

การหาแรงต้านของดินสำหรับไถดินตามชนิดขาโค้งด้วยโปรแกรมทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ
Determinations of Drag Force of Soil on the Subsoiler Type Curved Leg Using Computational
Fluid Dynamics Programme

เกรียงไกร rayanasuk^{1*}, สามารต บุนยอร¹
Kriengkrai Rayanasuk^{1*}, Samart Bun-art¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร, สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 30000

¹School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand

*Corresponding author: Tel: +66-8-1282-7089, E-mail: d5540235@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อหาแรงต้านของดินผ่านไถดินตามชนิดขาโค้งจำนวน 3 แบบ โดยใช้โปรแกรมทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ 1.02 m s^{-1} ความหนาแน่นมวลรวมสภาพแห้งของดินเฉลี่ย 1.45 g cm^{-3} ความชื้นของดิน 13.62 %db ความเค้นเฉือนของดิน 16.38 kPa ความหนืดเฉือนของดิน 991.48 Pa s และความต้านทานการแทงทะลุดิน 2.0 MPa วิเคราะห์บนพื้นฐานการไหลแบบราบเรียบ ผลการศึกษา พบว่า การจำลองทำให้เข้าใจแรงต้านของดินที่กระทำกับไถดินตามชนิดขาโค้งทั้ง 3 แบบ แรงเฉือนสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณด้านหน้าของขาไถดินตาม แรงต้านรวมที่กระทำกับไถดินตามแบบที่ 1, 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 3,230.31, 3,420.66 และ 3,069.31 N ตามลำดับ นอกจากนี้ สามารถนำไปปรับใช้กับการออกแบบรูปทรงไถดินตามชนิดขาโค้งให้มีความเหมาะสมขึ้น เพื่อช่วยลดแรงต้าน นำไปสู่การประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงได้มากขึ้น

คำสำคัญ: ไถดินตาม, แรงต้าน, พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

Abstract

The objective of this research was to determine drag force of soil on 3 subsoilers curved leg using computational fluid dynamics programme at forward speed of 1.02 m s^{-1} , soil dry bulk density of 1.45 g cm^{-3} , soil moisture content of 13.62 %db, soil shear stress of 16.38 kPa, soil viscosity of 991.48 Pa s and cone penetration resistance of 2.0 MPa. The analysis based on laminar flow. The results show that, simulations help understand drag force of soil acts on subsoiler and maximum shear stress of 3 models were on front edge of subsoiler models. Thus, model type 1, 2 and 3 total drag were 3,230.31, 3,420.66 and 3,069.31 N respective. Furthermore, these can improve subsoiler type curved leg shape design to decrease drag force and lead to save fuel.

Keywords: Subsoiler, Drag force, Computational fluid dynamics

1 บทนำ

การไถเตรียมดินเพื่อปลูกพืชในปัจจุบัน อุปกรณ์ที่เกษตรกรนิยมใช้โดยทั่วไป ประกอบด้วย ฝาลูกเบิก 3 จาน ฝาลูกเบิก 4 จาน และฝาลูพรวน 7 จาน การไถพรวนดินมากครั้งเกินไปทำให้อินทรีย์วัตถุในดินสลายตัวอย่างรวดเร็ว โครงสร้างของดินเปลี่ยนแปลง เมื่อดินแห้งเกิดการอัดแน่นและแข็งตัวเป็นอุปสรรคต่อการเจริญเติบโตของพืช ส่งผลทำให้เกิดชั้นดินดานไถพรวนจำเป็นต้องใช้ไถดินตามเพื่อให้ชั้นดินดานไถพรวนแตกตัว ช่วยให้ดินโปร่ง ร่วนซุย น้ำไม่ขังที่ผิวดินหลังจากฝนตก รากพืชแทงลงไปในดินได้ลึกขึ้น ในขณะที่ดินถูกกระทำจากอุปกรณ์ในการไถเตรียมดิน มีผลต่อคุณสมบัติทางพลศาสตร์ของดิน ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่แสดงให้เห็นได้ด้วยการทำให้ดินเกิดการเคลื่อนตัว ถ้ามวลดินบน

