

การประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอานานิคมมด ในการแก้ปัญหาการขนส่งและการกระจายสินค้า

พงษ์ชัย อธิคมรัตนกุล^{1*}, ณัฐพล พุทธิพงษ์², ศักดา พวงจันทร์³

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

^{1,3} สาขาการจัดการโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10140

โทร 0-2470-9799 โทรสาร 0-2470-9798 E-mail *pongchai.ath@kmutt.ac.th, sphuangchan@yahoo.com

^{1,2} ศูนย์ความเป็นเลิศด้านโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10140

โทร 0-2470-8436-7 โทรสาร 0-2470-8435 E-mail *pongchai.ath@kmutt.ac.th, nuttapol.put@gmail.com

บทคัดย่อ

ปัญหาทางด้านโลจิสติกส์เป็นส่วนของการขนส่งและการกระจายสินค้าที่ผู้ประกอบการโดยส่วนใหญ่ประสบปัญหาอยู่ได้แก่ ปัญหาเกี่ยวกับการค้นหาเส้นทางเดินทางหรือการขนส่งระหว่างจุดต่างๆ ที่ก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ทั้งทางด้านค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการเดินทาง หรือที่รู้จักกันในนามของปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย ซึ่งเป็นปัญหาที่หาค่าคำตอบที่ดีที่สุดได้ค่อนข้างยาก และต้องใช้เวลาในการคำนวณเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนจุดของสถานที่ที่เพิ่มมากขึ้น งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาวิธีการในการเลือกเส้นทางโดยได้นำทฤษฎีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอานานิคมมดมาประยุกต์ใช้ในการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่างโรงงานอุตสาหกรรมในอุตสาหกรรม 5 ประเภทในจังหวัดสมุทรสาคร ซึ่งประกอบไปด้วยอุตสาหกรรมผลิตและแปรรูปอาหารแช่แข็ง, อุตสาหกรรมโลหะ, อุตสาหกรรมสิ่งทอ, อุตสาหกรรมพลาสติก และอุตสาหกรรมยาง โดยจะมีการนำระบบจีพีเอสมาใช้ในการกำหนดพิกัดของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งระบบจีพีเอสสามารถระบุถึงตำแหน่งที่ตั้งในภาคพื้นดินได้อย่างถูกต้องตรงกับความเป็นจริง หลังจากนั้นจะทำการทดลองคำนวณหาเส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่างโรงงานในแต่ละอุตสาหกรรมด้วยวิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอานานิคมมด และนำผลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับระยะทางในเส้นทางจริงจากแผนที่ของโปรแกรม Arc View GIS ผลการวิจัยพบว่าเส้นทางที่ได้รับจากการคำนวณด้วยวิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอานานิคมมดและเส้นทางจริงที่ได้จากโปรแกรม Arc View GIS มีรูปแบบของการเดินทางที่คล้ายคลึงกัน ความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้มีสาเหตุเนื่องจากเส้นทางที่คำนวณได้เป็นระยะแบบกระจัด ซึ่งเป็นการพิจารณาระยะระหว่างจุดแบบเส้นตรง ซึ่งไม่ได้สะท้อนถึงเงื่อนไขสภาพเส้นทางในความเป็นจริง เช่น ความคดลดเลี้ยวของเส้นทาง รวมทั้งการเดินทางในบางเส้นทางที่เป็นชอย ซึ่งไม่สามารถที่จะทะลุหรือเชื่อมต่อไปยังเส้นทางอื่นๆ ได้ ทำให้จะต้องมีการเดินทางย้อนกลับในเส้นทางเดิมในบางจุด จึงทำให้เส้นทางที่สั้นที่สุดเมื่อพิจารณาจากเงื่อนไขสภาพเส้นทางในความเป็นจริงมีค่ามากกว่าเส้นทางที่คำนวณได้จากวิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอานานิคมมด

คำสำคัญ: ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย; ระบบหาพิกัดบนพื้นโลก; วิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอานานิคมมด

1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมและภาคธุรกิจโดยส่วนใหญ่ได้หันมาให้ความสำคัญกับการขนส่งและการกระจายสินค้าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากราคาน้ำมันที่มีการปรับตัวสูงขึ้นจากเดิมค่อนข้างมาก นอกจากนี้การขนส่งและการกระจายสินค้ายังเป็นกิจกรรมทางด้านโลจิสติกส์ที่มีสัดส่วนต้นทุนมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกิจกรรมทางด้านโลจิสติกส์อื่นๆ จากการสำรวจเทียบวัดต้นทุนโลจิสติกส์ต่อยอดขายของอุตสาหกรรมต่างๆ พบว่าต้นทุนการขนส่งและการกระจายสินค้ามีสัดส่วนที่มากกว่าต้นทุนการคลังสินค้า ต้นทุนการจัดเก็บสินค้า และต้นทุนการบริหารจัดการ [4], [9] สำหรับการศึกษาต้นทุนโลจิสติกส์ต่อยอดขายในประเทศไทยนั้น สถาบันวิจัยและให้คำปรึกษาแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ได้ทำการศึกษาด้านต้นทุนโลจิสติกส์ต่อยอดขายในประเทศไทย พบว่าต้นทุนโลจิสติกส์ต่อยอดขายของประเทศไทยในปี 2545 เท่ากับ 19.08% โดยแบ่งเป็นต้นทุนค่าขนส่ง 8.05% ต้นทุนคลังสินค้า 0.20% ต้นทุนการถือครองสินค้าคงคลัง 7.74 % และต้นทุนในการบริหารจัดการ 3.09 % [1] นอกจากนี้ถ้าเปรียบเทียบกับต้นทุนโลจิสติกส์ของภาคอุตสาหกรรมและภาคธุรกิจต่างๆ โดยรวมในประเทศไทยกับประเทศต่างๆ แล้วจะพบว่าต้นทุนการขนส่งและการกระจายสินค้าของประเทศไทยมีสัดส่วนสูงกว่าประเทศที่พัฒนาแล้วอย่างมาก ถ้าภาคอุตสาหกรรมและภาคธุรกิจต่างๆ ในประเทศไทยสามารถลดต้นทุนการขนส่งและการกระจายสินค้าลงได้ ก็จะทำให้สามารถแข่งขันกับคู่แข่งได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ปัญหาการกำหนดเส้นทางเป็นปัญหาทางด้านโลจิสติกส์และการกระจายสินค้าที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เมื่อบริษัทสามารถลดระยะทางในการขนส่งหรือสามารถลดจำนวนยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งลงได้ ก็จะไปสู่การทำงานที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น สามารถลดต้นทุนและระยะเวลาในการขนส่งและการกระจายสินค้าลงได้ งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาวิธีการในการเลือกเส้นทาง (Routing) ในกรณีที่มีจุดส่งวัตถุดิบทำการกระจายวัตถุดิบให้กับโรงงานต่างๆ รวมถึงกรณีที่มีพนักงานขายเดินทางไปยังโรงงานต่างๆ โดยได้นำทฤษฎีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอณานิคมมาประยุกต์ใช้ในการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่างโรงงานอุตสาหกรรมในอุตสาหกรรม 5 ประเภทในจังหวัดสมุทรสาคร ซึ่งประกอบไปด้วยอุตสาหกรรมผลิตและแปรรูปอาหารแช่แข็ง, อุตสาหกรรมโลหะ, อุตสาหกรรมสิ่งทอ, อุตสาหกรรมพลาสติก และอุตสาหกรรมยาง ซึ่งปัญหาการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่างโรงงานอุตสาหกรรมนั้นเทียบได้กับปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย ซึ่งเป็นปัญหาประเภท NP-hard โดยปัญหาประเภท NP-hard นั้นเป็นปัญหาที่หาค่าคำตอบที่ดีที่สุดได้ค่อนข้างยาก และต้องใช้เวลาในการคำนวณเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนจุดของสถานที่ที่เพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน

ในงานวิจัยจะมีการนำระบบจีพีเอสมาใช้ในการกำหนดพิกัดของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งระบบจีพีเอสสามารถระบุถึงตำแหน่งที่ตั้งในภาคพื้นดินได้อย่างถูกต้องตรงกับความเป็นจริง เมื่อได้พิกัดที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรมแล้วก็จะทำการทดลองคำนวณหาเส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่างโรงงานในแต่ละอุตสาหกรรมด้วยวิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอณานิคม และนำผลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับระยะทางในเส้นทางจริงจากแผนที่ของโปรแกรม Arc View GIS

งานวิจัยฉบับนี้ได้เลือกเอาจังหวัดสมุทรสาครมาใช้เป็นกรณีศึกษา ทั้งนี้เนื่องจากจังหวัดสมุทรสาครเป็นแหล่งโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งทำรายได้ให้กับจังหวัดจำนวนมาก และยังคงมีการขยายตัวในอัตราที่สูงและต่อเนื่อง รวมทั้งยังเป็นแหล่งผลิตจากภาคเกษตรกรรม โดยเฉพาะภาคประมงและการแปรรูปสินค้าเกษตรอย่างง่าย ซึ่งสร้างรายได้ให้กับจังหวัดในอัตราส่วนที่สูงเช่นกัน โดยจะเห็นได้จากข้อมูลรายได้เฉลี่ย

ต่อคนต่อปีของประชากรในจังหวัดสมุทรสาครในปี 2546 ซึ่งสูงเป็นอันดับ 2 ของประเทศ โดยรายได้เฉลี่ยต่อคนต่อปีของประชากรในจังหวัดสมุทรสาครในปี 2546 มีค่าเท่ากับ 393,932 บาท

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem, TSP)

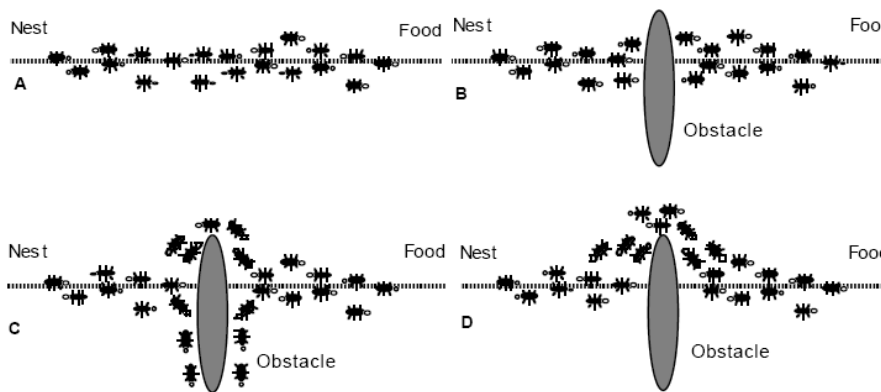
ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem, TSP) เป็นปัญหาที่เกี่ยวกับการหาเส้นทางในการเดินทางของพนักงานขายไปยังเมืองต่างๆ โดยพนักงานขายจะต้องเดินทางไปยังเมืองจำนวน n เมือง ในการเดินทางพนักงานขายจะต้องเดินทางผ่านเมืองต่างๆ ให้ครบทุกเมือง โดยเดินทางผ่านเมืองละ 1 ครั้ง และพนักงานขายจะต้องเดินทางกลับมายังจุดเริ่มต้นเป็นจุดสุดท้าย โดยมีเป้าหมายคือการหาเส้นทางในการเดินทางไปยังเมืองต่างๆ ที่สั้นที่สุด เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในส่วนของระยะทาง เวลาและค่าใช้จ่ายในการเดินทาง โดยขนาดของคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดจะมีเท่ากับ $(n-1)!/2$ คำตอบ เมื่อ n คือจำนวนเมืองที่พนักงานขายจะต้องเดินทางผ่าน โดยขนาดของคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดจะเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนเมืองที่เพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้การหาค่าคำตอบเส้นทางที่สั้นที่สุดมีความยากเพิ่มขึ้นตามจำนวนเมืองที่เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ยกตัวอย่างเช่น ถ้าพนักงานขายจะต้องเดินทางไปให้ครบทั้ง 7 เมืองและกลับมายังจุดเริ่มต้นโดยมีระยะทางโดยรวมสั้นที่สุด จะมีเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมด $(7-1)!/2 = 360$ เส้นทาง ในขณะที่ถ้าจำนวนเมืองที่จะต้องเดินทางไปเพิ่มขึ้นเป็น 100 เมือง จะมีเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดสูงถึง 4.67×10^{155} เส้นทาง

ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายเป็นปัญหาประเภท NP-hard [10] ซึ่งเป็นปัญหาที่หาค่าคำตอบที่ดีที่สุดได้ค่อนข้างยาก โดยจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้จะเพิ่มขึ้นแบบเอ็กโปเนนเชียลตามจำนวนจุดของสถานที่ที่เพิ่มมากขึ้น [3] และในการหาค่าตอบยังจะต้องใช้เวลาในการคำนวณเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนจุดของสถานที่ที่เพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน

2.2. วิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอานานิคมมด

วิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอานานิคมมดเป็นวิธีการแบบ Metaheuristics ที่นิยมใช้ในการแก้ปัญหา Combinatorial Optimization กันอย่างแพร่หลาย [3], [11] โดยมีการนำเสนอขึ้นเป็นครั้งแรกในต้นทศวรรษที่ 1990 โดย Marco Dorigo และคณะ ขั้นตอนวิธีการคำนวณของวิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอานานิคมมดถูกพัฒนาขึ้นจากการสังเกตพฤติกรรมในการค้นหาอาหารของอานานิคมมด โดยพฤติกรรมของมดสามารถอธิบายได้ดังนี้ มดเป็นแมลงที่มีการอยู่รวมกันเป็นสังคมในลักษณะอานานิคม โดยมีเป้าหมายอยู่ที่การอยู่รอดของอานานิคมมากกว่าที่จะมุ่งเน้นไปที่การอยู่รอดของตัวเอง [3] มดสามารถที่จะหาเส้นทางที่สั้นที่สุดจากรังไปยังแหล่งอาหารได้โดยที่มองไม่เห็น [6] ในการหาอาหารมดจะใช้การติดต่อสื่อสารทางอ้อมระหว่างกันโดยใช้วิธีปล่อยสารฟีโรโมนในเส้นทางที่เดินผ่าน ซึ่งพฤติกรรมนี้ทำให้มดสามารถหาเส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่างรังและแหล่งอาหารได้ [3], [6], [11] นอกจากนี้พวกมันยังสามารถปรับตัวไปตามสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปได้อีกด้วย ยกตัวอย่างเช่นการหาเส้นทางใหม่ที่สั้นที่สุดเมื่อเส้นทางเดิมไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจากมีสิ่งกีดขวางเข้ามากีดขวางในเส้นทางเดิน เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 1A จะเห็นว่ามดเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงจากรังไปยังแหล่งอาหาร วิธีการหลักของมดในการสร้างและรักษาเส้นทางได้แก่ร่องรอยของฟีโรโมน มดจะปล่อยสารฟีโรโมนปริมาณที่แน่นอนเอาไว้ในขณะที่เดิน มดแต่ละตัวมีความน่าจะเป็นที่จะเดินไปในเส้นทางที่มีฟีโรโมนในปริมาณที่มากกว่าเส้นทางที่มีปริมาณฟีโรโมนน้อย

กว่า สารฟีโรโมนนี้จะเจือจางลงไปเรื่อยๆ หากเส้นทางนั้นไม่ได้มีการใช้งาน ส่วนในเส้นทางที่ใช้งานมดทุกตัวจะปล่อยฟีโรโมนออกมาอย่างต่อเนื่องทำให้ฟีโรโมนมีความเข้มข้นสูงกว่าทางอื่นๆ พฤติกรรมพื้นฐานของมดจริงสามารถใช้ในการอธิบายว่าพวกมันสามารถหาเส้นทางที่สั้นที่สุดในการเชื่อมต่อเส้นทางที่ขาดเมื่อมีสิ่งกีดขวางเข้ามาปิดเส้นทางเดินดังรูปที่ 1B เมื่อมีสิ่งกีดขวางปรากฏขึ้น มดซึ่งอยู่บริเวณข้างหน้าสิ่งกีดขวางจะไม่สามารถเดินตามร่องรอยฟีโรโมนได้ พวกมันจะต้องตัดสินใจระหว่างเลี้ยวซ้ายหรือเลี้ยวขวา โดยมดจำนวนครึ่งหนึ่งจะเดินไปทางขวา อีกครึ่งหนึ่งจะเดินไปทางซ้าย อีกด้านหนึ่งของสิ่งกีดขวางก็จะเป็นในลักษณะเดียวกันดังรูปที่ 1C มดที่เลือกเส้นทางรอบสิ่งกีดขวางที่สั้นกว่าจะสามารถเดินไปเชื่อมกับร่องรอยฟีโรโมนที่ขาดตอนได้เร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับด้านที่ยาวกว่า ดังนั้นในเส้นทางที่สั้นกว่าจะได้รับปริมาณฟีโรโมนต่อหน่วยเวลามากกว่า ทำให้ปริมาณฟีโรโมนสะสมมีมากกว่าในเส้นทางที่ยาวกว่า ในลำดับต่อมามดจำนวนมากจะเลือกเดินในเส้นทางที่สั้นกว่า ในที่สุดมดทั้งหมดก็จะเลือกเดินในเส้นทางที่สั้นกว่า ซึ่งสอดคล้องกับกระบวนการตอบสนองเชิงบวก



รูปที่ 1: แสดงการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่างรังและแหล่งอาหารของกลุ่มมด [6]

วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอาณานิคมมดจะอาศัยการสร้างอาณานิคมมดจำลองขึ้นมา [3], [6], [7], [10] โดยมีการนำพฤติกรรมของมดจริงใน 3 เรื่องมาประยุกต์ใช้ในการคำนวณ ซึ่งพฤติกรรมของมดจริงที่นำมาประยุกต์ใช้มีดังต่อไปนี้

- 1) มดจะสื่อสารระหว่างกันโดยใช้สารฟีโรโมน
- 2) มดจะเลือกเดินในเส้นทางที่มีปริมาณสารฟีโรโมนสูง
- 3) เส้นทางที่มีระยะทางสั้นกว่าจะมีปริมาณการเพิ่มของสารฟีโรโมนสูงกว่า

นอกจากนี้มดจำลองยังมีความสามารถที่เหนือกว่ามดจริงในธรรมชาติในเรื่องต่อไปนี้ มดจำลองสามารถรู้ระยะทางระหว่างเมืองต่างๆ ได้ และมีหน่วยความจำที่ใช้ในการจำว่าได้เดินทางผ่านเมืองไหนไปแล้วบ้าง โดยหน่วยความจำจะว่างในตอนเริ่มต้นของการเดินทางในแต่ละครั้ง และจะมีการปรับหน่วยความจำในทุกๆครั้งที่มีการเดินทางผ่านเมืองต่างๆ

2.3. Ant System

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้เลือกเอาวิธีการคำนวณแบบ Ant System มาใช้ในการคำนวณ โดย Ant System เป็นวิธีการคำนวณรูปแบบแรกสุดของวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอาณานิคมมดที่ได้มีการนำมาใช้

ในการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอาณานิคมมดตั้งอยู่บนพื้นฐานที่สำคัญ 2 อย่างคือ กฎความน่าจะเป็นในการเลือกเส้นทาง และกฎการปรับสารฟีโรโมน วิธีการคำนวณแบบ Ant System มีขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้ [7] ในการคำนวณมดจำลองจะเปรียบได้กับพนักงานขายที่จะต้องมีการเดินทางไปยังเมืองต่างๆ มดจำลองจะเลือกเมืองที่จะเดินทางโดยใช้ฟังก์ชันความน่าจะเป็นซึ่งอยู่ในรูปของการสะสมร่องรอยฟีโรโมนในเส้นทางต่างๆ และการมองเห็นในเส้นทางต่างๆ ซึ่งการมองเห็นจะเป็นฟังก์ชันในรูปของระยะทางในเส้นทางต่างๆ ในเบื้องต้นมดจำลองจำนวน m ตัวจะถูกวางตามเมืองต่างๆ แบบสุ่ม ในแต่ละช่วงเวลามดจะเคลื่อนที่ไปยังเมืองใหม่โดยใช้กฎความน่าจะเป็นในการเลือกเส้นทาง โดยความน่าจะเป็นที่มดตัวที่ k ซึ่งปัจจุบันอยู่ที่เมือง i จะเลือกเดินทางไปยังเมือง j ในรอบการเดินทางที่ t แสดงได้ดังสมการที่ 1

$$p_{ij}^k(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in N_i^k} [\tau_{il}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{il}]^\beta} \quad \text{if } j \in N_i^k \quad (1)$$

