การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22
15-17 ตุลาคม 2551 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

การจำลองลักษณะถนน เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการออกแบบรถกอล์ฟ

Road characteristic model for golf cart design

รศ. ดร. คณิต วัฒนวิเชียร* และ อนวัช คงสุริยะภิญโญ[1]
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทร 0-2218-6607 โทรสาร 0-2252-2889 *อีเมล์ wkanit@chula.ac.th

บทคัดย่อ

เนื่องจากการออกแบบระบบรองรับที่ดีต้องการข้อมูลหลายด้าน หนึ่งในนั้น คือ ข้อมูลลักษณะสภาพถนนเพื่อใช้เป็นกรอบในการออกแบบระบบรองรับที่เหมาะสม ดังนั้นเพื่อให้การออกแบบรถกอล์ฟที่ผลิตในประเทศไทย มีความสมบูรณ์และเหมาะสมกับการใช้งาน จึงมีความจำเป็นต้องมีการศึกษารวบรวมข้อมูลสภาพถนนของสนามกอล์ฟในไทย โดยกระบวนการเก็บรวบรวมข้อมูลสภาพถนนจำเป็นต้องมีความถูกต้องและแม่นยำเพียงพอเพื่อใช้ในการจำลองสภาพถนน

บทความนี้นำเสนอแนวคิดในการพัฒนาถนนจำลอง ซึ่งครอบคลุมแนวทางในการเก็บข้อมูลของสภาพถนนในสนามกอล์ฟ โดยใช้หลักวิธีการวัดสภาพถนนด้วย Rolling straightedge และวัดลักษณะของพื้นถนนด้วย Accelerometer และนำผลการวัดมาประเมินแบ่งประเภทถนนตามมาตราฐาน ISO 8608 โดยแจกแจงความถี่ที่พบจากการวัดถนนในสนามกอล์ฟตัวอย่างจำนวน 2 สนาม คือ สนามกอล์ฟไทยพัฒนาสปอร์ต คลับ และ สนามกอล์ฟ ซัมมิทไพร์เฮิร์ส กอล์ฟแอนท์ คันทรี คลับ โดยนำค่าฐานนิยมของประเภทถนนที่ได้จากการทดลองมาใช้ในการกำหนดแบบจำลองนั้น พบว่าแบบจำลองลักษณะถนนนั้นควรมีค่าสเปคตรัมกำลังตามสมการ $G_d(\Omega)=0.002(\Omega)^{-2}$

Abstract

One of the significant data for designing suspension system is road characteristic. So, designing a golf cart in Thailand needs suitably and accurately collected data of road characteristic of golf courts, the place where it is drive.

This paper presents an idea of developing a model of roads, which includes the process of gathering data of road characteristic of golf courts, by using the principle of rolling straightedge and measuring the excitation of road by accelerometer, then classifying roads by ISO 8608 standard and finding mode of experiment data for designing the road model.

Data in this paper is gathered from 2 golf courts in Thailand, Thai Patana Sport Club in Chonburi, and Summit Piehurst Golf and Country Club in Patumtani.

The result of data shows that mode of road characteristic model in golf court have Power spectrum density according to this equation $G_d(\Omega)=0.002.(\Omega)^{-2}$

.

1. บทนำ

ขณะนี้ธุรกิจของคนไทยที่ได้รับความนิยมขณะนี้ คือ ธุรกิจผลิตรถกอล์ฟ ซึ่งเป็นธุรกิจที่มีคู่แข่งน้อยอีกทั้งยังสามารถใช้งานได้หลากหลาย ใช้สามารถนำมาใช้ในหมู่บ้าน รถพยาบาล สถานที่ท่องเที่ยว และที่สำคัญที่สุด คือ ในสนามกอล์ฟ ในขณะนี้ทางสำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติยกรถกอล์ฟให้เป็นนวัตกรรมอันดับที่ 8 ของประเทศที่สร้างสรรค์โดยคนไทยในปีนี้

