การปรับปรุงปัญหาขัดข้องของสถานีเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ: กรณีศึกษาระบบดีแทค

Improvement of the Troubleshooting of Mobile Network: A Case Study of DTAC System

นพดล หวังเบ็ญหมัด

Noppadol Whangbenmad

สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Minor Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of

Master of Engineering in Industrial Management

Prince of Songkla University

2554

ชื่อสารนิพนธ์ การปรับปรุงปัญหาขัดข้องของสถานีเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ: กรณีศึกษาระบบดีแทค

ผู้เขียน นพดล หวังเบ็ญหมัด

สาขาวิชา การจัดการอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์หลัก

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธเนศ รัตนวิไล)

อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ร่วม

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัญชนา สินธวาลัย)

คณะกรรมการสอบ

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์สมชาย ชูโฉม)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.องุ่น สังขพงศ์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธเนศ รัตนวิไล)

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.องุ่น สังขพงศ์)

ประธานกรรมการบริหารหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาการจัดการอุตสาหกรรม

ชื่อสารนิพนธ์ การปรับปรุงปัญหาขัดข้องของสถานีเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ: กรณีศึกษาระบบดีแทค

ผู้เขียน นพดล หวังเบ็ญหมัด

สาขาวิชา การจัดการอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

สารนิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงปัญหาการขัดข้องของสถานีเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ ระบบดีแทค โดยเริ่มจากการศึกษาสถิติข้อมูลย้อนหลังเกี่ยวกับสาเหตุต่างๆ ที่ทำให้เกิดการขัดข้องของสถานีเครือข่าย จากนั้นเลือกสาเหตุที่มีความสำคัญเพื่อนำมาดำเนินการปรับปรุง ซึ่งจากการศึกษาได้เลือกสาเหตุที่เกิดจากระบบเชื่อมโยงสถานีเครือข่าย เป็นสาเหตุที่จะนำมาดำเนินการปรับปรุงโดยประยุกต์ใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางคุณภาพและทางสถิติ มาช่วยในการหาสาเหตุการขัดข้องของระบบเชื่อมโยงเพื่อกำหนดแนวทางในการปรับปรุงระบบเชื่อมโยงสถานีเครือข่าย ทำให้ทราบว่าปัญหาร้อยละ 81.69% เกิดจากสาเหตุ Loop Protection Fail กับ Transmission Equipment Fail หลังจากนั้นจึงกำหนดแผนการทำงานโดยมุ่งแก้ไขปัญหาจากสาเหตุหลักทั้งสองดังกล่าว โดยการปรับปรุงระบบ Loop Protection ใหม่ จัดทำข้อกำหนดในการติดตั้ง จัดการฝึกอบรม ทำคู่มือการบำรุงรักษาและจัดทำคู่มืออุปกรณ์ที่จะใช้ในการติดตั้ง จากนั้นจึงเก็บข้อมูลสถิติเพื่อทำการเปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังดำเนินการ พบว่าหลังดำเนินการปรับปรุงสามารถลดจำนวนการขัดข้องของสถานีเครือข่ายโดยเฉลี่ยต่อเดือนลงได้จาก 748 ครั้ง/เดือน เหลือ 386 ครั้ง/เดือน คิดเป็น 48.35% และเวลาที่ขัดข้องโดยเฉลี่ยต่อเดือนพบว่าลดลงจาก 188,734 นาที/เดือน เหลือ 101,010 นาที/เดือน คิดเป็น 46.19%

Thesis Title	Improvement of the Troubleshooting of Mobile Network: A Case Study of DTAC System
Author	Mr. Noppadol Whangbenmad
Major Program	Industrial Management
Academic Year	2010

ABSTRACT

The main objective of this research was to increase the efficiency of DTAC cellular system. The study started by collecting the historical data that involved the causes of the troubleshooting of Mobile Network. The transmission problems which significantly affected to the cellular productivity were analyzed. After that, QC tools and Statistics were applied to find out the root cause of these problems. 81.69 percentage of these problems came from Loop protection and Transmission equipment failure. The loop protection system, installation system and maintenance system were implemented. The results showed that the average transmission line protection could reduce from 748 times per month to 386 times per month (48.35%). Furthermore, it showed that the continuously improvement of transmission line protection could reduce the average down from 188,734 minutes/month to 101,010 minutes/month (46.19%).

กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์ กรณีศึกษาการปรับปรุงปัญหาขัดข้องของสถานีเครือข่ายโทรศัพท์มือถือระบบดีแทค สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ต้องอาศัยแหล่งความรู้ต่างๆ รวมทั้งจากคำแนะนำและการให้คำปรึกษาทั้งในภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธเนศ รัตนวิไล ประธานที่ปรึกษา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ .ดร.รัญชนา สินธวาลัย กรรมการที่ปรึกษา ผู้ซึ่งให้คำแนะนำปรึกษาช่วยเหลือและตรวจทานข้อบกพร่องต่างๆเพื่อให้สารนิพนธ์ฉบับนี้ถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบสารนิพนธ์ รองศาสตราจารย์สมชาย ชูโฉม และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.องุ่น สังขพงศ์ ผู้ซึ่งให้คำแนะนำเพิ่มเติมในการทำให้สารนิพนธ์ฉบับนี้ตลอดจนเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการสาขาการจัดการอุตสาหกรรมทุกท่านที่มีส่วนช่วยในการจัดทำสารนิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายที่สุด กราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวที่ได้ให้กำลังใจที่ดีตลอดมา และขอขอบพระคุณบุคคลที่มีพระคุณทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ ความดีอันพึงมีจากสารนิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นพดล หวังเบ็ญหมัด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(8)
รายการภาพประกอบ	(9)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.5 ขอบเขตการวิจัย	5
บทที่ 2 แนวความคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 การทำงานของโทรศัพท์เคลื่อนที่	6
2.2 เครื่องมือทางคุณภาพและทางสถิติที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย	23
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	34
3.1 รวบรวมข้อมูลการขัดข้องย้อนหลัง	34
3.2 วิเคราะห์สาเหตุ	38
3.3 กำหนดแนวทางและดำเนินแก้ไข	41
3.4 รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผล	48
บทที่ 4 อภิปรายผลการปรับปรุง	52
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	55
5.1 สรุปผลการวิจัย	55
5.2 ข้อเสนอแนะ	56

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บรรณานุกรม 57

ภาคผนวก 60

ภาคผนวก ก ขั้นตอนการทดสอบ T-test 61

ภาคผนวก ข มาตรฐานการติดตั้งอุปกรณ์ 65

ภาคผนวก ค คู่มือการบำรุงรักษาและการฝึกอบรม 100

ภาคผนวก ง คู่มืออุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้ง 167

ประวัติผู้เขียน 172

รายการตาราง

		หน้า
ตารางที่ 3.1	ตัวอย่างรายละเอียดการขัดข้องของสถานีเครือข่ายที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูลกลาง	35
ตารางที่ 3.2	จำนวนการขัดข้องสถานีเครือข่ายในแต่ละเดือนปี พ.ศ.2550	36
ตารางที่ 3.3	สัดส่วนของการขัดข้องที่เกิดจากระบบ Transmission System ปี พ.ศ.2550	39
ตารางที่ 3.4	สรุปผลสาเหตุปัญหาและแนวทางแก้ไข Loop Transmission Fail	42
ตารางที่ 3.5	แผนการแก้ไขปัญหาการจัด Loop ไม่เหมาะสม	43
ตารางที่ 3.6	แผนการแก้ไขปัญหาจำนวน Loop ในเส้นทางน้อยเกินไป	44
ตารางที่ 3.7	สรุปผลสาเหตุปัญหาและแนวทางแก้ไข Transmission Equipment Fail	47
ตารางที่ 3.8	แผนการแก้ไขปัญหา Transmission Equipment Fail	48
ตารางที่ 3.9	จำนวนการขัดข้องที่เกิดจากระบบ Transmission System ปี พ.ศ.2551	49
ตารางที่ 3.10	จำนวนการขัดข้องที่เกิดจากระบบ Transmission System ปี พ.ศ.2550	49
ตารางที่ 3.11	จำนวนความแตกต่างในแต่ละเดือน	49
ตารางที่ 3.12	สรุปผลT-test	51
ตารางที่ 4.1	ค่าเฉลี่ยจำนวนการขัดข้องก่อนและหลังดำเนินการ	53
ตารางที่ 4.2	ค่าเฉลี่ยเวลาที่ขัดข้องก่อนและหลังดำเนินการ	54

รายการภาพประกอบ

		หน้า
ภาพที่ 1.1	สาเหตุการขัดข้องสถานีเครือข่ายระยะเวลา 16 เดือน	2
ภาพที่ 1.2	จำนวนสถานีเครือข่ายขัดข้องแต่ละเดือนซึ่งเกิดจากสาเหตุต่างๆ จำนวน 16 เดือน	3
ภาพที่ 1.3	เวลาที่ขัดข้อง (Down time) ในการใช้งานของลูกค้าในแต่ละเดือน	4
ภาพที่ 2.1	โครงสร้างและองค์ประกอบของระบบ GSM	6
ภาพที่ 2.2	ตัวอย่างจอภาพ Mobile Equipment (ME)	7
ภาพที่ 2.3	ตัวอย่าง SIM Card เก็บข้อมูลหมายเลขโทรศัพท์	7
ภาพที่ 2.4	ลักษณะและหน้าที่ของส่วน BTS และ BSC	8
ภาพที่ 2.5	ลักษณะโครงสร้างการติดต่อระบบ GSM	9
ภาพที่ 2.6	การใช้โทรธรรมดาโทรไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่	15
ภาพที่ 2.7	การเชื่อมต่อสถานีเครือข่ายกับชุมสาย	16
ภาพที่ 2.8	เครือข่าย SDH แบบตาข่าย (mesh)	19
ภาพที่ 2.9	เครือข่าย SDH แบบ Ring ที่ใช้ ADM	20
ภาพที่ 2.10	เครือข่าย SDH แบบลูกโซ่ (Chain)	20
ภาพที่ 2.11	การพัฒนาเปลี่ยนแปลงจาก PDH ไปสู่ SDH	21
ภาพที่ 2.12	การใช้งานโครงข่ายวงแหวน	22
ภาพที่ 2.13	การใช้ Ring Splitting ใน Access Network	22
ภาพที่ 2.14	ตัวอย่าง ADM Based Sub- Ring Configuration	23
ภาพที่ 2.15	รูปแบบการวิเคราะห์แบบ Why-Why Analysis	25
ภาพที่ 2.16	ผังพาเรโต้	26
ภาพที่ 3.1	ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย	34
ภาพที่ 3.2	ขั้นตอนดำเนินการเมื่อเกิดการขัดข้องของไฟฟ้าภายนอก	37
ภาพที่ 3.3	สาเหตุการขัดข้องทั้งหมด	38
ภาพที่ 3.4	การวิเคราะห์แบบพาเรโตจากสาเหตุ Transmission System	40
ภาพที่ 3.5	การวิเคราะห์แบบ Why-Why Analysis จากสาเหตุ Loop Protection Fail	41
ภาพที่ 3.6	การวิเคราะห์แบบ Why-Why Analysis จากสาเหตุ Transmission Equipment Fail	46
ภาพที่ 3.7	ผลการทดสอบ Paired T-test โดยใช้โปรแกรม SPSS	50

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.1 การขัดข้องลดลงจากสาเหตุ Transmission System 52
ภาพที่ 4.2 การลดลงของเวลาที่ขัดข้องจากสาเหตุ Transmission System 53

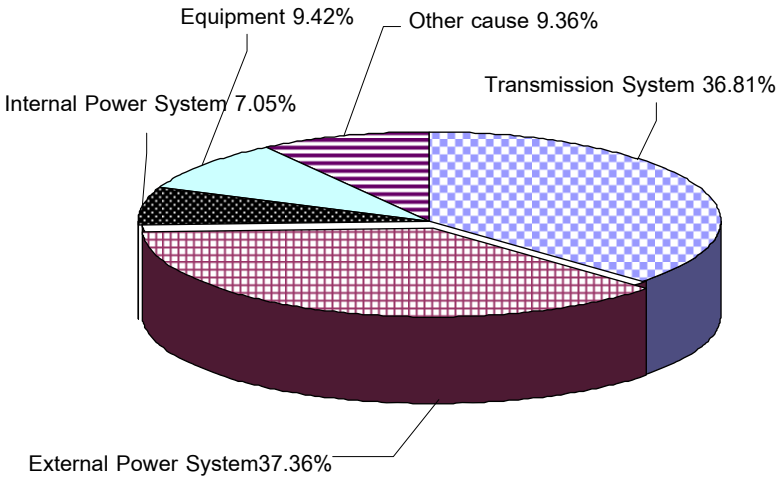
บทที่ 1
บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

ตลอดระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมาระบบการให้บริการโทรศัพท์มือถือได้รับความนิยมจากประชาชนเป็นอย่างมาก จะเห็นว่าโทรศัพท์มือถือได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันของเรามากขึ้น นอกจากจะใช้งานเป็นโทรศัพท์แล้วยังสามารถใช้เป็นนาฬิกา เครื่องคิดเลข กล้องถ่ายรูป เครื่องบันทึกเสียง ปฏิทิน วิทยุ เครื่องเล่นเพลง บางเครื่องสามารถเล่นอินเตอร์เน็ทและดูโทรทัศน์ได้ ประกอบกับค่าบริการในการใช้งานเมื่อเทียบกับโทรศัพท์ตามบ้านหรือโทรศัพท์ที่เป็นตู้สาธารณะจะเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าและสะดวกสบายกว่า จึงทำให้ปริมาณการใช้งานของโทรศัพท์มือถือมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้บริษัทที่เปิดให้บริการมีการขยายสถานีเครือข่ายเพื่อให้รองรับการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้นตามความต้องการของประชาชน ในขณะเดียวกันการขยายสถานีเครือข่ายก็เป็นกลยุทธ์อันหนึ่งของการแข่งขัน

1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

บริษัทโทเทิ่ล แอ็คเซ็ส คอมมูนิเคชั่น (DTAC) เป็นบริษัทที่ให้บริการด้านโทรคมนาคม เกี่ยวกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ และได้ให้ความสำคัญกับการขยายสถานีเครือข่าย เพื่อเพิ่มพื้นที่การให้บริการให้ครอบคลุมพื้นที่ให้มากที่สุด ซึ่งปัจจุบันมีสถานีเครือข่ายที่เปิดให้บริการทั่วประเทศประมาณ 8,000 สถานี ซึ่งในระยะเวลาที่ผ่านมาทางบริษัทได้ให้ความสำคัญในการขยายสถานีเครือข่ายเป็นอันดับแรก จนถึงปัจจุบันสถานีเครือข่ายที่เปิดให้บริการครอบคลุมพื้นที่ 95% ของพื้นที่ที่มีประชากรอาศัยอยู่ ประกอบกับปัจจุบันการแข่งขันกันในธุรกิจนี้มีสูงมาก จึงทำให้การขยายสถานีเครือข่ายเพียงอย่างเดียวอาจจะไม่เพียงพอ จึงต้องมาให้ความสนใจในเรื่องคุณภาพการให้บริการของสถานีเครือข่าย สำหรับคุณภาพการให้บริการของสถานีเครือข่ายที่สำคัญที่สุดคือสามารถที่จะให้บริการได้ตลอด 24 ชั่วโมงในทุกสถานี แต่ด้วยข้อจำกัดหลายๆ อย่างของสถานีเครือข่ายทำให้มีบางช่วงเวลาสถานีเครือข่ายเหล่านี้ไม่สามารถใช้งานได้ จากสถิติข้อมูลย้อนหลัง



ภาพที่ 1.1 สาเหตุการขัดข้องสถานีเครือข่ายระยะเวลา 16 เดือน (107,051 ครั้ง)

1. ระบบไฟฟ้าภายนอกสถานีเครือข่าย (External Power System) หมายถึงระบบจ่ายไฟของการไฟฟ้ามีปัญหา เช่น เกิดจากการปรับปรุงระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้า อุบัติเหตุรถชนเสาไฟฟ้า ฟิวส์ขาด หม้อแปลงไฟฟ้าระเบิด ต้นไม้ล้มทับสายไฟฟ้า ฯลฯ ซึ่งสาเหตุดังกล่าวนี้ทำให้การไฟฟ้าไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ โดยปกติระบบไฟสำรองของสถานีเครือข่ายจะใช้งานอยู่ได้ในระยะเวลาหนึ่งประมาณ 2-3 ชั่วโมง ซึ่งถ้าระบบไฟฟ้าจากการไฟฟ้าไม่สามารถจ่ายได้ภายในระยะเวลาดังกล่าวก็จะทำให้สถานีเครือข่ายไม่สามารถใช้งานได้

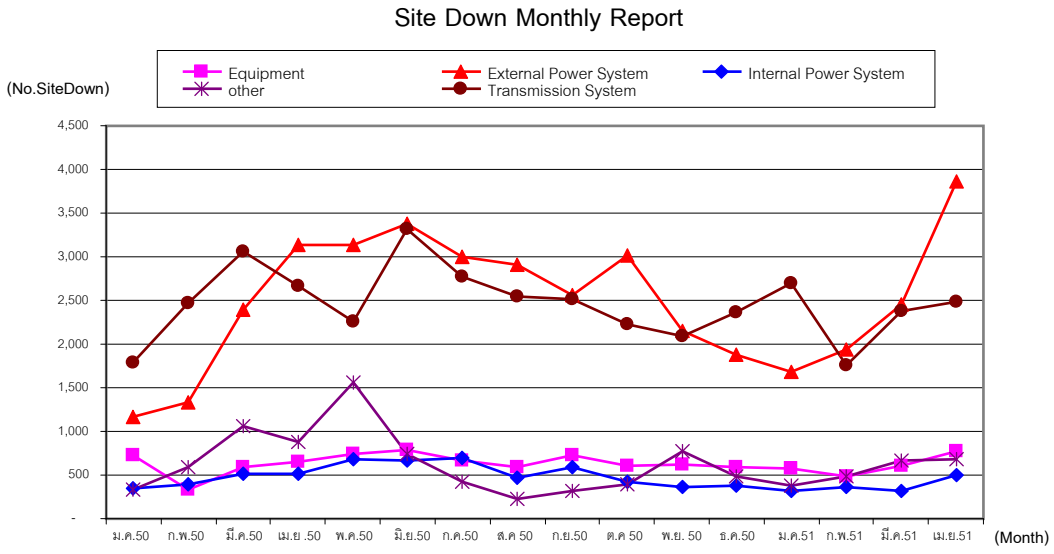
2. ระบบไฟฟ้าภายในสถานีเครือข่าย (Internal Power System) ภายในสถานีเครือข่ายจะมีองค์ประกอบหลักอย่างหนึ่งคือระบบจ่ายไฟภายในสถานีแต่เนื่องจากการทำงานของอุปกรณ์ดังกล่าวนี้มีการทำงานตลอดเวลา ซึ่งเมื่อผ่านการใช้งานได้ระยะเวลาหนึ่งก็เกิดการทำงานผิดพลาดหรือเกิดการเสียหายขึ้น หรือมีความผิดปกติเกิดขึ้น ระบบก็จะตัดการจ่ายไฟเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้น

3. ระบบเชื่อมโยง (Transmission System) เนื่องจากการทำงานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งจะมีองค์ประกอบหลักคือชุมสายโทรศัพท์และสถานีเครือข่าย ซึ่งตัวชุมสายโทรศัพท์จะทำหน้าที่ติดต่อรับส่งข้อมูลกับสถานีเครือข่ายตลอดเวลาโดยผ่านระบบเชื่อมโยงเคเบิลใยแก้ว (Fiber Optic) ซึ่งเมื่อใดก็ตามที่การติดต่อผ่านช่องทางดังกล่าวถูกรบกวนหรือขาดการติดต่อจะทำให้สถานีเครือข่ายหยุดทำงาน ซึ่งระบบเคเบิลใยแก้วนี้สายเคเบิลใยแก้วจะผ่านไปตาม

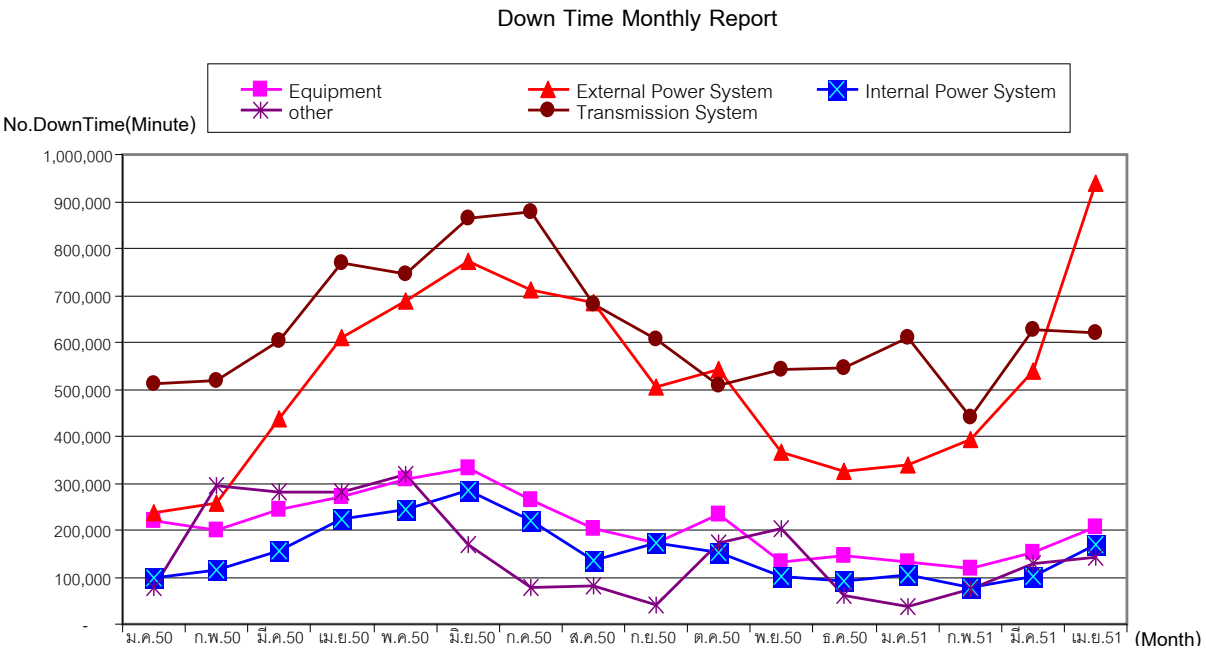
4. อุปกรณ์ภายในสถานีเครือข่ายมีปัญหา (Equipment) ภายในสถานีเครือข่ายซึ่งจะมีองค์ประกอบหลักที่สำคัญ คืออุปกรณ์เครื่องรับส่งสัญญาณ โดยทั้งหมดนี้จะมีส่วนของระบบควบคุมในการทำงาน ซึ่งมีทั้งส่วนที่เป็นทั้ง Software และ Hardware ซึ่งเมื่อใช้งานไปได้ระยะเวลาหนึ่งระบบก็จะทำงานผิดพลาดหรือเกิดความเสียหายกับอุปกรณ์บางส่วน ซึ่งจะส่งผลให้สถานีเครือข่ายใช้งานไม่ได้

5. อื่นๆ (Other Cause) เช่นเกิดจากโจรกรรม สถานีเครือข่ายถูกเผา น้ำท่วมสถานีเครือข่าย ความผิดพลาดของผู้ปฏิบัติงาน (Human Error) ระบบแอร์มีปัญหา ฯลฯ

จากข้อมูลดังที่กล่าวมาสามรถจำแนกการขัดข้อง (Site Down) เป็นรายเดือนและเวลาที่สูญเสีย (Down time) เป็นรายเดือนได้ตามดังภาพประกอบที่ 1.2 และ 1.3



ภาพที่ 1.2 จำนวนสถานีเครือข่ายขัดข้องแต่ละเดือนซึ่งเกิดจากสาเหตุต่างๆ จำนวน 16 เดือน



ภาพที่ 1.3 เวลาที่สูญเสีย (Down time) ในการใช้งานของลูกค้าในแต่ละเดือน

จากภาพที่ 1.2 และ 1.3 พบว่าสาเหตุการขัดข้องของสถานีเครือข่ายส่วนใหญ่ มีอยู่ 2 สาเหตุคือระบบไฟฟ้าภายนอก และระบบเชื่อมโยง ซึ่งทั้ง 2 สาเหตุนี้มีค่าใกล้เคียงกัน แต่เนื่องจากสาเหตุของไฟฟ้าภายนอก ซึ่งเป็นปัญหาเกี่ยวกับระบบการจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าซึ่งเป็นปัจจัยที่ทางบริษัทไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้นสาเหตุการขัดข้องที่เกี่ยวกับระบบของเชื่อมโยงจึงเป็นสาเหตุที่ผู้ดำเนินการวิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาปัญหา เพื่อลดจำนวนการขัดข้องของสถานีเครือข่ายที่มาจากสาเหตุระบบเชื่อมโยง ซึ่งจะทำให้ลดระดับความเสียหายที่จะเกิดกับองค์กรได้

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ลดจำนวนการขัดข้องสถานีเครือข่าย 14 จังหวัดภาคใต้ลงร้อยละ10 ของการขัดข้องที่เกิดจากระบบเชื่อมโยง (Transmission) โดยเทียบจากเดือนเดียวกันในปี พ.ศ. 2551

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1 สร้างความพึงพอใจให้ลูกค้าในการใช้บริการมากขึ้น
2 เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของหน่วยงาน
3 ลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา (Maintenance) สถานีเครือข่าย

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1. เฉพาะพื้นที่สถานีเครือข่าย 14 จังหวัดภาคใต้
2. ปรับปรุงเฉพาะสาเหตุที่เกิดจากเรื่องโครงข่าย (Transmission System) เท่านั้น

บทที่ 2
แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ได้แบ่งแนวคิดและทฤษฎีที่จะใช้ในการวิจัยออกเป็น 3 กลุ่มคือกลุ่มที่เกี่ยวข้องกับระบบการทำงานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและเครื่องมือทางคุณภาพกับเครื่องมือทางสถิติ ที่จะนำเอามาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาข้อสรุปยืนยันความถูกต้อง

2.1 การทำงานของโทรศัพท์เคลื่อนที่

2.1.1 โครงสร้างและหลักการทำงานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ GSM

โครงสร้างของระบบ GSM ประกอบด้วยองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

(1) เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Station หรือ MS)

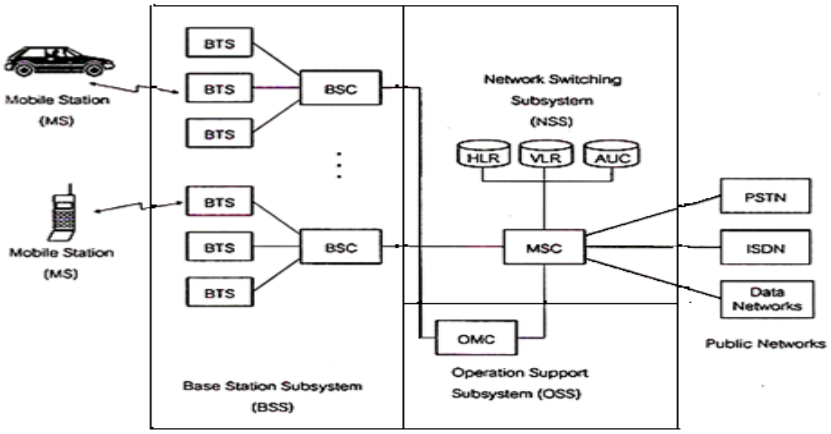
(2) ส่วนของสถานีฐาน (Base Station Subsystem หรือ BSS)

(3) ส่วนของ Network and Switching Subsystem หรือ (NSS)

(4) ระบบปฏิบัติการ (Operation Support Subsystem หรือ OSS)

(5) โครงข่ายสาธารณะ (Public Networks)

โดยแต่ละส่วนมีลักษณะการต่อเชื่อมกันดังที่แสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างและองค์ประกอบของระบบ GSM

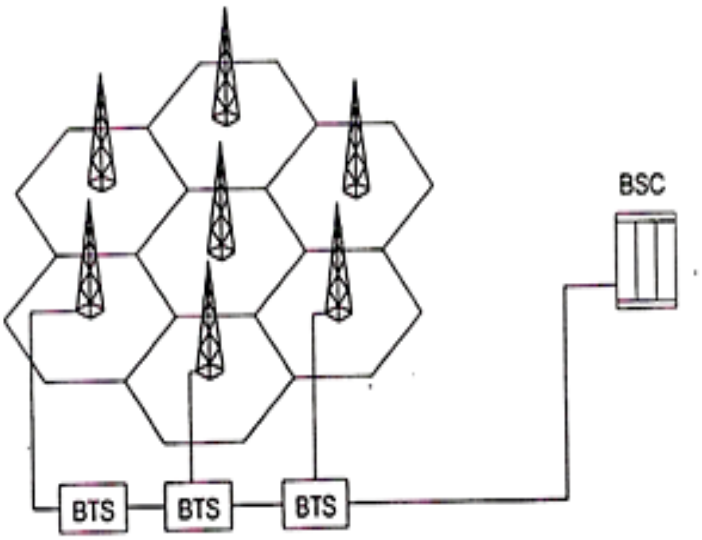
ที่มา : ภัสภาวี หลงนิยม และคณะ (2549)

เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Station) คือเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ผู้ใช้บริการใช้ในการโทรออกหรือรับสายเรียกเข้า ภายในอุปกรณ์โทรศัพท์เครื่องหนึ่งประกอบด้วยส่วนย่อย 2 ส่วน คือ Mobile Equipment (ME) และ Subscriber Identity Module (SIM) Mobile Equipment ทำหน้าที่จัดการกับการรับส่งคลื่นสัญญาณวิทยุระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับส่วนของสถานีฐาน และรวมไปถึงอุปกรณ์สำหรับใช้ในการติดต่อกับผู้ใช้ เช่นไมโครโฟน ลำโพง จอภาพ ดังภาพที่ 2.2 ส่วน Subscriber Identity Module Card (SIM Card) ทำหน้าที่เก็บข้อมูลเกี่ยวกับผู้ใช้ รายการประเภทของบริการที่ผู้ใช้ได้ขอไว้ และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงข่าย เช่น เลขประจำตัวของผู้ใช้ ตำแหน่งหรือบริเวณที่เครื่องโทรศัพท์มีการใช้งานอยู่ เป็นต้น นอกจากนี้ยังเก็บหมายเลขโทรศัพท์ที่ผู้ใช้มีการติดต่อด้วยเป็นประจำเพื่อความสะดวกของผู้ใช้บริการ ดังภาพที่ 2.3

ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างจอภาพ Mobile Equipment (ME)

ภาพที่ 2.3 ตัวอย่าง SIM Card เก็บข้อมูลหมายเลขโทรศัพท์

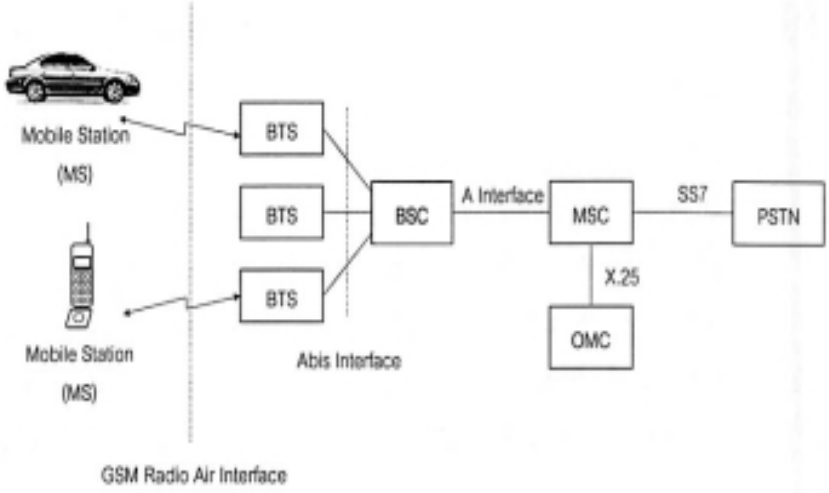
สถานีฐาน(Base Station System) จากภาพ 2.1 สถานีฐานจะประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ BTS (Base Transceiver Station) และBSC (Base Station Controller) ส่วนของ BTS ทำหน้าที่ติดต่อกับเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยที่ BTS หนึ่งตัวจะดูแลครอบคลุมบริเวณหนึ่งที่เรียกว่าเซลล์ โดยหลักๆ แล้ว BTS ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับส่งคลื่นสัญญาณวิทยุเพื่อติดต่อกับส่วน ME ของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยขนาดกำลังส่งของสถานีฐานมีได้หลายระดับ กลุ่มของ BTS ที่ครอบคลุมพื้นที่หลายๆกลุ่มจะอยู่ภายใต้การดูแลของ BSC หนึ่งตัว ซึ่งโดยปกติแล้ว BSC หนึ่งตัวจะสามารถดูแลและควบคุม BTS ได้หลาย BTS ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ลักษณะและหน้าที่ของส่วน BTS และ BSC
ที่มา: ภัสภาวี หลงนิยม และคณะ (2549)

ส่วนของ BSC ทำหน้าที่หลักในการควบคุมการทำงานของ BTS ทุกตัวที่อยู่ภายใต้การดูแล เช่น การจัดสรรช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับการติดต่อสื่อสาร การเริ่มต้น การเชื่อมต่อและสิ้นสุดของการใช้ช่องสัญญาณแต่ละช่อง และรวมไปถึงเรื่องของการตัดสินใจและการทำย้ายข้ามสถานีฐาน(Hand Over) ระหว่างสถานีในกรณีที่โทรศัพท์เคลื่อนที่มีการย้ายจากสถานีหนึ่งไปยังสถานีข้างเคียง สิ่งต่างๆเหล่านี้เป็นหน้าที่ของ BSC ที่จะต้องจัดการทั้งหมด นอกจากนี้ BSC ยังมีขีดความสามารถในการทำสวิตซ์ชิงได้ระดับหนึ่งด้วย โดยที่ BSC สามารถเชื่อมต่อคู่สายระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่สองเครื่องที่ใช้งานอยู่ภายในพื้นที่บริเวณที่ BSC ดูแลรับผิดชอบอยู่ได้

อีกด้านหนึ่งของ BSC ต่ออยู่กับ MSC (Mobile services Switching Centre) ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญ การเชื่อมต่อกับส่วนอื่นๆโดยอาศัยมาตรฐานที่เรียกว่า A interface ส่วนการติดต่อระหว่าง BSC กับส่วน BTS ใช้มาตรฐานที่เรียกว่า Abis interface ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ลักษณะโครงสร้างการติดต่อระบบ GSM
ที่มา: ภัสภาวี หลงนิยม และคณะ (2549)

NSS (Network and Switch Subsystem) จากภาพ 2.1 NSS. ประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก คือ Mobile services Switch Centre (MSC) และฐานข้อมูลสำหรับการจัดการกับการใช้งานของผู้ใช้บริการในส่วนของ MSC นั้นด้านหนึ่งต่อเชื่อมอยู่กับ BSC ซึ่งเป็นส่วนที่ดูแลการรับส่งสัญญาณระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับส่วนของโครงข่าย ส่วนอีกด้านหนึ่งต่อเชื่อมอยู่กับระบบโทรศัพท์อื่นๆ ดังนั้น MSC จึงเป็นส่วนที่ทำหน้าที่สวิตช์ และเชื่อมต่อคู่สายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 2 เครื่องเข้าด้วยกัน และระหว่างผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่กับผู้ใช้โทรศัพท์ธรรมดาหรือผู้ใช้โทรศัพท์จากโครงข่ายอื่นๆ ในการเชื่อมต่อระหว่าง MSC กับโครงข่ายภายนอกอาศัยมาตรฐานการเชื่อมต่อที่เรียกว่า CCITT Signal System no. 7 (SS7) โดยปกติแล้ว MSC หนึ่งชุดสามารถควบคุมดูแล BSC ได้หลายชุด นอกจากนี้ MSC มีหน้าที่อื่นอีก เช่นการจัดการกับการเคลื่อนที่ของผู้ใช้บริการ ซึ่งหมายถึง การทำย้ายข้ามสถานีในกรณีที่มีการเคลื่อนที่ และการทำรายงานตำแหน่งของเครื่องใช้โทรศัพท์ (location update) สำหรับฐานข้อมูลภายใน NSS ประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนหลักๆ คือ

(i) Home Location Register (HLR) เป็นฐานข้อมูลที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับผู้ใช้บริการ เช่น สถานะของเครื่องโทรศัพท์ การเปิด – ปิด การใช้งานโทรออก การรับสายเข้า บริเวณพื้นที่การใช้งานของเครื่องโทรศัพท์ครั้งหลังสุด และรวมไปถึงประเภทของการใช้บริการเสริมของผู้ใช้ต้องการ ในช่วงเวลาที่ผู้ใช้โทรศัพท์เริ่มการใช้งานเพื่อการติดต่อสื่อสาร ข้อมูลที่บรรจุอยู่ในแผ่น SIM Card บางส่วนจะถูกส่งผ่านจากเครื่องรับโทรศัพท์ไปยังฐานข้อมูล HLR จะเก็บรหัสลับของผู้ใช้งานของแต่ละคน

(ii) Authentication Centre (AUC) เป็นฐานเก็บข้อมูลที่เก็บข้อมูลที่เป็นความลับ เช่น รหัสลับของผู้ใช้บริการแต่ละคน ดังนั้นฐานข้อมูลประเภทนี้จึงมักจะจัดให้อยู่ในสถานที่ปลอดภัย และจะอนุญาตให้เข้าได้เฉพาะบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องดูแลและรับผิดชอบกับระบบเท่านั้น การจะเข้าถึงข้อมูลเหล่านี้ก็จะต้องมีการใส่รหัสลับผ่านด้วย นอกจากนี้ข้อมูลที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูลยังต้องมีการเข้ารหัสอีกครั้งหนึ่ง

(iii) Visitor Location Resister (VLR) เป็นฐานข้อมูลคู่กับ MSC มีหน้าที่เก็บข้อมูลชั่วคราวของผู้ใช้บริการในขณะที่มีการใช้งานอยู่ เช่น เก็บตำแหน่งหรือบริเวณที่เครื่องโทรศัพท์ใช้งานอยู่ซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เนื่องจากในปัจจุบันมีผู้ใช้งานสามารถนำโทรศัพท์เคลื่อนที่พกพาติดตัวไปใช้งานในพื้นที่อื่นๆ เช่นในต่างประเทศ ดังนั้นจึงเป็นประโยชน์ที่ทาง MSC ทำสำเนาฐานข้อมูลของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่จากต่างถิ่นไปเก็บไว้ใน VLR ของตนชั่วคราว ในระหว่างที่รองรับการใช้งานของเครื่องโทรศัพท์ดังกล่าว ทั้งนี้เพื่อลดปริมาณการร้องขอข้อมูลจาก HLR ที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นได้ลงทะเบียนเป็นสมาชิกไว้

โดยรวมแล้วส่วนของ NSS ที่ประกอบขึ้นจาก MSC, HLR, AUC, และ VLR มีหน้าที่ในการควบคุมการเรียก (Call Control) จัดการกับตำแหน่งและการเคลื่อนที่ของเครื่องโทรศัพท์ (Mobility Management) และการดูแลในเรื่องของการให้บริการเสริม (Supplementary Services)

ระบบปฏิบัติการ OSS (Operation Support Subsystem) ในส่วนนี้ประกอบด้วย OMC (Operations and Maintenance Centre) ซึ่งมีหน้าที่หลัก ในการดูแลจัดการเรื่องการปฏิบัติการของระบบโดยรวม การจัดการกับปัญหาของอุปกรณ์บางส่วนที่เกิดความเสียหาย การปรับตั้งค่าต่างๆ ภายในระบบให้เหมาะสม การจัดการเรื่องสมาชิกผู้ใช้บริการของระบบซึ่งรวมไปถึงการคิดค่าบริการและออกบิลเก็บค่าบริการ การทำงานของ OMC ส่วนใหญ่แล้วจำต้องมีการติดต่อกับฐานข้อมูลการจดทะเบียนของลูกค้า (Home Location Register)

โครงข่ายสาธารณะ (Public Networks) คือระบบ Network อื่นๆที่มาต่อเชื่อมกับ MSC เพื่อให้การติดต่อสื่อสารระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่ กับระบบสื่อสารอื่นๆสามารถติดต่อกันได้ทั้งในรูปแบบของเสียง และรูปแบบข้อมูล เช่นระบบโทรศัพท์ใช้สายขององค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย โทรศัพท์ระหว่างประเทศของการสื่อสารแห่งประเทศไทย ระบบโทรศัพท์มือเครือข่ายอื่น ตลอดจนระบบสื่อสารข้อมูลอื่นๆ

2.1.2 การรับส่งคลื่นสัญญาณวิทยุระบบ GSM

ในช่วงแรกได้มีการกำหนดช่วงความถี่ให้ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM-900 สำหรับไว้งานไว้ทั้งหมด 50 MHz คือในย่านความถี่ 890-915 MHz และ 935-960 MHz ในย่านความถี่ 890-915 MHz นั้นมีไว้สำหรับเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ในการส่งข้อมูลไปยังสถานีฐาน และเรียกการส่งสัญญาณในทิศทางนี้ว่าเป็นการส่งสัญญาณขาขึ้น (Up-Link Transmission) ส่วนของย่านความถี่935-960 MHz มีไว้ส่งทิศทางตรงกันข้ามคือจากสถานีฐานไปยังเครื่องรับโทรศัพท์เคลื่อนที่และเรียกการส่งในทิศทางนี้ว่าการส่งสัญญาณขาลง (Down-Link Transmission) ซึ่งมี Band Width ขนาด 25 MHz ของการรับส่งข้อมูลแต่ละทิศทางนี้ได้แบ่งจำนวนช่องของคลื่นพาหะไว้ทั้งหมด 124 ช่องโดยแต่ละช่องมีความถี่ที่ต่างกันทั้งหมด และแต่ละช่องมีความถี่ห่างกันเท่ากับ 200 kHz ลักษณะการแบ่งช่องสัญญาณแบบนี้มีชื่อเรียกว่า Frequency Division Multiple Access (FDMA) และในแต่ละคลื่นพาห์ใช้ส่งสัญญาณได้ทั้งหมด 8 Time Slot โดยวิธีที่เรียกว่า Time Division Multiple Access (TDMA) ดังนั้นจะเห็นว่าระบบ GSM อาศัยทั้งวิธี TDMA และ FDMA

ในเวลาต่อมาได้มีการจัดสรรช่วงความถี่เพิ่มเติมให้กับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM ในย่านความถี่ 900 MHz อีก 20 MHz คือในช่วงความถี่ 880-890 MHz และ 925-935 MHz และเรียกคลื่นความถี่เพิ่มเติมนี้ว่า extended GSM ส่วนย่านความถี่เดิมเรียกว่า Primary GSM 900

สำหรับการใช้งานในย่านความถี่ 1800 MHz หรือระบบ DCS 1800 ได้มีการกำหนดช่วงความถี่ 1710-1785 MHz สำหรับการส่งสัญญาณขาขึ้น คือ จากเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังสถานีฐาน และในช่วง ความถี่ 1805-1880 MHz สำหรับการส่งสัญญาณขาลง คือ จากสถานีฐานไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งมี Band Width มากถึง 150 MHz

ประเภทของสัญญาณที่มีการใช้งานในระบบ GSM สามารถแบ่งประเภทของสัญญาณออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ

(1) Traffic Channel เป็นช่องสัญญาณที่มีไว้สำหรับให้บริการรับส่งข้อมูลของผู้ใช้โทรศัพท์ โดยสามารถแบ่งการบริการรับส่งข้อมูลออกได้เป็น 2 ประเภท คือ เสียง และข้อมูลประเภท Data การรับส่งข้อมูลแต่ละประเภทอาจจะเป็นแบบ Full Rate คือบรรจุข้อมูลลงในหนึ่ง Time Slot ของทุกๆ เฟรม หรืออาจจะเป็นแบบ Half Rate คือบรรจุข้อมูลลงใน Time Slot เพียงหนึ่งครั้งต่อเฟรม ซึ่งในการส่งแบบ Half Rate จะช่วยให้ระบบสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้บริการได้มากขึ้นเท่าตัว แต่นั่นหมายถึงจำนวนบิตข้อมูลที่ผู้ใช้ส่งได้แต่ละคนก็ลดลงครึ่งหนึ่งด้วย ตามมาตรฐานของ GSM

(2) Signaling Channel คือช่องสัญญาณที่มีไว้ใช้ในการรับส่งสัญญาณ Signaling ระหว่างเครื่องโทรศัพท์และสถานีฐานเพื่อช่วยให้การทำงานของระบบดำเนินไปอย่างถูกต้อง สัญญาณ Signaling ที่ใช้ในระบบ GSM มีอยู่หลายชนิดโดยสามารถแบ่งเป็น 3 กลุ่มย่อย

(i) BCCH (Broadcast Control Channel) เป็นกลุ่มของสัญญาณ Signaling ที่ใช้ส่งในทิศทางเดียวคือ จากสถานีฐานไปที่โทรศัพท์ (Down Link) โดยที่การส่งนั้นจะกระทำเป็นระยะที่สม่ำเสมอและต่อเนื่องตลอด เพื่อประกาศให้ โทรศัพท์เคลื่อนที่ทั้งหลายได้ทราบข้อมูลที่เกี่ยวกับสถานีเครือข่ายที่เครื่องโทรศัพท์อยู่และสถานีเครือข่ายที่อยู่รอบข้างด้วย

(ii) CCCH (Common Control Channel) ใช้ส่งจากสถานีเครือข่ายไปยังเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่อยู่ภายในสถานีเครือข่ายเพื่อค้นหาเครื่องโทรศัพท์เครื่องที่ต้องการติดต่อด้วย และใช้ส่งตอบรับการค้นหาจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังสถานีเครือข่ายตลอดจนใช้ในการร้องขอการติดต่อกับสถานีสถานีเครือข่าย

(iii) DCCH (Dedicate Control Channel) สัญญาณนี้จะถูกส่งออกอย่างต่อเนื่องเป็นระยะๆตลอดเวลาและมีหน้าที่หลายอย่างเช่น ใช้ส่งสัญญาณบอกถึงระดับความแรงของสัญญาณที่เครื่องโทรศัพท์รับได้ ใช้ช่วยในช่วงเวลาที่มีการย้ายข้ามช่องสัญญาณเกิดขึ้น ใช้ปรับจังหวะการส่งสัญญาณของเครื่องโทรศัพท์ในแต่ละเฟรมให้ถูกต้อง และใช้ควบคุมระดับของกำลังสัญญาณส่งให้อยู่ระดับที่เหมาะสม

2.1.3 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องโทรศัพท์

(1) ขั้นตอนเริ่มเปิดเครื่อง ทันทีที่ผู้ใช้เปิดเครื่องโทรศัพท์เพื่อใช้งานเครื่องโทรศัพท์จะไม่ทราบข้อมูลเกี่ยวกับระบบโครงข่ายที่จะเริ่มการติดต่อด้วยเลย เช่น จะไม่ทราบถึงตำแหน่งว่าอยู่ภายในขอบข่ายการดูแลของสถานีเครือข่ายใด ดังนั้นอุปกรณ์โทรศัพท์ก็จะต้องทำการหาข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นทั้งหมดสำหรับการติดต่อกับสถานีเครือข่ายของระบบ ในขั้นแรกเครื่องโทรศัพท์จะต้องหาคลื่นความถี่ที่ช่องสัญญาณ BCCH ก่อนเพื่อจะได้อ่านข้อมูลบางส่วนของระบบโทรศัพท์ที่ต้องใช้การติดต่อ เนื่องจากในระบบ GSM นั้นมีคลื่นความถี่สำหรับใช้งานหลายช่องสัญญาณ การที่เครื่องโทรศัพท์จะสแกนคลื่นความถี่ทั้งหมดเพื่อหาช่องสัญญาณ BCCH นั้นจะต้องใช้เวลานานพอสมควร ดังนั้นเพื่อให้การค้นหาช่องสัญญาณมีความรวดเร็วขึ้น ระบบ GSM จึงได้กำหนดให้เครื่องโทรศัพท์ทำการจดบันทึกชุดคลื่นความถี่ของสถานีเครือข่าย ครั้งสุดท้ายที่มีการติดต่อด้วยรวมไปถึงคลื่นความถี่ของสถานีเครือข่ายรอบข้างดังกล่าวด้วย เมื่อมีการเปิดเครื่องโทรศัพท์เพื่อใช้งานตัวเครื่องจะทำการสแกนหาความถี่ที่บันทึกอยู่ในแผ่น SIM Card ก่อน ตามมาตรฐานของระบบ GSM คลื่นความถี่ที่มีช่องสัญญาณ BCCH อยู่จะต้องส่งออกด้วยกำลังที่สูงสุดตลอดเวลา

(2) ขั้นตอนการเลือกสถานีเครือข่ายที่จะติดต่อ หลังจากที่เครื่องโทรศัพท์ได้ข้อมูลต่างๆ ที่ต้องการจากสถานีเครือข่ายรอบข้างแต่ละแห่งทั้งหมดแล้ว เครื่องโทรศัพท์ก็จะต้องทำการตัดสินใจว่าจะเลือกที่จะติดต่อกับสถานีเครือข่ายใดจึงจะมีความเหมาะสมที่สุด ในการเลือกสถานีเครือข่ายนั้นเครื่องโทรศัพท์ก็จะต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆหลายปัจจัยดังนี้ ปัจจัยแรกที่ต้องพิจารณาคือความแรงของสัญญาณที่เครื่องโทรศัพท์รับได้ ปัจจัยนี้นับได้ว่าเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญที่สุด เพราะความแรงของคลื่นสัญญาณของช่อง BCCH สามารถใช้บ่งบอกถึงคุณภาพการรับส่งของคลื่นสัญญาณได้ ถ้าคลื่นสัญญาณ BCCH ที่รับได้มีกำลังที่แรงก็น่าจะหมายถึงว่าสถานีเครือข่ายได้รับสัญญาณที่มีกำลังที่ดีด้วย แต่หากสัญญาณที่รับได้มีกำลังอ่อนก็แสดงว่าการสนทนาของผู้ใช้ผ่านช่องสัญญาณนี้ก็จะมีคุณภาพที่ไม่ดีตามไปด้วย ทั้งนี้จะต้องไม่ลืมว่าคลื่นสัญญาณในช่อง BCCH มีกำลังส่งที่แรงที่สุดตลอดเวลา เพราะฉะนั้นช่องสัญญาณอื่นๆที่ใช้ในภายหลังก็จะมีกำลังที่ต่ำกว่าเสมอ ปัจจัยต่อมาที่ต้องคำนึงถึงก็คือขนาดกำ ลังส่งสูงสุดของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ เช่นหากสถานีเครือข่ายที่ใช้งานอยู่ได้ออกแบบไว้สำหรับเครื่องโทรศัพท์ประเภทที่มีกำลังส่งสูงสุด 20 วัตต์ การที่เครื่องโทรศัพท์สามารถรับสัญญาณที่มีความแรงพอก็ไม่ได้หมายความว่า สถานีเครือข่ายจะต้องสามารถรับสัญญาณได้ดีตามไปด้วย เพราะหากเครื่องโทรศัพท์ที่ใช้มีกำลังส่งสูงสุดเพียง 0.8 วัตต์ ความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่สถานีเครือข่ายก็อาจจะมีขนาดที่อ่อนมากได้ ปัจจัยสุดท้ายที่จะต้องนำมาพิจารณาด้วยคือ ตำแหน่งหรือบริเวณการใช้งานของเครื่องโทรศัพท์ ปัจจัยนี้ไม่ได้มีผลกระทบต่อคุณภาพการรับส่งสัญญาณเลย แต่จะมีส่วนช่วยลดปริมาณการรับส่งสัญญาณควบคุมที่เครื่องโทรศัพท์ใช้ในการรายงานถึงการเปลี่ยนตำแหน่งหรือบริเวณการใช้งาน ยกตัวอย่างเช่นในกรณีที่เครื่องโทรศัพท์มีการใช้งานอยู่ในบริเวณรอยต่อของสถานีเครือข่าย

(3) ขั้นตอนการระบุตำแหน่งพื้นที่ (Location Update Area) เนื่องจากโดยปกติการใช้งานของโทรศัพท์เคลื่อนที่มักจะมีการเปลี่ยนตำแหน่งการใช้งานอยู่เสมอๆ ดังนั้นการค้นหาตำแหน่งของเครื่องโทรศัพท์จึงเป็นเรื่องที่จำเป็นและมีความสำคัญอย่างมากในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยทั่วไปแล้วเราสามารถแบ่งวิธีการค้นหาตำแหน่งของเครื่องโทรศัพท์ออกเป็น 2 วิธี วิธีแรกระบบโทรศัพท์จะไม่ทำการเก็บข้อมูลใดๆ ที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งของเครื่องโทรศัพท์เลย และเมื่อใดที่ระบบโทรศัพท์ต้องการจะติดต่อด้วย เช่น มีการโทรศัพท์เข้าจากผู้ใช้อื่น ระบบโทรศัพท์ก็จะส่งคำสั่งให้สถานีเครือข่ายทั้งหมดทำการส่งสัญญาณ เพื่อค้นหาตำแหน่งของโทรศัพท์เมื่อโทรศัพท์มีการตอบรับการเรียก ระบบก็จะสามารถทราบถึงตำแหน่งของเครื่องโทรศัพท์ สังเกตว่าวิธีนี้จะไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้กับโครงข่ายที่มีขนาดใหญ่ครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้าง เช่น พื้นที่ทั้งประเทศหรือหลาย ๆ ประเทศ เพราะจะมีการส่งสัญญาณเรียกออกไปเป็นจำนวนมาก ส่วน

(4) ขั้นตอนการย้ายข้ามช่องสัญญาณ การย้ายข้ามช่องสัญญาณจะเกิดขึ้นเมื่อโทรศัพท์มีการเคลื่อนออกห่างจากขอบเขตการดูแลของสถานีเครือข่ายที่ติดต่ออยู่ ส่งผลให้การติดต่อสื่อสารระหว่างทั้งสองฝ่ายมีคุณภาพที่ต่ำลงเรื่อยๆ และเมื่อเครื่องโทรศัพท์เริ่มเคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณ ของสถานีเครือข่ายใหม่ซึ่งโดยปกติแล้วจะสามารถให้คุณภาพการรับส่งสัญญาณที่ดีกว่าของสถานีเครือข่ายเดิม ระบบโทรศัพท์ก็จะทำการโอนย้ายการติดต่อไปให้กับสถานีเครือข่ายใหม่เพื่อให้การสนทนาของผู้ใช้มีความต่อเนื่องและมีคุณภาพในระดับที่ดีตลอดช่วงเวลาการสนทนา กระบวนการดังกล่าวเรียกว่า การทำ Hand Over สำหรับ ระบบ GSM เครื่องโทรศัพท์มีส่วนสำคัญในกระบวนการย้ายข้ามช่องค่อนข้างมาก โดยระบบมอบหมายให้เครื่องโทรศัพท์ทำหน้าที่ในการตรวจวัดระดับสัญญาณที่รับได้จากทั้งสถานีเครือข่ายที่ติดต่ออยู่ด้วยและสัญญาณที่รับได้จากสถานีเครือข่ายรอบ ๆ จากนั้นจะรายงานผลที่ได้ไปให้สถานีเครือข่ายเพื่อใช้ในการตัดสินใจการทำการย้ายช่องสัญญาณต่อไป

(5) ขั้นตอนการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ ดังภาพที่ 2.6

(5.1) โทรศัพท์ธรรมดาจะหมุนหมายเลขของโทรศัพท์เคลื่อนที่

(5.2) PSTN (ชุมสายโทรศัพท์ธรรมดา) จะเชื่อมต่อการโทรออกไปยัง GMSC (GATEWAY MSC) ที่ใกล้ที่สุด

(5.3) GMSC ร้องขอ Identity ของ MSC ที่ซึ่งโทรศัพท์เคลื่อนที่ถูกโทรหาอยู่จาก HLR

(5.3) GMSC เชื่อมต่อการโทรออกไปยัง MSC ที่โทรศัพท์ เคลื่อนที่อยู่

(5.4) MSC ตรวจดูข้อมูลจาก VLR ว่าขณะนี้โทรศัพท์เคลื่อนที่อยู่ในพื้นที่สถานีเครือข่ายไหนไหน

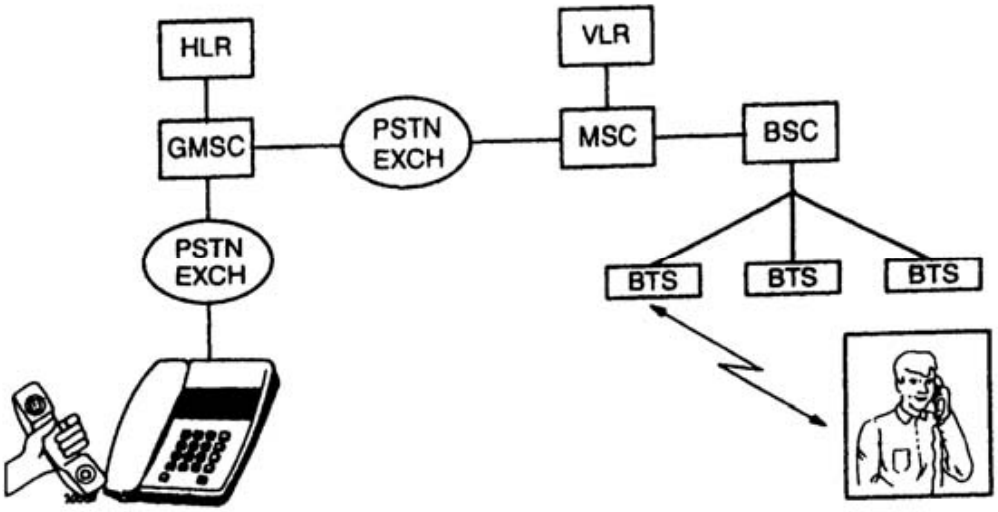
(5.5) MSC สั่งให้ BSC ส่งสัญญาณหาโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยการส่งสัญญาณไปยังทุกๆ BTS ที่อยู่ในพื้นที่นั้นๆ

(5.6) เมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ถูกโทรหา ได้รับสัญญาณแล้ว ก็จะตอบ Acknowledge กลับไปยัง BSC

(5.7) BSC เลือกช่องสัญญาณเพื่อใช้ติดต่อสนทนาและสั่งให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ใช้ช่องความถี่ให้ตรงกับช่องสัญญาณนี้

(5.8) โทรศัพท์เคลื่อนที่ก็จะสร้างสัญญาณเรียกขึ้นมา (Ringing)

(5.9) โทรศัพท์เคลื่อนที่กดปุ่มรับ การติดต่อสนทนาก็จะเริ่มขึ้น



ภาพที่ 2.6 การใช้โทรธรรมดาโทรไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่

ที่มา: ณัฐพล ฉัตรแก้ว และคณะ (2547)

2.1.4 ระบบเชื่อมโยงโครงข่าย (Transmission Network System)

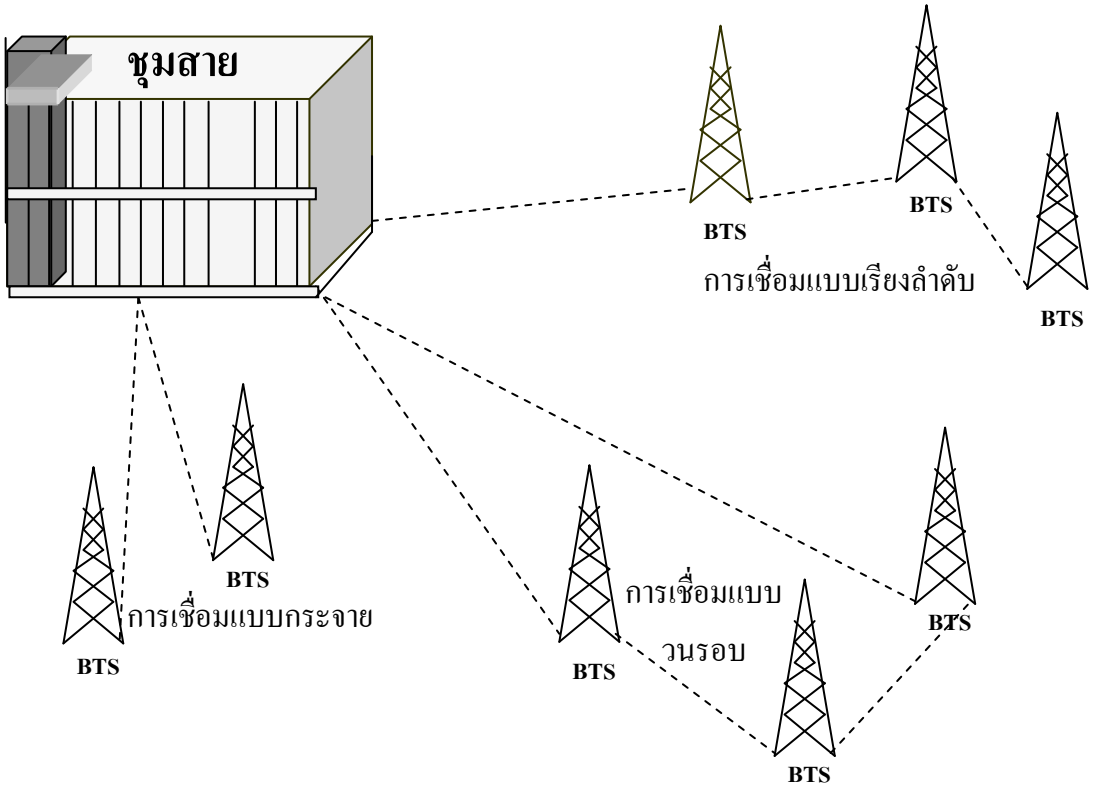
การให้บริการโทรศัพท์มือถือสิ่งที่สำคัญคือพื้นที่การให้บริการจะต้องครอบคลุมให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ซึ่งก็คือจำนวนสถานีเครือข่ายจะต้องเพิ่มขึ้นมากตามไปด้วย โดยปกติชุมสายกับสถานีเครือข่ายจะอยู่คนละที่กันและจะติดต่อกันตลอดเวลา ซึ่งชุมสาย 1 ชุมสาย สามารถติดต่อและควบคุมสถานีเครือข่ายได้มากกว่าหนึ่งพันสถานี โดยมีระบบเชื่อมโยงเป็นตัวกลางในการติดต่อสื่อสารซึ่งจะมีสาย Fiber Optic ที่พาดผ่านไปตามเสาไฟฟ้าไปยังสถานีเครือข่ายต่างๆ

รูปแบบพื้นฐานของระบบเชื่อมโยงสามารถแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบดังภาพที่ 2.7

2.1.4.1 เชื่อมต่อแบบกระจาย คือแต่ละสถานีเชื่อมต่อกับชุมสายโดยตรงข้อเสียคือสิ้นเปลืองระบบเชื่อมต่อ แต่ก็มีข้อดีคือ ถ้าเกิดการเสียหายที่สถานีใดๆก็จะเสียหายเฉพาสถานีนั้นๆ สถานีอื่นๆไม่มีผลกระทบด้วย

2.1.4.2 เชื่อมต่อแบบเรียงลำดับ การเชื่อมต่อแบบนี้สถานีต่างๆจะต่ออนุกรมกันหมด หากระบบเชื่อมต่อจุดใดจุดหนึ่งเสียหายจะทำให้สถานีที่อยู่ปลายทางเสียหายทั้งหมด แต่การเชื่อมต่อแบบนี้จะประหยัดกว่าแบบอื่นๆ

2.1.4.3 เชื่อมต่อแบบวนรอบ เป็นการผสมกันระหว่างการเชื่อมต่อแบบกระจายและการต่อแบบเรียงลำดับ การเชื่อมต่อแบบนี้ระบบเชื่อมโยงจะต่อเชื่อมกันเป็นวง (Loop) ดังนั้นถ้าระบบเชื่อมต่อจุดใดจุดหนึ่งขาดจะไม่ทำให้ระบบเสียหายได้ เพราะสามารถเปลี่ยนทางติดต่อใหม่ได้ทันที



ภาพที่ 2.7 การเชื่อมต่อสถานีเครือข่ายกับชุมสาย

ด้วยศักยภาพในการแข่งขันทางการตลาดพื้นที่การให้บริการที่ครอบคลุมได้มากกว่า จะทำให้มีศักยภาพในการแข่งขัน เป็นสาเหตุให้มีการเพิ่มจำนวนสถานีเครือข่ายเป็นจำนวนมาก ทำให้ระบบการเชื่อมโยงระหว่างชุมสายกับสถานีเครือข่ายมีความซับซ้อนมากขึ้น ซึ่งในปัจจุบันระบบเชื่อมโยงที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลายคือระบบ “SDH” (Synchronous Digital Hierarchy)

2.1.5 ระบบเครือข่าย SDH (Synchronous Digital Hierarchy)

ในอดีตระบบเครือข่ายโทรศัพท์สาธารณะนับว่าเป็นระบบส่งสัญญาณข้อมูลทางไกลที่สะดวกที่สุด ข้อมูลดิจิตอลที่ส่งผ่านเครือข่ายโทรศัพท์จะถูกเปลี่ยนให้มีรูปสัญญาณเป็นอนาล็อกและถูกรวมกันไปในช่องสัญญาณขนาด 4 KHz ต่อมาได้มีการพัฒนาเทคนิคการมอดูเลตสัญญาณอนาล็อกให้เป็นดิจิตอล (เช่น PCM หรือ Pulse Code Modulation) ทำให้สามารถส่งสัญญาณอนาล็อกผ่านเครือข่ายดิจิตอลด้วย ผลที่ตามคือ การพัฒนาเครือข่ายโทรศัพท์สาธารณะจากระบบอนาล็อกเดิมไปเป็นระบบดิจิตอลซึ่งเรียกว่า “เครือข่าย ISDN” ซึ่งมีช่องสัญญาณอัตราเร็วข้อมูล 64 Kbps เมื่อรวมช่องสัญญาณ 64 Kbps หลายๆ ช่องสัญญาณเข้าด้วยกัน ด้วยการรวมแบบ TDMA จะทำให้การส่งข้อมูลดิจิตอลผ่านเครือข่ายโทรศัพท์ดิจิตอลได้ด้วยอัตราเร็วข้อมูลมากกว่า 2 Mbps ยิ่งอัตราเร็วของการส่งข้อมูลมีมากขึ้นเท่าใด ความซับซ้อนของการรวมสัญญาณก็ยิ่งมากขึ้นเพราะจำนวนช่องสัญญาณมากขึ้น อีกทั้งแต่ละช่องสัญญาณยังมีอัตราบิตที่แตกต่างกัน เนื่องจากการส่งมาจากต่างสถานีกัน จึงต้องมีการเพิ่มบิต เข้าไปเพื่อปรับอัตราบิตในแต่ละช่องสัญญาณให้เท่ากัน วิธีการรวมสัญญาณแบบนี้เรียกว่า “Plesiochronus” หรือ “เกือบจะเป็นซิงโครนัส” ดังนั้นเครือข่ายการทำงานความเร็วสูงในยุคแรกจึงมีชื่อเรียกว่า “เครือข่าย Plesiochronus Digital Hierarchy” เรียกสั้น ๆ ว่า เครือข่าย PDH เพราะมีการรวมสัญญาณ Plesiochronus ในทุกระดับชั้นนั่นเอง

เครือข่าย PDH สามารถส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วถึง 140 Mbps จึงถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในยุโรป แต่อย่างไรก็ตามเครือข่าย PDH ยังมีข้อจำกัดเช่น ขาดความคล่องตัวในการใช้งานเนื่องจากต้องการใส่บิตเพิ่ม และดึงบิตออกทุกครั้งที่ผ่านอุปกรณ์รวมสัญญาณและทำให้สิ้นเปลืองอุปกรณ์ จากความต้องการในการสื่อสารข้อมูลของคอมพิวเตอร์ที่เป็นมัลติมิเดียมีมากขึ้นทำให้อัตราการส่งข้อมูล 140 Mbps ของ PDH ต้องมีการคิดใหม่ว่าการสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัสจริง ๆ น่าจะช่วยเรื่องการแก้ไขเรื่องความเร็วได้ จึงเป็นที่มาของการพัฒนาเครือข่ายใหม่ ที่เรียกว่า “เครือข่าย SDH” (Synchronous Digital Hierarchy ในเขตประเทศยุโรป และ “เครือข่าย SONET” (Synchronous Optical Network) ในเขตอเมริกาเหนือในเวลาต่อมา

หลังจากได้มีการพัฒนาเครือข่ายการส่งข้อมูลดิจิตอลความเร็วสูงระยะทางไกล SDH ต่อจากระบบส่งข้อมูล PDH ในยุโรปแล้วองค์การ ITU-T (หรือ CCITT เดิม) ได้กำหนดมาตรฐานการรับส่งข้อมูลเบื้องต้นของเครือข่ายเป็น 155.52 Mbps ซึ่งเรียกว่า “มาตรฐาน STM-1” (Synchronous Transport Module) สำหรับมาตรฐานอัตราส่งข้อมูลที่สูงกว่าที่ได้จากมัลติเพล็กซ์อัตราส่งข้อมูล STM -1 นั้น ได้แก่ Synchronous -4 Mbps STM – 16 (2.48 Gbps) และ STM- 64 (9.95 Gbps)

2.1.5.1 แนวคิดเบื้องต้นของเครือข่าย SDH

SDH (Synchronous Digital Hierarchy) เป็นมาตรฐานสากลของเครือข่ายสื่อสัญญาณความเร็วสูง เป็นเครือข่ายที่มีความทันสมัยมากในการรับส่งสัญญาณและการบริหารจัดการเครือข่าย เทคโนโลยีของ SDH ช่วยให้ network operator สามารถตอบสนองความต้องการใช้ capacity ของช่องสัญญาณของลูกค้าได้อย่างรวดเร็ว เครือข่าย SDH สามารถถูกออกแบบสร้างให้มีความสามารถในการฟื้นตัวเองได้อย่างอัตโนมัติในกรณีที่มีปัญหาขัดข้องเกิดขึ้นกับเครือข่าย ทำให้เครือข่ายมีความสามารถในการใช้การได้ (availability) ที่สูงขึ้น การจัดโครงสร้างการมัลติเพล็กซ์ของสัญญาณ SDH ได้ช่วยให้สามารถต่อไขว้ (cross-connect) ช่องสัญญาณ low-order ที่อยู่ภายในช่องสัญญาณ high-order ได้โดยไม่จำเป็นต้องดีมัลติเพล็กซ์สัญญาณทั้งหมดออกก่อน ข้อดีของ SDH เมื่อเทียบกับ PDH

