การวัดโปรไฟล์เฟืองด้วยภาพจากกล้องดิจิทัล

The Measurement of Gear Profile Using Digital Images

ปรัชญา นวลพลับ[1] ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ[2]
[1] นิสิตปริญญาโท
[2] ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการบำรุงรักษาเครื่องจักรกล
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทร 0-2218-6610 โทรสาร 0-2252-2889 อีเมล์ me36019@hotmail.com[1], chairote.k@chula.ac.th[2]

Prutya Naunplub[1], Chairote Kunpanittchakit[2]
[1] Graduate Student
[2]Machinery Maintenance Research Unit Cell
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University,
Pathumwan, Bangkok 10330, Thailand
Tel: 0-2218-6610, Fax: 0-2252-2889, E-mail: me36019@hotmail.com[1], chairote.k@chula.ac.th[2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงการถ่ายภาพโปรไฟล์ฟันเฟืองด้วยกล้องดิจิทัล เพื่อนำภาพที่ได้มาวัดติดตามการเปลี่ยนแปลงโปรไฟล์ของฟันเฟืองที่สึกหรอโดยไม่ต้องถอดออกจากเพลาทำให้ง่ายต่อการติดตามการสึกหรอเปรียบเทียบกับสัญญาณการสั่นสะเทือน ผลการวิจัยการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัลแล้วขยายเทียบกับภาพที่ได้จากเครื่องขยายโปรไฟล์ พบว่ามีความแตกต่างกันน้อยกว่า 0.1 mm อันเนื่องมาจากปัญหาของภาพทัศนมิติ (Perspective) จากการทดลองติดตามการสึกหรอของฟันเฟือง การวัดโปรไฟล์เฟืองด้วยภาพจากกล้องดิจิทัลสามารถประยุกต์ใช้ได้ดี และพบว่าพฤติกรรมการสึกหรอในแต่ละระดับการสึกหรอจะมีพฤติกรรมคล้าย ๆ กัน มีอัตราการสึกหรอที่สูงขึ้นตามระดับของการสึกหรอและมีการสึกหรอมากที่สุดที่ปลายฟัน

Abstract

The purpose of this research was to study the application of digital images for gear profile monitoring. Digital imaging helps measuring gear profile without gear removal from the shaft. The gear profile monitoring result can then be correlated with gear vibration signal. However, the digital images have a small different from the images of profile projector measurement. The perspective view of digital images may introduce the deviation between both results of less than 0.1 mm. The digital image measurement was used to monitor gear profile from an experiment. The wear results show similar wear behavior for each wear level. Moreover, the wear rate increases as the wear level increase. And the maximum wear occurs at the gear tip.

1. บทนำ

เฟืองนับเป็นชิ้นส่วนหนึ่งของเครื่องจักรที่สำคัญซึ่งทำหน้าที่ส่งกำลังและการหมุนจากเพลาหนึ่งไปสู่อีกเพลาหนึ่ง เฟืองจึงเป็นชิ้นส่วนหนึ่งที่มีโอกาสเสียหายเนื่องจากการกระแทก และการเสียดสีระหว่างฟันเฟืองที่เกิดขึ้นตลอดการทำงาน ส่งผลให้เฟืองสึกหรอ (Wear) เสียหายและก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้น

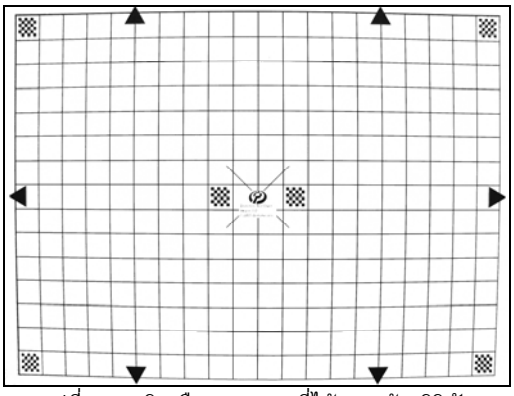
การวัดความเสียหายจากการสึกหรอของโปรไฟล์ฟันเฟืองเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นนั้นส่วนใหญ่แล้วใช้เครื่องขยายโปรไฟล์ในการวัด[3] ซึ่งวิธีดังกล่าวจะต้องถอดเฟืองออกมาจากเพลาเพื่อนำมาวัดโปรไฟล์ ส่งผลให้การควบคุมสภาวะในในการวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนเป็นไปได้ยากขึ้น การวัดโดยใช้กล้องถ่ายรูปดิจิทัลเป็นวิธีที่สามารถถ่ายรูปของฟันเฟืองและนำมาขยายเพื่อวัดโปรไฟล์ของฟันเฟืองได้โดยไม่ต้องถอดชุดเฟืองออกจากเพลา ทำให้สามารถควบคุมสภาวะการวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนได้ดีขึ้น

