บทที่ 6

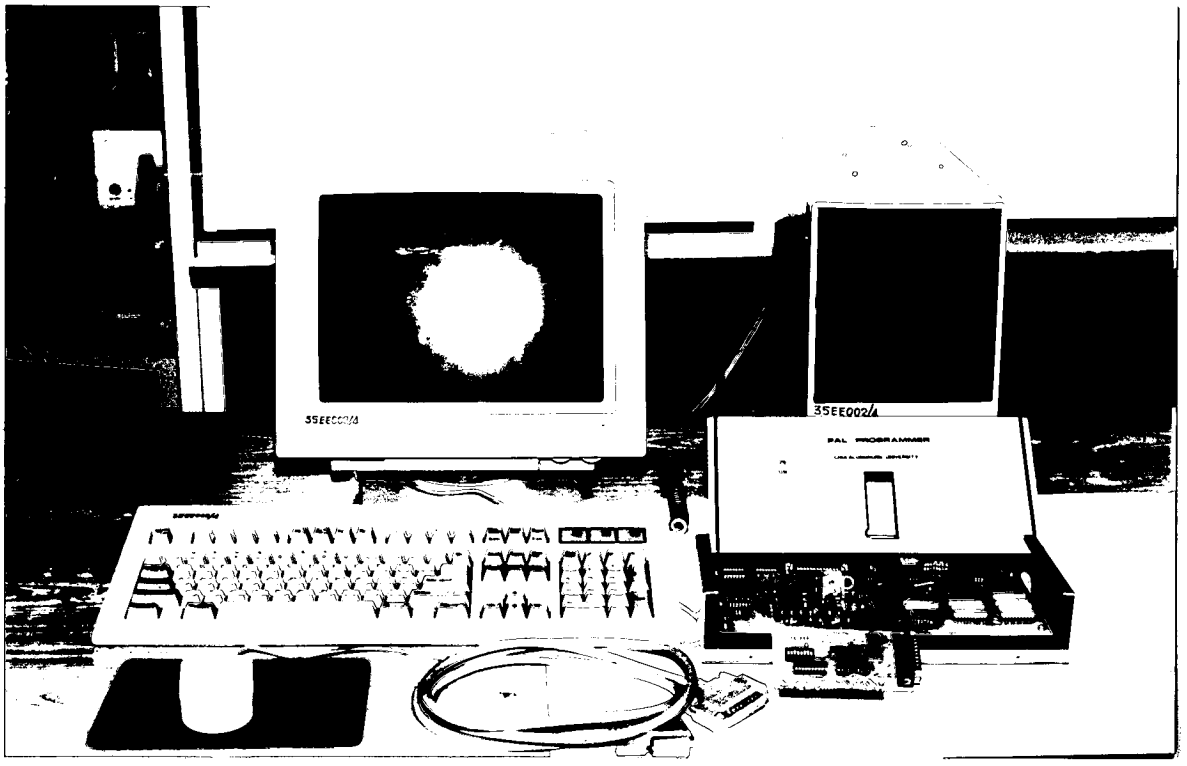
การสร้างเครื่องต้นแบบ และทดสอบการทำงาน

6.1 การสร้างเครื่องต้นแบบ

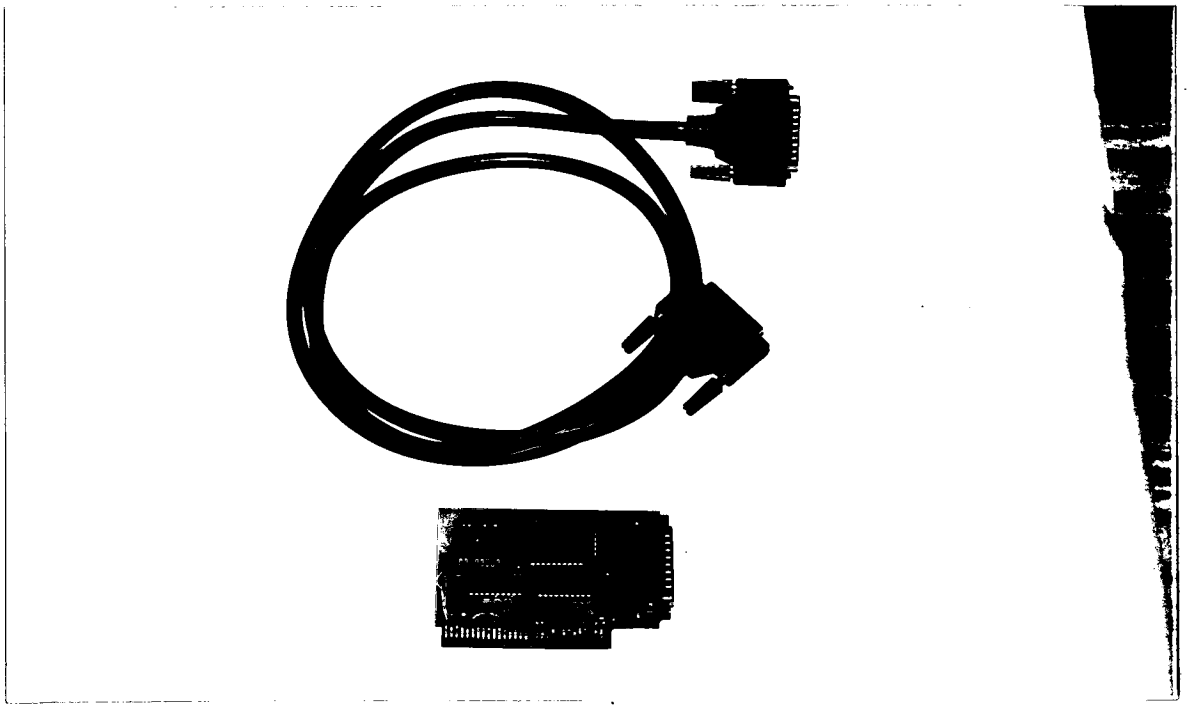
หลังจากที่เราได้อธิบายถึงส่วนของการทำงานของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์แล้ว ต่อจากนั้นจึงได้ทำการสร้างเครื่องต้นแบบตามวงจรที่ได้ออกแบบ และทำการเขียนโปรแกรมควบคุมการโปรแกรม PAL และทำการโปรแกรม PAL ที่มีขายอยู่ในท้องตลาด โดยทำการทดสอบกับ PAL หลายๆ ตัวด้วยกัน และได้ทำการติดตั้งเครื่องโปรแกรม PAL กับคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะประกอบด้วยตัวเครื่องโปรแกรม PAL, การ์ดอินเตอร์เฟซซึ่งต่ออยู่ในเครื่องคอมพิวเตอร์ และตัวคอมพิวเตอร์ IBM Compatible PC

