

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดอัตราการขัดสีข้าว ทดสอบความแม่นยำของอุปกรณ์ที่พัฒนาเปรียบเทียบกับเครื่องวัดมาตรฐานและถ่ายทอดเทคโนโลยีจากการวิจัยผู้ประกอบการ ทำการวิจัยที่ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สาขาวิศวกรรมและเทคโนโลยี คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จังหวัดชลบุรี อุปกรณ์ตรวจวัดระดับการขัดสีเป็นอุปกรณ์สู่มตัวอย่างเมล็ดข้าว 100 เมล็ด ลักษณะเป็นภาดสี่เหลี่ยมมีด้ามสำหรับจับเพื่อสะดวกในการใช้งาน ตัวภาดกว้าง 9 เซนติเมตร ยาว 14 เซนติเมตร มีช่องสำหรับเมล็ด จำนวน 100 ช่อง โดยอุปกรณ์นี้สามารถสู่มตัวอย่างได้ถูกต้อง สะดวก รวดเร็ว และเทออกได้ง่าย เมื่อชั่งน้ำหนักข้าวกล้องและข้าวขาว 100 เมล็ดที่สู่มตัวอย่าง สามารถนำมาคำนวณเป็นระดับการขัดสี (Degree of Milling: %DOM) โดยค่า DOM >8% จะถือว่าเป็นการขัดสีในระดับดี (Well milled) ขัดสีปานกลาง (Reasonably well milled: DOM=7.7) ขัดสีน้อย (Lightly milled; DOM=6.9) หรือขัดสีต่ำ (Under milled; DOM=3-6)ตามมาตรฐานข้าวไทยได้ และสามารถนำค่า DOM มาทำนายค่าสีของข้าวเทียบกับค่าที่ได้จากเครื่องวัด Satake milling meter ได้ค่า  $R^2 > 0.90$  เมื่อทำนายค่าความขาวและระดับการขัดสี ส่วนการใช้ค่า DOM ทำนายคุณภาพการสีของข้าว โดยเฉพาะเปอร์เซ็นต์ข้าวขาว และรำ ได้ค่า  $R^2 > 0.90$  เช่นเดียวกัน

จากการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากการวิจัยผู้ประกอบการโรงสีทั้งโรงสีข้าวขนาดใหญ่และโรงสีขนาดเล็ก พบว่า อุปกรณ์นี้สามารถใช้ประมาณอัตราการขัดสี ค่าสี และคุณภาพการสีของข้าวได้ในระหว่างขั้นตอนการสีข้าวได้ไม่ต้องรอจนกว่าจะสีข้าวเสร็จ ซึ่งจะช่วยให้ลดการสูญเสียในระหว่างการขัดขาว ลดการขัดขาวที่เกินจำเป็น ลดการใช้พลังงานในการขัดสี และลดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการของข้าว

## Abstract

The objectives of this study were to develop the rice milling degree measuring device and investigate the accuracy test of the device compare to the standard device. After that the technology was transfer to the rice milling industries and communities. The study was conducted at Postharvest Lab, Agricultural Engineering and Technology Dept. Faculty of Agriculture and National Resources, Rajamangala University of Technology Tawon-ok, Chonburi. The rice milling degree measuring device can be used to sampling 100 grain of brown rice and milled rice. The dimension of the device was 9 cm wide and 14 cm in length and consisted of the 100 indents holes. This device was easy and convenient to sampling and removal. Weight of brown rice and milled rice were calculated as degree of milling (DOM). DOM>8% displayed of well milled, DOM=7.7 display of reasonably well milled, DOM=6.9 displayed lightly milled and DOM=3-6 displayed under milled as related to Thailand Rice Standard. Moreover the DOM could be used to predict color of milled rice according to Satake Milling Meter in term of whiteness and milling degree at  $R^2>0.90$ . However the DOM not only used to predict color of milled rice but also used to predict rice milling quality in term of milled rice and bran at  $R^2>0.90$ .

This technology was transferred to the rice mill industries and reveal that this rice milling degree measuring device not only used to investigate the DOM but also used to predict the color of milled rice and rice milling quality. This device could be used during the rice milling process and provided the economical milling condition which reduce the milling losses, energy saving and nutrient losses according to over milling.