ด้วยเหตุนี้งานด้านวิจัยและพัฒนาของกอล์ฟจึงมีความสำคัญมากขึ้น เพื่อพัฒนาสินค้าให้มีคุณภาพออกสู่ตลาดโลก พื้นฐานในการออกแบบนั้นที่สำคัญ คือ จะต้องรู้ถึงสภาพการใช้งานจริงซึ่งจะถูกนำมาใช้ออกแบบพัฒนารถไฟฟ้า ถนนในสนามกอล์ฟจึงมีบทบาทในการกำหนดทิศทางในการออกแบบและพัฒนารถกอล์ฟ ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องการออกแบบระบบรองรับ การรับประกันคุณภาพชิ้นส่วน การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนเพื่อดูความสะดวกสบายในการขับขี่ หรือ จะเป็นการทดสอบความทนทาน

บทความนี้จะแสดงขั้นตอนการดำเนินงานศึกษาลักษณะของถนนในสนามกอล์ฟโดยใช้อุปกรณ์วัดที่มีหลักการแบบ Rolling straightedge และเก็บค่าการกระตุ้นของถนนผ่านทาง accelerometer ซึ่งจะเก็บข้อมูลความเร่งที่เกิดขึ้น จากนั้นนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อดูลักษณะถนนต่อไปและแบ่งประเภทถนนตาม ISO 8608 โดยดูจากค่าสเปคตรัมกำลังของความเร่งที่เกิดขึ้นในบริเวณช่วง 0.011 cycle/m ถึง 2.87 cycle/m ซึ่งเป็นข้อแนะนำใน ISO 8608

ในการทำวิจัยครั้งนี้ได้เลือกสนามกอล์ฟที่ใช้ในการศึกษา คือ สนาม ไทยพัฒนาสปอร์ตคลับ จังหวัดชลบุรี และ สนาม ซัมมิทไพร์เฮิร์ส กอล์ฟ แอนท์ คันทรี คลับ จังหวัดปทุมธานี รวมระยะทางทั้งสิ้น 16 กิโลมตร

2. ทฤษฎีบทที่เกี่ยวข้อง

2.1 ค่าสเปคตรัมกำลังของถนน

คือ ค่ากำลังสองเฉลี่ยของสัญญาณต่อช่วงกว้างของความถี่ ซึ่งสัญญาณในที่นี้ คือ ค่าความสูงของถนนในตำแหน่งต่างๆ ในการให้นิยามลักษณะของถนนนั้นจะใช้ค่าสเปคตรัมกำลังของถนนเป็นตัวกำหนด เราจึงสามารถรายงานค่าลักษณะถนนได้ 2 วิธี คือ

2.1.1 รายงานผลแบบค่าสเปคตรัมกำลังของการขจัดในแนวดิ่ง (G_d) เป็นการรายงานผลค่าสเปคตรัมกำลังของการขจัดในแนวดิ่งของพื้นถนน มีหน่วยเป็น m^3

โดยจะต้องประกอบด้วยค่าสเปคตรัมกำลังของการขจัดเทียบกับความถี่ของถนนบน กราฟแบบ Log- Log scale ส่วนการประเมินลักษณะของถนนนั้น ดังสมการที่ 1 และ 2

$$G_d(n) = G_d(n_0).(n/n_0)^{-w} \quad (1)$$

หรือ

$$G_d(\Omega) = G_d(\Omega_0).(\Omega/\Omega_0)^{-w} \quad (2)$$

โดยที่

n_0 คือ ค่าความถี่อ้างอิงมีค่าเท่ากับ 0.1 cycle/m

Ω_0 คือ ค่าความถี่เชิงมุมอ้างอิงมีค่าเท่ากับ 1 rad/m

w คือ ค่ากำลังในการสร้างสมการ เป็นอัตราส่วนของคลื่นความถี่ต่ำต่อคลื่นความถี่สูง

2.1.2 รายงานผลแบบค่าสเปคตรัมกำลังของความเร่งแนวดิ่ง (G_a) เป็นการรายงานผลของค่า สเปคตรัมกำลังของอัตราการเปลี่ยนแปลงความชันในแนวดิ่งของถนนต่อระยะทาง

