SR คือ พลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้ต่อพื้นที่ มีค่า $5.01 \text{ kWh/km}^2/\text{year}$ และ AF คือ อัตราส่วนการประเมินพื้นที่ใช้งานจริงต่อพื้นที่ที่ทำการประเมินศักยภาพ มีค่า 50 %

ตารางที่ 7 Total generation potential on highly suitable lands.

PV Technology	Efficiency, η (%)	Highly Suitable land area, CA (km^2)	Mean annual solar radiation for highly suitable land. SR ($GWh/km^2/year$)	Generation potential, GP ($GWh/year$)
Poly-Si	13.31	221,768	5.01	147,881,777
a-Si	6.38			70,885,479
CIS	10.25			113,883,412
HIT	16.36			181,769,036

ความต้องการไฟฟ้าภายในประเทศไทยจากข้อมูลการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า (คณะอนุกรรมการการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า, 2545) พบว่า ในปี 2002-2016 มีค่าพลังงานไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 206,660 – 260,262 GWh/year ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากตารางที่ 7 ผลที่ได้จากการคำนวณพลังงานไฟฟ้า คือ 127,238 GWh/year ซึ่งเป็นค่าที่สามารถผลิตได้สูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภท HIT จากการเปรียบเทียบผลที่ได้กับความต้องการมีแนวโน้มที่สามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ดี ซึ่งการนำไปใช้อาจใช้ควบคู่กับเทคโนโลยีอื่นเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่มากขึ้น เช่น กังหันลม หรือ เชื้อเพลิงชีวภาพ เป็นต้น

วิจารณ์

จากการจำลองแผนที่ศักยภาพความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ฐานข้อมูลที่ใช้เป็นฐานข้อมูลที่จัดทำเมื่อปี พ.ศ. 2548 ซึ่งใช้กันแพร่หลาย ซึ่งฐานข้อมูลไม่ได้มีการปรับปรุงให้มีค่าที่ทันสมัย ทำให้ผลการจำลองที่ได้มีความไม่ละเอียดมากนัก ซึ่งในปัจจุบันสภาพแวดล้อมและธรรมชาติได้มีการเปลี่ยนแปลงไปมาก อาจทำให้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ฐานข้อมูลในการจัดทำแผนที่ไม่มีการบันทึกพิกัดเชิงพื้นที่ซึ่งมีผลในการนำมาใช้เป็นอย่างมาก

การวิเคราะห์ความชันที่มีผลต่อการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งอาจเป็นเงื่อนไขในการติดตั้ง โดยสามารถพิจารณาได้ว่าพื้นที่ใดที่มีความชันที่ไม่เหมาะสมในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ เพราะจะทำให้การเคลื่อนย้ายและการบำรุงรักษาทำได้ลำบากและที่สำคัญของการวิเคราะห์พื้นที่ที่มีความชันสามารถเป็นประโยชน์ต่อการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Concentrated solar power แต่ในการนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งานจริงความชันของพื้นที่สามารถใช้เทคนิคในการปรับพื้นที่ให้สามารถติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ได้

การคัดเลือกเกณฑ์การคัดออกของพื้นที่สำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ เกณฑ์หรือชั้นข้อมูลที่ใช้จำเป็นต้องมีการสรรหามากกว่านี้เพราะจะทำให้การวิเคราะห์พื้นที่ละเอียดมากยิ่งขึ้น ซึ่งปัญหาการจัดหาชั้นข้อมูลมาใช้ คือ มีราคาที่สูงมากและถ้ายังต้องการใช้มากก็ต้องมีค่าใช้จ่ายสูง จึงจำเป็นต้องขอความช่วยเหลือจากหน่วยงานต่างๆ ทั้งภาครัฐและเอกชน

แผนที่แสดงความเหมาะสมของพื้นที่สำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยสามารถใช้ประเมินขั้นต้นและสามารถใช้งานร่วมกับโปรแกรมทางสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้หลายโปรแกรม สามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานการวิเคราะห์เชิงนโยบายด้านพลังงานแสงอาทิตย์และเป็นข้อมูลสนับสนุนในงานวิจัยด้านพลังงานแสงอาทิตย์ได้ต่อไป

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการจำลองพื้นที่โดยใช้เครื่องมือ FLOWA เพื่อวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจากการจัดทำให้อยู่ในรูปแบบที่แสดงความเหมาะสมของพื้นที่สำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย สามารถกล่าวได้ว่าพื้นที่ที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์คิดเป็นพื้นที่ 221,768 ตร.กม. หรือคิดเป็น 43 % ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศไทย พื้นที่ที่เหมาะสมรองลงมาซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้คิดเป็นพื้นที่ 190,823 ตร.กม. หรือคิดเป็น 37 % ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศไทย และพื้นที่ที่เหลือประมาณ 30 % ของประเทศไทยทั้งหมดคือพื้นที่ที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ได้ โดยพื้นที่ที่เหมาะสมที่สุดเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งอยู่ในพื้นที่บริเวณภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคใต้บางส่วน

จากการจำลองแผนที่ทำให้สามารถคำนวณกำลังการผลิตไฟฟ้าต่อปีของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ พบว่าให้กำลังการผลิตสูงสุดมีค่าประมาณ 127,238 GWh/y โดยจากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ในพื้นที่ที่เหมาะสมที่สุดพบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า คือ Poly – Si และ HIT ซึ่งจากการเปรียบเทียบผลที่ได้กับความต้องการมีแนวโน้มที่สามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ดี

ข้อเสนอแนะ

จากข้อมูลที่ได้ทำการศึกษาระหว่างการดำเนินโครงการวิจัยและจากผลของการดำเนินโครงการ ทางผู้วิจัยขอเสนอแนวทางอันคาดว่าจะประโยชน์ในการพัฒนาโครงการวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1. แผนที่ศักยภาพความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ฐานข้อมูลที่ใช้จัดทำควรต้องมีการปรับปรุงให้ทันสมัยตามระยะเวลาที่เหมาะสม ทั้งนี้จากการที่เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์มีการพัฒนาอย่างมากกับปริมาณข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มีมากขึ้นตามเวลา ซึ่งจะทำให้การนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์เพื่อจำลองพื้นที่ที่มีคุณภาพและน่าเชื่อถือมากขึ้น

2. เกณฑ์และชั้นข้อมูลที่ได้พิจารณาสำหรับแผนที่เพื่อการคัดเลือกพื้นที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยอาจจะไม่ครอบคลุมเงื่อนไขทั้งหมดที่เกิดขึ้น ในความเป็นจริงหรืออาจจะไม่สอดคล้องกับสถานการณ์จริงสำหรับเฉพาะพื้นที่นั้นๆ ดังนั้นผู้วิจัยควรตรวจสอบข้อจำกัดต่างๆ เพิ่มเติมสำหรับพื้นที่ที่สนใจ

3. แผนที่แสดงความเหมาะสมของพื้นที่สำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยสามารถนำมาใช้คู่กับโปรแกรม Google map โดยอาศัยการซ้อนทับของชั้นข้อมูลต่างๆ และสามารถใช้กับโปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ทั่วไป ซึ่งจะทำให้ทราบถึงความเป็นไปได้ของพื้นที่ที่สนใจว่ามีข้อจำกัดเชิงพื้นที่ที่มากน้อยเพียงใด นอกจากนั้นยังสามารถใช้เป็นเครื่องมือช่วยวิเคราะห์ภาพรวมของกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ ในพื้นที่ที่สนใจหรือพื้นที่ทั้งประเทศไทยให้มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2551. แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย. แหล่งที่มา: <http://www.dede.go.th>, 10 กรกฎาคม 2553.

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. 2554. แผนที่เส้นทางน้ำ บริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. แหล่งที่มา: <http://www.gistda.or.th>, ม.ป.ป.

ศุภลักษณ์ สติรชีวิน. 2548. การพัฒนาโมเดลเทคนิคสำหรับระบบผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนผสมผสาน กรณีเกาะจิก. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 28, 20-21 ตุลาคม, โรงแรมเพิร์ลวิลเลจ, จ.ภูเก็ต.

วิเชียร ฝอยพิกุล. 2548. ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ด้วย ArcView. นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา.

นฤเทพ กาละดี. 2544. การพัฒนาระบบการจัดการสารสนเทศทรัพยากรธรรมชาติระดับจังหวัดด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์บนฐานของระบบอินเทอร์เน็ต. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย สาขาวิชาการรับรู้จากระยะไกลและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ดุสิต เครื่องาม. 2542. สิ่งประดิษฐ์อุปโภคอิเล็กทรอนิกส์ ฟลิทส์ เทคโนโลยีและใช้งาน เล่ม 1. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาฯ, กรุงเทพฯ.

สรรค์ใจ กลิ่นดาว. 2542. ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ : หลักการเบื้องต้น. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ดุสิต เครื่องาม. 2538. ไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางชนิดวัสดุอะมอร์ฟัสสารกึ่งตัวนำ. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Carver, S.J. 1991. Integrating multi-criteria evaluation with geographical information system.

International Journal of Geographical Information System 5 (3): 321-339.

Bannai, R. 1993. Fuzziness in geographic information system: contributions from the analytic

hierarchy process. **International Journal of Geographical Information Systems**

7(1993): 315-329.

Eastman, J.R., P.A.K. Kyem, J. Toledano and W. Jin. 1993. **GIS and Decision Making**.

UNITAR, Geneva.

Cromley, R.G. and D.M. Hanink. 1999. Coupling land use allocation model with raster GIS.

Journal of Geographical System 1: 137-153.

Aerts, J. 2002. **Spatial decision support for resource allocation: integration of optimization,**

uncertainty analysis and visualization techniques. Ph.D. Thesis, University of

Amsterdam.

Yates, T. 2003. **Solar Cells in Concentrating Systems and their High Temperature**

Limitations. University of California, Santa Cruz.

Malczewski, J. 2004 '**GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview**' **Progress in**

Planning. 62(1): 3-65

Janjai, S., J. Laksanaboonsong, M. Nunez and A. Thongsathitya. 2005. **Development of a**

method for generating operational solar radiation maps from satellite data for a

tropical environment. *Solar Energy* (78): 739-751.

Malczewski, J. 2006. **Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based**

multicriteria evaluation for land-use suitability analysis. *International Journal of*

Applied Earth Observation and Geoinformation (8): 270-277.

- Diakoulaki, D. and F. Karangelis. 2007. **Multi-criteria decision analysis and cost-benefit analysis of alternative scenarios for the power generation sector in Greece.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (11): 716-727.
- Boroushaki, S. and J. Malczewski. 2008. **Implementing an extension of the analytical hierarchy process using ordered weighted averaging operators with fuzzy quantifiers in ArcGIS.** *Computers & Geosciences* (34): 399-410.
- German Solar Energy Society. 2008. **Planning and Installing Photovoltaic system 2nd Edition.** Eathscan. UK.
- Gastli, A. and Y. Charabi. 2010. **Solar electricity prospects in Oman using GIS-based solar radiation maps.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (14): 790-797.
- N. Pooltananan, P. Sripadungtham, A. Limmanee and E.Hattha. 2010. **Effect of spectral irradiance distribution on the outdoor performance of photovoltaic modules,** *Electrical Engineering/Electronics Computer Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 2010 International Conference,* pp.71-73.
- Manomaiphiboon, K., A. Prabamroong, W. Chanaprasert, N. Rajpreeda, and P. T. Tung (2010) **Dual Database System of Wind Resource for Thailand. Final Report of Project: Wind Resource Assessment Using Advanced Atmospheric Modeling and GIS Analysis, Conducted by Joint Graduate School of Energy and Environment (King Mongkut's University of Technology Thonburi),** Supported by Thailand Research Fund (http://complabbkt.jgsee.kmutt.ac.th/wind_proj).
- Charabi, Y. and A. Gastli. 2011. **PV site suitability analysis using GIS-based spatial fuzzy multi-criteria evaluation.** *Renewable Energy* (36): 2554-2561.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
การติดตั้งโมดูล MCE - FLOWA

คู่มือทางเทคนิคของ MCE-FLOWA.dll

การติดตั้ง MCE-FLOWA.dll

ขั้นตอนที่ 1 ในการติดตั้งโมดูล MCE-FLOWA จะต้องมียังประกอบในการติดตั้งบนเครื่องคอมพิวเตอร์ดังต่อไปนี้

1. โปรแกรม ArcGIS 9.3.1
2. ฟังก์ชันการทำงานเกี่ยวกับการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ในโปรแกรม ArcGIS 9.3.1
3. ไมโครซอฟท์ .NET Framework 2.0
4. การสนับสนุนการทำงาน .NET สำหรับ โปรแกรม ArcGIS Desktop (สามารถดูบทความวิธีการติดตั้งการสนับสนุน .NET สำหรับ ArcGIS Desktop ได้ที่เว็บไซต์ ESRI)

ขั้นตอนที่ 2 ทำการดาวน์โหลดไฟล์จากเซิร์ฟเวอร์ AS14894.zip จากเว็บไซต์ ESRI ประกอบด้วยไฟล์ zip ที่มีจำนวน 3 ไฟล์ ดังนี้

1. MCE-FLOWA.dll
2. MCE-FLOWA-ReadMe.pdf
3. Raster-Files.zip (ชุดจาก 5 ภาพแรสเตอร์เพื่อทดสอบโมดูล)

เมื่อมีครบทั้ง 3 ไฟล์แล้วทำการคัดลอก MCE-FLOWA.dll ไปไว้ในไดรฟ์ C:

ขั้นตอนที่ 3 ทำการค้นหาไฟล์ regasm.exe โดยไฟล์ดังกล่าวจะอยู่ที่ C: \ Windows \ Microsoft.NET \ Framework \ v2.0.50727 โดยการค้นหาเพื่อต้องการทราบที่อยู่เพื่อติดตั้งไฟล์ MCE-FLOWA.dll

ขั้นตอนที่ 4 หน้าต่างคำสั่งเปิด (พร้อมรับคำสั่ง) คลิกที่ Start, พิมพ์ cmd ในการ 'ค้นหาเริ่มต้น' ในหน้าต่างคำสั่งไปยังไดเรกทอรีที่ถูกระบุ regasm.exe (ที่อยู่ในขั้นตอนที่ 3) ดังแสดงดังภาพผนวกที่ ก1

```

Administrator: C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Version 6.0.6000]
Copyright (c) 2006 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\user>cd\
C:\>cd windows\microsoft.net\framework\v2.0.50727
C:\Windows\Microsoft.NET\Framework\v2.0.50727>_

```

ภาพผนวกที่ ก1 การพิมพ์คำสั่ง regasm.exe ใน C:\Windows\Microsoft.NET\Framework\v2.0.50727