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องนี้ได้รับการสนับสนุนทุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล  
ตะวันออก งบประมาณประจำปี 2556 ข้าพเจ้าขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งทางตรงและ  
ทางอ้อมต่อความสำเร็จของงานวิจัยนี้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ญ
บทนำ	1
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	8
ผลการทดลองและวิจารณ์	12
สรุปและข้อเสนอแนะ	93
เอกสารอ้างอิง	95
ภาคผนวก	98

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	เปรียบเทียบเวลาและระดับการขาดสี กับคุณภาพการสีของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105	12
2	เปรียบเทียบเวลาและระดับการขาดสี กับคุณภาพการสีของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1	13
3	เปรียบเทียบเวลาและระดับการขาดสี กับค่าสีจากการวัดด้วยเครื่อง SATAKEของข้าวพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105	14
4	เปรียบเทียบเวลาและระดับการขาดสี กับค่าสีจากการวัดด้วยเครื่อง SATAKEของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1	15
5	เปรียบเทียบเวลาและระดับการขาดสีกับค่าสีจากการวัดด้วยเครื่อง Hunter color flex ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105	16
6	เปรียบเทียบเวลาและระดับการขาดสีกับค่าสีจากการวัดด้วยเครื่อง Hunter color flex ของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1	16
7	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการขาดสีของข้าวจากการคำนวณกับคุณภาพการสีและค่าสีของ ข้าวจากเครื่องวัด	17
8	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการขาดสีของข้าวจากการคำนวณกับคุณภาพการสีและค่าสีของข้าวจากเครื่องวัดรวมของข้าวทั้ง 2 พันธุ์	18
9	ขนาดกว้าง ยาว และ หนา ของเมล็ดข้าวกล้องและข้าวขาวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ตัวอย่างที่ 1 (KDML1)	19
10	ขนาดกว้าง ยาว และ หนา ของเมล็ดข้าวกล้องและข้าวขาวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ตัวอย่างที่ 2 (KDML 2)	19
11	ขนาดกว้าง ยาว และ หนา ของเมล็ดข้าวกล้องและข้าวขาวพันธุ์ปทุมธานี1 (PT 1)	20
12	ขนาดกว้าง ยาว และ หนา ของเมล็ดข้าวกล้องและข้าวขาวพันธุ์ กข 31 (RD 31)	20
13	ขนาดกว้าง ยาว และ หนา ของเมล็ดข้าวกล้องและข้าวขาวทั้ง 4 ตัวอย่าง	22

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
14	ผลของเวลาขัดสีต่อน้ำหนัก 100 เมล็ดของข้าว KDML1	29
15	ผลของเวลาขัดสีต่อน้ำหนัก 100 เมล็ดของข้าว KDML 2	30
16	ผลของเวลาขัดสีต่อน้ำหนัก 100 เมล็ดของข้าว PT1	30
17	ผลของเวลาขัดสีต่อน้ำหนัก 100 เมล็ดของข้าว RD31	31
18	ผลของเวลาขัดสีต่อค่าระดับการขัดสี (DOM) ของข้าว KDML1	32
19	ผลของเวลาขัดสีต่อค่าระดับการขัดสี (DOM) ของข้าว KDML2	33
20	ผลของเวลาขัดสีต่อค่าระดับการขัดสี (DOM) ของข้าว PT 1	33
21	ผลของเวลาขัดสีต่อค่าระดับการขัดสี (DOM) ของข้าว RD31	34
22	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการขัดสี (X)กับค่า DOM (Y)ของข้าวทั้ง 4 ตัวอย่าง	35
23	เปรียบเทียบค่า %DOM ของข้าวทั้ง 4 ตัวอย่างที่เวลาขัดสีต่างๆกัน	36
24	เปรียบเทียบค่า %DOMของข้าวกับคุณภาพการสีของข้าว KDML 1	37
25	เปรียบเทียบค่า %DOMของข้าวกับคุณภาพการสีของข้าว KDML 2	38
26	เปรียบเทียบค่า %DOMของข้าวกับคุณภาพการสีของข้าว PT1	39
27	เปรียบเทียบค่า %DOMของข้าวกับคุณภาพการสีของข้าวRD 31	40
28	ผลของระดับการขัดสีต่อน้ำหนักจำเพาะของข้าว KDML1	43
29	ผลของระดับการขัดสีต่อน้ำหนักจำเพาะของข้าว KDML2	43
30	ผลของเวลาขัดสีต่อน้ำหนักจำเพาะของข้าว PT1	44
31	ผลของระดับการขัดสีต่อน้ำหนักจำเพาะของข้าว RD31	44
32	ผลของระดับการขัดสีต่อความหนาแน่นรวมของข้าว KDML1	46
33	ผลของระดับการขัดสีต่อความหนาแน่นรวมของข้าว KDML2	46
34	ผลของระดับการขัดสีต่อความหนาแน่นรวมของข้าว PT1	47
35	ผลของระดับการขัดสีต่อความหนาแน่นรวมของข้าว RD31	47
36	ผลระดับการขัดสีต่อความขาว (Whiteness) ของข้าว KDML1	49
37	ผลของระดับการขัดสีต่อความขาว (Whiteness) ของข้าว KDML 2	49
38	ผลของระดับการขัดสีต่อความขาว (Whiteness) ของข้าว PT1	50