พื้นราบถูกทำให้เกิดการเคลื่อนที่ เกิดแรงต้านการเคลื่อนที่ขึ้น และแรงต้านการเคลื่อนที่นี้ คือ คุณสมบัติทางพลศาสตร์ของดินอย่างหนึ่ง คุณสมบัตินี้จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ ดินถูกทำให้เกิดการเคลื่อนตัว (อนุตร, 2551)

เมื่อดินมีการเคลื่อนที่ เปรียบเสมือนดินเป็นของไหล มีแรงต้านการเคลื่อนที่ โดยใช้วิธีทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ มาหาแรงต้านดังกล่าว ส่วนพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ คือการวิเคราะห์ปรากฏการณ์ที่เกี่ยวกับการไหลต่างๆ การถ่ายเทความร้อน การแพร่กระจายของอนุภาค รวมถึงการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยหาผลเฉลยและจำลองพฤติกรรมที่เกิดขึ้น มีสมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stokes Equation) เป็นสมการสำหรับการแก้ไขปัญหาของของไหลแบบมีค่าความ

ชนิด ในการจำลองผลเราใช้เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) เช่น ความเร็ว และความดัน ที่ได้จากการวัดจริงจากต้นแบบ โดยอาศัยการสร้างปริมาตรควบคุม (Control Volume) ให้กับแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์ เพื่อให้ง่ายต่อการกำหนดรูปแบบการคำนวณในการหาผลเฉลยโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งอยู่ในกรอบของสมการอนุรักษ์มวล สมการโมเมนตัม และสมการพลังงาน (วีระยุทธ 2557)

เกรียงไกร และคณะ (2559) พบว่า การจำลองพฤติกรรมการไหลของดินผ่านไถดินดานหน้าแคบชนิด C shape ใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ผ่านไถดินดานได้น้อยสุด เมื่อเทียบกับชนิด Sloping shape และ L shape ราวุฒิ (2550) พบว่า ชาไถรูปตัว C มีมุมไถ 30° และชาไถเอียง 60° มีมุมไถ 30° มีความเหมาะสมในการใช้เป็นอุปกรณ์บรรเทาการอัดแน่นของดินในไร่อ้อย Kaveh et al. (2010) ได้ทำการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดจากความถี่เพื่อประเมินอายุการใช้งานของไถดินดาน พบว่า ไถดินดานชนิด C shape มีค่าความปลอดภัยสูงสุด และมีอายุการใช้งานนานสุดเมื่อเทียบกับชนิด Sloping shape และ L shape

ดังนั้น ในการออกแบบไถดินดานชนิดชาโค้งต้องคำนึงถึงความแข็งแรงของไถดินดาน มุมไถ และแรงต้านของดิน จึงเป็นที่มาของการหาแรงต้านของดินสำหรับไถดินดานชนิดชาโค้ง ด้วยการประยุกต์ใช้โปรแกรมทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ซึ่งเป็นอีกวิธีหนึ่ง และนำค่าที่ได้มาออกแบบและพัฒนาไถดินดานชนิดชาโค้งให้ลดแรงดลลากในแนวระดับได้ ต่อไป

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเขียนแบบชาไถดินดาน

ไถดินดานชนิดชาโค้ง มีขนาดความกว้าง 0.03 m ความสูง 0.80 m ความยาว 0.66 m มีมุมไถ 30° และเป็นไถดินดานชนิดธรรมดา (ไม่ติดปีก) มีจำนวน 3 แบบ ดัง Figure 1-3



Figure 1 CAD file of the subsoiler type curved leg (type 1).

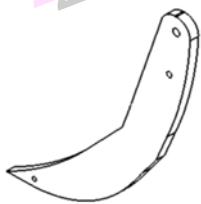


Figure 2 CAD file of the subsoiler type curved leg (type 2).