โดยการรายงานผลทำเช่นเดียวกันหัวข้อ 3.1.1 สมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสเปคตรัมกำลังของความเร่งแนวดิ่ง (G_a) กับความถี่ของคลื่นถนนเป็นดังสมการที่ 3 และ 4

$$G_a(n) = G_a(n_0).(n/n_0)^{-w'} \quad (3)$$

หรือ

$$G_a(\Omega) = G_a(\Omega_0).(\Omega/\Omega_0)^{-w'} \quad (4)$$

โดยที่

n_0 คือ ค่าความถี่อ้างอิงมีค่าเท่ากับ 0.1 cycle/m

Ω_0 คือ ค่าความถี่เชิงมุมอ้างอิงมีค่าเท่ากับ 1 rad/m

w' คือ ค่ากำลังในการสร้างสมการ เป็นอัตราส่วนของคลื่นความถี่ต่ำต่อคลื่นความถี่สูง

ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างค่าสเปคตรัมกำลังของการขจัดในแนวดิ่ง (G_d) และค่าสเปคตรัมกำลังของความเร่งแนวดิ่ง (G_a) เป็นดังสมการที่ 5,6 และ 7

$$G_a(n) = (2\pi n)^4 G_d(n) \quad (5)$$

$$G_a(\Omega) = (\Omega)^4 \cdot G_d(\Omega) \quad (6)$$

$$w' = w - 4 \quad (7)$$

2.2 การแบ่งประเภทของลักษณะถนนตาม ISO 8608 [1]

ในการแบ่งประเภทของถนนนั้นจะใช้สมการที่ 1 และ 2 เป็นตัวกำหนดลักษณะของถนน โดยจะแบ่งประเภทของถนนตามค่า G_d ที่ค่า 0.1 cycle/m หรือ 1 rad/m จะต้องมีการทอนข้อมูล จากข้อมูลที่มีช่วงกว้างของความถี่คงที่ (constant bandwidth) ให้มีช่วงกว้างของความถี่เป็นแบบสัดส่วน (proportional bandwidth) ตามสมการที่ 8 และตารางที่ 1 ตามกระบวนการใน ISO 8608 จากนั้นต้องทำการปรับสมการที่ 1 และ 2 ให้ค่า w มีค่าเท่ากับ 2 โดยใช้ระเบียบวิธีการกำลัง 2 น้อยที่สุดและ แบ่งประเภทของถนนเป็นเกรด A-H ตามตารางที่ 2

$$G_s(i)=\frac{[(n_L+0.5)\cdot B_e-n_l(i)]G(n_L)}{n_h(i)-n_l(i)}+\frac{\sum_{j=n_L+1}^{n_H-1}G(j)\cdot B_e}{n_h(i)-n_l(i)}$$

$$+\frac{[n_H(i)-(n_H-0.5)\cdot B_e]G(n_H)}{n_h(i)-n_l(i)} \quad (8)$$

โดยที่

$G_s(i)$ คือ ค่าสเปคตรัมกำลังที่ผ่านการคำนวณให้เป็นช่วงความถี่ที่เป็นแบบสัดส่วน

B_e คือ ค่าช่วงกว้างของความถี่กรณีที่แบ่งช่วงความถี่คงที่

$$n_H = INT(\frac{n_h(i)}{B_e}+0.5)$$

$$n_L = INT(\frac{n_l(i)}{B_e}+0.5)$$

โดยที่

$n_h(i)$ คือ ค่าขอบเขตบนของการแบ่งแบบสัดส่วน

$n_l(i)$ คือ ค่าขอบเขตล่างของการแบ่งแบบสัดส่วน

ค่า $n_h(i), n_l(i)$ ขึ้นอยู่กับต้องการแบ่งแบบสัดส่วนแบบใด ในที่นี่จะขอยกตัวอย่างแบ่งแบบ Octave bandwidth ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าขอบเขตบน และ ล่างของการแบ่งช่วงความถี่แบบสัดส่วนแบบ Octave bandwidth

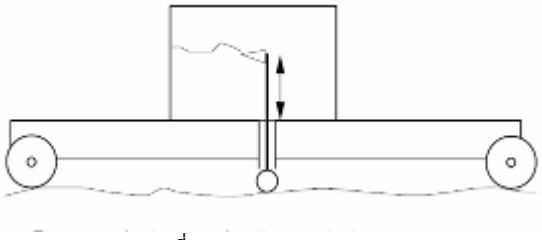
$n_l(i)$ (cycle/m)	$n_c(i)$ (cycle/m)	$n_h(i)$ (cycle/m)
0.001381	0.001953	0.002762
0.002762	0.003906	0.005524
0.005524	0.007813	0.011049
0.011049	0.015625	0.022097
0.022097	0.03125	0.044194
0.044194	0.0625	0.088388
0.088388	0.125	0.176777
0.176777	0.25	0.353553
0.353553	0.5	0.707107
0.707107	1	1.414214
1.414214	2	2.828427

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $G_d(\Omega_0)$ และประเภทของถนน

ประเภทของถนน	ระดับความขรุขระ $G_d(\Omega_0)$ x10^{-6} m^3		
	ขอบเขตล่าง	ค่ากลาง	ขอบเขตบน
A	-	1	2
B	2	4	8
C	8	16	32
D	32	64	128
E	128	256	512
F	512	1024	2048
G	2048	4096	8192
H	8192	16384	-

2.3 การออกแบบอุปกรณ์ในการวัดลักษณะของถนน [2]

ในการวัดความขรุขระของถนนครั้งนี้เราได้เลือกใช้วิธีการที่เรียกว่า Rolling straightedge ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 Rolling straightedge

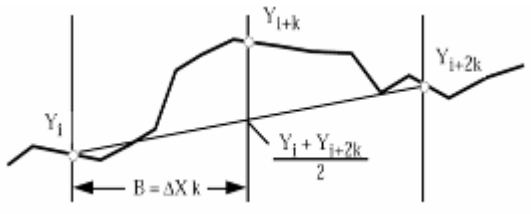
Rolling straightedge เป็นอุปกรณ์ที่วัดความสูงที่อยู่ตรงกลางของฐานเทียบกับล้อปลายทั้ง 2 จุด เป็นไปดังสมการที่ 9 และแผนภูมิภาพในรูปที่ 2

$$SE_i = \frac{1}{2}(Y_i - 2Y_{i+k} + Y_{i+2k}) \quad (9)$$

SE_i คือ ผลต่างของระยะทางที่ล้อกลางเคลื่อนที่กับส่วนของฐาน

Y_i คือ ค่าความสูงของถนนที่ตำแหน่งใดๆ

K คือ ดัชนีวัดจุดต่างๆของถนน



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ของจุดต่างๆ ในสมการที่ 9

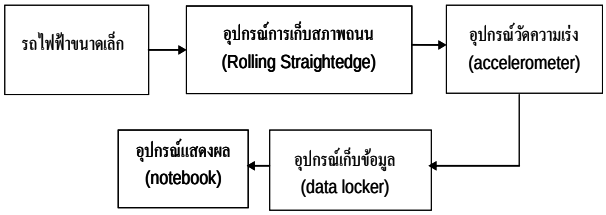
โดยในการทดลองครั้งนี้จะใช้ Accelerometer วัดสเปคตรัมความเร่งที่เกิดขึ้นจากนั้นแปลงค่ามาเป็นสเปคตรัมของการขจัดที่ตำแหน่งของล้อกลางโดยคำนวณจาก ตามสมการที่ 5,6 และ 7

ในส่วนการออกแบบนั้น เนื่องจากจุดประสงค์เพื่อการนำไปใช้ในการออกแบบรถกอล์ฟ ดังนี้จึงออกแบบความยาวยาวกว่ารถกอล์ฟเล็กน้อย คือ ฐานมีขนาดยาว 2 m ล้อหน้า 2 ล้อเป็นล้อแคสเตอร์ทำให้เลี้ยวโค้งได้ และเพื่อให้ล้อกลางสำหรับการวัดการตุ้นจากถนนติดพื้นถนนตลอดเวลา จึงมีการติดสปริงที่ตำแหน่งดังภาพที่ 3 ส่วนล้อหลังเป็นล้อธรรมดา แต่ละล้อมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 cm

รูปที่ 3 แสดงลักษณะของ Rolling straightedge และตำแหน่งสปริง

3. วัสดุและอุปกรณ์

อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการเก็บข้อมูลลักษณะถนนแสดงไว้ในแผนผังการเชื่อมต่ออุปกรณ์ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผนผังการประกอบอุปกรณ์การเก็บข้อมูลสภาพถนน

รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลมีดังนี้

1. รถกอล์ฟ สำหรับลากอุปกรณ์เก็บสภาพถนนด้วยความเร็วคงที่เนื่องจากขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้าการควบคุมความเร็วจึงทำได้โดยง่าย ควบคุมความเร็วด้วยชุดกล่องควบคุม ให้แล่นด้วยความเร็วคงที่ 12 km/h (รูปที่ 5 ซ้าย)

