สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การชำระค่าโดยสารบนรถประจำทางโดยใช้สมาร์ทการ์ด

Payment of fare on the bus by smartcard

โดย

นาย ทวิช ช่อพันธ์

นาย อภิชัย ไหลรุ่งเรืองสกุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่ .....
เลขทะเบียน 54973
วัน,เดือน,ปี - 4 เม.ย. 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การชำระค่าโดยสารบนรถประจำทางโดยใช้สมาร์ทการ์ด

Payment of fare on the bus by smartcard

โดย

นาย ทวิช ช่อพันธ์ 44015008

นาย อภิชัย ไหลรุ่งเรืองสกุล 44015093

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ สุรพล บุญจันทร์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2546

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง **การชำระค่าโดยสารบนรถประจำทางโดยใช้สมาร์ทการ์ด**

Payment of fare on the bus by smartcard

ผู้จัดทำ

1. นาย ทวิช ช่อพันธ์ 44015008

2. นาย อภิชัย ไหลรุ่งเรืองสกุล 44015093

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ สุรพล บุญจันทร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การชำระค่าโดยสารบนรถประจำทางโดยใช้สมาร์ทการ์ด

Payment of fare on the bus by smartcard

โดย นาย ทวิช ช่อพันธ์ รหัส 44015008
นาย อภิชัย ไหลรุ่งเรืองสกุล รหัส 44015093

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ สุรพล บุญจันทร์

บทคัดย่อ

โครงงานนี้จะสร้างอุปกรณ์อำนวยความสะดวกบนรถโดยสารประจำทาง ซึ่งจะมีการจัดเก็บค่าโดยสาร โดยจะใช้สมาร์ทการ์ดแทนเงิน เพื่อสะดวกในการจัดเก็บค่าโดยสาร และมีการบอกตำแหน่งว่ารถประจำทางถึงป้ายไหนแล้ว เพื่อทำให้ผู้โดยสารหรือคนพิการทางตาได้รู้ว่าจะถึงป้ายไหนแล้ว

ABSTRACT

This project presents the construct equipment of bus convenient. It is keep the fare by use smart card replace money for convenient to keep the fare. It is mention bus position for passenger.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาของหัวข้อปริญญานิพนธ์ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์ 1

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ 1

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำปริญญานิพนธ์ 1

1.5 เนื้อหาของปริญญานิพนธ์ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 สมาร์ทการ์ด 3

2.1.1 สมาร์ทการ์ดคืออะไร 3

2.1.2 ประวัติความเป็นมาของสมาร์ทการ์ด 3

2.1.3 ตัวบัตรพลาสติก 5

2.1.4 การประกอบสมาร์ทการ์ดโมดูลลงในบัตรพลาสติก 6

2.1.5 มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง 9

2.1.6 ข้อกำหนดอีเอ็มวี 10

2.1.7 รายละเอียดพื้นฐานของสมาร์ทการ์ด 11

2.1.8 ชนิดของสมาร์ทการ์ด 12

2.1.9 การเชื่อมต่อชิพสมาร์ทการ์ด 19

2.1.10 การสื่อสารกับชิพสมาร์ทการ์ดในระดับสัญญาณไฟฟ้า 21

2.1.11 การรีเซตชิพสมาร์ทการ์ด 22

2.1.12 ส่วนประกอบของข้อมูล ATR 24

2.1.13 การเลือกชนิดโปรโตคอลสำหรับติดต่อกับสมาร์ทการ์ด 29

2.1.14 วงจรการเชื่อมต่อชิพสมาร์ทการ์ด 33

2.1.15 สมาร์ทการ์ดรีดเดอร์ 35

2.1.16 การจัดเก็บข้อมูลและโครงสร้างข้อมูลในสมาร์ทการ์ด 36

2.1.17 การบริหารหน่วยความจำของสมาร์ทการ์ดให้เกิดประโยชน์สูงสุด 37

2.1.18 ข้อดีของสมาร์ทการ์ด 42

2.1.19 ลักษณะหน้าที่ของสมาร์ทการ์ด 43

2.1.20 รูปแบบการสื่อสารข้อมูลของสมาร์ทการ์ด SLE4442 44

2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 54

2.2.1 ความหมายของไมโครคอนโทรลเลอร์ 54

2.2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชจาก PHILIPS 54

2.2.3 ความเร็วในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD2 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

2.2.4 พอร์ทของไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD2 56

2.3 จอแสดงผลแบบผลึกของเหลว 58

2.3.1 พื้นฐานในการใช้งานจอแสดงผลแบบผลึกของเหลว 59

2.3.2 รายละเอียดของแต่ละคำสั่ง 60

2.4 ไอซีเบอร์ ISD25XX 65

2.4.1 คุณสมบัติของ ISD 25XX 65

2.4.2 การทำงานของขาต่างๆ 66

บทที่ 3 การสร้างและการออกแบบ

3.1 ออกแบบและสร้างวงจรเครื่องอ่าน – เขียนสมาร์ทการ์ดบนรถประจำทาง 69

3.2 เขียนโฟล์วชาร์ทการทำงานของเครื่องอ่าน – เขียนสมาร์ทการ์ดบนรถประจำทาง 71

3.2.1 เขียนโปรแกรมควบคุมการอ่านข้อมูลจากบัตรและแสดงผลทาง
จอแสดงผลแบบผลึกเหลว 73

3.2.2 เขียนโปรแกรมควบคุมกำหนดค่าเริ่มต้นของจอแสดงผลแบบผลึกเหลว 74

3.2.3 เขียนโปรแกรมควบคุมการผ่านเปรียบเทียบรหัสผ่าน 76

3.2.4 เขียนโปรแกรมควบคุมการตรวจสอบจำนวนเงินเกิน 77

3.3 ออกแบบและสร้างวงจรบันทึกเสียง 78

3.3.1 การทำงานของขาต่างๆ ของไอซี ISD 25XX ในวงจรบันทึกเสียง 78

3.3.2 การใช้งานของวงจรบันทึกเสียง 79

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองของวงจรบันทึกเสียง 81

4.1.1 ลำดับขั้นการทดลอง 81

4.1.2 ผลการทดลองของวงจรบันทึกเสียง 81

4.2 การทดลองของเครื่องอ่าน – เขียนสมาร์ทการ์ดบนรถประจำทาง 82

4.2.1 หน้าจอขณะให้มีการเสียบบัตรสมาร์ทการ์ด 82

4.2.2 หน้าจอตอนเมื่อเสียบบัตรในขณะที่ขึ้นรถประจำทาง 84

4.2.3 หน้าจอตอนเมื่อเสียบบัตรในขณะลงจากรถประจำทาง 85

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุปผล

สรุปผลการทดลอง 87

หนังสืออ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องอ่านเขียนสมาร์ทการ์ดบนรถประจำทาง 2

รูปที่ 2.1 การประกอบสมาร์ทการ์ดโมดูลด้วยวิธีการทับซ้อนของชั้นพลาสติก 7

รูปที่ 2.2 การสร้างสมาร์ทการ์ดด้วยวิธีการวางสมาร์ทการ์ดโมดูลลงในเนื้อบัตร 8

รูปที่ 2.3 การสร้างสมาร์ทการ์ดด้วยวิธีการสร้างหน้าสัมผัสบนผิวของบัตร 8

รูปที่ 2.4 การแบ่งสมาร์ทการ์ดตามชนิดของหน่วยความจำ 13

รูปที่ 2.5 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างภายในชิพสมาร์ทการ์ดชนิดหน่วยความจำ 14

รูปที่ 2.6 ตัวอย่างหน่วยความจำของ Memory card ชนิด PIN Protect 15

รูปที่ 2.7 ตัวอย่างหน่วยความจำของ Memory card ชนิด Token 16

รูปที่ 2.8 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างภายในชิพสมาร์ทการ์ดชนิดไมโครโปรเซสเซ่อร์ 17

รูปที่ 2.9 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างภายในชิพสมาร์ทการ์ดชนิด Contactless 18

รูปที่ 2.10 โครงสร้างภายในของสมาร์ทการ์ดชนิด Contactless แบบ Com-Bi card 19

รูปที่ 2.11 โครงสร้างภายในของสมาร์ทการ์ดชนิด Contactless แบบ Hybrid card 19

รูปที่ 2.12 ตัวอย่างรูปแบบสัญญาณของการสื่อสารแบบซิงเกิลบัสแบบ Direct convention และ Converse convention 21

รูปที่ 2.13 ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการรับ-ส่งข้อมูลกับสมาร์ทการ์ด 22

รูปที่ 2.14 ไทม์มิ่งไดอะแกรมการรีเซตชิพสมาร์ทการ์ด 23

รูปที่ 2.15 ขั้นตอนตรวจสอบการเปลี่ยนโปรโตคอลของสมาร์ทการ์ด 30

รูปที่ 2.16 ขั้นตอนการเปลี่ยนโปรโตคอลของสมาร์ทการ์ด 31

รูปที่ 2.17 โครงสร้างข้อมูล PTS 32

รูปที่ 2.18 ตัวอย่างวงจรสำหรับติดต่อกับชิพสมาร์ทการ์ด 33

รูปที่ 2.19 ตัวอย่างวงจรเชื่อมต่อกับชิพสมาร์ทการ์ดด้วยวงจรลอจิก (C-MOS) 34

รูปที่ 2.20 ตัวอย่างวงจรเชื่อมต่อกับชิพสมาร์ทการ์ดชนิด Memory 34

รูปที่ 2.21 ตัวอย่างวงจรเชื่อมต่อกับชิพสมาร์ทการ์ดชนิด Processor 35

รูปที่ 2.22 การจัดเก็บข้อมูลทางตรรกศาสตร์แบบบิต 38

รูปที่ 2.23 วิธีการตรวจสอบบิตข้อมูลว่าเป็น 0 หรือ 1 38

รูปที่ 2.24 ตัวอย่างการเซตข้อมูลบิตที่ 3 ให้เป็น 1 39

รูปที่ 2.25 ตัวอย่างการเคลียร์ข้อมูลบิตที่ 7 ให้เป็น 0 39

รูปที่ 2.26 การจัดเก็บข้อมูลตัวเลขด้วยหน่วยความจำเพียง 4 บิตร่วมกับข้อมูลตรรกศาสตร์ 40

รูปที่ 2.27 การแยกเอาข้อมูลตัวเลขที่อยู่ปนกับข้อมูลตรรกศาสตร์ 40

รูปที่ 2.28 แสดงขาต่าง ๆ บนหน้าสัมผัสของบัตรสมาร์ทการ์ด 41

รูปที่ 2.29 แสดงบล็อกโครงสร้างภายในของสมาร์ทการ์ด SLE4442 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.30 แสดงการติดต่อกับหน่วยความจำ 44
รูปที่ 2.31 แสดงแผนผังเวลาของการรีเซต-การตอบรับการรีเซต 45
รูปที่ 2.32 รูปแบบคำสั่งแต่ละคำสั่งจะประกอบด้วย 3 ไบต์ 46
รูปที่ 2.33 แสดงแผนผังเวลาของคำสั่ง 47
รูปที่ 2.34 แสดงแผนผังเวลาของการข้อมูลจากอ่านหน่วยความจำหลัก 48
รูปที่ 2.35 แสดงแผนผังเวลาของการลบ และเขียนข้อมูล 49
รูปที่ 2.36 แสดงแผนผังเวลาของการลบ หรือแก้ไขข้อมูล 50
รูปที่ 2.37 แสดงแผนผังเวลาของการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำปลอดภัย 50
รูปที่ 2.38 แสดงแผนผังเวลาของการเปรียบเทียบและพิสูจน์ข้อมูล 52
รูปที่ 2.39 แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบค่า PSC 53
รูปที่ 2.40 แสดงการจัดขาของ P89C51RD2 56
รูปที่ 2.41 บล็อกไดอะแกรมภายในของไอซี ISD 25XX 66
รูปที่ 3.1 แสดงวงจรการทำงานของเครื่องอ่าน – เขียนสมาร์ทการ์ดบนรถประจำทาง 69
รูปที่ 3.2 โฟล์วชาร์ทการทำงานของโปรแกรมในเครื่องอ่าน – เขียนสมาร์ทการ์ดบนรถประจำทาง 71
รูปที่ 3.3 โฟล์วชาร์ทการทำงานของโปรแกรมควบคุมการอ่านข้อมูลจากบัตร และแสดงผลทางจอแสดงผลแบบผลึกเหลว 73
รูปที่ 3.4 โฟล์วชาร์ทการทำงานของโปรแกรมกำหนดค่าเริ่มต้นของจอแสดงผลแบบผลึกเหลว 74
รูปที่ 3.5 โฟล์วชาร์ทการทำงานของโปรแกรมการเปรียบเทียบรหัสผ่าน 76
รูปที่ 3.6 โฟล์วชาร์ทการทำงานของโปรแกรมการตรวจสอบจำนวนเงินเกิน 77
รูปที่ 3.7 การต่อไอซี ISD 25XX แบบบันทึกเสียง/เล่นหลายๆ ข้อความ 78
รูปที่ 4.1 เอาต์พุตที่ได้เมื่อยังไม่ได้ทำการบันทึกเสียง และมีการเล่นออกมา 81
รูปที่ 4.2 เอาต์พุตที่ได้หลังจากที่ได้ทำการบันทึกเสียง และมีการเล่นออกมา 82
รูปที่ 4.3 แสดงหน้าจอขณะให้มีการเสียบบัตรสมาร์ทการ์ด 83
รูปที่ 4.4 แสดงหน้าจอเมื่อบัตรสมาร์ทการ์ดถูกต้อง 84
รูปที่ 4.5 แสดงหน้าจอเมื่อเสียบบัตรในขณะที่ขึ้นรถประจำทาง 84
รูปที่ 4.6 แสดงหน้าจอเมื่อเสียบบัตรในขณะที่ลงจากรถประจำทาง 85
รูปที่ 4.7 แสดงเครื่องอ่าน - เขียนสมาร์ทการ์ดบนรถประจำทาง 86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงความหมายของ Format character 25

ตารางที่ 2.2 อัตราหารความถี่สัญญาณนาฬิกา 25

ตารางที่ 2.3 Adjustment factor 25

ตารางที่ 2.4 รูปแบบของข้อมูล TB1 26

ตารางที่ 2.5 รูปแบบของข้อมูล TC1 26

ตารางที่ 2.6 รูปแบบของข้อมูล Tdi 27

ตารางที่ 2.7 รูปแบบของข้อมูล TA2 27

ตารางที่ 2.8 รูปแบบของข้อมูล TB2 28

ตารางที่ 2.9 รูปแบบของข้อมูล TD 28

ตารางที่ 2.10 รูปแบบของข้อมูล TAi เมื่อ i > 2 28

ตารางที่ 2.11 รูปแบบของข้อมูล TBi เมื่อ i > 2 29

ตารางที่ 2.12 รูปแบบของข้อมูล TCi เมื่อ i > 2 29

ตารางที่ 2.13 รูปแบบของข้อมูล PTS0 32

ตารางที่ 2.14 รูปแบบของข้อมูล PTS1 32

ตารางที่ 2.15 รูปแบบของข้อมูล PTS2 33

ตารางที่ 2.16 หน้าที่การทำงานของขาต่าง ๆ ของบัตรสมาร์ทการ์ด 41

ตารางที่ 2.17 แสดงลักษณะของข้อมูลที่ได้จากการตอบรับการรีเซต 45

ตารางที่ 2.18 แสดงรูปแบบ และส่วนประกอบของคำสั่ง 47

ตารางที่ 2.19 แสดงลักษณะหน่วยความจำ และรูปแบบคำสั่งในการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำหลัก 48

ตารางที่ 2.20 แสดงลักษณะหน่วยความจำ และรูปแบบคำสั่งในการแก้ไขข้อมูลในหน่วยความจำหลัก 49

ตารางที่ 2.21 แสดงลักษณะหน่วยความจำ และรูปแบบคำสั่งในการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำปลอดภัย 50

ตารางที่ 2.22 แสดงลักษณะหน่วยความจำ และรูปแบบคำสั่งในการแก้ไขข้อมูลในหน่วยความจำปลอดภัย 51

ตารางที่ 2.23 แสดงรูปแบบคำสั่งในการเปรียบเทียบ และพิสูจน์ความถูกต้องของข้อมูล 51

ตารางที่ 2.24 แสดงรูปแบบคำสั่ง PSC ในการเข้าถึงหน่วยความจำแบบต่างๆ 52

ตารางที่ 2.25 การกำหนดคุณสมบัติต่าง ๆ ในการใช้งานของจอแสดงผลแบบผลึกของเหลว 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาของหัวข้อปริญญานิพนธ์

ในปัจจุบันการเดินทางโดยรถประจำทางถือว่าเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวันของคนส่วนมากไปเสียแล้ว เพราะความสะดวกและราคาค่าโดยสารไม่สูงมากนัก นอกจากนี้จะช่วยลดปัญหาการจราจรติดขัดได้

ผู้จัดทำจึงได้ศึกษาโครงสร้างและการทำงานของสมาร์ทการ์ด ในการเดินทางโดยรถประจำทางนี้จะนำเอาสมาร์ทการ์ดไปใช้แทนเงิน ซึ่งจะทำให้เกิดความสะดวกในการเก็บและจ่ายค่าโดยสาร นอกจากนี้สมาร์ทการ์ดยังมีประโยชน์ในด้านความปลอดภัยของการเก็บข้อมูลภายในบัตรสูง การเข้าข้อมูลจะเข้าถึงได้โดยการผ่านหน่วยประมวลผลกลางเท่านั้นจึงยากแก่การอ่าน การเปลี่ยนแปลงและทำลายข้อมูล มีความทนทานสูง มีส่วนขยายความจำเพื่อรองรับการบริการใหม่ๆในอนาคต และมีความยืดหยุ่นต่อการใช้งาน

นอกจากนี้ยังสามารถบอกเป็นเสียงพูดได้อีกว่าจะถึงป้ายไหนแล้ว เพื่อบอกให้ผู้โดยสารรู้ว่าจะถึงป้ายที่ต้องการจะลงแล้วหรือยัง อีกทั้งยังเป็นการช่วยผู้พิการทางหูได้อีกทางหนึ่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1.2.1 เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ และนำไปประยุกต์ใช้งาน

1.2.2 เพื่อศึกษาการทำงานของสมาร์ทการ์ด และนำไปประยุกต์ใช้งาน

1.2.3 เพื่อศึกษาการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์ภายนอกที่ติดต่อด้วย

1.2.4 เพื่อศึกษาการทำงานของไอซีบันทึกเสียง และนำไปใช้งาน

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ทำการสร้างเครื่องอ่านเขียนสมาร์ทการ์ดเพื่อใช้กับบัตรสมาร์ทการ์ดโดยจะใช้สมาร์ทการ์ดแทนเงิน และมีเสียงพูดเพื่อบอกว่าถึงป้ายไหนแล้ว

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำปริญญานิพนธ์

1.4.1 เข้าใจการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

1.4.2 สามารถเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ในการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกได้

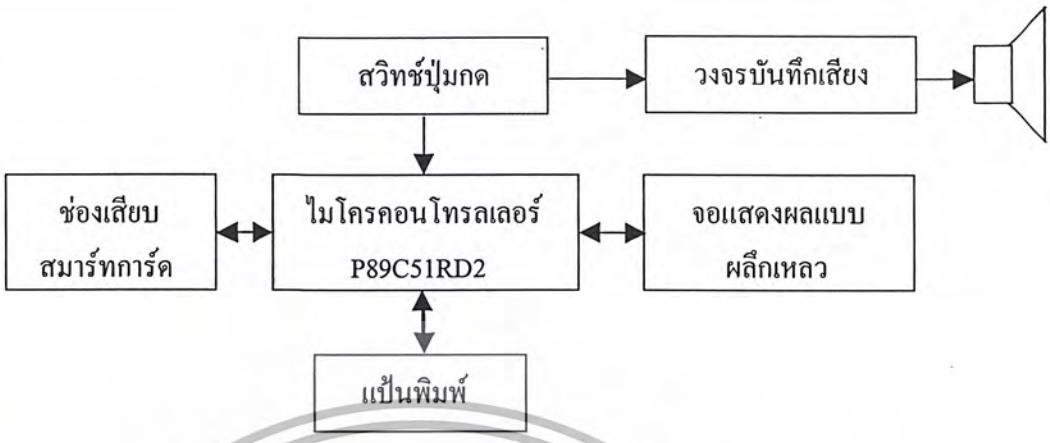
1.4.3 สามารถนำสมาร์ทการ์ดไปประยุกต์ใช้งานเป็นบัตรรถประจำทางได้

1.4.4 เพื่อความสะดวกในการจัดเก็บค่าโดยสาร

1.4.5 เพื่อทำให้ผู้โดยสารรู้ว่าจะถึงป้ายไหนแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 เนื้อหาของปริญญานิพนธ์



รูปที่ 1.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องอ่านเขียนสมาร์ทการ์ดบนรถประจำทาง

บล็อกไดอะแกรมของเครื่องอ่านเขียนสมาร์ทการ์ดบนรถประจำทางจะประกอบด้วยบล็อกไดอะแกรม 6 บล็อก คือ ช่องเสียบสมาร์ทการ์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์P89C51RD2 แป้นพิมพ์ จอแสดงผลแบบผลึกเหลว สวิทช์ปุ่มกด และ วงจรบันทึกเสียง

ช่องเสียบสมาร์ทการ์ดทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างบัตรสมาร์ทการ์ดกับไมโครคอนโทรลเลอร์ แป้นพิมพ์จะเป็นตัวป้อนข้อมูลให้แก่สมาร์ทการ์ดโดยผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ในรูปแบบของการเติมเงินลงในบัตร จอแสดงผลแบบผลึกเหลวจะทำหน้าที่เป็นตัวแสดงยอดเงินที่มีอยู่ภายในบัตรขณะขึ้นรถ ราคาค่าโดยสารและยอดเงินคงเหลือภายในบัตรขณะจะลงจากรถ นอกจากนี้ยังใช้แสดงข้อความต่างๆ อีก สวิทช์ปุ่มกดทำหน้าที่เป็นตัวทำให้วงจรบันทึกเสียงทำงาน และยังทำหน้าที่ส่งสัญญาณไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการเพิ่มหมายเลขป้าย และวงจรบันทึกเสียงจะมีเสียงพูดออกจากลำโพงเมื่อ สวิทช์ปุ่มกดถูกกดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 สมาร์ทการ์ด

2.1.1 สมาร์ทการ์ดคืออะไร

สมาร์ทการ์ดคือบัตรพลาสติกที่มีชิพไอซี (Integrated Circuit) ติดหรือฝังอยู่ในตัวบัตรพลาสติกตามมาตรฐาน ISO (International Standard Organization) เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลและประมวลผลภายในตัวเองโดยวิธีการเข้ารหัสตามมาตรฐาน DES Algorithm (Data Encryption Standard) เพื่อให้ระบบมีระดับความปลอดภัยสูงขึ้น ด้วยคุณสมบัติสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้สมาร์ทการ์ดมีความแตกต่างจากบัตรพลาสติกทั่วไปก็คือ ขณะทำรายการ (Transaction) สมาร์ทการ์ดสามารถทำงานได้ด้วยตัวของมันเองโดยไม่ต้องอาศัยติดต่อสื่อสารกับระบบหลัก (Font End) นั้นก็คือบัตรสมาร์ทการ์ดไม่จำเป็นต้องมีการติดต่อสื่อสารกับศูนย์กลางข้อมูลเหมือนกับบัตรแถบแม่เหล็ก (Off-line) ทำให้ประหยัดในเรื่องระบบสื่อสารไปได้มาก

ในการประมวลผลและจัดเก็บข้อมูล สมาร์ทการ์ดสามารถทำได้อย่างรวดเร็วกว่าสื่อสำหรับจัดเก็บข้อมูลชนิดอื่น ๆ ด้วยขนาดที่เท่ากับบัตรแถบแม่เหล็กทำให้สะดวกในการจัดเก็บและพกพา นอกจากนี้สมาร์ทการ์ดยังมีคุณสมบัติด้านความทนทานที่น่าทึ่งไม่ว่าจะเป็นรังสีชนิดต่าง ๆ (ในปริมาณที่ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์) สนามแม่เหล็กไฟฟ้าสถิต ความชื้น ความร้อน การบิดงอ ฯลฯ ก็ไม่สามารถทำให้บัตรสมาร์ทการ์ดเสียหายได้โดยง่าย จึงทำให้สมาร์ทการ์ดเทียบเท่าบัตรในทางอุดมคติเลยทีเดียว ในต่างประเทศก็ได้มีการใช้งานสมาร์ทการ์ดกันอย่างแพร่หลาย จนเป็นไปได้ว่าสมาร์การ์ดกำลังเป็นบัตรชนิดใหม่ที่จะเข้ามาแทนที่บัตรแถบแม่เหล็กที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน

2.1.2 ประวัติความเป็นมาของสมาร์ทการ์ด

ก่อนที่จะมีสมาร์ทการ์ดใช้กันในปัจจุบัน ในปี 1950 บัตรพลาสติกได้ถูกนำมาใช้งานครั้งแรกด้วยคุณสมบัติที่ทนทาน ราคาถูก และอายุในการใช้งานที่ยาวนาน โดยไดเนอร์คลับได้นำมาใช้เป็นบัตรแทนเงินสดสำหรับสมาชิกในการแสดงต่อร้านค้าในเครือของไดเนอร์คลับ ซึ่งได้แก่ ร้านอาหารและโรงแรมต่าง ๆ ต่อมา VISA และ MASTER ได้กระโดดมาร่วมใช้บัตรพลาสติกเช่นเดียวกับไดเนอร์คลับโดยออกบัตรของตนเองบ้าง ทำให้บัตรพลาสติกได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในสหรัฐอเมริกา และแพร่หลายเข้าไปยังยุโรปในเวลาไม่นานนักจนกลายเป็นบัตรเครดิตในปัจจุบัน ข้อดีประการหนึ่งที่ทำให้บัตรเครดิตได้รับความนิยมอย่างมากเพราะ ผู้ถือบัตรสามารถเดินทางไปรอบโลกโดยไม่จำเป็นต้องพกพาเงินสดจำนวนมาก ไม่ต้องกังวลในเรื่องของอัตราแลกเปลี่ยนของสกุลเงิน ด้วยเหตุนี้ทำให้บัตรเครดิตพลาสติกมีอัตราเติบโตหลายร้อยล้านใบต่อปี

แต่เดิมนั้นบัตรเครดิตเป็นเพียงบัตรพลาสติกที่มีการพิมพ์อักษรตัวนูน (Emboss) ของหมายเลขบัตร ชื่อผู้ถือบัตร และช่องว่างสำหรับลายเซ็นของผู้ถือบัตร โดยขั้นตอนในการใช้บัตรจะทำโดยนำบัตรวางลงบนแท่นสำหรับพิมพ์ลายนูนบนหน้าบัตร (Imprinter) วางทับด้วยกระดาษสลิปเครดิตสำหรับพิมพ์ลายนูนหน้าบัตรซึ่งจะมีคุณสมบัติในการพิมพ์ลาย และทำการพิมพ์ลายนูนด้วยลูกกลิ้งของแท่นสำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิมพ์ลายนูน ผลก็คือลายนูนของหน้าบัตรจะปรากฏบนกระดาษสลิปเครดิตจากนั้นทางร้านค้าจะกรอกจำนวนเงินลงในช่องที่กำหนดของกระดาษสลิปเครดิต และส่งให้ผู้ถือบัตรตรวจสอบตัวเลขจำนวนเงินเพื่อเซ็นชื่อกำกับ ซึ่งลายเซ็นนี้ทางร้านค้าต้องตรวจสอบกับลายเซ็นในบนบัตรด้วย โดยกระดาษสลิปจะมีสำเนาในตัว กระดาษสลิปแผ่นหน้าทางร้านค้าจะเป็นผู้เก็บไว้เพื่อนำไปขอขึ้นเงินกับธนาคารผู้ออกบัตร ส่วนสำเนาผู้ถือบัตรต้องเป็นผู้เก็บไว้เพื่อยืนยันการใช้บัตรเมื่อธนาคารผู้ออกบัตรเรียกเก็บเงินจากผู้ถือบัตรในภายหลัง

จากขั้นตอนในการใช้บัตรที่ง่ายดายทำให้มีผู้คิดทำบัตรปลอมขึ้น ด้วยเหตุนี้ทางธนาคารผู้ออกบัตร (Card Issuer) ก็ได้เพิ่มการพิมพ์ลวดลายพิเศษลงบนบัตรเช่น ลายน้ำ หรือฮาโลแกรม เพื่อป้องกันการปลอมแปลง แต่การทำเช่นนั้นก็ยังไม่เพียงพอ เนื่องจากผู้ที่ทำการปลอมบัตรก็ได้พัฒนาการปลอมแปลงตามไปด้วยเช่นกัน เมื่อเป็นเช่นนี้จึงมีการเพิ่มกลไกและเครื่องสำหรับพิสูจน์บัตรเป็นการเฉพาะ ซึ่งกลไกที่เพิ่มเข้ามาก็คือการเพิ่มแถบแม่เหล็กที่ด้านหลังของบัตร โดยแถบแม่เหล็กดังกล่าวจะเก็บข้อมูลสำคัญของบัตรเอาไว้เช่น ชื่อผู้ถือบัตร, หมายเลขบัญชี, หมายเลขบัตร, วันหมดอายุ, CVV (Card Verification Validity – สำหรับ MASTER) ฯลฯ โดยต้องมีเครื่องสำหรับอ่านข้อมูลแทบแม่เหล็กและทำรายการบัตรเครดิตซึ่งถูกเรียกว่าเครื่อง EDC (Electronic Data Capture) มาทำหน้าที่แทนแท่นสำหรับพิมพ์ลายนูนบนหน้าบัตร

การใช้บัตรแถบแม่เหล็กแบบนี้ ทางร้านค้าจะต้องทำการรูดบัตรในช่องสำหรับอ่านข้อมูลแถบแม่เหล็กของเครื่อง EDC และเลือกทำรายการ เครื่อง EDC จะทำการ On-line ไปยังคอมพิวเตอร์เมนเฟรมของธนาคารผู้ออกบัตรเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง เมื่อเครื่องได้รับข้อมูลตอบกลับจากกธนาคารผู้ออกบัตร เครื่องจะทำการพิมพ์สลิปเครดิตออกมาตามชนิดรายการที่ได้เลือกไว้ ที่เหลือก็เพียงแค่ผู้ถือบัตรทำการเซ็นกำกับลงบนกระดาษสลิปเครดิต และให้ร้านค้าตรวจสอบลายเซ็นบนบัตรกับลายเซ็นบนกระดาษสลิปเช่นเดิม แต่ทางร้านค้าไม่ต้องนำกระดาษสลิปไปขึ้นเงินกับธนาคารผู้ออกบัตร แต่ร้านค้าจะได้รับเงินจากการทำรายการโอนยอดที่เครื่อง EDC โดยยอดจะไปปรากฏที่ธนาคารผู้ออกบัตร ทางธนาคารจะทำการโอนเงินที่เท่ากับจำนวนยอดที่โอนมาจากเครื่อง EDC ให้กับร้านค้าผ่านทางบัญชีธนาคาร และธนาคารจะเรียกเก็บเงินจากผู้ถือบัตรเครดิตเช่นเดียวกับขั้นตอนเดิม

ต่อมาได้มีการเพิ่มเติมรหัสผ่านหรือที่เรียกว่า PIN (Personal Identification Number) เข้ามาอีกชั้นหนึ่ง เนื่องจากหน้าบัตร อักษรตัวนูน ลายเซ็นและข้อมูลในแถบแม่เหล็กก็ยังสามารถถูกปลอมแปลงได้ จึงมีการกำหนดให้ผู้ถือบัตรต้องป้อน PIN จึงไม่ค่อยได้รับความนิยมมากนัก และค่อย ๆ หมดความนิยมไป จะมีเหลือให้เห็นก็เพียงเป็นรหัสผ่านสำหรับการเบิกเงินสดจากตู้ ATM เท่านั้น

ถึงอย่างไรก็ตามบัตรพลาสติกแถบแม่เหล็กก็ยังไม่ใช่หนทางที่ดีที่สุด ด้วยเหตุที่ว่าการทำรายการจากเครื่อง EDC แต่ละครั้งต้อง On-line กับคอมพิวเตอร์ HOST ของธนาคารผู้ออกบัตรทุกครั้ง ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในเรื่องของระบบสื่อสาร อีกทั้งปัจจุบันข้อมูลในแถบแม่เหล็กก็สามารถอ่านและเขียนกันได้อย่างง่ายดาย ดังนั้นการทำรายการ Off-line จึงเป็นหนทางแก้ไขที่น่าจะได้ผลที่สุด ด้วยเหตุนี้สมาร์ทการ์ดจึงถูกนำมาเป็นหนทางแก้ไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมาร์ทการ์ดปรากฏขึ้นครั้งแรกในประเทศเยอรมัน ในปี 1968 โดยชาวเยอรมัน (Jurgen Dethloff และ Helmut Grotupp) เป็นผู้คิดค้น แต่ผู้ที่ได้มาซึ่งสิทธิบัตรกลับเป็นชาวญี่ปุ่น (Kunitaka Arimura) ในปี 1970 และมีการจดสิทธิบัตรในชื่อของสมาร์ทการ์ดโดยชาวฝรั่งเศส (Roland Moreno) ในปี 1974 ในระยะแรกนั้นสมาร์ทการ์ดยังทำงานได้ไม่สมบูรณ์นัก เพราะสมาร์ทการ์ดรุ่นแรก ๆ นั้นยังมีปัญหาทางเทคนิคเล็กๆ น้อยๆ แม้ว่าสมาร์ทการ์ดจะถือกำเนิดในยุโรป แต่ในระยะแรกสมาร์ทการ์ดกลับไม่ค่อยได้รับความสนใจเท่าที่ควร จนกระทั่งปี 1984 บริษัท French PTS (Postal and Telecommunications Services) ได้นำสมาร์ทการ์ดมาใช้งานเป็นบัตรโทรศัพท์ เพื่อป้องกันการโกงค่าโทรศัพท์ ในครั้งนั้นโครงการเป็นโครงการนำร่องโดยมีการนำบัตรแถบแม่เหล็ก บัตรแถบแสง (Optical Storage) และสมาร์ทการ์ดมาทำการทดลองใช้งานเปรียบเทียบกัน ซึ่งแน่นอนว่าสมาร์ทการ์ดได้พิสูจน์ให้เห็นคุณลักษณะที่เหนือกว่าบัตรชนิดอื่น ทั้งในเรื่องของความทนทาน ความปลอดภัย เป็นผลให้สมาร์ทการ์ดในรูปของบัตรโทรศัพท์มีการไปใช้ถึง 60 ล้านใบ (เฉพาะในฝรั่งเศส) และตอกย้ำความสำเร็จอีกกว่า 100 ล้านใบจาก 50 ประเทศทั่วโลกในปี 1997 กระนั้นสมาร์ทการ์ดก็ยังเป็นเพียงบัตรโทรศัพท์ การนำสมาร์ทการ์ดมาใช้ทางด้านการเงินการธนาคารกลับเป็นไปอย่างเชื่องช้า เนื่องจากบัตรที่เกี่ยวข้องกับระบบการเงินการธนาคารมีความยุ่งยากกว่าบัตรโทรศัพท์

และในปี 1960 เทคโนโลยีการประมวลผลเพื่อเข้ารหัสข้อมูลของฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์มีความพร้อมมากขึ้นจึงมีการนำมาใช้ในการเข้ารหัสข้อมูลของสมาร์ทการ์ด ซึ่งแต่เดิมนั้นการรหัสจะมีการใช้งานเฉพาะในหน่วยงานทหารหรือหน่วยงานราชการลับเท่านั้น ด้วยเหตุนี้ทำให้สมาร์ทการ์ดสามารถทำการเข้า-ถอดรหัสข้อมูลได้ด้วยตัวมันเอง ทำให้การใช้สมาร์ทการ์ดมีความปลอดภัยสูงขึ้นจนสามารถนำมาใช้เป็นบัตรเครดิตหรือบัตรเงินสดได้อย่างสมบูรณ์แบบ

ในปี 1984 ธนาคารในฝรั่งเศสได้นำสมาร์ทการ์ดมาใช้เป็นบัตรเครดิตเป็นครั้งแรก ในระยะแรกนั้นต้องประสบกับปัญหามากมาย เกี่ยวกับความเข้ากันได้ของบัตรต่างธนาคาร ซึ่งต้องใช้เวลาถึง 10 ปี ที่จะทำให้เข้ากันได้ทั้งหมด เป็นเหตุให้มีการรวมตัวกันของ Europay, VISA, และ MASTER เพื่อกำหนดมาตรฐานแก่เครดิตการ์ด ในรูปของสมาร์ทการ์ดให้มีมาตรฐานเดียวกันทุกธนาคารในชื่อของมาตรฐาน EMV (Europay , MASTER, VISA) โดยอ้างอิงกับมาตรฐาน ISO 7816 เป็นหลัก ทำให้ผู้ที่ต้องการพัฒนาแอพพลิเคชั่นเครดิต หรือเดบิตบนสมาร์ทการ์ด ต้องทำตามข้อกำหนดของมาตรฐาน EMV เท่านั้น

2.1.3 ตัวบัตรพลาสติก

สมาร์ทการ์ดเป็นชิพไอซีขนาดเล็กที่ถูกสร้างขึ้นเช่นเดียวกับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ นำมาติดลงบนหน้าสัมผัส และทำการฝังลงในเนื้อบัตรพลาสติก ซึ่งพลาสติกที่นิยมนำมาทำเป็นตัวบัตรจะใช้พลาสติก 4 ชนิด ได้แก่ PVC (Polyvinyl Choloride), ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene), PC (Polycarbonate), PET (Polyethylene Terephthalate) ในประเทศไทยจะใช้บัตรพลาสติกชนิดพีวีซีมากเป็นอันดับหนึ่ง ส่วนอันดับสองเป็นบัตรพลาสติกชนิดเอบีเอส ซึ่งบัตรพลาสติกชนิดพีวีซีมักนำมาใช้เป็นบัตรเอทีเอ็ม บัตรเครดิต-เดบิต บัตรประจำตัวประชาชน ฯลฯ ส่วนบัตรพลาสติกชนิดเอบีเอส ไม่ค่อยพบว่าใช้งานกันมากนักเนื่องจากราคาสูงกว่า และลายที่พิมพ์ลงบนบัตรไม่สวยงามคงทนเท่าบัตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใชประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลาสติกชนิดพีวีซี จะพบก็เพียงบัตรพลาสติกเนื้อผสม โดยใช้พลาสติกชนิดเอบีเอสเป็นแกน และฉาบผิวด้วยพลาสติกชนิดพีวีซี ซึ่งจะทำให้ลายที่พิมพ์ลงบนบัตรสวยงามคงทนเท่าบัตรพลาสติกชนิดพีวีซี แต่ความทนทานของตัวบัตรจะสู้บัตรพลาสติกเนื้อพีวีซีล้วนไม่ได้

สำหรับบัตรพลาสติกอีกสองชนิดที่เหลือ ยังไม่พบว่ามีการใช้งานในประเทศไทย อาจเนื่องมาจากราคาที่สูงเกินไปของวัสดุที่นำมาใช้ทำเป็นตัวบัตร และคุณสมบัติของวัสดุที่ด้อยกว่าพลาสติกชนิดพีวีซี แต่ข้อเสียที่สำคัญของพลาสติกชนิดพีวีซีก็ไม่ด้อยไปกว่าข้อดีของมัน นั่นก็คือมันไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ซึ่งเท่ากับเป็นขยะสำหรับสิ่งแวดล้อมเลยทีเดียว

2.1.3.1 หน้าสัมผัสและชิพสมาร์ทการ์ด (Smart card Module)

สมาร์ทการ์ดโมดูลหรือหน้าสัมผัส และชิพสมาร์ทการ์ดคือ ส่วนที่แสดงความเป็นตัวตนของสมาร์ทการ์ดที่ชัดเจนที่สุด สมาร์ทการ์ดบางชนิด เมื่อหยิบขึ้นมาเราอาจไม่ทราบได้เลยว่ามันคือสมาร์ทการ์ดที่ชัดเจนที่สุด สมาร์ทการ์ดที่มีการฝังชิพไว้ในเนื้อบัตร ดังนั้นการที่จะระบุว่าบัตรใบใดเป็นบัตรสมาร์ทการ์ดนั้น ต้องดูที่หลักการทำงาน และลูกเล่นของบัตรเป็นหลัก ซึ่งต้องใช้ประสบการณ์เกี่ยวกับสมาร์ทการ์ดพอสมควร แต่ในที่นี้จะขอแนะนำให้เห็นภาพลักษณ์ที่ชัดเจนของสมาร์ทการ์ดเป็นหลัก ซึ่งก็คือส่วนของสมาร์ทการ์ดโมดูลนั้นเอง ในการผลิตสมาร์ทการ์ดโมดูล ส่วนที่เป็นหน้าสัมผัสของสมาร์ทการ์ดประกอบด้วยโลหะหลายชิ้นประกอบกัน แต่ละส่วนจะถูกยึดด้วยแถบฟิล์มบางๆ ทางด้านหลังของหน้าสัมผัสเพื่อให้คงรูปอยู่ได้ แถบฟิล์มตัวนี้จะมีการเจาะช่องเล็กๆ สำหรับการเชื่อมต่อสายนำสัญญาณกับชิพสมาร์ทการ์ดกับหน้าสัมผัส หลังจากที่วางชิพสมาร์ทการ์ดลงในตำแหน่งที่ต้องการ และเชื่อมต่อสายนำสัญญาณจากชิพสมาร์ทการ์ดเข้ากับหน้าสัมผัสเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการผนึกชิพสมาร์ทการ์ดเพื่อป้องกันตัวชิพ และสายนำสัญญาณต่าง ๆ จากสิ่งแวดล้อมภายนอก (เป็นการทดสอบขั้นต้น) ส่วนขั้นตอนที่เหลือจะเป็นการนำหน้าสัมผัส และชิพใส่ลงในบัตรพลาสติก และทดสอบการทำงานของชิพขั้นสุดท้าย