ในขั้นตอนแรกนั้น จะทำการออกแบบวงจรที่ได้อธิบายไปแล้วลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้จริงและยังสะดวกในการผลิต ในการออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ได้ออกแบบทั้งส่วนที่เป็นอินเตอร์เฟซ และส่วนที่เป็นบอร์ดรวมทั้งหมดของเครื่องโปรแกรม PAL สำหรับการออกแบบในส่วนที่เป็นวงจรอินเตอร์เฟซจะต้องออกแบบให้มีขนาดเล็ก เพราะจะต้องสามารถใส่ลงไปในเครื่องคอมพิวเตอร์และจะต้องสร้างขอบบอร์ดให้สามารถเสียบลงบนช่อง(Slot) ของคอมพิวเตอร์ได้ และสำหรับสายที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างบอร์ดอินเตอร์เฟซ กับบอร์ดเครื่องโปรแกรม PAL นั้นจะใช้สายแบบขนาน (Parallel) ธรรมดา ซึ่งมีความยาวพอที่จะเสียบต่อระหว่างบอร์ดทั้งสองได้ดังแสดงในรูปที่ 6.1 ซึ่งข้อจำกัดก็คือเครื่องโปรแกรมจะต้องต่ออยู่ใกล้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ และสำหรับในการออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ของบอร์ดวงจรรวมของเครื่องโปรแกรม PAL จะต้องออกแบบให้มีขนาดพอสมควร และใส่ลงในกล่องที่ออกแบบทำขึ้นเอง โดยกล่องที่นำมาใช้เป็นโลหะอะลูมิเนียมซึ่งหาซื้อได้ไม่ยาก และนำมาตัด-พับให้ได้รูปทรงที่ต้องการ

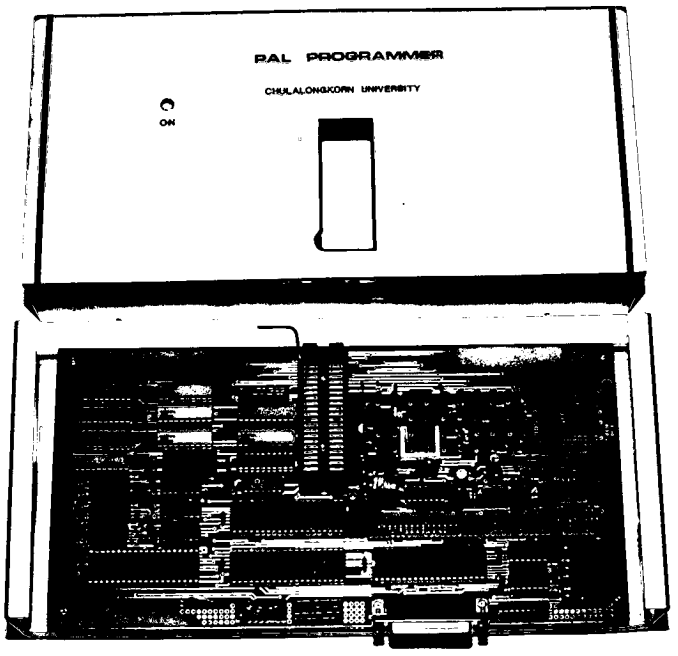
สำหรับบอร์ดจริงที่แสดงการวางอุปกรณ์ของบอร์ดในส่วนของวงจรอินเตอร์เฟซแสดงไว้ในรูปที่ 6.2 ส่วนบอร์ดรวมของวงจรส่วนเครื่องโปรแกรม PAL แสดงไว้ในรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.1 แสดงการต่อเครื่องต้นแบบเครื่องโปรแกรม PAL กับระบบคอมพิวเตอร์



