การออกแบบระบบเชื่อมต่อข้อมูลแบบจุดต่อจุด ผ่านเครือข่าย SDH

DESIGN OF POINT-TO-POINT DATA INTERFACING VIA SDH

ไพโรจน์ หาดอ้าน

PAIROJ HADAAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2546

ISBN 974-324-579-6

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบระบบเชื่อมต่อข้อมูลแบบจุดต่อจุด ผ่านเครือข่าย SDH

DESIGN OF POINT-TO-POINT DATA INTERFACING VIA SDH

T047534

ไพโรจน์ หาดอ้าน

PAIROJ HADAAN

เลขหมู่.................
เลขทะเบียน 47534
วัน, เดือน, ปี 19 ส.ค. 2546

.b..................
.i..................

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2546

ISBN 974-324-579-6

b1131558

DESIGN OF POINT-TO-POINT DATA INTERFACING VIA SDH

PAIROJ HADAAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2003

ISBN 974-324-579-6

COPYRIGHT 2003
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบระบบเชื่อมต่อข้อมูลแบบจุดต่อจุด ผ่านเครือข่าย SDH

DESIGN OF POINT-TO-POINT DATA INTERFACING VIA SDH

ชื่อนักศึกษา นายไพโรจน์ หาดอ้าน

รหัสประจำตัว 43061036

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.สุวิพล	สิทธิชีวภาค	
รศ.สมยศ	จุณณะปิยะ	
ผศ.เกรียงไกร	วงศ์โรจนภรณ์	
รศ.ดร.ฟูศักดิ์	ชีวสุวิทย์	
รศ.ดร.กอบชัย	เดชหาญ	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 21 พฤษภาคม 2546 เวลา 10.30-12.30 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-402)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัตชู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.......๒๘.......**เดือน**.....กรกฎาคม.....**พ.ศ**.....๒๕๔๖.....

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบระบบเชื่อมต่อข้อมูลแบบจุดต่อจุด ผ่านเครือข่าย SDH
นักศึกษา	นายไพโรจน์ หาดอ้าน
รหัสประจำตัว	43061036
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2546
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. กอบชัย เดชหาญ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอ การออกแบบระบบเชื่อมต่อข้อมูลแบบจุดต่อจุดโดยใช้เครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูล SDH (Synchronous Digital Hierarchy) เป็นเครือข่ายหลักในการส่งผ่านข้อมูล แล้วนำข้อมูลจากระบบที่ออกแบบมาคำนวณและแสดงผล ด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น เพื่อให้ระบบทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยวิทยานิพนธ์นี้ แสดงถึงการออกแบบระบบตรวจจับปริมาณจราจร และระบบตรวจนับปริมาณจราจรซึ่งติดตั้งตามจุดต่าง ๆ บนทางด่วน บริเวณทางร่วม ทางลงและทางขึ้น แล้วส่งข้อมูลมายังศูนย์ควบคุม ผ่านเครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูล SDH โดยใช้ระดับความเร็วเชื่อมต่อ 2.048 Mbps ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของเครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูล SDH โดยใช้โปรแกรม Data Scope ตรวจสอบ และแสดงปริมาณข้อมูล ที่โหนดต้นทางและโหนดปลายทางซึ่งจะต้องมีค่าเท่ากัน อีกทั้งแสดงผลของข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น มีความถูกต้องตามความจริง เมื่อเทียบจากสภาพจราจรในแต่ละวัน ข้อมูลดังกล่าวสามารถเก็บไว้เป็นฐานข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ และวางแผนการจราจรต่อไปได้

Thesis Title	Design of Point-to-Point Data Interfacing via SDH
Student	Mr.Piroj Hadaan
Student ID.	43061036
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2003
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Kobchai Dejhan

ABSTRACT

This thesis presents the design of point-to-point data communication system better using SDH as the main networking in sending and receiving data. In order to achieve the efficiency operation, the data from proposed system will be calculated and displayed by the software program. In this thesis, the design of traffic detecting and traffic counting systems which are installed for all part of the express ways are represented. The experimental results from the data scope are shown that the high efficiency of the interfacing at 2.048 Mbps. Finally the traffic system can be analyzed and planning by the data that are kept on the database.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเพราะได้รับคำแนะนำและการให้คำปรึกษาจาก รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ และแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ข้าพเจ้ามีความรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ของท่าน

ขอขอบคุณ บริษัททางด่วนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการทดลอง และพนักงานแผนกวิศวกรรมระบบของ บริษัททางด่วนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ ซึ่งทำให้การวิจัย และการทำวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่แผนกบัณฑิตศึกษา ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ และเพื่อนๆ ทุกท่านที่ให้กำลังใจต่อผู้วิจัยตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่ อันเป็นที่รักยิ่งที่สนับสนุน และเป็นแรงบันดาลใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขออำนาจคุณพระศรีรัตนตรัยและสิ่งศักดิ์สิทธ์ทั้งหลาย จงดลบันดาลให้ผู้มีพระคุณทุกท่าน ประสบความสำเร็จ มีความสุขความเจริญด้วยจตุรพิษพร และประสบความสำเร็จในหน้าที่การงานทุกประการ

ไพโรจน์ หาดอ้าน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VII

สารบัญรูป.....VIII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย.....1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์….. 2

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....2

1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....2

บทที่ 2 SDH (Synchronous Digital Hierarchy) 3

2.1 กล่าวนำ.....3

2.2 องค์ประกอบเฟรม STM-1.....3

2.2.1 Container (C).....4

2.2.2 Virtual Containers (VC).....4

2.2.3 Tributary Unit (TU).....4

2.2.4 Tributary Unit Group (TUG) 4

2.2.5 Administrative Unit (AU).....5

2.2.6 Administrative Unit Group (AUG).....5

2.3 วิธีการของเฟรมข้อมูล STM-1.....5

2.3.1 การแมพ (Mapping).....5

2.3.2 การปรับ (Aligning).....7

2.3.3 การประมวลผล Pointer.....7

2.3.4 การเชื่อมต่อ (Concatenation).....8

2.3.5 การมัลติเพล็กซ์ (Multiplexing).....8

สารบัญ (ต่อ)

2.4 การจัดรวมสัญญาณ STM-1 (155.52 Mbps)..12

2.4.1 Section Overhead (SOH)..13

2.4.2 Path Overhead (POH)..17

2.4.3 การทำงานของ Pointer..23

2.5 การจัดรวมสัญญาณระดับล่าง (2.048 Mbps)..25

บทที่ 3 การออกแบบระบบ..27

3.1 กล่าวนำ..27

3.2 เครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูลแบบใช้โมเด็ม..27

3.3 เครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูล SDH..28

3.3.1 การจัดโครงสร้างการมัลติเพล็กซ์สัญญาณ STM-1/155.52 Mbps..........30

3.3.2 การจัดโครงสร้างการมัลติเพล็กซ์สัญญาณ Low Order/2.048 Mbps.......31

3.4 ระบบตรวจจับปริมาณจราจร..33

3.4.1 ระบบตรวจจับปริมาณจราจร แบบอัลตร้าโซนิกส์..34

3.4.2 ระบบตรวจนับปริมาณจราจร แบบขดลวดเหนี่ยวนำ..37

3.5 การแปลงโปรโตคอล..39

3.6 โปรแกรมควบคุมระบบ..39

3.6.1 การออกแบบโปรแกรมที่ ตัวตรวจจับบริเวณทางร่วม และทางลง
ทางด่วน..39

3.6.2 การออกแบบโปรแกรมที่ ตัวตรวจจับปริมาณจราจรบริเวณทางขึ้น........42

3.6.3 การออกแบบโปรแกรมที่ศูนย์ควบคุมทางด่วน..43

บทที่ 4 ผลการทดลอง..46

4.1 กล่าวนำ..46

4.2 ผลการตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบ..46

4.3 ผลการตรวจจับข้อมูลปริมาณจราจรบนทางด่วน..47

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 5 สรุปงานวิจัย และข้อเสนอแนะ... 66

5.1 บทสรุป...66

5.2 ข้อเสนอแนะ และแนวทางพัฒนา...66

เอกสารอ้างอิง..68

ภาคผนวก..69

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์และได้รับการตีพิมพ์.......................................69

ประวัติผู้เขียน..76

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ฟังก์ชั่นของ Byte K1...15

2.2 ฟังก์ชั่นของ Byte K2...16

2.3 คำอธิบายของ S1-Byte 17

2.4 รหัสแสดงการแมพสัญญาณของ C2 Byte ใน VC-4..................................19

2.5 ความหมายของการเข้ารหัสไบต์ G1 (b5-b7)..20

2.6 เลเบลสัญญาณใน VC-12. 22

2.7 ความหมายของการเข้ารหัสไบต์ K4 (b5-b7)...23

3.1 การจัดโครงสร้างการมัลติเพล็กซ์สัญญาณ Low Order/2.048 Mbps ที่ศูนย์ควบคุม............31

3.2 การจัดโครงสร้างการมัลติเพล็กซ์สัญญาณ Low Order/2.048 Mbps ที่โหนดปลายทาง........32

4.1 ปริมาณจราจรบริเวณทางร่วม 1 (วันที่ 1)...48

4.2 ปริมาณจราจรบริเวณทางร่วม 1 (วันที่ 2)...49

4.3 ปริมาณจราจรบริเวณทางลง (วันที่ 1)...50

4.4 ปริมาณจราจรบริเวณทางลง (วันที่ 2)...51

4.5 ปริมาณจราจรบริเวณทางขึ้น (วันที่ 1, 2)..52

4.6 ปริมาณจราจรบริเวณทางร่วม 2 (วันที่ 1)...53

4.7 ปริมาณจราจรบริเวณทางร่วม 2 (วันที่ 2)...54

4.8 รายงานสภาพจราจรประจำวัน..65

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 รูปแบบการมัลติเพล็กซ์สัญญาณข้อมูล ของเครือข่าย SDH	3
2.2 การแมพเข้าไปใน VC-3 : (ก) C-3 และ (ข) TUG-2	6
2.3 การมัลติเพล็กซ์ของ TUG-3ให้เป็น VC-4	7
2.4 องค์ประกอบของ Low Order VC และ TU	9
2.5 การมัลติเพล็กซ์ของ TUG-2 ให้เป็นสัญญาณ TUG-3	10
2.6 การมัลติเพล็กซ์ของ AUG จำนวน N ช่องให้เป็นสัญญาณ STM-N	11
2.7 โครงสร้างพื้นฐานเฟรม STM-1	12
2.8 ส่วนของ Overhead STM-1	13
2.9 ส่วนของ Overhead VC-4	18
2.10 สถานะบิตข้อมูลของ G1 ที่ VC-4-Xc/VC-4/VC-3	19
2.11 ส่วนของ Overhead VC-12	21
2.12 การทำงานของ Pointer	23
2.13 Positive Justification	24
2.14 Negative Justification	25
2.15 โครงสร้างเฟรมข้อมูลของ First Order PCM	26
3.1 แสดงเครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูลแบบใช้โมเด็ม	27
3.2 การสื่อสารแบบจุดต่อจุดโดยใช้ SDH เป็นเครือข่ายหลัก	28
3.3 โปรแกรมการจัดโปรโตคอล NSAP และ MAC Address ของโหนด 1	30
3.4 โปรแกรมการจัดโครงสร้างการมัลติเพล็กซ์สัญญาณ STM-1	31
3.5 โปรแกรมการจัดช่องสัญญาณมัลติเพล็กซ์ 2.048 Mbps	33
3.6 การตรวจจับยานพาหนะโดยใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกส์	35
3.7 แสดงตัวตรวจจับปริมาณจราจรแบบใช้หลักการสะท้อนของคลื่นเสียงย่านอัลตร้าโซนิกส์	37
3.8 แสดงตัวตรวจจับปริมาณจราจรแบบใช้หลักการเหนี่ยวนำของขดลวด	38
3.9 Flow Chart การทำงานของตัวตรวจจับปริมาณจราจรแบบอัลตร้าโซนิกส์	41
3.10 Flow Chart การทำงานของตัวตรวจจับปริมาณจราจรแบบขดลวดเหนี่ยวนำ	42
3.11 โปรแกรมที่ศูนย์ควบคุมสำหรับควบคุมตัวตรวจจับปริมาณจราจรบนทางด่วน	44
3.12 Flow Chart การออกแบบโปรแกรมที่ศูนย์ควบคุม	45
4.1 ข้อมูลที่โหนดต้นทาง	46

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.2 ข้อมูลที่โหนดปลายทาง.. 47

4.3 (ก) กราฟแสดงปริมาณจราจรบริเวณทางร่วม 1 (วันที่ 1).. 55

(ข) กราฟแสดงความเร็วเฉลี่ยบริเวณทางร่วม 1 (วันที่ 1)..55

(ค) กราฟแสดงอัตราการใช้ถนนบริเวณทางร่วม 1 (วันที่ 1).......................................56

4.4 (ก) กราฟแสดงปริมาณจราจรบริเวณทางร่วม 1 (วันที่ 2)..56

(ข) กราฟแสดงความเร็วเฉลี่ยบริเวณทางร่วม 1 (วันที่ 2)..57

(ค) กราฟแสดงอัตราการใช้ถนนบริเวณทางร่วม 1 (วันที่ 2).......................................57

4.5 (ก) กราฟแสดงปริมาณจราจรบริเวณทางลง (วันที่ 1).. 58

(ข) กราฟแสดงความเร็วเฉลี่ยบริเวณทางลง (วันที่ 1).. 58

(ค) กราฟแสดงอัตราการใช้ถนนบริเวณทางลง (วันที่ 1)... 59

4.6 (ก) กราฟแสดงปริมาณจราจรบริเวณทางลง (วันที่ 2)..59

(ข) กราฟแสดงความเร็วเฉลี่ยบริเวณทางลง (วันที่ 2).. 60

(ค) กราฟแสดงอัตราการใช้ถนนบริเวณทางลง (วันที่ 2)...60

4.7 (ก) กราฟแสดงปริมาณจราจรบริเวณทางขึ้น (วันที่ 1)... 61

(ข) กราฟแสดงปริมาณจราจรบริเวณทางขึ้น (วันที่ 2)... 61

4.8 (ก) กราฟแสดงปริมาณจราจรบริเวณทางร่วม 2 (วันที่ 1)..62

(ข) กราฟแสดงความเร็วเฉลี่ยบริเวณทางร่วม 2 (วันที่ 1).. 62

(ค) กราฟแสดงอัตราการใช้ถนนบริเวณทางร่วม 2 (วันที่ 1)....................................... 63

4.9 (ก) กราฟแสดงปริมาณจราจรบริเวณทางร่วม 2 (วันที่ 2)..63

(ข) กราฟแสดงความเร็วเฉลี่ยบริเวณทางร่วม 2 (วันที่ 2)..64

(ค) กราฟแสดงอัตราการใช้ถนนบริเวณทางร่วม 2 (วันที่ 2)....................................... 64

4.10 เส้นทางหนึ่งช่วงจราจร... 65

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย

ปัจจุบันในเมืองไทย มีการใช้ระบบสื่อสารข้อมูลหลากหลายรูปแบบ ส่วนหนึ่งเป็นเรื่องของเครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูล (Transmission Network Data) โดยเฉพาะองค์กรที่มีลักษณะการควบคุมอุปกรณ์ แบบศูนย์ควบคุมกระจายไปยังอุปกรณ์ปลายทาง (Point-to-Point) เทคโนโลยีของเครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูลส่วนใหญ่ที่ถูกเลือกนำมาใช้งานคือโมเด็ม เมื่อมีการขยายอุปกรณ์ควบคุมหรือการเชื่อมต่อระหว่างระบบควบคุมกับระบบควบคุม ภายหลังการติดตั้งระบบมักพบปัญหาในเรื่องเทคโนโลยี และความหลากหลายของโปรโตคอลของระบบควบคุมเอง รวมถึงจำนวนของสายส่งสัญญาณที่ต้องมีการเพิ่มทุกครั้ง เครือข่ายข้อมูล SDH (Synchronous Digital Hierarchy) เป็นเครือข่ายสมรรถนะสูง มีคุณสมบัติรองรับอุปกรณ์ควบคุมได้หลายระดับความเร็วเช่น 1.544, 2.048, 6.312, 34.368 หรือ 44.735 และ 139.264 Mbps (มาตรฐานยุโรป) มีความยืดหยุ่นในเรื่องโปรโตคอลสำหรับการเชื่อมต่อ และสามารถตอบสนองความต้องการใช้จำนวนความจุ (Capacity) ของช่องสัญญาณได้จำนวนมาก

การนำเทคโนโลยีเครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูลแบบ SDH มาประยุกต์ใช้แทนที่เครือข่ายที่มีการเชื่อมต่อข้อมูลแบบจุดต่อจุด (Point-to-Point) ที่ใช้โมเด็มเป็นเครือข่ายหลักที่มีการใช้งานอยู่เดิม ทำให้สามารถลดจำนวนการใช้งานโมเด็ม และสายส่งสัญญาณ (Data Transmission) เนื่องจากเครือข่าย SDH ใช้ระบบเชื่อมโยงข้อมูลเป็นแบบริง และใช้ใยแก้วนำแสงเป็นสายส่งสัญญาณระหว่างโหนด แล้วกระจายการควบคุมไปตามจุดที่โหนดต่าง ๆ โดยใช้หลักการแพ็คเก็จ หรือบรรจุสัญญาณดิจิตอลลงในเฟรม STM-1 (155.52 Mbps) ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนด Rec.G709 แล้วจัดส่งเฟรมข้อมูลผ่านเครือข่ายแบบริง กระจายไปควบคุมอุปกรณ์ปลายทางที่ต่ออยู่ที่โหนดต่างๆ อย่างไรก็ตามเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูลหลักแทนระบบเดิม และการควบคุมอุปกรณ์แบบหลายโปรโตคอลมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อเพื่อแปลงโปรโตคอล (Convert Protocol) ให้ระบบที่มีอยู่เดิมสามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูล SDH ได้อย่างมีประสิทธิภาพ วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอถึงการออกแบบระบบเชื่อมต่อข้อมูลแบบจุดต่อจุด โดยใช้เครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูล SDH เป็นเครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูลหลัก และได้ออกแบบโปรแกรมสำหรับใช้งานเฉพาะ เพื่อรับข้อมูลจากระบบที่ออกแบบมาช่วยวิเคราะห์ข้อมูล

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ การออกแบบระบบเชื่อมต่อข้อมูลแบบจุดต่อจุดโดยใช้เครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูล SDH เป็นเครือข่ายหลักในการส่งผ่านข้อมูล โดยนำมาแทนที่เครือข่ายแบบเดิมที่ใช้โมเด็มเป็นเครือข่ายหลักสำหรับส่งผ่านข้อมูล และออกแบบโปรแกรมที่ศูนย์ควบคุมเพื่อใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ปลายทาง อีกทั้งได้รับข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ปลายทางมาแสดงผลด้วยโปรแกรมที่ออกแบบ แบบค่าเวลาจริง แล้วประมวลผลข้อมูลเพื่อเก็บเป็นฐานข้อมูลสำหรับใช้ประโยชน์ต่อไป

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

งานวิจัยฉบับนี้จะกล่าวถึง การออกแบบระบบเชื่อมต่อข้อมูลแบบจุดต่อจุด ซึ่งมีอุปกรณ์ควบคุมติดตั้งกระจายตามจุดต่าง ๆ จำนวนมาก โดยใช้เครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูล SDH แทนที่เครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูลแบบใช้โมเด็มเป็นเครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูลหลักที่ใช้อยู่เดิม และได้ออกแบบโปรแกรมสำหรับควบคุมระบบที่ศูนย์ควบคุม และโปรแกรมเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ควบคุมที่มีอยู่เดิมได้ใช้ Software Data Scope ในการ Monitor ข้อมูล เพื่อแสดงให้เห็นถึงโปรโตคอลของข้อมูลจากระบบที่ออกแบบ และแสดงให้เห็นถึงจำนวนข้อมูลระดับไบต์ที่ส่งผ่านเครือข่ายทั้งด้านส่ง และด้านรับของเครือข่ายซึ่งเป็นการตรวจสอบความถูกต้องวิทยานิพนธ์นี้ ได้ออกแบบเป็นระบบควบคุมการจราจรคือระบบตรวจจับปริมาณการจราจร (Vehicle Detector) บนทางด่วน จากโปรแกรมที่ออกแบบได้เก็บข้อมูลปริมาณจราจรไว้เป็นฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ และวางแผนการจราจรบน ทางด่วน

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

การทำโครงงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีขั้นตอนการศึกษาเริ่มจากการศึกษาการทำงานของเครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูล SDH ในเรื่อง ระดับความเร็วสัญญาณ และโปรโตคอลที่เครือข่ายสามารถรองรับการเชื่อมต่อของระบบควบคุมข้อมูลแบบจุดต่อจุดที่ออกแบบ ตลอดจนการกำหนดคุณสมบัติ (Configuration) และการจัดโครงสร้างการมัลติเพล็กซ์ของเครือข่าย เพื่อความเหมาะสมในการใช้งาน ในส่วนของระบบเชื่อมต่อข้อมูลแบบจุดต่อจุดที่ออกแบบได้ออกแบบเป็นระบบตรวจจับปริมาณจราจรบนทางด่วน ซึ่งแบ่งระบบออกเป็น 2 แบบ คือ ระบบตรวจจับปริมาณจราจรแบบอัลตร้าโซนิกส์ และระบบตรวจจับปริมาณจราจรแบบขดลวดเหนี่ยวนำ ซึ่งจะมีคุณสมบัติการตรวจจับที่แตกต่างกัน รวมถึงการออกแบบตัวแปลงโปรโตคอลเพื่อการควบคุมอุปกรณ์ที่มีระยะไกลจากเครือข่าย จากนั้นได้ศึกษา และออกแบบโปรแกรมในส่วนของตัวตรวจจับปริมาณจราจรทั้งสองระบบ และได้ออกแบบโปรแกรมควบคุมระบบในส่วนของศูนย์ควบคุมเพื่อใช้ในการควบคุมระบบและรับข้อมูลจากตัวตรวจจับ มาวิเคราะห์และรายงานสภาพการจราจรบนทางด่วน

บทที่ 2

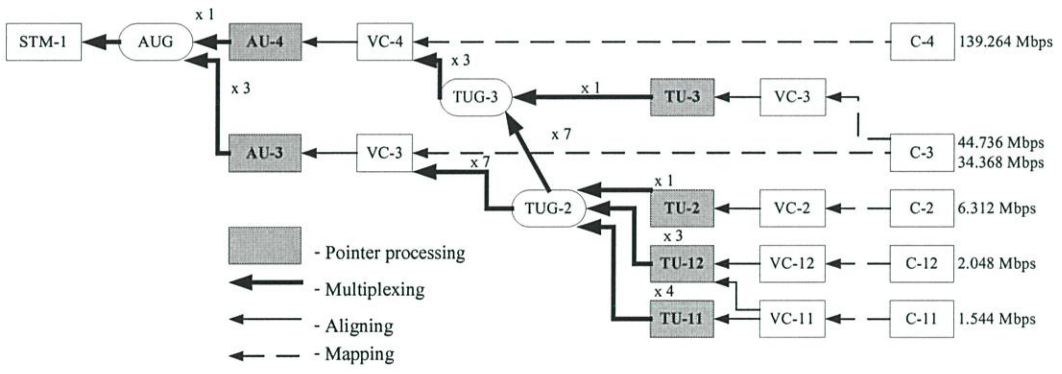
SDH (Synchronous Digital Hierarchy)

2.1 กล่าวนำ

จากแนวคิดในการหามาตรฐานของเครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูลเพื่อรองรับ การรับ-ส่งสัญญาณระดับความเร็วสูงและมีความยืดหยุ่นได้มากในการเชื่อมต่อสัญญาณระดับล่าง Internation Telecommunication Union-Telecommunication Standard Zation Sector (ITU-T) ได้พัฒนาและออกแบบข้อกำหนดมาตรฐานโดยออกมาตรฐานในส่วนพื้นฐานและรูปแบบของระบบ SDH เป็น 3 มาตรฐาน [4][5][6] คือ

1. G.707 ข้อกำหนดรายละเอียดเกี่ยวกับความเร็วในการรับ-ส่งสัญญาณ (SDH Bit rates)
2. G.708 ข้อกำหนดรายละเอียดเกี่ยวกับอินเตอร์เฟสสัญญาณ (Network Node Interface)
3. G.709 ข้อกำหนดรายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างการมัลติเพล็กซ์

จากคุณสมบัติข้างต้น ของเครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูล SDH สามารถนำมาประยุกต์ใช้ทดแทนเครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูลแบบเดิมได้



รูปที่ 2.1 รูปแบบการมัลติเพล็กซ์สัญญาณข้อมูล ของเครือข่าย SDH

2.2 องค์ประกอบเฟรม STM-1

รูปแบบการรับ-ส่งข้อมูลในระบบ SDH จะมีการจัดแบ่งความเร็วในการรับ-ส่งออกข้อมูลเป็นระดับชั้น (Hierarchy) ซึ่งต้องผ่านกระบวนการแมพ(Mapping) การมัลติเพล็กซ์ (Multiplexing) การปรับแต่ง (Aligning) กระทั่งได้ระดับความเร็วพื้นฐาน STM-1 ที่มีความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูล 155.52 Mbps

2.2.1 Container (C)

Container เป็นหน่วยของโครงสร้าง STM จากเหตุผลที่สัญญาณ PDH ทั้งหมดจะต้องแมพเข้าไปในคอนเทนเนอร์ ที่จัดให้โดยเฉพาะ ก่อนที่สัญญาณสาขาต่าง ๆ จะดำเนินการตามวิธีการ STM และออกมาเป็นส่วนของสัญญาณ STM-N คอนเทรนเนอร์ต่าง ๆ ของโครงสร้าง STM สามารถแบ่งออกเป็นระดับ C-1, C-2, C-3 และ C-4 ซึ่งมีตัวเลขแสดงให้ทราบซึ่งตรงกับระดับของ Digital Hierarchy นั้น ๆ

2.2.2 Virtual Containers (VC)

VC สนับสนุนการต่อระหว่าง Path section layers ขณะที่กำลังรับ-ส่งสัญญาณซิงโครนัส VC ประกอบด้วยเพย์โหลดซึ่งใช้ขนส่งข้อมูลข่าวสารและ POH ส่วนเพย์โหลดเหมือนกับคอนเทรนเนอร์ และเฟรมของ VC ทั้งหมดเกิดจากการกระทำซ้ำ ๆ กันทุก 125 หรือ 500 ไมโคร-วินาที VC มีอยู่ 4 ระดับคือ VC-1, VC-2, VC-3, และ VC-4 ซึ่งตรงกับ C-1, C-2, C-3 และ C-4 ตามลำดับ VC-1 ยังแบ่งออกเป็น VC-11 และ VC-12 เช่นเดียวกับ C-1, VC-1, และ VC-2 เรียกว่า Lower order VC แล้วก็ VC-3 และ VC-4 เรียกว่า Higher Order VC POH สำหรับ Lower Order VC เรียกว่า VS และ POH สำหรับ Higher order VC เรียกว่า VC-3 POH หรือ VC-4 POH

2.2.3 Tributary Unit (TU)

TU ได้ออกแบบมาเพื่อให้สามารถดัดแปลงให้ได้อยู่ระหว่าง Higher และ Lower Order Path Layers เช่น การแมพ Lower Order VC เข้าไปใน Higher Order VC จะต้องผ่าน TU หรือ TUG TU เกิดจากการใส่ TU PTR เข้ากับ Lower Order VC และใช้ Pointer นี้แสดงลำดับการเริ่มต้นของ Lower Order VC ให้สัมพันธ์ กับตำแหน่งเริ่มต้นของเฟรมของ Higher Order VC TU ได้แบ่งออกเป็น TU-1, TU-2, และ TU-3, TU-1 ยังแบ่งต่อไปได้อีกเป็น TU-11 และ TU-12 ขึ้นอยู่กับชนิดของ VC ที่บรรจุอยู่

2.2.4 Tributary Unit Group (TUG)

TUG ทำหน้าที่รวม TU หนึ่งหรือหลายยูนิตเข้าด้วยกัน และโหลดสัญญาณเหล่านั้นไปยังตำแหน่งที่กำหนดให้ที่เพย์โหลดของ Higher Order VC เมื่อ TUG สร้างมาจาก TU ต่าง ๆ ไม่ต้องเพิ่มโอเวอร์เฮดเข้าไปอีก TUG มีอยู่สองประเภทคือ TUG-2 และ TUG-3 TUG-2 เกิดจากการรวมกลุ่มของสัญญาณ TU-1 ที่เป็นประเภทเดียวกันหรือการแมพจาก TU-2 ยูนิตเดียวโดยตรง ในทำนองเดียวกัน TUG-3 เกิดจากการรวมของ TU-2 หลายยูนิตเข้าด้วยกัน หรือจาก TU-3 ยูนิตเดียว

2.2.5 Administrative Unit (AU)

AU ทำหน้าที่เป็นตัวแปลงสัญญาณอยู่ระหว่าง Higher Order Path Layer กับ Multiplexer Section Layer AU ประกอบด้วยเพย์โหลดและ AU PTR เพย์โหลดทำหน้าที่ขนส่ง Higher Order VC และ AU PTR จะแสดงการเริ่มต้นให้สัมพันธ์กันระหว่างตำแหน่งเริ่มต้นของ AU เพย์โหลดกับเฟรมของ Multiplexer Section Layer อีกนัยก็คือ AU มีอยู่สองชนิดคือ AU-3 และ AU-4 ซึ่งจะบรรจุสัญญาณ VC-3 และ VC-4 ตามลำดับ และ AU PTR จะแสดงลำดับการเริ่มต้นของ VC-3 หรือ VC-4 ในส่วน STM-N Frame

2.2.6 Administrative Unit Group (AUG)

AU หนึ่งหรือหลายยูนิตจะครองตำแหน่งที่กำหนดให้ที่ STM Payload ที่เรียกว่า AUG AUG สามารถจะขนส่งสัญญาณ AU-3 ได้สามยูนิต หรือ AU-4 ได้หนึ่งยูนิต Synchronous Transport Module (STM) STM เป็นผลสุดท้ายของโครงสร้าง STM และเป็นสัญญาณที่แท้จริงที่ส่งออกไปตลอดโครงข่ายสื่อสัญญาณซิงโครนัส สัญญาณ STM-N เกิดจากการมัลติเพล็กซ์สัญญาณ AUG จำนวน N ด้วยวิธีการ Byte-Interleaved และเพิ่ม SOH เข้าที่จุดเริ่มต้นของเฟรมของมัน ในที่นี้ N=1, 4, 16 และ 64 เป็นระดับสัญญาณที่ต่อเนื่องกัน

