

### บทที่ 3

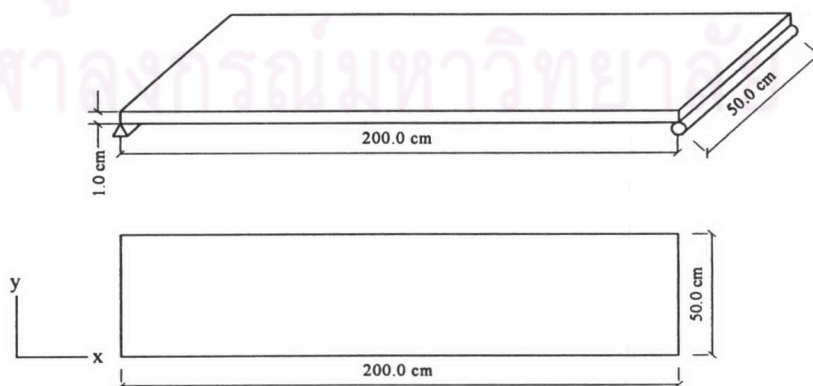
## การทดสอบการหาความเร็วและระยะห่างระหว่างเพลลาของรถที่เคลื่อนที่ผ่าน สะพานด้วยแบบจำลองย่อส่วน

จากหลักการการติดตามวัดความเครียดเพื่อนำมาใช้หาความเร็วและระยะห่างระหว่างเพลลาของรถที่กำลังเคลื่อนที่ผ่านสะพาน ที่ได้นำเสนอไปในบทที่ 2 นั้น จะเป็นวิธีการที่ได้จากการพิจารณาสัญญาณความเครียดที่วิเคราะห์ได้จากโปรแกรม LUSAS ซึ่งผลที่วิเคราะห์ได้นั้นจะเป็นไปตามทฤษฎีโครงสร้างแผ่น (Plate theory) ดังนั้นการที่จะนำวิธีการดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับสะพานจริงได้อย่างเหมาะสมนั้น จึงต้องทำการตรวจสอบด้วยการสร้างแบบจำลองย่อส่วนเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบค่าความเร็วและระยะห่างระหว่างเพลลาที่วิเคราะห์ได้กับค่าความเร็วและระยะห่างระหว่างเพลลาที่ตรวจวัดได้จริง

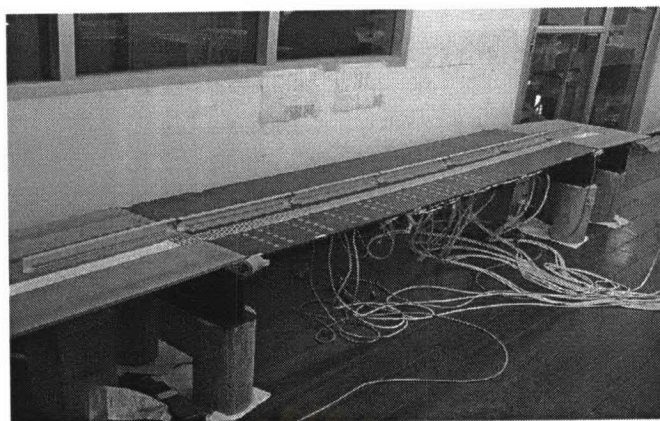
### 3.1 แบบจำลองย่อส่วนของสะพานชนิดแผ่นพื้นทางเดียว

เพื่อที่จะนำหลักการพร้อมทั้งวิธีการหาความเร็วและระยะห่างระหว่างเพลลาไปประยุกต์ใช้กับสะพานจริงได้อย่างเหมาะสมนั้น สะพานจำลองที่นำมาทำการทดสอบจึงต้องออกแบบให้มีสภาพใกล้เคียงกับสภาพการใช้งานจริงของสะพานจริง โดยเกณฑ์ในการออกแบบสะพานจำลองมีดังนี้คือ ระยะเวลาที่รถเคลื่อนที่ผ่านสะพานจะอยู่ในช่วง 2 ถึง 3 วินาที ค่าความเครียดสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อรถเคลื่อนที่ผ่านสะพานจะมีค่าอยู่ในช่วง 70 ถึง 100 ไมโครสเตรน และสะพานจะมีที่รองรับแบบธรรมดา ซึ่งแบบจำลองย่อส่วนของสะพานที่จะใช้ในการทดสอบนั้นจะมีรายละเอียดต่างๆ รวมไปถึงการติดตามวัดความเครียดเพื่อวัดค่าความเครียดที่เกิดขึ้น และอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลดังนี้

สะพานจำลอง ที่ทำการออกแบบเพื่อให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดนั้น จะเป็นสะพานเหล็กที่มีความกว้าง ความยาว และความหนา เท่ากับ 50 ซม. 200 ซม. และ 1 ซม. ตามลำดับ และจะมีที่รองรับเป็นแบบธรรมดา ซึ่งแบบจำลองย่อส่วนของสะพานดังกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ 3.1 และ รูปที่ 3.2

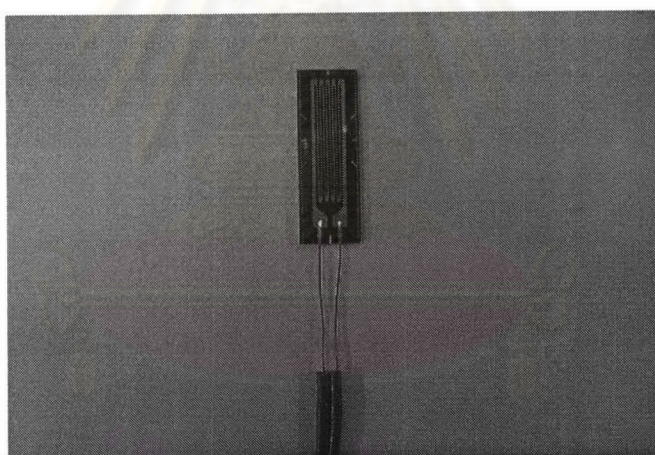


รูปที่ 3.1 แปลนขนาดและลักษณะของที่รองรับของแบบจำลองย่อส่วนของสะพาน



รูปที่ 3.2 แบบจำลองย่อส่วนของสะพานที่ใช้ในการทดสอบ

มาตรวัดความเครียด ที่ติดไว้ได้สะพานเพื่อใช้วัดค่าความเครียดที่เกิดขึ้นในทิศทางที่กำหนดนั้น ใช้มาตรวัดความเครียดชนิดความต้านทาน (Resistance strain gauge) ที่ทำมาจากโลหะแผ่นบางๆ ซึ่งค่าความต้านทานของมาตรวัดความเครียดจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีความเครียดเกิดขึ้นในตัวมาตรวัดความเครียด โดยมีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 3.3 และตารางที่ 3.1

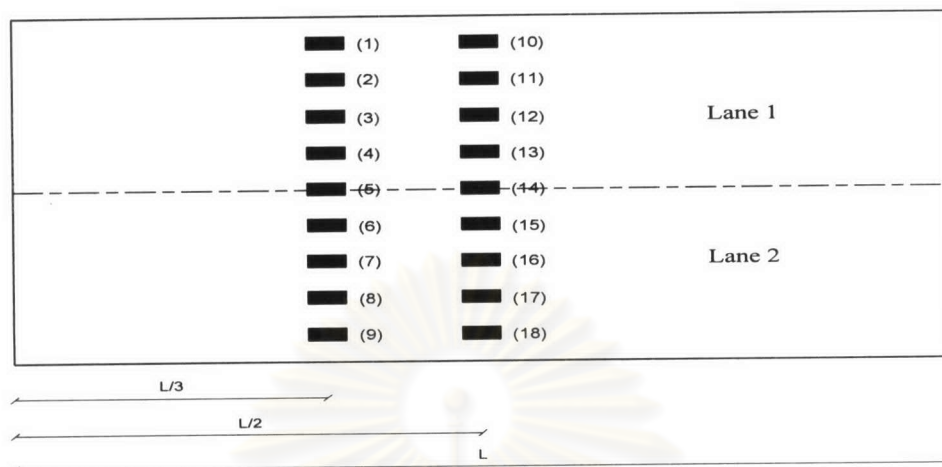


รูปที่ 3.3 มาตรวัดความเครียดที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ของมาตรวัดความเครียดที่ใช้ในการทดสอบ

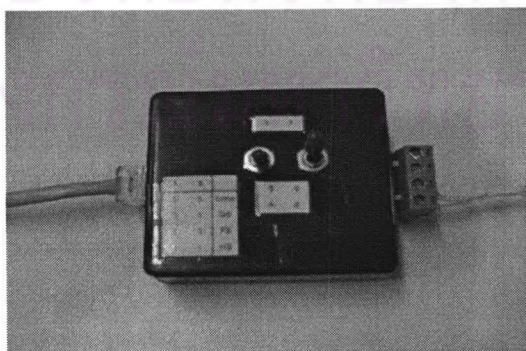
Type	Strain gage for steel
Gage length	5 mm.
Gage resistance (24 ° c)	120.4 ± 0.4 Ω
Gage factor (24 ° c)	2.09 ± 1.0 %
Adoptable thermal expansion	11.7 PPM/ ° c

โดยสะพานจำลองที่ใช้ในการทดสอบจะทำการติดมาตรวัดความเครียดบนหน้าตัด  $x=L/3$  ( $x=2/3$  ม.) และหน้าตัด  $x=L/2$  ( $x=1$  ม.) ซึ่งมีระยะห่างระหว่างมาตรวัดความเครียดแต่ละตัวเท่ากับ 5 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 3.4

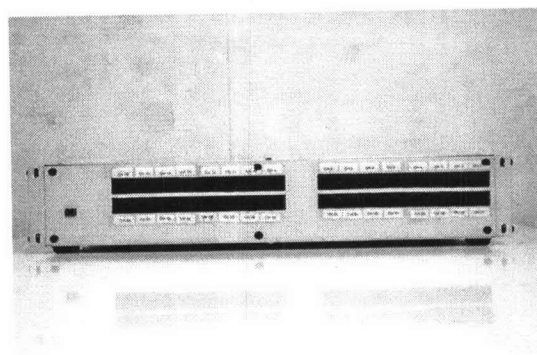
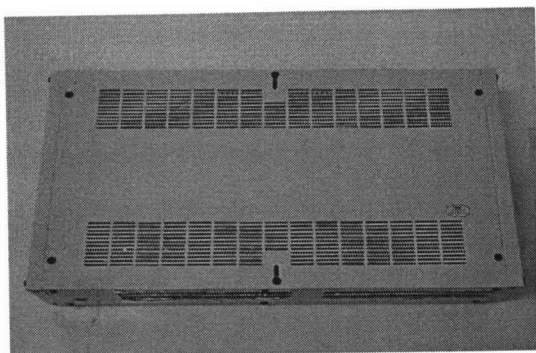


รูปที่ 3.4 แผนแสดงการติดมาตรวัดความเครียดของแบบจำลองย่อส่วนของสะพาน

**อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บสัญญาณความเครียด** จะเป็นอุปกรณ์ในการช่วยแปลงสัญญาณที่ได้จากมาตรวัดความเครียดแต่ละตัวให้ปรากฏเป็นกราฟสัญญาณความเครียดบนจอคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาค่าความเร็วและระยะห่างระหว่างเพลลา เนื่องจากมาตรวัดความเครียดที่ใช้ในการวัดความเครียดจะเป็นชนิดความต้านทาน ดังนั้นจึงต้องต่อมาตรวัดความเครียดเข้ากับวงจรบริดจ์เพื่อที่จะทำการแปลงความต้านทานของมาตรวัดความเครียดที่เปลี่ยนแปลงไปอันเนื่องจากผลของความเครียดที่เกิดขึ้นให้ออกมาเป็นความต่างศักย์ของวงจร โดยวงจรบริดจ์ดังกล่าวจะอยู่ในอุปกรณ์ที่เรียกว่า บริดจ์บริบูรณ์ (Bridge completion) ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ซึ่งจะทำหน้าที่รับสัญญาณ อนุโลมจากมาตรวัดความเครียดแล้วแปลงให้เป็นสัญญาณความต่างศักย์ โดยตัวบริดจ์คอมพลิตชันนั้นจะถูกต่อเข้ากับ เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ซึ่งจะเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณความต่างศักย์ที่ส่งมาจากวงจรบริดจ์ที่อยู่ภายในบริดจ์บริบูรณ์ผ่านทางสายแลนให้เป็นสัญญาณดิจิทัล โดยที่สัญญาณดิจิทัลที่ได้จะถูกส่งมายังคอมพิวเตอร์โดยผ่านทาง ยูเอสบีพอร์ต (USB port)

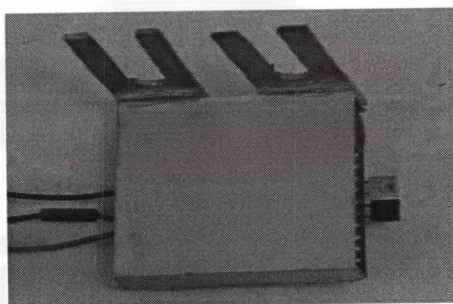


รูปที่ 3.5 อุปกรณ์บริดจ์บริบูรณ์

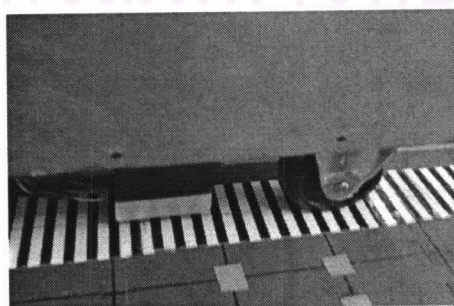


รูปที่ 3.6 รายละเอียดของเครื่องบันทึกข้อมูล

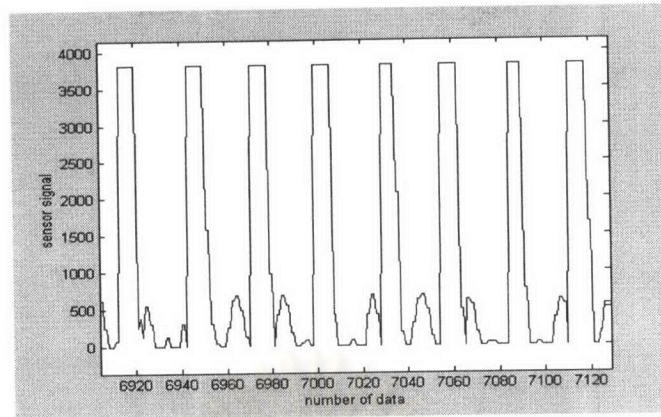
**อุปกรณ์วัดความเร็วรถ** ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวจะเป็นเซ็นเซอร์ (Sensor) ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ที่ประกอบไปด้วยหัวอ่านอินฟราเรด 2 หัว หัวหนึ่งทำหน้าที่เป็นตัวส่งสัญญาณ ส่วนอีกหัวทำหน้าที่เป็นตัวรับสัญญาณ โดยเซ็นเซอร์นั้นจะถูกติดตั้งไว้กับรถหรือน้ำหนักบรรทุกจำลองที่เคลื่อนที่ผ่านสะพานจำลอง และบนสะพานจำลองจะทำการติดตั้งแผ่นกระดาษที่มีแถบสีขาวสลับกับแถบสีดำ ดังแสดงในรูปที่ 3.8 โดยแถบสีขาวหรือสีดำดังกล่าวจะมีความกว้างเท่ากับ 0.5 ซม. ซึ่งค่าสัญญาณที่ได้จากตัวเซ็นเซอร์จะมีค่าเท่ากับ 3800 เมื่อเซ็นเซอร์ผ่านแถบสีขาว และจะมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อเซ็นเซอร์ผ่านแถบสีดำ โดยรูปที่ 3.9 จะแสดงลักษณะของสัญญาณที่ได้จากเซ็นเซอร์เมื่อเคลื่อนที่ผ่านแถบกระดาษขาวดำ จากสัญญาณดังกล่าวที่ได้จากเซ็นเซอร์จะสามารถหาเวลาที่รถหรือน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่จากแถบสีดำแรกจนถึงแถบสุดท้ายได้ โดยเมื่อทราบระยะห่างระหว่างแถบสีดำแรกจนถึงแถบสีดำสุดท้าย ก็จะสามารถหาความเร็วเฉลี่ยของรถหรือความเร็วเฉลี่ยของน้ำหนักบรรทุกที่เคลื่อนที่ได้



รูปที่ 3.7 เซ็นเซอร์ที่ใช้ในการวัดความเร็ว



รูปที่ 3.8 แถบกระดาษขาวดำที่ใช้ควบคู่กับเซ็นเซอร์ในการวัดความเร็ว

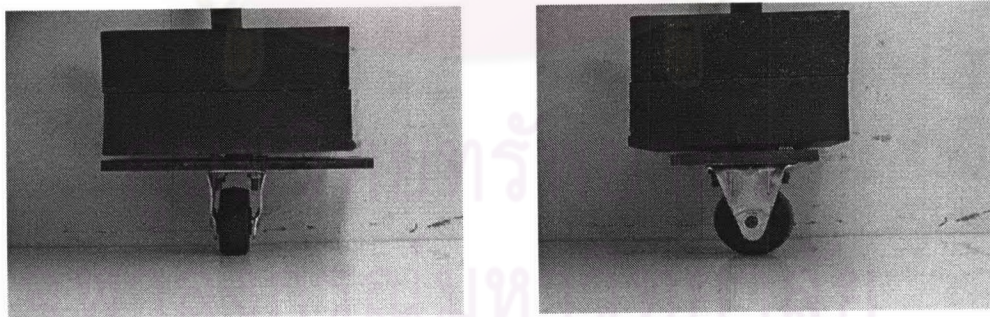


รูปที่ 3.9 ลักษณะสัญญาณที่ได้จากตัวเซ็นเซอร์เมื่อเคลื่อนที่ผ่านแถบกระดาษขาวดำ

### 3.2 ลักษณะของน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ในการทดสอบ

ลักษณะของน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ในการทดสอบ ไม่ว่าจะเป็นการทดสอบเพื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างพฤติกรรมในการรับแรงจริงกับพฤติกรรมในการรับแรงที่วิเคราะห์ได้จากโปรแกรม LUSAS ของสะพานจำลอง หรือการทดสอบเพื่อหาความแม่นยำในการหาความเร็วและระยะห่างระหว่างเพลลาของน้ำหนักบรรทุกชนิดต่างๆ นั้น มีรายละเอียดดังนี้

**น้ำหนักบรรทุกแบบล้อเดี่ยว (Single wheel load)** จะเป็นน้ำหนักบรรทุกที่จำลองมาจากล้อเดี่ยวของรถบรรทุก ซึ่งจะมีขนาดเท่ากับ 21 กก. โดยรายละเอียดของน้ำหนักบรรทุกแบบจุดนี้แสดงได้ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 น้ำหนักบรรทุกแบบจุดชนิดล้อเดี่ยว

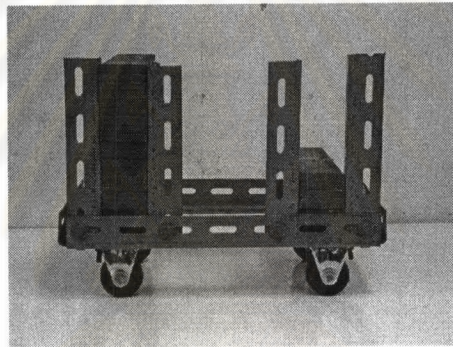
#### น้ำหนักบรรทุกชนิดเพลลาคู่ (Dual axle load)

เป็นน้ำหนักบรรทุกที่จำลองมาจากรถบรรทุกจริงทั่วไป โดยจะแบ่งอัตราส่วนของน้ำหนักเพลลาหน้าและเพลลาหลังออกเป็น 2 กรณี คือ อัตราส่วน 1 ต่อ 1 ซึ่งเป็นการจำลองอัตราส่วนของน้ำหนักเพลลาคู่หลังของรถบรรทุก และอัตราส่วน 1 ต่อ 3 ซึ่งเป็นการจำลองอัตราส่วนของน้ำหนักเพลลาหน้าและน้ำหนักเพลลาหลังของรถบรรทุก โดยอัตราส่วน 1 ต่อ 1 จะมีน้ำหนักเพลลาหน้าและน้ำหนักเพลลาหลังเท่ากับ 20 กก. ส่วนอัตราส่วน 1 ต่อ

3 จะมีน้ำหนักเพลาน้ำเท่ากับ 10 กก. และน้ำหนักเพลาลังเท่ากับ 30 กก. โดยแต่ละกรณีจะมีระยะห่างระหว่างเพลาน้ำและเพลาลังเป็น 15 ซม., 20 ซม., 25 ซม., 30 ซม., 40 ซม., 50 ซม., 60 ซม. และ 70 ซม. ซึ่งรายละเอียดของน้ำหนักบรรทุกชนิดดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.11 และ 3.12



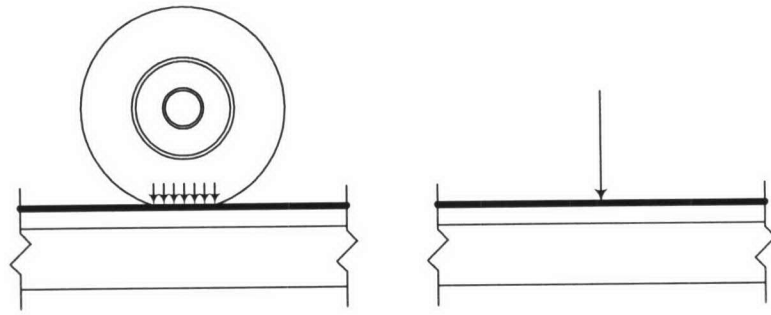
รูปที่ 3.11 น้ำหนักบรรทุกชนิดเพลาคู่อัตราส่วน 1 ต่อ 1



