บทที่ 4

การทำงานของการแปลงตำแหน่งข้อมูลแบบพลศาสตร์

4.1 หน้าที่และลักษณะของตัวแปลงตำแหน่งข้อมูลแบบพลศาสตร์

ตัวแปลงตำแหน่งข้อมูลแบบพลศาสตร์เป็นฮาร์ดแวร์ที่มีหน้าที่ในการแปลงตำแหน่งข้อมูลจากตำแหน่งเสมือนมาเป็นตำแหน่งจริงซึ่งเป็นตำแหน่งในหน่วยความจำหลักเพื่อใช้ในการประมวลผลข้อมูลของหน่วยประมวลผลกลาง ตัวแปลงตำแหน่งข้อมูลนี้ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งมีระบบการจัดการหน่วยความจำเป็นแบบหน่วยความจำเสมือน ในการทำงานของตัวแปลงตำแหน่งข้อมูลแบบพลศาสตร์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ไอบีเอ็ม ระบบ 370 นั้นจะใช้ได้เฉพาะกับหน่วยประมวลผลกลางที่ใช้ EC Mode (Extended-Control Mode)[1] และตัวแปลงตำแหน่งข้อมูลนี้จะทำงานต่อเมื่อบิทที่ 5 ของโปรแกรมสเตตัสเวิร์ด (Program Status Word or PSW) เป็น 1 เท่านั้น ส่วนตำแหน่งเสมือนของข้อมูลนั้นจะรับมาจากส่วนที่เป็นตำแหน่งคำสั่ง (Instruction Address) ซึ่งเป็นข้อมูลส่วนหนึ่งภายในโปรแกรมสเตตัสเวิร์ด และจะถูกแปลงเป็นตำแหน่งจริงโดยการใช้ตารางแปลงตำแหน่ง (Translation Table) ตารางแปลงตำแหน่งที่ใช้ในการทำงานได้แก่ ตารางเซกเมนต์และตารางเพจ ผลที่ได้จากการแปลงตำแหน่งจะเป็นตำแหน่งจริงของข้อมูลที่อยู่ภายในหน่วยความจำหลักซึ่งสามารถนำไปใช้ในการประมวลผลข้อมูลของหน่วยประมวลผลกลางได้โดยทันที

---

[1] IBM, IBM System/370 Principles of Operation, Form GA 22-70005, (Bangkok : IBM Co., Ltd. (Thailand)), p. 58.

4.2 การกำหนดลักษณะของตำแหน่งเล่มอน

ในกรรมวิธีของการแปลงตำแหน่งข้อมูลนั้น สิ่งที่เกี่ยวข้องที่จะต้องกล่าวถึงก่อน คือ ลักษณะของเซกเมนต์และเพจของพื้นที่ในหน่วยความจำที่ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ไอบีเอ็ม ระบบ 370

เซกเมนต์เป็นบลอคของตำแหน่งเล่มอนที่เรียงต่อกันมา เป็นลำดับ (แต่ทางกายภาพของตำแหน่งอาจจะไม่อยู่ต่อกันมาก็ได้) ขนาดของเซกเมนต์ที่ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ไอบีเอ็มระบบ 370 มี 2 ขนาดคือ 65,536 ไบท์ (64 กิโลไบท์) และ 1,048,576 ไบท์ (1 เมกกะไบท์)[1] ตำแหน่งเริ่มต้นของแต่ละเซกเมนต์จะเริ่มที่ตำแหน่งที่เป็นพหุคูณ (Multiple) ของขนาดเล่มอ และขนาดของเซกเมนต์จะถูกกำหนดด้วยข้อมูลภายในรีจิสเตอร์ควบคุมหมายเลข 0 (Control Registor 0)

เพจเป็นบลอคของตำแหน่งเล่มอนที่อยู่ติดกัน (และตำแหน่งทางกายภาพก็จะอยู่ติดกันด้วย) ขนาดของเพจที่ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ไอบีเอ็มระบบ 370 มี 2 ขนาดคือ 2,048 ไบท์ (2 กิโลไบท์) และ 4,096 ไบท์ (4 กิโลไบท์)[2] ตำแหน่งเริ่มต้นของแต่ละเพจจะเริ่มที่ตำแหน่งที่เป็นพหุคูณของขนาดของเพจนั้น และขนาดของเพจจะถูกกำหนดด้วยข้อมูลภายในรีจิสเตอร์ควบคุมหมายเลข 0

จากตำแหน่งเล่มอนที่โปรแกรมอ้างถึง จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

- ดัชนีเซกเมนต์ (Segment Index) เป็นส่วนที่บ่งว่าตำแหน่งเล่มอนนั้นอยู่ในเซกเมนต์ใดในหน่วยความจำเล่มอน และเป็นตัวบ่งว่าจะใช้ข้อมูลใดในตารางเซกเมนต์ (ใช้ตารางเพจใด)

---

[1] IBM, IBM System/370 Principles of Operation, Form GA 22-7000-5, (Bangkok : IBM Co., Ltd. (Thailand.)), p. 58.

[2] Ibid, p. 59.

- ดัชนีเพจ (Page Index) เป็นตัวบ่งว่าตำแหน่งเล่มอนนั้นอยู่ในเพจเฟรมใดในหน่วยความจำหลักโดยใช้ข้อมูลที่อยู่ภายในตารางเพจ

- ดัชนีไบท์ (Byte Inbex) หรือระยะขจัด (Displacement) เป็นตัวบ่งว่าตำแหน่งเล่มอนนั้นอยู่ห่างจากจุดเริ่มต้นของเพจเฟรมที่ตำแหน่งเล่มอนนั้นอยู่เท่าไร

ตำแหน่งเล่มอนนี้จะถูกดึงมาจากตำแหน่งคำสั่งซึ่งมีขนาด 24 บิท และจะถูกนำมาลงในที่เก็บตำแหน่งชั่วคราวซึ่งมีขนาด 32 บิท โดยจะเก็บยัดขวาเพื่อนำไปใช้ในการทำงานของการแปลงตำแหน่งข้อมูลแบบพลศาสตร์ต่อไป ขนาดและตำแหน่งของแต่ละเขตพิกัด (Field Specification) ซึ่งเป็นดัชนีเซกเมนต์ ดัชนีเพจและดัชนีไบท์นั้นขึ้นอยู่กับขนาดของเพจและเซกเมนต์ที่ใช้กับระบบดังแสดงโดยรูปที่ 4.1

4.3 การควบคุม (Control)

ส่วนที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของการแปลงตำแหน่งข้อมูลแบบพลศาสตร์มี 3 ส่วนคือ[1]

- โปรแกรมสเตตัสเวิร์ด
- รีจิสเตอร์ควบคุมหมายเลข 0
- รีจิสเตอร์ควบคุมหมายเลข 1

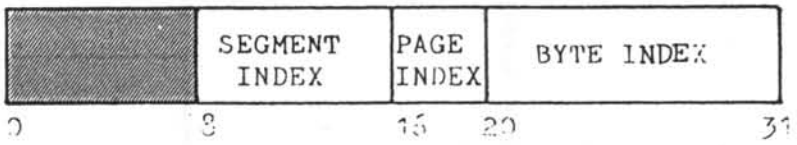
นอกจาก 3 ส่วนนี้แล้วยังมีส่วนควบคุมการทำงานอื่น ๆ ที่อยู่ภายในตารางแปลงตำแหน่งอีกด้วยซึ่งจะได้กล่าวถึงส่วนนี้ในหัวข้อต่อไป

4.3.1 โปรแกรมสเตตัสเวิร์ด

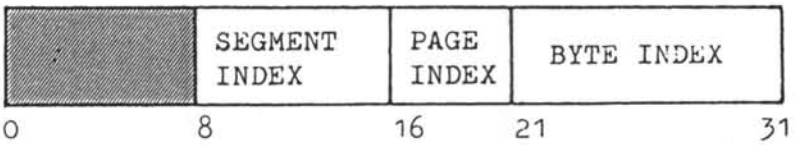
ตัวแปลงตำแหน่งข้อมูลแบบพลศาสตร์จะติดตั้งได้ต่อเมื่อหน่วยประมวลผลกลางเป็นแบบ EC mode เท่านั้น เมื่อติดตั้งแล้วหน่วยประมวลผลกลางสามารถทำงาน

---

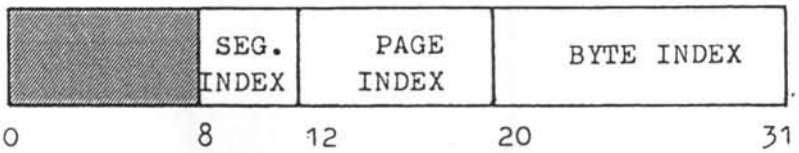
[1]IBM, IBM System/370 Principles of Operation, Form GA 22-7000-5, (Bangkok : IBM Co., Ltd. (Thailand)), p. 58.



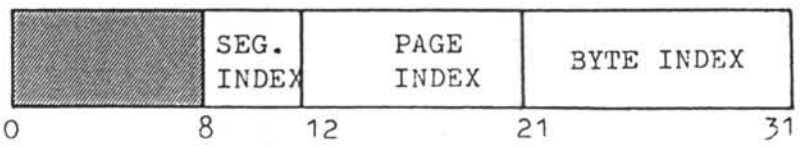
64 K-BYTE SEGMENT & 4 K-BYTE PAGE



64 K-BYTE SEGMENT & 2 K-BYTE PAGE



1 M-BYTE SEGMENT & 4 K-BYTE PAGE



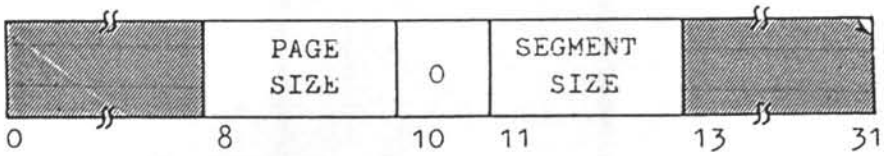
1 M-BYTE SEGMENT & 2 K-BYTE PAGE

รูปที่ 4.1 เยตพิกัดข้อมูลของตำแหน่งเส้มือน

ได้ทั้งแบบที่มีการแปลงตำแหน่งและแบบไม่มีการแปลงตำแหน่งโดยสามารถกำหนดได้ด้วย บิทที่ 5 ของโปรแกรมสเตตัสเวิร์ด ซึ่งเป็นบิทแสดงสภาวะของโหมดของการแปลงตำแหน่งข้อมูล (Translation Mode Bit) หากบิทนี้เป็น 1 แสดงว่ามีการทำงานของตัวแปลงตำแหน่งข้อมูลแบบพลศาสตร์ นั่นคือตำแหน่งที่ได้มาจากตำแหน่งคำสั่งต้องมีการแปลงมาเป็นตำแหน่งจริงก่อนการนำไปใช้ในการประมวลผล แต่ถ้าหากบิทนี้เป็น 0 แสดงว่าไม่มีการแปลงตำแหน่ง ตำแหน่งที่ได้จากตำแหน่งคำสั่งจะถือเป็นตำแหน่งจริงและนำไปใช้ในการประมวลผลได้โดยทันที

