

การประเมินจุดอ่อนโครงข่ายเส้นทางด้วยวิธีการแบบกราฟ

The Vulnerability Assessment of Road Network with Graph Algorithm

กิตติ เชี่ยวชาญ*

บทคัดย่อ

ปัญหาที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อโครงข่ายสาธารณูปโภคพื้นฐานขนาดใหญ่ เช่น โครงข่ายถนน โครงข่ายไฟฟ้าและโครงข่ายสื่อสาร เกิดได้จากหลายปัจจัย อาทิ อุทกภัย วาตภัย ก่อให้เกิดความเสียหายหลากหลายด้านแต่กลับมิได้มีแนวทางการวิเคราะห์และประเมินจุดอ่อนของโครงข่ายเหล่านี้ เพื่อป้องกันและลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากภัยพิบัติ ในงานวิจัยนี้เสนอรูปแบบการประเมินจุดอ่อนโครงข่าย โดยอาศัยขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์ในการหาระยะการเดินทางที่สั้นที่สุด และนำโครงข่ายถนนจริง 10 จังหวัดในประเทศไทย เป็นข้อมูลทดสอบการวิเคราะห์และประเมินจุดอ่อนของการเชื่อมต่อโครงข่ายเส้นทาง

คำสำคัญ : จุดอ่อนโครงข่ายเส้นทาง การเชื่อมต่อโครงข่าย ปัญหาการหาเส้นทางที่สั้นที่สุด

Abstract

A network connectivity problem impacts on large infrastructure networks such as road, electricity and communication networks. This problem is caused from several factors, e.g. flooding, hurricane, and landslide. Although the network connectivity problem leads to a serious damage of the network, the network vulnerability analysis is not resolved for the connectivity problem. In order to prevent and alleviate the effects causing from the network connectivity loss, this research proposes the assessment of network vulnerability with modified shortest path algorithm that improves the heuristic function for road network vulnerability analysis. Moreover, the road networks; data of 10 provinces in Thailand; are tested by applying the concept of the network vulnerability analysis.

Keywords : Network vulnerability, Network connectivity, Shortest path algorithm

* อาจารย์ประจำสาขาคอมพิวเตอร์ศึกษา คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

บทนำ

ปัญหาภัยพิบัติทางธรรมชาติที่เกิดจากสภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) และความไม่สมดุลของระบบนิเวศน์ อาทิเช่น อุทกภัย วาตภัย และดินโคลนถล่ม ส่งผลกระทบโดยตรงต่อการคมนาคมขนส่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โครงข่ายถนนซึ่งเป็นโครงข่ายคมนาคมหลักของประเทศที่มักได้รับความเสียหาย ถูกตัดขาด จนทำให้ประชาชนและสินค้าไม่สามารถเดินทางสัญจรได้ ผลกระทบจากภัยพิบัติที่ผ่านมาในอดีตยังลดทอนประสิทธิภาพและระดับการให้บริการของถนนในโครงข่ายถนนในหลายด้าน จนก่อให้เกิดโครงข่ายสูญเสียความสามารถในการเชื่อมโยงการเดินทาง (Connectivity loss) โดยเป็นที่น่าสังเกตว่า ปัญหาเหล่านี้ ไม่ได้รับการคำนึงถึงการป้องกันและแก้ไขอย่างจริงจังในด้านการวิเคราะห์จุดอ่อนของโครงข่ายเส้นทาง ซึ่งมีความสำคัญเป็นอย่างมากในกรณีเกิดภัยพิบัติตามที่กล่าวแล้วข้างต้น

การวิเคราะห์จุดอ่อนโครงข่ายเส้นทาง (Vulnerability of road network) เป็นการพิจารณาผลกระทบในระดับโครงข่าย โดยเมื่อเส้นทางใดเส้นทางหนึ่ง หรือหลากหลายเส้นทางภายในโครงข่ายถูกตัดขาดหรือใช้การไม่ได้ สภาพดังกล่าวอาจก่อให้เกิดการจราจรติดขัดและยานพาหนะต้องเปลี่ยนไปใช้เส้นทางอื่นแทน ซึ่งผลกระทบต่อการเชื่อมโยงโครงข่ายเส้นทางได้ หากจุดเชื่อมต่อเหล่านี้เกิดความเสียหาย จะส่งผลกระทบต่อโครงข่ายเส้นทางโดยรวม และเกิดปัญหาตามมา อาทิ ระยะทาง และเวลาในการเดินทางจะเพิ่มขึ้น งานวิจัยนี้กล่าวถึง แนวทางการวิเคราะห์จุดอ่อนโครงข่ายเส้นทาง ขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์และโครงสร้างข้อมูลในการวิเคราะห์ รวมไปถึงผลลัพธ์เบื้องต้นจากการวิเคราะห์จุดอ่อนของโครงข่ายต้นแบบเพื่อทดสอบเป็นลำดับ

