



## สัมประสิทธิ์ความขรุขระของคูส่งน้ำผ้าใบคอนกรีต

### Roughness Coefficient of Concrete Fabric Ditch

อรอุมา ปัญจมาศ<sup>1</sup>, สุดทิว วานิชจรศักดิ์<sup>1</sup>, ศิริพรรณ จามรมาน<sup>1</sup> และ สมชาย ดอนเจดีย์<sup>1,\*</sup>

Aornuma Panjamas<sup>1</sup>, Sudtawee Wanitjaratkit<sup>1</sup>, Siriphan Jamornman<sup>1</sup> and Somchai Donjadee<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน, คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, จ.นครปฐม, 73140

<sup>1</sup>Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsarn, Kasetsart University – Kamphaengsarn Campus, Nakhon Pathom, 73140

\*Corresponding author: e-mail: [fengscd@ku.ac.th](mailto:fengscd@ku.ac.th)

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่งของคูผ้าใบคอนกรีต โดยการสร้างคูส่งน้ำหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ที่มีความกว้างก้นคลอง 0.35 m ความลาดชันด้านข้าง 2:1 (ตั้ง: ราบ) ยาว 38 m ความลาดชันท้องคู 1:200 ผ้าใบคอนกรีตถูกนำมาปูทับผิวหน้าแบบซ้อนทับกัน 10 cm ทุกระยะ 1 m ในการทดลองนี้ได้ใช้อัตราการไหล 25 ค่า แปรผันตั้งแต่ 8.43 - 44.10 L s<sup>-1</sup> จากการศึกษาพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.017 - 0.025 โดยเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่งลดลง โดยค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบขนาดหน้าตัดของทางน้ำที่ปูด้วยผ้าใบคอนกรีตอื่นต่อไป

คำสำคัญ: ผ้าใบคอนกรีต, สัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่ง, คูส่งน้ำ

#### Abstract

This research was conducted to estimate the roughness coefficient of Manning's (n) of concrete fabric. The concrete fabric ditch was constructed in the irrigation laboratory with a trapezoidal section. The cross section is the bottom width 0.35 m, side slope 2:1 (vertical: horizontal), length 38 m, bottom slope 1: 200. Concrete fabric is paved over the surface by overlay every 1 m with the overlay width is 10 cm. The flow rate was 25 variable ranging from 8.43 - 44.10 L s<sup>-1</sup>. The results of the experimental study were presented and shown that the roughness coefficient decrease as the discharge increase. The value of the roughness coefficient (n) was between 0.017 - 0.025. This coefficient is useful for the design of the cross-sectional size of the open channel flow that is paved with concrete fabric.

Keywords: Concrete fabric, Manning's roughness coefficient, Farm ditch

#### 1 บทนำ

คูส่งน้ำ (Farm ditch) เป็นระบบส่งน้ำลำดับสุดท้ายที่รับน้ำจากคลองซอย (Lateral) หรือ คลองแยกซอย (Sub-lateral) ผ่านท่อส่งน้ำเข้านา (Farm turnout) ไปให้กับพื้นที่เพาะปลูกที่อยู่ห่างจากคลองส่งน้ำ ทำให้สามารถควบคุมน้ำได้อย่างมี

ประสิทธิภาพยิ่งขึ้น กล่าวคือหากไม่มีคูส่งน้ำ การส่งน้ำไปยังแปลงนาที่ไกลออกไปต้องส่งผ่านแปลงนาลำดับที่ใกล้กับคลองส่งน้ำก่อนทำให้มีการสูญเสียอย่างมาก คูส่งน้ำที่กรมชลประทานสร้างให้เกษตรกรนั้นมีสองแบบคือ คูคอนกรีตกับคูดิน คูส่งน้ำจะมีประสิทธิภาพอย่างสูงหากไม่มีการสูญเสียเนื่องจากการรั่วซึมเลย อย่างไรก็ตามหากคูส่งน้ำที่สร้างขึ้นเป็นคูดินจะต้องมีการ