4.3.2 รีจิสเตอร์ควบคุมหมายเลข 0

เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการบ่งขนาดของเพจและเซกเมนต์ที่ใช้ภายในระบบ ดังแสดงโดยรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 เขตพิกัดของรีจิสเตอร์ควบคุมหมายเลข 0

ขนาดของเพจ (Page Size)

จะถูกกำหนดด้วยบิท 8 และ 9 ของรีจิสเตอร์ควบคุมหมายเลข 0 โดยสามารถกำหนดได้ดังตารางที่ 4.1

รีจิสเตอร์ควบคุมหมายเลข 0		ขนาดของเพจ (ไบท์)
บิท 8	บิท 9	
0	1	2,048
1	0	4,096

ตารางที่ 4.1 การกำหนดขนาดของเพจ

หากข้อมูลภายในบิท 8 และ 9 เป็นรูปอื่น ๆ ที่ไม่ได้ตรงตามตาราง 4.1 จะเกิดข้อผิดพลาดด้านรูปแบบของการแปลง (Translation Specification Exception) (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก.) ในระหว่างที่มีการแปลงตำแหน่งและการประมวลผลข้อมูลนี้จะถูกสัพเพรส (Suppress) (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข.) และค่าภายในบิท 8 และ 9 นี้จะถูกกำหนดค่าเป็น 0 ในตอนเริ่มต้นการทำงานของระบบ

ขนาดของเซ็กเมนต์ (Segment Size)

จะถูกกำหนดด้วยบิท 11 และ 12 ของรีจิสเตอร์ควบคุมหมายเลข 0 โดยสามารถกำหนดได้ดังตารางที่ 4.2

รีจิสเตอร์ควบคุมหมายเลข 0		ขนาดของเซ็กเมนต์ (ไบท์)
บิท 11	บิท 12	
0	0	65,536
1	0	1,048,576

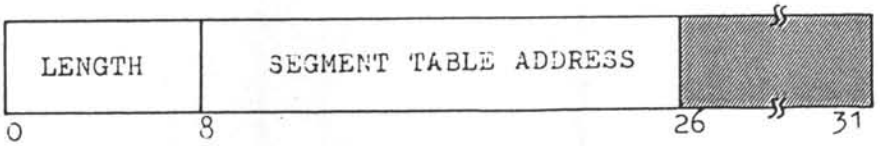
ตารางที่ 4.2 การกำหนดขนาดของเซ็กเมนต์

หากบิท 12 เป็น 1 จะเกิดข้อผิดพลาดด้านรูปแบบของการแปลงในระหว่างที่มีการแปลงตำแหน่ง และการประมวลผลข้อมูลนี้จะถูกสัพเพรส และในตอนเริ่มต้นการทำงานของระบบค่าภายในบิท 11 และ 12 นี้จะเป็น 0

บิท 10 ของรีจิสเตอร์ควบคุมหมายเลข 0 จะต้องเป็น 0 เสมอ หากไม่เป็น 0 จะเกิดข้อผิดพลาดด้านรูปแบบของการแปลงในระหว่างที่มีการแปลงตำแหน่งและการประมวลผลข้อมูลนี้จะถูกสัพเพรส หากระบบไม่มีการติดตั้งตัวแปลงตำแหน่งข้อมูลแบบพลศาสตร์จะไม่มีการตรวจสอบบิทนี้ในระหว่างการทำงาน

4.3.3 รีจิสเตอร์ควบคุมหมายเลข 1

เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการกำหนดความยาวและตำแหน่งของตารางเซกเมนต์ ดังแสดงโดยรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 เขตฟิลด์ของรีจิสเตอร์ควบคุมหมายเลข 1

ความยาวของตารางเซกเมนต์ (Segment Table Length)

จะถูกกำหนดด้วยข้อมูลภายในบิท 0 ถึง 7 ของรีจิสเตอร์ควบคุมหมายเลข 1 โดยที่แต่ละหน่วยความยาวจะมีค่าเท่ากับ 64 ไบท์ หน่วยความยาวของตารางเซกเมนต์จะเท่ากับค่าภายในบิท 0 ถึง 7 บวกกับ 1 ข้อมูล ภายในเขตข้อมูลนี้จะใช้ในการตรวจสอบว่าดัชนีเซกเมนต์ที่อยู่ภายในตำแหน่งเสมือนนั้นอ้างถึงนอกตารางเซกเมนต์ที่มีอยู่หรือไม่

ตำแหน่งของตารางเซกเมนต์ (Segment Table Address)

เนื่องจากตารางเซกเมนต์อยู่ภายในหน่วยความจำหลัก ดังนั้นการใช้ข้อมูลในตารางดังกล่าวเพื่อทำการแปลงตำแหน่งเสมือนมาเป็นตำแหน่งจริงจะต้องทราบถึงตำแหน่งของตารางเซกเมนต์ด้วย ตำแหน่งนี้จะถูกกำหนดด้วยข้อมูลภายในบิท 8 ถึง

25 ของรีจิสเตอร์ควบคุมหมายเลข 1 ซึ่งมีความยาว 18 บิท แต่เนื่องจากในการอ้างถึงตำแหน่งข้อมูลภายในหน่วยความจำหลักต้องใช้ความยาวถึง 24 บิท ดังนั้นตำแหน่งของตารางเซกเมนต์ที่ได้จากรีจิสเตอร์ควบคุมหมายเลข 1 จะต้องต่อท้ายด้วย 0 อีก 6 ตัว จึงจะใช้อ้างถึงตำแหน่งเริ่มต้นของตารางได้

4.4 ตารางที่ใช้ในการแปลงตำแหน่งข้อมูล (Translation Tables)

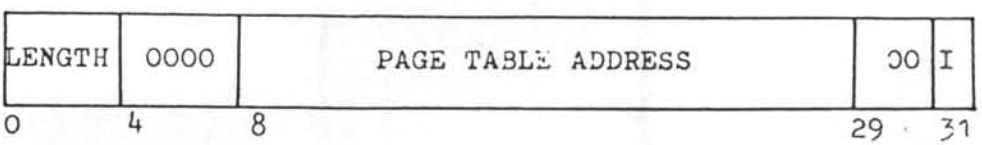
ตารางที่ใช้ในกรรมวิธีการแปลงตำแหน่งข้อมูลได้แก่[1]

- ตารางเซกเมนต์ (Segment Table)
- ตารางเพจ (Page Tables)

ตารางทั้งสองนี้จะอยู่ในหน่วยความจำหลักตลอดเวลา

4.4.1 ตารางเซกเมนต์

ในแต่ละระบบของหน่วยความจำเสมือนจะมีตารางเซกเมนต์อยู่หนึ่งตารางเสมอ (หากระบบของหน่วยความจำเสมือน มีขนาด 16 เมกกะไบท์หรือน้อยกว่า) ในแต่ละข้อมูลของตารางเซกเมนต์จะบ่งถึงความยาว สถานะและตำแหน่งของตารางเพจของแต่ละเซกเมนต์ เขตพิกัดของแต่ละข้อมูลได้แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 เขตพิกัดข้อมูลภายในตารางเซกเมนต์

---

[1] IBM, IBM System/370 Principles of Operation, Form GA 22-7000-5, (Bangkok : IBM Co., Ltd. (Thailand)), p. 59.

ความยาวของตารางเพจ (Page-Table Length)

จะถูกกำหนดเขตข้อมูลด้วยบิทที่ 0 ถึง 3 ในแต่ละข้อมูลภายในตารางเซกเมนต์ โดยที่แต่ละหน่วยความยาวจะมีค่าเท่ากับ 1/16 ของขนาดสูงสุดของตารางเพจ ขนาดสูงสุดของตารางเพจขึ้นอยู่กับขนาดของเซกเมนต์และขนาดของเพจ หน่วยความยาวของตารางเพจจะเท่ากับค่าภายในบิท 0 ถึง 3 บวกกับ 1 ค่าของหน่วยความยาวของตารางเพจภายในเขตข้อมูลนี้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับ 4 บิททางซ้ายของดัชนีเพจเพื่อทำการตรวจสอบว่าดัชนีเพจนั้นอ้างถึงตำแหน่งของข้อมูลที่อยู่ภายในตารางเซกเมนต์หรือไม่

ตำแหน่งของตารางเพจ (Page-Table Address)

จะถูกกำหนดด้วยค่าภายในบิท 8 ถึง 28 ของข้อมูล และเพื่อใช้อ้างถึงตำแหน่งของตารางเพจ ข้อมูลในเขตนี้จะต้องต่อท้ายด้วย 0 อีก 3 ตัวเพื่อสร้างเป็นตำแหน่งข้อมูลขนาด 24 บิท ซึ่งเป็นตำแหน่งจริงของตารางเพจในหน่วยความจำหลักได้

บิทแสดงสถานะของเซกเมนต์ (Segment Status Bit)

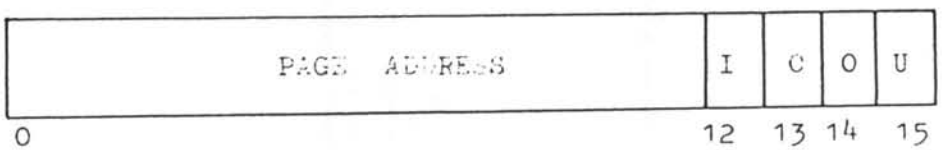
กำหนดด้วยค่าภายในบิท 31 ของข้อมูล บิทนี้จะแสดงสถานะให้ทราบว่าเซกเมนต์ที่สัมพันธ์กับข้อมูลในตารางเซกเมนต์นี้ว่างหรือไม่ หากบิทนี้เป็น 0 การแปลงตำแหน่งข้อมูลจะยังคงดำเนินต่อไปโดยการใช้ตารางเพจที่แสดงตำแหน่งด้วยข้อมูลภายในตารางเซกเมนต์ แต่ถ้าหากบิทนี้เป็น 1 จะเกิดข้อผิดพลาดของการแปลงตำแหน่งเซกเมนต์ (Segment Translation Exception) (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก.) และการประมวลผลของข้อมูลที่ใช้ตำแหน่งเสมือนนั้นจะนัลลิไฟด์ (Nullified) (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข.)