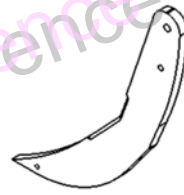


Figure 3 CAD file of the subsoiler type curved leg (type 3).

2.2 การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์

การหาแรงต้านของดินสำหรับไถดินดานชนิดชาโค้ง ใช้วิธีการจำลองเชิงตัวเลขบนพื้นฐานระเบียบวิธีปริมาตรจำกัด (Finite Volume) โดยการใช้ซอฟต์แวร์ ANSYS Fluent 14.0 วิเคราะห์บนพื้นฐานการไหลแบบราบเรียบ การวิเคราะห์การไหลแบบภายนอกนี้ กริดบริเวณชั้นขีดผิวมีขนาดที่เหมาะสม เนื่องจากไถดินดานชนิดชาโค้งมีรูปทรงสมมาตร จึงทำการวิเคราะห์เพียงครึ่งเดียวตามแนวยาว (L) เท่านั้น ในงานวิจัยนี้ ทำการวิเคราะห์โดยกำหนดให้ไถดินดานไม่เคลื่อนที่หรือหยุดนิ่ง ในส่วนของดินเคลื่อนที่ โดยกำหนดให้ความเร็วดินที่ไหลผ่านไถดินดานมีค่าเท่ากับ 1.02 m s^{-1} ผิวดินเคลื่อนที่ด้วยความเร็วมีค่าเท่ากับ 1.02 m s^{-1} ทิศทางเดียวกับดินที่ไหลผ่านไถดินดาน

ส่วนโดเมนในการจำลองการไหล กำหนดให้ ความกว้างของโดเมนมีขนาด 10 เท่าของความกว้างของไถดินดาน โดยแบ่งเป็นความกว้างโดเมนด้านซ้ายมีขนาด 5 เท่าของความกว้างของไถดินดาน (5W) และความกว้างโดเมนด้านขวามีขนาด 5 เท่าของความกว้างของไถดินดาน (5W) ความสูงของโดเมนมีขนาด 4 เท่าของความสูงของไถดินดาน (4H) ความยาวโดเมนรวมมีขนาด 8 เท่าของความยาวของไถดินดาน โดยแบ่งเป็นความยาวโดเมนด้านหน้ามีขนาด 3 เท่าของความยาวของไถดินดาน (3L) และความยาวโดเมนด้านหลังมีขนาด 5 เท่าของความยาวของไถดินดาน (5L) ดัง Figure 4

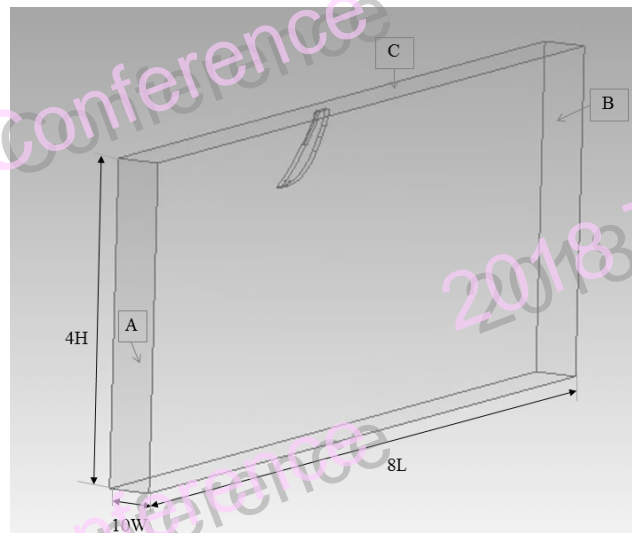


Figure 4 Domain size and boundary conditions by A: Inlet, B: Outlet, C: Free surface.