รูปที่ 3.12 น้ำหนักบรรทุกชนิดเพลาคู่อัตราส่วน 1 ต่อ 3

### 3.3 การทดสอบทางสถิต (Static Test)

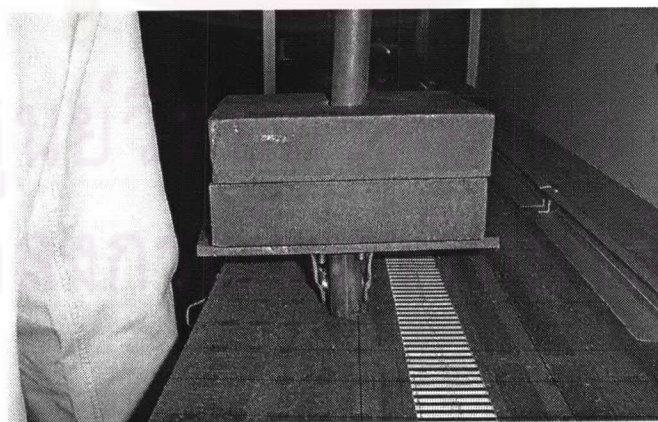
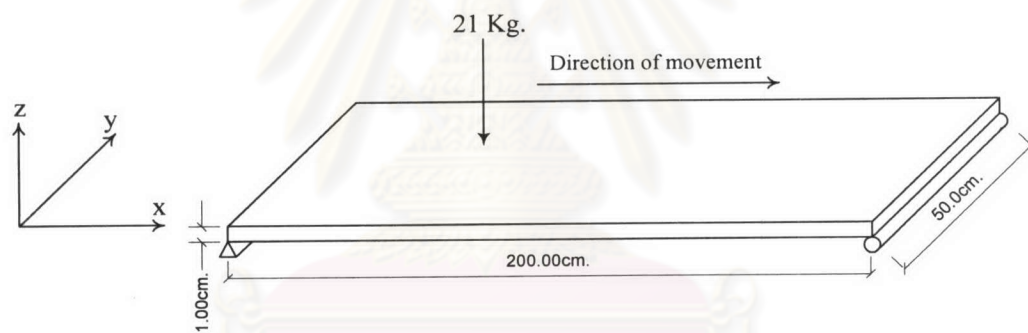
จากวิธีการสร้างกราฟสัญญาณความเครียดเพื่อนำไปใช้กับหลักการในการหาความเร็วและระยะห่างระหว่างเพลารถที่เคลื่อนที่ผ่านสะพาน จะได้มาจากการจำลองสะพานที่มีขนาดเท่ากับขนาดของแบบจำลองย่อยของสะพานในหัวข้อที่ 3.1 และรับน้ำหนักบรรทุกที่กระทำจะเป็นน้ำหนักบรรทุกกระทำแบบจุด บนโปรแกรม LUSAS แต่เนื่องจากในสภาพความเป็นจริงน้ำหนักของรถบรรทุกจะถูกถ่ายลงบนสะพานผ่านล้อรถ ซึ่งน้ำหนักบรรทุกแบบล้อรถจะไม่เหมือนกับน้ำหนักบรรทุกแบบจุด โดยความแตกต่างระหว่างน้ำหนักบรรทุกแบบจุดกับน้ำหนักบรรทุกแบบล้อรถแสดงได้ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 แสดงความแตกต่างระหว่างน้ำหนักบรรทุกแบบจุดกับน้ำหนักบรรทุกแบบล้อรถ

ดังนั้น เพื่อทำการเปรียบเทียบพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกแบบล้อรถกับพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกแบบจุดของสะพานจำลอง ว่ามีความแตกต่างมากน้อยเพียงใด จึงต้องทำการทดสอบทางสถิตเสียก่อน

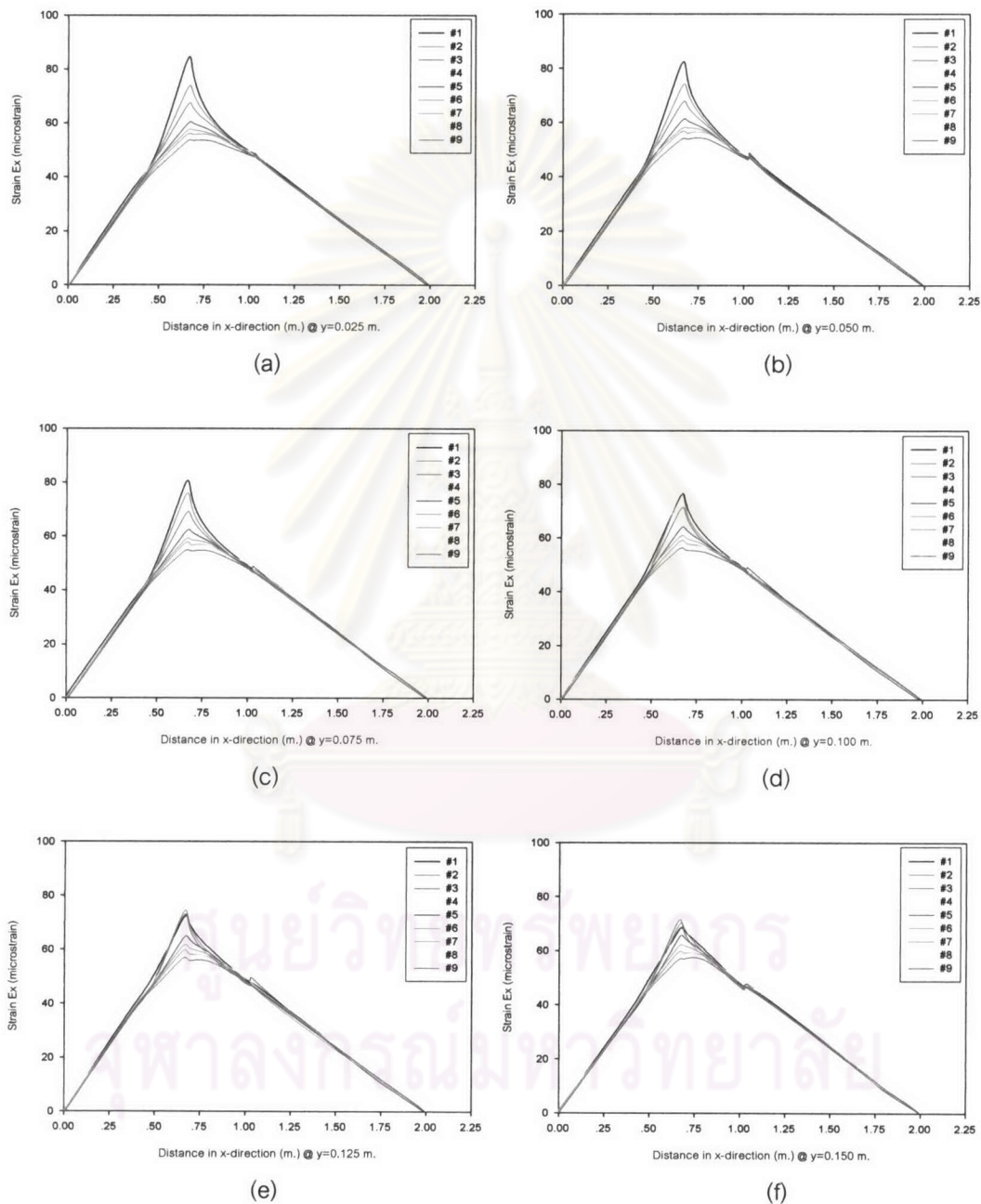
การทดสอบทางสถิตดังกล่าวจะทำโดยการนำน้ำหนักบรรทุกแบบจุดชนิดล้อเดี่ยวที่กล่าวในหัวข้อที่ 3.2 มาใช้เป็นน้ำหนักบรรทุกกระทำค้าง (Static Load) บนสะพานจำลองโดยจะกำหนดให้ตำแหน่งของน้ำหนักบรรทุกในทิศทาง  $y$  เป็นค่าคงที่ แต่จะเปลี่ยนตำแหน่งของน้ำหนักบรรทุกในทิศทาง  $x$  ไป ดังแสดงในรูปที่ 3.14 เพื่อทำการวัดค่าความเครียดจากมาตรวัดความเครียดแต่ละตัวเมื่อน้ำหนักบรรทุกอยู่ที่ตำแหน่งต่างๆ



รูปที่ 3.14 การทดสอบทางสถิตโดยใช้น้ำหนักบรรทุกแบบจุดชนิดล้อเดี่ยวเป็นน้ำหนักกระทำค้าง

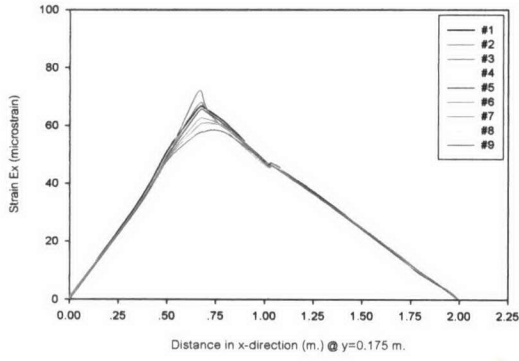
ผลการทดสอบทางสถิติสามารถแสดงได้ด้วยความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดที่มาตรวัดความเครียดแต่ละตัว วัดได้กับตำแหน่งที่น้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ ซึ่งจะได้ว่า

- สำหรับมาตรวัดความเครียดที่ติดตั้งบนหน้าตัด  $x=L/3$  ( $x=2/3$  ม.) ความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ 3.15 และรูปที่ 3.16

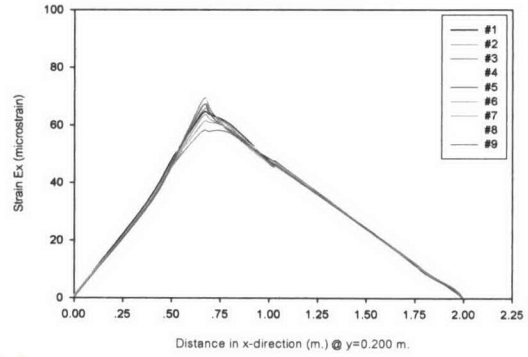


รูปที่ 3.15 สัญญาณความเครียดเมื่อน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ในทิศทาง x ที่ระยะ y ต่างๆ

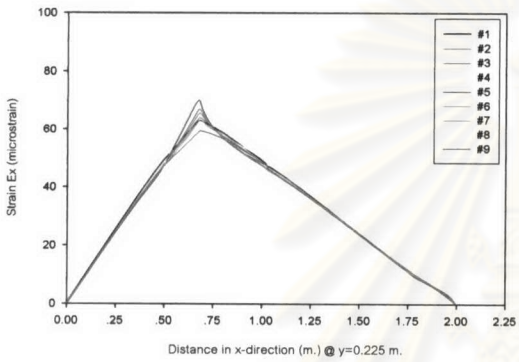




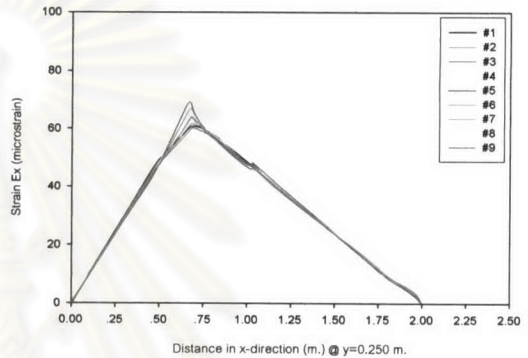
(a)



(b)



(c)

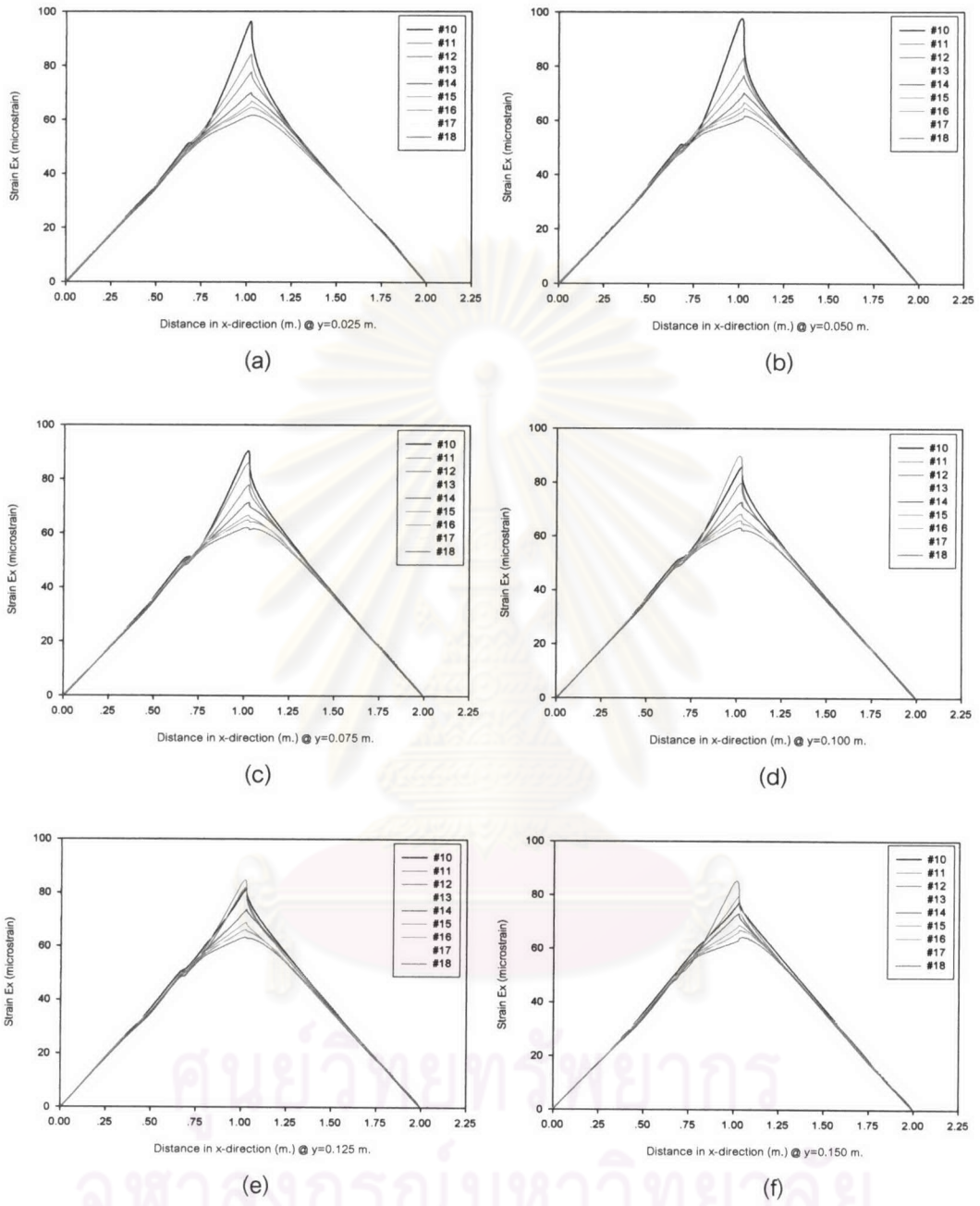


(d)

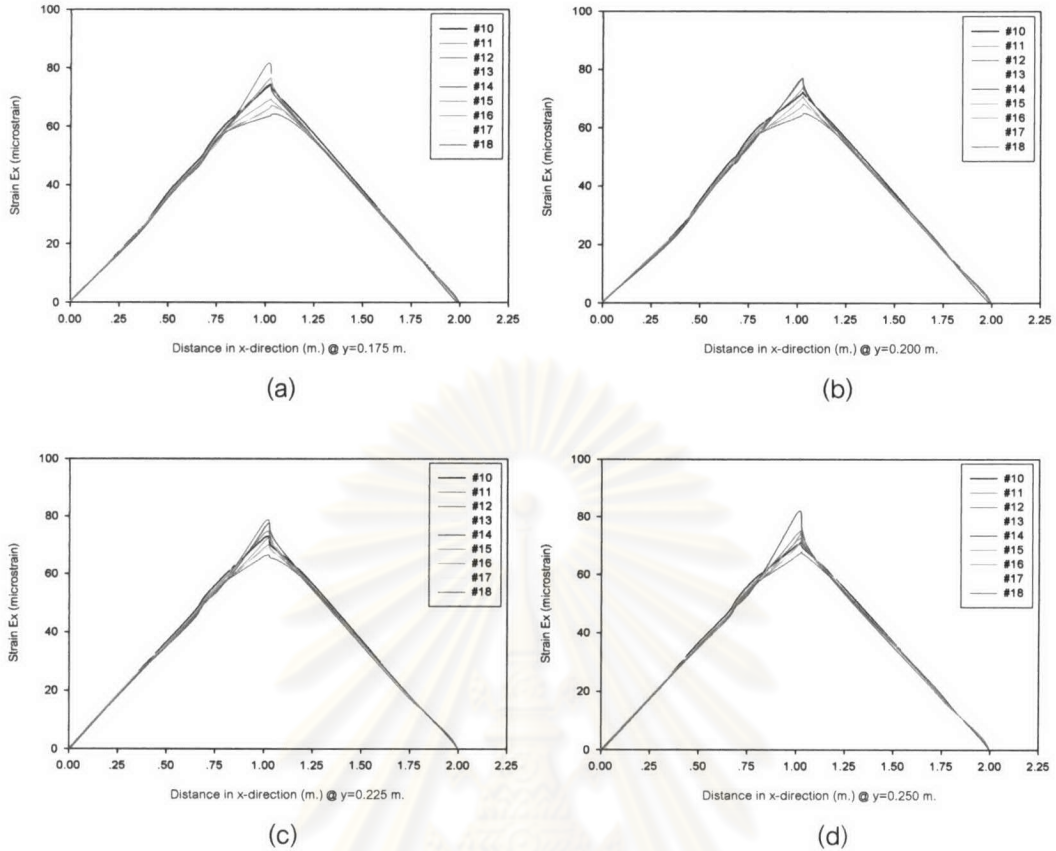
รูปที่ 3.16 สัญญาณความเครียดเมื่อน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ในทิศทาง x ที่ระยะ y ต่างๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- สำหรับมาตรวัดความเครียดที่ติดบนหน้าตัด  $x=L/2$  ( $x=1$  ม.) ความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ 3.17 และรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.17 สัญญาณความเครียดเมื่อน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ในทิศทาง x ที่ระยะ y ต่างๆ



รูปที่ 3.18 สัญญาณความเครียดเมื่อน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ในทิศทาง  $x$  ที่ระยะ  $y$  ต่างๆ

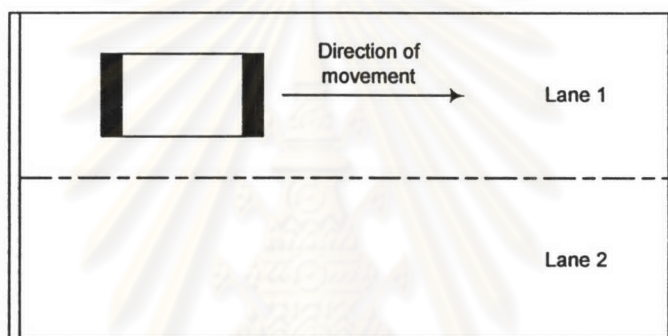
จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $\epsilon_x$  กับ  $x$  ที่ได้จากการทดสอบทางสถิตยศาสตร์แสดงในรูปที่ 3.15 ถึง รูปที่ 3.18 จะสังเกตได้ว่ามาตรวัดความเครียดแต่ละตัวจะให้ค่าความเครียดที่มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อน้ำหนักบรรทุกแบบจุดเคลื่อนที่ที่ระยะ  $x$  ใดๆ ที่ห่างจากหน้าตัดที่ติดตามวัดความเครียด โดยค่าความเครียดที่ได้จากมาตรวัดความเครียดแต่ละตัวบนหน้าตัดเดียวกันจะมีค่าแตกต่างกันมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อน้ำหนักบรรทุกแบบจุดเคลื่อนที่เข้าใกล้กับหน้าตัดที่ทำการติดตามวัดความเครียดนั้น โดยมาตรวัดความเครียดตัวที่ถูกทับพอดีจะให้ค่าความเครียดสูงสุด ซึ่งจะพบว่าพฤติกรรมจริงในการรับน้ำหนักบรรทุกแบบจุดของสะพานจำลองจะเหมือนกับพฤติกรรมที่วิเคราะห์ได้จากโปรแกรม LUSAS

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

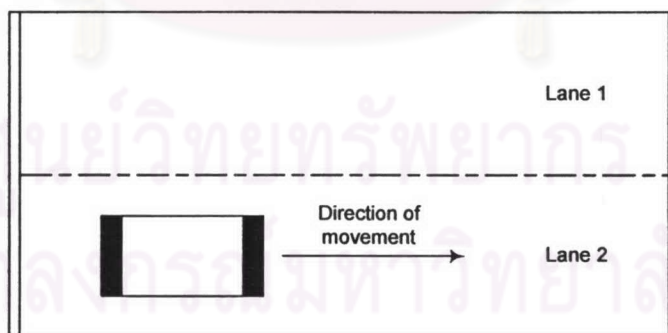
### 3.4 การทดสอบเพื่อหาความเร็วและระยะห่างระหว่างเพลลาของน้ำหนักรรทุก

ก่อนที่จะนำหลักในการหาความเร็วและระยะห่างระหว่างเพลลาของรถที่กำลังเคลื่อนที่ผ่านสะพาน โดยใช้สัญญาณความเครียดที่ได้จากการติดตามวัดความเครียดในรูปแบบที่นำเสนอในบทที่ 2 ไปประยุกต์ใช้กับสะพานจริงนั้นจำเป็นต้องทำการตรวจสอบความแม่นยำในการคำนวณหาค่าความเร็วและระยะห่างระหว่างเพลลาเสียก่อน โดยจะอาศัยแบบจำลองย่อส่วนของสะพานและน้ำหนักรรทุกชนิดเพลลาคู่ที่กล่าวในหัวข้อที่ 3.1 และ 3.2 มาใช้ในการทดสอบซึ่งวิธีการและขั้นตอนในการทดสอบจะแสดงได้ดังนี้

วิธีการและขั้นตอนในการทดสอบเพื่อหาความเร็วและระยะห่างระหว่างเพลลา จะทำโดยการนำน้ำหนักรรทุกชนิดเพลลาคู่ที่กล่าวในหัวข้อที่ 3.2 มาทำการเคลื่อนที่ผ่านสะพานจำลองในหัวข้อที่ 3.1 ซึ่งจะให้เคลื่อนที่ผ่านทั้งเลนที่ 1 และ เลนที่ 2 ของสะพานดังแสดงในรูปที่ 3.19 และรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.19 การเคลื่อนที่ของน้ำหนักรรทุกชนิดเพลลาคู่  
ที่เคลื่อนที่อยู่บนเลนที่ 1 ของสะพาน

