

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24
20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

การพัฒนากลไกแยกแรงสั่นสะเทือนความถี่ต่ำราคาถูก

The Development of Low Cost Mechanism for Low Frequency Vibration Isolation

วินัส ทัดเนียม¹ และ พงษ์พันธุ์ ฤกษ์ชุมทรัพย์^{2,*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ² สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

833 ถ.พระราม1 แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

*E-mail : pongpun@ptwit.ac.th, rerkkumsup@hotmail.com โทรศัพท์ 0-2219-3833 ต่อ 244, โทรสาร 0-2219-3872

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้กล่าวถึงการออกแบบและสร้างกลไกแยกแรงสั่นสะเทือนความถี่ต่ำเพื่อใช้ในการศึกษาและพัฒนาวิธีการลดแรงสั่นสะเทือนความถี่ต่ำจากฐานรากเข้ราบกวนกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดในอุโมงค์ กลไกต้นแบบถูกออกแบบบนหลักการของระบบมวล-สปริง-แดมเปอร์ โดยประกอบไปด้วยเสาแยกแรงสั่นสะเทือน 3 เสา และแผ่นรับน้ำหนัก ภายในเสาแต่ละเสาประกอบด้วยยางในรถจักรยานยนต์ราคาถูกทำหน้าที่เป็นสปริงลมและส่วนห่อหุ้มสปริงลมดัดแปลงจากยางนอกของรถจักรยานยนต์ การประเมินสมรรถนะของกลไกที่พัฒนาขึ้นด้วยมวลทดสอบ 45, 65, 85 และ 105 กก. เมื่อป้อนแรงดันลม 0.20, 0.25 และ 0.30 bar เข้าสู่ยางในเป็นระยะเวลา 5 นาที แสดงให้เห็นว่ายางในที่เลือกใช้มีสมรรถนะน่าพอใจ ระยะจัดสูงสุดของแผ่นรับน้ำหนักเมื่อวางมวลทดสอบ 45, 65, 85 และ 105 กก. ขณะป้อนแรงดันลม 0.30 bar เข้าสู่ยางในวัดได้ 31.45, 22.09, 16.10 และ 14.96 มม. ตามลำดับ

คำหลัก: กลไกแยกแรงสั่นสะเทือนความถี่ต่ำ, สปริงลม, กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดในอุโมงค์

Abstract

This research work describes the design and the construction of a mechanism for low vibration isolation used to study and develop the method to reduce seismic vibration disturbed the scanning tunneling microscope. The prototype mechanism is designed based on principle of mass-spring-damper system in which it consists of 3 pillars and a top plate. Inside each pillar, it consists of a low cost motorcycle's inner tube act as the air spring and air spring enclosure modified using motorcycle's tire. Investigating of the performance of the developed mechanism using tested mass of 45, 65, 85 and 105 kg when applied air pressure of 0.20, 0.25 and 0.30 bar into the inner tube over a period of 5 minute illustrates that the employed inner tubes have satisfied performance. The maximum displacements of the top plate when a tested mass of 45, 65, 85 and 105 kg is placed while applying air pressure of 0.30 bar into the inner tube are measured of 31.45, 22.09, 16.10 and 14.96 mm, respectively.

Keywords: Mechanism for low frequency vibration isolation, air spring, scanning tunneling microscope.