บททวนวรรณกรรม

Shortest Path Problem (SP) คือปัญหาการหาคำตอบที่สั้นที่สุดของการเดินทางในโครงสร้างข้อมูลแบบกราฟ ซึ่งลักษณะวิธีที่ใช้หาคำตอบมีความแตกต่างกันไปลักษณะเฉพาะ เช่น กราฟระบุทิศทาง กราฟไม่ระบุทิศทาง เป็นต้น โดยการหาคำตอบแบบระหว่างคู่ Origin and Destination เดียว โดยสามารถทำได้หลายวิธี อาทิ Dijkstra Bellman-Ford และ Astar ในตารางที่ 1 แสดงลักษณะการประยุกต์ Shortest path algorithm ไปใช้ในงานที่เกี่ยวข้องโดยมีการเปรียบเทียบค่าความซับซ้อน (Time complexity) การทำงานของแต่ละวิธี ซึ่งพบว่า Dijkstra Algorithm ทำงานได้รวดเร็วในลักษณะการทำงานแบบ One-to-all

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบ Shortest path algorithm แบบต่างและ และเวลาที่ใช้ในการหาเส้นทาง

Algorithm	Application	Times complexity
Kruskal (1956)	การเดินทางต้องผ่านทุกจุดในกราฟ	$O(E \log V)$
Prime(1930)	การเดินทางต้องผ่านทุกจุดในกราฟ	$O(E + V \log V)$
Ford – Fulkerson (1956)	การเดินทางสมบูรณ์ยังทุกจุดของกราฟ	$O(E f)$ $f = \text{Maximum Flow}$
Dijkstra(1959)	ค้นหาเส้นทางโดยไม่มีน้ำหนักมาเกี่ยวข้อง	$O(V)$
AStar (1968)	การค้นหาเส้นทางโดยมีค่าน้ำหนักมาเกี่ยวข้อง	$O(V E)$

อย่างไรก็ตาม การแก้ปัญหาผลกระทบโครงข่ายขนาดใหญ่ เมื่อเส้นทางจำนวนหนึ่งไม่สามารถใช้งานได้ เช่น กรณีการเกิดอุทกภัยบนโครงข่ายถนน จะต้องคำนึงถึงเวลาทั้งหมดที่ใช้คำนวณในกราฟของอัลกอริทึม เพื่อให้สามารถตอบสนองต่อผู้ใช้ได้อย่างเหมาะสม ซึ่งวิธีการค้นหาแบบ One-to-All อาจจะไม่เหมาะสม เนื่องจาก มีจุดเป้าหมาย (Destination) ในการค้นหา ทำให้ใช้เวลานาน ประกอบกับการเดินทางบนโครงข่ายเน้นการเดินทางแบบจุดต่อจุด(one-to-one) ส่งผลให้ต้องพิจารณาเลือก Shortest path algorithm วิธีอื่น ซึ่งวิธีการแบบ one-to-one ที่เลือกใช้ คือ การค้นหาเส้นทางแบบเอสตาร์ (Astar) ที่มีจุดเด่นคือ เน้นการค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุด โดยสามารถกำหนดค่าการตัดสินใจเลือกเส้นทาง (Heuristic function) ได้อย่างยืดหยุ่น เนื่องจาก ขั้นตอนการค้นหาเส้นทางมีการคำนวณค่า Priority ของแต่ละเส้นทางที่เลือก เพื่อ ประเมินค่าการเดินทางและเลือกเดินทางภายใต้โหนดที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขเท่านั้น โดยที่ฟังก์ชันฮิวริสติก(Heuristic Function) สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามกรณีที่เราต้องการวิเคราะห์หยาบเหมาะสม ซึ่งวิธีการ Dijkstra ไม่สามารถทำได้ โดยแนวคิดในการหาเส้นทางของ AStarจะมีรูปแบบสมการ (1) โดยที่ คือ ค่าการเดินทาง ณ จุดใดๆ คือ ค่า heuristic function คือ ค่าการเดินทางรวมจากจุดเริ่มต้น

$$f(x) = h(x) + g(x) \quad (1)$$

วิธี AStarได้รับการยอมรับว่ามีความเร็วกว่าวิธีการอื่นๆ สำหรับการเลือกเส้นทางแบบซับซ้อนและมีค่าการเดินทางที่ปรับเปลี่ยนได้ สำหรับค่าการเดินทางของโครงข่ายเส้นทางในงาน ผู้วิจัยอาศัยระยะขจัด (Displacement) ของพิกัดต่างๆ ในแต่ละระยะเดินทางเป็น ฟังก์ชันฮิวริสติกโดยการคำนวณ Displacement คำนวณหาได้ โดยอาศัยมาตรฐานจุดพิกัดของโลก (Latitude - Longitude) ซึ่งเป็นค่าอ้างอิงที่เป็นมาตรฐานกลางที่สุด โดยหลักการคำนวณระยะขจัด (d) จะกล่าวถึงในส่วน Shortest path algorithm ต่อไป