(1) SDH เป็นมาตรฐานนานาชาติที่ใช้ร่วมกัน

(2) อุปกรณ์ที่ต้องการใช้น้อยกว่าแบบ PDH

(3) มีความคล่องตัว (flexibility) ของเครือข่ายสูง

(4) เครือข่ายมีความสามารถในการใช้การได้ (availability) ที่สูง

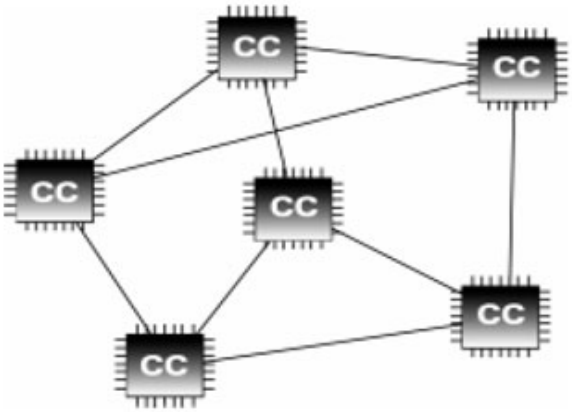
(5) มีการบริหารจัดการเครือข่ายที่ดี

(6) อุปกรณ์จากผู้ขายแต่ละรายสามารถทำงานเข้ากันได้ (compatibility)

การนำเทคโนโลยี SDH เข้ามาใช้ได้ทำให้โครงสร้างเครือข่ายเดิมที่ใช้ PDH เปลี่ยนแปลงจากระบบ point-to-point ไปเป็นเครือข่ายที่มีการเชื่อมโยงโครงข่ายแบบวงแหวน หรือโครงข่ายแบบตาข่าย ซึ่งให้ความคล่องตัวมากกว่า สามารถควบคุมการติดต่อได้จากระยะไกลระบบบริหารจัดการเครือข่าย Network Management System (NMS)) จะช่วยให้สามารถควบคุมและจัดการเครือข่ายได้จากระยะไกลได้เป็นอย่างดี เทคโนโลยี SDH ได้ทำให้เกิดแนวทางในการสร้างเครือข่ายที่มีความคล่องตัว มีประสิทธิภาพคุ้มกับการลงทุน สามารถวางเครือข่าย SDH ลงบนโครงสร้างเครือข่ายที่มีอยู่แล้วได้อย่างเหมาะสมพร้อมทั้งสามารถที่จะปรับเปลี่ยนให้สอดคล้องกับ

2.1.5.2 รูปแบบการวางเครือข่าย SDH

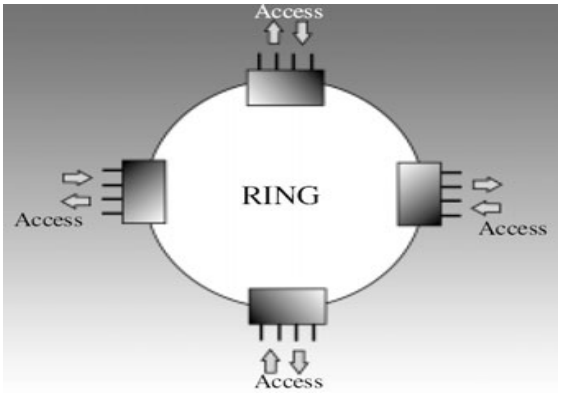
(1) เครือข่ายแบบตาข่าย (Mesh) ดังภาพที่ 2.8 โครงสร้างเครือข่ายแบบนี้เกิดจากการเชื่อมโยงอุปกรณ์ Cross-Connect เข้าหากันเป็นลักษณะตาข่าย และมักจะใช้เป็นเครือข่ายในระดับ Core Network สามารถถูกบริหารจัดการจากระยะไกลได้ ทำให้สะดวกต่อการจัดสรรและกำหนดใช้งานวงจรได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้คุณภาพ ประสิทธิภาพและความคล่องตัวของเครือข่ายดีขึ้น



ภาพที่ 2.8 เครือข่าย SDH แบบตาข่าย (mesh)
ที่มา: พงษ์ศักดิ์ สุสัมพันธไพบูลย์ (2545)

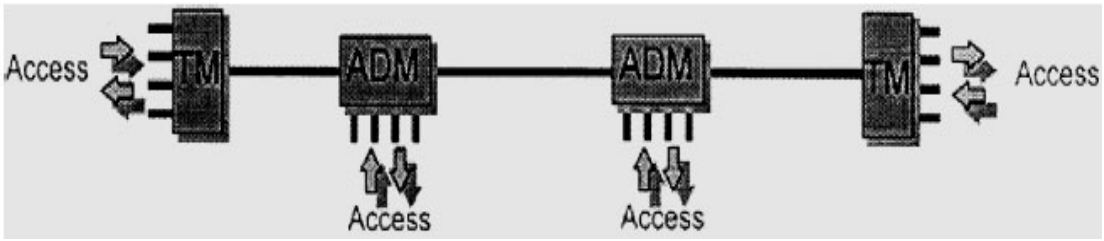
(2) เครือข่ายแบบวงแหวน (Ring) ดังภาพที่ 2.9 เกิดจากการเชื่อมโยง Node ต่างๆเข้าด้วยกันเป็น Close Loop แต่ละ Node สามารถเพิ่มและดึงช่องสัญญาณ (add-drop multiplexer เรียกว่า ADM) โดยแต่ละ Ring Section หรือแต่ละ Span นั้นจะมี Transmission Capacity เหมือนกันอุปกรณ์ ADM ควรจะสามารถติดต่อกับข้อมูลทั้งหมดที่อยู่บนสายส่งได้ และมี non-blocking Switch Matrix อยู่ภายใน หน้าที่หลักของ ADM คือ การเพิ่มและดึงช่องสัญญาณ Tributary จากสัญญาณ Aggregate STM-N

เครือข่ายแบบวงแหวนแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ Uni-Directional และ Bi-directional ขึ้นกับทิศทางการวิ่งของข้อมูลในภาวะปกติ ถ้าเป็นวงแหวน แบบ Uni-Directional ข้อมูลใช้งานจะวิ่งรอบวงแหวนในทิศทางเดียวกันเท่านั้น (อย่างเช่น ตามเข็มนาฬิกา) นั่นคือข้อมูลที่รับและส่งระหว่าง Node คู่หนึ่ง จะวิ่งอยู่คนละด้านของวงแหวน แต่ถ้าเป็นวงแหวนแบบ Bi-Directional ข้อมูลที่รับและส่งระหว่าง Node คู่หนึ่งจะวิ่งทางด้านใดด้านหนึ่งของวงแหวน เท่านั้น



ภาพที่ 2.9 เครือข่าย SDH แบบ Ring ที่ใช้ ADM
ที่มา: พงษ์ศักดิ์ สุสัมพันธไพบูลย์ (2545)

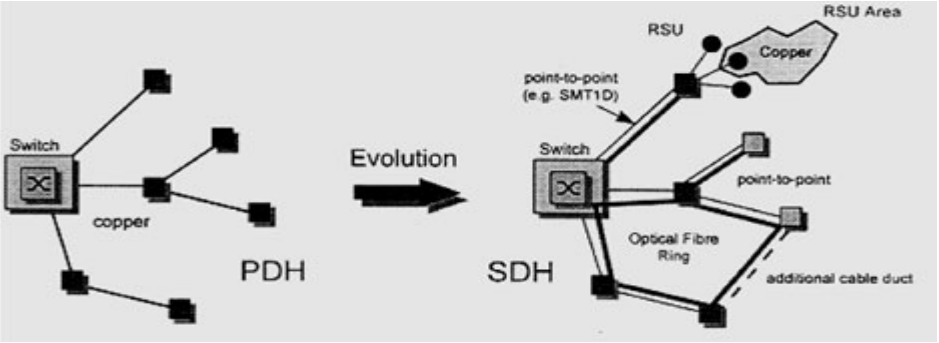
(3) เครือข่ายแบบลูกโซ่ (Chain) เกิดจากการเชื่อมโยง Node เข้าด้วยกันเป็นเส้นตรง ดังภาพที่ 2.10 Node ที่อยู่ปลายสุดจะเป็น Terminal Multiplex System (TM) ส่วน Node ที่อยู่ระหว่างทางจะเป็น add-drop Multiplexer (ADM) แต่ละChain Section จะมี Transmission Capacity เหมือนกันการจัดConfiguration แบบ Chain จะใช้วิธีการ Protection แบบ Multiplex Section Line Protection ได้เพียงแบบเดียวเท่านั้น



ภาพที่ 2.10 เครือข่าย SDH แบบลูกโซ่ (Chain)
ที่มา: พงษ์ศักดิ์ สุสัมพันธไพบูลย์ (2545)

2.1.5.3 แนวทางการใช้งานเครือข่าย SDH

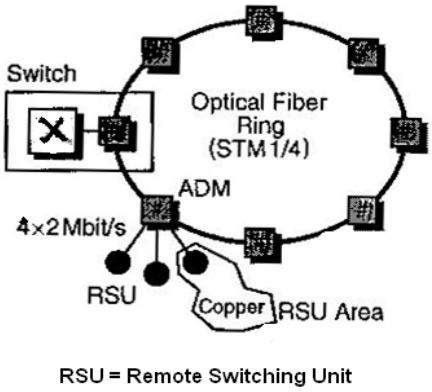
การนำ SDH เข้ามาใช้งานแทนที่ PDH เพื่อตอบสนองความต้องการใช้ Transmission Capacity ที่มากขึ้น ได้ทำให้โครงสร้างเครือข่ายเปลี่ยนแปลงจากลักษณะ point-to-point ไปเป็นเครือข่ายแบบลูกโซ่ หรือแบบวงแหวนที่เชื่อมโยง Node เข้าด้วยกัน เครือข่าย SDH แบบใหม่ที่ได้รับนี้ จะมีความยืดหยุ่นคล่องตัวและน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น ดังภาพที่ 2.11 จะช่วยปรับปรุงคุณภาพของบริการสามารถให้บริการแบบใหม่ที่ทันสมัยได้มากขึ้นและยังช่วยลดค่าใช้จ่าย



ภาพที่ 2.11 การพัฒนาเปลี่ยนแปลงจาก PDH ไปสู่ SDH
ที่มา: พงษ์ศักดิ์ สุสัมพันธไพบูลย์ (2545)

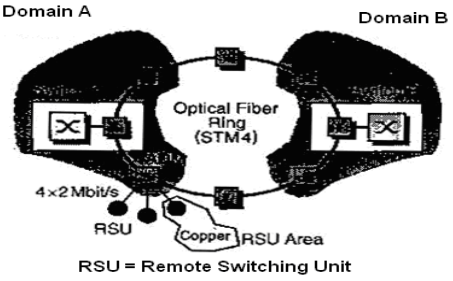
การนำ SDH มาใช้ในรบบโครงข่ายนั้นจะเพิ่มความน่าเชื่อถือของเครือข่ายให้มากขึ้นเพราะการใช้ระบบโครงข่ายวงแหวนสามารถปรับเปลี่ยนให้ตรงกับความต้องการได้ง่าย และยังได้รับประโยชน์จากการใช้ระบบบริหารจัดการเครือข่ายของ SDH อีกด้วย เช่นการ Re-Configuration ที่คล่องตัวและรวดเร็วช่วยในการควบคุมและซ่อมบำรุงรักษาเครือข่ายได้ง่ายขึ้น

ภาพที่ 2.12 ตัวอย่างของการใช้ระบบโครงข่ายวงแหวนที่มี RSU (Remote Switching Unit) ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนเครือข่ายให้ตรงกับความต้องการได้ง่ายและสะดวก และยังได้ประโยชน์จากการใช้ Ring Protection อีกด้วย ถ้าข้อมูล ส่วนใหญ่ในระบบเชื่อมโยง วิ่งเข้าหา Node ใด Node หนึ่งเป็นการเฉพาะ (เช่นวิ่งเข้าไปยังชุมสาย) นั่นคือรูปแบบการ กระจายข้อมูลเป็นแบบ Star การใช้ Configuration แบบ Bi-directional Self-Healing Ring (BSHR) อาจไม่ทำให้เกิดข้อได้เปรียบเสมอไปเมื่อเทียบกับการใช้ระบบ Ring แบบอื่น เช่น Path Protection Ring ซึ่งมีความซับซ้อนและแพงน้อยกว่า



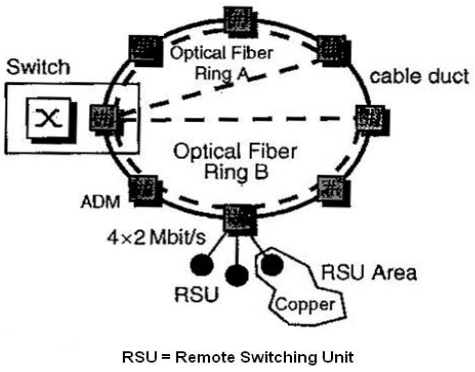
ภาพที่ 2.12 การตัวอย่างการใช้งานโครงข่ายวงแหวน
ที่มา: พงษ์ศักดิ์ สุสัมพันธไพบูลย์ (2545)

ภาพที่ 2.13 เป็นอีกตัวอย่างหนึ่งของการใช้โครงข่ายวงแหวนร่วมกันของระบบเชื่อมโยง ใน Domain A และ Domain B แต่ในตัวอย่างนี้ รูปแบบการกระจายข้อมูลจะเป็นแบบ Double-Star (ข้อมูลจะวิ่งเข้าหา Switch A และ Switch B) ข้อมูลจะถูกกระจายมากกว่า ทำให้การใช้ BSHR เหมาะสมมากกว่าการใช้ระบบโครงข่ายวงแหวน แบบอื่น เพราะสามารถใช้ Band width สำรองร่วมกันได้



ภาพที่ 2.13 การใช้ Ring Splitting ใน Access Network
ที่มา: พงษ์ศักดิ์ สุสัมพันธไพบูลย์ (2545)

จะเห็นได้ว่าการเลือกใช้วิธีการ Protection แบบใดนั้นจะขึ้นอยู่กับรูปแบบการกระจายข้อมูลที่วิ่งอยู่ภายในเครือข่ายวิธีการใดที่ใช้ Capacity ของเครือข่ายได้มีประสิทธิภาพมากกว่า จะถูกนำมาใช้ นอกจากนี้ การจัด Configuration แบบ Sub-ring ดังภาพที่ 2.14 ยังช่วยให้เกิดความคล่องตัวในการขยายเครือข่ายได้ง่ายขึ้นอีก



ภาพที่ 2.14 ตัวอย่าง ADM Based Sub- Ring Configuration
ที่มา: พงษ์ศักดิ์ สุสัมพันธไพบูลย์ (2545)

ในการวางแผนและการจัดโครงสร้างของเครือข่ายจะต้องพยายามลดค่าใช้จ่ายในการลงทุนและดำเนินการ แต่คุณภาพของบริการและความคล่องตัวของเครือข่ายยังอยู่ในเกณฑ์ที่ดี การออกแบบเครือข่ายสื่อสารโทรคมนาคม ต้องพิจารณาถึงปัจจัยหลายอย่าง เช่น รูปแบบการกระจายของ Traffic ค่าใช้จ่ายในการลงทุนและการนำเทคโนโลยีใหม่เข้ามาใช้งานเพื่อให้เครือข่ายที่ได้สอดคล้องกับเงื่อนไขต่างๆอย่าเหมาะสม เช่น เงื่อนไขในเรื่องของค่าใช้จ่ายในการลงทุน ความน่าเชื่อถือและความคล่องตัวของเครือข่ายเมื่อกำลังวางแผนเครือข่ายเงื่อนไขเป้าหมายต่างๆ จะต้องถูกสมดุลให้สอดคล้องกับความต้องการการใช้งานของลูกค้าหรือธุรกิจ การหาจุดสมดุลจึงเป็นเรื่องสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการวางแผนเครือข่าย

2.2 เครื่องมือทางคุณภาพและทางสถิติที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินงานโครงการใดๆ นั้นจำเป็นต้องอาศัยการคิดอย่างมีระบบ (Systematic thinking) การตัดสินใจบนข้อมูลที่สามารถเชื่อถือได้ โดยข้อมูลที่เป็นตัวเลขจะถูกนำมาเปลี่ยนเป็นสารสนเทศ (Information) ที่มีประโยชน์ด้วยวิธีทางสถิติ ในการนำเสนอข้อมูลควรมีการจัดให้อยู่ในรูปของกราฟ ตารางแผนภูมิหรือแผนภาพต่างๆ เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจในลักษณะของข้อมูลเพื่อการตีความหมาย และการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการตัดสินใจ ทั้งนี้ในการเลือกเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลจำเป็นต้องระบุถึงจุดประสงค์ของการตัดสินใจก่อนเสมอ ซึ่งในการวิจัยนี้ได้นำเครื่องมือมาปรับปรุงและแก้ไขปัญหา ซึ่งสรุปได้ดังนี้

2.2.1 การวิเคราะห์แบบ Why-Why Analysis

วิเชียร เบญจวัฒนาผล และ สมชัย อัครทิวา (2545) ได้กล่าวถึงทฤษฎี Why-Why Analysis เป็นเครื่องมือวิเคราะห์หาสาเหตุ หรือปัจจัยที่เป็นต้นเหตุให้เกิดปัญหา หรือปรากฏการณ์อย่างเป็นระบบเพื่อแก้ไขปัญหา และป้องกันมิให้เกิดขึ้นอีกโดยมีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดหัวข้อปัญหาหรือปรากฏการณ์ให้ชัดเจน หากกำหนดหัวข้อปัญหาไม่เจนจะทำให้การวิเคราะห์มีขอบเขตที่กว้างและมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องมากเกินไป ทำให้ยากที่จะหาสาเหตุของปัญหาที่แท้จริงรวมถึงวิธีการแก้ไขที่ตามมาจะมีมากเกินไปที่จะนำไปปฏิบัติ ในการกำหนดหัวข้อจะต้องมีการตรวจสอบสถานที่จริง ดูสภาพปัญหาที่แท้จริงเก็บข้อมูลและแยกแยะปัญหาให้ชัดเจนโดยใช้แผนภาพพาเรโต (Pareto diagram) เข้ามาช่วย

2. ศึกษาโครงสร้างและหน้าที่ของส่วนที่มีปัญหา กรณีที่เป็นปัญหาเกี่ยวข้องกับเครื่องจักรให้ศึกษาและเขียนภาพสเกตซ์ของโครงสร้างกลไกการทำงานของเครื่องจักร แต่ถ้าเป็นปัญหาเกี่ยวข้องกับขั้นตอนการทำงานทั่วๆ ไปให้เขียนขั้นตอนหรือแผนผังการไหลของงาน (Flow Process Chart) และทำความเข้าใจหน้าที่ของแต่ละขั้นตอน หลังจากนั้นนำภาพสเกตซ์ของส่วนที่เกิดปัญหามาถ่ายทอดให้ทีมงานรับทราบเพื่อจะให้ทุกคนได้ใช้ความรู้และประสบการในการแสดงความคิด

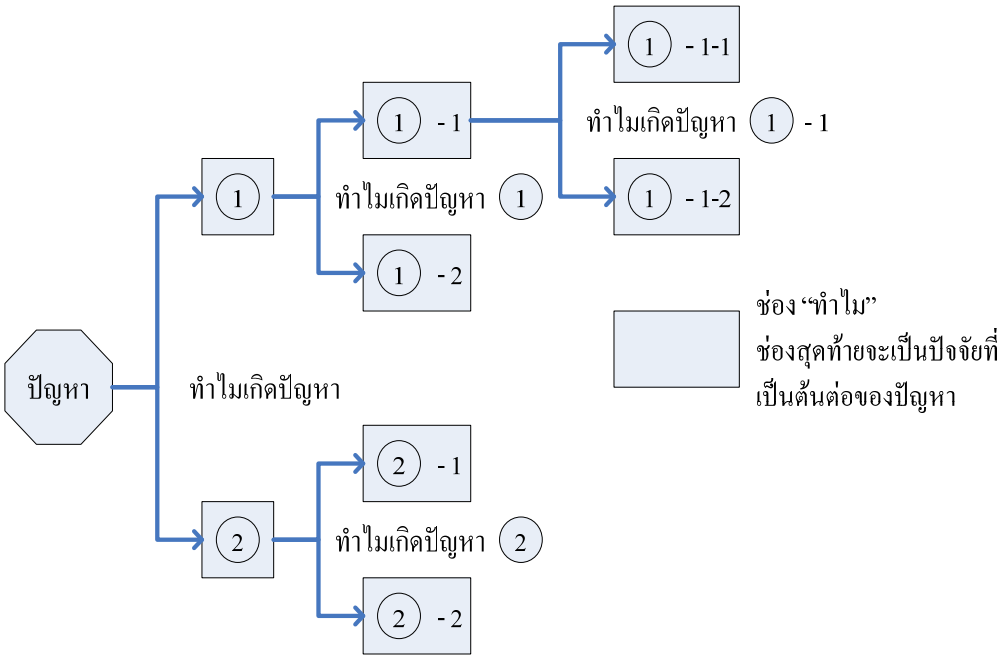
3. กำหนดหัวข้อสำรวจ ซึ่งจะเป็นการหาปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหาหรือปรากฏการณ์โดยมีแนวทางพิจารณาปัญหาจากสภาพปัญหาที่ควรจะเป็น หรือพิจารณาจากหลักเกณฑ์ทางทฤษฎีที่ก่อให้เกิดปรากฏการณ์

4. สำรวจและยืนยันผลหัวข้อสำรวจ ทีมงานจะต้องลงไปตรวจสอบที่เครื่องจักรหรือกระบวนการผลิตตามหัวข้อสำรวจที่กำหนดขึ้น เมื่อตรวจสอบแล้วไม่พบข้อบกพร่องให้ใส่คำว่า “OK” ส่วนหัวข้อใดที่พบข้อบกพร่องให้ใส่คำว่า “NG” (No Good)

5. หาสาเหตุของปัจจัยที่ทำให้เกิดปัญหาหรือปรากฏการณ์ โดยถาม “ทำไม” เฉพาะหัวข้อที่ใส่คำว่า “NG” เท่านั้นให้ถาม “ทำไม” ไปเรื่อยๆจนกว่าจะพบสาเหตุที่สามารถเชื่อมโยงไปสู่การแก้ไขป้องกันไม่ให้เกิดซ้ำ

6. ตรวจสอบความถูกต้องตามตรรกวิทยาโดยอ่านย้อนหลังจาก “ทำไม” ช่องสุดท้ายมายังปรากฏการณ์เพื่อตรวจสอบความเป็นเหตุเป็นผลซึ่งกันและกัน

7. กำหนดมาตรฐานการแก้ไขป้องกันการเกิดซ้ำหลังจากได้สาเหตุที่แท้จริงในช่อง “ทำไม” สุดท้ายของแต่ละสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาและปรากฏการณ์ ลักษณะของแผนภาพการวิเคราะห์แบบ Why-Why Analysis ดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 รูปแบบการวิเคราะห์แบบ Why-Why Analysis

ที่มา : วันรัตน์ จันทกิจ (2546)

2.2.2. แผนผังพาเรโต้ (Pareto Diagram)

คือแผนภูมิที่ใช้สำหรับตรวจสอบปัญหาต่างที่เกิดขึ้นในสถานที่ทำงานหรือโรงงาน ว่าปัญหาใดเป็นปัญหาที่สำคัญที่สุดและรอง ๆ ลงไปตามลำดับ โดยนำปัญหาหรือสาเหตุเหล่านั้นมาจัดหมวดหมู่หรือแบ่งแยกประเภทแล้วเรียงลำดับตามความสำคัญจากมากไปหาน้อย โดยการแสดงขนาดความสำคัญมากน้อยด้วยกราฟแท่งและแสดงค่าสะสมด้วยกราฟเส้น วัตถุประสงค์ประการที่หนึ่ง เพื่อแสดงให้เห็นถึงลำดับความสำคัญของปัญหาต่างๆ ว่ามีมากน้อยเพียงใดเพื่อการเลือกแก้ปัญหาก่อนหลัง ประการที่สอง เพื่อแสดงให้เห็นว่าแต่ละปัญหามีอัตราส่วนเท่าใด เมื่อเทียบกับทั้งหมด โดยมีวิธีการดังนี้

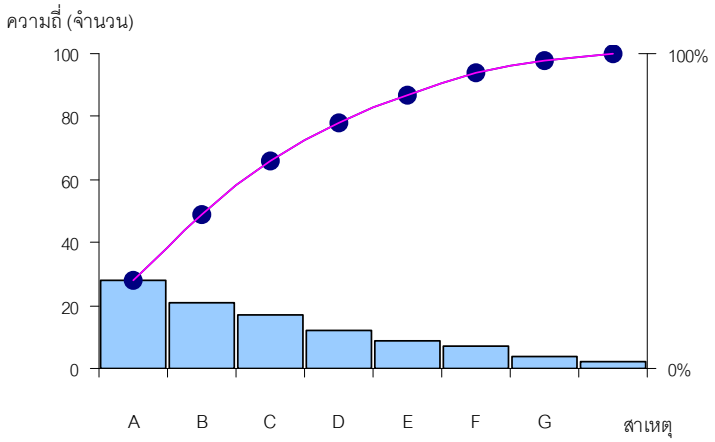
2.2.2.1 หาสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา โดยจัดหมวดหมู่ หรือแยกเป็นประเภทๆ

2.2.2.2 เก็บข้อมูลตามสาเหตุในข้อ 1 ตามระยะเวลาที่กำหนด

2.2.2.3 คำนวณข้อมูลในแต่ละสาเหตุที่ได้ในข้อ 2 ออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยเทียบกับข้อมูลทั้งหมด

2.2.2.4 เขียนกราฟแท่งโดยใช้แกนนอนแสดงสาเหตุ แกนตั้งเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยเขียนกราฟแท่งเรียงจากสาเหตุที่มีเปอร์เซ็นต์สูงก่อนแล้วลดหลั่นลงตามลำดับ

2.2.2.5 ลงมือแก้ปัญหาโดยพิจารณาแก้ที่สาเหตุสำคัญไม่กี่ประการ (Vital Few)



ภาพที่ 2.16 ผังพาเรโต้

ที่มา: วิฑูรย์ สิมะโชคดี (2541)

จากภาพที่ 2.16 แสดงผังพาเรโต้ ที่แสดงลำดับของกลุ่มสาเหตุที่ทำให้สินค้าชำรุดจากมากไปน้อย ของสายการผลิตแห่งหนึ่งทำการผลิตสินค้า 10,000 ชิ้นต่อวัน เมื่อตรวจสอบคุณภาพพบว่ามีสินค้าที่ชำรุด จากสาเหตุต่างๆ จำนวน 100 ชิ้น โดยสาเหตุเหล่านั้นจัดเป็นกลุ่มของสาเหตุได้ 8 กลุ่มคือ สาเหตุ A สาเหตุ B จนถึงสาเหตุ H เมื่อจำแนกชิ้นส่วนที่ชำรุดจำนวน 100 ชิ้น ตามกลุ่มสาเหตุต่าง ๆ แล้วจึงทำการคำนวณเปอร์เซ็นต์ของแต่ละกลุ่มสาเหตุเทียบกับข้อมูลทั้งหมด เช่น สินค้าชำรุดเนื่องจากกลุ่มสาเหตุ A จำนวน 28 ชิ้น จากสินค้าชำรุดทั้งหมด 100 ชิ้น ซึ่งคิดเป็น 28% ของสินค้าชำรุดทั้งหมด นำข้อมูลปริมาณการชำรุดในแต่ละกลุ่มสาเหตุและเปอร์เซ็นต์ที่เทียบกับข้อมูลทั้งหมดมาทำการเขียนกราฟแท่งโดยใช้แกนนอนแสดงสาเหตุ แกนตั้งเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยเขียนกราฟแท่งเรียงจากสาเหตุที่มีเปอร์เซ็นต์สูงก่อนแล้วลดหลั่นลงตามลำดับ ทำให้เห็นลำดับความสำคัญของปัญหาและสัดส่วนของแต่ละกลุ่มปัญหา

2.2.3 Pair T-test

เป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสองค่าว่าแตกต่างกันหรือไม่โดยค่าเฉลี่ยทั้งสองค่านี้วัดมาจากกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่สัมพันธ์กัน โดยอาจจะวัดมาจากกลุ่มตัวอย่างกลุ่มเดียวกัน 2 ครั้ง หรือวัดมากจากกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่ได้มาจากการจับคู่คุณลักษณะที่เท่าเทียมกัน มีวิธีการคำนวณหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ดังนี้

ลักษณะการตั้งสมมุติฐาน

$H_0 : \mu_{ก่อน} = \mu_{หลัง}$

$H_1 : \mu_{ก่อน} \neq \mu_{หลัง}$ หรือ

$H_0 : \mu_{ก่อน} = \mu_{หลัง}$

$H_1 : \mu_{ก่อน} > \mu_{หลัง}$ หรือ

$H_0 : \mu_{ก่อน} = \mu_{หลัง}$

$H_1 : \mu_{ก่อน} < \mu_{หลัง}$

สูตรคำนวณ

$$t = \frac{\bar{d}}{\frac{S_d}{\sqrt{n}}} \quad \text{โดยที่ } \bar{d} = \frac{\sum d}{n} \text{ และ } S_d = \sqrt{\frac{\sum (d - \bar{d})}{n-1}} \qquad \ldots (2.1)$$

$$df = n - 1$$

การพิจารณาหากค่าสถิติ t ที่คำนวณได้ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (Sig > α) นั่นคือยอมรับ H_0 แสดงว่าค่าเฉลี่ยก่อนและหลังไม่มีความแตกต่างกัน ถ้าค่า t ที่คำนวณได้มีนัยสำคัญทางสถิติ (Sig < α) นั่นคือปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 แสดงว่ามีค่าเฉลี่ยก่อนและหลังแตกต่างกัน (ก่อนมากกว่าหลัง หรือก่อนน้อยกว่าหลัง) แสดงขั้นตอนการทดสอบ T-test แบบกลุ่มตัวอย่างที่สัมพันธ์กันตามภาพที่ ก.1 ในภาคผนวก ก

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เฉลิมชัย พฤกษานุบาล (2552) ศึกษาการจัดสรรช่องสัญญาณพลวัตชนิดเรขาคณิตฟังก์ชันค่าใช้จ่ายที่ใช้กับโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบทีดีเอ็มเอด้วยการเพิ่มวิธีเพอร์ซิสเตนต์โพไลต์ แอ็กเกรสซีฟ เข้าไป เพื่อให้สถานีฐานสามารถใช้คลื่นพาหะได้มากขึ้นและเป็นผลให้มีความน่าจะเป็นของการติดขัดของการเรียกต่ำลง ภายใต้สภาวะทราฟฟิกที่มีการกระจายสม่ำเสมอและไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้ยังมีการปรับปรุงการทำแฮนด์โอเวอร์ภายในเซลล์ของวิธีจัดสรรช่องสัญญาณแบบเรขาคณิต-ฟังก์ชันค่าใช้จ่าย ให้มีค่าลดลงเช่นกัน วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้แบบจำลองระบบ 2 แบบ ได้แก่ แบบจำลองที่มีแบบรูปการใช้ความถี่ซ้ำ 7 เซลล์ จำนวน 49 เซลล์ และแบบจำลองที่มีแบบรูปการใช้ความถี่ซ้ำ 3 เซลล์ จำนวน 30 เซลล์ผลการจำลองแบบจำลองจากทั้ง 2 ระบบแสดงให้เห็นว่าในกรณีแบบจำลองจำนวน 49 เซลล์ วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตชนิดเรขาคณิต-ฟังก์ชันค่าใช้จ่ายโดยเพิ่มอัลกอริทึมแอ็กเกรสซีฟ (วิธีที่เสนอ) มีค่าความน่าจะเป็นของการติดขัด

วีรภัทร วารีสันติชัย (2552) การวิจัยพบว่าแนวทางการปรับปรุงกระบวนการประกอบเครื่องปรับอากาศ เพื่อจุดมุ่งหมายในการลดรอบเวลา ในการผลิตเพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้มากขึ้น โดยการศึกษาสายการประกอบเครื่องปรับอากาศแบบติดผนัง โดยนำแนวคิดของการจัดกลุ่มงานและการปรับปรุงงาน โดยนำผลของการปรับปรุงกระบวนการมาทำการจัดสมดุลสายการผลิต และนำซอฟแวร์การจำลองสถานการณ์มาใช้ประเมินผล ซึ่งพบว่าภายหลังจากการจัดสมดุลสายการประกอบจะสามารถลดรอบเวลา ในการประกอบลง จาก 50วินาที ลงเป็น 48.27 วินาทีและภายหลังจากการปรับปรุงงาน จะลดลงได้เหลือ 43.19 วินาที ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 3.6 และร้อยละ 14 ตามลำดับ ซึ่งการปรับปรุงการทำงานของสายการประกอบตัวอย่างนี้สามารถที่ จะนำแนวคิดของการปรับปรุงไปประยุกต์กับสายการประกอบอื่นได้

ต่อศักดิ์ หิรัญโญภาส (2551) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงการวางแผนและควบคุมการบำรุงรักษาเครื่องจักร ในโรงงานผลิตบล็อคคอนกรีตปูถนน ลักษณะการผลิตของโรงงานนี้เป็นการผลิตแบบต่อเนื่อง เมื่อเกิดการขัดข้องของเครื่องจักรทำให้เกิดการหยุดของเครื่องจักรเป็นเวลานาน สาเหตุการขัดข้องนี้เกิดจาก (1) ขาดการวิเคราะห์และปรับปรุงแผนงานบำรุงรักษาเครื่องจักร (2) ไม่ได้จัดลำดับความสำคัญของเครื่องจักรที่ทำการบำรุงรักษาให้สัมพันธ์กับทรัพยากรที่มีอยู่ (3) การควบคุมแผนงานให้ดำเนินการตามแผนงานยังไม่ดี ทำให้เกิดงานค้างและงานซ่อมที่ล่าช้า ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้ดำเนินงานปรับปรุงแผนงานและควบคุมการบำรุงรักษาสำหรับเครื่องจักร 11 เครื่อง เครื่องจักรเหล่านี้ก่อให้เกิดการหยุดคิดเป็น 80% ของเวลาที่ขัดข้องทั้งหมด ในการศึกษานี้ยังได้ทำการวิเคราะห์สาเหตุเชิงลึกเพื่อหาวิธีการแก้ไขที่ถูกต้องโดยการจัดทำโครงสร้างประวัติเครื่องจักร ทำการวิเคราะห์จัดลำดับความสำคัญของชิ้นส่วนเครื่องจักร ทำการวิเคราะห์เหตุขัดข้องและผลกระทบด้วยวิธี FMECA และทำการวิเคราะห์สาเหตุการเกิดความผิดพลาดด้วยแผนผังก้างปลาและแผนภูมิต้นไม้ แล้วนำไปเข้าสู่การปรับปรุงแผนงานบำรุงรักษาเชิง

วิทวัส กลิ่นทโชต (2551) การศึกษาพบว่าการเลือกที่จะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าใช้งานสำหรับกระบวนการผลิตก็เป็น ทางเลือกหนึ่งที่โรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีส่วนใหญ่เลือกใช้ เพื่อลดต้นทุนการผลิตรวมไปถึง การใช้ทรัพยากรและพลังงานอย่างคุ้มค่า งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิเคราะห์ปัญหา ที่เกี่ยวข้องกับความสูญเสียโอกาสในการผลิต อันเนื่องการหยุดผลิตจากระบบไฟฟ้าภายในโรงงาน เพื่อทำการปรับปรุงและลดจำนวนครั้งการเกิดการหยุดผลิตอย่างกระทันหันจากระบบไฟฟ้าสั่งตัดโหลด จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดความสูญเสียโอกาสการผลิตมาจากการ ขาดความรู้ความเข้าใจของพนักงานควบคุมกระบวนการผลิตและการปรับตั้งอุปกรณ์ป้องกัน และ ระบบควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีการปรับตั้งค่าไม่ถูกต้องเหมาะสม โดยวิธีการที่ใช้ดำเนินการ เพื่อลดการสูญเสียโอกาสการผลิตได้แก่ การใช้ Why-Why Analysis ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุ ของปัญหา และดำเนินการแก้ไขปัญหาที่ได้จากการวิเคราะห์โดยการใช้ความทางวิศวกรรมไฟฟ้า และการอบรมเพื่อพัฒนาบุคคลกรและมีการตั้งเป้าหมายระดับทักษะของพนักงานเพื่อให้มีการ พัฒนาความรู้เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานได้ตามเป้าหมายองค์กร ผลการปรับปรุงโดยเปรียบเทียบ ก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง พบว่าสามารถลดจำนวนครั้งการเกิดการหยุดผลิตจาก ระบบไฟฟ้า และสามารถที่ดำเนินการผลิตได้สูงกว่าเป้าหมายที่วางไว้

ชนะพล ธรรมายนต์ (2550) การวิจัยพบว่า ใยการปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์เราเตอร์ประกอบด้วย 10 ขั้นตอน ได้แก่ 1)การระบุกระบวนการที่ต้องการปรับปรุง 2)การจัดตั้งทีมงาน 3) การศึกษากระบวนการเดิม 4) การศึกษาความต้องการของลูกค้า 5) การทบทวนวิสัยทัศน์ และเป้าหมาย 6) การกำหนดดัชนีชี้วัดคุณภาพกระบวนการ 7) การวิเคราะห์ช่องว่าง 8) การออกแบบกระบวนการใหม่ 9) การออกแบบคู่มือกระบวนการ และ 10) การทดสอบความเหมาะสมของกระบวรการโดยคณะกรรมการ กระบวนการปฏิบัติงานตรวจสอบอุปกรณ์เราเตอร์ของแผนก Network Monitoring ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การเฝ้าระวังและรับแจ้งเหตุ

ชำนิ กิ่งแก้ว (2550) ศึกษาพบว่าโรงงานกรณีศึกษามีสัดส่วนการได้เนื้อไม้เท่ากับ 7.19 ลูกบาศก์ฟุตต่อตันวัตถุดิบและเปอร์เซ็นต์เนื้อไม้รวมของกระบวนการเท่ากับ 45.77 หลังทำการศึกษาข้อบกพร่องและปัญหาในด้านต่างๆของโรงงานสามารถสรุปมาตรฐานการทำงานในแต่ละกระบวนการได้ดังนี้ กระบวนการเลื่อยไม้ กำหนดมาตรฐานการเลื่อยปีกไม้และการซอยไม้ กระบวนการอัดน้ำยา กำหนดมาตรฐานการตรวจสอบคุณภาพก่อนเข้าถังน้ำยา กระบวนการอบแห้ง กำหนดมาตรฐานการตรวจสอบความหนาไม้แปรรูป มาตรฐานการวางไม้ หลังกรณีศึกษาได้ดำเนินการตามมาตรฐานที่กำหนดพบว่าสัดส่วนการได้เนื้อไม้เพิ่มขึ้นเป็น 8.03 ลูกบาศก์ฟุตต่อตัน เปอร์เซ็นต์ได้เนื้อไม้รวมของงกระบวนการเพิ่มขึ้นเป็น 61.42 โดยไม่ทำให้สัดส่วนต้นทุนเพิ่มขึ้น

วัชรินทร์ ลายเขียน (2550) ศึกษาพบว่าปัญหาในการถูกงดค่าเช่าเลขหมายเมื่อทำการแก้ไขเหตุขัดข้องที่ได้รับแจ้งไม่ทันเวลาที่กำหนดไว้โดยการพัฒนาโปรแกรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการของสถานีควบคุมโทรศัพท์พื้นฐานไร้สาย มีผลทำให้การแก้ไขเหตุขัดข้องที่เกิดขึ้นเป็นไปได้อย่างรวดเร็วลดเวลาเวลาการเดินทางเข้าตรวจสอบสถานีควบคุมสามารถทราบเหตุขัดข้องได้ล่วงหน้าก่อนการแจ้งจากผู้ใช้บริการ โดยได้ดำเนินการแก้ไขเหตุขัดข้องจากรายงานของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการโทรศัพท์ที่ให้บริการอยู่ จากผลการทดลองโปรแกรมกับ 3 สถานีฐานสามารถลดการแจ้งเหตุขัดข้องลงได้คิดเป็นร้อยละ 38.52 มีเลขหมายที่ถูกงดค่าเช่าลดลงจากเดิมคิดเป็นร้อยละ 69.81 และลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของยานพาหนะที่ใช้ในการปฏิบัติงานคิดเป็นร้อยละ 14.88 โดยผู้วิจัยคาดหวังว่าเมื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปใช้งานทั้งระบบที่ให้บริการ จะสามารถลดการแจ้งเหตุขัดข้องจากเดิม 13,286 เลขหมายเป็น 8,168 เลขหมาย มีจำนวนเลขหมายที่ถูกงดค่าเช่าลดลงจากเดิม 4,109 เลขหมายเป็น 1,240 เลขหมาย โดยลดการถูกงดค่าเช่าได้ 65,499.27 บาท การใช้

อนุชา คุณทะวงษ์ (2550) ศึกษาพบว่าการจัดการปรับปรุงระบบปรับอากาศเพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้าโดยการเปลี่ยนระบบปรับอากาศจากแบบหน่วยเดียวชนิดแยกส่วน เป็นแบบส่วนกลางชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water-Cooled Chiller) สำหรับอาคารเรียนของมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ โดยได้รวบรวมข้อมูลจำนวนชั่วโมงการใช้ห้องเรียนของแต่ละอาคารในปีการศึกษา 2548 ขนาดของเครื่องปรับอากาศระบบปัจจุบันและระบบใหม่ เพื่อเปรียบเทียบพลังงานรวมของเครื่องปรับอากาศในแต่ละอาคารโดยแบ่งเป็น 3 ภาคเรียน การเปรียบเทียบได้พิจารณาสถานการณ์ 2 รูปแบบ คือ กรณีที่ระบบปรับอากาศทำงานตามเวลาเรียนจริงและกรณีสมมติให้ระบบปรับอากาศทำงานทุกเครื่องและทุกวัน วันละ 9 ชั่วโมง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาประมาณราคาในการลงทุนและคำนวณระยะเวลาคืนทุนการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศทั้งสอง พบว่าสามารถประหยัดพลังงานได้ 1,071,912 kWh สำหรับกรณีที่ระบบปรับอากาศทำงานตามเวลาเรียนจริง และ2,510,094 kWh สำหรับกรณีสมมติให้ระบบปรับอากาศทำงานทุกเครื่องและทุกวัน การประมาณราคาต้นทุนประกอบด้วยค่าเครื่องจักรและวัสดุอุปกรณ์ เช่น เครื่องทำน้ำเย็น หอผึ่งน้ำระบายความร้อน เครื่องสูบน้ำ วาล์ว ท่อและข้อต่อ เป็นต้น นอกจากนี้มีค่าใช้จ่ายอื่นจากงานไฟฟ้า งานรื้อถอนงานสร้างห้องเครื่อง Chiller และงานทดสอบระบบ รวมเป็นเงินทั้งสิ้นประมาณ 37.2 ล้านบาท จากมูลค่าเงินลงทุนดังกล่าวได้ระยะเวลาคืนทุนในสถานการณ์ทั้ง 2 รูปแบบเท่ากับ 11.6 ปี และ 4.9 ปีตามลำดับ ผลการศึกษาที่ได้สามารถนำไปใช้ประกอบการตัดสินใจปรับปรุงระบบปรับอากาศของมหาวิทยาลัยต่อไป

จิราภรณ์ จันทร์สว่าง (2548) ศึกษาการลดเวลาตรวจสอบสายเคเบิลอินฟินิแบนด์ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าขั้นตอนการตรวจสอบแอตเทนนูเอชั่น (Attenuation) เป็นขั้นตอนที่ใช้เวลานานที่สุด จึงได้มุ่งเน้นทำการปรับปรุงวิธีการทำงานในขั้นตอนการวัดค่าแอตเทนนูเอชั่น การปรับปรุงวิธีการทำงาน โดยนำเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการทำงานที่เกี่ยวข้องกับการจดบันทึก และการคำนวณข้อมูล และใช้วิธีการศึกษางาน เพื่อจัดลำดับวิธีการทำงานให้ดีขึ้น เพื่อให้ทำงานได้สะดวกรวดเร็ว และลดความเมื่อยล้าในการเคลื่อนที่ขณะทำงาน การปรับปรุงดังกล่าวสามารถลดกิจกรรมการปฏิบัติงานในขั้นตอนการตรวจสอบแอตเทนนูเอชั่น (Attenuation) ได้ 28 กิจกรรม จาก 99 กิจกรรม เหลือเพียง 71 กิจกรรม หรือลดลงร้อยละ 28.3 และลดเวลาได้ 62.1 นาที/เส้น จาก 80 นาที/เส้น เป็น 17.9 นาที/เส้นหรือลดลงร้อยละ 77.7

ปวีนัฐ คงบุญ (2546)) ศึกษาการปรับปรุงงานในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้ง Cell Site ระบบ DTAC พบว่าการปรับปรุงงานในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้ง Cell Site อันได้แก่ งาน Rollout การวางแผนติดตั้งการติดตั้ง Cell Site ซึ่งถือว่าเป็นงานที่ใช้เงินลงทุนที่สูงและเป็นการลงทุนในระยะยาว บริษัทจึงควรที่จะกระทำอย่างรอบคอบและระมัดระวัง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลและข่าวสารในอดีตที่มีอยู่และเพียงพอ ประกอบกับความรู้ในเรื่องทางด้านเทคนิคการตัดสินใจ การบริหารโครงการ เครื่องมือทางสถิติในการพยากรณ์ค่า และการพัฒนา Software ขึ้นมาใช้ภายในองค์กร ตลอดจนเครื่องมือช่วยต่างๆ ที่อยู่ในรูปของ Software และ Hardware ที่นำมาผนวกการใช้งานร่วมกัน รวมถึงประสบการณ์และวิสัยทัศน์ของผู้บริหารและพนักงานในบริษัท ที่จะมีส่วนผลักดันให้การติดตั้ง Cell Site สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้สำเร็จ นอกจากนี้แนวโน้มการพัฒนาเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ในอนาคตของประเทศไทยไปสู่ Third Generation Mobile Phone (3G) เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการรับส่งข้อมูลเนื่องจาก 3G มีความสามารถในการสื่อสารแบบภาพและเสียงในเวลาเดียวกัน ซึ่งเป็นการสื่อสารข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นการพัฒนาเทคโนโลยีในด้านความเร็วในการรับส่งข้อมูลจึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมาก นอกจากนั้นการพัฒนาในส่วนของ Network Technology และรูปแบบธุรกิจก็ต้องมีการพัฒนาด้วยเพราะการให้บริการ 3G-จะมีการเกี่ยวเนื่องกับธุรกิจอื่นๆ การเสนอแนะนโยบาย และกลยุทธ์ เพื่อการปรับตัวในการดำเนินธุรกิจของบริษัทโทรศัพท์เคลื่อนที่ ภายใต้ สภาวะแวดล้อม เทคโนโลยีที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว และการแข่งขันสูงจึงมีความจำเป็นเช่นกัน โดยกรณีของประเทศไทยสามารถดูแนวโน้มเทคโนโลยีตามประเทศญี่ปุ่นซึ่งได้เข้าสู่ 3G อย่างเต็มตัวและเตรียมพัฒนาสู่ 4G เป็นลำดับถัดไป

G. Mohammad และคณะ (2009) พบว่าการใช้เทคโนโลยีแบบใหม่ของโครงข่ายไร้สายแบบตาข่าย สามารถแก้ปัญหาโครงข่ายแบบเดิมที่ใช้กันอยู่ เช่นปัญหาเรื่องความเร็วในการส่งข้อมูล ความจุของข้อมูล การเกิดคอขวดในเส้นทางที่อยู่ปลายทาง ตลอดจนประสิทธิภาพของการป้องกันการขัดข้องของโครงข่าย โดยใช้แสงในการรับส่งข้อมูล ผลการศึกษาพบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารและแก้ปัญหาเรื่องการขาดหายของสัญญาณที่เกิดจาก ฝนตก หมอกลงจัด หิมะตก เพิ่มระยะทางในการติดต่อสื่อสาร ตลอดจนสิ่งขัดขวางต่างๆ ลงได้

Jing และคณะ (2007) พบว่าในโครงข่ายแบบ WDM เป็นรูปแบบโครงข่ายที่จะตอบสนองความคุ้มค่าในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประสิทธิภาพอย่างเหมาะสม งานวิจัยนี้ได้เสนอให้การเชื่อมต่อเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของโครงข่ายแบบ WDM โดยมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการเชื่อมต่อโครงข่ายแบบต่างๆ ซึ่งจะกำหนดความต้องการในการเชื่อมต่อที่เหมาะสมกับระดับการป้องกันโครงข่ายที่อาจจะมีผลกระทบ โดยกำหนดความคาดหมายไว้ล่วงหน้าในระดับที่ 0.999 และ 0.997 ในรายงานนี้ได้เสนอโปรแกรมเชิงเส้น

A. Dominic (2005) พบว่าระบบโครงข่ายแบบ P-Cycle ซึ่งอาศัยหลักการเปลี่ยนโปโตคอลโดยมีวิวัฒนาการจากโครงข่ายแบบวงแหวนซึ่งจะเน้นถึงความล้มเหลวของโหนดในระบบวงแหวน โดยจะใช้โปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มซึ่งจะนำไปใช้กับเครือข่ายกรณีศึกษา จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มประสิทธิภาพของโปโตคอลจะทำให้ประสิทธิภาพของโครงข่ายมีความมั่นคง ซึ่งอาจจะมีต้นทุนการออกแบบที่สูงขึ้น

Mello และคณะ (2005) พบว่าระบบโครงข่ายแบบป้องกันเส้นทางร่วมกับเส้นทางสำรอง (SBPP) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเครือข่ายโดยใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดในสถานการณ์ที่ต้องการความยืดหยุ่นในเรื่องของการลงทุน บทความนี้จะนำเสนอกลยุทธ์ในการออกแบบโครงข่ายที่มีระบบป้องกันและระบบสำรองโดยการลดจำนวนรบบสำรองให้เหลือน้อยที่สุดแต่ก็ยังคงประสิทธิภาพการใช้งานอยู่ โดยมีระดับความสามารถของการใช้งาน 3 ระดับ ซึ่งผลการวิจัยพบว่าระบบโครงข่ายแบบ SBPP นี้เป็นทางเลือกหนึ่งในโครงข่ายที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก

จากการสำรวจและรวบรวมผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงปัญหาขัดข้องของสถานีเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ พบว่าแนวทางการปรับปรุงเพื่อแก้ไขข้อขัดข้องหรือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการหรือกระบวนการผลิต สามารถทำได้หลายวิธีซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 4 กลุ่มดังนี้

(1) การปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพโดยการปรับปรุงกระบวนการทำงาน

(2) การปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพโดยการมุ่งเน้นการบำรุงรักษาเครื่องจักร

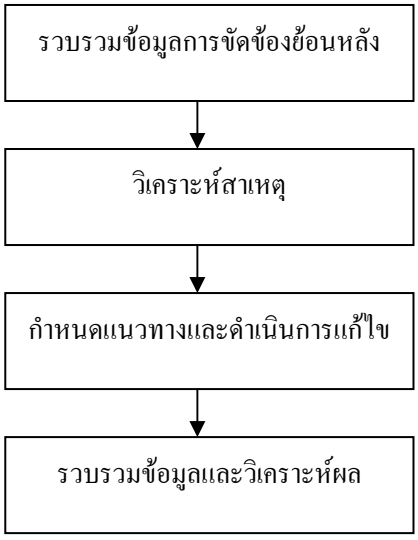
(3) การปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนระบบเดิมไปสู่ระบบใหม่ที่ดีกว่า

(4) การปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพโดยการพัฒนานำเอาเทคโนโลยีเข้ามาปรับปรุงการให้บริการหรือกระบวนการผลิต

สำหรับกรณีศึกษาครั้งนี้จะใช้แนวทางการปรับปรุงระบบ Transmission System โดยการปรับปรุงระบบเดิมที่มีอยู่และการสร้างระบบ Transmission System เพิ่มเติมเพื่อลดจำนวนการขัดข้องของสถานีเครือข่าย

บทที่ 3
วิธีการและผลการวิจัย

แนวทางในการลดจำนวนการขัดข้องของสถานีเครือผู้วิจัยได้ศึกษาสาเหตุปัญหาของการขัดข้องแต่ละสาเหตุอย่างละเอียดและรวบรวมข้อมูล เพื่อนำสาเหตุปัญหาและข้อมูลเหล่านั้นมาทำการวิเคราะห์หาเทคนิคและแนวทางในการปรับปรุงเพื่อลดจำนวนการขัดข้องของสถานีเครือข่ายให้เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนด โดยจะดำเนินการตามขั้นตอนดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

3.1 รวบรวมข้อมูลการขัดข้องย้อนหลัง

ในการทำงานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ GSM จะมีระบบฐานข้อมูลกลาง ซึ่งจะทำหน้าที่ในการเก็บรวบรวมข้อมูลการทำงานทั้งหมด เพื่อใช้ในการตรวจสอบข้อมูลย้อนหลัง ซึ่งจะใช้ในการวางแผนและปรับปรุงการทำงานของระบบ ข้อมูลการขัดข้องของสถานีเครือข่ายก็จะเป็นข้อมูลส่วนหนึ่งที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูลนี้ ซึ่งมีรายละเอียดดังตัวอย่างในตารางที่ 3.1

JOB_ DATE	JOB_ REF	ORDE R_TO	JOB_ TYPE	PROBLEM _PCN	MEDIA_PR OTECTION	TT_D OWN	JOB_DU RA_TIME	CAUSE_ DESCRP	SUBCAUS E_DESCRP	LASTED_REMARK

2007 0228	2007 0228 P105	UIH	Down	PNA-0003	None	94	575	Transmission (UIH)	Transmission (UIH)>UIH Equipment >UIH Equipment Fails	หลังจากNodeทับปุด Start up Complete ทำให้Tellabs Node ทับปุด_B ไม่สามารถRemote เข้าNodeได้ โดยมีAlarm Tellabs Software Fail 7-3-20 Card RI1EE Nodeทับปุด_A,B แก้ไขโดยการReset Card RI1E ที่Node Tellabs ทับปุด_A และ ทำการเปลี่ยนCard RI1E ที่ทับปุด_B ตรวจสอบSite
2007 0801	2007 0801 P117	Nim	Down	PKT-0070	None	78	533	External power system	Electric shutdown	สาเหตุเนื่องจากฝนตกทำให้เกิดไฟฟ้าลัดวงจรฟิวส์แรงสูงของการไฟฟ้าขาด แก้ไขโดยเจ้าหน้าที่การไฟฟ้า
2007 0619	2007 0619 P006	UIH	Down	TTRG0001	None	74	104	Air condition system	Control board fail	สาเหตุเนื่องจาก มีแมลงเข้าไปทำรังในกล่อง Control board ทำให้เกิดความชื้นกระแสไฟฟ้าลัดวงจร ทำให้แผงวงจรเสียหาย ระบบแอร์ไม่ทำงาน
2007 1107	2007 1107 P026	NIM	Down	TRG-0013	None	61	443	Internal power system	TXD Power supply fail	แก้ไขโดยการเปลี่ยน TXD Power supply ตัวใหม่ รับผิดชอบโดย k. วิชาญ 081-4760008
2007 0420	2007 0420 P220	NIM	Down	YLA-0035	None	60	544	BTS Equipment	OMU Card Hang	แก้ไขโดยการ Reset Card OMU รับผิดชอบโดยคุณสถาพร (ม),คุณอภิชาติ 08-1421-2357
2007 0903	2007 0903 P147	UIH	Down	NWT-0008	None	29	1202	Human error	Sub-contract	สาเหตุเนื่องจากทางSub เข้าดำเนินการติดตั้งNew Site ใหม่ที่Site NWT-008 แต่ถอดPort Test ผิด

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างรายละเอียดการขัดข้องของสถานีเครือข่ายที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูลกลาง

จากตารางที่ 3.1 จะเห็นว่าข้อมูลที่เก็บไว้จะแบ่งเป็นแถวๆ ซึ่งแต่ละแถวก็จะมีรายละเอียดต่างๆ เช่นวันที่เกิดเหตุ สถานที่เกิดเหตุ สาเหตุที่เกิด ใครรับผิดชอบ ดำเนินการแก้ไขอย่างไร ฯลฯ ในการรวบรวมข้อมูลก็จะใช้วิธีดึงข้อมูลเหล่านี้มาแล้วใช้โปรแกรม Excel และกราฟเป็นเครื่องมือในการสรุปข้อมูลให้สามารถอ่านได้สะดวกและเข้าใจได้ง่าย

ในการดำเนินการวิจัยผู้ดำเนินการวิจัยได้กำหนดขอบเขตการวิจัยที่ครอบคลุมในพื้นที่ 14 จังหวัดภาคใต้ ซึ่งมีสถานีเครือข่ายอยู่ 1,400 สถานี ซึ่งจากข้อมูลย้อนหลังในปี พ.ศ. 2550 ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม ซึ่งรวมทั้งหมด12 เดือนมีจำนวนสถานีเครือข่ายที่ขัดข้องจำนวน 21,191 ครั้งโดยแยกเป็นแต่ละเดือนดังตารางที่ 3.2

Site Down พ.ศ.2550

Cause	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total	%
Transmission System	580	654	651	687	784	689	780	717	678	765	690	738	8,413	39.7
External Power System	479	572	385	563	352	558	429	346	458	574	359	520	5,595	26.4
Equipment	290	362	410	329	307	317	394	325	287	371	403	274	4,069	19.2
Other	129	173	261	212	196	132	182	223	159	183	209	187	2,246	10.6
Internal Power System	72	59	84	97	68	58	84	49	61	82	91	63	868	4.1

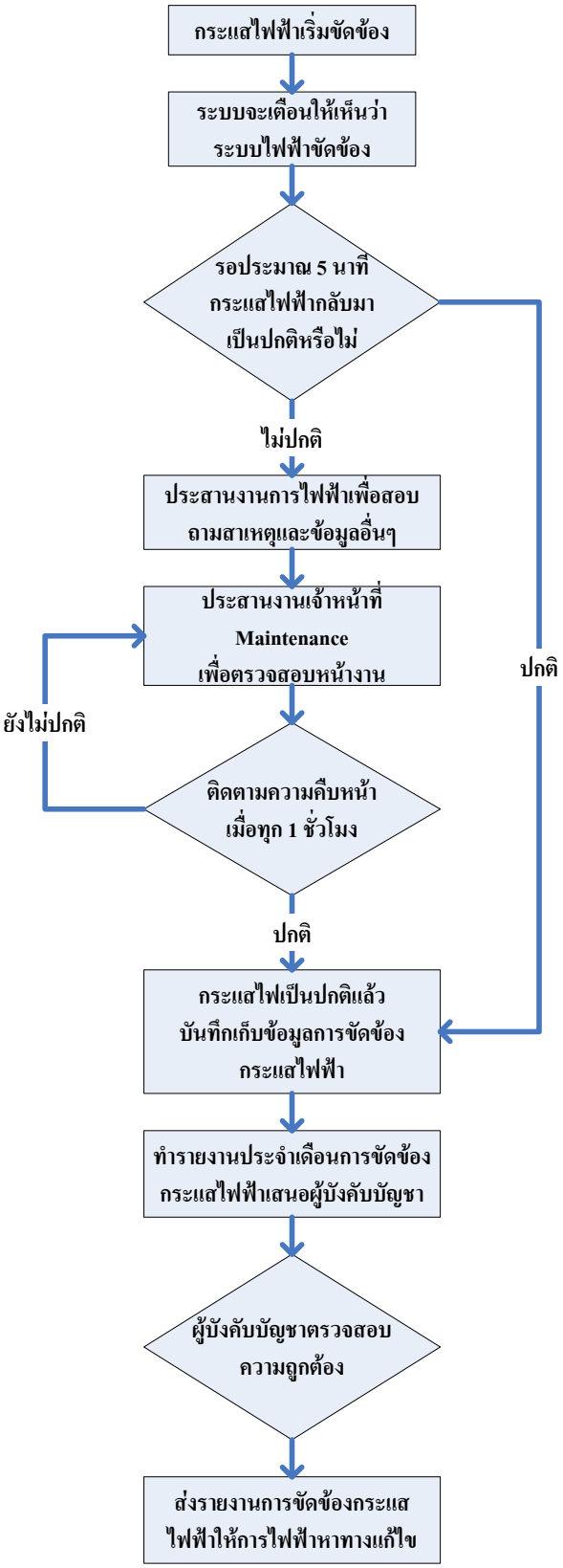
ตารางที่ 3.2 จำนวนการขัดข้องสถานีเครือข่ายในแต่ละเดือนปี พ.ศ.2550

จากตารางที่ 3.2 จะเห็นว่าจำนวนการขัดข้องสถานีเครือข่ายในแต่ละเดือนแตกต่างกันไปกระจายไปตามสาเหตุต่างๆ ดังนี้

(1) ระบบไฟฟ้าภายนอกสถานีเครือข่าย (External Power System) หมายถึงระบบจ่ายไฟของการไฟฟ้ามีปัญหา เช่น เกิดจากการปรับปรุงระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้า อุบัติเหตุรถชนเสาไฟฟ้า ฟิวส์ขาด หม้อแปลงไฟฟ้าระเบิด ต้นไม้ล้มทับสายไฟฟ้า ฯลฯ ซึ่งสาเหตุดังกล่าวนี้ทำให้การไฟฟ้าไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ โดยปกติระบบไฟสำรองของสถานีเครือข่ายจะใช้งานอยู่ได้ในระยะเวลาหนึ่งประมาณ 2-3 ชั่วโมง ซึ่งถ้าระบบไฟฟ้าจากการไฟฟ้าไม่สามารถจ่ายได้ภายในระยะเวลาดังกล่าวก็จะทำให้สถานีเครือข่ายไม่สามารถใช้งานได้ แต่อย่างไรก็ตามทางบริษัทมีมาตรการในการปฏิบัติในกรณีเกิดปัญหาระบบไฟฟ้าจากระบบภายนอกดังแสดงในภาพที่ 3.2

(2) ระบบไฟฟ้าภายในสถานีเครือข่าย (Internal Power System) ภายในสถานีเครือข่ายจะมีองค์ประกอบหลักอันหนึ่งคือระบบจ่ายไฟภายในสถานีแต่เนื่องจากการทำงานของอุปกรณ์ดังกล่าวนี้มีการทำงานตลอดเวลา ซึ่งเมื่อผ่านการใช้งานได้ระยะเวลาหนึ่งก็เกิดการทำงานผิดพลาดหรือเกิดการเสียหายขึ้น หรือมีความผิดปกติเกิดขึ้นในระบบก็จะมีการตัดการจ่ายไฟเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้น

(3) ระบบเชื่อมโยง (Transmission System) เนื่องจากการทำงานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งจะมีองค์ประกอบหลักคือชุมสายโทรศัพท์และสถานีเครือข่าย ซึ่งตัวชุมสายโทรศัพท์จะทำหน้าที่ติดต่อส่งข้อมูลกับสถานีเครือข่ายตลอดเวลาโดยผ่านระบบเชื่อมโยงซึ่งจะเป็นสายเคเบิลใยแก้ว (Fiber Optic) ซึ่งเมื่อใดก็ตามที่การติดต่อโดยผ่านช่องทางดังกล่าวถูกรบกวนหรือขาดการติดต่อจะทำให้สถานีเครือข่ายหยุดทำงาน ซึ่งในระบบที่เป็นเคเบิลใยแก้วนั้นสายเคเบิลใยแก้วจะผ่านไปตามเสาไฟฟ้าของการไฟฟ้า บ่อยครั้งที่เกิดอุบัติเหตุที่ทำให้สายเคเบิลใยแก้วขาดทำให้สถานีเครือข่ายใช้งานไม่ได้



ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนดำเนินการเมื่อเกิดการขัดข้องของไฟฟ้าภายนอก

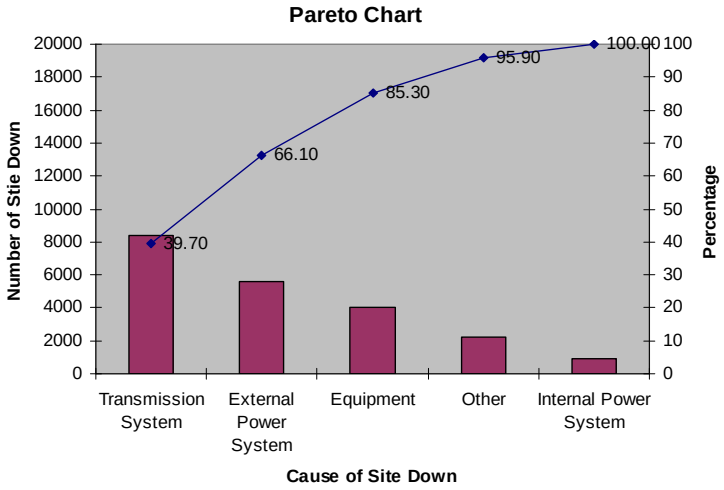
(4) อุปกรณ์ภายในสถานีเครือข่ายมีปัญหา (Equipment) ภายในสถานีเครือข่ายซึ่งจะมีองค์ประกอบหลักที่สำคัญ คืออุปกรณ์เครื่องรับส่งสัญญาณ โดยทั้งหมดนี้จะมีส่วนของระบบควบคุมในการทำงาน ซึ่งมีทั้งส่วนที่เป็นทั้ง Software และ Hardware ซึ่งเมื่อใช้งานไปได้ระยะเวลาหนึ่งระบบก็จะทำงานผิดพลาดหรือเกิดความเสียหายกับอุปกรณ์บางส่วน ซึ่งจะส่งผลให้สถานีเครือข่ายใช้งานไม่ได้

(5) อื่นๆ (Other Cause) เช่นเกิดจากโจรกรรม สถานีเครือข่ายถูกเผา เกิดจากน้ำท่วมสถานีเครือข่าย ความผิดพลาดของผู้ปฏิบัติงาน (Human Error) ระบบแอร์มีปัญหา ฯลฯ

ในจำนวนการขัดข้องของแต่ละสถานีอาจจะมีมากกว่าหนึ่งครั้งในแต่ละวันก็ได้ และในการขัดข้องแต่ละครั้งของแต่ละสถานีมีระยะเวลาในการขัดข้องแตกต่างกันไปด้วย ขึ้นอยู่กับว่าสามารถแก้ไขให้กลับมาใช้งานได้เมื่อใด ซึ่งในแต่ละสถานีบางครั้งจำนวนครั้งในการขัดข้องไม่ใช่จะบ่งบอกว่าสถานีนั้นมีเวลาสูญเสียมาก (Down Time) เวลาที่ขัดข้องจะแปรผันไปตามเวลาที่แก้ไขให้สถานีเครือข่ายกลับมาใช้งานได้ดังเดิม

3.2 วิเคราะห์สาเหตุ

จากตารางที่ 3.2 จะเห็นว่าจำนวนการขัดข้องของสถานีเครือข่ายในแต่ละเดือนมีจำนวนที่แตกต่างกันไปโดยสาเหตุที่ทำให้สถานีเครือข่ายขัดข้องมากที่สุดคือสาเหตุที่มาจาก Transmission System รองลงมาคือสาเหตุจาก External Power System ซึ่งจะนำมาวิเคราะห์โดยหลักการของพาเรโตดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 สาเหตุการขัดข้องทั้งหมด

จากภาพที่ 3.3 สาเหตุที่สำคัญที่ทำให้จำนวนการขัดข้องสถานีเครือข่ายมี 2 สาเหตุ คือสาเหตุจาก Transmission System และ External Power System แต่เนื่องจากระสาเหตุ External Power System เป็นสาเหตุที่เกิดจากการขัดข้องในเรื่องระบบการจ่ายกระแสไฟฟ้าของการไฟฟ้าซึ่งเป็นปัจจัยภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้ อย่างไรก็ตามบริษัทมีมาตรการตอบโต้ปัญหาดังกล่าวโดยมีกระบวนทำงานเมื่อเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าจากภายนอกขัดข้อง ซึ่งได้แสดงไว้แล้วในภาพที่ 3.2 ฉะนั้นจึงนำสาเหตุที่เกิดจากระบบ Transmission System มาวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางแก้ไข

จากสาเหตุการขัดข้องของสถานีเครือข่ายที่เกิดจากระบบ Transmission System ในปี พ.ศ. 2550 มีจำนวนทั้งสิ้น 8,413 ครั้ง แบ่งออกเป็นสาเหตุต่างๆ ดังตาราง 3.3

ตารางที่ 3.3 สัดส่วนของการขัดข้องที่เกิดจากระบบTransmission System ปี พ.ศ.2550

Transmission Site Down พ.ศ.2550			
สาเหตุการขัดข้อง	**จำนวนการขัดข้อง**	**ร้อยละ**	**ร้อยละสะสม**
Loop Protection Fail	4812	57.2	57.2
Transmission Equipment fail	2061	24.5	81.7
Maintenance	993	11.8	93.5
Auto Recovery	311	3.7	97.2
Other	236	2.8	100
รวม	8413	100	

จากตารางที่ 3.3 พบว่าจำนวนสถานีเครือข่ายขัดข้องที่เกิดจากระบบ Transmission System มาจากสาเหตุย่อยๆ 5 สาเหตุคือ

