บทที่ 4
ระบบสแครมเบิล

ระบบสแครมเบิลจะสามารถทำงานได้ต้องประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ เครื่องส่งหรือเครื่องสแครมเบิลที่ต้นทาง ทำหน้าที่สแครมเบิลสัญญาณวีดิทัศน์ด้วยวิธีการต่างๆ และทำหน้าที่แทรกข้อมูลการเข้าถึงอย่างมีเงื่อนไขเข้าไปในสัญญาณวีดิทัศน์เพื่อส่งไปถึงส่วนที่สองคือ เครื่องรับหรือเครื่องดีสแครมเบิล สมาชิกแต่ละคนจะมีเครื่องรับเป็นของตัวเอง สมาชิกบางรายอาจมีมากกว่าหนึ่งเครื่องถ้าต้องการรับชมได้พร้อมกันหลายๆ จุดในบ้าน หน้าที่ของเครื่องรับคือดีสแครมเบิลสัญญาณภาพให้กลับมาเป็นปกติให้สมาชิกรับชมได้ การดีสแครมเบิลใช้ข้อมูลการเข้าถึงอย่างมีเงื่อนไขที่เครื่องส่งส่งมาให้ ถ้าสมาชิกไม่ได้รับอนุญาตให้รับชมช่องรายการใด เครื่องรับก็จะไม่ดีสแครมเบิลสัญญาณวีดิทัศน์ช่องนั้นออกมา และส่วนสุดท้ายคือส่วนซอฟต์แวร์จัดการระบบ ทำหน้าที่ดูแลเกี่ยวกับฐานข้อมูลของสมาชิก, ฐานข้อมูลช่องรายการ และติดต่อกับเครื่องส่งเพื่อกำหนดวิธีการสแครมเบิลว่าวิธีไหนจะใช้หรือไม่ใช่อย่างไร

4.1 เครื่องส่ง

เครื่องส่งหรือเครื่องสแครมเบิลจะรับสัญญาณวีดิทัศน์ต้นฉบับก่อนที่จะออกอากาศมาสแครมเบิลตามวิธีที่กำหนด และแทรกข้อมูลการเข้าถึงอย่างมีเงื่อนไขเมื่อต้องการ สัญญาณขาออกที่ได้จะเป็นสัญญาณวีดิทัศน์ที่สแครมเบิลแล้ว ไม่สามารถรับชมได้ด้วยการรับชมปกติ และเป็นสัญญาณที่มีข้อมูลการเข้าถึงอย่างมีเงื่อนไขแทรกอยู่

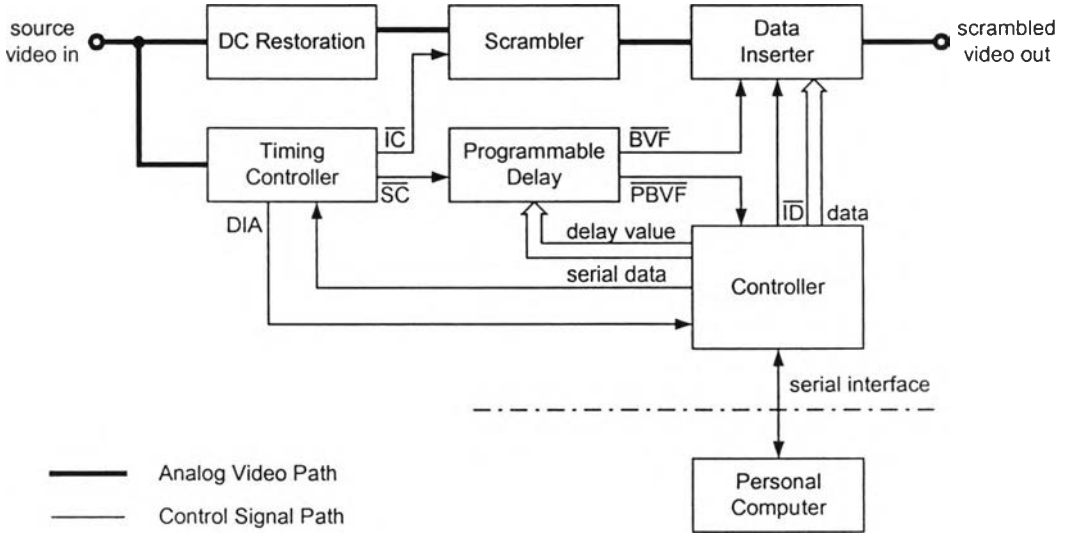
นอกจากนี้เครื่องส่งยังติดต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเพื่อรับข้อมูลการเข้าถึงอย่างมีเงื่อนไขบางแบบ และรับคำสั่งกำหนดสถานะหรือส่งค่าสถานะของวิธีการสแครมเบิลที่ใช้กลับไปให้ซอฟต์แวร์จัดการระบบ รายละเอียดการทำงานของเครื่องส่งมีดังนี้

4.1.1 แผนภาพบล็อก

การทำงานโดยรวมของเครื่องส่งแสดงไว้ในแผนภาพบล็อกรูปที่ 4.1 สัญญาณวิดีทัศน์ต้นฉบับที่เข้ามาจะถูกคงระดับ (DC Restoration) โดยให้ระดับสีดำอยู่ที่แรงดัน 1 V เพื่อให้การทำงานหลังจากนี้เป็นไปอย่างถูกต้อง เช่น การตัดสัญญาณซิงโครไนซ์หรือการแทรกข้อมูลลงในสัญญาณภาพที่ระดับแรงดันที่ถูกต้อง หลังจากนั้นสัญญาณวีดิทัศน์จะถูกป้อนให้ส่วนสแครมเบิล (Scrambler) ที่จะทำหน้าที่สแครมเบิลตามวิธีการทั้ง 2 วิธีคือ ตัดสัญญาณซิงโครไนซ์ และกลับสัญญาณภาพ (Video Inversion) รวมถึงการเปลี่ยนระดับแรงดันในช่วงไร้ภาพทางแนวราบให้เข้าไปซ่อนอยู่ระหว่างระดับสีดำและระดับสีขาว การกลับสัญญาณภาพจะได้รับการควบคุมจากส่วนควบคุมเวลาที่จะส่งข้อมูลมาให้ว่าภาพเส้นใดบ้างที่จะต้องกลับสัญญาณภาพ

สัญญาณวีดิทัศน์ที่ผ่านการสแครมเบิลแล้วจะถูกส่งต่อไปยังส่วนแทรกข้อมูล (Data Inserter) การแทรกข้อมูลจะเกิดขึ้นได้ 2 ทางคือ การแทรกกลุ่มข้อมูล BVF อันเนื่องมาจากส่วนประวิงเวลาแบบกำหนดค่าได้

(Programmable Delay) ส่งสัญญาณ $\overline{BVF}$ มาให้ หรือเกิดจากการแทรกกลุ่มข้อมูล Data Packet ตามที่ส่วนควบคุมหลักต้องการโดยส่งสัญญาณ $\overline{ID}$ และข้อมูลมาให้ผ่านทางขา data



รูปที่ 4.1 แผนภาพบล็อกการทำงานของเครื่องส่ง

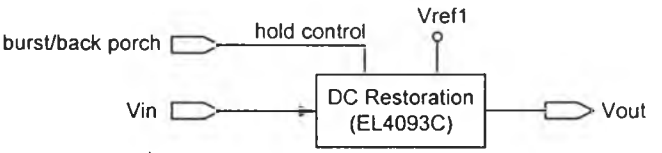
ส่วนควบคุมเวลา (Timing Controller) จะรับสัญญาณซิงโครไนซ์ต่างๆ จากสัญญาณวีดิทัศน์ต้นฉบับ และนำมากำเนิดสัญญาณควบคุมต่างๆ เช่น สัญญาณเริ่มต้นนับ $\overline{SC}$ ป้อนให้แก่ส่วนประวิงเวลาแบบกำหนดค่าได้ และสัญญาณบอกแก่ส่วนควบคุมหลักว่าช่วงเวลาใดบ้างที่สามารถแทรกกลุ่มข้อมูล Data Packet ได้ (DIA) ส่วนควบคุมเวลายังมีหน้าที่ควบคุมการสแครมเบิลในเรื่องการกลับสัญญาณภาพ โดยรับข้อมูลการกลับสัญญาณภาพจากส่วนควบคุมหลักเพื่อส่งไปควบคุมส่วนสแครมเบิลในเวลาที่เหมาะสมอีกทีหนึ่ง

ส่วนประวิงเวลาแบบกำหนดค่าได้ทำหน้าที่ระบุตำแหน่งที่จะแทรกกลุ่มข้อมูล BVF โดยรับค่าเวลาประวิงจากส่วนควบคุมหลักและรับสัญญาณให้เริ่มนับจากส่วนควบคุมเวลา เอาต์พุตที่ได้คือสัญญาณ $\overline{PBVF}$ จะถูกส่งให้ส่วนควบคุมหลักเพื่อเตรียมกลุ่มข้อมูล BVF สำหรับแทรก และสัญญาณ $\overline{BVF}$ ส่งให้ส่วนแทรกข้อมูลเพื่อกำหนดเวลาเริ่มแทรกข้อมูล

ส่วนควบคุมทำหน้าที่หลักคือกำเนิดลำดับสุ่มเทียมและนำเลขสุ่มที่ได้ไปเป็นพารามิเตอร์ของการสแครม-เบิลให้เป็นไปอย่างถูกต้อง และทำหน้าที่จัดส่ง CW ให้แก่เครื่องรับผ่านทางกลุ่มข้อมูล ECM นอกจากนี้ส่วนควบคุมยังติดต่อกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล รับกลุ่มข้อมูล EMM ที่สร้างโดยซอฟต์แวร์จัดการระบบ เพื่อนำมาแทรกลงในสัญญาณวีดิทัศน์ส่งให้เครื่องรับต่อไป

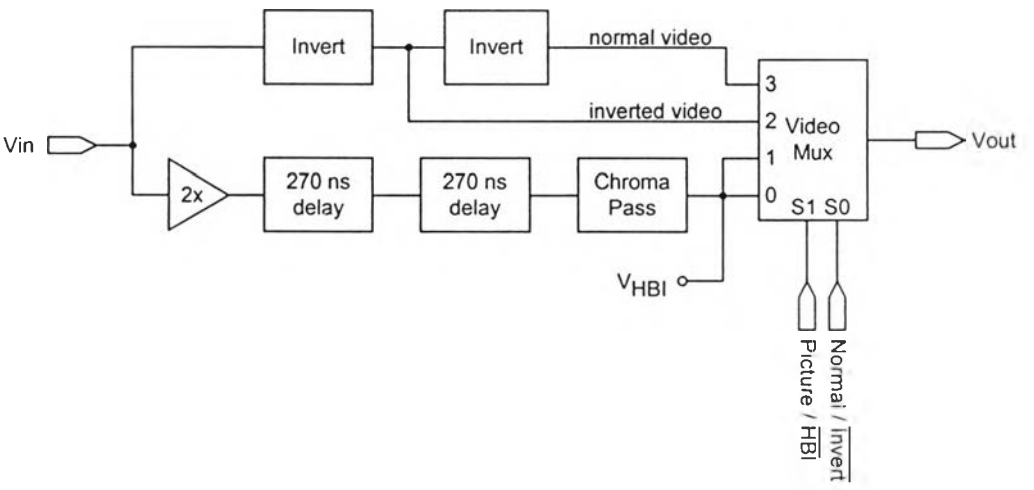
4.1.2 ส่วนคงระดับแรงดัน

วงจรส่วนนี้จะทำหน้าที่คงระดับแรงดันให้ระดับสีดำอยู่ที่ 1 V โดยใช้วงจรรวม EL4093C ของบริษัท Elantec รักษาระดับแรงดันไฟตรงในช่วงที่เป็นเบิรสต์ให้คงที่อยู่ที่ 1 V รูปที่ 4.2 แสดงการต่อใช้งานวงจรรวมคงระดับแรงดัน สัญญาณ hold control เป็นสัญญาณบอกตำแหน่งของเบิรสต์สีได้มาจากส่วนควบคุมเวลา



รูปที่ 4.2 แผนภาพบล็อกส่วนคงระดับแรงดัน

4.1.3 ส่วนสแครมเบิล (Scrambler)



รูปที่ 4.3 แผนภาพบล็อกส่วนสแครมเบิล

แผนภาพบล็อกการทำงานในส่วนนี้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.3 แบ่งการทำงานเป็นส่วนๆ ดังนี้คือ

1. กลับสัญญาณภาพ สัญญาณวีดิทัศน์ที่เข้ามาจะผ่านการกลับสัญญาณ 1 ครั้งแล้วป้อนเข้าทางช่องที่ 2 ของตัวมัลติเพลกซ์สัญญาณวีดิทัศน์

2. สัญญาณภาพปกติ สัญญาณภาพปกติได้จากการกลับสัญญาณวีดิทัศน์ 2 ครั้ง เหตุผลที่ต้องกลับสัญญาณ 2 ครั้งแทนที่จะผ่านสัญญาณวีดิทัศน์เข้าไปโดยตรงเนื่องจากต้องการให้สัญญาณที่ไปถึงเครื่องรับโทรทัศน์ถูกประวิงเวลาเท่ากันทั้ง 2 เส้นทางไม่ว่าจะมีการกลับสัญญาณภาพหรือไม่ นั่นคือในเส้นทางแรก เมื่อมีการกลับสัญญาณภาพ สัญญาณจะถูกกลับที่เครื่องส่ง และถูกกลับอีก 1 ครั้งที่เครื่องรับ ถ้าการการกลับแต่ละครั้งมีการประวิงเวลาไป d ในเส้นทางนี้จะมีการประวิงเวลาทั้งหมด 2d ในเส้นทางที่สอง เมื่อไม่มีการกลับสัญญาณภาพ สัญญาณจะถูกกลับที่เครื่องส่ง 2 ครั้ง และถูกส่งผ่านโดยตรงที่เครื่องรับ รวมมีการประวิงเวลา 2d เท่ากัน

ถ้าไม่มีการชดเชยผลของการประวิงเวลานี้จะทำให้เกิดภาพเป็นริ้วตามแนวนอนบนจอเครื่องรับโทรทัศน์ ทั้งนี้เพราะเส้นภาพที่มีเวลาประวิงไม่เท่ากันจะมีเฟสของสีเมื่อเทียบกับเบิรสต์สีไม่เท่ากัน สีที่เครื่องรับโทรทัศน์ถอดรหัสออกมาได้จึงเป็นคนละสีกัน อาจจะเป็นสีเข้มขึ้นหรือสว่างขึ้นก็ได้ เกิดเป็นริ้วตามแนวนอนสลับกันไปตามเส้นภาพที่ถูกกลับหรือไม่

3. ตัดสัญญาณซิงโครไนซ์ สัญญาณวีดิทัศน์จะผ่านวงจรกรอง Chroma Pass เพื่อกรองเอาเฉพาะความถี่ 4.43 MHz ออกมา การกรองจะมีผลให้สัญญาณซิงโครไนซ์ทางแนวราบหายไปและมีระดับ

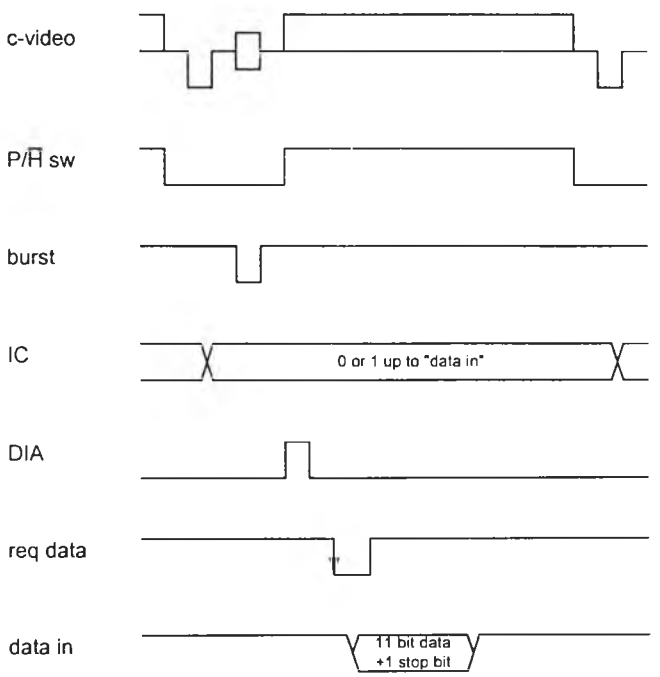
ไฟตรงอยู่ที่ 0 V จากนั้นจึงบวกแรงดันไฟตรง V_{HBI} เข้าไปเพื่อให้มีระดับแรงดันไฟตรงอยู่ระหว่างระดับสีดำกับระดับสีขาว ป้องกันมิให้เครื่องรับโทรทัศน์ตรวจจับขอบลงด้านท้ายของสัญญาณภาพเป็นสัญญาณซิงโครไนซ์ ซึ่งจะมีผลให้คุณภาพการสแครมเบิลลดลง

