

บรรณานุกรม

- กนกวรรณ เด่นพรภูวกล และคณะ. (2547). การประยุกต์ใช้โปรแกรม PARAMICS ในการจัดการระบบจราจรบริเวณสี่แยกสามเหลี่ยม จังหวัดขอนแก่น. รายงานโครงการหมายเลข CE2003-29. ขอนแก่น: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- กนกวรรณ เด่นพรภูวกล, ณรงค์เดช เทียนแก้ว, ศิวาพร ดำทุ่งหงษ์, & อภิรมย์ ศรีบุรี. (2547). การประยุกต์ใช้โปรแกรม PARAMICS ในการจัดการระบบจราจรบริเวณสี่แยกสามเหลี่ยม จังหวัดขอนแก่น. รายงานโครงการหมายเลข CE2003-29. ขอนแก่น: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- กมล ปุ่นศิริ. (2542). การประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ SIDRA ในการวิเคราะห์สัญญาณไฟจราจรในเมืองหาดใหญ่และเมืองอุบลราชธานี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (การขนส่ง) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- การรถไฟแห่งประเทศไทย. [ม.ป.ป.]. ตารางการเดินทางสายตะวันออกเฉียงเหนือ. ค้นเมื่อ 24 มกราคม 2553, จาก <http://www.railway.co.th>.
- _____. [ม.ป.ป.]. รถจักรดีเซล. ค้นเมื่อ 24 มกราคม 2553, จาก http://www.railway.co.th/know/know_locomotives.asp
- กรมการขนส่งทางบก. (2552). จำนวนรถที่จดทะเบียนสะสมถึง วันที่ 31 ธันวาคม. ค้นเมื่อ 18 มกราคม 2553, จาก http://www.dlt.go.th/statistics_web/vehicle.html
- กรกช เกิดแก้ว. (2549). การทำนายระยะเวลาการเดินทางบนทางพิเศษศรีรัช (ทางด่วนชั้นที่ 2). วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- จารุวิรัช ปราบณศักดิ์, อีระชัย คมปรัชญา, & พนกฤษณ คลังบุญครอง. (2549). การประเมินประสิทธิภาพแนวทางการปรับปรุงโครงข่ายถนนบริเวณห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง จังหวัดขอนแก่น โดยใช้ PARAMICS. รายงานการประชุมวิชาการขนส่งแห่งชาติครั้งที่ 3. หมายเลขบทความ NTC3-79. ขอนแก่น: [ม.ป.พ.].
- ชาคริต ชูฉุยการ. (2550). แบบจำลองการเกิดและการดึงดูดการเดินทางโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์การใช้ประโยชน์ที่ดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ทวี วิชัยเมธาวิ. (2546). การพัฒนาวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพอ้อมตัว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- ธีระชัย คมปรัชญา, เนรมิต เหลลาภา, เปรมศักดิ์ ชัชวาล, พงศธร สีหามาศ, & วัฒนา ชันดี. (2544). การประยุกต์ใช้โปรแกรม PARAMICS ในการจัดการระบบการจราจร บริเวณศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- บริษัท เซ็นทรัลพัฒนา จำกัด. (2552). ข้อมูลทั่วไป เซ็นทรัลพลาซ่า ขอนแก่น. ค้นเมื่อ 19 มกราคม 2553, จาก <http://www.centralpattana.com>
- บริษัท ยามาฮ่า ประเทศไทย จำกัด. [ม.ป.ป.]. Specification. ค้นเมื่อ 24 มกราคม 2553, จาก <http://www.yamaha-motor.co.th>
- บริษัท เอพีฮอนด้า จำกัด. [ม.ป.ป.]. ข้อมูลผลิตภัณฑ์. ค้นเมื่อ 24 มกราคม 2553, จาก <http://www.aphonda.co.th>
- แผนกวิทยาการคอมพิวเตอร์ กองวิทยาการคอมพิวเตอร์ กรมการขนส่งทางบก. (2552). การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis). ค้นเมื่อ 20 มกราคม 2553, จาก <http://web.schq.mi.th>
- พนกฤษณ คลังบุญครอง. (2547). วิศวกรรมจราจรขนส่ง. ขอนแก่น: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- พนกฤษณ คลังบุญครอง, ธีระชัย คมปรัชญา, และ Woolley, J. (2546). การประเมินทางเลือกในการจัดการระบบการจราจรบริเวณห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง จังหวัดขอนแก่น โดยใช้โปรแกรม PARAMICS. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการขนส่งแห่งชาติ ครั้งที่ 1. (หน้า 55-62). ขอนแก่น: [ม.ป.พ.].
- โรงพยาบาลศูนย์ขอนแก่น. (2551). สถิติอุบัติเหตุ ปี พ.ศ. 2548-2550. ขอนแก่น: โรงพยาบาลศูนย์ขอนแก่น. (เอกสารอัดสำเนา).
- วัชรินทร์ วิทยกุล (2539). หลักวิศวกรรมขนส่งเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- _____. (2539). หลักวิศวกรรมขนส่งเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิจิตรา วัชสังค์. (2548). ผลกระทบของมาตรการช่องทางพิเศษและการควบคุมเข้าต่อการจราจรบนระบบทางพิเศษในเขตกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิจิตรา วัชสังค์ และเกษม ชูจารุกุล. (2547). การประเมินแนวทางการจัดการช่องจราจรบนระบบทางพิเศษโดยการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์. เอกสารรวมบทความวิชาการ การประชุมวิชาการขนส่งแห่งชาติ ครั้งที่ 2. (หน้า 163-170). [ม.ป.ท.: ม.ป.พ.].

- วิจิตรา วัชสังค์ และเกษม ชูจารุกุล. (2548). ผลกระทบของมาตรการช่องทางพิเศษและการควบคุมเข้าต่อการจราจรบนระบบทางพิเศษในเขตกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิโรจน์ รุโปลาการ. (2544). การวางแผนการขนส่งเขตเมือง. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศิวกิจ เสรีรัตนสกุล. (2550). การพัฒนาระบบควบคุมการจราจรที่เหมาะสม กรณีศึกษา จังหวัดนครราชสีมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน. (2549). โครงการศึกษาวิเคราะห์และออกแบบเพื่อจัดระบบการจราจรบริเวณห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง จังหวัดขอนแก่น. ขอนแก่น: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- _____. (2547). โครงการศึกษาจัดทำแผนแม่บทด้านการจราจรและขนส่งเมืองภูมิภาค: จังหวัดขอนแก่น (ครั้งที่ 2). ขอนแก่น: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- _____. (2549). โครงการศึกษาวิเคราะห์และออกแบบเพื่อจัดระบบการจราจรบริเวณห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง จังหวัดขอนแก่น. ขอนแก่น: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน. (2551). โครงการจัดทำแผนแม่บทและศึกษาความเหมาะสมด้านวิศวกรรม เศรษฐกิจ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเบื้องต้นเพื่อก่อสร้างระบบขนส่งมวลชนเมืองขอนแก่น. ขอนแก่น: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สำนักงานการจราจรและขนส่ง. (2548). โครงการรถโดยสารประจำทางด่วนพิเศษ (BRT) สายนวนินทร์ – เกษตร – หมอชิต และชองนนทบุรี – สะพานกรุงเทพ. กรุงเทพฯ: สำนักงานการจราจรและขนส่ง.
- สุมนธา หรั่งโพธิ์. (2549). การประเมินผลกระทบด้านการจราจรโดยใช้โปรแกรม PARAMICS กรณีศึกษาโครงการอาคารจอดรถแล้วจรสถานีลาดพร้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร. (2547). โครงการศูนย์ข้อมูลและแบบจำลองด้านการจราจรและการขนส่ง ระยะที่ 2 (TDMC II). กรุงเทพฯ: สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร.

- Ana B. S., & Luis V. (2009). **Microsimulation applied to performance analysis of roundabouts: the effect of the pedestrian crossings.** Portugal: University of Coimbra.
- Bertini, R. L., Lindgren, R., & Tantiyanugulchai, S. (2002). **D R A F T Application of PARAMICS Simulation At a Diamond Interchange.** USA: Portland state university department of civil & environmental engineering.
- Bartin, K.Ozbay, O.Yanmaz, & N.Rathi. (2005). **Modeling and Simulation of an Unconventional Traffic Circle.** Austria: Vienna.
- Barton–Aschman Associates, Inc. and Cambridge Systematics, Inc. (1997). **Design manual for roads and bridges (1996).** U.S.: Department of Transportation.
- Bonte, L., Espie, S., & Mathieu, P. (2007). **Virtual lanes interest for motorcycles simulation.** Tunisia: [n.p.].
- Boxill, S, A. (2007). **An evaluation of 3-d traffic simulation modeling capabilities.** Research Report SWUTC/07/167621-1. USA.: Center for Transportation Training and Research Texas Southern University.
- Chandrasekar, P., Cheu R. L., & Hoong Chor Chin. (2002). **Simulation Evaluation of Route-Based Control of Bus Operations.** *Journal of transportation engineering*, 128(6), 519–527.
- Carrignon, D., & Buchanan, C. (2009). **Assessment of the impact of cyclists on heterogeneous.** London: [n.p.].
- Cheong S, Rahwanji S, & Chang G. (2008). **Comparison of Three Unconventional Arterial Intersection Design: Continuous Intersection, Parallel Flow Intersection, and Upstream Signalized Crossover.** Paper presented at the 11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation System, 2008 Oct, Beijing, China.
- Choa F, Milam R.T, & Stanek D. (2003). **CORSIM, PARAMICS, and VISSIM: What the Manuals Never Told You.** Paper presented at the 9th Conference on the Application of Transportation Planning Methods, Apr 6–11, Baton Rouge (LA), USA.
- Chu, L., Henry, L.X., & Recker ,W. (2004). **Using Microscopic Simulation to Evaluate Potential Intelligent Transportation System Strategies Under Nonrecurrent Congestion.** *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1886, TRB. Washington, D.C.: National Research Council.



- Dowling, R., Holland, J., & Huang, A. (2002). **Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software**. California USA.: Dowling Associates.
- Dowling, R., Skabardonis, A., & Alexiadis. V. (2004). **Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software**. CA.: Dowling Associates.
- _____. (2010). **Manual. Integration with Microscopic Simulation Models**. ค้นเมื่อ 26 เมษายน 2553, จาก http://dynust.net/wikibin/doku.php?id=start:integration_with_microscopic_simulation_models
- Fellendorf M, & Vortisch P. (2001). **Validation of the Microscopic Traffic Flow Model VISSIM in Different Real-World Situations**. Paper presented at the 80th TRB Annual Meeting, Washington, D.C., USA.: [n.p].
- Gardes.Y, May A.D., Dahlgren. J, & Skabardonis. A. (2002). **Freeway Calibration and Application of the Paramics Model**. Paper presented at the 81th TRB Annual Meeting. Washington, D.C., USA.: [n.p].
- Henry,L. C., Liu, X., Oh, J. S., & Recker, W. (2004). **A Calibration Procedure for Microscopic Traffic Simulation**. Washington, D.C.: [n.p].
- Holm, P., Tomich, D., Sloboden, J., & Lowrance, C. (2007). **Traffic Analysis Toolbox Volume IV: Guidelines for Applying CORSIM Microsimulation Modeling Software**. CA.: ITT Industries.
- Isaak Y., & Ben I. (2003). **Capacity of a turbo-roundabout determined by micro-simulation**. Spain: Madrid.
- Institute of Transportation Engineers. (1991). **Traffic Access and Impact Studies for Site Development**. Washington, DC: [n.p].
- James L,. (2006). **Microsimulation traffic models - usage, limitations and applications**. Australia: Canberra.
- Jansuwan, S. (2001). **Assessment of Area Traffic Control System in Bangkok by the Microscopic Simulation Model**. Master Thesis in Civil Engineering, Graduate School, Chulalongkorn University.
- Jansuwan. S., & Narupiti. S. (2005). **Assessment of area traffic control system in bangkok by the microscopic simulation model**. **Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies**, 5, 1367 - 1378

- Jeannotte, K., Chandra, A., Alexiadis, V., & Skabardonis, A. (2004). **Traffic Analysis Toolbox Volume II: Decision Support Methodology for Selecting Traffic Analysis Tool**. CA.: Cambridge Systematics.
- Khisty, C. J., & Lall, B.K. (2003). **Transportation Engineering: An Introduction**. 3rd ed. New Jersey, USA.: Prentice Hall.
- Krogscheepers, C., & Kacir, K. (2001). **LATEST TRENDS IN MICRO SIMULATION: AN APPLICATION OF THE PARAMICS MODEL**. 20th South African Transport Conference. South Africa: BKS (Pty) Ltd.
- Klungboonkrong, P., & Woolley, J. (2003). Modelling the environmental adaptation of a collector road in an area of high pedestrian activity in the City of Khon Kaen. **Transport Engineering in Australia**, 9(1).
- Lee, D.H., Chandrasekar, P., & Cheu, R.L. (2001). **Customized simulation modeling using PARAMICS application programming interface**. In Proceedings of the 2001 IEEE Intelligent Transportation Systems Proceedings, IEEE, 842-847.
- Lin C. F. (2003). **Performance comparison for roundabout simulation under Paramics, vissim and aimsun**. USA: Department of civil and environment engineering university of Maryland college park.
- Lindgren, R.V., & Tantiyanugulchai, S. (2003). **Microscopic Simulation of Traffic at a Suburban Interchange**. ITE Annual meeting, Seattle, WA, USA.
- Lianyu C., Hee K. K., Henry X. L., & Will R. (2005). **Evaluation of Traffic Delay Reduction from Automatic Workzone Information Systems Using Micro-simulation**. Transportation Research Record 1911, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
- Liu, H. X., Ding, L., Ban, J.X. Chen, A., & Chootinan, P. (2005). **A Streamlined Network Calibration Procedure for California SR41 Corridor Traffic Simulation Study**. [n.p.]: TRB Committee AHB25 -Traffic Signal Systems Committee Submitted to 85th Transportation Research Board Annual Meeting.
- Liu, H., Chu, L., & Recker, W. (2004). Performance Evaluation of ITS Strategies Using Microscopic Simulation. **Journal of Transportation Engineering**, 130(3), 330-338.
- Luk, J. Y. K. (2006). **The use and application of microsimulation traffic models**. Sydney: Austroads.

- Magison, P., & Collins, P. (2009). **Paramics Microsimulation RTA Manual V.1.0.** New South Wales. Australia: Road and Traffic Authority, New south wale government.
- Michael Zhang, & Jingtao Ma. (2008). **Developing Calibration Tools for Microscopic Traffic Simulation Final Report Part 1: Overview Methods and Guidelines on Project Scoping and Data Collection.** California PATH Working Paper UCB-ITS-PWP-2008-3. California path program institute of transportation studies. University of California. California: Berkeley.
- Minh, C. C., Sano, K., & Matsumoto, S. (2005). The speed, flow and headway analyses of motorcycle traffic. **Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies**, 6, 186 – 197.
- _____. (2005). The speed, flow and headway analyses of motorcycle traffic. **Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies**, 6, 1496 – 1508.
- _____. (2005). Estimation of motorcycle unit for heterogeneous traffic using an effective space method Seminar: **Managing the Demand for Road Space Effective Movement in Urban Areas.** Japan: Nagaoka University of Technology.
- Minh, C.C., & Sano, K. (2003). Analysis of motorcycle effects to saturation flow rate at signalized intersection in developing countries. **Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies**, 5, 1211-1222.
- _____. (2552). **New Central Super Center in KhonKaen (E-san).** ค้นเมื่อ 19 มกราคม 2553, จาก http://i79.photobucket.com/albums/j125/p_pa99/IMG_09822.jpg
- Nicholas J.G., & Lester A.H. (2002). **Traffic & Highway Engineering.** 3rd ed. U.S.A: BROOKS/COLE.
- Oketch, T. (2004). **Evaluation of performance of modern roundabouts using paramics micro-simulation model** Proceeding of the Fifth Annual Trading Agent Competition, New York, NY, USA.
- Oketch, T., & Carrick, M. (2005). **Calibration and Validation of a Micro-Simulation Model in Network Analysis.** USA.: Washington DC.
- Ove Arup & Partners Scotland Ltd. (2007). **Paramics model calibration and validation.** USA.: Washington DC.
- _____. (2001). **PARAMICS Application Programmer Interface.** USA.: Oakland (CA).

- Prabnasak, J. (2006). **Using of Version 2.1 aaSIDRA and Version 5.1 PARAMICS in the Development of Traffic Signal Coordination on Sri-Jan Road, Khon Kaen City, Thailand.** Australia: University of south Australia school of natural and built environment.
- Prabnasak, J., Klungboonkrong, P., & Khompratya, T. (2006). **Using Paramics in Evaluation of the New Five-Leg Roundabout in Khon Kaen City.** NTC-3 Proceeding. The 3rd National Transport Conference. Khon Kaen: Sustainable Infrastructure Research and Development Center.
- Prabnakak, J. & W.L. Yue. (2006). **Using aaSIDRA and PARAMICS in Evaluation of a Traffic Signal Coordination Development in Khon Kaen City, Thailand.** Australia: University of South Australia
- Paul Ryder. (2001). **The use and application of microsimulation Traffic models.** Sydney: Austroads.
- Peter H., Daniel T., Jaimie S., & Cheryl L. (2007). **Traffic Analysis Toolbox Volume IV: Guidelines for Applying CORSIM Microsimulation Modeling Software.** [n.p.]: ITT Industries.
- Quadstone Paramics. (1999). **Modelling User Manual V.3. Scotland.** Scotland: Quadstone Paramics Ltd.
- _____. (2007). **Analysier User Manual.** Scotland: Quadstone Paramics Ltd.
- _____. (2007). **Demo & Media Screenshots.** ค้นเมื่อ 20 มกราคม 2553, จาก <http://www.paramics-online.com>.
- _____. (2007). **Designer User Manual.** Scotland: Quadstone Paramics Ltd.
- _____. (2007). **Estimator User Manual.** Scotland: Quadstone Paramics Ltd.
- _____. (2007). **Modelling User Manual.** Scotland: Quadstone Paramics Ltd.
- _____. (2007). **Processor User Manual.** Scotland: Quadstone Paramics Ltd.
- Ratrout N.T., & Rahman S, M. (2008). A comparative analysis of currently used microscopic and macroscopic traffic simulation software. Department of Civil Engineering King Fahd University of Petroleum & Minerals Dhahran, Saudi Arabia. **The Arabian Journal for Science and Engineering, 34(1B).**
- Rongviriyapanich, T., & Suppattrakul, C. (2005). Effects of motorcycles on traffic operations on arterial streets. **Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 6, 137 - 146.**

- Steven L. J., & Eugene D. A. (1999). **Estimating intersection turning movements technical**. USA: University Of Virginia
- Satiennam, T. (2007). **Study on Planning Approach for Bus Rapid Transit Implementation Dealing with Limited Conditions from Asian Cities Perspective**. Japan: Nihon University.
- Syed A. A. (2005). **Calibration of VISSIM to the traffic conditions of Khobar and Dammam, Saudi Arabia**. Saudi Arabia: King Fahd University of Petroleum and Minerals.
- Transport for London surface transport. (2006). **DTO Modelling Guidelines Traffic Schemes in London Urban Networks**. London: Transport for London surface transport.
- Transportation Research Board. (2000). **Highway Capacity Manual (CHAPTER 15 URBAN STREETS)**. 4th ed. Washington D.C., USA.: National Research Council.
- Taylor, M., & Stazic, B. (2010). **Use of paramics for traffic impact studies**. Australia: University of South Australia.
- Tao M. (2001). **Genetic Algorithm-Based Combinatorial Parametric Optimization for the Calibration of Traffic Microscopic Simulation Models**. Canada: University of Toronto.
- _____. (2000). **Highway Capacity Manual (Chapter 16 signalized Intersections)**. 4th ed. Washington D.C., USA.: National Research Council.
- _____. (2000). **Highway Capacity Manual (Chapter 17 Unsignalized Intersections)**. 4th ed. Washington D.C., USA.: National Research Council.
- _____. (2000). **Highway Capacity Manual**. Washington D.C., USA.: National Research Council.
- Trent L., Varanesh S., Brian H., Peter D., & Suchi Sanagavarapu. (2009). **Microsimulation Model Design in Lower Manhattan: A Street Management Approach**. New York: [n.p.].
- TSS-Transport Simulation Systems. (2009). **Aimsun 6 The integrated transport modelling software**. ค้นเมื่อ 20 มกราคม 2553, จาก <http://www.aimsun.com>.
- US Department of Transportation. (2002). **Appendix B - Impacts Analysis Tools**. ค้นเมื่อ 26 เมษายน 2553, จาก http://ops.fhwa.dot.gov/wz/resources/final_rule/wzi_guide/appb.html

