

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์และการทดลอง เปรียบเทียบ

#### 4.1 ลักษณะและการแบ่งชิ้นส่วนย่อย

ตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์หาพฤติกรรมนี้ เป็นโครงสร้างสะพานแบบบ็อกซ์เกอร์-เดอรัปเลียตเฉียง ชนิดสามเซลล์ สองช่วงความยาว มีองศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) เท่ากับ 0, 15, 30, 45 และ 60 ตามลำดับ บริเวณจุดรองรับมีแผ่นไดอะแฟรมเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวกันไม่ให้เกิดการบิดของหน้าตัด พร้อมทั้งยังเป็นตัวส่งผ่านแรงเฉือน ดังแสดงในรูปที่ 4.1 สำหรับงานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้าง 2 กรณีต่อไปนี้เท่านั้น คือ

ก. กรณีที่ 1 น้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุดที่ผิวบนของคาน R2 ในแนวระนาบตั้งเดียวกันกับหน้าตัดกึ่งกลางช่วงความยาวของโครงสร้าง กรณีนี้จะพิจารณาถึงลักษณะการกระจายของหน่วยแรงและระยะการโก่งตัวตามแนวตั้งที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วนที่ประกอบเป็นสะพานดังกล่าวนี้ พร้อมทั้งจะแสดงผลกระทบอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงองศาของมุมเฉียงให้อยู่ในรูปของโมเมนต์ดัดตามยาวรวมของหน้าตัด รวมทั้งระยะการโก่งตัวในแนวตั้งที่จุดกึ่งกลางผิวบนของหน้าตัด

ข. กรณีที่ 2 น้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นจุดที่ผิวบนของคาน R2 ในแนวระนาบตั้งเดียวกันกับหน้าตัดกึ่งกลางช่วงความยาวของคาน R2 กรณีนี้จะพิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดจากองศาของมุมเฉียงต่าง ๆ กัน อันเป็นสาเหตุให้คุณสมบัติทางด้านสถิติเนสรวมของโครงสร้างเปลี่ยนไปจากเดิม โดยจะแสดงในรูปของหน่วยแรงตามยาวและระยะการโก่งตัวตามแนวตั้งของคาน R2 เท่านั้น

การวิเคราะห์หาพฤติกรรมของโครงสร้างสะพานแบบบ็อกซ์เกอร์-เดอรัปเลียตเฉียงด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับงานวิจัยนี้ประกอบด้วย ชิ้นส่วนย่อยพื้นฐานรูปสามเหลี่ยมกับรูปสี่เหลี่ยม ซึ่งมีคุณสมบัติทางด้านสถิติเนสชนิด CST, HCT และ QM5, HCT ตามลำดับ นอกจากนี้ ชิ้นส่วนย่อยพื้นฐานแต่ละรูปยังมีการกำหนดค่า Fictitious Rotational Stiffness ตามวิธีการของ Zeinkiewicz (17) เป็นเหตุให้แต่ละจุดของชิ้นส่วนย่อยมีค่าดีกรีความอิสระจำนวน 6 ค่าอันเป็นประโยชน์ในการกำหนดสภาพขอบเขต (Boundary Conditions)

ในการแบ่งชั้นส่วนย่อยกรณีของมุมเฉียง ( $\theta$ ) เท่ากับ 0 นั้นได้แสดงมาแล้ว ดังรูปที่ 3.3 ของบทที่ 3 ส่วนการแบ่งชั้นส่วนย่อยกรณีของมุมเฉียงที่เหลือนั้นได้แสดงใน รูปที่ 4.2 ซึ่งประกอบด้วย ชั้นส่วนย่อยจำนวน 408 ชั้น จุดซ้ำจำนวน 350 จุด พร้อมทั้งมี ค่า Aspect Ratio อยู่ระหว่าง 1 - 3.7 นอกจากนั้นค่าต่าง ๆ ที่ปรากฏอยู่ตามตาราง ของบทนี้ในบางครั้งได้มาจากการประมาณเชิงเส้นหรือ Linear Interpolation

#### 4.2 พฤติกรรมที่ได้จากกรณีน้ำหนักบรรทุกกระทำแบบที่ 1.

ลักษณะหรือพฤติกรรมของโครงสร้างที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากน้ำหนักบรรทุกกระทำดัง- กล่าว รวมทั้งผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงองศาของมุมเฉียงสามารถแยกออกพิจารณาได้เป็น หัวข้อ ๆ ดังนี้คือ

##### 4.2.1 ลักษณะการกระจายของระยะการโก่งตัวในแนวตั้ง

ระยะการโก่งตัวในแนวตั้งตามผิวบนของสะพานจะมีค่าลดลง เมื่อองศาของ มุมเฉียงมีค่าเพิ่มขึ้น และจะมีค่ามากที่สุดตรงบริเวณระนาบตั้งเดียวกันกับหน้าตัดตั้งฉากกับความ ยาวตัวสะพานผ่านจุดน้ำหนักบรรทุกกระทำ ดังแสดงในตารางที่ 4.1.1, 4.1.2, 4.2.1 4.2.2 และรูปที่ 4.3 - 4.8 ในกรณีองศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) ไม่เท่ากับ 0 จะพบว่าระยะการโก่งตัวใน แนวตั้งตามผิวบนของคานแต่ละตัวมีลักษณะเบี่ยงไปทางหนึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีองศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) เท่ากับ 0 หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ ตำแหน่งของระยะการโก่งตัวในแนวตั้งที่มีค่ามากที่สุด ตามผิวบนของคานแต่ละตัวสำหรับกรณีนี้จะไม่อยู่ห่างจากจุดรองรับเป็นระยะเท่ากัน แต่จะอยู่บริเวณ ระนาบตั้งซึ่งตั้งฉากกับความยาวของตัวสะพานและผ่านจุดน้ำหนักบรรทุกกระทำ ดังแสดงในรูปที่ 4.3- 4.6 นอกจากนั้นเมื่อเปรียบเทียบระยะการโก่งตัวในแนวตั้งที่จุดกึ่งกลางแผ่นพื้นบนของหน้าตัด A-A กับ B-B จะพบว่าที่หน้าตัด A-A จะมีระยะการโก่งตัวในแนวตั้งมากกว่าที่หน้าตัด B-B ดังแสดง ในตารางที่ 4.2.1, 4.2.2 และรูปที่ 4.22

##### 4.2.2 ลักษณะการกระจายโมเมนต์คดตามขวาง

โมเมนต์คดตามขวางที่หน้าตัดน้ำหนักบรรทุกกระทำจะมีค่าลดลง เมื่อองศาของ มุมเฉียง ( $\theta$ ) มีค่าเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.3.1, 4.3.2 และรูปที่ 4.9 - 4.14 จาก การสังเกตจะพบว่าลักษณะที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลสืบเนื่องมาจากผลกระทบของแผ่นโคอะเฟรมตัวกลาง

#### 4.2.3 ลักษณะการกระจายของหน่วยแรงตามยาว

หน่วยแรงตามยาวที่หน้าตัดน้ำหนักบรรทุกทุกกระทำจะมีค่าลดลง เมื่อองศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) มีค่าเพิ่มมากขึ้น ยกเว้นบริเวณตำแหน่งที่น้ำหนักบรรทุกทุกกระทำ นอกจากนั้นองศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 15 - 45 จะมีค่าหน่วยแรงตามยาวใกล้เคียงกัน ดังแสดงลักษณะการกระจายของหน่วยแรงตามยาวในตารางที่ 4.4.1, 4.4.2 และรูปที่ 4.15-4.20

#### 4.2.4 โมเมนต์ตัดตามยาวรวมทั้งหน้าตัดน้ำหนักบรรทุกทุกกระทำ

โมเมนต์ตัดตามยาวรวมทั้งหน้าตัดน้ำหนักบรรทุกทุกกระทำจะมีค่าลดลง เมื่อองศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) มีค่าเพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้นโมเมนต์ตัดตามยาวรวมทั้งหน้าตัด A-A จะมีค่ามากกว่าหน้าตัด B-B ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.21

#### 4.2.5 ลักษณะหน่วยแรงหลัก

หน่วยแรงหลักที่เกิดขึ้นบนผิวของตัวสะพานจะมีค่ามากที่สุดในกรณีที่อยู่องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) เท่ากับ 0 และมีค่าลดลงเมื่อองศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) มีค่าเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.23 - 4.27

#### 4.3 พฤติกรรมที่ได้จากกรณีน้ำหนักบรรทุกทุกกระทำแบบที่ 2

การศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากน้ำหนักบรรทุกทุกกระทำในกรณีนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงองศาของมุมเฉียงที่มีต่อส่วนหนึ่งของสะพานคือ คาน R2 ซึ่งมีน้ำหนักบรรทุกทุกกระทำที่จุดกึ่งกลางช่วงความยาว ดังรายละเอียดจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

##### 4.3.1 ระยะการโก่งตัวในแนวตั้ง

ระยะการโก่งตัวในแนวตั้งตามผิวบนของคาน R2 ในช่วง  $0' < \bar{y} < 60'$  จะมีค่าน้อยลงตามลำดับเมื่อองศาของมุมเฉียงมีค่าเพิ่มมากขึ้น ในช่วง  $60' < \bar{y} < 95'$  ระยะการโก่งตัวในแนวตั้งตามผิวบนของคาน R2 จะมีค่ามากขึ้นเมื่อองศาของมุมเฉียงมีค่าเพิ่มมากขึ้น และจะมี

ค่าลดลงเมื่อองศาของมุมเฉียงเท่ากับ  $60$  ในช่วง  $95' < \bar{y} < 120'$  ระยะการโก่งตัวในแนวตั้งตามผิวบนของคาน R2 จะมีค่ามากขึ้นตามลำดับเมื่อองศาของมุมเฉียงมีค่าเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.28 นอกจากนี้ระยะการโก่งตัวจะมีค่ามากที่สุดเมื่อองศาของมุมเฉียงมีค่าเท่ากับ  $45$  ที่ตำแหน่ง  $\bar{y} = 90'$  ดังแสดงในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.29

#### 4.3.2 การกระจายของหน่วยแรงตามยาวของคาน R2

การกระจายของหน่วยแรงตามยาวตามผิวบนและผิวล่างของคาน R2 จะมีลักษณะดังแสดงในตารางที่ 4.7, 4.8 และรูปที่ 4.30, 4.31 พร้อมกันนั้นจากการเปรียบเทียบค่าของหน่วยแรงตามยาวที่มากที่สุดของแต่ละองศาของมุมเฉียงในรูปที่ 4.32 จะได้ว่าหน่วยแรงตามยาวจะมีค่ามากที่สุดเมื่อองศาของมุมเฉียงเท่ากับ  $45$  ณ ตำแหน่ง  $\bar{y} = 90'$

#### 4.4 การทดลอง

ในการหาองศาของมุมเฉียงที่มีค่าเท่ากับมุมวิกฤตหรือมุมที่เหมาะสมนั้น จะพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของโครงสร้างภายใต้น้ำหนักบรรทุกกระทำอันเนื่องมาจากองศาของมุมเฉียงที่เพิ่มมากขึ้น จากการพิจารณาพฤติกรรมภายใต้น้ำหนักบรรทุกกระทำแบบที่ 1 จะพบว่าค่าระยะการโก่งตัวในแนวตั้งและค่าหน่วยแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจะมีค่าลดลงตามลำดับเมื่อองศาของมุมเฉียงมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่จากพฤติกรรมภายใต้น้ำหนักบรรทุกกระทำแบบที่ 2 จะพบว่าค่าระยะการโก่งตัวในแนวตั้งและค่าหน่วยแรงตามยาวของคาน R2 จะมีค่ามากที่สุดเมื่อองศาของมุมเฉียงมีค่าเท่ากับ  $45$  ดังนั้นตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองจึงเลือกให้มีองศาของมุมเฉียงเท่ากับ  $45$  ดังรายละเอียดจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

##### 4.4.1 ลักษณะตัวอย่างที่ทำการทดลอง

ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองประกอบจากเหล็กแผ่นหนาประมาณ  $0.27$  ซม. มีรูปลักษณะแบบบ็อกซ์เกอร์เตอร์ ชนิดสามเซล หนึ่งช่วงความยาวชนิด Simply Support มีองศาของมุมเฉียงเท่ากับ  $45$  บริเวณจุดรองรับหรือปลายทั้งสองประกอบด้วยแผ่นเหล็กโตอะแพรมหนา  $0.54$  ซม. ดังแสดงในรูปที่ 4.33, 4.35

ในการวิเคราะห์หาพฤติกรรมของตัวอย่างที่ทำการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์โปรแกรม เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองนั้น ได้มาจากการแบ่งตัวอย่างจำลองออกเป็นชิ้นส่วนย่อยจำนวน 300 ชิ้น เลขประจำจุดซ้ำจำนวน 266 จุด ดังแสดงในรูปที่ 4.34 นอกจากนั้นผลกระทบอันเนื่องมาจากการบิดหรือการโก่งตัวซึ่งเกิดจากการประกอบ (Fabrication) รวมทั้งค่า Residual Stress ที่เกิดจากการเชื่อมจะไม่นำมาพิจารณาในการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์โปรแกรม

#### 4.4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้วัดค่าในการทดลอง ประกอบด้วย

ก. Strain Gage พร้อมทั้ง Strain Indicator และ Switching and Balancing Box ใช้สำหรับหาค่าหน่วยความเครียดที่เกิดขึ้นตามผิวของตัวอย่าง แล้วแปลงมาเป็นค่าหน่วยแรงเค้น (Stress) ตำแหน่งของ Strain Gage จะห่างจากจุดที่กำหนดไม่เกิน  $\pm 2$  ซม.

ข. Dial Indicator ใช้สำหรับวัดค่าระยะการโก่งตัวตามแนวตั้งดังแสดงในรูปที่ 4.35

ค. Proving Ring และ Hydraulic Jack ขนาด 10 ตัน ใช้แทนน้ำหนักบรรทุกกระทำต่อตัวอย่างในระนาบตั้งเดียวกันกับหน้าตัดกึ่งกลางช่วงความยาวที่คาน R2 ดังแสดงในรูปที่ 4.36

#### 4.4.3 ผลการทดลองเปรียบเทียบ

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองประกอบด้วยค่าหน่วยแรงตามยาว ( $F_y$ ) ซึ่งแปลงมาจากค่าหน่วยความเครียดที่อ่านจาก Strain Indicator รวมทั้งระยะการโก่งตัวในแนวตั้งที่อ่านจาก Dial Indicator การเปรียบเทียบและลักษณะความสัมพันธ์ของค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลองและการวิเคราะห์สามารถแยกออกพิจารณาได้ตามหัวข้อต่าง ๆ ดังต่อไปนี้คือ

ก. จากการทดลองจะได้ว่า ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกระทำและระยะการโก่งตัวในแนวตั้งที่จุดต่าง ๆ ตามแนวคาน R2 จะมีลักษณะเชิงเส้นในช่วงน้ำหนักบรรทุก

ทุกกระทำระหว่าง 0-1500 กก. เมื่อเลยช่วงน้ำหนักดังกล่าวความสัมพันธ์นั้นก็จะ เป็น เส้นโค้ง ระยะหนึ่งแล้วจึงกลับไปมีลักษณะเชิงเส้นอีกครั้งหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.37

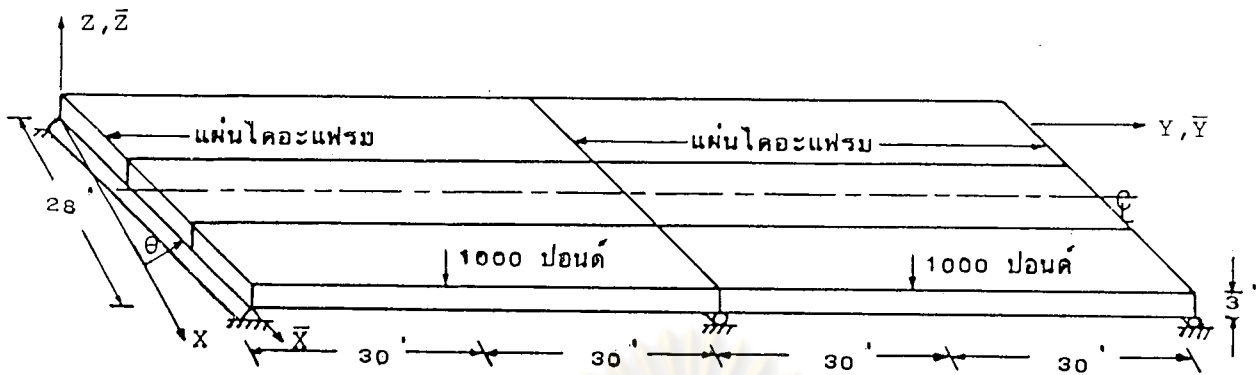
ข. จากการทดลองจะได้ว่า ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกระทำ และหน่วยแรงตามยาวหรืออีกนัยหนึ่งก็คือ หน่วยความเครียดมีลักษณะเชิงเส้นในช่วงน้ำหนักบรรทุก ช่วงแรก ๆ ต่อจากนั้นจะมีลักษณะไร้เชิงเส้น (Non-linear) ดังแสดงในรูปที่ 4.38

ค. ผลจากการเปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์และการทดลองจะได้ว่า ระยะการโก่งตัวในแนวตั้งที่ได้จากการทดลองจะมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 4.39 ที่เป็นเช่นนี้เพราะ ผลกระทบอันเนื่องมาจากการบิดหรือการโก่งตัวซึ่งเกิดจากการประกอบ (Fabrication) รวมทั้งค่า Residual Stress ที่เกิดจากการเชื่อมและความแตกต่างของ สภาพขอบเขตของจตุรรองรับที่เกิดขึ้นจริงกับสภาพอุดมคติ (Ideal Condition) ไม่ได้นำมาพิจารณา ในการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์โปรแกรม

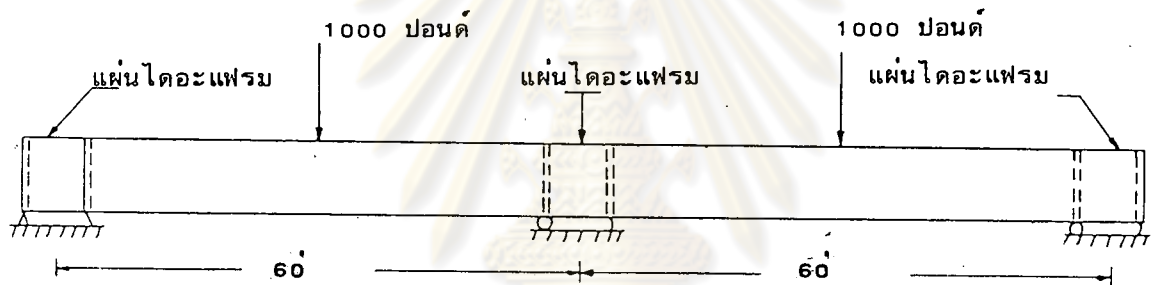
ง. ผลจากการเปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์และการทดลองจะได้ว่า ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกระทำกับหน่วยแรงตามยาวในช่วงเชิงเส้นมีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.38 และตารางที่ 4.9

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า การวิเคราะห์โครงสร้างประเภทนี้ด้วยคอมพิวเตอร์โปรแกรมตามวิธีไฟไนท์เอเลเมนต์ให้ผลลัพธ์ที่มีค่าละเอียดเพียงพอตามความต้องการ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

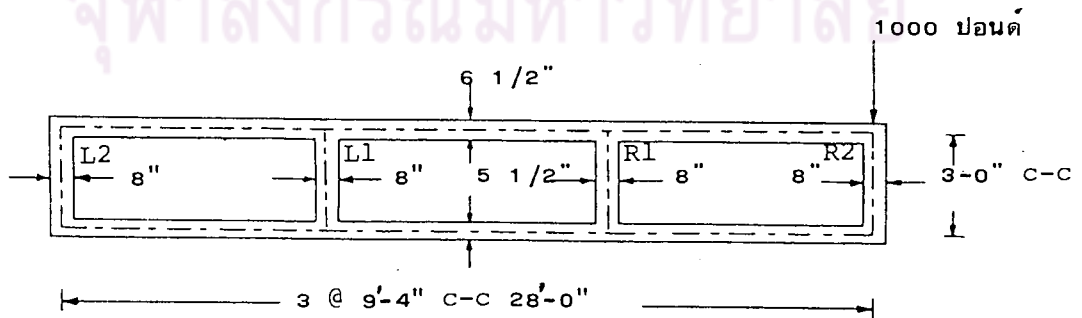


รูป (ก) ลักษณะของตัวสะพาน



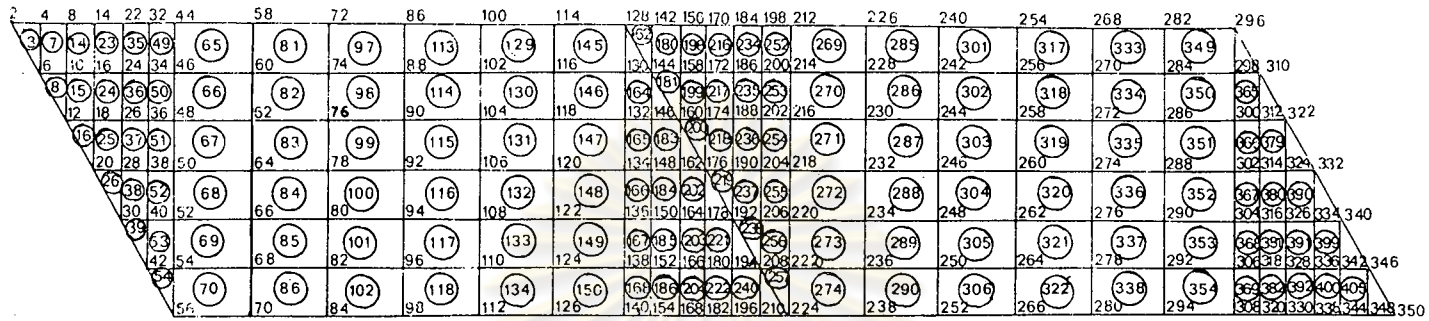
รูป (ข) ด้านข้างของตัวสะพาน

$E = 3 \times 10^6$  ปอนด์/นิ้ว<sup>2</sup>       $\nu = 0.15$



รูป (ค) หน้าตัดขวางตั้งฉากกับตัวสะพาน

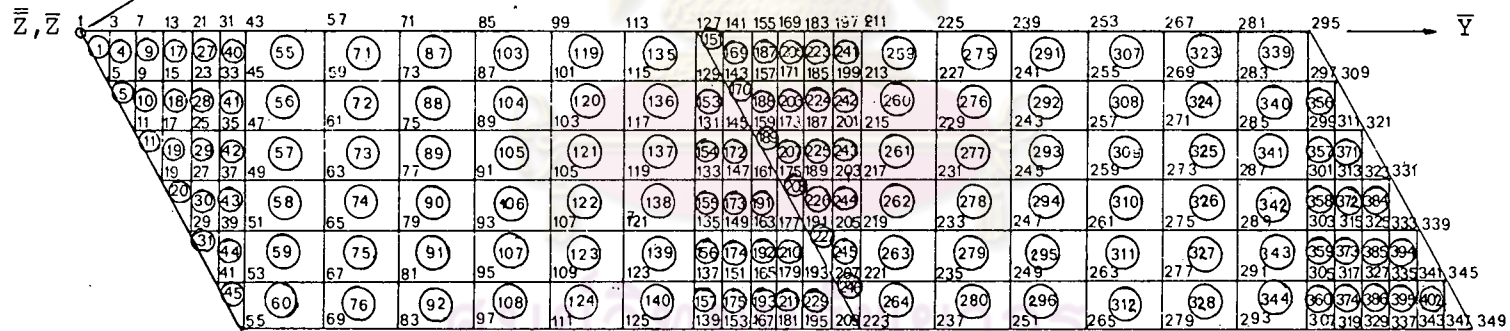
รูปที่ 4.1 สะพานแบบม็อกซเกอร์เคอร์ปลายเฉียง



รูป (ก) แผ่นพื้นบน



รูป (ข) คาน I.2

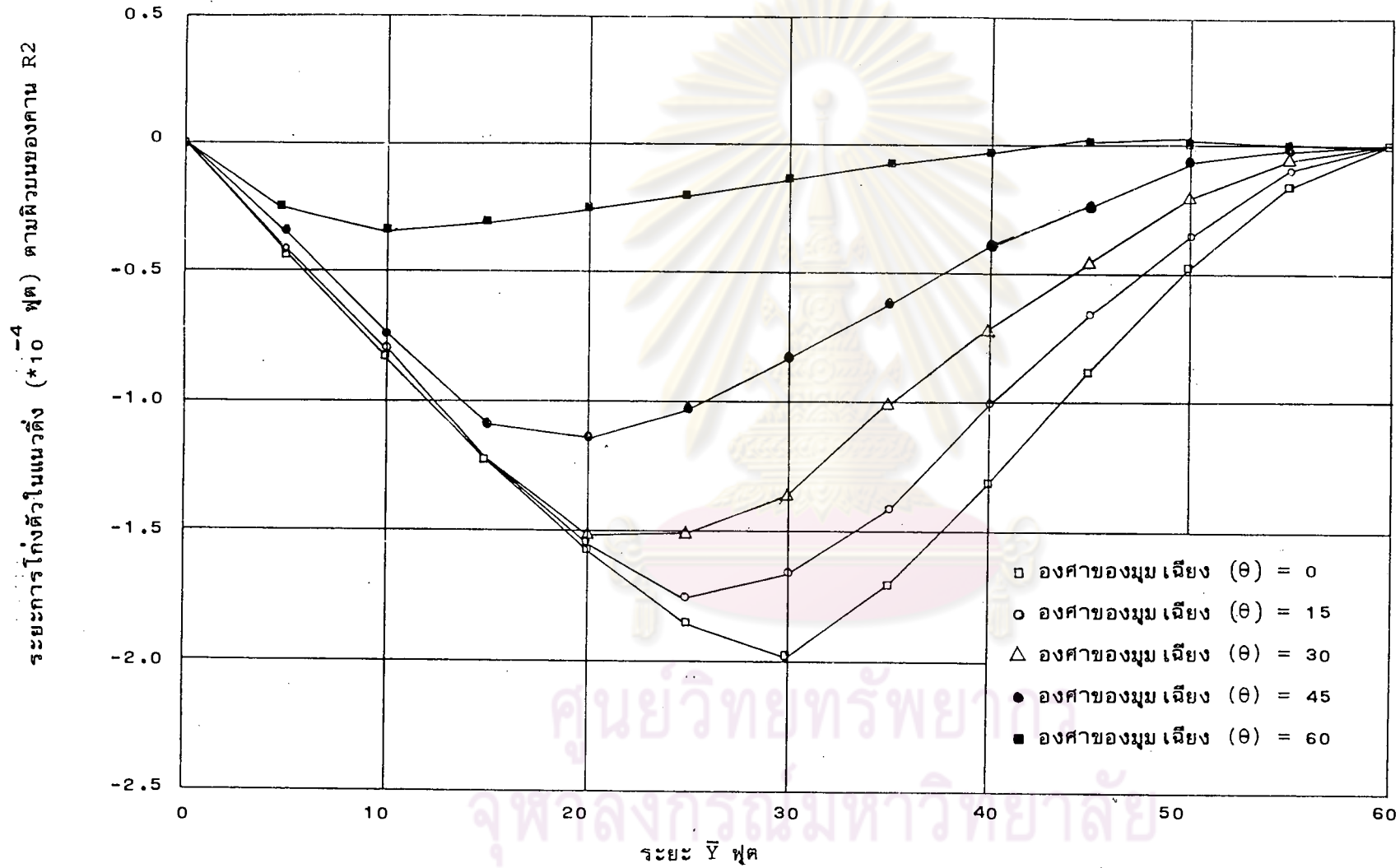


รูป (ค) แผ่นพื้นล่าง

รูปที่ 4.2 แสดงรายละเอียดการแบ่งชิ้นส่วนย่อยของสะพานแบบบ็อกซ์ เกอร์เตอร์ปลายเฉียง

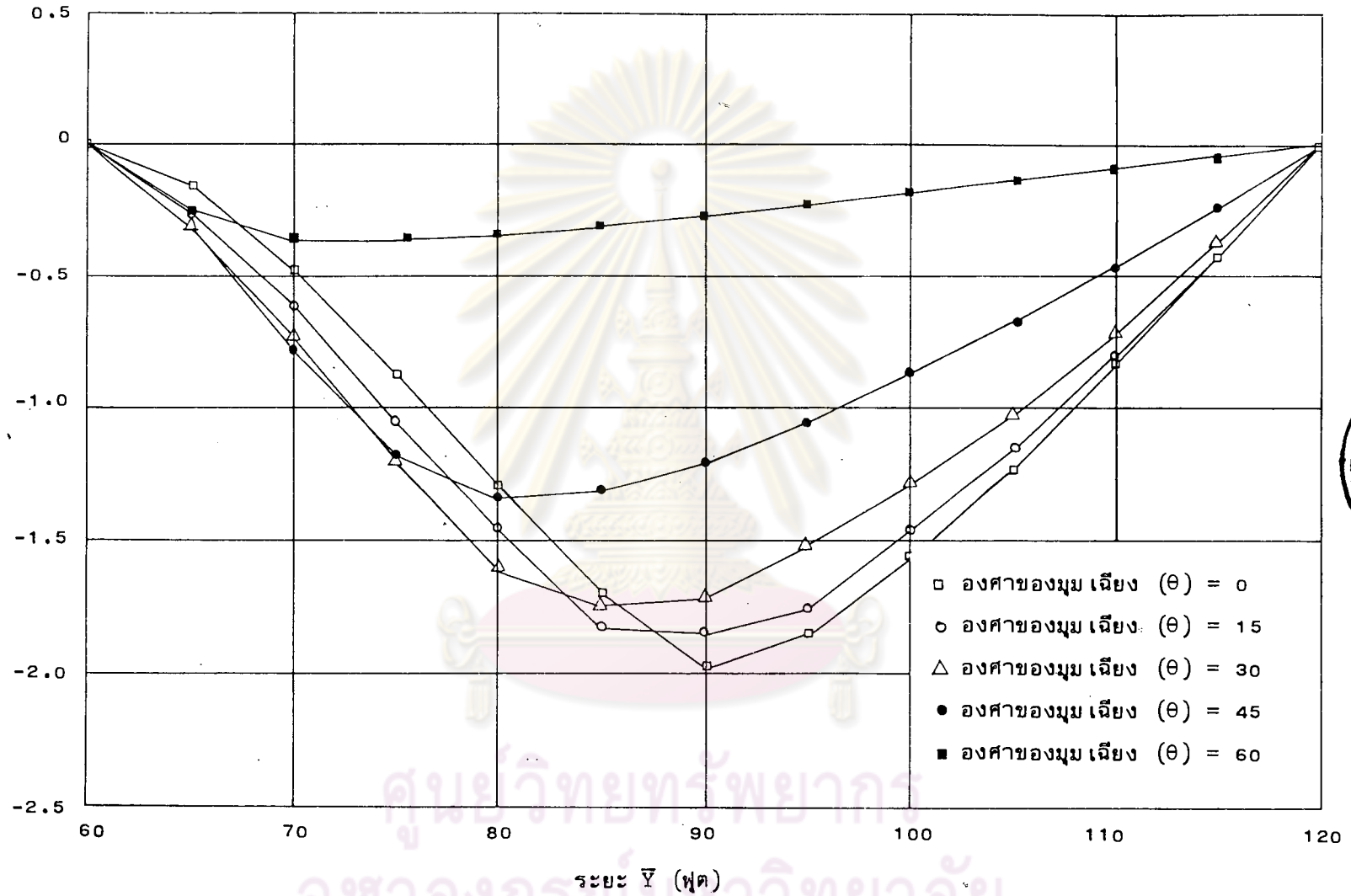




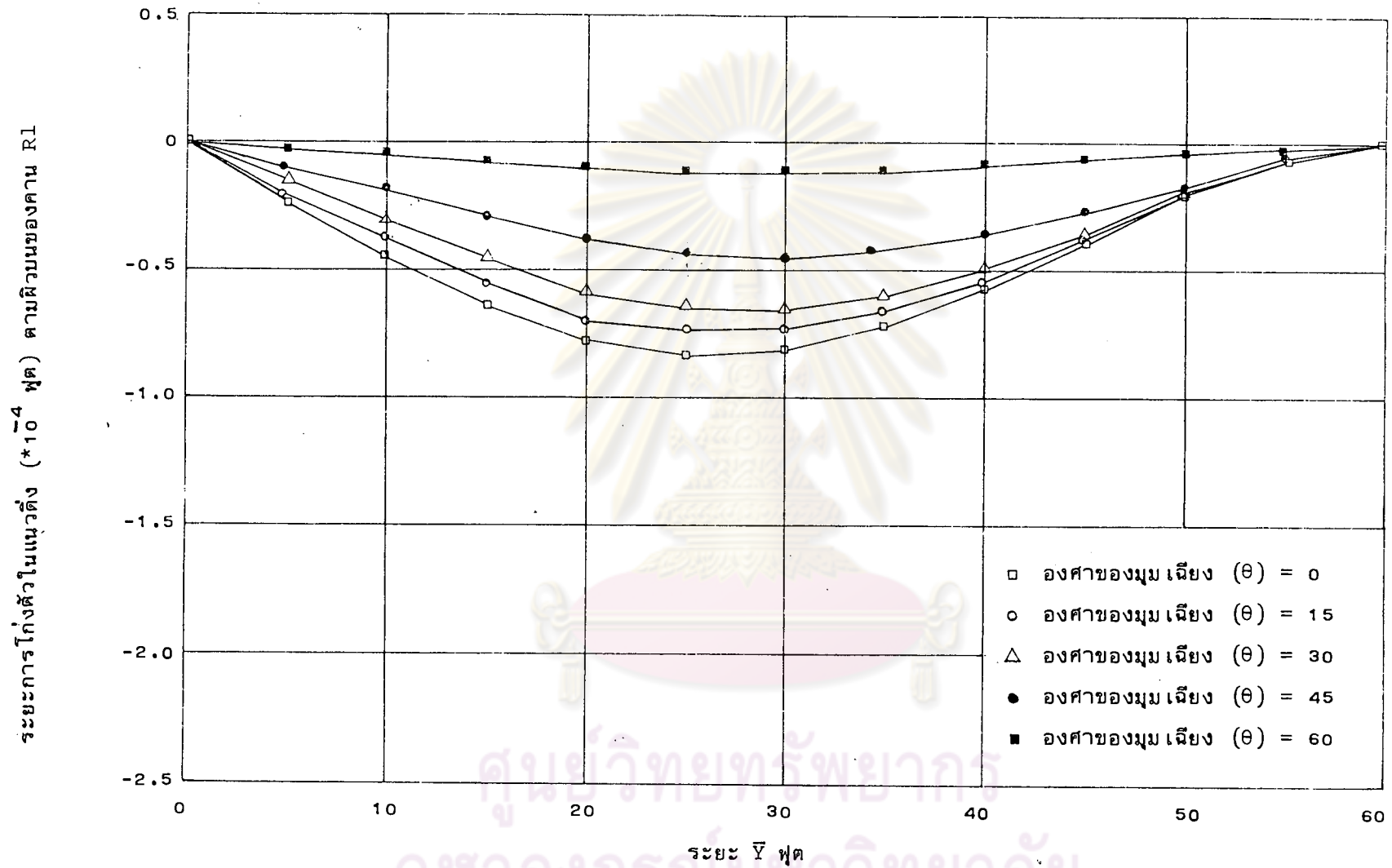


รูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบการโก่งตัวในแนวตั้งตามผิวบนของคาน R2

ระยะการโก่งตัวในแนวตั้ง ( $\times 10^{-4}$  ฟุต) ตามผิววนของคาน R2

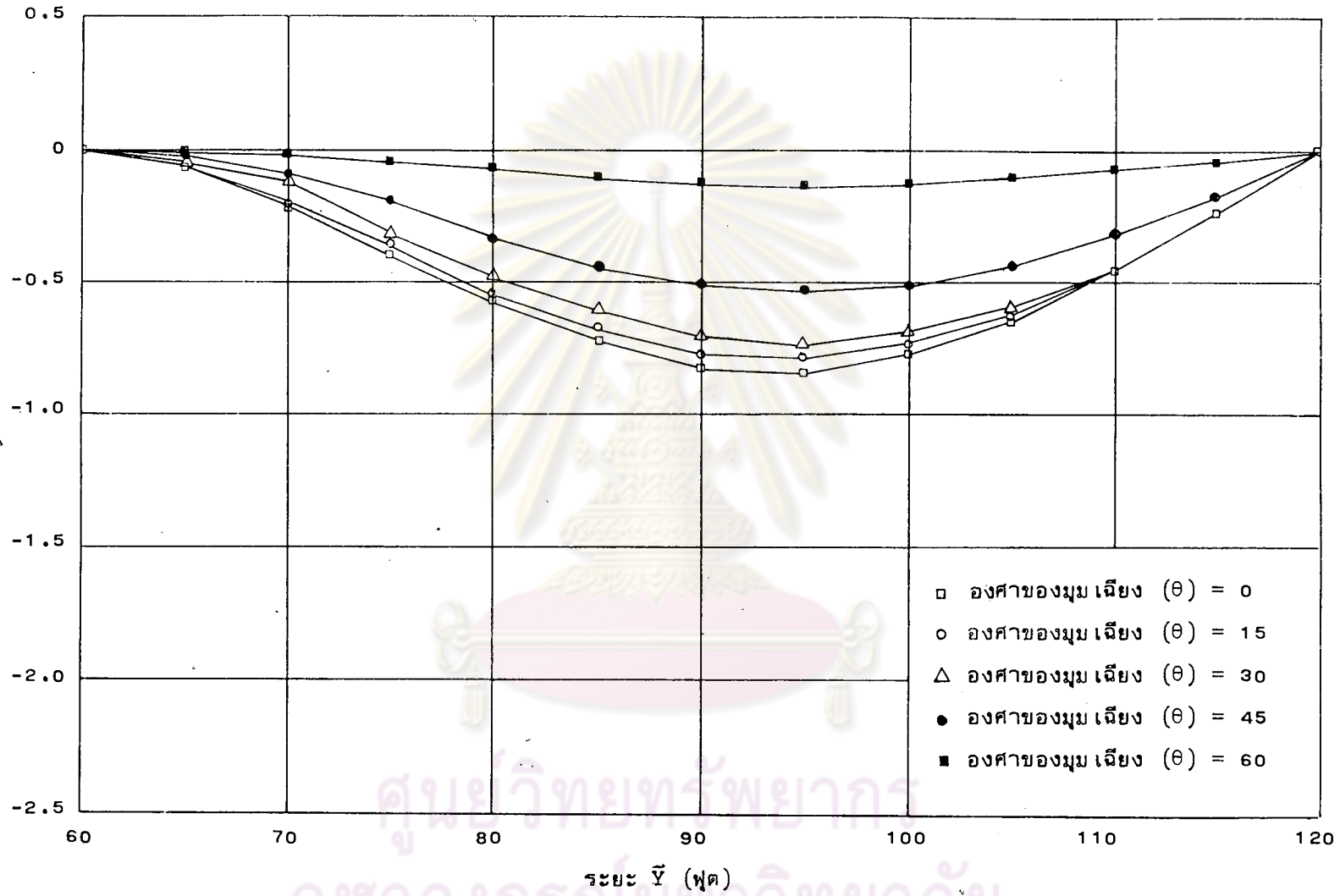


รูปที่ 4.3 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบการโก่งตัวในแนวตั้งตามผิววนของคาน R2



รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบการโก่งตัวในแนวตั้งตามพิวมนของคาน R1

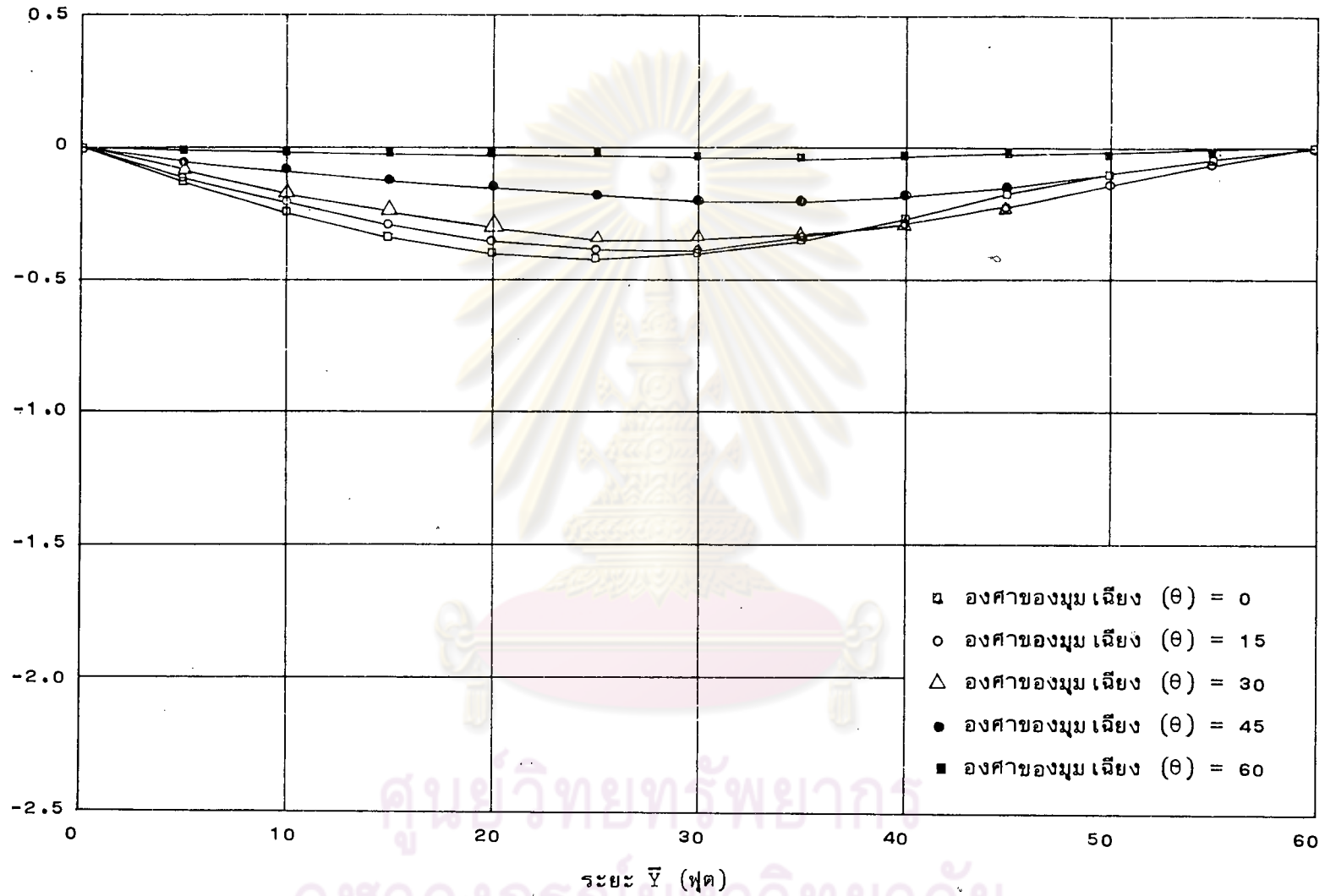
ระยการโก่งตัวในแนวตั้ง ( $\times 10^{-4}$  ฟุต) ตามผิวบนของคาน R1



รูปที่ 4.4 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบการโก่งตัวในแนวตั้งตามผิวบนของคาน R1

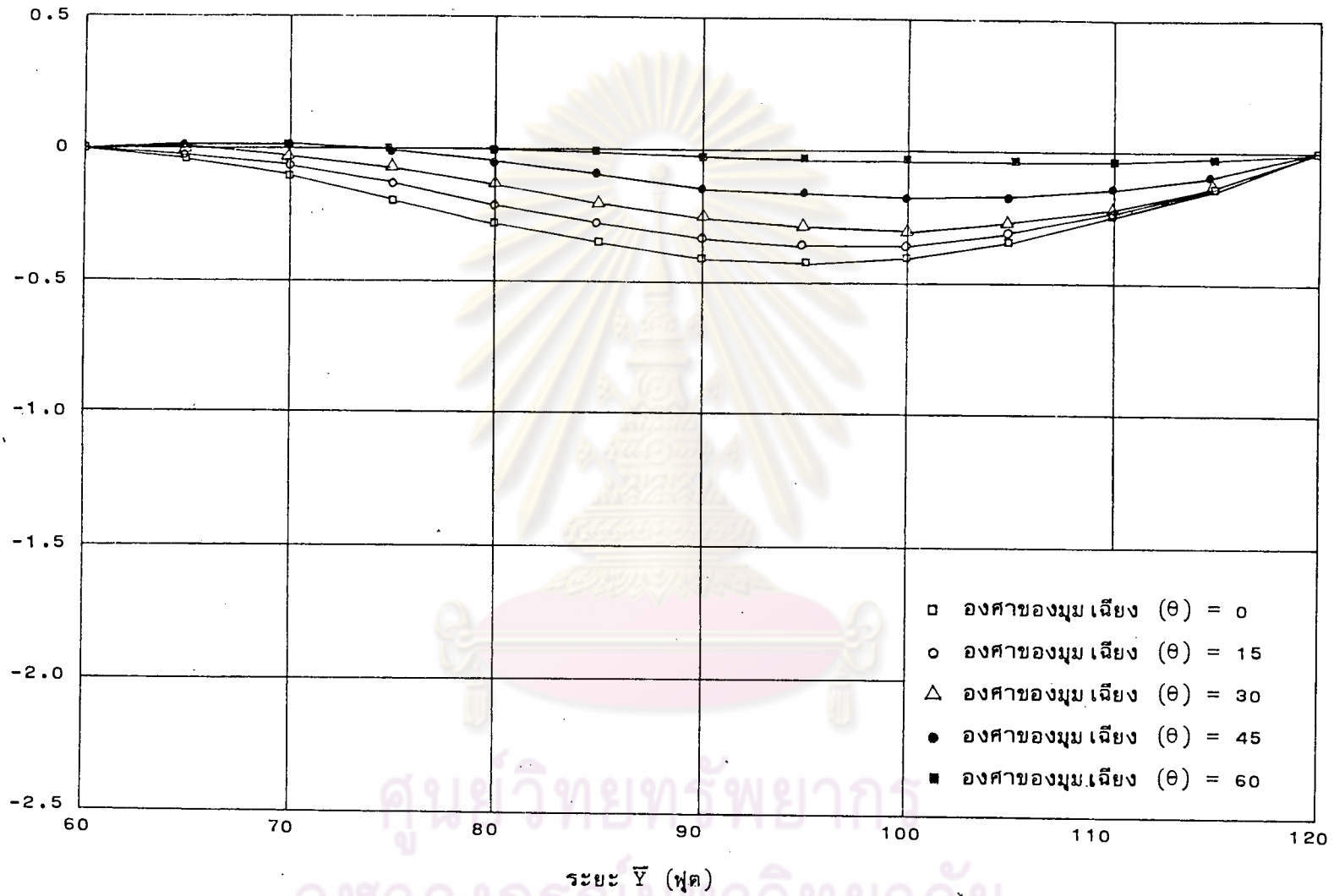


ระยะการโก่งตัวในแนวดิ่ง ( $\times 10^{-4}$  ฟุต) ตามความหนาของคาน L1



รูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบการโก่งตัวในแนวดิ่งตามความหนาของคาน L1

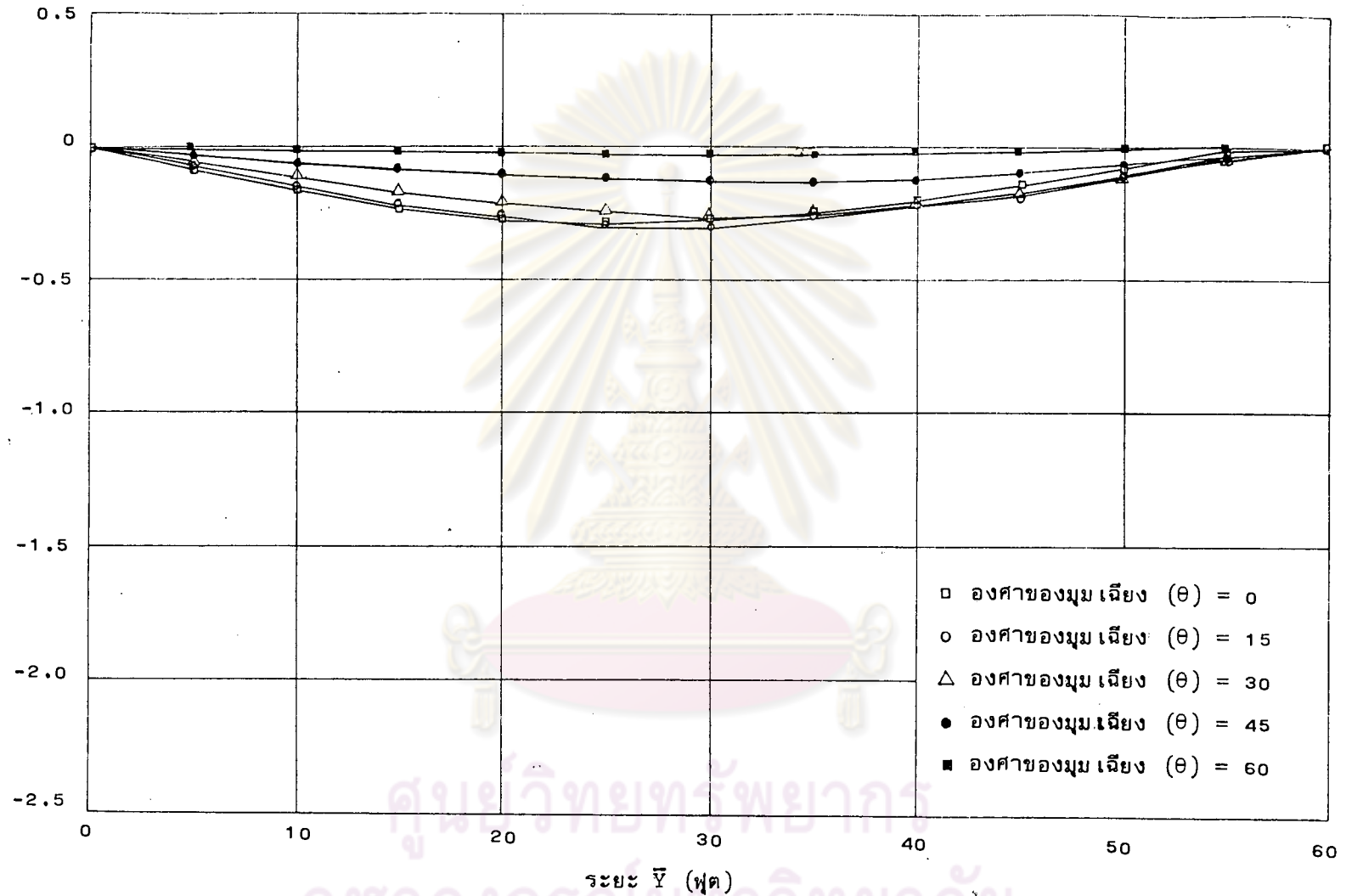
ระยะการโก่งตัวในแนวดิ่ง ( $\times 10^{-4}$  ฟุต) ตามความยาวของคาน L1



รูปที่ 4.5 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบการโก่งตัวในแนวดิ่งตามความยาวของคาน L1

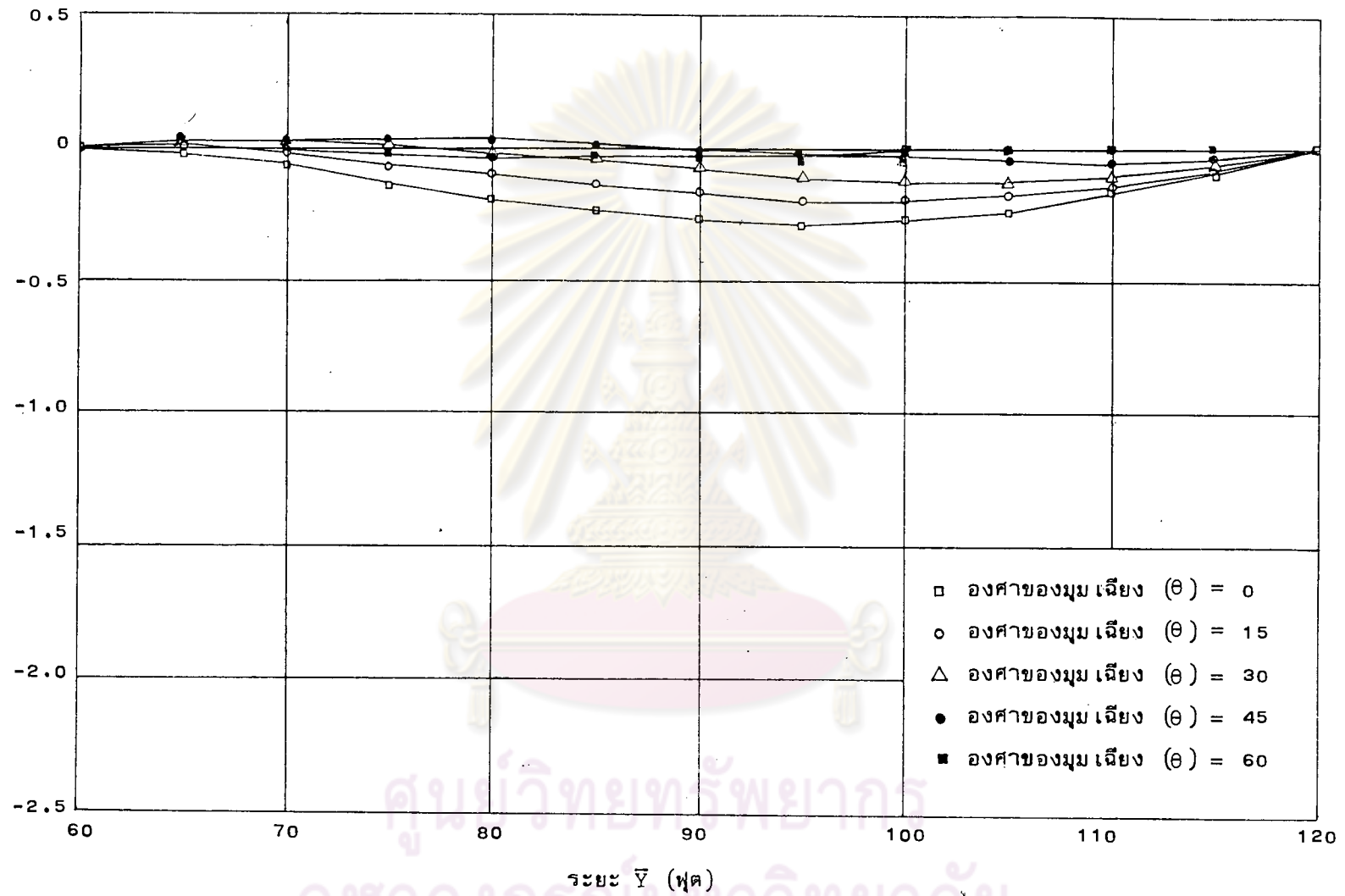


ระยะการโก่งตัวในแนวดิ่ง ( $\times 10^{-4}$  ฟุต) ตามผิวบนของคาน L2

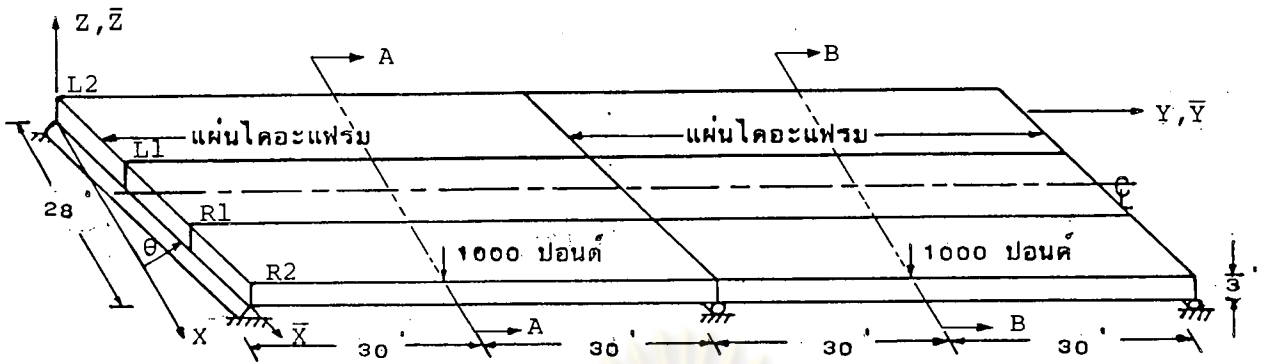


รูปที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบการโก่งตัวในแนวดิ่งตามผิวบนของคาน L2

ระยะการโก่งตัวในแนวตั้ง ( $\times 10^{-4}$  ฟุต) ตามพิวบนของคาน L2



รูปที่ 4.6 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบการโก่งตัวในแนวตั้งตามพิวบนของคาน L2

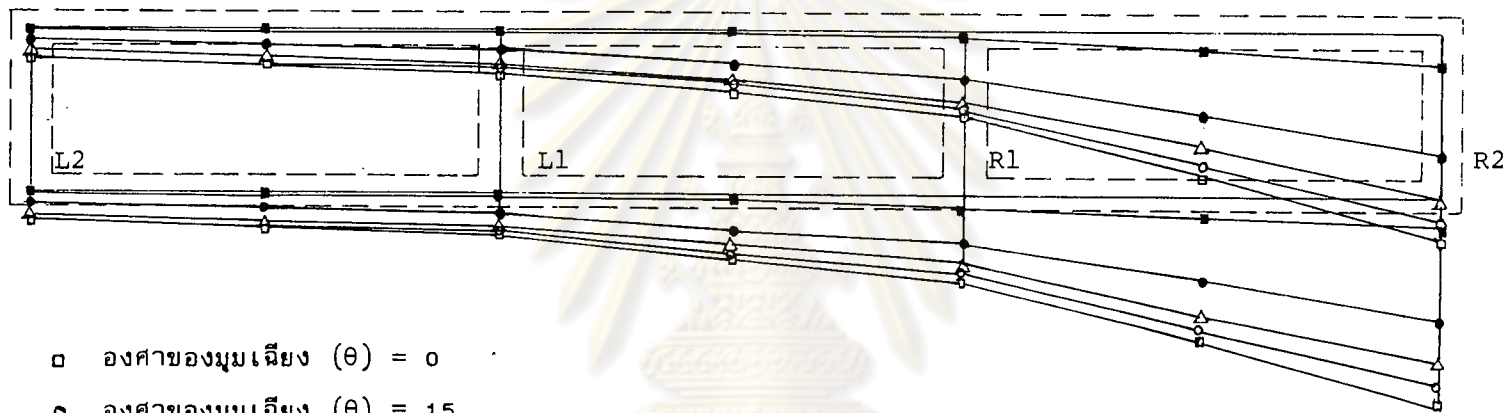


ตารางที่ 4.2.1 ค่าระยะการโก่งตัวในแนวตั้ง ( $\times 10^{-4}$  ฟุต) ที่หน้าตัด A-A

ระยะ X ฟุต	แผ่นพื้นบน					แผ่นพื้นล่าง				
	องศาของมุมเฉียง					องศาของมุมเฉียง				
	0	15	30	45	60	0	15	30	45	60
0.0	0.27	0.28	0.23	0.10	0.00	0.27	0.28	0.23	0.10	0.00
4.67	0.32	0.32	0.27	0.14	0.01	0.33	0.32	0.28	0.14	0.01
9.33	0.40	0.38	0.33	0.19	0.02	0.40	0.38	0.33	0.19	0.02
14.00	0.59	0.55	0.48	0.31	0.05	0.60	0.57	0.50	0.32	0.05
18.67	0.82	0.76	0.67	0.44	0.09	0.82	0.76	0.67	0.44	0.09
23.30	1.38	1.28	1.13	0.80	0.18	1.38	1.28	1.13	0.79	0.17
28.00	1.97	1.81	1.61	1.17	0.30	1.95	1.80	1.59	1.15	0.26

ตารางที่ 4.2.2 ค่าระยะการโก่งตัวในแนวตั้ง ( $\times 10^{-4}$  ฟุต) ที่หน้าตัด B-B

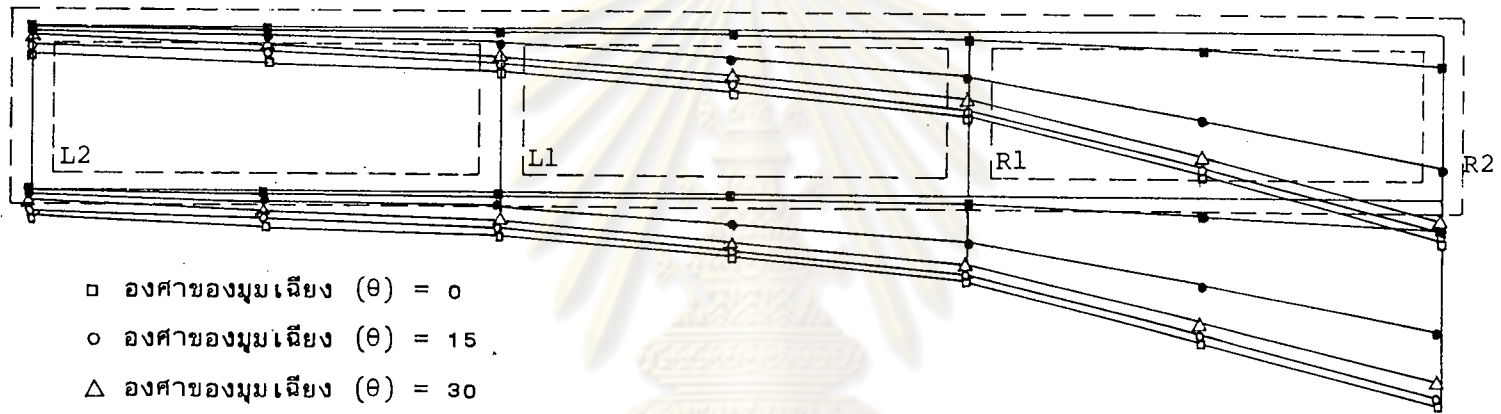
ระยะ X ฟุต	แผ่นพื้นบน					แผ่นพื้นล่าง				
	องศาของมุมเฉียง					องศาของมุมเฉียง				
	0	15	30	45	60	0	15	30	45	60
0.0	0.27	0.19	0.11	0.03	0.00	0.27	0.19	0.11	0.03	0.00
4.67	0.32	0.26	0.18	0.08	0.00	0.33	0.26	0.19	0.09	0.01
9.33	0.40	0.34	0.27	0.15	0.01	0.40	0.34	0.27	0.15	0.01
14.00	0.59	0.53	0.46	0.28	0.05	0.60	0.55	0.47	0.30	0.05
18.67	0.82	0.77	0.67	0.45	0.08	0.82	0.77	0.67	0.45	0.08
23.30	1.38	1.33	1.21	0.85	0.18	1.38	1.33	1.20	0.85	0.17
28.00	1.97	1.91	1.76	1.28	0.30	1.95	1.90	1.74	1.26	0.26



- องศาของมุมเหียง ( $\theta$ ) = 0
- องศาของมุมเหียง ( $\theta$ ) = 15
- △ องศาของมุมเหียง ( $\theta$ ) = 30
- องศาของมุมเหียง ( $\theta$ ) = 45
- องศาของมุมเหียง ( $\theta$ ) = 60

รูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบการโค้งตัวในแนวตั้งที่หน้าตัด A-A

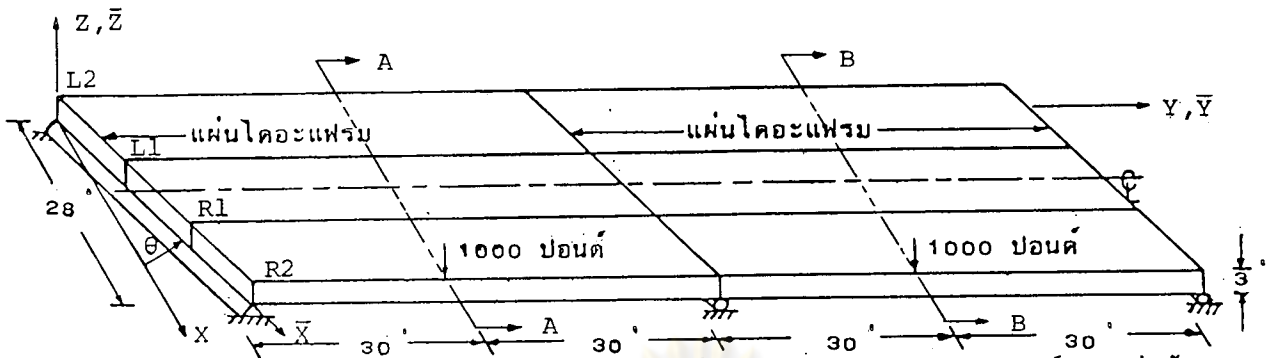
ศูนย์วิจัยทรัพย์สินทางปัญญา  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



- องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 0
- องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 15
- △ องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 30
- องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 45
- องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 60

รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบการโค้งตัวในแนวตั้งที่หน้าตัด B-B

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



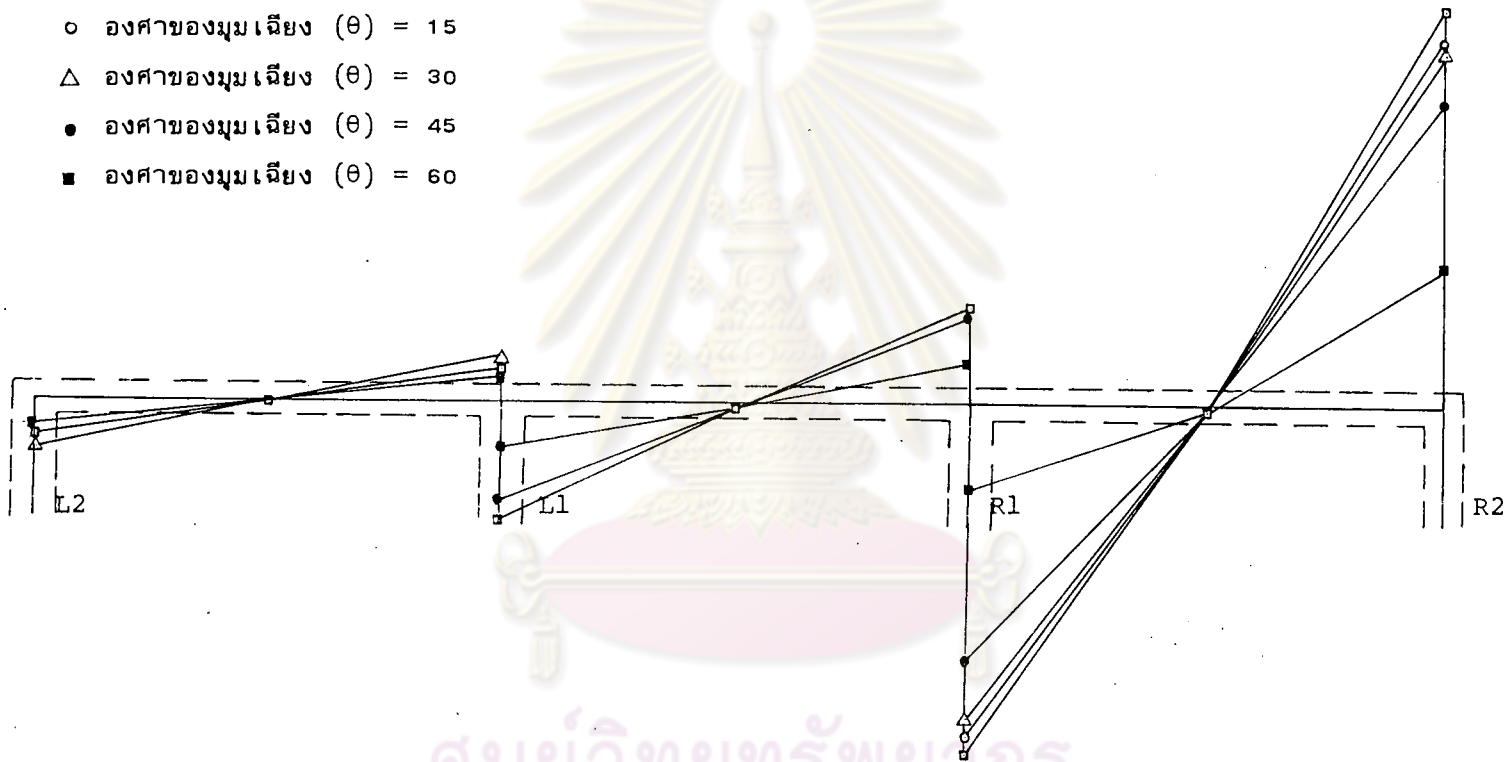
ตารางที่ 4.3.1 ค่าแสดงการกระจายของโมเมนต์ตัดตามขวาง  $M_y$  (ฟุต-ปอนด์/ฟุต) ที่หน้าตัด A-A

ระยะ X ฟุต	แผ่นพื้นบน					แผ่นพื้นล่าง				
	องศาของมุมเฉียง					องศาของมุมเฉียง				
	0	15	30	45	60	0	15	30	45	60
0.0	-3.6	-4.0	-4.8	-4.8	-2.5	-2.7	-3.0	-3.5	-3.5	-1.8
4.67	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.0	-0.1	-0.0	-0.0	-0.0	0.0
9.33	3.0	3.4	4.3	4.4	2.3	2.6	2.9	3.5	3.5	1.8
9.33	-11.2	-11.1	-11.0	-9.2	-4.2	-8.6	-8.5	-8.4	-7.1	-3.2
14.00	-0.8	-0.7	-0.6	-0.4	0.1	-0.1	-0.0	0.0	0.0	0.1
18.67	9.5	9.5	9.6	8.2	3.7	8.6	8.5	8.5	7.2	3.3
18.67	-33.0	-31.0	-29.4	-24.0	-8.2	-23.4	-22.0	-20.8	-17.0	-6.1
23.33	-0.9	0.5	-0.1	-0.8	-0.5	-0.3	0.3	-0.1	-0.3	-0.2
28.00	38.2	35.1	34.1	29.2	13.5	26.1	24.5	23.6	19.9	7.6

ระยะ Z ฟุต	คาน L2					คาน L1				
	องศาของมุมเฉียง					องศาของมุมเฉียง				
	0	15	30	45	60	0	15	30	45	60
0	2.3	2.4	2.8	2.9	1.5	9.5	9.3	9.8	8.8	4.2
3	-3.3	-3.5	-4.3	-4.4	-2.2	-13.0	-12.9	-13.6	-12.4	-5.8

ระยะ Z ฟุต	คาน R1					คาน R2				
	องศาของมุมเฉียง					องศาของมุมเฉียง				
	0	15	30	45	60	0	15	30	45	60
0	26.9	24.6	23.9	20.5	8.4	21.7	18.2	17.9	16.5	12.6
3	-39.4	-36.5	-35.2	-29.9	-12.3	-35.0	-29.8	-29.1	-26.5	-21.8

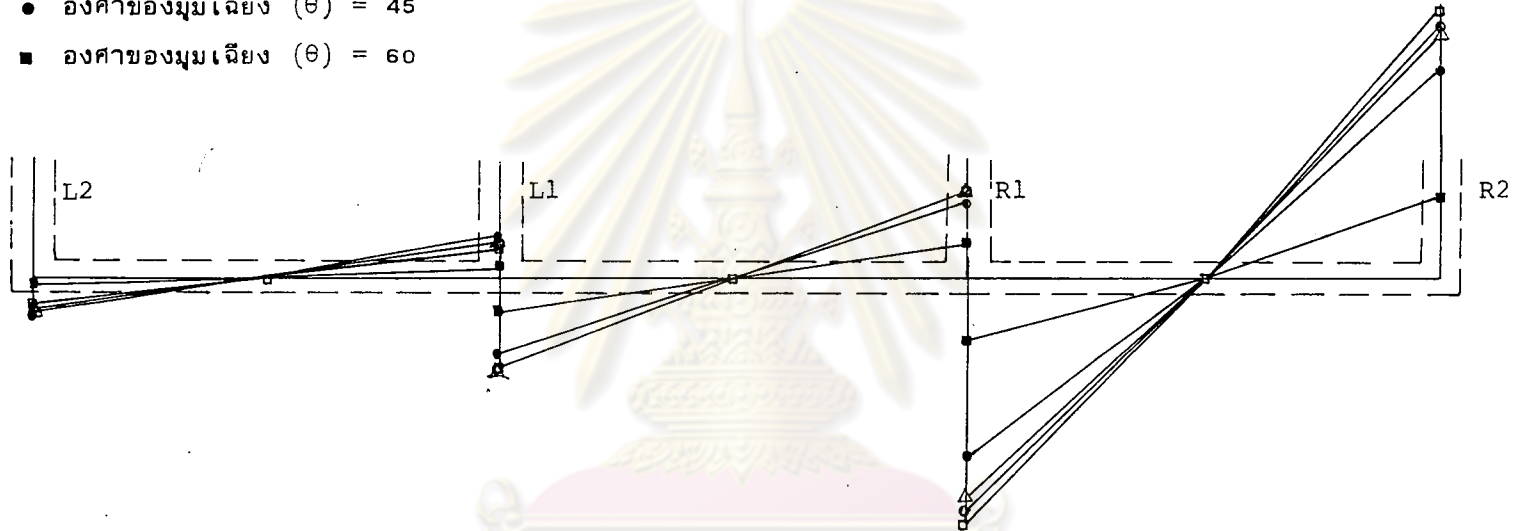
- องศาของมุม เฉียง ( $\theta$ ) = 0
- องศาของมุม เฉียง ( $\theta$ ) = 15
- △ องศาของมุม เฉียง ( $\theta$ ) = 30
- องศาของมุม เฉียง ( $\theta$ ) = 45
- องศาของมุม เฉียง ( $\theta$ ) = 60



รูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายของโมเมนต์ตัดตามขวาง  $M_y$  (ฟุต-ปอนด์/ฟุต) ที่หน้าตัด A-A ของแผ่นพื้นบน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 0
- องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 15
- △ องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 30
- องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 45
- องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 60

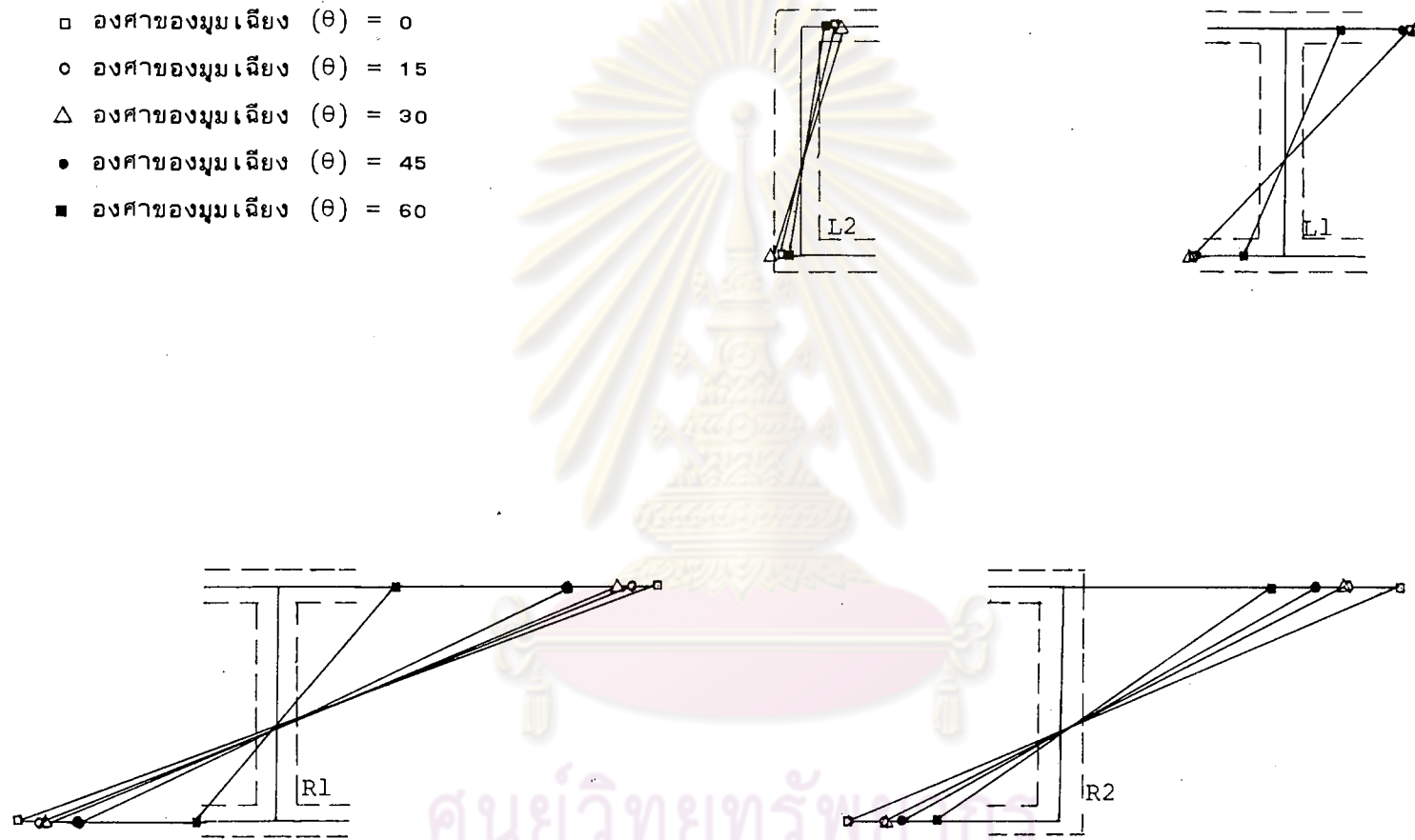


รูปที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายของโมเมนต์ตัดตามขวาง  $M_y$  (ฟุต-ปอนด์/ฟุต) ที่หน้าตัด A-A ของแผ่นพื้นล่าง

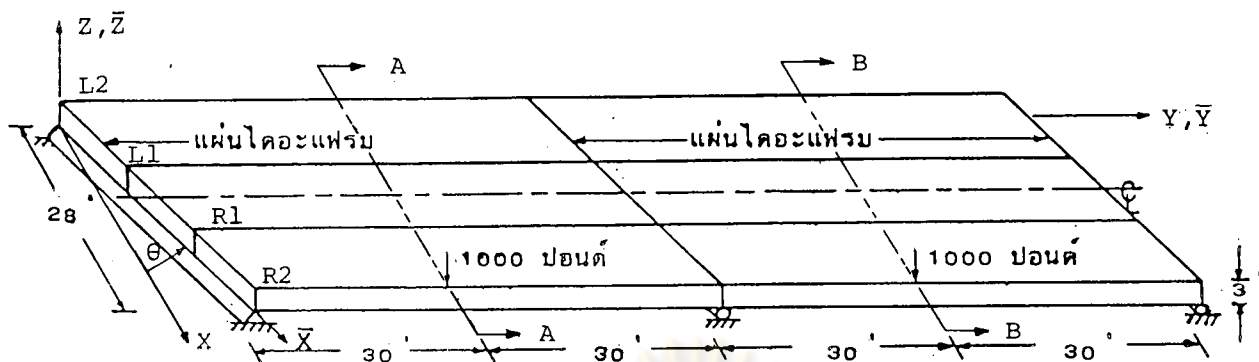
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



- องศาของมุมเดียง ( $\theta$ ) = 0
- องศาของมุมเดียง ( $\theta$ ) = 15
- △ องศาของมุมเดียง ( $\theta$ ) = 30
- องศาของมุมเดียง ( $\theta$ ) = 45
- องศาของมุมเดียง ( $\theta$ ) = 60



รูปที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายของโมเมนต์ตัดตามขวาง  $M_y$  (ฟุต-ปอนด์/ฟุต) ที่หน้าตัด A-A ของคาน



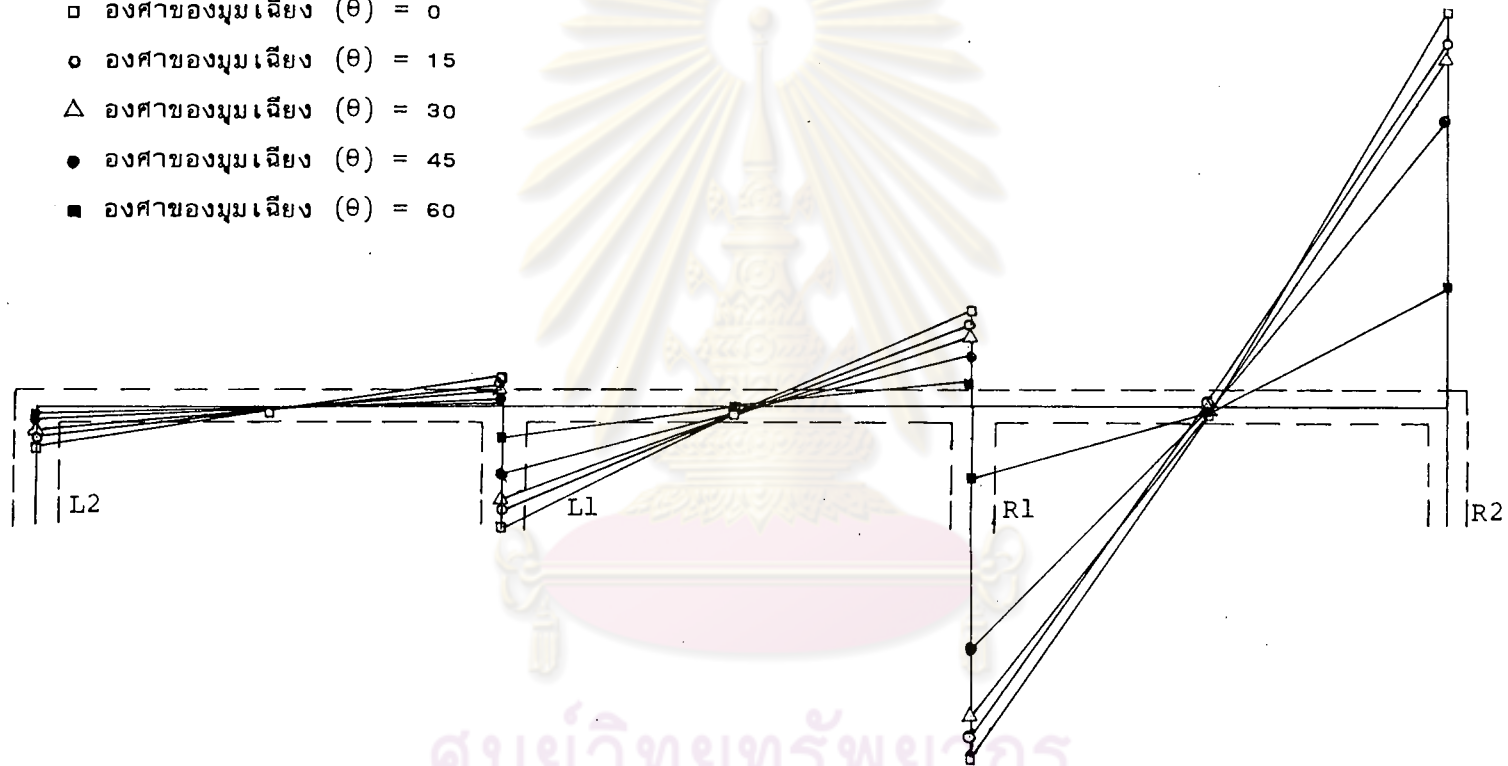
ตารางที่ 4.3.2 ค่าแสดงการกระจายของโมเมนต์ตัดตามขวาง  $M_y$  (ฟุต-ปอนด์/ฟุต) ที่หน้าตัด B-B

ระยะ X ฟุต	แผ่นพื้นบน					แผ่นพื้นล่าง				
	องศาของมุมเฉียง					องศาของมุมเฉียง				
	0	15	30	45	60	0	15	30	45	60
0.0	-3.6	-2.6	-2.2	-1.5	-1.1	-2.7	-2.0	-1.6	-1.1	-0.8
4.67	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.0	-0.1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0
9.33	3.0	2.1	1.7	1.1	0.9	2.6	1.9	1.6	1.1	0.8
9.33	-11.2	-9.9	-8.7	-6.3	-2.7	-8.6	-7.6	-6.7	-4.8	-2.1
14.00	-0.8	-0.8	-0.7	-0.5	0.0	-0.1	-0.1	-0.0	-0.0	0.1
18.67	9.5	8.2	7.0	5.0	2.2	8.6	7.6	6.6	4.9	2.2
18.67	-33.0	-31.1	-29.1	-22.8	-6.7	-23.4	-22.0	-20.5	-16.0	-5.0
23.33	-0.9	0.4	-0.2	-0.9	-0.6	-0.3	0.2	-0.1	-0.4	-0.2
28.00	38.2	35.2	33.7	27.8	11.8	26.1	24.5	23.3	18.9	6.4

ระยะ Z ฟุต	คาน L2					คาน L1				
	องศาของมุมเฉียง					องศาของมุมเฉียง				
	0	15	30	45	60	0	15	30	45	60
0	2.3	1.6	1.3	1.0	0.7	9.5	7.8	6.8	5.0	2.4
3	-3.3	-2.3	-1.9	-1.3	-1.0	-13.0	-10.6	-9.2	-6.7	-3.3

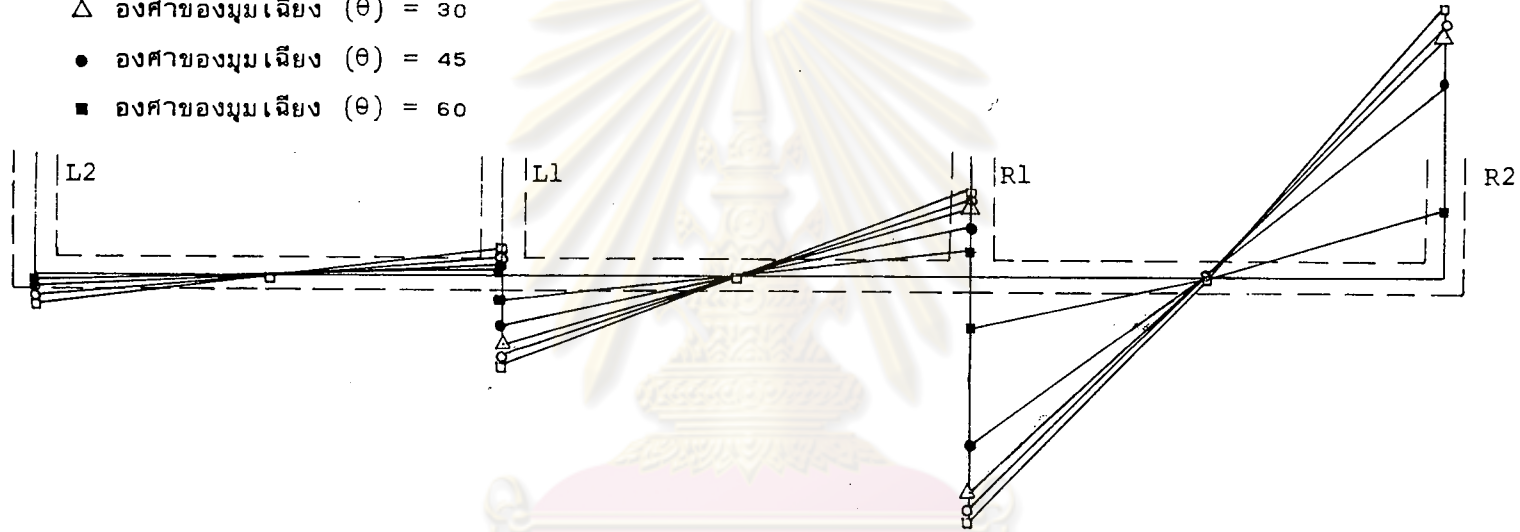
ระยะ Z ฟุต	คาน R1					คาน R2				
	องศาของมุมเฉียง					องศาของมุมเฉียง				
	0	15	30	45	60	0	15	30	45	60
0	26.9	23.8	22.1	17.8	6.5	21.7	18.2	17.6	15.6	11.6
3	-39.4	-35.4	-32.6	-25.9	-9.6	-35.0	-29.7	-28.6	-25.2	-20.4

- องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 0
- องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 15
- △ องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 30
- องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 45
- องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 60



รูปที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายของโมเมนต์ตัดตามขวาง  $M_y$  (ฟุต-ปอนด์/ฟุต) ที่หน้าตัด B-B ของแผ่นพื้นบน

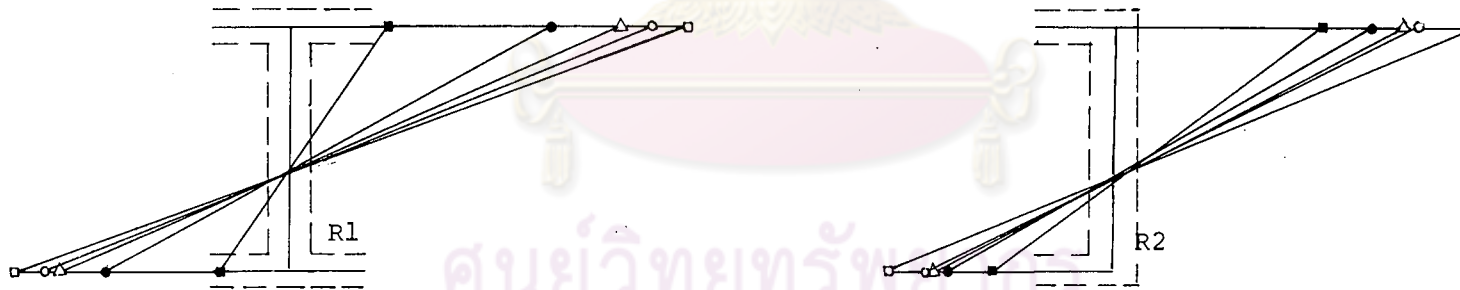
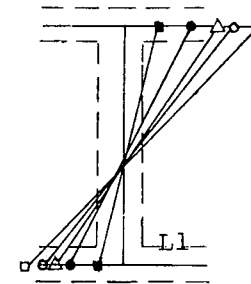
- องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 0
- องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 15
- △ องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 30
- องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 45
- องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 60



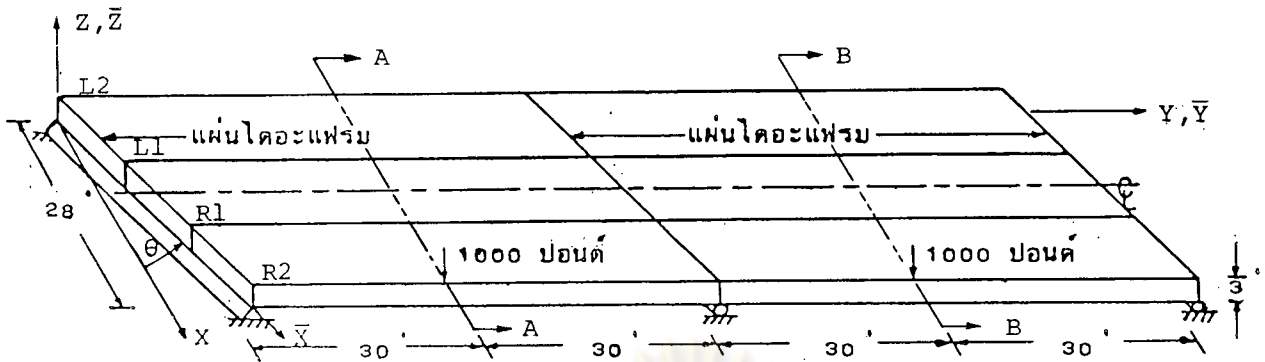
รูปที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายของโมเมนต์ตัดตามขวาง  $M_y$  (ฟุต-ปอนด์/ฟุต) ที่หน้าตัด B-B ของแผ่นพื้นล่าง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- องศาของมุม เฉียง ( $\theta$ ) = 0
- องศาของมุม เฉียง ( $\theta$ ) = 15
- △ องศาของมุม เฉียง ( $\theta$ ) = 30
- องศาของมุม เฉียง ( $\theta$ ) = 45
- องศาของมุม เฉียง ( $\theta$ ) = 60



รูปที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายของโมเมนต์ตัดตามขวาง  $M_y$  (ฟุต-ปอนด์/ฟุต) ที่หน้าตัด B-B ของคาน



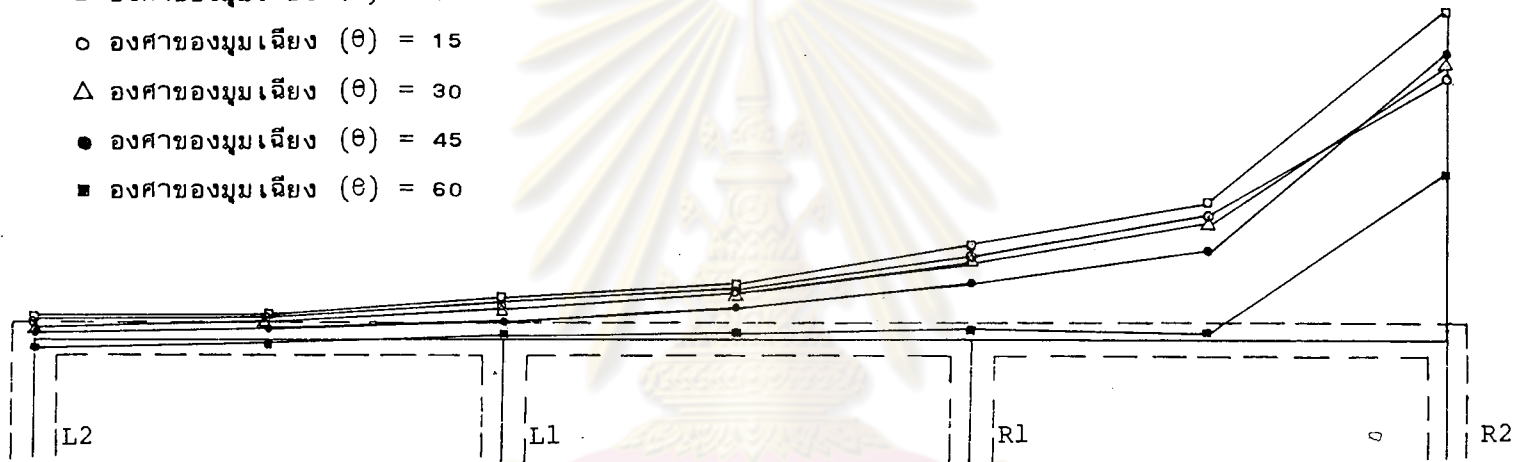
ตารางที่ 4.4.1 ค่าแสดงการกระจายของหน่วยแรงตามยาว  $N_y$  (ปอนด์/ฟุต) ที่หน้าตัด A-A

ระยะ X ฟุต	แผ่นพื้นบน					แผ่นพื้นล่าง				
	องศาของมุมเอียง					องศาของมุมเอียง				
	0	15	30	45	60	0	15	30	45	60
0	-25.0	-24.9	-21.7	-9.9	8.4	25.4	25.2	22.1	10.3	-7.9
4.67	-29.1	-27.6	-23.8	-12.3	1.6	28.6	27.1	23.4	12.3	-1.4
9.33	-41.3	-38.2	-34.0	-21.2	-2.5	39.9	36.9	32.8	20.6	2.4
14.00	-54.9	-51.1	-46.4	-31.1	-4.5	52.7	49.0	44.6	30.0	4.3
18.67	-92.3	-84.7	-78.8	-57.1	-13.5	88.4	81.2	75.5	54.9	13.2
23.33	-132.4	-120.8	-116.4	-89.8	-6.1	126.6	115.6	111.4	86.0	5.4
28.00	-317.2	-252.8	-268.4	-272.4	-160.4	304.5	241.6	256.6	260.6	165.7

ระยะ Z ฟุต	คาน L2					คาน L1				
	องศาของมุมเอียง					องศาของมุมเอียง				
	0	15	30	45	60	0	15	30	45	60
0	37.1	36.6	31.8	14.4	-12.2	57.3	52.9	46.6	28.2	2.0
3	-31.0	-30.7	-26.6	-11.7	10.9	-50.3	-46.5	-40.9	-24.7	-1.8

ระยะ Z ฟุต	คาน R1					คาน R2				
	องศาของมุมเอียง					องศาของมุมเอียง				
	0	15	30	45	60	0	15	30	45	60
0	125.9	115.8	106.5	75.0	14.9	423.4	342.8	361.2	358.8	185.6
3	-111.8	-102.9	-94.6	-66.5	-13.3	-422.6	-332.0	-353.8	-363.6	-254.2

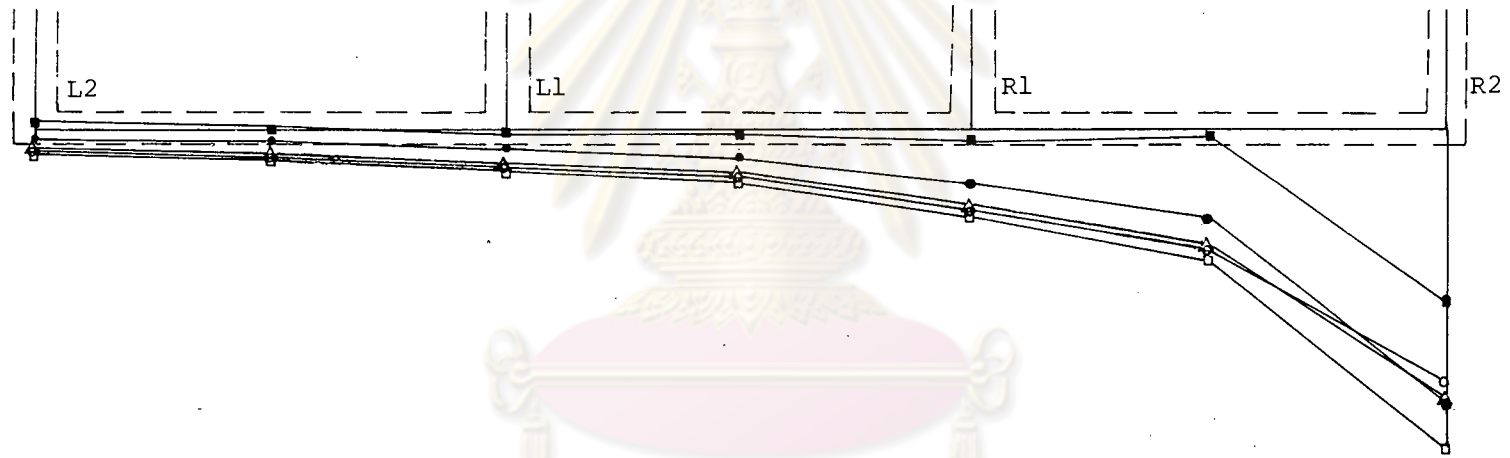
- องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 0
- องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 15
- △ องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 30
- องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 45
- องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 60



รูปที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายของหน่วยแรงตามยาว  $N_y$  (ปอนด์/ฟุต) ที่หน้าตัด A-A ของแผ่นพื้นบน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- องศาของมุมเอียง ( $\theta$ ) = 0
- องศาของมุมเอียง ( $\theta$ ) = 15
- △ องศาของมุมเอียง ( $\theta$ ) = 30
- องศาของมุมเอียง ( $\theta$ ) = 45
- องศาของมุมเอียง ( $\theta$ ) = 60

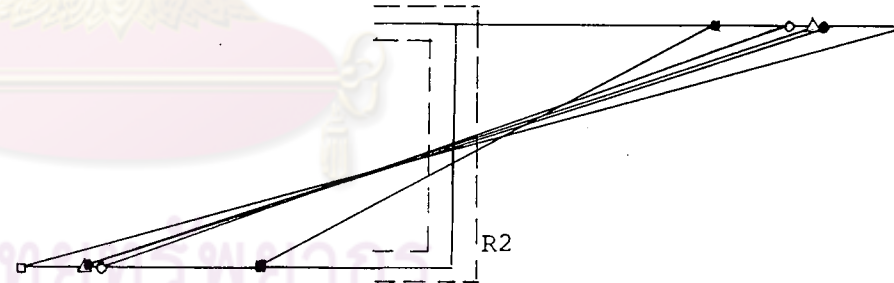
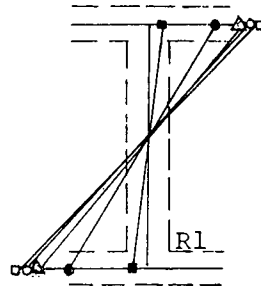
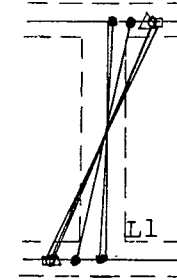


รูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายของหน่วยแรงตามยาว  $N_y$  (ปอนด์/ฟุต) ที่หน้าตัด A-A ของแผ่นพื้นล่าง

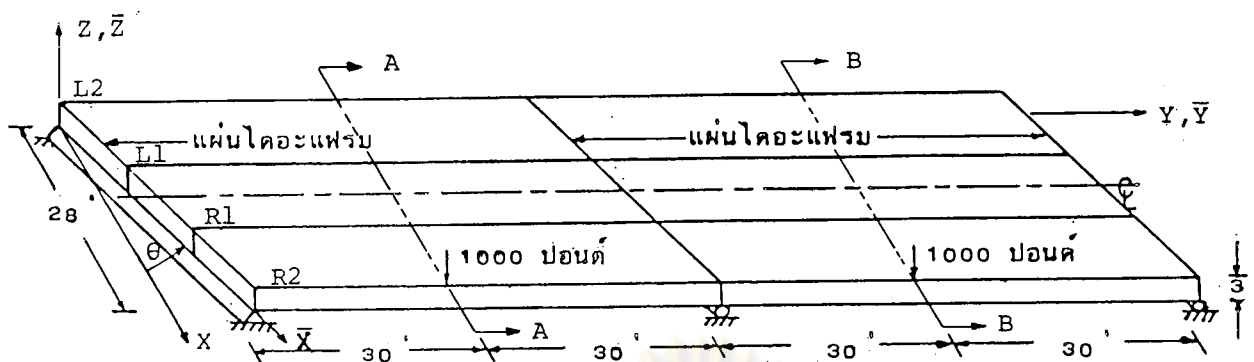
ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



- องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 0
- องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 15
- △ องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 30
- องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 45
- องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 60



รูปที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายของหน่วยแรงตามยาว  $N_y$  (ปอนด์/ฟุต) ที่หน้าตัด A-A ของคาน



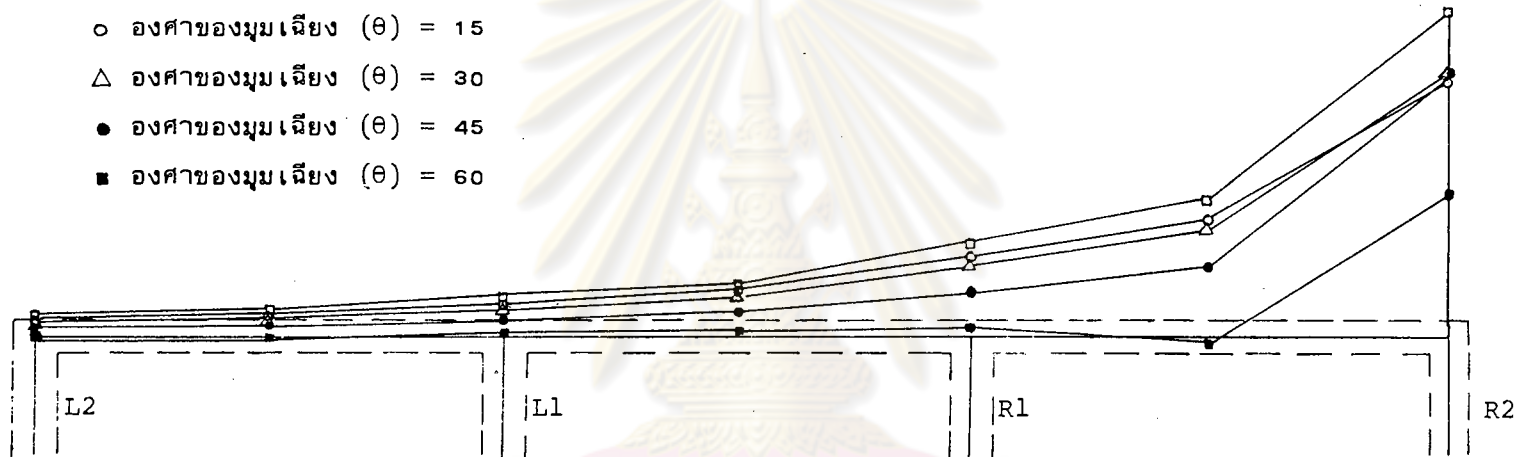
ตารางที่ 4.4.2 ค่าแสดงการกระจายของหน่วยแรงตามยาว  $N_y$  (ปอนด์/ฟุต) ที่หน้าตัด B-B

ระยะ X ฟุต	แผ่นพื้นบน					แผ่นพื้นล่าง				
	องศาของมุมเฉียง					องศาของมุมเฉียง				
	0	15	30	45	60	0	15	30	45	60
0.0	-25.0	-21.2	-16.9	-9.2	3.5	25.4	21.6	17.3	9.5	-3.5
4.67	-29.1	-24.8	-20.7	-12.2	0.5	28.6	24.4	20.3	12.0	-0.5
9.33	-41.3	-35.4	-29.9	-18.3	-1.6	39.9	34.2	29.0	17.9	1.7
14.00	-54.9	-47.1	-39.8	-24.3	-2.1	52.7	45.3	38.4	23.6	2.2
18.67	-92.3	-79.5	-69.4	-45.3	-8.0	88.4	76.2	66.7	43.9	8.2
23.33	-132.4	-115.1	-104.2	-71.5	6.2	126.6	110.2	99.6	68.5	-6.2
28.00	-317.2	-246.4	-256.6	-254.4	-137.1	304.5	235.4	245.1	243.1	143.6

ระยะ Z ฟุต	คาน L2					คาน L1				
	องศาของมุมเฉียง					องศาของมุมเฉียง				
	0	15	30	45	60	0	15	30	45	60
0	37.1	31.5	25.1	13.7	-5.4	57.3	49.2	41.5	25.1	1.6
3	-31.0	-26.3	-20.9	-11.3	4.6	-50.3	-43.2	-36.3	-21.8	-1.2

ระยะ Z ฟุต	คาน R1					คาน R2				
	องศาของมุมเฉียง					องศาของมุมเฉียง				
	0	15	30	45	60	0	15	30	45	60
0	125.9	108.7	93.9	59.4	8.4	423.4	333.8	344.2	332.8	153.2
3	-111.8	-96.5	-83.2	-52.2	-7.3	-422.6	-324.1	-339.0	-341.0	-225.2

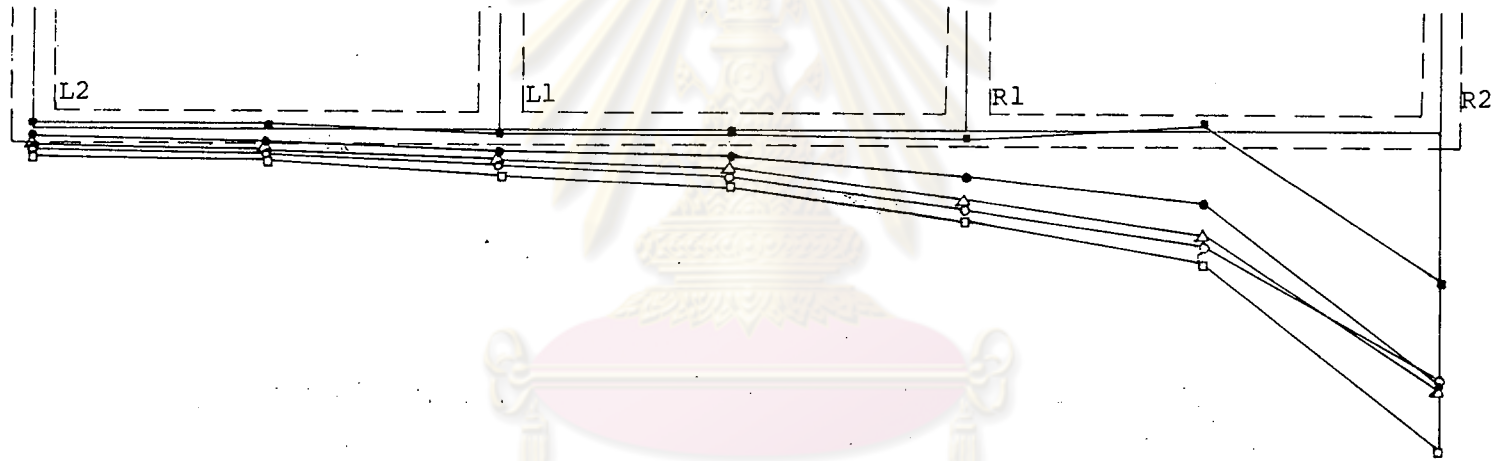
- องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 0
- องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 15
- △ องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 30
- องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 45
- องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 60



รูปที่ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายของหน่วยแรงตามยาว  $N_y$  (ปอนด์/ฟุต) ที่หน้าตัด B-B ของแผ่นพื้นบน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

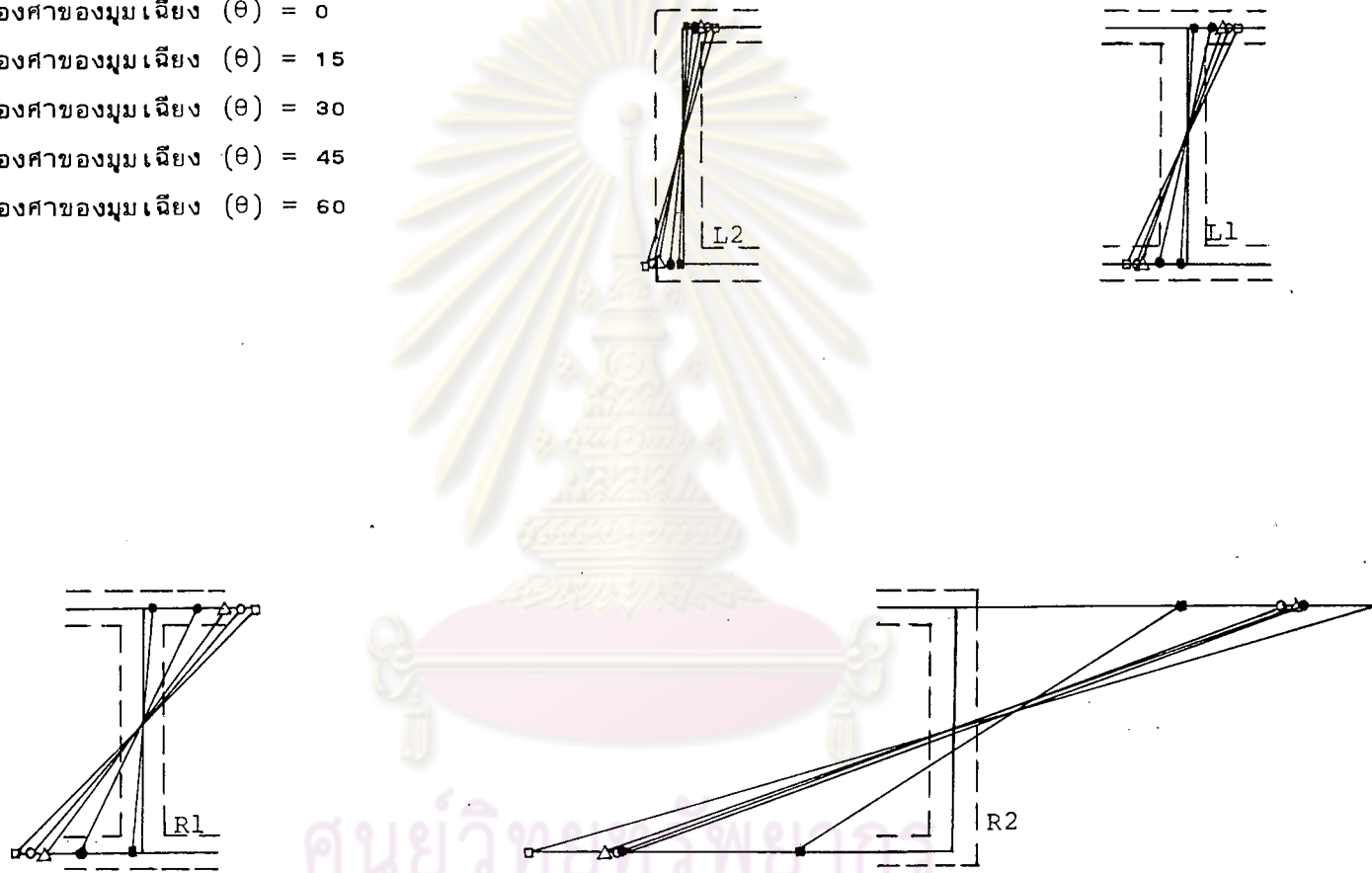
- องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 0
- องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 15
- △ องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 30
- องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 45
- องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 60



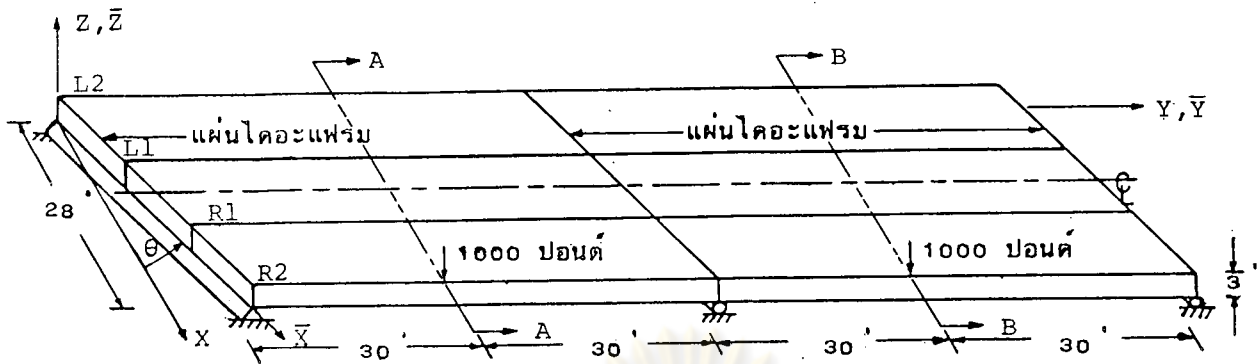
รูปที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายของหน่วยแรงตามยาว  $N_y$  (ปอนด์/ฟุต) ที่หน้าตัด B-B ของแผ่นพื้นล่าง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ▣ องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 0
- องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 15
- △ องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 30
- องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 45
- องศาของมุมเฉียง ( $\theta$ ) = 60



รูปที่ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายของหน่วยแรงตามยาว  $N_y$  (ปอนด์/ฟุต) ที่หน้าตัด B-B ของคาน



ตารางที่ 4.5 แสดงค่าโมเมนต์ตัดตามยาวที่หน้าตัดหน้าหนักบรรทุกกระทำ

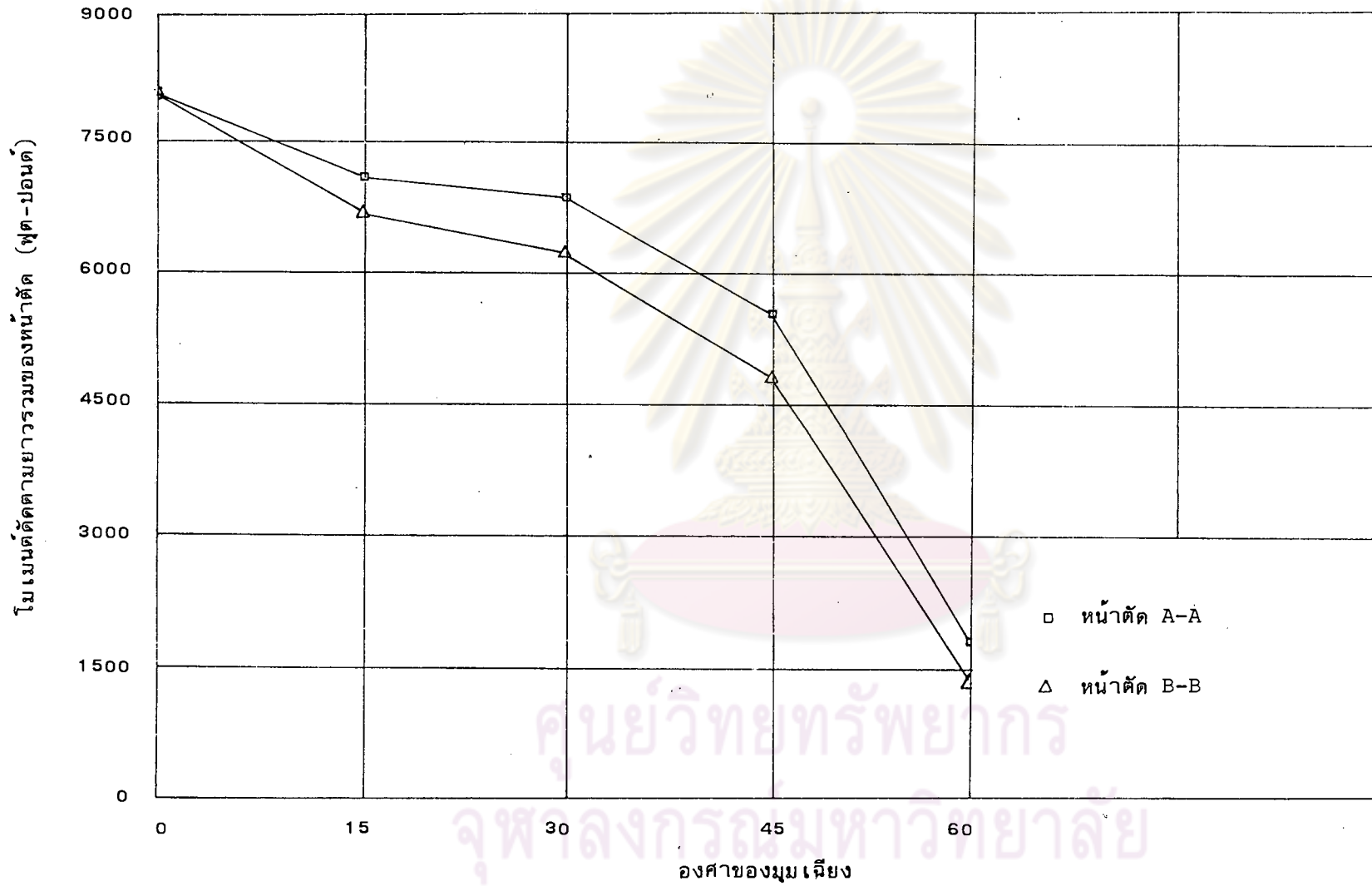
หน้าตัด	$\theta$	$M_s$	$M_g$	$M_t$
A-A	0	7156	944	8100
	15	6330	795	7125
	30	6102	796	6898
	45	4842	707	5549
	60	1428	336	1764
B-B	0	7156	944	8100
	15	5982	760	6742
	30	5502	738	6240
	45	4169	643	4812
	60	1031	290	1321

$\theta$  : องศาของมุมเฉียง

$M_s$  : โมเมนต์ตัดตามยาวของหน้าตัดเนื่องจากแผ่นดิน (ฟุต-ปอนด์)

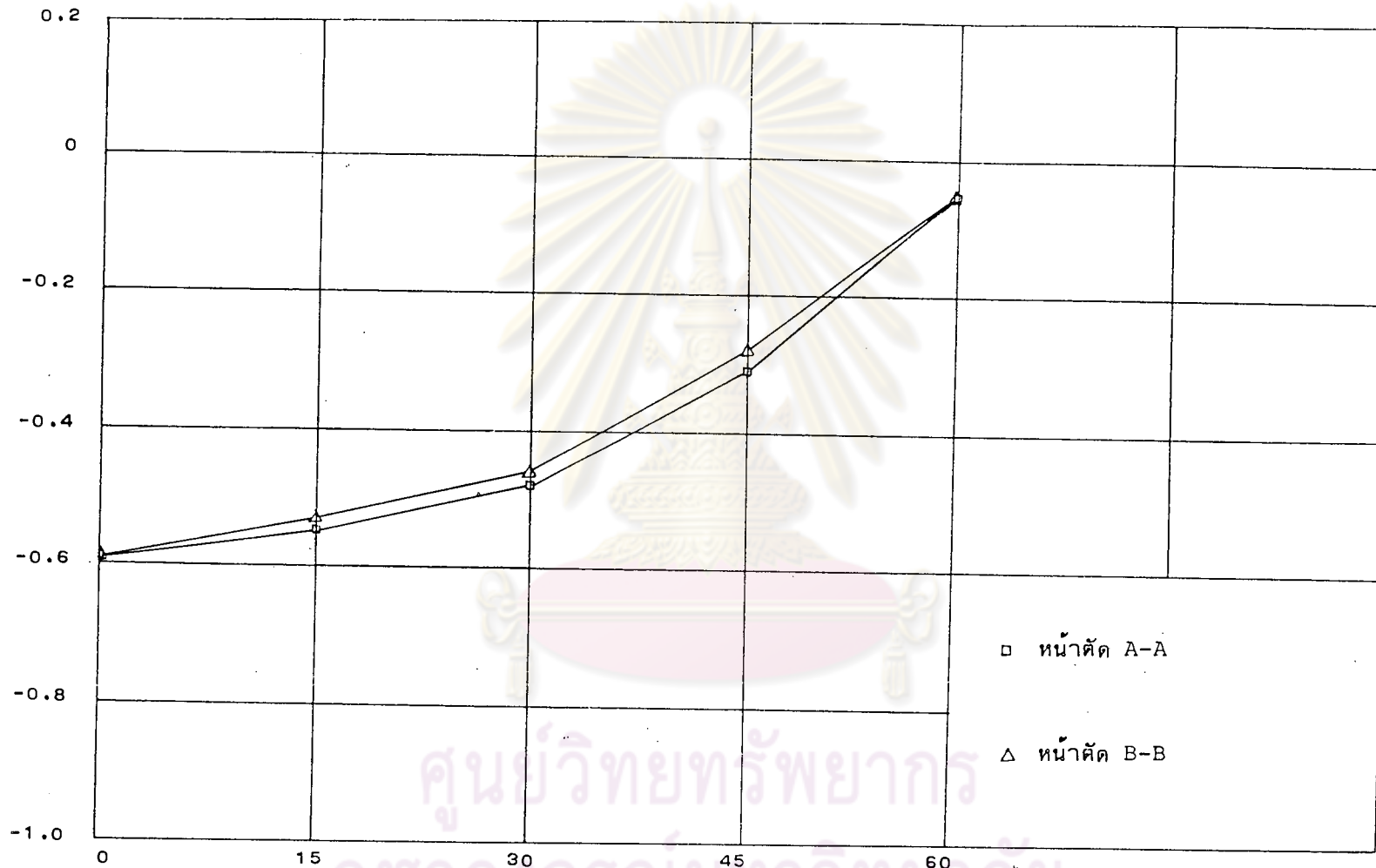
$M_g$  : โมเมนต์ตัดตามยาวของหน้าตัดเนื่องจากคาน (ฟุต-ปอนด์)

$M_t$  : โมเมนต์ตัดตามยาวรวมของหน้าตัดเนื่องจากแผ่นดินและคาน (ฟุต-ปอนด์)



รูปที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ตัดตามยาวและองศาของมุม เียง

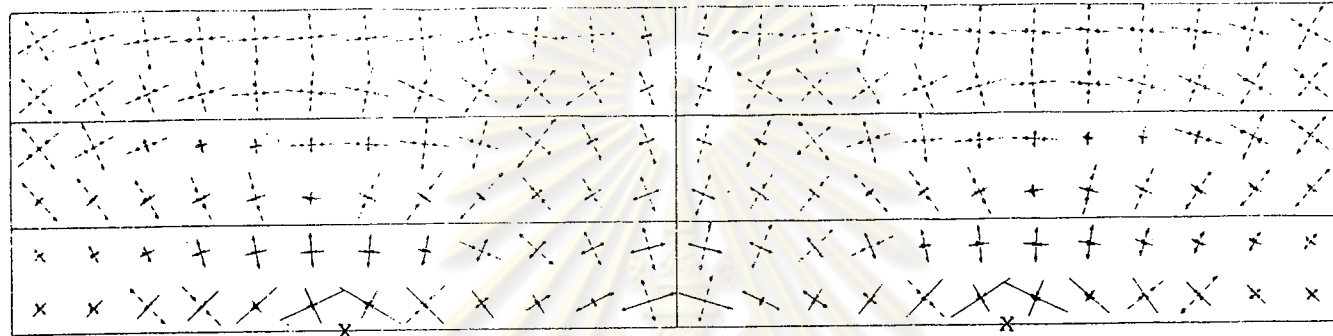
ระยะการโก่งตัวในแนวตั้ง ( $\times 10^{-4}$  ฟุต) ที่จุดกึ่งกลางของหน้าตัดของแผ่นพื้นบน



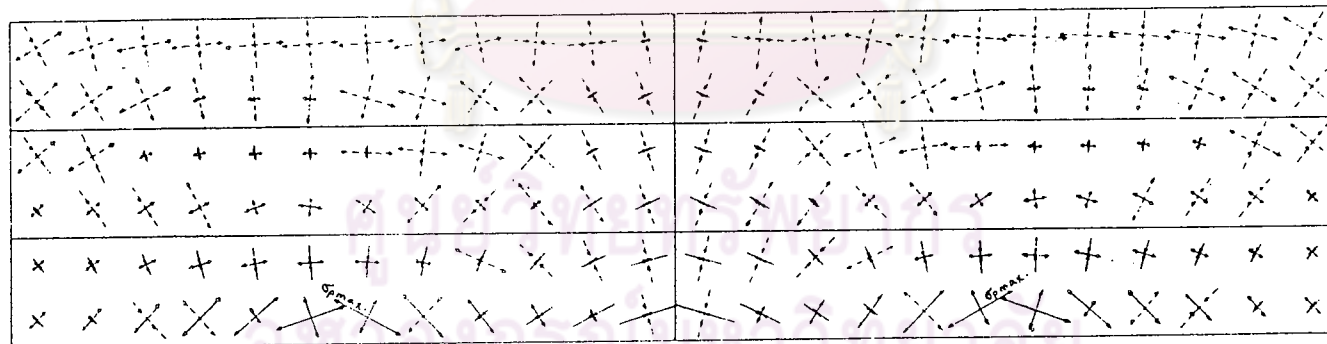
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
องศาของมุมเฉียง

รูปที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการโก่งตัวในแนวตั้งและองศาของมุม เฉียง



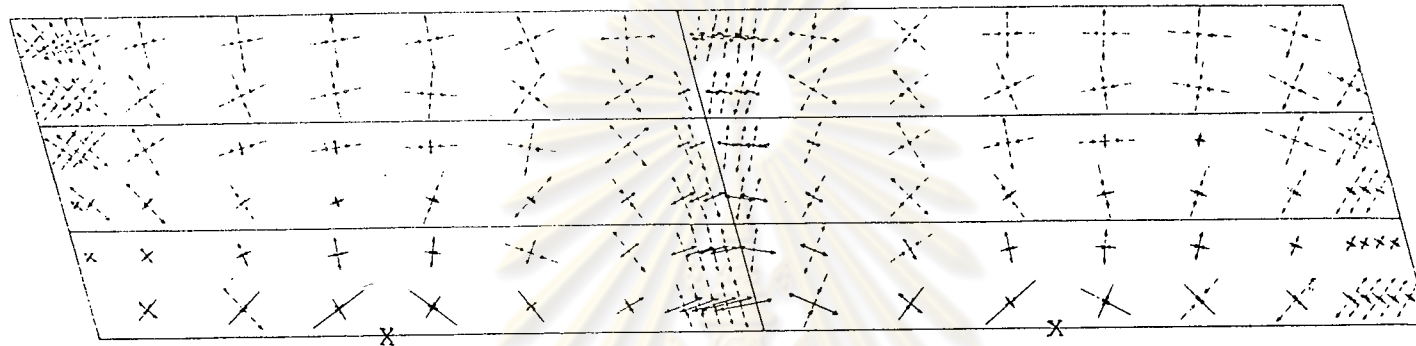


$\longleftrightarrow$  หน่วยแรงอัด      รูป (ก) แผ่นพื้นบน      0    1000    2000    3000 ปอนด์/ฟุต<sup>2</sup>  
 $\longleftarrow \longrightarrow$  หน่วยแรงดึง      x    น้ำหนักบรรทุกกระทำ = 1000 ปอนด์  
 $----- \sigma_p < 100$  ปอนด์/ฟุต<sup>2</sup>       $\sigma_{p \text{ max.}} = 670$  ปอนด์/ฟุต<sup>2</sup>



รูป (ข) แผ่นพื้นล่าง

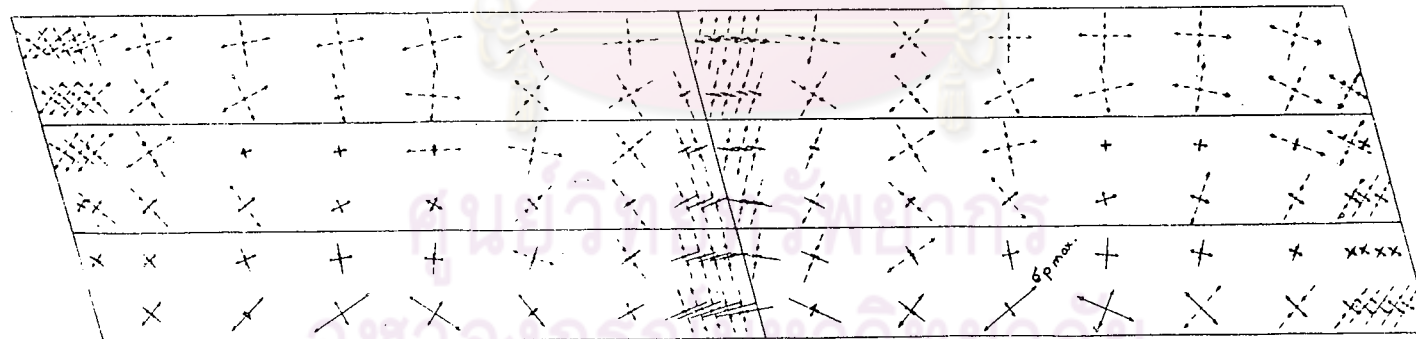
รูปที่ 4.23 ลักษณะของหน่วยแรงหลักที่มืองศาของมุมเฉียงเท่ากับ 0



$\rightarrow$  หน่วยแรงอัด  
 $\leftarrow$  หน่วยแรงดึง  
 $---$   $\sigma_p < 100$  ปอนด์/ฟุต<sup>2</sup>

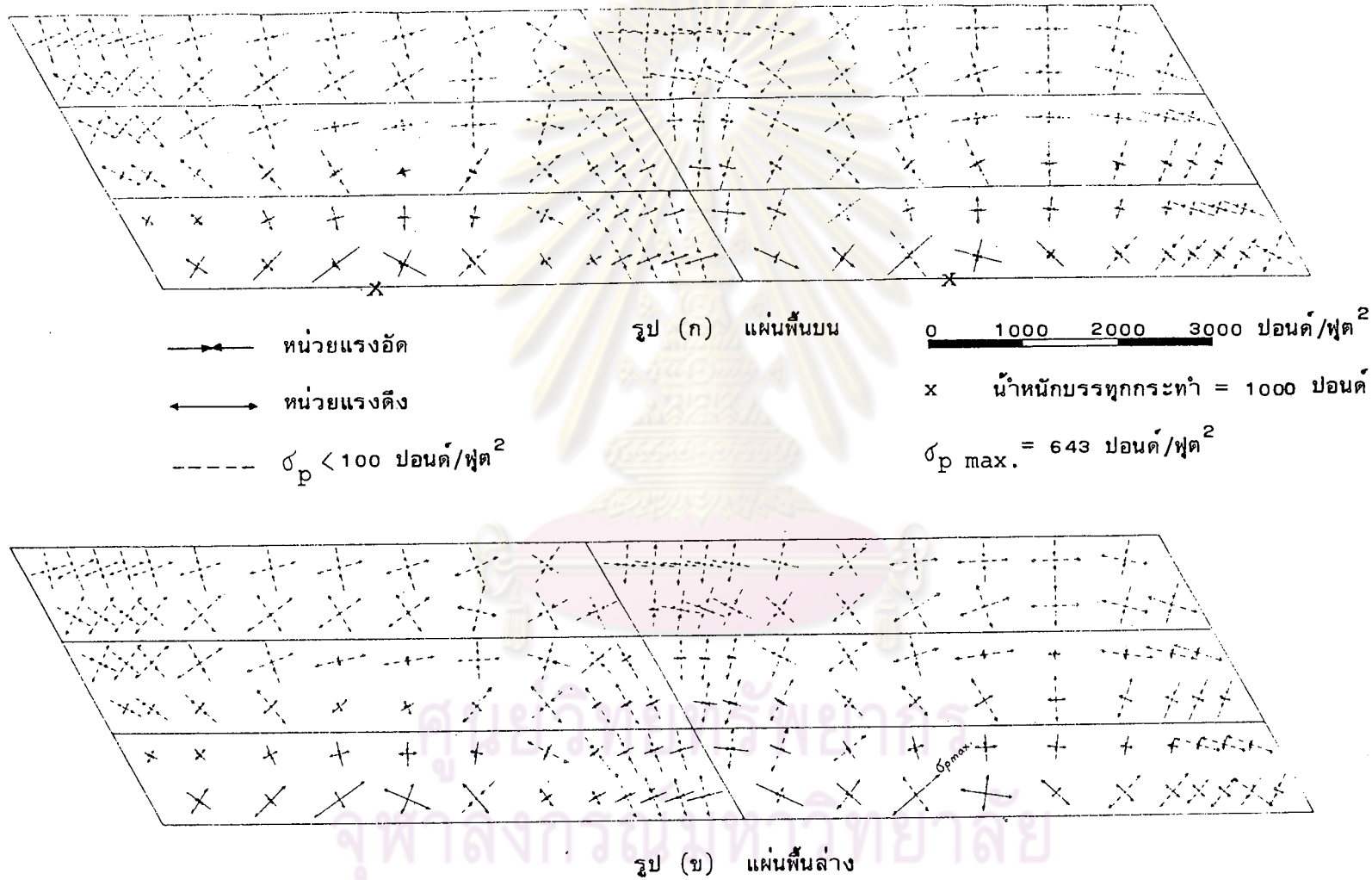
รูป (ก) แผ่นพื้นบน

$0 \quad 1000 \quad 2000 \quad 3000$  ปอนด์/ฟุต<sup>2</sup>  
 $x$  น้ำหนักบรรทุกกระทำ = 1000 ปอนด์  
 $\sigma_{p \text{ max.}} = 616$  ปอนด์/ฟุต<sup>2</sup>

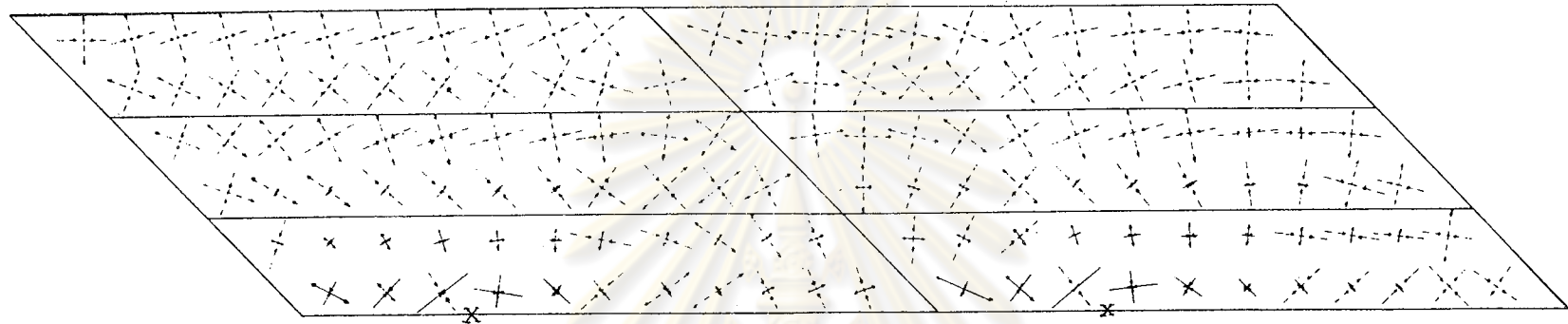


รูป (ข) แผ่นพื้นล่าง

รูปที่ 4.24 ลักษณะของหน่วยแรงหลักที่มีองศาของมุมเฉียงเท่ากับ 15

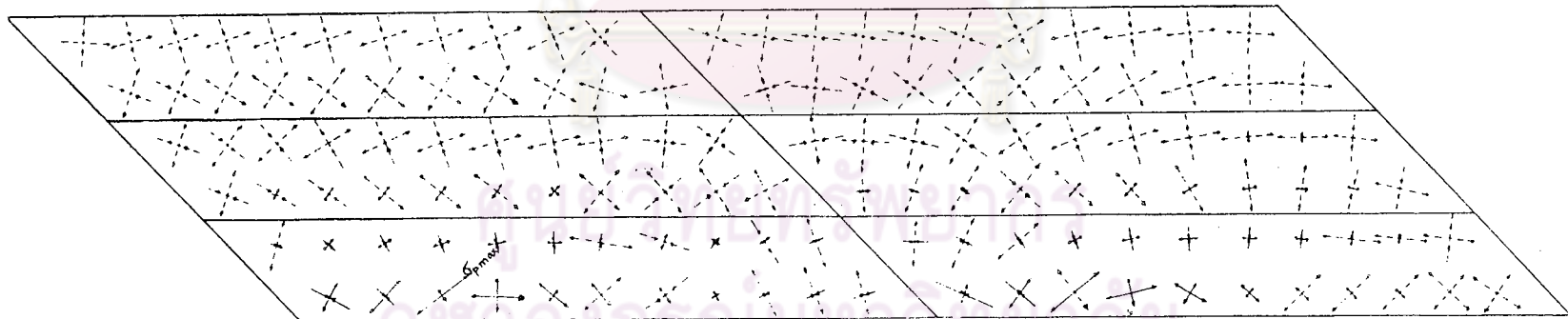


รูปที่ 4.25 ลักษณะของหน่วยแรงหลักที่มีองค์ของมุมเฉียงเท่ากับ 30



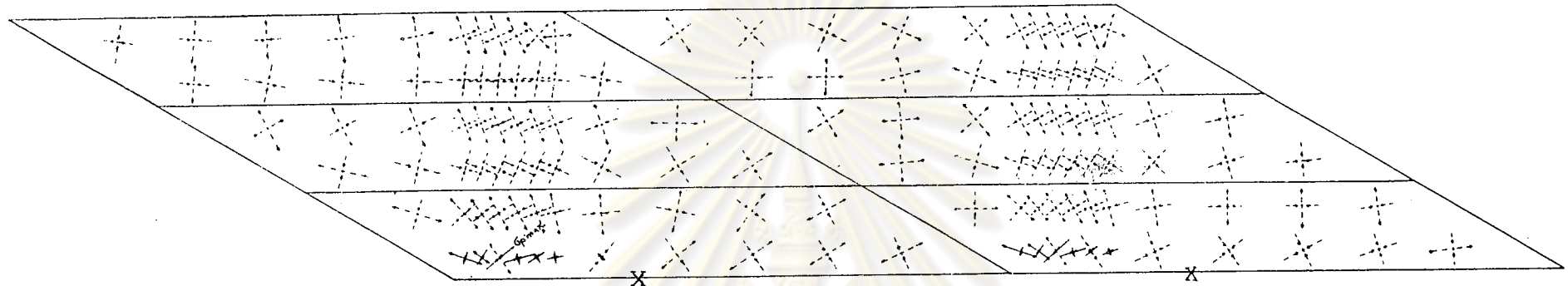
→ หน่วยแรงอัด  
 ← หน่วยแรงดึง  
 - - -  $\sigma_p < 100$  ปอนด์/ฟุต<sup>2</sup>

รูป (ก) แผ่นพื้นบน  
 0 1000 2000 3000 ปอนด์/ฟุต<sup>2</sup>  
 x น้ำหนักบรรทุกกระทำ = 1000 ปอนด์  
 $\sigma_p \text{ max.} = 625$  ปอนด์/ฟุต<sup>2</sup>



รูป (ข) แผ่นพื้นล่าง

รูปที่ 4.26 ลักษณะของหน่วยแรงหลักที่มืองศำของมุมเฉียงเท่ากับ 45

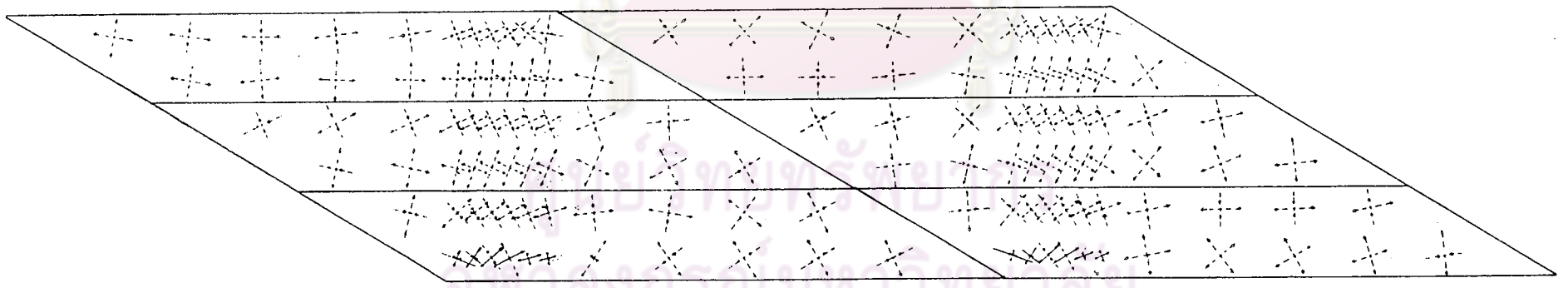


รูป (ก) แผ่นพื้นบน

$\rightarrow$  หน่วยแรงอัด  
 $\dashrightarrow$  หน่วยแรงดึง  
 $---$   $\sigma_p < 100$  ปอนด์/ฟุต<sup>2</sup>

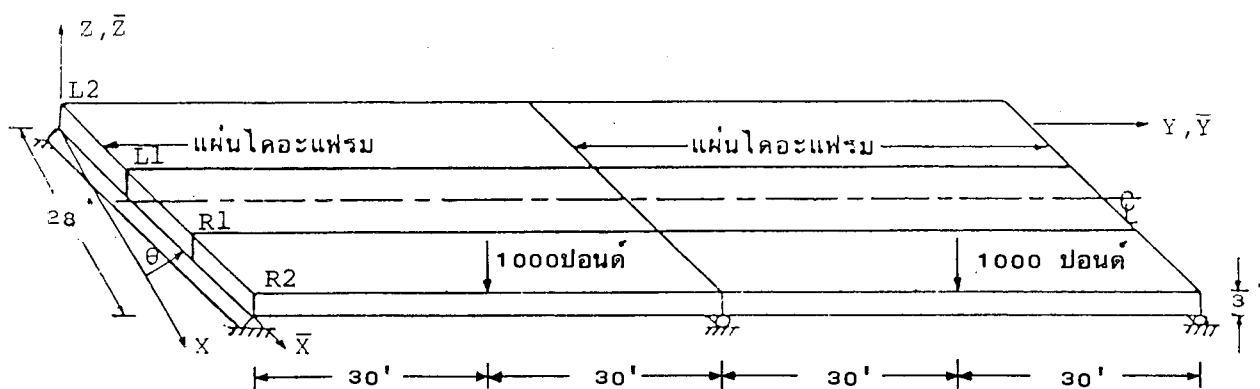
0    1000    2000    3000    ปอนด์/ฟุต<sup>2</sup>

$\bullet x$  น้ำหนักบรรทุกกระทำ = 1000 ปอนด์  
 $\sigma_{p \text{ max.}} = 408$  ปอนด์/ฟุต<sup>2</sup>



รูป (ข) แผ่นพื้นล่าง

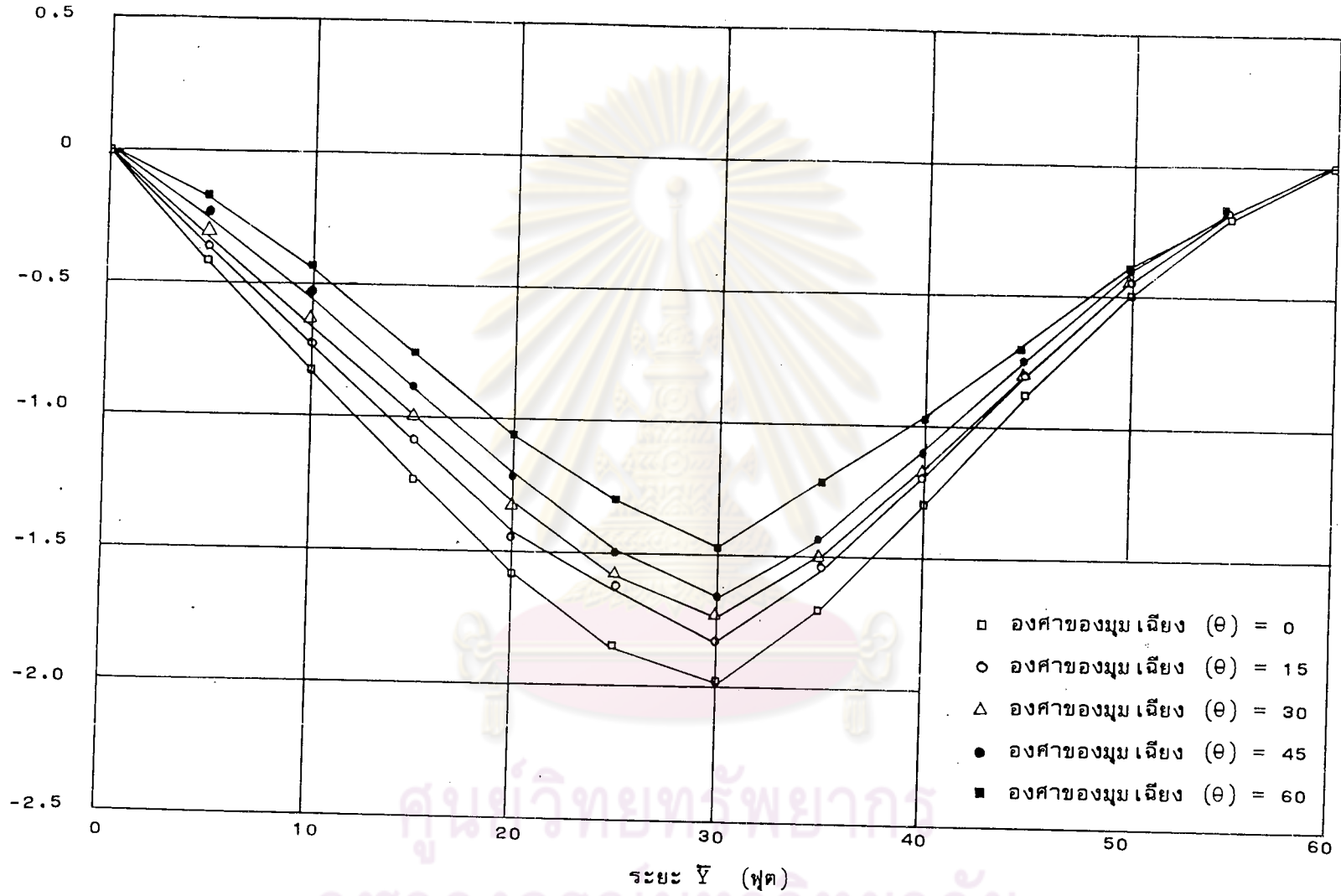
รูปที่ 4.27 ลักษณะของหน่วยแรงหลักที่เมืองสาของมุมเฉียงเท่ากับ 60



ตารางที่ 4.6 ค่าระยะการโก่งตัวในแนวตั้ง ( $\times 10^{-4}$  ฟุต) ตามผิวบนของคาน R2

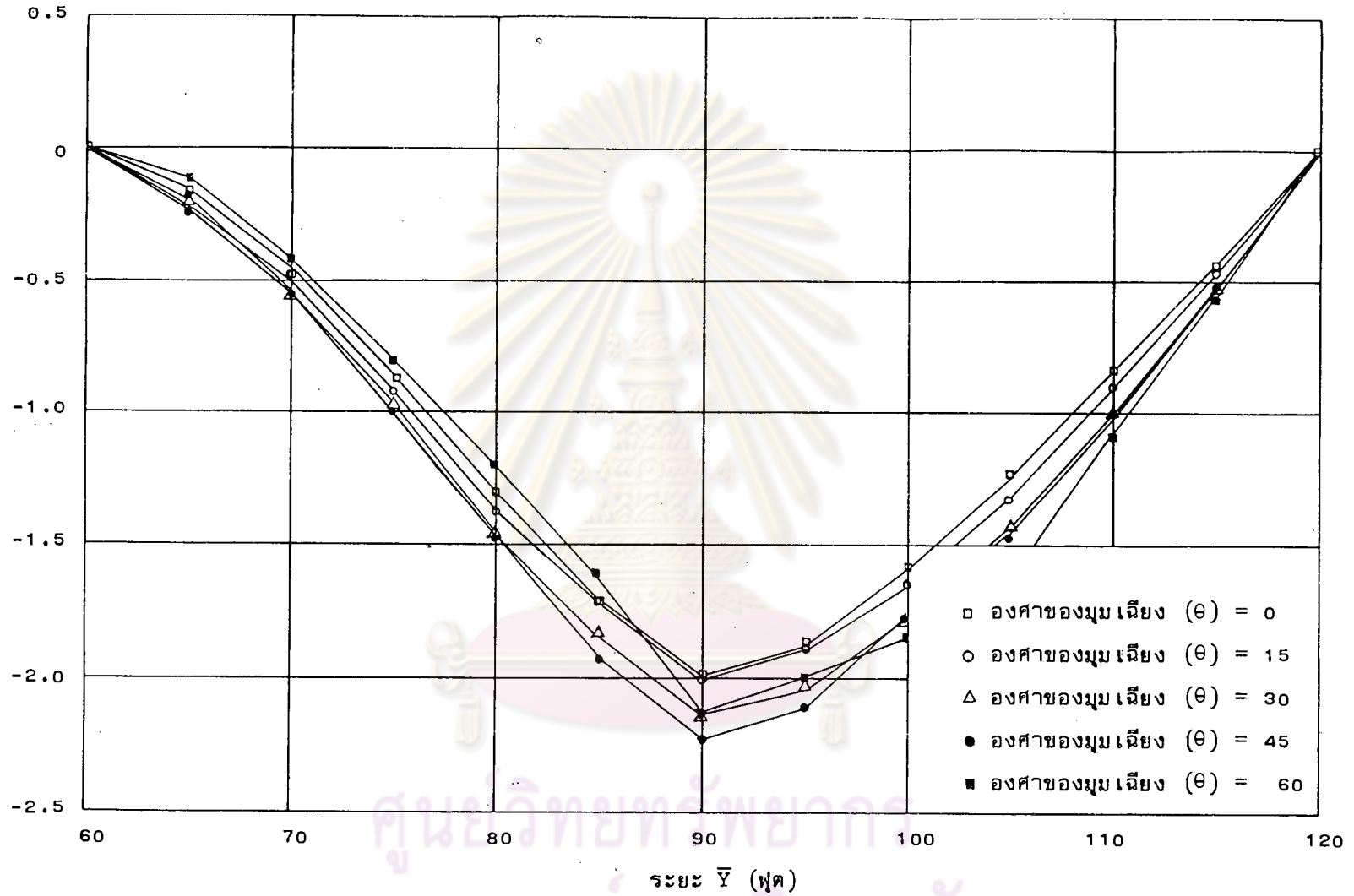
ระยะ $\bar{Y}$ ฟุต	องศาของมุมเฉียง				
	0	15	30	45	60
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.42	0.36	0.30	0.23	0.16
10	0.83	0.72	0.63	0.53	0.43
15	1.23	1.09	0.99	0.88	0.75
20	1.58	1.45	1.33	1.22	1.07
25	1.85	1.63	1.58	1.50	1.31
30	1.97	1.81	1.74	1.67	1.48
35	1.70	1.54	1.50	1.44	1.23
40	1.30	1.21	1.17	1.11	0.98
45	0.87	0.81	0.79	0.75	0.71
50	0.47	0.45	0.42	0.40	0.39
55	0.15	0.14	0.14	0.14	0.16
60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
65	0.15	0.24	0.21	0.18	0.12
70	0.47	0.48	0.54	0.55	0.42
75	0.87	0.92	0.97	1.00	0.81
80	1.30	1.37	1.44	1.48	1.21
85	1.70	1.70	1.83	1.92	1.61
90	1.97	2.02	2.15	2.23	2.16
95	1.85	1.89	2.03	2.10	2.00
100	1.58	1.66	1.78	1.83	1.85
105	1.23	1.32	1.43	1.48	1.61
110	0.83	0.91	1.00	1.01	1.11
115	0.42	0.47	0.52	0.52	0.57
120	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

ระยะการโก่งตัวในแนวดิ่ง ( $\times 10^{-4}$  ฟุต) ตามผิวบนของคาน R2



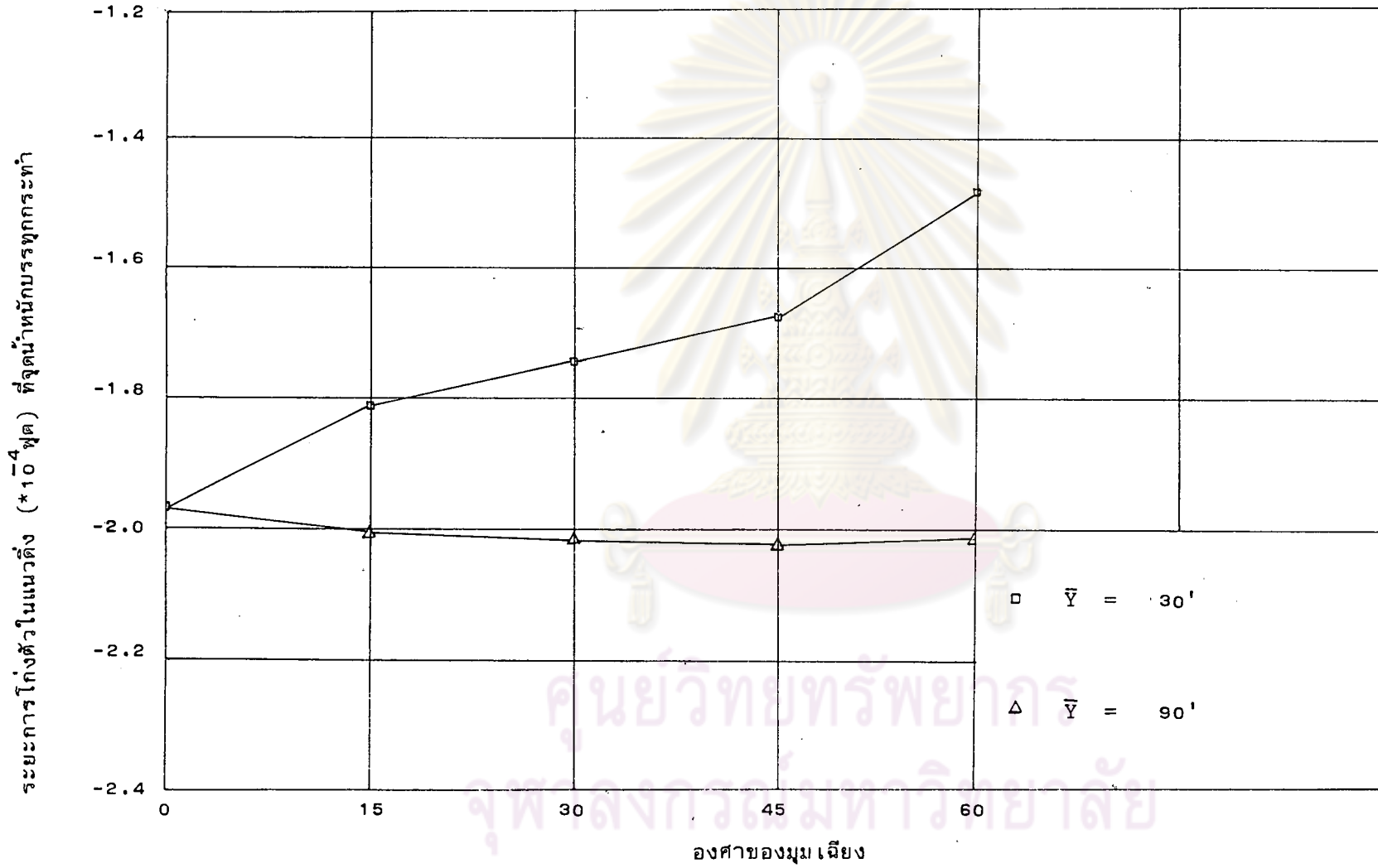
รูปที่ 4.28 แสดงการเปรียบเทียบการโก่งตัวในแนวดิ่งตามผิวบนของคาน R2

ระยะการโก่งตัวในแนวตั้ง ( $\times 10^{-4}$  ฟุต) ตามผิวบนของคาน R2

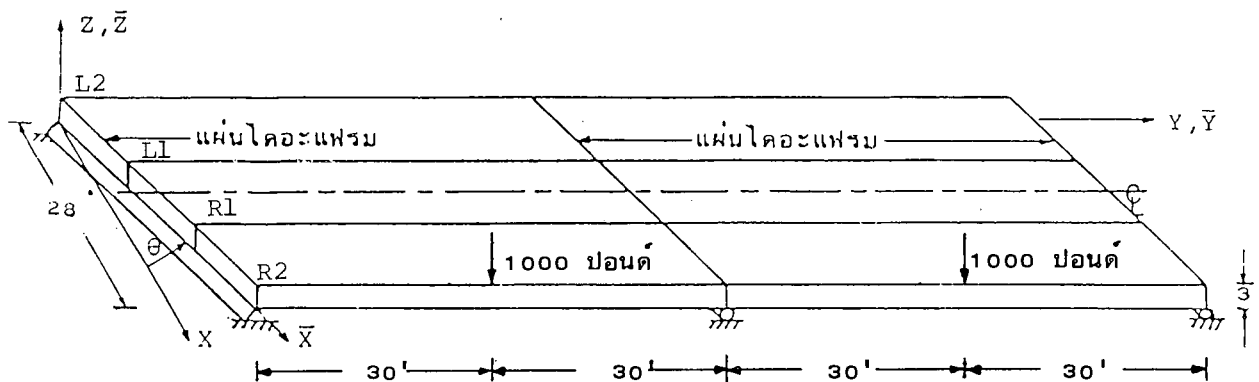


รูปที่ 4.28 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบการโก่งตัวในแนวตั้งตามผิวบนของคาน R2





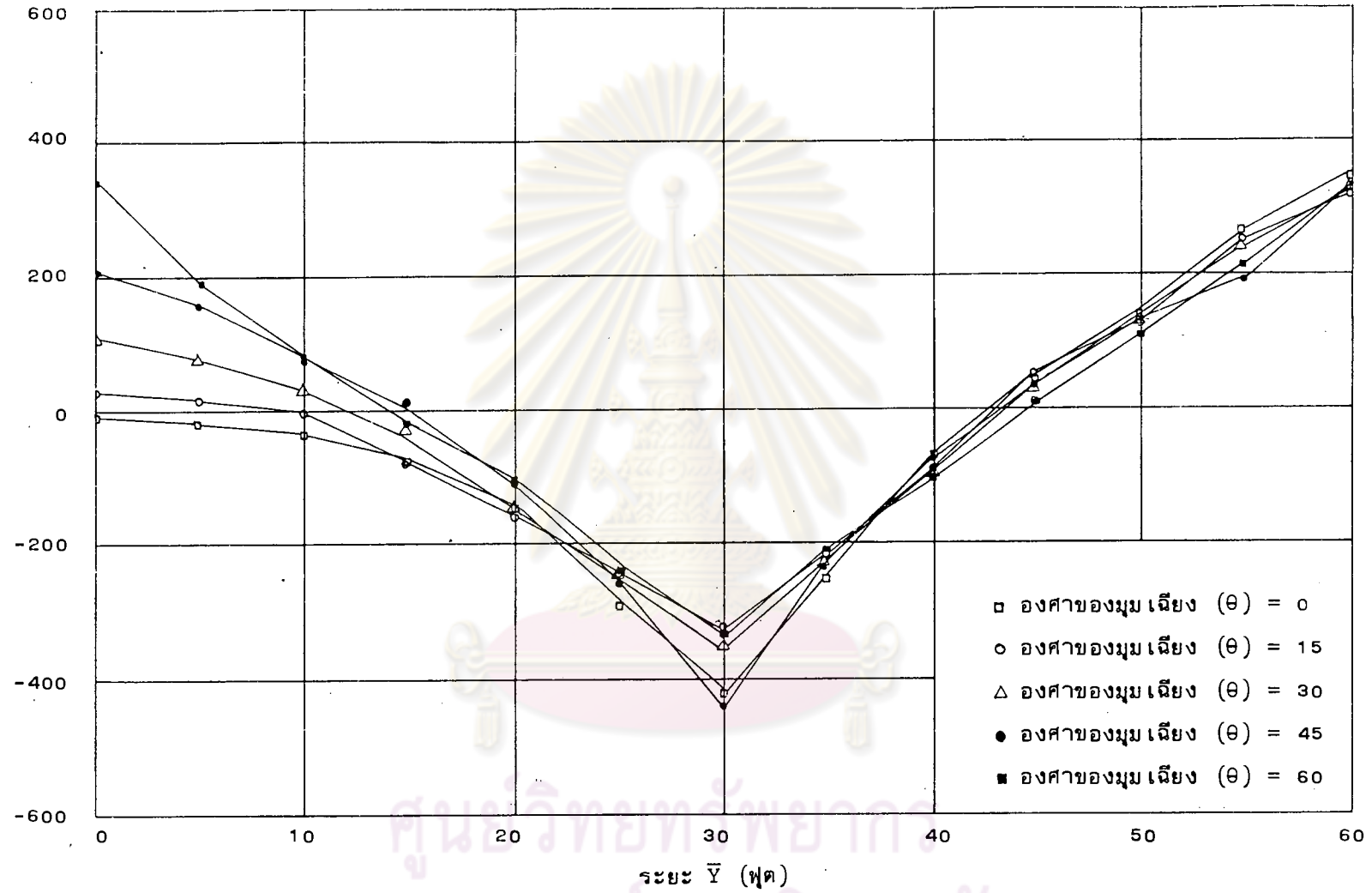
รูปที่ 4.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการโก่งตัวในแนวตั้งและองศาของมุมเฉียง



ตารางที่ 4.7 ค่าแสดงการกระจายของหน่วยแรงตามยาว  $N_y$  (ปอนด์/ฟุต) บนผิวบนของคาน  $R2$

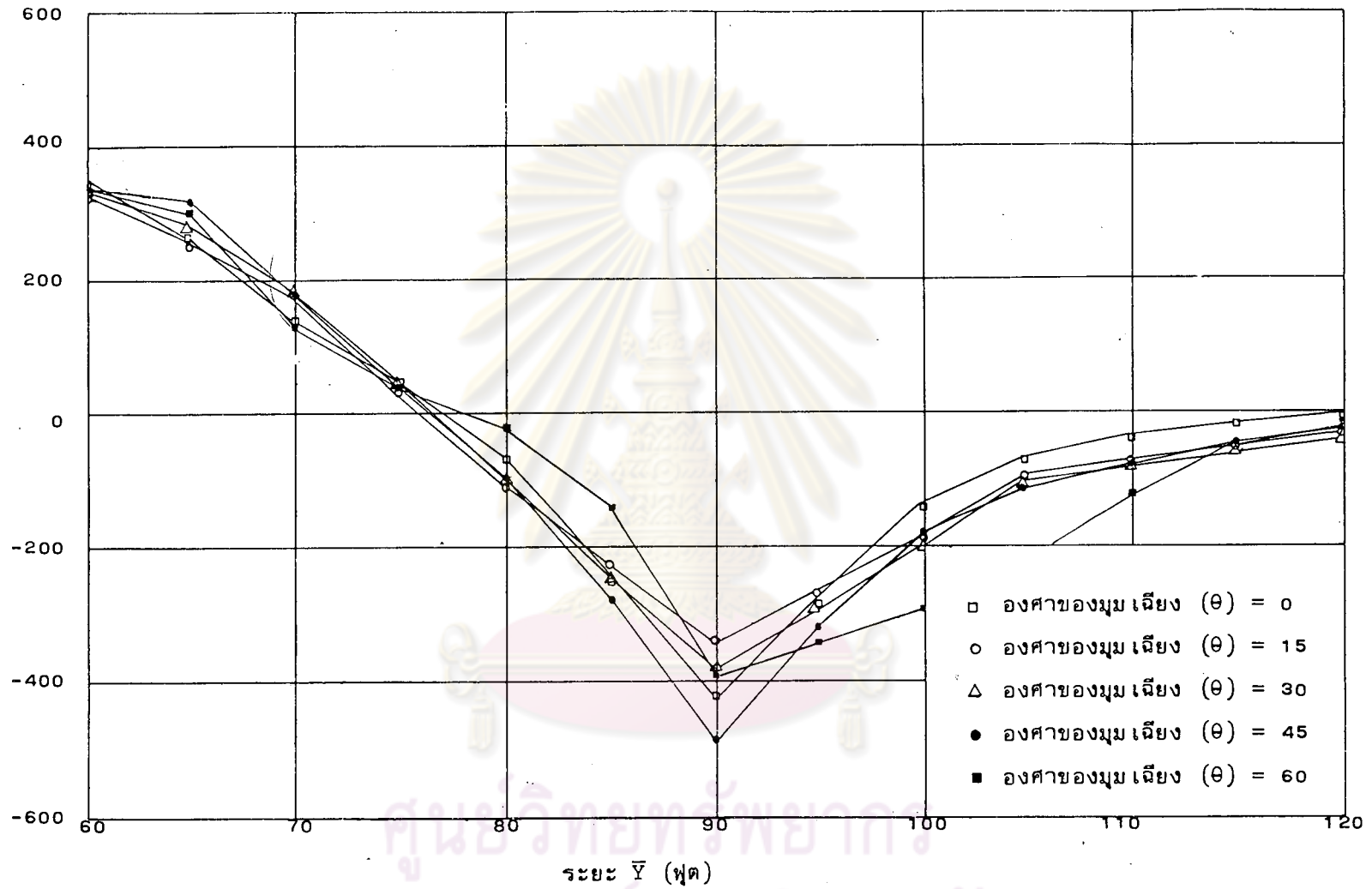
ระยะ $\bar{Y}$ ฟุต	องศาของมุมเฉียง				
	0	15	30	45	60
0	-7.9	28.1	108.3	206.9	343.6
5	-16.7	14.9	77.6	152.6	193.0
10	-38.5	-1.7	31.4	70.8	75.1
15	-71.8	-81.7	-30.1	12.1	-20.6
20	-140.6	-161.7	-142.5	-113.8	-109.2
25	-287.7	-243.8	-249.0	-258.8	-247.4
30	-422.6	-326.0	-349.7	-441.2	-333.8
35	-252.4	-218.8	-225.8	-236.7	-217.8
40	-66.5	-93.7	-96.5	-67.4	-101.7
45	48.2	49.1	34.2	38.5	9.6
50	142.3	123.7	129.7	126.4	105.4
55	269.3	252.0	237.1	192.1	216.2
60	347.1	319.6	330.2	335.2	336.2
65	269.3	246.8	274.6	323.2	302.5
70	142.3	174.0	178.0	179.6	132.9
75	48.2	31.2	40.7	36.0	42.7
80	-66.5	-111.6	-109.6	-104.3	-22.0
85	-252.4	-225.6	-251.3	-280.5	-143.9
90	-422.6	-339.6	-384.6	-488.4	-388.6
95	-287.7	-272.4	-297.3	-323.6	-341.2
100	-140.6	-191.4	-204.4	-187.2	-293.9
105	-71.8	-96.6	-118.0	-123.1	-232.3
110	-38.5	-74.5	-89.5	-88.4	-124.1
115	-16.7	-55.1	-68.5	-52.2	-59.8
120	-7.9	-28.7	-35.4	-26.0	-22.7

หน่วยแรงตามยาว  $N_y$  (ปอนด์/ฟุต) บนผิวบนของคาน R2

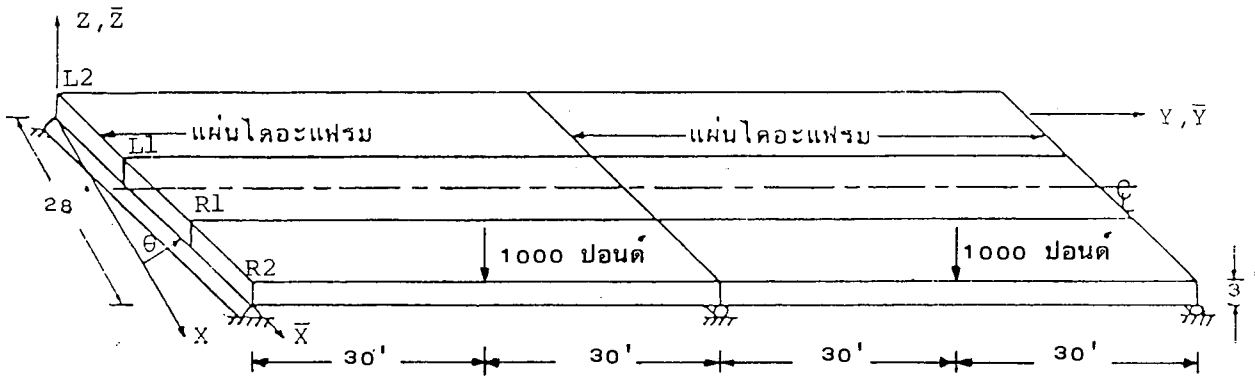


รูปที่ 4.30 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายของหน่วยแรงตามยาว  $N_y$  บนผิวบนของคาน R2

หน่วยแรงตามยาว  $N_y$  (ปอนด์/ฟุต) บนผิวบนของคาน R2



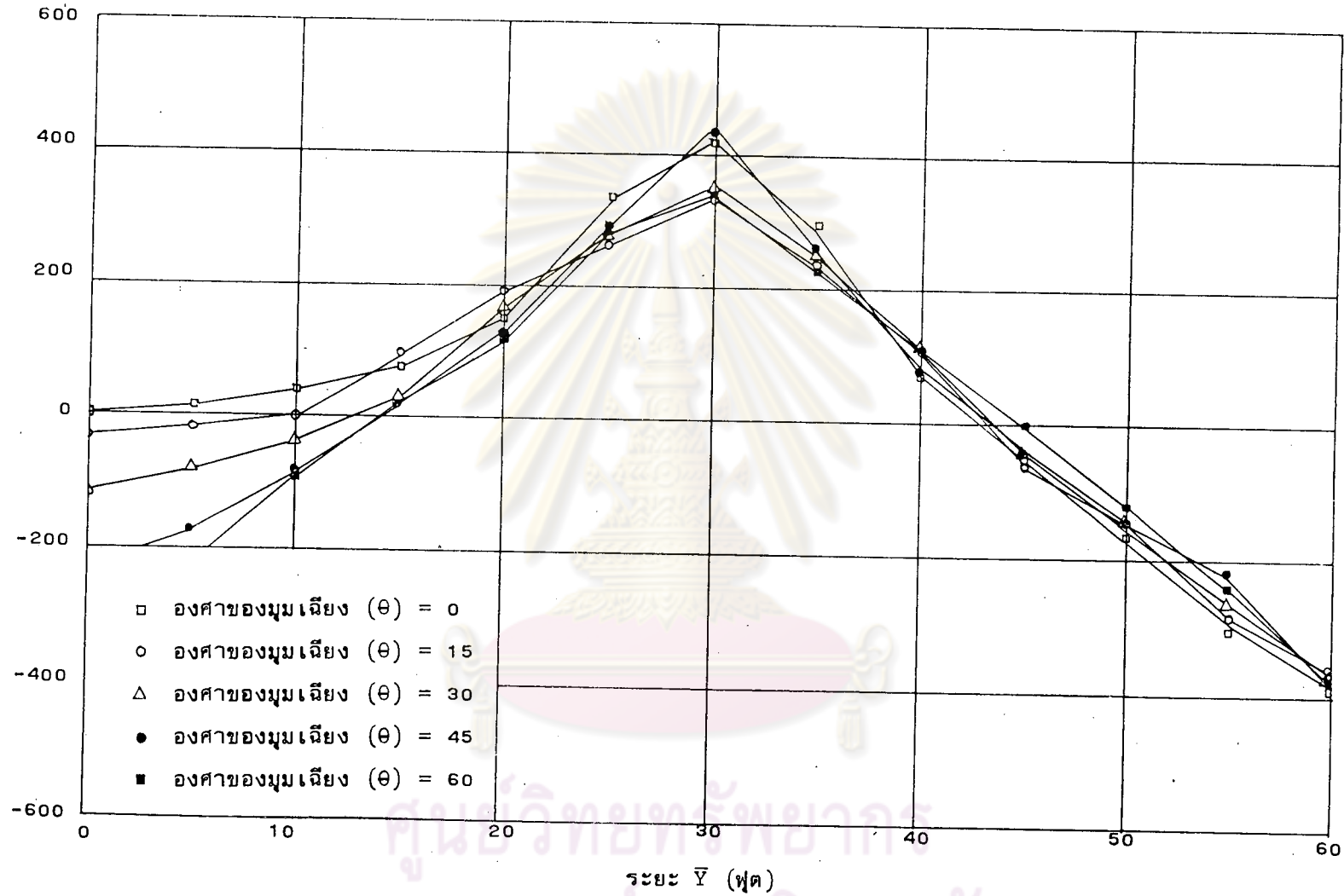
รูปที่ 4.30 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบการกระจายของหน่วยแรงตามยาว  $N_y$  บนผิวบนของคาน R2



ตารางที่ 4.8 ค่าแสดงการกระจายของหน่วยแรงตามยาว  $N_y$  (ปอนด์/ฟุต) บนผิวล่างของคาน R2

ระยะ $\bar{Y}$ ฟุต	องศาของมุมเฉียง				
	0	15	30	45	60
0	9.1	-29.6	-118.8	-227.6	-377.4
5	19.4	-14.0	-84.2	-169.0	-215.4
10	44.0	1.4	-34.0	-77.6	-85.2
15	84.0	96.7	31.9	12.0	23.2
20	155.1	192.0	167.2	131.1	122.0
25	339.2	263.9	275.3	297.2	278.9
30	423.4	335.8	356.2	435.2	341.4
35	298.9	241.7	251.8	266.6	227.8
40	70.7	110.4	113.3	76.0	114.1
45	-52.7	-57.8	-40.1	-43.4	-0.5
50	-161.8	-140.1	-147.5	-143.9	-118.7
55	-302.2	-284.7	-268.5	-219.0	-244.1
60	-389.2	-359.9	-371.8	-376.1	-374.0
65	-302.2	-278.5	-307.2	-358.8	-338.4
70	-161.8	-197.2	-124.6	-137.2	-151.4
75	-52.7	-31.5	-49.4	-43.2	-49.6
80	70.7	134.2	129.3	119.9	22.3
85	298.9	242.8	277.7	321.5	167.0
90	423.4	351.4	395.7	488.4	401.9
95	339.2	302.8	332.8	364.4	363.5
100	155.1	221.5	235.6	210.9	325.1
105	84.0	107.8	132.4	138.9	265.8
110	44.0	84.6	100.3	98.1	137.6
115	19.4	61.0	75.1	57.2	64.5
120	9.1	31.1	38.4	28.5	25.7

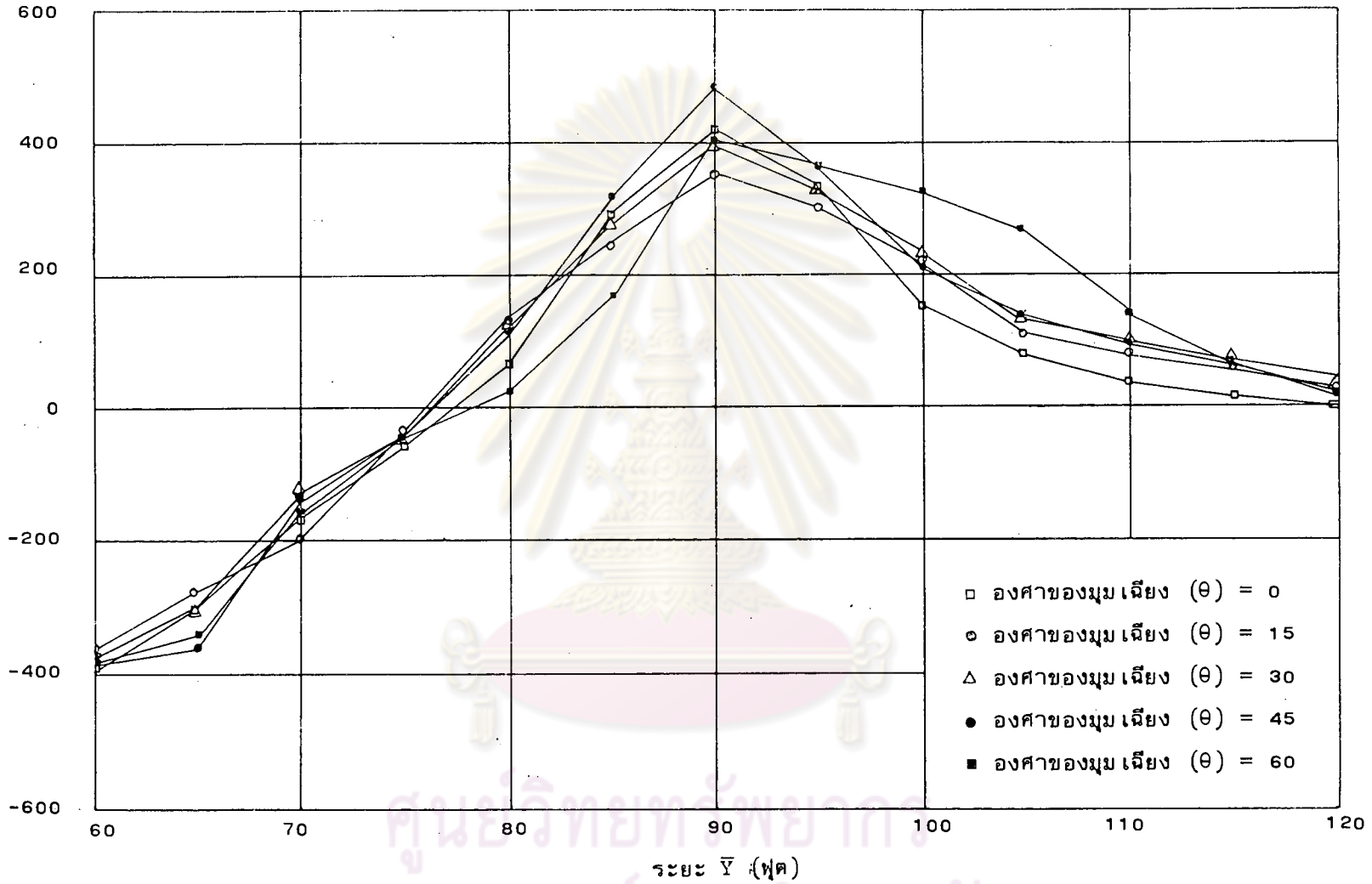
หน่วยแรงตามยาว  $N_y$  (ปอนด์/ฟุต) บนหัวล่างของคาน R2



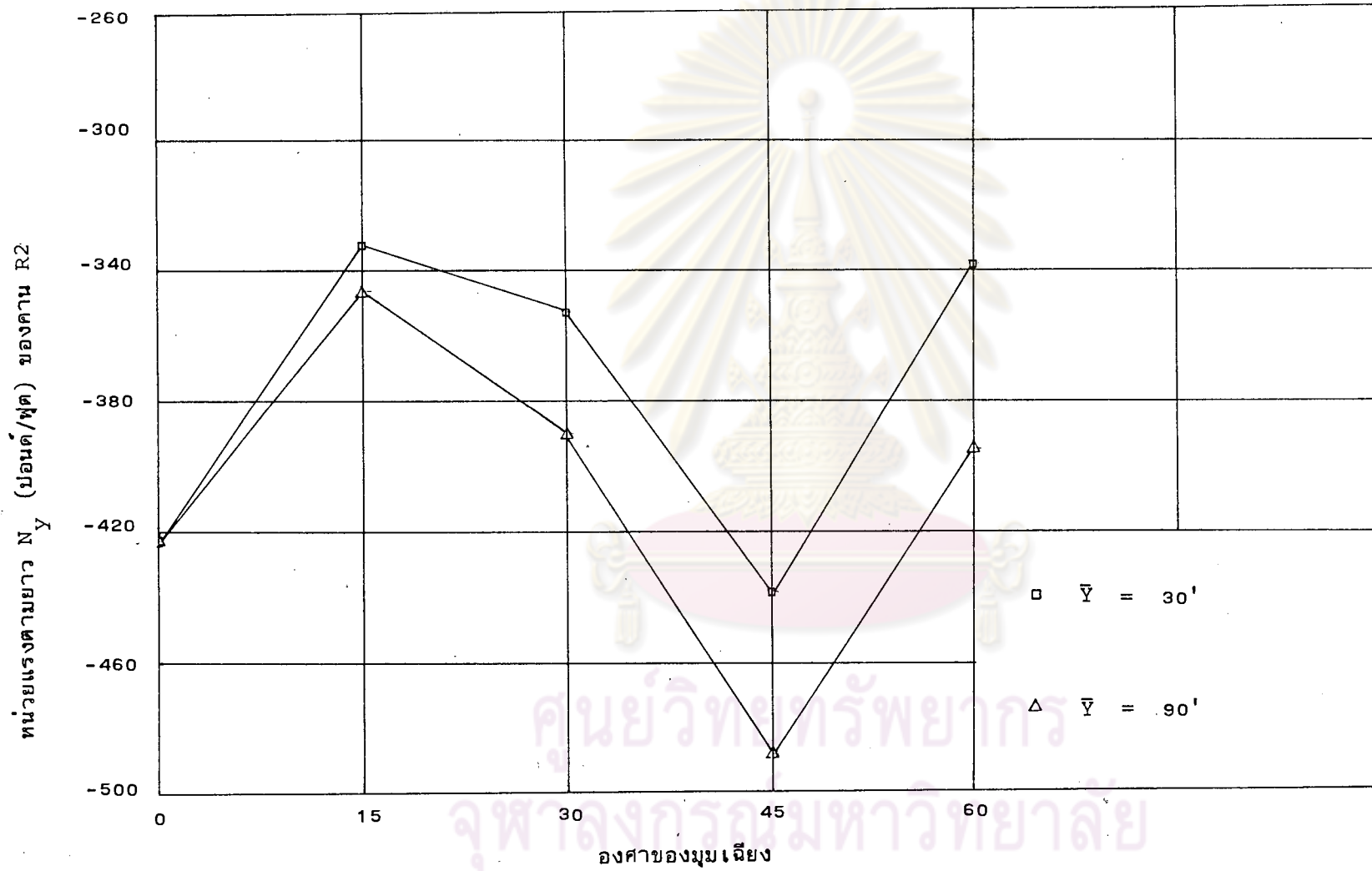
รูปที่ 4.31 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายของหน่วยแรงตามยาว  $N_y$  บนหัวล่างของคาน R2



หน่วยแรงตามยาว  $N_y$  (ปอนด์/ฟุต) บนผิวล่างของคาน R2

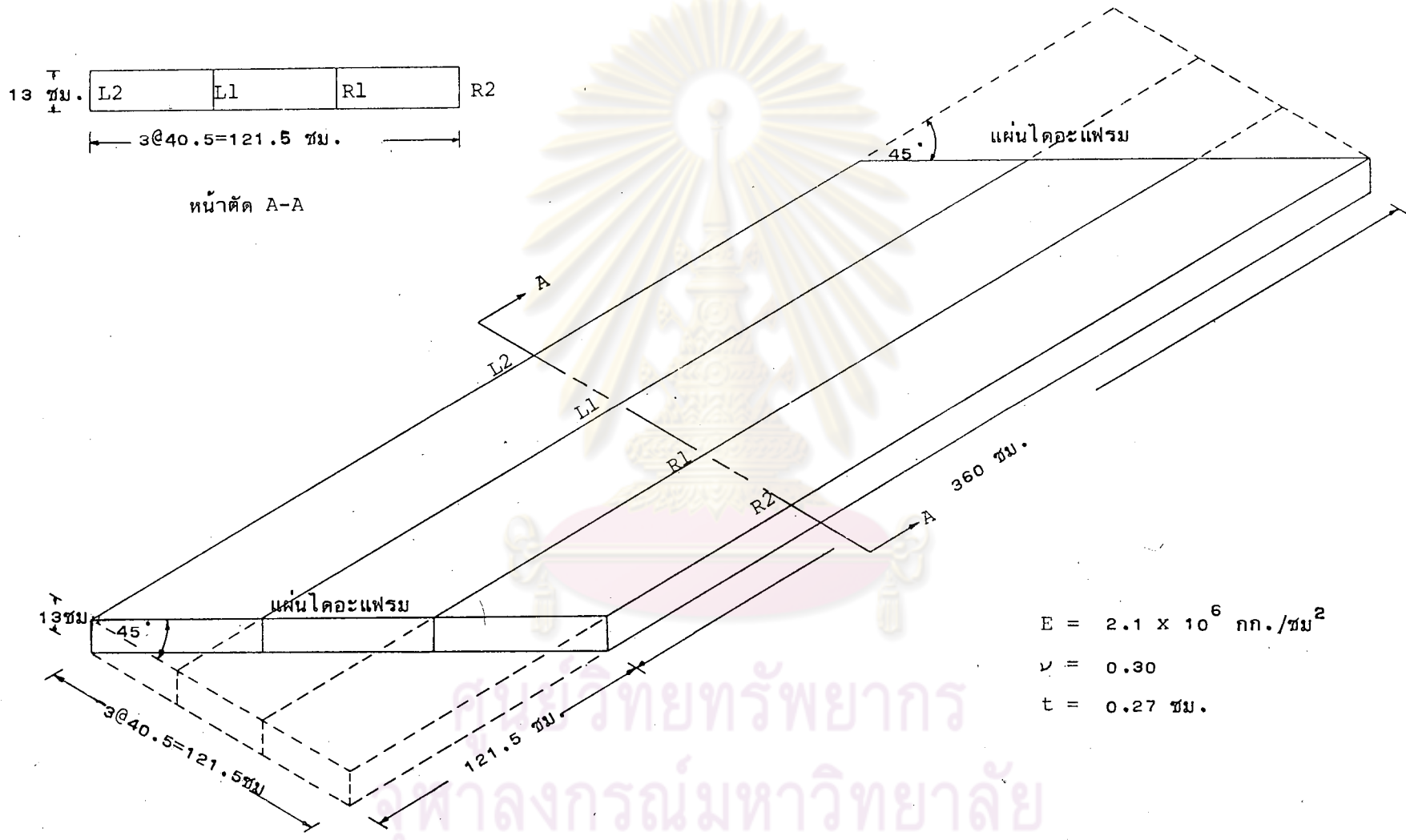


รูปที่ 4.31 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบการกระจายของหน่วยแรงตามยาว  $N_y$  บนผิวล่างของคาน R2

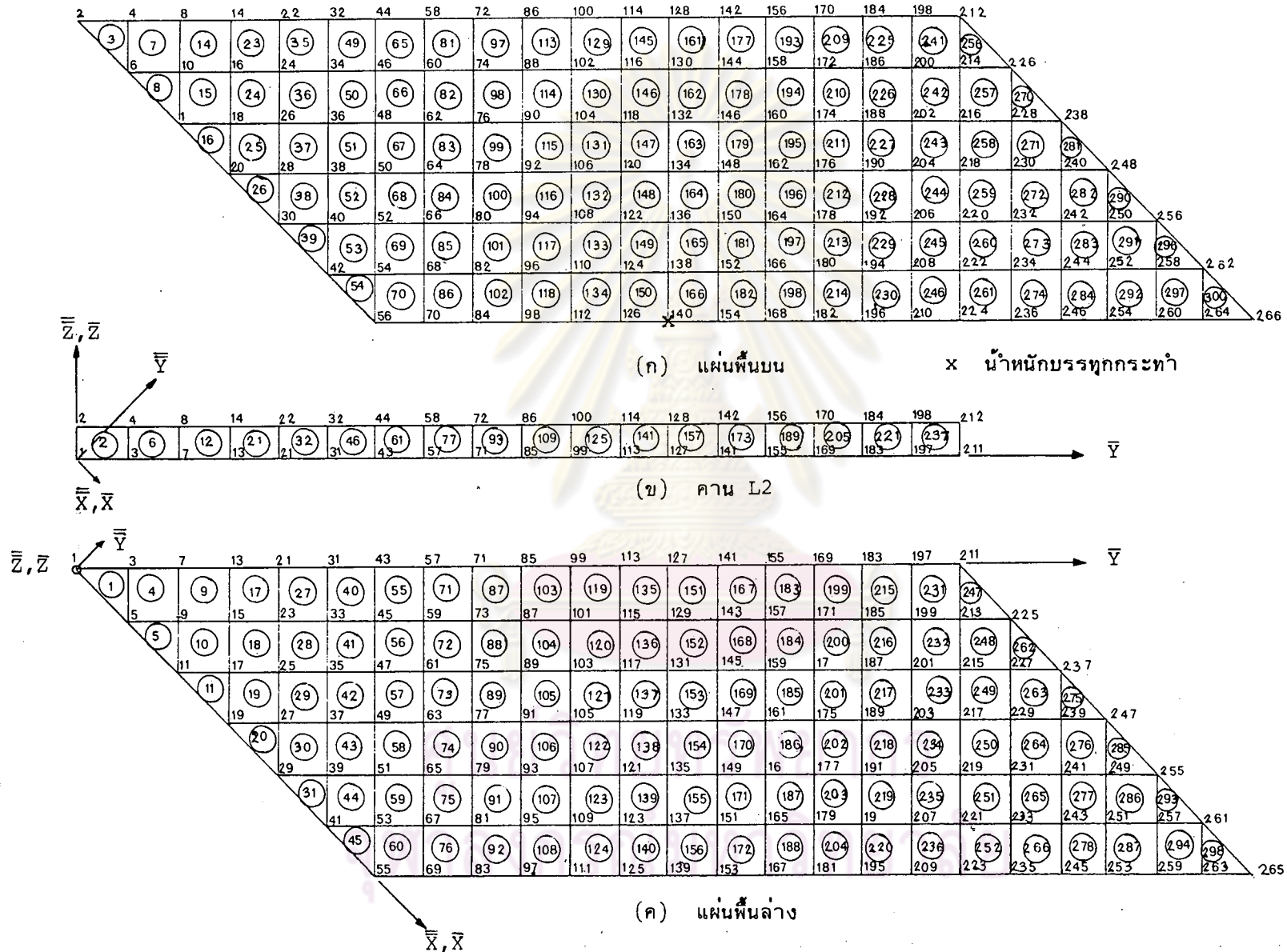


รูปที่ 4.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงตามยาวของคาน R2 และองศาของมุมเฉียง

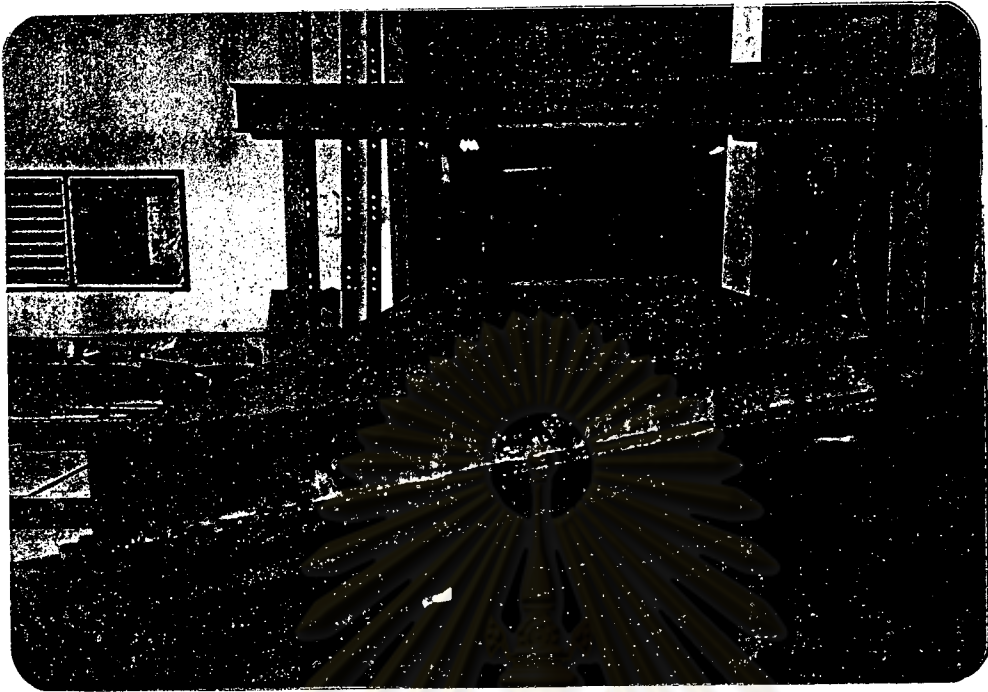




รูปที่ 4.33 ลักษณะของตัวอย่างที่ทำกรทดลอง



รูปที่ 4.34 การแบ่งชั้นส่วนย่อยของตัวอย่างที่ทำการทดลอง

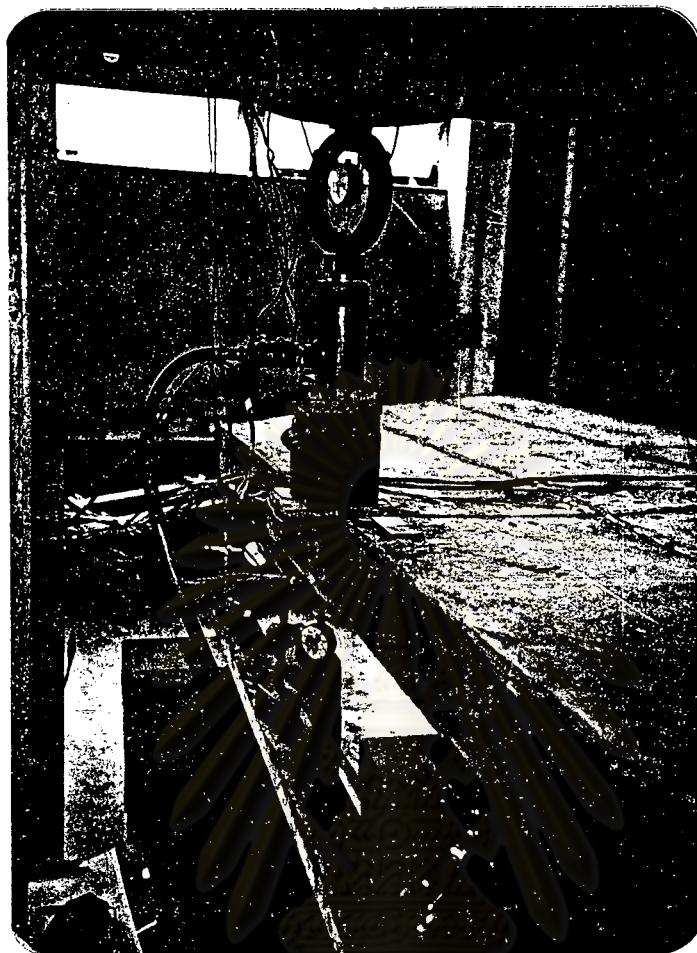


รูป (ก) ลักษณะของจุดรองรับ

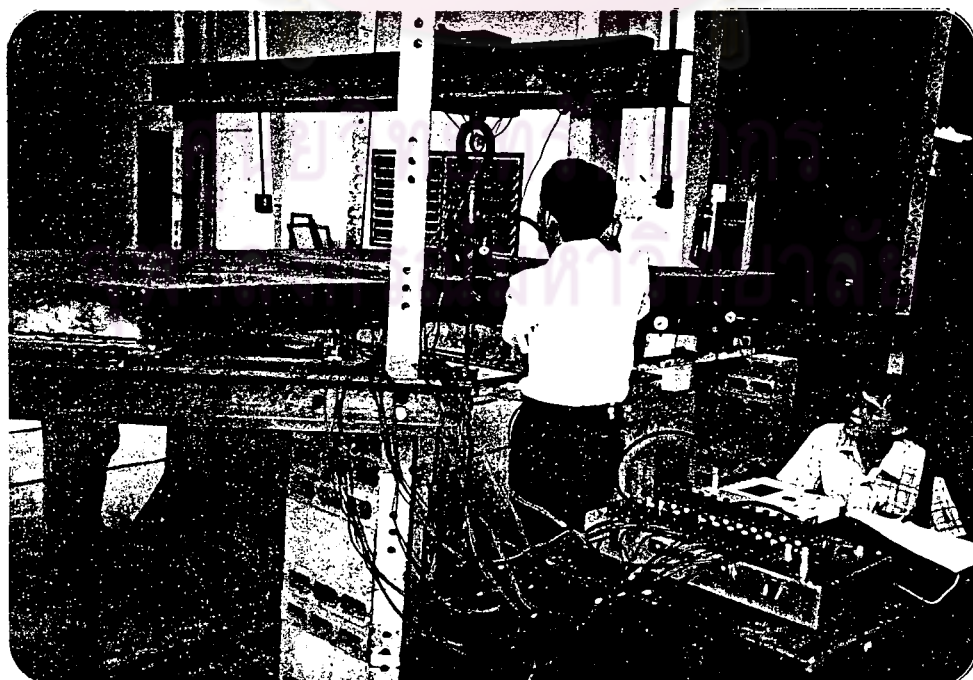


รูป (ข) ลักษณะการติดตั้ง Dial Indicator

รูปที่ 4.35 แสดงลักษณะทั่ว ๆ ไปของตัวอย่างที่ทำการทดลอง



รูป (ก) แสดงตำแหน่งของน้ำหนักรรทุกกระทำ



รูป (ข) ขณะทำการทดลอง

รูปที่ 4.36 แสดงลักษณะตัวอย่างและเครื่องมือขณะทำการทดลอง

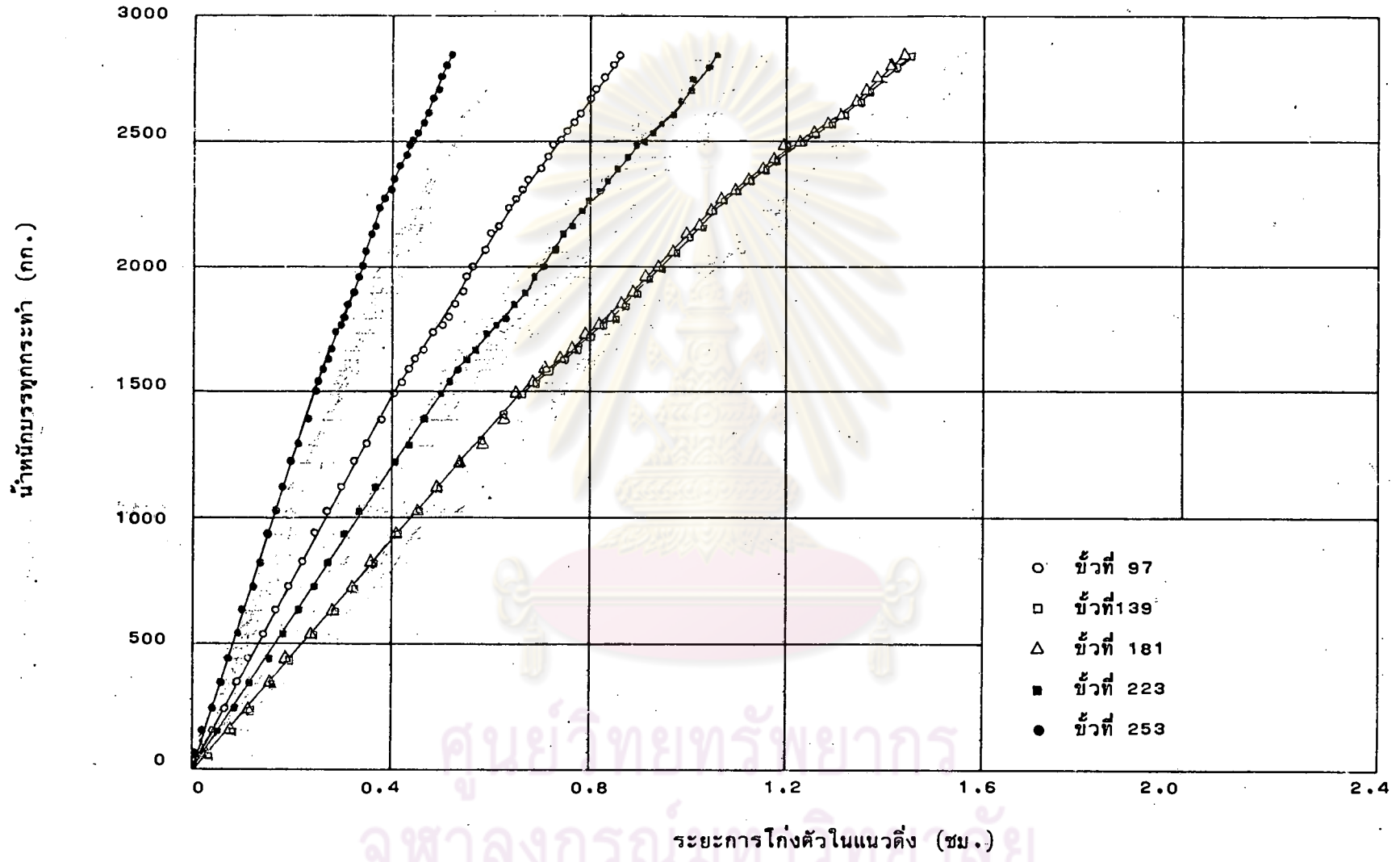
ตารางที่ 4.9 แสดงค่าน้ำหนักหน่วยแรงตามยาว ( $F_y$ ) และระยะการโก่งตัวในแนวดิ่ง  
ที่ได้จากการทดลอง

Proving Ring Rdgs.	น้ำหนัก (กก.)	$F_y$ (กก./ซม <sup>2</sup> )			ระยะการโก่งตัวในแนวดิ่ง (ซม.)				
		ข้อ129	ข้อ134	ข้อ139	ข้อ97	ข้อ139	ข้อ181	ข้อ223	ข้อ253
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.0	60	0	-10	30	0.014	0.020	0.023	0.019	0.008
2.0	156	-10	-10	100	0.042	0.065	0.069	0.052	0.026
3.0	246	-10	-20	170	0.070	0.114	0.118	0.089	0.043
4.0	346	-20	-20	230	0.094	0.154	0.159	0.119	0.060
5.0	440	-20	-30	290	0.117	0.195	0.197	0.152	0.073
6.0	540	-30	-40	350	0.149	0.243	0.243	0.184	0.095
7.0	640	-30	-40	420	0.174	0.286	0.287	0.215	0.107
8.0	736	-40	-50	480	0.199	0.326	0.328	0.245	0.124
9.0	826	-40	-50	540	0.224	0.370	0.369	0.277	0.139
10.0	933	-50	-60	600	0.249	0.410	0.410	0.308	0.154
11.0	1033	-50	-60	660	0.276	0.455	0.456	0.340	0.171
12.0	1126	-60	-70	720	0.304	0.498	0.497	0.373	0.186
13.0	1220	-70	-70	780	0.332	0.541	0.544	0.406	0.203
14.0	1303	-70	-80	840	0.357	0.582	0.585	0.436	0.218
15.0	1400	-80	-80	900	0.382	0.626	0.629	0.467	0.236
16.0	1496	-80	-90	950	0.407	0.666	0.650	0.498	0.249
16.5	1533	-90	-90	980	0.420	0.689	0.689	0.514	0.257
17.0	1590	-90	-90	1020	0.435	0.709	0.709	0.529	0.265
17.5	1633	-100	-100	1040	0.448	0.737	0.737	0.548	0.276
18.0	1683	-100	-100	1090	0.465	0.762	0.765	0.568	0.285
18.5	1733	-110	-100	1120	0.482	0.790	0.793	0.588	0.294
19.0	1776	-120	-110	1140	0.500	0.821	0.821	0.610	0.303
19.5	1800	-120	-110	1170	0.514	0.842	0.844	0.626	0.310

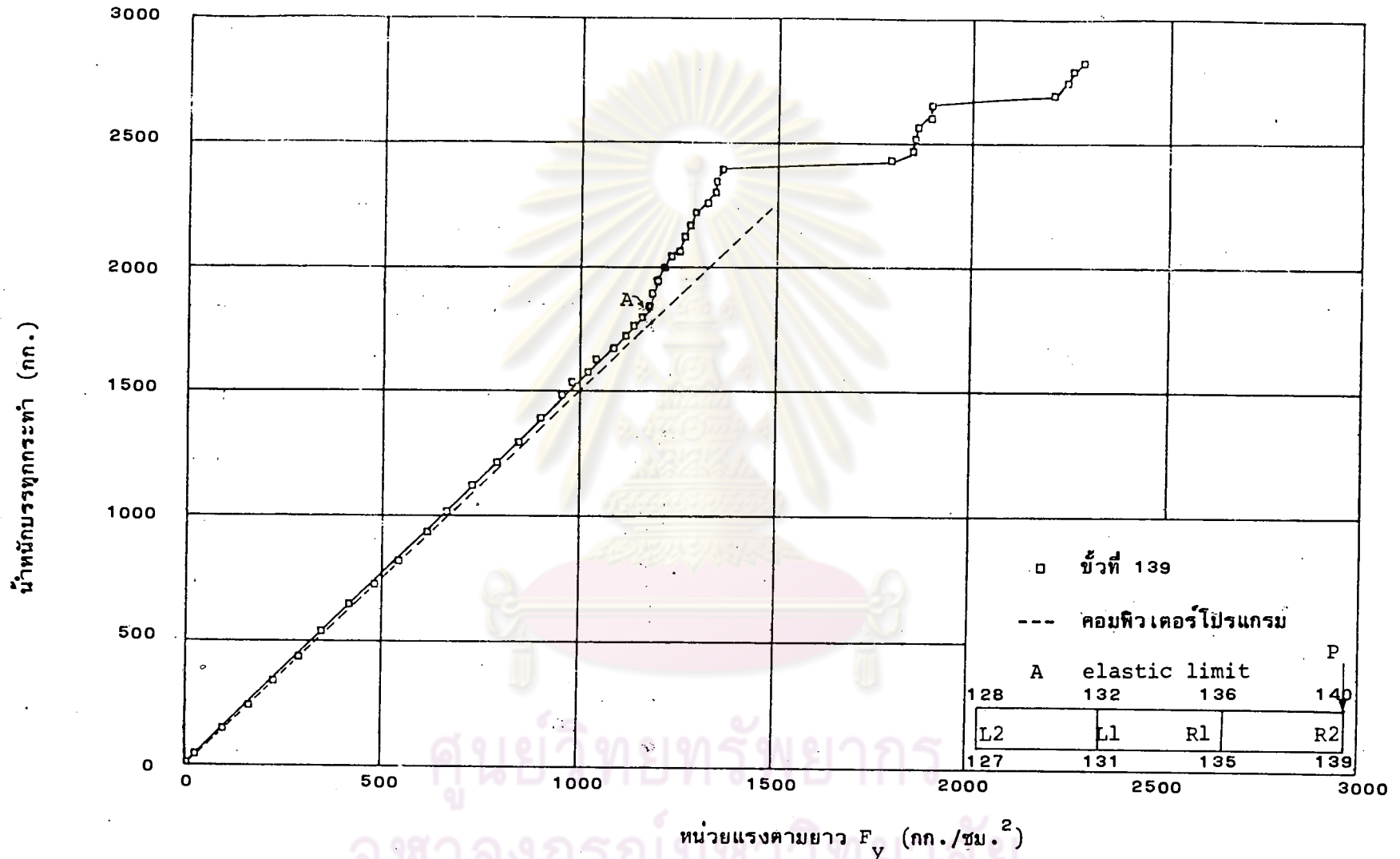
ตารางที่ 4.9 (ต่อ) แสดงค่าน้ำหนัก หน่วยแรงตามยาว ( $F_y$ ) และระยะการโก่งตัว  
ในแนวตั้งที่ได้จากการทดลอง

Proving Ring Rdgs.	น้ำหนัก (กก.)	$F_y$ (กก./ชม. <sup>2</sup> )			ระยะการโก่งตัวในแนวตั้ง (ชม.)				
		ข้อ129	ข้อ134	ข้อ139	ข้อ97	ข้อ139	ข้อ181	ข้อ223	ข้อ253
20.0	1866	-130	-110	1180	0.528	0.867	0.865	0.642	0.318
20.5	1900	-130	-110	1180	0.541	0.895	0.894	0.664	0.329
21.0	1956	-130	-120	1210	0.556	0.920	0.919	0.683	0.338
21.5	2000	-140	-120	1220	0.568	0.943	0.942	0.703	0.346
22.0	2046	-140	-120	1240	0.589	0.976	0.973	0.723	0.356
22.5	2066	-140	-120	1260	0.602	1.002	1.000	0.743	0.365
23.0	2133	-150	-130	1270	0.619	1.029	1.025	0.760	0.373
23.5	2166	-150	-130	1280	0.635	1.055	1.051	0.779	0.382
24.0	2220	-160	-130	1300	0.650	1.080	1.076	0.798	0.393
24.5	2266	-160	-130	1330	0.667	1.107	1.102	0.815	0.402
25.0	2303	-160	-130	1350	0.678	1.129	1.128	0.832	0.408
25.5	2333	-170	-130	1350	0.701	1.165	1.159	0.857	0.422
26.0	2393	-170	-140	1370	0.716	1.190	1.184	0.875	0.430
26.5	2433	-170	-140	1800	0.728	1.213	1.208	0.892	0.439
27.0	2490	-180	-140	1850	0.743	1.240	1.233	0.910	0.448
27.5	2533	-190	-150	1860	0.758	1.268	1.261	0.929	0.456
28.0	2576	-190	-150	1870	0.771	1.294	1.287	0.948	0.468
28.5	2600	-200	-150	1890	0.787	1.323	1.318	0.970	0.477
29.0	2660	-200	-150	1900	0.804	1.348	1.344	0.988	0.486
29.5	2700	-200	-160	2220	0.817	1.371	1.364	1.002	0.492
30.0	2743	-200	-160	2250	0.832	1.396	1.388	1.022	0.501
30.5	2800	-210	-160	2270	0.847	1.424	1.413	1.040	0.512
31.0	2823	-210	-160	2290	0.863	1.453	1.442	1.061	0.521
**	1000	-67	-63	674	0.163	0.301	0.304	0.232	0.122

\*\* ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์โปรแกรม



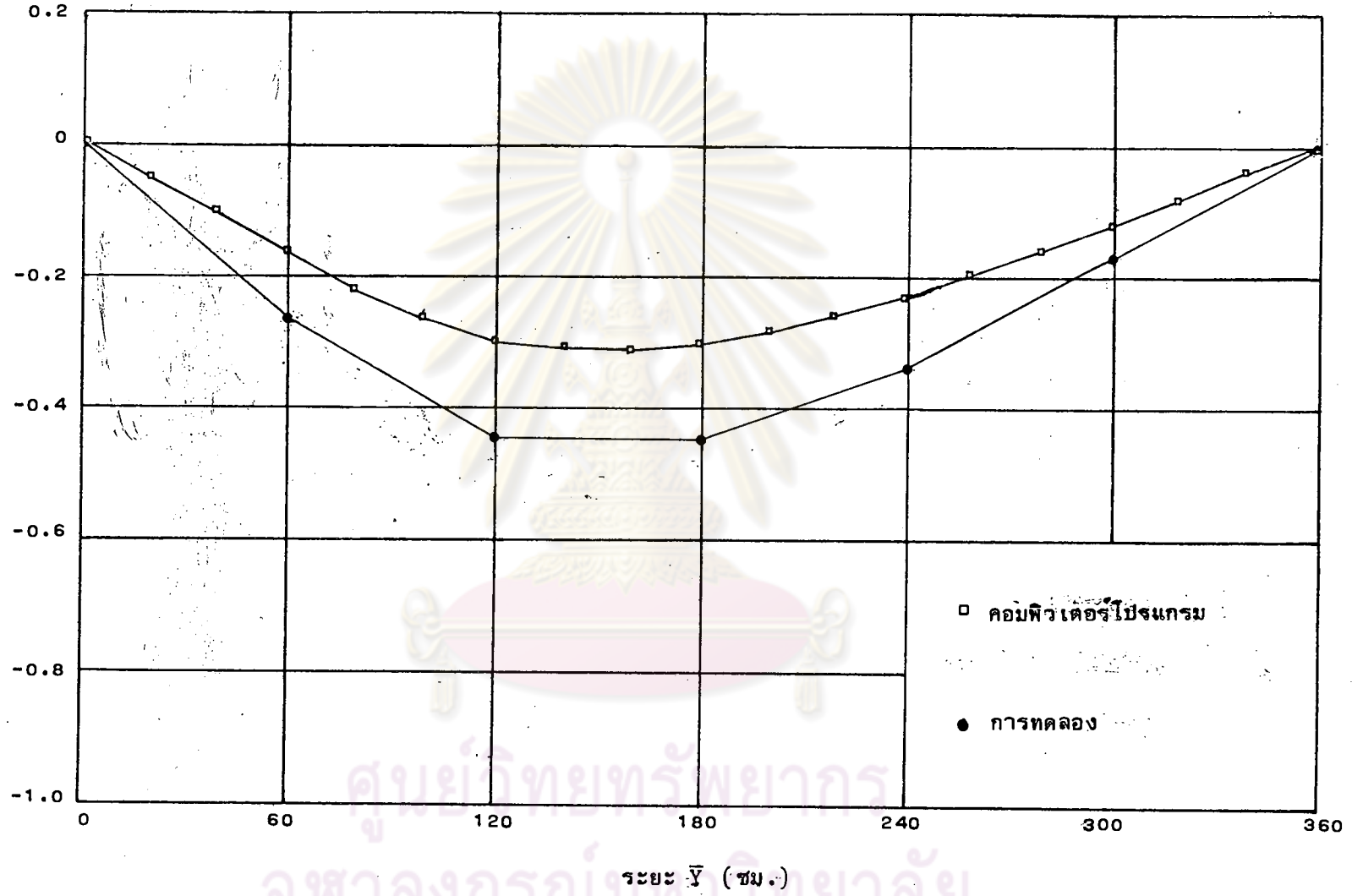
รูปที่ 4.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรจุกระถางและระยะการไถ่ตัวในแนวตั้ง



รูปที่ 4.38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกระทำและหน่วยแรงตามยาว

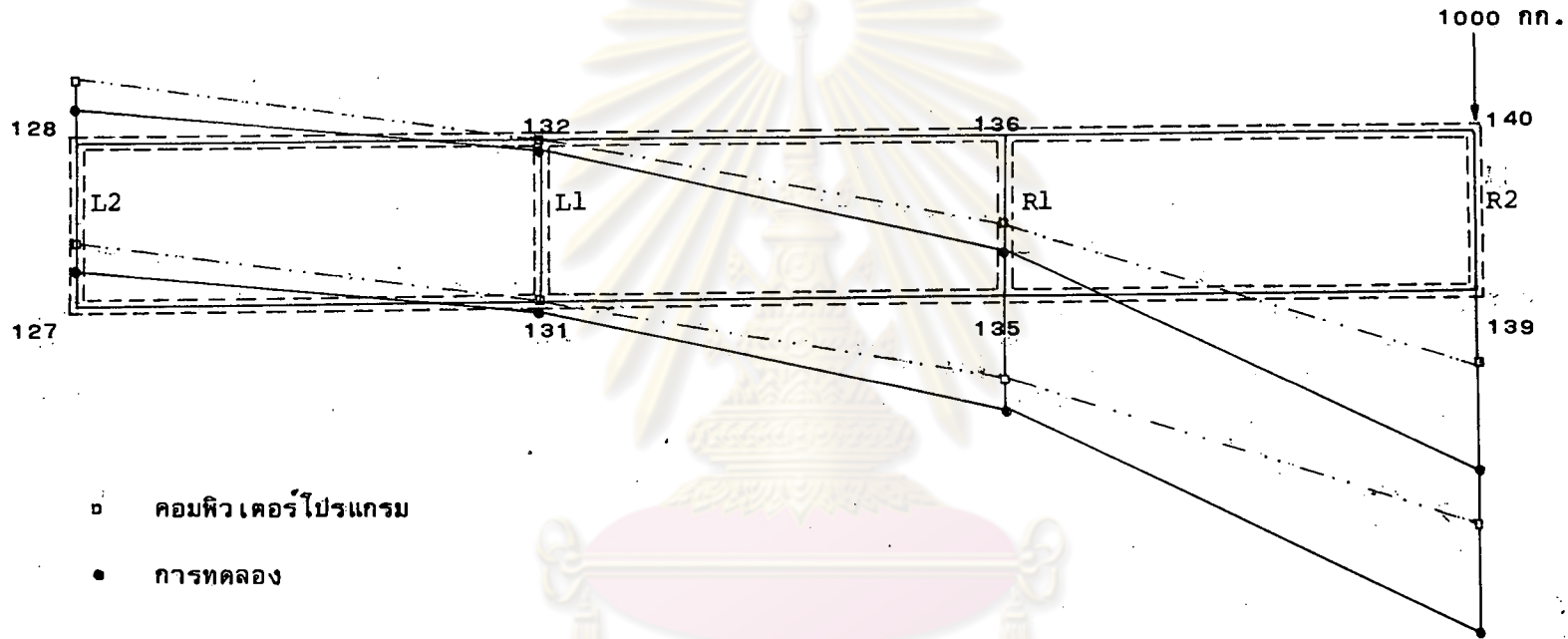


ระยะการโค้งตัวในแนวตั้ง (ซม.) ตามผิวล่างของคาน R2



รูปที่ 4.39 แสดงการเปรียบเทียบการโค้งตัวในแนวตั้งตามผิวล่างของคาน R2ระหว่างค่าที่ได้จากคอมพิวเตอร์โปรแกรมและการทดลอง ที่จุดน้ำหนักกระทำ 1000 กก.

- -0.082 ซม.                      □ -0.004 ซม.                      □ 0.110 ซม.                      □ 0.301 ซม.
- -0.043 ซม.                      ● 0.013 ซม.                      ● 0.152 ซม.                      ● 0.440 ซม.



รูปที่ 4.40 แสดงการเปรียบเทียบการโก่งตัวในแนวตั้งตามหน้าตัดขวางที่จุดน้ำหนัก

บรรทุกกระทำ ระหว่างค่าที่ได้จากคอมพิวเตอร์โปรแกรม และการทดลอง

ศูนย์วิทยพัชร์พจนกร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย