

## การทดลองที่ B

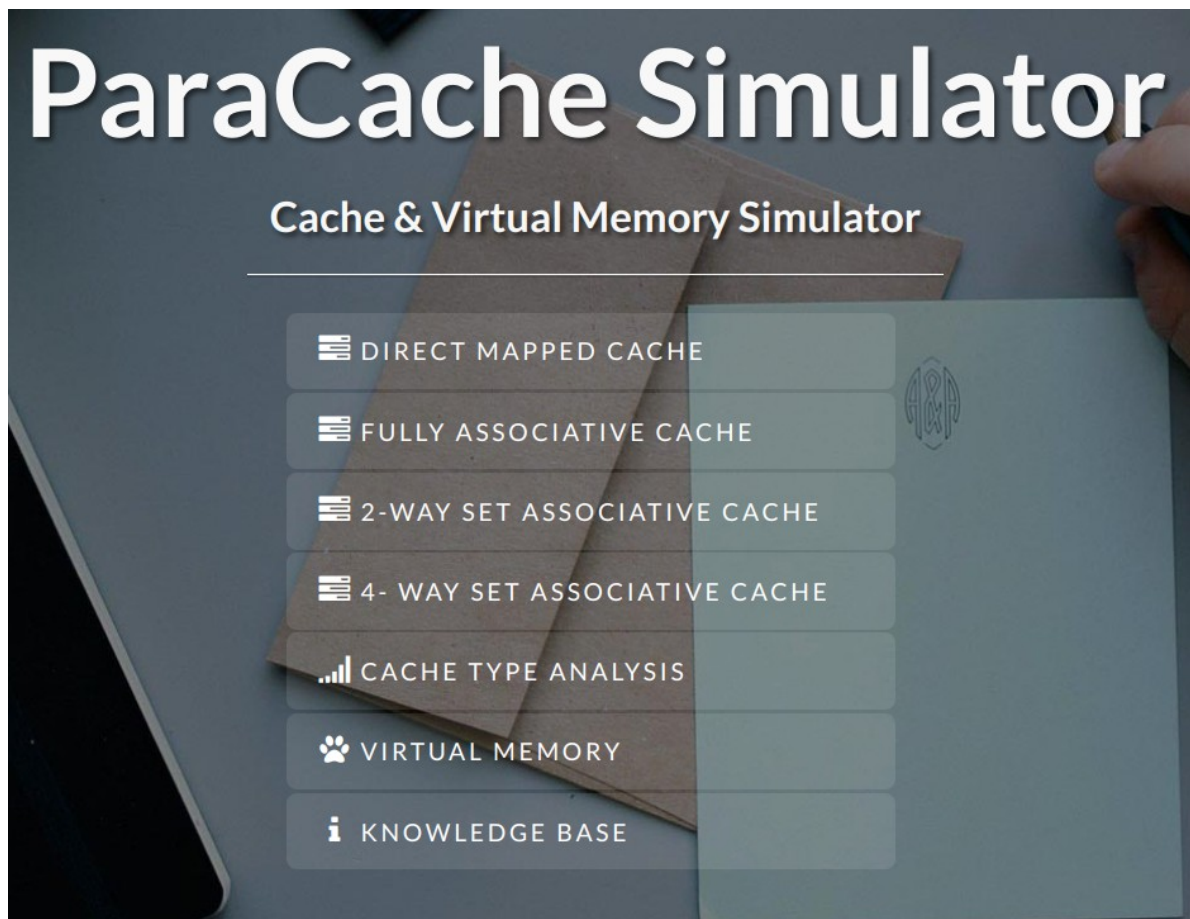
การทำงานของ Virtual Memory และ TLB

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
<div>Reset</div> <div>Submit</div>	

2. กด Submit แล้วสังเกตรายละเอียดดังนี้

- 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# เป็นตารางเก็บการแมพบิงระหว่าง Virtual Page# และ Physical Page# ใน RAM คอร์นั้นมีหน้าที่บริหารจัดการตาราง Page Table นี้
- Physical Memory หมายถึง RAM แบ่งเป็น Physical Page# ขนาดที่ใช้กำหนดและ Content ซึ่งอาศัยอยู่ในเพจนั้นๆ

