บทที่ 2

การทบทวนผลงานที่ผ่านมา

การประมาณเวลาการเดินทางบนทางพิเศษในเขตกรุงเทพมหานครจากการประมวลผลภาพวีดิทัศน์ในการศึกษาครั้งนี้ จากกระบวนการของขั้นตอนการศึกษาสามารถจำแนกหัวข้อที่น่าสนใจในการทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ออกได้เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้ คือ

1. การเก็บข้อมูลจราจร
2. การประมาณเวลาการเดินทาง
3. การปรับปรุงวิธีการประมาณเวลาการเดินทางให้เหมาะกับลักษณะการจราจร
4. การเปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูลเวลาการเดินทาง

ซึ่งเป็นการจำแนกตามขั้นตอนการหาค่าเวลาการเดินทางที่มีในการศึกษาและการประยุกต์ใช้งานทั่วไปในปัจจุบัน โดยรูปแบบวิธีการ การศึกษา แนวคิดและทฤษฎีจะมีความแตกต่างกันออกไป โดยมีรายละเอียดของหัวข้อดังกล่าว ดังนี้

2.1 การเก็บข้อมูลจราจร

Tomaz Kastelic และคณะ (2008) ได้ศึกษาเกี่ยวกับระบบข้อมูลแบบทันกาลโดยได้จำแนกประเภทของแหล่งข้อมูลที่นำมาใช้ในการศึกษาออกได้เป็นกลุ่มดังนี้

- ข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับประเภทต่างๆ
- ข้อมูลที่สามารถหาได้จากบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทาง เช่น จำนวนรถ
- ข้อมูลที่ได้จากสัญญาณระบบมือถือ (GSM, UMTS and GPRS)
- ข้อมูลที่ได้จากการติดตั้งอุปกรณ์ที่รถ
- ข้อมูลจากแหล่งอื่นๆ เช่น จากภาพถ่าย จากการบันทึกข้อมูลของตำรวจจราจรหรือหน่วยงานอื่นๆ

ข้อมูลการจราจรมีทั้งชนิดที่เปลี่ยนไปตามเวลา และชนิดที่ไม่เปลี่ยนตามเวลา โดยในการพัฒนาระบบข้อมูลแบบทันกาลนั้นจำเป็นจะต้องมีการรวบรวมข้อมูล และส่งต่อให้ผู้ใช้

ได้รับรู้ก่อนที่การเดินทางจะเริ่มขึ้น รวมทั้งในระหว่างที่เกิดการเดินทางด้วย โดยในปัจจุบันจากการสำรวจในประเทศเยอรมันนี พบว่าข้อมูลด้านเวลาการเดินทาง มีค่าความแม่นยำโดยเฉลี่ยเพียง 30 เปอร์เซ็นต์ จึงจำเป็นต้องพัฒนาในด้านนี้ให้มากยิ่งขึ้น โดยได้แสดงตัวอย่างข้อมูลสำหรับผู้ใช้ที่สามารถรวบรวมได้จากอุปกรณ์ต่างๆ ไว้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ประเภทของข้อมูลจากแต่ละอุปกรณ์

ข้อมูล	ที่มา
ปริมาณการจราจร	ขดลวดเหนี่ยวนำ, เครื่องตรวจจับไมโครเวฟ, กล้องตรวจจับภาพ
ความเร็ว	ขดลวดเหนี่ยวนำ, เครื่องตรวจจับไมโครเวฟ, กล้องตรวจจับภาพ
เวลาการเดินทาง	ไม่ระบุ
ภาพ	ทีวีวงจรปิด
จุดเริ่มต้น-สิ้นสุด	Ljubljana model
อุบัติการณ์และการปิดถนน	www.promet.si. Http://zapore.gis.ljubjana.si/
เหตุการณ์	ไม่ระบุ
ฐานข้อมูล	Directorate of the Republic of Slovenia for Roads, Ljubljana CITY
สภาพอากาศ	สถานีตรวจอากาศ
แผนที่โต้ตอบ	www.promet.si.

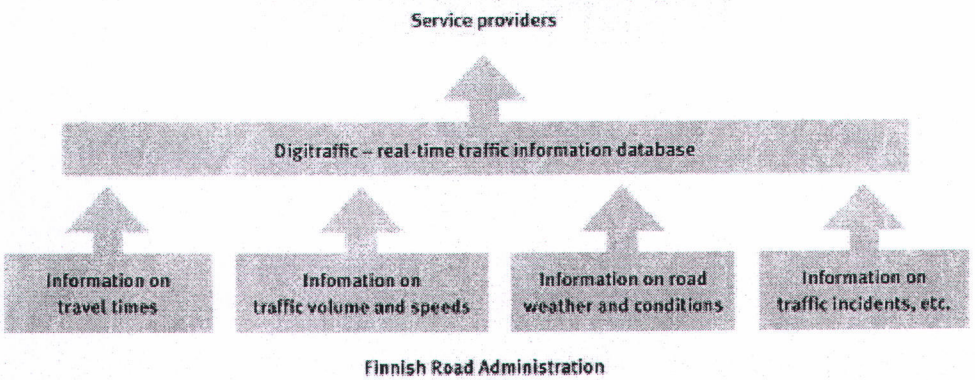
ที่มา: Tomaz Kastelic **และคณะ** (2008)

จากตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่าประเภทของข้อมูลที่รวบรวมได้นั้นมีความแตกต่างกันออกไปตามชนิดของอุปกรณ์ ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับความต้องการของข้อมูลที่จะนำไปใช้ โดยมีขอบเขตข้อจำกัดตามแต่ละการศึกษาและการใช้งานนั่นเอง จากการศึกษาสรุปได้ว่าข้อมูลจราจรแบบทันกาลที่ดี ข้อมูลต่างๆ ควรที่จะมีการรวบรวมไว้ในแหล่งเดียวกัน เพื่อที่ว่าข้อมูลจะได้ไม่กระจาย และผู้ใช้สามารถเข้าถึงเพื่อนำไปใช้ได้อย่างสะดวก

การศึกษาหาค่าเวลาการเดินทางส่วนใหญ่มักจะนิยมใช้ข้อมูลที่รวบรวมได้จากขดลวดเหนี่ยวนำ แต่ในปัจจุบันเทคโนโลยีมีความก้าวหน้าขึ้น จึงได้มีการพัฒนาวิธีการใหม่ๆ ขึ้นมาใช้งาน Pasi Halttunen และ Reijo Prokkola (2008) ได้กล่าวถึงโครงการที่จะพัฒนาข้อมูลการจราจรแบบทันกาลในประเทศฟินแลนด์ โดยหน่วยงาน Finnish Road Administration ซึ่งมีโครงการที่จะติดตั้งกล้องเก็บข้อมูลในถนนสายต่างๆ ภายในประเทศ เพื่อหาเวลาการเดินทางที่เกิดขึ้นโดยแบ่งขั้นตอนออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. การตรวจจับเวลาการเดินทางแบบทันกาล
2. ฐานข้อมูลการจราจรแบบทันกาล (Digitraffic)

ซึ่งก็คือการติดตั้งอุปกรณ์รวบรวมข้อมูลเพื่อหาระยะเวลาการเดินทางจริง และจัดทำฐานข้อมูลการจราจรแบบทันกาล โดยเรียกว่า Digitraffic โดยข้อมูลที่ต้องการได้แก่ ข้อมูลปริมาณการจราจร ข้อมูลเวลาการเดินทางในแต่ละเส้นทาง โดยมีรูปแบบแนวคิดในการรวบรวมข้อมูล จัดทำฐานข้อมูล เพื่อที่จะทำการพัฒนาข้อมูลการจราจรให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นแล้วส่งต่อข้อมูลไปยังผู้ใช้ ดังรูปที่ 2.1

