บทที่ 5

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบและเขียนแบบแนวทางทางหลวงนอกเมือง

5.1 บทนำ

การออกแบบแนวทางของทางหลวง ในอดีตมักทำด้วยมือ (Manual design) วิศวกรผู้ออกแบบจะประสบปัญหายุ่งยากหลายประการ เนื่องจากจะต้องใช้ข้อมูลเป็นจำนวนมาก มีข้อกำหนดในการออกแบบหลายประการ ซึ่งจะแตกต่างกันไปขึ้นกับลักษณะสภาพภูมิประเทศที่แนวสายทางผ่าน ประเภท และ ลักษณะการใช้งานของทางหลวงนั้น นอกจากนี้ในการก่อสร้างทางหลวงแต่ละสายทางจะมีค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นจึงจำเป็นที่วิศวกรผู้ออกแบบจะต้องอาศัยการตัดสินใจที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลงานที่ดีที่สุด คือ ประหยัด ปลอดภัย มีความสะดวกสบายในการขับขี่ยวดยาน สามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ และเป็นไปตามข้อกำหนด

ผลงานของการออกแบบของวิศวกรแต่ละบุคคลจะแตกต่างกันไปขึ้นกับประสบการณ์ ความละเอียดรอบคอบ และ การตัดสินใจของวิศวกรผู้ออกแบบ และ เพื่อให้ได้ผลงานที่ดีที่สุด จึงมักมีการปรับปรุงแก้ไขแนวทางของทางหลวงที่ออกแบบเสมอ เมื่อมีการแก้ไขแนวทางของทางหลวง ผู้ออกแบบจะต้องคำนวณ วิเคราะห์ และ ออกแบบใหม่ โดยมีขั้นตอนและวิธีการซ้ำเดิม ซึ่งต้องใช้เวลาและแรงงานอย่างมาก ทำให้เกิดความซ้ำซากจำเจและน่าเบื่อหน่าย ด้วยเหตุผลดังกล่าว ผลงานที่ได้อาจไม่ใช่สิ่งเหมาะสมและดีที่สุดก็ได้

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์มีการพัฒนามากขึ้น และ ก้าวเข้ามามีบทบาทต่อ งานวิเคราะห์ ออกแบบ ที่มีความยุ่งยากซับซ้อน และ ต้องการแรงงานมาก รวมทั้งงานออกแบบแนวทางของทางหลวงด้วย ซึ่งจะช่วยให้ได้ผลงานที่ดีและเหมาะสมยิ่งขึ้น โดยช่วยลดแรงงานและปริมาณงานแก่วิศวกรผู้ออกแบบ ในปัจจุบันระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในงานออกแบบแนวทางของทางหลวงมีหลายโปรแกรม แต่ที่นิยมแพร่หลายที่สุด คือ MOSS Modelling System ซึ่งเป็นโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ ออกแบบงาน

ที่เกี่ยวกับพื้นผิว (Surface Modelling) เช่น งานสำรวจภูมิประเทศ งานออกแบบทางด้านเรขาคณิตของถนน ทางรถไฟ เขื่อน อ่างเก็บน้ำ สะพาน เป็นต้น โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Moss Modelling System เป็น ระบบโปรแกรมที่มีความสมบูรณ์มากที่สุดโปรแกรมหนึ่ง สามารถวิเคราะห์ออกแบบและแสดงผลในรูปกราฟฟิกในระบบ 3 มิติได้ อย่างไรก็ตามข้อมูลสภาพภูมิประเทศหรือที่ MOSS เรียกว่า แบบจำลองพื้นผิว (Surface Modellings) จะต้องมีความสมบูรณ์จึงจะสามารถใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ การนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ MOSS มาใช้ในงานออกแบบทางหลวงนอกเมืองในประเทศไทยอาจไม่คุ้มค่ามากนัก เนื่องจากเป็นระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีราคาสูง และ วิธีการเก็บข้อมูลจากการสำรวจ และ ลักษณะของข้อมูลที่ใช้ในงานออกแบบแนวทางของทางหลวงในประเทศไทยส่วนใหญ่ยังไม่สอดคล้อง และ เหมาะสมกับที่จะใช้ในระบบโปรแกรม MOSS มากนัก ถ้าข้อมูลสภาพภูมิประเทศในระบบคอมพิวเตอร์เป็นพื้นที่กว้าง มีความละเอียดและลักษณะของสภาพภูมิประเทศเป็นข้อจำกัด และ อุปสรรค ในการออกแบบแนวทางมาก ๆ ระบบโปรแกรม MOSS จะสามารถช่วยในงานออกแบบได้อย่างมากและมีประสิทธิภาพอย่างยิ่ง โดยจะสามารถวิเคราะห์ออกแบบหลีกเลี่ยงข้อจำกัดและอุปสรรคได้ ระบบโปรแกรม MOSS จึงมีความเหมาะสมอย่างยิ่งในการออกแบบแนวทางของถนนในเมือง สำหรับการสำรวจเก็บข้อมูลที่ใช้ในงานออกแบบแนวทางหลวงนอกเมืองในประเทศไทย จะเก็บข้อมูลสำรวจไปตามแนวสายทางเบื้องต้นที่กำหนดไว้ในสำนักงาน ภายหลังจากการสำรวจ ก็จะได้แนวทางราบของทางหลวงเพื่อใช้ในการออกแบบ ซึ่งไม่จำเป็นจะต้องวิเคราะห์ออกแบบแนวทางราบอีกหรือถ้ามีก็จะแก้ไขเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จึงอาจไม่คุ้มค่ามากนักที่จะใช้ระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีราคาสูงมาก ๆ

การศึกษาครั้งนี้ เป็นการพัฒนาระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อช่วยในงานออกแบบ และ เขียนแบบแนวทางของทางหลวงนอกเมือง ให้เหมาะสมกับลักษณะข้อมูล วิธีการ และมาตรฐาน ข้อกำหนดที่ใช้อยู่ในประเทศไทย โดยจะเป็นการพัฒนาให้เป็นระบบคอมพิวเตอร์ที่สามารถใช้งานได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายมากนัก และ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้ในการพัฒนาก็สามารถหาได้ง่ายในท้องตลาดคอมพิวเตอร์ทั่วไป

5.2 ขั้นตอนการออกแบบแนวทางของทางหลวง

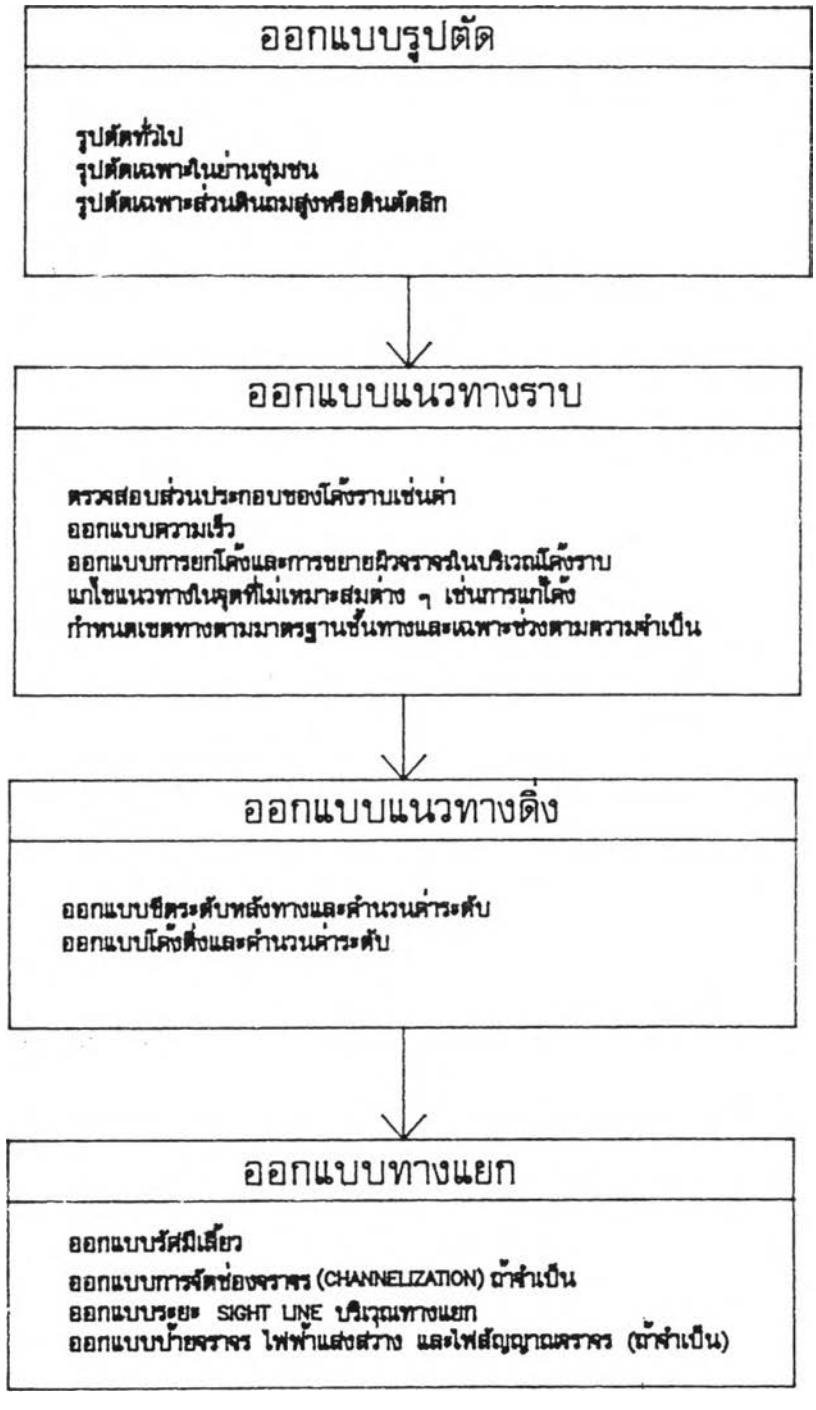
การออกแบบแนวทางของทางหลวง เป็นการออกแบบทางด้านเรขาคณิต หรือหมายถึงการออกแบบส่วนต่าง ๆ ของถนน ซึ่งประกอบไปด้วยมิติต่าง ๆ อันเป็นไปในลักษณะ 3 มิติ คือ ความกว้างของถนน แนวทางราบ และ แนวทางดิ่ง รวมทั้งการออกแบบองค์ประกอบเพื่อความปลอดภัย และ ความสะดวกสบายของผู้ขับขี่ โดยวิศวกรผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงปัจจัยหลาย ๆ ด้านประกอบในการตัดสินใจด้วย เช่น ปัจจัยทางด้านเศรษฐกิจ เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในการลงทุน โดยจะต้องอาศัยข้อมูลต่าง ๆ ประกอบการพิจารณา เช่น

1) ข้อมูลสภาพภูมิประเทศ และ สภาพแวดล้อมที่แนวสายทางผ่าน
2) ข้อมูลด้านการจราจร
3) ข้อมูลลักษณะของยวดยาน
4) มาตรฐานของชั้นทาง และ ข้อกำหนดขั้นต่ำที่ใช้ในการออกแบบ

หลังจากทราบข้อมูลดังกล่าวข้างต้นแล้ว ผู้ออกแบบจะรวบรวมเป็นข้อมูลประกอบการออกแบบ โดยสามารถแบ่งขั้นตอนการออกแบบทางด้านเรขาคณิตของแนวทางทางหลวงได้เป็น 4 ขั้นตอนใหญ่ ๆ ดังนี้

1) ออกแบบรูปตัดของทางหลวง
2) ออกแบบแนวทางราบ
3) ออกแบบแนวทางดิ่ง
4) ออกแบบทางแยก

ขั้นตอนการออกแบบทางด้านเรขาคณิตของทางหลวงแสดงไว้ในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ขั้นตอนการออกแบบแนวทางทางหลวง
(คู่มือการออกแบบทาง, กรมทางหลวง)

5.3 การสร้างระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในงานออกแบบและเขียนแบบแนวทางทางหลวง

5.3.1 โปรแกรมและภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้

งานออกแบบแนวทางหลวงเป็นงานที่เกี่ยวข้องกับมิติ 3 แกน หรือ เป็นระบบ 3 มิติ เป็นการผสมผสานแนวทางราบเข้ากับแนวทางดิ่งให้มีความเหมาะสม ในการออกแบบเป็นการยากที่จะออกแบบในระบบ 3 มิติ ทีเดียว เนื่องจากมีความยุ่งยากและซับซ้อน ดังนั้นจึงมีการแยกขั้นตอนการออกแบบเป็น 2 ส่วน คือ ออกแบบแนวทางราบและแนวทางดิ่ง ซึ่งผู้ออกแบบจะต้องมีความรอบคอบ และ ออกแบบให้แนวทางทั้งสองมีความสอดคล้องและกลมกลืนกัน การออกแบบจะได้ผลงานที่ดี และ เหมาะสมหากสามารถเห็นภาพทั้งแนวทางราบ และ แนวทางดิ่งพร้อมกันในขณะที่ออกแบบซึ่งจะทำให้วิศวกรผู้ออกแบบสามารถตัดสินใจได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม ในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในงานออกแบบและเขียนแบบแนวทางทางหลวง จึงได้เลือกโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีลักษณะการแสดงผลเป็นภาพกราฟฟิก สามารถวาดภาพดังกล่าวออกมาเป็นแบบรายละเอียดได้ และ มีภาษาคอมพิวเตอร์ที่สามารถพัฒนาคำสั่งช่วยในการทำงานได้ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีคุณลักษณะดังกล่าวที่เป็นที่นิยมแพร่หลาย และ สามารถหามาได้ง่ายในตลาดคอมพิวเตอร์ทั่วไป ได้แก่ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ AutoCAD โดยภาษาคอมพิวเตอร์ที่สามารถพัฒนาคำสั่งช่วยในการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ AutoCAD ได้แก่ภาษาคอมพิวเตอร์ AutoLISP

5.3.2 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ AutoCAD

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ AutoCAD เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปเชิงพาณิชย์ (Commercial Software) ช่วยในงานเขียนแบบ และ ออกแบบ (Computer-aided design) ที่เป็นที่นิยมแพร่หลายมากที่สุดโปรแกรมหนึ่ง เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถใช้งานได้บนเครื่องคอมพิวเตอร์ตระกูล ไอบีเอ็ม (IBM-Compatible Computers) และบนเครื่องมินิคอมพิวเตอร์ (Mini Computers) หรือเวิร์คสเตชัน (Work stations)

ลักษณะการทำงานของโปรแกรมสามารถติดต่อรับข้อมูลจากผู้ใช้ได้จากการพิมพ์ผ่านแป้นพิมพ์และอุปกรณ์ชี้ เช่น เม้าส์ (Mouse) หรือดิจิไตเซอร์ (Digitizer)