รูปที่ 6.2 แสดงแผ่นวงจรพิมพ์ของบอร์ดในส่วนวงจรอินเตอร์เฟซ



รูปที่ 6.3 แสดงแผ่นวงจรพิมพ์ของบอร์ดรวมในส่วนวงจรเครื่องโปรแกรม PAL

6.2 การทดสอบเครื่องต้นแบบ

6.2.1 การทดสอบฮาร์ดแวร์

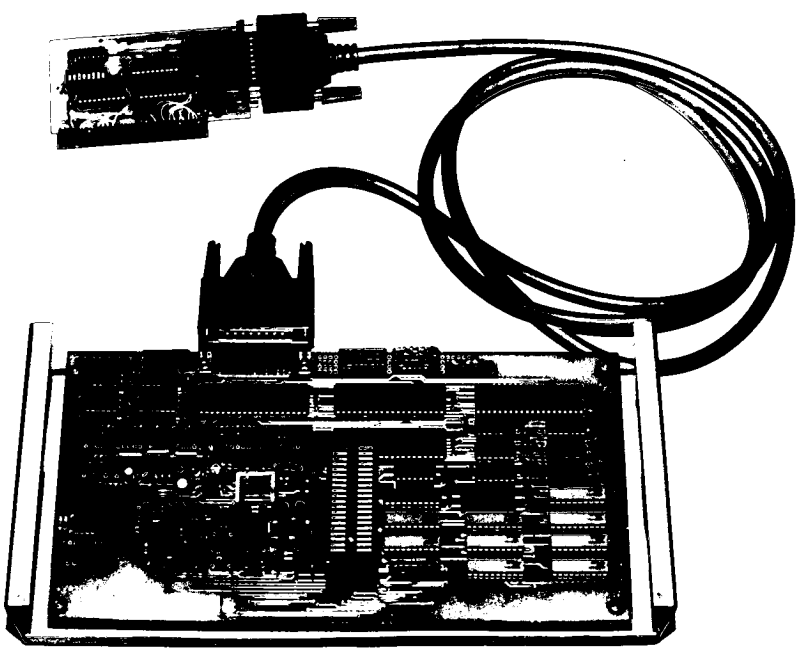
ในการออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ มีการออกแบบวงจรทั้งหมดลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ขนาด 10.5 นิ้ว x 5.375 นิ้ว และอุปกรณ์ทั้งหมดที่ใช้ก็สามารถหาซื้อได้ในเมืองไทย และทำการประกอบอุปกรณ์ทั้งหมดลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ ต่อจากนั้นจึงต่อสายขนานผ่านตัวเชื่อมต่อ (Connector) ไปยังบอร์ดรวมของเครื่องโปรแกรม และทำการตรวจจุดบกพร่อง (Debugging) สำหรับแผ่นวงจรพิมพ์ที่เป็นส่วนอินเตอร์เฟซจะทำการแก้จุดบกพร่อง โดยการใช้โปรแกรมดีบัก (Debug) ในดอส (DOS) ส่งค่าข้อมูลผ่านพอร์ตของ 8255 และใช้ตัวตรวจจับสัญญาณลอจิก (Logic Probe) วัดค่าที่ขาพอร์ตของ 8255 ในบอร์ด ว่าตรงกันกับค่าที่ส่งจากคอมพิวเตอร์หรือไม่ ต่อจากนั้นจึงทำ การตรวจสอบวงจรส่วนต่างๆ ที่อยู่ในบอร์ดเครื่องโปรแกรม PAL

การตรวจสอบบอร์ดเครื่องโปรแกรม ในส่วนของวงจรที่สร้างระดับแรงดัน จะตรวจสอบโดยการส่งค่าข้อมูลต่างๆ จากพอร์ตของ 8255 ผ่านเข้าส่วนของวงจรสร้างระดับแรงดัน และทำการวัดแรงดันที่ค่าต่างๆ โดยใช้สโคปตรวจจับสัญญาณที่ขาเอาต์พุตของ LM317 สำหรับ

สัญญาณที่วัดได้นี้ จะเลือกใช้เฉพาะค่าข้อมูลที่ให้แรงดัน V_{CC1}, V_{CC2} และ V_{CC3} ที่ใช้ในการโปรแกรม และทำการเซตค่านั้นไว้ในโปรแกรมโมดูลของการโปรแกรม

การตรวจสอบในส่วนของวงจรที่ควบคุมขาของการโปรแกรม หรือวงจรที่สวิตช์ขา PAL เพื่อส่งค่าแรงดัน V_{CC1}, V_{CC2} และ V_{CC3} ไปที่ขา PAL เพื่อทำการโปรแกรม PAL จะทำการตรวจสอบได้โดยการส่งค่าข้อมูลจากพอร์ตของ 8255 ผ่านเข้าวงจรสร้างระดับแรงดันและใช้ค่าพอร์ตของ 8255 เพื่อทำการสวิตช์ค่าไปที่วงจรควบคุมขาของ PAL ทำให้แรงดันเข้าขาที่เราต้องการที่จะเซตค่าแรงดัน ต่อจากนั้นก็จะทำการเขียนโปรแกรมโมดูลการโปรแกรมขึ้นมา เพื่อตรวจสอบการโปรแกรมเฉพาะตำแหน่งนั้นๆ

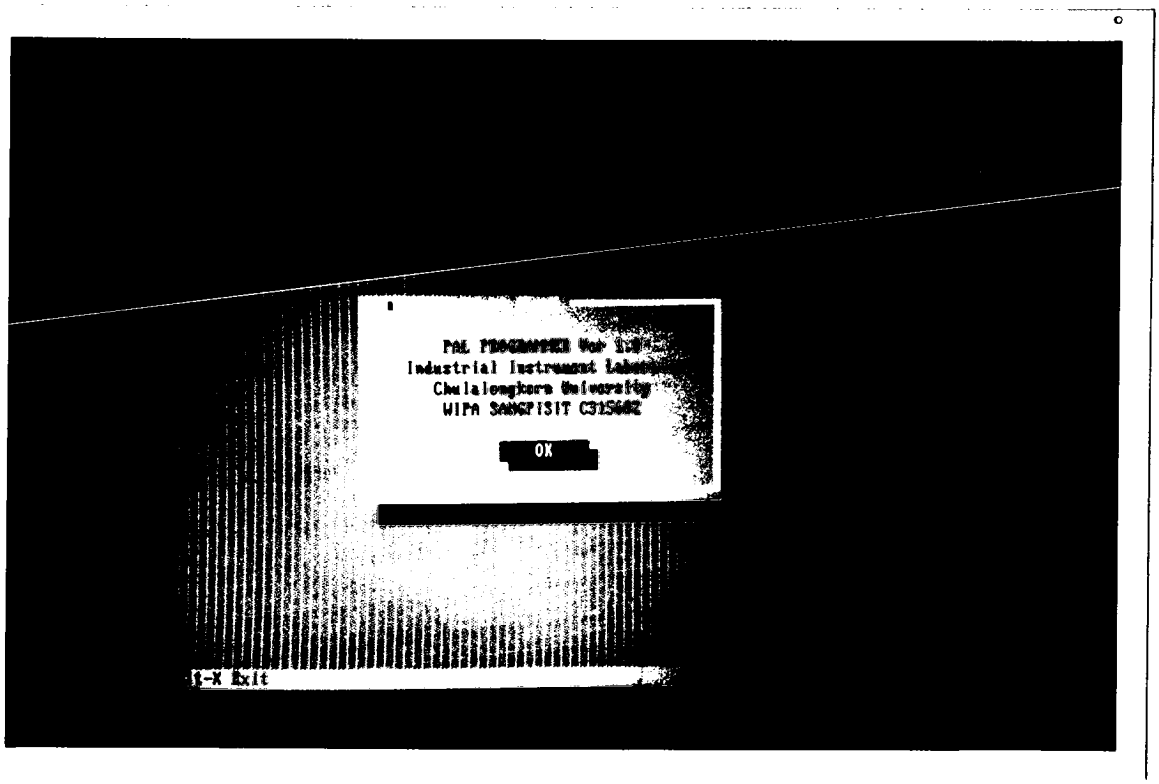
สำหรับเครื่องโปรแกรมที่ออกแบบขึ้นมานี้มีข้อดี คือ จะมีการใช้งานสะดวก เพราะมีเพียงตัวเครื่องโปรแกรมกับการ์ดอินเตอร์เฟซไม่จำเป็นต้องมีสายปลั๊ก AC เหมือนเครื่องโปรแกรมในอดีตที่ต้องใช้ไฟ AC จ่ายให้กับเครื่องโปรแกรม ทำให้เครื่องโปรแกรมรุ่นแรกๆ มีขนาดใหญ่เทอะทะ ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งาน ในการออกแบบกล่องที่ใช้ใส่บอร์ดเครื่องโปรแกรมจะทำการออกแบบเอง และทำการตัด-พับ ให้ได้แบบตามที่ต้องการ



