



ISSN 0125-1724

วิศวกรรม
ลาดกระบัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL

ปีที่ 37 ฉบับที่ 2

เมษายน – มิถุนายน 2563

บทความวิจัย

1. การศึกษาศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมสำหรับจังหวัดนครพนม 1
พนิดา สุขสมพร้อม เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต และ ศิโรรัตน์ พัฒนไพโรจน์
2. Influence of Mn on Mechanical Properties and Hardening Behaviors of High Carbon Containing Austenitic Manganese Fe-xMn-2Cr-1.3C Steels 10
กุลศิริ โพธิ์กำจร และ พชรพล ตัณฑวิรุฬห์
3. ผลของระดับน้ำและเวลาลดระดับน้ำในหอสถูญญากาศต่อประสิทธิภาพการกำจัดความชุ่มชื้นสำหรับระบบผลิตน้ำประปา โดยถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน 18
วิวัฒน์ อ่อนนาคกล้า

“วิศวกรรมลาดกระบ้ง”

วิศวกรรมลาดกระบ้งเป็นวารสารทางวิชาการซึ่งจัดทำโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบ้ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. เป็นเอกสารเผยแพร่งานวิจัยและพัฒนาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์
2. เป็นสื่อแลกเปลี่ยนความรู้ใหม่ ๆ ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ระหว่างนักวิจัยและผู้สนใจ
3. เป็นเอกสารรวบรวมรายงาน และบทความทางวิชาการที่น่าสนใจและมีคุณค่าทางวิศวกรรมศาสตร์

วาระที่ออก

ปีละ 4 ฉบับ (ทุก 3 เดือนต่อฉบับ)

นโยบาย

บทความที่จะเสนอตีพิมพ์ จะต้องเป็นบทความที่มีคุณค่าทางวิศวกรรม เช่น เป็นรายงานการวิจัยที่ผู้เขียนได้ทำการทดลอง สร้าง หรือมีส่วนกับงานโดยตรง เป็นบทความที่เสนอถึงความคิด หรือหลักการใหม่ที่เป็นไปได้ และมีทฤษฎีประกอบ หรือสนับสนุนอย่างเพียงพอ หรือเป็นบทความทางวิชาการที่น่าสนใจ มีประโยชน์ต่อนักศึกษาและนักวิจัย โดยผู้เขียนเป็นผู้รวบรวมและเรียบเรียงเอง

รูปแบบของบทความ

บทความที่เสนอจะเป็นภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษก็ได้ โดยจัดพิมพ์ตามรูปแบบที่กำหนดให้ ซึ่งพร้อมที่จะนำไปถ่ายเพลทเพื่อพิมพ์ได้ทันที (camera ready) และเพื่อให้รูปแบบการพิมพ์ของบทความมี มาตรฐานเดียวกันจึงขอให้ผู้เขียนจัดเตรียมเอกสารโดยใช้เวิร์ดโปรเซสเซอร์ Microsoft Word for Windows สำหรับรูปภาพประกอบ หากมีใช้ภาพถ่ายก็ควรเขียนหรือสเก็ตโดยใช้ซอฟต์แวร์ ที่สนับสนุนการทำงานในระบบ Windows

บทความที่น่าสนใจเพื่อตีพิมพ์ ควรประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ตามลำดับ ดังนี้

- | | |
|---------------------------|---|
| ชื่อเรื่อง | ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ |
| ชื่อผู้เขียนและผู้ร่วมงาน | ไม่ต้องระบุคุณวุฒิหรือตำแหน่งทางวิชาการใด ๆ |
| สถานที่ทำงาน | ในกรณีที่ผู้เขียนหรือผู้ร่วมงานเป็นนักศึกษา ให้ใช้คณะและสถาบันที่สังกัดเป็นสถานที่ทำงาน |
| บทคัดย่อ | ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ |
| เนื้อความ | ควรประกอบไปด้วยหัวข้อต่าง ๆ และมีเลขประจำหัวข้อตามลำดับ |
| | 1. บทนำ |
| | 2. ทฤษฎี |
| | 3. การทดลองและผลการทดลอง |
| | 4. สรุป |
| | 2.1 หลักการของ..... |
| | 2.2 หลักการใหม่..... |

กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี)

เอกสารอ้างอิง การอ้างอิงบทความให้ใช้หมายเลขประจำเอกสารหรือบทความที่อ้างอิง โดยตัว เลขจะอยู่ในวงเล็บใหญ่ โดยรูปแบบการเขียนเอกสารอ้างอิงจะเป็นดังนี้

- [1] P. Choeysuwan and S. Choomchuay, “The Economics Analysis of RFID Implementation in Logistic,” *Ladkrabang Engineering Journal*, Vol.30, No.1, pp.7-12, March, 2556.
- [2] I. M. Filanovsky and H.P. Baltes, “Simple CMOS Analog Square-Rooting and Squaring Circuits,” *IEEE Trans. Circuits and Systems*, Vol.39, No.4, pp.312-315, Sept., 1992.
- [3] R. E. Blahut, *Theory and Practice of Error Control Codes*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1983.

การส่งบทความ

บทความที่จะส่งเปิดรับทั้งจากบุคคลภายในและภายนอกสถาบันฯ โดยเนื้อหาของบทความมีความยาวไม่เกิน 8 หน้า 2 คอลัมน์ ส่วนหน้าที่ 9 เป็นต้นไป ต้องเสียค่าตีพิมพ์หน้าละ 500 บาท ผู้เขียนจะต้องส่งต้นฉบับ 1 ชุด โดยหน้าแรกของบทความจะมีชื่อที่อยู่ของผู้เขียน 1 หน้า และหน้าแรกของบทความที่ไม่ระบุชื่อผู้เขียนอีก 1 หน้า รวมทั้งหมด 9 หน้า และกรณารับชื่อ-นามสกุล ที่อยู่ เบอร์โทรศัพท์ติดต่อ และ E-mail address ใช้ชัดเจนในแบบฟอร์มการส่งบทความด้วย ผู้เขียนสามารถส่งผ่านระบบวารสารออนไลน์ โดยลงทะเบียนและส่งบทความได้ที่ลิงก์ <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/lej/about/submissions>

เจ้าของ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบ้ง

กรุงเทพฯ 10520

โทรศัพท์ (662) 329-8000 # 3464, 3465

โทรสาร (662) 329-8317

ที่ปรึกษา

คมบดี

รองศาสตราจารย์ ดร.คมสัน มาลีสี

หัวหน้ากองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.วรงค์ ตั้งศรีรัตน์

กองบรรณาธิการ

นายทงศักดิ์ ใจชื่นแสน

ออกแบบปก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภศูล วงษ์วานิช

นางสาวชนัญชิตา นอบน้อม

นายสถาพร พงษ์ประยูร

ติดต่อประสานงานและสมาชิกสัมพันธ์

จัดทำต้นฉบับ Artwork

พิสูจน์อักษร และรูปเล่ม

จัดทำหน้าโดย

คณะวิศวกรรมศาสตร์

นางสาวชนัญชิตา นอบน้อม

นางอาทิสดา ขาววิจิตร

โทร. 02-329-8317



วิศวกรรมลาดกระบัง

Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผู้ทรงคุณวุฒิในกองบรรณาธิการ “วิศวกรรมลาดกระบัง”

ศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ

สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ

คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล กิตติศุภกร

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์ ดร.เดวิด บรรเจิดพงศ์ชัย

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์ ดร.ประยุทธ์ อัครเอกพาลิน

บัณฑิตวิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์นานาชาติ

สิรินธร ไทย-เยอรมัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า-

พระนครเหนือ

ศาสตราจารย์ ดร.อภิศักดิ์ วรพิเชฐ

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย วงศ์วิเศษ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ชูชีพสกุล

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ศาสตราจารย์ ดร.สรวุฒิ สุจิตตรจ

สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน)

ศาสตราจารย์ ดร.โมนาย ไกรฤกษ์

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร-

ลาดกระบัง

ศาสตราจารย์ ดร.วัลลภ สุระกำพลธร

วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร-

ลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร. กอบชัย เดชหาญ

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร-

ลาดกระบัง



วิศวกรรมลาดกระบัง

Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วันที่ 20 มีนาคม 2563

เรื่อง แจ้งเพื่อทราบ

เรียน อาจารย์ นักวิจัย นักศึกษา และผู้สนใจ

กองบรรณาธิการ “วิศวกรรมลาดกระบัง” มีความประสงค์ขอเรียนแจ้งให้ท่านทราบรายละเอียดเกี่ยวกับงานวิศวกรรมลาดกระบัง ดังนี้

1. เว็บไซต์ใหม่ของวารสาร คือ <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/lej>
2. เนื้อหาของบทความให้มีความยาวจำนวนหน้า ความยาวไม่เกิน 8 หน้า 2 คอลัมน์ หากจำนวนหน้าของเนื้อหามากกว่า 8 หน้าขึ้นไป ในส่วนของหน้าที่ 9 เป็นต้นไป คิดราคาค่าตีพิมพ์เพิ่มหน้าละ 500 บาท (ห้าร้อยบาทถ้วน) โดยผู้แต่งต้องชำระเงินค่าตีพิมพ์ในจำนวนหน้าที่เกิน 8 หน้า หลังจากที่ยื่นบทความแก้ไขสมบูรณ์แล้ว และได้รับหนังสือการตอบรับการตีพิมพ์จากงานวารสารวิศวกรรมลาดกระบัง
3. การส่งบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวิศวกรรมลาดกระบัง ผู้เขียนบทความสามารถเสนอรายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิที่เกี่ยวข้องในสาขาที่ท่านส่งมา จำนวน 2 ท่าน โดยแนบมาพร้อมแบบฟอร์มการส่งบทความด้วยทุกครั้ง

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ จักขอบพระคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(ศ.ดร.วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์)

หัวหน้ากองบรรณาธิการ

การศึกษาศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมสำหรับ จังหวัดนครพนม

A Study of Wind Energy Potential for Electricity in Nakhon Phanom Province, Thailand

พนิดา สุขสมพร้อม^{1,*} เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต^{1,2} ศิริรัตน์ พัฒนไพโรจน์¹

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

²ศูนย์วิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยขอนแก่น (AERD-KKU)

Panida Suksomporm^{1,*}, Kiatfa Tangchaichit^{1,2}, Sirorat Pattanpairoj¹

¹Faculty of Engineering Khon Kaen University

²Renewable Energy Research and Development Center Khon Kaen University (AERD-KKU)

***Corresponding author E-mail:** panidasuksomporm@gmail.com

Received: April 9, 2020 **Revised:** May 29, 2020 **Accepted:** June 1, 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ศึกษาศักยภาพพลังงานลมเฉพาะพื้นที่ของจังหวัดนครพนมเป็นระยะเวลา 1 รอบฤดูกาล (1 ปี) เริ่มตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ.2562 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ.2563 เก็บข้อมูลความเร็วลมและทิศทางลมที่ความสูงสองระดับคือ 60, 90 เมตรเหนือพื้นดิน ข้อมูลที่ได้ถูกนำไปประเมินศักยภาพของพลังงานลมเฉพาะพื้นที่โดยอาศัยการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลอง WAsP 10.0 วิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปีจากกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังการผลิตติดตั้ง ขนาด 0.85, 2.0, 3.3 และ 4.5 เมกะวัตต์ ที่ความสูงต่าง ๆ รวมทั้งประเมินประสิทธิภาพกังหันลม (CF) กังหันลมที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในงานวิจัยนี้คือ G3.3 MW สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้ารายปี (AEP) 7,756 เมกะวัตต์ชั่วโมงต่อปี โดยมีประสิทธิภาพกังหันลม (CF) 26.83%

คำสำคัญ: ความเร็วลม การแจกแจงแบบไวบูลล์ กังหันลม จังหวัดนครพนม

Abstract

This research aims to study the wind energy potential in Nakhon Phanom province of Thailand for 1-year from April 2019 to Mar 2020. The direction and speed of the wind were obtained at 60 and 90 m height above ground level, ground level is 163 m above sea level. The annual energy production (AEP) and capacity factor of the wind turbine generator size of 0.85 MW, 2.0 MW 3.3 MW and 4.5 MW were analyzed using WAsP 10.0; the results shown that generator size 3.3 MW had the highest capacity factor of 26.83% estimating to give 7,756 MWh/year.

