บรรณานุกรม

[1] อำพล ใจรักษ์ และ ขวัญ อารยะธนิตกุล. การสอนแบบบรรยายประกอบการสาธิตเชิงมีปฏิสัมพันธ์ในเรื่องแรงและการเคลื่อนที่สำหรับการสอนในระดับมัธยมปลาย. Paper presented at National Conference on Undergraduate Physic Education. 8-9 ธันวาคม 2548, เชียงใหม่.

[2] นฤมล สุวรรณจันทร์ดี, บุรินทร์ อัศวพิภพ และ บุญโชติ เผ่าสวัสดิ์ยรรยง. การประยุกต์ใช้นวัตกรรมการเรียนรู้ฟิสิกส์แบบผู้เรียนมีส่วนร่วมในภูมิภาคเอเชีย. Paper presented at National Conference on Undergraduate Physic Education. 8-9 ธันวาคม 2548, เชียงใหม่.

[3] Carlton, K. (2000). Teaching about heat and temperature. *Physic Education, 35* (2), 101-105.

[4] Emarat, N., Arayathanitkul, K., Soankwan, C., Chittaree, R., & Johnston, I. (2002). *The effectiveness of the Thai traditional teaching in the introductory physics course: A comparison with the US and Australian approaches.* Paper presented at the Proceedings of Scholarly Inquiry in Flexible Science Teaching and Learning Symposium, Sydney, Australia.

[5] Kruatong, T., Sung-ong, S., Singh, P., & Jones, A. (2006). Thai high school students' understanding of heat and thermodynamics. *Kasetsart Journal, 27*, 321-330.

[6] Tanahoung, C., Chitaree, R., & Soankwan, C. (2008). Surveying introductory physics students' understanding of heat and temperature. *Thai Journal Physics*, 165-166.

[7] Self, B. P., Miller, R. L., Kean, A., Moore, T. J., Ogletree, T., & Schreiber, F. (2008). Important student misconceptions in mechanics and thermal science: Identification using model-elicting activities, *38 ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*.

[8] Sokoloff, D. R., & Thornton, R. K. (1997). Using Interactive Lecture Demonstrations to create an active learning environment. *The Physics Teacher, 35*, 340-347.

[9] Thacker, H. B., et al. (1994). Comparing problem solving performance of physics students in inquiry-based and traditional introductory physics courses. *American Journal of Physics, 62,* 627-633.

[10] Laws, P. W. (1997). *Workshop physics activity guide*. New York: John Wiley & Sons.

[11] Furtak, T. E., & Ohno, T. R. (2001). Installing studio physics. *The Physic Teacher, 39*, 11-15.

[12] Thornton, R. K., & Sokoloff, D. R. (1990). Learning motion concepts using real-time microcomputer-based laboratory tools. *American Journal of Physics, 58*, 858-867.

[13] French, T., & Cummings, K. (2002). Effectiveness of Abridged Interactive Lecture Demonstrations [Online]. Available http://www.piggy.rit.edu/franklin/perc2002/French.doc (10 January 2009).

[14] Sokoloff, D. R. (2007). Active Learning of Introductory Optics: Interactive Lecture Demonstrations and Optics Magic Tricks [Online]. Available http://www.spie.org/etop/2007/etop07methodsIII.pdf (10 January 2009).

[15] Loverude, M. E., Kautz, C. H., & Heron, P. R. L. (2002). Student understanding of the first law of thermodynamics: Relating work to the compression of an ideal gas. *American Journal of Physics, 70*(2), 137-148.

[16] Meltzer, D. E. (2004). Investigation of student's reasoning regarding heat, work, and the first law of thermodynamics in an introductory calculus-based general physics course. *American Journal of Physics, 72*(11), 1432-1446.

[17] Kautz, C. H., Loverude, M. E., Heron, P. R. L., & McDermott, L. C. (2005). Student understanding of the ideal gas law, Part I: A macroscopic perspective. *American Journal of Physics, 73*(11), 1055-1063.

[18] Hake, R. R. (1998). Inteactive-engagment versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal Physics, 66*(1), 64-74.

[19] Marx, J. D., & Cummings, K. (2007). Normalized change. *American Journal Physics, 75*(1), 87-91.

[20] Jackson, D. P., & Laws, P. W. (2006). Syringe thermodynamics: The many uses of a glass syringe. *American Journal Physics, 74*(2), 94-101.

[21] Yeo, S., & Zadnik, M. (2001). Introductory thermal concept evaluation: Assessing students' understanding. *The Physics Teacher, 39*, 496-501.

[22] Niaz, M. (2006). Can the study of thermochemistry facilitate students' Differentiation betwęen heat energy and temperature? *Journal of Science Education and Technology, 15*(3), 269-276.

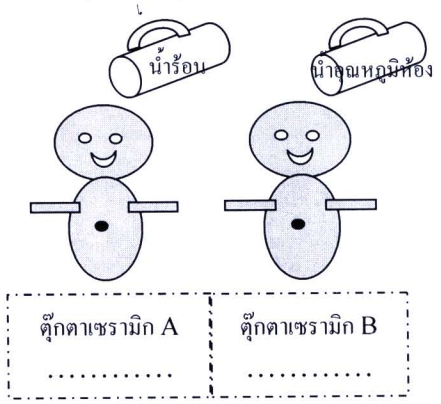
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
แบบทำนายผลและคู่มือครู

Activity 1: Prediction Sheet
ชื่อ.....รหัส.....กลุ่มที่.....

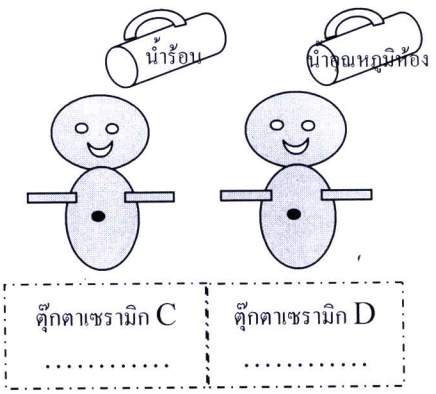
1. ให้เขียนคำทำนายผลของตุ๊กตาเซรามิกในแต่ละสถานการณ์ **โดยใช้ปากกาเท่านั้น**

สถานการณ์ที่ 1 ตุ๊กตาเซรามิก A และ B ภายในบรรจุน้ำที่อุณหภูมิห้อง เมื่อนำน้ำร้อนราดบนตุ๊กตาเซรามิก A และน้ำที่อุณหภูมิห้องราดบนตุ๊กตาเซรามิก B ตามลำดับ คุณคิดว่าตุ๊กตา A และตุ๊กตา B จะมีน้ำพุ่งออกมาจากรูที่อยู่หน้าท้องหรือไม่ เพราะเหตุใด



เหตุผล.....
.....
.....
.....
.....

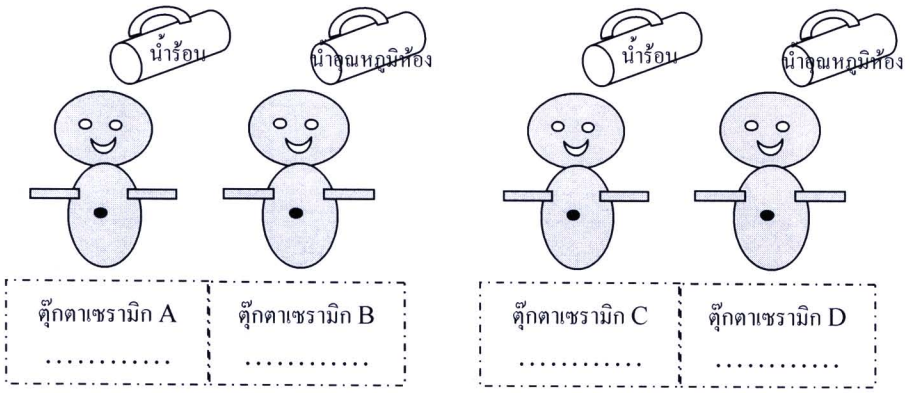
สถานการณ์ที่ 2 ตุ๊กตาเซรามิก C และ D ภายในบรรจุน้ำ จากนั้นแช่ตุ๊กตาทั้งสองในน้ำเย็นจนตุ๊กตาเข้าสู่ภาวะสมดุลความร้อนกับน้ำเย็น เมื่อนำน้ำร้อนราดบนตุ๊กตาเซรามิก C และน้ำที่อุณหภูมิห้องราดบนตุ๊กตาเซรามิก D ตามลำดับ คุณคิดว่าตุ๊กตา C และตุ๊กตา D จะมีน้ำพุ่งออกมาจากรูที่อยู่หน้าท้องหรือไม่ เพราะเหตุใด



เหตุผล.....
.....
.....
.....
.....
.....

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

2.ให้เขียนผลที่เกิดขึ้นกับตุ๊กตาเซรามิก A, B, C และ D พร้อมทั้งอธิบายเหตุผลประกอบ



เหตุผล.....
.....
.....
.....

<u>ข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับตอบคำถามข้อที่ 3-6:</u> ตุ๊กตาเซรามิกจะมีน้ำบรรจุอยู่เป็นส่วนใหญ่ แต่ยังมีอากาศเหลืออยู่ภายในตัวตุ๊กตาบางส่วน ต่อไปนี้จะให้***ระบบที่พิจารณาคือ อากาศที่บรรจุอยู่ในตัวตุ๊กตา***

3. ขณะที่ราดน้ำบนตัวตุ๊กตาจนกระทั่งมีน้ำพุ่งออกมา นักศึกษาคิดว่ามี**งาน**เกิดขึ้นหรือไม่ ถ้ามีงานนั้นเป็น***งานที่ระบบกระทำต่อสิ่งแวดล้อม***หรือเป็น***งานที่สิ่งแวดล้อมกระทำต่อระบบ*** จงอธิบายเหตุผล

.....
.....
.....
.....

4. ขณะที่ราดน้ำบนตัวตุ๊กตาจนกระทั่งมีน้ำพุ่งออกมา นักศึกษาคิดว่า***มีความร้อนถูกถ่ายเทระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม***หรือไม่ ถ้ามี จะเป็นการถ่ายเทแบบ***การคายความร้อน***หรือ***การดูดความร้อน*** จงอธิบายเหตุผล

.....

.....

.....

.....

5. ขณะที่ราดน้ำบนตัวตุ๊กตาจนกระทั่งมีน้ำพุ่งออกมา นักศึกษาคิดว่า***พลังงานภายในของระบบ***มีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ ถ้ามี พลังงานภายในจะ***เพิ่มขึ้น***หรือ***ลดลง*** จงอธิบายเหตุผล

.....

.....

.....

.....

6. ขณะที่ราดน้ำบนตัวตุ๊กตาจนกระทั่งมีน้ำพุ่งออกมา นักศึกษาคิดว่า จะสามารถ***เขียนความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลง ความร้อน และงานได้อย่างไร*** *และเป็น****กระบวนการแบบใด***

.....

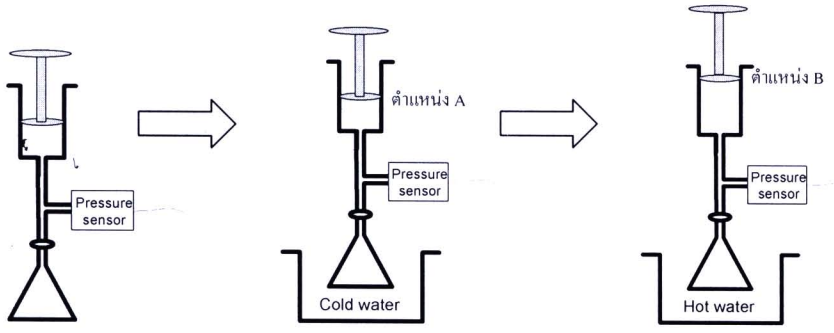
.....

.....

.....

Activity 2: Prediction Sheet
ชื่อ.....รหัส.....กลุ่มที่.....

หลอดฉีดยาอันหนึ่งต่อกับขวดทดลองและเครื่องวัดความดัน ดังรูป 1 กำหนดให้ระบบคือ อากาศที่บรรจุภายในหลอดฉีดยาและขวดทดลอง จงตอบคำถามต่อไปนี้ <u>โดยใช้ปากกาเขียนเท่านั้น</u>

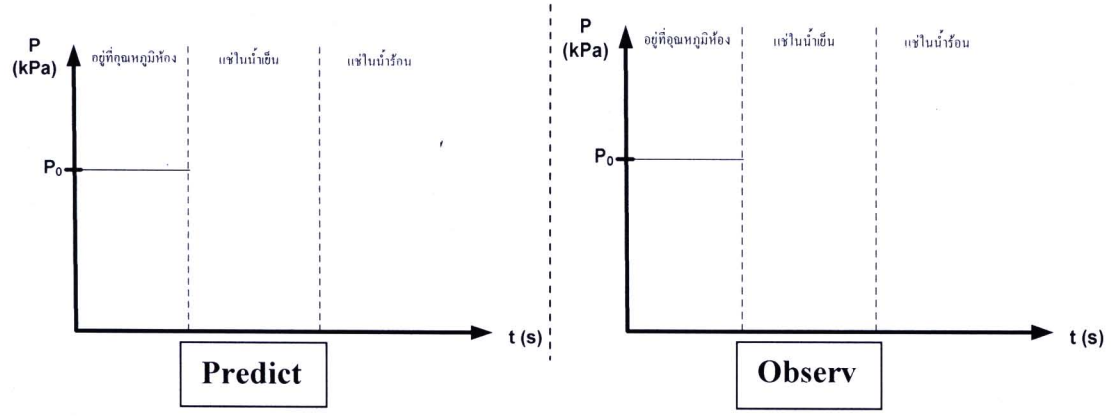


รูป 1 **รูป 2** **รูป 3**

1. เมื่อนำขวดทดลองที่อยู่ในน้ำเย็นจุ่มลงในน้ำร้อน ดังรูป 3 คุณคิดว่าลูกสูบ***ของหลอดฉีดยาจะเคลื่อนที่ขึ้นหรือเคลื่อนที่ลง*** จงอธิบาย

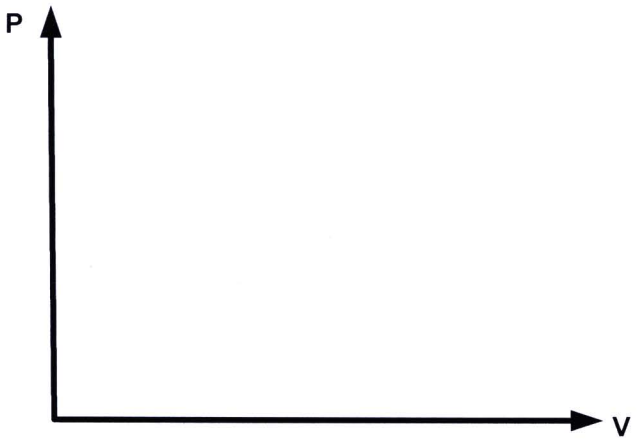
Predict.....	Observe.....
.....	.....
	.....

2. ถ้าที่เวลาเริ่มต้นระบบมีความดัน P_0 จงเขียน**กราฟระหว่างความดันกับเวลาของระบบ เมื่อขวดทดลองแช่อยู่ในน้ำเย็นและแช่อยู่ในน้ำร้อน**



ข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับตอบคำถามข้อที่ 3-7: *ระบบคือ อากาศที่บรรจุภายในหลอดฉีดยาและขวดทดลอง*

3. ขณะที่ขวดทดลองจุ่มอยู่ในน้ำร้อน จงวาด***กราฟระหว่างความดันกับปริมาตรของอากาศ***



4. ***ขณะที่ขวดทดลองจุ่มอยู่ในน้ำร้อน*** คุณคิดว่ามี***งานเกิดขึ้นหรือไม่*** ถ้ามีงานนั้นเป็น***งานที่ระบบกระทำต่อสิ่งแวดล้อม***หรือเป็น***งานที่สิ่งแวดล้อมกระทำต่อระบบ*** จงอธิบายเหตุผล

.....

.....

.....

5. ***ขณะที่ขวดทดลองจุ่มอยู่ในน้ำร้อน*** คุณคิดว่า***มีความร้อนถูกถ่ายเทระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม*** หรือไม่ ถ้ามี จะเป็นการถ่ายเทแบบ***การคายความร้อน***หรือ***การดูดความร้อน*** จงอธิบายเหตุผล

.....

.....

.....

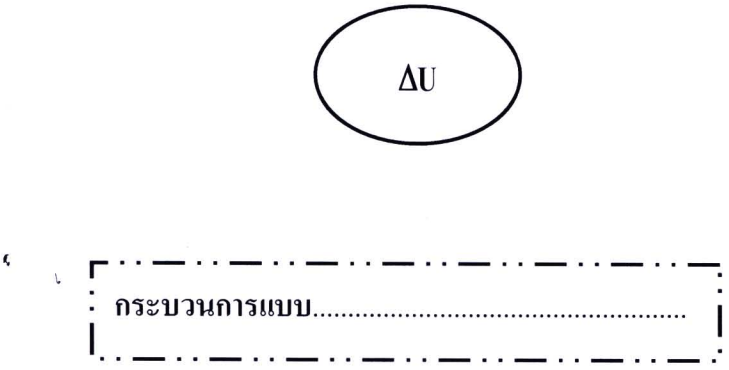
6. ***ขณะที่ขวดทดลองจุ่มในน้ำร้อน*** คุณคิดว่า ***พลังงานภายในของระบบมีการเปลี่ยนแปลง***หรือไม่ ถ้ามี พลังงานภายในจะ***เพิ่มขึ้น***หรือ***ลดลง*** จงอธิบายเหตุผล

.....

.....

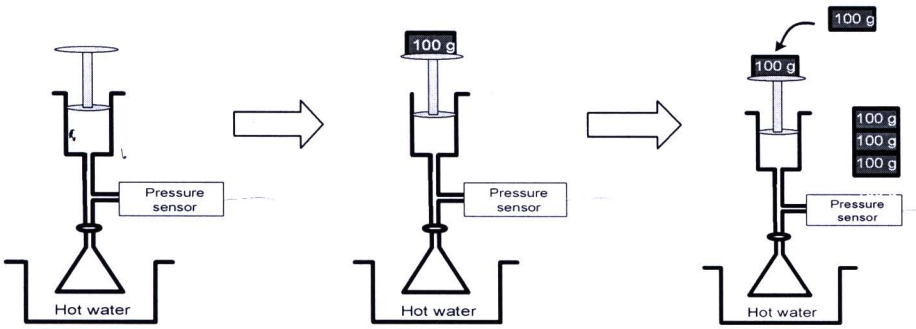
.....

7. ***ขณะที่ขวดทดลองจุ่มอยู่ในน้ำร้อน*** คุณคิดว่า จะสามารถ***เขียนแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลง ความร้อน และงานได้อย่างไร*** และกระบวนการที่เกิดขึ้น***เป็นกระบวนการแบบใด***



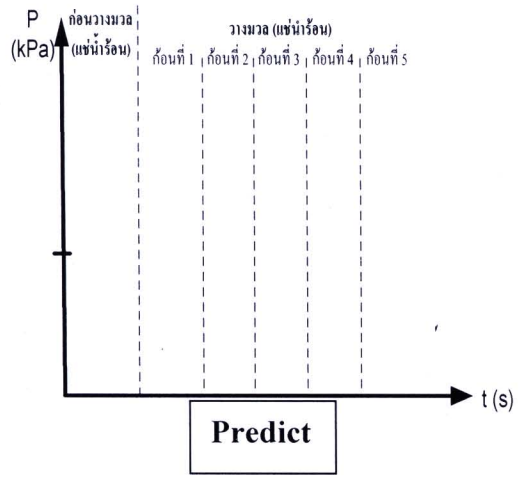
Activity 3: Prediction Sheet
ชื่อ.....รหัส.....กลุ่มที่.....

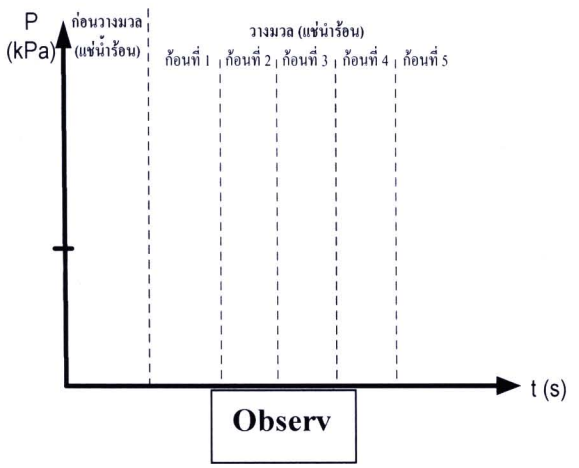
หลอดฉีดยาต่อกับขวดทดลองรูปชมพู่และเครื่องวัดความดัน ดังรูป1 จงตอบคำถามต่อไปนี้ โดยใช้ปากกาเขียนเท่านั้น กำหนดให้ *ระบบ คือ อากาศที่อยู่ในขวดทดลองและหลอดฉีดยา*



รูป 1 **รูป 2** **รูป 3**

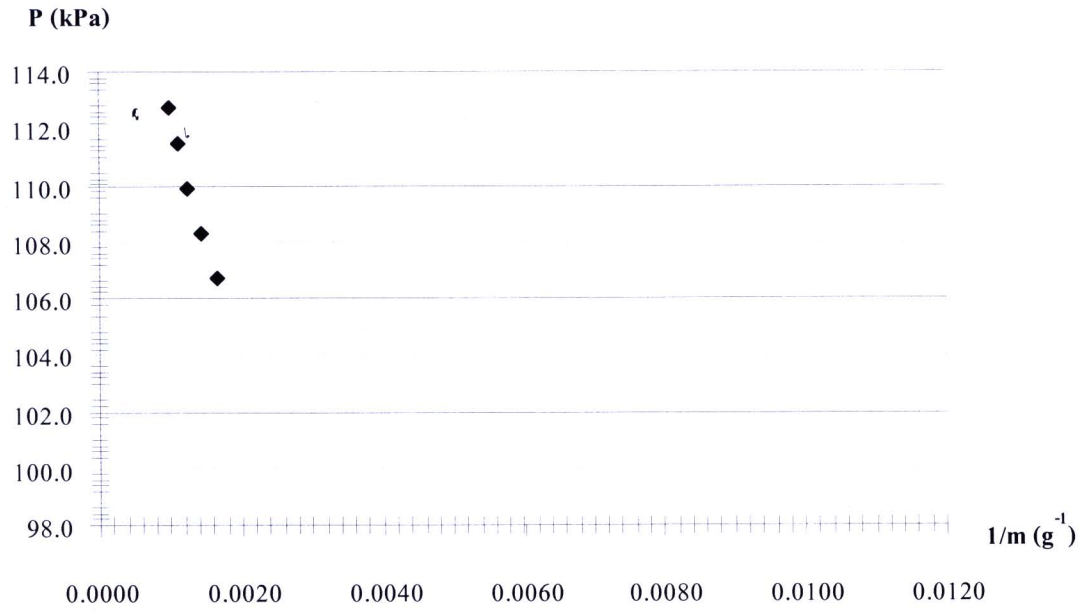
1. นำขวดทดลองจุ่มใน***น้ำร้อนปริมาณมาก*** รอจนกระทั่งระบบเข้าสู่***ภาวะสมดุลความร้อนกับน้ำร้อน*** และลูกสูบของหลอดฉีดยาหยุดนิ่ง ดังรูป 1 เมื่อลูกสูบเข้าสู่สมดุลกล นำมวล 100g วางบนลูกสูบ ดังรูป 2 และค่อย ๆ เพิ่มมวลทีละก้อน ดังรูป 3 คุณคิดว่า ***กราฟระหว่างความดันของระบบกับเวลา*** จะมีลักษณะอย่างไร ***(ก่อนวางมวลแต่ละก้อน ลูกสูบเข้าสู่สมดุลกลและระบบเข้าสู่สมดุลความร้อนกับน้ำร้อนเสมอ)***





2. จากสถานการณ์ในข้อที่ 1 เมื่อวางมวลแต่ละก้อนบนลูกสูบ ได้ทำการวัดค่าความดันมีผลดังตาราง จงเขียน***กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเศษหนึ่งส่วนมวลที่วางลงบนลูกสูบ*** (*โดยลงจุดชุดข้อมูลที่เหลืออีก 5 จุด ที่แรเงาในตาราง แล้วลากเส้นแนวโน้มของกราฟ*)

m (g)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
1/m (g^{-1})	0.0100	0.0050	0.0033	0.0025	0.0020	0.0017	0.0014	0.0013	0.0011	0.0010
P (kPa)	99.2	100.6	102	103.8	105.1	106.7	108.3	109.9	111.4	112.8



<u>ข้อมูลสำหรับตอบคำถามข้อที่ 3-6:</u> ***พิจารณากระบวนการขณะที่วางมวลแต่ละก้อนบนลูกสูบของหลอดฉีดยา***

3. เมื่อพิจารณากระบวนการขณะที่วางมวลแต่ละก้อนบนลูกสูบ จนกระทั่งลูกสูบเข้าสู่สมดุลกล คุณคิดว่า มี***งานเกิดขึ้นหรือไม่*** ถ้ามี งานนั้นเป็น***งานที่ระบบกระทำต่อสิ่งแวดล้อม***หรือเป็น***งานที่สิ่งแวดล้อมกระทำต่อระบบ*** จงอธิบายเหตุผล

.....

.....

.....

.....

4. เมื่อพิจารณากระบวนการที่เกิดขึ้นขณะที่วางมวลแต่ละก้อนบนลูกสูบ จนกระทั่งลูกสูบเข้าสู่สมดุลกล คุณคิดว่า ***มีความร้อนถูกถ่ายเทระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม***หรือไม่ ถ้ามี จะเป็นการถ่ายเทแบบ***การคายความร้อน***หรือ***การดูดความร้อน*** จงอธิบายเหตุผล

.....

.....

.....

.....

5. เมื่อพิจารณากระบวนการที่เกิดขึ้นขณะที่วางมวลแต่ละก้อนบนลูกสูบ จนกระทั่งลูกสูบเข้าสู่สมดุลกล ***พลังงานภายในของระบบมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่*** ถ้ามี พลังงานภายในจะ***เพิ่มขึ้นหรือลดลง*** จงอธิบายเหตุผล

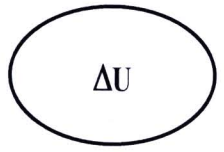
.....

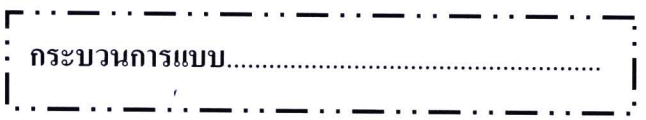
.....

.....

.....