- Visual Solutions, Incorporated. (2009). **Vissim Product**. ค้นเมื่อ 20 มกราคม 2553,
จาก <http://www.vissim.com/products/vissim.html>
- Wan, B. (2002). **Empirical comparison of simulation models with different input data structure**. Carolina: North Carolina State University.
- Zhi, T. Y., Long, C. R., & Horng, L, D. (2005). Comparison of paramics and getram/aimsun for its simulations. **Journal of The Institution of Engineers Singapore, 45(2)**.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
แบบฟอร์มการสำรวจข้อมูลด้านการจราจร

แบบสำรวจปริมาณจราจรบนช่วงถนน (Mid-Block Count)

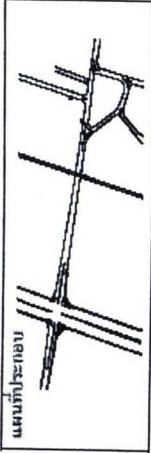
การวิเคราะห์ทางเลือกของระบบการจัดการจราจร ณ บริเวณห้าแยก (ศาลเจ้าพ่อหลักเมือง) จังหวัดขอนแก่น โดยใช้โปรแกรม PARAMICS

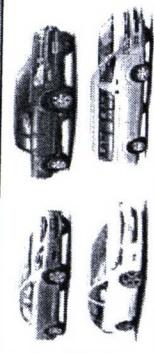
จุดที่สำรวจ

บริเวณ

ผู้สำรวจ

วันที่สำรวจ

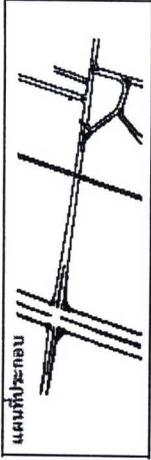


	จักรยานยนต์ 	เบิ่ง / ปิคอัพ / แวน / 10ตู้ 	รถ 6 ล้อ 	รถโดยสารขนาดใหญ่ 	รถบรรทุกขนาดใหญ่ 
07.00-07.15					
07.15-07.30					
07.30-07.45					
07.45-08.00					

แบบสำรวจการเดินทางจากต้นทาง-ปลายทาง (Origin-Destination)

การวิเคราะห์ทางเลือกของระบบการจราจรทางรถ บริเวณท่าแยก (ศาลเจ้าพ่อหลักเมือง) จังหวัดขอนแก่น โดยใช้โปรแกรม PARAMICS

จุดที่สำรวจ บริเวณ
 ผู้สำรวจ วันที่สำรวจ

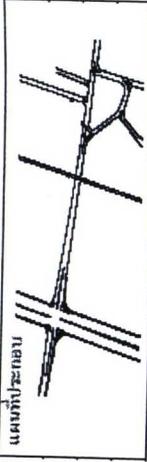


ประเภทยานพาหนะ	จักรยานยนต์		เบาะ / ปิคอัพ / แวน / รถตู้		รถ 6 ล้อ	รถโดยสารขนาดใหญ่	รถบรรทุกขนาดใหญ่
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

From Zone	To Zone			
	1	2	3	4
07.00-07.15				
07.15-07.30				
07.30-07.45				
07.45-08.00				

แบบสำรวจความยาวแถวคอย (Queue Length)

การวิเคราะห์ทางเลือกของระบบการจัดจราจร ณ บริเวณหน้าแยก (ศาลเจ้าพ่อหลักเมือง) จังหวัดขอนแก่น โดยใช้โปรแกรม PARAMICS
 จุดที่สำรวจ บริเวณ
 ผู้สำรวจ วันที่สำรวจ



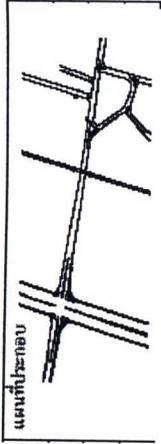
เวลา	จำนวนรถที่หยุดในช่องจราจรที่มีแถวคอยยาวที่สุด (ไม่รวมรถจักรยานยนต์)		
	1-15 วินาที	16-30 วินาที	31-45 วินาที
7.00			46-60 วินาที
7.01			
7.02			
7.03			
7.04			
7.05			
7.06			
7.07			
7.08			
7.09			
7.10			
7.11			
7.12			
7.13			
7.14			
7.15			
7.16			
7.17			
7.18			
7.19			
7.20			
7.21			
7.22			

แบบสำรวจสัญญาณไฟจราจร (Traffic Signal)

การวิเคราะห์ทางเลือกของระบบการจราจร (ตามเจ้าพ่อหลักเมือง) จังหวัดขอนแก่น โดยใช้โปรแกรม PARAMICS

จุดที่สำรวจ บริเวณ

ผู้สำรวจ วันที่สำรวจ



ภาพที่เกิด	ประเภทสัญญาณไฟจราจร	ชนิดสัญญาณไฟจราจร	ระบบนำโดยหลักเมือง	เวลาที่เปิดใช้	เวลาที่ปิด	การควบคุมระบบด้วย	
	<input type="radio"/> Fixed Time Signal <input type="radio"/> Actuated Time Signal	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	<input type="radio"/> มี <input type="radio"/> ไม่มี สภาพ <input type="radio"/> ดีมาก <input type="radio"/> ดี <input type="radio"/> ใช้การได้ <input type="radio"/> ชำรุด น. น.	<input type="radio"/> ไม่มี <input type="radio"/> มี เวลา.....	
เฟส				A	B	C	D
เขียว							
เหลือง							
แดงทุกเฟส							
รอบสัญญาณไฟ							

ภาคผนวก ข
ผลการสำรวจข้อมูลด้านการจราจร

ตารางที่ ข.3 ผลการสำรวจปริมาณการเดินทางการเดินรถจากโหนดทางถึงโหนดปลายทาง ช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเย็น (สี่แยกประตูเมือง) (ต่อ)

Time	Motorcycle			Passenger Car			Light Truck			Bus			Heavy Truck			
	1	2	3	A	1	2	3	A	1	2	3	A	1	2	3	A
A	34	71	26	0	65	120	50	0	0	1	1	1	0	0	0	0
1	0	11	26	51	0	17	50	82	0	0	1	0	0	0	0	0
2	10	0	99	63	16	0	160	100	0	0	2	1	0	0	0	0
3	14	102	0	32	27	189	0	63	1	3	0	1	0	1	0	0
A	18	61	22	0	53	107	43	0	0	1	0	0	0	1	1	0
1	0	11	27	53	0	18	51	85	0	0	1	0	0	0	0	0
2	10	0	102	65	17	0	164	104	0	0	2	1	0	0	4	1
3	15	105	0	33	27	194	0	64	1	3	0	1	0	1	0	3
A	19	62	23	0	50	101	44	0	0	1	0	0	0	1	1	0

ตารางที่ ข.5 ผลการสำรวจเวลาในการเดินทาง ช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเช้า

คูโซน	เวลาในการเดินทาง แต่ละครั้งที่ทำการสำรวจ (วินาที)				เวลาในการเดินทาง เฉลี่ย (วินาที)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	จำนวนครั้ง ในการสำรวจ ที่ต้องการ
	1	2	3	4			
4->6	87	94	100	98	95	5.74	3.7
4->7	101	100	95	98	99	2.65	0.7
4->8	106	112	115	110	111	3.77	1.2
6->4	161	165	154	170	163	6.76	1.8
6->7	84	88	79	85	84	3.74	2.0
6->8	89	95	99	102	96	5.62	3.5
7->4	141	148	138	158	146	8.88	3.7
7->6	140	154	143	137	144	7.42	1.2
8->4	136	155	136	138	141	9.22	1.9
8->6	151	128	154	137	143	12.18	3.3
8->7	135	145	156	131	142	11.18	2.8

ตารางที่ ข.6 ผลการสำรวจเวลาในการเดินทาง ช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเย็น

คูโซน	เวลาในการเดินทาง แต่ละครั้งที่ทำการสำรวจ (วินาที)				เวลาในการเดินทาง เฉลี่ย (วินาที)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	จำนวนครั้ง ในการสำรวจ ที่ต้องการ
	1	2	3	4			
4->6	104	114	120	118	114	6.86	3.7
4->7	121	120	116	118	119	2.34	0.4
4->8	127	134	139	132	133	4.92	1.4
6->4	177	173	169	188	177	8.02	2.1
6->7	85	89	80	86	85	3.78	2.0
6->8	93	100	104	107	101	5.90	3.5
7->4	148	155	145	161	152	7.32	2.3
7->6	147	162	150	144	151	7.79	1.2
8->4	162	178	163	167	168	7.40	0.9
8->6	181	155	177	164	169	11.98	2.3
8->7	165	174	179	157	169	9.80	1.5

ตารางที่ ข.7 ผลการสำรวจความเร็วเฉลี่ย ช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเช้า

ช่วงถนนที่	ระยะทาง (เมตร)	เวลาในการเดินทาง แต่ละครั้งที่ทำการสำรวจ (วินาที)				ความเร็ว (กม./ชม.)				ความเร็วเฉลี่ย (กม./ชม.)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	จำนวนครั้งในการ สำรวจที่ต้องการ
		1	2	3	4	1	2	3	4			
1	210	34	42	59	32	22.2	18.0	12.8	23.6	19.2	4.87	3.7
2	210	88	84	99	55	8.6	9.0	7.6	13.7	9.7	2.73	1.2
3	160	26	25	27	26	22.2	23.0	21.3	22.2	22.2	0.70	0.1
4	85	12	12	12	12	25.5	25.5	25.5	25.5	25.5	0.00	0.0
5	80	13	12	14	15	22.2	24.0	20.6	19.2	21.5	2.07	0.7
6	120	28	20	21	22	15.4	21.6	20.6	19.6	19.3	2.71	1.2
7	450	38	38	40	37	42.6	42.6	40.5	43.8	42.4	1.37	0.3
8	450	43	44	46	42	37.7	36.8	35.2	38.6	37.1	1.43	0.3
9	310	26	26	25	24	42.9	42.9	44.6	46.5	44.2	1.71	0.5
10	310	25	26	28	26	44.6	42.9	39.9	42.9	42.6	1.99	0.6
11	150	20	22	21	20	27.0	24.5	25.7	27.0	26.1	1.18	0.2
12	150	16	15	16	15	33.8	36.0	33.8	36.0	34.9	1.30	0.3
13	210	18	19	17	18	42.0	39.8	44.5	42.0	42.1	1.91	0.6
14	210	24	25	26	24	31.5	30.2	29.1	31.5	30.6	1.16	0.2

ตารางที่ ข.8 ผลการสำรวจความเร็วเฉลี่ย ช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเย็น

ช่วง ถนนที่	ระยะทาง (เมตร)	เวลาในการเดินทาง แต่ละครั้งที่ทำการสำรวจ (วินาที)				ความเร็ว (กม./ชม.)				ความเร็วเฉลี่ย (กม./ชม.)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	จำนวนครั้งในการ สำรวจที่ต้องการ
		1	2	3	4	1	2	3	4			
1	210	99	84	86	93	7.6	9.0	8.8	8.1	8.4	0.62	0.1
2	210	36	66	57	37	21.0	11.5	13.3	20.4	16.5	4.89	3.8
3	160	26	25	27	26	22.2	23.0	21.3	22.2	22.2	0.70	0.1
4	85	12	12	13	13	25.5	25.5	23.5	23.5	24.5	1.13	0.2
5	80	13	12	14	14	22.2	24.0	20.6	20.6	21.8	1.63	0.4
6	120	28	22	21	22	15.4	19.6	20.6	19.6	18.8	2.30	0.8
7	450	41	37	41	45	39.5	43.8	39.5	36.0	39.7	3.19	1.6
8	450	47	46	58	42	34.5	35.2	27.9	38.6	34.0	4.45	3.1
9	310	28	30	31	30	39.9	37.2	36.0	37.2	37.6	1.63	0.4
10	310	27	28	34	32	41.3	39.9	32.8	34.9	37.2	4.03	2.6
11	150	21	23	22	21	25.7	23.5	24.5	25.7	24.9	1.08	0.2
12	150	22	24	18	20	24.5	22.5	30.0	27.0	26.0	3.23	1.7
13	210	20	20	19	19	37.8	37.8	39.8	39.8	38.8	1.15	0.2
14	210	28	30	37	26	27.0	25.2	20.4	29.1	25.4	3.69	2.2

ตารางที่ ข.9 ผลการสำรวจความยาวแถวคอยสูงสุด

ขาทางแยก	ชั่วโมงเร่งด่วนเช้า		ชั่วโมงเร่งด่วนเย็น	
	เวลา	ความยาวแถวคอย (คัน)	เวลา	ความยาวแถวคอย (คัน)
1	07.30-07.45	48	16.00-16.15	43
	07.45-08.00	33	16.15-16.30	33
	08.00-08.15	53	16.30-16.45	24
	08.15-08.30	39	16.45-17.00	21
2	07.30-07.45	17	16.00-16.15	9
	07.45-08.00	13	16.15-16.30	13
	08.00-08.15	11	16.30-16.45	8
	08.15-08.30	15	16.45-17.00	6
3	07.30-07.45	5	16.00-16.15	8
	07.45-08.00	7	16.15-16.30	10
	08.00-08.15	7	16.30-16.45	7
	08.15-08.30	6	16.45-17.00	6
4	07.30-07.45	8	16.00-16.15	13
	07.45-08.00	9	16.15-16.30	9
	08.00-08.15	7	16.30-16.45	11
	08.15-08.30	8	16.45-17.00	10
5	07.30-07.45	4	16.00-16.15	12
	07.45-08.00	6	16.15-16.30	6
	08.00-08.15	4	16.30-16.45	6
	08.15-08.30	0	16.45-17.00	1
6	07.30-07.45	7	16.00-16.15	4
	07.45-08.00	7	16.15-16.30	5
	08.00-08.15	7	16.30-16.45	8
	08.15-08.30	7	16.45-17.00	6

ตารางที่ ข.10 ผลการสำรวจความล่าช้าเฉลี่ย

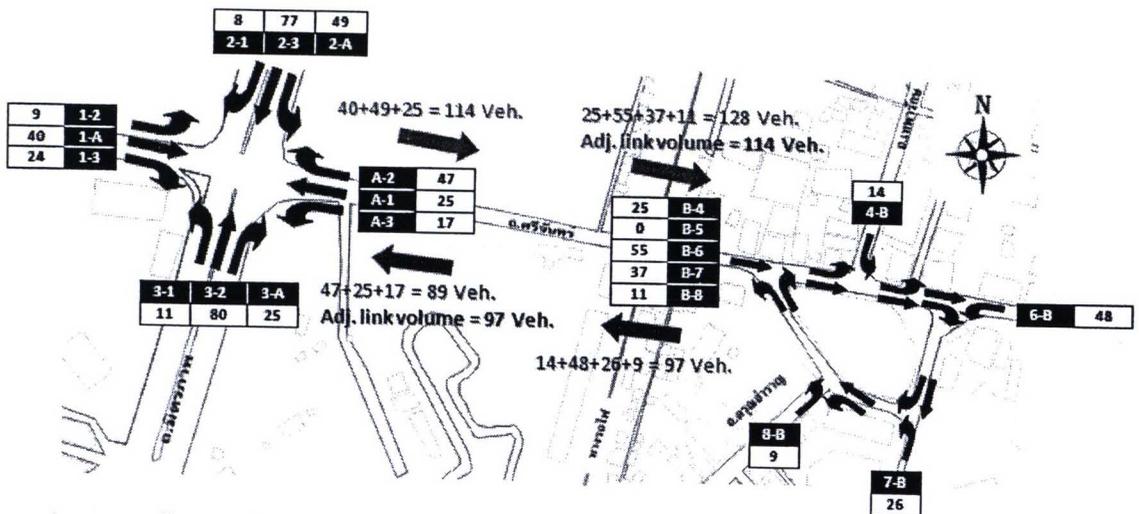
ขาทางแยก	ความล่าช้า (วินาที/คัน)	
	ชั่วโมงเร่งด่วนเช้า (07.30-08.30 น.)	ชั่วโมงเร่งด่วนเย็น (17.00-18.00 น.)
1	28	22
2	16	9
3	20	10
4	7	7
5	0	1
6	18	8

ภาคผนวก ค

ปริมาณการเดินทางจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทางที่ได้ทำการปรับแก้แล้ว

วิธีการปรับแก้ปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทาง (Balanced Origin-Destination Matrix) ออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

(1) ขั้นตอนที่ 1: ปรับเทียบปริมาณจราจรบริเวณจุดเชื่อมต่อ (Adjust Link Volume) เนื่องจากการสำรวจปริมาณจราจรคนละช่วงเวลาทำให้ปริมาณจราจรบริเวณจุดเชื่อมต่อ (โซน A และ โซน B) มีค่าที่ไม่เท่ากัน ต้องทำการปรับเทียบให้ปริมาณจราจรบริเวณจุดเชื่อมต่อมีค่าเท่ากัน ตัวอย่าง : (ใช้ปริมาณการเดินทางในช่วงเวลา 07.00-07.15 น.) ปริมาณจราจรบริเวณจุดเชื่อมต่อที่สำรวจได้จากสี่แยกประตูเมือง (ทำการคำนวณทุกช่วง 15 นาที และคิดโดยแยกประเภทของขบวนรถ) ซึ่งเป็นผลรวมของปริมาณจราจรที่แสดงบนช่วงถนนศรีจันทร์ที่มุ่งตะวันออก (ปริมาณจราจรที่เข้าโซน A) เท่ากับ 114 คัน แตกต่างจากผลรวมของปริมาณจราจรในช่วงถนนเดียวกันที่สำรวจได้จากห้าแยกศาลเจ้าพ่อที่แสดงบนช่วงถนนศรีจันทร์ที่มุ่งตะวันออก (ปริมาณจราจรที่ออกจากโซน B) ซึ่งเท่ากับ 128 คัน ซึ่งต้องทำการปรับเทียบโดยปรับค่าให้เท่ากับปริมาณจราจรที่ออกจากโซนที่ก่อให้เกิดการเดินทาง (โซน 1-A, 2-A และ 3-A) เช่นเดียวกับผลรวมของปริมาณจราจรบริเวณห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมืองที่แสดงบนช่วงถนนศรีจันทร์ที่มุ่งตะวันตก (ปริมาณจราจรที่เข้าโซน B) ที่จะแตกต่างจากผลรวมของปริมาณจราจรบริเวณสี่แยกประตูเมืองที่แสดงบนช่วงถนนศรีจันทร์ที่มุ่งตะวันตก (ปริมาณจราจรที่ออกจากโซน A) - ซึ่งจะทำการปรับค่าปริมาณจราจรด้วยวิธีเช่นเดียวกัน ดังแสดงตัวอย่างการปรับเทียบปริมาณจราจรบริเวณจุดเชื่อมต่อในภาพที่ ค.1



ภาพที่ ค.1 ขั้นตอนที่ 1: ปรับเทียบปริมาณจราจรบริเวณจุดเชื่อมต่อ

(2) ขั้นตอนที่ 2: กระจายปริมาณจราจรเข้าสู่โซน (Distributing Zone Trip) ขั้นตอนนี้เป็น การปรับเทียบปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทางด้วยการกระจายปริมาณการเดินทางเข้าสู่โซนปลายทางทั้งหมด ตามสัดส่วนที่มีการเดินทางจากข้อมูลก่อนการปรับแก้ ซึ่งสามารถคำนวณค่าได้จากสมการที่ ค.1

$$V_{Oi-Dj} = V_{Oi-A,B} \times \frac{(V_{A,B-Dj})}{\sum V_{A,B}} \tag{ค.1}$$

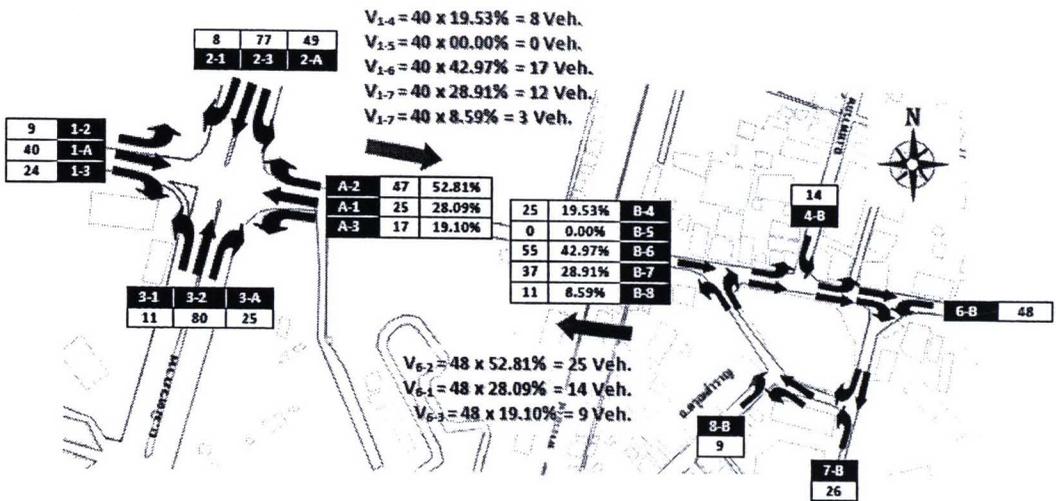
เมื่อ

V_{Oi-Dj} คือ ปริมาณการเดินทางจากโหนดต้นทาง i (Origin, O) ไปยังโหนดปลายทาง j (Destination, D)