ส่วนค่าภายในบิท 4 ถึง 7 และ 29 ถึง 30 จะต้องเป็น 0 เสมอ หากในระหว่างการแปลงตำแหน่งข้อมูลมีการตรวจพบว่าค่าภายในบิทเหล่านี้ไม่เป็น 0

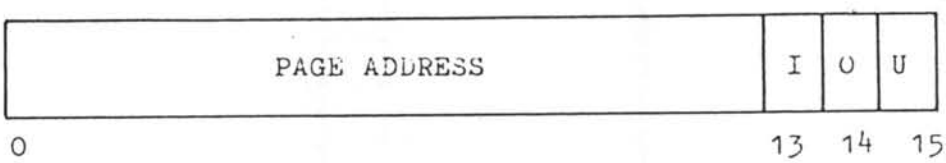
จะเกิดข้อผิดพลาดของรูปแบบของการแปลงตำแหน่งและการประมวลผลข้อมูลที่ตำแหน่งนั้นจะถูกสัพเพรส

4.4.2 ตารางเพจ

ภายในแต่ละข้อมูลของตารางเพจจะบ่งถึงตำแหน่งของเพจและสถานะของเพจนั้น ๆ เซตพิกัดของแต่ละข้อมูลได้แสดงดังรูปที่ 4.5 ตำแหน่งของแต่ละเซตพิกัดจะต่างกันขึ้นอยู่กับขนาดของเพจ



ขนาดของเพจเท่ากับ 4096 ไบท์



ขนาดของเพจเท่ากับ 2048 ไบท์

รูปที่ 4.5 เซตพิกัดข้อมูลภายในตารางเพจ

ตำแหน่งของเพจ (Page Address)

เซตข้อมูลนี้จะถูกกำหนดด้วยค่าภายในบิท 0 ถึง 11 หากขนาดของเพจเป็น 4096 ไบท์ และหากขนาดของเพจเป็น 2048 ไบท์ ก็จะกำหนดด้วยค่าภายในบิท 0 ถึง 12 ค่าภายในเซตข้อมูลนี้จะเป็นบิทตำแหน่งนัยสำคัญมากที่สุด(Most Significant Bits) ของตำแหน่งจริงที่ใช้อ้างถึงตำแหน่งของเพจภายในหน่วยความจำหลัก และเมื่อนำมาต่อท้ายด้วยค่าของดัชนีไบท์ก็จะได้ค่าของตำแหน่งจริง 24 บิท ตามต้องการ

บิทแสดงสถานะของเพจ (Page Status Bit)

หากขนาดของเพจเป็น 4096 ไบท์ บิท 12 จะใช้แสดงถึงสถานะของเพจนั้น และหากขนาดของเพจเป็น 2048 ไบท์ จะใช้บิท 13 แสดงสถานะของเพจนั้น ๆ แทน บิทนี้จะแสดงว่าเพจที่อ้างถึงอยู่ในหน่วยความจำหลักขณะที่มีการแปลงตำแหน่งข้อมูลหรือไม่ หากบิทนี้มีค่าเป็น 0 แสดงว่าเพจนั้นอยู่ในหน่วยความจำหลักแล้ว หากเป็น 1 แสดงว่าเพจนั้นยังไม่อยู่ในหน่วยความจำหลัก และจะทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการแปลงตำแหน่งเพจ (Page-Translation Exception) หรือเพจฟอลท์นั่นเอง และการประมวลผลข้อมูลที่ตำแหน่งนั้นจะถือเป็นนัลลิไฟด์

คีย์หน่วยความจำ (Storage Key)

เขตข้อมูลนี้จะถูกกำหนดด้วยบิท 8 ถึง 11 จะแสดงถึงค่าของคีย์หน่วยความจำที่สอดคล้องกับพาติชันที่เพจนั้น ๆ อยู่ เขตข้อมูลนี้จะถือเป็นคีย์หน่วยความจำต่อเมื่อบิทแสดงสถานะของเพจ (บิท 13) เป็น 1 (เมื่อขนาดของเพจเป็น 2048 ไบท์) หรือบิท 12 เป็น 1 (เมื่อขนาดของเพจเป็น 4096 ไบท์) เขตข้อมูลนี้จะนำมาใช้กับส่วนจัดการเพจ (Page Manager) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบควบคุมการทำงาน

บิทแสดงสถานะของตำแหน่งของเพจ (Page Address Status Bit)

จะถูกกำหนดด้วยบิท 0 หากมีค่าเป็น 0 แสดงว่าตำแหน่งของเพจผิดพลาด หากเป็น 1 แสดงว่าถูกต้อง บิทนี้จะนำมาใช้กับส่วนจัดการเพจเช่นกัน

บิทแสดงความถูกต้องของข้อมูลภายในเพจ (Page Valid Bit)

จะถูกกำหนดด้วยบิท 15 เมื่อมีค่าเป็น 0 แสดงว่าเพจนั้นจะต้องถูกอ่านมาจากหน่วยความจำภายนอกเสียก่อน หากมีค่าเป็น 1 แสดงว่าเพจที่อยู่ในหน่วยความจำหลักนั้นถูกต้องแล้ว ไม่ต้องมีการอ่านเพจจากหน่วยความจำภายนอกเข้ามาใหม่อีก

การกำหนดค่าเริ่มต้นของข้อมูลภายในตารางเพจ

ทุก ๆ ข้อมูลซึ่งใช้อ้างถึงตำแหน่งของเพจซึ่งอยู่ในเนื้อที่ของซุปเปอร์ไวเซอร์ (Supervisor Area) จะถูกกำหนดข้อมูลเริ่มต้นดังนี้

บิท 13 = 0

บิท 14 = 0

บิท 15 = 1

บิท 0 ถึง 11 (12) = ตำแหน่งนัยสำคัญมากสุดของเพจภายในหน่วยความจำหลัก

ทุก ๆ ข้อมูลซึ่งอ้างถึงตำแหน่งของเพจซึ่งอยู่ภายในเนื้อที่ของพาติชันจริง (Real Partition) จะถูกกำหนดค่าเริ่มต้นดังนี้

บิท 13 = 0

บิท 14 = 0

บิท 15 = 1

บิท 0 = 1

บิท 8 ถึง 11 = คีย์หน่วยความจำของพาติชัน

ทุก ๆ ข้อมูลซึ่งอ้างถึงตำแหน่งของเพจซึ่งอยู่ภายในเนื้อที่ของพาติชันเสมือน (Virtual Partition) จะถูกกำหนดค่าเริ่มต้นดังนี้

บิท 13 = 1

บิท 14 = 0

บิท 15 = 1

บิท 0 = 0

บิท 8 ถึง 11 = คีย์หน่วยความจำที่สอดคล้องกับพาติชันที่เพจนี้อยู่

ทุก ๆ ข้อมูลที่อ้างถึงตำแหน่งของเพจที่เหลือทั้งหมด จะถูกกำหนดค่าเริ่มต้นดังนี้

บิท 13 = 0

บิท 14 = 0

บิท 15 = 1

บิท 0 = 1

บิท 1 ถึง 11 (12) = 0 (ขึ้นอยู่กับขนาดของเพจ)

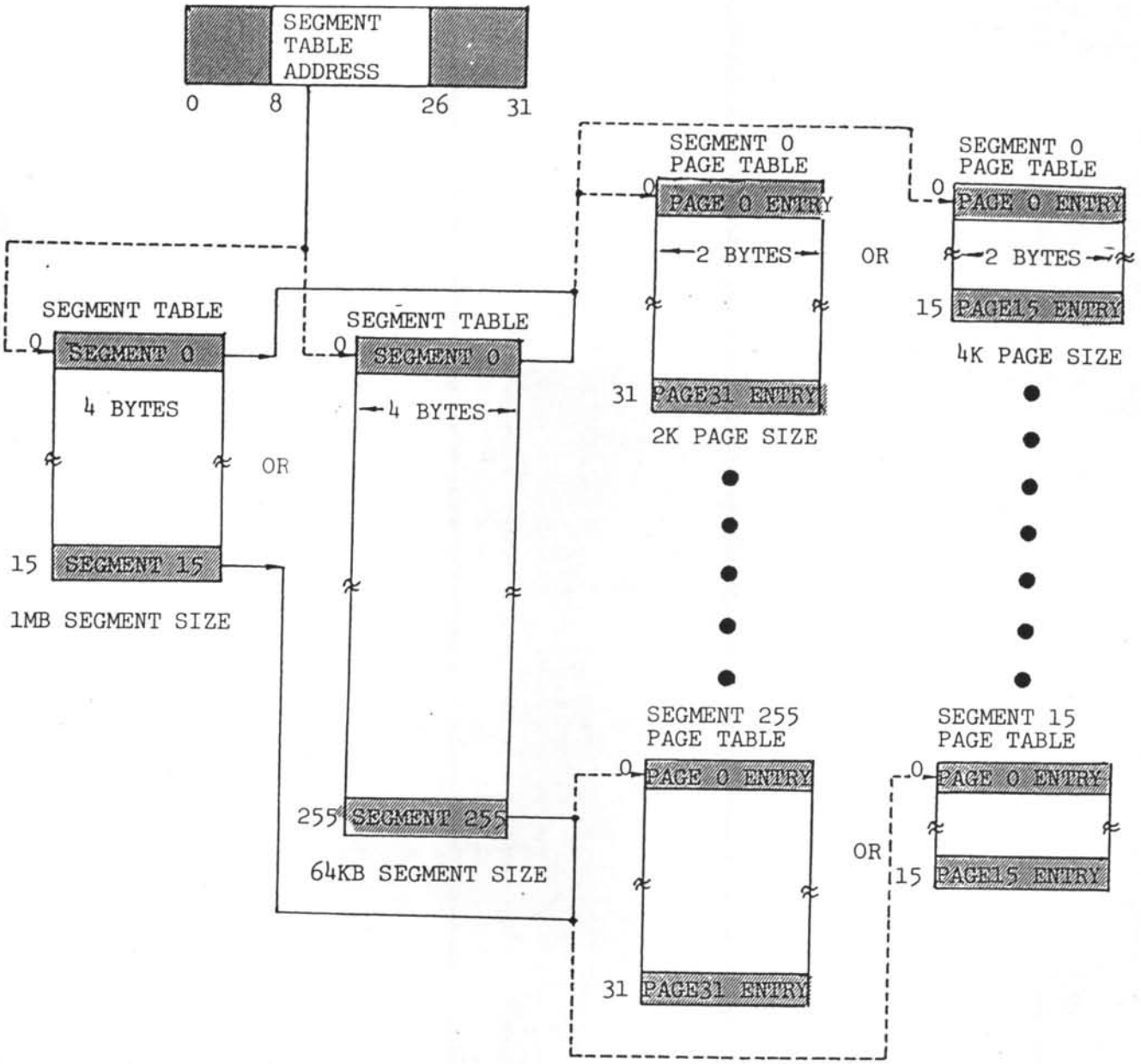
การกำหนดค่าเริ่มต้นเหล่านี้ระบบควบคุมการทำงานจะจัดการทำหลังจากที่มีการทำ IPL (Initial Program Loading) แล้ว