2. ข้อดีและข้อจำกัดของการวัดขนาดโปรไฟล์ฟันเฟืองโดยใช้กล้องดิจิทัล

ปัจจุบันมีการใช้กล้องดิจิทัลถ่ายรูปกันอย่างกว้างขวางเนื่องจากใช้งานง่ายและสะดวกอีกทั้งสามารถนำภาพที่ได้มาใช้กับคอมพิวเตอร์ได้ทันทีทำให้แก้ไขตกแต่งและประยุกต์ใช้ภาพได้เป็นอย่างดี การถ่ายรูป

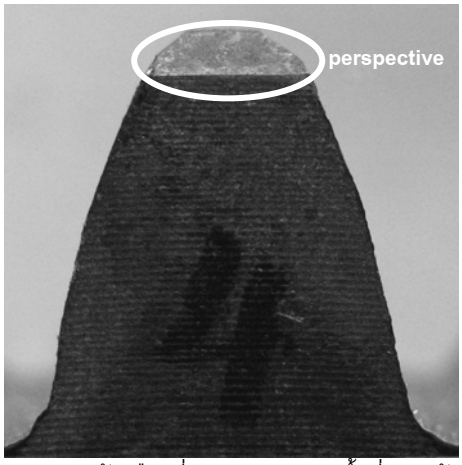
ด้วยกล้องดิจิทัลจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดโปรไฟล์ฟันเฟืองได้โดยไม่จำเป็นต้องถอดเฟืองออกจากชุด เพลาทำให้สามารถคงสภาวะในการทดลองได้ดีต่างจากวิธีอื่น ๆ ที่ต้องถอดชุดเฟืองออกมาเพื่อตรวจวัด

อย่างไรก็ตามการถ่ายรูปด้วยกล้องดิจิทัลนั้นยังมีข้อจำกัด ทั้งที่เกิดจากกล้องดิจิทัลเองและจากลักษณะของวัตถุที่ถ่าย ปัญหาที่เกิดจากกล้องก็คือปัญหาการบิดเบือนของภาพ (Distortion) ที่เกิดจากเลนส์ของกล้องซึ่งประกอบด้วยเลนส์หลายชิ้น เพื่อให้มีการหักเหของแสง ดังนั้นจึงมีโอกาสที่จะเกิดภาพที่บิดเบือนในลักษณะของเส้นโค้งบวมออกและบิดเบี้ยวมากที่สุดบริเวณขอบรูป[1] ดังเช่นรูปที่ 1



รูปที่ 1 การบิดเบือนของภาพที่ได้จากกล้องดิจิทัล Canon PowerShot A620[8]

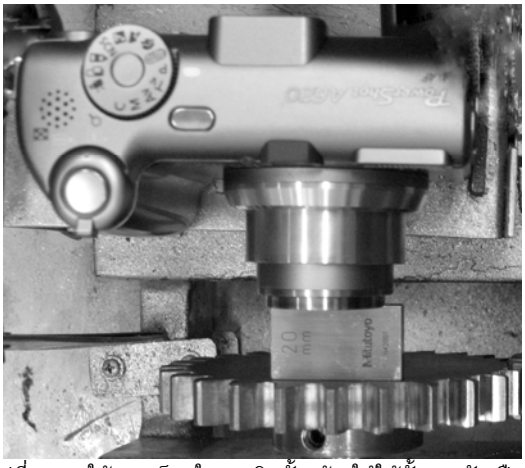
ปัญหาอีกประเภทที่เกิดจากวัตถุคือปัญหาที่เกิดจากมิติของวัตถุที่อยู่คนละระนาบ ซึ่งจะทำให้เห็นขนาดและมุมของภาพผิดเพี้ยนไปจากความเป็นจริง เรียกภาพชนิดที่ว่าภาพทัศนมิติ (Perspective) [2] ซึ่งฟันเฟืองจะมีปัญหาในลักษณะนี้เช่นกันเนื่องจากปลายฟันเฟืองจะถูกลบคมทำให้เกิดเป็นภาพ 2 ระนาบ โดยภาพระนาบที่ถูกลบคมจะมีขนาดที่เล็กกว่าความเป็นจริง ดังเช่นในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ภาพของฟันเฟืองที่เกิด perspective ขึ้นที่ปลายฟันเฟือง