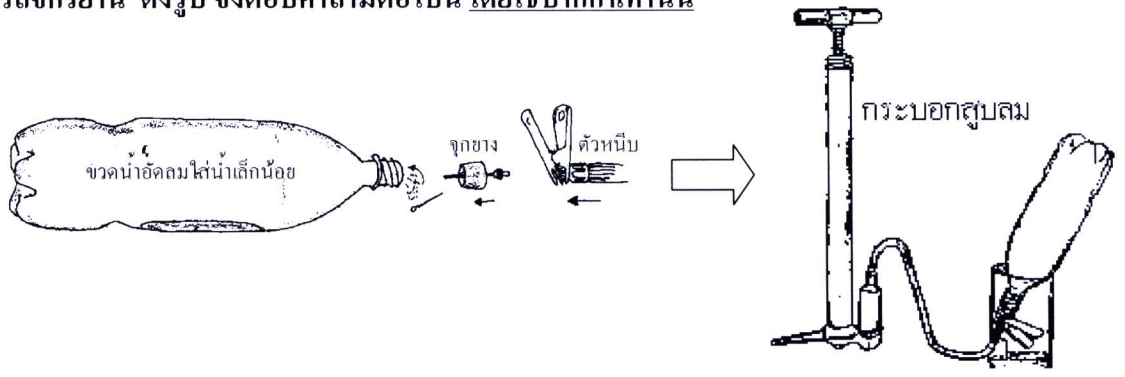
6. เมื่อพิจารณากระบวนการที่เกิดขึ้นขณะที่วางมวลแต่ละก้อนบนลูกสูบ จนกระทั่งลูกสูบเข้าสู่สมดุลกล คุณคิดว่า จะสามารถ***เขียนแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลง ความร้อน และงานได้อย่างไร*** และกระบวนการที่เกิดขึ้น***เป็นกระบวนการแบบใด***





Activity 4: Prediction Sheet
ชื่อ.....รหัส.....กลุ่มที่.....

ขวดน้ำอัดลมใบหนึ่งภายในใส่น้ำเล็กน้อย ใช้จุกยางและตัวหนีบต่อขวดเข้ากับกระบอกสูบลมรถจักรยาน ดังรูป จงตอบคำถามต่อไปนี้ <u>โดยใช้ปากกาเท่านั้น</u>



1. เมื่ออัดกระบอกสูบลมหลายๆ ครั้ง จนกระทั่งจุกยางหลุดออกจากปากขวดน้ำอัดลม คุณคิดว่าจะเกิดอะไรขึ้นบ้างที่ปากขวดและภายในขวดน้ำอัดลม จงอธิบายเหตุผล

.....

.....

.....

2. จงเขียน***ผลการสาธิต***ที่คุณสังเกตเห็น พร้อมทั้งอธิบายสาเหตุการเกิดที่น่าจะเป็นไปได้

.....

.....

.....

3. เมื่ออัดกระบอกสูบลมหลายๆ ครั้ง ***ปริมาตร***ของอากาศในขวดมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร (เพิ่มขึ้น ลดลงหรือเท่าเดิม) จงอธิบายเหตุผล

.....

.....

.....

4. เมื่ออัดกระบอกสูบลมหลายๆ ครั้ง ***ความดัน***ของอากาศในขวดมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร (เพิ่มขึ้น ลดลงหรือเท่าเดิม) จงอธิบายเหตุผล

.....

.....

.....

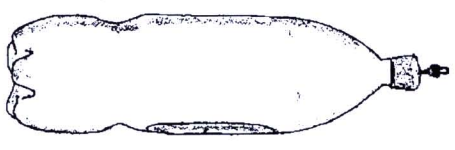
5. คุณคิดว่า เมื่ออัดกระบอกสูบลม ***อุณหภูมิ***ของอากาศมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร (เพิ่มขึ้น ลดลงหรือเท่าเดิม) จงอธิบายเหตุผล

.....

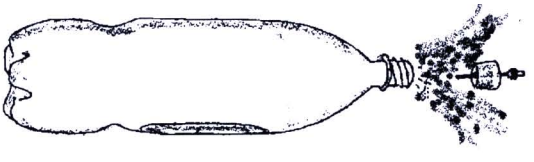
.....

.....

<u>ข้อมูลสำหรับคำถามข้อที่ 6-8:</u> กำหนดให้ ***ระบบ คือ อากาศที่อยู่ภายในขวดน้ำอัดลม และระบบมีสถานะเริ่มต้น คือ สถานะของระบบก่อนจุกยางกระเด็นออกเพียงไม่กี่วินาที และสถานะสุดท้าย คือ สถานะของระบบหลังจุกยางกระเด็นออกไม่กี่วินาที*** พิจารณาการเปลี่ยนแปลงจากสถานะเริ่มต้นไปสถานะสุดท้ายดังรูปด้านล่าง



สถานะเริ่มต้น



สถานะสุดท้าย

6. คุณคิดว่ามี***งาน***เกิดขึ้นหรือไม่ ถ้ามีงานนั้นเป็น***งานที่ระบบกระทำต่อสิ่งแวดล้อม***หรือเป็น***งานที่สิ่งแวดล้อมกระทำต่อระบบ*** จงอธิบายเหตุผล

.....

.....

.....

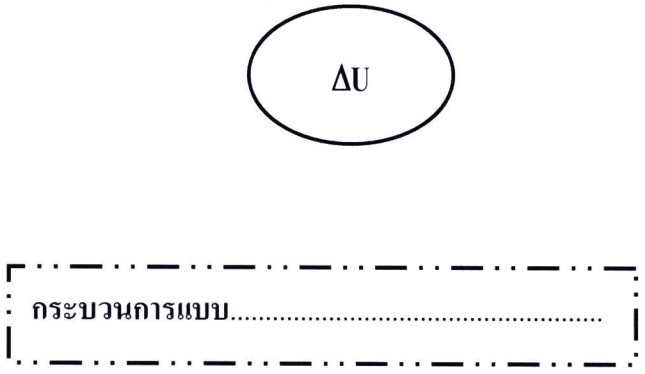
7. คุณคิดว่า***มีความร้อนถูกถ่ายเทระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม***หรือไม่ ถ้ามี จะเป็นการถ่ายเทแบบ ***การคายความร้อน***หรือ***การดูดความร้อน*** จงอธิบายเหตุผล

.....

.....

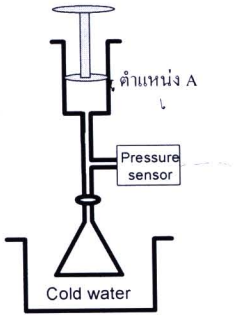
.....

8. คุณคิดว่า จะสามารถ***เขียนแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างงาน ความร้อนที่ถ่ายเท และพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลงได้อย่างไร*** และการเปลี่ยนแปลงของระบบถือเป็น***กระบวนการแบบใด***

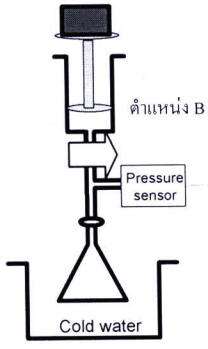


Activity 5: Prediction Sheet
ชื่อ.....รหัส.....กลุ่มที่.....

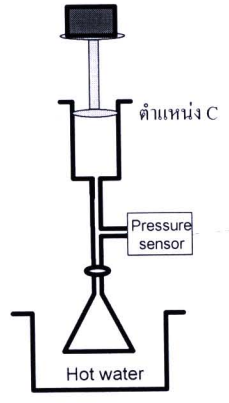
หลอดฉีดยาต่อกับขวดทดลองที่จุ่มอยู่ในน้ำเย็นและต่อกับเครื่องวัดความดัน ดังรูป 1 พิจารณา *ระบบคือ อากาศที่อยู่หลอดฉีดยาและขวดทดลอง* จงตอบคำถามต่อไปนี้ โดยใช้ปากกาเท่านั้น



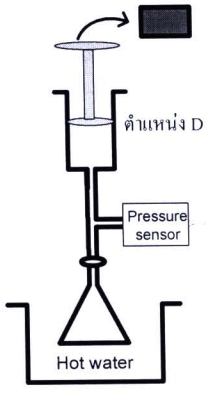
รูป 1



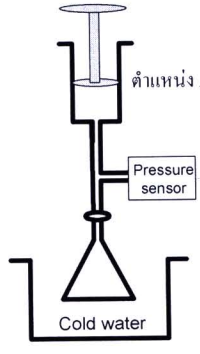
รูป 2



รูป 3



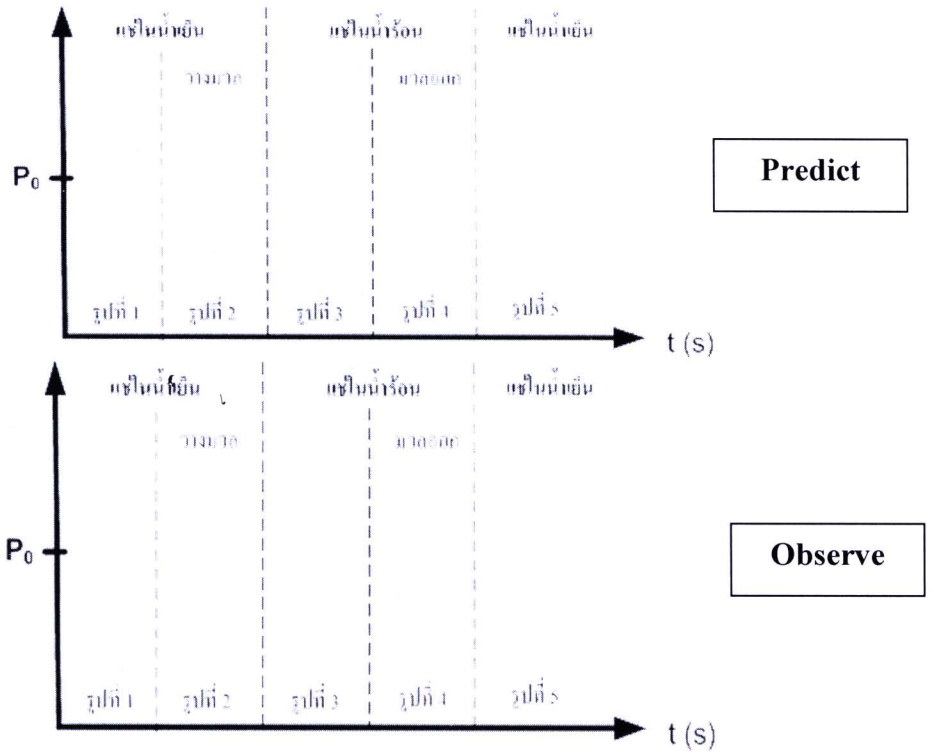
รูป 4



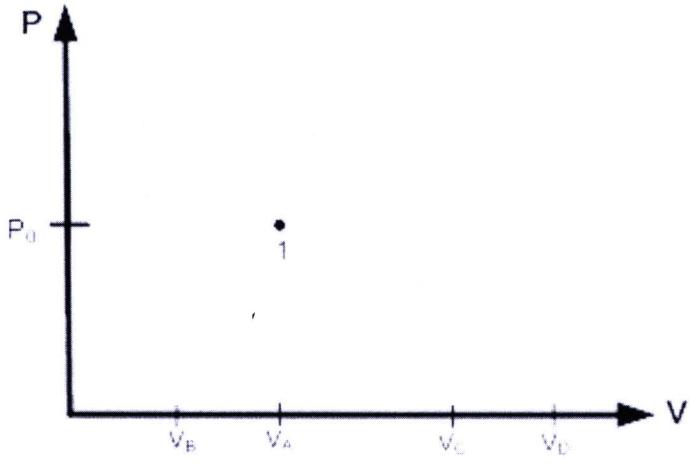
รูป 5

1. นำขวดทดลอง***จุ่มในน้ำเย็น*** จนระบบเข้าสู่***สมดุลความร้อนกับน้ำเย็น***และลูกสูบเข้าสู่***สมดุลกล แล้วหยุดที่ตำแหน่ง A*** ดังรูป 1 จึงนำมวลวางบนลูกสูบ จนลูกสูบเข้าสู่สมดุลกลที่ตำแหน่ง B ดังรูป 2 จากนั้นนำขวดไปจุ่มลงในน้ำร้อน จนระบบเข้าสู่สมดุลความร้อนกับน้ำร้อนและลูกสูบเข้าสู่สมดุลกลที่ตำแหน่ง C ดังรูป 3 แล้วหยิบมวลออก ทำให้ลูกสูบเข้าสู่สมดุลกลใหม่ที่ตำแหน่ง D ดังรูป 4 จึงนำขวดจุ่มในน้ำเย็นอีกครั้งหนึ่ง จนระบบเข้าสู่สมดุลความร้อนกับน้ำเย็นและลูกสูบเข้าสู่

สมดุลกลที่ตำแหน่ง A ดังรูป 5 คุณคิดว่า ***กราฟระหว่างความดันของระบบกับเวลาจะเป็นอย่างไร*** (กำหนดให้ ความดันเริ่มต้นของระบบในรูป 1 คือ P_0)



2. จากสถานการณ์ในข้อที่ 1 ระบบมีการเปลี่ยนแปลงสถานะดังรูป 1-5 จงเขียน***กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับปริมาตรของระบบ ณ สถานะต่าง ๆ*** (โดยมีการลงจุดตัวอย่าง คือ สถานะของระบบในรูป 1 ที่อากาศมีความดัน P_0 และปริมาตร V_A)



3. จากกราฟในข้อที่ 2 คุณคิดว่า มี***งานเกิดขึ้นหรือไม่*** ถ้ามี งานนั้นเป็น***งานที่ระบบกระทำต่อสิ่งแวดล้อม***หรือเป็น***งานที่สิ่งแวดล้อมกระทำต่อระบบ*** จงอธิบายเหตุผล

.....

.....

.....

.....

4. จากกราฟในข้อที่ 2 คุณคิดว่า ***พลังงานภายในของระบบมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่*** ถ้ามี พลังงานภายในจะ***เพิ่มขึ้นหรือลดลง*** จงอธิบายเหตุผล

.....

.....

.....

.....

5. จากกราฟในข้อที่ 2 คุณคิดว่า ***มีความร้อนถูกถ่ายเทระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม***หรือไม่ ถ้ามี จะเป็นการถ่ายเทแบบ***การคายความร้อน***หรือ***การดูดความร้อน*** จงอธิบายเหตุผล

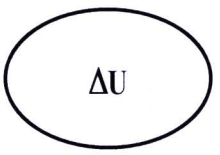
.....

.....

.....

.....

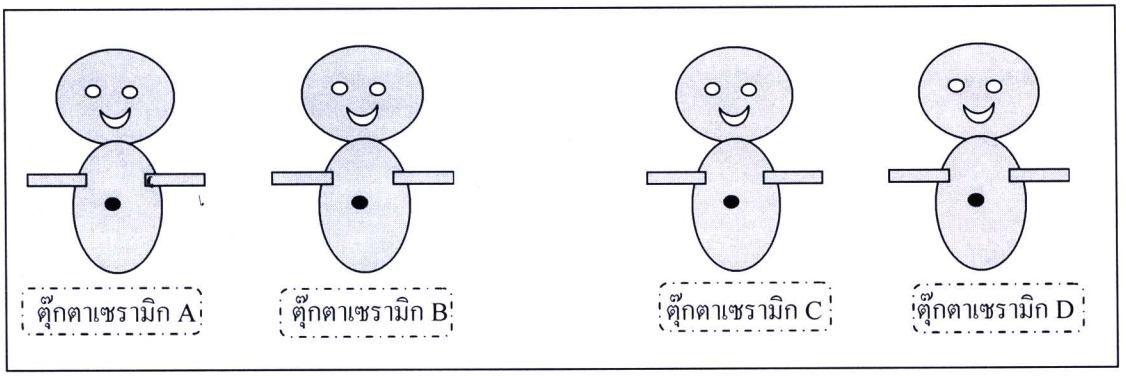
6. จากกราฟในข้อที่ 2 คุณคิดว่า จะสามารถ***เขียนแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างงาน ความร้อนที่ถ่ายเท และพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลง ได้อย่างไร***



คู่มือครู ชุดสาธิตตุ๊กตาเซรามิก

อุปกรณ์ชุดสาธิต

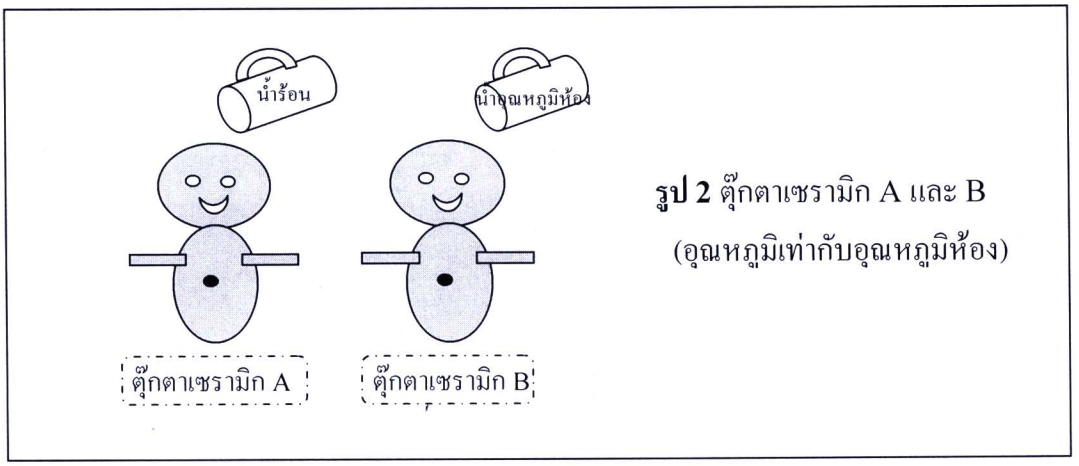
อุปกรณ์ที่ใช้ในการสาธิตการพุ่งของน้ำที่อยู่ภายในตัวตุ๊กตาเซรามิกประกอบด้วย น้ำร้อน น้ำอุณหภูมิห้อง น้ำแข็งผสมน้ำ ภาชนะวางตัวตุ๊กตา และตุ๊กตาเซรามิก A, B, C, D ดังรูป 1 ภายในตัวตุ๊กตามีน้ำบรรจุอยู่ส่วนหนึ่ง และด้านหน้าของตัวตุ๊กตามีรูเล็กๆ อยู่



รูป 1 ภาพแสดงชุดสาธิตตุ๊กตาเซรามิก

ชุดสาธิตการเกิดหมอกนี้จะแบ่งออกเป็น 2 สถานการณ์ ดังนี้

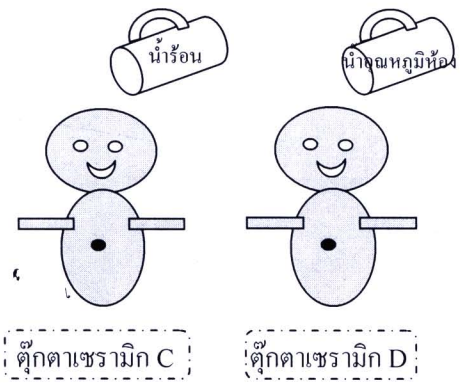
สถานการณ์ที่ 1 นำน้ำร้อนราดบนหัวตุ๊กตาเซรามิก A และน้ำที่อุณหภูมิห้องราดบนหัวตุ๊กตาเซรามิก B ดังรูป 2 โดยที่อุณหภูมิของตุ๊กตาทั้งสองจะต้องเท่ากับอุณหภูมิห้อง



รูป 2 ตุ๊กตาเซรามิก A และ B
(อุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

สถานการณ์ที่ 2 นำน้ำร้อนราดบนศีรษะของตุ๊กตาเซรามิก C และน้ำที่อุณหภูมิห้องราดบนศีรษะตุ๊กตาเซรามิก D ดังรูป 3 โดยที่อุณหภูมิของตุ๊กตาทั้งสองจะต้องต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง (แช่ในน้ำผสมน้ำแข็งเป็นเวลานาน)



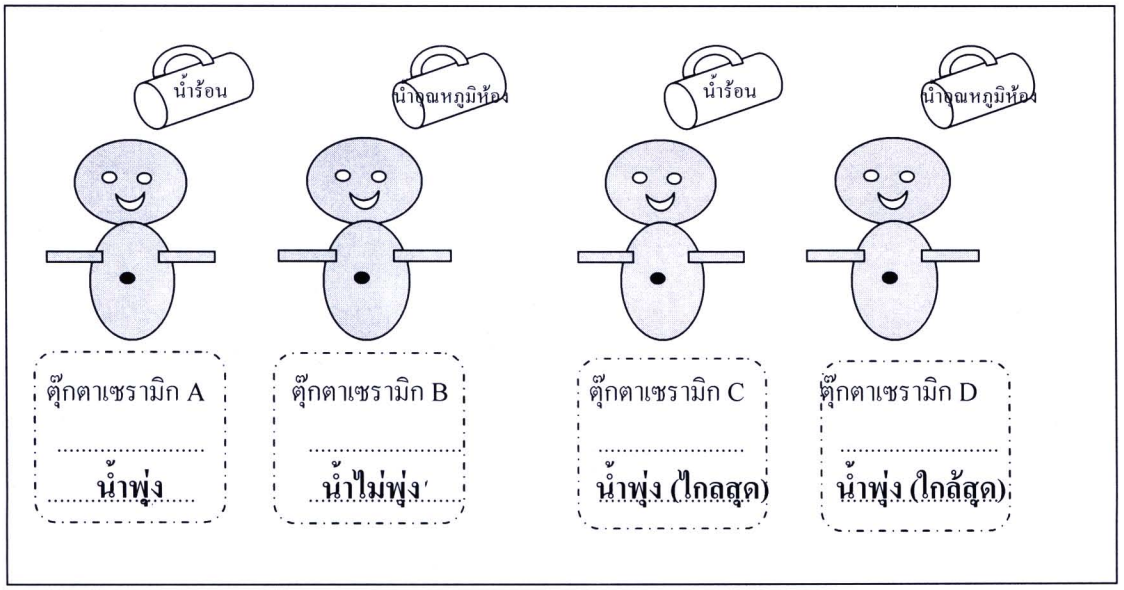
รูป 3 ตุ๊กตาเซรามิก C และ D (อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง)

วิธีการบรรจุน้ำในตัวตุ๊กตาเซรามิก

นำตุ๊กตาเซรามิกแช่ลงในน้ำร้อนสักพักหนึ่ง แล้วนำไปแช่ในน้ำอุณหภูมิห้อง

ผลการสาธิต

ผลการสาธิตจากวิธีการสาธิตทั้งสองสถานการณ์ เป็นดังนี้



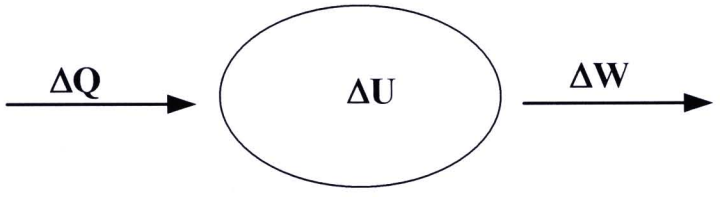
รูป 4 ภาพแสดงผลการสาธิตของตุ๊กตาเซรามิก A, B, C และ D

หลักการ

การที่น้ำอุณหภูมิห้องสามารถเข้าไปบรรจุภายในตัวตุ๊กตาได้ เนื่องจากอากาศภายในตัวตุ๊กตาขณะที่แช่ในน้ำร้อนเกิดการขยายตัวตามปริมาตร อากาศส่วนหนึ่ง จึงไหลออกมาข้างนอก และเมื่อนำตุ๊กตาที่แช่ในน้ำร้อนไปแช่ในน้ำอุณหภูมิห้อง อุณหภูมิของอากาศภายในตัวตุ๊กตาลดลง อากาศจึงเกิดการหดตัว ทำให้น้ำภายนอกสามารถเข้าไปในตัวตุ๊กตาได้

การที่น้ำภายในตัวตุ๊กตาพุ่งออกมาจากรูด้านหน้าของตัวตุ๊กตานั้น เนื่องจากอากาศที่อยู่ภายในตัวตุ๊กตาเกิดการขยายตัวหรือมีปริมาตรเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น อากาศขยายตัวไปแทนที่น้ำที่อยู่ภายในตัวตุ๊กตา น้ำจึงพุ่งออกมาจากรูที่ตัวตุ๊กตา น้ำจะพุ่งได้ไกลหรือใกล้ขึ้นอยู่อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป

การที่น้ำภายในตัวตุ๊กตาพุ่งออกจากรูเล็กๆ ของตัวตุ๊กตานั้น ถือเป็นกระบวนการความดันคงที่ (Isobaric Process) โดยพิจารณาระบบคือ อากาศที่อยู่ภายในตัวตุ๊กตา เมื่อราดน้ำร้อนบนตัวตุ๊กตา ระบบจะมีความร้อนถ่ายเทเข้าสู่ระบบจากน้ำร้อนที่ราด (ΔQ เป็นบวก)ส่งผลให้อากาศที่อยู่ภายในตัวตุ๊กตามีอุณหภูมิสูงขึ้น แต่ความดันของอากาศภายในสัมพันธ์กับความดันบรรยากาศภายนอกซึ่งมีค่าคงที่ ดังนั้นอุณหภูมิของอากาศที่เพิ่มขึ้นจึงส่งผลต่อปริมาตรที่เพิ่มขึ้นของอากาศเท่านั้น ซึ่งอากาศที่ขยายตัวจะไปแทนที่น้ำที่อยู่ภายในตัวตุ๊กตา น้ำจึงพุ่งออกมา หรือคิดในแง่ของงานน้ำที่พุ่งออกมาก็คือการที่ระบบทำงานกับสิ่งแวดล้อม (ΔW เป็นบวก) เมื่อนำสถานการณ์นี้มาเขียนสมการกฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์จะได้ว่า $\Delta Q = \Delta U + \Delta W$ หรือ $\Delta U = \Delta Q - \Delta W$ และเขียนแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างงาน ความร้อนที่ถ่ายเท และพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลงจะได้ดังรูป



รูป 5 ภาพแสดงแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างงาน ความร้อนที่ถ่ายเท และพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลง ของสถานการณ์ที่ตุ๊กตาเซรามิกมีน้ำพุ่งออกมา

วิธีการใช้ชุดสาธิต

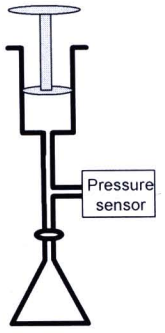
ชุดสาธิตตุ๊กตาเซรามิกมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจกฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์ และประยุกต์ใช้กฎข้อที่หนึ่งในสถานการณ์จริงได้ โดยขั้นตอนการใช้ชุดสาธิตและแบบทำนายผล มีดังนี้

1. ผู้สอนอธิบายเกี่ยวกับอุปกรณ์การสาธิตและวิธีการสาธิต
2. ให้ผู้เรียนทำนายผลการสาธิตในสถานการณ์ที่ 1
3. ให้ผู้เรียนทำนายผลการสาธิตในสถานการณ์ที่ 2
4. ให้ผู้เรียนสังเกตผลการสาธิต
5. ให้ผู้เรียนเขียนผลการสาธิตลงในแบบทำนายผล
6. ให้ผู้เรียนพิจารณาสถานการณ์เมื่อราดน้ำร้อนจนกระทั่งมีมีน้ำพุ่งออกมาจากตัวตุ๊กตาเซรามิก แล้วถามแนวคิดของผู้เรียนที่ผู้เรียนเขียนตอบคำถามในแบบทำนายผลเกี่ยวกับความร้อนที่ถ่ายเท งาน และพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลง เพื่อเป็นแนวทางไปสู่กฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสถานการณ์นั้น
7. ให้ผู้เรียนเขียนแผนภาพของกฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์ในสถานการณ์ดังกล่าว