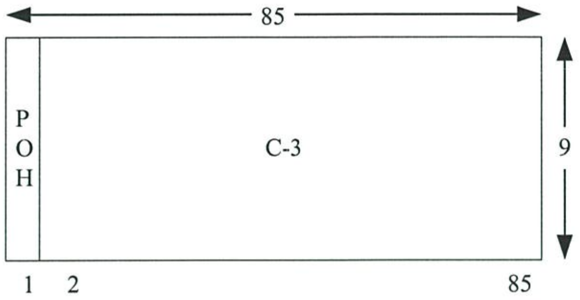
2.3 วิธีการของเฟรมข้อมูล STM-1

2.3.1 การแมพ (Mapping)

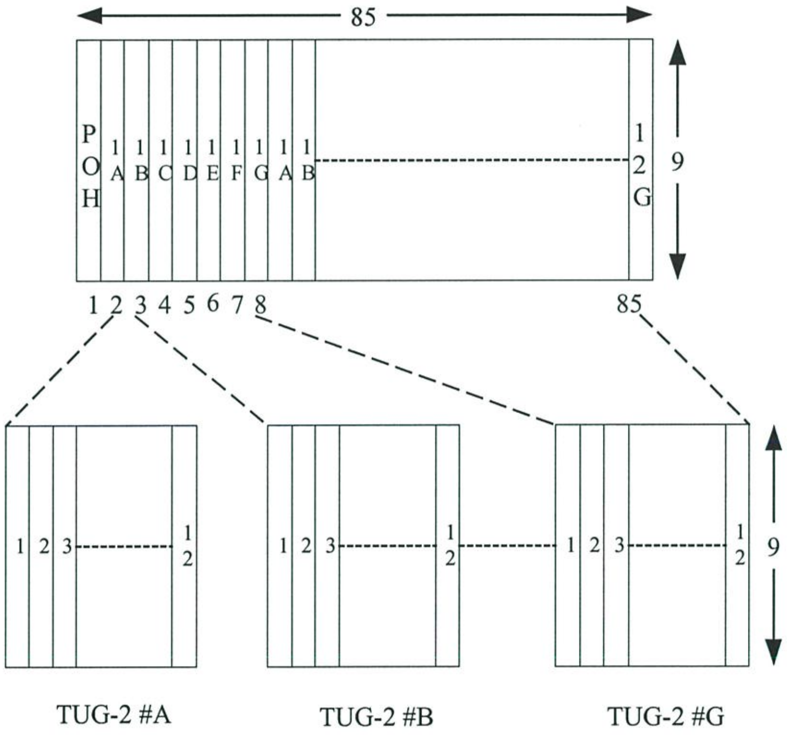
การแมพคือการเปลี่ยนรูปของสัญญาณสาขาต่าง ๆ ให้เหมาะกับคอนเทรนเนอร์ (C) หรือ VC ต่าง ๆ ที่ตรงกันที่อยู่ริมขอบของโครงข่าย SDH เนื่องจากสัญญาณสาขาต่าง ๆ ที่ส่งออกไปจากอุปกรณ์อะซิงโครนัส จำเป็นต้องทำให้ซิงโครไนซ์กันเสียก่อน โดยวิธี P/Z/N Justification ก่อนที่สัญญาณสาขาต่างๆ จะถูกแมพเข้าไปในซิงโครนัส คอนเทรนเนอร์ (C) หรือ VC ต่าง ๆ

2.3.1.1 การแมพสัญญาณเข้าไปใน VC-3

VC-3 มีพื้นที่ 9B 85 คอลัมน์ คอลัมน์ที่หนึ่งใช้สำหรับ POH และส่วนที่เหลืออีก 84 คอลัมน์ใช้สำหรับเพย์โหลดซึ่งใช้สำหรับขนส่ง C-3 หรือ TUG-2 เมื่อแมพ C-3 เข้าไปใน VC-3 ดังที่ได้แสดงให้เห็นใน รูปที่ 2.2 ก. ส่วน TUG-2 สามารถมัลติเพล็กซ์เข้าไปในเพย์โหลดของ VC-3 ได้เจ็ดยูนิต ดังที่แสดงให้เห็นใน รูปที่ 2.2 ข. เนื่องจาก TUG-2 แต่ละยูนิต มีจำนวน 9B 12 คอลัมน์ เพย์โหลดของ VC-3 มี 84 คอลัมน์จึงสามารถบรรจุ TUG-2 ได้สูงสุดเจ็ดยูนิต ในที่นี้ TUG ต่าง ๆ ภายใน VC-3 จะต้องมีเฟสอย่างเดียวกัน และข้อมูลเกี่ยวกับเฟสจะแสดงให้ทราบโดย H4 ไบต์ ใน POH ของ VC-3



(ก)

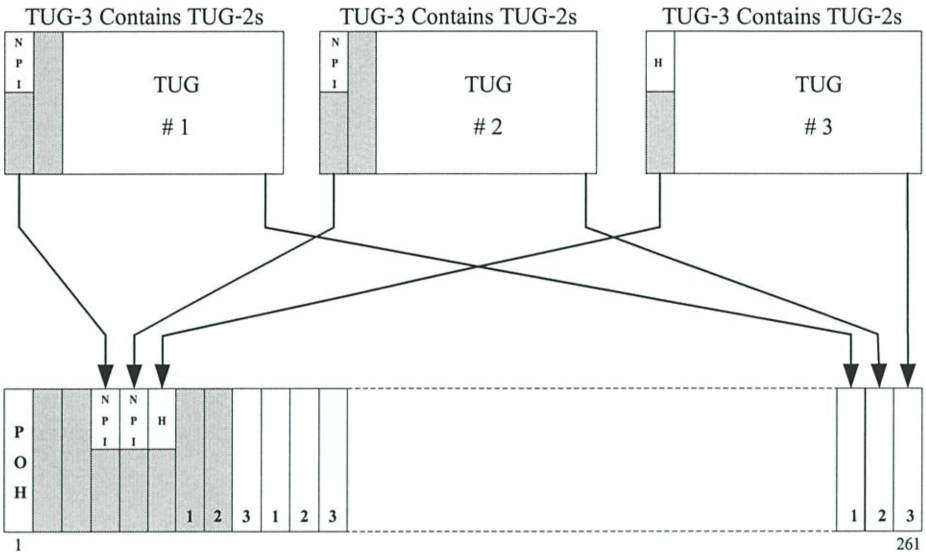


(ข)

รูปที่ 2.2 การแมพเข้าไปใน VC-3 : (ก) C-3 และ (ข) TUG-2

2.3.1.2 การแมพสัญญาณเข้าไปใน VC-4

VC-4 มี 261 คอลัมน์ โดยแต่ละคอลัมน์มีจำนวน 9 ไบต์ คอลัมน์ที่หนึ่งใช้สำหรับ POH



รูปที่ 2.3 การมัลติเพล็กซ์สัญญาณของ TUG-3 ให้เป็น VC-4

และส่วนที่เหลืออีก 260 คอลัมน์ ใช้เป็นเพย์โหลดของ VC-4 สำหรับบรรจุสัญญาณที่แมพมาจาก C-4 หรือ TUG-3 การแมพสัญญาณ C-4 เข้าไปใน VC-4 สำหรับบรรจุสัญญาณที่แมพมาจาก C-4 หรือ TUG-3 การแมพสัญญาณ C-4 เข้าไปใน VC-4 แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.3 การมัลติเพล็กซ์ TUG-3 สามยูนิตเข้าไปในเพย์โหลดของ VC-4 ที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.3 นั้นกระทำในลักษณะ Byte-Interleaved เนื่องจากแต่ละ TUG-3 มีขนาด 9B 66 คอลัมน์ ดังนั้นเมื่อโหลด TUG-3 สามยูนิตเข้าไปในเพย์โหลดของ VC-4 จะมีพื้นที่เหลืออีกสองคอลัมน์ซึ่งจะบรรจุด้วย Fixed Stuff Bytes ให้เต็มทั้งสองคอลัมน์ TUG ต่าง ๆ ทั้งหมดที่อยู่ภายใน VC-4 ต้องมีเฟสอย่างเดียวกัน และข้อมูลที่แสดงภาวะของเฟสจะแสดงให้ทราบโดย H4 ไบต์ ซึ่งอยู่ใน POH ของ VC-4

2.3.2 การปรับ (Aligning)

การปรับเกี่ยวกับการดำเนินการโหลดสัญญาณ VC ไปยัง TU หรือ AU พร้อมกับข้อมูล“Frame Offset” ในที่นี้ Frame Offset เกิดจากสัญญาณนาฬิการะหว่าง VC กับ TU หรือ AU ที่ตรงกันมีความต่างกัน VC จะถูกปรับไป 1 ไบต์ หรือ 3 ไบต์ ให้ตรงกับที่กำหนดไว้ Alignment Status จะแสดงให้ทราบโดย TU หรือ AU PTR

2.3.3 การประมวลผล Pointer

การประมวลผล Pointer จะถูกนำมาใช้เมื่อมี Frame Offset เกิดขึ้น เนื่องจากความถี่สัญญาณนาฬิการะหว่าง VC กับ TU ที่ตรงกัน มีความแตกต่างกัน จำเป็นต้องใช้การประมวลผลของ Pointer แสดงตำแหน่งเริ่มต้น (และการเปลี่ยนแปลงข้อมูลของมัน) ของ VC ที่พื้นที่เพย์โหลดของ TU หรือ AU และเชื่อมสัมพันธ์กับข้อมูล P/Z/N Justification

2.3.4 การเชื่อมต่อ (Concatenation)

การเชื่อมต่อ VC หลาย ๆ ยูนิตเข้าด้วยกันแบบอนุกรม จะทำให้การโหลดความจุทั้งหมดไปยัง VC ยูนิตเดียวนั้นลดลง ซึ่งทำให้ Bit Sequency ดำเนินไปอย่างถูกต้อง เรียกว่า "การเชื่อมต่อ (concatenation)" เช่น ถ้าต้องการจะแมพคอนเทรนเนอร์ (C) จำนวน X เข้าไปในเพย์โหลดที่มีอยู่ การที่จะให้ Bit Sequence ดำเนินการไปอย่างถูกต้องนั้นกระทำได้ลำบาก เมื่อได้แยก VC ออกเป็นจำนวน X นำ VC มาเชื่อมต่อกันเพื่อสร้าง Virtual Container VC-2-XC ใหม่ และส่งต่อไป การสร้าง VC-4-XC ก็กระทำเช่นเดียวกัน คือการนำเอา VC-4 จำนวน X มาเชื่อมต่อกัน ในที่นี้ X หมายถึงจำนวน VC ที่นำมาเชื่อมต่อ และตัวอักษร C แทนการเชื่อมต่อ (Concateration)TU-2-XC และ AU-4-XC ก็ทำวิธีเดียวกัน

2.3.4.1 การเชื่อมต่อ AU-4 เข้าด้วยกัน

ถ้าเพย์โหลดที่ส่งออกไปมีความจุการส่งมากกว่า VC-4 ยูนิตเดียว สามารถนำเอา AU-4-xc มาใช้แทน ซึ่งก็คือการเชื่อมต่อ AU-4 จำนวน X ยูนิตเข้าด้วยกัน เมื่อมองภายนอกของ AU-4-xc จะเป็นเหมือนกันกับ AUG-x, Concatenation Status จะแสดงให้ทราบโดย Pointer Bytes รูปแบบการเชื่อมต่อของ Pointer เหมือนกันกับ x Byte–Interleaved AU-4 PTR ในกรณีนี้ AU-4 PTR ชุดที่หนึ่งทำหน้าที่ Pointer ตามปกติ และ Pointer Elements ที่ยังเหลืออยู่อีก x-1 จะแสดง Concatenation Status ซึ่งจะทำให้ได้ผลตามที่ต้องการ ต้องกำหนด H1 c และ H2 ไบต์ให้ตรงกับ Y และ 1* เพย์โหลดของ Administrative Unit ที่เชื่อมต่อเข้าด้วยกันจะมีจำนวน 261 x คอลัมน์ เมื่อ X=1 (เช่นในกรณีของ AU-4) แบ่งเพย์โหลดออกมา 1 คอลัมน์ใช้เป็น POH และที่เหลืออยู่อีก 260 คอลัมน์ ใช้สำหรับขนส่วนสัญญาณ C-4 ซึ่งแปลงความจุเพย์โหลดให้เป็นอัตราบิตจะได้เท่ากับ 149.760 Mbps (260 X 9 X 64 Kbps) เมื่อ X>1 ในจำนวน X คอลัมน์จะใช้คอลัมน์ที่หนึ่งเพียงคอลัมน์เดียวเท่านั้นสำหรับ POH และที่เหลืออีก X-1 คอลัมน์จะบรรจุ Fixed Overheads แทน ดังนั้นความจุเพย์โหลดจะเท่ากับจำนวนบิต 149.760 X Mbps ดังนั้นในกรณี X=4 ความจุของเพย์โหลดก็จะเท่ากับจำนวนบิต 599.04 Mbps

2.3.5 การมัลติเพล็กซ์ (Multiplexing)

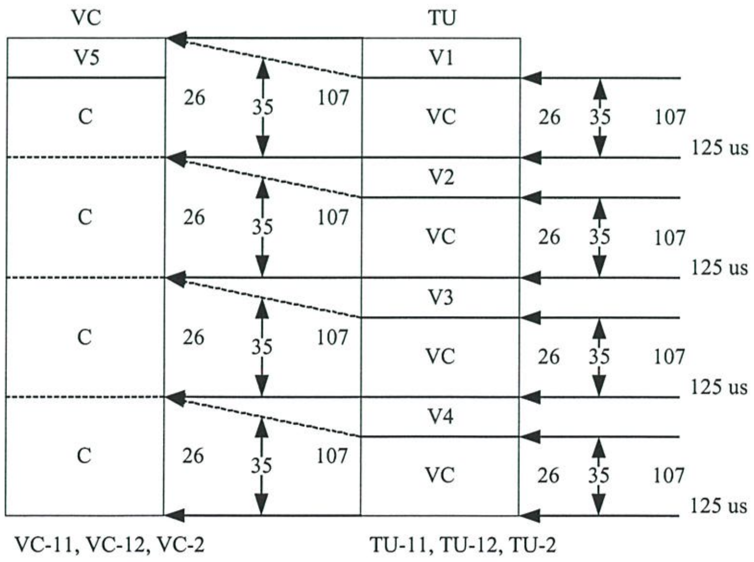
การมัลติเพล็กซ์ คือการนำเอาสัญญาณ Lower Order Path Layer หลาย ๆ สัญญาณมารวมกันด้วยวิธีการ Byte-Interleaved ให้กลายเป็นสัญญาณระดับ Higher Order Path Layer หรือการเปลี่ยนรูปสัญญาณ Higher Order Path Layer หลาย ๆ สัญญาณให้กลายเป็นองค์ประกอบสัญญาณของ SM หรือ AM เรียกว่า "การมัลติเพล็กซ์" รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะการมัลติเพล็กซ์ เช่น การปรับสัญญาณ TU ต่าง ๆ โดย TUG เพื่อให้เหมาะกับสัญญาณระดับ Higher Order VC หรือปรับสัญญาณ AU ต่าง ๆ โดย AUG เพื่อโหลดไปยัง STM-N ได้เหมาะสม ในที่นี้ ขณะที่ได้มัลติเพล็กซ์ TU หรือ AU ที่ AUG ไม่ต้องใส่โอเวอร์เฮดที่จะใช้เข้าไปด้วยเช่นเดียวกับเมื่อได้แมพคอนเทรนเนอร์เข้าไปใน VC เมื่อได้มัลติเพล็กซ์ AUG จนถึงระดับ STM-N จะต้องใส่ SOH เข้าไปด้วย

2.3.5.1 การมัลติเพล็กซ์ของสัญญาณระดับ Lower Order VC ถึงสัญญาณระดับ TUG-2

Lower Oder Virtual Container ต่าง ๆ ที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.4 คือ VC-11, VC-12 และ VC-2 แต่ละสาขาประกอบด้วยจำนวนไบต์ดังต่อไปนี้ 104 ไบต์, 140 ไบต์, และ 428 ไบต์ ตามลำดับ ไบต์ที่หนึ่งได้กำหนดให้เป็น V5 ทำหน้าที่เป็น POH ให้กับแต่ละ VC และไบต์ต่าง ๆ ที่เหลืออยู่ได้กำหนดให้ทำหน้าที่ขนส่งคอนเทรนเนอร์ C-11, C-12, และ C-2 จำนวนเฟรมที่บรรจุอยู่ในแต่ละ Lower Order VC เป็นการเชื่อมต่อเฟรมของคอนเทรนเนอร์สี่เฟรมเข้าด้วยกัน แต่ละเฟรมของคอนเทรนเนอร์ มีพื้นที่ 26 ไบต์, 35 ไบต์, และ 107 ไบต์ และแต่ละเฟรมของคอนเทรนเนอร์มีช่วงระยะเวลา 125 ไมโครวินาทีเท่ากันหมด ดังนั้นผลที่เกิดขึ้นคือ 500-ไมโครวินาที มัลติเฟรม

ถ้ากำหนดให้ V1 , V2, V3, และ V4 เป็น Pointer ไบต์ และบรรจุเข้าตำแหน่งเริ่มต้นของแต่ละเฟรมของ VC จะทำให้เกิดสัญญาณใหม่ที่เรียกว่า TU ดังนั้น มัลติเฟรมของ TU จะมีพื้นที่ 27B × 4, 36B x 4, หรือ 108B x 4 ซึ่งแต่ละมัลติเฟรมของ TU จะมีช่วงระยะเวลา 500 ไมโครวินาทีเท่ากัน ส่วนพื้นที่ของเพย์โหลดทั้งสี่ชุดตรงกับ 26B x 4, 35B x 4, หรือ 107B x 4 และ Pointer ทั้งสี่ไบต์แสดงให้เห็นตำแหน่งที่สัมพันธ์กันของเพย์โหลดต่าง ๆ ที่อยู่ใน TU มัลติเฟรม

ตามข้อกำหนดหน่วยเวลาของเฟรมจะอยู่บนฐาน 125 ไมโครวินาที จำนวนไบต์ของ TU-11, TU-12, และ TU-2 คือ 9B X 3, 9B X 4, 9B X 12 และแต่ละเฟรมของ TU ต่าง ๆ ดังกล่าวมี 3, 4 และ 12 คอลัมน์ ตามลำดับ ดังนั้น ถ้าเอา TU-11 สี่ยูนิต, หรือ TU-12 สามยูนิตมารวมกันโดยวิธี BIM ผลลัพธ์ที่ได้คือ 12 คอลัมน์ มีจำนวนเท่ากับ TU-2 หนึ่งยูนิต 12 คอลัมน์นี้ใช้สร้าง TUG-2 ได้ยูนิตเดียว เมื่อสร้าง TUG-2 ขึ้นมา TU ต่าง ๆ ที่นำมาสร้างจะต้องมีเฟสอย่างเดียวกัน นั่นคือตำแหน่งเริ่มต้นของแต่ละมัลติเฟรมจะต้องตรงกัน และ สถานะของเฟส จะแสดงให้ทราบโดย H4 ไบต์ใน POH ของ Higher Order VC

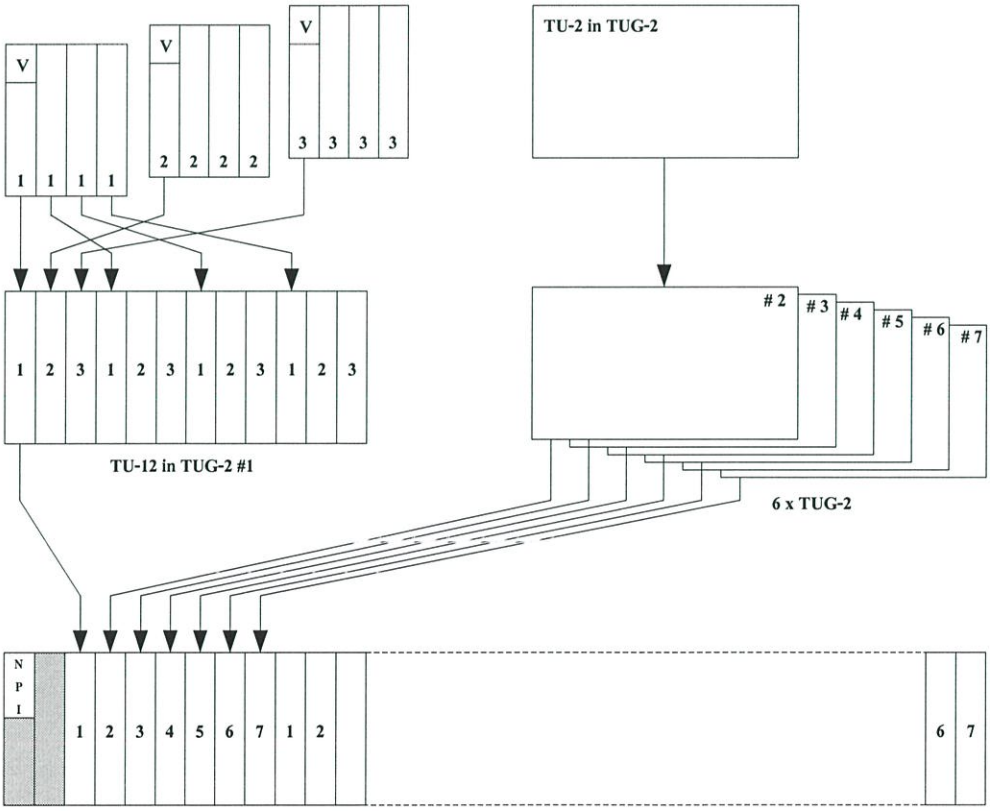


รูปที่ 2.4 องค์ประกอบของ Low Order VC และ TU

2.3.5.2 การมัลติเพล็กซ์สัญญาณที่ระดับ TUG-3

TUG-3 มีพื้นที่ 9B 86 คอลัมน์ ทำให้สามารถมัลติเพล็กซ์ VC-3 หรือ TU-3 เข้าไปในเพย์โหลดของ TUG-3 ได้หนึ่งยูนิต หรือ TUG-2 ได้เจ็ดยูนิต ดังที่ได้แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.5 การใส่ Pointer bytes H1, H2 และ H3 สามไบต์เข้ากับ VC-3 ทำให้ได้สัญญาณ TU-3 และใส่ Fixed stuff Bytes อีกหกไบต์ในคอลัมน์เดียวกันกับ Pointer ไบต์ ผลที่ได้คือ TUG-3 ประเด็นนี้ ตำแหน่งเริ่มต้นของ VC ภายใน TU-3 (ขณะนี้ไปอยู่ภายใน TUG-3) สามารถเปลี่ยนได้และข้อมูลนี้จะแสดงตาม Pointer ไบต์ สังเกตว่าการมัลติเพล็กซ์ VC-3 เข้าไปใน TUG-3 นั้น จะยอมให้เฉพาะ VC ที่แมพมาจาก C-3 เท่านั้น ไม่ใช่ที่แมพมาจาก TUG-2

การมัลติเพล็กซ์ TUG-2 เข้าไปใน TUG-3 ก็ทำด้วยวิธีการอย่างเดียวกัน แต่ในกรณีนี้ไม่ต้องใส่ POH เนื่องจาก TUG-3 ต้องมัลติเพล็กซ์ไปจนถึง VC-4 เป็นยูนิตเดียวกันและจะใส่ POH ในตอนนั้น รูปที่ 2.5 ได้แสดงให้เห็นการมัลติเพล็กซ์ TUG-2 จนถึงระดับ TUG-3 และแสดงให้เห็นว่าไม่มี Pointer bytes H1, H2 และ H3 แต่จะแสดงให้ทราบโดย Null Pointer Indication (NPI) โดยแสดงค่า 1001SS1111100000 แทนใน H1 และ H2 ไบต์



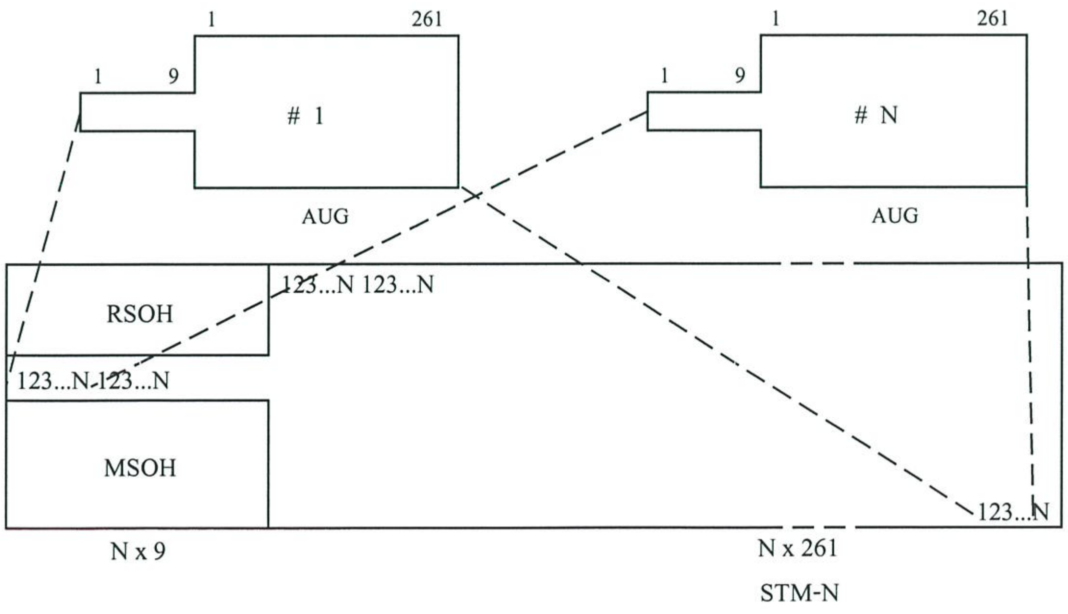
รูปที่ 2.5 การมัลติเพล็กซ์สัญญาณ TUG-2 ให้เป็นสัญญาณ TUG-3

2.3.5.3 การมัลติเพล็กซ์สัญญาณที่ระดับ AUG

AUG ประกอบด้วย 9B x 261 คอลัมน์ บวกอีก 1B x 9 คอลัมน์ ซึ่งได้บรรจุไว้ที่การเริ่มต้นของแถวที่สี่ ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.6 ใส่ SOH เข้าไปอีก 3B x 9 และ 5B x 9 ทำให้สัญญาณ AUG กลายเป็นสัญญาณ STM-1 เช่นเดียวกัน การมัลติเพล็กซ์สัญญาณ AUG จำนวน N ยูนิตในลักษณะ Byte-Interleaved และใส่ SOH ให้สอดคล้องกัน ผลที่ได้รับคือสัญญาณ STM-N สัญญาณ AUG อาจจะสร้างมาจาก AU-3 สามยูนิต หรือ AU-4 หนึ่งยูนิต อย่างหนึ่งอย่างใดก็ได้

สัญญาณ AU-4 เกิดจากการใส่ 9B Pointer เข้ากับสัญญาณ VC-4 Pointer bytes คือ H1, Y, Y, H2, 1*, 1*, H3, H3, H3 โดย Y และ 1* แทนด้วย 1001SS11 และ 11111111 ตามลำดับ ในกรณีของ VC-4 การซิงโครไนซ์ใช้วิธี P/Z/N Justification ดำเนินการอยู่บนฐานของ 3 ไบต์ ดังนั้นการซิงโครไนซ์จึงต้องใช้ H3 ทั้งสามไบต์ สามารถแมพ AU-4 ตรงเข้าไปใน AUG ได้เพียงยูนิตเดียว

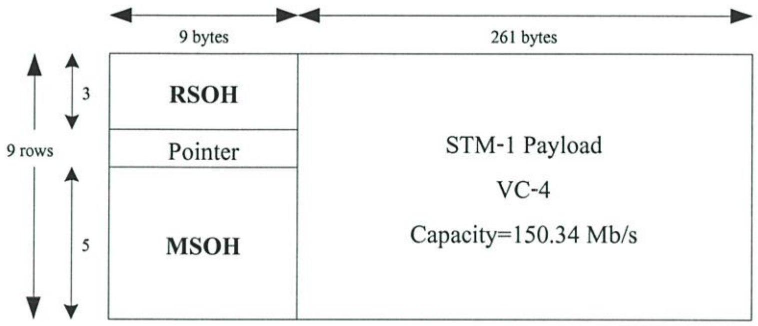
สัญญาณ AU-3 สร้างขึ้นมาจากการใส่ Fixed Stuff Bytes 9 ไบต์สองคอลัมน์เข้ากับ VC-3 เพื่อจะให้ได้คอลัมน์ทั้งหมด 87 คอลัมน์ตามกำหนด จากนั้นใส่ Pointer เข้าไปอีกสามไบต์ที่แถวที่สี่ ก็จะได้สัญญาณ AU-3 ตามต้องการ การแมพ VC-3 เข้าไปใน AU-3 เป็นแบบ Floating mode ดังนั้นจุดเริ่มต้น VC-3 แสดงให้ทราบโดย AU-3 PTR. Fixed stuff bytes จะถูกบรรจุในคอลัมน์ที่ 30 และที่ 59, Pointer Bytes ที่ใช้คือ H1, H2, และ H3 การสร้าง AUG กระทำโดยการมัลติเพล็กซ์สัญญาณ AU-3 สามยูนิตเข้าด้วยกันในลักษณะ Byte-Interleaved ขั้นตอนการมัลติเพล็กซ์ได้แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การมัลติเพล็กซ์สัญญาณ AUG จำนวน N ช่องให้เป็นสัญญาณ STM-N

2.4 การจัดรวมสัญญาณ STM-1 (155.52 Mbps)

โครงสร้างของสัญญาณพื้นฐาน STM-1 จะแสดงดังรูปที่ 2.7 โดยสัญญาณ STM-1 จะเป็นเฟรมข้อมูลขนาด 9 แถว คูณ 270 คอลัมน์ (9X270 Byte) สัญญาณ STM-1 แต่ละเฟรมจะถูกส่งทุก ๆ ช่วงเวลา 125 uS (โดยจัดส่งข้อมูลเรียงจากซ้ายไปขวาและจากบนลงล่าง) ดังนั้นสัญญาณ STM-1 จึงมีความเร็วเท่ากับ 155.52 Mbps