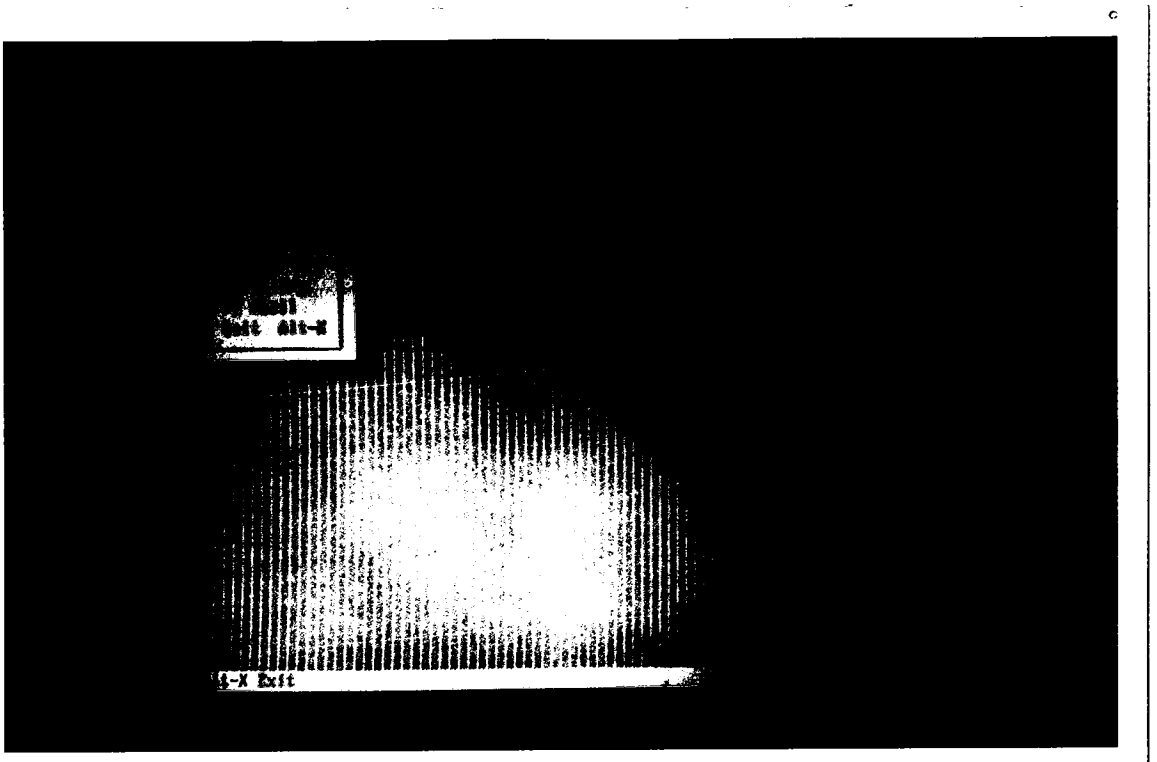
รูปที่ 6.4 แสดงการต่อบอร์ดของเครื่องโปรแกรมกับการ์ดอินเตอร์เฟซ

6.2.2 การทดสอบซอฟต์แวร์

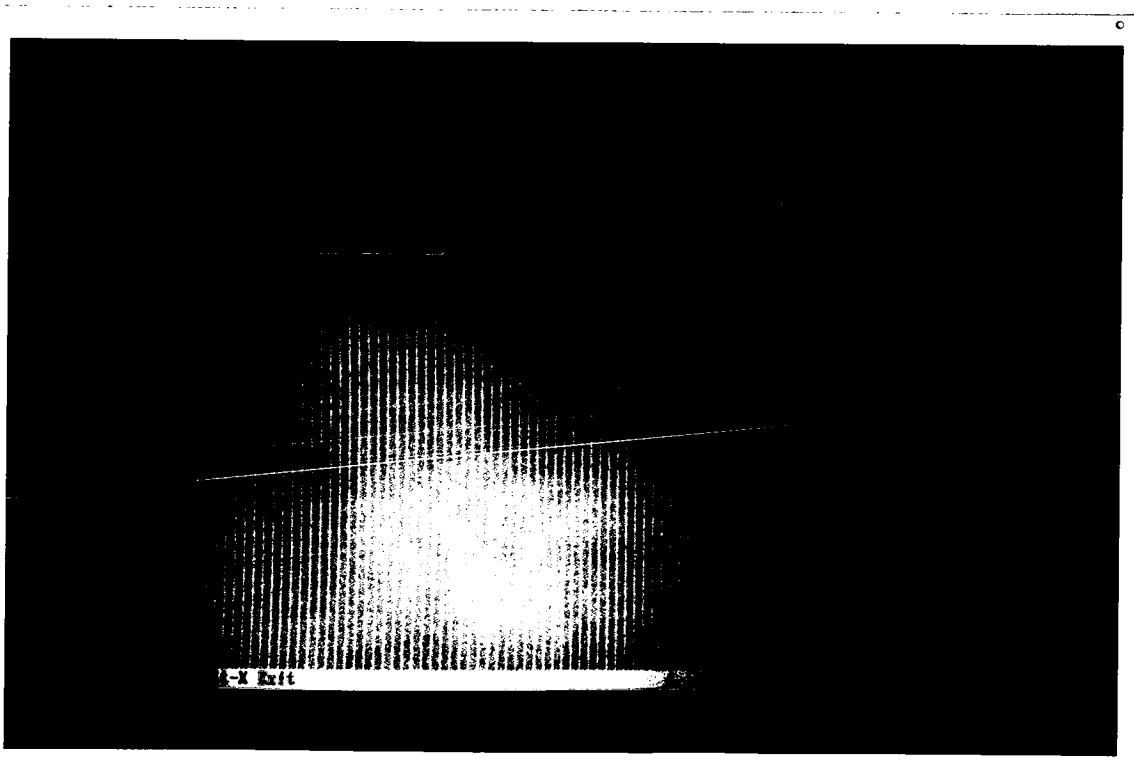
ในการเขียนโปรแกรมใช้ Turbo Vision BORLAND C ในการเขียนหน้าจอและเขียนโปรแกรมโมดูลแต่ละส่วนที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ และทำการแก้ไขจุดบกพร่องโปรแกรมโดยการใช้การตรวจสอบทีละขั้นในการตรวจสอบและแก้ไขจุดบกพร่อง และทำการรวมโมดูลทั้งหมดเข้ากับหน้าจอ สำหรับโปรแกรมที่เขียนทำหน้าจอเพื่อติดต่อกับผู้ใช้ เมื่อได้ทำการดำเนินงาน (Run) โปรแกรมไปแล้ว จะได้ผลของหน้าจอดังแสดงในรูปที่ 6.5 (ก) - (ฉ)



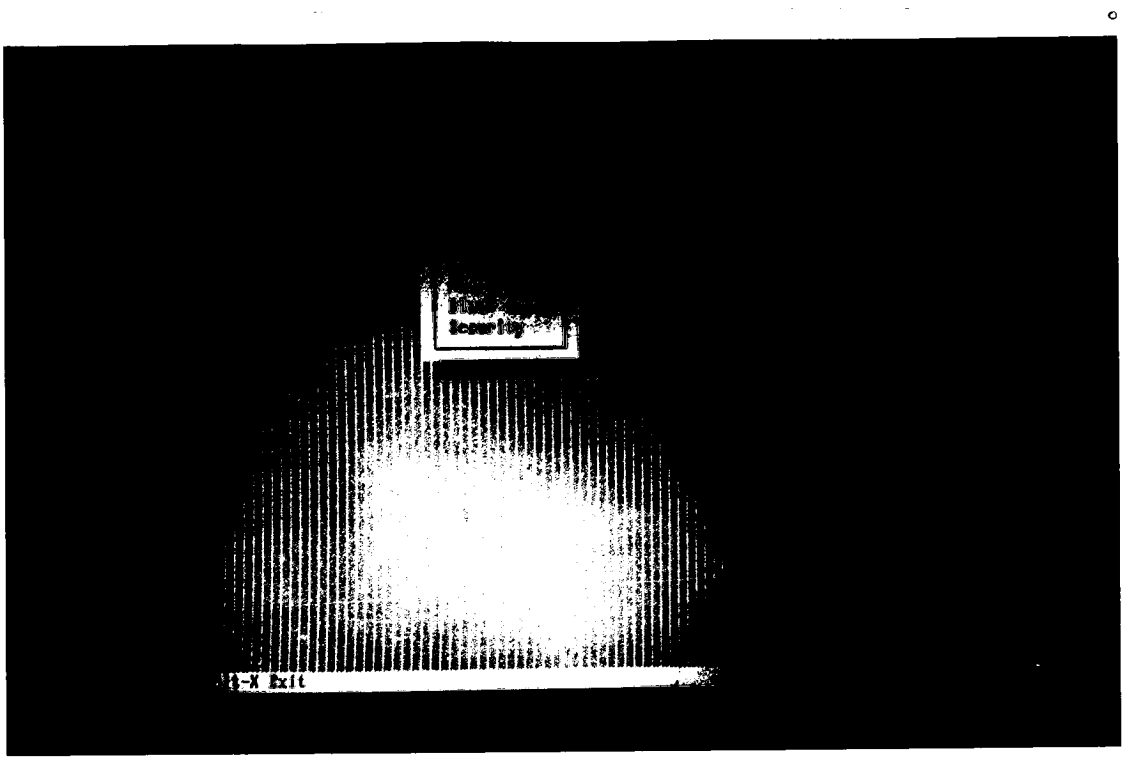
รูปที่ 6.5 (ก) แสดงรูปหน้าจอที่ติดต่อกับผู้ใช้ เมื่อเรียกใช้โปรแกรม



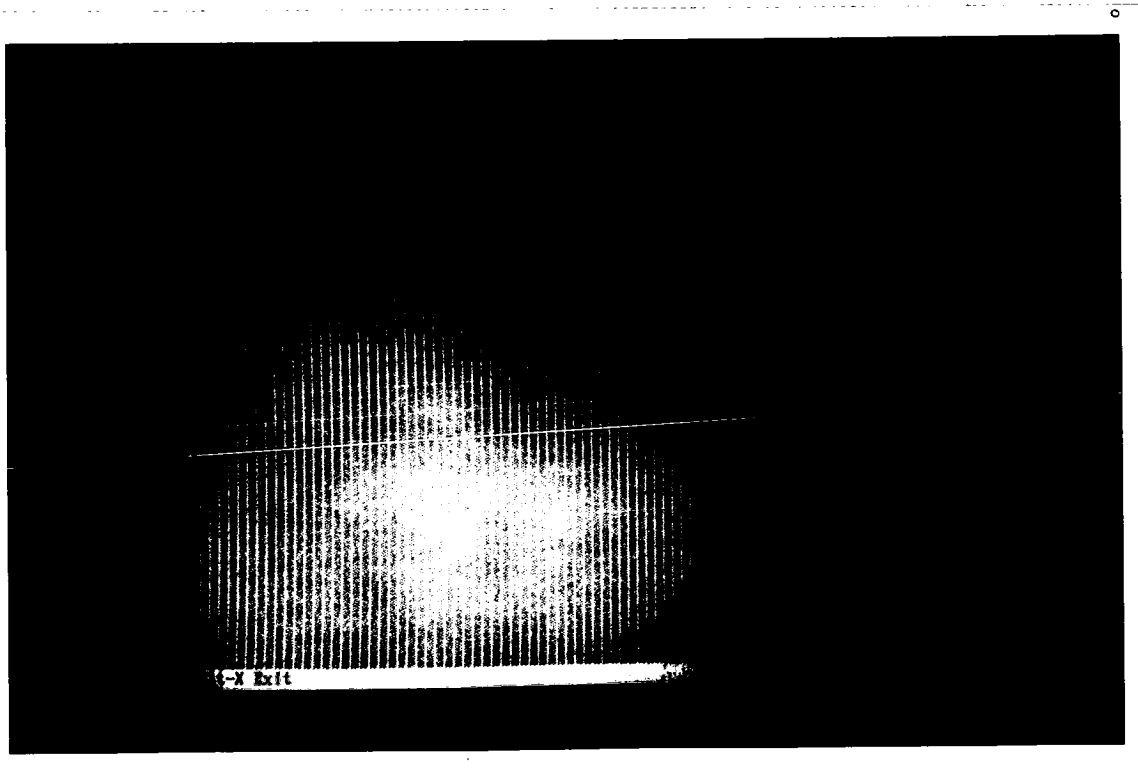
รูปที่ 6.5 (ข) แสดงเมนู "File"



รูปที่ 6.5 (ค) แสดงเมนู "Buffer"



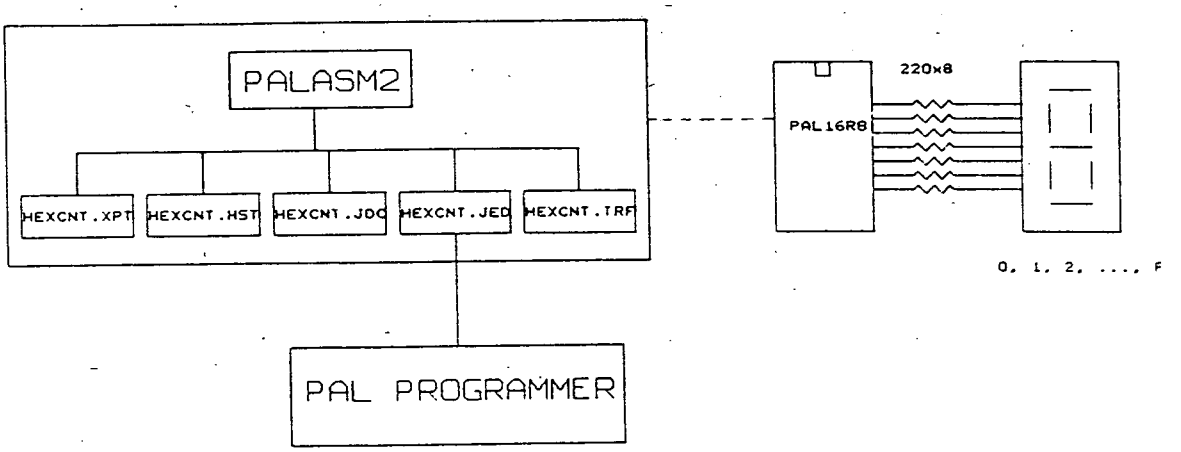
รูปที่ 6.5 (ง) แสดงเมนู “Chip”



รูปที่ 6.5 (ฉ) แสดงเมนู “Set”

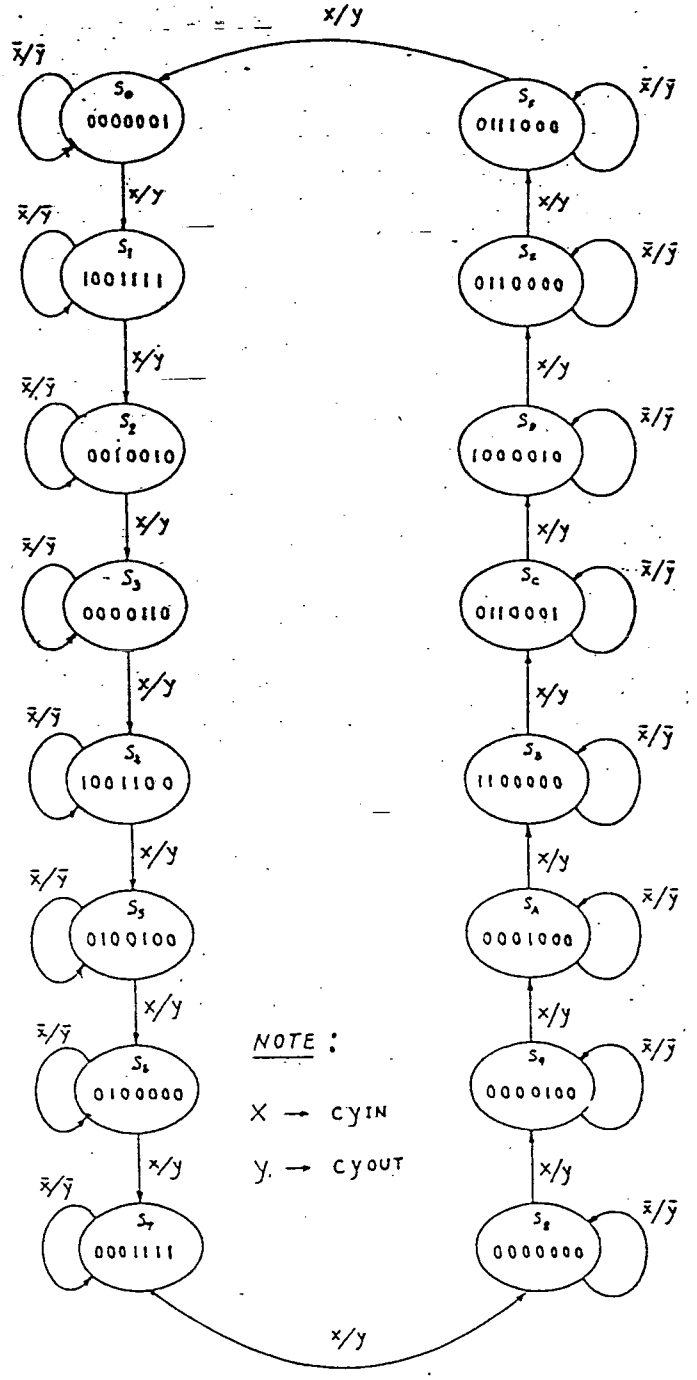
6.2.3 การทดสอบรวมเป็นระบบการพัฒนา PAL

ทดสอบระบบการพัฒนา PAL ตามแผนภาพบล็อกของรูปที่ 6.6 โดยที่เริ่มจากแนวความคิดในการออกแบบวงจรนับ 0 ถึง F ตามสัญญาณนาฬิกา ต่อจากนั้นจึงได้ทำการสร้างแฟ้มข้อมูลอินพุตที่ PALASM2 สามารถรับได้ โดยในขั้นตอนแรกจะทำการเขียนสเตตแมชีนของการออกแบบดังแสดงในรูปที่ 6.7 เพื่อทำการป้อนเป็นแฟ้มอินพุตของโปรแกรม PALASM2 ซึ่งหลักการเขียนนี้จะอยู่ในรูปแบบของการเขียนแบบสเตตแมชีน โดยจะมีการเขียนตามแฟ้มข้อมูลอินพุต HEXCNT.PDS ที่ได้แสดงไว้ดังแสดงในรูปที่ 6.8 เมื่อคอมไพล์ผ่านแล้วจะได้แฟ้มข้อมูลออกมาหลายข้อมูลแต่ข้อมูลที่ต้องการเพื่อนำไปโปรแกรม PAL ต้องการแฟ้มข้อมูลที่เป็น JEDEC File คือ HEXCNT.JED โดยที่ข้อมูลที่เป็น JEDEC File จะมีรูปแบบดังแสดงในรูปที่ 6.9



PAL DEVELOPMENT SYSTEM

รูปที่ 6.6 แสดงการออกแบบเป็นระบบการพัฒนา PAL



รูปที่ 6.7 แสดงการเขียนสเตตแมชีนของการออกแบบวงจรเลขนับ 0 ถึง F

```
TITLE        HEXA DECIMAL OUTPUT COUNTER
PATTERN      PAL16R8 FOR HEXA DECIMAL OUTPUT COUNTER
REVISION     1.0
AUTHOR       MISS WIPA  SANGPISIT
COMPANY      CHULALONGKORN UNIVERSITY
DATE         APRIL  21,1994
CHIP   THESIS  PAL16R8
;1      2     3     4     5     6     7     8     9     10
 CLK   CYIN   NC    NC    NC    NC    NC    NC    NC    GND
;11     12    13    14    15    16    17    18    19     20
 /OE    A     B     C     D     E     F     G    CYOUT  VCC

STATE
MEALY_MACHINE
DEFAULT_BRANCH S0
;
;     STATE ASSIGNMENTS
;
S0  =  A * B * C * D * E * F * /G      ;0
S1  = /A * B * C * /D * /E * /F * /G   ;1
S2  =  A * B * /C * D * E * /F * G     ;2
S3  =  A * B * C * D * /E * /F * G     ;3
S4  = /A * B * C * /D * /E * F * G     ;4
S5  =  A * /B * C * D * /E * F * G     ;5
S6  =  A * /B * C * D * E * F * G      ;6
S7  =  A * B * C * /D * /E * /F * /G   ;7
S8  =  A * B * C * D * E * F * G       ;8
S9  =  A * B * C * D * /E * F * G      ;9
SA  =  A * B * C * /D * E * F * G      ;A
SB  = /A * /B * C * D * E * F * G      ;B
SC  =  A * /B * /C * D * E * F * /G    ;C
SD  = /A * B * C * D * E * /F * G      ;D
SE  =  A * /B * /C * D * E * F * G     ;E
SF  =  A * /B * /C * /D * E * F * G    ;F
;     STATE TRANSITIONS
S0    :=    COUNT  ->    S1
      +     NOCOUNT ->   S0
      +->             S0
S1    :=    COUNT  ->    S2
      +     NOCOUNT ->   S1
      +->             S0
S2    :=    COUNT  ->    S3
```

รูปที่ 6.8 แสดงแผนภาพของการเขียนแฟ้มอินพุตของโปรแกรม PALASM2

```
        +     NOCOUNT ->    S2 ;
        +->             S0
S3      :=    COUNT  ->    S4
        +     NOCOUNT ->    S3
        +->             S0
S4      :=    COUNT  ->    S5
        +     NOCOUNT ->    S4
        +->             S0
S5      :=    COUNT  ->    S6
        +     NOCOUNT ->    S5
        +->             S0
S6      :=    COUNT  ->    S7
        +     NOCOUNT ->    S6
        +->             S0
S7      :=    COUNT  ->    S8
        +     NOCOUNT ->    S7
        +->             S0
S8      :=    COUNT  ->    S9
        +     NOCOUNT ->    S8
        +->             S0
S9      :=    COUNT  ->    SA
        +     NOCOUNT ->    S9
        +->             S0
SA      :=    COUNT  ->    SB
        +     NOCOUNT ->    SA
        +->             S0
SB      :=    COUNT  ->    SC
        +     NOCOUNT ->    SB
        +->             S0
SC      :=    COUNT  ->    SD
        +     NOCOUNT ->    SC
        +->             S0
SD      :=    COUNT  ->    SE
        +     NOCOUNT ->    SD
        +->             S0
SE      :=    COUNT  ->    SF
        +     NOCOUNT ->    SE
        +->             S0
SF      :=    COUNT  ->    S0
        +     NOCOUNT ->    SF
        +->             S0
;
```

รูปที่ 6.8 (ต่อ)แสดงแผนภาพของการเขียนแฟ้มอินพุตของโปรแกรม PALASM2

```
;       OUTPUTS
;
S0.OUTF :=      VCC     ->      /CYOUT
S1.OUTF :=      VCC     ->      /CYOUT
S2.OUTF :=      VCC     ->      /CYOUT
S3.OUTF :=      VCC     ->      /CYOUT
S4.OUTF :=      VCC     ->      /CYOUT
S5.OUTF :=      VCC     ->      /CYOUT
S6.OUTF :=      VCC     ->      /CYOUT
S7.OUTF :=      VCC     ->      /CYOUT
S8.OUTF :=      VCC     ->      /CYOUT
S9.OUTF :=      VCC     ->      /CYOUT
SA.OUTF :=      VCC     ->      /CYOUT
SB.OUTF :=      VCC     ->      /CYOUT
SC.OUTF :=      VCC     ->      /CYOUT
SD.OUTF :=      VCC     ->      /CYOUT
SE.OUTF :=      VCC     ->      /CYOUT
SF.OUTF :=      VCC     ->      CYOUT
;
;       CONDITION ASSIGNMENT
;
CONDITIONS
COUNT   =       CYIN
NOCOUNT =       /CYIN
SIMULATION
TRACE_ON  CLK CYIN A B C D E F G CYOUT
PRLDF A B C D E F /G
CLOCKF CLK
SETF OE /CYIN
CLOCKF CLK
SETF OE CYIN
CLOCKF CLK
FOR I := 1 TO 16 DO
        BEGIN
                CLOCKF CLK
        END
TRACE_OFF
```

รูปที่ 6.8 (ต่อ)แสดงแผนภาพของการเขียนแฟ้มอินพุตของโปรแกรม PALASM2

ต่อจากนั้นก็ทำการทดสอบโปรแกรมของเครื่องโปรแกรมนี้ โดยการติดต่อผ่านหน้าจอที่ได้ออกแบบไว้ โดยทำการโหลดแฟ้มข้อมูล HEXCNT.JED ขึ้นมาเก็บไว้ที่บัฟเฟอร์เพื่อทำการโปรแกรม เลือกเมนู Buffer และแสดงแฟ้มข้อมูลของ HEXCNT.JED มาแสดงไว้หน้าจอเพื่อให้ผู้ใช้ตรวจสอบว่าเป็นข้อมูลที่ถูกต้อง ต่อจากนั้นจึงได้เลือกเมนูที่เกี่ยวข้องกับตัวชิป ก็คือ การตรวจสอบแบลงก์, การโปรแกรม, การทวนสอบ, การอ่าน ตามหน้าจอที่ได้แสดงไว้ข้างต้นแล้ว เมื่อได้ทำการโปรแกรมอุปกรณ์ PAL เบอร์ 16R8 เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ต่อไปก็เป็นขั้นตอนการนำไปใช้งานจึงนำเอา PAL ตัวนั้นไปต่อลงในบอร์ดวงจรนับเลข 0 ถึง F ต่อไป

```
PALASM PAL ASSEMBLER VZ.23D - MARKET RELEASE (2-14-89)
(C) - COPYRIGHT ADVANCED MICRO DEVICES INC., 1989
TITLE :HEXA DECIMAL OUTPUT COUNTER   AUTHOR : MISS WIPA SANGPISIT
PATTERN :PAL16R8 FOR HEXA DECIMAL OUTPUT COUNTER   COMPANY:CHULALONGKORN UNIVERSITY
REVISION:1.0                DATE :APRIL 21,1994
PAL16R8
THESIS*
QP20*
QF2048*
G0*F0*
L0000 11111111111111111011111111111111*
L0032 11111111111111111111011111111111*
L0064 00000000000000000000000000000000*
L0096 00000000000000000000000000000000*
L0128 00000000000000000000000000000000*
L0160 00000000000000000000000000000000*
L0192 00000000000000000000000000000000*
L0224 00000000000000000000000000000000*
L0256 10111110111111111111111111111111*
L0288 01111111111111011111101111101111*
L0320 11111110111111111011111111011111*
L0352 01111111111111111011111101111111*
L0384 00000000000000000000000000000000*
L0416 00000000000000000000000000000000*
L0448 00000000000000000000000000000000*
L0480 00000000000000000000000000000000*
L0512 01111111111111011111101111101101*
L0544 01111110111111111101111111111111*
L0576 10111111110111111111111111111111*
L0608 11111111111011011111111111111101*
L0640 11111110111111111111111111111110*
L0672 00000000000000000000000000000000*
L0704 00000000000000000000000000000000*
L0736 00000000000000000000000000000000*
L0768 10111111111111011111111111111111*
L0800 01111111111011111011111111111101*
L0832 01111111111111011101110111111101*
L0864 11111111110111110111111111111111*
L0896 00000000000000000000000000000000*
L0928 00000000000000000000000000000000*
L0960 00000000000000000000000000000000*
L0992 00000000000000000000000000000000*
L1024 10111111111111111101111111111111*
L1056 01111101111111011011111111101101*
L1088 01111111111111011011111111011111*
L1120 01111110111111111101111111011111*
L1152 00000000000000000000000000000000*
L1184 00000000000000000000000000000000*
L1216 00000000000000000000000000000000*
L1248 00000000000000000000000000000000*
L1280 01111111111110111111111111111110*
L1312 10111111111111111111101111111111*
L1344 11111101111111111011111011101111*
L1376 01111111110111111111111111111110*
L1408 00000000000000000000000000000000*
L1440 00000000000000000000000000000000*
L1472 00000000000000000000000000000000*
L1504 00000000000000000000000000000000*
L1536 11111111111111011111111111011111*
L1568 01111111110111111011111011111111*
L1600 10111111111111111111111111101111*
L1632 11111101111111111011110111101111*
L1664 11111111110111011111111111111110*
L1696 01111111111111111011111111111110*
L1728 00000000000000000000000000000000*
L1760 00000000000000000000000000000000*
L1792 01111110111111111011111111111111*
L1824 10111111111111111111111111111110*
L1856 01111111111011011011111111111111*
L1888 01111111111111011110111111011111*
L1920 00000000000000000000000000000000*
L1952 00000000000000000000000000000000*
L1964 00000000000000000000000000000000*
L2016 00000000000000000000000000000000*
C737A*
EC08
```

รูปที่ 6.9 แสดงแฟ้มข้อมูล HEXCNT.JED