เมื่อผู้ใช้เข้าสู่โปรแกรมจะปรากฏพื้นที่ทำงานแบบกราฟฟิก (Drawing editor) และระบบเมนู (Menu) บนจอภาพ โดยจอภาพนี้สามารถจะสลับเป็นได้ทั้ง แบบข้อความ (Text mode) และ แบบกราฟฟิก (Graphic mode) โปรแกรมคอมพิวเตอร์ AutoCAD มีคำสั่งช่วยในการเขียนและวาดภาพทางด้านเรขาคณิตต่าง ๆ มากมาย เช่น คำสั่งสร้างเส้นตรง เส้นโค้ง วงกลม ภาพสามมิติ ซึ่งผู้ใช้สามารถนำไปใช้เขียนแบบรายละเอียดในด้านต่าง ๆ ได้ ภายหลังจากการสร้างภาพรายละเอียดตามที่ต้องการเรียบร้อยแล้วผู้ใช้สามารถที่จะพิมพ์ออกมาเป็นแบบ (Drawings) ได้โดยการพิมพ์ผ่านทางอุปกรณ์ที่ใช้ในการพิมพ์ เช่น เครื่องพิมพ์ และเครื่องวาดรูป (Plotters) ซึ่งต่อเชื่อมกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

ปัจจุบันโปรแกรมคอมพิวเตอร์ AutoCAD เป็นโปรแกรมที่มีความนิยมมากที่สุด ที่ใช้ช่วยในงานเขียนแบบด้านวิศวกรรมต่าง ๆ เช่น งานเขียนแบบด้านวิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมโครงสร้าง และ งานเขียนแบบทางด้านสถาปัตยกรรม

คุณสมบัติพื้นฐานของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ที่สามารถใช้งาน กับโปรแกรมAutoCAD อย่างเหมาะสม ประกอบด้วย

1) เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ (ตระกูลไอบีเอ็ม) ที่มีส่วนประมวลผล (CPU) สูงกว่า DX80386 และมีอุปกรณ์ช่วยการคำนวน (Math Co-processor)

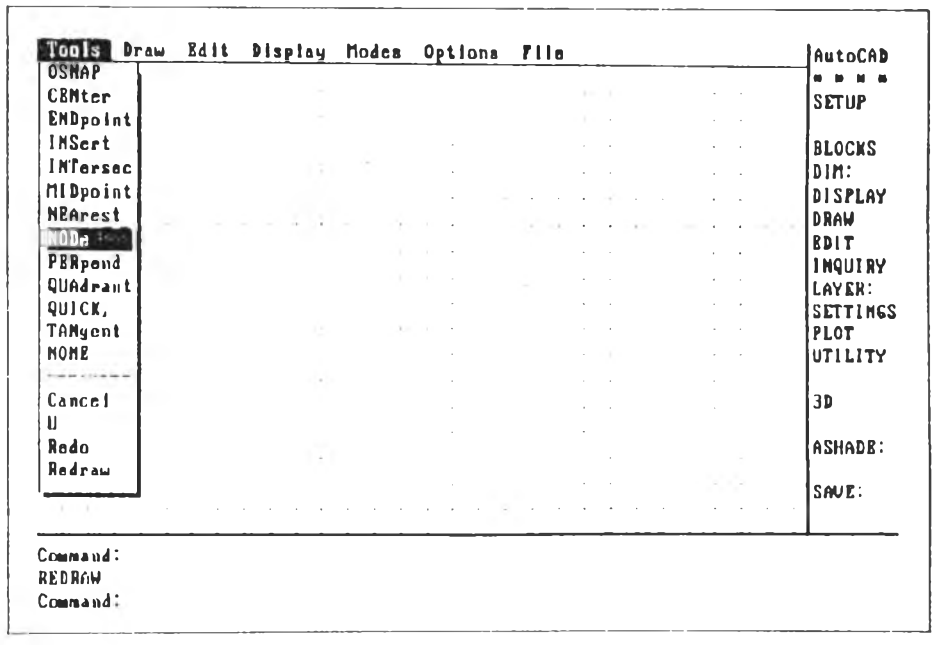
2) มีหน่วยความจำ (RAM) อย่างน้อย 4 เมกกะไบต์

3) จอภาพสีที่มีอุปกรณ์แสดงผลความละเอียดสูง

4) ฮาร์ดดิสก์ (Harddisk)

5) เครื่องขับจานแม่เหล็ก (Disk Drive)

6) อุปกรณ์ชี้ (Pointing devices)

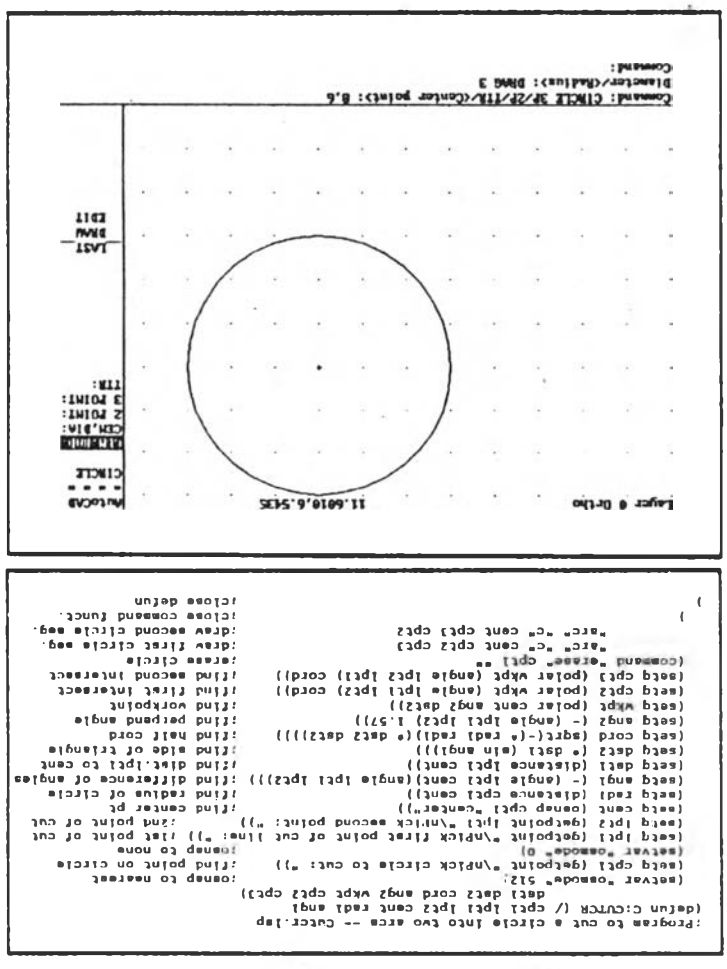


รูปที่ 5.2 ลักษณะรูปแบบของระบบเมนู และ พื้นที่การทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ AutoCAD

5.3.3 ภาษาคอมพิวเตอร์ AutoLISP

ภาษาคอมพิวเตอร์ AutoLISP เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการพัฒนาคำสั่งในโปรแกรม AutoCAD ให้มีลักษณะเป็นโครงสร้างโปรแกรม โดยมีโครงสร้างภาษาและ ตัวแปรคำสั่งเป็นแบบเดียวกันภาษาคอมพิวเตอร์ LISP ซึ่งเป็นภาษาที่ถือว่าดีมากที่สุดภาษาหนึ่ง ภาษา LISP ได้รับเลือกให้เป็นภาษาที่ใช้ในงานปัญญาประดิษฐ์ (Artificial intelligence) และ งานระบบผู้ชำนาญการ (Expert System)

โครงสร้างของภาษาคอมพิวเตอร์ AutoLISP จะมีลักษณะเป็นชุดคำสั่ง (functions) แยกออกเป็นส่วน ๆ แต่ละชุดคำสั่งจะต้องเขียนไว้ภายในเครื่องหมายวงเล็บ โดยภายในแต่ละชุดคำสั่งสามารถจะสร้างชุดคำสั่งย่อยได้อีก และ แต่ละชุดคำสั่งสามารถเรียกใช้งานซึ่งกันและกันได้ นอกจากนี้ภายในชุดคำสั่งเดียวกันอาจสามารถใช้ชุดคำสั่งย่อยเรียกตัวเองให้ทำงานได้ (Recursion Program) ตัวอย่างลักษณะ และโครงสร้างของชุดคำสั่งภาษาคอมพิวเตอร์ AutoLISP แสดงไว้ในรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 ตัวอย่างชุดคำสั่งภาษาคอมพิวเตอร์ AutoLISP

5.4 แนวทางในการพัฒนาระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในงานออกแบบและเขียนแบบทางหลวงนอกเมือง

การศึกษาครั้งนี้ เป็นการสร้างระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อ ช่วยในงานออกแบบและเขียนแบบทางหลวงนอกเมือง โดยมีเป้าหมายให้ผู้ใช้โปรแกรมหรือวิศวกรผู้ออกแบบสามารถใช้งานได้ง่ายและสะดวก ดังนั้น แนวทางในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์จึงจะจำลองขั้นตอนการออกแบบด้วยมือ (Manual design)ตามที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเข้าใจขั้นตอน และ วิธีการออกแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ง่าย โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ถูกสร้างขึ้นนี้จะช่วยทำงานในส่วนที่เป็นการคำนวนและการเขียนแบบที่มีความยุ่งยากและต้องใช้แรงงานเป็นจำนวนมาก รวมถึง

ช่วยตรวจสอบเงื่อนไข ข้อกำหนดตามมาตรฐานการออกแบบในบางส่วนด้วย

ผู้ใช้โปรแกรม หรือ วิศวกรผู้ออกแบบจะทำหน้าที่เป็นผู้กำหนด ออกแบบแนวทางของทางหลวง พร้อมป้อนข้อมูล ข้อกำหนด และ เงื่อนไขที่ใช้ในการออกแบบ แล้วให้คอมพิวเตอร์เป็นผู้คำนวนหาองค์ประกอบทางด้านเรขาคณิตของแนวทางของทางหลวง ทั้งแนวทางราบและแนวทางดิ่ง จากนั้นผู้ใช้จะเป็นผู้ตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้ว่าอยู่ในระดับที่น่าพอใจตามความต้องการหรือไม่ หากไม่พอใจก็สามารถแก้ไข หรือ ออกแบบใหม่ได้ โดยกระทำตามขั้นตอนการทำซ้ำเดิม การออกแบบใหม่นี้ ในอดีตที่เป็นการออกแบบด้วยมือจะเป็นขั้นตอนที่น่าเบื่อหน่าย เนื่องจากเสียเวลา และ ต้องใช้แรงงานเป็นจำนวนมาก

ภายหลังจากขั้นตอนการออกแบบ ซึ่งได้ผลงานออกมาเป็นที่น่าพอในของผู้ออกแบบแล้ว จะเป็นการนำแนวทางของทางหลวงที่ได้ออกแบบมาเขียนลงในแบบก่อสร้าง ซึ่งขั้นตอนนี้จะเป็นอีกขั้นตอนหนึ่งที่ต้องใช้เวลา และ แรงงานมาก โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ถูกสร้างขึ้นนี้จะเป็นส่วนช่วยให้ขั้นตอนงานเขียนแบบเป็นไปอย่างสะดวกและรวดเร็ว โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะช่วยในงานเขียนแบบที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติ และ องค์ประกอบของทางหลวงซึ่งเป็นผลที่ได้จากการออกแบบข้างต้น

5.5 โครงสร้างและส่วนประกอบหลักของโปรแกรม

ในการศึกษาเพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในงานออกแบบ และเขียนแบบทางหลวงนอกเมือง ได้กำหนดโครงสร้างหลักของโปรแกรมออกเป็น 4 ส่วน ใหญ่ ๆ คือ ส่วนการป้อนข้อมูล ส่วนออกแบบแนวทางราบ ส่วนออกแบบแนวทางดิ่ง และส่วนการเขียนแบบ

5.5.1 ส่วนการป้อนข้อมูล

ในงานออกแบบแนวทางทางหลวงจะต้องอาศัยข้อมูลประกอบการออกแบบเป็นจำนวนมาก โดยทั่วไปในงานออกแบบทางหลวงด้วยมือ ภายหลังจากการสำรวจเก็บรายละเอียดของพื้นที่ที่แนวทางหลวงผ่านแล้ว วิศวกรผู้ออกแบบจะได้ข้อมูลสำหรับงานออกแบบ ดังนี้

1) ข้อมูลสภาพภูมิประเทศ หรือ ค่าระดับดินเดิม ซึ่งประกอบไปด้วย

ค่าระดับของดินเดิมตามแนวศูนย์กลางถนนตามยาว (Profile) และ ค่าระดับดินเดิมตามรูปตัดตามขวาง (Cross-section)

2) ข้อมูลรายละเอียดของพื้นที่ หรือ รายละเอียดของสิ่งต่าง ๆ ที่ใช้ในการพิจารณาประกอบการออกแบบ เช่น อาคารบ้านเรือน ลำน้ำ เสาไฟ รั้ว ถนน สะพาน ท่อระบายน้ำ ต้นไม้ ทางแยก ร่องน้ำ เป็นต้น

3) แนวทางราบของทางหลวง ซึ่งได้จากการสำรวจในสนาม โดยจะได้องค์ประกอบทางเรขาคณิตของโค้งราบมาด้วย วิศวกรผู้ออกแบบอาจพิจารณาแก้ไขในบางส่วนหากมีจุดที่ไม่เหมาะสม แต่โดยปกติแล้วจะไม่มีการแก้ไข

ภายหลังจากได้ข้อมูลดังกล่าวแล้ว วิศวกรผู้ออกแบบจะนำข้อมูลดังกล่าวมาจัดเตรียมเขียนลงในแบบเพื่อทำการออกแบบ โดยในขั้นแรกจะออกแบบรูปตัดทั่วไปของทางหลวงก่อน แล้วจึงเริ่มออกแบบตามขั้นตอนต่อไป

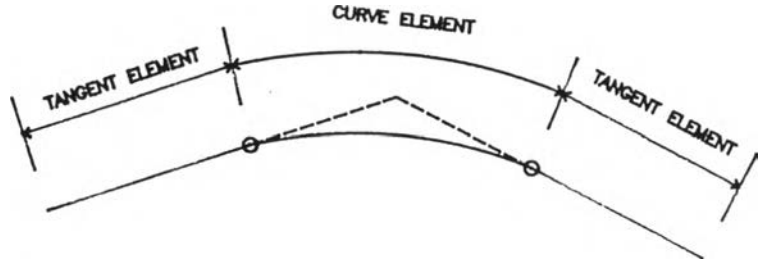
ส่วนการป้อนข้อมูลของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะประกอบไปด้วยข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานออกแบบทางด้านเรขาคณิตของทางหลวง ซึ่งประกอบไปด้วย

1) ข้อมูลแนวทางราบของทางหลวง
2) ข้อมูลรูปตัดทั่วไปของทางหลวง
3) ข้อมูลค่าระดับดินเดิมจากการสำรวจในสนาม