1. บทนำ

กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดในอุโมงค์ (Scanning tunneling microscope, STM) [1] เป็นเครื่องมือที่ได้รับความนิยมอย่างมากในการทดลองด้านวิศวกรรมพื้นผิว (Surface engineering) และวิศวกรรมเที่ยงตรงขั้นสูง (Ultra precision engineering) และมีความเป็นไปได้สูง ที่จะประยุกต์ใช้ในงานวัดละเอียดระดับนาโนเมตร (Nanometrology) [2] ด้วยข้อดีที่ STM มีโครงสร้างเรียบง่ายต่อการสร้างชิ้นใช้งานภายในห้องทดลอง และสามารถพัฒนาเพื่อประยุกต์ใช้กับงานวิจัยหลากหลายแขนง สะดวกต่อการเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง (Sample) และสามารถใช้งานในสภาพแวดล้อมชั้นบรรยากาศได้ [3] อย่างไรก็ตาม สภาพแวดล้อมโดยเฉพาะอุณหภูมิและแรงสั่นสะเทือนขณะบันทึกภาพพื้นผิวตัวอย่างด้วย STM ส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของภาพพื้นผิวตัวอย่าง [4-6] การแกว่งขึ้นลงของอุณหภูมิในสภาพแวดล้อม (Ambient temperature fluctuation) ขณะบันทึกภาพพื้นผิวตัวอย่างเพียงเล็กน้อยในระดับ 0.1 องศาเซลเซียส ก่อให้เกิดการบิดเบือนของพื้นผิวตัวอย่างอย่างมาก จนอาจทำให้ไม่สามารถแยกแยะอะตอมบนภาพตัวอย่างที่บันทึกได้ แรงสั่นสะเทือนทั้งจากย่านความถี่ต่ำที่ส่งผ่านฐานราก (Low frequency / Seismic vibration) สู่ระบบทดลอง และแรงสั่นสะเทือนย่านความถี่สูงหรือความถี่เสียง (High frequency / Acoustic vibration) ส่งผลกระทบโดยตรงต่อช่องว่างในอุโมงค์ (Tunneling gap) ระดับพิโคเมตรระหว่างหัวเข็มของกล้องจุลทรรศน์ (STM Tip) และพื้นผิวตัวอย่าง ทำให้คุณภาพของภาพพื้นผิวตัวอย่างแปรผกผันกับขนาด (Amplitude) ของแรงสั่นสะเทือนรบกวน (Disturbed vibration) การประยุกต์ใช้สปริงลมในระบบรองรับแรงสั่นสะเทือนกำลังได้รับความนิยมอย่างมากและนำไปใช้ประโยชน์กันอย่างขวางเนื่องจากสามารถควบคุมและปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของสปริงได้ง่าย [7-9] อย่างไรก็ตาม สปริงลมที่นำเข้ามาจากต่างประเทศมีราคาค่อนข้างสูงและมีความหลากหลายให้เลือกใช้จำกัด

เพื่อศึกษาและสร้างกลไกแยกแรงสั่นสะเทือนความถี่ต่ำต้นแบบจากชิ้นส่วนที่หาได้ในประเทศและมีราคาถูก คณะวิจัยจึงพัฒนากลไกแยกแรงสั่นสะเทือนความถี่ต่ำโดยใช้ยางในรถจักรยานยนต์แทนสปริงลม

2. กลไกแยกแรงสั่นสะเทือนความถี่ต่ำราคาถูก

2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แนวคิดการออกแบบกลไกแยกแรงสั่นสะเทือนในงานวิจัยชิ้นนี้คือระบบ มวล-สปริง-แดมเปอร์ ซึ่งเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ [10] ได้ว่า

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + b \left(\frac{dy}{dt} - \frac{dx}{dt} \right) + k(y - x) = 0 \quad (1)$$

เมื่อ m คือ มวลที่ต้องการแยกแรงสั่นสะเทือน (kg)

b คือ ค่าความเสียดทานของชิ้นส่วนที่ใช้ในกลไกแยกแรงสั่นสะเทือน (N·s/m)

k คือ ค่าความแข็งของสปริงที่ใช้ในกลไกแยกแรงสั่นสะเทือน (N/m)

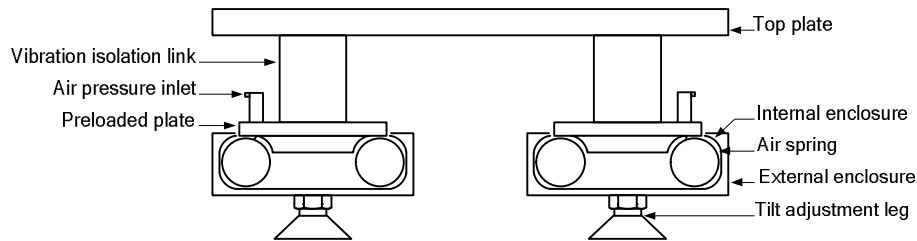
x คือ การขจัดเข้าซึ่งแปรตามแอมพลิจูดของแรงสั่นสะเทือนที่วิ่งผ่านฐานรากเข้ารบกวนมวล (m)

