

การศึกษาลักษณะทางกายภาพจานเบรกที่ส่งผลกระทบต่อความสามารถการเบรก

กุลยศ สุวันทโรจน์^{1*} ทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี¹ และ ศุภชัย หลักคำ¹

บทคัดย่อ

จานเบรกเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีบทบาทในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ และส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยโดยตรง จึงทำให้เกิดการศึกษาความแตกต่างทางลักษณะทางกายภาพจานเบรกที่มีผลกระทบต่อความสามารถการเบรก จากเหตุผลข้างต้น คณะผู้วิจัยจึงออกแบบสร้างเครื่องทดสอบความสามารถการเบรกแบบไดนาโมมิเตอร์ ซึ่งอ้างอิงการทดสอบอุณหภูมิตามมาตรฐาน JASO T204:2001 มาประยุกต์ใช้ร่วมกัน โดยมุ่งเน้นไปที่การทดสอบจานเบรกที่มีลักษณะที่แตกต่างกันทางกายภาพ 3 ชนิด คือ จานตัน จานเจาะร่อง และจานเจาะรู ในสภาวะอุณหภูมิปกติของจานเบรก (60°C ถึง 80°C) และในสภาวะอุณหภูมิสูง (มากกว่า 100°C) โดยใช้ขนาดแรงเบรกที่แตกต่างกันในการทดสอบ จากผล

การทดสอบของจานเบรกทั้ง 3 ชนิด สะท้อนให้เห็นว่าที่อุณหภูมิปกติ จานตัน จานเจาะร่อง และจานเจาะรูสามารถสร้างอัตราหน่วงเฉลี่ยได้ 7.29, 9.10 และ 9.50 m/sec² ต่อพื้นที่ผิวสัมผัสจานเบรก 1 m² ตามลำดับ ในขณะที่อุณหภูมิสูง จานตัน จานเจาะร่อง และจานเจาะรูสามารถสร้างอัตราหน่วงเฉลี่ยได้ 7.21, 9.03 และ 9.46 m/sec² ต่อพื้นที่ผิวสัมผัสจานเบรก 1 m² ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าจานเบรกชนิดเจาะรูมีความสามารถในการเบรกสูงสุดโดยแตกต่างจากจานเบรกชนิดตัน 30.32% ในสภาวะอุณหภูมิปกติ ในทำนองเดียวกันสภาวะอุณหภูมิสูง จานเบรกชนิดเจาะรูมีความสามารถในการเบรกสูงสุดโดยแตกต่างจากจานเบรกชนิดตัน 31.21%

คำสำคัญ: ลักษณะทางกายภาพจานเบรก

¹ อาจารย์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0-2913-2424 ต่อ 138 อีเมล: kullayot.s@rmutp.ac.th



A Study of the Physical Shapes of Brake Disc and their Effects on Braking Performance

Kullayot Suwantaroj^{1*} Songwut Mongkonlerdmanee¹ and Supachai Lakkam¹

Abstract

Brake discs are one of the important auto parts in the motorcycle industry which directly effect life safety. As a result, this research aims to test the performance of brake disc in order to study how the physical shapes of the brake disc affect braking. The braking performance tester was designed and created in the single dynamometer which was referring to the testing state of JASO T204:2001 standard, this tester focused on testing the 3 different types of brake disc i.e. normal type, grooving type and perforated type. The tested temperature was at normal state (60°C - 80°C) and at high state (more than 100°C). The result revealed that at normal temperature,

the braking performance of the three brake discs (normal type, grooving type, and perforated type) was at 7.29, 9.10 and 9.50 m/sec² per 1 m² of contact areas respectively. However, the brake performance at high temperature was at 7.21, 9.03 and 9.46 m/sec² per 1 m² of contact areas respectively. This meant that the most efficient brake disc at normal temperature was perforated type which was 30.32% better than normal type. Furthermore, the perforated type was the highest performing brake disc at high temperatures, which was better than the normal type by 31.21%.

Keywords: Physical Shapes of Brake Disc

¹ Lecturer, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon.