แต่เนื่องจากวงจรกรองที่ใช้เป็นแบบเฉื่อยงาน (passive) ทำให้เบิรสต์สีมีขนาดลดลงเหลือ 70% เมื่อผ่านวงจรกรองที่เครื่องส่ง และลดลงเหลือ 50% เมื่อผ่านวงจรกรองที่เครื่องรับ วงจรขยาย 2 เท่าจึงถูกเพิ่มเข้าไปเพื่อชดเชยสัญญาณดังในรูป

ผลอีกประการหนึ่งของวงจรกรองคือการทำให้เฟสของเบิรสต์เปลี่ยนไป สัญญาณสีที่ถอดรหัสได้ในเครื่องรับโทรทัศน์จึงผิดไปจากความเป็นจริงด้วย ตัวประวิงเวลา 270 ns 2 ตัวจึงถูกเพิ่มเข้าไปในวงจรเพื่อชดเชยเฟสของเบิรสต์สีที่เปลี่ยนไปนี้

4. ตัวมัลติเพลกซ์สัญญาณวีดิทัศน์ จะเลือกนำสัญญาณที่เข้ามาแต่ละช่องให้ออกไปอย่างถูกต้องเหมาะสมตามเวลาต่างๆ โดยได้รับสัญญาณควบคุมจากส่วนควบคุมเวลา สัญญาณทั้งสองได้แก่ สัญญาณ Picture/$\overline{\text{HBI}}$ ใช้เลือกช่วงเวลาที่เป็นสัญญาณภาพหรือช่วงเวลาไร้ภาพทางแนวราบ และสัญญาณ Normal/$\overline{\text{Invert}}$ ใช้เลือกสัญญาณภาพแบบปกติหรือแบบถูกกลับ

4.1.4 ส่วนควบคุมเวลา (Timing Controller)



รูปที่ 4.4 แผนภาพเวลาแสดงสัญญาณจากส่วนควบคุมเวลาในช่วง 1 เส้นภาพ

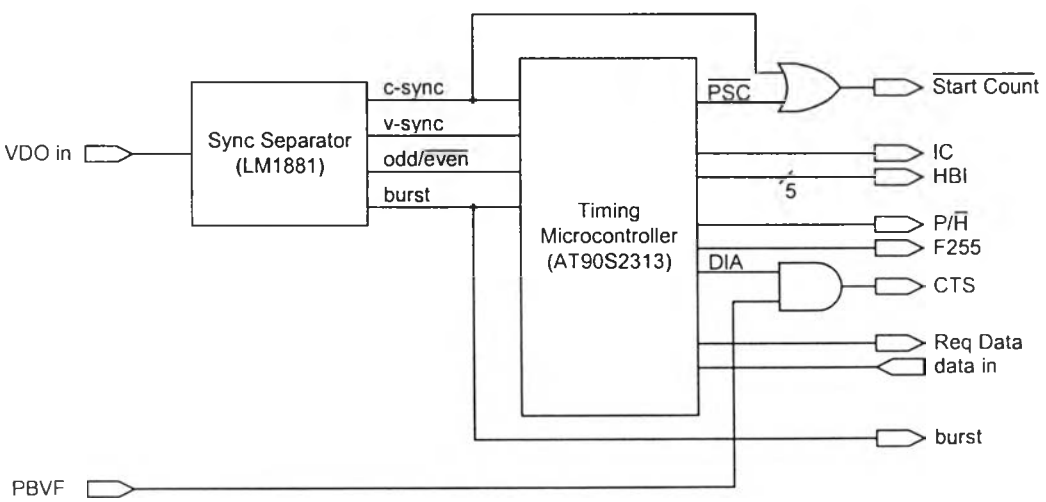
ส่วนควบคุมเวลาทำหน้าที่สร้างสัญญาณเวลาให้แก่ส่วนอื่นๆ ของระบบ และยังช่วยส่วนควบคุมส่งสัญญาณควบคุมให้แก่ส่วนสแครมเบิลบางส่วนด้วย แผนภาพเวลา (timing diagram) ของสัญญาณเวลาในช่วง 1 เส้นภาพแสดงในรูปที่ 4.4 c-video คือสัญญาณวีดิโอรวม (composite video) 1 เส้น ใช้เป็นสัญญาณอ้างอิง เปรียบเทียบตำแหน่งกับสัญญาณอื่นๆ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- $P/\overline{H}$ sw คือสัญญาณเลือกช่วงที่เป็นสัญญาณภาพ (P : Picture) หรือช่วงไร้ภาพทางแนวราบ (H : Horizontal blanking interval) สำหรับใช้ควบคุมตัวมัลติเพลกซ์สัญญาณวีดิทัศน์ตามรูปที่ 4.3

- Burst คือสัญญาณที่บอกตำแหน่งของเบิรสต์ใช้จ่ายเป็นสัญญาณ hold control ให้แก่ส่วนคงระดับแรงดัน

- IC หรือ Inversion Control คือสัญญาณควบคุมตัวมัลติเพลกซ์สัญญาณวีดิทัศน์ให้เลือกสัญญาณภาพปกติหรือสัญญาณภาพที่ถูกกลับในส่วนกลับสัญญาณภาพ (รูปที่ 4.3) ข้อมูล 1 บิตสำหรับควบคุมตัวมัลติเพลกซ์นี้ได้รับจากส่วนควบคุม

- DIA หรือ Data Insert Available คือสัญญาณบอกให้ส่วนควบคุมทราบว่าช่วงไหนที่ส่วนควบคุมสามารถเริ่มต้นแทรกกลุ่มข้อมูล Data Packet ได้ เส้นภาพแต่ละเส้นจะมีบริเวณที่แทรกได้แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 3.4 สังเกตว่าสัญญาณนี้จะบอกแต่ตำแหน่งเริ่มต้นที่แทรกได้เท่านั้น ไม่ได้บอกช่วงที่แทรกได้ ในการใช้งาน เมื่อส่วนควบคุมต้องการส่งกลุ่มข้อมูล Data Packet ส่วนควบคุมจะตรวจสอบสัญญาณนี้ก่อนว่าเป็น "1" หรือไม่ แต่อย่างไรก็ตามสัญญาณนี้ยังไม่ได้ถูกส่งให้ส่วนควบคุมโดยตรง สัญญาณนี้ต้องนำมา "และ" กับสัญญาณ PBVF (Pre - Begin Video Frame) (รูปที่ 4.5) ซึ่งเป็นสัญญาณที่ส่งมาจากวงจรประวิงเวลา (Programmable Delay) ในส่วนแทรกข้อมูลเพื่อบอกว่าในอีกประมาณ 1 เส้นภาพข้างหน้า จะมีการแทรกกลุ่มข้อมูล BVF แล้ว ห้ามมิให้แทรกกลุ่มข้อมูลอื่น เพราะถ้าแทรกไปแล้ว การแทรกจะแล้วเสร็จไม่ทันเมื่อถึงเวลาที่ต้องแทรกกลุ่มข้อมูล BVF เรียกสัญญาณหลังจากเกต "และ" นี้ว่าสัญญาณ CTS (Cleat To Send)



รูปที่ 4.5 แผนภาพบล็อกส่วนควบคุมเวลา

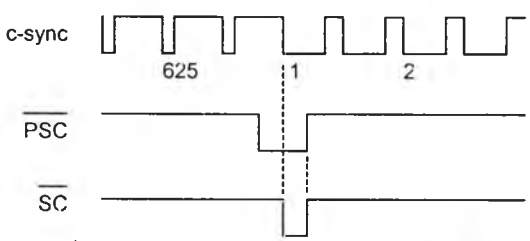
- Req data ในช่วงต้นของสัญญาณภาพ ส่วนควบคุมเวลาจะส่งสัญญาณขอข้อมูลจำนวน 11 บิต จากส่วนควบคุม

- Data in เมื่อส่วนควบคุมได้รับสัญญาณร้องขอข้อมูล (req data) ส่วนควบคุมจะส่งข้อมูล 11 บิต และ 1 บิตหยุด (stop bit) ในแบบอนุกรมให้กับส่วนควบคุมเวลา ข้อมูล 11 บิตที่ส่งมาเป็นข้อมูล

สำหรับควบคุมการสแครมเบิลสำหรับเส้นภาพถัดไป ประกอบด้วยข้อมูล 10 บิตสงวนไว้ ยังไม่ได้ใช้งานในปัจจุบัน และ 1 บิตสำหรับสถานะการกลับสัญญาณภาพ

ส่วนควบคุมเวลาใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็กรับสัญญาณซิงโครไนซ์วีดิโอรวม (c-sync), สัญญาณซิงโครไนซ์ทางแนวตั้ง (v-sync), สัญญาณบอกฟิลด์คี่หรือฟิลด์คู่ ($\overline{\text{odd/even}}$) และสัญญาณบอกตำแหน่งเบิรสต์ (burst) จากวงจรรวมแยกสัญญาณซิงโครไนซ์ (LM1881) แล้วนำมากำเนิดสัญญาณต่างๆ ดังที่ได้กล่าวแล้ว แต่ยังมีอีกหนึ่งสัญญาณเวลาที่ยังไม่ได้กล่าวถึงคือสัญญาณให้เริ่มนับ ($\overline{\text{Start Count}}$) สัญญาณนี้เป็นสัญญาณที่ไม่ได้เกิดขึ้นในทุกเส้นภาพ จึงไม่ได้รวมไว้ในแผนภาพเวลารูปที่ 4.4 แต่จะกล่าวรายละเอียดไว้ดังนี้

- สัญญาณให้เริ่มนับ ($\overline{\text{Start Count}}$) เป็นสัญญาณที่ส่งให้กับวงจรประวิงเวลาในส่วนแทรกข้อมูล เพื่อให้วงจรประวิงเวลาเริ่มนับถอยหลังได้ สัญญาณนี้ใช้ขอบขาลงเป็นสัญญาณบอก ขอบขาลงนี้จะตรงกับตำแหน่งเริ่มต้นของเส้นที่ 1 ของสัญญาณวีดิทัศน์พอดี การกำเนิดสัญญาณเริ่มนับนี้ไม่สามารถให้ไมโครคอนโทรลเลอร์กำเนิดเองได้ เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานตามสัญญาณนาฬิกา จึงไม่สามารถให้ขอบขาลงได้ตรงกับขอบขาลงของเส้นที่ 1 ของสัญญาณวีดิทัศน์ได้พอดี จึงให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างสัญญาณ $\overline{\text{PSC}}$ (Pre-Start Count) ออกมาก่อนที่ขอบขาลงของสัญญาณซิงโครไนซ์วีดิโอรวมจะมาถึง แล้วนำมา "หรือ" กัน (รูปที่ 4.6) จะได้สัญญาณให้เริ่มนับตามต้องการ

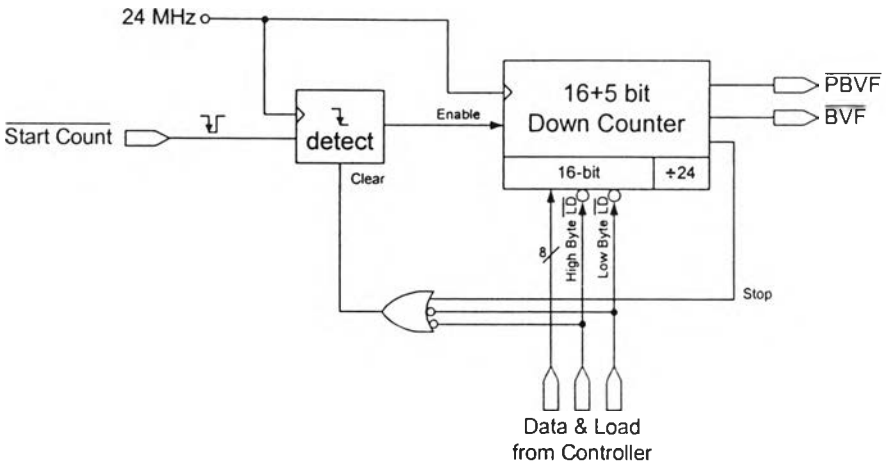


รูปที่ 4.6 การสร้างสัญญาณให้เริ่มนับ ($\overline{SC}$)

4.1.5 ส่วนประวิงเวลาแบบกำหนดค่าได้ (Programmable Delay)

ส่วนประวิงเวลาแบบกำหนดค่าได้นี้ทำหน้าที่จับเวลาเพื่อกำหนดตำแหน่งสำหรับแทรกกลุ่มข้อมูล BVF มีแผนภาพบล็อกการทำงานดังแสดงในรูปที่ 4.7 เมื่อได้รับขอบขาลงบอกตำแหน่งเริ่มต้นเฟรมจากส่วนควบคุมเวลา วงจรนับลงขนาด 16+5 บิตจะเริ่มทำงาน นับค่าเวลาประวิงขนาด 16 บิตที่อยู่ในรีจิสเตอร์ซึ่งส่วนควบคุมส่งมาให้ไว้ล่วงหน้าแล้ว การนับจะนับด้วยสัญญาณนาฬิกาความถี่ 1 MHz ที่ได้จากวงจรนับขนาด 5 บิตที่จะหารสัญญาณนาฬิกา 24 MHz ของระบบด้วย 24

เมื่อนับลงมาถึง 64 จะให้เอาต์พุต $\overline{\text{PBVF}}$ ให้แก่ส่วนควบคุมเพื่อให้เตรียมนำแบบรูปของกลุ่มข้อมูล BVF ส่งให้ส่วนแทรกข้อมูลเตรียมไว้ก่อนที่จะมีการแทรกกลุ่มข้อมูล และยังส่งให้ส่วนควบคุมเวลาเพื่อใช้กำเนิดสัญญาณ Clear To Send ต่อมาเมื่อนับลงจนถึง 0 จะให้เอาต์พุต $\overline{\text{BVF}}$ ชั่วขณะหนึ่งแก่ส่วนแทรกข้อมูลเพื่อให้แทรกกลุ่มข้อมูล BVF ได้ หลังจากนี้จะส่งสัญญาณหยุด (Stop) เป็นสัญญาณเริ่มใหม่ให้แก่วงจรตรวจสอบขอบขาลงให้พร้อมที่จะรับขอบขาลงอันต่อไป

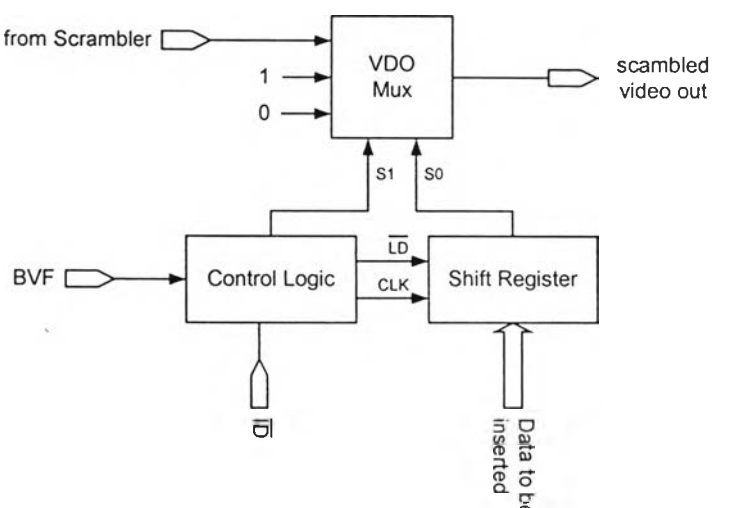


รูปที่ 4.7 แผนภาพบล็อกส่วนประวิงเวลาแบบกำหนดค่าได้

ในขณะที่ส่วนควบคุมโหลดค่าเวลาประวิงไม่ว่าจะเป็นไบต์ต่ำหรือไบต์สูงจะเกิดสัญญาณเริ่มใหม่ให้แก่วงจรตรวจจับขอบขาลงด้วยเพื่อให้พร้อมที่จะรับขอบขาลงที่จะเข้ามาถึงอันต่อไป

4.1.6 ส่วนแทรกข้อมูล (Data Inserter)

การแทรกสัญญาณบิต "0" ทำโดยให้ตัวมัลติเพลกซ์สัญญาณวีดิทัศน์หรือ VDO Mux ดังในรูปที่ 4.8 เลือกสัญญาณขาออกเป็นระดับแรงดันที่กำหนดไว้ว่าเป็นระดับสีดำซึ่งในที่นี้คือ 1 V และบิต "1" ให้เลือกสัญญาณขาออกเป็นระดับแรงดันที่ 130% ของระดับสีขาว ในที่นี้คือ 2.3 V สัญญาณที่ใช้ป้อนให้ VDO Mux เพื่อเลือกสัญญาณขาออกคือสัญญาณ S1 และ S0 สัญญาณ S0 ใช้เลือกว่าจะให้สัญญาณขาออกเป็นบิต "0" หรือบิต "1" ในขณะที่ S1 ใช้เลือกว่าจะแทรกข้อมูลหรือให้สัญญาณภาพผ่านไปตามปกติ



รูปที่ 4.8 แผนภาพบล็อกส่วนแทรกข้อมูล

สัญญาณ S0 ได้จากการเลื่อนรีจิสเตอร์เลื่อน (shift register) ที่มีข้อมูลที่ต้องการแทรกไปทีละบิตด้วยสัญญาณนาฬิกา (CLK) จากลอจิกควบคุม (Control Logic) เมื่อเลื่อนครบ 8 บิต ลอจิกควบคุมจะส่งสัญญาณโหลด ($\overline{LD}$) ให้รีจิสเตอร์รับข้อมูล 8 บิตต่อไปที่ต้องการแทรกจากส่วนควบคุม