2430 bytes/frame x 8 bits/byte x 8,000 Hz = 155.52 Mb/s

RSOH Regenerator Section Overhead

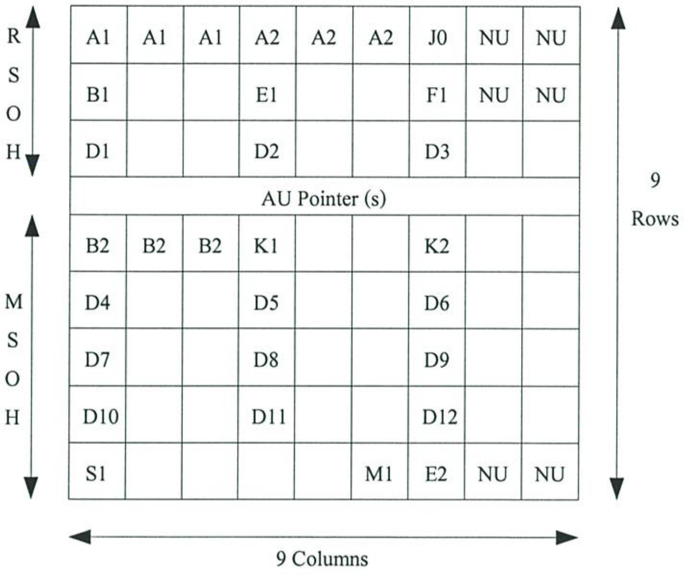
MSOH Multiplexer Section Overhead

STM Synchronous Transfer Module

รูปที่ 2.7 โครงสร้างพื้นฐานเฟรม STM-1

ส่วนของ Section OverHead ประกอบไปด้วยส่วนของ Regenerator Section OverHead (RSOH; 3x9 bytes) และส่วนของ Multiplexer Section OverHead (MSOH; 5x9 bytes)

2.4.1 Section Overhead (SOH): รายละเอียด หน้าที่ และการทำงาน



รูปที่ 2.8 ส่วนของ Overhead STM-1

Section Overhead (SOH) คือส่วนที่ถูกใช้สำหรับการดูแลรักษา (Maintenance) และการจัดการ (Management) เกี่ยวกับสัญญาณ ตัวอย่างเช่น การจัดให้มีช่องทางสำหรับส่งข้อมูล (Data Communication Channel) เพื่อการบำรุงรักษาและการจัดการ, การตรวจสอบความผิดพลาดต่าง ๆ (Error Check Facilities) โดยมีรายละเอียดการทำงานของไบต์ต่าง ๆ ดังนี้

- A1,A2 เป็น Frame Alignment Signal ซึ่งมีข้อสังเกตคือ ทั้งไบต์ A1 และ A2 จะไม่ถูกสแครมเบิล(Unscrambled Bytes) เนื่องจากการที่ทำหน้าที่เป็น Frame Alignment Signal และนอกจาก A1 กับ A2 ที่ไม่ถูกสแครมเบิลแล้ว J0 และ NU ทั้งสองไบต์ในแถวแรกของ SOH ก็จะไม่ถูกสแครมเบิลด้วยสำหรับ A1 จะมีค่า '1111 0110 ' ส่วน A2 จะมีค่า ' 0010 1000 '

- B1 ถูกใช้สำหรับ Parity Check เพื่อตรวจดูความผิดพลาดของสัญญาณที่อาจเกิดขึ้นในส่วนของ Regenerator Section โดยการตรวจสอบนี้จะเป็นแบบ Bit-Interleaved Parity (BIP-8) ซึ่งจะทำการตรวจสอบโดยการนำสัญญาณ STM-N มาแบ่งเป็น Block ที่เท่า ๆ กันจำนวน 8 Block แล้วตรวจสอบค่า Parity แบบคู่ ในแต่ละ Block (หลังการทำสแครมเบิลแล้ว) หลังจากนั้นก็นำค่าที่ได้ไปใส่ในแต่ละบิตที่อยู่ในไบต์ B1 ของเฟรมถัดไป (ก่อนทำการสแครมเบิล) ทางด้านรับก็จะนำไบต์ B1 นี้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลที่คำนวณด้วยวิธี BIP-8 เช่นเดียวกันกับไบต์ B1 ถ้าหากพบความแตกต่างก็เท่ากับว่าเกิดความผิดพลาดของสัญญาณ(บิต)ขึ้นในส่วนของ Regenerator Section นี้

- **B2** ถูกใช้สำหรับ Parity Check เช่นเดียวกันกับ B1 แต่จะต่างกันตรงที่ B2 จะใช้เพื่อตรวจดูความผิดพลาดของสัญญาณในส่วนของ Multiplexer Section และจะเป็นแบบ BIP-N x 24 (เมื่อ N แทนระดับของสัญญาณ STM) กล่าวคือจะถูกแบ่งเป็น N x 24 Block เพื่อหา Parity แบบคู่ของแต่ละ Block ที่ยังไม่ได้ถูกสแครมเบิล นอกจากนี้ข้อมูลของสามแถวแรกใน SOH จะไม่ถูกนำมาคำนวณด้วยแต่อย่างใด

- **D1-D3** ถูกใช้เป็น Data Communication Channel สำหรับส่วนของ Regenerator Section เพื่อใช้ขนส่งข้อมูลสำหรับการจัดการโครงข่าย

- **D4-D12** ถูกใช้เป็น Data Communication Channel สำหรับส่วนของ Multiplexer Section เพื่อใช้ขนส่งข้อมูลสำหรับการจัดการโครงข่าย

- **E1** ถูกใช้สำหรับ Orderwire Channel เพื่อการสื่อสารทางเสียงระหว่างกันของ Regenerator Section

- **E2** จะถูกใช้สำหรับ Orderwire Channel เพื่อการสื่อสารทางเสียงระหว่างกันของ Multiplexer Section

- **F1** ใช้เป็น **User Channel** แล้วแต่ความต้องการของผู้ใช้ว่าต้องการใช้เป็นอะไร อาทิเช่น อาจใช้เป็นช่องทางในการเชื่อมต่ออุปกรณ์สำหรับบริหารโครงข่าย(Element for Network Management)เข้ากับระบบ หรืออาจใช้เชื่อมต่อเข้ากับ Modem หรือ LAN

- **J0** เป็น **Regenerator Section Trace** ใช้เพื่อช่วยตรวจสอบการเชื่อมต่อระหว่างของตัวส่ง-ตัวรับสัญญาณใน Regenerator Section ว่ามีความถูกต้องหรือไม่ กล่าวคือไบต์ J0 นี้จะสามารถใส่ 'ตัวเลขฐานสิบหก' หรือ 'ตัวอักษร' ที่มีลักษณะเป็นรหัส ASCII ลงไปได้โดยกำหนดให้มีความยาวไม่เกิน 15 ไบต์ (เนื่องจาก J0 นี้จะมีการส่งแบบทวนซ้ำที่ทุก ๆ 16 ไบต์(16-Byte Repeated))โดยทำการส่งที่เฟรมละ 1 ไบต์เท่านั้น ซึ่งเท่ากับว่าในการส่ง 16 ไบต์นี้ก็จะต้องส่งใน 16 เฟรมที่ต่อเนื่องกัน และเหตุที่ใช้ได้เพียงแค่ 15 ไบต์ของรหัส ASCII ก็เนื่องจากว่า ไบต์แรกสุดนั้นจะถูกใช้สำหรับ CRC-7 สำหรับข้อมูลในเฟรมก่อนหน้า) สำหรับไบต์ J0 นี้ในอดีตจะถูกแทนด้วยไบต์ C1 ซึ่งถูกใช้เพื่อกำหนด และตรวจสอบตำแหน่งของสัญญาณ STM-1 ใด ๆ ที่อยู่ใน STM-N โดยในกรณีของสัญญาณ STM-N ไบต์ C1 จะถูกแทนด้วย J0 และ Z0 (ถูกสำรองไว้ใช้ในอนาคต) นอกจากนี้ในอดีต การส่งไบต์นี้จะมีการทวนซ้ำที่ทุก ๆ 64 ไบต์(64-Byte Repeated) หรือ เฟรมละ 1 ไบต์ใน 64 เฟรมที่ต่อเนื่องกัน

- K1 และ **K2** สำหรับ APS Channel, AIS, MS-RDI ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ไบต์ K1 และบิตที่ 1 ถึง 5 ในไบต์ K2 จะใช้สำหรับบ่งบอกถึงรายละเอียดต่าง ๆ ของ APS(Automatic Protection Switching) ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และ 2.2
2. บิตที่ 6 ถึง 8 ในไบต์ K2 จะใช้สำหรับการส่งสัญญาณ MS-RDI, MS-AIS และสถานะอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 ฟังก์ชั่นของ Byte K1

Request Code(bits 1-4)	Destination Node Identification(bits 5-8)
1111 Lockout of Protection (Span) LP-S or Signal Fail (Protection) SF-P 1110 Forced Switch (Span) FS-S 1101 Forced Switch (Ring) FS-R 1100 Signal Fail (Span) SF-S 1011 Signal Fail (Ring) SF-R 1010 Signal Degrade (Protection) SD-P 1001 Signal Degrade (Span) SD-S 1000 Signal Degrade (Ring) SD-R 0111 Manual Switch (Span) MS-S 0110 Manual Switch (Ring) MS-R 0101 Wait-to-Restore WTR 0100 Exerciser (Span) EXER-S 0011 Exerciser (Ring) EXER-R 0010 Reverse Request (Span) RR-S 0001 Reverse Request (Ring) RR-R 0000 No Request NR	The Destination Node ID is set to value of the ID of the node for which that K1 byte is defined. The destination node ID is always that of an adjacent node (except for default APS bytes).
Note: Reverse Request assumes the priority of the request to which it is responding.	

ตารางที่ 2.2 ฟังก์ชั่นของ Byte K2

Source Node Identification (bits 1-4)	Long/Short (bit 5)	Status (bits 6-8)
Source node ID is set to the node's own ID.		Status:
		111 MS-AIS
		110 MS-RDI
		101 Reserved for future use
		100 Reserved for future use
		011 Reserved for future use
Long/Short (bit 5)		010 Bridged and Switched (Br&Sw)
0 = short-path code (S)		001 Bridged (Br)
1 = long-path code (L)		000 Idle

- M1 ใช้สำหรับ MS-REI (Multiplexer Section-Remote Error Indication) โดยจะทำงานสัมพันธ์กับไบต์ B2 กล่าวคือถ้าหากว่าตรวจสอบพบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการเปรียบเทียบไบท์ B2 แล้ว MS-REI จะถูกส่งจาก Node ที่ตรวจสอบความผิดพลาดเจอไปให้กับสถานี Far End ที่ส่ง B2 นั้น ๆ มาให้ ซึ่งค่าของ MS-REI นี้จะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 24 สำหรับเฟรม STM-1 (ทั้งนี้ก็เนื่องมาจาก STM-1 ใช้ BIP-24 เป็นวิธีตรวจสอบความผิดพลาด) อนึ่งสำหรับ MS-REI นี้ เดิมจะถูกเรียกว่า MS-FEBE(Multiplexer Section-Far End Block Error)

บิต **5** ถึงบิต **8** ของไบต์ **S1** สำหรับ Synchronization Status Messages หรือที่ในอดีตถูกเรียกว่า Timing Marker ใช้เพื่อบอกถึงสถานะของ Clock แหล่งต่าง ๆ ที่สามารถถูกใช้จากแต่ละ Network Element ได้ ซึ่งจะมีประโยชน์สำหรับในการ Restoration ของโครงข่าย (รายละเอียดจะขอกล่าวถึงในบทของ Network Synchronization)

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตารางที่ 2.3 คำอธิบายของ S1-Byte

S1 Byte (bits 5-8)	Decimal Value	Synchronization Quality Level Description
0000	0	Quality Level Unknown
0001	1	Reserved
0010	2	G.811 (PRC quality)
0011	3	Reserved
0100	4	G.812 Transit (SSU-T quality)
0101	5	Reserved
0110	6	Reserved
0111	7	Reserved
1000	8	G.812 Local (SSU-L quality)
1001	9	Reserved
1010	10	Reserved
1011	11	G.81s (SETS quality)
1100	12	Reserved
1101	13	Reserved
1110	14	Reserved
1111	15	Don’t use for synchronization

- **NU** เป็น National Use Bytes

- ส่วนไบต์ที่ยังว่างอยู่จะถูกใช้สำหรับมาตรฐานต่างๆในอนาคต Future Standardization)

2.4.2 Path Overhead (POH) : รายละเอียด หน้าที่ และการทำงาน

ในส่วนของ POH นั้นจะมีทั้ง VC-4 POH, VC-3 POH และ VC-12 POH (สำหรับ PDH: European Standard) (VC-3 POH จะมีรายละเอียดเหมือนกับ VC-4 POH ทุกประการ)

47534

2.4.2.1 VC-4 POH

J1	Path Trace
B3	BIP-8
C2	Signal Label
G1	Path Status
F2	User Channel
H4	Position Indicator
F3	User Channel
K3	VC-4/3 APS Channel
N1	Network Operator Byte

รูปที่ 2.9 ส่วนของ OverHead VC-4

- J1 (Path Trace) มีรายละเอียดต่าง ๆ เหมือนกับ J0 ในส่วนของ RSOH ทุกประการสำหรับข้อแตกต่างก็คือ J0 จะถูก Terminated ที่ทุก ๆ Regenerator ในขณะที่ J1 จะถูก Terminated ที่ส่วนของจุดเริ่มต้น และจุดสุดท้ายของเส้นทาง (Path) นั้น ๆ เท่านั้น

- B3 (BIP-8) รายละเอียดเช่นเดียวกับ B1 แต่จะตรวจสอบเฉพาะส่วนของ Payload เท่านั้น

- C2 (Signal Label) เป็นตัวที่บอกว่า “มีอะไรอยู่ข้างใน VC-4 (หรือ VC-3 ในกรณี VC-3 POH)” โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 2.4 โดยที่

* MAN = Metropolitan Area Network, FDDI = Fiber Distributed Data Interface

* Locked TU-n เป็นมาตรฐานเก่าที่ซึ่งข้อมูลต่าง ๆ จะถูกกำหนดตำแหน่งที่ตายตัวไม่ยืดหยุ่น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ Pointer จะไม่สามารถไหวตัว(Floating)ได้ ส่งผลให้ไม่สามารถทำการ Justification ได้

* ในกรณีของ MAN, FDDI, ATM ตัว Network Elements (SDH Nodes)จะเป็นเพียงแค่ตัวส่งผ่านข้อมูล(Transparent) โดยไม่สามารถจะเปลี่ยนค่าของ C2 นี้ได้

* VC-AIS จะใช้กับโครงข่ายแบบ Tandem Connection เท่านั้น 0.181 เป็นมาตรฐานสำหรับการทดสอบสัญญาณ

ตารางที่ 2.4 รหัสแสดงการแมพของ C2 Byte ใน VC-4

MSB 1 2 3 4	LSB 5 6 7 8	Hex Code	Interpretation
0 0 0 0	0 0 0 0	00	Unequipped supervisory - unequipped
0 0 0 0	0 0 0 1	01	Equipped - non - specific
0 0 0 0	0 0 1 0	02	TUG structure
0 0 0 0	0 0 1 1	03	Locked TU-n
0 0 0 0	0 1 0 0	04	Asynchronous mappimg of 34268 kbit/s or 44736 kbit/s into C-3
0 0 0 1	0 0 1 0	12	Asynchronous mappimg of 139264 kbit/s into C-4
0 0 0 1	0 0 1 1	13	ATM mapping
0 0 0 1	0 1 0 1	14	MAN(DQDB) mapping
0 0 0 1	1 1 1 0	15	FDDI mapping
1 1 1 1	1 1 1 0	FE	Test signal, O.181 specific mapping
1 1 1 1	1 1 1 1	FF	VC-AIS

- G1 (Path Status) ทำหน้าที่เก็บข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของ VC-4 และจะส่งกลับไปให้กับจุดที่สร้าง VC-4 นั้น ๆ ขึ้นมา โดยมีรายละเอียดในบิตต่าง ๆ ดังนี้

REI				RDI	Reserved		Spare
1	2	3	4	5	6	7	8

รูปที่ 2.10 สถานะบิตข้อมูลของ G1 ใน VC-4-Xc/VC-4/VC-3

บิต 1 ถึง 4 ใช้สำหรับส่งข้อมูล Remote Error Indication (REI) เหมือนกับในกรณีของ MS-REI(Multiplexer Section-Remote Error Indication) หรือ ไบต์ M1 โดยจะทำงานสัมพันธ์กับไบต์ B3 ซึ่งค่าของ REI นี้จะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 8 และในกรณีที่เป็นค่าอื่น ๆ นอกเหนือจาก 0 ถึง 8 จะถูกตีความว่า “ไม่มีข้อผิดพลาด”

บิต 5 ใช้สำหรับส่งข้อมูลของ VC-4/VC-3 path Remote Defect Indication (RDI) ซึ่งก็คล้ายกับในกรณีของ MS-RDI ในบิต 6 ถึง 8 ของไบต์ K2 ต่างกันที่ในกรณีนี้จะพิจารณาที่ระดับของ VC-4/VC-3 Path ส่วน MS-RDI จะพิจารณาที่ระดับของ Multiplexer Section

สำหรับบิต 6, 7 จะถูกสงวนไว้สำหรับใช้กับ Optional เพิ่มเติม (พิจารณาตารางที่ 2.5) ในขณะที่บิต 8 ถูกสำรองไว้ใช้ในอนาคต

ตารางที่ 2.5 ความหมายของการเข้ารหัสไบต์ G1 (b5-b7)

b5	b6	b7	Meaning	Triggers
0	0	0	No remote defect *	No defect
0	0	1	No remote defect	No defect
0	1	0	Remote payload defect	LCD, PLM
0	1	1	No remote defect *	No defect
1	0	0	Remote defect *	AIS, LOP, TIM, UNEQ (or SLM)
1	0	1	Remote server defect	AIS, LOP
1	1	0	Remote connectivity defect	TIM, UNEQ
1	1	1	Remote defect *	AIS, LOP, TIM, UNEQ (or SLM)

- **F2, F3** (Path User Channels) เป็นช่องทางสำหรับผู้ใช้งานระบบเพื่อการใด ๆ เพียงแต่ยังไม่มีการใช้งานเท่าไรนักในปัจจุบัน อีกทั้งยังไม่มีข้อกำหนดเกี่ยวกับมาตรฐานการเชื่อมต่อที่แน่นอนออกมา

- **K3:b1-b4** (APS Channel) จะถูกใช้เพื่อส่งสัญญาณสำหรับ APS(Automatic Protection Switching) ในระดับของ VC-4/VC-3 Path ส่วนบิตที่ 5 ถึง 8 ถูกจัดไว้สำหรับการใช้งานในอนาคต

- **H4** (Position Indicator) ใช้ชี้ตำแหน่งของไบต์ V1, V2, V3 และ V4 ที่อยู่ใน Multiframed TU-12 ตามที่ได้กล่าวมาแล้วจากหัวข้อ "เรื่องเล่าของเหล่าพอยท์เตอร์" แต่จะขอย้ำอีกครั้งว่าในการชี้ตำแหน่งของไบต์ V1, V2, V3 และ V4 นี้จะเป็นหน้าที่ของไบต์ H4 โดยใช้บิตที่ 7 และ 8 ซึ่งจะมีสถานะ 4 สถานะคือ '00' '01' '10' และ '11' คอยชี้ตำแหน่งของไบต์ V1, V2, V3 และ V4 ตามลำดับ ส่วนบิตที่ 1 ถึง 6 ในไบต์นี้จะไม่ถูกใช้งาน

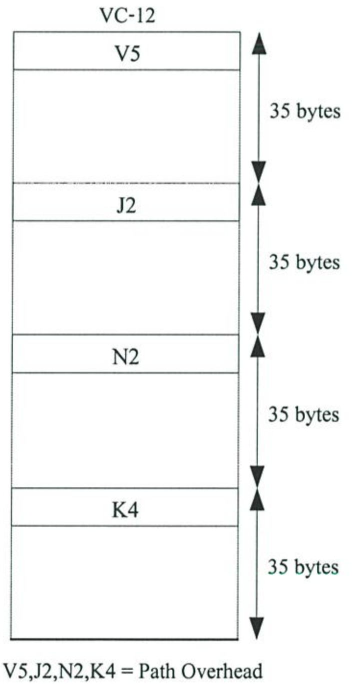
- **N1** (Network Operator Byte) ถูกสำหรับหน้าที่ในการตรวจดูคุณภาพของสัญญาณในกรณีของ Tandem Connection สำหรับตัวอย่างของการเชื่อมต่อแบบ Tandem Connection ก็คือ การเชื่อมต่อสัญญาณจากโอเปอร์เรเตอร์ หรือผู้ให้บริการรายหนึ่ง ไปยังผู้

ให้บริการอีกรายหนึ่ง ซึ่งผู้ให้บริการแต่ละรายจะไม่สามารถเข้าไปดูคุณภาพของสัญญาณในระดับของ VC ได้ถ้าผู้ให้บริการอีกรายไม่อนุญาต ในกรณีถ้าต้องการเข้าไปดูคุณภาพของสัญญาณ(อาทิเช่น ค่า Reliability) จะสามารถเข้าไปดูได้ที่ระดับของ TCM Sub-layer* (TCM = Tandem Connection Monitoring) แทน ซึ่งทำให้สามารถที่จะดูคุณภาพของสัญญาณในระดับของ Path Payload และ Path Overhead ได้

* TCM Sub-layer เป็น Optional Sub-layer ที่อยู่ระหว่าง Multiplex Section กับ Path Overhead

ส่วนของ Over Head ถูกใช้สำหรับการตรวจสอบข้อมูลที่ผิดพลาด ,สำหรับเป็นช่องทางในการติดต่อเพื่อการจัดการ และดูแลรักษาระบบ

2.4.2.2 VC-12 POH



รูปที่ 2.11 ส่วนของ Overhead VC-12

รายละเอียดการทำงานของไบต์ต่าง ๆ

- V5 มีรายละเอียดของบิตต่าง ๆ ดังนี้

บิตที่ **1** และ **2** ใช้สำหรับ BIP check

บิตที่ **3** ใช้สำหรับ VC-12 path REI โดยจะถูกเซทเป็นค่า 1 เพื่อบอกว่ามี Error เกิดขึ้นจากการดีเทคด้วย BIP-2 และจะถูกเซทเป็นค่า 0 ถ้าหากไม่มีค่า Error

บิตที่ **4** ใช้สำหรับ VC-12 path RFI โดยจะถูกเซทค่าเป็น 1 เพื่อบอกว่ามีการ Failure เกิดขึ้น และจะถูกเซทเป็นค่า 0 ถ้าหากไม่มีการ Failure ตัวอย่างของการเกิด RFI ให้พิจารณาที่รูป 2.11

บิต **5** ถึง บิต **7** จะถูกใช้สำหรับเป็น Signal Label สำหรับ VC-12 ดังแสดงในตารางที่ 2.6

บิตที่ **8** จะใช้สำหรับ VC-12 path RDI

ตารางที่ 2.6 เลเบลสัญญาณ ใน VC-12

b5	b6	b7	Meaning
0	0	0	Unequipped or Supervisory – unequipped
0	0	1	Equipped - non – specific
0	1	0	Asynchronous
0	1	1	Bit Synchronous
1	0	0	Byte Synchronous
1	0	1	Reserved for future use
1	1	0	Test signal, O.181 specific mapping
1	1	1	VC-AIS

- **J2** (Path Trace) ใช้ตรวจสอบการเชื่อมต่อของเส้นทางในระดับของ VC-12 path

- **N2** (Network Operator Byte) ใช้สำหรับ TCM (Tandem Connection Monitoring)

- **K3 :** บิต 1 ถึง บิต 4 (APS channel) จะถูกใช้เพื่อส่งสัญญาณสำหรับ APS(Automatic Protection Switching) ในระดับของ VC-12 Path ส่วนบิตที่ 5 ถึง 7 ถูกจัดไว้สำหรับการใช้งาน Optional ดังแสดงในตารางที่ 2.7 และบิตที่ 8 สำหรับใช้งานในอนาคต

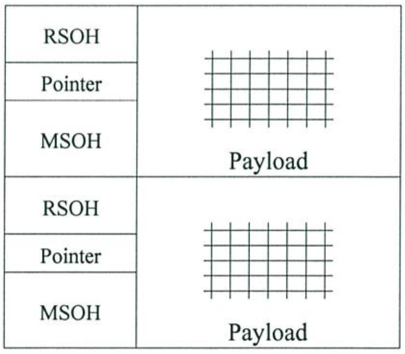
ตารางที่ 2.7 ความหมายของการเข้ารหัสไบต์ K4(b5-b7)

B5	b6	b7	Meaning	Triggers
0	0	0	* (see note)	
0	0	1	No remote defect	No defect
0	1	0	Remote payload defect	LCD, PLM
0	1	1	* (see note)	
1	0	0	* (see note)	
1	0	1	Remote server defect	AIS, LOP
1	1	0	Remote connectivity defect	TIM, UNEQ
1	1	1	* (see note)	

* This code is only transmitted by old equipment. New equipment will identify that it is interworking with old equipment; then only bit 8 of V5 is to be interpreted.

9 ไบต์ระหว่าง RSOH กับ MSOH จะถูกใช้เป็น Pointer ซึ่งเป็นตัวบอกจุดเริ่มต้นของ Payload

2.4.3 การทำงานของ Pointer



รูปที่ 2.12 การทำงานของ Pointer

จากรูปที่ 2.12 ตำแหน่งที่แท้จริงของ Payload ทั้งหมดจะไม่ได้อยู่ภายในเฟรมของสัญญาณเพียงเฟรมเดียว แต่จะเลื่อนไปยังเฟรมถัดไปด้วย ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากในความเป็นจริงนั้น Payload จะต้องเริ่มต้นหลังส่วนของข้อมูลที่เป็น Pointer ไบต์เสมอ

นอกจากใช้เพื่อเป็นตัวบอกจุดเริ่มต้นของ Payload แล้ว Pointer ยังทำหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับ Justification อีกด้วย กล่าวคือ ในแต่ละ Node ของโครงข่าย SDH นั้น จะมีสัญญาณที่เกี่ยวข้องกับ STM-n อยู่สองแบบคือ

1. STM-n ที่รับมาจากสถานีอื่น
2. Payload ที่ต้องการจะส่งออกไปกับ STM-n (STM-n ที่จะส่งต่อไปให้สถานีอื่น ๆ)

ในที่นี้จะสมมติว่าเป็น Node ในระดับของ STM-1 โดยให้ความถี่ของ STM-1 ที่รับมาจากสถานีอื่นแทนด้วย Fstm-1 และให้ความถี่ของ Payload ที่ต้องการจะส่งออกไปกับ STM-1 แทนด้วย Fpayload ซึ่งจะทำให้เกิดผลต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

กรณีที่ Fstm-1 = Fpayload หรือความถี่ Synchronous กัน

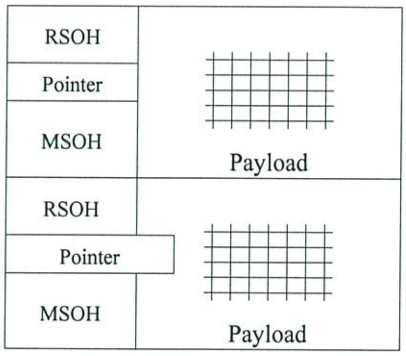
Payload ของสัญญาณที่รับเข้ามาสามารถนำไปใส่ใน STM-1 ที่จะส่งออกไปได้เลย

กรณีที่ Fstm-1 > Fpayload

จะต้องทำการปรับให้ได้ความถี่ที่เท่ากัน ซึ่งจะได้

$$Fstm\text{-}1 = Fpayload + Justification$$

การปรับแบบนี้ ถูกเรียกว่า Positive Justification โดยจะทำการเพิ่มข้อมูลของการ Justification ลงไปในไบต์ของ Payload ที่อยู่หลังไบต์ที่ 9 ของ Pointer จำนวนทั้งหมด 3 ไบต์ ทำให้ดูเหมือนว่า Pointer ยาวขึ้น



รูปที่ 2.13 Positive Justification

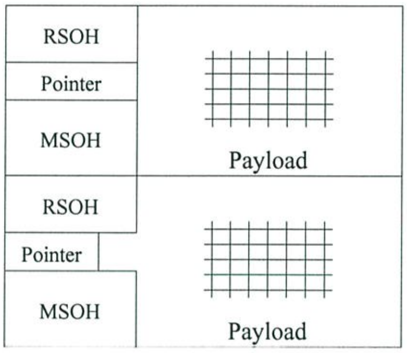
ข้อสังเกตที่ได้จาก Positive Justification คือจะเกิดการเปลี่ยนแปลง Pointer Value ขึ้น โดย Pointer Value ของเฟรมหลังจากทำการ Justification แล้วจะเท่ากับ Pointer Value ของเฟรมก่อนจะทำการ Justification บวกด้วย 1

กรณีที่ Fstm-1 < Fpayload

จะต้องทำการปรับให้ได้ความถี่ที่เท่ากัน ซึ่งจะได้

Fstm-1 + Justification = Fpayload

การปรับแบบนี้ ถูกเรียกว่า Negative Justification โดยจะใช้ Byte ที่ 7, 8 และ 9 ของแถว 4 หรือ Pointer เป็นข้อมูลของการ Justification ซึ่งทำให้ดูเหมือนว่า Pointer สั้นลง

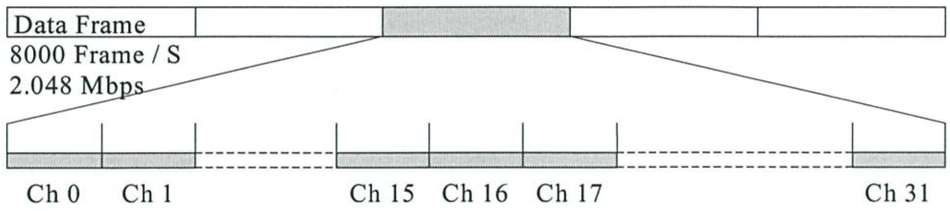


รูปที่ 2.14 Negative Justification

ในกรณีของ Negative Justification นี้ Pointer Value ของเฟรมหลังจากทำการแล้ว Justification จะเท่ากับ Pointer Value ของเฟรมก่อนที่จะทำการ Justification ลบด้วย 1 แต่ละเฟรมของ STM-1 จะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกเรียกว่า Section Overhead (SOH) ซึ่งมีขนาด 9 แถว คูณ 9 คอลัมน์ SOH จะทำหน้าที่ในการควบคุมดูแลการติดต่อรับ-ส่งสัญญาณ และส่วนที่ 2 เรียกว่า STM-1 Virtual Container ขนาด 9 แถว คูณ 261 คอลัมน์ ซึ่งทำหน้าที่บรรจุสัญญาณที่ส่งเข้าไปในระบบ

2.5 การจัดรวมสัญญาณระดับล่าง (2.048 Mbps)

