บทที่ 5
โปรแกรมการจัดประสานสัมพันธ์สัญญาณไฟจราจร

5.1 คำนำ

ชนิดของอุปกรณ์การควบคุมการจราจร ระบบการทำงาน แผนการควบคุมการจราจร และจังหวะสัญญาณไฟจราจร นับเป็นตัวประกอบสำคัญที่มีส่วนในการปรับปรุงสภาพการเคลื่อนตัวของการจราจรที่เป็นอยู่ให้คล่องตัวขึ้น จากวิวัฒนาการความก้าวหน้าทางด้านเครื่องคอมพิวเตอร์ การคำนวณจังหวะเวลา (timing) สัญญาณไฟโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เข้าช่วยได้เป็นที่นิยมแพร่หลายกันมากขึ้น วิศวกรการจราจรและนักวิจัยในหลายแห่งทั่วโลก ได้พยายามปรับปรุงและนำเอาเทคนิคทางคณิตศาสตร์และรูปจำลองสภาพจริง (Simulation model) มาใช้ในการจัดจังหวะเวลาสัญญาณไฟ กับแผนการควบคุมแบบตายตัว (fixed-plan) โดยในการคำนวณจะพิจารณาทั้งโครงข่ายสัญญาณไฟ และจัดให้ได้ค่าที่ดีที่สุด (optimization) โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการจัดจังหวะเวลาสัญญาณไฟให้สัมพันธ์กันแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ แบบที่หนึ่ง เป็นโปรแกรมสำหรับจัดประสานสัมพันธ์สัญญาณไฟในถนนสายหลัก (Arterial progression) และแบบที่สอง เป็นโปรแกรมจัดประสานสัมพันธ์ทั้งโครงข่ายสัญญาณไฟ (Network Progression)

5.2 การจัดประสานสัมพันธ์สัญญาณไฟในถนนสายหลัก

การจัดประสานสัมพันธ์สัญญาณไฟในถนนสายหลัก มีวิธีการอยู่หลายวิธี และได้จัดทำเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ช่วยคำนวณได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ได้มีการพัฒนาและปรับปรุงวิธีการต่าง ๆ เหล่านี้อยู่เรื่อยมา วิธีการสำคัญที่ใช้กันแพร่หลายได้แก่

5.2.1 วิธีการ Maximum Bandwidth

วิธีการนี้คิดขึ้นโดย Morgan และLittleจาก MIT (Massachusette Institute of Technology) เป็นวิธีการหา offset ของสัญญาณไฟของถนนสายหลัก โดยพยายามจัดให้ค่าความกว้างของช่วงไฟเขียว (Green Bandwidth) ได้กว้างที่สุด ในการออกแบบสามารถที่จัด Band width ในทั้ง 2 ทิศทาง หรือจะพิจารณาทิศทางใดทิศทางหนึ่ง เป็นหลักก็ได้ตามความต้องการของการใช้งาน โดยที่ผู้ใช้จะเป็นผู้กำหนด ความเร็ว และขนาดของ Bandwidth ในแต่ละทิศทางให้เหมาะสมกับขนาดกลุ่มของยวดยานในแต่ละทิศทาง ต่อมาได้มีการปรับปรุง เป็นสูตรการคำนวณแบบ mix-integer Lincar programing formulation ครั้งหลังสุด MIT ได้จัดทำวิธีการนี้เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการหา offset ของสัญญาณไฟที่ให้ค่า Bandwidth กว้างที่สุด โปรแกรมนี้ครั้งแรกเขียนด้วยภาษา Fortran ใช้กับเครื่อง IBM 1620 โดยมี Cal-Camp digital plotter เป็นเครื่องเขียน แผนผัง เวลาระยะทาง (time-space diagram) ต่อมาได้ปรับปรุง เป็นภาษา Fortran IV ใช้กับเครื่อง CDC 6400