* Corresponding Author, Tel. 0-2913-2424 Ext.138, E-mail: kullayot.s@rmutp.ac.th

1. บทนำ

เนื่องจากปัจจุบันอุตสาหกรรมรถจักรยานยนต์ได้มีการเติบโตและเข้ามามีบทบาทอย่างมากต่อการขยายตัวทางเศรษฐกิจภายในประเทศไทย ซึ่งงานเบรกเป็นอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีบทบาทในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ โดยส่วนหนึ่งจะถูกนำเข้าจากต่างประเทศเป็นหลัก ด้วยเหตุผลทางด้านวัสดุศาสตร์และเครื่องมือการทดสอบผลิตภัณฑ์ที่มีความพร้อมมากกว่าภายในประเทศ อย่างไรก็ตามทั้งทางรัฐบาลและภาคอุตสาหกรรมภายในประเทศยังคงมีความพยายามอย่างมาก เพื่อที่จะทำการปรับสัดส่วนการผลิตชิ้นส่วนจักรยานยนต์ทั้งด้านการลงทุนและใช้ทรัพยากรภายในประเทศในการผลิตชิ้นส่วนจักรยานยนต์ให้มากขึ้นซึ่งรวมถึงงานเบรกนี้ด้วย โดยปัจจุบันได้มีผู้ผลิตหลายรายทำการออกแบบเพื่อแข่งขันและพัฒนาเชิงความสามารถกันอย่างกว้างขวาง ทั้งการออกแบบที่มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างออกไป รวมถึงการนำวัสดุภายในประเทศมาเป็นวัตถุดิบในการผลิต

แต่เนื่องจากงานเบรกเป็นชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยซึ่งมีผลต่ออัตราการเกิดอุบัติเหตุ และอาจทำให้เกิดความเสียหายอย่างมากทั้งต่อชีวิตและทรัพย์สินหากงานเบรกที่ผลิตออกมานั้นมีมาตรฐานยังไม่เพียงพอ โดยส่วนหนึ่งของปัญหาที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุนั้นมีสาเหตุมาจากความไม่พร้อมอุปกรณ์ หรือการทำงานบกพร่องหรืออุปกรณ์ในระบบเบรกมีความสามารถไม่เพียงพอที่จะตอบสนองต่อความต้องการในขณะการใช้งานนั้น เช่น การแตกร้าวของงานเบรกอันเนื่องมาจากข้อจำกัดของวัสดุ จึงส่งผลต่อความเชื่อมั่นของทั้งผู้บริโภคและผู้ผลิตในการออกแบบทั้งทางด้านลักษณะทางกายภาพและด้านคุณภาพของวัสดุภายในประเทศที่นำมาเป็นวัตถุดิบ

จากปัญหาดังกล่าวจึงจำเป็นต้องมีการค้นคว้าในด้านการตรวจสอบผลกระทบต่างๆ ของงานเบรกที่ได้ทำการออกแบบและผลิตออกมา แต่กลับพบว่าขั้นตอนกระบวนการทดสอบเฉพาะด้านสำหรับอุตสาหกรรมชิ้นส่วนจักรยานยนต์ภายในประเทศยังไม่ชัดเจนพอ อีกทั้งการทดสอบส่วนหนึ่งจะถูกส่งไปทดสอบ

ยังต่างประเทศซึ่งส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้น อีกทั้งด้วยสาเหตุของราคาเครื่องทดสอบที่ส่งผลให้เกิดความขาดแคลนด้านเครื่องมือการทดสอบสำหรับอุตสาหกรรมชิ้นส่วนจักรยานยนต์ภายในประเทศ ซึ่งไม่เพียงพอที่จะเอื้ออำนวยต่อการใช้พัฒนางานเบรกจักรยานยนต์ในอนาคต จึงทำให้เกิดการวิจัยเพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปพัฒนาและปรับปรุงงานเบรก

ดังนั้นการทดสอบเพื่อให้ได้ความถูกต้องจำเป็นต้องจำลองสภาวะการใช้งานจริง โดยมีความเป็นไปได้ที่จะทำการทดสอบบนเครื่องไดนาโมมิเตอร์ที่ได้รับการออกแบบขึ้นใหม่เพื่อให้ตรงตามความต้องการในการใช้งานในอนาคต โดยคณะผู้วิจัยได้มีแนวคิดที่จะสร้างเครื่องทดสอบความสามารถการเบรกและศึกษาลักษณะทางกายภาพงานเบรกที่มีผลกระทบต่อความสามารถการเบรก

จากผลการศึกษาพบว่ามีการวิจัยที่ทำการศึกษางานเบรกในแง่ของอุณหภูมิ และปัจจัยต่างๆ หลายงาน เช่น การศึกษาผลกระทบจากความร้อนในแง่ต่างๆ จากวัสดุที่ใช้ทำงานเบรกซึ่งถูกศึกษาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดย D. C. Sheridan, J. A. Kutche และ F. Samie [1] อีกทั้ง T. P. Bailey, J. T. Buckingham และ A. H. D'Cruz [2] ได้ทำการออกแบบงานเบรกที่เหมาะสมกับการใช้งาน โดยคำนึงถึงด้านความร้อนผ่านการทดลองด้วยเทคนิคการถ่ายภาพความร้อนและเปรียบเทียบกับผลการจำลองทางคณิตศาสตร์

นอกจากนี้ A. R. Daudi และ M. Narain [3] ได้ทำนายจากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปและการทดลองอุณหภูมิที่เกิดขึ้นหลังจากการเบรกของงานเบรกต่างชนิดกันซึ่งเน้นไปที่การศึกษาการนำ การพา และการแผ่รังสีความร้อนในงานเบรกงานเบรกลักษณะต่างๆ โดยมุ่งเปรียบเทียบงานเบรกที่มีลักษณะครีบริบายความร้อนแบบครีบริบตรงและครีบริบโค้ง