ข้อมูลที่จะแทรกมี 2 ประเภทคือ กลุ่มข้อมูล Data Packet และกลุ่มข้อมูล BVF ซึ่งมีขั้นตอนการแทรกแตกต่างกัน จะขอกล่าวถึงแยกกันดังนี้

4.1.6.1 <u>การแทรกกลุ่มข้อมูล Data Packet</u>

กลุ่มข้อมูล Data Packet จะแทรกเมื่อส่วนควบคุมต้องการ จะเป็นช่วงใดก็ได้ที่สอดคล้องกับตารางที่ 3.4 โดยส่วนควบคุมจะตรวจสอบจากสัญญาณ CTS ที่ส่วนควบคุมเวลาส่งมาให้ เมื่อส่วนควบคุมตรวจสอบแล้วว่าแทรกได้ จะเตรียมข้อมูลไบต์แรกที่จะส่งมารอไว้ให้รีจิสเตอร์เลื่อนเตรียมโหลด จากนั้นจะส่งสัญญาณแทรกข้อมูล $\overline{ID}$ (Insert Data) ให้กับลอจิกควบคุม เมื่อลอจิกควบคุมได้รับสัญญาณแทรกข้อมูลจะสั่งให้รีจิสเตอร์เลื่อนโหลดข้อมูลไบต์แรกเข้ามา, ส่งสัญญาณนาฬิกาให้แก่รีจิสเตอร์เลื่อน และกำหนดให้ VDO Mux อยู่ในสถานะแทรกข้อมูล (S1="1")

หลังจากส่งข้อมูลไบต์แรกมาให้ ส่วนควบคุมจะส่งข้อมูลไบต์ต่อๆ มาให้ทุกๆ 4 uS ซึ่งคือเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลจำนวน 8 บิตนั่นเอง ในส่วนลอจิกควบคุมเมื่อเลื่อนข้อมูลในรีจิสเตอร์เลื่อนครบแล้ว จะส่งสัญญาณโหลดข้อมูลใหม่ซึ่งจะทำทุกๆ 4 uS เช่นกัน การส่งข้อมูลก็จะเป็นไปอย่างต่อเนื่อง เมื่อส่วนควบคุมส่งข้อมูลจนหมดแล้วจะหยุดส่งสัญญาณแทรกข้อมูล เป็นอันสิ้นสุดการส่งกลุ่มข้อมูล Data Packet

4.1.6.2 <u>การแทรกกลุ่มข้อมูล BVF</u>

การแทรกกลุ่มข้อมูล BVF เริ่มจากส่วนควบคุมโหลดค่าเวลาประวิงให้แก่วงจรประวิงเวลาจำนวน 2 ไบต์ คือไบต์ต่ำและไบต์สูง เมื่อถึงตำแหน่งเริ่มต้นเฟรม ส่วนควบคุมเวลาส่งสัญญาณให้เริ่มนับ วงจรประวิงเวลาเริ่มนับเวลาถอยหลัง จนกระทั่งถึงเวลาประมาณ 1 เส้นภาพก่อนหมดเวลา วงจรประวิงเวลาให้สัญญาณ PBVF แก่ส่วนควบคุม เมื่อได้รับสัญญาณ PBVF ส่วนควบคุมจะเตรียมกลุ่มข้อมูล BVF มารอไว้ที่รีจิสเตอร์เลื่อน เมื่อหมดเวลา สัญญาณ BVF จากวงจรประวิงเวลาจะทำให้ลอจิกควบคุมโหลดกลุ่มข้อมูล BVF เข้ารีจิสเตอร์เลื่อนและจ่ายสัญญาณนาฬิกาเลื่อนข้อมูลจำนวน 8 บิตแทรกเข้าในสัญญาณวีดิทัศน์

เมื่อส่วนควบคุมได้รับสัญญาณ PBVF และเตรียมข้อมูลไว้ให้เรียบร้อยแล้ว จะกะเวลาให้วงจรประวิงเวลานับถึงศูนย์แล้วจึงโหลดค่าเวลาประวิงค่าใหม่ให้ เริ่มต้นวงรอบการทำงานของการแทรกกลุ่มข้อมูล BVF อีกครั้ง

4.1.7 ส่วนควบคุมการทำงาน

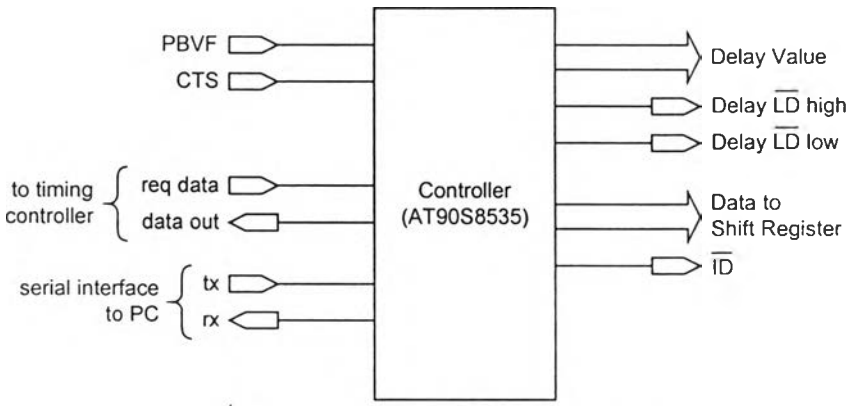
ส่วนควบคุมการทำงานทำหน้าที่หลัก 5 ประการคือ

1. สร้าง CW
2. กำเนิดลำดับสุ่มเทียมจาก CW ที่สร้างขึ้น เพื่อใช้เป็นพารามิเตอร์ของการสแครมเบิล
3. นำพารามิเตอร์ที่ได้ไปใช้ โดยส่งค่าที่ได้ไปยังส่วนต่างๆ ได้แก่ ส่วนควบคุมเวลา ส่วนประวิงเวลาแบบกำหนดค่าได้ และส่วนแทรกข้อมูล ประสานการทำงานให้เป็นไปอย่างราบรื่น

4. สร้างและส่งกลุ่มข้อมูล ECM เพื่อส่ง CW ให้แก่เครื่องรับปลายทางใช้ในการดีสแครมเบิล

5. ติดต่อกับซอฟต์แวร์จัดการระบบบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเพื่อรับคู่ Athorization Pair สำหรับใช้ส่งกลุ่มข้อมูล ECM และรับกลุ่มข้อมูล EMM เพื่อส่งต่อให้แก่เครื่องดีสแครมเบิล

ส่วนควบคุมการทำงานใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิตเบอร์ AT90S8535 มีสัญญาณควบคุมติดต่อกับส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แผนภาพบล็อกส่วนควบคุมการทำงาน

การทำงานภายในส่วนควบคุมขอกล่าวถึงเป็นหัวข้อๆ ดังนี้

4.1.7.1 **เมื่อเกิดการขัดจังหวะจากสัญญาณ PBVF**

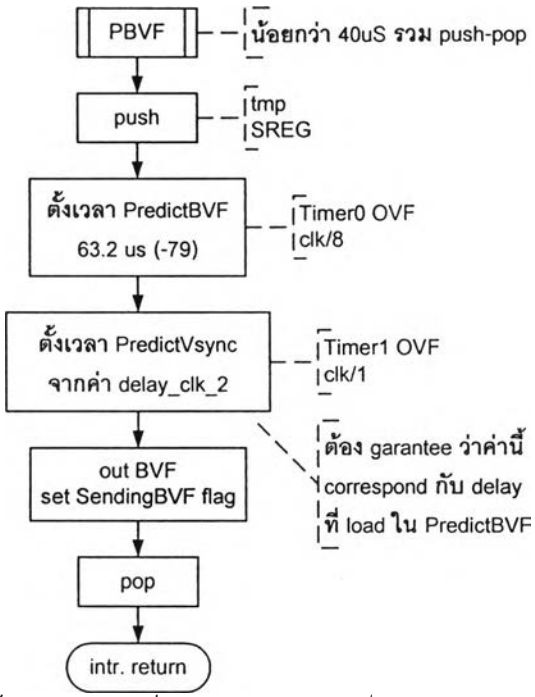
เมื่อมีสัญญาณ PBVF จากส่วนประวิงเวลาแบบกำหนดค่าได้เข้ามา แสดงว่าในอีก 1 เส้นภาพข้างหน้าหรือประมาณ 64 uS จะมีการแทรกกลุ่มข้อมูล BVF ตัวควบคุมจะทำงาน 3 อย่างคือ

1. ตั้งเวลาเพื่อให้เกิดการขัดจังหวะหลังจากมีการแทรกกลุ่มข้อมูล BVF ไปเล็กน้อย เมื่อถึงเวลานั้นจะเกิดการทำงานตาม*หัวข้อ 4.1.7.2 การขัดจังหวะเมื่อคาดว่าเลยการเกิดสัญญาณ BVF มาเล็กน้อย*

2. ตั้งเวลาเพื่อให้เกิดการขัดจังหวะเมื่อถึงตำแหน่งซิงก์ทางแนวตั้งของเฟรมถัดไป เมื่อถึงเวลานั้นจะเกิดการทำงานตาม*หัวข้อ 4.1.7.3 การขัดจังหวะเมื่อคาดว่าจะถึงตำแหน่งซิงก์ทางแนวตั้ง*

3. เซตแฟล็ก SendingBVF เพื่อป้องกันการแทรกข้อมูลอื่นระหว่างนี้

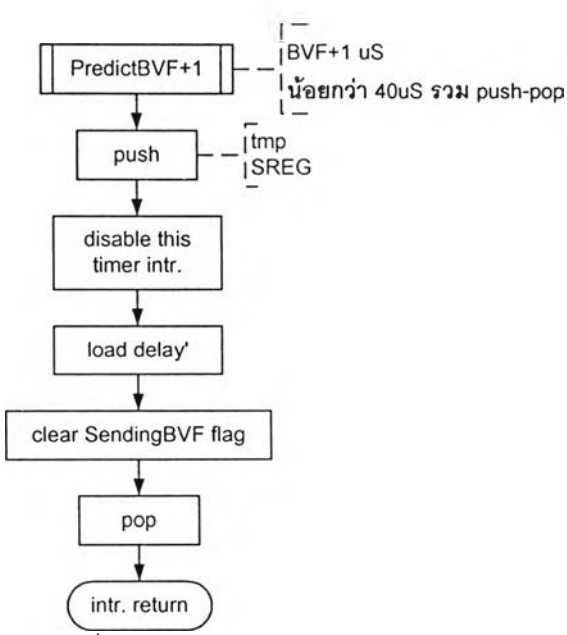
ผังงานของการขัดจังหวะนี้แสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ผังงานเมื่อเกิดการขัดจังหวะเนื่องจากสัญญาณ PBVF

4.1.7.2 <u>การขัดจังหวะเมื่อคาดว่าเลยการเกิดสัญญาณ BVF มาเล็กน้อย</u>

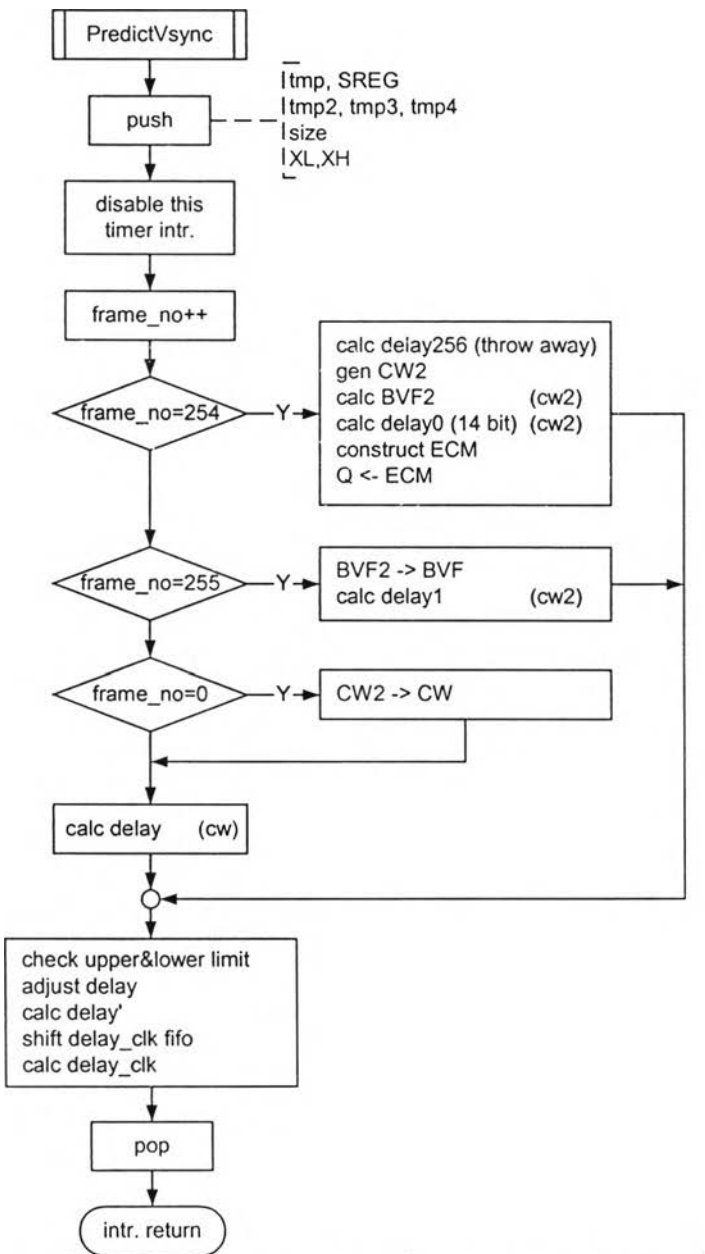
การขัดจังหวะนี้จะเกิดหลังจากได้มีการส่งกลุ่มข้อมูล BVF ไปแล้วสักครู่หนึ่ง งานหลักในส่วนนี้คือการป้อนค่าประวิงเวลาชุดใหม่ให้แก่ส่วนประวิงเวลาแบบกำหนดค่าได้ ค่าที่ป้อนให้คือค่าส่วนเติมเต็มของค่าเวลาประวิงของเส้นถัดไป (delay') ซึ่งได้ถูกคำนวณเก็บไว้ล่วงหน้าแล้วใน*หัวข้อ 4.1.7.3 การขัดจังหวะเมื่อคาดว่าจะถึงตำแหน่งซิงก์ทางแนวตั้ง* ผังงานแสดงการทำงานเมื่อเกิดการขัดจังหวะหลังการแทรกกลุ่มข้อมูล BVF ไปเล็กน้อยแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ผังงานเมื่อเกิดการขัดจังหวะหลังการแทรกกลุ่มข้อมูล BVF ไปเล็กน้อย

4.1.7.3 **<u>การขัดจังหวะเมื่อคาดว่าจะถึงตำแหน่งซิงก์ทางแนวตั้ง</u>**

งานที่ทำในส่วนนี้คืองานที่ทำที่ช่วงต้นของเฟรม (ดูรูปที่ 3.18 ประกอบ) งานที่จะต้องทำทุกเฟรมคือ กำเนิดเลขสุ่มสำหรับใช้เป็นค่าเวลาประวิง, ตรวจสอบขอบเขตบนและล่างของเลขที่สุ่มได้, ปรับเวลาประวิงไม่ให้ทับตำแหน่งเบิรสต์สีหรือทับสัญญาณภาพ, คำนวณค่าเติมเต็มของเวลาประวิง และคำนวณค่าเวลาที่ใช้สำหรับตั้งเวลาเพื่อให้เกิดการขัดจังหวะนี้ (delay_clk) เหตุผลที่ต้องคำนวณค่าเวลาที่ใช้สำหรับตั้งเวลาใหม่เนื่องจาก 1 หน่วยของค่าเวลาประวิงมีขนาดเท่ากับ 1 uS แต่ค่าที่จะใช้ตั้งเวลาภายในตัวควบคุม 1 หน่วยมีขนาด 800 nS ซึ่งมาจาก 8 clk ของการทำงานในไมโครคอนโทรลเลอร์ clk ละ 100 nS

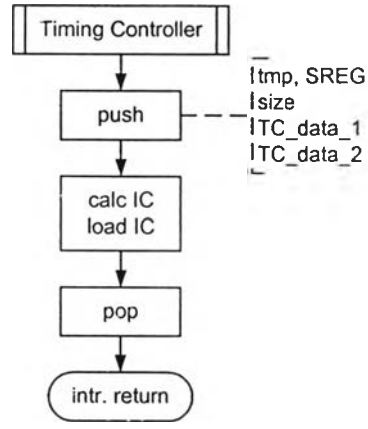


รูปที่ 4.12 ผังงานของการขัดจังหวะเมื่อคาดว่าถึงตำแหน่งซิงก์แนวตั้ง

ผังงานแสดงในรูปที่ 4.12 จะเห็นว่านอกเหนือจากงานที่ทำตามปกติแล้ว ในเฟรมที่ 254, 255 และเฟรมที่ 0 จะมีงานทำงานที่แตกต่างไป ส่วนที่แตกต่างไปนี้คือการเริ่มต้นใช้ลำดับสุ่มเทียมชุดใหม่ในขณะที่ยังต้องรักษาการทำงานของลำดับเดิมต่อไปจนหมดเฟรมที่ 255

4.1.7.4 การขัดจังหวะจากการร้องขอข้อมูลของส่วนควบคุมเวลา

การขัดจังหวะนี้เกิดขึ้นเมื่อส่วนควบคุมเวลาต้องการเลขสุ่มเพื่อไปควบคุมส่วนสแครมเบิลอีกทีหนึ่ง การทำงานในส่วนนี้เป็นไปอย่างตรงไปตรงมา กล่าวคือเมื่อได้รับการร้องขอ ส่วนควบคุมจะกำเนิดเลขสุ่มและส่งให้ส่วนควบคุมเวลาด้วยวิธีอนุกรม ผังงานแสดงในรูปที่ 4.13

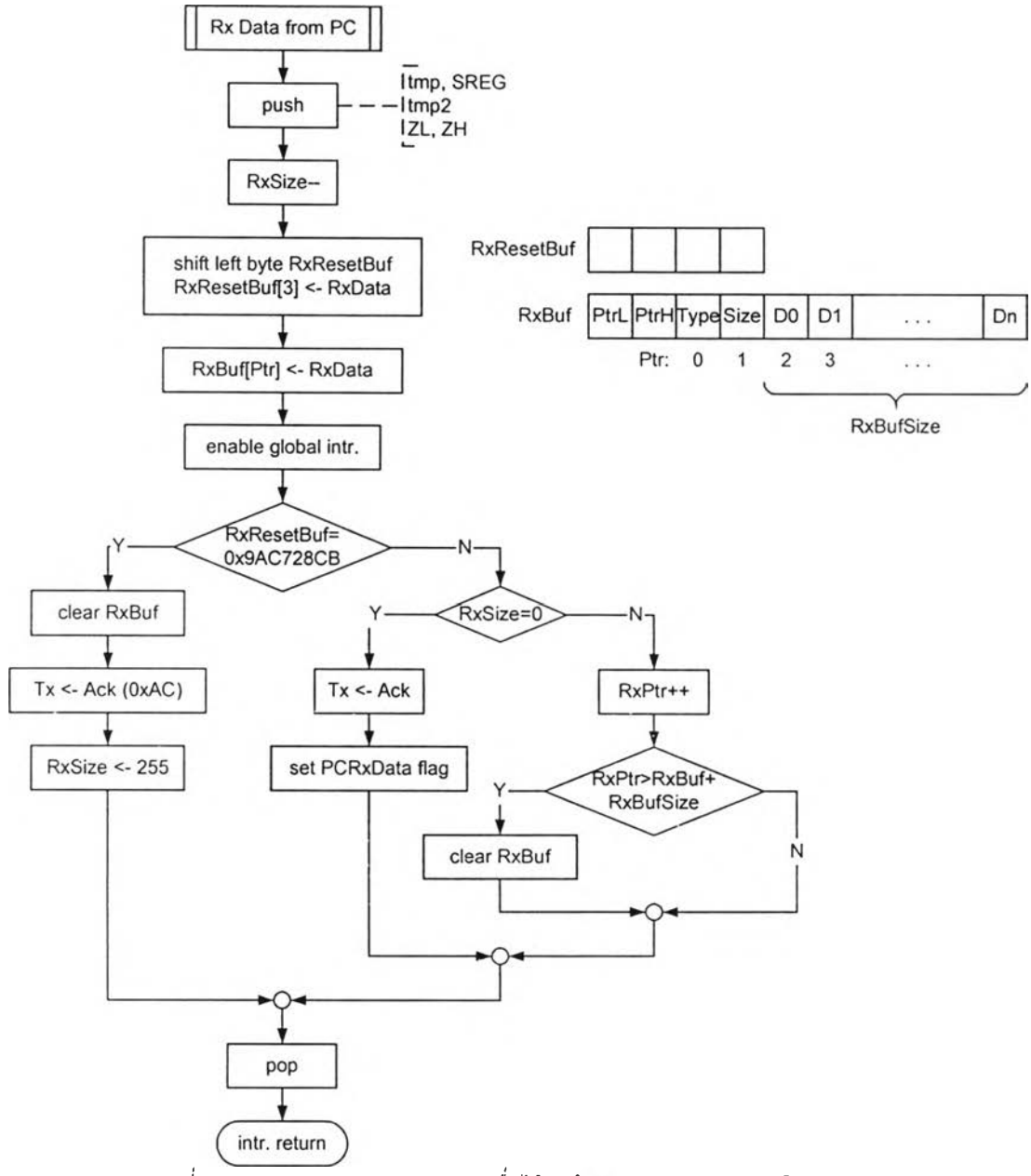


รูปที่ 4.13 ผังงานของการขัดจังหวะจากการร้องขอข้อมูลของส่วนควบคุมเวลา

4.1.7.5 การขัดจังหวะเมื่อได้รับข้อมูลจากเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

โปรโตคอลการติดต่อระหว่างเครื่องส่งและซอฟต์แวร์จัดการระบบมีหลักการคร่าวๆ คือ เมื่อซอฟต์แวร์ต้องการเริ่มส่งข้อมูล ให้ส่งรหัส "เริ่มต้นส่งข้อมูล" (send request) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าให้ส่งรหัสเริ่มใหม่ (reset) ให้แก่เครื่องส่งนั่นเอง ไม่ว่าขณะนั้นเครื่องส่งจะอยู่ในสถานะการรับข้อมูลใด เมื่อได้รับรหัสดังกล่าว จะเตรียมพร้อมรับข้อมูลใหม่โดยล้างบัฟเฟอร์รับข้อมูลและส่งสัญญาณตอบรับ (acknowledge) กลับมา จากนั้นซอฟต์แวร์จะส่งข้อมูลมาตามลำดับดังนี้ ชนิดของคำสั่ง, ขนาดข้อมูลที่จะส่งมา และข้อมูล เมื่อเครื่องส่งได้รับข้อมูลครบตามขนาดที่กำหนด จะส่งสัญญาณตอบรับมาให้อีกครั้งหนึ่ง รายละเอียดเพิ่มเติมของโปรโตคอลนี้ดูได้จาก*หัวข้อ 4.3.2 การติดต่อกับเครื่องส่ง*

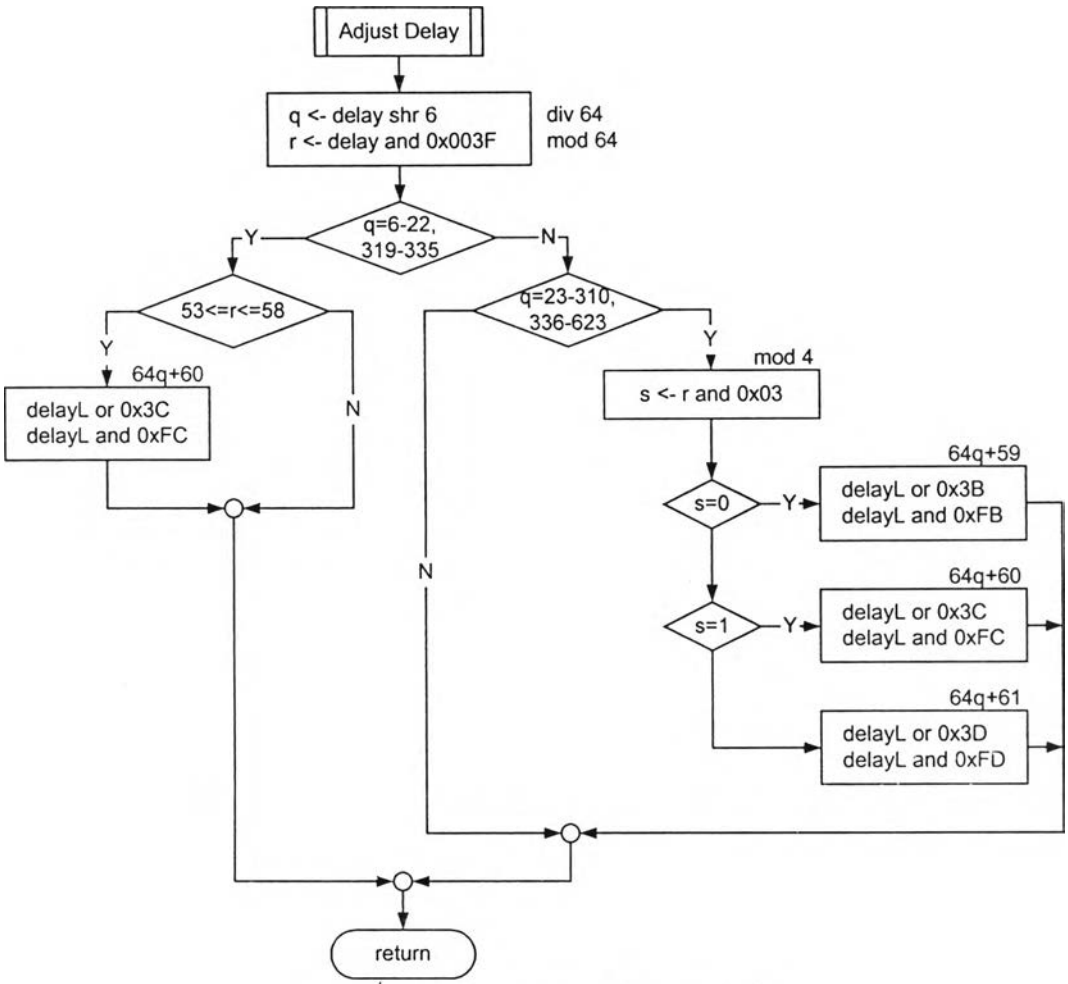
การทำงานในส่วนรับข้อมูลนี้มีหลักการคือ ข้อมูลที่รับเข้ามาจะถูกเก็บเข้าบัฟเฟอร์พร้อมทั้งนับขนาดไปด้วย ขณะเดียวกันก็จะจำข้อมูล 4 ไบต์สุดท้ายไว้เพื่อเปรียบเทียบกับรหัส "เริ่มต้นส่งข้อมูล" ถ้าพบจะล้างบัฟเฟอร์และส่งสัญญาณตอบรับกลับไป หรือถ้าพบว่าได้รับข้อมูลครบตามจำนวนที่ซอฟต์แวร์แจ้งมาแล้ว จะส่งสัญญาณตอบรับกลับไปเช่นกัน แต่ในกรณีหลังจะเซตแฟล็ก PCRxData เพื่อบอกแก่โปรแกรมหลักให้นำข้อมูลที่รับมาได้ไปประมวลผลต่อไป ผังงานแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ผังงานของการขัดจังหวะเมื่อได้รับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

4.1.7.6 **โปรแกรมย่อยสำหรับปรับค่าเวลาประวิง**

การปรับค่าเวลาประวิงเพื่อไม่ให้กลุ่มข้อมูล BVF แทรกลงไปทับเบิรสต์สีหรือทับสัญญาณภาพตามที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ *3.2.3.1 การส่งกลุ่มข้อมูล BVF* ได้ถูกนำมารวมเป็นผังงานในรูปที่ 4.15 นี้



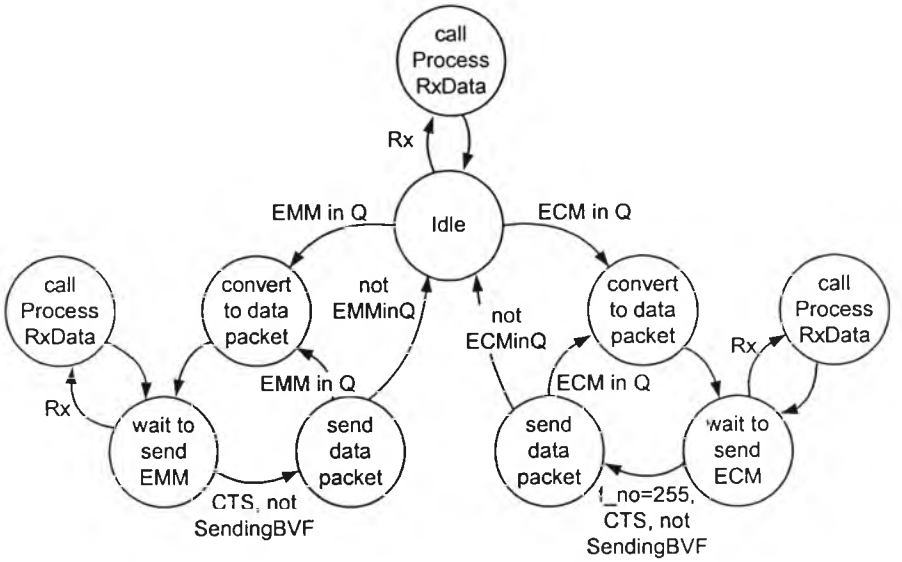
รูปที่ 4.15 ผังงานของการปรับค่าเวลาประวิง

4.1.7.7 **<u>แผนภาพสเตตของโปรแกรมหลัก</u>**

งานที่อยู่โปรแกรมหลักเป็นงานที่รอได้ ไม่ต้องรีบทำทันทีที่เกิดเหตุการณ์ขึ้น งานเหล่านี้ได้แก่ การแบ่งกลุ่มข้อมูลระดับบนออกเป็นส่วนๆ เพื่อบรรจุลงในส่วนสัมภาระของกลุ่มข้อมูล Data Packet, งานรอและส่งกลุ่มข้อมูล Data Packet เมื่อถึงจังหวะเวลาที่เหมาะสม และงานประมวลผลข้อมูลที่รับจากซอฟต์แวร์จัดการระบบ

แผนภาพสเตตของโปรแกรมหลักแสดงในรูปที่ 4.16 ขณะรอไม่มีงานเข้ามา การทำงานจะอยู่ที่สเตต Idle เมื่อมีงานใดเข้ามาในคิว จะกระโดดไปทำงานนั้น เช่น เมื่อมีกลุ่มข้อมูล ECM เข้ามา จะจัดแบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็นส่วนๆ โดยดึงส่วนแรกมาสร้างเป็นกลุ่มข้อมูล Data Packet จากนั้นรอเงื่อนไขที่จะส่งได้แก่ เมื่อถึงเฟรมที่ 255, มีสัญญาณ CTS และไม่มีกลุ่มข้อมูล BVF ที่จะถูกส่งในเวลาอันใกล้ จึงจะส่งกลุ่มข้อมูล Data Packet ออกไป เมื่อส่งแล้วจะตรวจสอบว่าได้ส่งกลุ่มข้อมูล ECM ที่แบ่งออกเป็นส่วนๆ ครบทุกส่วนหรือยัง ถ้ายังจะทำซ้ำจนกว่าจะหมด ถ้าครบแล้วจะกลับมาที่สเตต Idle

ในกรณีของกลุ่มข้อมูล EMM ก็จะมีลักษณะเช่นเดียวกันกับของกลุ่มข้อมูล ECM ต่างกันที่เงื่อนไขของการส่ง ไม่จำเป็นที่จะต้องส่งที่เฟรมที่ 255 จะส่งที่เฟรมใดก็ได้

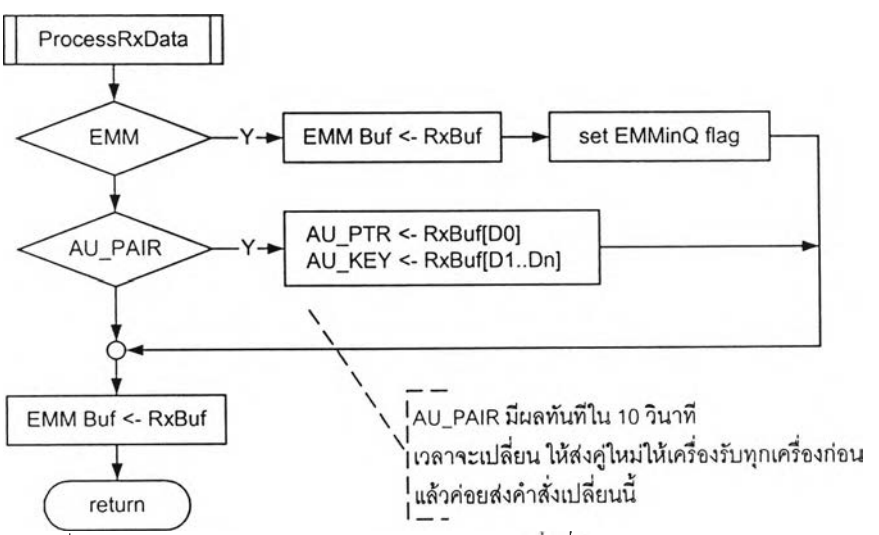


รูปที่ 4.16 แผนภาพสเตตของโปรแกรมหลัก

ถ้ามีข้อมูลที่รับมาจากซอฟต์แวร์จัดการระบบเข้ามา (Rx) ขณะที่รอการทำงานอยู่ จะกระโดดไปประมวลผลข้อมูลนั้นตามหัวข้อ *4.1.7.8 โปรแกรมย่อยสำหรับทำงานตามคำสั่งจากซอฟต์แวร์จัดการระบบ*