Keywords: Wind Speed, Weibull Distribution, Wind Turbine, Nakhon Phanom province

1. บทนำ

ในสถานการณ์ปัจจุบันพลังงานลมเป็นหนึ่งในพลังงานหมุนเวียนที่มีแนวโน้มเป็นตัวเลือกที่มีความน่าสนใจมากขึ้นทั้งในกลุ่มนักวิจัยและนักลงทุน [1] อันเนื่องมาจากปัญหาทางด้านปรากฏการณ์ภาวะโลกร้อนและสภาวะด้านเศรษฐกิจที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน การพัฒนาและใช้พลังงานในประเทศให้เกิดประโยชน์สูงสุดเพื่อเป็นการแก้ปัญหาอย่างยั่งยืน การลดการนำเข้าของแหล่งพลังงานจากต่างประเทศ และลดการใช้พลังงานจากฟอสซิลแล้วหันมาใช้พลังงานหมุนเวียนมากขึ้นแทน

เทคโนโลยีพลังงานลม คือการนำลมมาใช้ประโยชน์จะต้องอาศัยกังหันลมในการเปลี่ยนพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลม เป็นพลังงานกลก่อนนำไปใช้ประโยชน์ พลังงานลมเป็นพลังงานที่ยั่งยืนใช้ไม่มีวันหมด และที่สำคัญกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากลมยังไม่ปล่อยของเสียที่เป็นอันตรายต่อสภาพแวดล้อม [2] ซึ่งก่อนที่จะนำพลังงานลมมาใช้พัฒนาให้เกิดประโยชน์นั้นจำเป็นต้องทำขั้นตอนการศึกษาเพื่อทำการประเมินสถานที่ที่มีศักยภาพพลังงานลมที่เพียงพอสำหรับการผลิตไฟฟ้า [3] ซึ่งการประเมินแหล่งพลังงานลมนั้นมีอยู่มาหลายประเทศทั่วโลก เช่น ยุโรป [4-5] อเมริกา [6] แอฟริกา [7-8] และเอเชีย [9-10] โดยส่วนใหญ่การศึกษาได้มุ่งเน้นไปที่ความเร็วลมเฉลี่ยรายปี การกระจายตัวของทิศทางลม การแจกแจงไวบูลล์ (Weibull Distribution) กำลังลมและการผลิตพลังงานไฟฟ้ารายปี แต่อย่างไรก็ตามการเลือกใช้กังหันลมที่เหมาะสมรวมถึงการเลือกสถานที่ที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้าจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นเพื่อความแม่นยำและช่วยลดความเสี่ยงในการลงทุน ดังนั้นการพิจารณาความเป็นไปได้ในการลงทุนสามารถพิจารณาได้จากภายใต้ข้อมูลต่างๆ ของประเทศตัวอย่างเช่น มีรายงานว่าในหมู่เกาะฟิจิ คาบสมุทรซูลา [11] พบความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ที่ 5.65 m/s, 6.38 m/s ที่ความสูง 20 m และ 34 m การกระจายตัวของทิศทางลมทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ และแผนที่พลังงานลมจาก WAsP รัศมี 5 km ผลิตพลังงานไฟฟ้ารายปีอยู่ที่ 450 MWh จาก

กังหันลม Vestas V27 225 kW กำลังการผลิต 22.77% และได้พบรายงานว่าในเขตอุตสาหกรรม เมืองจูบิลี ซาอุดีอาระเบีย [12] ความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ที่ 3.34, 4.79 และ 5.35 m/s ที่ความสูง 10, 50, 90 m ทิศทางลมที่พัฒมานั้นมาจากทางตะวันตกเฉียงเหนือ แรงเฉือนของลมค่าเป็น 0.217 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกำลังลมคือ 50.92, 116.03 และ 168.46 W/m² ตามลำดับ กังหันลมขนาด 3 MW ผลิตพลังงานไฟฟ้ารายปีอยู่ที่ 6285 MWh โดยมีกำลังการผลิตอยู่ที่ 25%

สำหรับประเทศไทยการศึกษาการประเมินศักยภาพพลังงานลมในช่วง 10 กว่าปีที่ผ่านมาจากหน่วยงานต่างๆ โดยได้มีการวิเคราะห์ข้อมูลโดยอาศัยข้อมูลอุตุนิยมวิทยา แต่ในทางอุตุนิยมวิทยามีความสูงเพียง 10 m (AGL) ซึ่งในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมจำเป็นต้องทราบศักยภาพความเร็วลมที่ความสูง 50 m (AGL) ขึ้นไป [13] และปัจจุบันจากแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP) พ.ศ.2561-2580 ประเทศไทยกำหนดเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมไว้รวม 3,000 MW เมื่อสิ้นสุดแผนในปี 2580 โดยปัจจุบันมี การ ผลิต ไฟ ฟ้ า จาก พ ลั ง ง า น ล ม เข้า ระบบ (COD) แล้ว รวมทั้งสิ้น 1,421 MW [14] แต่เนื่องจากในประเทศไทย การศึกษาการประเมินศักยภาพพลังงานลมนั้นยังถือว่าไม่มากนักถ้าเทียบกับต่างประเทศ พลังงานลมจึงเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจในการนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์

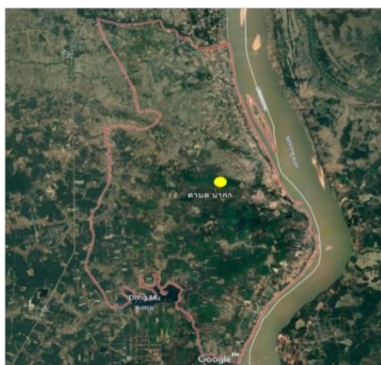
ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพพลังงานลมเพื่อผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมในจังหวัดนครพนม ซึ่งอยู่ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย เป็นพื้นที่ราบสูงและมีความเป็นไปได้ที่จะเป็นสถานที่ที่มีศักยภาพพลังงานลมเพียงพอต่อการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม ซึ่งสภาพภูมิอากาศส่วนใหญ่เป็น ล ม ม ร สุม ป ระ ก อ บ คั ว ย ล ม ม ร สุม ตะวันออกเฉียงเหนือที่เกิดขึ้นตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงมีนาคม ส่วนลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้เกิดขึ้นจากเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม [15] ในการศึกษาในครั้งนี้โดยได้ตรวจวัดความเร็วลมเป็นระยะเวลา 1 รอบฤดูกาล (1 ปี)

ที่ความสูงสองระดับคือ 60, 90 m นำเสนอการวิเคราะห์ข้อมูลรายปี รายเดือน รายวัน ทิศทางการกระจายตัวของลม ความหนาแน่นของกำลังลม และศึกษาการผลิตพลังงานไฟฟ้ารายปี ปัจจัยกำลังการผลิตของกังหันลมเชิงพาณิชย์ ทั้งนี้เพื่อเป็นข้อมูลในการประเมินศักยภาพพลังงานลมเฉพาะพื้นที่และสามารถเพื่อนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการผลิตไฟฟ้าต่อไปในอนาคต รวมทั้งการคัดเลือกกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้าในเหมาะสมต่อพื้นที่อีกด้วย

2.ตำแหน่งที่ตั้งเสาวัดลมและวิธีตรวจวัดลม

พื้นที่ในการติดตั้งเสาวัดลมที่บริเวณตำบลน้ำกล้า อำเภอดุสิต จังหวัดนครพนม ตั้งอยู่ที่พิกัด ละติจูด N 16°86' ลองจิจูด E 104°72' เสาวัดลมแบบ โครงถักสามเหลี่ยมความสูง 100 เมตร ระดับความสูงเหนือน้ำทะเล 163.0 m แสดงดังรูปที่ 1-2

เมื่อติดตั้งเสาวัดลมและอุปกรณ์เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer) แบบสามถ้วย NRG#40C และเครื่องวัดทิศทางลมหรือสกรลม (Wind Vane) NRG#200P ของบริษัท NRG Systems ผลิตในประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ได้มาตรฐานที่ทั่วโลกยอมรับ ดังตารางที่ 1 ที่ระดับความสูง 60 และ 90 m ตามลำดับ เก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 1 รอบฤดูกาล (1 ปี) ตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2562 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2563 ข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยทุก ๆ 10 นาที จะถูกบันทึกไว้ที่เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) นำมาวิเคราะห์หาศักยภาพพลังงานลมโดยใช้หลักการทางสถิติ และโปรแกรม WAsP 10.0



รูปที่ 1 ตำแหน่งที่ตั้งเสาวัดลม



รูปที่ 2 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเร็วลมบนเสาที่ความสูง 2 ระดับ

ตารางที่ 1 อุปกรณ์ที่ติดตั้งบนเสาวัดลม

อุปกรณ์	รายละเอียด	ผู้ผลิต
เสาวัดลม 100 เมตร	โครงถักสามเหลี่ยม	NRG System
Anemometer NRG#40C	-ชนิด 3 ถ้วย -ช่วงความเร็วลมทำงาน 1-96 m/s -ความถี่ (Hz)แปรผันกับความเร็วลม -TF (m/s)=(Hz*0.765)+0.35	
Wind Vane NRG#200P	-Measuring Rang 0-360° -ช่วงทำงาน -55 ถึง 60 ° -ช่วงทำงาน 0 ถึง100% RH	

3.ผลและการอภิปราย

3.1 ลักษณะความเร็วลมเฉลี่ยรายปี, รายเดือนและรายชั่วโมง

ข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ.2562 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2563 ที่ความสูงแตกต่างกันสองระดับคือ 60 และ 90 เมตรเหนือพื้นดิน ความเร็วลมเฉลี่ยรายปี แสดงดังรูปที่ 3 พบว่าความเร็วลมมีความแปรผันไม่มากนักในระยะเวลา 1 รอบปี รูปที่ 4 และตารางที่ 2 แสดงความเร็วลมเฉลี่ยในแต่ละเดือนจะพบว่าความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุดในเดือนธันวาคมเท่ากับ 5.07 และ 4.53 เมตรต่อวินาที และต่ำสุดในเดือนพฤษภาคม เท่ากับ 3.49 และ 2.99 เมตรต่อวินาที ที่ความสูง 90 และ 60 เมตร ตามลำดับ รูปที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมรายชั่วโมง พบว่าในช่วงเวลากลางคืน (18.00-06.00 น.) จะมี

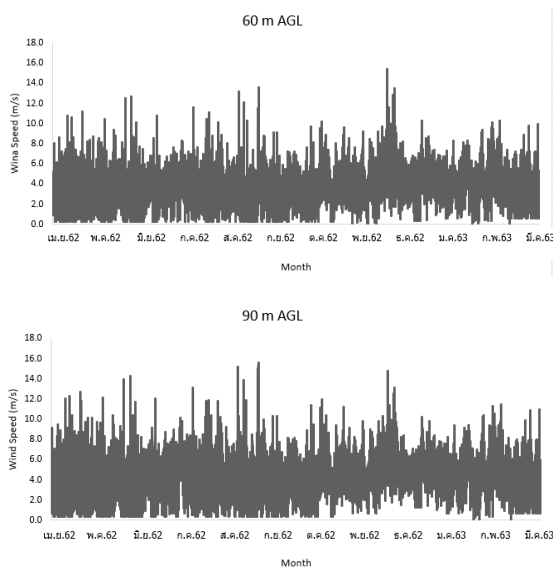
ความเร็วลมมากกว่าช่วงเวลากลางวัน (06.00-18.00 น.) ในช่วงกลางวันลมจะค่อนข้างเสถียร ตารางที่ 3 แสดงพารามิเตอร์การกระจายตัว k , c และกำลังลมเฉลี่ยตามฤดูกาล โดยฤดูหนาว (พ.ย.-ม.ค.), ฤดูร้อน (ก.พ.-พ.ค.), ฤดูฝน (มิ.ย.-ค.ค.)