อีกทั้งความเครียดก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ S. Koetniyom, P. C. Brooks และ D. C. Barton [4] ได้ทำการศึกษาความเครียดสะสมที่เกิดขึ้นที่ตัวงานเบรกอย่างรุนแรงสะสมหลายครั้ง โดยการศึกษาพฤติกรรมของวัสดุที่ใช้ทำงานเบรก และปริมาณการกระจาย

ความร้อนไปยังชิ้นส่วนต่างๆ ของระบบเบรก โดยเปรียบเทียบงานเบรกที่มีลักษณะครีบกแตกต่างกัน

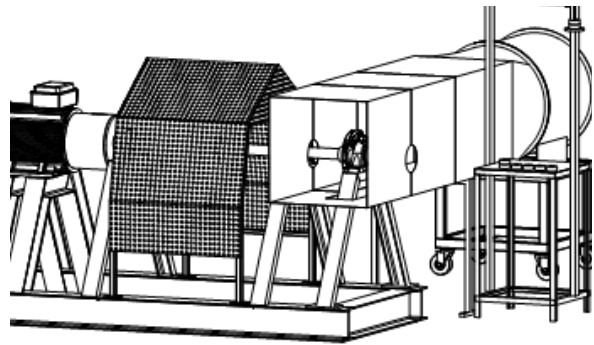
ในขณะที่เดียวกันยังพบการศึกษารอยแตกกร้าวที่เกิดจากความร้อนโดย H. Abendroth, T. Steffen, W. Falter และ R. Heidt [5] ด้วยการจำลองบนโปรแกรมสำเร็จรูปพร้อมการเปรียบเทียบการทดลอง ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงปัญหาที่เกิดจากอุณหภูมิที่แตกต่างกันภายในวัสดุ

นอกเหนือจากลักษณะครีบกแล้ว ยังมีความพยายามหาวัสดุผสมชนิดใหม่เพื่อเป็นเทคโนโลยีทางเลือก R. Hecht Basch, J. Fash, R. Hasson, T. Dalka, R. McCune และ R. Kaufold [6] ได้ศึกษาการนำอลูมิเนียมผสมกับเหล็กหล่อเพื่อใช้เป็นวัสดุทำจานเบรก เพื่อตอบสนองความต้องการด้านน้ำหนักของจานเบรก และศึกษาผลกระทบทางด้านความร้อนที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะการใช้งานที่ยาวนานที่สุดที่วัสดุทนได้

จากปัญหาดังกล่าวเห็นได้ชัดว่า ความร้อนยังเป็นปัญหาคู่กับวัสดุที่ใช้ทำจานเบรก H. W. Schwartz, L. L. Hartrte., S. K. Rhee และ J. E. Byers [7] จึงได้ศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนของเหล็กหล่อสีเทาซึ่งใช้เป็นวัสดุหลักของจานเบรกสำหรับรถบรรทุกโดยใช้วิธีการจำลองทางคณิตศาสตร์

นอกเหนือจากเหล็กหล่อแล้ว B. B. Palmer และ M. H. Weintraub [8] ได้ศึกษาการนำอนุภาคเซรามิกมาใช้เคลือบผิวหน้าวัสดุจานเบรก เพื่อแก้ไขปัญหาด้านความร้อน ซึ่งมุ่งเน้นการศึกษาไปที่ผลกระทบทางด้านการสึกหรอและความเสียหายจากการแตกกร้าว

จากผลการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบเพียงปัญหาที่เกิดจากความร้อนและการแก้ไขเชิงลักษณะทางกายและเชิงวัสดุ ซึ่งไม่พบการหาความสัมพันธ์ที่จะโยงไปถึงประสิทธิภาพในการเบรกได้โดยตรง ซึ่งเป็นสิ่งที่คณะวิจัยได้เล็งเห็นถึงความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาถึงความสัมพันธ์ดังกล่าว เนื่องจากประสิทธิภาพในการเบรกเป็นหัวใจหลักของระบบเบรก ที่จะต้องใช้เป็นพื้นฐานในการออกแบบเพื่อความปลอดภัยในการขับขี่ต่อไป