4.1.7.8 โปรแกรมย่อยสำหรับทำงานตามคำสั่งจากซอฟต์แวร์จัดการระบบ

เมื่อได้รับข้อมูลจากซอฟต์แวร์จัดการระบบเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการตีความคำสั่งที่ได้รับและทำตามคำสั่งนั้น ผังงานในรูปที่ 4.17 แสดงการทำงานในส่วนนี้ ตัวควบคุมจะตรวจสอบข้อมูลในไบต์ Type ที่ได้รับมา ถ้าเป็น EMM หมายถึงข้อมูลที่ส่งมาให้เป็นกลุ่มข้อมูล EMM ให้เครื่องส่งจัดการแทรกกลุ่มข้อมูลนี้ลงในสัญญาณวีดิทัศน์ หรือถ้าคำสั่งที่ได้รับมาเป็น Au_Pair หมายความว่าให้เครื่องส่งเปลี่ยนไปใช้กุญแจเข้ารหัสลับตัวใหม่นี้ในการส่งกลุ่มข้อมูล ECM

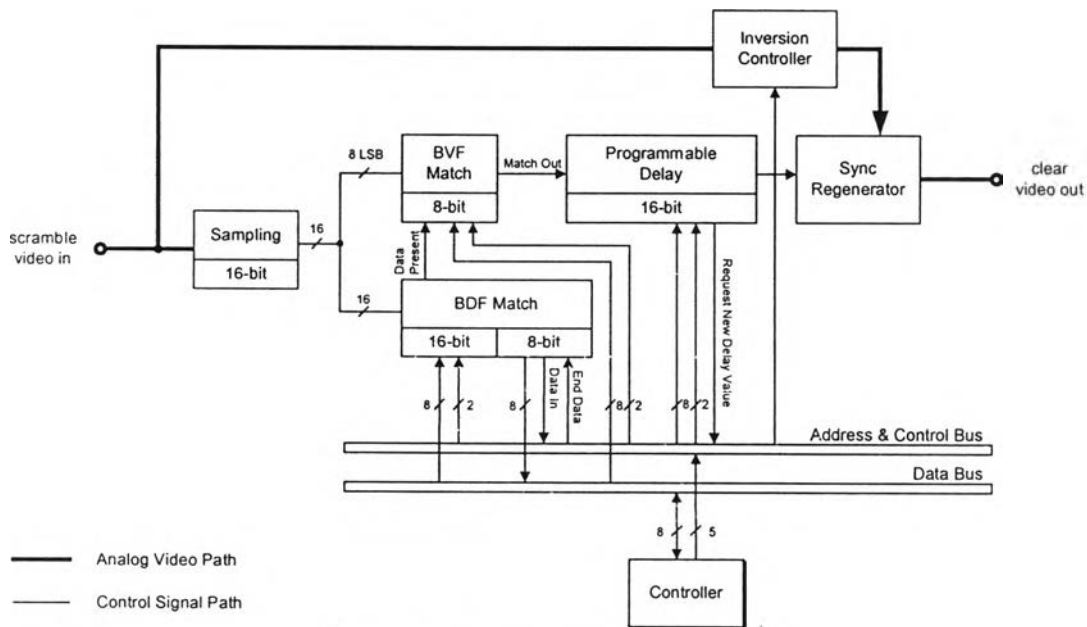


รูปที่ 4.17 ผังงานของโปรแกรมย่อยประมวลผลคำสั่งที่รับจากซอฟต์แวร์จัดการระบบ

4.2 เครื่องรับ

เครื่องรับหรือเครื่องดีสแครมเบิลทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณวีดิทัศน์ให้กลับมารับชมได้ด้วยเครื่องรับโทรทัศน์ตามปกติโดยรับสัญญาณวีดิทัศน์ที่ผ่านการสแครมเบิลเข้ามาแล้วพยายามดึงข้อมูลการเข้าถึงอย่างมีเงื่อนไขที่แทรกอยู่ออกมา แล้วใช้ข้อมูลที่ได้นั้นเพื่อทำสัญญาณวีดิทัศน์ให้กลับเป็นปกติ รายละเอียดของการทำงานขอแยกอธิบายเป็นส่วนๆ ดังนี้

4.2.1 แผนภาพบล็อก



รูปที่ 4.18 แผนภาพบล็อกการทำงานของเครื่องรับ

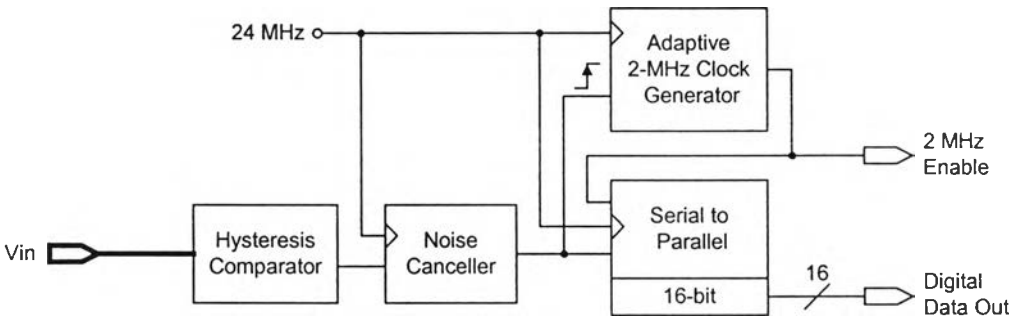
แผนภาพการทำงานโดยรวมของเครื่องรับแสดงไว้ในรูปที่ 4.18 สัญญาณวีดิทัศน์ที่ถูกสแครมเบิลเมื่อเข้ามาจะถูกชักตัวอย่างด้วยความถี่ 2 MHz เพื่อนำไปหาแบบรูป (pattern) ที่ตรงกัน วงจรตรวจหาแบบรูปมี 2 วงจร คือวงจร BVF Match และ BDF Match สำหรับตรวจหากลุ่มข้อมูล BVF และกลุ่มข้อมูล Data Packet ตามลำดับ

เมื่อตรวจพบกลุ่มข้อมูล BVF วงจรจะส่งสัญญาณเริ่มนับให้แก่วงจรประวิงเวลาเพื่อเริ่มนับเวลาตามที่ส่วนควบคุมส่งมาให้ไว้แล้วล่วงหน้า เมื่อเวลาถูกนับมาถึงศูนย์วงจรประวิงเวลาจะส่งสัญญาณเริ่มใหม่ (reset) ให้แก่วงจรแทรกซิงก์ (Sync Regenerator) เพื่อให้วงจรแทรกสัญญาณซิงโครไนซ์ลงไปในตำแหน่งที่ถูกต้อง

ในกรณีที่ตรวจพบกลุ่มข้อมูล Data Packet วงจรจะส่งสัญญาณแจ้งให้ส่วนควบคุมทราบว่ามี Data Packet เข้ามา และจะแลตช์ข้อมูลที่เข้ามาเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ทุกๆ 8 บิต เมื่อส่วนควบคุมได้รับสัญญาณแจ้ง จะนับเวลาและอ่านข้อมูลออกไปทีละไบต์ทุกๆ 4 uS จนกว่าจะครบตามขนาดของกลุ่มข้อมูล Data Packet เมื่อครบส่วนควบคุมก็จะส่งสัญญาณหมดข้อมูลมาให้

แบบรูปของกลุ่มข้อมูล BVF และแบบรูป BDF (Begin Data Frame) สามารถเปลี่ยนได้โดยส่วนควบคุมจะโหลดค่าที่ต้องการมาให้

4.2.2 ส่วนชักตัวอย่าง (Sampling)



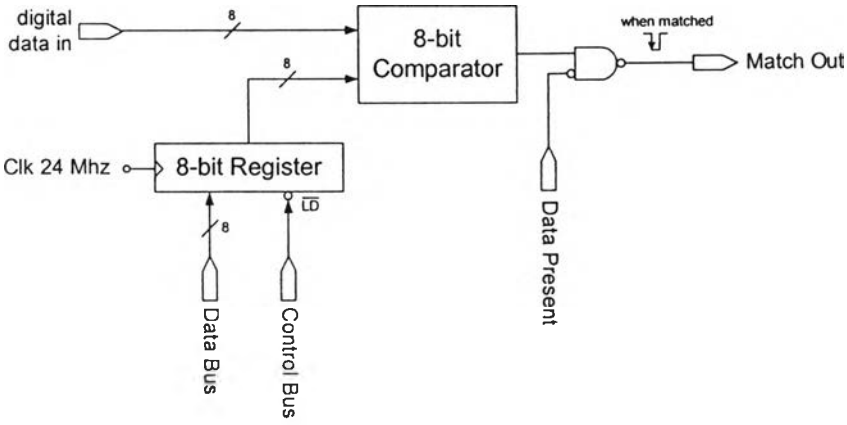
รูปที่ 4.19 แผนภาพบล็อกส่วนชักตัวอย่าง

ส่วนชักตัวอย่างมีแผนภาพบล็อกการทำงานตามรูปที่ 4.19 สัญญาณวีดิทัศน์ที่ผ่านการสแครมเบิลจะถูกตัดสัญญาณให้เป็นบิต "1" เมื่อมีระดับแรงดันสูงกว่า 2.1 V และเป็นบิต "0" เมื่อต่ำกว่า 1.2 V โดยวงจรเปรียบเทียบแบบฮีสเตอริซีส การตัดสัญญาณด้วยวิธีนี้เป็นการลดอัตราการซ้ำของแบบรูปที่เกิดขึ้นระหว่างแบบรูปของกลุ่มข้อมูลที่เครื่องส่งแทรกมากับแบบรูปที่เกิดจากการตัดสัญญาณถ้าใช้วิธีการตัดแบบธรรมดาที่ระดับแรงดันกึ่งกลางคือ 1.65 V ผลจากวงจรเปรียบเทียบจะถูกกรองความถี่สูงออกด้วยการชักตัวอย่างที่ความถี่ 24 MHz แต่ผลที่ขาออกของวงจรเกิดจากการ "และ" กันของตัวอย่าง 3 ตัวที่ติดกัน

วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา 2 MHz ได้จากการหารความถี่ 24 MHz ด้วย 12 แต่มีลักษณะพิเศษคือขอบของสัญญาณนาฬิกา 2 MHz จะเกิดขึ้นที่บริเวณกึ่งกลางของบิตข้อมูลเพื่อให้การชักตัวอย่างของวงจรเปลี่ยนข้อมูลอนุกรมเป็นขนานชักตัวอย่างที่กึ่งกลางบิตข้อมูลพอดี การกำหนดให้เกิดขอบสัญญาณนาฬิกาที่กึ่งกลางบิตข้อมูลอาศัยขอบขาขึ้นของข้อมูลมาพิจารณาในวงจรหารด้วย เมื่อพบขอบขาขึ้นวงจรหารซึ่งก็คือวงจรนับ 12 จะเริ่มใหม่ด้วยตัวเองมาอยู่ที่ 0 ขอบขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกา 2 MHz ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เกิดการชักตัวอย่างจะถูกกำหนดให้เกิดขึ้นเมื่อวงจรหารนับถึง 6 ซึ่งเป็นตำแหน่งกึ่งกลางของบิตข้อมูล สัญญาณนาฬิกา 2 MHz นี้ยังถูกส่งออกไปเพื่อใช้ในส่วนอื่นๆ ของเครื่องรับด้วย ข้อมูลขนานขนาด 16 บิตถูกส่งออกไปให้ส่วนตรวจหาแบบรูปทั้งสอง

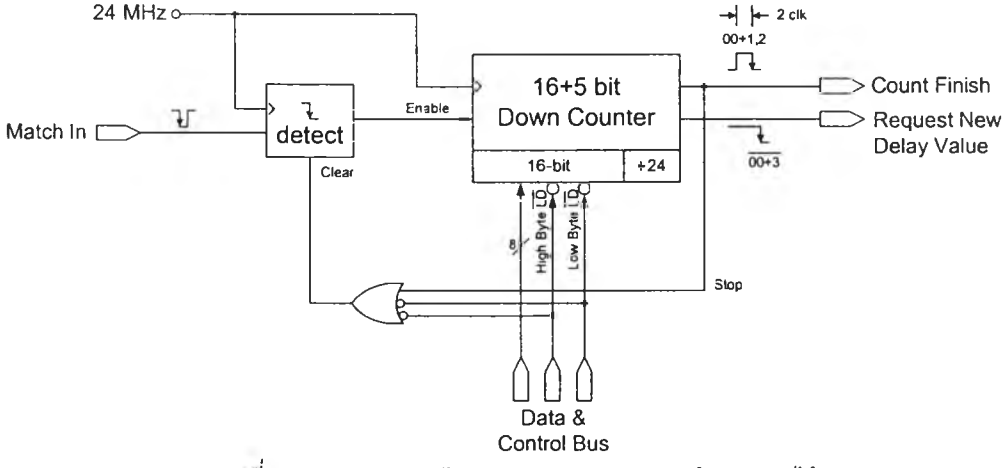
4.2.3 ส่วนตรวจจับกลุ่มข้อมูล BVF

ส่วนตรวจจับกลุ่มข้อมูล BVF จะตรวจหาแบบรูปของกลุ่มข้อมูล BVF ที่อยู่ในสัญญาณวีดิทัศน์โดยเปรียบเทียบข้อมูลดิจิตอล 8 บิตที่มีนัยสำคัญต่ำจากส่วนชักตัวอย่างกับแบบรูป 8 บิตที่ต้องการหาซึ่งเก็บอยู่ในรีจิสเตอร์ ส่วนควบคุมเป็นผู้ส่งแบบรูปที่ต้องการหามาให้ (รูปที่ 4.20) ผลของการเปรียบเทียบถ้าตรงกันจะให้พัลส์ขนาดความกว้าง 2 MHz ออกมา แต่ทั้งนี้ต้องไม่เป็นช่วงเวลาที่กำลังมีกลุ่มข้อมูล Data Packet เข้ามา ขาสัญญาณกำลังมีกลุ่มข้อมูล Data Packet (Data Present) จะเป็น "1"



รูปที่ 4.20 แผนภาพส่วนตรวจจับกลุ่มข้อมูล BVF

4.2.4 ส่วนประวิงเวลาแบบกำหนดค่าได้ (Programmable Delay)



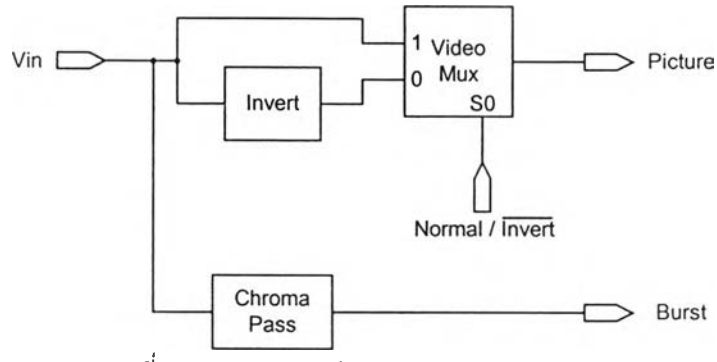
รูปที่ 4.21 แผนภาพบล็อกส่วนประวิงเวลาแบบกำหนดค่าได้

ส่วนประวิงเวลาแบบกำหนดค่าได้นี้เป็นส่วนที่ทำงานต่อเนื่องจากส่วนตรวจจับกลุ่มข้อมูล BVF แผนภาพบล็อกการทำงานแสดงในรูปที่ 4.21 เมื่อได้รับขอบขาลงจากส่วนตรวจจับกลุ่มข้อมูล BVF วงจรนับลงขนาด 16+5 บิตจะเริ่มทำงาน นับค่าเวลาประวิงขนาด 16 บิตที่อยู่ในรีจิสเตอร์ซึ่งส่วนควบคุมส่งมาให้ไว้ล่วงหน้าแล้ว การนับจะนับด้วยสัญญาณนาฬิกาความถี่ 1 MHz ที่ได้จากวงจรนับขนาด 5 บิตที่จะหารสัญญาณนาฬิกา 24 MHz ของระบบด้วย 24

เมื่อนับลงมาถึงศูนย์ จะกำเนิดสัญญาณพัลส์นับเสร็จ (Count Finish) ส่งให้ส่วนแทรกซิงก์ต่อไป และสัญญาณนี้จะส่งมาเป็นสัญญาณเริ่มใหม่ให้แก่วงจรตรวจสอบขอบขาลงให้พร้อมที่จะรับขอบขาลงอันต่อไป หลังจากนั้นเล็กน้อยวงจรนับจะให้ขอบขาลงส่งให้ส่วนควบคุมเพื่อร้องขอค่าเวลาประวิงค่าต่อไป ในขณะที่ส่วนควบคุมโหลดค่าเวลาประวิงไม่ว่าจะเป็นไบต์ต่ำหรือไบต์สูงจะเกิดสัญญาณเริ่มใหม่ให้แก่วงจรตรวจจับขอบขาลงด้วยเพื่อให้พร้อมที่จะรับขอบขาลงที่จะเข้ามาถึงอันต่อไป

4.2.5 ส่วนกลับสัญญาณภาพ (Inversion Controller)

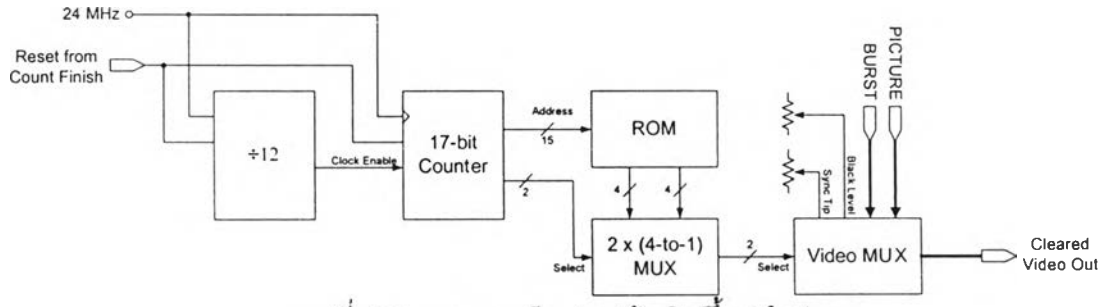
ส่วนกลับสัญญาณภาพมีแผนภาพบล็อกการทำงานดังรูปที่ 4.22 สัญญาณวีดิทัศน์ที่ถูกสแครมเบิลโดยการกลับสัญญาณภาพแบบสุ่ม เส้นภาพที่ถูกกลับสัญญาณมาจะถูกกลับอีกครั้งหนึ่ง ส่วนควบคุมเป็นผู้ป้อนสัญญาณควบคุมการกลับสัญญาณภาพให้แก่ตัวมัลติเพลกซ์สัญญาณวีดิทัศน์ สัญญาณภาพที่ออกจากตัวมัลติเพลกซ์สัญญาณวีดิทัศน์จะเป็นสัญญาณภาพปกติทุกเส้นส่งต่อไปยังส่วนสร้างซิงก์ขึ้นมาใหม่เพื่อแทรกสัญญาณซิงโครไนซ์กลับคืนแก่สัญญาณวีดิทัศน์



รูปที่ 4.22 แผนภาพบล็อกส่วนกลับสัญญาณภาพ

ในอีกเส้นทางหนึ่ง สัญญาณวีดิทัศน์ที่เข้ามาจะผ่านวงจรกรองผ่านความถี่เบิรสต์ 4.43 MHz และบวกระดับแรงดันไฟตรงให้เป็นระดับสีดำ ส่งต่อให้ส่วนสร้างซิงก์ขึ้นมาใหม่เพื่อใช้เป็นเบิรสต์สีที่ระดับแรงดันไฟตรงที่ถูกต้อง

4.2.6 ส่วนสร้างซิงก์ขึ้นมาใหม่ (Sync Regenerator)



รูปที่ 4.23 แผนภาพบล็อกส่วนสร้างซิงก์ขึ้นมาใหม่

ส่วนสร้างซิงก์ขึ้นมาใหม่มีแผนภาพการทำงานดังรูปที่ 4.23 เป็นส่วนที่ทำงานต่อเนื่องจากส่วนประวิงเวลาแบบกำหนดค่าได้ หลักการของการสร้างซิงก์ขึ้นมาใหม่คือการใช้วงจรนับ นับแอดเดรส (address) ของรอม (ROM) ตั้งแต่ต้นจนจบ แล้ววนกลับมาใหม่เป็นเช่นนี้เรื่อยไป สัญญาณเริ่มใหม่จากส่วนประวิงเวลาแบบกำหนดค่าได้จะทำให้วงจรนับเริ่มต้นที่ศูนย์ มีผลให้แบบรูปของสัญญาณซิงโครไนซ์ที่สร้างออกมาที่ขาข้อมูลออกอยู่ที่ตำแหน่งเริ่มต้นของเฟรม วงจรนับถึงแม้จะมีสัญญาณนาฬิกาที่แม่นยำ แต่ก็เป็นไปไม่ได้ที่จะลงตัวกับระยะเวลา 1 เฟรมของสัญญาณวีดิโอที่ถูกสร้างขึ้นโดยระบบอื่น แม้จะใช้มาตรฐาน PAL เหมือนกันก็ตาม จะมีการขยับเลื่อน (drift) อยู่เสมอ สัญญาณนับเสร็จจากส่วนประวิงเวลาจะคอยปรับความแตกต่างนี้ให้ถูกต้องอยู่เสมอ

และถึงแม้จะเกิดความผิดพลาด ตรวจไม่พบกลุ่มข้อมูล BVF ไปบ้าง การทำงานยังคงเป็นไปได้อย่างราบรื่นไม่ทำให้ภาพล้มเพราะวงจรนับยังคงวนกลับเริ่มมานับใหม่ทุกครั้งที่นับถึงค่าสุดท้าย

ข้อมูลที่ได้จากรอมแต่ละไบต์ จะถูกนำมาพิจารณาทีละ 2 บิตซึ่งสามารถแทนได้ 4 ความหมายตามตารางที่ 4.1 ข้อมูล 2 บิตนี้จะถูกส่งให้ไปตัวมัลติเพลกซ์สัญญาณวีดิโอ (video mux) เพื่อเลือกสัญญาณที่จะให้เป็นข้อมูลขาออก

ตารางที่ 4.1 ความหมายของข้อมูลขนาด 2 บิตที่เก็บในรอม

สัญลักษณ์ (เลขฐานสอง)	ความหมาย
00	ระดับยอดซิงก์ (sync tip)
01	ระดับสีดำ
10	ช่วงที่เป็นเบิรสต์สี
11	ช่วงที่เป็นสัญญาณภาพ

ถ้าแบ่งสัญญาณวีดิทัศน์ออกเป็นช่วงๆ ตามประเภทของลักษณะสัญญาณในตารางที่ 4.1 จะได้เวลาในแต่ละช่วงออกมา เช่น ช่วงยอดซิงก์มีระยะเวลา 4.8 uS, ช่วงระดับสีดำก่อนเบิรสต์สีมีระยะเวลา 0.8 uS และช่วงที่เป็นเบิรสต์สีมีระยะเวลา 2.4 uS เป็นต้น เมื่อหาคาบเวลาที่ยาวที่สุดที่หารทุกช่วงเวลาลงตัว (หารร่วมมาก) จะได้คาบเวลามีค่าเป็น 0.8 uS หรือคิดเป็นความถี่ได้ 1.25 MHz แต่การหารความถี่ 24 MHz ให้เป็น 1.25 MHz ทำได้ลำบากจึงยอมให้มีความผิดพลาดบ้างเล็กน้อยแต่ยังสามารถทำงานได้ โดยแบ่งเวลาใน 1 เส้นภาพออกเป็นท่อน ท่อนละ 0.5 uS หรือใช้ความถี่สัญญาณนาฬิกาขนาด 2 MHz แทนสำหรับนับรอม คำนวณหาขนาดของรอมที่ต้องใช้ดังนี้

จำนวนบิตที่ใช้ = ระยะเวลา 1 เฟรม x ความถี่สัญญาณนาฬิกา
x จำนวนบิตที่ใช้ต่อข้อมูล 1 ชุด
= (40 ms) x (2 MHz) x 2
= 160,000 บิต

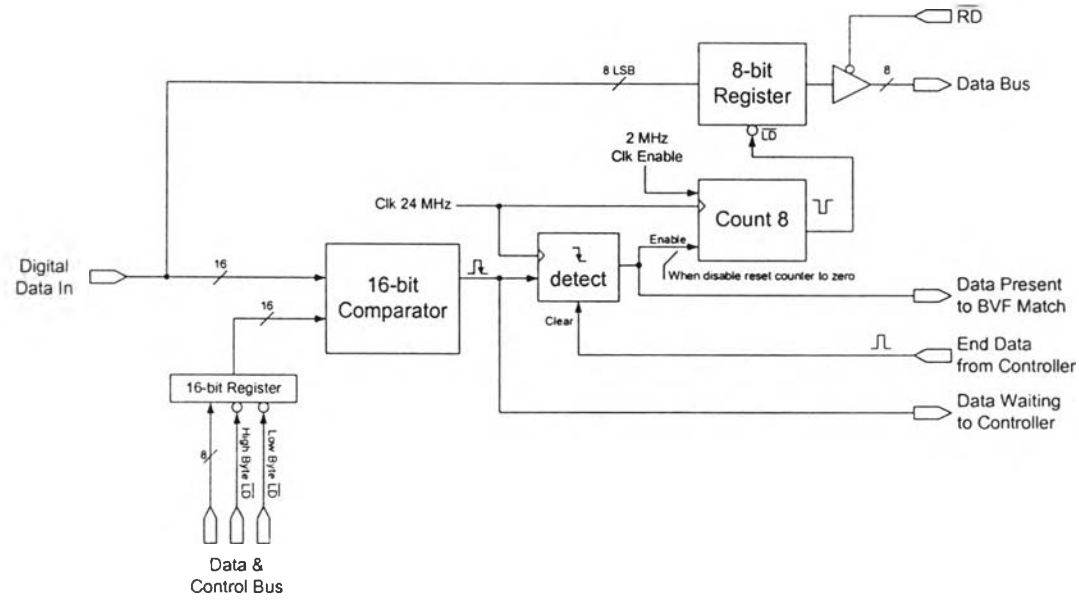
คิดเป็นจำนวนไบต์ได้ = 160,000 / 8
= 20,000 ไบต์

จึงใช้รอมขนาด 32 กิโลไบต์สำหรับเก็บข้อมูล โดยแต่ละไบต์ซึ่งมี 8 บิต ใช้เก็บข้อมูล 4 ชุด ชุดละ 2 บิต วงจรนับใช้นับจำนวนชุดของข้อมูลที่มีคือ 80,000 ชุด จึงใช้วงจรนับขนาด 17 บิต โดย 2 บิตที่มีนัยสำคัญต่ำใช้ป้อนให้แก่ตัวมัลติเพลกซ์เพื่อเลือกชุดข้อมูล 1 ชุดจาก 4 ชุดของ 1 ไบต์

4.2.7 ส่วนตรวจจับกลุ่มข้อมูล BDF

แผนภาพการทำงานของส่วนตรวจจับข้อมูลแสดงในรูปที่ 4.24 มีหลักการทำงานในส่วนเปรียบเทียบเช่นเดียวกับใน*หัวข้อ 4.2.3 ส่วนตรวจจับกลุ่มข้อมูล BVF* แต่จะใช้จำนวนบิตเปรียบเทียบมากกว่า คือใช้ 16 บิต เมื่อวงจรเปรียบเทียบตรวจพบแบบรูปที่ต้องการจะให้สัญญาณพัลส์ไปบอกส่วนควบคุมว่ามีข้อมูลรออยู่ (Data

Waiting) ให้อ่านข้อมูลขึ้นไปได้ ขณะเดียวกันพัลส์นี้จะถูกตรวจจับโดยวงจรตรวจจับขอบขาลง กำเนิดสัญญาณให้ทำงานให้แก่วงจรนับแปด วงจรนับแปดจะให้พัลส์ไปโหลดค่าข้อมูลมาเก็บไว้ทุกๆ 8 บิตเพื่อรอให้ส่วนควบคุมมาอ่านค่าไป ส่วนควบคุมจะกะเวลาจากพัลส์ที่บอกว่ามีข้อมูลรออยู่และอ่านค่าไปเองทุกๆ 8 บิตโดยไม่ต้องมีสัญญาณไปบอกในทุกๆ ไบต์ เมื่อส่วนควบคุมได้รับข้อมูลครบตามจำนวนไบต์ที่ต้องการแล้ว จะส่งสัญญาณได้ข้อมูลครบแล้ว (End Data) มาให้วงจรตรวจจับขอบเพื่อยกเลิกสัญญาณให้ทำงาน (enable)



รูปที่ 4.24 แผนภาพบล็อกส่วนตรวจจับกลุ่มข้อมูล BDF

สัญญาณให้ทำงานจากวงจรตรวจจับขอบยังส่งไปยังส่วนตรวจจับกลุ่มข้อมูล BVF ด้วย (Data Present) เพื่อป้องกันไม่ให้เข้าใจผิดว่าข้อมูลในกลุ่มข้อมูล Data Packet ที่มีแบบรูปเหมือนกับกลุ่มข้อมูล BVF เป็นกลุ่มข้อมูล BVF

4.2.8 ส่วนควบคุมการทำงาน

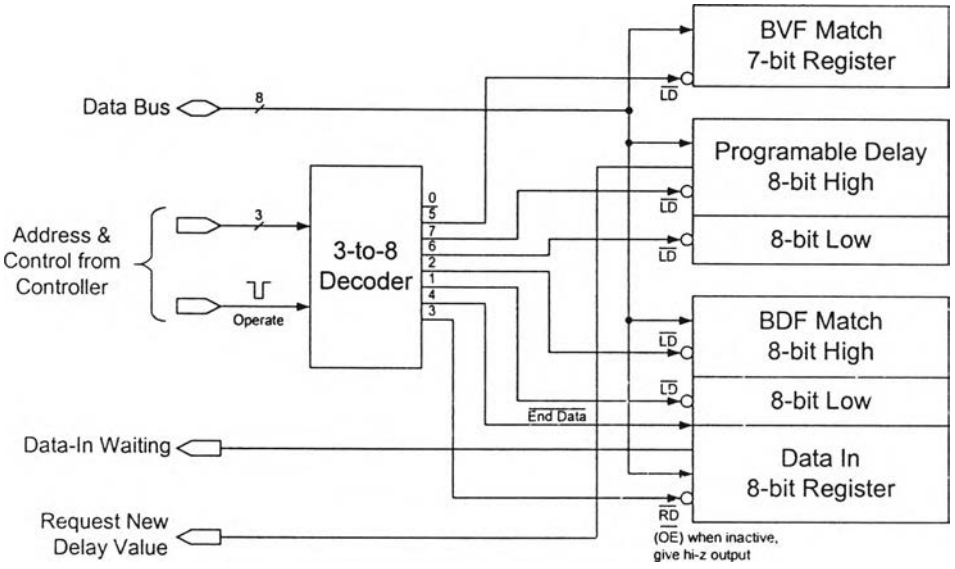
ส่วนควบคุมการทำงานใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8 บิต เบอร์ AT90S8535 ไมโครคอนโทรเลอร์ทำหน้าที่หลัก 3 ประการคือ

1. รับข้อมูล Data Packet จากส่วนตรวจจับกลุ่มข้อมูล BDF แล้วนำมาแยกแยะว่าเป็นกลุ่มข้อมูลชนิดใด ECM หรือ EMM แล้วทำงานตามชนิดของกลุ่มข้อมูลนั้น
2. กำเนิดลำดับสุ่มเทียมจาก CW ที่ได้รับมาจากกลุ่มข้อมูล ECM
3. นำเลขสุ่มที่กำเนิดได้ไปใช้ควมคุมการดีสแครมเบิลโดยส่งค่าเหล่านี้ให้แก่ส่วนประวิงเวลาแบบกำหนดค่าได้และส่วนควบคุมการกลับสัญญาณภาพ

การติดต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และส่วนต่างๆ ของเครื่องรับแสดงในรูปที่ 4.25 เพื่อให้เข้าใจการทำงานดียิ่งขึ้นจะขอยกตัวอย่างการส่งค่าเวลาประวิงไบต์ต่ำให้แก่ส่วนประวิงเวลาแบบกำหนดค่าได้ดังนี้ เริ่มต้นด้วยตัวควบคุมส่งค่าเวลาประวิงไบต์ต่ำที่ต้องการส่งมาบนบัสข้อมูล (data bus) จากนั้นส่งรหัสคำสั่ง 6 หรือ

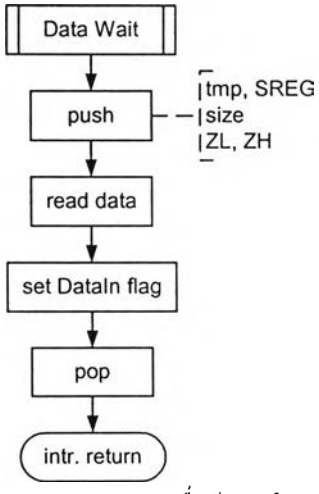
110_2 ให้แก่ตัวถอดรหัส (decoder) และสุดท้ายส่งพัลส์ลบให้แก่ตัวถอดรหัสเพื่อส่งคำสั่งเขียนไปยังรีจิสเตอร์เวลาประวิงไบต์ต่ำ เป็นอันสิ้นสุดการทำงาน

การทำงานในส่วนควบคุมของเครื่องรับประกอบด้วยการตอบสนองการขัดจังหวะ 3 อย่าง และการทำงานในส่วนโปรแกรมหลักแบบเครื่องจักรสเตต (state machine) การขัดจังหวะทั้ง 3 อย่างได้แก่ การขัดจังหวะเมื่อมีกลุ่มข้อมูล Data Packet เข้ามา, การขัดจังหวะเมื่อส่วนประวิงเวลาแบบกำหนดค่าได้ร้องขอค่าเวลาประวิงค่าต่อไป และการขัดจังหวะจากตัวตั้งเวลาเพื่อนับเส้นภาพ รายละเอียดการทำงานทั้ง 4 ส่วนมีดังนี้