5.5.1.1 การป้อนข้อมูลแนวทางราบของทางหลวง

ในการสำรวจเพื่อเก็บรายละเอียดข้อมูลในสนามตามแนวทางของทางหลวงที่ได้กำหนดในเบื้องต้น ทีมงานสำรวจจะวางแผน และ กำหนดแนวทางของทางหลวงเพื่อการสำรวจโดยกำหนดทิศทางทั้งในส่วนที่เป็นเส้นตรง (Tangents) มุมของการหักเหของแนวทางหลวง (Deflection angle) รวมถึงองค์ประกอบทางด้านเรขาคณิตของแนวทางในส่วนที่เป็นส่วนโค้ง (Horzontal curve) ซึ่งประกอบไปด้วย ค่ารัศมีโค้ง (Rodius) ความยาวเส้นสัมผัส (Tangent) ความยาวโค้ง (Curve length อัตราความโค้ง (Degree of curve) สถานีจุดเริ่มโค้ง (PC STATION) สถานีจุดตัดของแนวทางตรง (PI STATION) และสถานีจุดปลายโค้ง (PI STATION) เป็นต้น ซึ่งหลังจากการสำรวจเก็บรายละเอียดในสนามแล้วจะได้ข้อมูลแนวทางราบของทางหลวงทั้งหมด

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เขียนขึ้นนเพื่อรับข้อมูลแนวทางราบของทางหลวงได้กำหนดให้เป็นไปตามมาตรฐานการสำรวจแนวทางของทางหลวง โดยได้แยกประเภทของส่วนประกอบแนวทางราบออกเป็น 2 ประเภท คือ ส่วนที่เป็นเส้นตรง (Tangent elements) และส่วนที่เป็นส่วนโค้ง (Curve elements) ดังแสดงในรูปที่ 5.4

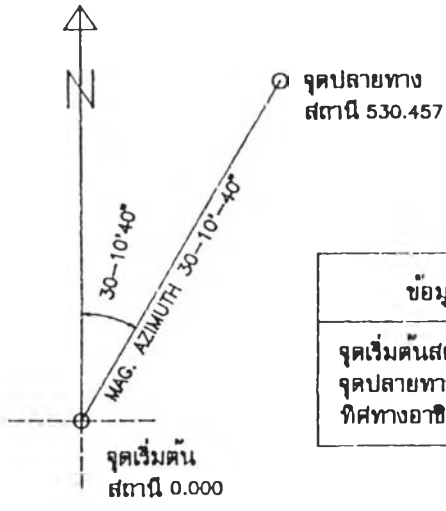


รูปที่ 5.4 ประเภทของส่วนประกอบแนวทางราบ

การป้อนข้อมูลของแนวทางหลวงในส่วนที่เป็นแนวทางตรงและโค้งราบจะแตกต่างกัน ดังนี้

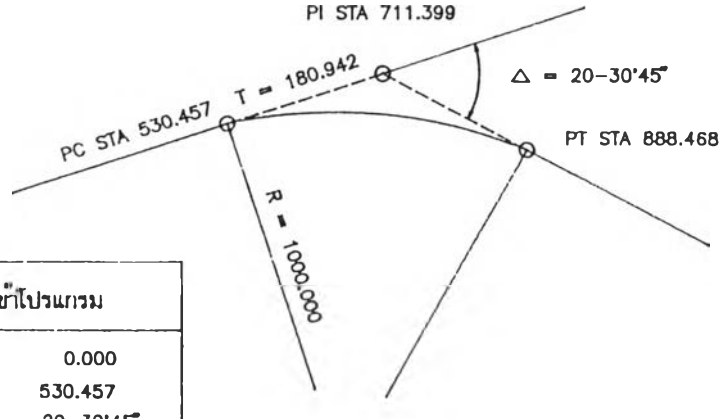
1) แนวทางตรงจะป้อนข้อมูลจุดเริ่มต้น และ จุดปลายของแนวทางตรง และบอกค่าอาซิมุท (Azimuth) หรือค่ามุมที่เบี่ยงเบนจากทิศเหนือ ซึ่งปกติจะกำหนดให้ใช้ค่าเบี่ยงเบนจากทิศเหนือตามขั้วแม่เหล็กโลก (Magnetic azimuth) ดังแสดงในรูปที่ 5.5

2) โค้งราบ โดยปกติถ้าไม่ใช่จุดเริ่มต้นของโครงการแล้ว โปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะคำนวณสถานีจุดเริ่มต้นของแนวทางให้ สำหรับโค้งราบ ข้อมูลที่จะป้อนให้แก่โปรแกรมประกอบด้วย มุมหักเหของแนวทางตรง (Deflection angle) ทิศทางการหักเหว่าจะหักเหไปทางซ้าย (Left turn) หรือ ทางขวา (Right turn) สำหรับองค์ประกอบทางด้านเรขาคณิตของส่วนโค้งนั้น ผู้ใช้สามารถจะเลือกป้อนค่ารัศมีโค้ง หรือความยาวเส้นสัมผัสก็ได้ จากนั้นโปรแกรมจะคำนวณองค์ประกอบส่วนอื่น ๆ ให้



ข้อมูลที่ป้อนเข้าโปรแกรม	
จุดเริ่มต้นสถานี	0.000
จุดปลายทาง สถานี	530.457
ทิศทางอาซิมุท	30-10'-40"

รูปที่ 5.5 ข้อมูลของแนวทางตรงที่ป้อนเข้าสู่โปรแกรมคอมพิวเตอร์



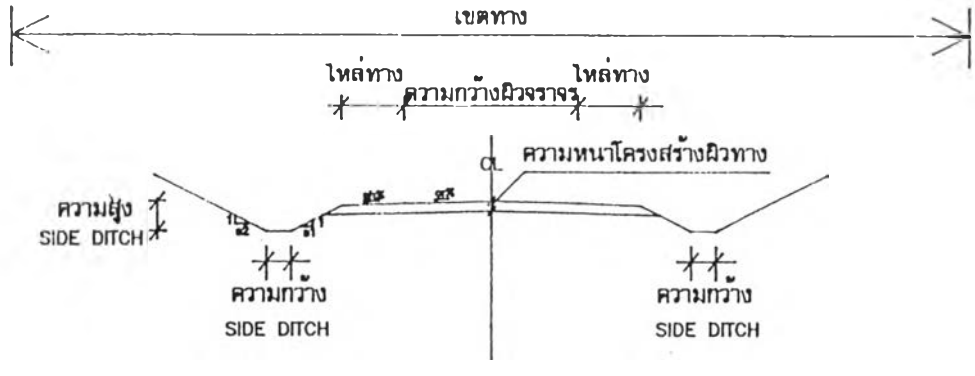
ข้อมูลที่ป้อนเข้าโปรแกรม	
จุดเริ่มต้นสถานี	0.000
จุดปลายทาง สถานี	530.457
มุมหักเห	20-30'45"
ทิศทางการหักเห	RT
รัศมี	1000.000
(เส้นสัมผัส)	180.942

รูปที่ 5.6 ส่วนประกอบโค้งราบที่ป้อนเข้าสู่โปรแกรมคอมพิวเตอร์

5.5.1.2 การป้อนข้อมูลรูปตัดทั่วไปของทางหลวง

หลังจากได้ข้อมูลประกอบการออกแบบแล้ว วิศวกรผู้ออกแบบจะเป็นผู้ตัดสินใจเลือกออกแบบรูปตัดทั่วไปของทางหลวง ซึ่งโดยปกติแล้วจะออกแบบให้เป็นไปตามมาตรฐานของแต่ละหน่วยงานที่เป็นเจ้าของโครงการก่อสร้างทางหลวงนั้น ๆ โดยขนาดและลักษณะของรูปตัดทั่วไปที่เลือกออกแบบนั้น จะแตกต่างกันไปตามหน้าที่ ประเภทชั้นของทางหลวง และ ข้อมูลอื่นประกอบ เช่น ข้อมูลด้านการจราจร ชนิดของยวดยาน และความเร็วที่ใช้ในการออกแบบ และ สภาพภูมิประเทศที่ทางหลวงผ่าน เป็นต้น

รูปแบบของรูปตัดทั่วไปของทางหลวงนอกเมือง โดยปกติแล้วจะมีองค์ประกอบเหมือนกันแตกต่างกันเฉพาะเรื่องขนาดของแต่ละองค์ประกอบเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 รูปตัดทั่วไปของทางหลวงนอกเมือง

องค์ประกอบของรูปตัดทั่วไปของทางหลวงที่ป้อนให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ประกอบไปด้วย

1) ขนาดเขตทาง
2) ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางทางกับแนวเขตทางด้านซ้าย
3) ความกว้างผิวจราจร
4) ความกว้างไหล่ทาง
5) อัตราความลาดของผิวจราจร
6) อัตราความลาดของไหล่ทาง
7) ความลาดชันของคันทาง
8) ความกว้างของท้องร่องทางระบายน้ำข้างทาง
9) ความสูงต่ำสุดของทางระบายน้ำข้างทาง
10) ความลาดชันของดินเดิม (Earth slope) ที่ใช้ในงานดินตัด
11) ความหนาของโครงสร้างผิวทาง

5.5.1.1 การป้อนข้อมูลค่าระดับดินเดิมจากการสำรวจ

ในการออกแบบแนวทางดิ่ง (Vertical alignment) ของทางหลวงจะต้องทราบข้อมูลค่าระดับของดินเดิม เพื่อใช้ในการออกแบบ ระดับของหลังทาง (Roadway grade line) การคิดปริมาณดินในงานก่อสร้างทางหลวง และ การออกแบบทางด้านการระบายน้ำ

ค่าระดับดินเดิมนี้จะได้จากการสำรวจหาค่าระดับตามแนวทาง (Profile leveling) และ การสำรวจค่าระดับดินเดิมความขวางแนวทาง การสำรวจหาค่าระดับตามแนวทางจะทำโดยกำหนดจุดสำรวจไว้ทุกระยะ 25 เมตร จากนั้นจะสำรวจหาค่าระดับไปตามจุดที่กำหนดได้ ก็จะได้ค่าระดับตามแนวทาง ซึ่งอาจจะอยู่ที่แนวศูนย์กลางทางหลวงหรือไม่ก็ได้ สำหรับการสำรวจหาค่าระดับตามขวางแนวทางหรือนั้น คือ การหาค่าระดับดินเดิมไปในแนวตั้งฉากกับแนวทางทางหลวงโดยจะทำการสำรวจทุกระยะ 25 เมตรตามจุดที่กำหนดไว้สำหรับหาค่าระดับดินเดิมตามแนวทางหลวง ขอบเขตของการสำรวจหาค่าระดับตามขวางนั้น จะต้องสำรวจเก็บข้อมูลข้างละเท่ากับขนาดของทางหรือมากกว่าถ้าจำเป็น ระยะห่างจากแนวศูนย์กลางถนนไปตามแนวตั้งฉากที่จะเก็บค่าระดับ

โดยปกติแล้วจะกำหนดให้เป็นค่าที่เท่า ๆ กัน เช่น ทุก ๆ ระยะ 3 เมตร หรือ 5 เมตร เป็นต้น ทั้งนี้ ผู้สำรวจจะต้องสังเกตดูว่าจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงสภานภูมิประเทศจะต้องเก็บค่าระดับด้วยเช่นกัน

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในส่วนรับข้อมูลค่าระดับดินเดิม จะมีลักษณะขั้นตอนเช่นเดียวกับการสำรวจหาค่าระดับดินเดิม โดยจะแบ่งข้อมูลที่ให้ป้อนออกเป็น 3 ส่วน คือ ค่าระดับของดินเดิมที่แนวศูนย์กลางทางหลวง ค่าระดับดินเดิมที่เก็บในบริเวณด้านซ้ายของแนวทางหลวง และค่าระดับของดินเดิมที่เก็บในบริเวณด้านขวาของแนวทางหลวง โดยลักษณะข้อมูลที่ต้องป้อนเข้าสู่โปรแกรม มีดังนี้

1) สถานีที่สำรวจเก็บค่าระดับ

2) ค่าระดับที่แนวศูนย์กลางของทางหลวง

3) ค่าระดับในบริเวณด้านซ้ายของแนวทางหลวง โดยระยะตั้งฉาก (Offset distance) ที่สำรวจหาค่าระดับในบริเวณด้านซ้ายนี้จะกำหนดให้มีค่าเป็นลบ และ ผู้ใช้สามารถเลือกให้โปรแกรมตั้งค่าระยะตั้งฉากนี้แบบอัตโนมัติ หรือ ผู้ใช้จะปรับค่าเองโดยตรงก็ได้

4) ค่าระดับในบริเวณด้านขวาของแนวทางหลวงซึ่งค่าระยะตั้งฉากจากแนวศูนย์กลางในบริเวณด้านขวานี้จะกำหนดให้มีค่าเป็นบวก และเช่นเดียวกับในบริเวนด้านซ้าย คือ ผู้ใช้สามารถเลือกให้โปรแกรมตั้งค่าเป็นแบบอัตโนมัติหรือผู้ใช้ป้อนค่าเองโดยตรง

EXISTING GROUND CROSS SECTION DATA
****

Station : 0.000
Center Elev. (m) : 51.254

LEFT SIDE	Offset	-3.000	-6.000	-9.000	-12.000	-15.000
	Elev.	51.322	51.341	51.426	51.478	51.267
RIGHT SIDE	Offset	3.000	6.000	9.000	12.000	15.000
	Elev.	51.422	51.437	51.468	51.980	51.670

Want to Change/Input next/End (C/I/E) <I> :

รูปที่ 5.8 ลักษณะข้อมูลระดับดินเดิมที่ป้อนเข้าสู่โปรแกรมคอมพิวเตอร์

5.5.2 ส่วนการออกแบบแนวทางราบ

โดยปกติแล้ว องค์ประกอบทางด้านเรขาคณิต ของแนวทางราบของทางหลวง จะได้จากการสำรวจในสนามเกือบทั้งหมด ในขั้นตอนการออกแบบแนวทางราบของทางหลวงนี้ วิศวกรผู้ออกแบบเพียงตรวจสอบดูว่า องค์ประกอบดังกล่าวข้างต้น มีความเหมาะสมหรือไม่หากมีบางจุดไม่เหมาะสมก็จะแก้ไขให้มีความเหมาะสม ดังนั้น งานของวิศวกรผู้ออกแบบในขั้นตอนนี้จะเกี่ยวข้องเพียง การออกแบบองค์ประกอบแนวทางราบเพื่อความปลอดภัยของผู้ขับขี่ เท่านั้น

องค์ประกอบแนวทางราบเพื่อความปลอดภัยประกอบด้วย การยกโค้งในบริเวณโค้งราบ และการขยายผิวจราจร (Widening) ในบริเวณโค้งราบ

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นมาเพื่อช่วยในงานออกแบบในส่วนนี้ จะมีลักษณะการทำงานโดยจะอ่านข้อมูลแนวทางราบของทางหลวงที่ผู้ใช้ป้อนให้โปรแกรมไปแล้ว จากนั้นจะตรวจสอบหาส่วนประกอบแนวทางหลวงที่เป็นโค้งราบ (Curve element) เมื่อพบแล้วจะแสดงข้อมูลให้ผู้ออกแบบได้ทราบองค์ประกอบของโค้งราบนั้น จากนั้นโปรแกรมจะถามค่าความเร็วออกแบบ (Design speed) ที่ใช้ในบริเวณโค้งราบนั้น และ คำนวนค่าอัตราการยกโค้ง