โดยที่ τ_{ij} คือร่องรอยฟีโรโมนในเส้นทางจากเมือง i ไปยังเมือง j , η_{ij} คือความสามารถในการมองเห็น (visibility) จากเมือง i ไปยังเมือง j , α คือค่าคงที่หรือค่าสัมประสิทธิ์ของฟีโรโมน (Coefficient) ซึ่งเป็นการถ่วงน้ำหนักให้กับเทอม τ_{ij} , β คือค่าคงที่หรือค่าสัมประสิทธิ์ของการมองเห็น (Visibility Coefficient) ซึ่งเป็นการถ่วงน้ำหนักให้กับเทอม η_{ij} , m คือจำนวนมด, n คือจำนวนเมือง, l คือเมืองที่มดตัวที่ k ยังไม่เคยเดินทางผ่าน, N_i^k คือคำตอบข้างเคียงที่เป็นไปได้ของมดตัวที่ k ซึ่งก็คือกลุ่มของเมืองที่มดตัวที่ k ยังไม่เคยเดินทางผ่าน ทั้งนี้ความสามารถในการมองเห็นจากเมือง i ไปยังเมือง j (η_{ij}) มีค่าดังสมการที่ 2

$$\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}} \quad (2)$$

เมื่อ d_{ij} คือระยะทาง (distance) จากเมือง i ไปยังเมือง j

บทบาทของพารามิเตอร์ α และ β มีดังต่อไปนี้ ถ้า $\alpha = 0$ มดจะเลือกเมืองที่อยู่ใกล้ที่สุด ถ้า $\beta = 0$ จะมีเฉพาะร่องรอยของฟีโรโมนเท่านั้นที่มีผลต่อการเลือกเส้นทาง ซึ่งวิธีนี้จะนำไปสู่สภาวะหยุดนิ่งอย่างรวดเร็ว โดยที่สภาวะหยุดนิ่งจะเป็นสถานการณ์ที่มดทุกตัวจะเดินในเส้นทางเดิมตลอด ซึ่งโดยทั่วไปอาจจะทำให้ได้ค่าที่ดีที่สุดเฉพาะที่ ดังนั้นในการคำนวณจึงต้องมีทั้งส่วนของร่องรอยของฟีโรโมนและส่วนของการมองเห็นอยู่ร่วมกัน

ในส่วนของการปรับสารฟีโรโมนซึ่งเป็นลักษณะหลักนั้นมียาละเอียดดังต่อไปนี้ ในแต่ละรอบการเดินทางของมดทั้งหมด m ตัว มดทั้งหมดจะต้องมีการปรับสารฟีโรโมนในเส้นทางที่เดินทางผ่านดังสมการที่ 3

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k(t) \quad (3)$$

เมื่อ ρ คืออัตราการระเหยของสารฟีโรโมน, $\Delta \tau_{ij}^k(t)$ คือปริมาณสารฟีโรโมนที่มดตัวที่ k วางในเส้นทางระหว่างเมือง i และ j โดยปริมาณสารฟีโรโมนที่มดตัวที่ k วางในเส้นทางระหว่างเมือง i และ j มีค่าดังสมการที่ 4

$$\Delta \tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} Q/L_k & \text{If ant } k \text{ used edge } (i,j) \text{ in its tour} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

เมื่อ Q คือค่าคงที่, L_k คือระยะทางที่มดตัวที่ k เดินทาง

2.4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายเป็นปัญหาที่ได้รับความนิยมในการศึกษาค้นคว้าวิจัยกันอย่างกว้างขวาง โดยมีการศึกษาค้นคว้าวิจัยมาตั้งแต่ปีค.ศ. 1940 แม้ว่าจะมีการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับปัญหานี้มาอย่างยาวนาน แต่ทว่ายังไม่มียุทธศาสตร์ที่สามารถใช้ในการแก้ปัญหาได้อย่างสมบูรณ์แบบ เนื่องจากปัญหาการเดินทางของพนักงานขายจัดเป็นปัญหาที่ยากในการหาคำตอบ ในปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้วิธีการหลายๆ รูปแบบในการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย ซึ่งมีอยู่หลายวิธีการที่มีประสิทธิภาพในระดับสูงและเป็นที่ยอมรับใช้ในการแก้ปัญหา ผู้วิจัยได้เลือกวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบแอนาติคมมดมาใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ เนื่องจากเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง สามารถประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาต่างๆ ได้เป็นอย่างดี และเป็นวิธีการที่กำลังได้รับความนิยมอย่างสูง แม้ว่าจะเป็นวิธีการที่ค่อนข้างใหม่ ซึ่งมีการพัฒนาขึ้นมาไม่นานมากนักก็ตาม จากการสำรวจพบว่างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบแอนาติคมมดมาใช้ในการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายมีดังต่อไปนี้ Dorico และ Gambardella [6] ได้นำวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบแอนาติคมมดมาใช้ในการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย โดยใช้การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ และผู้วิจัยได้นำวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบแอนาติคมมดไปทำการทดลองในการหาคำตอบเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ ซึ่งผู้วิจัยท่านอื่นๆ ได้ทำการวิจัยเอาไว้ โดยเอาไปทดลองเปรียบเทียบกับวิธี Simulated Annealing, Neural Network, Self Organizing Map, Genetics Algorithm, Evolutionary Programming, และวิธีผสมระหว่างวิธี Simulated Annealing และวิธี Genetics Algorithm จากการทดลองพบว่ามดจำลองสามารถสร้างเส้นทางคำตอบให้ผลเป็นที่น่าพอใจทั้งในกรณีปัญหาการเดินทางของพนักงานขายแบบสมมาตรและอสมมาตร โดยมีกลไกในการหาคำตอบที่สำคัญคือ การใช้การสะสมของข้อมูลในรูปแบบของร่องรอยฟีโรโมนที่มดจำลองปล่อยทิ้งไว้ในเส้นทางในขณะที่เดินทางผ่าน Cheng และ Mao [5] ทำการวิจัยปัญหาการเดินทางของพนักงานขายที่มีขอบเขตของเวลา (traveling salesman problem with time windows, TSPTW) ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการหาต้นทุนในการเดินทางที่ต่ำที่สุดภายใต้ขอบเขตเวลาที่ระบุเอาไว้ โดยผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาวิธีการ Modified ant algorithm ที่มีชื่อว่า ACS-TSPTW ขึ้นมาใหม่เพื่อใช้ในการแก้ปัญหา TSPTW โดยวิธีการที่ได้พัฒนาขึ้นมาใหม่นี้มีพื้นฐานมาจากวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบแอนาติคมมด ผลการทดลองพบว่าวิธีการ ACS-TSPTW มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหา TSPTW ได้ดีกว่าวิธีการ ACS-Time และวิธีการ ACO แบบอื่นๆ