2.3 ข้อกำหนดในการจำลอง

ในการจำลองการไหลของดินผ่านไถดินดาน ข้อมูลที่ใช้ในการจำลองการไหลของดินเพื่อหาแรงต้าน ประกอบด้วยคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของดิน ในงานวิจัยครั้งนี้ ใช้ข้อมูลของเกรียงไกร และสามารถ (2561) ที่ได้ศึกษาค่าความ คั้นเหนียวและค่าความหนืดเหนียวของดิน โดยใช้วิธีการทะลุทะลวงของกรวย (cone penetration method) ดินที่ใช้ศึกษาคุณสมบัติดังกล่าวเป็นดินในแปลงเกษตรของฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี คุณสมบัติของดินที่นำมาใช้ในการจำลอง ได้แก่ ความหนาแน่นมวลรวมสภาพแห้งของดิน 1.45 g cm^{-3} ความชื้นของดิน 13.62 %db ความคั้นเหนียวของดิน 16.38 kPa ความหนืดเหนียวของดิน 991.48 Pa s ส่วนข้อกำหนดที่พิจารณาเมื่อดินมีสถานะเป็นของไหล และมีพารามิเตอร์ที่ใช้ประกอบสำหรับการจำลอง ได้แก่ ความเร็วของดินเท่ากับ 1.02 m s^{-1} ความลึกในการไถเท่ากับ 0.40 m และดินมีสภาพเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous)

ส่วนกริดที่ใช้กับโมเดลในการจำลองการไหลมีความละเอียดเป็นพิเศษที่บริเวณผิวและชั้นซึกผิวของขาไถดินดาน เนื่องจากเป็นบริเวณที่สนใจ ต้องการทำนายพฤติกรรมกรไหลและหาค่าแรงต้านที่กระทำกับผิวขาไถดินดาน โดยในการสร้างเมช (mesh) เริ่มจากการสร้างแบบจำลองที่มีความละเอียดมาก (fine) ในการทดสอบเลือกใช้กริดแบบทรงสี่หน้า (tetrahedron) เนื่องจากข้อจำกัดด้านความซับซ้อนของปริมาตรความละเอียด ดังนั้น ไถดินดานชนิดขาโค้งแบบที่ 1, 2 และ 3 มีจำนวนเมชเท่ากับ 112,055, 104,713 และ 110,193 อีเลเมนต์ ตามลำดับ ดัง Figure 5-7

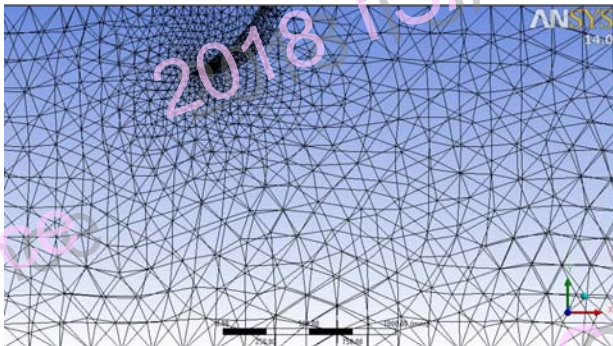


Figure 5 Mesh for flow domain (type 1).



Figure 6 Mesh for flow domain (type 2).

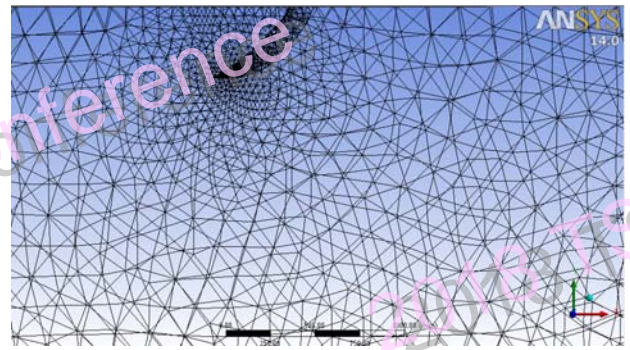


Figure 7 Mesh for flow domain (type 3).

2.4 การหาแรงต้านและสัมประสิทธิ์แรงต้าน

การที่ดินเคลื่อนที่ผ่านไถดินดานที่หยุดนิ่ง หรือไถดินดานเคลื่อนที่ผ่านดิน จะมีแรงต้านเกิดขึ้น คือแรงต้านจากความเสียดทาน (Friction drag force) และแรงต้านจากความดัน (Pressure drag force) จากการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ ANSYS Fluent 14.0 จะได้แรงต้านทั้ง 2 แรงที่กระทำกับไถดินดาน และนำข้อมูลของแรงต้านที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ หาค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน (C_d) ที่เกิดขึ้น (White, 2003) ดังสมการ (1)

$$C_d = \frac{\text{Drag}}{\frac{1}{2} \rho U^2 A} \quad (1)$$

โดย Drag คือแรงต้านของดิน หน่วย N, U คือความเร็วของดินที่ไหลผ่านไถดินดานที่หยุดนิ่ง หน่วย m s^{-1} , A คือพื้นที่ผิวของไถดินดานที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของดิน หน่วย m^2 และ ρ คือความหนาแน่นของดิน หน่วย kg m^{-3}

3 ผลและวิจารณ์

ผลการจำลองการไหล พบว่า แรงต้านของดินที่เกิดจากการไหลแบบราบเรียบ เกิดจากผลรวมของแรงต้าน 2 ชนิด คือ แรงต้านที่เกิดจากความดัน และแรงต้านที่เกิดจากความหนืด (แรงต้านเฉื่อย) โดยค่าแรงต้านประเภทต่างๆ แสดงดัง Table 1

Table 1 Results of comparison of drag force with the subsoiler type curved leg in 3 types.

Type	Drag force (N)			C_d
	Pressure	Viscous	Total	
1	987.51	2,242.80	3,230.31	356.88
2	1,022.10	2,398.56	3,420.66	377.91
3	972.83	2,096.48	3,069.31	339.09

จาก Table 1 พบว่า แรงต้านของดินที่กระทำกับไถดินดานบนพื้นฐานการวิเคราะห์การไหลแบบราบเรียบจะเกิดแรงต้านของดินที่กระทำกับผิวของไถดินดานมากที่สุด คือแบบที่ 2 รองลงมาแบบที่ 1 และ 3 ตามลำดับ และคิดเป็นสัมประสิทธิ์แรง

ด้านของดินเท่ากับ 377.91, 356.88 และ 339.09 ตามลำดับ สอดคล้องกับแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์แรงที่ใช้ในการตัดดินของ Mckyes และ Ali (Mckyes, 1985)

เนื่องจากได้รับการปะทะจากดินโดยตรง ทำให้เกิดการเสียดสีระหว่างดินกับผิวขาไถดินตื้นมาก ส่วนบริเวณขอบด้านหลังของขาไถดินตื้น เกิดแรงเฉือนมากเช่นกัน เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงหน้าตัดของการไหล ทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วน จึงเกิดแรงเฉือนมาก นอกจากนี้ พบว่า คอนทัวร์ของแรงเฉือนจากแบบที่ 2 มีค่ามากกว่าแบบอื่นๆ เนื่องจากแรงต้านเฉือนจากแบบที่ 2 มีค่ามากกว่าแรงต้านเฉือนของแบบจำลองอื่นๆ (ดังแสดงใน Table 1)

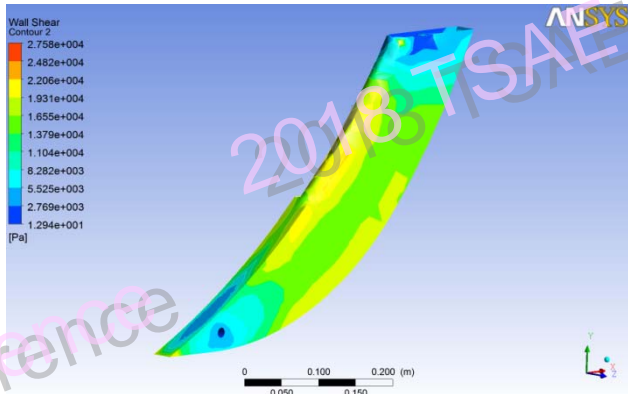


Figure 8 Contour of shear stress act surface of the subsoiler type 1 on laminar model.

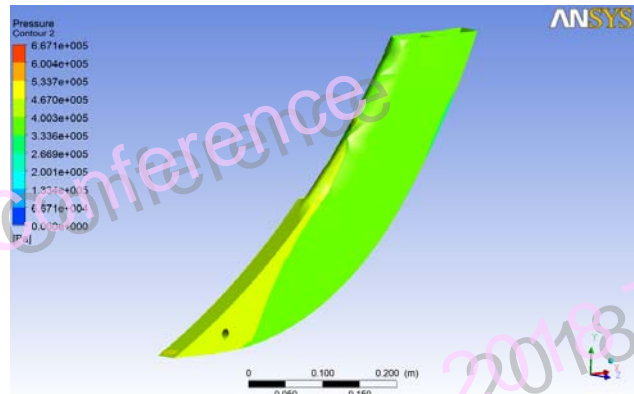


Figure 11 Contour of pressure act surface of the subsoiler type 1 on laminar model.

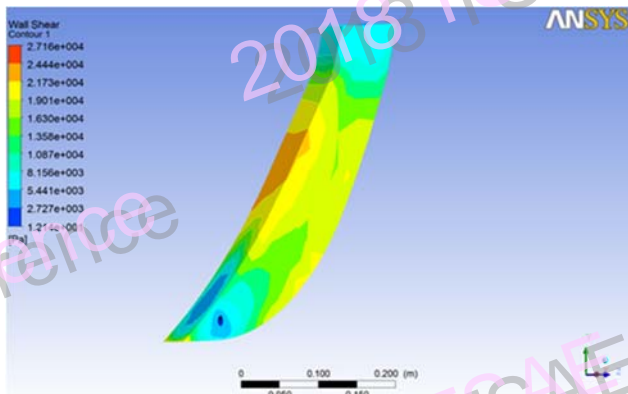


Figure 9 Contour of shear stress act surface of the subsoiler type 2 on laminar model.

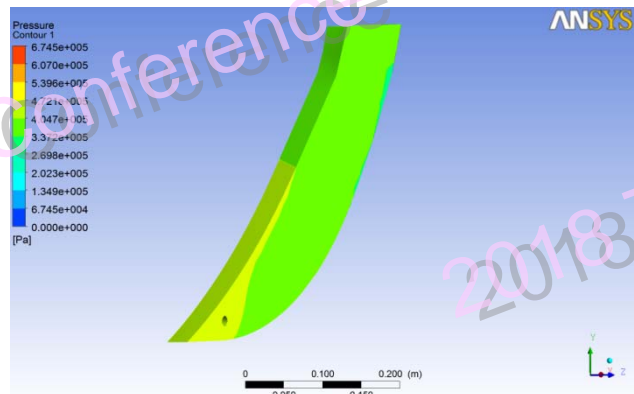


Figure 12 Contour of pressure act surface of the subsoiler type 2 on laminar model.

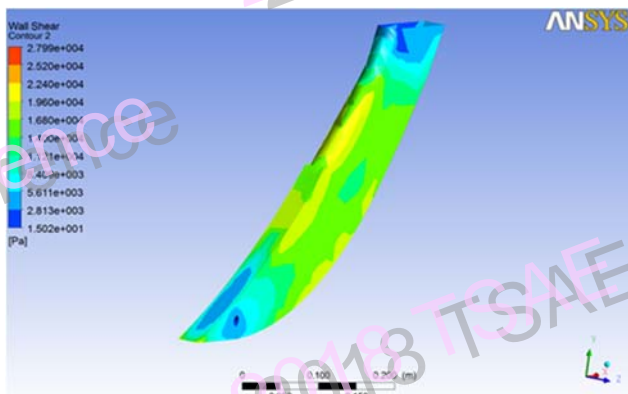


Figure 10 Contour of shear stress act surface of the subsoiler type 3 on laminar model.