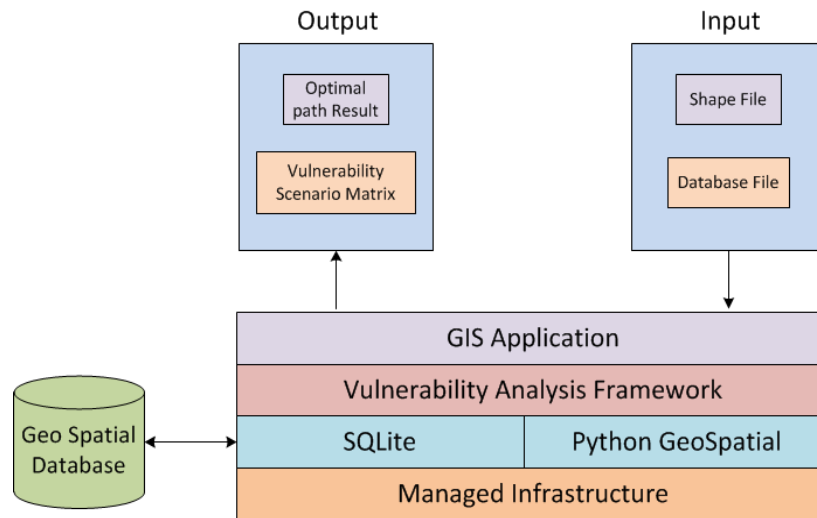
เมื่อนำฟังก์ชันฮิวริสติกมาประกอบเข้ากับการค้นหาเส้นทางแบบ AStarแล้ว จะทำให้กระบวนการเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุด สามารถทำได้รวดเร็วมากขึ้น ซึ่งเหมาะสมกับโครงข่ายขนาดใหญ่ซึ่งอาศัยการหาระยะขจัดจากพิกัดของโลกในการคำนวณค่าการเดินทางในแต่ละจุด

จากโครงสร้างของกราฟ และ Shortest path Algorithm รวมไปถึงโครงสร้างการทำงานทั้งหมดของการวิเคราะห์จุดอ่อนโครงข่าย ในหัวข้อต่อไปจะเป็นผลลัพธ์ของการวิเคราะห์โครงข่าย รวมทั้งผลการทดสอบความอ่อนไหวของโครงข่าย โดยเป็นผลการทดสอบเบื้องต้นของระบบต้นแบบสำหรับงานวิจัยนี้

1. กรอบงานการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงข่าย (Vulnerability analysis framework)

การวิเคราะห์จุดอ่อนของโครงข่ายขนาดใหญ่ เป็นการประสานการทำงานระหว่างความรู้ทางภูมิสารสนเทศ และการวิเคราะห์ด้วยโครงสร้างข้อมูลและขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์ เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ กำหนดความเปลี่ยนแปลง และมีความเชื่อมโยงกับค่าพิกัดของโครงข่ายจริง เพื่อทำการประเมินระยะการเดินทาง รวมไปถึงค่าการเดินทางที่เปลี่ยนไปตามสถานการณ์ที่จำลองขึ้น (What if scenario) เพื่อแก้ปัญหาที่คาดว่าจะ

จะเกิดขึ้น โครงสร้างข้อมูลและเทคโนโลยีที่กล่าวข้างต้น สามารถกำหนดเป็น Vulnerability Software Framework แสดงในรูปที่ 1



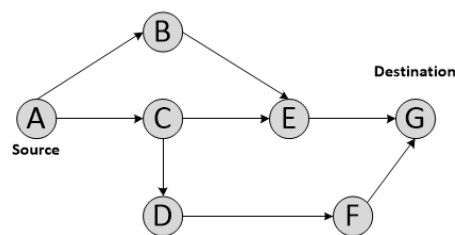
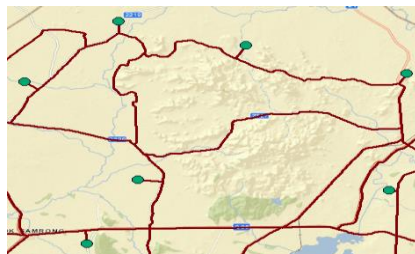
รูปที่ 1 ภาพรวมการจัดสร้างโครงข่าย และการวิเคราะห์ผลข้อมูล

ในส่วนของ Input คือ การนำข้อมูลทางกายภาพของโครงข่ายถนนจากแผนที่ (Shape file) หรือฐานข้อมูลโครงข่าย โดยอาศัยรายละเอียดตามลักษณะโครงข่ายนั้น ๆ เช่น ความยาวความจุของโครงข่าย จุดตัดในโครงข่ายถนน จุดกำเนิดความต้องการเดินทาง (Demand node) มาประกอบเป็นโครงข่ายที่ทำงานร่วมกับ GIS software และทำการวิเคราะห์โครงข่าย และการเชื่อมต่อระหว่าง Link และ Node ต่างๆ ผ่าน Vulnerability analysis framework และดำเนินการจัดเก็บข้อมูลโครงข่าย รวมไปถึงผลลัพธ์การคำนวณต่างๆ ภายใน Geo spatial database โดยอาศัยโครงสร้างข้อมูลและอัลกอริทึมแบบกราฟเพื่อหาเส้นทางที่สั้นที่สุดและข้อมูลการเดินทางอื่น ในการวิเคราะห์และเลือกเส้นทาง โดยผลลัพธ์จากการคำนวณสามารถแสดงผลในรูปแผนที่ หรือลักษณะ Vulnerability scenario matrix ที่แสดงค่าความถี่ของการใช้เส้นทางรวมถึงจุดอ่อน ของเส้นทางในโครงข่ายที่ได้จากการคำนวณ