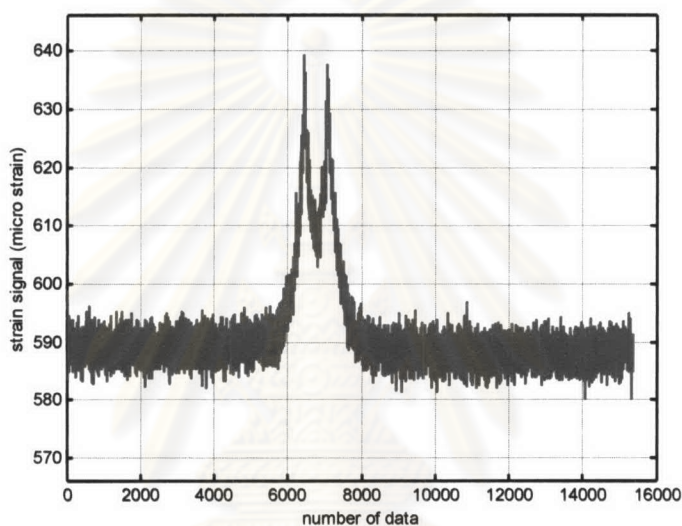


รูปที่ 3.20 การเคลื่อนที่ของน้ำหนักรรทุกชนิดเพลลาคู่  
ที่เคลื่อนที่อยู่บนเลนที่ 2 ของสะพาน

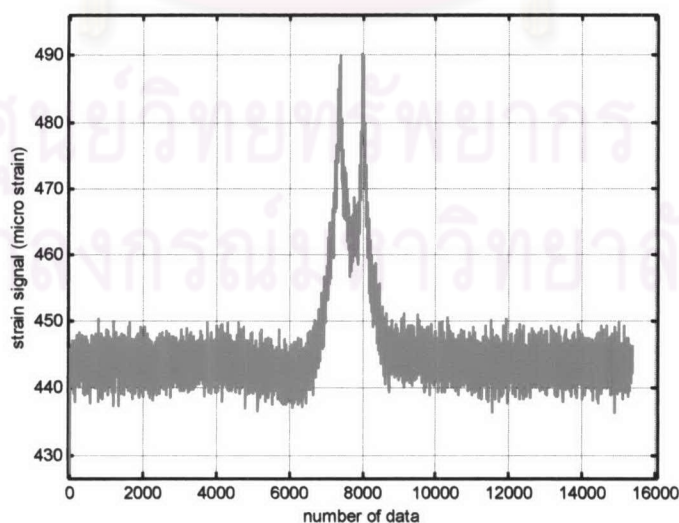
น้ำหนักรรทุกที่นำมาทดสอบดังกล่าวจะมีอัตราส่วนของน้ำหนักเพลลาคู่ต่อเพลลาหลังเป็น 1 ต่อ 1 และ 1 ต่อ 3 โดยแต่ละอัตราส่วนของน้ำหนักจะทำการเปลี่ยนค่าระยะห่างระหว่างเพลลาเป็น 20 ซม., 25 ซม., 30 ซม., 40 ซม., 50 ซม., 60 ซม. และ 70 ซม. รวมทั้งหมดเป็น 14 ตัวอย่าง แต่ละตัวอย่างจะทำการทดสอบทั้งหมด 3 ครั้ง

สัญญาณความเครียดที่ใช้ในการคำนวณความเร็วและระยะห่างระหว่างเพลลา จะได้จากการเก็บข้อมูลความเครียดจากมาตรวัดความเครียดแต่ละหน้าตัดตามสมการที่ 3.18 โดยจะมีความถี่ในการเก็บข้อมูลเท่ากับ 1024 ข้อมูลต่อวินาที และจะใช้เวลาทั้งหมด 15 วินาที ต่อ 1 ครั้งการทดสอบ ซึ่งสัญญาณความเครียดดังกล่าว ที่ได้จากมาตรวัดความเครียดแต่ละหน้าตัดของทุกตัวอย่าง จะมีลักษณะคล้ายกัน และแบ่งออกได้เป็น 4 กรณี คือ

กรณีที่ 1 เมื่อน้ำหนักบรรทุกแบบ 1 ต่อ 1 เคลื่อนที่ผ่านทางเลนที่ 1 ของสะพาน จะได้ว่าสัญญาณความเครียดที่ได้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.21 และรูปที่ 3.22

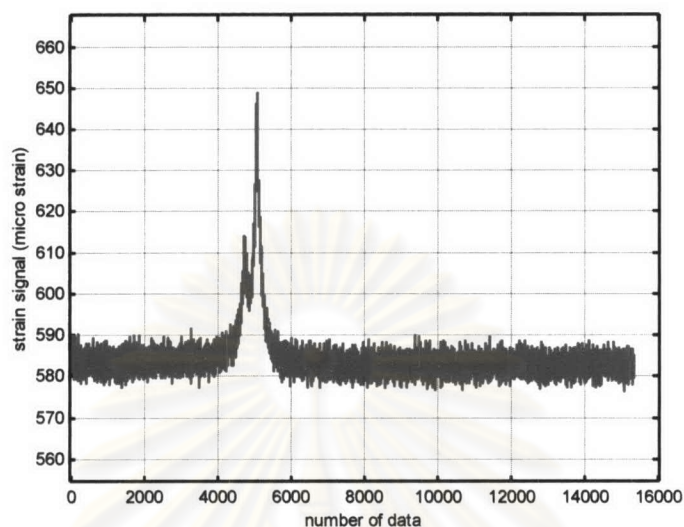


รูปที่ 3.21 ผลรวมสัญญาณความเครียดที่ได้จากมาตรวัดความเครียดที่ติดตั้งบนหน้าตัด L/2 สำหรับน้ำหนักบรรทุกแบบ 1 ต่อ 1 และมีระยะห่างระหว่างเพลลาเป็น 25 ซม.

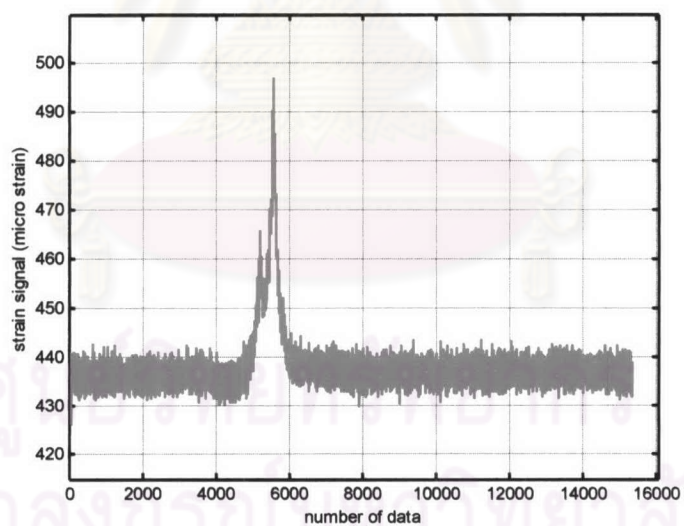


รูปที่ 3.22 ผลรวมสัญญาณความเครียดที่ได้จากมาตรวัดความเครียดที่ติดตั้งบนหน้าตัด 2L/3 สำหรับน้ำหนักบรรทุกแบบ 1 ต่อ 1 และมีระยะห่างระหว่างเพลลาเป็น 25 ซม.

กรณีที่ 2 เมื่อน้ำหนักบรรทุกแบบ 1 ต่อ 3 เคลื่อนที่ผ่านทางเลนที่ 1 ของสะพาน จะได้ว่าสัญญาณความเครียดที่ได้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.23 และรูปที่ 3.24

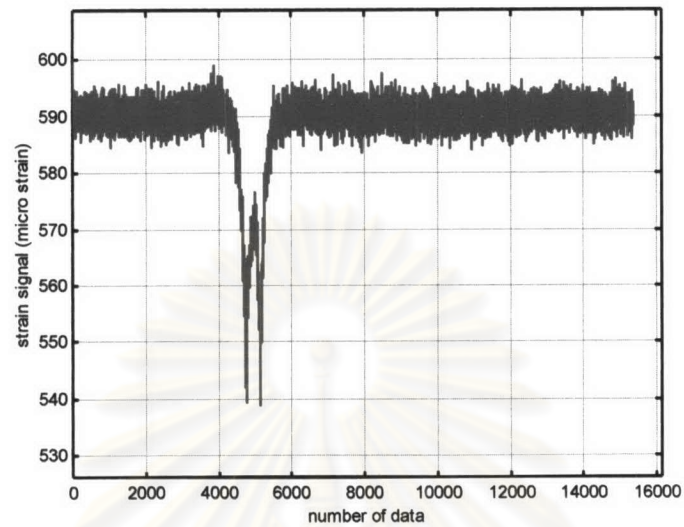


รูปที่ 3.23 ผลรวมสัญญาณความเครียดที่ได้จากมาตรวัดความเครียดที่ติดตั้งหน้าตัด L/2 สำหรับน้ำหนักบรรทุกแบบ 1 ต่อ 3 และมีระยะห่างระหว่างเพลาคือ 25 ซม.

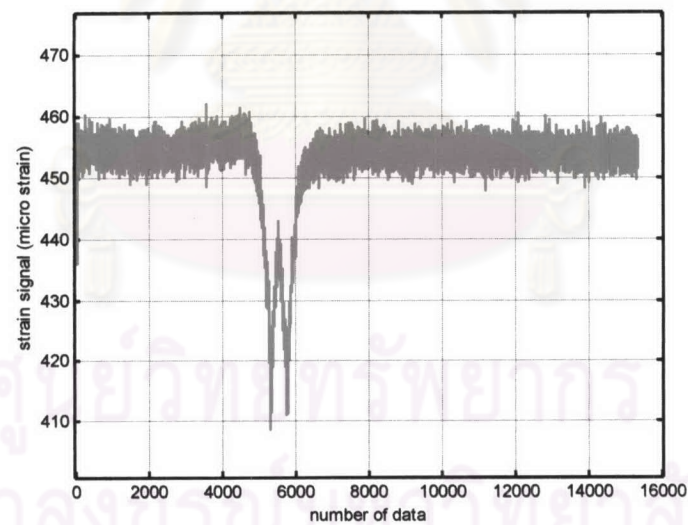


รูปที่ 3.24 ผลรวมสัญญาณความเครียดที่ได้จากมาตรวัดความเครียดที่ติดตั้งหน้าตัด 2L/3 สำหรับน้ำหนักบรรทุกแบบ 1 ต่อ 3 และมีระยะห่างระหว่างเพลาคือ 25 ซม.

กรณีนี้ 3 เมื่อน้ำหนักบรรทุกทุกแบบ 1 ต่อ 1 เคลื่อนที่ผ่านทางเลนที่ 2 ของสะพาน จะได้ว่าสัญญาณความเครียดที่  
ได้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.25 และรูปที่ 3.26

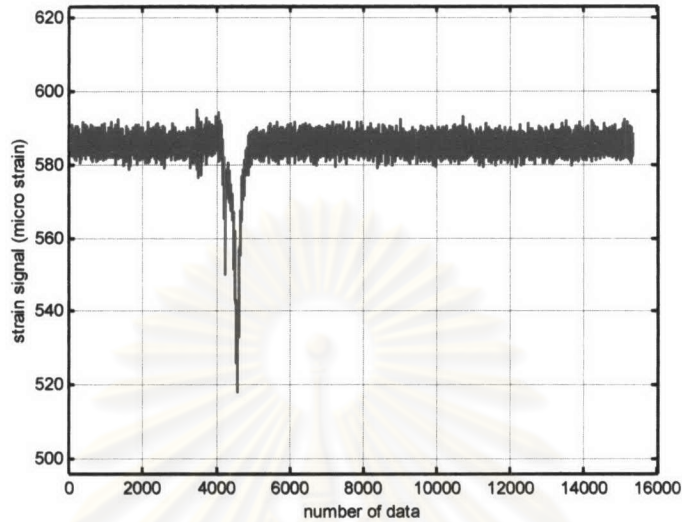


รูปที่ 3.25 ผลรวมสัญญาณความเครียดที่ได้จากมาตรวัดความเครียดที่ติดตั้งหน้าตัด L/2  
สำหรับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบ 1 ต่อ 1 และมีระยะห่างระหว่างเพลเป็น 25 ซม.

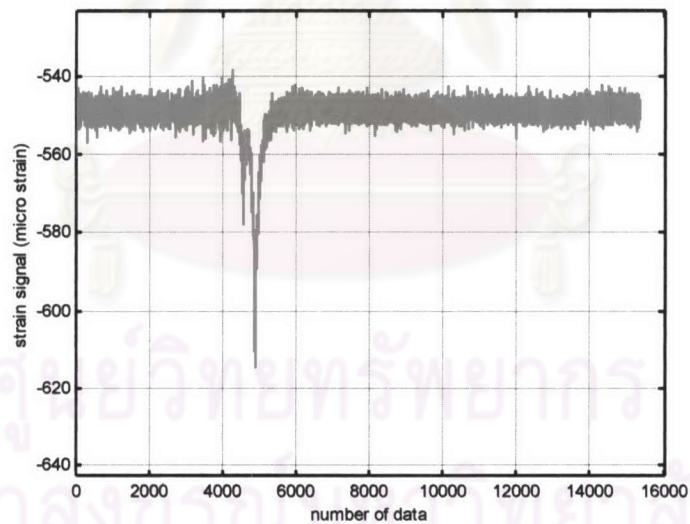


รูปที่ 3.26 ผลรวมสัญญาณความเครียดที่ได้จากมาตรวัดความเครียดที่ติดตั้งหน้าตัด 2L/3  
สำหรับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบ 1 ต่อ 1 และมีระยะห่างระหว่างเพลเป็น 25 ซม.

กรณีนี้ที่ 4 เมื่อน้ำหนักบรรทุกทุกแบบ 1 ต่อ 3 เคลื่อนที่ผ่านทางเลนที่ 2 ของสะพาน จะได้ว่าสัญญาณความเครียดที่ได้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.27 และรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.27 ผลรวมสัญญาณความเครียดที่ได้จากมาตรวัดความเครียดที่ติดตั้งหน้าตัด L/2 สำหรับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบ 1 ต่อ 3 และมีระยะห่างระหว่างเพลาคือ 25 ซม.



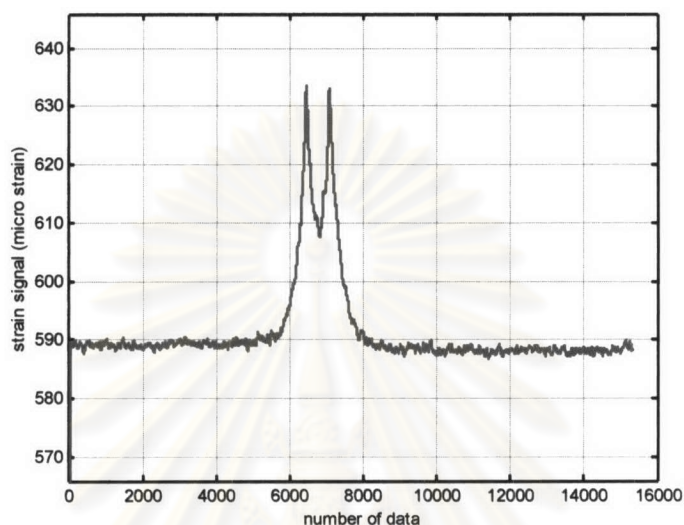
รูปที่ 3.28 ผลรวมสัญญาณความเครียดที่ได้จากมาตรวัดความเครียดที่ติดตั้งหน้าตัด 2L/3 สำหรับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบ 1 ต่อ 3 และมีระยะห่างระหว่างเพลาคือ 25 ซม.

จากสัญญาณความเครียดทั้ง 4 กรณีที่ได้ จะสังเกตได้ว่า สัญญาณความเครียดจะขึ้นสูงสุดครั้งแรกและครั้งที่ 2 เมื่อเพลาน้ำหนักและเพลาลูกเคลื่อนที่ผ่านหน้าตัดที่ติดตั้งมาตรวัดความเครียด ตามลำดับ แต่สัญญาณความเครียดดังกล่าวที่ได้จะยังคงมีผลของสัญญาณรบกวนอยู่ ดังนั้นก่อนที่จะนำสัญญาณความเครียดไปคำนวณหาความเร็วและระยะห่างระหว่าง จึงต้องทำการลดผลของสัญญาณรบกวน ด้วยวิธี moving average ซึ่งจะใช้เวลาข้อมูล 50 ตัวในการเฉลี่ย

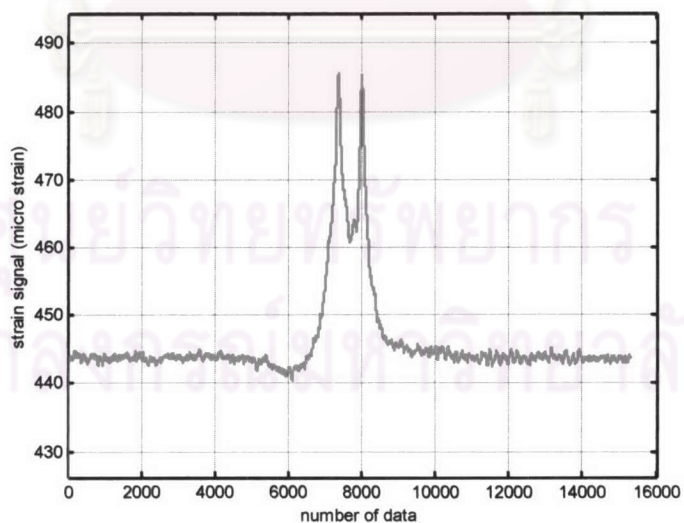


สัญญาณความเครียดที่ลดผลของสัญญาณรบกวนแล้ว สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กรณีเช่นกัน คือ

กรณีที่ 1 เมื่อน้ำหนักบรรทุกทุกแบบ 1 ต่อ 1 เคลื่อนที่ผ่านทางเลนที่ 1 ของสะพาน จะได้ว่าสัญญาณความเครียดที่ได้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.29 และรูปที่ 3.30

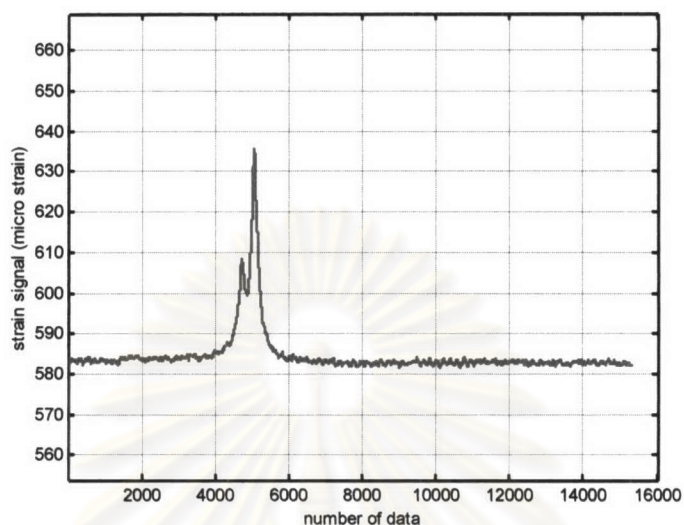


รูปที่ 3.29 ผลรวมสัญญาณความเครียดที่ได้จากมาตรวัดความเครียดที่ติดตั้งหน้าตัด L/2 สำหรับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบ 1 ต่อ 1 และมีระยะห่างระหว่างเพลลาเป็น 25 ซม. (ผ่านการกรองสัญญาณรบกวนด้วยวิธีการ moving average)

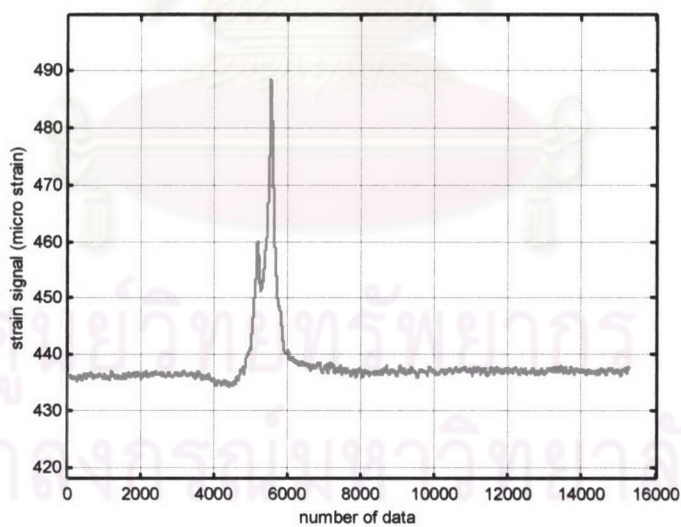


รูปที่ 3.30 ผลรวมสัญญาณความเครียดที่ได้จากมาตรวัดความเครียดที่ติดตั้งหน้าตัด 2L/3 สำหรับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบ 1 ต่อ 1 และมีระยะห่างระหว่างเพลลาเป็น 25 ซม. (ผ่านการกรองสัญญาณรบกวนด้วยวิธีการ moving average)

กรณีที่ 2 เมื่อน้ำหนักบรรทุกแบบ 1 ต่อ 3 เคลื่อนที่ผ่านทางเลนที่ 1 ของสะพาน จะได้ว่าสัญญาณความเครียดที่ได้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.31 และรูปที่ 3.32

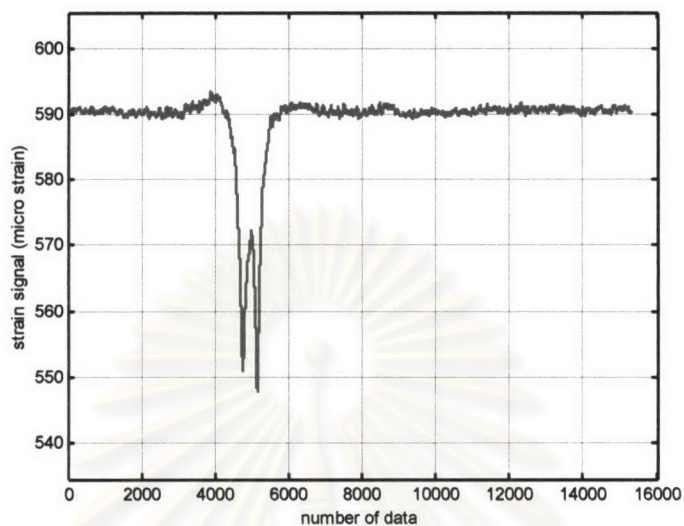


รูปที่ 3.31 ผลรวมสัญญาณความเครียดที่ได้จากมาตรวัดความเครียดที่ติดตั้งหน้าตัด L/2 สำหรับน้ำหนักบรรทุกแบบ 1 ต่อ 3 และมีระยะห่างระหว่างเพลลาเป็น 25 ซม. (ผ่านการกรองสัญญาณรบกวนด้วยวิธีการ moving average)