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
39	ผลของระดับการขัดสีต่อความขาว (Whiteness) ของข้าว RD 31	51
40	ผลของระดับการขัดสีต่อความใส (Transparency) ของข้าว KDML1	52
41	ผลของระดับการขัดสีต่อความใส (Transparency) ของข้าว KDML2	53
42	ผลของระดับการขัดสีต่อความใส (Transparency) ของข้าว PT1	53
43	ผลของระดับการขัดสีต่อความใส (Transparency) ของข้าว RD31	54
44	ค่า DOM กับค่า Satake milling degree ของข้าว KDML1	55
45	ค่า DOM กับค่า Satake milling degree ของข้าว KDML2	56
46	ค่า DOM กับค่า Satake milling degree ของข้าว PT1	57
47	ค่า DOM กับค่า Satake milling degree ของข้าว RD31	57
48	ผลของระดับการขัดสีต่อค่าสี L ของข้าว KDML1	59
49	ผลของระดับการขัดสีต่อค่าสี L ของข้าว KDML2	60
50	ผลของระดับการขัดสีต่อค่าสี L ของข้าว PT1	61
51	ผลของระดับการขัดสีต่อค่าสี L ของข้าว RD 31	61
52	ผลของระดับการขัดสีต่อค่าสี a ของข้าว KDML1	62
53	ผลของระดับการขัดสีต่อค่าสี a ของข้าว KDML2	63
54	ผลของระดับการขัดสีต่อค่าสี a ของข้าว PT1	64
55	ผลของระดับการขัดสีต่อค่าสี a ของข้าว RD31	64
56	ผลของระดับการขัดสีต่อค่าสี b ของข้าว KDML1	66
57	ผลของระดับการขัดสีต่อค่าสี b ของข้าว KDML2	66
58	ผลของระดับการขัดสีต่อค่าสี b ของข้าว PT 1	67
59	ผลของระดับการขัดสีต่อค่าสี b ของข้าว RD31	68
60	ความสัมพันธ์ (Pearson Correlation) ระหว่างค่าระดับการขัดสีกับ คุณภาพการสี (DOM) (n=144)	69
61	ความสัมพันธ์ (Pearson Correlation) ระหว่างสมบัติทางกายภาพของ ข้าวกับค่าระดับ การขัดสี (DOM) (N=960)	70

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
62	สมบัติของข้าวตัวอย่างที่ใช้ในการสร้าง Model (Trained set)	71
63	ผลการวิเคราะห์ Anova สมบัติของข้าวตัวอย่างที่ใช้ในการสร้าง Model (Trained set)	73
64	การเปรียบเทียบสมบัติของข้าวตัวอย่าง	74
65	ค่าสถิติจากการวิเคราะห์ Regression model ของข้าวตัวอย่าง	75
66	สมบัติของข้าว KDML 1 ที่ใช้ทำนาย Model (Test set)	76
67	ผลการทำนายสมบัติของข้าวKDML1ด้วยค่า DOM โดยใช้ Regression model	77
68	สมบัติของข้าว KDML 2 ที่ใช้ทำนาย Model (Test set)	78
69	ผลการทำนายสมบัติของข้าวKDML2ด้วยค่า DOM โดยใช้ Regression model	79
70	สมบัติของข้าว PT1 ที่ใช้ทำนาย Model (Test set)	80
71	ผลการทำนายสมบัติของข้าว PT1 ด้วยค่า DOM โดยใช้ Regression model	81
72	สมบัติของข้าว RD 31 ที่ใช้ทำนาย Model (Test set)	82
73	ผลการทำนายสมบัติของข้าว RD 31 ด้วยค่า DOM โดยใช้ Regression model	83
74	สมบัติของข้าว KDML3 ที่ใช้ทำนาย Model (Test set)	84
75	ผลการทำนายสมบัติของข้าว KDML3 ด้วยค่า DOM โดยใช้ Regression model	85
76	สมบัติของข้าว Chainat 1 ที่ใช้ทำนาย Model (Test set)	85
77	ผลการทำนายสมบัติของข้าว Chainat1 ด้วยค่า DOM โดยใช้ Regression model	86
78	การประมาณค่า DOM จากน้ำหนักข้าวกล้องและข้าวขาว 100 เมล็ด	87
79	ผลการทำนายค่า ความขาว ความใส และระดับการขัดสี จากค่า DOM ของข้าว	88
80	ผลการทำนายเปอร์เซ็นต์ข้าวขาว ข้าวตัน และรำ จากค่า DOM ของข้าว	90