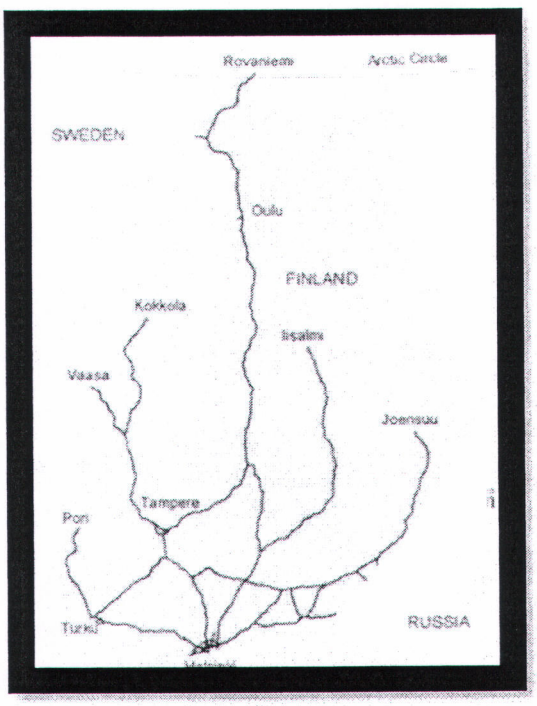


รูปที่ 2.1 แหล่งที่มาของการบริการข้อมูลการจราจรแบบทันกาล
ที่มา: Pasi Halttunen **และ** Reijo Prokkola (2008)

โดยวางแผนหาค่าระยะเวลาการเดินทางบนถนนแต่ละช่วง จากข้อมูลที่ได้รับจากกล้องอินฟาเรดรูปที่ 2.2 ซึ่งจะติดตั้งมากกว่า 500 จุดภายในเส้นทางโครงการ ดังรูปที่ 2.3 โดยติดตั้งทุกระยะ 3-5 กม.ในถนนเขตเมือง และ 20-40 กม.ในถนนเขตพื้นที่ชนบท ซึ่งค่าตัวแปรที่จะนำมาใช้หาระยะเวลาการเดินทางนั้นจะเป็นค่าที่เฉลี่ยของข้อมูลที่ทำการรวบรวมทุกๆ ช่วง 5 นาที

รูปที่ 2.2 ชุดอุปกรณ์เก็บข้อมูลเวลาการเดินทาง

ที่มา: Pasi Halttunen และ Reijo Prokkola (2008)



รูปที่ 2.3 โครงข่ายถนนที่ติดตั้งระบบการหาเวลาการเดินทาง

ที่มา: Pasi Halttunen และ Reijo Prokkola (2008)

Steve Robinson และ John Polak (2004) ศึกษาเวลาการเดินทางบนถนนในเขตเมือง โดยกล่าวว่าถนนบนทางด่วนต่างจากถนนในเขตเมืองเนื่องจากมีการวิ่งหลายช่องจราจรในทิศทางเดียวมีการควบคุมทิศทางการวิ่งและสามารถวิ่งได้ด้วยความเร็วคงที่ที่ค่อนข้างสูง และได้กล่าวถึงประสิทธิภาพของระบบการหาเวลาการเดินทางจากการเก็บข้อมูลจราจรด้วยระบบ Global Positioning System (GPS) ระบบ Automatic Number Plate Recognition systems (ANPR) และระบบ Remote Sensing โดยเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียไว้ดังตารางที่ 2.2 ซึ่งพบว่าอุปกรณ์แต่ละประเภทก็มีประสิทธิภาพในการทำงานตามรูปแบบของลักษณะข้อมูลการจราจรที่ต้องการ แตกต่างกันไป แต่อย่างไรก็ดีการสำรวจเวลาในการเดินทางบนช่วงทางด้วยระบบรายงานตำแหน่งด้วยพิกัดดาวเทียม การบันทึกและจับคู่หมายเลขป้ายนั้น ต่างก็เป็นการเก็บข้อมูลสุ่มจากตัวอย่างรถยนต์แค่บางส่วนที่แล่นผ่านช่วงทางไม่ใช่ข้อมูลการจราจรทั้งหมด

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบระบบ GPS ANPR และ Remote Sensing

เทคโนโลยี	ความสามารถในการระบุเวลาเข้าออกจากช่วงทาง	ความสามารถในการตรวจสอบยานพาหนะที่เดินทางระหว่างจุด A-B	ความสามารถในการจับประชากรยานพาหนะ
GPS	ต่ำจนถึงปานกลาง - ขึ้นอยู่กับความละเอียดของแผนที่และโปรแกรม	ปานกลาง - ขึ้นอยู่กับการอนุมาน	ต่ำ - ยานพาหนะที่ติดตั้งระบบ GPS มีจำนวนน้อย
ANPR	ดี	ต่ำ - ขึ้นอยู่กับการอนุมาน	ดี - ตรวจจับได้เกินกว่า ร้อยละ 80
Remote Sensing	ปานกลางถึงดี - ขึ้นอยู่กับความละเอียดของภาพและโปรแกรมประมวลผลภาพ	ดี - ภาพแสดงยานพาหนะที่เดินทางบนช่วงทาง	ดี - ภาพชัดเจน ไม่มีข้อมูล - ไม่มีภาพหรือมีเมฆบดบังถนน

ที่มา: Steve Robinson และ John Polak (2004)

จาก Traffic Detector Handbook (2006) พบว่าวิธีการในการเก็บข้อมูลจราจรแต่ละรูปแบบมีจุดเด่นจุดด้อยและลักษณะของข้อมูลที่ได้แตกต่างกัน โดยให้ค่าความแม่นยำระดับความละเอียดของข้อมูลรวมถึงปริมาณข้อมูลที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับความสามารถและข้อจำกัดของแต่ละอุปกรณ์ ดังนั้นในการทำงานจึงต้องพิจารณาเลือกใช้วิธีการและอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับลักษณะของข้อมูลที่ต้องการ

2.2 การประมาณเวลาการเดินทาง

วิธีการหาค่าเวลาการเดินทาง ปัจจุบันได้มีการคิดและนำเสนอวิธีการในรูปแบบต่างๆขึ้นมามากมาย ซึ่งวิธีการที่เลือกใช้ส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับประเภทของข้อมูลที่สามารถรวบรวมได้จากอุปกรณ์เก็บข้อมูลแต่ละประเภท และลักษณะของพื้นที่ในการศึกษา แต่ทว่าวิธีการที่นำมาประยุกต์ใช้จริงส่วนใหญ่นั้น มักจะนิยมใช้กระบวนการที่สะดวก รวดเร็วที่สามารถให้ผลของค่าเวลาในการเดินทางที่แม่นยำในระดับที่ยอมรับได้มาใช้ในการทำงานมากกว่าการที่จะพยายามทำให้ค่ามีความแม่นยำมากแต่ไม่สามารถตอบสนองการให้ข้อมูลแบบทันกาลได้ ซึ่งในการประมาณเวลาการเดินทางนั้นจะแบ่งตามข้อมูลที่นำมาใช้โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

- การประมาณค่าเวลาการเดินทางโดยตรง
- การประมาณค่าเวลาการเดินทางโดยทางอ้อม

ในส่วนนี้จึงจะสรุปหัวข้อในการการทบทวนเรื่องการประมาณเวลาการเดินทางตามประเด็นดังต่อไปนี้ คือ

- ตัวอย่างพื้นที่ศึกษาที่มีการประมาณเวลาการเดินทาง
- การประมาณค่าเวลาการเดินทางโดยตรง
- การประมาณค่าเวลาการเดินทางโดยทางอ้อมจากความเร็ว
- การประมาณเวลาการเดินทางโดยทางอ้อมจากปริมาณการจราจร