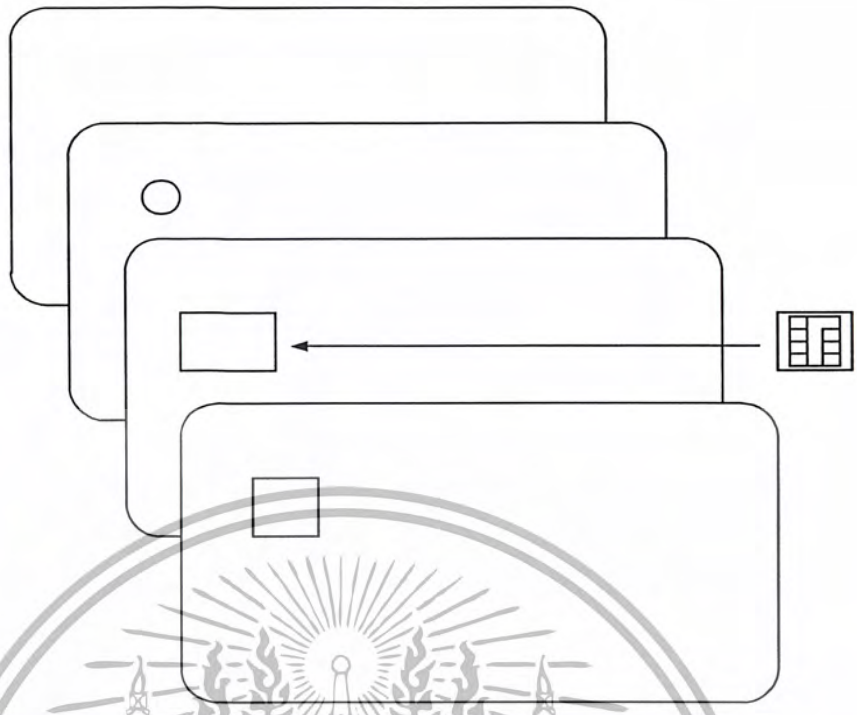
2.1.4 การประกอบสมาร์ทการ์ดโมดูลลงในบัตรพลาสติก

การประกอบสมาร์ทการ์ดโมดูลลงในบัตรนั้นมีหลายวิธีด้วยกัน ตามแต่ชนิดของสมาร์ทการ์ดโมดูล และการเตรียมบัตรพลาสติก ซึ่งการเตรียมบัตรพลาสติกจะนำมาใส่สมาร์ทการ์ดโมดูลมีด้วยกันสองแบบคือ บัตรพลาสติกที่ถูกขุดหลุมบนบัตร และบัตรพลาสติกที่เกิดจากการทับซ้อนของชั้นพลาสติกที่เจาะช่องมาแล้ว โดยสมาร์ทการ์ดโมดูลจะใช้บัตรพลาสติกที่มีการเตรียมการแล้วดังนี้

2.1.4.1 การสร้างสมาร์ทการ์ดด้วยวิธีทับซ้อนของแผ่นพลาสติก (TAB – Tape automated bonding)

สมาร์ทการ์ดชนิดนี้เกิดจากการทับซ้อนของชั้นพลาสติกตั้งแต่ 3 ชั้นขึ้นไป โดยแต่ละชั้นจะมีการเจาะช่องตามขนาดหน้าสัมผัส และชิพสมาร์ทการ์ดไว้อยู่แล้วส่วนที่เป็นหน้าสัมผัส และชิพจะถูกแทรกอยู่ในชั้นในของพลาสติก เมื่อวางซ้อนกันเรียบร้อยแล้วก็จะทำการอัดแต่ละชั้นด้วยความร้อน เมื่อความร้อนถึงที่จุดที่ทำให้พลาสติกแต่ละชั้นประสานตัวเอง ก็จะนำมาตัดแต่งขอบบัตร และทำการทดสอบการทำงานของชิพเป็นขั้นตอนสุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

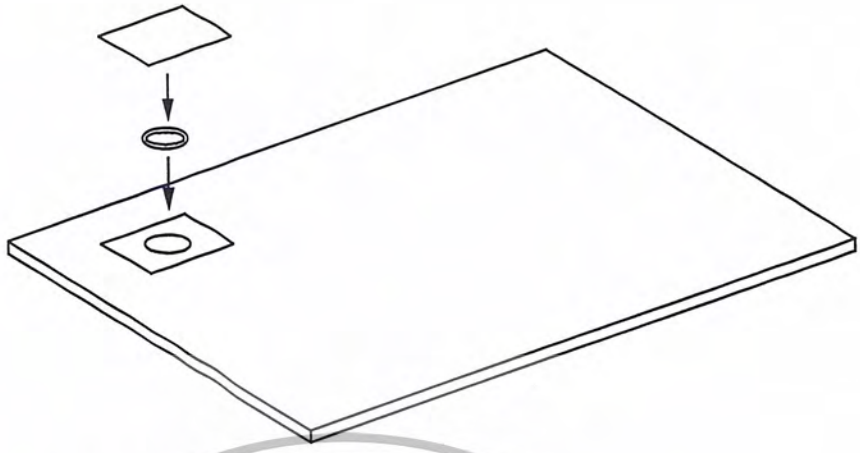


รูปที่ 2.1 การประกอบสมาร์ทการ์ดโมดูลด้วยวิธีการทับซ้อนของชั้นพลาสติก

2.1.4.2 การสร้างสมาร์ทการ์ดด้วยวิธีการวางสมาร์ทการ์ดโมดูลลงในเนื้อบัตร (Chip-On-Flex)

สมาร์ทการ์ดโมดูลที่จะนำมาใส่ลงในบัตรพลาสติก ผู้ผลิตจะทำการตัดตามขนาดของหลุมบนบัตรพลาสติกที่ขุดรอไว้แล้วด้วยเครื่องจักร ทำการเชื่อมด้วยกาว และอบด้วยความร้อนเพื่อให้สมาร์ทการ์ดโมดูลติดสนิทกับเนื้อพลาสติก จากนั้นจึงทำการทดสอบการทำงานของชิพเป็นขั้นตอนสุดท้าย การใส่หน้าสัมผัส และชิพสมาร์ทการ์ดด้วยกาวนี้ เป็นวิธีที่นิยมทำกันมากที่สุด เพราะผู้ผลิตสามารถประหยัดต้นทุนในการผลิตได้มาก เนื่องจากวิธีการนี้เสียค่าใช้จ่ายในการผลิตน้อยที่สุด ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของแรงงาน ความรวดเร็วในการผลิต และเปอร์เซ็นต์สินค้าชำรุดต่ำ ในคุณภาพของสมาร์ทการ์ดที่ยังพอยอมรับได้

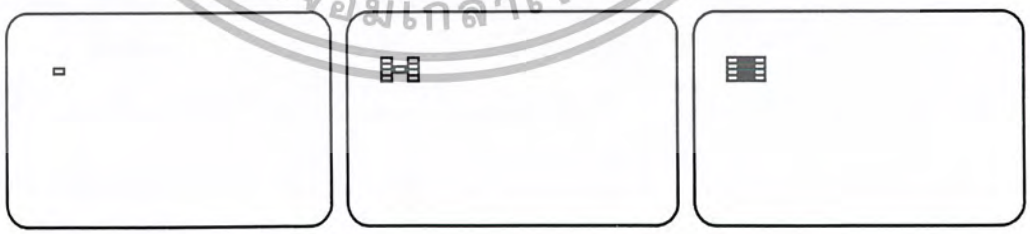
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 การสร้างสมาร์ทการ์ดด้วยวิธีการวางสมาร์ทการ์ดโมดูลลงในเนื้อบัตร

2.1.4.3 การสร้างสมาร์ทการ์ดด้วยวิธีการสร้างหน้าสัมผัสบนผิวของบัตร (Chip-On-Surface)

สมาร์ทการ์ดโมดูลชนิดติดบนผิวของบัตร ผลิตโดยการใช้แสงเลเซอร์ทำการขุดหลุมบนบัตรพลาสติกขนาดเท่ากับตัวชิพสมาร์ทการ์ด วางชิพสมาร์ทการ์ดลงในตำแหน่งที่กำหนด สร้างหน้าสัมผัสและเชื่อมสายสัญญาณกับชิพสมาร์ทการ์ดด้วยหมึกนำไฟฟ้า สุดท้ายพิมพ์ทับส่วนที่เป็นภายในโดยปล่อยส่วนที่เป็นหน้าสัมผัส ที่สร้างจากหมึกนำไฟฟ้าไว้เท่านั้น สมาร์ทการ์ดชนิดนี้ไม่ค่อยมีให้เห็นมากนัก เนื่องจากต้องใช้เทคโนโลยีในการผลิตที่สูงกว่าหน้าสัมผัสแบบอื่น ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงตามไปด้วย อีกทั้งความทนทานก็ยังน้อยกว่าสมาร์ทการ์ดโมดูลชนิดอื่น ๆ



รูปที่ 2.3 การสร้างสมาร์ทการ์ดด้วยวิธีการสร้างหน้าสัมผัสบนผิวของบัตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับสมาร์ทการ์ดมีด้วยกันหลายมาตรฐาน มาตรฐานหลาย ๆ ตัวมีเนื้อหาที่ซ้ำซ้อนกันเป็นผลให้สมาร์ทการ์ดเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยุ่งยาก ถึงฉะนั้นการพัฒนาระบบเพื่อใช้งานร่วมกับสมาร์ทการ์ดก็ยังต้องยึดถือตามมาตรฐานเหล่านั้น มาตรฐานที่นำมาใช้กับสมาร์ทการ์ดนี้จะมีทั้งมาตรฐานที่มีอยู่แต่เดิมก่อนที่จะมีสมาร์ทการ์ด และมาตรฐานที่กำหนดขึ้นสำหรับสมาร์ทการ์ด โดยเฉพาะซึ่งอ้างอิงจากมาตรฐานบัตรพลาสติกและบัตรแถบแม่เหล็กที่มีอยู่แล้ว

2.1.5.1 มาตรฐาน ISO7810 – ISO7811 และ ISO7813

ก่อนที่จะเข้าถึงเรื่องของสมาร์ทการ์ดคงต้องขอกล่าวถึงมาตรฐานอีกตัวหนึ่งซึ่งมีความสำคัญพอ ๆ กับมาตรฐานของสมาร์ทการ์ดนั้นก็คือมาตรฐานของบัตรพลาสติก และบัตรแถบแม่เหล็ก (บัตรเครดิต) นั้นก็คือมาตรฐาน ISO7810 และ มาตรฐาน ISO7811

ISO7810 : มาตรฐานที่กำหนดด้วยเรื่องของคุณสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของบัตรพลาสติก

ISO7811-1 : มาตรฐานที่กำหนดด้วยเรื่องของตัวอักษรนูนบนบัตร

ISO7811-2 : มาตรฐานที่กำหนดด้วยเรื่องของแถบแม่เหล็กบนบัตร

ISO7811-3 : มาตรฐานที่กำหนดตำแหน่งของการพิมพ์ตัวอักษรนูนบนบัตร

ISO7811-4 : มาตรฐานที่กำหนดตำแหน่งที่อยู่ของข้อมูลแทร็ก 1 และ 2

ISO7811-5 : มาตรฐานที่กำหนดตำแหน่งที่อยู่ของข้อมูลแทร็ก 3

ISO7811-6 : มาตรฐานที่กำหนดด้วยเรื่องของแถบแม่เหล็กแบบความหนาแน่นสูงบนบัตร

ISO7813 : มาตรฐานที่กำหนดด้านการเงินการธนาคาร

2.1.5.2 มาตรฐาน ISO7816

เพื่อให้เกิดความเข้ากันได้ของสมาร์ทการ์ด จึงมีการกำหนดมาตรฐานของสมาร์ทการ์ดในชื่อของ ISO7816 เป็นการกำหนดในเรื่องของคุณลักษณะของบัตรพลาสติกที่จะนำมาทำเป็นสมาร์ทการ์ด โดยมาตรฐาน ISO7816 มีหัวข้อย่อยโดยแบ่งเป็น ISO7816-1, ISO7816-2, ISO7816-3 , และปัจจุบันมีถึง ISO7816-6 ซึ่งมีข้อกำหนดเกี่ยวกับเรื่องของสมาร์ทการ์ดมากมายเกินกว่าจะจดจำได้ทั้งหมด ดังนั้นจึงขอแสดงให้เห็นเพียงคร่าว ๆ เบื้องต้นดังนี้

ISO7816-1 : มาตรฐานที่กำหนดด้วยเรื่องของคุณสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของสมาร์ทการ์ด ประกอบด้วย

☐ ความทนทานต่อแสง และรังสีชนิดต่าง ๆ

☐ ขนาดความหนาของชิพสมาร์ทการ์ด

☐ ความทนทานต่อแรงกดของหน้าสัมผัส (ทนทานต่อแรงกด 1.5 นิวตันได้โดยไม่เสียหาย)

☐ ค่าความต้านทานของหน้าสัมผัส (ไม่เกิน 0.5 โอห์ม ที่กระแส 0.5 ไมโครแอมป์ – 300 มิลลิแอมป์)

☐ ความทนทานต่อสนามแม่เหล็ก

☐ ความทนทานต่อไฟฟ้าสถิต1500 โวลต์ ประจุ 100 พิโกฟารัด ที่ 1500โอมห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความทนทานต่อการบิดงอ เป็นจำนวน 30 ครั้งต่อนาทีโดยบัตรและชิพต้องไม่เกิดความเสียหาย

2.1.6 ข้อกำหนดอีเอ็มวี (EMV : Europay, MASTER, VISA)

ข้อกำหนดอีเอ็มวีเป็นข้อกำหนดที่ใช้ระบุข้อกำหนดขั้นต่ำของสมาร์ทการ์ด และเครื่องรับบัตรสมาร์ทการ์ด ซึ่งเป็นการร่วมกันระหว่าง Europay มาสเตอร์ และวีซ่าในการกำหนดคุณสมบัติของสมาร์ทการ์ด ที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการทำธุรกรรมด้านการเงิน และการธนาคาร ซึ่งกำลังได้รับการผลักดันให้กลายเป็นมาตรฐานในการทำธุรกรรมบนสมาร์ทการ์ด ประกอบด้วยข้อกำหนด 3 ตัว ได้แก่

2.1.6.1 ข้อกำหนดสำหรับบัตรสมาร์ทการ์ดที่ใช้ในระบบการชำระเงิน เป็นข้อกำหนดส่วนใหญ่ในข้อกำหนดอีเอ็มวีสำหรับบัตรสมาร์ทการ์ด อ้างอิงกับมาตรฐาน ISO7816 แบ่งออกเป็น 4 ส่วนย่อยดังนี้

- ❑ คุณสมบัติทางกายภาพของบัตร และข้อกำหนดในการแลกเปลี่ยนข้อมูล ประกอบด้วย
  - คุณสมบัติเชิงกล เช่น ขนาด และตำแหน่งของชิพสมาร์ทการ์ด
  - คุณสมบัติทางไฟฟ้า เช่น แรงดัน กระแสไฟฟ้า ความต้านทาน ความถี่ที่ใช้งาน
  - โปรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสาร
- ❑ รายละเอียดข้อมูลและชุดคำสั่งที่ใช้ในการสื่อสาร ประกอบด้วย
  - โครงสร้างข้อมูลที่ใช้สำหรับการสื่อสารเพื่อธุรกรรมทางการเงิน
  - โครงสร้างไฟล์ข้อมูลในสมาร์ทการ์ด
  - ชุดคำสั่งสำหรับการสื่อสาร
- ❑ ขั้นตอนการประมวลผล เป็นการกำหนดขั้นตอนสำหรับเครื่องรับบัตรสมาร์ทการ์ดว่าในการทำธุรกรรมต้องประมวลผลอะไรบ้าง รวมถึงการบังคับให้บัตรหลายๆ บัตรสามารถใช้ร่วมกันได้ และกำหนดให้มีฟังก์ชั่นการทำงานภายในบัตรมากพอเพื่อใช้ในการทำธุรกรรม ซึ่งข้อกำหนดนี้ประกอบด้วย
  - โครงสร้างไดเร็กทอรี่ของข้อมูลในสมาร์ทการ์ด
  - กระบวนการการประมวลผล
- ❑ มาตรการรักษาความปลอดภัย ประกอบด้วย
  - ป้องกันการแก้ไขข้อมูลที่หวงห้าม
  - กุญแจรหัสสำหรับการแจกจ่าย (Public Key)
  - การตรวจสอบความถูกต้องของกุญแจรหัส (Key Verification)
  - รูปแบบการรักษาความปลอดภัยของสายข้อมูล (Secure Messaging)

2.1.6.2 ข้อกำหนดสำหรับเครื่องรับบัตรสมาร์ทการ์ดที่ใช้ในระบบการชำระเงิน เป็นข้อกำหนดสำหรับเครื่องรับสมาร์ทการ์ดที่ระบุถึงส่วนบังคับ ส่วนที่แนะนำ และส่วนที่เป็นทางเลือกให้แก่ผู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตเครื่องรับสมาร์ทการ์ด โดยรวมถึงเครื่องเอทีเอ็ม เครื่อง POS อุปกรณ์ประกอบเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เครื่องเก็บเงินอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องอ่านบัตรสำหรับผู้ถือบัตร และเครื่องเติมเงิน ซึ่งประกอบด้วย

- ชนิดของเครื่องรับสมาร์ทการ์ด และความสามารถในการทำงาน
- คุณสมบัติทางกายภาพทั่วไป
- สถาปัตยกรรมทางด้านซอฟแวร์
- มาตรการรักษาความปลอดภัยของเครื่องรับสมาร์ทการ์ด
- ส่วนแสดงผลสำหรับผู้ถือบัตร
- ส่วนแสดงผลสำหรับรับบัตร หรือร้านค้า

2.1.6.3 ข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับการใช้งานบัตรสมาร์ทการ์ดในระบบการชำระเงิน เป็นข้อกำหนดที่เจาะจงสำหรับกระบวนการในการใช้บัตรเพื่อชำระเงิน ประกอบด้วย

- โครงสร้างไฟล์ข้อมูลสำหรับจัดการเรื่องของธุรกรรม
- ขั้นตอนการทำธุรกรรมด้วยบัตรสมาร์ทการ์ด
- การประมวลผลสำหรับธุรกรรมที่ผิดปกติ

2.1.7 รายละเอียดพื้นฐานของสมาร์ทการ์ด

สมาร์ทการ์ดเป็นบัตรพลาสติกขนาดเท่าบัตรเครดิต หรือบัตร ATM(Automatic Teller Machine) ที่มีหน่วยเก็บข้อมูล และหน่วยประมวลผลเรียกว่า ไมโครชิพ ติดอยู่บนบัตร ซึ่งข้อมูลนี้อาจจะอยู่ในรูปของตัวเลขหรือตัวอักษรก็ได้ โดยมีกลไกในการเขียน และการอ่านข้อมูลที่ซับซ้อนทำให้ยากต่อการปลอมแปลง จึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ มากมาย เช่น ด้านการเงิน และการธนาคาร ด้านโทรคมนาคม ด้านงานทะเบียน ด้านการศึกษา การรักษาความปลอดภัย เป็นต้น

สมาร์ทการ์ดมีพื้นฐานมาจากระบบไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งมีแนวคิดเริ่มแรกจากการนำชิพหน่วยความจำ (EEPROM) มาฝังลงในบัตรพลาสติก โดยมีหน้าสัมผัสเป็นขาเชื่อมต่อกับระบบภายนอก ในการเชื่อมต่อต้องมีการป้อนกระแสไฟฟ้าให้ชิพหน่วยความจำสามารถทำงานได้ การสั่งงานเพื่ออ่านหรือเขียนข้อมูลจากชิพหน่วยความจำ ก็ทำได้โดยการเชื่อมต่อสัญญาณผ่านหน้าสัมผัสที่กำหนดไว้แล้ว ดูแล้วก็นับว่าเป็นความคิดที่ไม่เลวทีเดียว ในการเชื่อมต่อขาสัญญาณของชิพหน่วยความจำแบบธรรมดา อาจไม่เหมาะนักสำหรับบัตรพลาสติกขนาดเล็ก เนื่องจากจำนวนขาสัญญาณของหน่วยความจำ (Bus) มีจำนวนไม่น้อยทีเดียว ยิ่งหน่วยความจำที่มีความจุสูง ๆ ยิ่งต้องใช้สัญญาณอ้างอิงตำแหน่งของข้อมูล (Address Bus) มากขึ้น จึงมีการนำเอาระบบสื่อสารแบบอนุกรมมาใช้ ทำให้จำเป็นต้องมีการป้อนสัญญาณนาฬิกาเพื่อกำกับจังหวะการรับ-ส่งข้อมูลแต่ละบิตทำให้ต้องมีหน้าสัมผัสสำหรับสัญญาณนาฬิกาบนชิพสมาร์ทการ์ดเพิ่มขึ้นมา แต่ก็นับว่าทำให้ขาเชื่อมต่อลดลงไปได้ไม่น้อยทีเดียว ด้วยเหตุนี้ สมาร์ทการ์ดชนิดหน่วยความจำจึงเป็นสมาร์ทการ์ดชนิดแรกที่ถูกสร้างขึ้น การนำเอาชิพหน่วยความจำมาใส่ในบัตรพลาสติก ทำให้เกิดข้อดีเหนือบัตรแถบแม่เหล็ก ด้วยความจุข้อมูลที่มากกว่าไม่มีผลต่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และรอยขีดข่วนทำให้สมาร์ทการ์ดโดดเด่นกว่าแถบแม่เหล็กอย่างเทียบกันไม่ได้ แต่ข้อเสียประการหนึ่งของการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยความจำเพียงอย่างเดียวคือ สามารถทำการอ่าน และเขียนข้อมูลได้อย่างอิสระเช่นเดียวกับบัตรแถบแม่เหล็ก จึงถือได้ว่าความปลอดภัยของข้อมูลเกือบเป็นศูนย์นั้นก็คือ ข้อมูลภายในสมาร์ทการ์ดชนิดนี้ไม่เป็นความลับ ด้วยเหตุนี้จึงการเข้าถึงข้อมูลแต่ละไบต์ด้วยวงจรฟิวส์แมทริกธรรมดาๆ ที่เมื่อกำหนดเงื่อนไขไปแล้วจะไม่สามารถแก้ไขได้อีก ต่อมาเมื่อเทคโนโลยีทางด้านเซมิคอนดักเตอร์สูงขึ้น จึงมีการออกแบบวงจรที่สามารถกำหนดเป็นกุญแจรหัส (PIN) สำหรับเข้าถึงข้อมูลในบัตร ซึ่งต้องทำการแสดงกุญแจรหัสทุกครั้งที่บัตรเริ่มทำงาน เพื่อป้องกันการเจาะระบบอีกชั้นหนึ่ง อีกทั้งกุญแจรหัสก็ยังสามารถเปลี่ยนแปลงได้อีกด้วย

ต่อมามีการนำเอาไมโคร โปรเซสเซอร์ (ที่จริงแล้วเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่จะขอเรียกว่าไมโคร โปรเซสเซอร์เป็นหลัก) มาใส่ลงในสมาร์ทการ์ด ทำให้เกิดเป็นสมาร์ทการ์ดชนิดใหม่ที่มีความซับซ้อนยิ่งขึ้น การเข้าถึงข้อมูลไม่สามารถทำได้โดยตรงเหมือนอย่างสมาร์ทการ์ดชนิดหน่วยความจำ การใช้สมาร์ทการ์ดชนิดนี้ต้องเขียนขึ้นเป็นชุดคำสั่ง และส่งให้กับชิพไมโคร โปรเซสเซอร์ทำงานแทนการที่ใส่ชิพไมโปรเซสเซอร์ลงไปในสมาร์ทการ์ด ทำให้ต้องมีการเพิ่มส่วนของหน่วยความจำโปรแกรม (OS-Operating System) สำหรับไมโคร โปรเซสเซอร์ เพื่อให้ไมโคร โปรเซสเซอร์สามารถทำการประมวลผลคำสั่งต่าง ๆ และสามารถโปรแกรมการเข้าถึงข้อมูล ทำให้ช่องโหว่ที่สำคัญของสมาร์ทการ์ดได้รับการแก้ไขจนเกือบสมบูรณ์แบบ

นอกจากสมาร์ทการ์ดทั้งสองชนิดที่ได้กล่าวมา ยังมีสมาร์ทการ์ดอีกชนิดหนึ่งที่ไม่ใช้หน้าสัมผัส (Contactless) ในการรับส่งสัญญาณ โดยอาศัยเทคโนโลยีคลื่นวิทยุในการติดต่อสื่อสาร สมาร์ทการ์ดชนิดนี้อาศัยการแปลงคลื่นวิทยุส่วนหนึ่งมาเป็นกระแสไฟฟ้าสำหรับป้อนให้ชิพ อีกส่วนหนึ่งมาดีเทคเอาข้อมูลคำสั่งให้ชิพสมาร์ทการ์ดชนิดนี้ได้รับความนิยมค่อนข้างมาก เพราะความน่าตื่นตาตื่นใจ และล้ำสมัยของมัน แต่กระนั้นราคาของมันก็ย่อมสูงตามไปด้วย

ปัจจุบันผู้ผลิตสมาร์ทการ์ดชนิด Contactless หลายรายได้ประกาศตัวว่า สามารถบรรจุชิพโปรเซสเซอร์ และสามารถใช้ทำคำสั่งที่สลับซับซ้อนมาก ๆ อย่างเช่นคำสั่งในการเข้า และถอดรหัสข้อมูลซึ่งต้องใช้กระแสไฟฟ้าจำนวนมาก

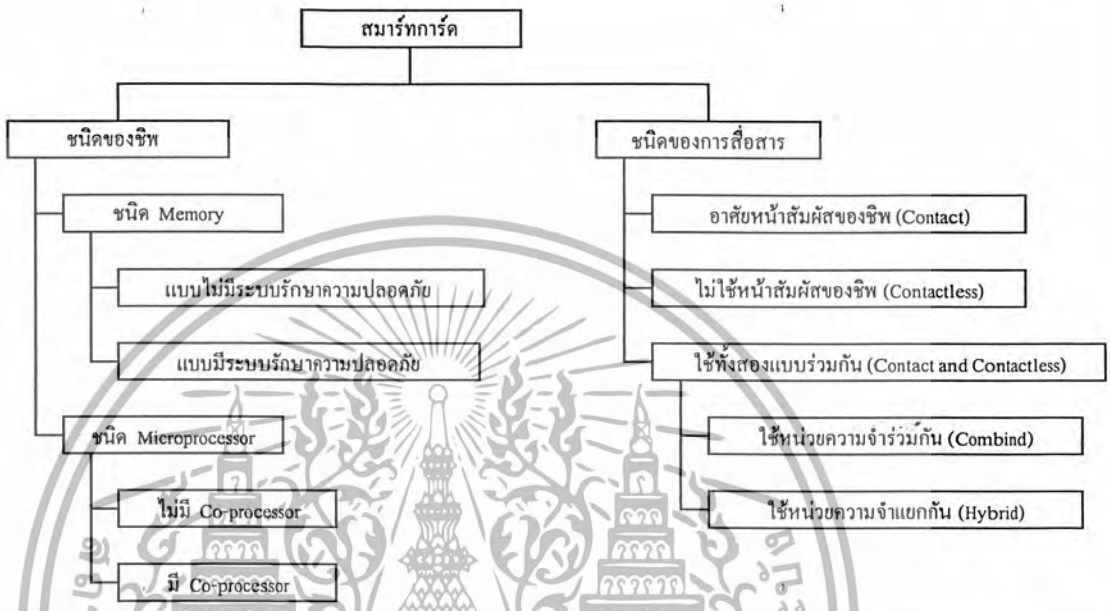
2.1.8 ชนิดของสมาร์ทการ์ด

การแบ่งชนิดของสมาร์ทการ์ดในปัจจุบันอาจทำได้ยาก เนื่องจากมีการใส่เทคโนโลยีใหม่ๆ ลงสมาร์ทการ์ดตลอดเวลา ถ้าจะแบ่งตามชนิดของหน่วยความจำภายในอาจไม่ชัดเจนนัก ยิ่งแบ่งตามลักษณะการเชื่อมต่อ ก็คงไม่ครอบคลุมสมาร์ทการ์ดทั้งหมด ดังนั้นจึงแสดงการแบ่งชนิดของของสมาร์ทการ์ดให้เข้าใจง่าย ๆ ดังรูปที่ 2.4

จากรูปที่ 2.4 จะเห็นได้ว่าสามารถแบ่งสมาร์ทการ์ดจากโครงสร้างภายในได้ 2 ชนิดก็คือ สมาร์ทการ์ดชนิดหน่วยความจำ (Memory card) และสมาร์ทการ์ดชนิดไมโคร โปรเซสเซอร์ (Microprocessor card) ซึ่งชิพทั้งสองแบบจะมีหน้าสัมผัสเหมือนกัน แต่สัญญาณที่ต้องป้อนให้แก่หน้าสัมผัสบางหน้าสัมผัสจะไม่มีการใช้งานในสมาร์ทการ์ดต่างชนิดกัน เช่น แรงดันไฟฟ้าสำหรับการเขียนข้อมูลลงในชิพ (Vpp)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีใช้ในสมาร์ทการ์ดชนิดหน่วยความจำเท่านั้น สัญญาณนาฬิกาสำหรับป้อนให้ชิพทำงาน (CLK) ต้องป้อนให้กับชิพเหมือนกัน สำหรับสัญญาณนาฬิกา (CLK) ที่ป้อนให้ชิพสมาร์ทการ์ดเป็นสัญญาณนาฬิกาภายนอกที่ป้อนให้ชิพทำงานได้ เพราะภายในชิพสมาร์ทการ์ดไม่มีวงจรสำหรับสร้างสัญญาณนาฬิกา แต่หน้าสัมผัส I/O จะมีการรับ-ส่งข้อมูลที่แตกต่างกันในเรื่องของความถี่และวิธีการควบคุมจังหวะการรับ-ส่งของข้อมูลแต่ละบิต



รูปที่ 2.4 การแบ่งสมาร์ทการ์ดตามชนิดของหน่วยความจำ

ในการแบ่งสมาร์ทการ์ดออกเป็นสองชนิดตามชนิดของวงจรภายในดังที่กล่าวมา อาจแบ่งได้อีกลักษณะคือ แบ่งตามความถี่ในการรับ-ส่งข้อมูลผ่านหน้าสัมผัส I/O ของสมาร์ทการ์ดดังที่กล่าวไปแล้ว ซึ่งสามารถแบ่งได้ดังนี้

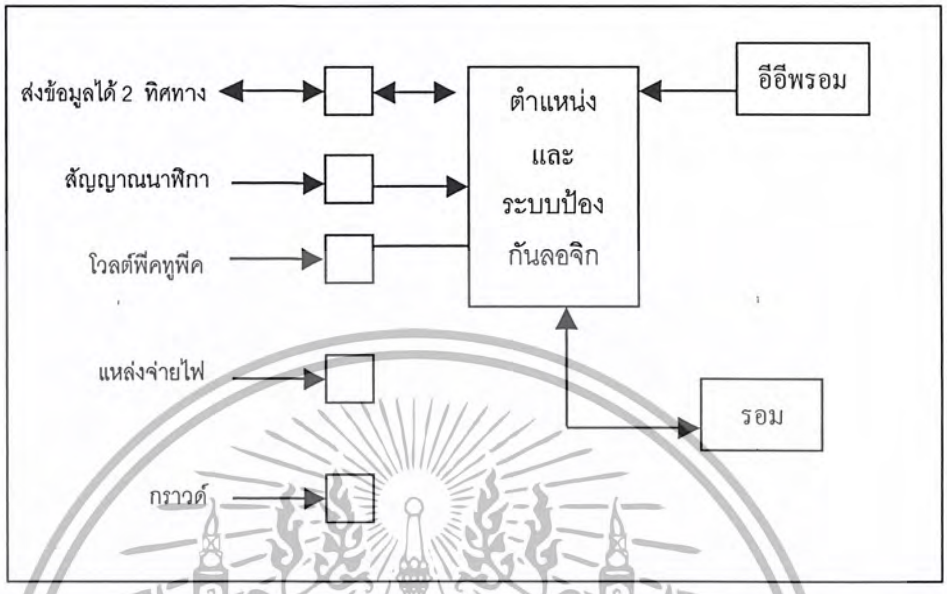
2.1.8.1 การ์ดหน่วยความจำ (Synchroonous card)

สมาร์ทการ์ดชนิดหน่วยความจำ (Memory) หรืออีกชื่อหนึ่งคือ การ์ดหน่วยความจำเนื่องจากสมาร์ทการ์ดชนิดนี้มีการรับส่ง-ข้อมูลตามสัญญาณนาฬิกาที่ป้อนให้ชิพ (ข้อมูลแต่ละบิตที่ส่งให้แก่ชิพต้องสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกา) สมาร์ทการ์ดชนิดนี้มีโครงสร้างที่ประกอบไปด้วย ส่วนของการวงจรสำหรับติดต่อสื่อสารภายนอก หน่วยความจำข้อมูล และหน่วยความจำสำหรับเก็บชุดคำสั่ง ของสมาร์ทการ์ดดังรูปที่ 2.5

สมาร์ทการ์ดที่เป็นพื้นฐานของสมาร์ทการ์ดในปัจจุบัน ก็คือสมาร์ทการ์ดชนิด Free Access Memory สมาร์ทการ์ดชนิดนี้เปิดโอกาสให้อ่านและเขียนข้อมูลในแอดเดรสใด ๆ ก็ได้ตามชื่อของสมาร์ทการ์ดชนิดนี้ ไม่มีการป้องกันข้อมูลใด ๆ ภายในสมาร์ทการ์ดชนิดนี้ซึ่งแน่นอนว่าเป็นสมาร์ทการ์ดที่มีความปลอดภัยต่ำที่สุด ถึงกระนั้นการอ่านข้อมูลก็ไม่ใช่เรื่องง่ายนัก เมื่อมีการออกแบบหน่วยความจำข้อมูลให้มีการสลับตำแหน่งของบิตข้อมูล โดยมีวงจรควบคุมการสลับตำแหน่งของบิตเป็นส่วนป้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

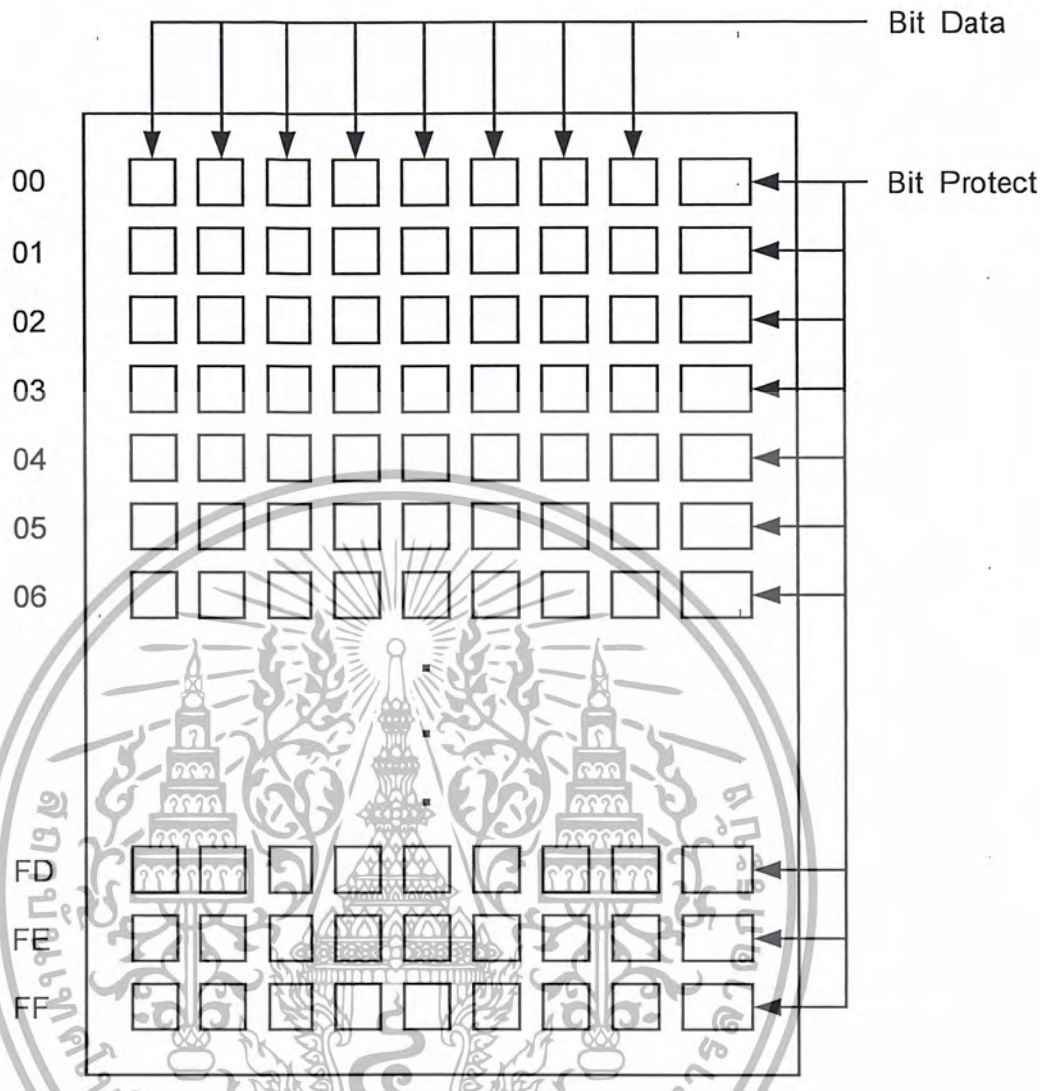
ข้อมูลอีกต่อหนึ่ง ดังนั้นการอ่านข้อมูลแบบธรรมดาจะไม่ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง หากไม่ติดต่อกับวงจรควบคุมการสลับตำแหน่งของบิตโดยตรง



รูปที่ 2.5 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างภายในชิพสมาร์ทการ์ดชนิดหน่วยความจำ

นอกจากนี้สมาร์ทการ์ดชนิดหน่วยความจำแบบธรรมดา ยังมีการใส่วงจรกำหนดเงื่อนไขการอ่านเขียนข้อมูลลงไปด้วย ทำให้สามารถกำหนดเงื่อนไขการอ่าน – เขียนข้อมูลได้ทุกไบต์ โดยสมาร์ทการ์ดที่มีวงจรป้องกันการอ่าน – เขียนชนิดนี้ถูกเรียกว่า PIN Protect Memory เนื่องจากการเข้าถึงข้อมูลจะต้องแสดงรหัสผ่านให้บัตรรับทราบก่อนจึงจะสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ วงจรกำหนดเงื่อนไขการอ่าน-เขียนข้อมูลจะมีบิตพิเศษที่มีชื่อว่าบิตป้องกัน ซึ่งเป็นบิตข้อมูลที่ฝากไว้กับข้อมูลให้เป็นบิตที่ 9 แต่ไม่สามารถแก้ไขด้วยคำสั่งเขียนข้อมูลธรรมดา เพราะบิตป้องกันไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของข้อมูลจริง ๆ ในการแก้ไขบิตป้องกันนี้จะสามารถทำการเปลี่ยนแปลงได้เพียงครั้งเดียวด้วยคำสั่งเฉพาะเท่านั้นเช่น หากต้องการบังคับไม่ให้ข้อมูลไบต์ใดไม่สามารถแก้ไขได้ก็ให้ทำการเคลียร์บิตที่ 9 ของข้อมูลไบต์นั้น ๆ แต่สำหรับรหัสผ่านในการเข้าถึงข้อมูลสามารถเปลี่ยนแปลงได้แต่ต้องแสดงรหัสผ่านชุดเก่าให้บัตรได้ทราบเสียก่อนจึงจะสามารถเปลี่ยนแปลงรหัสผ่านได้

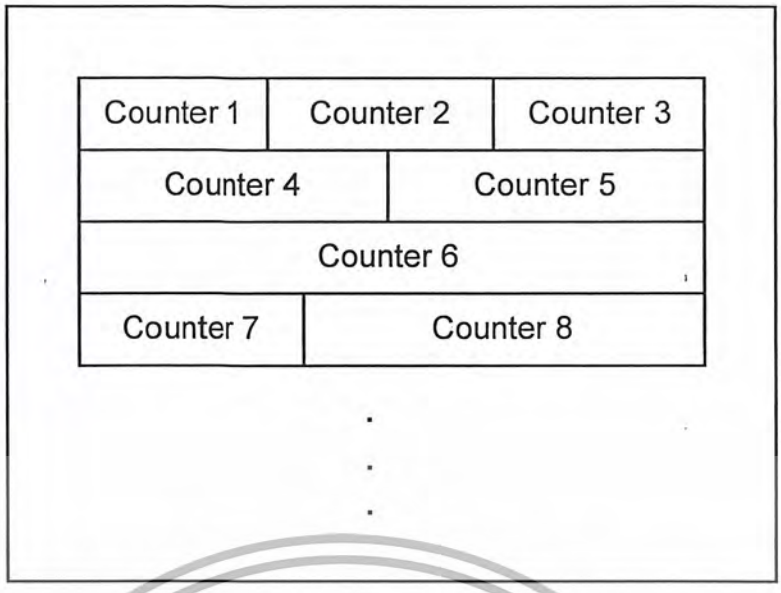
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างหน่วยความจำของ Memory card ชนิด PIN Protect