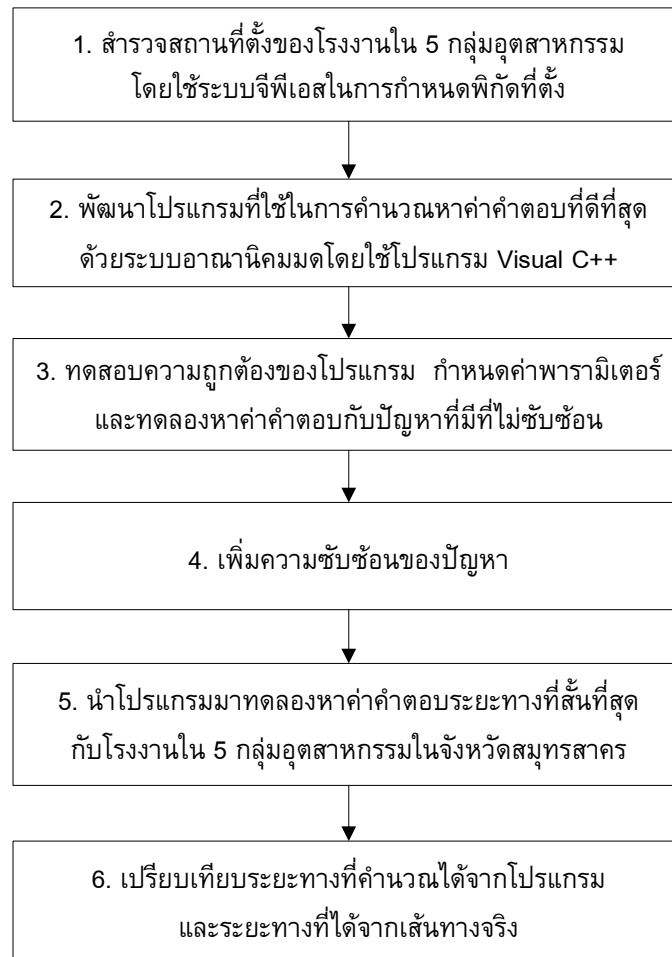
3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยการประยุกต์ใช้วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบแอนาติคมมดในการแก้ปัญหาการขนส่งและการกระจายสินค้าแสดงได้ดังรูปที่ 2

โดยในขั้นตอนของการคำนวณในขั้นตอนที่ 2-5 นั้น จะต้องมีการคำนวณหาระยะทางระหว่างจุด 2 จุด โดยสูตรที่ใช้ในการคำนวณแสดงได้ดังสมการ 5

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (5)$$

เมื่อ d_{ij} คือระยะทางระหว่าง เมือง i และเมือง j , y คือค่าพิกัดของตำแหน่งในแกน y , x คือค่าพิกัดของตำแหน่งในแกน x



รูปที่ 2: ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

โดยค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยฉบับนี้ นำมาจากงานวิจัยของ Casper Joost Eyckelhof ซึ่งได้ใช้ระบบ Ant System ในการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย โดยได้ทำการทดลองที่จำนวนเมือง 25 เมือง และ 100 เมือง งานวิจัยฉบับนี้มีขอบเขตของจำนวนโรงงานที่นำมาทดลองไม่เกิน 25 โรงงาน ซึ่งมีจำนวนที่ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Casper Joost Eyckelhof ผู้วิจัยจึงได้นำค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยฉบับนี้ โดยมีค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ $\alpha = 1$, $\beta = 6$, $\rho = 0.5$, $m = n$, $Q = 100$, $\tau = 10^{-6}$ [8] ในขั้นตอนที่ 3. ที่ทำการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมนั้น ผลการทดสอบพบว่าโปรแกรมที่ใช้ในการหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการเดินทางที่พัฒนาขึ้นด้วยวิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอานานิคมมดนั้นสามารถคำนวณหาเส้นทางที่ถูกต้องได้จริง โดยในเส้นทางที่รู้คำตอบที่แน่นอนแล้วนั้น โปรแกรมสามารถหาค่าตอบได้ตรงกับคำตอบจริง ส่วนในเส้นทางที่ไม่รู้คำตอบที่แน่นอน ผลลัพธ์ที่คำนวณได้ก็เชื่อได้ว่าเป็นเส้นทางที่สั้นมากและเป็นที่น่าสนใจ เนื่องจากไม่มีการตัดกันของเส้นทาง และมีการเลือก

เส้นทางการเดินทางออกจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดที่อยู่ใกล้ที่สุดบ่อยครั้ง ซึ่งสอดคล้องกับวิธีการในการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดบางวิธี ดังนั้นผลที่ได้รับจึงน่าจะเป็นที่ยอมรับได้

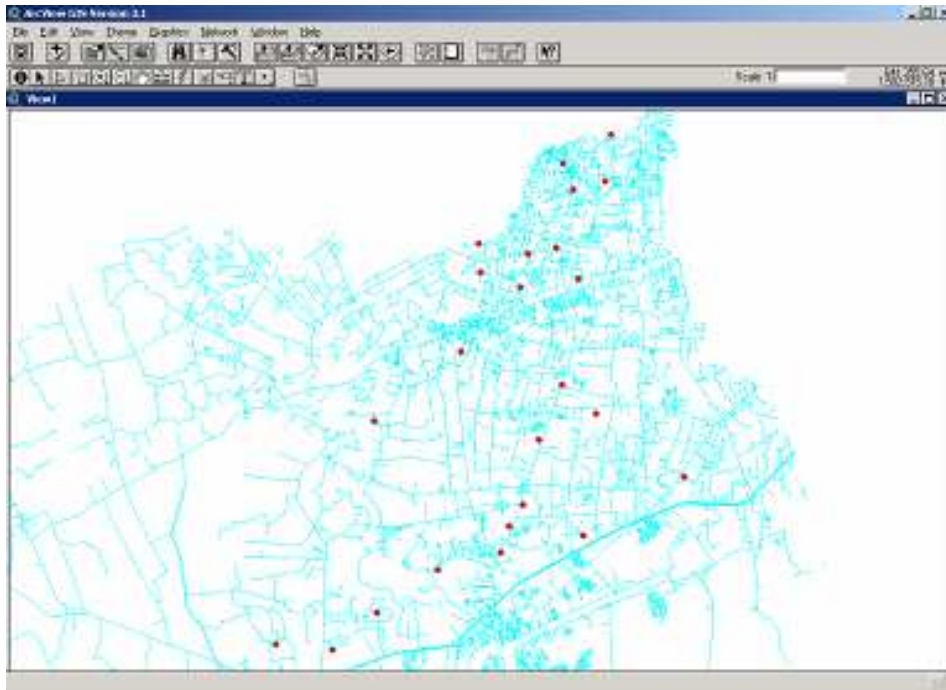
ทั้งนี้ตัวอย่างระยะทางระหว่างโรงงานทั้ง 24 โรงที่ใช้ในการคำนวณแสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1: แสดงระยะทางระหว่างโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ใช้ในการคำนวณ (หน่วย : กม.)