2.2.1 ตัวอย่างพื้นที่ศึกษาที่มีการประมาณเวลาการเดินทาง

Sirisha M. Kothuri และคณะ (2007) ได้สำรวจวิธีการในการเก็บข้อมูลและหาค่าเวลาการเดินทางที่มีการนำมาใช้จริงในปัจจุบันในพื้นที่ต่างๆ พบว่าจากการศึกษาในอดีตที่ผ่านมาเปอร์เซ็นต์ของค่าความคลาดเคลื่อนที่สามารถยอมรับได้ในการจะนำข้อมูลไปใช้ อยู่ที่ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ โดยตัวอย่างพื้นที่ที่มีการเก็บข้อมูลและหาค่าเวลาการเดินทางเพื่อแสดงเป็นข้อมูลให้แก่ผู้เดินทางที่มีการดำเนินการจริงแล้ว ได้แก่

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 16 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 247642
เลขเรียกหนังสือ

Portland, Oregon จัดทำระบบป้ายแจ้งเวลาการเดินทาง มีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลทุกระยะ 2-3 นาที โดยใช้ข้อมูลความเร็วจากอุปกรณ์ขดลวดเหนี่ยวนำแบบคู่ มาทำการหาค่าเวลาการเดินทางด้วยการคำนวณจากสัดส่วนของระยะทางต่อความเร็ว ที่บริเวณช่วงกึ่งกลางของถนน

Seattle, Washington ทำการประมาณหาค่าเวลาการเดินทางจากค่าการครอบครองถนนของยวดยาน ที่เก็บได้จากอุปกรณ์ขดลวดเหนี่ยวนำที่ติดตั้งทุกระยะ 0.25 – 0.5 ไมล์ โดยประมาณเวลาการเดินทางในแต่ละช่วงจากความเร็วและระยะทางในแต่ละจุด โดยค่าที่ได้จะนำมาเปรียบเทียบและปรับแก้กับข้อมูลสถิติที่ได้เก็บรวบรวมไว้ ค่าที่ได้จะแสดงบนป้ายข้อความ โดยเปลี่ยนแปลงข้อมูลทุก 2 นาที พบว่าความถูกต้องที่ได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์

Minneapolis – St. Paul, Minnesota ใช้ค่าความเร็วที่คำนวณจากปริมาณการจราจร และค่าการครอบครองถนนของยวดยาน ที่ได้จากอุปกรณ์ขดลวดเหนี่ยวนำที่ติดตั้งทุกระยะ 0.5 ไมล์ ในการประมาณเวลาการเดินทาง โดยใช้ขั้นตอนวิธีจุดกึ่งกลางที่ถูกแก้ไขในการประมาณเวลาการเดินทางจากค่าความเร็ว และควบคุมแสดงผลบนป้ายข้อความ โดย The Minnesota DOT's Traffic Management Center (TMC) พบว่าค่าเวลาที่ได้ค่อนข้างจะแม่นยำ ยกเว้นในช่วงที่สภาพการจราจรกำลังเปลี่ยนแปลง

Chicago, IL ติดตั้งอุปกรณ์ขดลวดเหนี่ยวนำ ทุกระยะ 0.5 ไมล์โดยสามารถบันทึกปริมาณการจราจร ค่าการครอบครองถนนของยวดยาน และความเร็ว จากการคำนวณค่าที่ได้จากการเก็บข้อมูลในภาคสนาม แล้วจึงคำนวณเวลาการเดินทางจากระยะทางหารด้วยความเร็ว โดยค่าที่ได้มีความแม่นยำบวกลบ 2 นาทีจากค่าจริงที่เกิดขึ้น

San Francisco – Bay Area, CA ใช้ข้อมูลเวลาการเดินทางที่ถูกประมาณจากข้อมูลหลายๆ แหล่ง ทั้งข้อมูลจากอุปกรณ์ขดลวดเหนี่ยวนำ การระบุยานพาหนะจากบัตรค่าธรรมเนียมผ่านทาง และ ขดลวดเหนี่ยวนำตรวจจับค่าความเร็วแบบจุด โดยประยุกต์รวมข้อมูลจากทั้งสามแหล่งในการคาดการณ์เวลาการเดินทางที่เกิดขึ้น โดยมีการเช็คความถูกต้องจากบุคคลที่สามพบว่าค่าที่ได้มีความผิดพลาดน้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์

Milwaukee, WI ติดตั้งอุปกรณ์ขดลวดเหนี่ยวนำทุกระยะ 0.25 ไมล์ในเขตเมือง โดยเวลาการเดินทางคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างระยะหารด้วยความเร็ว โดยความเร็วเป็นค่าเฉลี่ยในแต่ละ

จุด โดยเวลาการเดินทางที่คำนวณได้จากโปรแกรมจะแสดงผลบนเวปไซด์ทุก 2 นาทีและแสดงผลบนป้าย ทุกๆนาที โดยความผิดพลาดที่พบบางครั้งจะถูกแจ้งเข้ามาโดยประชาชน เช่น มีค่าไม่ปรากฏ หรือผิดพลาด

Houston, TX เก็บข้อมูลเวลาการเดินทางจากการระบุยานพาหนะจากบัตรค่าธรรมเนียมผ่านทางที่มีตัวอ่านค่ามากกว่า 200 จุดตามด่านเก็บค่าผ่านทาง โดยอ่านค่าจากผู้ใช้ทางกว่า 2 ล้านคน แล้วประมวลผลแสดงเวลาการเดินทางบนป้ายแสดงข้อความทุก 10นาที โดยโปรแกรมที่ ทำการพัฒนาขึ้นโดย Texas Transportation Institute (TTI) และ Southwest Research Institute (SWRI) เพื่อเป็นข้อมูลให้ผู้ใช้นำไปใช้ในการตัดสินใจเลือกเส้นทางในการเดินทาง

Nashville, TN ใช้อุปกรณ์ Remote Traffic Microwave Sensor (RTMS) ติดตั้งทุกระยะ 0.25 ไมล์ในการรวบรวมข้อมูล แล้วคำนวณหาเวลาการเดินทางจากระยะทางและความเร็วเฉลี่ยที่หามาได้ โดยจะแสดงเวลาการเดินทางของจุดหมายที่อยู่ในระยะไม่เกิน 5 ไมล์จากป้ายแสดงข้อความ โดยแสดงค่าทุกช่วง 2-3 นาที

Atlanta, GA ใช้ระบบการตรวจจับภาพวีดิทัศน์ในการบันทึกคำนวณหาค่าความเร็วและปริมาณการจราจร จากนั้นส่งข้อมูลเข้าสู่ศูนย์ควบคุมการจราจร แล้วจึงแสดงค่าบนป้ายแสดงข้อความ โดยคำนวณเวลาการเดินทางระหว่างช่วงเวลา 6.00 - 21.00 น. จากความเร็วเฉลี่ยที่เก็บได้

San Antonio, TX คำนวณเวลาการเดินทางจาก ความเร็วที่รวบรวมด้วยอุปกรณ์ขดลวดเหนี่ยวนำ และ ระบบการตรวจจับภาพวีดิทัศน์ ที่ติดตั้งทุกระยะ 0.5 ไมล์ โดยวิธีการคำนวณจะสมมติโดยทำการกำหนดแบ่งช่วงระยะตามสถานีเก็บข้อมูล จากนั้นทำการเลือกความเร็วค่าที่ต่ำกว่ามาใช้ในการคำนวณ จากสัดส่วนระยะทางหารด้วยความเร็วโดยจะแสดงเวลาการเดินทางของจุดหมายที่อยู่ในระยะไม่เกิน 5-10 ไมล์จากป้ายข้อความ