สมาร์ทการ์ดอีกชนิดหนึ่งที่มีใช้เป็นบัตรโทรศัพท์ในประเทศไทยนั้นคือ การ์ดหน่วยความจำชนิด Token ภายในสมาร์ทการ์ดชนิดนี้จะมีการเก็บข้อมูลในลักษณะจำนวนนับ (Counter) ซึ่งจำนวนนับนี้จะเป็นตัวเลขแทนข้อมูลของเงินที่ระบุบนบัตร การนับเลขเป็นการนับถอยหลังเพื่อเป็นการนับข้อมูลที่คงเหลือในบัตร หมายความว่าหากใช้บัตรในการโทรศัพท์ไปเรื่อย ๆ ข้อมูลในบัตรจะถูกลดลงตามไปด้วยเช่นกัน ในการเข้าถึงข้อมูลของสมาร์การ์ดชนิดนี้จะต้องมีการแสดงรหัสผ่านให้บัตรรับทราบเหมือนกับการ์ดหน่วยความจำชนิด PIN Protect Memory แต่ไม่มีบิตป้องกันเท่านั้นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างหน่วยความจำของ Memory card ชนิด Token

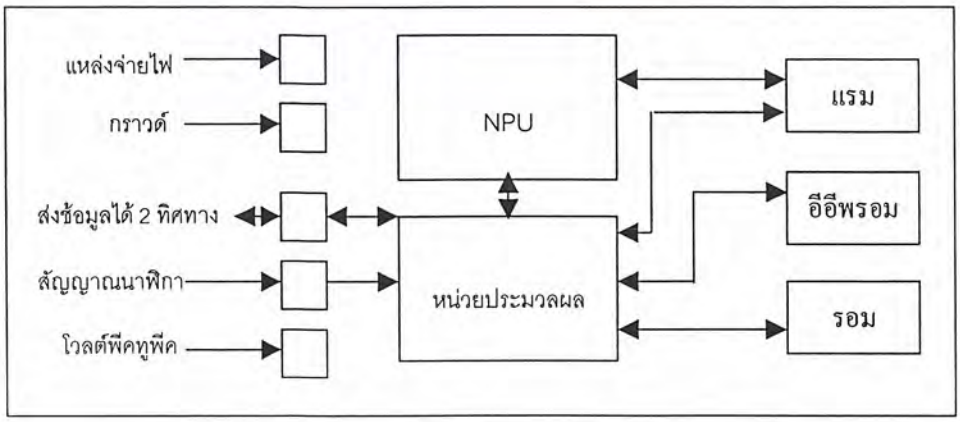
สมาร์ทการ์ดชนิดหน่วยความจำ เป็นสมาร์ทการ์ดที่เป็นพื้นฐานของสมาร์ทการ์ดรุ่นใหม่ ๆ ในปัจจุบันด้วยโครงสร้าง และการทำงานที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจ ราคาถูก สามารถเก็บข้อมูลได้จำนวนมาก และความเร็วในการทำงานของชิพไม่สูงนัก จึงทำให้สมาร์ทการ์ดชนิดนี้เหมาะที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่ข้อมูลไม่ค่อยสำคัญมากนักเช่น บัตรลงเวลาทำงาน บัตรผ่านประตู บัตรโทรศัพท์ ฯลฯ ปัจจุบันสมาร์ทการ์ดชนิดหน่วยความจำมีขนาดหน่วยความจำสูงสุดถึง 64 กิโลไบต์และอีกไม่นานนักเราจะได้เห็นสมาร์ทการ์ดที่มีขนาดหน่วยความจำข้อมูลถึง 128 กิโลไบต์

2.1.8.2 ไมโคร โปรเซสเซอร์การ์ดหรืออะซิงโครนัส การ์ด

สมาร์ทการ์ดชนิดนี้เป็นสมาร์ทการ์ดที่ได้รับการปรับปรุงจากสมาร์ทการ์ดชนิดหน่วยความจำด้วยการใส่เทคโนโลยีไมโคร โปรเซสเซอร์เข้าไปในชิพ เพื่อให้ชิพสามารถประมวลผลข้อมูล และเพิ่มความปลอดภัยให้แก่ข้อมูลให้สูงขึ้น การที่ใส่ไมโคร โปรเซสเซอร์ลงในชิพทำให้จำเป็นต้องมีการเพิ่มส่วนของหน่วยความจำสำหรับจัดเก็บระบบปฏิบัติการของไมโคร โปรเซสเซอร์ และหน่วยความจำชั่วคราวสำหรับการประมวลผลข้อมูล นอกจากนี้ยังมีการใส่ชิพประมวลผลทางคณิตศาสตร์ลงในชิพสมาร์ทการ์ดเพื่อช่วยในการประมวลผลข้อมูลด้วยอัลกอริทึมสำหรับเข้า – ถอดรหัส ทำให้สมาร์ทการ์ดชนิดไมโครโปรเซสเซอร์การ์ดมีความเร็วในการทำงานสูงกว่าสมาร์ทการ์ดชนิดหน่วยความจำหลายเท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.8 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างภายในชิพสมาร์ทการ์ดชนิดไมโครโปรเซสเซอร์

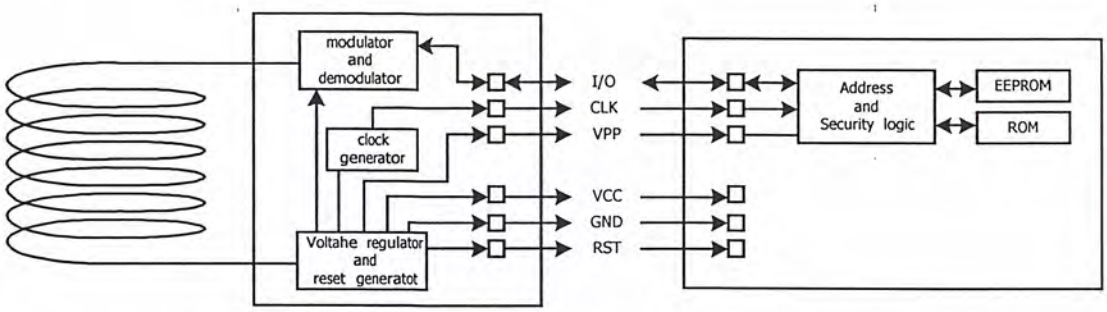
ในการรับ-ส่งข้อมูลให้กับสมาร์ทการ์ดชนิดนี้จะใช้หน้าสัมผัสเดียวกับสมาร์ทการ์ดชนิดหน่วยความจำ โดยสัญญาณนาฬิกาที่ป้อนจะถูกใช้เป็นสัญญาณนาฬิกาให้แก่โปรเซสเซอร์ภายในสมาร์ทการ์ดข้อมูลที่รับ-ส่งจึงไม่จำเป็นต้องสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกาที่ป้อนให้กับชิพ เพียงกำหนดอัตราการรับ-ส่งข้อมูลเป็น 96 บิต/วินาที ก็จะสามารถติดต่อกับโปรเซสเซอร์ของชิพได้แล้ว แต่การเข้าถึงข้อมูลจะไม่สามารถทำได้ เหมือนอย่างในสมาร์ทการ์ดชนิดหน่วยความจำ การเข้าถึงข้อมูลต้องกระทำผ่านโปรเซสเซอร์ของสมาร์ทการ์ดเท่านั้น ไม่ว่าจะเป็นการอ่านหรือเขียนข้อมูลก็ตามเพราะหน่วยความจำจะอยู่ภายในความควบคุมของโปรเซสเซอร์เพียงอย่างเดียว ข้อดีอย่างหนึ่งที่ไม่สามารถติดต่อกับหน่วยความจำของชิพโดยตรงก็คือ การลอบเข้าถึงข้อมูลโดยไม่ได้รับอนุญาตแทบเป็นไปไม่ได้ ยกเว้นมีความบกพร่องในการกำหนดเงื่อนไขในการเข้าถึงข้อมูลที่เป็นความลับ

2.1.8.3 Contactless Card

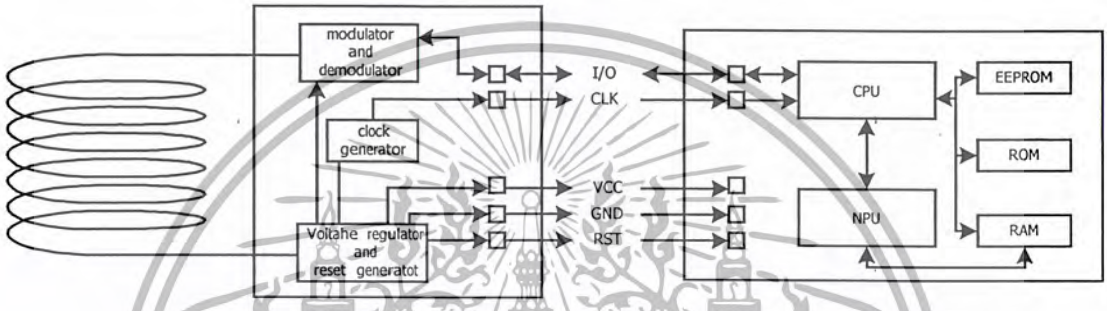
สมาร์ทการ์ดชนิดนี้ Contactless เป็นสมาร์ทการ์ดที่ล้ำสมัยที่สุดในปัจจุบัน ด้วยเทคโนโลยีการสื่อสารผ่านคลื่นวิทยุ โดยการส่งคลื่นวิทยุความถี่ 13.56 เมกะเฮิรตซ์ ที่ได้รับการมอดูเลตข้อมูลและส่งให้กับชิพสมาร์ทการ์ด ทางด้านชิพสมาร์ทการ์ดจะใช้ขดลวดเป็นเสารับ-ส่งสัญญาณ โดยเสารับ-ส่งสัญญาณนี้จะเป็นขดลวดขนาดเล็กที่ถูกฝังลงในเนื้อบัตร ภายนอกบัตรชนิดนี้แทบดูไม่ออกว่าเป็นบัตรสมาร์ทการ์ด ด้วยเหตุนี้เราจะพบว่าสมาร์ทการ์ดชนิด Contactless มักอยู่ในรูปร่างแปลกๆ เสมอ

จากรูปที่2.9 จะเห็นว่าส่วนที่เพิ่มเข้ามาเป็นส่วนที่ใช้รับสัญญาณคลื่นวิทยุแบ่งเป็นสองส่วน โดยส่วนแรกจะถูกแปลงเป็นกระแสไฟฟ้าสำหรับป้อนชิพ และวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาให้สามารถทำงานได้ อีกส่วนหนึ่งจะถูก Demodulate เอาข้อมูลออกจากคลื่นวิทยุและส่งให้แก่ Modulate ข้อมูลและส่งกลับไปยังเสารับ-ส่งสัญญาณภายในเนื้อบัตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
54973



สมาร์ทการ์ดชนิด Memory แบบ Contactless



สมาร์ทการ์ดชนิด Processor แบบ Contactless

รูปที่ 2.9 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างภายในชิพสมาร์ทการ์ดชนิด Contactless

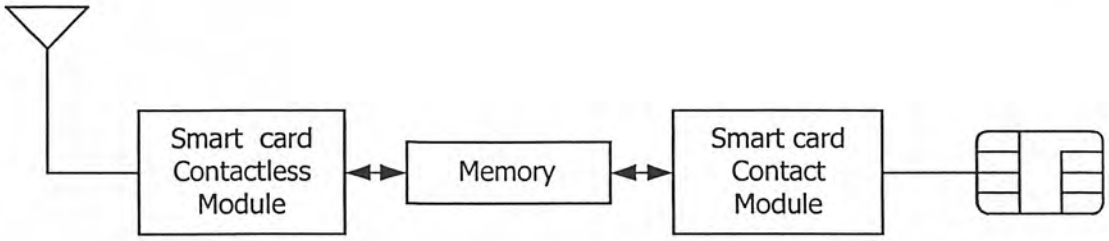
ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ชิพสมาร์ทการ์ดชนิด Contactless ถูกออกแบบให้ใช้กระแสไฟฟ้าที่ต่ำเพราะกระแสไฟฟ้าที่ได้จากคลื่นวิทยุนั้นมีปริมาณเพียงเล็กน้อยไม่เพียงพอที่จะทำให้สมาร์ทการ์ดแบบธรรมดาสามารถทำงานได้ ฉะนั้นว่าสมาร์ทการ์ดชนิด Contactless รุ่นเก่าๆ จะไม่สามารถทำคำสั่งที่ซับซ้อนมากๆ เช่น คำสั่งในการเข้ารหัสข้อมูล หรือคำสั่งที่ต้องใช้เวลาในการประมวลผลมากๆ และระยะในการเสารับ-ส่งสัญญาณก็ไม่มากนัก แต่ปัจจุบันสมาร์ทการ์ด Contactless สามารถทำการเข้ารหัสที่ยุ่งยากได้แล้วด้วยการเพิ่มวงจรสำหรับเข้ารหัสไว้ภายในชิพ

นอกจากสมาร์ทการ์ดแบบ Contactless ที่ใช้การสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุเพียงอย่างเดียว ยังมีการรวมเอาสมาร์ทการ์ดชนิด Contact และ Contactless บนบัตรใบเดียวกัน ซึ่งเป็นสมาร์ทการ์ดที่รวมเอาสมาร์ทการ์ดแบบที่หน้าสัมผัสกับสมาร์ทการ์ดแบบที่ไม่มีหน้าสัมผัสไว้ด้วยกันเพื่อสะดวกและรวดเร็วในการใช้งานอีกด้วย สมาร์ทการ์ดชนิดนี้สามารถแบ่งออกได้อีก 2 ประเภทคือ

☐ Com-Bi card

สมาร์ทการ์ดชนิดนี้เป็นการรวมเอาสมาร์ทการ์ด Contact และสมาร์ทการ์ดชนิด Contactless เข้าด้วยกัน โดยใช้หน่วยความจำข้อมูลร่วมกันเพื่อให้การทำรายการที่จำเป็น ต้องอยู่ภายใต้ระบบรักษาความปลอดภัย สามารถทำได้โดยผ่านทางหน้าสัมผัสที่มีไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุมอยู่และสามารถใช้งานทั่วไปได้อย่างสะดวกสบาย (Speed Pass) ผ่านทางคลื่นวิทยุ

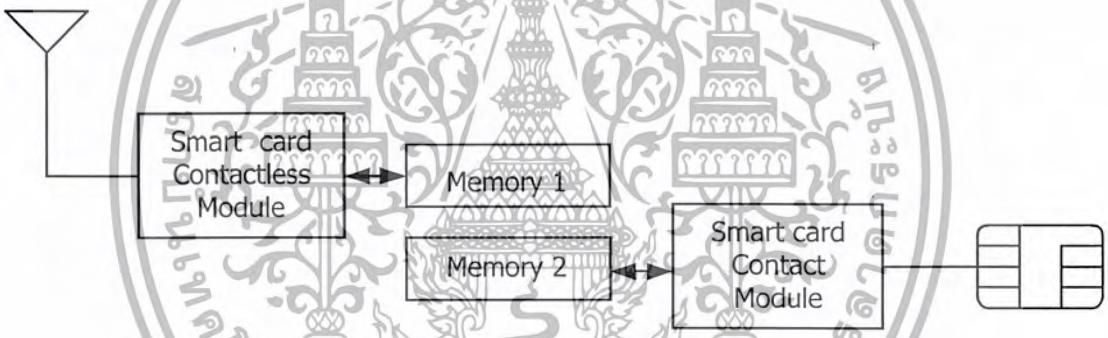
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 โครงสร้างภายในของสมาร์ทการ์ดชนิด Contactless แบบ Com-Bi card

☐ Hybrid card

สมาร์ทการ์ดชนิดนี้มีลักษณะโครงสร้างภายในคล้ายกับประเภท Com-Bi card แต่จะต่างกันในเรื่องของหน่วยความจำข้อมูล โดยหน่วยความจำข้อมูลจะถูกแยกจากกันอย่างสิ้นเชิงระหว่าง Contact และ Contactless เพื่อความสะดวกในการแยกใช้งาน ซึ่งปัจจุบัน Hybrid card จะมีความหมายรวมถึงบัตรที่มีคุณสมบัติในการใช้งานตั้งแต่สองอย่างขึ้นไปเช่น สมาร์ทการ์ดที่มีทั้งชิพสมาร์ทการ์ดและแถบแม่เหล็ก, บัตรสมาร์ทการ์ดที่เป็นทั้ง Contact และ Contactless



รูปที่ 2.11 โครงสร้างภายในของสมาร์ทการ์ดชนิด Contactless แบบ Hybrid card

2.1.9 การเชื่อมต่อชิพสมาร์ทการ์ด

การใช้งานสมาร์ทการ์ดในการเชื่อมต่อ (Interface) มีความแตกต่างจากการเชื่อมต่อและใช้งานชิพ IC ธรรมดาทั่วไป ด้วยระบบสื่อสารแบบซิงเกิลบัสซึ่งแตกต่างจากการสื่อสารแบบอนุกรมทั่ว ๆ ไป ทำให้การเชื่อมต่อกับสมาร์ทการ์ดเป็นเรื่องที่ไม่ง่ายนัก สำหรับผู้ที่ไม่มีความรู้เรื่องอิเล็กทรอนิกส์ การสื่อสารข้อมูล และความรู้เรื่องการเขียนโปรแกรม ยิ่งถ้าต้องการใช้งานสมาร์ทการ์ดในระดับเชื่อมต่อและสื่อสารกับสมาร์ทการ์ดโดยตรง ยิ่งต้องเป็นผู้ที่มีความเชี่ยวชาญด้านไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ ไมโครโปรเซสเซอร์ การสื่อสารข้อมูล และการเขียนโปรแกรมภาษาระดับต่ำ อย่างภาษาแอสแซมบลีและภาษาระดับสูงอย่างภาษาซีเป็นอย่างน้อย

การที่จะเชื่อมต่อกับสมาร์ทการ์ดต้องใช้ความรู้ในด้านไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์เนื่องจากสมาร์ทการ์ดเป็น IC หรือวงจรรวมขนาดเล็กที่ต้องมีการป้อนแรงดัน และกระแสไฟฟ้าให้ชิพสมาร์ทการ์ดทำงาน ทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้จำเป็นต้องมีการออกแบบ และสร้างวงจรไฟฟ้าสำหรับเชื่อมต่อกับคอนแทกต์รีดเดอร์ ความรู้ด้านไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์จึงความจำเป็นอย่างยิ่ง

ส่วนความรู้ด้านไมโครโปรเซสเซอร์ จะใช้สำหรับทำความเข้าใจการทำงานของสมาร์ทการ์ดและออกแบบไมโครโปรเซสเซอร์สำหรับสร้างเป็นเทอร์มินอล สำหรับติดต่อกับผู้ใช้งานโดยตรง การออกแบบระบบไมโครโปรเซสเซอร์สำหรับสร้างเป็นเทอร์มินอล ต้องมีส่วนของจอแสดงผล คีย์บอร์ด ส่วนเชื่อมต่อวงจรสมาร์ทการ์ดรีดเดอร์ วงจรสื่อสารกับอุปกรณ์ ภายนอกเช่น RS-232

สำหรับโปรแกรมใช้งานสมาร์ทการ์ด จะมีการแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ โปรแกรมส่วนที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารกับชิพสมาร์ทการ์ด และโปรแกรมที่ใช้สำหรับบริหารข้อมูลและติดต่อกับผู้ใช้งานในเทอร์มินอล การที่จะเขียนโปรแกรมติดต่อสื่อสารกับสมาร์ทการ์ดจะใช้ภาษาระดับต่ำอย่างภาษาแอสแซมบลีเป็นส่วนใหญ่ เพราะภาษาชั้นสูงหรือภาษาชั้นสูงที่มีความใกล้เคียงภาษาแอสแซมบลีอย่างภาษาซีไม่สามารถทำงานได้ทันเวลา เนื่องจาก Card Driver ต้องทำการสื่อสารกับชิพสมาร์ทการ์ดระดับสัญญาณโดยตรง (โปรแกรมติดต่อสื่อสารกับสมาร์ทการ์ดมีชื่อเรียกว่า Card Driver) โดย Card Driver สำหรับสมาร์ทการ์ดแต่ละชนิดจะมีลักษณะการทำงานใกล้เคียงกันจะต่างกันก็เพียงวิธีการสื่อสารระหว่างสมาร์ทการ์ดชนิด Memory กับ Processor เท่านั้นที่ไม่เหมือนกัน สำหรับการเลือกภาษาแอสแซมบลีมาใช้เขียนโปรแกรม ก็ต้องเลือกใช้ให้ตรงกับตระกูลของไมโครโปรเซสเซอร์ที่ใช้ ส่วนโปรแกรมที่ใช้สำหรับบริหารข้อมูล และติดต่อกับผู้ใช้งานในเทอร์มินอล สามารถเขียนด้วยภาษาระดับสูงอย่างภาษาซี เหตุที่เลือกภาษาซีเพราะภาษาซีมีความสามารถในการประมวลผลที่รวดเร็ว สามารถจัดการกับข้อมูลในระดับบิตได้ดีกว่าภาษาระดับสูงภาษาอื่น และทำการพัฒนาเป็นโปรแกรมได้ง่ายกว่า โดยทั่วไปภาษาซีที่ใช้ในการเขียนเป็นโปรแกรมสำหรับเทอร์มินอลจะต้องใช้ชุดพัฒนาเฉพาะตระกูลของโปรเซสเซอร์ที่ใช้งานเช่นเดียวกับภาษาแอสแซมบลี

การสร้าง Card Driver ด้วยภาษาระดับต่ำอย่างภาษาแอสแซมบลีอาจเป็นเรื่องยุ่งยากเกินความจำเป็น นักพัฒนาระบบอาจนำ IC สำหรับเชื่อมต่อสมาร์ทการ์ดมาสร้างเป็นวงจรสำหรับเชื่อมต่อกับสมาร์ทการ์ดได้เช่นกัน IC ที่ใช้มีด้วยกันหลายเบอร์ หลายผู้ผลิตที่น่าสนใจเช่น IC เบอร์ TDA8002, TDA8003, TDA8004,TDA8006, TDA8007 และ TDA8008 ของบริษัท Philips, MC33560 ของบริษัท ON Semiconductor และ ML69240 ของบริษัท OKI Semiconductor ฯลฯ แต่การสั่งซื้ออาจทำได้ยากเนื่องจากต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศคราวละจำนวนมาก ๆ (ต้องสั่งซื้อ 2000 ตัวต่อครั้งเป็นอย่างน้อย) เนื่องจาก IC สำหรับเชื่อมต่อสมาร์การ์ดเหล่านี้ถูกผลิตขึ้นมาเพื่อส่งให้แก่ผู้ผลิตสมาร์ทการ์ดรีดเดอร์เท่านั้น แต่ปัจจุบันเริ่มมีผู้ประกอบการจำหน่ายชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์บางรายได้สั่ง IC สำหรับเชื่อมต่อสมาร์ทการ์ดเข้ามาขายในประเทศบ้างแล้ว

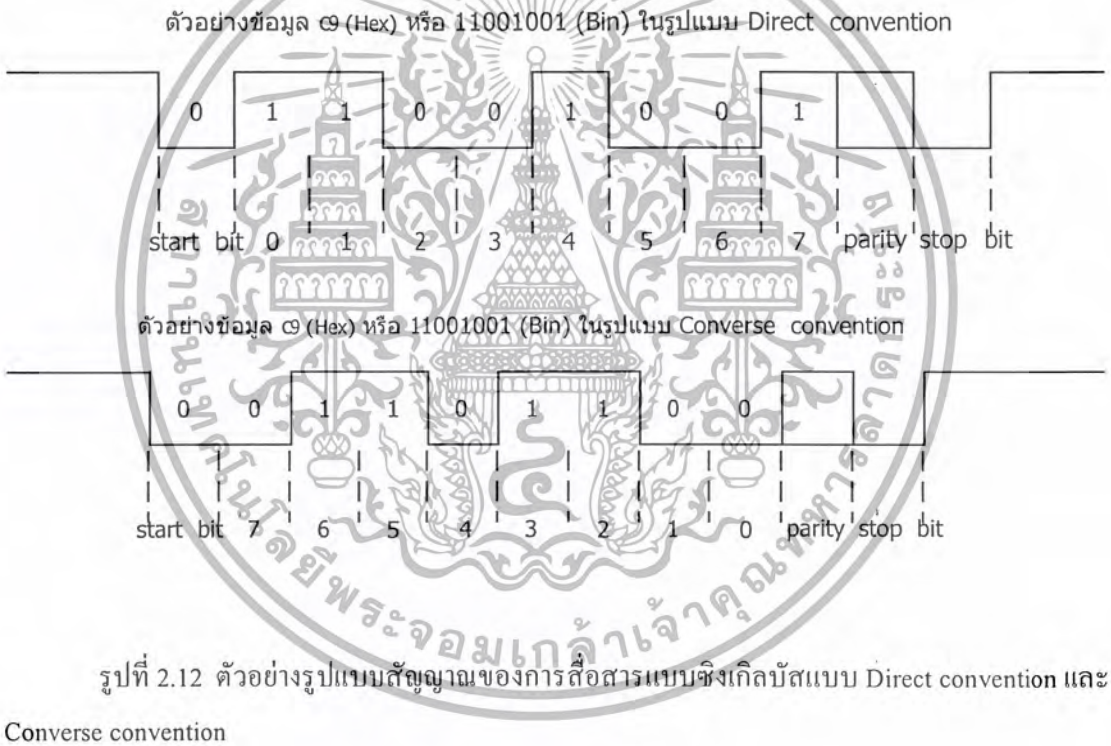
การที่จะสามารถใช้งานสมาร์ทการ์ดได้นั้น ก่อนอื่นต้องทำความเข้าใจในเรื่องของไทม์มิ่งไดอะแกรมของสมาร์ทการ์ด การสื่อสารกับชิพสมาร์ทการ์ดในระดับสัญญาณไฟฟ้า การสร้างวงจรสำหรับเชื่อมต่อสมาร์ทการ์ด โปรโตคอลที่ใช้กับสมาร์ทการ์ดชนิดต่าง ๆ และวิธีการเลือกใช้โปรโตคอล ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.10 การสื่อสารกับชิพสมาร์ทการ์ดในระดับสัญญาณไฟฟ้า

การสื่อสารกับสมาร์ทการ์ดในระดับสัญญาณไฟฟ้ามีมาตรฐาน ISO7816-3 เป็นตัวกำหนดวิธีการสื่อสาร สมาร์ทการ์ดรุ่นเก่าทำงานที่แรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ แต่ปัจจุบันเทคโนโลยีสูงขึ้น สมาร์ทการ์ดจึงมีการลดระดับแรงดันไฟฟ้าลงมาเหลือเพียง 3 โวลต์ ระดับสัญญาณต่าง ๆ จึงอยู่ในระดับ 0-3 โวลต์ตามระดับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับชิพสมาร์ทการ์ด ความสิ้นเปลืองพลังงานจึงน้อยลงตามไปด้วย

ในการสื่อสารกับชิพสมาร์ทการ์ด จะใช้การสื่อสารแบบซิงเกิลบัสเป็นหลัก การสื่อสารแบบซิงเกิลบัสเป็นการสื่อสารที่คล้ายกับการสื่อสารแบบอนุกรมแบบธรรมดา แต่การสื่อสารแบบซิงเกิลบัสไม่สามารถทำการสื่อสารแบบ Full Duplex (การสื่อสารข้อมูลแบบที่สามารถส่งข้อมูลได้ในขณะที่รับข้อมูลในเวลาเดียวกัน) และต้องอาศัยสัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการรับ-ส่งข้อมูลแต่ละบิต (เฉพาะในสมาร์ทการ์ดชนิด Memory เท่านั้น) การสื่อสารแบบซิงเกิลบัสจะมีการรับและส่งข้อมูลในคนละเวลากัน โดยบิตข้อมูลที่ใช้รับ-ส่งจะมีสองแบบด้วยกัน ดังรูปที่ 2.12

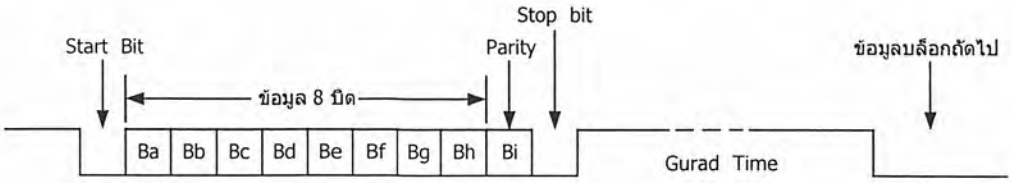


รูปที่ 2.12 ตัวอย่างรูปแบบสัญญาณของการสื่อสารแบบซิงเกิลบัสแบบ Direct convention และ Converse convention

การสื่อสารแบบซิงเกิลบัสแบบ Direct convention และ Converse convention มีความแตกต่างกันในเรื่องลอจิกที่ใช้แทนความหมายของบิตข้อมูล โดยแบบ Direct convention จะมีการแทนลอจิก 0 แทนค่าบิตข้อมูลที่เป็น 0 และแทนลอจิก 1 แทนค่าบิตข้อมูลที่เป็น 1 และบิตข้อมูลที่จะถูกส่งมาเป็นบิตแรกคือบิตที่มีค่านัยสำคัญต่ำ (LSB – Least Significant Bit) ส่วนแบบ Converse convention จะมีการแทนลอจิก 0 แทนค่าบิตข้อมูลที่เป็น 1 และแทนลอจิก 1 แทนค่าบิตข้อมูลที่เป็น 0 และบิตข้อมูลที่จะถูกส่งมาเป็นบิตแรกคือบิตที่มีค่านัยสำคัญสูง (MSB – Most Significant Bit) ซึ่งจะกลับค่ากับแบบแรก ส่วนมากแล้วจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยมใช้แบบ Direct convention มากกว่าแบบ Converse convention แต่ทางที่ดีควรสร้าง Card Driver ให้สามารถตอบสนองการสื่อสารได้ทั้งสองแบบ



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการรับ-ส่งข้อมูลกับสมาร์ทการ์ด

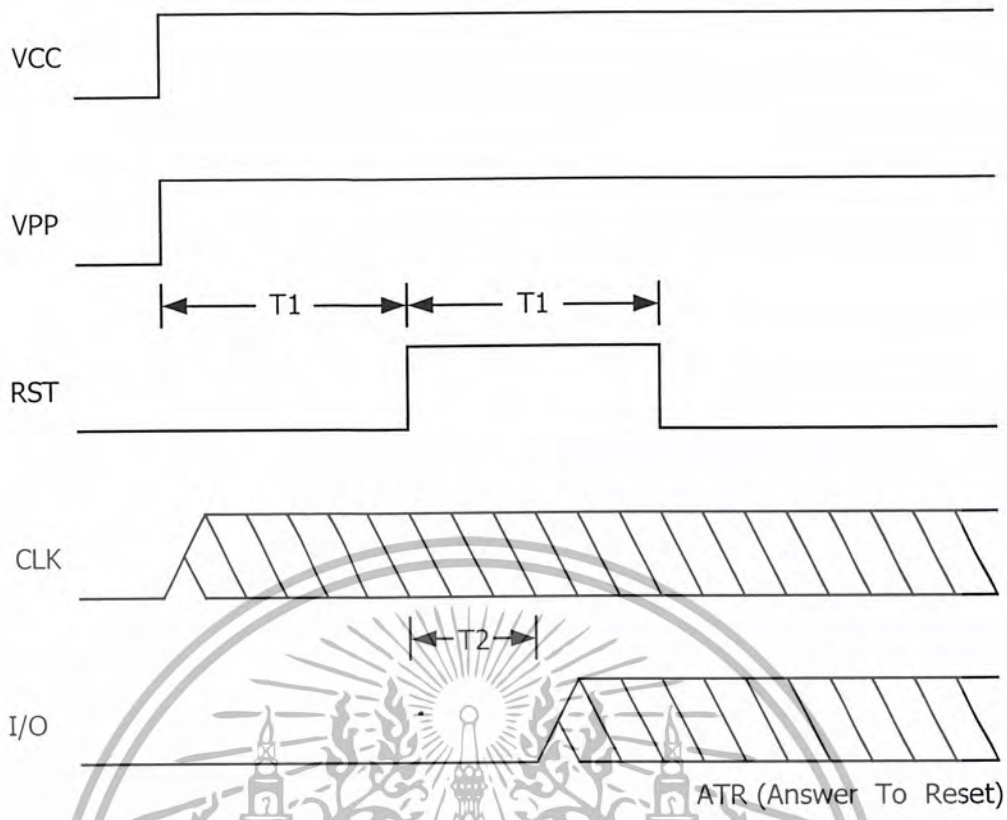
2.1.11 การรีเซตชิพสมาร์ทการ์ด

ขั้นตอนการรีเซตชิพสมาร์ทการ์ดเป็นขั้นตอนที่ต้องทำทุกครั้งเมื่อตรวจสอบพบว่ามีการเสียบบัตรเข้ามาในคอนแทกต์รีดเดอร์ เพื่อให้สมาร์ทการ์ดพร้อมทำงานหลังจากได้รับกระแสไฟฟ้าเลี้ยงวงจรภายใน (Vcc) และเป็นการเริ่มต้นการสื่อสารกับอุปกรณ์ที่มาเชื่อมต่อ โดยในที่นี้จะเรียกอุปกรณ์เชื่อมต่อว่าเทอร์มินอล ในสภาวะว่าง (Idle) ของขาเชื่อมต่อหน้าสัมผัสชิพสมาร์ทการ์ด (ยกเว้นกราวด์) ขณะที่ยังไม่มีสมาร์ทการ์ดเสียบจะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าของเทอร์มินอลเสมอ

เมื่อตรวจสอบพบว่ามีการเสียบบัตรเข้ามาในคอนแทกต์รีดเดอร์ โดยตรวจสอบได้จากสวิตช์ตรวจสอบการเสียบบัตรภายในคอนแทกต์รีดเดอร์ อันดับแรกต้องทำการตรวจสอบว่าแรงดันไฟฟ้าที่หน้าที่สัมผัส Vcc ลดลงหรือไม่ หากแรงดันไฟฟ้าลดต่ำลงให้ทำการตัดวงจร (Open circuit) หรือลอยวงจร (Float) โดยการเพิ่มอิมพีแดนซ์ของวงจร ทำให้วงจรจะถูกแยกออกจากหน้าสัมผัสทันทีเพราะสิ่งที่เสียบเข้ามาอาจเป็นโลหะหรือสมาร์ทการ์ดที่มีการลัดวงจรภายในชิพ หากไม่ตัดวงจรออกอาจทำให้วงจรสำหรับเชื่อมต่อสมาร์ทการ์ดพของเทอร์มินอลเสียหายได้

หลังจากที่จ่ายกระแสไฟฟ้าและตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าของ Vcc ว่าคงที่แล้ว ให้ทำการเปลี่ยนระดับสัญญาณ RST เป็นลอจิก 0 ในเป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 400 ไซเคิลสัญญาณนาฬิกาหรือ 112 ไมโครวินาที แต่ไม่เกิน 40,000 ไซเคิลสัญญาณนาฬิกาหรือ 11.2 มิลลิวินาที แล้วจึงค่อยเปลี่ยนสัญญาณ RST เป็นลอจิก 1 ซึ่งชิพสมาร์ทการ์ดจะทำการรีเซตตัวเองที่ขอบขาขึ้นของสัญญาณ RTS การรีเซตแบบนี้เรียกว่า Cold Reset การรีเซตด้วยวิธีนี้จะทำให้ชิพสมาร์ทการ์ดทำการเคลียร์ข้อมูลภายในหน่วยความจำชั่วคราวต่าง ๆ ให้อยู่ในสภาวะเริ่มต้นทั้งหมด ซึ่งแตกต่างจากการรีเซตด้วยคำสั่งของสมาร์ทการ์ด (คำสั่ง Card Present) หรือที่เรียกว่า Warm Reset การรีเซตวิธีนี้จะทำโดยการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ RST แบบเดียวกับ Cold Reset แต่ไม่มีการตัดระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่ชิพ การรีเซตแบบนี้จะทำให้ชิพสมาร์ทการ์ดกลับไปสู่สภาวะเริ่มต้นแต่ข้อมูลภายในหน่วยความจำชั่วคราวต่าง ๆ จะยังคงอยู่เช่นเดิมในสถานะก่อนที่จะรีเซต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ไทม์มิ่งไดอะแกรมการรีเซตชิพสมาร์ทการ์ด

จากไทม์มิ่งไดอะแกรมในรูปที่ 2.14 จะเห็นได้ว่า หลังจากที่ทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับชิพสมาร์ทการ์ด สัญญาณรีเซตจะต้องเปลี่ยนเป็นลอจิก 0 เป็นระยะเวลาไม่ต่ำกว่า 400 ไซเกิลสัญญาณนาฬิกา และไม่เกิน 40,000 ไซเกิล สัญญาณนาฬิกา (T1) จากนั้นทำการเปลี่ยนเป็นลอจิก 1 ซึ่งชิพสมาร์ทการ์ดจะทำการรีเซตที่ขอบขาขึ้นของสัญญาณรีเซต

หลังจากที่ชิพสมาร์ทการ์ดทำการรีเซตตัวเองเรียบร้อยแล้ว ชิพสมาร์ทการ์ดจะทำการส่งข้อมูล ATR (Answer To Reset) หรือสัญญาณตอบรับการรีเซต เพื่อบอกชนิดของโปรโตคอลสำหรับติดต่อสื่อสาร เนื่องจากเราไม่มีทางทราบได้ว่าสมาร์ทการ์ดที่เสียบเข้ามานั้นเป็นสมาร์ทการ์ดชนิดใด สำหรับอัตราการส่งข้อมูล ATR จะใช้อัตราส่วนเท่ากับ CLK/372 (Asynchronous) หรือ 9600 บิตต่อวินาที (Synchronous) ซึ่งความถี่ของสัญญาณนาฬิกาของสมาร์ทการ์ดชนิด Memory เกิดจากการเปลี่ยนลอจิก 0 และ 1 ไปมาต่อเนื่องกันโดยไม่ต้องคำนึงถึงเรื่องของระยะเวลาเพราะการรับ-ส่งข้อมูลในแต่ละบิตจะสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกาโดยตรง แต่ถ้าเป็นสมาร์ทการ์ดชนิด Processor ข้อมูลที่รับ-ส่งไม่ต้องสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกา เพียงกำหนดอัตราการรับ-ส่งข้อมูลเป็น 9600 บิตต่อวินาที ก็จะสามารถติดต่อสื่อสารได้แล้ว ส่วนสัญญาณนาฬิกาก็ป้อนให้ด้วยความถี่ 3.5712 เมกะเฮิรตซ์ต่อเนื่องกัน (Continuous Clock) ดังนั้นในตอนแรกที่รอรับข้อมูลจากสมาร์ทการ์ดให้เตรียมการสื่อสารแบบ Asynchronous ไว้เป็นแบบแรกก่อน หากรับข้อมูลไม่ได้หรือรับข้อมูลได้แต่นำข้อมูลมาตีความหมายได้ไม่ถูกต้องให้ทำการรีเซตสมาร์ท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การ์ด แล้วเปลี่ยนไปใช้การสื่อสารแบบ Asynchronous แล้วรอรับข้อมูลมาตรวจสอบดูอีกครั้ง ถ้ายังไม่สามารถรับข้อมูลได้หรือตีความหมายของข้อมูลไม่ได้อีก ให้ถือว่าไม่สามารถใช้งานสมาร์ทการ์ดใบนั้นได้

2.1.12 ส่วนประกอบของข้อมูล ATR (Answer To Reset)

หลังจากที่ทำการรีเซตด้วยขอบขาขึ้นของสัญญาณ RST ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง (ตามสเปคของสมาร์ทการ์ดแต่ละรุ่น) ชิพสมาร์ทการ์ดจะทำการส่งข้อมูล ATR กลับออกมา ซึ่งข้อมูล ATR เปรียบเสมือนข้อมูลตัวอย่างสำหรับช่วยในการค้นหาโปรโตคอล ที่ใช้ในการสื่อสารกับสมาร์ทการ์ดใบนั้นๆ เนื่องจากในตอนแรกเราจะไม่มีทางทราบได้เลยว่าสมาร์ทการ์ดที่นำมาใช้งานเป็นชนิดใดและใช้โปรโตคอลแบบใดในการติดต่อสื่อสาร ดังนั้นจึงต้องการวิเคราะห์ข้อมูล ATR เพื่อให้ทราบรายละเอียดเกี่ยวกับการติดต่อสื่อสารของสมาร์ทการ์ดใบนั้นๆ เป็นขั้นตอนแรกๆ ของการสื่อสาร

ข้อมูลที่ ATR ที่ถูกส่งออกมาจะมีลักษณะที่เป็นโซ่ลูก (Link chain) นั้นก็คือ ข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มๆ โดยแต่ละกลุ่มจะมีข้อมูลควบคุม (Control byte) เป็นข้อมูลไบต์แรกของกลุ่ม (TO, TDx) ข้อมูลควบคุมนี้จะเป็นตัวบอกให้ทราบถึงจำนวนข้อมูลสมาชิกในกลุ่ม (TAx, TBx, TCx) ที่จะถูกส่งตามมาโดยข้อมูลสมาชิกไม่จำเป็นต้องถูกส่งออกมาครบทุกตัว และบิตที่ 7 ของข้อมูลควบคุมจะเป็นตัวบอกให้ทราบว่าจะมีการส่งข้อมูลกลุ่มถัดไปอีกหรือไม่ หากไม่มีก็จะถูกปิดท้ายด้วยกลุ่มข้อมูลปิดท้าย (Hitorical Character – T1 – T2 – T3, ... Tn) และ TCK (Check Character)