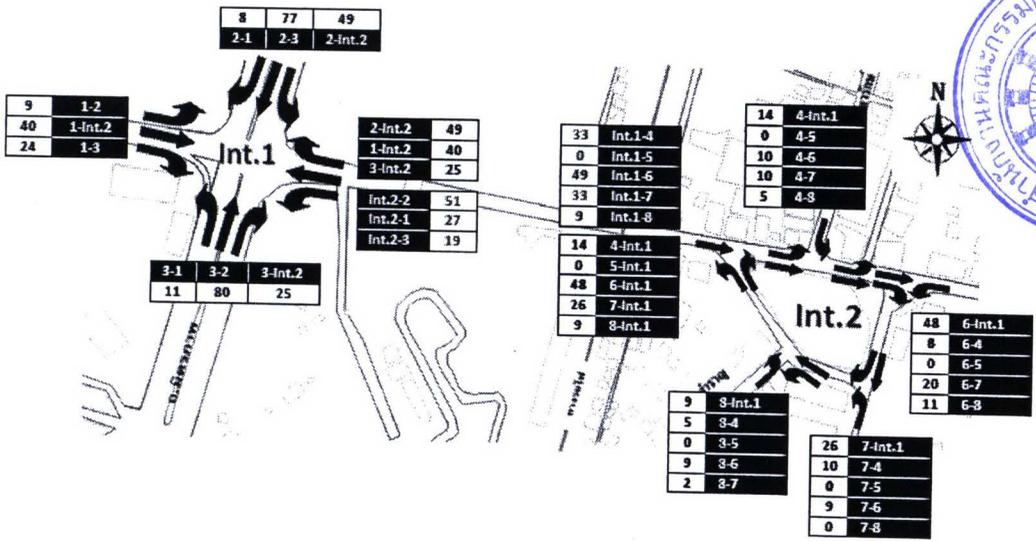
$V_{Oi-A,B}$ คือ ปริมาณการเดินทางจากโหนดต้นทางไปยังโหนดที่เป็นจุดเชื่อมต่อ (ในการศึกษาครั้งนี้ คือ โหนด A, โหนด B)

$(V_{A,B-Dj})$ คือ ปริมาณการเดินทางจากโหนดจุดเชื่อมต่อไปยังโหนดปลายทาง j

ตัวอย่าง: หลังจากทำการปรับเทียบ link volume บนถนนศรีจันทร์ ทิศทางมุ่งตะวันออก จนมีค่าเท่ากัน คือ 114 คัน จากนั้นทำการกระจายปริมาณจราจรจากโหนด B เข้าสู่โหนดปลายทาง (B-4 B-5 B-6 B-7 และ B-8) โดยคิดเป็นสัดส่วนของปริมาณการเดินทางที่เกิดขึ้นก่อนการปรับเทียบ ดังนั้น จะสามารถหาปริมาณการเดินทางจากต้นทางโหนด 1 ไปโหนด 4 ได้จาก $V_{1-4} = V_{1-A} \times (V_{B-4}/V_{B-4}+V_{B-5}+V_{B-6}+V_{B-7}+V_{B-8})$ ซึ่งเท่ากับ $40 \times (25/128) = 8$ คัน และด้วยวิธีการเดียวกันนี้จะสามารถหาปริมาณการเดินทางจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทางได้ทั้งหมดทุกคู่โหนด ดังแสดงตัวอย่างการกระจายปริมาณจราจรเข้าสู่โหนด ภาพที่ ค.2 และภาพที่ ค.3 และตารางการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทาง (O-D Matrix) ดังแสดงในตารางที่ ค.1



ภาพที่ ค.2 ขั้นตอนที่ 2: การกระจายปริมาณจราจรเข้าสู่โหนด

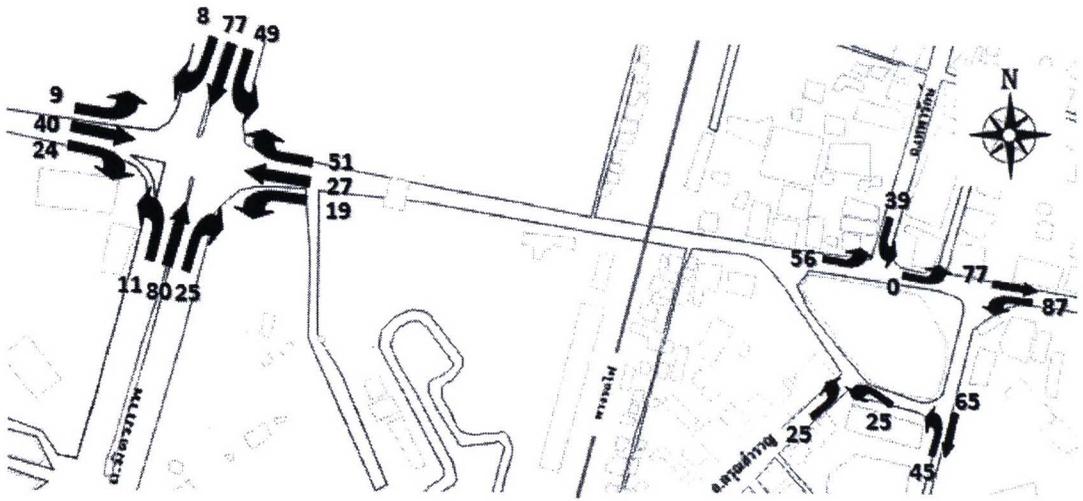


ภาพที่ ค.3 ค่าปริมาณการเดินทางที่ได้ทำการกระจายเข้าสู่โซน

ตารางที่ ค.4 ตัวอย่างการกระจายปริมาณการเดินทางเข้าสู่โซน

Time	To Zone		1	2	3	4	5	6	7	8
	From Zone									
07:00 - 07:15	1	2	0	9	24	8	0	17	12	3
	2	1	8	0	77	10	0	21	14	4
	3	1	11	80	0	5	0	11	7	2
	4	1	4	7	2	0	0	10	10	5
	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	1	12	23	8	8	0	0	20	11
	7	1	7	13	5	10	0	9	0	0
	8	1	2	4	2	5	0	9	2	0

(3) ขั้นตอนที่ 3: ปรับผลรวมของโซนต้นทางและโซนปลายทาง (equal total attractions and total productions) หลังการทำการปรับเทียบและกระจายปริมาณจราจรเข้าสู่ทุกโซน ค่าปริมาณการเดินทางเข้าและออกทุกโซนจะถูกแจกแจงเป็นปริมาณจราจรลงสู่ทางแยก (ภาพที่ ค.5) ทำให้ค่าปริมาณจราจรบริเวณทางแยกมีค่าที่เปลี่ยนแปลงไป จึงต้องทำการปรับเทียบปริมาณจราจรใหม่ให้สอดคล้องกับปริมาณจราจรที่ทางแยก



ภาพที่ ค.5 การแจกจ่ายปริมาณการเดินทางลงบนทางแยกที่เข้าสู่โซนและออกจากโซน

ตัวอย่าง: เมื่อพิจารณาที่โซน 4 จะได้ค่าปริมาณจราจรที่เข้าสู่โซน 4 จากปริมาณจราจรบริเวณทางแยก ซึ่งเท่ากับ 56 คัน (From TMC_p) โดยค่าที่ได้นี้จะเป็ค่าที่ใช้ในปรับเทียบกับผลรวมของปริมาณการเดินทางที่ออกจากโซน 4 (Total production zone 4) และจะได้ค่าปริมาณจราจรออกจากโซน 4 จากปริมาณจราจรบริเวณทางแยก ซึ่งเท่ากับ 39 คัน (From TMC_A) โดยค่าที่ได้นี้จะเป็ค่าที่ใช้ในปรับเทียบกับผลรวมของปริมาณการเดินทางที่เข้าสู่โซน 4 (Total attraction zone 4) ดังแสดงในตารางที่ ค.2

ตารางที่ ค.2 การปรับผลรวมของโซนต้นทางและโซนปลายทาง

Time	To Zone		1	2	3	4	5	6	7	8	Total Production	Final Target	Delta	From TMC _p
	From Zone													
07:00 - 07:15	1		0	9	24	8	0	17	12	3	73			73
	2		8	0	77	10	0	21	14	4	134			134
	3		11	80	0	5	0	11	7	2	116			116
	4		2	7	2	0	0	10	10	5	36	1. Total Production		39
	5		0	0	0	0	0	0	0	0	0	2. From TMC _a		0
	6		7	23	8	8	0	0	0	20	11	78		87
	7		4	13	5	10	0	9	0	0	0	40		45
	8		1	4	2	5	0	4	2	0	0	18		20
Total Attraction		34	136	118	45	0	72	65	26		1. Total Attraction			519
Final Target					Attraction									
Delta														
Form TMC _a		34	136	118	44	0	69	63	25	25	490			

2. From TMC_a

(4) ขั้นตอนที่ 4: ปรับแก้ตารางปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทาง (Balanced Origin-Destination Matrix) ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้ายซึ่งใช้กระบวนการ Iterative Proportional Fitting (IPF) ซึ่งวิธีการ IPF เป็นการปรับแก้ค่าแต่ละช่องของตารางปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทางโดยผ่านกระบวนการทำซ้ำ (Iterations) จนกว่าค่าผลรวมของปริมาณการก่อให้เกิดการเดินทาง (Total production) และผลรวมของปริมาณการดึงดูดการเดินทาง (Total attraction) ของแต่ละโซนจะเท่ากับปริมาณจราจรบริเวณทางแยกที่ได้จากการคำนวณค่าในขั้นตอนที่ 3

สำหรับขั้นตอนแรกของการทำซ้ำในวิธี IPF ต้องคำนวณหาปริมาณการเดินทางเป้าหมาย (Final Target) ซึ่ง Production จะกำหนดค่าให้เท่ากับ From TMC_p ส่วนค่าของ Attraction จะต้องทำการปรับแก้ค่าให้เท่ากับ Final target ของ Production ดังนั้น Final target ของ Attraction จะได้จากการคูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์ที่เกิดจากสัดส่วนของความแตกต่างระหว่างผลรวม TMC_p และ TMC_A โดยยึดค่าผลรวมปริมาณจราจรที่ทางแยกของโซนที่ก่อให้เกิดการเดินทางเป็นค่าคงที่ก่อนปรับแก้ค่า TMC_A ให้ค่าผลรวมทั้งสองค่าเท่ากัน จากนั้นทำการคำนวณค่าความแตกต่าง (Delta) ระหว่าง From TMC กับ Final Target ซึ่งจะเป็นสัดส่วนค่าที่ต้องบวกเพิ่มหรือลบออกจาก total production และ total attraction ต่อจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการทำซ้ำซึ่งจะเริ่มจากการปรับแก้ Production ก่อนแล้วจึงปรับแก้ Attraction กระบวนการจะซ้ำไปเรื่อยๆ โดยสลับการปรับแก้ระหว่างผลรวมของ Attraction กับผลรวมของ Production จนกระทั่งได้ค่าความแตกต่างที่น้อยที่สุดที่ยอมรับได้ ทั้งนี้ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2 คั่น หรือทำซ้ำอย่างน้อย 30 รอบ (Bertini et al., 2002)

ตัวอย่าง: เมื่อพิจารณาที่โซน 4 จะสามารถคำนวณค่าปริมาณการเดินทางเป้าหมาย (Final Target) ซึ่งค่าของปริมาณการเดินทางที่ออกจากโซนเป้าหมายเริ่มต้น จะเท่ากับ 56 คั่น (เท่ากับค่าปริมาณจราจรที่ทางแยก) ส่วนค่าปริมาณการเดินทางที่เข้าสู่โซนเป้าหมายเริ่มต้น จะต้องทำการปรับแก้ซึ่งได้จากการคูณสัมประสิทธิ์ที่เกิดจากความแตกต่างระหว่าง TMC_p และ TMC_A (ยกเว้นค่าที่เป็น 0 ไม่ต้องปรับแก้) ดังนั้นจะได้ค่า From TMC_p = Final target (Production) = 514 คั่น ค่า From TMC_A = 490 คั่น และทำการปรับแก้จะได้ Final target (Attraction) Zone 4 = $44 \times (514/490) = 46.2 \sim 46$ คั่น และสามารถหาปริมาณการเดินทางเป้าหมายของโซนอื่น ๆ จากการปรับแก้ในลักษณะเดียวกัน

การหาค่า Delta production = From final target production - TMC_p = 39 - 39 = 0
 หาค่า Delta attraction = From final target attraction - TMC_A = 44 - 46 = -2 จากนั้นเริ่มกระบวนการทำซ้ำโดยปรับแก้ Production ก่อนแล้วจึงทำการปรับแก้ Attraction ซึ่งสามารถคำนวณค่าได้จากสมการที่ ค.2

$$adj.O_i - D_j = unadj.O_i - D_j + \left[\frac{(unadj.O - D_{i-j})}{\sum (unadj.O - D_{i-j})} \times Delta \right] \quad (ค.2)$$

เมื่อ

$adj.O_i - D_j$ คือ ปริมาณการเดินทางจากโหนดต้นทาง i ถึงปลายทาง j ที่ปรับแก้แล้ว

$unadj.O_i - D_j$ คือ ปริมาณการเดินทางจากโหนดต้นทาง i ถึงปลายทาง j ที่ยังไม่ได้ทำการปรับแก้

$Delta$ คือ ค่าปรับแก้ (Final Target - TMC)

ตัวอย่าง: เมื่อพิจารณาที่โหนด 4 จะสามารถคำนวณปริมาณจราจรจากโหนด 4 ไปโหนด 1 เท่ากับ $2 + ((2/38) \times 0) = 2$ (ไม่มีค่าการปรับแก้เนื่องจากผลต่างเป็น 0) โดยในโหนดอื่นๆ สามารถคำนวณได้ด้วยวิธีเช่นเดียวกันนี้ แล้วจึงปรับแก้ Attraction กระบวนการจะเข้าไปเรื่อยๆ โดยสลับการปรับแก้ระหว่างผลรวมของ Attraction กับผลรวมของ Production จนกระทั่งได้ค่าความแตกต่างที่น้อยที่สุดที่ยอมรับได้ โดยตารางที่ ค.4 และตารางที่ ค.5 ถึงตารางที่ ค.6 แสดงการปรับแก้ปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทางและตารางปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทางที่ได้ทำการปรับแก้จนอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้

ตารางที่ ค.4 ตัวอย่างการปรับแก้ปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทาง

Time	To Zone	1	2	3	4	5	6	7	8	Total Production	Final Target	Delta	From TMC _P
07:00 - 07:15	From Zone												
	1	0	9	24	8	0	17	12	3	73	73	1. Final Target 73	
	2	8	4. Adj. C-D	10	0	21	14	4		134	134	1. Production = From 4	
	3	17	4 + ((A/38) x 0)	5	0	11	7	2		116	116	TMC _P	116
	4	2	7	3	0	0	11	11	5	39	39	39	39
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	8	26	9	9	0	0	22	12	87	87	0	87
	7	5	14	5	11	0	10	0	0	45	45	0	45
	8	2	5	2	5	0	4	2	0	20	20	0	20
	Total	36	141	120	48	0	74	68	27	514	514	2. Balance 519	8
Attraction						3. From TMC _A							
Final Target	36	143	124	46	6	73	66	27	514	514			
Delta	0	2	4	-2	0	-1	-2	-1	0	0			
Form TMC _A	34	136	118	44	0	69	63	25	490	490			

ตารางที่ ค.5 ตัวอย่างตารางการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทาง ปรับแก้รอบที่

Time	To Zone		1	2	3	4	5	6	7	8	Total Production	Final Target	Delta	
	From Zone													
07:00 - 07:15	1		0	9	25	8	0	17	11	3	73	73	0	
	2		8	0	80	9	0	21	14	4	135	134	-1	
	3		11	81	0	5	0	11	7	2	116	116	0	
	4		2	7	3	0	0	11	10	5	39	39	0	
	5		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	6		8	26	10	9	0	0	0	22	12	86	87	1
	7		5	14	5	11	0	10	0	0	0	45	45	0
	8		2	5	2	5	0	4	2	0	0	20	20	0
	Total		36	143	124	46	0	73	66	27	514	514	0	
	Attraction													
	Final Target		36	143	124	46	0	73	66	27	514			
	Delta		0	0	0	0	0	0	0	0	490			