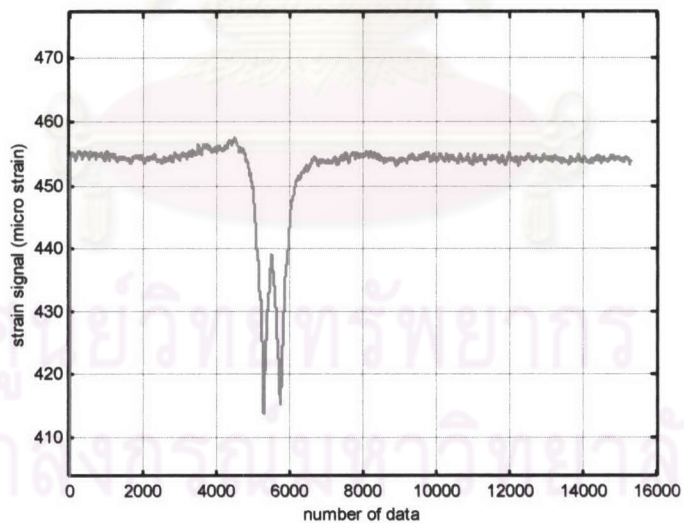


รูปที่ 3.32 ผลรวมสัญญาณความเครียดที่ได้จากมาตรวัดความเครียดที่ติดตั้งหน้าตัด 2L/3 สำหรับน้ำหนักบรรทุกแบบ 1 ต่อ 3 และมีระยะห่างระหว่างเพลลาเป็น 25 ซม. (ผ่านการกรองสัญญาณรบกวนด้วยวิธีการ moving average)

กรณีนี้ 3 เมื่อน้ำหนักบรรทุกแบบ 1 ต่อ 1 เคลื่อนที่ผ่านทางเลนที่ 1 ของสะพาน จะได้ว่าสัญญาณความเครียดที่ได้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.33 และรูปที่ 3.34

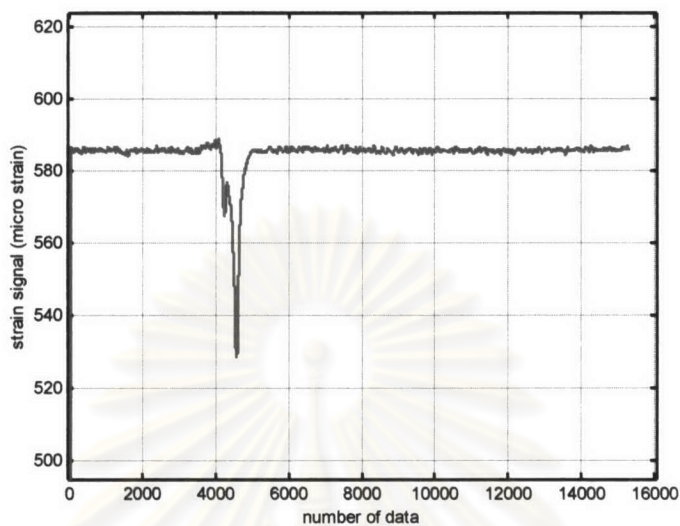


รูปที่ 3.33 ผลรวมสัญญาณความเครียดที่ได้จากมาตรวัดความเครียดที่ติดตั้งบนหน้าตัด L/2 สำหรับน้ำหนักบรรทุกแบบ 1 ต่อ 1 และมีระยะห่างระหว่างเพลลาเป็น 25 ซม. (ผ่านการกรองสัญญาณรบกวนด้วยวิธีการ moving average)

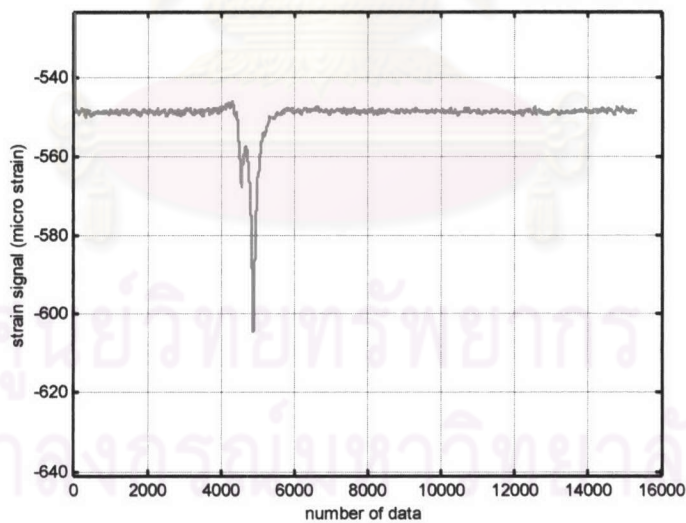


รูปที่ 3.34 ผลรวมสัญญาณความเครียดที่ได้จากมาตรวัดความเครียดที่ติดตั้งบนหน้าตัด 2L/3 สำหรับน้ำหนักบรรทุกแบบ 1 ต่อ 1 และมีระยะห่างระหว่างเพลลาเป็น 25 ซม. (ผ่านการกรองสัญญาณรบกวนด้วยวิธีการ moving average)

กรณีนี้ที่ 4 เมื่อน้ำหนักบรรทุกแบบ 1 ต่อ 3 เคลื่อนที่ผ่านทางเลนที่ 1 ของสะพาน จะได้ว่าสัญญาณความเครียดที่ได้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.35 และรูปที่ 3.36

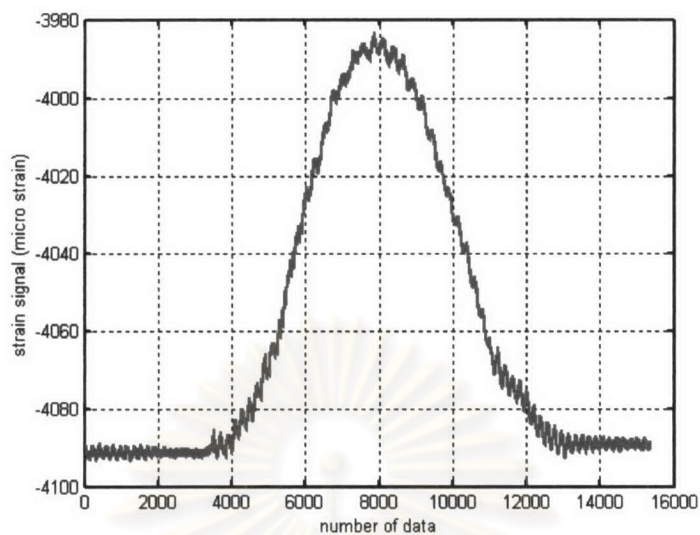


รูปที่ 3.35 ผลรวมสัญญาณความเครียดที่ได้จากมาตรวัดความเครียดที่ติดตั้งหน้าตัด L/2 สำหรับน้ำหนักบรรทุกแบบ 1 ต่อ 3 และมีระยะห่างระหว่างเพลลาเป็น 25 ซม. (ผ่านการกรองสัญญาณรบกวนด้วยวิธีการ moving average)

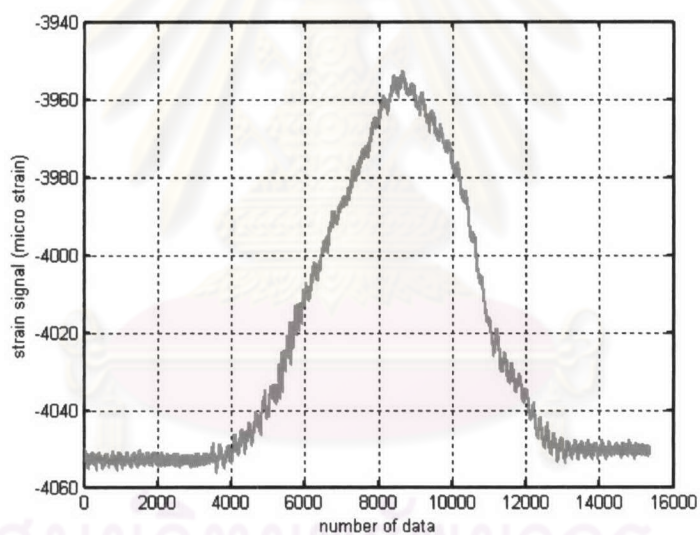


รูปที่ 3.36 ผลรวมสัญญาณความเครียดที่ได้จากมาตรวัดความเครียดที่ติดตั้งหน้าตัด 2L/3 สำหรับน้ำหนักบรรทุกแบบ 1 ต่อ 3 และมีระยะห่างระหว่างเพลลาเป็น 25 ซม. (ผ่านการกรองสัญญาณรบกวนด้วยวิธีการ moving average)

โดยสัญญาณความเครียดที่ได้จากมาตรวัดความเครียดในวิธีทั่วไปจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.37 รูปที่ 3.40

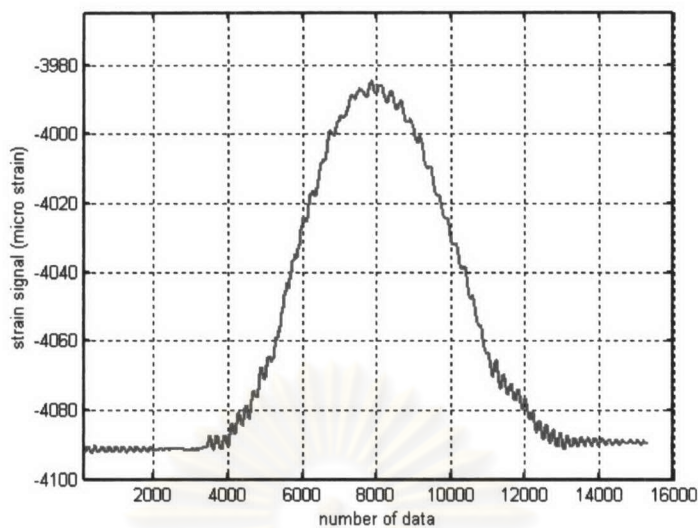


รูปที่ 3.37 สัญญาณความเครียดที่ได้จากมาตรวัดความเครียดที่ติดบนหน้าตัด L/2

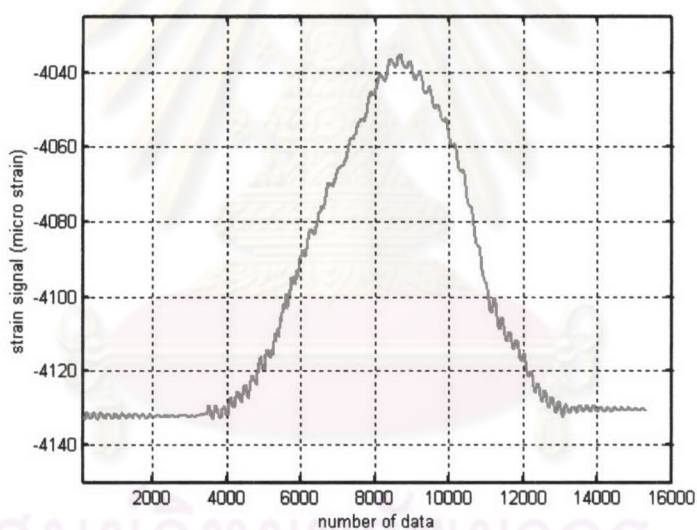


รูปที่ 3.38 สัญญาณความเครียดที่ได้จากมาตรวัดความเครียดที่ติดบนหน้าตัด 2L/3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.39 สัญญาณความเครียดที่ได้จากมาตรวัดความเครียดที่ติดบนหน้าตัด L/2  
(ผ่านการกรองสัญญาณรบกวนด้วยวิธีการ moving average)



รูปที่ 3.40 สัญญาณความเครียดที่ได้จากมาตรวัดความเครียดที่ติดบนหน้าตัด 2L/3  
(ผ่านการกรองสัญญาณรบกวนด้วยวิธีการ moving average)

ซึ่งสัญญาณดังกล่าวไม่สามารถระบุเวลาที่ล้อรถอยู่บนหน้าตัดที่ติดมาตรวัดความเครียดได้ ดังนั้นจึงไม่สามารถคำนวณความเร็วและระยะห่างระหว่างเพลลาได้

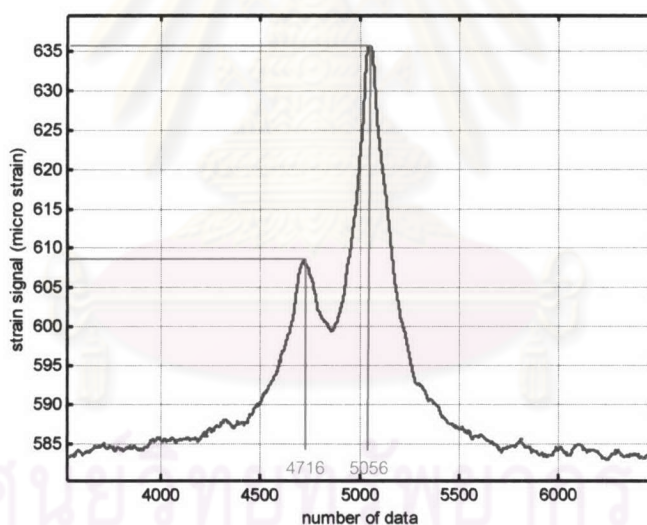
การคำนวณหาความเร็วและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน เป็นการคำนวณหาความเร็วของน้ำนักบรรทุกที่เคลื่อนที่ผ่านสะพานจำลอง โดยอาศัยหลักการในหัวข้อที่ 2.1 และกราฟสัญญาณความเครียดที่ได้จากการทดสอบมาช่วยในการคำนวณ โดยจะมีสมมติฐานที่ว่า เวลาที่สัญญาณความเครียดมีค่าสูงสุด คือ เวลาที่เพลารถมีตำแหน่งอยู่บนหน้าตัดที่ติด มาตราวัดความเครียดพอดี ดังนั้น จากกราฟสัญญาณความเครียดดังกล่าวจะสรุปได้ว่าเวลาที่สัญญาณความเครียดมีค่าขึ้นสูงสุดครั้งแรกและครั้งที่สอง คือเวลาที่เพลาน้ำและเพลาลังของรถอยู่บนหน้าตัดที่ติดมาตราวัดความเครียด ตามลำดับ

จากหลักการและสมมติฐานที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จะสามารถทำการคำนวณหาความเร็วของน้ำนักบรรทุกที่เคลื่อนที่ผ่านสะพานจำลองได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง การคำนวณหาความเร็วของน้ำนักบรรทุกที่เคลื่อนที่ผ่านสะพานจำลอง

พิจารณากรณีที่น้ำนักบรรทุกชนิดเพลาคู่ที่มีอัตราส่วนน้ำนักเพลาน้ำต่อน้ำนักเพลาลังเท่ากับ 1 ต่อ 3 และมีระยะห่างระหว่างเพลาคู่เป็น 25 ซม.เคลื่อนที่ผ่านสะพานบนเลนที่ 1

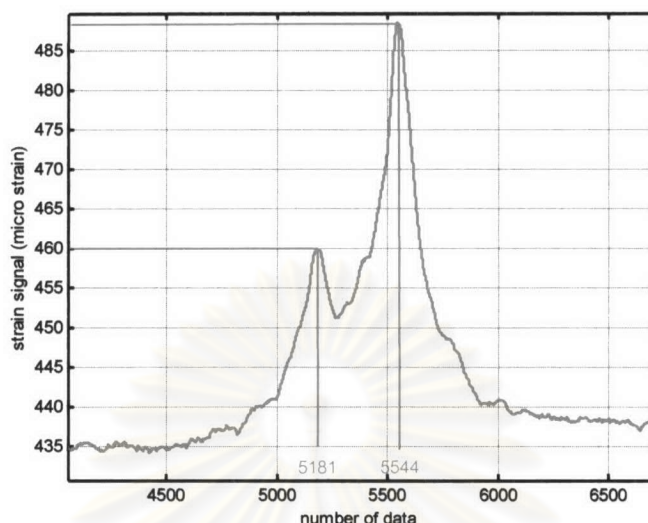
สัญญาณความเครียดที่ได้จากมาตราวัดความเครียดที่ติดบนหน้าตัด L/2 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.41



รูปที่ 3.41 ผลรวมสัญญาณความเครียดที่ได้จากมาตราวัดความเครียดที่ติดบนหน้าตัด L/2

จากรูปที่ 3.41 จะได้ว่าเพลาน้ำและเพลาลังของน้ำนักบรรทุกจะอยู่บนหน้าตัด L/2 เมื่อวินาทีที่ 4.605 (หรือ 4716/1024) และ วินาทีที่ 4.938 (หรือ 5056/1024) ตามลำดับ

สัญญาณความเครียดที่ได้จากมาตรวัดความเครียดที่ติดบนหน้าตัด  $2L/3$  สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.42



รูปที่ 3.42 ผลรวมสัญญาณความเครียดที่ได้จากมาตรวัดความเครียดที่ติดบนหน้าตัด  $2L/3$

จากรูปที่ 3.42 จะได้ว่าเพลาน้ำและเพลาลังของน้ำหนักบรรทุกจะอยู่บนหน้าตัด  $2L/3$  เมื่อวินาทีที่ 5.060 (หรือ 5181/1024) และ วินาทีที่ 5.414 (หรือ 5544/1024) ตามลำดับ

จากหลักในการหาความเร็วในหัวข้อที่ 2.1 จะได้ว่า

$\Delta T_1$  คือ เวลาที่ล้อหน้าใช้ในการเคลื่อนที่จากหน้าตัด  $L/2$  ไปยังหน้าตัด  $2L/3$

$\Delta T_2$  คือ เวลาที่ล้อหลังใช้ในการเคลื่อนที่จากหน้าตัด  $L/2$  ไปยังหน้าตัด  $2L/3$

$\Delta t_1$  คือ เวลาที่รถใช้ในการเคลื่อนที่ผ่านหน้าตัด  $L/2$

$\Delta t_2$  คือ เวลาที่รถใช้ในการเคลื่อนที่ผ่านหน้าตัด  $2L/3$

ซึ่งจากรูปที่ 3.41 และรูปที่ 3.42 ทั้ง 2 นั้น จะได้ว่า

$$\Delta T_1 = 5.060 - 4.605 = 0.455 \text{ วินาที}$$

$$\Delta T_2 = 5.414 - 4.938 = 0.476 \text{ วินาที}$$

$$\Delta t_1 = 4.938 - 4.605 = 0.333 \text{ วินาที}$$

$$\Delta t_2 = 5.414 - 5.060 = 0.354 \text{ วินาที}$$

และจะได้ว่าหน้าตัด  $L/2$  กับหน้าตัด  $2L/3$  มีระยะห่างเท่ากับ  $1/3$  ม. หรือประมาณ 0.333 ม. ซึ่งจะได้ว่า

$$s_1 = 0.333 \text{ ม.}$$



ดังนั้นเมื่อแทนค่า  $\Delta T_1, \Delta T_2, \Delta t_1, \Delta t_2$  และ  $s_1$  ลงในสมการที่ 3.1

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ -\Delta t_2 / \Delta t_1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & -\Delta t_2 / \Delta t_1 & 1 & -\Delta t_2 / \Delta t_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2s_1 / \Delta T_1 \\ 2s_1 / \Delta T_2 \\ s_1 \Delta t_2 (1 / \Delta t_2^2 - 1 / \Delta t_1^2) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

สมการดังกล่าวจะกลายเป็นสมการที่ 3.2

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ -1.0495 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & -0.9366 & 1 & -0.9366 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.4681 \\ 1.3989 \\ -0.0709 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

แล้วจึงทำการแก้สมการที่ 3.2 จะได้

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.711 \\ 0.757 \\ 0.675 \\ 0.724 \end{bmatrix} \text{ เมตร/วินาที}$$

โดย  $u_1$  คือ ความเร็วต้นเมื่อเพลาน้ำของรถเคลื่อนที่ผ่านหน้าตัด  $L/2$

$u_2$  คือ ความเร็วต้นเมื่อเพลาน้ำของรถเคลื่อนที่ผ่านหน้าตัด  $2L/3$

$v_1$  คือ ความเร็วปลายเมื่อเพลาลังของรถเคลื่อนที่ผ่านหน้าตัด  $L/2$

$v_2$  คือ ความเร็วปลายเมื่อเพลาลังของรถเคลื่อนที่ผ่านหน้าตัด  $2L/3$

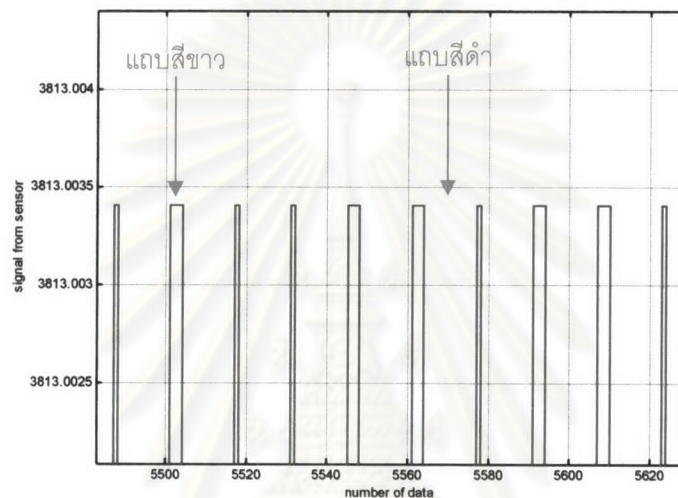
จากความเร็วทั้ง 4 ค่าที่คำนวณได้ จะเป็นค่าความเร็วขณะใดขณะหนึ่งซึ่งจะทำการตรวจสอบด้วยเซ็นเซอร์บอกความเร็วที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2 โดยจะมีสมมติที่ว่า

ความเร็วขณะใดขณะหนึ่งที่จุดกึ่งกลางช่วงเวลาใด ๆ = อัตราเร็วเฉลี่ยในช่วงเวลานั้น

การตรวจสอบดังกล่าวจะแสดงผลออกมาในรูปของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความเร็วที่คำนวณได้ ซึ่งวิธีการในการตรวจสอบและการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน สามารถแสดงได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

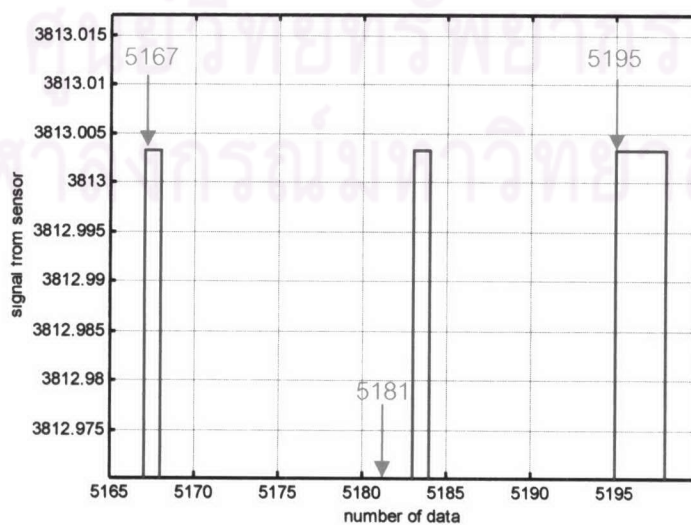
ตัวอย่าง การคำนวณเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความเร็วที่คำนวณได้