y คือ การขจัดที่เกิดขึ้นกับมวลที่พิจารณา (m) ซึ่งสามารถคำนวณค่าความถี่เชิงมุมธรรมชาติ (Natural frequency, ω_n) และแฟคเตอร์การแดมป์ (Damping factor, ζ) จากองค์ประกอบของระบบได้

$$\omega_n = \sqrt{k/m} \quad (2)$$

$$\zeta = \frac{b}{\sqrt{4km}} \quad (3)$$

(2) และ (3) แสดงให้เห็นว่าการออกแบบกลไกแยกแรงสั่นสะเทือนความถี่ต่ำเพื่อลดทอนขนาดของแรงสั่นสะเทือนให้สัมฤทธิ์ผลควรคำนึงถึงการปรับลดค่าความถี่เชิงมุมธรรมชาติ ω_n ของระบบให้มีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้โดยการลดค่าความแข็ง k ของสปริง และหากปรับค่าความเสียดทาน b ของชิ้นส่วนที่ใช้ในกลไกแยกแรงสั่นสะเทือนได้เหมาะสม กลไกแยกแรงสั่นสะเทือนจะสามารถลดทอนขนาดสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อถูกรบกวนด้วยแรงสั่นสะเทือนซึ่งมีความถี่เท่ากับค่าความถี่เชิงมุมธรรมชาติ ω_n ของระบบได้ จะเห็นว่าการศึกษาระยะขจัดที่เกิดขึ้นกับมวลในระบบจะนำไปสู่การศึกษาพารามิเตอร์ตาม (2) และ (3) ได้



รูปที่ 1 กลไกแยกแรงสั่นสะเทือนความถี่ต่ำ (ไม่แสดงเสาที่ 3 ในภาพ)

2.2 โครงสร้างของกลไกแยกแรงสั่นสะเทือน

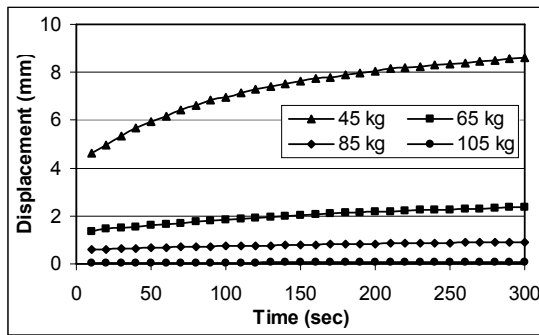
กลไกแยกแรงสั่นสะเทือนความถี่ต่ำดังแสดงโครงสร้างในรูปที่ 1 ถูกออกแบบใน CATIA V5 R16 โดยมีเสา 3 เสา และแผ่นรับน้ำหนักด้านบน (Top plate) ซึ่งสามารถถอดแผ่นรับน้ำหนักออกและประกอบเพื่อใช้งานกลไกแยกแรงสั่นสะเทือนนี้ร่วมกับแคปซูลฉนวนที่พัฒนาขึ้นได้ [11, 12] โครงสร้างของแต่ละเสาประกอบด้วยขาปรับแก้ความเอียงของพื้น (Tilt adjustment leg) ผนังห่อหุ้มสปริงลมชั้นนอก (External enclosure) ผนังห่อหุ้มสปริงลมชั้นใน (Internal enclosure) สปริงลม (Air spring) แผ่นและเบ้าอัดน้ำหนักร (Preloaded plate) ท่อจ่ายลม (Air pressure inlet) และ ชิ้นส่วนเชื่อมโยงสำหรับแยกแรงสั่นสะเทือน (Vibration isolation link) ให้กับแผ่นรับน้ำหนักด้านบนซึ่งจะใช้เพื่อติดตั้งอุปกรณ์สำหรับใช้ในการทดลองในอนาคต งานวิจัยชิ้นนี้เลือกใช้ยางในรถจักรยานยนต์ DEESTONE 300/350-8 ทำหน้าที่เป็นสปริงลม โดยติดตั้งให้ถูกห่อหุ้มด้วยยางนอกของรถจักรยานยนต์ DEESTONE 3.50-8 4P.R. NYLON และห่อหุ้มด้วยชั้นนอกที่ทำจากเหล็ก อุปกรณ์ที่เลือกใช้นี้หาซื้อได้ตามร้านขายอะไหล่จักรยานยนต์ทั่วไปในราคาถูกกว่าสปริงลมแบบบล็อกที่คณะวิจัยเคยประยุกต์ใช้หลายเท่า [9]