ภาคผนวก ง

ASCII Text File สำหรับใช้พัฒนาแบบจำลองในโปรแกรม PARMICS

ง.1 ASCII Text file ที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองฐาน

Busroutes File

bus route count 8

number "1"

service: "New Service"

max number: 10

type 6

use service colour

timetable 1

release time 16:20:00 starting occupancy 100

node 52

busstop 1

dwell time mode 1

min stop time 00:00:00

passenger frequency 0 per hour

alight 0 percent

pay time 0

start

node 3

busstop 2

dwell time mode 1

min stop time 00:00:00

passenger frequency 0 per hour

alight 0 percent

pay time 0

end

node 42

number "2"

service: "New Service"

max number: 10

type 6

use service colour

timetable 2

release time 07:50:00 starting occupancy 100

release time 08:25:00 starting occupancy 100

node 42

busstop 3

dwell time mode 1

min stop time 00:00:00

passenger frequency 0 per hour

alight 0 percent

pay time 0

start

node 3

busstop 4

dwell time mode 1

min stop time 00:00:00

passenger frequency 0 per hour

alight 0 percent

pay time 0
end

node 52

number "3"

service: "New Service"

max number: 10

type 7

service colour 0x00ffff55

use service colour

timetable 6

release time 07:20:00 starting occupancy 10

release time 07:30:00 starting occupancy 10

release time 07:45:00 starting occupancy 10

release time 08:00:00 starting occupancy 10

release time 08:15:00 starting occupancy 10

release time 08:30:00 starting occupancy 10

node 110

busstop 9

dwelt time mode 1

min stop time 00:00:00

passenger frequency 0 per hour

alight 0 percent

pay time 0

start

node 6

node 10

node 20

node 79

node 46

node 47

node 55

node 90

node 36

node 51

node 37

node 3

node 2

node 18

node 49

node 43

node 26

busstop 10

dwelt time mode 1

min stop time 00:00:00

passenger frequency 0 per hour

alight 0 percent

pay time 0

end

node 1

number "4"

```
service: "New Service"  
max number: 10  
type 7  
service colour 0x00ffff55  
use service colour  
timetable 5  
    release time 07:30:00 starting occupancy 10  
    release time 07:45:00 starting occupancy 10  
    release time 08:00:00 starting occupancy 10  
    release time 08:15:00 starting occupancy 10  
    release time 08:30:00 starting occupancy 10  
node 1  
    busstop 11  
    dwell time mode 1  
    min stop time 00:00:00  
    passenger frequency 0 per hour  
    alight 0 percent  
    pay time 0  
    start  
node 26  
node 43  
node 49  
node 59  
node 44  
node 40  
node 41  
node 24  
node 23  
node 34  
node 27  
node 8  
node 7  
node 2  
node 3  
node 37  
node 51  
node 36  
node 90  
node 55  
node 47  
node 46  
node 79  
node 20  
node 10  
node 6  
    busstop 12  
    dwell time mode 1  
    min stop time 00:00:00  
    passenger frequency 0 per hour  
    alight 0 percent  
    pay time 0  
    end  
node 110
```

number "5"
service: "New Service"
max number: 10
type 7
service colour 0x00ffff55
use service colour
timetable 1
 release time 07:55:00 starting occupancy 10
node 98
 busstop 5
 dwell time mode 1
 min stop time 00:00:00
 passenger frequency 0 per hour
 alight 0 percent
 pay time 0
 start
node 45
node 54
node 16
node 62
node 47
node 95
node 83
node 85
node 86
node 87
node 88
node 91
node 93
 busstop 6
 dwell time mode 1
 min stop time 00:00:00
 passenger frequency 0 per hour
 alight 0 percent
 pay time 0
 end
node 106

number "6"
service: "New Service"
max number: 10
type 7
service colour 0x00ffff55
use service colour
timetable 1
 release time 08:00:00 starting occupancy 10
node 109
 busstop 7
 dwell time mode 1
 min stop time 00:00:00
 passenger frequency 0 per hour
 alight 0 percent

pay time 0

start

node 94

node 96

node 99

node 100

node 101

node 50

node 104

node 97

node 47

node 69

node 78

node 58

node 56

busstop 8

dwell time mode 1

min stop time 00:00:00

passenger frequency 0 per hour

alight 0 percent

pay time 0

end

node 105

number "7"

service: "New Service"

max number: 10

type 7

service colour 0x00ffff55

use service colour

timetable 7

release time 07:25:00 starting occupancy 10

release time 07:35:00 starting occupancy 10

release time 07:45:00 starting occupancy 10

release time 07:55:00 starting occupancy 10

release time 08:05:00 starting occupancy 10

release time 08:15:00 starting occupancy 10

release time 08:25:00 starting occupancy 10

node 65

busstop 14

dwell time mode 1

min stop time 00:00:00

passenger frequency 0 per hour

alight 0 percent

pay time 0

start

node 25

node 31

node 32

node 33

node 41

node 24

node 23

node 34
node 27
node 8
node 18
node 49
node 43
node 26

busstop 10
dwell time mode 1
min stop time 00:00:00
passenger frequency 0 per hour
alight 0 percent
pay time 0
end

node 1

number "8"
service: "New Service"
max number: 10
type 7
service colour 0x00ffff55
use service colour
timetable 7

release time 07:25:00 starting occupancy 10
release time 07:35:00 starting occupancy 10
release time 07:45:00 starting occupancy 10
release time 07:55:00 starting occupancy 10
release time 08:05:00 starting occupancy 10
release time 08:15:00 starting occupancy 10
release time 08:25:00 starting occupancy 10

node 1

busstop 11
dwell time mode 1
min stop time 00:00:00
passenger frequency 0 per hour
alight 0 percent
pay time 0
start

node 26
node 43
node 49
node 59
node 44
node 32
node 31
node 25

busstop 13
dwell time mode 1
min stop time 00:00:00
passenger frequency 0 per hour
alight 0 percent
pay time 0
end

node 65

busstops File

1 52:3 747.5 m "PT stop 1"
 2 3:42 14.2 m "PT stop 2"
 3 42:3 1065.5 m "PT stop 3"
 4 3:52 10.0 m "PT stop 4"
 5 98:45 -0.0 m "PT stop 5"
 6 93:106 1.9 m "PT stop 6"
 7 109:94 0.8 m "PT stop 7"
 8 56:105 1.4 m "PT stop 8"
 9 110:6 0.0 m "PT stop 9"
 10 26:1 0.0 m "PT stop 10"
 11 1:26 0.0 m "PT stop 11"
 12 6:110 0.1 m "PT stop 12"
 13 25:65 0.4 m "PT stop 13"
 14 65:25 -0.0 m "PT stop 14"

Categories File

categories 1 to 6

category 1 lanes 1 speed 40 kph width 3.5 m colour 0x0000ff00 type urban major
 median width 0.0 m signpost 250.0 m,1.0 m

category 2 lanes 2 speed 40 kph width 7.0 m colour 0x0000ff00 type urban major
 median width 0.0 m signpost 250.0 m,1.0 m

category 3 lanes 3 speed 40 kph width 11.0 m colour 0x0000ff00 type urban major
 median width 0.0 m signpost 250.0 m,1.0 m

category 4 lanes 4 speed 80 kph width 14.6 m colour 0x0000ff00 type highway major
 median width 0.0 m signpost 750.0 m,2.0 m

category 5 lanes 5 speed 80 kph width 18.3 m colour 0x0000ff00 type highway major
 median width 1.0 m signpost 750.0 m,2.0 m

category 6 lanes 6 speed 60 kph width 18.0 m colour 0x0000ff00 type urban major
 median width 1.5 m signpost 250.0 m,1.0 m

Configuration File

start time 07:15:00
 simulation time 01:15:00
 demand weight 100.0
 seed 5555
 demand matrix tuning level 0
 generator 0
 loop length 2.000 m
 speed memory 5
 closest origin carpark disabled
 closest destination carpark enabled
 file time "-"
 curve speed factor 1.000

amber time 3.000
 red time 5.000
 speed drift 5
 maximum diversion 300
 left hand drive
 units metric
 timestep detail 5
 mean headway 1.100
 mean reaction time 0.600
 gap 2.000 m
 cost coefficients 1.000, 0.000 mins per km, 0.000
 queue speed 7.200 kph
 queue distance 10.000 m
 weight heavy 3.000 tonne
 feedback 00:00:00
 feedback smoothing factor 0.500
 feedback decay factor 0.995
 perturbation disabled

demand.1 file

demand period 1
 matrix count 5
 divisor 1.00

matrix 1

from 1 0 4 10 4 0 8 5 1 ## 32
 from 2 4 0 36 4 0 9 6 2 ## 61
 from 3 5 37 0 2 0 5 3 1 ## 53
 from 4 1 3 1 0 0 5 5 2 ## 17
 from 5 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
 from 6 4 12 4 4 0 0 9 5 ## 38
 from 7 2 7 3 5 0 5 0 0 ## 22
 from 8 1 2 1 2 0 2 1 0 ## 9

total 17 65 55 21 0 34 29 11 ## 232

matrix 2

from 1 0 19 53 18 0 37 26 8 ## 161
 from 2 18 0 172 22 0 46 31 9 ## 298
 from 3 29 203 0 13 0 28 19 6 ## 298
 from 4 5 10 4 0 1 12 12 6 ## 50
 from 5 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
 from 6 24 48 20 14 0 0 23 16 ## 145
 from 7 15 31 13 16 0 16 0 1 ## 92
 from 8 6 11 5 8 0 7 3 0 ## 40

total 97 322 267 91 1 146 114 46 ## 1084

matrix 3

from 1 0 0 2 0 0 0 0 0 ## 2

```

from 2 0 0 6 0 0 1 1 0 ## 8
from 3 2 6 0 0 0 1 1 0 ## 10
from 4 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 5 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 6 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 7 0 2 0 0 0 0 0 0 ## 2
from 8 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0

```

```
## total 2 8 8 0 0 2 2 0 ## 22
```

matrix 4

```

from 1 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 2 0 0 10 1 0 1 0 0 ## 12
from 3 0 3 0 4 0 4 0 0 ## 11
from 4 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 5 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 6 0 3 3 0 0 0 0 0 ## 6
from 7 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 8 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0

```

```
## total 0 6 13 5 0 5 0 0 ## 29
```

matrix 5

```

from 1 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 2 0 0 9 0 0 0 0 0 ## 9
from 3 3 6 0 0 0 0 0 0 ## 9
from 4 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 5 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 6 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 7 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 8 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0

```

```
## total 3 6 9 0 0 0 0 0 ## 18
```

demand.2 file

demand period 2

matrix count 5

divisor 1.00

matrix 1

```

from 1 0 5 12 4 0 9 6 2 ## 38
from 2 4 0 44 5 0 11 8 2 ## 74
from 3 6 45 0 3 0 6 4 1 ## 65
from 4 1 4 1 0 0 6 6 2 ## 20
from 5 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 6 5 14 5 5 0 0 11 6 ## 46
from 7 3 8 3 6 0 5 0 0 ## 25
from 8 1 3 1 3 0 2 1 0 ## 11

```

```
## total 20 79 66 26 0 39 36 13 ## 279
```

matrix 2

from 1 0 24 65 21 0 46 31 9 ## 196
 from 2 21 0 209 26 0 56 38 11 ## 361
 from 3 35 247 0 16 0 34 23 7 ## 362
 from 4 6 11 5 0 1 14 14 6 ## 57
 from 5 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
 from 6 29 55 25 17 0 0 28 20 ## 174
 from 7 18 35 16 20 0 19 0 1 ## 109
 from 8 7 13 6 10 0 8 4 0 ## 48

total 116 385 326 110 1 177 138 54 ## 1307

matrix 3

from 1 0 0 2 1 0 1 1 0 ## 5
 from 2 2 0 6 1 0 1 1 0 ## 11
 from 3 2 6 0 1 0 1 1 0 ## 11
 from 4 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
 from 5 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
 from 6 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
 from 7 0 1 1 0 0 0 0 0 ## 2
 from 8 0 1 1 0 0 0 0 0 ## 2

total 4 8 10 3 0 3 3 0 ## 31

matrix 4

from 1 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
 from 2 0 0 13 2 0 1 0 0 ## 16
 from 3 0 3 0 6 0 4 0 0 ## 13
 from 4 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
 from 5 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
 from 6 0 3 3 0 0 0 0 0 ## 6
 from 7 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
 from 8 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0

total 0 6 16 8 0 5 0 0 ## 35

matrix 5

from 1 0 3 3 0 0 0 0 0 ## 6
 from 2 0 0 6 0 0 0 0 0 ## 6
 from 3 3 9 0 0 0 0 0 0 ## 12
 from 4 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
 from 5 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
 from 6 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
 from 7 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
 from 8 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0

total 3 12 9 0 0 0 0 0 ## 24

demand.3 file

demand period 3

matrix count 5

divisor 1.00

matrix 1

```

from 1 0 5 13 4 0 10 6 2 ## 40
from 2 4 0 45 5 0 11 8 2 ## 75
from 3 6 45 0 3 0 6 4 1 ## 65
from 4 1 4 2 0 0 7 7 3 ## 24
from 5 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 6 5 15 6 6 0 0 13 8 ## 53
from 7 3 8 3 7 0 7 0 0 ## 28
from 8 1 3 1 3 0 3 1 0 ## 12

```

```
## total 20 80 70 28 0 44 39 16 ## 297
```

matrix 2

```

from 1 0 24 66 21 0 46 32 9 ## 198
from 2 22 0 213 26 0 56 38 11 ## 366
from 3 36 250 0 16 0 35 24 7 ## 368
from 4 6 13 5 0 1 17 17 8 ## 67
from 5 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 6 32 63 26 20 0 0 34 24 ## 199
from 7 20 40 16 24 0 23 0 1 ## 124
from 8 7 15 6 12 0 9 4 0 ## 53

```

```
## total 123 405 332 119 1 186 149 60 ## 1375
```

matrix 3

```

from 1 0 0 2 1 0 1 1 0 ## 5
from 2 2 0 6 1 0 1 1 0 ## 11
from 3 2 8 0 1 0 1 1 0 ## 13
from 4 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 5 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 6 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 7 0 2 2 0 0 0 0 0 ## 4
from 8 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0

```

```
## total 4 10 10 3 0 3 3 0 ## 33
```

matrix 4

```

from 1 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 2 0 0 13 2 0 1 0 0 ## 16
from 3 0 3 0 6 0 4 0 0 ## 13
from 4 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 5 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0

```

```

from 6 0 1 1 0 0 0 0 0 ## 2
from 7 0 1 1 0 0 0 0 0 ## 2
from 8 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0

## total 0 5 15 8 0 5 0 0 ## 33

```

```

matrix 5
from 1 0 3 3 0 0 0 0 0 ## 6
from 2 0 0 6 0 0 0 0 0 ## 6
from 3 3 6 0 0 0 0 0 0 ## 9
from 4 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 5 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 6 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 7 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 8 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0

## total 3 9 9 0 0 0 0 0 ## 21

```

demand.4 file
demand period 4
matrix count 5
divisor 1.00

```

matrix 1
from 1 0 5 14 5 0 10 7 2 ## 43
from 2 5 0 49 6 0 13 9 2 ## 84
from 3 7 50 0 3 0 7 4 1 ## 72
from 4 2 4 2 0 0 6 6 3 ## 23
from 5 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 6 6 16 6 5 0 0 12 7 ## 52
from 7 3 9 3 6 0 6 0 0 ## 27
from 8 1 3 1 3 0 2 1 0 ## 11

## total 24 87 75 28 0 44 39 15 ## 312

```

```

matrix 2
from 1 0 26 73 24 0 51 35 10 ## 219
from 2 24 0 234 29 0 62 42 12 ## 403
from 3 40 275 0 18 0 38 26 7 ## 404
from 4 6 13 5 0 1 16 16 8 ## 65
from 5 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 6 31 65 26 19 0 0 32 23 ## 196
from 7 20 41 17 23 0 21 0 1 ## 123
from 8 7 15 6 12 0 10 4 0 ## 54

## total 128 435 361 125 1 198 155 61 ## 1464

```

```

matrix 3
from 1 0 2 2 1 0 1 1 0 ## 7
from 2 2 0 6 1 0 1 1 0 ## 11

```

```

from 3 2 8 0 1 0 1 1 0 ## 13
from 4 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 5 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 6 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 7 0 3 1 0 0 0 0 0 ## 4
from 8 0 1 1 0 0 0 0 0 ## 2

```

```
## total 4 14 10 3 0 3 3 0 ## 37
```

matrix 4

```

from 1 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 2 0 0 13 2 0 1 0 0 ## 16
from 3 0 3 0 6 0 4 0 0 ## 13
from 4 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 5 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 6 0 1 1 0 0 0 0 0 ## 2
from 7 0 1 1 0 0 0 0 0 ## 2
from 8 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0

```

```
## total 0 5 15 8 0 5 0 0 ## 33
```

matrix 5

```

from 1 0 3 3 0 0 0 0 0 ## 6
from 2 0 0 6 0 0 0 0 0 ## 6
from 3 3 9 0 0 0 0 0 0 ## 12
from 4 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 5 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 6 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 7 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 8 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0

```

```
## total 3 12 9 0 0 0 0 0 ## 24
```

demand.5 file

demand period 5

matrix count 5

divisor 1.00

matrix 1

```

from 1 0 4 11 4 0 8 6 2 ## 35
from 2 4 0 39 5 0 10 7 2 ## 67
from 3 6 40 0 2 0 5 4 1 ## 58
from 4 2 4 1 0 0 6 6 2 ## 21
from 5 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 6 6 13 5 5 0 0 11 6 ## 46
from 7 3 7 3 5 0 5 0 0 ## 23
from 8 1 3 1 3 0 3 1 0 ## 12

```

```
## total 22 71 60 24 0 37 35 13 ## 262
```

matrix 2

```

from 1 0 21 58 19 0 41 28 8 ## 175
from 2 20 0 188 23 0 50 34 10 ## 325
from 3 32 222 0 14 0 30 21 6 ## 325
from 4 6 11 4 0 1 13 14 6 ## 55
from 5 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 6 30 54 22 16 0 0 27 19 ## 168
from 7 19 34 14 19 0 18 0 1 ## 105
from 8 7 12 5 10 0 9 3 0 ## 46

```

```
## total 114 354 291 101 1 161 127 50 ## 1199
```

matrix 3

```

from 1 0 0 2 1 0 1 1 0 ## 5
from 2 2 0 6 1 0 1 1 0 ## 11
from 3 2 6 0 1 0 1 1 0 ## 11
from 4 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 5 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 6 0 1 1 0 0 0 0 0 ## 2
from 7 0 1 1 0 0 0 0 0 ## 2
from 8 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0

```

```
## total 4 8 10 3 0 3 3 0 ## 31
```

matrix 4

```

from 1 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 2 0 0 10 1 0 1 0 0 ## 12
from 3 0 3 0 4 0 4 0 0 ## 11
from 4 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 5 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 6 0 3 3 0 0 0 0 0 ## 6
from 7 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 8 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0

```

```
## total 0 6 13 5 0 5 0 0 ## 29
```

matrix 5

```

from 1 0 3 3 0 0 0 0 0 ## 6
from 2 0 0 6 0 0 0 0 0 ## 6
from 3 3 6 0 0 0 0 0 0 ## 9
from 4 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 5 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 6 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 7 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0
from 8 0 0 0 0 0 0 0 0 ## 0

```

```
## total 3 9 9 0 0 0 0 0 ## 21
```

Detectors file

loop "D1" at 40.1 m on link 27:8 length 2.0 m

loop "D2" at 14.0 m on link 49:59 length 2.0 m

loop "D3" at 20.0 m on link 36:51 length 2.0 m
 loop "D4" at 16.3 m on link 51:36 length 2.0 m
 loop "D5" at 474.9 m on link 52:3 length 2.0 m
 loop "D6" at 915.3 m on link 42:3 length 2.0 m
 loop "D7" at 49.6 m on link 19:9 length 2.0 m
 loop "D8" at 46.6 m on link 91:93 length 2.0 m
 loop "D9" at 64.3 m on link 57:39 length 2.0 m
 loop "D10" at 62.2 m on link 58:56 length 2.0 m

linktypes file

linktypes: 1 to 7 default

linktype 1: "signalised"
 linktype 2: "unsignalised"
 linktype 3: "2 lane highway"
 linktype 4: "multi lane highway"
 linktype 5: "freeway"
 linktype 6: "ramp"
 linktype 7: "weaving area"

measurement file

sample loop at intervals of 00:15:00
 gather queue counts at intervals of 00:15:00
 gather snapshots at intervals of 00:15:00
 gather turn counts at intervals of 00:15:00
 gather link counts at intervals of 00:15:00
 gather trip counts at intervals of 00:15:00
 gather release counts at intervals of 00:15:00
 gather carpark info at intervals of 00:15:00
 gather analyser data with snapshots at intervals of 00:15:00
 gather speed
 gather signal flow
 gather link delay
 gather economic info
 gather trip info
 gather paths
 group loop data
 loop time seconds
 gather binary
 page length 2422222

phase file

use plan 1 on node 3 phase 1
 with loops
 D5 lane 1
 D6 lane 1

Plan file

plan count 1
 plan 1 definition
 loops 2
 if (init) { variable; }
 if((phase=2) and (count[1]>0))
 {

```

    green1=1;
    green2[1]=100;
    clear[1];
  }
  if((phase=2) and (count[2]>0))
  {
    green1=1;
    green2[1]=120;
    clear[2];
  }