(1) Loop Protection Fail โดยปกติสถานีเครือข่ายจะถูกจัดวางไว้ตามที่ต่างๆในพื้นที่เป้าหมายที่ให้บริการลูกค้า ซึ่งสถานีต่างๆเหล่านี้จะเชื่อมต่อกับชุมสายโดยมีระบบ Transmission เป็นตัวเชื่อมโยงโดยมีสาย Fiber Optic ลากไปตามถนนเพื่อเชื่อมต่อสถานีเครือข่ายแต่ละสถานีเข้าด้วยกัน ซึ่งการเชื่อมต่อจะมีรูปแบบเป็นวงๆ (Loop) ซึ่งแต่ละวงจะมีจำนวนสถานีเครือข่ายมากบ้างน้อยบ้างตามความเหมาะสมของแต่พื้น ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นเมื่อสาย Fiber Optic เหล่านี้ขาดหรือมีความผิดปกติอย่างใดอย่างหนึ่งขึ้นมาก็จะส่งผลให้สถานีเครือข่ายที่อยู่ในวงนั้นใช้งานไม่ได้ ซึ่งถ้าวงไหมมีจำนวนสถานีเครือข่ายมากก็อาจจะทำให้จำนวนการขัดข้องสถานเครือข่ายในวงนั้นมีมากขึ้นตามจำนวนสถานีเครือข่ายที่อยู่ในวงนั้นๆ โดยปกติสาย Fiber Optic จะพาดผ่านไปตามเสาไฟฟ้าของการไฟฟ้าซึ่งจะอยู่ริมถนนจึงเป็นสาเหตุที่จะทำให้เกิดอุบัติเหตุที่ทำให้รถชนเสาไฟฟ้าแล้วทำให้สาย Fiber Optic ขาด การปรับปรุงระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าแล้วทำสาย Fiber

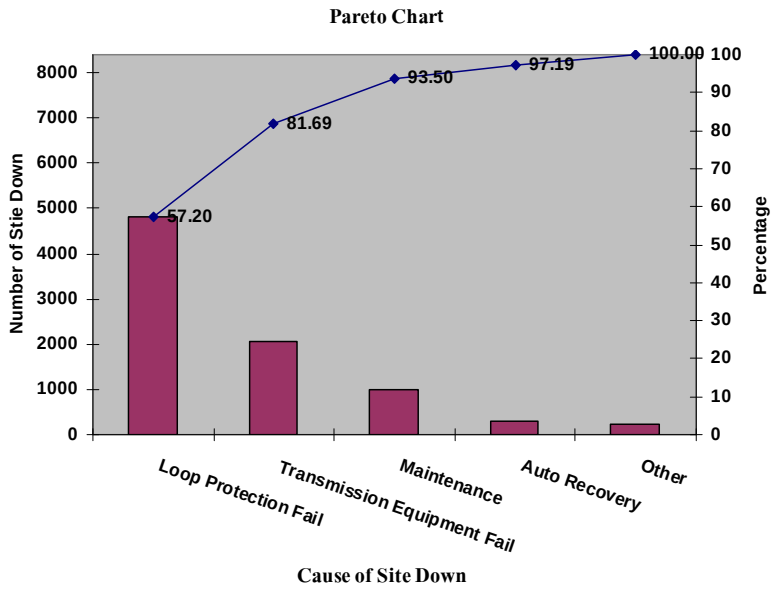
(2) Transmission Equipment Fail สาเหตุดังกล่าวนี้เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้งานอยู่ในระบบต้องทำงานตลอดเวลาเมื่อผ่านการใช้งานมาสักระยะหนึ่งก็จะเกิดการชำรุดเสียหายหรือเกิดความผิดปกติในส่วนของระบบควบคุมทั้งที่เป็นส่วนของ Hardware และ Software

(3) Maintenance การตรวจสอบและบำรุงรักษาโดยปกติระบบจะถูกตรวจสอบการทำงานอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้ระบบสามารถรองรับการใช้งานได้ 24 ชั่วโมง ซึ่งการตรวจสอบและบำรุงรักษาจะมี 2 แบบคือ Corrective Maintenance และ Preventive Maintenance ในกรณีการ Preventive Maintenance จะมีการทำงานในช่วงเวลาที่มีการใช้งานของลูกค้าน้อยที่สุดเพื่อจะไม่ให้ส่งผลกระทบกับการใช้งานซึ่งจะมีการทำงานกันในตอนกลางคืน

(4) Auto recovery โดยปกติเมื่อมีความผิดปกติเกิดขึ้นในระบบแล้ว ระบบสามารถกลับคืนได้เอง สาเหตุดังกล่าวนี้เกิดขึ้นเมื่อมี Error เกิดขึ้นในระบบ Transmission เมื่อถึงจุดๆหนึ่งระบบจะทำการ Reset ตัวเองในระเวลาสั้นๆ แล้วจะกลับมาสู่การทำงานปกติ

(5) Other เช่น ความผิดพลาดที่เกิดจากผู้ปฏิบัติงานเอง, การลงโปรแกรมที่ไม่ถูกต้อง น้ำท่วม การลอบวางเพลิง วงจรเชื่อมต่อเครือข่ายอื่นมีปัญหา ฯลฯ

จากสาเหตุต่างๆ ในตารางที่ 3.3 คือ Loop Protection Fail, Transmission Equipment Fail, Maintenance, Auto Recovery และ Other นำมาเขียนพาเรโตกราฟได้ดังภาพที่ 3.4

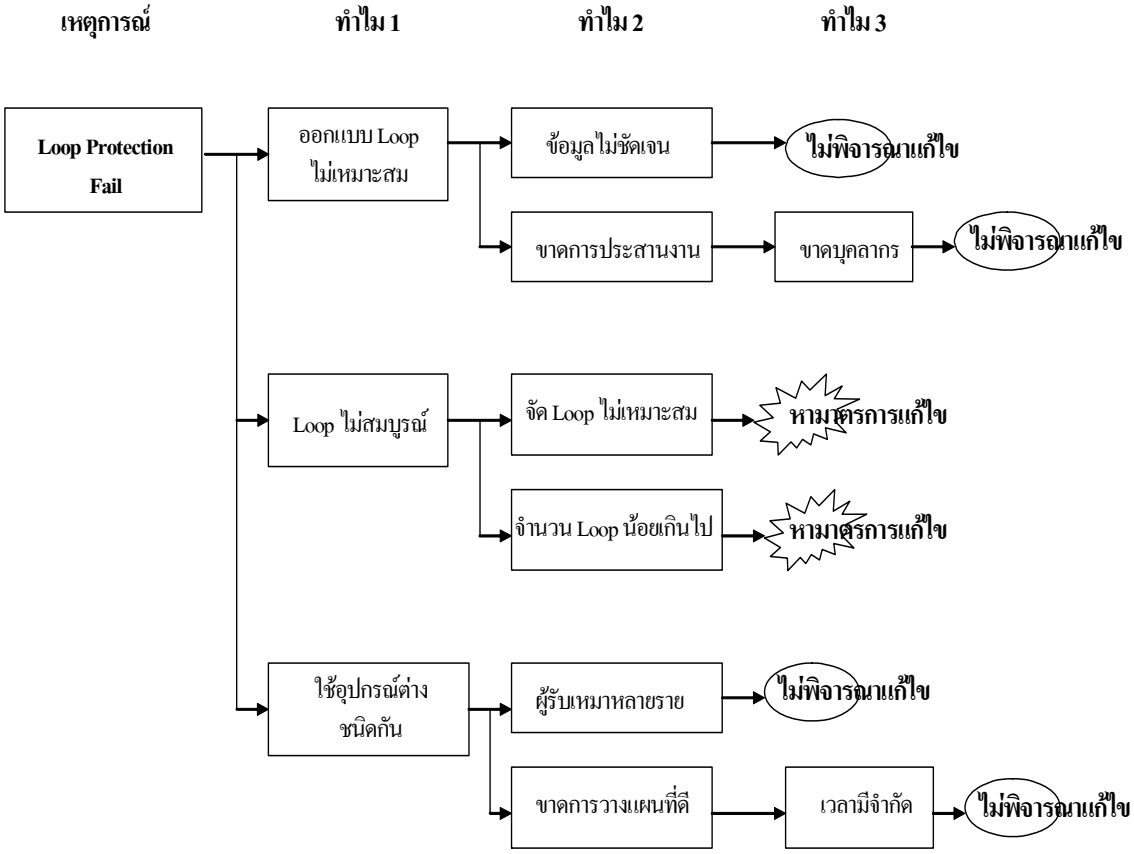


ภาพที่ 3.4 การวิเคราะห์แบบพาเรโต้กราฟจากสาเหตุ Transmission System

3.3 กำหนดแนวทางและดำเนินการแก้ไข

จากภาพที่ 3.4 จะเห็นได้ชัดเจนว่าปัญหาส่วนใหญ่ (ร้อยละ 81.69) ที่ทำให้เกิดสถานีเครือข่ายขัดข้องมาจาก 2 สาเหตุหลักคือ Loop Protection Fail กับ Transmission Equipment Fail ส่วนสาเหตุที่เหลืออีก 3 สาเหตุเป็นเพียงส่วนน้อย (ร้อยละ 18.31) ดังนั้น 2 สาเหตุที่จะนำมาพิจารณาแก้ไข คือสาเหตุที่เกิดจาก Loop Protection Fail และ Transmission Equipment Fail

จากสาเหตุหลักทั้ง 2 สาเหตุนำมาวิเคราะห์เพื่อหาวิธีการแก้ไขโดยการใช้หลักการวิเคราะห์แบบ Why-Why Analysis ดังภาพที่ 3.5 และ 3.6



ภาพที่ 3.5 การวิเคราะห์แบบ Why-Why Analysis จากสาเหตุ Loop Protection Fail

จากภาพที่ 3.5 การวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา Loop Protection Fail สามารถอธิบายเพิ่มเติม โดยสรุปผลสาเหตุปัญหาและแนวทางแก้ไขได้ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 สรุปผลสาเหตุปัญหาและแนวทางแก้ไข Loop Protection Fail

หัวข้อปัญหา	สาเหตุย่อย	ผลการวิเคราะห์	การแก้ไขและมาตรการป้องกัน
Loop Protection Fail	1. การออกแบบ Loop ไม่ เหมาะสม	1.1 ข้อมูลแผนที่ที่ใช้ในการออกแบบเส้นทางกับสภาพพื้นที่จริงไม่เหมือนกัน	ไม่ได้นำมาเป็นประเด็นปัญหา เนื่องจากข้อมูลแผนที่ได้มาจากหน่วยงานทหารซึ่งเป็นหน่วยงานภายนอก ไม่สามารถควบคุมได้
		1.2 เนื่องจากจะต้องรวบรวมข้อมูลจากหลายหน่วยงานจึงต้องมีการประสานเพื่อขอข้อมูลแต่ไม่มีเจ้าหน้าที่ที่จะคอยติดตามประสานงาน	ไม่ได้นำมาเป็นประเด็นปัญหา เนื่องจากเป็นนโยบายของบริษัทในการรับไม่รับคนเพิ่ม
	2. Loop ไม่สมบูรณ์	2.1 เกิดจากการจัด Loop ไม่เหมาะสมซึ่งจะต้องมีการจัด Loop ใหม่ให้เหมาะสมกับจำนวนสถานีเครือข่ายและลักษณะของพื้นที่	ได้นำเสนอแผนการแก้ไขตามตารางที่ 3.5
		2.2 เกิดจากจำนวน Loop ในเส้นทางนั้นมีน้อยเกินไป เนื่องจากมีจำนวนสถานีเครือข่ายเพิ่มขึ้นซึ่งหากเกิดอะไรขึ้นในเส้นทางนั้นจะมีผลกระทบมาก	ได้นำเสนอแผนการแก้ไขตามตารางที่ 3.6
	3. ใช้อุปกรณ์ต่างชนิดกัน	3.1 เกิดจากมีผู้รับเหมาหลายรายทำให้จึงทำให้แต่ละรายใช้อุปกรณ์ไม่เหมือนกัน	จัดทำคู่มือคู่มือมาตรฐานอุปกรณ์และมาตรฐานการติดตั้งเพื่อให้ปฏิบัติงานด้วยมาตรฐานเดียวกัน
		3.2 เกิดจากการวางแผนใช้อุปกรณ์ที่ไม่ต่อเนื่องบางช่วงเวลาใช้ยี่ห้อหนึ่งพอเวลาผ่านไปก็ใช้อีกยี่ห้อหนึ่ง	ไม่ได้นำมาเป็นประเด็นปัญหา เนื่องจากการคัดเลือกว่าจะใช้อุปกรณ์ยี่ห้อไหนเป็นนโยบายของบริษัท

การวิเคราะห์แบบ Why-Why Analysis จากสาเหตุ Loop Protection Fail ดังแสดงในภาพที่ 3.5 และสรุปผลสาเหตุปัญหาและแนวทางแก้ไขในตารางที่ 3.4 นั้นใช้หลักการตั้งคำถามทำไมกับสาเหตุที่เกิดขึ้นซ้ำๆกันหลายครั้ง จนทราบสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา ซึ่งจากการวิเคราะห์สาเหตุที่เกิดจาก Loop Protection Fail จะใช้หลักการวิเคราะห์โดยใช้คำถามทำไม 1 ว่าสาเหตุเกิดจากอะไรบ้าง ซึ่งก็จะได้คำตอบว่าเกิดจาก 3 สาเหตุคือ การออกแบบไม่เหมาะสม Loop ไม่สมบูรณ์ และใช้อุปกรณ์ต่างชนิดกัน ซึ่งเมื่อทราบสาเหตุจากการวิเคราะห์ทำไม 1 แล้วก็นำสาเหตุทั้ง 3 สาเหตุไปตั้งปัญหาเพื่อหาเพื่อหาสาเหตุต่อไปโดยการวิเคราะห์ ทำไม 2 ซึ่งจากการนำสาเหตุ Loop ไม่สมบูรณ์ ไปตั้งหัวข้อปัญหาเพื่อหาสาเหตุที่เกี่ยวข้องโดยตั้งคำถามว่าทำไม Loop ไม่สมบูรณ์ ก็จะพบว่ามี 2 สาเหตุคือ การจัด Loop ไม่เหมาะสมและจำนวน Loop น้อยเกินไป

จากการวิเคราะห์ Why-Why Analysis เป็นลำดับข้างต้นพบว่ามีสาเหตุที่แท้จริงและนำไปแก้ไขได้คือ การจัด Loop ไม่เหมาะสมกับจำนวน Loop น้อยเกินไปซึ่งจากปัญหาดังกล่าวนี้ได้นำมาจัดทำแผนการแก้ไขได้ดังแสดงในตารางที่ 3.5 และ 3.6 ดังนี้

ตารางที่ 3.5 แผนการแก้ไขปัญหาการจัด Loop ไม่เหมาะสม

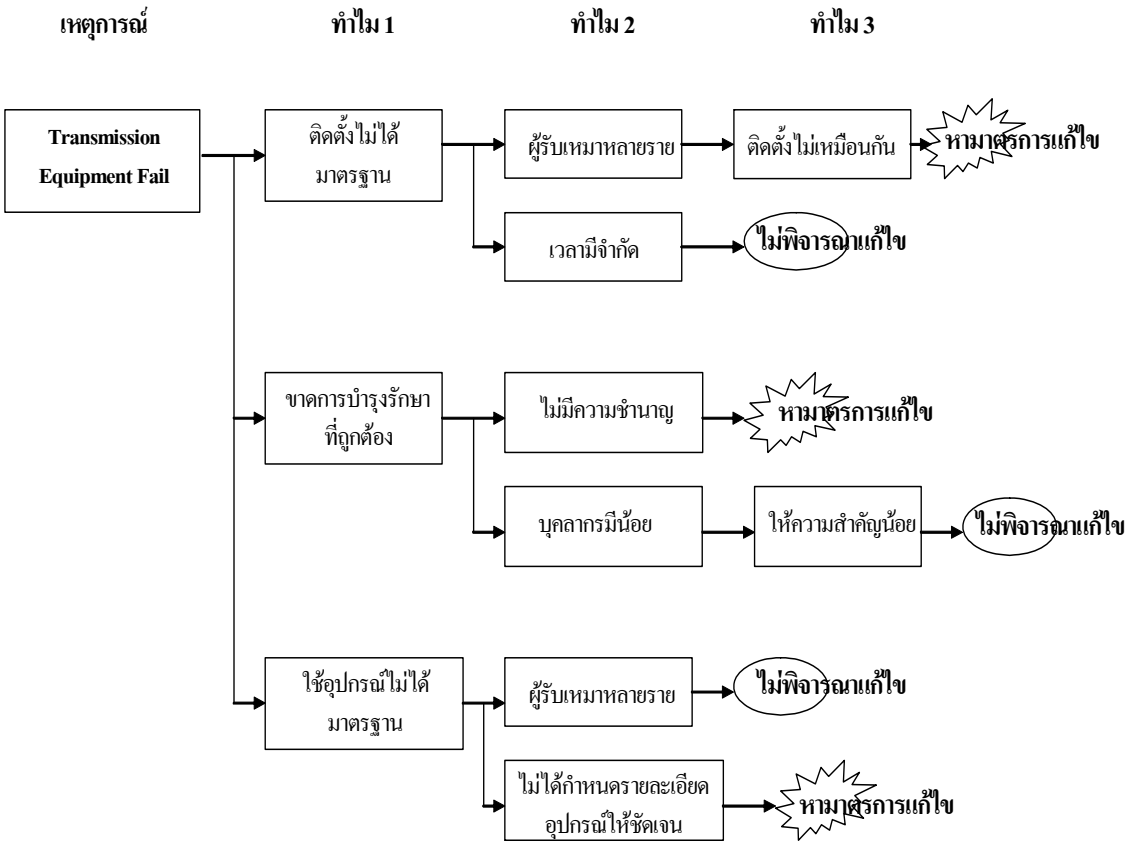
ลำดับที่	ชื่อ Loop	ปัญหาที่เกิด	วิธีการทำงาน	ผลลัพธ์ที่ได้
1	ราชภัฏ –ชุมสายสุราษฎร์	ปัญหาที่เกิดขึ้น Route UIH – ราชภัฏ มีปัญหา Protection Fail เนื่องจากสาย Optic ขาดบ่อยเนื่องจากรถชนเสาไฟฟ้าบริเวณเขาท่าเพชรและปัญหาระบบไฟฟ้าที่ site ราชภัฏ	จัด Network ให้เป็น Sub Ring โดยไม่ต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่ เนื่องจาก มีแล้วอุปกรณ์และ Optic แล้ว	ปิด Loop Protection ได้
2	ชุมพร2 –กระบี่	ปัญหาProtection Fail ที่เกิดขึ้นสาย Optic ขาดบ่อยทำให้ส่งผลกระทบต่อสถานีเครือข่ายเส้นทางชุมพร2 – กระบี่	จัด Network ให้เป็น Sub Ring โดย ทำการ Branch Core Optic ใหม่ 8 Core = 3 จุด Re-place AMS to เป็น 6325 = 5 ตัว และRe-place DF2-8 เป็น 6325=1 ตัว	ปิด Loop Protection Routeได้
3	กระบุรี - ระนอง	ปัญหาProtection Fail เกิดจากสาย Optic ในเส้นทางนี้ขาดบ่อยทำให้ส่งผลกระทบ กับสถานีเครือข่ายในเส้นทางนี้	จัด Network ให้เป็น Sub Ring โดย ทำการ Branch Core Optic ใหม่ 8 Core = 1 จุด Re-place AMS to เป็น 6325 = 6 ตัว และ Re-place DF2-8 เป็น6325=2ตัว	ปิด Loop Protection Route ได้
4	ท่าชนะ – ละแม - หลังสวน	Protection Fail เนื่องจากเกิดอุบัติเหตุรถชนเสาไฟฟ้าทำให้สาย Fiber Optic ขาดบ่อยครั้ง	จัด Network ให้เป็น Sub Ring โดยทำการ Branch Core Optic ใหม่ 8 Core = 5 จุด และ Re-place DF2-8 to เป็น 6325 = 1 ตัว	ปิด Loop Protection Route ได้
5	MSN12 – เวียงสระ	แก้ไขระบบ Protection ที่ไม่สมบูรณ์และป้องกันผลกระทบและป้องกันผลกระทบเมื่อสาย Optic ขาด	จัด Network ให้เป็น Sub Ring โดยทำการ Re-place DF2-8 เป็น AMS = 1 ตัว ส่วน Optic จัดสรร Core โดยไม่ต้องSpliceใหม่	ปิด Loop Protection Route ได้

ตารางที่ 3.6 แผนการแก้ไขปัญหาจำนวน Loop ในเส้นทางน้อยเกินไป

ลำดับที่	ชื่อ Loop	ปัญหาที่เกิด	วิธีการทำงาน	ผลลัพธ์ที่ได้
1	ปท.ละงู-ทท.สตูล	Protection Fail เนื่องจากสาย Fiber Optic ขาดบ่อยและอุปกรณ์ต่าง Product กันไม่สามารถ Monitor Equipment ได้	1.Wiring Jumper = 8 Sites 2.Resplice 12C = 4 จุด 3.Commissioning Node T6325= 6 Site & Cross = 8 Sites 4.Removed DF2-8 = 6 Hops	ปิด Loop Protection Routeได้
2	บ.นาวง-บ.ห้วยน้ำขาว	Protection Fail และ เป็นอุปกรณ์ต่าง Product กันไม่สามารถ Monitor Equipment ได้ เกิดอุบัติเหตุรถชนเสาไฟฟ้าทำให้สาย Fiber Optic ขาดบ่อย	1.Wiring Jumper = 6 Sites 2.Resplice 12C = 1 จุด 3.Commissioning Node T6325=6 4.Remove DF2/8=4 Hops.	ปิด Loop Protection Route ได้
3	MSC HYI -แยกเกาะยอ	Protection Fail และ เป็นอุปกรณ์ต่าง Product กันไม่สามารถ Monitor Equipment ได้การไฟฟ้าปรับปรุงเสาไฟฟ้าทำให้สาย Fiber Opticขาดบ่อย	1.Wiring Jumper = 5 Sites 2.Resplice 12C = 1 จุด 3.Commissioning Node T6325=3 4.Remove DF2-8=4 Hops.	ปิด Loop Protection Route ได้
4	ปท.งู-ปท.ทุ่งหว้า	Protection Fail และ เป็นอุปกรณ์ต่าง Product กันไม่สามารถ Monitor Equipment ได้ หาก Site ต้น Route Down จะมีผลต่อ Site Spur	1.Wiring Jumper = 5 Sites 2.Resplice 12C = 1 จุด 3.Commissioning Node T6325=3 Site & Cross connect = 5 Sites 4.Removed DF2-8 = 3 ตัว	ปิด Loop Protection Route ได้
5	รัตภูมิ-ควนกาหลง	Protection Fail และเป็นอุปกรณ์ต่าง Product กันไม่สามารถ Monitor Equipment ได้ สาย Fiber Optic ขาดบ่อย	1.Wiring Jumper = 7 Sites 2.Resplice 12C = 4 จุด 3.Commissioning Node T6325=3 Site & Cross = 7 Sites 4.Removed DF2-8 = 3 ตัว	ปิด Loop Protection Route ได้
6	MSC HYI-รัตภูมิ	ไม่มี Protection และ เป็นอุปกรณ์ต่าง Product กันไม่สามารถ Monitor Equipment ได้ เกิดอุบัติเหตุรถชนเสาไฟฟ้าทำให้สาย Fiber Optic ขาดบ่อย	1.Wiring Jumper = 10 Sites 2.Resplice 12C = 2 จุด 3.Commissioning Node T6325=4 Site&Cross =10 Sites 4.Removed AM =4 Site 5.Remove M/W Flexihopper 1 Hop	ปิด Loop Protection Route ได้
7	สะกอม-หนองจิก	ไม่มี Protection และ เป็นอุปกรณ์ต่าง Product กันไม่สามารถ Monitor Equipment ได้ รถชนเสาไฟฟ้า สาย Fiber Optic ขาดบ่อย	1.Wiring Jumper = 9 Sites 2.Resplice 12C = 2 จุด 3.Commissioning Node AMS=1 Site & Cross = 10 Sites 4.Removed DF2-8 = 1Hops	ปิด Loop Protection Route ได้

ตารางที่ 3.6 แผนการแก้ไขปัญหาจำนวน Loop ในเส้นทางน้อยเกินไป (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อ Loop	ปัญหาที่เกิด	วิธีการทำงาน	ผลลัพธ์ที่ได้
8	ปท.พังงา - โคกกลอย	Protection Fail ปัญหารถชนเสาไฟฟ้าหลายครั้ง และมีการปรับปรุงถนนในเส้นทางดังกล่าวซึ่งมีผลกระทบกับสาย Fiber Optic	1.Wiring Jumper = 4 Site 2.Resplice 12C = 1 จุด 3.Commissioning Node AMS & Cross connect = 9 Sites	ปิดLoop Protection Route ได้
9	ทับปุด – ปท.พังงา	Protection Fail เกิดปัญหารถบรรทุกดิน เกี่ยวสาย Fber Optic ขาดหลายครั้ง	1.Wiring Jumper = 4 Sites 2.Removed Node AMS = 1 ตัว 3.Commissioning Node AMS & Cross connect = 5 Sites	ปิด Loop Protection Route ได้
10	โคกกลอย - ถลาง2	Protection Fail เกิดปัญหาอุบัติเหตุรถชนเสาไฟฟ้าบ่อยครั้ง มีผลทำให้ site down	1.Wiring Jumper = 4 Sites 2.Removed Node AMS = 1 ตัว 3.Commissioning Node AMS & Cross connect = 12 Sites	ปิด Loop Protection Route ได้
11	UIH_PKT - ไทนาน	Protection Fail เกิดปัญจากหา Optic ขาดช่วงไทนาน - ปท.กะทู้ เกิดผลกระทบ Site Down	1.Wiring Jumper = 4 Sites 2.Removed Node AC1,AMS = 1 ตัว 3.Commissioning Node AMS& Cross Connect 7 Site 4.ลากสาย Fiber Optic เพิ่ม 13 KM.	ปิด Loop Protection Route ได้
12	บขส.ตะกั่วป่า - ทับละมุ และทับละมุ - ปท.พังงา	Protection Fail เนื่องจากสาย Optic ขาดระหว่าง site บขส.ตะกั่วป่ากับ site ตลาดตะกั่วป่า	1.Wiring Jumper = 4 Sites 2.Replace AMS to AC1 or 6325 = 1 ตัว 3.Resplice 12C = 4 จุด 4.Remove AMS = 1 ตัว 5.Commissioning Node AMS & Cross connect = 7 Sites 6.Remove OFC = 20Km.	ปิด Loop Protection Route ได้
13	ถลาง2 - UIH_PKT	แก้ไขปัญหา Protection Fail เกิดจาก Opticขาดบ่อย ช่วง Site อนุสาวรีย์ - Site ป่าคลอก ระยะทางกว่า 10 กม.และReplace AMS to AC1 Site บ้านม่านิก เพื่อ Monitor Site ตรงกลางได้	1.Wiring Jumper = 4 Sites 2.Removed Node AC1,AMS = 2 ตัว 3.Replace AMS to AC1or6325 =3 ตัว 4.Resplice 12C = 1 จุด 5.Commissioning Node AMS & Cross connect = 3 Sites 6.Cutover = 4 Site	ปิด Loop Protection Route ได้



ภาพที่ 3.6 การวิเคราะห์แบบ Why-Why Analysis จากสาเหตุ Transmission Equipment Fail

การวิเคราะห์ Why-why Analysis จากเหตุ Transmission Equipment Fail ดังภาพที่ 3.6 ใช้หลักการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ปัญหา Loop Protection Fail ทำให้พบสาเหตุ Transmission Equipment Fail จากสาเหตุหลัก 3 สาเหตุคือการติดตั้งไม่ได้มาตรฐานซึ่งเกิดจากมีผู้รับเหมาหลายและเวลาติดตั้งมีจำกัด สาเหตุหลักอันที่สองคือขาดการบำรุงรักษาที่ถูกต้องซึ่งมีสาเหตุมาจากไม่มีความชำนาญและขาดบุคลากรส่วนสาเหตุหลักอันสุดท้ายคือใช้อุปกรณ์ไม่ได้มาตรฐานซึ่งมีสาเหตุมาจากมีผู้รับเหมาหลายรายกับไม่ได้กำหนดรายละเอียดอุปกรณ์ให้ชัดเจน สามารถอธิบายเพิ่มเติมการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา Transmission Equipment Fail โดยสรุปผลสาเหตุปัญหาและแนวทางแก้ไขได้ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 สรุปผลสาเหตุปัญหาและแนวทางแก้ไข Transmission Equipment Fail

หัวข้อปัญหา	สาเหตุย่อย	ผลการวิเคราะห์	การแก้ไขและมาตรการป้องกัน
Transmission Equipment Fail	1. ติดตั้งไม่ได้มาตรฐาน	1.1 เกิดจากมีผู้รับเหมาหลายราย จึงทำให้การติดตั้งไม่เหมือนกัน	จัดทำคู่มือการติดตั้งตามเอกสารในภาคผนวก ข.
		1.2 เกิดจากมีเวลาจำกัดเนื่องจากจะต้องทำงานให้เสร็จตามตารางที่กำหนดเพราะจะมีผลกับงานที่คนอื่นจะมาทำต่อ	ไม่ได้นำมาเป็นประเด็นปัญหาเนื่องจากกรอบเวลาที่กำหนดจะมีผลกับการลงทุนในโครงการ
	2. ขาดการบำรุงรักษาที่ถูกต้อง	2.1 เกิดจากเจ้าหน้าที่ไม่มีความรู้ความสามารถ	จัดการฝึกอบรม ตามเอกสารในภาคผนวก ค.
		2.2 ขาดบุคลากร	ไม่ได้นำมาเป็นประเด็นปัญหาเนื่องจากเป็นนโยบายของบริษัทไม่เพิ่มจำนวนพนักงาน
	3. ใช้อุปกรณ์ที่ไม่ได้มาตรฐาน	3.1 เกิดจากมีผู้รับเหมาหลายรายจึงทำให้การใช้อุปกรณ์ที่ไม่เหมือนกัน	จัดทำคู่มือคู่มือมาตรฐานอุปกรณ์และมาตรฐานการติดตั้งเพื่อให้ปฏิบัติงานด้วยมาตรฐานเดียวกัน
		3.2 ไม่ได้กำหนดรายละเอียดอุปกรณ์ให้ชัดเจน	จัดทำมาตรฐานอุปกรณ์ตามเอกสารในภาคผนวก ง.

ในการจัดทำแผนแก้ไขจากสาเหตุที่แท้จริงนั้นจะพิจารณาแต่ละสาเหตุเพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมสำหรับปัญหาติดตั้งไม่เหมือนกันนั้นจะเกิดในกรณีที่มีการติดตั้งใหม่เท่านั้นไม่ได้เกิดซ้ำ ดังนั้นปัญหานี้จะแก้โดยจัดทำเป็นข้อกำหนดระบุไว้ในกรณีการติดตั้งใหม่

สำหรับปัญหาขาดการบำรุงรักษาที่ถูกต้องจากการตรวจสอบปัญหาที่แท้จริงนั้นพบว่าขาดความรู้ความความชำนาญดังนั้นในการแก้ไขปัญหาจึงได้กำหนดให้มีการอบรมและจัดทำคู่มือในการตรวจสอบและบำรุงรักษาพร้อมทั้งมีข้อกำหนดในการติดตั้งใหม่ครั้งต่อไป ทางบริษัทที่เป็นคนขายอุปกรณ์จะต้องจัดทำคู่มือการบำรุงรักษาและจัดอบรมเจ้าหน้าที่

ปัญหาใช้อุปกรณ์ไม่ได้มาตรฐานซึ่งมีสาเหตุมาจากไม่ได้กำหนดรายละเอียดของอุปกรณ์ที่จะใช้ในการติดตั้งให้ชัดเจน แนวทางแก้ปัญหาคือจัดทำคู่มืออุปกรณ์ที่จะใช้ในการติดตั้งจากแนวทางที่ดังกล่าวจึงได้จัดทำแผนแก้ไขดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 แผนการแก้ไขปัญหา Transmission Equipment Fail

ลำดับที่	รายการ	การแก้ไข	กำหนดเสร็จ
1	ติดตั้งไม่เหมือนกัน	จัดทำมาตรฐานการติดตั้งอุปกรณ์ (แสดงไว้ในภาคผนวก ข.)	20-มี.ค-2551
2	เจ้าหน้าที่ไม่มีความชำนาญ	จัดการฝึกอบรมและทำคู่มือการบำรุงรักษา (แสดงไว้ในภาคผนวก ค.)	20-มี.ค-2551
3	ไม่ได้กำหนดรายละเอียดอุปกรณ์ให้ชัดเจน	จัดทำคู่มืออุปกรณ์ที่จะใช้ในการติดตั้ง (แสดงไว้ในภาคผนวก ง.)	20-มี.ค-2551

3.4 รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผล

ในการดำเนินการตามตารางที่ 3.5, 3.6 และ 3.8 ได้กำหนดกรอบเวลาในการทำงานทั้งหมด 2 เดือน โดยเริ่มดำเนินการในเดือนมีนาคมและสิ้นสุดในเดือนเมษายน ดังนั้นข้อมูลการขัดข้องของสถานีเครือข่ายหลังจากเดือนเมษายน ปี พ.ศ.2551 ถือว่าเป็นข้อมูลที่เป็นผลจากการดำเนินการตามตาราง 3.5, 3.6 และ 3.8 ซึ่งในการเก็บข้อมูลจะเก็บทั้ง 12 เดือนของปี พ.ศ.2551 ดังตารางที่ 3.9 ซึ่งจะนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลในปี พ.ศ.2550 ดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.9 จำนวนการขัดข้องสถานีเครือข่ายที่เกิดจากระบบ Transmission Systemปี พ.ศ.2551

Transmission Site Down พ.ศ.2551													
Cause	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	July.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
Loop Protection Fail	297	352	317	338	221	232	197	204	238	276	213	253	3,138
Transmission Equipment fail	137	125	149	172	107	93	67	102	85	117	92	98	1,344
Maintenance	63	71	94	107	47	33	27	51	47	35	32	40	647
Auto Recovery	26	23	27	32	16	11	13	8	13	11	9	14	203
Other	10	21	15	19	7	9	5	1	7	52	5	2	153
รวม	533	592	602	668	398	378	309	366	390	491	351	407	5,485

ตารางที่ 3.10 จำนวนการขัดข้องสถานีเครือข่ายที่เกิดจากระบบ Transmission ปี พ.ศ.2550

Transmission Site Down พ.ศ.2550													
Cause	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	July.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
Loop Protection Fail	321	384	337	328	439	477	473	424	380	477	371	401	4,812
Transmission Equipment fail	152	147	127	174	211	169	153	172	199	204	180	173	2061
Maintenance	67	79	67	99	79	59	117	77	64	83	98	104	993
Auto Recovery	27	22	31	19	34	21	28	30	27	17	24	31	311
Other	13	22	19	17	21	18	9	14	23	34	17	29	236
รวม	580	654	581	617	784	729	780	717	708	835	690	738	8,413

จากจำนวนการขัดข้องสถานีเครือข่ายในแต่ละเดือนของปี พ.ศ.2551 และ 2550 ตามตารางที่ 3.9 และ 3.10 นำวิเคราะห์เพื่อหาความเชื่อมั่นของข้อมูลก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงโดยข้อมูลที่จะวิเคราะห์จะเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคม ถึงเดือนธันวาคม ด้วยการทดสอบแบบ T-test

ตารางที่ 3.11 จำนวนความแตกต่างในแต่เดือนของการขัดข้องสถานีเครือข่าย

	พ.ค.	**มิ.ย.**	**ก.ค.**	**ส.ค.**	**ก.ย.**	**ต.ค.**	**พ.ย.**	**ธ.ค.**	**รวม**
ปี 2550	784	729	780	717	708	835	690	738	**5,981**
ปี 2551	398	378	309	366	390	491	351	407	**3,090**

จากตารางที่ 3.11 นำค่าที่ได้มาทดสอบทดสอบความเชื่อมั่นโดยการทดสอบแบบ Paired T-test ตามลำดับขั้นตอนต่อไปนี้

(1) ตั้งสมมุติฐาน $H_0 : \mu_{ก่อน} = \mu_{หลัง}$

$H_1 : \mu_{ก่อน} > \mu_{หลัง}$

โดยที่ $\mu_{ก่อน}$ คือค่าเฉลี่ยของจำนวนการขัดข้องสถานีเครือข่ายก่อนปรับปรุง

$\mu_{หลัง}$ คือ ค่าเฉลี่ยของจำนวนการขัดข้องสถานีเครือข่ายหลังปรับปรุง

(2) สถิติที่ใช้ในการทดสอบคือ Paired T-test โดยใช้โปรแกรม SPSS ในการประมวลผลข้อมูล โดยการป้อนข้อมูลตามตารางที่ 3.11 จะได้ผลการทดสอบ Paired T-test ออกมาดังภาพที่ 3.7

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Transamission site down YR2008	747.6250	8	48.21659	17.04714
	Transamission site down YR2009	386.2500	8	52.43159	18.53737

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	Transamission site down YR2008 & Transamission site down YR2009	8	.539	.168

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference Lower	Upper			
Pair 1	Transamission site down YR2008 - Transamission site down YR2009	361.3750	48.47072	17.13699	320.8525	401.8975	21.087	7	.000

ภาพที่ 3.7 ผลการทดสอบ Paired T-test โดยใช้โปรแกรม SPSS

(3) ทดสอบสมมุติฐาน

ผลการทดสอบสมมติฐานด้วย t-test จะเห็นว่า ค่า t คือ 21.087,df=7 และ sig = 0(2-tailed) แต่เราต้องการทดสอบทางเดียว ดังนั้นค่า sig = 0/2=0 (1-tailed) ซึ่งน้อยกว่า 0.05 ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมุติฐาน H_0 ยอมรับสมมุติฐาน H_1 นั่นคือ $H_1 : \mu_{ก่อน} > \mu_{หลัง}$ ซึ่งหมายความว่าจำนวนการขัดข้องของสถานีเครือข่ายหลังการปรับปรุงมีจำนวนลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

(4) สรุปผลการวิเคราะห์

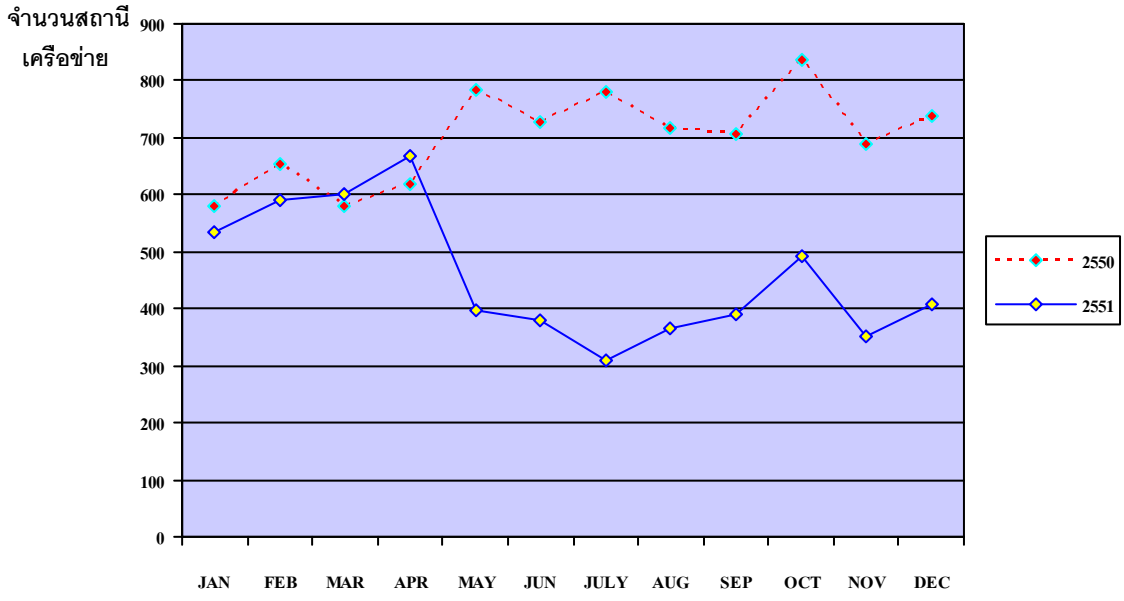
ตารางที่ 3.12 สรุปผล T-test

การปรับปรุง	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่า t	Sig.
ก่อน	8	747.625	48.21659	21.087	0.00
หลัง	8	386.250	52.43159		

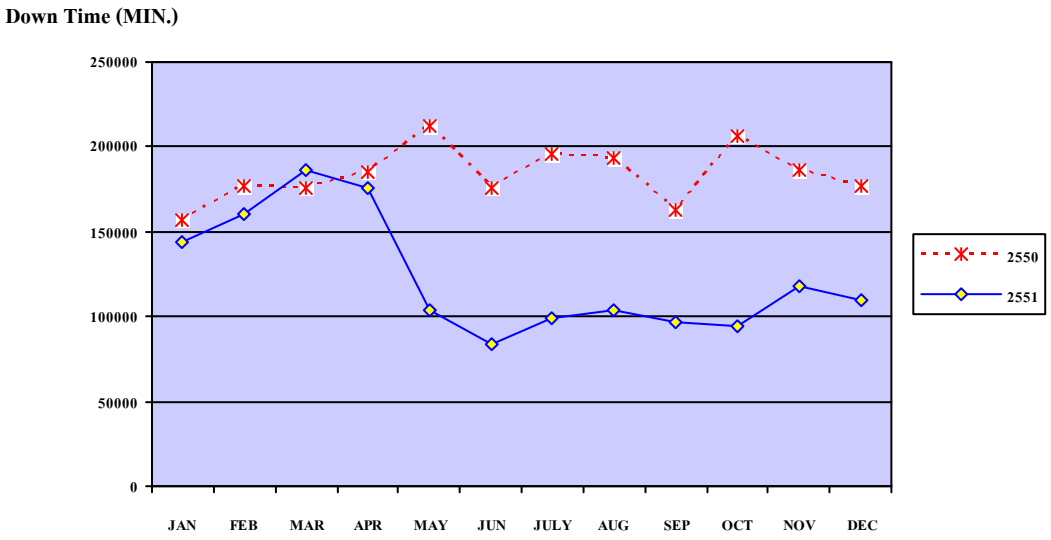
จากการทดสอบ พบว่าจำนวนการขัดข้องของสถานีเครือข่ายหลังการปรับปรุงระบบ Transmission ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

บทที่ 4
อภิปรายผลการปรับปรุง

จากข้อมูลจำนวนการขัดข้องสถานีเครือข่ายเนื่องจากสาเหตุ Transmission System ในตารางที่ 3.10 ปี พ.ศ.2550 และตารางที่ 3.9 ปี พ.ศ.2551 โดยข้อมูลจำนวนการขัดข้องสถานีเครือข่ายในปี พ.ศ.2551 ข้อมูลในเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายนจะเป็นข้อมูลที่อยู่ระหว่างการปรับปรุงระบบ Transmission System ส่วนข้อมูลตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนธันวาคมจะเป็นข้อมูลหลังจากการปรับปรุงซึ่งจะนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลก่อนการปรับปรุงในปี พ.ศ.2550 ซึ่งในกรอบของการวิจัยได้กำหนดการเปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุงโดยเทียบจากเดือนเดียวกันของปีที่ผ่านมา ดังนั้นข้อมูลที่จะนำมาพิจารณาคือข้อมูลในเดือนพฤษภาคมถึงเดือนธันวาคมคมของปี พ.ศ.2550 และ เดือนพฤษภาคมถึงเดือนธันวาคมของปี พ.ศ.2551 ซึ่งจะเห็นว่าจำนวนการขัดข้องของสถานีเครือข่ายลดลง ดังภาพที่ 4.1 และภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.1 การลดลงของจำนวนการขัดข้องสถานีเครือข่ายจากสาเหตุ Transmission System



ภาพที่ 4.2 การลดลงของเวลาที่ขัดข้องจากสาเหตุ Transmission System

จากการเปรียบเทียบข้อมูลปี พ.ศ.2550 กับ พ.ศ.2551 ภาพที่ 4.1 และ 4.2 ในเดือนมกราคมกับเดือนกุมภาพันธ์จำนวนการขัดข้องของสถานีเครือข่ายและเวลาที่ขัดข้องมีความแตกต่างกันไม่มากนัก ส่วนเดือนมีนาคมกับเดือนเมษายนจะเริ่มมีความแตกต่างกันเพิ่มมากขึ้น จะเห็นว่าปี พ.ศ.2551มีค่ามากกว่าปี พ.ศ.2550 เพราะ 2 เดือนนี้เป็นช่วงเวลาในการดำเนินการปรับปรุงระบบ Transmission System ซึ่งในการดำเนินการดังกล่าวนี้จะมีผลทำให้สถานีเครือข่ายเกิดการขัดข้อง แต่ในการทำงานจริงจะทำในเวลาที่มีการใช้งานน้อยที่สุดเช่นในเวลาหลังเที่ยงคืน

ส่วนเดือนพฤษภาคมถึงเดือนธันวาคม ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ได้มีการปรับปรุงระบบ Transmission System เสร็จเรียบร้อยแล้วโดยข้อมูลจำนวนการขัดข้องของสถานีเครือข่ายและเวลาที่ขัดข้องจากระบบ Transmission System จะลดลงดังตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยจำนวนการขัดข้องก่อนและหลังดำเนินการ

	May.	**Jun.**	**July.**	**Aug.**	**Sep.**	**Oct.**	**Nov.**	**Dec.**	**เฉลี่ย**
2550	784	729	780	717	708	835	690	738	748
2551	398	378	309	366	390	491	351	407	386
%ลดลง	49.23	47.32	60.38	48.95	45.76	41.20	49.13	44.85	
%เฉลี่ย	**48.35**								

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยเวลาที่ขัดข้องก่อนและหลังดำเนินการ

	May.	Jun.	July.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	เฉลี่ย
2550	211,680	175,936	195,422	193,590	162,962	206,550	186,300	177,432	188,734
2551	103,680	83,430	98,820	103,680	96,317	94,770	117,496	109,890	101,010
%ลดลง	51.02	52.58	49.43	46.44	40.9	54.12	36.93	38.07	
%เฉลี่ย	**46.19**								

ในการดำเนินการวิจัยได้กำหนดขอบเขตวัตถุประสงค์ ในการลดจำนวนการขัดข้องสถานีเครือข่ายให้ได้ 10% โดยการเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุงระบบ Transmission System ของปี พ.ศ.2550 กับปี พ.ศ.2551 ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งเฉลี่ยทั้ง 8 เดือนลดลงจาก 748 ครั้ง เหลือ 386 ครั้ง คิดเป็น 48.35% ซึ่งลดลงมากกว่าเป้าหมายที่ได้แสดงไว้ในวัตถุประสงค์ของการวิจัยในบทที่ 1 ที่ต้องการลดลงมา 10%

และสำหรับเวลาที่ขัดข้องดังแสดงในตารางที่ 4.2 เป็นเวลา 8 เดือน โดยเฉลี่ยลดลงจาก 188,734 นาที เหลือ 101,010 นาที คิดเป็น 46.19% ในขณะเดียวกันจำนวนสถานีเครือข่ายขัดข้องที่ลดลงทำให้ลูกค้ามีความพึงพอใจการใช้บริการมากขึ้นส่งผลทำให้ภาพลักษณ์ของบริษัทดีขึ้นด้วย

จากการวิจัยการปรับปรุงระบบ Transmission System เพื่อลดจำนวนการขัดข้องสถานีเครือข่ายซึ่งเมื่อใช้หลักการ Why-Why Analysis จนทำให้พบปัญหาหลายปัญหา แต่ได้เลือกเอาเฉพาะปัญหาที่สามารถดำเนินการได้มากำหนดวิธีการแก้ไข ซึ่งมีอยู่หลายวิธีบางวิธีสามารถดำเนินการได้เลย แต่บางวิธีไม่สามารถดำเนินการได้เนื่องจากมีผู้เกี่ยวข้องจำนวนมากและเป็นนโยบายของบริษัท

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการจำนวนการขัดข้องของสถานีเครือข่ายพบว่าสาเหตุส่วนใหญ่มาจาก 2 สาเหตุหลักคือ ระบบการจ่ายกระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้าขัดข้องกับสาเหตุที่มาจากระบบ Transmission System ในกรณีสาเหตุที่มาจากระบบจ่ายกระแสไฟฟ้านั้นเป็นองค์ประกอบที่ไม่สามารถควบคุมได้ เนื่องจากเป็นการขัดข้องเนื่องจากปัญหาการให้บริการจากหน่วยงานภายนอกบริษัทดำเนินการได้เพียงปฏิบัติตามแผนกการดำเนินการภายในเมื่อเกิดเหตุการไฟฟ้าขัดข้องจากภายนอก ดังที่แสดงในภาพที่ 3.2 ในบทที่ 3 เท่านั้น ดังนั้นในกรณีของ Transmission System จึงเป็นกรณีที่สามารถนำมาศึกษาเพื่อหาแนวทางในการลดจำนวนการขัดข้อง ซึ่งจากการศึกษาทำให้พบแนวทางและนำไปสู่การแก้ไข ซึ่งแนวทางที่สำคัญคือการเพิ่มจำนวนเส้นทาง Protection และปรับปรุงเส้นทางเดิมให้สามารถมีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามในการให้บริการนั้นจำเป็นที่จะต้องมีการสร้างสถานีเครือข่ายเพิ่มขึ้นตลอดเวลา บางเส้นทางได้รับการปรับปรุงไปแล้วเมื่อเวลาผ่านไปสักระยะหนึ่งไม่สามารถรองรับจำนวนลูกค้าที่เพิ่มขึ้นได้ก็จะต้องพิจารณาปรับปรุงใหม่อีก ดังนั้นการออกแบบระบบ Transmission System จึงไม่สามารถออกแบบให้สมบูรณ์ที่สุดได้ภายในครั้งเดียว จำเป็นที่จะต้องพัฒนาปรับปรุงอย่างต่อเนื่องตามสภาพของพฤติกรรมของผู้บริโภคที่มีการเพิ่มขึ้นและเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

ในการดำเนินการวิจัยได้กำหนดเป้าหมายในการลดจำนวนการขัดข้องสถานีเครือข่าย 14 จังหวัดภาคใต้ให้ได้ 10% โดยการเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุงระบบ Transmission System จากข้อมูลก่อนการปรับปรุงเป็นข้อมูลของปี พ.ศ.2550 และข้อมูลหลังการปรับปรุงเป็นข้อมูลของปี พ.ศ.2551 พบว่าเฉลี่ยทั้ง 8 เดือนลดลง 48.35% ทำได้ดีกว่าเป้าหมายที่ได้ตั้งเอาไว้ที่ 10% แสดงให้เห็นว่างานวิจัยนี้ประสบผลสำเร็จเป็นอย่างยิ่ง สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัยที่ตั้งเอาไว้ นอกจากนี้ในเรื่องของเวลาที่ขัดข้องไปเนื่องจากการขัดข้องในช่วงระยะเวลาประมาณ 8 เดือน เฉลี่ยลดลง 46.19% ในขณะเดียวกันจำนวนการขัดข้องของสถานีเครือข่ายที่ลดลงทำให้ลูกค้ามีความพึงพอใจการใช้บริการมากขึ้นส่งผลทำให้ภาพลักษณ์ของบริษัทดีขึ้นอีกทางหนึ่งด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

แนวทางการลดจำนวนการขัดข้องสถานีเครือข่าย ยังมีแนวทางอีกหลายแนวทางที่สามารถทำได้ เช่น การปรับปรุงระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าโดยการเพิ่มระบบไฟสำรองเมื่อไฟฟ้าจากการไฟฟ้าไม่สามารถจ่ายกระแสไฟได้ซึ่งอาจจะใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าปั่นไฟเองพร้อมทั้งระบบ Battery สำรอง ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบไฟฟ้ารองโดยใช้พลังงานลมขึ้นมาใช้ด้วยเหมือนกัน ซึ่งนับว่าเป็นพลังงานทางเลือกที่ไม่มีผลกระทบกับสิ่งแวดล้อม แต่ยังมีราคาที่สูงจึงไม่ค่อยได้รับความนิยมเท่าที่ควรแต่ในอนาคตเมื่อมีการใช้กันอย่างแพร่หลาย ประกอบกับปัญหาเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมมีมากขึ้นพลังงานทางเลือกแบบกังหันลมก็จะเป็นทางเลือกที่ได้รับความนิยม และราคาก็จะถูกกว่า สำหรับวิธีการที่ผู้วิจัยได้นำเสนอไว้ในงานวิจัยฉบับนี้นั้น อาจมีความเหมาะสมในการดำเนินการปรับปรุงเฉพาะในช่วงเวลาหนึ่งเท่านั้น เมื่อกาลเวลาผ่านไปอาจมีปัจจัยต่างๆ หรือสภาวะต่างๆ ที่เปลี่ยนไปจากช่วงเวลาปัจจุบัน เช่น การค้นพบเทคโนโลยีใหม่ที่มีความทันสมัยมากขึ้น ผู้บริโภคมีจำนวนมากขึ้นและมีพฤติกรรมการบริโภคที่เปลี่ยนไป อาจจำเป็นต้องหาวิธีการใหม่มาปรับปรุงเพิ่มเติมเพื่อให้สามารถควบคุมปริมาณการขัดข้องของสถานีเครือข่าย ให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสม ดังนั้นผู้ที่จะนำสารนิพนธ์ฉบับนี้ไปใช้จะต้องพิจารณาถึงสิ่งเหล่านี้ด้วย อย่างไรก็ตามวิธีการต่างๆ ที่ผู้จัยประยุกต์ใช้ในสารนิพนธ์ฉบับนี้และข้อมูลการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัย สามารถนำไปใช้ต่อยอดสำหรับการทำงานวิจัยอื่นๆ ที่มีหัวข้อการวิจัยที่ใกล้เคียงกัน เช่น การวิจัยเพื่อคำนวณหามูลค่าความเสียหายจากการขัดข้องของสถานีเครือข่าย และการศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สำหรับใช้เป็นระบบสำรองของสถานีเครือข่าย เป็นต้น

บรรณานุกรม

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. 2539. การบริหารคุณภาพ. บทความทางวิชาการ. สืบค้น จาก http://intranet.dip.go.th/boc/download/Data-Support/Other/Basic%20Production.doc (19 กรกฎาคม 2550).

คลังสมองเพื่อนช่างอิเลคทรอนิคส์ไทย. 2550. วิวัฒนาการของโทรศัพท์เคลื่อนที่ในประเทศไทย. บทความวิชาการ. สืบค้นจาก http://www.ubmthai.com/leksoundsmf3/index.php?topic=10854.0 (21 กรกฎาคม 2550).

จิราภรณ์ จันทร์สว่าง. 2548. การลดเวลาในการตรวจสอบสายเคเบิลอินฟินิแบนด์. รายงานการวิจัย. สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

เฉลิมชัย พฤกษานุบาล. 2552. การปรับปรุงการจัดสรรช่องสัญญาณพลวัตชนิดเรขาคณิต-ฟังก์ชันค่าใช้จ่ายโดยใช้อัลกอริทึมแอ็กเกรสซีฟสำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์แบบทีดีเอ็มเอ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชำนิ กิ่งแก้ว และคณะ. 2550. การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต โดยการลดความสูญเกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์. การประชุมวิชาการมหาลัยศรีปทุม ปีการศึกษา 2550 วันที่ 23 สิงหาคม 2550.

ชนะพล ธรรมายนต์. 2550. วิการปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบการทำงานอุปกรณ์เราเตอร์ ศึกษากรณี บริษัท ทรู คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) วิทยานิพนธ์ สาขาการจัดการคุณภาพ. มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.

ณัฐพล ฉัตรแก้ว, ตุลย์ โตวิจักษณ์ชัยกุล, ธนพร สุขเกษม และธนวิทย์ กองแก้ว. 2547. GSM. รายงานประกอบวิชา Principle of Communication คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ต่อศักดิ์ หิรัญโญภาส. 2551. การปรับปรุงการวางแผนและควบคุมการบำรุงรักษาในโรงงานผลิตบล็อกคอนกรีตปูถนน. วิทยานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปวีนัฐ คงบุญ. 2546. การจัดการนวัตกรรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการติดตั้งและปรับปรุงสถานีเครือข่ายและการวิเคราะห์แนวโน้มเทคโนโลยีโทรศัพท์มือถือ. รายงานการวิจัย. สาขาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหการ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

บรรณานุกรม (ต่อ)

พงษ์ศักดิ์ สุสัมพันธไพบูลย์. 2545. การวางแผนเครือข่าย SDH. บทความวารสารคอมพิวเตอร์อิเลคทรอนิคส์เวิลด์ หน้า 42-49 ฉบับที่ 13

ภัสภาวี หลงนิยม, เย็นจิตร มีทะลา และสมเกียรติ แท่นศิลา 2549. การวัดสัญญาณระบบ GSM รายงานประกอบการเรียน สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. สืบค้นจาก http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/12345678/2678/1/2549-3-1.1.pdf (12 มกราคม 2553).

มหาวิทยาลัยทักษิณ. 2553. คณะศึกษาศาสตร์. บทความทางวิชาการ. สืบค้นจาก http://www.edu.tsu.ac.th (13 พฤษภาคม 2554).

วัชรินทร์ ลายเขียน. 2550. การพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการของสถานีควบคุมโทรศัพท์พื้นฐานไร้สาย. วิทยานิพนธ์. สาขาการจัดการทางวิศวกรรม. มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.

วันรัตน์ จันทกิจ. 2547. เครื่องมือนักคิด Problem Solving Devices. ครั้งที่พิมพ์ 3. สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ.

วิทวัส กลิ่นทโชติ. 2551. การลดจำนวนครั้งการเกิดการหยุดผลิตอย่างกะทันหันจากระบบไฟฟ้าสั่งตัดโหลด. สารนิพนธ์ คณะวิศวกรรมอุตสาหการ. สาขาการจัดการอุตสหกรรม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

วิเชียร เบญจวัฒนาผล และสมชัย อัครทิวา. 2545. Why-Why Analysis เทคนิคการวิเคราะห์อย่างถึงแก่นเพื่อการปรับปรุงสถานประกอบการ. ครั้งที่พิมพ์ 1. สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.

วิฑูรย์ สิมะโชคดี. 2541. การบริหารคุณภาพ ครั้งที่พิมพ์ 2 สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ.

วีรภัทร วารีสันติชัย. 2552. การปรับปรุงกระบวนการประกอบของเครื่องปรับอากาศ. วิทยานิพนธ์ คณะวิศวกรรมอุตสาหการ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

อนุชา คุณทะวงษ์. 2550. การจัดการปรับปรุงระบบปรับอากาศเพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้าโดยเปลี่ยนระบบปรับอากาศแบบหน่วยเดียวชนิดแยกส่วนเป็นแบบส่วนกลางชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ. สารนิพนธ์ สาขาการจัดการเทคโนโลยีในอาคาร. มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.

บรรณานุกรม (ต่อ)

Dominic A. Schupke; (2005) Automatic protection switching for p-cycles in WDM networks; Siemens, Corporate Technology, Information and Communications, Munich, Germany. สืบค้นจาก http://www.dominic-schupke.de/papers/ nodeFailCyclesPrePrint.pdf (11 June 2011)

Jing Zhang; Keyao Zhu; Hui Zang; Matloff, N.S.; Mukherjee, B.; (2007) Availability-Aware Provisioning Strategies for Differentiated Protection Services in Wavelength-Convertible WDM Mesh Networks, University of Pittsburgh. สืบค้นจาก http://www.sis.pitt.edu/~dtipper/3350/March_Paper7.pdf (11 June 2011)

Mello, D.A.A.; Pelegrini, J.U.; Ribeiro, R.P.; Schupke, D.A.; Waldman, H.; (2005) Dynamic provisioning of shared-backup path protected connections with guaranteed availability requirements, State University of Campinas. สืบค้นจาก http://www.dominic-schupke.de/papers/GOSP_Mello_final.pdf (09 June 2011)

Mohammad, G.; Wail, M.; Akbar, G.; Yaser, K. (2009). Improvement of Metropolitan Wireless Networking Using Wireless Optical Mesh Networks, International Journal of Digital Content Technology and its Applications. สืบค้นจาก http://www.aicit.org/jdcta/ppl/07.pdf (09 June 2011)

ภาคผนวก

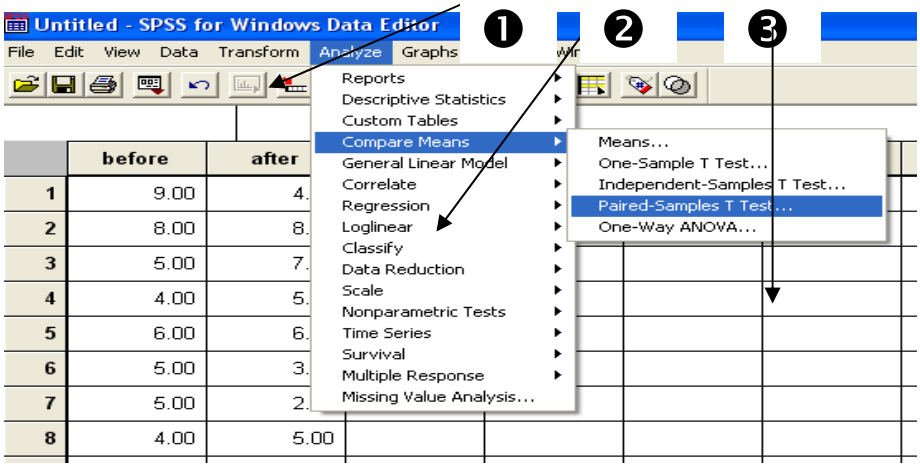
ภาคผนวก ก

ขั้นตอนการทดสอบ T-test

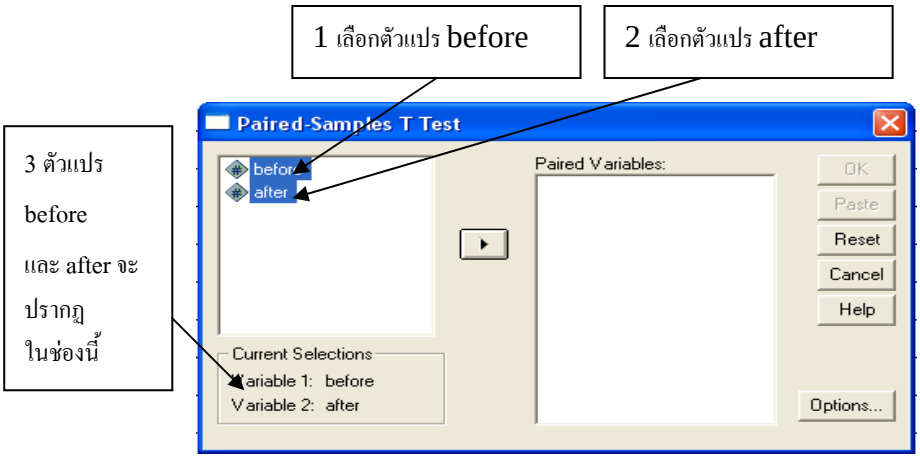
ภาพที่ ก.1 ขั้นตอนการทดสอบ T-test แบบกลุ่มตัวอย่างที่สัมพันธ์กัน

เปิดโปรแกรม SPSS

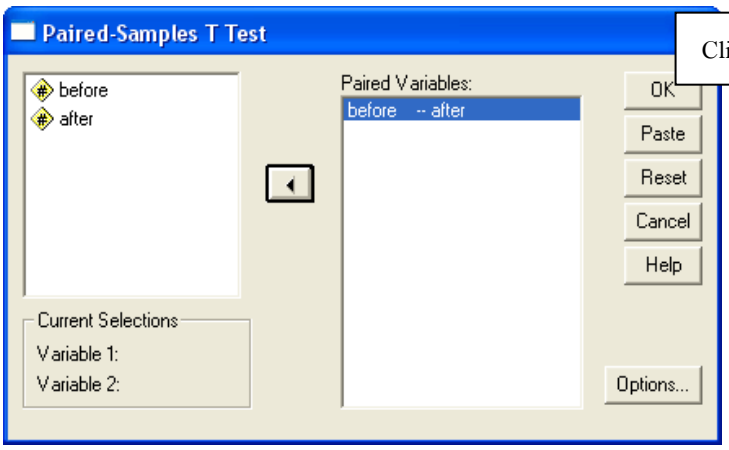
Analyze > Compare Means > Paired-Sample T Test



ผลจะได้ หน้าต่าง Paired Sample T test



ต่อมาคลิก จะได้ภาพที่ 27 แล้วคลิก OK



Click ปุ่ม OK

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจะได้

Output1 - SPSS for Windows Viewer

File Edit View Insert Format Analyze Graphs Utilities Window Help

Output
T-Test
Title
Notes
Paired Samples Statistics
Paired Samples Correlations
Paired Samples Test

T-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	BEFORE	6.1600	50	1.6081	.2274
	AFTER	5.8600	50	1.9379	.2741

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	BEFORE & AFTER	50	.197	.170

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference Lower	Upper			
Pair 1	BEFORE - AFTER	.3000	2.2610	.3198	-.3426	.9426	.938	49	.353

T-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	BEFORE	6.1600	50	1.6081	.2274
	AFTER	5.8600	50	1.9379	.2741

จากตารางเป็นการแสดงสถิติพรรณนา (ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) โดยที่ตัวแปร BEFORE มีค่าเฉลี่ย 6.10 และ AFTER มีค่าเฉลี่ย 5.86

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	BEFORE & AFTER	50	.197	.170

จากตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร BEFORE และ AFTER ซึ่งมีความสัมพันธ์ 0.197 แต่ว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน (Sig > 0.05)

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference Lower	Upper			
Pair 1 BEFORE - AFTE	.3000	2.2610	.3198	-.3426	.9426	.938	49	.353

ผลการทดสอบสมมติฐานด้วย t-test จะเห็นว่า ค่า t คือ 0.938 ,df=49 และ sig = .353 (sig > 0.05) ซึ่งหมายความว่า ก่อนและหลังการทดสอบไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

ภาคผนวก ข

มาตรฐานการติดตั้งอุปกรณ์

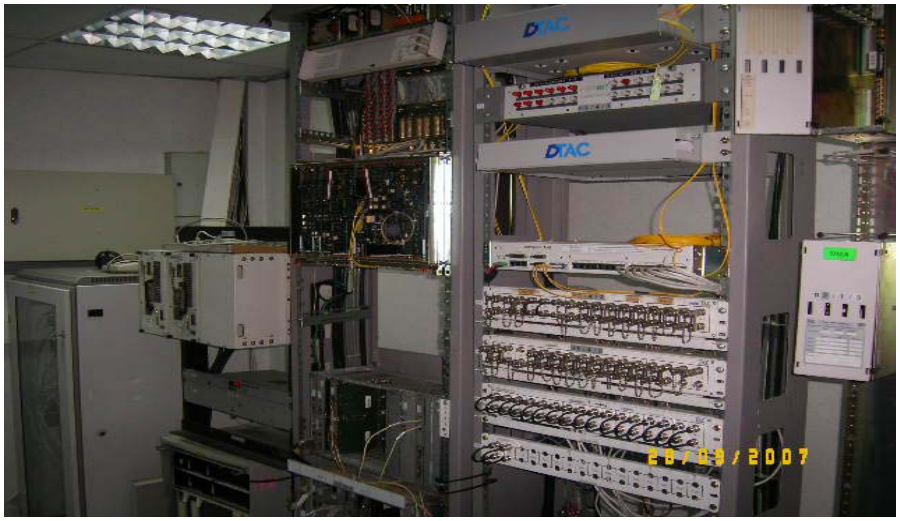
Installation Intelligent Manual

For

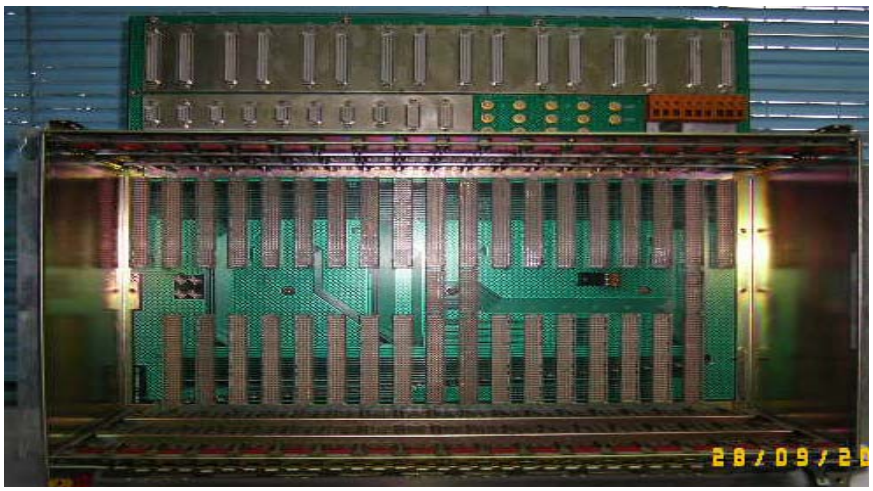
Node Synfonet STM-1 ແລະ STM-4

1. การติดตั้งอุปกรณ์ Node Synfonet

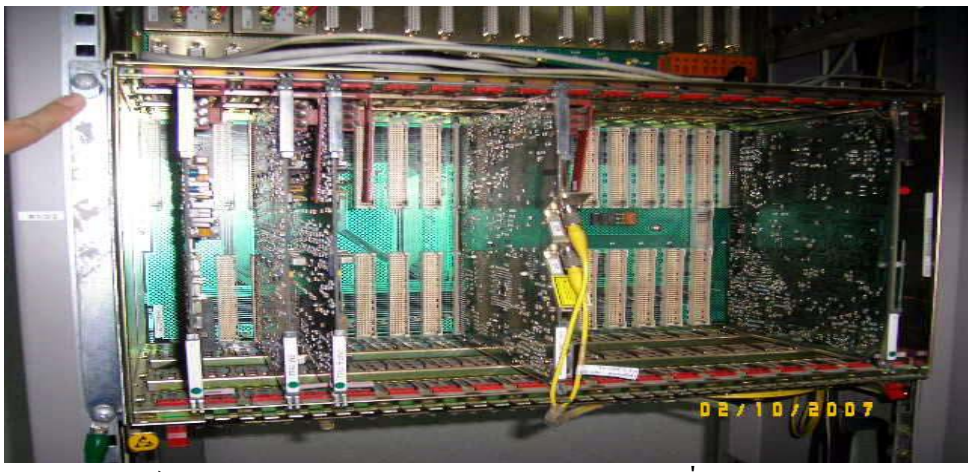
1.1 หา Rack ETSI ของ TAC และพื้นที่ว่างที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ Node Synfonet



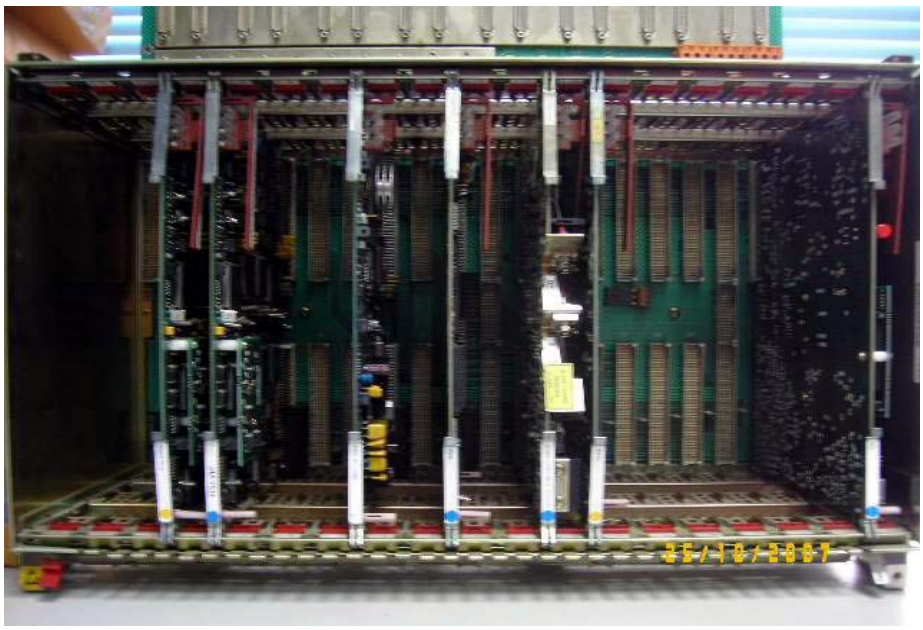
1.2 ดูความเหมาะสมของขนาดอุปกรณ์ที่จะติดตั้งกับ Rack ตรวจสอบความครบถ้วนของส่วนประกอบของอุปกรณ์ Node ซึ่งประกอบด้วย RPIU (Rack Power Interface Unit), Node Synfonet, ปีกซ้าย,ปีกขวา และปีกด้านบน



1.3 ตรวจสอบว่าขนาดของอุปกรณ์ RPIU และ Node Synfonet ใช้เนื้อที่ของ Rack เท่าใด โดย ติดคลิปตัวเมีย 4 ตัว ที่ Rack ETSI เพื่อติดตั้ง RPIU จากนั้นใช้น๊อตตัวผู้ 4 ตัว ยึดติดอุปกรณ์ RPIU เข้ากับRack ETSI และติดคลิปตัวเมีย 4 ตัว ที่ Rack ETSI เพื่อติดตั้ง Node Synfonet จากนั้นใช้น๊อตตัวผู้ 4ตัว ยึดติดอุปกรณ์ Node Synfonet เข้ากับ Rack ETSI



1.4 Plug การ์ดต่างๆ ใน Slot ของ Node ตาม Configuration ที่ Design TAC กำหนด เช่น การ์ด CU, SU, 2MTA , SSW, STM1-O , STM-4 และ TSW เป็นต้น



2. การติดตั้งแหล่งจ่ายไฟและเชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์ Node Synfonet

2.1 เมื่อจบขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์ แล้วต่อไปจะต้องดูว่าใน Site ใช้แหล่งจ่ายไฟเป็น Supply ยี่ห้ออะไรเพื่อหา Box พักแหล่งจ่ายไฟ

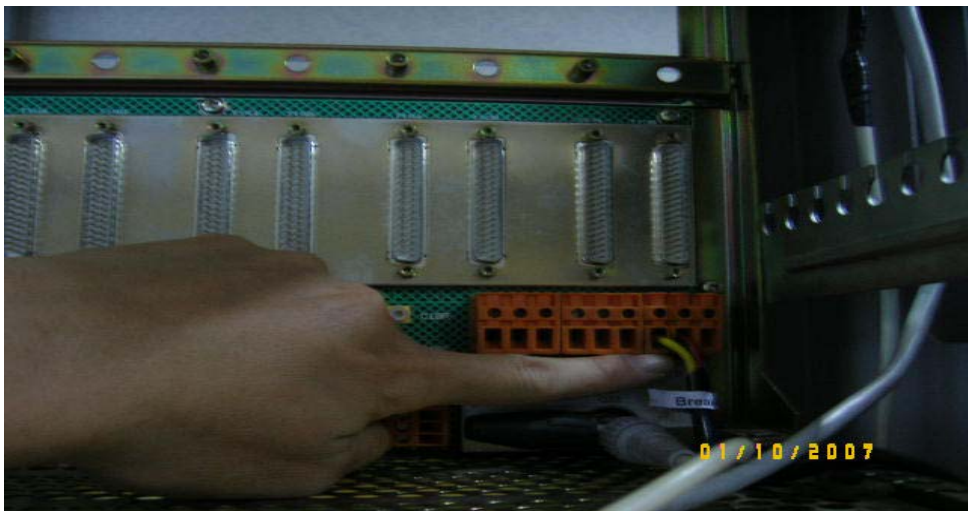
2.2 เลือก Breaker ที่ว่างอยู่และมีค่าอยู่ระหว่าง 6-16 Amp โดยให้เลือกใช้แถวที่เป็น Priority Load เท่านั้น

2.3 เดินสายไฟขนาด VCT 2 x 1.5 Sqmm จากแหล่งจ่าย DC Distribution Breaker ไปยัง RPIU ที่ติดตั้งเอาไว้บน Rack ETSI

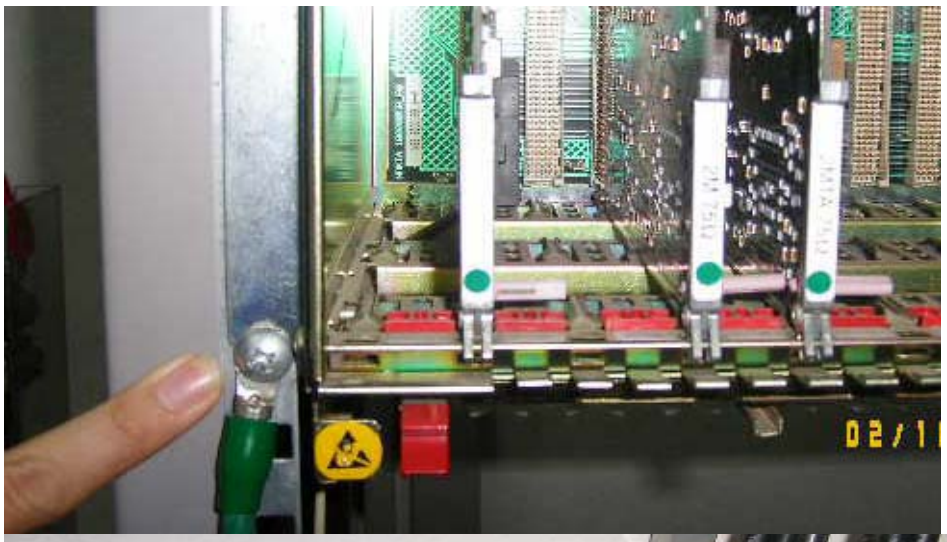
2.4 เชื่อมต่ออุปกรณ์ Supply จากนั้นเลือก Config ของ Power Supply ซึ่งมีให้เลือกใช้ 2 Channel กรณีไม่มี Redundancy (มีแหล่งจ่ายเดียว) คือ ต่อสาย VCT สีดำกับ –VNB1 และสายสีแดงกับ +VPB1หากต้องการระบบ Redundancy (ใช้ในกรณีมี 2 แหล่งจ่าย มี Protection) คือต่อสาย VCT สีดำกับ – VNB2 และสายสีแดงกับ +VPB2)

R 1
28/09/2007

R 1 / 3
28/09/2007

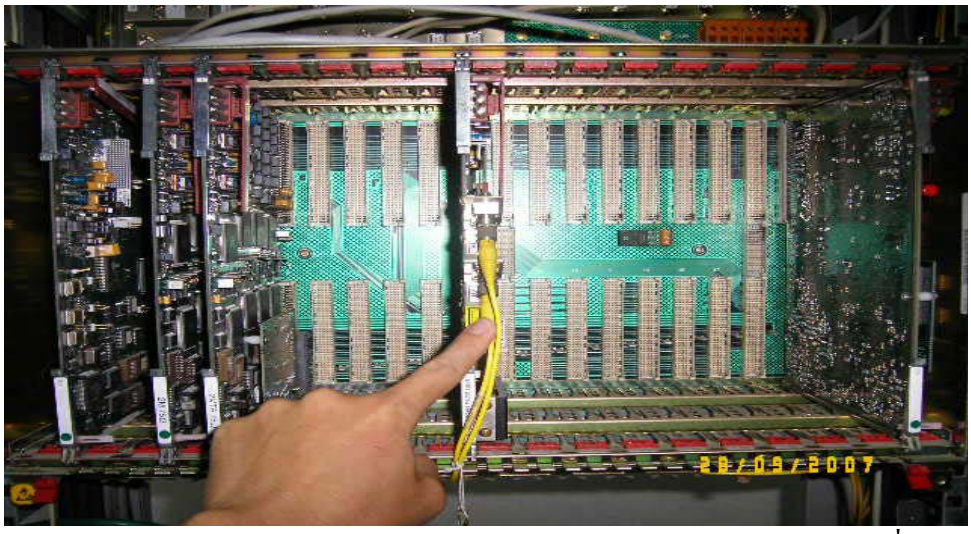


2.5 เชื่อม System Ground กับอุปกรณ์ Node โดยใช้สาย THW 25 sq.mm. สีเขียว ใส่หางปลาทั้งสองด้าน ด้านหนึ่งเชื่อมกับ Node อีกด้านเชื่อมกับกราวด์บา



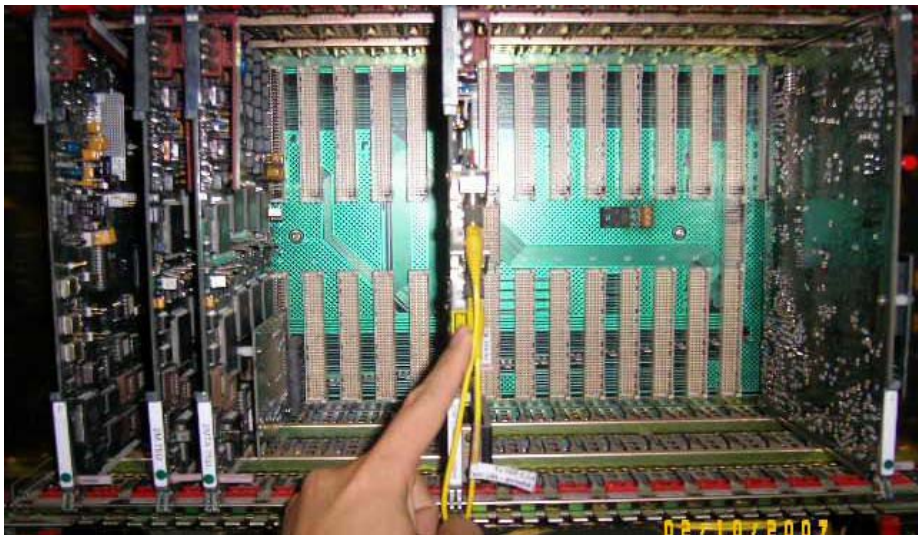
3. การเชื่อมต่ออุปกรณ์ Node Synfonet เข้ากับ Network

3.1 ทำการ Wire สาย Patch cord (Fiber Optic) ระหว่าง ODF กับ Port STM1-O ของ Node โดยทีมDesign ของ TAC จะออกแบบการเชื่อมต่อมาให้ตามรายละเอียดใน MUX Plan เป็น Connectorแบบ FC Connector หัวกลมทั้งสองด้าน คือ ODF และ STM1-O ของNode



3.2 มัดรวบสาย Fiber ให้เรียบร้อยโดยใช้ไส้ไก่พร้อมติด Label ระบุเส้นทางการวิ่งของ Fiber (หัว-ท้าย)

3.3 เสียบสาย Fiber เข้าไปใน Interface โดยต้องตรวจดูเส้นทางของ Fiber ใน Label ว่าตรงกับงานที่ได้รับมา



3.4 ติดตั้ง DDF เพื่อจะเชื่อมต่อไปใช้งานกับอุปกรณ์ตัวอื่น เป็นการ Interface E1 Bit Rate ที่ 2 Megabit/Sec

3.5 การ Interface E1

1) ลากสาย RG179 เชื่อม Port E1 ระหว่าง 75 Ω Connector Panels กับ DDF และเข้าหัว SMB connector และ BNC Connector ตามลำดับ

2) เชื่อมต่อ SMB Connector กับอุปกรณ์ 75 Ω Connector Panels และเชื่อมต่อ BNC Connectorกับ Isolator Connector บน DDF ด้านบนที่ติดตั้งส่วนด้านล่างสำหรับเชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์ที่ต้องการใช้งาน

3.6 การเชื่อมสัญญาณเพื่อใช้งาน ซึ่งจะใช้สาย U-link Spec 2.5C2V ที่มีหัวท้ายเป็น BNC Connector 75 Ω UIH โดยจะต้องเชื่อมต่อ TX ของอุปกรณ์ UIH เข้ากับ RX ของอุปกรณ์ TAC และเชื่อมต่อRX ของอุปกรณ์ UIH เข้ากับ TX ของอุปกรณ์ TAC

3.7 เมื่อทำการ Cross สาย U-Link เพื่อเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ Node กับ Network เสร็จเรียบร้อยแล้วให้ทำการเปิดไฟที่แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply)

4. การ Commissioning Node Synfonet และการปิดงาน

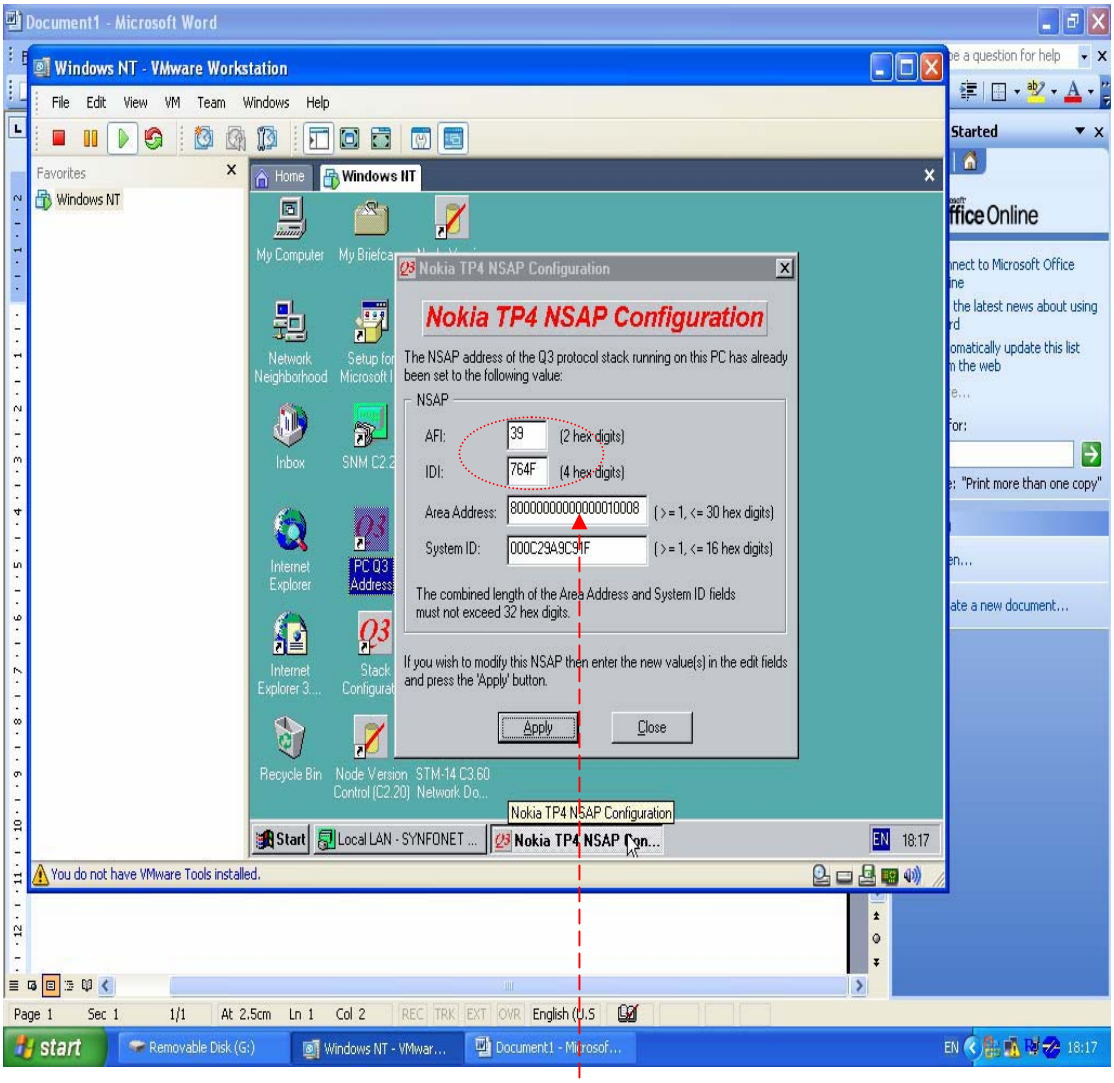
เมื่ออุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับ Network พร้อมใช้งานแล้ว ตรวจสอบว่าอุปกรณ์อยู่ใน Ring ไหนของNetwork เพื่อที่จะทราบ ID Area และ Software ของ Network นั้นๆ โดยการโทรสอบถามจาก NMC TAC เพื่อทำ Commissioning Node

4.1 ใช้ Service Computer ที่ติดตั้ง Program Nokia เพื่อ Connect กับ Node Synfonet Connect สาย LAN 75 Ω สาย Q-LAN กับ Port Q-LAN ของ Node โดยมี BNC Connector Terminate ที่ T-BNC Connector ทั้ง 2 ด้าน

4.2 Reset Node Synfonet Plug การ์ด CU ที่ Slot 1 พร้อมกดปุ่ม Reset ที่การ์ด CU Slot ที่1 ค้างไว้ประมาณ 10 วินาที แล้วปล่อย รอจนกระทั่งไฟ LED เหลือง หน้าการ์ด CU ติด

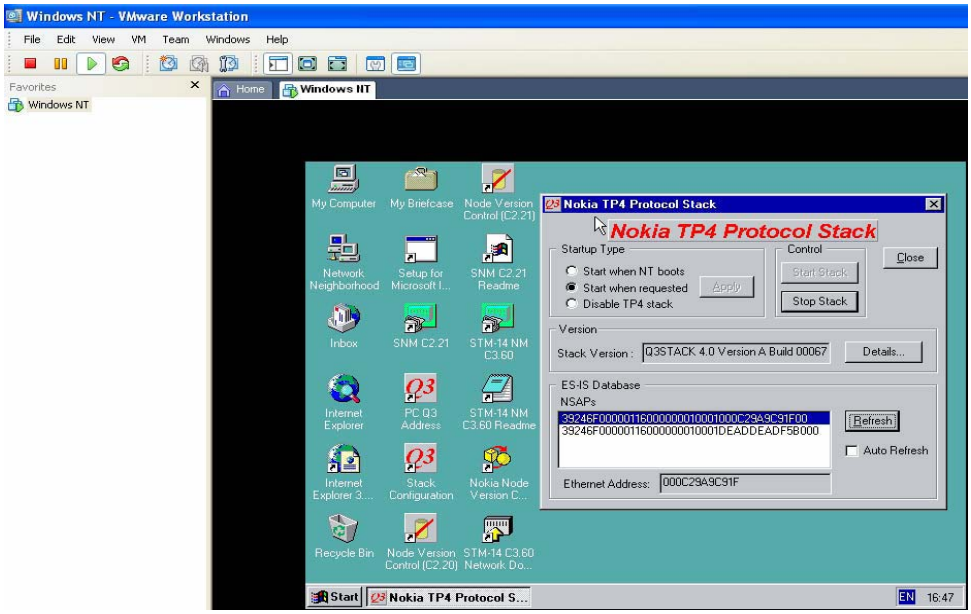
4.3 Remove การ์ด CU จาก Slot 1 ไป Plug ที่ Slot 19 แทน รอสักครู่ จนกระทั่ง LED สีเหลืองของการ์ด CU ติด

4.4 เปิด Program PC Q3 AddressSet IDI และ Area Address ตามตาราง ซึ่งเป็นค่า Default จากโรงงาน หลังจากนั้น กด Apply

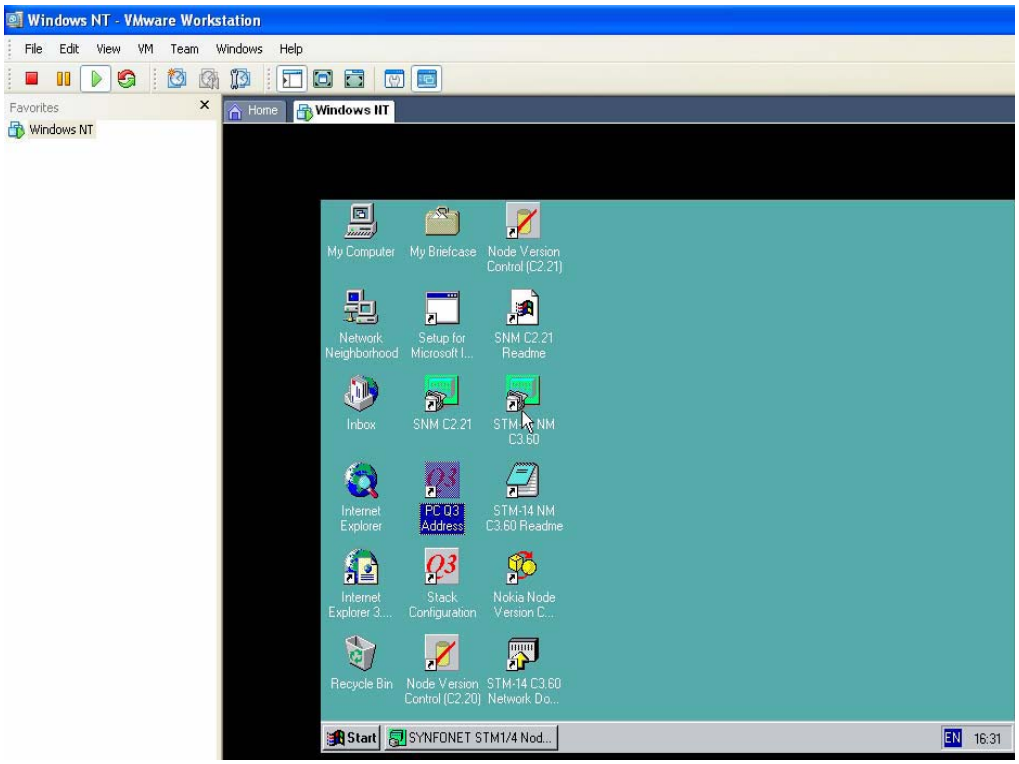


NSAP Adress	AFI	IDI	Area Address	System ID	NSEL
Byte	(1 Byte)	(2 Byte)	(10 Byte)	(6 Byte)	(1 Byte)
Default Add.	39	246F	OOOOO1160OOOOOO1OOO1	DEADDEADFB5O	OO

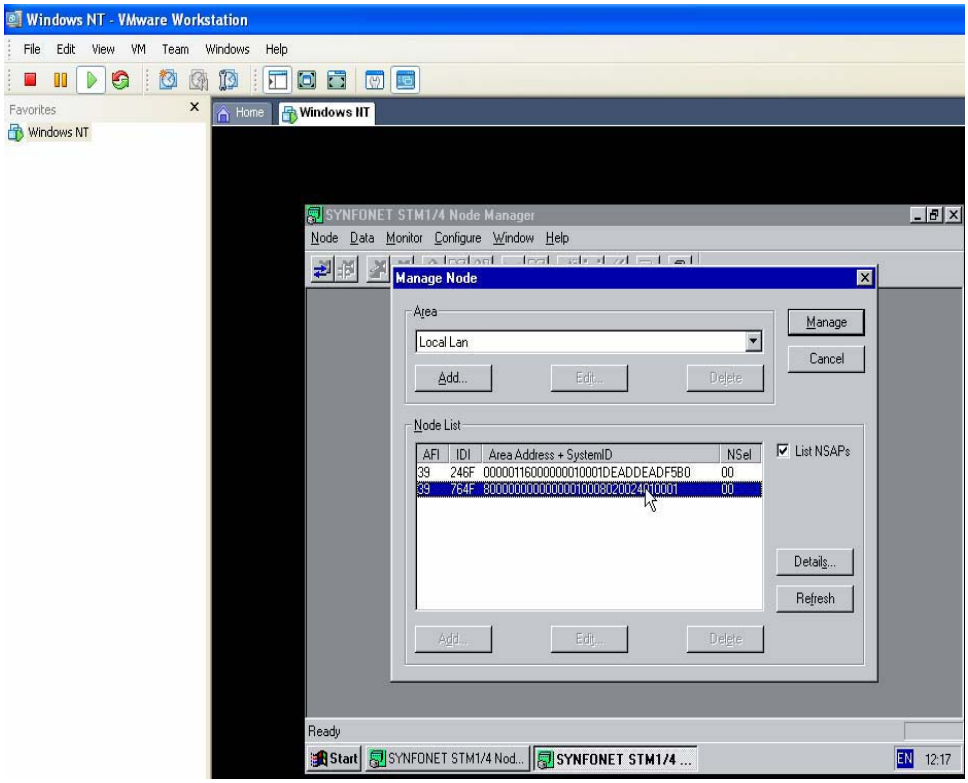
4.5 เปิด Program Stack Configuration เลือก Start When Request, กดปุ่ม Start Stack และกดปุ่ม Refresh 2 ครั้ง สุดท้ายกดปุ่ม Close



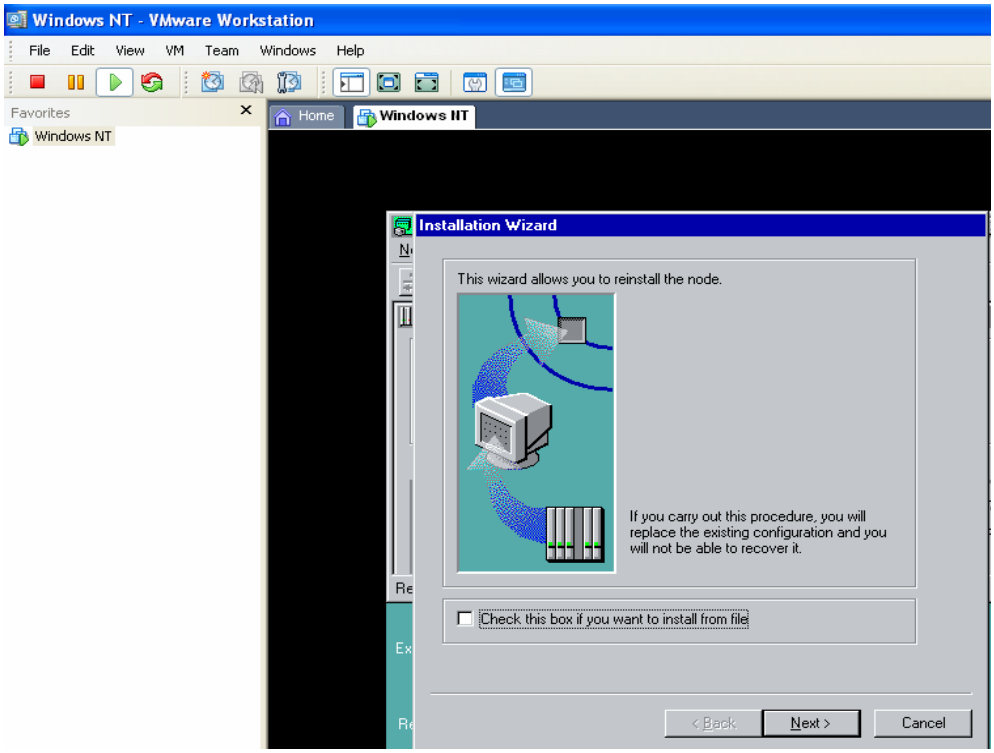
4.6 เปิด Program Synfonet Node Manager เลือกVersion ให้ตรงกับ Node ที่นำติดตั้ง Ver. 2.21 หรือVer. 3.6 (Ver.2.21 .ใช้กับ Program SNM C2.21 , Ver.3.6 ใช้กับ Program STM-14 NMC 3.60)



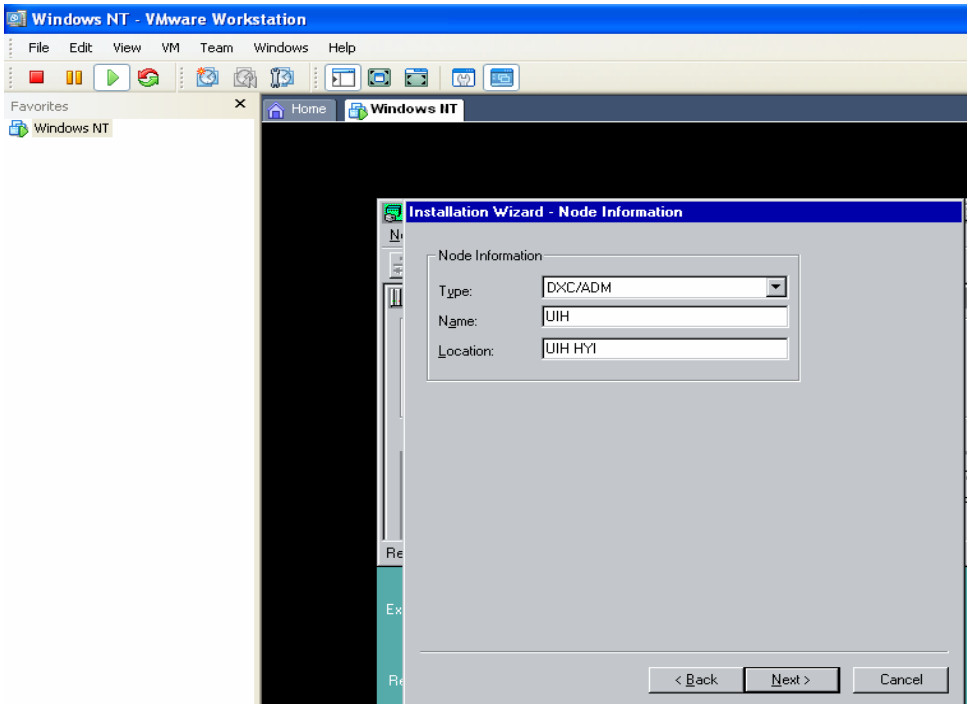
4.7 Log on ตามรูป ใช้ Local LAN และ กดปุ่ม Manage



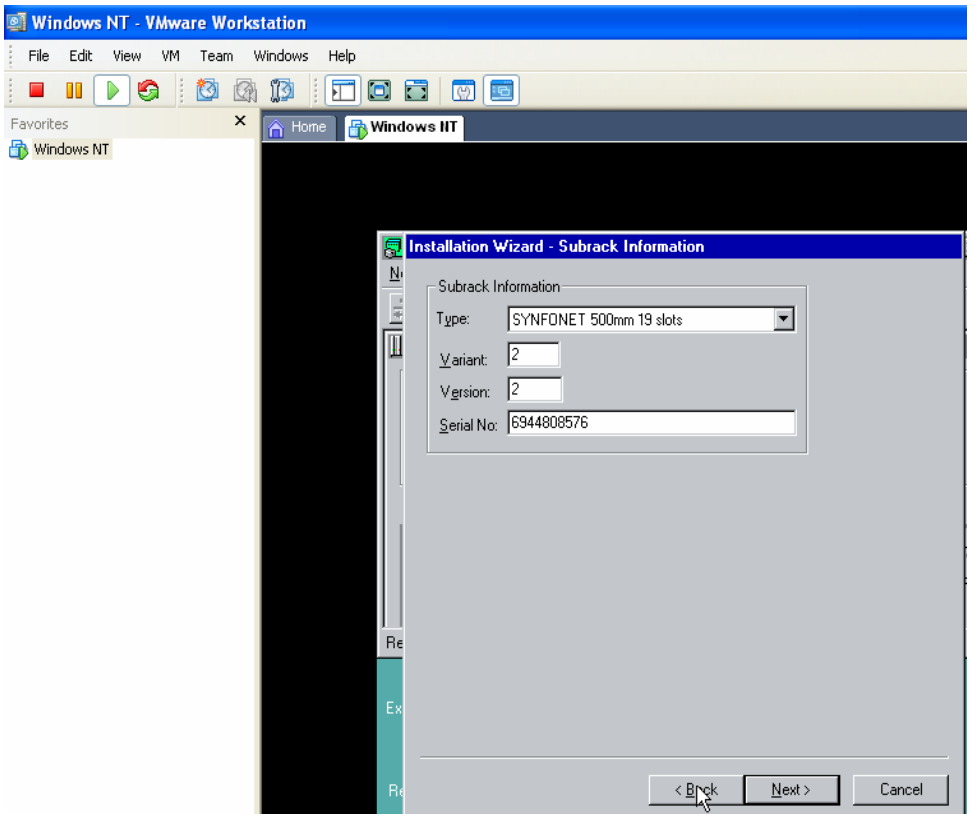
4.8 Commissioning โดย Install Wizard ตามรูป กด next



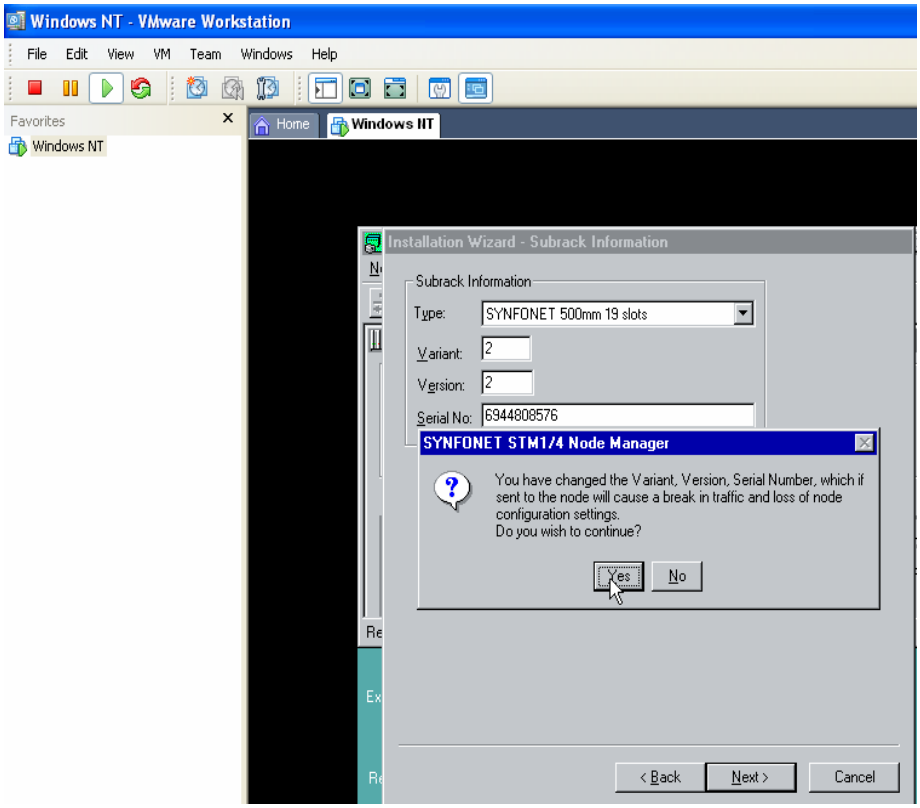
4.9 ใส่ข้อมูล Node: ชนิด Node, ชื่อ Node และ Location กด Next



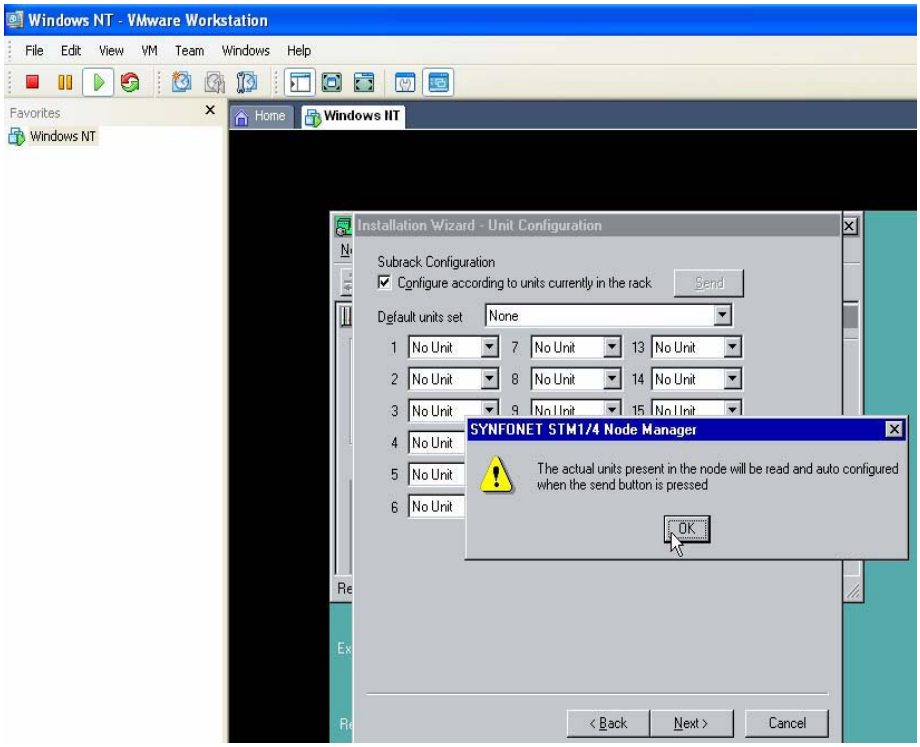
4.10 ข้อมูล Node: ชนิด Node, Variant, Version และ Serial Node, กด Next



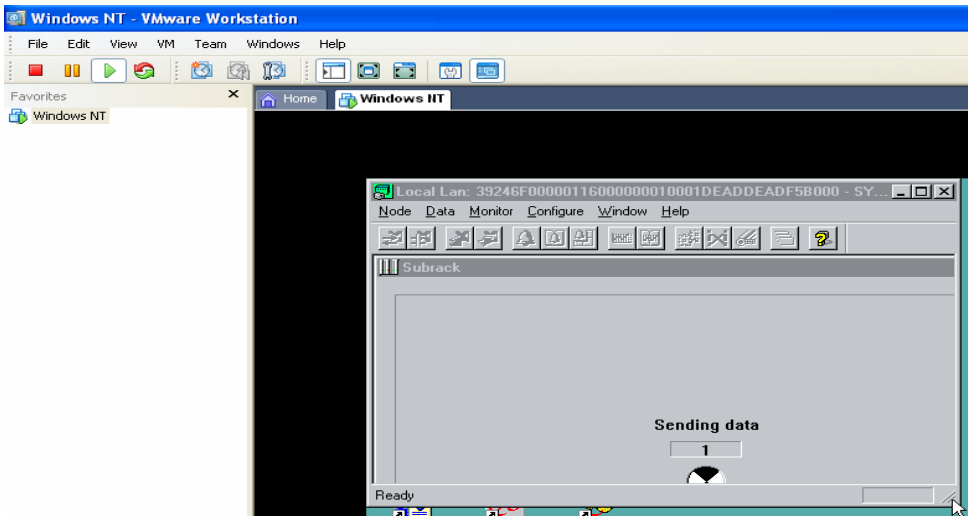
4.11 กด Yes เพื่อยืนยันการเปลี่ยนแปลงข้อมูล Node และกด Next



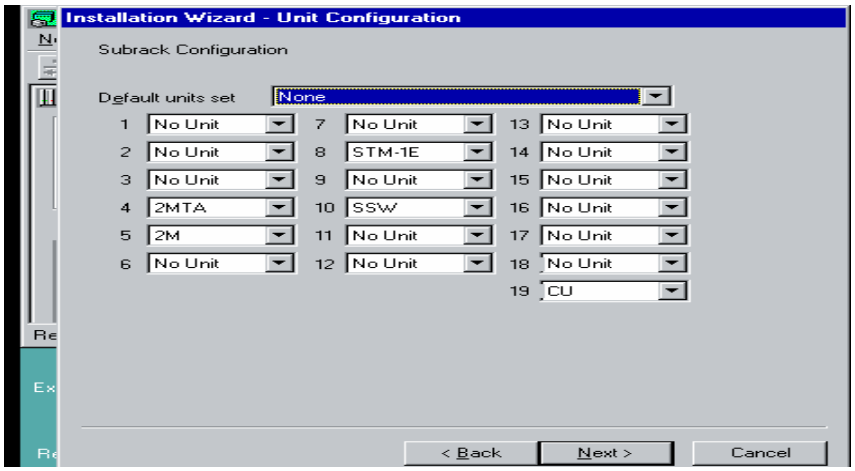
4.12 กด Next เพื่อให้ Configuration ตาม Card ที่ Plug อยู่ใน Node



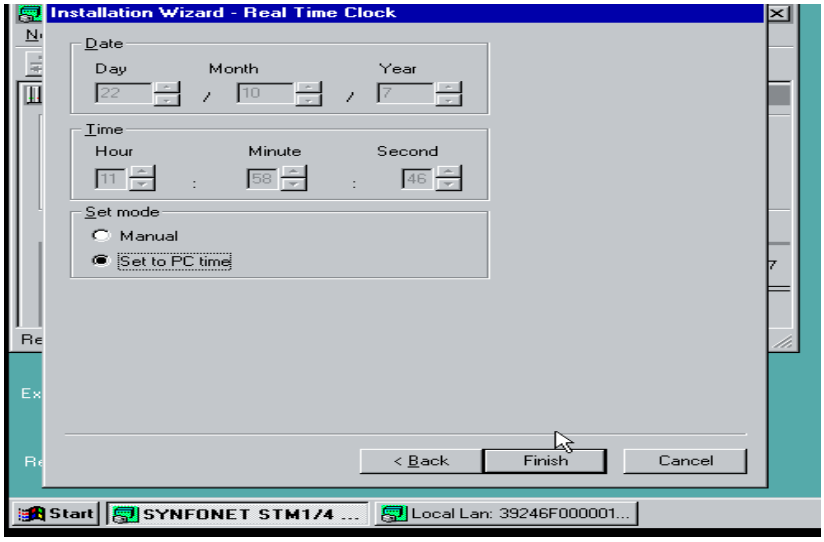
4.13 ข้อมูลที่ต้องการ Configuration จะส่งไปยัง Node รอจนกระทั่ง Node แสดงการ์ดต่างๆ



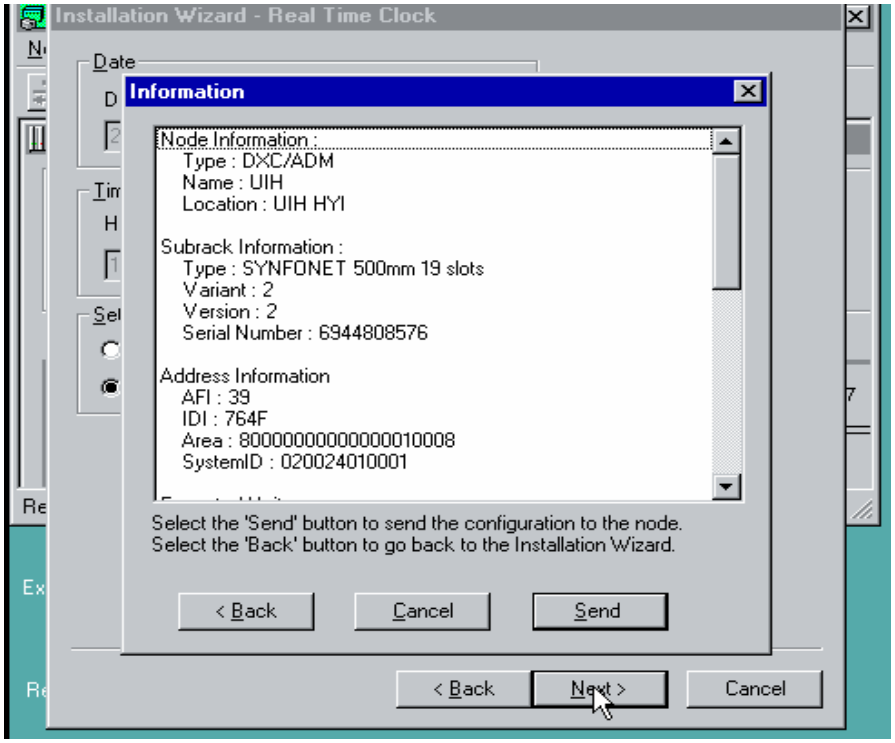
4.14 กด Next ตาม Configuration



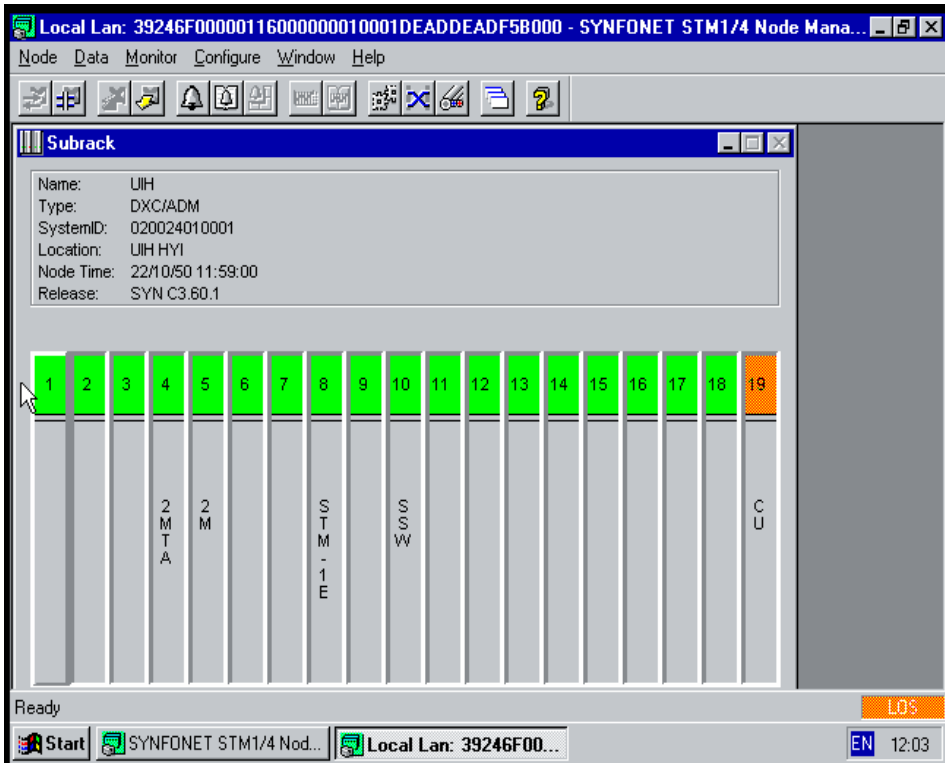
4.15 Set Real time Clock ตามเวลาของเครื่อง PC กด Finish



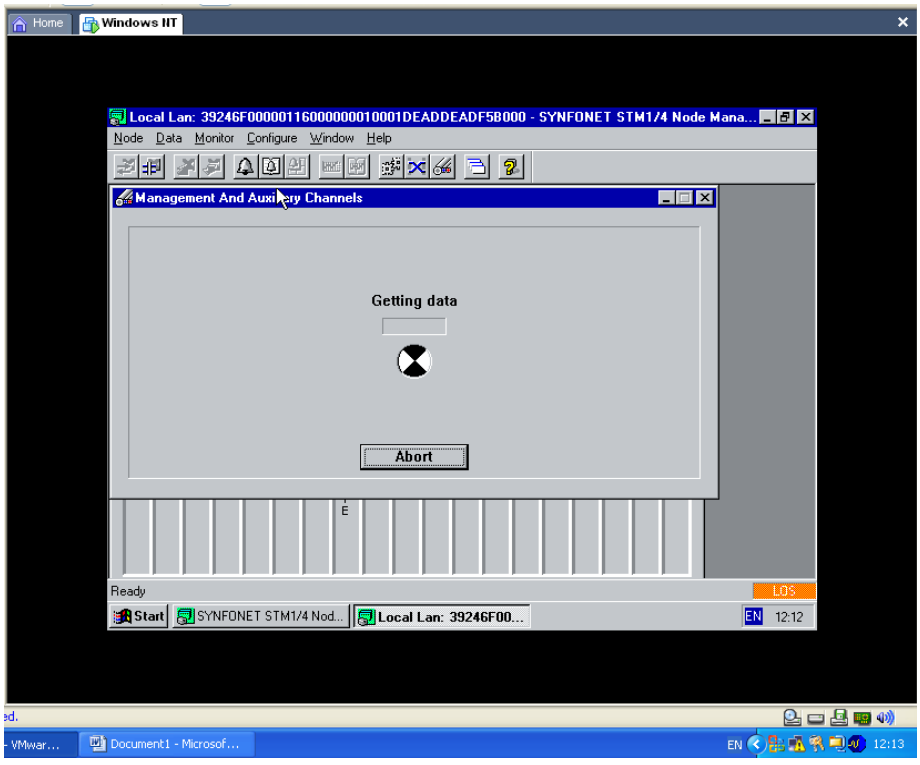
4.16 ข้อมูลตามที่ Configuration กด Send หลังจากนั้นกด Next



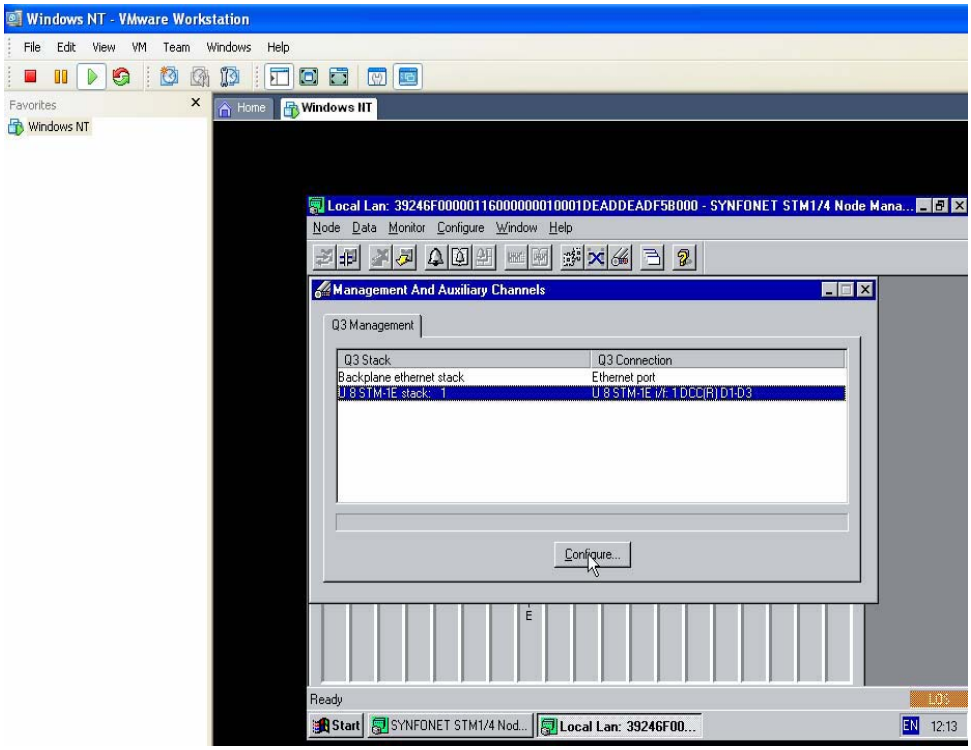
4.17 Show รูป Node ตามที่ Configuration



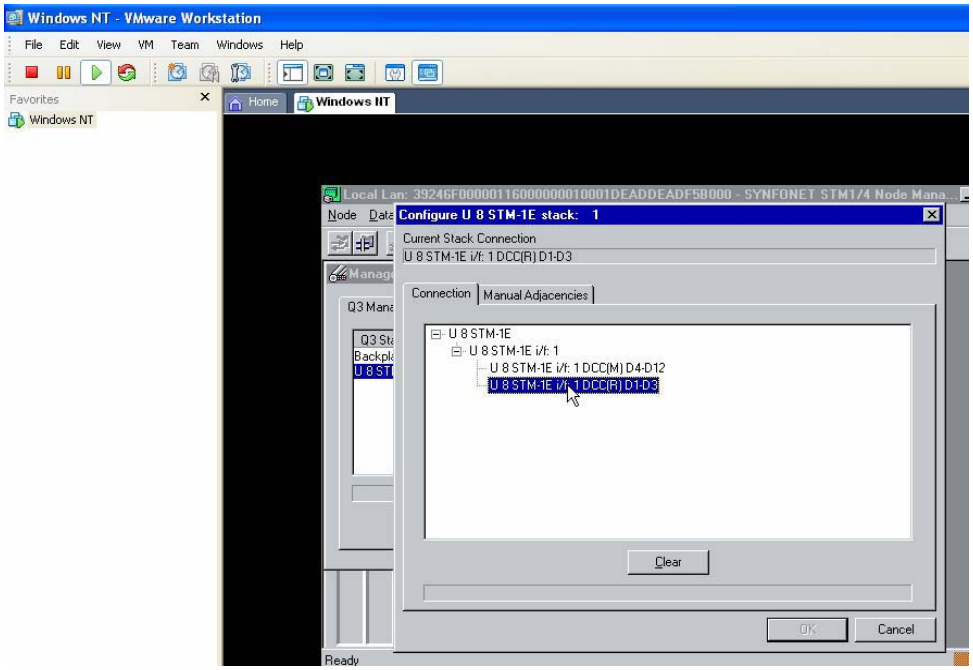
4.18 เลือก Menu: Configure->Management and Auxiliary Channels แสดงหน้าต่างตามรูป



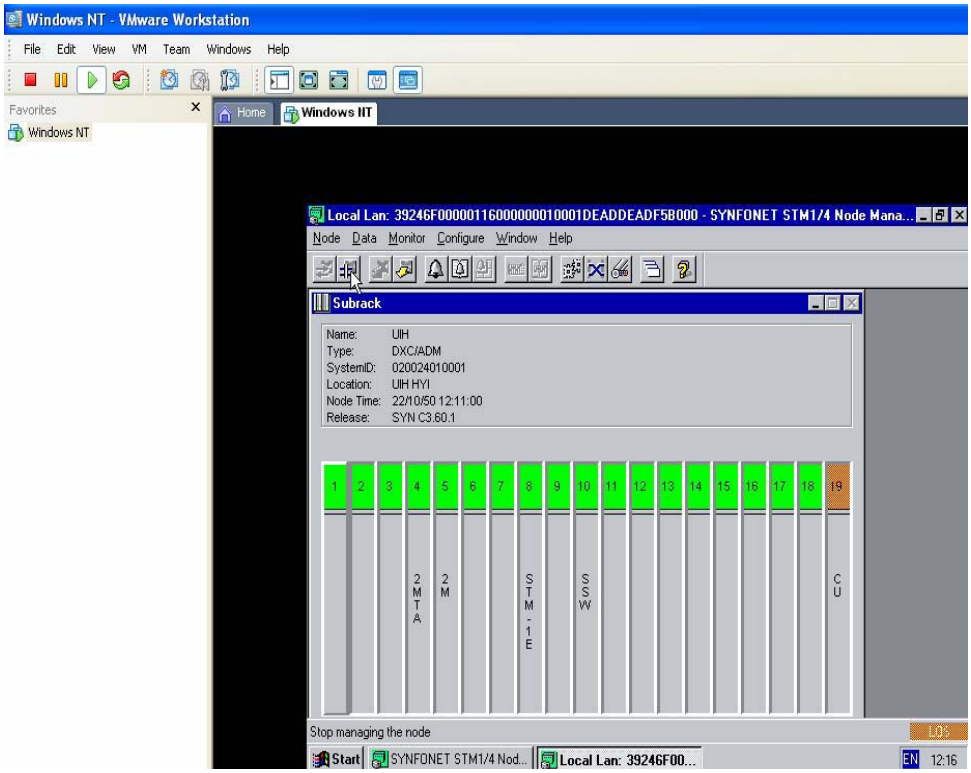
4.19 เลือก Q3 Management เพื่อ Set DCC กด Configure



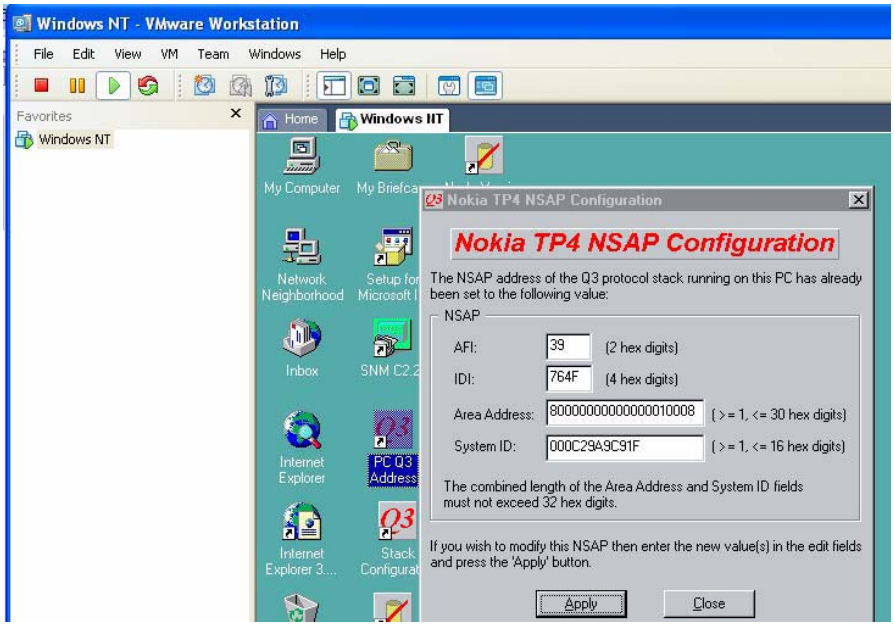
4.20 Set DCC ตาม TAC Design กำหนด แล้วกด OK หลังจากนั้น



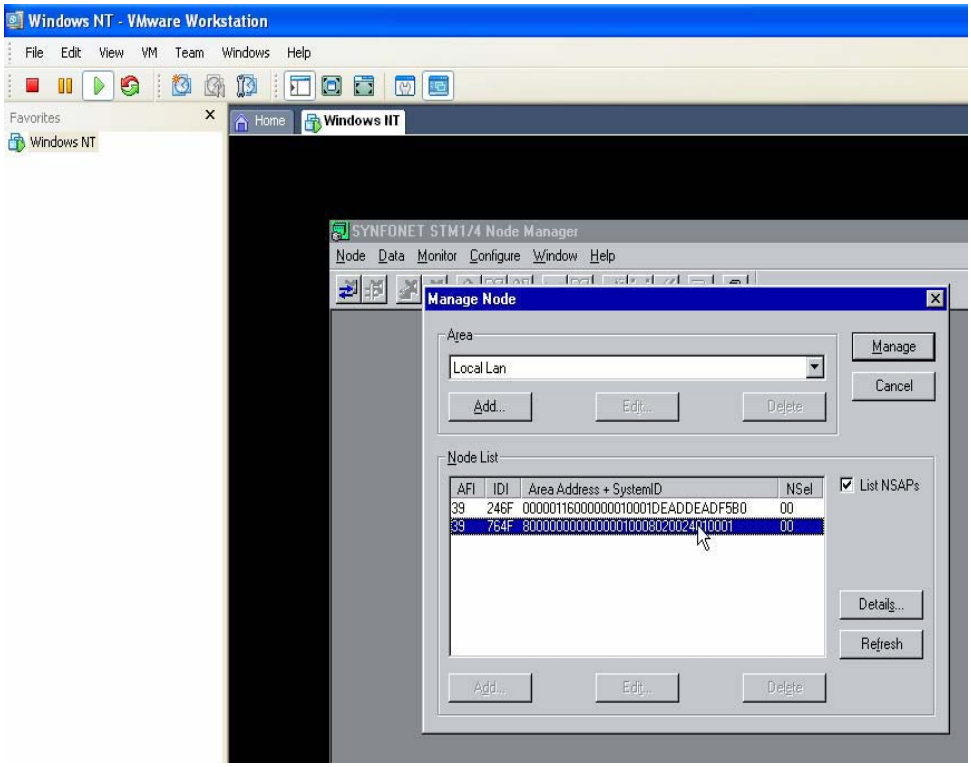
4.21 Commissioning เสร็จ เจ้าหน้าที่ NMC จะดำเนินการ Provisioning Parameter อื่น และทำการ CrossConnect ต่อไป



4.22 การเข้า Node หลังจาก Commissioning ตามขั้นตอนที่ 5.4 - 5.7ในลักษณะตามขั้นตอนที่ 5.4 โดยเปลี่ยน IDI เป็น 764F และ Area Address ตามข้อมูลที่ป้อนในขั้นตอน Commissioning ตัวอย่าง Area Address ตามตารางข้างล่าง



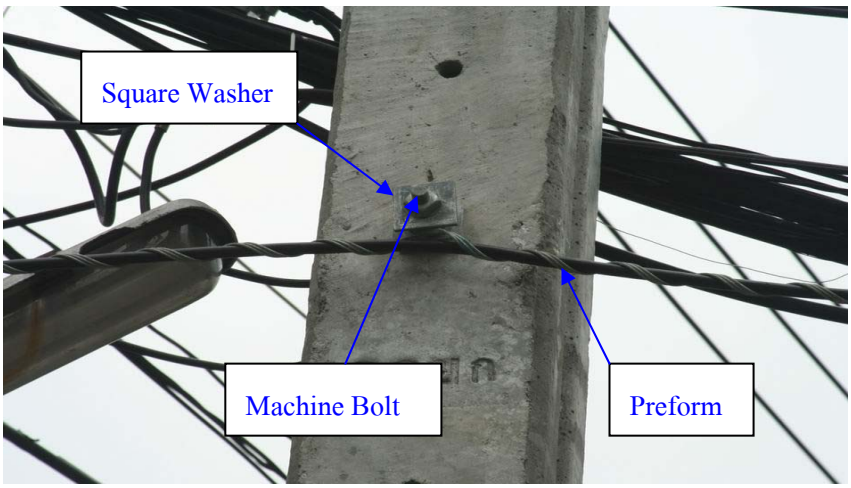
4.23 ทำตามขั้นตอนที่ 4.5 - 4.7



การติดตั้งเคเบิล ADSS

การติดตั้งกับเสาคอนกรีตโดยตรง

- ให้ใช้ Machine Bolt ให้เหมาะสมกับขนาดของเสาคอนกรีต ยึดเข้ารูของเสาคอนกรีตแล้วใช้ Square Washer ขั้นระหว่าง Preformed กับเสาคอนกรีต

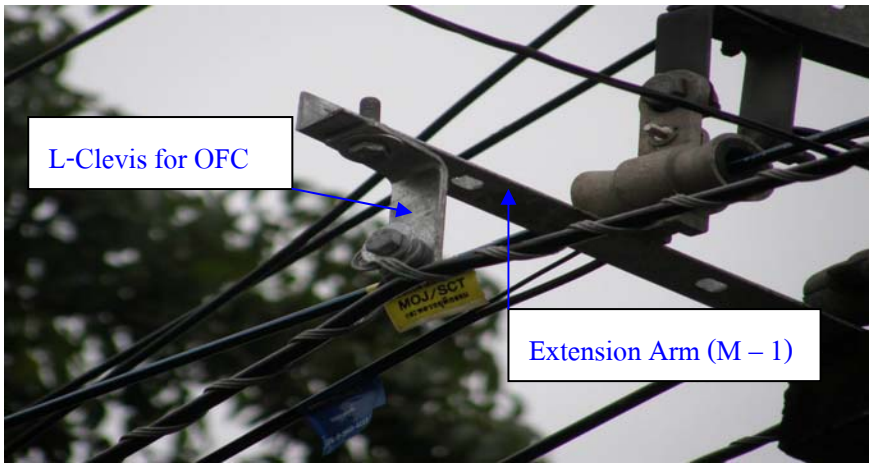


การติดตั้งสายบน Cross Arm

- ให้ติดตั้ง L-Clevis ที่ Cross Arm แล้วนำ Preformed มายึดติดกับ L-Clevis
- หาก Cross Arm ที่มีอยู่เดิมมีสภาพที่ใช้งานได้เป็นอย่างดี ให้พาดสายเคเบิลกับ Cross Arm นั้นถ้า Cross Arm นั้นชำรุดหรือไม่แข็งแรง ต้องเปลี่ยน Cross Arm ใหม่
- โดย Cross Arm ใหม่ทำจากโลหะอ้างอิงตามมาตราฐาน TOT

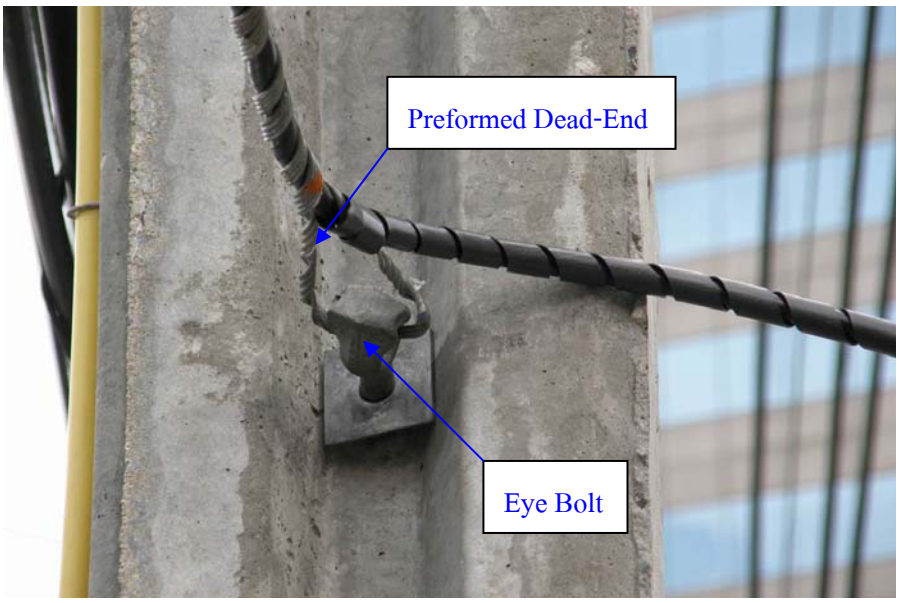
การติดตั้งสายเคเบิลด้วย Extension Arm

- ถ้าไม่สามารถติดตั้งสายเคเบิลเข้ากับ Cross Arm โดยตรงให้ทำการติดตั้ง Extension Arm (M –1) เข้ากับ Cross Arm และใช้ตัว L-Clevis for OFC ยึดกับ Extension Arm (M – 1) แล้วจึงใช้ Preformed จับยึดตัวเคเบิล



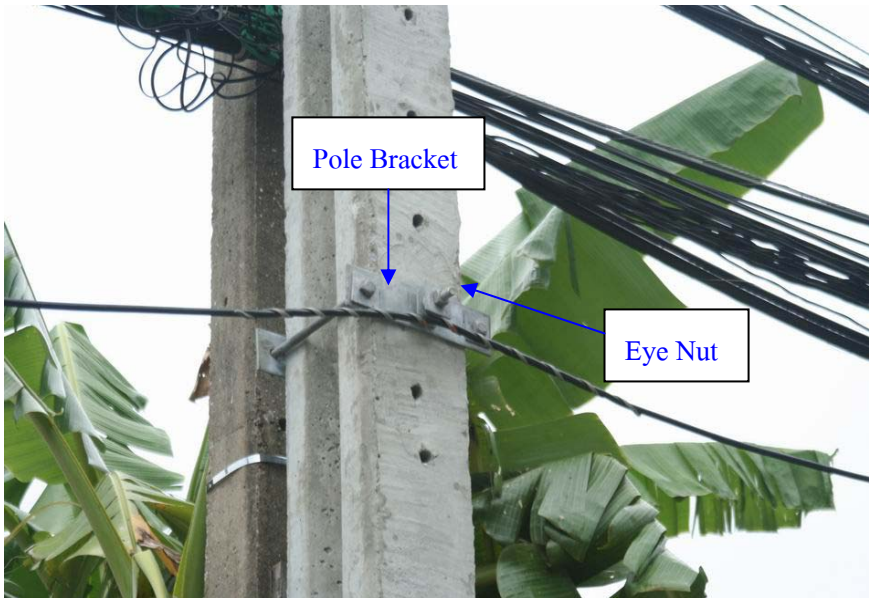
การติดตั้งที่สายเคเบิลเปลี่ยนแนว

- ให้ใช้ Eye Bolt หรือ Eye Nut ยึดรูของเสาคอนกรีต แล้วใช้ Preformed Dead-End เป็นตัวจับยึดเคเบิล