ขั้นตอนที่ 5 ทำการพิมพ์ regasm.exe "C:\MCE-FLOWA.dll /codebase โดยเมื่อกด Enter จะแสดงข้อความเมื่อทำการติดตั้งสำเร็จแล้วว่า "Types registered successfully" ดังภาพผนวกที่ ก2

```

Administrator: Command Prompt
Microsoft Windows [Version 6.0.6000]
Copyright (c) 2006 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\user>cd\
C:\>cd Windows\Microsoft.NET\Framework\v2.0.50727
C:\Windows\Microsoft.NET\Framework\v2.0.50727>regasm.exe "C:\MCE-FLOWA.dll" /codebase
Microsoft (R) .NET Framework Assembly Registration Utility 2.0.50727.312
Copyright (C) Microsoft Corporation 1998-2004. All rights reserved.

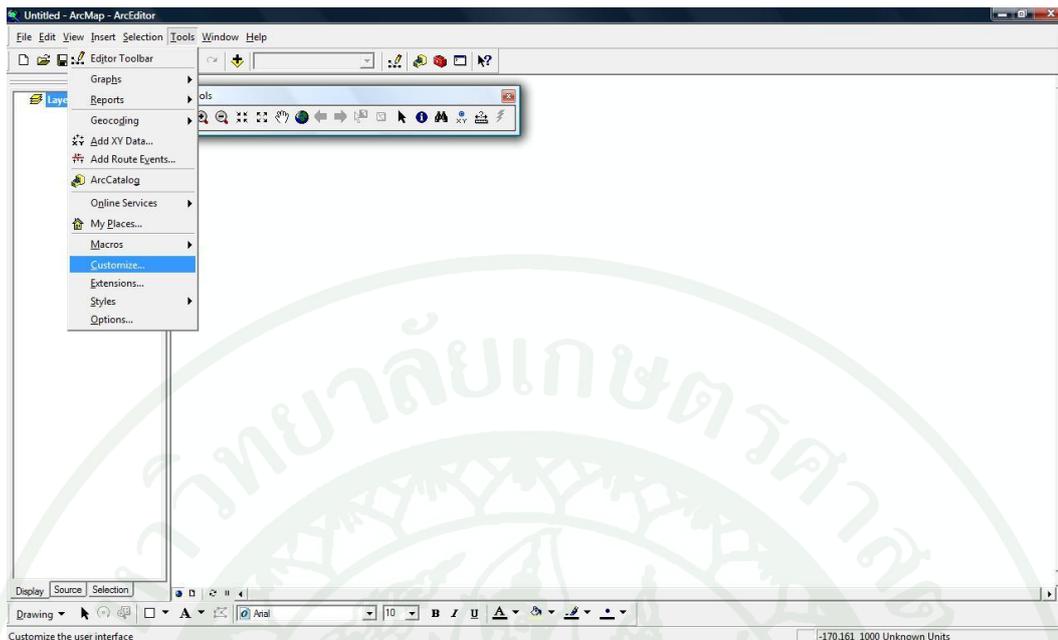
RegAsm : warning RA0000 : Registering an unsigned assembly with /codebase can cause your assembly to interfere with other applications that may be installed on the same computer. The /codebase switch is intended to be used only with signed assemblies. Please give your assembly a strong name and re-register it.
Types registered successfully

C:\Windows\Microsoft.NET\Framework\v2.0.50727>_

```

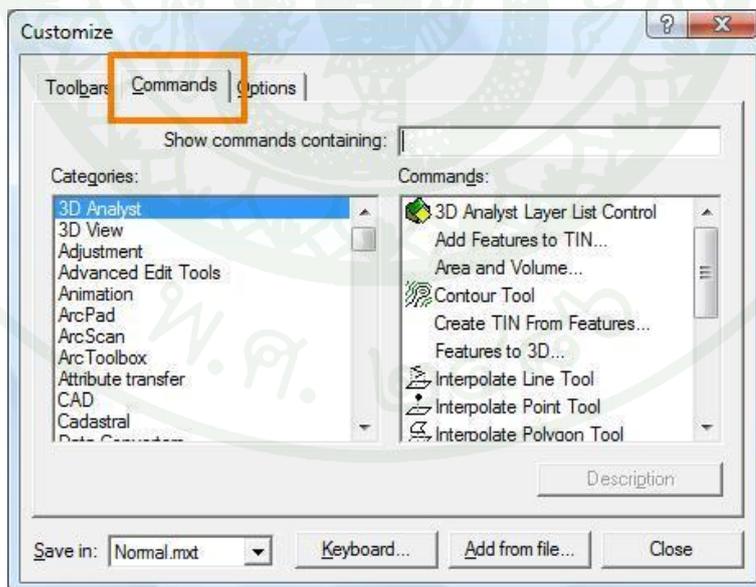
ภาพผนวกที่ ก2 การติดตั้ง MCE-FLOWA ประสบผลสำเร็จ

ขั้นตอนที่ 6 ทำการเปิดโปรแกรม ArcMAP โดยเลือกคำสั่ง  จากเมนูคำสั่ง แล้วทำการเลือก  ดังแสดงในภาพผนวกที่ ก3



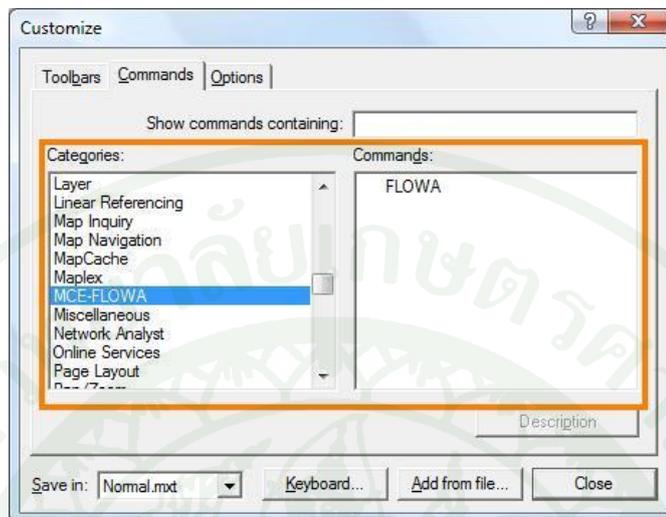
ภาพผนวกที่ ก3 แสดงการเลือกคำสั่งใน ArcMAP

ขั้นตอนที่ 7 ทำการเลือก **Commands** จะปรากฏหน้าต่างดังแสดงดังภาพผนวกที่ ก4



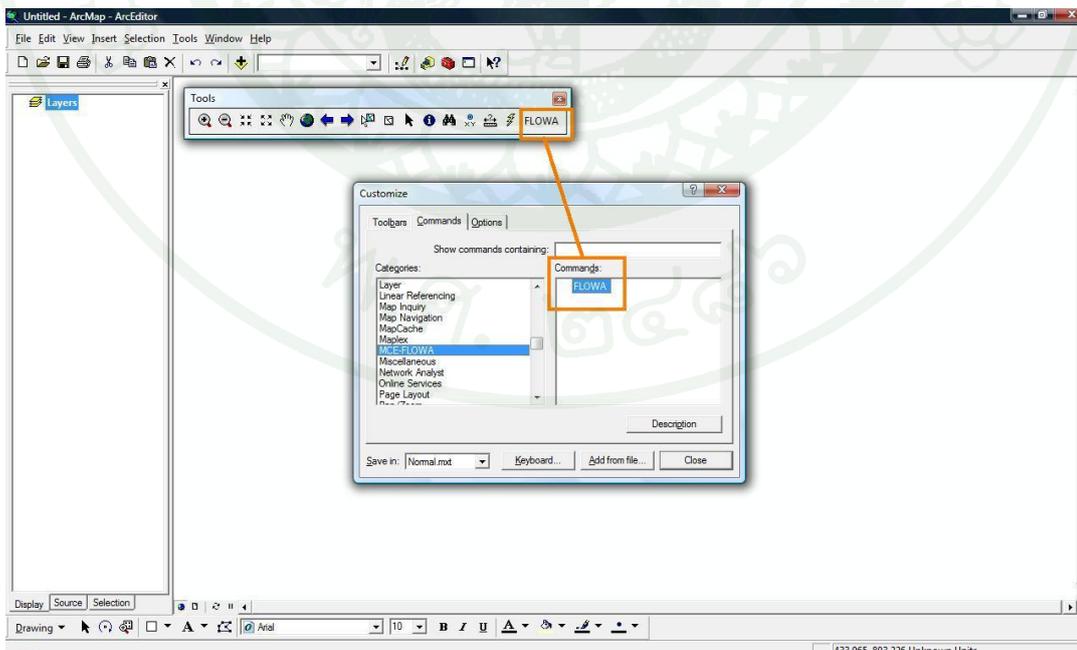
ภาพผนวกที่ ก4 แสดงคำสั่งต่างๆ ในแท็บ Commands

ขั้นตอนที่ 8 ทำการเลือกคำสั่งดังภาพผนวกที่ ๘



ภาพผนวกที่ ๘ การเลือกคำสั่ง MCE – FLOWA

ขั้นตอนที่ 9 เมื่อทำการเลือกคำสั่งแล้วจะปรากฏหน้าจอดังภาพผนวกที่ ๙ ซึ่งพร้อมใช้งานต่อไป



ภาพผนวกที่ ๙ คำสั่ง FLOWA ใน Toolbar พร้อมสำหรับการนำไปใช้งาน



ภาคผนวก ข
วิธีการใช้งานโปรแกรม ArcGIS 9.3

การใช้งานโปรแกรม ArcGIS 9.3

โปรแกรม ArcGIS

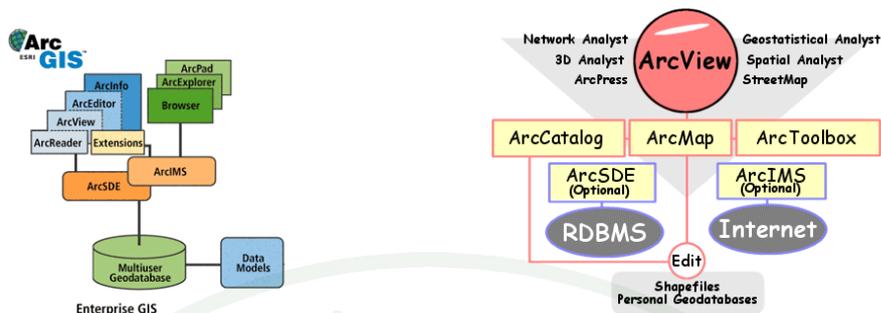
โปรแกรม ArcGIS เป็นชุดโปรแกรมประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งใช้ในการจัดการข้อมูลภูมิสารสนเทศ เพื่อตอบสนองความต้องการการใช้งานของหน่วยงานต่างๆ ทั้งภาครัฐ เอกชน สถานศึกษา ผลิตและจัดจำหน่ายโดยบริษัท ESRI จำกัด

องค์ประกอบของ ArcGIS

องค์ประกอบของ ArcGIS ประกอบด้วยชุดโปรแกรม ArcView ArcEditor ArcInfo เพื่อการนำเข้า แก้ไข วิเคราะห์ และแสดงผลแผนที่ ชุดโปรแกรม ArcSDE และ Enterprise Database เป็นชุดโปรแกรมจัดการระบบฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ ชุดโปรแกรม ArcIMS เป็นชุดโปรแกรมการให้บริการแผนที่ผ่านเครือข่าย

ชุดโปรแกรม ArcView

ArcView มีความสามารถในการเรียกดูข้อมูล (Data Visualization) สืบค้น (Query) วิเคราะห์ (Analysis) และสร้างแผนที่ (Map creation) โดยมีเครื่องมือสำหรับสำรวจดูข้อมูล (Exploring) เลือกริเวณที่สนใจ (Selecting) แสดงผล (Displaying) ปรับแก้ข้อมูล (Editing) วิเคราะห์ (Analyzing) ให้สัญลักษณ์ (Symbolizing) และจำแนกชั้นข้อมูล (Classifying data) รวมทั้งสามารถสร้าง ปรับแก้และจัดการ metadata โครงสร้างของโปรแกรม ArcView ประกอบด้วย ArcMap ArcCatalog และ ArcToolbox



ก. องค์ประกอบของ ArcGIS

ข. โครงสร้างโปรแกรม ArcView

ภาพผนวกที่ ข1 โครงสร้างของโปรแกรม ArcGIS และ โครงสร้างของโปรแกรม ArcView

ที่มา: ฝอยพิฑูล (2547)

โปรแกรมประยุกต์ ArcMap ArcCatalog และ ArcToolbox

ArcMap ใช้สำหรับแสดงภาพ ปรับแก้ข้อมูลเชิงพื้นที่ ที่ สร้างแผนที่ กราฟ และรายงาน ฐานข้อมูล GIS จะแสดงผลบนแผนที่ที่เรียกว่าชั้นข้อมูล (Layer) ในแต่ละชั้นข้อมูลจะแยกเป็น ข้อมูลแต่ละประเภทที่จัดเก็บ ส่วนบริเวณ Table of Content (TOC) ของ ArcMap จะแสดงรายการ ของชั้นข้อมูลบนแผนที่ โดยค่าตั้งต้นของ TOC จะอยู่ด้านซ้ายมือ แต่สามารถเคลื่อนไปอยู่ตำแหน่ง อื่นๆ ได้ตามต้องการ ลำดับการวางชั้นข้อมูลใน TOC จะเป็นลำดับ การแสดงข้อมูลในส่วนแสดง แผนที่ ลำดับที่อยู่บนสุดก็จะแสดงภาพอยู่บนสุดด้วย

ArcCatalog เป็นโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้ติดต่อกับฐานข้อมูล มีประสิทธิภาพหลักคือมี ความสามารถเลือกเส้นทางข้อมูล (browse) ดูโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูล (organize) จำหน่ายจ่าย แจกเอกสารแผนที่หรือข้อมูล ลักษณะของ ArcCatalog มีลักษณะคล้ายกับ Windows Explorer แต่ ต่างกันที่สามารถเรียกดูข้อมูลแผนที่และเมตาดาต้า (Metadata) ได้

