บทที่ 7

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาวิธีออกแบบแนวทางดิ่งที่จากเดิมใช้การกำหนดแนวเส้นทางโดยวิศวกร มาใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยในการออกแบบหาแนวเส้นทางที่เหมาะสม และ นำมาพัฒนาเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการออกแบบ แนวเส้นทางที่ได้จากการออกแบบโดยใช้วิจารณญานของวิศวกรนั้น อาจไม่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ต้องการประหยัดค่าใช้จ่ายของเส้นทาง จากการทบทวนผลงานที่ผ่านมา พบว่า วิธีออกแบบที่มีการพัฒนาในอดีตยังมีข้อจำกัดอยู่มาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะพัฒนาวิธีออกแบบขึ้นใหม่เพื่อหาแนวเส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด โดยใช้วิธีสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับออกแบบแนวทางดิ่งที่เหมาะสม และ นำมาพัฒนาเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อนำวิธีออกแบบที่พัฒนาขึ้นนี้ไปใช้กับงานออกแบบได้จริง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการออกแบบแนวทางดิ่งพัฒนาโดยใช้วิธีฮิวริสติก โดยแบ่งเป็นสามขั้นตอน คือ การหาแนวทางดิ่งเบื้องต้น การหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตเริ่มต้น และ การหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตที่เหมาะสม ในแต่ละขั้นตอนพัฒนาเป็นแบบจำลองและ ใช้เทคนิคการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสม และ มีประสิทธิภาพในการหาผลลัพธ์

การหาแนวทางดิ่งเบื้องต้นเป็นการหาแนวเส้นทางเบื้องต้นที่สอดคล้องกับข้อกำหนดและข้อจำกัดของการออกแบบ และ มีค่าใช้จ่ายโดยประมาณน้อย เทคนิคการสร้างแบบจำลองใช้สมมติฐานค่าความสูงของดินตัดและดินถมเป็นตัวแปรในการตัดสินใจเพื่อหาค่าใช้จ่ายโดยประมาณของเส้นทาง เหตุผลของการนำค่าความสูงของดินตัดและดินถมมาใช้ในการหาแนวเส้นทางก็เพราะ

1) ความสูงของดินตัดและดินถมเป็นปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับค่าใช้จ่ายของเส้นทางที่ขึ้นอยู่กับแนวทางดิ่ง ความสูงของดินตัดและดินถมจะสะท้อนถึงค่าขุดดิน ค่าถมดิน ค่าขนย้าย ค่าบำรุงทาง ฯ ค่าใช้จ่ายเหล่านี้เป็นผลโดยตรงจากการออกแบบแนวทางดิ่ง ดังนั้นหากเราสามารถลดผลรวมของความสูงของดินตัดและดินถมแล้ว จะส่งผลให้ประหยัดค่าใช้จ่ายที่กล่าวมาด้วย

2) ความสูงของดินตัดและดินถมมีความสัมพันธ์โดยตรงกับข้อกำหนดทางเรขาคณิต และ ข้อจำกัดทางภูมิประเทศ สิ่งสำคัญในการออกแบบแนวเส้นทางก็คือ จะต้องออกแบบแนวเส้นทางให้สอดคล้องตามข้อกำหนดทางเรขาคณิตเพื่อให้ผู้ขับขี่สามารถใช้บริการได้อย่างสะดวก และ ปลอดภัย ส่วนข้อจำกัดทางภูมิประเทศจะเป็นตัวกำหนดการนำแนวเส้นทางไปก่อสร้างได้จริง การนำความสูงของดินตัดและดินถมมาพิจารณาจะทำให้พิจารณาข้อกำหนดและข้อจำกัดในการออกแบบได้สะดวก เพราะ เราสามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของดินตัดและดินถม กับ ข้อกำหนดและข้อจำกัดของการออกแบบได้โดยตรง ทำให้มั่นใจได้ว่าผลของการหาแนวเส้นทางจะได้เส้นทางที่สอดคล้องกับข้อกำหนด

3) การนำความสูงของดินตัดและดินถมมาใช้ในการหาแนวเส้นทาง จะแปลงแบบจำลองของการหาแนวเส้นทางให้เป็นแบบง่าย และ หาผลลัพธ์ได้ง่ายขึ้น จากการสร้างแบบจำลองแนวทางดิ่งที่เหมาะสมที่สุดในบทที่ 4 จะพบว่าแบบจำลองมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นแบบไม่เชิงเส้น การหาผลลัพธ์จะทำได้ยากมาก หรือ อาจทำไม่ได้เลย การแปลงให้เป็นแบบจำลองแบบง่ายจะทำให้หาผลลัพธ์ได้โดยใช้เทคนิคการหาผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพ

ข้อกำหนดและข้อจำกัดที่สำคัญของการหาแนวทางดิ่งเบื้องต้น คือ ข้อกำหนดทางเรขาคณิต และ ข้อจำกัดทางภูมิประเทศ นอกจากนี้การหาแนวทางดิ่งเบื้องต้นยังสามารถนำข้อจำกัดอื่นๆ ที่มีผลต่อการออกแบบมาพิจารณาได้ เช่น อัตราการเปลี่ยนความโค้ง อัตราส่วนของดินตัดต่อดินถม เป็นต้น

จากการแปลงแบบจำลองให้เป็นแบบง่ายทำให้เราสามารถใช้วิธีการโปรแกรมเชิงเส้นในการหาผลลัพธ์ และ หาผลลัพธ์ได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว ผลของแนวเส้นทางที่ได้จะสอดคล้องกับข้อกำหนดและข้อจำกัดที่ตั้งให้กับแบบจำลอง แนวทางดิ่งเบื้องต้นที่ได้จะเป็นระดับทางโดยประมาณของเส้นทางจริง และ จะนำไปเป็นเส้นนำ (Guide) ของการออกแบบเพื่อหาแนวทางดิ่งที่เหมาะสมต่อไป

การหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตเริ่มต้น เป็นการหาตำแหน่งของจุดตัดแนวดิ่ง และความยาวโค้งให้กับแนวเส้นทาง เนื่องจากเราจะใช้ค่าองค์ประกอบทางเรขาคณิตเป็นตัวกำหนดเส้นทางในสนาม และ ตรวจสอบการก่อสร้าง ดังนั้นระดับทางที่ได้จากแนวทางดิ่งเบื้องต้นจึงไม่สามารถนำไปใช้ก่อสร้างจริงได้ จึงจะต้องหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตที่ใช้แทนระดับทางที่ได้จากแนวทางดิ่งเบื้องต้นได้อย่างเหมาะสม ในงานวิจัยนี้พัฒนาวิธีการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาองค์ประกอบนี้โดยจำลองวิธีออกแบบของวิศวกร โดยการใช้ตัวคูณค่าน้ำหนักเพื่อหาค่าการเปลี่ยนแปลงระดับทาง และ จุดเปลี่ยนโค้ง จากนั้นจึงหาเส้นลาดชัน จุดตัดแนวดิ่ง และ ความยาวโค้งตามลำดับ วิธีการนี้มีข้อได้เปรียบที่หาองค์ประกอบมาจากแนวทางดิ่งเบื้องต้นซึ่งเป็นแนวเส้นทางที่สอดคล้องกับข้อกำหนด และ ข้อจำกัดของการออกแบบ ดังนั้นองค์ประกอบทางเรขาคณิตเริ่มต้นที่ได้จะสอดคล้องกับข้อจำกัดต่างๆ ได้แนวเส้นทางที่ใกล้เคียงกับแนวทางดิ่งเบื้องต้น และ จะใกล้เคียงกับแนวเส้นทางที่หามาจากองค์ประกอบทางเรขาคณิตที่เหมาะสมด้วย ค่าขององค์ประกอบทางเรขาคณิตที่ได้จะนำไปใช้เป็นค่าเริ่มต้นของการหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการหาผลลัพธ์ เพราะค่าเริ่มต้นของการค้นหาจะอยู่ใกล้เคียงกับผลลัพธ์ที่ดีที่สุด จึงทำให้กระบวนการค้นหาสามารถหลีกเลี่ยงความผิดพลาดที่เกิดจากรูปแบบของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เช่น จุดต่ำสุดเฉพาะช่วง ได้

การหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตที่เหมาะสม เป็นการค้นหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตของแนวเส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดโดยหาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตที่เหมาะสม พัฒนามาจากแบบจำลองแนวทางดิ่งที่เหมาะสมที่สุดโดยการแปลงฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และ สมการข้อจำกัด ให้มีความสัมพันธ์กับจุดตัดแนวดิ่ง และ ความยาวโค้ง เนื่องจากฟังก์ชันค่าใช้จ่ายของงานเกี่ยวข้องซับซ้อน และเป็นฟังก์ชันไม่เชิงเส้น การวิจัยนี้จึงหาค่าใช้จ่ายเฉพาะงานดินเท่านั้น วิธีหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตที่เหมาะสมสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การหาความยาวโค้งที่เหมาะสม และ การหาจุดตัดแนวดิ่งและความยาวโค้งที่เหมาะสม วิธีหาผลลัพธ์ใช้วิธีค้นหาโดยตรงเพราะสามารถหาผลลัพธ์จากแบบจำลองที่ซับซ้อนได้ และ นำค่าองค์ประกอบทางเรขาคณิตเริ่มต้นมาใช้เป็นค่าเริ่มต้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการค้นหา