สำหรับขนาดความกว้างผิวจราจร ที่ต้องขยายในบริเวณโค้งราบ นั้น โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะคำนวณให้โดยยานพาหนะมาตรฐานที่ใช้ในการคำนวณ คือ รถบรรทุกชนิด Single unit truck และสมการที่ใช้ในการคำนวณได้จากค่าแนะนำในหนังสือนโยบายการออกแบบด้านเรขาคณิตของทางหลวง ของ AASHTO

ภายหลังจากการคำนวณค่าทั้งสองแล้วโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะคำนวณหาจุดเริ่มต้นการยกโค้ง จุดที่มีการยกโค้งเต็มที่ (Full superelevation) และจุดสิ้นสุดการยกโค้ง ซึ่งค่าทั้งหมดที่ได้นี้จะนำไปใช้ในขั้นตอนการคำนวณปริมาณงานดินโดยการสร้างรูปตัดของถนนตามค่าการยกโค้งและการขยายผิวจราจรในบริเวณโค้งราบ นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณจะถูกเก็บไว้เป็นแฟ้มข้อมูล (Data file) เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนอื่น ๆ อีก ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แสดงไว้ในรูปที่ 5.9

```
**********
CURVE DATA
**********

Curve no.  :  1
From station      :  200.000          Back azimuth       :  30d46'4"
To station        :  287.266          Foreward azimuth   :  40d44'14"
Deflect. angle    :  10d1'36"         Turning direction  :  RT
Radius (m)        :  500.000          P.C. Station  :  200.000
Tangent (m)       :  43.744           P.I. Station  :  243.744
Curve length (m)  :  87.266           P.T. Station  :  287.266
External dist.(m) :  1.920            Speed (KPH)   :  80.000
S.E (m/m)         :  0.055            Widening (m)  :  0.075
S.E. Attained from STA.  :  164.169   To STA.  :  235.831
S.E. Removed from STA.   :  251.435   To STA.  :  323.097
```

รูปที่ 5.9 ผลลัพธ์การออกแบบองค์ประกอบเพื่อความปลอดภัยของแนวทางราบ ที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์

5.5.3 ส่วนการออกแบบแนวทางดิ่ง

การออกแบบแนวทางดิ่งของทางหลวงเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยจะเป็นขั้นตอน ที่มีผลต่อปริมาณงาน และ ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างทางหลวงอย่างมาก วิศวกรผู้ออกแบบจะต้องใช้ข้อมูล และ แรงงานเป็นจำนวนมากในขั้นตอนนี้

การออกแบบแนวทางดิ่งด้วยมืออาจแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ การออกแบบระดับหลังทางหรือการขีดระดับหลังทาง (Grade lines) และการออกแบบโค้งดิ่ง (Vertical curves) ก่อนที่จะมีการออกแบบแนวทางดิ่ง ผู้ออกแบบจะนำเอาค่าระดับดินเดิมที่ศูนย์กลางตามแนวทางหลวงหรือรูปตัดทางยาวมาเขียนลงในแบบโดยใช้มาตราส่วน 2 ขนาด คือ ในแนวทางราบจะใช้มารตรส่วน 1:1,000 และ ในแนวทางดิ่งจะใช้มาตราส่วน 1:100 ค่าระดับดินเดิมตามแนวทางหลวงที่เขียนขึ้นมานี้ จะนำมาใช้ในการออกแบบแนวทางดิ่ง เพื่อให้ผู้ออกแบบได้เห็นภาพของสภาพภูมิประเทศ และ สามารถที่จะออกแบบให้เหมาะสมและสอดคล้องกับสภาพภูมิประเทศที่แนวสายทางผ่าน

การขีดระดับหลังทาง ผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาให้เป็นไปตามข้อกำหนดตามมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ เช่น ความลาดชันสูงสุดที่ยอมให้ ความสูงต่ำสุดของระดับหลังทาง เพื่อให้สูงกว่าระดับน้ำสูงสุด (High waterlevel ,HWL) ในบริเวณที่แนวสายทางผ่าน หรือ พิจารณาความลึกของดินถมและดินตัดที่เหมาะสมเพื่อให้ปริมาณงานดินน้อยและประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างที่สุด

ภายหลังจากขั้นตอน การขีดระดับหลังทาง และ ได้ความลาดของระดับหลังทาง (Grade lines) ที่เหมาะสมแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการออกแบบโค้งดิ่งของทางหลวง ในจุดที่มีการเปลี่ยนความลาดของระดับหลังทางที่มีความแตกต่างของความลาดทางคณิตศาสตร์ (Algebraic difference in grades) มีค่ามาก และจำเป็นจะต้องใส่โค้งดิ่งเพื่อให้การขับขี่ยวดยานเป็นไปด้วยความราบรื่น โค้งดิ่งที่ใช้ในการออกแบบจะเป็นโค้งพาราโบลา และแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1)โค้งคว่ำ (Crest Vertical Curve)

2)โค้งหงาย (Sag Vertical Curve)

ในการออกแบบโค้งดิ่งทั้งสองชนิดจะต้องพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ประกอบในการออกแบบให้เหมาะสม เช่น ความเร็วในการออกแบบ ระยะมองเห็น และ ความยาวโค้งดิ่งต่ำสุดที่ยอมให้

หลังจากผ่านขั้นตอนการออกแบบแนวทางดิ่ง จะได้แนวทางที่ผู้ออกแบบมีความพอใจแล้ว จะคำนวณปริมาณงานดินโดยนำเอาค่าระดับดินเดิมตามขวางของแนวทางมาเขียนในกระดาษกราฟ ซึ่งปกติจะใช้มาตราส่วน 1:100 และ เขียนรูปตัดทั่วไปของทางหลวงในมาตราส่วนเดียวกัน จากนั้นนำเอารูปตัดทั่วไปของทางหลวงมาครอบซ้อนกันกับรูปตัดตามขวางของค่าระดับดินเดิม ถ้าเป็นจุดที่เป็นดินถมก็จะไม่มีทางระบายน้ำข้างทาง แต่ถ้าเป็นบริเวณที่เป็นดินตัดก็จะมีทางระบายน้ำข้างทาง การคำนวณหาพื้นที่ดินตัด และดินถมปกติจะใช้ค่าโดยประมาณ ซึ่งได้จากการนับจำนวนช่องกราฟตามมาตราส่วนที่เขียน เมื่อได้จำนวนพื้นที่ของดินตัดและดินถมแล้ว ก็นำมาคำนวณหาปริมาตรของดินตัด และ ดินถม ซึ่งมีหลายวิธีในการคำนวน เช่น วิธี END AREA METHOD และ PRISMOIDAL FORMULA เป็นต้น วิธีที่เป็นที่นิยมมากที่สุดคือ วิธี END AREA METHOD

จากกระบวนการ หรือ ขั้นตอนการออกแบบแนวทางดิ่งที่กล่าวข้างต้น จะเห็นว่าเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ ต้องใช้เวลา และ แรงงานเป็นจำนวนมาก เนื่องจากผู้ออกแบบจะต้องทำงานหลาย ๆ ส่วนพร้อม ๆ กัน กล่าวคือ จะต้องพิจารณาออกแบบแนวทางดิ่งไว้เหมาะสมสอดคล้องกับสภาพภูมิประเทศ ให้อยู่ภายใต้ข้อกำหนดมาตรฐานความต้องการต่ำสุด (Minimum Standards) และ ประหยัดค่าใช้จ่ายการก่อสร้าง ต้องมีการเขียนแบบโดยเฉพาะรูปตัดตามขวางของดินเดิม ซึ่งจะต้องเขียนทุก ๆ สถานี โดยแต่ละสถานีมีระยะห่างกัน 25 เมตร หรือ ภายในความยาว 1 กิโลเมตรของทางหลวงจะต้องเขียนรูปตัดตามขวางของดินเดิมเป็นจำนวนถึง 41 รูป นอกจากนี้ในการคำนวณหาพื้นที่ดินตัด ดินถมก็เช่นเดียวกันจะต้องทำทุกสถานี ด้วยปริมาณงาน และ แรงงานที่ต้องใช้มากนี้ การแก้ไขแนวทางดิ่งเพื่อให้ได้ผลงานที่เหมาะสมและประหยัด จึงเป็นสิ่งที่มีความยุ่งยากและน่าเบื่อหน่าย ทำให้ผลงานที่ได้จากการออกแบบด้วยมือโดยวิศวกรอาจไม่ใช่แนวทางดิ่งที่ดีที่สุดก็ได้

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นมาเพื่อช่วยในการออกแบบแนวทางดิ่งนี้จะเป็นส่วนที่ช่วยวิศวกรผู้ออกแบบอย่างมาก โดยวิศวกรผู้ออกแบบ จะเป็นเพียงผู้กำหนดแนวทางดิ่ง โดยการขีดระดับหลังทางบนจอภาพ ซึ่งแสดงผลด้วยระบบทางกราฟฟิก และ

ออกแบบโค้งในแต่ละบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงความลาดของแนวทางดิ่งเท่านั้น ในส่วนของการคำนวณและการเขียนแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะเป็นผู้ทำงานให้ และ ผู้ออกแบบสามารถตรวจสอบผลงานได้ หากไม่พอใจก็สามารถออกแบบใหม่ได้จนกว่าจะได้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจและเหมาะสม โดยในการออกแบบใหม่นี้สามารถทำได้สะดวก และไม่เสียเวลามาก การออกแบบแนวทางดิ่งโดยคอมพิวเตอร์ สามารถแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนใหญ่ ๆ ดังนี้

1) การวาดค่าระดับดินเดิมที่ศูนย์กลางตามแนวทางหลวง
2) ขีดระดับหลังทาง (Grade lines design)
3) ออกแบบโค้งดิ่ง (Vertical curve design)
4) การคำนวณปริมาณดิน (Earth work calculations)

ขั้นตอนโครงสร้างของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในส่วนการออกแบบแนวทางดิ่ง แสดงไว้ในรูปที่ 5.10

5.5.3.1 การวาดภาพระดับดินเดิมที่ศูนย์กลางตามแนวทางหลวง

ก่อนที่จะออกแบบแนวทางดิ่ง จะต้องมีการเขียนภาพค่าระดับดินเดิม ที่ศูนย์กลางตามแนวทางหลวงก่อน เพื่อให้ ผู้ออกแบบสามารถออกแบบได้อย่างเหมาะสมและสอดคล้องกับสภาพภูมิประเทศ ข้อมูลค่าระดับดินเดิมที่ผู้ใช้ป้อนเข้าสู่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในขั้นตอนก่อนหน้านี้ เป็นลักษณะค่าระดับตามขวาง ในการสร้างภาพค่าระดับดินเดิมตามแนวทางหลวงโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะมีหัวข้อเลือกในระบบเมนูให้ผู้ใช้สั่งให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สร้างข้อมูลที่เป็นค่าระดับดินเดิมตามแนวทางหลวงโดยเฉพาะขึ้นมาก่อน เพื่อให้การอ่านข้อมูลและสร้างภาพเป็นไปด้วยความรวดเร็ว จากนั้นผู้ใช้จะสามารถเลือกข้อเลือกให้คอมพิวเตอร์สร้างภาพกราฟฟิกของระดับดินเดิมตามแนวทางหลวงบนจอภาพได้ โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะวาดภาพโดยใช้มาตรส่วน 2 ชนิด เช่นเดียวกับการวาดด้วยมือ คือมาตราส่วน 1:1,000 ในแนวราบและ 1:100 ในแนวดิ่ง

การวาดภาพค่าระดับดินเดิมตามแนวทางหลวงโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะวาดภาพตลอดความยาวของสายทาง เพื่อให้ผู้ออกแบบสามารถเห็นภาพของลักษณะภูมิประเทศตลอดเส้นทาง ซึ่งจะเป็นข้อดีทำให้ผู้ออกแบบ สามารถเลือกตัดสินใจ

ได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ ผู้ใช้สามารถจะขยายภาพ ในบริเวณที่มีความสนใจให้เห็นชัดเจนได้

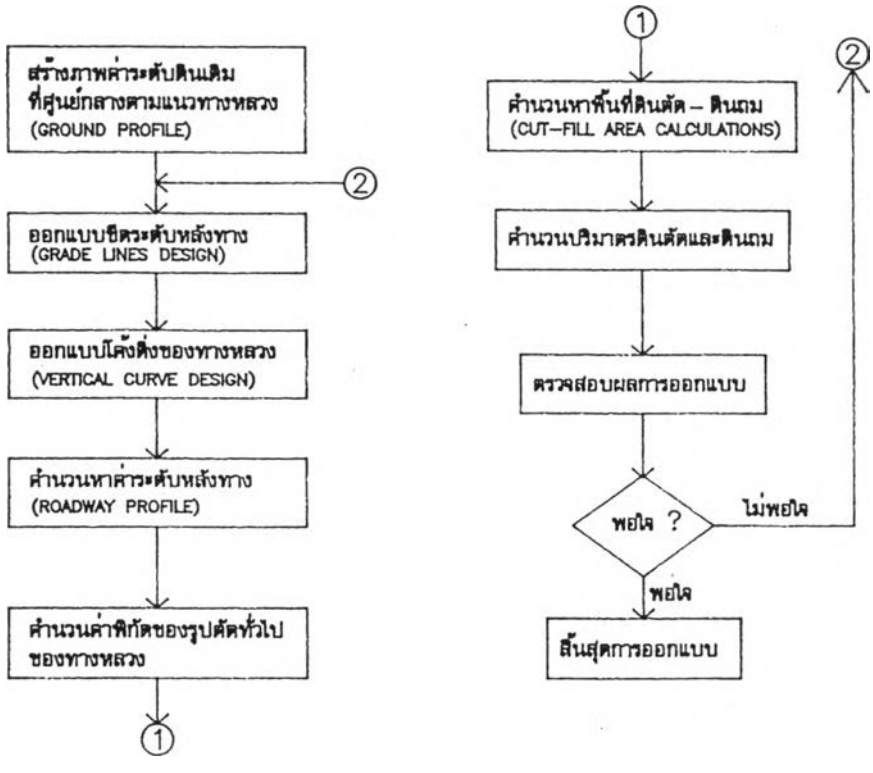
ตัวอย่าง รูปแบบของค่าระดับดินเดิมตามแนวทางหลวงที่วาดโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แสดงไว้ในรูปที่ 5.11