สรุปลักษณะของตารางเซกเมนต์และตารางเพจที่ใช้ในการทำงานของตัวแปลงตำแหน่งข้อมูลแบบพลศาสตร์ ดังรูปที่ 4.6

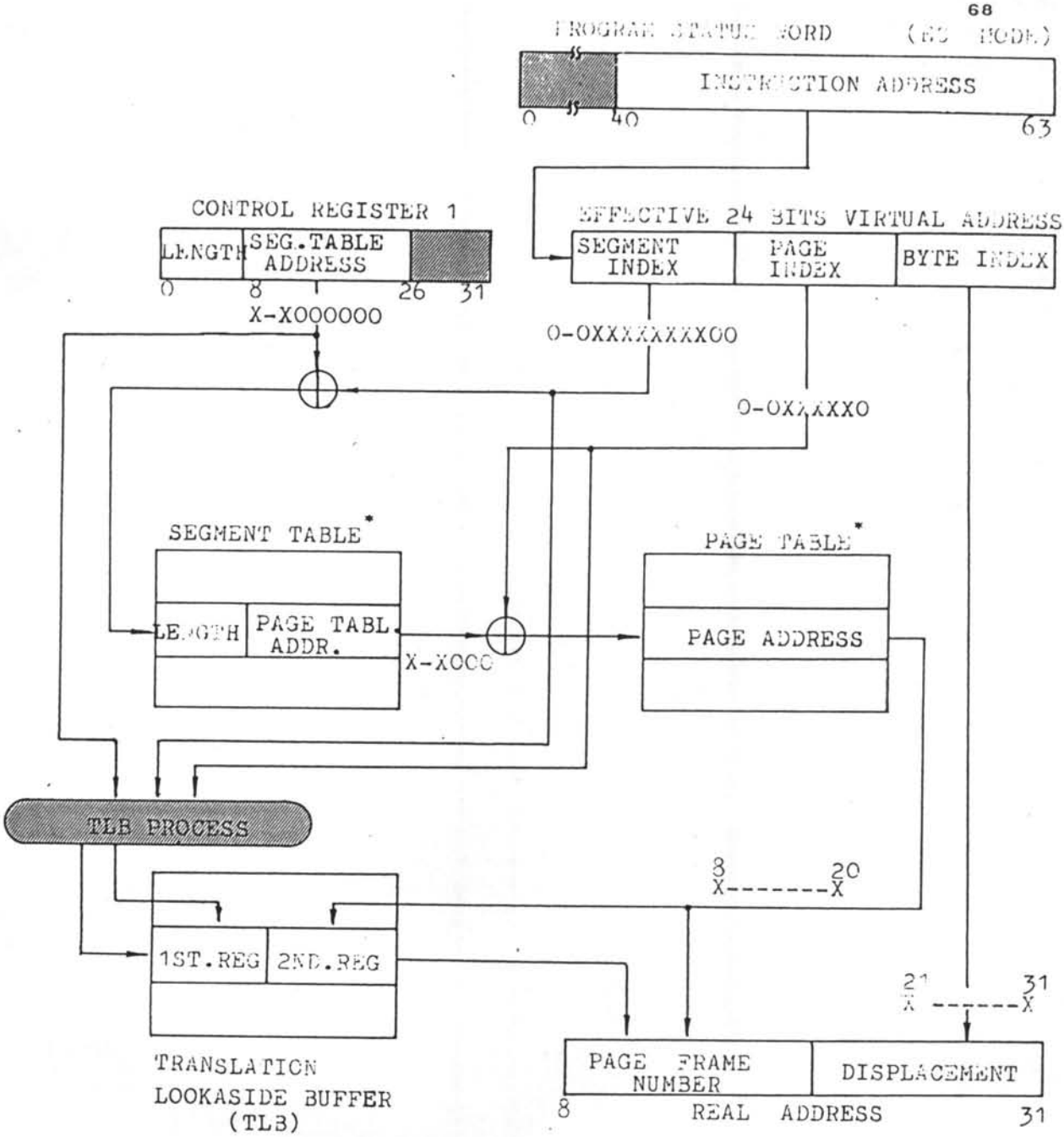
4.5 กรรมวิธีในการแปลงตำแหน่งข้อมูล

กรรมวิธีในการแปลงตำแหน่งข้อมูลของตัวแปลงตำแหน่งข้อมูลแบบพลศาสตร์จะใช้กรรมวิธีที่เรียกว่า "การค้นหาข้อมูลภายในตาราง" (Table Lookup) ซึ่งตารางที่ใช้คือ ตารางเซกเมนต์และตารางเพจและนอกจากนั้นยังต้องทำการตรวจสอบข้อมูลภายในตารางและรีจิสเตอร์ควบคุมหมายเลข 0 และ 1 ด้วย ขั้นตอนในการแปลงตำแหน่งข้อมูล ได้แสดงอย่างสังเขปดังรูปที่ 4.7

จากลักษณะการแปลงตำแหน่งข้อมูลซึ่งเป็นแบบการค้นหาข้อมูลภายในตาราง จะเห็นว่าต้องใช้เวลาในการทำงานบ้าง ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานจึงมีการนำเอา ทรานสเลชัน ลุคอไซด์บัฟเฟอร์ (Translation Lookaside Buffer) TLB เข้ามาช่วย ซึ่งการทำงานของ TLB จะช่วยลดเวลาในการแปลงตำแหน่งข้อมูลลงบ้าง รายละเอียดของลักษณะและการทำงานของ TLB ที่ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ไอบีเอ็มระบบ 370 จะได้กล่าวโดยละเอียดในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 4.6 ตารางเซกเมนต์และตารางเพจที่ใช้ในการแปลงตำแหน่งข้อมูล



*IN MAIN STORAGE

รูปที่ 4.7 แผนผังการทำงานของการแปลงตำแหน่งข้อมูลสำหรับ
เซกเมนต์ขนาด 64 กิโลไบท์และเพจขนาด 2 กิโลไบท์

ในการอธิบายการทำงานของการแปลงตำแหน่งข้อมูลแบบพลศาสตร์นั้น จะกระทำโดยการใช้ผังงานประกอบการอธิบายเป็นขั้นตอนอย่างละเอียด และในการอธิบายนี้จะตั้งสมมติฐานว่าหน่วยประมวลผลกลางใช้ระบบ EC mode และบิทที่ 5 ของโปรแกรมสเตตัสเวิร์ด เป็น 1

4.5.1 ขั้นตอนการทำงานหลักของการแปลงตำแหน่งข้อมูล

ดูผังงานที่ 4.1 ประกอบคำอธิบาย

1. ตัวแปลงตำแหน่งข้อมูลจะรับเอาตำแหน่งเสมือนจากตำแหน่งคำสั่งภายในโปรแกรมสเตตัสเวิร์ด

2. เริ่มการทำงานของทรานสเลชันลุคอไซด์บัฟเฟอร์ (อ่านรายละเอียดในหัวข้อ 4.6)

3. แปลงตำแหน่งโดยการใช้ตารางข้อมูล ได้แก่ ตารางเพจและตารางเซกเมนต์

4. กำหนดรูปแบบของตำแหน่งจริง

5. ทำการเปลี่ยนแปลงข้อมูลภายในทรานสเลชันลุคอไซด์บัฟเฟอร์

6. สิ้นสุดการแปลงตำแหน่ง

4.5.2 ขั้นตอนการทำงานของตัวแปลงตำแหน่งข้อมูลแบบพลศาสตร์

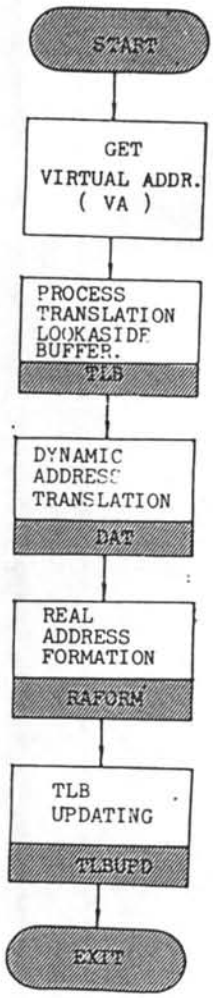
ดูผังงานที่ 4.2 ประกอบคำอธิบาย

1. ตรวจสอบข้อมูลภายในรีจิสเตอร์ควบคุมหมายเลข 0 เพื่อกำหนดขนาดของเซกเมนต์และเพจ

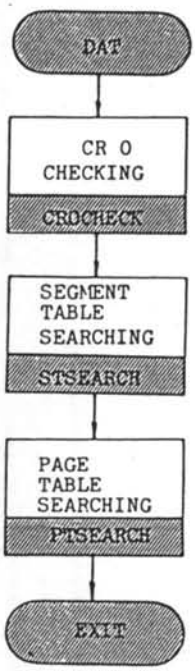
2. หาตำแหน่งของตารางเพจที่ต้องการโดยการค้นหาข้อมูลภายในตารางเซกเมนต์ที่สอดคล้องกันกับค่าของดัยนีเซกเมนต์

3. หาตำแหน่งของเพจที่ต้องการว่าอยู่ตำแหน่งใดของหน่วยความจำหลักโดยการค้นหาภายในข้อมูลของตารางเพจที่สอดคล้องกับค่าของดัยนีเพจ

4. สิ้นสุดการทำงานของขั้นตอนนี้



ฝังงานที่ 4.1 การทำงานหลักของการแปลงตำแหน่งข้อมูล



ผังงานที่ 4.2 การทำงานของตัวแปลงตำแหน่งข้อมูลแบบพลศาสตร์

4.5.3 ขั้นตอนการตรวจสอบข้อมูลภายในรีจิสเตอร์ควบคุมหมายเลข 0

ดูผังงานที่ 4.3 ประกอบคำอธิบาย

1. ทำการตรวจสอบบิท 8 และ 9 ของรีจิสเตอร์ควบคุมหมายเลข 0 หากมีค่าเป็น 0 และ 1 ตามลำดับ แสดงว่าขนาดของเพจจะถูกกำหนดให้เป็น 2048 ไบท์ หากเป็น 1 และ 0 ขนาดของเพจจะถูกกำหนดให้เป็น 4096 ไบท์