สัญญาณระดับล่าง ความเร็ว 2.048 Mbps สามารถเชื่อมต่อข้อมูลได้ โดย ITU-T กำหนดมาตรฐานการมัลติเพล็กซ์ของ PCM First Order แบบ 30/32 ช่องสัญญาณ ที่ถูกแบ่งเป็นเฟรม ซึ่งมีอัตราส่งเฟรมข้อมูลซ้ำ ขนาด 8,000 Frame/s แต่ละเฟรมประกอบด้วย 32 Time slot ที่ Time slot 0 ใช้สำหรับ การซิงโครนัส และ ที่ Time slot 16 ใช้เป็น Signalling



- Time slot 1-15, 17-30 สำหรับ Data Channel
- Time slot 0 สำหรับ Synchronization
- Time slot 16 สำหรับ Signalling

รูปที่ 2.15 โครงสร้างเฟรมข้อมูลของ First Order PCM

ในหนึ่งเฟรมมี Binary code 256 bit (8 bit x 32 bit) และ Repetition rate ขนาด 8,000 Frame/s จะได้ อัตราเร็วในการส่งข้อมูล (Baud rate) = 8,000 x 256 = 2.048 Mbps

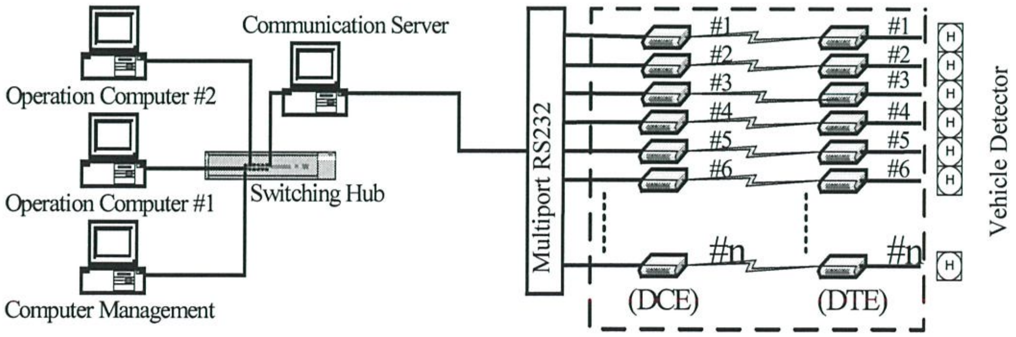
บทที่ 3
การออกแบบระบบ

3.1 กล่าวนำ

แต่ก่อนการออกแบบระบบเชื่อมต่อข้อมูลแบบจุดต่อจุด นิยมใช้โมเด็มเป็นเครือข่ายหลัก เมื่อระบบมีการขยายตัวภายหลังการติดตั้ง มักพบปัญหาในการขยายเครือข่ายในด้านอุปกรณ์ รับ-ส่งข้อมูลหลัก และสายส่งสัญญาณที่ต้องมีการเพิ่มเติม เพื่อลดปัญหาดังกล่าว ในบทนี้ได้ออกแบบการกำหนด Configuration ของเครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูล SDH คือ การมัลติเพล็กซ์สัญญาณดิจิตอล 155.52 Mbps และที่สัญญาณระดับล่าง 2.048 Mbps เครือข่ายที่ใช้เป็นอุปกรณ์ SDH ของ Ericsson รุ่น AXD 155-3 และ Umux 1300 ส่วนระบบควบคุมแบบจุดต่อจุดที่ออกแบบเป็นระบบควบคุมการจราจร โดยออกแบบระบบตรวจจับปริมาณจราจร แบบอัลตร้าโซนิกส์ เพื่อตรวจวัดปริมาณจราจรและความเร็วของรถบนทางด่วน บริเวณทางร่วมและทางลง ตัวตรวจจับแบบขดลวดเหนี่ยวนำเพื่อตรวจวัดปริมาณจราจรบริเวณทางขึ้น อีกทั้งนำข้อมูลที่ได้จากทั้งสองระบบส่งไปยังศูนย์ควบคุม โดยมีโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสำหรับเก็บข้อมูลเป็นฐานข้อมูล (Database) เพื่อรายงานสภาพจราจรและวางแผนการจราจรบนทางด่วน

3.2 เครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูลแบบใช้โมเด็ม

เดิมระบบเชื่อมต่อข้อมูลแบบจุดต่อจุดที่ใช้โมเด็มเป็นเครือข่ายหลัก ต้องใช้โมเด็มด้านส่งและด้านรับ ในการควบคุมอุปกรณ์หนึ่งจุด ซึ่งโมเด็มด้านควบคุมปลายทางจะติดตั้งอยู่ใกล้กับตำแหน่งของอุปกรณ์ควบคุมมากที่สุด เพื่อประสิทธิภาพในการควบคุม ดังรูป



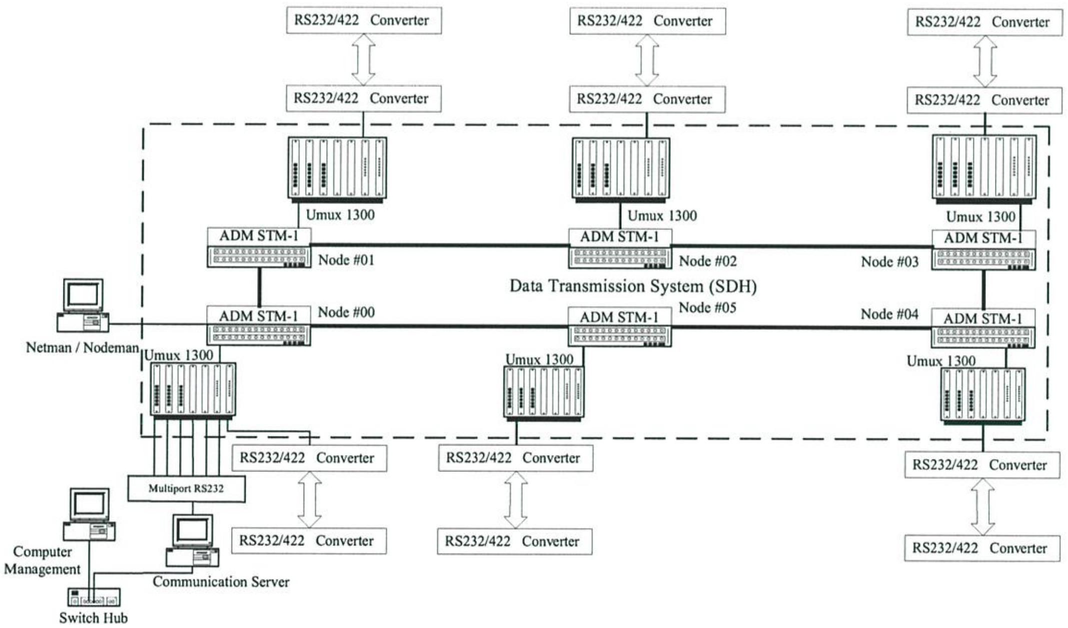
รูปที่ 3.1 แสดงเครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูลแบบใช้โมเด็ม

จากรูปเป็นการติดตั้งระบบควบคุมการจราจรบนทางด่วน ซึ่งมีอุปกรณ์ตรวจจับปริมาณจราจรติดตั้งตามจุดต่างๆ บนทางด่วน และมีการส่งข้อมูลไปยังศูนย์ควบคุม โดยผ่านเครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูลแบบใช้โมเด็ม ซึ่งระบบดังกล่าวมีจำนวนโมเด็มเป็นสองเท่าของอุปกรณ์ควบคุม

การนำเครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูล SDH มาแทนที่เครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูลแบบ ใช้โมเด็มของระบบควบคุมการจราจรที่มีอยู่เดิมจะต้องมีการจัดกลุ่มอุปกรณ์ควบคุมใหม่ เพื่อลดจำนวนการใช้โหนดให้น้อยลง และมีประสิทธิภาพ รวมถึงการพัฒนาเพิ่มในส่วนของการจัดโครงสร้างการมัลติเพล็กซ์ช่องสัญญาณของเครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูลหลัก โปรแกรมควบคุมอุปกรณ์ควบคุมปลายทาง โปรแกรมที่ศูนย์ควบคุม และการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ตรวจจับปริมาณจราจร ด้วยวิธีการแปลงโปรโตคอล

3.3 เครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูล SDH

เครือข่ายในการออกแบบนี้ ใช้เครือข่ายแบบวงแหวน โดยมีลักษณะเป็นแบบลูปปิด ดังรูป



รูปที่ 3.2 การสื่อสารแบบจุดต่อจุดโดยใช้ SDH เป็นเครือข่ายหลัก

จากรูปแต่ละโหนดต้องมีการจัดโปรโตคอล NSAP Address และ MAC Address เพื่อการกำหนดตำแหน่งของแต่ละโหนด และการทำ Remote Maintenance ดังนี้

Node No.1

NSAP ADDRESS

39010203040506070809101820000100000010101

MAC ADDRESS

000100000101

Node No.2

NSAP ADDRESS

39010203040506070809101820000100000010201

MAC ADDRESS

000100000102

Node No.3

NSAP ADDRESS

39010203040506070809101820000100000010301

MAC ADDRESS

000100000103

Node No.4

NSAP ADDRESS

39010203040506070809101820000100000010401

MAC ADDRESS

000100000104

Node No.5

NSAP ADDRESS

39010203040506070809101820000100000010501

MAC ADDRESS

000100000105

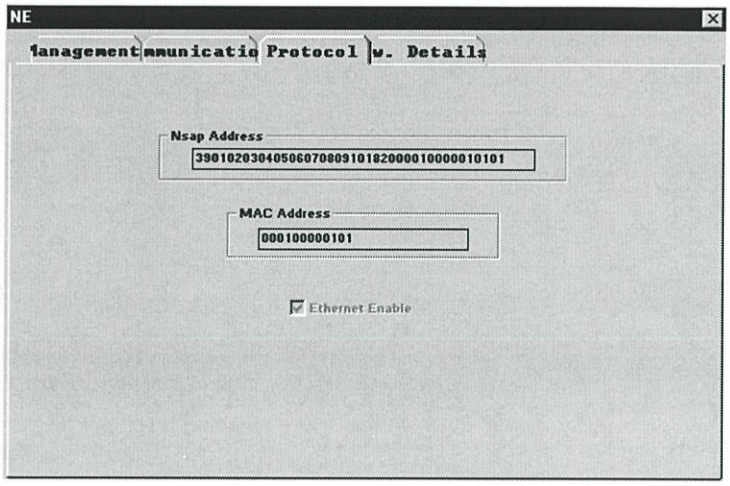
Node No.6

NSAP ADDRESS

39010203040506070809101820000100000010601

MAC ADDRESS

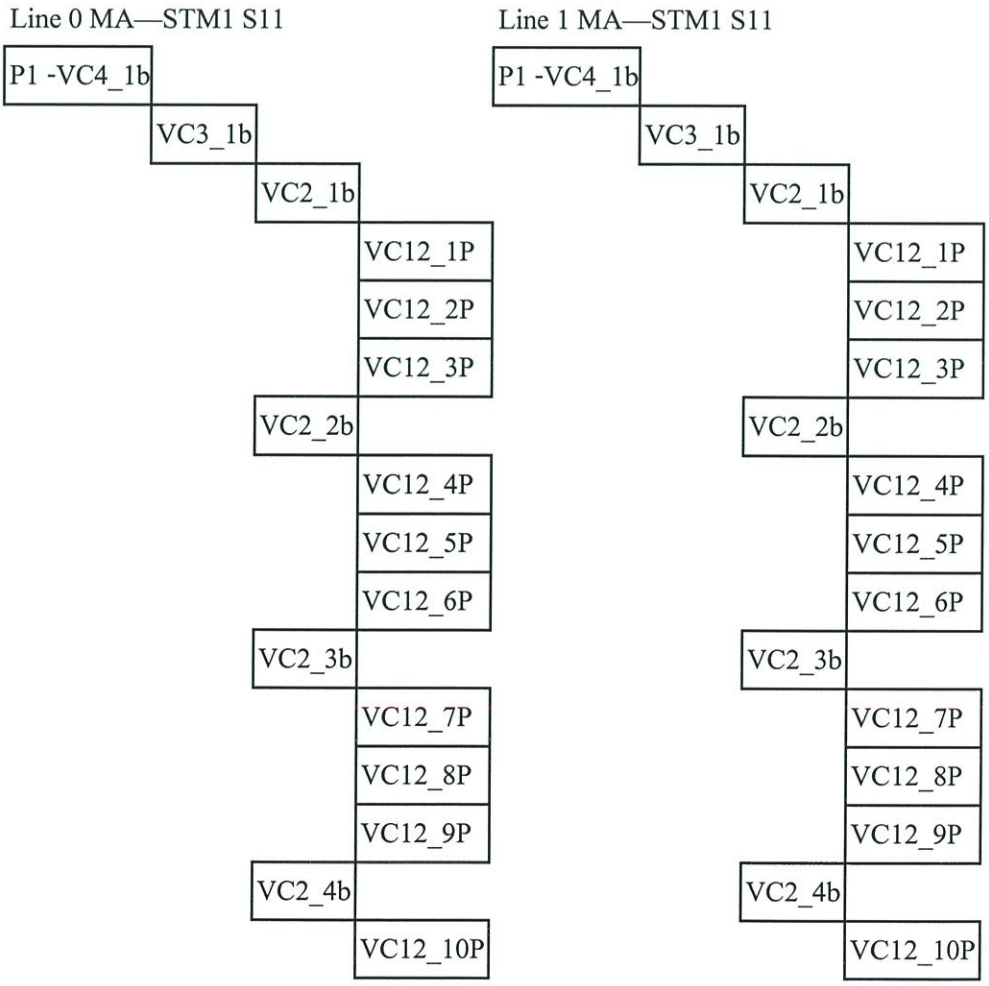
000100000106

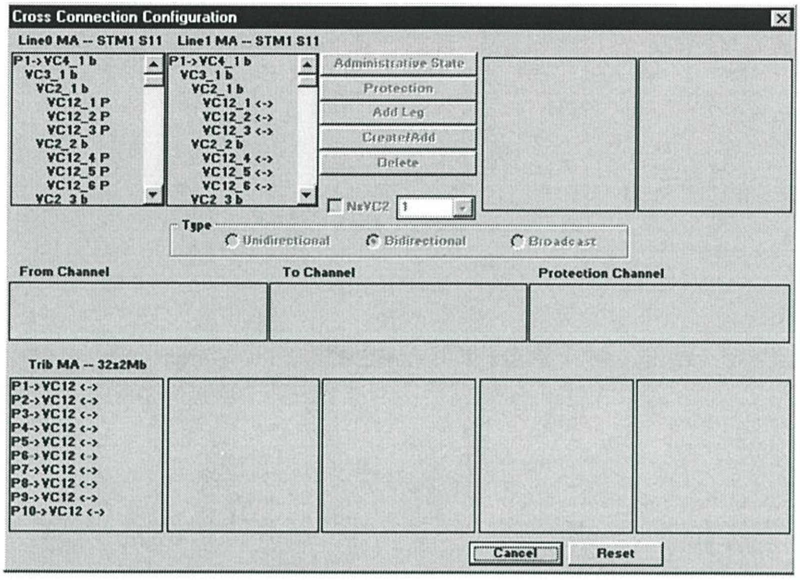


รูปที่ 3.3 โปรแกรมการจัดโปรโตคอล NSAP และ MAC Address ของโหนด 1

การจัดโครงสร้างการมัลติเพล็กซ์สัญญาณ SDH การออกแบบจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การจัดโครงสร้างการมัลติเพล็กซ์สัญญาณระดับ STM-1/155.52 Mbps และสัญญาณระดับ 2.048 Mbps

3.3.1 การจัดโครงสร้างการมัลติเพล็กซ์สัญญาณ STM-1/155.52 Mbps





รูปที่ 3.4 โปรแกรมการจัดโครงสร้างการมัลติเพล็กซ์สัญญาณ STM-1

3.3.2 การจัดโครงสร้างการมัลติเพล็กซ์สัญญาณ Low Order/2.048 Mbps

จำนวนโหนดที่ใช้ติดตั้งบนทางด่วนมี 10 โหนด อุปกรณ์ตรวจจับปริมาณจราจร 20 จุด (ทดสอบบนเส้นทาง 1 ส่วนจากเส้นทางทั้งหมด 5 ส่วน) สามารถแสดงโครงสร้างการมัลติเพล็กซ์ของสัญญาณ 2.048 Mbps ดังตารางที่ 3.1 แสดงการจัดโครงสร้างการมัลติเพล็กซ์ (Cross Connection) ที่ศูนย์ควบคุมดังนี้ พอร์ตสัญญาณควบคุมตัวตรวจจับที่ 1-20 จะถูกบรรจุลง Time Slot ที่ 1-20 ตามลำดับหลังจากนั้น Time Slot ที่ 1-20 จะถูกมัลติเพล็กซ์เข้าที่ Hight Way ที่ 1 ซึ่ง Hight Way ที่ 1 จะถูกมัลติเพล็กซ์อีกครั้งเพื่อให้ได้ระดับสัญญาณ 2.048 Mbps

ตารางที่ 3.1 การจัดโครงสร้างการมัลติเพล็กซ์สัญญาณ Low Order/2.048 Mbps ที่ศูนย์ควบคุม

Slot No.	Unit	SBU	Distr. Frame	HW	TS	TSC	CAS	Remark
1	Unida431	1	VD-07 to YR	1	1	1	On	Node00
1	Unida431	2	VD-19 to HP	1	2	1	On	Node00
1	Unida431	3	VD-17 to SW	1	3	1	On	Node00
1	Unida431	4	VD-14 to CH	1	4	1	On	Node00
2	Unida431	1	VD-13 to RM3	1	5	1	On	Node00
2	Unida431	2	VD-11 to ST	1	6	1	On	Node00
2	Unida431	3	VD-12 to ST	1	7	1	On	Node00

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

Slot No.	Unit	SBU	Distr. Frame	HW	TS	TSC	CAS	Remark
3	Unida431	1	VD-16 to SB	1	9	1	On	Node00
3	Unida431	2	VD-18 to SB	1	10	1	On	Node00
3	Unida431	3	VD-20 to UR	1	11	1	On	Node00
4	Unida431	1	Loop01 to YR	1	12	1	On	Node00
4	Unida431	2	Loop02to HP	1	13	1	On	Node00
4	Unida431	3	Loop03 to SW	1	14	1	On	Node00
4	Unida431	4	Loop04 to CH	1	15	1	On	Node00
5	Unida431	1	Loop05 to RM3	1	17	1	On	Node00
5	Unida431	2	Loop06 to ST	1	18	1	On	Node00
5	Unida431	3	Loop07 to SB	1	19	1	On	Node00
5	Unida431	4	Loop08 to UR	1	20	1	On	Node00

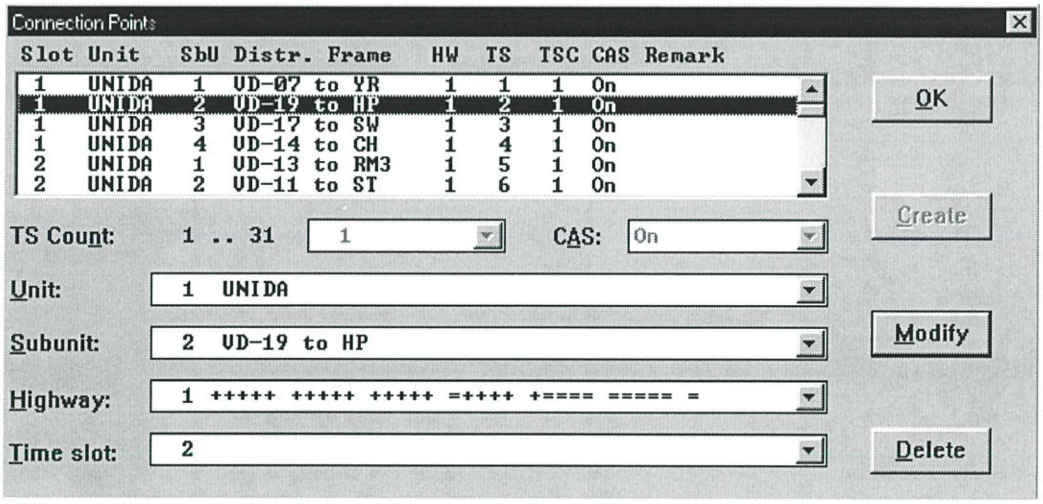
ตารางที่ 3.2 การจัดโครงสร้างการมัลติเพล็กซ์สัญญาณ Low Order/2.048 Mbps ที่โหนดปลายทาง

Slot No.	Unit	SBU	Distr. Frame	HW	TS	TSC	CAS	Remark
1	Unida431	1	RS232 to VD-07	1	1	1	On	Node 01
2	Unida431	1	Loop01 to YR	1	12	1	On	Node 01
1	Unida431	1	RS232 to VD-19	1	2	1	On	Node 02
2	Unida431	1	Loop02 to HP	1	13	1	On	Node 02
1	Unida431	1	RS232 to VD-17	1	3	1	On	Node 03
2	Unida431	1	Loop03 to SW	1	14	1	On	Node 03
1	Unida431	1	RS232 to VD-14	1	4	1	On	Node 04
2	Unida431	1	Loop04 to CH	1	15	1	On	Node 04
1	Unida431	1	RS232 to VD-13	1	5	1	On	Node 05
2	Unida431	1	Loop05 to RM3	1	17	1	On	Node 05
1	Unida431	1	RS232 to VD-11	1	6	1	On	Node 06

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

1	Unida431	2	RS232 to VD-12	1	7	1	On	Node 06
1	Unida431	3	RS232 to VD-15	1	8	1	On	Node 06
2	Unida431	1	Loop06 to ST	1	18	1	On	Node 06
1	Unida431	1	RS232 to VD-16	1	9	1	On	Node 07
1	Unida431	2	RS232 to VD-18	1	10	1	On	Node 07
2	Unida431	1	Loop07 to SB	1	19	1	On	Node 07
1	Unida431	1	RS232 to VD-13	1	11	1	On	Node 08
2	Unida431	1	Loop08 to UR	1	20	1	On	Node 08

จากการออกแบบการจัดโครงสร้างข้อมูลระดับ 2.048 Mbps แล้วนั้นสามารถแสดงการใช้งานโปรแกรม CST ของอุปกรณ์ Umux 1300 ได้ดังรูป



รูปที่ 3.5 โปรแกรมการจัดช่องสัญญาณมัลติเพล็กซ์ 2.048 Mbps

3.4 ระบบตรวจจับปริมาณจราจร

ระบบตรวจจับปริมาณจราจรที่นิยมใช้โดยทั่วไป มีใช้อยู่ 2 ประเภทโดยแบ่งตามลักษณะการติดตั้ง คือ ประเภทการติดตั้งบนพื้นถนน เช่น แบบขดลวดเหนี่ยวนำ (Inductive Loop), ตัวตรวจจับแบบแม่เหล็ก (Magnetic Detector) เป็นต้น และประเภทติดตั้งเหนือพื้นถนน เช่น กล้อง (Video Camera), ตัวตรวจจับแบบเลเซอร์ (Laser Detector), ตัวตรวจจับอัลตร้าโซนิกส์ (Ultrasonic Detector) การเลือกใช้งานขึ้นอยู่กับสถานที่ใช้งาน และสภาพแวดล้อมการติดตั้ง ซึ่งในประเทศไทยนิยมใช้ตัวตรวจจับแบบขดลวดเหนี่ยวนำ และแบบคลื่นเสียงอัลตร้าโซนิกส์

3.4.1 ระบบตรวจจับปริมาณจราจร แบบอัลตร้าโซนิกส์

การตรวจจับยานพาหนะแสดงดังรูปที่ 3.5 โดยตัวตรวจจับจะถูกติดตั้งไว้เหนือพื้นจราจรเป็นระยะ H_r เมื่อปล่อยคลื่นเสียงลงมาในขณะที่ยังไม่มีพาหนะเคลื่อนผ่าน คลื่นเสียงจะกระทบกับผิวจราจร แล้วสะท้อนกลับ ถ้ากำหนดให้ T_r เป็นเวลาที่เสียงใช้เดินทางออกจากเซ็นเซอร์ จนกระทั่งกระทบผิวจราจร แล้วสะท้อนกลับถึงเซ็นเซอร์จะได้

$$T_r = 2\frac{H_r}{c} \tag{3.1}$$

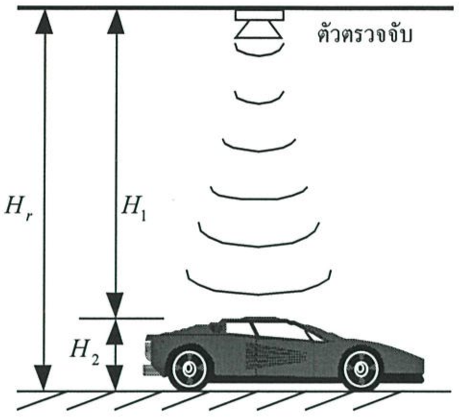
เมื่อ c คือ ความเร็วเสียงในอากาศ = $331+0.6t$ ($m/\sec$)

t คือ อุณหภูมิแวดล้อม (C^o)

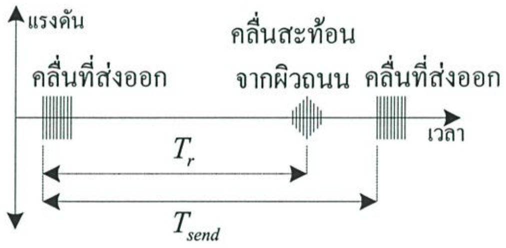
เมื่อมียานพาหนะเคลื่อนที่เข้ามาตัวเซ็นเซอร์จะรับคลื่นเสียงที่สะท้อนจากยานพาหนะและยานพาหนะมีความสูง H_2 ตัวเซ็นเซอร์จะอยู่สูงจากยานพาหนะเป็นระยะทาง $H_1 = H_r - H_2$ ถ้ากำหนดให้ T_1 เป็นเวลาที่เสียงใช้เดินทางออกจากตัวเซ็นเซอร์จนไปกระทบผิวยานพาหนะแล้วสะท้อนกลับจะได้

$$\begin{aligned} T_1 &= 2\frac{H_1}{C} \\ &= 2\left(\frac{H_r - H_2}{C}\right) \end{aligned} \tag{3.2}$$

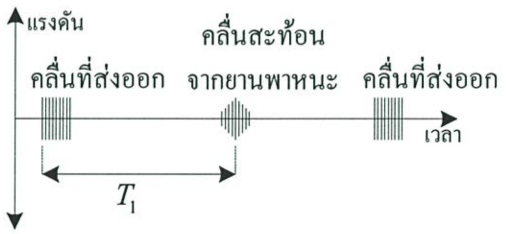
เสียงใช้เวลาเดินทางขณะที่มีรถและไม่มีรถผ่าน มีความแตกต่างกัน ดังนั้นการตรวจจับทำได้โดยการตรวจสอบเวลาที่ใช้โดยการตรวจสอบเวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มปล่อยคลื่นเสียงจากตัวเซ็นเซอร์จนกระทั่งเสียงสะท้อนกลับ



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.6 การตรวจจับยานพาหนะโดยใช้คลื่นอัลตร้าโซนิกส์

(ก) การติดตั้งตัวตรวจจับ

(ข) คลื่นสัญญาณที่ส่งออก และ คลื่นสะท้อนจากพื้นถนน

(ค) คลื่นสัญญาณที่ส่งออก และ คลื่นสะท้อนจากยานพาหนะ

สมการ การตรวจสอบรถผ่านตัวตรวจจับ (คัน) ใช้เปรียบเทียบความสูงของพาหนะ

$$d=\frac{1}{2}c\Delta t \tag{3.3}$$

โดยที่ d คือ ระยะห่างจากหัวเซ็นเซอร์ถึงพาหนะ (*m*)

Δt คือ ช่วงเวลาที่ส่งเสียงจากเซ็นเซอร์แล้วสะท้อนกลับ (*s*)

c คือ ความเร็วเสียงในอากาศ (331+0.6*t*) ($m/\sec$) และ

t คือ อุณหภูมิ (C^{o})

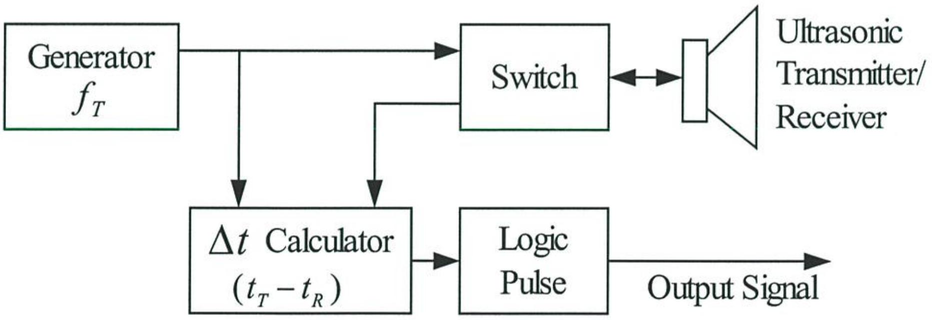
สมการ การตรวจจับความเร็ว แบบตามค่าความยาวพาหนะ (*Km/hr*)

$$v=\frac{L}{t} \tag{3.4}$$

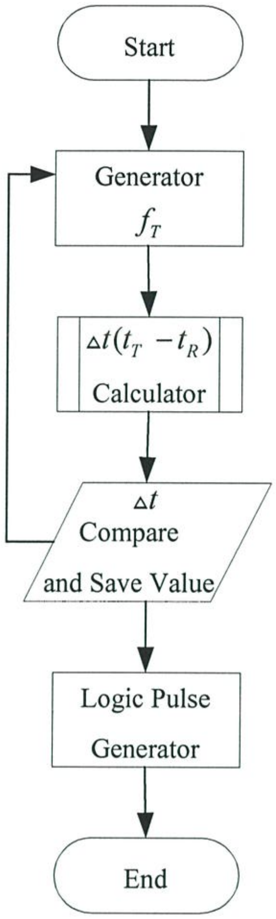
โดยที่ v คือ ความเร็วรถ (*Km/hr*)

L คือ ความยาวรถ (*Km*)

t คือ เวลาที่รถใช้เวลาวิ่งผ่านเซ็นเซอร์ (*s*)



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.7 แสดงตัวตรวจจับปริมาณจราจรแบบใช้หลักการสะท้อนของคลื่นเสียงย่านอัลตร้าโซนิกส์
(ก) โครงสร้างตัวตรวจจับปริมาณจราจรแบบอัลตร้าโซนิกส์
(ข) Flow Chart การทำงานของตัวตรวจจับแบบอัลตร้าโซนิกส์