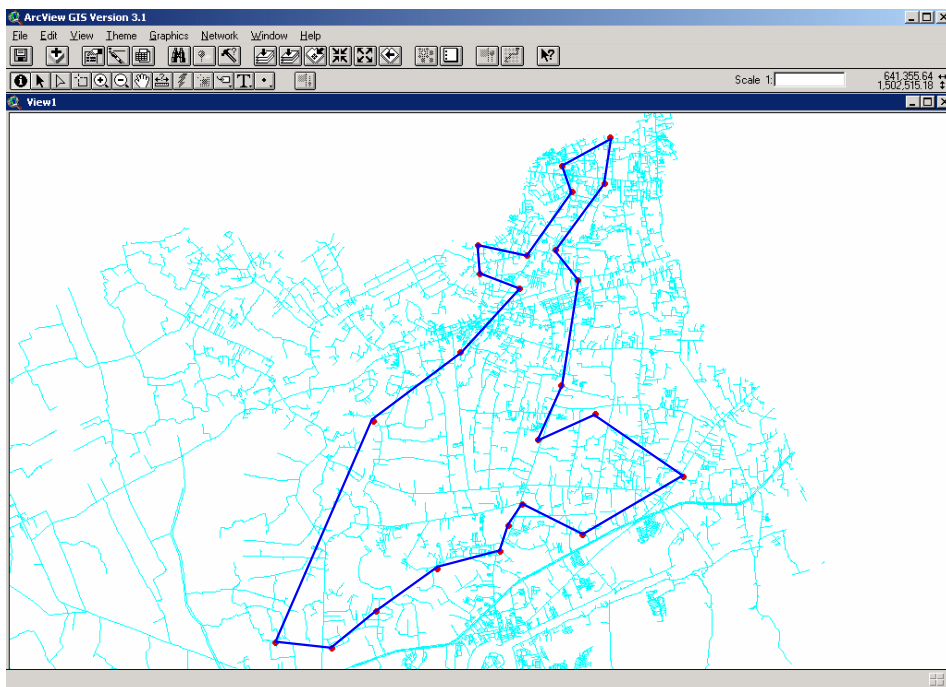
		ถึงโรงงานที่																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
จากโรงงานที่	1		2.65	3.17	6.87	8.14	8.96	8.33	12.47	17.63	28.80	27.64	25.14	22.15	20.43	19.12	18.00	18.86	16.55	13.26	14.86	12.06	6.91	5.94	2.24
	2	2.65		1.27	4.56	5.45	6.42	6.20	10.12	15.16	26.44	25.40	22.93	20.09	18.60	17.37	16.25	17.67	15.87	11.88	13.11	10.49	5.45	4.00	2.24
	3	3.17	1.27		3.73	5.12	5.90	5.23	9.34	14.42	25.58	24.54	21.96	19.12	17.48	16.17	15.09	16.32	14.57	10.64	11.95	9.26	4.22	2.84	1.61
	4	6.87	4.56	3.73		2.50	2.43	1.57	5.56	10.76	21.92	21.25	18.41	15.50	14.19	12.92	11.80	13.56	12.96	8.22	8.78	8.37	2.32	1.31	5.04
	5	8.14	5.45	5.12	2.50		1.53	2.88	5.23	9.79	21.21	20.39	18.08	15.57	12.66	13.48	12.59	14.72	14.75	9.82	9.79	7.77	4.97	3.73	6.69
	6	8.96	6.42	5.90	2.43	1.53		1.87	3.81	8.66	19.98	19.16	16.73	14.12	13.26	12.06	11.20	13.33	13.63	10.53	8.40	6.95	4.67	3.81	7.32
	7	8.33	6.20	5.23	1.57	2.88	1.87		4.18	9.45	20.47	19.23	16.73	13.97	12.55	11.35	10.35	12.14	12.03	6.95	6.91	5.08	2.76	2.43	6.42
	8	12.47	10.12	9.34	5.56	5.23	3.81	4.18		5.30	16.36	15.31	12.89	10.35	9.71	8.59	7.84	10.57	12.14	7.02	5.60	5.00	6.54	6.69	10.64
	9	17.63	15.16	14.42	10.76	9.79	8.66	9.45	5.30		11.58	10.61	9.08	7.66	8.70	8.10	8.07	11.43	14.94	10.57	7.92	9.11	11.88	11.91	15.80
	10	28.80	26.44	25.58	21.92	21.21	19.98	20.47	16.36	11.58		2.80	5.08	8.44	11.50	12.40	9.64	15.46	20.91	18.67	15.80	18.23	22.48	22.93	26.82
	11	27.64	25.40	24.54	21.25	20.39	19.16	19.23	15.31	10.61	2.80		2.58	6.27	9.19	10.23	11.35	13.11	18.56	16.69	13.89	16.62	21.10	21.77	25.58
	12	25.14	22.93	21.96	18.41	18.08	16.73	16.73	12.89	9.08	5.08	2.58		3.66	6.50	7.47	8.55	14.19	15.91	14.34	11.20	13.86	18.49	19.20	23.12
	13	22.15	20.09	19.12	15.50	15.57	14.12	13.97	10.35	7.66	8.44	6.27	3.66		2.99	4.00	5.08	7.17	12.47	10.53	7.66	10.57	15.31	16.21	19.98
	14	20.43	18.60	17.48	14.19	12.66	13.26	12.55	9.71	8.70	11.50	9.19	6.50	2.99		1.23	2.43	4.11	9.49	7.96	5.53	8.40	13.45	14.64	18.23
	15	19.12	17.37	16.17	12.92	13.48	12.06	11.35	8.59	8.10	12.40	10.23	7.47	4.00	1.23		1.23	3.55	8.66	6.72	4.37	7.10	12.03	13.33	16.96
	16	18.00	16.25	15.09	11.80	12.59	11.20	10.35	7.84	8.07	9.64	11.35	8.55	5.08	2.43	1.23		3.25	7.77	5.49	3.17	5.94	11.02	12.25	15.84
	17	18.86	17.67	16.32	13.56	14.72	13.33	12.14	10.57	11.43	15.46	13.11	14.19	7.17	4.11	3.55	3.25		5.60	5.75	4.89	7.21	12.18	13.63	16.69
	18	16.55	15.87	14.57	12.96	14.75	13.63	12.03	12.14	14.94	20.91	18.56	15.91	12.47	9.49	8.66	7.77	5.60		5.23	7.13	7.25	10.61	12.44	10.68
	19	13.26	11.88	10.64	8.22	9.82	10.53	6.95	7.02	10.57	18.67	16.69	14.34	10.53	7.96	6.72	5.49	5.75	5.23		2.91	2.09	6.46	8.07	11.02
	20	14.86	13.11	11.95	8.78	9.79	8.40	6.91	5.60	7.92	15.80	13.89	11.20	7.66	5.53	4.37	3.17	4.89	7.13	2.91		2.84	7.84	9.15	12.55
	21	12.06	10.49	9.26	8.37	7.77	6.95	5.08	5.00	9.11	18.23	16.62	13.86	10.57	8.40	7.10	5.94	7.21	7.25	2.09	2.84		5.04	6.54	9.49
	22	6.91	5.45	4.22	2.32	4.97	4.67	2.76	6.54	11.88	22.48	21.10	18.49	15.31	13.45	12.03	11.02	12.18	10.61	6.46	7.84	5.04		1.94	4.71
	23	5.94	4.00	2.84	1.31	3.73	3.81	2.43	6.69	11.91	22.93	21.77	19.20	16.21	14.64	13.33	12.25	13.63	12.44	8.07	9.15	6.54	1.94		4.07
	24	2.24	2.24	1.61	5.04	6.69	7.32	6.42	10.64	15.80	26.82	25.58	23.12	19.98	18.23	16.96	15.84	16.69	10.68	11.02	12.55	9.49	4.71	4.07	

