การใช้คอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการออกแบบแนวทางดิ่งที่เหมาะสมที่สุดของถนน

นาย สรวิศ นฤปิติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2534

ISBN 974-579-148-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

017305
1178121103

COMPUTER AIDED OPTIMAL DESIGN OF HIGHWAY VERTICAL ALIGNMENT

Sorawit Narupiti

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Civil Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
1991

ISBN 974-579-148-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้คอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการออกแบบแนวทางดิ่งที่เหมาะสมที่สุดของถนน
โดย	นายสรวิศ นฤปิติ
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

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

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

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

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

สรวิศ นฤปิติ : การใช้คอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการออกแบบแนวทางดิ่งที่เหมาะสมที่สุดของถนน (COMPUTER AIDED OPTIMAL DESIGN OF HIGHWAY VERTICAL ALIGNMENT) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ, 212 หน้า.
ISBN 974-579-148-2

การออกแบบแนวทางดิ่งมีจุดประสงค์ที่จะหาแนวเส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด แนวเส้นทางที่ได้จากการออกแบบโดยวิศวกรอาจจะยังไม่ใช่แนวเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อพัฒนาวิธีออกแบบ และ โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการออกแบบแนวทางดิ่งที่เหมาะสมที่สุด

วิธีออกแบบพัฒนาขึ้นจากกระบวนการฮิวริสติค โดยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ในแต่ละขั้นตอนหาผลลัพธ์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ขั้นตอนแรกเป็นการหาแนวทางดิ่งเบื้องต้นที่มีค่าใช้จ่ายน้อย และ สอดคล้องกับข้อกำหนดและข้อจำกัดของการออกแบบ ขั้นตอนที่สองเป็นการหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตเริ่มต้นจากแนวทางดิ่งเบื้องต้น ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตที่เหมาะสมที่ให้แนวเส้นทางที่ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

แบบจำลองแนวทางดิ่งเบื้องต้นเป็นการแปลงแบบจำลองแนวทางดิ่งที่เหมาะสมที่สุดให้เป็นแบบง่ายโดยใช้สมมติฐานค่าความสูงของดินตัดและดินถม และ หาผลลัพธ์โดยวิธีการโปรแกรมเชิงเส้น องค์ประกอบทางเรขาคณิตเริ่มต้นหาได้จากการสร้างวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่จำลองการออกแบบของวิศวกรเพื่อหาจุดตัดแนวดิ่ง และ ความยาวโค้งเริ่มต้น แบบจำลององค์ประกอบทางเรขาคณิตที่เหมาะสมสร้างขึ้นเป็นแบบจำลองไม่เชิงเส้นใช้สำหรับหาแนวเส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายอันเนื่องมาจากปริมาณงานดินน้อยที่สุด และ หาผลลัพธ์โดยวิธีค้นหาโดยตรง

จากนั้นนำวิธีออกแบบที่พัฒนาขึ้นมาเขียนเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และ นำมาทดสอบกับเส้นทางยาว 4.2 กิโลเมตรพบว่า สามารถลดค่าใช้จ่ายอันเนื่องมาจากปริมาณงานดินลงได้มาก และช่วยให้ออกแบบรวดเร็วและได้เส้นทางที่เหมาะสมยิ่งขึ้น

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2533

ลายมือชื่อนิสิต สรวิศ นฤปิติ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

SORAWIT NARUPITI : COMPUTER AIDED OPTIMAL DESIGN OF HIGHWAY VERTICAL ALIGNMENT. THESIS ADVISOR : PROF. DIREK LAVANSIRI, Ph.D. 212 pp. ISBN 974-579-148-2

The vertical alignment design needs to minimize the alignment-related costs. The vertical alignment designed by engineers may not be the optimum. The objective of this research is to develop the design process and a computer program that assist the optimal vertical alignment design.

The design process developed on the heuristic solution method is divided into 3 steps. The design problem in each step is represented by a mathematical model. The first step is to find the preliminary vertical alignment that minimizes cost while satisfying all relevant constraints. The second deals with the determination of the geometric configuration given by the preliminary alignment. The last step is to find the geometric configuration that yields the optimal alignment.