```

Priority file

actions 2

from 7 to 18 barred

actions 18

phase offset 0.00 sec

phase 1

51.00

max 54.00

red phase 5.00

all barred except

from 2 to 49 major

phase 2

25.00

max 40.00

red phase 5.00

all barred except

from 8 to 49 major

actions 21

from 22 to 15 barred

actions 27

from 17 to 8 minor

actions 49

from 43 to 59 minor

actions 70

from 24 to 30 barred

from 64 to 30 minor

actions 15

from 21 to 17 minor

actions 23

from 30 to 34 minor

actions 30

from 70 to 23 minor

actions 32

from 44 to 33 barred

actions 41
 from 33 to 24 minor

actions 3
 phase offset 0.00 sec
 phase 1
 0.00
 max 200.00

red phase 0.00
 fill
 all barred except
 from 42 to 52 major
 from 52 to 42 major
 phase 2
 60.00
 max 200.00

red phase 0.00
 fill
 all barred except
 from 2 to 37 major
 from 37 to 2 major

actions 47
 phase offset 0.00 sec
 phase 1
 51.00
 max 53.00

red phase 5.00
 all barred except
 from 62 to 95 major
 from 97 to 69 major
 from 61 to 72 major
 from 72 to 61 major
 phase 2
 40.00
 max 45.00

red phase 5.00
 all barred except
 from 61 to 46 major
 from 72 to 55 major
 phase 3
 40.00
 max 45.00

red phase 5.00
 all barred except
 from 55 to 61 major
 from 55 to 46 major
 phase 4
 30.00
 max 45.00

red phase 5.00
 all barred except
 from 46 to 55 major

from 46 to 72 major

actions 58
from 78 to 57 barred

actions 85
from 83 to 13 barred

actions 79
from 16 to 83 barred
from 16 to 46 barred
from 46 to 83 barred

actions 90
from 104 to 78 barred
from 104 to 55 barred
from 55 to 78 barred

actions 112
from 74 to 13 barred

actions 68
from 38 to 57 barred

profile file

Demand Profile

Profile Count 1

Profile 1

Period count 5

Divisor 10

Interval 5

period 1 start 07:15:00
333 333 334

period 2 start 07:30:00
333 333 334

period 3 start 07:45:00
333 333 334

period 4 start 08:00:00
333 333 334

period 5 start 08:15:00
333 333 334

Vehicle File

vehicle types

type 1 car

colour 0x000000ff

name "motorcycle"

matrix 1 proportion 100.000 perturbation 5.0 familiarity 85.00

type 2 car

colour 0x00ffffff

name "car"

matrix 2 proportion 100.000 perturbation 5.0 familiarity 85.00

type 3 car

colour 0x0000aa00

name "light truck "

matrix 3 proportion 100.000 perturbation 5.0 familiarity 85.00

type 4 car

colour 0x0000ffff

name "bus"

matrix 4 proportion 100.000 perturbation 5.0 familiarity 85.00

type 5 car

colour 0x00ff0055

name "heavy truck"

matrix 5 proportion 100.000 perturbation 5.0 familiarity 85.00

type 6 bus

length 200.00 m width 2.78 m height 3.87 m weight 20.00 tonne

colour 0x00000055 name "train" capacity 80 entry doors 1 exit doors 1

trailer count 10

(

trailer 1 length 20.00 m

colour 0x0000ff00

trailer 2 length 20.00 m

colour 0x0000ff00

trailer 3 length 20.00 m

colour 0x0000ff00

trailer 4 length 20.00 m

colour 0x0000ff00

trailer 5 length 20.00 m

colour 0x0000ff00

trailer 6 length 20.00 m

colour 0x0000ff00

trailer 7 length 20.00 m

colour 0x0000ff00

trailer 8 length 20.00 m

colour 0x0000ff00

trailer 9 length 20.00 m

colour 0x0000ff00

trailer 10 length 0.10 m

```

        colour 0x0000ff00
    )
    fixed route
type 7 minibus length 4.00 m width 1.60 m height 2.00 m weight 2.00 tonne colour 0x00ffffaa
name "Minibus"
capacity 12 entry doors 1 exit doors 1
fixed route

```

ง.2 ASCII Text file ที่ใช้ในการพัฒนาการกำหนด Bus Priority

Phase file

use plan 2

```

    on node 18 phase 1
    with loops
        B4 lane 3

```

use plan 2

```

    on node 18 phase 2
    with loops
        B4 lane 3

```

use plan 3

```

    on node 18 phase 3
    with loops
        B4 lane 3

```

use plan 4

```

    on node 126 phase 2
    with loops
        BS1 lane 3
        BS6 lane 1

```

use plan 4

```

    on node 128 phase 2
    with loops
        BS4 lane 3
        BS3 lane 1

```

use plan 5

```

    on node 126 phase 2
    with loops
        BS2 lane 1
        BS6 lane 1

```

use plan 5

```

    on node 128 phase 2
    with loops
        BS5 lane 1
        BS3 lane 1

```

use plan 6

```

    on node 47 phase 1
    with loops
        B1 lane 4
        B2 lane 4
        B3 lane 4

```

use plan 6

```

    on node 47 phase 2

```

with loops

B1 lane 4

B2 lane 4

B3 lane 4

use plan 6

on node 47 phase 3

with loops

B1 lane 4

B2 lane 4

B3 lane 4

use plan 6

on node 47 phase 5

with loops

B1 lane 4

B2 lane 4

B3 lane 4

use plan 6

on node 47 phase 6

with loops

B1 lane 4

B2 lane 4

B3 lane 4

use plan 7

on node 47 phase 4

with loops

B1 lane 4

B2 lane 4

B3 lane 4

use plan 8

on node 47 phase 2

with loops

B1 lane 4

B2 lane 4

B3 lane 4

use plan 8

on node 47 phase 3

with loops

B1 lane 4

B2 lane 4

B3 lane 4

use plan 8

on node 47 phase 4

with loops

B1 lane 4

B2 lane 4

B3 lane 4

use plan 8

on node 47 phase 5

with loops

B1 lane 4

B2 lane 4

B3 lane 4

use plan 8

on node 47 phase 6



with loops

B1 lane 4

B2 lane 4

B3 lane 4

use plan 9

on node 47 phase 1

with loops

B1 lane 4

B2 lane 4

B3 lane 4

Plan file

plan count 9

plan 1 definition

loops 2

if (init) { variable;}

if((phase=2) and (count[1]>0))

{

green1=1;

green2[1]=100;

clear[1];

}

if((phase=2) and (count[2]>0))

{

green1=1;

green2[1]=120;

clear[2];

}

plan 2 definition

loops 1

parameters 0

if (init)

{

variable;

}

if ((count [1]) >= 1)

{

green1 = 0;

green2 [3] = 20;

}

plan 3 definition

loops 1

parameters 0

if (init)

{

variable;

}

if (phase = 3)

{

green2 [3] = 0;

clear [1];

}

```

plan 4 definition
loops 2
parameters 0
if (init)
{
variable;
}
if (((count [1]) >= 1) and ((occupancy [2] running ) = 0))
{
    green1 = 0;
    green2 [1] = 10;
    clear [1];
    clear [2];
}

```

```

plan 5 definition
loops 2
parameters 0
if (init)
{
variable;
}
if (((occupancy [1] running ) > 0) and (occupancy [2] running = 0))
{
    green1 = 0;
    green2 [1] = 10;
    clear [1];
    clear [2];
}

```

```

plan 6 definition
loops 3
parameters 0
if (init)
{
variable;
}
if (((count [2] type [8]) + (count [3])) > ((count [2] type [9]) + (count [1])))
{
    green1 = 0;
    green2 [4] = 10;
}

```

```

plan 7 definition
loops 3
parameters 0
if (init)
{
variable;

```

```

}
if (phase = 4)
{
green2 [4] = 0;
clear [1];
clear [2];
clear [3];
}

```

plan 8 definition

loops 3

parameters 0

if (init)

```

{
variable;
}
if (((count [2] type [8]) + (count [3])) < ((count [2] type [9]) + (count [1])))
{
    green1 = 0;
    green2 [1] = 10;
}

```

plan 9 definition

loops 3

parameters 0

if (init)

```

{
variable;
}

```

if (phase = 1)

```

{
green2 [1] = 0;
clear [1];
clear [2];
clear [3];
}

```

Priority file

actions 18

phase offset 0.00 sec

phase 1

37.00

max 137.00

red phase 5.00

all barred except

from 2 to 49 major

phase 2

13.00

max 28.00

red phase 5.00

all barred except

from 8 to 49 major

phase 3

0.00

max 30.00

red phase 0.00

fill

all barred except

from 2 to 49 major

actions 37

from 3 to 71 barred

from 71 to 102 barred

actions 47

phase offset 0.00 sec

phase 1

0.00

max 53.00

red phase 0.00

fill

all barred except

from 62 to 95 major

from 97 to 69 major

from 61 to 72 major

from 72 to 61 major

phase 2

22.00

max 53.00

red phase 5.00

all barred except

from 62 to 95 major

from 97 to 69 major

from 61 to 72 major

from 72 to 61 major

phase 3

20.00

max 45.00

red phase 5.00

all barred except

from 61 to 46 major

from 72 to 55 major

phase 4

0.00

max 53.00

red phase 0.00

fill

all barred except

from 55 to 61 major

from 55 to 46 major

from 61 to 55 major

phase 5

21.00

max 53.00

red phase 5.00

all barred except

from 55 to 61 major
from 55 to 46 major
from 61 to 55 major
phase 6

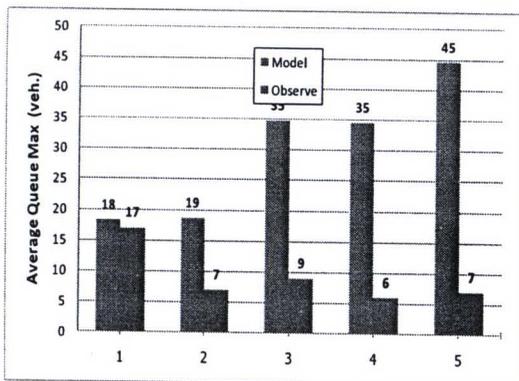
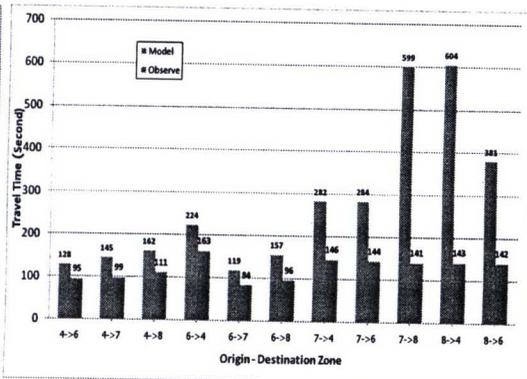
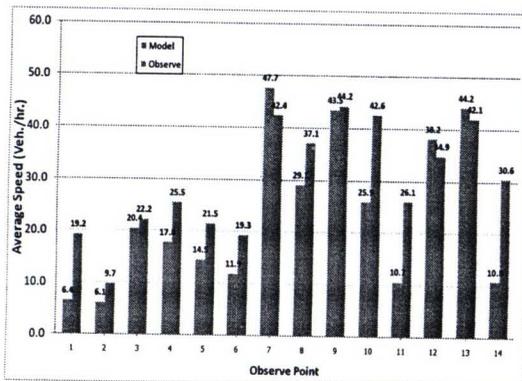
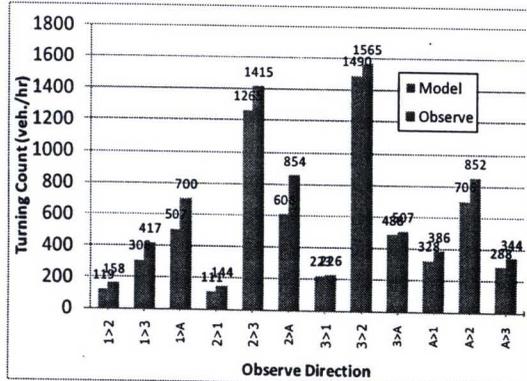
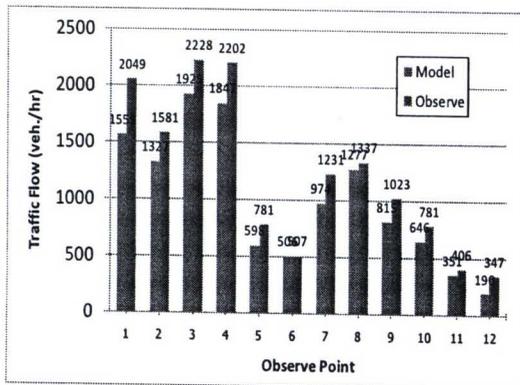
22.00

max 45.00

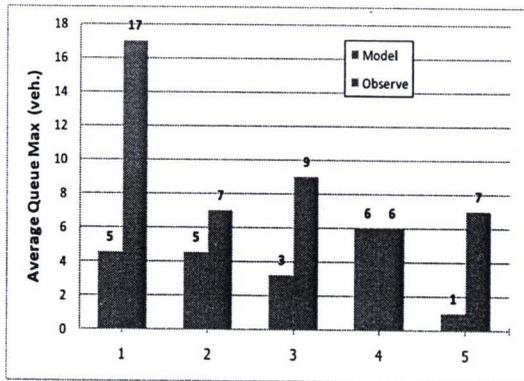
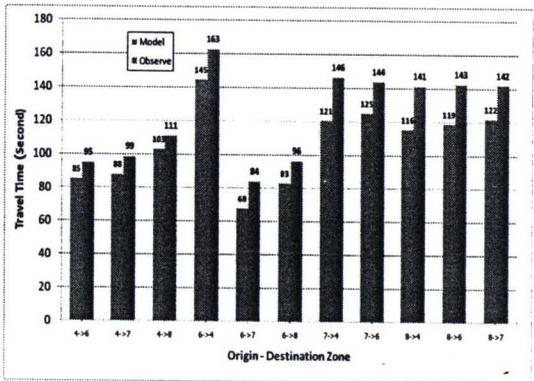
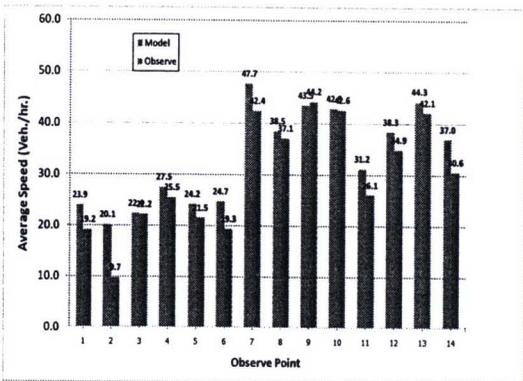
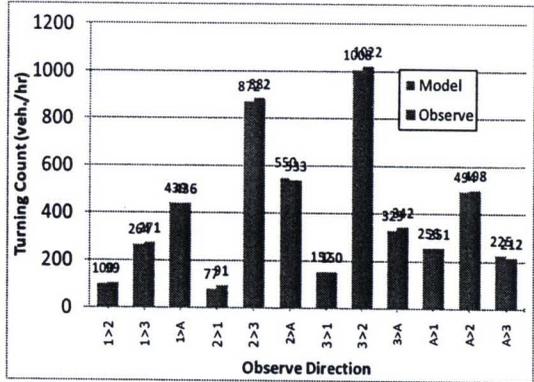
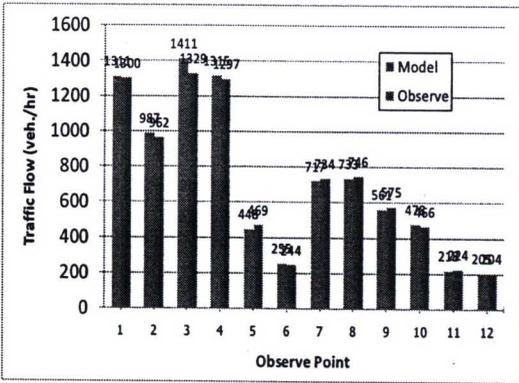
red phase 5.00
all barred except
from 46 to 55 major
from 46 to 72 major

ภาคผนวก จ

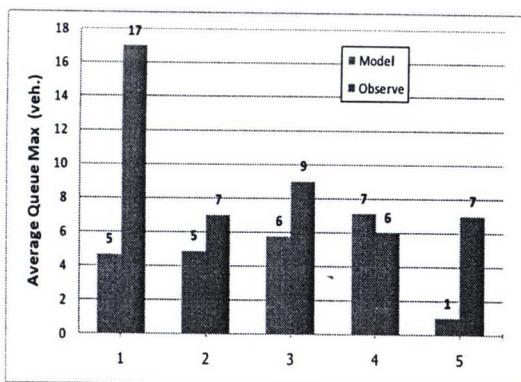
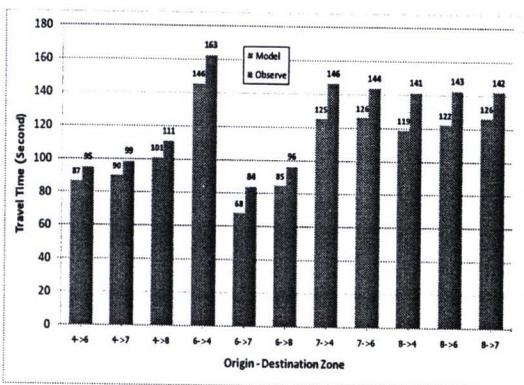
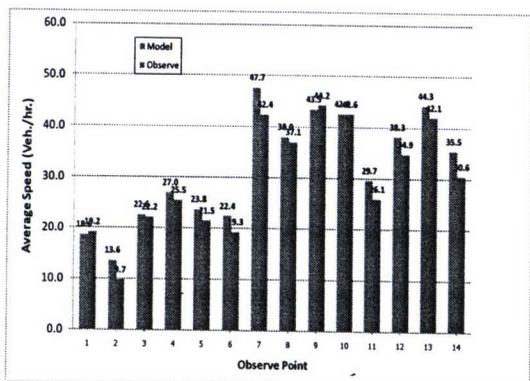
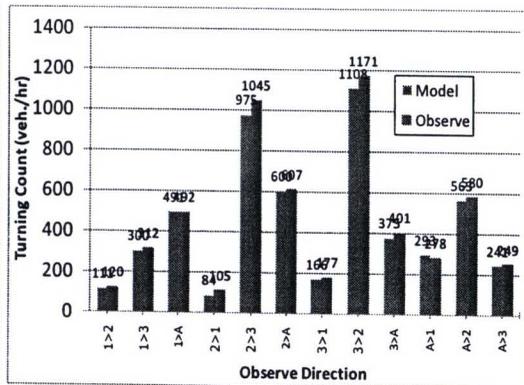
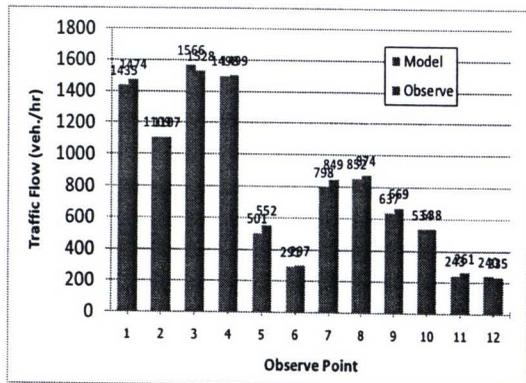
ผลการเปรียบเทียบปริมาณจรรยาและตัวชี้วัดประสิทธิภาพการจรรยา สำหรับการ
คัดเลือกแบบจำลองฐานที่เหมาะสม



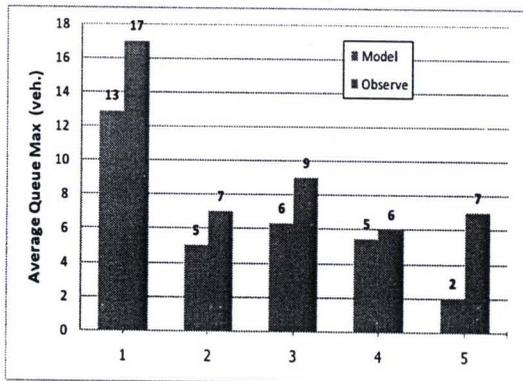
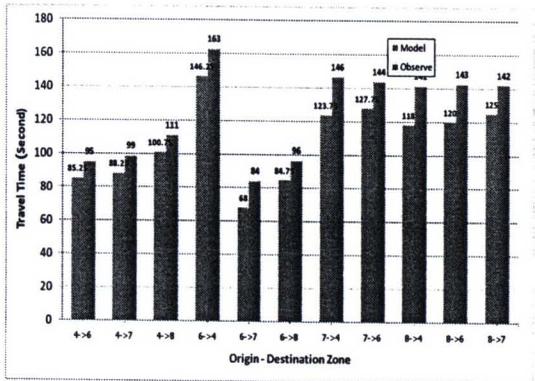
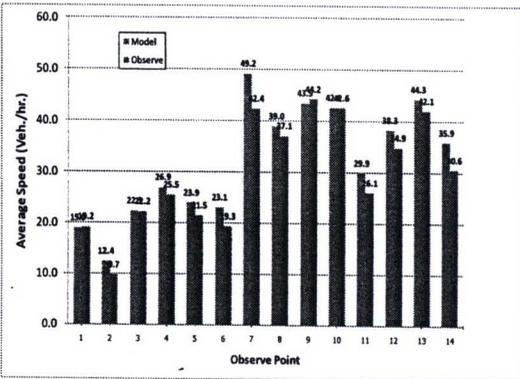
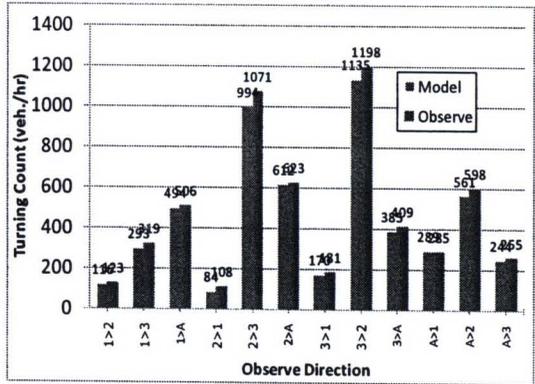
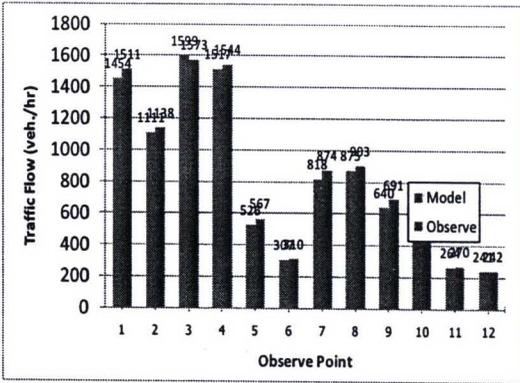
ภาพที่ จ.1 ผลการเปรียบเทียบปริมาณจราจรและตัวชี้วัดประสิทธิภาพการจราจร กรณีที่ 1