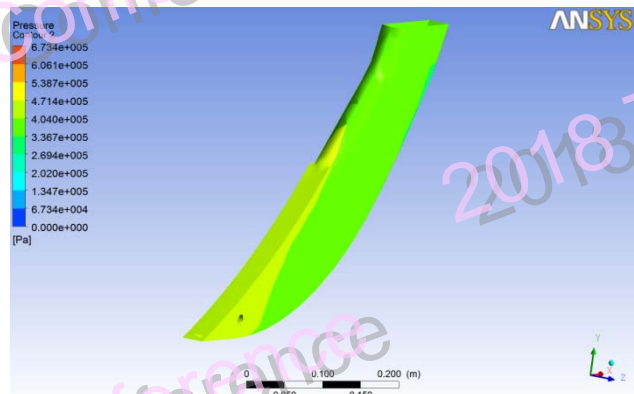


Figure 13 Contour of pressure act surface of the subsoiler type 3 on laminar model.

จาก Figure 8-10 แสดงคอนทัวร์ของแรงเฉือนที่กระทำกับผิวของไถดินตื้น โดยบริเวณคอนทัวร์สีแดง คือบริเวณที่เกิดแรงเฉือนมากที่สุด ส่วนคอนทัวร์สีฟ้า คือบริเวณที่เกิดแรงเฉือนน้อยสุด บริเวณขอบด้านหน้าของขาไถดินตื้น จะเกิดแรงเฉือนมาก

จาก Figure 11-13 แสดงคอนทัวร์ของความดันที่เกิดขึ้นที่ผิวของขาไถดินดาน โดยบริเวณที่มีความดันมากที่สุด คือบริเวณด้านหน้าของปลายขาไถดินดาน เนื่องจากเป็นจุดที่ดินไหลมาปะทะทำให้เกิดจุดหยุดนิ่ง (Stagnation point) ขึ้น (แสดงใน Figure 14) ความดันบริเวณนี้มีค่ามากที่สุด บริเวณส่วนกลางขาไถดินดาน และบริเวณส่วนบนขาไถดินดาน มีความดันลดลงตามลำดับ เนื่องจากเป็นส่วนที่ปะทะกับดินที่ไหลเข้ามา ทำให้ดินบริเวณนั้นมีความเร็วลดลง ทำให้ความดันมาก คอนทัวร์บริเวณนั้นจึงเป็นสีเหลือง ส่วนบริเวณด้านหลังขาไถดินดานมีความดันน้อย เนื่องจากด้านหลังขาไถดินดานเกิดการไหลแบบราบเรียบ จึงทำให้ความดันน้อย คอนทัวร์จึงเป็นสีเขียวหรือใกล้เคียงสีฟ้าด้วยเหตุผลนี้ ทำให้ผลต่างความดันบริเวณด้านหน้าและด้านหลังขาไถดินดานมีค่ามาก จึงกลายเป็นแรงต้านการเคลื่อนที่ของขาไถดินดาน

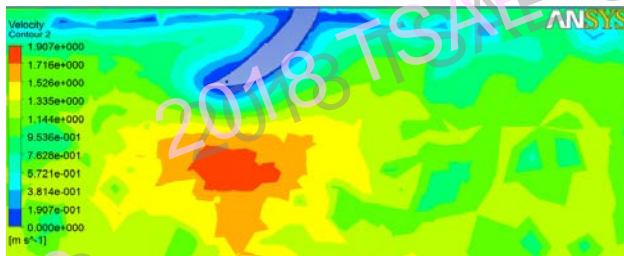


Figure 14 Contour of velocity at cross section of the subsoiler (type 3).