Toronto, CA ใช้อุปกรณ์ขดลวดเหนี่ยวนำที่ติดตั้งทุกระยะ 1/3 ไมล์ ในการเก็บค่าความเร็วมาใช้คำนวณหาเวลาการเดินทาง จากอัตราส่วนระยะทางหารด้วย และเมื่อเวลาการเดินทางที่ได้มากกว่า 40 นาที ป้ายจะไม่แสดงเวลาแต่แสดงข้อความ “stop and go conditions”

จากการศึกษาพบว่าแต่ละพื้นที่ก็จะใช้อุปกรณ์และเทคนิคที่แตกต่างกัน แต่ส่วนใหญ่จะนิยมใช้วิธีการที่ประยุกต์จากข้อมูลที่รวบรวมได้จากขดลวดเหนี่ยวนำในการเก็บข้อมูลทางด้านการหาเวลาการเดินทางมักจะคำนวณด้วยวิธีการคำนวณที่จุดกึ่งกลางของถนน โดยบางแห่งที่มีการกระจายข้อมูลนี้ไปให้หน่วยงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง แต่ละแห่งก็จะมีการพัฒนาวิธีการเพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำขึ้น แตกต่างกันโดยบางพื้นได้มีการเผยแพร่ข้อมูลเวลาการเดินทางออกสู่สาธารณะชนและมีมาตรฐานเกี่ยวกับความแม่นยำของข้อมูลที่ได้แต่ทว่าในบางพื้นที่ก็ยังไม่มีการเผยแพร่ในส่วนนี้ออกมา

2.2.2 การประมาณค่าเวลาการเดินทางโดยตรง

การประมาณค่าเวลาการเดินทางสามารถกระทำได้โดยตรง โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากยานพาหนะทดสอบหรือ Probe ที่แล่นบนเส้นทางที่ต้องการทราบค่าเวลาการเดินทาง หรือแม้กระทั้งการสำรวจในสนามเพื่อบันทึกเวลาและป้ายทะเบียนของรถยนต์ที่แล่นผ่านในแต่ละจุด และจับคู่เพื่อประมาณเวลาการเดินทางผ่านในแต่ละจุดสำรวจ อีกทั้งสามารถใช้ข้อมูลที่ได้จากยานพาหนะที่ติดตั้งอุปกรณ์บอกพิกัดจีพีเอส ซึ่งสามารถประมาณเวลาการเดินทางผ่านช่วงทางได้จากสมการที่ (2.1)

$$tt_p = \frac{\sum_{n=1}^{N}\left(t_d^n - t_u^n\right)}{N} \qquad (2.1)$$

เมื่อ tt_p คือระยะเวลาการเดินทางบนช่วงทางที่ได้จากยานพาหนะที่ติดตั้งจีพีเอส t_u^n คือเวลาที่ยานพาหนะทดสอบแล่นผ่านจุดต้นทางของช่วงทาง t_d^n คือเวลาที่ยานพาหนะทดสอบแล่นผ่านจุดปลายทางของช่วงทาง และ N คือจำนวนของยานพาหนะทดสอบที่วิ่งผ่านช่วงทาง

2.2.3 การประมาณค่าเวลาการเดินทางโดยทางอ้อมจากความเร็ว

วิธีการคำนวณที่นิยมใช้ทั่วไปนั้นมักจะใช้ค่าความเร็ว ในการคำนวณหาเวลาการเดินทาง โดย Lianyu Chu, Jun-Seok Oh และ Will Recker (2005) ที่ประยุกต์ใช้วิธี Kalman Filter for Data Fusion ในการศึกษา ได้กล่าวถึงเกี่ยวกับวิธีการที่คำนวณด้วยความเร็วไว้ โดยใช้สมการเบื้องต้นในการหาค่าความเร็วเฉลี่ยของ Gerlough, D. และ M. Huber (1975)

$$\bar{v} = \frac{\sum_{n=1}^{N} \left\{ min\left(x_{t+1}^{n}, x_d \right) - max\left(x_t^n, x_u \right) \right\}}{\sum_{n=1}^{N} \left\{ min\left(t+1, t_d^n \right) - max\left(t, t_u^n \right) \right\}} \qquad (2.2)$$

โดยกำหนดให้

N = จำนวนรถที่ผ่านช่วงทางภายในระยะเวลาที่ศึกษา

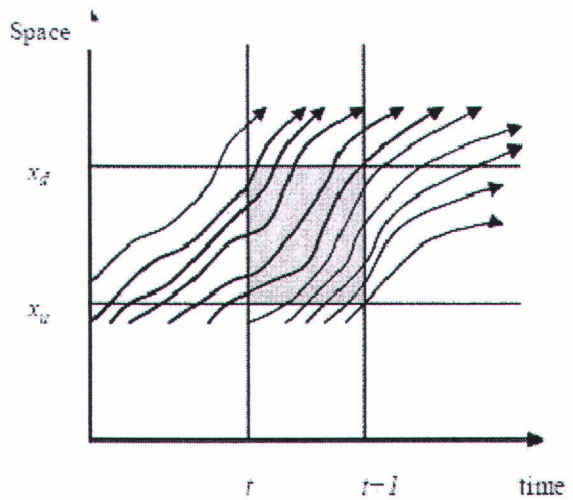
x_t^n = ตำแหน่งของรถคันที่ n ที่เวลา t

x_u = ตำแหน่งของขอบเขตขาเข้า

x_d = ตำแหน่งของขอบเขตขาออก

t_d^n = เวลาที่รถคันที่ n ผ่านขอบเขตขาออก

t_u^n = เวลาที่รถคันที่ n ผ่านขอบเขตขาเข้า



รูปที่ 2.4 ลักษณะเวลาและระยะทางในแต่ละช่วงเวลาเดินทาง

ซึ่งมีรูปแบบการเคลื่อนตัวของยานพาหนะดังรูปที่ 2.4 จากนั้นจึงคำนวณหาระยะเวลาการเดินทางซึ่งจะได้เป็นค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจริงในบริเวณที่ศึกษาจากสมการที่ (2.3)

$$tt_s = \frac{x_d - x_u}{\bar{v}} = \frac{\Delta x}{\bar{v}} \qquad (2.3)$$

ซึ่งในกระบวนการหาค่าเวลาการเดินทางที่กำหนดให้ตำแหน่งที่เก็บข้อมูลเป็นจุดกึ่งกลางของช่วงทางที่พิจารณานั้น จะหาค่าเวลาการเดินทางจากสมการข้างต้นด้วยเช่นกัน

ตัวอย่างวิธีการประมาณเวลาการเดินทางจากค่าความเร็วด้วยวิธีการเก็บข้อมูลจากอุปกรณ์ขดลวดเหนี่ยวนำ ของ Wang, Y. และ Nancy L. N. (2000) และ Hellinga, B. R. (2002) ที่ได้ศึกษาและพัฒนาการหาค่าความเร็วเฉลี่ยในแต่ละช่องทางบนทางพิเศษ กำหนดให้

$$v = \frac{\sum_{i=1}^{L} \left(q_i * v_i\right)}{\sum_{j=1}^{L} q_j} \tag{2.4}$$

โดย L คือจำนวนช่องจราจร q_i และ v_j คือปริมาณจราจรและความเร็วที่เก็บได้ในแต่ละช่องจราจร i และ j

จากนั้นหาค่าเวลาการเดินทางโดย Chen, C. (2003) กำหนดให้ Δx คือ ระยะของช่วงทางที่ประมาณเวลาการเดินทาง ส่วน V_u และ V_d เป็นความเร็วเฉลี่ยตำแหน่งจุดเริ่มและจุดปลายของช่วงทางตามลำดับจะได้ว่า

$$tt_l = \frac{1}{2}\left(\frac{\Delta x}{v_u} + \frac{\Delta x}{v_d}\right) \tag{2.5}$$