4. ผลการวิจัย

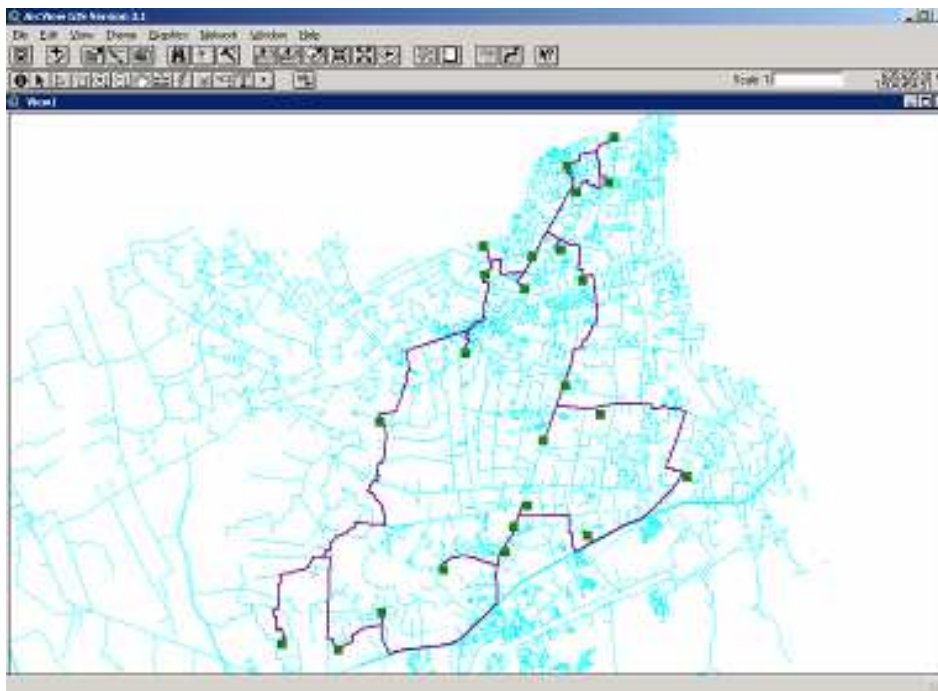
ในหัวข้อนี้จะนำเสนอผลที่ได้จากการวิจัย โดยจะขอนำผลที่ได้จากการคำนวณของกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอในจังหวัดสมุทรสาครมาใช้เป็นตัวอย่างในการอธิบายผลการวิจัยการหาเส้นทางที่มีระยะทางที่สั้นที่สุด โดยหลังจากที่ได้ทำการสำรวจที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรมด้วยระบบจีพีเอสแล้ว ก็จะนำพิกัดที่ตั้งของโรงงานมาแสดงในแผนที่ของโปรแกรม Arc View GIS เพื่อให้เห็นภาพพิกัดที่ตั้งได้อย่างถูกต้องและชัดเจน โดยพิกัดที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอในจังหวัดสมุทรสาครที่ทำการสำรวจแสดงได้ดังรูปที่ 3 หลังจากนั้นก็จะนำเอาข้อมูลพิกัดที่ตั้งในรูปที่ 3 มาใช้ในการคำนวณหาเส้นทางที่มีระยะทางที่สั้นที่สุดด้วยโปรแกรมที่ได้มีการพัฒนาขึ้น ซึ่งเส้นทางที่สั้นที่สุดที่ได้จากการคำนวณแสดงได้ดังรูปที่ 4 โดยมีระยะทางรวมเท่ากับ 82.240 กิโลเมตร หลังจากนั้นจะนำผลที่คำนวณได้มาหาระยะทางของเส้นทางจริงจากแผนที่ของโปรแกรม Arc View GIS ซึ่งระยะทางของเส้นทางเมื่อพิจารณาจากสภาพถนนจริงมีค่าเท่ากับ 105.433 กิโลเมตร ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 3: แสดงที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรมกลุ่มสิ่งทอในจังหวัดสมุทรสาคร



รูปที่ 4: เส้นทางที่สั้นที่สุดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบแอนาโนมมด



รูปที่ 5: เส้นทางที่สั้นที่สุดเมื่อพิจารณาจากเส้นทางจริงในโปรแกรม Arc View GIS

ระยะทางที่คำนวณได้กับระยะทางที่เกิดขึ้นจริงมีความแตกต่างกัน แต่ทั้งนี้มีความคล้ายคลึงกันในรูปแบบของการเดินทาง ความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้มีสาเหตุเนื่องจากเส้นทางที่คำนวณได้เป็นระยะแบบกระจัด ซึ่งเป็นการพิจารณาระยะระหว่างจุดแบบเส้นตรง ซึ่งไม่ได้สะท้อนถึงเงื่อนไขสภาพเส้นทางในความเป็นจริง เช่นความคดลดเลี้ยวของเส้นทาง รวมทั้งการเดินทางในบางเส้นทางที่เป็นชอย ซึ่งไม่สามารถที่จะทะลุหรือเชื่อมต่อไปยังเส้นทางอื่นๆ ได้ ทำให้จะต้องมีการเดินทางย้อนกลับในเส้นทางเดิมในบางจุด จึงทำให้เส้นทางที่สั้นที่สุดเมื่อพิจารณาจากเงื่อนไขสภาพเส้นทางในความเป็นจริงมีค่ามากกว่าเส้นทางที่คำนวณได้จากวิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอานานิคมมด

ผลการคำนวณระยะทางที่สั้นที่สุดด้วยวิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอานานิคมมด และระยะทางของเส้นทางเมื่อพิจารณาจากสภาพถนนจริงระหว่างโรงงานใน 5 กลุ่มอุตสาหกรรมที่นำมาใช้ในงานวิจัยฉบับนี้ ซึ่งประกอบไปด้วยอุตสาหกรรมผลิตและแปรรูปอาหารแช่แข็ง อุตสาหกรรมโลหะ อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมพลาสติก และอุตสาหกรรมยางสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2

5. บทสรุป

ในปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมและภาคธุรกิจโดยส่วนใหญ่ได้หันมาให้ความสำคัญกับการขนส่งและการกระจายสินค้าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากราคาน้ำมันที่มีการปรับตัวสูงขึ้นจากเดิมค่อนข้างมาก นอกจากนี้การขนส่งและการกระจายสินค้ายังเป็นกิจกรรมทางด้านโลจิสติกส์ที่มีสัดส่วนต้นทุนมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกิจกรรมทางด้านโลจิสติกส์อื่นๆ ถ้าภาคอุตสาหกรรมและภาคธุรกิจในประเทศไทยสามารถลดต้นทุนการขนส่งและการกระจายสินค้าลงได้ ก็จะทำให้สามารถแข่งขันกับคู่แข่งได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 2: ผลการคำนวณระยะทางที่สั้นที่สุดและระยะทางของเส้นทางเมื่อพิจารณาจากสภาพถนนจริงระหว่างโรงงานใน 5 กลุ่มอุตสาหกรรม