3. การประเมินศักยภาพ

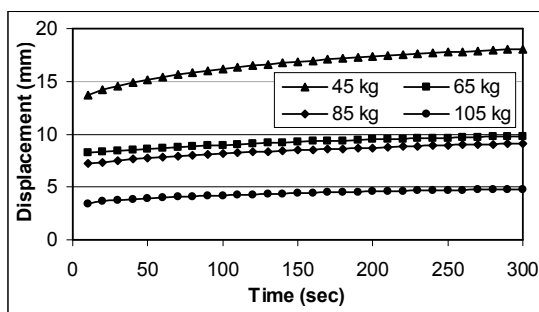
ของกลไกแยกแรงสั่นสะเทือนความถี่ต่ำ

เพื่อพิสูจน์ความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้งานในรถจักรยานยนต์แทนการใช้สปริงลม และประเมินศักยภาพของกลไกแยกแรงสั่นสะเทือนความถี่ต่ำที่ได้สร้างขึ้น จึงทำการติดตั้งเซนเซอร์วัดระยะจัดแบบ

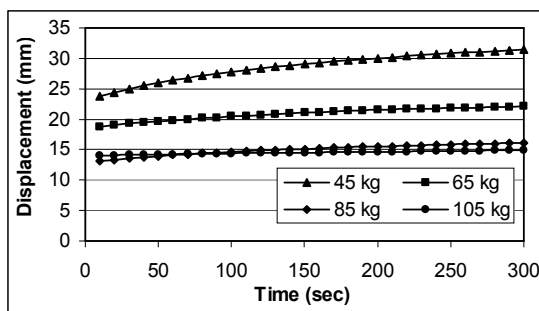
แสงเลเซอร์ไว้ใต้แผ่นรับน้ำหนักสำหรับศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันลมที่จ่ายเข้าภายใน มวลที่ใช้จำลองเป็นภาระของระบบ และระยะจัดของแผ่นรับน้ำหนักที่ยกตัวขึ้นจากแรงพยุ่งของยางใน การทดลองเบื้องต้นสำหรับประเมินช่วงใช้งานที่เหมาะสมของยางในรุ่นที่เลือกใช้ในโครงสร้างที่ออกแบบกับมวลระหว่าง 45 ถึง 105 กก. ทำให้ทราบว่าแรงดันลมที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบอยู่ในช่วง 0.20 bar ถึง 0.30 bar รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะจัดที่วัดได้จากแผ่นรับน้ำหนักจากการปรับเปลี่ยนมวลทดสอบเมื่อป้อนแรงดันลม 0.20 bar เข้าสู่ยางใน ผลการทดสอบโดยป้อนแรงดันลมเข้าสู่ยางในและปล่อยค้างไว้เป็นเวลา 5 นาที สามารถวัดระยะจัดสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อวางมวลทดสอบ 45, 65, 85 และ 105 กก. ไว้บนแผ่นรับน้ำหนักได้ 8.61, 2.38, 0.90 และ 0.08 มม. ตามลำดับ รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะจัดที่วัดได้เมื่อเปลี่ยนมวลทดสอบโดยทำการป้อนแรงดันลม 0.25 bar เข้าสู่ยางใน ผลการทดสอบโดยป้อนแรงดันลมเข้าสู่ยางในและค้างไว้เป็นเวลา 5 นาที สามารถวัดระยะจัดสูงสุดที่เกิดขึ้น เมื่อวางมวลทดสอบ 45, 65, 85 และ 105 กก. ได้ 18.05, 9.81, 9.11 และ 4.80 มม. ตามลำดับ เมื่อเปลี่ยนเงื่อนไขการทดสอบด้วยการป้อนแรงดันลมเข้าสู่ยางในเป็น 0.30 bar สามารถศึกษาความสัมพันธ์ของระยะจัดที่วัดได้จากแผ่นรับน้ำหนักแปรผกผันกับมวลทดสอบ 45, 65, 85 และ 105 กก. ตลอดระยะเวลา 5 นาที ด้วยระยะจัดสูงสุด 31.45, 22.09, 16.1 และ 14.96 มม. ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4 ระยะจัดที่วัดได้นี้จะถูกนำไปขยายผลเพื่อศึกษาความแข็งแรงของสปริงต่อไป