2. พร้อม ๆ กันกับการทำงานในข้อที่ 1 บิท 11 และ 12 ของรีจิสเตอร์ควบคุมหมายเลข 0 ก็จะถูกตรวจสอบเพื่อกำหนดขนาดของเซกเมนต์ หากมีค่าเป็น 00 ขนาดของเซกเมนต์จะถูกกำหนดเป็น 65,536 ไบท์ หากมีค่าเป็น 10 ขนาดของเซกเมนต์จะถูกกำหนดเป็น 1,048,576 ไบท์

3. หากข้อมูลภายในบิท 8, 9, 11 และ 12 ไม่เป็นดังข้อ 1 และ 2 แล้ว จะเกิดข้อผิดพลาดด้านรูปแบบของการแปลงตำแหน่งขึ้น การประมวลผลข้อมูลที่ตำแหน่งนี้จะถูกสัพเพรส และจะสิ้นสุดการทำงานของการแปลงตำแหน่งข้อมูลแบบพลศาสตร์

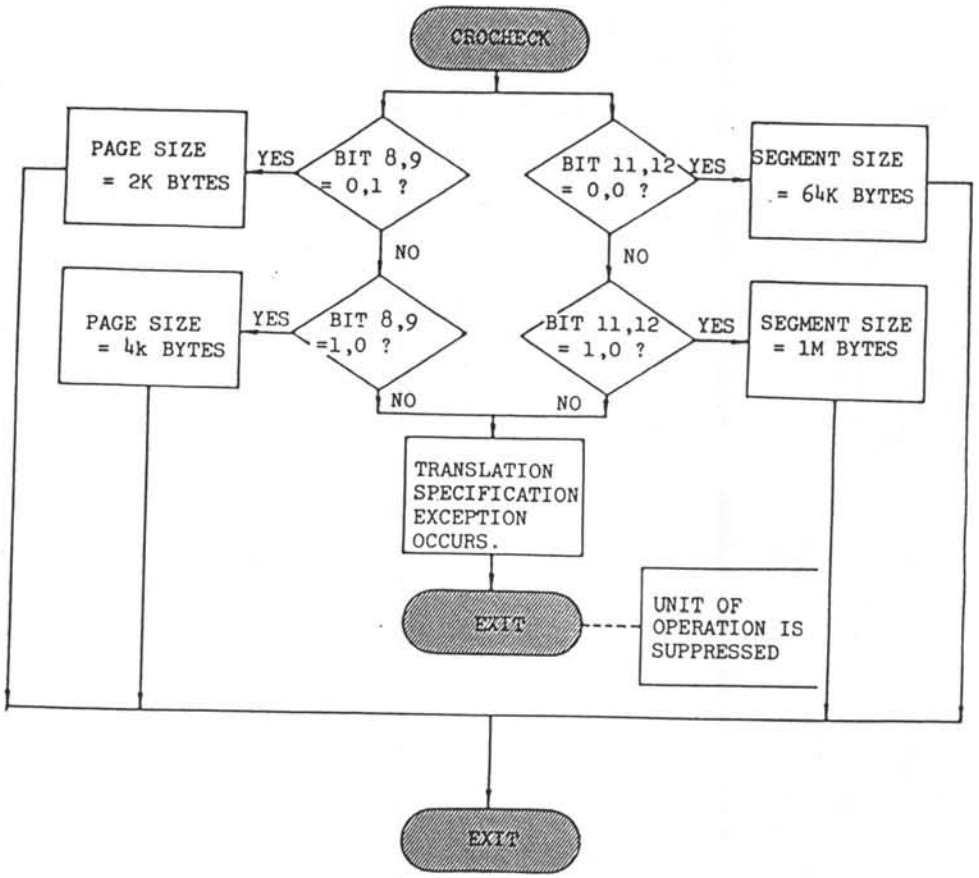
4.5.4 ขั้นตอนการหาตำแหน่งและตรวจสอบข้อมูลภายในตารางเซกเมนต์

ดูผังงานที่ 4.4 ประกอบคำอธิบาย

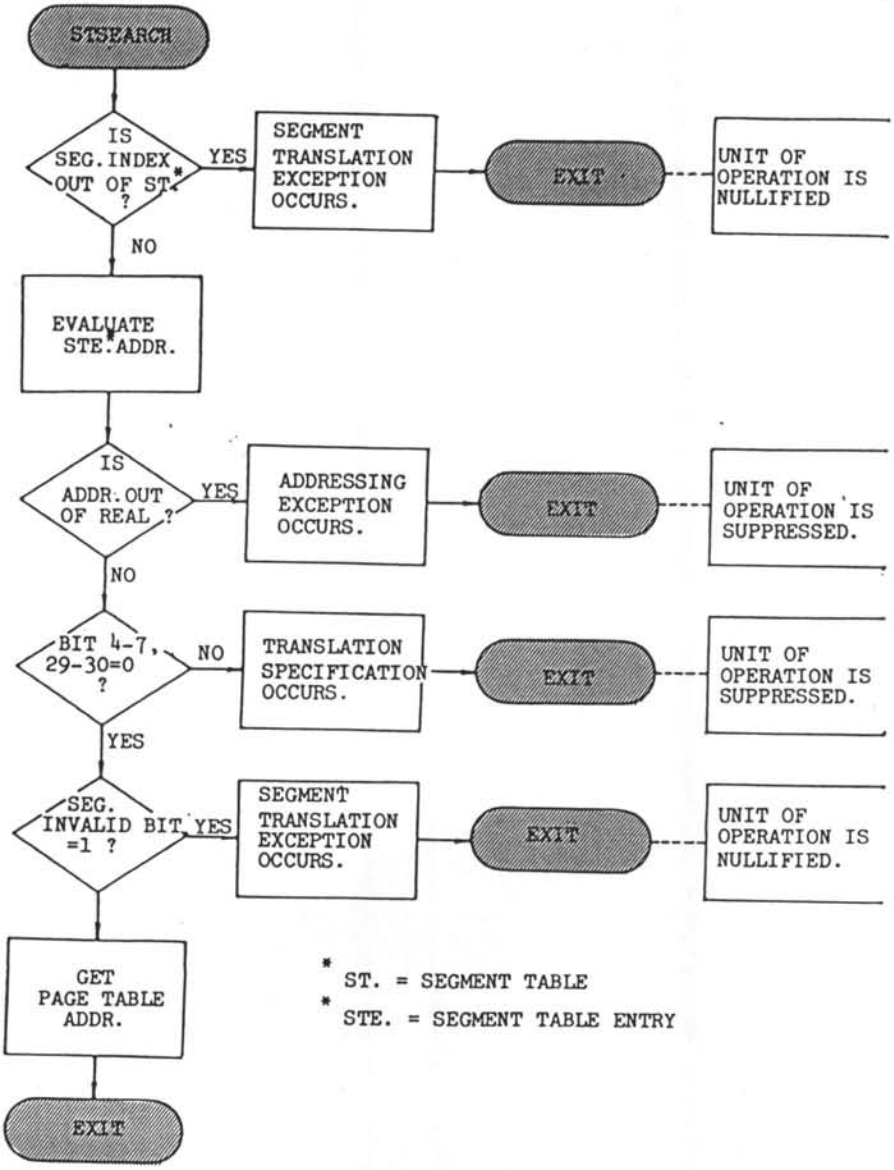
1. ทำการตรวจสอบว่าดัชนีเซกเมนต์อ้างถึงตำแหน่งข้อมูลภายในตารางเซกเมนต์หรือไม่ โดยนำเอาค่าของดัชนีเซกเมนต์มาเทียบกับค่าความยาวของตารางเซกเมนต์ในรีจิสเตอร์ควบคุมหมายเลข 1 ลักษณะของการเปรียบเทียบขึ้นอยู่กับขนาดของเซกเมนต์

หากขนาดของเซกเมนต์เป็น 1 เมกกะไบท์ ทุก ๆ ข้อมูลภายในตารางเซกเมนต์จะมีค่าของความยาวของตารางเพจเป็น 0 หมด

หากขนาดของเซกเมนต์เป็น 64 กิโลไบท์ การเปรียบเทียบจะกระทำโดยนำเอาค่าของดัชนีเซกเมนต์ของตำแหน่งเลื่อนมาต่อด้วย 0 อีก 4 ตัว แล้วนำไปเปรียบเทียบกับความยาวของตารางเซกเมนต์ภายในรีจิสเตอร์ควบคุมหมายเลข 1 หากมีค่าน้อยกว่าจะเกิดข้อผิดพลาดด้านการแปลงตำแหน่งของเซกเมนต์ และการประมวล



ผังงานที่ 4.3 การตรวจสอบข้อมูลเพื่อกำหนดขนาดของเซกเมนต์และเพจ



ฝังงานที่ 4.4 การหาตำแหน่งและตรวจสอบข้อมูลภายในตารางเซกเมนต์

ผลข้อมูลที่ตำแหน่งนี้จะนัลลิไฟด์ หากมากกว่า แสดงว่าดัยนีเซกเมนต์อ้างถึงภายในตาราง เซกเมนต์

2. หาตำแหน่งข้อมูลภายในตาราง เซกเมนต์ โดยการนำค่าของตำแหน่งตาราง เซกเมนต์ต่อท้ายด้วย 0 อีก 6 ตัว และนำไปบวกกับค่าของดัยนีเซกเมนต์ที่จัดตำแหน่งใหม่ให้บิททำยสุดอยู่ที่ตำแหน่งที่ 29 และ 0 ต่อท้ายอีก 2 ตัว

หากตำแหน่งของข้อมูลภายในตาราง เซกเมนต์ที่ได้อ้าง เกินตำแหน่งจริงของหน่วยความจำหลักที่ติดตั้งกับระบบ จะเกิดข้อผิดพลาดของการอ้างตำแหน่งข้อมูล (Address Exception) (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก.) และการประมวลผลข้อมูลที่ตำแหน่งนี้จะถูกสัพเพรส

3. ทำการตรวจสอบข้อมูลภายในตาราง เซกเมนต์ (บิทที่ 4 ถึง 7 และ 29 ถึง 30) หากเป็น 0 หมดจะถูกต้อง แต่ถ้าหากมีบิทใดบิทหนึ่งเป็น 1 จะเกิดข้อ ผิดพลาดด้านรูปแบบของการแปลงตำแหน่งขึ้นและการประมวลผลข้อมูลที่ตำแหน่งนี้จะถูกสัพเพรส