5.2.2 Bleyl Mothod (SIGPROG)

Bleyl เป็นผู้คิดค้นวิธีการนี้ เพื่อใช้ออกแบบ การจัดจังหวะเวลาสัญญาณไฟในแต่ละทางแยกให้สัมพันธ์กัน เป็นวิธีการที่หาค่า offset และรอบเวลาสัญญาณไฟ ที่ให้ค่า Bandwidth กว้างที่สุด วิธีการนี้แตกต่างวิธีการใช้ แผนผัง เวลา – ระยะทาง คือ จะใช้ระยะเวลาเดินทางแทนระยะทาง ซึ่งจะได้แผนผังของ เวลา – ระยะเวลาเดินทางแทน ในการใช้โปรแกรมจะต้องมีการกำหนดคุณลักษณะที่แน่นอนคือ

ก. แต่ละสัญญาณไฟจะต้องมีการกำหนด phase split , เวลาสำหรับคนข้าม , clearance time

ข. สำหรับ link ในแต่ละทิศทางต้องกำหนด ระยะทาง

ความเร็ว

ค. ในทั้งระบบโครงข่ายจะต้องมีการกำหนดจำนวนทางแยก สัญญาณไฟ ค่าสูงสุด – ต่ำสุด ของรอบเวลา ความเร็วสูงสุด และสัดส่วนของขนาด Bandwidth ผลที่ได้จากการคำนวณ คือ offset ของสัญญาณไฟสำหรับแต่ละรอบเวลาที่เลือกไว้ โปรแกรม SIGPROG เขียนขึ้นด้วยภาษา Fortran IV ใช้กับเครื่อง IBM 7040/7094

5.2.3 วิธีการ Delay – Difference of offset

คิดขึ้นโดย Whiting เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยที่เมือง Glasglow ประเทศอังกฤษ หลักการของวิธีนี้คือ ความล่าช้าของการจราจรใน 1 ทิศทางใน Link ใดของโครงข่ายจะขึ้นอยู่กับ offset ของสัญญาณไฟใน Link นั้น ๆ วิธีการทำจะคำนวณหาค่าความล่าช้าสำหรับแต่ละ Link ของค่า offset ต่าง ๆ และเลือกเอาค่า offset ระหว่างทางแยกคู่ที่ให้ผลรวมของความล่าช้าใน 2 ทิศทางต่ำสุด และกระทำซ้ำไปเรื่อยจนกว่าจะหาค่า offset ของทุกทางแยก (เป็นคู่ ๆ ไป) ได้ต่ำที่สุด ในการคำนวณจะกำหนดให้ทุกทางแยกมีรอบเวลาสัญญาณไฟเท่ากันคงที่ตลอด จุดสำคัญของวิธีการนี้ก็เพื่อหาความสัมพันธ์ของความล่าช้ากับค่า offset ต่าง ๆ นั่นเอง ต่อมา Wagner ได้เขียนวิธีการ Delay – Difference of offset เป็นคอมพิวเตอร์โปรแกรม ด้วยภาษา Fortran IV ใช้กับเครื่อง IBM 7094

5.2.4 วิธีการ Brook Method

ในการติดตั้งพื้นที่ควบคุมการจราจรที่เมือง San Jose ประเทศสหรัฐอเมริกา Brook จาก IBM ได้ปรับปรุงวิธีการคำนวณ offset ที่ให้ค่าความกว้างของ Bandwidth มากที่สุด สำหรับรอบเวลาและความเร็วค่าหนึ่ง ๆ วิธีการนี้ได้ถูกปรับปรุงขึ้นโดยการนำเอา

เครื่องคอมพิวเตอร์มาช่วยในการคำนวณ เพื่อที่จะสามารถหาค่าต่าง ๆ ของรอบเวลาและความล่าช้าได้กว้างยิ่งขึ้น ในการคำนวณผู้ใช้โปรแกรมจะเป็นผู้กำหนดค่าระยะห่างระหว่างทางแยก สัดส่วนของไฟเขียวต่อรอบเวลาในแต่ละทางแยก ขนาดของความเร็ว และขนาดของรอบเวลา โปรแกรมนี้จัดเตรียมไว้ใช้กับเครื่อง IBM 1620 และสามารถจัดได้ถึง 24 ทางแยก

5.2.5 วิธีการอื่น ๆ

นอกจากที่กล่าวมาแล้ว ยังมีอีกหลายวิธีที่มีผู้คนคิดขึ้นและปรับปรุงโปรแกรมการจัดประสานสัมพันธ์สัญญาณไฟ เช่น Lavallee Lavallee ได้เสนอวิธีการจัดสัมพันธ์สัญญาณไฟโดยวิธี Linear programing Yardeni จาก IBM เสนอวิธีการ Yardeni time-Space Model Newell จาก ITTE ได้ศึกษาทางทฤษฎีของการจัดจังหวะเวลาสัญญาณไฟประสานสัมพันธ์ของถนนที่มีการเดินรถ 2 ทิศทาง (two - way) และเขียนเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ชื่อ " Captraflo " และ Taxas Transportation Institute ได้ปรับปรุงโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณหาค่า split และ offset ของถนนสายหลักสำหรับใช้กับ Multi-phase เป็นต้น

5.3 การจัดประสานสัมพันธ์สัญญาณไฟทั้งโครงข่าย (Network Progression)

ในพื้นที่ที่มีทางแยกสัญญาณไฟจราจรกระจายกันอย่างหนาแน่น และมีถนนสายหลักมากกว่า 1 เส้นทางขึ้นไป การจัดประสานสัมพันธ์สัญญาณไฟเฉพาะถนนสายหลัก (Arterial progression) จะให้ประสิทธิภาพในการควบคุมการจราจรไม่เต็มที่ การจัดประสานสัมพันธ์โดยพิจารณาทั้งโครงข่ายสัญญาณไฟ (Signal Network) จะเป็นวิธีการที่เหมาะสมกว่าในการจัดระบบควบคุมการจราจรในพื้นที่เช่นนี้ การคำนวณจังหวะเวลาสัญญาณไฟทั้งโครงข่าย และปรับให้เหมาะสม เป็นงานหนักและยุ่งยากมากถ้าจะกระทำด้วยคน อีกทั้งโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการ optimization รูปจำลองต่าง ๆ ได้มีการพัฒนาขึ้น

เรื่อยมา โปรแกรมเหล่านี้จึงกลายเป็นเครื่องมือช่วยเหลือวิศวกรการจราจร ในการคำนวณจังหวะ เวลาสัญญาณไฟให้มีการประสานสัมพันธ์ทั้งโครงข่ายให้ดีที่สุด วิธีการที่สำคัญ ๆ และใช้กันแพร่หลายได้แก่

5.3.1 TRANSYT

เป็นโปรแกรมที่นิยมใช้กันมากโปรแกรมหนึ่ง TRANSYT เป็นวิธีการจำลองพฤติกรรมทางการจราจรของโครงข่ายถนนในเมือง และทำการ optimization จังหวะ เวลาสัญญาณไฟในโครงข่ายนั้น TRANSYT ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ

ก. รูปจำลองสภาพจริง (Simulation Model) ซึ่งใช้คำนวณหาค่า Performance index ของโครงข่าย

ข. ขบวนการ Hill - climbing เป็นตัวจัดจังหวะ เวลา และ offset ให้ได้ค่าที่ดีที่สุด

TRANSYT คิดค้นมาจาก TRRL ประเทศอังกฤษ และได้ถูกนำไปทดลองใช้ทั้งในยุโรปและอเมริกา ซึ่งให้ผลเป็นที่น่าพอใจ และ กทม. ก็ได้เลือกเอา TRANSYT มาใช้เช่นกัน ดังจะกล่าวรายละเอียดต่อไป

5.3.2 SIGRID

เป็นโปรแกรมที่ถูกคิดขึ้นใช้กับระบบควบคุมการจราจรในเมือง Toronto ประเทศแคนนาดา SIGRID จะพยายามคำนวณหาค่า offset ที่ดีที่สุด ในการใช้มีการให้ข้อมูลเบื้องต้นของรอบเวลาสัญญาณไฟ จังหวะเวลาสัญญาณไฟ ระบบถนนและค่า offset เริ่มต้น วิธีการ gaming & Monte Carlo ได้ถูกนำมาใช้ในขบวนการ optimization ของโปรแกรมนี้

จากประสพการณ์ที่ผ่านมา SIGRID ไม่เป็นที่นิยมใช้กัน เนื่องจาก โปรแกรมนี้สามารถ minimize ได้เฉพาะระหว่าง offset

ของค่าทางทฤษฎี (Ideal) กับของจริง (actual) เท่านั้น แต่ไม่ได้ minimize ค่า ความล่าช้า (delay) ของทั้งระบบ รูปแบบของการใช้งานของ SIGRID จึงเป็นเพียงแต่แก้ไขปัญหาบางส่วนเท่านั้น ทั้งนี้เพราะตัวโปรแกรมไม่ได้ทำการ optimization split และ offset ของ Link ไปด้วย โปรแกรม SIGRID มีจุดบกพร่องหลายอย่าง แต่ก็เป็นตัวอย่างของการปรับปรุงโปรแกรมของการจัดประสานสัมพันธ์สัญญาณไฟทั้งโครงข่าย ในอเมริกา โปรแกรมนี้ไม่ได้ถูกนำมาใช้ขยายต่อไปอีก และมีการใช้โปรแกรม SIGOP ขึ้นแทน

5.3.3 SIGOP

โปรแกรม SIGOP เป็นโปรแกรมจัดประสานสัมพันธ์สัญญาณไฟที่ใช้ได้ดีที่สุดและรู้จักกันแพร่หลายที่สุดในอเมริกา โปรแกรมนี้คิดขึ้นโดย FHWA (Federal Highway Administration) SIGOP เป็นโปรแกรมที่ถูกปรับปรุงมาจากปัญหาต่าง ๆ ที่พบใน SIGRID นอกจากจะจัด offset ของสัญญาณไฟแล้ว SIGOP ยังสามารถคำนวณจังหวะเวลา (split) ตามข้อมูลปริมาณการจราจรที่กำหนดให้ได้ด้วย ข้อมูลที่จะต้องกำหนดให้กับโปรแกรมได้แก่

ก. ข้อมูลเกี่ยวกับทางแยก เช่น ขนาดของไฟเหลือง เวลาต่ำสุดสำหรับคนข้ามถนน headway

ข. ข้อมูลเกี่ยวกับ Link

ค. ข้อมูลเกี่ยวกับรอบเวลาสัญญาณไฟ

แม้ว่า SIGOP จะมีการปรับปรุงเพิ่มเติมหลายอย่าง แต่โดยมากก็เป็นค่าที่มีความสำคัญระดับรอง ที่สามารถหาได้จากการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมก่อนใช้โปรแกรม ปัญหาด้านหนึ่งของ SIGOP คือสมมติฐานบางอย่างที่ตั้งไว้เพื่อช่วยให้ง่ายในการคำนวณ มักจะไม่เป็นจริงในสนาม (field) ยกตัวอย่าง เช่น ค่าจังหวะเวลาสัดส่วนไฟเขียว

จะคำนวณจากค่า การไหลวิกฤต (Critical flow) หรือ ปริมาณการจราจรรวม (total flow) โดยไม่ได้นำเอา ความจุ (Capacity) หรือ การไหลของการจราจรอิ่มตัว (Saturation flow) ของในแต่ละด้านของทางแยกมาพิจารณาด้วย แต่อย่างไรก็ตามผลที่ได้จากการศึกษาได้ชี้ให้เห็นว่า ผลดีที่ได้รับจากการจัดสัญญาณไฟประสานสัมพันธ์ ด้วยวิธีการนี้ให้ผลที่ไม่แตกต่างกับการจัดประสานสัมพันธ์ด้วยวิธีการง่ายๆ