## VIRTUAL MEMORY

➔ Instruction Breakdown

PAGE	OFFSET
3 bit	2 bit

👁 Translation Lookaside Buffer

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

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

Frame	Offset

Physical Memory		
Physical Page#	Content	
0	-	
1	-	

อธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง Index ของ Page Table และ Page ของ Instruction Breakdown

*Index ของ Page Table มีจำนวนเท่ากับ  $2^n \rightarrow 2^3 = 8 \rightarrow$  Page Table มีค่าได้ตั้งแต่ 0-7 ;  $n$  = จำนวน bit ของ Instruction Breakdown Page*

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

*Physical Page # มีขนาดเท่ากับ  $\frac{\text{Physical Memory Size}}{2^{\text{offset bit}}}$*

3. กรอกแอดเดรสที่ต้องการจะใช้คำสั่ง Load หรือ ให้โปรแกรมสุ่มหมายเลขแอดเดรสให้

- กรอก 0 ลงในหมายเลขฐานสิบหกที่มีอยู่ในกล่องข้อความด้านขวา
- กรอกหมายเลข 1 ในกล่องข้อความดังรูป

Load Instruction

LOAD(in hex)#

0

1

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

offset เป็นค่าที่ input เข้ามา,  $\text{Instruction Length} = \log_2(\text{virtual Memory Size})$

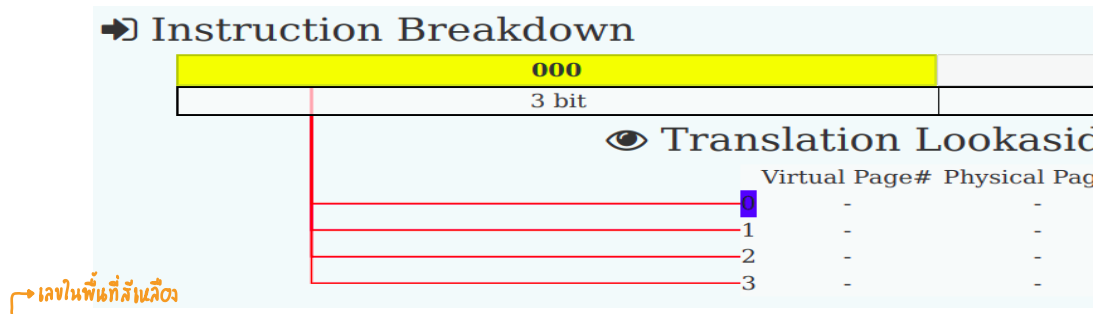
$\text{Physical Page Rows} = \frac{\text{Physical Page Size}}{2^{\text{offset bit}}}$ ,  $\text{Page Table Rows} = \frac{\text{virtual Memory Size}}{2^{\text{offset bit}}}$

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#
	- -
1	- -
2	- -
3	- -

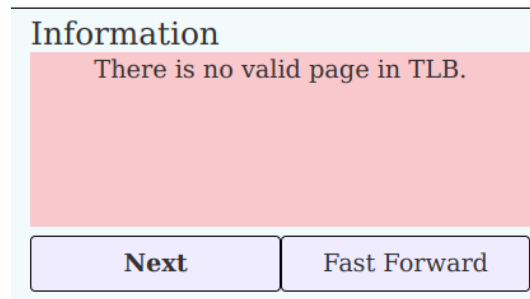
แปลง hex  $\rightarrow$  binary แล้วแบ่งเป็น tag, index, offset และเครื่องหมายสีน้ำเงินบนเลข 0 คือ ตำแหน่งแรกของ TLB ที่ใช้ในการสับค้นค่า

5. กดปุ่ม Next และสังเกตพื้นที่สีเหลืองว่าเกี่ยวข้องกับหมายเลข 0 ที่ Submit ไปก่อนหน้านี้อย่างไร อธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง Instruction Breakdown 000 และเส้นสีแดงที่เชื่อมไปยัง TLB สัญลักษณ์ '-' หมายถึง Virtual Page#, Physical Page# หมายถึงอะไร



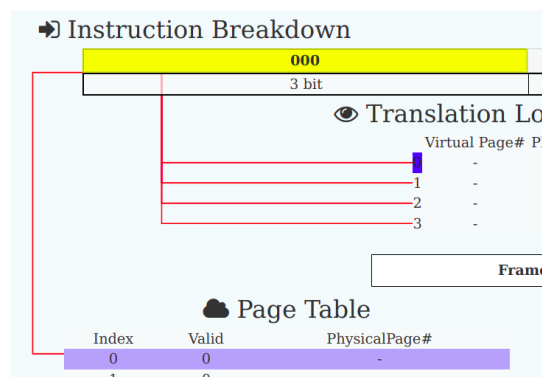
$0 = 00000_2$  โดย index ที่ request จะนำใน TLB ทั้งหมด, สัญลักษณ์ "-" หมายถึง การดึงข้อมูลจาก TLB ครั้งแรก ยังไม่มีข้อมูลเก็บอยู่ใน cache ทำให้อ่านไปอ่านใน main TLB ต่อไป

6. กดปุ่ม Next และสังเกตกล่องข้อความที่เปลี่ยนเป็นสีชมพู อธิบายความหมาย



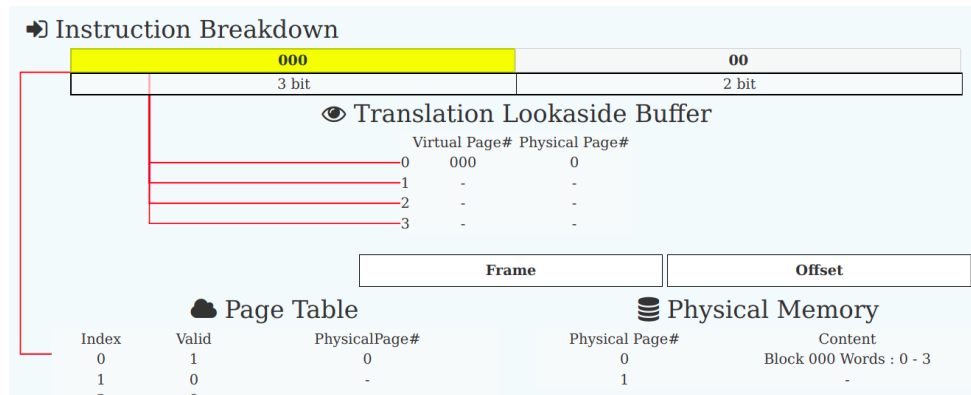
ไม่มีค่า Page ใน TLB

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



เกิด TLB miss ทำให้อ่านจำนวนเลข Page ที่เก็บอยู่ใน Instruction Breakdown ไปหาต่อที่ Page Table ที่ Index 0

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



อธิบายบิต Valid และ Physical Page# และ Content ว่าเหตุใดจึงเปลี่ยนเป็นรูปนี้

Valid ที่ Index 0 เปลี่ยนเป็น 1 เพราะข้อมูลถูกโหลดมาเก็บไว้ที่ index 000

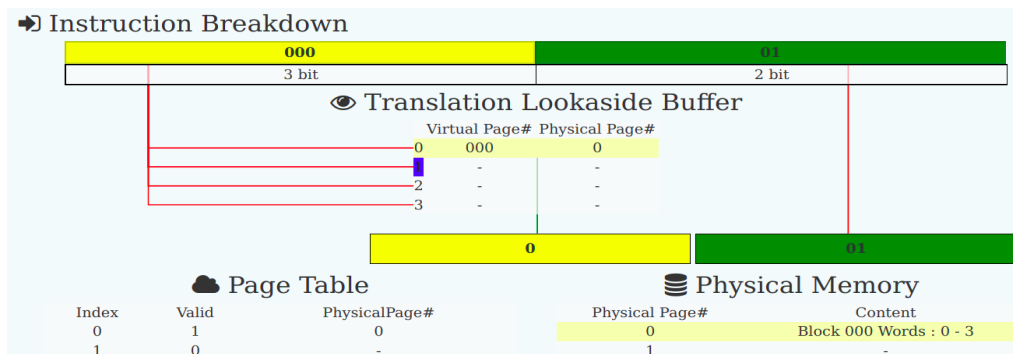
Physical Page # เป็น 0 , content เปลี่ยนอยู่ในรูป BLOCK 000

9. เลื่อนหน้าต่างลงไปด้านล่าง โปรดสังเกตข้อมูล Statistics ดังรูป อธิบายข้อมูลที่ได้ว่าคำนวณอย่างไร

<b>Statistics</b>	
<b>Hit Rate :</b>	<b>0%</b>
<b>Miss Rate :</b>	<b>100%</b>
<b>List of Previous Instructions :</b>	
• 0 [Miss]	

จำนวนครั้งที่ TLB hit  $\times 100$  , จำนวนครั้งที่ TLB miss  $\times 100$  Example : Hit rate =  $\frac{0}{1} \times 100 = 0\%$  Miss rate =  $\frac{1}{1} \times 100 = 100\%$   
จำนวนครั้งที่ load จำนวนครั้งที่ load

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

$$\text{Hit rate} = \frac{1}{2} \times 100 = 50\%$$

$$\text{Miss rate} = \frac{1}{2} \times 100 = 50\%$$

11. กรอก แอดเดรสหมายเลข 4 และ 5 ตามรูป แล้วจึงกดปุ่ม Submit

**Load Instruction**

**LOAD(in hex)#** 4

5

Gen. Random
Submit

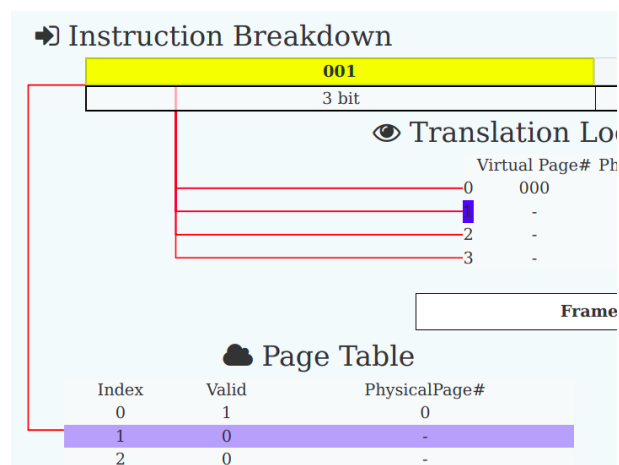
สังเกตเลขฐานสองของ Instruction Breakdown และ TLB ดังรูป

<b>001</b>	<b>00</b>
3 bit	2 bit

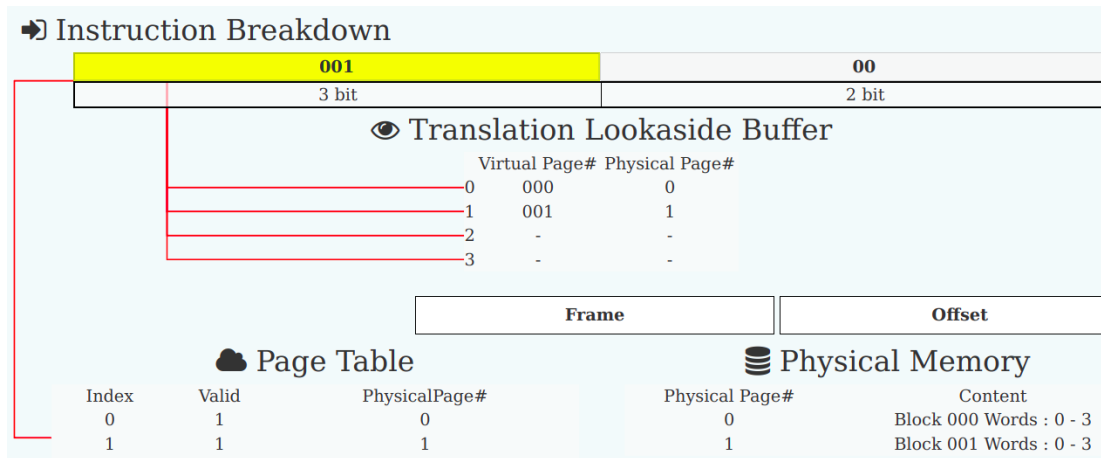
**👁 Translation Lookaside Buffer**

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

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

อธิบายข้อมูลที่ได้ว่าคำนวณอย่างไร

$$\text{Hit rate} = \frac{1}{3} \times 100 = 33\% \quad \text{Miss rate} = \frac{2}{3} \times 100 = 67\%$$