รั่วซึมของน้ำผ่านชั้นดินอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ปริมาณการรั่วซึมจะขึ้นอยู่กับชนิดของดิน โดยหากเป็นดินที่มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำสูงเช่นดินทราย นอกจากนี้หากคูส่งน้ำมีความยาวมากปริมาณการสูญเสียน้ำก็จะมากด้วย ทั้งนี้ปัญหาที่มักพบของคูดินคือการกัดเซาะและวัชพืชที่ขึ้นในคูส่งน้ำดังกล่าว ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการส่งน้ำของคูส่งน้ำลดลง การแก้ปัญหาดังกล่าวนั้นจำเป็นต้องคาดผิวคูส่งน้ำด้วยคอนกรีต เนื่องจากงบประมาณที่จำกัด หน่วยงานของรัฐจึงไม่สามารถสร้างคูคอนกรีตได้ทั้งหมด การแก้ปัญหาดังกล่าวจำเป็นต้องหาวัสดุที่มีราคาถูกลงและมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งน้อย เช่น การใช้พลาสติก PE ปูใบบนของคูส่งน้ำซึ่งเป็นวิธีที่ติดตั้งได้ง่ายและรวดเร็ว อย่างไรก็ตามพลาสติก PE ก็มีข้อจำกัดเนื่องจากอายุการใช้งานสั้นและไม่สามารถทนต่อการฉีกขาดได้ ดังนั้นถึงแม้ว่าการใช้พลาสติก PE จะเป็นวิธีที่มีต้นทุนต่ำหากต้องเปลี่ยนบ่อย ๆ ต้นทุนก็จะสูงขึ้นเมื่อเทียบกับอายุการใช้งานของคูส่งน้ำ ปัจจุบันมีวัสดุชนิดใหม่ที่มีการใช้งานเหมือนพลาสติก PE แต่มีความทนทานเหมือนคอนกรีต นั่นคือผ้าใบคอนกรีต (Concrete fabric) แสดงการใช้ในงานชลประทานดัง Figure 1 ซึ่งผ้าใบคอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างชนิดใหม่ที่เรียกว่า Geosynthetic Cementitious Composite Mats (GCCM) ประกอบไปด้วยปูนซีเมนต์ที่อยู่ในชั้นกลางระหว่างชั้นของเส้นใยสังเคราะห์และวัสดุกันน้ำ โดยที่ผ้าใบคอนกรีตมีคุณสมบัติยืดหยุ่นสูง (Crawford, 2008 and Canvas, 2016) สามารถพับเป็นม้วนทำให้สะดวกต่อการขนส่งและเก็บรักษา เมื่อทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) ระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์ที่อยู่ในชั้นกลางของผ้าใบคอนกรีต จะทำให้ผ้าใบคอนกรีตคงรูปและมีคุณสมบัติที่กันน้ำและทนไฟได้ (Howard, 2013) บริษัทสยามวิจัยและนวัตกรรม จำกัด ในเครือบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) ได้ทำการวิจัยและพัฒนาผ้าใบคอนกรีต ซึ่งเป็นวัสดุสำเร็จรูปคล้ายผ้าที่สามารถตัดและตัดให้มีลักษณะตามความต้องการในการใช้งาน ทำให้ช่างตัวได้โดยการฉีดพ่นน้ำ (Donjatee et al., 2016) ผ้าใบคอนกรีตจึงมีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ ข้อดีที่สำคัญของการใช้ผ้าใบคอนกรีตเป็นวัสดุในการก่อสร้างคือช่วยลดขั้นตอนและระยะเวลาในการก่อสร้างลงได้มาก ผ้าใบคอนกรีตจะเริ่มแข็งตัวเมื่อฉีดน้ำผ่านไป 2 ชั่วโมงและแข็งตัวเป็นแผ่นคอนกรีตที่แข็งแรงภายใน 24 ชั่วโมง (Donjatee et al., 2016) ดังนั้นการนำผ้าใบคอนกรีตมาใช้คาดผิวคูส่งน้ำจึงเป็นทางเลือกที่ดี เนื่องจากติดตั้งได้สะดวกและรวดเร็วคล้ายการติดตั้งพลาสติก PE แต่มีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าและมีราคาต่อหน่วยถูกกว่าการใช้คอนกรีต

อย่างไรก็ตามการออกแบบขนาดคูส่งน้ำตัวแปรที่สำคัญมากสำหรับใช้หาหน้าตัดของคูส่งน้ำเมื่อทราบปริมาณอัตราการไหลคือสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่ง และเนื่องจากผ้าใบคอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างชนิดใหม่ จึงยังไม่มีผู้วิจัยท่านใดศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่ง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาเพื่อหาสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่ง เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาขนาดหน้าตัดของคูส่งน้ำต่อไป