2.1.12.1 Initial character (TS)

Initial character เป็นข้อมูลขนาด 1 ไบต์ที่จะบอกให้ทราบว่ารูปแบบการส่งข้อมูลที่จะเกิดขึ้นในไบต์ถัดๆ ไป เป็นแบบ Direct convention หรือ Inverse convention โดยที่ Initial character นี้จะมีการรูปแบบที่ตรงกัน ข้อมูลที่ส่งมานั้นจะมีค่าเป็น 3B สำหรับการแทนการสื่อสารแบบ Direct convention และ 3F สำหรับแทนการสื่อสารแบบ Converse convention

2.1.12.2 Format character (TO)

Format character เป็นข้อมูลที่ใช้สำหรับบอกจำนวนข้อมูลที่จะตามมาและจำนวนไบต์ของ Historical character (T1, T2, T3, ... Tn) ซึ่งข้อมูล Format character จะสามารถทราบได้จากสมาร์ทการ์ดทุกใบที่มีการส่งข้อมูล ATR สำหรับความหมายของ Format character สามารถอธิบายได้ด้วยตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิตข้อมูล								ความหมาย
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	
-	-	-	-	X	X	X	X	จำนวนข้อมูล Historical character (T1, T2, T3,... Tn)
-	-	-	1	-	-	-	-	บิตแสดงการส่งข้อมูล TA1
-	-	1	-	-	-	-	-	บิตแสดงการส่งข้อมูล TB1
-	1	-	-	-	-	-	-	บิตแสดงการส่งข้อมูล TC1
1	-	-	-	-	-	-	-	บิตแสดงการส่งข้อมูล TD1

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงความหมายของ Format character

2.1.12.3 Interface characters (TA, TB, TC, TD)

Interface characters เป็นข้อมูลที่ส่งต่อจากข้อมูล TO ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลหลายไบต์ แต่ละไบต์มีความหมายดังนี้

TA1 - เป็นข้อมูลที่ใช้แสดงแทนอัตราหารความถี่สัญญาณนาฬิกา (ค่า FI) ซึ่งอยู่ในข้อมูล 4 บิตล่างของข้อมูล TA1 และ Adjustment factor (DI) ซึ่งอยู่ในข้อมูล 4 บิตล่างของข้อมูล TA1

F	Internal CLK	372	558	744	1116	1488	1860	RFU
FI	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111
fs	-	5	6	8	12	16	20	-
F	RFU	512	768	1024	1536	2048	RFU	RFU
FI	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111
fs	-	5	7.5	10	15	20	-	-

ตารางที่ 2.2 อัตราหารความถี่สัญญาณนาฬิกา

D	RFU	1	2	4	8	16	RFU	RFU
DI	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111
D	RFU	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32	1/64	-
DI	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	-

ตารางที่ 2.3 Adjustment factor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลอัตราหารความถี่สัญญาณนาฬิกา และ Adjustment factor เป็นข้อมูลที่ช่วยคำนวณค่าคุณสมบัติของสัญญาณต่างๆ ที่ต้องใช้ในชิพสมาร์ทการ์ดจากสูตรคำนวณดังนี้

สำหรับสัญญาณนาฬิกาภายใน

Initial etu = 1/9600 Sec Work etu = (1/D) X (1/9600)

สำหรับสัญญาณนาฬิกาภายนอก

Initial etu = 372/fi Sec Work etu = (1/D) X (F/fs)

etu (Elementary Time Unit) – ระยะความกว้างของสัญญาณข้อมูลในแต่ละบิต

Initial etu – ระยะความกว้าง ระหว่างบิตของข้อมูล ATR และ PTS

Work etu – ระยะความกว้าง ระหว่างบิตของโปรโตคอลที่ตามหลังข้อมูล ATR และ PTS ซึ่งไม่ขึ้นตรงกับ ATR

fi – ความถี่ที่ป้อนให้แก่ชิพสมาร์ทการ์ด

fs – ความถี่สูงสุดที่ชิพสมาร์ทการ์ดสามารถทำงานได้ มีหน่วยเป็นเมกะเฮิรตซ์

TB1 – เป็นข้อมูลที่ใช้แสดงรูปแบบของแรงดันไฟฟ้าสำหรับเขียนข้อมูล (Vpp) ข้อมูลตัวนี้มีการใช้งานในสมาร์ทการ์ดที่มีหน่วยความจำชนิด EEPROM ซึ่งสามารถพบได้ในสมาร์ทการ์ดรุ่นใหม่ๆ ภายในมีการจัดข้อมูลออกเป็นสองส่วนคือ PI1 และ PI2 โดยค่าทั้งสองจะเป็น 0 สำหรับสมาร์ทการ์ดชนิด Processor

บิตข้อมูล								IFSC
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Information Field Size of the Card
0	X	-	-	-	-	-	-	II
-	-	X	X	X	X	X	X	PI1

ตารางที่ 2.4 รูปแบบของข้อมูล TB1

TC1 - เป็นข้อมูลที่ใช้แสดงถึงส่วนเพิ่มเติมของ Guard time (ค่า N) ใช้สำหรับกำหนดจำนวนระยะความกว้างของสัญญาณที่เพิ่มขึ้นมาซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 24 ส่วนค่า 255 จะใช้สำหรับกำหนดค่า N และจะสัมพันธ์กับโปรโตคอลที่ใช้ด้วย

บิตข้อมูล								IFSC
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Information Field Size of the Card
X = 255, T = 0								N = 12 etu
X = 255, T = 1								N = 11 etu

ตารางที่ 2.5 รูปแบบของข้อมูล TC1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tdi (i ลำดับที่ของ TD) – เป็นข้อมูลที่ใช้สำหรับบอกจำนวนข้อมูลที่จะตามมาเป็นจำนวนไบต์และชนิดของโปรโตคอล (ในกรณีที่เป็นสมาร์ทการ์ดชนิด Processor) ในกรณีที่ไม่มีการส่งข้อมูล TD ออกมาให้สันนิษฐานว่ามีโปรโตคอล T=0 เอาไว้ก่อน (เมื่อใช้วิธีสื่อสารแบบ Asynchronous)

บิตข้อมูล								ความหมาย
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	
-	-	-	-	X	X	X	X	โปรโตคอลที่ใช้ (0-15)
-	-	-	1	-	-	-	-	บิตแสดงการส่งข้อมูล TAi+1
-	-	1	-	-	-	-	-	บิตแสดงการส่งข้อมูล TBi+1
-	1	-	-	-	-	-	-	บิตแสดงการส่งข้อมูล TCi+1
1	-	-	-	-	-	-	-	บิตแสดงการส่งข้อมูล TDi+1

ตารางที่ 2.6 รูปแบบของข้อมูล TDi

TA2 – เป็นข้อมูลที่ใช้สำหรับบอกให้ทราบถึงโหมดที่จะใช้ในการเลือกโปรโตคอล (PTS – Protocol Type Selection) ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

บิตข้อมูล								ความหมาย
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	
0	-	-	-	-				สามารถสลับโหมดระหว่าง Negoriable mode กับ Specific mode ได้
1	-	-	-	-				ไม่สามารถสลับโหมดระหว่าง Negoriable mode กับ Specific mode ได้
-	0	0	-	-				สงวนไว้ใช้ในภายหลัง
-	-	-	0	-				โปรโตคอลสำหรับรับ-ส่งข้อมูลมีการกำหนดอย่างชัดเจนใน Interface character
-	-	-	1	-				โปรโตคอลสำหรับรับ-ส่งข้อมูลมีการกำหนดอย่างคร่าวๆ ใน Interface character
-	-	-	-	X				หมายเลขโปรโตคอลที่ใช้ (T=7)

ตารางที่ 2.7 รูปแบบของข้อมูล TA2

TB2 - เป็นข้อมูลที่ใช้สำหรับบอกให้ทราบถึงปริมาณแรงดันไฟฟ้าของ Vpp ซึ่งข้อมูลภายในจะมีความหมายเป็นเลขฐาน 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิตข้อมูล								IFSC
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Inforamtion Field Size of the Card
X								PI2

ตารางที่ 2.8 รูปแบบของข้อมูล TB2

TC2 – เป็นข้อมูลที่ใช้สำหรับบอกให้ทราบถึงค่าของ work waiting time ซึ่งเป็นระยะห่างสูงสุดของขอบขาขึ้นของสัญญาณสองสัญญาณ หากไม่มีการส่ง TC2 จะถือว่า work waiting time มีค่าเป็น 10 โดยปริยาย

Work waiting time = (960 X D X WI) work etu

บิตข้อมูล								ความหมาย
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	
X								WI

ตารางที่ 2.9 รูปแบบของข้อมูล TD

TAi (I > 2) – เป็นข้อมูลที่ใช้สำหรับบอกให้ทราบถึงขนาดของบัฟเฟอร์ที่ชิพสมาร์ทการ์ดจะสามารถรับข้อมูลได้ โดยค่าที่เป็นไปได้จะอยู่ระหว่าง 1 ถึง 254 และค่าเริ่มต้นจะอยู่ที่ 32 ไบต์

บิตข้อมูล								ความหมาย
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	
X								IFSC

ตารางที่ 2.10 รูปแบบของข้อมูล TAi เมื่อ i > 2

TBi (i > 2) – เป็นข้อมูลที่ใช้สำหรับบอกให้ทราบถึงค่า CWT (character wait time) และ BWT (Block Wait Time) ซึ่งสามารถหาได้จากสูตร

$CWT = (2^{CWT} + 11)$ work etu

BWT = 2 X 960 X (372/f)s + 11 work etu

f – ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิตข้อมูล								ความหมาย
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	
-				X				CWI
X				-				BWI

ตารางที่ 2.11 รูปแบบของข้อมูล TBi เมื่อ i > 2

TCi (I > 2) – เป็นข้อมูลที่ใช้สำหรับบอกให้ทราบถึงวิธีที่ใช้ในการคำนวณค่าตรวจสอบความผิดพลาดของการรับส่งข้อมูล

บิตข้อมูล								ความหมาย
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	
-	-	-	-	-	-	-	0	LCR
-	-	-	-	-	-	-	1	CRC
0	0	0	0	0	0	0	-	สงวนไว้ใช้ในภายหลัง

ตารางที่ 2.12 รูปแบบของข้อมูล TCi เมื่อ i > 2

2.1.12.4 Historical character (T1, T2, T3, ... Tn)

ข้อมูล Historical character ไม่ได้ถูกกำหนดให้เป็นข้อมูลมาตรฐานสำหรับสมาร์ทการ์ดทุกชนิด ซึ่งสมาร์ทการ์ดบางรุ่นส่งเฉพาะข้อมูลชื่อรหัสรุ่น และจำนวนหน่วยความจำของชิพสมาร์ทการ์ดออกมา บางรุ่นส่งเฉพาะหมายเลขประจำชิพออกมา (Card ID) ซึ่งไม่ซ้ำกับสมาร์ทการ์ดรุ่นเดียวกันในสายผลิตเดียวกัน แต่บางรุ่นก็ไม่ส่งอะไรออกมาเลย ฯลฯ ดังนั้นข้อมูลในส่วนนี้จึงไม่ค่อยมีประโยชน์ต่อการติดต่อสื่อสารกับชิพสมาร์ทการ์ดมากนัก

2.1.12.5 Check character (TCK)

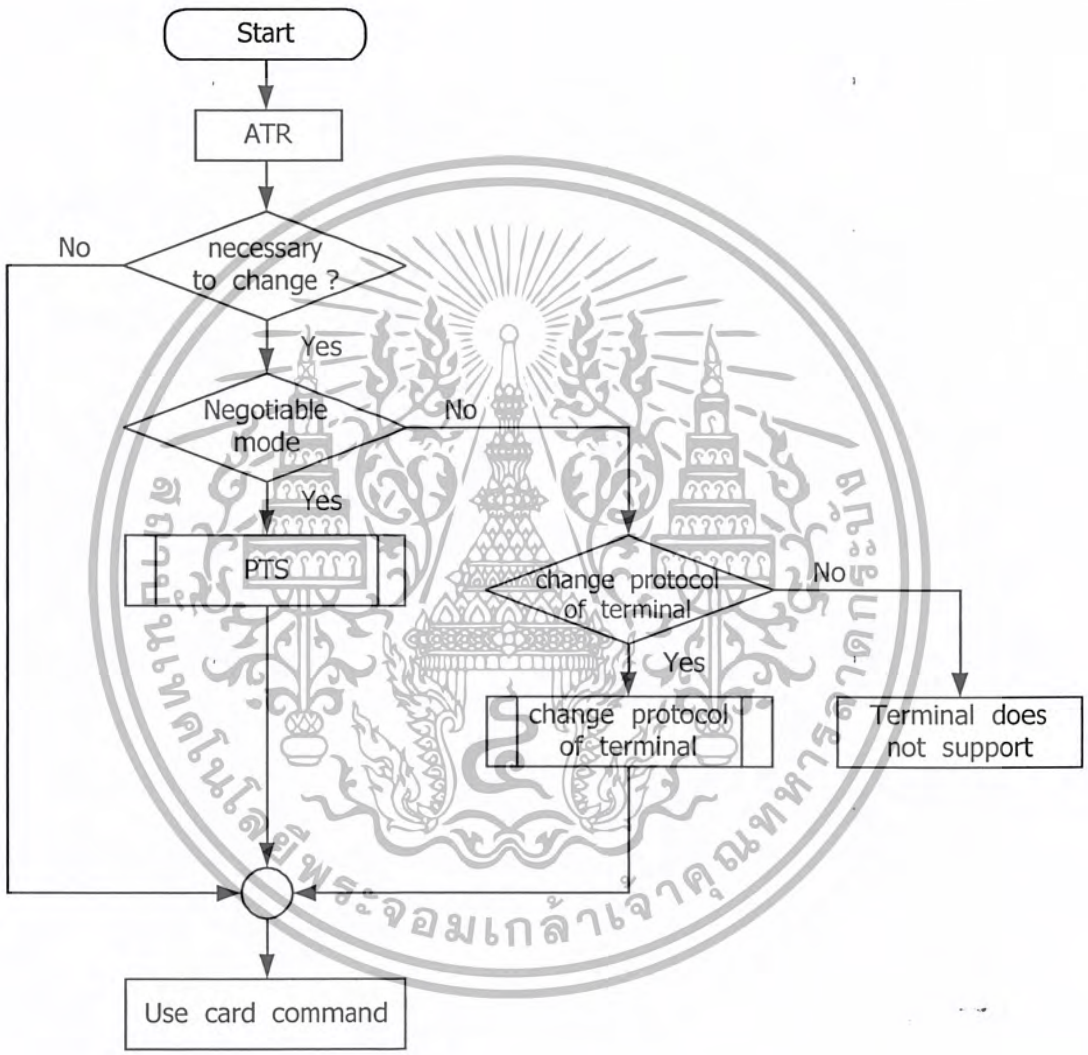
Check character เป็นข้อมูลที่ได้จากการ X-OR ข้อมูล ATR ตั้งแต่ Format character (T0) จนถึงไบต์สุดท้าย ซึ่งจะช่วยให้สามารถตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ATR ที่ได้รับจากชิพสมาร์ทการ์ดได้อย่างง่ายๆ แต่ในบางครั้ง Check character อาจไม่มีการส่งกลับออกมาในบางโปรโตคอล

2.1.13 การเลือกชนิดโปรโตคอลสำหรับติดต่อกับสมาร์ทการ์ด (PTS – Protocol Type Selection)

สมาร์ทการ์ดรุ่นใหม่ๆ ในปัจจุบันมีความสามารถในการติดต่อสื่อสารหลายรูปแบบในตัวเอง การที่เทอร์มินอลต้องทำการติดต่อสื่อสารกับสมาร์ทการ์ดโดยตรงนั้น จำเป็นต้องเลือกโปรโตคอลที่ใช้สื่อสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ตรงกัน เนื่องจากสมาร์ทการ์ดแต่ละรุ่นจะมีการกำหนดโปรโตคอลเริ่มต้นไว้อยู่แล้ว หากเทอร์มินอลติดต่อกับชิพสมาร์ทการ์ดโดยไม่ตรวจสอบ และเปลี่ยนโปรโตคอลของสมาร์ทการ์ดจะทำให้ไม่สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ หรือสามารถทำได้ก็จะทำให้ข้อมูลที่รับ-ส่งมีเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดค่อนข้างมาก แต่ถ้าตรวจสอบแล้วพบว่ามีโปรโตคอลที่ตรงกันก็สามารถข้ามขั้นตอนการเลือกโปรโตคอลและใช้งานสมาร์ทการ์ดได้ทันที

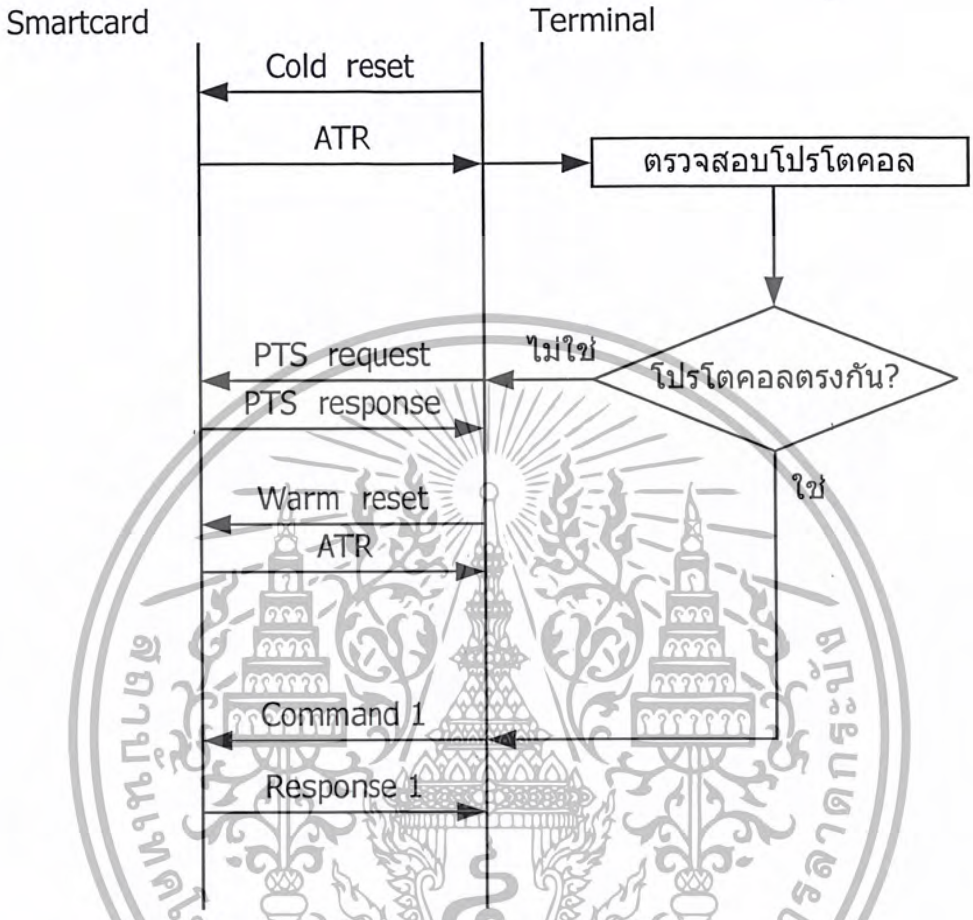


รูปที่ 2.15 ขั้นตอนตรวจสอบการเปลี่ยนโปรโตคอลของสมาร์ทการ์ด

การเลือกชนิดโปรโตคอลสำหรับติดต่อกับสมาร์ทการ์ด เป็นขั้นตอนที่สลับซับซ้อนที่ต้องอาศัยความเข้าใจในเรื่องของข้อมูล ATR (Answer To Reset) ที่สมาร์ทการ์ดส่งกลับมา และการรีเซตชิพสมาร์ทการ์ดเป็นพิเศษ ซึ่งการเลือกโปรโตคอลนั้นจะทำโดยการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรบางตัวเช่น FI, DI, Guard

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

time (ค่าN), และหมายเลขโปรโตคอล ในการเปลี่ยนโปรโตคอลของสมาร์ทการ์ดมีการทำงานในสองโหมดคือ Negotiable mode และ Specification mode เราจะทราบถึงโหมดการติดต่อกับสมาร์ทการ์ดได้จากข้อมูล TA2 ของ ATR

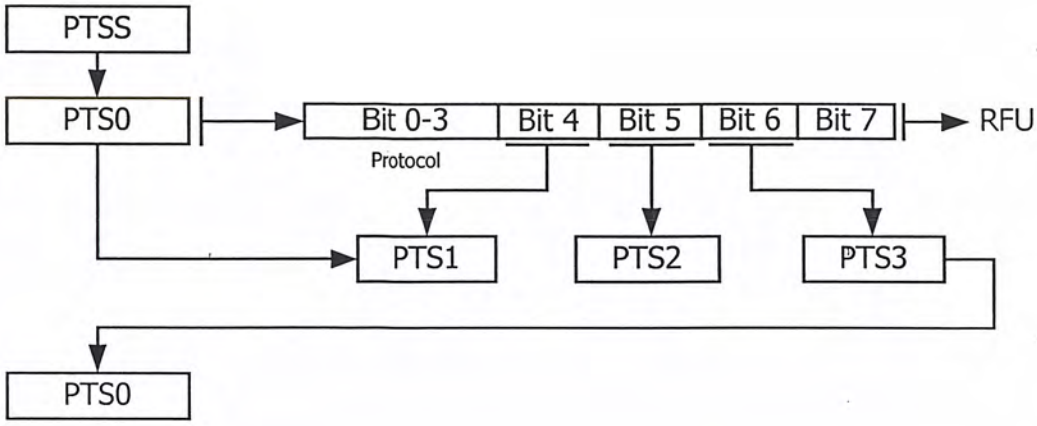


รูปที่ 2.16 ขั้นตอนการเปลี่ยนโปรโตคอลของสมาร์ทการ์ด

ในการส่งข้อมูล PTS เพื่อขอเปลี่ยนโปรโตคอลจะต้องทำทันทีหลังจากที่ได้รับข้อมูล ATR หลังจากทำการส่งข้อมูล PTS ไปแล้ว หากเป็นสมาร์ทการ์ดชนิดที่สามารถเปลี่ยนแปลงโปรโตคอลได้ สมาร์ทการ์ดจะทำการส่งข้อมูล PTS คืนมาให้ แต่ถ้าไม่มีข้อมูลใดๆ ส่งกลับมาก็เป็นไปได้ว่าสมาร์ทการ์ดชนิดนั้นไม่สามารถเปลี่ยนแปลงโปรโตคอลได้ หากต้องการเปลี่ยนโปรโตคอลอีกก็สามารถทำซ้ำได้โดยทำการรีเซตสมาร์ทการ์ด และรอรับข้อมูล ATR แล้วจึงทำการส่งข้อมูล PTS ไปใหม่

ข้อมูล PTS ที่จะใช้ส่งให้กับสมาร์ทการ์ดเพื่อเปลี่ยนโปรโตคอลจะมีลักษณะเป็นลูกโซ่คล้ายกับข้อมูล ATR แต่จะมีความยาวที่น้อยกว่า ซึ่งมีรายละเอียดดังรูปที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 โครงสร้างข้อมูล PTS

จากรูปที่ 2.17 จะเห็นได้ว่าข้อมูล PTS มีความคล้ายคลึงกับข้อมูล ATR ซึ่งข้อมูล PTS จะมีข้อมูล PTSS เป็นข้อมูลนำ ข้อมูล PTS0 เป็นข้อมูลของหมายเลขโปรโตคอล และข้อมูล PTS1, PTS2, PTS3 ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ของโปรโตคอล โดยข้อมูล PTSS เป็นข้อมูลที่ไม่ค่อยมีการเปิดเผยมากนัก แต่มักจะใช้เป็นค่า FF (Hex) ส่วนข้อมูล PTS0, PTS1, PTS2 เป็นข้อมูลของโปรโตคอลที่ต้องการ สำหรับข้อมูล PTS3 ยังไม่พบว่ามีการใช้งาน

บิตข้อมูล								ความหมาย
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	
-	-	-	-	X				หมายเลขโปรโตคอลที่ต้องการใช้งาน
-	-	-	1					บิตแสดงการส่งข้อมูล PTS1
-	-	1	-					บิตแสดงการส่งข้อมูล PTS2
-	1	-	-					บิตแสดงการส่งข้อมูล PTS3
0	-	-	-					สงวนไว้ใช้ในภายหลัง

ตารางที่ 2.13 รูปแบบของข้อมูล PTS0

บิตข้อมูล								IFSC Information Field Size of the Card
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	
X	-							FI
-	X							DI

ตารางที่ 2.14 รูปแบบของข้อมูล PTS1

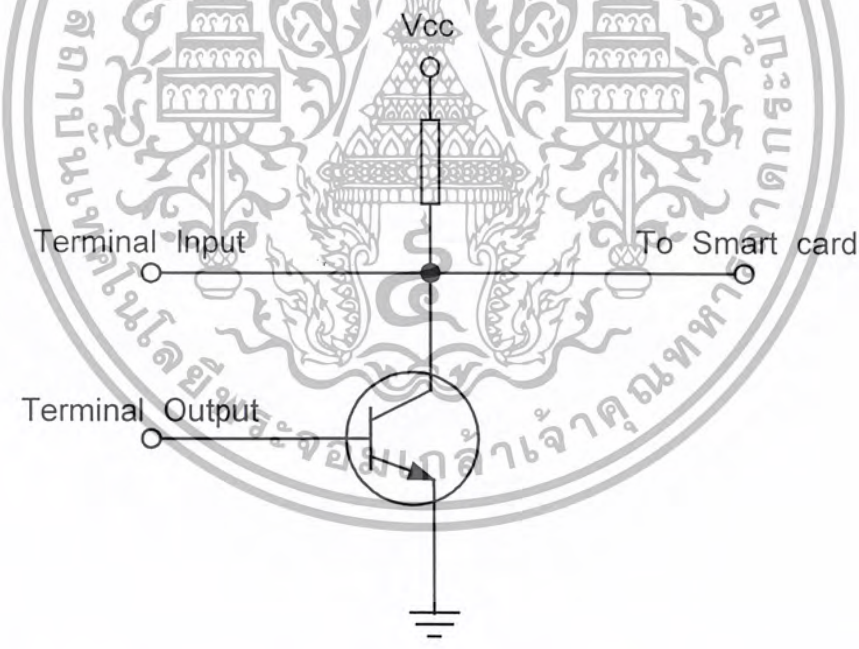
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิตข้อมูล								ความหมาย
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	
-	-	-	-	-	-	0	0	ไม่มีการแก้ไข Guard time
-	-	-	-	-	-	0	1	N = 255
-	-	-	-	-	-	1	0	เพิ่ม Guard time 12 etu
X	X	X	X	X	X	-	-	สงวนไว้ใช้ภายหลัง

ตารางที่ 2.15 รูปแบบของข้อมูล PTS2

2.1.14 วงจรการเชื่อมต่อชิพสมาร์ทการ์ด

ในการสร้างวงจรสำหรับเชื่อมต่อกับชิพสมาร์ทการ์ดเป็นเรื่องที่ไม่ยากนักหากมีพื้นฐานความรู้ด้านไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ การที่สมาร์ทการ์ดถูกแบ่งออกเป็นสองชนิดทำให้วงจรสำหรับเชื่อมต่อต้องมีการออกแบบที่แตกต่างกัน ลำพังเพียงการใช้ซอฟต์แวร์มาควบคุมการเปลี่ยนระดับสัญญาณเพียงอย่างเดียวไม่สามารถทำได้อย่างแน่นอน ดังนั้นการใช้ฮาร์ดแวร์เข้าช่วยจึงเป็นทางออกที่ดีกว่า

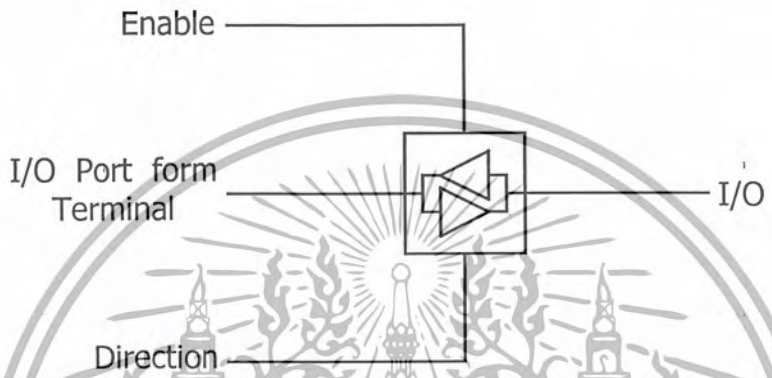


รูปที่ 2.18 ตัวอย่างวงจรสำหรับติดต่อกับชิพสมาร์ทการ์ด

วงจรที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับชิพสมาร์ทการ์ด จะเป็นวงจรที่ทำงานในลักษณะแบบเดียวกับวงจรดิจิตอลชนิด C-MOS ซึ่งสามารถทำงานได้ที่แรงดันไฟฟ้า 3 – 15 โวลต์ แต่ในสมาร์ทการ์ดมีการใช้งานเพียง 3 โวลต์เท่านั้น จากรูปที่ 2.18 จะเห็นได้ว่าเพียงทรานซิสเตอร์เพียงตัวเดียวก็สามารถเชื่อมต่อกับชิพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมาร์ทการ์ดได้แล้ว วิธีการนี้ในสภาวะนิ่ง (Idle) ระดับลอจิก (แรงดันไฟฟ้าที่ขาเบสจะเป็น 0 ทำให้ทรานซิสเตอร์ไม่ทำงาน เมื่อมีข้อมูลถูกส่งมาที่ขาเบสกระแสที่เกิดขึ้นจากบิตข้อมูลที่เปลี่ยนลอจิกจาก 0 เป็น 1 จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน สัญญาณข้อมูลจะไปในทางกลับกันถ้าชิพสมาร์ทการ์ดทำการส่งข้อมูลกลับออกมาที่ขาคอลเล็กเตอร์ ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ขาคอลเล็กเตอร์จะมีการเปลี่ยนแปลงตามลอจิกของบิตข้อมูลที่ส่งมาจากชิพสมาร์ทการ์ด โดยขณะที่บิตมีค่าเป็น 1 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขาคอลเล็กเตอร์จะคงที่ แต่ถ้าบิตที่มีค่าเป็น 0 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขาคอลเล็กเตอร์จะลดลงเช่นกัน หรืออีกวิธีหนึ่งที่ง่ายกว่าวิธีการใช้ทรานซิสเตอร์ เราสามารถใช้วงจรลอจิก (C-MOS) มาต่อเป็นวงจรง่ายๆ ดังรูปที่ 2.19

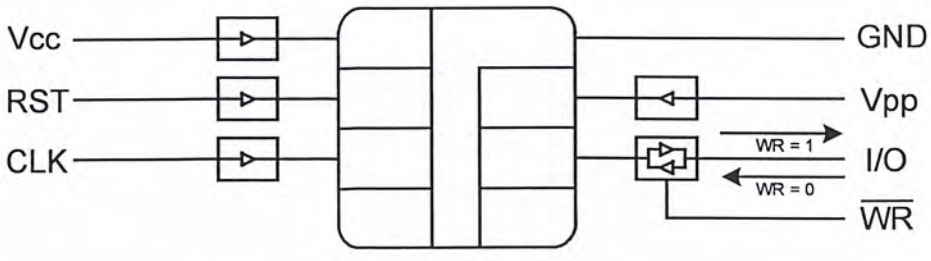


รูปที่ 2.19 ตัวอย่างวงจรเชื่อมต่อกับชิพสมาร์ทการ์ดด้วยวงจรลอจิก (C-MOS)

ในการเชื่อมต่อกับสมาร์ทการ์ดทั้งชนิด Memory และ Processor จะมีความแตกต่างกันในเรื่องของสัญญาณนาฬิกา (CLK) และวิธีการรับ-ส่งข้อมูล (I/O) ซึ่งในที่นี้จะทำการแยกวงจรออกเป็นสองแบบดังนี้

2.1.14.1 การเชื่อมต่อชิพสมาร์ทการ์ดชนิด Memory (Synchronous card Interface)

การเชื่อมต่อชิพสมาร์ทการ์ดชนิด Memory เราจะทำการสวิงสัญญาณนาฬิกาเองเพื่อกำหนดจังหวะการส่งข้อมูลแต่ละบิต สำหรับข้อมูล I/O เราสามารถใช้บิตข้อมูลแบบสองทิศทางเพียงบิตเดียว โดยกำหนดจังหวะการส่งข้อมูลด้วยสัญญาณ WR ซึ่งจะมีลอจิกเป็น 0 เมื่อต้องการส่งข้อมูลให้แก่สมาร์ทการ์ด ดังรูปที่ 2.20

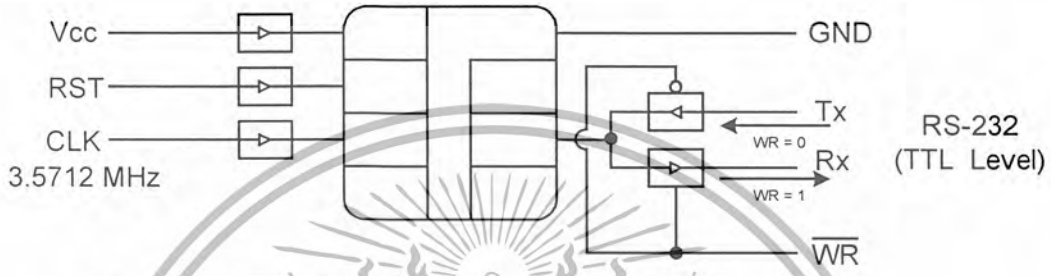


รูปที่ 2.20 ตัวอย่างวงจรเชื่อมต่อกับชิพสมาร์ทการ์ดชนิด Memory

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14.2 การเชื่อมต่อชิพสมาร์ทการ์ดชนิด Processor (Asynchronous card Interface)

ในกรณีที่เป็นสมาร์ทการ์ดชนิด Processor วงจรเชื่อมต่อจะมีความยุ่งยากมากขึ้น สัญญาณนาฬิกาที่ป้อนให้แก่ชิพสมาร์ทการ์ด จะเป็นสัญญาณนาฬิกาแบบต่อเนื่อง (Continuous clock) ที่ความถี่ 3.5712 เมกะเฮิรตซ์ ตลอดเวลาที่ใช้งาน ส่วน I/O จะใช้การรับส่งข้อมูลแบบ Asynchronous โดยใช้สัญญาณ WR เป็นตัวกำหนดช่วงการรับหรือส่งข้อมูล ซึ่งในสภาวะปกติจะรอรับข้อมูลตลอดเวลา (WR = 1) ดังรูป 2.21



รูปที่ 2.21 ตัวอย่างวงจรเชื่อมต่อกับชิพสมาร์ทการ์ดชนิด Processor

2.1.15 สมาร์ทการ์ดรีดเดอร์

ส่วนสำคัญที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับสมาร์ทการ์ดก็คือ สมาร์ทการ์ดรีดเดอร์ เนื่องจากเป็นส่วนที่ใช้เชื่อมต่อกับหน้าสัมผัสกับชิพสมาร์ทการ์ดโดยตรง ทำให้สมาร์ทการ์ดรีดเดอร์ต้องถูกออกแบบมาเป็นพิเศษ ซึ่งสมาร์ทการ์ดรีดเดอร์เป็นชิ้นส่วนที่มีราคาสูงสุดในบรรดาอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับสมาร์ทการ์ดทั้งหมด เพราะส่วนที่เป็นขาโลหะที่ใช้ในการกดลงกับหน้าสัมผัสชิพต้องผลิตด้วยโลหะที่มีคุณสมบัติที่ทนทาน แต่ต้องไม่ทำอันตรายต่อหน้าสัมผัสชิพสมาร์ทการ์ด และต้องมีขนาดตรงตามมาตรฐาน ISO7816-2 ทำให้ต้องใช้วัสดุและกระบวนการผลิตที่ยุ่งยากมากกว่าปกติ สมาร์ทการ์ดรีดเดอร์ที่ใช้กันอยู่ มีสองชนิดตามชนิดการเชื่อมต่อของสมาร์ทการ์ด ดังนี้

2.1.15.1 สมาร์ทการ์ดรีดเดอร์ชนิดหน้าสัมผัส

สมาร์ทการ์ดรีดเดอร์ชนิดหน้าสัมผัส เป็นสมาร์ทการ์ดรีดเดอร์ชนิดแรกที่ถูกสร้างพร้อมๆ กับสมาร์ทการ์ดถูกสร้างขึ้นมาครั้งแรก โดยมีส่วนประกอบของโครงหลักของสมาร์ทการ์ดรีดเดอร์, ขาสัมผัส, และสวิตซ์ตรวจสอบบัตร ซึ่งโครงหลักของสมาร์ทการ์ดรีดเดอร์เป็นแผ่นพลาสติกที่ขึ้นรูปสำหรับเป็นช่องทางให้สมาร์ทการ์ดสอดเข้ามา โดยส่วนในสุดของช่องจะติดตั้งสวิตซ์ตรวจสอบบัตร เมื่อบัตรถูกสอดเข้ามาจนสุด ตัวบัตรจะไปกดสวิตซ์ตรวจสอบบัตรทำให้สวิตซ์ ON ทำให้เทอร์มินอลทราบได้ว่ามีบัตรสอดเข้ามา นอกจากนี้โครงหลักของสมาร์ทการ์ดรีดเดอร์จะมีการเจาะช่องสำหรับติดตั้งขาสัมผัสในตำแหน่งที่ตรงกับหน้าสัมผัสของสมาร์ทการ์ด

สำหรับสมาร์ทการ์ดรีดเดอร์ที่ใช้กับบัตรชนิด ID-000 ส่วนมากใช้ในโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ GSM และเครื่อง EDC รุ่นใหม่ๆ ที่สามารถใช้ในการทำรายการเกี่ยวกับสมาร์ทการ์ด ซึ่งมีหลักการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานเหมือนกับสมาร์ทการ์ดรีดเดอร์ที่ใช้กับบัตรชนิด ID-1 แต่บัตรชนิด ID-000 จะอยู่ในสมาร์ทการ์ดรีดเดอร์ตลอดเวลาเท่านั้นเอง

2.1.15.2 สมาร์ทการ์ดรีดเดอร์ชนิด Contactless

สมาร์ทการ์ดรีดเดอร์ชนิด Contactless จะแตกต่างจากชนิดหน้าสัมผัส เนื่องจากสมาร์ทการ์ดชนิด Contactless ใช้คลื่นวิทยุความถี่ 13.56 เมกะเฮิรตซ์ ทำให้ส่วนที่เป็นขาสัมผัสต้องเปลี่ยนเป็นวงจรรับส่งและสายส่งคลื่นวิทยุ ซึ่งมีหลักการคล้ายกับเครื่องรับส่งคลื่นวิทยุ ซึ่งคลื่นที่รับส่งนั้นจะมีความแรงคลื่นไม่สูงนัก ทำให้ระยะการรับส่งข้อมูลลดลง โดยปกติแล้วจะอยู่ในระยะเพียง 3 ถึง 10 เซนติเมตรเท่านั้นเท่านั้น (ความผิดพลาดของข้อมูลน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์) แต่ก็มีสมาร์ทการ์ดรีดเดอร์ชนิด Contactless บางรุ่นสามารถทำระยะได้สูงถึง 1 – 10 เมตร ทำให้เกิดความผิดพลาดของข้อมูลมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเกินกว่าจะยอมรับได้ในงานบางอย่าง

สมาร์ทการรีดเดอร์ชนิด Contactless ส่วนใหญ่จะเป็นชุดสำเร็จรูปจากผู้ผลิตโดยตรงซึ่งจะรวมเอาเสารับส่งสัญญาณ, วงจรภาครับส่ง, และชุดคอนโทรลเลอร์เข้าด้วยกัน โดยผู้ที่ต้องการนำไปใช้งานจะสามารถควบคุม และรับส่งข้อมูลโดยเชื่อมต่อผ่านพอร์ตสื่อสารของสมาร์ทการ์ดรีดเดอร์โดยตรง อีกทั้งเทคโนโลยีเกี่ยวกับสมาร์ทการ์ดชนิด Contactless ยังถูกผู้ผลิตสมาร์ทการ์ดจำกัดไม่ให้นำไปเผยแพร่ จึงทำให้ไม่ค่อยพบเห็นอุปกรณ์ของสมาร์ทการ์ดรีดเดอร์ชนิด Contactless ขายแยกเป็นส่วนๆ

2.1.16 การจัดเก็บข้อมูลและโครงสร้างข้อมูลในสมาร์ทการ์ด

การจัดเก็บข้อมูลภายในหน่วยความจำของชิพสมาร์ทการ์ด มีการแบ่งออกตามชนิดของสมาร์ทการ์ด จากที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าสมาร์ทการ์ดแบ่งออกเป็นสองชนิดคือสมาร์ทการ์ดชนิด Memory และสมาร์ทการ์ดชนิด Processor การจัดเก็บข้อมูลของสมาร์ทการ์ดทั้งสองชนิดมีวิธีการที่แตกต่างกันจึงต้องแยกอธิบายเป็นสองหัวข้อตามชนิดของสมาร์ทการ์ด แต่ทั้งสองหัวข้อจะมีหลักการเดียวกันคือ จัดเก็บข้อมูลให้ได้มากที่สุดโดยใช้พื้นที่หน่วยความจำข้อมูลให้น้อยที่สุดซึ่งอาจเป็นเรื่องยากสักหน่อยถ้าเราจะเก็บข้อมูลมาก ๆ ให้อยู่ในหน่วยความจำเพียงไม่กี่กิโลไบต์ ถึงกระนั้นก็ไม่ยากเกินความสามารถเสียทีเดียว

