

การวิเคราะห์แผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปโดยวิธีโครงตาข่าย  
ภายใต้น้ำหนักบรรทุกแบบจุด

โดย

ไกรวุฒิ

เกียรติโกมล

ศุภชัย

ศุภวโรภาส

## การวิเคราะห์แผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปโดยวิธีโครงตาข่าย

ภายใต้น้ำหนักบรรทุกแบบจุด

## GRID ANALYSIS OF SIMPLY SUPPORTED PRECAST CONCRETE SLABS UNDER POINT LOAD

ไกรวุฒิ เกียรติโกมล

รองศาสตราจารย์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ศุภชัย ศุภวโรภาส

นักศึกษาระดับปริญญาโท

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

KRAIWOOD KIATTIKIMOL

Associate Professor

King Mongkut's Institute of  
Technology Thonburi, Bangkok

SUPHACHAI SUPHAVAROPHAS

Graduate Student

King Mongkut's Institute of  
Technology Thonburi, Bangkok

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์แผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปหน้าตัดต่าง ๆ ซึ่งมีคอนกรีตทับหน้าเป็นตัวกระจายน้ำหนัก ภายใต้น้ำหนักกระทำแบบจุดที่กึ่งกลางแผ่นพื้นโดยวิธีโครงตาข่าย (grid analysis) เพื่อหาค่าระยะโก่งตัว ค่าหน่วยแรงภายใน และค่าการกระจายน้ำหนัก แผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จที่วิเคราะห์มีหน้าตัด รูปตัวที แผ่นตัน แผ่นกลวง และยู-คว่ำ โดยแปรค่าความหนาของคอนกรีตทับหน้าตั้งแต่ 40 มม. 60 มม. และ 80 มม. ความยาวช่วงแผ่นพื้นตั้งแต่ 3 ม. 5 ม., 7 ม. และ 9 ม. และจำนวนแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปตั้งแต่ 5 แผ่น 7 แผ่น 9 แผ่น และ 13 แผ่น ลักษณะการรองรับที่ปลายทั้งสองด้านที่อยู่ตรงข้ามกันของแผ่นพื้นเป็นการรองรับแบบธรรมดา

(simple support) ส่วนอีก 2 ด้านที่เหลือไม่มีที่รองรับ จากการวิจัยพบว่า

1. การวิเคราะห์โดยวิธีโครงตาข่าย ให้ผลใกล้เคียงกับผลการทดสอบ โดยมีค่าการกระจายน้ำหนักแตกต่างกันประมาณร้อยละ 5
2. ค่าเปอร์เซ็นต์การกระจายน้ำหนักลงสู่จุดกึ่งกลางแผ่นพื้นแผ่นกลาง ของระบบแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปหน้าตัดต่าง ๆ จะมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มค่าความหนาและกำลังอัดของคอนกรีตกับหน้าความยาวช่วงแผ่นพื้น (span) และจำนวนแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปที่นำมาวางเรียงกัน และการลดลงจะไม่เป็นสัดส่วนโดยตรง
3. ผลที่ได้จากการวิเคราะห์สามารถใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบแผ่นพื้นสำเร็จ หน้าตัดต่าง ๆ ได้สะดวกและปลอดภัย

#### ABSTRACT

This research deals with the grid analysis of precast concrete slabs of various cross sections with concrete topping as the load distributor under point load applying at the middle of the precast concrete slab. The deflections, stresses, and load distributions of each precast unit of the slab are determined. The shapes of precast concrete section used in the analysis are precast T-slab, plank, U-slab, and hollow core. The Precast concrete slabs with the thickness of concrete topping of 40, 60, and 80 mm., the span length of 3, 5, 7 and 9 m., and the number of precast concrete unit of 5, 7, 9, and 13 are used in the analysis. The precast concrete slabs are simply supported on two opposite sides and free on other two sides. The results of the analysis show that:

1. The grid analysis gives the results in good agreement with the test results in which the difference in load distribution is about 5 per cents.
2. The load distribution in percentage of concentrated load on the central precast concrete unit is decreasing as the thickness and compressive strength of concrete topping, span length, and number of

precast concrete units are increasing. The decreasing is not linear.

3. The method of grid analysis can be used conveniently and safely to analyze any precast concrete slabs.

### บทนำ

วงการก่อสร้างในปัจจุบัน ได้นำแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปมาใช้งานก่อสร้างอย่างแพร่หลายโดยนำแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปมาวางเรียงชิดกัน แล้วเทหล่อคอนกรีตทับหน้า ซึ่งกรรมวิธีนี้ไม่ต้องทำแบบหล่อคอนกรีต เนื่องจากใช้แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปเป็นแบบหล่อในตัวทำให้ก่อสร้างได้รวดเร็วและประหยัด โดยปกติแล้วการคำนวณออกแบบแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปจะคำนวณให้รับน้ำหนักบรรทุกแผ่กระจายสม่ำเสมอ (uniform load) แต่ในบางกรณีแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปต้องรับน้ำหนักกระทำแบบจุด (point load) เช่น น้ำหนักเครื่องจักร ฯลฯ การคำนวณออกแบบโดยให้แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปขึ้นเดียวรับน้ำหนักดังกล่าวในลักษณะโครงสร้างคาน โดยมีได้คำนึงถึงพฤติกรรมการกระจายน้ำหนักไปยังแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปข้างเคียง จะเป็นการคำนวณออกแบบที่ไม่ประหยัดและไม่ตรงตามพฤติกรรมจริง เนื่องจากแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปนี้เป็นโครงสร้างแผ่นบาง (plate) สามารถกระจายน้ำหนักออกไปได้ทั้งสองทิศทางโดยมีคอนกรีตทับหน้าเป็นตัวกลางในการกระจายน้ำหนัก

การวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักกระทำแบบจุดบนพื้นสะพาน โดยวิธีโครงตาข่ายได้มีการศึกษาโดย Cusens และ Pama [1], Kirkpatrick, et al [2, 3] และ Hambly [5]

West [4] ได้เสนอแนะการวิเคราะห์แผ่นพื้นต่าง ๆ โดยวิธีโครงตาข่ายและได้แสดงวิธีการจัดวางโครงตาข่ายเพื่อจำลองแผ่นพื้น ตลอดจนวิธีหาค่าตัวแปรต่าง ๆ โดยเฉพาะค่าความเฉื่อยของการบิด

ฉลาด รัตนเกียรติถาวร [6] ได้ทดสอบและวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักบรรทุกแบบจุดของแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปตัวที่ ขนาดปีกคานกว้าง 300 มม. ความยาว 3.0 ม. มาวางเรียงกันจำนวน 7 แผ่น ผลการทดสอบและวิเคราะห์มีความใกล้เคียงกัน

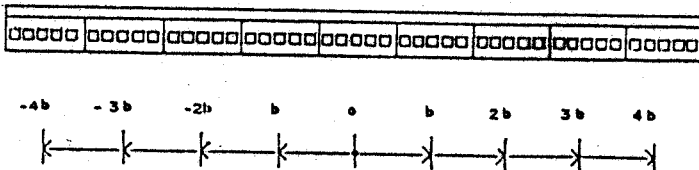
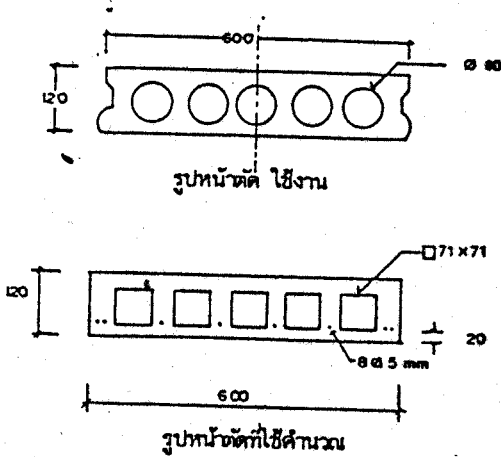
สมศักดิ์ ต่อสกุลโรจน์ และคณะ [7] ได้ทดสอบหาค่าการแอ่นตัวของแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปแผ่นตันอัดแรง ขนาดกว้าง 300 มม. หนา 50 มม. ความยาว 2.8 และ 3.8 มม. มาวางเรียงกันจำนวน 5 แผ่น

การศึกษานี้เป็นการวิเคราะห์แผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปหน้าตัดต่าง ๆ ตามที่แสดงในรูปที่ 3 ซึ่ง

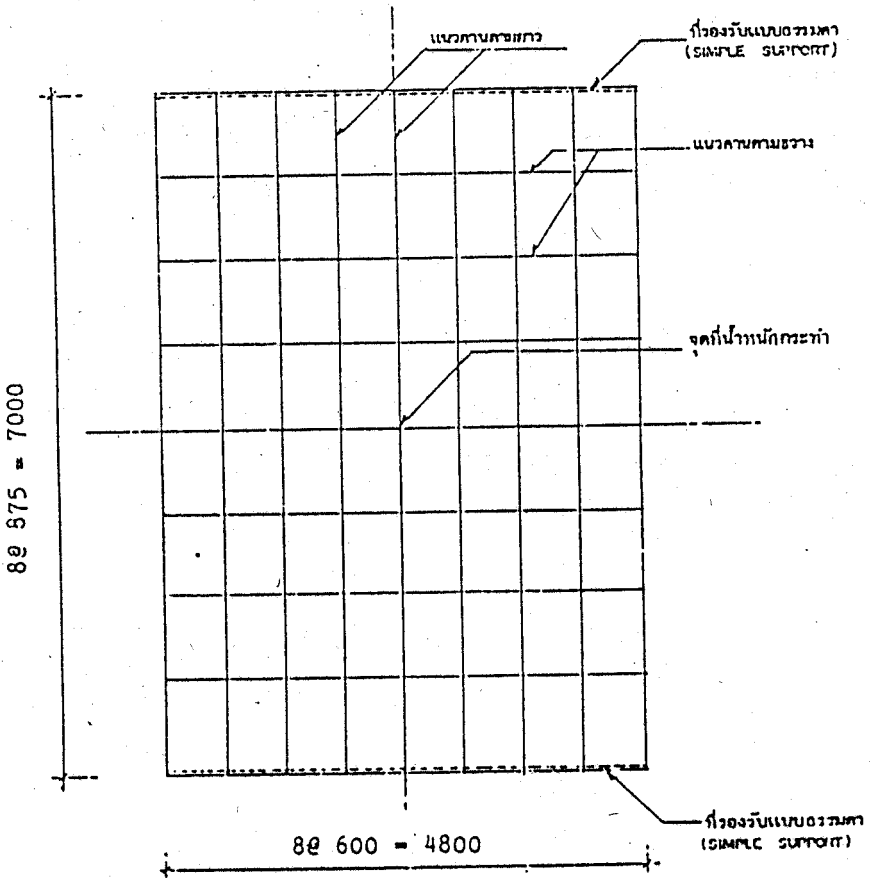
มีคอนกรีตทับหน้าเป็นตัวกระจายน้ำหนักโดยมีน้ำหนักกระทำแบบจุดที่บริเวณกึ่งกลางแผ่นพื้น ในการวิเคราะห์ใช้วิธีโครงตาข่ายโดยอาศัยข้อเสนอนี้และข้อมูลจาก [4,6,7] ในการจำลองโครงสร้าง และการคำนวณหาค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของหน้าตัด แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม Microfeap II (P2 - module) นำผลที่ได้มาวิเคราะห์สรุป เพื่อประโยชน์ในการคำนวณออกแบบระบบแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปภายใต้น้ำหนักกระทำแบบจุดต่อไป

### การวิเคราะห์แผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป

การวิเคราะห์แผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปโดยวิธีโครงตาข่าย เป็นการจำลองโครงสร้างแผ่นพื้นคอนกรีตที่มีค่าสตีเฟนส์ของหน้าตัดตามยาวและตามขวางที่ไม่เท่ากัน (rectangular orthotropic plate, รูปที่ 1) ให้เป็นโครงสร้างแบบโครงตาข่าย (plane grid, รูปที่ 2) รายละเอียดการวิเคราะห์โดยวิธีโครงตาข่ายปรากฏใน [6,10]



รูปที่ 1 การเสริมเหล็กอัดแรง และ ตำแหน่งอ้างอิงของแผ่นพื้น  
แผ่นกลางอัดแรง หนา 120 มม. วางเรียง 9 แผ่น



รูปที่ 2 การจำลองโครงสร้างแบบโครงตาข่าย  
ของแผ่นพื้นแผ่นกลางอิฐแรงหนา 120 มม.  
วางเรียง 9 แผ่น

### สมมติฐานในการวิเคราะห์

1. การวิเคราะห์เป็นแบบอีลาสติก แต่เมื่อโครงสร้างรับน้ำหนักมากขึ้นจนคอนกรีตเริ่มแตกร้าว จะวิเคราะห์โครงตาข่ายโดยเปลี่ยนค่าโมเมนต์อินเนอร์เซียของคานโครงตาข่ายตามยาว เป็นค่าโมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากข้อกำหนดของ ACI 318-83 [8]
2. การยึดเหนี่ยวระหว่างแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปกับคอนกรีตทับหน้าถือว่ายึดกันอย่างสมบูรณ์ ไม่มีการแตกร้าวบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปกับคอนกรีตทับหน้า กล่าวคือไม่มีการวิบัติด้วยแรงเฉือนในแนวราบ
3. การวิบัติของแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปเป็นการวิบัติแบบดึง-ตัด (flexure-tension failure)
4. คอนกรีตทับหน้าเป็นตัวกลางกระจายน้ำหนักบรรทุก และไม่เกิดการแตกร้าว
5. การแตกร้าวของคอนกรีตไม่มีผลต่อค่าความเฉื่อยของการบิด

### วิธีวิเคราะห์

1. การจำลองแผ่นพื้นให้เป็นโครงสร้างโครงตาข่าย โดยมีข้อพิจารณา [4] ดังนี้

ก. แผ่นพื้นตามยาวจำลองโดยการแทนด้วยคานโครงตาข่ายตามแนวยาว (longitudinal grid beams) ซึ่งคานโครงตาข่ายตามแนวยาวนี้จะแทนแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปแต่ละแผ่น เนื่องจากคานโครงตาข่ายตามแนวยาวต้องมีจำนวนเป็นคี่ ดังนั้นแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปจะวางเรียงกันเป็นจำนวนคี่ เช่น 5 แผ่น 7 แผ่น หรือ 9 แผ่น เป็นต้น (ดูรูปที่ 1, 2)

ข. แผ่นพื้นตามขวางจำลองโดยการแทนด้วยคานโครงตาข่ายตามแนวขวางซึ่งอัตราส่วนระยะห่างของโครงตาข่ายตามแนวขวางต่อระยะห่างของโครงตาข่ายตามแนวยาว มีค่าประมาณ 1.5:1 แต่อัตราส่วนนี้ควรแปรตามอัตราส่วนระหว่างความยาวกับความกว้างของแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป (aspect ratio) เช่น แผ่นพื้นที่มีความยาวมากกว่าความกว้างมาก ควรใช้อัตราส่วน 2:1 แผ่นพื้นที่เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสใช้อัตราส่วน 1:1 เป็นต้น

## 2. การหาค่าสติฟเนสของคานโครงตาข่าย (grid beams)

### ก. ค่าสติฟเนสของคานโครงตาข่ายตามแนวยาว

โมเมนต์อินเนอร์เซีย ของหน้าตัดคานโครงตาข่ายตามแนวยาว พิจารณาจากหน้าตัดของแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปและความหนาคอนกรีตทับหน้า เนื่องจากคอนกรีตทับหน้า และเหล็กเสริมของแผ่นพื้น มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นไม่เท่ากัน จึงต้องแปลงหน้าตัดให้มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นให้เท่ากัน [9] เมื่อโครงสร้างรับน้ำหนักมากขึ้น จะมีค่าโมเมนต์เท่ากับโมเมนต์เริ่มแตกร้าว ( $M_{cr}$ ) โครงสร้างจะเริ่มแตกร้าว ดังนั้นจึงต้องเปลี่ยนค่าโมเมนต์อินเนอร์เซีย เป็นค่าโมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิภาพ ( $I_{ef}$ ) จากข้อกำหนดของ ACI 318-83 สามารถหาค่าได้ดังนี้

$$M_{cr} = f_r I_g / Y_t \quad (1)$$

$$f_r = 0.62(f_c)^{1/2} \quad (2)$$

$$I_{ef} = (M_{cr}/M_u)^3 I_g + [1 - (M_{cr}/M_u)^3] I_{cr} \quad (3)$$

โดยที่  $f_c$  = กำลังอัดคอนกรีต, MPa  
 $f_r$  = โมดูลัสแห่งการแตกร้าว, MPa  
 $I_{cr}$  = โมเมนต์อินเนอร์เซียแตกร้าว, มม.<sup>4</sup>  
 $I_g$  = โมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัดทั้งหมด, มม.<sup>4</sup>  
 $M_u$  = โมเมนต์ดัดสูงสุดที่น้ำหนักกระทำใด ๆ, N.m

$Y_c$  = ระยะจากแกนสะเทินของหน้าตัดถึงขอบนอกสุดด้านรับแรงดึง, มม.

ในกรณีที่  $M_u$  มีค่าน้อยกว่า  $M_{ur}$  แสดงว่าแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปยังไม่มีรอยแตกร้าว ดังนั้นจึงให้ใช้ค่า  $I_g$  แทน

ความเฉื่อยของการบิดของหน้าตัดคานโครงตาข่ายตามแนวยาว พิจารณาจากหน้าตัดแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปและความหนาคอนกรีตทับหน้า จาก West [4] สามารถคำนวณค่าความเฉื่อยของการบิด ได้ดังนี้

สำหรับหน้าตัดสี่เหลี่ยมตัน ค่าความเฉื่อยของการบิด คำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$C_L, C_T = k_T a^3 b \quad (4)$$

$$k_T = 1/3 [1 - 0.63a/b(1 - a^4/12b^4)] \quad (5)$$

ในกรณีที่  $b/a > 2$ ,  $(1 - a^4/12b^4) \sim 1$ ,  $k_T = 1/3(1 - 0.63 a/b)$

และในกรณีที่  $b/a > 10$ ,  $k_T = 0.333$

โดยที่  $C_L, C_T$  = ค่าความเฉื่อยของการบิด, มม.<sup>4</sup>

$a$  = ความยาวของหน้าตัด ด้านแคบ, มม.

$b$  = ความยาวของหน้าตัด ด้านที่ยาวกว่า, มม.

$k$  = ค่าสัมประสิทธิ์ ซึ่งขึ้นกับค่า  $b/a$

สำหรับหน้าตัดผนังบาง (thin-wall) หรือ แผ่นกลวง ค่าความเฉื่อยของการบิด คำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$C_L, C_T = 4A^2 / \phi (ds/t) \quad (6)$$

โดยที่  $A$  = พื้นที่ภายในเส้นแบ่งครึ่งความหนาของผนัง

$\phi (ds/t)$  = ผลรวมของความยาวเส้นแบ่งครึ่งความหนาของผนังหารด้วยความหนาของผนัง

ข. ค่าลคินเนสของคานโครงตาข่ายตามแนวขวาง

โมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัดคานโครงตาข่ายตามแนวขวาง ให้พิจารณาจากหน้าตัด



ของความหนาคอนกรีตทับหน้าเท่านั้น ไม่รวมความหนาหน้าตัดแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป ทั้งนี้เพราะแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปนำมาวางเรียงชนกันและไม่มีการเชื่อมยึดกัน ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทับหน้าแปลงให้มีค่าเท่ากับค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป

ความเฉื่อยของการบิดของหน้าตัดคานโครงตาข่ายตามแนวขวาง พิจารณาจากหน้าตัดของแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปและคอนกรีตทับหน้า

ค. การวิเคราะห์โดยวิธีโครงตาข่ายอาศัยการจำลองแผ่นพื้นให้เป็นโครงสร้างโครงตาข่ายตามวิธีการในข้อ 1. และการหาค่าสตีฟเนสของคานโครงตาข่ายตามวิธีการในข้อ 2. ซึ่งสามารถคำนวณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้ โปรแกรม Microfeaf II (P2-module) ซึ่งเขียนขึ้นโดยสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย

### ผลการวิจัย

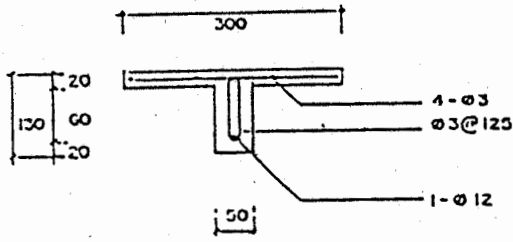
#### การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โดยวิธีโครงตาข่ายกับผลการทดสอบ

##### 1. แผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปหน้าตัดตัวทึบ

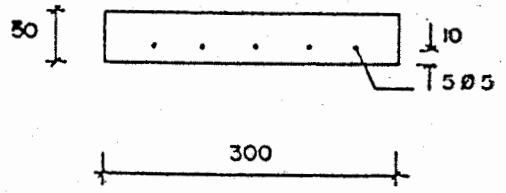
แผ่นพื้นประกอบด้วยแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปหน้าตัดตัวทึบ กว้าง 300 มม. (คูรูปที่ 3 ก.) จำนวน 7 แผ่นวางเรียงกัน และวางบนที่รองรับซึ่งห่างกัน 2.90 ม. การวิเคราะห์เป็นการวิเคราะห์ โครงตาข่ายขนาด 7x9 การวิเคราะห์แบ่งออกเป็นสองวิธี โดยใช้ค่าโมเมนต์อินเนอร์เซียของคานโครงตาข่ายตามแนวยาวต่างกันคือ ใช้ค่าโมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิผล ( $I_u$ ) วิธีหนึ่ง และใช้ค่าโมเมนต์อินเนอร์เซียแตกร้าว ( $I_{ur}$ ) อีกวิธีหนึ่ง และนำผลการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบ ซึ่งทำให้การทดสอบแผ่นพื้นไว้ใน [6]

จากรูปที่ 4-5 จะเห็นได้ว่าระยะโค้งจากการวิเคราะห์ใกล้เคียงกับผลการทดสอบ [6] เส้นกราฟระยะโค้งจากการวิเคราะห์โดยใช้ค่า  $I_u$  ได้กราฟเส้นโค้ง และได้ค่าระยะโค้งน้อยกว่าค่าที่วัดได้จากการทดสอบ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเพิ่มแรงกดคอนกรีตจะแตกร้าวมากขึ้น ทำให้ค่าโมเมนต์อินเนอร์เซียลดลงเป็นผลให้การโค้งตัวมีค่าระยะโค้งมากขึ้น เส้นกราฟจากการวิเคราะห์โดยใช้ค่า  $I_{ur}$  ได้กราฟเส้นตรง และได้ค่าระยะโค้งมากที่สุด สาเหตุเนื่องจาก  $I_{ur}$  มีค่าคงที่และมีค่าน้อยที่สุด

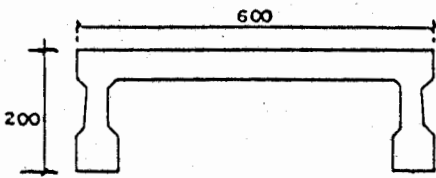
ในการวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักลงสู่จุดกลางแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปแผ่นกลาง โดยคิดเทียบโมเมนต์ดัดของแผ่นกลางเป็นร้อยละของโมเมนต์ดัดรวมทุกแผ่น ผลการวิเคราะห์ [10]



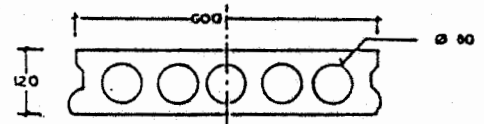
ก. รูปตัวที



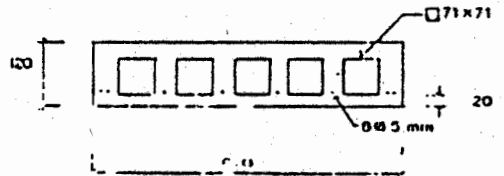
ข. แผ่นต้น



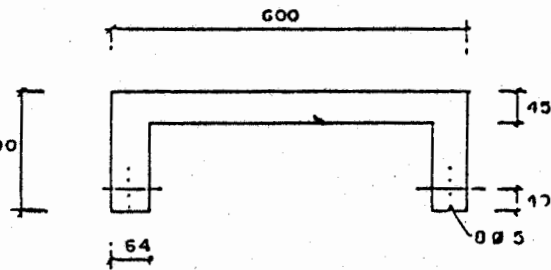
รูปหน้าตัดใช้งาน



รูปหน้าตัด ใช้งาน

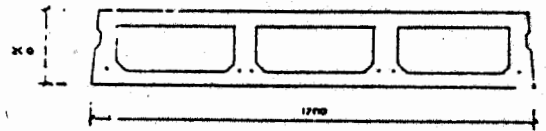


รูปหน้าตัดที่ใช้กันชน

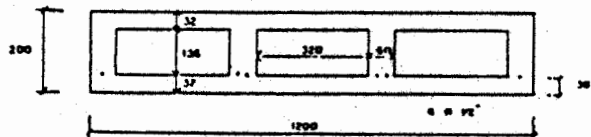


รูปหน้าตัดที่ใช้คำนวณ

ค. รูปยูคว่ำ



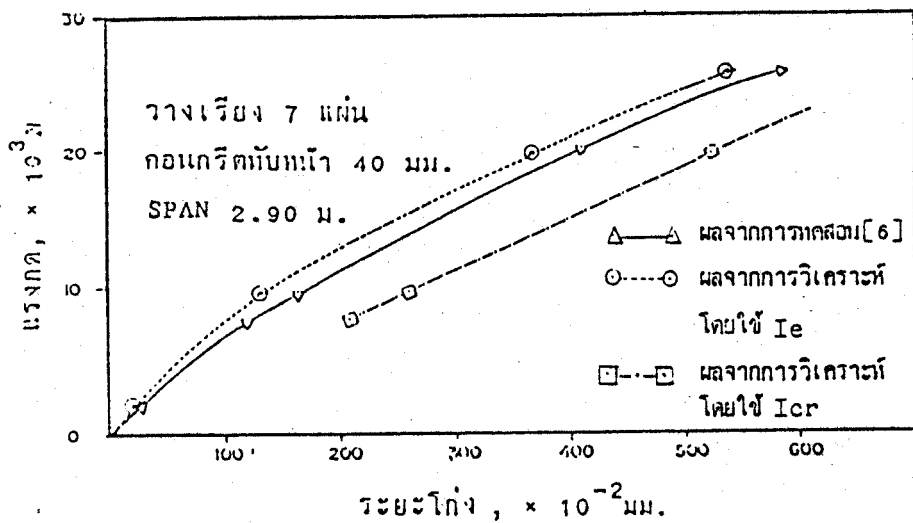
รูปหน้าตัดใช้กันชน



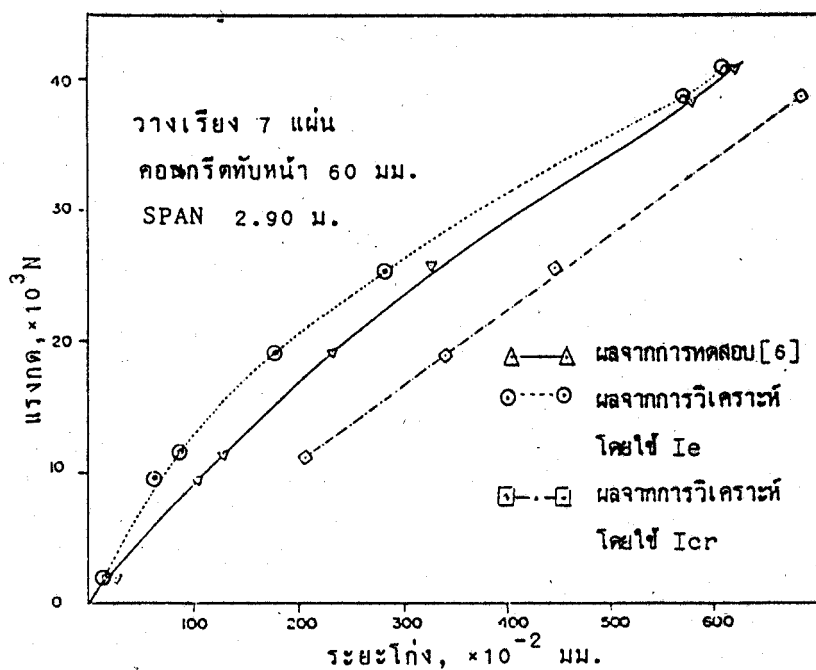
รูปหน้าตัดใช้กันชน

ง. แผ่นกลาง

รูปที่ : หน้าตัดแผ่นคอนกรีตสำเร็จ รูป



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะโก่งที่จุดกึ่งกลาง  
แผ่นพื้นรูปตัวที



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะโก่งที่จุด  
กึ่งกลางแผ่นพื้นรูปตัวที

โดยใช้ค่า  $I_{\text{u}}$  มีค่าเฉลี่ยการกระจายน้ำหนักลงสู่จุดกลางแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปแผ่นกลางสูงกว่าผลจากการทดสอบ [6] อยู่ระหว่างร้อยละ 3.85 - 4.75 และผลการวิเคราะห์โดยใช้ค่า  $I_{\text{cr}}$  มีค่าเฉลี่ยการกระจายน้ำหนักลงสู่จุดกลางแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป แผ่นกลางสูงกว่าผลการทดสอบ [6] อยู่ระหว่างร้อยละ 5.00 - 5.50

## 2. แผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปแผ่นตันอัดแรง

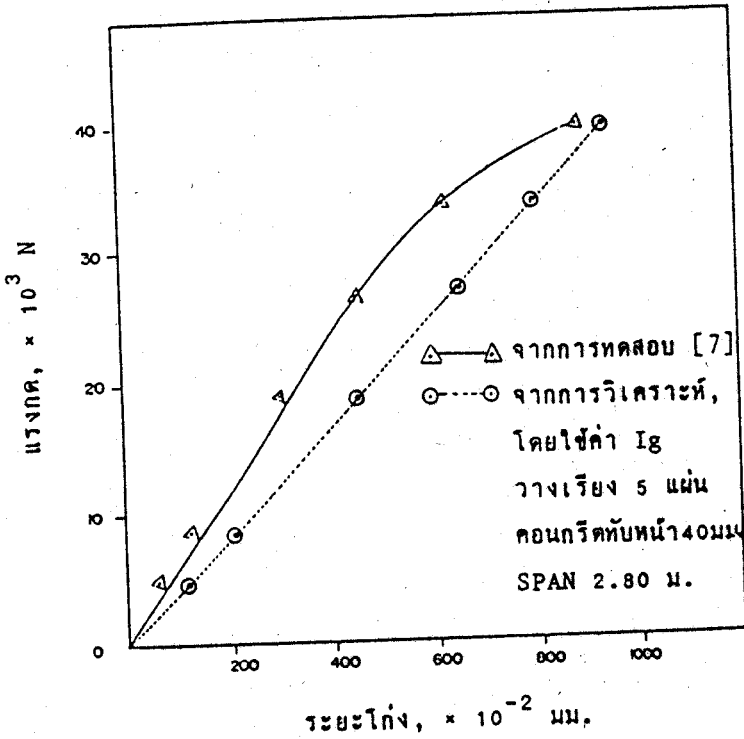
รูปที่ 6-7 แสดงให้เห็นว่า ระยะโก่งที่ได้จากการทดสอบ เป็นเส้นโค้งและมีค่าน้อยกว่าระยะโก่งที่ได้จากการวิเคราะห์ซึ่งเป็นกราฟเส้นตรง ทั้งนี้เนื่องจากการวิเคราะห์ได้ใช้  $I_{\text{u}}$  ซึ่งมีค่าคงที่ ระยะโก่งจะมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบมากขึ้นเมื่อเพิ่มแรงกดมากขึ้นซึ่งเกิดจากคอนกรีตอัดแรงเริ่มเกิดการแตกร้าว ที่จุดกึ่งกลางแผ่นพื้นแผ่นตันอัดแรง ค่าระยะโก่งที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้ค่า  $I_{\text{u}}$  จะมีค่าสูงกว่าระยะโก่งที่ได้จากการทดสอบคิดเป็นร้อยละ 0.50 - 2.50 ซึ่งนับว่าใกล้เคียงกันมาก

เป็นที่น่าสังเกตว่า ในกรณีรูปที่ 4-5 ซึ่งเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา ค่าระยะโก่งที่ได้จากการวิเคราะห์จะมีค่าต่ำกว่าค่าระยะโก่งที่ได้จากการทดสอบ ทั้งนี้เนื่องจากในคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดจะเริ่มแตกร้าวเมื่อแรงกดมีค่าน้อย แต่ในคอนกรีตอัดแรงหน้าตัดจะเริ่มแตกร้าวภายใต้แรงกดที่สูงกว่า (ดูรูปที่ 6-7)

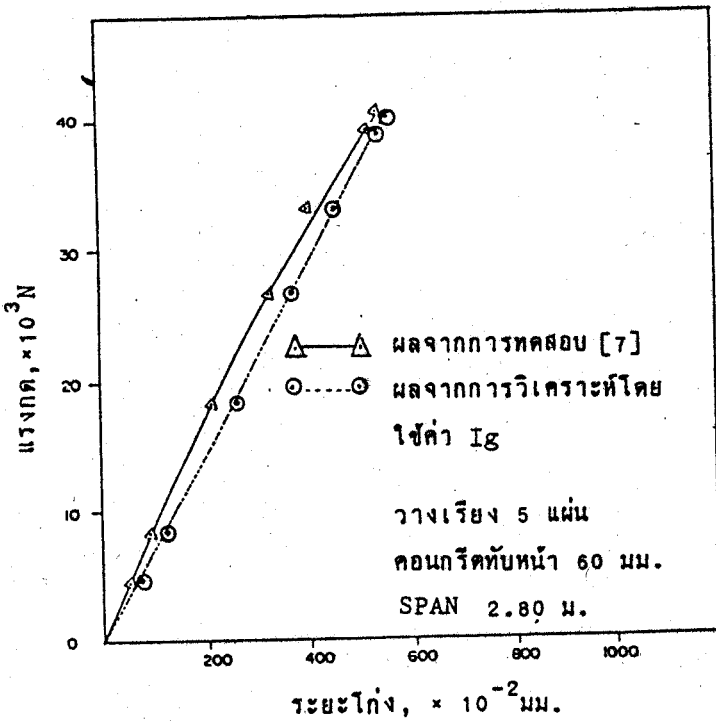
## ผลการวิเคราะห์แผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปหน้าตัดต่าง ๆ โดยวิธีโครงตาข่าย

จากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์และผลการทดสอบ จะเห็นได้ว่าค่าระยะโก่งมีค่าใกล้เคียงกันมาก (ดูรูปที่ 4-7) ดังนั้นจึงใช้วิธีโครงตาข่ายในการวิเคราะห์แผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปหน้าตัดอื่น ๆ ซึ่งไม่มีผลการทดสอบเปรียบเทียบโดยมีตัวแปรที่สำคัญคือ ความหนาของคอนกรีตทับหน้า ความยาวช่วงพื้น (span) และจำนวนแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป ทั้งนี้เพื่อวิเคราะห์หาค่าร้อยละของการกระจายน้ำหนักลงบนแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปแผ่นกลาง ภายใต้น้ำหนักกระทำเป็นจุดที่กึ่งกลางแผ่นพื้น

ในการวิเคราะห์แผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป โดยวิธีโครงตาข่ายนี้หากเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา จะใช้ค่าโมเมนต์อินเนอร์เซียแตกร้าว ( $I_{\text{cr}}$ ) ของคานโครงตาข่ายตามแนวยาว แต่ถ้าเป็นคอนกรีตอัดแรงจะใช้ค่าโมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัดทั้งหมด ( $I_{\text{u}}$ ) ของคานโครงตาข่าย



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะโก่ง  
ที่จุดกึ่งกลางแผ่นพื้นแผ่นคั่นอัดแรง

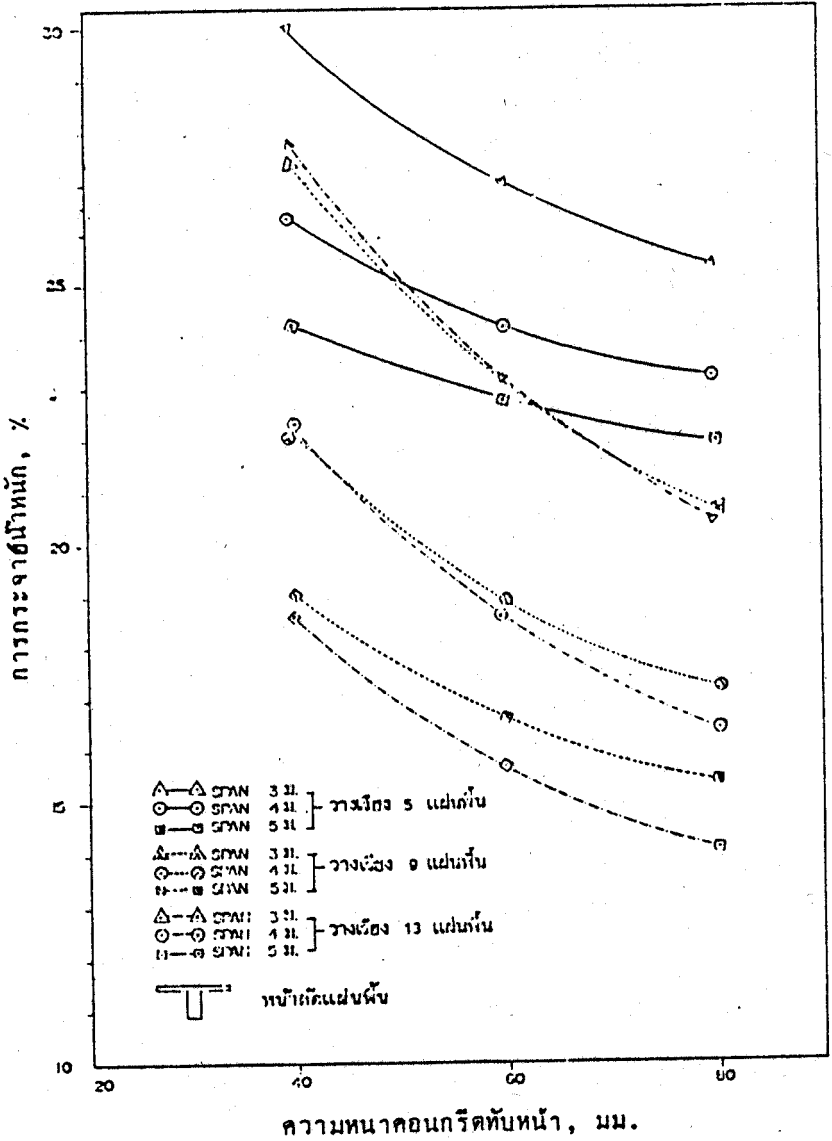


รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะโก่ง  
ที่จุดกึ่งกลางแผ่นพื้นแผ่นคั่นอัดแรง

ตามแนวยาว

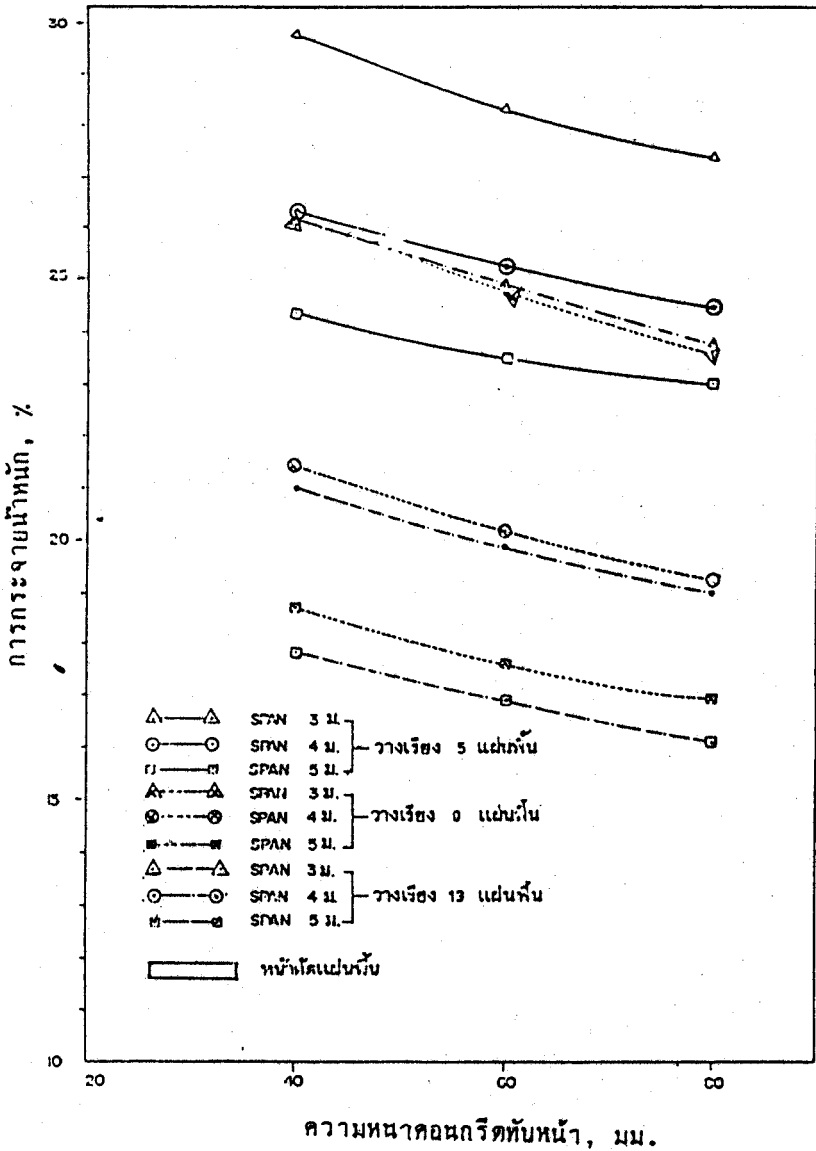
ผลการวิเคราะห์ได้ค่าเฉลี่ยของการกระจายน้ำหนักลงสู่จุดกึ่งกลางแผ่นพื้นแผ่นกลางของแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปหน้าตัดต่าง ๆ ตามที่แสดงในรูปที่ 3 ดังนี้

1. แผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปหน้าตัดตัวที่ ซึ่งเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา จำนวนแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป 9 แผ่น ( $9 \times 0.30 = 2.70$  ม.) ความหนาคอนกรีตทับหน้า 40 - 80 มม. ความยาวช่วงแผ่นพื้น 3 - 5 ม. ได้ค่าการกระจายน้ำหนักลงสู่จุดกึ่งกลางแผ่นพื้นแผ่นกลางอยู่ระหว่างร้อยละ 24.0 - 17.2 (ดูรูปที่ 8)



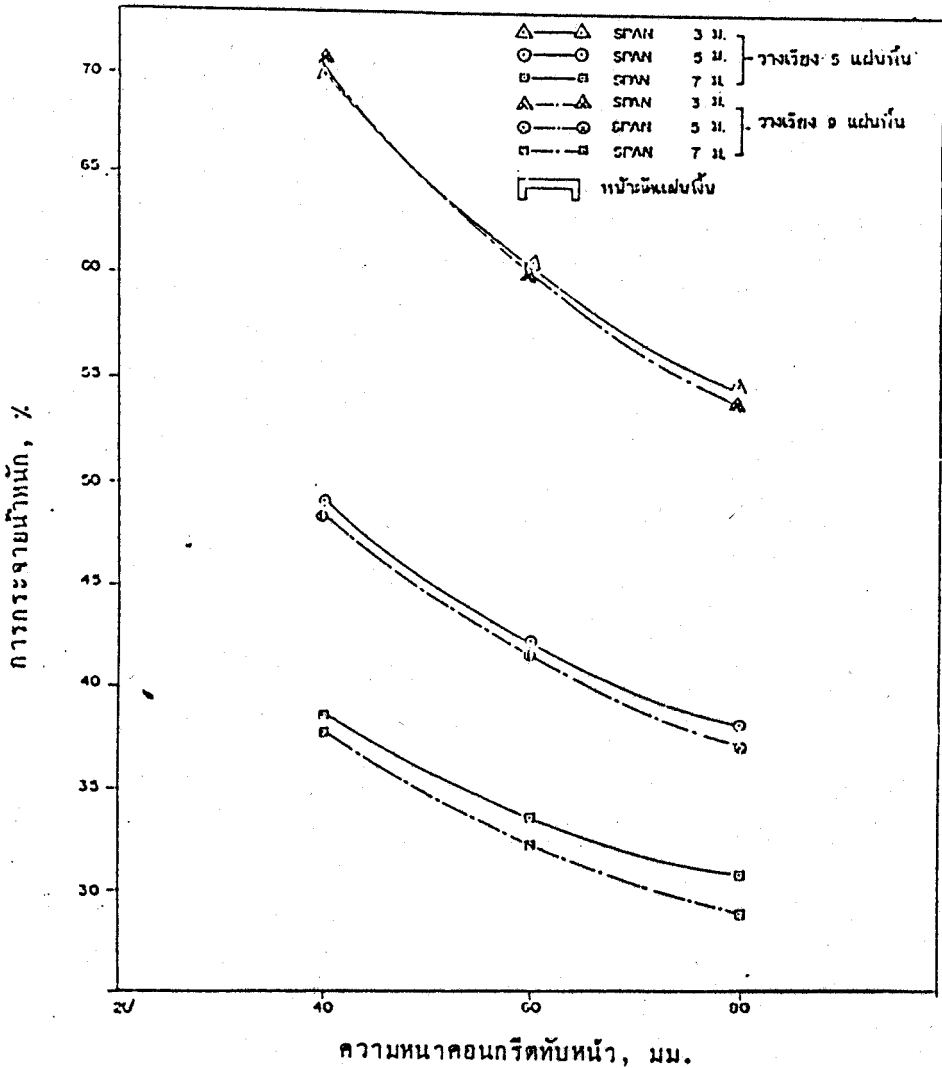
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง ร้อยละ ของการกระจายน้ำหนักลงสู่จุดกึ่งกลางแผ่นพื้นหน้าตัดรูปตัวที กับความหนาของคอนกรีตทับหน้า

2. แผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปแผ่นตันอัดแรง จำนวนแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป 9 แผ่น (9x0.30 = 2.70 ม.) ความหนาคอนกรีตทับหน้า 40 - 80 มม. ความยาวช่วงแผ่นพื้น 3 - 5 ม. ได้ค่าการกระจายน้ำหนักลงสู่จุดกึ่งกลางแผ่นพื้นแผ่นกลางอยู่ระหว่างร้อยละ 24.9 - 17.8 (ดูรูปที่ 9)



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของการกระจายน้ำหนักลงสู่จุดกึ่งกลางแผ่นพื้นแผ่นตันอัดแรง กับความหนาของคอนกรีตทับหน้า

3. แผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปหน้าตัดยูกว่าอัดแรง จำนวนแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป 5 แผ่น ( $5 \times 0.60 = 3.00$  ม.) ความหนาคอนกรีตทับหน้า 40 - 80 มม. ความยาวช่วงแผ่นพื้น 3 - 7 ม. ได้ค่าเฉลี่ยการกระจายน้ำหนักลงสู่จุดกึ่งกลางแผ่นพื้นแผ่นกลางอยู่ระหว่างร้อยละ 62.2 - 34.5 (ดูรูปที่ 10)

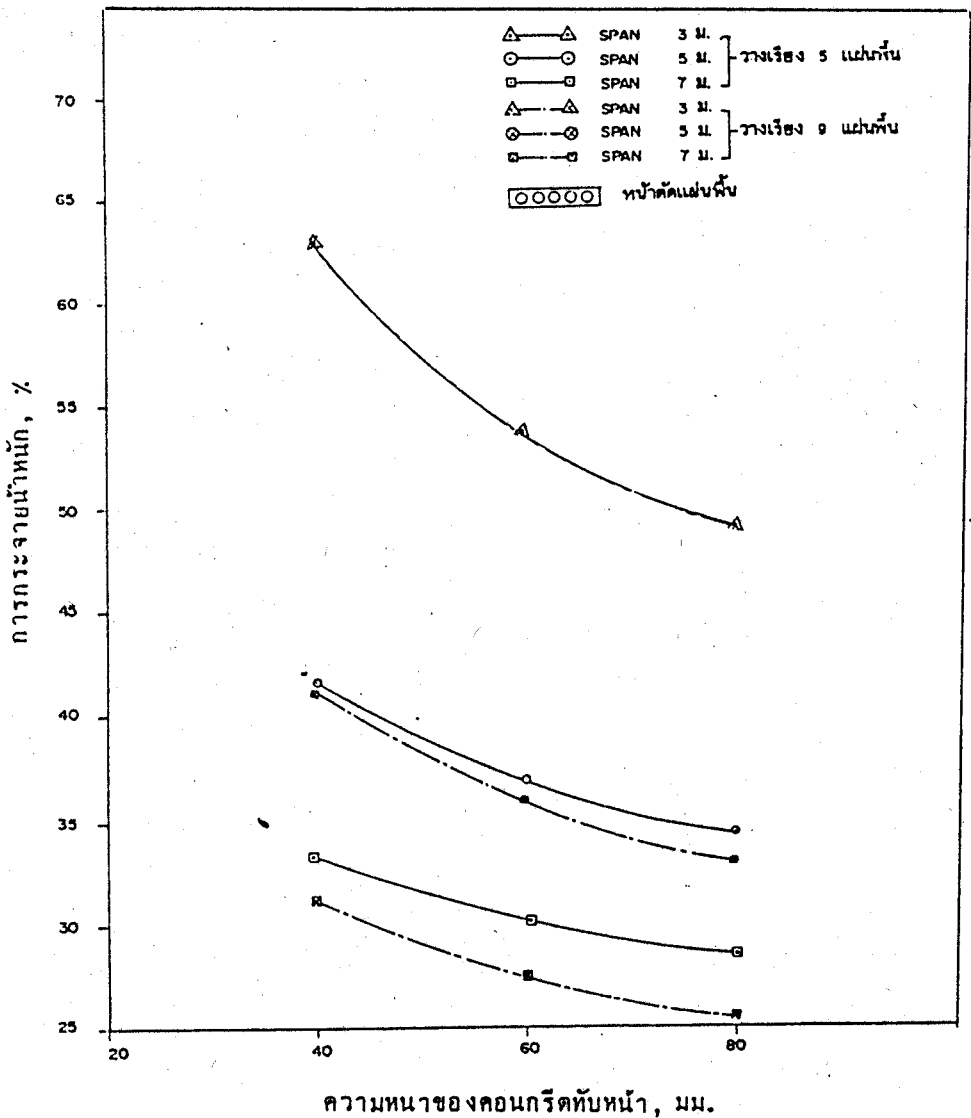


รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่าง ร้อยละ ของการกระจายน้ำหนักลงสู่จุดกึ่งกลางแผ่นพื้นหน้าตัดยูกว่าอัดแรง กับความหนาของคอนกรีตทับหน้า

4. แผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปแผ่นกลางอัดแรงหนา 120 มม. จำนวนแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป 5 แผ่น ( $5 \times 0.60 = 3.00$  ม.) ความหนาคอนกรีตทับหน้า 40 - 80 มม. ความยาวช่วงพื้น

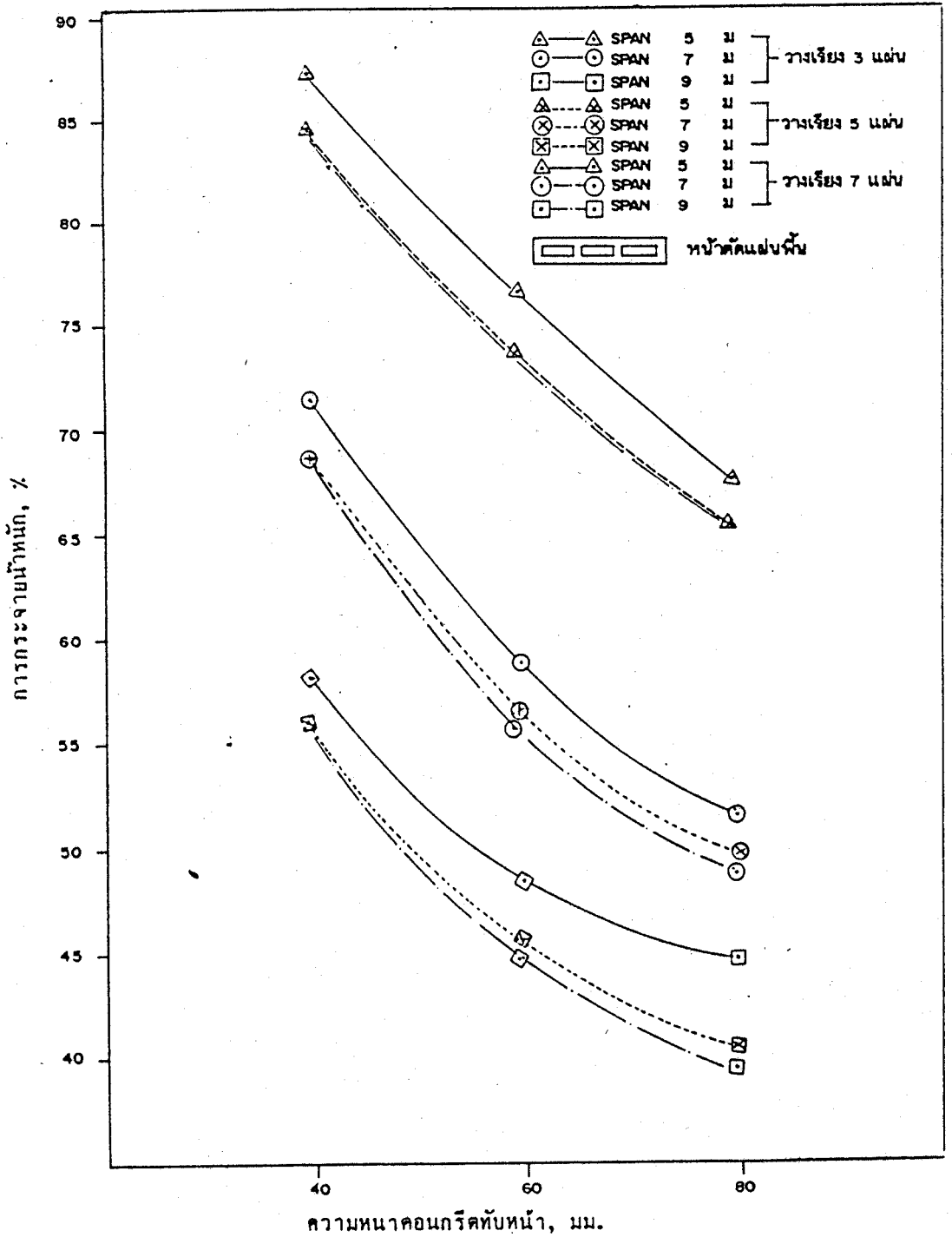


3 - 7 ม. ได้ค่าเฉลี่ยการกระจายน้ำหนักลงสู่จุดกลางแผ่นพื้นแผ่นกลางอยู่ระหว่างร้อยละ 55.95-30.9 (ดูรูปที่ 11)



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่าง ร้อยละของการกระจายน้ำหนักลงสู่จุดกึ่งกลางแผ่นพื้นแผ่นกลางอัดแรงหนา 120 มม. กับความหนาของคอนกรีตทับหน้า

5. แผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปแผ่นกลางอัดแรงหนา 200 มม. จำนวนแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป 5 แผ่น (5 x 1.20 = 6.00) ความหนาของคอนกรีตทับหน้า 40 - 80 มม. ความยาวช่วงแผ่นพื้น 5 - 9 ม. ได้ค่าเฉลี่ยการกระจายน้ำหนักลงสู่จุดกลางแผ่นพื้น แผ่นกลางอยู่ระหว่างร้อยละ 75.1 - 48.2 (ดูรูปที่ 12)



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของการกระจายน้ำหนักลงสู่จุดกึ่งกลางแผ่นพื้น  
แผ่นกลวงอัดแรงหนา 200 มม. กับความหนาของคอนกรีตห้หน้า

จากผลการวิเคราะห์แผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปหน้าตัดต่าง ๆ จะเห็นว่าค่าสตีฟเนสของแผ่นพื้น  
คอนกรีตสำเร็จรูปมีค่าไม่มาก เมื่อเทียบกับค่าสตีฟเนสของคอนกรีตห้หน้า เช่น แผ่นคอนกรีต

สำเร็จรูป หน้าตัดรูปตัวที แผ่นตัน ค่าการกระจายน้ำหนักลงสู่จุดกลางแผ่นนั้นจะมีค่าน้อย เป็นผลให้การกระจายน้ำหนักไปยังแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปข้างเคียงได้มาก แต่เมื่อค่าสติเฟเนสของแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปมีค่ามาก เมื่อเทียบค่าสติเฟเนสของคอนกรีตทับหน้า เช่น แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปแผ่นกลางหนา 200 มม. ค่าการกระจายน้ำหนักลงสู่จุดกลางแผ่นนั้นแผ่นกลางจะมีค่ามากเป็นผลให้การกระจายน้ำหนักไปยังแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปข้างเคียงมีค่าน้อยลง

### สรุปผลการวิจัย

1. การวิเคราะห์หาค่าระยะโค้งการกระจายน้ำหนักลงสู่กระทำแบบจุด กึ่งกลางแผ่นกลางของแผ่นพื้นสำเร็จรูปหน้าตัดต่าง ๆ โดยวิธีการจำลองโครงสร้างเป็นโครงตาข่าย ได้ผลการวิเคราะห์ใกล้เคียงกับผลการทดสอบ คือมีค่าแตกต่างกันประมาณร้อยละ 5
2. ค่าการกระจายน้ำหนักลงสู่จุดกลางแผ่นพื้นแผ่นกลาง มีค่าลดลง เมื่อเพิ่มค่าตัวแปรต่อไปนี้
  1. ความยาวของแผ่นพื้นสำเร็จรูป
  2. จำนวนแผ่นพื้นสำเร็จรูป
  3. ความหนาของคอนกรีตทับหน้า
3. ค่าการกระจายน้ำหนักลงสู่จุดกลางแผ่นพื้นแผ่นกลาง มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อค่าสติเฟเนสของแผ่นพื้นสำเร็จรูปมีค่าเพิ่มขึ้น
4. ผลการวิเคราะห์ ได้ค่าร้อยละของการกระจายน้ำหนักลงสู่จุดกลางแผ่นพื้นแผ่นกลาง ซึ่งทำให้สามารถคำนวณค่าโมเมนต์ และระยะโค้งที่จุดกลางแผ่นพื้นแผ่นกลาง ได้ทุกค่าของแรงกดหรือน้ำหนักบรรทุก โดยใช้สูตรของคานช่วงเดียว คือ โมเมนต์ =  $PL/4$  และ ค่าระยะโค้ง =  $PL / 48EI$  ดังนั้นจึงสามารถนำผลการวิเคราะห์นี้ไปคำนวณออกแบบแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปภายใต้น้ำหนักกระทำแบบจุด

### เอกสารอ้างอิง

1. Cusens, A.R., and Pama, R.P., "Distribution of Concentrated Loads on Orthotropic Bridge Decks," The Structural Engineer, Vol.47, No.9, pp.377 - 385, Sep., 1969.
2. Kirkpatrick, J., Long, A.E., and Thompson, A., "Load Distribution Characteristics of M-beam Bridge Decks," The

Structural Engineer, Vol.60B, No.2, pp.34 - 43, June, 1982.

3. Kirkpatrick, J., Long, A.E., and Thompson, A., "Load Distribution Characteristics of Spaced M-beam Bridge Decks," The Structural Engineer, Vol.62B, No.4, pp.86 - 88, Dec., 1984.
4. West, R., "Recommendations on the Use of Grillage Analysis for Slabs and Pseudo-Slab Bridge Decks," Cement and Concrete Association and CIRIA, Report 46.017, London, pp.40 - 65, 1973.
5. Hambly, E.C., Bridge Deck Behaviour, New York, John Wiley and Sons, Inc., pp.46 - 116, 1976.
6. ฉลาด รัตนเกียรติถาวร, "พฤติกรรมของแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป ภายใต้น้ำหนักกระทำแบบจุด." วิทยานิพนธ์ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, กรุงเทพฯ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 24 - 80, 2531.
7. สมศักดิ์ ต่อสกุลโรจน์ และ คณะ, "พฤติกรรมของแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปภายใต้ น้ำหนักกระทำแบบจุด." วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 18 - 40, 2532.
8. ACI Committee 318, Building Code Requirement for Reinforced Concrete, American Concrete Institute, Detroit, pp.34, 1983.
9. Wang, C.K. and Salmon, C.G., Reinforced Concrete Design, 3rd. ed., New York, Harper & Row, Publishers, Inc., pp.887-906, 1979.
10. ศุภชัย ศุภวโรภาส, "การวิเคราะห์แผ่นพื้นสำเร็จรูปโดยวิธีโครงตาข่าย ภายใต้ น้ำหนักบรรทุกแบบจุด", วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา, กรุงเทพฯ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2533.