จากตัวอย่างการคำนวณความเร็วของน้ำหนักรรทุกที่เคลื่อนที่ผ่านสะพานจะได้ว่าเมื่อวินาทีที่ 5.060 ความเร็วต้นของน้ำหนักรรทุกขณะที่เพลาหน้าเคลื่อนที่ผ่านหน้าตัด 2L/3 ( $u_2$ ) จะมีค่าเป็น 0.7569 เมตรต่อวินาที หรือ กล่าวได้ว่าความเร็วของน้ำหนักรรทุกขณะที่เวลา 5.060 วินาที มีค่าเป็น 0.7569 เมตรวินาที ซึ่งค่าดังกล่าวจะเป็นความเร็วที่คำนวณได้ตามหลักการในหัวข้อที่ 2.1 ดังนั้นจึงต้องทำการคำนวณความเร็วขณะเวลา 5.060 วินาทีของน้ำหนักรรทุกด้วยเซ็นเซอร์บอกความเร็ว เพื่อทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของความเร็วที่คำนวณได้ โดยเมื่อพิจารณาสัญญาณของตัวเซ็นเซอร์จะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.43



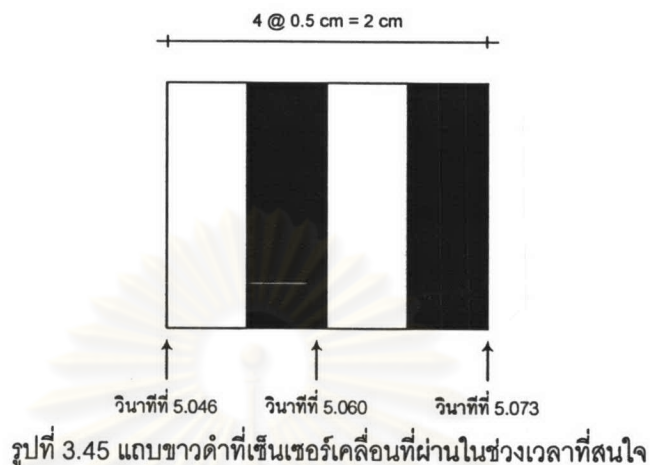
รูปที่ 3.43 ลักษณะของสัญญาณที่ได้จากตัวเซ็นเซอร์บอกตำแหน่ง

สัญญาณจากตัวเซ็นเซอร์ดังกล่าวจะอ่านค่าเป็น 3813 เมื่อเซ็นเซอร์ผ่านแถบสีขาว และ อ่านค่าเป็น 0 เมื่อผ่านแถบสีดำ ดังนั้นจากสัญญาณดังกล่าวจะพิจารณาเวลาวินาทีที่ 5.060 ซึ่งจะตรงกับตำแหน่งข้อมูลที่ 5181 โดยจะให้เวลาดังกล่าวเป็นเวลาที่จุดกึ่งกลางของช่วงเวลา ซึ่งจะแสดงได้ดังรูปที่ 3.44



รูปที่ 3.44 ช่วงข้อมูลที่มีข้อมูลตัวที่ 5181 เป็นจุดกึ่งกลาง

จากรูปดังกล่าวจะแสดงให้เห็นว่าเวลาวินาทีที่ 5.060 (ข้อมูลที่ 5181) เป็นเวลาที่จุดกึ่งกลางของช่วงเวลาตั้งแต่วินาทีที่ 5.046 ถึง วินาทีที่ 5.073 (ข้อมูลที่ 5167 ถึง 5195) และสามารถแสดงในรูปของแถบขาวดำได้ดังรูปที่ 3.45



ดังนั้นจะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{ความเร็วขณะเวลาวินาทีที่ 5.060} &= \text{ความเร็วเฉลี่ยในช่วงวินาทีที่ 5.046 ถึงวินาทีที่ 5.073} \\ &= \frac{0.02}{(5.073 - 5.046)} \\ &= 0.741 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ถ้ากำหนดให้  $u_2$  คือความเร็วที่คำนวณได้จากหลักการในหัวข้อที่ 3.1 และ  $U_2$  คือความเร็วที่ได้จากเซ็นเซอร์ ดังนั้น เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความเร็วจะคำนวณได้ดังนี้

$$\% \text{ ความคลาดเคลื่อนของความเร็วที่คำนวณได้} = \frac{u_2 - U_2}{U_2} \times 100$$

ในกรณีนี้จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \% \text{ ความคลาดเคลื่อนของความเร็วที่คำนวณได้} &= \frac{(0.757 - 0.741)}{0.741} \times 100 \\ &= 2.2\% \end{aligned}$$

ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนในการคำนวณความเร็วค่าอื่นๆ ( $u_1$ ,  $v_1$  และ  $v_2$ ) ก็จะสามารถทำการคำนวณได้ด้วยวิธีการเดียวกัน โดยผลการคำนวณความเร็วของน้ำหนักบรรทุกที่เคลื่อนที่และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนในการคำนวณของตัวอย่างทดสอบทั้งหมด จะแสดงได้ดังตารางที่ 3.2 ถึงตารางที่ 3.5

เมื่อน้ำหนักบรรทุกมีอัตราส่วน 1 ต่อ 1 เคลื่อนที่ผ่านเลนที่ 1 โดยมีอัตราส่วนของระยะห่างระหว่างเพลาคือความยาวสะพาน (S/L) ต่างๆกัน

ตารางที่ 3.2 ความเร็วที่คำนวณได้และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน สำหรับอัตราส่วนน้ำหนักบรรทุก 1 ต่อ 1 เคลื่อนที่ผ่านเลนที่ 1

S/L	ครั้งที่	$u_1$	$U_1$	% error	$v_1$	$V_1$	% error	$u_2$	$U_2$	% error	$v_2$	$V_2$	% error
20/200	1	0.519	0.537	-3.79	0.503	0.537	-6.65	0.491	0.488	0.75	0.475	0.539	-11.87
	2	0.540	0.539	0.10	0.522	0.539	-3.11	0.509	0.512	-0.57	0.491	0.539	-8.95
	3	0.491	0.488	0.78	0.431	0.466	-7.40	0.382	0.410	-6.84	0.300	0.293	2.50
25/200	1	0.378	0.445	-15.01	0.370	0.341	8.25	0.365	0.310	17.69	0.356	0.445	-20.04
	2	0.593	0.526	11.22	0.574	0.640	-10.27	0.568	0.605	-6.45	0.549	0.553	-0.73
	3	0.971	1.043	-7.47	1.059	1.045	1.36	1.092	1.074	1.69	1.172	0.985	15.96
30/200	1	0.513	0.556	-7.79	0.525	0.562	-6.65	0.526	0.562	-6.39	0.538	0.532	1.28
	2	0.401	0.475	-15.43	0.449	0.470	-4.46	0.455	0.475	-4.07	0.498	0.499	-0.21
	3	0.632	0.680	-7.11	0.634	0.690	-8.06	0.635	0.690	-8.02	0.637	0.612	4.11
40/200	1	0.488	0.512	-4.73	0.444	0.410	8.35	0.451	0.410	10.16	0.403	0.427	-5.50
	2	0.323	0.330	-2.64	0.304	0.301	0.87	0.307	0.310	-1.23	0.288	0.284	1.18
	3	0.274	0.293	-6.45	0.268	0.263	1.92	0.269	0.270	-0.36	0.262	0.247	6.34
50/200	1	0.947	0.918	3.20	0.759	0.797	-4.78	0.822	0.884	-7.11	0.595	0.640	-7.00
	2	0.963	0.954	0.96	0.897	0.954	-5.91	0.918	0.973	-5.66	0.849	0.832	2.06
	3	0.909	0.945	-3.78	0.750	0.797	-6.00	0.802	0.853	-6.00	0.616	0.653	-5.68
60/200	1	0.823	0.833	-1.21	0.760	0.765	-0.67	0.787	0.785	0.23	0.721	0.710	1.55
	2	1.078	1.035	4.15	0.838	0.901	-6.99	0.948	0.993	-4.50	0.663	0.657	0.81
	3	0.938	0.918	2.19	0.762	0.811	-6.05	0.840	0.893	-5.88	0.637	0.666	-4.35
70/200	1	0.884	0.927	-4.62	0.791	0.869	-8.99	0.836	0.954	-12.35	0.737	0.721	2.24
	2	1.035	0.973	6.41	0.860	0.935	-8.08	0.949	1.013	-6.32	0.754	0.691	9.16
	3	0.922	0.853	8.07	0.846	0.954	-11.34	0.884	0.973	-9.16	0.803	0.797	0.76

Note:  $u$  คือความเร็วต้นที่คำนวณได้ (m/s)

$U$  คือความเร็วต้นที่ได้จากเซ็นเซอร์ (m/s)

$v$  คือความเร็วปลายที่คำนวณได้ (m/s)

$V$  คือความเร็วปลายที่ได้จากเซ็นเซอร์ (m/s)

เมื่อน้ำหนักบรรทุกมีอัตราส่วน 1 ต่อ 3 เคลื่อนที่ผ่านเลนที่ 1 โดยมีอัตราส่วนของระยะห่างระหว่างเพลาคือความยาวสะพาน (S/L) ต่างๆกัน

ตารางที่ 3.3 ความเร็วที่คำนวณได้และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน สำหรับอัตราส่วนน้ำหนักบรรทุก 1 ต่อ 3 เคลื่อนที่ผ่านเลนที่ 1

S/L	ครั้งที่	$u_1$	$U_1$	% error	$v_1$	$V_1$	% error	$u_2$	$U_2$	% error	$v_2$	$V_2$	% error
25/200	1	0.759	0.783	-3.09	0.671	0.686	-2.26	0.637	0.668	-4.60	0.529	0.569	-7.01
	2	0.757	0.808	-6.37	0.724	0.784	-7.73	0.711	0.765	-7.04	0.675	0.718	-5.90
	3	0.894	0.972	-8.06	0.857	0.936	-8.44	0.843	0.927	-8.98	0.804	0.864	-6.98
30/200	1	0.753	0.766	-1.75	0.772	0.821	-5.92	0.775	0.834	-7.07	0.794	0.861	-7.82
	2	0.742	0.754	-1.55	0.771	0.832	-7.28	0.775	0.843	-8.05	0.802	0.846	-5.19
	3	0.998	1.024	-2.53	0.998	1.049	-4.89	0.998	1.049	-4.89	0.998	1.093	-8.69
40/200	1	0.347	0.353	-1.62	0.339	0.336	0.88	0.340	0.353	-3.68	0.331	0.341	-2.94
	2	0.445	0.445	-0.03	0.428	0.466	-8.13	0.430	0.488	-11.80	0.412	0.379	8.63
	3	0.510	0.488	4.59	0.500	0.539	-7.25	0.501	0.525	-4.54	0.491	0.500	-1.70
50/200	1	1.142	1.035	10.36	0.981	1.046	-6.20	1.039	1.036	0.26	0.859	0.884	-2.88
	2	1.052	1.165	-9.67	1.000	1.106	-9.55	1.016	1.106	-8.07	0.962	0.918	4.80
	3	1.029	1.013	1.52	0.964	1.024	-5.90	0.985	1.035	-4.81	0.917	0.869	5.58
60/200	1	0.926	0.839	10.47	0.905	0.983	-7.92	0.914	0.973	-6.08	0.892	0.901	-1.00
	2	1.121	1.138	-1.51	0.980	1.024	-4.35	1.040	1.138	-8.62	0.886	0.853	3.79
	3	0.945	0.927	2.03	0.859	0.972	-11.69	0.895	0.963	-7.10	0.803	0.876	-8.43
70/200	1	0.945	0.901	4.96	0.863	0.918	-5.95	0.905	1.003	-9.79	0.818	0.846	-3.26
	2	0.980	0.948	3.39	0.871	0.963	-9.55	0.927	1.049	-11.64	0.810	0.814	-0.39
	3	0.946	0.945	0.19	0.819	0.938	-12.60	0.884	0.897	-1.50	0.746	0.792	-5.73

Note:  $u$  คือความเร็วต้นที่คำนวณได้ (m/s)

$U$  คือความเร็วต้นที่ได้จากเซ็นเซอร์ (m/s)

$v$  คือความเร็วปลายที่คำนวณได้ (m/s)

$V$  คือความเร็วปลายที่ได้จากเซ็นเซอร์ (m/s)

เมื่อน้ำหนักบรรทุกมีอัตราส่วน 1 ต่อ 1 เคลื่อนที่ผ่านเลนที่ 2 โดยมีอัตราส่วนของระยะห่างระหว่างเพลาคือความยาวสะพาน (S/L) ต่างๆกัน

ตารางที่ 3.4 ความเร็วที่คำนวณได้และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน สำหรับอัตราส่วนน้ำหนักบรรทุก 1 ต่อ 1 เคลื่อนที่ผ่านเลนที่ 2

S/L	ครั้งที่	$u_1$	$U_1$	% error	$v_1$	$V_1$	% error	$u_2$	$U_2$	% error	$v_2$	$V_2$	% error
20/200	1	0.899	0.931	-3.47	0.850	0.819	3.70	0.808	0.853	-5.31	0.753	0.788	-4.40
	2	0.650	0.640	1.61	0.572	0.602	-5.01	0.507	0.512	-1.02	0.402	0.466	-13.72
	3	0.952	0.931	2.27	0.902	0.931	-3.06	0.864	0.931	-7.23	0.809	0.788	2.65
25/200	1	0.651	0.671	-3.04	0.598	0.620	-3.49	0.577	0.569	1.48	0.518	0.550	-5.84
	2	0.284	0.266	7.00	0.289	0.314	-7.78	0.292	0.249	16.94	0.397	0.341	-13.11
	3	0.833	0.772	7.87	0.741	0.797	-7.05	0.701	0.737	-4.84	0.590	0.628	-6.06
30/200	1	0.751	0.685	9.55	0.667	0.705	-5.32	0.669	0.705	-5.14	0.574	0.657	-12.70
	2	1.110	1.069	3.84	1.035	1.138	9.05	1.037	1.138	8.89	0.956	1.003	-4.73
	3	1.221	1.035	18.02	1.068	1.106	-3.41	1.077	1.081	-0.34	0.899	0.901	-0.15
40/200	1	0.339	0.315	7.53	0.297	0.320	-7.22	0.303	0.277	9.63	0.256	0.293	-12.57
	2	0.485	0.427	13.77	0.439	0.427	2.84	0.446	0.488	-8.54	0.395	0.379	4.10
	3	0.564	0.525	7.31	0.504	0.466	8.24	0.513	0.466	10.28	0.447	0.445	0.40
50/200	1	0.701	0.737	-4.91	0.636	0.716	-11.04	0.656	0.721	-8.91	0.587	0.576	1.99
	2	0.576	0.579	-0.47	0.487	0.496	-1.90	0.516	0.566	-8.77	0.414	0.442	-6.44
	3	0.638	0.649	-1.62	0.628	0.676	-7.10	0.631	0.685	-7.91	0.620	0.586	5.87
60/200	1	0.821	0.824	-0.36	0.738	0.797	-7.46	0.774	0.824	-6.16	0.684	0.715	-4.33
	2	0.782	0.772	1.33	0.655	0.715	-8.43	0.712	0.748	-4.92	0.568	0.608	-6.51
	3	0.925	0.884	4.55	0.786	0.811	-3.06	0.849	0.853	-0.55	0.695	0.726	-4.27
70/200	1	0.958	0.945	1.42	0.831	0.876	-5.17	0.987	0.901	-0.40	0.760	0.726	4.72
	2	0.863	0.839	2.90	0.800	0.884	-9.53	0.831	0.901	-7.73	0.766	0.760	0.75
	3	0.904	0.876	3.20	0.806	0.869	-7.26	0.855	0.945	-9.47	0.750	0.760	-1.37

Note:  $u$  คือความเร็วต้นที่คำนวณได้ (m/s)

$U$  คือความเร็วต้นที่ได้จากเซ็นเซอร์ (m/s)

$v$  คือความเร็วปลายที่คำนวณได้ (m/s)

$V$  คือความเร็วปลายที่ได้จากเซ็นเซอร์ (m/s)

เมื่อน้ำหนักบรรทุกมีอัตราส่วน 1 ต่อ 3 เคลื่อนที่ผ่านเลนที่ 2 โดยมีอัตราส่วนของระยะห่างระหว่างเพลตต่อความยาวสะพาน (S/L) ต่างๆกัน

ตารางที่ 3.5 ความเร็วที่คำนวณได้และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน สำหรับอัตราส่วนน้ำหนักบรรทุก 1 ต่อ 3 เคลื่อนที่ผ่านเลนที่ 2

S/L	ครั้งที่	$u_1$	$U_1$	% error	$v_1$	$V_1$	% error	$u_2$	$U_2$	% error	$v_2$	$V_2$	% error
25/200	1	0.630	0.666	-5.49	0.620	0.653	-5.07	0.616	0.649	-5.02	0.606	0.586	3.39
	2	0.905	0.901	0.45	0.920	0.935	-1.66	0.925	0.954	-2.97	0.940	0.884	6.31
	3	0.724	0.861	-15.85	0.860	0.901	-4.49	0.909	0.954	-4.71	1.020	0.901	13.28
30/200	1	0.933	1.035	-9.87	1.055	1.106	-4.57	1.052	1.145	-8.10	1.162	1.024	13.43
	2	1.232	1.158	6.35	1.049	1.106	-5.15	1.037	1.106	-6.20	0.812	0.901	-9.90
	3	1.032	0.954	8.15	0.949	1.013	-6.33	0.947	1.013	-6.53	0.857	0.869	-1.36
40/200	1	0.707	0.706	0.04	0.616	0.683	-9.78	0.629	0.621	1.42	0.526	0.445	18.08
	2	0.718	0.661	8.70	0.632	0.731	-13.58	0.645	0.683	-5.59	0.547	0.466	17.52
	3	0.695	0.683	1.78	0.683	0.788	-13.34	0.684	0.759	-9.78	0.672	0.602	11.55
50/200	1	0.654	0.715	-8.53	0.689	0.772	-10.75	0.679	0.754	-9.96	0.713	0.657	8.43
	2	0.696	0.705	-1.29	0.719	0.797	-9.89	0.712	0.748	-4.88	0.734	0.676	8.65
	3	0.647	0.616	5.02	0.741	0.785	-5.53	0.713	0.748	-4.68	0.800	0.760	5.25
60/200	1	0.886	0.935	-5.33	0.827	0.884	-6.48	0.852	0.954	-10.72	0.791	0.797	-0.85
	2	0.949	0.909	4.39	0.831	0.927	-10.28	0.881	0.963	-8.52	0.753	0.846	-11.02
	3	0.785	0.811	-3.20	0.755	0.846	-10.79	0.767	0.839	-8.56	0.736	0.737	-0.15
70/200	1	0.931	0.973	-4.28	0.819	0.901	-9.10	0.875	0.993	-11.87	0.754	0.726	3.87
	2	1.182	1.158	2.08	0.903	0.983	-8.14	1.049	1.118	-6.21	0.719	0.748	-3.93
	3	1.048	1.013	3.38	0.894	0.973	-8.10	0.972	1.035	-6.07	0.804	0.811	-0.80

Note:  $u$  คือความเร็วต้นที่คำนวณได้ (m/s)

$U$  คือความเร็วต้นที่ได้จากเซ็นเซอร์ (m/s)

$v$  คือความเร็วปลายที่คำนวณได้ (m/s)

$V$  คือความเร็วปลายที่ได้จากเซ็นเซอร์ (m/s)

การคำนวณหาระยะห่างระหว่างเพลลาและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน เป็นการคำนวณหาระยะห่างระหว่างเพลลาของน้ำนักบรรทุกที่เคลื่อนที่ผ่านสะพานจำลอง โดยอาศัยหลักการในหัวข้อที่ 2.1 และ ความเร็วของน้ำนักบรรทุกที่คำนวณได้ ซึ่งการคำนวณหาระยะห่างระหว่างเพลลาและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสามารถแสดงได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง การคำนวณระยะห่างระหว่างเพลลาและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

พิจารณากรณีที่น้ำนักบรรทุกชนิดเพลลาคู่ที่มีอัตราส่วนน้ำนักเพลลาคู่หน้าต่อน้ำนักเพลลาคู่หลังเท่ากับ 1 ต่อ 3 และมีระยะห่างระหว่างเพลลาเป็น 25 ซม. เคลื่อนที่ผ่านสะพานบนเลนที่ 1 เช่นกับตัวอย่างในการหาความเร็วซึ่งจากตัวอย่างที่ผ่านมาจะสามารถคำนวณหาความเร็วได้ดังนี้

$$\begin{cases} u_1 \\ u_2 \\ v_1 \\ v_2 \end{cases} = \begin{cases} 0.711 \\ 0.757 \\ 0.675 \\ 0.723 \end{cases} \text{ m/s}$$

- โดย  $u_1$  คือ ความเร็วต้นเมื่อเพลลาคู่หน้าของรถเคลื่อนที่ผ่านหน้าตัด  $L/2$   
 $u_2$  คือ ความเร็วต้นเมื่อเพลลาคู่หลังของรถเคลื่อนที่ผ่านหน้าตัด  $2L/3$   
 $v_1$  คือ ความเร็วปลายเมื่อเพลลาคู่หน้าของรถเคลื่อนที่ผ่านหน้าตัด  $L/2$   
 $v_2$  คือ ความเร็วปลายเมื่อเพลลาคู่หลังของรถเคลื่อนที่ผ่านหน้าตัด  $2L/3$

จากหลักการในหัวข้อที่ 2.1 จะได้ว่าระยะห่างระหว่างเพลลา ( $s_2$ ) จะสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} s_2 &= \left( \frac{u_1 + v_1}{2} \right) \Delta t_1 \\ &= \left( \frac{0.711 + 0.675}{2} \right) \times 0.333 \\ &= 0.231 \text{ m} \end{aligned}$$

และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนในการคำนวณระยะห่างระหว่างเพลลาจะคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \% \text{ความคลาดเคลื่อนในการคำนวณระยะห่างระหว่างเพลลา} &= \frac{0.231 - 0.250}{0.250} \times 100 \\ &= -8.00 \% \end{aligned}$$

ซึ่งผลการคำนวณระยะห่างระหว่างเพลลาของน้ำนักบรรทุกที่เคลื่อนที่และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน ของตัวอย่างทดสอบทั้งหมดจะแสดงได้ดังตารางที่ 3.6 ถึง ตารางที่ 3.9



เมื่อนำหนักบรรทุกมีอัตราส่วน 1 ต่อ 1 เคลื่อนที่ผ่านเลนที่ 1 โดยมีอัตราส่วนของระยะห่างระหว่างเพลาคือความยาวสะพาน (S/L) ต่างๆกัน