ในการใช้งานหน่วยความจำทั่วไป จะมีการอ้างอิงตำแหน่งของข้อมูลในหน่วยความจำด้วยแอดเดรส ซึ่งแอดเดรสจะมีขนาดที่บิตนั้น ก็ขึ้นอยู่กับจำนวนของข้อมูลว่ามีมากน้อยเท่าไร เช่น ข้อมูล 256 ไบต์ต้องใช้บิตแอดเดรสจำนวน 8 บิต ในการอ้างอิง หากเพิ่มบิตแอดเดรสอีกหนึ่งบิตจะทำให้สามารถอ้างอิงข้อมูลได้มากขึ้นเป็นสองเท่า (512 ไบต์) ตามหลักของระบบเลขฐานสอง ในหน่วยความจำของสมาร์ทการ์ดชนิด Memory ก็มีการใช้แอดเดรสในการอ้างอิงตำแหน่งของข้อมูลในหน่วยความจำเช่นเดียวกับหน่วยความจำชนิดอื่นๆ แต่หน่วยความจำในสมาร์ทการ์ดเป็นวงจรรวมที่ถูกผลิตขึ้นตามสเปกของแต่ละรุ่นและถูกผนึกจากผู้ผลิตมาเรียบร้อยแล้ว การอัพเกรดหน่วยความจำข้อมูลของสมาร์ทการ์ดจึงเป็นไปไม่ได้ ในเรื่องราคาของสมาร์ทการ์ดยิ่งมีหน่วยความจำข้อมูลมากขึ้นเท่าใด ราคาก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย (สมาร์ทการ์ดที่มีหน่วยความจำข้อมูลที่น้อยที่สุดในปัจจุบันมีขนาด 128 ไบต์อาจยังพอหาซื้อได้บ้าง) ส่วนการจัดการหน่วยความจำข้อมูลของสมาร์ทการ์ดชนิด Memory ไม่ยุ่งยากมากนัก แต่จะยุ่งยากมากขึ้นในสมาร์ทการ์ดชนิด Processor เนื่องจากโปรเซสเซอร์ภายในชิพจะเป็นตัวจัดการหน่วยความจำให้เราทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมด ทำให้การเข้าถึงข้อมูลมีลักษณะที่แตกต่างออกไป การใช้แอดเดรสในการอ้างอิงถึงข้อมูลในหน่วยความจำของสมาร์ทการ์ดชนิด Processor โดยตรงจะไม่สามารถทำได้อีกต่อไป และไม่มีทางทราบได้เลยว่าข้อมูลอยู่ในหน่วยความจำแอดเดรสที่เท่าไหร่ แต่มีสิ่งหนึ่งที่สมาร์ทการ์ดทั้งสองชนิดมีเหมือนกันก็คือขนาดหน่วยความจำที่มีจำกัด ดังนั้นการบริหารหน่วยความจำจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

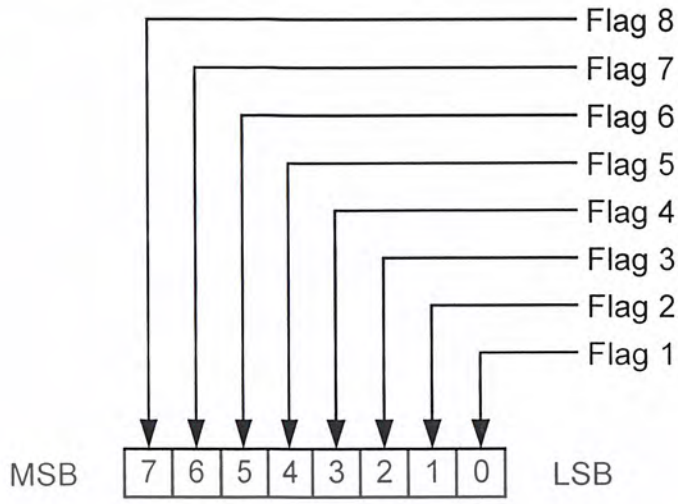
2.1.17 การบริหารหน่วยความจำของสมาร์ทการ์ดให้เกิดประโยชน์สูงสุด

เนื่องจากสมาร์ทการ์ดเป็นเพียง IC ขนาดเล็กที่มีหน่วยความจำภายในน้อยมากเมื่อเทียบกับหน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์ชนิดพกพา แม้ว่าสมาร์ทการ์ดในปัจจุบันจะมีแบบที่ขนาดหน่วยความจำสูงถึง 64 กิโลไบต์แล้วก็ตาม นั้นก็ไม่ได้หมายความว่าสมาร์ทการ์ดจะสามารถเก็บตัวอักษรของหนังสือทั้งเล่ม เป็นอัลบั้มรูป หรือเก็บฟิล์ม x-ray การที่หน่วยความจำในสมาร์ทการ์ดมีจำนวนจำกัดทำให้นักพัฒนาระบบต้องคิดหาวิธีสำหรับบริหารหน่วยความจำของสมาร์ทการ์ดมากกว่าเดิมเราอาจต้องตัดข้อมูลบางส่วนออก บีบขนาดของข้อมูลหรืออย่างแย่ที่สุดก็คือทำ On-line เพื่อขอข้อมูลจากคอมพิวเตอร์หลัก โดยอาศัยคุณสมบัติในการเข้า-ถอดรหัสข้อมูลของสมาร์ทการ์ดเพียงอย่างเดียว ดังนั้นระบบจะถูกออกแบบมาให้อยู่ในลักษณะใดก็ขึ้นอยู่กับขนาดของข้อมูลและการใช้งานเป็นหลัก

การจัดเก็บข้อมูลจำนวนมากๆ ลงในสมาร์ทการ์ด เป็นเรื่องที่ไม่ง่ายสำหรับการจัดเก็บข้อมูลในเครื่องคอมพิวเตอร์ เนื่องจากหน่วยความจำสำหรับจัดเก็บข้อมูลในสมาร์ทการ์ดมีขนาดจำกัด (หากเป็นสมาร์ทการ์ดที่มีหน่วยความจำมากๆ ราคาก็จะแพงขึ้น) เราต้องหาทางที่จะนำข้อมูลจำนวนมากเหล่านั้นมาใส่ในหน่วยความจำที่จำกัดของสมาร์ทการ์ด การที่เราจะใช้หน่วยความจำให้เกิดประโยชน์สูงสุดได้นั้นอันดับแรกต้องทำการแยกแยะข้อมูลจำพวกเช่น ข้อมูลทางด้านตรรกศาสตร์ ตัวเลขหรือจำนวนนับ ตัวอักษร ข้อมูลเหล่านี้มีผลต่อการจัดเก็บข้อมูลในหน่วยความจำอย่างมากเพราะการจัดเก็บข้อมูลขนาดเล็กอย่างข้อมูลด้านตรรกศาสตร์ ไม่จำเป็นต้องใช้หน่วยความจำถึงหนึ่งไบต์ เช่นเดียวกับตัวเลขหรือจำนวนนับเพื่อให้เหมาะสมกับขนาดของหน่วยความจำที่ใช้จัดเก็บข้อมูล การใช้หน่วยความจำเป็นจำนวนบิตตามขอบเขตสูงสุดของข้อมูลก็จะช่วยให้เรามีพื้นที่หน่วยความจำสำหรับเก็บสิ่งอื่นๆ ได้อีกมากมาย

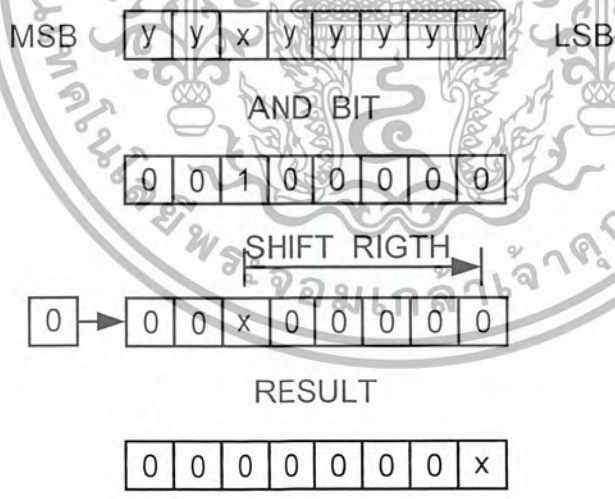
ประการสำคัญต่อมาคือ ต้องหาอัลกอริทึมสำหรับจัดการข้อมูลในหน่วยความจำเหล่านั้นเช่น ข้อมูลทางด้านตรรกศาสตร์ที่ถูกจัดเก็บในหน่วยความจำเพียงบิตเดียว และรวมเอาบิตข้อมูลตรรกศาสตร์หลายๆ บิตให้มาอยู่รวมกันในหน่วยความจำเพียงไบต์เดียว การจัดเก็บข้อมูลตรรกศาสตร์แบบบิตมีวิธีในการนำข้อมูลเข้าเก็บ หรืออ่านค่าออกต้องทำให้รวดเร็วและไม่สิ้นเปลืองโค้ดมากจนเกินไป หากเก็บข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่การนำข้อมูลเข้าเก็บหรืออ่านค่าออกมาทำได้ช้าก็คงไม่มีประโยชน์อะไรนัก ยิ่งการนำอัลกอริทึมมาสร้างเป็นโปรแกรมต้องไม่เขียนด้วยโค้ดที่ยาวจนเกินไป ซึ่งขั้นตอนคำสั่งทางคณิตศาสตร์บางคำสั่งสามารถยุบรวมเป็นสมการสั้นๆ เพื่อทำให้การทำงานของโปรแกรมรวดเร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 การจัดเก็บข้อมูลทางตรรกศาสตร์แบบบิต

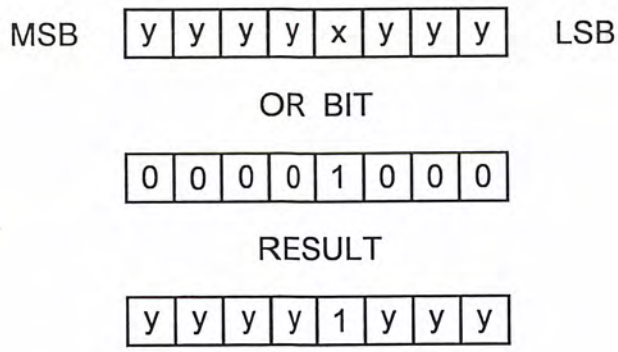
ในการจัดเก็บข้อมูลแบบตรรกศาสตร์ จำเป็นต้องใช้คำสั่งทางตรรกศาสตร์ในภาษาระดับต่ำมาช่วยในการประมวลผลอย่างมาก การที่เราทำการเก็บข้อมูลเป็นบิตเรียงกันได้นั้นต้องการใช้ AND, OR, และ SHIFT มาช่วยในการจัดการข้อมูลในระดับบิตเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการ ตัวอย่างเช่น ต้องการข้อมูลทราบว่าข้อมูลบิตที่ 5 เป็น 0 หรือ 1 สามารถทำได้โดยการอ่านข้อมูลที่ต้องการทราบมาเก็บไว้ในตัวแปรแล้วทำการ AND บิตด้วยข้อมูล 20(Hex) หรือ 00100000(Binary) แล้วทำการ SHIFT ไปทางขวา 5 บิต เราก็จะทราบได้ทันทีว่าข้อมูลเป็น 0 หรือ 1 ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 วิธีการตรวจสอบบิตข้อมูลว่าเป็น 0 หรือ 1

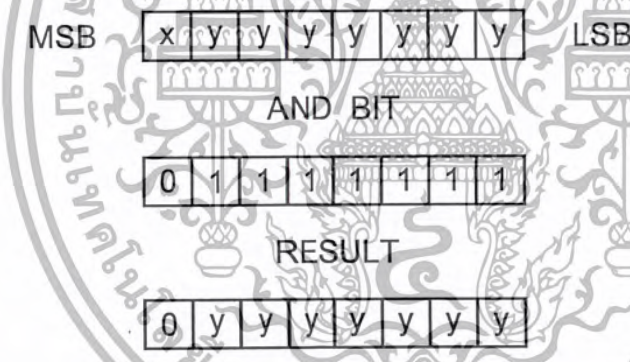
สำหรับการเซตหรือเคลียร์ค่าของบิตข้อมูลที่ต้องการ เราจะใช้คุณสมบัติในการ AND และ OR บิตเข้าช่วย อย่างในกรณีที่ต้องการให้บิตข้อมูลเป็น 1 เราต้องใช้คุณสมบัติการ OR เช่น ต้องการให้บิตที่ 3 ถูกเซตเป็น 1 ให้ทำการ OR บิตด้วยข้อมูล 08(Hex) หรือ 00001000(Binary) ดังรูปที่ 2.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 ตัวอย่างการเซตข้อมูลบิตที่ 3 ให้เป็น 1

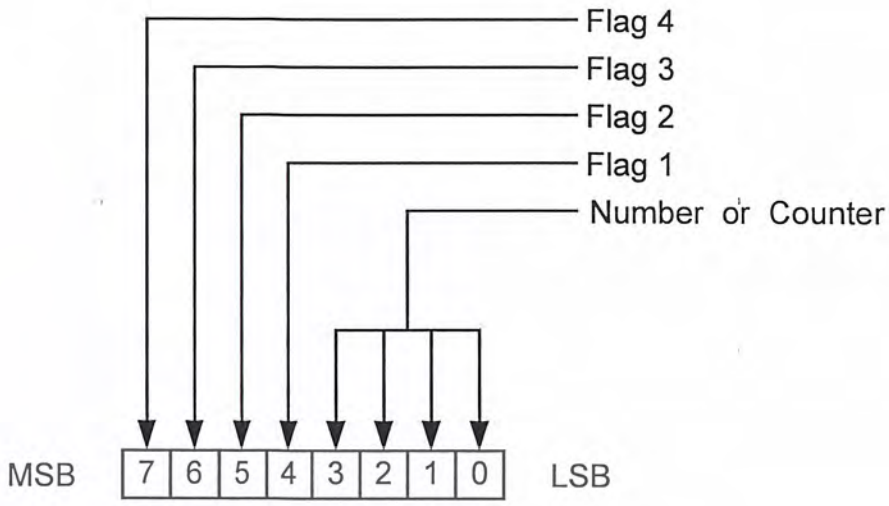
ส่วนการกำหนดให้บิตข้อมูลเป็น 0 หรือเคลียร์บิตต้องใช้คุณสมบัติการ AND ตัวอย่างเช่น ต้องการให้บิตที่ 7 ถูกเคลียร์เป็น 0 ให้ทำการ AND บิตด้วยข้อมูล 7F(Hex) หรือ 01111111(Binary) โดยตรง หรืออาจทำได้จากการทำ 1 Complement (สลับค่าบิตจากบิตที่มีค่าเดิม 0 เป็น 1 และจากเดิม 1 เป็น 0) ข้อมูล 80(Hex) แล้วจึงทำการ AND บิตกับข้อมูลที่ต้องการ ดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 ตัวอย่างการเคลียร์ข้อมูลบิตที่ 7 ให้เป็น 0

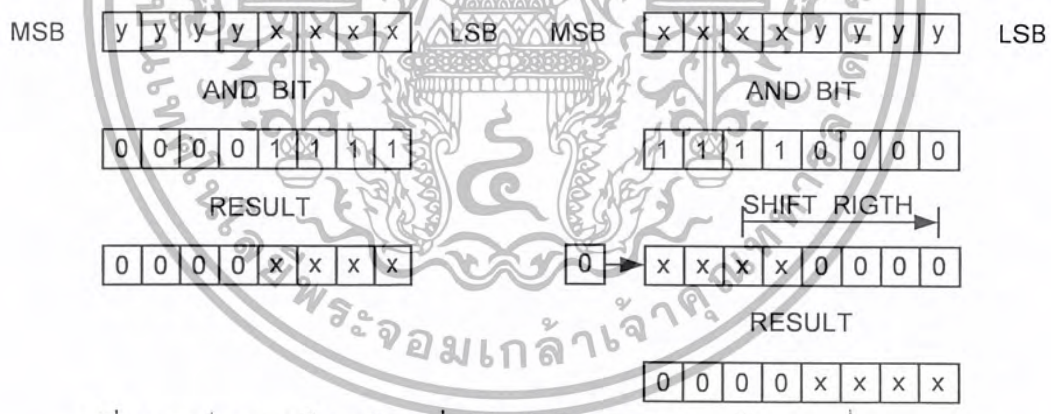
ในการจัดเก็บข้อมูลตัวเลขหรือจำนวนนับซึ่งรวมถึงเลขจำนวนเต็ม (Integer), เลขฐานสอง, เลขฐานแปด, เลขฐานสิบหก, ตัวเลข BCD, ฯลฯ เราต้องทราบก่อนว่าค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ของข้อมูลที่จะจัดเก็บเป็นเท่าใด เช่น การเก็บเลขที่ของเดือน (1-12) ไม่จำเป็นต้องใช้พื้นที่หน่วยความจำในการจัดเก็บข้อมูลถึง 1 ไบต์ หากด้วยหน่วยความจำเพียง 4 บิตก็เพียงพอแล้วสำหรับข้อมูลที่มีค่าสูงสุดไม่เกิน 16 (4 บิตเก็บค่าได้ตั้งแต่ 0-15) ส่วนอีก 4 บิตที่เหลือสามารถนำไปใช้เก็บข้อมูลตัวเลขหรือข้อมูลด้านตรรกศาสตร์อื่นๆ ดังรูปที่ 2.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 การจัดเก็บข้อมูลตัวเลขด้วยหน่วยความจำเพียง 4 บิตร่วมกับข้อมูลตรรกศาสตร์

สำหรับวิธีการแยกเอาข้อมูลตัวเลขออกมาก็สามารถทำได้โดยการ AND บิตข้อมูลที่ไม่ต้องการออกไป ตัวอย่างเช่น ต้องการข้อมูลตั้งแต่บิตที่ 0 ถึงบิตที่ 3 ให้ทำการ AND บิตด้วยข้อมูล 0F(Hex) หรือ 00001111(Binary) หรือถ้าหากต้องการข้อมูลตั้งแต่บิตที่ 4 ถึงบิตที่ 7 ให้ทำการ AND บิตด้วยข้อมูล F0(Hex) หรือ 11110000(Binary) แล้ว SHIFT บิตไปทางขวา 4 บิตก็จะได้ข้อมูลที่ต้องการ ดังรูปที่ 2.27



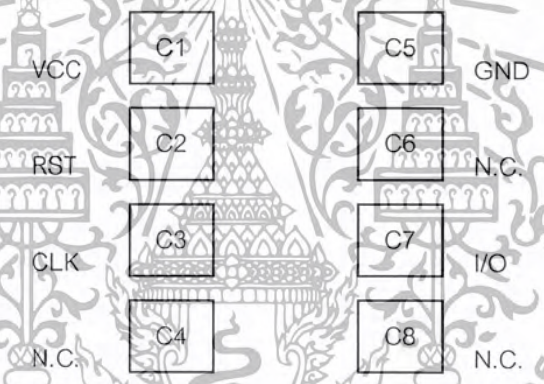
รูปที่ 2.27 การแยกเอาข้อมูลตัวเลขที่อยู่ปนกับข้อมูลตรรกศาสตร์

สำหรับข้อมูลที่เป็นตัวอักษรอาจเป็นการยากสักหน่อยในการบีบข้อมูล เนื่องจากสมาร์ทการ์ดต้องทำงานร่วมกับหน่วยประมวลที่อ้างอิงกับมาตราฐาน ASCII ที่กำหนดให้หน่วยความจำขนาด 1 ไบต์ใช้สำหรับเก็บข้อมูล 1 ตัวอักษร ยิ่งไปกว่านั้นการเก็บข้อมูลที่เป็นตัวอักษรภาษาไทยในสมาร์ทการ์ดยิ่งทำได้ยาก เพราะตัวอักษรภาษาไทยใช้รหัส ASCII ที่สูงกว่าค่า 128 และมีถึง 4 ระดับ ทำให้การบีบข้อมูลแทบเป็นไปไม่ได้เลย หากทำการบีบข้อมูลอาจทำให้ความเร็วในการประมวลผลของระบบลดลงและเกิดความยุ่งยากภายหลัง ดังนั้นการจัดเก็บข้อมูลแบบปกติดูจะได้ประโยชน์มากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บางครั้งการบีบข้อมูลอาจเกิดผลเสียได้เช่นกัน ในบางครั้งอาจมีการเปลี่ยนแปลงขนาดข้อมูลหลังจากที่โครงการได้ถูกใช้งานจริงไปแล้ว เช่น หมายเลขทะเบียนรถ ในอดีตใช้หมายเลขทะเบียนรถด้วยตัวเลข 1 ตัว, ตัวอักษรภาษาไทย 1 ตัว, ตัวเลข 4 ตัว, และตัวอักษรชื่อเต็มของจังหวัด (1ก 2345 กรุงเทพมหานคร) โดยเปลี่ยนไปใช้ตัวอักษรภาษาไทย 2 ตัว, ตัวเลข 4 ตัว, และตัวอักษรย่อของจังหวัด 2 ตัว (กข 2345 กท) แต่ภายหลังเปลี่ยนกลับมาใช้เป็นตัวอักษรภาษาไทย 2 ตัว, ตัวเลข 4 ตัว, และตัวอักษรชื่อเต็มของจังหวัด (กข 2345 กรุงเทพมหานคร) ปัญหาจะเกิดขึ้นทันที หากเราทำการกำหนดให้เก็บข้อมูลตัวเลขปนกับตัวอักษร การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอาจไม่สำคัญเท่าไร หากไม่ใช่ข้อมูลสำหรับพิมพ์เอกสารที่เกี่ยวข้องกับทางราชการ เช่น ใบกำกับภาษี ดังนั้นการบีบขนาดของข้อมูลจึงต้องคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงในอนาคต และให้ความระมัดระวังข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับหน่วยงานราชการเป็นพิเศษ

สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งในการบริหารหน่วยความจำของสมาร์ทการ์ดที่ต้องคำนึงถึงคือ การวางแผนในการใช้งานหน่วยความจำในอนาคต ทั้งนี้การวางแผนล่วงหน้าจะทำให้เราสามารถสร้างโครงการใหม่ๆ จากโครงการสมาร์ทการ์ดที่มีใช้งานอยู่แล้ว ซึ่งทำให้ไม่ต้องเปลืองเงินสำหรับซื้อสมาร์ทการ์ดชนิดใหม่ที่มีหน่วยความจำมากกว่าเดิม และยังทำให้เราสามารถเพิ่มข้อมูลที่จำเป็นในภายหลังได้อีกด้วย



รูปที่ 2.28 แสดงขาต่าง ๆ บนหน้าสัมผัสของบัตรสมาร์ทการ์ด

หน้าสัมผัส	ชื่อขา	การใช้งาน
C1	VCC	แหล่งจ่ายไฟ
C2	RST	รีเซต
C3	CLK	สัญญาณนาฬิกา
C5	GND	กราวนด์
C7	I/O	ส่งข้อมูลได้ 2 ทิศทาง
C4,C6,C8	N.C.	ไม่ใช้งาน

ตารางที่ 2.16 หน้าที่การทำงานของขาต่าง ๆ ของบัตรสมาร์ทการ์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.18 ข้อดีของสมาร์ทการ์ด

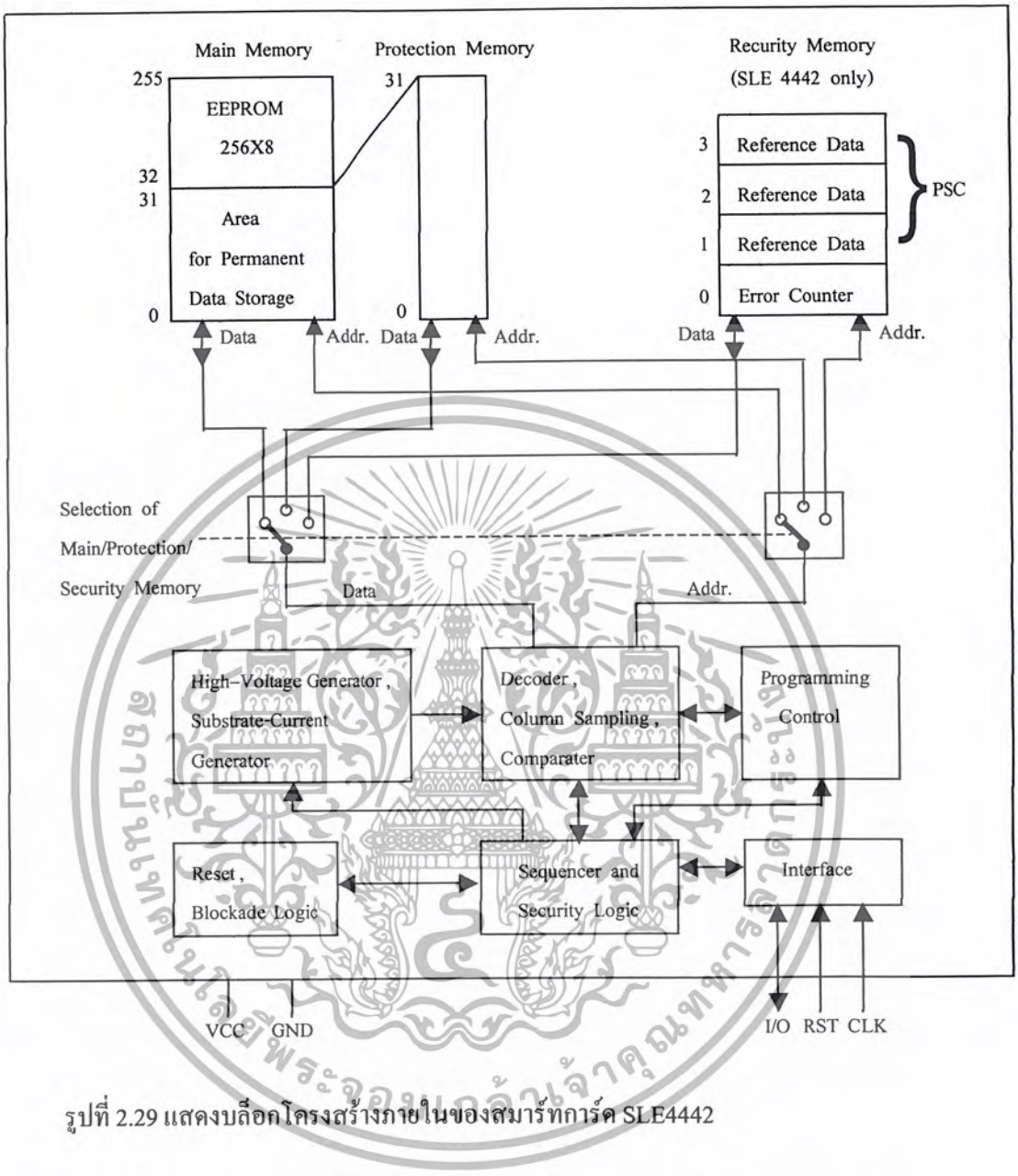
- มีความปลอดภัยสูง การเข้าถึงข้อมูลจะเข้าถึงได้โดยการผ่านหน่วยประมวลผลกลาง(Central Processing Unit : CPU) เท่านั้นจึงยากแก่การอ่าน การเปลี่ยนแปลง และทำลายข้อมูล
- ใช้การเข้ารหัสข้อมูลแบบการสร้างรหัสลับซึ่งถอดรหัสได้ยากกว่าแบบเข้ารหัส (Encoding)
- มีความทนทานสูง
- สามารถใช้บริการได้หลายประเภท
- มีหน่วยความจำขนาดใหญ่หลายขนาดให้เลือกใช้
- มีความสามารถในการคำนวณถอดรหัสลับ และสร้างจำนวนที่ได้จากการสุ่ม
- มีส่วนขยายความจำ เพื่อรองรับบริการใหม่ ๆ ในอนาคตยืดหยุ่นต่อการใช้งาน

❑ คุณสมบัติโดยทั่วไปของสมาร์ทการ์ดเบอร์ SLE 4442

- ใช้หน่วยความจำ อีอีพรอม 8 บิตความจุข้อมูล 256 ไบต์
- ใช้รูปแบบของ ATR (Answer To Reset) ตามมาตรฐาน ISO 7816
- อินเตอร์เฟสแบบซิงโครนัส (Synchronous) ตามมาตรฐาน ISO 7816
- ป้องกันการเขียนข้อมูลด้วยรหัสผ่าน PSC (Programmable Security Code)
- การลบ และเขียนข้อมูลในแต่ละไบต์ใช้เวลาเพียง 2.5 มิลลิวินาที
- มีฟังก์ชันป้องกันข้อมูลในพื้นที่หน่วยความจำ 32 ไบต์แรก โดยสามารถจะกำหนดให้ข้อมูลที่เขียนลงไปยังพื้นที่ช่วงดังกล่าวถูกเขียนลงไปอย่างถาวรได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.19 ลักษณะหน้าที่ของสมาร์ทการ์ด



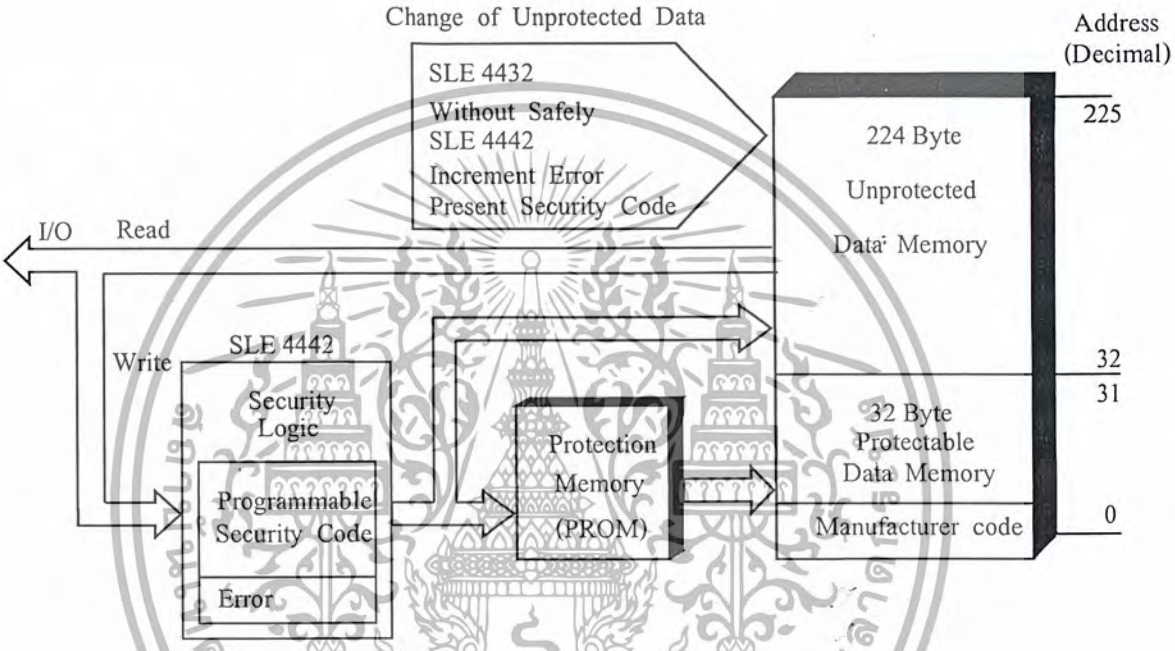
รูปที่ 2.29 แสดงบล็อกโครงสร้างภายในของสมาร์ทการ์ด SLE4442

จากบล็อกในรูปที่ 2.29 จะเห็นได้ว่าหน่วยความจำขนาด 256 ไบต์ ที่อยู่ภายใน SLE4442 จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน ได้แก่ ข้อมูลในช่วง 32 ไบต์แรก ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีระบบป้องกันการเขียนข้อมูลทับ และหน่วยความจำส่วนถัดมาซึ่งเป็นอีอีพรอม (EEPEOM) ที่สามารถทั้งเขียน และอ่านได้ กลไกในการป้องกันข้อมูลของ SLE4442 มาจากส่วนที่เป็นหน่วยความจำปลอดภัย (Security Memory) ที่ได้รับการป้องกันโดย ข้อมูลสำคัญ 2 ส่วน คือ

❑ ข้อมูลอ้างอิง (Reference Data) เป็นข้อมูลขนาด 3 ไบต์ที่เก็บค่าของรหัสผ่านสำหรับการเข้าไปแก้ไขข้อมูลในหน่วยความจำเอาไว้ (รหัส PSC ไม่สามารถถูกอ่านออกมาได้) รหัส PSC จะถูกกำหนดเป็นค่าหนึ่งมาโดยผู้ผลิตก่อนซึ่งสามารถจะมาปรับเปลี่ยนเองได้ในภายหลังเมื่อใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

❑ ไบต์แสดงความผิดพลาด (Error Counter Byte) เป็นข้อมูลที่บอกถึงจำนวนครั้งที่ป้อนรหัส PSC ผิดซึ่งถูกกำหนดเอาไว้ตายตัวว่าจะผิดได้ไม่เกิน 3 ครั้ง หากเกินกว่านั้นการ์ดจะล๊อคตัวเองอย่างถาวรทันที และไม่มีการปลดล๊อคได้แม้ว่าจะป้อนรหัส PSC ที่ถูกต้องไปแล้วก็ตาม การเขียนข้อมูลยังหน่วยความจำก็จะไม่สามารถทำได้อีกต่อไป แต่ยังคงอ่านข้อมูลออกมาได้ตามปกติ การป้อนรหัส PSC ผิดแต่ละครั้งเออเลอร์เคาเตอร์จะถูกลดลง 1 ค่าทันที ถ้าหากค่าความผิดพลาดถูกลดจนมีค่าเป็น 0 เมื่อไรก็แสดงว่าการ์ดได้ถูกล๊อคไปเรียบร้อยแล้ว (ในกรณีที่ป้อนรหัส PSC ผิดมาแล้ว 2 ครั้งแต่ป้อนรหัสถูกในครั้งที่ 3 ค่าของค่าความผิดพลาดจะถูกรีเซตกลับไปเป็น 3 ครั้งเหมือนอย่างตอนแรกเริ่ม)



รูปที่ 2.30 แสดงการติดต่อกับหน่วยความจำ

ในการที่เราจะอ่านข้อมูลออกจากหน่วยความจำหลักนั้น เราสามารถอ่านข้อมูลออกมาได้โดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนของการป้อนรหัส PSC แต่สำหรับการเขียนข้อมูลแล้วเราจะต้องป้อนรหัส PSC ที่ถูกต้องเสียก่อน เพื่อเปิดลอจิกในการเขียนข้อมูลลงยังหน่วยความจำ นอกจากนั้นก็จะเห็นได้ว่าข้อมูล 4 ไบต์แรกเป็นข้อมูลของผู้ผลิต (Manufacturer Cord) มีขนาด 4 ไบต์พื้นที่ส่วนนี้ใช้เก็บข้อมูลของ ATR โดยความหมายของข้อมูลที่อยู่ในพื้นที่ส่วนนี้แต่ละไบต์จะถูกกำหนดโดยบริษัทผู้ผลิตการ์ดแต่ละราย

2.1.20 รูปแบบการสื่อสารข้อมูลของสมาร์ทการ์ด SLE4442

รูปแบบการสื่อสารข้อมูลของสมาร์ทการ์ด SLE4442 เป็นลักษณะการใช้สาย 2 เส้น เชื่อมต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างอุปกรณ์ และวงจรรวม ข้อมูลทั้งหมดที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงบนขา I/O นี้ จะต้องเปลี่ยนแปลงที่ขอบขาลงของสัญญาณนาฬิกา โดยรูปแบบการสื่อสารข้อมูลของสมาร์ทการ์ด SLE4442 ประกอบด้วย 4 โหมดการทำงาน ได้แก่

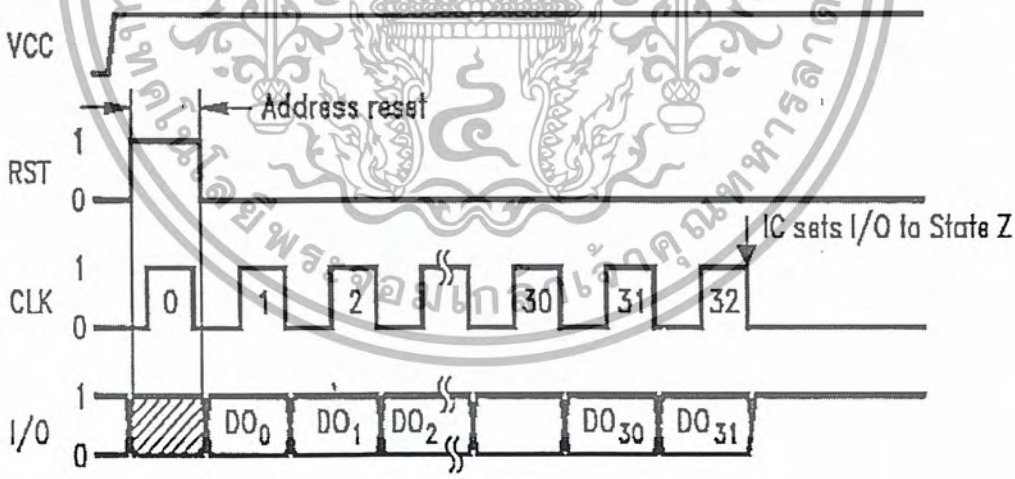
- การรีเซต และ การตอบรับรีเซต
- โหมดการส่งคำสั่ง
- โหมดการอ่านข้อมูล
- โหมดการดำเนินการ

2.1.20.1 การรีเซต และ การตอบรับรีเซต

จะเป็นไปตามมาตรฐาน ISO 7816-3 (ATR) การรีเซตสามารถที่จะเกิดขึ้นได้ทุกเวลาในการปฏิบัติงาน หลังจากที่ขา RST เป็นลอจิกต่ำ เมื่อมีสัญญาณนาฬิกาลูกต่อไปเข้ามา จะทำให้เกิดสัญญาณเอาท์พุตขึ้นที่ขา I/O ซึ่งคือสัญญาณตอบรับการรีเซตที่มีขนาด 4 ไบต์ หลังจากที่ครบทั้ง 4 ไบต์แล้ว ที่ขา I/O จะเป็นลอจิกสูงเป็นการสิ้นสุดการรีเซต

Answer-to-Reset	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4
(Hex)	DO_7….DO_0	DO_{15}….DO_8	DO23….DO16	DO_{31}….DO_{24}

ตารางที่ 2.17 แสดงลักษณะของข้อมูลที่ได้จากการตอบรับการรีเซต



รูปที่ 2.31 แสดงแผนผังเวลาของการรีเซต-การตอบรับการรีเซต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.20.2 โหมดการส่งคำสั่ง

หลังจากที่มีการตอบรับการรีเซตแล้วก็จะรอคอยคำสั่งทุก ๆ คำสั่งจะเริ่มต้นด้วยเงื่อนไขการเริ่มต้นมีขนาดความยาว 3 ไบต์ หรือ 24 บิต และคำสั่งนี้จะทำงานควบคู่กับสัญญาณนาฬิกา และคำสั่งของการสิ้นสุด

เงื่อนไขเริ่มต้น : เมื่อขา I/O เป็นขอบขาลง ในระหว่างที่สัญญาณนาฬิกาเป็นลอจิกสูง

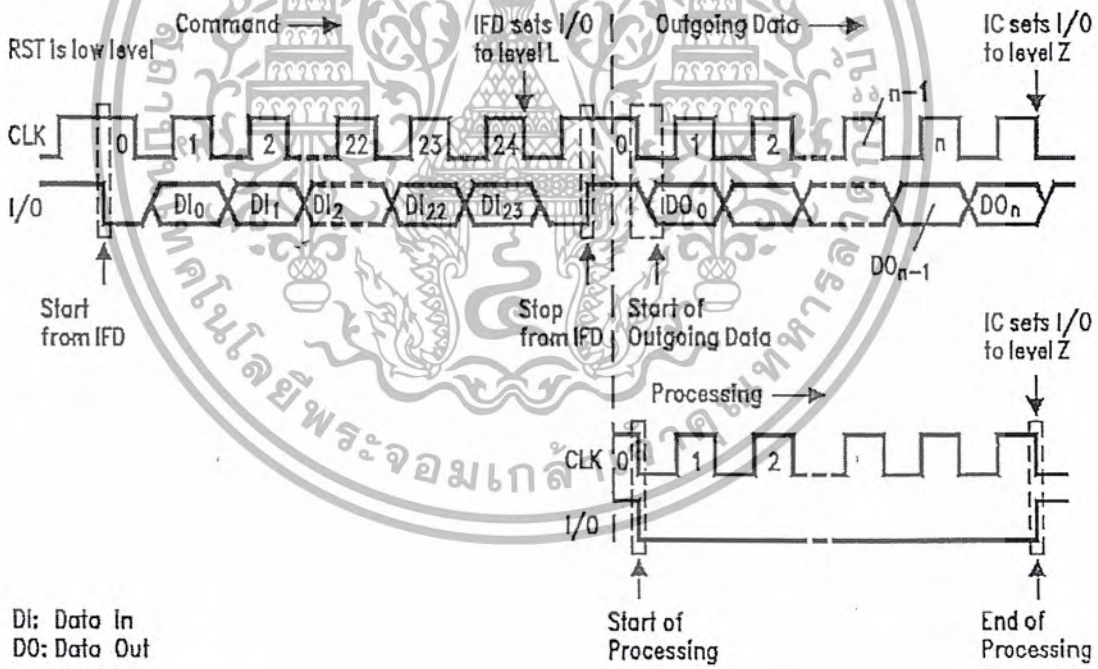
เงื่อนไขการหยุด : เมื่อขา I/O เป็นขอบขาขึ้น ในระหว่างที่สัญญาณนาฬิกาเป็นลอจิกสูง หลังจากที่ได้รับคำสั่งแล้วก็จะมี 2 กรณีที่เกิดขึ้น คือ ดึงข้อมูลออกมาในโหมดการอ่านและโหมดการประมวลผลสำหรับลบและเขียน