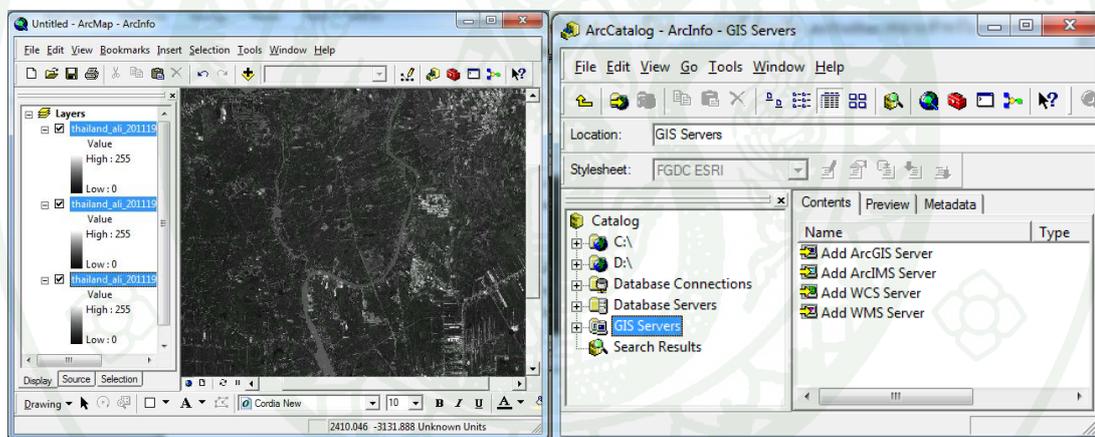
ลักษณะโดยรวมของโปรแกรม ArcGIS

ArcGIS แบ่งเป็นระดับระดับการนำไปใช้งาน 3 ระดับ ซึ่งมีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไป คือ ArcView ArcEditor และ ArcInfo ซึ่งการเลือกนำไปใช้งานแก่องค์กรต้องคำนึงถึงความต้องการ ขององค์กรนั้นๆ เช่น ขนาด และการใช้งานของฐานข้อมูล โดยโปรแกรม ArcGIS สร้างมาจาก

เทคโนโลยี Component Object Model (COM) ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงสามารถให้ผู้ใช้ปรับแก้ไขเองได้หลายส่วน รวมทั้งสร้าง Extensible ไว้ใช้เอง

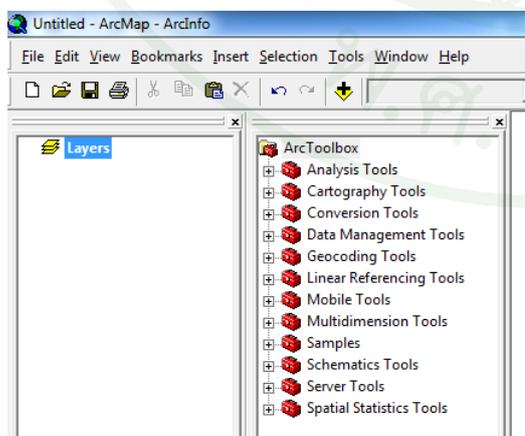
ArGIS ทุกประเภทจะประกอบด้วยโปรแกรมประยุกต์ 3 โปรแกรมด้วยกัน คือ ArcCatalog ArcMap และ ArcToolbox ซึ่งโปรแกรมประยุกต์ทั้งสามสามารถเชื่อมโยงกันในลักษณะ interact ทั้งจากข้อมูล GIS แผนที่และเครื่องมือต่างๆ

ArcCatalog ใช้เพื่อเข้าถึง สร้างฐานข้อมูลและปรับแก้ metadata ส่วน ArcMap เหมาะสำหรับ แสดง ปรับแก้ สืบค้นข้อมูลและสร้างเอกสารแผนที่ สำหรับ ArcToolbox เหมาะสำหรับ วิเคราะห์ทางภูมิศาสตร์ มีเครื่องมือและเครื่องมือพิเศษสำหรับช่วยในการวิเคราะห์และแปลงประเภทข้อมูล



ก. Arcmap

ข. ArcCatalog



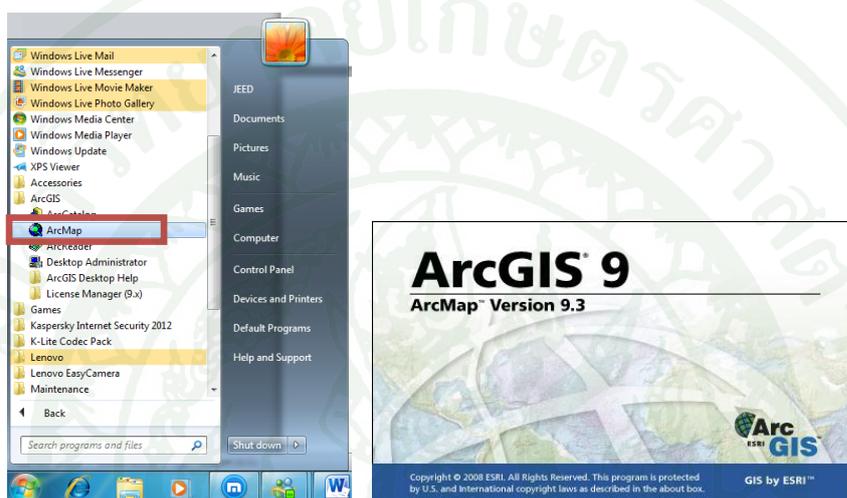
ค. ArcToolBox

ภาพผนวกที่ ข2 ลักษณะหน้าจอของ ArcMap ArcCatalog และ ArcToolbox

การใช้งานเครื่องมือหรือฟังก์ชันพื้นฐานของโปรแกรมประยุกต์ ArcMap

การเปิดโปรแกรม

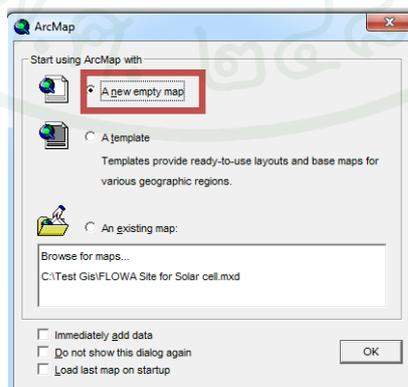
- Click start menu > Programs > ArcGIS > ArcMap



ภาพผนวกที่ ข3 การเปิดโปรแกรม ArcGIS

การเปิดโปรเจกใหม่

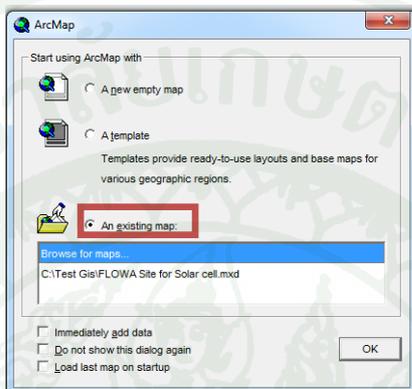
- เลือก A new empty map > Click OK



ภาพผนวกที่ ข4 การเปิดข้อมูลใน ArcGIS

การเปิดโปรเจกต์ที่มีอยู่แล้ว

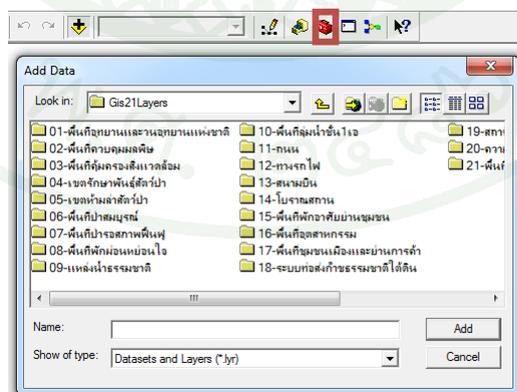
- เลือก An existing map
- เลือก File โปรเจกต์ที่มีอยู่ > Click OK



ภาพผนวกที่ ๖5 การเปิดข้อมูลที่มีอยู่แล้วใน ArcGIS

การเพิ่มชั้นข้อมูล

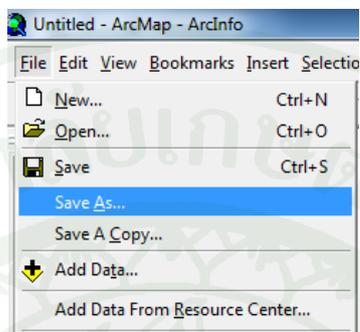
- Click ปุ่ม  บนแถบเครื่องมือเพื่อเพิ่มชั้นข้อมูล
- เลือกข้อมูลที่จะเพิ่ม > Click Add



ภาพผนวกที่ ๖6 การเพิ่มชั้นข้อมูล

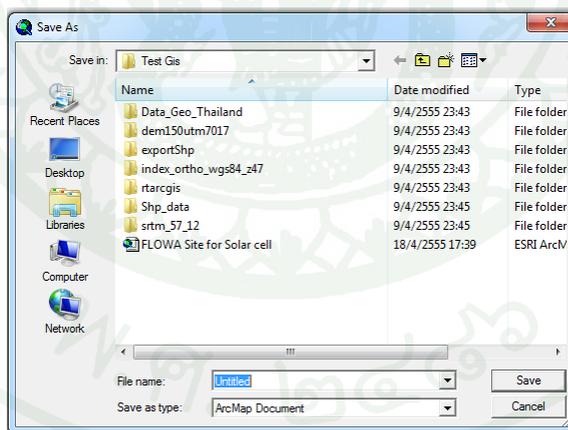
การจัดเก็บโครงสร้าง (Save project)

- Click File > Save As



ภาพผนวกที่ ข7 การจัดเก็บข้อมูล

- เลือกที่สำหรับ Save Project (เลือก Drive)
- พิมพ์ชื่อให้ Project > Click Save



ภาพผนวกที่ ข8 การเลือกที่จัดเก็บข้อมูล

การใช้ชุดคำสั่ง ย่อ ขยาย เลื่อนภาพและการย้อนกลับไปยังคำสั่งสุดท้าย



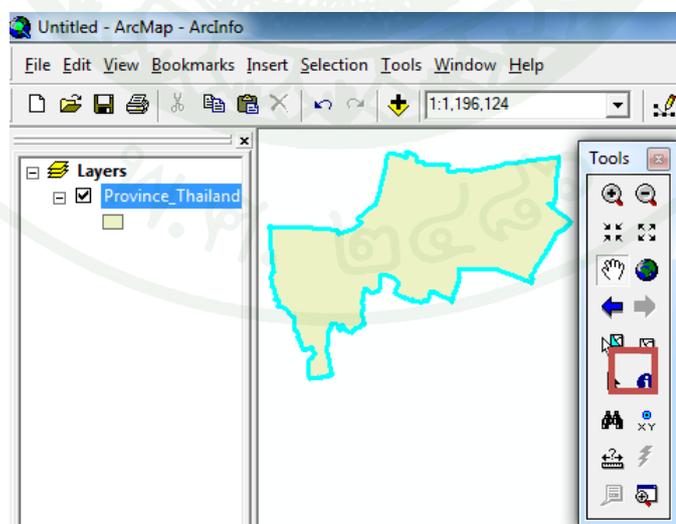
ภาพผนวกที่ ข9 ชุดคำสั่งในการจัดการข้อมูล

1. ใช้สำหรับขยายภาพ
2. ใช้สำหรับย่อภาพ
3. ใช้ขยายแบบตรึง Scale
4. ใช้ย่อแบบตรึง Scale
5. ใช้ในการเลื่อนภาพ
6. ใช้ในการดูแบบเต็มขอบเขตภาพ
7. ใช้เพื่อย้อนกลับไปยังคำสั่งสุดท้าย
8. ใช้เพื่อย้อนไปการกระทำของคำสั่งที่เลิกทำ

การ Select ข้อมูลและการ Clear Selection

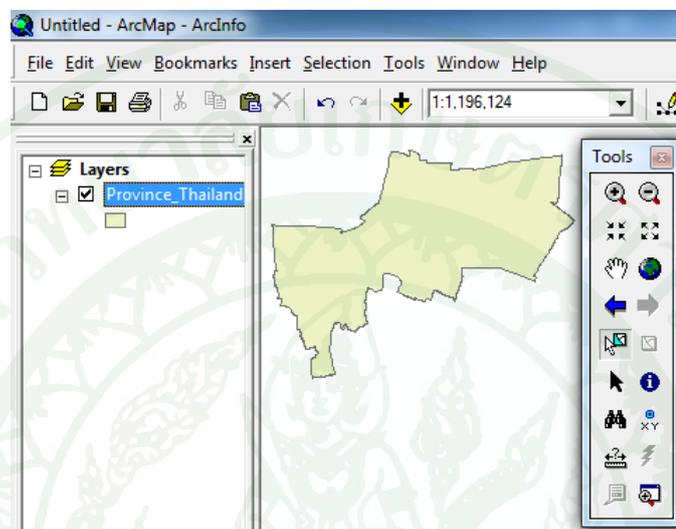
กรณีการ Select ข้อมูลบนแผนที่

- Click เลือก  บนแถบเครื่องมือ
- นำมา Click ที่ Feature ที่ต้องการเลือก



ภาพผนวกที่ ข10 การ Select ข้อมูลบนแผนที่

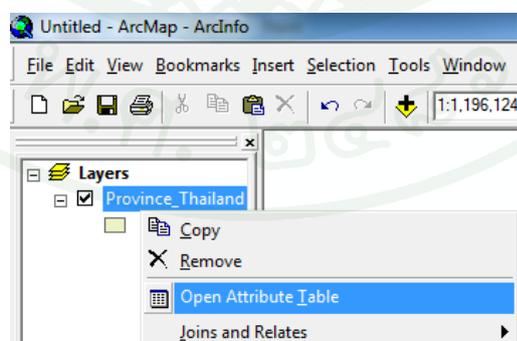
- หากต้องการเลือกหลาย Feature ให้กด Shift ขณะที่ Click เลือก Feature ที่ต้องการ
- ให้ Click เลือก  เหมือนการ Selection
- นำลูกศรไป Click ยังจุดที่ไม่ใช่แผนที่ก็จะเป็นการ Clear Selection แล้ว



ภาพผนวกที่ ข11 การ Clear Selection ข้อมูลบนแผนที่

กรณีการ Select ข้อมูลในตาราง Attribute

- Click ขวาที่ Layer ที่ต้องการเลือก > Click เลือก Open attribute เพื่อเปิดตาราง



ภาพผนวกที่ ข12 การเปิดตาราง Attribute

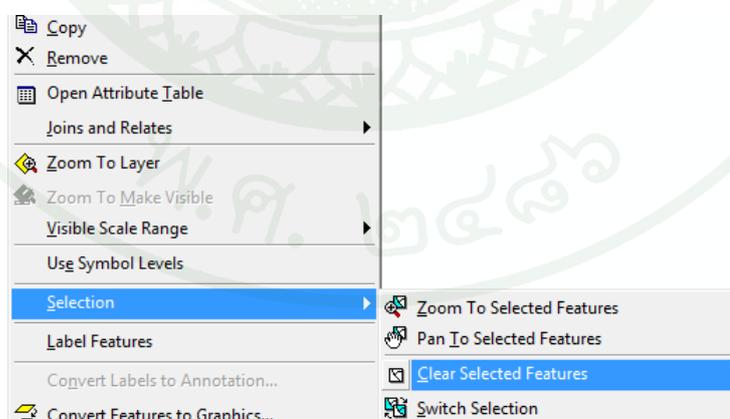
- Click ที่ช่องสี่เหลี่ยมหน้าแถวของข้อมูล (ด้านซ้ายของตาราง) ที่ต้องการเลือก กรณีต้องการเลือกหลายข้อมูลให้กด Ctrl ขณะที่ Click เลือกด้วย

FID	Shape_l	Area	Province_n	Shape_Leng	Shape_Area
0	Polygon	1805846.38	กรุงเทพฯ	685379.3286	2889034216.
1	Polygon	2921436.24	นครราชสีมา	561218.9642	4674297989.
2	Polygon	1228737.59	เชียงใหม่	317010.6990	1965980198.
3	Polygon	2796697.81	ขอนแก่น	547392.9335	4474716504.
4	Polygon	2807040.06	นครราชสีมา	384540.7399	4491264102.
5	Polygon	2408211.07	พิษณุโลก	349001.5924	3853137717.
6	Polygon	4840853.24	ขอนแก่น	679027.3351	7745365199.
7	Polygon	341718.847	อุบลราชธานี	313054.6218	546750155.4
8	Polygon	3755391.61	นครราชสีมา	732039.1733	6008626580.