คู่มือครู ชุดสาธิต Isobaric Process

อุปกรณ์ชุดสาธิต

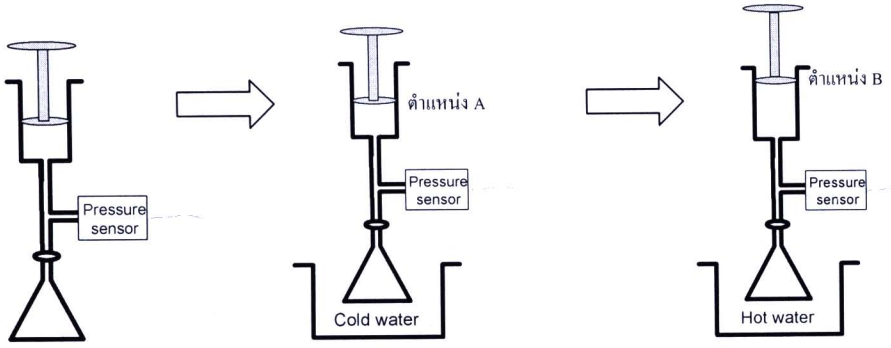
อุปกรณ์ที่ใช้ในการสาธิต Isobaric Process ประกอบด้วย หลอดฉีดยาแก้ว ขวดทดลอง เครื่องวัดความดัน ซึ่งต่อกันอยู่ ดังรูป 1 น้ำร้อน และน้ำแข็งผสมน้ำ



รูป 1 ภาพแสดงชุดสาธิตกระบวนการความดันคงที่

วิธีการสาธิต

นำขวดทดลองที่อยู่ในอุณหภูมิห้องจุ่มลงไปในน้ำเย็น หลังจากนั้นนำขวดทดลองจุ่มลงในน้ำร้อน จนกระทั่งลูกสูบเข้าสู่สมดุลกล ตามขั้นตอน ดังรูป 2

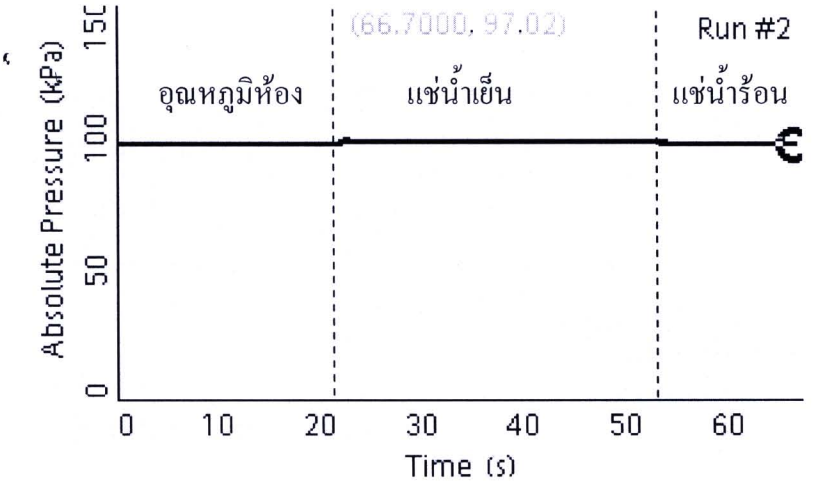


รูป 2 ภาพแสดงวิธีการสาธิต

ผลการสาธิต

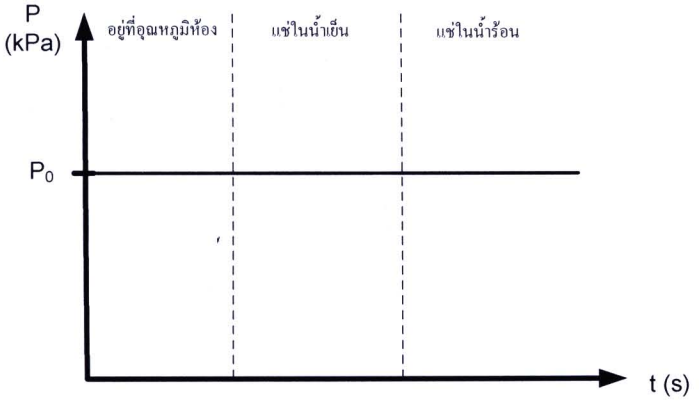
ผลของการเคลื่อนที่ของลูกสูบหลอดฉีดยา และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันของอากาศกับเวลาจากการสาธิตของชุดสาธิต Isobaric Process เป็นดังนี้

1. เมื่อนำขวดทดลองที่อยู่ในอุณหภูมิห้องจุ่มลงไปในน้ำเย็น ลูกสูบหลอดฉีดยาจะเคลื่อนที่ลง หลังจากนั้นนำขวดทดลองจุ่มลงในน้ำร้อน ลูกสูบของหลอดฉีดยาจะเคลื่อนที่ขึ้น โดยที่ความดันของอากาศคงที่ตลอดเวลาที่จุ่มในน้ำเย็นและน้ำร้อน
2. กราฟจากเครื่องวัดความดัน (Pressure Sensor)



รูป 3 ภาพแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันของระบบกับเวลา ขณะที่ขวดทดลองอยู่ที่อุณหภูมิห้อง แช่น้ำเย็น และแช่น้ำร้อน ตามลำดับ

3. แผนภาพของกราฟจากเครื่องวัดความดัน

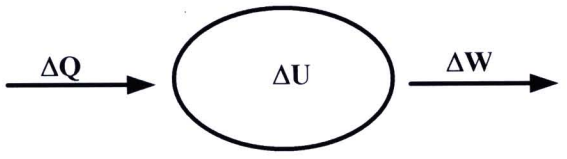


รูป 4 ภาพแสดงแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างความดันของระบบกับเวลา ขณะที่ขวดทดลองอยู่ที่อุณหภูมิห้อง แช่น้ำเย็น และแช่น้ำร้อน ตามลำดับ

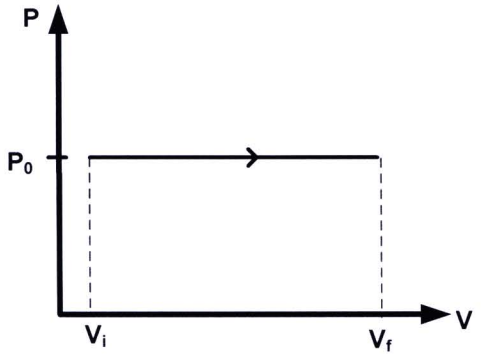
หลักการ

เมื่อนำขวดทดลองที่อยู่ในอุณหภูมิห้องจุ่มลงไปในน้ำเย็น ลูกสูบของหลอดฉีดยาจะเคลื่อนที่ลง หลังจากนั้นนำขวดทดลองจุ่มลงในน้ำร้อน ลูกสูบของหลอดฉีดยาจะเคลื่อนที่ขึ้น การที่ลูกสูบเคลื่อนที่ลงและขึ้นเมื่อจุ่มในน้ำเย็นและน้ำร้อนตามลำดับ เนื่องจากอุณหภูมิของอากาศในระบบมีการลดลงและเพิ่มขึ้น แต่ลูกสูบอยู่ในภาวะสมดุลกล แรงลัพธ์ที่กระทำกับลูกสูบจึงเท่ากับศูนย์หรือเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ว่า $PA = mg + P_aA$ โดย P คือค่าความดันของอากาศในขวด และ P_a คือค่าความดันของบรรยากาศ ดังนั้นอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงจึงไม่ส่งผลต่อความดันแต่จะส่งผลต่อปริมาตร ทำให้อากาศเกิดการหดตัวเมื่อจุ่มในน้ำเย็นและขยายตัวเมื่อจุ่มในน้ำร้อน ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่า กระบวนการความดันคงที่ (Isobaric Process)

เมื่อพิจารณาระบบหรืออากาศที่อยู่ในขวดทดลองเฉพาะตอนที่จุ่มในน้ำร้อน จะเขียนสมการกฎข้อที่หนึ่งได้ดังนี้ $\Delta U = \Delta Q - \Delta W$ ซึ่ง ΔQ ในกระบวนการนี้มีค่าเป็นบวกเพราะจุ่มในน้ำร้อน สิ่งแวดล้อมมีอุณหภูมิสูงกว่าระบบฉะนั้นความร้อนจึงถ่ายเทเข้าสู่ระบบ ซึ่งความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามานี้ส่วนหนึ่งทำให้พลังงานภายในของระบบมีการเปลี่ยนแปลงและอีกส่วนหนึ่งระบบนำไปใช้ทำงานกับสิ่งแวดล้อมหรือดันลูกสูบจนอากาศมีปริมาตรเพิ่มขึ้น ดังนั้น ΔW ในกระบวนการนี้จึงมีค่าเป็นบวก จึงทำให้แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างงาน ความร้อนที่ถ่ายเท และพลังงานที่เปลี่ยนแปลง เป็นดังรูป 5 เมื่อนำผลการสาธิตขณะที่นำขวดทดลองจุ่มในน้ำร้อนมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับปริมาตรของระบบ จะได้ดังรูป 6



รูป 5 ภาพแสดงแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างงาน ความร้อนที่ถ่ายเท และพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลง ขณะที่ขวดทดลองแช่อยู่ในน้ำร้อน



รูป 6 ภาพแสดงแผนภาพระหว่างความดันกับปริมาตรของระบบ
จากปริมาตรเริ่มต้นจนปริมาตรสุดท้าย

วิธีการใช้ชุดสาธิต

ชุดสาธิต Isobaric Process เป็นชุดสาธิตที่มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจเกี่ยวกับสถานการณ์และเงื่อนไขของการเกิดกระบวนการความดันคงที่ และประยุกต์ใช้กฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์ในสถานการณ์จริงได้ โดยขั้นตอนการใช้ชุดสาธิตและแบบทำนายผล มีดังนี้

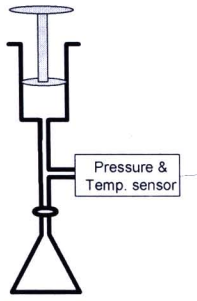
1. ผู้สอนอธิบายเกี่ยวกับอุปกรณ์การสาธิตและวิธีการสาธิต
2. ให้ผู้เรียนทำนายผลการสาธิต (การเคลื่อนที่ของลูกสูบของหลอดฉีดยาและกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความดันของอากาศ)
3. ให้ผู้เรียนสังเกตผลการสาธิต
4. ให้ผู้เรียนเขียนผลการสาธิตลงในแบบทำนายผล
5. ให้ผู้เรียนเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับปริมาตรของอากาศในหลอดฉีดยา
6. ให้ผู้เรียนพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับปริมาตรของอากาศในหลอดฉีดยาที่ผู้สอนแสดงให้ดู แล้วถามแนวคิดของผู้เรียนที่ผู้เรียนเขียนตอบคำถามในแบบทำนายผล เกี่ยวกับงาน ความร้อนที่ถ่ายเท และพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลง เพื่อจะเป็นแนวทางไปสู่กฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสถานการณ์นั้น
7. ให้ผู้เรียนเขียนแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างงาน ความร้อนที่ถ่ายเท และพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลง (กฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์) ของสถานการณ์ที่สาธิต

หมายเหตุ: ระบบ คือ อากาศที่อยู่ในขวดรูปชมพู่และหลอดฉีดยา

คู่มือครู ชุดสาธิต Isothermal Process

อุปกรณ์ชุดสาธิต

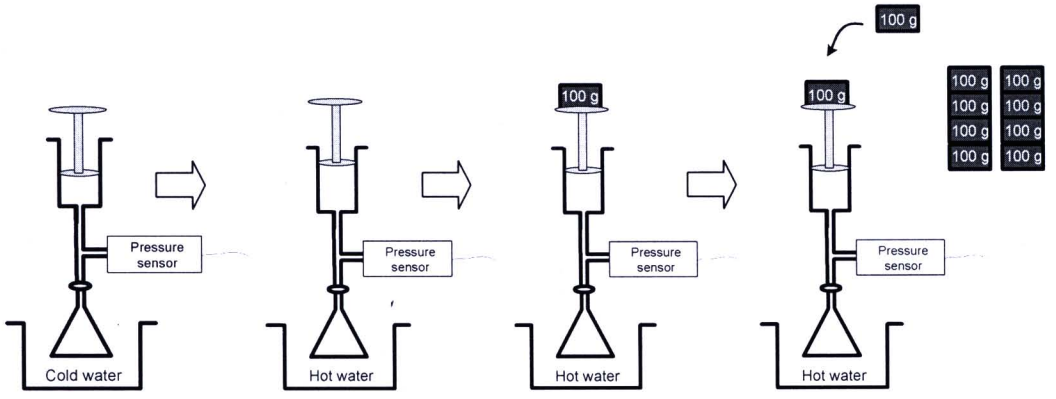
อุปกรณ์ที่ใช้ในการสาธิตกระบวนการอุณหภูมิคงที่ ประกอบด้วย หลอดฉีดยาแก้ว ขวดทดลอง และเครื่องวัดความดัน ซึ่งต่อกันอยู่ ดังรูป 1 น้ำร้อน น้ำแข็งผสมน้ำ และมวล 100 g จำนวน 10 ก้อน



รูป 1 ภาพแสดงชุดสาธิตกระบวนการอุณหภูมิคงที่

วิธีการสาธิต

นำขวดทดลองที่อยู่ในอุณหภูมิห้องจุ่มลงไปในน้ำเย็น หลังจากนั้นย้ายขวดทดลองไปจุ่มแช่ในน้ำร้อนปริมาณมาก รอจนกระทั่งระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลความร้อนกับน้ำร้อน และลูกสูบของหลอดฉีดยาหยุดนิ่ง เมื่อลูกสูบเข้าสู่สมดุลกล นำมวล 100g วางบนลูกสูบ และค่อย ๆ เพิ่มมวลทีละก้อนจนครบจำนวน 10 ก้อน (ก่อนวางมวลแต่ละก้อน ลูกสูบเข้าสู่สมดุลกลและระบบเข้าสู่สมดุลความร้อนกับน้ำร้อนเสมอ) ตามขั้นตอน ดังรูป 2

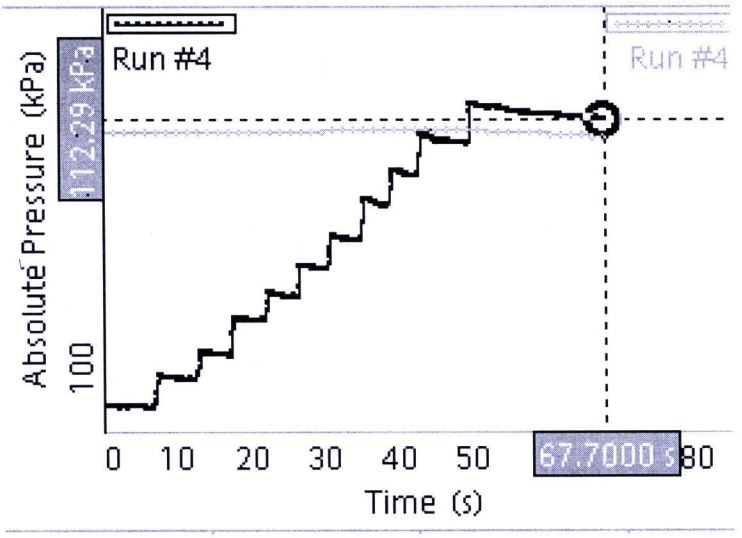


รูป 2 ภาพแสดงวิธีการสาธิต

ผลการสาธิต

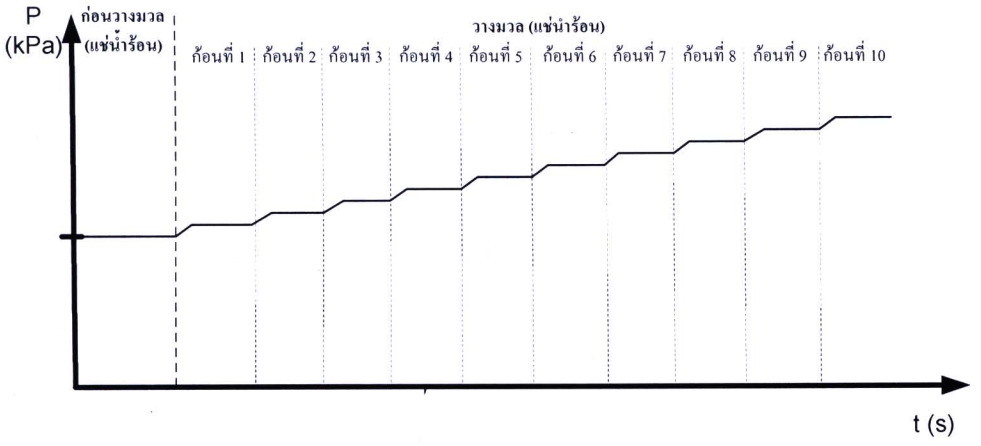
ผลของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความดันของอากาศที่อยู่ในระบบจากการสาธิตของชุดสาธิตกระบวนการอุณหภูมิคงที่ เป็นดังนี้

1. กราฟจากเครื่องวัดความดันและอุณหภูมิ (Pressure & Temperature Sensor)



รูป 3 ภาพแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันของระบบกับเวลา ขณะที่วางมวลแต่ละก้อน จนครบจำนวน 10 ก้อน

2. แผนภาพของกราฟจากเครื่องวัดความดันและอุณหภูมิ



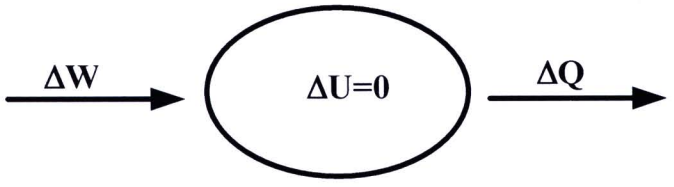
รูป 4 ภาพแสดงแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างความดันของระบบกับเวลา ขณะที่วางมวลแต่ละก้อน จนครบจำนวน 10 ก้อน

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

. ข้อเสนอแนะในการสาธิต มวลที่วางบนลูกสูบควรวางเพียงจำนวน 5 ก้อนและขั้นตอนที่จุ่มขวดทดลองในน้ำเย็นไม่ต้องแสดงให้ผู้เรียนเห็นก็ได้ เพื่อประหยัดเวลาในการสาธิตและขจัดปัจจัยที่จะทำให้ผู้เรียนเกิดความสับสนในสถานการณ์ได้

หลักการ

เมื่อขวดทดลองจุ่มในน้ำร้อนปริมาณมาก รอจนกระทั่งระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลความร้อนกับน้ำร้อน และลูกสูบของหลอดฉีดยาหยุดนิ่ง เมื่อลูกสูบเข้าสู่สมดุลกล นำมวล 100g วางบนลูกสูบ และค่อย ๆ เพิ่มมวลทีละก้อนครบจำนวน 10 ก้อน (ก่อนวางมวลแต่ละก้อน ลูกสูบเข้าสู่สมดุลกลและระบบเข้าสู่สมดุลความร้อนกับน้ำร้อนเสมอ) ทำให้ความดันของอากาศในระบบมีค่าเพิ่มขึ้น แต่อุณหภูมิของอากาศในระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากระบบกับสิ่งแวดล้อมมีการถ่ายโอนความร้อนอยู่ตลอดเวลา ดังนั้น กระบวนการนี้เรียกว่า กระบวนการอุณหภูมิคงที่ (Isothermal Process) จากสถานการณ์นี้จะได้สมการกฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์ไดนามิกส์คือ $-\Delta W=\Delta Q$ ซึ่งกระบวนการนี้งานที่ทำให้แก่ระบบทำให้ความร้อนเกิดการถ่ายออกจากระบบ และเมื่อเขียนแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างงาน ความร้อนที่ถ่ายเท และพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลงจะได้ดังรูป 5

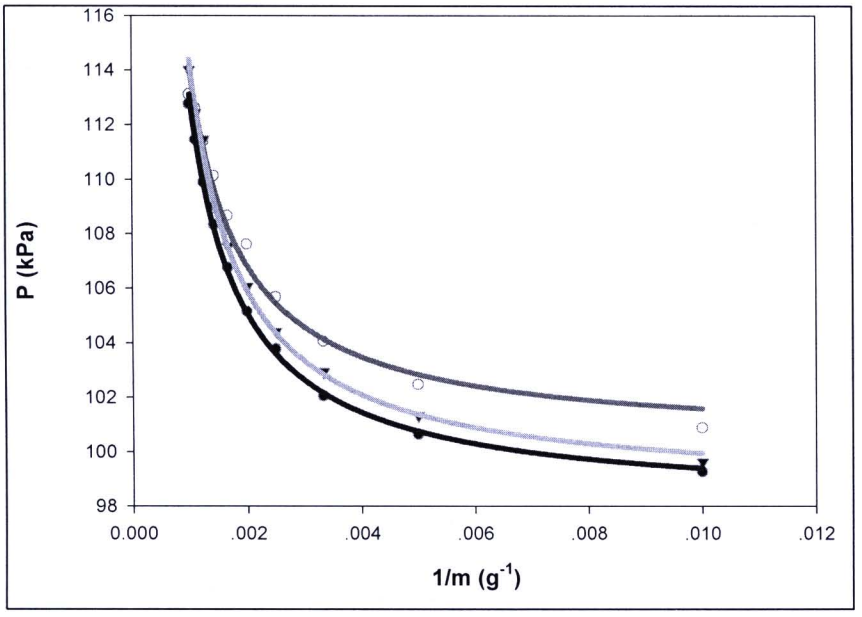


รูป 5 ภาพแสดงแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างงาน ความร้อนที่ถ่ายเท และพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลง ขณะที่วางมวลทีละก้อนจนครบ 10 ก้อน

ผลจากการสาธิตขณะที่วางมวลแต่ละก้อนบนลูกสูบ และลูกสูบเข้าสู่สมดุลกล ได้ทำการวัดค่าความดันและปริมาตรของระบบมีผลดังตาราง 1 เมื่อนำข้อมูลระหว่างความดันกับเศษหนึ่งส่วนมวลมาเขียนกราฟ จะได้กราฟเป็นไฮเพอร์โบลา ดังรูป 5 จากข้อมูลในตารางจะเห็นว่ามวลที่วางบนลูกสูบมีค่าผกผันโดยตรงกับปริมาตรของระบบ ดังนั้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเศษหนึ่งส่วนมวลจะได้เส้นกราฟที่มีลักษณะเดียวกันกับเส้นกราฟความดันกับปริมาตร

ตาราง 1 ตารางแสดงค่าปริมาตรและความดันของระบบ เมื่อลูกสูบเข้าสู่สมดุลกล ขณะวางมวลแต่ละก้อนบนลูกสูบ

m (g)	1/m (kg^{-1})	V (ml)	P (kPa)	V (ml)	P (kPa)	V (ml)	P (kPa)
0		29	98.3	29	99.26	29	97.89
100	0.0100	24	99.2	27	100.87	27	99.63
200	0.0050	22	100.6	25	102.46	25	101.32
300	0.0033	21	102.0	22	104.04	26	102.93
400	0.0025	19	103.8	20	105.67	22	104.41
500	0.0020	17	105.1	18	107.6	20	106.07
600	0.0017	15	106.7	16	108.66	18	107.54
700	0.0014	12	108.3	14	110.11	15	109.02
800	0.0013	10	109.9	12	111.37	12	111.46
900	0.0011	8	111.4	11	112.59	11	112.43
1000	0.0010	6	112.8	9	113.1	9	114.01



รูป 6 ภาพแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันของระบบกับเศษหนึ่งส่วนมวล ขณะที่ขวดทดลองแช่อยู่ในน้ำร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ กัน

วิธีการใช้ชุดสาธิต

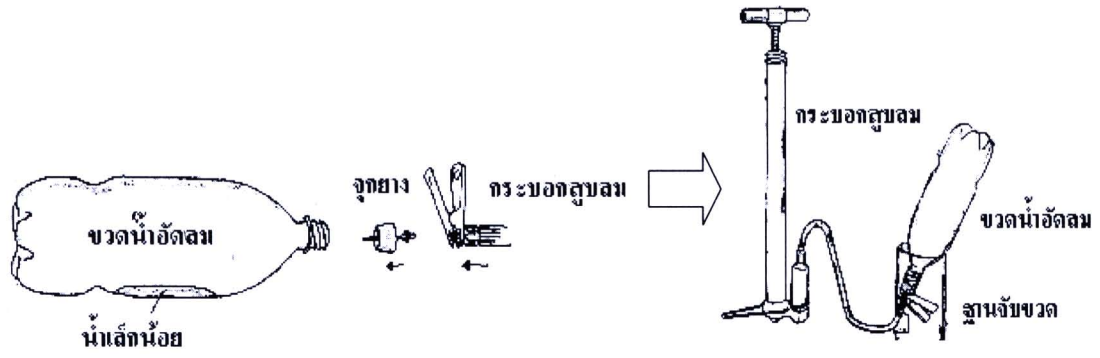
ชุดสาธิต Isothermal Process เป็นชุดสาธิตที่มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจลักษณะและความสัมพันธ์ระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมของการเกิดกระบวนการอุณหภูมิคงที่ และประยุกต์ใช้กฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์ในสถานการณ์จริงได้ โดยขั้นตอนการใช้ชุดสาธิตและแบบทำนายผล มีดังนี้

1. ผู้สอนอธิบายเกี่ยวกับอุปกรณ์การสาธิตและวิธีการสาธิต
2. ให้ผู้เรียนทำนายผลการสาธิต (กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันของระบบกับเวลา)
3. ให้ผู้เรียนสังเกตผลการสาธิต
4. ให้ผู้เรียนเขียนผลการสาธิตลงในแบบทำนายผล
5. ให้ผู้เรียนเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันของระบบกับเศษหนึ่งส่วนมวล
6. ให้ผู้เรียนพิจารณาสถานการณ์ขณะวางมวลแต่ละก้อนบนลูกสูบ และลูกสูบเข้าสู่สมดุลความร้อนและสมดุลกลแล้ว ถามแนวคิดของผู้เรียนที่ผู้เรียนเขียนตอบคำถามในแบบทำนายผล เกี่ยวกับงาน ความร้อนที่ถ่ายเท และพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลง เพื่อจะเป็นแนวทางไปสู่กฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสถานการณ์นั้น
7. ให้ผู้เรียนเขียนแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างงาน ความร้อนที่ถ่ายเท และพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลง (กฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์) ในสถานการณ์

คู่มือครู: ชุดสาธิต Adiabatic Process หรือการเกิดหมอกในขวดน้ำอัดลม

อุปกรณ์ชุดสาธิต

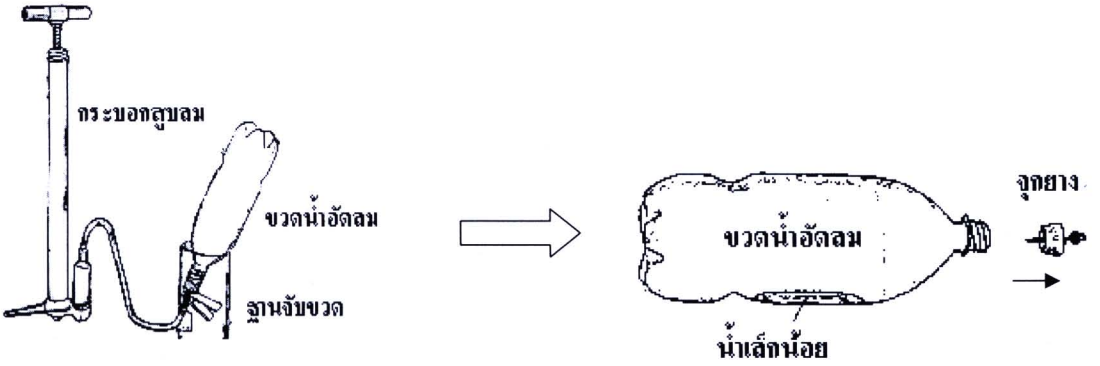
อุปกรณ์ที่ใช้ในการสาธิตการเกิดหมอกประกอบด้วย กระบอกสูบลมรถจักรยาน จุกยาง และขวดน้ำอัดลมที่มีน้ำอยู่ภายในเล็กน้อย ซึ่งทั้งสองต่อกันอยู่ ดังรูป 1