❑ โหมดการนำข้อมูลออก หรือ การอ่านข้อมูล

ในโหมดนี้ จะเป็นการนำข้อมูลออกจากบัตรสมาร์ทการ์ด โดยผ่านทางขา I/O จะต้องมีความสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกา โดยใน 3 ไบต์แรกของคำสั่ง จะเป็นข้อมูลของคำสั่ง ซึ่งเงื่อนไขเริ่มต้นและสิ้นสุดข้อมูลจะเป็นไปตามเงื่อนไขที่ได้กล่าวมาแล้ว ในระหว่างการทำงานของโหมดนี้ ที่ขา RST ต้องเป็นลอจิกต่ำ

❑ โหมดประมวลผล

ในโหมดนี้จะเป็นส่วนของการประมวลผล ซึ่งมีแผนผังเวลาแสดงดังรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 รูปแบบคำสั่งแต่ละคำสั่งจะประกอบด้วย 3 ไบต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

❑ โหมดคำสั่ง รูปแบบของคำสั่งแต่ละคำสั่งจะประกอบด้วย 3 ไบต์

MSB			Control				LSB	MSB			Address				LSB	MSB			Data				LSB
B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D

ตารางที่ 2.18 แสดงรูปแบบ และส่วนประกอบของคำสั่ง

รูปที่ 2.33 แสดงแผนผังเวลาของคำสั่ง

2.1.20.3 อ่านข้อมูลจากหน่วยความจำหลัก

คำสั่งในการนำเข้าข้อมูลที่เก็บไว้ในหน่วยความจำหลัก จะเริ่มต้นที่ตำแหน่ง N=(0-225) ซึ่งจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จาก 0 จนครบทั้งหมด IFD ต้องมีแหล่งจ่ายเพียงพอสำหรับสัญญาณนาฬิกา จำนวนของสัญญาณนาฬิกาคือ M=(256-N) x 8+1 การเข้าถึงข้อมูลที่เป็นการอ่านหน่วยความจำหลักสามารถทำได้ตลอดเวลา

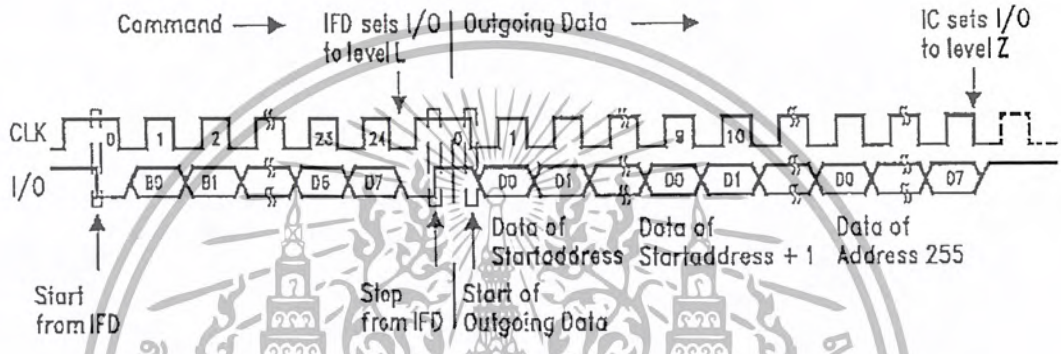
Address (decimal)	Main Memory	Protection Memory	Security Memory (only SLE 4442)
255	Data Byte 255 (D7…D0)	-	-
:	:	-	-
32	Data Byte 32 (D7…D0)	-	-
31	Data Byte 31 (D7…D0)	Protection Bit 31 (D31)	-
:	:	:	-
3	Data Byte 3 (D7…D0)	Protection Bit 3 (D3)	Reference Data Byte 3 (D7…D0)
2	Data Byte 2 (D7…D0)	Protection Bit 2 (D2)	Reference Data Byte 2 (D7…D0)
1	Data Byte 1 (D7…D0)	Protection Bit 1 (D1)	Reference Data Byte 1 (D7…D0)
0	Data Byte 0 (D7…D0)	Protection Bit 0 (D0)	Error Counter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Command: READ MAIN MEMORY

	Control								Address	Data
	B7	**B6**	**B5**	**B4**	**B3**	**B2**	**B1**	**B0**	**A7....A0**	**D7.....D0**
Binary	**0**	**0**	**1**	**1**	**0**	**0**	**0**	**0**	**Address**	**No effect**
Hexadecimal	**30_H**								**00_H.....FF_H**	**No effect**

ตารางที่ 2.19 แสดงลักษณะหน่วยความจำ และรูปแบบคำสั่งในการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำหลัก



รูปที่ 2.34 แสดงแผนผังเวลาของการข้อมูลจากอ่านหน่วยความจำหลัก

การแก้ไขข้อมูลในหน่วยความจำหลัก

- ลบและเขียน (5 ms) ใช้จำนวนสัญญาณนาฬิกาคือ 255 ลูก
- เขียนโดยไม่ลบ (2.5 ms) ใช้จำนวนสัญญาณนาฬิกาคือ 124 ลูก
- ลบโดยไม่เขียน (2.5 ms) ใช้จำนวนสัญญาณนาฬิกาคือ 124 ลูก

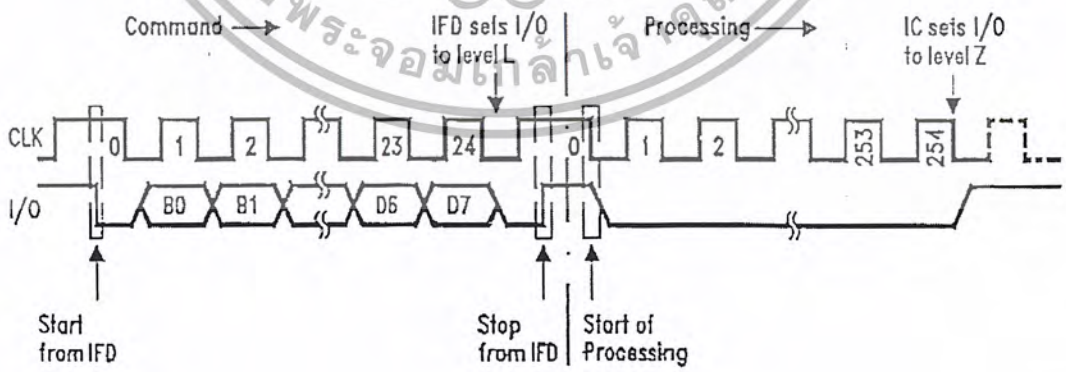
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Address (decimal)	Main Memory	Protection Memory	Security Memory (only SLE 4442)
255	Data Byte 255 (D7…D0)	-	-
:	:	-	-
32	Data Byte 32 (D7…D0)	-	-
31	Data Byte 31 (D7…D0)	Protection Bit 31 (D31)	-
:	:	:	-
3	Data Byte 3 (D7…D0)	Protection Bit 3 (D3)	Reference Data Byte 3 (D7…D0)
2	Data Byte 2 (D7…D0)	Protection Bit 2 (D2)	Reference Data Byte 2 (D7…D0)
1	Data Byte 1 (D7…D0)	Protection Bit 1 (D1)	Reference Data Byte 1 (D7…D0)
0	Data Byte 0 (D7…D0)	Protection Bit 0 (D0)	Error Counter

Command: READ MAIN MEMORY

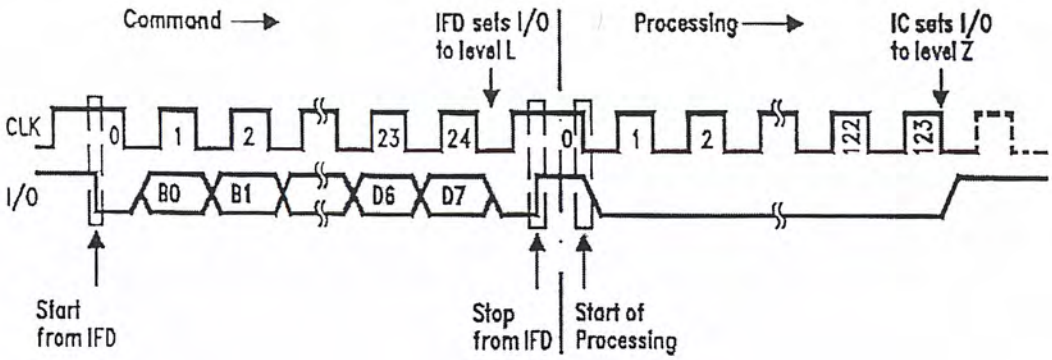
	Control								Address	Data
	B7	**B6**	**B5**	**B4**	**B3**	**B2**	**B1**	**B0**	**A7….A0**	**D7……D0**
Binary	0	0	1	1	0	0	0	0	Address	**Input data**
Hexadecimal	38_H								00_H…..FF_H	**Input data**

ตารางที่ 2.20 แสดงลักษณะหน่วยความจำ และรูปแบบคำสั่งในการแก้ไขข้อมูลในหน่วยความจำหลัก



รูปที่ 2.35 แสดงแผนผังเวลาของการลบ และเขียนข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.36 แสดงแผนผังเวลาของการลบ หรือแก้ไขข้อมูล

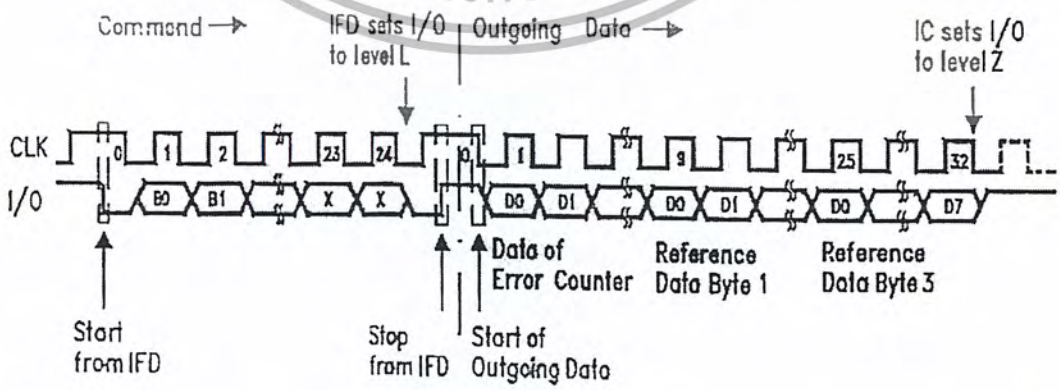
❑ อ่านข้อมูลจากหน่วยความจำปลอดภัย(Read Security Memory)

เหมือนกับคำสั่งที่ใช้อ่านหน่วยความจำป้องกัน ในคำสั่งนี้จะอ่านข้อมูลออกมา 4 ไบต์ของหน่วยความจำปลอดภัย จำนวนของสัญญาณนาฬิกาในการอ่านข้อมูลขนาด 4 ไบต์นี้จะใช้ 32 ลูก และที่ขา I/O จะถูกเปลี่ยนให้เป็นลอจิกสูง โดยสัญญาณนาฬิกาที่เพิ่มเข้ามา

Command : READ SECURITY MEMORY

	Control								Address	Data
	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0	A7....A0	D7.....D0
Binary	0	0	1	1	0	0	0	0	No effect	No effect
Hexadecimal	31_H								No effect	No effect

ตารางที่ 2.21 แสดงลักษณะหน่วยความจำและรูปแบบคำสั่งในการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำปลอดภัย



รูปที่ 2.37 แสดงแผนผังเวลาของการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

❑ การแก้ไขข้อมูลหน่วยความจำปลอดภัย

แก้ไขเกี่ยวกับข้อมูลในหน่วยความจำที่ใช้อ้างอิง คำสั่งนี้จะสามารถทำงานได้ถ้าการเปรียบเทียบของ PSC ถูกต้องก่อน เพราะฉะนั้นบิตของการนับจำนวนครั้งที่ผิดพลาด สามารถที่จะเขียนจาก ลอจิกสูงไปหาลอจิกต่ำ แต่ไม่สามารถเขียนจากลอจิกต่ำไปหาสูงได้

Command : READ SECURITY MEMORY

	Control								Address	Data
	B7	**B6**	**B5**	**B4**	**B3**	**B2**	**B1**	**B0**	**A7....A0**	**D7.....D0**
Binary	0	0	1	1	0	0	0	0	**Address**	**Input data**
Hexadecimal	39_H								$00_H...03_H$	**Input data**

ตารางที่ 2.22 แสดงลักษณะหน่วยความจำ และรูปแบบคำสั่งในการแก้ไขข้อมูลในหน่วยความจำปลอดภัย

2.1.20.4 เปรียบเทียบและพิสูจน์ข้อมูล

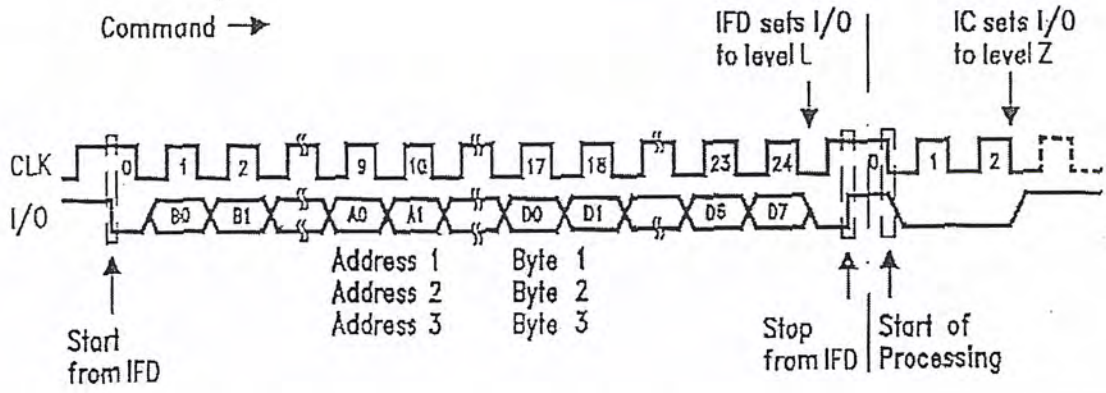
ในคำสั่งนี้ สามารถที่จะทำงานร่วมกับคำสั่งการแก้ไขข้อมูล การเปรียบเทียบค่า PSC คำสั่งจะทำการเปรียบเทียบข้อมูลอ้างอิงที่ใส่เข้าไปกับข้อมูลอ้างอิงที่มีอยู่แล้ว

Command: COMPARE VERIFICATION DATA

	Control								Address	Data
	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0	A7...A0	D7...D0
Binary	0	0	1	1	0	0	1	1	Address	Input data
Hexadecimal	33_H								$00_H...03_H$	Input data

ตารางที่ 2.23 แสดงรูปแบบคำสั่งในการเปรียบเทียบ และพิสูจน์ความถูกต้องของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.38 แสดงแผนผังเวลาของการเปรียบเทียบและพิสูจน์ข้อมูล

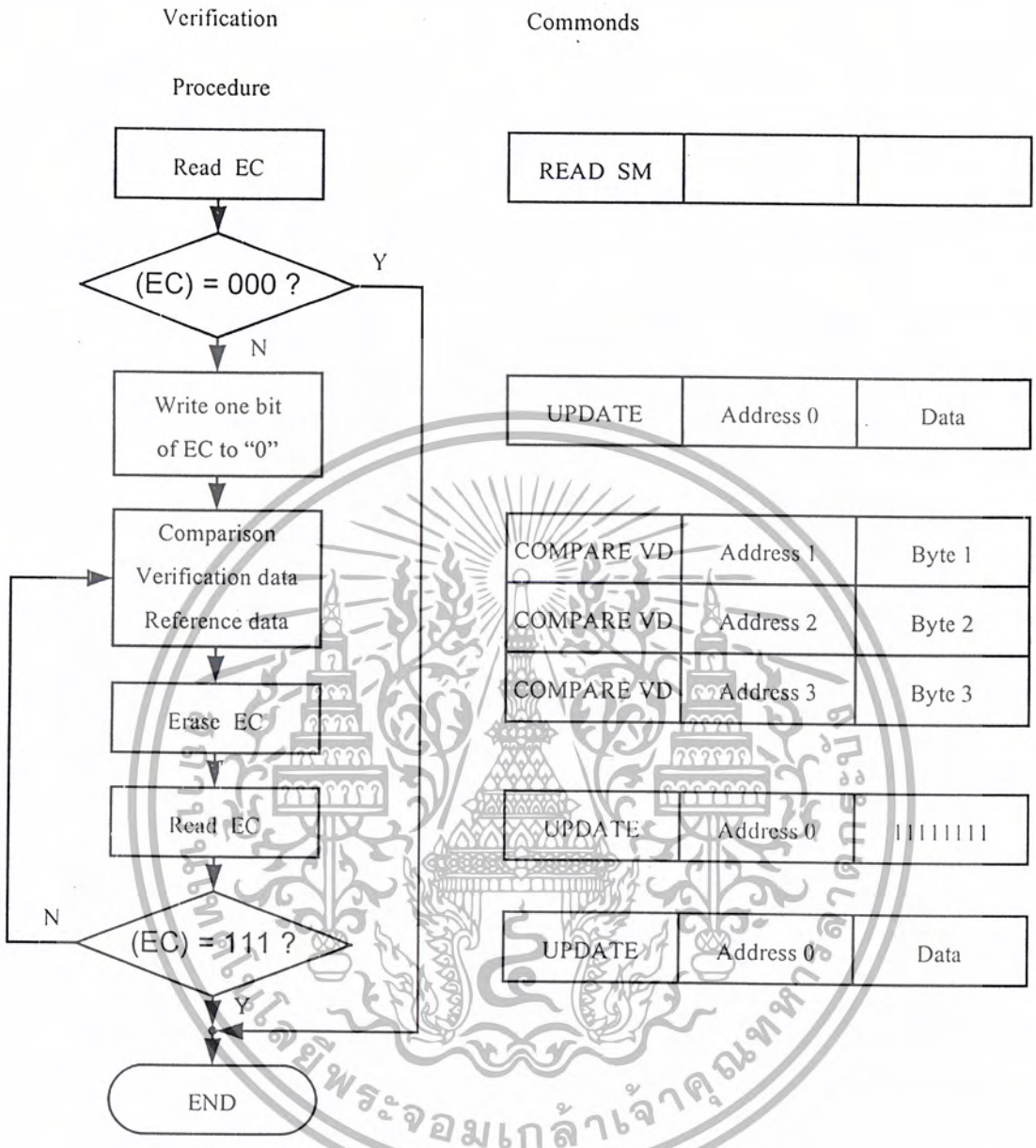
2.1.20.5 การเปรียบเทียบค่า PSC

ในสมาร์ทการ์ด เบอร์ SLE 4442 ผลลัพธ์ ที่ได้จากการเปรียบเทียบค่า PSC ที่ถูกเก็บอยู่ในหน่วยความจำที่มีระบบรักษาความปลอดภัย ต้องถูกต้องเพื่อที่จะสามารถทำการเปลี่ยนแปลงหรือแก้ไขข้อมูลเมื่อเราทำการป้อนรหัส PSC ผิดนั้นจะเป็นผลทำให้บิตถูกเปลี่ยนจากลอจิกสูงไปสู่ลอจิกต่ำ ซึ่งไม่สามารถเปลี่ยนกลับเป็นลอจิกสูงได้ ถ้าป้อน PSC ผิด 3 ครั้ง จะทำให้บิตถูกเปลี่ยนครบ 3 ครั้ง ซึ่งจะมีผลทำให้บัตรสมาร์ทการ์ดใบนั้นไม่สามารถลบ และเขียนข้อมูลได้อีก แต่ยังคงอ่านข้อมูลได้ตามปกติ

Command	Control	Address	Data	Remark
	B7...B0	A7...A0	D7...D0	
Read security Memory	31_H	No effect	No effect	Check Error Counter
Update Security Memory	39_H	00_H	Input data	Write free bit in Error Counter input data: 0000 0ddd binary
Compare Verification Data	33_H	01_H	Input data	Reference Data Byte 1
Compare Verification Data	33_H	02_H	Input data	Reference Data Byte 1
Compare Verification Data	33_H	03_H	Input data	Reference Data Byte 1
Update Security Memory	39_H	00_H	FF_H	Erase Error Counter
Read Security Memory	31_H	No effect	No effect	Check Error Counter

ตารางที่ 2.24 แสดงรูปแบบคำสั่ง PSC ในการเข้าถึงหน่วยความจำแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.39 แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบค่า PSC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

2.2.1 ความหมายของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller) เป็นชื่อของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบหนึ่งที่รวมเอาหน่วยประมวลผล หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก วงจรรับสัญญาณอินพุต วงจรขับสัญญาณเอาต์พุต หน่วยความจำ วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาไว้ด้วยกัน ทำให้สามารถนำไปใช้งานแทนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดี ช่วยลดจำนวนอุปกรณ์และขนาดของระบบ ในขณะที่มีขีดความสามารถสูงขึ้น ภายใต้งบประมาณที่เหมาะสม

ไมโครคอนโทรลเลอร์มาจากคำ 2 คำรวมกันคือ "ไมโคร" (micro) ซึ่งหมายถึง ไมโครโปรเซสเซอร์ (microprocessor) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ประมวลผลข้อมูลขนาดเล็ก ภายในประกอบด้วย หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU : Central Processing Unit) หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก (ALU : Arithmatic Logic Unit) วงจรเชื่อมต่อหน่วยความจำ และวงจรสัญญาณนาฬิกา อีกคำหนึ่งคือคำว่า "คอนโทรลเลอร์" (controller) หมายถึงอุปกรณ์ควบคุม ดังนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์จึงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมโดยที่สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดรูปแบบการควบคุมได้อย่างอิสระ

2.2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชจาก PHILIPS

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้อ้างอิงเพื่อการเรียนรู้และใช้งานในที่นี้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ซึ่งมีหน่วยความจำภายในเป็นแบบแฟลช (flash memory) ของ Philips Semiconductor ในอนุกรม P89C51Rx2 โดยจะเน้นไปที่เบอร์ P89C51RD2

สำหรับคุณสมบัติทางเทคนิคที่โดดเด่นของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 อนุกรมนี้ มีดังต่อไปนี้

- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ 8 บิต ที่เข้ากันได้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 พื้นฐานของอินเทล

หน่วยความจำโปรแกรมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นแบบแฟลช ทำให้สามารถลบและเขียนใหม่ได้ถึงหนึ่งหมื่นครั้ง จึงสามารถใช้งานในรูปแบบไมโครคอนโทรลเลอร์ชิพเดี่ยวไม่ต้องใช้หน่วยความจำภายนอก ส่งผลให้สามารถใช้งานพอร์ตอินพุตเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ขนาดของหน่วยความจำโปรแกรมสูงถึง 64 กิโลไบต์

- หน่วยความจำข้อมูลแรมภายในมีขนาด 1 กิโลไบต์
- สามารถเขียนหรือโปรแกรมข้อมูลลงในหน่วยความจำโปรแกรมโดยไม่ต้องถอดไมโครคอนโทรลเลอร์ออกมาทำการโปรแกรมใหม่ หรือเรียกว่า การโปรแกรมในวงจร หรือ ในระบบ (ISP : In-system programming) โดยภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีหน่วยความจำที่บรรจุโปรแกรมสำหรับเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำโปรแกรมหรือเรียกว่า บูตรอม (boot ROM) ทำหน้าที่ในส่วนนี้ แรงดันที่ใช้ในการโปรแกรมแบบ ISP ขึ้นอยู่กับเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์

P89C51RD2 ใช้แรงดันในการโปรแกรมได้ทั้ง +5V และ +12V โดยถ้าใช้แรงดัน +12V จะสามารถโปรแกรมได้ 1000 ครั้ง และถ้าใช้แรงดัน+5V สามารถโปรแกรมได้ 10000ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความถี่สัญญาณนาฬิกาสูงสุด 33 MHz ในกรณีทำงานด้วยสัญญาณนาฬิกาภายใน 12 ลูกต่อแมชีนไซเกิลและ 20 MHz ในกรณีทำงานด้วยสัญญาณนาฬิกาภายใน 6 ลูกต่อแมชีนไซเกิล

P89C51RD2 ได้รับการกำหนดให้ทำงานเบื้องต้นในโหมดสัญญาณนาฬิกา 6 ลูกต่อแมชีนไซเกิลสามารถเลือกเปลี่ยนเป็น 12 สัญญาณนาฬิกาต่อแมชีนไซเกิลได้

- ชุดคำสั่งและสถาปัตยกรรมพื้นฐานเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ของผู้ผลิตอื่นไม่ว่าจะเป็น Intel,Siemens หรือ Dallas Semiconductor
- ขาพอร์ต 8 บิต จำนวน 4 พอร์ต เป็นแบบกึ่งสองทิศทาง (quasi-bidirectional)สามารถใช้งานเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์
- ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิต 3 ตัว (ไทเมอร์ 0,1 และ 2)
- มีรีจิสเตอร์ตัวชี้ตำแหน่งข้อมูลหรือ DPTR 2 ตัว
- สามารถรองรับแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์ได้ 7 ประเภท
- กำหนดนัยสำคัญของการตอบสนองอินเตอร์รัปต์ได้ 4 ระดับ
- สามารถติดต่อหน่วยความจำภายนอกได้สูงสุด 64 กิโลไบต์
- มีวอตช์ด็อกไทเมอร์
- มีโมดูลวงจรนับโปรแกรมได้ (PCA : Programmable Counter Array) ซึ่งบรรจุวงจรตรวจจับสัญญาณ (capture), เปรียบเทียบสัญญาณ (compare), วงจรมอดูเลชั่นทางความกว้างพัลส์ (PWM) 5 โมดูล และวอตช์ด็อกไทเมอร์ (watchdog timer)

2.2.3 ความเร็วในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD2

นอกจาก Philips จะทำการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรมนี้ขึ้นเพื่อรองรับการโปรแกรมแบบ ISP และขนาดของหน่วยความจำแบบแฟลชที่สูงถึง 64 กิโลไบต์ แล้ว ยังได้พัฒนาเรื่องของความเร็วในการทำงานด้วย โดย P89C51RD2 ถูกกำหนดให้ทำงานได้เร็ว 6 ไซเกิลสัญญาณนาฬิกาภายในต่อ 1 แมชีนไซเกิล ซึ่งเร็วกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มาตรฐาน 2 เท่า แต่ก็สามารถลดความเร็วให้เท่ากับแบบมาตรฐานได้ด้วยการโปรแกรมแบบขนาน (Parallel programming)ซึ่งต้องใช้เครื่องโปรแกรมภายนอก อาทิ ALL-11 ของ HI-Lo System เป็นต้น แต่เมื่อลดความเร็วลงแล้ว จะไม่สามารถเปลี่ยนกลับมาได้อีก นั่นคือ สามารถเปลี่ยนความเร็วได้เพียงครั้งเดียว

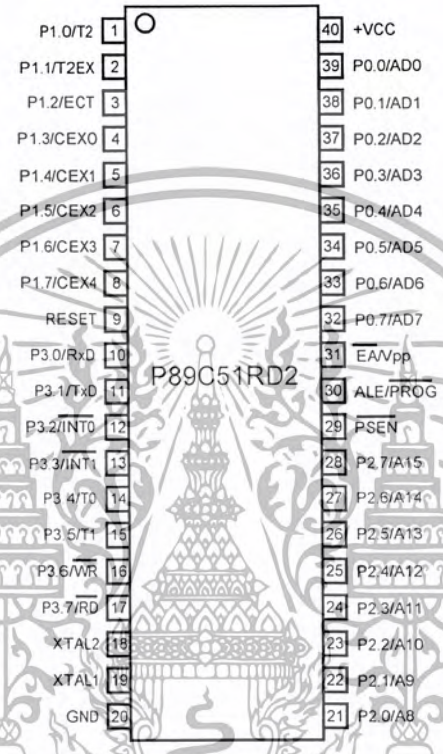
ในการทำงาน 1 รอบ หรือ 1 แมชีนไซเกิล ซีพียูในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มาตรฐานจะใช้เวลา 12 คาบเวลาของสัญญาณนาฬิกา นั่นคือ ที่สัญญาณนาฬิกา 12 MHz ดังนั้นถ้าต้องการทราบความเร็วของการทำงานภายในสามารถหาได้จากค่าความถี่สัญญาณนาฬิกาหารด้วย 12 และถ้าต้องการหาค่าเวลาของ 1 รอบการทำงานหรือ 1 แมชีนไซเกิล ทำได้โดยการหาส่วนกลับของความเร็วในการทำงานภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่เนื่องจาก P89C51RD2 มีความเร็วกว่าปกติ 2 เท่า จึงสามารถสรุปเป็นสูตรหาความเร็วในการทำงานใหม่ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วในการทำงานภายใน = ความถี่สัญญาณนาฬิกา (ค่าคริสตอลที่ขา XTAL1 และ XTAL2)/6

เวลา 1 แมชีนไซเกิล = 1/ ความเร็วในการทำงานภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์

2.2.4 พอร์ทของไมโครคอนโทรลเลอร์ P89C51RD2



รูปที่ 2.40 แสดงการจัดขาของ P89C51RD2

P89C51RD2 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 40 ขา ซึ่งมีขาต่างๆดังนี้

- **VCC** (ขา 40) ต่อไฟเลี้ยง +5V
- **GND** (ขา 20) ต่อกราวด์
- **P0.0-P0.7**(ขา 32-39) ใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต ถ้าต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุต สามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ทำให้มีสถานะลอย (float) ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์สูงสามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ใช้ในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก (A0-A7)และขาข้อมูล (D0-D7) โดยใช้การมัลติเพล็กซ์เข้าช่วยเพื่อสลับการทำงานให้เป็นได้แอดเดรสและขาข้อมูลในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก
- **P1.0-P1.7** (ขา 1-8) ใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไปเป็นขาสัญญาณของไทเมอร์ 2 และขาสัญญาณของโมดูล PCA ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- T2 (P1.0: ขา 1) เป็นขาอินพุตสำหรับนับค่าของไทเมอร์ 2 และขาเอาต์พุตสัญญาณนาฬิกาแบบโปรแกรมได้

- T2EX (P1.1 :ขา 2) เป็นขาอินพุตสำหรับควบคุมการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2

- ECI (P1.2 : ขา 3) เป็นขาอินพุตสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกสำหรับโมดูล PCA

- CEXO(P1.3 : ขา 4)เป็นขาอินพุตเอาต์พุตภายนอกของวงจรตรวจจับและเปรียบเทียบสัญญาณสำหรับ PCA โมดูล 0

- CEXO(P1.4 : ขา 5) เป็นขาอินพุตเอาต์พุตภายนอกของวงจรตรวจจับและเปรียบเทียบสัญญาณสำหรับ PCA โมดูล 1

- CEXO(P1.5 : ขา 6) เป็นขาอินพุตเอาต์พุตภายนอกของวงจรตรวจจับและเปรียบเทียบสัญญาณสำหรับ PCA โมดูล 2

- CEXO(P1.6 : ขา 7) เป็นขาอินพุตเอาต์พุตภายนอกของวงจรตรวจจับและเปรียบเทียบสัญญาณสำหรับ PCA โมดูล 3

- CEXO(P1.7 : ขา 8) เป็นขาอินพุตเอาต์พุตภายนอกของวงจรตรวจจับและเปรียบเทียบสัญญาณสำหรับ PCA โมดูล 4

☐ **P2.0-P2.7**(ขา 21-28) ใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไปและใช้ต่อกับขาแอดเดรสไบต์สูงของหน่วยความจำภายนอก (A8-A15) เมื่อติดต่อด้วย

☐ **P3.0-P3.7**(ขา 10-17) ใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไปและใช้งานเป็นขาพอร์ตหน้าที่พิเศษ ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

- RxD (P3.0 : ขา 10) ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม

- TxD (P3.1 : ขา 11) ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับส่งข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม

- INT0 (P3.2 : ขา 12) ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 0

- INT1 (P3.3 : ขา 13) ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 1

- T0 (P3.4 : ขา 14) ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณไทเมอร์จากภายนอกช่อง 0

- T1 (P3.5 : ขา 15) ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 1

- WR(P3.6 : ขา 16) ใช้เป็นขาสัญญาณ WR ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

- RD(P3.7 : ขา 17) ใช้เป็นขาสัญญาณ RD ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

☐ **RESET**(ขา 9) ใช้ในการรีเซตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยในการป้อนสัญญาณลอจิก "1"อย่างน้อยเป็นเวลา 2 แมชีนไซเกิลโดยที่วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกายังคงทำงานต่อเนื่องไปอย่างเป็นปกติ

☐ **ALE** (ขา 30) Address Latch Enable ออกมาทุก ๆ แมชีนไซเกิล อย่างไรก็ตาม สามารถดิสเอเบิลสัญญาณพัลส์นี้ได้ โดยการเซตบิต 0 ของรีจิสเตอร์ AUXR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PSEN(ขา 29) Program Store Enable : ใช้ในการส่งสัญญาณเพื่อร้องขอติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกเมื่อต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยจำโปรแกรมภายนอก ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณออกมาที่ขานี้ 2 ครั้ง

นอกจากนี้ยังใช้ประกอบในการอ่าน-เขียนข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมด้วยกระบวนการ ISP

- สำหรับเบอร์ P89C51RD+ ให้ต่อขานี้ลงกราวด์ แล้วป้อนไฟ +12V เข้าที่ขา EA/Vpp
- สำหรับเบอร์ P89C51RD ให้ต่อขานี้ลงกราวด์ ป้อนลอจิก "1" เข้าที่ขา P2.7 และป้อนแรงดัน +5V เข้าที่ขา EA/Vpp

☐ **EA/Vpp** (ขา 31) External Acess enable /Programming voltage input : ใช้สำหรับเลือกการติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมจากภายนอกหรือภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

- "0"เลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก
- "1" เลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายใน

นอกจากนี้ ที่ขานี้ยังใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับแรงดันสำหรับการโปรแกรมหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

- สำหรับเบอร์ P89C51RD+ ต้องการแรงดัน +12V
- สำหรับเบอร์ P89C51RD2 ต้องการแรงดัน +5V

☐ **XTAL1** (ขา 19) ขาอินพุตรับสัญญาณจากวงจรขยายออสซิลเลเตอร์ (ขา XTAL2) และจากภายนอก ในการใช้งานปกติ ขานี้และขา XTAL2 ต่อเข้ากับคริสตอลและตัวเก็บประจุชุดเชยค่าน้อยๆ

☐ **XTAL2** (ขา 18) ขาเอาต์พุตของวงจรขยายออสซิลเลเตอร์ ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการใช้งานปกติ ขานี้และขา XTAL1 ต่อเข้ากับคริสตอลและตัวเก็บประจุชุดเชยค่าน้อยๆ

2.3 จอแสดงผลแบบผลึกของเหลว (Liquid Crystal Desplay : LCD)

จอแสดงผลแบบผลึกของเหลว (Liquid Crystal Desplay : LCD) เป็นอุปกรณ์แสดงผล ที่นิยมใช้ในปัจจุบันเนื่องจากมีความเหมาะสมหลายๆ ด้าน เช่น การใช้กระแสไฟฟ้าต่ำ และสามารถแสดงผลเป็นตัวอักษรและตัวเลข หรือแสดงเป็นกราฟฟิก (เฉพาะรุ่น)ได้ จอแสดงผลแบบผลึกของเหลว นั้นมีขาสัญญาณ 14 ขา โดยแต่ละขาจะมีหน้าที่การทำงานดังนี้

1. ขา 1 (Vss) เป็นขากราวด์ของจอแสดงผลแบบผลึกของเหลว
2. ขา 2 (Vcc) เป็นขาแรงดันไฟฟ้าขนาด +5 โวลต์
3. ขา 3 (Vee) เป็นขารับแรงดันไฟฟ้าเพื่อปรับความเข้มตัวอักษร โดยต่อกับกราวด์และมีความเข้มสูงสุด และถ้าต่อกับ Vcc จะมีความเข้มต่ำสุด
4. ขา 4 (RS) เป็นขาเลือกที่มีรีจิสเตอร์ภายในซึ่งมีอยู่ 2 ตัวคือ รีจิสเตอร์คำสั่ง (Instruction Registor : IR) และรีจิสเตอร์ข้อมูล (Data Registor : DR) ขณะเดียวกันถ้าเป็น "1" จะเป็นการเลือกรีจิสเตอร์ข้อมูล DR และถ้าเป็น "0" จะเป็นการเลือกคำสั่งที่รีจิสเตอร์ IR
5. ขา 5 (R/W) เป็นตัวเลือกว่าจะเขียนหรือจะอ่านข้อมูลโดยทั่วไปถ้าขานี้เป็น "1" จะเป็นการอ่านข้อมูลจากจอแสดงผลแบบผลึกของเหลว แต่ถ้าเป็น "0" จะเขียนข้อมูลเข้าจอแสดงผลแบบผลึกของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ขา 6 (E) เป็นขากำหนดสภาพการรับเขียนอ่านข้อมูล (Enable)

7. ขา 7 - ขา 14 (DB0-DB7) เป็นขาที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล

ในการใช้งานจอแสดงผลแบบผลึกของเหลวนั้น จะใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการทำงานโดยจอแสดงผลแบบผลึกของเหลว รับคำสั่งเฉพาะตามตารางที่ 2.25 มีคำสั่งควบคุมการทำงาน คำสั่งอ่าน หรือคำสั่งเขียนข้อมูล การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์กับจอแสดงผลแบบผลึกของเหลว จะมีวิธีที่นิยมอยู่ 2 วิธีคือการต่อแบบเป็นหน่วยความจำในการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ จะมองเห็นจอแสดงผลแบบผลึกของเหลวเป็นหน่วยความจำตัวหนึ่ง และการต่อพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตโดยต่อร่วมกับไมโครโปรเซสเซอร์เบอร์ 8255

2.3.1 พื้นฐานในการใช้งานจอแสดงผลแบบผลึกของเหลว

การเขียนข้อมูลให้กับจอแสดงผลแบบผลึกของเหลวจะแบ่งเป็น 2 ลักษณะคือการเขียนคำสั่งและการเขียนข้อมูลโดยจะกำหนดด้วยขา RS คือถ้าขา RS เป็น “0” หมายถึงการเขียนคำสั่งควบคุมหรือการอ่านค่า

แฟลกสภาพการทำงานของจอแสดงผลแบบผลึกของเหลว

หลักการในการเขียนข้อมูลให้กับจอแสดงผลแบบผลึกของเหลว นี้คือเมื่อมีการเขียนข้อมูลส่งไปยังจอแสดงผลแบบผลึกของเหลว จะต้องใช้เวลาในการทำงานชั่วขณะหนึ่งตามค่าเวลาปฏิบัติการ (Execute time) ในตารางที่ 2.25 โดยระบบของไมโครคอนโทรลเลอร์จะสามารถตรวจสอบได้จาก แฟลก BF และถ้าเรียบร้อยแล้วจึงจะสามารถเขียนข้อมูลชุดต่อไปได้ กรณีเป็นการต่อแบบพอร์ตอินพุตเอาต์พุตคือไม่สามารถอ่านข้อมูลกลับได้ โดยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะต้องใช้วิธีการหน่วงเวลาแทน ในการเขียนข้อมูลให้กับจอแสดงผลแบบผลึกของเหลวนั้น สามารถที่จะทำได้ทั้ง 8 บิต แต่ให้เขียน 2 ครั้ง คือขา DB4-DB7 ใช้สำหรับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ 4 บิต หรือเพื่อการประหยัดสาย การเขียนข้อมูลจะเหมือนกับ 8 บิต แต่ให้เขียน 2 ครั้งคือขา DB4-DB7 ก่อนแล้วตามด้วยขา DB0-DB3 ต้องกำหนดตามค่า DL ในคำสั่งฟังก์ชั่นเซต

หน่วยความจำภายในจอแสดงผลแบบผลึกของเหลว (Display Data RAM) คือหน่วยความจุภายในของจอแสดงผลแบบผลึกของเหลว ที่เป็นบัฟเฟอร์ของข้อมูลโดยถ้าเขียนรหัสแอสกี (ASCII) ใดๆ ลงไปในหน่วยความจำนี้ โดยจะปรากฏเป็นตัวอักษรที่หน้าจอทันที

CGRAM (Character Generator RAM) คือหน่วยความจำแรมภายในของจอแสดงผลแบบผลึกของเหลว สำหรับเก็บภาพตัวอักษรที่ผู้ใช้สามารถสร้างได้เอง (8 ตัว) โดยสามารถจะอ้างตำแหน่งได้ทั้งหมด 64 ไบต์ คือ 8 ตัวอักษรคูณกับ 8 แถว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 รายละเอียดของแต่ละคำสั่ง