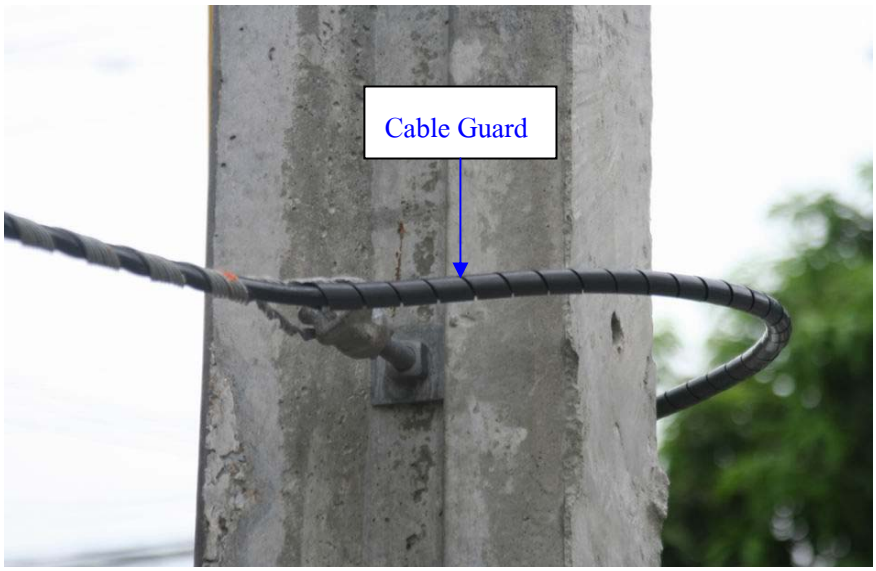
การติดตั้งที่สายเคเบิลเปลี่ยนแนวแต่ไม่มีรูของเสาคอนกรีต

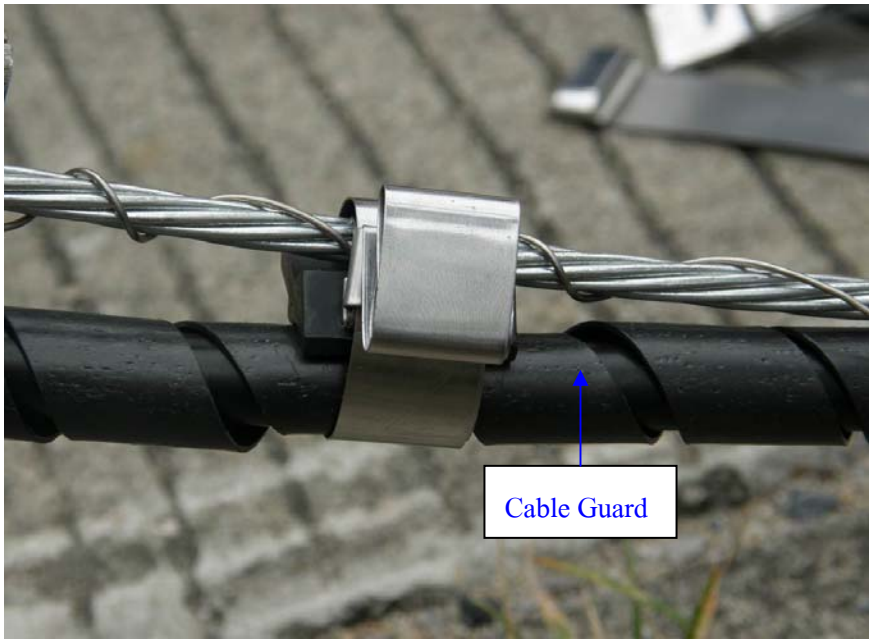
- ให้ใช้ Pole Bracket ยึดจับเสาคอนกรีต ใช้ Eye Nut ขันเข้ากับตัว Pole Bracket แล้วจึงใช้ Preformed Dead-End เป็นตัวจับยึดเคเบิล



Cable Guard

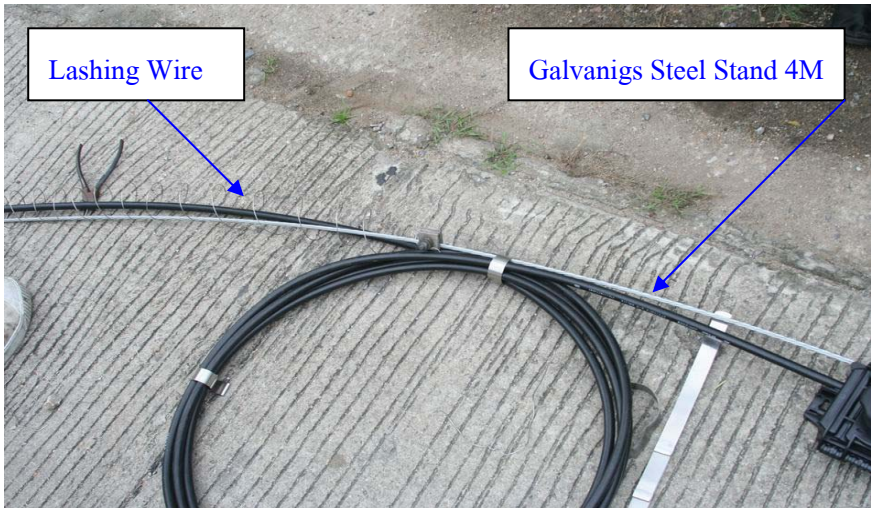
- พัน Cable Guard ตรงส่วนที่สัมผัสกับเสา ,ส่วนโค้งงอ หรือส่วนที่มีกิ่งไม้พาดผ่าน





การติดตั้งหัวต่อของเคเบิล

- ให้ใช้ Galvanigs Steel Stand 4M ยึดระหว่าง span เสาคอนกรีต และให้เคเบิลเดินแนบกับสาย stand โดยให้ใช้ Lashing Wire พันเกรียวตลอดแนวระยะพอเหมาะ การพันเกรียวไม่แตหรือขาดจาก Strand Wire

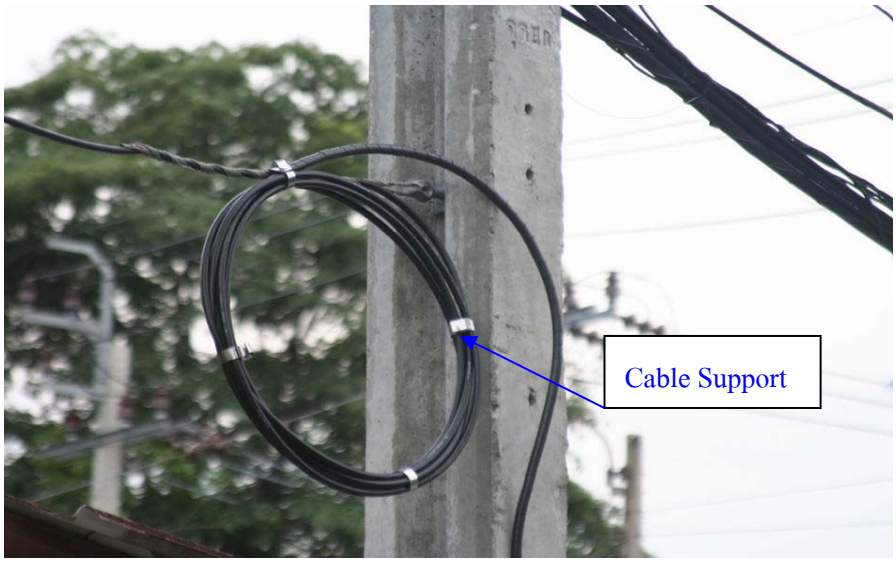


การ Spare เคเบิล (Loop Cable)

- จุดเชื่อมต่อเคเบิล (Splice Enclosure) ให้ Spare 15 เมตร ทั้งสองข้างของ Splice Enclosure

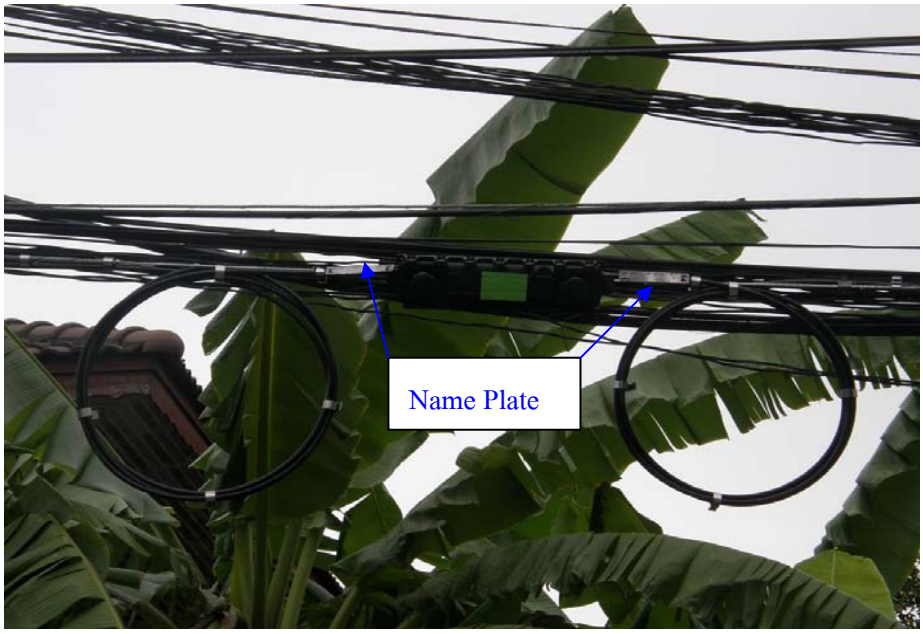
- การม้วนเก็บสายเคเบิล Spare ทำได้โดยการม้วนเป็นวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 60 ซม.แล้วรัดด้วย Cable Support จำนวน 4 จุด

- จุดที่ต้องทำการ Spare เคเบิล ตามมาตราฐานติดตั้งของ DTAC



Name Plate

- ติด Name Plate ทำจากตะกั่ว
- ติดทุกจุดที่มีการตัดต่อเคเบิล ทั้ง 2 ด้านของหัวต่อ



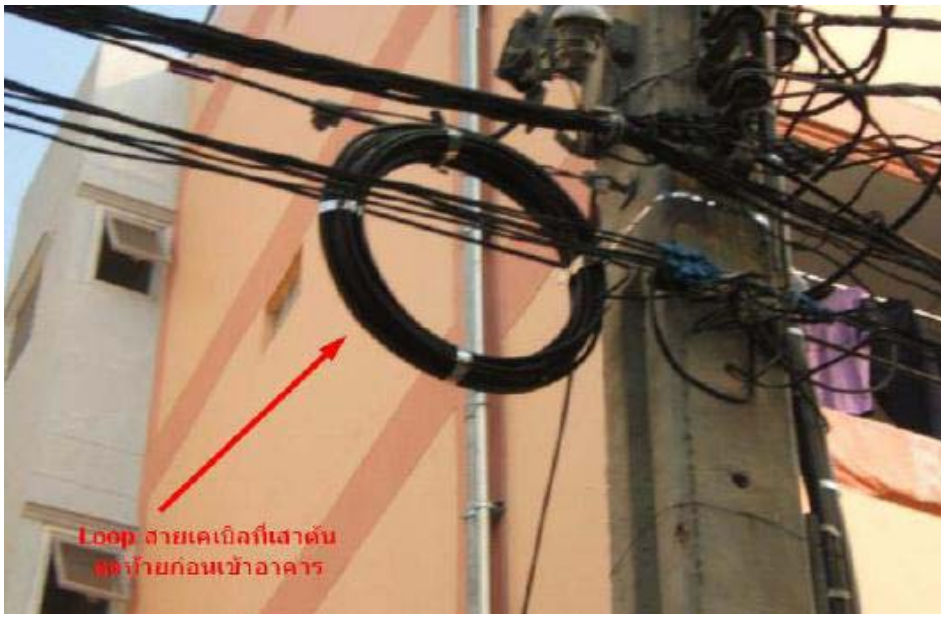
การติดตั้ง Ground

- ให้ทำการติดตั้ง Ground กับสาย Stand ที่เสาคอนกรีต ต้นที่มีจุดตัดต่อ Cable

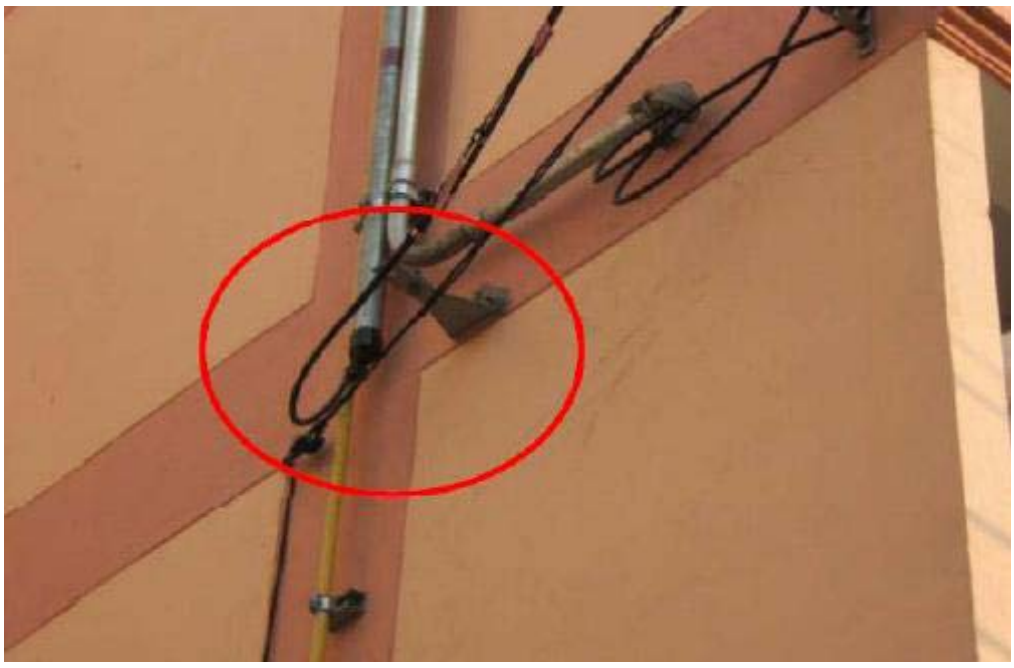
Ground Clamp

การนำเคเบิลเข้าอาคาร

- Loop สายเคเบิลที่เสาต้นสุดท้ายก่อนเข้าอาคาร



- ปลายท่อปิดด้วย Cable gland หันปลายลงแนวดิ่ง และอุดด้วย Silicone กันน้ำอีกครั้ง



ภาคผนวก ค

คู่มือการบำรุงรักษาและการฝึกอบรม

บทที่ 1

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ SDH

1. ทำไมจึงต้องมี Digital Hierarchy Systems

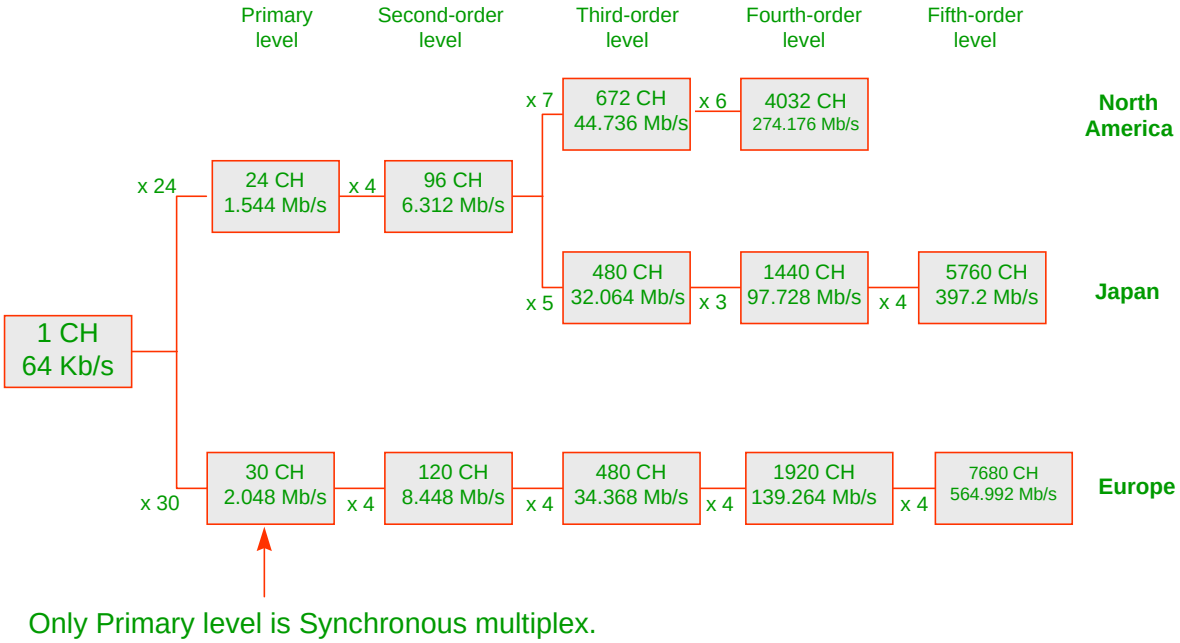
1.1 วิวัฒนาการของระบบสื่อสัญญาณ(Transmission Systems)

ระบบสื่อสัญญาณเริ่มต้นจากการส่งสัญญาณ 1 ช่องสัญญาณผ่านสายส่ง 1 คู่สายซึ่งไม่เป็นการประหยัด (Economization) จากการใช้งานทรัพยากร จึงได้มีการพัฒนาวิธีการรวมสัญญาณข้อมูลจากหลาย ๆ แหล่งกำเนิดสัญญาณให้สามารถส่งผ่านสายส่งเพียง 1 คู่สายได้ และนี่ก็คือจุดกำเนิดของ **Digital Hierarchy Systems**

ในปัจจุบันนี้วิวัฒนาการของระบบสื่อสัญญาณได้ดำเนินมาถึงขั้นที่ **ระบบสื่อสัญญาณแบบดิจิตอล(Digital Transmission) ถูกนำมาใช้แทนระบบสื่อสัญญาณแบบอนาลอก(Analog Transmission)** และ**สายใยแก้วนำสัญญาณ(Fiber Cable) ถูกนำมาใช้แทนสายโคแอกเชียล(Coaxial Cable)** ซึ่งเหล่านี้นี่เองที่เป็นหนึ่งในหลาย ๆ เหตุผลของการกำเนิด SDH ขึ้นมา

1.2 PDH

มาตรฐานสำหรับ PDH(Plesiochronous Digital Hierarchy) ซึ่งถูกกำหนดเอาไว้โดย ITU-T (International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector **former CCITT **) มี Hierarchy Level และ Data Speeds ที่แตกต่างกันระหว่างมาตรฐานยุโรป อเมริกาเหนือ และญี่ปุ่น ดังแสดงได้ในรูปที่ 1.1



รูป 1.1 Digital Signal Hierarchy Standards

ให้อธิบายความหมายของประโยคในข้อ 1 และ ข้อ 2

1. **Flexibility of PDH is poor.**
2. **Supervision, Protection, and etc. of PDH are not compatible between different manufacturers.**

.....
.....
.....
.....
.....

1.3 SDH

เหตุผลหนึ่งที่ได้มีการกำหนด SDH กันขึ้นมาก็คือ เพื่อให้สามารถใช้งานมาตรฐานความเร็วของสัญญาณ 2 Mbit/s กับ 1.5 Mbit/s ร่วมกันได้ในมาตรฐานเดียวกัน
และแน่นอนว่ามาตรฐานใหม่นี้ก็ต้องสามารถเชื่อมต่อ(Interface)เข้ากับอุปกรณ์ที่ใช้กับมาตรฐานเดิมได้อีกด้วย

แรกเริ่มเดิมทีนั้น Synchronous Hierarchy ถูกกำหนดขึ้นมาในนามของ SONET (Synchronous Optical Network) ที่ซึ่งมีความเร็วของสัญญาณสูงกว่า 45 Mbit/s ซึ่งเป็นความเร็วที่สูงที่สุดของมาตรฐานอเมริกาเหนือ เล็กน้อย(เท่ากับ 51.84 Mbit/s) ทั้งนี้เพื่อให้ Payloads ของ 45 Mbit/s สามารถบรรจุเพื่อส่งโดย SONET ได้

ต่อมา ในยุโรปก็ได้เริ่มตระหนักถึง Synchronous Hierarchy จึงได้นำ SONET มาปรับแต่งให้เหมาะสมเพื่อใช้งานกับความเร็วที่สูงที่สุดของมาตรฐานยุโรปคือ 140 Mbit/s โดยการเพิ่มความเร็วของ SONET เป็นสามเท่าของความเร็วเดิม (3 x SONET Speed = 155.52 Mbit/s) สัญญาณนี้ถูกเรียกว่า STM-1(Synchronous Transport Module - First Level) ซึ่งถือว่าเป็นความเร็วระดับแรกสุดของ SDH
ส่วนที่ความเร็วระดับสูงกว่าก็สามารถหาได้จากการคูณความเร็วระดับแรกสุด (155.52 Mbit/s)นี้ด้วยจำนวน n ก็จะได้ STM-n โดย STM-4 และ STM-16 ถูกกำหนดขึ้นมาเป็นมาตรฐานตาม ITU-T Recommendation G.707

2. SDH คืออะไร

SDH ย่อมาจาก Synchronous Digital Hierarchy ซึ่งสามารถสรุปความหมายของแต่ละคำได้ดังนี้

1. Synchronous

ด้วยการ Synchronization นั้น ตัวที่ทำหน้าที่จัดการเกี่ยวกับข้อมูลในโครงข่ายจะสามารถทราบได้ว่า ตรงไหน และเมื่อไรที่สามารถจะพบข้อมูลได้ อีกนัยหนึ่งก็คือ
ตัวที่ทำหน้าที่จัดการเกี่ยวกับข้อมูลสามารถค้นหาจุดเริ่มต้นของข้อมูลทั้งนี้เพื่อนำเอาข้อมูลออกมาใช้งานต่อไปได้

2. Digital

Digital ในที่นี้ก็คือสัญญาณ Digital นั่นเอง ซึ่งด้วยสัญญาณแบบ Digital นี้เองที่สามารถจะทำการ Multiplexing แบบแบ่งทางเวลา(TDM)เข้าด้วยกันได้ซึ่งจะมีข้อดีกว่าสัญญาณแบบ Analog ที่ทำการ Multiplexing แบบแบ่งทางความถี่(FDM)เนื่องจากจะใช้ Bandwidth ในการ Multiplexing ที่น้อยกว่านั่นเอง
นอกจากนี้แล้วหากว่ากันด้วยเรื่องของระบบสื่อสัญญาณ ก็ได้มีการพิสูจน์ออกมาแล้วว่า Digital Transmission จะได้คุณภาพของสัญญาณที่ดีกว่า Analog Transmission เมื่อพิจารณาที่สิ่งแวดล้อมเดียวกัน

3. Hierarchy

Hierarchy เป็นคำที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วระดับต่าง ๆ ของข้อมูลใน Digital Transmission โดยข้อมูลความเร็วต่ำสามารถถูกบรรจุลงในข้อมูลที่มีความเร็วสูงกว่าได้ โดยจะมีลักษณะของการบรรจุนี้เป็นลำดับขั้น หรือ Hierarchy นั่นเอง

2.1 SDH versus PDH

ในการตัดสินใจที่จะปรับเปลี่ยน SDH มาใช้แทน PDH นั้นจะพิจารณาที่ ต้นทุน และคุณสมบัติในการใช้งานเป็นหลัก กล่าวคือ จะต้องพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นควบคู่ไปกับความสามารถในการให้บริการ, คุณภาพของการให้บริการด้วย ถ้ามองในระยะสั้นแล้ว พบว่า PDH ยังคงเหมาะสมกว่าถ้าหากพิจารณาในด้านการประหยัดเพียงอย่างเดียว ในขณะที่ถ้ามองในระยะยาวนั้น ความน่าสนใจส่วนใหญ่จะไปตกอยู่ที่ SDH ซึ่งเป็นทางเลือกที่ดีกว่า

นอกจากนี้แล้ว SDH ยังเหนือกว่า PDH ในด้านของความสามารถในการเข้าถึงข้อมูล(Accessibility) ยกตัวอย่างเช่นในการส่งสัญญาณ E-1(2 Mbit/s) หากส่งสัญญาณ E-1 ไปในระบบ SDH โดยใช้ STM-1 เป็นตัวขนส่ง เราจะพบว่าสามารถดึงสัญญาณ E-1 ออกมาจาก STM-1 ได้ทันทีที่เราต้องการจะใช้สัญญาณ แต่ถ้าหากเป็นการส่งสัญญาณ E-1 ไปในระบบ PDH โดยใช้ E-4(140 Mbit/s) เป็นตัวขนส่ง ถ้าต้องการจะดึง E-1 ออกมานั้นจำเป็นจะต้องทำการ Demultiplexing สัญญาณจาก E-4 ลงมาเป็น E-3(34 Mbit/s) , จาก E-3 ลงมาเป็น E-2(8 Mbit/s) , และ E-2 ลงมาเป็น E-1 ตามลำดับ ซึ่งนับว่าเป็นการเสียเวลาเป็นอย่างมาก

SDH ยังเหนือกว่า PDH ในเรื่องที่เกี่ยวกับการบริหารสถานีต่าง ๆ อีกด้วย โดยข้อมูลเกี่ยวกับการบริหารและจัดการสถานีต่าง ๆ จะถูกส่งไปให้กับสถานีที่เกี่ยวข้องอย่างรวดเร็ว และถูกต้อง นอกจากนี้ในส่วนของจุดหมายปลายทางของข้อมูลก็ยังสามารถที่จะทำการเปลี่ยนแปลงได้ตามที่ลูกค้าต้องการ หรือในกรณีที่เส้นทางเดิมถูกกีดขวาง(Blocked)การใช้งานอยู่ จะทำการเปลี่ยนเส้นทางแต่ไปที่จุดหมายปลายทางเดิม (หรือ Rerouting) ก็ยังทำได้ แต่ถ้าเป็นในกรณีของ PDH ปลายทางของข้อมูลจะถูกกำหนดไว้อย่างแน่นอนตายตัว(Fixed)อยู่แล้ว ส่วนการเปลี่ยนแปลงเส้นทางนั้นสามารถทำได้ แต่ก็ต้องมีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นอย่างมากเนื่องจากจำเป็นจะต้องสร้างเส้นทางอีกเส้นทางหนึ่งขึ้นมาใหม่

ให้อธิบายความเหมือน หรือแตกต่างกันของ 2.048 Mbit/s กับ E-1

.....

.....

2.2 ประโยชน์ของ SDH ต่อผู้ใช้ และผู้ให้บริการ

เมื่อเทียบกับระบบเก่าแล้ว SDH จะให้ประโยชน์ในแง่ของผู้ใช้บริการดังนี้

1. Higher Reliability

จากการที่สามารถทำการเปลี่ยนเส้นทางแต่ไปที่ปลายทางเดิมในกรณีที่เส้นทางเดิมถูกกีดขวาง(Blocked)การใช้งานอยู่

2. Improved Accessibility

3. More Service จากการที่ Payload ของ STM-n นอกจากมีความสามารถที่จะ Mapping ข้อมูลที่เป็น PDH ได้แล้ว ยังสามารถทำการ Mapping ข้อมูลจาก ATM, MAN หรือ FDDI ได้อีกด้วย

เมื่อพิจารณาในแง่ของผู้ให้บริการ

1. การลดต้นทุน เนื่องมาจากการที่ SDH จะมีฟังก์ชั่นต่าง ๆ อาทิเช่น ฟังก์ชั่นของ Engineer Order-Wire(EOW) , ฟังก์ชั่นของ Network Management , ฟังก์ชั่นของระบบ Protection และการ Restoration ซึ่งฟังก์ชั่นเหล่านี้สามารถใช้งานในระบบของ SDH ได้ โดยการส่งไปกับส่วนของ Byte ข้อมูลที่อยู่ในส่วนของ Section Overhead (SOH) ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดของ SOH ในหัวข้อต่อไปของบทนี้ แต่ในระบบ PDH ไม่มี Byte หรือ Bit สำหรับทำหน้าที่เหล่านี้ได้โดยตรง การใช้ฟังก์ชั่นเหล่านี้จำเป็นที่จะต้องมีอุปกรณ์เพิ่มเติมซึ่งก็ต้องเกิดค่าใช้จ่ายขึ้นอย่างแน่นอน นอกจากนี้แล้วอุปกรณ์เพิ่มเติมเหล่านี้ก็ไม่ได้มีมาตรฐานกำหนดไว้แต่อย่างใด จึงทำให้โดยส่วนใหญ่ของอุปกรณ์เหล่านี้ที่ผลิตจากต่างผู้ผลิตกันไม่สามารถใช้งานร่วมกันได้

2. ในระบบ SDH ที่ส ามารถควบคุมโครงข่ายทั้งหมด(Network Management)จากศูนย์กลางได้นั้น ทำให้เกิดประสิทธิภาพในการจัดการโครงข่าย

3. ความจุ หรือความเร็วในการส่งข้อมูลสูงกว่าในระบบเดิม

4. มีความสามารถในการเก็บข้อมูล หรือสถิติที่เกี่ยวกับ Performance ต่าง ๆ ของสัญญาณ อาทิ เช่น Error Second, Block Error เป็นต้น

2.3 บทสรุป

จากข้อมูลต่าง ๆ ในหัวข้อก่อน ๆ หน้านี้ เราสามารถสรุปเหตุผลของการนำ SDH มาใช้งานได้ว่า เนื่องมาจาก

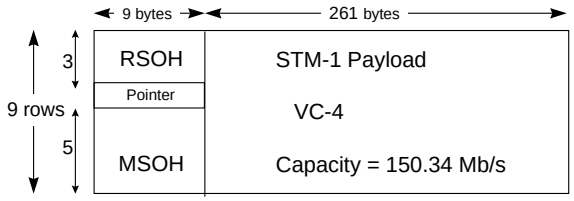
- ความสามารถในการให้บริการที่หลากหลายกว่า(offers More Services)
- บริการต่าง ๆ มีความเชื่อถือได้(Reliability)สูง และสามารถเข้าถึงข้อมูลได้อย่างทันที(Instantaneous Accessibility)
- มีความยืดหยุ่น หรือประสิทธิภาพที่ดีกว่าหากต้องการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขของการส่งข้อมูล(Traffic Conditions)

อย่างไรก็ตามในอีกแง่มุมหนึ่งที่ถูกพิจารณาสำหรับ SDH คือข้อเสียที่ต้นทุนจากการติดตั้งโครงข่า ย SDH ค่อนข้างสูง และจะไม่สามารถได้คืนอย่างทันทีทันใด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ ที่มีความยากในการติดตั้งซึ่งทำให้ต้องเสียต้นทุนในการติดตั้งที่สูงกว่าปกติ

3. โครงสร้างเฟรมของ SDH (The SDH Frame Structure)

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึง โครงสร้างเฟรมของ SDH และหน้าที่ต่าง ๆ ของ Pointer กับ ส่วนของ Overhead นอกจากนี้ก็จะกล่าวถึงวิธีการ Multiplexing และ Mapping ของ Payload ในเฟรมของ STM-1 อีกด้วย

ก่อนอื่นก็มาเริ่มต้นจาก โครงสร้างเฟรม STM-1 กันก่อน



2430 bytes/frame * 8 bits/byte * 8000 Hz = 155.52 Mb/s

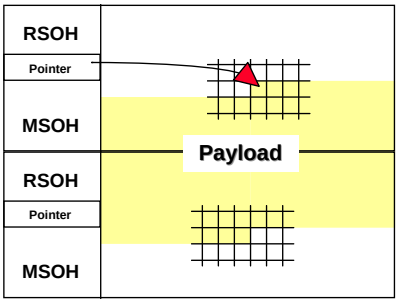
RSOH	Regenerator Section OverHead
MSOH	Multiplexer Section OverHead
STM	Synchronous Transport Module

<u>รูป 1.2</u> STM-1 Frame Structure

<u>ภาพรวมของโครงสร้างเฟรม STM-1</u>

1. STM-1 จะถูกจัดเป็น Block ที่มีขนาด 9 แถว 270 คอลัมน์ โดยทุก ๆ คอลัมน์จะเท่ากับ 1 ไบท์(byte) โดย 9 ไบท์แรกจะถูกใช้สำหรับ Section OverHead ส่วนอีก 261 ไบท์จะถูกใช้สำหรับ Payload
2. ส่วนของ Section OverHead ประกอบไปด้วยส่วนของ Regenerator Section OverHead(RSOH; 3x9 bytes) และส่วนของ Multiplexer Section OverHead(MSOH; 5x9 bytes)
3. 6 ไบท์แรกของ RSOH จะเป็นส่วนของ Frame Alignment Signal(FAS) ซึ่งแทนจุดเริ่มต้นของเฟรม STM-1
4. ส่วนของ OverHead ถูกใช้สำหรับการตรวจสอบข้อมูลที่ผิดพลาด , สำหรับเป็นช่องทางในการติดต่อเพื่อการจัดการและดูแลรักษาระบบ และอื่น ๆ อีกโดยจะได้กล่าวถึงต่อไป
5. 9 ไบท์ระหว่าง RSOH กับ MSOH จะถูกใช้เป็น Pointer ซึ่งเป็นตัวบอกจุดเริ่มต้นของ Payload

ต่อมาเราจะพิจารณาวิธีการทำงานของ Pointer



รูป 1.3 การทำงานของ Pointer

จากรูปที่ 1.3 นั้นจะเห็นได้ว่าตำแหน่งที่แท้จริงของ Payload ทั้งหมดจะไม่ได้อยู่ภายในเฟรมของสัญญาณเพียงเฟรมเดียว แต่จะเลื่อนไปยังเฟรมถัดไปด้วย ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากในความเป็นจริงนั้น Payload จะต้องเริ่มต้นหลังส่วนของข้อมูลที่เป็น Pointer ไบท์เสมอ

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

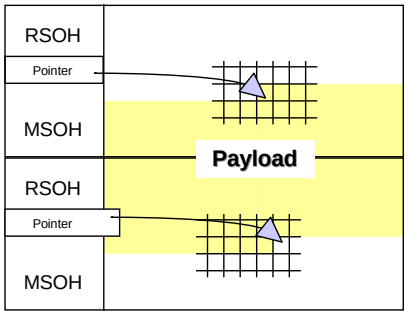
  Payload ของสัญญาณที่รับเข้ามาสามารถนำไปใส่ใน STM-1 ที่จะส่งออกไปได้เลย

- กรณีที่ Fstm-1 > Fpayload

  จะต้องทำการปรับให้ได้ความถี่ที่เท่ากัน ซึ่งจะได้

  Fstm-1 = Fpayload + Justification

  การปรับแบบนี้ ถูกเรียกว่า Positive Justification โดยจะทำการเพิ่มข้อมูลของการ Justification ลงไปในไบท์ของ Payload ที่อยู่หลังไบท์ที่ 9 ของ Pointer จำนวนทั้งหมด 3 ไบท์ ทำให้ดูเหมือนว่า Pointer ยาวขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1.4



รูป 1.4 Positive Justification

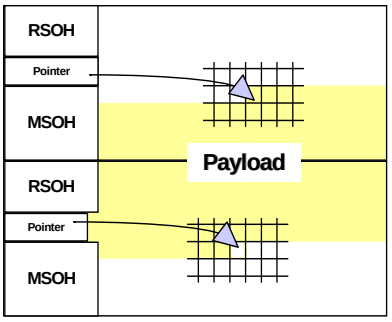
ข้อสังเกตที่ได้จาก Positive Justification คือจะเกิดการเปลี่ยนแปลง Pointer Value ขึ้น โดย Pointer Value ของเฟรมหลังจากทำการ Justification แล้วจะเท่ากับ Pointer Value ของเฟรมก่อนจะทำการ Justification ***บวกด้วย 1***

- 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 ดังแสดงในรูปที่ 1.5



<u>รูป 1.5</u> Negative Justification

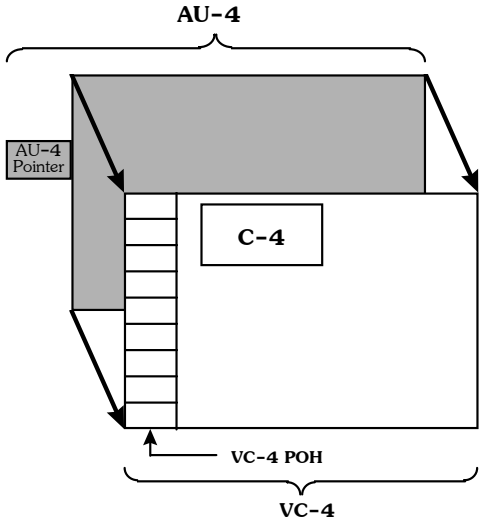
ในกรณีข อง Negative Justification นี้ Pointer Value ของเฟรมหลังจากทำการแล้ว Justification จะเท่ากับ Pointer Value ของเฟรมก่อนที่จะทำการ Justification ***ลบด้วย 1***

ทำไมในการทำ Justification ทั้งสองแบบ จึงต้องใช้ไบท์ที่เกี่ยวข้องจำนวน 3 ไบท์

จากที่เราเคยทราบมาแล้วว่า SDH เกิดจากการนำ SONET มาปรับแต่ง โดย STM-1 เกิดจากการเพิ่มความเร็วของ สัญญาณ STS-1 ตามมาตรฐานของ SONET เป็นสามเท่าของความเร็วเดิม (3 x STS-1 Speed = 155.52 Mbit/s) ซึ่งสัญญาณ STS-1 นี้จะใช้ไบท์สำหรับ Justification จำนวน 1 ไบท์ เพราะฉะนั้นใน STM-1 จึงใช้ไบท์สำหรับ Justification จำนวน 3 ไบท์นั่นเอง

3.1 วิธีการ Multiplexing ใน SDH

เราจะเริ่มต้นดูกันก่อนว่า สัญญาณ E-4(140 Mbit/s)นั้น เข้าไปอยู่ใน STM-1 ได้อย่างไร



AU	**Administrative Unit**
VC	**Virtual Container**
C	**Container**
POH	**Path Overhead**

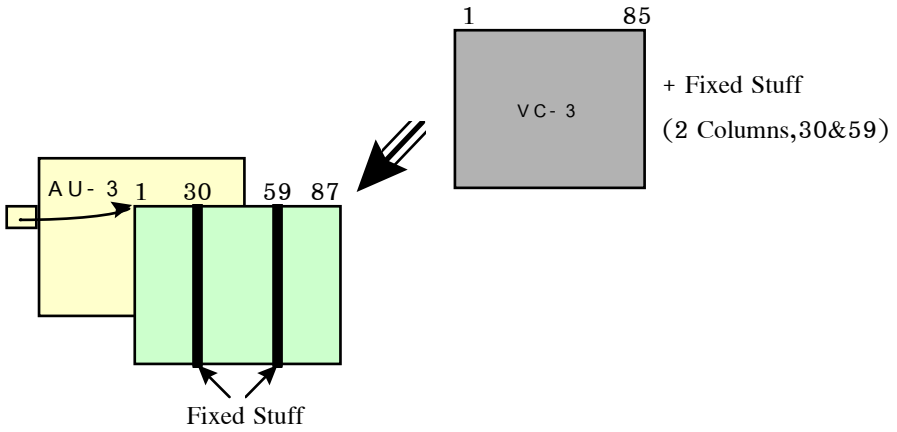
<u>รูป 1.6</u> Aligning of VC-4 into an STM-1

เริ่มจากสัญญาณ E-4 จะถูกแม็ป(Mapped) เข้า สู่คอนเทนเนอร์ ที่เรียกว่า C-4 จากนั้น VC-4 Path Overhead (VC-4 POH) ก็จะถูกเพิ่มเข้าไปใน C-4 ซึ่งหนึ่งในหลาย ๆ หน้าที่ของ POH นี้ก็คือการทำ Parity Check เพื่อตรวจหาความผิดพลาดของข้อมูลที่อยู่ในส่วนของคอนเทนเนอร์ และเราจะเรียกส่วนของ C-4 รวมกับ VC-4 POH นี้ว่า Virtual Container - 4 (VC-4) ต่อมาเมื่อทำการรวม VC-4 เข้ากับส่วนของ Pointer จะได้ส่วนของ AU-4 (Administrative - 4) ซึ่งสามารถถูกบรรจุลงไปใน STM-1 ได้

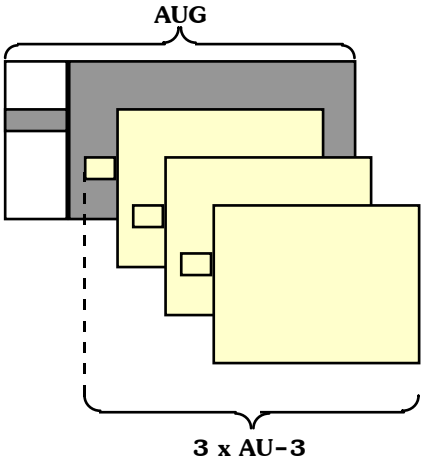
ในกรณีของมาตรฐาน PDH ของอเมริกาเหนือที่ซึ่งสัญญาณ 45 Mbit/s คือสัญญาณที่มีความเร็วสูงสุด เราสามารถบรรจุสัญญาณนี้ลงไปในเฟรมของ STM-1 ได้ โดยการ Mapped สัญญาณนี้ด้วยวิธีเดียวกับสัญญาณ E-4 แต่จะต่างกันที่สัญญาณนี้จะไปอยู่ที่ AU-3 และเมื่อนำ AU-3 สามชุดมาทำการรวมเข้าด้วยกันในลักษณะของ Byte Interleaving ก็จะได้ AU-4 ออกมา

พิจารณาวิธีการที่สัญญาณ E-4 เข้าไปอยู่ใน STM-1 แล้ว ต่อมาจะพิจารณาวิธีการที่สัญญาณ E-3(34 Mbit/s) เข้าไปอยู่ใน STM-1 ซึ่งจะมี 2 แบบ เราจะมาดูแบบแรกกันก่อน

<u>แบบแรก</u>นี้สัญญาณ E-3 จะเข้าไปอยู่ที่ C-3 , VC-3 , และ AU-3 ตามลำดับด้วยวิธีการที่เหมือนกับในกรณีของการที่สัญญาณ E-4 เข้าไปอยู่ใน STM-1 จากนั้นจึงนำ AU-3 สามชุดมา Byte Interleaving กัน



<u>รูป 1.7</u> โครงสร้างของ VC-3 ใน AU-3



<u>รูป 1.8</u> การ Multiplexing AU-3 ลงใน STM-1

จะเห็นว่าการ Multiplexing รูปแบบนี้ จะไม่มีส่วนของ VC-4 จึงไม่ถูกใช้สำหรับระบบของ SDH ที่เชื่อมต่อเข้ากับ PDH มาตรฐานยุโรป อย่างไรก็ตามการ Multiplexing รูปแบบนี้ แสดงให้เห็นถึงวิธีการ Multiplexing ของระบบ SONET ซึ่งจะใช้กับ PDH มาตรฐานอเมริกาเหนือ และญี่ปุ่น

สำหรับ**<u>แบบที่สอง</u>**สัญญาณ VC-3 สามชุด จะเข้าไปอยู่ใน VC-4 แล้วจึงทำการส่งออกไปเป็นเฟรมของ STM-n ซึ่งนอกจาก VC-3 แล้ว VC-4 ยังสามารถบรรจุสัญญาณ VC-12 สำหรับ PDH 2 Mbit/s ได้อีกด้วย จึงนับได้ว่า VC-4 เป็นแนวทางในการใช้ส่งสัญญาณ SDH สำหรับ PDH มาตรฐานยุโรป สำหรับวิธีการ Multiplexing แบบนี้ จะได้กล่าวถึงโดยละเอียดในหัวข้อ “โครงสร้างของการ Multiplexing ใน SDH” ต่อไป

3.2 โครงสร้างของการ Multiplexing ใน SDH

ก่อนเข้าสู่เนื้อหาของ โครงสร้างของการ Multiplexing ใน SDH จะขอแทรกความหมายของศัพท์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับ SDH-Frame Structure ก่อนดังนี้

- **Payload**

คือ ข้อมูลที่ถูกจัดเรียงในรูปของเมตริกซ์สี่เหลี่ยมที่ซึ่งมีความกว้าง 261 คอลัมน์ โดย Payload จะไม่มีตำแหน่งที่ตายตัวในเฟรมของ STM-1 กล่าวคือ มันสามารถที่จะไปอยู่ในเฟรมของ STM-1 เฟรมต่อไปได้

- **Container**

บิทข้อมูลที่ซึ่งต้องการจะส่งนั้น จะถูกเก็บไว้ใน Payload ซึ่งเจ้า Payload นี้จะเป็นเหมือน Container ขนาดใหญ่ที่ซึ่งสามารถบรรจุชุดของข้อมูลที่มีขนาดเล็กกว่าได้หลายชุด

Containerที่มีขนาดใหญ่ที่สุดคือ C-4 ซึ่งมีความสามารถที่จะบรรจุสัญญาณ PDH 140 Mbit/s ได้ นอกจากนี้ก็ยังสามารถบรรจุ Container ที่มีขนาดเล็กกว่าได้อีกด้วย โดยตาราง 1.1 จะแสดงลำดับขั้นของ Container

Container Code	Comparable PDH Level (European)	Other Levels (American, Japanese)
C-11		1.5 Mbit/s
C-12	2 Mbit/s	
C-2	*	6.3 Mbit/s
C-3	34 Mbit/s	45 Mbit/s
C-4	140 Mbit/s	

* Container C-2 is not defined for 8 Mbit/s.

ตาราง 1.1 Container Hierarchy

- **Path Overhead (POH)**

Container จะมีเส้นทางในการเดินทางในโครงข่าย หรือ Network ที่แน่นอน และจะถูกส่งไป-มาพร้อม ๆ กับ POH ซึ่งหน้าที่ของ POH โดยทั่วไปมีดังนี้

1. Parity Check for error monitoring
2. เป็นสัญญาณที่เป็นตัวบ่งบอกว่า Container ถูกใช้งานอยู่
3. Remote (alarm) information

นอกจากนี้ POH ยังถูกใช้เป็น Path user channel เพื่อตรวจสอบเส้นทางว่าถูกต้องหรือไม่ ได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามหน้าที่ของ POH นี้จะขึ้นอยู่กับ Hierarchy Level

- **Virtual Container**

การรวม Container กับ POH เข้าด้วยกัน จะได้ Virtual Container(VC) ออกมา ซึ่งเมื่อกล่าวถึง VC จะหมายถึง Container ของข้อมูลที่มีเส้นทางการส่ง หรือการเดินทางผ่านในโครงข่าย

- **Pointer (PTR)**

Pointer อยู่ในส่วนของ Overhead โดยเป็นตัวบอกจุดเริ่มต้นของ VC ซึ่ง Pointer นี้เป็นตัวที่ทำให้ SDH แตกต่างจาก PDH ในส่วนของความสามารถที่เข้าถึงข้อมูลได้โดยตรง

นอกจากนี้ในกรณีที่สัญญาณ Incoming กับ Outgoing ในระบบมี Bit Rate ที่แตกต่างกัน(โดยที่จำนวนบิทของข้อมูลยังคงเท่ากัน) จะส่งผลให้เกิดความแตกต่างทางเฟส(Phase Difference)ของสัญญาณ Incoming กับ Outgoing ขึ้นมา แต่ Pointer ก็สามารถจะช่วยปรับ Payload ที่มีเฟสต่างกันนี้ให้สามารถไหวตัวอยู่ในเฟรมของ STM-1 ได้

- **Tributary Unit(TU)**

VC รวมกับ Pointer จะถูกเรียกว่า Tributary Unit(TU) ซึ่ง TU จะถูกวางลงไปใน Tributary Unit Group อีกทีหนึ่ง หน้าที่ของ TU นี้จะเหมือนกับของ Administrative Unit (ซึ่งจะได้กล่าวถึง ต่อไป) แต่ที่ถูกเรียกว่า Administrative Unit ก็เพราะว่ามันจะถูกวางลงไปในเฟรมของ STM-1 โดยตรง

- **Tributary Unit Group(TUG)**

Tributary Unit Group(TUG) เกิดจากการที่ TU หลาย ๆ Unit จะถูกวางรวมกันแบบ Byte Interleaving ซึ่ง TUG นี้จะเป็นตัวกำหนดลำดับที่ของ TU ที่จะเข้าไปอยู่ใน Higher-Order Virtual Container(HOVC)* ทำให้เราสามารถเข้าถึงข้อมูลต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้อง

* คือ VC ที่สามารถถูกส่งโดยตรงในเฟรม STM-1 ได้ เพราะฉะนั้น HOVC จะมีได้สองแบบคือ VC-4 และ VC-3 ส่วน Lower-Order Virtual Container(LOVC) คือ VC ที่จะถูกส่งใน HOVC อีกที เพราะฉะนั้น LOVC ก็จะมี VC-11, VC-12, VC-2 และ VC-3 ที่ถูกส่งใน VC-4

- **Administrative Unit(AU)**

คือส่วนของ VC กับ Pointer ที่สามารถจัดลงในเฟรม STM-1 ได้โดยตรง ดังนั้นจากที่เราเคยรู้ว่าเฉพาะ VC-3 และ VC-4 เท่านั้นที่สามารถถูกจัดลงเฟรม STM-1 ได้โดยตรง เพราะฉะนั้นจึงมีเพียง AU-3 และ AU-4 เท่านั้น

- **Section Overhead(SOH)**

คือส่วนที่ถูกใช้สำหรับการดูแลรักษา(Maintenance) และการจัดการ(Management)เกี่ยวกับสัญญาณ ตัวอย่างเช่น การจัดให้มีช่องทางสำหรับส่งข้อมูล(Data Communication Channel)เพื่อการบำรุงรักษาและการจัดการ, การตรวจสอบความผิดพลาดต่าง ๆ (Error Check Facilities)

- **Synchronous Transport Module(STM-1)**

STM-1 คือ บล๊อคข้อมูลพื้นฐานในระบบ SDH โดยบล๊อคจะถูกแบ่งเป็น 270 คอลัมน์ และทุกคอลัมน์จะมีความกว้าง 1 ไบท์ สำหรับ 9 คอลัมน์แรกจะเป็นส่วนของ Overhead ส่วนอีก 261 คอลัมน์จะถูกจองไว้เป็นส่วนของข้อมูล

✎ **Frame Rate is 8000 per second.**

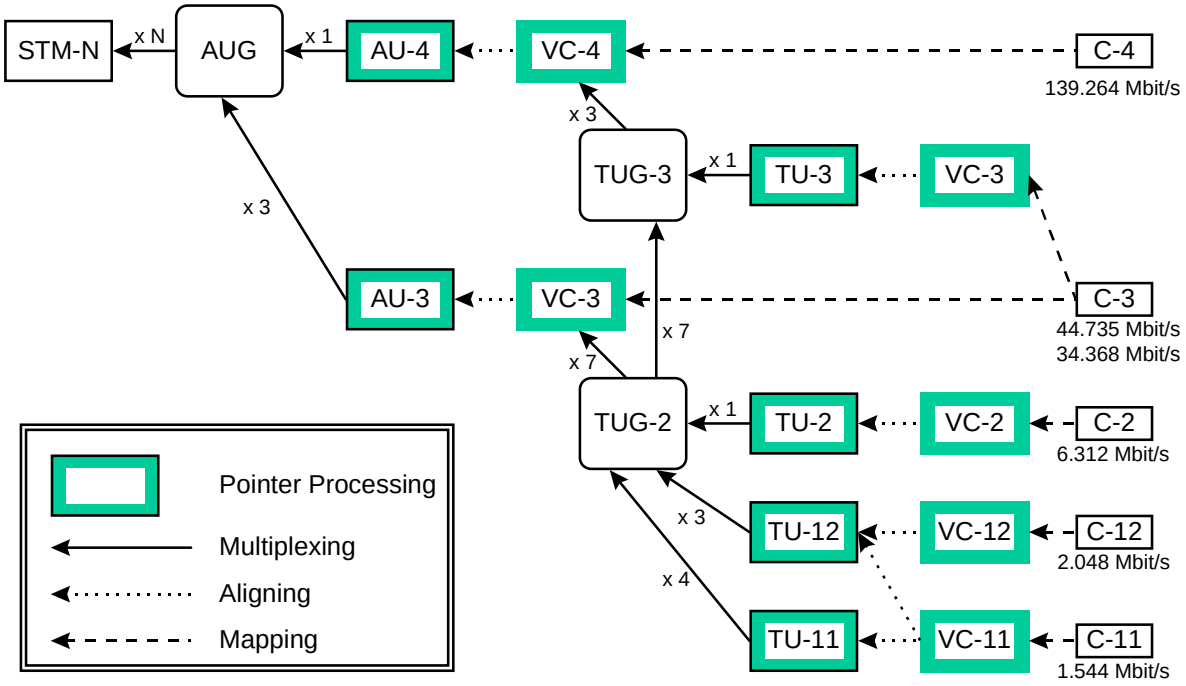
จากนี้ไปเราจะมาเริ่มพิจารณาเกี่ยวกับรายละเอียดของโครงสร้างของการ Multiplexing ใน SDH

ก่อนหน้านี้เราเคยรู้มาแล้วว่ามีหลากหลายวิธีที่สัญญาณข้อมูล PDH จะเข้าไปอยู่ใน Payload อย่างไรก็ตามก็มีรูปแบบโดยปกติดังนี้

1. สัญญาณ PDH ถูกแม็ป(Mapped)ลงใน Container และเมื่อทำการรวม POH เข้ากับ Container ก็จะได้ VC ออกมา
2. จากนั้นก็ทำการกำหนด Pointer ให้กับ VC สุดท้ายจะได้ TU หรือ AU ออกมาแล้วแต่กรณี
3. นำ TU หรือ AU มาทำการมัลติเพล็กซ์เข้าด้วยกันได้ TUG หรือ AUG แล้วแต่กรณี

จากข้อ 1 ถึง 3 สามารถบอกถึงความแตกต่างระหว่าง Mapping, Aligning และ Multiplexing ได้ กล่าวคือ ***Mapping*** เป็นกระบวนการที่จัด PDH เข้าไปไว้ใน VC ดังเช่นข้อ 1 , ***Aligning*** เป็นการกำหนด Pointer ให้กับ VC ดังเช่นข้อ 2 , และ ***Multiplexing*** คือการมัลติเพล็กซ์ TU หรือ AU เข้าด้วยกัน

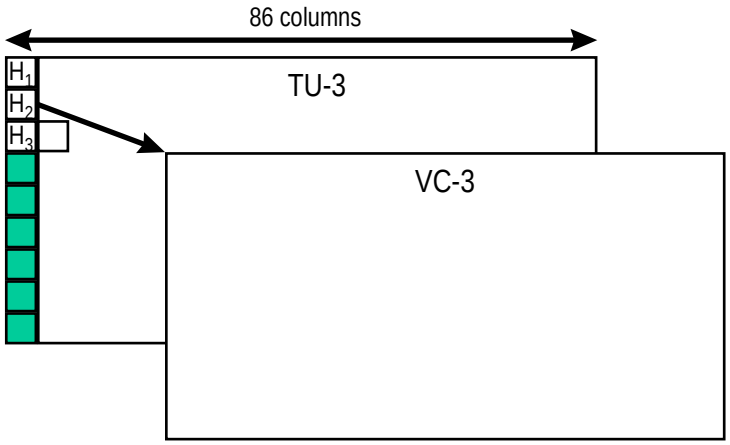
รูป 1.9 ข้างล่างนี้เป็นภาพรวมของโครงสร้างของการ Multiplexing ในระบบ SDH ซึ่งจะช่วยให้เราเข้าใจขั้นตอนของการมัลติเพล็กซ์ได้ดีขึ้น



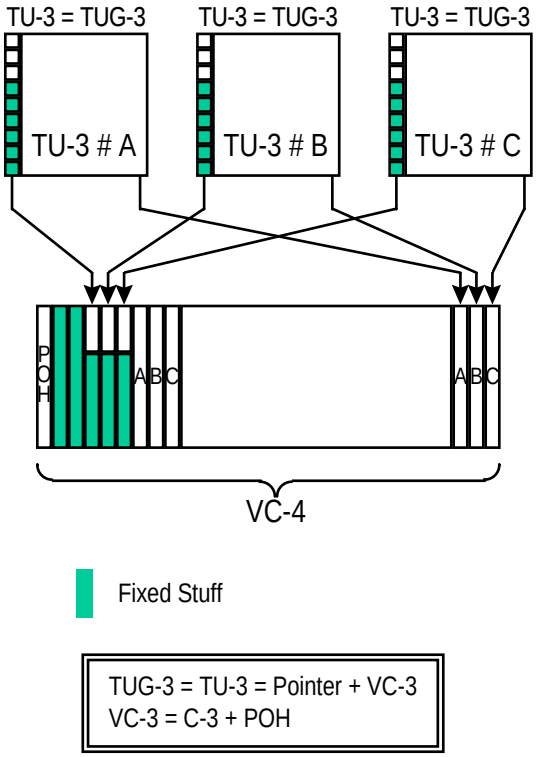
รูป 1.9 SDH Multiplexing Structure (ITU-T G.709)

มาถึงเรื่องที่ยังค้างกันไว้จากหัวข้อก่อน ๆ ก็คือ การจัดสัญญาณ E-3(34 Mbit/s) เข้าไปไว้ใน STM-1 โดยให้สัญญาณ VC-3 สามชุด จะเข้าไปอยู่ใน VC-4

Multiplexing 3 x TUG-3 in a VC-4



รูป 1.10 Transport of VC-3 in TU-3



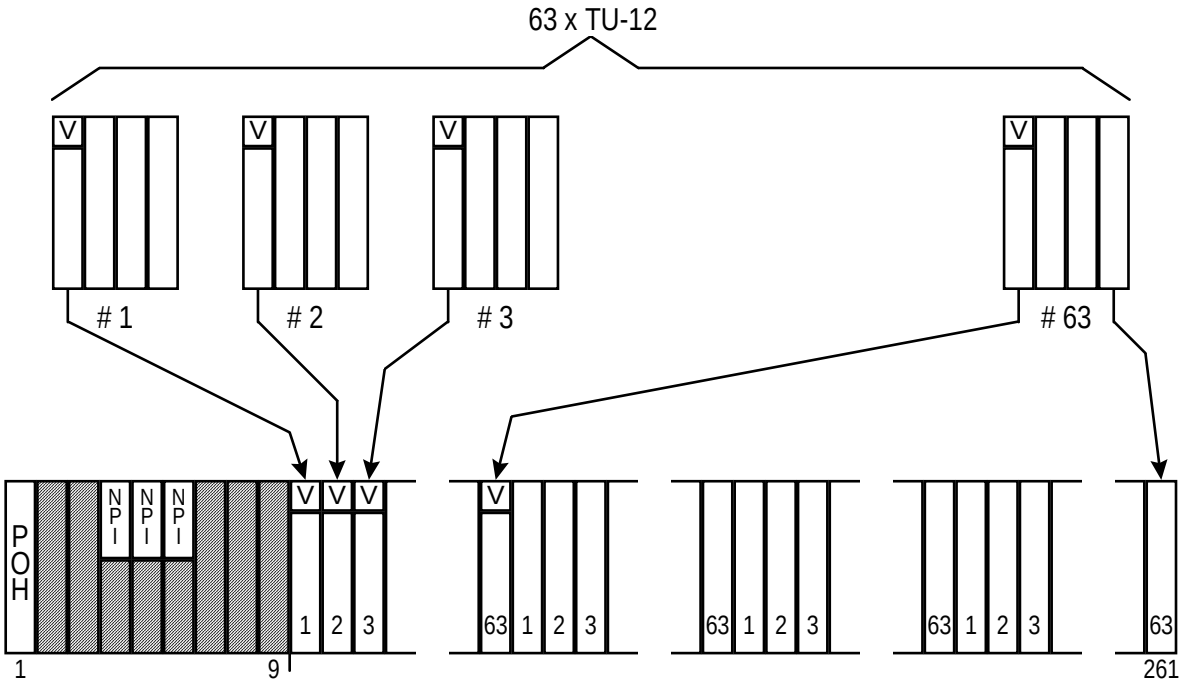
<u>รูป 1.11</u> Multiplexing of 3 TU-3s into VC-4

จากรูป 1.11 จะเห็นได้ว่า VC-3 (VC-3 ประกอบไปด้วยหนึ่งคอลัมน์ของ POH และส่วนของ C-3) สามชุดจะถูกมัลติเพล็กซ์แบบ Byte Interleaving เพื่อจัดลงใน VC-4 ต่อไป ในส่วนของ TU-3 นี้จะมีความกว้าง 86 คอลัมน์ เมื่อรวมทั้งสาม TU-3 ก็จะได้ทั้งหมด 258 คอลัมน์ ในขณะที่ Payload มีความกว้าง 261 คอลัมน์ เพราะฉะนั้นในกรณีนี้จะมีคอลัมน์ใน Payload ที่ไม่ได้ใช้อยู่สามคอลัมน์ซึ่งจะถูกจัดให้เป็นอิสระ(Free)

พิจารณา Payload ที่ได้ก็จะเห็นว่าคอลัมน์แรกของ Payload จะถูกใช้เป็น VC-4 Path Overhead ส่วนอีกสองคอลัมน์ถัดมาจะเป็น Fixed Stuff

ส่วน TU-3 ที่ได้จากการเพิ่ม Pointer Byte (H1, H2 และ H3) ให้กับ VC-3 ดังแสดงในรูปที่ 1.10 นั้น จะมี Byte สำหรับ Justification อยู่ต่อจาก H3 Byte ส่วน Byte ที่เหลือที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันกับ Pointer Byte นั้นจะเป็น Fixed Stuff

Multiplexing 63 TU-12s into VC-4



รูป 1.12 Multiplexing 63 TU-12s into VC-4

จาก ITU-T Rec. G.709 “Multiplexing Structure” ทำให้เราทราบว่า

TU-12 x 3 = TUG-2

TUG-2 x 7 = TUG-3

TUG-3 x 3 = VC-4

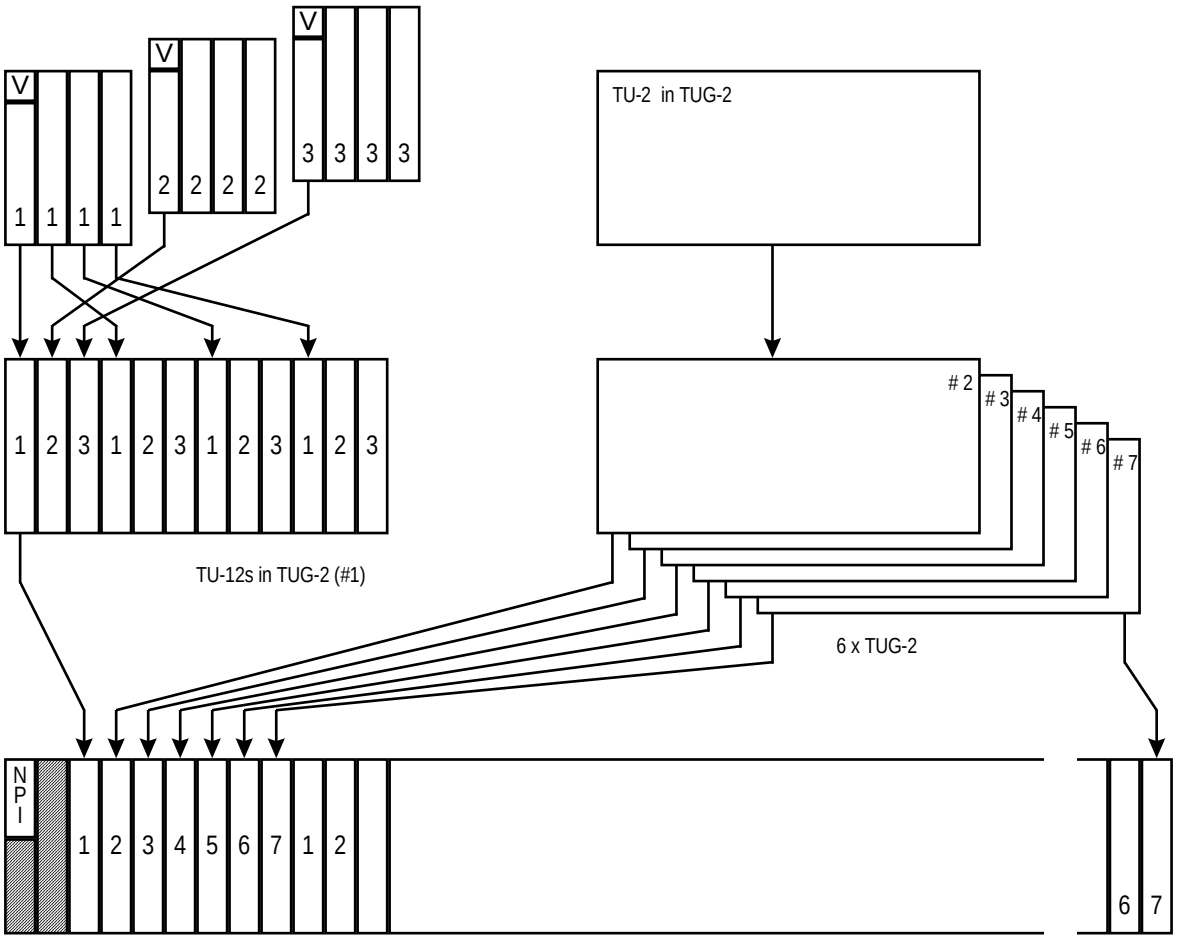
ซึ่งทำให้เรารู้ว่าจะมี TU-12 จำนวน 63 ชุดที่สามารถถูกจัดให้อยู่ใน VC-4 ได้

และจากรูป 1.12 จะเห็นถึงการมัลติเพล็กซ์ TU-12 ลงใน VC-4 ซึ่งในรูปนี้จะแสดงให้ดูเฉพาะส่วนของ TU-12 และ VC-4 เท่านั้น สำหรับรูปของ TUG-2 และ TUG-3 จะไม่แสดงไว้ ทั้งนี้เนื่องจาก TUG ไม่ได้มีอะไรมากมายไปกว่า “***การ Byte Interleaving กันของ TU***” ดังที่ได้เคยพบมาแล้ว แต่ในกรณีนี้เราจะสนใจเพียงว่ามี TU จำนวนเท่าไรใน TUG ซึ่งก็พบว่าสำหรับ TUG-2 จะได้จากการ Byte Interleaving TU-12 จำนวน 3 ชุด ส่วน TUG-3 ได้จากการ Byte Interleaving TUG-2 จำนวน 7 ชุด และจากนั้นก็นำ TUG-3 จำนวน 3 ชุดมา Byte Interleaving กันเป็น VC-4

ซึ่งการมัลติเพล็กซ์ตามลำดับขั้นที่ผ่านมานี้จะได้ผลเหมือนกับการ Byte Interleaving TU-12 จำนวน 63 ชุดเข้าด้วยกันโดยตรง

จุดที่น่าสังเกตจุดหนึ่งใน Payload ก็คือ ในคอลัมน์ที่ 4, 5 และ 6 จะเป็นค่าของ Null Pointer Indication(NPI) ซึ่งเป็น Pointer สำหรับในกรณีที่ TUG-3 ไม่ถูกใช้สำหรับขนส่ง TU-3 แต่ใช้กับ TU ที่ต่ำกว่า

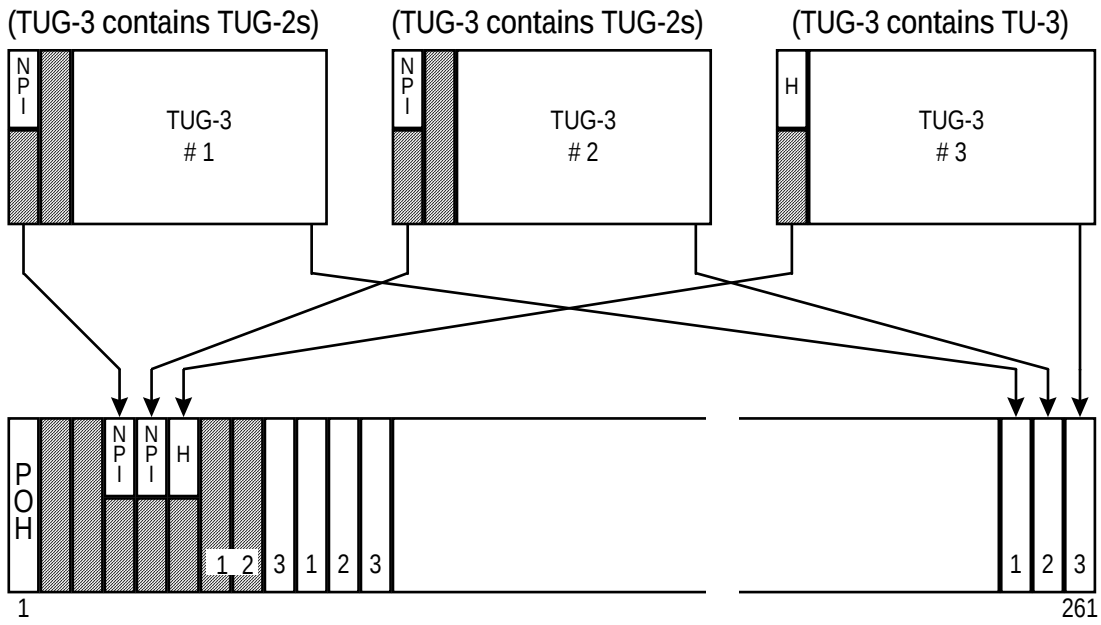
Multiplexing of TUG-2s into TUG-3



รูป 1.13 Multiplexing of TUG-2s into TUG-3

รูป 1.13 ต้องการแสดงให้เห็นว่าในการ Byte Interleaving ของ TUG-2 มาเป็น TUG-3 นั้น ในส่วนของ TUG-2 อาจมาจาก TU ที่ต่างกันได้ ตัวอย่างเช่นในกรณีนี้มี TUG-2 จำนวน 1 ชุดมาจาก TU-12 ส่วนอีก 6 ชุดมาจาก TU-2 เป็นต้น

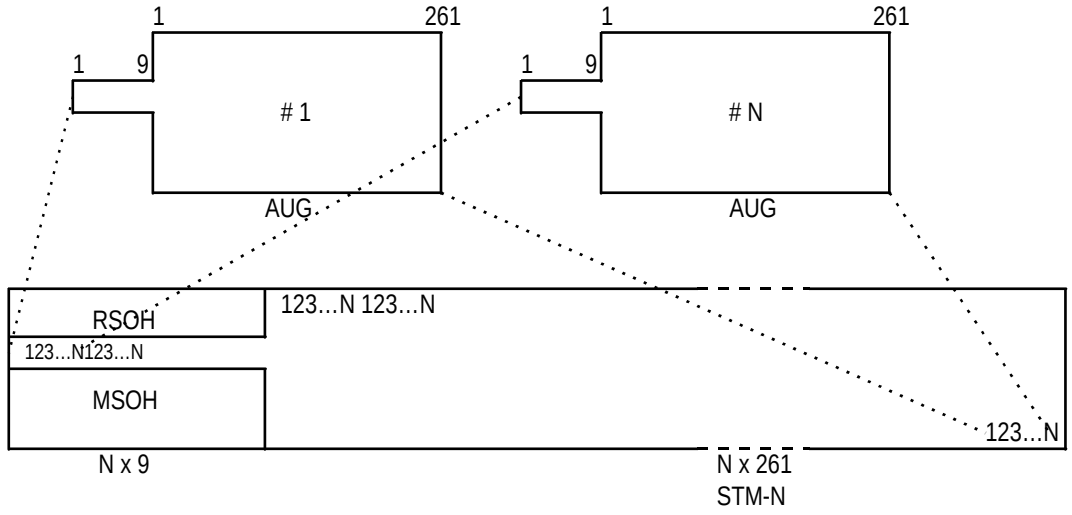
Multiplexing TUG-3s into VC-4



รูป 1.14 Multiplexing TUG-3s into VC-4

รูป 1.14 แสดงให้เห็นเช่นเดียวกันว่า TUG-3 ที่บรรจุ TU-3 กับ TUG-3 ที่บรรจุ 3 ชุดของ TUG-2 สามารถ Byte Interleaving เข้าด้วยกันได้

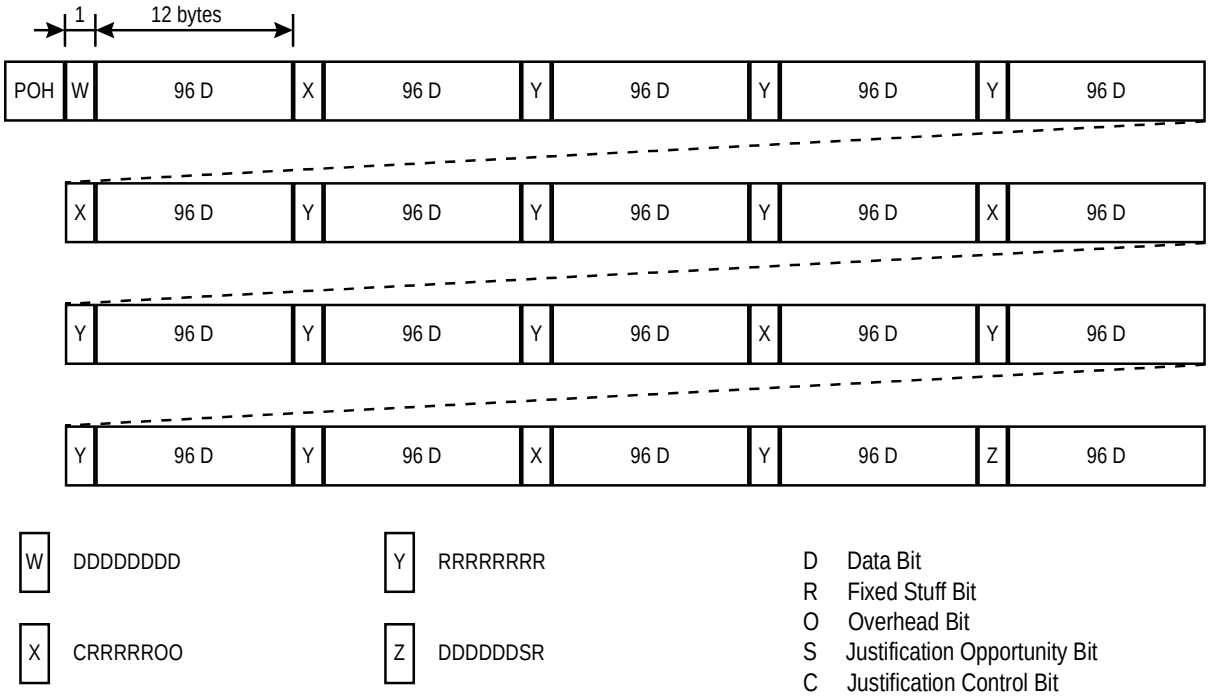
นอกจากนี้ การมัลติเพล็กซ์ AUG จำนวน N ชุด ให้เป็น STM-N ก็ใช้วิธี Byte Interleaving เช่นเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 1.15



รูป 1.15 Multiplexing of N AUGs into STM-N

ถึงตรงนี้แล้วก็เท่ากับว่าเราได้ทำความรู้จักกับการมัลติเพล็กซ์(Multiplexing)ลำดับขั้นต่าง ๆ ใน SDH ไปแล้ว ต่อจากนี้ไปเราจะมาดูที่การแม็ป(Mapping)กันบ้าง

เราจะมาเริ่มกันที่การแม็ปสัญญาณ PDH 140 Mbit/s(139.264 Mbit/s) ลงใน VC-4 กันก่อน



NOTE - This figure shows one row of the nine-row VC-4 container structure.