Figure 15 Streamline of soil through the subsoiler (type 3).

จาก Figure 15 แสดงเส้นการไหลของดินจากการจำลองการไหลผ่านไถดินดานแบบที่ 3 พบว่า ความเร็วของดินบริเวณที่ไหลผ่านด้านใต้ขาไถดินดาน มีค่ามากกว่าบริเวณอื่นๆ เนื่องจากบริเวณด้านใต้ขาไถดินดาน การไหลถูกบังคับให้หนีการไหลน้อยลงเมื่อเทียบกับโดเมนของการจำลองการไหล ความเร็วจึงเพิ่มขึ้น และเมื่อถึงบริเวณด้านหน้าขาไถดินดาน หนีการไหลเทียบกับกรอบโดเมนที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งรูปทรงของไถดินดานเป็นขาโค้ง ทำให้ความเร็วในการไหลลดลง ส่งผลทำให้ความดันบริเวณด้านหน้าขาไถดินดานลดลง สาเหตุดังกล่าวมีผลทำให้ความดันของดินบริเวณด้านหน้าขาไถดินดานมีค่าน้อยกว่าบริเวณอื่น ซึ่งทำให้แรงต้านของไถดินดานมีค่าลดลงด้วย

4 สรุป

การจำลองการหาแรงต้านของดินสำหรับไถดินดานชนิดขาโค้งด้วยโปรแกรมทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ บนพื้นฐานการไหลแบบราบเรียบ พบว่า ผลการจำลองทั้ง 3 แบบ ความเร็วของดินที่เคลื่อนปะทะบริเวณตรงกลางขาไถดินดาน มีค่ามากกว่าบริเวณอื่นๆ ทำให้บริเวณนั้นเกิดแรงเฉือนมาก ส่วนสัมประสิทธิ์แรงต้านของดิน บนพื้นฐานการไหลแบบราบเรียบของแบบที่ 1, 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 356.88, 377.91 และ 339.09 ตามลำดับ ซึ่งการวิเคราะห์บนพื้นฐานการไหลแบบราบเรียบทั้ง 3 แบบของไถดินดานชนิดขาโค้งนี้ ให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านน้อยสุด คือแบบที่ 3

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย ในครั้งนี้

6 เอกสารอ้างอิง

- เกรียงไกร رایณะสุข, กัญญา โกสุมภ์, สามารถ บุญอาจ. 2559. การจำลองพฤติกรรมการไหลของดินผ่านไถดินดานด้วยโปรแกรมทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ. รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17 ประจำปี 2559, 361-364. กรุงเทพมหานคร: สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 8-10 กันยายน 2559, อิมแพ็ค เมืองทองธานี, กรุงเทพมหานคร.
- เกรียงไกร رایณะสุข, สามารถ บุญอาจ. 2561. การศึกษาความเค้นเฉือนและความหนืดเฉือนของดินในแปลงเกษตรโดยใช้วิธีการทะลุทะลวงของกรวย. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย 24(2), 1-7.
- ราวุฒิ น่วมปฐม. 2550. การพัฒนาอุปกรณ์ปรับปรุงการอัดแน่นของดินในไร่อ้อย. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วีระยุทธ หล้าอมรชัยกุล. 2557. การคำนวณผลทางพลศาสตร์ของไหล Computational Fluid Dynamics. วิศวกรรมลาดกระบัง 31(4), 1-6.
- อนุตร จำลองกุล. 2551. ทฤษฎีของระบบดิน-เครื่องจักรกล. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- Kaveh Mollazade, Ali Jafari, Ebrahim Ebrahimi. 2010. Application of Dynamical Analysis to Choose Best Subsoiler's Shape using ANSYS. New York Science Journal 3(3), 93-100.
- Mckyes, E. 1985. Soil Cutting and Tillage. New York: Elsevier Science Publishing Company Inc.
- White, F. M. 2003. Fluid Mechanics. (5th ed.). New York: McGraw-Hill.