5.5.3.2 การขีดระดับหลังทาง

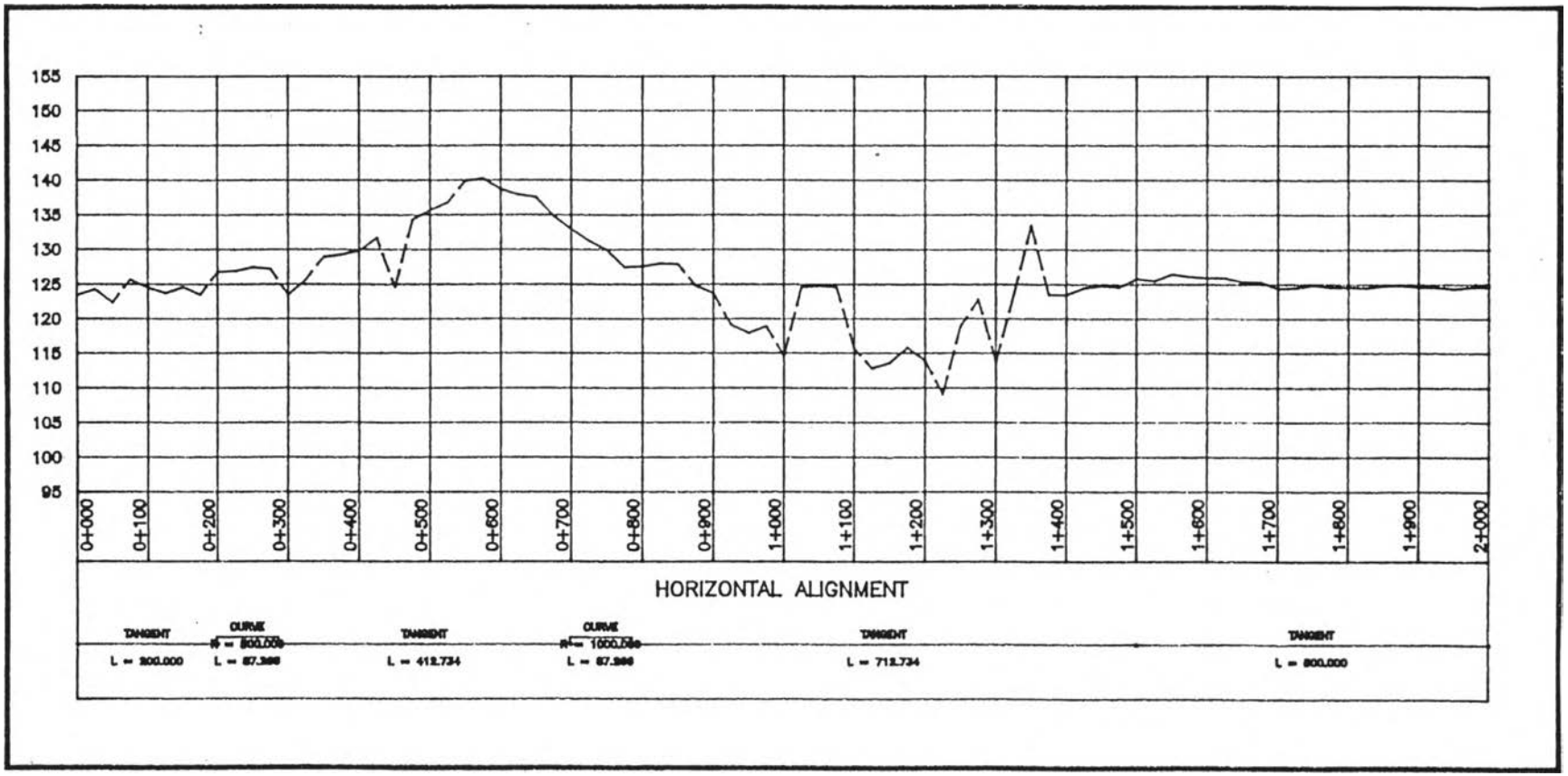
การขีดระดับหลังทางของทางหลวง เป็น ส่วนสำคัญอย่างยิ่งในขั้นตอนการออกแบบแนวทางดิ่ง ผู้ออกแบบจะต้องมีความละเอียดรอบคอบ ต้องคำนึงถึงปริมาณงาน การประหยัดค่าใช้จ่ายการก่อสร้าง ความปลอดภัย และ ความราบรื่น ในการขับขี่ของผู้ขับขี่ยวดยาน

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในงานออกแบบระดับหลังทางนี้ จะมีลักษณะการรับข้อมูลและแสดงผลในรูปกราฟฟิก ผู้ออกแบบจะเป็นผู้กำหนดหรือขีดระดับหลังทางโดยใช้อุปกรณ์ชี้ในที่นี้ใช้เม้าส์ (Mouse) การกำหนดจุดเริ่มต้น และ จุดเปลี่ยนระดับความลาดหรือจุดตัดความลาด (Point of vertical intersection,PVI) จะกระทำโดยใช้เม้าส์ การเคลื่อนที่ของเม้าส์จะปรากฏบนจอภาพตำแหน่งของเม้าส์ จะสังเกตได้จากจุดตัดของเส้นดิ่งและเส้นแนวนอน ซึ่งเรียกว่า Cross hair เมื่อเม้าส์อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการของผู้ใช้แล้ว ผู้ใช้จะกดปุ่ม เพื่อป้อนข้อมูลตำแหน่ง ให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทราบว่าจุดเริ่มต้นหรือจุดตัดความลาด (PVI) อยู่ในตำแหน่งใด จากนั้นโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะคำนวณหา ค่าระดับความลาดชัน และ สถานีของจุดดังกล่าว แล้วปรากฏข้อความ เพื่อให้ผู้ใช้ได้รับทราบ ซึ่งผู้ใช้จะสามารถเปลี่ยนความลาด (grade) และสถานีของจุดตัดความลาดได้โดยการพิมพ์ข้อความผ่านทางแป้นพิมพ์

การขีดระดับหลังทางจะต้องพิจารณาปัจจัยในด้านต่างๆ หลายปัจจัย โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะทำการตรวจสอบแนวทางดิ่งที่ผู้ออกแบบกำหนดแนวระดับของหลังทาง ว่า อยู่ภายใต้ข้อกำหนดมาตรฐานขั้นต่ำ ในแต่ละปัจจัยหรือไม่ ซึ่งข้อกำหนดหรือเงื่อนไขเหล่านี้ ผู้ใช้จะเป็นผู้ป้อนข้อมูลให้แก่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งได้แก่ ความลาดชันสูงสุดที่ยอมให้ ความลึกสูงสุดของดินถมที่ยอมให้ และ ความลึกสูงสุดของดินตัดที่ยอมให้



รูปที่ 5.10 โครงสร้างและลำดับขั้นตอนการออกแบบ
แนวทางดิ่ง ใช้คอมพิวเตอร์ช่วย



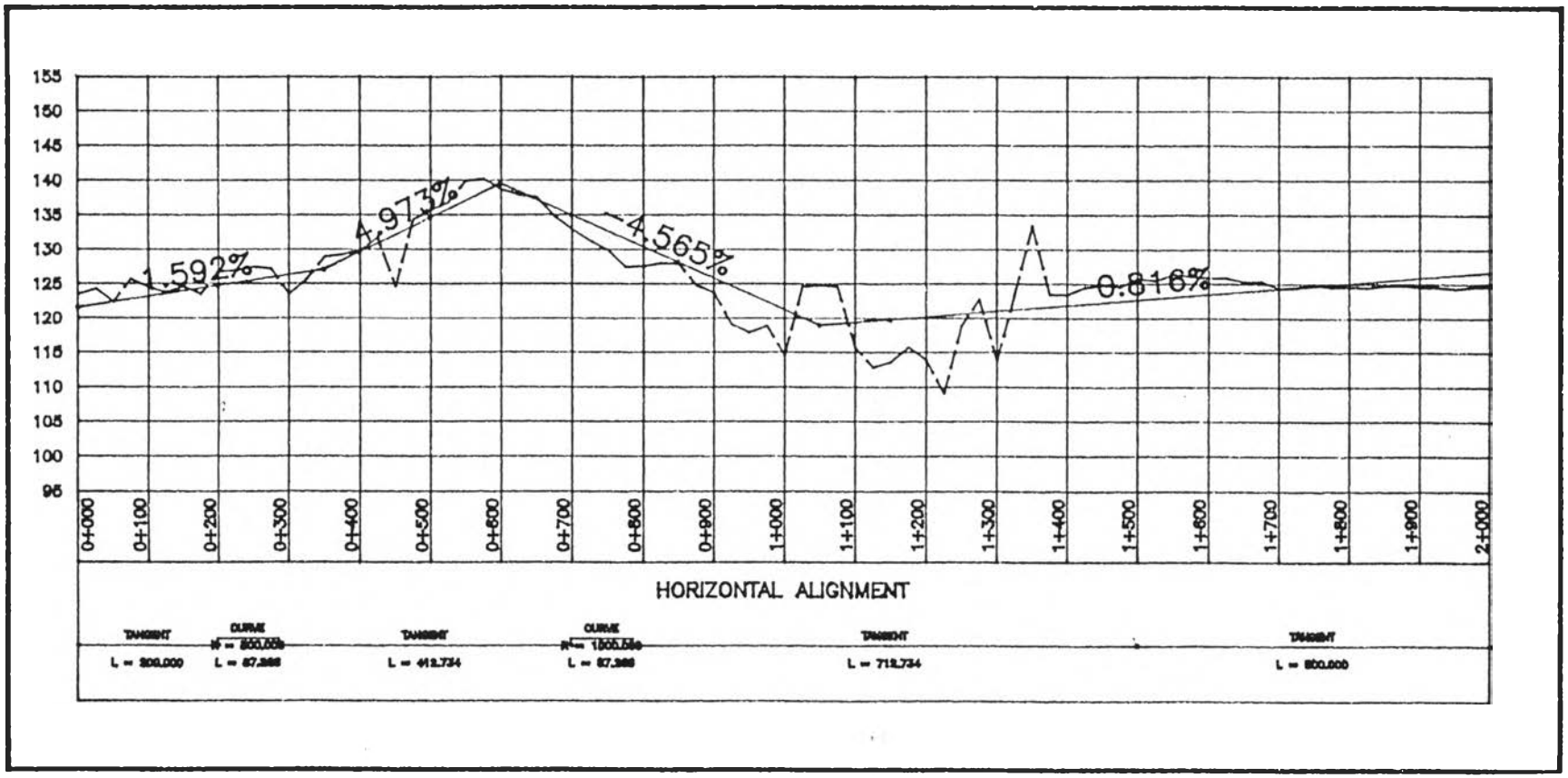
รูปที่ 5.11 ระดับดินเดิมตามแนวทางหลวงที่วาดโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ความลาดชันสูงสุดนั้นจะเป็นไปตามข้อกำหนด และ มาตรฐานการออกแบบแนวทางดิ่ง ซึ่งแตกต่างกันไปตามลักษณะหน้าที่ ประเภท ชั้นทางของทางหลวง สภาพภูมิประเทศ และ ลักษณะยวดยานที่ใช้อ้างอิงในการออกแบบ สำหรับความลาดสูงสุดในส่วนที่เป็นดินถมและดินตัดที่ยอมให้นั้น เป็นส่วนที่เพิ่มขึ้นมาใหม่ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อช่วยในการควบคุมปริมาณงานดินให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสม หากผู้ใช้ไม่ต้องการใช้ในส่วนนี้ก็สามารถทำได้โดยป้อนค่าความลาดให้มีค่าสูงไว้

เมื่อผู้ใช้ทำการออกแบบ โดยกำหนดแนวระดับหลังทางของทางหลวงแล้ว โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะตรวจสอบแนวระดับหลังทางดังกล่าวว่าอยู่ภายใต้เงื่อนไขและข้อกำหนดหรือไม่ หากไม่อยู่ภายในเงื่อนไขและข้อกำหนดก็จะปรากฏข้อความบอกให้ผู้ใช้ทราบว่าเงื่อนไขใดไม่ถูกต้อง พร้อมกับยกเลิกแนวระดับหลังทางที่ผู้ใช้กำหนดให้นั้น เพื่อให้ผู้ใช้ได้กำหนดแนวระดับหลังทางใหม่ให้อยู่ภายใต้เงื่อนไขและข้อกำหนดที่ตั้งไว้

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในส่วนช่วยการออกแบบระดับหลังทางจะสิ้นสุดการทำงานโดยอัตโนมัติ เมื่อผู้ใช้ได้กำหนดจุดสิ้นสุดของแนวระดับหลังทางเท่ากับหรือมากกว่าสถานีสิ้นสุดของโครงการ อย่างไรก็ตามผู้ใช้อาจจะหยุดโปรแกรมการออกแบบดังกล่าวนี้ได้ก่อนถึงจุดสิ้นสุด โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะมีข้อเลือกให้หยุดโปรแกรมทุกครั้งที่มีการกำหนดแนวระดับหลังทางแล้ว นอกจากนี้ การเริ่มต้นออกแบบแนวระดับหลังทางก็สามารถเริ่มต้นได้จากทั้งจุดเริ่มต้นของโครงการ หรือ สถานีสุดท้ายที่ได้ออกแบบไปก่อนหน้านี้แล้ว ซึ่งจะทำให้เกิดความสะดวกในการออกแบบอย่างยิ่ง

ตัวอย่าง รูปแบบการออกแบบขีดแนวระดับหลังทาง โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วย แสดงไว้ในรูปที่ 5.12



รูปที่ 5.12 การออกแบบระดับหลังทางโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วย

5.5.3.3 การออกแบบโค้งดิ่ง

โค้งดิ่งจะเป็นส่วนเชื่อมความลาดของแนวระดับหลังทาง ในจุดที่มีการเปลี่ยนความลาดให้เป็นไปอย่างราบรื่น ปกติจะใช้โค้งพาราโบลา เนื่องจากมีอัตราการเปลี่ยนแปลงความลาดชันคงที่ โค้งดิ่งพาราโบลาที่ใช้ออกแบบทั่วไปแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ตามลักษณะรูปร่างของโค้ง คือ โค้งดิ่งคว่ำ (Crest vertical Curve) และโค้งดิ่งหงาย (Sag vertical curve) หรือแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ตามลักษณะคุณสมบัติทางเรขาคณิต คือ โค้งดิ่งแบบสมมาตร (Symmetrical curve) และ โค้งดิ่งแบบไม่สมมาตร (Unsymmetrical curve)

ในการออกแบบโค้งดิ่ง จะต้องคำนึงถึง องค์ประกอบความปลอดภัยของผู้ขับขี่ยวดยานด้วย และ จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานต่ำสุดที่ต้องการของแต่ละหน่วยงานที่ได้กำหนดไว้เป็นมาตรฐานการออกแบบ องค์ประกอบเพื่อความปลอดภัยของผู้ขับขี่ยวดยานที่นำมาพิจารณาประกอบไปด้วย ความเร็วออกแบบ ระยะมองเห็นซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ระยะมองเห็นเพื่อการหยุด และ ระยะมองเห็นเพื่อการแซง โดยปกติจะใช้ระยะมองเห็นเพื่อการหยุดในการออกแบบ เนื่องจากจะได้ความยาวโค้งที่สั้นและประหยัดค่าใช้จ่ายกว่าใช้ระยะมองเห็นเพื่อการแซง

ความยาวโค้งต่ำสุด จะหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างระยะมองเห็นและค่าแตกต่างทางคณิตศาสตร์ของความลาด

การออกแบบโค้งดิ่งโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วย จะมีรูปแบบและลักษณะในการตอบโต้รับและแสดงผลกับผู้ใช้ในรูปแบบกราฟฟิคเช่นเดียวกัน การออกแบบขีดระดับหลังทาง โดยมีขั้นตอนการออกแบบ ดังนี้