รูปที่ 2 ระยะเวลาจัดที่แผ่นรับน้ำหนักลอยตัวขึ้น
เมื่อป้อนแรงดันลม 0.20 bar เข้าสู่ยางใน



รูปที่ 3 ระยะเวลาจัดที่แผ่นรับน้ำหนักลอยตัวขึ้น
เมื่อป้อนแรงดันลม 0.25 bar เข้าสู่ยางใน



รูปที่ 4 ระยะเวลาจัดที่แผ่นรับน้ำหนักลอยตัวขึ้น
เมื่อป้อนแรงดันลม 0.30 bar เข้าสู่ยางใน

ตารางที่ 1 ระยะเวลาจัดสูงสุดของแผ่นรับน้ำหนักหลังจาก
จ่ายลมเข้าสู่ยางในเป็นเวลา 5 นาที

แรงดัน ที่จ่าย	ระยะเวลาจัดที่วัดได้ (มม.)			
	45 กก.	65 กก.	85 กก.	105 กก.
0.2 bar	8.61	2.38	0.90	0.08
0.25 bar	18.05	9.81	9.11	4.80
0.3 bar	31.45	22.09	16.10	14.96

4. สรุปผล

กลไกแยกแรงสั่นสะเทือนความถี่ต่ำซึ่งประยุกต์ใช้
ยางในรถจักรยานยนต์ราคาถูกทำหน้าที่แทนสปริงลม
ที่นำเข้าจากต่างประเทศประกอบด้วยเสา 3 เสา และ
แผ่นรับน้ำหนักด้านบน ภายในแต่ละเสาประกอบด้วย
ชั้นส่วนห่อหุ้มยางในจำนวน 2 ชั้น ชั้นนอกทำจาก
เหล็ก ด้านล่างติดตั้งด้วยขาปรับแก้ความเอียงของพื้น
ชั้นในติดตั้งจากยางนอกของรถจักรยานยนต์มี
ขนาดที่สามารถสวมลงในชั้นส่วนห่อหุ้มด้านนอกได้
อย่างเหมาะสม ยางในและชั้นห่อหุ้มทั้ง 2 ชั้นถูกติดตั้ง
ร่วมศูนย์กับแผ่นและเบ้าอัดน้ำหนักซึ่งต่ออยู่กับ
ชั้นส่วนเชื่อมต่อสำหรับแยกแรงสั่นสะเทือนให้กับแผ่น
รับน้ำหนักด้านบน วิธีการประเมินสมรรถนะของกลไก
แยกแรงสั่นสะเทือนที่พัฒนาขึ้นใช้วิธีวัดระยะจัดของ
แผ่นรับน้ำหนักด้วยการติดตั้งเซนเซอร์วัดระยะจัดไว้
ใต้แผ่นรับน้ำหนัก ขณะจ่ายแรงดันลม 0.20, 0.25 และ
0.30 bar เข้าสู่ยางใน ในสภาวะที่แผ่นรับน้ำหนัก
ด้านบนแบกรับมวลทดสอบ 45, 64, 85 และ 105 กก.
เซนเซอร์จะวัดระยะจัดที่เกิดจากการขยายตัวของ
ยางในในแนวดิ่ง ผลการทดลองดังสรุปในตารางที่ 1
แสดงให้เห็นว่ากลไกแยกแรงสั่นสะเทือนความถี่ต่ำที่
พัฒนาขึ้นมีสมรรถนะน่าพอใจ กล่าวคือ สามารถ
รองรับมวลได้ในช่วงกว้าง และมีการยกตัวในระดับที่
สามารถนำอุปกรณ์ทดสอบอื่นมาติดตั้งเพิ่มเติมได้
คณะวิจัยเชื่อว่าสามารถรายงานความคืบหน้าหลังเพิ่ม
แฉกเปอร์เข้าไปในกลไก และสามารถพัฒนาให้กลไก
ต้นแบบราคาถูกนี้มีคุณสมบัติเหมาะสมเพื่อ
ประยุกต์ใช้งานกับกล่องจุลทัศน์แบบส่องกราดใน
อุโมงค์ได้ในอนาคตอันใกล้