2. การประสานข้อมูลและเชื่อมโยงโครงข่ายกับโครงสร้างข้อมูลแบบกราฟระเบียบวิธีทางโครงสร้างข้อมูลกราฟเป็นการเชื่อมโยงโครงข่ายให้มีความสัมพันธ์กัน สำหรับโครงข่ายข้อมูล โดยสมมุติสถานการณ์เมื่อผู้ใช้เส้นทางมักจะเลือกสายทางระหว่างจุดต้นทาง (Origin) ไปยังจุดปลายทาง (Destination) ที่สั้นที่สุดเสมอ แต่ในกรณีที่เกิดความเสียหายของโครงข่าย ส่งผลให้เกิดการเลือกเส้นทางใหม่ทำให้มีระยะเดินทางเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลกระทบต่อการเชื่อมโยงโครงข่ายที่ด้อยประสิทธิภาพ โดยการวัดระยะเดินทางที่สั้นที่สุด อาศัยการสร้าง Adjacency list ในการคำนวณโดยกำหนดขนาดของกราฟเป็นเมทริกซ์ จากโครงข่ายเส้นทาง

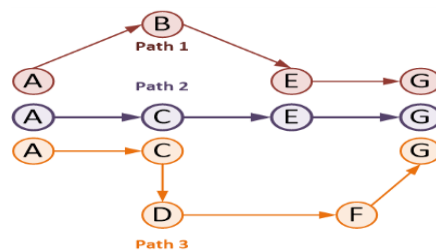
โดยกำหนดให้โครงข่าย (G) ที่ประกอบด้วย Vertices (V) หรือ Node และ Edge (E) หรือ Link ซึ่งเป็นโครงข่ายในสถานการณ์ปกติ เขียนแทนด้วย โดยจากรูปที่ 2a เป็นแผนที่โครงข่ายจริงจากข้อมูล GIS และทำการแปลงเป็นโครงสร้างแบบกราฟ ในรูปที่ 2b ตามลำดับอย่างไรก็ตาม ค่าพิกัดที่อ่านได้จากแผนที่เป็นชุดตัวเลขแบบระบบพิกัดฉาก (Universal Transverse Mercators: UTM) ซึ่งขอบเขตครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดบนโลก ระหว่าง Latitude 84 องศาเหนือ และ Latitude 84 องศาใต้ มีหน่วยในการวัดเป็นเมตร พื้นที่โซนจะแบ่งตามระยะของศต Latitude เรียกว่า Zone โดยเป็นตัวเลขที่มีความยาวและเป็นจุดทศนิยม ประกอบกับมีค่าซ้ำกันในบางจุด เนื่องจากเป็นเส้นทางที่เชื่อมต่อกันทำให้ไม่เหมาะสมกับการเรียกใช้งาน ดังนั้นจึงได้มีการนำมาเรียงลำดับ และตัดค่าที่ซ้ำ โดยกระบวนการทั้งหมดตั้งแต่การสร้างกราฟ Node vertices และปรับโครงสร้างข้อมูลการเลือกเส้นทางจะเลือกการเดินทางในเส้นทางที่สั้นที่สุด (Shortest Path Algorithm) ในการเดินทางเสมอ (แสดงในรูป 2c)

จากรูปแบบของโครงสร้างกราฟ เมื่อวิเคราะห์โครงข่ายเดิมที่อยู่ในแบบแผนที่ มาเป็นโครงสร้างข้อมูลแล้ว จากนั้นเป็นกระบวนการจัดเก็บข้อมูลในลักษณะฐานข้อมูล เพื่อสามารถเรียกใช้ได้ง่าย และลดเวลาในการคำนวณในกรณีที่ข้อมูลมีจำนวนมาก โดยโครงสร้างของฐานข้อมูลสามารถแสดงให้เห็นได้ในรูปที่ 3 ซึ่งมีการจัดเก็บข้อมูลโครงสร้างของ Node และ Link ให้อ้างอิงกับพิกัดทางภูมิศาสตร์จริงในรูปแบบตาราง เพื่อสามารถคำนวณ Displacement path จากค่าประมาณของฟังก์ชันอีวริสติกใน Shortest algorithm ต่อไป