ภาพผนวกที่ ข13 การ Select ข้อมูลในตาราง Attribute

การ Clear Selection ในตาราง Attribute

- เปิดตาราง Attribute > Click > เลือก Option > เลือก Clear Selection
 - ในแผนที่จะแสดงพื้นที่ที่ถูกเลือกพร้อมกันกับที่มีการ Click เลือกข้อมูลในตาราง Attribute ด้วย

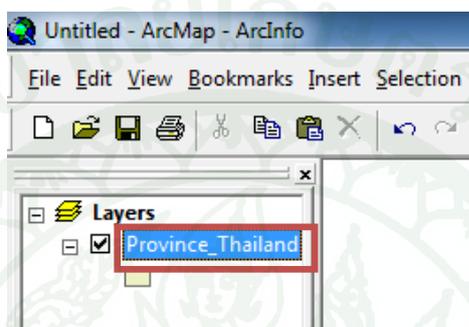


ภาพผนวกที่ ข14 การ Clear Selection ในตาราง Attribute

การใส่และปรับแต่ง Label

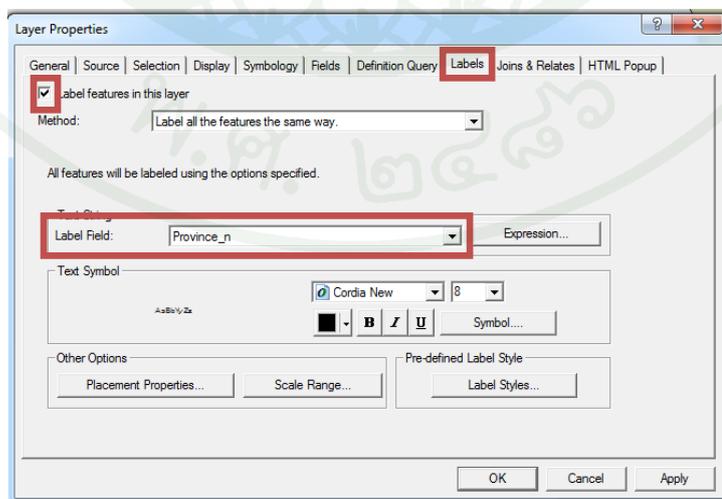
กรณีที่ต้องการให้แสดง Label ของ Feature ทั้งหมด

- Double click Theme ที่จะทำการใส่ Label



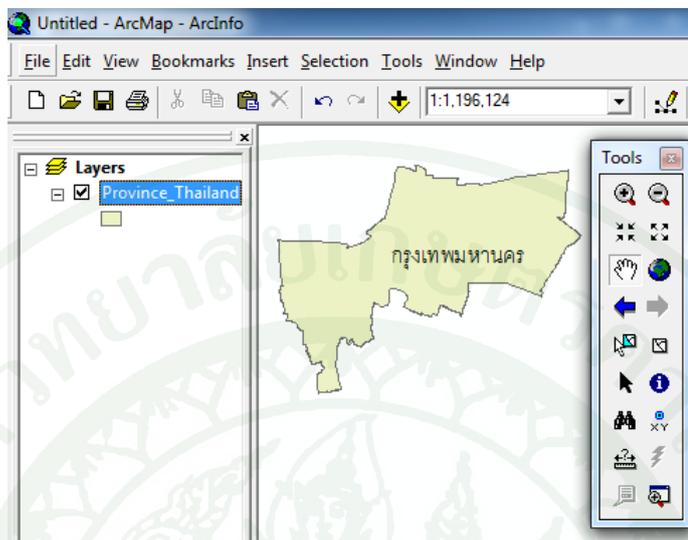
ภาพผนวกที่ ข15 การเลือก Theme เพื่อทำ Label

- ทำเครื่องหมาย หน้า Label Features in this layer
- ในช่อง Method กำหนดให้เป็น Label all the features the same way เพื่อให้แสดง Label ของ Feature ทั้งหมด
- ช่อง Label Field ให้เลือก Field ที่ต้องการจะแสดงข้อมูล และ Click Apply > Click OK



ภาพผนวกที่ ข16 การใส่ Label ให้แผนที่

- แสดงผลที่ได้จากการใส่ Label



ภาพผนวกที่ ข17 ผลการใส่ Label ให้แผนที่

การใส่สีและปรับแต่งสัญลักษณ์

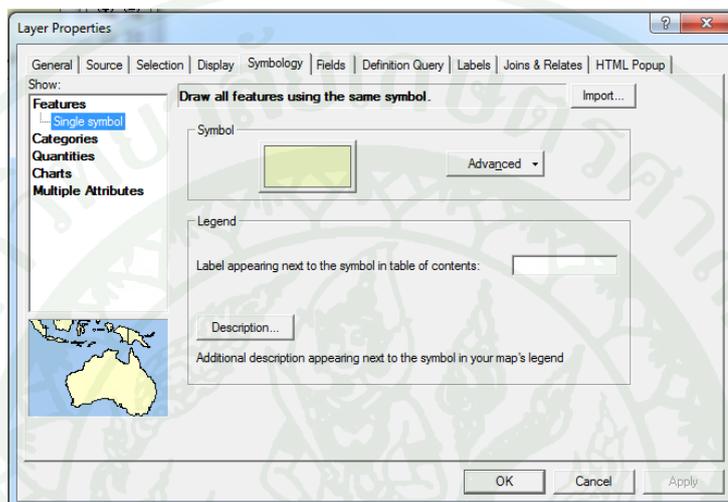
การแก้ไขสัญลักษณ์และการทำ Thematic Map มีรายละเอียดดังนี้

- Single Symbol ใช้สัญลักษณ์เดียวแทนข้อมูลทั้งหมด
- Categories – Unique value แต่ละข้อมูล (แต่ละ Feature) แสดงด้วยสัญลักษณ์ที่แตกต่างกัน
- Quantities แต่ละสัญลักษณ์จะแสดงขนาดของข้อมูลที่แตกต่างกัน เช่น ใช้ความเข้มของช่วงสีแบ่งตามค่าของข้อมูลหรือใช้ขนาดสัญลักษณ์แสดงข้อมูลที่มีปริมาณแตกต่างกัน
- Chart ใช้กราฟแสดงข้อมูลในแผนที่
- Multiple Attributes การใช้ข้อมูลมากกว่า 1 ชุดในการจำแนกข้อมูล

กรณีเลือกแบบ Single symbol

- Double Click Theme ที่ต้องการจะใส่หรือปรับแต่งสัญลักษณ์
- จะปรากฏหน้าต่าง Layer Properties

- เลือกหน้า Symbology แล้วเลือก Feature จากนั้นเลือก Single symbol
- Click สีหรือสัญลักษณ์
- เลือกสีหรือสัญลักษณ์ที่ต้องการแล้ว Click OK
- Click Apply แล้ว Click OK



ภาพผนวกที่ ข18 การเลือกแบบ Single symbol

กรณีเลือกแบบ Unique values

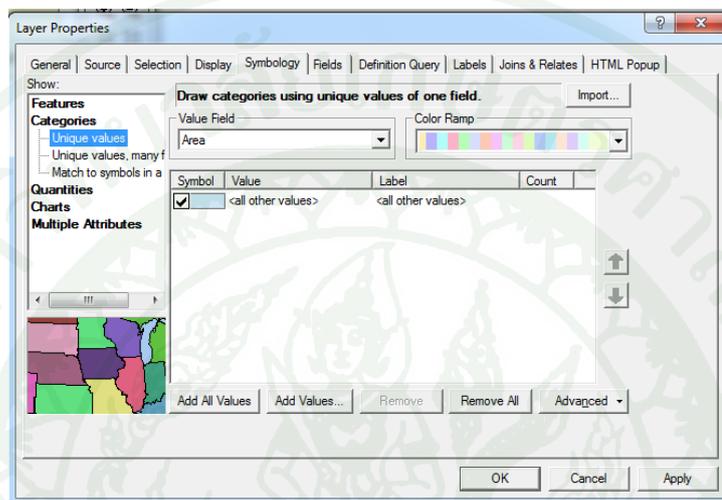
- เลือกหน้า Symbology แล้วเลือก Categories เลือก Unique values
- ช่อง Value Field ให้เปลี่ยนเป็น Field ที่จะแสดงข้อมูล
- สามารถเลือกเปลี่ยนสีได้ที่ช่อง Color Scheme
- Click Add All Values > Click Apply > Click OK

กรณีเลือกแบบ Quantities

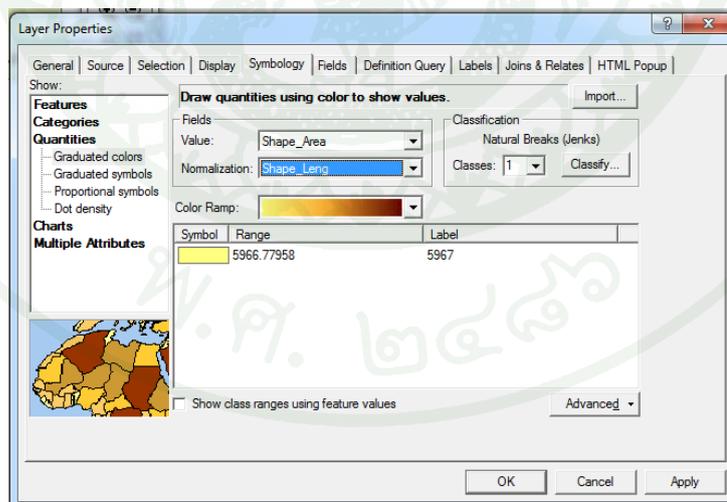
- Double Click Theme ที่ต้องการจะใส่สีหรือปรับแต่งสัญลักษณ์ จะปรากฏหน้าต่าง Layer Properties

- เลือกรุ่น Symbology แล้วเลือก Quantities จากนั้นเลือกวิธีที่จะให้แสดงบนแผนที่ เช่น เลือก Graduated colors ก็จะมีช่องให้ตั้งค่าต่างๆ เช่น ช่อง Field ให้ตั้งค่า Value และ Normalization ช่อง Classification และช่อง Color Ramp เป็นต้น

- Click Apply > Click OK



ภาพผนวกที่ ข19 การเลือกแบบ Unique value



ภาพผนวกที่ ข20 การเลือกแบบ Quantities

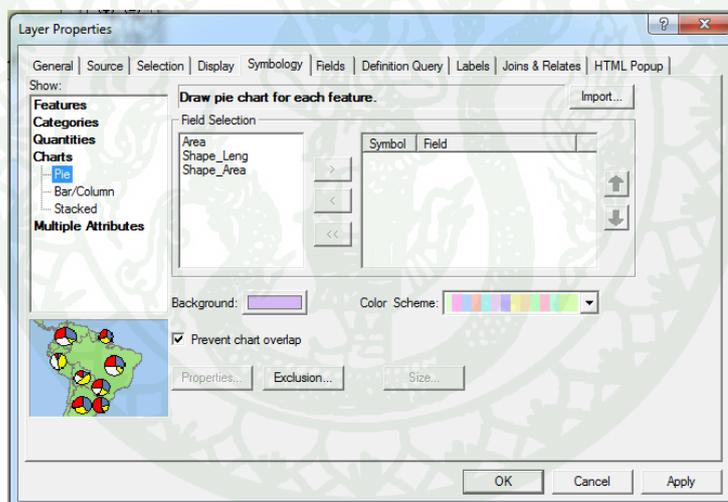
กรณีเลือกแบบ Charts

- Double Click Theme ที่ต้องการจะใส่หรือปรับแต่งสัญลักษณ์ จะปรากฏหน้าต่าง Layer Properties

- เลือกหน้า Symbology แล้วเลือก Charts ในกรณีที่ต้องการให้แผนที่นั้นแสดงแผนภูมิจะมีรูปแบบของ Charts ให้เลือก เช่น Pie, Bar/Column และ Stacked ตัวอย่างเช่นเลือก Pie ก็จะต้องตั้งค่าต่างๆ ในช่อง Field Selection ให้เลือก Field ที่เราต้องการให้แสดงเป็นแผนภูมิ อาจมี Field เดียวหรือหลาย Field ก็ได้

- Click เพื่อ Add ข้อมูลจะปรากฏชื่อ Field และสีสัญลักษณ์ทางด้านขวา ซึ่งสามารถ Click เปลี่ยนสีได้และสามารถปรับขนาดของ Pie ได้ที่ปุ่ม Size

- เมื่อตั้งค่าต่างๆ เรียบร้อยแล้ว Click Apply > Click OK



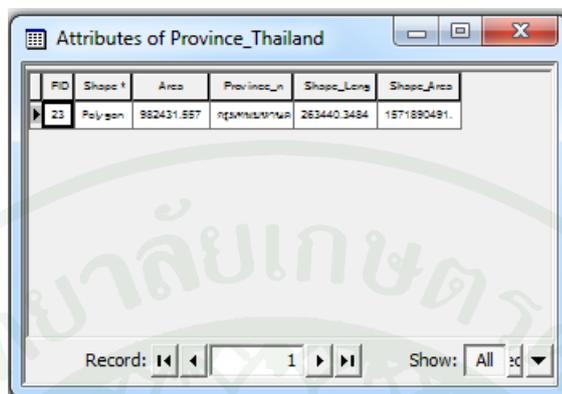
ภาพผนวกที่ ข21 การเลือกแบบ Charts

การจัดตารางข้อมูลเชิงบรรยาย (Attribute data)

การเปิดตาราง

- Click Layer ที่เราจะให้แสดงข้อมูลเชิงบรรยาย (Attribute)
- Click ขวา Layer ที่เราจะให้แสดงข้อมูลเชิงบรรยาย