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณ นายพงศกร นามตรง และ
นายพจน์ เกษสังข์ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมเมค
คาทรอนิกส์ สำหรับความอุตสาหะในการสร้างชิ้นส่วน
และขอขอบคุณ อาจารย์ชรินทร์ นุ่มศิริ แผนกเทคนิค
อุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคนิคดอนเมือง สำหรับการ
สนับสนุนทั้งทางด้านฮาร์ดแวร์และการประยุกต์ใช้
การดำเนินงานวิจัยบางส่วน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Binning, G. and Rohrer, H. (1986). Scanning Tunneling Microscope, *IBM J. RES. DEVELOP.*, vol. 30(4), 1986, pp. 355-369.
- [2] Aketagawa, M., Takada, K., Rerkkumsup, P., Togawa, Y. and Honda, H. (2006). Real-Time Atomic Encoder Using Scanning Tunneling Microscope and Regular Crystalline Surface, *Mea. Sci. Techno.*, vol. 17 (3), 2006, pp. 513-518.
- [3] Park, S.I. and Quate, C.F. (1986). Tunneling Microscopy of Graphite in Air, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 48(2), 1986, pp. 112-114.
- [4] Swartzentruber, B.S. (1996). Direct Measurement of Surface Diffusion Using Atom Tracking Scanning Tunneling Microscopy, *Phys. Rev. Lett.*, vol. 76(3), 1996, pp. 459-462.
- [5] Aketagawa, M., Takada, K., Kobayashi, K., Takeshima, N., Noro, M. and Nakayama, Y. (1998). Length Measurement Using a Regular Crystalline Lattice and a Dual Tunneling Unit Scanning Tunneling Microscope in a Thermo Stabilized Cell, *Mea. Sci. Technolo.*, vol. 9, 1998, pp. 1076-1081.
- [6] Rerkkumsup, P., Aketagawa, M., Takada, K., Togawa, Y., Thinh, N.T. and Kozuma, Y. (2004). Highly Stable Atom-Tracking Scanning Tunneling Microscopy, *Rev. Sci. Instrum.*, vol. 75(7), 2004, pp. 1061-1067.
- [7] Dixon, G.V. and Pearson, J. (1967). Automatically Controlled Air Spring Suspension System for Vibration Testing, *NASA Tech. Note*, NASA TN D-3891, April 1967.
- [8] Posumamilla, H. and Kelkar, A.G. (2005). Robust Control and μ Analysis of Active Pneumatic Suspension, paper presented in the *2005 American Control Conference*, June 8-10, 2005, Portland, OR, USA, pp. 2200-2205.
- [9] Rerkkumup, P. and Prachprayoon, P. (2009). The Development of a Prototype Mechanism for Vibration Isolation Using Air Spring, *R&D Journal of EIT*, vol. 20(2), 2009, pp. 40-44.
- [10] Park, S.I. and Quate, C.F. (1987). Theories of the Feedback and Vibration Isolation Systems for the Scanning Tunneling Microscope, *Rev. Sci. Instrum.*, vol. 58(11), 1987, pp. 2004-2009.
- [11] Rerkkumsup, P. and Prachprayoon, P. (2008). The Proposal of Novel Design of Temperature Control System for Scanning Tunneling Microscope: The Closed Surface Capsule, paper presented in *Proceedings of 3rd IEEE Int. Conf. on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems*, January 6-9, 2008, Sanya, China, pp. 432- 435.
- [12] Rerkkumsup, P. and Yimsamerjit, P. (2009). The Development of a Temperature Control System for Scanning Tunneling Microscope, *R&D Journal of EIT*, vol. 20(3), 2009, pp. 67-72.