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
1	สมบัติของข้าวKDML1	99
2	สมบัติด้านสีของข้าวKDML1	107
3	สมบัติของข้าวKDML2	115
4	สมบัติด้านสีของข้าวKDML2	123
5	สมบัติของข้าวPT1	131
6	สมบัติด้านสีของข้าวPT1	139
7	สมบัติของข้าว RD31	147
8	สมบัติด้านสีของข้าว RD31	155
9	ขนาดเป็นมิลลิเมตรของเมล็ดข้าว KDML1	163
10	ขนาดเป็นมิลลิเมตรของเมล็ดข้าว KDML2	164
11	ขนาดเป็นมิลลิเมตรของเมล็ดข้าว PT1	166
12	ขนาดเป็นมิลลิเมตรของเมล็ดข้าว RD31	167

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	เปรียบเทียบขนาดความกว้าง ความยาว และความหนาเฉลี่ยของข้าว 4 ตัวอย่าง (a) ข้าว กล้อง (b) ข้าวขาว	21
2	อุปกรณ์ตรวจวัดระดับการขัดสี แบบที่ 1 (a) เมื่อสู่มเมล็ดข้าวกล้อง (b)	23
3	อุปกรณ์ตรวจวัดระดับการขัดสีแบบที่ 2 (a) เมื่อใช้สู่มเมล็ดข้าว (b) เมื่อเทออกจะมีเมล็ดติด (c) และ (d)	23
4	เปรียบเทียบอุปกรณ์ตรวจวัดระดับการขัดสี ก่อนและหลังการเจียรแต่ง	24
5	อุปกรณ์ตรวจวัดระดับการขัดสีที่เจียรแต่ง	25
6	อุปกรณ์ตรวจวัดระดับการขัดสีที่เจียรแต่งแล้วเมื่อใช้สู่มเมล็ด (a) เมื่อเทเมล็ดออกจะมีเมล็ดบางเมล็ดติด (b)	25
7	อุปกรณ์ตรวจวัดระดับการขัดสีต้นแบบ (a) เมื่อใช้สู่มเมล็ด (b)	26
8	แม่พิมพ์อุปกรณ์ตรวจวัดระดับการขัดสีข้าว	27
9	อุปกรณ์ตรวจวัดระดับการขัดสีข้าวต้นแบบสีขาวเมื่อสู่มตัวอย่างข้าว	27
10	อุปกรณ์ตรวจวัดระดับการขัดสีข้าวต้นแบบเมื่อสู่มตัวอย่างข้าว	28
11	อุปกรณ์ตรวจวัดระดับการขัดสีข้าวต้นแบบเมื่อเทข้าวออก	28
12	ผลของเวลาขัดสีต่อค่าระดับการขัดสี (DOM) ของข้าวทั้ง 4 ตัวอย่าง	35
13	ความสัมพันธ์ระหว่าง DOM ของข้าวทั้ง 4 ตัวอย่างกับเปอร์เซ็นต์ข้าวขาว (a) ข้าวต้น (b) และรำ (c)	41
14	เปรียบเทียบระดับการขัดสีกับค่าน้ำหนักจำเพาะของข้าว 4 ตัวอย่าง	45
15	เปรียบเทียบระดับการขัดสีกับค่าความหนาแน่นรวมของข้าว 4 ตัวอย่าง	48
16	เปรียบเทียบระดับการขัดสีกับค่าความขาว (Whiteness) ของข้าว 4 ตัวอย่าง	52
17	เปรียบเทียบระดับการขัดสีกับค่าความใส (Transparence) ของข้าว 4 ตัวอย่าง	54
18	เปรียบเทียบค่า DOM กับค่า Satake milling degree ของข้าว 4 ตัวอย่าง	68
19	เปรียบเทียบค่า DOM กับค่าสี L ของข้าว 4 ตัวอย่าง	62

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
20	เปรียบเทียบค่า DOM กับค่าสี a ของข้าว 4 ตัวอย่าง	65
21	เปรียบเทียบค่า DOM กับค่าสี b ของข้าว 4 ตัวอย่าง	68
22	การใช้อุปกรณ์ตรวจวัดระดับการขัดสีของข้าวเริ่มจากการสูมตัวอย่างข้าวกล้อง (a) ซึ่งน้ำหนักข้าวกล้อง 100 เมล็ดที่สูมได้ (b) สูมตัวอย่างข้าวขาว (c) ซึ่งน้ำหนักข้าวขาว 100 เมล็ดที่สูมได้ (d)	89
23	การตรวจวัดระดับการขัดสีของข้าวด้วยเครื่อง milling meter ใส่ตัวอย่างใน Sample cup (a) ใส่ตัวอย่างลงในเครื่องและอ่านค่า (b)	89
24	การถ่ายทอดเทคโนโลยีอุปกรณ์ตรวจวัดระดับการสีข้าวแก่ชุมชน	92