3.4.2 ระบบตรวจนับปริมาณจราจร แบบขดลวดเหนี่ยวนำ

ขดลวดเหนี่ยวนำจะประกอบด้วยขดลวดที่ฝังอยู่ในพื้นถนน โดยถูกป้อนด้วยความถี่ในช่วง 20-150 kHz (f_0) ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กบริเวณที่ขดลวดฝังตัวอยู่ เมื่อมีรถผ่านสนามแม่เหล็ก ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านความถี่ (Δf)

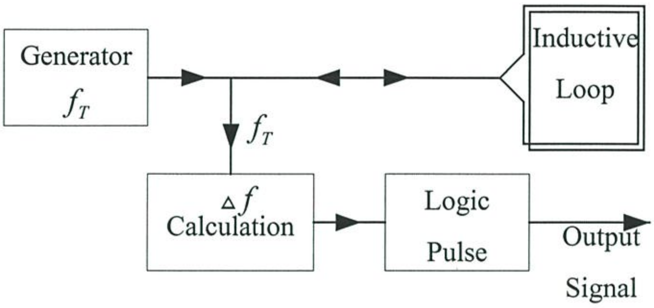
$$\Delta f = -0.5 f_0 \frac{\Delta L}{L} \tag{3.5}$$

เมื่อ Δf = ความถี่ที่เปลี่ยนแปลง (Hz)

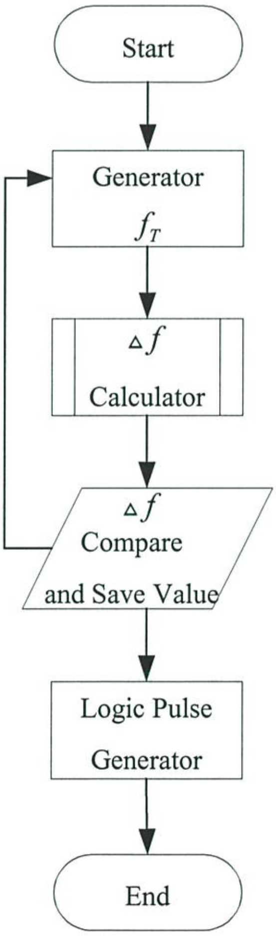
f_0 = ความถี่ที่ป้อนให้ขดลวดเหนี่ยวนำ (Hz)

ΔL = ค่าความเปลี่ยนแปลงของอินดัคแตนซ์ ขดลวดเหนี่ยวนำ (H)

L = อินดัคแตนซ์ (H)



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.8 แสดงตัวตรวจจับปริมาณจราจรแบบใช้หลักการเหนี่ยวนำของขดลวด

(ก) โครงสร้างตัวตรวจจับปริมาณจราจรแบบขดลวดเหนี่ยวนำ

(ข) Flow Chart การทำงานของตัวตรวจจับแบบขดลวดเหนี่ยวนำ

ลักษณะการติดตั้งตัวตรวจจับปริมาณจราจรบนทางด่วน ใช้ตัวตรวจจับแบบคลื่นเสียงอัลตร้าโซนิกส์ติดตั้งเหนือช่องจราจร บริเวณทางร่วมและทางลง โดยรายงานผลด้านปริมาณจราจรและความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ ส่วนบริเวณทางขึ้น ใช้ตัวตรวจจับแบบขดลวดเหนี่ยวนำเพื่อการรายงานผลปริมาณจราจรเท่านั้น

3.5 การแปลงโปรโตคอล

จากการออกแบบเครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูล SDH จะเห็นว่าโหนดต่าง ๆ ถูกติดตั้งกระจายไปตามจุดต่าง ๆ บนทางด่วน(ด่านเก็บค่าผ่านทาง) ในบางจุดพบปัญหาเรื่องระยะทางที่โปรโตคอลของเครือข่าย (RS232) ไม่สามารถรองรับการควบคุมอุปกรณ์ปลายทางได้ จำเป็นต้องใช้ตัวแปลงโปรโตคอล เพื่อช่วยให้ระบบมีการควบคุมอุปกรณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวแปลงโปรโตคอลที่ใช้เป็นแบบแปลงโปรโตคอล RS232 เป็น RS422/485 โดยระยะห่างระหว่างโหนดถึงอุปกรณ์ที่ระบบยอมรับได้ประมาณ 1.2 – 2 กิโลเมตร

3.6 โปรแกรมควบคุมระบบ

ในการออกแบบโปรแกรมสำหรับใช้ รับ-ส่ง ข้อมูลของระบบควบคุมการจราจรผ่านเครือข่าย SDH ทำได้โดย แบ่งออกเป็น 3 ส่วน

3.6.1 การออกแบบโปรแกรมที่ ตัวตรวจจับบริเวณทางร่วม และทางลง ทางด่วน

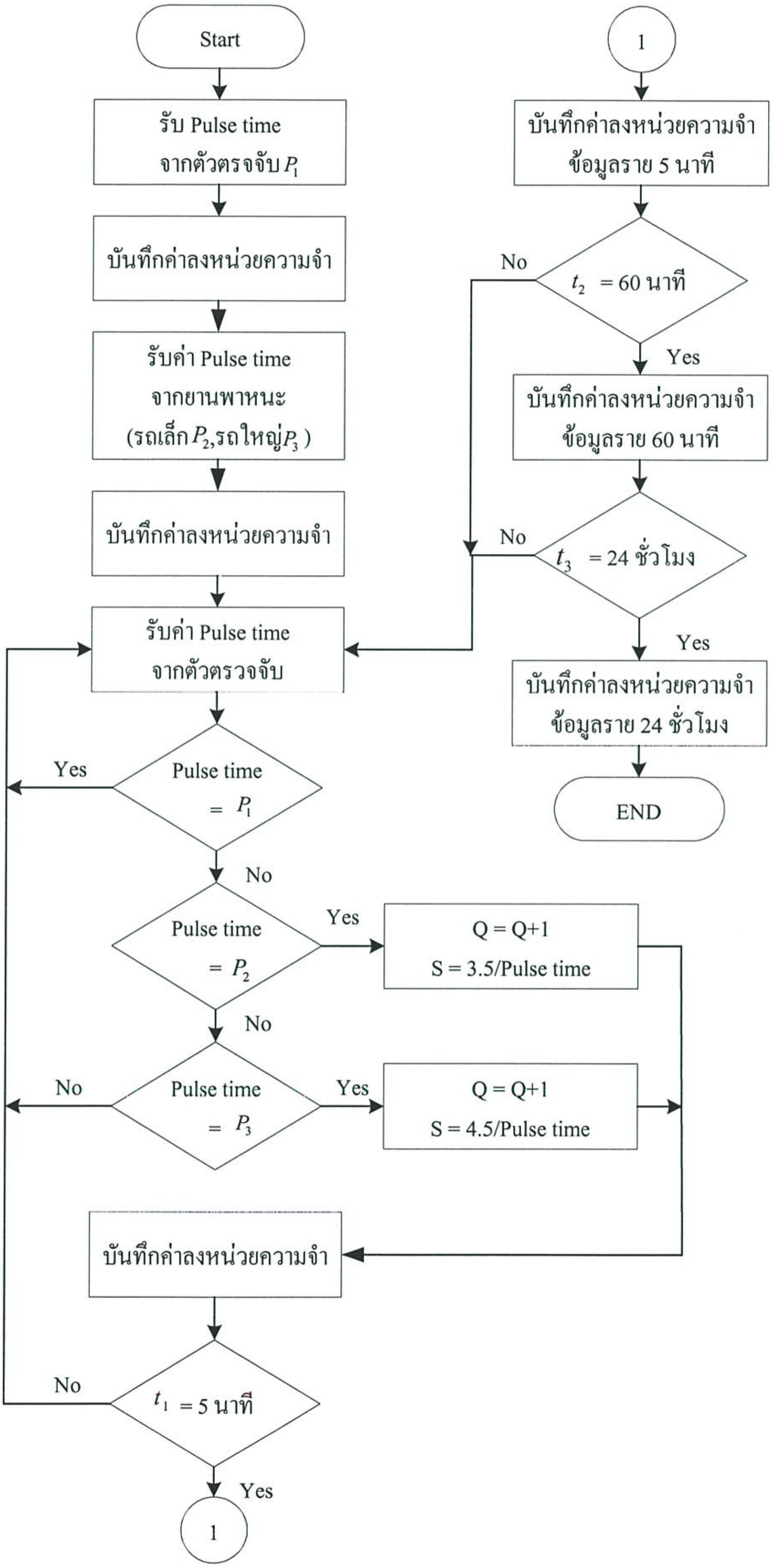
โปรแกรมที่อุปกรณ์ปลายทางของตัวตรวจจับแบบอัลตร้าโซนิกส์ มีลักษณะการทำงานดัง Flow Chart รูปที่ 3.8 เริ่มจากรับค่าพัลซ์ไทม์ จากตัวตรวจจับซึ่งเป็นค่าสุ่มทดสอบจาการสะท้อนของเสียงกับพื้นถนน พร้อมบันทึกค่าลงหน่วยความจำ (P_1) จากนั้นรับค่าพัลซ์ไทม์จากตัวตรวจจับเป็นค่าสุ่มทดสอบจากการสะท้อนของเสียงกับรถขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ ซึ่งขนาดของรถได้จากการจำแนกความสูงของยานพาหนะที่ตรวจจับได้ พร้อมบันทึกค่าลงหน่วยความจำ (P_2, P_3 ตามลำดับ) จากนั้นรับค่าพัลซ์ไทม์ เพื่อเริ่มทำการตรวจจับยานพาหนะ ซึ่งค่าพัลซ์ไทม์นี้จะถูกเปรียบเทียบค่าเวลาในหน่วยความจำ P_1, P_2 และP_3 ทุกครั้ง กรณีพัลซ์ไทม์มีค่าประมาณ P_1 จะไม่มีการบันทึกค่าปริมาณจราจร แต่ถ้าพัลซ์ไทม์มีค่าประมาณ P_2 หรือ P_3 จะมีการบันทึกค่าปริมาณจราจรและคำนวณความเร็ว

$$v = \frac{L}{t_{(Pulsetime)}} \tag{3.6}$$

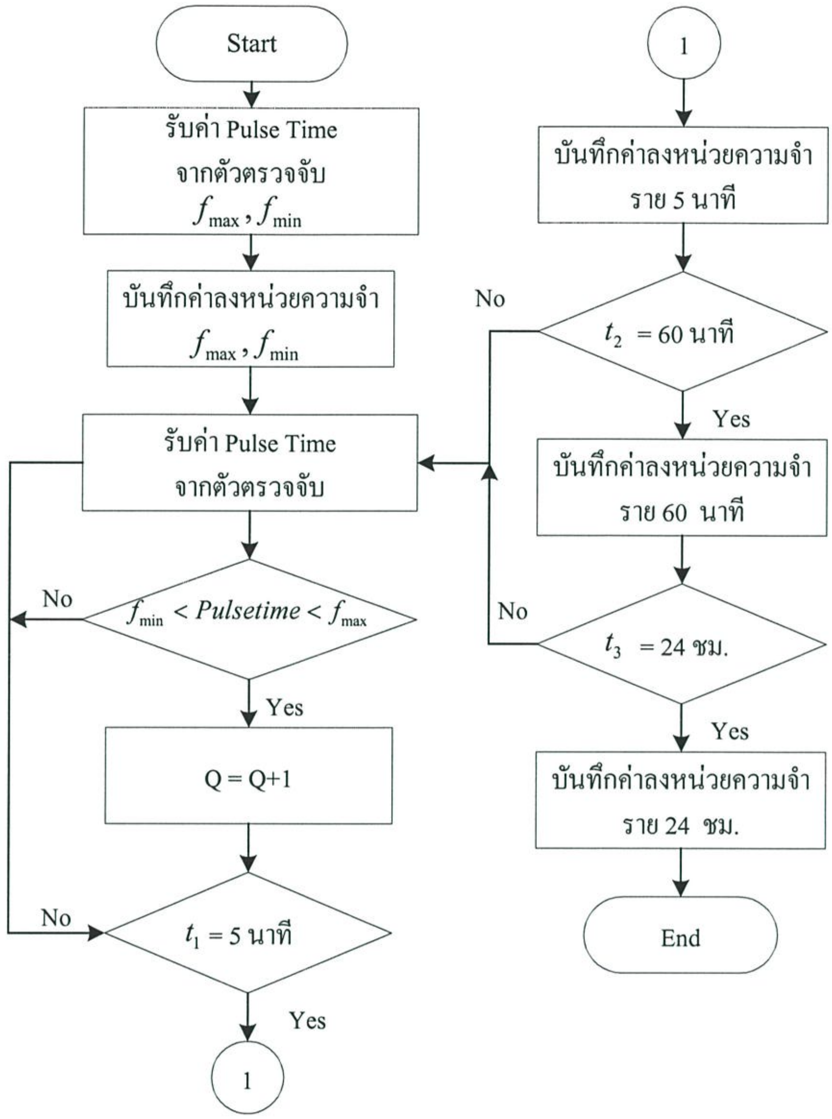
โดยที่ v คือ ความเร็วรถ (*Km/hr*)

L	คือ ความยาวรถ (Km)	
	โดย รถเล็ก	L = 3.5 m.
	และรถขนาดใหญ่	L = 4.5 m.
$t_{(Pulsetime)}$	คือ เวลาที่รถใช้เวลาวิ่งผ่านเซ็นเซอร์ (s)	

หลังจากนั้นบันทึกค่าลงหน่วยความจำ และเริ่มรับค่าพัลซ์ไทม์ใหม่ จนครบ 5 นาที ถ้ามีการร้องขอข้อมูลช่วงเวลา 5 นาทีจากศูนย์ควบคุม จะทำการส่งข้อมูลปริมาณจราจร และความเร็วเฉลี่ยไปยังศูนย์ควบคุม ซึ่งจะมีการส่งข้อมูลทุก ๆ 60 นาที และ 24 ชั่วโมง ด้วยตามลำดับ



รูปที่ 3.9 Flow Chart การทำงานของตัวตรวจจับปริมาณจราจรแบบอัลตร้าโซนิกส์



รูปที่ 3.10 Flow Chart การทำงานของตัวตรวจจับปริมาณจราจรแบบขดลวดเหนี่ยวนำ

3.6.2 การออกแบบโปรแกรมที่ ตัวตรวจจับปริมาณจราจรบริเวณทางขึ้น

โปรแกรมที่อุปกรณ์ปลายทางของตัวตรวจจับแบบขดลวดเหนี่ยวนำมีลักษณะการทำงานดัง Flow Chart ดังรูปที่ 3.9 เริ่มจากรับค่าพัลซ์ไทม์จากตัวตรวจจับ และเปรียบเทียบค่าในหน่วยความจำซึ่งได้จากการสุ่มทดสอบ Δf ของรถขนาดต่าง ๆ แล้วกำหนดเป็นช่วงการเปลี่ยนแปลงของความถี่ ถ้าพัลซ์ไทม์ที่ตรวจจับได้อยู่ในช่วงที่บันทึกค่าปริมาณจราจรจะเพิ่มเป็นหนึ่ง และบันทึกค่าลงหน่วยความจำรับค่าพัลซ์ไทม์ใหม่ จนครบ 5 นาที ถ้ามีการร้องขอข้อมูลช่วงเวลา 5 นาที จากศูนย์ควบคุม จะทำการส่งข้อมูลปริมาณจราจร ไปยังศูนย์ควบคุม ซึ่งจะมีการส่งข้อมูลทุก ๆ 60 นาที และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ

3.6.3 การออกแบบโปรแกรมที่ศูนย์ควบคุมทางด่วน

โปรแกรมที่ศูนย์ควบคุม(Control Center) มีลักษณะการทำงานดัง Flow Chart ดังรูปที่ 3.10 โดยโปรแกรมจะมีการตรวจสอบสถานะตัวตรวจจับทุก ๆ 30 วินาที (Polling Check) เมื่อได้เวลา 5 นาที (t_1=5 นาที)โปรแกรมจะส่งข้อมูลเพื่อขอข้อมูลปริมาณจราจร และความเร็ว ที่วัดได้จากตัวตรวจจับบนทางด่วนพร้อมบันทึกค่าลงหน่วยความจำและคำนวณอัตราการใช้ถนนราย 5 นาที สมการที่ 3.6 เมื่อครบ 1 ชั่วโมง โปรแกรมจะส่งข้อมูลเพื่อขอข้อมูลปริมาณจราจร และความเร็วเฉลี่ยอีกครั้ง พร้อมกับคำนวณอัตราการใช้ถนนรายชั่วโมงเฉลี่ย และบันทึกค่าลงหน่วยความจำ ทำแบบนี้จนครบ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะพิมพ์สรุปข้อมูลรายวันเพื่อรายงานสภาพจราจรรายวัน ในส่วนการรายงานสภาพการจราจรทุก 5 นาที จะแสดงความผิดปรกติของการจราจรบนทางด่วนเป็น Alarm ดังนี้ ความเร็วน้อยกว่า 20 km/hr ปริมาณรถติดมาก, ช่วง 20-40 km/hr ปริมาณรถมากแต่เคลื่อนตัวได้และมากกว่า 40 km/hr ปริมาณรถเคลื่อนตัวได้ดี กรณีรถติดจะมี Alarm แสดงบนหน้าจอ และพนักงานควบคุมจะรายงานให้ผู้เกี่ยวข้องทราบทันที

สมการ ความหนาแน่นของพาหนะต่อหนึ่งกิโลเมตร

$$D = \frac{V}{S} \tag{3.7}$$

โดยที่ D คือ ความหนาแน่นพาหนะต่อหนึ่งกิโลเมตร

V คือ จำนวนพาหนะที่วิ่งผ่านเซ็นเซอร์ (คัน)

S คือ ความเร็วของรถ (*Km/hr*)

สมการ อัตราการใช้ถนน หรือเปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นของพาหนะที่ตรวจวัดได้ ณ จุดต่างๆ (%)

$$\text{อัตราการใช้ถนน} = \left(\frac{D \times L}{1,000} \right) \times 100 \tag{3.8}$$

โดยที่ D คือ ความหนาแน่นพาหนะต่อหนึ่งกิโลเมตร

L คือ ความยาวของพาหนะ (*m*)

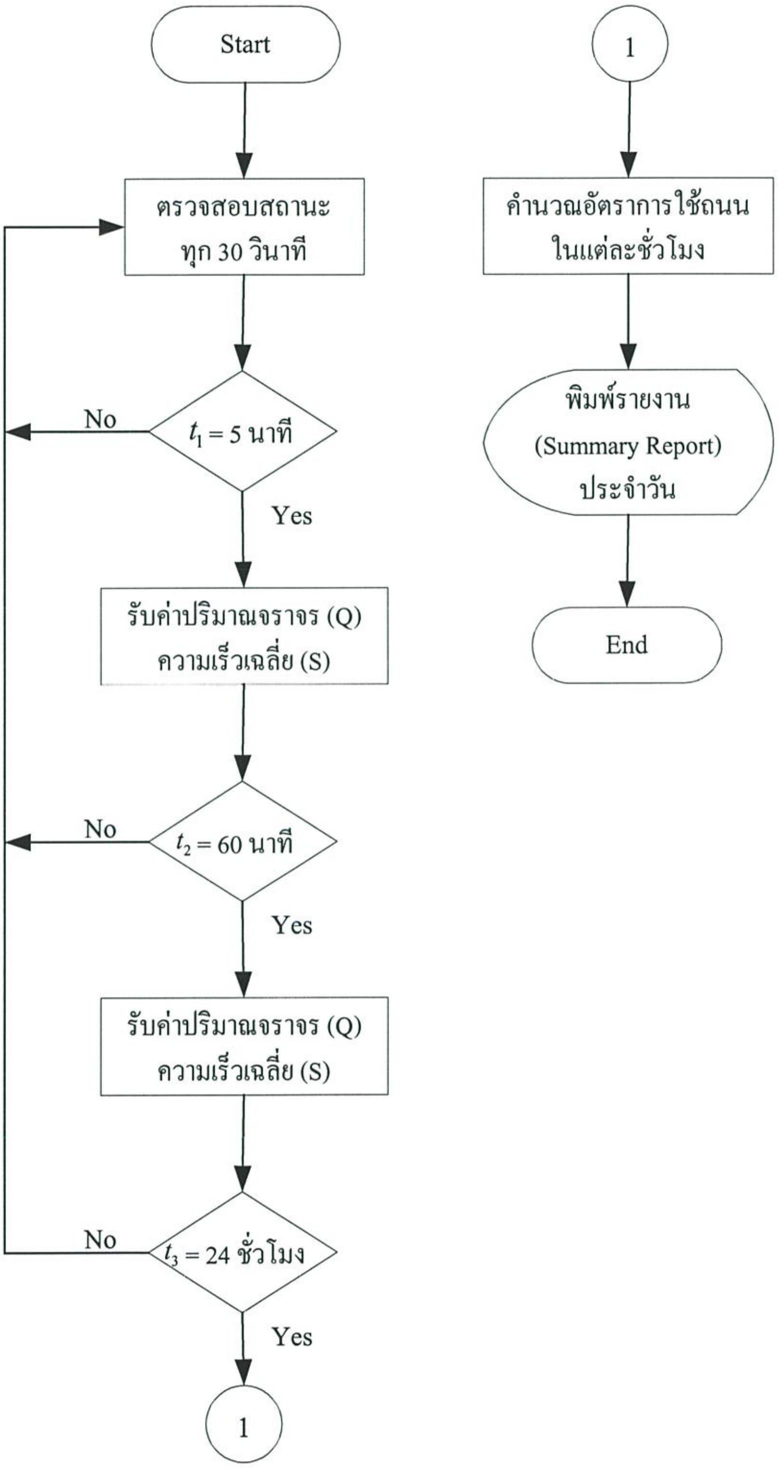
(ก)

(ข)

รูปที่ 3.11 โปรแกรมที่ศูนย์ควบคุมสำหรับควบคุมตัวตรวจจับปริมาณจราจรบนทางด่วน

(ก) เส้นทางรวมบนทางด่วนแบ่งเป็น 5 ส่วน

(ข) ตัวตรวจจับปริมาณจราจรบนทางด่วน ส่วนที่ 1



รูปที่ 3.12 Flow Chart การออกแบบโปรแกรมที่ศูนย์ควบคุม

บทที่ 4

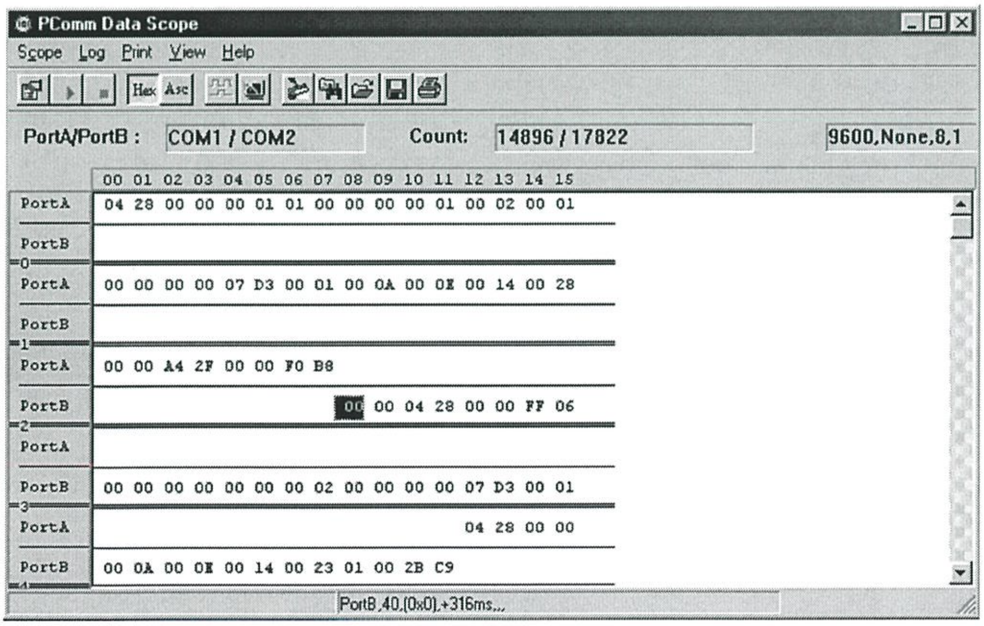
ผลการทดลอง

4.1 กล่าวนำ

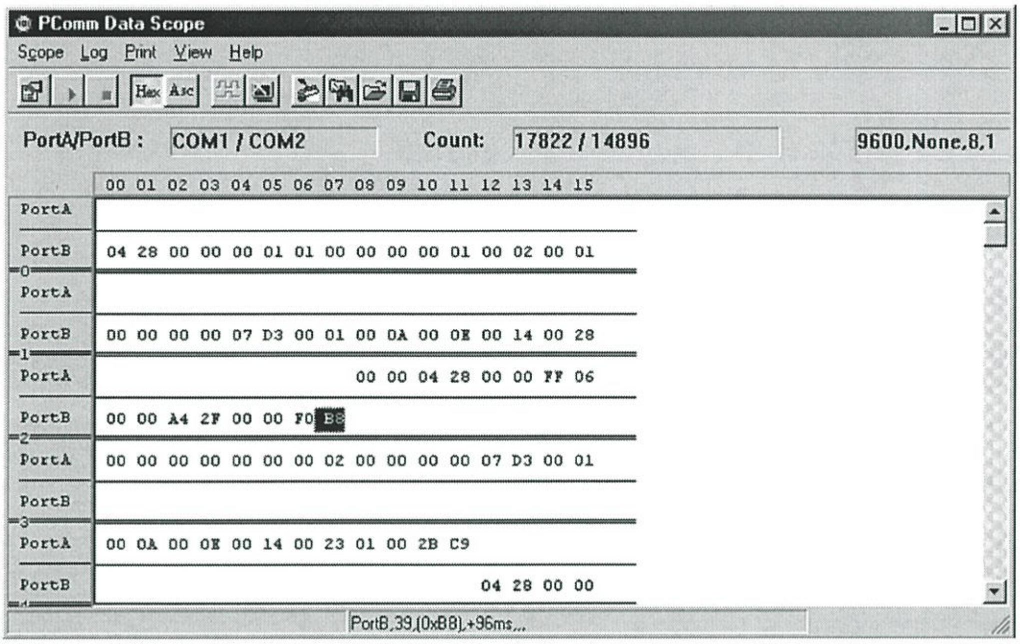
ในบทนี้ใช้เน็ตเวอร์ค SDH ของ Ericsson รุ่น AXD-155-3 และ Umux-1300 สำหรับส่งผ่านข้อมูลระบบตรวจจับ และตรวจนับปริมาณจราจร ซึ่งติดตั้งไว้บนทางด่วน โดยระบบตรวจจับปริมาณจราจรแบบอัลตร้าโซนิกส์จะติดตั้งไว้เหนือช่องจราจร บริเวณทางร่วมและทางลง ส่วนระบบตรวจนับปริมาณจราจรใช้แบบขดลวดเหนี่ยวนำ ฝังไว้บริเวณที่ทางขึ้นแต่ละช่องจราจร (Lane) ผลการทดลอง แสดงให้เห็นถึงข้อมูลการเซ็ตระบบ เครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูล SDH การจัดช่องสัญญาณการมัลติเพล็กซ์ผลของระบบควบคุมการจราจรที่ออกแบบแสดงให้เห็นถึงโปรโตคอลที่ใช้สำหรับการควบคุม และการรับ-ส่งข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Data Scope อีกทั้งแสดงข้อมูลปริมาณจราจรที่ได้จากระบบ ด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสำหรับการควบคุมระบบโดยเฉพาะ ซึ่งผลที่ได้สามารถนำข้อมูลที่ได้มาใช้ประโยชน์การปรับแผนจราจรบนทางด่วน และใช้งานร่วมกับระบบอื่น ๆ ได้อีกด้วย

4.2 ผลการตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบ

ที่โหนดต้นทางได้ใช้โปรแกรม Data Scope ตรวจจับข้อมูล (มาตรฐาน RS232 9600, n, 8, 1) เป็นเวลา 1 วัน ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 ข้อมูลที่โหนดต้นทาง



รูปที่ 4.2 ข้อมูลที่โหนดปลายทาง

จากรูปผลที่ได้จำนวนข้อมูลที่โหนดต้นทางด้านส่งมีค่า 14,896 Byte และข้อมูลด้านรับมีค่า 17,822 Byte ขณะเดียวกันที่ โหนดปลายทางด้านส่งมีค่า 17,822 Byte และข้อมูลด้านรับมีค่า 14,896 Byte ซึ่งมีความถูกต้อง 100 %

4.3 ผลการตรวจจับข้อมูลปริมาณจราจรบนทางด่วน

ผลการทดลองนี้ได้แสดงข้อมูลจากตัวตรวจจับปริมาณจราจร ที่ติดตั้งไว้เหนือช่องจราจรบริเวณทางร่วม ทางลง และทางขึ้นตามลำดับซึ่งได้เก็บข้อมูลแต่ละจุดเป็นเวลา 2 วัน โดยข้อมูลจากจุดตรวจจับต่างๆ จะถูกส่งมายังศูนย์ควบคุม แล้วใช้โปรแกรมที่ออกแบบวิเคราะห์ปริมาณจราจรแต่ละวัน เป็นปริมาณจราจร และความเร็วเฉลี่ย ที่บริเวณทางร่วม ทางลง ส่วนบริเวณทางขึ้นจะรายงานเฉพาะปริมาณจราจรเท่านั้น

ตารางที่ 4.1 ปริมาณจราจรบริเวณทางร่วม 1 (วันที่ 1)

เวลา	ปริมาณ(คัน)	ความเร็ว(กม./ชม.)	อัตรา (%)
00 - 01 น.	447	98.4	0.9
01 - 02 น.	282	101.4	0.6
02 - 03 น.	241	96.9	0.5
03 - 04 น.	190	92.9	0.4
04 - 05 น.	339	91.4	0.9
05 - 06 น.	719	84.6	1.9
06 - 07 น.	1812	96.5	4
07 - 08 น.	3706	79.8	10.1
08 - 09 น.	4094	83.2	10.6
09 - 10 น.	3546	83	9.5
10 - 11 น.	3542	81.6	9.7
11 - 12 น.	3536	84.8	9.2
12 - 13 น.	3337	87.9	8.3
13 - 14 น.	3480	85.5	8.9
14 - 15 น.	3631	82.2	9.7
15 - 16 น.	3719	83.3	9.6
16 - 17 น.	3786	84.3	9.5
17 - 18 น.	4266	80.3	11.1
18 - 19 น.	3356	81.2	9.1
19 - 20 น.	3339	82.3	8.6
20 - 21 น.	2397	89.5	5.7
21 - 22 น.	2084	87.6	5
22 - 23 น.	1458	94.9	3.3
23 - 24 น.	866	88.89	2
	<u>58173</u>	<u>87.6</u>	<u>6.2</u>