4. ทำการตรวจสอบบิทแสดงสถานะของ เซกเมนต์ หากเป็น 1 แสดงว่าไม่มีเซกเมนต์ที่อ้างถึงมีตาราง เพจประจำอยู่ จึงเกิดข้อผิดพลาดด้านการแปลงตำแหน่ง เซกเมนต์ และการประมวลผลข้อมูลที่ตำแหน่งนี้จะนัลลิไฟด์ หากเป็น 0 แสดงว่าข้อมูลภายในเซกเมนต์ที่อ้างถึงมีตาราง เพจประจำอยู่แล้ว จึงสามารถทำงานขั้นต่อไปได้

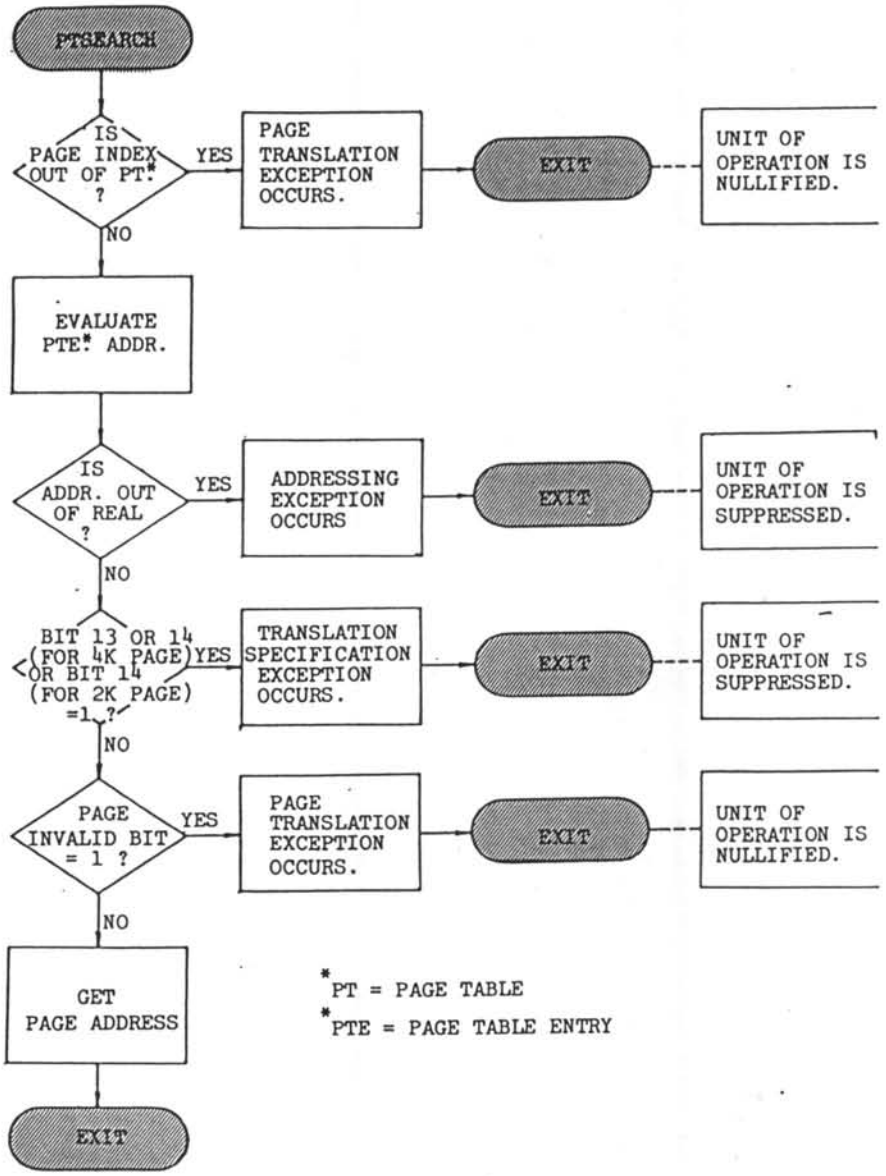
5. นำข้อมูลส่วนที่เป็นตำแหน่งของตาราง เพจไปใช้ในการหาตำแหน่งของข้อมูลภายในตาราง เพจต่อไป

6. สิ้นสุดการทำงานในขั้นตอนนี้

4.5.5 ขั้นตอนการหาตำแหน่งและตรวจสอบข้อมูลภายในตาราง เพจ

ดูผังงานที่ 4.5 ประกอบคำอธิบาย

1. ทำการตรวจสอบว่าดัยนีเพจที่อ้างถึงอยู่ภายในตาราง เพจหรือไม่ โดยนำเอาค่าของ 4 บิททางซ้ายมือของดัยนีเพจมาเปรียบเทียบกับค่าของความยาวของ



ฝังงานที่ 4.5 การหาตำแหน่งและตรวจสอบข้อมูลภายในตารางเพจ

ตารางเพจ (บิทที่ 0 ถึง 3 ของข้อมูลภายในตารางเซกเมนต์ซึ่งได้จากขั้นตอน 4.5.4)

หากค่าของความยาวของตารางเพจน้อยกว่าค่าของดัยนีเพจจะเกิดข้อผิดพลาดของการแปลงตำแหน่งของเพจขึ้นและการประมวลผลข้อมูลที่ตำแหน่งนี้จะนัลลิ-ไฟต์ หากไม่มากกว่าแสดงว่าดัยนีเพจอ้างถึงข้อมูลที่อยู่ภายในตารางเพจ

2. หาตำแหน่งของข้อมูลภายในตารางเพจ โดยการนำเอาค่าของตำแหน่งของตารางเพจที่ได้จากขั้นตอน 4.5.4 มาต่อท้ายด้วย 0 อีก 3 ตัว และนำไปบวกกับค่าของดัยนีเพจ (การบวกค่าทั้งสองจะทำโดยการจัดตำแหน่งของดัยนีเพจใหม่โดยให้บิทขวาสุดอยู่ที่ตำแหน่งที่ 30 และมี 0 ต่อท้ายอีก 1 ตัว)

3. ทำการตรวจสอบข้อมูลที่หาตำแหน่งได้จากข้อ 2 (บิทที่ 13, 14 สำหรับเพจขนาด 4 กิโลไบท์ หรือบิทที่ 14 สำหรับเพจขนาด 2 กิโลไบท์) หากเป็น 0 แสดงว่าถูกต้องและจะทำข้อถัดไป หากเป็น 1 จะเกิดข้อผิดพลาดด้านรูปแบบของการแปลงตำแหน่งข้อมูล และการประมวลผลข้อมูลที่ตำแหน่งนี้จะถูกสัพเพรส

4. ทำการตรวจสอบบิทแสดงสถานะของเพจ หากเป็น 1 แสดงว่าเพจนั้นไม่ได้อยู่ในหน่วยความจำหลักขณะที่ทำการแปลงตำแหน่ง จะเกิดข้อผิดพลาดของการแปลงตำแหน่งของเพจขึ้น และการประมวลผลข้อมูลที่ตำแหน่งนี้จะนัลลิไฟต์ หากเป็น 0 แสดงว่าเพจนั้นอยู่ภายในหน่วยความจำหลักแล้วจึงทำข้อถัดไปได้

5. รับเอาข้อมูลส่วนที่เป็นตำแหน่งของเพจเพื่อนำไปเป็นตำแหน่งนัยสำคัญทางซ้ายของตำแหน่งจริง

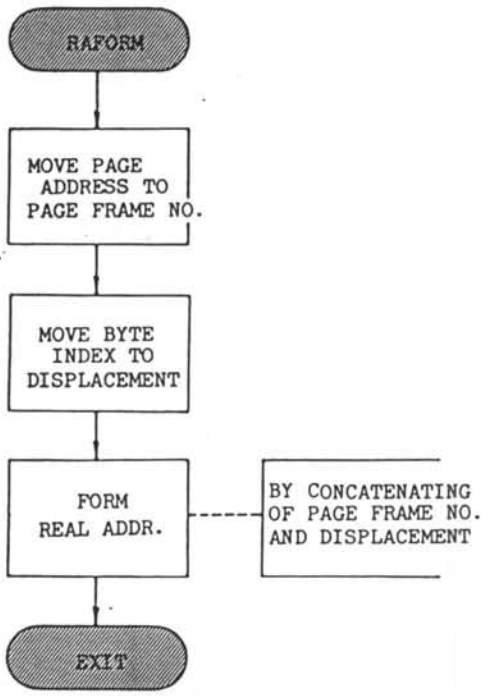
6. สิ้นสุดการทำงานของขั้นตอนนี้

4.5.6 ขั้นตอนการประกอบตำแหน่งจริง

ดูผังงานที่ 4.6 ประกอบคำอธิบาย

1. รับเอาตำแหน่งของเพจมาเป็นตำแหน่งของเพจเฟรม

2. รับเอาดัยนีไบท์จากตำแหน่งเล่มอนมาเป็นระยะขจัดภายในเพจเฟรม



ผังงานที่ 4.6 การประกอบตำแหน่งจริง

3. นำเอาตำแหน่งของเพจเฟรมมาต่อด้วยระยะขจัดเพื่อทำเป็นตำแหน่งจริงของข้อมูล

4. สิ้นสุดการทำงานของขั้นตอนนี้

4.6 ทรานส์เลชันลุคอไซด์บัฟเฟอร์ (Translation Lookaside Buffer)

จากที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ว่าในการทำงานของการแปลงตำแหน่งข้อมูลแบบพลศาสตร์จะต้องใช้เวลาในการทำงานบ้าง ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการประมวลผลข้อมูลลดลง แต่เพื่อเพิ่มความเร็วในการแปลงตำแหน่งข้อมูลได้มีการนำเอาฮาร์ดแวร์มาช่วยให้ประสิทธิภาพในการทำงานดีขึ้น สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ไอบีเอ็มระบบ 370 ได้เรียกฮาร์ดแวร์ตัวนี้ว่า "ทรานส์เลชันลุคอไซด์บัฟเฟอร์"

ส่วนประกอบของทรานส์เลชันลุคอไซด์บัฟเฟอร์มี 2 ส่วนคือ

- VER ลอจิก (Virtual Equal Real Logic)
- ชุดของรีจิสเตอร์สัมพันธ์ (Associative Array Registers)