รูป 1 ชุดสาธิตการเกิดหมอก

วิธีการสาธิต

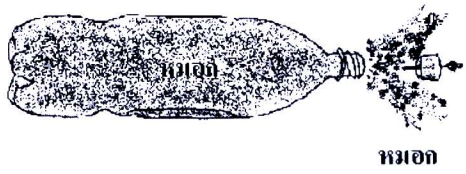
ชุดสาธิตการเกิดหมอกในขวดน้ำอัดลมนี้มีวิธีการสาธิต คือ ทำการสูบลมเข้าไปในขวดน้ำอัดลมจนกระทั่งจุกยางที่ปิดปากขวดไว้กระเด็นหลุดออก แล้วสังเกตผลที่เกิดขึ้นที่ปากและภายในขวดน้ำอัดลม ดังรูป 2



รูป 2 สูบลมจนกระทั่งจุกยางกระเด็นหลุดออกจากปากขวดน้ำอัดลม

ผลการสาธิต

เมื่อสูบลมเข้าไปในขวดน้ำอัดลมหลายๆ ครั้ง จนกระทั่งจุกยางที่ปิดปากขวดหลุดกระเด็นออก ผลที่สังเกตเห็นจากการสาธิต พบว่า มีหมอกขาวๆ เกิดขึ้นภายในและที่ปากของขวดน้ำอัดลม ดังรูป 3 โดยเฉพาะที่ปากขวดน้ำอัดลมจะเห็นหมอกได้อย่างชัดเจน



รูป 3 ภาพแสดงการเกิดหมอกภายในและปากขวดน้ำอัดลม
เมื่อจุกยางกระเด็นหลุดออก

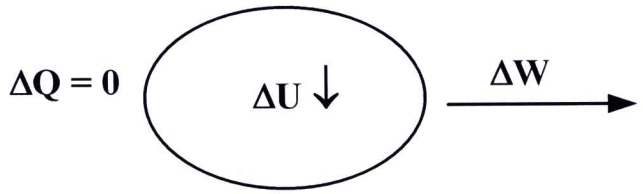
หลักการ

เมื่อสูบลมเข้าไปในขวดน้ำอัดลมหลายๆ ครั้ง จนกระทั่งจุกยางที่ปิดปากขวดน้ำอัดลมกระเด็นหลุดออกจากปากขวด พบว่า มีหมอกเกิดขึ้นที่ปากและภายในขวดน้ำอัดลม จากผลดังกล่าวสามารถสามารถอธิบายด้วยหลักอุณหพลศาสตร์ ได้โดยแบ่งพิจารณาเป็น 2 สถานการณ์ คือ

สถานการณ์แรกพิจารณาหลังจากที่สูบลมเข้าไปในขวดน้ำอัดลมจนกระทั่งก่อนจุกยางจะหลุดกระเด็นออกจากปากขวด และสถานการณ์ที่สองพิจารณาก่อนและหลังที่จุกยางจะหลุดกระเด็นออกจากปากขวดเพียงไม่กี่วินาที ซึ่งในสถานการณ์แรกเมื่อสูบลมเข้าไปในขวดเป็นการเพิ่มจำนวนโมเลกุลของอากาศ แต่ปริมาตรของอากาศยังคงเท่าเดิม จึงทำให้โมเลกุลของอากาศเกิดการชนกับผนังขวดมากขึ้น แรงลัพธ์ที่โมเลกุลของอากาศกระทำกับผนังก็มากขึ้นด้วย ส่งผลให้ความดันของอากาศที่อยู่ภายในเพิ่มขึ้น และอุณหภูมิของอากาศก็เพิ่มขึ้นด้วย แต่ปริมาตรของอากาศเท่าเดิม

ส่วนในสถานการณ์ที่สองก่อนจุกยางกระเด็นออก อากาศภายในขวดมีความดันและอุณหภูมิอยู่ค่าหนึ่ง เมื่อจุกยางกระเด็นออกจากปากขวด อากาศภายในขวดก็มีปริมาตรเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และมีการลดลงของความดันอย่างมากในทันที จึงทำให้อุณหภูมิของอากาศในขวดลดลงอย่างมาก ซึ่งอากาศในขวดที่ประกอบด้วยไอน้ำอยู่บางส่วน จึงเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำเล็กทันที และอีกบางส่วนเคลื่อนออกมาที่ปากขวดน้ำอัดลม หยดน้ำเล็กๆ ดังกล่าวมีลักษณะคล้ายควันสีขาว ซึ่งก็คือ หมอก จากสถานการณ์ที่สองนี้ถือว่าเกิดกระบวนการที่เรียกว่า Adiabatic Process ขึ้น เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงความดันอย่างรวดเร็วจนไม่ทันเกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม จึงทำให้สามารถเขียนสมการกฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์ได้ว่า

$\Delta W = -\Delta U$ ซึ่งแสดงถึง การที่ระบบทำงานโดยการดันจุกยางจนกระเด็นออกไปนั้น เป็นการนำพลังงานภายในไปใช้ จึงทำให้พลังงานภายในมีค่าลดลง (อุณหภูมิของอากาศลดลง) และเมื่อเขียนแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างงาน ความร้อนที่ถ่ายเท และพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลง จะได้ดังรูป 4



รูป 4 ภาพแสดงแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างงาน ความร้อนที่ถ่ายเท และพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลง ในสถานการณ์ก่อนและหลังจุกยางกระเด็นเพียงไม่กี่วินาที

วิธีการใช้ชุดสาธิต

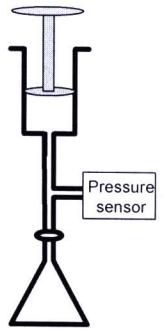
ชุดสาธิต Adiabatic Process หรือชุดสาธิตการเกิดหมอกในขวดน้ำอัดมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจลักษณะของระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วจนไม่เกิดการถ่ายเทความร้อนสู่สิ่งแวดล้อม และประยุกต์ใช้กฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์สถานการณ์จริงได้ โดยขั้นตอนการใช้ชุดสาธิตและแบบทำนายผล มีดังนี้

1. ผู้สอนอธิบายเกี่ยวกับอุปกรณ์การสาธิตและวิธีการสาธิต
2. ให้ผู้เรียนทำนายผลการสาธิต
3. ให้ผู้เรียนสังเกตผลการสาธิต
4. ให้ผู้เรียนเขียนผลการสาธิตลงในแบบทำนายผล
5. ให้ผู้เรียนพิจารณาสถานการณ์ขณะที่สูบลมเข้าไปในขวดน้ำอัดลมจนกระทั่งก่อนจุกยางจะหลุดกระเด็นออกจากปากขวด แล้วถามแนวความคิดของผู้เรียนที่ผู้เรียนเขียนตอบคำถามในแบบทำนายผลเกี่ยวกับปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิ
6. ให้ผู้เรียนพิจารณาสถานการณ์ก่อนและหลังที่จุกยางจะหลุดกระเด็นออกจากปากขวดเพียงไม่กี่วินาที แล้วถามแนวคิดของผู้เรียนที่ผู้เรียนเขียนตอบคำถามในแบบทำนายผลเกี่ยวกับงาน ความร้อนที่ถ่ายเท และพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลง เพื่อเป็นแนวทางไปสู่กฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์
7. ให้ผู้เรียนเขียนแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างงาน ความร้อนที่ถ่ายเท และพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลง (กฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์) ของสถานการณ์ในข้อที่ 6

คู่มือครู ชุดสาธิต Heat Engine อย่างง่าย

อุปกรณ์ชุดสาธิต

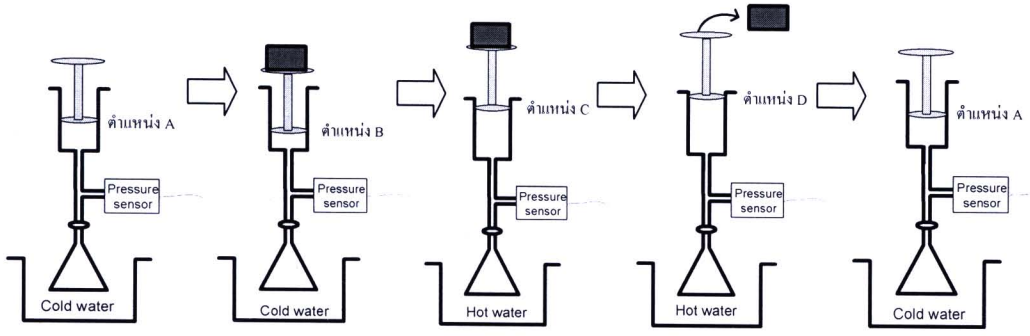
อุปกรณ์ที่ใช้ในการสาธิตกระบวนการวัฏจักรประกอบด้วย หลอดฉีดยาแก้ว ขวดทดลอง เครื่องวัดความดัน ซึ่งต่อกันอยู่ ดังรูป 1 มวลขนาด 200 กรัม น้ำร้อน น้ำแข็งผสมน้ำ



รูป 1 ชุดสาธิตกระบวนการวัฏจักร

วิธีการสาธิต

นำขวดทดลองจุ่มลงไปในน้ำเย็น จนกระทั่งลูกสูบของหลอดฉีดยาหยุดนิ่ง แล้วนำมวลวางบนลูกสูบเบาๆ หลังจากนั้นนำขวดทดลองจุ่มลงในน้ำร้อนอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งลูกสูบเข้าสู่สมดุลกล จากนั้นนำมวลออกจากบนลูกสูบ แล้วนำขวดทดลองจุ่มในน้ำเย็นอีกครั้งหนึ่ง จนกระทั่งลูกสูบอยู่ที่จุดเริ่มต้น ตามขั้นตอน ดังรูป 2

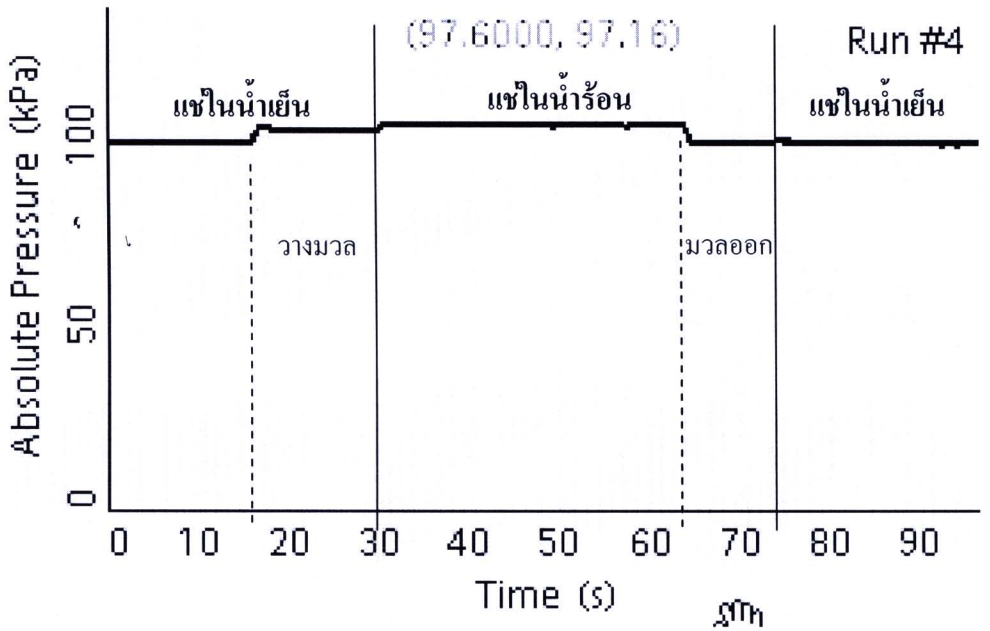


รูป 2 ภาพแสดงวิธีการสาธิตชุดสาธิต Heat Engine อย่างง่าย

ผลการสาธิต

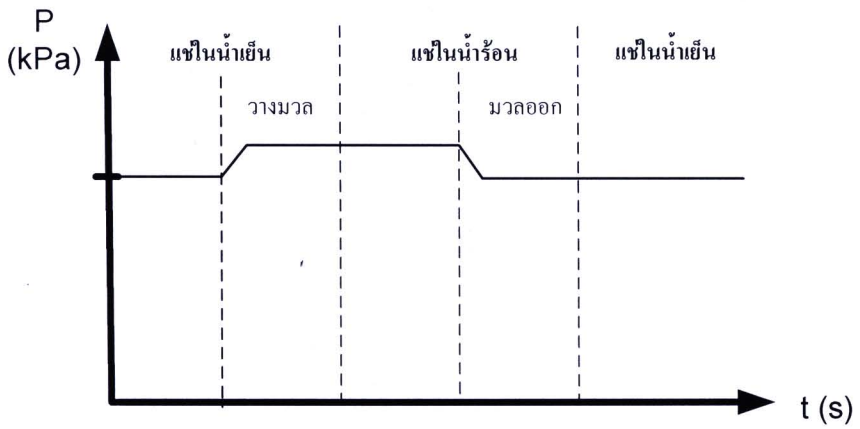
ผลของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความดันของอากาศที่อยู่ในระบบจากการสาธิตของชุดสาธิตกระบวนการวัฏจักร เป็นดังนี้

1. กราฟจากเครื่องวัดความดัน (Pressure Sensor)



รูป 3 ภาพแสดงกราฟความความสัมพันธ์ระหว่างความดันของระบบกับเวลา ขณะขวดทดลองแช่ในน้ำเย็น วางมวล แช่ในน้ำร้อน เอามวลออก และกลับไปแช่ในน้ำเย็นอีกครั้ง

2. แผนภาพของกราฟจากเครื่องวัดความดัน



รูป 4 ภาพแสดงแผนภาพความความสัมพันธ์ระหว่างความดันของระบบกับเวลา ขณะขวดทดลองแช่ในน้ำเย็น วางมวล แช่ในน้ำร้อน เอามวลออก และกลับไปแช่ในน้ำเย็นอีกครั้ง

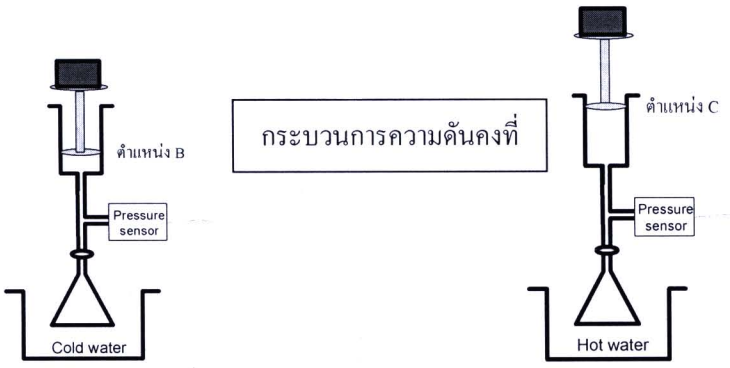
หลักการ

จากสถานการณ์การสาธิตจะพบว่าระบบมีเปลี่ยนแปลง แต่สุดท้ายย้อนกลับมาสู่สภาวะเดิม และมีหลายกระบวนการเกิดขึ้นในสถานการณ์ จึงเรียกสถานการณ์นี้ว่าเป็น กระบวนการวัฏจักร (Cyclic Process) ซึ่งกระบวนการที่เกิดขึ้นในสถานการณ์มีดังนี้

1. นำขวดทดลองจุ่มลงไปในน้ำเย็น จนกระทั่งลูกสูบของหลอดฉีดยาหยุดนิ่ง และลูกสูบอยู่ที่ตำแหน่ง A นำมวลวางบนลูกสูบเบาๆ ส่งผลลูกสูบจากตำแหน่ง A อยู่ที่ตำแหน่ง B เป็นกระบวนการอุณหภูมิคงที่ (Isothermal Process)

รูป 5 ภาพแสดงการเปลี่ยนตำแหน่งของลูกสูบหลอดฉีดยา ตำแหน่ง A ไปสู่ ตำแหน่ง B ซึ่งเกิดกระบวนการอุณหภูมิคงที่

2. นำขวดทดลองจุ่มลงในน้ำร้อนอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งลูกสูบเข้าสู่สมดุลกล ส่งผลให้ลูกสูบที่ตำแหน่ง B เคลื่อนที่ไปอยู่ที่ตำแหน่ง C เป็นกระบวนการความดันคงที่ (Isobaric Process)

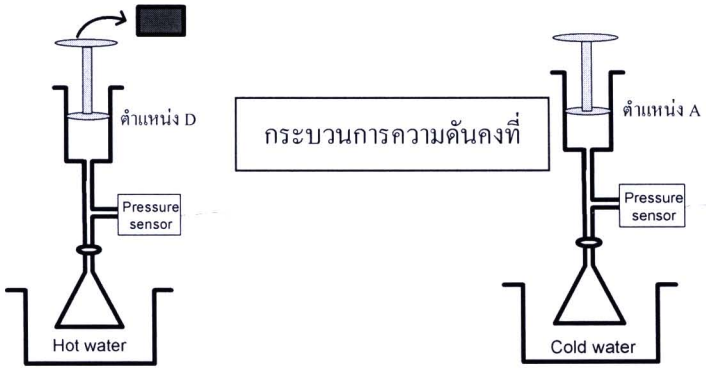


รูป 6 ภาพแสดงการเปลี่ยนตำแหน่งของลูกสูบหลอดฉีดยา ตำแหน่ง B ไปสู่ ตำแหน่ง C ซึ่งเกิดกระบวนการความดันคงที่

4. นำมวลออกจากบนลูกสูบ ส่งผลให้ลูกสูบที่ตำแหน่ง C เคลื่อนที่ไปอยู่ที่ตำแหน่ง D เป็นกระบวนการอุณหภูมิคงที่ (Isothermal Process)

รูป 7 ภาพแสดงการเปลี่ยนตำแหน่งของลูกสูบหลอดฉีดยา ตำแหน่ง C ไปสู่ ตำแหน่ง D ซึ่งเกิดกระบวนการอุณหภูมิคงที่

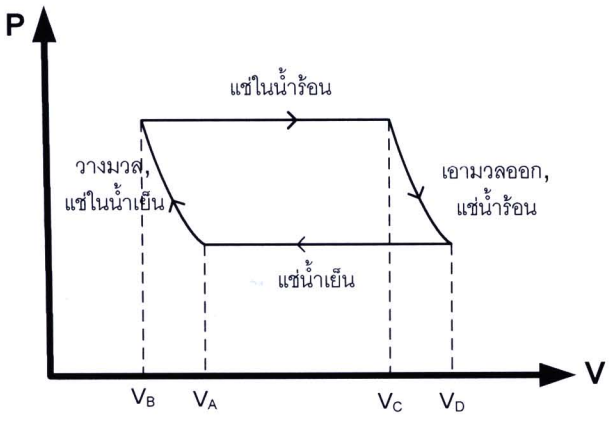
5. นำขวดทดลองจุ่มในน้ำเย็นอีกครั้งหนึ่ง ส่งผลให้ลูกสูบที่ตำแหน่ง D เคลื่อนที่ไปอยู่ที่ตำแหน่ง A เป็นกระบวนการความดันคงที่ (Isobaric Process)



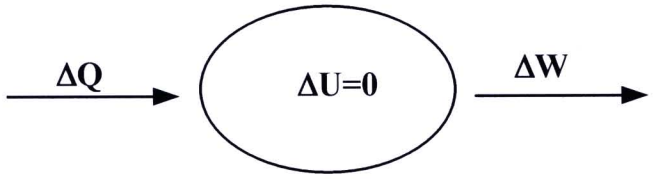
รูป 8 ภาพแสดงการเปลี่ยนตำแหน่งของลูกสูบหลอดฉีดยา ตำแหน่ง D ไปสู่ ตำแหน่ง A ซึ่งเกิดกระบวนการความดันคงที่

เมื่อนำผลการสาธิตข้างต้นมาเขียนแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับปริมาตรของระบบจะได้ดังรูป 9 จากกราฟจะพบว่าพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลงของระบบที่เกิดขึ้นในสถานการณ์นี้มีค่าเท่ากับศูนย์ เนื่องจากพลังงานภายในเป็นตัวแปรสถานะ (Variable State) ซึ่งในกระบวนการนี้สถานะเริ่มต้นกับสถานะสุดท้ายอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกัน จึงทำให้ $\Delta U=0$ และเนื่องจากพื้นที่ที่ล้อมรอบเส้นกราฟมีค่าเป็นบวก จึงทำให้งานสุทธิที่เกิดขึ้นจากสถานการณ์นี้เป็นงานที่ระบบกระทำกับสิ่งแวดล้อม (+W) ด้วย เมื่อใช้กฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์พิจารณา

สถานการณ์นี้ จะได้ว่าความร้อนที่ถ่ายเทเข้าไปในระบบทำให้ระบบทำงานทั้งหมด ($\Delta Q=\Delta W$) และสามารถเขียนแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างงาน ความร้อนที่ถ่ายเท และพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลง ได้ดังรูป 10



รูป 9 ภาพแสดงแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับปริมาตรของระบบที่เกิดขึ้นในสถานการณ์



รูป 10 ภาพแสดงแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างงาน ความร้อนที่ถ่ายเท และพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลง ของระบบ

วิธีการใช้ชุดสาธิต

ชุดสาธิต Heat Engine อย่างง่าย มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงสถานการณ์จริงที่เกิดวัฏจักรของ Heat engine กับกระบวนการในแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับปริมาตร (P-V diagram) และประยุกต์ใช้กฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์พิจารณาปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทได้ โดยขั้นนตอนการใช้ชุดสาธิตและแบบทำนายผล มีดังนี้

1. ผู้สอนอธิบายเกี่ยวกับอุปกรณ์การสาธิตและวิธีการสาธิต
2. ให้ผู้เรียนทำนายผลการสาธิต (กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันของอากาศกับเวลา)

3. ให้ผู้เรียนสังเกตผลการสาธิต
4. ให้ผู้เรียนเขียนผลการสาธิตลงในแบบทำนายผล
5. ให้ผู้เรียนเขียนแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับปริมาตรของอากาศที่ผู้สอนแสดงให้ดู
6. ให้ผู้เรียนพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับปริมาตรของอากาศที่ผู้เรียนเขียนไว้ แล้วถามแนวคิดของผู้เรียนที่ผู้เรียนเขียนตอบคำถามในแบบทำนายผลเกี่ยวกับงาน ความร้อนที่ถ่ายเท และพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลง เพื่อเป็นแนวทางไปเข้าสู่กฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสถานการณ์นั้น
7. ให้ผู้เรียนเขียนแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างงาน ความร้อนที่ถ่ายเท และพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลง (กฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์) ในสถานการณ์

ภาคผนวก ข

แบบทดสอบและแบบสอบถาม

แบบทดสอบประเมินความเข้าใจเกี่ยวกับเทอร์โมไดนามิกส์

คำชี้แจง แบบทดสอบฉบับนี้ เป็นแบบทดสอบใช้ในการประเมินความเข้าใจเกี่ยวกับความร้อนและเทอร์โมไดนามิกส์ โดยแบบทดสอบทั้งหมดเป็นแบบปรนัย จำนวน 35 ข้อ ให้นักศึกษาเขียนตัวเลือกที่ถูกต้องที่สุดและเขียนอธิบายให้เหตุผลประกอบในการตอบคำถามบ้างในบางข้อ ลงในกระดาษคำตอบ เวลาที่ใช้ในการทำแบบทดสอบฉบับนี้ 60 นาที

---

1. แก้ว A บรรจุน้ำ 100 กรัม ที่มีอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และแก้ว B บรรจุน้ำ 200 กรัม ที่มีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จากนั้นผสมน้ำจากแก้วทั้งสองใบในภาชนะที่เป็นฉนวนความร้อน (ไม่มีการถ่ายเทความร้อนเข้าหรือออก) รอจนเกิดสมดุลความร้อน อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำในภาชนะเป็นเท่าใด

   ก) อยู่ระหว่าง 0 ถึง 25 องศาเซลเซียส
   ข) 25 องศาเซลเซียส
   ค) อยู่ระหว่าง 25 ถึง 50 องศาเซลเซียส
   ง) 50 องศาเซลเซียส
   จ) มากกว่า 50 องศาเซลเซียส

2. จิมเชื่อว่าเขาจะต้องใช้น้ำเดือดในการทำชาเท่านั้น เขาจึงบอกเพื่อนของเขาว่า “ถ้าฉันออกค่ายบนภูเขาสูงฉันไม่สามารถทำน้ำชาได้ เพราะน้ำจะไม่เดือดบนที่สูง” คุณเห็นด้วยกับความเห็นของใครมากที่สุด

   ก) จอยพูดว่า “ใช่ เพราะน้ำจะเดือดต่ำกว่า 100 °C เพราะความดันลดลง”
   ข) เทย์พูดว่า “สิ่งที่จิมพูดไม่ถูกต้อง เพราะน้ำจะต้องเดือดที่อุณหภูมิเท่ากันเสมอ”
   ค) หลุยส์พูดว่า “จุดเดือดของน้ำจะลดลง แต่น้ำยังมีอุณหภูมิ 100 °C อยู่ดี”
   ง) ใหม่พูดว่า “ฉันเห็นด้วยกับจิม เพราะน้ำจะร้อนไม่ถึงจุดเดือด”

3. แก้ว A บรรจุน้ำ 100 กรัม และแก้ว B บรรจุน้ำปริมาณเป็นสองเท่าของแก้ว A น้ำในแก้วทั้งสองใบมีอุณหภูมิเริ่มต้นอยู่ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นน้ำในแก้ว A ถูกทำให้ร้อนขึ้นจนมีอุณหภูมิเป็น 75 องศาเซลเซียส และน้ำในแก้ว B ถูกทำให้ร้อนขึ้นจนมีอุณหภูมิเป็น 50 องศาเซลเซียส เมื่อน้ำแก้วทั้งสองใบมีอุณหภูมิลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง แก้วใบใดจะมีความร้อนถ่ายเทออกมากกว่ากัน

ก) แก้ว A มีการถ่ายเทความร้อนออกมากกว่า

ข) แก้ว B มีการถ่ายเทความร้อนออกมากกว่า

ค) แก้วทั้งสองใบมีการถ่ายเทความร้อนออกเท่ากัน

ง) ข้อมูลไม่เพียงพอสำหรับการตอบคำถาม

4. ถ้าวางน้ำแข็ง 100 กรัม อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และน้ำ 100 กรัม อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ในช่องทำน้ำแข็งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส รอจนอุณหภูมิเท่ากับช่องทำน้ำแข็ง น้ำหรือน้ำแข็งจะสูญเสียความร้อนมากกว่ากัน

ก) น้ำแข็ง 100 กรัม

ข) น้ำ 100 กรัม

ค) สูญเสียความร้อนเท่ากัน เพราะทั้งสองอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากัน

ง) ไม่มีคำตอบที่ถูกต้อง เพราะน้ำแข็งไม่สามารถเก็บความร้อนได้

จ) ไม่มีคำตอบที่ถูกต้อง เพราะน้ำไม่สามารถมีอุณหภูมิ 0 °C ได้

5. กล้วยบอกว่าเขาไม่ชอบนั่งบนเก้าอี้โลหะ เพราะเมื่อสัมผัสจะรู้สึกว่าเก้าอี้โลหะเย็นกว่าเก้าอี้พลาสติก คุณเห็นด้วยกับความคิดเห็นของใครมากที่สุด

ก) ก้อยเห็นด้วยและพูดว่า “เก้าอี้โลหะรู้สึกเย็น เพราะโดยธรรมชาติแล้วโลหะก็จะเย็นกว่าพลาสติก”