1) ผู้ออกแบบเลือกแนวระดับหลังทาง 2 แนวทางที่ต้องการจะออกแบบโค้งดิ่ง โดยใช้อุปกรณ์ชี้หรือเม้าส์บนจอภาพ ในขั้นตอนนี้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะคำนวณค่าความแตกต่างของความลาดของแนวระดับหลังทางทั้งสอง

2) โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะให้ผู้ออกแบบป้อนข้อมูลความเร็วออกแบบและเลือกชนิดของระยะมองเห็นที่ใช้ในการออกแบบ จากนั้นโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะคำนวณค่าระยะมองเห็น และปรากฏข้อความให้ผู้ออกแบบได้ทราบ พร้อมทั้งให้ผู้ออกแบบ

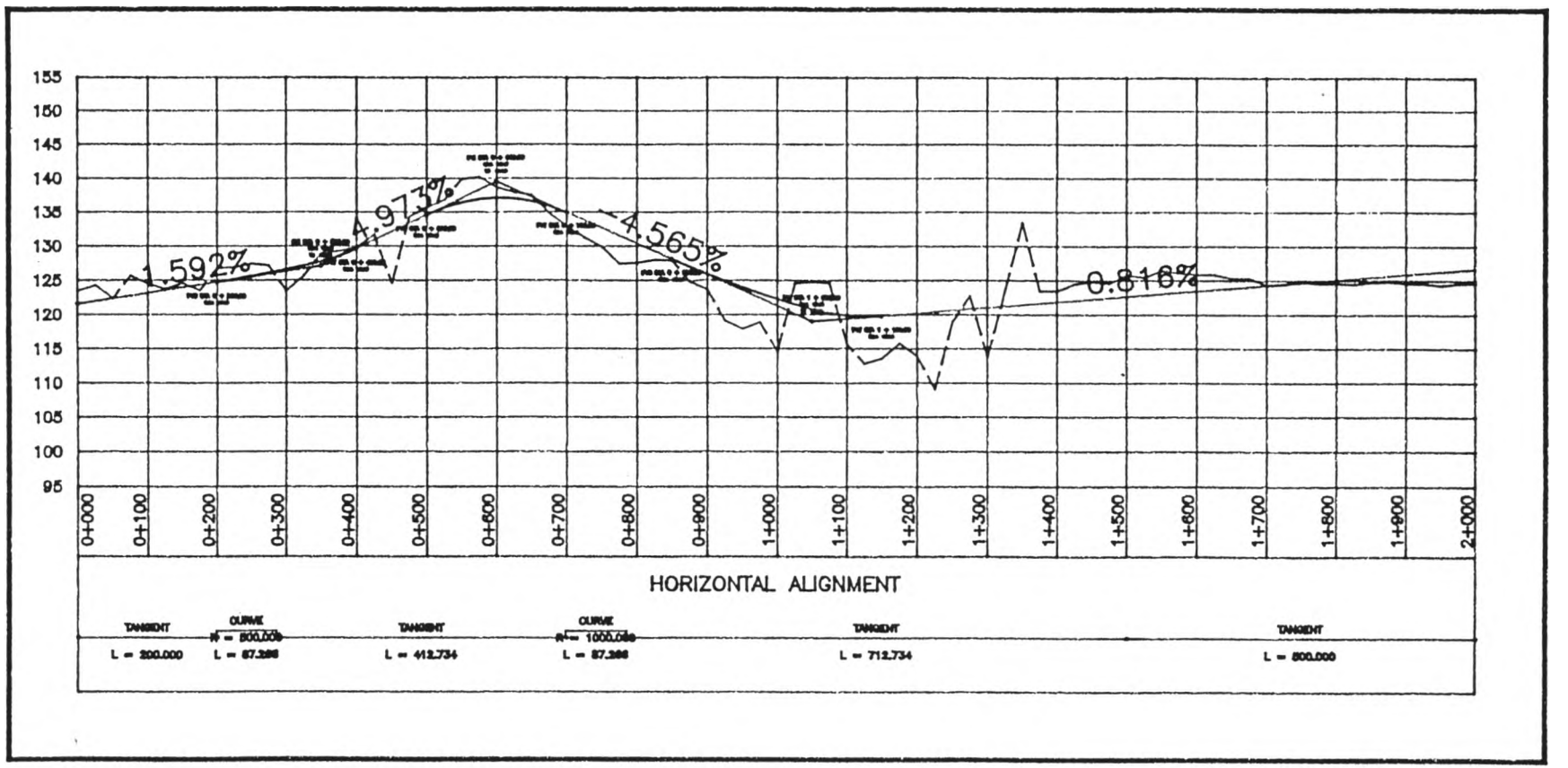
เลือกที่จะใช้ค่าระยะมองเห็นที่ได้จากการคำนวณ หรือ ค่าปัดเศษ หรือ ผู้ใช้จะเลือกใส่ค่าเองโดยตรง

3) โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะคำนวณค่าความยาวต่ำสุดของโค้งดิ่ง แล้วพิมพ์ข้อความจอภาพ เพื่อให้ผู้ออกแบบได้ทราบ และ เลือกค่า เช่นเดียวกับระยะมองเห็น โดยความยาวต่ำสุดของโค้งดิ่งนี้ได้จากสมการที่กล่าวแล้วข้างต้น

4) โปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะปรากฏข้อความ ให้ผู้ออกแบบตัดสินใจว่าจะเลือกชนิดของโค้งดิ่งเป็นชนิดโค้งดิ่งแบบสมมาตร หรือแบบไม่สมมาตร หากเลือกแบบสมมาตร โปรแกรมคอมพิวเตอร์ก็จะคำนวณและวาดโค้งดิ่งบนจอภาพ แต่ถ้าเลือกโค้งดิ่งแบบไม่สมมาตร ผู้ออกแบบจะต้องป้อนค่าความยาวโค้งส่วนที่หนึ่ง (L1)และส่วนที่สอง (L2) จากนั้นโปรแกรมจะคำนวณค่าระดับและวาดโค้งดิ่งบนจอภาพ ซึ่งถือเป็น ขั้นตอนสุดท้ายในการออกแบบโค้งดิ่ง

การสิ้นสุดของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบโค้งดิ่งนี้จะไม่สิ้นสุดโดยอัตโนมัติ แต่เป็นการสิ้นสุดโดยผู้ออกแบบเป็นผู้เลือกที่จะจบการออกแบบ ซึ่งข้อเลือกในการสิ้นสุดโปรแกรมจะปรากฏให้ผู้ใช้เลือกทุกครั้งที่จบการออกแบบโค้งดิ่งในแต่ละบริเวณ

รูปแบบการออกแบบโค้งดิ่งโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยแสดงไว้ในรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.13 การออกแบบโค้งดิ่งโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

5.5.3.4 การคำนวณค่าระดับหลังทางของทางหลวง

ในการออกแบบแนวทางดิ่งด้วยมือผู้ออกแบบจะต้องคำนวณค่าระดับหลังทางของทางหลวง ทั้งในส่วนที่เป็นเส้นตรง และ ส่วนที่เป็นโค้งดิ่ง เพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณงานดิน โดยจะต้องคำนวณทุกสถานี ซึ่งจะเป็นส่วนที่ใช้แรงงานมากอีกส่วนหนึ่ง

การออกแบบ แนวทางดิ่งของทางหลวง โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วย ทั้งในส่วน การออกแบบขีดระดับหลังทาง และ การออกแบบโค้งดิ่ง โปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะเก็บข้อมูลลักษณะ และ คุณสมบัติทางเรขาคณิตของทั้งสองส่วนไว้เพื่อใช้ในการคำนวณค่าระดับหลังทางของทางหลวง และการเขียนแบบซึ่งจะได้กล่าวถึงในภายหลัง

หลังจากผู้ออกแบบได้ออกแบบแนวทางดิ่ง (ขีดระดับหลังทางและออกแบบโค้งดิ่ง) แล้วผู้ออกแบบสามารถจะสั่งให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณค่าระดับหลังทางได้ โดยใช้เม้าส์ชี้ไปที่หัวข้อเลือก "RDPROF" จากนั้นโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะคำนวณค่าระดับหลังทางให้ทุกสถานีและจะแยกคำนวนตามประเภทของแนวทางดิ่ง ในส่วนที่เป็นแนวเส้นตรง และ โค้งดิ่งเองโดยอัตโนมัติ จากนั้นจะเก็บข้อมูลระดับหลังทางลงในแผ่นจานแม่เหล็กเพื่อใช้งานต่อไป

ตัวอย่างค่าระดับหลังทางของทางหลวงที่คำนวณได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แสดงไว้ในตารางที่ 5.1

<< GRADE PROFILE DATA >>

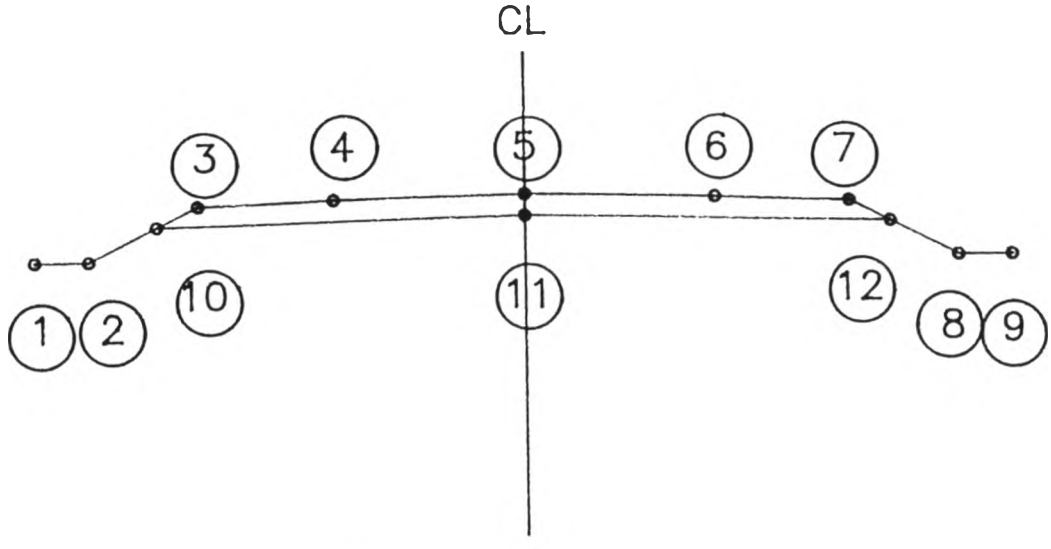
Station	0.000	25.000	50.000	75.000
Elev.(m)	121.564	121.962	122.360	122.758
Elem. type	GRADE	GRADE	GRADE	GRADE
Station	100.000	125.000	150.000	175.000
Elev.(m)	123.156	123.554	123.952	124.350
Elem. type	GRADE	GRADE	GRADE	GRADE
Station	185.000	200.000	225.000	250.000
Elev.(m)	124.509	124.748	125.164	125.614
Elem. type	GRADE	CURVE	CURVE	CURVE
Station	275.000	300.000	325.000	350.000
Elev.(m)	126.100	126.622	127.178	127.770
Elem. type	CURVE	CURVE	CURVE	CURVE

ตารางที่ 5.1 ค่าระดับหลังทางที่คำนวณได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์

5.5.3.5 การคำนวณค่าพิกัดรูปตัดทั่วไปของทางหลวง

การคำนวณค่าพิกัดของ รูปตัดทั่วไปของทางหลวงนี้ เปรียบเสมือนขั้นตอนการเขียนรูปตัดทั่วไปด้วยมือ เพื่อนำไปครอบกับรูปตัดตามขวางของดินเดิม แต่แตกต่างกันที่การคำนวณค่าพิกัดของรูปตัดนี้จะหาค่าระดับที่จุดต่าง ๆ ของส่วนประกอบรูปตัดทั่วไปของทางหลวงจริง ๆ ในแต่ละสถานี

การคำนวณหาค่าพิกัดของ รูปตัดทั่วไปของทางหลวง มีวัตถุประสงค์เพื่อนำไปคำนวณพื้นที่ดินตัดและดินถม โดยมีขอบเขตครอบคลุมไปถึงบริเวณที่มีการยกโค้ง และ การขยายผิวจราจรในบริเวณโค้งราบด้วย วิธีการยกโค้งที่นำมาใช้ในโปรแกรมจะใช้เฉพาะวิธีการหมุนรอบแนวศูนย์กลางอย่างเดียว เนื่องจากเป็นวิธีที่ใช้เป็นส่วนใหญ่และน้อยครั้งมากที่จะใช้วิธีอื่น องค์ประกอบของรูปตัดทั่วไปของทางหลวงที่จะนำไปคำนวณหาค่าพิกัด แสดงไว้ในรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.14 แสดงจุดต่าง ๆ ของรูปตัดทั่วไปของทางหลวง
ที่นำไปคำนวณหาค่าพิกัด

การทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในส่วนนี้ จะเริ่มจากการอ่านค่าตำแหน่งสถานี ระดับหลังทางของทางหลวง ระยะ และ ขนาดขององค์ประกอบรูปตัดทั่วไปของทางหลวง จากนั้นโปรแกรมตรวจสอบกับข้อมูลของแนวราบว่า สถานีที่จะคำนวณค่าพิกัดอยู่ในส่วนประกอบแนวทางราบประเภทใด ตามที่ได้จำแนกประเภทไว้ 2 ประเภท คือ ส่วนที่เป็นเส้นตรง (Tangent elements) และส่วนที่เป็นโค้งราบ (Curve elements) โดยรูปตัดทั่วไปที่นำมาคำนวณหาค่าพิกัดแบ่งออกเป็น 2 ชนิด

1) รูปตัดทั่วไปของทางหลวงตามปกติ
2) รูปตัดทั่วไปของทางหลวงในบริเวณที่มีการยกโค้ง และขยายผิวจราจร

ในการคำนวณจะต้องตรวจสอบว่า สถานีที่คำนวนนั้น อยู่ในตำแหน่งที่ต้องมีการยกโค้งหรือขยายผิวจราจรหรือไม่ และเนื่องจากตำแหน่งที่มีการยกโค้ง

และ ขยายผิวจราจร จะอยู่ในช่วงคาบเกี่ยวระหว่างแนวทางราบส่วนที่เป็นเส้นตรง และส่วนที่เป็นโค้งราบ การตรวจสอบจะทำโดยการอ่านข้อมูลแนวทางราบครั้งละสามส่วน แล้วตรวจสอบว่าเป็นแนวทางราบประเภทใด หากต้องมีการยกโค้ง และ ขยายผิวจราจร แล้วโปรแกรมก็จะกำหนดช่วงตำแหน่งสถานีที่จะต้องยกโค้ง ขยายผิวจราจรและรายละเอียดเกี่ยวกับการยกโค้ง และ การขยายผิวจราจร ถ้าสถานีที่กำลังจะคำนวณมีตำแหน่งตกอยู่ในช่วงดังกล่าว โปรแกรมก็จะคำนวณหาค่าพิกัดของรูปตัดทางหลวงในประเภทที่สอง