รูปที่ 5 รถกอล์ฟที่ใช้ในการทดลอง (ซ้าย) การติดตั้งติดกับ rolling straightedge (ขวา)

2. อุปกรณ์เก็บสภาพถนน จะใช้อุปกรณ์ Rolling straightedge ตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.3 ซึ่งจะติดกับตัวรถกอล์ฟ โดยใช้หลักการของ Universal joint เพื่อให้เคลื่อนตัวอย่างอิสระสามารถเลี้ยวคงไปตามสนามกอล์ฟได้ ดังรูปที่ 5 (ขวา)
3. อุปกรณ์วัดความเร่ง ซึ่งเป็น Accelerometer แบบ piezoelectric type ซึ่งมีความถี่ธรรมชาติที่สูงเหมาะสำหรับวัดความเร่งที่มีความถี่ต่ำ ติดตั้งตามตำแหน่งดังรูปที่ 6
4. อุปกรณ์เก็บข้อมูล เป็น data locker ของ Dewetron แสดงตำแหน่งการติดตั้งดังรูปที่ 6

รูปที่ 6 ภาพตำแหน่งการวาง data locker (ซ้าย) การติดตั้ง Accelerometer ติดกับ rolling straightedge (ขวา)

5. อุปกรณ์แสดงผล เป็น notebook สำหรับพกพา

รูปที่ 7 ภาพแสดงตำแหน่งการติดของอุปกรณ์ต่างๆ หมายเลขเรียงตามอุปกรณ์ในข้างต้น

4. ขั้นตอนวิธีการดำเนินงาน

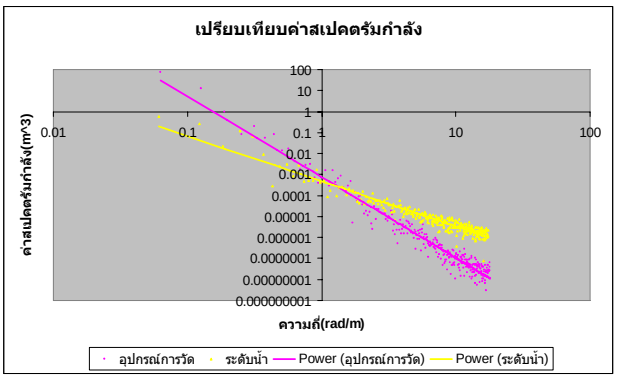
4.1 ศึกษาพฤติกรรมการขับขี่ของผู้ใช้รถกอล์ฟในสนามกอล์ฟ

ในการศึกษาลักษณะของถนนนั้นจะเน้นไปที่พฤติกรรมการขับขี่ของผู้ใช้รถกอล์ฟในสนามกอล์ฟพบว่าผู้ใช้ขับขี่เป็นระยะทางสั้นๆ และเส้นทางการวิ่งส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณถนนที่ได้ทำไว้เพื่อการวิ่งของรถกอล์ฟโดยเฉพาะ

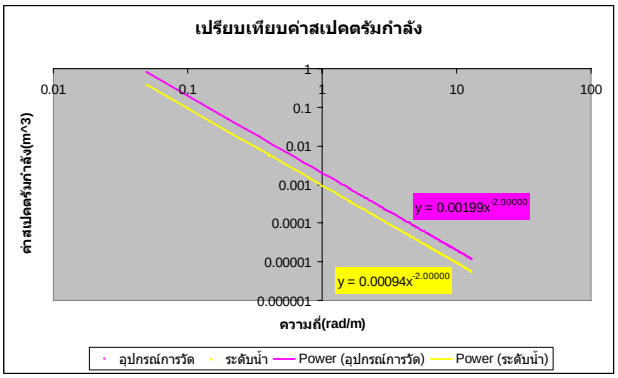
4.2 สอบเทียบอุปกรณ์เก็บข้อมูลสภาพถนน กับ สภาพถนนจริงจากการวัดระดับน้ำ