ซึ่งจะเหมือนกับการประมาณเวลาการเดินทางจากค่าเฉลี่ยของความเร็วนั่นเอง

โดยสรุปการประมาณค่าเวลาการเดินทางยังสามารถคำนวณได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและความเร็วเฉลี่ยของการจราจรบนช่วงทางที่ต้องการประมาณค่าเวลาการเดินทาง ดังสมการที่ (2.6)

$$tt_s = \frac{\Delta x}{\tilde{v}_s} \tag{2.6}$$

เมื่อ tt_s คือระยะเวลาการเดินทางบนช่วงทาง Δx คือระยะทางของช่วงทาง และ $\tilde{v}_s$ คือความเร็วเฉลี่ยของการจราจรที่แล่นผ่านบนช่วงทาง

จากสมการที่ (2.6) จะเห็นได้ว่าความน่าเชื่อถือของค่าประมาณเวลาเดินทางนั้นขึ้นกับความแม่นยำของค่าความเร็วเฉลี่ยของการจราจรที่แล่นบนช่วงทาง ดังนั้นจึงควรให้ความสำคัญกับการประมาณความเร็วเฉลี่ยของการจราจรบนช่วงทางเพื่อจะส่งผลให้ค่าประมาณเวลาการเดินทางบนช่วงทางมีความแม่นยำและน่าเชื่อถือ และจากการทบทวนพบว่าวิธีการ

ประมาณความเร็วเฉลี่ยบนช่วงทางนั้นสามารถอาศัยข้อมูลการจราจรที่วัดได้จากสถานีตรวจนับค่าการจราจรภาคสนามในหลายรูปแบบ อาทิ เช่น จากขดลวดเหนี่ยวนำแบบคู่ อัลตราโซนิก และระบบประมวลผลภาพวีดิทัศน์ เป็นต้น โดยข้อมูลการจราจรที่สามารถวัดได้จากอุปกรณ์ดังกล่าว ได้แก่ ปริมาณการจราจร ความเร็วของยวดยาน และการครอบครองถนนของยวดยาน

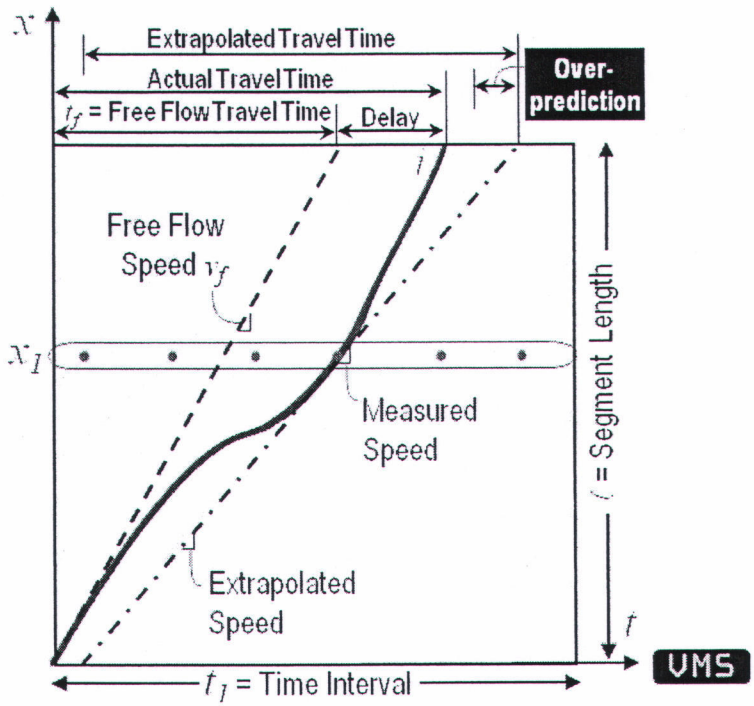
โดยวิธีในการประมาณค่าความเร็วที่ใช้ในทางปฏิบัติมีหลายวิธี ได้แก่ วิธีการประมาณค่าความเร็วเฉลี่ยจากค่าที่วัดได้จากตัวตรวจนับบริเวณกึ่งกลางของช่วงทาง วิธีการประมาณจากการเฉลี่ยค่าความเร็วจากตัวตรวจนับต้นและปลายของช่วงทาง วิธีการประมาณจากการเฉลี่ยน้ำหนักการจราจรจากตัวตรวจนับต้นและปลายของช่วงทาง และวิธีการประมาณแบบซานอันโตนิโอ โดยสามารถสรุปรายละเอียดของแต่ละวิธีโดยสังเขปได้ดังนี้

วิธีที่ 1 การประมาณความเร็วเฉลี่ยโดยใช้ค่าจากตัวตรวจนับกึ่งกลางแทนช่วงทาง

โดยสมมติให้ความเร็วเฉลี่ยของการจราจรนั้นสม่ำเสมอตลอดทั้งช่วงของถนน ความเร็วของยวดยานที่วัดได้จากจุดสำรวจบริเวณจุดกึ่งกลางของช่วงทาง $\tilde{v}_{mid}$ จึงเทียบเท่ากับความเร็วเฉลี่ยของการจราจร v_{TMS} บนช่วงทางนั้นๆ ดังสมการที่ (2.7)

$$\tilde{v}_{mid} \approx v_{TMS} \tag{2.7}$$

โดยลักษณะของเวลาการเดินทางบนช่วงทางที่หาจากความเร็วที่ได้จากสถานีสำรวจจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.5 โดยระยะเวลาที่เกิดขึ้นจริงนั้นจะใช้เวลามากกว่าเวลาที่คำนวณจากความเร็วในสภาพการจราจรปกติและแตกต่างจากเวลาการเดินทางที่คำนวณได้จากความเร็วบริเวณจุดสำรวจ ซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งของสถานีว่าวัดความเร็วของยานพาหนะในช่วงความเร็วใด



รูปที่ 2.5 ลักษณะของเวลาการเดินทางบนช่วงทาง

วิธีที่ 2 การประมาณโดยเฉลี่ยค่าความเร็วจากตัวตรวจนับต้นและปลายของช่วงทาง

ใช้ความเร็วบริเวณที่รถเข้าและบริเวณที่รถออก ที่หาได้จากสถานีเริ่มต้นและสิ้นสุดในการเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนของค่าความเร็ว $\tilde{v}_{avg}$ บนช่วงทางที่พิจารณา ดังสมการที่ (2.8)

$$\tilde{v}_{avg} = \frac{v_{up} + v_{down}}{2} \tag{2.8}$$

ซึ่งเป็นการกระจายค่าความเร็วที่จุดเริ่มต้น v_{up} และความเร็วที่จุดสิ้นสุด v_{down} ของช่วงทาง เพื่อให้ได้ค่าที่สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น แต่ทว่าปริมาณการจราจรในแต่ละจุดนั้นอาจแตกต่างกัน ซึ่งจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าที่ได้ไม่สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงเท่าใดนัก

วิธีที่ 3 การประมาณโดยเฉลี่ยค่าความเร็วตามการจราจรที่ตัวตรวจนับต้นและปลายของช่วงทาง

ใช้ความเร็วที่ได้จากสถานีเก็บข้อมูลการจราจรทั้ง 2 ด้าน เฉลี่ยตามปริมาณการจราจรที่นับได้ในแต่ละจุด เพื่อเป็นตัวแทนของค่าความเร็วบนช่วงทาง $\tilde{v}_{weight}$ ที่พิจารณา ดังสมการที่ (2.9)

$$\tilde{v}_q = \tilde{v}_{weight} = \frac{q_{up}v_{up} + q_{down}v_{down}}{q_{up} + q_{down}} \tag{2.9}$$

v_{up} q_{up} คือความเร็วและปริมาณการจราจรที่จุดเริ่มต้นของช่วงทาง v_{down} q_{down} คือความเร็วและปริมาณการจราจรที่จุดสิ้นสุดของช่วงทาง การนำปริมาณจราจรมาปรับปรุงวิธีการหาค่าความเร็วนั้นจะทำให้ค่าความเร็วมีความแม่นยำเพิ่มขึ้นในอีกระดับหนึ่ง แต่ทว่าความเป็นจริงแล้วค่าดังกล่าวก็ยังไม่ถูกต้องเท่าใดนัก เนื่องจากในแต่ละจุดบนช่วงทางก็จะมีปริมาณความหนาแน่นของการจราจรที่แตกต่างกันไป รวมทั้งความเร็วของรถแต่ละคันบนท้องถนนก็ไม่เท่ากันอีกด้วย