ความเร็วลมเฉลี่ย (U_m) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) หาได้โดยใช้สมการ (1) และ (2)

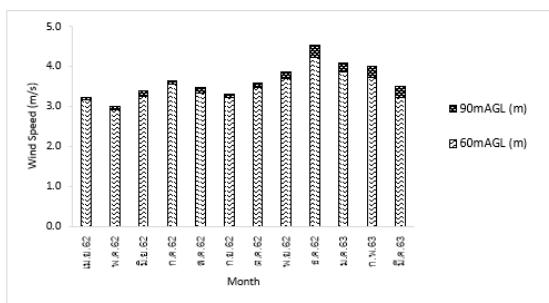
$$U_m = \frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N U_i \right] \quad (1)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{i=1}^N (U_i - U_m)^2 \right] \quad (2)$$

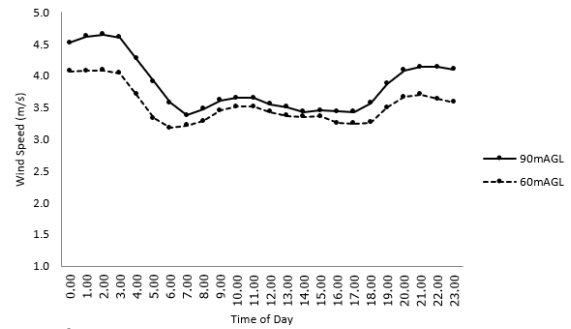
โดยที่ U_m คือ ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s), U_i คือ ความเร็วลมเฉลี่ยตลอดช่วงเวลา (m/s), N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด, σ คือ ค่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมเฉลี่ยรายปี



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน



รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมเฉลี่ยรายชั่วโมง

ตารางที่ 2 ความเร็วลมเฉลี่ย (เมตรต่อวินาที)

เดือน	ความสูง (m)	
	90mAGL	60mAGL
เม.ย.62	3.79	3.23
พ.ค.62	3.49	2.99
มิ.ย.62	3.90	3.40
ก.ค.62	4.26	3.64
ส.ค.62	3.99	3.47
ก.ย.62	3.86	3.31
ต.ค.62	4.18	3.58
พ.ย.62	4.44	3.86
ธ.ค.62	5.07	4.53
ม.ค.63	4.62	4.09
ก.พ.63	4.46	4.00
มี.ค.63	3.87	3.49
ความเร็วลมเฉลี่ยตลอดทั้งปี (m/s)	4.16	3.63

3.2 การแจกแจงไวบูลล์ (Weibull distribution function) และทิศทางลม

การแจกแจงไวบูลล์เป็นการแจกแจงทางสถิติประกอบไปด้วยพารามิเตอร์ 2 ตัว ใช้แทนลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลลมทางสถิติ คือ Shape Parameter (k) และ Scale Parameter (c) [16] สามารถหาได้จากสมการที่ (3-5)

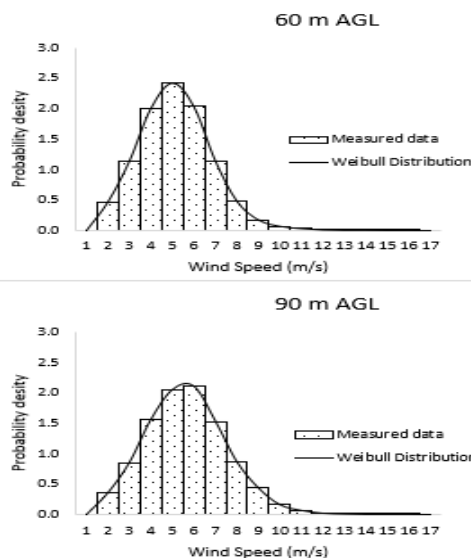
$$f(U) = \frac{k}{c} \left(\frac{U}{c} \right)^{k-1} \exp \left(- \left(\frac{U}{c} \right)^k \right) \quad (3)$$

$k > 0, v > 0, c > 0$

$$k = \left(\frac{\sigma}{\bar{U}} \right)^{-1.086} \quad 1 \leq k \leq 10$$

$$c = \frac{\bar{U}}{\Gamma\left(1 + \left(\frac{1}{k}\right)\right)}$$

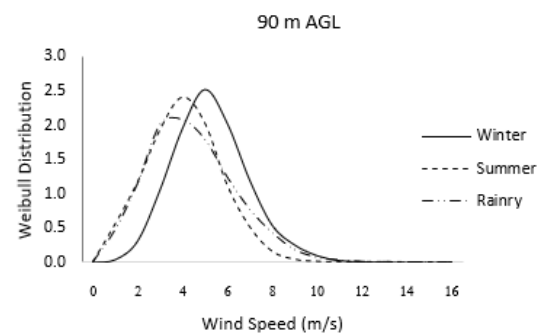
โดยที่ k คือ พารามิเตอร์รูปร่างของไวบูลล์, c คือ พารามิเตอร์ระดับของไวบูลล์ (m/s), Γ คือ Gamma Function



รูปที่ 5 การแจกแจงความถี่ความเร็วลมและเส้นโค้งไวบูลล์

รูปที่ 5 แสดงการแจกแจงความถี่ความเร็วลมและเส้นโค้งไวบูลล์ที่ความสูง 60 และ 90 เมตร พบว่ามีความสัมพันธ์ที่ดีระหว่าง 2 พารามิเตอร์เส้นโค้งไวบูลล์กับความเร็วลม โดยทั่วไปความเร็วเริ่มต้นของกังหันลม (cut-in speed) ส่วนใหญ่มีค่า 3 เมตรต่อวินาที และจากเส้นโค้งไวบูลล์ของงานวิจัยนี้ พบว่าส่วนใหญ่มีการแจกแจงความถี่ลมสูงกว่า 3 เมตรต่อวินาทีขึ้นไปอยู่ที่ 45.6% และ 52.4% ที่ความสูง 60, 90 เมตรตามลำดับ นอกจากนี้รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบเส้นโค้งไวบูลล์ในแต่ละฤดูกาล พารามิเตอร์ k คือ 2.78, 2.49, 2.04 ในฤดูหนาว, ฤดูร้อนและฤดูฝน ตามลำดับที่ความสูง 90 เมตร และคล้ายกันที่ความสูง 60 เมตร ตารางที่ 3 แสดงพารามิเตอร์ k , c และความเร็วลมเฉลี่ยแต่ละฤดูกาล

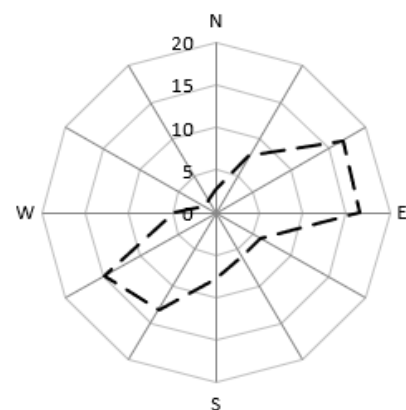
- (4) พบว่าความเร็วลมสูงสุดในฤดูหนาว 4.13 เมตรต่อวินาที และค่าพารามิเตอร์ c พบค่าสูงสุดในฤดูหนาว 4.70 เมตรต่อวินาที ที่ความสูง 90 เมตร พารามิเตอร์ k พบค่าสูงสุดในฤดูหนาว และต่ำสุดในฤดูฝน พบข้อมูลคล้ายกันที่ความสูง 60 เมตรรูปที่ 7 แสดงถึงทิศทางการกระจายตัวของลมเฉลี่ยตลอดทั้งปี ที่ความสูง 90 เมตร ทิศทางของลมส่วนใหญ่พัฒมาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือไปยังทิศตะวันตกเฉียงใต้ สำหรับพื้นที่
- (5)



รูปที่ 6 เส้นโค้งไวบูลล์เฉลี่ยตามฤดูกาล

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์ k , c และกำลังลมเฉลี่ยตามฤดูกาล

เดือน	ความสูง (m)					
	60 mAGL			90 mAGL		
	U (m/s)	c (m/s)	k	U (m/s)	c (m/s)	k
ฤดูหนาว	4.13	4.70	2.64	4.60	5.20	2.78
ฤดูร้อน	3.54	4.00	2.54	3.89	4.10	2.49
ฤดูฝน	3.43	3.90	2.12	3.64	4.40	2.04
รายปี	3.67	4.20	2.38	4.19	4.70	2.47



รูปที่ 7 ทิศทางการกระจายตัวของลมเฉลี่ยรายปีที่ความสูง 90 เมตร

3.3 ความหนาแน่นของกำลังลมและค่าสัมประสิทธิ์แรงลมเลื่อน

ความหนาแน่นของกำลังลมพื้นที่นี้หาได้โดยใช้สมการที่ (6) โดย (P) ความหนาแน่นของกำลังลม และใช้ความหนาแน่นของอากาศมาตรฐานเท่ากับ 1.225 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร [17]

$$P = \frac{1}{2} \rho U^3 \quad (6)$$

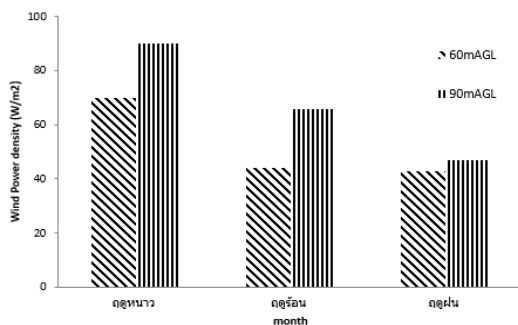
ค่าสัมประสิทธิ์แรงลมเลื่อน (WSC, α) หาได้จากสมการที่ (7)

$$\alpha = \frac{\ln(U_2) - \ln(U_1)}{\ln(Z_2) - \ln(Z_1)} \quad (7)$$

โดยที่ U_1 และ U_2 คือความเร็วลมเฉลี่ยที่ความสูง Z_1 และ Z_2 ตามลำดับ

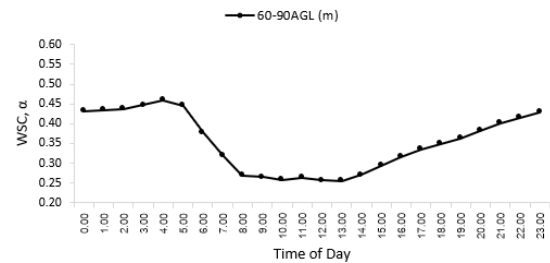
รูปที่ 8 แสดงค่าความหนาแน่นกำลังลมเฉลี่ยตามฤดูกาล ค่าจะเพิ่มขึ้นตามความสูงและพบค่าสูงสุดในฤดูหนาว 90, 66 และ 47 วัตต์ต่อตารางเมตร ในฤดูร้อน, ฤดูฝน ที่ความสูง 90 เมตร ตามลำดับ และ 70, 44, 43 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่ความสูง 60 เมตร ในฤดูหนาว, ฤดูร้อน และฤดูฝน

อย่างไรก็ตามความหนาแน่นของกำลังลมที่วัดได้บริเวณพื้นที่นี้ยังถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ค่อนข้างต่ำ [18] สำหรับการติดตั้งกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าในเชิงพาณิชย์ ตาม $\bar{P}/A < 100 \text{ W/m}^2$ ต่ำ , $\bar{P}/A \approx 400 \text{ W/m}^2$ ดี $\bar{P}/A > 700 \text{ W/m}^2$ ดีมาก



รูปที่ 8 ความหนาแน่นกำลังลมเฉลี่ยตามฤดูกาล

รูปที่ 9 แสดงถึงค่าสัมประสิทธิ์แรงลมเลื่อนเฉลี่ย (WSC) ของความสูงระหว่าง 60-90 เมตร มีค่าเท่ากับ 0.35 ค่า WSC มีค่าค่อนข้างสูง ทั้งนี้เนื่องมาจากอิทธิพลของความขรุขระของพื้นผิวของบริเวณสถานีวัดลม โดยมีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 14.00 น. และเพิ่มขึ้นค่อนข้างคงที่จนถึง 0.00 น. จากนั้นจะมีค่าค่อนข้างคงที่ และมีการลดลงอย่างฉับพลันในช่วงเช้า 06.00 น.-09.00 น. เนื่องมาจากได้รับอิทธิพลความร้อนจากแสงอาทิตย์ ในขณะเดียวกันสามารถทำนายค่าความเร็วลมนอกช่วงที่ความสูงสูงกว่า 90 เมตร ที่ได้ทำการวัดจริงได้ โดยใช้สมการที่ (7) เมื่อใช้ค่า $WSC (\alpha)$ เท่ากับ 0.35