รูป 1.16 Asynchronous mapping of 139.264 Mbit/s tributary into VC-4

รูปที่เห็นเป็น 1 แถวจากจำนวนทั้งหมด 9 แถวของ VC-4 (โดยแต่ละแถวจะมีรูปแบบที่เหมือนกัน ยกเว้นส่วนของ POH) โดยจะแบ่งข้อมูลเป็นทุก ๆ 13 ไบท์หลัง POH และเรียกว่า BLOCK ซึ่งในแต่ละแถวจะมีทั้งหมด 20 Blocks(20 blocks of 13 bytes) สำหรับในไบท์แรกของทุก ๆ BLOCK จะประกอบไปด้วย

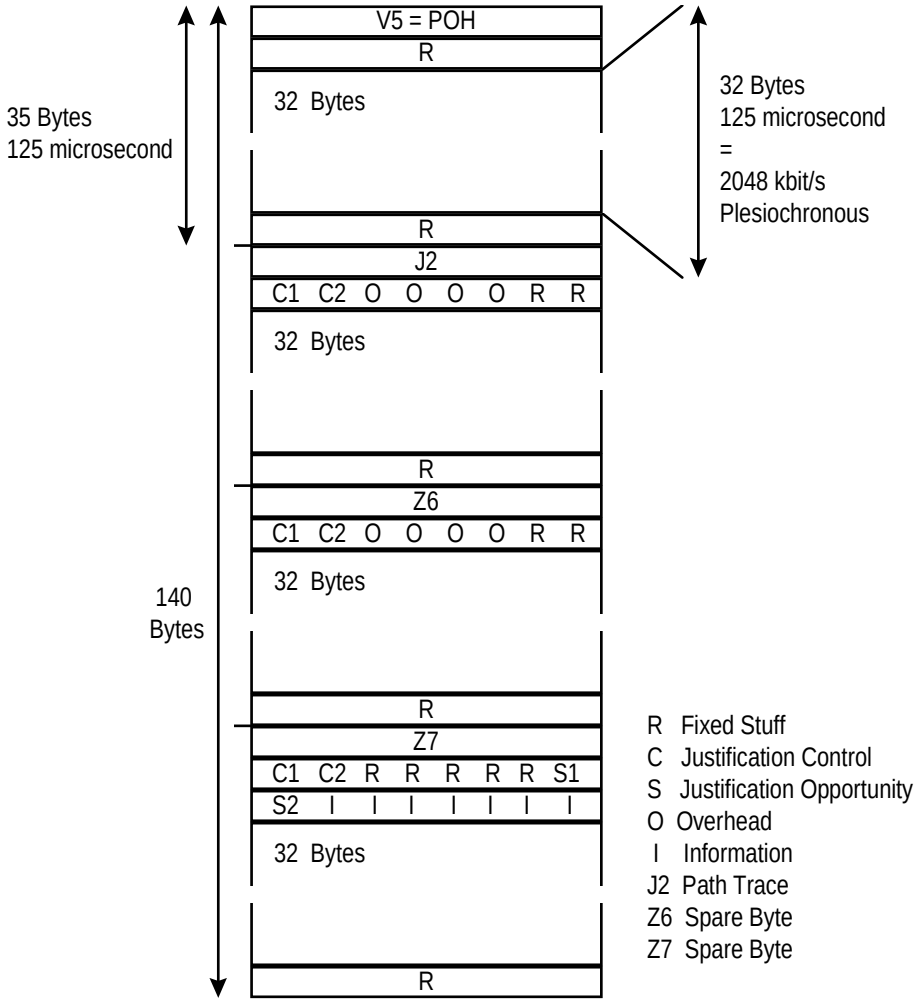
- Byte W เป็นข้อมูล(D)ทั้ง 8 บิท หรือ
- Byte Y เป็น Fixed Stuff Bit(R)ทั้งหมด หรือ
- Byte X ประกอบไปด้วย Justification Control Bit(C) จำนวน 1 บิท, Fixed Stuff Bit จำนวน 5 บิท และ Overhead bit(O) อีก 2 บิท หรือ
- Byte Z ประกอบไปด้วยข้อมูลจำนวน 6 บิท, Justification Opportunity Bit(S) จำนวน 1 บิท และ Fixed Stuff Bit อีก 1 บิท หรือ

ส่วน 12 ไบท์หลังจะเป็นข้อมูลทั้งหมด

ในส่วนของบิทต่าง ๆ นั้น บิท O ถูกจองเอาไว้ใช้ในอนาคตสำหรับเป็น Overhead Communication ส่วนบิท C ซึ่งเป็น Justification Control Bit นั้นจะมีอยู่แถวละ 5 บิท โดยทั้ง 5 บิทนี้จะเป็นตัวควบคุมบิท S(Justification Opportunity Bit)ซึ่งจะมีจำนวนแถวละ 1 บิท ว่าจะเป็นบิทข้อมูล หรือ Justification Bit กล่าวคือ ถ้าบิท C ทั้ง 5 บิทนี้มีบิทที่เป็น 1 มากกว่าบิทที่เป็น 0 แล้วบิท S จะเป็น Justification Bit และในทางตรงกันข้ามถ้าบิทที่เป็น 0 มีจำนวนมากกว่า บิทที่เป็น 1 แล้ว บิท S จะเป็นบิทข้อมูล

ลำดับต่อไปเราจะพิจารณาการ Mapping สัญญาณ PDH 2 Mbit/s(2.048 Mbit/s) ลงใน VC-12 ซึ่งจะมี 2 แบบคือ Asynchronous Mapping กับ Byte Synchronous Mapping

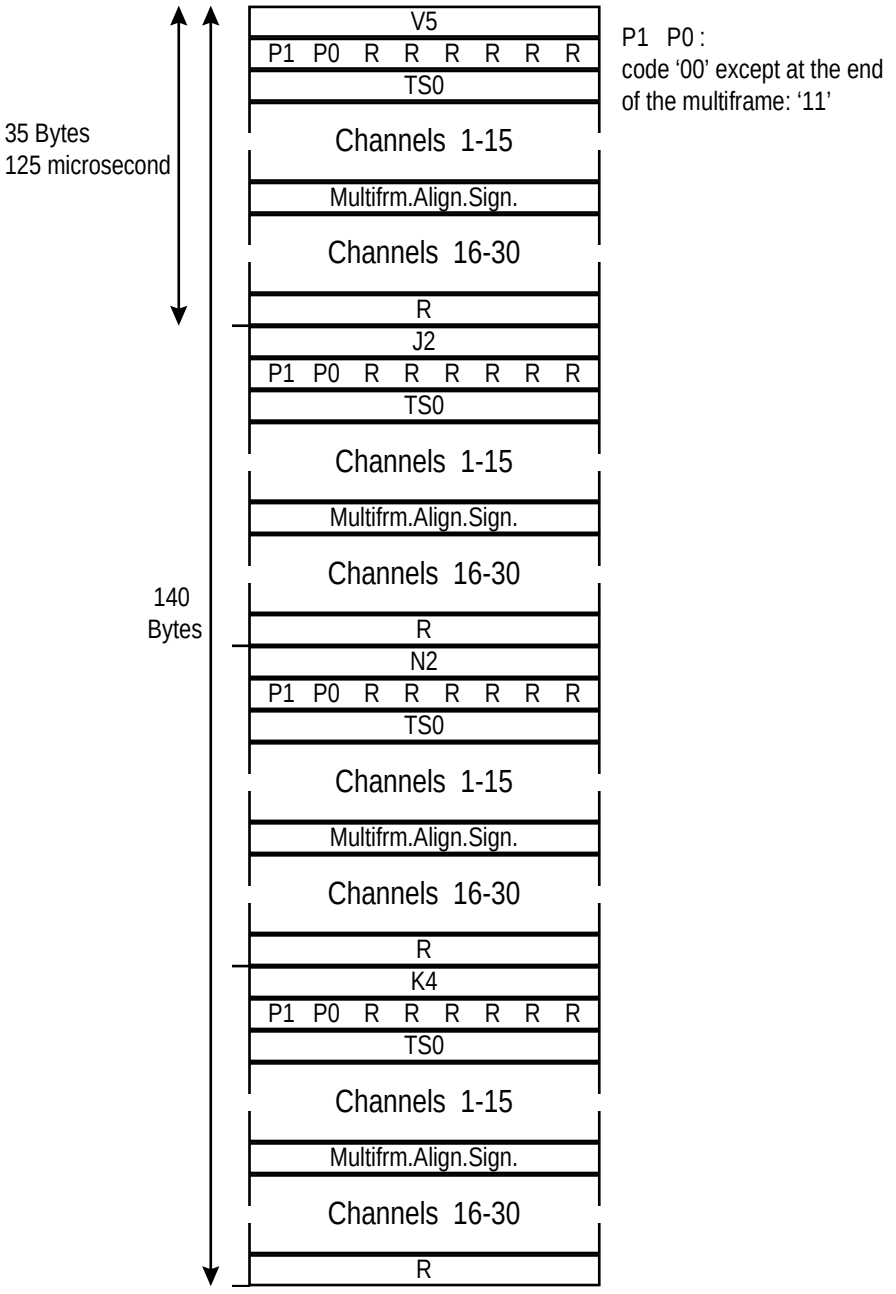
Asynchronous Mapping of 2.048 Mbit/s tributary



รูป 1.17 Asynchronous Mapping of 2.048 Mbit/s tributary

ในกรณีนี้ VC-12 จะจัดเนื้อที่ 32 ไบท์ทุก ๆ 125 Microsecond เอาไว้สำหรับใช้ส่งสัญญาณ PDH 2 Mbit/s โดยมี บิท S1 และ S2 เป็น Negative และ Positive Bitstuffing ตามลำดับ สำหรับปรับอัตราเร็วของการส่งข้อมูล ซึ่ง บิท S1 และ S2 นี้จะถูกควบคุมโดยบิท C1 และ C2

Byte Synchronous Mapping of 2.048 Mbit/s tributary



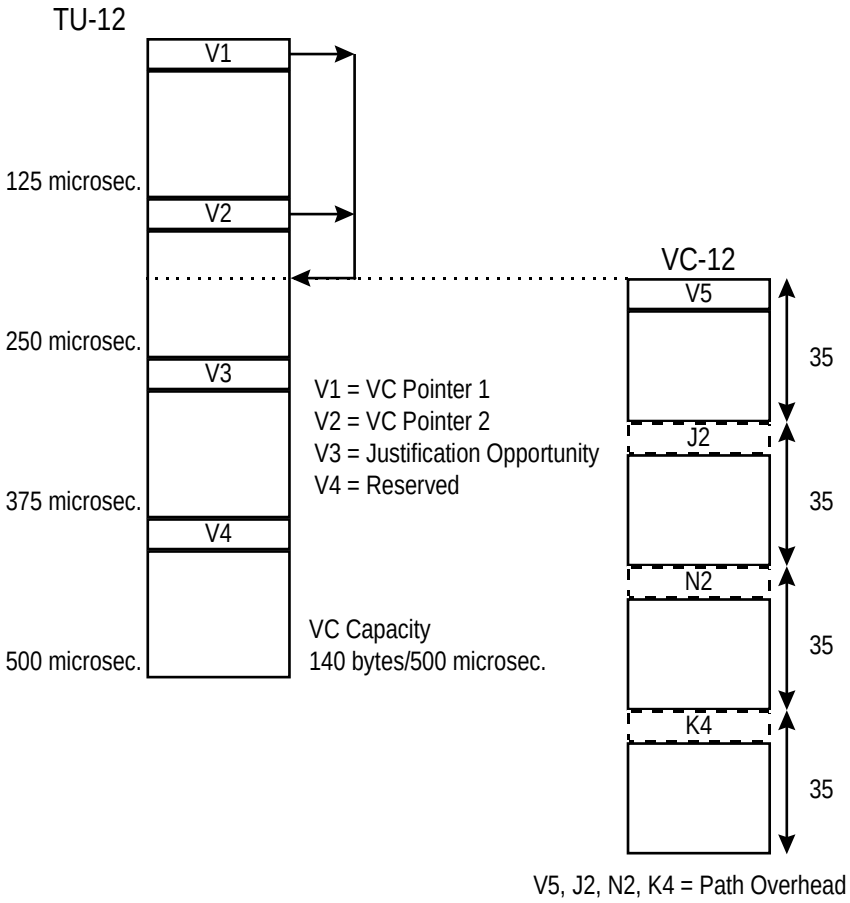
รูป 1.18 Byte Synchronous Mapping of 2.048 Mbit/s tributary

ในกรณีนี้สัญญาณ PDH 2 Mbit/s จะถูกกำหนดเฟสที่แน่นอนภายใน Container ซึ่งหมายความว่าทุก ๆ Time Slot ของเฟรม 2 Mbit/s จะอยู่ในไบท์ที่ได้กำหนดไว้ก่อนแล้วภายใน Container

และถ้าหาก TS 16 ของเฟรม 2 Mbit/s บรรจุข้อมูลที่เป็น Signaling(Channel Associated Signaling หรือ CAS) บิท P จะถูก ใช้เพื่อเป็นตัวกำหนดเฟสของ Signaling เหล่านี้

สืบเนื่องจากการมัลติเพล็กซ์ TU-12 จำนวน 63 ชุดลงสู่ VC-4 เราได้ทราบว่า แต่ละ TU-12 มีไบท์ V ไว้สำหรับเก็บข้อมูลของ Pointer ซึ่งการที่มีเพียงไบท์เดียวนี้ถือว่าไม่เพียงพอที่จะใช้งานเป็น Pointer เราจึงต้องจัด Multiframe ขึ้นมาดังแสดงในหัวข้อ “VC-12 Mapping in Multiframed TU-12”

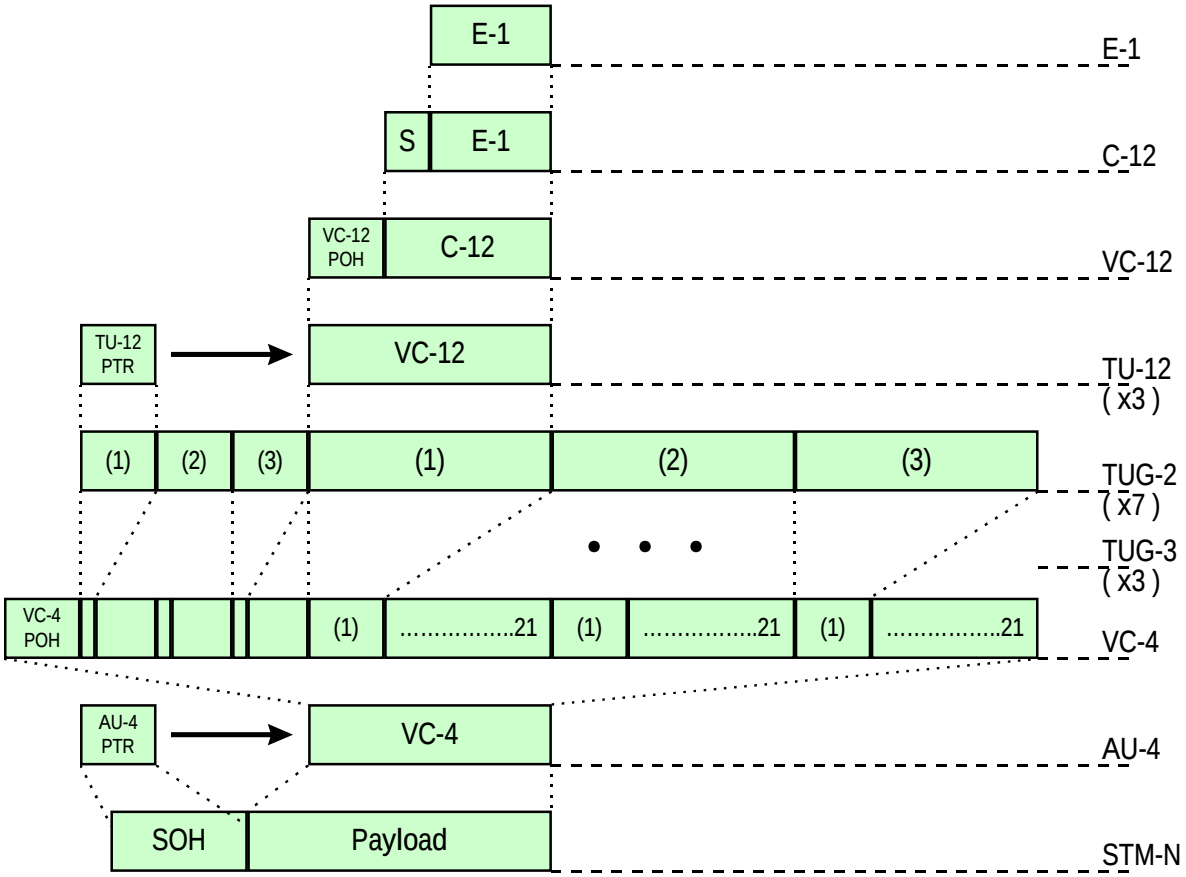
VC-12 Mapping in Multiframed TU-12



รูป 1.19 VC-12 Mapping in Multiframed TU-12

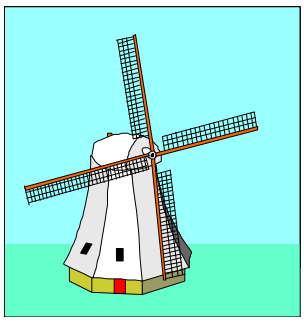
จากรูปแสดง TU-12 จำนวน 4 ชุดที่อยู่***ในเฟรมของ STM-1 สี่เฟรมติดต่อกัน*** โดย TU-12 นี้จะมีจำนวนทั้งหมด 36 ไบท์(4 Columns x 9 Rows) ซึ่ง 1 ใน 36 ไบท์นี้จะถูกใช้เป็นไบท์ V โดยที่ไบท์ V1 และ V2 ใช้สำหรับบอกตำแหน่งเริ่มต้นของ VC-12, V3 และอีกหนึ่งไบท์ถัดไปจะใช้สำหรับ Justification, ส่วน V4 ถูกจองเอาไว้โดย ITU-T เพื่อใช้งานในอนาคต

เพื่อให้สามารถมองเห็นภาพรวมของการจัดวาง Pointer และ Overhead ลงในเฟรม STM-n จะขอแสดงตัวอย่างดังต่อไปนี้



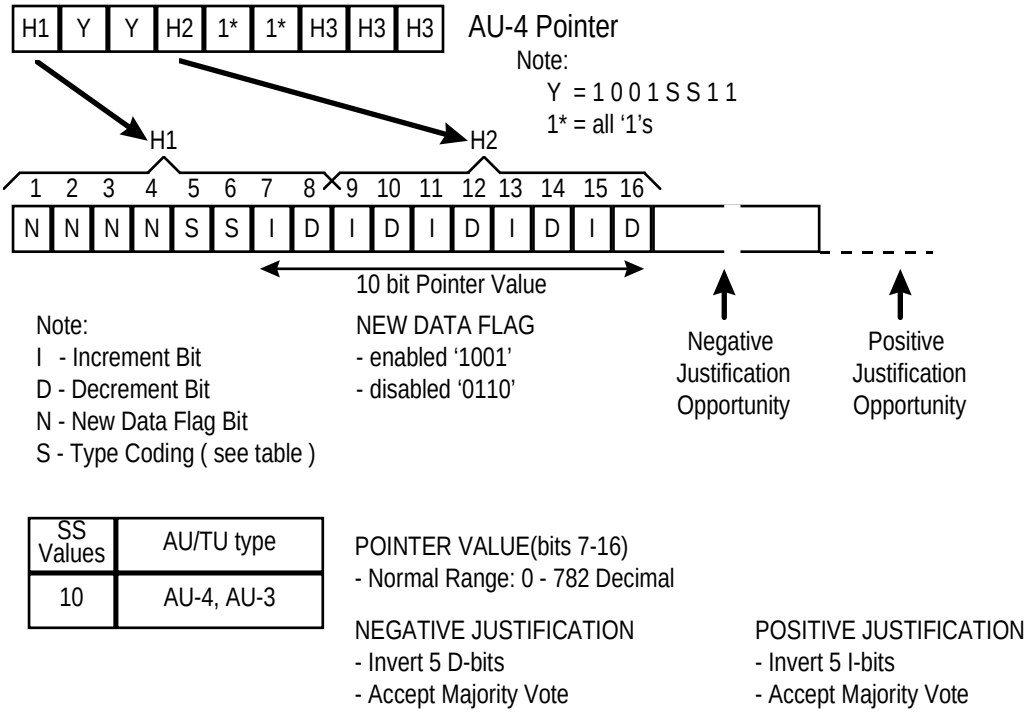
<u>รูป 1.20</u> SDH Multiplex Example: Nx63x2 Mbit/s in an STM-N

สำหรับในหัวข้อถัดไป เราจะไปพิจารณาถึงรายละเอียดของหน้าที่การทำงานทั้งในส่วนของ Pointer, Section Overhead และ Path Overhead โดยเราจะมาเริ่มกันที่ Pointer



4. Pointer, Section Overhead, and Path Overhead: รายละเอียด หน้าที่ และการทำงาน

4.1 AU-4 Pointer: รายละเอียด หน้าที่ และการทำงาน



<u>รูป 1.21</u> AU-4 Pointer Coding

จากรูป 1.21 แสดง AU-4 Pointer ซึ่งอยู่ใน 6 ไบท์แรกของแถวที่ 4 ประกอบไปด้วยไบท์ H1, Y, Y, H2, 1*, และ 1* ตามลำดับ โดยไบท์ Y และ 1* จะไม่มีนัยสำคัญในที่นี้ ส่วนไบท์ H3 ทั้งสามไบท์ และอีกสามไบท์ถัดจาก H3 ในแถวเดียวกันจะถูกใช้สำหรับ Justification ส่วนค่าของ Pointer(Pointer Value) จำนวน 10 บิท จะถูกเก็บไว้ในไบท์ H1 และ H2 ดังแสดงในรูป

เมื่อมีการ Justification เกิดขึ้นค่าของ Pointer จะเพิ่ม หรือไม่ก็ลดลง 1 (เมื่อเทียบกับค่าเดิมก่อนมีการเปลี่ยนแปลง) แล้วแต่กรณี กล่าวคือ ถ้าเป็น Positive Justification จะเพิ่มขึ้น 1 และจะลดลง 1 ถ้าเป็น Negative Justification ซึ่งค่าของ Pointer ใหม่นี้จะต้องนำมาใช้งานทันที ด้วยเหตุนี้จึงเป็นไปไม่ได้ที่จะหลีกเลี่ยงการเกิด Bit Error ซึ่งทำให้ค่าของ Pointer ผิดไป โดยการทำการ Correction แบบใช้หลาย ๆ เฟรมของสัญญาณเข้ามาเกี่ยวข้องเพื่อรับค่าของ Pointer ที่ถูกต้องเข้ามาใหม่

และเพื่อเป็ นการหลีกเลี่ยงปัญหาต่าง ๆ เหล่านี้ ในการพิจารณาเพื่อเพิ่ม หรือลดค่าของ Pointer นั้น จะนำค่าของ Pointer เดิมมากลับค่า(Inverted) โดย

* ในการพิจารณาเพื่อเพิ่มค่าของ Pointer นั้น จะนำค่าของ Pointer เดิมมากลับค่าในบิทคี่ทั้งหมด(บิท I จากรูป) ดังตัวอย่างต่อไปนี้

*

Pointer Value (DECIMAL)	H1 binary NNNN SSID	H2 binary IDID IDID
522	0110 1010	0000 1010

Increment	0110	1000	1010	0000
523	0110	1010	0000	1011

จากตารางที่สถานะของ Increment นั้นบิท I จะกลับค่าไปจากเดิมทั้งห้าบิท (เมื่อเทียบกับค่าเดิมของ Pointer คือ 522) เพราะฉะนั้นในกรณีนี้ค่าของ Pointer ก็จะเพิ่มขึ้น 1 เป็น 523(จาก IDIDIDIDID:100000101 เป็น 100000101)

การพิจารณาทั้ง 5 บิทนี้ ถ้าหากว่ามีอย่างน้อย 3 บิทกลับค่าไปก็ถือว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าของ Pointer เช่นเดียวกัน และในทำนองเดีย วกันถ้ามีเพียง 1 หรือ 2 บิทที่กลับค่าไป จะไม่ถือว่าค่าของ Pointer เปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด กล่าวคือจะใช้หลักการตัดสินใจแบบ Majority Vote ทั้งนี้เพื่อลดผลของการเกิด Bit Error ขึ้นมาที่บิท I บิทใดบิทหนึ่งไม่ให้กระทบกับการเปลี่ยนค่าของ Pointer

* สำหรับในการพิจารณาเพื่อลดค่าของ Pointer นั้น จะนำค่าของ Pointer เดิมมากลับค่าในบิทคู่ทั้งหมด(บิท D จากรูป) แล้วก็พิจารณาตามวิธีการที่ได้กล่าวมาแล้ว

สำหรับบิท N เป็นตัวบอกถึงการเกิดการเปลี่ยนแปลงของค่า Pointer ที่เกิดขึ้นจากการมีข้อมูลใหม่เข้ามา (โดยไม่เกี่ยวกับการเกิด Justification) กล่าวคือ ถ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าของ Pointer เกิดขึ้น บิท N ทั้ง 4 บิทจะมีค่าอยู่ที่ ‘0110’ แต่ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงค่าของ Pointer ซึ่งหมายความว่า VC จะมีจุดเริ่มต้นจุดใหม่ ในกรณีนี้บิท N ทั้ง 4 บิทจะถูกกลับค่า(Inverted)ไปจากเดิมคือจาก ‘0110’ เป็น ‘1001’ ซึ่งโดยปกติแล้วค่าของ Pointer ใหม่นี้จะ Stable หรือเกิดการยอมรับได้เมื่อผ่านไป 3 เฟรมของสัญญาณ STM-N (รวมเวลา 125 microseconds x 3 เท่ากับ 375 microseconds)

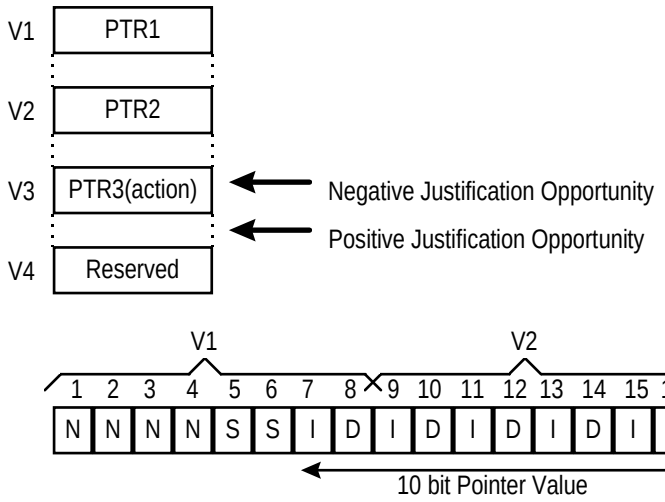
ในส่วนของบิท S นั้นจะไม่มีนัยสำคัญแต่อย่างใดในมาตรฐานนี้ เนื่องจากบิท S นี้ถูกใช้ในมาตรฐานเก่าเพื่อบอกชนิดของ Payload ว่าเป็น AU-4, AU-32 หรือ AU-31 แต่ในปัจจุบันมีเพียง AU-4 และ AU-3 ซึ่งทั้งคู่นี้จะใช้ค่า ‘10’ เช่นเดียวกัน

4.2 TU-12 Pointer: รายละเอียด หน้าที่ และการทำงาน

จะเหมือนกับใน AU-4 เพียงแต่บิท S จะถูกใช้งาน กล่าวคือ บิท S สองบิท จะมีค่าเป็น

- ‘00’ สำหรับ TU-2
- ‘10’ สำหรับ TU-12
- ‘11’ สำหรับ TU-11

ส่วนรายละเอียดของ TU-12 ให้ดูที่รูป 1.22



New Data Flag = NNNN
TU Indication = SS
Pointer Value = IDIDIDIDID

POINTER VALUE(bits 7-16)
- Normal Range: 0 - 139 Decimal

NEGATIVE JUSTIFICATION
- Invert 5 D-bits
- Accept Majority Vote

POSITIVE JUSTIFICATION
- Invert 5 I-bits
- Accept Majority Vote

NEW DATA FLAG:
- Invert 4 N-bits
- Accept Only Exact Match

รูป 1.22 TU-12 Pointer Coding

**** เพื่อเป็นการเสริมความเข้าใจในเรื่องของ Pointer จึงขอแทรกบทความ "เรื่องเล่าของเหล่าพอยท์เตอร์" ****

****

เรื่องเล่าของเหล่าพอยท์เตอร์(ในระบบ SDH)

1. พอยท์เตอร์คืออะไร และทำไมจึงต้องมีพอยท์เตอร์

พอยท์เตอร์เป็นตัวบอกตำแหน่งของ VC(Virtual Container) ที่อยู่ใน AU(Administrative Unit) หรือ TU(Tributary Unit) (VC-4 ใน AU-4, VC-3 ใน TU-3, หรือ VC-12 ใน TU12) ซึ่งพอยท์เตอร์นี้เองเป็นตัวที่ทำให้ SDH แตกต่างจาก PDH ในส่วนของความสามารถที่เข้าถึงข้อมูลได้โดยตรง ยกตัวอย่างเช่นในการส่งสัญญาณ E-1(2 Mbit/s) หากส่งสัญญาณ E-1 ไปในระบบ SDH โดยใช้ STM-1 เป็นตัวขนส่ง เราจะพบว่าสามารถดึงสัญญาณ E-1 ออกมาจาก STM-1 ได้ทันทีที่เราต้องการจะใช้สัญญาณ แต่ถ้าหากเป็นการส่งสัญญาณ E-1 ไปในระบบ PDH โดยใช้ E-4(140 Mbit/s) เป็นตัวขนส่ง ถ้าต้องการจะดึง E-1 ออกมานั้นจำเป็นจะต้องทำการ Demultiplexing สัญญาณจาก E-4 ลงมาเป็น E-3(34 Mbit/s) , จาก E-3 ลงมาเป็น E-2(8 Mbit/s) , และ E-2 ลงมาเป็น E-1 ตามลำดับ ซึ่งนับว่าเป็นการเสียเวลาเป็นอย่างมาก

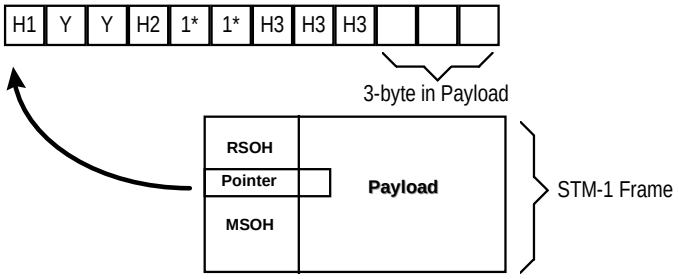
นอกจากนี้ในกรณีที่สัญญาณ Incoming กับ Outgoing ในระบบ(อาทิเช่น ใน Network Element) มี Bit Rate ที่แตกต่างกัน(โดยที่จำนวนบิทของข้อมูลยังคงเท่ากัน) จะส่งผลให้เกิดความแตกต่างทางเฟส(Phase Difference)ของสัญญาณ Incoming กับ Outgoing ขึ้นมา แต่พอยท์เตอร์ก็สามารถจะช่วยปรับเพย์โหลดที่มีเฟสต่างกันนี้ให้สามารถไหวตัวอยู่ในเฟรมของ STM-1 ได้ ส่งผลให้เกิดการ Synchronous ของข้อมูลตามคอนเซ็ปท์ของ Sychronous Digital Hierarchy (SDH) ซึ่งจะได้กล่าวถึงรายละเอียดต่อไปในหัวข้อ “การ Justification (ปรับตัว) ของข้อมูล”

2. ชนิดของพอยท์เตอร์

จะขอกล่าวเฉพาะพอยท์เตอร์ที่ใช้กับ VC ที่ถูกใช้เพื่อบรรจุข้อมูล PDH : European Standards เท่านั้น

2.1 AU-4 Pointer

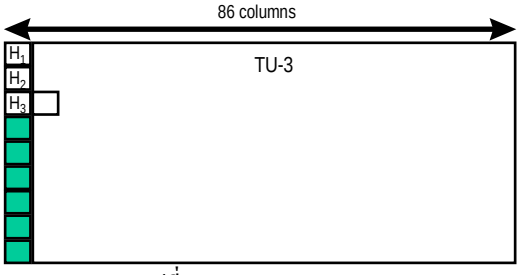
เป็นพอยท์เตอร์ที่อยู่ในแถวที่ 4 ตั้งแต่คอลัมน์ที่ 1 ถึง คอลัมน์ที่ 9 รวมทั้งอีก 3 ไบท์ถัดไป(แถวที่ 4 คอลัมน์ที่ 10 ถึง 12)ของเฟรม STM-1 โดยมีไบท์ที่อยู่ในคอลัมน์ที่ 1(ไบท์ H1) กับคอลัมน์ที่ 4(ไบท์ H2) เท่านั้นที่ถูกใช้งานสำหรับบอกค่าของพอยท์เตอร์(Pointer Value) ในขณะที่คอลัมน์ที่ 2, 3, 5 และ 6 (ไบท์ Y,Y,1* และ 1* ตามลำดับ)จะไม่มีนัยสำคัญในที่นี้ ส่วน H3 ทั้งสามไบท์จะถูกใช้สำหรับ Negative Justification Opportunity และสามไบท์ถัดไปที่อยู่ในเพย์โหลด (Payload) จะถูกใช้สำหรับ Positive Justification Opportunity



<u>รูปที่ 1</u> แสดง AU-4 Pointer

2.2 TU-3 Pointer

พอยท์เตอร์ของ TU-3 จะอยู่ในคอลัมน์แรก แถวที่ 1 ถึง 3 ของ TU-3 และจะมีไบท์สำหรับ Positive Justification Opportunity อยู่ในคอลัมน์ที่ 2 แถวที่ 3(ถัดจากไบท์ H3) ดังแสดงในรูปที่ 2



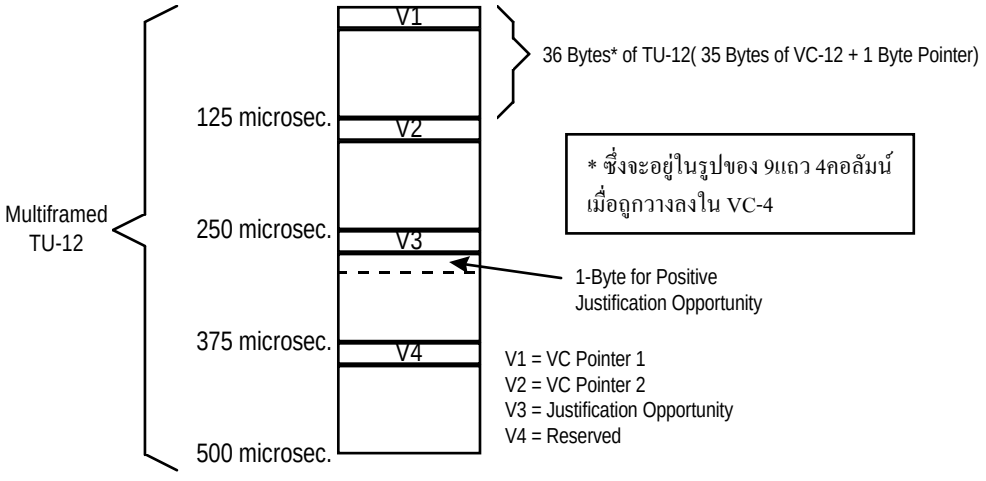
รูปที่ 2 แสดง **TU-3 Pointer**

เช่นเดียวกับ AU-4 Pointer ไบท์ H1 กับ H2 ของ TU-3 Pointer เท่านั้นที่ใช้ชี้ค่าของพอยท์เตอร์ในขณะที่ไบท์ H3 ถูกใช้สำหรับ Negative Justification Opportunity

2.3 TU-12 Pointer

ในกรณีของ TU-12 Pointer นี้จะแปลกกว่าพอยท์เตอร์อื่น ๆ กล่าวคือ ค่าของพอยท์เตอร์จะอยู่ที่ไบท์ V1 และ V2 ซึ่งจะไม่ได้อยู่ในเฟรม STM-1 เฟรมเดียวกัน กล่าวคือ ในแต่ละ TU-12 มีไบท์ V ไว้สำหรับเก็บข้อมูลของพอยท์เตอร์ซึ่งการที่มีเพียงไบท์เดียวนี้ถือว่าไม่เพียงพอที่จะใช้งานในการเก็บค่าของพอยท์เตอร์เราจึงต้องจัดมัลติเฟรม(Multiframe) ของ TU-12 ขึ้นมา โดยนับ TU-12 ที่อยู่***ในเฟรมของ STM-1 สี่เฟรมติดต่อกัน*** เฟรมละ 1 ชุดของ TU-12 เป็น Multiframed TU-12 (ดูรูปที่ 3 ประกอบ)

แต่ละ TU-12 จะมีจำนวนไบท์ทั้งหมด 36 ไบท์(4 Columns x 9 Rows) ซึ่ง 1 ใน 36 ไบท์นี้จะถูกใช้เป็นไบท์ V โดยที่ไบท์ V1 และ V2 ใช้สำหรับบอกตำแหน่งเริ่มต้นของ VC-12 , V3 และอีกหนึ่งไบท์ถัดไป*ในคอลัมน์เดียวกันเมื่อมองในภาพของ Multiframed TU-12(ดูรูปที่ 3 ประกอบ)*จะใช้สำหรับ Negative Justification Opportunity และ Positive Justification Opportunity ตามลำดับ , ส่วน V4 ถูกจองเอาไว้โดย ITU-T เพื่อใช้งานในอนาคต

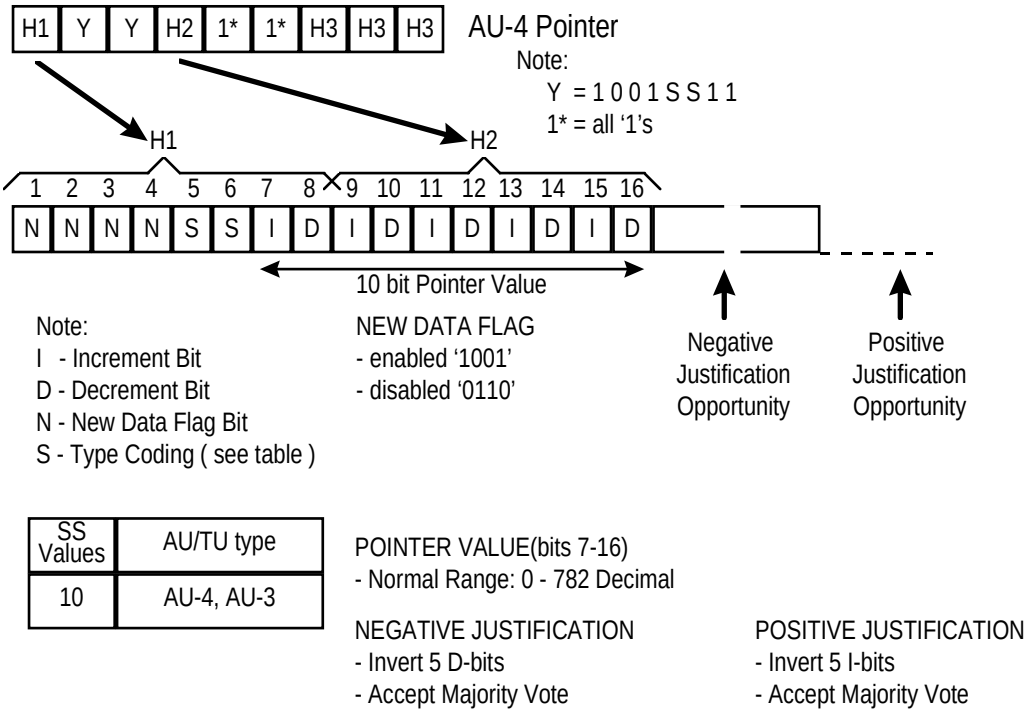


รูปที่ 3 แสดง **Multiframed TU-12 และ TU-12 Pointer**

3. การทำงานของพอยท์เตอร์

โดยภาพรวมแล้วพอยท์เตอร์ทั้งสาม มีการทำงานที่แทบจะเหมือนกัน จะต่างกันเพียงรายละเอียดปลีกย่อยบางอย่างเท่านั้นซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป แรกสุดนี้จะขอกล่าวถึงการทำงานของ AU-4 Pointer กันก่อน

3.1 การทำงานของ AU-4 Pointer



<u>รูปที่ 4</u> แสดงรายละเอียดของบิทต่าง ๆ ใน AU-4 Pointer

จากรูปที่ 4 แสดง AU-4 Pointer ซึ่งอยู่ใน 6 ไบท์แรกของแถวที่ 4 ประกอบไปด้วยไบท์ H1, Y, Y, H2, 1*, และ 1* ตามลำดับ โดยไบท์ Y และ 1* จะไม่มีนัยสำคัญในที่นี้ ส่วนไบท์ H3 ทั้งสามไบท์ และอีกสามไบท์ถัดจาก H3 ในแถวเดียวกันจะถูกใช้สำหรับ Justification Opportunity ส่วนค่าของพอยท์เตอร์(Pointer Value) จำนวน 10 บิท จะถูกเก็บไว้ในไบท์ H1 และ H2

เมื่อมีการ Justification เกิดขึ้นค่าของพอยท์เตอร์จะเพิ่ม หรือไม่ก็ลดลง 1 (เมื่อเทียบกับค่าเดิมก่อนมีการเปลี่ยนแปลง) แล้วแต่กรณี กล่าวคือ ถ้าเป็น Positive Justification จะเพิ่มขึ้น 1 และจะลดลง 1 ถ้าเป็น Negative Justification ซึ่งค่าของพอยท์เตอร์ใหม่นี้จะต้องนำมาใช้งานทันที ด้วยเหตุนี้จึงเป็นไปไม่ได้ ที่จะหลีกเลี่ยงการเกิด Bit Error ซึ่งทำให้ค่าของพอยท์เตอร์ผิดไป โดยการทำการ Correction แบบใช้หลาย ๆ เฟรมของสัญญาณเข้ามาเกี่ยวข้องเพื่อรับค่าของพอยท์เตอร์ที่ถูกต้องเข้ามาใหม่

และเพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงปัญหาต่าง ๆ เหล่านี้ ในการพิจารณาเพื่อเพิ่ม หรือลดค่าของพอยท์เตอร์นั้น จะนำค่าของพอยท์เตอร์เดิมมากลับค่า(Inverted) โดย

* ในการพิจารณาเพื่อเพิ่มค่าของพอยท์เตอร์นั้น จะนำค่าของพอยท์เตอร์เดิมมากลับค่าในบิทที่ทั้งหมด(บิท I จากตาราง) ดังตัวอย่างต่อไปนี้

Pointer Value	H1 binary		H2 binary	
(DECIMAL)	NNNN	SSID	IDID	IDID
522	0110	1010	0000	1010
Increment	0110	1000	1010	0000
523	0110	1010	0000	1011

จากตารางที่สถานะของ Increment นั้นบิท I จะกลับค่าไปจากเดิม ***ทั้งห้าบิท*** (เมื่อเทียบกับค่าเดิมของพอยท์เตอร์ คือ 522) เพราะฉะนั้นในกรณีนี้ค่าของพอยท์เตอร์ก็ จะเพิ่มขึ้น 1 เป็น 523(จาก IDIDIDIDID:100000101 เป็น 100000101)

การพิจารณาทั้ง 5 บิทนี้ ถ้าหากว่ามีอย่างน้อย 3 บิทกลับค่าไปก็ถือว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าของพอยท์เตอร์ เช่นเดียวกัน และในทำนองเดียวกันถ้ามีเพียง 1 หรือ 2 บิทที่กลับค่าไป จะไม่ถือว่าค่าของพอยท์เตอร์ เปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด กล่าวคือจะใช้หลักการตัดสินใจแบบ Majority Vote ทั้งนี้เพื่อลดผลของการเกิด Bit Error ขึ้นมาที่บิท I บิทใดบิทหนึ่งไม่ให้กระทบกับการเปลี่ยนค่าของพอยท์เตอร์

* สำหรับในการพิจารณาเพื่อลดค่าของพอยท์เตอร์ นั้น จะนำค่าของพอยท์เตอร์เดิมมากลับค่าในบิทคู่ทั้งหมด(บิท D จากรูป) แล้วก็พิจารณาตามวิธีการที่ได้กล่าวมาแล้ว

สำหรับบิท N เป็นตัวบอกถึงการเกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าพอยท์เตอร์ที่เกิดขึ้นจากการมีข้อมูลใหม่เข้ามา (โดยไม่เกี่ยวกับการเกิด Justification) กล่าวคือ ถ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าของพอยท์เตอร์เกิดขึ้น บิท N ทั้ง 4 บิทจะมีค่าอยู่ที่ ‘0110’ แต่ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงค่าของพอยท์เตอร์ซึ่งหมายความว่า VC จะมีจุดเริ่มต้นจุดใหม่ ในกรณีนี้บิท N ทั้ง 4 บิทจะถูกกลับค่า(Inverted)ไปจากเดิมคือจาก ‘0110’ เป็น ‘1001’ ซึ่งโดยปกติแล้วค่าของพอยท์เตอร์ ใหม่นี้จะ Stable หรือเกิดการยอมรับได้เมื่อผ่านไป 3 เฟรมของสัญญาณ STM-N (รวมเวลา 125 microseconds x 3 เท่ากับ 375 microseconds)

ในส่วนของบิท S นั้นจะไม่มีนัยสำคัญแต่อย่างใดในมาตรฐานนี้ เนื่องจากบิท S นี้ถูกใช้ในมาตรฐานเก่าเพื่อบอกชนิดของเพย์โหลดว่าเป็น AU-4, AU-32 หรือ AU-31 แต่ในปัจจุบันมีเพียง AU-4 และ AU-3 ซึ่งทั้งคู่นี้จะใช้ค่า ‘10’ เช่นเดียวกัน

ข้อสังเกตอีกอย่างหนึ่งที่เห็นได้ก็คือค่าของพอยท์เตอร์จะมีช่วงอยู่ที่ระหว่าง 0 ถึง 782 (เลขฐานสิบ) ซึ่งเราสามารถพิสูจน์ค่านี้ได้จากการนำจำนวนไบท์ที่อยู่ในเพย์ โหลดทั้งหมด 2349 ไบท์(261 คอลัมน์ x 9 แถว) แล้วนำไปหารด้วย 3 ซึ่งเป็นจำนวนไบท์สำหรับการ Justification ก็จะได้ค่า 783 ออกมาซึ่งก็คือ 0 ถึง 782 นั่นเอง นั่นเท่ากับว่าในการชี้ตำแหน่งของ VC-4 ของพอยท์เตอร์นั้นสามารถชี้ได้ 783 ค่าซึ่งเราสามารถมองภาพของ 783 ค่านี้ได้ว่าเป็นกลุ่มของไบท์ข้อมูล 3 ไบท์ ทั้งหมดมีจำนวน 783 กลุ่มได้(พิจารณารูปที่ 5 ประกอบ)

อาจมีคำถามที่ว่า “***แล้วอะไรล่ะที่เป็นตัวบอกว่าในเพย์โหลดมีข้อมูลของ PDH ในระดับใดอยู่ เพราะถ้าเรารู้ว่ามีอะไรอยู่ในเพย์โหลดเราก็รู้ด้วยว่าพอยท์เตอร์แบบใดที่ทำงานอยู่บ้าง***” กล่าวคือในกรณีที่เพย์โหลดบรรจุ PDH 140 Mbit/s อยู่ การทำงานของพอยท์เตอร์ในระดับของ AU-4 ก็ถือว่าเสร็จสิ้นแล้ว แต่ถ้าในเพย์โหลดมี PDH 34 Mbit/s อยู่ก็จะต้องไปดูที่ไบท์พอยท์เตอร์ใน TU-3 ต่อไป ซึ่งเราสามารถรู้ได้ว่าในเพย์โหลดมีข้อมูลอะไรอยู่โดยดูจากไบท์ C2 ใน VC-4 Path Overhead ซึ่งในกรณีที่เพย์โหลดมี PDH 34 หรือ 2 Mbit/s อยู่ C2 จะแสดงค่า ‘0000 0010’ ซึ่งบ่งบอกถึง TUG-Structure

<u>รูปที่ 5</u> แสดง AU-4 Pointer Offset Numbering

จากรูปที่ 5 เมื่อมีการ Justification เกิดขึ้นไม่ว่าจะแบบ Positive หรือ Negative ก็ตามจะส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าของพอยท์เตอร์เกิดขึ้นโดยจะเพิ่มขึ้น 1(ครอบคลุม 3 ไบท์) ถ้าเป็น Positive Justification (ใช้ 3 ไบท์ที่อยู่หลัง H3 ไบท์ที่สาม) และจะลดลง 1(ครอบคลุม 3 ไบท์) ถ้าเป็น Negative Justification (ใช้ H3 ทั้ง 3 ไบท์)

3.2 การทำงานของ TU-3 Pointer

TU-3 Pointer นั้นจะมี 2 รูปแบบคือ

1. มีไบท์ของพอยท์เตอร์เป็น H1, H2 และ H3

2. มีไบท์ของพอยท์เตอร์เป็น Null Pointer Indication(NPI)

ในแบบแรกจะเกิดขึ้นเมื่อ TUG-3(Tributary Unit Group - 3rd Order เป็นตัวที่เก็บ TU-3 จำนวน 1 ชุด หรือ TU-12, TU-11, TU-2 จำนวนหลายชุดแล้วแต่กรณีการใช้งาน ซึ่ง TUG-3 จำนวน 3 ชุดจะถูกนำมามัลติเพล็กซ์รวมกัน แล้วนำไปวาง(Mapping)ลงใน VC-4)เก็บข้อมูลที่เป็น TU-3 ส่วนแบบที่สองจะเกิดเมื่อ TUG-3 เก็บข้อมูลที่เป็น TU-12, TU-11, หรือ TU-2 แต่ในที่นี้จะเน้นเฉพาะที่ TU-12 ซึ่งจะใช้สำหรับบรรจุข้อมูลของสัญญาณ PDH 2 Mbit/s

- กรณีที่ไบท์ของพอยท์เตอร์เป็น H1, H2 และ H3 ดังที่ได้แสดงมาในรูปที่ 2 แล้วนั้น

กรณีนี้ไบท์ H1 และ H2 จะใช้สำหรับทำหน้าที่ต่าง ๆ เหมือนในกรณีของ AU-4 Pointer ทุกอย่าง ต่างกันเล็กน้อยตรงที่

1. บิท S ทั้งคู่มีค่าเป็น ‘10’ เช่นเดียวกันกับในกรณีของ AU-4 Pointer แต่ค่า ‘10’ นี้เป็นการบอกว่ามีเพย์โหลดเป็น TU-3
2. ค่าของพอยท์เตอร์จะมีช่วงอยู่ที่ระหว่าง 0 ถึง 764 (เลขฐานสิบ)
   ซึ่งเราสามารถพิสูจน์ค่านี้ได้จากการนำจำนวนไบท์ที่อยู่ใน VC-3 ทั้งหมด 765 ไบท์(85 คอลัมน์ x 9 แถว)
   แล้วนำไปหารด้วย 1 ซึ่งเป็นจำนวนไบท์สำหรับการ Justification ก็จะได้ค่า 765 ออกมาซึ่งก็คือ 0 ถึง 764 นั่นเอง

- กรณีที่ไบท์ของพอยท์เตอร์เป็น Null Pointer Indication(NPI)

NPI เป็นตัวที่บอกว่าค่าของพอยท์เตอร์ใน TU-3 นี้ไม่มีนัยสำคัญกับการชี้ตำแหน่งของ TU-12, TU-11, หรือ TU-2 แต่อย่างใด เนื่องจาก TU ที่มีลำดับต่ำกว่าเหล่านี้ก็มีพอยท์เตอร์ของตนเอง ดังจะได้กล่าวถึงรายละเอียดต่อไป

สำหรับรูปแบบของ NPI จะเป็น '1001 xx11 1110 0000 xxxx xxxx' โดย x เป็นค่าที่ไม่ได้ถูกกำหนดเอาไว้(Undefined)

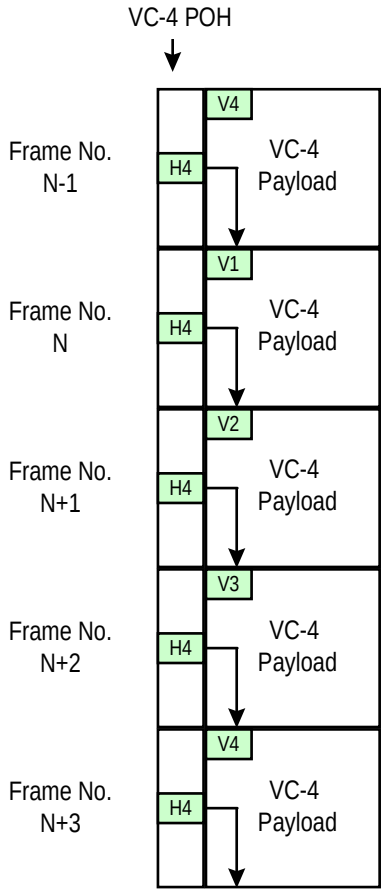
***ถึงตรงนี้แล้วก็ คงทราบแล้วว่า ถ้าหากใน TU-3 Pointer บ่งบอกค่าของ NPI ก็แสดงว่าใน TUG-3 นั้นบรรจุข้อมูลของสัญญาณ 2 Mbit/s(พิจารณาที่ 2 Mbit/s เท่านั้น)อยู่ ก็ให้ไปหา TU-12* Pointer ต่อไป**

3.3 การทำงานของ TU-12 Pointer

จากรูปที่ 3 เราได้ทราบมาแล้วว่าในกรณีของ TU-12 Pointer นี้ ค่าของพอยท์เตอร์จะอยู่ที่ไบท์ V1 และ V2 ซึ่งก็เทียบเท่ากับ H1 และ H2 ตามลำดับ ซึ่งจะใช้สำหรับทำหน้าที่ต่าง ๆ เหมือนในกรณีของ AU-4 Pointer ทุกอย่าง ต่างกันเล็กน้อยตรงที่

1. บิท S ทั้งคู่มีค่าเป็น '10' เช่นเดียวกันกับในกรณีของ AU-4 Pointer แต่ค่า '10' นี้เป็นการบอกว่ามีเพย์โหลดเป็น TU-12
2. ค่าของพอยท์เตอร์จะมีช่วงอยู่ที่ระหว่าง 0 ถึง 139 (เลขฐานสิบ)
   ซึ่งเราสามารถพิสูจน์ค่านี้ได้จากการนำจำนวนไบท์ที่อยู่ใน VC-12 ทั้งหมด 35 ไบท์ในแต่ละเฟรม มารวมกัน 4 เฟรมเป็น 1 มัลติเฟรม แล้วนำไปหารด้วย 1 ซึ่งเป็นจำนวนไบท์สำหรั บการ Justification กี่จะได้ค่า 140 ออกมาซึ่งก็คือ 0 ถึง 139 นั่นเอง

อย่างไรก็ตามในการชี้ตำแหน่งของไบท์ V1, V2, V3 และ V4 นี้จะเป็นหน้าที่ของไบท์ H4 (โดยใช้บิทที่ 7 และ 8 ซึ่งจะมีสถานะ 4 สถานะคือ '00' '01' '10' และ '11' คอยชี้ตำแหน่งของไบท์ V1, V2, V3 และ V4 ตามลำดับ ส่วนบิทที่ 1 ถึง 6 ในไบท์นี้จะไม่ถูกใช้งาน) ที่อยู่ใน Path Overhead ของ VC-4 ดังแสดงในรูปที่ 6



<u>รูปที่ 6</u> แสดงการชี้ตำแหน่งของไบท์ V1, V2, V3 และ V4 ด้วยไบท์ H4

4. การ Justification (ปรับตัว) ของข้อมูล

นอกจากใช้เพื่อเป็นตัวบอกจุดเริ่ม ต้นของ VC ต่าง ๆ แล้ว พอยท์เตอร์ยังทำหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการ Justification อีกด้วย กล่าวคือ ในแต่ละ Node หรือ Network Element ของโครงข่าย SDH นั้น จะมีสัญญาณที่เกี่ยวข้องกันอยู่สองสัญญาณคือ

1. สัญญาณ STM-N ที่รับมาเข้ามา(จากสถานีอื่น)
2. เพย์โหลดที่ต้องการจะส่งออกไปกับ STM-N (STM-N ที่จะส่งต่อไปให้สถานีอื่น ๆ)

ในที่นี้จะพิจารณาที่ระดับของสัญญาณ STM-1 (ซึ่งให้ผลเหมือนกับในระดับของ STM-N) โดยให้ความถี่ของสัญญาณ STM-1 ที่รับมาจากสถานีอื่นแทนด้วย Fstm-1 และให้ความถี่ของเพย์โหลดที่ต้องการจะส่งออกไปกับสัญญาณ STM-1 แทนด้วย Fpayload ซึ่งจะทำให้เกิดผลต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

- กรณีที่ Fstm-1 = Fpayload หรือความถี่ Synchronous กัน

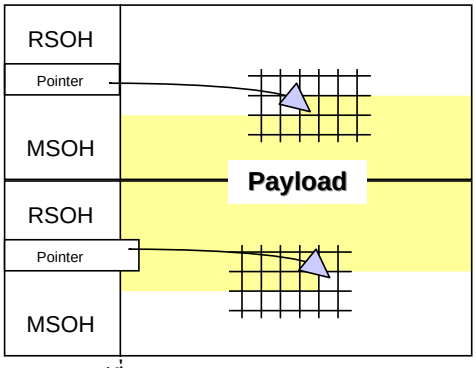
เพย์โหลดของสัญญาณที่รับเข้ามาสามารถนำไปใส่ใน STM-1 ที่จะส่งออกไปได้เลย ไม่เกิดการ Justification แต่อย่างใด

- กรณีที่ Fstm-1 > Fpayload

จะต้องทำ การปรับให้ได้ความถี่ที่เท่ากัน ซึ่งจะได้ว่า

Fstm-1 = Fpayload + Justification

การปรับแบบนี้ ถูกเรียกว่า Positive Justification โดยจะทำการเพิ่มข้อมูลของการ Justification ลงไปในไบท์ของเพย์โหลดที่อยู่หลังไบท์ที่ 9 ของ Pointer จำนวนทั้งหมด 3 ไบท์ ทำให้ดูเหมือนว่า Pointer ยาวขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 7



<u>รูปที่ 7</u> **แสดง Positive Justification**

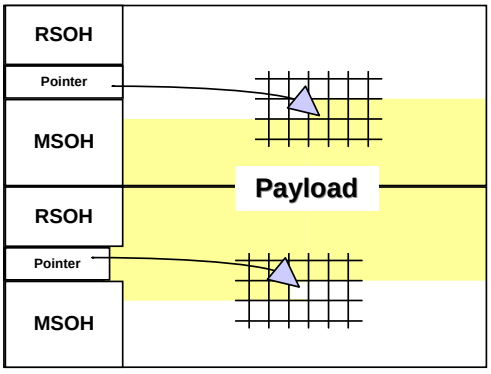
ข้อสังเกตที่ได้จาก Positive Justification คือจะเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าของพอยท์เตอร์ขึ้น โดยค่าของพอยท์เตอร์ของเฟรมหลังจากทำการ Justification แล้วจะเท่ากับค่าของพอยท์เตอร์ของเฟรมก่อนจะทำการ Justification ***บวกด้วย 1*** (การบวกด้วย 1 เท่ากับว่ามีการเลื่อนไบท์ออกไปจำนวน 3 ไบท์นั่นเอง)

- กรณีที่ Fstm-1 < Fpayload

จะต้องทำการปรับให้ได้ความถี่ที่เท่ากัน ซึ่งจะได้

Fstm-1 + Justification = Fpayload

การปรับแบบนี้ ถูกเรียกว่า Negative Justification โดยจะใช้ Byte ที่ 7, 8 และ 9 ของแถว 4 หรือ พอยท์เตอร์เป็นข้อมูลของการ Justification ซึ่งทำให้ดูเหมือนว่า พอยท์เตอร์สั้นลง ดังแสดงในรูปที่ 8



<u>รูป 8</u> **แสดง Negative Justification**

ในกรณีของ Negative Justification นี้ค่าของพอยท์เตอร์ของเฟรมหลังจากทำการแล้ว Justification จะเท่ากับค่าของพอยท์เตอร์ของเฟรมก่อนที่จะทำการ Justification ***ลบด้วย 1***

<u>Note:</u>

Q: ทำไมในการทำ Justification ทั้งสองแบบจึงต้องใช้ไบท์ที่เกี่ยวข้องจำนวน 3 ไบท์

A: จากการที่ SDH เกิดจากการนำ SONET มาปรับแต่ง โดย STM-1 เกิดจากการเพิ่มความเร็วของ สัญญาณ STS-1 ตามมาตรฐานของ SONET เป็นสามเท่าของความเร็วเดิม (3 x STS-1 Speed = 155.52 Mbit/s) ซึ่งสัญญาณ STS-1 นี้จะใช้ไบท์สำหรับ Justification จำนวน 1 ไบท์ เพราะฉะนั้นใน STM-1 จึงใช้ไบท์สำหรับ Justification จำนวน 3 ไบท์นั่นเอง

ส่วนการ Justification ของพอยท์เตอร์ในระดับอื่น ๆ ก็จะพิจารณาในทำนองเดียวกัน เพียงแต่ทั้ง TU-3 และ TU-12 Pointer นั้น จะใช้ไบท์สำหรับทำ Justification เพียงแค่ไบท์เดียวเท่านั้นเอง

5. บทสรุป

จากที่ผ่านมาทั้งหมดในบทความนี้ คงจะไม่น่าแปลกใจนักถ้าจะกล่าวว่า "**พอยท์เตอร์เปรียบเสมือนดวงตาของเฟรม STM-1 ในระบบ SDH**" ซึ่งจะชี้ให้เห็นถึงข้อมูลต่าง ๆ ที่บรรจุอยู่ในเฟรม STM-1 ทำให้เราเข้าถึงสัญญาณระดับต่าง ๆ ได้โดยตรง และสามารถที่จะดึงสัญญาณเหล่านั้นออกมา หรืออาจจะเพิ่มเข้าไปได้โดยที่ไม่จำเป็นจะต้องทำการดีมัลติเพล็กซิ่งสัญญาณออกทั้งหมด

นอกจากนี้แล้วจากกระบวนการ Justification ด้วยพอยท์เตอร์ทำให้เราสามารถที่จะปรับเพย์โหลดของสัญญาณที่รับเข้ามาได้(Incoming)ที่อาจจะมีเฟสต่างกันให้สามารถไหวตัวอยู่ในเฟรมของ STM-1 ที่ต้องการจะส่งออก(Outgoing)ได้ส่งผลให้เกิดการ Synchronous ของข้อมูลตามคอนเซ๊ปท์ของ SDH ซึ่งด้วยกระบวนการนี้เองเราจึงสามารถกล่าวได้ว่า **"แท้จริงแล้วภายในระบบของ SDH เองไม่ได้ต้องการ Clock ที่ Synchronization กันตลอดทั้งโครงข่ายแต่อย่างใด แต่ความสามารถของ SDH คือการมีช่องทางสำหรับส่ง Clock ต่อไปเพื่อให้เกิดการ Synchronization กันตลอดทั้งโครงข่ายนั้น จะเป็นประโยชน์กับอุปกรณ์ทั้งหลายที่ต้องการความเที่ยงตรงของ Clock โดยใช้ SDH เป็นระบบในการส่งสัญญาณ"**

ธานินทร์ จินดาธนานนท์

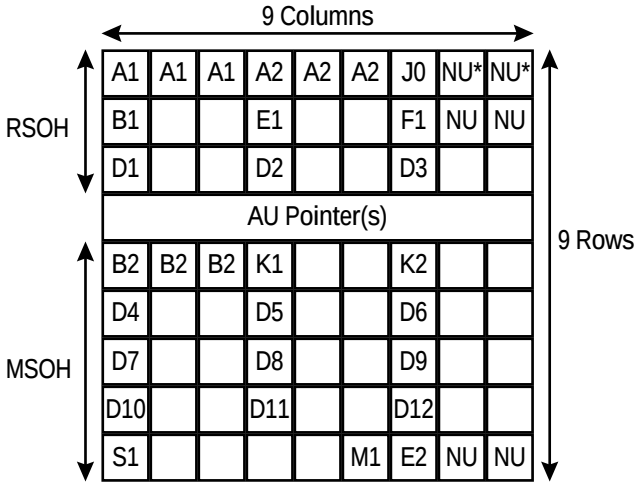
8 กันยายน 2541

<u>เอกสารอ้างอิง</u>

1. Lucent Technologies, Bell Labs Innovation. **SDH Introduction Course, TR5951 Student Guide.** TR5951-SG, Version 52 e, Issue Draft 1 : 1996
2. Mike Sexton, Andy Reid. **Transmission Networking: SONET and SDH.** Artech House : 1992
3. ITU-T. **Synchronous Digital Hierarchy Bit Rate - Recommendation G.707.** Geneva : 1995

****

4.3 Section Overhead(SOH): รายละเอียด หน้าที่ และการทำงาน



<u>รูป 1.23</u> Section Overhead STM-1

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

- **A1,A2 เป็น Frame Alignment Signal** ซึ่งมีข้อสังเกตจุดหนึ่งคือ ทั้งไบท์ A1 และ A2 นี้จะไม่ถูกสแครมเบิล(Unscrambled Bytes) เนื่องจากการที่ทำหน้าที่เป็น Frame Alignment Signal นั่นเอง และนอกจาก A1 กับ A2 ที่ไม่ถูกสแครมเบิลแล้ว J0 และ NU ทั้งสองไบท์ในแถวแรกของ SOH ก็จะไม่ถูกสแครมเบิลด้วยเช่นกัน**<u>สำหรับ A1 จะมีค่า '1111 0110' ส่วน A2 จะมีค่า '0010 1000'</u>**

- **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) หลังจากนั้นก็นำค่าที่ได้ไปใส่ในแต่ละบิทที่อยู่ในไบท์ B1 ของเฟรมถัดไป(ก่อนทำการสแครมเบิล) ทางด้านรับก็จะนำไบท์ B1 นี้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลที่คำนวณด้วยวิธี BIP-8 เช่นเดียวกันกับไบท์ B1
  ถ้าหากพบความแตกต่างก็เท่ากับว่าเกิดความผิดพลาดของสัญญาณ(บิท)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 ***<u>ที่ยังไม่ได้ถูกสแครมเบิล</u>*** นอกจากนี้ก็มีข้อสังเกตอีกหนึ่งอย่างก็คือ ***ข้อมูลของสามแถวแรกใน SOH (RSOH นั่นเอง) จะไม่ถูกนำมาคำนวณด้วยแต่อย่างใด***
- **D1…D3 ถูกใช้เป็น Data Communication Channel** สำหรับส่วนของ Regenerator Section เพื่อใช้ขนส่งข้อมูลสำหรับการจัดการโครงข่าย

- **D4…D12ถูกใช้เป็น 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 กล่าวคือไบท์ J0 นี้จะสามารถใส่ 'ตัวเลขฐานสิบหก' หรือ 'ตัวอักษร' ที่มีลักษณะเป็นรหัส ASCII ลงไปได้โดยกำหนดให้มีความยาวไม่เกิน 15 ไบท์ *(เนื่องจาก J0 นี้จะมีการส่งแบบทวนซ้ำที่ทุก ๆ 16 ไบท์(16-Byte Repeated) โดยทำการส่งที่เฟรมละ 1 ไบท์เท่านั้น ซึ่งเท่ากับว่าในการส่ง 16 ไบท์นี้ก็จะต้องส่งใน 16 เฟรมที่ต่อเนื่องกัน และเหตุที่ใช้ได้เพียงแค่ 15 ไบท์ของรหัส ASCII ก็เนื่องจากว่า ไบท์แรกสุดนั้นจะถูกใช้สำหรับ CRC-7 สำหรับข้อมูลในเฟรมก่อนหน้า)*

สำหรับไบท์ J0 นี้ในอดีตจะถูกแทนด้วยไบท์ C1 ซึ่งถูกใช้เพื่อกำหนด และตรวจสอบตำแหน่งของสัญญาณ STM-1 ใด ๆ ที่อยู่ใน STM-N โดยในกรณีของสัญญาณ STM-N ไบท์ C1 จะถูกแทนด้วย J0 และ Z0 (ถูกสำรองไว้ใช้ในอนาคต) นอกจากนี้ในอดีต การส่งไบท์นี้จะมีการทวนซ้ำที่ทุก ๆ 64 ไบท์(64-Byte Repeated) หรือ เฟรมละ 1 ไบท์ใน 64 เฟรมที่ต่อเนื่องกัน

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

1. ไบท์ K1 และบิทที่ 1 ถึง 5 ในไบท์ K2 จะใช้สำหรับบ่งบอกถึงรายละเอียดต่าง ๆ ของ APS(Automatic Protection Switching) ดังแสดงในตารางที่ 1.2 และ 1.3
2. บิทที่ 6 ถึง 8 ในไบท์ K2 จะใช้สำหรับการส่งสัญญาณ MS-RDI, MS-AIS และสถานะอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1.3

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	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).