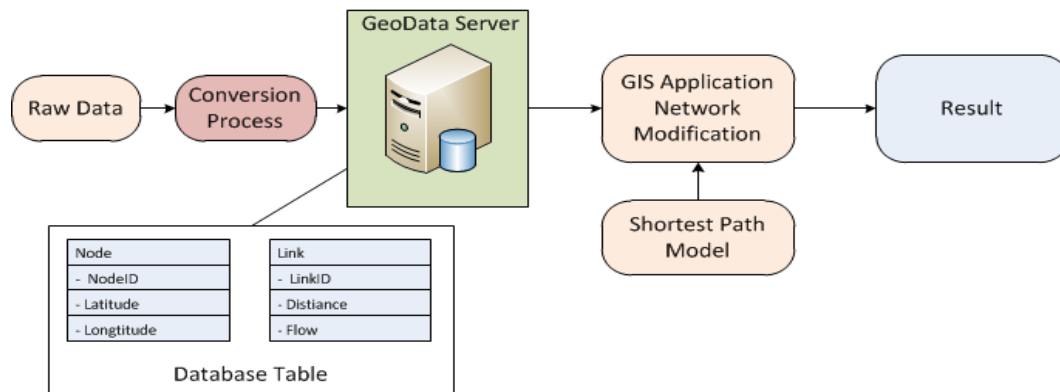
2a

2b



2c

ภาพที่ 2 ตัวอย่างการเชื่อมต่อโหนดและโครงสร้างกราฟ



ภาพที่ 3 Database design for geo database

3. การหาเส้นทางที่สั้นที่สุด (Shortest path Algorithm)

จากการทบทวนวรรณกรรม ทำให้ทราบว่า Shortest path algorithm ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์โครงข่ายที่เสียหายเป็นจุดๆ และสามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบได้อย่างอิสระ และมีการทำงานที่รวดเร็ว คือ AStar โดยการคำนวณที่อ้างอิงพิกัดทางภูมิศาสตร์ ซึ่งอาศัย haversine formula มาช่วยหา Shortest path ซึ่งสามารถเขียนเงื่อนไขของสมการได้ ดังต่อไปนี้

1.1. Notation

G	Graph
E	Edge (Link)
V	Vertex (Node)
k	Intermediate node
r	Origin node
s	Destination node
$P_{r \rightarrow s}$	Shortest path (Origin to Destination)
$P_{r \rightarrow k}$	Shortest path (Origin to Intermediate)
ϕ_k	Intermediate latitude
ϕ_s	Destination latitude
λ_k	Intermediate longitude
λ_s	Destination longitude

1.2. Definition of haversine shortest path and large scale network

จากรูปแบบพื้นฐานของ AStar ในสมการที่ (1) โดยที่ $h(x)$ แทน haversine formula โดยกำหนด (ϕ_1, λ_1) เป็นพิกัดของจุด v_k และ (ϕ_2, λ_2) เป็นพิกัดของจุด v_s โดยรูปสมการของ (2)

$$h(x) = 2r \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\phi_k - \phi_s}{2} \right) + \cos(\phi_k) \cos(\phi_s) \sin^2 \left(\frac{\lambda_k - \lambda_s}{2} \right)} \right) \quad (2)$$

และกำหนดการหา $g(x)$ ผลรวมของ sub-optimal path จากจุด k มายังจุด s ใดๆ ในรูปของสมการ (3) เมื่อ C_{ij} คือค่าของระยะทางของ Sub-optimal ที่ตำแหน่ง k ใดๆ และ X_{ij} คือ ตัวแปรในการตัดสินใจ (Decision variable) ที่มีค่าเป็น 0 เมื่อ เป็นทางที่ไม่เลือก และมีค่าเป็น 1 เมื่อเป็นเส้นทางที่เลือก

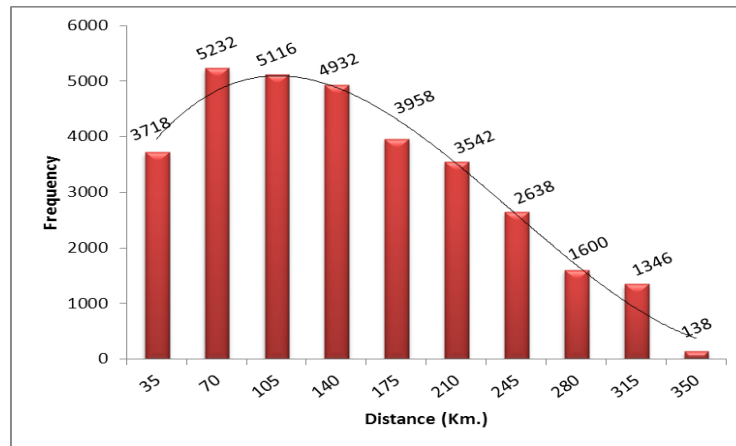
$$g(x) = P_{r \rightarrow s} = \min \left(\sum_{ij \in P_{r \rightarrow s}} C_{ij} X_{ij} \right) \quad (3)$$