รูปที่ 1 เครื่องทดสอบแบบไดนาโมมิเตอร์

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 วัสดุ และอุปกรณ์

จากการเก็บข้อมูลขั้นตอนและลักษณะการวิจัยผลิตภัณฑ์ พบว่ามีความเป็นไปได้ในการสร้างเครื่องทดสอบใหม่ตามความต้องการของงานวิจัย จึงคิดค้นและออกแบบสร้างเครื่องทดสอบความสามารถการเบรกแบบไดนาโมมิเตอร์ขนาดไม่เกิน 10 แรงม้า และโมเมนต์ความเฉื่อยไม่เกิน $9.70 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ ดังรูปที่ 1 ซึ่งเทียบเท่ารถจักรยานยนต์ที่มีมวล 150 kg โดยรถจักรยานยนต์ขนาดดังกล่าวเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายอยู่ในปัจจุบัน นอกจากนี้ยังได้อ้างอิงสภาวะการทดสอบด้านอุณหภูมิตามมาตรฐาน JASO T204:2001 [9] มาร่วมประยุกต์ใช้อีกด้วย

2.2 วิธีการวิจัย

2.2.1 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

เตรียมจานเบรกแต่ละชนิดโดยนำชิ้นงานทดสอบคือจานเบรก ที่มีลักษณะแตกต่างกันได้แก่ จานตัน จานเซาะร่อง และจานเจาะรู ซึ่งความแตกต่างทางลักษณะทางกายภาพดังกล่าวส่งผลกระทบต่อขนาดพื้นที่ผิวสัมผัสของจานเบรก โดยการศึกษาในครั้งนี้ได้นำจานเบรกรถจักรยานยนต์ YAMAHA รุ่น VR 150 ซึ่งเป็นจานเบรกชนิดตันมาทำการปรับเปลี่ยนลักษณะทางกายภาพให้เป็นจานเบรกชนิดเซาะร่อง และชนิดเจาะรู และตรวจวัดพื้นที่ผิวสัมผัสของจานเบรกทั้ง 2 ด้านดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รูปแบบของจานเบรก

ชนิดจาน	รูปแบบ	พื้นที่ผิวสัมผัสของจานเบรกทั้ง 2 ด้าน (m ²)
จานตัน		0.068
จานเซาะร่อง		0.060
จานเจาะรู		0.064

2.2.2 รายการและสภาวะการทดสอบ

การทดสอบชิ้นงานที่มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันของจานเบรกจะทำการทดสอบจากจานเบรกทั้งหมด 3 ชนิดจาน คือจานตัน จานเซาะร่อง และจานเจาะรู โดยการปล่อยก้อนมวลเพื่อกระตุ้นส่วนกลไกของแม่ปั๊มเบรกที่ใช้ในการทดสอบที่มวล 1 ถึง 3.5 kg ซึ่งจะให้เกิดความดันที่ใช้ในการเบรกและอัตราหมุนที่ใกล้เคียงกับการใช้งานจริง โดยจานเบรกจะทำการทดสอบตามเงื่อนไขและสภาวะการทดสอบด้านอุณหภูมิและความเร็วลมในการระบายความร้อนตามมาตรฐาน JASO T204:2001 [9] ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สภาวะการทดสอบ

มวล (kg)	แรงเบรกตำแหน่งแม่ปั๊ม (N)	ความดันน้ำมันเบรก (Pa)	อุณหภูมิ (°C)		ความเร็ว (km/hr)	ความเร็วลม (km/sec)
			ปกติ	สูง		
1	9.81	59	60-80	≥ 100	100	11
1.2	11.77	71				
2.3	22.56	136				
2.8	27.47	165				
3.5	34.34	207				

เนื่องจากการทดสอบดังกล่าวมีความต้องการศึกษาลักษณะทางกายภาพที่ส่งผลกระทบต่อระยะทางการเบรก จึงใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขด้วยกฎสี่เหลี่ยมคางหมูแบบหลายช่วง [10] โดยการประมาณใช้ช่วงจำนวนที่มีค่าระยะห่างทุกๆ วินาทีเท่ากันในการคำนวณหาผลรวมระยะทางการห้ามเฟลาที่ได้จากการทดสอบ ดังสมการที่ 1

$$s - s_0 = \int_0^{t_t} v(t) dt \quad (1)$$

โดย

s คือระยะที่เฟลาหยุดนิ่ง

s_0 คือระยะเริ่มต้นการห้ามเฟลา ≈ 0

$v(t)$ คือความเร็วเชิงเส้น ณ ตำแหน่งรัศมีทำการ

t_t คือเวลาเมื่อเฟลาหยุดนิ่ง

ในขณะที่การคำนวณอัตราหมุนเฉลี่ยในช่วงเวลาเริ่มต้น (t_1) ถึงเวลาสุดท้าย (t_2) จากการเบรกสามารถหาได้จากสมการที่ 2

$$d_{avg} = \frac{v_1 - v_2}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