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	
Note: Reverse Request assumes the priority of the request to which it is responding.	

ตาราง 1.2 Byte K1 Functions

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 010 Bridged and Switched (Br&Sw) 001 Bridged (Br) 000 Idle
Long/Short (bit 5) 0 = short-path code (S) 1 = long-path code (L)		

ตาราง 1.3 Byte K2 Functions

อนึ่งจะขอกล่าวถึงศัพท์บางตัวที่อยู่ในตาราง 1.2 และ 1.3 ดังนี้

- **Span** กับ **Ring** จากตาราง 1.2

  จะเป็นรูปแบบของการ Protection ในส่วนของ Multiplexer Section ซึ่งจะประกอบไปด้วย **MSP**(**M**ultiplexer **S**ection **P**rotection) และ **MS-SPRING**(**M**ultiplexer **S**ection **S**hared **P**rotection **Ring**) ถ้ากล่าวถึง Span ก็คือ MSP และในทำนองเดียวกันถ้ากล่าวถึง Ring ก็คือ MS-SPRING นั่นเอง

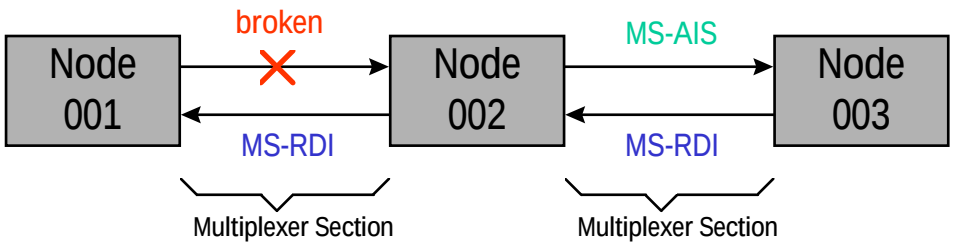
  สำหรับรายละเอียดจะขอกล่าวอีกครั้งในบทของ "Protection"

- **Long/Short** จากตาราง 1.3

  Short-Path คือ Path ที่ซึ่งมี Request กำเนิดขึ้นมา ในขณะที่ Long-Path คือ Path ที่อยู่ห่างออกไปจาก Short-Path นั่นเอง

- **MS-RDI & MS-AIS**

  ให้พิจารณาตัวอย่างต่อไปนี้



จากรูป เมื่อมีการชำรุดของสายนำสัญญาณที่ Node 001 ส่งมาให้ Node 002 หรืออาจเป็นกรณีที่สัญญาณที่ Node 002 รับมาได้จาก Node 001 เกิดผิดปกติ อาทิเช่น Loss Of Signal(LOS) หรืออาจเป็น AIS(Alarm Indication Signal) ในกรณีนี้ Node 002 จะส่ง MS-RDI(Multiplexer Section-Remote Defect Indication)* กลับไปให้ Node 001 และจะส่ง MS-AIS(Multiplxer Section-Alarm Indication Signal) ไปให้ Node 003 เพื่อบอกให้ Node 003 รู้ว่า ตัวมันรับสัญญาณที่ด้อยคุณภาพ หรือสัญญาณที่ไม่ใช่สัญญาณข้อมูลปกติได้

ในทำนองเดียวกันนี้ Node 003 ก็จะส่ง MS-RDI กลับไปให้ Node 002

* ในอดีตจะใช้ MS-FERF (Multiplexer Section-Far End Receive Failure) แทน MS-RDI

- **M1 ใช้สำหรับ MS-REI(Multiplexer Section-Remote Error Indication)** โดยจะทำงานสัมพันธ์กับไบท์ 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)
- **บิท 5 ถึงบิท 8 ของไบท์ S1 สำหรับ Synchronization Status Messages** หรือที่ในอดีตถูกเรียกว่า Timing Marker ใช้เพื่อบอกถึงสถานะของ Clock แหล่งต่าง ๆ ที่สามารถถูกใช้จากแต่ละ Network Element ได้ ซึ่งจะมีประโยชน์สำหรับในการ Restoration ของโครงข่าย (รายละเอียดจะขอกล่าวถึงในบทของ Network Synchronization)

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

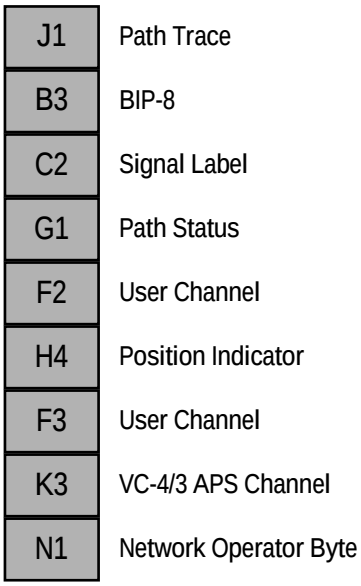
ตาราง 1.4 S1-Byte Description

- **NU เป็น National Use Bytes**
- **ส่วนไบท์ที่ยังว่างอยู่จะถูกใช้สำหรับมาตรฐานต่าง ๆ ในอนาคต(Future Standardization)**

4.4 Path Overhead(POH): รายละเอียด หน้าที่ และการทำงาน

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

4.4.1 VC-4 POH



รูป 1.24 Path OverHead VC-4

รายละเอียดการทำงานของไบท์ต่าง ๆ

- **J1 (Path Trace)** มีรายละเอียดต่าง ๆ เหมือนกับ J0 ในส่วนของ RSOH ทุกประการ

สำหรับข้อแตกต่างก็คือ J0 จะถูก Terminated ที่ทุก ๆ Regenerator ในขณะที่ J1 จะถูก Terminated ที่ส่วนของจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายของเส้นทาง (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 1.5 โดยที่

  * MAN = Metropolitan Area Network, FDDI = Fibre 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

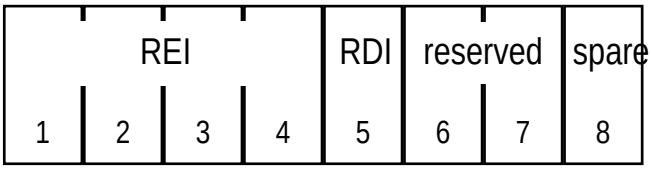
  * VC-AIS จะใช้กับโครงข่ายแบบ Tandem Connection เท่านั้น

  * O.181 เป็นมาตรฐานสำหรับการทดสอบสัญญาณ

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

ตาราง 1.5 VC-4 path signal label coding

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



บิท 1 ถึง 4 ใช้สำหรับส่งข้อมูล Remote Error Indication (REI) เหมือนกับในกรณีของ MS-REI(Multiplexer Section-Remote Error Indication) หรือ ไบท์ M1 โดยจะทำงานสัมพันธ์กับไบท์ B3 ซึ่งค่าของ REI นี้จะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 8 และในกรณีที่เป็นค่าอื่น ๆ นอกเหนือจาก 0 ถึง 8 จะถูกตีความว่า ***"ไม่มีข้อผิดพลาด"***

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

สำหรับบิท 6, 7 จะถูกสงวนไว้สำหรับใช้กับ Optional เพิ่มเติม(พิจารณาตาราง 1.6) ในขณะที่บิท 8 ถูกสำรองไว้ใช้ในอนาคต

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)

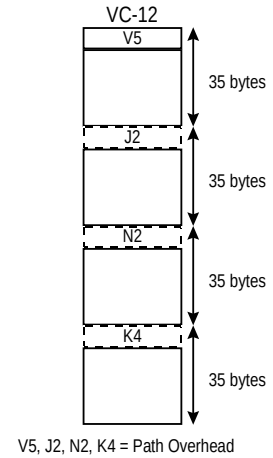
* This code is only transmitted by old equipment. New equipment will identify that it is interworking with old equipment.

ตาราง 1.6 G1 (b5-b7) coding and interpretation

- **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 ส่วนบิทที่ 5 ถึง 8 ถูกจัดไว้สำหรับการใช้งานในอนาคต
- **H4 (Position Indicator)** ใช้ชี้ตำแหน่งของไบท์ V1, V2, V3 และ V4 ที่อยู่ใน Multiframed TU-12
  ตามที่ได้กล่าวมาแล้วจากหัวข้อ “เรื่องเล่าของเหล่าพอยท์เตอร์” แต่จะขอย้ำอีกครั้งว่าในการชี้ตำแหน่งของไบท์ V1, V2, V3 และ V4 นี้จะเป็นหน้าที่ของไบท์ H4 โดยใช้บิทที่ 7 และ 8 ซึ่งจะมีสถานะ 4 สถานะคือ ‘00’ ‘01’ ‘10’ และ ‘11’ คอยชี้ตำแหน่งของไบท์ V1, V2, V3 และ V4 ตามลำดับ ส่วนบิทที่ 1 ถึง 6 ในไบท์นี้จะไม่ถูกใช้งาน
- **N1(Network Operator Byte)** ถูกสำหรับหน้าที่ในการตรวจดูคุณภาพของสัญญาณในกรณีของ Tandem Connection สำหรับตัวอย่างของการเชื่อมต่อแบบ Tandem Connection ก็คือ การเชื่อมต่อสัญญาณจากโอเปอร์เรเตอร์หรือผู้ให้บริการรายหนึ่ง ไปยังผู้ให้บริการอีกรายหนึ่ง
  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

4.4.2 VC-12 POH



รูป 1.25 Path OverHead VC-12

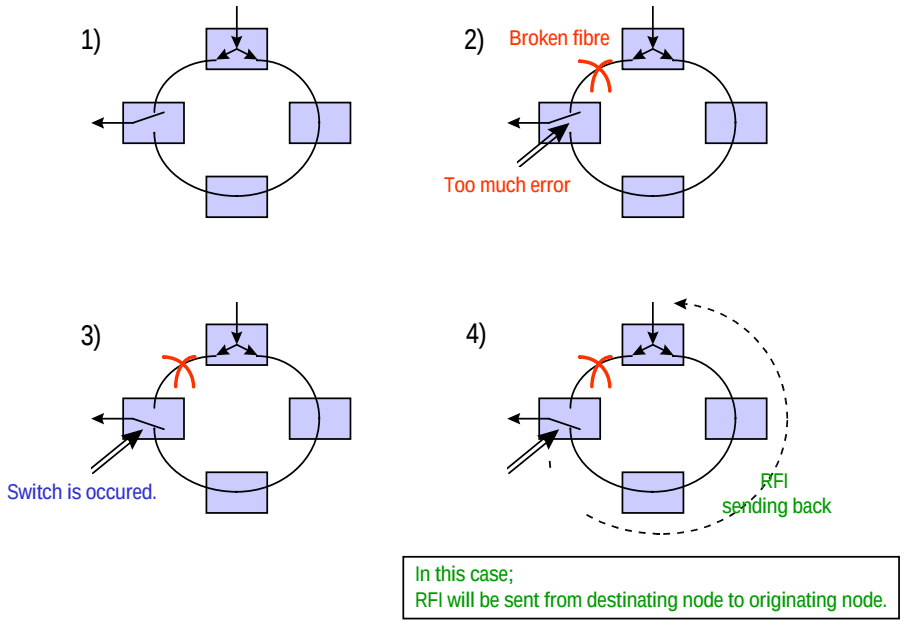
รายละเอียดการทำงานของไบท์ต่าง ๆ

- **V5** มีรายละเอียดของบิทต่าง ๆ ดังนี้

บิทที่ 1 และ 2 ใช้สำหรับ BIP check

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

บิทที่ 4 ใช้สำหรับ VC-12 path RFI โดยจะถูกเซทค่าเป็น 1 เพื่อบอกว่ามีการ Failure เกิดขึ้น และจะถูกเซทเป็นค่า 0 ถ้าหากไม่มีการ Failure ตัวอย่างของการเกิด RFI ให้พิจารณาที่รูป 1.26



รูป 1.26 การเกิด RFI จากการ Failure ของการ Switch

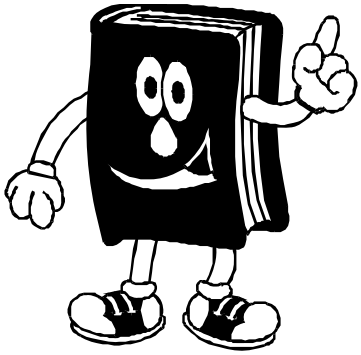
บิท 5 ถึง บิท 7 จะถูกใช้สำหรับเป็น Signal Label สำหรับ VC-12 ดังแสดงในตารางที่ 1.7

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

ตาราง 1.7 VC-12 path Signal Label

<u>บิทที่ 8</u> จะใช้สำหรับ VC-12 path RDI

- **J2 (Path Trace)** ใช้ตรวจสอบการเชื่อมต่อของเส้นทางในระดับของ VC-12 path
- **N2 (Network Operator Byte)** ใช้สำหรับ TCM(Tandem Connection Monitoring)
- **K3 : บิท 1 ถึง บิท 4 (APS channel)** จะถูกใช้เพื่อส่งสัญญาณสำหรับ APS(Automatic Protection Switching) ในระดับของ VC-12 Path ส่วนบิทที่ 5 ถึง 7 ถูกจัดไว้สำหรับการใช้งาน Optional ดังแสดงในตารางที่ 1.8 และบิทที่ 8 สำหรับใช้งานในอนาคต



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.

<u>ตาราง 1.8</u> K4(b5-b7) coding and interpretation

บทที่ 2

SDH Network Protection

1. ชนิดของ SDH Network Protection

ในปัจจุบันนี้ชนิดของ SDH Network Protection นั้นมีอยู่หลายแบบ หลายมาตรฐาน ทั้งของมาตรฐาน ITU และของ SONET แต่ในที่นี้จะขอกล่าวในภาพรวมของทั้งสองมาตรฐานโดยจะแบ่งการ Protection เป็น 2 ชนิดหลักคือ

1. Multiplexer Section Protection(MSP) ซึ่งจะทำการป้องกันในส่วนของ Multiplexer Section
2. Path Protection ซึ่งจะทำการป้องกันในส่วนของ Path หรือตั้งแต่จุดที่เริ่มต้นส่งข้อมูลจนถึงจุดสิ้นสุดของข้อมูล ซึ่งส่วนของ Path นี้อาจประกอบไปด้วยหลาย ๆ ส่วนของ Multiplexer Section

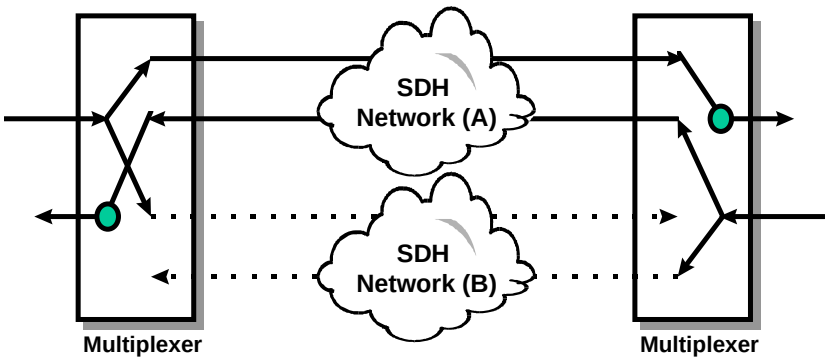
สำหรับในส่วนของ Multiplexer Section Protection ก็ยังถูกแบ่งย่อยลงไปอีกได้เป็น

- Multiplexer Section Protection แบบ Linear Protection และ
- Multiplexer Section Protection แบบ Ring Protection ดังรายละเอียดที่จะได้อธิบายต่อไป

2. Multiplexer Section Protection

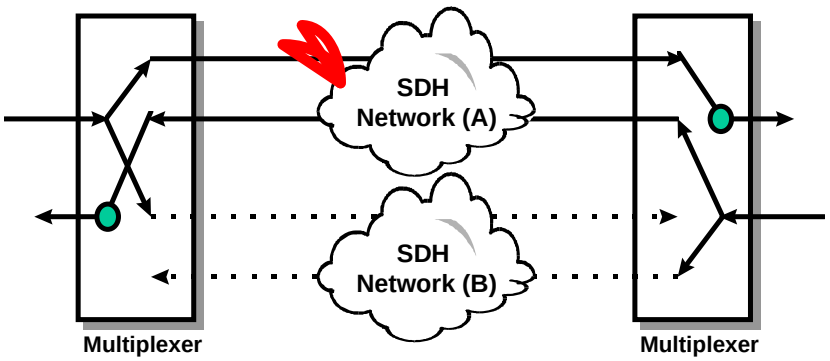
2.1 แบบ Linear Protection

2.1.1 MSP in 1+1 Point-to-point Protection Configuration



รูป 2.1 MSP แบบ 1+1 Protection Configuration ภายใต้สภาวะปกติ

จากรูปเราจะพบว่าในด้านส่งสัญญาณของอุปกรณ์ Multiplexer ทั้งสองตัวจะมีการส่งออกสัญญาณทั้งสองทิศทางในเวลาเดียวกัน ซึ่งการส่งในลักษณะนี้จะเรียกว่า ‘Bridge’ ส่วนทางด้านรับของทั้งสอง Multiplexer จะมีลักษณะเป็นการเลือกเอาสัญญาณใดสัญญาณหนึ่งเข้ามาเท่านั้น ซึ่งจะเรียกลักษณะการเลือกแบบนี้ว่า “Switch” นั่นเอง



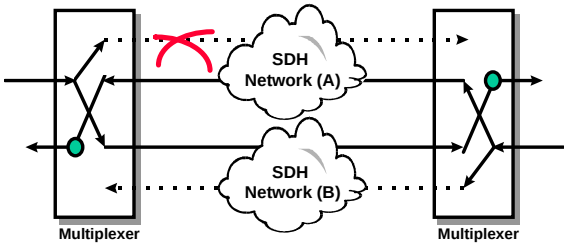
รูป 2.2 เมื่อ Optical Fibre ใน Core บนสุดขาด

ในกรณีที่เกิดการ Fail หรือการ Degrade ของสัญญาณขึ้นในส่วนของ Multiplexer Section ดังแสดงในรูป 2.2 ซึ่ง Optical Fibre ใน Core บนสุดในรูปขาดนั้น เราจะแบ่งการตอบสนองของการสวิทช์ได้เป็น 2 กรณี คือ

- **กรณีสวิทช์แบบ Single-End :** การสวิทช์แบบนี้ เมื่อด้านรับสัญญาณของ Multiplexer ตัวขวามือตรวจสอบพบว่าสัญญาณที่รับได้เกิดการ Fail หรือการ Degrade ขึ้น จึงทำการสวิทช์มารับสัญญาณที่อีกด้านหนึ่ง(ด้าน Protection ซึ่งอาจมาจากอีก Network หนึ่ง หรือเป็น Network เดียวกัน)แทน ส่วนที่ด้านรับสัญญาณของ Multiplexer ตัวซ้ายมือจะไม่มีการสวิทช์เกิดขึ้นแต่อย่างใด

  ในกรณีนี้การสวิทช์***ไม่ต้องการใช้ไบท์ K1 และ K2 ใน MSOH*** เป็นตัวกำหนดการสวิทช์ เนื่องจากการสวิทช์แบบนี้ไม่จำเป็นต้องทราบถึงสถานะของตัวสวิทช์ที่อยู่ที่ Multiplexer อีกตัวหนึ่ง

  สำหรับค่า Switch Timing ในกรณีนี้จะอยู่ที่ 50 ms

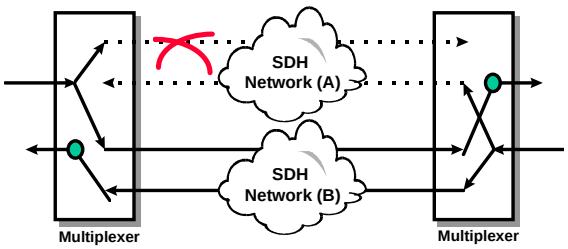


รูป 2.3 MSP แบบ 1+1 Protection Configuration (Single-End Switching) ภายใต้สภาวะไม่ปกติ

- **กรณีสวิทช์แบบ Double-End :** การสวิทช์แบบนี้ เมื่อด้านรับสัญญาณของ Multiplexer ตัวขวามือตรวจสอบพบว่าสัญญาณที่รับได้เกิดการ Fail หรือการ Degrade ขึ้น จึงทำการสวิทช์มารับสัญญาณที่อีกด้านหนึ่ง(ด้าน Protection)แทน และจะทำการส่งสัญญาณแสดงการ Fail หรือการ Degrade ของสัญญาณที่รับได้ (เรียกการส่งแบบนี้ว่า Bridge Request ซึ่งจะใช้บิท 1 ถึง 4 ในไบท์ K1 เป็นตัวกำหนดการ Request โดยจะส่ง Signal Fail(Span) หรือ SF-S ในกรณีที่เกิดการ Fail ของสัญญาณ และจะส่ง Signal Degrade(Span) หรือ SD-S นกรณีที่เกิดการ Degrade ของสัญญาณ สำหรับกรณีของ SF-S นี้บิท 1 ถึง 4 ของไบท์ K1 จะถูกกำหนดให้เป็น ‘1100’ ส่วนกรณี SD-S จะเป็น ‘1001’ ดังแสดงในตาราง 1.2 หน้า 1-36) กลับไปยังด้านรับสัญญาณของ Multiplexer ตัวซ้ายมือ จากนั้น Multiplexer ตัวซ้ายมือก็ทำการสวิทช์มารับสัญญาณที่อีกด้านหนึ่ง(ด้าน Protection)แทน

  ในกรณีนี้การสวิทช์***ต้องการใช้ไบท์ K1 และ K2*** เป็นตัวกำหนดการสวิทช์ โดยจะใช้เพื่อทำการส่ง และรับสัญญาณ Bridge Request นั่นเอง

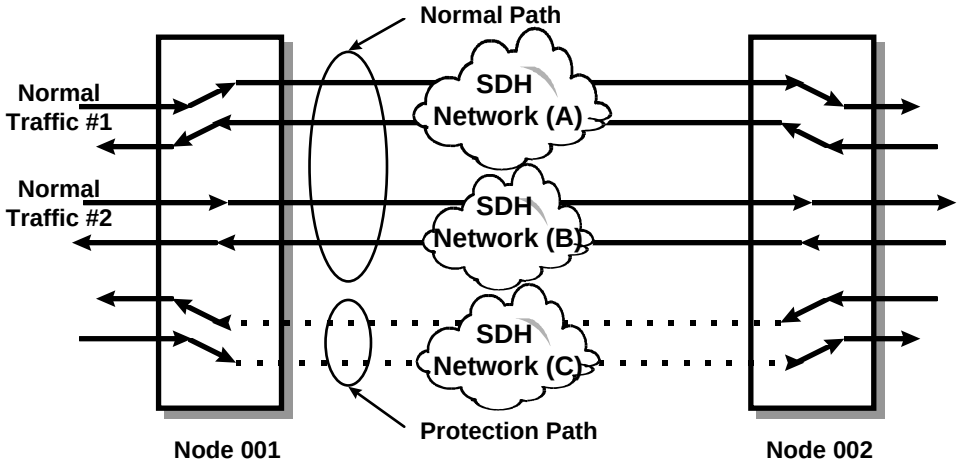
  สำหรับค่า Switch Timing ในกรณีนี้จะอยู่ที่ 50 ms



รูป 2.4 MSP แบบ 1+1 Protection Configuration (Double-End Switching)ภายใต้สภาวะไม่ปกติ

นอกจากนี้ในกรณีของ MSP แบบ 1+1 Protection Configuration นี้อาจมีโหมดของการสวิทช์เป็นแบบ Revertive หรือแบบ Non-Revertive กล่าวคือ Revertive จะเป็นโหมดที่เมื่อเกิดการสวิทช์ขึ้นมาแล้ว หากว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดการสวิทช์ถูกแก้ไขแล้ว หรือสัญญาณที่ Fail หรือการ Degrade กลับมาปกติแล้ว ก็จะเกิดการสวิทช์กลับมายังด้านเดิม (ตัวที่ใช้งานอยู่ก่อนที่จะเกิดการสวิทช์) ส่วน Non-Revertive ก็จะตรงข้ามกับ Revertive ก็คือจะไม่มีการสวิทช์กลับมายังด้านเดิมแม้ว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดการสวิทช์ถูกแก้ไขแล้ว หรือสัญญาณที่ Fail หรือการ Degrade กลับมาเป็นปกติเรียบร้อยแล้ว

2.1.2 MSP in 1:n Point-to-point Protection Configuration



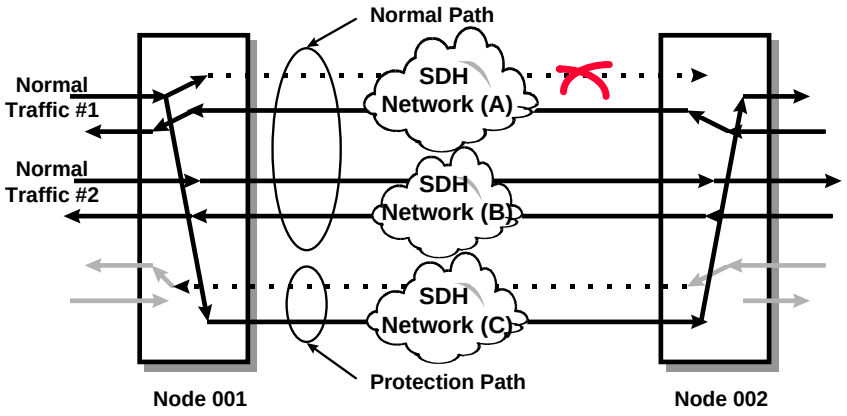
รูป 2.5 MSP แบบ 1:n Protection Configuration (เมื่อ n=2) ภายใต้สภาวะปกติ

ในกรณีของ MSP แบบ 1:n Protection Configuration นี้ จะมีส่วน Protection Path(ใน 1 Multiplexer Section) อยู่ 1 ส่วนสำหรับป้องกันส่วนที่ใช้งาน หรือ Normal Path(ใน 1 Multiplexer Section) n ส่วน โดยในสภาวะปกติ Normal Path ก็จะส่ง Traffic ตามปกติ สำหรับในส่วนของ Protection Path จะไม่มีการใช้งาน(แต่อาจจะใช้สำหรับส่ง Traffic ที่มี Low-Priority ได้) เมื่อมีการ Fail หรือ การ Degrade ของสัญญาณเกิดขึ้นในส่วนของ Normal Path ก็จะเกิดการสวิทช์มาใช้งานในส่วนของ Protection Path ซึ่งเราสามารถแบ่งการตอบสนองของการสวิทช์ได้เป็น 2 กรณี คล้ายกลับใน MSP 1+1 Protection Configuration คือ

- **กรณีสวิทช์แบบ Single-End :** การสวิทช์แบบนี้ หากด้านรับสัญญาณของ Multiplexer ตัวขวามือ(Node 002)ตรวจสอบพบว่าสัญญาณ Normal Traffic #1 ที่รับได้ใน Normal Path เกิดการ Fail หรือการ Degrade ขึ้น ก็จะทำการส่ง Bridge Request ว่า SF-S หรือ SD-S ไปยัง Multiplexer ตัวซ้ายมือ(Node 001) และก็จะสวิทช์ไปรับสัญญาณจากส่วนของ Protection Path แทน หลังจากนั้น Node 001 ก็จะทำการ 'Bridge' ด้านส่งเพื่อส่งสัญญาณ Normal Traffic #1 ไปตามส่วนของ Protection Path แทนและจะแจ้งให้ Node 002 ทราบว่าเกิดการ 'Bridge' ที่ตัวมัน(โดยส่งผ่านบิท 6 ถึง 8 ในไบท์ K2 ซึ่งเป็นการแสดงสถานะว่าที่ Node 001 นี้เกิดการ 'Bridge' ขึ้นมา โดยค่าของทั้งสามบิทเป็น '001' ตามลำดับ) Node 002 ก็สามารถไปรับสัญญาณที่ส่งมาจาก Node 001 ผ่านทางส่วนของ Protection เพื่อนำไปใช้งานต่อไปได้

สำหรับอีกส่วนของส่วนที่ใช้งานก็จะยังคงส่ง Normal Traffic #1 ตามปกติบน Normal Path (จาก Node 002 มาหา Node 001) เนื่องจากไม่ได้เกิดการ Fail หรือ Degrade ของสัญญาณ จึงไม่มีการสวิทช์เกิดขึ้นแต่อย่างใด

สำหรับค่า Switch Timing ในกรณีนี้จะอยู่ที่ 50 ms

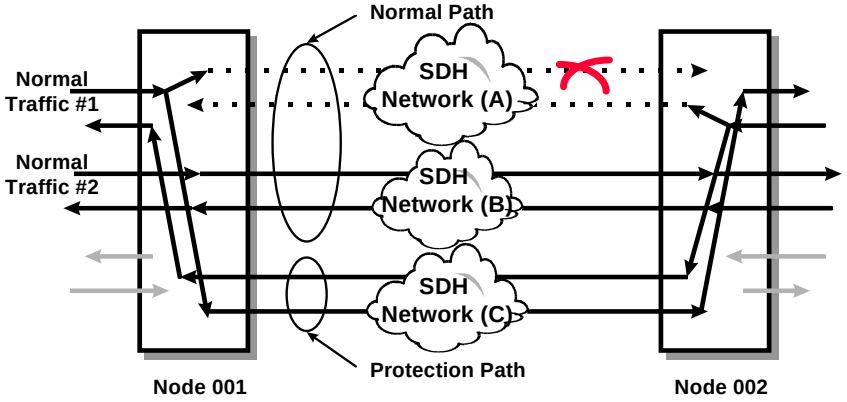


รูป 2.6 MSP แบบ 1:2 Protection Configuration (Single-End Switching) ภายใต้สภาวะไม่ปกติ

- **กรณีสวิทช์แบบ Double-End :** การสวิทช์แบบนี้ หากด้านรับสัญญาณของ Multiplexer ตัวขวามือ(Node 002)ตรวจสอบพบว่าสัญญาณที่รับได้ใน Normal Traffic #1 เกิดการ Fail หรือการ Degrade ขึ้น ก็จะทำการส่ง Bridge Request ว่า SF-S หรือ SD-S ไปยัง Multiplexer ตัวซ้ายมือ(Node 001) นอกจากนี้ ยังทำการ 'Bridge' ด้านส่งจาก Normal Traffic #1 ให้ไปใช้ส่วนของ Protection แทน และทำการ 'Switch' ด้านรับมายังส่วนของ Protection ด้วยเช่นเดียวกัน โดยจะแจ้งให้ Node 001 ทราบว่าเกิดการ 'Bridge&Switch' โดยส่งผ่านบิท 6 ถึง 8 ในไบท์ K2 ซึ่งค่าของทั้งสามบิทเป็น '010' ตามลำดับ

ส่วนด้าน Node 001 ก็จะทำการ 'Bridge&Switch' สัญญาณจาก Normal Traffic #1 ให้ไปใช้ส่วนของ Protection เช่นเดียวกันซึ่งเท่ากับว่าในขณะนี้ Normal Traffic #1 ทั้งสองทิศทางได้มาใช้ส่วนของ Protection เป็นทางในการส่งผ่านข้อมูลแทนแล้ว

สำหรับค่า Switch Timing ในกรณีนี้จะอยู่ที่ 50 ms



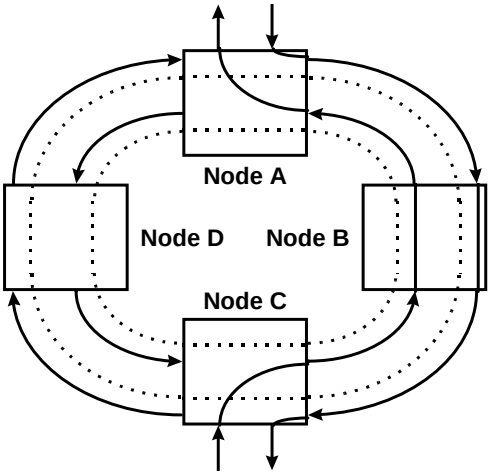
รูป 2.7 MSP แบบ 1:2 Protection Configuration (Double-End Switching) ภายใต้สภาวะไม่ปกติ

ในกรณีของ MSP แบบ 1:n Protection Configuration นี้จะมีโหมดของการสวิทช์เป็นแบบ Revertive เนื่องจากในส่วนของ Protection Path นั้นจะถูก Shared สำหรับหลาย ๆ Normal Path

2.2 แบบ Ring Protection

2.2.1 MS-SPRING (Multiplexer Section Shared Protection Ring)

ลักษณะของ MS-SPRING นี้จะสามารถป้องกันส่วนของ Multiplexer Section ได้ทั้งในกรณีที่เกิดการ Fail ของ Link และของ Node (ดังที่จะได้อธิบายต่อไป)

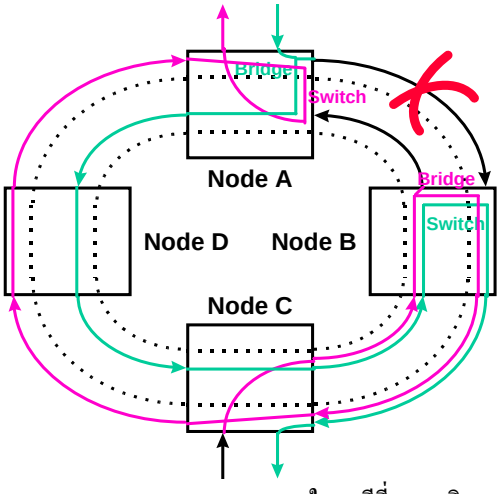


รูป 2.8 MS-SPRING แบบ 2-Fiber Ring

เราสามารถแบ่ง MS-SPRING ออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบ 2-Fiber Ring กับแบบ 4-Fiber Ring

- **แบบ 2-Fiber Ring :** ในโหมดนี้แต่ละทิศทางการส่งจะใช้ Fiber อย่างละ 1 Core ซึ่งในแต่ละ Core ของ Fiber นั้นจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนเท่า ๆ กัน สำหรับทำเป็น Normal และ Protection Path

ในกรณีที่มีการ Fail หรือ Degrade ของสัญญาณใน Normal Path เกิดขึ้น สัญญาณใน Normal Path นั้นจะถูก 'Bridge' ไปยังทิศทางตรงกันข้ามโดยใช้ Protection Path ของ Fiber อีก Core หนึ่งเพื่อทำการส่งไปยังปลายทางเดิม ซึ่งแสดงรายละเอียดได้ดังในรูปที่ 2.8



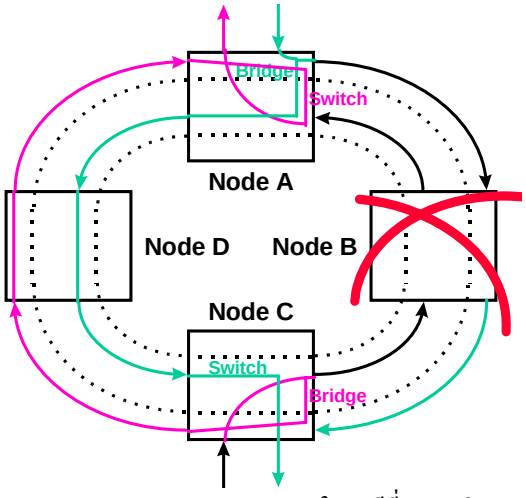
รูป 2.8 MS-SPRING แบบ 2-Fiber Ring ในกรณีที่ Link เกิดการ Fail

ในกรณีที่ Link เกิดการ Fail นี้จะส่งผลให้ข้อมูลเปลี่ยนทิศทางในการส่ง แต่ยังไปที่จุดหมายเดิม กล่าวคือ เดิมสัญญาณจะรับ-ส่ง จาก Node A ไปหา Node C โดยผ่าน Node B เมื่อเกิดการขาดของ Fiber ที่ Node A ใช้ส่งข้อมูลต่าง ๆ ไปยัง Node B แล้ว จะเกิดผลต่าง ๆ ขึ้นดังนี้

1. เมื่อ Node B ตรวจสอบได้ว่าสัญญาณในทิศทางที่รับเข้ามาจาก Node A เกิด Fail ขึ้นมา ก็จะทำการส่ง Signal Fail (Ring) หรือ SF-R ไปให้ Node A โดยใช้ไบท์ K1 ในบิทที่ 1 ถึง 4 (‘1011’) ส่งผ่าน Normal Path เหมือนเดิม ส่วนด้านรับก็จะ ‘Switch’ เพื่อเตรียมที่จะไปรับสัญญาณที่ Node A จะส่งมาให้ทางด้าน Protection Path
2. เมื่อ Node A ได้รับ SF-R เข้ามาก็จะทำการ ‘Bridge’ หรือบางครั้งเรียกว่า ‘LOOPBACK’ ด้านส่งให้ไปใช้ Protection Path ใน Fiber อีก Core หนึ่ง ส่วนทางด้านรับก็จะ ‘Switch’ เพื่อเตรียมที่จะไปรับสัญญาณข้อมูลที่ Node B จะส่งมาให้ทางด้าน Protection Path (ในกรณีนี้ Node A จะส่งสถานะ ‘Bridge& Switch’ ออกไปให้ Node B รับรู้ โดยใช้ไบท์ K2 ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว) ซึ่งจากนั้นก็จะมีการส่งผ่านสัญญาณนี้ไปตาม Protection Path เรื่อยไปจนกระทั่ง Node B รับสัญญาณนี้ได้ แล้วจึงจัดส่งต่อไปให้ Node C ที่เป็น Node ปลายทาง
3. Node B ก็จะทำการ Bridge’ ด้านส่งให้ไปใช้ Protection Path ใน Fiber อีก Core หนึ่งเพื่อให้ Node A สามารถรับสัญญาณได้เนื่องจากตอนนี้ Node A ได้ ‘Switch’ ด้านรับไปแล้ว (ในกรณีนี้ Node B จะส่งสถานะ ‘Bridge’ ออกไปให้ Node A เพื่อให้รับรู้ว่าได้ ‘Bridge’ สัญญาณมาให้แล้ว โดยจะใช้ไบท์ K2 เป็นตัวส่งข้อมูลนี้ ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว) ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่า***การสวิทช์เป็นแบบ Double-End เท่านั้น***

<u>หมายเหตุ</u> : ถ้าสมมติให้ในกรณีของ MS-SPRING นี้ ใช้กับ Ring Capacity ที่ STM-16 (1 Fiber บรรจุ STM-16) โดย AUG#1 ถึง AUG#8 เป็น Traffic ปกติ ส่วนที่ AUG#9 ถึง AUG#16 อาจเป็น Low-Priority Traffic หรืออาจจะไม่มี Traffic ซึ่งในการสวิทช์ทราฟฟิคไปยัง Protection Path นั้นจะเท่ากับเป็นการ Loop สัญญาณจาก AUG#1 ไปยัง AUG#9, AUG#2 ไปยัง AUG#10 เป็นลำดับเรื่อยไปจนกระทั่งถึง AUG#8 ไปยัง AUG#16

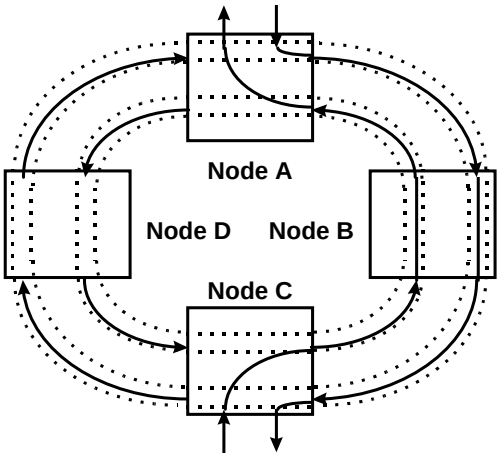
สำหรับรูป 2.9 จะแสดงการสวิทช์ในกรณีที่มีการ Fail ของ Node เกิดขึ้น



<u>รูป 2.9</u> MS-SPRING แบบ 2-Fiber Ring ในกรณีที่ Node เกิดการ Fail

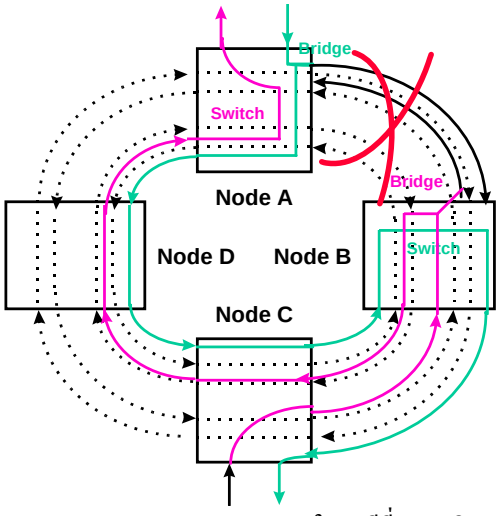
สำหรับค่า Switch Timing ในกรณีนี้จะอยู่ที่ 50 ms แต่ทั้งนี้ Link ของ Fiber จะต้องยาวไม่เกิน 1200 km และใน Protection Path จะต้องไม่มี Low Priority Traffic รวมทั้ง Switch Requests อยู่ก่อนหน้าด้วย

- **แบบ 4-Fiber Ring :** ในโหมดนี้แต่ละทิศทางการส่งจะใช้ Fiber อย่างละ 2 Core โดยมี 1 คู่ถูกใช้สำหรับสองทิศทางการส่งใน Normal Path และอีก 1 คู่ถูกสำหรับใน Protection Path



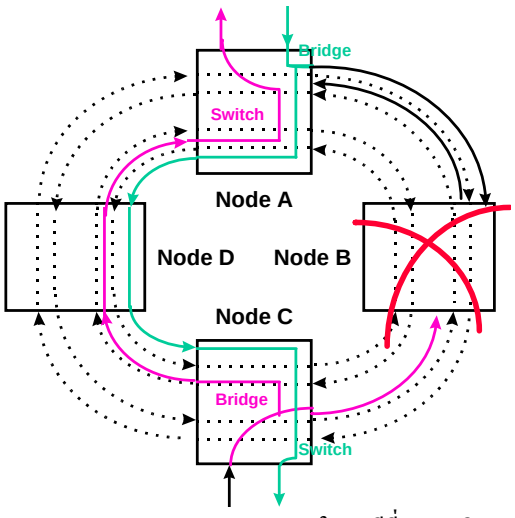
รูป 2.10 MS-SPRING แบบ 4-Fiber Ring

ในกรณีที่มีการ Fail หรือ Degrade ของสัญญาณใน Normal Path เกิดขึ้น สัญญาณใน Normal Path นั้นจะถูก 'Bridge' ไปยัง Fiber ทิศทางตรงกันข้ามที่ถูกใช้เป็น Protection Path เพื่อทำการส่งไปยังปลายทางเดิม ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูป 2.11 MS-SPRING แบบ 4-Fiber Ring ในกรณีที่ Link เกิดการ Fail

ในกรณีที่ Link เกิดการ Fail นี้จะส่งผลให้ข้อมูลเปลี่ยนทิศทางในการส่ง แต่ยังไปที่จุดหมายเดิม กล่าวคือ เดิมสัญญาณจะรับ-ส่ง จาก Node A ไปหา Node C โดยผ่าน Node เมื่อเกิดการขาดของ Fiber ที่ Node A ใช้ส่งข้อมูลต่าง ๆ ไปยัง Node B แล้ว จะเกิดผลต่าง ๆ อาทิเช่น การส่งสัญญาณในไบท์ K1 และ K2 เหมือนกับในกรณีของ **MS-SPRING แบบ 2-Fiber Ring เมื่อ Link เกิดการ Fail** แต่จะต่างกันตรงที่ในกรณีของ 2-Fiber Ring นั้นการ Bridge และ การ Switch ของสัญญาณจะไปที่ Protection Path ที่ถูกแบ่งครึ่งเอาไว้อยู่ภายใน Fiber อีก Core หนึ่งที่มีทิศทางตรงกันข้าม ในขณะที่ 4-Fiber Ring นั้นการ Bridge และ การ Switch ของสัญญาณจะไปที่ Fiber 1 Core ที่ถูกจัดไว้สำหรับให้ใช้เป็น Protection Path โดยเฉพาะ (ซึ่งจะเป็นเช่นเดียวกันในกรณีที่มีการ Fail ของ Node เกิดขึ้น)



<u>รูป 2.12</u> MS-SPRING แบบ 4-Fiber Ring ในกรณีที่ Node เกิดการ Fail

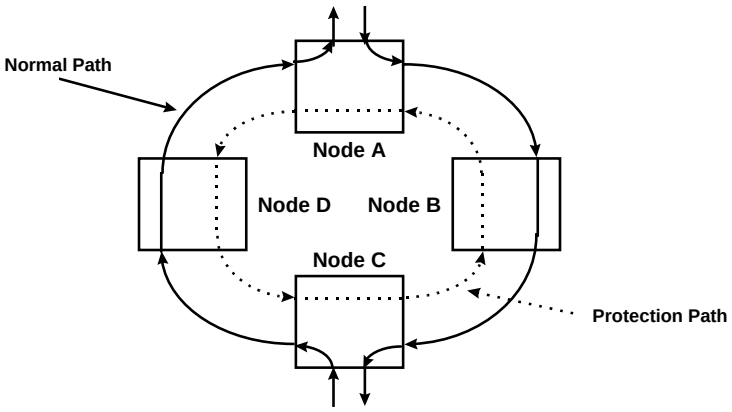
นอกจากนี้แล้วกรณีของ MS-SPRING แบบ 4-Fiber Ring นี้ ยังสามารถพิจารณาลักษณะการสวิทช์ในแบบ “Span Switching” ได้อีกด้วย กล่าวคือเราสามารถพิจารณาได้ว่า Span นั้นคือชุดของ Multiplexer Section ระหว่าง 2 Node ใกล้กันที่อยู่ภายใน Ring และในกรณีที่มีการ Fail ของ Link เฉพาะในส่วน Normal Path เท่านั้น เราก็จะพบว่าเราสามารถสวิทช์ให้ Traffic ไปใช้ที่ Protection Path ได้ ซึ่งจะมีลักษณะเหมือนที่ได้กล่าวผ่านมาแล้วในหัวข้อ “MSP 1:n Protection Configuration” ในกรณีที่ n = 1 นั่นเอง

<u>Note</u> : เราสามารถสรุป ความแตกต่างระหว่าง Ring Switching กับ Span Switching ที่สามารถเห็นได้ชัดเจนก็คือ Ring Switching ใช้ป้องกันในกรณีที่ Fiber ในทิศทางใดทิศทางหนึ่งขาดทั้ง Normal และ Protection Path ส่วน Span Switching จะใช้ป้องกันในกรณีที่ Fiber ในส่วนของ Normal Path ขาดทั้งสองทิศทาง

2.2.2 MS-DPRING (Multiplexer Section Dedicated Protection Ring)

ในกรณีของ MS-DPRING นี้ในสภาวะของการใช้งานปกติจะใช้ Fiber เพียง 1 Core ใน Ring สำหรับการส่งข้อมูลทั้งสองทิศทางของ Traffic 1 ช่อง ส่วน Fiber อีก 1 Core จะถูกใช้สำหรับเป็น Protection Path โดย Normal Path จะมีทิศทางการส่งที่ตรงกันข้ามกับ ใน Protection Path อาทิเช่น Normal Path มีทิศทางตามเข็มนาฬิกา ส่วน Protection Path จะมีทิศทางทวนเข็มนาฬิกา โดยเราสามารถแบ่ง MS-DPRING ได้ 2 แบบตามลักษณะของการสวิทช์ คือ แบบ Line Switching และแบบ Path Switching

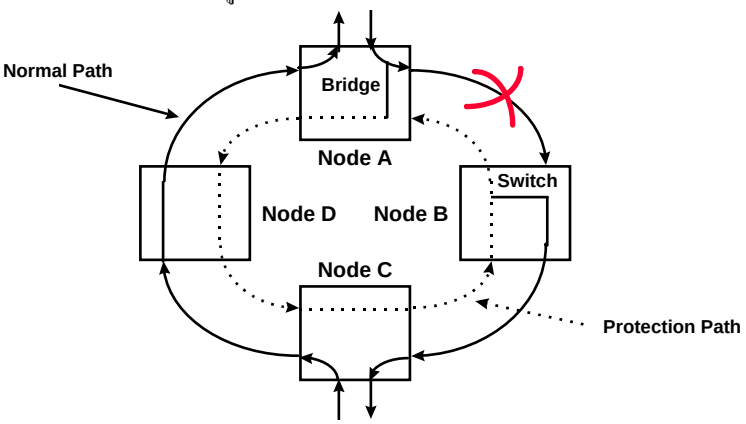
- **แบบ Line Switching**



รูป 2.13 MS-DPRING แบบ Line Switching ในภาวะปกติ

MS-DPRING แบบ Line Switching นี้ จะมี Fiber 1 Core ใช้สำหรับ Normal Path ส่วนอีก 1 Core ใช้สำหรับเป็น Protection Path เท่านั้น ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าในกรณีปกติการใช้งานการรับ-ส่งระหว่าง Node A และ Node C จะใช้ Fiber เพียง 1 Core เท่านั้น ซึ่งจะมีลักษณะเป็นแบบ Unidirectional Ring ดังที่ในมาตรฐาน SONET จะเรียกการ Protection แบบนี้ว่า Uni-Directional Self Healing Ring หรือ USHR (ส่วนในกรณีของ MS-SPRING จะถูกเรียกโดย SONET ว่า Bi-Directional Self Healing Ring หรือ BSHR)

ในกรณีที่เกิดการ Fail ขึ้นดังแสดงในรูป



รูป 2.14 MS-DPRING แบบ Line Switching ในภาวะ Fail

จากรูป เมื่อเกิดการ Fail ของสัญญาณระหว่าง Node A และ Node B ทำให้ไม่สามารถส่งต่อสัญญาณมายัง Node C ได้ แต่ด้วย Line Switching จะช่วยให้เกิด Protection ได้โดยจะมีการ Bridge ที่ Node A ไปใช้ Protection Path และให้มีการ Switch ที่ Node B เพื่อมาใช้ Protection Path แล้วจึงทำการจัดส่งต่อ Traffic ไปให้กับ Node C ซึ่งเป็น Node ปลายทางต่อไป

ในส่วนของการส่งสถานะ Signal Fail หรือ สถานะ Bridge ก็จะใช้ไบท์ K1 และ K2 เช่นเดียวกัน

- **แบบ Path Switching**

DPRING แบบ Path Switching นี้ จะเป็นลักษณะของ Path Protection ซึ่งจะขอกล่าวต่อไปในภายหลัง

Note : เหตุที่เราเรียก Protection แบบนี้ว่า Dedicated Protection Ring ก็เพราะว่า ***"One fiber is used for service and the other one is used for protection"***

3. Path Protection

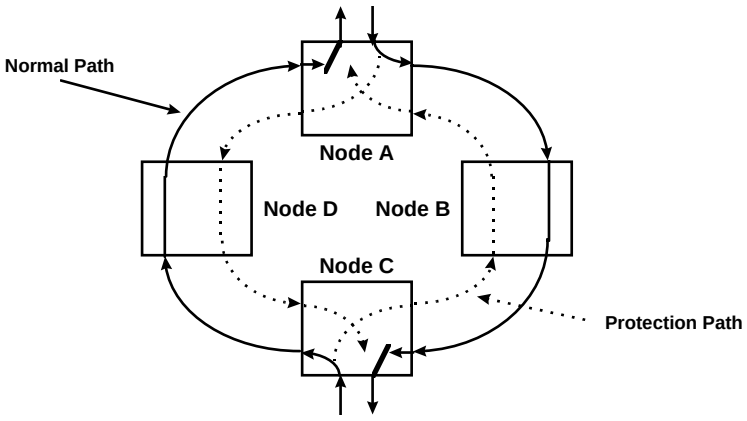
สำหรับในส่วนของ Path Protection ก็ยังถูกแบ่งย่อยลงไปอีกได้เป็น

- VC Path Protection และ
- SNC Protection ดังรายละเอียดที่จะได้อธิบายต่อไป

ส่วนของ Path ที่พูดถึงนี้ก็คือส่วนของ Higher-Order และ Lower-Order ของ Path ซึ่งก็คือสัญญาณในระดับของ VC-4, VC-3 และ VC-12 นั่นเอง

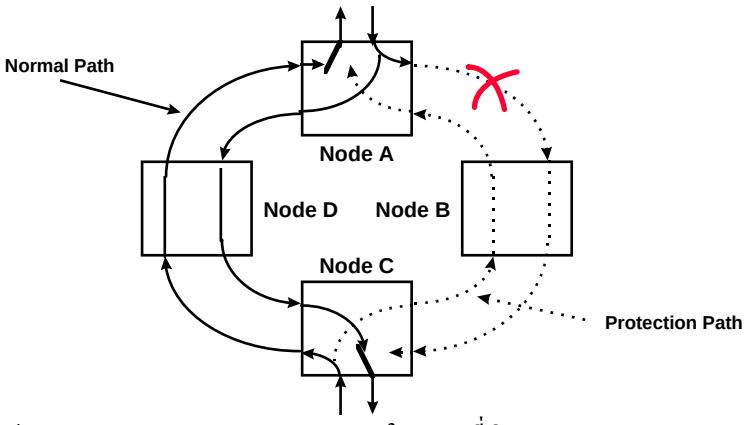
3.1 แบบ VC Path Protection

VC Path Protection ก็คือ DPRING ในแบบ Path Switching นั่นเอง



รูป 2.15 VC Path Protection แบบ DPRING

เมื่อด้านรับตรวจพบว่าเกิดการ Fail ของสัญญาณขึ้นมาที่เส้นทางใดก็ตาม ก็จะมีการสวิทช์ไปรับสัญญาณที่ Protection Path แทน ดังแสดงในรูป



รูป 2.16 VC Path Protection แบบ DPRING ในสภาวะที่เกิดการ Fail

ในกรณีของ Protection แบบนี้การสวิทช์จะเป็นได้ทั้งแบบ Single-Ended และแบบ Double-Ended ซึ่งในกรณีของ Single-Ended นั้นก็ไม่จำเป็นที่จะต้องใช้ข้อมูล APS(Automatic Protection Switching) ที่จะอยู่ในไบท์ K3 ของ VC-4 POH, VC-3

ส่วนในกรณีของ Double-Ended นั้นจะต้องใช้ข้อมูล APS เป็นตัวพิจารณาด้วย

นอกจากจะใช้สำหรับ Protection แบบ 1+1 แล้ว ยังสามารถจะใช้กับ 1:n Protection ในกรณีที่ n = 1 ได้ และในอนาคตก็จะถูกใช้สำหรับ 1:n Protection ในกรณีที่ n > 1 ด้วย อย่างไรก็ตามก็ยังอยู่ในระหว่างการศึกษาอยู่

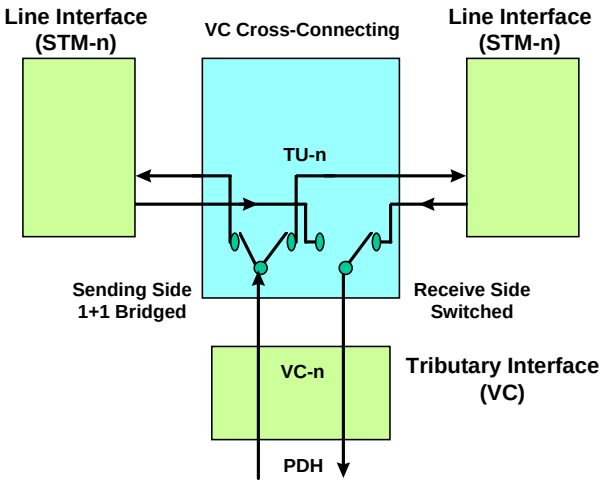
สำหรับ Switch Timing มีค่าเท่ากับ 50 ms

3.2 แบบ SNC Protection (Sub-Network Connection Protection)

SNC Protection เป็นการป้องกันในระดับของ Path เช่นเดียวกัน แต่จะเป็นการป้องกันในส่วนเชื่อมต่อย่อยที่เป็นส่วนประกอบของเส้นทางทั้งหมด(หรือ VC Path นั่นเอง) กล่าวโดยคอนเซ็ปท์แล้วจะพบว่า SNC Protection นี้จะมีลักษณะเหมือนกับในหัวข้อของ Multiplexer Section แบบ Linear Protection นั่นเอง

SNC ตามมาตรฐานของ ITU-T นั้นมีอยู่หลายแบบ แต่จะขอกล่าวถึงเฉพาะแบบที่สามารถพบเห็นการใช้งานได้ค่อนข้างบ่อยในทางปฏิบัติ ก็คือแบบ SNC/I(Inherently Monitored)

ลักษณะของ SNC/I นี้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานกับ Add/Drop Multiplexer ที่อยู่ใน Ring Network หรือจะเรียกอีกอย่างว่า Ring Drop Insert(RDI) ก็ได้ ซึ่ง SNC นี้จะถูกเซทขึ้นมาพร้อม ๆ กับการสร้าง Cross-Connection



รูป 2.17 Ring Drop Insert with SNC/I Protection

จากรูป การ Bridge และการ Switch จะเกิดที่ Cross-Connecting Equipment โดยด้านส่งจะเป็น Bridge อย่างถาวร ส่วนด้านรับก็จะเป็น Switch ซึ่งจะเกิดการสวิทช์เมื่อได้รับ TU-AIS หรือตรวจจับพบ TU-LOP

สำหรับการสวิทช์นั้นจะเป็นแบบ Single-Ended และมีลักษณะของ Non-Revertive เสมอ เนื่องจากไม่ได้ใช้ข้อมูลของ APS มาเป็นตัวกำหนด หรือพิจารณาการสวิทช์

4. Protection Comparison

4.1 Multiplexer Section Protection vs Path Protection

1. Path Protection จะมีข้อดีกว่า MSP ตรงที่ Path ทั้งหมดไม่จำเป็นที่ต้องถูกป้องกัน เนื่องจากเราสามารถเลือกที่จะป้องกันเฉพาะบาง Path ที่สำคัญได้
2. Path Protection เป็นลักษณะของการป้องกันจากต้นทาง ไปจนถึงปลายทางซึ่งทำให้สามารถป้องกันได้อย่างครบขอบเขตที่ควรจะเป็น
3. Path Protection สามารถป้องกันการ Fail ที่เกิดขึ้นกับ Pointer ซึ่ง MSP ไม่สามารถทำได้
4. แต่ Path Protection ก็มีข้อเสียตรงที่ Switch Timing จะยาวนานกว่าใน MSP กล่าวคืออาจนานถึง 100 ถึง 200 ms ในขณะที่ MSP ใช้เวลาเพียง 50 ms เท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจาก ส่วนของ VC Path นั้นมักถูกเชื่อมต่อโดยลักษณะของ Cross-Connect

4.2 MS-SPRING vs MS-DPRING

Protection Path ของ MS-SPRING สามารถนำมาใช้ในการส่ง Extra-Traffic ต่าง ๆ ได้ ในขณะที่ Protection Path ของ MS-DPRING จะไม่สามารถนำมาส่ง Extra-Traffic ได้ เนื่องจากในเวลาปกตินั้น Protection Path ของ MS-DPRING จะไม่ถูกดึงออกมาเชื่อมต่อกับข้างนอก

Note :

1. สาเหตุที่ทำให้เกิดการสวิทซ์ในส่วนของ Multiplexer Section Protection

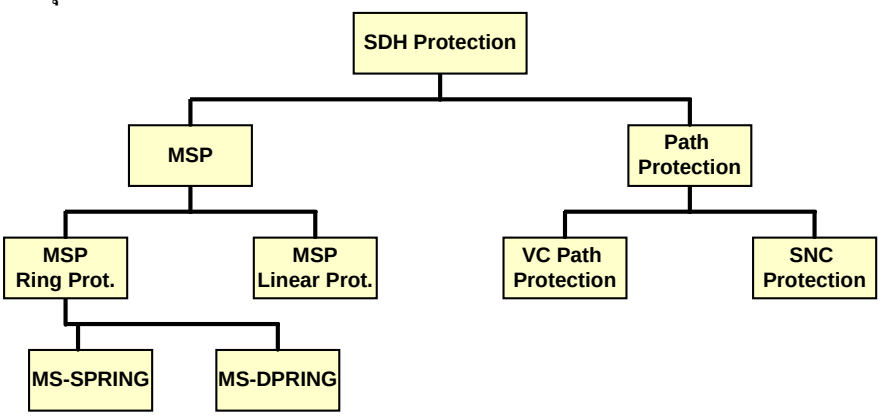
- ***LOS***
- ***LOF***
- ***TIM (Trace Identifier Mismatch)***
- ***AIS***

2. สาเหตุที่ทำให้เกิดการสวิทซ์ในส่วนของ Path Protection

- ***สาเหตุของ MSP และ***
- ***LOP หรือ AIS จากทั้ง AU และ TU-Pointer***
- ***TIM, UNEQ(Unequipped), หรือ DEG(Signal Degraded) จาก VC-4 POH, VC-3 POH หรือ VC-12 POH***
- ***LOM(Loss of Multiframe) จาก TU-Pointer***

5. บทสรุป

5.1 สรุปชนิดของ Protection



รูป 2.18 Protection Types

5.2 คุณลักษณะของ Protection ชนิดต่าง ๆ

	MSP Linear Protection	**MS-SPRING**	**MS-DPRING**	**VC Path Protection**	**SNC**
Extent of Protection					
■ line failures	yes	yes	yes	yes	yes
■ node failures	yes	yes	yes	yes	yes
■ pointer failure	no	no	no	yes	yes
■ cross-connection	no	no	no	yes	yes
■ payload composition	no	no	no	no	no
Protection Switching Time	≤ 50 ms	≤ 50 ms	≤ 50 ms	> 50 ms	> 50 ms
Ability to have mixed protected /unprotected traffic	no	no	no	yes	yes
Ability to carry extra traffic on protection trail	yes*	yes	no	yes*	no
APS Protocol	Required**	Required	Required	Required**	Not Req.