รูปที่ 9 ค่าสัมประสิทธิ์แรงลมเลื่อน

3.3 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปีและประสิทธิภาพกังหันลม

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปี (AEP) และประสิทธิภาพกังหันลม (CF) หาได้จากสมการที่ (8) และ (9)

$$AEP = 8760 \int_{U_{ci}}^{U_{co}} P_t(u) f(u) du \quad (8)$$

$$C_f = \frac{AEP}{P_r \times 8760} \quad (9)$$

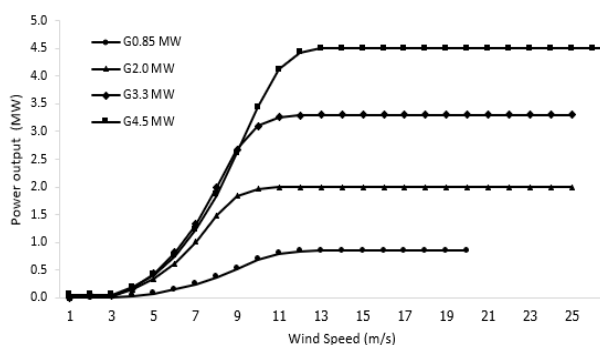
โดยที่ U_{ci} และ U_{co} คือ cut-in speed และ cut-off speed ของกังหันลม P_t เส้นโค้งกำลังของกังหันลม และ P_r ขนาดกำลังของกังหันลม

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกกังหันลมเชิงพาณิชย์มา 4 ตัว เป็นกังหันลมแกนนอน ข้อดีของกังหันลมชนิดนี้มีพื้นที่ในการรับลมมาก, แรงบิดรอบแกนสูง, ความเร็วรอบสูง และคงที่ มีประสิทธิภาพสูง แต่กังหันลมชนิดนี้มีข้อจำกัดคือต้องการเสาขนาดใหญ่เพื่อรองรับชุดเกียร์ และเจนเนอเรเตอร์ที่อยู่บนเสา ต้องมีระบบควบคุมเพื่อ

หาทิศทางลมและมีเสียงดังในการทำงานเพราะความเร็วรอบสูง ข้อมูลทางเทคนิคแสดงตารางที่ 4 และ รูปที่ 9 เพื่อวิเคราะห์การประเมินการผลิตพลังงานไฟฟ้ารายปี (AEP) จากแบบจำลอง WAsP 10.0 และ ประเมินประสิทธิภาพกังหันลม (CF; Capacity Factor)

ตารางที่ 4 ข้อมูลจำเพาะของกังหันลม

ประเภท	G0.85 MW	G2.0 MW	G3.3 MW	G4.5 MW
Rated output (MW)	0.85	2.0	3.3	4.5
Rotor dimeter (m)	58	114	132	128
Number of blades	3	3	3	3
Hub height (m)	65	93	134	140
Sweep area (m ²)	2,642.0	10,207.0	13,685.0	12,868.0
Cut-in speed (m/s)	3.0	2.5	2.0	1.0
Cut-out speed (m/s)	20.0	25.0	25.0	27.0
Rated wind speed (m/s)	12.5	10.0	10.0	12.0

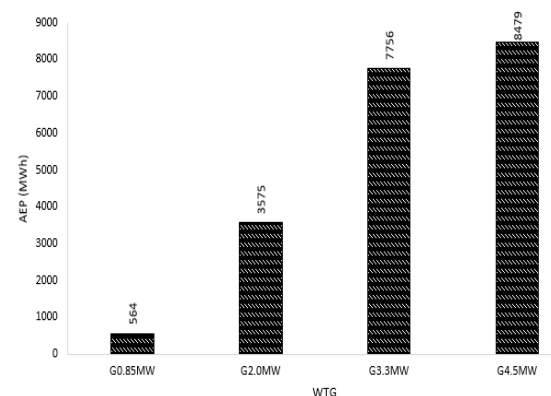


รูปที่ 10 เส้นโค้งกำลังกังหันลม
(Wind turbines power curves)

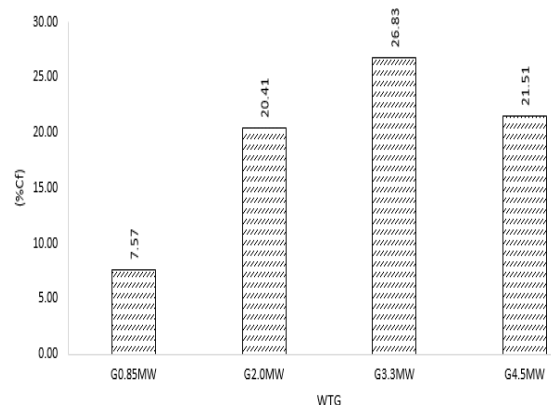
การผลิตพลังงานไฟฟ้ารายปี (AEP) แสดงดังรูปที่ 11 สูงสุด 8,479 เมกะวัตต์ชั่วโมงต่อปี จากกังหันลม G4.5

MW ตามด้วย 7,756, 3,575 และ 546 เมกะวัตต์ชั่วโมงต่อปี จากกังหันลม G3.3, G2.0, G0.85 MW ตามลำดับ ในรูปที่ 12 ประสิทธิภาพกังหันลม (CF) มีค่า 26.83%, 21.51%, 20.41% และ 7.57% สำหรับกังหันลม G3.3, G4.5, G2.0, G0.85 MW ตามลำดับ

การคำนวณประสิทธิภาพกังหันลม (CF) หาได้จากอัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ผลิตได้จริงจากกังหันลมต่อพลังงานที่สามารถผลิตได้ในกรณีที่กังหันลมทำงานเต็มพิกัดตลอดเวลา อย่างไรก็ตาม CF เป็นตัวเลือกสำคัญในการตัดสินใจติดตั้งกังหันลม CF ที่คำนวณได้จากกังหันลมที่เลือกมาเป็นกรณีศึกษาสำหรับพื้นที่นี้ยังถือว่ามีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ มีเพียงกังหันลม G3.3 MW ที่มีประสิทธิภาพกังหันลม (CF) ที่ดี ค่า CF ของกังหันลมที่มีประสิทธิภาพดี ณ บริเวณที่มีศักยภาพพลังงานลมสูงอยู่ในช่วง 25% - 40% [19]



รูปที่ 11 การผลิตพลังงานไฟฟ้ารายปี (AEP)



รูปที่ 12 ประสิทธิภาพกังหันลม (CF)

4.สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาศักยภาพพลังงานลมเพื่อผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมในจังหวัดนครพนม ซึ่งอยู่ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย โดยตรวจวัดความเร็วลมเป็นระยะเวลา 1 รอบฤดูกาล (1 ปี) ที่ความสูงสองระดับคือ 60, 90 เมตร พบว่า ความเร็วลมเฉลี่ยตลอดทั้งปีมีค่า 4.16 และ 3.63 เมตรต่อวินาที ที่ความสูง 90 และ 60 เมตรตามลำดับ ในขณะที่ทิศทางลมส่วนใหญ่กระจายตัวจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือไปยังทิศตะวันตกเฉียงใต้ ในช่วงเวลากลางคืน (18.00-06.00 น.) จะมีความเร็วลมมากกว่าช่วงเวลากลางวัน (06.00-18.00 น.) ในช่วงกลางวันความเร็วลมจะค่อนข้างเสถียร การแจกแจงความถี่ลมที่มีค่าสูงกว่า 3 เมตรต่อวินาทีขึ้นไปมีค่า 45.6% และ 52.4% ที่ความสูง 60, 90 เมตรตามลำดับ

ในส่วนของความหนาแน่นกำลังลมมีค่าอยู่ระหว่าง 50 ถึง 72 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่ความสูง 60, 90 เมตรตามลำดับ พบว่าความเร็วลมสูงสุดในฤดูหนาว 4.13 เมตรต่อวินาที ที่ความสูง 90 เมตร ในส่วนค่าพารามิเตอร์ k พบว่า มีค่าสูงสุดในฤดูหนาว และต่ำสุดในฤดูฝน ค่าสัมประสิทธิ์แรงลมเฉือน (WSC) พบว่าที่ความสูงระหว่าง 60-90 เมตร มีค่าเท่ากับ 0.35 นอกจากนี้ การผลิตพลังงานไฟฟ้ารายปี (AEP) 7,756 เมกะวัตต์ ชั่วโมงต่อปี จากกังหันลม G3.3 MW โดยมีประสิทธิภาพกังหันลม (CF) สูงสุดที่ค่า 26.83% ที่ให้ผลตอบแทนที่ดีกับพื้นที่นี้ ซึ่งจากการประเมินศักยภาพลมพื้นที่นี้ถือได้ว่า มีประสิทธิภาพที่ดี ซึ่งสามารถนำข้อมูลไปประกอบการตัดสินใจในการเลือกติดตั้งกังหันลมที่มีขนาดเหมาะสมในช่วงความเร็วลมสำหรับพื้นที่นี้ และเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ที่สามารถนำไปใช้ได้จริงในการพัฒนาพลังงานลมในพื้นที่อำเภอธาตุพนมต่อไปในอนาคต หรือนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ในการเกษตร

5.กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนมหาวิทยาลัยขอนแก่น (AERD-KKU) สำหรับการสนับสนุนทุนในการทำวิจัยในครั้งนี้ และผู้ที่มีส่วนร่วมในการดำเนินงาน ในงานวิจัยนี้ทุกท่าน

6.เอกสารอ้างอิง

- [1] Energy and Environment. [online]. Available:<https://sites.google.com/site/energyandenvironment00/sthankarn-phlangngan-khxng-lok.2020>.
- [2] Green Peace Thailand. "Wind Energy," [online]. Available:<https://www.greenpeace.org/thailand/story/8712/wind/>.2020.
- [3] E. K Akpınar and S. Akpınar "A statistical analysis of wind speed data used in installation of wind energy conversion systems," Energy Convers Manage, Vol.46, pp.515–32, 2005.
- [4] M. Abbes and J. Belhadj "Investigation of wind characteristics and wind power potential in El-Kef region, Tunisia," In: 8th international multi-conference. Systems, Signals and Devices; 2011. pp. 1–10.
- [5] N. Nawri, G. N. Petersen, H. Bjornsson, A.N. Hahmann, K. Jonasson, C-B. Hasager and N-E Clausen. "The wind energy potential of Iceland," Renewable Energy, Vol.69, pp. 290–9, 2014.
- [6] C. Wichser and K. Klink, "Low wind speed turbines and wind power potential in Minnesota," USA. Renewable Energy, Vol.33, pp.1749–58, 2018.
- [7] S. B. Modeling, "Wind speed and wind power distributions in Rwanda," Renew Sustain Energy Rev, Vol.15, pp.925–35, 2011.
- [8] N. M. Al-Abbadi, "Wind energy resource assessment for five locations in Saudi Arabia," Renewable Energy, Vol.30, pp.1489–99, 2005.

-
- [9] K. M. Nor, M. Shaaban, H. A. Rahman, "Feasibility assessment of wind energy resources in Malaysia based on NWP model," *Renewable Energy*, Vol.62, pp.147–54, 2014.
- [10] O. Ki-Yong, K. Ji-Young, L. Jae-Kyung, R. Moo-Sung and L. Jun-Shin, "An assessment of wind energy potential at the demonstration offshore wind farm in Korea," *Energy*, Vol.46, pp.555–63, 2012.
- [11] S. Kaushik and A. M. Rafiuddin, "Wind energy resource assessment for the Fiji islands: Kadavu Island and Suva Peninsula," *Renewable Energy*, Vol.89, pp.168-180, 2016.
- [12] M.A. Baseer, J.P. Meyer, M. A. Mahbub and S. Rehman, "Wind speed and power characteristics for Jubail industrial city, Saudi Arabia *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.52, pp.1193-1204, 2015.
- [13] Thailand Renewable Energy for Community Association. "Wind," [online]. Available: <http://www.reca.or.th/library-wind-power.aspx>.
- [14] Thailand Power Development Plan. [online]. Available: <http://www.eppo.go.th/images/POLICY/PDF/PDP2018.pdf>. 2020.
- [15] The Meteorological Department. "Wind," [online]. Available: <https://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=52>. 2020.
- [16] J. Weawseang, M. Mahin, N. Nankongnab, T. Thappaya, Y. Thirawanichayakorn, S. Thirawanichayakorn and N. Matan, Assessment of Micrositing Wind Energy Potential Along the Coasts of Southern Thailand. The National Research Council of Thailand (Wor Chor). 2008.
- [17] P. Quan and T. Leephakpreeda, Assessment of wind energy potential for selecting wind turbines: An application to Thailand. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 11, 17–26, 2015.
- [18] A. Dabbaghiyan et al., Evaluation of wind energy potential in the province of Bushehr, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.55, pp.455-466, 2016.
- [19] C. Chana, K. Narit and W. Jompob, Technical Analysis of the Thai Gulf Offshore Wind Farm Power Plant at Pak Phanang District in Nakhon Si Thammarat Province. *Thaksin.J.*, Vol.16 (1) January-June 2013.

Influence of Mn on Mechanical Properties and Hardening Behaviors of High Carbon Containing Austenitic Manganese Fe-xMn-2Cr-1.3C Steels

Kulsiri Pothikamjorn* and Phacharaphon Tunthawiroon

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

*Corresponding author E-mail: kulsirikwang@gmail.com

Received: April 1, 2020 Revised: June 15, 2020 Accepted: June 18, 2020

Abstract

The mechanical properties and hardening behaviors of the high carbon containing Fe-13Mn, Fe-18Mn, and Fe-20Mn steels was investigated in this study. The microstructures of the experimental steels were researched using the electron back-scattered diffraction, EBSD and X-ray diffraction, XRD techniques. The mechanical properties of the steels were characterized by hardness and monotonic tensile tests. The hardening behavior was determined based on the material constants obtained from the relationship between the true stress and true strain. The results indicated that the Mn concentrations were insignificantly affected on the microstructure and the phase of Fe-xMn steels, as well as the hardness and tensile properties. The power law relation during the plastic deformation for Fe-13Mn, Fe-18Mn, and Fe-20Mn steels could be predicted to be $\sigma = 2230.62\varepsilon^{0.474}$, $\sigma = 2240.41\varepsilon^{0.433}$, and $\sigma = 2051.64\varepsilon^{0.381}$, respectively. The strength coefficient, K and the strain hardening exponent, n , were found to be decreased with increasing Mn concentrations. Reduction of the strain hardening exponent led to the decline in strain hardening rate ($d\sigma/d\varepsilon$) during the plastic deformation of Fe-xMn steels.

Keywords: Fe-Mn steels, mechanical property, tensile tests, hardening behavior, strain hardening rate

1. Introduction

Manganese steels, also call Austenitic Manganese steels or Mangalloys or Hadfield steels have been extensively used for many industrial fields owing to their good toughness and high ductility [1], [2]. A notable property of manganese steels is high work hardening capacity and high resistant to abrasion, compared to the other carbon steels [3]. Moreover, manganese steels are non-magnetic because they are characterized by a fully austenitic microstructure even at the room temperature [4]–[7]. Thus, this kind of steels is suitable for the heavy industrial fields, such as mining, railroad industry, cement industry and etc., [2], [3], [8]–[10]. For the commercial manganese steels, the

manganese concentrations are incorporated between 3 and 12 wt.% with a small amount of carbon ranging from 0.2 to 1.0 wt.% [11], [12]. Both manganese and carbon are responsible for solid-solution strengthening and precipitation strengthening effects in the steels as well as austenite stabilizer. Addition of the additive elements, such as Cr, Mo and Ti are much more effective in aforementioned strengthening effects [13]–[15]. However, adding the extra elements is an optional to raise the cost of steels to have more specific mechanical properties.

Recently, the manganese steels are considered as the prospective alloys for using in the automotive industry[6], [15]–[17]. Moreover, the development of these steels is being carried

out in order to obtain the satisfaction and/or suitable performance for each service. This development leads to emerge the various manganese steel compositions. They could be basically categorized to be low, medium and high manganese steels based on the level of manganese concentrations. Generally, low manganese steels contain the manganese contents at about 3-12 wt.%. For the medium and high manganese steels, the extra manganese concentrations are typically added between 15 and 30 wt.% [14]. Based on the literature [8], the high manganese steels (HMS) with high strength have been intentionally developed since 2011. Many studies attempted to enhance the mechanical properties of HMS with heat treatments and the second-phase precipitations [3], [15]. Nonetheless, the existing researches focusing on the work hardening behavior of HSM are limited even though it is a crucial property of this steel composition. Therefore, in this research, the hardening behaviors of the high manganese steels (the Mn concentrations are between 13 and 20 wt.%) are studied via the room temperature tensile testing.

2. Experiments

2.1. Materials

The high carbon containing Fe-xMn steels (supplied by Sammitr Metal Works Co.,Ltd., Thailand) were used in this study, where x is the Mn concentrations varying between 13, 18, and 20 wt.%. The high purity of elements was melted in electrical furnace and then casted into round bars with a diameter of approximate 25 mm and length of 300 mm using the sand mold. The as-cast steels were subjected to the homogenizing heat treatment at 1250 °C for 6 h, followed by air cooling. Subsequently, the homogenized steels were heat-treated at 1050 °C for 6 h, followed by quenching in water. The heat treatment profile used to prepare the experimental Fe-xMn steels was illustrated in Fig. 1. The chemical compositions of the as-cast Fe-xMn steels, individually examined using optical emission spectroscopy, OES, are tabulated in Table 1. Hereafter, the experimental steels are labeled as Fe-13Mn, Fe-18Mn, and Fe-

20Mn based on the Mn concentrations used in this study.

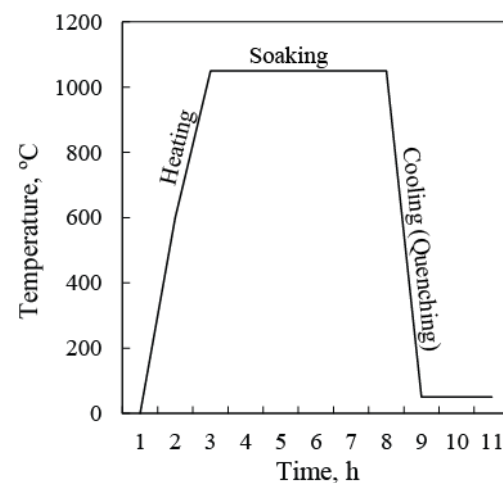


Fig. 1. Heat treatment profile used to prepare the experimental Fe-xMn steels

Table 1. Chemical compositions of the experimental steels used in this study

Elements (wt.%)	Experimental steels		
	Fe-13Mn	Fe-18Mn	Fe-20Mn
Mn	13.20	17.80	19.40
Cr	2.00	1.90	2.05
C	1.27	1.31	1.33
Si	0.45	0.54	0.58
Ni	<0.1	<0.1	<0.1
P	<0.04	<0.04	<0.04
S	<0.03	<0.03	<0.03
Fe	Bal.	Bal.	Bal.

2.2. Microstructure observation

The initial microstructure was examined using the electron back-scattered diffraction, EBSD, equipped with scanning electron microscope, SEM. The primary electron beam, which typically has an energy of 20 keV was applied during EBSD analysis. In order to confirm the phases of experimental steels, X-ray diffraction, XRD was carried out. X-ray diffraction patterns were obtained with a diffractometer using a Cu K α (0.1547 nm) radiation source. The applied voltage and current were 40 mA and 45 kV. During the XRD measurements, each steel was scanned from 30° to 120° (2 θ) with the step size of 1°/min.

2.3. Mechanical property and hardening behavior characterization

The mechanical properties of the experimental Fe-xMn steels were characterized on the basis of hardness and uniaxial tensile tests conducted at the room temperature. The hardness was carried out using the micro Vickers hardness method. The indentation load and duration for each measurement were 1000 g and 15 s, respectively. For the uniaxial tensile test, the tensile specimens were prepared in accordance with the American Standard for Testing Materials (ASTM) E8M. The dimensions for tensile specimen were illustrated in Fig. 2. The specimen was individually strained with a constant strain rate of $1.5 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ corresponding to the travelling speed of 0.1 mm/min. The hardening behavior was evaluated in the term of the strain hardening rate expressed by the following equation:

$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = n \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (1)$$

where n is the strain hardening exponent, σ is the true stress and ε is the true strain.

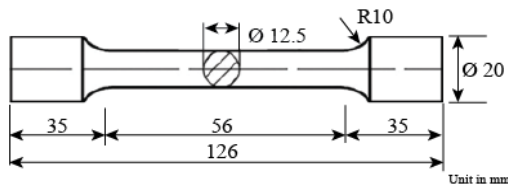


Fig. 2. Geometry of tensile specimen prepared in accordance with ASTM: E8M

3. Results and discussion

3.1. Microstructure

The microstructure of the experimental Fe-xMn steels was analyzed by EBSD technique as shown in Fig. 3–5. Figure 3a–c illustrate the EBSD inverse pole figure (IPF) maps of the Fe-13Mn, Fe-18Mn, and Fe-20Mn steels. According to EBSD analysis, an equiaxed-grain structure was observed in the experimental steels with a large grain size ranging from a few hundred micrometer to few millimeters. The IPF maps (Fig. 3) reveal that the crystalline orientation of Fe-xMn steels were randomly distributed as the colors were varied. In the other words, the experimental steels exhibited a lack of preferred

orientation of crystalline grain formed during the fabrication and preparation, consistent with [17]. Thus, influence of steels microstructure on the mechanical properties and hardening behaviors could be neglected. The image quality (IQ) maps together with boundary rotation angle of Fe-13Mn, Fe-18Mn, and Fe-20Mn steels were depicted in Fig. 4a–c. Based on the IQ maps, the grain boundaries of steels were clearly revealed. In addition, for all experimental steels, the most inclination angle of the grain boundary was observed to be higher than 15° (represented by the blue line along the grain boundaries in IQ maps) suggesting the high angle misorientation structure. Figure 5a–c, respectively show the phase maps of the Fe-13Mn, Fe-18Mn, and Fe-20Mn. According to the equilibrium phase diagram of the Fe-Mn system [18] and the cooling (quenching) method used in this research, the phases, including ferrite (α) and austenite (γ) as well as martensitic structure, should coexist theoretically. Therefore, in the EBSD phase mapping analysis, the above-mentioned phases were chosen as database for evaluation and analysis. However, the phase of the experimental Fe-xMn steels was a fully austenite (γ) structure as the monocolour (only green color) was revealed in the EBSD phase maps. The presence of a single austenitic phase was attributed to the influence of Mn which extended the austenitic (γ) field in the iron-carbon phase diagram [18]. To assure the phase of Fe-xMn steels, XRD analysis was conducted and the XRD patterns are shown in Fig. 6. The several peaks associated with an austenitic structure were indicated without the presence of other and carbide phases although the experimental steels contained the high concentrations of carbon.

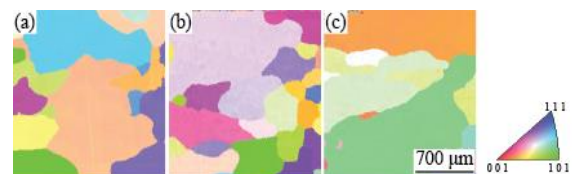


Fig. 3. EBSD inverse pole figure (IPF) map of (a) Fe-13Mn, (b) Fe-18Mn, and (c) Fe-20Mn

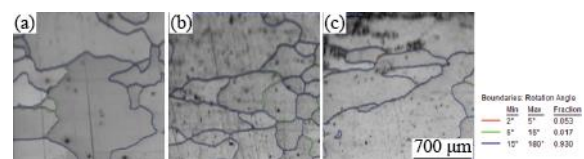


Fig. 4. EBSD image quality (IQ) map of (a) Fe-13Mn, (b) Fe-18Mn, and (c) Fe-20Mn

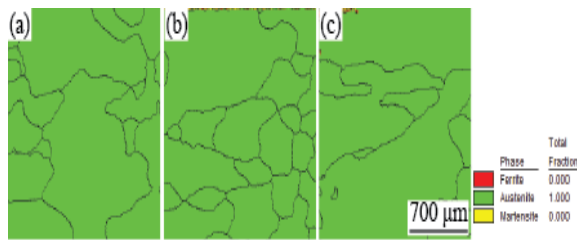


Fig. 5. EBSD phase map of (a) Fe-13Mn, (b) Fe-18Mn, and (c) Fe-20Mn

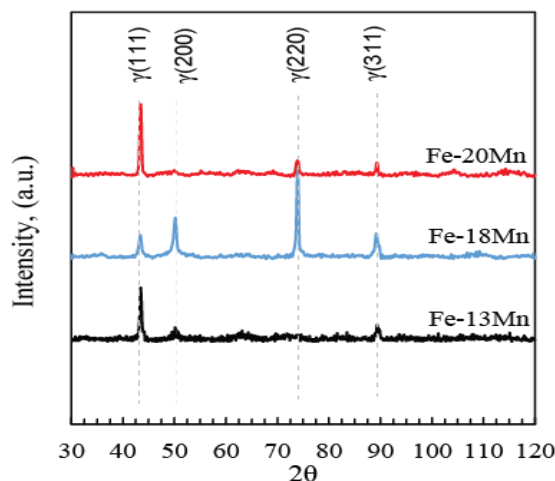


Fig. 6. XRD pattern of Fe-13Mn, Fe-18Mn, and Fe-20Mn steels

3.2. Mechanical properties

Figure 7 compares the hardness of the experimental Fe-xMn steels after the heat treatment process. The average hardness of the Fe-13Mn, Fe-18Mn, and Fe-20Mn steels was 233.01 ± 3.2 , 232.90 ± 3.7 , and 231.72 ± 4.6 HV, respectively. The fundamental tensile properties of Fe-xMn steels, including yield stress, tensile strength, and elongation determined from the tensile tests, were summarized in Table 2. The yield stress, tensile strength, and elongation were accordingly varied between 450-480 MPa, 720-780 MPa, and 32-38%. Both hardness and tensile results indicated that Fe-13Mn, Fe-18Mn, and Fe-20Mn exhibited the similar mechanical properties [12]. Thus, it would be deduced that the concentrations of Mn between 13 and 20 (wt.%) did not influence on the hardness and tensile properties of the high carbon Fe-xMn steels.

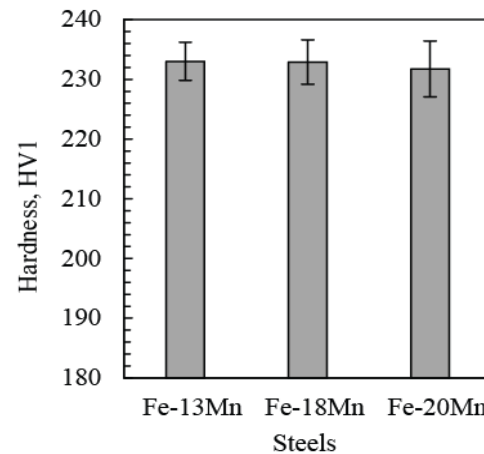


Fig. 7. Hardness of experimental steels

Table 2. The tensile properties obtained from the tensile tests

	Yield stress (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
Fe-13Mn	481.41 ± 25.0	786.34 ± 86.4	39.73 ± 5.3
Fe-18Mn	480.07 ± 36.5	784.01 ± 26.4	39.92 ± 5.6
Fe-20Mn	452.38 ± 38.2	720.17 ± 66.4	32.50 ± 12.8

3.3. Strain hardening behavior of Fe-xMn

To obtain the hardening parameters during the plastic deformation of the tensioned Fe-xMn specimens, the engineering stress and engineering strain obtained from the tensile testing were transformed to the true stress and true strain by the following equations:

$$\sigma = s(e + 1) \quad (2)$$

$$\varepsilon = \ln(e + 1) \quad (3)$$

where σ is the true stress and ε is the true strain. The engineering stress and engineering strain are denoted as s and e . Figure 8 illustrates the representative true stress-strain curves of the experimental Fe-xMn steels. The results indicated that the relation between true stress and true strain for Fe-13Mn, Fe-18Mn, and Fe-20Mn steels were almost the same. The curves display the deformation behavior in both the elastic and plastic regions obviously. According to the true

stress-strain curves in Fig. 8, the elastic region which is characterized by a proportional relationship between stress and strain was found in the true strain between 0 and 0.07 whereas the plastic region presented when the true strain was greater than 0.07 until the rupture strain. The deformation behavior in the plastic region could express by the simple power law relation as follows:

$$\sigma = K\varepsilon^n \quad (4)$$

where K is the strength coefficient and n is the strain hardening exponent. A log-log plot of the true stress and true strain curves of Fe- x Mn steels, shown in Fig. 9, results in transformation of power law relation to linear relation. Based on the power law relation, eq. (4), the value of K and n for Fe-13Mn, Fe-18Mn, and Fe-20Mn steels could be predicted to be $\sigma = 2230.62\varepsilon^{0.474}$, $\sigma = 2240.41\varepsilon^{0.433}$, and $\sigma = 2051.64\varepsilon^{0.381}$, respectively. The K and n value of the experimental steels were compared as depicted in Fig. 10. By comparison, the K and n were slightly decreased as the Mn concentrations increased. Generally, the value of n is normally used to determine the ability to raise the hardness and strength of materials during the plastic deformation. Therefore, according to the obtained results, the higher Mn concentrations, low ability to raise the hardness, effectively enhance the resistance to plastic flow during the deformation of the high carbon containing Fe- x Mn steels.

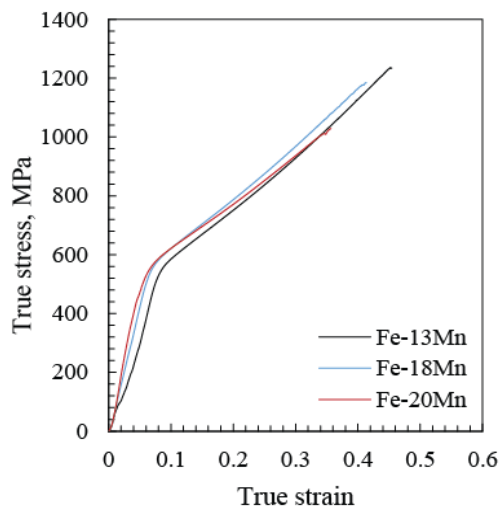


Fig. 8. True stress-strain of experimental steels

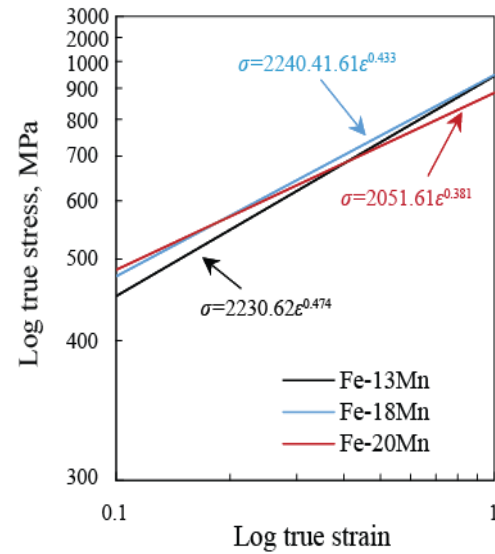


Fig. 9. Logarithmic representative of true stress-strain curve with hardening exponent, n and strength coefficient, K

Figure 11 compares the strain hardening rate ($d\sigma/d\varepsilon$) together with the true stress-strain curves of the experimental Fe- x Mn steels. Given that the strain hardening rate is not identical with the strain hardening exponent, n . It is generally used to explain the work hardening behavior which depends on the state of strain [1], [9], [19], [20]. From the strain hardening rates plotted in Fig. 11, behavior of strain hardening for the experimental Fe- x Mn steels could be clearly divided into two stages depending on the strain level. In the small strain level or the initial plastic deformation corresponding to the true strain between 0.1-0.2, the hardening rate value was rapidly decreased. The decrease in this value might attribute to the ready movement of deformation slip. In contrast, the strain hardening rate value was slowed down in the higher plastic deformation portion or higher strain level. As the deformation level increased, the dislocation density as well as mechanical twinning area became higher, contributing to the restriction of other dislocations. By comparison, the higher Mn-containing Fe- x Mn steels show the lower strain hardening rate ($d\sigma/d\varepsilon$) in both small and large strain level. According to literatures, [21], [22], high addition of Mn introduced the higher stacking fault (SFE) energy to the Fe-Mn steels. When the SFE is high, the materials are able to

deform easily either by dislocation glide or cross slip. On the other hand, in the low SFE steels, the mobility of dislocations and cross slip would be decreased. Therefore, based on the recent study, the higher Mn in the Fe-xMn steels would allow the movement of dislocation and cross slip, resulting to the lower rate of hardening and strengthening.

Since the Fe-Mn steels, usually used under the severe loading conditions, the low hardening rate is preferable because they would be damaged slowly or would have the higher capacity to absorb the energy events in service. However, higher additions of Mn would raise the cost of production of these steels.

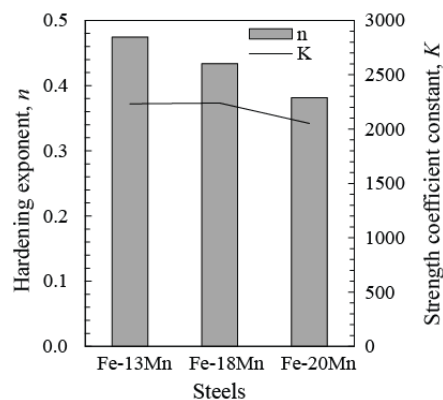


Fig. 10. Comparison of hardening exponent, n and strength coefficient, K

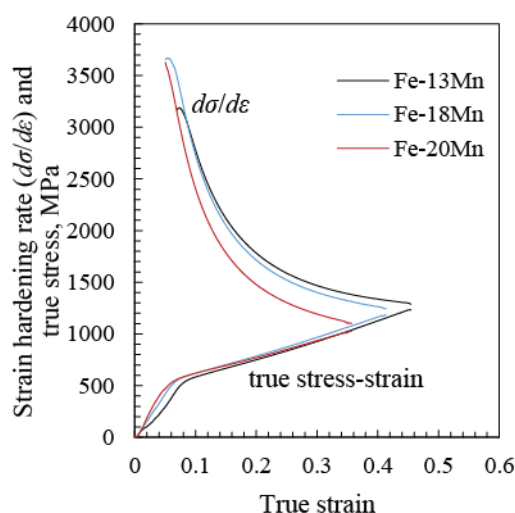


Fig. 11. Strain hardening rate ($d\sigma/d\epsilon$) of experimental steels plotted with the true stress-strain curves

4. Conclusions

In this study, the influence of Mn concentrations on the mechanical properties and the hardening behavior of the high carbon containing Fe-xMn steels was investigated. The concentrations of Mn between 13 and 20 wt% did not affect on the microstructure of Fe-xMn steels. The microstructure of Fe-13Mn, Fe-18Mn, and Fe-20Mn steels exhibited a large equiaxed crystalline structure with high angle misorientation boundaries. The phase of experimental steels presented in the entire austenite (γ). The hardness and tensile properties of Fe-xMn steels were minimally changed as the concentrations of Mn were varied. However, the strength coefficient, K and strain hardening exponent, n of the Fe-xMn steels were slightly decreased with increasing Mn concentrations, leading to the reduction of the strain hardening rate.

5. Acknowledgements

The authors would like to thanks the Sammitr Metal Works Co.,Ltd., Thailand for supporting the experimental materials. The authors appreciatively acknowledge Prof.Chiba Akihiko and Assoc.Prof.Kenta Yamanaka of the Institute for Materials Research (IMR), Tohoku University, Japan, for contributing to the EBSD analysis.

6. References

- [1] Y. H. Wen, H. B. Peng, H. T. Si, R. L. Xiong and D. Raabe, "A novel high manganese austenitic steel with higher work hardening capacity and much lower impact deformation than Hadfield manganese steel," *Materials and Design*, Vol. 55, pp. 798–804, 2014.
- [2] E. Bayraktar, F. A. Khalid and C. Levallant, "Deformation and fracture behaviour of high manganese austenitic steel," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 147, No. 2, pp. 145–154, 2004.

- [3] D. Xiaodong, S. Guodong, W. Yifei, W. Jianfeng and Y. Haoyu, "Abrasion behavior of high manganese steel under low impact energy and corrosive conditions," *Advances in Tribology*, Vol. 2009, pp. 1–6, 2009.
- [4] J. T. Zhang, Y. guang Zhao, J. Tan, and X. F. Xu, "Austenite Grain Refinement by Reverse $\alpha' \rightarrow \gamma$ Transformation in Metastable Austenitic Manganese Steel," *Journal of Iron and Steel Research International*, Vol. 22, No. 2. pp. 157–162, 2015.
- [5] J. Chen, M. yang Lv, Z. yu Liu and G. dong Wang, "Combination of ductility and toughness by the design of fine ferrite/tempered martensite-austenite microstructure in a low carbon medium manganese alloyed steel plate," *Materials Science and Engineering A*, Vol. 648, pp. 51–56, 2015.
- [6] Y. Zou et al., "Austenite stability and its effect on the toughness of a high strength ultra-low carbon medium manganese steel plate," *Materials Science and Engineering A*, Vol. 675, pp. 153–163, 2016.
- [7] A. K. Chandan, G. K. Bansal, J. Kundu, J. Chakraborty and S. G. Chowdhury, "Effect of prior austenite grain size on the evolution of microstructure and mechanical properties of an intercritically annealed medium manganese steel," *Materials Science and Engineering A*, Vol. 768, No. August, p. 138458, 2019.
- [8] W. Bleck, "High Manganese Steel 2016," *Steel Research International*, Vol. 89, No. 9, p. 1800390, 2018.
- [9] A. Grajcar, A. Kozłowska and B. Grzegorzczak, "Strain hardening behavior and microstructure evolution of high-manganese steel subjected to interrupted tensile tests," *Metals*, Vol. 8, No. 2, 2018.
- [10] W. S. Owen and M. Grujicic, "Strain aging of austenitic hadfield manganese steel," *Acta Materialia*, Vol. 47, No. 1, pp. 111–126, 1998.
- [11] B. Hu, B. Bin He, G. J. Cheng, H. W. Yen, M. X. Huang and H. W. Luo, "Super-high-strength and formable medium Mn steel manufactured by warm rolling process," *Acta Materialia*, Vol. 174, pp. 131–141, 2019.
- [12] B. Sun et al., "Microstructural characteristics and tensile behavior of medium manganese steels with different manganese additions," *Materials Science and Engineering A*, Vol. 729, No. April, pp. 496–507, 2018.
- [13] R. P. Dalai, S. Das and K. Das, "Development of TiC reinforced austenitic manganese steel," *Canadian Metallurgical Quarterly*, Vol. 53, No. 3, pp. 317–325, 2014.
- [14] F. Kies et al., "Design of high-manganese steels for additive manufacturing applications with energy-absorption functionality," *Materials and Design*, Vol. 160, pp. 1250–1264, 2018.
- [15] A. Grajcar, A. Kozłowska, and B. Grzegorzczak, "Microstructure evolution and phase composition of high-manganese austenitic steels," *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, Vol. 31, No. 2, pp. 218–225, 2008.
- [16] B. Gumus et al., "Twinning activities in high-Mn austenitic steels under high-velocity compressive loading," *Materials Science and Engineering A*, Vol. 648, pp. 104–112, 2015.
- [17] S. I. Lee, S. Y. Lee, J. Han, and B. Hwang, "Deformation behavior and tensile properties of an austenitic Fe-24Mn-4Cr-0.5C high-manganese steel: Effect of grain size," Vol. 742. Elsevier B.V., 2019.
- [18] W. Huang, "An Assessment of the Co-Mn System," *Calphad*, Vol. 13, No. 3, pp. 231–242, 1989.
- [19] K. S. Raghavan, M. Sastri and M. J. Marcinkowski, "Nature of Work-Hardening Behavior in Hadfield's Manganese Steel," *Met Soc of AIME-Trans*, Vol. 245, No. 7, pp. 1569–1575, 1969.

-
- [20] Y. N. Dastur and W. C. Leslie, "Mechanism of Work Hardening in Hadfield Manganese Steel," *Metallurgical transactions. A, Physical metallurgy and materials science*, Vol. 12 A, No. 5, pp. 749–759, 1981.
- [21] E. Mazancová and K. Mazanec, "Stacking fault energy in high manganese alloys," *Materials Engineering*, Vol. 16, No. 2, pp. 26–31, 2009.
- [22] D. T. Pierce, J. A. Jiménez, J. Bentley, D. Raabe, C. Oskay and J. E. Wittig, "The influence of manganese content on the stacking fault and austenite/ ϵ -martensite interfacial energies in Fe-Mn-(Al-Si) steels investigated by experiment and theory," *Acta Materialia*, Vol. 68, pp. 238–253, 2014.

ผลของระดับน้ำและเวลาลดระดับน้ำในหอสุญญากาศต่อ
ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสำหรับระบบผลิตน้ำประปา
โดยถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน

**Effect of Water Level and Falling Time in Vacuum Chamber
on Turbidity Removal Efficiency for Water Treatment
by Sludge Blanket Clarifier**

วิวัฒน์ อ่อนนาคกล้า

โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ การประปานครหลวง

Wiwat Onnakklum

Mahasawat Water Treatment Plant / Metropolitan Waterworks Authority

*Corresponding author E-mail: wp_js38@hotmail.com

Received: April 30, 2020 Revised: June 19, 2020 Accepted: June 23, 2020

บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษาผลของระดับน้ำและเวลาลดระดับน้ำในหอสุญญากาศต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน สำหรับระบบผลิตน้ำประปา โดยการควบคุมอัตราการเติมสารส้ม 22 มิลลิกรัม/ลิตรและอัตราผิวน้ำ 3.22 เมตร/ชั่วโมง ผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของระดับน้ำในหอสุญญากาศที่ระดับน้ำ 30, 40 และ 50 เซนติเมตร ตามลำดับ และเวลาลดระดับน้ำในหอสุญญากาศ 10, 15 และ 20 วินาที ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า ระดับน้ำไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น แต่เวลาลดระดับน้ำส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นอย่างมีนัยสำคัญ เวลาลดระดับน้ำ 15 วินาที จะมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงกว่าเวลาลดระดับน้ำ 10 และ 20 วินาที เวลาลดระดับน้ำ 15 วินาที มีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น $87.37 \pm 1.47\%$, $87.66 \pm 1.27\%$ และ $87.26 \pm 1.69\%$ สำหรับระดับน้ำ 30, 40 และ 50 เซนติเมตร ตามลำดับ และผลรวมของระดับน้ำและเวลาลดระดับน้ำ (อัตราฟัลเซชั่น) ไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น

คำสำคัญ: ถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น

Abstract

This paper aims to study effect of water level and falling time of vacuum chamber on turbidity removal efficiency for water treatment plant by sludge blanket clarifier. By controlling aluminum sulphate adding rate, 22-mg/l., and surface loading rate, 3.22-m/hr., the results were compare turbidity removal efficiency of water level at 30, 40 and 50 centimeters and falling time at 10, 15 and 20 seconds. Experimental found that water level was not significantly but falling time was significantly affected on turbidity removal efficiency for sludge blanket clarifier. A 15-second of falling time provided higher efficiency than a 10-

second and a 20-second of falling time. All Turbidity removal efficiency of a 15-second of falling time was $87.37 \pm 1.47\%$, $87.66 \pm 1.27\%$ and $87.26 \pm 1.69\%$ for a 30-centimeter, a 40-centimeter and a 50-centimeter of water level, respectively. And, interacted water level and falling time (pulsation rate) was not significantly.

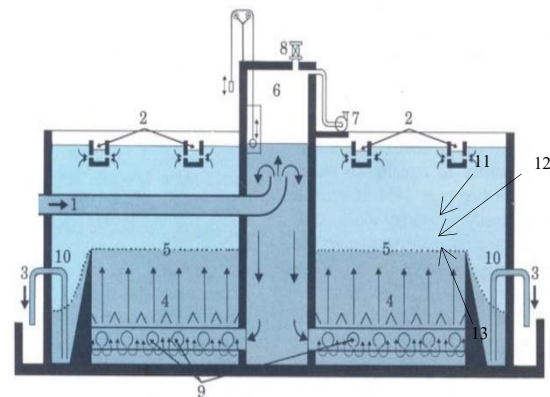
Keywords: Sludge blanket clarifier, turbidity removal efficiency

1. บทนำ

ถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน (Sludge blanket clarifier) เป็นถังตกตะกอนรูปแบบหนึ่งของถังตกตะกอนชนิดใช้ตะกอน (Solid contact clarifier) ซึ่งเป็นถังตกตะกอนชนิดที่รวมการสร้างแกนตะกอนและการตกตะกอนอยู่ในเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียว ถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอนอาศัยการแยกสารแขวนลอยที่ปนมากับน้ำดิบ มาสร้างเป็นชั้นตะกอนสำหรับเป็นตัวดักจับกับสารแขวนลอยที่ปนมากับน้ำดิบ

หลักการทำงานของถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน ดังแสดงในรูปที่ 1 จะเริ่มจาก น้ำดิบที่ผ่านการผสมกับสารตกตะกอนด้วยการกวนเร็วแล้ว จะไหลเข้าสู่ถังตกตะกอนทางท่อทางเข้า หมายเลข 1 เข้าสู่หอสุญญากาศ หมายเลข 6 ระดับน้ำในหอสุญญากาศจะถูกยกให้เหนือกว่าระดับน้ำปกติโดยอาศัยแรงยกจากพัดลมดูดอากาศ หมายเลข 7 เมื่อระดับน้ำในหอสุญญากาศอยู่ในระดับที่กำหนดวาล์วหมายเลข 8 จะเปิดออกทำให้อากาศจะภายนอกเข้าสู่หอสุญญากาศทำให้ระดับน้ำในหอสุญญากาศลดระดับลงอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำดิบที่ผสมสารตกตะกอนแล้ว ตกตามแรงโน้มถ่วงของโลกและกระจายไปตามท่อกระจายน้ำหมายเลข 9 และถูกบังคับให้อนุภาคของตะกอนเกิดการชนกันโดย Stilling baffles หมายเลข 4 ส่งผลให้อนุภาคตะกอนจับตัวกันเป็นชั้นตะกอน และชั้นตะกอนที่เกิดขึ้นจะทำหน้าที่เป็นตัวดักจับตะกอนใหม่ให้ติดอยู่กับชั้นตะกอนจนเมื่อตะกอนสะสมจะเกินระดับความสูงหมายเลข 5 ตะกอนส่วนเกินจะล้นลงรางรับตะกอนหมายเลข 10 และถูกระบายออก

จากถังตกตะกอนโดยท่อระบายตะกอนหมายเลข 3 และส่วนน้ำใสจะผ่านชั้นตะกอนมาได้ จะไหลล้นลงรางน้ำล้นหมายเลข 2 และไหลเข้าสู่กระบวนการถัดไป คือ การกรอง



- | | |
|-----------------------------|-----------------------|
| 1. ท่อน้ำเข้า | 8. วาล์วระบายลม |
| 2. รางน้ำล้น | 9. ท่อกระจายน้ำ |
| 3. ท่อระบายตะกอน | 10. รางรับตะกอน |
| 4. Stilling baffles | 11. จุดวัดตะกอนชั้น T |
| 5. ระดับความสูงของชั้นตะกอน | 12. จุดวัดตะกอนชั้น M |
| 6. หอสุญญากาศ | 13. จุดวัดตะกอนชั้น B |
| 7. พัดลมดูดอากาศ | |