CLEAR DISPLAY

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

สำหรับการลบหน้าจอนั้น สามารถทำการเขียนตัวอักษรว่างลงไปในหน่วยความจำภายในจอแสดงผลแบบผลึกของเหลวทั้งหมด และกำหนดค่าที่อยู่ของหน่วยความจำภายในจอแสดงผลแบบผลึกของเหลวเป็น 0 พร้อมทั้งเคอร์เซอร์จะกลับไปที่ตำแหน่งซ้ายบนสุดของจอภาพ

CURSOR AT HOME

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	*

สำหรับกำหนดค่าที่อยู่ (Address) ของหน่วยความจำภายในจอแสดงผลแบบผลึกของเหลวเป็น 0 พร้อมทั้งตัวเคอร์เซอร์ จะไปอยู่ที่ตำแหน่งซ้ายบนสุดของจอภาพ โดยที่ข้อมูลในหน่วยความจำภายในจอแสดงผลแบบผลึกของเหลวไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ENTRY MODE SET

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	I/D	S

I/D=0 กำหนดทิศทางของเคอร์เซอร์ ของหน่วยความจำภายในจอแสดงผลแบบผลึกของเหลวให้เป็นแบบลดตำแหน่งลง

I/D=1 กำหนดทิศทางของเคอร์เซอร์ และหน่วยความจำภายในจอแสดงผลแบบผลึกของเหลวให้เป็นแบบเพิ่มตำแหน่งขึ้น

S=0 เมื่อเขียนข้อมูลแล้วตัวเคอร์เซอร์ จะถูกเลื่อนไปตามทิศทางของค่า I/D

S=1 เมื่อเขียนข้อมูลแล้วตัวเคอร์เซอร์ จะอยู่กับที่และตัวอักษรจะถูกดันตามทิศทางของเคอร์เซอร์ ในการกำหนดลักษณะของการแสดงผลนี้ให้กำหนดก่อนการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำภายในจอแสดงผลแบบผลึกของเหลว และเมื่อกำหนดแล้วจะต้องไม่ใช้คำสั่งลบหน้าจออีก

DISPLAY ON/OFF

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	D	C	B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D=0 กำหนดให้ปิดหน้าจอ

D=1 กำหนดให้เปิดหน้าจอ

C=0 กำหนดให้ปิดเคอร์เซอร์

C=1 กำหนดให้เปิดเคอร์เซอร์ โดยเคอร์เซอร์จะเป็นเส้นขีดใต้ตัวอักษร

B=0 กำหนดให้ไม่มีการกระพริบที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์

B=1 กำหนดให้มีการกระพริบที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์ กระพริบเป็นรูปสี่เหลี่ยม

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	*	*

R/L=0 กำหนดให้มีทิศทางไปทางซ้าย

R/L=1 กำหนดให้มีทิศทางไปทางขวา

S/C=0 กำหนดให้เลื่อนเคอร์เซอร์ตามทิศทางซ้ายหรือขวาไป 1 ตำแหน่ง

S/C=1 กำหนดให้เลื่อนข้อความบนแผงซึ่งจะแสดงตามทิศทางซ้ายหรือขวาไป 1 หลัก ทุกบรรทัด

FUNCTION SET

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	1	DL	N	F	*	*

DL=0 กำหนดให้การติดต่อกับจอแสดงผลแบบผลึกของเหลว เป็นแบบ 4 บิต ซึ่งการกำหนดค่าทิศทางของเคอร์เซอร์นี้สามารถกระทำได้ที่ขา DB4-DB7

DL=1 กำหนดให้การติดต่อกับจอแสดงผลแบบผลึกของเหลว เป็นแบบ 8 บิต โดยการกำหนดค่าทิศทางของเคอร์เซอร์ สามารถกระทำได้ที่ขา DB4-DB7 และถ้ามีการกำหนดให้เป็นแบบ 4 บิต ตั้งแต่ครั้งแรกหลังจากการจ่ายกระแสไฟจะทำให้จอแสดงผล LCD มีการรับข้อมูลแบบ 4 บิตทันที

N=0 กำหนดจำนวนบรรทัดแบบ 1/8 ส่วน และ 1/11 ส่วน

N=1 กำหนดจำนวนบรรทัดแบบ 1/16 ส่วน

F=0 กำหนดให้ตัวอักษรเป็นแบบ 5*7 จุด

F=1 กำหนดให้ตัวอักษรเป็นแบบ 5*10

SET CGRAM ADDRESS

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	1	CGRAM ADDRESS					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการกำหนดตำแหน่งของแรมเก็บตัวอักษร (CGRAM) เมื่อได้ทำการกำหนดไว้อ่านและเขียนข้อมูลที่ต่อจากนี้ จะเป็นไปตามตำแหน่งที่กำหนดทันที

SET DDRAM ADDRESS

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	1	DDRAM ADDRESS						

สำหรับการกำหนดตำแหน่งของ หน่วยความจำภายในจอแสดงผลแบบผลึกของเหลว ในการอ่านและเขียนข้อมูลที่ต่อจากนี้จะเป็นไปตามตำแหน่งที่กำหนดทันที ซึ่งตำแหน่งของหน่วยความจำภายในจอแสดงผลแบบผลึกของเหลว ในแต่ละรุ่นจะมีความแตกต่างกันเนื่องจากจำนวนตัวอักษรต่อบรรทัดไม่เท่ากัน

BUISY FLAG AND ADDRESS READ

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	1	BF	ADDRESS						

สำหรับการอ่านค่าแฟลก BF (BUSY FLAG) ซึ่งจะบอกถึงความพร้อมของจอแสดงผลแบบผลึกของเหลว ในการรับข้อมูลถ้าแฟลก BF เป็นลอจิก "0" หมายความว่า พร้อมที่จะรับข้อมูลชุดต่อไปได้แต่ถ้าแฟลก BF เป็นลอจิก "1" หมายความว่ายังไม่พร้อม นอกจากนี้ยังเป็นการอ่านค่าตำแหน่งหน่วยความจำภายในจอแสดงผลแบบผลึกของเหลวด้วย

WRITE DATA TO DDRAM OR CGRAM

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
1	0	DATA							

สำหรับการเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำภายในจอแสดงผลแบบผลึกของเหลว หรือ CGRAM โดยเมื่อทำการเขียนแล้ว และตำแหน่งจะถูกเพิ่มหรือลดลงโดยอัตโนมัติตามที่กำหนดจากทิศทางของเคอร์เซอร์ในคำสั่ง ENTRY MODE SET และการเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำภายในจอแสดงผลแบบผลึกของเหลว หรือหน่วยความจำแรม ขึ้นกับว่าก่อนหน้าคำสั่งนี้กำหนดตำแหน่งที่ใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

READ DATA FROM DDRAM LCD OR CGRAM

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
1	1	ADDRESS							

สำหรับการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำภายในของจอแสดงผลแบบผลึกของเหลว หรือ CGRAM เมื่อทำการเขียนแล้วตำแหน่งจะถูกเพิ่มหรือลดลงโดยอัตโนมัติ โดยตามที่กำหนดจากค่าทิศทางของเคอร์เซอร์ในคำสั่ง ENTRY MODE SET และการอ่านหน่วยความจำภายในจอแสดงผลแบบผลึกของเหลวหรือ CGRAM ก็ขึ้นกับว่าก่อนหน้าคำสั่งนี้มีการกำหนดตำแหน่งที่ใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INSTRUCTION	RS	R/W	DATA BIT								EXE. TIME(US)
			7	6	5	4	3	2	1	0	
CLEAR DISPLAY	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1640
CURSOR AT HOME	0	0	0	0	0	0	0	0	1	*	1640
ENTRY MODE SET	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S	40
DISPLAY 0N/OFF	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	40
DISPLAY SHIFT	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	*	*	40
FUNCTION SET	0	0	0	0	1	D L	N	F	*	*	40
SET CGRAM ADD.	0	0	0	1	CGRAM ADDRESS						40
SET DDRAM ADD.	0	0	1	DDRAM ADDRESS							40
BUSY LAG, ADD.READ	0	1	B F	ADDRESS							0
CGRAM, DDRAM WR	1	0	WRITR DATA								40
CGRAM, DDRAM RD	1	1	READ DATA								40

ตารางที่ 2.25 การกำหนดคุณสมบัติต่าง ๆ ในการใช้งานของจอแสดงผลแบบผลึกของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

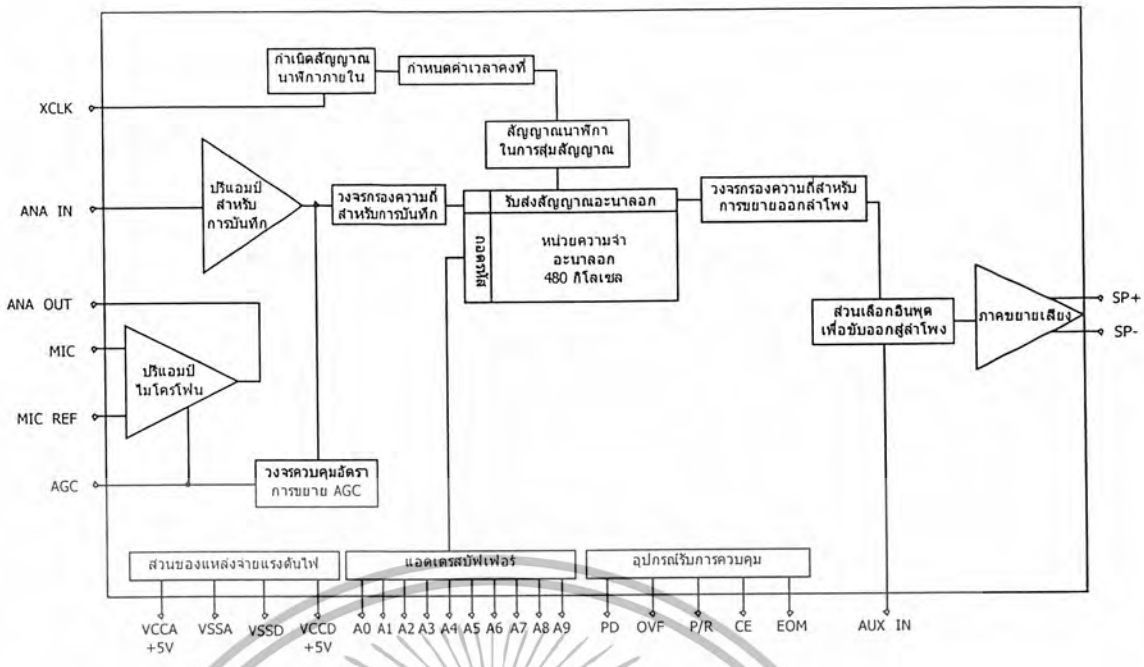
2.4 ไอซีเบอร์ ISD25XX

ไอซีเบอร์ ISD25XX เป็นไอซีสำหรับใช้ในการบันทึกเสียง ภายในไอซีมีตั้งแต่วงจรขยายเสียงจากไมโครโฟนจนถึงหน่วยจัดเก็บข้อมูลที่ทำการบันทึกเสียงและขับออกจากลำโพง ในโหมดของการบันทึกจะจัดเก็บข้อมูลต่างๆ ไว้ในหน่วยความจำที่เป็นเซลล์แบบไม่ต้องการแรงดันสำรองเพื่อรักษาข้อมูลไม่ให้สูญหาย (non-volatile memory cells) สัญญาณเสียงที่อยู่ในรูปแบบของอนาลอกจะถูกบันทึกไว้ในหน่วยจัดเก็บความโดยตรง โดยอาศัยเทคโนโลยี DAST (Direct Analog Storage Technology) และการจัดเก็บความจำก็จะจัดเก็บในลักษณะที่เป็นสัญญาณอนาลอกอยู่เช่นเดิม จึงทำให้การเล่นกลับสามารถให้สัญญาณเสียงที่เหมือนกับต้นกำเนิดเสียงมาก เพราะไม่มีกระบวนการเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลเข้ามาเกี่ยวข้อง

2.4.1 คุณสมบัติของ ISD 25XX

- สามารถบันทึกและเล่นกลับได้ โดยใช้ IC เบอร์ ISD 25XX เพียงตัวเดียว
- ทำงานได้โดยไม่มีอุปกรณ์ประเภทไอซีอื่นๆ ประกอบร่วมภายนอก
- มีประสิทธิภาพในการบันทึกและเล่นกลับด้วยสวิทช์ หรือควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
- สามารถควบคุมการบันทึกและเล่นกลับด้วยสวิทช์หรือควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
- ระยะเวลาในการบันทึกและเล่นกลับตั้งแต่ 45, 60, 75 และ 90 วินาที ตามแต่ละเบอร์ในตระกูล ISD 25XX
- ต่อคาสเคดกันได้โดยตรงเพื่อเพิ่มระยะเวลาให้ยาวมากขึ้น
- ปิดการทำงานอัตโนมัติเมื่อไม่มีการบันทึกหรือเล่นกลับนานเกินไป
- สามารถเก็บความจำไว้ได้นาน โดยไม่ต้องมีแบตเตอรี่สำรอง
- วงรอบการบันทึก 100,000 ครั้ง
- มีวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาภายในตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.41 บล็อกไดอะแกรมภายในของไอซี

2.4.2 การทำงานของขาต่างๆ

- **Address/Mode Inputs (A_0-A_9/M_0-M_6)** ขาแอดเดรสและโหมดอินพุตจะมีอยู่สองฟังก์ชันที่ขึ้นอยู่กับระดับของสอง MSB ของแอดเดรส ถ้าแอดเดรสใดแอดเดรสหนึ่งของสอง MSBs เป็น "0" อินพุตก็จะมาปรากฏที่แอดเดรสบิตทั้งหมดและใช้เป็นแอดเดรสเริ่มต้นสำหรับวงรอบการบันทึกและเล่นกลับ และแอดเดรสจะเกิดการแลตช์ โดยขอบขาแอดเดรสของพัลส์ที่ขา /CE และถ้า MSBs มีขอบขาลงของพัลส์เป็น "1" ขาแอดเดรส/โหมดอินพุต จะมาขึ้นอยู่ที่โหมดบิตทั้งหมด และเกิดการแลตช์เมื่อพัลส์ขอบขาลงปรากฏที่ขา /CE

- **Auxiliary Input (AUX IN)** ขา 11 จะเป็นขารับอินพุตจากภายนอก ซึ่งเป็นการมัลติเพล็กซ์สัญญาณผ่านออกไปทางเอาต์พุตของวงจรขยายภายในและขับออกสู่ขาเอาต์พุตลำโพง โดยขั้นตอนการทำงานนี้จะเกิดขึ้นเมื่อขา /CE มีสถานะเป็น "1" วงรอบของการเล่นกลับก็จะสิ้นสุดลง หรือเมื่อสัญญาณที่บันทึกไว้ถูกเล่นกลับจนหมดสิ้นแล้วมีการต่อคาสเคด ISD25xx กันหลาย ๆ ตัว ขา AUX IN จะถูกใช้ต่อเข้ากับสัญญาณเล่นกลับที่ออกมาจากขาเอาต์พุตลำโพงของตัวก่อนหน้านี้หรือจากตัวอันดับแรก

- **Ground Input (V_{SSA}, V_{ssd})** ขา 12 และ 13 โดยคุณสมบัติของไอซีในตระกูล ISD25xx จะมีการแยกกันระหว่างกราวด์ของสัญญาณอนาลอก และกราวด์ของสัญญาณดิจิตอล ขากราวด์ทั้งสองนี้จะถูกต่อและปิดไว้ภายในตัวถังบรรจุของไอซี การใช้งานขากราวด์ทั้งสองนี้จะเลือกต่อกับกราวด์ของเพาเวอร์ซัพพลายในส่วนที่มีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำ เพื่อไม่ต้องการให้เกิดค่าแรงดันที่แตกต่างกันระหว่างกราวด์ทั้งสอง

- **Speaker Output (Sp+, Sp-)** ขา 14 และ 15 เป็นขาเอาต์พุตต่อออกลำโพง ในตระกูล ISD25xx นี้ จะมีวงจรขับสัญญาณความแตกต่างออกสู่ลำโพง ซึ่งประกอบอยู่ในตัวไอซีเรียบร้อยแล้ว โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความสามารถในการขับลำโพงเอาต์พุตได้ 50 มิลลิวัตต์ ที่โหลดลำโพง 16โอห์มขาต่อลำโพงเอาต์พุตทั้งสองนี้จะไม่ต่อขนานกันโดยตรงเด็ดขาดเมื่อต้องถูกใช้ต่อคาสเคดกันหลายๆตัว และไม่เหมาะในการต่อลำโพงขนานกันทางเอาต์พุตหลายตัว โดยเฉพาะในบางครั้งขาเอาต์พุตลำโพงสามารถต่อคาสเคดกับไอซีอีกตัวได้โดยตรง เพราะมีตัวเก็บประจุคับปลิ้งอยู่ภายในเรียบร้อย

- **Voltage Input (V_{CCA}, V_{CCD})** ขา 16 และ 28 เป็นขารับแรงดันที่จะต้องแยกกันต่างหากระหว่างขารับแรงดันของวงจรอนาลอกและวงจรดิจิตอล ที่ประกอบอยู่ภายในตัวไอซีแล้ว ขารับแรงดันต้องการแรงดันไฟเลี้ยง +5 โวลต์ และต้องเป็นแรงดันไฟเลี้ยงที่มีสัญญาณรบกวนต่ำมาก

- **Microphone Input (MIC)** ขา 17 จะรับสัญญาณอินพุตที่ผ่านเข้ามายังไมโครโฟนแล้วส่งผ่านสัญญาณเข้าสู่วงจรปรีแอมป์ที่ประกอบอยู่ภายในตัวไอซี ภายในประกอบด้วยวงจรควบคุมอัตราการขยายอัตโนมัติ (AGC) โดยวงจรนี้จะทำหน้าที่ควบคุมอัตราการขยายของวงจรปรีแอมป์ให้มีอัตราการขยายอยู่ในช่วง -15 ถึง 24 เดซิเบล ไมโครโฟนภายนอกจะถูกคับปลิ้งผ่านตัวเก็บประจุภายนอกในลักษณะอนุกรมกับขา 17 นี้ ค่าความจุของตัวเก็บประจุคับปลิ้งจะกำหนดค่าโดยคำนึงถึงค่าความต้านทาน 10 กิโลโอห์ม ที่ต่ออยู่ภายในกับขา 17 ของไอซีเพื่อทำให้เกิดการคัตออฟที่ความถี่ต่ำ

- **Microphone Referee (MIC REF)** ขา 18 จะต่อขาไมโครโฟนกับกราวด์อนาลอก (V_{SSA}) โดยที่ตัวเก็บประจุต่ออนุกรมอยู่ก่อน เพื่อที่จะกำจัดสัญญาณรบกวนทางอินพุตเพื่อให้เกิดการชดเชยทางด้านสัญญาณรบกวนให้ดีกว่า 10 เดซิเบล

- **Automatic Gain Control Input (AGC)** ขา 19 เป็นขาอินพุตเพื่อควบคุมการปรับอัตราการขยายของปรีแอมป์ไมโครโฟนทางด้านไดนามิก เพื่อให้เกิดเหมาะสมกับระดับสัญญาณที่มีย่านกว้างมากของสัญญาณทางอินพุตจากไมโครโฟน และเพื่อให้ระดับสัญญาณที่ทำการบันทึกมีความผิดเพี้ยนน้อยที่สุด ขา AGC นี้จะต้องต่อร่วมกับอุปกรณ์ RC เพื่อกำหนดค่าเวลาคงที่โดยมีค่าความต้านทานภายใน 5 กิโลโอห์มและจะต่อร่วมกับตัวเก็บประจุภายนอกอีกหนึ่งตัวผ่านลงกราวด์อนาลอก ค่าที่เหมาะสมบางครั้งกำหนดไว้ที่ค่าความต้านทาน 470 กิโลโอห์ม และตัวเก็บประจุ 4.7 ไมโครฟารัด

- **Analog Input (ANA IN)** ขา 20 จะรับสัญญาณที่ผ่านวงจรปรีแอมป์ออกมาทางขา 21 โดยผ่านตัวเก็บประจุคับปลิ้งภายนอกคัมปลิ้งสัญญาณเข้าที่ขา 20 นี้เพื่อผ่านสัญญาณเข้าไปทำการในตัวไอซี ตัวเก็บประจุคับปลิ้งภายนอกนี้จะต้องสัมพันธ์กันกับค่าความต้านทานภายในค่า 3 กิโลโอห์ม ซึ่งเป็นอินพุตอิมพีแดนซ์ เพื่อที่จะทำให้เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำแบบคัตออฟ

- **Analog Output (ANA OUT)** ขา 21 เป็นขาเอาต์พุตของวงจรปรีแอมป์ขยายสัญญาณจากไมโครโฟนที่ได้รับการควบคุมอัตราการขยายจากวงจร AGC ภายในแล้ว

- **Overflow Output (OVF)** ขา 22 สัญญาณพัลส์ "0" จะปรากฏออกมาทางขาเอาต์พุตนี้เพื่อเป็นการแสดงว่าสิ้นสุดการเล่นกลับหรือหน่วยความจำภายในตัวไอซีได้ถูกอ่านออกมาหมดแล้วและจะแสดงเป็นสภาวะหยุดการเล่นกลับ พัลส์เอาต์พุตจากขา /OVF นี้จะจ่ายให้กับขา /CE อินพุตจนกว่าขา PD จะได้รับพัลส์เพื่อทำการรีเซต และเริ่มวงรอบการเล่นกลับใหม่อีกครั้ง พัลส์ที่ขา /OVF นี้สามารถใช้เริ่มต้นการทำงานของ ISD25xx ในตัวถัดไปได้เมื่อถูกต่อคาสเคดกันอยู่หลายตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **Chip Enable Input (/CE)** ขา 23 ขา /CE จะต้องได้รับสัญญาณพัลส์ "0" เพื่อทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเล่นกลับและการบันทึก ที่ขาแอดเดรสอินพุตและขา P/R อินพุตจะถูกแลตช์จากพัลส์ขอบขาลงของพัลส์ที่ขา /CE

- **Power Down Input (PD)** ขา 24 ในขณะที่ไม่มีการบันทึกหรือเล่นกลับที่ขา PD จะมีสภาวะเป็น "1" ก็จะเป็นการรักษาระดับการสิ้นเปลืองกำลังงานในระดับต่ำมาก ๆ แต่เมื่อขา /OVF มีสภาวะเป็น "0" ที่แสดงถึงการเล่นกลับสิ้นสุดลงปรากฏขึ้น ขา PD ปกติจะเป็น "1" อยู่ในขณะนั้นก็จะถูกรีเซตและจะเริ่มกระบวนการบันทึกหรือเล่นกลับใหม่อีกครั้ง

- **End – Of – Message / RUN Output (EOM)** ขา 25 เป็นส่วนของอุปกรณ์ non – volatile ภายในตัวไอซีจะใช้กำหนดหรือระบุการสิ้นสุดของการเก็บข้อมูลที่ทำการบันทึก ขา /EOM น่าจะให้เอาต์พุต
ออกมาเป็น "0" เมื่อข้อมูลที่ถูกบันทึกอยู่ถูกเล่นกลับออกมาหมดแล้ว

- **External Clock Input (XCLK)** ขา 26 เป็นขารับสัญญาณนาฬิกาภายนอกเพื่อกำหนดค่าความถี่สัญญาณนาฬิกาในการสุ่มสัญญาณ แต่โดยปกติได้ระบุไว้ว่า สัญญาณนาฬิกาการสุ่มสัญญาณถูกกำหนดไว้ภายในแล้ว ซึ่งจะไม่ขึ้นกับอุณหภูมิภายนอกหรือย่านแรงดันไฟเลี้ยงที่ไม่คงที่การใช้งานปกติแล้วจะต่อขา 25 นี้เข้ากับกราวด์ของไฟเลี้ยง

- **Playback/Record Input (P/R)** ขา 27 เมื่อขาอินพุตควบคุมการเล่นกลับและบันทึกได้รับพัลส์ "1" จะเป็นวงรอบของการเล่นกลับ และถ้าเป็นพัลส์ "0" จะเป็นการเลือกวงรอบการบันทึก ถ้าหากได้รับพัลส์ที่ขอบขาลงของขา /CE จะเป็นการแลตช์อินพุตที่ขา P/R

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

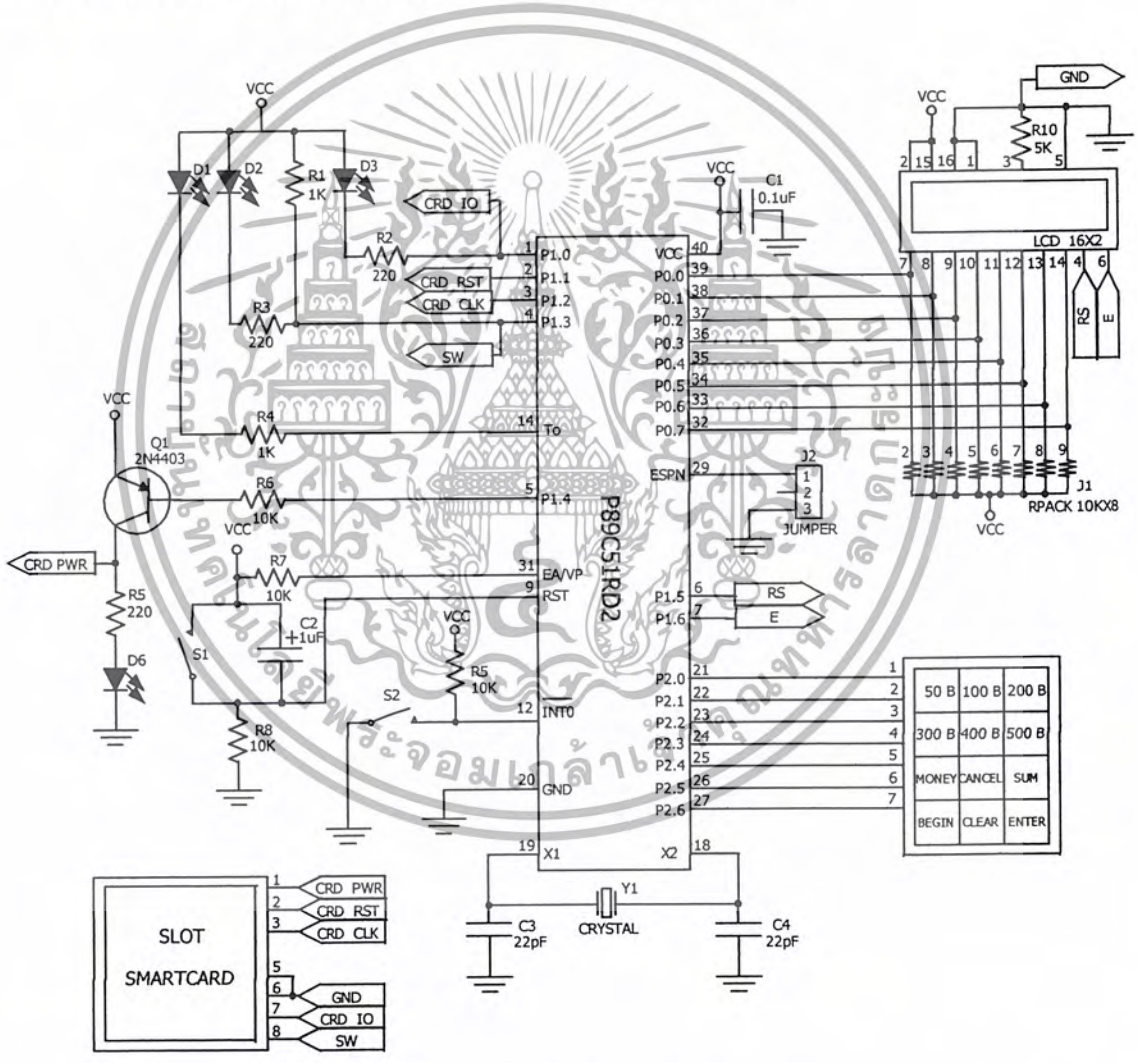
บทที่ 3

การสร้างและการออกแบบ

ลำดับขั้นตอนในการออกแบบมีดังนี้

1. ออกแบบและสร้างวงจรเครื่องอ่าน - เขียนสมาร์ทการ์ดบนรถประจำทาง
2. เขียนโฟล์วชาร์ทการทำงานของเครื่องอ่าน - เขียนสมาร์ทการ์ดบนรถประจำทาง
3. ทดลองเขียนโปรแกรมติดต่อกับบัตรสมาร์ทการ์ดตามโฟล์วชาร์ท
4. ออกแบบและสร้างวงจรบันทึกเสียง
5. ทดลองบันทึกเสียงและเล่น

3.1 ออกแบบและสร้างวงจรเครื่องอ่าน - เขียนสมาร์ทการ์ดบนรถประจำทาง



รูปที่ 3.1 แสดงวงจรการทำงานของเครื่องอ่าน – เขียนสมาร์ทการ์ดบนรถประจำทาง

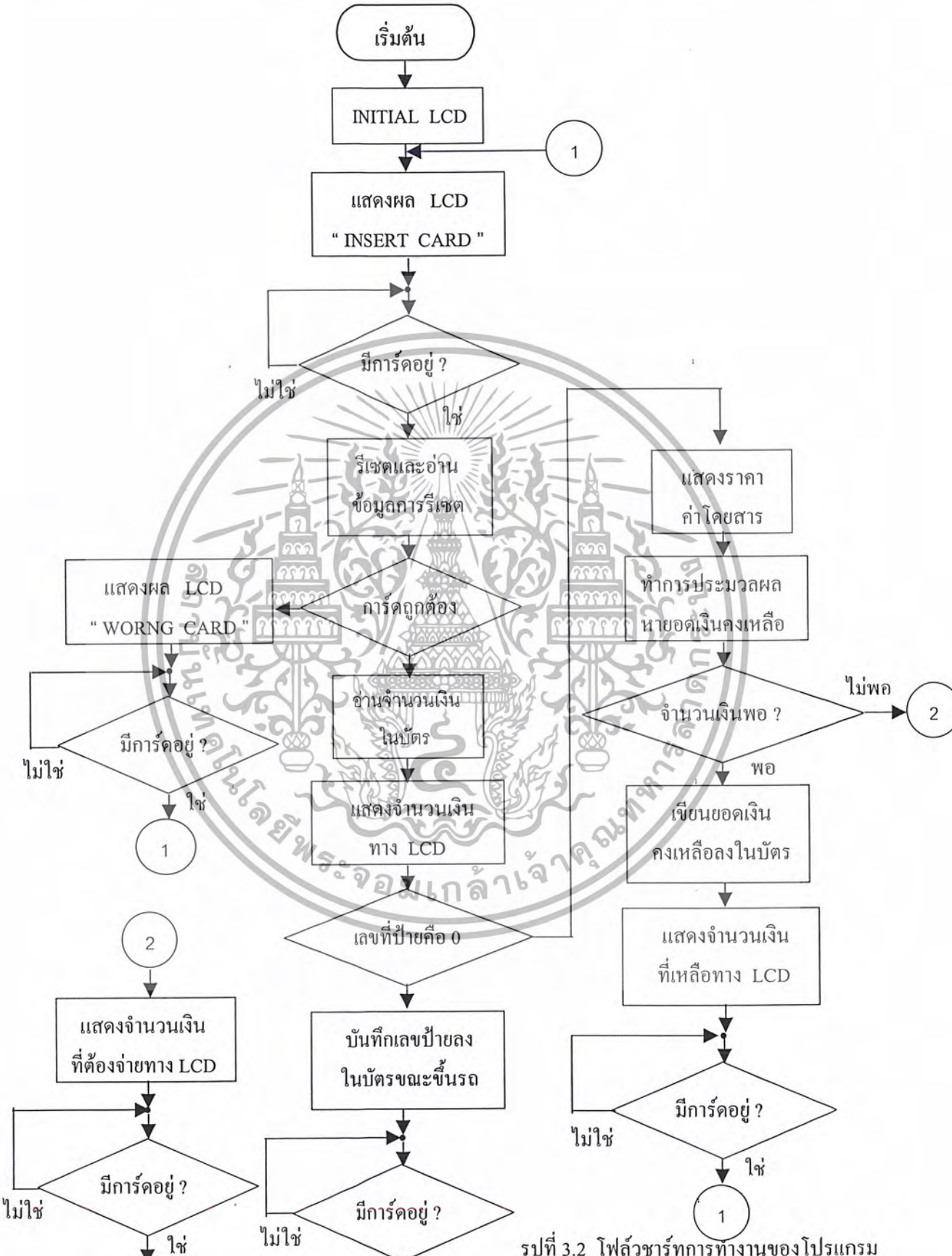
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 3.1 แสดงวงจรการทำงานของเครื่องอ่าน – เขียนสมาร์ทการ์ดบนรถประจำทาง จะเห็นว่ามีช่องเสียบบัตรสมาร์ทการ์ด (Slot Smart card) ซึ่งถูกต่อเข้ากับขาไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยขาที่ 1 ต่อเข้ากับตำแหน่ง CRD IO ของช่องเสียบบัตรสมาร์ทการ์ด ซึ่งเป็นขาที่ใช้เขียนหรืออ่านข้อมูลจากบัตรที่ขานี้จะมีแอลอีดี 3 เป็นตัวแสดงผลเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์เขียนหรืออ่านข้อมูลจากบัตร แอลอีดี 3 จะติดหรือดับตามสถานะลอจิกของขาที่ 1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ขาที่ 2 ต่อเข้ากับตำแหน่ง CRD RST ของช่องเสียบบัตรสมาร์ทการ์ด ซึ่งเป็นขาที่ใช้รีเซตการทำงาน ขาที่ 3 ต่อเข้ากับตำแหน่ง CRD CLK ของช่องเสียบบัตรสมาร์ทการ์ดเป็นขาที่ป้อนสัญญาณนาฬิกาอ้างอิงให้กับบัตรสมาร์ทการ์ด ขาที่ 4 ต่อเข้ากับตำแหน่ง SW ของช่องเสียบบัตรสมาร์ทการ์ด ซึ่งเป็นขาที่ใช้ตรวจสอบและแสดงผลว่ามีการเสียบบัตรเข้ามายังช่องเสียบบัตรแล้วหรือยัง ที่ขานี้จะมีแอลอีดี 2 เป็นตัวแสดงผลและจะติดสว่างเมื่อบัตรถูกเสียบเข้ามายังช่องเสียบบัตร และขาที่ 5 ต่อกับตำแหน่ง CRD PWR ของช่องเสียบบัตรสมาร์ทการ์ด ซึ่งเป็นขาควบคุมการจ่ายไฟเลี้ยงให้กับบัตร ด้วยการส่งให้ Q1 ปิดหรือเปิดวงจรที่ขานี้จะมีแอลอีดี 4 เป็นตัวแสดงผล เมื่อไฟเลี้ยงถูกจ่ายไปยังบัตร แอลอีดี 4 จะติดสว่างตาม และขาที่ 14 ของไมโครคอนโทรลเลอร์จะติดต่ออยู่กับแอลอีดี 1 ซึ่งจะกระพริบทุกๆ 1 วินาทีเพื่อแสดงว่าบอร์ดกำลังทำงานอยู่

จอแสดงผลแบบผลึกเหลวขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด มีขาข้อมูล 8 เส้นต่อเข้ากับพอร์ต P0 และพอร์ต P1.5 กับ P1.6 จะต่อเข้ากับขา RS และ E ตามลำดับที่ 3 ของจอแสดงผลแบบผลึกเหลวจะเป็นขาปรับความเข้มของตัวอักษร ถ้าต่อลงกราวด์จะมีความเข้มสูงสุดและถ้าต่อกับแหล่งจ่ายไฟจะมีความเข้มต่ำสุดและที่ขา 15 กับ 16 เป็นตัวปรับความเข้มของไฟที่หน้าจอ และส่วนสุดท้ายคือ เป็นพิมพ์ ขนาด 4X4 มีขาข้อมูล 8 เส้นต่อเข้ากับพอร์ต P2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เขียนโฟล์วชาร์ทการทำงานของเครื่องอ่าน - เขียนสมาร์ทการ์ดบนรถประจำทาง



รูปที่ 3.2 โฟล์วชาร์ทการทำงานของโปรแกรมในเครื่องอ่าน - เขียนสมาร์ทการ์ดบนรถประจำทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฟล์วชาร์ทการทำงานของเครื่องอ่าน – เขียนสมาร์ทการ์ดบนรถประจำทาง เริ่มแรกเราต้องตั้งค่าเริ่มต้นของจอแสดงผลแบบผลึกเหลวให้ทำงานตามที่เราต้องการ ที่แสดงจอแสดงผลแบบผลึกเหลวจะแสดงข้อความ " INSERT CARD " เมื่อมีการเสียบบัตรที่ช่องเสียบบัตรของเครื่องอ่าน – เขียนสมาร์ทการ์ด จะตรวจสอบว่าบัตรที่เสียบในช่องเสียบบัตรถูกต้องหรือไม่ ถ้าบัตรที่เสียบไม่ถูกต้องตามที่กำหนดจะมีการสั่งให้ที่จอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อความว่า" WRONG CARD INSERT NEW CARD " เมื่อดึงบัตรออกไปก็จะไปสู่สภาวะเริ่มต้น ถ้าบัตรที่เสียบเป็นบัตรที่ถูกต้องตามที่กำหนด เครื่องอ่าน – เขียนสมาร์ทการ์ด จะทำการอ่านจำนวนเงินที่อยู่ในบัตรสมาร์ทการ์ดและจะแสดงผลทางจอแสดงผลแบบผลึกเหลว

ต่อมาจะทำการตรวจสอบหมายเลขของป้ายรถประจำทาง ถ้าเป็นศูนย์จะทำการบันทึกหมายเลขป้ายรถประจำทางขณะที่ขึ้น เสร็จแล้วจะดึงบัตรสมาร์ทการ์ดออกและจะกลับไปสู่สภาวะเริ่มต้น ถ้าไม่เป็นศูนย์ ที่จอแสดงผลแบบผลึกเหลวจะแสดงราคาค่าโดยสารที่จะต้องจ่าย และจะทำการตรวจสอบจำนวนเงินภายในบัตรที่มีอยู่ว่าพอจ่ายหรือไม่ ถ้าไม่พอที่จอแสดงผลแบบผลึกเหลวจะแสดงจำนวนเงินที่ต้องจ่ายเพิ่ม ถ้าพอจะเขียนยอดเงินคงเหลือลงไปในบัตรสมาร์ทการ์ด และแสดงจำนวนเงินที่เหลือออกทางจอแสดงผลแบบผลึกเหลว เสร็จแล้วให้ดึงบัตรออกมา จากนั้นจะกลับไปสู่สภาวะเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

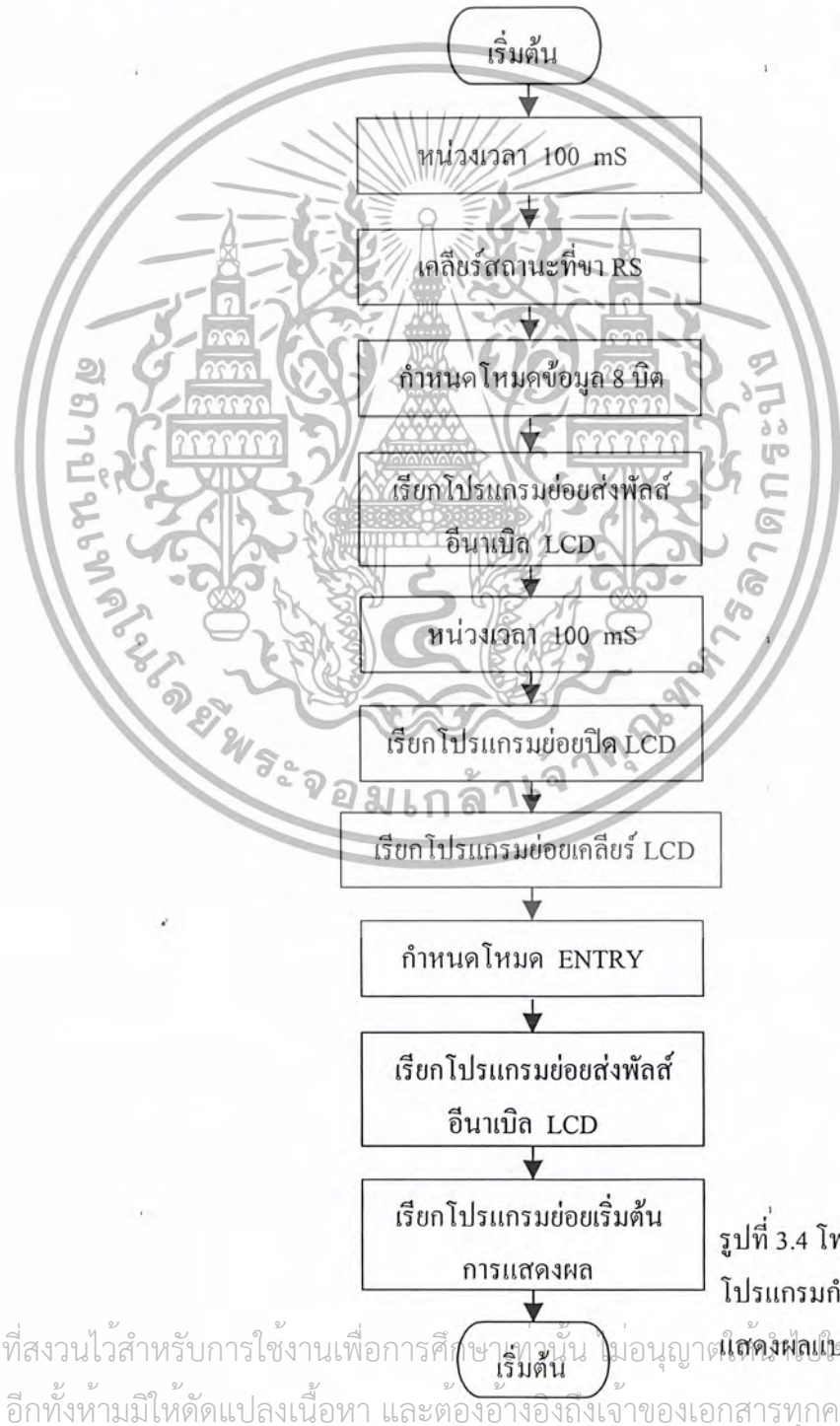
3.2.1 เขียนโปรแกรมควบคุมการอ่านข้อมูลจากบัตรและแสดงผลทางจอแสดงผลแบบผลึกเหลว