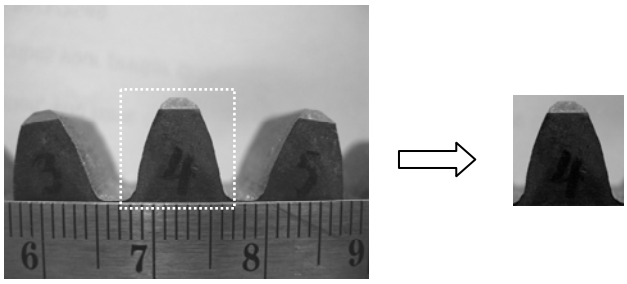
3. ขั้นตอนการวัดขนาดโปรไฟล์ฟันเฟืองโดยใช้กล้องดิจิทัล

ในการตรวจวัดโปรไฟล์ฟันเฟืองด้วยกล้องดิจิทัลนั้นเพื่อให้ได้ภาพที่สามารถนำมาขยายและมีอัตราส่วนเท่ากันทั้งภาพจะต้องติดตั้งกล้องให้ตั้งฉากกับฟันเฟืองโดยใช้เกจบล็อค (Gauge Block) ทาบไว้กับหน้าเลนส์กล้องและฟันเฟืองดังรูปที่ 3 ซึ่งจะทำให้ตั้งฉากและมีระยะที่แน่นอน



รูปที่ 3 การใช้เกจบล็อคในการติดตั้งกล้องให้ให้ตั้งฉากกับเฟือง

จากนั้นจึงปรับกล้องให้เลนส์กล้องตรงกับฟันเฟืองซี่ที่ต้องการถ่ายเพื่อให้ฟันเฟืองที่ต้องการถ่ายอยู่ตรงกลางภาพ เพื่อแก้ไขปัญหาภาพบิดเบือน (Distortion) ซึ่งบริเวณกลางภาพจะมีการบิดเบือนน้อยที่สุด แล้วจึงติดตั้งไม้บรรทัดที่มีสเกลแน่นอนบริเวณรากฟันเฟือง เพื่อนำไปสอบเทียบ (Calibration) ในการขยายภาพต่อไป



รูปที่ 4 การตัดภาพขนาดความยาว 1 cm ตามสเกลไม้บรรทัด

การถ่ายภาพจะต้องปรับความละเอียด (Resolution) ของกล้องให้สูง และใช้ฟังก์ชันถ่ายใกล้ (Macro) ถ่ายเพื่อให้ได้ภาพที่ชัดเจนและละเอียดเมื่อนำภาพมาขยายโดยใช้โปรแกรม Adobe Photoshop CS ในการตัดและขยายภาพ โดยตัดภาพให้ pixels มีจำนวนเท่ากับความยาว 1 cm จากสเกลของไม้บรรทัดที่ติดตั้งไว้ดังรูปที่ 4 จากนั้นจึงปรับความละเอียดของภาพให้ได้ภาพขนาด 20x20 cm เมื่อพิมพ์ภาพออกมาให้ใช้ภาพที่ได้จากเครื่องขยายโปรไฟล์ที่มีอัตราขยาย 20 เท่าสอบเทียบขนาดอีกครั้งหนึ่ง กรณีภาพจากกล้องมีขนาดเล็กกว่าให้ปรับ pixels น้อยลง ในทางกลับกันกรณีภาพมีขนาดใหญ่กว่าให้ปรับ pixels มากขึ้นจนกว่าจะได้ภาพที่มีขนาดเท่ากัน เมื่อได้ขนาด pixels ที่แน่นอนแล้วจึงใช้ขนาด pixel นั้นในการตัดภาพในครั้งถัดไปโดยไม่ต้องสอบเทียบอีก

ในการแก้ปัญหาที่เกิดจากมิติของวัตถุโดยฟันเฟืองจะมีปัญหาที่บริเวณปลายฟันเฟืองที่ถูกลบคม จะทำให้เห็นภาพที่ลึกลงไปแก้ไขโดย

การปรับระยะโฟกัสระหว่างกล้องและฟันเฟืองให้เหมาะสมจะทำให้ภาพที่ได้มีความผิดเพี้ยนน้อยลง