ตารางที่ 3.6 ระยะห่างระหว่างเพลาค่าที่คำนวณได้และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน สำหรับอัตราส่วนน้ำหนักบรรทุก 1 ต่อ 1 เคลื่อนที่ผ่านเลนที่ 1

S/L	ครั้งที่	ระยะห่างระหว่างเพลาคจริง (m)	ระยะห่างระหว่างเพลาคที่คำนวณได้ (m)	% error
20/200	1	0.200	0.192	-4.00
	2	0.200	0.192	-4.00
	3	0.200	0.194	-3.00
25/200	1	0.250	0.230	-8.00
	2	0.250	0.255	2.00
	3	0.250	0.244	-2.40
30/200	1	0.300	0.304	1.33
	2	0.300	0.293	-2.33
	3	0.300	0.297	-1.00
40/200	1	0.400	0.401	0.25
	2	0.400	0.395	-1.25
	3	0.400	0.399	-0.25
50/200	1	0.500	0.489	-2.20
	2	0.500	0.488	-2.40
	3	0.500	0.482	-3.60
60/200	1	0.600	0.587	-2.17
	2	0.600	0.585	-2.50
	3	0.600	0.576	-4.00
70/200	1	0.700	0.644	-8.00
	2	0.700	0.651	-7.00
	3	0.700	0.661	-5.57

เมื่อน้ำหนักบรรทุกมีอัตราส่วน 1 ต่อ 3 เคลื่อนที่ผ่านเลนที่ 1 โดยมีอัตราส่วนของระยะห่างระหว่างเพลาคือความยาวสะพาน (S/L) ต่างๆกัน

ตารางที่ 3.7 ตารางแสดงระยะห่างระหว่างเพลาคำนวณได้และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน สำหรับอัตราส่วนน้ำหนักบรรทุก 1 ต่อ 3 เคลื่อนที่ผ่านเลนที่ 1

S/L	ครั้งที่	ระยะห่างระหว่างเพลจริง (m)	ระยะห่างระหว่างเพลาคำนวณได้ (m)	% error
25/200	1	0.250	0.253	1.20
	2	0.250	0.257	2.80
	3	0.250	0.254	1.60
30/200	1	0.300	0.305	1.67
	2	0.300	0.295	-1.67
	3	0.300	0.309	3.00
40/200	1	0.400	0.408	2.00
	2	0.400	0.397	-0.75
	3	0.400	0.394	-1.50
50/200	1	0.500	0.500	0.00
	2	0.500	0.487	-2.60
	3	0.500	0.495	-1.00
60/200	1	0.600	0.569	-5.17
	2	0.600	0.572	-4.67
	3	0.600	0.561	-6.50
70/200	1	0.700	0.661	-5.57
	2	0.700	0.667	-4.71
	3	0.700	0.661	-5.57

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อนำนักบรรทุกมีอัตราส่วน 1 ต่อ 1 เคลื่อนที่ผ่านเลนที่ 2 โดยมีอัตราส่วนของระยะห่างระหว่างเพลตต่อความยาวสะพาน (S/L) ต่างๆกัน

ตารางที่ 3.8 ระยะห่างระหว่างเพลตที่คำนวณได้และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน สำหรับอัตราส่วนน้ำหนักบรรทุก 1 ต่อ 1 เคลื่อนที่ผ่านเลนที่ 2

S/L	ครั้งที่	ระยะห่างระหว่างเพลตจริง (m)	ระยะห่างระหว่างเพลตที่คำนวณได้ (m)	% error
20/200	1	0.200	0.197	-1.50
	2	0.200	0.197	-1.50
	3	0.200	0.193	-3.50
25/200	1	0.250	0.244	-2.40
	2	0.250	0.235	-6.00
	3	0.250	0.248	-0.80
30/200	1	0.300	0.294	-2.00
	2	0.300	0.292	-2.67
	3	0.300	0.300	0.00
40/200	1	0.400	0.394	-1.50
	2	0.400	0.393	-1.75
	3	0.400	0.394	-1.50
50/200	1	0.500	0.482	-3.60
	2	0.500	0.488	-2.40
	3	0.500	0.486	-2.80
60/200	1	0.600	0.574	-4.33
	2	0.600	0.583	-2.83
	3	0.600	0.594	-1.00
70/200	1	0.700	0.681	-2.71
	2	0.700	0.655	-6.43
	3	0.700	0.654	-6.57

เมื่อนำนักบรรทุกมีอัตราส่วน 1 ต่อ 3 เคลื่อนที่ผ่านเลนที่ 2 โดยมีอัตราส่วนของระยะห่างระหว่างเพลาคือความยาวสะพาน (S/L) ต่างๆกัน

ตารางที่ 3.9 ระยะห่างระหว่างเพลาคือที่คำนวณได้และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน สำหรับอัตราส่วนน้ำหนักบรรทุก 1 ต่อ 3 เคลื่อนที่ผ่านเลนที่ 2

S/L	ครั้งที่	ระยะห่างระหว่างเพลจริง (m)	ระยะห่างระหว่างเพลที่คำนวณได้ (m)	% error
25/200	1	0.250	0.247	-1.20
	2	0.250	0.245	-2.00
	3	0.250	0.241	-3.60
30/200	1	0.300	0.295	-1.67
	2	0.300	0.271	-9.67
	3	0.300	0.284	-5.33
40/200	1	0.400	0.392	-2.00
	2	0.400	0.392	-2.00
	3	0.400	0.388	-3.00
50/200	1	0.500	0.476	-4.80
	2	0.500	0.481	-3.80
	3	0.500	0.482	-3.60
60/200	1	0.600	0.574	-4.33
	2	0.600	0.568	-5.33
	3	0.600	0.555	-7.50
70/200	1	0.700	0.653	-6.71
	2	0.700	0.664	-5.14
	3	0.700	0.662	-5.43

โดยปัจจัยที่มีผลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการคำนวณความเร็วและระยะห่างระหว่างเพลาคือกล่าวไว้ในภาคผนวก ก.

### การหาความเร็วและระยะห่างเพลาด้วยวิธีการของ Dempsey และ Znidaric

จากสัญญาณความเครียดที่ได้จากการรวมสัญญาณ จะพบว่าลักษณะของสัญญาณที่ได้จะมีลักษณะคล้ายกับสัญญาณความเครียดที่ใช้ในหลักการการหาความเร็วและระยะห่างเพลาของ Dempsey และ Znidaric ดังนั้นเพื่อทำการเปรียบเทียบผลการคำนวณความเร็วและระยะห่างเพลาของหลักการที่นำเสนอไปในหัวข้อที่ 2.1 จึงทำการคำนวณความเร็วและระยะห่างระหว่างเพลาโดยใช้วิธีการของ Dempsey และ Znidaric ซึ่งการหาความเร็วของหลักการดังกล่าวจะทำการหาความเร็วจากสมการที่ 3.3

$$v = \frac{s}{\Delta t} \quad (3.3)$$

โดยที่  $\Delta t$  ที่ต้องการจะเป็นค่าที่ทำให้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ซึ่งแสดงได้ดังสมการที่ 3.4 มีค่าน้อยที่สุด

$$O(\Delta t) = \sum_{t=1}^T [\sum_{i=1}^G \varepsilon_i(t + \Delta t) - \sum_{j=1}^H \varepsilon_j(t)]^2 \quad (3.4)$$

ส่วนระยะห่างเพลาจะได้จากผลคูณของความเร็วที่คำนวณได้กับเวลาระหว่างเพลานำกับเพลาลัง

โดยจะทำการเลือกกรณีที่รถเคลื่อนที่ผ่านสะพานบนเลนที่ 1 มาทำการคำนวณด้วยหลักการของ Dempsey และ Znidaric ซึ่งผลของการคำนวณความเร็วและระยะห่างเพลาแสดงได้ดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 ผลการคำนวณความเร็วและระยะห่างเพลาด้วยวิธีของ Dempsey และ Znidaric

S/L	อัตราส่วนน้ำหนัก	ครั้งที่	ความเร็วเฉลี่ย	err.(%)	ระยะห่างเพลาที่คำนวณได้	err.(%)
20/200	1ต่อ1	1	0.480	-7.41	0.180	-1.00
		2	0.316	-41.52	0.114	-4.28
		3	0.418	39.31	0.175	-1.23
30/200	1ต่อ1	1	0.940	83.44	0.537	79.06
		2	0.841	109.49	0.579	92.93
		3	0.520	-18.45	0.240	-19.84
	1ต่อ3	1	0.799	6.22	0.311	3.57
		2	0.792	6.68	0.308	2.61
		3	1.031	3.32	0.314	4.73
40/200	1ต่อ1	1	0.450	11.53	0.384	-3.93
		2	0.308	7.05	0.385	-3.79
		3	0.269	2.52	0.389	-2.74

S/L	อัตราส่วนน้ำหนัก	ครั้งที่	ความเร็วเฉลี่ย	err.(%)	ระยะห่างเพลลาที่คำนวณได้	err.(%)
40/200	1ต่อ3	1	0.336	-3.28	0.391	-2.22
		2	0.430	4.34	0.382	-4.59
		3	0.506	2.99	0.390	-2.59
50/200	1ต่อ1	1	0.728	-115.94	0.410	-17.98
		2	0.875	-9.11	0.450	-10.09
		3	0.719	-20.93	0.418	-16.35
	1ต่อ3	1	0.923	-19.23	0.440	-12.07
		2	0.970	-7.86	0.454	-9.28
		3	0.943	-8.34	0.466	-6.81
60/200	1ต่อ1	1	0.894	23.93	0.652	8.63
		2	0.847	27.83	0.515	-14.11
		3	0.779	22.28	0.527	-12.23
	1ต่อ3	1	0.835	-9.91	0.513	-14.42
		2	0.915	-18.34	0.492	-17.93
		3	0.987	22.93	0.615	2.44
70/200	1ต่อ1	1	1.041	41.27	0.787	12.37
		2	1.080	43.24	0.741	5.79
		3	1.013	26.08	0.745	6.41
	1ต่อ3	1	0.858	-9.29	0.625	-10.75
		2	0.841	-14.24	0.597	-14.73
		3	0.787	-16.89	0.583	-16.72

ซึ่งผลการคำนวณที่ได้นั้นจะพบว่าความคลาดเคลื่อนในการคำนวณนั้นจะมีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการคำนวณความเร็วและระยะห่างเพลลาที่นำเสนอไปในหัวข้อที่ 2.1

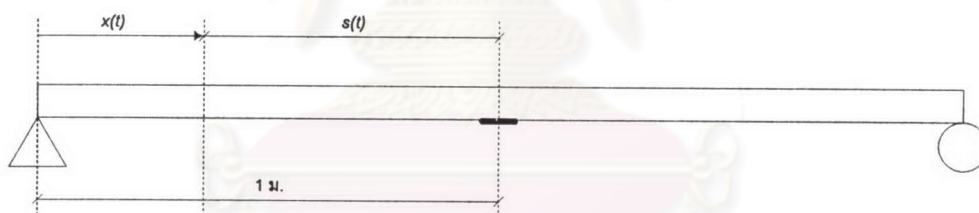
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.5 การนำความเร็วและระยะห่างระหว่างเพลาคำนวณได้ไปช่วยในการทำนายน้ำหนัก

จากหลักการในการทำนายน้ำหนักบรรทุกที่เคลื่อนที่ผ่านสะพาน สิ่งที่สำคัญที่จะต้องทราบคือตำแหน่งของเพลานบนสะพาน ณ เวลาต่างๆ ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้วิธีการติดตั้งตรวจจับเพลา (axle detector) บนพื้นสะพาน 2 หน้าตัด แล้วทำการคำนวณหาค่าความเร็วเฉลี่ยของน้ำหนักบรรทุกขณะเคลื่อนที่ผ่านสะพาน โดยจะนำความเร็วเฉลี่ยไปคำนวณหาตำแหน่งของเพลานบนสะพานได้ ซึ่งถ้าน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่จริง วิธีการที่กล่าวมาข้างต้นนั้นจะสามารถนำมาใช้ในการหาตำแหน่งของเพลานบนสะพานได้อย่างถูกต้องแม่นยำ แต่ในความเป็นจริง น้ำหนักบรรทุกที่เคลื่อนที่ผ่านสะพานนั้นอาจจะไม่ได้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ แต่อาจจะเคลื่อนที่ผ่านสะพานด้วยความเร่ง

การที่พิจารณานำหลักการของการหาความเร็วและระยะห่างระหว่างเพลามาทำการหาตำแหน่งเพลานของน้ำหนักบรรทุกบนสะพาน โดยสมมติฐานที่ว่าน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่ ซึ่งจะช่วยให้สามารถระบุตำแหน่งของเพลานบนสะพานได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยวิธีการหาตำแหน่งเพลานจะมีวิธีการดังนี้

**การหาตำแหน่งของเพลานบนสะพาน** จากหลักการในการหาความเร็วและระยะห่างระหว่างเพลาน จะสามารถคำนวณความเร็ว ( $u_1, v_1, u_2$  และ  $v_2$ ) ระยะห่างระหว่างเพลาน ( $s_2$ ) และความเร่ง ( $a$ ) โดยการหาตำแหน่งของเพลานบนสะพานนั้น จะพิจารณาดำแหน่งหน้าตัดที่  $L/2$  (1 ม.) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.46



รูปที่ 3.46 รายละเอียดการหาตำแหน่งของเพลานที่เคลื่อนที่อยู่บนสะพาน

จากสมการการเคลื่อนที่

$$s(t) = v\Delta t - \frac{1}{2}a\Delta t^2 \quad (3.5)$$

โดยที่  $s(t)$  คือ ระยะทางที่เคลื่อนที่

$v$  คือ ความเร็วปลาย

$a$  คือ ความเร่ง

$\Delta t$  คือ เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่

ซึ่งจากสมการการเคลื่อนที่ข้างบนจะได้ระยะทาง ที่แสดงในรูปที่ 3.46 คือ

$$s(t) = u_1(t_1 - t) - \frac{1}{2}a(t_1 - t)^2 \quad (3.6)$$

โดยที่  $s(t)$  คือ ระยะทางที่แสดงในรูปที่ 3.46

$u_1$  คือ ความเร็วต้นขณะที่เพลาน้ำของน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่อยู่บนหน้าตัดที่  $L/2$  (1 ม.)

$t$  คือ เวลาใดๆ

$t_1$  คือ เวลาที่เพลาน้ำน้ำหนักบรรทุกอยู่บนหน้าตัดที่  $L/2$  (1 ม.)

$a$  คือ ความเร่ง

และจากรูปที่ 3.46 จะพิจารณาให้ตำแหน่งที่เพลาน้ำของน้ำหนักบรรทุกเริ่มเข้าสะพานมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นจะได้ว่าตำแหน่งของเพลาน้ำที่เคลื่อนที่บนสะพานคือ

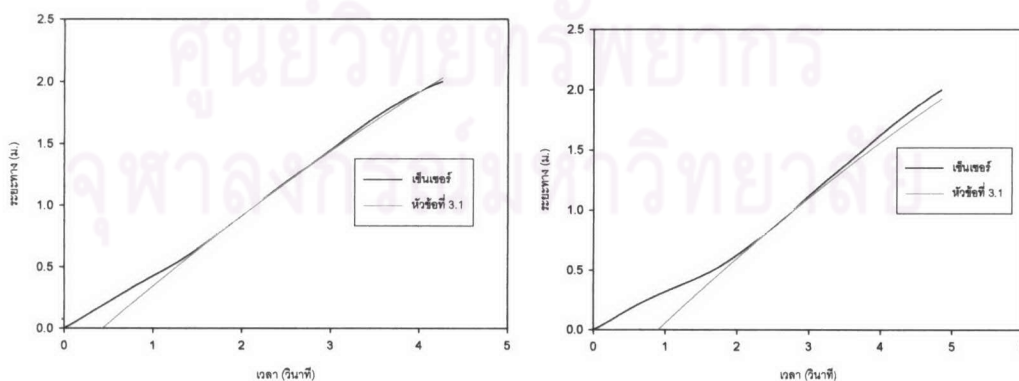
$$x(t) = 1 - s(t) \quad (3.7)$$

โดยที่  $x(t)$  คือตำแหน่งของเพลาน้ำขณะที่น้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่อยู่บนสะพาน

ซึ่งค่า  $x(t)$  ที่คำนวณได้จะเป็นตำแหน่งของเพลาน้ำบนสะพาน ดังนั้น ถ้าต้องการหาตำแหน่งของเพลาน้ำหลังบนสะพานก็จะนำเอาค่า  $x(t)$  ลบออกด้วยค่าระยะห่างระหว่างเพลาน้ำที่คำนวณได้

จากสมการในการหา  $x(t)$  ดังกล่าวจะนำไปทำการหาตำแหน่ง โดยจะนำเสนออยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลา และจากตัวเซ็นเซอร์บอกตำแหน่งจะสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางที่แท้จริงกับเวลาที่น้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ผ่านสะพานได้ ซึ่งจะแสดงอยู่ในรูปที่ 3.47 ถึง รูปที่ 3.57

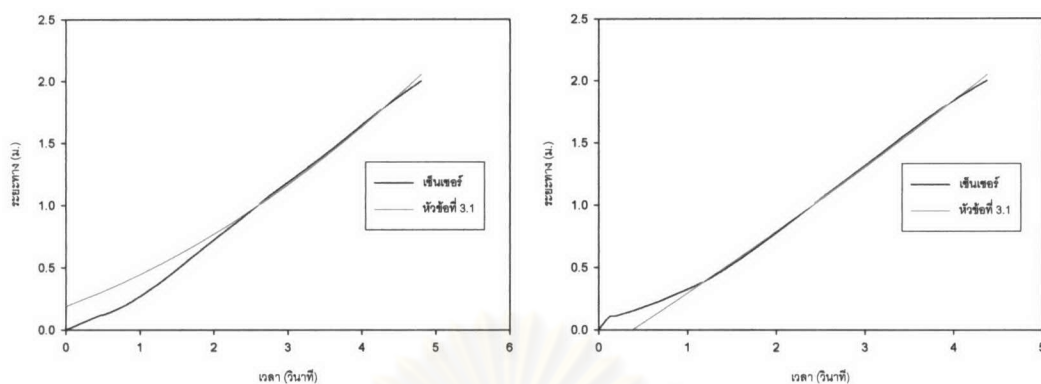
กรณีที่น้ำหนักบรรทุก (1 ตอ 1) มีระยะห่างระหว่างเพลาน้ำเท่ากับ 20 ซม. เคลื่อนที่ผ่านสะพาน



รูปที่ 3.47 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางของเพลาน้ำกับเวลา เมื่อน้ำหนักบรรทุก(1 ตอ 1 ระยะห่าง 20 ซม.) เคลื่อนที่ บนเลนซ้าย (รูปซ้าย) และเลนขวาของสะพาน (รูปขวา)

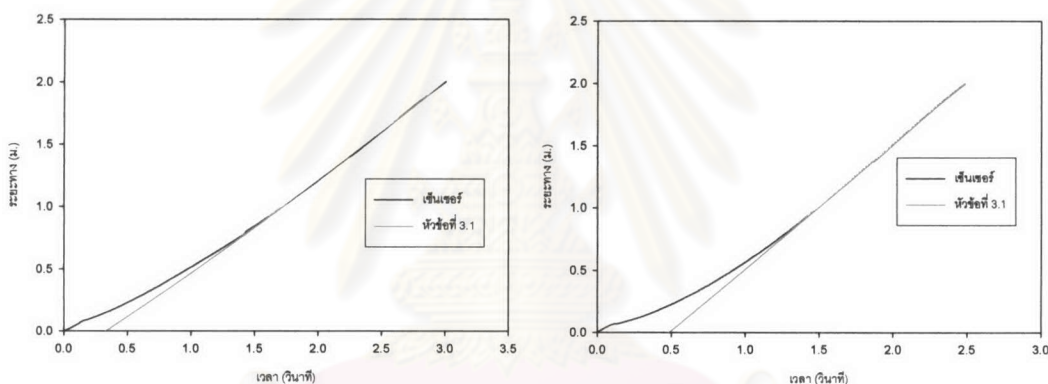


กรณีที่น้ำหนักรบรรทุก (1 ตอ 1) มีระยะห่างระหว่างเพลากับ 30 ซม. เคลื่อนที่ผ่านสะพาน



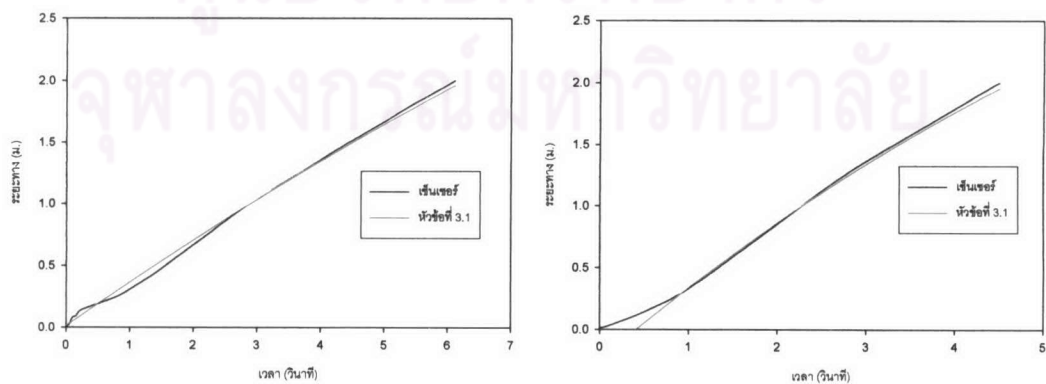
รูปที่ 3.48 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางของเพลากับเวลา เมื่อน้ำหนักรบรรทุก(1 ตอ 1 ระยะห่าง 30 ซม.) เคลื่อนที่ บนเลนซ้าย (รูปซ้าย) และเลนขวาของสะพาน (รูปขวา)

กรณีที่น้ำหนักรบรรทุก (1 ตอ 3) มีระยะห่างระหว่างเพลากับ 30 ซม. เคลื่อนที่ผ่านสะพาน