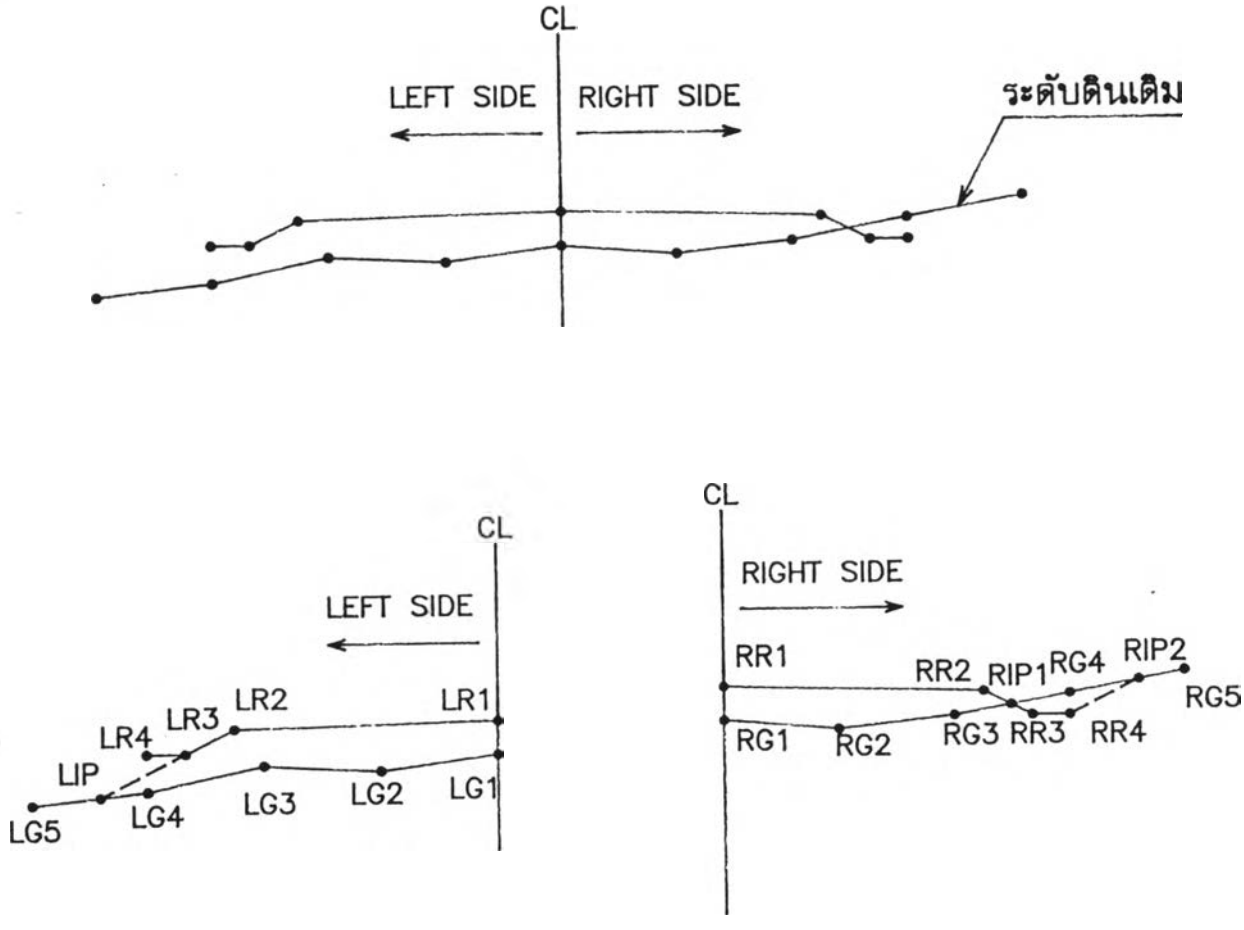
5.5.3.6 การคำนวณพื้นที่ดินตัด-ดินถม

การคำนวณพื้นที่ดินตัด ดินถม เป็นส่วนหนึ่งของการคิดปริมาณงานดินที่ใช้ในการก่อสร้างทางหลวง เป็นขั้นตอนที่ต้องใช้แรงงานมากอีกขั้นตอนหนึ่ง และมีความจำเป็นที่จะต้องคิด เนื่องจากจะเป็นส่วนที่มีผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างทางหลวง ในการออกแบบด้วยมือ การคำนวณหาพื้นที่ดินตัด ดินถม มักทำโดยการเขียนรูปตัดทั่วไปของทางหลวงมาครอบกับรูปตัดตามขวางดินเดิม ซึ่งเขียนบนกระดาษกราฟแล้วหาพื้นที่โดยการนับช่องกราฟตามขนาดมาตรส่วนที่เขียน หรือ อาจใช้เครื่องคำนวณช่วย ในการคำนวณ โดยวิธีการหาพื้นที่จากค่าพิกัด (Area by coordinates)

ลักษณะงานดินในแต่ละสถานี แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1) พื้นที่เป็นดินตัดทั้งหมด (Section entirely in cut)
2) พื้นที่เป็นดินถมทั้งหมด (Section entirely in fill)
3) พื้นที่มีทั้งดินตัดและดินถม (Section having both cut and fill)

การคำนวณพื้นที่ดินตัด ดินถม โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะเริ่มจากการอ่านข้อมูลตำแหน่งสถานี ข้อมูลค่าระดับดินเดิมตามขวาง และ ค่าพิกัดของรูปตัดทั่วไปของทางหลวงที่ได้จากขั้นตอนที่แล้ว จากนั้น จะแบ่งค่าพิกัดของระดับดินเดิมตามขวาง และ ค่าพิกัดรูปตัดของทางหลวงออกเป็น 2 ส่วน คือ ข้างซ้าย และ ข้างขวา ดังแสดงในรูปที่ 5.15



รูปที่ 5.15 แนวความคิดในการคำนวณหาพื้นที่ดินตัด ดินถม
ในแต่ละสถานี

หลังจากแบ่งค่านิกัดออกเป็นสองส่วนแล้วจะแยกคำนวณหาค่านิกัดของจุดตัด ระหว่างรูปตัดทางหลวงกับรูปตัดตามขวางของค่าระดับดินเดิม (ส่วนที่เป็นเส้นประ) ในแต่ละช้างเมื่อได้จุดตัดดังกล่าวแล้ว จะรวมค่านิกัดออกเป็นเซ็ท (SET) โดยแยกออกเป็นเซ็ทของค่านิกัดที่เป็นดินตัด และ เซ็ทของค่านิกัดที่เป็นดินถม ตัวอย่าง เช่น จากรูปที่ 5.15 สามารถจัดเซ็ทของค่านิกัดได้ดังนี้

L FILL = (LR1,LR2,LR3,LIP,LG4,LG3,LG2,LG1,LR1)

R FILL = (RR1,RG1,RG2,RG3,RIP1,RR2,RR1)

R CUT = (RIP1,RR3,RR4,RIP2,RR3,RIP1)

จากนั้นจะนำค่าพิกัดในแต่ละเซ็ทไปคำนวณหาพื้นที่โดยวิธีการหาพื้นที่จากค่าพิกัดที่ได้ตามลักษณะของงานดินที่เหมือนกัน (ดินถมรวมกับดินถมและดินตัดรวมกับดินตัด) ก็จะได้ค่าพื้นที่ของดินตัดและดินถมของสถานีที่กำลังคำนวณ จากนั้นจะเก็บค่าที่ได้ไว้เป็นข้อมูลในจานแม่เหล็ก เนื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาตร และ การเขียนภาพรูปตัดต่อไป

5.5.3. การคำนวณปริมาตรดินตัด ดินถม

หลังจากคำนวณหาพื้นที่ดินตัด ดินถม ในแต่ละสถานีแล้ว จะนำพื้นที่ดังกล่าวมาคำนวณหาปริมาตรของดินตัด ดินถม โดยจะคำนวณเป็นช่วง ๆ ซึ่งความยาวของแต่ละช่วงก็คือ ระยะห่างของแต่ละสถานีนั่นเอง จากนั้นจะนำปริมาตรของงานดินทั้งหมดมารวมกัน โดยปกติ จะพยายามออกแบบให้ปริมาณงานดินตัด และ ดินถมมีปริมาตรเท่า ๆ กัน

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในส่วนช่วยคำนวณปริมาตรดินตัด ดินถม จะคำนวณหาโดยวิธี AVERAGE AREA METHOD โดยการนำค่าพื้นที่ของดินตัด ดินถม ของสองสถานี มาหาค่าเฉลี่ยแล้วคูณด้วยระยะห่างระหว่างสองสถานีนั้น

ตัวอย่างผลลัพธ์การคำนวณหาปริมาตรดินตัด ดินถม โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แสดงไว้ในตารางที่ 5.2

EARTHWORK REPORT
****

Station	Cut area (Sq.m)	Fill area (Sq.m)	Cut vol. (Cu.m)	Fill vol. (Cu.m)	Agg. cut (Cu.m)	Agg. fill (Cu.m)
0 + 0.000	66.937	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0 + 25.000	75.492	0.000	1780.360	0.000	1780.360	0.000
0 + 50.000	6.319	0.057	1022.640	0.716	2802.280	0.000
0 + 75.000	70.986	0.000	966.313	0.716	3767.880	0.000
0 + 100.000	36.904	0.000	1348.620	0.000	5116.500	0.000
0 + 125.000	16.008	0.000	661.395	0.000	5777.900	0.000
0 + 150.000	25.587	0.000	519.933	0.000	6297.830	0.000
0 + 175.000	1.054	7.674	333.015	95.929	6534.920	0.000
0 + 185.000	70.904	0.000	359.791	38.372	6856.330	0.000
0 + 200.000	51.853	0.000	920.675	0.000	7777.010	0.000
0 + 225.000	57.440	0.000	1366.170	0.000	9143.180	0.000
0 + 250.000	43.798	0.000	1265.470	0.000	10408.600	0.000
0 + 275.000	24.368	0.000	852.062	0.000	11260.700	0.000
0 + 300.000	0.000	63.694	304.594	796.173	10769.100	0.000
0 + 325.000	0.000	15.416	0.000	988.875	9780.260	0.000

ตารางที่ 5.2 ผลลัพธ์การคำนวนปริมาตร ดินตัด ดินถม
โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

5.5.4 ส่วนการเขียนแบบ

แบบก่อสร้างทางหลวงนอกเมือง ประกอบไปด้วยรายละเอียดต่าง ๆ มากมาย นอกจากจะประกอบไปด้วยแบบแสดงแนวทางและระดับ ของทางหลวงแล้ว ยังมีรายละเอียดอื่น ๆ ที่มีความจำเป็นในการก่อสร้างด้วย เช่น แบบรายละเอียดโครงสร้างทาง แบบรายละเอียดบริเวณทางแยก แบบรายละเอียดแสดงตำแหน่งไฟฟ้าส่องสว่าง แบบรายละเอียดแสดงมาตรฐานเครื่องหมาย และ ป้ายจราจร เป็นต้น

รูปที่ 5.16 เป็นตัวอย่างรายการแบบก่อสร้างทาง ของทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 101 ตอนทางเลี่ยงเมืองสวรรคโลก

INDEX OF SHEETS

TITLE	SHEET NO	DRAWING NO	REMARKS
TITLE SHEET	A	—	
RIGHT OF WAY PLAN	B	—	
TYPICAL CROSS - SECTION	$C_1 - C_2$	—	
SUMMARY OF QUANTITIES	D	—	
EARTH WORK DIAGRAM	E	—	
แบบที่แสดงแหล่งวัสดุและผลการทดลอง	F	—	
แบบก่อสร้างบ่อพักและรางระบายน้ำใน ISLAND	G	—	
MISCELLANEOUS DETAILS	H	—	
GENERAL NOTE FOR STREET LIGHING	I	—	
METHOD OF ATTAINING SUPERELEVATION & WIDENING	—	TS 101 SE	
แบบปรับแต่งโค้งหลังทางบริเวณคอสะพาน	—	TS 201 BA	
BRIDGE APPROACH SLAB AND POROUS BACKFILL MATERIAL	—	TS 402 BA	
PAVEMENT TRANSITION DETAILS	—	TS 601 PT	
TYPICAL SURFACE OVERLAY SECTION	—	TS 602 SO	
ป้ายจราจร	—	RS 101 TS	
มาตรฐานเครื่องหมายควบคุมการจราจรในงานก่อสร้างทางหลวง	—	RS102TS-RS104TS	
STEEL BEAM GUARD RAIL	—	RS 301 GR	
แบบติดตั้ง GUARD RAIL และ GUARD RAIL APPROACH แบบที่ 2	—	RS 303 GR	
PERMANENT TIMBER BARRICADE FOR T-INTERSECTION	—	RS 304 TB	
GUIDE POST AND GUARD RAIL INSTALLATION	—	RS 401 GP	
ท่อกลมระบายน้ำคอนกรีตเสริมเหล็ก	—	DS 101 PC	
METHOD OF R.C PIPE CULVERT INSTALLATION	—	DS 102 PC	
HEAD WALL FOR R.C. PIPE CULVERT	—	DS 103 PC	
แบบปลูกหญ้าบนลาดคันทาง	—	SP 101 SD	
ขอบเขตการทำงานของป้ายสุดลง ภายในเขตทางหลวง	—	ME 101 CG	
TYPICAL SILE ROAD CONNECTION	—	MD 201 SR	
หลักเกณฑ์และขอบเขตในการก่อสร้างทางเชื่อมและรูปแบบ	—	MD 203 SR	
RIGHT OF WAY MONUMENT, BENCHMARK & KILUMETERPOST	—	MD 401 RM	
MISCELLANEOUS LIGHTING DETAIL	—	MD 601 SL	
DETAIL OF INTERSECTION STA 0+339 260 - I, II	$J_1 - J_2$	—	
LIGHTING AT INTERSECTION STA 0+339 260 - I, II	$K_1 - K_2$	—	
DETAIL OF INTERSECTION STA 5+610 890 - I, II	$L_1 - L_2$	—	
LIGHTING AT INTERSECTION STA 5+610 890	M	—	
DETAIL OF INTERSECTION STA 8+450 000 - I, II	$N_1 - N_2$	—	
LIGHTING AT INTERSECTION STA 8+450 000 - I, II	$O_1 - O_2$	—	
PLAN & PROFILE	1 - 18	—	

รูปที่ 5.16 ตัวอย่างรายการแบบก่อสร้างทางหลวงแผ่นดิน
หมายเลข 101 ตอนทางเลี่ยงเมืองสวรรคโลก