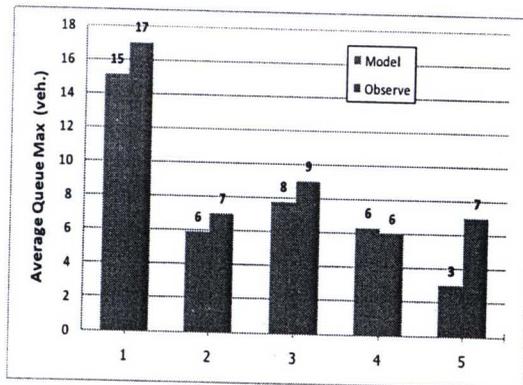
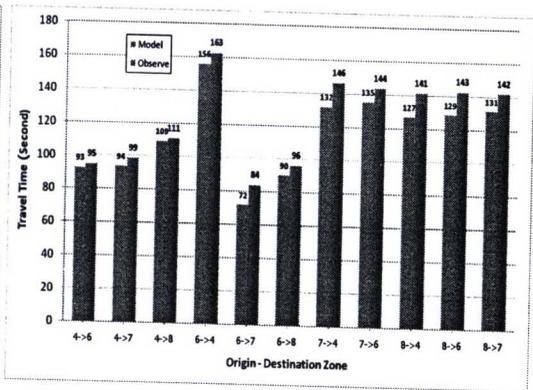
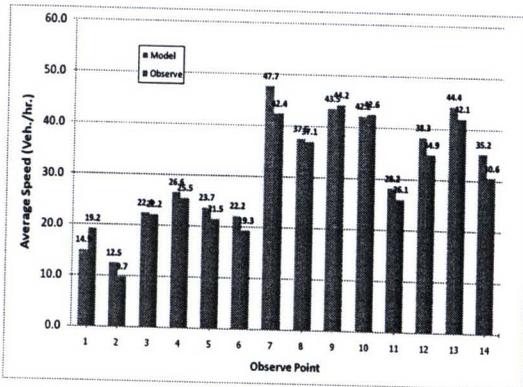
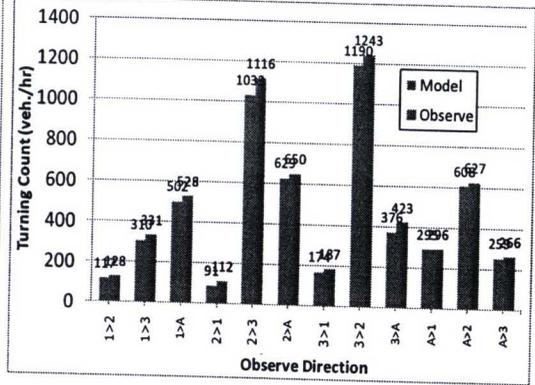
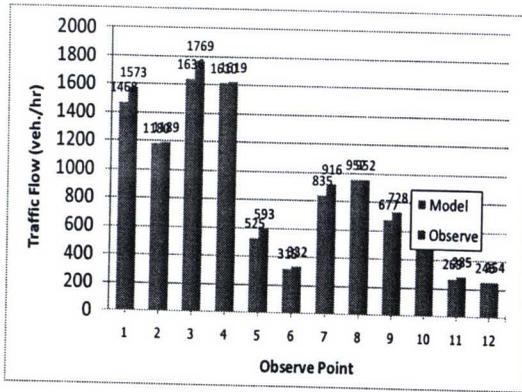
ภาพที่ จ.2 ผลการเปรียบเทียบปริมาณจราจรและตัวชี้วัดประสิทธิภาพการจราจร กรณีที่ 2



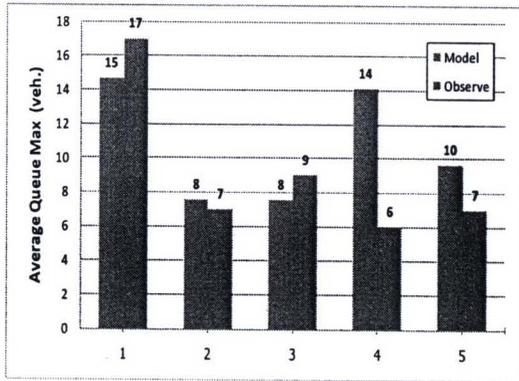
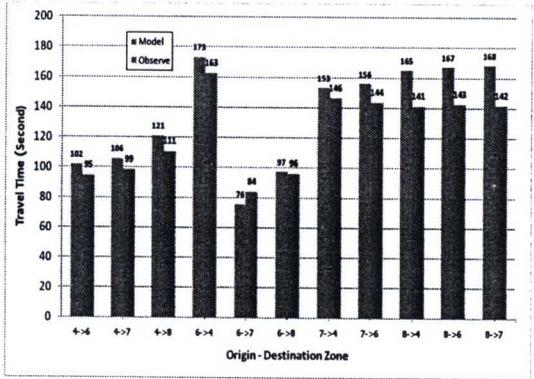
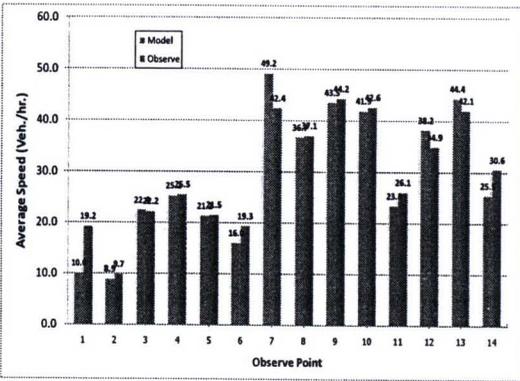
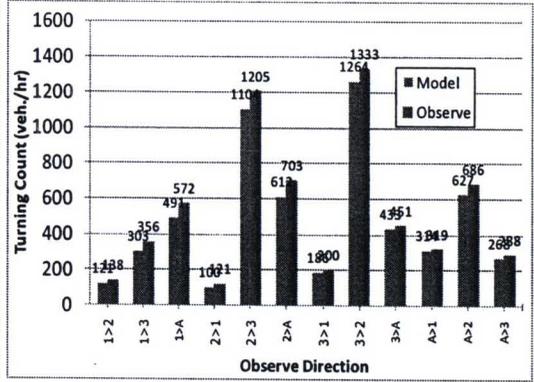
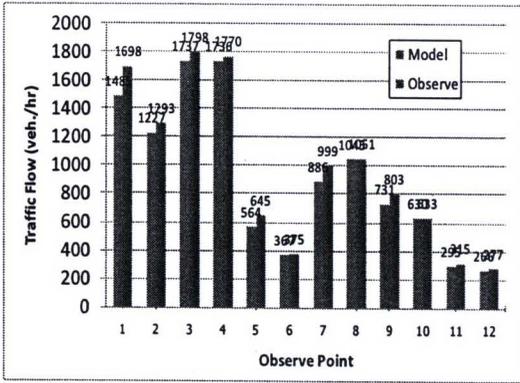
ภาพที่ จ.3 ผลการเปรียบเทียบปริมาณจราจรและตัวชี้วัดประสิทธิภาพการจราจร กรณีที่ 3.1



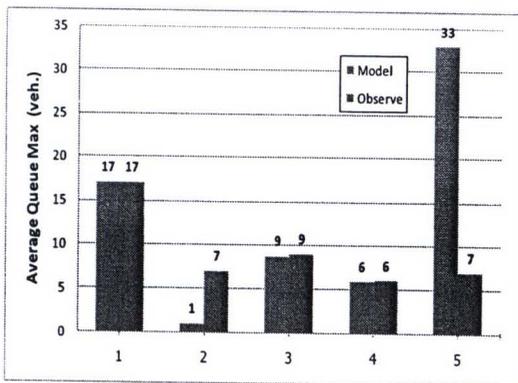
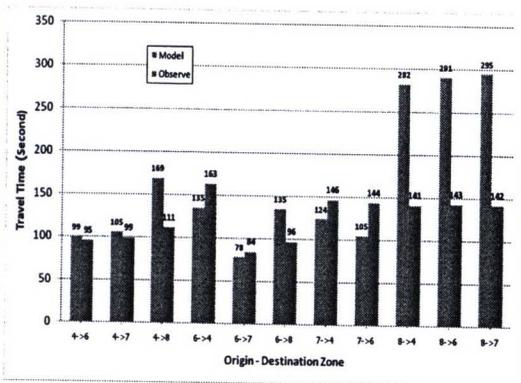
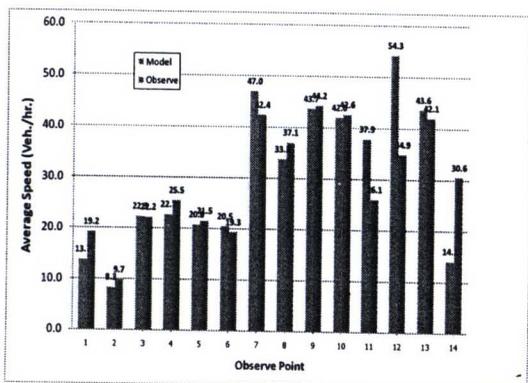
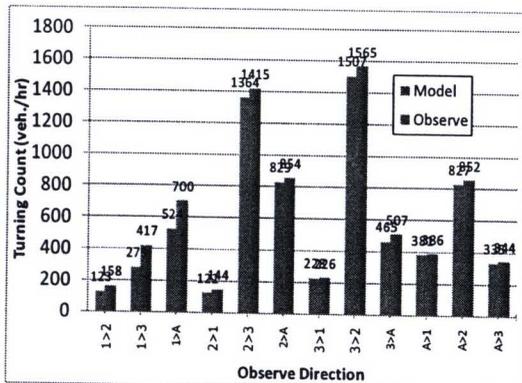
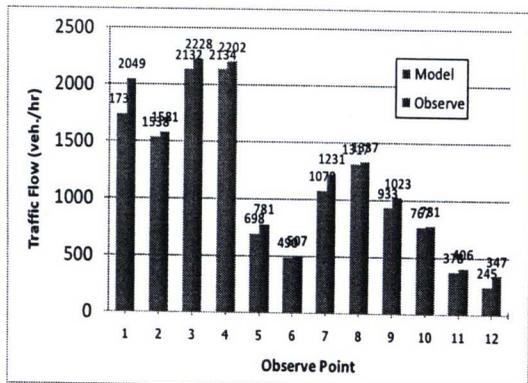
ภาพที่ จ.4 ผลการเปรียบเทียบปริมาณจราจรและตัวชี้วัดประสิทธิภาพการจราจร กรณีที่ 3.2



ภาพที่ จ.5 ผลการเปรียบเทียบปริมาณจราจรและตัวชี้วัดประสิทธิภาพการจราจร กรณีที่ 3.3



ภาพที่ จ.6 ผลการเปรียบเทียบปริมาณจราจรและตัวชี้วัดประสิทธิภาพการจราจร กรณีที่ 3.4



ภาพที่ จ.7 ผลการเปรียบเทียบปริมาณจราจรและตัวชี้วัดประสิทธิภาพการจราจร กรณีที่ 4

ภาคผนวก จ

ผลการวิเคราะห์รอบสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสมโดยใช้โปรแกรม SIDRA V.4

ตารางที่ ฉ.1 ผลการวิเคราะห์รอบสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสม ปี พ.ศ.2553
(ห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง)

	→	↷
Phase	A	B
Green Time (sec)	37	13
Yellow Time (sec)	3	3
All-Red Time (sec)	2	2
Phase Time (sec)	42	18

ตารางที่ ฉ.2 ผลการวิเคราะห์รอบสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสม ปี พ.ศ.2557
(ห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง)

	→	↷
Phase	A	B
Green Time (sec)	37	13
Yellow Time (sec)	3	3
All-Red Time (sec)	2	2
Phase Time (sec)	42	18

ตารางที่ ฉ.3 ผลการวิเคราะห์รอบสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสม ปี พ.ศ.2557 กรณีทางเลือกที่ 2
ก่อสร้างทางลอดบริเวณสี่แยกประตูเมือง (ห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง)

	→	↷
Phase	A	B
Green Time (sec)	37	13
Yellow Time (sec)	3	3
All-Red Time (sec)	2	2
Phase Time (sec)	32	18

ตารางที่ ฉ.4 ผลการวิเคราะห์รอบสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสม ปี พ.ศ.2553 กรณีทางเลือกที่ 3
ก่อสร้างระบบ BRT (ห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง)

	→	↷
Phase	A	B
Green Time (sec)	37	13
Yellow Time (sec)	3	3
All-Red Time (sec)	2	2
Phase Time (sec)	42	18

ตารางที่ ฉ.5 ผลการวิเคราะห์รอบสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสม ปี พ.ศ.2557
(ห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง)

Phase	A	B	C	D	A	B	C	D
Green Time (sec)	28	20	26	21	28	20	26	21
Yellow Time (sec)	3	3	3	3	3	3	3	3
All-Red Time (sec)	2	2	2	2	2	2	2	2
Phase Time (sec)	33	25	31	26	33	25	31	26

ตารางที่ ฉ.6 ผลการวิเคราะห์รอบสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสม ปี พ.ศ.2557 กรณีทางเลือกที่ 2 ก่อสร้างทางลอดบริเวณสี่แยกประตูเมือง (ห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง)

								
								
Phase	A		B		C		D	
Green Time (sec)	22		20		21		22	
Yellow Time (sec)	3		3		3		3	
All-Red Time (sec)	2		2		2		2	
Phase Time (sec)	27		25		26		27	

ตารางที่ ฉ.7 ผลการวิเคราะห์รอบสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสม ปี พ.ศ.2553 กรณีทางเลือกที่ 3 ก่อสร้างระบบ BRT (ห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง)

								
								
Phase	A		B		C		D	
Green Time (sec)	20		22		29		24	
Yellow Time (sec)	3		3		3		3	
All-Red Time (sec)	2		2		2		2	
Phase Time (sec)	25		27		34		29	

การเผยแพร่ผลงานวิทยานิพนธ์

วุฒิไกร ไชยปัญหา และพนกฤษณ คลังบุญคลอง. (2553). การเปรียบเทียบและการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองสภาพการจราจร ระดับจุลภาคโดยใช้โปรแกรม PARAMICS. การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 15. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.



การปรับเทียบและการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองสภาพการจราจร

ระดับจุลภาคโดยใช้โปรแกรม PARAMICS

Calibration and Validation of the Microsimulation Model using PARAMICS

วุฒิไกร ไชยปัญญา (Wuttikrai Chaipanha)¹

พนกฤษณ กลังบุญครอง (Pongrid Klungboonkrong)²

¹นักศึกษาระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น E-mail: spey_loveu@hotmail.com

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น E-mail: pongrid@gmail.com

บทคัดย่อ : บทความนี้กล่าวถึงกระบวนการในการปรับเทียบ (Calibration) และตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) ของแบบจำลองระดับจุลภาค (Microsimulation Model) โดยการประยุกต์ใช้โปรแกรม PARAMICS ในการวิเคราะห์การจัดการจราจรบริเวณห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง ซึ่งตั้งอยู่บริเวณทางแยกที่เป็นจุดตัดของถนนศรีจันทร์ ถนนเทพารักษ์ ถนนประชาสำราญ และถนนครุฑสำราญ จังหวัดขอนแก่น มีวัตถุประสงค์เพื่ออธิบายกระบวนการและวิเคราะห์ตัวแปรสำคัญในขั้นตอนการปรับเทียบและตรวจสอบความถูกต้อง โดยการศึกษาได้ทำการปรับเทียบแบบจำลองด้วยการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรสำคัญที่มีความอ่อนไหวและมีผลกระทบต่อความถูกต้องของแบบจำลอง ได้แก่ Headway และ Reaction time ด้วยการใช่วิธีลองผิดลองถูก (Trial and Error) ในการวิเคราะห์ค่าที่เหมาะสม และแสดงผลการปรับเทียบแบบจำลองโดยเลือกค่า Headway และ Reaction time ที่ผ่านเกณฑ์ที่อมรับได้ทุกตัวชี้วัด มีค่าเท่ากับ 1.1 และ 0.6 วินาที ตามลำดับ ก่อนทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยการทดสอบและเปรียบเทียบผลการจำลองสภาพการจราจรกับข้อมูลจากการสำรวจซึ่งเป็นชุดข้อมูลอิสระต่อกันกับขั้นตอนการปรับเทียบแบบจำลอง จนมีค่าคลาดเคลื่อนผ่านเกณฑ์ที่อมรับได้เช่นเดียวกับการปรับเทียบแบบจำลอง ซึ่งถือได้ว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์งานด้านการวางแผนการจราจรและขนส่งต่อไป

ABSTRACT : This article discusses the process of calibration and validation of the Microsimulation models using PARAMICS for analysis of traffic management in five-leg the city spiritual house Junction area. It is located at the intersection of the Srichan Road, Teparak Road, Prachasanran Road and Darunsanran Road in Khon Kaen Province. The objective of article is explain the process and analyze critical parameters in the calibration and validation. In a study, models are calibrated by adjust for important parameters that are sensitive and affecting the accuracy of the model are headway and reaction time by using trial and error method. In analyzing the appropriate value and displaying the calibrated model by selecting headway and reaction time which were accepted by criteria all indicator. The value are 1.1 and 0.6 seconds respective. From that, validation by testing and comparing simulation results with independent traffic surveys data set with calibration process until the error meets acceptable as the calibration model. Thus, this model which has developed models that are accurate and reliable and can be applied to analyze the traffic and transport planning.