4. การปรับตั้งกล้องและสอบเทียบความละเอียดของภาพ

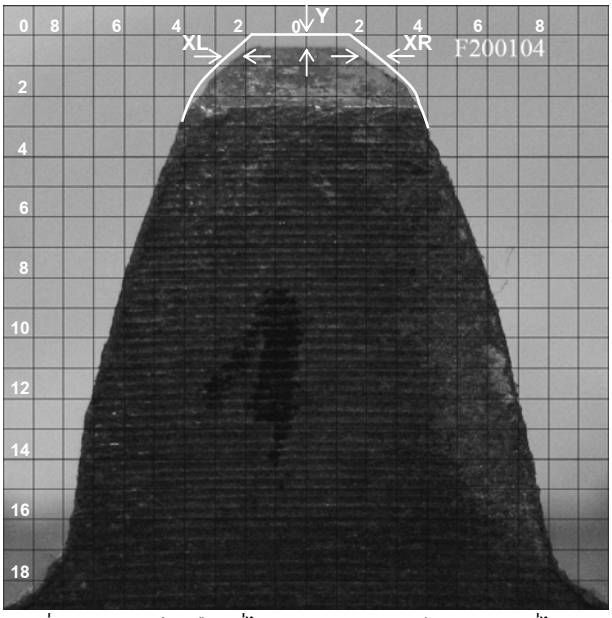
การทดลองจะใช้กล้อง Canon PowerShot A620 ในการถ่ายโดยปรับความละเอียดที่ 3072x2304 pixels และใช้เกจบล็อคปรับระยะโฟกัสและความตั้งฉากของกล้องและฟันเฟืองโดยปรับระยะโฟกัส 3 ระยะ คือ 20, 25 และ 30 มิลลิเมตร เพื่อปรับและแก้ไขภาพที่เกิดจากภาพทัศนมิติ จากนั้นจึงตัดภาพและขยายภาพตามวิธีที่ได้กล่าวมาแล้วเปรียบเทียบกับภาพที่ได้จากเครื่องขยายโปรไฟล์

จากการถ่ายภาพโดยเปลี่ยนแปลงระยะโฟกัส 3 ระยะนั้น เมื่อใช้โปรแกรม Adobe Photoshop CS ตัดภาพตามสเกลของไม้บรรทัดและสอบเทียบกับเครื่องขยายโปรไฟล์จะได้ขนาด pixels และความละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงผลจากการตัดภาพที่ระยะโฟกัสต่าง ๆ

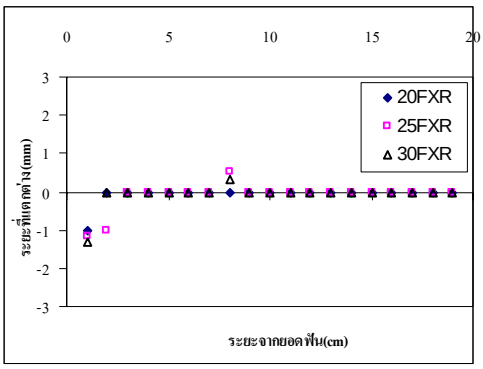
Focus (mm)	Pixels	Resolution (Pixel/cm)
20	930x930	46.5
25	814x814	40.7
30	725x725	36.25

จากการขยายภาพจากกล้องดิจิทัลและขยายขึ้น 20 เท่า เพื่อเปรียบเทียบกับภาพที่ได้จากเครื่องขยายโปรไฟล์ซึ่งมีอัตราขยาย 20 เท่าเช่นกัน พบความแตกต่างของขนาดภาพในส่วนปลายของฟันเนื่องจากเป็นลักษณะของภาพทัศนมิติ โดยจะได้ภาพที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดของเครื่องขยายโปรไฟล์เล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 5

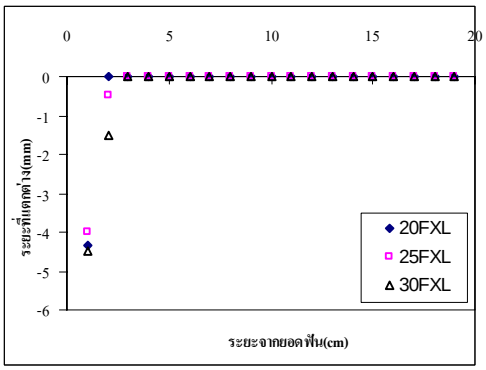


รูปที่ 5 ภาพของฟันเฟืองที่ได้จากกล้องดิจิทัลเทียบกับภาพที่ได้จากเครื่องขยายโปรไฟล์