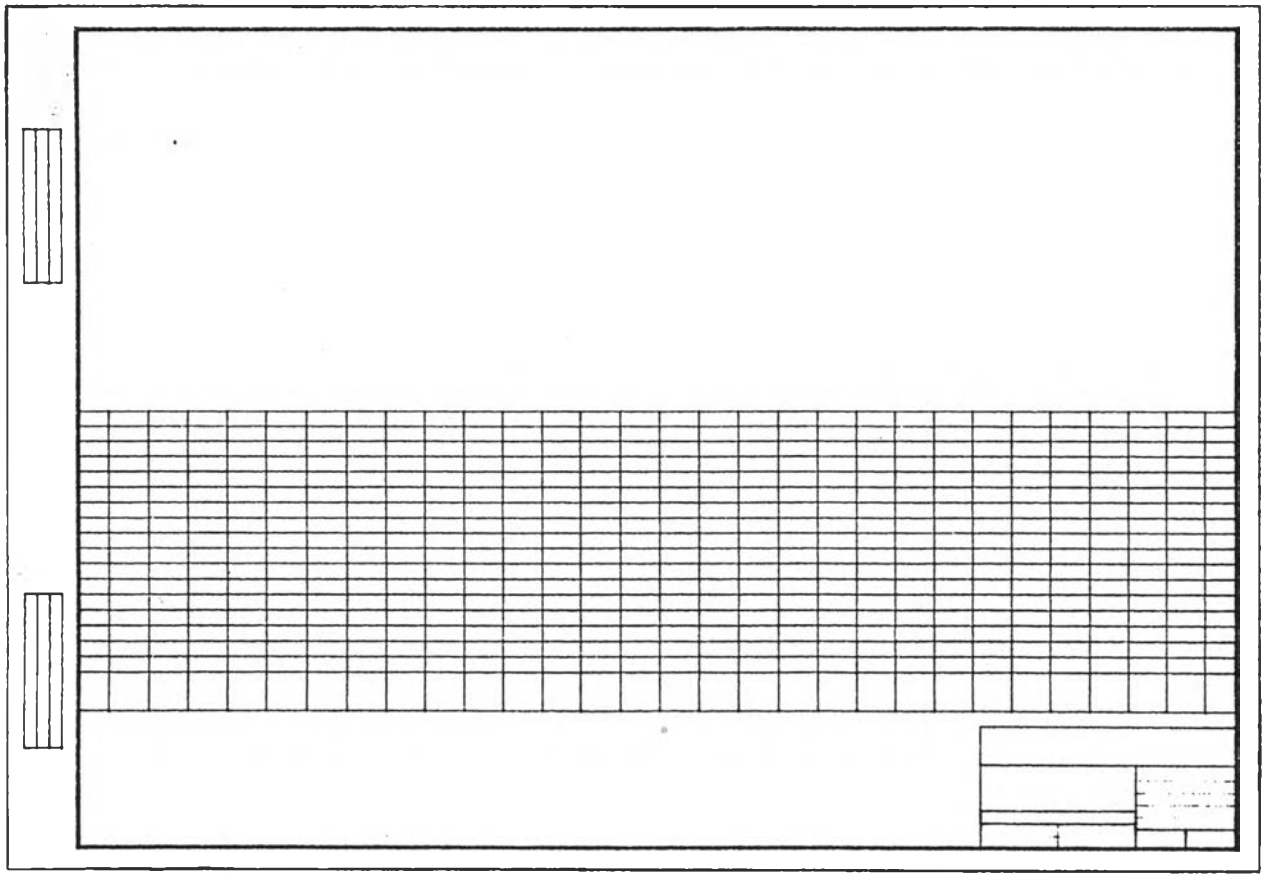
การสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในงานเขียนแบบครั้งนี้ มีขอบเขตเฉพาะ การเขียนแบบแปลน และ รูปตัดความยาว (Plan profile) ของทางหลวงเท่านั้น โดยข้อมูลที่นำมาใช้ในการเขียนแบบจะเป็นผลลัพธ์ ซึ่งเป็นรายละเอียดหลักที่ได้จากส่วนการออกแบบที่กล่าวมาแล้วข้างต้น สำหรับแบบรายละเอียดอื่น ๆ นั้น ในบางส่วนจะเป็นแบบมาตรฐานที่สามารถนำไปใช้กับทางหลวงสายอื่น ๆ ที่มีมาตรฐานชั้นทางประเภทเดียวกันได้ โดยสามารถเขียนขึ้นมาเพียงครั้งเดียวแล้วนำไปใช้ซ้ำได้อีก ในขณะที่แบบรายละเอียดแปลนและรูปตัดตามยาวนั้น จะเปลี่ยนไปตามการออกแบบและรายละเอียดอื่น ๆ การสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในงานเขียนแบบแปลนและรูปตัดตามยาวจะเป็นการช่วยลดแรงงานและเวลาในส่วนนี้ได้เป็นอย่างดี

ลักษณะมาตรฐานของแบบแปลน และ รูปตัดตามยาวประกอบไปด้วยพื้นที่หลัก 2 ส่วน คือ พื้นที่เขียนแบบรายละเอียดแนวทางราบ และ พื้นที่เขียนแบบรายละเอียดแนวทางดิ่ง ดังแสดงในรูปที่ 5.17 ซึ่งเป็นมาตรฐานของกรมโยธาธิการ

การทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนการเขียนแบบแนวทางราบ และ ส่วนการเขียนแบบแนวทางดิ่ง โดยมีขั้นตอนในแต่ละส่วนดังนี้

5.5.4.1 <u>ส่วนการเขียนแบบแนวทางราบ</u>

โดยทั่วไปแล้ว ในส่วนของแนวทางราบ จะประกอบไปด้วยรายละเอียดต่าง ๆ มากมาย เช่น รายละเอียดด้านเรขาคณิตแนวทางราบ รายละเอียดของสิ่งต่าง ๆ เช่น อาคารบ้านเรือน ลำน้ำ เสาไฟฟ้า รั้ว ถนน สะพาน ท่อระบายน้ำ ต้นไม้ ทางแยก ร่องน้ำ เป็นต้น รายละเอียดเกี่ยวกับลักษณะพื้นที่ เช่น เป็นป่าทึบ ป่าโปร่ง ทุ่งนา หนอง บึง ลานหิน สันเขา ไหล่เขา เป็นต้น รายละเอียดเกี่ยวกับหมุดหมายพยานที่ทำไว้ในสนามระหว่างการสำรวจ ฯลฯ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นมาช่วยในงานเขียนแบบแนวทางราบจะทำเฉพาะในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบทางด้านเรขาคณิตของแนวทางราบ และ ส่วนประกอบอื่น ๆ ที่สำคัญบางประการเท่านั้น ซึ่งประกอบไปด้วย



รูปที่ 5.14 รูปแบบและลักษณะมาตรฐานของแบบแปลนและรูปตัดตามยาว

1) แนวทางราบของทางหลวง ซึ่งประกอบไปด้วย เส้นแสดงแนวศูนย์กลางผิวจราจร ไหล่ทาง และเขตทาง ของทางหลวง

2) ข้อมูลโค้งราบ (Curve data)

3) รายละเอียดจุดอ้างอิงที่ทำไว้ในพื้นที่ระหว่างการสำรวจ

4) สัญญลักษณ์บอกทิศทางเหนือ

5) ตัวอักษรที่จำเป็น เช่น ตัวอักษรบอกตำแหน่ง ทุก ๆ 1 กิโลเมตร และ ทุก ๆ 100 เมตร ตัวอักษรบอกทิศทางของแนวทางราบ (ค่าอาซิมุท) เป็นต้น

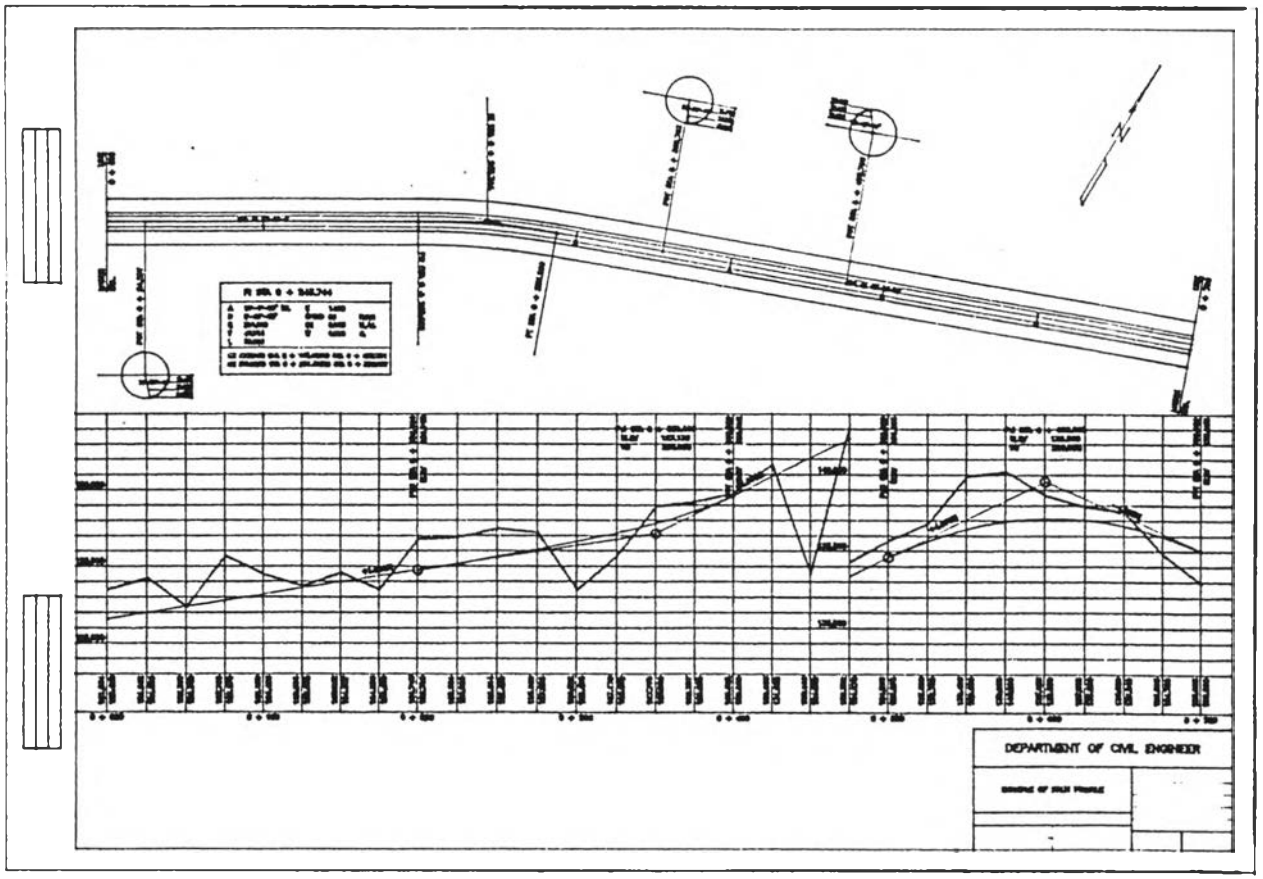
รายละเอียดในแต่ละส่วนตามที่กล่าวข้างบน ที่เขียนโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะมีหัวข้อเลือกให้ผู้ใช้เลือกในระบบเมนู โดยผู้ใช้เพียงป้อนข้อมูลตำแหน่งจุดเริ่มต้น และ จุดสิ้นสุดของสถานีที่จะทำการเขียนในแบบให้โปรแกรม แล้วใช้อุปกรณ์ชี้ หรือ เม้าส์ เลือกหัวข้อเลือกเท่านั้น โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะเขียนรายละเอียดให้โดยอัตโนมัติ

5.5.4.2 <u>ส่วนการเขียนแบบแนวทางดิ่ง</u>

รายละเอียดแนวทางดิ่งที่เขียนลงในแบบ โดยทั่วไปแล้วประกอบไปด้วย รูปตัดตามยาวของดินเดิม (Ground profile) แนวทางดิ่งของทางหลวง (Roadway or grade profile) และ รายละเอียดท่อลอดเพื่อการระบายน้ำเท่านั้น

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในงานเขียนแบบแนวทางดิ่ง จะช่วยเขียนรูปตัดตามยาวของดินเดิม และ แนวทางดิ่งของทางหลวง โดยผู้ใช้เพียงใช้อุปกรณ์ ชี้ หรือเม้าส์ เลือกหัวข้อเลือก เพื่อให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ช่วยเขียนแบบให้เท่านั้น โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะทำการเขียนแบบโดยอัตโนมัติทั้งหมด ซึ่งจะเป็นขั้นตอนที่ง่ายและสะดวกรวดเร็วอย่างมาก

ตัวอย่างการเขียนแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แสดงไว้ในรูปที่ 5.18



รูปที่ 5.18 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในงานเขียนแบบ

5.6 สรุป

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อช่วย ในงานออกแบบ และ เขียนแบบแนวทางของทางหลวงนอกเมือง จะช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถออกแบบแนวทางหลวงแก้ไขและเขียนแบบได้รวดเร็วยิ่งขึ้น โดยมีขั้นตอนการใช้โปรแกรม สรุปได้ดังนี้

1) ป้อนข้อมูลรายละเอียด ซึ่งประกอบไปด้วย

1.1) ข้อมูลแนวทางราบ

1.2) ข้อมูลรูปตัดทั่วไปของทางหลวง

1.3) ข้อมูลค่าระดับดินเดิม

2) ออกแบบแนวทางราบ โดยเป็นการออกแบบ องค์ประกอบแนวทางราบ ที่เกี่ยวกับความปลอดภัย ได้แก่ การยกโค้ง และ การขยายผิวจราจรในบริเวณโค้งราบ

3) ออกแบบแนวทางดิ่ง โดยมีขั้นตอน ดังต่อไปนี้

3.1) ออกแบบขีดระดับหลังทาง (Grade line design)

3.2) ออกแบบโค้งดิ่ง (Veritcal Curve disign)

3.3) คำนวณค่าระดับหลังทาง (Roadway profile)

3.4) คำนวณค่านิกัดรูปตัดทั่วไปของทางหลวง

3.5) คำนวณพื้นที่ดินตัด ดินถม

3.6) คำนวณปริมาตรดินตัด ดินถม

4) เขียนแบบ โดยเป็นการเขียนแบบแปลน และ รูปตัดตามยาวของทางหลวง ซึ่งประกอบไปด้วย

4.1) เขียนแบบแนวทางราบ (Plan) โดยมีรายละเอียด ในแต่ละส่วน ดังต่อไปนี้

4.1.1) เขียนแบบแนวทางราบทางหลวง ซึ่งประกอบไปด้วย เส้นแสดงแนวศูนย์กลาง ผิวจราจร ไหล่ทาง และ เขตทางของทางหลวง

4.1.2) ข้อมูลโค้งราบ (Curve data)

4.1.3) รายละเอียดจุดอ้างอิง

4.1.4) สัญญลักษณ์ทิศเหนือ

4.1.5) เส้นต่อทาบแนวทางหลวงระหว่างแบบ (Match lines)

4.1.6) เส้นแสดงรายละเอียด สถานีที่สำคัญ ในบริเวณโค้งราบ ได้แก่ สถานีจุดเริ่มโค้ง (PC STATION) สถานีจุดตัดแนวเส้นตรง (PI STATION) และ

สถานีจุดปลายโค้ง (PT STATION)

4.1.7) ตัวอักษรที่จำเป็น เช่น ตัวอักษรแสดงทิศทางอาซิมุท ของแนวทางราบ ตัวอักษรแสดงตำแหน่งหลักกิโลเมตร และตำแหน่งทุก ๆ ระยะ 100 เมตร

4.2 เขียนแบบแนวทางดิ่ง