- เลือก Open Attribute ข้อมูลเชิงบรรยายก็จะแสดงขึ้นมา



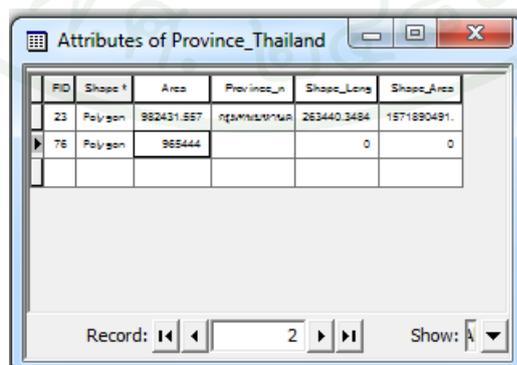
ภาพผนวกที่ ข22 การเปิดตารางข้อมูลเชิงบรรยาย (Attribute Data)

การแก้ไขตาราง

- Click Editor > Start Editing



ภาพผนวกที่ ข23 การแก้ไขตารางโดยเลือก Start Editing



ภาพผนวกที่ ข24 การแก้ไขตาราง

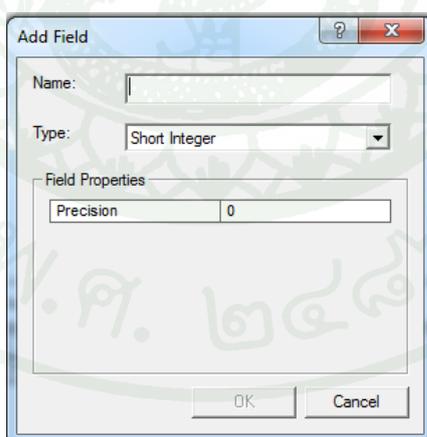
การเพิ่มคอลัมน์ (Add Field)

- Click Option ในตารางแล้วเลือก Add Field



ภาพผนวกที่ ข25 การ Add Field เพื่อเพิ่มข้อมูลตาราง

- จะปรากฏหน้าต่าง Add Field ขึ้นมา
- ในช่อง Type ให้เปลี่ยนลักษณะของข้อมูลที่ต้องการให้แสดงใน Field ที่สร้างขึ้นใหม่ เช่น ต้องการให้เป็นตัวเลขก็ให้เลือก Short Integer หรือ Long Integer ถ้าต้องการให้เป็นตัวอักษรก็ให้เลือก Text เป็นต้น
- Click OK จะแสดง Field ใหม่ขึ้นมาบนตาราง

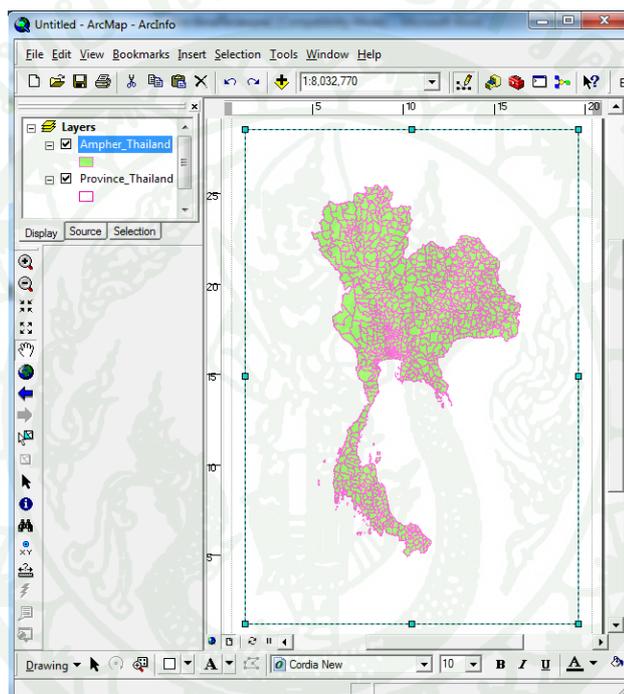


ภาพผนวกที่ ข26 การเลือกลักษณะข้อมูลใน Field

การสร้างแผนที่

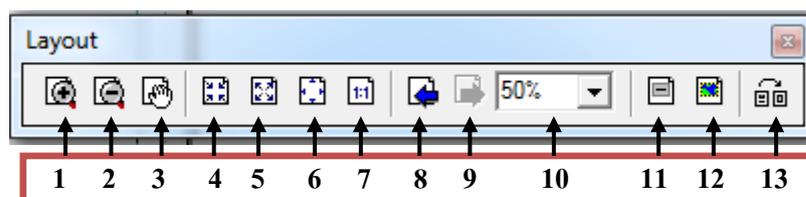
การเปิด Layout View

- ทำการเลือกชั้นข้อมูลเพื่อจะทำการสร้างแผนที่
- จากนั้นทำการเลือก  จะปรากฏลักษณะการแก้ไขแผนที่ดังภาพผนวกที่ ข27



ภาพผนวกที่ ข27 การเปิด Layout View

การใช้เครื่องมือ Layout tool

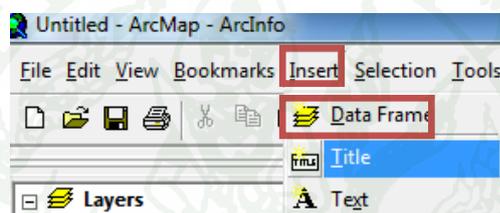


ภาพผนวกที่ ข28 เครื่องมือ Layout tool

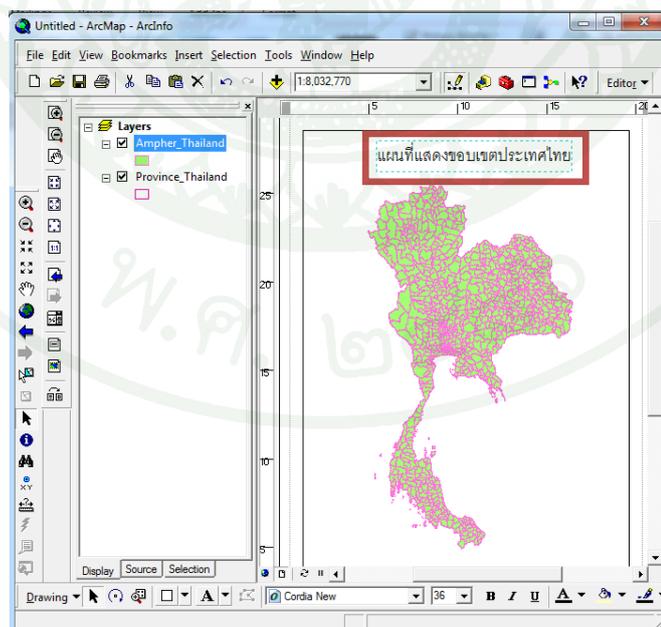
1. Zoom in
2. Zoom out
3. Pan
4. Fixed zoom in
5. Fixed zoom out
6. Zoom whole page
7. Zoom to 100%
8. Go back to extent
9. Go forward to extend
10. Zoom control
11. Toggle draft mode
12. Focus data frame
13. Change layout

การใส่ชื่อแผนที่

- ทำการเลือก Insert > Title
- จะปรากฏแถบในการใส่ชื่อแผนที่ ดังภาพผนวกที่ ข30



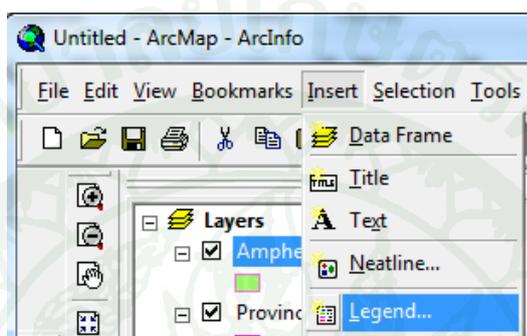
ภาพผนวกที่ ข29 การใส่ชื่อแผนที่



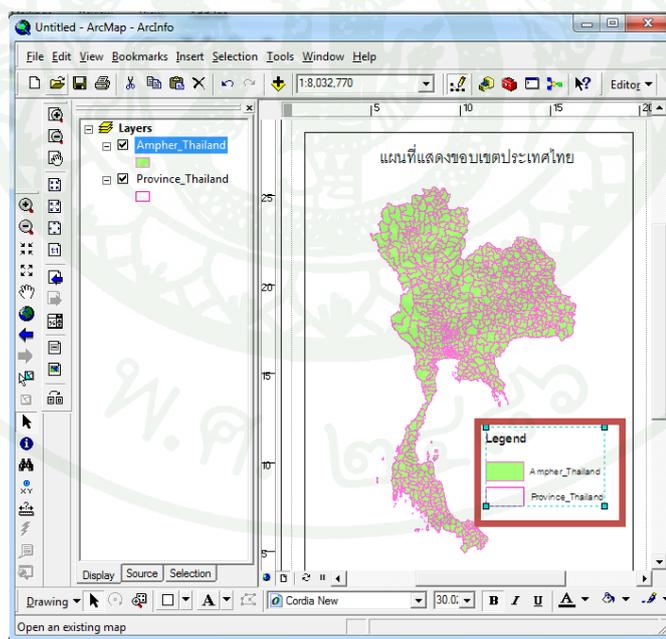
ภาพผนวกที่ ข30 แผนที่เมื่อทำการใส่ชื่อแผนที่

การใส่คำอธิบายสัญลักษณ์

- ทำการเลือก Insert > Legend
- จะปรากฏแถบในการใส่ชื่อแผนที่ ดังภาพผนวกที่ ข31
- จากนั้นทำการปรับแต่งค่าต่างๆ



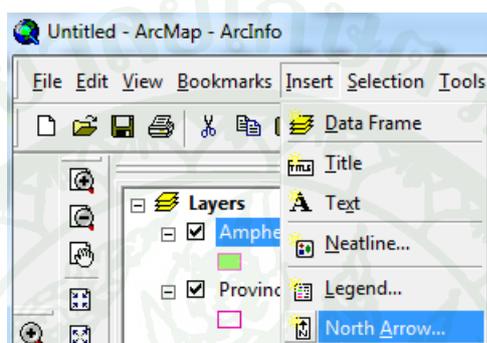
ภาพผนวกที่ ข31 การใส่คำอธิบายสัญลักษณ์



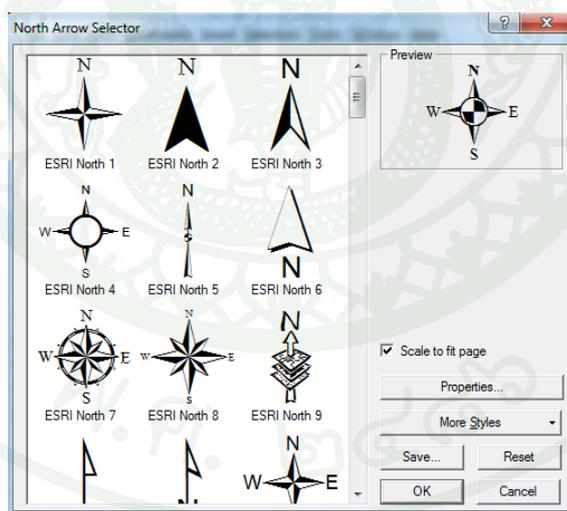
ภาพผนวกที่ ข32 แผนที่ที่ทำการใส่สัญลักษณ์

การใส่ทิศ

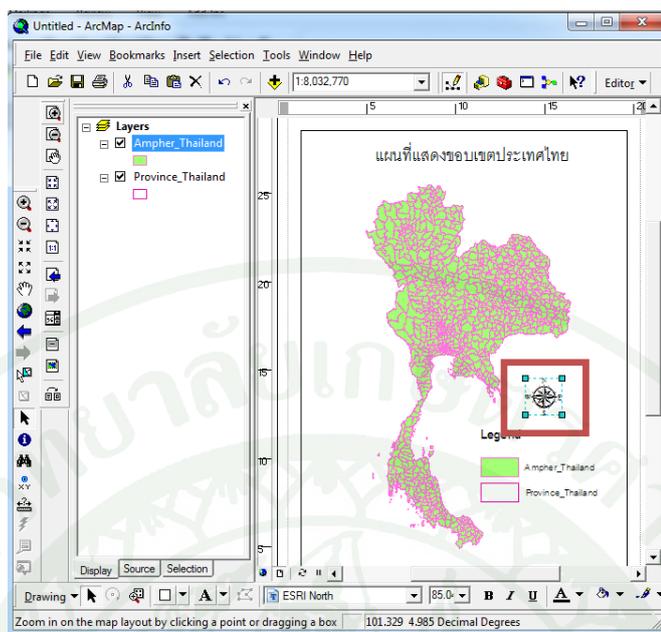
- ทำการเลือก Insert > North Arrow
- จะปรากฏแถบในการใส่ชื่อแผนที่ ดังภาพผนวกที่ ข33
- จากนั้นทำการปรับแต่งค่าต่างๆ



ภาพผนวกที่ ข33 การใส่ทิศ



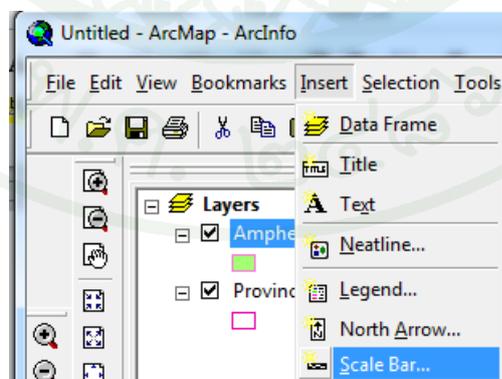
ภาพผนวกที่ ข34 ลักษณะของสัญลักษณ์ทิศแบบต่างๆ



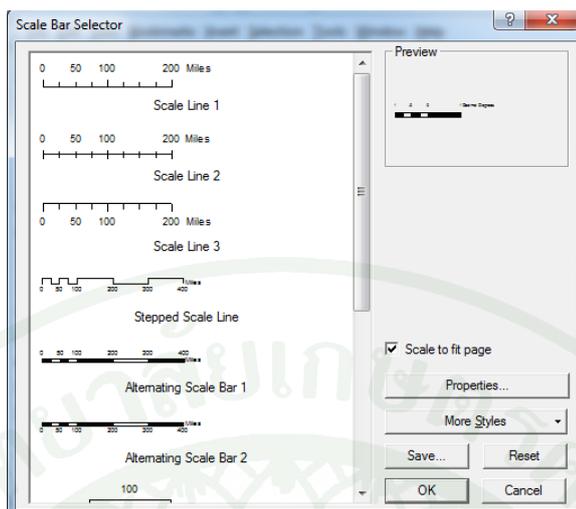
ภาพผนวกที่ ข35 แผนที่ที่ทำการใส่สัญลักษณ์ทิส