โดย

d_{avg} คืออัตราหมุนเฉลี่ย

v_1 คือความเร็ว ณ จุดเริ่มต้น

v_2 คือความเร็ว ณ จุดสุดท้าย

t_1 คือเวลา ณ จุดเริ่มต้น

t_2 คือเวลา ณ จุดสุดท้าย

3. ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบชิ้นงานที่มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันทั้งหมด 3 ชนิด คือ จานตัน จานเซาะร่อง และจานเจาะรู โดยแต่ละส่วนมีเงื่อนไขในการทดสอบที่เหมือนกัน คือที่อุณหภูมิผิวจานเบรกเริ่มต้นตั้งแต่ 60°C ถึง 80°C สำหรับการทดสอบแบบช่วงอุณหภูมิปกติ และมากกว่า 100°C ขึ้นไป ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน JASO T204:2001 [9]

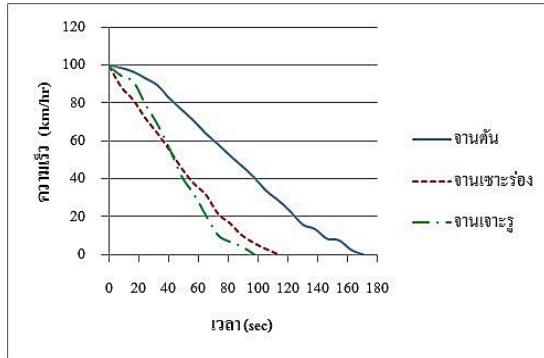
3.1 ผลการทดสอบที่อุณหภูมิปกติ

จากผลการทดสอบตามตารางที่ 2 พบว่าพฤติกรรม การชะลอและลดความเร็วของจานเบรกทั้ง 3 ชนิด ในทุกสภาวะการจำลองแรงเบรกจากมวล 1 ถึง 3.5 kg มีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน ดังนั้นจึงขอเสนอการเปรียบเทียบ พฤติกรรมการชะลอและลดความเร็วในสภาวะการจำลองแรงเบรกขนาดมวล 1 และ 3.5 kg

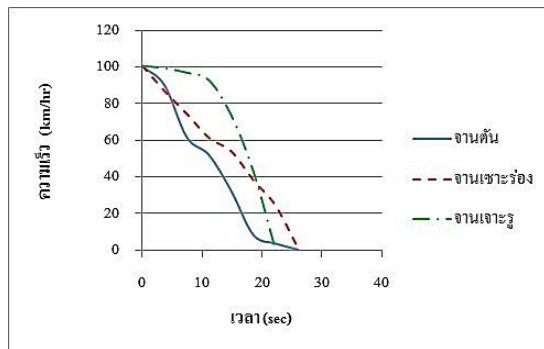
การทดสอบที่มวล 1 kg ซึ่งเทียบเท่าแรงเบรก ณ แม้มั้มเท่ากับ 9.81 N โดยทำการเปรียบเทียบจานเบรกทั้ง 3 ชนิด จากความเร็วเริ่มต้นที่ 100 km/hr พบว่า จานเบรกชนิดตัน สร้างอัตราหน่วงเฉลี่ยได้น้อยที่สุดคือ 0.16 m/sec^2 และระยะทางเบรก 2.36 km โดยใช้เวลาในการห้ามเพลจนถึงหยุดหนึ่งเป็นเวลา 170 sec ในขณะที่จานเบรกชนิดเซาะร่องสร้างอัตราหน่วงเฉลี่ยได้ในระดับปานกลางที่ 0.24 m/sec^2 และระยะทางเบรก 1.31 km โดยใช้เวลาในการห้ามเพลจนถึงจุดหยุดหนึ่งเป็นเวลา 113 sec คิดเป็นความแตกต่างเทียบกับจานเบรกชนิดตันเท่ากับ 34% และจานเบรกชนิดเจาะรูสร้างอัตราหน่วงเฉลี่ยได้มากที่สุดที่ 0.28 m/sec^2 และระยะทางเบรก 1.24 km โดยใช้เวลาในการห้ามเพลจนถึงจุดหยุดหนึ่งเป็นเวลา 97 sec คิดเป็นความแตกต่างเทียบกับจานเบรกชนิดตันเท่ากับ 43% อย่างไรก็ตาม พฤติกรรมการลดความเร็วที่ได้จากการห้ามเพลจากจานเบรกทั้ง 3 มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ดังรูปที่ 2

ในขณะที่การทดสอบมวลขนาด 3.5 kg ซึ่งเทียบเท่าแรงเบรก ณ แม้มั้มเท่ากับ 34.34 N พบว่า จานเบรกชนิดตันและเซาะร่องสร้างอัตราหน่วงเฉลี่ยได้เท่ากันที่ 1.06 m/sec^2 และระยะทางเบรก 0.31 km และ 0.40 km ตามลำดับ โดยใช้เวลาในการห้ามเพลคือ 26 sec แต่จานเบรกชนิดตันจะมีพฤติกรรมตอบสนองต่อการห้ามเพลที่เร็วกว่าจานเบรกชนิดเซาะร่อง ในขณะที่จานเบรกชนิดเจาะรูสร้างอัตราหน่วงเฉลี่ยได้ที่ 1.26 m/sec^2 และระยะทางเบรก 0.42 km โดยใช้เวลาในการห้ามเพลจนถึงจุดหยุดหนึ่งเป็นเวลา 22 sec คิดเป็นความแตกต่างเทียบกับจานเบรกชนิดตันเท่ากับ 15% ดังรูปที่ 3