The preliminary vertical alignment model is formulated by simplifying the optimal vertical alignment model and uses the linear programming to find the solution. The first geometric configuration is found from the mathematical method that is the engineer's design simulation process and gives the initial points of vertical intersection and lengths of curve. The optimal geometric configuration model is formulated as nonlinear programming model for determining the lowest earthwork-volume alignment. The model is solved using the direct search method.

The resulting design process is computerized and applied to a case study involving a 4.2-kilometer road. The result shows that the alignment can substantially reduce the earthwork-related cost and gives the appropriate alignment.

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต สรวิศ นฤปิติ

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2533 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้และคำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการวิจัย และ ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ อนุกูลย์ อิศรเสนา ณ อยุธยา รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์ และ อาจารย์ ดร.สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์ ที่ให้คำแนะนำในการวิจัยครั้งนี้ และ ตรวจสอบวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จเรียบร้อยโดยสมบูรณ์

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ รองศาสตราจารย์ ดร.สุรวุฒิ ประดิษฐานนท์ และ อาจารย์ ดร.สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์ ที่ให้ข้อคิด และ คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการเขียนวิทยานิพนธ์ ทำให้ผู้เขียนเข้าใจแนวทางการเขียนวิทยานิพนธ์ที่ถูกต้อง

ผู้เขียนขอขอบพระคุณต่อ คุณนิจ แก้วมาคุณ คุณประมล สถาพรนานนท์ ที่ให้ความรู้ทางวิศวกรรมการทาง และ คำแนะนำ อันเป็นประโยชน์ต่อการวิจัย

ผู้เขียนขอขอบพระคุณต่อ คุณโอภาส น้านิรัติศัย คุณวิทยา ยงกิจเจริญลาภ คุณสายรุ้ง หอมจันทร์ คุณสายรุ้ง ศุภวงศ์ และ เจ้าหน้าที่ศูนย์คอมพิวเตอร์วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ในการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบพระคุณ คุณสายหิน ประเสริฐกาญจน์ที่ช่วยพิมพ์วิทยานิพนธ์ ตลอดจนผู้ที่มิได้กล่าวนามซึ่งมีส่วนช่วยงานวิจัย จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสำเร็จลงไม่ได้หากผู้เขียนไม่ได้รับความช่วยเหลือจากมารดา ผู้ซึ่งชี้แนะแนวทาง และ ตรวจสอบวิทยานิพนธ์ตลอดมา ดังนั้นคุณค่าความดีของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงขอมอบให้บุพการีที่ได้ช่วยเหลือทุกวิถีทางในการศึกษา และ ให้กำลังใจแก่ผู้เขียนมาโดยตลอด

สรวิศ นฤปิติ

เมษายน 2534

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูป ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

1.3 แนวความคิด ทฤษฎี และ สมมติฐาน 3

1.4 ขั้นตอนการวิจัย 4

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 4

บทที่ 2 ทบทวนผลงานที่ผ่านมา 5

2.1 โปรแกรมช่วยในการหาระดับทาง 7

2.2 โปรแกรมช่วยในการหาองค์ประกอบทางเรขาคณิต 12

2.3 สรุป 20

บทที่ 3 ข้อกำหนดทางเรขาคณิตของแนวทางดิ่ง 21

3.1 หลักการออกแบบแนวทางดิ่ง 21

3.2 ทางลาดชัน 22

3.3 โค้งดิ่ง 30

3.4 ข้อกำหนดทั่วไปสำหรับแนวทางดิ่ง 41

3.5 การพิจารณาการประกอบ แนวทางราบและแนวทางดิ่ง 43

บทที่ 4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับออกแบบ
แนวทางดิ่งที่เหมาะสม 52
4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับออกแบบแนวทางดิ่ง 53
4.2 การหาแนวทางดิ่งเบื้องต้น 54
4.3 การหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตเริ่มต้น 70
4.4 การหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตที่เหมาะสม 73
บทที่ 5 วิธีออกแบบแนวทางดิ่งที่เหมาะสม และ
โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 79
5.1 วิธีหาแนวทางดิ่งเบื้องต้น 81
5.2 วิธีหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตเริ่มต้น 82
5.3 วิธีหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตที่เหมาะสม 86
บทที่ 6 การทดสอบ 92
6.1 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ 92
6.2 การทดสอบหาแนวทางดิ่งเบื้องต้น 99
6.3 การทดสอบหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตเริ่มต้น 109
6.4 การทดสอบหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตที่เหมาะสม 117
6.5 การคำนวณปริมาณงานดิน 131
6.6 อภิปรายผลการทดสอบ 143
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 145
7.1 สรุปผลการวิจัย 145
7.2 ข้อเสนอแนะ 149
รายการอ้างอิง 150
ภาคผนวก 156
ภาคผนวก ก 157
ภาคผนวก ข 165
ภาคผนวก ค 175
ภาคผนวก ง 181
ประวัติผู้เขียน 212