ผลที่ได้จากวิธีออกแบบที่พัฒนาขึ้นนี้จะเป็นแนวเส้นทางที่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่จะให้มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด และ สอดคล้องกับข้อกำหนดและข้อจำกัดของการออกแบบ นั่นคือ ได้แนวเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด

จากนั้นนำวิธีออกแบบที่พัฒนาขึ้นนี้ มาเขียนเป็นโปรแกรมเพื่อช่วยในการออกแบบแนวทางดิ่งที่เหมาะสม การพัฒนาโปรแกรมเป็นการนำวิธีออกแบบที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ไปประยุกต์ใช้ในงานออกแบบจริง

เราสามารถประเมินประสิทธิภาพของวิธีออกแบบได้จากการทดสอบโปรแกรม จึงนำเส้นทางสายอ่าวยน–เขาขาด จังหวัดภูเก็ต ระยะทางยาว 4.2 กิโลเมตร มาทดสอบ และ พบว่าแนวเส้นทางที่ได้จากการออกแบบ เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่จะประหยัดค่าใช้จ่ายอันเมีผลมาจากปริมาณดินได้มาก ทั้งนี้จะต้องพิจารณาถึงสมมติฐานที่ใช้ในการออกแบบด้วยว่าสมมติฐานที่ใช้ในการออกแบบนั้นจะสามารถนำไปใช้ในการก่อสร้างจริงได้หรือไม่

คุณค่าที่ได้จากการวิจัยนี้ คือ จะพัฒนาวิธีออกแบบให้ได้ แนวเส้นทางที่เหมาะสมยิ่งขึ้น และ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติโดยการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการออกแบบแนวทางดิ่งที่เหมาะสม วิธีออกแบบที่พัฒนาขึ้นนี้จะเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบการออกแบบ และ เกื้อหนุนให้วิศวกรสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และ ได้รับผลประโยชน์จากการประหยัดค่าใช้จ่ายของเส้นทาง

อย่างไรก็ตามวิธีออกแบบ และ โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้ ยังมีข้อจำกัดหลายประการ จากการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาตร์พบว่าค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง และ มีผลต่อการออกแบบนั้นคำนวณได้ยาก เพราะมีความสัมพันธ์กับงานวางแผน สำรวจ ออกแบบ ก่อสร้าง และ บำรุงทาง ทำให้การคำนวณค่าใช้จ่ายที่แท้จริงนั้นยุ่งยาก และ ซับซ้อน การที่จะนำปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดมาพิจารณาเป็นค่าใช้จ่ายรวมคงจะเป็นเรื่องที่ไปไม่ได้ นอกจากนี้แล้วยังพบว่าปัจจัยที่สำคัญที่มีผลจากการออกแบบ คือ ค่าใช้จ่ายของงานดิน และ ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้รถ มีฟังก์ชันของค่าใช้จ่ายกับระดับทางเป็นฟังก์ชันไม่เชิงเส้น ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีวิธีหาผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร

ข้อจำกัดที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ ความสามารถของคอมพิวเตอร์ในการประมวลผล เนื่องจากการหาผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ซับซ้อนจะต้องมีจำนวนครั้งของการคำนวณมหาศาล และ ข้อมูลปริมาณมาก ทำให้ประสิทธิภาพของวิธีออกแบบ และ โปรแกรม ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์ด้วย

7.2 ข้อเสนอแนะ

จากข้อจำกัดที่พบในการพัฒนาวิธีออกแบบ และ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในงานวิจัยนี้ งานออกแบบ และ โปรแกรมช่วยในการออกแบบทาง ยังสามารถที่จะพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นไปอีก การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับหาแนวทางดิ่งที่เหมาะสมที่สุด ทำให้ทราบถึงค่าใช้จ่ายที่มีผลมาจากการออกแบบแนวทางดิ่งที่น่าจะนำมาพิจารณา นั่นก็คือ ค่าใช้จ่ายในการใช้รถ (User cost) และ ค่าขนย้ายมวลดิน (Earthwork distribution cost) และ อาจนำค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องอื่นๆ มาพิจารณาร่วมด้วย เช่น ค่าบำรุงทาง ค่าโครงสร้างทาง เป็นต้น

การพัฒนาประสิทธิภาพของวิธีออกแบบอาจทำได้จากการประยุกต์ใช้เทคนิคการหาผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะการนำเทคนิคการหาผลลัพธ์ของฟังก์ชันไม่เชิงเส้นมาใช้กับแบบจำลองแนวทางดิ่งที่เหมาะสมที่สุด

นอกจากนี้การพัฒนาโปรแกรมช่วยในการออกแบบทางให้สามารถทำงานได้รวดเร็วขึ้น และ นำข้อมูลจำนวนมากมาพิจารณาได้นั้น จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการนำวิธีออกแบบมาประยุกต์ใช้ในงานออกแบบจริง