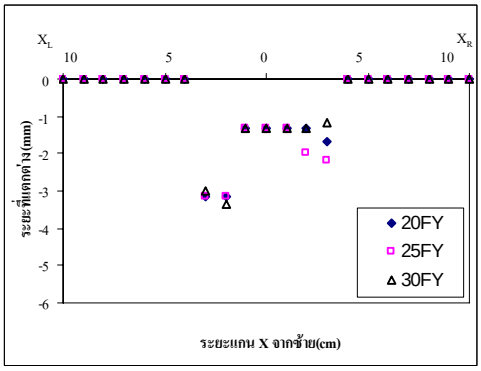
เมื่อวัดขนาดโดยเทียบจากแกน X ด้านซ้ายและขวา และเทียบจากแกน Y จะเขียนกราฟของขนาดที่แตกต่างระหว่างภาพจากกล้องดิจิทัลและภาพจากเครื่องขยายโปรไฟล์ได้ดังรูปที่ 6, 7 และ 8



รูปที่ 6 กราฟแสดงขนาดที่แตกต่างของภาพด้านขวาของฟันเฟือง (แกน X) ที่ได้จากเครื่องขยายโปรไฟล์เทียบกับกล้องดิจิทัล



รูปที่ 7 กราฟแสดงขนาดที่แตกต่างของภาพด้านซ้ายของฟันเฟือง (แกน X) ที่ได้จากเครื่องขยายโปรไฟล์เทียบกับกล้องดิจิทัล



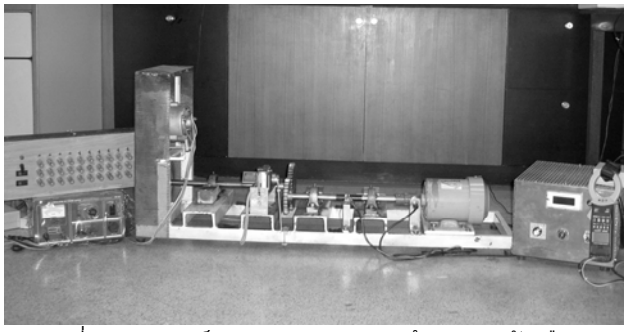
รูปที่ 8 กราฟแสดงขนาดที่แตกต่างของภาพแนวตั้ง(แกน Y) ของฟันเฟืองที่ได้จากเครื่องขยายโปรไฟล์เทียบกับกล้องดิจิทัล

จากกราฟที่ได้พบว่าความผิดเพี้ยนของภาพในแต่ละความยาวโฟกัสไม่แตกต่างกันนักบริเวณที่มีความคลาดเคลื่อนมากคือบริเวณปลายฟัน ระยะโฟกัสที่ 20 mm จะมีค่าที่ดีกว่าตำแหน่งอื่น เมื่อเปรียบเทียบเป็นขนาดฟันเฟืองจริงจะมีค่าผิดพลาดน้อยมากไม่เกิน 0.1 mm ซึ่งสามารถนำมาติดตามการสึกหรอของเฟืองได้เป็นอย่างดี

5. การทดลองติดตามการสึกหรอของฟันเฟือง

5.1 การทดลอง

ชุดทดลองติดตามการสึกหรอของฟันเฟืองดังแสดงในรูปที่ 9 จะประกอบด้วยมอเตอร์ 3 เฟส ขนาด 0.5 แรงม้า หมุนด้วยความเร็ว 500 รอบต่อนาที เฟืองขับทองเหลือง โมดูล 4 mm 26 ซี่ เฟืองตามเหล็ก โมดูล 4 mm 37 ซี่ เพลาขับและเพลาตามวางตัวขนานกันในแนวระดับ ใช้เครื่องปั่นไฟรถยนต์ (Alternator) เป็นตัวสร้างภาระให้กับชุดเฟืองคือ 340 วัตต์ ปรับภาระด้วยการเปลี่ยนความต่างศักย์ที่จ่ายให้ขดลวดสนาม และมีชุดจับยึดกล้องดิจิทัลที่สามารถปรับระดับได้ 3 แกน



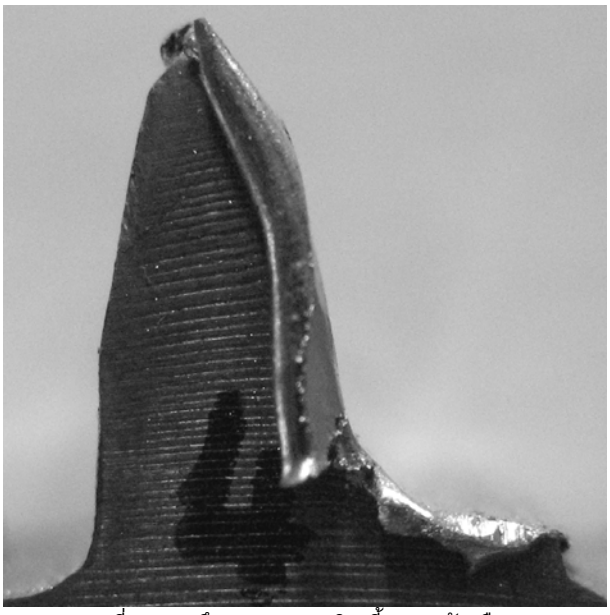
รูปที่ 9 ชุดอุปกรณ์ทดลองการติดตามการสึกหรอของฟันเฟือง

ในการติดตามการสึกหรอของฟันเฟืองเพื่อให้ได้ภาพในการวัดระดับการสึกหรอมีความผิดพลาดน้อยที่สุด จะต้องควบคุมให้ชุดทดลองมีความผิดพลาดน้อยลงโดยตั้งศูนย์เพลาให้ได้แนวแกนและเพลาทั้งสองเส้นต้องขนานกัน ปรับระยะห่างระหว่างเพลาให้ได้ระยะตรงตามผลรวมของรัศมีพิตซ์เฟืองขับและเฟืองตาม ตรวจสอบจุดเชื่อมต่อทุกจุดในชุดทดลองไม่ให้มีความหลุดหลวมทุกครั้งก่อนการทดลอง ในส่วนของเฟืองการสึกหรอจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองโดยจะมีการถ่ายรูปฟันเฟืองทุก ๆ 120 นาทีเป็นจำนวน 13 ซี่ จนกระทั่งมีการสึกหรอเฉลี่ยที่ปลายฟันตามกำหนด และเพื่อให้การสึกหรอเกิดเฉพาะที่เฟืองตัวใดตัวหนึ่งจึงเลือกใช้เฟืองตามเป็นเหล็กและเฟืองขับเป็นทองเหลือง

การวัดการสึกหรอสามารถแบ่งระดับการสึกหรอคร่าว ๆ ได้ 6 ระดับ โดยอ้างอิงจาก [3] คือ ระดับ 0-5 มีการสึกหรอดังนี้

ระดับสึกหรอที่ 0	มีการสึกหรอที่ปลายฟันประมาณ	0.0 %
ระดับสึกหรอที่ 1	มีการสึกหรอที่ปลายฟันประมาณ	16.6 %
ระดับสึกหรอที่ 2	มีการสึกหรอที่ปลายฟันประมาณ	33.2 %
ระดับสึกหรอที่ 3	มีการสึกหรอที่ปลายฟันประมาณ	49.8 %
ระดับสึกหรอที่ 4	มีการสึกหรอที่ปลายฟันประมาณ	66.4 %
ระดับสึกหรอที่ 5	มีการสึกหรอที่ปลายฟันประมาณ	83.0 %

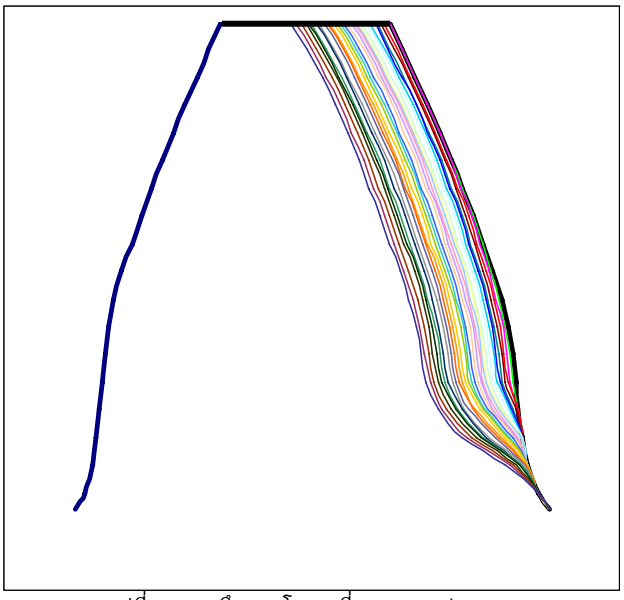
การทดลองจะเริ่มเดินเครื่องชุดทดลองตั้งแต่ฟันของเฟืองขับยังไม่มีการสึกหรอไปจนพบการสึกหรอที่ปลายของฟันเฟืองขับประมาณ 83 เปอร์เซ็นต์ หรือทดลองไปจนพบว่ามีฟันของเฟืองขับฟันใดฟันหนึ่งมีการสึกหรอที่ปลายถึง 100 เปอร์เซ็นต์ หรือที่ปลายฟันเฟืองมีการบิดเบี้ยวที่ปลายฟันเฟืองจนไม่สามารถทำการวัดจำนวน 7 ซี่ จาก 13 ซี่ ซึ่งจากการทดลองจะพบการบิดเบี้ยวที่ปลายฟันเฟืองก่อนรูปแบบการสึกหรอในกรณีอื่น โดยในการทดลองจะพบการสึกหรอที่ปลายฟันอยู่ประมาณระดับสึกหรอที่ 4 ซึ่งแสดงลักษณะของเฟืองที่สึกหรอดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 การสึกหรอและการบิดเบี้ยวของฟันเฟือง

5.2 ผลการติดตามการสึกหรอของฟันเฟือง

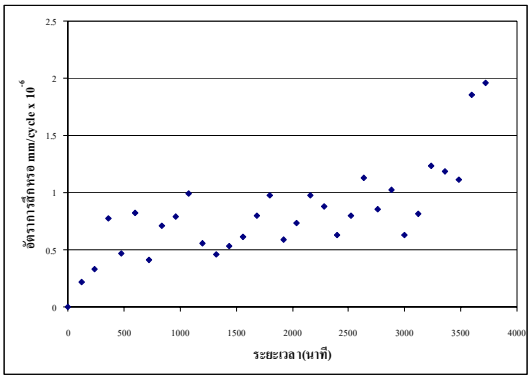
จากการทดลองที่ได้กล่าวมาในข้างต้น เมื่อนำภาพของฟันเฟืองทั้ง 13 ภาพ ในแต่ละช่วงเวลามาวัดภาพในแต่ละตำแหน่งและเฉลี่ยสามารถเขียนกราฟแสดงการสึกหรอที่เวลาต่าง ๆ ได้ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 การสึกหรอโดยเฉลี่ย ณ เวลาต่าง ๆ

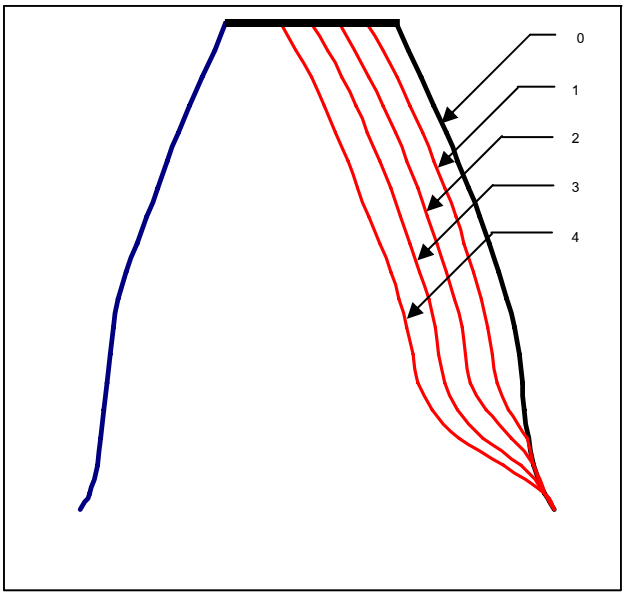
ซึ่งเฟืองจะมีการสึกหรอถึงระดับที่ 4 โดยใช้เวลา 3720 นาที จากภาพจะเห็นได้ว่าการสึกหรอของฟันเฟือง ณ ระยะเวลาต่าง ๆ มีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันและมีอัตราการสึกหรอที่ค่อนข้างจะสม่ำ

เสมอในช่วงแรกแต่ในช่วงการสึกหรอระดับ 3 และ 4 อัตราการสึกหรอจะเพิ่มสูงขึ้นซึ่งอัตราการสึกหรอเฉลี่ยต่อรอบในช่วงเวลาต่าง ๆ แสดงดังกราฟรูปที่ 12

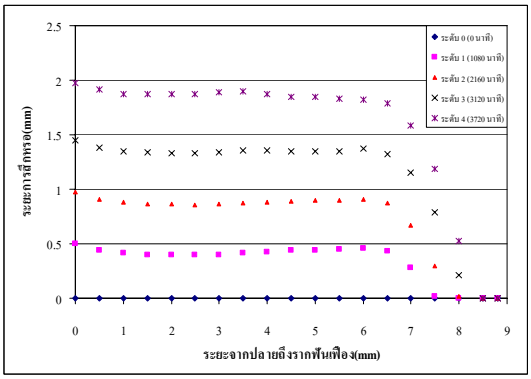


รูปที่ 12 อัตราการสึกหรอโดยเฉลี่ยต่อรอบในช่วงเวลาต่าง ๆ

และเขียนกราฟที่ระดับการสึกหรอต่าง ๆ ทั้ง 4 ระดับได้ดังกราฟรูปที่ 13



รูปที่ 13 การสึกหรอในระดับต่าง ๆ



รูปที่ 14 พฤติกรรมการสึกหรอโดยเฉลี่ยจากปลายถึงรากของฟันเฟืองในระดับต่าง ๆ

จากกราฟรูปที่ 13 และ 14 จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมการสึกหรอของเฟืองในแต่ละระดับการสึกหรอจะมีพฤติกรรมคล้าย ๆ กัน กล่าวคือ บริเวณปลายฟันเฟืองจะมีขนาดของการสึกหรอมากที่สุด ในช่วงตำแหน่งต่อมาจนถึงพิตช์(4 mm) จะมีการสึกหรอที่น้อย และในช่วงตำแหน่งตำถัดมาจะมีการสึกหรอที่ค่อยๆ มากขึ้นและสม่ำเสมอ ช่วงตำแหน่งที่เป็นตำแหน่งแรกที่เฟืองขับและเฟืองตามขบกัน(8 mm) จะมีการสึกหรอที่น้อยกว่าตำแหน่งอื่น

6. สรุปผลการทดลอง

การทดลองถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัลเทียบกับภาพที่ได้จากเครื่องขยายโปรไฟล์พบว่ามีขนาดที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ในส่วนที่เป็นภาพทัศนมิติ เมื่อเปรียบเทียบมาเป็นขนาดเฟืองจริงจะผิดพลาดน้อยมากไม่เกิน 0.1 mm

จากการทดลองติดตามการสึกหรอของฟันเฟืองด้วยภาพจากกล้องดิจิทัลพบว่าแนวโน้มและลักษณะของการสึกหรอในช่วงเวลาต่าง ๆ มีรูปแบบคล้ายกันโดยปลายฟันเฟืองจะมีขนาดของการสึกหรอสูงที่สุดในช่วงตำแหน่งพิตช์ของเฟืองจะมีการสึกหรอน้อย และการสึกหรอสูงขึ้นในตำแหน่งถัดมา ในส่วนของอัตราการสึกหรอของฟันเฟืองนั้นจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามช่วงเวลาการใช้งาน

เอกสารอ้างอิง

[1] ศุภสิทธิ์ นาคเสน, กล้องดิจิตอล ฉบับสมบูรณ์, อินโฟเพรส, นนทบุรี, 2546.

[2] ธีระชัย เจ้าสกุล, เขียนแบบเทคนิคเบื้องต้น, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, 2547.

[3] เจษฎา เตชัสหงส์, การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนของคู่เฟืองตรงที่มีการสึกหรอ, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

[4] P.S.Houghton, Gears, Technical Press, London, 1970

[5] AGMA Standard, Specification for Measurement of Linear Vibration on Gear Unit :ANSI/AGMA 6000-B96. , 1996

[6] Yaron Shor, Alan Chikovsky, Tsadok Tsach., 2005. The evidential value of distorted and rectified digital images in footwear imprint examination, Forensic Science International, Jerusalem, Israel, 2-24 August.

[7] Wilhelm Burger and Bir Bhanu, Estimating 3-D Egomotion from Perspective Image Sequences, IEEE Transactions on Pairern Analysis and Machine Intelligence, Vol.12, No. 11, November 1990

[8] Canon, Barrel and Pincushion Distortion, http://www.dpreview.com/reviews/canona620/page6.asp (accessed on Feb 2007).