Figure 1 Farm ditch lining with concrete fabric

## 2 อุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 การเตรียมแบบจำลองคูส่งน้ำ

ร่างทดลองในแปลงวิจัยของภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน เป็นหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 1.2 m สูง 1.2 m ความยาวราง 38 m ดัง Figure 2a ถูกนำมาดัดแปลงให้เป็นคูส่งน้ำตามแบบมาตรฐานของกรมชลประทาน ตามแบบหมายเลข 06-01-001 คูส่งน้ำตามแบบมาตรฐานของกรมชลประทานเป็นคูหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมูที่มีความกว้างก้นคลองตั้งแต่ 20 cm ถึง 60 cm โดยมีอัตราการไหลออกแบบมากที่สุด ตั้งแต่  $0.03 - 0.18 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  ขึ้นอยู่กับชนิดของคูส่งน้ำ ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้ได้จำลองคูดินที่มีหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมูที่มีความกว้าง 0.35 m มีความลาดชันด้านข้าง 2:1 (ตั้ง:ราบ) สูง 70 cm ความลาดชันท้องราง 1:200 ยาว 38 m จากนั้นผ้าใบคอนกรีตขนาดความกว้าง 1 m ถูกนำมาปูทับบนผิวดินตลอดความยาว 38 m (Figure 2b) และได้ทำการกำหนดจุดตรวจวัดความลึกการไหลของน้ำ จำนวน 2 ตำแหน่งตลอดความยาวของคูผ้าใบ (Figure 2c) จากนั้นดำเนินการตรวจสอบความลาดชันท้องคูด้วยกล้องวัดระดับและตรวจสอบขนาดหน้าตัดการไหลทั้ง 2 ตำแหน่งที่ได้ติดตั้งเครื่องมีวัดความลึกการไหลไว้

## 2.2 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองได้ดำเนินการเปิดเครื่องสูบน้ำเข้าสู่คูผ้าใบตามอัตราการไหลที่กำหนด อัตราการไหลจะถูกตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบสนามแม่เหล็ก (Electromagnetic flow meter) ในการทดลองนี้ได้ทำการทดลองด้วยอัตราการไหลทั้งหมด 25 ค่าซึ่งมีค่าแปรผันตั้งแต่ 8.43 - 44.10 L s<sup>-1</sup> รอกจนกระทั่งการไหลของน้ำในคูผ้าใบมีสถานะการไหลเป็นแบบคงที่ (Steady flow) จากนั้นทำการตรวจวัดระดับน้ำที่ติดตั้งจุดตรวจวัดความลึกการไหลของน้ำทั้ง 2 ตำแหน่ง



Figure 2a Experimental flume



Figure 2b Building up simulative ditch by clay and lining with concrete fabric

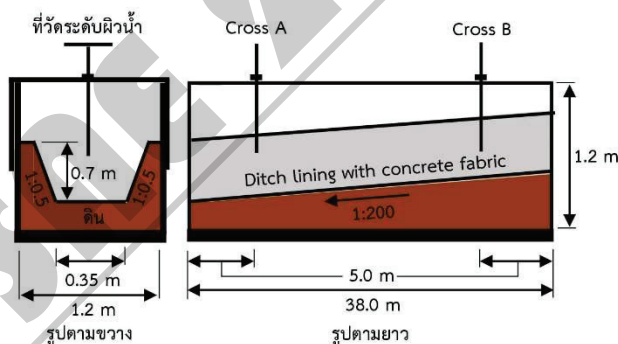


Figure 2c Installation of water depth meter

## 2.3 การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ

การคำนวณการตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่ง จะได้ประยุกต์ใช้สมการของ Robert Manning ซึ่งเป็น

สมการที่ได้รับการยอมรับและเป็นที่ยอมรับในการนำมาใช้ออกแบบหน้าตัดการไหล ดังสมการที่ 1

$$n = \frac{A^{5/3} S^{1/2}}{QP^{2/3}} \quad (1)$$

เมื่อ n คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่ง Q คือ อัตราการไหลของน้ำ (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>) A คือพื้นที่หน้าตัดการไหลเฉลี่ย (m<sup>2</sup>) P คือเส้นขอบเปียกเฉลี่ย (m) S คือ ความลาดชันของผิวน้ำ

## 3 ผลและวิจารณ์

การทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่งของคูผ้าใบคอนกรีต โดยทดลองกับคูผ้าใบรูปสี่เหลี่ยมคางหมูที่มีความกว้างก้นคลอง 0.35 m และความลาดเทด้านข้าง 2:1 (ตั้งราบ) ที่อัตราการไหลทดสอบ 25 ค่าตั้งแต่ตั้งแต่ 8.43 - 44.10 L s<sup>-1</sup> จากการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่งมีค่าตั้งแต่ 0.017 - 0.025 แสดงดัง Figure 3

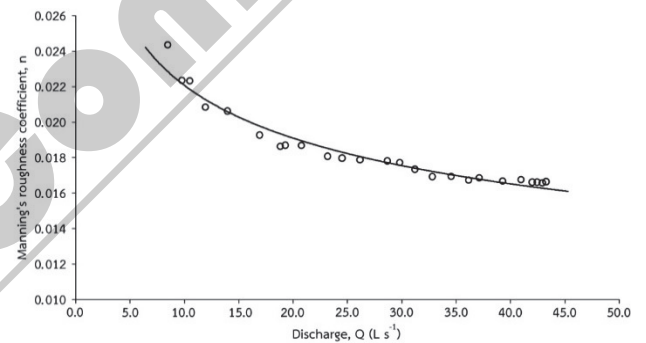


Figure 3 Manning's roughness coefficient of concrete fabric and discharge

จาก Figure 3 แสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่งมีค่าลดลงเมื่ออัตราการไหลมีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่า n = 0.025 ที่อัตราการไหล 8.43 L s<sup>-1</sup> และลดลงค่อนข้างรวดเร็วมาอยู่ที่ 0.02 ที่อัตราการไหล 16 L s<sup>-1</sup> หลังจากนั้นจะมีค่าค่อย ๆ ลดลงมาอยู่ที่ 0.018 ที่อัตราการไหล 30 L s<sup>-1</sup> และลดลงน้อยมาจนเกือบเข้าใกล้ค่าคงที่ที่ n = 0.017 เมื่ออัตราการไหลมากกว่า 40 L s<sup>-1</sup> ซึ่งมีความสอดคล้องกับนักวิจัยหลายท่าน (Lau and Afshar, 2005; Kopecki et al., 2017; Chang et al., 2010) ที่กล่าวว่า ค่า n จะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลลดลงเนื่องจาก เมื่ออัตราการไหลลดลงจะทำให้ระดับน้ำลดลงด้วยเพราะในขณะที่ระดับน้ำในทางน้ำธรรมชาติลดลงมาก ๆ อิทธิพลของความไม่สม่ำเสมอของท้องน้ำจะเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้ค่า n เพิ่มขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของน้ำกับค่า n แสดงดัง Figure 4

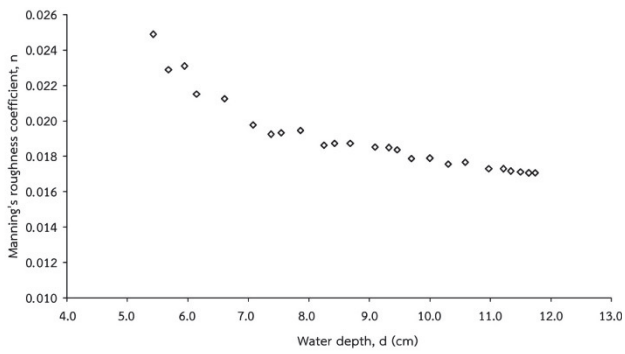


Figure 4 Manning's roughness coefficient of concrete fabric and water depth

จาก Figure 4 แสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่งมีค่าลดลงเมื่อความลึกการไหลมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่งมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วจากค่า  $n = 0.025$  ที่ความลึกการไหล 5.4 cm จนเหลือ 0.019 ที่ความลึกการไหล 7 cm และค่อย ๆ ลดลงที่ละน้อยเมื่อความลึกการไหลเพิ่มขึ้น จากการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่งที่สูงมากในช่วงที่มีความลึกการไหลน้อย ๆ เป็นผลที่เกิดจากรอยเชื่อมต่อแผ่นผ้าใบคอนกรีต ซึ่งการเชื่อมต่อผ้าใบคอนกรีตจะต้องทำการซ้อนทับทำให้เกิดรอยนูนประมาณ 1.2 cm ทุกๆระยะ 1 m ซึ่งรอยนูนนี้จะทำให้ท้องน้ำและตลิ่งด้านข้างไม่มีความราบเรียบส่งผลให้ค่า  $n$  มีค่าสูงขึ้นโดยเฉพาะการไหลที่มีความลึกน้อย ๆ ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระสำหรับงานวิจัยนี้จึงเป็นค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของผ้าใบคอนกรีตที่ทำการเชื่อมต่อแบบซ้อนทับจนทำให้เกิดรอยนูนประมาณ 1.2 cm ทุกๆระยะ 1 m อย่างไรก็ตามหากทำการติดตั้งผ้าใบคอนกรีตในรูปแบบอื่นจะต้องคำนึงถึงลักษณะการต่อผ้าใบด้วย

#### 4 สรุป

ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของผ้าใบคอนกรีตหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมูที่มีความกว้างก้นคู 0.35 m ความลาดชันด้านข้าง 2:1 มีค่าอยู่ระหว่าง 0.025 - 0.017 สำหรับอัตราการ 8.43 - 44.10 L s<sup>-1</sup> โดยเมื่ออัตราการไหลหรือความลึกการไหลเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า  $n$  มีค่าลดลง โดยการต่อทาบแบบซ้อนทับจะส่งผลให้ผิวของผ้าใบไม่มีความราบเรียบ มีอิทธิพลทำให้ค่า  $n$  สูงขึ้นเมื่อความลึกการไหลมีค่าน้อย เนื่องจากผ้าใบคอนกรีตเป็นวัสดุที่ไม่แข็งตัวถาวรกล่าวคือสามารถปรับสภาพให้เป็นไปตามพื้นผิว ดังนั้นหน้าตัดของผ้าใบจะไม่สม่ำเสมอเท่ากันตลอดความยาว หากผ้าใบคอนกรีตถูกนำไปปูกับคูส่งน้ำที่ขุดขึ้นมีหน้าตัดไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นการศึกษาต่อไปควรจะพิจารณาอิทธิพลของความไม่สม่ำเสมอของหน้าตัดคูส่งน้ำผ้าใบคอนกรีต และควรทำ

การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่งกรณีที่ไม่มีอิทธิพลของการต่อผ้าใบ

#### 5 กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท สยามวิจัยและนวัตกรรม จำกัด ในเครือบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) ที่สนับสนุนผลิตภัณฑ์สำหรับการวิจัย และภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน ที่อนุเคราะห์เครื่องมืออุปกรณ์ งบประมาณ และสถานที่ในการศึกษาวิจัย

#### 6 กิตติกรรมประกาศ

W. Crawford, 2008. Concrete cloth- Flexible fibrous cement. Concrete (London), 42, pp. 15-16

Concrete Canvas, 2016. Concrete Impregnated Fabric, <http://www.concretecanvas.com/media-and-literature/>. Accessed on 20th April 2016.

B. C. Howard. (2013). "Behind the Viral Sensation: Concrete Canvas Goes Beyond Fast- Deploying Shelters." Available on: <http://voices.nationalgeographic.com/2013/03/20/concrete-canvas-goes-beyond-fast-deploying-shelters/>, 2013.

Somchai Donjadee, Nitirach Sanguanduan, Chirakarn Sirivitmaitrie. 2016. Study and research how to use concrete fabric for irrigation and flood protection. Department of irrigation engineering, Kasetsart University, Nakhon Pathom (in Thai)

T.W.Lau, and N.R. Afshar., 2005. Effect of roughness on discharge UNIMAS e-Journal of civil engineering 4(3)

Ianina Kopecki, Matthias Schneider, Jeffrey A. Tuhtan, 2017. Depth-dependent hydraulic roughness and its impact on the assessment of hydropeaking, Science of The Total Environment, 575, P 1597-1605.

Te-Hsing Chang, Shen-Ting Huang, Shinne Chen, Jun-Cheng Lai. 2010. Estimation of Manning roughness coefficients on precast ecological concrete blocks. Journal of marine science and technology, 18(2), pp.308-316.