ข) กิ๊บพูดว่า “เก้าอี้โลหะไม่ได้เย็นกว่า เพราะทั้งสองมีอุณหภูมิเท่ากัน”

ค) กุ๊กพูดว่า “เก้าอี้โลหะไม่ได้เย็นกว่า แต่ที่รู้สึกเย็นเพราะมีน้ำหนักมากกว่า”

ง) ใหม่พูดว่า “เก้าอี้โลหะเย็นกว่า เพราะโลหะดึงความร้อนจากร่างกายได้เร็วกว่า”

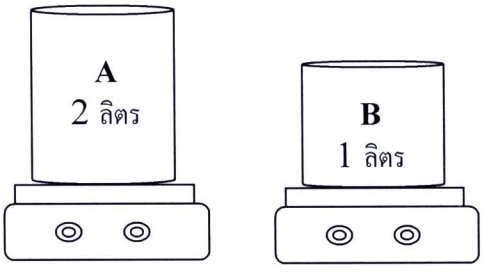
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดวิจัย

6. เอกชัยหยิบไม้บรรทัด 2 อันขึ้นมาพร้อมๆ กัน อันแรกทำด้วยโลหะและอีกอันหนึ่งทำด้วยไม้ เอกชัยบอกว่าไม้บรรทัดที่ทำจากโลหะเย็นกว่าไม้บรรทัดที่ทำด้วยไม้ จะอธิบายสาเหตุของเหตุการณ์นี้ให้เอกชัยเข้าใจได้อย่างไร

ก) โลหะจะนำความร้อนได้เร็วกว่าไม้
ข) โดยปกติไม้เป็นสสารที่อุ่นมากกว่าโลหะ
ค) ไม้ดูดกลืนความร้อนได้ดีกว่าโลหะ
ง) โลหะจะแผ่ความร้อนได้ดีกว่าไม้
จ) ความเย็นไหลมาจากโลหะได้ดีกว่า

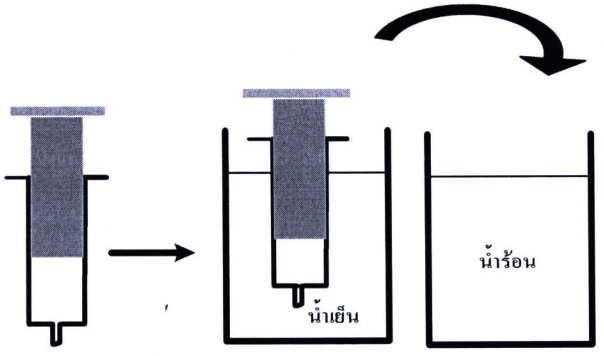
7. ถ้วย A บรรจุน้ำจำนวน 2 ลิตร และถ้วย B บรรจุน้ำจำนวน 1 ลิตร น้ำในถ้วยทั้งสองมีอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากันนำถ้วยทั้งสองใบวางบนเตาไฟฟ้า และให้ความร้อนแก่ถ้วยทั้งสองใบจนน้ำในถ้วยเริ่มเดือด (100 °C) สรุปได้ตามข้อใด พร้อมทั้งให้เหตุผล

ก) น้ำภายในถ้วยทั้งสองใบได้รับความร้อนเท่ากัน
ข) น้ำในถ้วย A ได้รับความร้อนมากกว่า
ค) น้ำในถ้วย B ได้รับความร้อนมากกว่า



จงใช้ข้อมูลต่อไปนี้ ตอบคำถามข้อที่ 8-10

กระบอกสูบอันหนึ่งมีลูกสูบมวล M ภายในบรรจุแก๊สอุดมคติ ดังรูป 1 เริ่มต้นกระบอกสูบจุ่มอยู่ในน้ำเย็น จากนั้นนำกระบอกสูบไปจุ่มลงในน้ำร้อน ดังรูป 2 จงตอบคำถามต่อไปนี้ เมื่อกระบอกสูบเข้าสู่ภาวะสมดุลความร้อนกับน้ำร้อน



รูป 1 *รูป 2*

8. อุณหภูมิของแก๊สจะมีการเปลี่ยนแปลงตามข้อใด พร้อมให้เหตุผลประกอบ

ก) เพิ่มขึ้น ข) ลดลง ค) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

9. ความดันของแก๊สจะมีการเปลี่ยนแปลงตามข้อใด พร้อมให้เหตุผลประกอบ

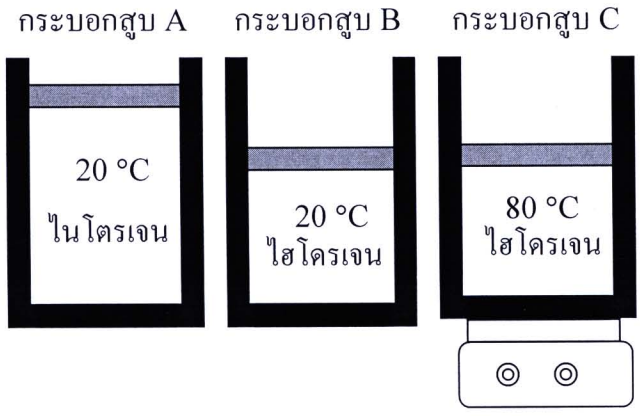
ก) เพิ่มขึ้น ข) ลดลง ค) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

10. ปริมาตรของแก๊สจะมีการเปลี่ยนแปลงตามข้อใด พร้อมให้เหตุผลประกอบ

ก) เพิ่มขึ้น ข) ลดลง ค) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

จงใช้ข้อมูลต่อไปนี้ ตอบคำถามข้อที่ 11-12

กระบอกสูบที่เหมือนกันทุกประการปิดด้วยลูกสูบที่ไม่มีความฝืดมวล M บรรจุแก๊สอุดมคติที่ไม่ทราบปริมาณดังรูป กระบอกสูบ A และ B อยู่ในภาวะสมดุลความร้อนกับอุณหภูมิห้องที่ 20 °C และกระบอกสูบ C ถูกทำให้อยู่ที่อุณหภูมิคงที่ 80 °C ซึ่งลูกสูบของกระบอกสูบทั้งสามอยู่ในสมดุลกลกับสิ่งแวดล้อมในขณะนั้น



11. ความดันของแก๊สไนโตรเจนในกระบอกสูบ A มีค่าตามข้อใด เมื่อเปรียบเทียบกับความดันของแก๊สไฮโดรเจนในกระบอกสูบ B พร้อมทั้งบอกเหตุผล

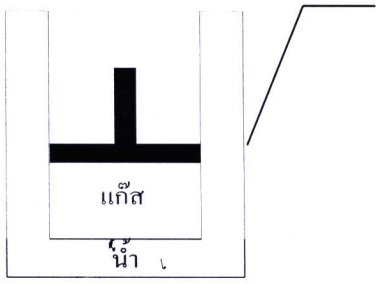
ก) มากกว่า ข) น้อยกว่า ค) เท่ากัน

12. ความดันของแก๊สไฮโดรเจนในกระบอกสูบ B มีค่าตามข้อใด เมื่อเปรียบเทียบกับความดันของแก๊สไฮโดรเจนในกระบอกสูบ C พร้อมทั้งบอกเหตุผล

ก) มากกว่า ข) น้อยกว่า ค) เท่ากัน

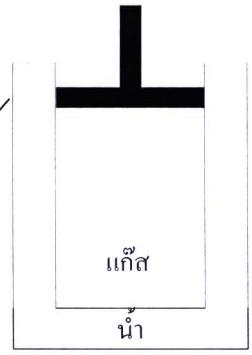
จงใช้ข้อมูลต่อไปนี้ ตอบคำถามข้อที่ 13-21

แก๊สอุดมคติบรรจุในกระบอกสูบโลหะที่ปิดด้วยลูกสูบที่เป็นฉนวนและไม่มีความฝืด ลูกสูบป้องกันไม่ให้แก๊สไหลออกนอกกระบอกสูบได้ และไม่มีการถ่ายเทความร้อนเข้าหรือออกผ่านลูกสูบ กระบอกสูบถูกล้อมรอบด้วยน้ำ แสดงดังรูป ณ เวลา A



ณ เวลา A
ระบบทั้งหมดอยู่ที่อุณหภูมิห้อง

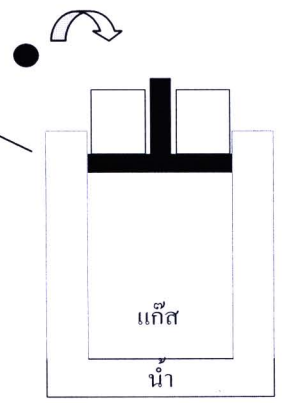
ณ เวลา B
อุณหภูมิของระบบมีการเปลี่ยนแปลง



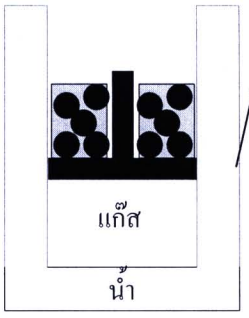
ขั้นที่ 1 *<u>เริ่มกระบวนการที่ 1</u>*
โดยน้ำที่บรรจุในช่องว่างระหว่างกระบอกถูกทำให้ร้อนขึ้นอย่างช้าๆ ส่งผลให้ลูกสูบของกระบอกสูบเคลื่อนขึ้นอย่างช้าๆ จนถึงที่เวลา B หยุดให้ความร้อนแก่น้ำ ทำให้ลูกสูบหยุดเคลื่อนที่ด้วย ตำแหน่งใหม่ของลูกสูบ แสดงดังรูป

ขั้นที่ 2 *วางกล่องเปล่าบนลูกสูบ ดังรูป แล้วค่อยๆ เพิ่มมวลเล็กๆ ทีละชิ้นลงบนกล่องเปล่า แล้วสังเกตการเคลื่อนที่ของลูกสูบที่เคลื่อนที่ลงอย่างช้าๆ ขณะที่เกิดการเคลื่อนที่ลงอย่างช้าๆ ของลูกสูบ น้ำแทบไม่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและแก๊สมีอุณหภูมิถือได้ว่าคงที่ (มีอุณหภูมิเท่ากับที่เวลา B)*

เพิ่มมวลบนลูกสูบ ลูกสูบก็จะเคลื่อนที่ลงช้าๆ อุณหภูมิของระบบเท่ากับอุณหภูมิที่เวลา B

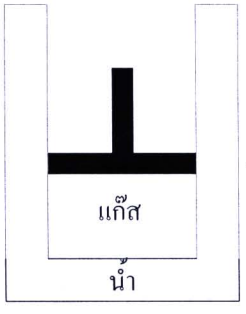


ขั้นที่ 3 *ที่เวลา C หยุดการเพิ่มมวลให้กับกล่องเปล่า (มวลที่เพิ่มเข้าไปแล้วยังคงอยู่บนลูกสูบ) ลูกสูบก็จะหยุดเคลื่อนที่ พบว่าลูกสูบในขณะเวลานั้นจะอยู่ตำแหน่งเดียวกับขณะเวลา A*



ณ เวลา C
กล่องเปล่าและมวลยังคงอยู่บนลูกสูบ
ลูกสูบอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกับที่เวลา A
อุณหภูมิของระบบเท่ากับอุณหภูมิที่เวลา B

ขั้นที่ 4 *ขณะที่ลูกสูบถูกล็อก<u>ไม่ให้เคลื่อนที่</u>เป็นเวลานาน ทำให้ระบบเข้าสู่สมดุลกับอุณหภูมิห้อง เมื่อหยิบมวลและกล่องเปล่าที่วางบนลูกสูบออกอย่างช้าๆ ปรากฏว่าลูกสูบไม่มีการเคลื่อนที่ อยู่ที่เวลา D (ตำแหน่งเดียวกับที่ เวลา A)*



ณ เวลา D
ลูกสูบอยู่ตำแหน่งเดียวกัน ณ เวลา A
อุณหภูมิมีค่าเท่ากันกับที่เวลา A

ขั้นที่ 5 *<u>เริ่มกระบวนการที่ 2</u> โดยทำซ้ำตามกระบวนการที่ 1 (จากตำแหน่งที่เวลา A ถึงตำแหน่งที่เวลา D) แต่ให้ความร้อนแก่น้ำนานกว่าในกระบวนการที่ 1 ส่งผลให้ลูกสูบเคลื่อนที่ได้สูงกว่าที่ตำแหน่งที่เวลา B ในกระบวนการที่ 1 และเวลาที่ตำแหน่งสุดท้ายเมื่อหยิบมวลออกแล้วเป็นเวลา E*

13. ในระหว่างกระบวนการที่ลูกสูบเคลื่อนที่จากเวลา A ไปสู่เวลา B ข้อใดที่เป็นจริงเกี่ยวกับงาน

ก) งานที่มีค่าเป็นบวกคืองานที่กระทำกับแก๊สโดยสิ่งแวดล้อม

ข) งานที่มีค่าเป็นบวกคืองานที่กระทำกับสิ่งแวดล้อมโดยแก๊ส

ค) ไม่มีงานสุทธิที่ทำโดยแก๊สหรือบนแก๊ส

14. ในระหว่างกระบวนการที่ลูกสูบเคลื่อนที่จากเวลา A ไปสู่เวลา B ถ้าแก๊สดูดกลืนความร้อนจาก น้ำ x จูล ข้อใดที่เป็นจริงเกี่ยวกับพลังงานจลน์ทั้งหมดของโมเลกุลของแก๊ส

ก) เพิ่มขึ้น มากกว่า x จูล
ข) เพิ่มขึ้น เท่ากับ x จูล
ค) เพิ่มขึ้น น้อยกว่า x จูล
ง) พลังงานจลน์เท่าเดิม
จ) น้อยลง มากกว่า x จูล
ฉ) น้อยลง เท่ากับ x จูล
ช) น้อยลง น้อยกว่า x จูล

15. ในระหว่างกระบวนการที่ลูกสูบเคลื่อนที่จากเวลา B ไปสู่เวลา C พลังงานจลน์รวมของโมเลกุล ของแก๊สจะเป็นไปตามข้อใด

ก) เพิ่มขึ้น ข) ลดลง ค) ยังคงเท่าเดิม

16. ในระหว่างกระบวนการที่ลูกสูบเคลื่อนที่จากเวลา B ไปสู่เวลา C จะมีการถ่ายเทพลังงานสุทธิ ระหว่างแก๊สกับน้ำตามข้อใด อธิบายเหตุผลประกอบ

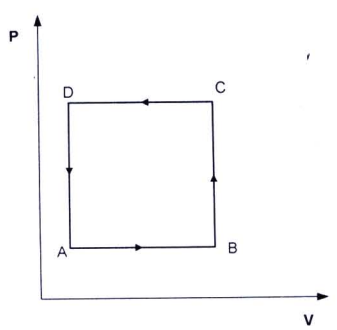
ก) มีการถ่ายเทพลังงานจากแก๊สไปสู่น้ำ
ข) มีการถ่ายเทพลังงานจากน้ำไปสู่แก๊ส
ค) ไม่มีการถ่ายเทพลังงาน

17. ในระหว่างกระบวนการที่ลูกสูบเคลื่อนที่จากเวลา C ไปสู่เวลา D ถ้าน้ำดูดกลืนพลังงานจาก แก๊ส y จูล พลังงานจลน์ทั้งหมดของโมเลกุลของแก๊สจะเป็นไปตามข้อใด

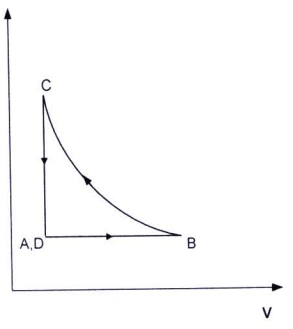
ก) เพิ่มขึ้น มากกว่า y จูล
ข) เพิ่มขึ้น เท่ากับ y จูล
ค) เพิ่มขึ้น น้อยกว่า y จูล
ง) พลังงานจลน์เท่าเดิม
จ) ลดลง น้อยกว่า y จูล
ฉ) ลดลง เท่ากับ y จูล
ช) ลดลง มากกว่า y จูล

18. แผนภาพ P-V ของกระบวนการทั้งหมดจากเวลา A จนถึงเวลา D เป็นไปตามข้อใด

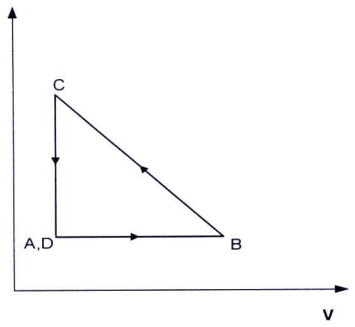
ก)



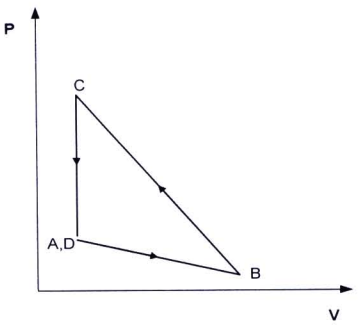
ข)



ค)



ง)



สำหรับข้อ 19-20 ให้พิจารณากระบวนการทั้งหมดจากเวลา A จนถึงเวลา D

19. งานทั้งห์มดที่แก๊สกระทำกับสิ่งแวดล้อมในระหว่างกระบวนการจะมีค่าเท่าไร

ก) เท่ากับศูนย์ ข) น้อยกว่าศูนย์ ค) มากกว่าศูนย์

20. ความร้อนทั้งหมดที่น้ำถ่ายโอนให้แก๊สในระหว่างกระบวนการจะมีค่าเท่าไร

ก) เท่ากับศูนย์ ข) น้อยกว่าศูนย์ ค) มากกว่าศูนย์

21. พิจารณาพลังงานจลน์ทั้งหมดของโมเลกุลของแก๊สที่เวลา A, D และ E โดยใช้สัญลักษณ์ E_A, E_D และ E_E ตามลำดับ จงเรียงลำดับขนาดของพลังงานจลน์ทั้งหมดของโมเลกุลของแก๊สที่เวลาเหล่านี้

ก) $E_A>E_D>E_E$ ข) $E_A<E_D<E_E$ ค) $E_A=E_D=E_E$ ง) $E_A=E_D<E_E$

จงใช้ข้อมูลต่อไปนี้ ตอบคำถามข้อที่ 22-30

กระบอกสูบบรรจุแก๊สอุดมคติ 1 โมล ลูกสูบมีขนาดพอดีกับกระบอกสูบทำให้แก๊สไม่สามารถไหลออกได้ แต่ไม่ต้องพิจารณาแรงเสียดทานระหว่างลูกสูบและผนังของกระบอกสูบ ดังรูป เมื่ออัดลูกสูบให้ปริมาตรของแก๊สลดลงอย่างรวดเร็ว จงตอบคำถามต่อไปนี้

22. งานที่ลูกสูบกระทำกับแก๊สจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร พร้อมทั้งบอกเหตุผลประกอบ

ก) เพิ่มขึ้น ข) ลดลง ค) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

23. ความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ระบบ (แก๊ส) มีเปลี่ยนแปลงอย่างไร พร้อมทั้งบอกเหตุผลประกอบ

ก) เพิ่มขึ้น ข) ลดลง ค) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

24. พลังงานภายในของแก๊สจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร พร้อมทั้งบอกเหตุผลประกอบ

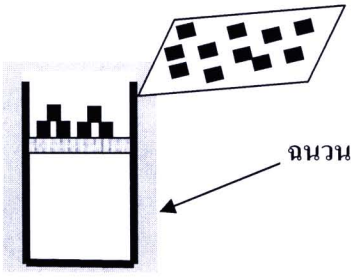
ก) เพิ่มขึ้น ข) ลดลง ค) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

25. อุณหภูมิของแก๊สจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร พร้อมทั้งบอกเหตุผลประกอบ

ก) เพิ่มขึ้น ข) ลดลง ค) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

จงใช้ข้อมูลต่อไปนี้ ตอบคำถามข้อที่ 26-28

แก๊สอุดมคติบรรจุอยู่ในกระบอกสูบที่มีลูกสูบขนาดพอดีกับกระบอกทำให้แก๊สไม่สามารถไหลออกได้ มีมวลจำนวนหนึ่งวางอยู่บนลูกสูบ (ไม่ต้องพิจารณาแรงเสียดทานระหว่างลูกสูบและผนังของกระบอกสูบ) กระบอกสูบที่หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน ดังรูป ถ้าเพิ่มมวลจำนวนมากๆ ลงบนลูกสูบอย่างรวดเร็ว จงตอบคำถามต่อไปนี้



26. อุณหภูมิของแก๊สจะมีการเปลี่ยนแปลงตามข้อใด พร้อมให้เหตุผลประกอบ

ก) เพิ่มขึ้น ข) ลดลง ค) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

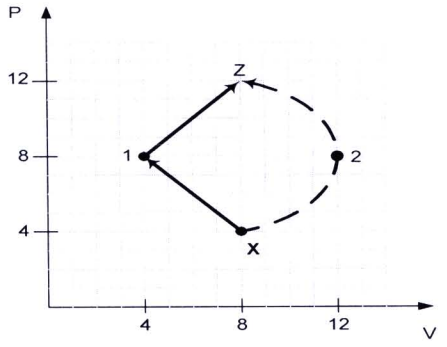
27. ความดันของแก๊สจะมีการเปลี่ยนแปลงตามข้อใด พร้อมให้เหตุผลประกอบ

ก) เพิ่มขึ้น ข) ลดลง ค) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

28. ปริมาตรของแก๊สจะมีการเปลี่ยนแปลงตามข้อใด พร้อมให้เหตุผลประกอบ

ก) เพิ่มขึ้น ข) ลดลง ค) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

29. นักศึกษาคนหนึ่งทำการทดลองเกี่ยวกับแก๊สอุดมคติที่อยู่ในกระบอกสูบ แผนภาพ P-V ด้านล่างแสดงความดันและปริมาตรของแก๊สตลอดการทดลอง โดยเริ่มจากจุด X และสิ้นสุดที่จุด Z เปรียบเทียบงานสัมบูรณ์ (ไม่คิดเครื่องหมาย) ที่ทำระหว่างกระบวนการ X→2→Z (เส้นประ) และ X→1→Z (เส้นทึบ) เป็นไปตามข้อใด พร้อมทั้งให้เหตุผล



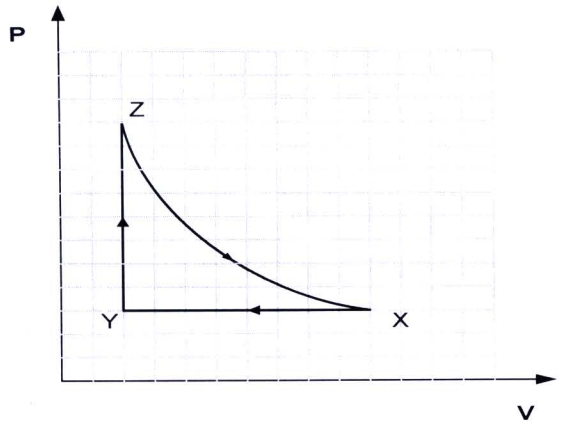
ก) X→2→Z มากกว่า X→1→Z

ข) X→2→Z น้อยกว่า X→1→Z

ค) X→2→Z เท่ากับ X→1→Z

จงใช้ข้อมูลต่อไปนี้ ตอบคำถามข้อที่ 30-35

นักศึกษาคนหนึ่งทำการทดลองเกี่ยวกับแก๊สอุดมคติที่อยู่ในกระบอกสูบ แผนภาพ P-V ด้านล่างแสดงความดันและปริมาตรของแก๊สตลอดการทดลอง โดยเริ่มจากจุด X ต่อเนื่องไปยังจุด Y และจุด Z แล้วย้อนกลับไปยังจุด X กระบวนการ Z→ X เป็นกระบวนการแบบอุณหภูมิคงที่ (Isothermal) จงตอบคำถามต่อไปนี้



30. งานทั้งหมดที่กระทำกับแก๊สตลอดวัฏจักร (X→Y→Z→X) เป็นไปตามข้อใด พร้อมให้เหตุผลประกอบ

ก) มีค่าเป็นบวก ข) มีค่าเป็นลบ ค) เท่ากับศูนย์

31. ความร้อนของแก๊สในกระบอกสูบที่ถ่ายเทตลอดวัฏจักร (X→Y→Z→X) เป็นไปตามข้อใด พร้อมให้เหตุผลประกอบ

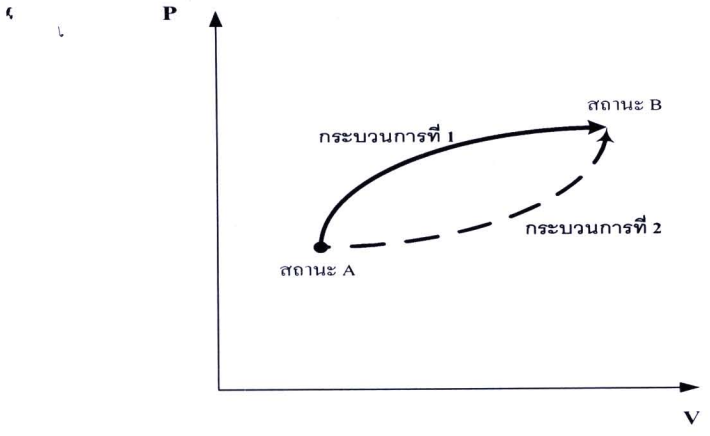
ก) มีค่าเป็นบวก ข) มีค่าเป็นลบ ค) เท่ากับศูนย์

32. การเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในของแก๊สตลอดวัฏจักร (X→Y→Z→X) เป็นไปตามข้อใด พร้อมให้เหตุผลประกอบ

ก) มีค่าเป็นบวก ข) มีค่าเป็นลบ ค) เท่ากับศูนย์

จงใช้ข้อมูลต่อไปนี้ ตอบคำถามข้อที่ 33-35

แผนภาพ P-V ดังรูป แสดงถึงระบบที่ประกอบไปด้วยแก๊สอุดมคติที่มีปริมาณคงที่ และสามารถเกิดการเปลี่ยนสถานะ จากสถานะ A ไปสู่สถานะ B ได้โดยผ่านกระบวนการที่ 1 หรือกระบวนการที่ 2



33. งานที่ทำโดยระบบในกระบวนการที่ 1 มีค่า_____กระบวนการที่ 2 พร้อมให้เหตุผลประกอบ

ก) มากกว่า ข) น้อยกว่า ค) เท่ากับ

34. การเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในของโมเลกุลของแก๊สในกระบวนการที่ 1 มีค่า _____ กระบวนการที่ 2 พร้อมให้เหตุผลประกอบ

ก) มากกว่า ข) น้อยกว่า ค) เท่ากับ

35. ความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ระบบในกระบวนการที่ 1 มีค่า _____กระบวนการที่ 2 พร้อมให้เหตุผลประกอบ

ก) มากกว่า ข) น้อยกว่า ค) เท่ากับ

****

กระดาษคำตอบ	
คำชี้แจง	กระดาษคำตอบฉบับนี้จะประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้ ***ส่วนที่ 1*** สำหรับคำตอบที่เป็นตัวเลือก โดยเขียนตัวเลือกลงในช่องว่าง ***ส่วนที่ 2*** สำหรับคำอธิบายของคำตอบบางข้อ โดยเขียนคำอธิบายลงในช่องว่าง

ชื่อ.....รหัส.....กลุ่มที่.....

<u>ส่วนที่ 1</u> คำตอบเป็นตัวเลือก

..... 1.	..... 10.	..... 19.	..... 28.
..... 2.	..... 11.	..... 20.	..... 29.
..... 3.	..... 12.	..... 21.	..... 30.
..... 4.	..... 13.	..... 22.	..... 31.
..... 5.	..... 14.	..... 23.	..... 32.
..... 6.	..... 15.	..... 24.	..... 33.
..... 7.	..... 16.	..... 25.	..... 34.
..... 8.	..... 17.	..... 26.	..... 35.
..... 9.	..... 18.	..... 27.	

<u>ส่วนที่ 2</u> คำตอบเป็นการอธิบาย

7.....

.....

.....

8.....

.....

.....

9.....

.....

.....

10.....

.....

.....

11.....

.....

.....

12.....

.....

.....

16.....

.....

.....

22.....

.....

.....

23.....

.....

.....

24.....

.....

.....

25.....

.....

.....

26.....

.....

.....

27.....

.....

.....

28.....

.....

.....

29.....

.....

.....

30.....

.....

.....

31.....

.....

.....

32.....

.....

.....

33.....

.....

.....

34.....

.....

35.....

.....

แบบสอบถามความพึงพอใจต่อการเรียนการสอน

<u>คำชี้แจง 1</u> โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลง ในช่องระดับความคิดเห็นของนักศึกษา

1 = ไม่เห็นด้วยอย่างมาก

2 = ไม่เห็นด้วย

3 = ไม่มีความคิดเห็น

4 = เห็นด้วย

5 = เห็นด้วยอย่างมาก

ข้อที่	รายการ	ระดับความคิดเห็น				
		1	2	3	4	5
ตอนที่ 1 บรรยากาศการเรียนรู้ระหว่างทำกิจกรรม: ในระหว่างช่วงกิจกรรม ข้าพเจ้า.....						
1	มีความกระตือรือร้น และสนุกกับการเรียนมากขึ้น					
2	มีโอกาสแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับเพื่อนมากขึ้น					
3	มีโอกาสแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับผู้สอนมากขึ้น					
4	มีโอกาสฝึกทักษะการเขียนอธิบายเหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์					
ตอนที่ 2 คุณภาพของชุดสาธิต และ Prediction sheet โดยภาพรวม						
5	ชุดสาธิตมีความน่าสนใจ และท้าทายการเรียนรู้					
6	คำถามในแบบทำนายผลใช้ภาษาที่ชัดเจน และเข้าใจง่าย					
7	คำถามในแบบทำนายผลช่วยกระตุ้นให้ข้าพเจ้าคิดและเข้าใจเนื้อหาที่เรียนมากขึ้น					
8	การแสดงผลของการสาธิตสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน					
9	ชุดสาธิตมีความเหมาะสมและสอดคล้องกับเนื้อหาที่เรียนรู้จากการบรรยาย					

ข้อที่	รายการ	ระดับความคิดเห็น				
		1	2	3	4	5
ตอนที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อหากับชุดสาธิต						
10	***กิจกรรมตุ๊กตาเซรามิก (ตุ๊กตาฉี่)*** ช่วยทำให้ข้าพเจ้าเข้าใจกฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์ได้ดีขึ้น และเห็นตัวอย่างการนำไปใช้กับสถานการณ์จริง					
11	***กิจกรรม Isobaric Process*** ช่วยให้ข้าพเจ้าเข้าใจสถานการณ์และเงื่อนไขของการเกิดกระบวนการความดันคงที่					
12	***กิจกรรม Isothermal Process*** ช่วยให้ข้าพเจ้าเข้าใจลักษณะและความสัมพันธ์ระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมของการเกิดกระบวนการอุณหภูมิคงที่					
13	***กิจกรรมการเกิดหมอกหรือ Adiabatic Process*** ช่วยให้ข้าพเจ้าเห็นลักษณะของระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วจนไม่เกิดการถ่ายเทความร้อนสู่สิ่งแวดล้อม					
14	***กิจกรรม Heat Engine อย่างง่าย*** ช่วยให้ข้าพเจ้าสามารถเชื่อมโยงสถานการณ์จริงที่เกิดวัฏจักรของ Heat Engine กับกระบวนการในแผนภาพ PV ได้ดีขึ้น					
15	กิจกรรมทั้งหมดช่วยให้ข้าพเจ้าเข้าใจเนื้อหาจากการบรรยายมากขึ้น					
16	ในแต่ละกิจกรรม ช่วงที่ให้ข้าพเจ้าทำนายผล ก่อนที่จะสังเกตผลการสาธิต ช่วยให้ข้าพเจ้าค้นพบความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับหลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์ของตนเอง					
17	หลังจากการสาธิต ผู้สอนอภิปรายและสรุปกิจกรรม ช่วยให้ข้าพเจ้าเข้าใจหลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่ประยุกต์ใช้ในแต่ละกิจกรรมได้ดีขึ้น					

<u>คำชี้แจง 2</u> ให้นักศึกษาเขียนกิจกรรมที่คิดว่าตนเองชอบมากที่สุด ชอบน้อยที่สุด เข้าใจมากที่สุด และเข้าใจน้อยที่สุด พร้อมทั้งบอกเหตุผลสั้น ๆ ประกอบด้วย โดยรายชื่อกิจกรรมมีดังนี้

กิจกรรมที่ 1 ตุ๊กตาเซรามิก (ตุ๊กตาฉี่) **กิจกรรมที่ 2** Isobaric Process

กิจกรรมที่ 3 Isothermal Process **กิจกรรมที่ 4** การเกิดหมอกหรือ Adiabatic Process

กิจกรรมที่ 5 Heat Engine อย่างง่าย

1. กิจกรรมที่นักศึกษา***ชอบมากที่สุด*** คือ กิจกรรมที่

.....

เพราะ.....

2. กิจกรรมที่นักศึกษา***ชอบน้อยที่สุด*** คือ กิจกรรมที่.....

เพราะ.....

3. กิจกรรมที่นักศึกษาเข้าใจ***มากที่สุด*** คือ กิจกรรมที่.....

เพราะ.....

4. กิจกรรมที่นักศึกษาเข้าใจ***น้อยที่สุด*** คือ กิจกรรมที่.....

เพราะ.....

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงการสอนต่อไป

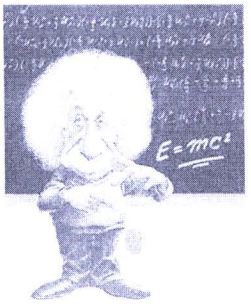
.....

.....

.....

.....

☺ ขอบคุณค่ะสำหรับทุกความคิดเห็น ขอให้นักศึกษาประสบความสำเร็จในการสอบ FINAL ☺



สมการชีวิต

ความสำเร็จ $=$ (โอกาส) $\times$ ความพร้อม^2

ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์แบบทดสอบ

การวิเคราะห์คุณภาพของแบบทดสอบ

การวิเคราะห์คุณภาพของแบบทดสอบในการวิจัยครั้งนี้ ทำการวิเคราะห์หาค่าความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) ค่าดัชนีความยาก (Difficulty Index) ค่าดัชนีจำแนก (Discrimination Index) และค่าความเชื่อมั่น (Reliability) ของแบบทดสอบ ซึ่งรายละเอียดมีดังนี้

1. การหาค่าความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity)

ในการหาค่าความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของแบบทดสอบในงานวิจัยครั้งนี้ ให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินว่าคำถามแต่ละข้อมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้หรือไม่ โดยให้คะแนนตามเกณฑ์ ดังนี้

ถ้าคำถามมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์มากที่สุด	ได้ 5 คะแนน
ถ้าคำถามมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์มาก	ได้ 4 คะแนน
ถ้าคำถามมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ปานกลาง	ได้ 3 คะแนน
ถ้าคำถามมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์น้อย	ได้ 2 คะแนน
คำถามไม่มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์	ได้ 1 คะแนน

จากนั้นนำคะแนนของผู้เชี่ยวชาญทุกคนที่ประเมินมากรอกลงในแบบวิเคราะห์ความสอดคล้องของคำถามกับจุดประสงค์เพื่อหาค่าเฉลี่ยสำหรับคำถามแต่ละข้อ โดยใช้สมการคำนวณดังนี้

$$IOC = \frac{\sum R}{N}$$

IOC	แทน	ค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างคำถามกับวัตถุประสงค์ (Index of Item – Objective Congruence)
$\sum R$	แทน	ผลรวมของคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ
N	แทน	จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

เกณฑ์การคัดเลือกคำถาม

1. คำถามที่มีค่า IOC ตั้งแต่ 3 – 5 คัดเลือกไว้ใช้ได้
2. คำถามที่มีค่า IOC ต่ำกว่า 3 ควรพิจารณาปรับปรุงหรือตัดทิ้ง

2. การหาค่าความยากของแบบทดสอบ (Difficulty)

ความยาก หมายถึง จำนวนร้อยละหรือค่าสัดส่วนของผู้เรียนที่ตอบถูกในข้อนั้น เมื่อเปรียบเทียบกับผู้เรียนทั้งหมด ซึ่งในการวิเคราะห์หาค่าความยากในการวิจัยครั้งนี้ คำนวณได้จากสมการ

$$P = \frac{N}{R}$$

P	แทน	ดัชนีความยาก (Difficulty Index)
R	แทน	จำนวนคนที่ทำข้อสอบถูก
N	แทน	จำนวนคนผู้เข้าสอบทั้งหมด

3. การวิเคราะห์หาค่าอำนาจจำแนก (Discrimination)

อำนาจจำแนก หมายถึง ประสิทธิภาพของคำถามในการแบ่งผู้เรียนออกเป็นกลุ่มเก่งและอ่อน โดยขั้นตอนในการวิเคราะห์หาค่าอำนาจจำแนกในการวิจัยครั้งนี้ มีดังนี้

1. ตรวจคะแนนของทุกคนแล้วนำกระดาษคำตอบมาเรียงลำดับคะแนนจากมากไปหาน้อย
2. แบ่งกลุ่มคะแนนสูงและกลุ่มคะแนนต่ำ โดยใช้เทคนิค 27%
3. ทำการนับจำนวนคนตอบถูกในกลุ่มคะแนนสูงและกลุ่มคะแนนต่ำ แล้วแทนค่าลงในสมการ ดังนี้

$$R = \frac{H - L}{N_H \text{or} N_L}$$

R	แทน	ดัชนีจำแนก (Discrimination Index)
H	แทน	จำนวนคนในกลุ่มสูงที่ตอบถูก
L	แทน	จำนวนคนในกลุ่มต่ำที่ตอบถูก
N_H, N_L	แทน	จำนวนคนในกลุ่มคะแนนสูง, ในกลุ่มคะแนนต่ำ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

4. การหาค่าความเชื่อมั่น (Reliability)

ความเชื่อมั่น หมายถึง ความคงที่ในการวัดของแบบทดสอบ สามารถหาได้จากวิธีของ Kuder Richardson 20 (KR–20) ซึ่งมีสมการที่ใช้คำนวณ ดังนี้

$$r_{tt} = \left(\frac{k}{k-1}\right)\left(1 - \frac{\sum pq}{s^2}\right)$$

เมื่อ r_{tt} แทน ความเที่ยงของแบบทดสอบ

k แทน จำนวนข้อของแบบทดสอบ

s^2 แทน ความแปรปรวนของคะแนนรวมทั้งฉบับ

p แทน สัดส่วนของคนทำถูกแต่ละข้อ

q แทน สัดส่วนของคนทำผิดแต่ละข้อ ($q = 1 - p$)

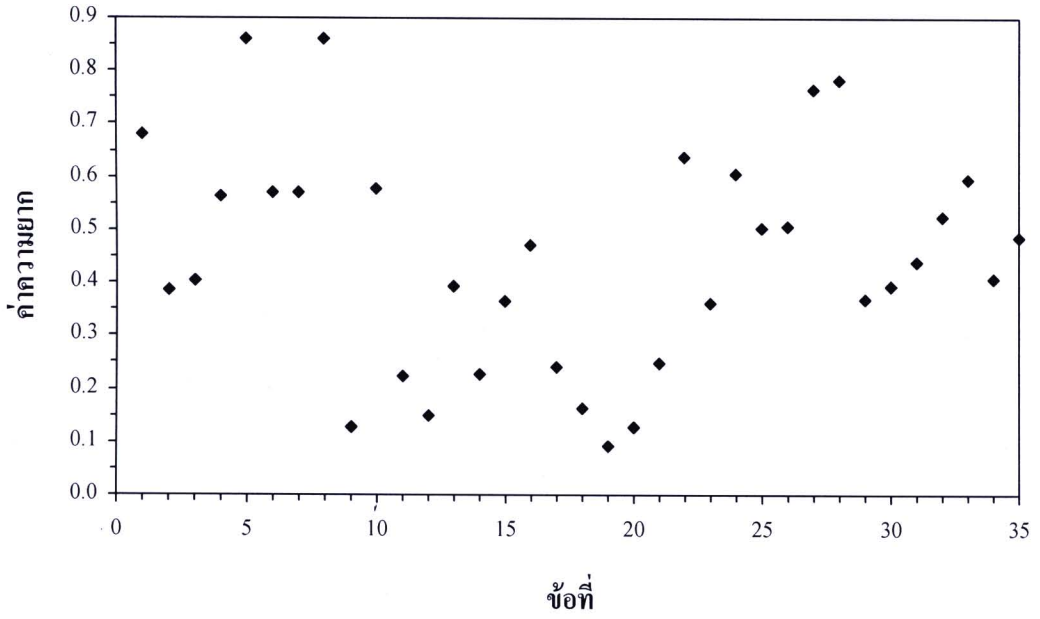
วิเคราะห์ค่าความยากและอำนาจจำแนกของแบบทดสอบ

ตาราง 1 แสดงค่าความยากและอำนาจจำแนกรายข้อของแบบทดสอบ TCE

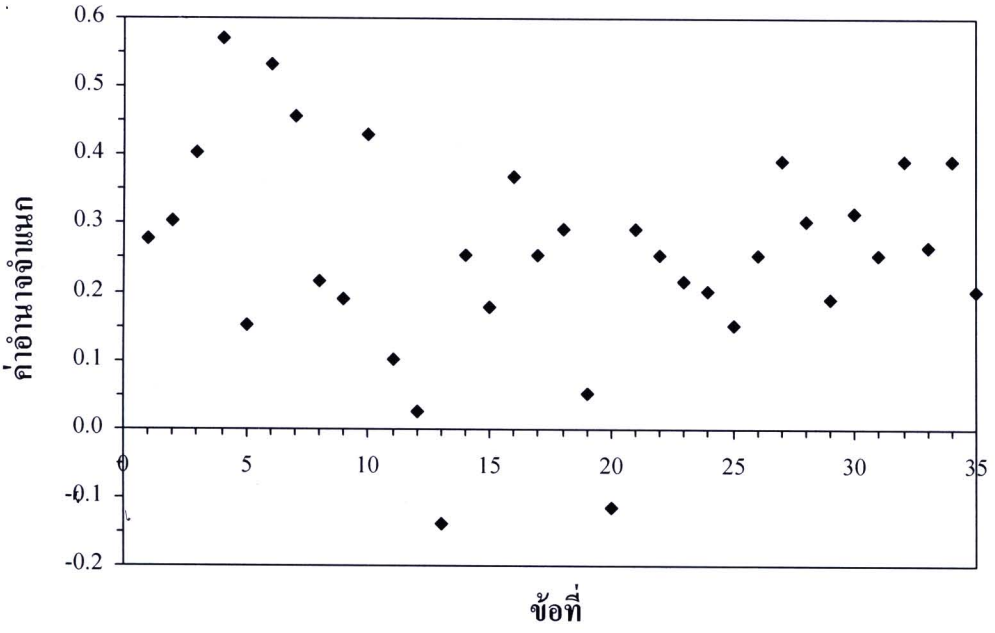
ข้อที่	ค่าความยาก (Difficulty)	ค่าอำนาจจำแนก (Discrimination)
1	0.7	0.3
2	0.4	0.3
3	0.4	0.4
4	0.6	0.6
5	0.9	0.2
6	0.6	0.5
7	0.6	0.5
8	0.9	0.2
9	0.1	0.2
10	0.6	0.4
11	0.2	0.1
12	0.1	0.0
13	0.4	-0.1
14	0.2	0.3
15	0.4	0.2
16	0.5	0.4
17	0.2	0.3
18	0.2	0.3
19	0.1	0.1
20	0.1	-0.1
21	0.2	0.3
22	0.6	0.3
23	0.4	0.2
24	0.6	0.2

ตาราง 1 แสดงค่าความยากและอำนาจจำแนกรายข้อของแบบทดสอบ TCE (ต่อ)

ข้อที่	ค่าความยาก (Difficulty)	ค่าอำนาจจำแนก (Discrimination)
25	0.5	0.2
26	0.5	0.3
27	0.8	0.4
28	0.8	0.3
26	0.5	0.2
27	0.8	0.3
28	0.8	0.3
29	0.4	0.4
30	0.4	0.3
31	0.4	0.4
32	0.5	0.2
33	0.6	0.2
34	0.4	0.3
35	0.5	0.4



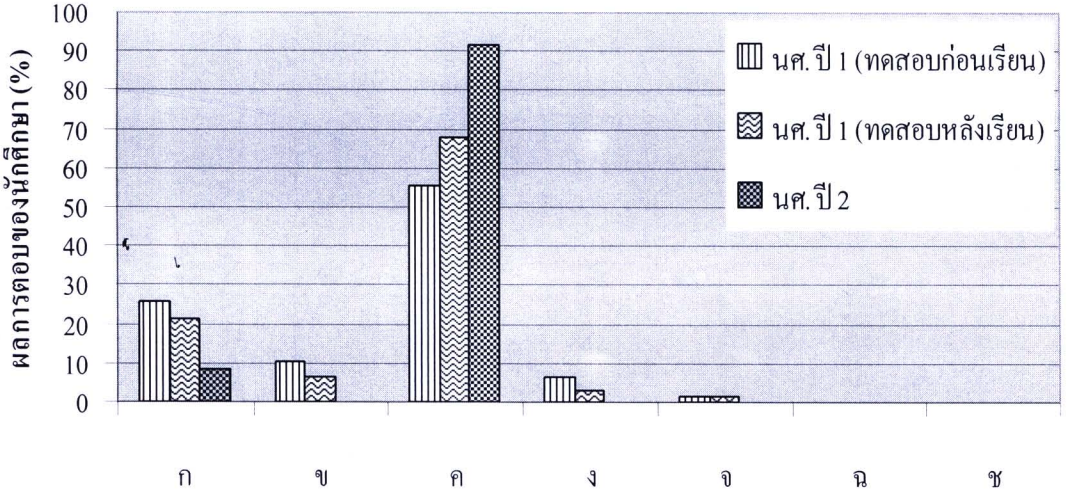
รูป 1 ภาพแสดงค่าความยากรายข้อ (Item Difficulty) ของแบบทดสอบ TCE



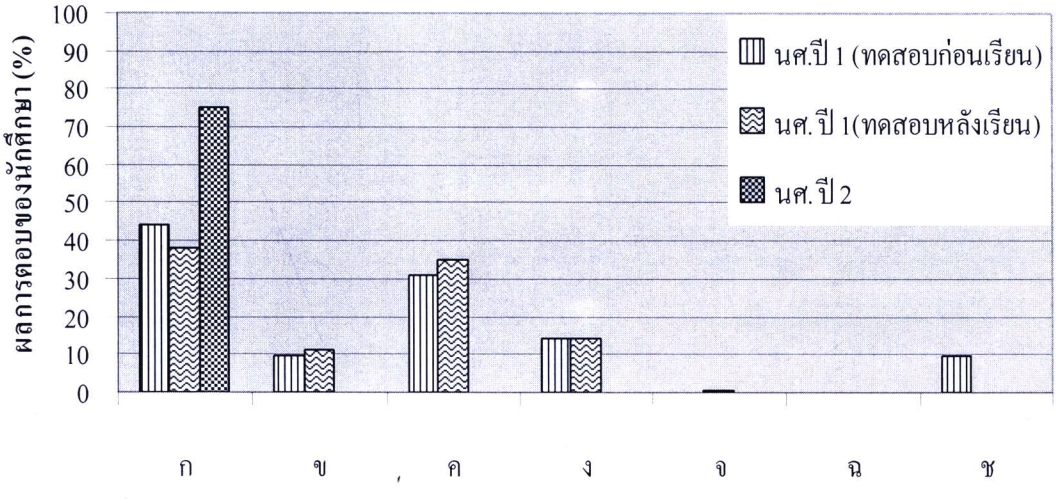
รูป 2 ภาพแสดงค่าอำนาจจำแนกรายข้อ (Item Discrimination) ของแบบทดสอบ TCE

ผลการตอบแต่ละตัวเลือกรายข้อในแบบทดสอบ TCE ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 และนักศึกษาชั้นปีที่ 1 (ก่อนเรียน-หลังเรียน)

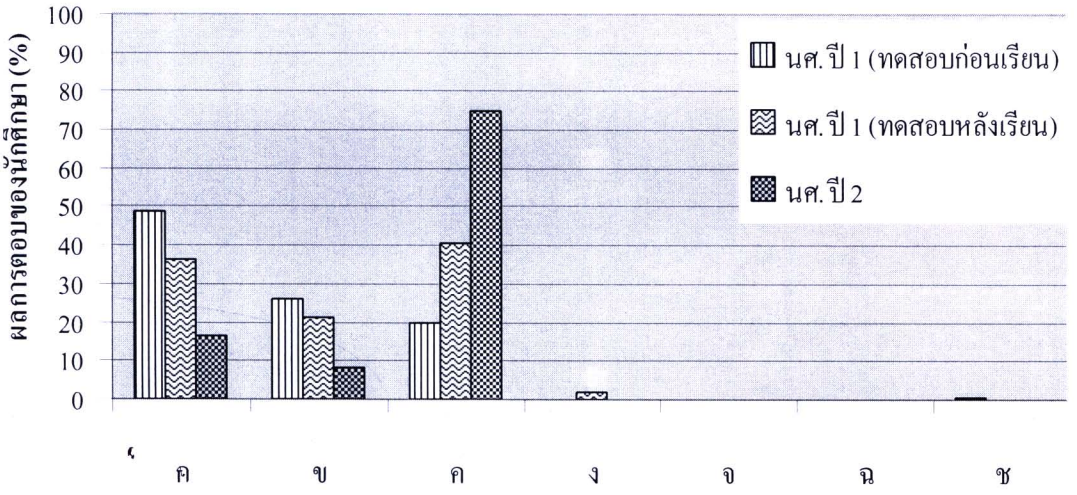
ข้อที่ 1 (เฉลย ค)



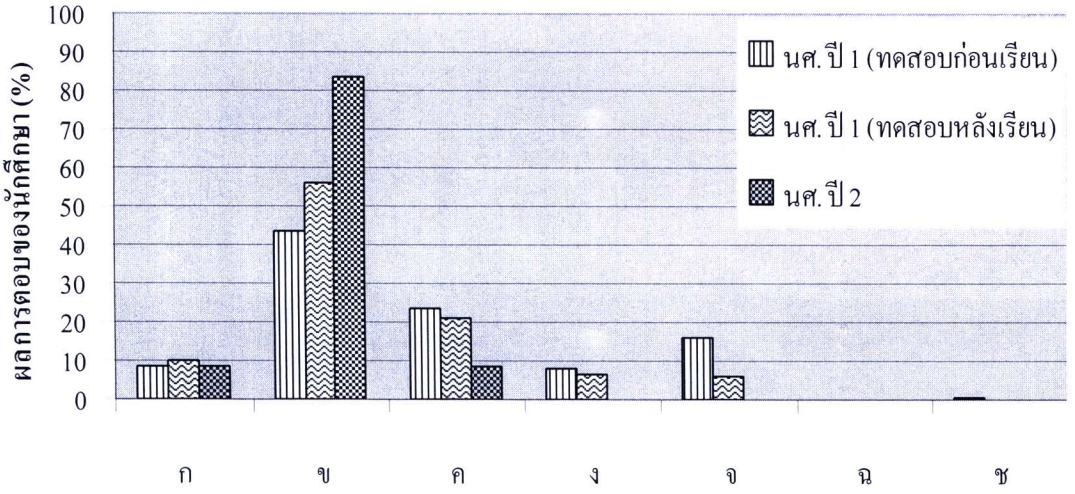
ข้อที่ 2 (เฉลย ก)



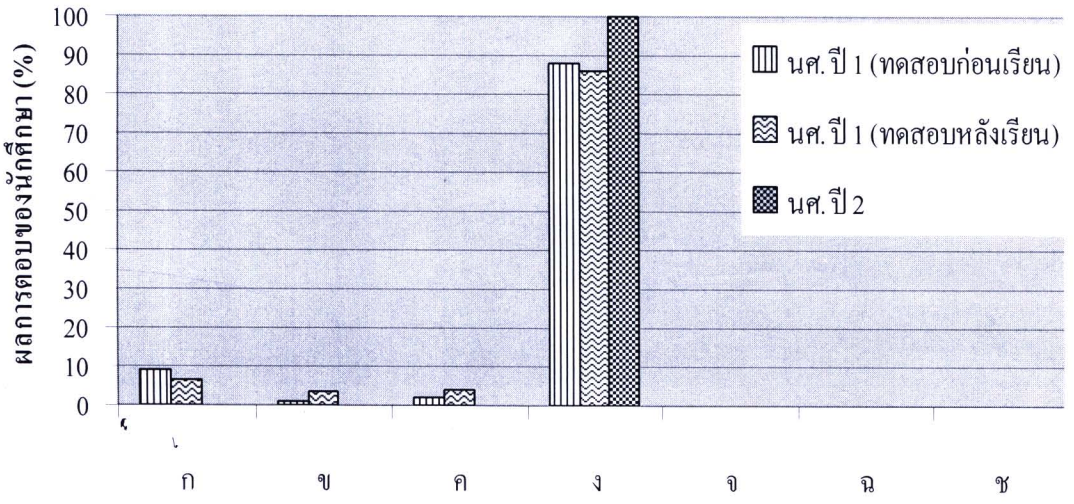
ข้อที่ 3 (เฉลย ค)



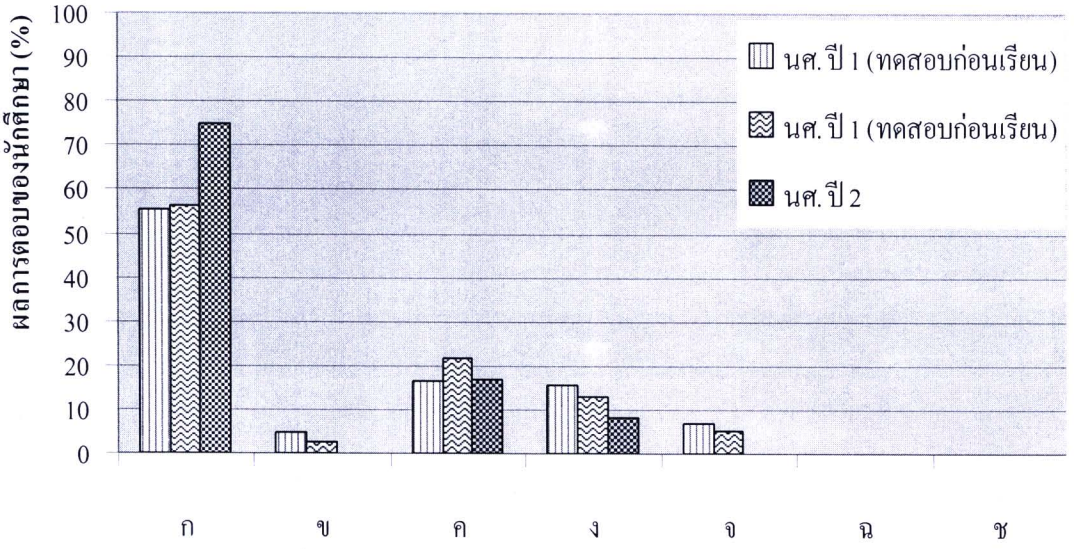
ข้อที่ 4 (เฉลย ข)



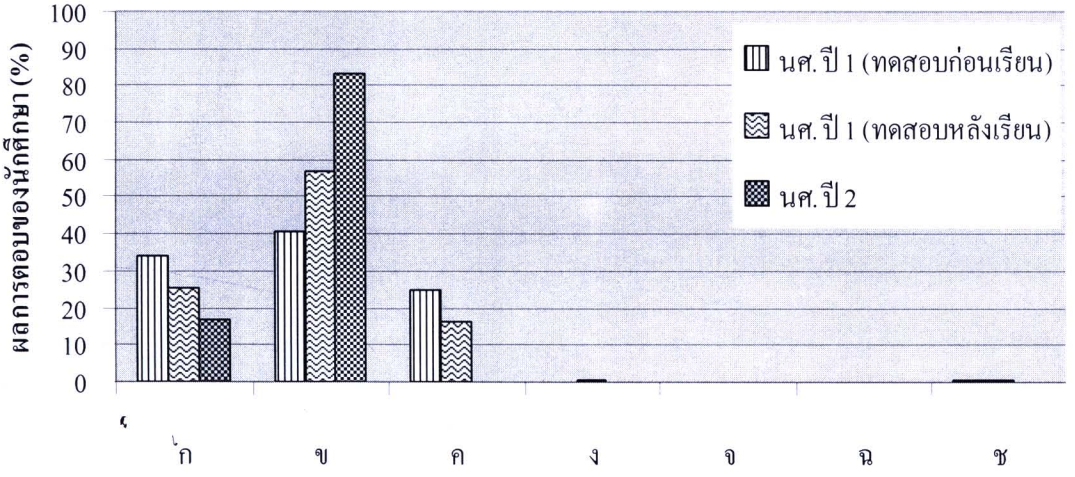
ข้อที่ 5 (เฉลย ง)



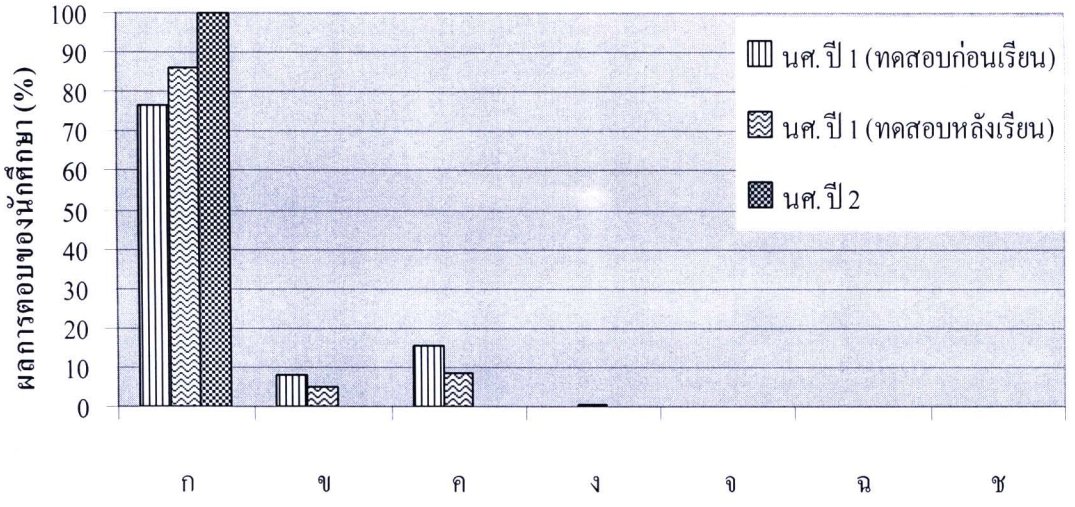
ข้อที่ 6 (เฉลย ก)



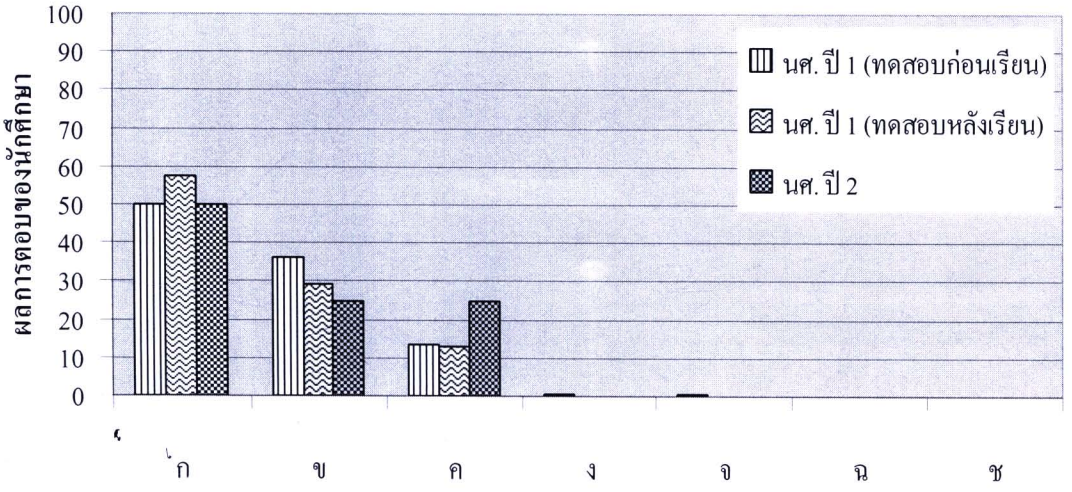
ข้อที่ 7 (เฉลย ข)



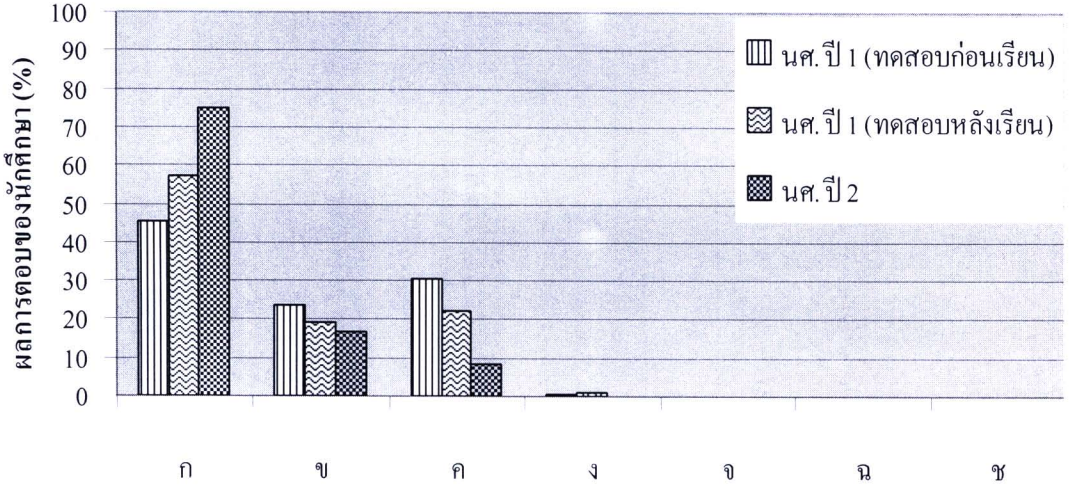
ข้อที่ 8 (เฉลย ก)



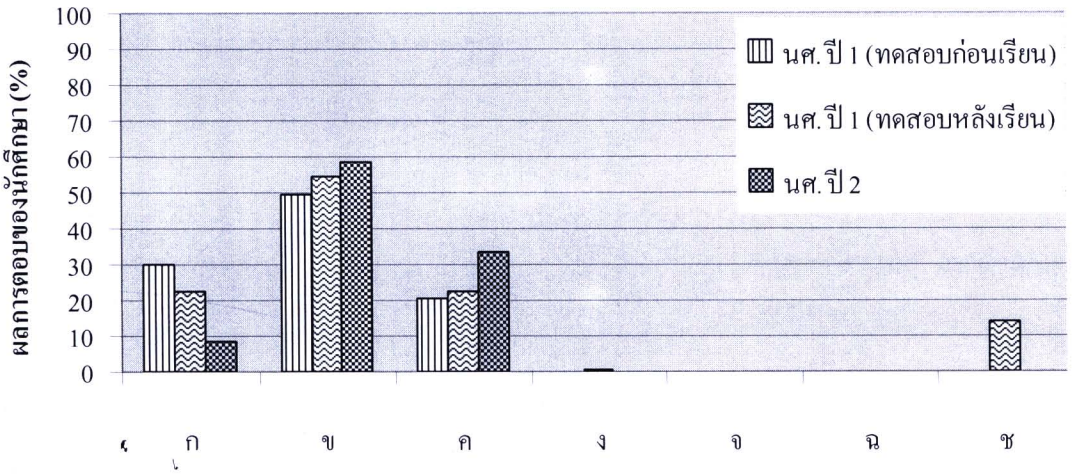
ข้อที่ 9 (เฉลย ค)



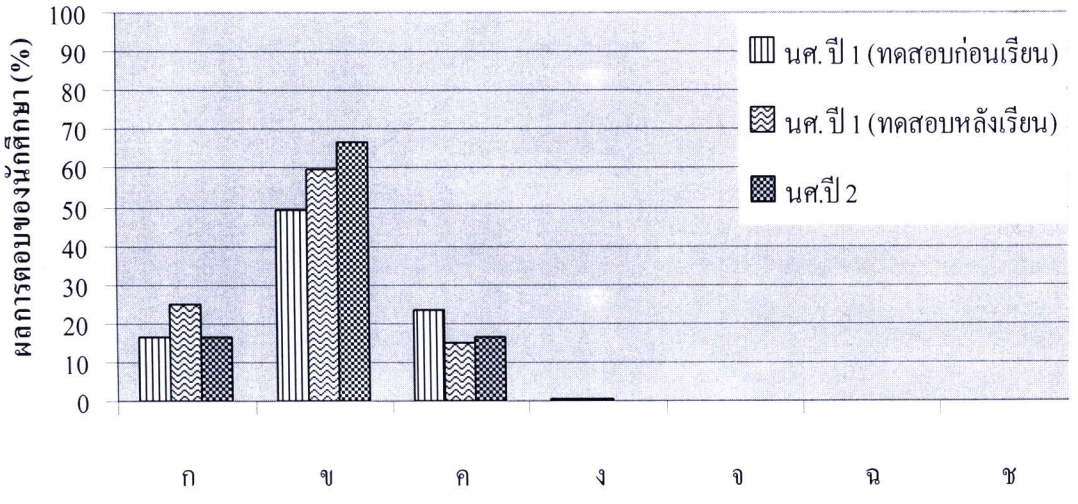
ข้อที่ 10 (เฉลย ก)



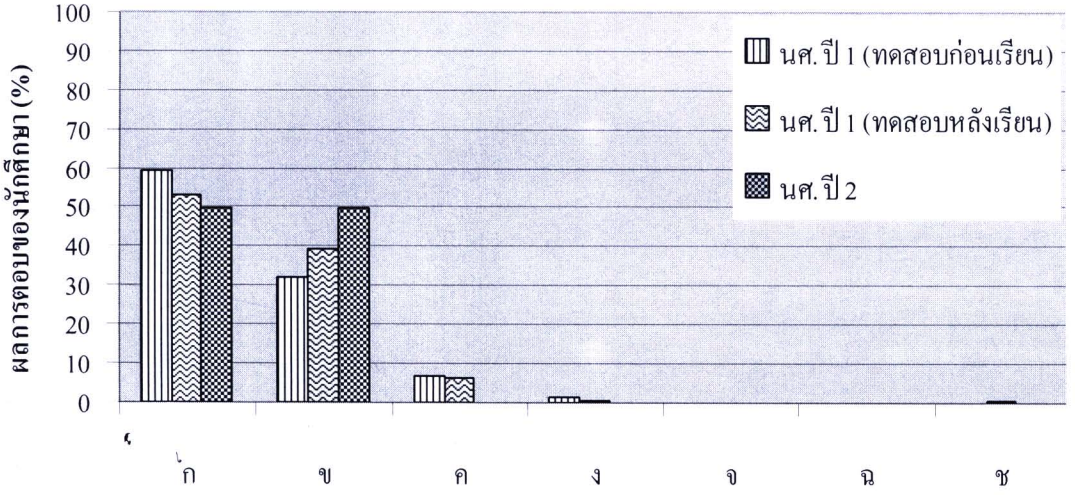
ข้อที่ 11 (เฉลย ค)



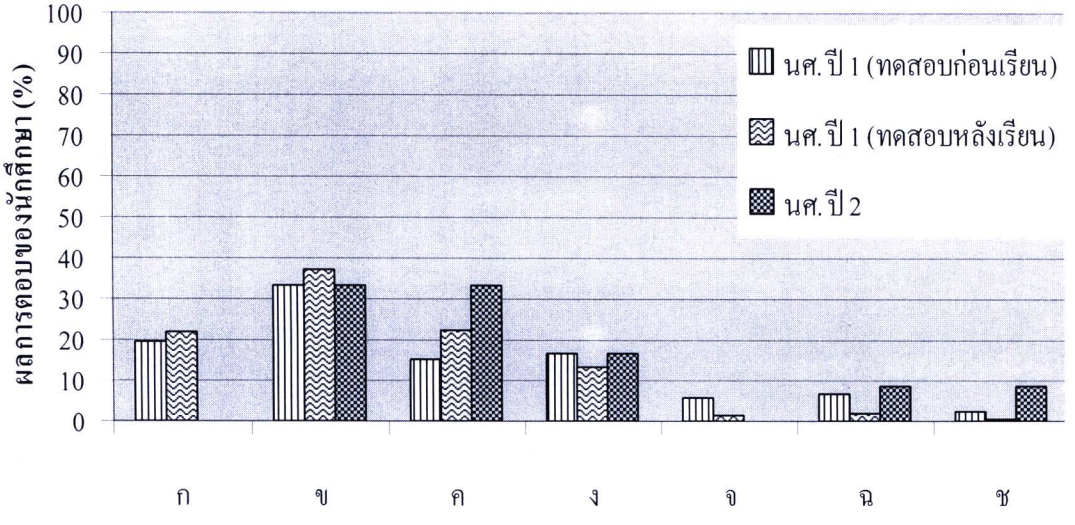
ข้อที่ 12 (เฉลย ค)



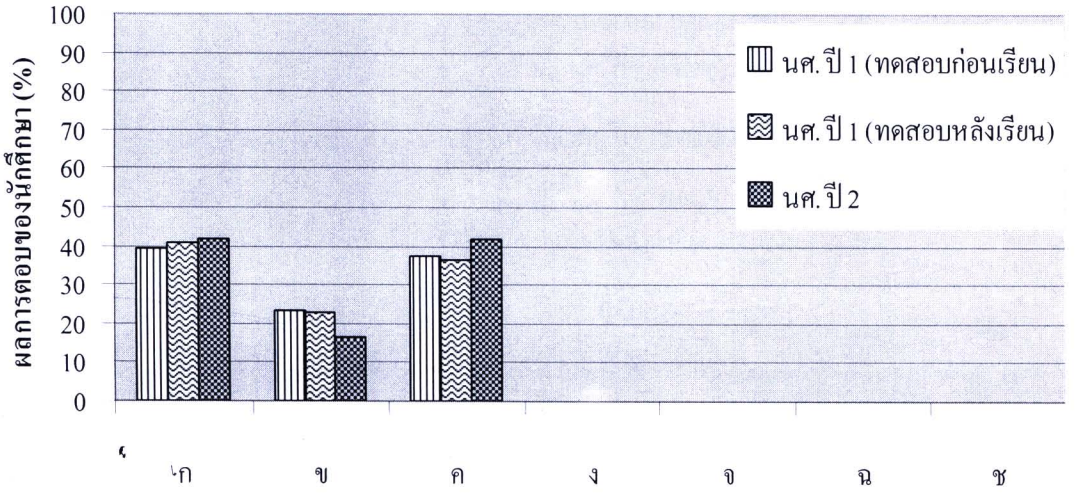
ข้อที่ 13 (เฉลย ข)



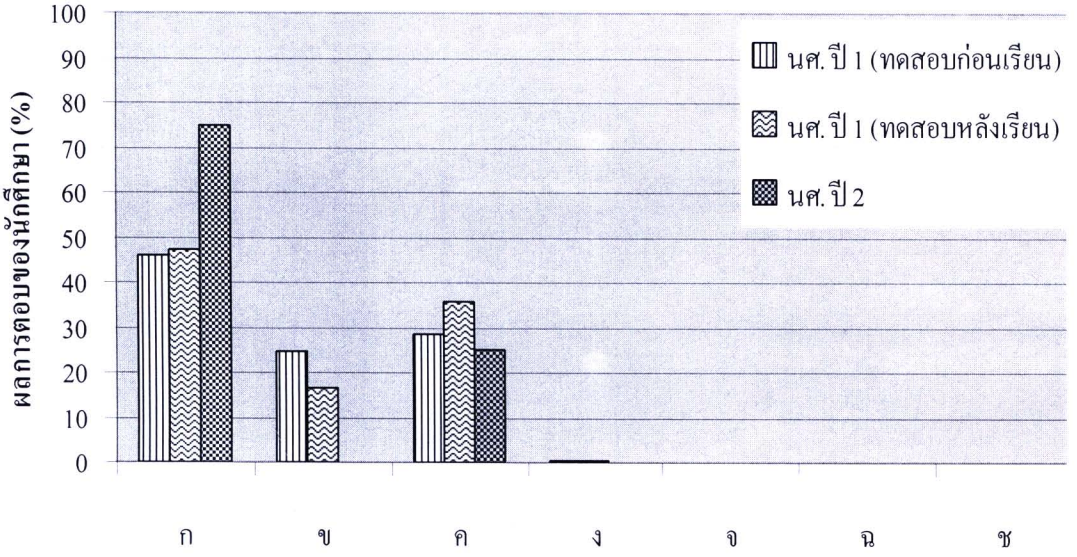
ข้อที่ 14 (เฉลย ค)



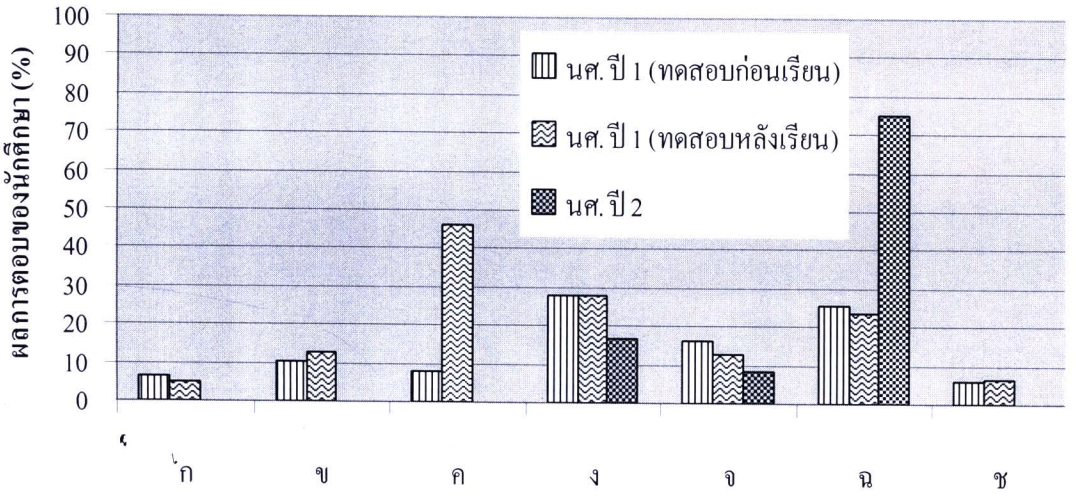
ข้อที่ 15 (เฉลย ค)



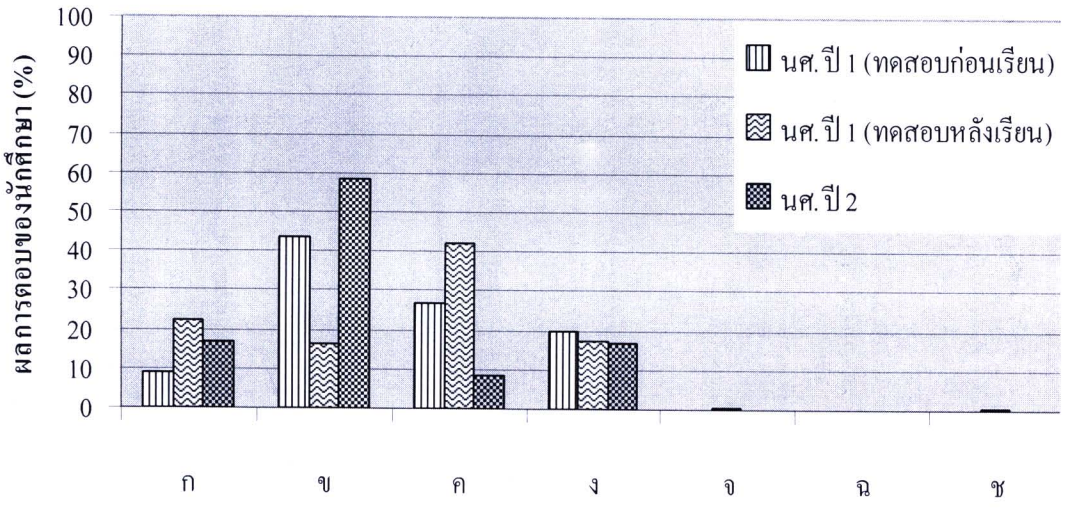
ข้อที่ 16 (เฉลย ก)



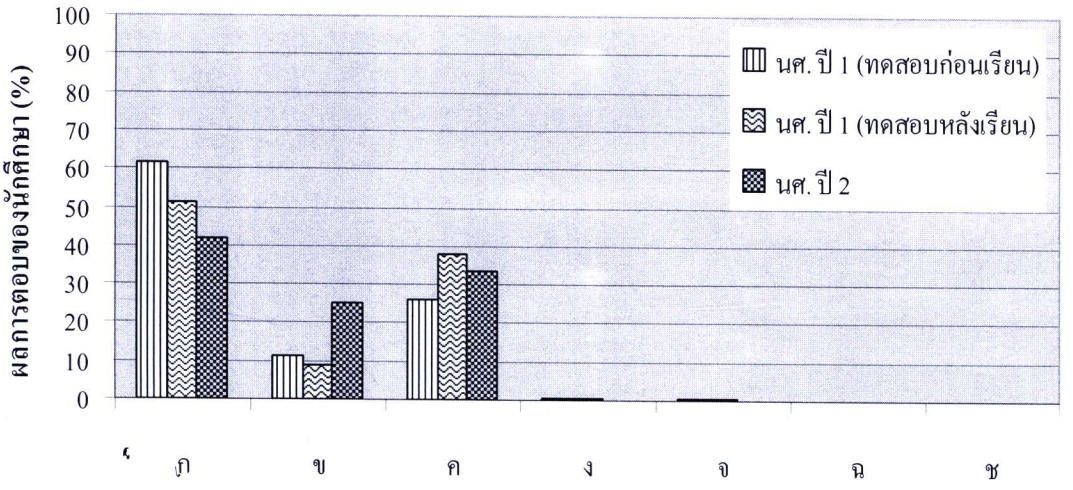
ข้อที่ 17 (เฉลย ฉ)



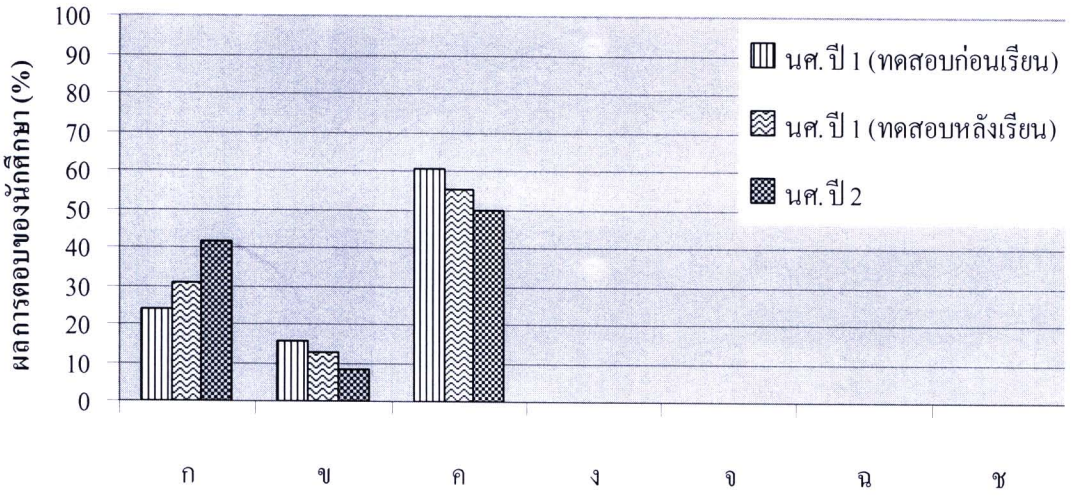
ข้อที่ 18 (เฉลย ข)



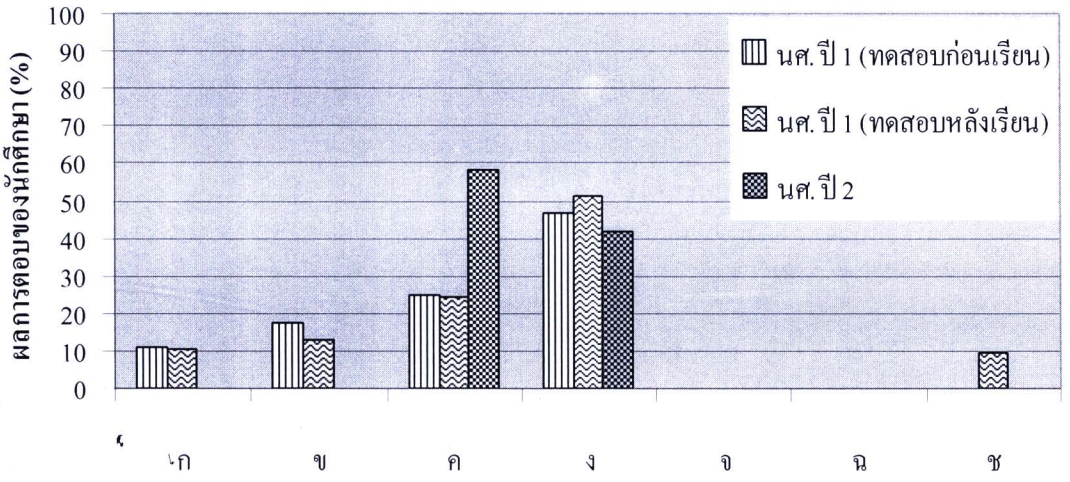
ข้อที่ 19 (เฉลย ข)



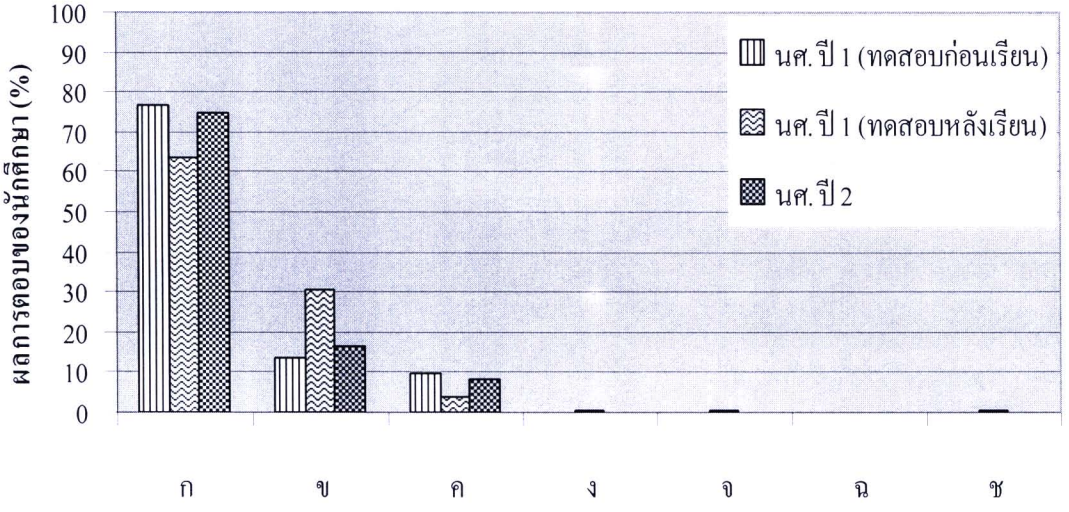
ข้อที่ 20 (เฉลย ข)



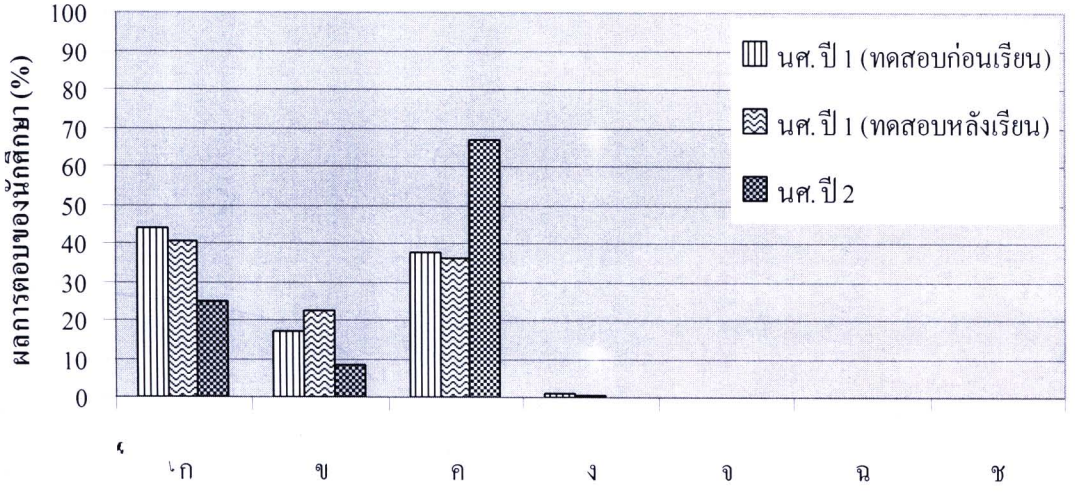
ข้อที่ 21 (เฉลย ค)



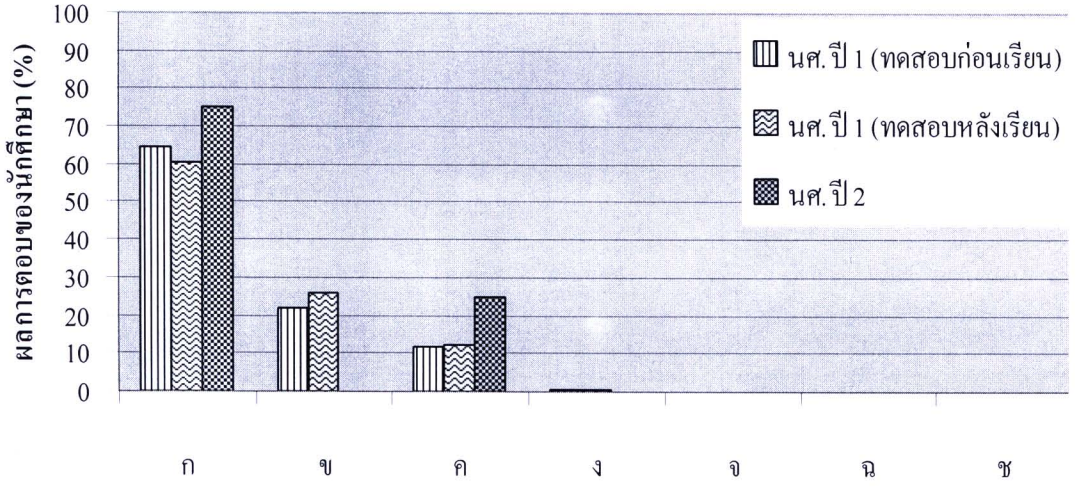
ข้อที่ 22 (เฉลย ก)



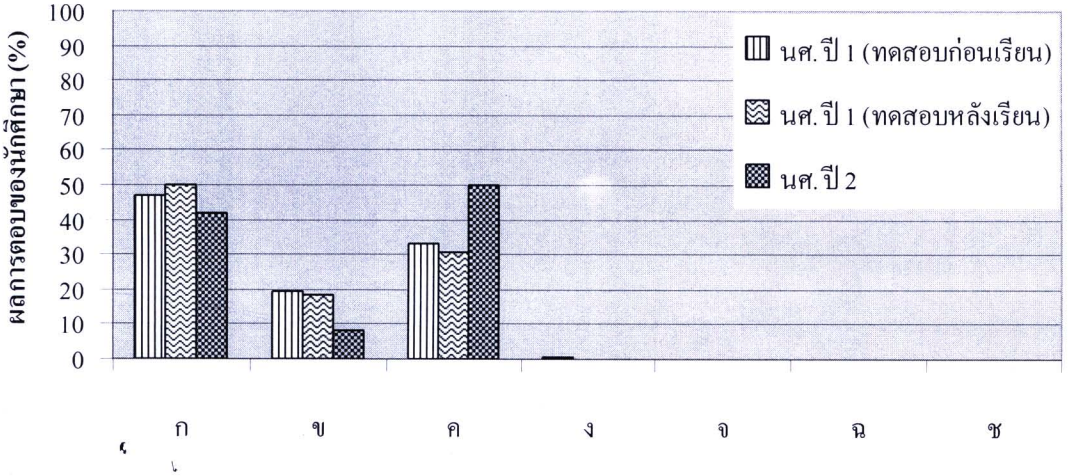
ข้อที่ 23 (เฉลย ค)



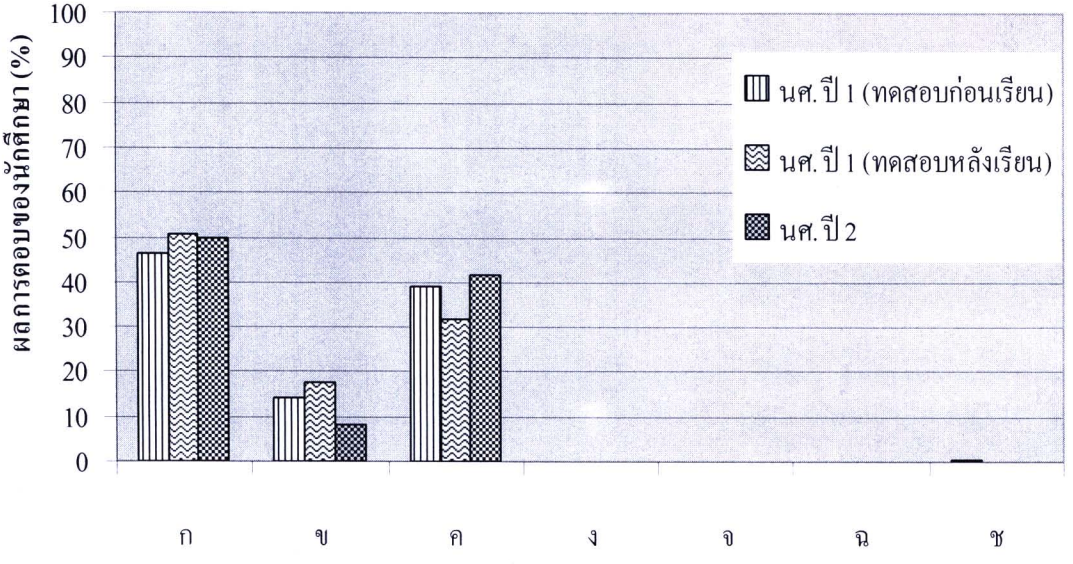
ข้อที่ 24 (เฉลย ก)



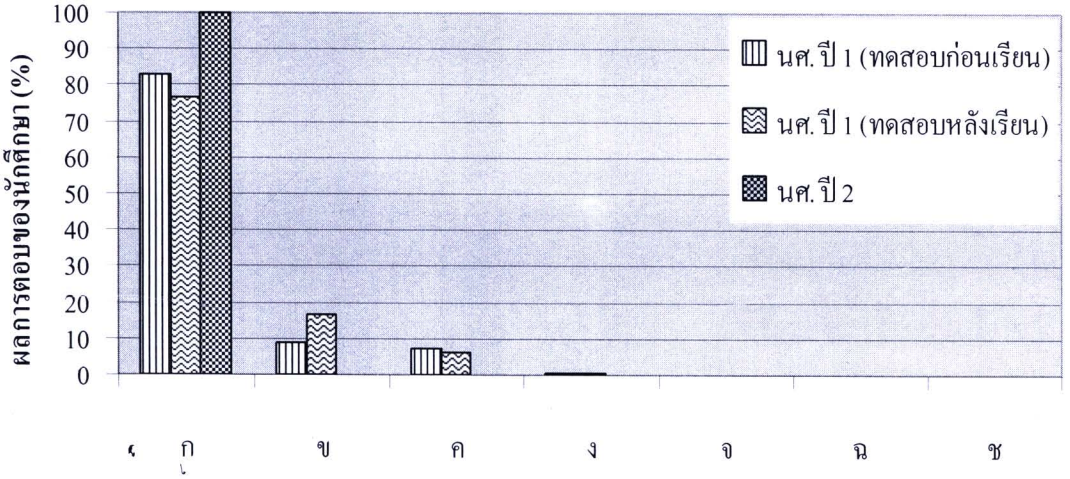
ข้อที่ 25 (เฉลย ก)



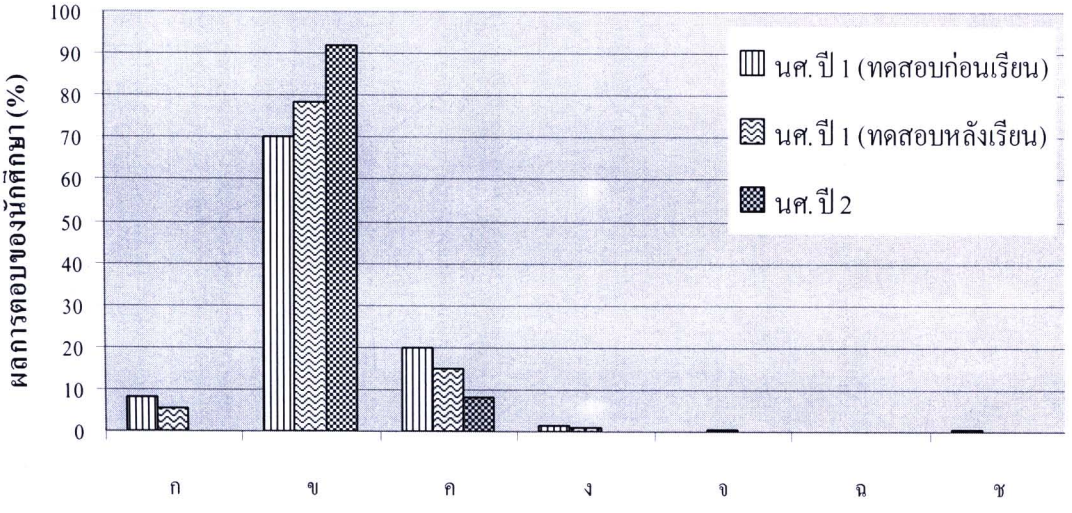
ข้อที่ 26 (เฉลย ก)



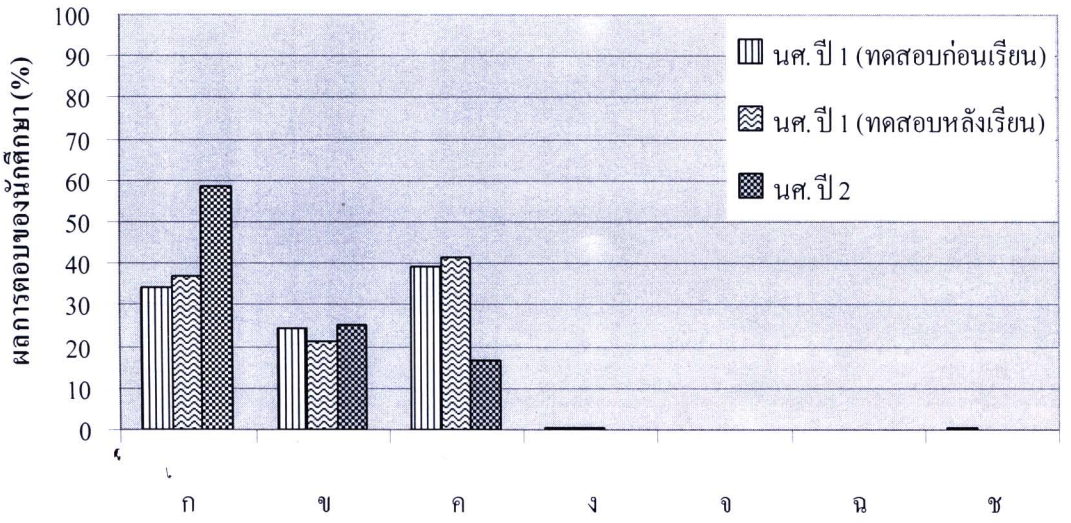
ข้อที่ 27 (เฉลย ก)



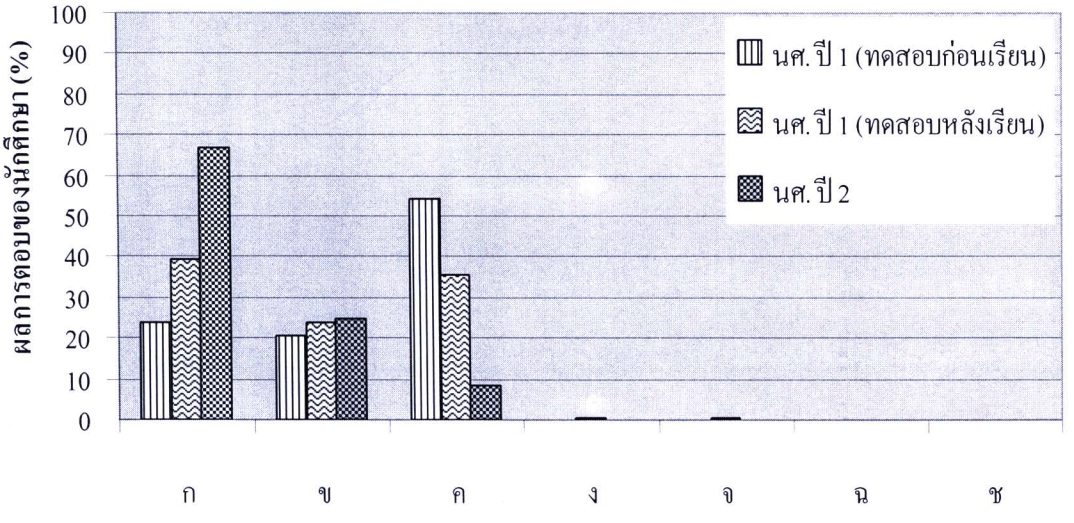
ข้อที่ 28 (เฉลย ข)



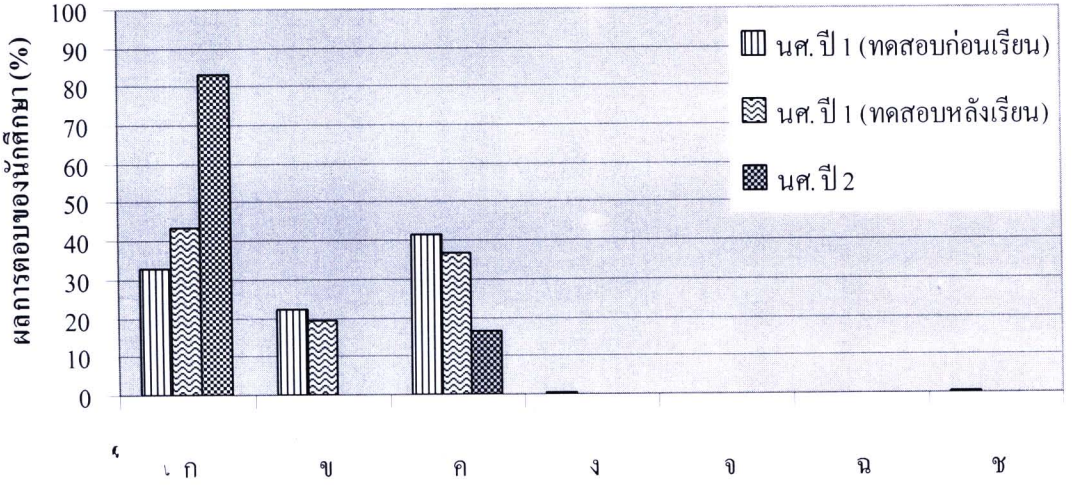
ข้อที่ 29 (เฉลย ก)



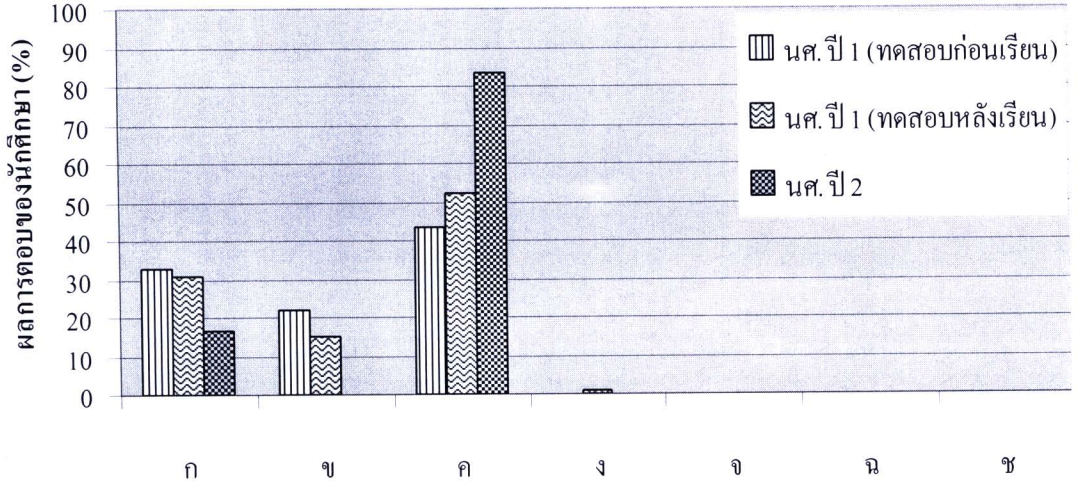
ข้อที่ 30 (เฉลย ก)



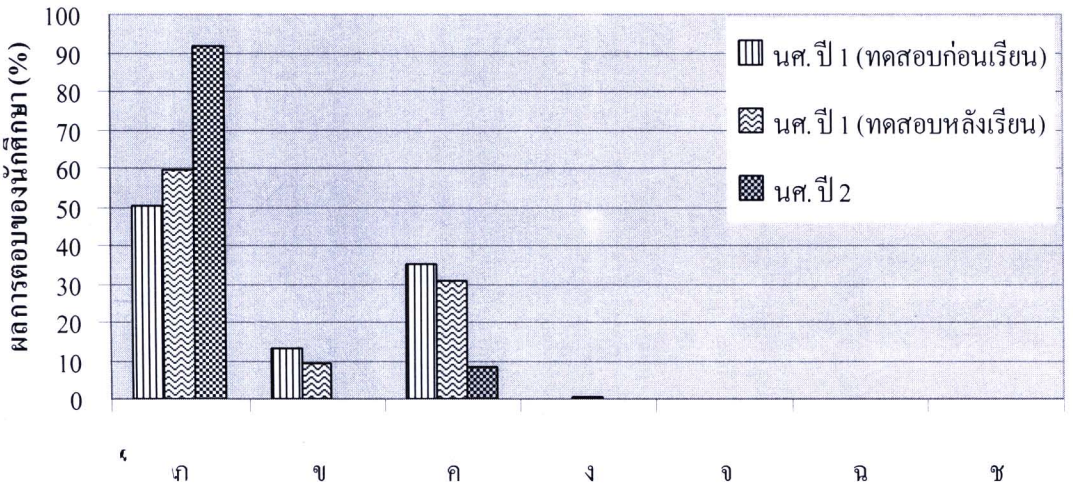
ข้อที่ 31 (เฉลย ก)



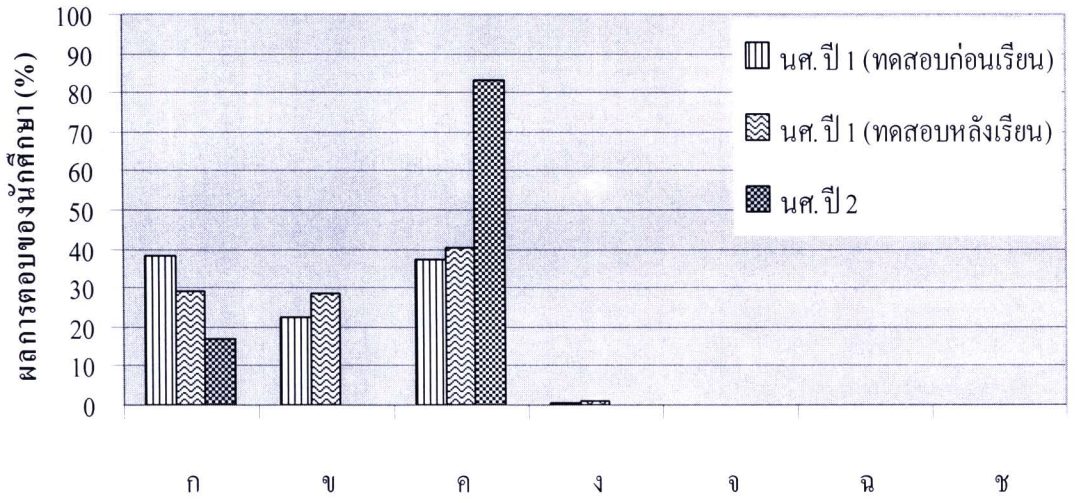
ข้อที่ 32 (เฉลย ค)



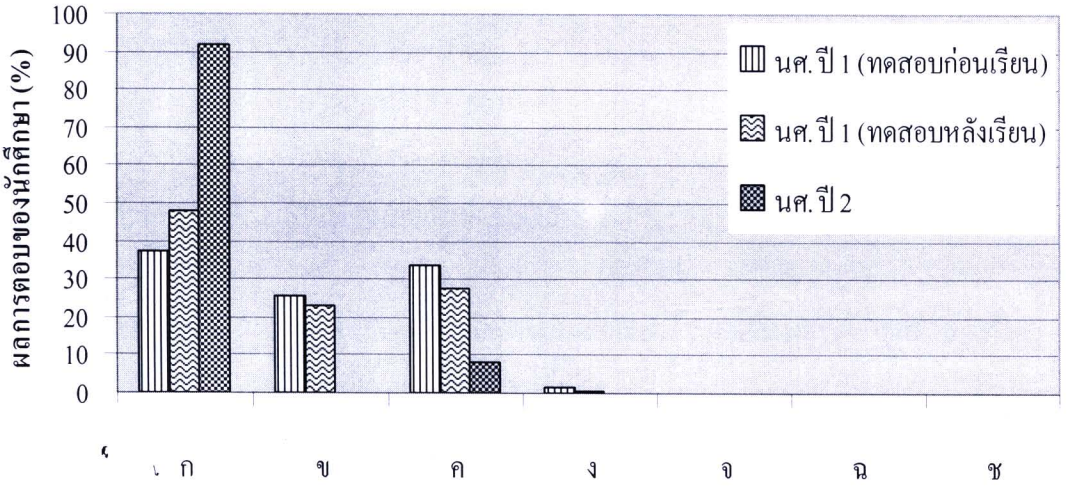
ข้อที่ 33 (เฉลย ก)



ข้อที่ 34 (เฉลย ค)



ข้อที่ 35 (เฉลย ก)


ผลการตอบของนักศึกษา (%)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
นศ. ปี 1 (ทดสอบก่อนเรียน)
นศ. ปี 1 (ทดสอบหลังเรียน)
นศ. ปี 2
ก
ข
ค
ง
จ
ฉ
ช

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวปรีดา ตะเหลบ
วัน เดือน ปี เกิด	12 กุมภาพันธ์ 2525
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2544 สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนโยธินบำรุง จังหวัดนครศรีธรรมราช พ.ศ. 2548 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยทักษิณ จังหวัดสงขลา พ.ศ. 2549 สำเร็จการศึกษาปริญญาประกาศนียบัตรบัณฑิต สาขาทางการสอน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดสงขลา
ทุนการศึกษา	ได้รับทุนอุดหนุนบัณฑิตศึกษา ทุนโครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางด้านวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สควค.) 2551-2552
ประสบการณ์	พ.ศ. 2549 เข้ารับราชการครู ตำแหน่งครูผู้ช่วย ครูสอนวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนบ้านคลองวัง จังหวัดนครศรีธรรมราช พ.ศ. 2551 – ปัจจุบัน ข้าราชการครู ตำแหน่งครู ครูสอนวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น และฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสิชลประชาสรรค์ พ.ศ. 2551-2552 (ปีการศึกษา 2551) เป็นผู้ช่วยสอนภาคปฏิบัติการวิชาฟิสิกส์พื้นฐาน ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พ.ศ. 2551 เป็นวิทยากรกิจกรรมค่ายฝึกทักษะกระบวนการคิดแบบองค์รวม ณ เขตห้ามล่าสัตว์ป่าหนองบงคาย (ทะเลสาบเชียงแสน) จังหวัดเชียงราย

พ.ศ. 2552 เป็นคณะกรรมการการอบรมครูฟิสิกส์ ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จัดขึ้นโดยภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

พ.ศ. 2552 เป็นผู้ช่วยวิทยากรอบรมครู โครงการการพัฒนาประสิทธิภาพการสอนวิทยาศาสตร์โรงเรียนในฝัน หลักสูตรที่ 1 เรื่องการพัฒนาทักษะเพื่อการทำโครงงานวิทยาศาสตร์และกิจกรรมส่งเสริมการเรียนรู้ ณ โรงเรียนสันกำแพง อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่

ผลงานวิจัย

นำเสนอแบบบรรยายในหัวข้อ “Developing Interactive Lecture Demonstration about Thermodynamics” ในการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 3 วันที่ 19 สิงหาคม 2552 ณ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

นำเสนอแบบโปสเตอร์ในหัวข้อ “Development of Thermodynamic Conceptual Evaluation” ในการประชุมวิชาการ International Conference on Physics Education 2009 ระหว่างวันที่ 18-24 ตุลาคม 2552 ณ โรงแรมโซฟิเทล เซนทารา แกรนด์ กรุงเทพมหานคร

นำเสนอแบบบรรยายในหัวข้อ “Developing Interactive Lecture Demonstration of Thermodynamic Processes” ในการประชุมวิชาการ Siam Physics Congress 2010: Physics for Creative Society ระหว่างวันที่ 25-27 มีนาคม 2553 ณ โรงแรมริเวอร์แคววิวเลจ กาญจนบุรี