* Not Possible for 1+1 protection schemes ** Not required for 1+1 single ended protection

ตาราง 2.1 คุณลักษณะของ Protection ชนิดต่าง ๆ

5.3 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อด้อยของ Protection ชนิดต่าง ๆ

	Advantages	Disadvantages
MSP Linear Protection	■ fast protection switching	
MS-SPRING	■ efficient use of traffic in uniform and site to adjacent site traffic ■ fast protection switching	■ Complex APS and ring manage-ment
MS-DPRING	■ simpler than MS-SPRING ■ fast protection switching	■ No shared protection band width
VC Path Protection	■ possibility to present only selected path	■ slow protection switching ■ expensive when many VCs are protected
SNC	■ Easy to implement ■ possibility to present only selected path	■ slow protection switching ■ expensive when many VCs are protected

ตาราง 2.2 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อด้อยของ Protection ชนิดต่าง ๆ

บทที่ 3

SDH Network Synchronization

1. ทำไมจึงต้องมีการ Synchronization

จากที่เคยทราบมาในบทที่ 1 เกี่ยวกับเรื่องของ Pointer แล้วว่า **"แท้จริงแล้วภายในระบบของ SDH เองไม่ได้ต้องการ** Clock ที่ Synchronization กันตลอดทั้งโครงข่ายแต่อย่างใดเนื่องจากในระบบ SDH นี้มีกระบวนการ Justification ด้วยพอยท์เตอร์ทำให้เราสามารถที่จะปรับเพย์โหลดของสัญญาณที่รับเข้ามาได้(Incoming)ที่อาจจะมีเฟสต่างกันให้สามารถไหวตัวอยู่ในเฟรมของ STM-1 ที่ต้องการจะส่งออก(Outgoing)ได้ส่งผลให้เกิดการ Synchronous ของข้อมูล แม้ว่าแต่ละ Node ในระบบ SDH จะรันด้วย Internal Clock ของตัวเอง **แต่ความสามารถของ SDH คือการมีช่องทางสำหรับส่ง Clock ต่อไปเพื่อให้เกิดการ Synchronization กันตลอดทั้งโครงข่าย ซึ่งจะเป็นประโยชน์กับอุปกรณ์ทั้งหลาย เช่น Switching Equipment ที่ Telephone Exchanges (ซึ่งต้องการความเที่ยงตรงของ Clock เพื่อให้การรับ-ส่งข้อมูลเป็นไปอย่างถูกต้อง) โดยใช้ SDH เป็นระบบในการส่งสัญญาณ"**

และเนื่องจากในภาวะของการใช้งานจริงนั้น อุปกรณ์ที่ใช้เพื่อติดต่อกับมนุษย์ หรือสิ่งที่เราต้องบริการให้กับผู้ใช้อาทิเช่น ระบบโทรศัพท์พื้นฐาน ที่มี Switching Equipment เป็นส่วนประกอบที่สำคัญ ประกอบกับข้อความก่อนหน้านี้ ทำให้เราต้องให้ความสำคัญกับ Synchronization ในระบบ

ก่อนที่จะดูรายละเอียดของ Network Synchronization เราจะมาพิจารณาคุณภาพของ Clock ชนิดต่าง ๆ ในระบบ SDH กันก่อน

2. คุณภาพของ Clock ชนิดต่าง ๆ ในระบบ SDH

คุณภาพของ Clock จะถูกกำหนดจากความเที่ยงตรง แม่นยำของการสร้างความถี่ หรือความสามารถในการรักษาความถี่ที่สร้างออกมาให้อยู่ในช่วงปกติ นอกจากนี้ยังต้องทำการพิจารณาเรื่องของผลกระทบจากอุณหภูมิ และอายุการใช้งานของ Clock ด้วย

เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบคุณภาพต่าง ๆ ของ Clock ได้นั้น ITU-T จึงได้กำหนดมาตรฐานคุณภาพของ Clock ออกมาดังสรุปในตารางที่ 3.1

Quality Level	ITU-T Standard
PRC, Primary Reference Clock	G.811
SSU-T, Synchronization Source Utility - Transit	G.812 - T
SSU-L, Synchronization Source Utility - Local	G.812 - L
SEC, SDH Equipment Clock	G.81s (Under Definition)

ตาราง 3.1 แสดง Quality Level ของ Clock ในระบบ SDH

จากตารางเราสามารถที่จะแบ่งชนิดของ Clock สำหรับระบบ SDH ได้เป็น 3 ชนิดใหญ่ ซึ่งสามารถสรุปลักษณะและคุณสมบัติที่สำคัญ ๆ ได้ดังนี้

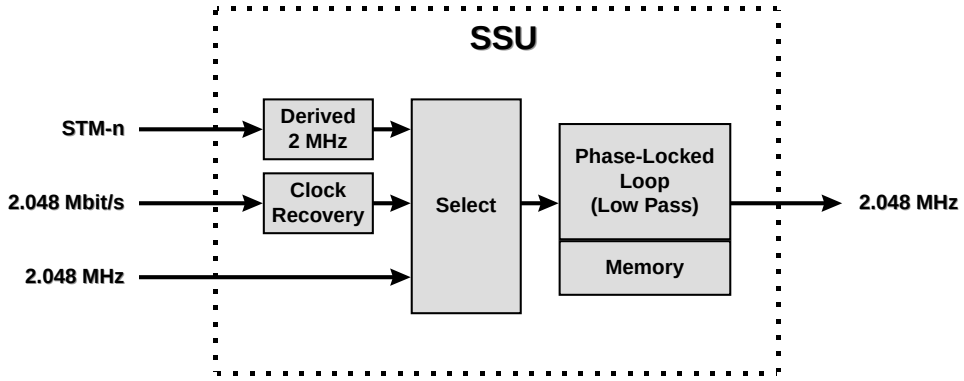
2.1 Primary Reference Clock หรือ PRC

PRC ถูกจัดให้เป็น Master Clock ของโครงข่าย SDH จึงเป็น Clock ที่มีความแม่นยำเที่ยงตรงสูงมาก โดยจะมีการเบี่ยงเบนไปจากค่า Absolute Time หรือ UTC(Coordinated Universal Time) ซึ่งดูแลโดยหน่วยงาน BIPM(International Bureau of Weights and Measures in Paris, France) ได้ไม่เกิน 1 ส่วนจาก 10^{11} (1 แสนล้าน) ส่วน ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าค่าการเบี่ยงเบนขนาดนี้จะสามารถรับประกันได้ว่าจะทำให้เกิด Frame-Slip เพียง 1 ครั้ง ในเวลา 70 วัน

สำหรับสิ่งที่จะนำมาใช้เป็น Clock ที่มีความเที่ยงตรงขนาดนี้ก็คือ Cesium Atomic Clock ซึ่งมีความแม่นยำสูงมากถึง $\pm 2 \times 10^{-12}$ ตลอดอายุการใช้งานซึ่งเท่ากับว่าไม่ต้องทำการ Calibration ตลอดอายุการใช้งาน แต่ราคาก็จะสูงมากเช่นเดียวกัน ซึ่งก็ยังมีทางเลือกอื่น ๆ สำหรับนำมาใช้เป็น Master Clock โดยที่คุณภาพยังคงยอมรับได้ อาทิเช่น Rubidium Clock จาก National Standard Laboratory ซึ่งมีความแม่นยำอยู่ที่ $\pm 3 \times 10^{-11}$ ต่อเดือน หรือจาก GPS(Global Positioning System) ของ US Department of Defence ซึ่งมีความแม่นยำอยู่ที่เฉลี่ยแล้ว $< 1 \times 10^{-12}$ ต่อวัน

2.2 Synchronization Supply Utility(or Unit) หรือ SSU

ในการใช้งาน PRC เพื่อการ Synchronization โครงข่ายนั้น เราอาจจะใช้กับโครงข่ายที่มีจำนวนสมาชิกมากมาย และมีจำนวนของ Link ที่เกิดขึ้นมากมายเช่นเดียวกันซึ่งจะมีการส่งต่อ PRC นี้ไปเรื่อย ๆ ทั้งโครงข่ายจึงเป็นไปได้ว่าจะทำให้เกิดการสะสมของ “Jitter” มากขึ้น จนเกินระดับที่ยอมรับได้ ด้วยเหตุผลนี้จึงต้องนำ Clock ที่มีแบนด์วิทธ์แคบมาก(1 to 100 MHz)เข้าไปแทรกไว้ในโครงข่ายที่มีลักษณะต่อกันเป็นลำดับ ๆ แบบโซ่นั้นก็เพื่อที่จะกรองเอา(Filter Out) Jitter ออกไป นอกจากนี้ Clock ที่มีแบนด์วิทธ์แคบมากนี้ยังสามารถทำหน้าที่ในโหมดของ Hold-Over(ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป) ได้ด้วยคุณภาพที่สูงมาก ในกรณีที่การเชื่อมต่อของ PRC ขาด หรือ Fail ไป เราเรียก Clock ประเภทนี้ว่า Synchronization Supply Utility(or Unit) หรือ SSU



<u>รูป 3.1</u> Block Diagram และการทำงานของ SSU

สำหรับสิ่งที่จะนำมาใช้เป็น Clock ในระดับของ SSU นี้ จะมีความเที่ยงตรงรองลงไปจาก PRC โดยอาจใช้ Rubidium หรือ Quartz ซึ่ง SSU นี้อาจจะถูกใช้เป็น SASE(Stand Alone Synchronization Equipment) หรือกอาจถูกสร้างรวมเอาไว้กับอุปกรณ์จำพวก Switching หรือ Cross-Connecting ก็ได้

SSU นั้นสามารถที่จะแยกย่อยลงไปได้เป็น SSU-T และ SSU-L อีกด้วย

- **SSU-T(Transit)**

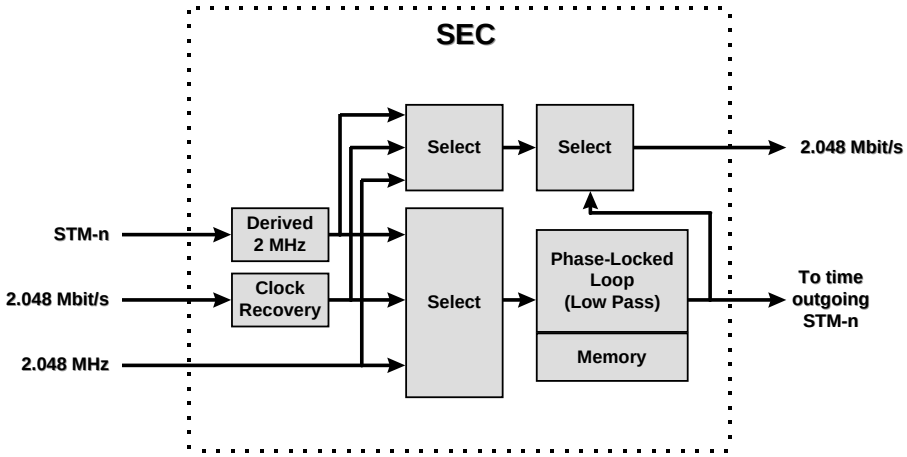
ITU-T ได้กำหนดไว้ว่า SSU-T นั้นจะมีความแม่นยำอยู่ที่ 1.5×10^{-9} (เมื่อเทียบกับค่าความถี่อ้างอิงก่อนเกิดการ Fail ของ PRC) สำหรับ 24 ชั่วโมงแรกหลังจากอยู่ในโหมด Hold-Over ซึ่ง SSU-T ถูกแนะนำให้ใช้ภายในสำนักงานที่ซึ่ง Traffic ไม่ได้เชื่อมต่อไปหาอุปกรณ์ของลูกค้า หรือในระดับของผู้ใช้งานโดยตรง อาทิเช่น อุปกรณ์ Cross-Connecting, International Gateway Switching เป็นต้น

- **SSU-L(Local)**

ITU-T ได้กำหนดไว้ว่า SSU-L นั้นจะมีความแม่นยำอยู่ที่ 3×10^{-8} ในช่วง 24 ชั่วโมงแรกหลังจากสูญเสียสัญญาณอ้างอิง ซึ่ง SSU-L ถูกแนะนำให้ใช้กับ Traffic ที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ของลูกค้า หรือในระดับของผู้ใช้งานโดยตรง

2.3 SDH Equipment Clock หรือ SEC (บางครั้งเรียก Synchronization Equipment Timing Source หรือ SETS)

SETS หรือ SEC ก็คือ Build-In Clock ที่อยู่ในทุก ๆ SDH Network Element นั่นเอง โดย SETS จะ Locked เข้ากับ Incoming Signal ซึ่งอาจเป็น STM-n หรือ 2.048 MHz หรือ 2.048 Mbit/s และสร้าง Output เพื่อให้ใช้เป็น Clock ของ Traffic ที่ถูกส่งออกมาจาก Network Element นั้น ๆ ต่อไป ดังแสดงในรูป



<u>รูป 3.2</u> Block Diagram และการทำงานของ SEC

ในส่วนของการทำงานนั้น SETS จะทำการเลือก Reference อันใดอันหนึ่ง และทำการกรอง (ด้วยแบนด์วิทธ์ ระหว่าง 1 - 100 Hz) แล้วจึงทำการส่งต่อออกไปยัง Output

ในสภาวะที่เกิดการ Fail ของ Reference นั้น SETS จะอยู่ในโหมดของ Hold-Over ด้วยความแม่นยำที่ 5 x 10^{-8} หรือ 5 ppm ในช่วงเวลาหลายสิบวินาทีเพื่อให้มีเวลาพอที่จะไปเลือกใช้งาน Reference อื่น ๆ โดยไม่เกิด Phase Difference ซึ่งเป็นสาเหตุของ Frame-Slip ขึ้นมา แต่ถ้าเวลาผ่านไปนานเข้า เมื่อ SETS Locked Out ออกจากความถี่ Reference ค่าสุดท้ายที่ได้ Memory ไว้ แล้วไปใช้ค่าของ Clock ภายใน ซึ่งเป็น Clock ของ SETS เองนั้น ค่าความแม่นยำจะลดเหลือเพียง 4.6 ppm ซึ่งถือว่าเป็น Long-Term Frequency Accuracy

อย่างไรก็ตาม การกำหนดคุณสมบัติต่าง ๆ ของ SETS นี้ยังอยู่ภายใต้การศึกษาอยู่

3. สิ่งที่ควรรู้ในเรื่อง Network Synchronization ของระบบ SDH

ในการพิจารณาเรื่องการ Synchronization ของโครงข่าย SDH นี้มีหลาย ๆ สิ่งที่ต้องพิจารณา ดังนี้

3.1 ลักษณะของการ Synchronization แบบ Master-Slave

ลักษณะของการ Synchronization แบบนี้นั้น จะมี Network Element ตัวหนึ่งทำตัวเป็น Master แล้วจะมี Network Element ตัวอื่น ๆ ที่เป็น Slave รับความถี่จาก Master โดยผ่านทาง Synchronization Link ซึ่งอาจจะเป็น

- STM-n Link
- 2 MHz Link
- 2 Mbit/s Link จาก PDH Equipment
- ***โดยไม่ควรใช้ 2 Mbit/s Link จาก SDH Equipment เนื่องจากอาจมี Clock ที่เบี่ยงเบนไปจาก 2048 kHz มากจนเกินไป อันเป็นผลมาจากกระบวนการของ Pointer Processing***

3.2 Synchronization Mode

Synchronization Mode สามารถแบ่งออกตามลักษณะการถูกควบคุมของ Clock ได้เป็น 3 แบบ คือ

- **Free Running Mode**

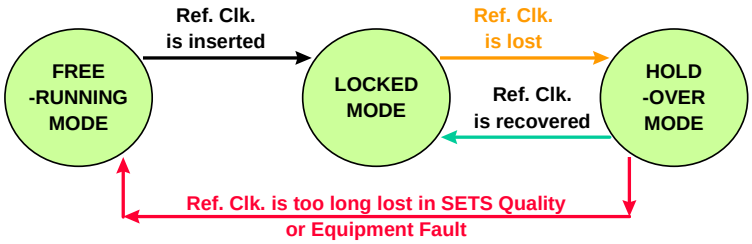
  เป็นโหมดที่ใช้สัญญาณเวลาจาก Clock ภายในของอุปกรณ์(Internal Clock) หรือ SETS

- **Locked Mode**

  เป็นโหมดที่ใช้สัญญาณเวลาที่ได้จาก Reference Input ซึ่งถือได้ว่าเป็นโหมดการทำงานปกติของตัวที่เป็น Slave

- **Hold-Over Mode**

เป็นโหมดที่สัญญาณเวลาได้สูญเสีย Reference Input ไป จึง***ใช้ข้อมูลของ Reference Clock ที่ได้เก็บไว้ใน Memory ในตอนที่อยู่ใน Locked Mode มาเป็นสัญญาณเวลาแทน*** ทั้งนี้เพื่อให้มีสภาวะของการทำงานใกล้เคียงกับใน Locked Mode มากที่สุด



<u>รูป 3.3</u> การเข้าสู่โหมดต่าง ๆ ของการ Synchronization

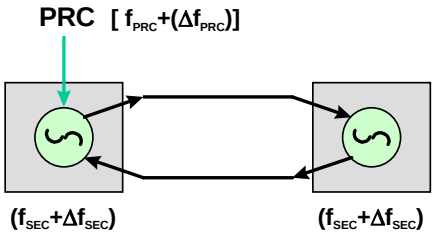
3.3 Stand Alone Synchronization Equipment(SASE)

Stand Alone Synchronization Equipment หรือ SASE ก็คืออุปกรณ์ที่มี Clock คุณภาพ SSU อยู่ ซึ่งจะมีประโยชน์หรือมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในกรณีที่อุปกรณ์ตัวนี้อยู่ในเครือข่ายย่อยที่ถูกตัดขาดจาก PRC ไปอยู่ใน Hold-Over Mode และต้องทำตัวเป็น Master ของเครือข่ายย่อย ซึ่งจะช่วยให้การทำงานของเครือข่ายย่อยนี้มีความแม่นยำมากกว่าและสามารถใช้งานต่อไปได้นานกว่าในกรณีที่ตัว Master มี Clock เป็นคุณภาพ SEC ทั้งนี้ก็เนื่องมาจาก SSU มีคุณภาพที่ดีกว่า SEC นั่นเอง

นอกจากนี้แล้วจากการที่ SSU สามารถที่จะ Refresh สัญญาณซึ่งมี Jitter มาก ๆ ให้ลดลงได้นั่นทำให้เราสามารถใช้ประโยชน์ข้อนี้จาก SSU ได้ โดยการนำ SSU ไปแทรกใน Link ที่มี Synchronization Trail ยาวมาก ๆ ซึ่ง Synchronization Trail ที่ยาวมาก ๆ นี้จะเกิดการสะสมของ Jitter และ Wander เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจมีค่าเกินกว่าที่จะยอมรับได้ การนำ SSU ไปแทรกจึงเท่ากับการลดการสะสมของ Jitter และ Wander ทำให้ความถี่ใน Link นี้มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้นนั่นเอง

3.4 เรื่องของ Timing Loop

Timing Loop จะทำให้เกิดการไร้เสถียรภาพของ Clock หรือทำให้ Clock มีการเบี่ยงเบนเพิ่มขึ้นอย่างมากมายนั่นเอง ขอให้พิจารณารูป



<u>รูป 3.4</u> การเกิด Timing Loop

จากรูปเราสมมติให้ความถี่ที่รับได้จาก PRC เป็น f_{PRC} ซึ่งเมื่อมีการส่งต่อความถี่นี้ไปตาม Network Element ต่าง ๆ ก็จะทำให้เกิดการเบี่ยงเบนไปของความถี่ที่ $f_{SEC} + \Delta f_{SEC}$ ที่ทุก ๆ Network Element ซึ่งในกรณีที่เกิด Timing Loop ขึ้นในระบบจะทำให้เกิดการสะสมของการเบี่ยงเบนขึ้นอย่างไม่รู้จบ ดังพิจารณาจากรูป จะเกิดการสะสมของการเบี่ยงเบนความถี่เป็น $f + \Delta f + \Delta f + \Delta f + \Delta f + \Delta f + \Delta f + \Delta f + \ldots$ (ไม่รู้จบ) ซึ่งทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของความถี่ขึ้นอย่างมากมาย

3.5 เรื่องของ Timing Marker

Timing Marker หรือที่รู้จักกันโดยทั่ว ๆ ไปว่า Synchronization Status Message นั้นถูกใช้เป็นตัวกำหนดคุณภาพของ Clock ทั้งนี้เพื่อให้อุปกรณ์สามารถเลือกแหล่งของ Reference ที่มีคุณภาพดีที่สุดได้ โดยมีการกำหนดคุณภาพของ Clock ประเภทต่าง ๆ ผ่านทางบิท 5 ถึง บิท 8 ของไบท์ S1 ใน MSOH ดังที่แสดงผ่านมาแล้วในหน้า 1-38

นอกจากนี้ Timing Marker ยังช่วยป้องกันการเกิด Timing Loop ได้อีกด้วย โดยจะทำการกำหนดสถานะ “Do Not Use” ขึ้นมา ดังที่จะได้อธิบายในหัวข้อถัดไป

4. กระบวนการ Synchronization ใน Network Element

ก่อนจะดูกระบวนการ Synchronization ของทั้ง Network นั้น เราจะมาพิจารณาที่กระบวนการ Synchronization ในแต่ละ Network Element ก่อน

เราสามารถแบ่งกระบวนการ Synchronization ในแต่ละ Network Element ได้เป็น 4 ขั้นตอนได้ดังนี้

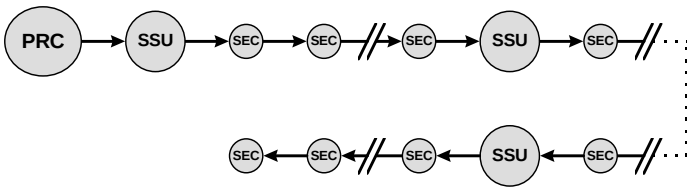
1. ทำการอ่านระดับคุณภาพของ Reference Source (ซึ่งอาจมีเข้ามาในแต่ละ Network Element ได้หลาย ๆ Source)ทั้งหมดที่มีให้ใช้งาน โดยระดับคุณภาพของ Reference Source จะถูกส่งมากับไบท์ S1 ในกรณีที่เป็นสัญญาณ STM-n แต่ถ้ามาจากแหล่งอื่นที่ไม่ใช้สัญญาณ STM-n ผู้ใช้อาจต้องทำการกำหนดระดับคุณภาพให้กับ Reference Source นั้น
2. ทำการเรียงลำดับตามระดับคุณภาพก่อน จากนั้นจึงทำการเรียงลำดับตามระดับ Priority (ซึ่งในแต่ละ Network Element จะสามารถกำหนดระดับของ Priority ได้ หลายระดับ)
3. จากนั้นจึงทำการเลือกสัญญาณที่มีคุณภาพสูงสุด แล้วดูว่าในคุณภาพสูงสุดนั้น Source ไหนมี Priority สูงสุด ก็ให้เลือกตัวนั้น ***** ดู Quality ก่อน แล้วจึงดู Priority *****
4. ทางด้าน Output ก็ให้ทำการส่งระดับคุณภาพของ Source ที่ใช้ออกไปยังทุก Output Link ***ยกเว้น*** Link ที่เชื่อมต่อกับแหล่งที่เป็น Reference Source ในทิศทางตรงกันข้ามกับที่ Reference Source ส่ง Reference Signal มาให้ จะส่งสถานะ Do Not Use for Synchronization ออกไปแทน ทั้งนี้ก็เพื่อป้องกันการเกิด Timing Loop

และเมื่อเกิดการ Fail ของ Reference Source ขึ้น ขั้นตอนทั้ง 4 นี้ก็จะถูกทำใหม่อีกครั้งหนึ่งเพื่อเลือก Reference Source ที่ดีที่สุด และ จะเป็นเช่นนี้เรื่อยไปเมื่อเกิดการ Fail ของ Reference Source ขึ้น

5. หลักสำคัญในการออกแบบการ Synchronization ใน SDH Network

เมื่อทราบถึง กระบวนการ Synchronization ใน Network Element ของ SDH Network รวมทั้งข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่าง ๆ แล้ว เราก็สามารถที่จะนำสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้มาใช้ช่วยในการออกแบบการ Synchronization ใน SDH Network โดยจะขอเพิ่มหลักสำคัญ ๆ บางประการ และสรุปสิ่งที่ควรในให้ความสนใจในการออกแบบดังต่อไปนี้

1. **ต้องไม่ทำให้เกิด Timing Loop** ทั้งในการใช้งานปกติ และในสภาวะที่เกิด Reference หรือ Link Failures
2. **มี Synchronization Trails ให้สั้นที่สุด** เพื่อลดผลการสะสมของ Jitter และ Wander ซึ่งบางครั้งจะถูกเรียกว่า Phase Noise ไม่ให้มีมากจนเกินไป ซึ่งในกรณีนี้ ITU-T Rec. G.803 ได้แนะนำเกี่ยวกับข้อจำกัดสำหรับโครงข่ายที่มีลักษณะต่อกันแบบอนุกรม เป็นสายโซ่ไว้ดังนี้
   - 2.1 Clock Chain ที่ยาวที่สุดในโครงข่ายระหว่าง PRC กับ Node ปลายทางที่ต่อแบบอนุกรมกันนั้น จะมี SSU ได้ไม่เกิน 10 และมี SETS ได้ไม่เกิน 60
   - 2.2 ระหว่าง SSU 2 ตัว จะมี SETS ได้ไม่เกิน 20 ตัว



<u>รูป 3.5</u> แสดง Maximum Length Synchronization Path

3. สามารถที่จะส่งสัญญาณที่เป็น Master Reference ไปให้กับ Network Element ทุกตัวได้(เรียกว่า **Traceability**) แม้ในสภาวะที่ Link ขาด หรือ Failure
4. **ตั้งค่าลำดับความสำคัญ หรือ Priority ให้ถูกต้อง และเหมาะสม**

ส่วนข้อที่ควรระวังก็คือ !!!

5. สัญญาณ 2 Mbit/s หรือสัญญาณ 1.5 Mbit/s ที่ถูกส่งมาข้างในสัญญาณ STM-n ผ่าน SDH Network นั้น ไม่ควรนำมาใช้สำหรับการ Synchronization เนื่องจากอาจมี Wander มากมายอยู่ในสัญญาณ 2 Mbit/s หรือสัญญาณ 1.5 Mbit/s นั้น (ซึ่งมีสาเหตุมาจาก Pointer Adjustment)
6. **"The Return Signal in the direction of The Selected Reference gets Do Not Use for Synchronization or Decimal Code 15 to prevent timing loops."**

6. Automatic Restoration

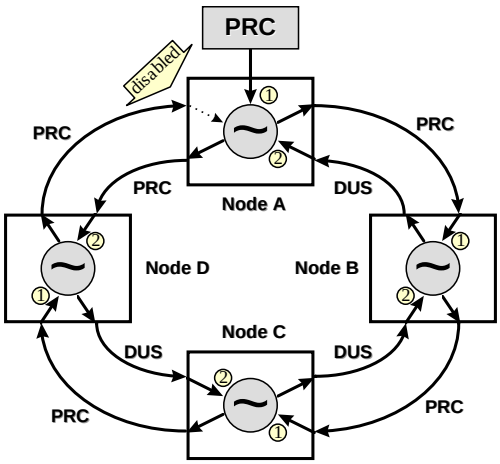
สิ่งสำคัญในการ Restoration เมื่อเกิดการ Fail ของ Reference Signal ไม่ว่าจะเกิดจาก Equipment หรือ Link Failure ก็ตาม คือ

1. เมื่อ Restoration แล้ว จะต้องไม่ทำให้เกิด Timing Loop ขึ้น
2. ต้องระวังมิให้ Clock ที่อยู่ในโหมดของ Hold-Over ถูกใช้เป็น Reference ให้กับ Clock อื่นที่มีคุณภาพดีกว่า

7. ตัวอย่าง

เพื่อให้สามารถเข้าใจเรื่องของ SDH Network Synchronization ได้ดียิ่งขึ้น ขอให้พิจารณาตัวอย่างดังต่อไปนี้

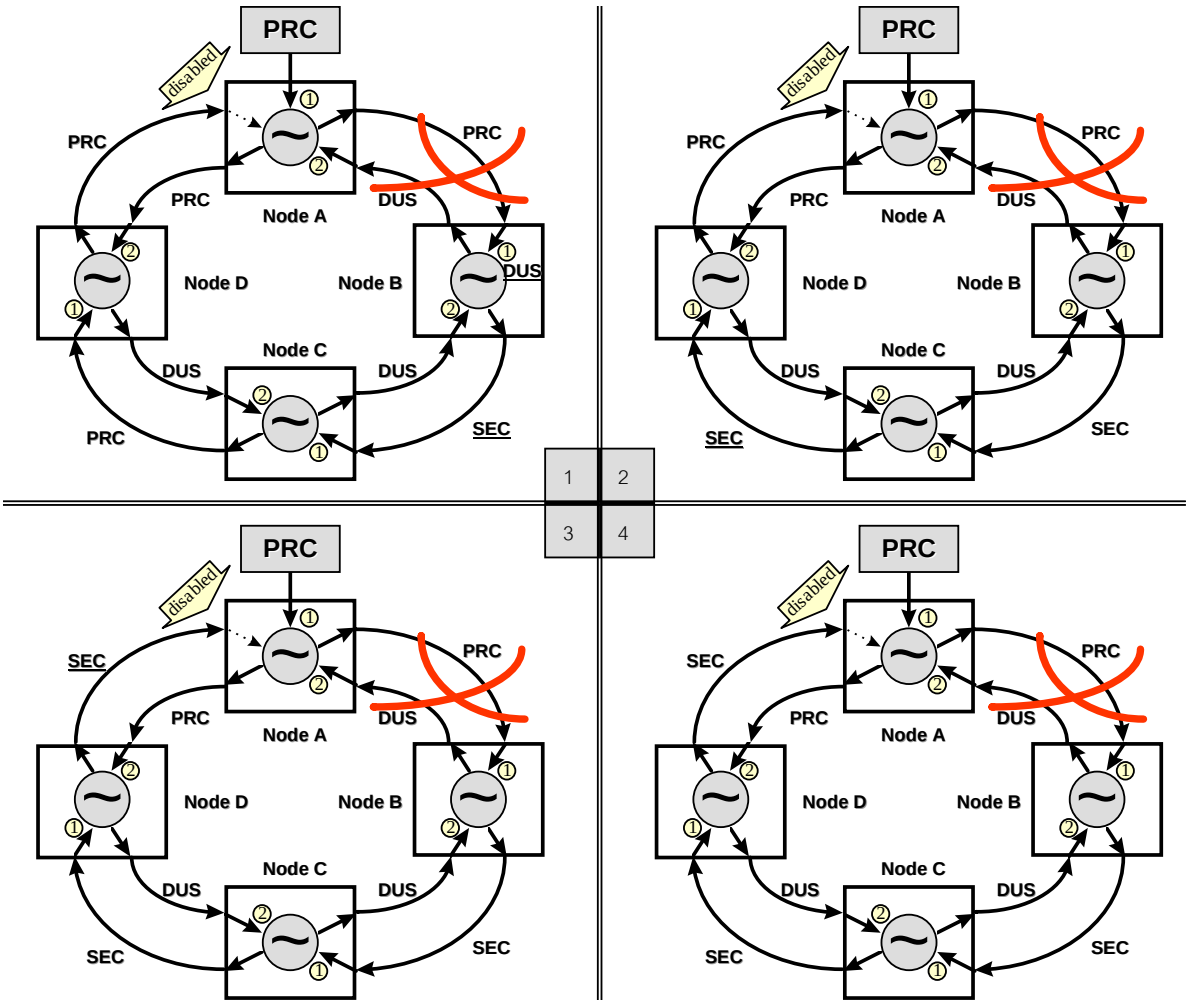
7.1 Ring Network



<u>รูป 3.6</u> Synchronization ใน Ring Network ภายใต้สภาวะการทำงานปกติ

รูป 3.6 เป็น แสดงการ Synchronization ใน Ring Network ภายใต้สภาวะการทำงานปกติ ซึ่งเราจะพบว่า ใน Link ที่เชื่อมต่อระหว่าง Node นั้น เมื่อด้านหนึ่งเป็น PRC อีกด้านหนึ่งจะเป็น DUS เสมอ เนื่องจากว่าเมื่อ Node หนึ่ง ส่ง PRC ไปให้อีก Node หนึ่งเพื่อใช้เป็น Reference นั้น Node ที่รับ PRC เข้ามาจะต้องส่ง DUS กลับไป ยกเว้นใน Link ระหว่าง Node A กับ Node D ที่เป็น PRC ทั้งสองด้าน เหตุผลก็เนื่องมาจาก PRC ที่ Node D ส่งให้ Node A นั้นไม่ได้ถูกใช้เป็น Reference ให้กับ Node A แต่อย่างใด Node A จึงสามารถส่ง PRC ออกไปให้ Node D ได้ แต่อย่างไรก็ตามที่ Node A ก็จะต้องทำการ Disabled สัญญาณที่ส่งมาจาก Node D เสียก่อน ทั้งนี้ก็เพื่อป้องกัน Timing Loop

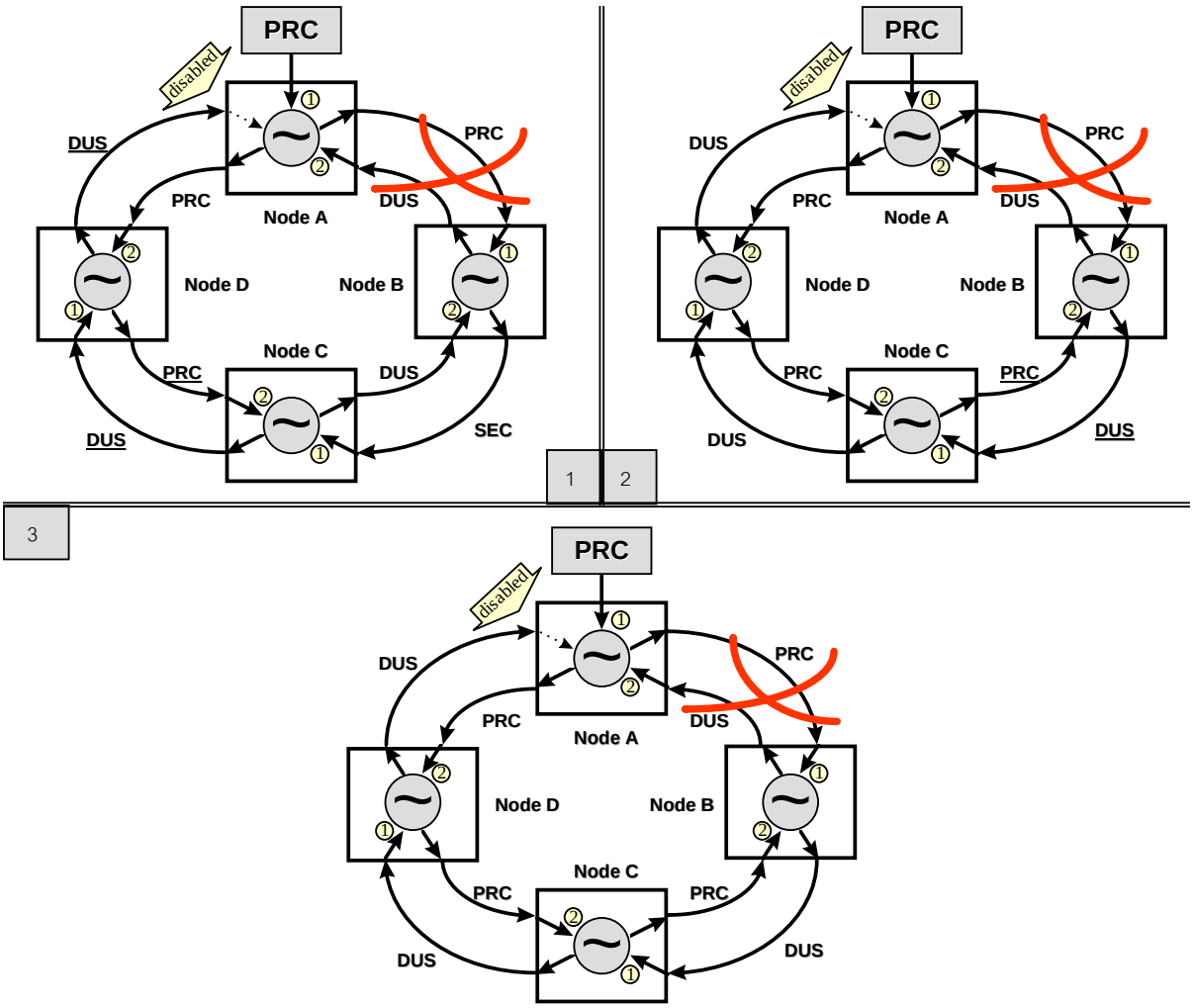
และเมื่อมีการ Fail ของ Reference เกิดขึ้นไม่ว่าจะด้วยเหตุใดก็ตาม ก็จะได้ผลดังรูป



รูป 3.7 Synchronization ใน Ring Network ภายใต้สภาวะ Hold-Over หลังเกิดการ Fail ของ PRC Reference

ภายใต้สภาวะ Hold-Over (ชั่วคราว) นั้น ที่ Node A ยังคงใช้ Clock ระดับคุณภาพ PRC อยู่ ส่วนที่ Node B, C และ D นั้นจะใช้ Clock คุณภาพ SEC ที่ได้จาก Internal Clock ของ Node ต้นทาง ซึ่งก็คือ Node B นั่นเอง

หลังจากอยู่ในสภาวะ Hold-Over ได้ระยะหนึ่ง Node D ก็เริ่มที่จะทำการเลือก Reference Clock ที่คุณภาพดีที่สุดมาใช้ โดยกระบวนการตามที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ **“กระบวนการ Synchronization ใน Network Element”** ดังแสดงในรูป 3.8



<u>รูป 3.8</u> Synchronization ใน Ring Network ภายใต้สภาวะ Locked มาใช้ Protection Clock หลังเกิดการ Fail ของ PRC Reference

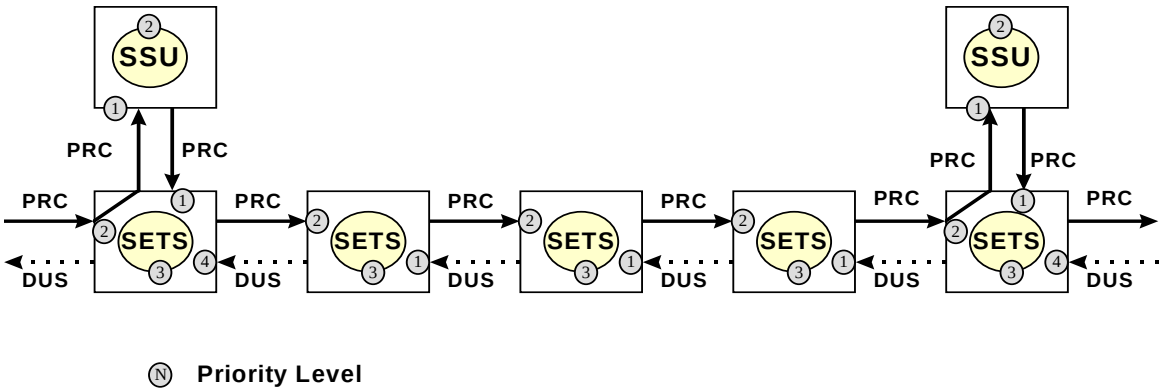
รูป 3.8 แสดงการ Automatic Restoration ใน Ring Network โดยสิ่งที่ควรสนใจจะอยู่ที่ Node D จะเลือก Clock คุณภาพ PRC ที่ได้จาก Node A มาเป็น Reference Clock แม้ว่ามันจะมี Priority เป็น 2 ***(เนื่องจากจะสนใจ Quality ก่อน Priority)***

ซึ่งก็คงจะเห็นได้แล้วว่า Synchronization Status Message นั้น มีความสำคัญกับการ Automatic Restoration มากอย่างขาดไม่ได้

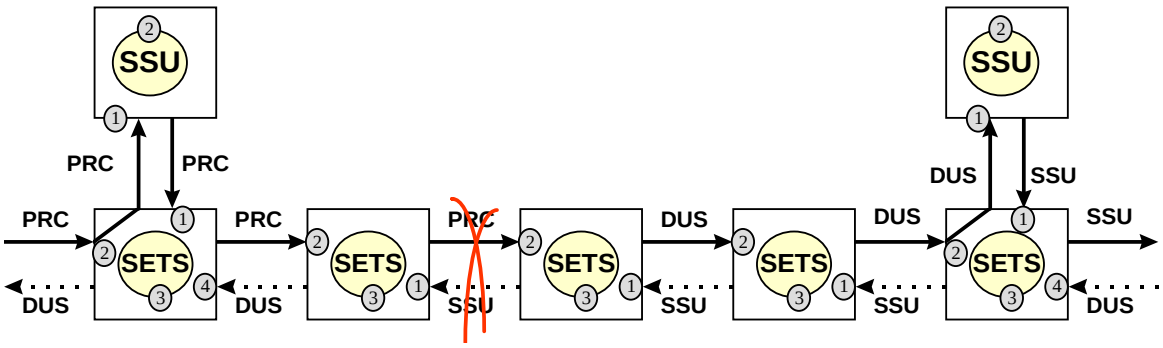
ให้ลองทำเหมือนดังเช่นในรูปที่ 2.8 หรือ 2.9 ในกรณีที่ Fiber ที่ขาด กลับมาปกติดีทุกอย่าง ???

7.2 Linear Network

ใช้คอนเซ็ปท์เดียวกับ Ring Network ในกรณีนี้จึงขอแสดงแต่รูป



รูป 3.9 Synchronization ใน Linear Network ภายใต้สภาวะปกติ



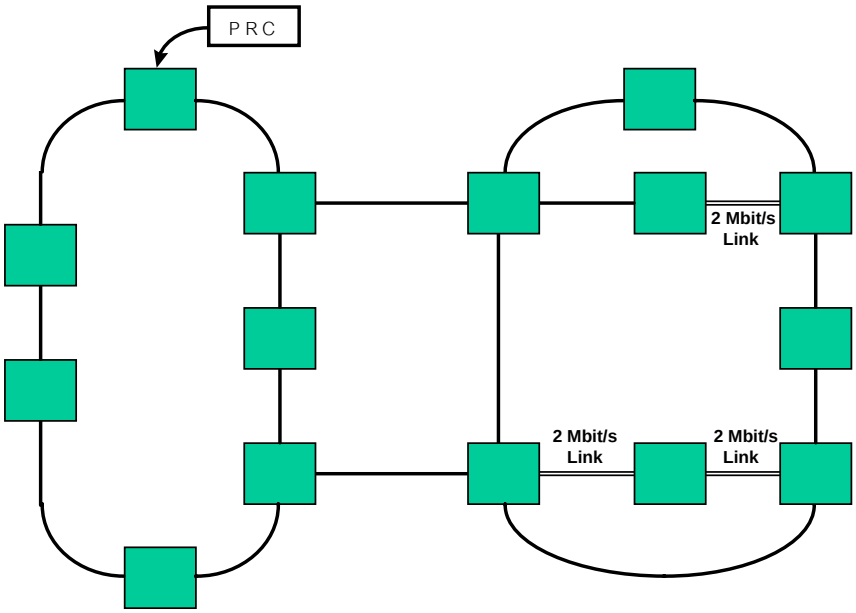
รูป 3.10 Synchronization ใน Linear Network ภายใต้สภาวะ Locked มาใช้ Protection Clock หลังเกิดการ Fail ของ PRC Reference (Automatic Restoration)

แบบฝึกหัด

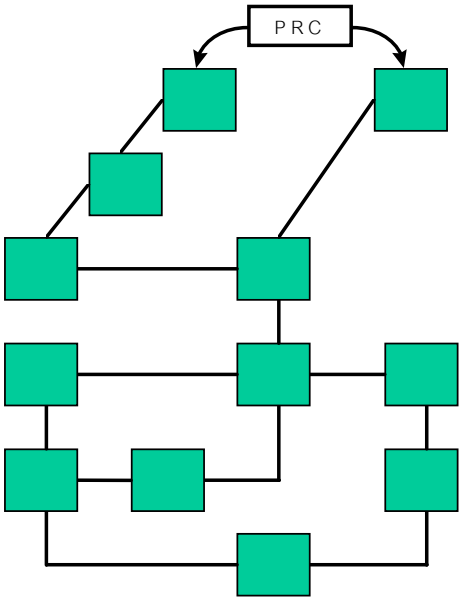
ให้ทั้งสองข้อนี้

1. ทุกการเชื่อมต่อระหว่าง Node เป็น Bidirectional Communication
2. ถ้าไม่มีการกำหนด Link Capacity ให้จะถือว่าเป็น Link ในระดับ STM-n
3. ให้กำหนดจำนวน Priority ของแต่ละ Network Element ตามที่เห็นสมควร

A.



B.



ภาคผนวก ง

คู่มืออุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้ง

Equipment & Material specifications for DTAC 2009 Project.

21-Sep-09

หัวข้อ	คำอธิบาย	Specification	หมายเหตุ
1	*MAIN AC POWER*		
1.1	Main AC Line	- สาย ALUMINIUM (THW-A)ขนาด 50 sq.mm. จนวนสีดำ จำนวน 2 เส้น Brand : THAI YAZAKI ,Siam Pacific,Bangkok Cable,Phelps Dodge (ระยะทางเกิน 100 เมตร เปลี่ยนขนาดสาย เป็น ALUMINIUM (THW-A) ขนาด 70 จนวนสีดำ จำนวน 2 เส้น).	- ในกรณีทางการไฟฟ้าไม่อนุญาตให้ใช้สาย ALUMINIUM ให้ใช้สาย THW 35 sq.mm. โดยให้เพิ่มใน Extra work (ระยะทางเกิน 100 เมตร เปลี่ยนขนาดสาย เป็น THW ขนาด 50 sq.mm.) - เดินสายจาก Main Cercuit Breaker ในตู้ MDB ไปยังจุดติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้า - ปลายสายด้านที่ต่อเข้า MCB ให้ใส่ปลอกหางปลา สีแดงสำหรับ Line และสีดำสำหรับ Nuetron
		- ท่อ IMC white conduit ขนาด 1 1/2" สำหรับงาน OutDoor - ท่อ EMT white conduit ขนาด 1 1/2" สำหรับงาน InDoor - ท่อ Flexible conduit กันน้ำ ขนาด 1 1/2" สำหรับงาน Out Door Brand : เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับมาตรฐาน มอก.	- เดินตามแบบที่ได้รับ - ท่อ Flexible conduit กันน้ำต่อระหว่างตู้ MDB Cover และ ท่อ IMC ที่เดินมาจากมิเตอร์ไฟฟ้า
		- จุดต่อของท่อได้แก่ Connector , Bushing , ข้องอ , junction Box , Service Entrance Cap (หัวปูเห่า) ให้ใช้ตามขนาดและประเภทของท่อในแต่ละจุดที่ติดตั้ง	- ทุกๆ จุดต่อต้องทำการ seal ด้วย silicone ชนิดใส ป้องกันน้ำซึมเข้าภายในท่อ
		- ตัวรองรับท่อใช้ C-Channel และ Conduit Strap (ปิกผีเสื้อ) ขนาด IMC 1 1/2" ยึดด้วยพุกโลหะขนาดไม่ต่ำกว่า M5 - ในกรณีที่ติดตั้งบนอาคารต้องเผื่อความยาวของราง C สำหรับท่อขนาด 3/4" รอง Fiber Optic ด้วย	- ระยะห่างของการติดตั้งไม่เกิน 1.50 ม. - รอยตัดของราง C ต้องทำการพ่น cold galvanize
		- สายไฟฟ้าระหว่างหัวเห่าและเสาไฟฟ้า ยึดด้วย Rack(ลูกถ้วย) 3 ลูก 5 ช่อง ความหนา 5 mm. และ preformed ที่ได้มาตรฐานของการไฟฟ้า ทั้ง 2 ฝั่ง	- การยึดสายไฟฟ้าให้สาย Nuetron อยู่ด้านบนและ สาย Line อยู่ด้านล่างตามมาตรฐานการไฟฟ้า - ลูกถ้วยตัวล่างสุดสำหรับสาย fiber optic
1.2	KWH Meter	- ในกรณีที่ใช้ไฟฟ้าของอาคาร ให้ใช้ KWH Meter ขนาด 50/150 A. ชนิด Single Phase Type MF-63E Brand: MITSUBISHI เท่านั้น - สายไฟฟ้าจากอาคารต้องผ่าน Breaker ขนาดไม่ต่ำกว่า 80 A. ที่ได้รับ มอก. ก่อนต่อเข้าKWH Meter ซึ่งอุปกรณ์ทั้งหมดต้องติดตั้งภายในตู้ควบคุมพร้อมติด Label กันน้ำ " DTAC " ด้านหน้าตู้ที่สามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน - ปลายสายฝั่งที่ต่อจากไฟฟ้าอาคาร ให้ติด Label โดยสาย Line ให้ติด Label " Line DTAC " และ นิวตรอน ให้ติด Label " Nuetron DTAC "	- ตู้ควบคุมเป็นแบบแผ่นโลหะพับขึ้นรูป สีเทาและสีขาว ที่สามารถล็อคกุญแจได้
		- ในกรณีที่ขอมิเตอร์การไฟฟ้า Config. 1+1+1 , 2+2+2 ใช้ KWH Meter ขนาด 15/45 Single Phase Config. 3+3+3 ขึ้นไป ใช้ KWH Meter ขนาด 30/100 Single Phase	- กรณี Config. ไม่เป็นมาตรฐาน เช่น 1+1+3 , 3+2+1 ให้ปรึกษาผู้ควบคุมงานก่อน
2	*MAIN DISTRIBUTION BOARD (MDB)*		
2.1	MDB Indoor	Breaker ใช้ Brand : SIEMENS,ABB - Main circuit breaker ใช้ SIEMENS : 2P 63 AT / 100 AF 65KA - BBU#1,2,3 ใช้ SIEMENS, ABB : 1P 32 AT / 63 AF 5KA - A/C1,2 (AIR) ใช้ SIEMENS,ABB : 1P 20 AT / 63 AF 5KA - RCT (Plug) ใช้ SIEMENS,ABB : 1P 20 AT / 63 AF 5KA - ACU (Control Air) ใช้ SIEMENS,ABB : 1P 16 AT / 63 AF 5KA - Lighting ใช้ SIEMENS,ABB : 1P 16 AT / 63 AF 5KA - Lighting Fence(LTGF) : 1P 16 AT / 63 AF 5KA	
2.2	MDB AC TYPE	Breaker ทั้งหมดใช้ Brand : SIEMENS,ABB - Main circuit breaker : 2P 63 AT / 100 AF 65KA - BTS : 1P 32 AT / 63 AF 5KA - RCT (Plug) : 1P 16 AT / 63 AF 5KA - Lighting ใช้ SIEMENS,ABB : 1P 16 AT / 63 AF 5KA - Lighting Fence(LTGF) : 1P 16 AT / 63 AF 5KA	
2.3	MDB Ultrasite, FLEXI 1 cabinet config.ไม่เกิน 2+2+2	Breaker ทั้งหมดใช้ Brand : SIEMENS,ABB - Main circuit breaker : 2P 50 AT / 100 AF 65KA - BBU # 1 : 1P 32 AT / 63 AF 5KA - BBU # 2 : 1P 16 AT / 63 AF 5KA - TRS : 1P 10 AT / 63 AF 5KA - RCT (Plug) : 1P 10 AT / 63 AF 5KA - Lighting Fence (LTGF) : 1P 10 AT / 63 AF 5KA - Lighting (LTG) : 1P 10 AT / 63 AF 5KA	
2.4	MDB Ultrasite, FLEXI 2-3 cabinet หรือ กรณี BTS Ultrasite 1 cabinet config. 3+3+3	Breaker ทั้งหมดใช้ Brand : SIEMENS,ABB - Main circuit breaker : 2P 80 AT / 100 AF 65KA - BBU # 1 : 1P 63 AT / 100 AF 5KA - BBU # 2 : 1P 32 AT / 63 AF 5KA - RCT (Plug) : 1P 16 AT / 63 AF 5KA - Lighting Fence(LTGF) : 1P 16 AT / 63 AF 5KA - Lighting : 1P 16 AT / 63 AF 5KA	
3	*AIR CONDITIONER & CONTROL AIR (ACU) & TIME SWITCU MODEL*		
3.1	AIR CONDITIONER	- ขนาด 18,000 BTU Brand: Star Aire - ขนาด 25,600 BTU Brand: MaxQck,Star Aire	- สำหรับตู้ Container ขนาด 2438x3300x2888 หรือติดตั้งภายในอาคาร - สำหรับตู้ Container ขนาด 2438x6058x2888 หรือติดตั้งภายในอาคาร

For Approved

....

(Somsak Wuttipanith) (Kittichai P.pathompong)

DTAC BBTEC

Date : Date :21 SEPTEMBER 2009

Equipment & Material specifications for DTAC 2009 Project.

21-Sep-09

หัวข้อ	คำอธิบาย	Specification	หมายเหตุ
3	*AIR CONDITIONER & CONTROL AIR (ACU) & TIME SWITCU MODEL*		
		- ขนาด 38,000 BTU Brand: Star Aire, เซ็นทรัล แอร์ - ใช้สายไฟฟ้าชนิด THW ขนาด 1x4 sq.mm สำหรับสาย Main และขนาด 1x2.5 sq.mm สำหรับสาย Control ส่วน Code ของสายไฟ Lineใช้สายสีแดงเป็น Air 1, สีดำเป็น Air 2, นิวตรอน ใช้สายสีขาว , Ground ใช้สายสีเขียว Brand : THAI YAZAKI ,Siam Pacific,Bangkok Cable,Phelps Dodge	- สำหรับตู้ Container ขนาด 3000x6058x2888 หรือติดตั้งภายในอาคาร
3.2	Control Air (ACU)	- เป็นตู้ควบคุมการทำงานของ Air Brand:Intronics สำหรับโครงการ DTAC - ใช้สายไฟฟ้าชนิด THW ขนาด 1x2.5 sq.mm ส่วน Code ของสายไฟ Line ใช้สายสีเหลือง, นิวตรอน ใช้สายสีขาว , Ground ใช้สายสีเขียว Brand : THAI YAZAKI ,Siam Pacific,Bangkok Cable,Phelps Dodge	- จ่ายกระแสไฟฟ้าจาก MDB ไปยัง ACU มีใช้งานใน Porject DTAC 859,2003,2004,2005
3.3	Time Switch Model	- เป็นตัวควบคุมการทำงานของ Air Brand:OMRON , เซ็นแนล สำหรับโครงการ DTAC - ใช้สายไฟฟ้าชนิด THW ขนาด 1x2.5 sq.mm Brand : THAI YAZAKI ,Siam Pacific,Bangkok Cable,Phelps Dodge	- มีใช้งานใน Porject DTAC 485,750
4	*OBSTRUCTION LIGHT & CONTROL BOX (OBLC)*		
4.1	Obstruction Light	- เป็นหลอดไฟแบบ LED 48 volts	- สำหรับเสาความสูง ไม่เกิน 46 ม. ใช้ OB Light 1 หลอด และ เสาความสูงเกิน 46 ม.ใช้ OB Light 3 หลอด โดยติดตั้งตามตำแหน่งที่ระบุใน Drawing
		- ใช้สายไฟฟ้าชนิด NYY ขนาด 3x1.5 sq.mm. จนวนสีดำ ใช้ Code ของสายไฟ บวก DC ใช้สายสีแดง , ลบ DC ใช้สายสีดำ, Ground ใช้สายสีเทา Brand : THAI YAZAKI ,Siam Pacific,Bangkok Cable,Phelps Dodge	- ใช้สาย NYY 1 เส้นต่อ OB Light 1 หลอด โดยรัดกับ Bracing ด้านในเสา ด้วย Cable tie 14" สีดำ ทุกระยะ 0.80 ม. - ปลายสายต่อเข้าอุปกรณ์ด้วยหางปลาเข็ม
4.2	Control Box (OBLC)	- เป็นตู้ควบคุมชนิดจ่ายกระแสไฟ DC Brand:Philips สำหรับไฟ DC ใช้ใน Project DTAC - Power Supply ใช้สายไฟฟ้าชนิด NYY ขนาด 3x1.5 sq.mm. จนวนสีดำ บวก DC ใช้สายสีแดง , ลบ DC ใช้สายสีดำ, Ground ใช้สายสีเทา Brand : THAI YAZAKI ,Siam Pacific,Bangkok Cable,Phelps Dodge	- จ่ายกระแสไฟฟ้าจาก Rectifier ELTEK ไปยัง OBLC
4.3	Photo Switch DC (2 สาย)	- เป็นแบบ LDR แรงดันไฟ 5 VDC - ใช้สายไฟฟ้าชนิด NYY ขนาด 3x1.5 sq.mm. จนวนสีดำ บวก DC ใช้สายสีแดง , ลบ DC ใช้สายสีดำ, Ground ใช้สายสีเทา Brand : THAI YAZAKI ,Siam Pacific,Bangkok Cable,Phelps Dodge	- จ่ายกระแสไฟฟ้าจาก OBLC ไปยัง LDR โดยใช้ไฟ DC - ภายใน Junction Box ของ LDR ให้ใช้ Wire Nut ในการต่อสาย - ตำแหน่งติดตั้ง ตามที่ระบุใน Drawing - สาย Ground ที่มาจาก OBLC ให้ใส่หางปลาและขันติดกับ Junction box ด้านใน
5	*LIGHTING*		
5.1	Litghting Roof Cover	- ชุดโคมไฟ Fluorescent ขนาด 1x18 W ใช้ Brand : STRA LIGHTSบ HANABISHI - ใช้หลอด Fluorescent แบบประหยัดไฟ ขนาด 18 W ใช้ Brand : Philips - สายไฟฟ้า THW ขนาด 1.5 sq.mm. จำนวน 2 เส้นต่อ 1 หลอด - ใช้ Flexible กันน้ำ 1/2" และ connector , ในการร้อยสายไฟฟ้า Brand : เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับมาตรฐาน มอก. - ควบคุมการเปิดปิดโดย Breaker ใน MDB ตามที่ระบุใน Diagram	- ติดตั้งโคมไฟ Fluorescent ในกรณีที่เป็นตู้ Roof Cover DTAC 2005 ตามจำนวนและตำแหน่งฝังตาม Drawing - Lineใช้สายสีแดง , นิวตรอน ใช้สายสีดำ
5.2	Lighting Fence	- ใช้หลอดไฟ fluorescent ขนาด 1x36 W Brand : Philips โดยติดตั้งหลอดไฟรั้วภายในชุดโคมไฟสำเร็จที่มีฝาครอบพลาสติกกันน้ำ - Photo Switch เป็นแบบ AC 220 volts เชื่อมต่อจาก MDB ไปยังโคมไฟรั้ว - ใช้สายไฟฟ้าชนิด NYY ขนาด 3x1.5 sq.mm. จนวนสีดำ Brand : THAI YAZAKI ,Siam Pacific,Bangkok Cable,Phelps Dodge - ร้อยสายไฟฟ้าภายในท่อ PVC -3/4" สีเหลือง ตั้งแต่ Photo Switch จนถึงโคมไฟรั้ว รวมถึงส่วนที่ฝังใต้ดินด้วย Brand : เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับมาตรฐาน มอก.	- รายละเอียดของการติดตั้งตามที่ระบุใน Drawing - ภายใน Junction Box ของ Photo Switch ให้ใช้ Wire Nut ในการต่อสาย - Lineใช้สายสีแดง(หรือ บวก DC) , นิวตรอน ใช้สายสีดำ(หรือลบ DC) , Ground ใช้สายสีเทา - สาย Ground ให้ใส่หางปลาและขันติดกับโคมไฟรั้วด้านใน
5.3	Photo Switch AC (3 สาย)	- เป็นแบบ Photo แรงดันไฟ 220 VAC กระแส 15 A - ใช้สายไฟฟ้าชนิด NYY ขนาด 3x1.5 sq.mm. จนวนสีดำ Lineใช้สายสีแดง(หรือ บวก DC) , นิวตรอน ใช้สายสีดำ(หรือลบ DC) , Ground ใช้สายสีเทา Brand : THAI YAZAKI ,Siam Pacific,Bangkok Cable,Phelps Dodge	- จ่ายกระแสไฟฟ้าจาก MDB ไปยัง Photo โดยใช้ไฟ AC - ภายใน Junction Box ของ Photo ให้ใช้ Wire Nut ในการต่อสาย ตำแหน่งตาม ที่ระบุใน Drawing - สาย Ground ที่มาจาก OBLC ให้ใส่หางปลาและขันติดกับ Junction box ด้านใน
6	*RECTIFIER POWER SUPPLY DC 48 V (ELTEK)*		
6.1	Power Line	- ใช้สาย NYY 3x16 sq.mm. จนวนสีดำ ต่อมาจาก MDB Brand : THAI YAZAKI ,Siam Pacific,Bangkok Cable,Phelps Dodge - ร้อยสายผ่านท่อ Flexible Conduit 1 1/2" ไปยัง MDB Brand : เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับมาตรฐาน มอก.	- Line ให้ต่อกับ Shortting Bar ที่ loop Breaker AC ใน ELTEX พร้อมใส่ปลอก สีแดง(Line) ส่วน ปลายสาย Nuetron และสาย Ground ที่ต่อเข้า BBU ใส่หางปลาหางหนู พร้อมปลอก สีดำ(Nuetron) และสีเขียว(Ground) - ปลายทั้งสองด้านของท่อ Flex ใส่ connector และ Bushing กันบาด
6.2	Positive Ground	- ใช้สาย สาย ALUMINIUM (THW-A) ขนาด 50 sqmm. จนวนสีดำ Brand : THAI YAZAKI ,Siam Pacific,Bangkok Cable,Phelps Dodge	- Connect From Positive Bar to Ground Bar
6.3	Frame Ground	- ใช้สาย ALUMINIUM (THW-A) ขนาด 25 sqmm. จนวนสีดำ Brand : THAI YAZAKI ,Siam Pacific,Bangkok Cable,Phelps Dodge	- Connect to Equipment Ground with C-Clamp กรณี Lead type DTAC 2005 : Connect From Positive Bar to Ground Bar

For Approved

(Somsak Wuttipanith)
DTAC
Date :

(Kittichai P.pathompong)
BBTEC
Date :21 SEBTEMBER 2009

Equipment & Material specifications for DTAC 2009 Project.

21-Sep-09

หัวข้อ	คำอธิบาย	Specification	หมายเหตุ
7	*BTS NOKIA ULTRASITE & NOKIA FLEXI EDGE*		
7.1	Power Line	- ใช้สาย ALUMINIUM (THW-A) 50 sq.mm. จำนวน 2 เส้น (บวก , ลบ) ต่อ BTS 1 ตู้ ต่อมาจาก BBU Brand : THAI YAZAKI ,Siam Pacific,Bangkok Cable,Phelps Dodge - ร้อยสายผ่านท่อ Flexible Conduit 1/2" ไปยัง BBU โดยแยกสายบวก และสายไฟลบ Brand : เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับมาตรฐาน มอก.	- ปลายสายบวก(Positive +) ทั้งสองฝั่ง ใส่หางปลากลม พร้อมปลอกสีแดง - ปลายสายลบ(Negative -) ฝั่ง BBU ใส่หางปลาหางหนู ส่วนฝั่ง BTS ใส่หางปลากลม พร้อมปลอกสีดำ - ตำแหน่งการเข้า Inlet ตามที่ระบุใน Manual - ปลายทั้งสองด้านของท่อ Flex ใส่ connector และ Bushing กันบาดตามขนาดของท่อ
7.2	Frame Ground	- ใช้สาย ALUMINIUM (THW-A) ขนาด 25 sqmm. จนวนสีดำ Brand : THAI YAZAKI ,Siam Pacific,Bangkok Cable,Phelps Dodge	- เชื่อมต่อกับ Equipment Ground ด้วย C-Clamp - ใส่ปลอกหางปลาสีเขียวตามขนาดของสาย
8	*ALARM*		
8.1	Alarm Box (ADF)	- ใช้ Box แบบกล่องพลาสติกมีฝาปิด ภายในติดตั้ง Krone Port 3 แถว - Ground ใช้สาย ALUMINIUM (THW-A) ขนาด 25 sqmm. จนวนสีดำ	- Connect from Alarm Box to Ground Bar
8.2	Alarm Cable For NOKIA ULTRASITE	- ใช้สาย Alarm 2 ขนาด คือ 25 คู่สาย และ 12 คู่สาย - ปลายสายด้านที่ต่อกับ BTS บัดกรีสายกับ ชุด DB 37 Male จำนวน 2 ชุด Brand : THAI YAZAKI ,Siam Pacific,Bangkok Cable,Phelps Dodge - ร้อยสายผ่านท่อ Flexible Conduit 1" from Alarm Box to BTS Brand : เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับมาตรฐาน มอก.	- wiring ตาม Alarm Diagram - ปลายทั้งสองด้านของท่อ Flex ใส่ connector และ Bushing กันบาด - ตำแหน่งการเข้า Inlet ตามที่ระบุใน Manual
	Alarm Cable For NOKIA FLEXI EDGE	- ใช้สาย Alarm ขนาด 12 คู่สาย - ปลายสายด้านที่ต่อกับสาย Alarm สำเร็จรูปของ BTS บัดกรีด้วย ชุด DB 37 Male Brand : THAI YAZAKI ,Siam Pacific,Bangkok Cable,Phelps Dodge - ร้อยสายผ่านท่อ Flexible Conduit 1" from Alarm Box to BTS Brand : เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับมาตรฐาน มอก.	- wiring ตาม Alarm Diagram - ต่อกับสาย Alarm สำเร็จรูปจาก BTS ไปยัง Alarm Box - ปลายทั้งสองด้านของท่อ Flex ใส่ connector และ Bushing กันบาด - ตำแหน่งการเข้า Inlet ตามที่ระบุใน Manual
	Alarm Cable From ELTEK to Alarm Box	- ใช้สาย Alarm ขนาด 6 คู่สาย Brand : THAI YAZAKI ,Siam Pacific,Bangkok Cable,Phelps Dodge	- ติดตั้งในท่อ Flexible conduit 1 1/2" ของสาย Power lime ELTEK - wiring ตาม Alarm Diagram
8.3	External Alarm	- AC SURGE : Alarm Cable 2 cores	- Connect from AC SURGE to Alarm Box
		- OBLC : Alarm Cable 2 cores	- Connect from OBLC to Alarm Box
		- Main AC Alarm - Rectifier Alarm - Battery Alarm - Door Open - High Temp. Alarm } : Alarm Cable 6 pairs.	- Connect fom ELTEK at Alarm Relay 1 (Com,NC) to Alarm Box - Connect fom ELTEK at Alarm Relay 2 (Com,NC) to Alarm Box - Connect fom ELTEK at Alarm Relay 3 (Com,NC) to Alarm Box - Connect fom ELTEK at Alarm Relay 5 (Com,NC) to Alarm Box - Connect fom ELTEK at Alarm Relay 6 (Com,NC) to Alarm Box
		- BTS Door Open Alarm : Alarm Cable 4 cores	- Connect fom ELTEK at Internal Alarm Port 3 (+,-) to Door Switch BTS (กรณี BTS เป็น FLEXI CABINET) โดยติดตั้งในท่อ Flexible 1/2" สายบวกของ BTS
9	*Grounding System*		
9.1	Lightning Ground	- Lightning Arrestor เป็นชนิดทองแดง 3 แฉก ต่อกับ Copper Air Terminal Brand : EXPO หรือเทียบเท่าที่ได้รับมาตรฐาน มอก. - Copper Air Terminal เป็น rod ทองแดงขนาด dia. 15 mm.	
		- Ground Ring กรณีที่เดินบนพื้นดาดฝ้าของอาคารให้ร้อยท่อ PVC 1" สีเหลือง Brand : เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับมาตรฐาน มอก. โดยวางบน ราง C ที่ฝังพุกโลหะขนาด M5 และยึดด้วย Ground Strap IMC 1"	- การเชื่อมต่อสาย Bare Aluminium เข้าด้วยกัน ให้ใช้ C-Clampทองแดงชุบดีบุกขนาด 95-95 sq.mm.
		- การเชื่อมต่อ Ground กับ Ground Rod ใช้วิธี Exothermic weld และรัดด้วย Speed Bolt ทองแดง	
9.2	Ground Rod	- เป็นเหล็กหุ้มทองแดง ขนาด dia 5/8" ยาวไม่น้อยกว่า 3 ม.	- จำนวนและตำแหน่งฝังตาม Drawing
9.3	Ground Pit	- กรณี Building เป็นท่อ PVC ขนาด 4" สีฟ้า ยาว 30 ซม. ปิดด้วยฝาทองเหลือง ติด Name Plate โลหะ "MASTER GROUND PIT" ตัวหนังสือสูง 1 ซม. - กรณี Land เป็นบ่อคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาดกว้าง 30 x 45 ซม. ลึก 40 ซม. พร้อมฝาปิดคอนกรีต ติด Name Plate โลหะ "MASTER GROUND PIT" ตัวหนังสือสูง 1 ซม.	
9.4	Equipment Ground Cable	- Positive Ground : ALUMINIUM (THW-A) ขนาด 50 sqmm. จนวนสีดำ	- From Positive Bar in BBU to Ground Bar
		- BBU Frame Ground : ALUMINIUM (THW-A) ขนาด 25 sqmm. จนวนสีดำ	- From BBU Frame clamp with Main Equipment ,กรณี DTAC 2005 connect to
		- BTS Frame Ground : ALUMINIUM (THW-A) ขนาด 25 sqmm. จนวนสีดำ	- From BTS Frame Clamp with Main Equipment
		- Alarm Box Frame Ground : ALUMINIUM (THW-A) ขนาด 25 sqmm. จนวนสีดำ	- From ADF Frame to Ground Bar
		- OBLC Frame Ground : ALUMINIUM (THW-A) ขนาด 25 sqmm. จนวนสีดำ	- From OBLC Frame to Ground Bar
		- MDB Ground : ALUMINIUM (THW-A) ขนาด 50 sqmm. จนวนสีดำ	- From Ground Bar in MDB to Main Ground Bar
		- Main Equipment Ground : ALUMINIUM (THW-A) ขนาด 50 sqmm. จนวนสีดำ	- From Ladder to Ground Bar
		- EMP Ground : ALUMINIUM (THW-A) ขนาด 50 sqmm. จนวนสีดำ : ALUMINIUM (THW-A) ขนาด 25 sqmm. จนวนสี Brand : THAI YAZAKI ,Siam Pacific,Bangkok Cable,Phelps Dodge	- Clamp with Ground Ring - From Ground Surge Clamp with EMP Ground TRX 3เส้น clamp 1 จุดและ RXDIV 3 เส้น Clamp 1 จุด
10	*LABEL & ACCESSORY*		
10.1	Feeder Cable Label	- เป็น Stainless Plate ขนาด 2 x 5 ซม. ตัวหนังสือสีดำแบบเซาะร่อง ○ SECTOR 1 ○ ○ TX/RX ○ ○ SECTOR 1 ○ ○ RX DIV ○	- ยึดกับ Feeder Cable ด้วย Cable Tie ทั้งด้านบนและด้านล่างจาก Feeder Connector 30 ซม.

For Approved

(Somsak Wuttipanith)
DTAC
Date :

..... (Kittichai P.pathompong)
BBTEC
Date :21 SEBTEMBER 2009

Equipment & Material specifications for DTAC 2009 Project.

21-Sep-09

หัวข้อ	คำอธิบาย	Specification	หมายเหตุ
10	*LABEL & ACCESSORY*		
10.2	Ground Label	- เป็น Stainless Plate ขนาด 2 x 5 ซม. ตัวหนังสือสีดำแบบเซาะร่อง - " Positive Ground " - " BBU Ground " - " BTS 1 Ground " / " BTS 2 Ground " / " BTS 3 Ground " - " ADF Ground " - " OBLC Ground "	- ยึดกับสาย Ground ด้วย Cable Tie
10.2	Ground Label (ต่อ)	- " MDB Ground " - " Equipment Ground " - " EMP Ground " Positive Ground	
10.3	Alarm Cable Lable	เป็นกระดาษพิมพ์สีขาวตัวหนังสือสีดำ และเคลือบพลาสติกใส ขนาด 1 x 5 ซม. เพื่อปลายพลาสติก สำหรับเจาะรูเพื่อรัด cable tie กับสาย Alarm - AC SURGE Alarm - OBLC Alarm - Main AC Alarm - Rectifier Alarm - Battery Alarm - Door Open Alarm - High Temp. Alarm - BTS Door Open Alarm Main AC Alarm	- ให้ติด Alarm Label ทั้ง 2 ด้านของสาย - BTS Door Open Alarm ใช้กรณี BTS เป็น NOKIA FLEXI CABINET
10.4	Tape	เทปที่ใช้พันกันน้ำ บริเวณ Connector,Grounding Kit ให้ใช้เทปรอง 3M เท่านั้น - เทปละลาย 3M รุ่น SCOTCH # 23 RUBBER SPLICING - เทปพัน 3M รุ่น SCOTCH # 33+ VINYL ELECTRICAL TAPE	- การพันเทปกันน้ำต้องพันอย่างน้อย 3 ชั้นและทิศทาง ของตะเข็บเทปจะต้องไม่รองรับน้ำ
10.5	C-Clamp	- สำหรับสาย Bare Aluminium 95 sq.mm. ใช้ C-Clamp ทองแดงชุบดีบุก ตามขนาดของสาย	
10.6	Cable Tie	- บริเวณที่อยู่ภายนอกตู้อุปกรณ์ ให้ใช้ cable tie สีดำทั้งหมด	
10.7	Silicone Sealant	- ในการ seal รอยต่อหรือปลายท่อ ให้ใช้ silicone sealant ชนิดใสทั้งหมด	
10.8	Lug (หางปลา)	- สาย Ground ที่ต่อลง Ground Bar ใช้หางปลาแบบ 2 รูทั้งหมด - หางปลาที่ใช้ต้องเป็นแบบหนา ชนิดที่หุ้มปิดปลายสายไฟฟ้า - น็อตที่ใช้สำหรับยึดหางปลาต้องเป็นน็อต Stainless ประกอบด้วย Spring Washer , Flash Washer , Double Nuts	For Approved (Somsak Wuttipanith) DTAC Date : (Kittichai P.pathompong) BBTEC Date :21 SEBTEMBER 2009
10.9	Sleeve(ปลอกหางปลา)	ปลายสายไฟฟ้าทั้ง 2 ด้านต้องสวมปลอกหางปลาตามสีและขนาดของสาย หรือ ตามที่ระบุไว้ใน Manual	

ประวัติผู้เขียน

ชื่อสกุล นายนพดล หวังเบ็ญหมัด

รหัสประจำตัวนักศึกษา 4910121024

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
อุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต	มหาวิทยาลัยสยาม	2536

ประวัติการทำงาน

การสื่อสารแห่งประเทศไทย	2529-2537
บมจ.โทเทิ่ลแอ็คเซ็ทคอมมูนิเคชั่น (DTAC)	2537-2552