KEYWORDS : Calibration, Validation, PARAMICS, Microsimulation and Traffic Management



1. บทนำ

บทความนี้กล่าวถึงกระบวนการในการปรับเทียบ (Calibration) และตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) ของการพัฒนาแบบจำลองระดับจุลภาค (Microsimulation) ของโปรแกรม PARAMICS โดยประยุกต์ใช้ในการจัดการจราจรบริเวณห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง ซึ่งเป็นบริเวณหนึ่งที่ประสบกับปัญหาการจราจรติดขัดขั้นวิกฤตของจังหวัดขอนแก่น เนื่องจากผลกระทบจากการเปิดให้บริการของห้างสรรพสินค้าขนาดใหญ่ ได้แก่ ห้างเซ็นทรัลพลาซ่า (ดังแสดงในภาพที่ 1) บริเวณสี่แยกประตูเมือง (ถนนมิตรภาพตัดกับถนนศรีจันทร์) ส่งผลให้บริเวณข้างเคียงมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินรูปแบบการเดินทาง เกิดการเติบโตทางเศรษฐกิจ มีร้านค้าและที่อยู่อาศัยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เป็นแหล่งดึงดูดการเดินทางที่สำคัญแห่งใหม่ของจังหวัดขอนแก่น



ภาพที่ 1 ห้างเซ็นทรัลพลาซ่า ขอนแก่น [6]

ดังนั้น จึงควรวิเคราะห์เพื่อประเมินทางเลือกในการแก้ปัญหาจราจรเร่งด่วน เพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงการรูปแบบการเดินทาง การใช้ประโยชน์ที่ดิน การจัดการระบบการจราจร และการเพิ่มขึ้นของปริมาณจราจรในอนาคต บทความนี้จะกล่าวถึงกระบวนการปรับเทียบและตรวจสอบความถูกต้องแบบจำลองระดับจุลภาคซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ได้มีผลต่อความถูกต้องแม่นยำและคุ้มค่าในการลงทุนและการตัดสินใจในทางเลือกในการจัดการระบบการจราจร ซึ่งผลของการปรับเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองจะต้องมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จึงถือได้ว่าแบบจำลองดังกล่าวมีความถูกต้องและ

น่าเชื่อถือและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์โครงการ/มาตรการด้านการจัดการจราจรและขนส่งได้จริง

2. วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อพัฒนาแบบจำลองการจราจรระดับจุลภาค โดยประยุกต์ใช้โปรแกรม PARAMICS ในการวิเคราะห์สภาพการจราจรและการจัดการระบบจราจร ในพื้นที่ศึกษา
- 2) เพื่อวิเคราะห์กระบวนการปรับเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองระดับจุลภาค

3. พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาดานเนวนอนศรีจันทร์ (ช่วงระหว่างสี่แยกประตูเมืองถึงห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง) ถนนเทพารักษ์ ถนนประชาสำราญ และถนนครุฑสำราญ จังหวัดขอนแก่น ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวเป็นเสมือนจุดศูนย์กลางของเมือง มีเส้นทางเชื่อมต่อไปยังสถานที่สำคัญหลายแห่ง เช่น สำนักงานเทศบาล สถานีรถไฟ โรงแรม ห้างสรรพสินค้า และสถานบันเทิง เป็นต้น และอยู่ในบริเวณย่านศูนย์กลางเศรษฐกิจการค้าของเมือง (ดังแสดงในภาพที่ 2) ทำให้เป็นหนึ่งในพื้นที่ที่มีปัญหาการจราจรติดขัดอย่างมากของเมืองขอนแก่นในปัจจุบัน อีกทั้งการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน เช่น การก่อสร้างห้างสรรพสินค้า และหมู่บ้านจัดสรร ในพื้นที่ใกล้เคียง



ภาพที่ 2 แผนที่แสดงตำแหน่งพื้นที่ศึกษา

4. สํารวจและเตรียมข้อมูล

การศึกษานี้ได้แบ่งประเภทของข้อมูลที่ทำการสำรวจและรวบรวมเป็น 4 ประเภทหลัก มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

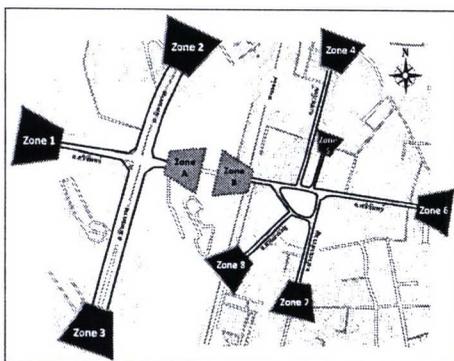


ตารางที่ 1 รายละเอียดการสำรวจและเตรียมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้การสำรวจและรวบรวม	รายละเอียดข้อมูล
ข้อมูลภาพถ่าย (Geometric Data)	1) จำนวนของช่องจราจร 2) ความกว้างของช่องจราจรและทางเท้า 3) ลักษณะทางกายภาพของทางแยก 4) การเชื่อมต่อกับพื้นที่ข้างเคียง 5) สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน
ข้อมูลการควบคุมการจราจร (Control Data)	1) ตำแหน่งของอุปกรณ์ควบคุมการจราจร 2) รอยสัญญาณไฟจราจร 3) การขีดกีดเส้นขีดตั้งป้ายเพื่อจัดช่องการไหลของกระแสจราจร
ข้อมูลปริมาณการเดินทาง (Demand Data)	1) ปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทาง
ข้อมูลสำหรับปรับเทียบแบบจำลอง (Calibration Data)	1) ปริมาณจราจรบนช่วงถนน 2) ปริมาณจราจรที่ทางแยก 3) ความยาวแถวคอย 4) ความเร็ว 5) เวลาในการเดินทาง

การสำรวจและรวบรวมข้อมูล ในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเช้า เวลา 07.00-09.00 น. และช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเย็น เวลา 16.00-18.00 น. โดยการสำรวจข้อมูลปริมาณการเดินทางและข้อมูลสำหรับปรับเทียบแบบจำลองทำการสำรวจในวันทำงาน 1 วัน โดยใช้วิธีบันทึกภาพเคลื่อนไหวจากกล้องวีดิทัศน์ (VDO) แล้วจึงทำการถอดข้อมูลและบันทึกลงแบบฟอร์มในภายหลัง โดยการจุดบันทึกจะแจ้งนับปริมาณจราจร (manual count) ทุกๆ 15 นาที (การสำรวจและรวบรวมข้อมูลได้ทำการสำรวจในช่วงก่อนการเปิดให้บริการของห้างเซ็นทรัล พลาซ่า ขอนแก่น)

แต่เนื่องจากพื้นที่ศึกษาไม่ใช้ทางแยกเดี่ยว โดยมีลักษณะเป็นโครงข่ายที่เกิดจากการเชื่อมต่อกันของสองทางแยก จึงได้แบ่งการสำรวจออกเป็นสองทางแยก แบ่งพื้นที่ย่อยการเดินทางเป็น 8 พื้นที่ย่อย และ 2 พื้นที่ย่อยสำหรับบริเวณเชื่อมต่อ ดังแสดงในภาพที่ 3



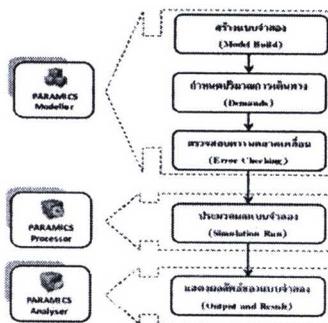
ภาพที่ 3 พื้นที่ย่อยต้นทางและพื้นที่ย่อยปลายทาง

ดังนั้นจึงต้องทำการปรับแก้ปริมาณการเดินทางให้สอดคล้องกัน ในการศึกษานี้ได้ทำการประยุกต์และปรับใช้หลักการของ Bertini, Lindgren and Tantiyanugulchai [5] และ Prabnasak [12] ให้เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษา โดยแบ่งวิธีการปรับแก้ปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทาง (Balanced Origin-Destination Matrix) ออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

- 1) ปรับเทียบปริมาณจราจรบริเวณจุดเชื่อมต่อ
- 2) กระจายปริมาณจราจรเข้าสู่พื้นที่ย่อย
- 3) ปรับผลรวมของพื้นที่ย่อยต้นทางและพื้นที่ย่อยปลายทาง
- 4) ปรับแก้ตารางปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทาง

5. พัฒนาระบบจำลองฐาน (Base Model Development)

กระบวนการพัฒนาแบบจำลองฐานในโปรแกรม PARAMICS สามารถสรุปได้ดังภาพที่ 4 และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

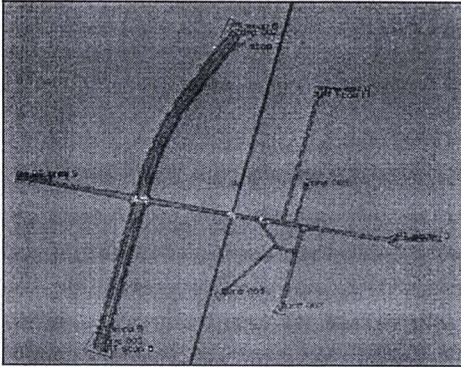


ภาพที่ 4 กระบวนการพัฒนาแบบจำลอง



5.1 สร้างแบบจำลอง (Model Build Process)

การสร้างโครงข่ายจะดำเนินการในส่วนของ PARAMICS Modeller ซึ่งมีขั้นตอนสำคัญ [11] ได้แก่ การกำหนดคุณสมบัติของโครงข่าย กำหนดประเภทและลักษณะของช่วงถนน สร้างภาพพื้นหลัง สร้างจุดอ้างอิง สร้างช่วงเส้นทาง สร้างทางแยก สร้างพื้นที่ย่อย กำหนดคุณสมบัติของช่องจราจร และสร้างระบบขนส่งสาธารณะ เป็นต้น โดยโครงข่ายที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นในส่วนของ PARAMICS Modeller ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การสร้างโครงข่ายในโปรแกรม PARAMICS

5.2 กำหนดปริมาณการเดินทาง (Demands Process)

5.2.1 ลักษณะขบวน

ในการศึกษานี้ได้แปลงยานพาหนะทุกประเภท ให้เป็นหน่วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Passenger Car Unit, PCU) ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 หน่วยเทียบต่อรถยนต์ส่วนบุคคล [2]

ประเภทของขบวน	PCU
รถจักรยานยนต์	0.33
รถยนต์ส่วนบุคคล	1.00
รถบรรทุกขนาดเล็ก	2.00
รถบัส	2.00
รถบรรทุกขนาดใหญ่	3.00

5.2.2 วิธีแจกแจงการเดินทาง

เนื่องจากโครงข่ายที่ทำการศึกษามีขนาดเล็ก ขบวนยานมีการเลือกใช้เส้นทางในการเดินทางที่แน่นอนด้วยเส้นทางเดียวที่เป็นไปได้จากต้นทางถึงปลายทาง (เส้นทางที่สั้นที่สุด) การศึกษา

จึงเลือกใช้วิธีการ All-Or-Nothing (AON) ในการแจกแจงการเดินทาง

5.2.3 กำหนดปริมาณการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทาง

การสร้างตารางการเดินทางในแบบจำลองฐานของโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษาซึ่งแบ่งเป็น 8 พื้นที่ย่อย ใช้ค่าปริมาณการเดินทางในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเช้า (07.00 – 09.00 น.) โดยเลือกช่วงเวลาที่ปริมาณจราจรสูงสุดจากการสำรวจ 1 ชั่วโมง คือ 07.30-08.30 น. แต่ในการพัฒนาแบบจำลองได้ใช้เวลาที่สั้น 1 ชั่วโมง 15 นาที คือ ช่วงเวลา 07.15-08.30 น. เพิ่มช่วงเวลาในการประมวลผลขึ้นอีก 15 นาที (Warm-up Period) ก่อนถึงช่วงเวลาที่ปริมาณจราจรสูงสุด 1 ชั่วโมง ซึ่ง 15 นาทีแรกเป็นช่วงที่ข้อมูลมีความไม่เสถียร

5.2.4 กำหนดปริมาณการเดินทางของระบบขนส่งสาธารณะ

การกำหนดปริมาณการทางของระบบขนส่งสาธารณะได้ประยุกต์ใช้กับรถสองแถวและรถไฟ ซึ่งมีลักษณะการเดินทางด้วยเส้นทางและปริมาณคงที่ โดยยึดตามตารางเวลาและความถี่ในการให้บริการผ่านพื้นที่ศึกษา ในช่วงเวลาที่ทำการจำลองสภาพการจราจร

5.3 ตรวจสอบความคลาดเคลื่อน (Error Checking Process)

5.3.1 การทบทวนข้อมูลนำเข้า

ในการศึกษานี้ได้ทำการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของข้อมูลนำเข้า ทั้งในรูปแบบของข้อมูลที่อยู่ในส่วนของตารางและความคิดปฏิกิริยาค้นจากการแสดงผลของหน้าผู้ใช้งาน จนมีความมั่นใจว่าแบบจำลองฐานได้จัดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความผิดพลาดในการนำเข้าข้อมูล

5.3.2 การทบทวนการแสดงผลจากภาพเคลื่อนไหว

การทบทวนการแสดงผลจากภาพเคลื่อนไหว เพื่อให้เห็นพฤติกรรมเคลื่อนที่ของขบวนที่ไม่เป็นธรรมชาติในกรณีที่เป็นแบบจำลองมีความผิดปกติ ในการศึกษานี้ได้ทำการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนแบบจำลองจากภาพเคลื่อนไหวที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลอง และจัดความผิดปกติของการเคลื่อนที่ของขบวนในเบื้องต้น และพร้อมสำหรับการนำไปสู่ขั้นตอนการปรับเทียบแบบจำลองอย่างละเอียดต่อไป



5.4 การประมวลผลแบบจำลอง (Simulation Run Process)

การประมวลผลแบบจำลองดำเนินการในส่วนของ PARAMICS Processor โดยมีขั้นตอนที่ต้องดำเนินการและพิจารณา ดังนี้

5.4.1 จำนวนครั้งในการประมวลผลแบบจำลอง

จำนวนครั้งของการประมวลผลเริ่มต้นและจำนวนครั้งของการประมวลผลที่ต้องการอย่างน้อยสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (1)

$$N = (t_{\alpha/2} \cdot \frac{\sigma}{\mu \cdot \epsilon})^2 \quad (1)$$

เมื่อ

μ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าที่ควรวัดค่าจากประมวลผลแบบจำลอง

σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าที่ควรวัดค่าจากการประมวลผล

ϵ คือ ค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

$t_{\alpha/2}$ คือ ค่าทดสอบการกระจายตัวแบบ t ที่ระดับความเชื่อมั่น $1 - \alpha$

5.4.2 คำ Seed

คำ Seed เป็นค่าที่ต้องทำการเลือกในการประมวลผลแต่ละครั้ง เพื่อสร้างค่าการตัดสินใจสุ่มของชวคยานแต่ละคันออกมาผ่านพฤติกรรมต่างๆ ของผู้ขับขี่ชวคยานที่กระจายอยู่ในโครงข่ายที่ทำการสร้างแบบจำลอง ซึ่งการใช้คำ seed ค่าเดิมในการประมวลผลแต่ละครั้งจะทำให้แบบจำลองลดระดับจาก Stochastic level มาเป็น Deterministic level ดังนั้นในการประมวลผลแต่ละครั้งจะต้องทำการสุ่มคำ Seed แล้วจึงนำผลที่ได้มาเฉลี่ยกันก่อนนำไปวิเคราะห์ต่อไป

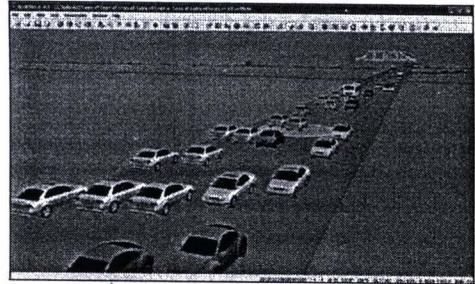
5.4.3 ช่วงเวลาที่ข้อมูลมีความไม่เสถียร (Warm up periods)

การประมวลผลการจำลองสภาพการจราจร โดยทั่วไปมักจะเริ่มต้นจากไม่มีชวคยานในโครงข่าย ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนไปจากสภาพจริง ซึ่งเรียกว่า "Warm-up Period" ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่จะต้องตัดผลลัพธ์ทางสถิติช่วงแรกนี้ออกเพื่อให้ผลลัพธ์มีประสิทธิภาพ

5.5 การแสดงผลข้อมูล (Output and Result Process)

ในการแสดงผลข้อมูลทำได้ 3 รูปแบบ คือ การแสดงภาพเคลื่อนไหว การแสดงภาพกราฟฟิค และแสดงผลด้วยข้อมูลตัวเลขในรูปแบบของรายงาน ซึ่งกระบวนการในการแสดงผลข้อมูลในโปรแกรม PARAMICS นี้จะทำงานร่วมกัน 3 ส่วน คือ PARAMICS Modeler ทำหน้าที่แสดงผลภาพเคลื่อนไหว (ดังแสดงในภาพที่ 6) กำหนดช่วงเวลาและค่าที่ต้องการวัดค่า โดยที่

จะทำการประมวลผลแบบจำลองในส่วนของ PARAMICS Processor และ PARAMICS Analyser จะนำเข้าข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลในส่วนของ PARAMICS Processor เพื่อนำมาแสดงผลในรูปแบบของภาพกราฟฟิคและสรุปเป็นตารางข้อมูลก่อนนำผลลัพธ์ที่ได้ไปสู่การวิเคราะห์ผลการศึกษาต่อไป



ภาพที่ 6 การแสดงผลในรูปแบบภาพเคลื่อนไหว

6. ปรับเทียบแบบจำลอง (Model Calibration)

การปรับเทียบแบบจำลองเป็นกระบวนการที่ทำการเปลี่ยนค่าตัวแปรบางตัวในแบบจำลองเพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลองมีค่าที่เหมือนกับค่าที่ได้จากการสำรวจ โดยแบบจำลองที่ถูกพัฒนาขึ้นในการศึกษานี้จะถูกลำนำประมวลผลและนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลสภาพการจราจรที่สำรวจในสนามในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเช้า 07.30-08.30 น. (ช่วง Warm up period ไม่นำมาใช้ในการวิเคราะห์) ซึ่งผลเปรียบเทียบต้องผ่านเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์การวางแผนการจราจรและขนส่งได้ต่อไป

6.1 เกณฑ์ในการปรับเทียบแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค (Calibrate Target and Criteria)

ในการศึกษานี้จึงได้คัดเลือกเกณฑ์สำหรับการปรับเทียบแบบจำลอง โดยอาศัยเกณฑ์ของ DMRB 12 [4] อ้างอิงเป็นเกณฑ์การปรับเทียบหลักเนื่องจากเป็นเกณฑ์ที่ได้รับการยอมรับและมีการใช้เป็นเกณฑ์ในการปรับเทียบแบบจำลองระดับจุลภาคอย่างแพร่หลาย และพิจารณาจากเกณฑ์ของหน่วยงานและเอกสารอื่นๆ เพิ่มเติม เพื่อให้ครอบคลุมทุกตัวชี้วัด ทั้งนี้เพื่อช่วยให้ความมั่นใจในการปรับเทียบและประยุกต์ใช้แบบจำลองต่อไป ดังแสดงในตารางที่ 3



ตารางที่ 3 ค่าเกณฑ์ในการเปรียบเทียบแบบจำลอง

ตัวชี้วัดการเปรียบเทียบ	เกณฑ์การเปรียบเทียบ	เป้าหมายการเปรียบเทียบ
ปริมาณจราจร[4]	GEH<5	>85% ของกรณีทั้งหมดที่ทำการเปรียบเทียบ
เวลาในการเดินทาง[4]	±15% (หรือไม่เกิน 1 นาที ถ้ามีความคลาดเคลื่อนสูงกว่า 15%)	>85% ของกรณีทั้งหมดที่ทำการเปรียบเทียบ
ความเร็วในการเดินทาง [1]	±20%	>85% ของกรณีทั้งหมดที่ทำการเปรียบเทียบ
ความยาวแถวคอย [7] และ [12]	±20% (หรือ ±5 คัน เมื่อความยาวแถวคอยที่สำรวจไม่เกิน 10 คัน หรือ ±7 คัน เมื่อความยาวแถวคอยที่สำรวจไม่เกิน 20 คัน)	>85% ของกรณีทั้งหมดที่ทำการเปรียบเทียบ

6.2 ตัวชี้วัดการเปรียบเทียบแบบจำลอง

สำหรับการศึกษานี้ได้กำหนดตัวชี้วัดที่สำคัญเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบแบบจำลองแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

- 1) ปริมาณจราจร ได้แก่ ปริมาณจราจรบนช่วงถนนและปริมาณจราจรที่ทางแยก
- 2) ตัวชี้วัดประสิทธิภาพการจราจร ได้แก่ ความเร็ว เวลาในการเดินทาง และความยาวแถวคอย

6.3 ตัวแปรในการเปรียบเทียบแบบจำลอง

ตัวแปรในการเปรียบเทียบแบบจำลองระดับจุลภาคแบ่งเป็น 2 ส่วน [8] คือ

- 1) ตัวแปรที่มีค่าแน่นอน (Certain Parameters)
เป็นตัวแปรที่ได้จากข้อมูลการสำรวจภาคสนามและผลจากการศึกษาที่ผ่านมา ซึ่งตัวแปรเหล่านี้จะสามารถนำมาใช้สำหรับกำหนดค่าตัวแปรในส่วนที่ไม่จำเป็นต้องทำการปรับค่า เช่น ความเร็ว ความเร่ง และความหน่วง เป็นต้น
- 2) ตัวแปรที่มีค่าแน่นอนต่ำ (Less certain Parameters)
จากผลการศึกษาที่ผ่านมา [14] พบว่า 5 ตัวแปรที่มีความอ่อนไหวสูงสุดที่เหมาะสมแก่การปรับค่าในกระบวนการปรับเทียบแบบจำลองในโปรแกรม PARAMICS ได้แก่ Mean Headway, Mean Reaction Time, Perturbation, Dynamics Feedback และ Familiarity โดยที่ 2 ตัวแปรแรกมีอิทธิพลอย่างสูงกับพฤติกรรม

การจับคู่ของชวคยาน และอีก 3 ตัวแปรต่อมา มีผลต่อการเลือกเส้นทาง

การศึกษานี้ได้เลือก Headway และ Reaction time เป็นสองตัวแปรในการปรับค่าสำหรับการปรับเทียบแบบจำลองหลังจากได้ทำการปรับตั้งค่าตัวแปรต่างๆ ที่มีค่าแน่นอน ทั้งที่ได้จากผลการศึกษาที่ผ่านมาและการสำรวจในภาคสนามแล้ว โดยไม่พิจารณาถึงตัวแปรด้านพฤติกรรม การเลือกเส้นทาง (Perturbation, Familiarity, Dynamic Feedback) เนื่องจากใช้วิธี All-or-Nothing ซึ่งสมมติฐานว่าตัวแปรในการเลือกเส้นทางไม่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกเส้นทางของชวคยานแต่ละคัน