วิธีที่ 4 การประมาณแบบซานอันโตนิโอ

อาศัยข้อมูลความเร็วที่วัดได้จากจุดต้นทางและปลายทางของช่วงทางโดยใช้ความเร็วบนปลายถนนด้านที่มีความเร็วต่ำกว่า $\tilde{v}_{san}$ เป็นตัวแทนของค่าความเร็วบนช่วงทางที่พิจารณา ดังสมการที่ (2.10)

$$\tilde{v}_{san} = \min\left(v_{up}, v_{down}\right) \tag{2.10}$$

การเลือกนำค่าความเร็วที่ต่ำกว่าจากบริเวณจุดรถขาเข้าหรือขาออก มาเป็นตัวแทนของความเร็วถนนทั้งเส้นนั้น ค่อนข้างจะเป็นวิธีการที่ไม่สอดคล้องกับสภาพความจริงของการจราจรที่เกิดขึ้นเมื่อเปรียบเทียบจากวิธีการทั้งหมดที่ได้กล่าวมา

จากวิธีการที่กล่าวมาทั้งสี่วิธี วิธีแรกซึ่งใช้ค่าความเร็วที่วัดได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดแทนค่าความเร็วเฉลี่ยของช่วงทางเลยนั้น สามารถใช้เป็นตัวแทนได้เมื่อช่วงทางนั้นๆ มีระยะทางสั้นและความแปรปรวนของการจราจรบริเวณช่วงทางนั้นมีไม่มาก แต่เมื่อช่วงทางยาวมาก การใช้

ความเร็วที่กึ่งกลางของช่วงทางจึงไม่เหมาะสมในการเป็นตัวแทนค่าเฉลี่ยความเร็วของการจราจรบนช่วงทาง สำหรับสามวิธีที่เหลือนั้นประมาณค่าความเร็วเฉลี่ยของการจราจรบนช่วงทางโดยอาศัยสมมติฐานที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นค่าความเร็วเฉลี่ยของการจราจรบนช่วงทางที่ได้จากวิธีการทั้งสามวิธีจึงน่าจะมีความแตกต่างกัน ซึ่งการเข้าใจถึงความแตกต่างและเรียนรู้ถึงข้อจำกัดของแต่ละวิธีนั้น จะต้องทำการศึกษาและทดลองนำไปใช้ เพื่อทดสอบเปรียบเทียบค่าประมาณความเร็วเฉลี่ยของการจราจรบนช่วงทางในแต่ละวิธี ซึ่งจะกล่าวถึงในการศึกษาครั้งนี้ในลำดับต่อไป

2.2.4 การประมาณเวลาการเดินทางโดยทางอ้อมจากปริมาณการจราจร

การใช้ปริมาณการจราจรมาคำนวณหาค่านั้นมักใช้ความหนาแน่นมาประยุกต์เพื่อคำนวณ เช่นในการศึกษาของ Lianyu Chu, Jun-Seok Oh และ Will Recker (2005) ที่ประยุกต์ใช้วิธี Kalman Filter for Data Fusion นั้นเบื้องต้นได้ใช้สมมติฐานในทางทฤษฎีการจราจร จากความสัมพันธ์ของความหนาแน่นของการจราจร และการไหลของการจราจร Lighthill, M. J., และ G. B. Whitham (1957) และ Richards, P. I. (1956) ที่ว่า

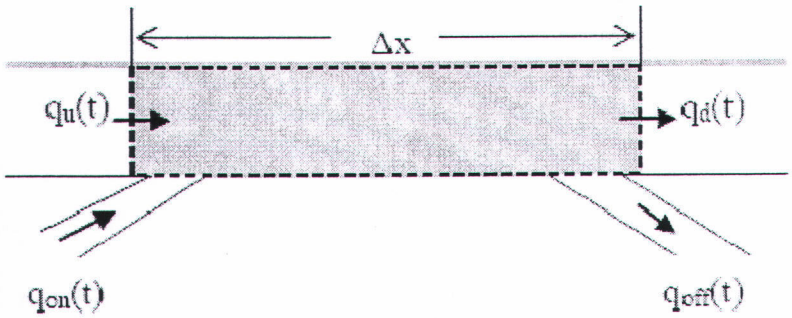
$$\frac{\partial q}{\partial x}+\frac{\partial k}{\partial t}=0 \tag{2.11}$$

โดย q คือปริมาณการจราจร x คือระยะทาง t คือเวลา และ k คือความหนาแน่น จะได้

$$q = k \cdot v \tag{2.12}$$

v คือความเร็ว ดังนั้นกรณีสมมติให้มี 1 ทางขึ้น q_{on} และ 1 ทางลง q_{off} ดังรูปที่ 2.6 เราสามารถหาปริมาณการจราจรที่วิ่งผ่านถนนในช่วงเวลา (t-1, t) ได้จากสมการ

$$q(t)=\alpha\cdot\left[q_{up}(t)+q_{on}(t)\right]+(1-\alpha)\cdot\left[q_{down}(t)+q_{off}(t)\right] \tag{2.13}$$



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

รูปที่ 2.6 รูปแบบช่วงทางบนทางพิเศษ

โดยกำหนด α ในการศึกษาไว้ที่ 0.5 ซึ่งจะทำให้สามารถได้ค่าปริมาณการจารจรมาใช้ในการคำนวณเวลาการเดินทางจากสมการ

$$tt(t) = \frac{\Delta x}{v(t)} = \frac{\Delta x}{q(t)} \cdot k(t) \tag{2.14}$$

ส่วนความหนาแน่นของการจราจรหรือค่า k ที่ใช้หาได้จากอนุกรมเวลาจากสมการ

$$k(t) = k(t-1) + \frac{1}{L * \Delta x} \cdot \{q_{up}(t) + q_{on}(t) - [q_{down}(t) + q_{off}(t)]\} \tag{2.15}$$

โดย q_{up}, q_{down}, q_{on}, q_{off} คือปริมาณยานพาหนะที่บริเวณจุดเริ่มต้น จุดสิ้นสุด ทางเข้า และทางออกของเส้นทาง ตามลำดับ L คือจำนวนช่องจราจร x คือระยะทาง

จากการศึกษาของ Nam และ Drew ที่เรียกว่า N-D model ได้ทำการประมาณเวลาการเดินทางบนทางพิเศษจากค่าปริมาณการจราจร โดยได้จำแนกสภาพการจราจรออกเป็น 2 ประเภทคือ สภาพการจราจรแบบปกติ และสภาพการจราจรแบบติดขัด ภายใต้เงื่อนไขที่ว่า "เข้าก่อนออกก่อน" โดยพิจารณาจากค่า $m(t_n)$ จากสมการ

$$m(t_n) = Q(x_2, t_n) - Q(x_1, t_{n-1}) \tag{2.16}$$

เมื่อ k คือความหนาแน่น q คือปริมาณยานพาหนะ Q คือปริมาณยานพาหนะสะสม ระยะทาง x ที่ตำแหน่ง i และเวลา t ที่ช่วงเวลาใดๆ n ช่วง โดยประมาณเวลาการเดินทางในสภาพการจราจรแบบปกติเมื่อ $(m(t_n) > 0)$ จากสมการ

$$tt(t_n) = \frac{\Delta x}{2} \frac{[q(x_i, t_n)k(t_{n-1}) + q(x_{i+1}, t_n)k(t_n)]}{[q(x_i, t_n)q(x_{i+1}, t_n)]} \tag{2.17}$$