โดยค่าของ $f(x) = P_{r \rightarrow s}$ ซึ่งก็คือ ค่าระยะทางที่สั้นที่สุดของการเดินทางระหว่างจุด โดยใช้ระยะ Displacement เป็นค่าประมาณในการตัดสินใจเลือกเดินทางจากวิธีการเลือกเส้นทางตามโครงสร้างของ Shortest Path ที่นำเสนอในส่วนนี้ ในส่วน Network Analysis จะเป็นการนำ Shortest path model ไปทำงานกับโครงข่าย เพื่อหาคำตอบผลลัพธ์ของความอ่อนไหวของจุดอ่อนโครงข่ายเส้นทาง

2. Network Analysis Result

2.1. การทดสอบโครงข่ายในภาพรวม (Result overview) โครงข่ายที่ทำการทดสอบเป็นโครงข่ายทางหลวงของประเทศไทย จำนวน 10 จังหวัด โดยประกอบด้วยเส้นทาง (Line) ทั้งหมด 1,323 เส้น และไปด้วยจุดเชื่อมต่อ (Node) 1023 จุด ตามลำดับ โดยการวิเคราะห์ค่าการเดินทางของโครงข่ายจะพิจารณาไปที่ระยะเดินทางที่สั้นที่สุดระหว่างจุดกำเนิดความต้องการเดินทาง ซึ่งมีอยู่ทั้งหมด 180 จุด โดยจากการวิเคราะห์ขั้นต้น พบว่า ระยะทางรวมทั้งหมดในโครงข่ายทดสอบ (180×180 กรณี) ซึ่งมีระยะเดินทางทั้งหมด 4,164,548 กิโลเมตร โดยการทดสอบในส่วนนี้จะสร้างสถานการณ์จำลองในการเลือกนำเส้นทางที่สำคัญของโครงข่าย โดยแบ่งเป็น 15 สถานการณ์ เพื่อประเมินผลกระทบการเชื่อมโยงโครงข่าย และผลกระทบร่วมระหว่างระยะทางและปริมาณการเดินทาง (Flow) ข้อมูลในโครงข่าย

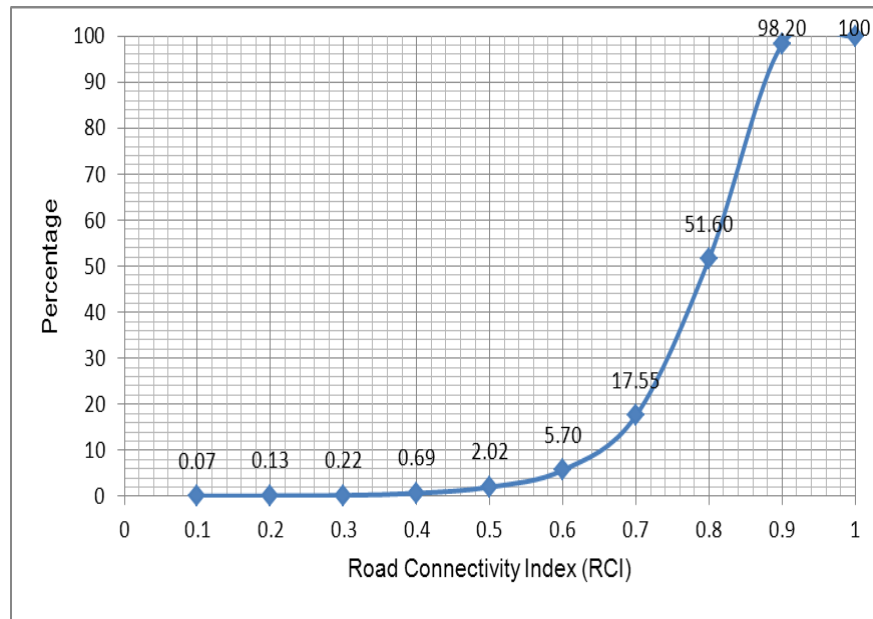
2.2. การเชื่อมโยงของโครงข่าย (Network connectivity) การวิเคราะห์ส่วนนี้เป็นการแสดงผลค่าระยะการเดินทางโดยการจัดกลุ่มตามคู่ของการเดินทาง (O-D pairs) ระยะเดินทาง สามารถแบ่งเป็น 10 ระดับ โดยเริ่มจาก ไม่เกิน 35 กิโลเมตร ไปจนถึง 350 กิโลเมตร จากโครงข่ายเส้นทางในพื้นที่ศึกษาจะมีจำนวน O-D pairs ทั้งหมดจำนวน $[180 \times 180 - 180]$ เท่ากับ 32,220 คู่การเดินทาง ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งพบว่า ซึ่งผลจากการคำนวณหาเส้นทางที่สั้นที่สุดด้วยวิธี AStar ของทุกคู่ O-D pairs ในโครงข่าย ค่าเฉลี่ยของช่วงระยะการเดินทางที่มากที่สุดอยู่ในช่วง 70 – 150 กิโลเมตร โดยในแนวนอน X คือ ระยะการเดินทางที่สั้นที่สุดของคู่การเดินทาง (หน่วย : กิโลเมตร) และค่าในแนวนอน Y คือ ความถี่ของระยะการเดินทางในแต่ละช่วง (อันตรภาคชั้น)