รูปที่ 3.3 โฟล์วชาร์ทการทำงานของโปรแกรมควบคุมการอ่านข้อมูลจากบัตรและแสดงผลทางจอแสดงผลแบบผลึกเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.3 เป็นการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำหลักของสมาร์ทการ์ดแล้วนำมาแสดงผล ในสภาวะแรกต้องทำการส่งข้อมูลซึ่งเป็นรหัสคำสั่งเพื่อบอกให้สมาร์ทการ์ดทราบว่าต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำหลัก จากนั้นก็จะต้องส่งค่าแอดเดรสที่เราต้องการอ่านข้อมูลไปด้วย ซึ่งการอ่านข้อมูลนั้นจะสามารถอ่านได้มากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับจำนวนสัญญาณนาฬิกาโดยที่ 1 แอดเดรสจะใช้สัญญาณนาฬิกา 8 ลูก จากนั้นจะทำการอ่านข้อมูลจากบัตรซึ่งอยู่ในรูปของเลขฐานสิบหก จากนั้นจะต้องนำมาแปลงให้เป็นเลขฐานสิบเพื่อใช้ในการแสดงผลทางจอแสดงแบบผลึกเหลว จากนั้นจะต้องทำการตรวจสอบเพื่อหาว่าตัวเลขที่ต้องการแสดงมีกี่หลัก แล้วทำการตัดศูนย์ที่อยู่ด้านหน้าทิ้ง เมื่อทำการตรวจสอบเรียบร้อยแล้วเราต้องนำมาแปลงเป็นรหัสแอสกี้เพื่อแสดงผลทางจอแสดงแบบผลึกเหลว

3.2.2 เขียนโปรแกรมควบคุมกำหนดค่าเริ่มต้นของจอแสดงผลแบบผลึกเหลว



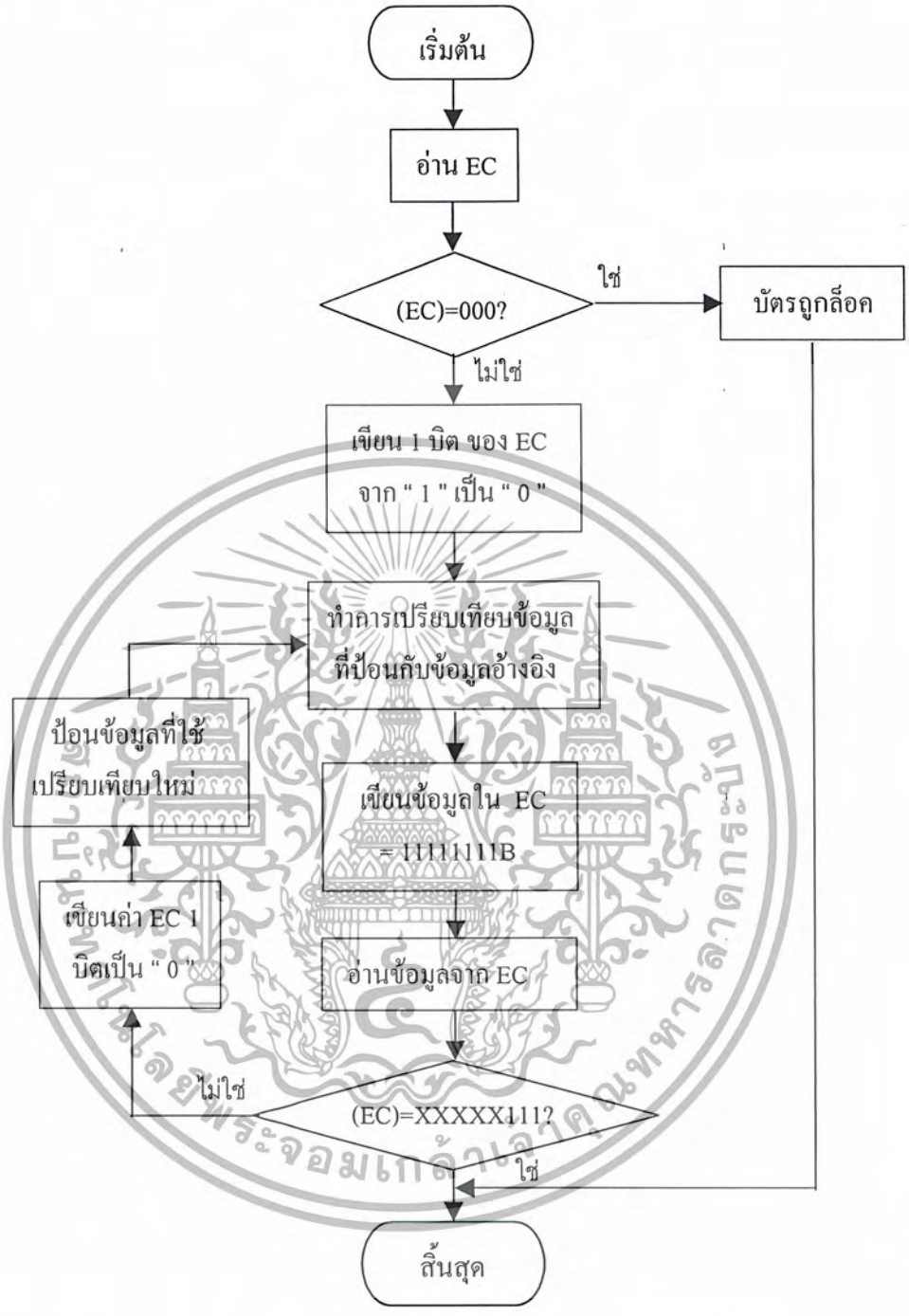
รูปที่ 3.4 โฟล์วชาร์ทการทำงานของโปรแกรมกำหนดค่าเริ่มต้นของจอแสดงผลแบบผลึกเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.4 การที่นำจอแสดงผลแบบผลึกเหลว มาใช้งานนั้นเราจำเป็นที่จะต้องตั้งค่าต่างๆของจอแสดงผลแบบผลึกเหลว เพื่อให้จอแสดงผลแบบผลึกเหลว ทำงานตามที่ต้องการ จากโฟลวชาร์ทเป็นการตั้งค่าจอแสดงผลแบบผลึกเหลว ในตอนเริ่มต้นหลังจากไฟให้จอแสดงผลแบบผลึกเหลว ต้องทำการหน่วงเวลาเพื่อให้จอแสดงผลแบบผลึกเหลวเตรียมพร้อม เนื่องจากว่าจอแสดงผลแบบผลึกเหลว เป็นอุปกรณ์ที่ทำงานช้าเมื่อเปรียบเทียบกับไมโครคอนโทรลเลอร์จากนั้นเคลียร์สถานะที่ขา RS ให้เป็นลอจิก "0" เพื่อบอกให้จอแสดงผลแบบผลึกเหลวทราบว่าข้อมูลที่เข้ามาเป็นข้อมูลควบคุม จากนั้นก็ตั้งค่าให้เป็นการรับ – ส่งข้อมูลแบบ 8 บิต และเป็นจอแสดงแบบผลึกเหลว แบบ 2 บรรทัด จากนั้นก็ทำการอีนาเบิลจอแสดงผลแบบผลึกเหลวโดยการส่งพัลส์ไปยังขา E ของจอแสดงผลแบบผลึกเหลวและทำการหน่วงเวลาเพื่อให้จอแสดงผลแบบผลึกเหลวทำงานเสร็จเรียบร้อย จากนั้นทำการเคลียร์ค่าในทุกๆตำแหน่งแอดเดรสของจอแสดงผลแบบผลึกเหลวให้มีค่าเป็นศูนย์เมื่อเสร็จเรียบร้อยให้แอดเดรสไปเริ่มต้นที่ตำแหน่งแรกเมื่อเสร็จแล้วก็สามารถเริ่มต้นการแสดงทางผลจอแสดงผลแบบผลึกเหลวได้ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 เขียนโปรแกรมควบคุมการผ่านเปรียบเทียบรหัสผ่าน



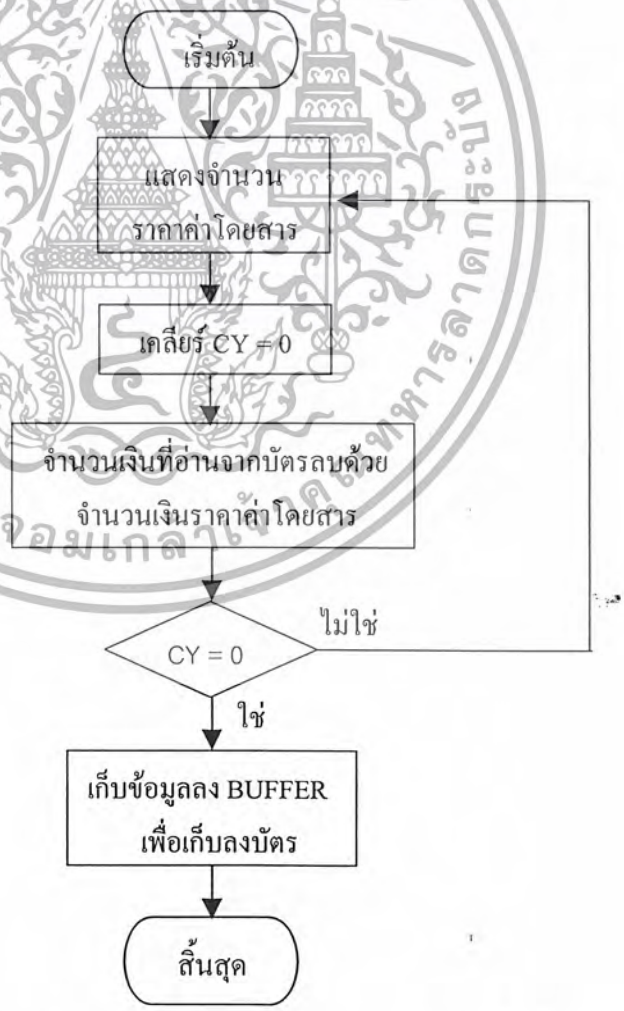
รูปที่ 3.5 โฟล์วชาร์ทการทำงานของโปรแกรมการเปรียบเทียบรหัสผ่าน

จากรูป 3.5 โฟล์วชาร์ทการทำงานของโปรแกรมการเปรียบเทียบรหัสผ่านเพื่อใช้ในการเขียนข้อมูลลงไปยังบัตรสมาร์ทการ์ด ในสภาวะแรกต้องทำการอ่านข้อมูลในหน่วยความจำที่เรียกว่า เออเลอร์เคาน์เตอร์ (Error Counter) ซึ่งค่าเออเลอร์เคาน์เตอร์นี้จะเป็นตัวบอกจำนวนครั้งที่ยังสามารถป้อนรหัสผิดได้ เมื่ออ่านค่าเออเลอร์เคาน์เตอร์ออกมาแล้วก็จะทำการเปรียบเทียบค่าเออเลอร์เคาน์เตอร์ว่าเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

XXXXX000 หรือไม่ ถ้าเท่าแสดงว่าบัตรสมาร์ทการ์ดใบนั้นถูกล็อค ทำให้ไม่สามารถที่จะเขียนข้อมูลไปยังบัตรสมาร์ทการ์ดนั้นได้อีก ซึ่งตามโฟล์วชาร์ทถ้าบัตรสมาร์ทการ์ดถูกล็อคก็จะสิ้นสุดการเปรียบเทียบทันที แต่ถ้าค่าในเออเลอร์เคาน์เตอร์ไม่เท่ากับ XXXXX000 แสดงว่ายังสามารถเขียนข้อมูลไปยังบัตรสมาร์ทการ์ดใบนั้นได้ จากนั้นจะทำการเขียนข้อมูล 1 บิตของเออเลอร์เคาน์เตอร์ให้จากลอจิก " 1 " เป็น " 0 " โดยเรียงจากบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุดก่อน จากนั้นจะทำการเปรียบเทียบข้อมูลอ้างอิงที่อยู่ภายในบัตรกับข้อมูลที่เราป้อน จากนั้นทำการเขียนข้อมูลลงในเออเลอร์เคาน์เตอร์เท่ากับ 11111111B แล้วทำการอ่านข้อมูลในเออเลอร์เคาน์เตอร์มาอีกครั้ง ถ้าการเปรียบเทียบถูกต้องค่าเออเลอร์เคาน์เตอร์ที่อ่านออกมาเที่ยวหลังนี้จะต้องมีค่าเป็น XXXXX111B แต่ถ้ารหัสที่ป้อนผิด ข้อมูลของเออเลอร์เคาน์เตอร์จะมีค่าเป็นค่าเดิมคือ XXXXX110B ซึ่งจะเห็นว่าบิตที่ศูนย์ถูกทำให้เป็น " 0 " ถ้าการเปรียบเทียบครั้งที่ 2 ยังคงผิดอีก บิตที่จะถูกทำให้เป็น " 0 " คือบิตที่ 1 เพราะฉะนั้นค่าเออเลอร์เคาน์เตอร์ที่อ่านออกมาได้จะมีค่าเป็น XXXXX100B ถ้าป้อนผิดครบ 3 ครั้งบัตรสมาร์ทการ์ดก็จะถูกล็อคทันที แต่ถ้ารหัสถูกต้องก็จะทำการเขียนค่าในเออเลอร์เคาน์เตอร์ให้เป็น XXXXX111B เหมือนเดิม

3.2.4 เขียนโปรแกรมควบคุมการตรวจสอบจำนวนเงินเกิน

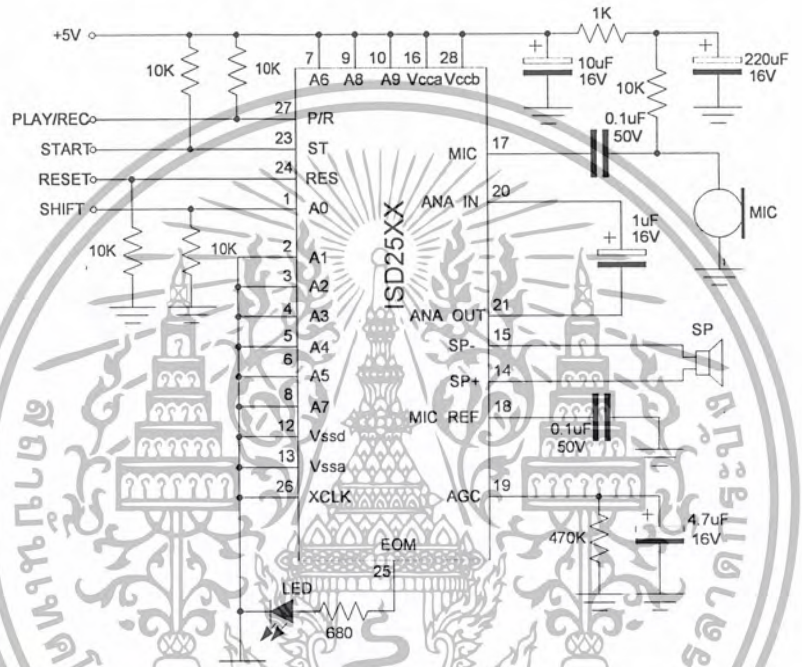


รูปที่ 3.6 โฟล์วชาร์ทการทำงานของโปรแกรมการตรวจสอบจำนวนเงินเกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 3.6 เป็นการทำงานในกระบวนการการตรวจสอบจำนวนเงินเกิน นำจำนวนเงินที่อ่านออกมาจากบัตร แล้วลบด้วยจำนวนเงินราคาค่าโดยสาร ถ้าแฟลกตัวทดนี้ถูกเซตให้เป็น 1 แสดงว่าเกิดการยืมตัวทดเกิดขึ้น เนื่องจากว่าตัวลบมีมากกว่าตัวตั้ง แต่ถ้าแฟลกตัวทดนั้นมีค่าเป็น 0 แสดงว่าตัวตั้งมากกว่าตัวลบ ก็จะทำการเก็บผลลัพธ์ไว้ในบัฟเฟอร์เพื่อเขียนข้อมูลลงไปในบัตร

3.3 ออกแบบและสร้างวงจรบันทึกเสียง



จากรูป 3.7 เป็นการต่อไอซี ISD 25XX แบบบันทึกเสียง/เล่นหลายๆ ข้อความ

3.3.1 การทำงานของขาต่างๆ ของไอซี ISD 25XX ในวงจรบันทึกเสียง

จากรูป 3.7 เป็นการต่อไอซี ISD 25XX แบบบันทึกเสียง/เล่นหลายๆ ข้อความ การทำงานของขาต่างๆ มีหน้าที่ดังนี้

- ขา A0 – A9 เป็นขาแอดเดรสจำนวน 10 บิต จะต้องต่อลงกราวด์ไว้เพื่อให้วงรอบของการบันทึกแต่ละครั้งกลับไปเริ่มต้นใหม่
- ขา P/R เป็นขาที่ใช้สำหรับเลือกว่าจะทำการบันทึกข้อความหรืออ่านข้อความ ถ้าขา P/R เป็นลอจิก "1" จะเป็นการอ่านข้อความ และถ้าขา P/R เป็นลอจิก "0" จะเป็นการบันทึกข้อความ
- ขา ST เป็นขาเริ่มต้นการทำงานขณะบันทึกข้อความหรืออ่านข้อความจะสั่งงานด้วยลอจิก "0"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขา RES เป็นขาสำหรับรีเซตการทำงานทั้งหมด จะทำงานด้วยลอจิก "1"
- ขา MIC เป็นขาอินพุตของวงจรปรีไมค์ไว้สำหรับติดต่อกับไมค์เพื่อใช้ในการบันทึกเสียง
- ขา MIC REF เป็นขาที่ต้องต่อตัวเก็บประจุอนุกรมลงกราวด์ให้กับวงจรปรีไมค์ เพื่อช่วยกำจัดสัญญาณรบกวนที่ขา MIC
- ขา ANA IN เป็นขาอินพุตของวงจรปรีแอมป์ ที่จะนำสัญญาณเสียงเข้าไปบันทึกในหน่วยความจำ
- ขา ANA OUT เป็นขาเอาต์พุตของวงจรปรีไมค์ ที่จะต้องต่อตัวเก็บประจุไปยังที่ขาวงจรปรีแอมป์ที่ขา ANA IN
- ขา AGC เป็นขาที่ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการขยายของวงจรปรีไมค์ โดยต่อ RC ขนานกันลงกราวด์
- ขา EOM เป็นขาที่ต่อกับหลอด LED เพื่อแสดงการทำงานว่ากำลังบันทึกข้อความหรืออ่านข้อความอยู่

3.3.2 การใช้งานของวงจรบันทึกเสียง

การใช้งานของวงจรบันทึกเสียงมี 3 แบบด้วยกันคือ

1. การเขียนข้อความเรียงลำดับ

การบันทึกข้อความเรียงทีละข้อความตั้งแต่ข้อความที่ 1 จนถึงข้อความสุดท้าย การเขียนข้อความให้ทำตามลำดับขั้นตอนดังนี้

- ป้อนสัญญาณพัลส์บวกที่ขา RES เพื่อรีเซตการทำงาน
- ป้อนไฟลบ (ลอจิก "0") ให้ขา P/R เพื่อเข้าสู่การบันทึกข้อความ
- ป้อนสัญญาณพัลส์ลบที่ขา ST เพื่อเป็นสัญญาณเริ่มต้นการบันทึกข้อความที่ 1
- พูดข้อความที่ 1 ลงไปจนจบ
- ป้อนสัญญาณพัลส์ลบที่ขา ST เพื่อเป็นสัญญาณสิ้นสุดการบันทึกข้อความที่ 1
- ป้อนสัญญาณพัลส์ลบที่ขา ST เพื่อเป็นสัญญาณเริ่มต้นการบันทึกข้อความที่ 2
- พูดข้อความที่ 2 ลงไปจนจบ
- ป้อนสัญญาณพัลส์ลบที่ขา ST เพื่อเป็นสัญญาณสิ้นสุดการบันทึกข้อความที่ 2

เมื่อต้องการบันทึกข้อความที่ 3, 4, 5, ... ก็ให้ทำซ้ำแบบเดิมไปเรื่อยๆ แต่อย่าลืมว่าข้อความทั้งหมดที่บันทึกไปนั้นจะต้องยาวไม่เกินเวลาที่เบอร์ไอซีจำกัดไว้เพราะถ้าบันทึกข้อความยาวเกินก็จะทำให้ข้อความแรกที่บันทึกไปแล้วโดนข้อความใหม่บันทึกทับลงไปนั่นเอง

2. การอ่านข้อความเรียงลำดับ

คือการเล่นข้อความเรียงลำดับตั้งแต่ข้อความที่ 1 จนถึงข้อความสุดท้าย วิธีการอ่านข้อความให้ทำตามลำดับขั้นตอนดังนี้

- ป้อนสัญญาณพัลส์บวกที่ขา RES เพื่อรีเซตการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ป้อนไฟบวก (ลอจิก "1") ให้ขา P/R เพื่อเข้าสู่การอ่านข้อความ
- ป้อนสัญญาณพัลส์ลบที่ขา ST ข้อความที่ 1 ก็จะถูกเล่นออกมาจนจบ
- ป้อนสัญญาณพัลส์ลบที่ขา ST ข้อความที่ 2 ก็จะถูกเล่นออกมาจนจบ

เมื่อต้องการเล่นข้อความที่ 3, 4, 5, ... ก็ให้ทำซ้ำแบบเดิมไปเรื่อยๆ จนหมดทุกข้อความ ถ้าขณะที่ข้อความนั้นกำลังเล่นอยู่ยังไม่จบ ถ้ามีการป้อนสัญญาณพัลส์ลบที่ขา ST ข้อความที่กำลังเล่นอยู่ก็จะหยุดทันที เหมือนกับเป็นการPAUSE และเมื่อป้อนสัญญาณพัลส์ลบที่ขา ST อีกครั้ง ข้อความนั้นก็จะถูกเล่นต่อจากเดิมไปจนจบ

3. การอ่านข้อความไม่เรียงลำดับ

คือการเล่นข้อความแบบข้ามช่องไปมาหรือจะเล่นช่องไหนก่อนก็ได้ โดยที่ไม่ต้องเรียงตามลำดับช่องที่บันทึก วิธีการอ่านข้อความแบบไม่เรียงลำดับให้ทำตามลำดับขั้นตอนดังนี้

- ป้อนสัญญาณพัลส์บวกที่ขา RES เพื่อรีเซตการทำงาน
- ป้อนไฟบวก (ลอจิก "1") ให้ขา P/R เพื่อเข้าสู่การอ่านข้อความ
- ป้อนไฟบวก (ลอจิก "1") ให้ขา SHIFT เพื่อเข้าสู่การเลื่อนข้อความ
- ป้อนสัญญาณพัลส์ลบที่ขา ST 1 ครั้ง เพื่อสั่งเลื่อนข้อความไป 1 ช่อง
- ป้อนไฟลบ (ลอจิก "0") ให้ขา SHIFT เพื่อเสร็จสิ้นการเลื่อนข้อความ
- ป้อนสัญญาณพัลส์ลบที่ขา ST ข้อความที่ 2 ก็จะถูกเล่นออกมาจนจบ

จากที่กล่าวมาเป็นการอ่านข้อความที่ 2 ก่อน ถ้าต้องการกระโดดไปอ่านข้อความที่ 5 ถัดไป จะต้องทำดังนี้

- ป้อนไฟบวก (ลอจิก "1") ให้ขา SHIFT เพื่อเข้าสู่การเลื่อนข้อความ
- ป้อนสัญญาณพัลส์ลบที่ขา ST 2 ครั้ง เพื่อสั่งเลื่อนข้อความไป 2 ช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองของวงจรบันทึกเสียง

4.1.1 ลำดับขั้นการทดลอง

1 ป้อนสัญญาณพัลส์บวกที่ขา RES เพื่อรีเซตการทำงาน

2 ป้อนไฟลบ (ลอจิก “0”) ให้ขา P/R เพื่อเข้าสู่การบันทึกข้อความ

3 ป้อนสัญญาณพัลส์ลบที่ขา ST เพื่อเป็นสัญญาณเริ่มต้นการบันทึกข้อความ

4 ป้อนสัญญาณไซน์ 1 KHZ , 200 mVp-p ที่อินพุต(ที่ MIC ขา 17)

5 ป้อนสัญญาณพัลส์ลบที่ขา ST เพื่อเป็นสัญญาณสิ้นสุดการบันทึกข้อความ

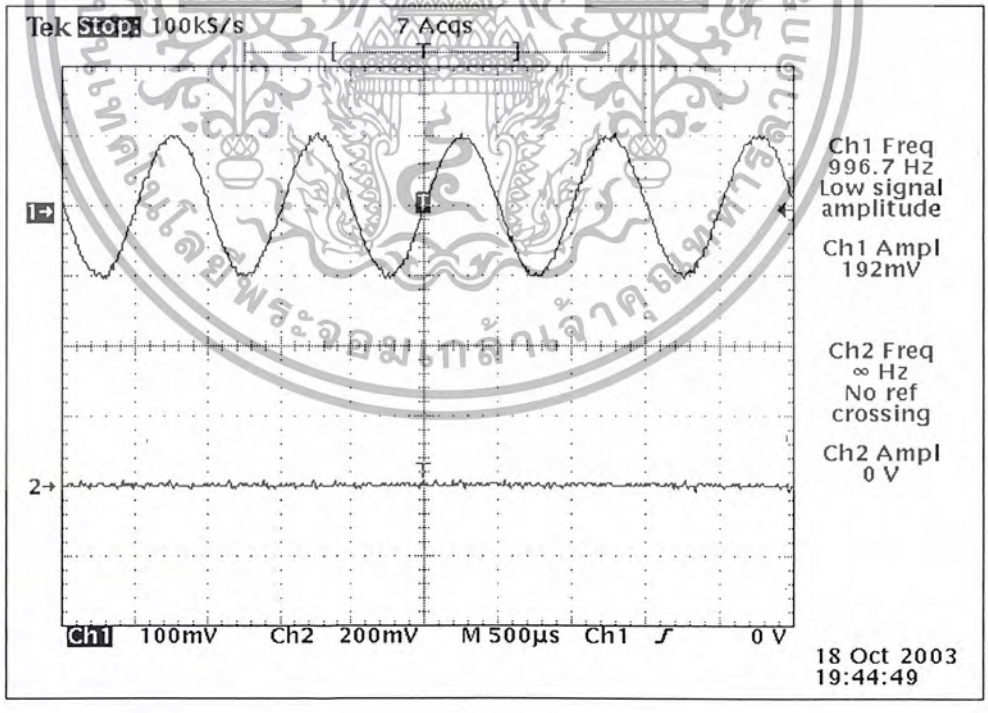
6 ป้อนสัญญาณพัลส์บวกที่ขา RES เพื่อรีเซตการทำงานอีกครั้งหนึ่ง

7 ป้อนไฟบวก (ลอจิก “1”) ให้ขา P/R เพื่อเข้าสู่การอ่านข้อความ

8 ป้อนสัญญาณพัลส์ลบที่ขา ST

9 วัดสัญญาณเอาต์พุต(ที่ SP+ ขา 14)เทียบกับสัญญาณอินพุต

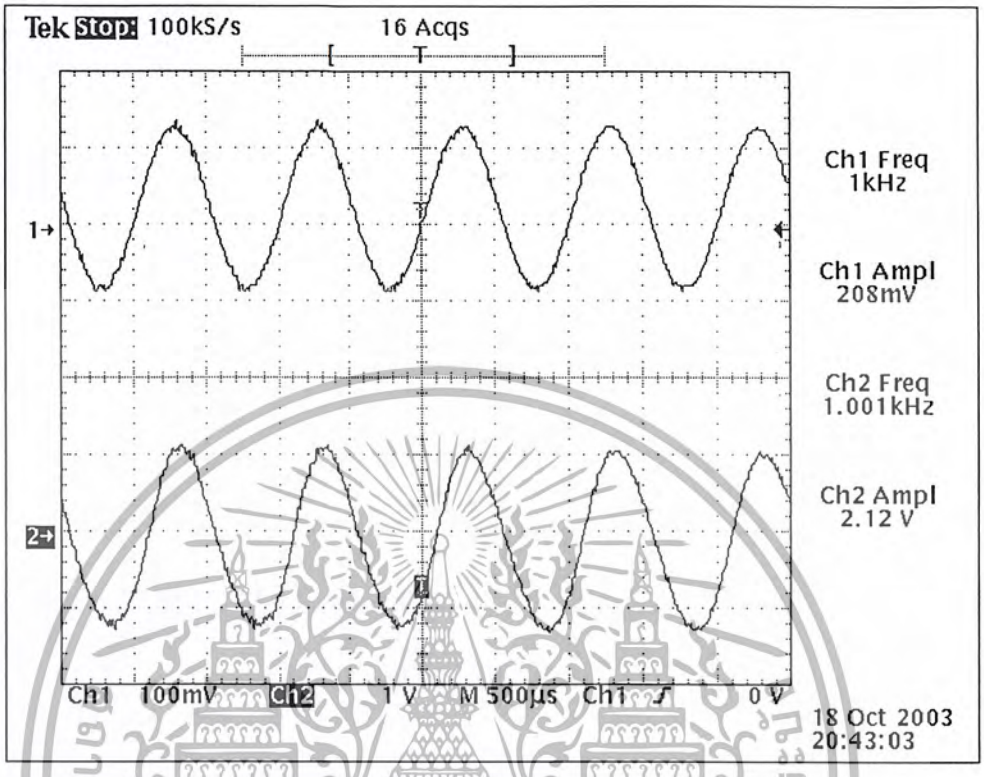
4.1.2 ผลการทดลองของวงจรบันทึกเสียง



รูปที่ 4.1 เอาต์พุตที่ได้เมื่อยังไม่ได้ทำการบันทึกเสียง และมีการเล่นออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 ที่ Ch 1 คือ สัญญาณอินพุตไซน์ 1 KHZ , 200 mVp-p
ที่ Ch 2 คือ เอาต์พุตที่ได้เมื่อยังไม่ได้ทำการบันทึกเสียง



รูปที่ 4.2 เอาต์พุตที่ได้หลังจากที่ได้ทำการบันทึกเสียง และมีการเล่นออกมา

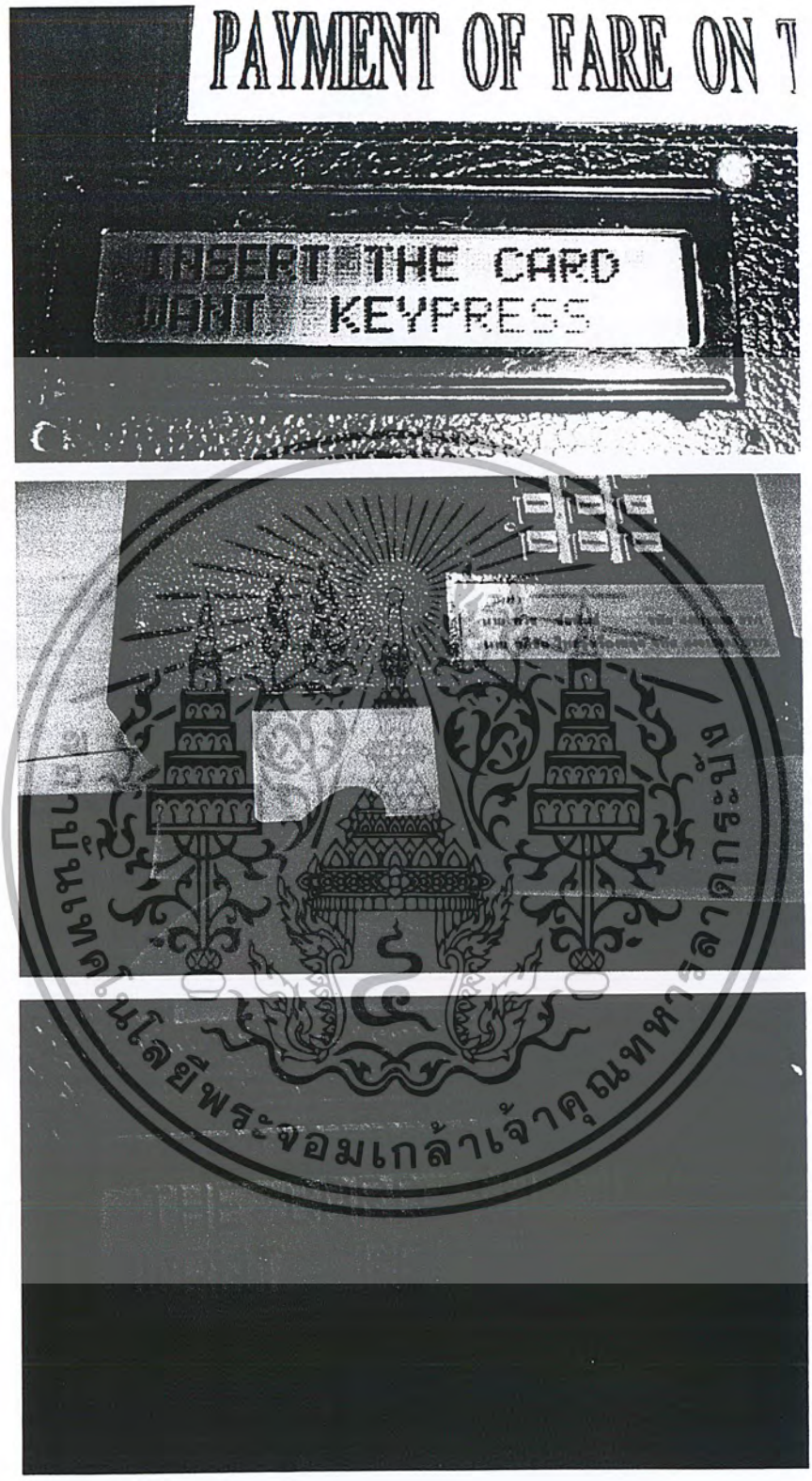
จากรูปที่ 4.2 ที่ Ch 1 คือ สัญญาณอินพุตไซน์ 1 KHZ , 200 mVp-p
ที่ Ch 2 คือ เอาต์พุตที่ได้หลังจากที่ได้ทำการบันทึกเสียง และมีการเล่นออกมา

4.2 การทดลองของเครื่องอ่าน - เขียนสมาร์ทการ์ดบนรถประจำทาง

4.2.1 หน้าจอขณะให้มีการเสียบบัตรสมาร์ทการ์ด

เมื่อเปิดเครื่องจอแสดงผลแบบผลึกเหลวจะแสดงให้มีการเสียบบัตรสมาร์ทการ์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงหน้าจอขณะให้มีการเสียบบัตรสมาร์ทการ์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4 แสดงหน้าจอเมื่อบัตรสมาร์ทการ์ดถูกต้อง

4.2.2 หน้าจอตอนเมื่อเสียบบัตรในขณะที่ขึ้นรถประจำทาง

ในขณะที่ขึ้นรถประจำทางจะต้องมีการเสียบบัตร เมื่อเสียบบัตรแล้วที่จอแสดงผลแบบผลึกเหลวจะแสดงจำนวนเงินภายในบัตร

รูปที่ 4.5 แสดงหน้าจอเมื่อเสียบบัตรในขณะที่ขึ้นรถประจำทาง

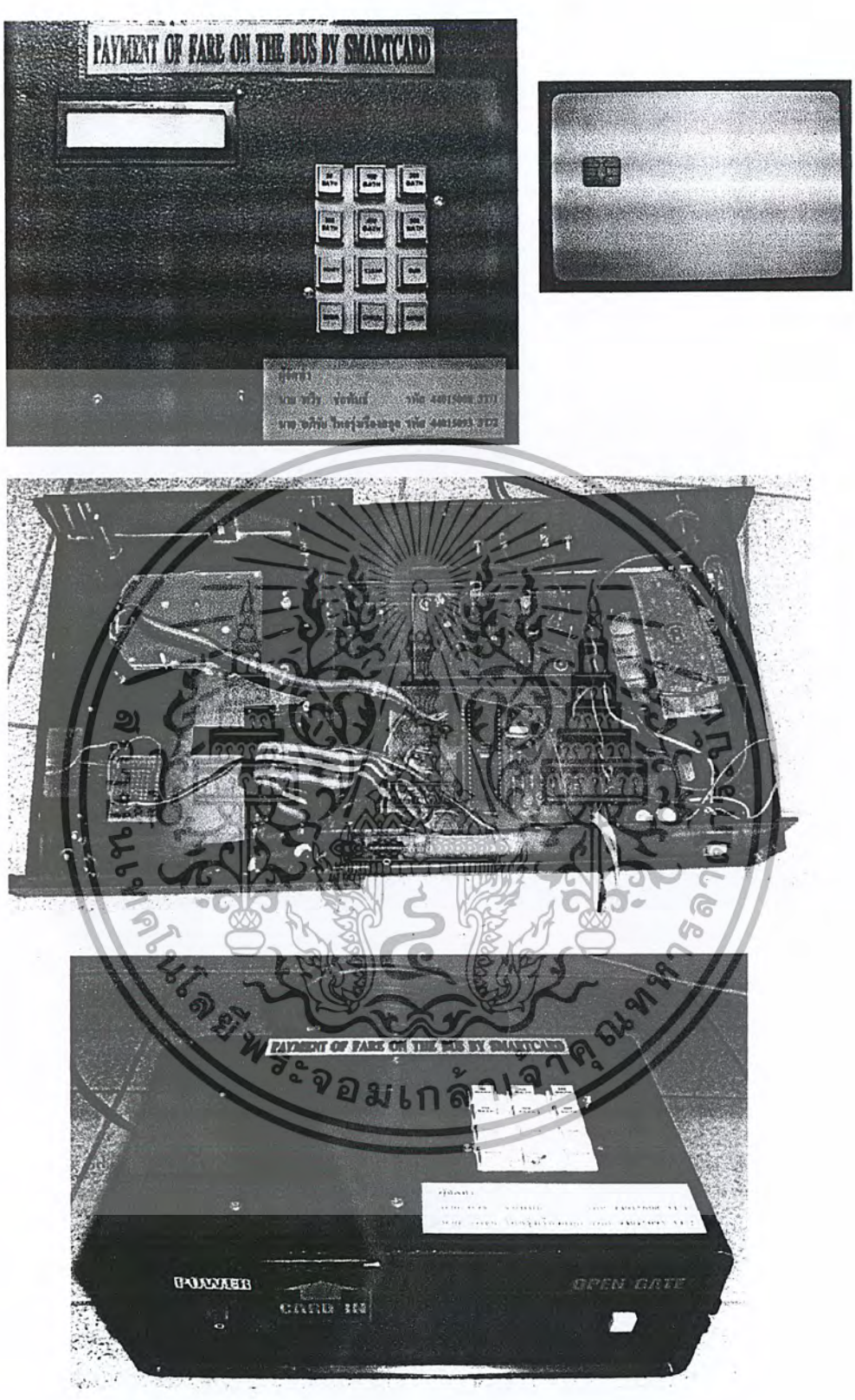
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 หน้าจอตอนเมื่อเสียบบัตรในขณะลงจากรถประจำทาง

ในขณะที่ลงรถประจำทางจะต้องมีการเสียบบัตร เมื่อเสียบบัตรแล้วที่จอแสดงผลแบบผลึกเหลวจะแสดงจำนวนเงินที่เหลือภายในบัตร และให้นำเอาบัตรออก

รูปที่ 4.6 แสดงหน้าจอเมื่อเสียบบัตรในขณะที่ลงจากรถประจำทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงเครื่องอ่าน - เขียนสมาร์ทการ์ดบนรถประจำทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทวิจารณ์และสรุปผล

สรุปผลการทดลอง

ในส่วนของวงจรบันทึกเสียงสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะมีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณอินพุตแต่จะมีขนาดสัญญาณแรงกว่าสัญญาณอินพุต เนื่องจากโครงสร้างภายไอซีเบอร์ ISD25XX มีวงจรขยายเสียงจากไมโครโฟนและมีภาคขยายเสียงก่อนออกเอาต์พุต นอกจากนี้การจัดเก็บความจำก็จะจัดเก็บในลักษณะที่เป็นสัญญาณอนาลอกอยู่เช่นเดิม จึงทำให้สัญญาณเอาต์พุตมีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณอินพุตมาก เพราะไม่มีกระบวนการเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลเข้ามาเกี่ยวข้อง

ในส่วนของเครื่องอ่าน - เขียนสมาร์ทการ์ดบนรถประจำทาง การเข้าถึงหน่วยความจำของบัตรสมาร์ทการ์ดค่อนข้างสลับซับซ้อน เพราะต้องทำการเปรียบเทียบค่าต่างๆ ก่อนที่จะเข้าถึงหน่วยความจำของบัตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

[1] วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล และชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล.ปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51.กรุงเทพมหานคร: บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด 2543

[2] สมยศ จุณณะปิยะ.การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51.กรุงเทพมหานคร: โครงการตำราสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2543

[3] วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล และชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล.เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51.กรุงเทพมหานคร: บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้