4.6.1 VER ลอจิก

VER ลอจิกนี้ได้ถูกออกแบบไว้เพื่อทำการตรวจสอบว่าตำแหน่งของข้อมูลที่เป็นตำแหน่งเสมือนนั้นต้องมีการแปลงเป็นตำแหน่งจริงก่อนหรือไม่ โดยทำการเปรียบเทียบดังข้อ 2 ของหัวข้อ 4.5.1

VER ลอจิกนี้เป็นรีจิสเตอร์และถูกควบคุมการทำงานด้วยฮาร์ดแวร์และจะทำงานต่อเมื่อมีการทำงานของตัวแปลงตำแหน่งข้อมูลแบบพลศาสตร์เท่านั้น การกำหนดข้อมูลภายใน VER ลอจิกจะกระทำหลังจากที่มีการประมวลผลคำสั่ง PURGE TLB[1] หรือ

---

[1] IBM, IBM System/370, Principles of Operation, Form GA 22-7000-5 (Bangkok : IBM Co., Ltd. (Thailand)), p. 107

LOAD CONTROL[1] ของรีจิสเตอร์ควบคุม 0 หรือ 1 ไมโครโปรแกรม (Microprogram) ที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของ VER ลอจิก จะทำงานโดยอัตโนมัติ ไมโครโปรแกรมนี้จะทำการตรวจสอบข้อมูลภายในตารางเพจของเซกเมนต์ 0 ซึ่งมีตำแหน่งเสมือนเท่ากับตำแหน่งจริงของหน่วยความจำหลัก ไมโครโปรแกรมนี้จะทำการตรวจสอบจนพบค่าสูงสุดที่ตำแหน่งเสมือนเท่ากับตำแหน่งจริง และนำค่านี้ไปเก็บไว้ใน VER ลอจิก และค่านี้จะมีค่าน้อยกว่า 65,536 เสมอ เพราะว่าการตรวจสอบกระทำเพียงภายในเซกเมนต์ 0 เท่านั้น (หากกำหนดขนาดของเซกเมนต์เป็น 64 กิโลไบท์)

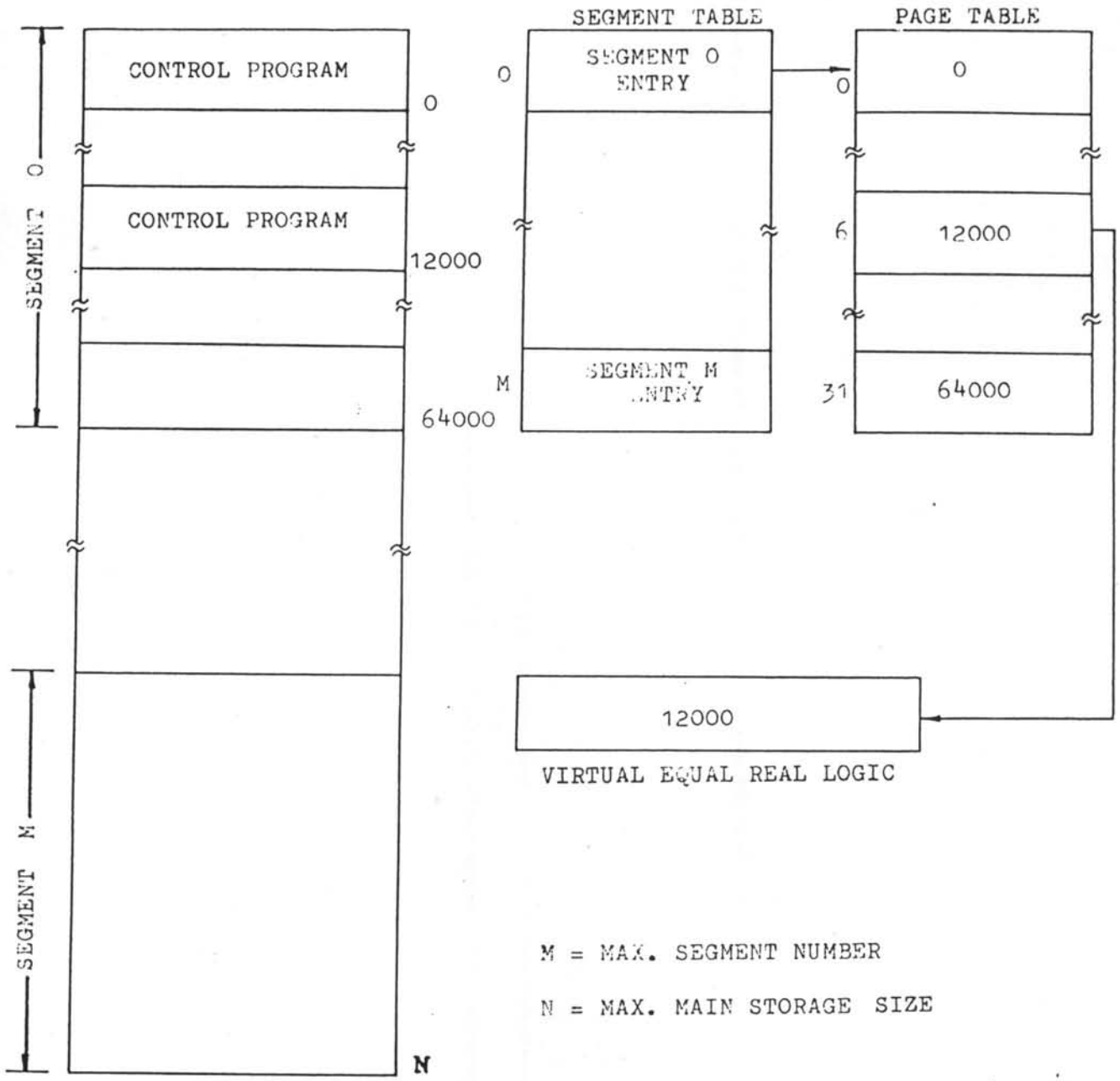
ผลของการทำงานของ VER ลอจิกจะช่วยขจัดขั้นตอนการแปลงตำแหน่งข้อมูลออกไป หากตำแหน่งนั้นเท่ากับหรือน้อยกว่าค่าภายใน VER ลอจิก ซึ่งระบบการประมวลผลที่ใช้ระบบควบคุมการทำงานแบบ DOS/VS หรือ OS/VS1 จะไม่มีขั้นตอนการแปลงตำแหน่งข้อมูลที่อยู่ในส่วนของโปรแกรมควบคุม (Control Program) เลย

เหตุที่ไม่มีการแปลงตำแหน่งข้อมูลของส่วนที่โปรแกรมควบคุมนั้น เนื่องจากโปรแกรมควบคุมนี้จะคงอยู่ภายในหน่วยความจำหลักตอนล่าง (ตำแหน่งล่างสุด) ตลอดเวลา และในขั้นตอนของการเริ่มต้นของระบบ (System Initialization Procedure) ซึ่งเป็นการกำหนดค่าภายในตารางเพจ ข้อมูลภายในตารางเพจจะเป็นตำแหน่งของโปรแกรมควบคุมซึ่งมีค่าของตำแหน่งเสมือนเท่ากับตำแหน่งจริง ดังนั้นหลังจากที่ VER ลอจิกทำงาน ค่าภายใน VER ลอจิก จึงเป็นค่าของตำแหน่งสุดท้ายของโปรแกรมควบคุมนั่นเอง ดังแสดงในรูปที่ 4.8

เมื่อไม่มีการกำหนดการทำงานของตัวแปลงตำแหน่งข้อมูลแบบพลศาสตร์ VER ลอจิกจะหยุดทำงานโดยอัตโนมัติหากมีการประมวลผลคำสั่ง PURGE TLB หรือ

---

[1]IBM, IBM System/370, Principles of Operation, Form GA 22-7000-5 (Bangkok : IBM Co., Ltd. (Thailand)), p. 105



รูปที่ 4.8 การกำหนดค่าภายใน VER รีจิสเตอร์

LOAD CONTROL รีจิสเตอร์ควบคุมหมายเลข 0 หรือ 1

4.6.2 ชุดของรีจิสเตอร์สัมพันธ์

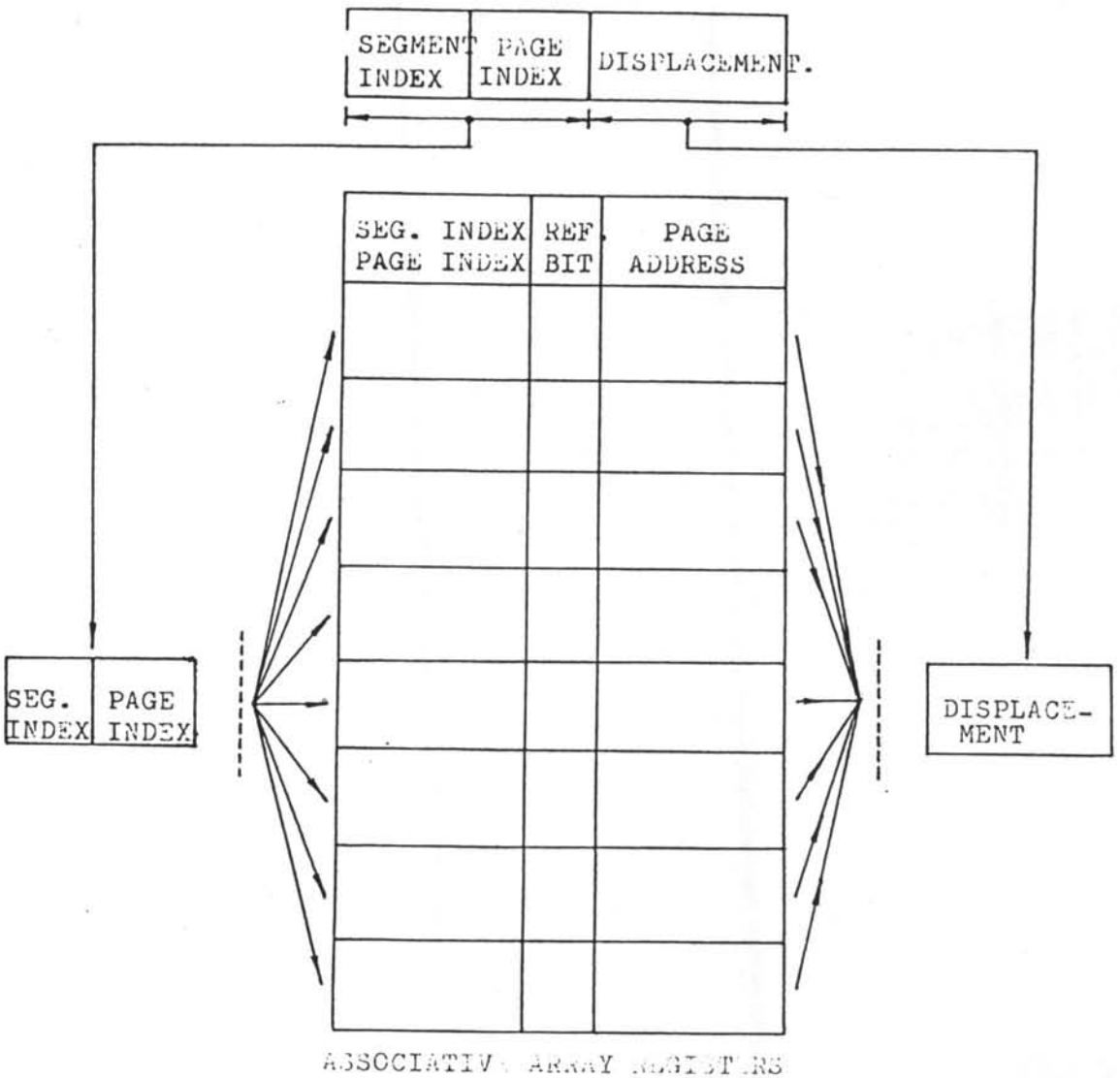
ชุดของรีจิสเตอร์สัมพันธ์ของทรานสเลชันลุคอไซด์บัฟเฟอร์ที่ใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ไอบีเอ็มระบบ 370 ประกอบด้วยคู่ของรีจิสเตอร์ทั้งหมด 8 คู่ แต่ละคู่จะเก็บค่าของดัชนีเซกเมนต์ ดัชนีเพจ และตำแหน่งของเพจที่สัมพันธ์กัน โดยที่ค่าดังกล่าวจะได้มาจากการแปลงตำแหน่งครั้งที่ผ่าน ๆ มา ดังแสดงในรูปที่ 4.9