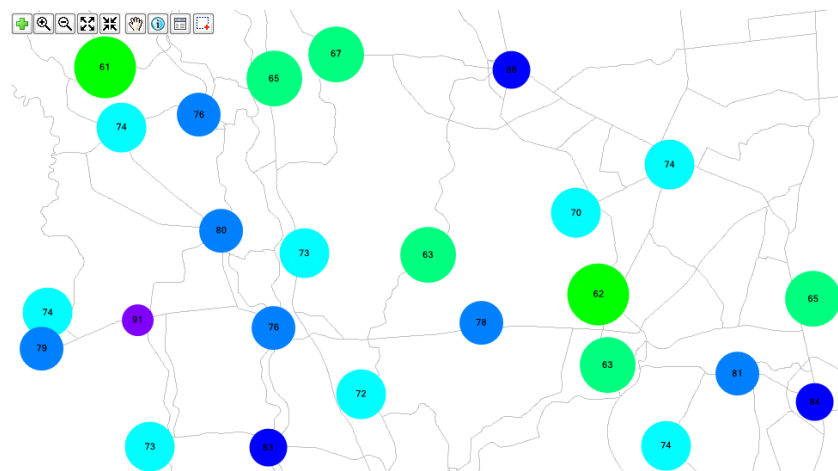
ภาพที่ 4 ช่วงความถี่ทุกคู่ O-D จัดเป็นกลุ่มตามระยะทาง

เมื่อพิจารณาความเชื่อมโยงของคู่การเดินทางโดยใช้ระยะการเดินทางสั้นที่สุดระหว่าง อำเภอหรือ Demand node ในโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษาพบว่า ระยะในการเดินทางระหว่างอำเภอโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 35 - 70 กิโลเมตร และระยะในการเดินทางระหว่างอำเภอมากที่สุดอยู่ในช่วง 315 - 350 กิโลเมตร จากผลการศึกษาสามารถนำไปใช้ประกอบในการออกแบบและพัฒนาโครงข่ายทางหลวงที่เหมาะสม ยกตัวอย่าง เช่น การกำหนดระยะจุดพักรถระหว่างเส้นทาง และการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานอื่นๆที่เหมาะสมในเส้นทาง เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการเปรียบเทียบกับตัวชี้วัดประสิทธิภาพของการเชื่อมโยงโครงข่ายทางหลวง โดยในการศึกษานี้ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบสัดส่วนของ Shortest path กับ Displacement เพื่อเป็นการทดสอบว่า ระยะการเดินทางทางถนนที่สั้นที่สุดเทียบกับระยะขจัดซึ่งเป็นระยะการเดินทางในอุดมคติ มีความใกล้เคียงกันมากน้อยเพียงใด โดยที่ดัชนีเชื่อมโยงโครงข่ายถนน (Road connectivity index: RCI) มีค่าเข้าใกล้ 1 หมายถึง ความเชื่อมโยงโครงข่ายทางหลวงมีประสิทธิภาพมาก ดังแสดงกราฟในรูปที่ 5 เป็นการกระจายตัวของค่าความน่าจะเป็นสะสม (Cumulative density function: CDF) ของดัชนีเชื่อมโยงโครงข่ายทางหลวงในพื้นที่ศึกษาพบว่า ระยะทางที่เชื่อมต่อหลักของโครงข่ายนั้น โดยปกติมีค่า Connectivity Index ที่ดีอยู่แล้ว โดยค่าเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.7 - 0.9 ซึ่งหมายถึงความเชื่อมโยงโครงข่ายทางหลวงมีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ดี รูปที่ 6 แสดงผลการวิเคราะห์โดยค่า RCI ของโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษาบนระบบภูมิสารสนเทศที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ค่าเฉลี่ยของระยะการเดินทางจากจุดเริ่มต้น (Origin) ไปยังจุดปลายทาง (Destination) ที่ใกล้ที่สุดที่อยู่รอบๆ (Surround node) จำนวน 3 แห่ง ซึ่งจะเห็นได้จากรูป โดยวงกลมขนาดใหญ่จะแสดงจุดกำเนิดการเดินทางของอำเภอ (Demand node) ที่พิจารณามีค่า RCI ต่ำ



ภาพที่ 5 แสดงสัดส่วนของระยะเดินทางที่สั้นที่สุด เปรียบเทียบกับระยะทางขจัด



ภาพที่ 6 การวิเคราะห์ค่า RCI ของโครงข่ายถนน

การประยุกต์ใช้ค่าดัชนีเชื่อมโยงโครงข่าย (RCI) ในงานพัฒนาทางหลวงจะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการเดินทางเชื่อมต่อระหว่างจุดกำเนิดการเดินทางเพื่อลดระยะทางในการเดินทาง อาทิเช่น การสร้างแนวเส้นทางใหม่ หรือใช้ประกอบการตัดสินใจในการจัดลำดับความสำคัญของโครงการ รวมทั้งการจัดสรรงบประมาณให้เกิดความเท่าเทียมกันในการพัฒนาเส้นทางภายในพื้นที่ที่พิจารณา