และประมาณเวลาการเดินทางในสภาพการจราจรแบบติดขัดเมื่อ $(m(t_n) \leq 0)$ จากสมการ

$$tt(t_n) = \frac{\Delta x[k(t_{n-1}) + k(t_n)]}{2 * q(x_{i+1}, t_n)} \quad (2.18)$$

โดยคำนวณหาค่าความหนาแน่น k ของการจราจรจากปริมาณการจราจรสะสมจากสมการ

$$k(t_n) = \frac{n(t_n)}{\Delta x} = \frac{Q(x_1, t_n) - Q(x_2, t_n)}{\Delta x} \quad (2.19)$$

เมื่อ n (t_n) คือจำนวนยานพาหนะบนช่วงถนน x ที่เวลา t ใดๆ แต่ทว่าวิธีการดังกล่าวจำเป็นจะต้องทราบถึงข้อมูลปริมาณยานพาหนะที่เข้าออกจากระบบที่สมบูรณ์ และใช้ความถี่ของข้อมูลที่ค่อนข้างมากเพื่อให้ได้ข้อมูลที่สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงในการเข้าออกของยานพาหนะบนแต่ละช่วงทาง อีกทั้งต้องทำการกำหนดค่าเริ่มต้นที่เหมาะสมก่อนเริ่มการคำนวณ

2.3 การปรับปรุงวิธีการประมาณเวลาการเดินทางให้เหมาะกับลักษณะการจราจร

สาเหตุที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของการประมาณเวลาการเดินทางนั้นมีหลายสาเหตุไม่ว่าจะเป็นจากการเก็บข้อมูล หรือจากการคำนวณ แต่ทว่าอีกประเด็นหนึ่งที่น่าสนใจก็คือลักษณะและสภาพของการจราจรของถนนที่พิจารณา ซึ่งวิธีการบางอย่างอาจสามารถใช้ได้ดีในบางกรณีเท่านั้นทำให้ต้องมีการวิเคราะห์และเลือกใช้ให้เหมาะสม ดังในวิธีการของ Nam และ Drew (1999) ที่เรียกว่า N-D model นั้น ได้พิจารณาโดยแบ่งแยกสมการที่ใช้เป็นสองลักษณะคือ ตามสภาพปริมาณการจราจรแบบปกติ และปริมาณการจราจรแบบแออัด โดยพิจารณาจากปริมาณของรถที่สามารถเข้าและออกจากช่วงทางที่พิจารณาได้ในช่วงเวลาที่สนใจตามหลัก "เข้าก่อน ออกก่อน" โดยถ้าค่าดังกล่าว มากกว่าศูนย์ถือเป็นสภาพปริมาณการจราจรแบบปกติ นอกเหนือจากนั้นกำหนดให้เป็นสภาพการจราจรแบบแออัด

โดยสามารถประยุกต์ใช้หลายวิธีร่วมกันในการคำนวณขึ้นอยู่กับสภาพของการจราจร โดย Lelitha และคณะ (2009) ได้ตั้งข้อสังเกตว่าการคำนวณด้วยค่าความเร็วจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีที่ใช้ปริมาณการจราจร ในกรณีที่ถนนมีสภาพปริมาณการจราจรที่ต่ำ โดยได้กำหนดให้ค่าปริมาณการจราจรที่ต่ำกว่า 500 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร ถือเป็นสภาพปริมาณการจราจรที่ต่ำ โดยอ้างจาก HCM (2000) ว่าสภาพดังกล่าวเหมาะที่จะใช้วิธีการคำนวณจากค่า

ความเร็ว นอกเหนือจากกรณีนั้น การใช้ค่าปริมาณการจราจรในการคำนวณจะเป็นวิธีการที่เหมาะสมกว่า

แต่ทว่าในการประยุกต์ใช้งานจริงนั้นวิธีการที่แตกต่างกันอย่างการประมาณค่าความเร็วที่แตกต่างกันในแต่รูปแบบก็จะส่งผลให้การประมาณค่าเวลาการเดินทางแตกต่างกันเช่นกัน ซึ่งความเหมาะสมในการใช้งานก็จะแตกต่างกันไปตามช่วงเวลาหรือลักษณะความเหมาะสมเฉพาะของช่วงทางนั่นเองซึ่งเป็นจุดที่น่าทดสอบเพื่ออธิบายถึงความเหมาะสมในการนำไปใช้งานของวิธีการดังกล่าว

2.4 การเปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูลเวลาการเดินทาง

Kristin A. Tufte และคณะ (2008) ได้ศึกษาการตรวจสอบความถูกต้องของการประมาณค่าเวลาการเดินทางจากข้อมูลที่ได้จากขดลวดเหนี่ยวนำ และ ยานพาหนะทดสอบ ในพื้นที่ถนนเขต Portland metropolitan โดยตัวแปรที่พิจารณาใช้นั้น ได้แก่

- Mean Absolute Percent Error (MAPE) : ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ คำนวณได้จาก

$$MAPE = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left|\frac{A_t - F_t}{A_t}\right| * 100 \qquad (2.20)$$

เมื่อ A_t และ F_t คือค่าจริงและค่าทดสอบในช่วงเวลา t ใดๆ n ช่วง

- Standard Deviation of Percent Error (SDPE) : ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2} \qquad (2.21)$$

- Average Percent Error : ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
- Standard Error (SE) : ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (หาได้จาก SDPE หารด้วยรากที่สองของจำนวนข้อมูลที่พิจารณา)
- Percent of estimates with absolute error < 20% : คือเปอร์เซ็นต์ของค่าที่ประมาณส่วนที่มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ต่ำกว่า 20%
- Percent of estimates with absolute error < 30% : คือเปอร์เซ็นต์ของค่าที่ประมาณส่วนที่มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ต่ำกว่า 30%

โดยได้ทดสอบใช้ตัวแปรในการระบุความแม่นยำของช่วงความถี่ของข้อมูลต่างๆ ดังตารางที่ 2.3 ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนแต่ละรูปแบบก็จะเหมาะสมในการนำไปใช้ในการอธิบายข้อมูลที่แตกต่างกันไป

ตารางที่ 2.3 ผลของช่วงความถี่การเฉลี่ยข้อมูลต่อความแม่นยำในการประมาณ

ช่วงการเฉลี่ย	MAPE	SDPE	Avg Pct Error	Std Error	Pct Est with Error <20%	Pct Est with Error <30%
1 นาที	12.3%	19.4	0.6%	0.8	84%	93%
3 นาที	11.3%	17.8	-0.9%	0.8	85%	94%
5 นาที	11.0%	16.4	-1.6%	0.7	85%	94%
10 นาที	11.5%	16.9	-2.9%	0.7	85%	94%
15 นาที	12.1%	17.3	-3.4%	0.7	83%	93%

ที่มา: Kristin A. Tufte **และคณะ** (2008)