รีจิสเตอร์ตัวแรกจะเก็บค่าของดัชนีเซกเมนต์และดัชนีเพจของตำแหน่งเสมือนที่ถูกแปลงเมื่อครั้งที่ผ่านมา ส่วนรีจิสเตอร์ตัวที่สองจะเก็บค่าของตำแหน่งของเพจที่สัมพันธ์กับดัชนีเซกเมนต์และดัชนีเพจภายในรีจิสเตอร์ตัวแรก และค่าภายในคู่ของรีจิสเตอร์นี้จะมีการเปลี่ยนแปลงแก้ไขทุกครั้งที่มีการแปลงตำแหน่งข้อมูล

เนื่องจากคู่ของรีจิสเตอร์มีทั้งหมด 8 คู่ ดังนั้นหากขนาดของเพจเป็น 2 กิโลไบท์ ก็จะสามารถควบคุมการแปลงตำแหน่งภายในเนื้อที่ถึง 16 กิโลไบท์ (หากเป็น 4 กิโลไบท์ก็จะได้ถึง 32 กิโลไบท์) ดังนั้นหากขนาดงานไม่เกิน 16 กิโลไบท์ (32 กิโลไบท์) การแปลงตำแหน่งข้อมูลจะทำได้รวดเร็วมากเพราะไม่จำเป็นต้องใช้ตารางแปลงตำแหน่งข้อมูลเลย

การตรวจสอบข้อมูลภายในชุดของรีจิสเตอร์สัมพันธ์จะทำพร้อม ๆ กันทั้ง 8 คู่ จึงสามารถทำงานได้รวดเร็วมาก และการทำงานนี้จะทำงานคาบเกี่ยวกันกับการเทียบค่าของตำแหน่งเสมือนกับค่าภายใน VER รีจิสเตอร์ด้วย

จะเห็นว่าในการแปลงตำแหน่งข้อมูลที่ไม่ปรากฏอยู่ในชุดของรีจิสเตอร์สัมพันธ์จะเสียเวลาเพิ่มขึ้น แต่นับว่าน้อยมาก และหากมีการตรวจพบว่าค่าของดัชนีเซกเมนต์และดัชนีเพจภายในตำแหน่งเสมือนมีค่าตรงกับค่าของรีจิสเตอร์ตัวแรกของคู่ของรีจิสเตอร์คู่ใดคู่หนึ่ง ค่าของรีจิสเตอร์ตัวที่สองภายในคู่ของรีจิสเตอร์นั้นจะใช้เป็นตำแหน่งของเพจทันทีและการตรวจสอบข้อมูลภายในตารางที่กระทำพร้อมกันกับ



รูปที่ 4.9 ลักษณะและการทำงานของชุดรีจิสเตอร์สัมพันธ์

การตรวจสอบข้อมูลภายในชุดของรีลเตอร์สัมพันธ์จะหยุดโดยอัตโนมัติ

การเปลี่ยนแปลงแก้ไขค่าภายในคู่ของรีลเตอร์นี้จะกระทำทุกครั้งที่มีการแปลงตำแหน่งข้อมูล ไม่ว่าตำแหน่งนั้นจะมีค่าของดัยนีเซกเมนต์และดัยนีเพจอยู่ภายในคู่ของรีลเตอร์หรือไม่ก็ตาม

ในการเปลี่ยนแปลงแก้ไขนี้จะใช้หลักการของ LRU (Least Recently Used) ซึ่งเป็นหลักการที่พยายามเก็บค่าที่ถูกอ้างถึงล่าสุดเอาไว้ และนำค่าที่ไม่ได้ถูกอ้างถึงนานที่สุดออกไป สำหรับการนำหลักการของ LRU มาใช้กับชุดของรีลเตอร์สัมพันธ์นี้จะต้องมีอีกส่วนเพิ่มขึ้นมา เพื่อใช้ในการทำงานคือบิทอ้างอิง ซึ่งจะมีประจำทุก ๆ คู่ของรีลเตอร์

การเปลี่ยนแปลงแก้ไขข้อมูลภายในชุดของรีลเตอร์สัมพันธ์ที่ใช้หลักการของ LRU สามารถสรุปได้ดังนี้ (ดูผังงานที่ 4.8 ประกอบคำอธิบาย)

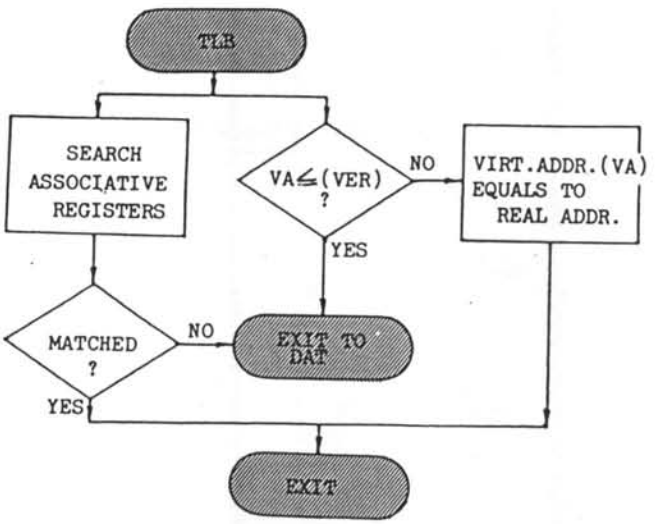
1. หากมีการตรวจพบว่าค่าของดัยนีเพจและดัยนีเซกเมนต์ของตำแหน่งเสมือนตรงกับค่าภายในรีลเตอร์ตัวแรกของคู่รีลเตอร์คู่ใดคู่หนึ่ง จะทำการเปลี่ยนค่าของบิทอ้างอิงที่สัมพันธ์กับคู่รีลเตอร์นั้นให้เป็น 1

2. ทำการตรวจหาคู่รีลเตอร์ที่จะถูกแทนที่ด้วยค่าใหม่ โดยจะใช้คู่รีลเตอร์แรกที่มีค่าของบิทอ้างอิงเป็น 0

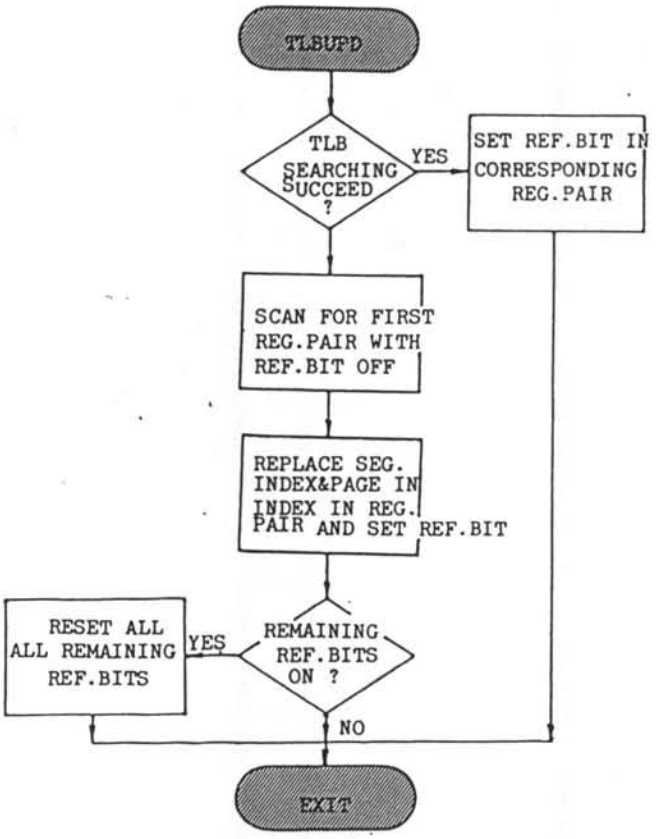
3. ทำการแทนค่าใหม่ของดัยนีเพจและดัยนีเซกเมนต์ลงในรีลเตอร์ตัวแรกของคู่รีลเตอร์ที่เลือกมาจากข้อ 2

4. ทำการตรวจสอบบิทอ้างอิงที่เหลือทั้งหมดว่าเป็น 1 หมดหรือไม่ หากเป็นจริงจะทำการเปลี่ยนค่าของบิทอ้างอิงเหล่านั้นให้เป็น 0

5. สิ้นสุดการเปลี่ยนแปลงแก้ไขข้อมูลภายในชุดของรีลเตอร์สัมพันธ์



ผังงานที่ 4.7 การทำงานของทรานสเลชันลุคอไซด์บัฟเฟอร์



ฝังงานที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงแก้ไขข้อมูลภายในชุดรีจิสเตอร์สัมพันธ์