2.3. ผลกระทบการเชื่อมโยงโครงข่ายในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการทดสอบการจำลองสถานการณ์ (What if scenario) ในกรณีที่เกิดภัยพิบัติซึ่งส่งผลให้ผู้ขับขี่ไม่สามารถเดินทางสัญจรได้ เพื่อทดสอบว่าผลกระทบจากการเชื่อมโยงโครงข่ายที่เกิดขึ้นในแต่ละสถานการณ์ ส่งผลกระทบอย่างไรบ้างกับโครงข่ายและมีการเปลี่ยนแปลงมากน้อยเพียงใด โดยคัดเลือกเส้นทางที่จะทดสอบสถานการณ์จำลอง จำนวน 15 เส้นทาง และผลกระทบการเชื่อมโยงโครงข่าย ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยพิจารณาผลกระทบระหว่างเส้นทางที่ถูกตัดขาด รวมกับปริมาณการจราจรที่แจกแจงลงบนโครงข่ายถนน (Vehicle Kilometers Travelled : VKT) ผลรวมดังกล่าวเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพโครงข่ายระหว่างก่อนและหลังเส้นทางถูกตัดขาดได้ชัดเจนมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลกระทบระหว่างระยะทางกับปริมาณการจราจร

Scenario	Base Route No.	VKT	%Δ	Rank
0		230,547,633		
1	117	231,720,704	7,120,541	2
2	1073	230,574,581	163,573	14
3	225	230,604,610	345,850	12
4	1	233,994,953	20,925,232	1
5	11	230,718,810	1,039,042	9
6	205	230,854,237	1,861,085	7
7	21	231,401,472	5,182,799	4
8	3028	230,640,943	566,388	11
9	347	231,489,888	5,719,486	3
10	311	230,584,942	226,466	13
11	3477	230,547,964	2,005	15
12	3111	231,058,811	3,102,846	5
13	9	230,961,754	2,513,715	6
14	35	230,651,392	629,813	10
15	3344	230,753,651	1,250,527	8

จากตารางผลรวมของระยะทางที่สั้นที่สุดของทุกการเดินทาง (O-D pairs) โดยพิจารณาร่วมกับปริมาณการเดินทางในโครงข่ายทางหลวงในพื้นที่ศึกษา ในสถานการณ์ก่อนเกิดภัยพิบัติ (Base scenario) จะมีค่าผลรวมของระยะทางที่ยานพาหนะเดินทางบนโครงข่าย (VKT) เท่ากับ 230,547,633 คัน-กิโลเมตร และเมื่อพิจารณาผลกระทบกระทบที่เกิดขึ้น พบว่า สถานการณ์ที่ 4 ในทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 1 ได้รับผลกระทบจากการเชื่อมโยงโครงข่ายมากที่สุด

ผลการวิจัย

การวิเคราะห์โครงข่ายขนาดใหญ่ สามารถดำเนินการได้ด้วย Shortest path algorithm ซึ่งผลลัพธ์การเดินทางที่ได้คือเส้นทางที่สั้นสุดในการเดินทางเสมอ อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาถึงปัจจัยอื่น เช่น ปริมาณการจราจร ค่าความต้องการเดินทาง โดยปัจจัยดังกล่าวอาจส่งผลให้เส้นทางที่ระยะทางสั้นที่สุด อาจไม่ใช่เส้นทางที่เหมาะสมในการเดินทางอีกต่อไป จากการทดสอบค่าการเดินทางจากข้อมูลโครงข่ายถนน 10 จังหวัดของประเทศไทย โดยเลือกเส้นทางที่ถูกตัดขาดและหาค่าการเดินทาง จำนวน 15 กรณี พบว่า สถานการณ์จำลองที่ 4 ในทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 1 เป็นเส้นทางที่ได้รับผลกระทบต่อการเชื่อมโยงโครงข่ายมากที่สุด

บรรณานุกรม

- Bannister, M. J. & Eppstein, D. (2012). *Randomized speedup of the Bellman–Ford algorithm. analytic algorithmics and combinatorics (ANALCO12)* (pp. 41–46). Kyoto. Japan.
- Bellman, R. (1958). On a routing problem. *Quarterly of Applied Mathematics*, 16, 87–90.
- Chen, M. Chowdhury, R.A. Ramachandran, V. Roche, D.L & Tong, L. (2007) *Priority queues and Dijkstra’s algorithm*. Technical Report TR-07-54, University of Texas, Austin
- Delling, D., Sanders, P., Schultes, D. & Wagner, D. (2009). Engineering Route Planning Algorithms,” in *Algorithmics of Large and Complex Networks. Lecture Notes in Computer Science*, (5515), 117–139.
- Kleinberg, J. & Tardos, É. (2006). *Algorithm design*. New York : Pearson Education.