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบจากรูปที่ 2 และ 3 นอกจากระยะทางการเบรกที่ลดลงอย่างชัดเจน ซึ่ง



รูปที่ 2 ผลการทดสอบที่อุณหภูมิปกติและมวล 1 kg



รูปที่ 3 ผลการทดสอบที่อุณหภูมิปกติและมวล 3.5 kg

แปรผันผกผันกับขนาดแรงเบรกจากมวลแล้ว ยังพบ ประเด็นที่น่าสนใจอีกคือ ความแตกต่างของระยะการเบรกที่ได้จากจานเบรกทั้ง 3 ชนิด จะปรากฏให้เห็นอย่างเด่นชัดในสภาวะการเบรกที่ใช้มวลขนาดเล็ก (ชะลอความเร็ว) และพฤติกรรมดังกล่าวจะหายไป ในสภาวะการเบรกที่ใช้มวลขนาดใหญ่ (เบรกกะทันหัน) ในสภาวะการทดสอบแบบปกติ (อุณหภูมิระหว่าง 60°C ถึง 80°C) สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระยะทางการเบรกในสภาวะอุณหภูมิปกติ

ชนิดจานเบรก	ระยะทางการเบรก (km)				
	มวล 1.0 kg	มวล 1.2 kg	มวล 2.3 kg	มวล 2.8 kg	มวล 3.5 kg
ตัน	2.36	1.50	1.00	0.71	0.31
เซาะร่อง	1.31	1.17	0.80	0.55	0.40
เจาะรู	1.24	0.97	0.78	0.63	0.42

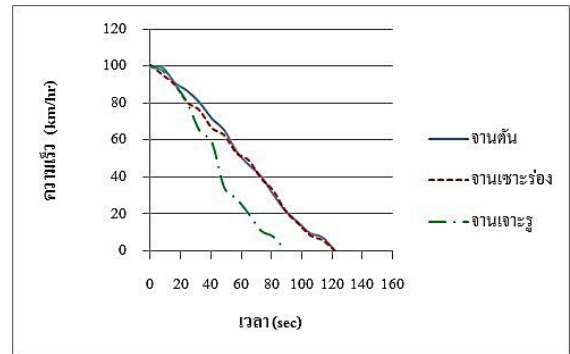
3.2 ผลการทดสอบที่อุณหภูมิสูง

จากการทดสอบความสามารถการเบรกในสภาวะอุณหภูมิสูง ตามมาตรฐานมาตรฐาน JASO T204:2001 [9] พบว่าพฤติกรรมการชะลอและลดความเร็วในสภาวะการจำลองแรงเบรกขนาดมวล 1 และ 3.5 kg ยังคงมีความคล้ายคลึงกัน ดังนั้นจึงขอเสนอการเปรียบเทียบพฤติกรรมการชะลอและลดความเร็วในสภาวะการจำลองแรงเบรกขนาดมวล 1 และ 3.5 kg เท่านั้น

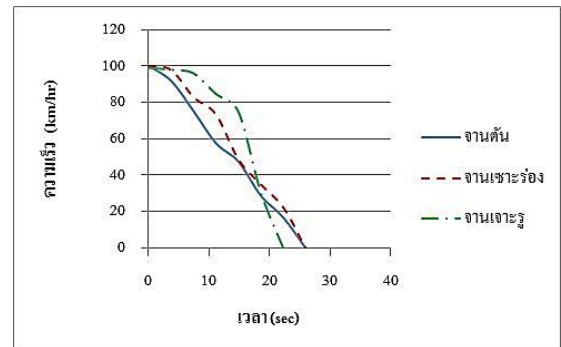
โดยการทดสอบที่มวล 1 kg ของสภาวะอุณหภูมิสูงซึ่งพบว่า จานเบรกชนิดตันและชนิดเซาะร่องสร้างอัตราหน่วงเฉลี่ยได้เท่ากันที่ 0.22 m/sec^2 และระยะทางเบรก 1.73 km และ 1.67 km ตามลำดับ โดยใช้เวลาในการห้ามเพลา คือ 121 sec โดยจานเบรกชนิดเซาะร่องมีพฤติกรรมการตอบสนองต่อการห้ามเพลาเร็วกว่าจานตัน และจานเบรกชนิดเจาะรูสร้างอัตราหน่วงเฉลี่ยได้ที่ 0.31 m/sec^2 และระยะทางเบรก 1.22 km โดยใช้เวลาในการห้ามเพลาจนถึงหยุดนิ่งเป็นเวลา 89 sec คิดเป็นความแตกต่างเทียบกับจานเบรกชนิดตันเท่ากับ 26% ดังรูปที่ 4

ในขณะที่การทดสอบที่มวล 3.5 kg แสดงให้เห็นว่า จานเบรกชนิดตันและชนิดเซาะร่องสร้างอัตราหน่วงเฉลี่ยได้เท่ากันที่ 1.06 m/sec^2 และระยะทางเบรก 0.38 km และ 0.42 km ตามลำดับ โดยใช้เวลาในการห้ามเพลา คือ 26 sec แต่จานเบรกชนิดตันมีพฤติกรรมการตอบสนองต่อการห้ามเพลาเร็วกว่าจานเซาะร่อง ในขณะที่จานเบรกชนิดเจาะรูสร้างอัตราหน่วงเฉลี่ยได้ที่ 1.26 m/sec^2 และระยะทางเบรก 0.45 km โดยใช้เวลาในการห้ามเพลาจนถึงหยุดนิ่งเป็นเวลา 22 sec คิดเป็นความแตกต่างเทียบกับจานเบรกชนิดตันเท่ากับ 15% อย่างไรก็ตาม พฤติกรรมการลดความเร็วที่ได้จากการห้ามเพลาจากจานเบรกทั้ง 3 มีลักษณะใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 5

จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบในรูปที่ 4 และ 5 จะพบว่านอกจากระยะทางการเบรกที่แปรผันผกผันกับขนาดแรงเบรกจากมวลที่เหมือนกับผลการทดสอบในกรณีอุณหภูมิปกติแล้ว สิ่งที่แตกต่างกันออกไปคือ ความแตกต่างของระยะทางการเบรกที่ได้จากจานเบรก



รูปที่ 4 ผลการทดสอบที่อุณหภูมิสูงและมวล 1 kg



รูปที่ 5 ผลการทดสอบที่อุณหภูมิสูงและมวล 3.5 kg

ทั้ง 3 ชนิด ในทุกกรณีการทดสอบจะแตกต่างกันไม่มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะการเบรกที่ใช้มวลขนาดมาก (เบรกกะทันหัน) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากเวลาในการระบายความร้อนที่ไม่เพียงพอต่อจานเบรกทั้ง 3 แบบ จึงทำให้ความสามารถการเบรกในสภาวะดังกล่าวไม่แตกต่างกัน โดยระยะทางการเบรกในสภาวะการทดสอบแบบปกติ (อุณหภูมิมากกว่า 100°C) ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ระยะทางการเบรกในสภาวะอุณหภูมิสูง

ชนิดจานเบรก	ระยะทางการเบรก (km)				
	มวล 1.0 kg	มวล 1.2 kg	มวล 2.3 kg	มวล 2.8 kg	มวล 3.5 kg
ตัน	1.73	1.18	1.10	0.77	0.38
เซาะร่อง	1.67	1.32	0.89	0.53	0.42
เจาะรู	1.22	1.10	0.86	0.57	0.45

4. อภิปรายผลและสรุป

การศึกษาลักษณะทางกายภาพจานเบรกที่มีผลกระทบต่อความสามารถการเบรกโดยใช้เครื่องทดสอบแบบไดนาโมมิเตอร์ขนาดไม่เกิน 10 แรงม้า และโมเมนต์ความเฉื่อยไม่เกิน $9.70 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ ซึ่งเทียบเท่ารถจักรยานยนต์ที่มีมวล 150 kg เพื่อใช้เป็นทางเลือกสำหรับการทดสอบในภาคอุตสาหกรรม โดยอ้างอิงสภาวะการทดสอบด้านอุณหภูมิตามมาตรฐาน JASO T204:2001 มาประยุกต์ใช้นั้น สามารถสะท้อนให้เห็นถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความสามารถการเบรกได้ ภายใต้สภาวะที่ใกล้เคียงการใช้งานจริง

นอกจากนี้ผลของการศึกษาความสามารถการเบรกของจานเบรกทั้ง 3 ชนิดคือ จานตัน จานเซาะร่อง และจานเจาะรู ซึ่งมีพื้นที่ผิวสัมผัส 0.068 0.060 และ 0.064 m^2 ตามลำดับ ในสภาวะอุณหภูมิปกติ (60°C ถึง 80°C) และอุณหภูมิสูง (มากกว่า 100°C) โดยใช้แรงเบรก ณ ตำแหน่งแม่ปั้มเบรกที่แตกต่างกันระหว่าง 9.81 N ถึง 34.34 N ซึ่งพบว่า ณ อุณหภูมิปกติจานตัน จานเซาะร่อง และจานเจาะรูสร้างอัตราเร่งการเบรกเฉลี่ยได้ 7.29 , 9.10 และ 9.50 m/sec^2 ต่อพื้นที่ผิวสัมผัสจานเบรก 1 m^2 ตามลำดับ ในขณะที่ ณ อุณหภูมิสูง จานตัน จานเซาะร่อง และจานเจาะรูสร้างอัตราเร่งการเบรกเฉลี่ยได้ 7.21 , 9.03 และ 9.46 m/sec^2 ต่อพื้นที่ผิวสัมผัสจานเบรก 1 m^2 ตามลำดับ ดังตารางที่ 5 ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่า จานเบรกชนิดเจาะรูสร้างความสามารถในการเบรกสูงสุด โดยแตกต่างจากจานเบรกชนิดตัน 30.32% ณ สภาวะอุณหภูมิปกติ ในทางทำนองเดียวกันสภาวะอุณหภูมิสูง จานเบรกชนิดเจาะรูสร้างความสามารถในการเบรกสูงสุดโดยแตกต่างจากจานเบรกชนิดตัน 31.21%

นอกเหนือจากปัจจัยด้านอุณหภูมียังพบว่าความแตกต่างของลักษณะทางกายภาพของจานเบรกจะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการเบรกได้เด่นชัดในสภาวะการให้แรงเบรกน้อย ณ ตำแหน่งแม่ปั้ม (การชะลอหรือลดความเร็ว) ทั้งการเบรกอุณหภูมิปกติและอุณหภูมิสูง ในทางตรงกันข้ามพฤติกรรมเหล่านี้จะไม่ปรากฏในสภาวะการให้แรงเบรกมาก ณ ตำแหน่ง

แม่ปั้ม (การเบรกแบบกะทันหัน) ทั้งการเบรกอุณหภูมิปกติและอุณหภูมิสูง

ตารางที่ 5 ความสามารถจานเบรกชนิดต่างๆ

ชนิดจานเบรก	พื้นที่ผิวสัมผัส (m^2)	อัตราเร่งเฉลี่ย (m/sec^2)		อัตราเร่งเฉลี่ยต่อพื้นที่ผิวสัมผัส (m/sec^2 ต่อ 1 m^2)	
		อุณหภูมิปกติ	อุณหภูมิสูง	อุณหภูมิปกติ	อุณหภูมิสูง
ตัน	0.068	0.496	0.490	7.29	7.21
เซาะร่อง	0.060	0.546	0.542	9.10	9.03
เจาะรู	0.064	0.608	0.606	9.50	9.46

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยมีความยินดีที่จะกล่าวขอบคุณต่อ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] D. C. Sheridan., J. A. Kutchev and F. Samie. (1988, Feb.) Approaches to the thermal modeling of disc brakes. [Online]. SAE Technical Paper 880256, 1988. Available: <http://papers.sae.org/880256/>
- [2] T. P. Bailey, J. T. Buckingham, and A. H. D'Cruz, "Optimization of brake disc design using thermal imaging and finite element techniques," in *Autotech Congress*, 1991.
- [3] A. R. Daudi and M. Narain, "CAE prediction and experimental verification of maximum temperature of cool running 72 curve fin brake rotor design," in *International Conference on Brakes 2000 Automotive Braking-Technologies for the 21st Century*, pp. 123-138, 2000.
- [4] S. Koetniyom, P. C. Brooks, and D. C. Barton, "Finite element prediction of inelastic strain accumulation in cast-iron brake rotors," in



- International Conference on Brakes 2000 Automotive Braking-Technologies for the 21th Century*, pp. 139-148, 2000.
- [5] H. Abendroth, T. Steffen, W. Falter, and R. Heidt, "Investigation of CV rotor cracking test procedures," in *International Conference on Brakes 2000 Automotive Braking-Technologies for the 21th Century*, pp. 149-162, 2000.
- [6] R. Hecht Basch, J. Fash, R. Hasson, T. Dalka, R. McCune and R. Kaufold, "Initial dynamometer and laboratory evaluations of thermally sprayed aluminium brake discs," in *International Conference on Brakes 2000 Automotive Braking-Technologies for the 21th Century*, pp. 163-178, 2000.
- [7] H. W. Schwartz, L. L. Harste, S. K. Rhee, and J. E. Byers. (1975, Feb.) Evaluation of gray iron brake discs for trucks by thermal modeling. [Online]. SAE Technical Paper 751013, 1975. Available: <http://papers.sae.org/751013/>
- [8] B. B. Palmer and M. H. Weintraub, "The role of engineered cashew particles on performance," in *International Conference on Brakes 2000 Automotive Braking-Technologies for the 21th Century*, pp. 175-184, 2000.
- [9] Motorcycles – Braking device – Dynamometer test procedures, JASO T204, 2001.
- [10] P. Dechaumphai, "Numerical integration and differentiation," *NUMERICAL METHODS IN ENGINEERING*, 4th. Bangkok, Thailand: Chulalongkorn University Press, pp.236-242, 2003.