งานออกแบบและเขียนแบบทางหลวงนอกเมืองใช้คอมพิวเตอร์ช่วย

นาย สมเกียรติ สิริพิทักษ์เดช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2537

ISBN : 974-584-441-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 5230806

COMPUTER-AIDED RURAL HIGHWAY DESIGN AND DRAFTING

Somkiet Siripitukdet

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements
for the degree of Master of Engineering
Department of Civil Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
1994

ISBN : 974-584-441-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	งานออกแบบและเขียนแบบทางหลวงนอกเมือง ใช้คอมพิวเตอร์ช่วย
โดย	นายสมเกียรติ สิริพิทักษ์เดช
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ อนุกูล อิศรเสนา ณ อยุธยา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. วุฒิชัย พรรณเชษฐ์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

สมเกียรติ สิริพิทักษ์เดช : งานออกแบบและเขียนแบบทางหลวงนอกเมืองใช้คอมพิวเตอร์ช่วย (COMPUTER-AIDED RURAL HIGHWAY DESIGN AND DRAFTING) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.-ดิเรก ลาวัณย์ศิริ, 218 หน้า. ISBN 974-584-441-1

งานออกแบบและเขียนแบบทางหลวงมีขั้นตอนที่ยุ่งยาก การแก้ไขงานออกแบบต้องใช้แรงงานมาก การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในงานออกแบบและเขียนแบบทาง-หลวงนอกเมือง

การออกแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการป้อนข้อมูลที่จำเป็นในการออกแบบ ขั้นตอนที่สองเป็นการออกแบบองค์ประกอบเพื่อความปลอดภัยของแนวทางราบ ขั้นตอนที่สามเป็นการออกแบบแนวทางดิ่ง และขั้นตอนสุดท้าย คือ การเขียนแบบแปลน และรูปตัดตามยาว

การใช้งานโปรแกรม ผู้ใช้เป็นผู้ป้อนข้อมูล มาตรฐาน และ เงื่อนไขการออกแบบและออกแบบแนวทางในรูปกราฟฟิก โปรแกรมจะคำนวณองค์ประกอบทางหลวง ตรวจสอบเงื่อนไขและแสดงผลการออก-แบบ หากผลลัพธ์ไม่เป็นที่พอใจก็สามารถแก้ไข หรือ ออกแบบใหม่ได้ โดยดำเนินตามขั้นตอนเดิม

การทดสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำโดยนำไปทดสอบกับทางหลวงระยะทาง 4 กิโลเมตร แล้วเปรียบเทียบผลลัพธ์กับค่าที่ได้จากการออกแบบโดยวิศวกร พบว่า การคำนวณองค์ประกอบที่สำคัญมีค่าเท่ากันและมีความถูกต้อง มีบางส่วนที่แตกต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากสมมติฐาน และ วิธีการที่แตกต่างกัน จากการตรวจสอบโดยการคำนวณด้วยมือ พบว่าค่าที่ได้จากโปรแกรมมีความถูกต้อง ส่วนการเขียนแบบสามารถเขียนแบบองค์ประกอบที่จำเป็นได้ตามรูปแบบมาตรฐาน

การออกแบบ และเขียนแบบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วย จะสามารถลดเวลาและแรงงานได้อย่างมาก และสามารถแก้ไข หรือ ออกแบบใหม่ได้สะดวก

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมขนส่ง และ การทาง ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2536 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C215220 : MAJOR CIVIL ENGINEERING
KEY WORD: : COMPUTER / RURAL / HIGHWAY / DESIGN / DRAFT
SOMKIET SIRIPITUKDET : COMPUTER-AIDED RURAL HIGHWAY DESIGN AND DRAFTING. THESIS ADVISOR : PROF. DIREK LAVANSIRI, Ph.D. 218 pp.
ISBN 974-584-441-1

Highway design and drafting processes are complex. Revision of the design is laborious. The objective of this study is to develop a computer-aided rural highway design and drafting program.

The design procedures of the developed computer program are divided into 4 steps. The first step is to input data needed in the design. The second involves the design of highway safty elements of the horizontal alignment. The third deals with the vertical alignment design. The last step is the plan profile sheets drafting.

Using the program,the user first enters the data,design standards, and constraints. Then designs the alignments of the highway in a graphic mode. The program will calculate the highway elements, check for the constraints,and display the design results. If the results are not satisfy, the user can revise or redesign by repeating the similar steps.

The program was tested by applying on a four-kilometer section of a highway. The results obtained were compared to those getting from the engineer. It was found that the calculations of the important elements were the same and correct. There were slightly difference in some elements due to difference in assumptions and methods. Hand calculations were performed to rechecked and found that the results obtained from the computer program were correct. The drafting part was capable to draw the essential elements correctly in the standard formats.

The design and drafting by the computer program will reduce time and labours and allow the user to easily revise or redesign.

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมขนส่ง และการทาง ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2536 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ และข้อมูลอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการศึกษา และ ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ อนุกัลย์ อิศรเสนา ณ อยุธยา อาจารย์ ดร.สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์ และ อาจารย์ ดร.วุฒิชัย พรรณเชษฐ์ ที่กรุณาตรวจสอบวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยโดยสมบูรณ์

ผู้เขียนขอขอบพระคุณต่อ คุณพินิจ แก้วมาคุณ คุณประมล สถานรนานนท์ ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ และข้อมูล อันเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาในครั้งนี้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้โดยได้รับความช่วยเหลือจาก คุณสมนร สิริพิทักษ์เดช คุณโสภา สิริพิทักษ์เดช ในการจัดพิมพ์และจัดรูปเล่ม คุณอัมพร สิริพิทักษ์เดชที่ช่วยพิมพ์วิทยานิพนธ์และเป็นกำลังใจให้ผู้เขียนตลอดมา และ บิดา มารดา ที่ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือในการศึกษาแก่ผู้เขียนมาโดยตลอด

คุณค่าความดีของวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้ ขอมอบให้แก่ผู้ที่กล่าวนามข้างต้น และผู้ที่มิได้กล่าวนาม ซึ่งมีส่วนช่วยในการศึกษาครั้งนี้

สมเกียรติ สิริพิทักษ์เดช

เมษายน 2537

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญรูป ..... ฎ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ 3
1.3 แนวทางในการศึกษา 3
1.4 ขอบเขตของการศึกษา 4
1.5 ขั้นตอนการศึกษา 4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5
บทที่ 2 การพัฒนาระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์
ช่วยในงานออกแบบแนวเส้นทางทางหลวงที่ผ่านมา 6
2.1 ประวัติการพัฒนาระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ผ่านมา 12
2.2 ระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ออกแบบทางที่สำคัญ 13
2.3 สรุป 20
บทที่ 3 การออกแบบทางเรขาคณิตของแนวทางราบ 21
3.1 บทนำ 21
3.2 โค้งราบ 23
3.3 ข้อกำหนดทั่วไปในการออกแบบโค้งราบ 35
3.4 ข้อพิจารณาทั่วไปในการออกแบบแนวทางราบ 65

บทที่ 4 การออกแบบทางเรขาคณิตของแนวทางดิ่ง 67
4.1 บทนำ 67
4.2 สภาพภูมิประเทศ 68
4.3 ระดับหลังทาง 69
4.4 ความลาดชัน 70
4.5 โค้งดิ่ง 78
4.6 การหาความยาวโค้งดิ่งให้สอดคล้องกับระยะมองเห็น 80
4.7 ข้อพิจารณาทั่วไปในการออกแบบแนวทางดิ่ง 91
4.8 การผสมผสานระหว่างการออกแบบแนวทางราบและแนวทางดิ่ง .. 92
บทที่ 5 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบและเขียนแบบแนวทาง
ทางหลวงนอกเมือง 100
5.1 บทนำ 100
5.2 ขั้นตอนการออกแบบแนวทางของทางหลวง 102
5.3 การสร้างระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในงานออกแบบ
และเขียนแบบแนวทางทางหลวง 104
5.4 แนวทางในการพัฒนาระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์
ช่วยในงานออกแบบและเขียนแบบทางหลวงนอกเมือง 107
5.5 โครงสร้างและส่วนประกอบหลักของโปรแกรม 108
5.6 สรุป 140
บทที่ 6 วิธีใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์และการทดสอบกับงานออกแบบจริง 141
6.1 วิธีการออกแบบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 141
6.2 การทดสอบ 150
6.3 ผลการออกแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 150
6.4 อภิปรายผลการทดสอบ 158
บทที่ 7 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ..... 172
7.1 สรุปผลการศึกษา 172
7.2 ข้อเสนอแนะ 176
รายการอ้างอิง 177
ภาคผนวก 180
ภาคผนวก ก 181
ภาคผนวก ข 192
ประวัติผู้เขียน 218

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ค่าสูงสุดของ Degree of Curve และ ความยาวรัศมีโค้งวงกลมต่ำสุด คำนวณจากค่าสูงสุดของ e และ f สำหรับถนนนอกเมืองและในเมือง 39

ตารางที่ 3.2 ความยาวต่ำสุดของ Superelevation runoff สำหรับถนน 2 ช่องจราจร (AASHTO,1984) 49

ตารางที่ 3.3 ค่าองค์ประกอบการออกแบบต่าง ๆ ที่สัมพันธ์กับความเร็วออกแบบ และความโค้งของโค้งราบ (AASHTO,1984)..... 50

ตารางที่ 3.4 ค่าองค์ประกอบการออกแบบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับความเร็วออกแบบ และความโค้งของโค้งราบ (AASHTO,1984)..... 51

ตารางที่ 3.5 ค่าองค์ประกอบการออกแบบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับความเร็วออกแบบ และความโค้งของโค้งราบ (AASHTO,1984)..... 52

ตารางที่ 3.6 ค่าองค์ประกอบการออกแบบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับความเร็วออกแบบ และความโค้งของโค้งราบ (AASHTO,1984)..... 53

ตารางที่ 3.7 ค่าองค์ประกอบการออกแบบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับความเร็วออกแบบ และความโค้งของโค้งราบ (AASHTO,1984)..... 54

ตารางที่ 3.8 ค่าออกแบบสำหรับการขยายผิวจราจร บนทางหลวงทั่วไป (2 ช่องจราจร เดินรถทิศทางเดียวหรือสองทิศทาง) (AASHTO,1984)..... 60

ตารางที่ 3.9 ระยะมองเห็นสำหรับการหยุดรถ สภาพผิวถนนเปียก (AASHTO,1984)..... 64

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า K สำหรับความยาวโค้งดิ่งสัมพันธ์กับระยะมองเห็นเพื่อการหยุดรถตามที่กำหนด (AASHTO,1984)..... 84

ตารางที่ 4.2 ความยาวโค้งดิ่งต่ำสุดสัมพันธ์กับระยะมองเห็นเพื่อการแซง (AASHTO,1984)..... 85

ตารางที่ 4.3 ความยาวโค้งดิ่งหงายสัมพันธ์กับระยะมองเห็นเพื่อการหยุดรถ (AASHTO,1984)..... 90
ตารางที่ 5.1 ค่าระดับหลังทางที่กำหนดได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์..... 129
ตารางที่ 5.2 ผลลัพธ์การคำนวณปริมาตรดินตัดดินถม โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์..... 134
ตารางที่ 6.1 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนจากการออกแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบกับวิศวกร..... 157
ตารางที่ 6.2 ค่าองค์ประกอบแนวทางราบที่คำนวนโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบกับวิศวกร..... 166
ตารางที่ 6.3 ค่าระดับหลังทางที่คำนวณโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบกับวิศวกร..... 167

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แนวความคิดในการวิเคราะห์โค้งราบแบบแฮร์ปินด้วย โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (B.K.Roy,1990) 8

รูปที่ 2.2 การหาแนวทางดิ่งที่เหมาะสมที่สุด โดยวิธีปรับพื้นดินให้เรียบขึ้น (Smooth grouuund proocess) ที่พัฒนาโดย MIT (Stott,1973a) 9

รูปที่ 2.3 ระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบและวิเคราะห์หาแนวเส้นทางทางหลวง DTM Location System 13

รูปที่ 2.4 โปรแกรมย่อยช่วยในงานออกแบบแนวเส้นทาง Highway Master Alignment ในระบบโปรแกรม MOSS Modelling System 14

รูปที่ 2.5 การกำหนดจุดในการออกแบบแนวทางราบ 15

รูปที่ 2.6 การกำหนดจุดในการออกแบบแนวทางดิ่ง 16

รูปที่ 2.7 แสดงภาพกราฟฟิกซึ่งเป็นฐานข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบในระบบ Interactive Graphics 17

รูปที่ 2.8 ภาพกราฟฟิกที่ได้จากการออกแบบแนวทางดิ่งโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ IGrds 18

รูปที่ 2.9 แสดงรูปแบบระบบการออกแบบทางโดยระบบโปรแกรม IGrds 19

รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบทั่วไปของแนวทางราบทางหลวง 21

รูปที่ 3.2ก โค้งวงกลมเดี่ยว 24

รูปที่ 3.2ข โค้งวงกลมราบ 25

รูปที่ 3.3ค โค้งวงกลมผกผัน 25

รูปที่ 3.2ง โค้งหลังหัก 26

รูปที่ 3.3 รูปแบบและองค์ประกอบทางเรขาคณิตของโค้งวงกลมเดี่ยว 27

รูปที่ 3.4 Arc definition 29

รูปที่ 3.5 Chord definition 30
รูปที่ 3.6 รูปแบบและองค์ประกอบทางเรขาคณิตของโค้งเปลี่ยน
สไปรอล 33
รูปที่ 3.7 โค้งราบที่มีโค้งเปลี่ยนสไปรอล 34
รูปที่ 3.8 โค้งราบที่ไม่มีโค้งเปลี่ยนสไปรอล 34
รูปที่ 3.9 สัมประสิทธ์ความเสียดทานด้านข้างสำหรับทางหลวงนอกเมือง
และถนนในเมือง (AASHTO,1984) 38
รูปที่ 3.10 แสดงค่าสัมประสิทธ์ความเสียดทานที่แนะนำให้ใช้ในการ
ออกแบบโค้ง 41
รูปที่ 3.11 สัมประสิทธ์ความเสียดทานด้านข้าง (AASHTO,1984) 43
รูปที่ 3.12 ค่าออกแบบอัตราการยกขอบถนน (AASHTO,1984) 44
รูปที่ 3.13 ค่าออกแบบอัตราการยกขอบถนน (AASHTO,1984) 45
รูปที่ 3.14 ค่าออกแบบอัตราการยกขอบถนน (AASHTO,1984) 46
รูปที่ 3.15 ค่าออกแบบอัตราการยกขอบถนน (AASHTO,1984a) 47
รูปที่ 3.16 ไดอะแกรมระดับหลังทางแสดงวิธีการยกขอบถนน สำหรับ
โค้งราบที่มีทิศทางไปทางขวามือ (AASHTO,1984) 56
รูปที่ 3.17 การขยายผิวจราจรในบริเวณโค้งราบ 58
รูปที่ 3.18 ค่าออกแบบสำหรับการขยายผิวจราจรในบริเวณโค้งราบ,
2 ช่องจราจร เดินรถทิศทางเดียวหรือสองทิศทาง
(AASHTO,1984) 59
รูปที่ 3.19ก ความสัมพันธ์ระหว่าง Degree of curve กับค่า Middle
ordinate ที่จำเป็นสำหรับหาค่าระยะมองเห็นสำหรับการ
หยุดรถในโค้งราบในสภาพทั่วไปของถนน-ค่าในช่วงต่ำ
(AASHTO,1984) 62
รูปที่ 3.19ข ความสัมพันธ์ระหว่าง Degree of curve กับค่า Middle
ordinate ที่จำเป็นสำหรับหาค่าระยะมองเห็น สำหรับ
การหยุดรถในโค้งราบ ในสภาพทั่วไปของถนน - ค่าในช่วงสูง
(AASHTO,1984) 63
รูปที่ 4.1 รูปแบบทั่วไปของแนวทางดิ่ง ประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นเส้นตรง
และโค้งดิ่งพาราโบลา 68

รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับระยะทางของการลดความเร็วรถบรรทุก ขนาด 300 lb/hp บนทางลาดชันขึ้น (AASHTO,1984) 72
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับระยะทางของการเร่งความเร็วของรถบรรทุก ขนาด 300 lb/HP บนทางลาดชันขึ้นและลง (AASHTO,1984) 73
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของอัตราการเกิดอุบัติเหตุของรถบรรทุก เนื่องจากความเร็วต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของยวดยานทุกประเภท (AASHTO,1984) 76
รูปที่ 4.5 ความยาววิกฤติของทางลาดชันสำหรับการออกแบบสมมติรถบรรทุก ขนาด 300 lb/hp วิ่งเข้าสู่ทางลาดชันด้วยความเร็ว 55 mph 77
รูปที่ 4.6 รูปแบบของโค้งดิ่ง 79
รูปที่ 4.7 การหาความยาวโค้งดิ่งคว่ำสัมพันธ์กับระยะมองเห็น 81
รูปที่ 4.8 ความยาวโค้งดิ่งภายใต้ความเร็วและอัตราความแตกต่างสัมบูรณ์ของความลาดชันต่าง ๆ (AASHTO,1984) 83
รูปที่ 4.9 การหาความยาวโค้งดิ่งหงายสัมพันธ์กับระยะมองเห็น 86
รูปที่ 4.10 ความยาวโค้งดิ่งหงายต่ำสุด ภายใต้ความเร็วและอัตราความแตกต่างสัมบูรณ์ของความลาดชันต่าง ๆ (AASHTO,1984)... 88
รูปที่ 4.11 ข้อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างแนวทางราบและแนวทางดิ่งในการออกแบบ (AASHTO,1984) 93
รูปที่ 5.1 ขั้นตอนการออกแบบแนวทางทางหลวง (คู่มือการออกแบบทาง, กรมทางหลวง) 103
รูปที่ 5.2 ลักษณะและรูปแบบของระบบเมนู และพื้นที่การทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ AutoCAD 106
รูปที่ 5.3 ตัวอย่างชุดคำสั่งภาษาคอมพิวเตอร์ AutoLISP 107
รูปที่ 5.4 ประเภทของส่วนประกอบแนวทางราบ 110
รูปที่ 5.5 ข้อมูลของแนวทางตรงที่ป้อนเข้าสู่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 111
รูปที่ 5.6 ส่วนประกอบโค้งราบที่ป้อนเข้าสู่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 111
รูปที่ 5.7 รูปตัดทั่วไปของทางหลวงนอกเมือง 112

รูปที่ 5.8 ลักษณะข้อมูลระดับดินเดิมที่ป้อนเข้าสู่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 115
รูปที่ 5.9 ผลลัพธ์การออกแบบองค์ประกอบเพื่อความปลอดภัยของแนวทางราบที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 116
รูปที่ 5.10 โครงสร้างและลำดับขั้นตอนการออกแบบแนวทางดิ่ง ใช้คอมพิวเตอร์ช่วย 121
รูปที่ 5.11 ระดับดินเดิมตามแนวทางหลวงที่วาดโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ... 122
รูปที่ 5.12 การออกแบบระดับหลังทางโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 124
รูปที่ 5.13 การออกแบบโค้งดิ่งโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 127
รูปที่ 5.1 ค่าระดับหลังทางที่คำนวณได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 129
รูปที่ 5.14 แสดงจุดต่าง ๆ ของรูปตัดทั่วไปของทางหลวง ที่นำไปคำนวณหาค่านิกัด 130
รูปที่ 5.15 แนวความคิดในการคำนวณหาพื้นที่ดินตัดดินถมในแต่ละสถานี 132
รูปที่ 5.2 ผลลัพธ์การคำนวนปริมาตรดินตัด ดินถมโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 134
รูปที่ 5.16 ตัวอย่างรายการแบบก่อสร้างทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 101 ตอนทางเลี่ยงเมืองสวรรคโลก 135
รูปที่ 5.17 รูปแบบและลักษณะมาตรฐานของแบบแปลนและรูปตัดตามยยาว 137
รูปที่ 5.18 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในงานเขียนแบบ 139
รูปที่ 6.1ก การป้อนข้อมูลแนวทางราบโดยเลือกข้อเลือก H ALIGN 142
รูปที่ 6.1ข การป้อนข้อมูลรูปตัดทั่วไป โดยการเลือกข้อเลือก RD XSEC 143
รูปที่ 6.1ค การป้อนข้อมูลค่าระดับดินเดิมตามแนวขวางโดยการเลือกข้อเลือก GR XSEC 144
รูปที่ 6.2 การออกแบบองค์ประกอบเพื่อความปลอดภัยในบริเวณโค้งราบ 145
รูปที่ 6.3 เส้นทางตัวอย่างที่ใช้ทดสอบทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 101 ตอนทางเลี่ยงเมืองสวรรคโลก 151
รูปที่ 6.4 การเขียนแบบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 160