จากการศึกษาเกี่ยวกับค่าความถูกต้องของการประมาณเวลาการเดินทางนั้นสามารถสรุปได้ว่า

- การประมาณที่คลาดเคลื่อน ไม่ได้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับระดับของความคับคั่ง ดังนั้นตัวแปรค่าความเร็วเฉลี่ยและความเร็วต่ำสุดที่ได้จากอุปกรณ์ขดลวดเหนี่ยวนำไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการประมาณเวลาในช่วงเวลาจริง
- ช่วงเวลา 3 หรือ 5 นาทีเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการใช้ประมาณเวลาการเดินทางที่จุดกึ่งกลางของถนน โดยที่ในช่วงเวลาดังกล่าวจะต้องไม่มีปัจจัยสำคัญ ที่จะมามีผลกระทบต่อความแม่นยำของการประมาณ
- ความถูกต้องของวิธีการที่ใช้ในการหาค่ามาเปรียบเทียบกับเวลาการเดินทางที่เกิดขึ้นจริงเป็นสิ่งสำคัญที่จะกำหนดความแม่นยำของวิธีการที่ใช้
- ปัจจัยลักษณะของพื้นที่และข้อจำกัดเรื่องการเก็บข้อมูลเป็นสิ่งที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจและประยุกต์ใช้วิธีการ เพื่อให้การประมาณค่าที่มีความแม่นยำมากขึ้น และสามารถชี้ถึงสาเหตุที่ทำให้ค่าไม่แม่นยำได้ ในการประมาณเวลาที่เกิดขึ้นจริง

JD Margulici and Xuegang (Jeff) Ban (2008) ได้เสนอตัววัดประสิทธิภาพของการประมาณค่าเวลาการเดินทาง 2 ตัว คือ ค่าความแม่นยำและค่าความสัมพันธ์ โดยใช้ข้อมูลจากยานพาหนะทดสอบและอุปกรณ์ขดลวดเหนี่ยวนำ จากกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้เส้นทางใน พื้นที่อ่าวซานฟรานซิสโก

การตรวจสอบความแม่นยำ เริ่มจากการหาค่าคลาดเคลื่อนของยานพาหนะแต่ละคันจากค่าเวลาเดินทางที่ได้จากการประมาณลบด้วยเวลาเดินทางจริงที่เกิดขึ้นจริงจากนั้นหารค่าเวลาเดินทางจริงที่เกิดขึ้นจริง ดังสมการ

$$e_i = \frac{\hat{\tau}_i - \tau_i}{\tau_i} \tag{2.22}$$

จากนั้นหาค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่พิจารณาโดยบวกค่าคลาดเคลื่อนของรถแต่ละคันหารด้วยจำนวนรถทั้งหมดในช่วงเวลาดังกล่าว ดังสมการ

$$E_{T_1,T_2} = \frac{\sum_{1\le i\le m} e_i}{m} \tag{2.23}$$

โดยถ้าค่าจากการประมาณแม่นยำเท่ากับค่าจริงจะได้ค่าออกมาเท่ากับศูนย์

การตรวจสอบความสัมพันธ์ หาค่าโดยใช้ค่าสัมบูรณ์ของค่าความคลาดเคลื่อนเวลาการเดินทางโดยพิจารณาที่

$$\text{Prob}\left(|e| \le R_{T_1,T_2}\right) \ge 0.75 \tag{2.24}$$

โดยได้ทำการพิจาณาค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนของถนนและแบ่งแยกตามช่องจราจรพบว่าในบางกรณีค่าออกมาไม่สอดคล้องกัน อันเนื่องมาจากการคิดด้วยวิธีแรกนั้นใช้การเฉลี่ยของค่าคาดเคลื่อนที่เป็นค่าบวกลบทำให้เกิดค่าการหักล้างกัน อีกทั้งพบว่าในแต่ละช่องทางมีค่าในการวัดที่พิจารณาออกมาแตกต่างกัน ทำให้สรุปได้ว่าวิธีการที่เสนอสามารถบอกได้ถึงความแตกต่างของแต่ละช่องทาง ซึ่งถ้ามีการติดตั้งอุปกรณ์ขดลวดเหนี่ยวนำแยกแต่ละช่องทางจะสามารถช่วยให้หาเวลาการเดินทางได้ดีขึ้น

2.5 สรุปการทบทวนผลงานที่ผ่านมา

จากการทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปตามหัวข้อในการทบทวนได้ดังนี้ คือ

1. **การเก็บข้อมูลจราจร** อุปกรณ์ในการเก็บรวบรวมข้อมูลแต่ละประเภทนั้นมีศักยภาพในการทำงานที่แตกต่างกัน โดยสามารถรวบรวมปริมาณ ความละเอียดและได้รับตัวแปรข้อมูล

ทางการจราจรที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการเลือกใช้จึงต้องเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งานและความเป็นไปได้ภายในข้อจำกัดและขอบเขตที่ตั้งไว้ เพื่อให้ข้อมูลที่ได้สามารถครอบคลุมและตอบสนองต่อความต้องการ

2. **การประมาณเวลาการเดินทาง** การประมาณเวลาการเดินทางโดยทางอ้อมเป็นวิธีที่เหมาะในการนำมาใช้เนื่องจากมีปริมาณข้อมูลที่มากพอในการนำมาใช้งาน โดยการเลือกใช้วิธีการประมาณแต่ละวิธีจะต้องคำนึงถึงปัจจัยความสมบูรณ์ของข้อมูลที่จำเป็นต่อแต่ละวิธีการที่เลือกใช้ และต้องคำนึงถึง สภาพของพื้นที่ศึกษา ลักษณะที่มาของข้อมูล เช่น ระยะห่างระหว่างสถานี ความถี่ ความสมบูรณ์และระดับความถูกต้องของข้อมูลซึ่งจะเป็นปัจจัยและข้อจำกัดที่ส่งผลกระทบต่อวิธีการประมาณในแต่ละวิธี โดยวิธีการประมาณเวลาเดินทางทางอ้อมที่นิยมนำมาใช้นั้น ส่วนใหญ่จะใช้ค่าความเร็วในการประมาณเวลาบนเส้นทาง ซึ่งที่มาของค่าความเร็วแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ แต่ส่วนใหญ่ไม่ได้มีการแสดงให้เห็นถึงรายละเอียดของความแม่นยำในแต่ละช่วงเวลา และไม่ได้มีการเปรียบเทียบความแตกต่างของวิธีการจากค่าความเร็วในแต่ละวิธีให้ทราบ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้จะทำการเปรียบเทียบและแสดงให้เห็นในประเด็นดังกล่าวต่อไปในเนื้อหาของการวิจัย

3. **การปรับปรุงวิธีการประมาณเวลาการเดินทางให้เหมาะกับลักษณะการจราจร** การประมาณเวลาเดินทางในแต่ละรูปแบบ ย่อมมีประสิทธิภาพในการประมาณที่แตกต่างกันไปตามแต่ละสภาพและลักษณะของการจราจร ดังนั้นการปรับปรุงการประมาณเวลาโดยประยุกต์วิธีการที่มีประสิทธิภาพสูงในแต่ละลักษณะ มาใช้ประมาณร่วมกัน จึงน่าจะเป็นแนวทางที่ทำให้ระดับความแม่นยำของการประมาณเวลาการเดินทางมีเพิ่มมากขึ้น

4. **การเปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูลเวลาการเดินทาง** ตัวแปรที่ใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูลนั้นมีหลายประเภท ซึ่งความเหมาะสมนั้นแตกต่างกันไปตามลักษณะการใช้งานและประเภทของข้อมูลที่ต้องการเปรียบเทียบ ซึ่งบางตัวแปรอาจสามารถบ่งบอกความแตกต่างได้อย่างชัดเจน แต่บางตัวแปรอาจไม่สามารถสื่อได้ถึงความแตกต่างของการเปรียบเทียบ โดยความแม่นยำของการประมาณเวลาเดินทางนั้น ความถูกต้อง ที่มาของข้อมูลพื้นฐานและข้อจำกัดเรื่องการเก็บข้อมูลเป็นสิ่งที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจและประยุกต์ใช้วิธีการ ซึ่งถือเป็นสิ่งสำคัญเนื่องจากจะส่งผลกระทบถึงความแม่นยำของวิธีการประมาณที่ใช้โดยตรง