ตารางที่ 4.2 ปริมาณจราจรบริเวณทางร่วม 1 (วันที่ 2)

เวลา	**ปริมาณ(คัน)**	**ความเร็ว(กม./ชม.)**	**อัตรา (%)**
00 - 01 น.	475	48.4	5.6
01 - 02 น.	294	62.6	6.8
02 - 03 น.	243	77.1	2.3
03 - 04 น.	204	79.6	6.4
04 - 05 น.	311	68	8
05 - 06 น.	574	66.8	8.9
06 - 07 น.	1591	71.8	10.2
07 - 08 น.	3383	80.2	9.3
08 - 09 น.	3562	83.7	9
09 - 10 น.	3014	88.3	7.5
10 - 11 น.	3191	84.6	8.4
11 - 12 น.	2856	89.5	7
12 - 13 น.	2735	90	6.7
13 - 14 น.	2872	89.1	7
14 - 15 น.	3051	86.8	7.7
15 - 16 น.	2976	92.6	6.9
16 - 17 น.	3052	87.1	8
17 - 18 น.	4091	81.3	10.5
18 - 19 น.	3730	81.2	9.5
19 - 20 น.	2878	85	7
20 - 21 น.	2376	86.9	5.7
21 - 22 น.	1803	90.4	4.2
22 - 23 น.	1243	91.5	2.9
23 - 24 น.	834	72	7.9
	51339	80.6	7.2

ตารางที่ 4.3 ปริมาณจราจรบริเวณทางลง (วันที่ 1)

เวลา	ปริมาณ(คัน)	ความเร็ว(กม./ชม.)	อัตรา (%)
00 - 01 น.	20	92.6	0.1
01 - 02 น.	16	91.3	0.1
02 - 03 น.	18	96.3	0.1
03 - 04 น.	15	88	0.1
04 - 05 น.	33	97.8	0.1
05 - 06 น.	50	95.9	0.4
06 - 07 น.	441	94	1.5
07 - 08 น.	621	63.4	2.9
08 - 09 น.	649	73.8	2.7
09 - 10 น.	426	91.2	1.6
10 - 11 น.	399	75.8	5.3
11 - 12 น.	420	55.7	9.5
12 - 13 น.	385	90.6	1.4
13 - 14 น.	417	90.3	1.6
14 - 15 น.	460	95.9	1.6
15 - 16 น.	548	92.9	2
16 - 17 น.	493	96.7	1.7
17 - 18 น.	524	90.3	1.9
18 - 19 น.	328	89.9	1.1
19 - 20 น.	302	95.5	1
20 - 21 น.	169	89.4	0.6
21 - 22 น.	123	90.6	0.4
22 - 23 น.	68	86.2	0.3
23 - 24 น.	35	86.8	0.1
	6960	88	1.8

ตารางที่ 4.4 ปริมาณจราจรบริเวณทางลง (วันที่ 2)

เวลา	ปริมาณ(คัน)	ความเร็ว(กม./ชม.)	อัตรา (%)
00 - 01 น.	14	100	0.1
01 - 02 น.	15	85.3	0.1
02 - 03 น.	14	103	0.1
03 - 04 น.	18	93.7	0.1
04 - 05 น.	23	96.4	0.1
05 - 06 น.	51	83.2	0.2
06 - 07 น.	394	91.5	1.3
07 - 08 น.	681	73.7	2.8
08 - 09 น.	611	56	13.3
09 - 10 น.	446	91.6	1.7
10 - 11 น.	426	91.4	1.6
11 - 12 น.	392	90.3	1.5
12 - 13 น.	401	93.5	1.5
13 - 14 น.	386	95.2	1.4
14 - 15 น.	442	87.2	1.7
15 - 16 น.	462	97.2	1.6
16 - 17 น.	428	91.8	1.7
17 - 18 น.	515	84.3	1.9
18 - 19 น.	452	85.6	1.7
19 - 20 น.	271	87.9	0.9
20 - 21 น.	222	87.8	0.8
21 - 22 น.	109	89	0.4
22 - 23 น.	51	85.9	0.2
23 - 24 น.	18	96.1	0.1
	6842	89.1	1.8

ตารางที่ 4.5 ปริมาณจราจรบริเวณทางขึ้น (วันที่ 1, 2)

เวลา	ปริมาณจราจร
00 - 01 น.	73
01 - 02 น.	49
02 - 03 น.	33
03 - 04 น.	9
04 - 05 น.	36
05 - 06 น.	104
06 - 07 น.	303
07 - 08 น.	841
08 - 09 น.	906
09 - 10 น.	701
10 - 11 น.	813
11 - 12 น.	861
12 - 13 น.	959
13 - 14 น.	1100
14 - 15 น.	1247
15 - 16 น.	1381
16 - 17 น.	1804
17 - 18 น.	2017
18 - 19 น.	1460
19 - 20 น.	986
20 - 21 น.	728
21 - 22 น.	493
22 - 23 น.	317
23 - 24 น.	141

17362

เวลา	ปริมาณจราจร
00 – 01 น.	68
01 – 02 น.	46
02 – 03 น.	22
03 – 04 น.	19
04 – 05 น.	27
05 – 06 น.	75
06 – 07 น.	261
07 – 08 น.	657
08 – 09 น.	797
09 – 10 น.	684
10 – 11 น.	704
11 – 12 น.	729
12 – 13 น.	785
13 – 14 น.	927
14 – 15 น.	1024
15 – 16 น.	1025
16 – 17 น.	1251
17 – 18 น.	1554
18 – 19 น.	1266
19 – 20 น.	756
20 – 21 น.	577
21 – 22 น.	483
22 – 23 น.	306
23 – 24 น.	132

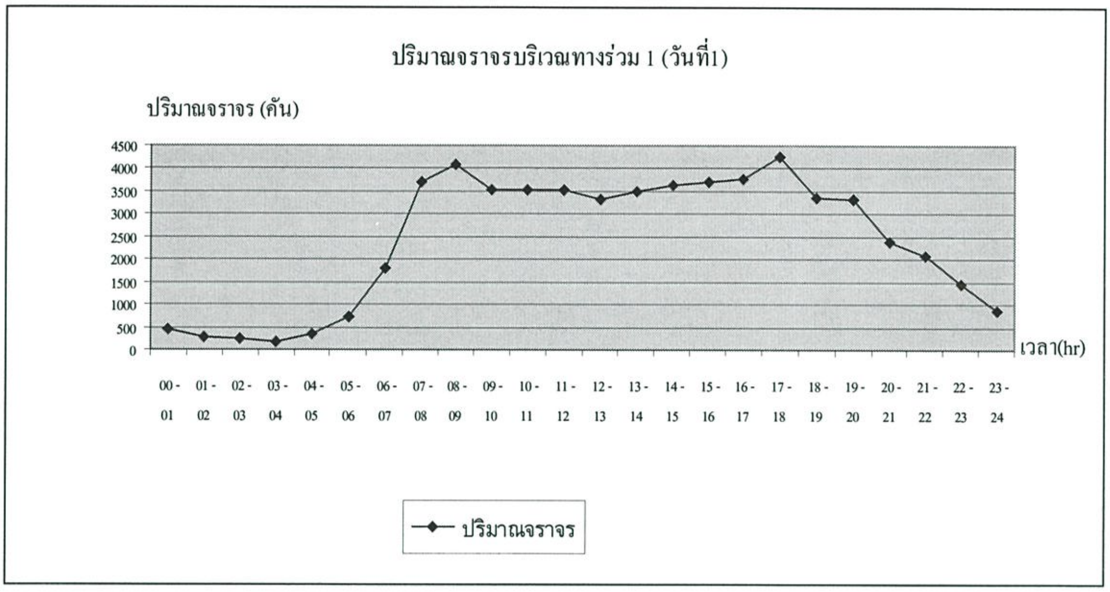
14174

ตารางที่ 4.6 ปริมาณจราจรบริเวณทางร่วม 2 (วันที่ 1)

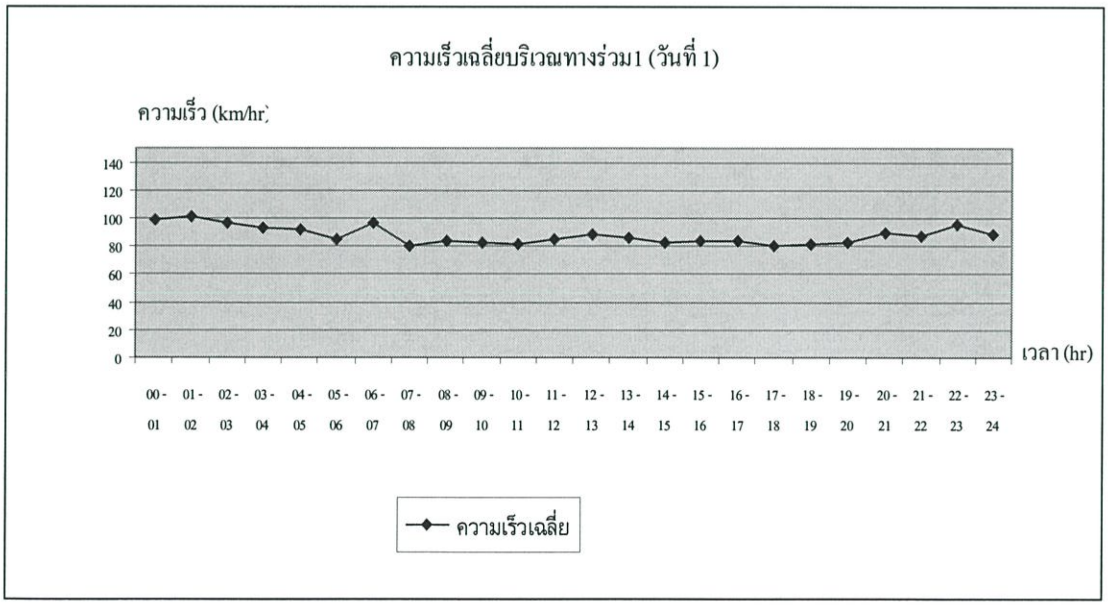
เวลา	ปริมาณ(คัน)	ความเร็ว(กม./ชม.)	อัตรา (%)
00 - 01 น.	415	97.5	0.8
01 - 02 น.	276	68.5	1.1
02 - 03 น.	245	94.6	2.7
03 - 04 น.	181	85.1	2.2
04 - 05 น.	275	65.6	6.5
05 - 06 น.	686	114.3	1.2
06 - 07 น.	1775	113.4	3.1
07 - 08 น.	4269	92.8	9.8
08 - 09 น.	4357	82.3	12.2
09 - 10 น.	3623	87.1	9.1
10 - 11 น.	3778	84.9	9.7
11 - 12 น.	3851	88.8	9.3
12 - 13 น.	3713	90.8	8.6
13 - 14 น.	3811	85.9	9.4
14 - 15 น.	4080	83.3	10.5
15 - 16 น.	4405	79.2	13.1
16 - 17 น.	4913	84.9	11.9
17 - 18 น.	4457	29.4	34.5
18 - 19 น.	4189	51.7	24.2
19 - 20 น.	3864	87.7	9.1
20 - 21 น.	2802	92.8	6.2
21 - 22 น.	2226	92.5	4.9
22 - 23 น.	1547	90.2	3.4
23 - 24 น.	876	99.5	1.6
	64594	85.1	8.5

ตารางที่ 4.7 ปริมาณจราจรบริเวณทางร่วม 2 (วันที่ 2)

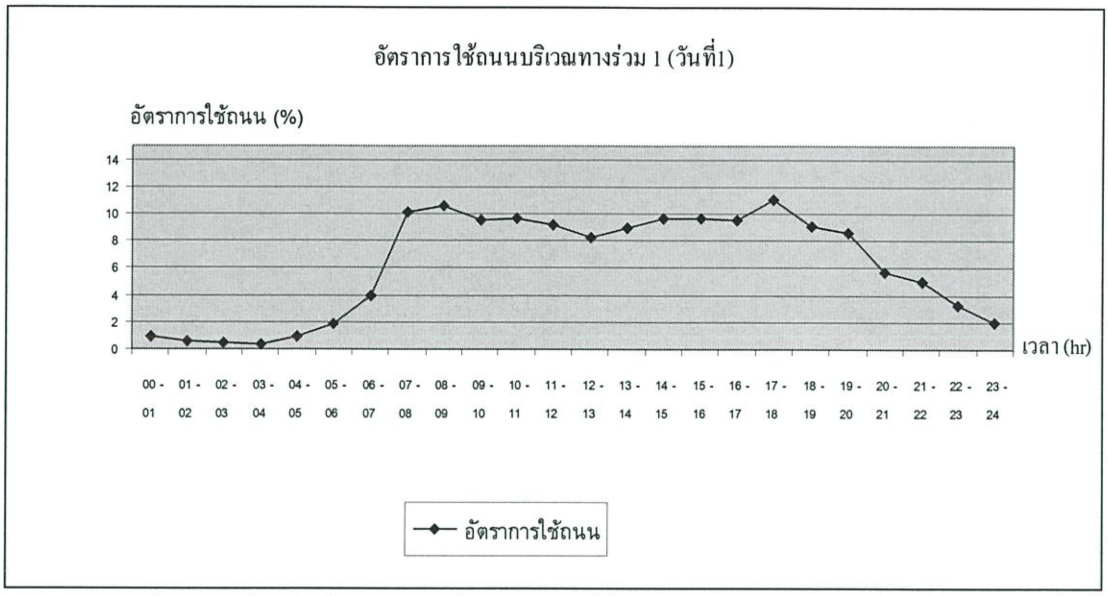
เวลา	ปริมาณ(คัน)	ความเร็ว(กม./ชม.)	อัตรา (%)
00 - 01 น.	357	73.6	2.5
01 - 02 น.	302	73.2	1
02 - 03 น.	187	68.3	4.7
03 - 04 น.	184	71.5	0.8
04 - 05 น.	253	55.8	3.1
05 - 06 น.	507	43.8	4.8
06 - 07 น.	1232	82.1	4.6
07 - 08 น.	2684	87	8.7
08 - 09 น.	3591	89.6	8.9
09 - 10 น.	3090	91.9	7.3
10 - 11 น.	3280	87.3	8.1
11 - 12 น.	3002	90.6	7.1
12 - 13 น.	2973	92.6	6.7
13 - 14 น.	3278	91.8	7.6
14 - 15 น.	3357	78.9	12.1
15 - 16 น.	3372	94.3	7.5
16 - 17 น.	3608	92.2	9
17 - 18 น.	4732	85.2	11.8
18 - 19 น.	4263	86.4	10.4
19 - 20 น.	3000	91.8	6.9
20 - 21 น.	2200	91.8	5.6
21 - 22 น.	1783	94.3	4.4
22 - 23 น.	973	97.5	2.7
23 - 24 น.	56	11.3	14.2
	52264	80.1	6.7


ปริมาณจราจรบริเวณทางร่วม 1 (วันที่1)
ปริมาณจราจร (คัน)
4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
เวลา(hr)
00 - 01
01 - 02
02 - 03
03 - 04
04 - 05
05 - 06
06 - 07
07 - 08
08 - 09
09 - 10
10 - 11
11 - 12
12 - 13
13 - 14
14 - 15
15 - 16
16 - 17
17 - 18
18 - 19
19 - 20
20 - 21
21 - 22
22 - 23
23 - 24
ปริมาณจราจร

(ก)

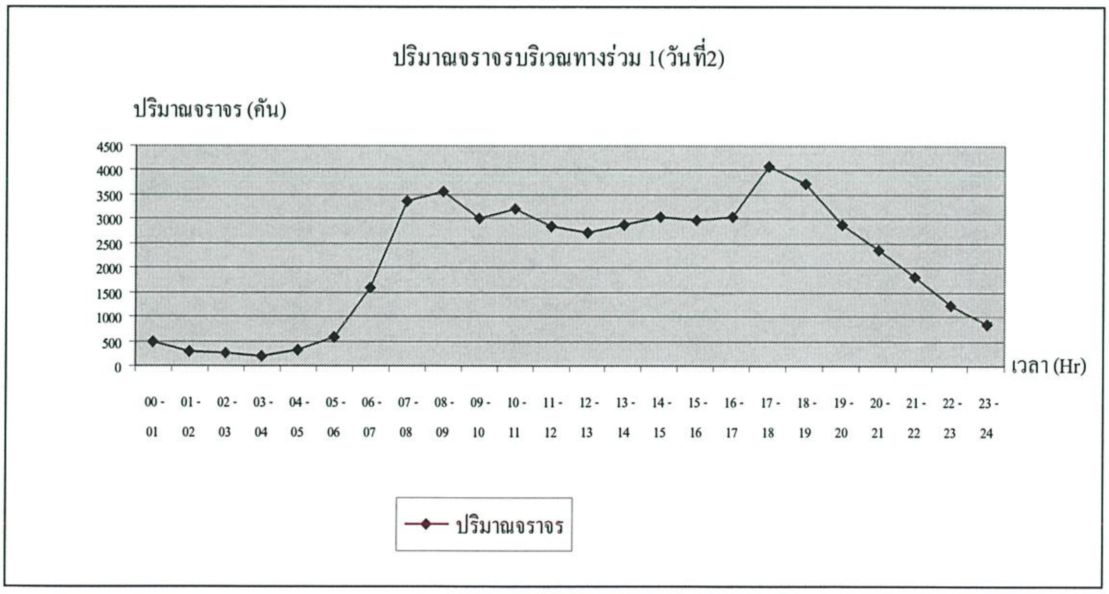

ความเร็วเฉลี่ยบริเวณทางร่วม1 (วันที่ 1)
ความเร็ว (km/hr)
140
120
100
80
60
40
20
0
เวลา (hr)
00 - 01
01 - 02
02 - 03
03 - 04
04 - 05
05 - 06
06 - 07
07 - 08
08 - 09
09 - 10
10 - 11
11 - 12
12 - 13
13 - 14
14 - 15
15 - 16
16 - 17
17 - 18
18 - 19
19 - 20
20 - 21
21 - 22
22 - 23
23 - 24
ความเร็วเฉลี่ย

(ข)

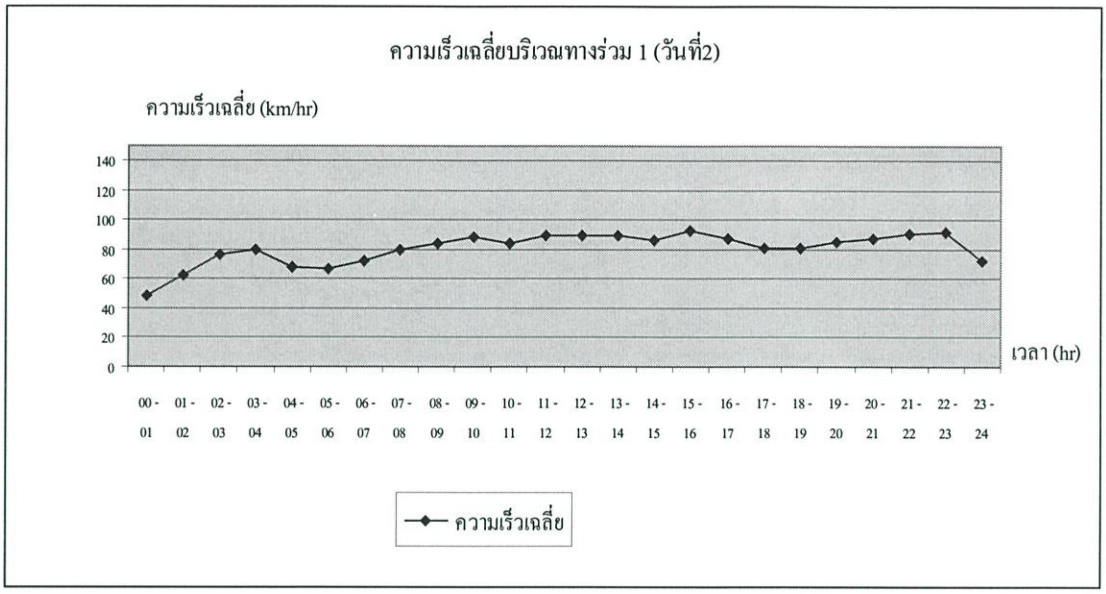


(ค)

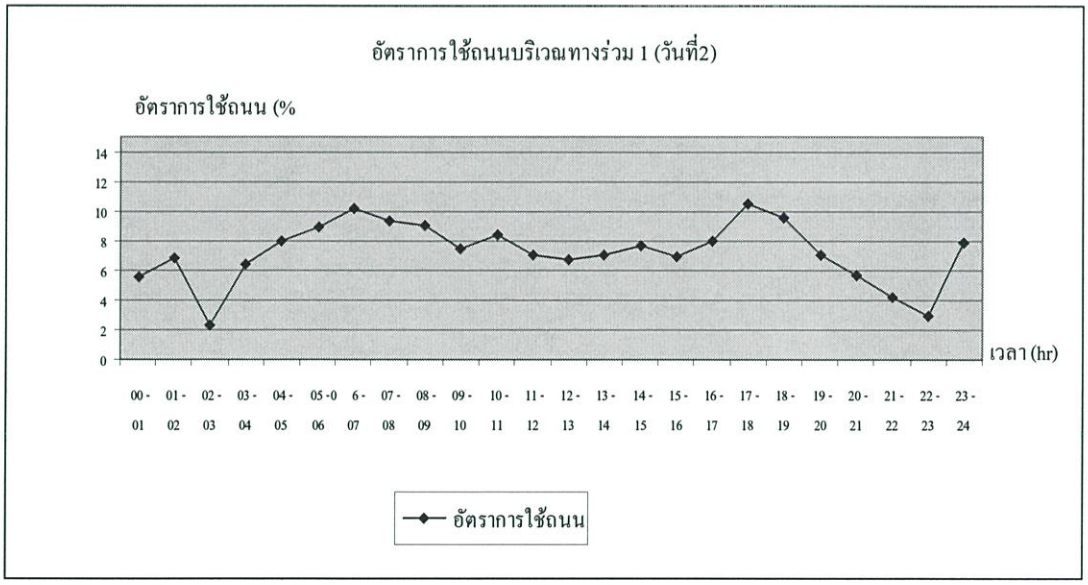
รูปที่ 4.3 (ก) กราฟแสดงปริมาณจราจรบริเวณทางร่วม 1 (วันที่ 1)
(ข) กราฟแสดงความเร็วเฉลี่ยบริเวณทางร่วม 1 (วันที่ 1)
(ค) กราฟแสดงอัตราการใช้ถนนบริเวณทางร่วม 1 (วันที่ 1)



(ก)



(ข)

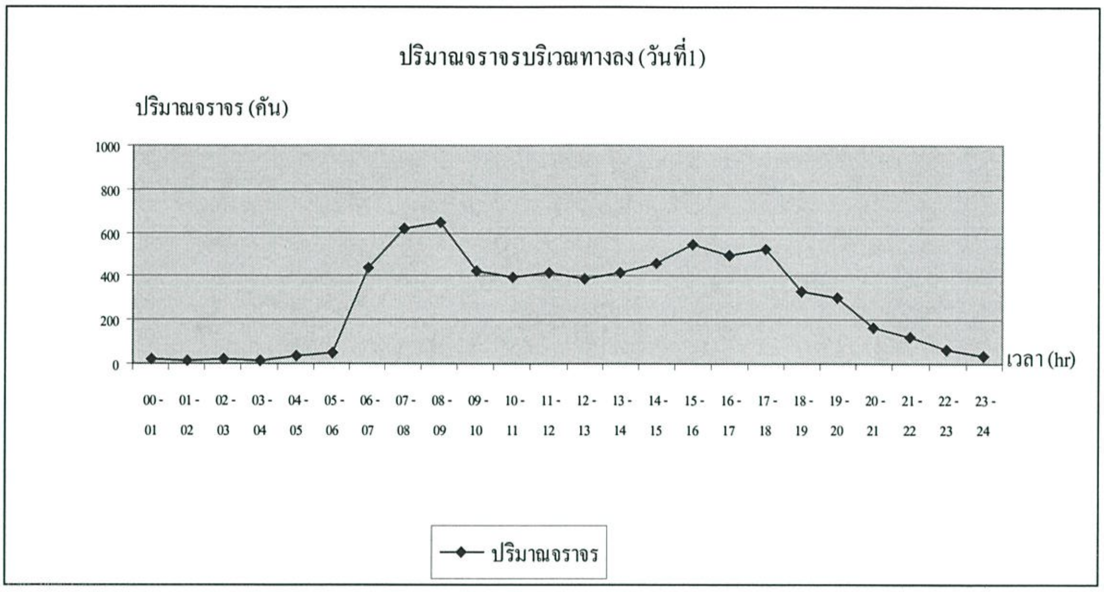


(ค)

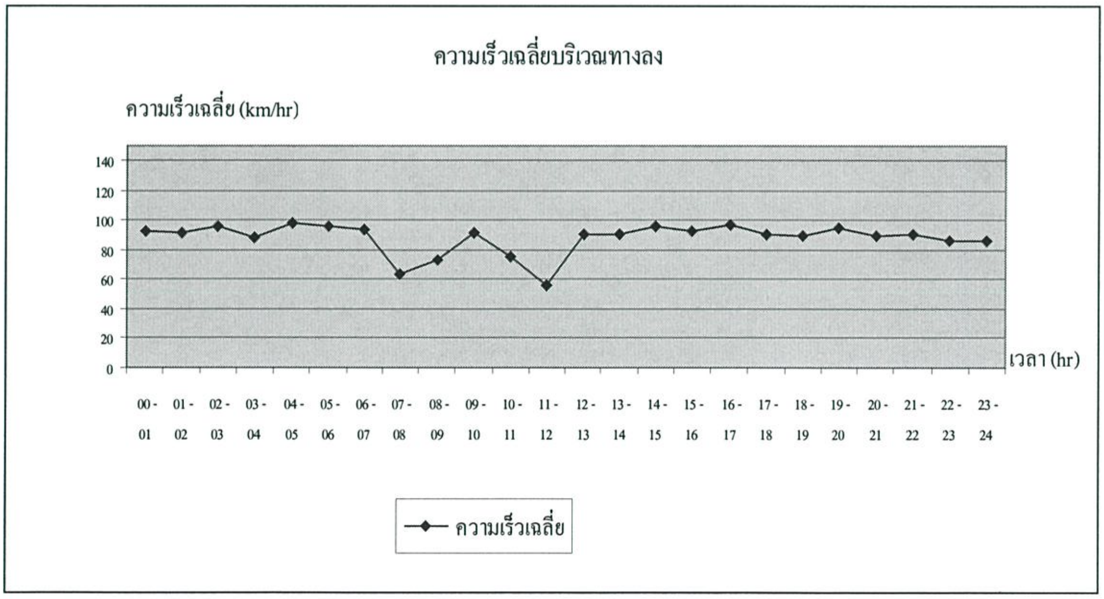
รูปที่ 4.4 (ก) กราฟแสดงปริมาณจราจรบริเวณทางร่วม 1 (วันที่ 2)

(ข) กราฟแสดงความเร็วเฉลี่ยบริเวณทางร่วม 1 (วันที่ 2)

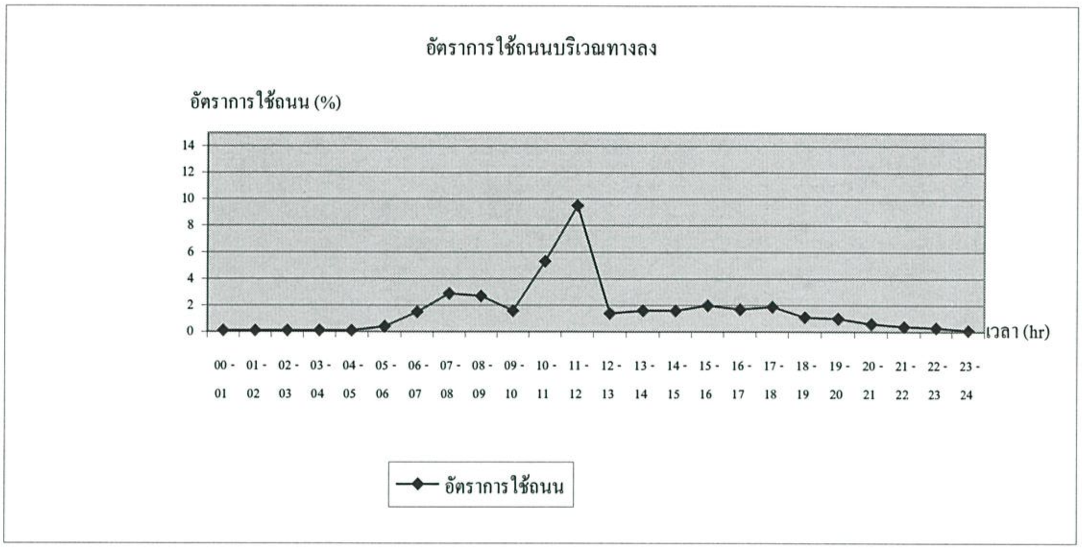
(ค) กราฟแสดงอัตราการใช้ถนนบริเวณทางร่วม 1 (วันที่ 2)


ปริมาณจราจรบริเวณทางลง (วันที่1)
ปริมาณจราจร (คัน)
1000
800
600
400
200
0
เวลา (hr)
00 - 01
01 - 02
02 - 03
03 - 04
04 - 05
05 - 06
06 - 07
07 - 08
08 - 09
09 - 10
10 - 11
11 - 12
12 - 13
13 - 14
14 - 15
15 - 16
16 - 17
17 - 18
18 - 19
19 - 20
20 - 21
21 - 22
22 - 23
23 - 24
ปริมาณจราจร

(ก)

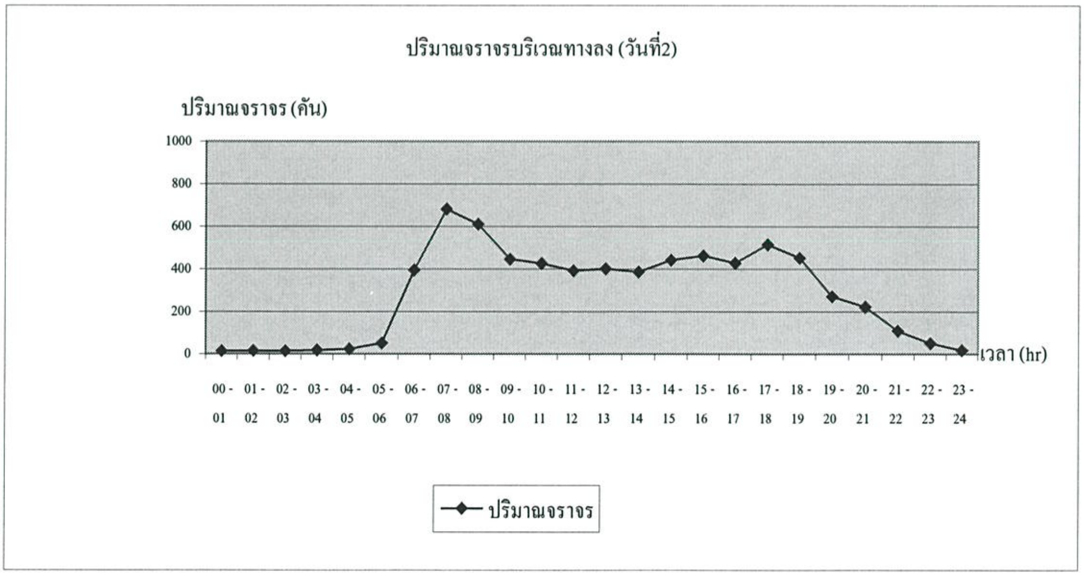

ความเร็วเฉลี่ยบริเวณทางลง
ความเร็วเฉลี่ย (km/hr)
140
120
100
80
60
40
20
0
เวลา (hr)
00 - 01
01 - 02
02 - 03
03 - 04
04 - 05
05 - 06
06 - 07
07 - 08
08 - 09
09 - 10
10 - 11
11 - 12
12 - 13
13 - 14
14 - 15
15 - 16
16 - 17
17 - 18
18 - 19
19 - 20
20 - 21
21 - 22
22 - 23
23 - 24
ความเร็วเฉลี่ย

(ข)

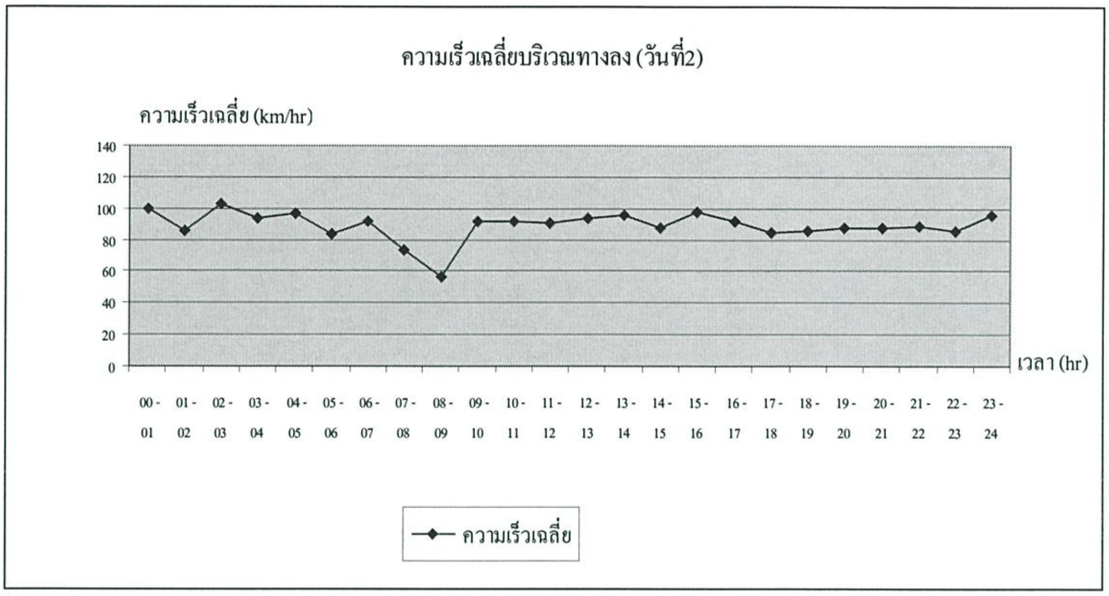


(ค)

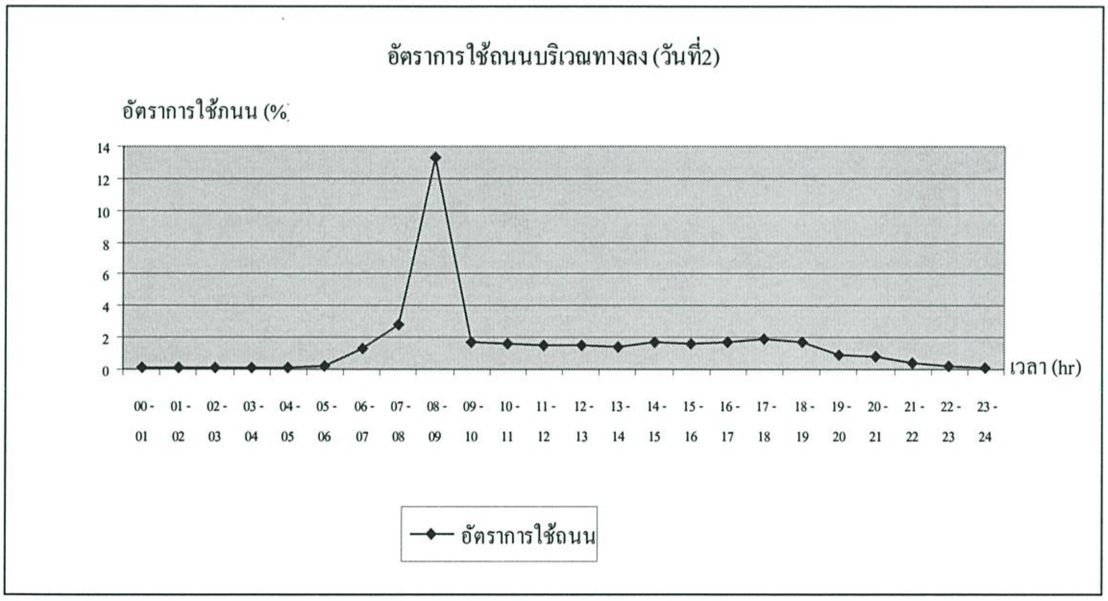
รูปที่ 4.5 (ก) กราฟแสดงปริมาณจราจรบริเวณทางลง (วันที่ 1)
(ข) กราฟแสดงความเร็วเฉลี่ยบริเวณทางลง (วันที่ 1)
(ค) กราฟแสดงอัตราการใช้ถนนบริเวณทางลง (วันที่ 1)



(ก)



(ข)

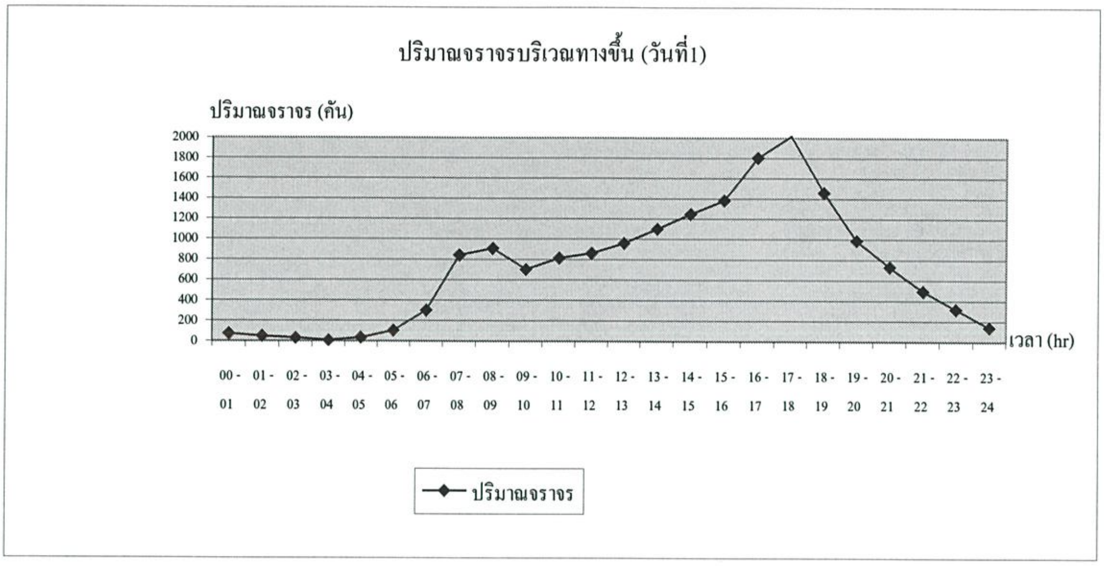


(ค)

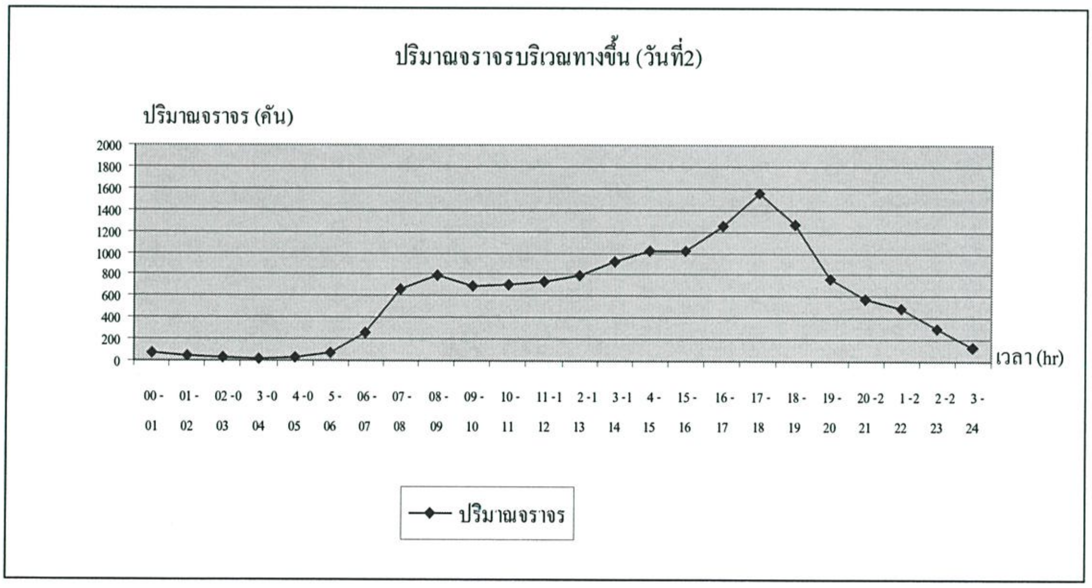
รูปที่ 4.6 (ก) กราฟแสดงปริมาณจราจรบริเวณทางลง (วันที่ 2)

(ข) กราฟแสดงความเร็วเฉลี่ยบริเวณทางลง (วันที่ 2)

(ค) กราฟแสดงอัตราการใช้ถนนบริเวณทางลง (วันที่ 2)



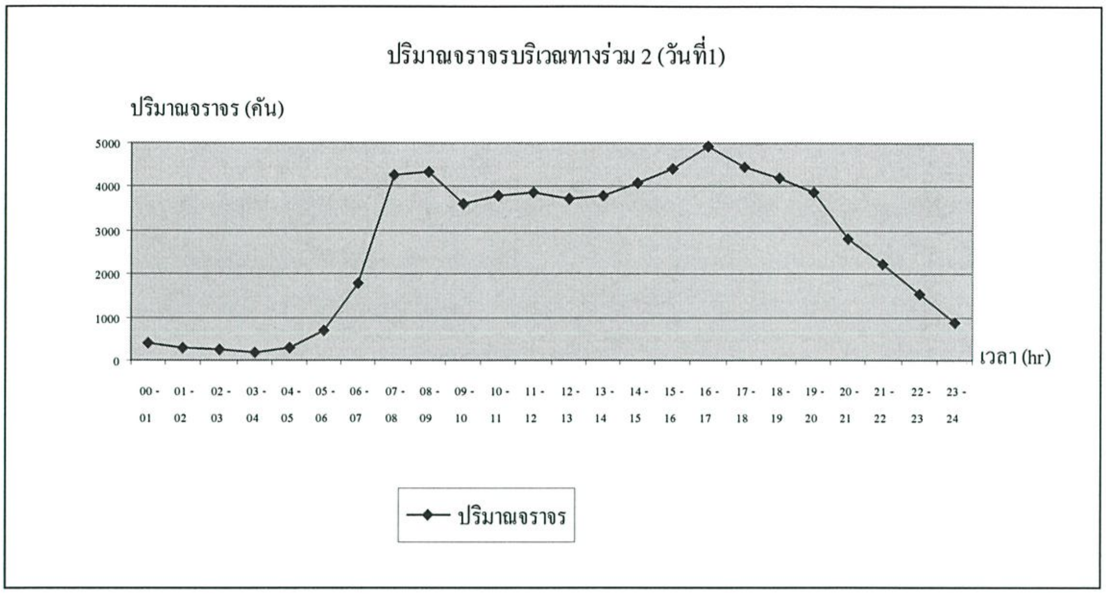
(ก)



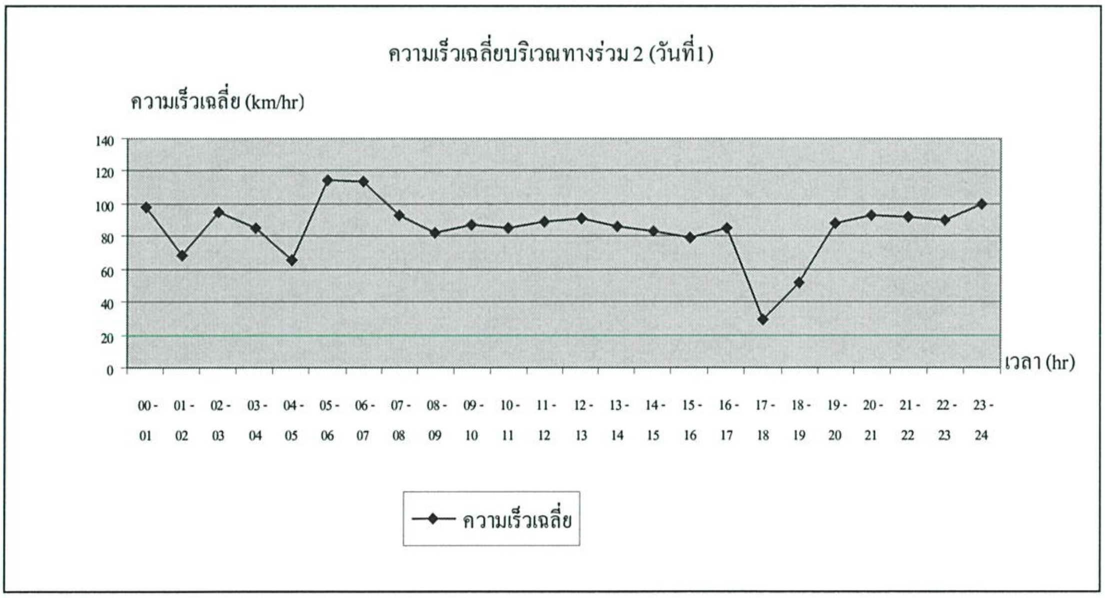
(ข)

รูปที่ 4.7 (ก) กราฟแสดงปริมาณจราจรบริเวณทางขึ้น (วันที่ 1)

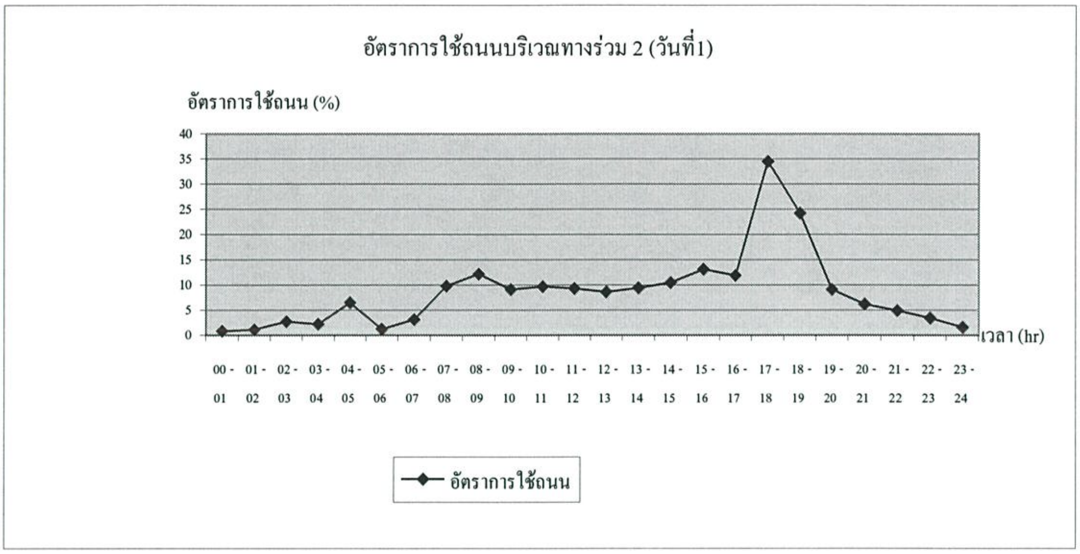
(ข) กราฟแสดงความเร็วเฉลี่ยบริเวณทางขึ้น (วันที่ 2)


ปริมาณจราจรบริเวณทางร่วม 2 (วันที่1)
ปริมาณจราจร (คัน)
5000
4000
3000
2000
1000
0
เวลา (hr)
00 - 01
01 - 02
02 - 03
03 - 04
04 - 05
05 - 06
06 - 07
07 - 08
08 - 09
09 - 10
10 - 11
11 - 12
12 - 13
13 - 14
14 - 15
15 - 16
16 - 17
17 - 18
18 - 19
19 - 20
20 - 21
21 - 22
22 - 23
23 - 24
ปริมาณจราจร

(ก)


ความเร็วเฉลี่ยบริเวณทางร่วม 2 (วันที่1)
ความเร็วเฉลี่ย (km/hr)
140
120
100
80
60
40
20
0
เวลา (hr)
00 - 01
01 - 02
02 - 03
03 - 04
04 - 05
05 - 06
06 - 07
07 - 08
08 - 09
09 - 10
10 - 11
11 - 12
12 - 13
13 - 14
14 - 15
15 - 16
16 - 17
17 - 18
18 - 19
19 - 20
20 - 21
21 - 22
22 - 23
23 - 24
ความเร็วเฉลี่ย

(ข)

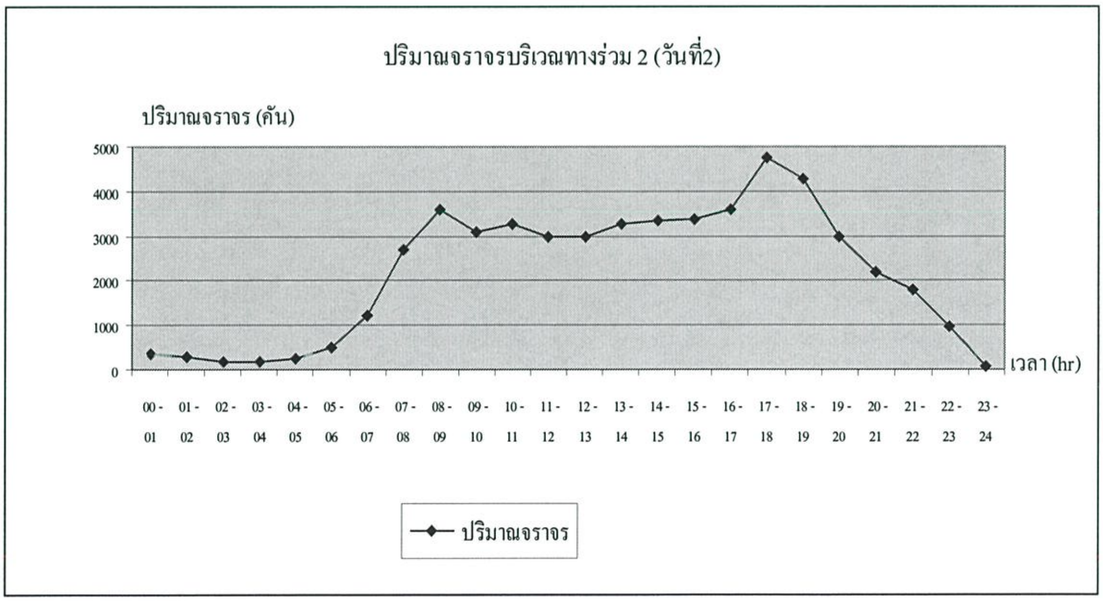


(ค)

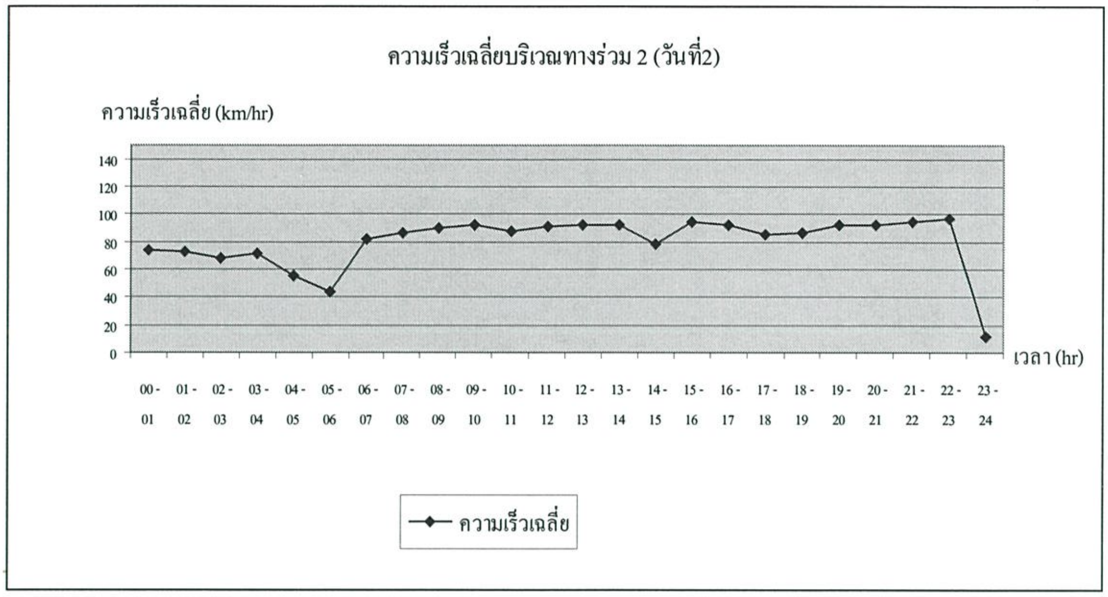
รูปที่ 4.8 (ก) กราฟแสดงปริมาณจราจรบริเวณทางร่วม 2 (วันที่ 1)

(ข) กราฟแสดงความเร็วเฉลี่ยบริเวณทางร่วม 2 (วันที่ 1)

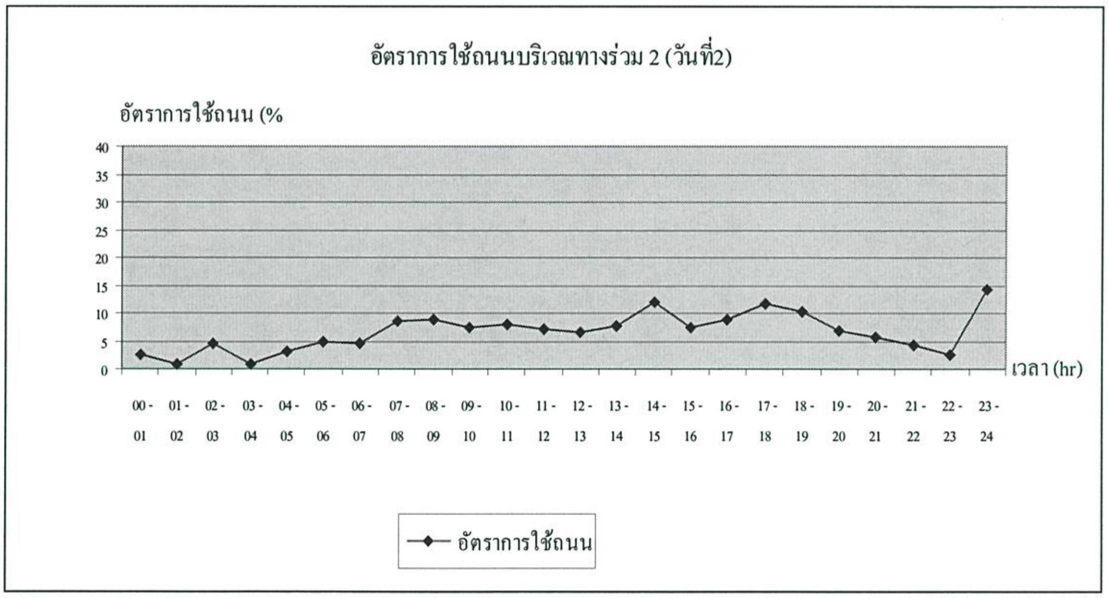
(ค) กราฟแสดงอัตราการใช้ถนนบริเวณทางร่วม 2 (วันที่ 1)



(ก)



(ข)



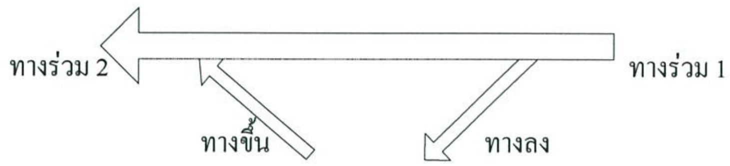
(ค)

รูปที่ 4.9 (ก) กราฟแสดงปริมาณจราจรบริเวณทางร่วม 2 (วันที่ 2)

(ข) กราฟแสดงความเร็วเฉลี่ยบริเวณทางร่วม 2 (วันที่ 2)

(ค) กราฟแสดงอัตราการใช้ถนนบริเวณทางร่วม 2 (วันที่ 2)

จากการรับข้อมูลที่ศูนย์ควบคุมเป็นการรับข้อมูล 1 ช่วงถนนบนทางด่วนเท่านั้นซึ่งสามารถคำนวณปริมาณจราจร



รูปที่ 4.10 เส้นทางหนึ่งช่วงจราจร

ได้สมการ

ปริมาณจราจรทางร่วม 2 = ปริมาณจราจรทางร่วม 1 + ปริมาณจราจรทางขึ้น - ปริมาณจราจรทางลง

จากผลการทดลอง

ปริมาณจราจรทางร่วม 2 = 64,594 คัน

ปริมาณจราจรทางร่วม 1 = 58,173 คัน

ปริมาณจราจรทางขึ้น = 17,362 คัน

ปริมาณจราจรทางลง = 6,960 คัน

64,594 ~ 58,173 + 17,362 – 6,960

64,594 ~ 68,575 (ผิดพลาด 5.8 %)

จากผลการทดลองสามารถใช้โปรแกรมที่ศูนย์ควบคุมรายงานสภาพจราจรประจำวัน ซึ่งจะสรุปเฉพาะบริเวณทางร่วม และทางลงได้ดังนี้

ตารางที่ 4.8 รายงานสภาพจราจรประจำวัน (วันที่ 1)

เวลา สถานที่	00- 01น.	01- 02น.	02- 03น.	03- 04น.	04- 05น.	05- 06น.	06- 07น.	07- 08น.	08- 09น.	09- 10น.	10- 11น.	11- 12น.	12- 13น.	13- 14น.	14- 15น.	15- 16น.	16- 17น.	17- 18น.	18- 19น.	19- 20น.	20- 21น.	21- 22น.	22- 23น.	23- 24น.
ทางร่วม1																								
ทางลง																								
ทางร่วม2																								

1. ความเร็ว > 40 กม./ชม.
2. 20 กม./ชม. < ความเร็ว < 40 กม./ชม.
3. ความเร็ว < 20 กม./ชม.

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

จากการทดสอบและออกแบบระบบเชื่อมต่อข้อมูลแบบจุดต่อจุดโดยใช้เครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูล SDH เป็นเครือข่ายหลักในการส่งผ่านข้อมูล ส่วนของเครือข่ายหลักได้มีการจัดโครงสร้างการมัลติเพล็กซ์สัญญาณดิจิตอลระดับล่าง จนถึงสัญญาณระดับ STM-1 (155.52 Mbps) ในการกำหนดช่องสัญญาณมัลติเพล็กซ์ที่เหมาะสมทำให้สามารถลดจำนวนโหนดใช้งาน โดยตำแหน่งของโหนดจะต้องติดตั้งใกล้กับกลุ่มของอุปกรณ์ควบคุมมากที่สุด อุปกรณ์ควบคุมใดที่พอร์ตของอุปกรณ์เครือข่ายไม่สามารถควบคุมได้จำเป็นต้องใช้ตัวแปลงโปรโตคอล ซึ่งในการทดลองใช้แบบ RS232-RS422/485 แต่ยังคงมีข้อจำกัดในเรื่องของระยะทางอยู่ที่ 1.2 – 2 กม. จากการเชื่อมต่อระบบแล้วนั้นประสิทธิภาพของระบบแสดงได้จาก Performance Monitor ซึ่งเป็นโปรแกรมของระบบโดยจะรายงานสถานะของพอร์ตเชื่อมต่อตลอดเวลาการใช้งาน ส่วนสัญญาณที่ใช้สำหรับตรวจสอบความถูกต้องของระบบเชื่อมโยงคือ สัญญาณ AIS (Alarm Indicator Signal) ซึ่งจะส่งจากโหนดศูนย์ควบคุมผ่านโหนดต่างๆ แล้วรับสัญญาณกลับมาเปรียบเทียบค่า ซึ่งจากการทดลองสัญญาณดังกล่าวไม่มีสถานะว่าง (Idle) ขณะที่โปรแกรมที่ใช้สำหรับตรวจสอบโปรโตคอลได้ใช้โปรแกรม Data Scope Monitor ข้อมูลระดับไบต์ของเครือข่าย จากการทดลองพบว่าปริมาณข้อมูลต้นทาง และปลายทางมีค่าเท่ากัน ส่วนของโปรแกรมระบบที่ออกแบบทั้งสอง โปรแกรมที่อุปกรณ์ปลายทางทำหน้าที่ตรวจสอบพัลซ์ไทม์จากตัวตรวจจับแล้วเก็บข้อมูลเป็นเวลาทุก ๆ 5 นาที 60 นาที และ 24 ชม. หลังจากนั้นจะทำการส่งข้อมูลไปยังศูนย์ควบคุม ด้วย ASCII Code โดยโปรแกรมที่ศูนย์ควบคุมสามารถรับข้อมูลได้อย่างถูกต้องเมื่อเทียบข้อมูลกับปริมาณจราจรในแต่ละวัน

5.2 ข้อเสนอแนะ และแนวทางพัฒนา

การนำเครือข่ายเชื่อมโยงข้อมูล SDH มาใช้งานแทนที่เครือข่ายที่มีใช้อยู่เดิม นอกจากจะคำนึงถึงคุณสมบัติของระบบควบคุมแล้ว จะต้องคำนึงถึงคือ ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและอุปกรณ์เครือข่าย ซึ่งในการเปลี่ยนเครือข่ายนั้นควรจะทำทีละส่วนควบคุม เพื่อจะได้มีค่าใช้จ่ายที่ไม่สูงมาก อีกทั้งยังต้องคำนึงถึงการจัดตำแหน่งของอุปกรณ์ควบคุม เพื่อจำกัดระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ของเครือข่ายและอุปกรณ์ควบคุม เพื่อการใช้งานเครือข่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งระบบต่างๆ ที่เข้ามาเชื่อมต่อจะมีศูนย์ควบคุมเพียงจุดเดียวทำให้สะดวกต่อการควบคุมอุปกรณ์โดยไม่ต้องใช้บุคลากรหลายคนในการควบคุม ในส่วนของโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมระบบจะต้องมีความสามารถในการสรุปและรายงานผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังรายงานปริมาณจราจรดังแสดงในตารางที่ 4.8

ในวิทยานิพนธ์นี้ยังไม่ได้กล่าวถึงการนำระบบเชื่อมต่อข้อมูลแบบจุดต่อจุดอื่นๆ ที่มีการรับ-ส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย SDH โดยในการประยุกต์ใช้เครือข่ายทดแทนระบบเดิมยังคงต้องศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของการแปลงโปรโตคอล และระดับความเร็วสัญญาณเชื่อมต่อ ซึ่งแต่ละระบบจะมีคุณสมบัติที่ไม่เหมือนกัน

เอกสารอ้างอิง

[1] M. Fujise, H. Harada, **"An Experimental Study on Multi – service on Fiber Transmission System for ITS Road-Vehicle Communication,"** MWP'99 Digest, pp.261-264, 1999.

[2] M.P. Fitz, J.V. Krogmeier, J. Grimm, T.A. Chen, J.A. Gansman, M.Roos, **"ITS Wirless Narrowband Land Mobile Data Communication,"** IEEE 1997, pp.909-913

[3] D.R. Smith, **Digital Transmission Systems**, Van Nostrand Reinhold Company Inc., 1985.

[4] ITU-T Recommendation G.707, Synchronous Digital Hierachy Bit Rate, 1993.

[5] ITU-T Recommendation G.708, Network Node Interface for the Synchronous Digital Hierachy, 1993.

[6] ITU-T Recommendation G.709, Synchronous Multiplexing Structure, 1993.

[7] Ericssion, AXD 155-3 Local Operator's Handbook, Ericsson Telecom AB, 1997.

[8] Ascom Transmission Ltd.,The Universal Multiplexer Umux UCST Manual, 1997.

[9] M.C.Chow. **Understanding SONET/SDH : Standards and applications.** 1st Ed. New Jersey : Andan Publisher,1995.

ภาคผนวก

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำวิทยานิพนธ์และได้รับการตีพิมพ์

[1] ไพโรจน์ หาดอ้าน และ กอบชัย เดชหาญ “การออกแบบระบบเชื่อมต่อข้อมูลแบบจุดต่อจุด ผ่านเครือข่าย SDH (Design of Point-to-Point Data Interfacing via SDH)” วิศวสารลาดกระบัง ปีที่ 19 ฉบับที่ 2 เดือนมิถุนายน 2545 หน้า 111-116.

การออกแบบระบบเชื่อมต่อข้อมูลแบบจุดต่อจุดผ่านเครือข่าย SDH

Design of Point-to-Point Data Interfacing via SDH

ไพโรจน์ หาดอ้าน กอบชัย เดชหาญ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลมีหลายรูปแบบ โดยเฉพาะการสื่อสารข้อมูลแบบจุดต่อจุด (Point to Point) ถูกนำมาใช้งานมาก และส่วนใหญ่ใช้โมเด็มเป็นอุปกรณ์หลักในการ รับ-ส่ง ข้อมูล ทำให้มีค่าใช้จ่ายสูงในด้านระบบส่งสัญญาณเมื่อมีการขยายเครือข่าย บทความนี้เสนอการออกแบบระบบสื่อสารข้อมูลแบบจุดต่อจุดประยุกต์ใช้ร่วมกับเครือข่ายสมรรถนะสูง หรือ Synchronous Digital Hierarchy (SDH) ที่ระดับสัญญาณเชื่อมต่อ 2.048 Mbps ทำให้ลดจำนวนการใช้โมเด็มและทำให้สะดวกมากขึ้นเมื่อมีการขยายเครือข่ายข้อมูลในอนาคต

Abstract

The data communication has various technologies. Most of them are the point-to-point data communication. This technology needs many modems for sending and receiving data. It has a high cost and difficult to expand the network. This paper proposes the design of point-to-point data communication interfacing via the high performance system as SDH at 2.048 Mbps. The proposed system can be reduced many modem and easy to expand the network.

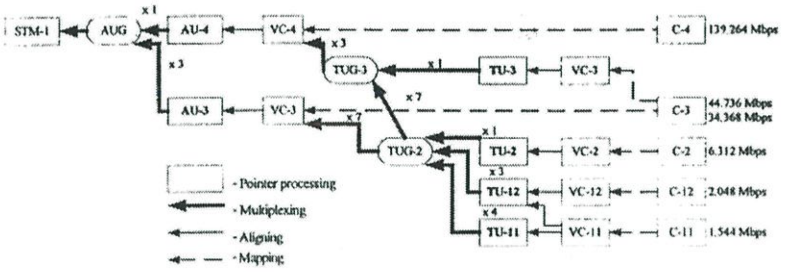
1. บทนำ

ปัจจุบันการสื่อสารข้อมูลแบบจุดต่อจุด มีใช้งานอยู่มากกับหน่วยงานที่มีลักษณะการสื่อสารข้อมูลจากศูนย์ควบคุม (Data Communication Equipment; DCE) กระจายไปยังอุปกรณ์ควบคุมปลายทาง (Data Terminal Equipment; DTE) ซึ่งนิยมใช้โมเด็มเป็นอุปกรณ์หลักในการส่งผ่านข้อมูล เมื่อมีการขยายเครือข่ายข้อมูล ต้องเพิ่มอุปกรณ์ระบบและอุปกรณ์ส่งผ่านข้อมูล ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่ม อย่างไรก็ตามได้มีงานวิจัยในเรื่องการควบคุมอุปกรณ์ที่มีลักณะดังกล่าวโดยใช้เครือข่ายสื่อสารข้อมูลหลักมาตรฐานเดียว และมีคุณสมบัติที่ง่ายต่อการขยายเครือข่าย [1]-[2] บทความนี้เสนอ การนำระบบสื่อสารข้อมูลแบบจุดต่อจุดเชื่อมต่อผ่านเครือข่าย SDH ที่ความเร็วเชื่อมต่อข้อมูล 2.048 Mbps ซึ่งสามารถลดจำนวนการใช้งานโมเด็ม และรับข้อมูลที่ได้จากเครือข่ายที่ประยุกต์มาวิเคราะห์ เพื่อช่วยควบคุมระบบ

2. ทฤษฎีและหลักการ

2.1 การสื่อสารข้อมูลแบบจุดต่อจุดโดยใช้โมเด็มเป็นเครือข่ายหลัก

ITU-T (เดิมคือ CCITT) ได้กำหนดมาตรฐานของโมเด็มด้านความเร็วในการ รับ-ส่ง ข้อมูล ตั้งแต่ 300 bps (V.21) ถึง 56 kbps (V.90) ซึ่งใช้หลักการโมดูเลชั่น (Modulation) และการบีบอัดข้อมูล (Data compression)[3]



รูปที่ 1. รูปแบบการมัลติเพล็กซ์สัญญาณข้อมูล ของเครือข่าย SDH

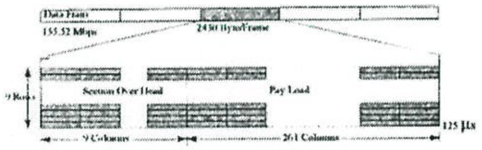
การเชื่อมต่อเครือข่ายโดยใช้โมเด็ม สัญญาณข้อมูล 1 ช่อง จะใช้โมเด็ม 2 ตัว ซึ่งจำนวนโมเด็มมีค่าเป็นสองเท่าของจำนวนอุปกรณ์ควบคุม ฉะนั้นการเพิ่มอุปกรณ์ควบคุมต้องเพิ่มอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล (โมเด็ม) ด้วย

2.2 การสื่อสารข้อมูลแบบจุดต่อจุดผ่านเครือข่าย SDH

การสื่อสารข้อมูลบนเครือข่าย SDH เป็นการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูง ซึ่ง ITU-T เดิมได้กำหนดมาตรฐานและรูปแบบของ SDH เกี่ยวกับเรื่อง ความเร็วในการรับส่งสัญญาณ การอินเตอร์เฟส และโครงสร้างการมัลติเพล็กซ์ [4]-[6] สัญญาณอินเตอร์เฟสแบ่งเป็นระดับ ดังรูปที่ 1

2.2.1 รูปแบบการจัดรวมสัญญาณดิจิตอลระดับ STM-1 (155.52 Mbps)

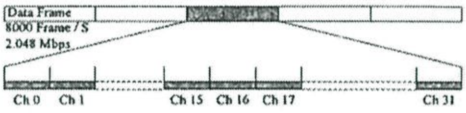
สัญญาณระดับพื้นฐาน STM-1 (155.52 Mbps) มีโครงสร้างเป็นเฟรมข้อมูลขนาด 9 แถว คูณ 270 คอลัมน์ (9x270 byte) สัญญาณแต่ละเฟรม จะถูกส่งที่ทุก ๆ เวลา 125 µs



รูปที่ 2. โครงสร้างพื้นฐาน STM-1

2.2.2 รูปแบบการจัดรวมสัญญาณดิจิตอลระดับล่าง (2.048 Mbps)

สัญญาณระดับล่าง ความเร็ว 2.048 Mbps สามารถเชื่อมต่อข้อมูลได้ โดย ITU-T กำหนดมาตรฐานการมัลติเพล็กซ์ของ PCM First Order แบบ 30/32 ช่องสัญญาณ ที่ผ่านการสุ่มข้อมูล (Sampling) การควอนไตซ์ (Quantizing) และการเข้ารหัสข้อมูล (Encoding) ตามลำดับแล้วถูกแบ่งเป็นเฟรม ซึ่งมีอัตราส่งเฟรมข้อมูลซ้ำ ขนาด 8,000 Frame/s แต่ละเฟรมประกอบด้วย 32 Time slot Time slot ที่ 0 ใช้สำหรับการซิงโครนัส และ Time slot ที่ 16 ใช้เป็น Signaling



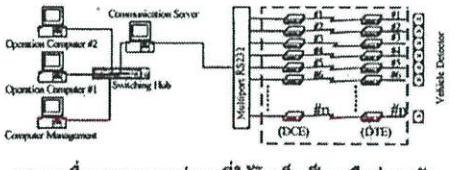
- Time slot 1-15, 17-30 สำหรับ Data Channel
- Time slot 0 สำหรับ Synchronization
- Time slot 16 สำหรับ Signalling

รูปที่ 3. โครงสร้างเฟรมข้อมูลของ First Order PCM

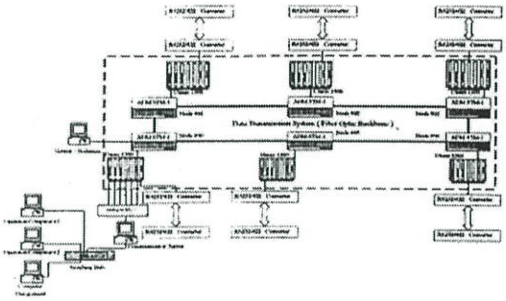
ในหนึ่งเฟรมมี Binary code 256 bit (8 bit x 32 bit) และ Repetition rate ขนาด 8,000 Fram/s จะได้ อัตราเร็วในการส่งข้อมูล (Baud rate) = 8,000 x 256 = 2.048 Mbps

3. โครงสร้างและการออกแบบระบบ

ระบบตรวจจับปริมาณจราจรแบบแต่ก่อนมีลักษณะเชื่อมต่อแบบ จุดต่อจุด โดยใช้โมเด็มเป็นอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลหลัก ซึ่งมีโปรโตคอล ก่อนส่งผ่านโมเด็มที่ DCE เป็นแบบ V.24 (RS232) และมีโมเด็มด้านรับ ที่ DTE ทำหน้าที่แปลงข้อมูลกลับ เพื่อเชื่อมต่อกับชุดอุปกรณ์ตรวจจับปริมาณจราจรที่ติดตั้งบนทางด่วน



ก.) การสื่อสารแบบจุดต่อจุดที่ใช้โมเด็มเป็นเครือข่ายหลัก



ข.) การสื่อสารแบบจุดต่อจุดโดยใช้ SDH เป็นเครือข่ายหลัก

รูปที่ 4. แสดงโครงสร้างระบบสื่อสารข้อมูล

SDH ที่ใช้ทดสอบเป็นแบบ Add/Drop synchronous multiplexer ของ Ericsson รุ่น AXD-155-3 ระดับความเร็วในการรับส่งข้อมูลหลัก (STM-1) 155.52 Mbps โดยมีลักษณะเชื่อมต่อแบบ Overlay Network [7] ซึ่งการทดสอบเน้นเฉพาะการเชื่อมต่อระบบควบคุมการจราจรบนทางด่วนผ่านเครือข่าย SDH

3.1 หลักการทำงานของชุดตรวจจับปริมาณจราจร แบบใช้หลักการสะท้อนของคลื่นเสียงย่าน อัลตร้าโซนิค

ชุดตรวจจับปริมาณจราจร แบบใช้หลักการสะท้อนของคลื่นเสียงย่าน อัลตร้าโซนิค (30-100 *KHz*) ดังรูปที่ 5 ชุดตรวจจับปริมาณจราจรจะถูกติดตั้งบริเวณเหนือช่องทางลงและทางร่วมบนทางด่วนแต่ละจุดจะตรวจวัดค่า ปริมาณจราจร ความรถเฉลี่ย และอัตราใช้ช่องทาง ณ.จุดต่าง ๆ ดังสมการต่อไปนี้

สมการ การตรวจสอบรถผ่านตัวตรวจจับ (คัน) ใช้เปรียบเทียบความสูงของพาหนะ

$$d = \frac{1}{2}c\Delta T \qquad (1)$$

โดยที่ d คือ ระยะห่างจากหัวเซ็นเซอร์ถึงพาหนะ (*m*)

ΔT คือ ช่วงเวลาที่ส่งเสียงจากเซ็นเซอร์แล้วสะท้อนกลับ (*s*)

c คือ ความเร็วเสียงในอากาศ (331+0.6*t*) (*m/s*) และ t คือ อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)

สมการการตรวจจับความเร็ว แบบตามค่าความยาวพาหนะ (*Km/hr*)

$$v = \frac{L}{T} \qquad (2)$$

โดยที่ v คือ ความเร็วรถ (*Km/hr*)

L คือ ความยาวรถ (*Km*)

T คือ เวลาที่รถใช้เวลาวิ่งผ่านเซ็นเซอร์ (*s*)

สมการความหนาแน่นของพาหนะต่อหนึ่งกิโลเมตร

$$D = \frac{V}{S} \qquad (3)$$

โดยที่ D คือ ความหนาแน่นพาหนะต่อหนึ่งกิโลเมตร

V คือ จำนวนพาหนะที่วิ่งผ่านเซ็นเซอร์ (คัน)

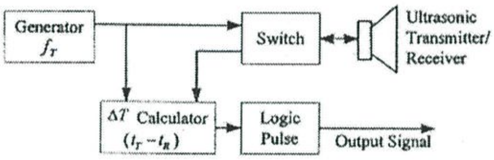
S คือ ความเร็วของรถ (*Km/hr*)

สมการอัตราการใช้ถนน หรือ เปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นของพาหนะที่ตรวจวัดได้ ณ. จุดต่าง ๆ (%)

$$\text{อัตราการใช้ถนน} = \left(\frac{D \times L}{1,000}\right) \times 100 \qquad (4)$$

โดยที่ D คือ ความหนาแน่นพาหนะต่อหนึ่งกิโลเมตร

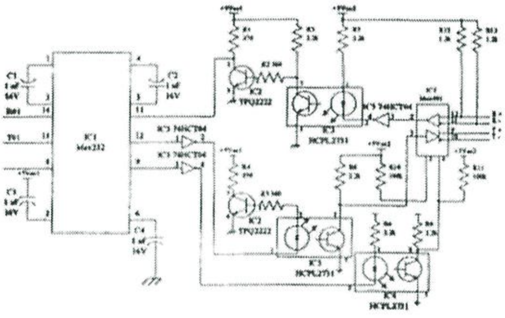
L คือ ความยาวของพาหนะ (*m*)



รูปที่ 5. แสดงอุปกรณ์ตรวจจับปริมาณจราจรแบบใช้หลักการสะท้อนของคลื่นเสียงย่านอัลตร้าโซนิค

3.2 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ตรวจจับปริมาณจราจร (Vehicle Detector) กับเครือข่าย SDH

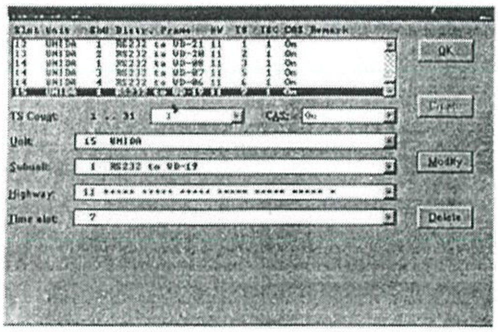
การนำเครือข่าย SDH มาใช้เป็นเครือข่ายสื่อสารข้อมูลหลัก แทนชุดโมเด็มด้านส่งและรับ สามารถเชื่อมระบบตรวจจับปริมาณจราจร เข้ากับระบบ SDH ได้โดยผ่านตัวแปลงโปรโตคอล เพราะคุณสมบัติของ RS-232 ของ SDH ไม่สามารถรองรับระบบได้โดยตรง เนื่องจากอุปกรณ์ส่วนใหญ่อยู่บนทางด่วนและมีระยะไกลจากโหนดไม่เกิน 4,000 ฟุต ตัวแปลงโปรโตคอลที่ใช้เป็นแบบ RS232/RS422



รูปที่ 6. วงจรแปลงโปรโตคอล RS-232 เป็น RS-422

3.3 การจัดช่องสัญญาณข้อมูล

สัญญาณข้อมูลของอุปกรณ์ตรวจจับปริมาณจราจรบนทางด่วนจะต่อเข้ากับโหนด SDH ซึ่งถูกมัลติเพล็กซ์ให้ได้ระดับสัญญาณที่ 2.048 Mbps โดยใช้โปรแกรมสำหรับจัดช่องสัญญาณข้อมูล [8] ข้อมูลของ VD-19 ถูกจัดอยู่ที่ตำแหน่ง High Way (HW) 11, Time Slot(TS) 17, และข้อมูล VD-08 จัดอยู่ที่ตำแหน่ง High Way (HW) 11, Time Slot(TS) 18



รูปที่ 7. แสดงการจัดสรรข้อมูลในการมัลติเพล็กซ์

4. ผลการทดลอง

จากการบันทึกผลการทดลองช่วงเวลาหนึ่งโดยใช้ Protocol Analyzer ตรวจสอบข้อมูลบริเวณ โหนดหลักและโหนดปลายทางได้ผลดังนี้

VD_19[DCE]: Node#00_ HW=11,TS=17,Port=3
S: VD:19_0000000004;
R: 00019_0000111104;
R: VD:19_H1=00,H2=01,H3=01;
S: VD:19_0001000504;
R: 00019_T:08:55_0000111104_5Min,Q=76,Sp=85;
R: 00019_T:08:00_0000111104_60Min,Q=2097,Sp=84.6;
R: VD:19_H1=01,H2=01,H3=00;

VD_08[DCE]:Node#00_HW=11, TS=18,Port=4
S: VD:08_0000000004;
R: 00008_0000111104;
R: VD:08_H1=00,H2=01,H3=01;
S: VD:08_0001000504;
R: 00008_T:08:55_0000111104_5Min,Q=146,Sp=85;
R: 00019_T:08:00_0000111104_60Min,Q=2507,Sp=86.1;
R: VD:08_H1=01,H2=01,H3=00;

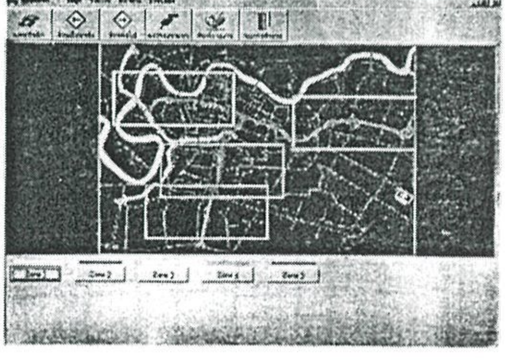
VD_19[DTE]:Node#03_HW= 11,TS= 17,Port=3
R: VD:19_0000000004;
S: 00019_0000111104;
S: VD:19_H1=00,H2=01,H3=01;
R: VD:19_0001000504;
S: 00019_T:08:55_0000111104_5Min,Q=76,Sp=85;
S: 00019_T:08:00_0000111104_60Min,Q=2097,Sp=84.6;
S: VD:19_H1=01,H2=01,H3=00;

VD_08[DTE]:Node#03_HW=11,TS=18,Port=4
R: VD:08_0000000004;
S: 00008_0000111104;
S: VD:08_H1=00,H2=01,H3=01;
R: VD:08_0001000504;
S: 00008_T:08:55_0000111104_5Min,Q=146,Sp=85;
S: 00019_T:08:00_0000111104_60Min,Q=2507,Sp=86.1;
S: VD:08_H1=01,H2=01,H3=00;

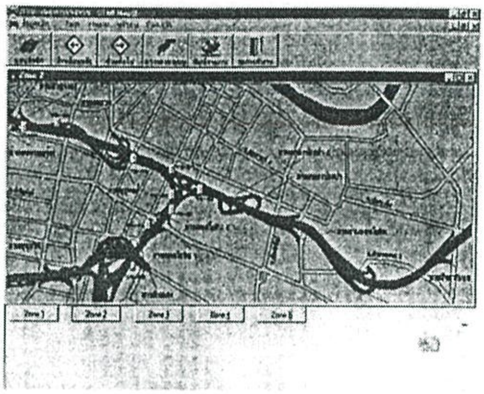
รูปที่ 8. แสดงข้อมูลที่ โหนดหลักและโหนดปลายทาง

4.1 โปรแกรมช่วยควบคุมระบบ

บทความนี้ได้พัฒนาโปรแกรมเพื่อควบคุมระบบ และตรวจจับปริมาณจราจรจาก โปรแกรม Visual Basic Ver 6.0 โดยรับข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับปริมาณจราจรบนทางด่วน ซึ่งแบ่งเป็น 5 ส่วน แต่ละส่วนจะรายงานผลสภาพจราจร แสดงเป็น ข้อมูลปริมาณจราจร ความเร็ว อัตราการใช้ถนน ซึ่งสามารถนำไปใช้สร้างแผนการจราจรที่เหมาะสม และแสดงสถานะของอุปกรณ์ตรวจจับ



ก.) แผนที่รวมของทางด่วน แบ่งเป็น 5 ส่วน



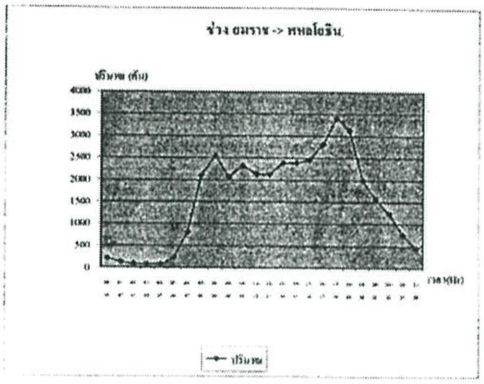
ข.) แสดงอุปกรณ์ตรวจจับ ปริมาณจราจร (ส่วนขยาย)

รูปที่ 9. แสดงโปรแกรมควบคุมการจราจรบนทางด่วน

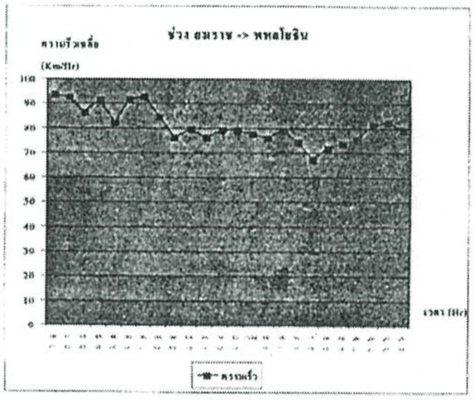
การทดลองได้ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับ บริเวณทางขึ้นด่านเก็บเงิน ยมราช (VD-19) และ บริเวณต่างระดับพญาไท (VD-08) และเก็บข้อมูลเป็นเวลา 1 วันช่วงเวลา 00.00 น. ถึง 23.59 น. ผลจากการทดลองได้รับข้อมูลต่างๆ จากอุปกรณ์ตรวจจับ ที่บริเวณทั้งสองเป็นไปตามตารางที่ 1 และสามารถนำมาแสดงผลเชิงกราฟเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ได้ดังรูปที่ 10

ตารางที่ 1. แสดง ปริมาณจราจร ความเร็วเฉลี่ย และอัตราการใช้ถนน ใน 1 วัน บนทางด่วนช่วง ยมราช - พหลโยธิน

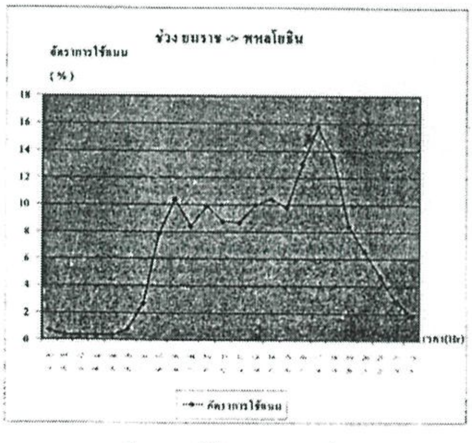
เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณ (คัน)	ความเร็วเฉลี่ย (Km/hr)	อัตราการใช้ถนน (เปอร์เซ็นต์)	เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณ (คัน)	ความเร็วเฉลี่ย (Km/hr)	อัตราการใช้ถนน (เปอร์เซ็นต์)
00-01	208	93.6	0.7	12-13	2123	79.4	8.7
01-02	126	92.5	0.4	13-14	2385	77.6	10
02-03	83	86.6	0.3	14-15	2393	75.9	10.4
03-04	81	91.4	0.3	15-16	2456	79	9.8
04-05	79	82.2	0.3	16-17	2806	74.5	13
05-06	232	91.6	0.8	17-18	3400	67.6	15.7
06-07	807	92.7	2.7	18-19	3121	72	13.5
07-08	2097	84.6	7.8	19-20	1998	73.7	8.4
08-09	2545	76.4	10.4	20-21	1576	75.7	6.5
09-10	2061	79.6	8.4	21-22	1238	81.4	4.7
10-11	2324	76.3	9.9	22-23	756	82.6	2.9
11-12	2136	79.3	8.8	23-00	456	79.4	1.8



ก.) แสดงปริมาณการจราจร



ข.) แสดงความเร็วเฉลี่ย



ค.) อัตราการใช้ถนนบนทางด่วน (%)

รูปที่ 10. แสดงข้อมูลจราจรใน 1 วัน (ช่วงยมราช-> พหลโยธิน)

5. สรุป

ผลการทดสอบสามารถทำการเชื่อมต่อระบบข้อมูลแบบจุดต่อจุดผ่านเครือข่าย SDH ได้ด้วยการนำข้อมูลมาผ่านกระบวนการมัลติเพล็กซ์สัญญาณเพื่อเชื่อมต่อระบบ และแปลงโปรโตคอลเพื่อควบคุมอุปกรณ์ ทำให้ได้มาตรฐานระบบที่เหมาะสมในการเชื่อมต่อกับเครือข่าย SDH จากการตรวจสอบข้อผิดพลาดข้อมูลที่ช่องสัญญาณ AIS (Alarm Indicator Signal) ทุก ๆ เฟรมข้อมูล ทั้งด้านส่งและรับผลที่ได้ไม่พบสัญญาณ ที่มีสถานะ Idle เมื่อมีการส่งข้อมูลกลับ และข้อมูลที่รับมาคำนวณด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมีความถูกต้อง ทำให้สามารถใช้คุณสมบัติของเครือข่าย SDH ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประหยัดค่าใช้จ่ายในการขยายเครือข่ายข้อมูลกว่า เครือข่ายแบบจุดต่อจุดที่ใช้โมเด็มเป็นอุปกรณ์ข้อมูลหลัก รวมถึงการแสดงกระบวนการมัลติเพล็กช่องสัญญาณข้อมูล เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงเครือข่ายหลักขององค์กรให้มีประสิทธิภาพสามารถรองรับการ รับ-ส่ง ข้อมูลแบบ หลายโปรโตคอล หรือหลายระดับความเร็ว

6. เอกสารอ้างอิง

[1] M. Fujise, H. Harada, "An Experimental Study on Multi - service on Fiber Transmission System for ITS Road- Vehicle Communication," MWP'99 Digest, pp. 261-264, 1999.

[2] M.P. Fitz, J.V. Krogmeier, J. Grimm, T.A. Chen, J.A. Gansman, M.Roos, "ITS Wirless Narrowband Land Mobile Data Communication,"IEEE1997,pp.909-913

[3] D. R. Smith, Digital Transmission Systems, Van Nostrand Reinhold Company Inc., 1985.

[4] ITU-T Recommendation G.707, Synchronous Digital Hierachy Bit Rate, 1993.

[5] ITU-T Recommendation G.708, Network Node Interface for the Synchronous Digital Hierachy, 1993.

[6] ITU-T Recommendation G.709, Synchronous Multiplexing Structure, 1993.

[7] Ericssion, AXD 155-3 Local Operator's Handbook, Ericsson Telecom AB, 1997.

[8] The Universal Multiplexer Umux UCST Mannual, Ascom Transmission Ltd., 1997.

ประวัติผู้เขียน

นายไพโรจน์ หาดอ้าน เกิดเมื่อวันที่ 23 เมษายน 2517 ที่จังหวัดตราด สำเร็จการศึกษาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2540 และประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงจากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพ (สาขาวิชา ไฟฟ้ากำลัง) ปีการศึกษา 2538

ปี พ.ศ. 2540 เข้าทำงานบริษัททางด่วนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) ตำแหน่งวิศวกร แผนกวิศวกรรมระบบ ฝ่ายวิศวกรรม ปัจจุบันดำรงตำแหน่งหัวหน้าส่วน