บทที่ 5

การวิเคราะห์กำลังของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

5.1 การเสียกำลังดัดตามเวลา

ในการวิเคราะห์นี้ เรายังคงสมมติฐานเดิมทั้ง 4 ประการ ที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.1 ไว้เหมือนเดิม คือ

- พื้นที่หน้าตัดก่อนเกิดการดัดเป็นระนาบ เมื่อเกิดการดัดแล้วยังคงเป็นระนาบ
- ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงตามแนวแกนและความเครียดของเหล็กเสริมจะต้องทราบมาก่อน
- ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงตามแนวแกนและความเครียดของคอนกรีตจะต้องทราบมาก่อน
- กำลังดึงในคอนกรีตมีน้อยมาก และสามารถตัดทิ้งได้

ในการวิเคราะห์หาแรงภายในหน้าตัดคาน จะพิจารณาจากระนาบความเครียดที่ได้สมมติขึ้น เพื่อหาหน่วยแรงที่เกิดขึ้นโดยมีความเครียดนั้นๆ (Strain compatibility) แล้วใช้วิธีลองผิดลองถูก (Trial & error method) เพื่อหาระนาบความเครียดที่ถูกต้องที่ทำให้แรงภายในอยู่ในสมดุล ตามขั้นตอนที่ได้กล่าวไปแล้วในบทต้น ๆ แต่ในบทนี้จะมีผลของเวลา และการกัดกร่อนของวัสดุเข้ามาเกี่ยวข้องกับกำลังของหน้าตัด โดยที่การกัดกร่อนของวัสดุจะมีความสัมพันธ์กับเวลา เช่น อัตราการเกิดคาร์บอเนชั่น, อัตราการเกิดสนิม ส่วนตัวแปรที่มีผลกระทบของเวลาที่เกี่ยวกับกำลังของหน้าตัดตัวอื่นๆ ยังมีอีก คือ หน่วยแรงอัดสูงสุด ซึ่งผลเหล่านี้จะมีผลทำให้ค่าต่าง ๆ ที่ได้ในบทที่ 3 มีการเปลี่ยนแปลง โดยมีความสัมพันธ์กับเวลา

จากสมการที่ (2.4) และ (4.4) เราจะได้ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีต จะมีค่าเท่ากับ

$$E_c(t) = 15210\sqrt{f_c'(t)} \qquad (5.1)$$

เมื่อ $f_c'(t)$ เป็นหน่วยแรงอัดคอนกรีตที่มีความสัมพันธ์กับเวลา ดังสมการ (2.4) และ (2.5) และในขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับความเค้นของคอนกรีตยังคงเดิม หรือรูปกราฟยังคงใช้รูปเดิม แต่ค่าต่าง ๆ ภายในมีการเปลี่ยนแปลงให้สัมพันธ์กับเวลาดังนี้

เมื่อ $\varepsilon < \varepsilon_0$;

$$f_c(t) = f_c'(t)\left[\frac{2\varepsilon}{\varepsilon_0} - \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)^2\right] \tag{5.2}$$

โดยที่ $$\varepsilon_0 = 2.\frac{f_c'(t)}{E_c(t)} \tag{5.3}$$

เมื่อ $\varepsilon_0 < \varepsilon < 0.0038$;

$$f_c(t) = f_c'(t) - \frac{0.15f_c'(t)}{(0.0038-\varepsilon_0)}.(\varepsilon-\varepsilon_0) \tag{5.4}$$

ในคุณสมบัติของคอนกรีต ยังมีโมดูลัสการหักตามสมการ (4.5) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$f_r(t) = 2\sqrt{f_c'(t)} \tag{5.5}$$

สำหรับเหล็กเสริมนั้นในส่วนของความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับคามเค้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากเวลา รวมทั้งกำลังในการรับแรงดึงของเหล็กเสริมด้วย แต่เวลาจะมีผลกับหน้าตัดของเหล็กเสริม เนื่องจากการเกิดสนิมดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น ทำให้เราได้สมการ (3.18) , (3.19) และ (3.22) การที่หน้าตัดของเหล็กเสริมมีการเปลี่ยนแปลง ทำให้แรงดึงภายในหน้าตัดเนื่องจากเหล็กเสริมมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาด้วย คือ

$$T(t) = A_s(t).\frac{E_s}{\varepsilon_s} = N.A_{sc}(t).\frac{E_s}{\varepsilon_s} \tag{5.6}$$

เมื่อ N คือ จำนวนเหล็กเสริมรับแรงดึงในหน้าตัด

ส่วนอัตราการเกิดคาร์บอเนชั่น จะเกิดผลต่อหน้าตัดของคานนั้นๆ เนื่องจากในที่นี้เราจะพิจารณาว่าในส่วนคอนกรีตที่เกิดคาร์บอเนชั่นนั้น ไม่สามารถรับแรงกระทำใดๆ ได้ หรือมีหน่วยแรงอัดเป็นศูนย์ ดังนั้น การพิจารณาหน้าตัดของคานจะเป็นไปดังรูปที่ 4.6 เมื่อเรา

พิจารณาคานแบบรูปตัวที ในส่วนของปีกนั้น ความลึกของคอนกรีตปกติจะอยู่ที่ระยะจากผิวบนเท่ากับ

$$e = h - d_c(t) \tag{5.7}$$

เมื่อ h คือ ความลึกของปีกคาน ดังรูปที่ 4.6

ดังนั้น ในการเกิดแรงอัดภายในเนื่องจากคอนกรีต จะสามารถเกิดได้ 2 กรณี คือ กรณีแรก ถ้าแกนสะเทินอยู่ที่ระยะ e หรือน้อยกว่า จากผิวบนของคาน เราจะได้แรงอัด ดังนี้

$$C(t) = b.\int_0^a f_c(t)dx \tag{5.8}$$

เมื่อ b คือ ความกว้างของปีกคาน (ซม.)

a คือ ระยะจากผิวบนถึงแกนสะเทิน (ซม.)

กรณีที่สอง คือ ตำแหน่งแกนสะเทินอยู่ต่ำกว่าระยะ e จากผิวบน หรือต่ำกว่าปีกคาน เราจะได้แรงอัดภายในหน้าตัดคอนกรีต ดังนี้

$$C(t) = \left[b_w - 2.d_c(t)\right].\int_0^u f_c(t)dx + b.\int_u^a f_c(t)dx \tag{5.9}$$

เมื่อ b_w คือ ความกว้างของตัวคาน (ซม.)

u คือ ตำแหน่งที่เปลี่ยนจากคานเป็นปีกคาน ดังรูปที่ 4.6

$$u = a - e = a - h + d_c(t) \tag{5.10}$$

ในการพิจารณาโมเมนต์ดัดและความโค้งของหน้าตัดต่าง ๆ เมื่อเทียบกับเวลา เราสามารถพิจารณาได้ ดังนี้

- โมเมนต์ดัดแตกร้าว หมายถึง พื้นผิวด้านล่างของคานเริ่มต้นที่จะแตกร้าว โดยความเครียดที่ผิวล่างของคอนกรีตปกติ เป็น

$$\varepsilon_t = \frac{f_r(t)}{E_c(t)} \tag{5.11}$$

จากนั้นทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธีลองผิดลองถูก เพื่อหาระยะ a ที่ทำให้เกิดสมดุลในหน้าตัด โดยที่ T หาได้จากสมการ (5.6) และ C หาได้จากสมการ (5.8) หรือ (5.9)

จากนั้น หาตำแหน่งที่แรงอัดกระทำในหน้าตัด ดังสมการ

เมื่อ a<e ; $$\bar{y} = b.\frac{\int_0^a f_c(t).xdx}{C(t)} \quad (5.12)$$

a>e ; $$\bar{y} = \frac{\left[b_w - 2d_c(t)\right]\int_0^u f_c(t).xdx + b.\int_u^a f_c(t).xdx}{C(t)} \quad (5.13)$$

เมื่อ $\bar{y}$ คือ ระยะที่แรงอัดกระทำ เป็นระยะ $\bar{y}$ จากแกนสะเทิน (ซม.)

ดังนั้น

$$M_{cr}(t) = T(t).(d - a + \bar{y}) \quad (5.14)$$

$$\xi_{cr}(t) = \frac{\varepsilon_t}{\left[h_1 - d_c(t) - a\right]} = \frac{\varepsilon_c}{a} \quad (5.15)$$

- คอนกรีตใต้แกนสะเทินร้าวบางส่วน ในที่นี้เราสมมติให้ ε_s = 0.001 แล้วสมมติระนาบของหน้าตัดที่เกิดการดัดขึ้นมา จากนั้นจึงพิจารณาหน่วยแรงที่เกิดจากความเครียดที่ได้จากระนาบที่สมมตินั้นแล้วใช้วิธีลองผิดลองถูกจนหน้าตัดมีความสมดุลของแรงภายใน จะได้ค่า ε_c จากสมการ (4.11) และ $M(t)$ และ $\xi(t)$ จากสมการ (4.15) และ (4.16) ตามลำดับ

- เหล็กเสริมถึงจุดคลาก ที่หน้าตัดนี้ ความเครียดเหล็กเสริมจะมีค่าเท่ากับ $\varepsilon_s = \varepsilon_y$ ดังนั้น กำลังดึงของเหล็กเสริมจะมีค่าที่จุดคลาก คือ f_y เรายังคงใช้วิธีลองผิดลองถูกเช่นเดิม โดยที่แรงดึงของเหล็กในหน้าตัด มีค่าเท่ากับ

$$T(t) = A_{sc}(t).f_y \quad (5.16)$$

เมื่อเราได้ค่า a ที่ทำให้หน้าตัดเกิดการสมดุลของแรงภายในแล้ว โมเมนต์ดัดและความโค้งที่จุดคลากจะหาได้จากสมการ (4.15) และ (4.16) ตามลำดับ

- กำลังดัดสูงสุดของหน้าตัด ยังคงใช้มาตรฐาน ACI เช่นเดียวกับการพิจารณาในหัวข้อที่ 4.1.3 คือ เหล็กเสริมรับแรงดึงจะถึงจุดคลาก และให้ความเครียดที่ผิวบนของคอนกรีตเท่ากับ 0.003 ที่สภาวะประลัยจาก ε_c = 0.003 เราจะได้ค่า ε ที่จุดใดๆ จากความสัมพันธ์ของสามเหลี่ยมคล้ายดังนี้

$$\varepsilon = 0.003\frac{x}{a} \qquad (5.17)$$

และทำการลองผิดลองถูก โดยหาค่า $T(t)$ จาก (5.16) และค่า $C(t)$ จาก (5.8) หรือ (5.9) เมื่อเราได้ระนาบที่ถูกต้อง เราจะได้ $M_n(t)$ จากสมการ (4.21) และ $\xi_n(t)$ จากสมการ (4.22)

ผลของกำลังรับแรงดัดในแต่ละชิ้นส่วนโครงสร้างดังรูปที่ 5.14 ถึง 5.17 มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราการเพิ่มของกำลังอัดของคอนกรีต เพิ่มขึ้นเร็วในเวลาต้น ๆ ในขณะที่อัตราการเกิดคาร์บอเนชั่นและอัตราการเกิดสนิมเริ่มเกิดได้เพียงเล็กน้อย ทำให้แกนสะเทินเลื่อนสูงขึ้นและโมเมนต์มีค่ามากขึ้น แต่ที่ระยะเวลานานค่ากำลังรับแรงดัดจะมีค่าลดลงเนื่องจากกำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตเริ่มมีค่าคงที่ ในขณะที่การเกิดคาร์บอเนชั่นและการเกิดสนิมเกิดในอัตราที่ค่อนข้างสูง ทำให้แรงดึงและแรงอัดในหน้าตัดคานมีค่าลดลงส่งผลให้โมเมนต์ดัดของหน้าตัดมีค่าลดลง ผลที่ได้พบว่า ในคานเก่าเมื่อมีน้ำหนักบรรทุกแบบ HS-20 กระทำ ทำให้มีการแตกร้าวซึ่งส่งผลให้มีอัตราการเกิดสนิมที่เร็ว ทำให้กำลังของโครงสร้างลดลงในอัตราที่ค่อนข้างเร็ว และจะมีค่าถึงโมเมนต์เนื่องจากน้ำหนักใช้งานคือ 110 ตัน-เมตร ที่อายุของสะพานกษัตริย์ศึกเท่ากับ 140 ปี ขณะที่ปัจจุบันมีกำลังรับแรงดัดเท่ากับ 130 ตัน-เมตร ลดลงจากค่าเริ่มต้นประมาณ 15% และมีค่าความปลอดภัยประมาณ 1.2 เป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ และพบว่าคานที่เป็นแบบรูปตัวทีและมีการป้องกันผิวบนของคานจะมีอัตราการเสียกำลังน้อยกว่า คานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าทั่วไป เพราะว่าคานรูปตัวที เกิดแรงอัดในเนื้อคอนกรีตแต่เฉพาะปีกคานด้านบน แกนสะเทินมีค่าน้อยกว่าความหนาของปีคานทำให้ความลึกคาร์บอเนชั่นไม่มีผลต่อแรงอัดในเนื้อคอนกรีต แต่จะมีผลเพียงการเกิดสนิมเท่านั้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 การเสียกำลังเฉือนตามเวลา

ตามมาตรฐาน ACI ได้กำหนดหน่วยแรงเฉือนไว้ดังสมการ (4.23) แต่ในกรณีนี้มีการพิจารณาถึงผลกระทบเนื่องจากเวลา ทำให้เราได้ค่าหน่วยแรงเฉือน เท่ากับ

$$v_c = 0.53\sqrt{f_c'(t)} \qquad (5.18)$$

ในส่วนกำลังรับแรงเฉือนเนื่องจากคอนกรีต เมื่อเราได้หน่วยแรงเฉือนดังสมการ (5.18) และมีผลกระทบของการเกิดคาร์บอเนชั่นดังรูปที่ 4.5 แล้ว กำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีต จะมีค่าเท่ากับ

$$V_c = 0.53\sqrt{f_c'(t)}.[b_w - 2d_c(t)].d \qquad (5.19)$$

กำลังรับแรงเฉือนเนื่องจากเหล็กเสริมตามขวาง จะได้จากสมการ (4.29) โดยพิจารณาให้อยู่ในรูปความสัมพันธ์กับเวลา ได้ดังนี้

$$V_s = \frac{A_v(t).f_y.d}{s} \qquad (5.20)$$

$A_v(t)$ คือ หน้าตัดของเหล็กเสริมตามขวางภายในระยะ s ที่มีความสัมพันธ์กับเวลา เนื่องจากอัตราการเกิดสนิม จะทำให้หน้าตัดเหล็กลดลงเมื่อเวลาผ่านไป หาได้จากสมการ (3.18), (3.19) และ (3.22)

เมื่อ $V_u = V_c + V_s$

$$V_u = 0.53\sqrt{f_c'(t)}.[b_w - 2d_c(t)].d + \frac{A_v(t).f_y.d}{s} \qquad (5.21)$$

ถ้าในกรณีที่คาร์บอเนชั่นยังไม่เกิดเกินระยะของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กไว้นั้น เราสามารถใช้สมการ (5.21) ในการหากำลังเฉือนของหน้าตัดได้ แต่ถ้าความลึกคาร์บอเนชั่นเกินระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก เราจะหากำลังเฉือนของหน้าตัดได้จาก

$$V_u = 0.53\sqrt{f_c'(t)}.[b_w - 2d_c(t)].[h_1 - d_c(t)] + \frac{A_v(t).f_y.d}{s} \qquad (5.22)$$

เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดประสิทธิผลมีค่าลดลง เพราะการเกิดคาร์บอเนชั่น กำลังรับแรงเฉือนให้ผลที่มีลักษณะคล้ายกับกำลังรับแรงดัด คือ มีกำลังเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาต้น ๆ และมีค่าลดลงเมื่อเวลาผ่านไปเป็นเวลานาน เนื่องจากสาเหตุเดียวกัน กำลังรับแรงเฉือนดังรูปที่ 5.23 ถึง 5.24 ที่อายุ 65 ปีจะมีค่าเท่ากับ 43 ตัน มีค่าลดลงประมาณ 15%

5.3 การเสียกำลังอัดตามเวลา

ในการเกิดคาร์บอเนชั่นในเนื้อคอนกรีตนั้น ทำให้พื้นที่ประสิทธิผลมีค่าลดลง อย่างในกรณีของเราหน้าตัดสี่เหลี่ยมนั้น เดิมมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ A_g หรือ w x l (กว้างxยาว) แต่เมื่อเกิดคาร์บอเนชั่นในเนื้อคอนกรีต ทำให้ความกว้างและความยาวมีค่าน้อยลง ส่งผลให้พื้นที่ประสิทธิผล มีค่า ดังนี้

$$A_g(t) = [\, w - 2d_c(t) \,].[\, l-2d_c(t) \,] \qquad (5.23)$$

เมื่อพิจารณาถึงกำลังรับแรงอัดดังสมการ (4.31) โดยคำนึงถึงผลกระทบจากการเกิดคาร์บอเนตและการเกิดสนิมนั้น เราจะหากำลังรับแรงอัดได้ใหม่ ดังสมการ

$$P_0(t) = 0.85f_c'(t)[\, A_g(t) - A_{st} \,] + A_{sc}(t).f_y \qquad (5.24)$$

เมื่อ $A_g(t)$ คือ หน้าตัดคอนกรีตที่ลดลงตามเวลา เนื่องจากคาร์บอเนต

A_{st} คือ พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมตั้งแต่เริ่มต้น

$A_{sc}(t)$ คือ พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมที่สัมพันธ์กับเวลา เนื่องจากอัตราการเกิดสนิม

กำลังรับแรงอัดให้ผลที่มีลักษณะคล้ายกับกำลังรับแรงดัด และกำลังรับแรงเฉือน คือ มีกำลังเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาต้น ๆ และมีค่าลดลงเมื่อเวลาผ่านไปเป็นเวลานาน เนื่องจากอัตราการเพิ่มกำลังประลัยของคอนกรีตมีอัตราสูงในช่วงเวลาแรก ทำให้มีผลต่อกำลังอัดมากกว่าการเสียหน้าตัดเนื่องจากคาร์บอเนต และการที่คอนกรีตในเสาไม่มีการรับแรงดึง ทำให้เสาไม่เกิดรอยแตกร้าวส่งผลให้อัตราการเกิดสนิมเกิดเนื่องจากการเกิดคาร์บอเนตเท่านั้น โดยไม่มีผลการเกิดสนิมเนื่องจากรอยแตกร้าว ดังนั้น อัตราการเกิดสนิมจะมีอัตราที่ต่ำกว่ากำลังรับแรงดัด ทำให้การเสียกำลังอัดในช่วงเวลาเริ่มต้นขึ้นอยู่กับการเสียหน้าตัดเป็นส่วนใหญ่ จะเห็นได้ว่า กำลังรับแรงอัดจะมีค่าการสูญเสียน้อยที่สุดในส่วนของกำลังโครงสร้าง ดังรูปที่ 5.25 ถึง 5.26 ที่อายุ 65 ปี ผลการพยากรณ์ได้ว่า กำลังรับแรงอัดของเสามีค่าเท่ากับ 1200 ตัน มีค่าลดลงจากค่าสูงสุดประมาณ 10%

5.4 การแอ่นตัวกับเวลา

ในการหาค่าการแอ่นตัวนั้น โดยหลักใหญ่หาได้จากความแข็งแกร่งของโครงสร้างหรือโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดนั่นเอง ซึ่งโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดนี้หาได้จากความกว้างและความลึกของหน้าตัดนั้นๆ แต่ในขณะเดียวกัน หน้าตัดจะมีขนาดลดลงเนื่องจาก การเกิดคาร์บอเนชั่น และโมดูลัสของหน้าตัดนั้นมีส่วนสัมพันธ์กับเวลาเช่นกัน ดังนั้นการแอ่นตัวของคานก็จะเป็นฟังก์ชั่นของเวลาเช่นกัน โดยค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดหาได้จาก

$$y = \frac{b.\left(h - d_c(t)\right)^2 / 2 + (b_w - 2d_c(t)).(h_1 - h).\left[(h_1 - h)/2 + h - d_c(t)\right]}{\left[b.\left(h - d_c\right) + \left(b_w - 2d_c(t)\right).\left(h_1 - h\right)\right]} \qquad (5.25)$$

$$I(t)=\frac{b.\left(h-d_c(t)\right)^3}{12}+b\left(h-d_c\right).\left(y-\frac{h-d_c}{2}\right)^2$$
$$+\frac{\left(b_w-2d_c(t)\right).\left(h_1-h\right)^3}{12}+\left(b_w-2d_c(t)\right).\left(h_1-h\right).\left[\frac{h_1-h}{2}+h-d_c(t)-y\right] \quad (5.26)$$

เมื่อได้ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดเทียบกับเวลาแล้ว เราจะได้ค่าโมเมนต์ของความเฉื่อยประสิทธิผล,$I_e(t)$,ของพื้นที่หน้าตัด โดยแทนค่า I(t) แทน I_g ในสมการ (4.34) ดังนี้

$$I_e(t)=\left(\frac{M_{cr}}{M_{max}}\right)^3.I(t)+\left[1-\left(\frac{M_{cr}}{M_{max}}\right)^3\right].I_{ct} \leq I(t) \quad (5.27)$$

จากการวิเคราะห์โครงสร้าง หาค่าการแอ่นตัวเนื่องจากน้ำหนักกระทำ ในที่นี้พิจารณาน้ำหนักกระทำตามมาตรฐาน AASHO ได้ค่าการแอ่นตัว

จากการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีงานสมมติ ได้ค่าการแอ่นตัวที่กึ่งกลางคานเนื่องจากน้ำหนักกระทำเป็นจุดดังต่อไปนี้

เมื่อ $x < L/2$;

$$w=\frac{P}{48E(t).I(t)}.x.(6L^2-16x^2) \quad (5.28)$$

รวมกับค่าการแอ่นตัวเนื่องจากน้ำหนักจร

$$w=\frac{5qL^4}{384.E(t).I(t)} \quad (5.29)$$

โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจะมีการแอ่นตัวเนื่องจากน้ำหนักกระทำ และมีผลกระทบจาก ความแข็งเกร็งของชิ้นส่วนโครงสร้างเป็นสำคัญ จากการศึกษาเบื้องต้นที่ผ่านมา เห็นได้ว่า ความแข็งเกร็งของโครงสร้างมีค่าลดลง เนื่องจากหน้าตัดเกิดรอยร้าว และมีการเกิดคาร์บอเนชั่นในคอนกรีต ทำให้หน้าตัดประสิทธิผลของชิ้นส่วนโครงสร้างมีค่าลดลงแปรผกผันกับเวลา หรือ เมื่อโครงสร้างคอนกรีตมีอายุการใช้งานมาก จะทำให้ความแข็งเกร็งของชิ้นส่วนโครงสร้างลดลง และส่งผลให้การแอ่นตัวของชิ้นส่วนโครงสร้างมีค่าเพิ่มขึ้น ดังจะเห็นได้จากตารางที่ 5.5 และ 5.6 และจากรูปที่ 5.29 และ 5.30 การแอ่นตัวของชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.97 ซม. เป็น 1.89 ซม. ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 100 %