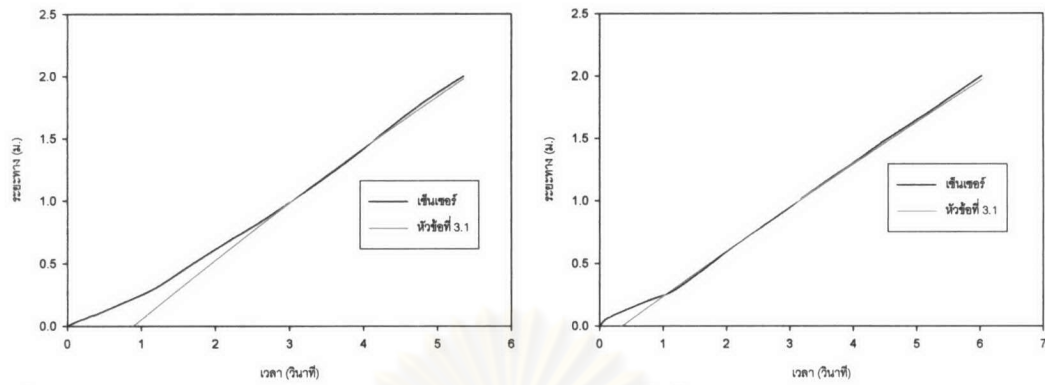
รูปที่ 3.49 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางของเพลากับเวลา เมื่อน้ำหนักรบรรทุก(1 ตอ 3 ระยะห่าง 30 ซม.) เคลื่อนที่ บนเลนขวา (รูปซ้าย) และเลนซ้ายของสะพาน (รูปขวา)

กรณีที่น้ำหนักรบรรทุก (1 ตอ 1) มีระยะห่างระหว่างเพลากับ 40 ซม. เคลื่อนที่ผ่านสะพาน



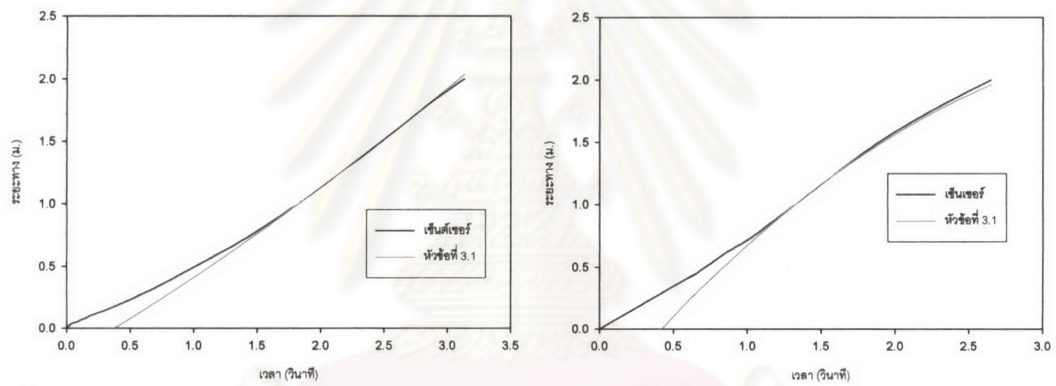
รูปที่ 3.50 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางของเพลากับเวลา เมื่อน้ำหนักรบรรทุก(1 ตอ 1 ระยะห่าง 40 ซม.) เคลื่อนที่ บนเลนซ้าย (รูปซ้าย) และเลนขวาของสะพาน (รูปขวา)

กรณีที่น่าหนักบรรทุก (1 ต่อ 3) มีระยะห่างระหว่างเพลาน้ำเท่ากับ 40 ซม. เคลื่อนที่ผ่านสะพาน



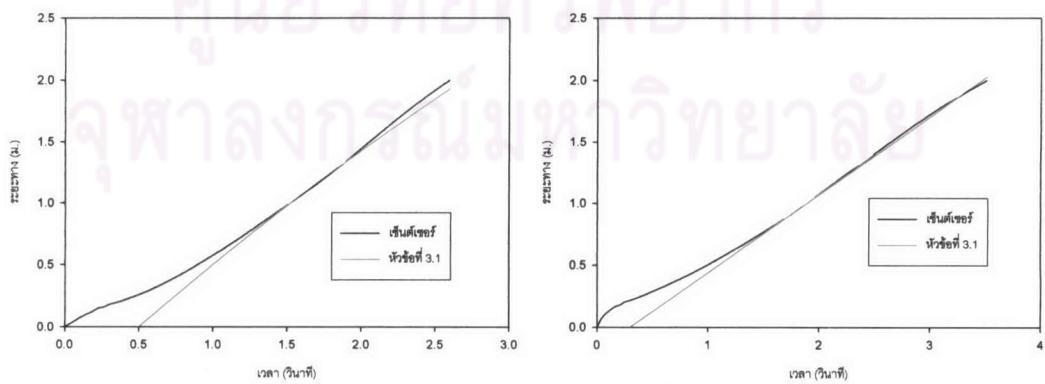
รูปที่ 3.51 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางของเพลาน้ำกับเวลา เมื่อน้ำหนักบรรทุก(1 ต่อ 3 ระยะห่าง 40 ซม.) เคลื่อนที่ บนเลนซ้าย (รูปซ้าย) และเลนขวาของสะพาน (รูปขวา)

กรณีที่น่าหนักบรรทุก (1 ต่อ 1) มีระยะห่างระหว่างเพลาน้ำเท่ากับ 50 ซม. เคลื่อนที่ผ่านสะพาน



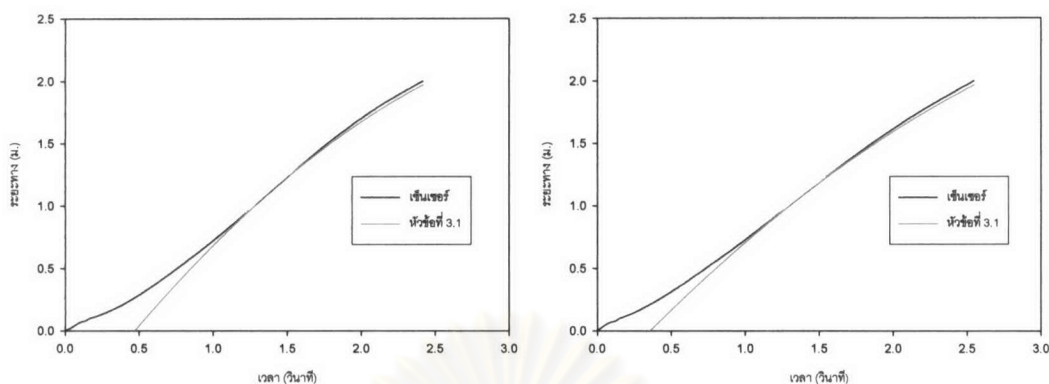
รูปที่ 3.52 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางของเพลาน้ำกับเวลา เมื่อน้ำหนักบรรทุก(1 ต่อ 1 ระยะห่าง 50 ซม.) เคลื่อนที่ บนเลนซ้าย (รูปซ้าย) และเลนขวาของสะพาน (รูปขวา)

กรณีที่น่าหนักบรรทุก (1 ต่อ 3) มีระยะห่างระหว่างเพลาน้ำเท่ากับ 50 ซม. เคลื่อนที่ผ่านสะพาน



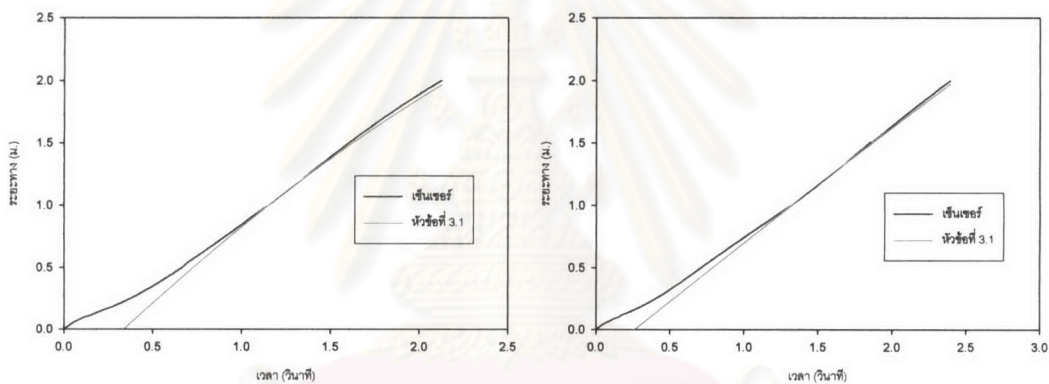
รูปที่ 3.53 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางของเพลาน้ำกับเวลา เมื่อน้ำหนักบรรทุก(1 ต่อ 3 ระยะห่าง 50 ซม.) เคลื่อนที่ บนเลนซ้าย (รูปซ้าย) และเลนขวาของสะพาน (รูปขวา)

กรณีที่น่าหนักบรรทุก (1 ต่อ 1) มีระยะห่างระหว่างเพลากับ 60 ซม. เคลื่อนที่ผ่านสะพาน



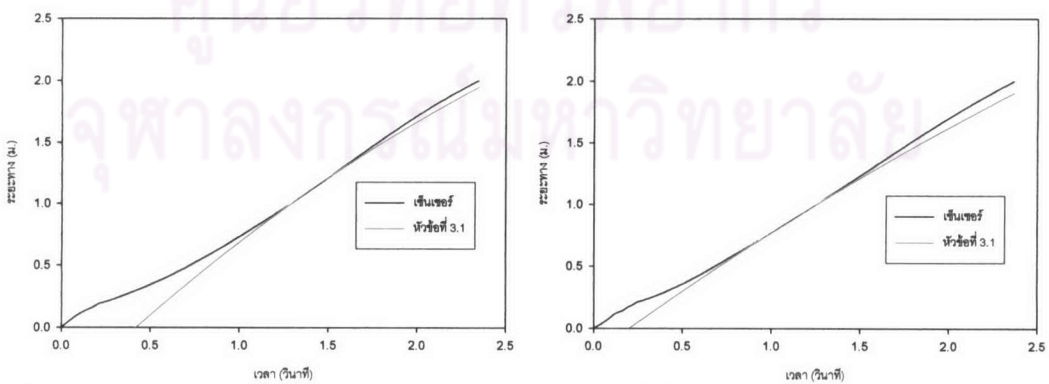
รูปที่ 3.54 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางของเพลากับเวลา เมื่อน้ำหนักบรรทุก(1 ต่อ 1 ระยะห่าง 60 ซม.) เคลื่อนที่ บนเลนซ้าย (รูปซ้าย) และเลนขวาของสะพาน (รูปขวา)

กรณีที่น่าหนักบรรทุก (1 ต่อ 3) มีระยะห่างระหว่างเพลากับ 60 ซม. เคลื่อนที่ผ่านสะพาน



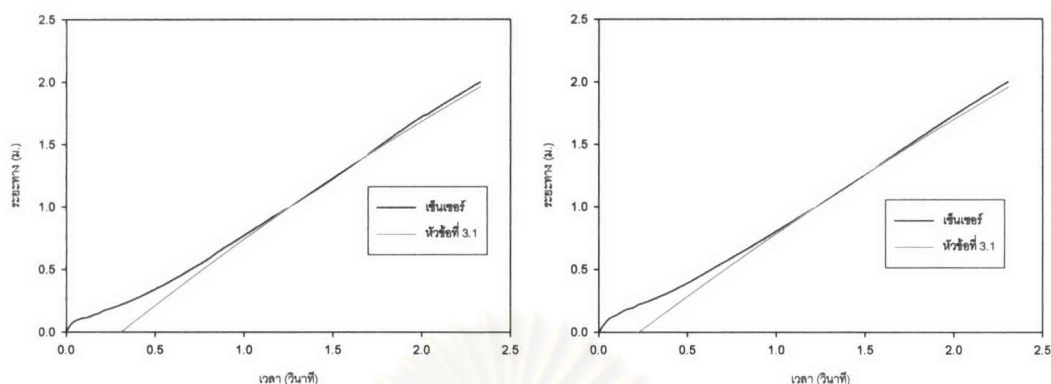
รูปที่ 3.55 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางของเพลากับเวลา เมื่อน้ำหนักบรรทุก(1 ต่อ 3 ระยะห่าง 60 ซม.) เคลื่อนที่ บนเลนซ้าย (รูปซ้าย) และเลนขวาของสะพาน (รูปขวา)

กรณีที่น่าหนักบรรทุก (1 ต่อ 1) มีระยะห่างระหว่างเพลากับ 70 ซม. เคลื่อนที่ผ่านสะพาน



รูปที่ 3.56 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางของเพลากับเวลา เมื่อน้ำหนักบรรทุก(1 ต่อ 1 ระยะห่าง 70 ซม.) เคลื่อนที่ บนเลนซ้าย (รูปซ้าย) และเลนขวาของสะพาน (รูปขวา)

กรณีที่น่าหนักบรรทุก (1 ต่อ 3) มีระยะห่างระหว่างเพลาท่อกับ 70 ซม. เคลื่อนที่ผ่านสะพาน



รูปที่ 3.57 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางของเพลาน้ำกับเวลา เมื่อน้ำหนักบรรทุก(1 ต่อ 3 ระยะห่าง 70 ซม.) เคลื่อนที่ บนเลนซ้าย (รูปซ้าย) และเลนขวาของสะพาน (รูปขวา)

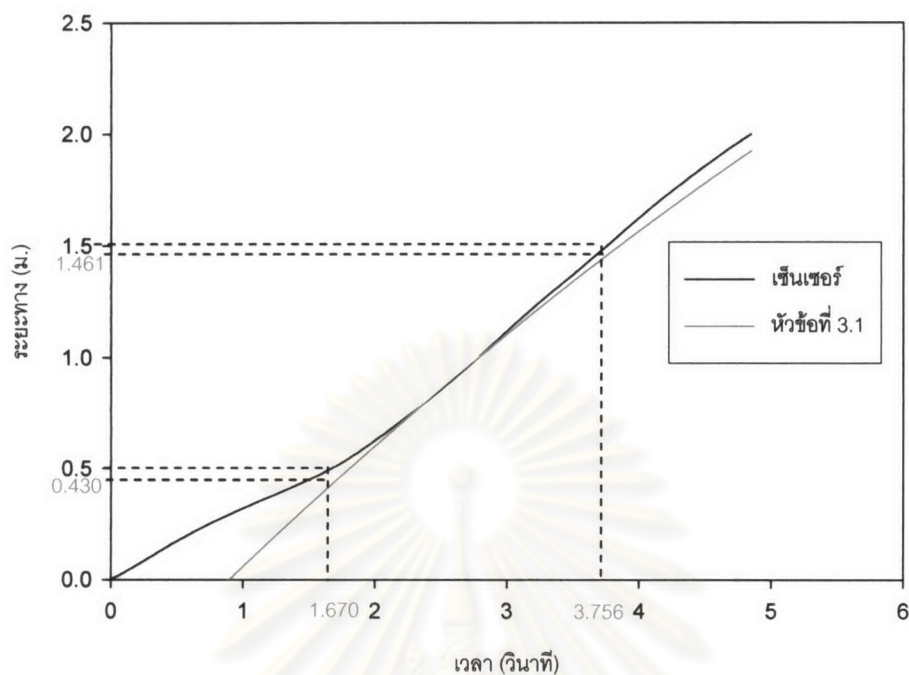
จากความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาที่ได้จะพบว่าในช่วงแรกตำแหน่งที่ระบุได้จะมีความคลาดเคลื่อนสูงมาก เนื่องจากช่วงแรกนั้นการเคลื่อนที่ของน้ำหนักบรรทุกยังเคลื่อนที่ด้วยความเร่งที่ยังไม่คงที่ ส่วนช่วงที่ใช้ในการคำนวณตามหลักการในการหาความเร็วและระยะห่างระหว่างเพลาน้ำในหัวข้อที่ 2.1 (1 ม. ถึง 4/3 ม.) นั้น ตำแหน่งของเพลาน้ำที่คำนวณได้จะมีความคลาดเคลื่อนสูงสุดประมาณ  $\pm 4\%$  แต่ส่วนมากแล้วความคลาดเคลื่อนนั้นจะอยู่ในช่วงประมาณ  $\pm 2\%$  ส่วนตำแหน่งหลังจากนี้ จะมีความคลาดเคลื่อนสูงสุดประมาณ  $\pm 11\%$  แต่ส่วนมากจะอยู่ในช่วงประมาณ  $\pm 4\%$

ซึ่งถ้าพิจารณาในช่วงที่ตำแหน่งที่มีผลกระทบต่อการทายน้ำหนักนั้นจะพบวาระยะตั้งแต่  $L/4$  (0.500 ม.) ถึง  $3L/4$  (1.500 ม.) ของสะพาน ค่าความเครียดที่ได้จากมาตรวัดความเครียด เพื่อใช้ในการทายน้ำหนักจะมีค่าสูง ดังนั้นสำหรับในช่วงดังกล่าวนี้ การระบุตำแหน่งเพลาน้ำขณะที่เคลื่อนที่ควรมีความถูกต้อง โดยการหาความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งสำหรับระยะทางในช่วงดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังนี้

พิจารณารูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลากรณีที่น่าหนักบรรทุก (1 ต่อ 1) ที่มีระยะห่างระหว่างเพลาท่อกับ 20 ซม. เคลื่อนที่ผ่านสะพานบนเลนขวาของสะพาน ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.58 จะพบว่าขณะที่เวลา 1.670 วินาที ตำแหน่งเพลาน้ำของน้ำหนักรบรรทุกที่ได้จากเซ็นเซอร์บอกตำแหน่งอยู่ที่ตำแหน่ง 0.500 ม. แต่จากสมการที่ 3.7 จะคำนวณตำแหน่งของเพลาน้ำจะอยู่ที่ตำแหน่ง 0.430 ม. ซึ่งจะพบว่าเปอร์เซ็นต์ในการระบุตำแหน่งคลาดเคลื่อนต่อความยาวสะพานมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} \% \text{ err.} &= \frac{0.430 - 0.500}{2.000} \times 100\% \\ &= -3.49\% \end{aligned}$$

โดยจะทำการเปรียบเทียบหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนไปทุกๆตำแหน่งจนกระทั่งถึงตำแหน่งที่ 1.500 ม. ซึ่งจะพบว่า มีค่าเท่ากับ  $-3.49\%$



รูปที่ 3.58 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลา

ซึ่งเปอร์เซ็นต์ในการระบุตำแหน่งคลาดเคลื่อนสูงที่สุดต่อความยาวสะพานภายในช่วง 0.500 ม. ถึง 1.500 ม. สำหรับกรณีอื่นๆแสดงไว้ในตารางที่ 3.11

ตารางที่ 3.11 เปอร์เซ็นต์ในการระบุตำแหน่งคลาดเคลื่อนสูงที่สุดต่อความยาวสะพานภายในช่วง 0.500 ม. ถึง 1.500 ม.

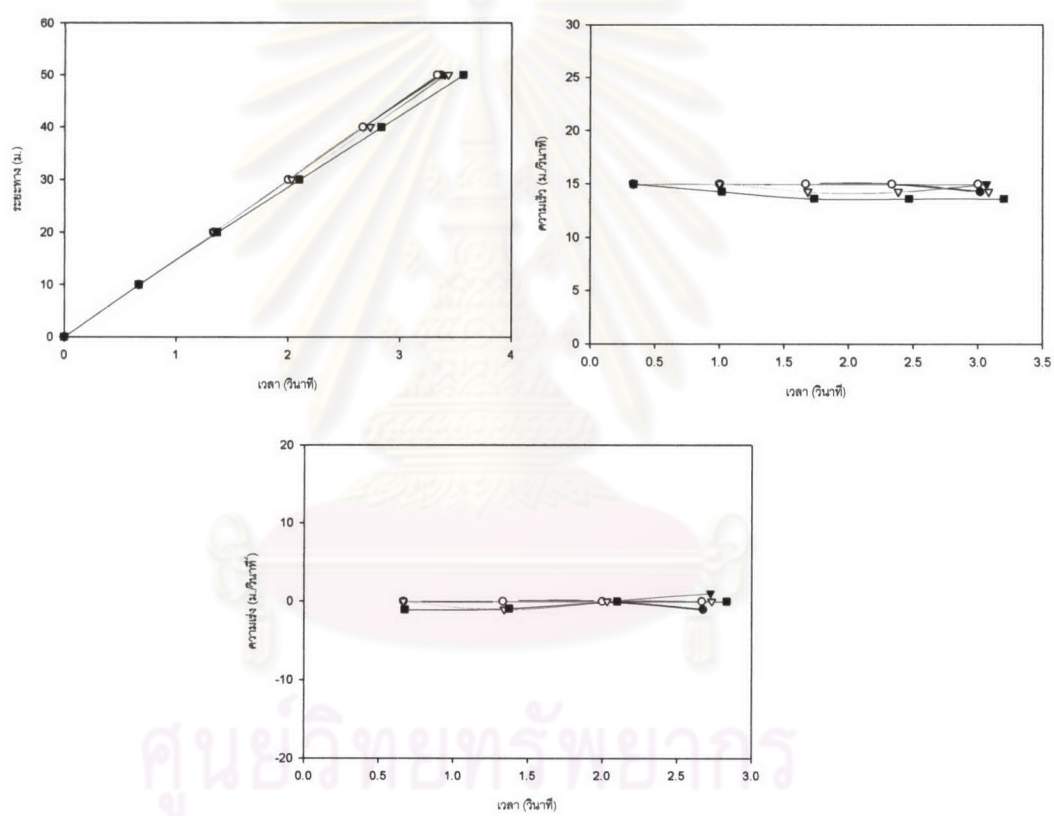
อัตราส่วนหน้าหนัก เพลาน้ำต่อเพลาลัง	ระยะห่างระหว่าง เพลลา (ม.)	เลนของสะพานที่ เคลื่อนที่	เปอร์เซ็นต์ในการระบุตำแหน่งคลาดเคลื่อนสูงที่สุด ต่อความยาวสะพานภายในช่วง 0.500 ม. ถึง 1.500 ม.
1:1	0.200	ขวา	-3.49
		ซ้าย	-2.00
1:1	0.300	ขวา	1.08
		ซ้าย	5.73
1:3	0.300	ขวา	-2.27
		ซ้าย	-3.56
1:1	0.400	ขวา	1.13
		ซ้าย	3.21
1:3	0.400	ขวา	0.74
		ซ้าย	-5.52

อัตราส่วนน้ำหนัก เพลาน้ำต่อเพลาลัง	ระยะห่างระหว่าง เพล (ม.)	เลนของสะพานที่ เคลื่อนที่	เปอร์เซ็นต์ในการระบุตำแหน่งคลาดเคลื่อนสูงที่สุด ต่อความยาวสะพานภายในช่วง 0.500 ม. ถึง 1.500 ม.
1:1	0.500	ขวา	-6.67
		ซ้าย	-2.84
1:3	0.500	ขวา	-5.75
		ซ้าย	-1.98
1:1	0.600	ขวา	-6.91
		ซ้าย	-5.60
1:3	0.600	ขวา	-3.41
		ซ้าย	-3.61
1:1	0.700	ขวา	-2.40
		ซ้าย	-6.20
1:3	0.700	ขวา	-3.67
		ซ้าย	-3.32

ซึ่งผลต่างๆที่ได้นั้นจะเป็นเพียงผลที่ได้จากการทดสอบด้วยแบบจำลองย่อส่วนเท่านั้น สำหรับการนำหลักการดังกล่าวไปใช้งานจริงนั้น จะต้องทำการหาพฤติกรรมในการเคลื่อนที่ของรถจริง ซึ่งจะทำโดยนำกล้องถ่ายภาพวีดีโอบันทึกภาพรถขณะที่กำลังเคลื่อนที่ พร้อมทั้งจะกำหนดระยะทางที่รถเคลื่อนที่เป็นระยะทางเท่ากับ 50 ม. โดยจะแบ่งออกเป็น 5 ช่วง ช่วงละ 10 ม. แล้วจึงทำการสุ่มตัวอย่างรถ เป็นจำนวนทั้งสิ้น 40 คัน โดยจะแบ่งออกเป็น รถพ่วง 5 คัน รถบรรทุก 10 ล้อ 27 คัน และรถบรรทุก 6 ล้อ 8 คัน มาทำการหาพฤติกรรมการเคลื่อนที่ ซึ่งจะแสดงอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลา ความเร็วกับเวลา และความเร่งกับเวลา ดังนี้

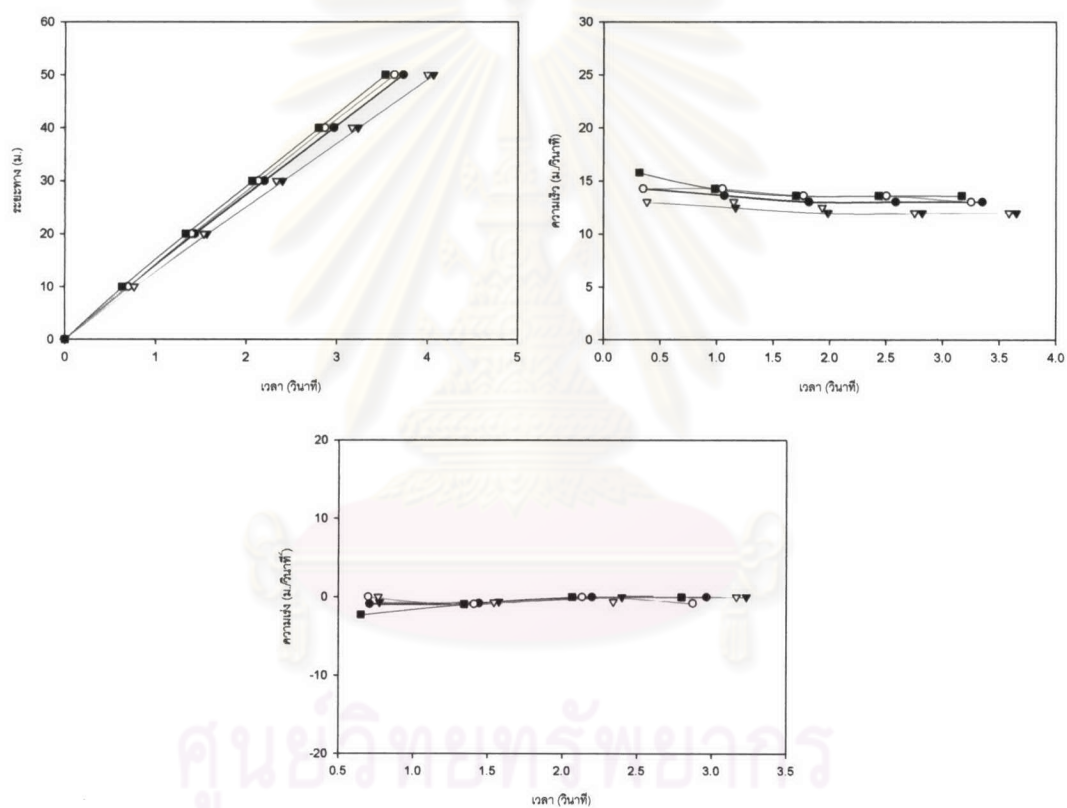
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับรถคันที่ 1 ถึง คันที่ 5 ความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ 3.59



รูปที่ 3.59 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลา ความเร็วกับเวลา และความเร่งกับเวลา  
ของรถคันที่ 1 ถึง คันที่ 5

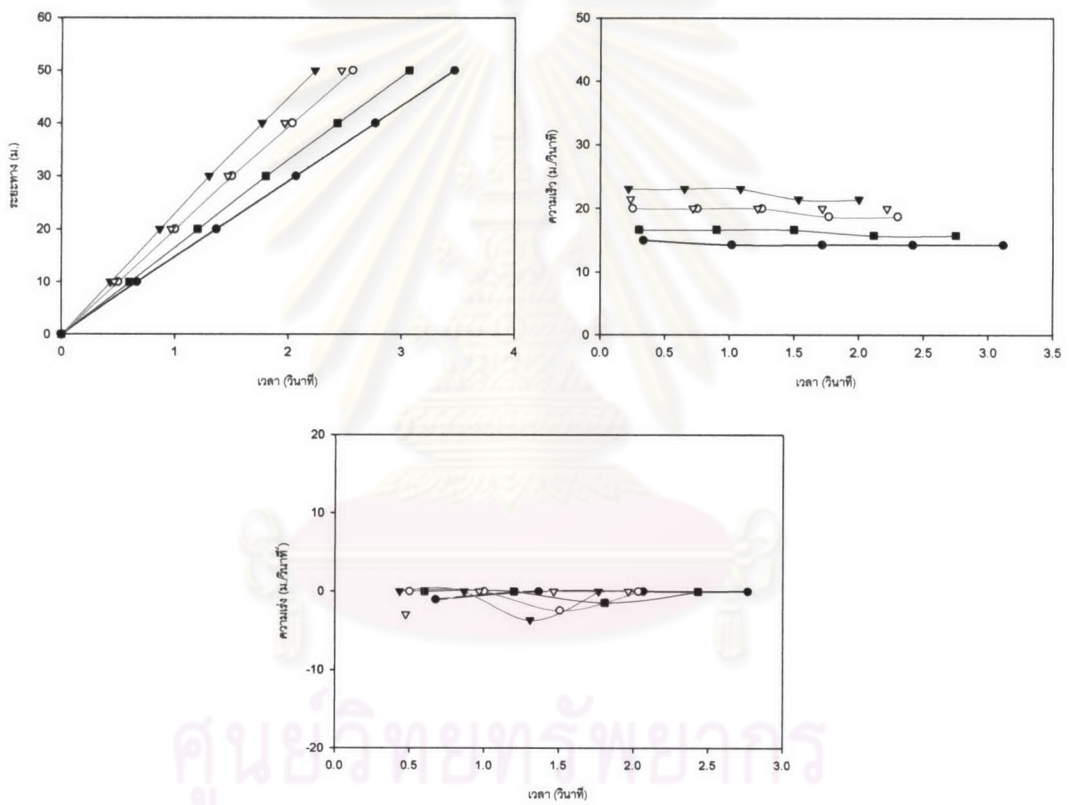
สำหรับรถคันที่ 6 ถึง คันที่ 10 ความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ 3.60



รูปที่ 3.60 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลา ความเร็วกับเวลา และความเร่งกับเวลา  
ของรถคันที่ 6 ถึง คันที่ 10

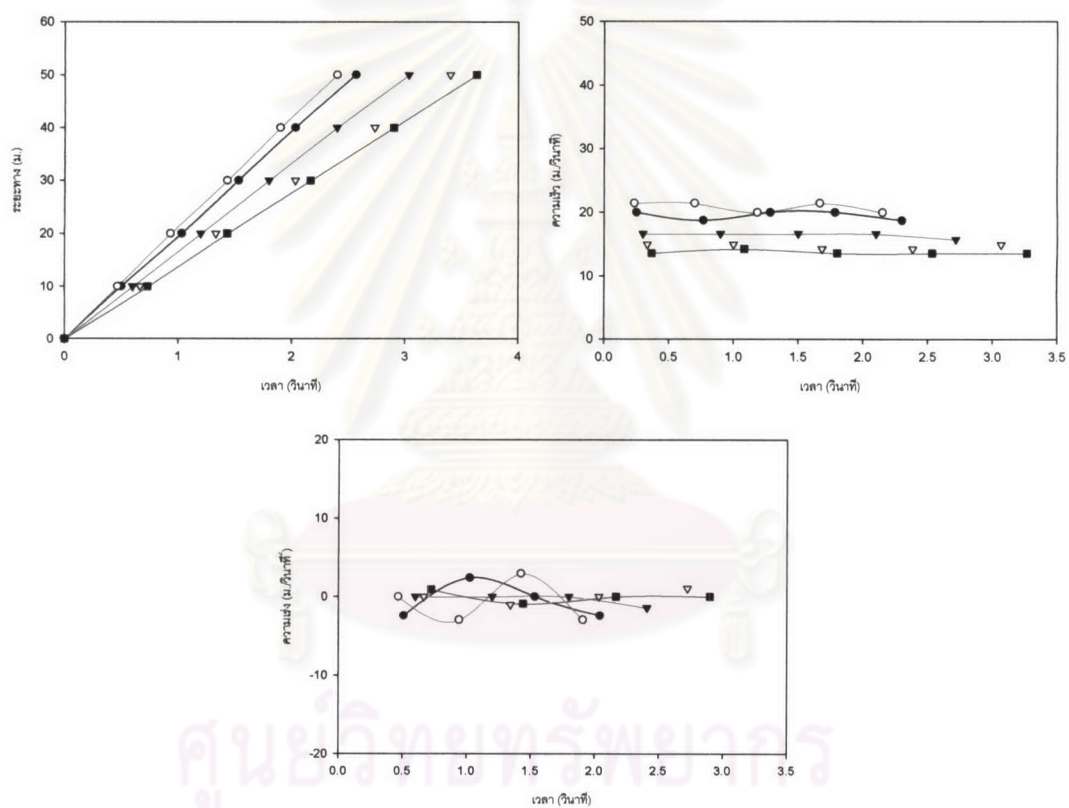


สำหรับรถคันที่ 11 ถึง คันที่ 15 ความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ 3.61



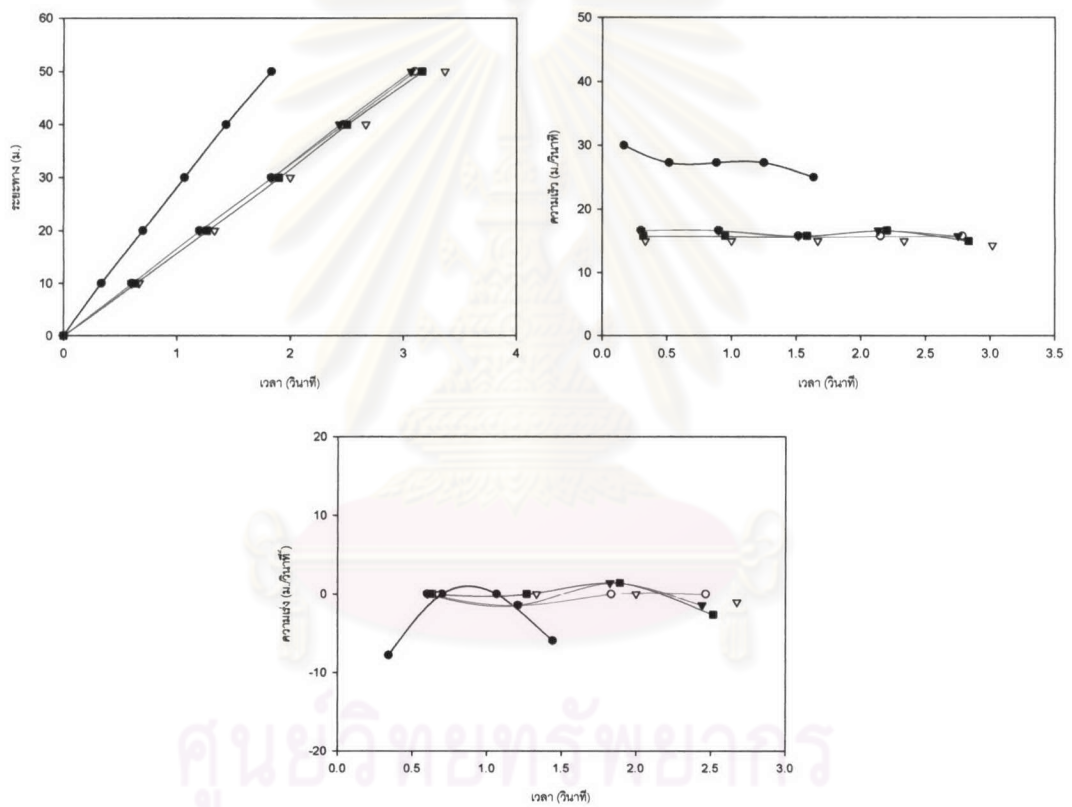
รูปที่ 3.61 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลา ความเร็วกับเวลา และความเร่งกับเวลา  
ของรถคันที่ 11 ถึง คันที่ 15

สำหรับรถคันที่ 16 ถึง คันที่ 20 ความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ 3.62



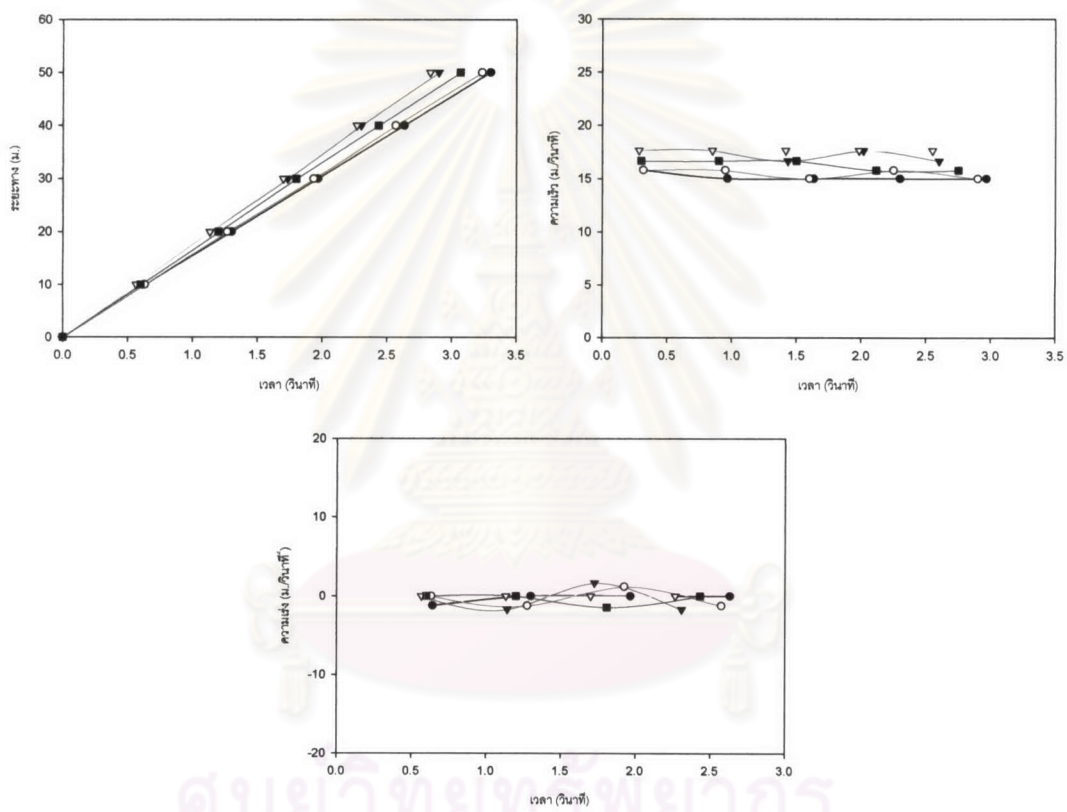
รูปที่ 3.62 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลา ความเร็วกับเวลา และความเร่งกับเวลา  
 ของรถคันที่ 16 ถึง คันที่ 20

สำหรับรถคันที่ 21 ถึง คันที่ 25 ความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ 3.63



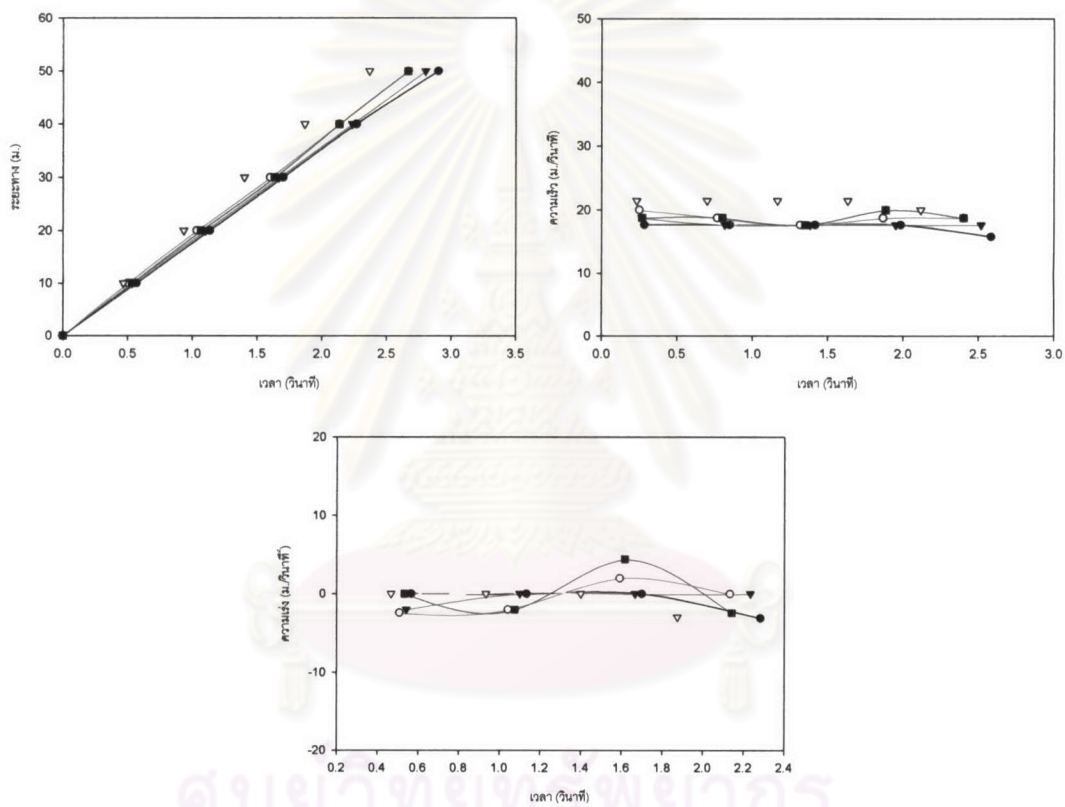
รูปที่ 3.63 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลา ความเร็วกับเวลา และความเร่งกับเวลา  
ของรถคันที่ 21 ถึง คันที่ 25

สำหรับรถคันที่ 26 ถึง คันที่ 30 ความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ 3.64



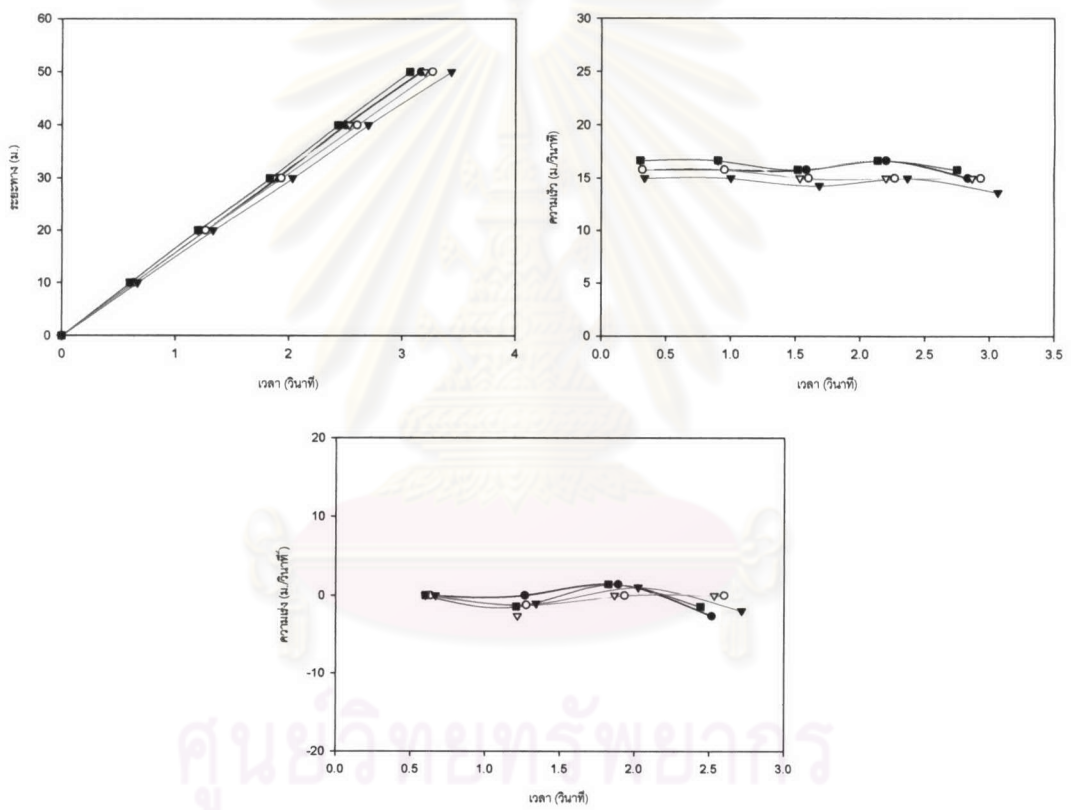
รูปที่ 3.64 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลา ความเร็วกับเวลา และความเร่งกับเวลา  
ของรถคันที่ 26 ถึง คันที่ 30

สำหรับรถคันที่ 31 ถึง คันที่ 35 ความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ 3.65



รูปที่ 3.65 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลา ความเร็วกับเวลา และความเร่งกับเวลา  
ของรถคันที่ 31 ถึง คันที่ 35

สำหรับรถคันที่ 35 ถึง คันที่ 40 ความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ 3.66



รูปที่ 3.66 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลา ความเร็วกับเวลา และความเร่งกับเวลา ของรถคันที่ 36 ถึง คันที่ 40

จากความสัมพันธดังกล่าวจะพบว่ารถจำนวน 40 คัน ที่ทำการสูมตัวอย่างมานั้นค่อนข้างที่จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ดังนั้นสำหรับหลักการในการคำนวณความเร็วและระยะห่างระหว่างเพลลาที่ได้เสนอไปนั้นก็น่าที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานจริงได้



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย