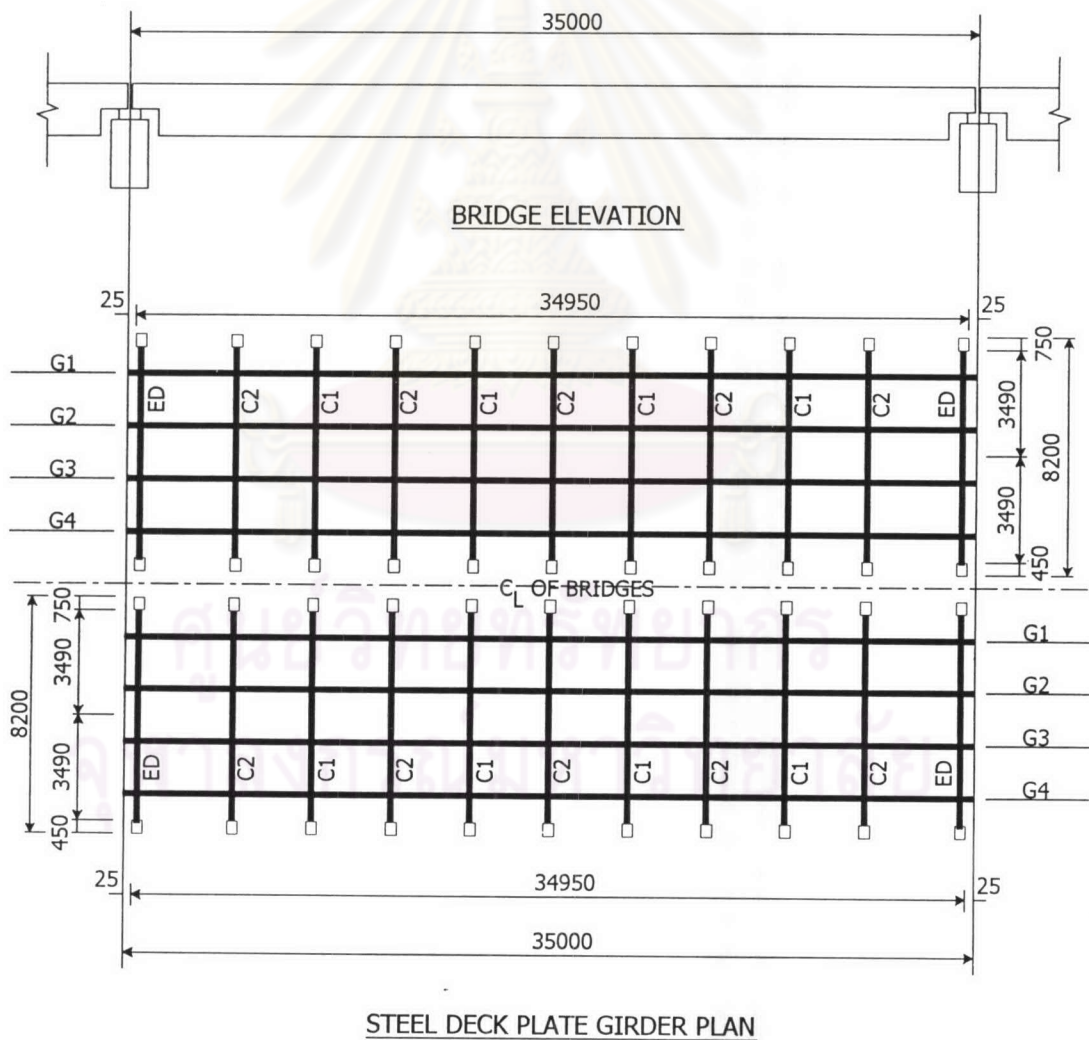


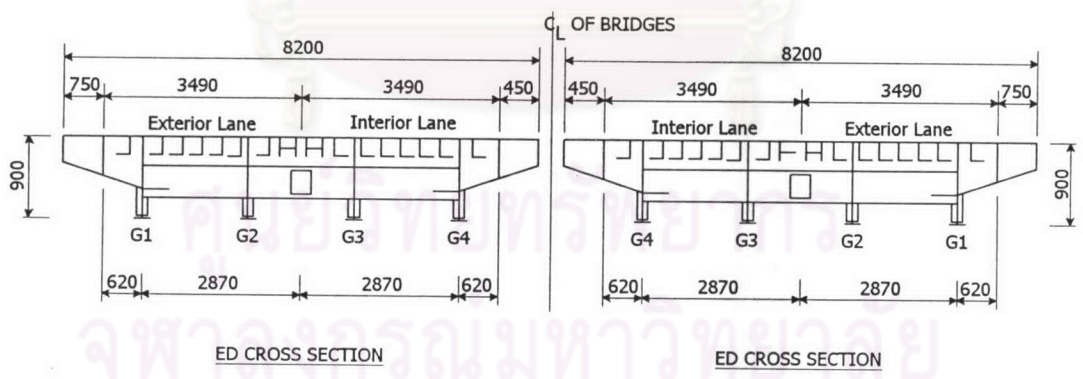
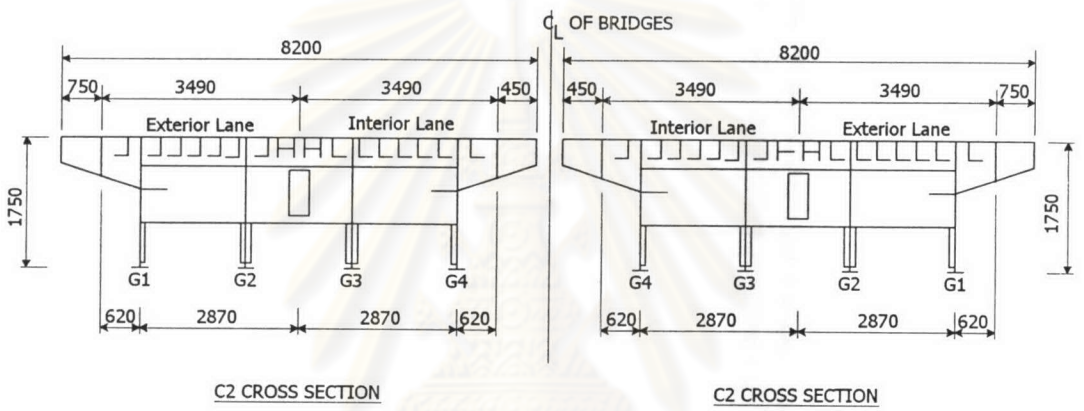
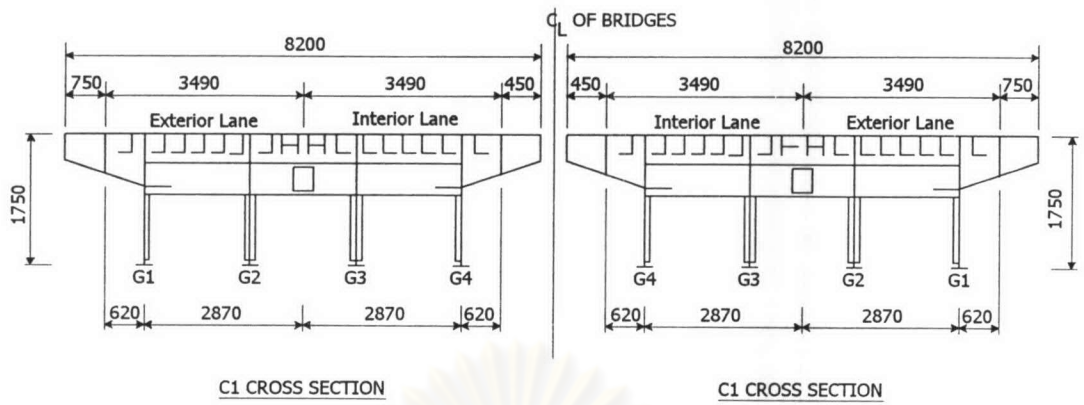
### บทที่ 3

#### การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ใช้ในการสร้างความเครียด

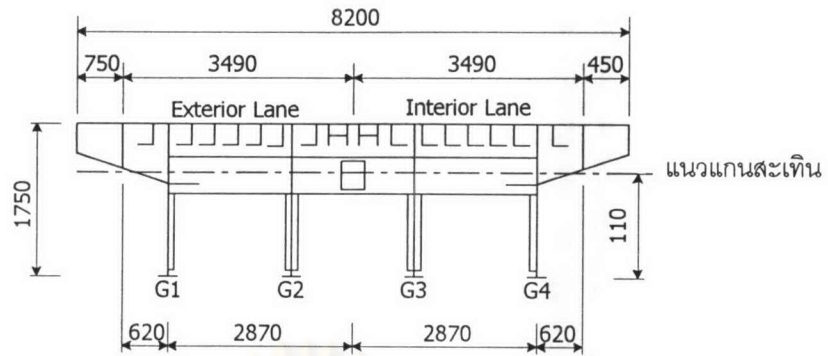
ในบทนี้จะทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ได้จากบทที่ 2 โดยทำการตรวจสอบการโก่งตัวของสะพาน ตรวจสอบสัญญาณความเครียด และตรวจสอบการสั่นไหวของรถ ซึ่งงานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้สะพานข้ามทางแยกรัชโยธินเป็นกรณีศึกษา (Boonchu : 1998) ซึ่งมีรายละเอียดดังรูปที่ 3.1 - 3.3 โดยที่คุณสมบัติต่างๆของทั้งสะพานและรถบรรทุกมีค่าดังนี้คือ ความถี่ธรรมชาติของสะพานในโหมดการดัดโหมดที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 3.2, 12.8 และ 28.8 Hz ตามลำดับ ความถี่ธรรมชาติของสะพานในโหมดการบิดโหมดที่ 1 เท่ากับ 2.5 Hz สัดส่วนความหน่วงของสะพานในโหมดเท่ากับ 0.01 สติฟเนสของเพลาน้ำ ( $k_f$ ) เพลาลัง ( $k_r$ ) และความหน่วงของเพลาน้ำ ( $c_f$ ) เพลาลัง ( $c_r$ ) ของรถบรรทุกเท่ากับ  $0.635 \times 10^6$  N/m,  $6.345 \times 10^6$  N/m,  $1.31 \times 10^4$  N.s/m และ  $5.66 \times 10^4$  N.s/m ตามลำดับ



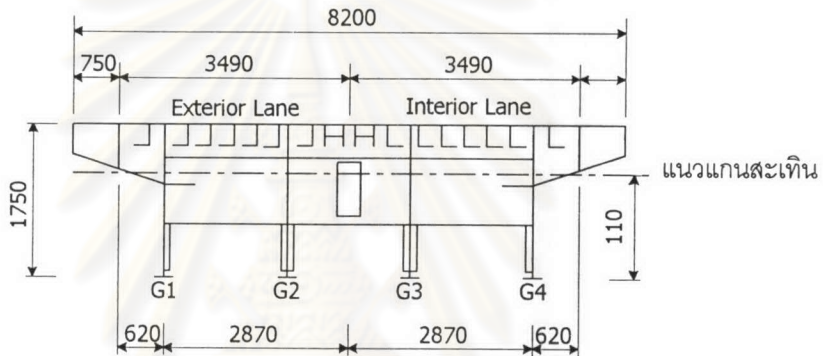
รูปที่ 3.1 รูปด้านข้างและผังของสะพานข้ามทางแยกรัชโยธิน (หน่วย มิลลิเมตร)



รูปที่ 3.2 รูปตัดของส่วน C1, C2 และ ED (หน่วย มิลลิเมตร)



C1 CROSS SECTION



C2 CROSS SECTION

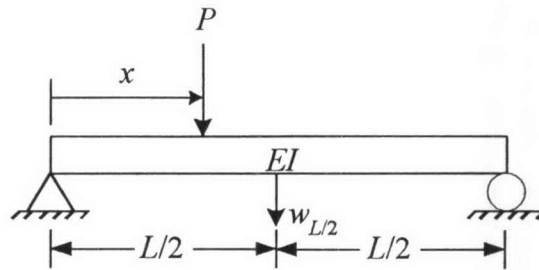
รูปที่ 3.3 ตำแหน่งแนวแกนสะพานของส่วน C1 และ C2 (หน่วย มิลลิเมตร)

### 3.1 การตรวจสอบการโก่งตัวของสะพาน

ซึ่งการตรวจสอบแบ่งออกเป็น การตรวจสอบทางสถิติ และการตรวจสอบทางพลศาสตร์ โดยที่การตรวจสอบทางพลศาสตร์จะพิจารณาผลของความขรุขระของผิวบนสะพาน แนวการเคลื่อนที่ของรถ และความเร็วของรถ

#### 3.1.1 การตรวจสอบทางสถิติ

สมการการโก่งตัวที่ตำแหน่งตรงกลางของคานที่มีจุดรองรับแบบธรรมดา (simple supports) เมื่อมีน้ำหนักมากระทำที่ระยะ  $x$  ใดๆ เมื่อวัดจากปลายด้านซ้ายของคานดังรูปที่ 3.4 จะได้ว่า

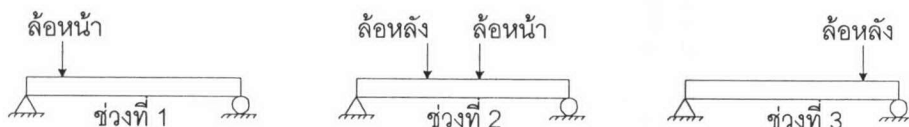


รูปที่ 3.4 แบบจำลองของคานที่มีจุดรองรับแบบธรรมดา

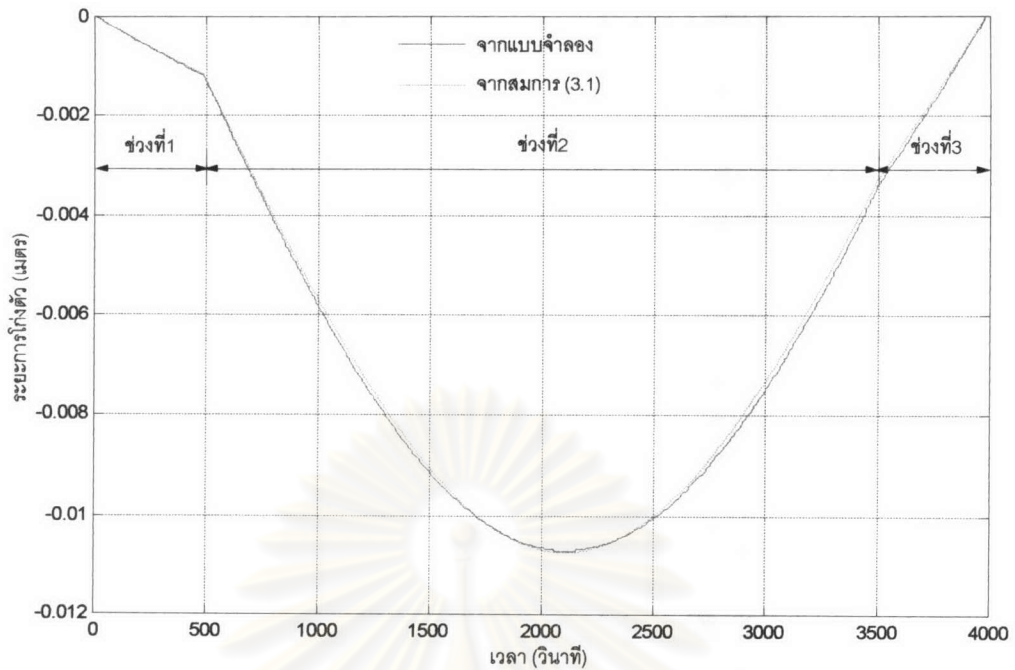
$$w_{L/2} = \begin{cases} \frac{P}{6EI} \left[ \left(\frac{L}{2} - x\right)^3 + \frac{3L^2}{8} (L - x) - \frac{1}{2} (L - x)^3 \right] & \text{เมื่อ } 0 < x < \frac{L}{2} \\ \frac{P(L - x)}{12EI} \left[ \frac{3L^2}{4} - (L - x)^2 \right] & \text{เมื่อ } \frac{L}{2} < x < L \end{cases} \quad (3.1)$$

จากแบบจำลองที่ได้นำเสนอขึ้นมา นั้น เราจะกำหนดให้รถมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว  $v$  ดังนั้นถ้ากำหนดให้รถเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว น้อยมาก ผลที่ได้จากแบบจำลองก็จะเปรียบเสมือนการนำรถไปวางไว้ยังจุดต่างๆ บนสะพานในทางสถิติ โดยเราจะทำการตรวจสอบการโก่งตัวของจุดกึ่งกลางของคานที่เวลา  $t$  ใดๆ โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

- 3.1.1.1 กำหนดให้รถเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 0.01 เมตร/วินาที ในแนวกลางของสะพาน (เพื่อให้สะพานเกิดการโก่งตัวเนื่องจากการตัดเท่านั้น) บนถนนเรียบโดยสมมติว่าไม่มีความขรุขระเพื่อลดผลของพลศาสตร์ โดยมีระยะห่างระหว่างเพลหน้าและเพลหลังเท่ากับ 4.8 เมตร สะพานยาว 35 เมตร กว้าง 8.2 เมตร
- 3.1.1.2 กำหนดให้เวลาที่ล้อหน้าเริ่มเข้ามาบนสะพานเท่ากับ 0 วินาที ดังนั้นเราสามารถแบ่งการเคลื่อนที่ของรถออกเป็น 3 ช่วงคือ ช่วงที่ 1 ช่วงที่ล้อหน้าอยู่บนสะพานเพียงล้อเดียว ช่วงที่ 2 ช่วงที่ล้อหน้าและล้อหลังอยู่บนสะพาน และช่วงที่ 3 ช่วงที่ล้อหลังอยู่บนสะพานเพียงล้อเดียว ซึ่งเวลาที่ล้อหลังเริ่มเข้ามาในสะพาน เท่ากับ 480 วินาที เวลาที่ล้อหน้าออกจากสะพานเท่ากับ 3500 วินาที และเวลาที่ล้อหลังออกจากสะพานเท่ากับ 3980 วินาที ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.5 และ 3.6
- 3.1.1.3 เขียนกราฟตามสมการ (3.1) โดยเปลี่ยนแกนพิกัดระยะทาง  $x$  ใดๆ เป็นแกนพิกัดเวลา  $t$  ใดๆ แล้วทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลองที่นำเสนอขึ้นมา



รูปที่ 3.5 การเข้ามาบนสะพานของล้อหน้าและล้อหลังในแต่ละช่วง



รูปที่ 3.6 กราฟเปรียบเทียบการโก่งตัวที่จุดกึ่งกลางคาน ณ เวลาใดๆ ระหว่างแบบจำลองกับสมการ (3.1)

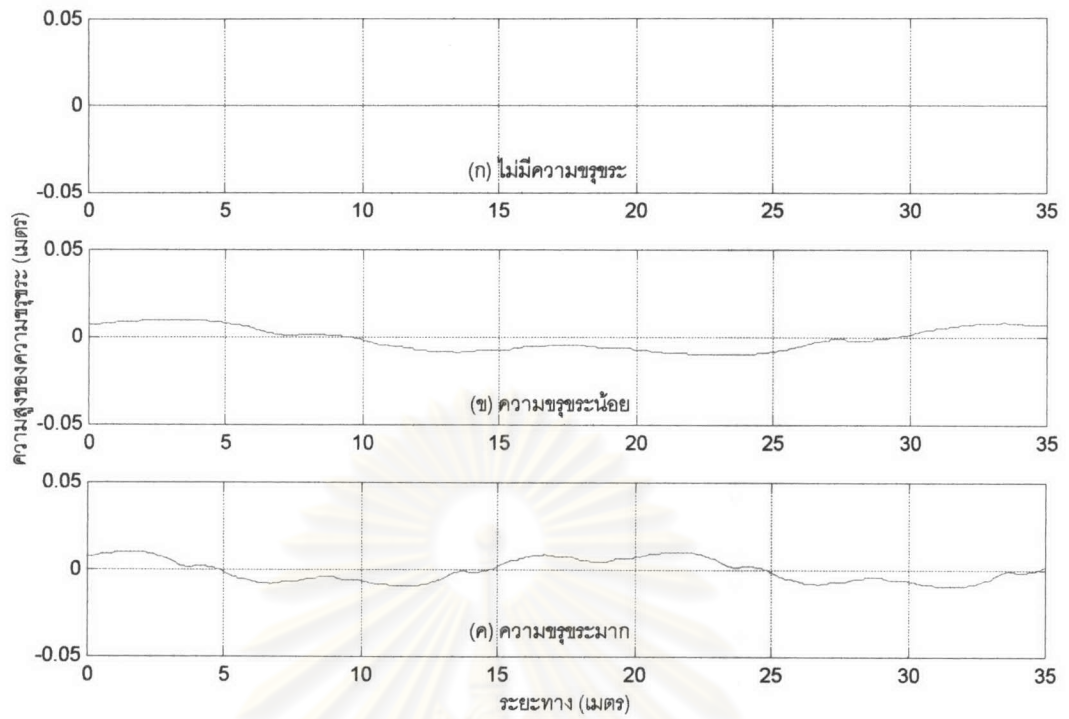
จากรูปที่ 3.6 จะเห็นได้ว่าผลที่ได้จากสมการ (3.1) กับผลที่ได้จากแบบจำลองเกือบจะซ้อนทับกันพอดี แสดงว่าแบบจำลองที่นำเสนอขึ้นมา มีความน่าเชื่อถือในการตรวจสอบทางสถิติ

### 3.1.2 การตรวจสอบทางพลศาสตร์

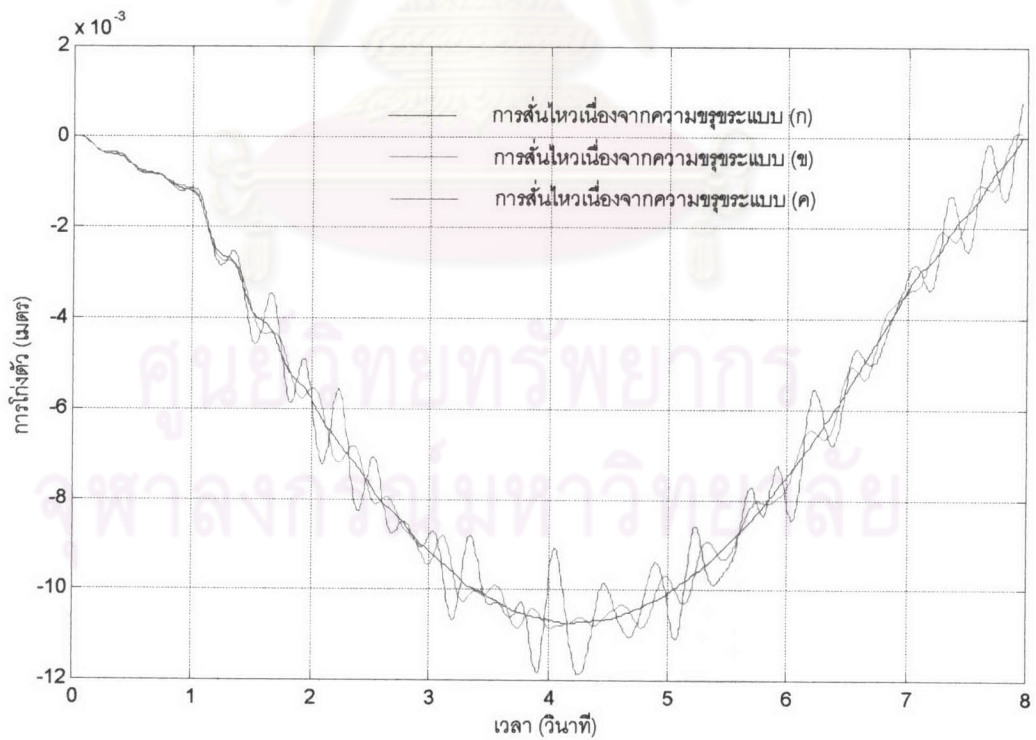
เราจะศึกษาถึงผลของความขรุขระของผิวบนสะพาน แนวการเคลื่อนที่ของรถ ความเร็วของรถว่าจะมีผลอย่างไรต่อการโก่งตัวของสะพาน ซึ่งเราจะพิจารณาที่จุดกึ่งกลางของคาน G1 และ G4

#### 3.1.2.1 พิจารณาผลการโก่งตัวของสะพานเนื่องมาจากความขรุขระของผิวบนสะพาน

ในหัวข้อนี้จะกำหนดให้รถเคลื่อนที่ในแนวกลางของสะพานด้วยความเร็ว 5 เมตร/วินาที บนผิวทางที่มีความขรุขระแบบต่างๆ ตามรูปที่ 3.7 การโก่งตัวของสะพานที่จุดกึ่งกลางเมื่อเวลาใดๆ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.8 โดยที่การสั่นไหวของสะพานที่มีความขรุขระจะมีการกระจายตัวรอบการสั่นไหวของสะพานที่ไม่มีความขรุขระ และที่ความขรุขระมากขึ้นการสั่นไหวก็จะมีค่ามากขึ้นซึ่งจากรูปที่ 3.8 การสั่นไหวของสะพานที่มีความขรุขระมากจะมีค่าประมาณ 12% ของการสั่นไหวของสะพานที่ไม่มีความขรุขระ



รูปที่ 3.7 หน้าข้างความขรุขระของผิวถนนบนสะพานในแบบต่างๆ

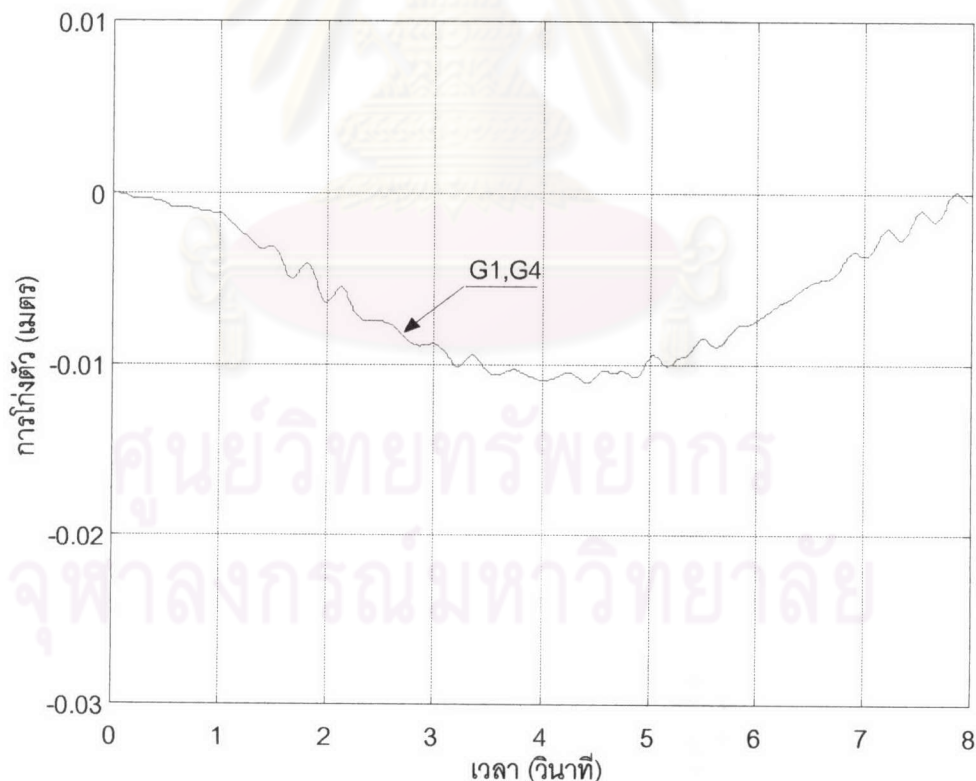


รูปที่ 3.8 การสั่นไหวของสะพานที่จุดกึ่งกลาง ณ เวลาใดๆ เนื่องจากความขรุขระแบบต่างๆ

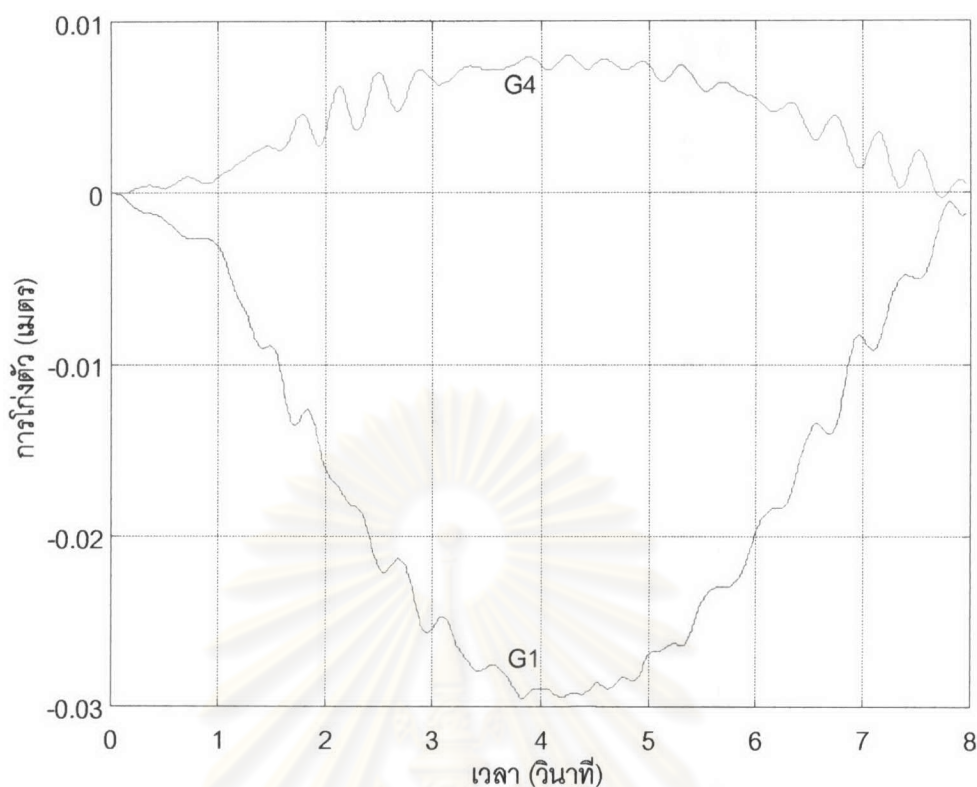
### 3.1.2.2 พิจารณาผลการโค้งตัวของสะพานเนื่องมาจากแนวการเคลื่อนที่ของรถ

ในหัวข้อนี้จะกำหนดให้รถเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 5 เมตร/วินาที บนผิวทางที่มีความขรุขระแบบรูป 3.7(ข) ที่ตำแหน่งแนวกลางและเลนนอกของสะพาน ซึ่งเมื่อรถวิ่งอยู่ในแนวกลางของสะพาน การสั่นไหวของสะพานควรจะเกิดจากโหมดการดัดเพียงอย่างเดียว จากรูปที่ 3.9 แสดงให้เห็นว่าการสั่นไหวที่จุดกึ่งกลางของคาน G1 ณ เวลาใดๆ จะเหมือนกับการสั่นไหวที่จุดกึ่งกลางของคาน G4 ณ เวลาใดๆ นั่นคือการสั่นไหวของสะพานเกิดจากโหมดการดัดเพียงอย่างเดียวโดยที่ไม่มีโหมดการบิดเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งสอดคล้องกับแบบจำลองที่ได้นำเสนอขึ้นมา

ในขณะที่เมื่อรถวิ่งอยู่เลนนอก (exterior lane) สะพานจะรับน้ำหนักแบบเยื้องศูนย์ ดังนั้นการสั่นไหวของสะพานเนื่องจากโหมดการดัดแล้ว ควรจะยังมีการสั่นไหวอันเนื่องมาจากโหมดการบิดอีกด้วย ซึ่งจากรูปที่ 3.10 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองได้รวมผลของการบิดของสะพานไว้ด้วย ดังแสดงได้จากคาน G1 มีการโก่งตัวลง ในขณะที่คาน G4 มีการโก่งตัวขึ้นซึ่งเป็นลักษณะการสั่นไหวเนื่องมาจากโหมดการบิดของสะพาน ซึ่งสอดคล้องกับแบบจำลองที่ได้นำเสนอขึ้นมา



รูปที่ 3.9 การโก่งตัวที่จุดกึ่งกลางของคาน G1 และคาน G4 ณ เวลาใดๆ เมื่อรถวิ่งอยู่ในแนวกลางของสะพาน ด้วยความเร็ว 5 เมตร/วินาที บนผิวทางที่มีความขรุขระแบบรูป 3.7(ข)



รูปที่ 3.10 การสั่นไหวที่จุดกึ่งกลางของคาน G1 และคาน G4 ณ เวลาใดๆ เมื่อรถวิ่งอยู่ในเลนนอกของสะพาน ด้วยความเร็ว 5 เมตร/วินาที บนผิวทางที่มีความขรุขระแบบรูป 3.7(ข)

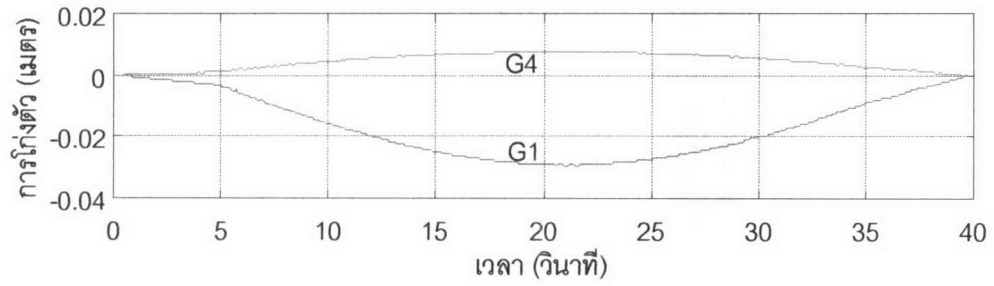
### 3.1.2.3 พิจารณาการโก่งตัวของสะพานเนื่องมาจากความเร็วของรถ

ในหัวข้อนี้จะกำหนดให้รถวิ่งในตำแหน่งเลนนอกของสะพานบนผิวทางที่มีความขรุขระแบบรูป 3.7(ข) ด้วยความเร็วต่างๆกัน คือ 1, 5, 10, 20 เมตร/วินาที และพิจารณาที่การโก่งตัว ณ ตำแหน่งตรงกลางของคาน G1 และคาน G4 เมื่อเวลาใดๆ จากรูปที่ 3.11(ก-ง) จะเห็นได้ว่า เมื่อความเร็วสูงขึ้นการสั่นไหว ณ ตำแหน่งตรงกลางของคาน G1 และคาน G4 เมื่อเวลาใดๆจะมีความถี่ของการสั่นไหวน้อยลง โดยที่คาน G1 จะมีการโก่งตัวลงและคาน G4 จะมีการโก่งตัวขึ้นซึ่งเหมือนกับที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

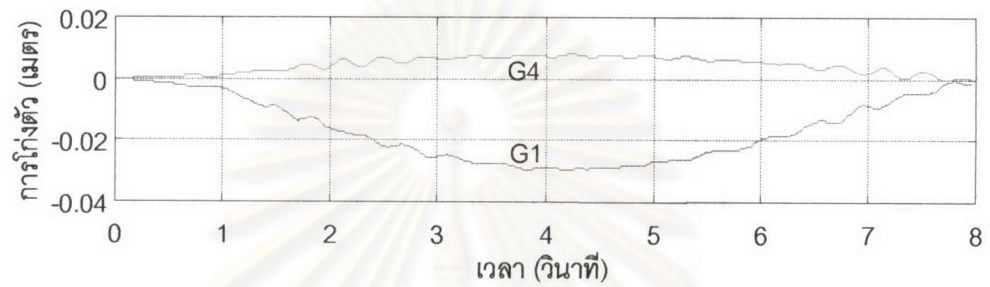
## 3.2 การตรวจสอบสัญญาณความเครียด

ทำการตรวจสอบโดยพิจารณาตัวแปรต่างๆ เช่นเดียวกับการตรวจสอบการโก่งตัวทางพลศาสตร์ ซึ่งจากรูปที่ 3.12 - 3.14(ก-ง) จะเห็นได้ว่าสัญญาณความเครียดที่ตำแหน่งกึ่งกลางของคาน G1 และ G4 ณ เวลาใดๆ จะมีรูปร่างลักษณะคล้ายกับการสั่นไหวที่ตำแหน่งกึ่งกลางของคาน G1 และคาน G4 ณ เวลาใดๆ ดังรูปที่ 3.9 - 3.11(ก-ง)

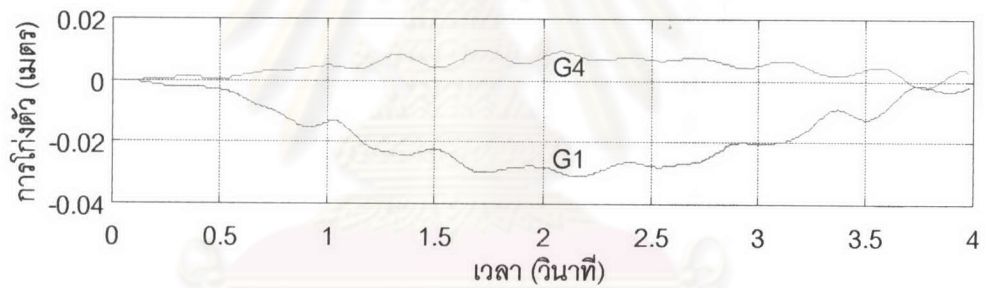




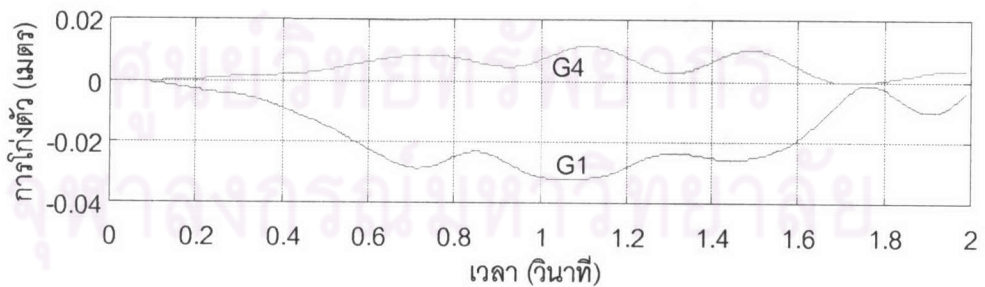
(ก) ความเร็วเท่ากับ 1 เมตร/วินาที



(ข) ความเร็วเท่ากับ 5 เมตร/วินาที

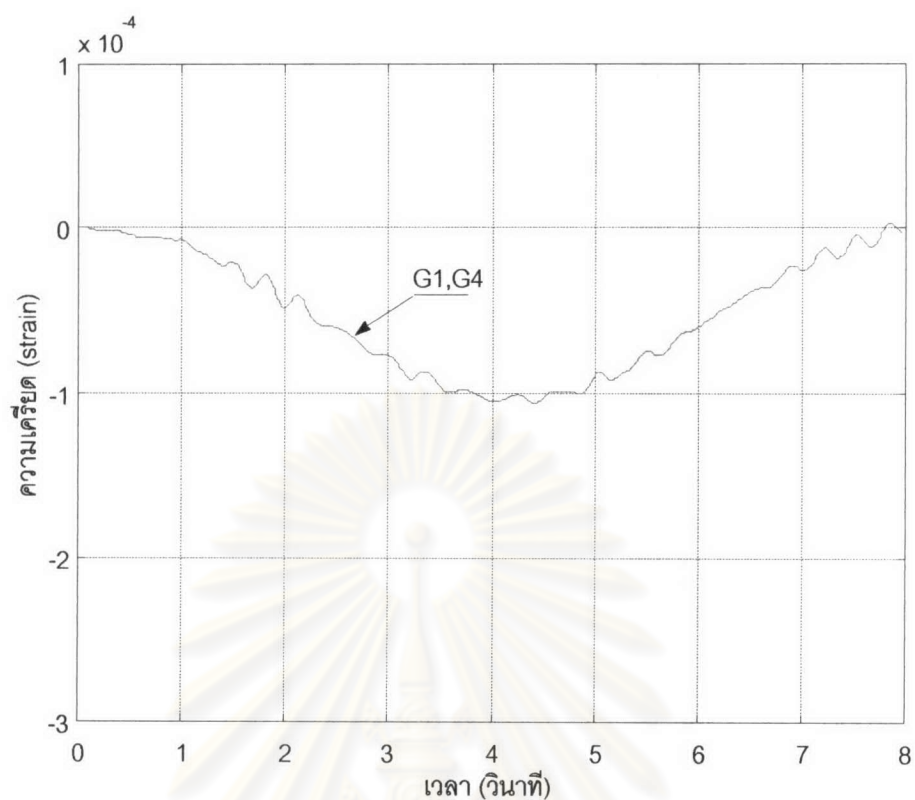


(ค) ความเร็วเท่ากับ 10 เมตร/วินาที

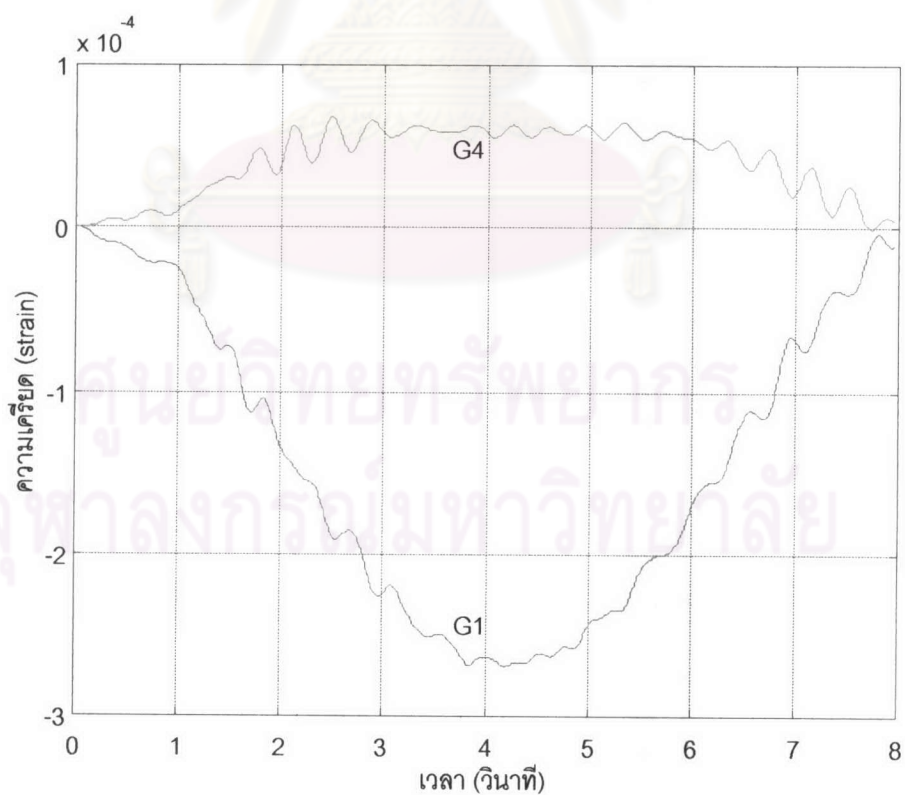


(ง) ความเร็วเท่ากับ 20 เมตร/วินาที

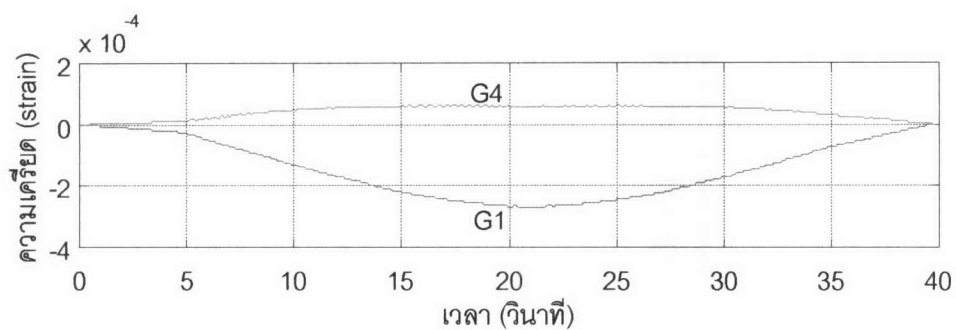
รูปที่ 3.11 การโก่งตัวที่จุดกึ่งกลางของคาน G1 และคาน G4 ณ เวลาใดๆ เมื่อรถวิ่งอยู่ในเลนนอกของสะพานบน  
 ผิวทางที่มีความขรุขระแบบรูป 3.7(ข) ด้วยความเร็วรถต่างๆกัน



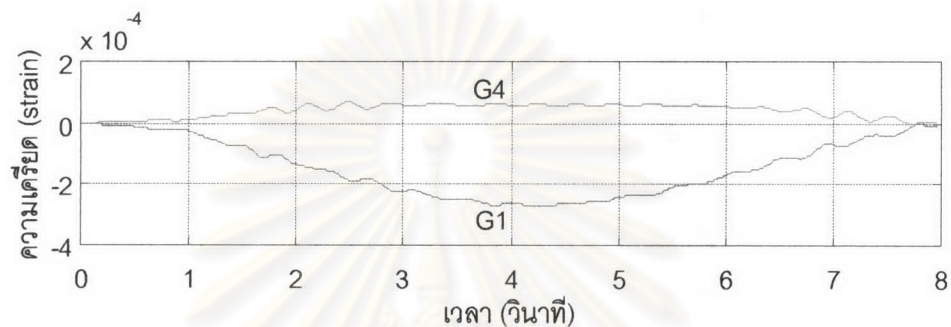
รูปที่ 3.12 ความเครียดที่จุดกึ่งกลางของห้องคาน G1 และ G4 ณ เวลาใดๆ เมื่อรถวิ่งอยู่ในแนวกลางของสะพานด้วยความเร็ว 5 เมตร/วินาที บนผิวทางที่มีความขรุขระแบบรูป 3.7(ข)



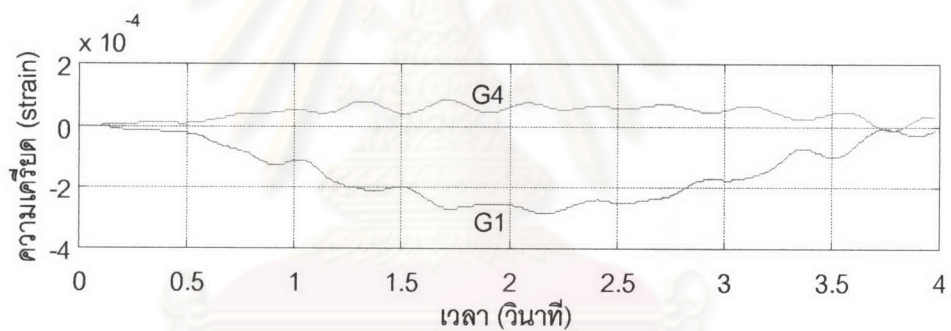
รูปที่ 3.13 ความเครียดที่จุดกึ่งกลางของห้องคาน G1 และ G4 ณ เวลาใดๆ เมื่อรถวิ่งอยู่ในเลนนอกของสะพานด้วยความเร็ว 5 เมตร/วินาที บนผิวทางที่มีความขรุขระแบบรูป 3.7(ข)



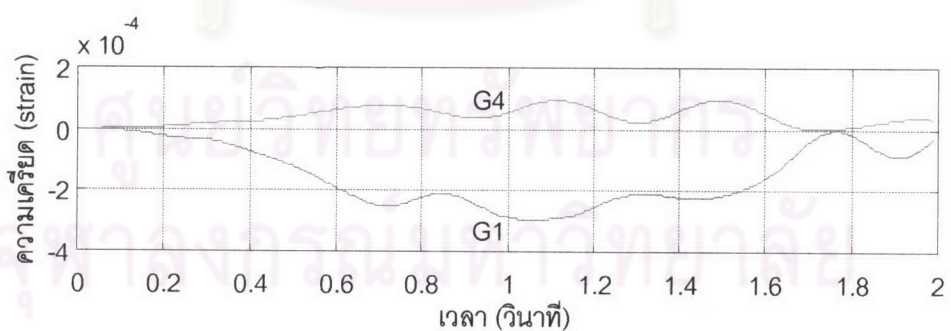
(ก) ความเร็วเท่ากับ 1 เมตร/วินาที



(ข) ความเร็วเท่ากับ 5 เมตร/วินาที



(ค) ความเร็วเท่ากับ 10 เมตร/วินาที



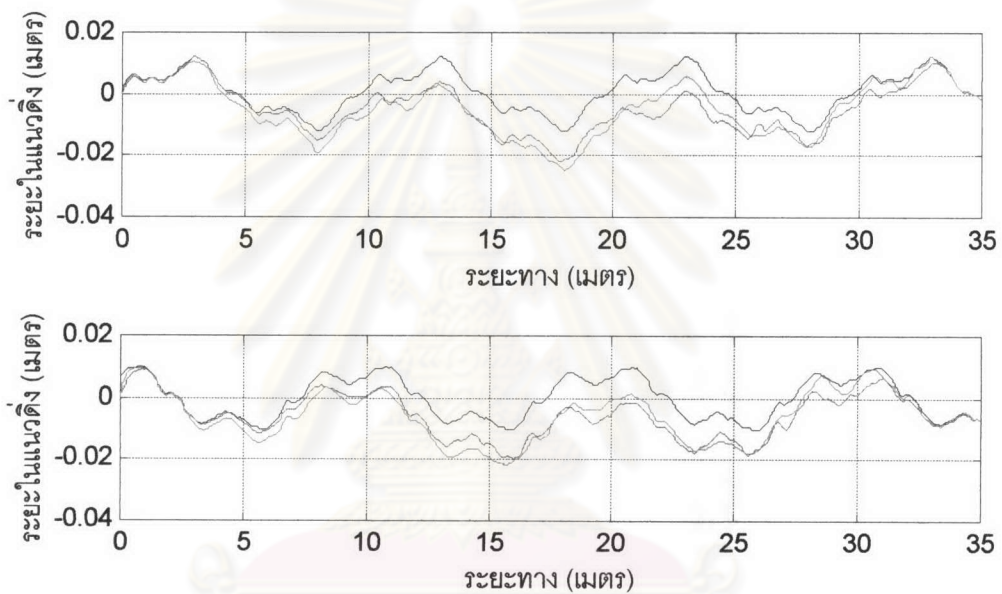
(ง) ความเร็วเท่ากับ 20 เมตร/วินาที

รูปที่ 3.14 ความเค้นที่จุดกึ่งกลางของห้องคาน G1 และ G4 ณ เวลาใดๆ เมื่อรถวิ่งอยู่ในเลนนอกของสะพาน  
บนผิวทางที่มีความขรุขระแบบรูป 3.7(ข) ที่ความเร็วรถต่างๆกัน

### 3.3 การตรวจสอบการสั่นไหวของรถ

เราจะศึกษาถึงความขรุขระของผิวบนสะพานและระบบเพลลาของรถ ที่มีผลต่อการกระจัดของรถ โดยจะพิจารณาที่ระดับชั้นความเร็วของรถซึ่งเราได้กำหนดไว้ในตอนต้นแล้วว่า มี 2 ระดับชั้นความเร็วคือ การกระจัดของรถที่ด้านหน้าและด้านหลัง

เมื่อเรากำหนดให้ค่าสถิติเฟนสและค่าความหน่วงของระบบเพลลาของรถมีค่าสูงมาก ดังนั้นเมื่อรถวิ่งไปบนถนนที่มีความขรุขระ การสั่นไหวของรถควรจะมีลักษณะรูปร่างคล้ายกับหน้าข้างความขรุขระของผิวถนน



รูปที่ 3.15 แสดงการกระจัดของรถที่ด้านหน้าและด้านหลังเปรียบเทียบกับหน้าข้างความขรุขระที่ระยะทางเดียวกันเมื่อกำหนดให้ค่าสถิติเฟนสและค่าความหน่วงของระบบเพลลาของรถมีค่าสูงมาก (— หน้าข้างความขรุขระ, —, — การกระจัดของรถที่ด้านหน้าและด้านหลังตามลำดับ)

จากรูปที่ 3.15 จะเห็นได้ว่าการกระจัดของรถที่ด้านหน้าและด้านหลังจะมีลักษณะรูปร่างคล้ายกับหน้าข้างความขรุขระของผิวถนน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่เสนอขึ้นมาี้มีความน่าเชื่อถือ