กลุ่มอุตสาหกรรม	จำนวนโรงงานที่นำมาใช้ในการทดลอง	ระยะทางที่คำนวณได้จากวิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอานานิคมมต (ก.ม.)	ระยะทางจริงที่ได้จากโปรแกรม Arc View GIS (ก.ม.)
อุตสาหกรรมผลิตและแปรรูปอาหารแช่แข็ง	25	68.125	146.104
อุตสาหกรรมโลหะ	15	89.654	105.433
อุตสาหกรรมสิ่งทอ	24	82.240	105.433
อุตสาหกรรมพลาสติก	23	80.029	129.207
อุตสาหกรรมยาง	24	67.865	99.036

ปัญหาทางด้านโลจิสติกส์ในส่วนของขนส่งและการกระจายสินค้าที่ผู้ประกอบการโดยส่วนใหญ่ประสบปัญหาอยู่ได้แก่ ปัญหาเกี่ยวกับการค้นหาเส้นทางการเดินทางหรือการขนส่งระหว่างจุดต่างๆ ที่ก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ทั้งในด้านค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการเดินทาง หรือที่รู้จักกันในนามของปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย ซึ่งเป็นปัญหาที่หาค่าคำตอบที่ดีที่สุดได้ค่อนข้างยาก และต้องใช้เวลาในการคำนวณเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนจุดของสถานที่ที่เพิ่มมากขึ้น ปัญหาการจัดเส้นทางเป็นปัญหาทางด้านโลจิสติกส์และการกระจายสินค้าที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เมื่อบริษัทสามารถลดระยะทางในการขนส่งหรือสามารถลดจำนวนยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งลงได้ ก็จะนำไปสู่การทำงานที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น สามารถลดต้นทุนและระยะเวลาในการขนส่งและกระจายสินค้าลงได้ งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาวิธีการในการเลือกเส้นทางโดยได้นำทฤษฎีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอานานิคมมตมาประยุกต์ใช้ในการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่างโรงงานอุตสาหกรรมในอุตสาหกรรม 5 ประเภทในจังหวัดสมุทรสาคร ซึ่งประกอบไปด้วยอุตสาหกรรมผลิตและแปรรูปอาหารแช่แข็ง, อุตสาหกรรมโลหะ, อุตสาหกรรมสิ่งทอ, อุตสาหกรรมพลาสติก และอุตสาหกรรมยาง ผลการทดลองพบว่าเส้นทางที่คำนวณได้จากโปรแกรมให้ผลเป็นที่น่าพอใจ แต่ทั้งนี้เส้นทางที่สั้นที่สุดเมื่อพิจารณาจากเงื่อนไขสภาพเส้นทางในความเป็นจริงจะมีค่ามากกว่าเส้นทางที่คำนวณได้จากวิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอานานิคมมต ความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้มีสาเหตุเนื่องจากเส้นทางที่คำนวณได้เป็นระยะแบบกระจัด ซึ่งเป็นการพิจารณาระยะระหว่างจุดแบบเส้นตรง ซึ่งไม่ได้สะท้อนถึงเงื่อนไขสภาพเส้นทางในความเป็นจริง เช่น ความคดเคี้ยวของเส้นทางรวมทั้งการเดินทางในบางเส้นทางที่เป็นซอย ซึ่งไม่สามารถที่จะทะลุหรือเชื่อมต่อไปยังเส้นทางอื่นๆ ได้ ทำให้จะต้องมีการเดินทางย้อนกลับในเส้นทางเดิมในบางจุด จึงทำให้เส้นทางที่สั้นที่สุดเมื่อพิจารณาจากเงื่อนไขสภาพเส้นทางในความเป็นจริงมีค่ามากกว่าเส้นทางที่คำนวณได้จากวิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอานานิคมมต

6. ข้อเสนอแนะ

1. ชุดข้อมูลที่มีโรงงานอยู่บนถนนสายหลักจะมีค่าของระยะทางที่คำนวณได้ใกล้เคียงกับระยะทางเมื่อพิจารณาจากสภาพถนนจริงมากกว่าชุดข้อมูลที่มีโรงงานตั้งอยู่ในตรอกหรือซอย ทั้งนี้เป็นผลมาจากกรณีของชุด

ข้อมูลที่มีโรงงานตั้งอยู่ในตรอกหรือซอยนั้น จะต้องมีการเดินทางย้อนกลับในเส้นทางเดิมมากกว่าในกรณีแรก

2. สำหรับงานวิจัยต่อไปในอนาคตมีความเป็นไปได้ที่จะมีการนำวิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอณานิคมตวิธีกรอื่น ๆ ที่มีประสิทธิภาพมากกว่ามาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย ทั้งนี้รวมไปถึงวิธีการแบบ Metaheuristics ที่มีประสิทธิภาพสูงวิธีกรอื่น ๆ ด้วย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สถาบันวิจัยและให้คำปรึกษาแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, “รายงานฉบับสมบูรณ์เสนอสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ โครงการพัฒนาฐานข้อมูลภาพรวมต้นทุนและมูลค่าเพิ่มอุตสาหกรรมโลจิสติกส์ระยะที่ 1,” www.nesdb.go.th
- [2] Bell, J. E., McMullen, P. R., 2004, “Ant colony optimization techniques for the vehicle routing problem,” *Advanced Engineering Informatics* Vol. 18, 41–48.
- [3] Blum, C., 2005, “Ant colony optimization: Introduction and recent trends,” *Physics of Life Reviews* Vol. 2, 353–373.
- [4] Capgemini, 2005, “2005 THIRD-PARTY LOGISTICS : Results and Findings of the 10th Annual Study,” <http://3plstudy.com>
- [5] Cheng, C. B., Mao, C. P., “A modified ant colony system for solving the traveling salesman problem with time windows,” *Mathematical and Computer Modelling*, www.elsevier.com/locate/mcm
- [6] Dorigo, M., Gambardella, L. M., 1997, “Ant colonies for the traveling salesman problem,” *BioSystems* Vol. 43, 73–81.
- [7] Dorigo, M., Birattari, M., Stutzle, T., 2006, “Ant Colony Optimization Artificial Ants as a Computational Intelligence Technique,” *IEEE COMPUTATIONAL INTELLIGENCE MAGAZINE* NOVEMBER 2006, 28-39. <http://code.ulb.ac.be/dbfiles/DorBirStu2006cim.pdf>
- [8] Eyckelhof, C. J., 2001, “Ant Systems for a Dynamic TSP, Ants caught in a traffic jam,” University of Twente, joost.student.utwente.nl/thesis/scriptie.pdf
- [9] IBM Business Consulting Services, 2005, “The GMA 2005 Logistics Survey : Supply chain performance in food, grocery and consumer products,” www.gmabrands.com
- [10] Stutzle, T., Dorigo, M., “ACO Algorithms for the Traveling Salesman Problem,” <http://staff.washington.edu/paymana/swarm/stutzle99-eaecs.pdf>
- [11] Udomsakdigool, A., Kachitvichyanukul, V., 2005, “HETEROGENOUS ANT ALGORITHM FOR JOB SHOP SCHEDULING,” *Proceedings of the 2005 International Conference on Simulation and Modeling*.