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

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

อธิบายข้อมูลที่ได้ว่า Hit Rate และ Miss Rate คำนวณอย่างไร

$$\text{Hit rate} = \frac{2}{4} \times 100 = 50\% \quad \text{Miss rate} = \frac{2}{4} \times 100 = 50\%$$

14. กรอกรหัสเลข 8 และ 9 ดังรูป แล้วกด Submit

Load Instruction

LOAD(in hex)#

8

9

Gen. Random

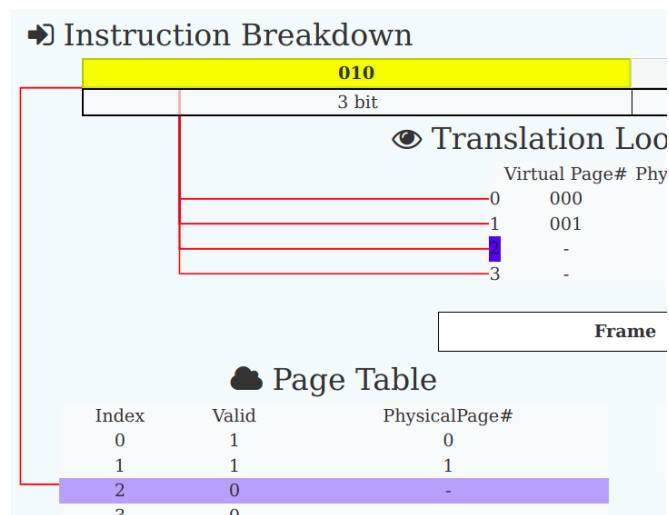
Submit

อธิบายเลขฐานสองที่ได้ตามรูปนี้

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

$8 = 01000_2$  แบ่งเป็น 010 (Page) 00 (offset)

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

$$\text{Hit rate} = \frac{2}{5} \times 100 = 40\% \quad \text{Miss rate} = \frac{3}{5} \times 100 = 60\%$$

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

$$\text{Hit rate} = \frac{3}{6} \times 100 = 50\% \quad \text{Miss rate} = \frac{3}{6} \times 100 = 50\%$$

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

## 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		

นักศึกษาควรจะได้ผลการทดลองใน Cache Table ตรงกับรูปนี้ จงวิเคราะห์ว่าซีโมเลเตอร์ทำงานถูกต้องตามหลักการหรือไม่ เพราะเหตุใด

ไม่ถูกต้อง เพราะ ขนาด Physical memory < TLB size จึงถูกทับลงไปแทนค่าเดิมของ 000 ที่ Physical Page # 0 แต่การทำงานอื่นถูกต้อง

## 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

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

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

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

5. ค้นคว้าเพิ่มเติมเรื่อง Virtual Memory ว่าซีพียูเลเตอร์ขาดองค์ประกอบและมีความสำคัญอย่างไร
6. เหตุใดการเปลี่ยนเทคโนโลยีของอุปกรณ์เก็บรักษาข้อมูลจากฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็นโซลิดสเตตไดรฟ์ จึงทำให้คอมพิวเตอร์ทำงานได้เร็วขึ้น

1

Physical Page Size (power of 2)

Offset Bits

Virtual Memory Size (power of 2)

TLB Entries

Physical Page Size (power of 2)

Offset Bits

Virtual Memory Size (power of 2)

TLB Entries

Translation Lookaside Buffer

	Virtual Page#	Physical Page#
0	000	0
1	001	1
2	010	0
	-	-

Translation Lookaside Buffer

	Virtual Page#	Physical Page#
0	000	0
1	001	1
2	010	2
	-	-

Page Table

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

Page Table

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

Physical Memory

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

Physical Memory

Physical Page#	Content
0	Block 000 Words : 0 - 3
1	Block 001 Words : 0 - 3
2	Block 010 Words : 0 - 3
3	-

ข้อแตกต่าง : - ค่า Physical Page ใน TLB ไม่ซ้ำกัน  
- Physical Page Size เพิ่มขึ้นเป็น 4