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ค่า K สำหรับการออกแบบโค้งคว่ำโดยใช้ระยะการมองเห็นสำหรับหยุด (AASHTO, 1984) 35

ตารางที่ 3.2 ระยะการมองเห็นสำหรับหยุดสิ้นที่สุด (AASHTO, 1984) 36

ตารางที่ 3.3 ระยะการมองเห็นสำหรับแซงสิ้นที่สุด (AASHTO, 1984) 37

ตารางที่ 3.4 ค่า K สำหรับการออกแบบโค้งคว่ำโดยใช้ระยะการมองเห็นสำหรับแซง (AASHTO, 1984) 38

ตารางที่ 3.5 ค่า K สำหรับการออกแบบโค้งหงายโดยใช้ระยะการมองเห็นสำหรับหยุด (AASHTO, 1984) 42

ตารางที่ 4.1 สัญญลักษณ์ที่ใช้ 62

ตารางที่ 5.1 ระบบโปรแกรมออกแบบทาง 80

ตารางที่ 6.1 ข้อกำหนดของการออกแบบ 100

ตารางที่ 6.2 ค่าระดับสถานีของแนวทางดิ่งเบื้องต้น 101

ตารางที่ 6.3 การหาจุดเปลี่ยนโค้ง 110

ตารางที่ 6.4 การหาจุดตัดแนวดิ่งเริ่มต้น 113

ตารางที่ 6.5 จุดตัดแนวดิ่งที่ได้จากการปรับแก้ระยะระหว่างแนวเส้นทางกับระดับของจุดตัดแนวดิ่ง 116

ตารางที่ 6.6 ผลของการหาจุดตัดแนวดิ่ง 118

ตารางที่ 6.7 ผลจากการหาความยาวโค้ง 119

ตารางที่ 6.8 ผลจากการหาแนวทางดิ่งที่มีความยาวโค้งเหมาะสม 120

ตารางที่ 6.9 จุดตัดแนวดิ่งของแนวเส้นทางที่มีความยาวโค้งที่เหมาะสม 121

ตารางที่ 6.10 จุดเริ่มโค้งและจุดสิ้นสุดโค้งของแนวเส้นทางที่มีความยาวโค้งที่เหมาะสม 122

ตารางที่ 6.11 ระดับการก่อสร้างของแนวเส้นทางที่มีความยาวโค้งที่เหมาะสม ... 123

ตารางที่ 6.12 ผลจากการหาแนวทางดิ่งที่มีจุดตัดแนวดิ่งและความยาวโค้งเหมาะสม 132

ตารางที่ 6.13 จุดตัดแนวดิ่งของแนวเส้นทางที่มีจุดตัดแนวดิ่งและ
ความยาวโค้งเหมาะสม 133
ตารางที่ 6.14 จุดเริ่มโค้งและจุดสิ้นสุดโค้งของแนวเส้นทางที่มีจุดตัดแนวดิ่งและ
ความยาวโค้งเหมาะสม 134
ตารางที่ 6.15 ระดับการก่อสร้างของแนวเส้นทางที่มีจุดตัดแนวดิ่งและ
ความยาวโค้งเหมาะสม 135
ตารางที่ 6.16 สรุปค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์จากการออกแบบ 144
ตารางที่ 6.17 สรุปปริมาณดินจากการออกแบบ 144

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 การหาแนวทางดิ่งที่เหมาะสมที่สุดโดยวิธีการปรับพื้นดินให้เรียบขึ้น (Smooth ground process) ที่พัฒนาโดย MIT (Stott, 1973a) .. 8

รูปที่ 2.2 วิธีหาแนวเส้นทาง โดยใช้การโปรแกรมพลวัต (Dynamic programming) ที่ใช้ในโปรแกรม APOLLON OPTLOC โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นที่ Technical College ประเทศเดนมาร์ก (Stott, 1973a) และโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นที่มหาวิทยาลัยแห่งประเทศสิงคโปร์ (Goh et.al., 1988) 10

รูปที่ 2.3 เทคนิคการเลื่อนจุดตัดแนวดิ่ง เพื่อหาตำแหน่งของจุดตัดแนวดิ่งที่เหมาะสมจากเส้นการขนย้ายมวลดินในโปรแกรม AEAP (Stott, 1973a) 13

รูปที่ 2.4 วิธีการหาจุดตัดแนวดิ่งโดยการหาจุดเปลี่ยนโค้งจากผลต่างของ Quasi vertical alignment กับ แนวเส้นทางที่คูณค่าน้ำหนักในโปรแกรม HOPS (Robinson, 1972a) 15

รูปที่ 2.5 การหาจุดตัดแนวดิ่งและโค้งดิ่งในโปรแกรม HOPS (Robinson, 1972a) 16

รูปที่ 2.6 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการหาแนวทางดิ่งที่เหมาะสมที่สุดของโปรแกรม HOPS (Robinson, 1972a) 17

รูปที่ 2.7 การหาทางลาดชันที่ให้ค่าขนย้ายมวลดินต่ำที่สุด (Easa, 1988) 18

รูปที่ 3.1ก ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและระยะทางของการลดความเร็วของรถบรรทุก 300 lb/hp (AASHTO, 1984) 24

รูปที่ 3.1ข ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและระยะทางของการเร่งความเร็วของรถบรรทุก 300 lb/hp (AASHTO, 1984) 25

รูปที่ 3.2 อัตราการเกิดอุบัติเหตุของรถบรรทุกที่มีความเร็วต่ำกว่าความเร็วขณะวิ่งเฉลี่ย (Average running speed) ของรถทุกประเภท (AASHTO, 1984) 28

รูปที่ 3.3 ระยะทางวิกฤตของทางลาดชัน เมื่อสมมติให้รถบรรทุก 300 lb/hp วิ่งเข้าสู่ทางลาดชันด้วยความเร็ว 55 mph (AASHTO, 1984) 29
รูปที่ 3.4 ประเภทของโค้งดิ่ง 31
รูปที่ 3.5 ค่าความยาวโค้งคว่ำจากการออกแบบโดยใช้ระยะการมองเห็นสำหรับหยุด (AASHTO, 1984) 34
รูปที่ 3.6 ความยาวโค้งหงายจากการออกแบบโดยใช้ระยะการมองเห็นในแสงไฟ (AASHTO, 1984) 40
รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแนวทางราบและแนวทางดิ่ง (AASHTO, 1984) .. 45
รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการออกแบบแนวทางดิ่งที่เหมาะสมที่สุด 55
รูปที่ 5.1 แผนผังการหาแนวทางดิ่งเบื้องต้น 83
รูปที่ 5.2 แผนผังการหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตเริ่มต้น 86
รูปที่ 5.3 แผนผังการหาความยาวโค้งที่เหมาะสม 89
รูปที่ 5.4 แผนผังการหาจุดตัดแนวดิ่งและความยาวโค้งที่เหมาะสม 91
รูปที่ 6.1 เส้นทางที่ใช้ในการทดสอบ 93
รูปที่ 6.2 แนวทางดิ่งเบื้องต้น 103
รูปที่ 6.3 แนวเส้นทางที่มีความยาวโค้งที่เหมาะสม 125
รูปที่ 6.4 แนวเส้นทางที่มีจุดตัดแนวดิ่งและความยาวโค้งที่เหมาะสม 137
รูปที่ ก.1 โค้งพาราโบลา 157
รูปที่ ก.2 โค้งพาราโบลาสมมาตร 158
รูปที่ ก.3 โค้งพาราโบลาไม่สมมาตร 161
รูปที่ ก.4 จุดโค้งกลับของโค้งดิ่ง 163
รูปที่ ข.1 โค้ง Spline 165
รูปที่ ข.2 ช่วงของคานในทฤษฎีคาน 166
รูปที่ ข.3 Mathematical spline 168
รูปที่ ค.1 ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ 176
รูปที่ ค.2 การหาจุดเชื่อมระหว่างคันทางกับพื้นดินเดิม 177
รูปที่ ค.3 การหาความสูงของดินตัดและดินถม 178
รูปที่ ค.4 การหาพื้นที่และปริมาณดินโดยวิธี End area 180