

การทดลองที่ B

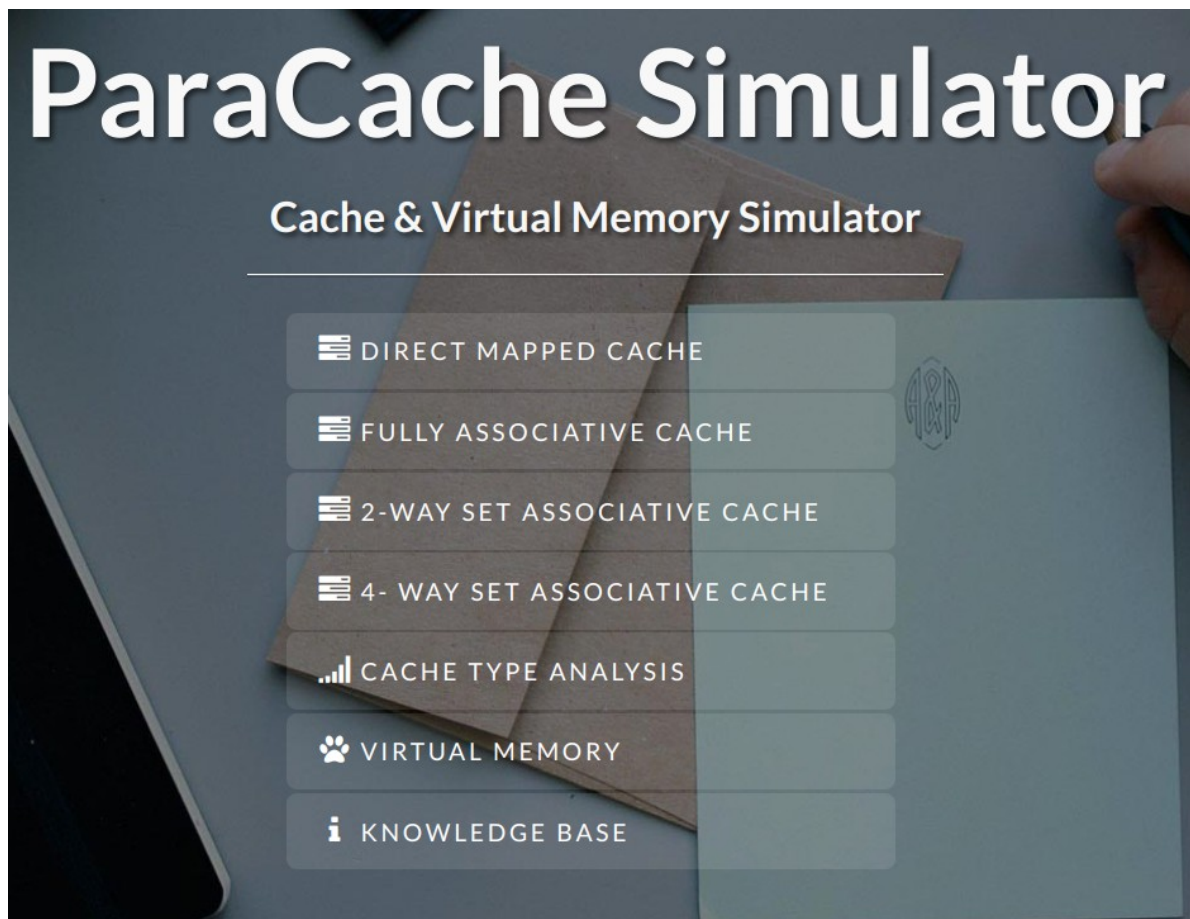
การทำงานของ Virtual Memory และ TLB

วิชา Computer Organization and Assembly Language

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใช้เว็บเบราว์เซอร์เปิดใช้งานซิมูเลเตอร์ ชื่อ Para Cache

<https://www3.ntu.edu.sg/home/smitha/ParaCache/Paracache/start.html>

เอกสารอธิบาย

<https://www3.ntu.edu.sg/home/smitha/ParaCache/Paracache/kb.pdf>

ทำการทดลอง ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. กดเมนู เลือก Virtual Memory ตั้งขนาดของระบบ ดังรูป

Physical Page Size (power of 2)	8
Offset Bits	2
Virtual Memory Size (power of 2)	32
TLB Entries	4
Reset	Submit

2. กด Submit แล้วส่งเกทรายละเอียดดังนี้

- **Virtual Memory** ที่อยู่ด้านขวา Instruction Breakdown แบ่งเป็น (Virtual) Page(#) และ Offset
- **Translation Lookaside Buffer (TLB)** ประกอบด้วย Virtual Page# และ Physical Page# เป็นแคชชนิด Fully Associative ของ Page Table
- **Page Table** ประกอบด้วย Index (Virtual Page#), Valid และ Physical Page# เป็นตารางเก็บการแมพฝั่งระหว่าง Virtual Page# และ Physical Page# ใน RAM คอร์นั้นมีหน้าที่บริหารจัดการตาราง Page Table นี้
- **Physical Memory** หมายถึง RAM แบ่งเป็น Physical Page# ขนาดที่ผู้ใช้กำหนดและ Content ซึ่งอาศัยอยู่ในเพจนั้นๆ

Instruction Breakdown

PAGE	OFFSET
3 bit	2 bit

Translation Lookaside Buffer

Virtual Page#	Physical Page#
0	-
1	-
2	-
3	-

Frame

Offset

Page Table

Index	Valid	PhysicalPage#
0	0	-
1	0	-
2	0	-
3	0	-
4	0	-
5	0	-
6	0	-
7	0	-

Physical Memory

Physical Page#	Content
0	-
1	-

อธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง Index ของ Page Table และ Page ของ Instruction Breakdown

จำนวนแถว Page มีเลขชี้กำลังของเลข 2 ซึ่งมีค่าเท่ากับจำนวน Index โดยจำนวนแถว Page = 3, จำนวน Index = $2^3 = 8$ Index

อธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง Offset ของ Instruction Breakdown Physical Memory Size และ Physical Page#

จำนวน Offset บนเลขชี้กำลังของเลข 2 เมื่อนำไปหารกับ Physical Page Size จะได้ค่าเท่ากับ Physical Memory Size

โดย Offset = 2, Physical Page size = 8 จะได้ Physical Memory Size = $\frac{8}{2} = 2$ ดังนั้นจึงได้จำนวนของ Physical Page = 2 #

3. กรอกแอดเดรสที่ต้องการจะใช้คำสั่ง Load หรือ ให้โปรแกรมสุ่มหมายเลขแอดเดรสให้

- กรอก 0 ลงในหมายเลขฐานสิบหกที่มีอยู่ในกล่องข้อความด้านขวา
- กรอกหมายเลข 1 ในกล่องข้อความดังรูป

Load Instruction
LOAD(in hex)#

Gen. Random
Submit

Information
Offset = 2 bits
Instruction Length = $\log_2(32) = 5$ bits
Physical Page Rows = $8 / 2^2 = 2$ rows
Next
Fast Forward


อธิบาย information ในรูปว่า Offset, Instruction Length และ Rows สัมพันธ์กับ Page Size และ Physical Memory Size ที่กรอกก่อนหน้านี้อย่างไร

$$\text{Page Size} = 2^{\log_2(\text{Instruction Length}) - \text{offset}} = \frac{\text{Instruction Length}}{2^{\text{offset}}}$$

$$\text{Physical Memory Size} = \frac{\text{Physical Page Size}}{2^{\text{offset}}}$$

4. กดปุ่ม Submit หมายเลข 0 ที่กรอก โปรดสังเกต Instruction Breakdown และเครื่องหมายสีน้ำเงินบนตำแหน่งหมายเลข 0 ของ Translation Lookaside Buffer (TLB) ดังรูป อธิบายตามความเข้าใจ

000	00
3 bit	2 bit



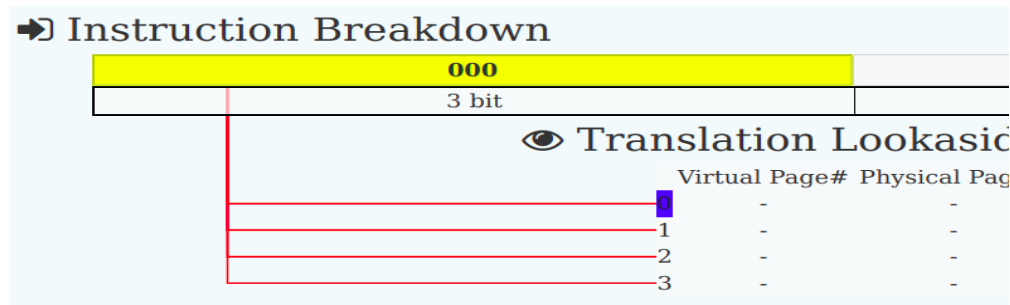
Translation Lookaside Buffer

	Virtual Page#	Physical Page#
0	-	-
1	-	-
2	-	-
3	-	-

นำค่า load มาแปลงใหม่ จากเดิมที่เป็นฐาน 16 ให้แปลงเป็นฐาน 2 แล้วนำมาคิดเป็น 3 bits

โดยที่ 3 bits แรกเป็น Page , 2 bits หลังเป็น offset

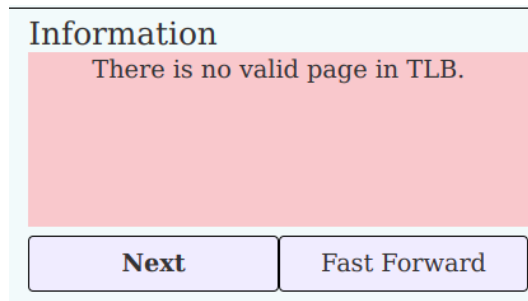
5. กดปุ่ม Next และสังเกตพื้นที่สีเหลืองว่าเกี่ยวข้องกับหมายเลข 0 ที่ Submit ไปก่อนหน้านี้หรือไม่ อธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง Instruction Breakdown 000 และเส้นสีแดงที่เชื่อมไปยัง TLB สัญลักษณ์ '-' หมายถึงอะไร



· ให้เส้นสีแดงเชื่อมเป็นค่า 3 bitsแรก ซึ่งจากการแปลงค่า load ไปเป็นฐาน 2 แล้วนำมาคิดเป็น 5 bits

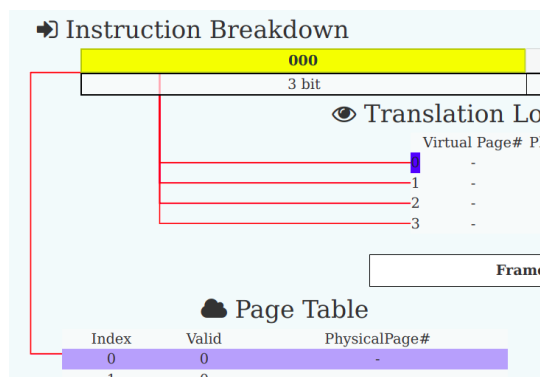
· ในเส้นสีแดงเป็นการนำค่า Page ไปค้นหาในตาราง TLB

6. กดปุ่ม Next และสังเกตกล่องข้อความที่เปลี่ยนเป็นสีชมพู อธิบายความหมาย



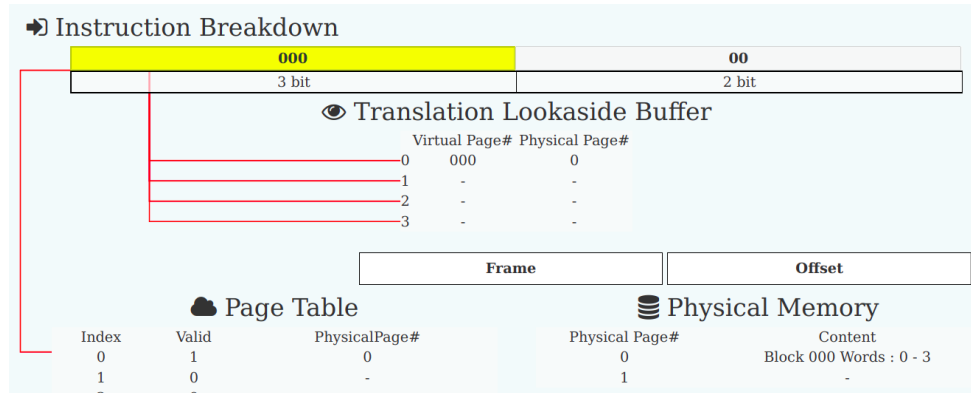
เพื่อหาเลข Page ไปค้นหาในตาราง TLB แล้ว สรุปได้ว่าไม่เจอ Page ที่ค้นหาไป

7. กดปุ่ม Next และสังเกตเส้นสีแดงที่เชื่อมไปยัง Index 0 ของ Page Table อธิบายว่าสัมพันธ์กับ TLB อย่างไร



เนื่องจากไม่พบ Page ในตาราง TLB จึงไปค้นหาที่ Page Table ต่อ โดยจะเริ่มจาก Index = 0

8. กดปุ่ม Next เพื่อดำเนินการต่อ โปรดสังเกตการเปลี่ยนแปลงของแถวหมายเลข 0 ใน TLB ใน Page Table และ Physical Memory



อธิบายบิต Valid และ Physical Page# และ Content ว่าเหตุใดจึงเปลี่ยนเป็นรูปนี้

เนื่องจากไม่พบ Page ในตาราง TLB จึงทำการ load data จาก Secondary Memory มาลงใน Physical Memory

หลังจากนั้นจะ update ค่า Physical Page# = 0, Valid 1 ลงใน Page Table และค่า Virtual Page# = 000, Physical Page# = 0 ลงใน

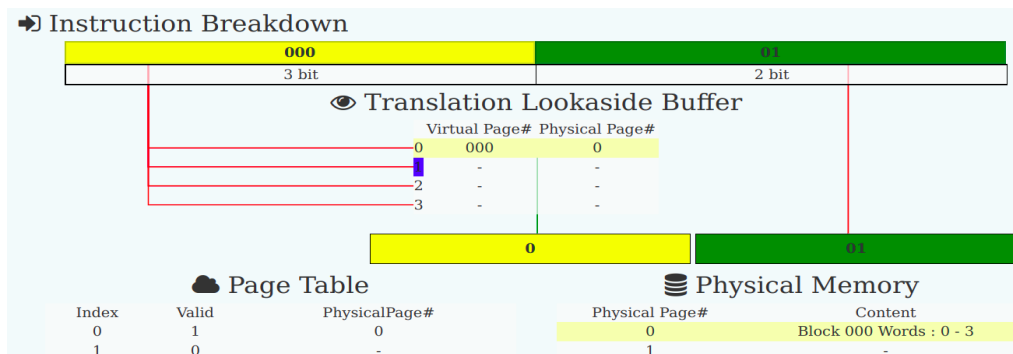
ตาราง TLB

9. เลื่อนหน้าต่างลงไปด้านล่าง โปรดสังเกตข้อมูล Statistics ดังรูป อธิบายข้อมูลที่ได้ว่าคำนวณอย่างไร

Statistics	
Hit Rate :	0%
Miss Rate :	100%
List of Previous Instructions :	
• 0 [Miss]	

$$\text{Miss Rate} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ miss}}{\text{จำนวนครั้งที่ Hit} + \text{จำนวนครั้งที่ miss}} = \frac{1}{0 + 1} = 100\%$$

10. กดปุ่ม Submit หมายเลขแอดเดรส 1 ถัดไป แล้วจึงกดปุ่ม Fast Forward เพื่อเร่งการทำงานของคำสั่งให้รวดเร็วขึ้น โปรดสังเกตการเปลี่ยนแปลงใน Instruction Breakdown, TLB, Page Table, Physical Memory, Information และ Statistics ดังนี้



Information

Valid page is found in the TLB.
Frame and Offset is updated.

Next
Fast Forward

Statistics

Hit Rate : 50%

Miss Rate : 50%

List of Previous Instructions :

- 0 [Miss]
- 1 [TLB Hit]

อธิบายข้อมูลที่ได้ว่า Hit Rate และ Miss Rate คำนวณอย่างไร

$$\text{Hit Rate} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ Hit}}{\text{จำนวนครั้งที่ Hit} + \text{จำนวนครั้งที่ miss}} = \frac{1}{1+1} = 50\% , \text{Miss Rate} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ miss}}{\text{จำนวนครั้งที่ Hit} + \text{จำนวนครั้งที่ miss}} = \frac{1}{1+1} = 50\%$$

11. กรอก แอดเดรสหมายเลข 4 และ 5 ตามรูป แล้วจึงกดปุ่ม Submit

Load Instruction

LOAD(in hex)# 4

5

Gen. Random
Submit

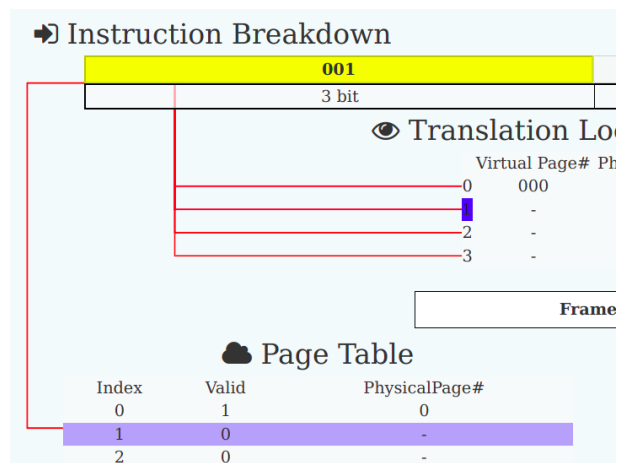
สังเกตเลขฐานสองของ Instruction Breakdown และ TLB ดังรูป

001	00
3 bit	2 bit

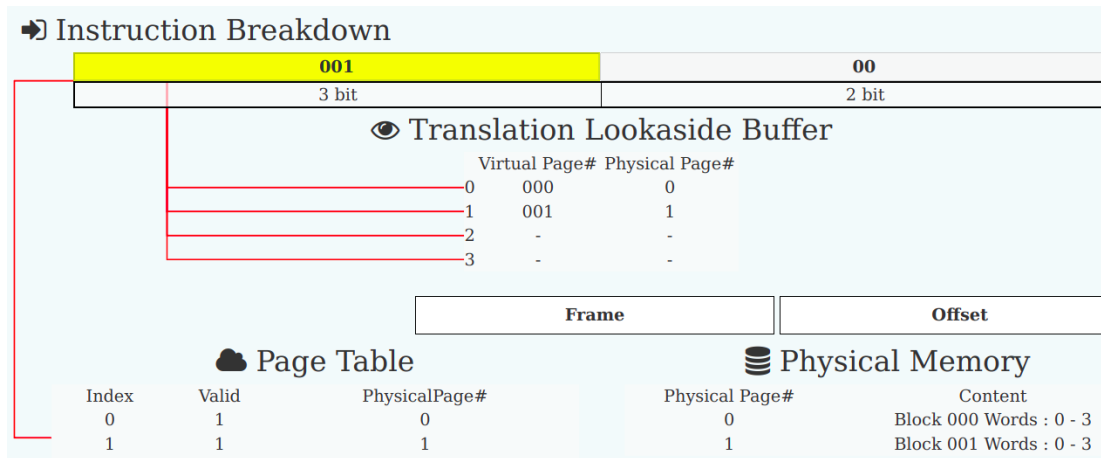
👁 Translation Lookaside Buffer

Virtual Page#	Physical Page#
0	000
1	-
2	-
3	-

กด Next เพื่อดำเนินการต่อจนสังเกตเห็นเส้นสีแดงเชื่อมระหว่าง TLB & Page Table



12. กด Next เพื่อดำเนินการต่อ โปรดสังเกตการเปลี่ยนใน TLB, Page Table และ Physical Memory ที่ตำแหน่ง Physical Page# หมายเลข 1 รวมถึงคอลัมน์ Content



เลื่อนหน้าต่างเพื่ออ่านค่าสถิติล่าสุด

Statistics	
Hit Rate :	33%
Miss Rate :	67%
List of Previous Instructions :	
• 0 [Miss]	
• 1 [TLB Hit]	
• 4 [Miss]	

อธิบายข้อมูลที่ได้ว่าคำนวณอย่างไร

$$\text{Hit rate} = \frac{1}{1+2} = 33\% , \text{Miss rate} = \frac{2}{1+2} = 67\%$$

13. กดปุ่ม Submit หมายเลข 5 แล้วกดปุ่ม Fast Forward จนได้สถิติดังนี้ จงอธิบายว่าหมายเลข 5 จึงเป็น TLB Hit

Statistics	
Hit Rate :	50%
Miss Rate :	50%
List of Previous Instructions :	
• 0 [Miss]	
• 1 [TLB Hit]	
• 4 [Miss]	
• 5 [TLB Hit]	

อธิบายข้อมูลที่ได้ว่า Hit Rate และ Miss Rate คำนวณอย่างไร

$$\text{Hit rate} = \frac{2}{2+2} = 50\% , \text{Miss rate} = \frac{2}{2+2} = 50\%$$

14. กรอกรหัสเลข 8 และ 9 ดังรูป แล้วกด Submit

Load Instruction

LOAD(in hex)#

8

9

Gen. Random

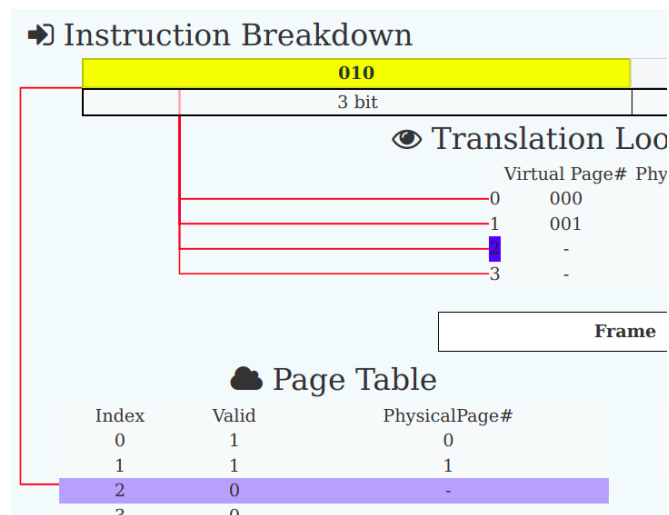
Submit

อธิบายเลขฐานสองที่ได้ตามรูปนี้

010	00
3 bit	2 bit
<div> <div>Translation Lookaside Buffer</div> <div> <div>Virtual Page#</div> <div>Physical Page#</div> </div> <div> <div>0</div> <div>000</div> <div>0</div> </div> <div> <div>1</div> <div>001</div> <div>1</div> </div> <div> <div>2</div> <div>-</div> <div>-</div> </div> <div> <div>3</div> <div>-</div> <div>-</div> </div> </div>	

ค่าของ load = 8 แปลงเป็น 0100_2 ซึ่ง 3 bit แรก คือ Page = 010 , 2 bits หลัง คือ 00

15. กด Next เพื่อดำเนินการต่อ



โปรดสังเกตการเปลี่ยนใน TLB, Page Table และ Physical Memory ที่ตำแหน่ง Physical Page# หมายเลข 0 รวมถึงหมายเลข Block ใน Content

Page Table			Physical Memory	
Index	Valid	PhysicalPage#	Physical Page#	Content
0	1	0	0	Block 010 Words : 0 - 3
1	1	1	1	Block 001 Words : 0 - 3
2	1	0		

Statistics	
Hit Rate :	40%
Miss Rate :	60%
List of Previous Instructions :	
• 0 [Miss]	
• 1 [TLB Hit]	
• 4 [Miss]	
• 5 [TLB Hit]	
• 8 [Miss]	

อธิบายข้อมูลที่ได้ว่า Hit Rate และ Miss Rate คำนวณอย่างไร

$$\text{Hit rate} = \frac{2}{2+3} = 40\% , \quad \text{Miss rate} = \frac{3}{2+3} = 60\%$$

16. กด Submit แอดเดรสหมายเลข 9 และปุ่ม Fast Forward

Load Instruction
LOAD(in hex)#

List of next 10 Instructions

Gen. Random Submit

เลื่อนหน้าต่างลงไปด้านล่าง โปรดสังเกตข้อมูล Statistics ดังรูป

Statistics	
Hit Rate :	50%
Miss Rate :	50%
List of Previous Instructions :	
• 0 [Miss]	
• 1 [TLB Hit]	
• 4 [Miss]	
• 5 [TLB Hit]	
• 8 [Miss]	
• 9 [TLB Hit]	

อธิบายข้อมูลที่ได้ว่า Hit Rate และ Miss Rate คำนวณอย่างไร

$$\text{Hit rate} = \frac{3}{3+3} = 50\% , \quad \text{Miss rate} = \frac{3}{3+3} = 50\%$$

โปรดสังเกตหมายเลข Virtual Page# ใน TLB, Page Table และ Block 010 ใน Physical Memory

Instruction Breakdown

010	01
3 bit	2 bit

Translation Lookaside Buffer

Virtual Page# Physical Page#

0 000 0

1 001 1

2 010 0

- -

Frame

Offset

Page Table

Index	Valid	PhysicalPage#
0	1	0
1	1	1
2	1	0

Physical Memory

Physical Page#	Content
0	Block 010 Words : 0 - 3
1	Block 001 Words : 0 - 3

✓ นักศึกษาควรจะได้ผลการทดลองใน Cache Table ตรงกับรูปนี้ จงวิเคราะห์ว่าซีโมเลเตอร์ทำงานถูกต้องตามหลักการหรือไม่ เพราะเหตุใด

ถูกต้อง เพราะ การที่จะเข้าถึงข้อมูลจะมีการ map เพื่อที่จะนำข้อมูลที่อยู่ว่าไม่ โดยมีการ check ที่ TLB ถ้าไม่เข้าไปถึงที่ Physical memory ที่เราได้ฝากข้อมูลไว้

กิจกรรมท้ายการทดลอง

1. ตั้งขนาดของ Physical Memory Size เท่ากับ 8 ดังรูป แล้วเปรียบเทียบกับหมายเลขแอดเดรสเดิม คือ 0, 1, 4, 5, 8, 9

Physical Page Size (power of 2)	16
Offset Bits	2
Virtual Memory Size (power of 2)	32
TLB Entries	4

2. ตั้งขนาดของ TLB Entries เท่ากับ 2 ดังรูป แล้วเปรียบเทียบกับหมายเลขแอดเดรสเดิม คือ 0, 1, 4, 5, 8, 9

Physical Page Size (power of 2)	8
Offset Bits	2
Virtual Memory Size (power of 2)	32
TLB Entries	2

3. ตั้งขนาดของ Virtual Memory Size เท่ากับ 16 ดังรูป แล้วเปรียบเทียบกับหมายเลขแอดเดรสเดิม คือ 0, 1, 4, 5, 8, 9

Physical Page Size (power of 2)	8
Offset Bits	2
Virtual Memory Size (power of 2)	16
TLB Entries	4

4. ศึกษาขนาดของ Offset โดยตั้งเท่ากับ 1 ดังรูป แล้วเปรียบเทียบกับหมายเลขแอดเดรสเดิม คือ 0, 1, 4, 5, 8,

Physical Page Size (power of 2)	8
Offset Bits	1
Virtual Memory Size (power of 2)	32
TLB Entries	4

5. ค้นคว้าเพิ่มเติมเรื่อง Virtual Memory ว่าซีพียูเลเตอร์ขาดองค์ประกอบและมีความสำคัญอย่างไร
6. เหตุใดการเปลี่ยนเทคโนโลยีของอุปกรณ์เก็บรักษาข้อมูลจากฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็นโซลิดสเตตไดรฟ์ จึงทำให้คอมพิวเตอร์ทำงานได้เร็วขึ้น

↳ เพราะ HDD มีลักษณะเป็นแผ่นดิสก์ การที่จะเข้าถึงข้อมูลได้ช้ากว่าเมื่อเทียบกับหน่วยความจำที่เร็วอย่าง SSD จนกว่าจะเจอข้อมูลที่ต้องการ

SSD มีการทำงานแบบ flash memory chip จะเข้าถึงข้อมูลได้เร็วกว่า HDD

∴ จึงใช้ข้อมูลแบบโซลิดสเตตไดรฟ์ (SSD)