การใส่มาตราส่วน

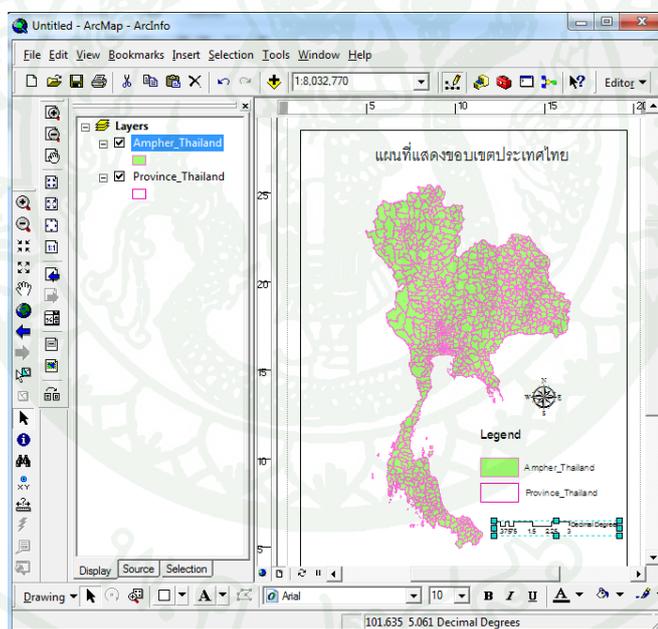
- ทำการเลือก Insert > Scale Bar
- จะปรากฏแถบในการใส่ชื่อแผนที่ ดังภาพผนวกที่ ข36
- จากนั้นทำการปรับแต่งค่าต่างๆ



ภาพผนวกที่ ข36 การใส่มาตราส่วน



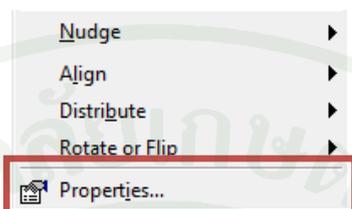
ภาพผนวกที่ ข37 ลักษณะของสัญลักษณ์มาตราส่วนแบบต่างๆ



ภาพผนวกที่ ข38 แผนที่ที่ทำการใส่มาตราส่วน

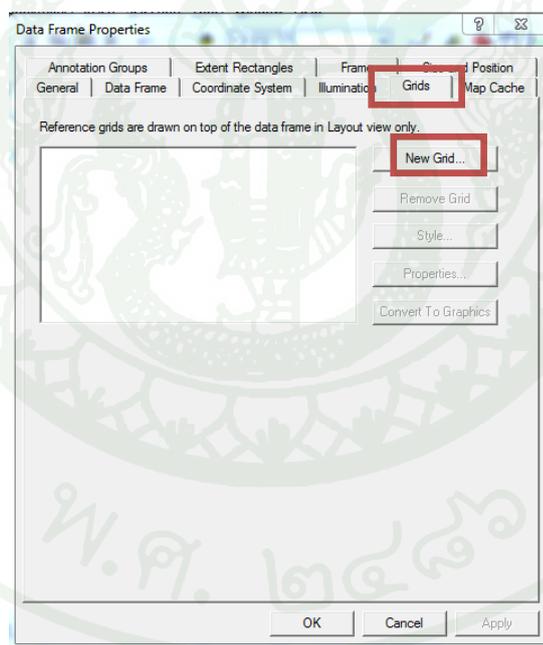
การใส่เส้นกริด

- ทำการ Right Click > Properties



ภาพผนวกที่ ข39 การดำเนินการเพื่อใส่เส้นกริด

- ปรากฏหน้าต่าง Data frame Properties > Grids > New Grid



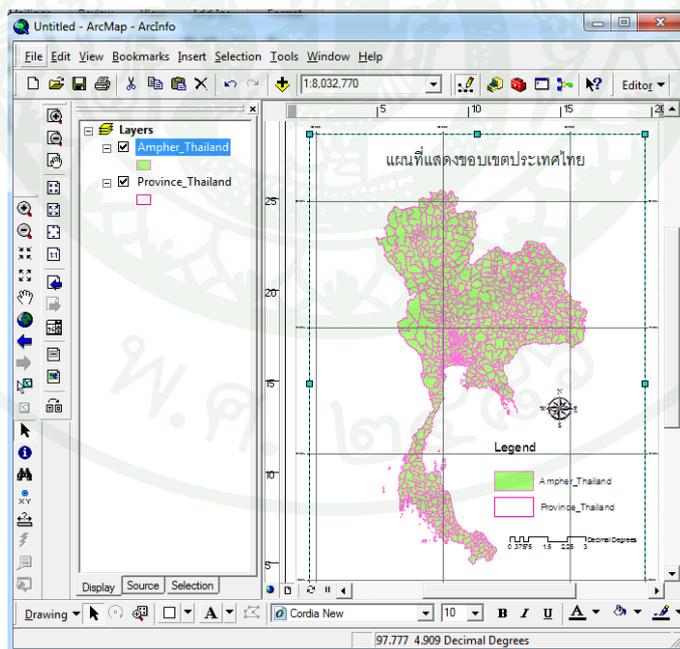
ภาพผนวกที่ ข40 การเพิ่มเส้นกริดในแผนที่

- ปรากฏหน้าต่างการสร้าง Grid ซึ่งแบ่งเป็น 3 แบบ



ภาพผนวกที่ ข41 การเลือกประเภทเส้นกริดในแผนที่

- ทำการเลือกค่าและปรับแต่งค่าต่างๆ



ภาพผนวกที่ ข42 แผนที่ที่เพิ่มเส้นกริด



การประยุกต์การใช้แผนที่ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์กับแผนที่แสดงความเหมาะสมของพื้นที่สำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย โดยพิจารณาพื้นที่ จังหวัดสุโขทัย

การคัดเลือกพื้นที่ที่มีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ พิจารณาตามแผนที่ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้จัดทำ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน) พบว่าบางส่วนของพื้นที่จังหวัดสุโขทัยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ที่ค่อนข้างสูง ในการพิจารณาพื้นที่เพื่อการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ต้องพิจารณาข้อจำกัดเชิงพื้นที่ต่างๆ ด้วย โดยได้ทำการพิจารณากับแผนที่แสดงความเหมาะสมของพื้นที่สำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยที่ได้จัดทำขึ้นร่วมกับโปรแกรม Google Earth ซึ่งสามารถทำการประเมินพื้นที่ได้สะดวกยิ่งขึ้น โดยมีการจัดทำดังนี้

การสร้างแผนที่แสดงความเหมาะสมสำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยในรูปแบบ KML

KML (Keyhole Markup Language) เป็นโครงสร้างภาษา XML รูปแบบหนึ่งที่ใช้สำหรับการแสดง ข้อมูลเชิงพื้นที่บนโปรแกรม Google Earth โดยที่ Google ใช้ KML นี้ในการสร้างชั้นข้อมูลต่างๆ การแสดงข้อมูลทั้ง จุด เส้นหรือรูปหลายเหลี่ยมต่างๆ ล้วนสร้างมาจาก KML ทั้งสิ้น เวอร์ชันปัจจุบันเรียกว่า KML 2.0 ส่วนรูปแบบที่จัดเก็บไว้จะเป็นรูปแบบที่ประหยัดพื้นที่เรียกว่า KMZ ซึ่งก็คือ zip format ของ KML

Google Earth เป็นโปรแกรมสำหรับค้นหาพื้นที่ต่างๆ บนโลก โดยภาพที่มองเห็นเป็นภาพจากสัญญาณดาวเทียม ที่ผสมผสานกับเทคโนโลยี streaming และทำการเชื่อมโยงข้อมูลจากฐานข้อมูลของ Google เพื่อนำเราไปยังจุดต่างๆ ที่ต้องการบนแผนที่โลกดิจิทัล ที่แสดงพื้นที่จริงบริเวณนั้น ซึ่งเราสามารถ Zoom เข้าดูรายละเอียดหรือค้นหาตำแหน่งสถานที่สำคัญ เช่น โรงแรมที่พัก โรงพยาบาล สถานีตำรวจ หรือเส้นทางการเดินทาง แผนที่นี้เกิดจากการสะสมภาพถ่ายจากหลายๆ แหล่งข้อมูล จากดาวเทียมหลายดวง เพียงแต่นำมาประดิษฐ์ประต้อกันเหมือนกับว่าเป็นพื้นเดียวกัน แต่ละจุดจะมีความละเอียดของภาพถ่ายไม่เท่ากัน แต่ด้วยความสามารถในการประมวลผลภาพถ่ายทำให้เหมือนกับว่าเป็นพื้นเดียวกัน จากนั้นก็นำข้อมูลอื่นๆ มาซ้อนทับภาพถ่ายเหล่านี้อีกชั้นหนึ่ง ซึ่งแต่ละชั้น (layer) ก็จะแสดงรายละเอียดต่างๆ เช่น ที่ตั้งโรงพยาบาล สถานีตำรวจ สนามบิน และชั้นของข้อมูลอื่นๆ อีกมากมาย ทั้งแบบที่ Google จัดเตรียมไว้ให้แล้วหรือมีบริษัทอื่นๆ มาให้บริการชั้นข้อมูลเหล่านี้ รวมไปถึงชั้นข้อมูลที่เรากำหนดขึ้นเอง

การติดตั้งโปรแกรม Google Earth

การติดตั้งโปรแกรม Google Earth สามารถ Download ได้จาก Internet ใน Web Site <http://earth.google.com/download-earth.html>

การใช้งานโปรแกรม Google Earth



ภาพผนวกที่ ๑ แสดงหน้าหน้าจอของโปรแกรม Google Earth

ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. ออนไลน์. (ม.ป.ป.)

ส่วนที่ 1 การค้นหาตำแหน่งสถานที่ตั้ง (Search) เราสามารถทำการ Search ข้อมูลสถานที่ที่ต้องการได้ โดยการกรอกข้อมูลลงในช่องกรอกรายละเอียดจากนั้นทำการกดปุ่ม Search โดยแบ่งเป็นประเภทของการค้นหาข้อมูลได้ 3 ลักษณะคือ

- Fly to ค้นหาแบบระบุชื่อสถานที่หรือกำหนดพิกัด
- Local search ค้นหาแบบกำหนดเงื่อนไข
- Directions ค้นหาแบบกำหนดเงื่อนไขจากต้นทางไปยังปลายทาง

ส่วนที่ 2 การเลือกสถานที่สำคัญจากทั่วโลก (Places) เราสามารถทำการค้นหาสถานที่สำคัญที่ต้องการจากทั่วโลกได้ โดยการคลิกที่ชื่อสถานที่นั้นและโปรแกรมจะแสดงภาพของสถานที่ดังกล่าวเช่นเดียวกับใช้คำสั่ง Fly to ใน Search

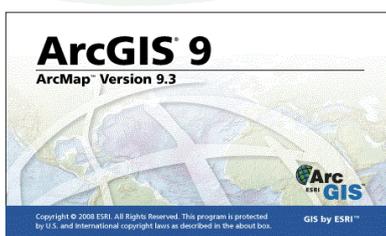
ส่วนที่ 3 แสดงตำแหน่งที่ตั้งจากข้อความสำคัญ (Layer) เราสามารถทำการเลือกให้โปรแกรมแสดงข้อมูลที่ต้องการลงบนแผนที่ได้ จากการเลือกหมวดของสิ่งที่ต้องการค้นหา เมื่อทำการเลือกหมวดที่ต้องการแสดงแล้ว หลังจากนั้นโปรแกรมจะทำการแสดงตำแหน่งของข้อมูลที่เราเลือกลงบนแผนที่

ส่วนที่ 4 แสดงปุ่มการควบคุมแผนที่ (Navigation Panel) เราสามารถทำการปรับการแสดงผลบนแผนที่โดยการกดปุ่มต่างบน Navigation Panel

- Zoom in, Zoom out ขยายและย่อขนาดภาพ
- Rotate left, rotate right หมุนภาพ
- ปุ่มลูกศร สำหรับเลื่อนแผนที่ไปยังทิศที่ต้องการ
- Tilt up, Tilt down เลื่อนองศาของการมองจากแนวราบถึงแนวตั้ง (0-90 °)

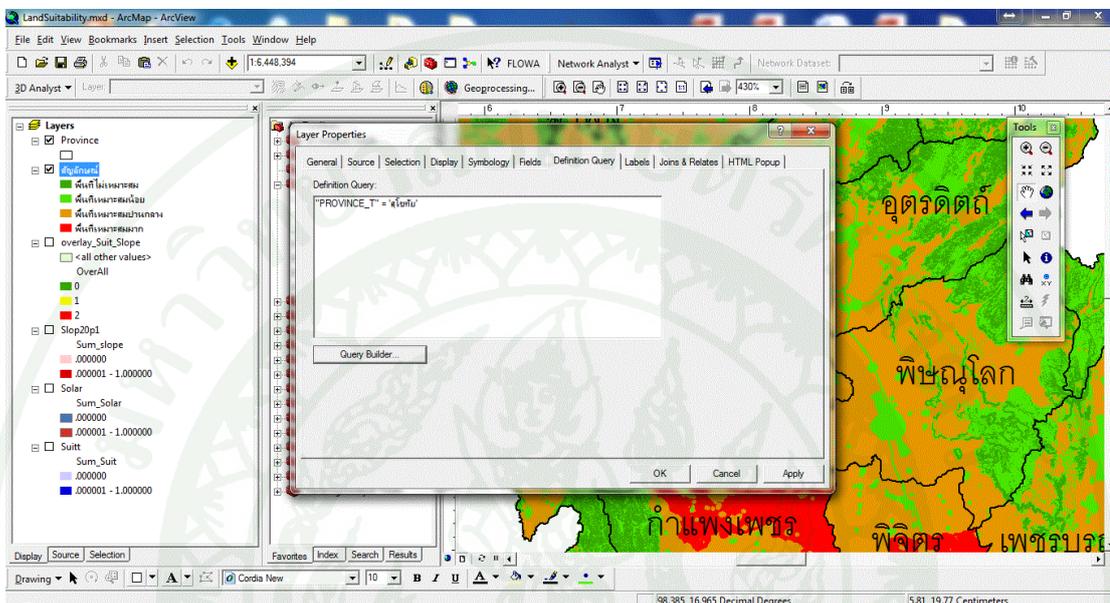
การสร้างไฟล์ KML

การนำข้อมูลมาสร้างเป็น KML นั้นสามารถทำได้ทั้งที่เป็นจุด เส้นและรูปหลายเหลี่ยม ในที่นี่ทำการสร้างจากโปรแกรม ArcGIS Desktop 9.3 ซึ่งจะมีเครื่องมือที่รองรับการทำเป็น KML โดยตรง และจะทำการสร้างจากแผนที่แสดงความเหมาะสมสำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยโดยทำการคัดเลือกเฉพาะจังหวัดสุโขทัย เป็นกรณีศึกษา แสดงการสร้างดังนี้

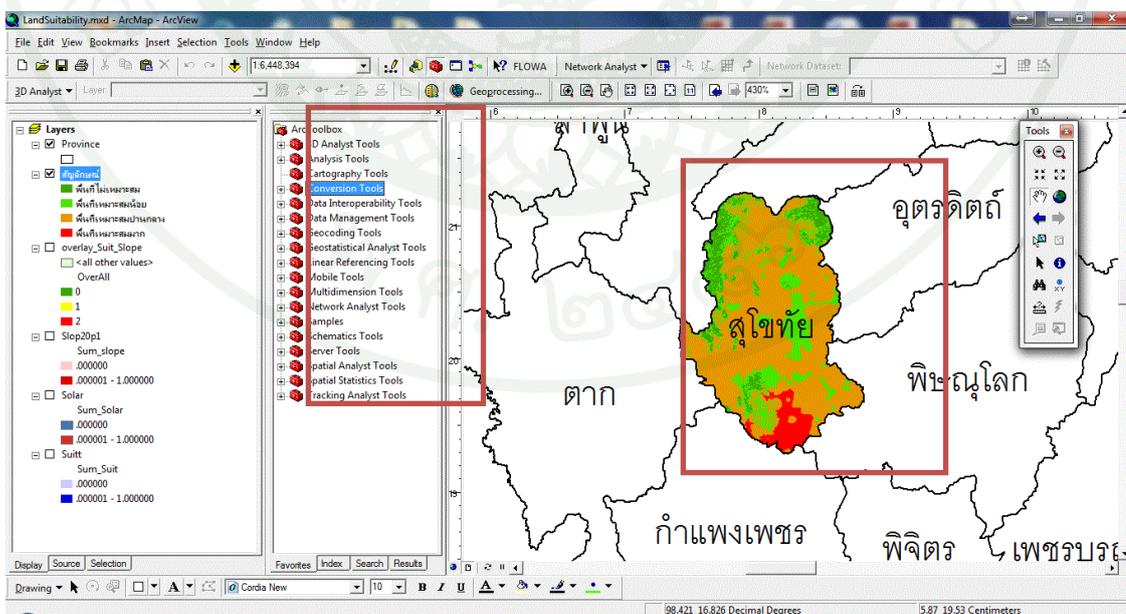


ภาพผนวกที่ ๒ ทำการเปิดโปรแกรม ArcGIS 9.3

ทำการเลือกข้อมูลที่เราต้องการทำเป็น KML โดยข้อมูลที่เราทำการเลือก คือ ชั้นข้อมูลแสดงความเหมาะสมของพื้นที่สำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยซึ่งมีการคัดเลือกเฉพาะบริเวณจังหวัดสุโขทัยเท่านั้น จากนั้นจะใช้คำสั่ง Conversion tool ในการจัดการข้อมูล

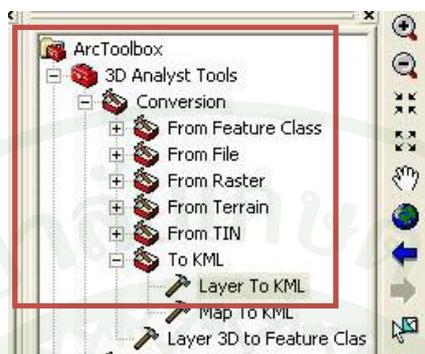


ภาพผนวกที่ ๓ การจัดทำ Query Builder สำหรับคัดเลือกขอบเขตจังหวัดสุโขทัย

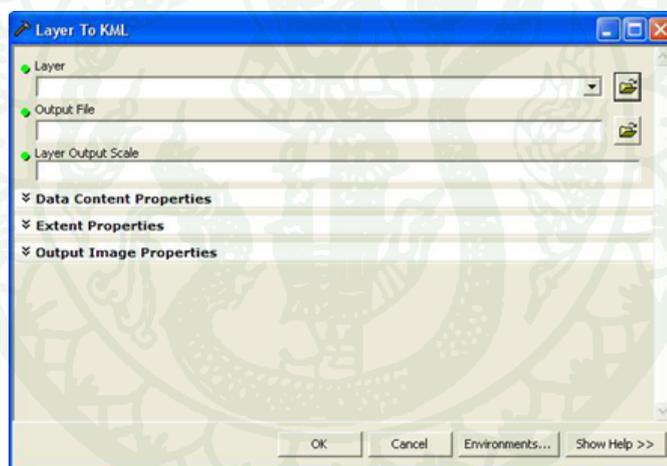


ภาพผนวกที่ ๔ การเลือกชั้นข้อมูลจังหวัดสุโขทัย

เลือก ArcToolbox > 3D Analyst Tool > Conversion > To KML > Layer To KML



ภาพผนวกที่ ๑๕ การใช้คำสั่ง Conversion Tool เพื่อทำการแปลงไฟล์เป็น KML



ภาพผนวกที่ ๑๖ หน้าต่าง Layer To KML เพื่อทำการกำหนดค่า

การกำหนดค่า

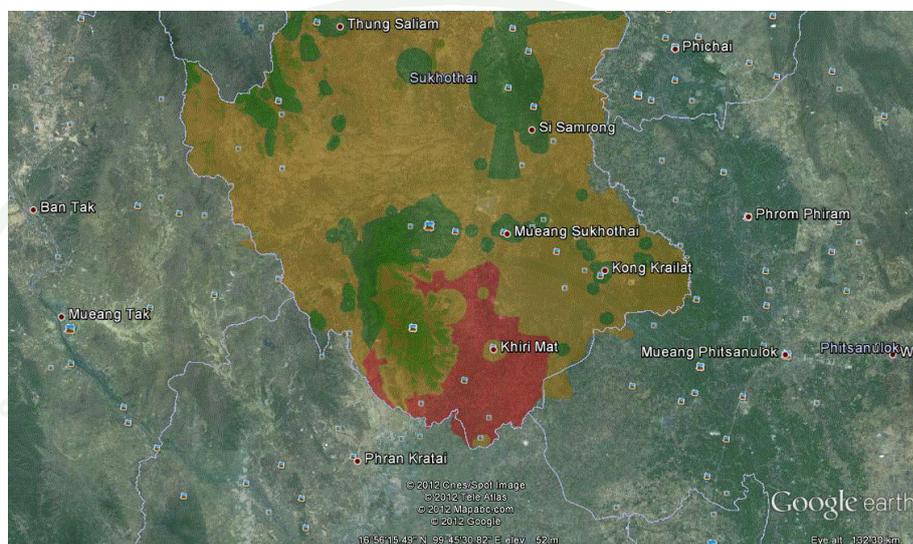
Layer: เลือกชั้นข้อมูลที่เราต้องการทำเป็น KML

Output File: ตั้งชื่อและเลือกที่จัดเก็บข้อมูล

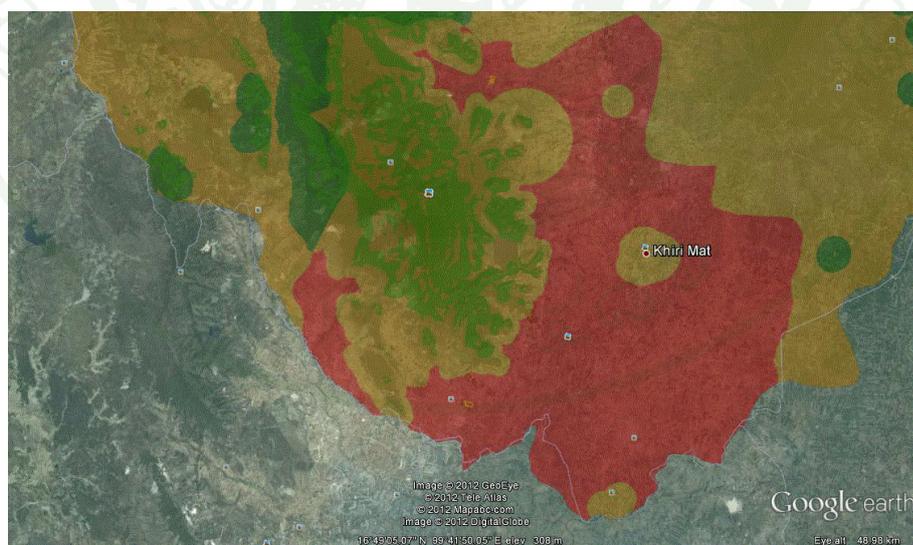
Layer Output Scale: เป็นการกำหนดมาตราส่วนที่เราต้องการ เช่น ถ้าต้องการแสดง 1:50,000 พิมพ์ตัวเลข 50,000 เวลาใช้งานกับโปรแกรม Google Earth ก็จะแสดงในมาตราส่วน 1:50,000

การนำไฟล์ KML แสดงผลใน Google Earth

ทำการเปิดโปรแกรม Google Earth แล้วเรียกไฟล์ที่สร้างไว้ จะปรากฏ ดังภาพผนวกที่ ค7



ภาพผนวกที่ ค7 พื้นที่ที่ถูกเลือกด้วยชั้นข้อมูลจังหวัดสุโขทัย



ภาพผนวกที่ ค8 พื้นที่ที่ถูกเลือกด้วยชั้นข้อมูลจังหวัดสุโขทัยเมื่อทำการ Zoom in

จากการประเมินเชิงพื้นที่ตามแผนที่แสดงความเหมาะสมของการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าในพื้นที่ อำเภอกีรีมาศ จังหวัดสุโขทัยมีความเหมาะสมของพื้นที่ 661 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็น 10 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่จังหวัดสุโขทัย ในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในพื้นที่เหมาะสมดังกล่าวอาจพิจารณาพื้นที่ที่ใช้งานเพื่อจัดทำโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ต้องการกำลังผลิต 1 เมกะวัตต์ (MW) ซึ่งเป็นตัวอย่างของการนำไปใช้เพื่อเป็นข้อมูลในการจัดทำต่อไป โดยต้องพิจารณาประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ ดังข้อมูลในตารางผนวกที่ ๑๑ ซึ่งเป็นข้อมูลของศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ที่ได้รับการเอื้อเฟื้อมา ดังนี้

ตารางผนวกที่ ๑๑ Solar module information

Maker	Sanyo	Ekarat	Mitsubishi	Sharp	United Solar	Kyocera	BSC	Shell
Type	HIT	Poly-Si	a-Si	Poly-Si	a-Si	Poly-Si	a-Si	CIS
Voc [V]	50.3	22.37	141	28.6	23.8	29	62.5	28
Vpm [V]	40.7	17.48	108	22.57	16.5	23.4	44	20.5
Isc [A]	5.54	7.57	1.17	8.34	4.8	8.03	1.15	2.4
Ipm [A]	5.05	6.98	0.93	7.4	3.88	7.27	0.9	2.05
Pm [W]	205	120	100	167	64	170	40	42
Efficiency [%]	16.36	12.23	6.38	12.57	6.24	13.31	5.05	10.25
Area [m ²]	1.25	0.98	1.56	1.32	1.02	1.27	0.79	0.40

ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) (2553)

จากข้อมูลในตารางผนวกที่ ๑๑ เซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมในการนำไปใช้ควรมีประสิทธิภาพ (Efficiency) ที่สูงโดยเลือกของ Sanyo (HIT) Sharp (Poly – Si) Kyocera (Poly – Si) โดยจากการคำนวณกำลังผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องการในพื้นที่เหมาะสมที่สุด ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมในพื้นที่นั้น โดยสามารถหาได้จากสมการที่ 5 ซึ่งถ้าคำนวณโดยใช้พื้นที่ทั้งหมด ผลลัพธ์แสดงตามตารางผนวกที่ ๑๒ ดังนี้

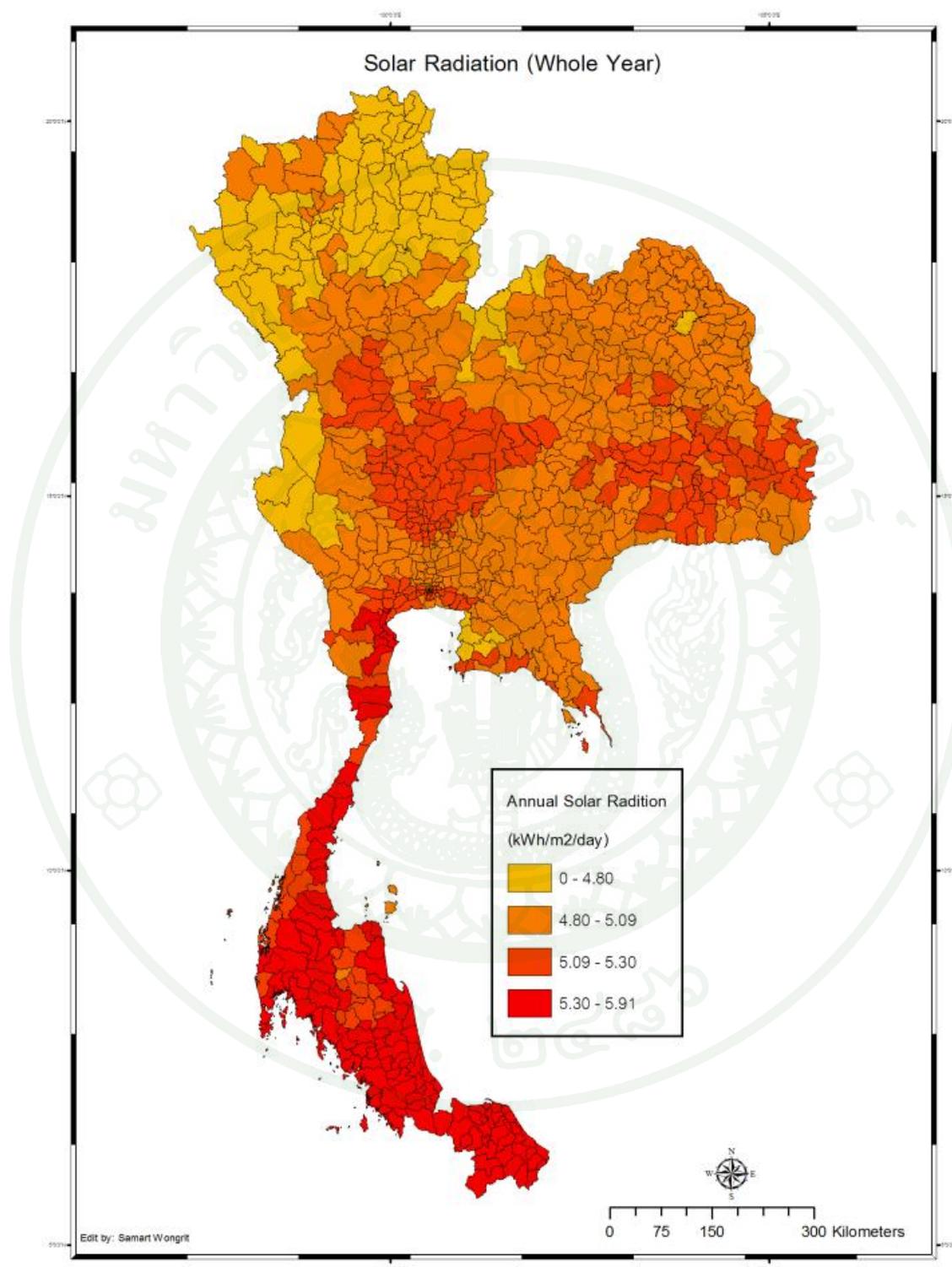
ตารางผนวกที่ ๓๒ การวิเคราะห์กำลังการผลิตของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ

PV Technology (AF = 100%)	Efficiency, η (%)	Highly Suitable land area, CA (km ²)	Mean annual solar radiation for highly suitable land. SR (GWh/km ² /year)	Generation potential, GP (GWh/year)
Sanyo (HIT)	16.36			54,177.94
Sharp (Poly –Si)	12.57	661	5.01	41,626.94
Kyocera (Poly – Si)	13.31			44,077.53

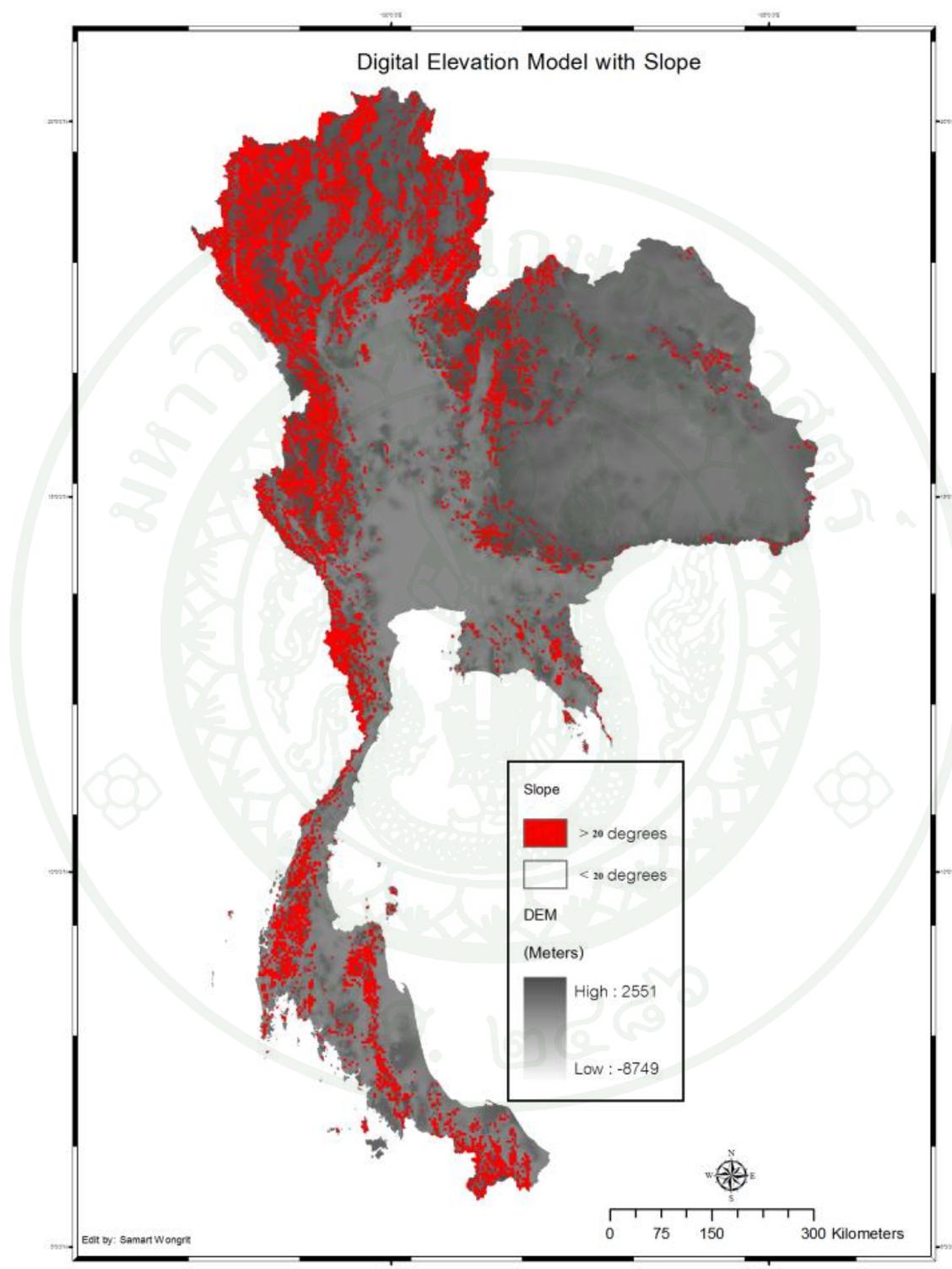
ผลลัพธ์ที่ได้ก็คือกำลังการผลิตไฟฟ้าต่อปีของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ ซึ่งจากการคำนวณกำลังการผลิตสามารถบอกได้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดใดให้กำลังการผลิตเท่านั้นจากนั้นเราสามารถคำนวณจำนวนแผงเซลล์ที่ต้องนำไปใช้แล้วสามารถประเมินการลงทุนได้อย่างง่าย

อย่างไรก็ตามพื้นที่ที่ศึกษาอาจมีความเป็นไปได้ในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในอนาคต หากได้รับการศึกษาผลกระทบที่เกี่ยวข้องอย่างละเอียด เช่น ด้านสิ่งแวดล้อม เศรษฐศาสตร์และสังคม ซึ่งการจัดทำแผนที่เป็นเพียงการประเมินเพียงขั้นต้นเท่านั้น

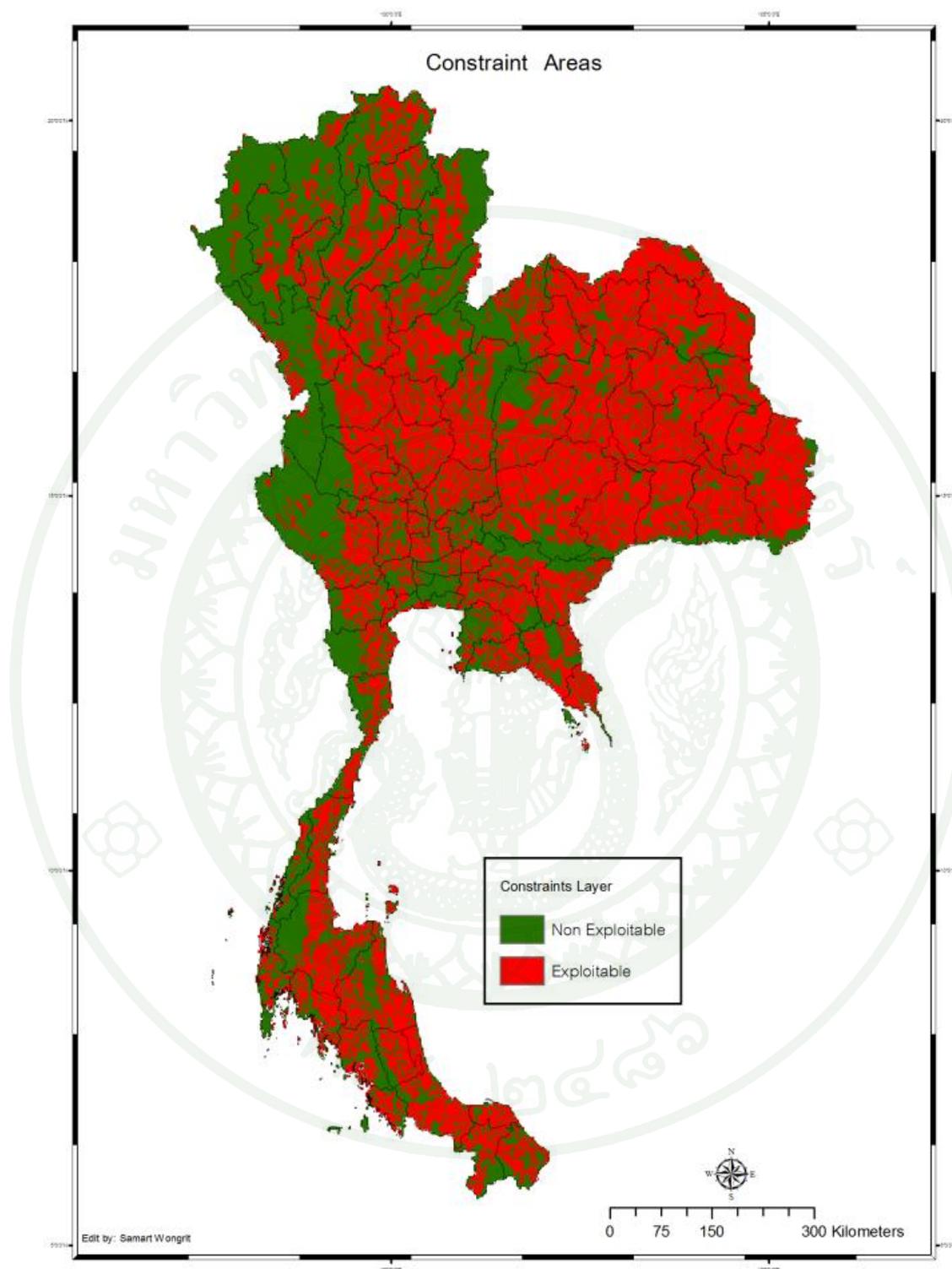




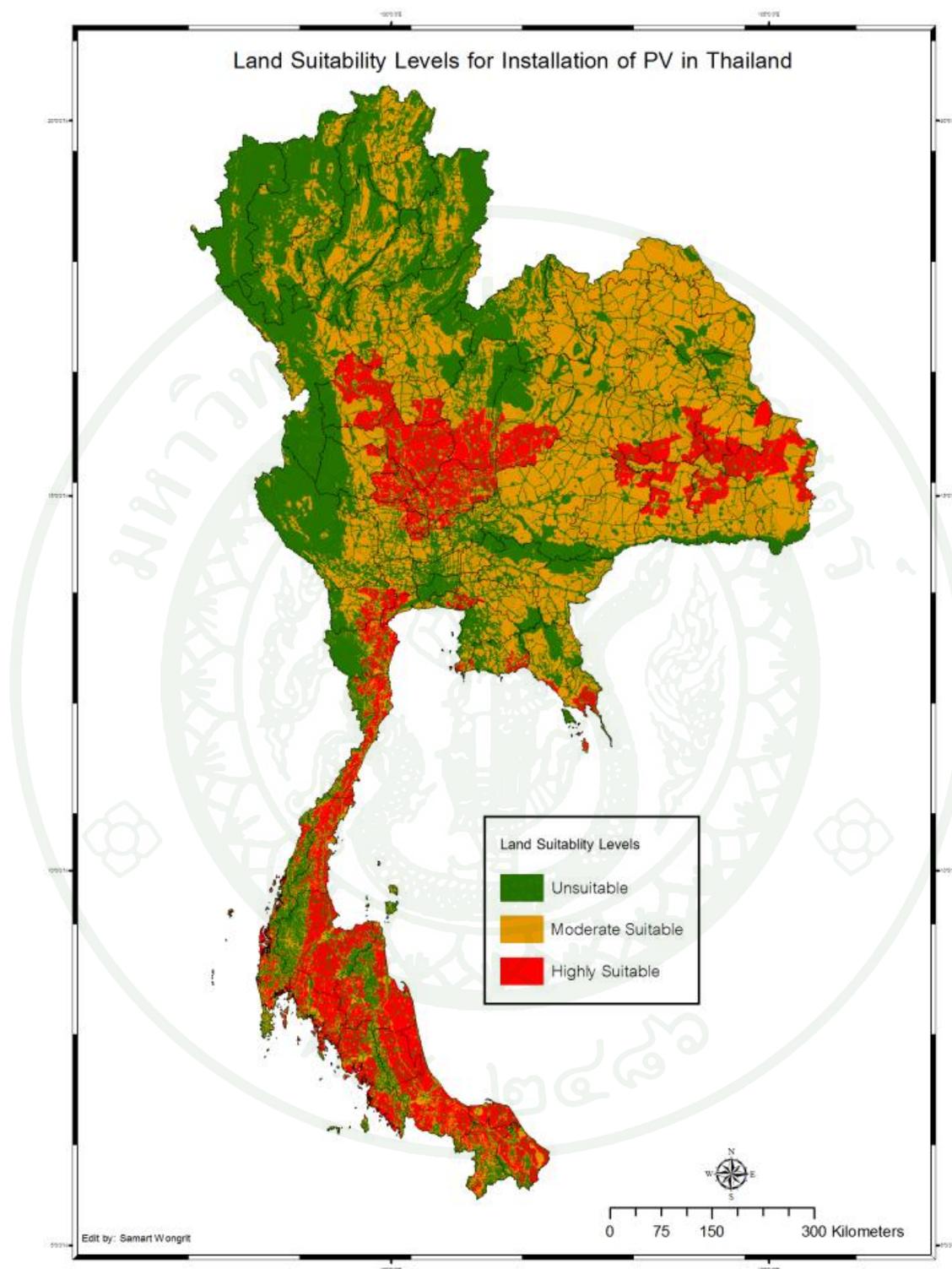
ภาพผนวกที่ ๑1 แผนที่ศักยภาพความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของประเทศไทยรูปแบบขยาย
(ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายวันต่อปี)



ภาพผนวกที่ 2 แผนที่ระดับความสูงเชิงเลขแสดงความชันของพื้นที่รูปแบบขยาย



ภาพผนวกที่ ๓3 แผนที่การใช้ประโยชน์ของพื้นที่จากเกณฑ์การคัดออกอย่างเข้มงวดรูปแบบขยาย



ภาพผนวกที่ ๓4 แผนที่แสดงความเหมาะสมของพื้นที่สำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย
รูปแบบขยาย

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายสามารถ วงษ์ฤทธิ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 7 พฤษภาคม 2526
สถานที่เกิด	เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	ได้รับการตีพิมพ์ผลงานเรื่อง "การวิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่สำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย โดยใช้ฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับแผนที่ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์" ในงานประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 50 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 158-165, 31 มกราคม -2 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2555.
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-