ผลจากการศึกษาและสอบเทียบอุปกรณ์เก็บข้อมูลสภาพถนน กับ สภาพถนนจริงจากการวัดระดับน้ำ โดยผ่านกระบวนการ Fast Fourier Transforms (FFT) และกระบวนการในหัวข้อ 2.2 เพื่อหาค่าสเปคตรัมกำลังพบว่าค่าสเปคตรัมกำลังที่ได้จากอุปกรณ์วัดนั้นจะมีค่า w ใกล้เคียง -3.8 ตามรูปที่ 8 และเมื่อทอนข้อมูลในรูป Octave band และใช้วิธีกำลัง 2 น้อยที่สุดปรับให้ค่า w มีค่าเท่ากับ -2 จะได้ผลตามรูปที่ 9 ผลที่ได้พบว่าการวัดด้วยความถี่ 1000 Hz จะให้ค่า

สเปคตรัมกำลังที่ได้ใกล้เคียงกับการวัดด้วยระดับน้ำ และจากตารางที่ 2 เราพบว่าค่าความผิดพลาดนี้จะไม่เกิน 1 เกรดของถนน และสามารถนำมาใช้เป็นค่าเผื่อในการออกแบบ



รูปที่ 8 เปรียบเทียบค่าสเปคตรัมกำลังจากอุปกรณ์วัดและจากการวัดด้วยระดับน้ำ



รูปที่ 9 เปรียบเทียบค่าสเปคตรัมกำลังจากอุปกรณ์วัดและจากการวัดด้วยระดับน้ำโดยผ่านกระบวนการตาม ISO 8608 แล้ว

4.3 เก็บสภาพถนนในสนามกอล์ฟแบ่งประเภทถนน

ในขั้นตอนนี้เราได้เลือก สนามกอล์ฟเป้าหมาย 2 สนาม คือ สนามกอล์ฟไทยพัฒนาสปอร์ตคลับ และสนามกอล์ฟพาย เฮิร์ต โดยจะแบ่งช่วงของถนนโดยการสังเกตก่อนจากนั้น วัดค่าความเร่งที่เกิดขึ้นนำมาคำนวนเป็นค่าสเปคตรัมกำลังของถนน โดยการสังเกตและการทดลองซึ่งเราสามารถจัดรูปแบบได้ ประมาณ 3 รูปตามชนิดและสภาพของถนนได้ดังนี้

1. เขตทางคอนกรีตไม่ได้ราดยาง ซึ่งไม่สามารถสังเกตคลื่นความถี่ต่ำได้อย่างชัดเจน ดังรูปที่ 10 ค่าสเปคตรัมกำลังที่จุดอ้างอิงวัดได้ อยู่ระหว่าง 1100 – 2900 cm^3 คิดเป็นร้อยละ 63.88 ของที่วัดมาทั้งหมด

รูปที่ 10 ลักษณะของถนนคอนกรีตไม่ได้ราดยาง

2. เขตทางคอนกรีตไม่ได้ราดยาง สามารถสังเกตเนินหรือคลื่นความถี่ต่ำได้ชัดเจน ดังรูปที่ 11 ค่าสเปคตรัมกำลังที่จุดอ้างอิงวัดได้ อยู่ระหว่าง 2900 – 4700 cm^3 คิดเป็นร้อยละ 29.86 ของที่วัดมาทั้งหมด

รูปที่ 11 ถนนคอนกรีตไม่ได้ราดยางที่สังเกตคลื่นความถี่ต่ำได้

3. เขตทางขรุขระ เป็นบริเวณถนนที่ไม่ได้มีการเทคอนกรีตใช้อิฐปูพื้นทำทางหรือบริเวณสะพานเป็นไม้วางขวาง ดังรูปที่ 12 ค่าสเปคตรัมกำลังที่จุดอ้างอิงที่วัดได้มีค่ามากว่า 4700 cm^3 คิดระยะทางเป็นร้อยละ 6.25 ของที่วัดมาทั้งหมด

รูปที่ 12 ลักษณะของถนนที่เป็นสะพานไม้วางขวาง (ซ้าย) และ อิฐปูพื้น (ขวา)

4.4 สร้างสมการในการกำหนดจำลองถนนตามฐานนิยมของสภาพถนนที่ได้รวบรวมไว้

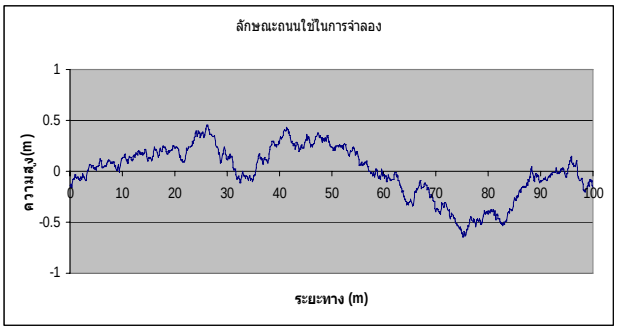
จากข้อมูลในข้อ 4.3 เราสามารถจำลองสภาพถนนที่ได้เจอบ่อยที่สุด พบว่าสภาพถนนที่เจอเป็นถนนที่มีค่าสเปคตรัมกำลังที่ความถี่อ้างอิง (1 rad/m) มีค่าอยู่ระหว่าง 1100 – 2900 cm^3 ด้วยเหตุนี้เองจึงเลือกสมการที่ใช้ในการออกแบบรถกอล์ฟ มีค่าอยู่ที่ประมาณ 2000 cm^3 ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการของค่าสเปคตรัมกำลังที่เป็นฟังชั่นความถี่ได้ดังนี้

$$G_d(\Omega) = 0.002.(\Omega)^{-2} \qquad (10)$$

5. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองที่ได้

จากการทดลองที่ได้เราพบว่าสภาพถนนส่วนใหญ่นั้นจัดอยู่ในประเภทถนนเกรด G และมีสมการของค่าสเปคตรัมกำลังดังสมการที่ 10 ส่วนการออกแบบลักษณะของถนนนั้นขึ้นกับสภาพการใช้งานว่าใช้ในช่วงความถี่และความเร็วใด ในที่นี้จะขอแสดงการออกแบบตัวอย่างของลักษณะถนนตามสมการที่ 10 ดังรูปที่ 13 เป็นระยะทาง 100 m และความถี่แต่ละจุดอยู่ที่ 0.1 m โดยการแปลงค่ากลับมาเป็นสัญญาณเชิงระยะทาง

ผลจากการเก็บค่าลักษณะถนนที่ผ่านมาพบว่าถนนในสนามกอล์ฟเป็นถนนที่ค่อนข้างมีการกระตุ้นจากถนนที่รุนแรง เนื่องจากลักษณะสนามมีเนินและมีคลื่นในช่วงความถี่ต่ำมาก การออกแบบระบบรองรับที่ดีจึงมีความสำคัญในการขับขี่รถกอล์ฟ



รูปที่ 13 แสดงตัวอย่างลักษณะถนนตามสมการที่ 10

6. ข้อเสนอแนะ

ในการทำการทำการวิจัยครั้งนี้จะเลือกสนามกอล์ฟ มาใช้ในการทำการเก็บค่าอยู่ 2 สนามซึ่ง ยังถึงว่าต้องการข้อมูลของสนามกอล์ฟอื่นๆอีกมากเพื่อให้ได้ค่าในการคำนวณถูกต้องแม่นยำมากกว่านี้ อีกทั้งวิธีการ rolling straightedge นั้นใช้อุปกรณ์วัดความเร่งในการคำนวณค่าความขรุขระของถนน ซึ่งหากเป็นไปได้ควรลองใช้อุปกรณ์ที่วัดระยะทางจากนั้นเทียบเคียงข้อแตกต่างกัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท TS Vehicle Tech Co., Ltd. และ ทีมวิศวกรสำหรับทุนและการสนับสนุนงานวิจัย

ขอขอบคุณ สนามกอล์ฟ ไทยพัฒนาสปอร์ตคลับ จังหวัดชลบุรี และสนามกอล์ฟ ซัมมิทไพร์เฮิร์ส กอล์ฟ แอนท์ คันทรี คลับ จังหวัดปทุมธานี สำหรับสถานที่ในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ อ. ฉัตรชัย หงษ์อุเทน และ อ. ศุภวุฒิ จันทรานุวัฒน์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาในการทำงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. ISO 8608: 1995 , Mechanical vibration – Road surface profiles – Reporting of measured data.
2. Michael W. Sayers and Steven M. Karahas.,The Little Book of Road Profiling, University of Michigan1998,
3. ฉัตรชัย หงษ์อุเทน., กลศาสตร์ยานยนต์ 2 (Vehicle Dynamics 2). ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2549
4. Supavut Chantranuwathana., Automotive Controls Class Note For 2103408, Mechanical Engineering department, Chulalongkorn University, 2003