6.4 การปรับเทียบโครงข่าย (Network Calibration)

การปรับเทียบโครงข่าย ได้ทำการกำหนดค่าตามข้อมูลที่ได้ทำการสำรวจและรวบรวมในพื้นที่ศึกษา ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบหลักๆ เช่น ลักษณะทางเรขาคณิตของโครงข่าย (Network Geometries) เช่น ความกว้างของช่องจราจร มุมเลี้ยว และขอบคันทาง เป็นต้น การเลือกช่องจราจร เส้นหยุด ลำดับความสำคัญของกระแสจราจร ตำแหน่งที่ติดตั้งป้าย การจำกัดความเร็ว เป็นต้น

6.5 การปรับเทียบปริมาณการเดินทาง (Demand Calibration)

การปรับเทียบในส่วนปริมาณการเดินทาง ได้แก่ สัดส่วนประเภทชวคยานในกระแสจราจร ความเร็ว ความเร่ง และความหน่วง เป็นต้น ได้ทำการกำหนดค่าตามข้อมูลที่ทำการสำรวจและข้อมูลที่มีการศึกษาที่ผ่านมา [2] และ [3]

6.6 การปรับเทียบการปรับตั้งค่าการประมวลผล (Overall simulation configuration Calibration)

การปรับเทียบในส่วนการปรับตั้งค่าการประมวลผล ได้แก่ ช่วงเวลาในการประมวลผลต่อวินาที ความเร็วในการจัดจํา เป็นต้น ได้กำหนดค่าที่เหมาะสมตามการศึกษาที่ผ่านมา [9]

6.7 การปรับเทียบพฤติกรรมทางเลือกเส้นทาง (Route Choice behavior Calibration)

เนื่องจากกำหนดวิธีการแจกแจงการเดินทางแบบ All-or-Nothing ซึ่งชวคยานทุกคันเลือกเส้นทางในการเดินทางจากพื้นที่ข้อต้นทางถึงพื้นที่ข้อปลายทางด้วยเส้นทางที่แน่นอน จึง



สมมติฐานว่าตัวแปรในการเลือกเส้นทางไม่มีผลต่อพฤติกรรม การเลือกเส้นทางของขงชวชน

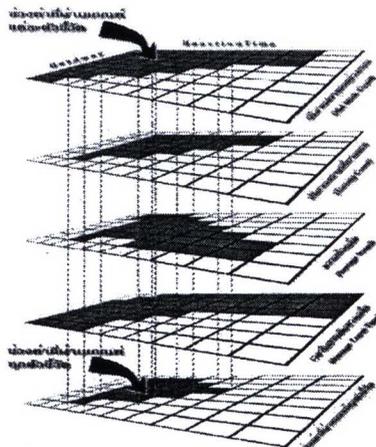
6.8 การเปรียบเทียบพฤติกรรมของผู้ขับขี่ (Driver behavior Calibration)

ในเบื้องต้นเมื่อทำการปรับตั้งค่าตัวแปรต่างๆ (ค่าที่วิเคราะห์ แล้วว่ามีค่าที่แน่นอน) เรียบร้อยแล้ว เพื่อให้ผลลัพธ์จากการ ประมวลผลแบบจำลองมีความใกล้เคียงและสอดคล้องกับค่าที่ได้ จากการสำรวจมากยิ่งขึ้น ต้องทำการปรับค่าอย่างละเอียดโดยใช้ ตัวแปรที่ถูกเลือกสำหรับการปรับเทียบแบบจำลอง คือ Headway และ Reaction time ซึ่งในการปรับค่าของตัวแปรดำเนินการตาม หลักการวิเคราะห์ความอ่อนไหว เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าที่เหมาะสม ที่สุด

6.9 วิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปร

การปรับเปลี่ยน Headway และ Reaction time โดยใช้ หลักการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity analysis) ด้วยการลองผิดลองถูก (Trial and error) เพื่อวิเคราะห์หาช่วง ช่วงเวลาที่ทำให้แบบจำลองมีความสมจริงที่สุด ได้กำหนดช่วงค่า โคซิมิตช่วงค่าจากผลการศึกษาที่ผ่านมา ที่มีการประยุกต์ใช้ โปรแกรม PARAMICS ในการจัดการจราจร ที่มีการปรับค่า Headway และ Reaction time เพื่อทำการปรับเทียบแบบจำลอง ซึ่งมีค่า Headway ระหว่าง 0.6 - 2.0 วินาที และ Reaction time ระหว่าง 0.4 - 1.3 วินาที

ในการเลือกช่วงค่า ที่เหมาะสมในเบื้องต้นจะต้องเป็นช่วง ค่าที่มีผลความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ในทุกตัวชี้วัด ในการปรับเทียบ ในลักษณะร้อยละของความแตกต่าง (ดังแสดง แนวคิดในภาพที่ 7) ผลจากการปรับเทียบแบบจำลองที่ได้ทำการ ปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรที่มีความไม่แน่นอนสองตัวแปร ซึ่งเลือกใช้ ค่า Headway = 1.1 วินาที และ Reaction Time = 0.6 วินาที ซึ่งได้ แสดงผลการปรับเทียบในหัวข้อต่อไป



หมายเหตุ: ค่าความยาวแถวคอยไม่นำมาพิจารณาเนื่องจากทำการคำนวณค่าเปรียบเทียบกับ ความคลาดเคลื่อนในลักษณะ ร้อยละความแตกต่าง เป็นเกณฑ์มีความไม่เหมาะสม ภาพที่ 7 แนวคิดในการเลือกค่า Headway และ Reaction Time

6.10 ผลการปรับเทียบแบบจำลองฐาน

การวิเคราะห์ผลการปรับเทียบแบบจำลองฐานได้จากการ เปรียบเทียบผลที่ได้จากการ ประมวลผลแบบจำลองกับข้อมูล ปริมาณจราจรและดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการจราจรที่ได้จากการ สสำรวจภาคสนาม ซึ่งได้แก่

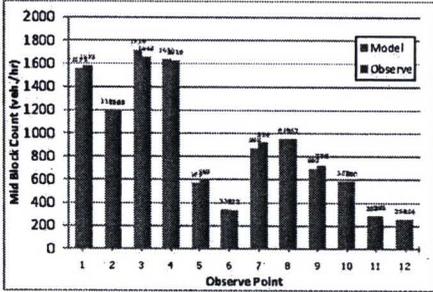
- 1) ปริมาณจราจรบนช่วงถนน 12 ช่วงถนน
- 2) ปริมาณจราจรที่ทางแยก 12 ทิศทาง
- 3) ความเร็วเฉลี่ย 14 ช่วงถนน
- 4) เวลาในการเดินทาง 11 คู่โชน
- 5) ความยาวแถวคอย 5 ขาทางแยก

โดยสรุปผลการปรับเทียบแบบจำลองฐาน ดังแสดงในตาราง ที่ 4 และร้อยละเช็คคังภาพที่ 8 ถึงภาพที่ 12

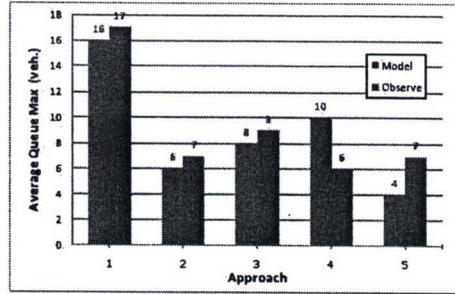
ตารางที่ 4 สรุปผลการปรับเทียบแบบจำลอง

ดัชนีชี้วัด	ร้อยละความแตกต่างเฉลี่ย	CEEI เฉลี่ย	ผ่านเกณฑ์ในการปรับเทียบ
ปริมาณจราจรบนช่วงถนน	2.07	0.61	✓ (ผ่าน 100%)
ปริมาณจราจรที่ทางแยก	4.64	0.87	✓ (ผ่าน 100%)
ความเร็วเฉลี่ย	7.82	-	✓ (ผ่าน 92.9%)
เวลาในการเดินทาง	10.97	-	✓ (ผ่าน 100%)
ความยาวแถวคอย*	28.16	-	✓ (ผ่าน 100%)

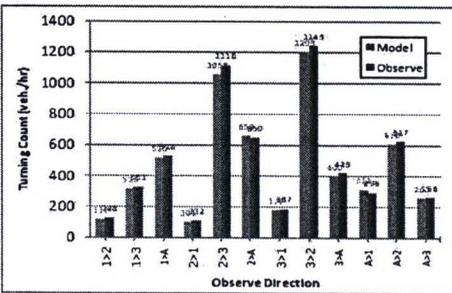
*หมายเหตุ: ใช้เกณฑ์การปรับเทียบความคลาดเคลื่อนเป็นเส้น



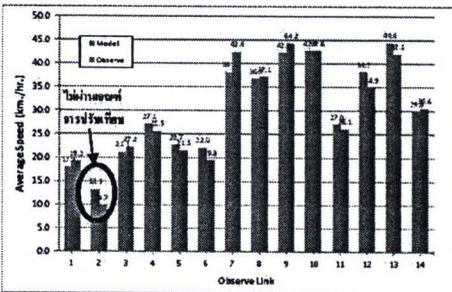
ภาพที่ 8 ผลการเปรียบเทียบปริมาณจราจรบนช่วงถนน



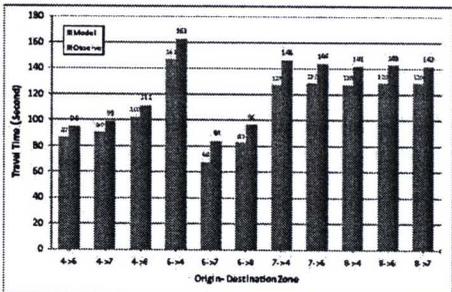
ภาพที่ 12 ผลการเปรียบเทียบความยาวแถวคอย



ภาพที่ 9 ผลการเปรียบเทียบปริมาณจราจรที่ทางแยก



ภาพที่ 10 ผลการเปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ย



ภาพที่ 11 ผลการเปรียบเทียบเวลาในการเดินทาง

7. การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Validation)

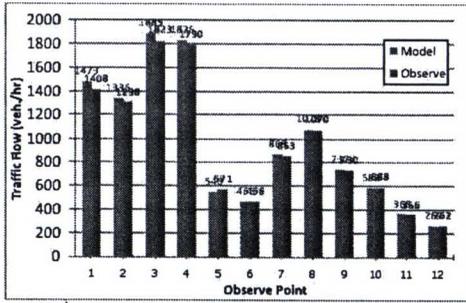
แบบจำลองฐานได้รับการเปรียบเทียบกับข้อมูลสภาพการจราจรจุดที่ 1 (ช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเช้า) ต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองก่อนนำไปใช้ในการวิเคราะห์และประเมินทางเลือกต่างๆ โดยการทดสอบและเปรียบเทียบผลการจำลองสภาพการจราจรกับข้อมูลการจราจรจุดที่ 2 (ช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเย็น) ซึ่งเป็นชุดข้อมูลอิสระต่อกันกับขั้นตอนการเปรียบเทียบแบบจำลอง โดยในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองได้พิจารณาใช้ดัชนีในการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากแบบจำลองกับผลการสำรวจและเกณฑ์การเปรียบเทียบเช่นเดียวกับการเปรียบเทียบแบบจำลอง

ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองแสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์จากการประมวลแบบจำลองมีความสอดคล้องกับผลจากการสำรวจเป็นอย่างดีและมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยสรุปผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองฐาน ดังแสดงในตารางที่ 5 และรายละเอียดดังภาพที่ 13 ถึงภาพที่ 17

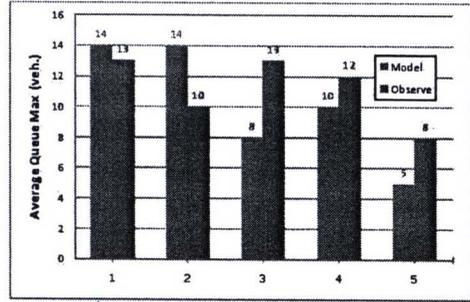
ตารางที่ 4 สรุปผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ดัชนีชี้วัด	ร้อยละความแตกต่างเฉลี่ย	CEH เฉลี่ย	ผ่านเกณฑ์ในการตรวจสอบความถูกต้อง
ปริมาณจราจรบนช่วงถนน	2.14	0.67	✓ (ผ่าน 100%)
ปริมาณจราจรที่ทางแยก	3.77	1.13	✓ (ผ่าน 100%)
ความเร็วเฉลี่ย	9.90	-	✓ (ผ่าน 85.7%)
เวลาในการเดินทาง	11.90	-	✓ (ผ่าน 100%)
ความยาวแถวคอย*	28.06	-	✓ (ผ่าน 100%)

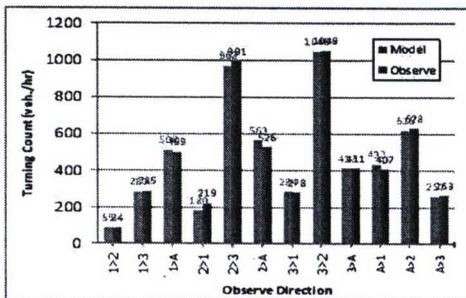
*หมายเหตุ : ใช้เกณฑ์การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนเป็นต้น



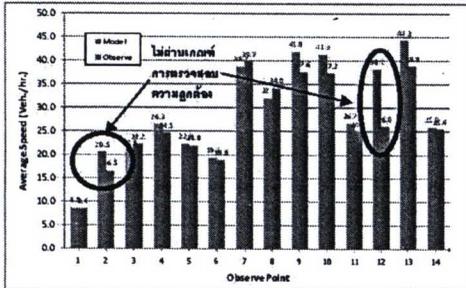
ภาพที่ 13 ผลการตรวจสอบความถูกต้องปริมาณจราจรบนช่วงถนน



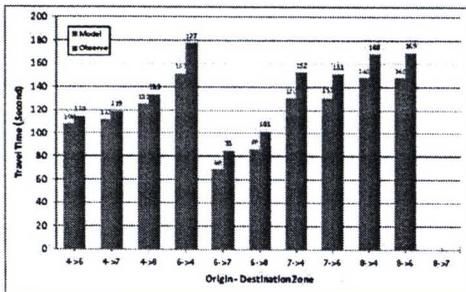
ภาพที่ 17 ผลการตรวจสอบความถูกต้องความยาวแถวคอย



ภาพที่ 14 ผลการตรวจสอบความถูกต้องปริมาณจราจรที่ทางแยก



ภาพที่ 15 ผลการตรวจสอบความถูกต้องความเร็วเฉลี่ย



ภาพที่ 16 ผลการตรวจสอบความถูกต้องเวลาในการเดินทาง

8. สรุปผลการศึกษา

เป็นที่ทราบกันดีว่าแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคทุกแบบจำลองมีความไม่ถูกต้องและไม่ใกล้เคียงสภาพจากการสำรวจอย่างแท้จริง ทุกแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนเป็นพิเศษการประมาณการสภาพจริงให้ใกล้เคียงที่สุด หากแบบจำลองดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนผ่านเกณฑ์ที่กำหนดขึ้นและอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ก็ถือว่าแบบจำลองนั้นใกล้เคียงกับสภาพท้องถิ่นและเป็นเครื่องมือที่ทรงประสิทธิภาพสูงที่สุดในวิเคราะห์หรือคาดการณ์ผลกระทบหรือทางเลือกที่กำหนดขึ้นในอนาคตจากโครงการ/มาตรการด้านการจัดการจราจรและขนส่งต่อไป

ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองฐานที่ได้ทำการพัฒนาและผ่านกระบวนการปรับเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยพิจารณาถึงตัวแปรที่มีผลกับความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลองในการศึกษานี้ มีผลการปรับเทียบในระดับที่น่าพอใจ ผ่านเกณฑ์การปรับเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองลงจนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และสามารถกล่าวได้ว่าแบบจำลองฐานที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นพร้อมที่จะนำไปสร้างทางเลือกและทำการวิเคราะห์ทางเลือกหรือแนวทางในการแก้ไขปัญหาด้านการจราจรและขนส่งได้อย่างมั่นใจ

9. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานอย่างยั่งยืน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น



10. เอกสารอ้างอิง

- [1] ตุมพทา ทรงโพธิ์. 2549. การประเมินผลกระทบด้านการจราจร โดยใช้โปรแกรม PARAMICS กรณีศึกษาโครงการอาคารจอดรถบริเวณสถานีรถไฟ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [2] ศูนย์วิจัยและพัฒนา โครงสร้างฐานอย่างยั่งยืน. 2551. โครงการจัดทำแผนแม่บทและศึกษาความเหมาะสมด้านวิศวกรรม เศรษฐกิจ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น เพื่อก่อสร้างระบบขนส่งมวลชนเมืองขอนแก่น. ขอนแก่น: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [3] ศูนย์วิจัยและพัฒนา โครงสร้างฐานอย่างยั่งยืน. 2549. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษาวิเคราะห์และออกแบบเพื่อจัดระบบการจราจรบริเวณพื้นที่แยกศาลเจ้าพ่อหลักเมือง จังหวัดขอนแก่น. ขอนแก่น : คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [4] Barton-Aschman Associates, Inc. and Cambridge Systematics, Inc. 1997. Design manual for roads and bridges (1996). Volume 12 traffic appraisal of roads schemes section 2 traffic appraisal advice.
- [5] Bertini, R. L., Lindgren, R. and Tantiyanugulchai, S. 2002. DRAFT Application of PARAMICS Simulation At a Diamond Interchange. USA : portland state university department of civil & environmental engineering
- [6] Central Plaza Khon Kaen. (Cited 2008 Feb 26). Available from : http://179.photobucket.com/_albums/125/p_pa99/IMG_09822.jpg (accessed on April 20, 2008).
- [7] Choa F, Milam R.T, and Stanek D. 2003. CORSIM, PARAMICS, and VISSIM: What the Manuals Never Told You. Paper presented at the 9th Conference on the Application of Transportation Planning Methods; Apr 6-11; Baton Rouge (LA), USA.
- [8] Dowling, R., Skabardonis, A. and Alexiadis, V. 2004. Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software. CA. : Dowling Associates, Inc.
- [9] Fellendorf M, Vortisch P. 2001. Validation of the Microscopic Traffic Flow Model VISSIM in Different Real-World Situations. Paper presented at the 80th TRB Annual Meeting; 2001; Washington, D.C., USA
- [10] Klungboonkrong, P. Khompraty, T. and Woolley, J., 2003. Evaluating Traffic Management Alternatives at the Complex Five-Legs Intersection in Khon Kaen Using PARAMICS. The First National Transport Conference Proceeding, Council of Engineer, Bangkok, Thailand, pp.55-62
- [11] Magison, P. and Collins, P. 2009. Paramics Microsimulation RTA Manual V.1.0. New South Wales, Australia : Road and Traffic Authority, New south wale government.
- [12] Ove Arup & Partners Scotland Ltd. 2007. PARAMICS model calibration and validation. 4th properties. Outline planning application for leith docks transport assessment. Pp.20-39 outline planning application for leith docks transport assessment
- [13] Prabnasak, J. 2006. Using of Version 2.1 as SIDRA and Version 5.1 PARAMICS in the Development of Traffic Signal Coordination on Sri-Jan Road, Khon Kaen City, Thailand. A minor research thesis Submitted in partial fulfilment to complete Master Engineering degree Majoring in Transport Systems Engineering. University of south australia school of natural and built environment.
- [14] Zhang, M. and Ma, J. 2008. Developing Calibration Tools for Microscopic Traffic Simulation Final Report Part I: Overview Methods and Guidelines on Project Scoping and Data Collection. california path working paper ucbit-pwp-2008-3, california path program institute of transportation studies university of california, berkeley



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล

นายวุฒิไกร ไชยปัญญา

วัน เดือน ปีเกิด

8 ธันวาคม พ.ศ. 2525

ภูมิลำเนา

บ้านเลขที่ 100 หมู่ 17 ต.อากาศ อ.อากาศอำนวย จ.สกลนคร

การศึกษา

พ.ศ. 2546-2549

ปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ประสบการณ์ทำงาน

พ.ศ. 2550-2553

ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