รูปที่ 4.25 แผนภาพการส่งสัญญาณควบคุม

4.2.8.1 <u>การขัดจังหวะเมื่อมีกลุ่มข้อมูล Data Packet เข้ามา</u>

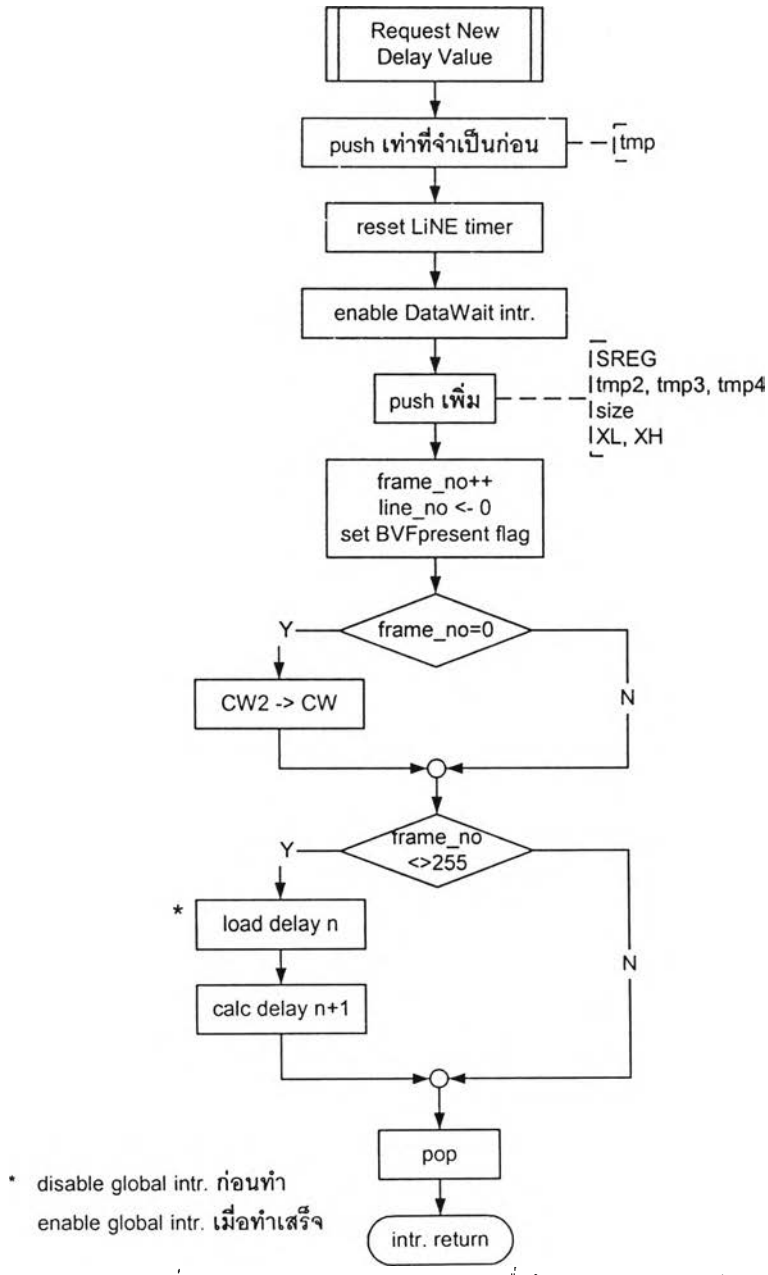


รูปที่ 4.26 ผังงานของการขัดจังหวะเมื่อมีกลุ่มข้อมูล Data Packet เข้ามา

การทำงานในส่วนนี้ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญที่สุด จะต้องได้รับการตอบสนองอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลาไม่เกิน 3 uS หรือสามารถทำงานได้ 30 clk ของการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้สัญญาณนาฬิกา

10 MHz ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าเมื่อได้รับสัญญาณแจ้งว่ามีกลุ่มข้อมูล Data Packet เข้ามาจากการตรวจพบแบบรูปขนาด 16 บิตที่ใช้กำหนดเป็น FS แล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องอ่านข้อมูลออกจากรีจิสเตอร์ที่แลตช์ข้อมูลไว้ทุกๆ 4 uS ซึ่งเท่ากับระยะเวลาที่ใช้ส่งข้อมูลครบ 8 บิต เมื่อคิดเวลาเผื่อจากการเข้าสู่การขัดจังหวะแล้วจึงเหลือเวลาให้เข้าอ่านข้อมูลได้อย่างช้าไม่เกิน 3 uS ดังนั้นถ้าไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานอื่นอยู่ และได้รับสัญญาณขัดจังหวะนี้ จะทำงานนั้นต่อได้ไม่เกิน 30 clk แล้วต้องรีบตอบสนองการขัดจังหวะนี้ทันที ในขณะเดียวกันการทำงานในการขัดจังหวะนี้จะต้องไม่นานจนกระทบกระเทือนงานอื่น ผังงานในรูปที่ 4.26 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเกิดการขัดจังหวะ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะอ่านข้อมูล 10 ไบต์ของกลุ่มข้อมูล Data Packet เข้ามาแล้วเซตแฟล็กให้ส่วนการทำงานหลักมาประมวลผลข้อมูลต่อไป

4.2.8.2 <u>การขัดจังหวะเมื่อร้องขอค่าเวลาประวิงค่าต่อไป</u>



รูปที่ 4.27 ผังงานของการขัดจังหวะเมื่อร้องขอค่าเวลาประวิงค่าต่อไป

จะสังเกตได้ว่าการจัดจังหวะนี้จะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งเริ่มต้นของเฟรมเสมอ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากส่วนประวิงเวลาแบบกำหนดค่าได้จะนับเวลาเพื่อหาตำแหน่งเริ่มต้นเฟรม เมื่อนับเวลาเสร็จจะร้องขอค่าเวลาประวิงค่าต่อไป เหตุการณ์นี้จึงเกิดขึ้นที่ตำแหน่งเริ่มต้นเฟรมเสมอ ทำให้สามารถใช้การขัดจังหวะนี้เสมือนเป็นการขัดจังหวะที่ตำแหน่งเริ่มต้นเฟรม งานที่สำคัญที่จะต้องทำก่อนเมื่อเกิดการขัดจังหวะนี้คือการให้ค่าเริ่มใหม่ (reset) แก่ตัวนับเวลา (timer) ที่ใช้นับเส้นภาพเพื่อให้การนับเส้นภาพเป็นไปอย่างแม่นยำ จากผังงานในรูปที่ 4.27 จึงใส่การเริ่มใหม่ไว้ในส่วนบนสุดของการทำงาน

สังเกตว่าเมื่อทำงานที่สำคัญที่สุดของส่วนนี้เสร็จแล้วจะอนุญาตให้เกิดการขัดจังหวะเพื่อรับกลุ่มข้อมูล Data Packet ได้ โดยการทำงานในส่วนสำคัญที่สุดของการขัดจังหวะนี้จะใช้เวลาไม่เกิน 30 clk การพุช (push) รีจิสเตอร์ในช่วงแรกนี้จึงทำเท่าที่จำเป็นเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เกิดการขัดจังหวะได้แล้วจึงค่อยพุชเพิ่มเติม

การทำงานหลังจากนี้ได้แก่ การนับเฟรมที่, การเริ่มนับเส้นตั้งต้นใหม่ที่เส้นที่ 0, เซตแฟล็กว่าได้รับกลุ่มข้อมูล BVF, ป้อนค่าเวลาประวิงให้แก่ส่วนประวิงเวลาแบบกำหนดค่าได้ และการกำเนิดเลขสุ่มค่าเวลาประวิงที่จะใช้ในครั้งต่อไป

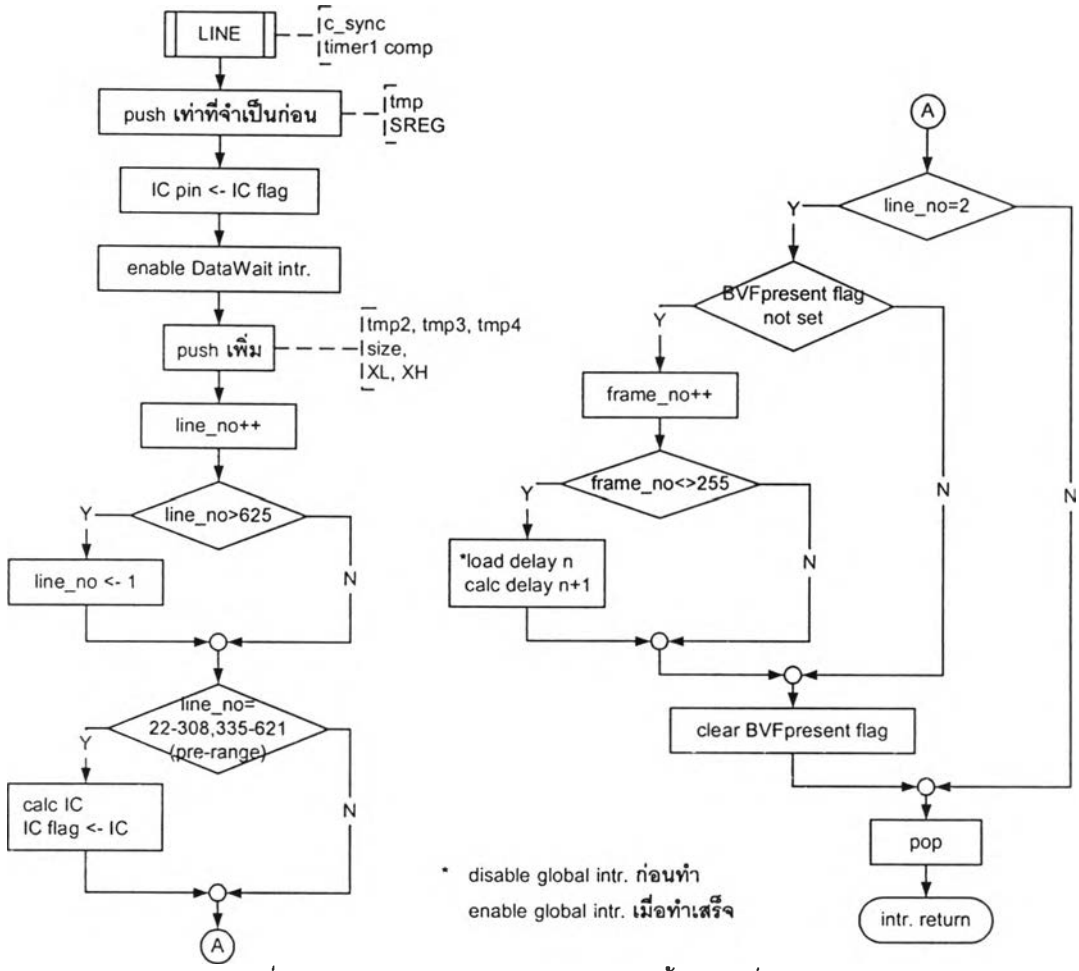
4.2.8.3 <u>การขัดจังหวะจากตัวตั้งเวลาเพื่อนับเส้นภาพ</u>

การขัดจังหวะนี้จะเกิดขึ้นอย่างคงที่ทุกคาบเวลา 64 uS หรือ 1 เส้นภาพพอดี การนับเวลาจะนับอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา เมื่อนับถึงค่าที่ตั้งไว้จะกลับมาตั้งต้นที่ 0 ใหม่โดยอัตโนมัติ โปรแกรมไม่จำเป็นต้องป้อนค่าให้แก่รีจิสเตอร์นับเวลาใหม่แต่อย่างใด วิธีนี้ช่วยให้เกิดความแม่นยำ กล่าวคือในขณะที่นับครบ ไมโครคอนโทรลเลอร์อาจจะยังทำงานอื่นอยู่ การเกิดการขัดจังหวะนี้อาจจะรอไปได้เล็กน้อย แต่การกลับมาตั้งต้นที่ค่า 0 ใหม่จะเป็นไปโดยฮาร์ดแวร์ของตัวนับเวลา ซึ่งถ้าต้องรอให้มีการป้อนค่าให้ใหม่ในการขัดจังหวะ เวลาจะเลื่อนห่างขึ้นเรื่อยๆ

เช่นเดียวกับการขัดจังหวะเพื่อร้องขอค่าเวลาประวิง คือเมื่อเกิดการขัดจังหวะจะต้องรีบทำงานสำคัญก่อนและอนุญาตให้เกิดการขัดจังหวะเพื่อรับกลุ่มข้อมูล Data Packet ได้ งานสำคัญของส่วนนี้คือการกำหนดบิตกลับสัญญาณภาพให้แก่ส่วนกลับสัญญาณภาพ

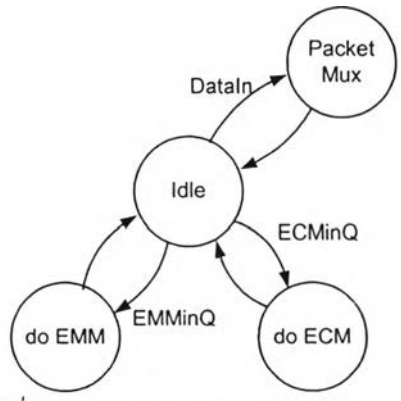
งานรองของการขัดจังหวะนี้ได้แก่ การนับเส้น, การกำเนิดเลขสุ่มสำหรับบิตกลับสัญญาณภาพในเส้นต่อไป แต่สังเกตว่าการกลับสัญญาณภาพไม่ได้กระทำกับทั้ง 625 เส้น แต่จะเลือกทำกับเส้นที่มีข้อมูลภาพเท่านั้น

นอกจากนี้แล้วยังมีส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งที่ช่วยให้การดีสแครมเบิลเป็นไปอย่างราบรื่น ส่วนนี้คือส่วนชดเชยการหายไปของกลุ่มข้อมูล BVF จากความไม่แน่นอนของช่องสัญญาณที่ใช้ส่งข้อมูล กลุ่มข้อมูล BVF อาจสูญหายไปได้ ถ้ากลุ่มข้อมูล BVF หายไปจะไม่เกิดการกำเนิดเลขสุ่มเพื่อใช้เป็นค่าเวลาประวิงสำหรับเฟรมดังกล่าว เหตุการณ์เช่นนี้ทำให้เลขสุ่มที่กำเนิดตามมาทั้งหมดไม่ซิงโครไนซ์กับเลขสุ่มที่ใช้เพื่อการสแครมเบิล เป็นผลให้การดีสแครมเบิลเกิดความผิดพลาด ภาพที่ปรากฏบนจอเครื่องรับโทรทัศน์จะล้มทันที เพื่อแก้ไขปัญหานี้จึงใช้ประโยชน์จากการที่ทราบว่าจะต้องมีการร้องขอค่าเวลาประวิงในช่วงต้นเฟรม แต่ถ้านับได้ถึงเส้นที่ 2 ของเฟรมแล้วยังไม่มีการร้องขอ ให้สันนิษฐานว่ากลุ่มข้อมูล BVF ได้สูญหายไป จึงให้กำเนิดเลขสุ่มขึ้นมาชดเชยและป้อนค่านี้แก่ส่วนประวิงเวลาเพื่อให้การนับเวลาจากกลุ่มข้อมูล BVF ที่จะมาถึงอันถัดไปเป็นไปอย่างถูกต้อง ลำดับสุ่มที่เครื่องรับจึงยังคงซิงโครไนซ์กับเครื่องส่งอยู่



รูปที่ 4.28 ผังงานของการขัดจังหวะจากตัวตั้งเวลาเพื่อนับเส้นภาพ

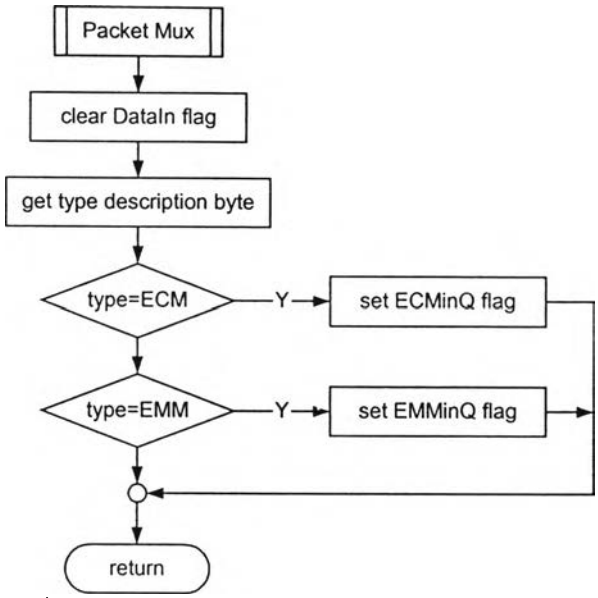
4.2.8.4 <u>แผนภาพสเตตของการทำงานหลัก</u>



รูปที่ 4.29 แผนภาพสเตตของการทำงานหลัก

รูปที่ 4.29 แสดงแผนภาพสเตตของการทำงานหลัก เป็นการจัดการกับกลุ่มข้อมูลที่รับเข้ามา ประกอบด้วย 3 งานคือ งานจัดการแยกชนิดของกลุ่มข้อมูลที่เข้า, จัดการในกรณีที่เป็นกลุ่มข้อมูล ECM และจัดการในกรณีที่เป็นกลุ่มข้อมูล EMM

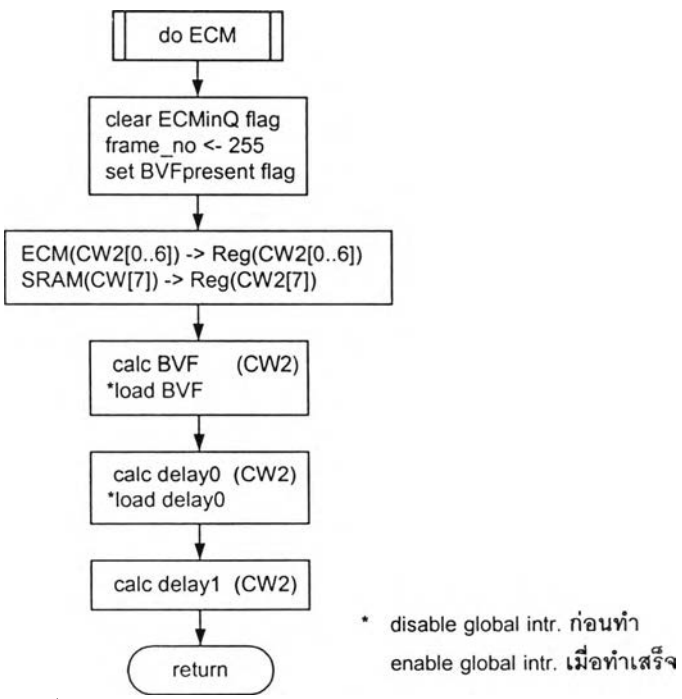
4.2.8.5 **โปรแกรมย่อยสำหรับแยกชนิดของกลุ่มข้อมูล**



รูปที่ 4.30 ผังงานของโปรแกรมย่อยสำหรับแยกชนิดของกลุ่มข้อมูล

การแยกชนิดของกลุ่มข้อมูลจะดูจากบิตที่กำหนดชนิดของกลุ่มข้อมูล เมื่อพบว่าเป็นกลุ่มข้อมูลชนิดใดจะเซตแฟล็กสำหรับกลุ่มข้อมูลชนิดนั้น เพื่อให้เกิดการประมวลผลตามชนิดของกลุ่มข้อมูลต่อไป ผังการทำงานแสดงดังรูปที่ 4.30

4.2.8.6 **โปรแกรมย่อยสำหรับจัดการกลุ่มข้อมูล** ECM

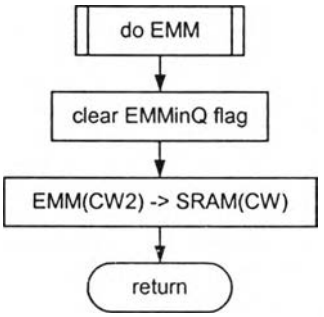


รูปที่ 4.31 ผังงานของโปรแกรมย่อยสำหรับจัดการกลุ่มข้อมูล ECM

เมื่อได้รับกลุ่มข้อมูล ECM หมายถึงการเริ่มต้นลำดับสุ่มเทียมลำดับใหม่ โดยจะนำ CW ที่อยู่ในกลุ่มข้อมูล ECM มากำเนิดแบบรูปของกลุ่มข้อมูล BVF สำหรับใช้กับเส้นภาพ 256 เส้นต่อมา, กำเนิดเวลาประวิงสำหรับเฟรมที่ 0 และเฟรมที่ 1 แต่ทั้งนี้ลำดับสุ่มสำหรับเฟรมที่ 255 จะยังคงใช้งานอยู่จนครบถึงเส้นสุดท้ายของเฟรมนี้ ผังการทำงานแสดงดังรูปที่ 4.31

4.2.8.7 **โปรแกรมย่อยสำหรับจัดการกลุ่มข้อมูล EMM**

ในเบื้องต้นนี้การทำงานของกลุ่มข้อมูล EMM ยังไม่สมบูรณ์ ข้อมูลที่ส่งมาคือ CW ซึ่งจะใช้ไบต์สุดท้ายเป็นกุญแจ เมื่อได้รับ CW จะนำไปเก็บไว้ในหน่วยความจำเพื่อให้ส่วนจัดการกลุ่มข้อมูลมานำไบต์สุดท้ายไปรวมกับ 7 ไบต์ที่ได้มาจากกลุ่มข้อมูล ECM รวมเป็น CW ที่สมบูรณ์ นำไปใช้งานต่อไป



รูปที่ 4.32 ผังงานของโปรแกรมย่อยสำหรับจัดการกลุ่มข้อมูล EMM

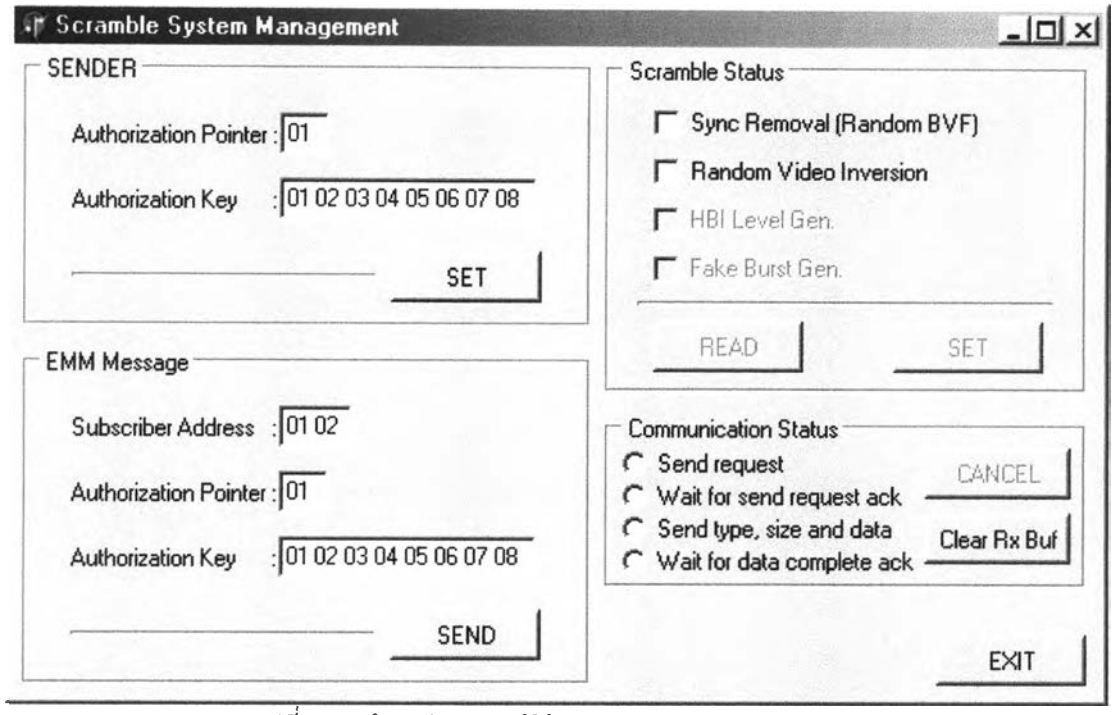
4.3 ซอฟต์แวร์จัดการระบบ

ซอฟต์แวร์จัดการระบบทำหน้าที่ควบคุมระบบสแครมเบิลในระดับบนซึ่งเป็นระดับที่ติดต่อกับผู้ใช้ กล่าวคือทำหน้าที่กำหนดการรับชมของเครื่องรับต่างๆ เช่น กำหนดให้เครื่องรับหมายเลข 1 และ 2 รับชมได้ แต่เครื่องรับหมายเลข 3 รับชมไม่ได้เป็นต้น

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงซอฟต์แวร์จัดการระบบใน 2 ส่วนคือ ส่วนการใช้งาน และส่วนที่ซอฟต์แวร์ติดต่อกับเครื่องสแครมเบิล ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

4.3.1 การใช้งาน

หน้าจอติดต่อกับผู้ใช้งานของซอฟต์แวร์แสดงดังรูปที่ 4.33 หน้าจอแบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ ส่วนติดต่อกับเครื่องส่ง (sender) เพื่อกำหนดกุญแจที่ใช้ในเครื่องส่ง, ส่วนส่งกุญแจให้แก่เครื่องรับผ่านทาง EMM Message, ส่วนแสดงสถานะของการสแครมเบิล (Scramble Status) และส่วนแสดงสถานะการติดต่อกับเครื่องส่ง (Communication Status) ในส่วนแสดงสถานะของการสแครมเบิลเป็นการเตรียมการไว้ ยังไม่เปิดใช้งาน รายละเอียดในทั้ง 3 ส่วนที่เหลือมีดังนี้



รูปที่ 4.1 หน้าจอติดต่อกับผู้ใช้งานของซอฟต์แวร์จัดการระบบ

4.3.1.1 กำหนดกุญแจที่ใช้ในเครื่องส่ง

ในการส่ง CW จากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับนั้น เครื่องส่งจะเข้ารหัสลับด้วยกุญแจ Authorization Key ซึ่งมีหมายเลขกุญแจ Authorization Pointer เป็นหมายเลขอ้างอิง แล้วส่ง CW ที่เข้ารหัสลับแล้วให้แก่เครื่องรับโดยกลุ่มข้อมูล ECM กุญแจที่เครื่องส่งใช้กำหนดได้ที่ตรงนี้

ในกรอบ "SENDER" ให้ผู้ใช้ใส่หมายเลขกุญแจ (Authorization Pointer) และกุญแจ (Authorization Key) จากนั้นกดปุ่ม "กำหนด" (Set) ซอฟต์แวร์จะส่งกุญแจให้แก่เครื่องส่งทันที กุญแจจะมีผลต่อการสแครมเบิลเมื่อมีการส่งกลุ่มข้อมูล ECM ครั้งต่อไป ซึ่งจะเกิดขึ้นทุกๆ 256 เฟรม หรือประมาณ 10 วินาที

4.3.1.2 ส่งกุญแจให้เครื่องรับ

เครื่องรับสามารถเก็บคู่หมายเลขกุญแจและกุญแจไว้ที่เครื่องรับได้จำนวนหนึ่ง ผู้ควบคุมระบบสามารถกำหนดกุญแจที่เครื่องรับแต่ละเครื่องจะมีได้ที่ตรงนี้ ในกรอบ "EMM Message" ให้ผู้ใช้ใส่หมายเลขเครื่องรับ (Subscriber Address), หมายเลขกุญแจ และกุญแจ จากนั้นกดปุ่ม "ส่ง" (Send)

ในกรณีที่ต้องการเปลี่ยนกุญแจที่ใช้สำหรับช่องรายการช่องรายการหนึ่งควรปฏิบัติดังนี้ กำหนดให้เดิมใช้หมายเลขกุญแจ 1 และกุญแจ X ต้องการเปลี่ยนไปใช้หมายเลขกุญแจ 2 และกุญแจ Y ในขั้นแรกให้ส่งหมายเลขกุญแจ 2 และกุญแจ Y แก่เครื่องรับที่ต้องการให้รับช่องรายการนี้ทีละเครื่องจนครบทุกเครื่อง จากนั้นค่อยเปลี่ยนกุญแจที่ใช้ในเครื่องส่งไปเป็นหมายเลขกุญแจ 2 และกุญแจ Y เครื่องรับทุกเครื่องก็จะเปลี่ยนตามได้โดยไม่ขาดการรับชม

4.3.1.3 <u>สถานะการติดต่อกับเครื่องส่ง</u>

กรอบ "Communication Status" แสดงสถานะการติดต่อกับเครื่องส่งว่าอยู่ในสถานะใด เริ่มตั้งแต่ซอฟต์แวร์ส่งรหัสเริ่มต้นส่งข้อมูล, รอการตอบรับว่าพร้อมรับข้อมูลจากเครื่องส่ง, ซอฟต์แวร์ส่งข้อมูลซึ่งประกอบด้วยชนิดของข้อมูล, ขนาดข้อมูล, และข้อมูล ให้แก่เครื่องส่ง และสุดท้ายซอฟต์แวร์รอการตอบรับจากเครื่องส่งว่าได้รับข้อมูลครบเรียบร้อยแล้ว

ในกรณีที่การติดต่อติดค้างอยู่ที่ขั้นตอนการรอการตอบรับต่างๆ ผู้ใช้สามารถยกเลิกการติดต่อได้โดยกดปุ่ม "ยกเลิก" (Cancel) ปุ่ม "ล้างบัฟเฟอร์รับ" (Clear Rx Buf) ใช้สำหรับล้างบัฟเฟอร์รับของเครื่องคอมพิวเตอร์ในกรณีที่คาดว่าจะมีข้อมูลค้างอยู่ในบัฟเฟอร์ ซึ่งไม่ได้เป็นข้อมูลที่เครื่องส่งส่งมาให้ในปัจจุบัน

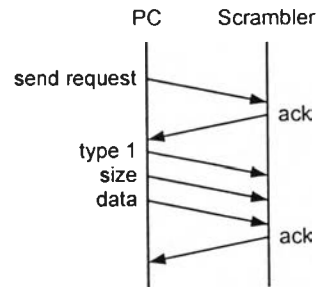
4.3.2 การติดต่อกับเครื่องส่ง

ซอฟต์แวร์ติดต่อกับเครื่องส่งโดยผ่านทางพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS-232 ที่ความเร็ว 14400 บิตต่อวินาที แบบไม่มีบิตตรวจสอบ (non parity) จำนวนบิตข้อมูล 8 บิต และบิตหยุด (stop bit) 1 บิต การติดต่อกับเครื่องส่งมีด้วยกัน 2 แบบดังนี้

4.3.2.1 <u>ส่งกลุ่มข้อมูล EMM</u>

กลุ่มข้อมูล EMM เป็นกลุ่มข้อมูลที่ใช้สำหรับส่งข้อมูลถึงเครื่องรับปลายทางแบบเจาะจง ข้อมูลที่บรรจุในกลุ่มข้อมูลนี้จะได้รับการเข้ารหัสด้วยกุญแจ Distribution Key ซึ่งมีอยู่บนฐานข้อมูลในซอฟต์แวร์จัดการระบบ และข้อมูลที่จะส่งให้นั้นคือตาราง Authorization ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีอยู่บนฐานข้อมูลเช่นกัน ดังนั้นการสร้างกลุ่มข้อมูลนี้รวมถึงการเข้ารหัสจึงเป็นหน้าที่ของซอฟต์แวร์ เมื่อซอฟต์แวร์สร้างกลุ่มข้อมูล EMM ได้แล้วจะส่งให้เครื่องส่งเพื่อนำไปแบ่งเป็นกลุ่มข้อมูล Data Packet เพื่อส่งให้เครื่องรับต่อไป

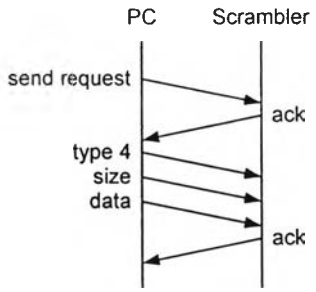
โปรโตคอลการติดต่อระหว่างซอฟต์แวร์และเครื่องส่งแสดงดังรูปที่ 4.34 เริ่มต้นซอฟต์แวร์ส่งรหัสขอเริ่มส่งข้อมูล (send request) ซึ่งคือรหัส "9AC728CB" ไม่ว่าเครื่องส่งจะอยู่ในสภาวะการรับข้อมูลใด เครื่องส่งจะเริ่มต้นการรับข้อมูลใหม่ (reset) และตอบรับกลับมา (acknowledge) ด้วยรหัส "AC" จากนั้นซอฟต์แวร์จะส่งชนิดของข้อมูล (type) ซึ่งในที่นี้คือกลุ่มข้อมูล EMM ด้วยรหัส "1" ตามด้วยขนาดของข้อมูล (size) ความยาว 1 ไบต์ และข้อมูล เมื่อเครื่องส่งได้รับข้อมูลครบแล้วจะตอบรับกลับมา



รูปที่ 4.34 การส่งกลุ่มข้อมูล EMM ให้แก่เครื่องส่ง

4.3.2.2 **<u>กำหนดหมายเลขกุญแจและกุญแจที่เครื่องส่ง</u>**

เริ่มการส่งด้วยรหัสขอเริ่มการส่งข้อมูล การกำหนดกุญแจใช้รหัสคำสั่ง 4 ตามด้วยขนาดข้อมูลเป็น 9 และข้อมูลจำนวน 9 ไบต์ ประกอบด้วย 1 ไบต์สำหรับหมายเลขกุญแจ และ 8 ไบต์สำหรับกุญแจ ดังแสดงใน รูปที่ 4.35



รูปที่ 4.35 การกำหนดหมายเลขกุญแจและกุญแจสำหรับเครื่องส่ง