รูปที่ 1 รายละเอียดของถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน

หลักการควบคุมถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน จะคล้ายกับถังกวนทั่วไป คือ การควบคุมอัตราการเติมสารตกตะกอน และการควบคุมค่าความเร็วเกรเดียนต์ (Velocity gradient) ให้มีความเหมาะสม เพื่อให้สามารถควบคุมความขุ่นของน้ำประปาให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ความขุ่นของน้ำหลังการตกตะกอนควรมีค่าไม่เกิน 10 Nephelometric Turbidity Unit (NTU)[1]

ชัยวัฒน์ ชมสุวรรณ เสนอแนะว่า ปริมาณสารส้ม อัตราการผลิต ความถี่การระบายตะกอน ระดับน้ำในหอสุญญากาศและเวลาลดระดับน้ำในหอสุญญากาศ มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน โดยที่ อัตราการผลิตต่ำ (อัตราฟิวน้ำส้ม 2.53 เมตร/ชั่วโมง) พบว่าค่าที่เหมาะสม คือ ปริมาณสารส้ม 24 มิลลิกรัม/ลิตร, ระดับน้ำ 40 เซนติเมตร, เวลาลดระดับน้ำ 11 วินาทีและความถี่การระบายตะกอน 400 วินาที และที่อัตราการผลิตสูง (อัตราฟิวน้ำส้ม 3.46 เมตร/ชั่วโมง) พบว่าค่าที่เหมาะสม คือ ปริมาณสารส้ม 27 มิลลิกรัม/ลิตร, ระดับน้ำ 25 เซนติเมตร, เวลาลดระดับน้ำ 10 วินาทีและความถี่การระบายตะกอน 320 วินาที[2]

สุรัตน์ อินทร์โต เสนอแนะว่า อัตราฟิวน้ำส้ม และระดับน้ำในหอสุญญากาศมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นของถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน ส่วนอัตราฟอสเฟตไม่ใช่ว่าปัจจัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน โดยสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดความขุ่น คือ อัตราฟอสเฟต 14 เมตร/ชั่วโมง, อัตราฟิวน้ำส้ม 3.22 เมตร/ชั่วโมง และระดับน้ำในหอสุญญากาศ 60 เซนติเมตร จะได้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงสุด 95.47%[3]

S.M.Khezri, et.al. เสนอแนะว่า ระดับน้ำในหอสุญญากาศมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น ในความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียล โดยเมื่อระดับน้ำในหอสุญญากาศ เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นขึ้นเช่นเดียวกัน จนถึงระดับหนึ่ง ถ้าระดับน้ำในหอสุญญากาศยังเพิ่มสูงขึ้นอีก ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นจะมีแนวโน้มลดลง[4]

S.K. Al-Dawery, et.al. เสนอแนะว่า ระดับน้ำในหอสุญญากาศและเวลาในการเพิ่มระดับน้ำในหอสุญญากาศ ส่งผลต่อประสิทธิภาพ ในการกำจัดความขุ่นของถังตกตะกอน โดยที่ระดับน้ำในหอสุญญากาศ 60-150

เซนติเมตร พบว่า เมื่อระดับน้ำเพิ่มสูงขึ้น ค่าความขุ่นน้ำหลังตกตะกอนจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น และเวลาในการเพิ่มระดับน้ำ 20-40 วินาที พบว่า เมื่อเวลาการเพิ่มระดับน้ำเพิ่มสูงขึ้น จะทำให้ค่าความขุ่นของน้ำหลังตกตะกอนมีค่าลดลง[5]

การตกตะกอน เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญมากในการผลิตน้ำประปา เนื่องจากเป็นกระบวนการแรกที่ต้องรองรับต่อความขุ่นน้ำดิบที่เข้ามาโรงงานซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล[6] และเปลี่ยนแปลงตามสภาพภูมิอากาศ[7] นอกจากนี้ ยังต้องควบคุมความขุ่นน้ำหลังตกตะกอนให้อยู่ในเกณฑ์ควบคุมเพื่อให้สามารถควบคุมคุณภาพน้ำประปาได้ตามมาตรฐาน เพราะหากกระบวนการตกตะกอนไม่สามารถควบคุมคุณภาพน้ำหลังตกตะกอนได้ตามเกณฑ์ควบคุม จะส่งผลให้เป็นภาระของกระบวนการถัดไป ที่จะต้องทำงานหนักมากขึ้น ซึ่งอาจส่งผลให้คุณภาพน้ำประปาไม่เป็นไปตามมาตรฐานได้

จุดประสงค์ของบทความนี้คือ ศึกษาผลของระดับน้ำในหอสุญญากาศและเวลาลดระดับน้ำในหอสุญญากาศต่อประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นของถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน

2. วิธีการวิจัย

2.1 ถังตกตะกอน

ถังตกตะกอนชนิดใช้ตะกอนใช้เป็น ถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน หรือที่เรียกว่า “Pulsator” เป็นถังตกตะกอนทรงสี่เหลี่ยมขนาดกว้าง 40.5 เมตร ยาว 67.5 เมตร มีความสูง 5 เมตร มีหอสุญญากาศขนาด 25 ตารางเมตรจำนวน 2 หอ มีอัตราการผลิตสูงสุด 210,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน หรืออัตราฟิวน้ำส้ม 3.2 เมตร/ชั่วโมง

2.2 การกวนเร็ว

การกวนเร็วที่ใช้เป็นถังกวนเร็วแบบชลศาสตร์

(Hydraulic jump) มีค่าเกรเดียนต์ของความเร็ว 200 วินาที⁻¹ หลักการทำงานโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงอย่างกะทันหัน ทำให้เกิดความปั่นป่วนขึ้นและสามารถผสมน้ำดิบและสารตกตะกอนให้เป็นเนื้อเดียวกันได้ ดังแสดงในรูปที่ 2

2.3 น้ำดิบ

น้ำดิบที่ใช้ เป็นน้ำดิบจากเขื่อนแม่กลอง อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี ผ่านคลองประปาฝั่งตะวันตกเป็นระยะทาง 106 กิโลเมตร จะมีค่าความขุ่นน้ำดิบในช่วงเดือน มกราคมถึงเมษายน 2562 จะอยู่ในช่วง 25-35 NTU รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 2 ถังกวนเร็วแบบชลศาสตร์

ตารางที่ 1 คำนวณคุณภาพน้ำดิบ

ดัชนีคุณภาพน้ำดิบ	ช่วงใช้งาน
ความขุ่น (NTU)	25-35
pH	8.0-8.2
อุณหภูมิ (°C)	26-28
Total Organic Carbon (mg/l)	1.8-2.0
Alkalinity (mg/l)	90-100

2.4 สารตกตะกอน

สารตกตะกอน ที่ใช้ คือ สารส้ม เนื่องจากสารส้มเป็นสารตกตะกอนที่หาได้ง่ายในทุกพื้นที่ที่มีความง่ายต่อการใช้งานและการขนส่ง[8] ในช่วงความขุ่นน้ำดิบ 10-

50 NTU การใช้สารส้มเป็นสารตกตะกอน จะมีค่าใช้จ่ายถูกที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ชนิดเหลว, โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ชนิดความเป็นเบสสูง และอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์[9]

2.5 การเก็บข้อมูล

การศึกษาผลของระดับน้ำและเวลาลดระดับน้ำในหอสุญญากาศโดยแบ่งปัจจัยที่ศึกษาออกเป็น ระดับน้ำในหอสุญญากาศ 30, 40 และ 50 เซนติเมตร และเวลาลดระดับน้ำในหอสุญญากาศ 10, 15 และ 20 วินาที โดยควบคุมอัตราการไหลน้ำล้นที่ 3.22 เมตร/ชั่วโมงและควบคุมอัตราการจ่ายสารส้มที่ 22 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. วัดค่าความขุ่นน้ำดิบจากแหล่งน้ำดิบ โดยใช้เครื่องวัดความขุ่นชนิด Nephelometric ยี่ห้อ HACH รุ่น 2100AN ความละเอียด 1 NTU และความผิดพลาดไม่เกิน 2%
2. ปรับอัตราการผลิตที่ 210,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน คิดเป็นอัตราการไหลน้ำล้น 3.22 เมตร/ชั่วโมง โดยใช้เครื่องวัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิก Prosonic S FMU 90 ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดอัตราการไหลในช่องเปิด มีความละเอียด 1 ลูกบาศก์เมตร ความผิดพลาดไม่เกิน 0.2%
3. เติมสารส้มที่อัตราการเติม 460 ลิตร/ชั่วโมง คิดเป็นสัดส่วนปริมาณสารส้มต่อปริมาณน้ำดิบ 22 มิลลิกรัม/ลิตร โดยใช้เครื่องวัดอัตราการเติมสารส้มชนิดแม็กเนติก ยี่ห้อ Yokogawa รุ่น AXFA14G มีความละเอียด 10 ลิตร ความผิดพลาดไม่เกิน 0.2%
4. ทำการคำนวณค่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของถังตกตะกอน

2.6 การวิเคราะห์ผลการวิจัย

ดัชนีสำหรับบ่งชี้ประสิทธิภาพการทำงานของถังตกตะกอน จะต้องสามารถบ่งชี้ศักยภาพในการกำจัดความตะกอนออกจากน้ำดิบให้ได้มากที่สุด เรียกว่า “ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น” คือ อัตราส่วนระหว่างค่าความขุ่นที่ถังตกตะกอนสามารถกำจัดออกไป

ต่อค่าความขุ่นน้ำดิบจากแหล่งน้ำดิบ ดังสมการ

ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น

$$= \frac{T_{rw} - T_{cw}}{T_{rw}} \times 100\% \quad (1)$$

โดยที่ T_{rw} คือ ความขุ่นน้ำดิบ (NTU)

T_{cw} คือ ความขุ่นน้ำหลังตกตะกอน (NTU)

ตารางที่ 2 ค่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น กรณีระดับน้ำ 30, 40 และ 50 เซนติเมตร และเวลาลดระดับน้ำ 10, 15 และ 20 วินาที

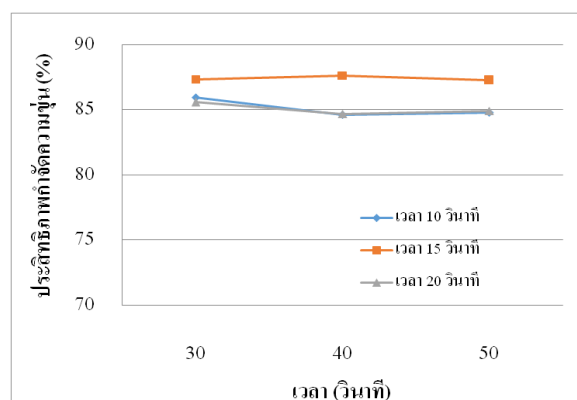
เวลาปล่อยน้ำ (วินาที)	ระดับน้ำ (เซนติเมตร)		
	30	40	50
10	85.97±1.76	84.63±1.94	84.81±1.16
15	87.37±1.47	87.66±1.27	87.26±1.69
20	85.59±1.20	84.71±1.35	84.92±1.00

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ด้วย ANOVA

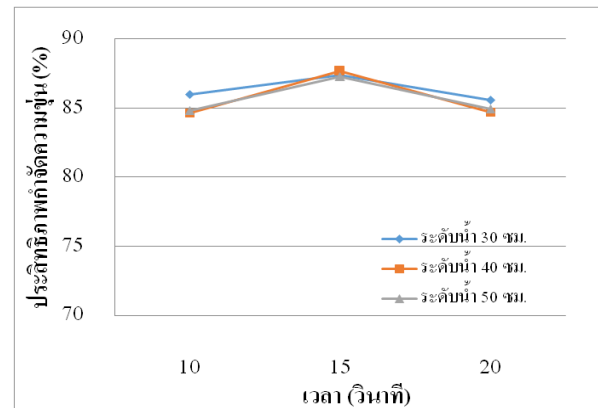
ตัวแปร	p-value
ระดับน้ำ	0.380
เวลาลดระดับน้ำ	0.000
Interaction	0.785

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลของระดับน้ำในหอสุญญากาศต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของถังตกตะกอน



รูปที่ 3 ผลของระดับน้ำในหอสุญญากาศต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น



รูปที่ 4 ผลของเวลาลดระดับน้ำในหอสุญญากาศต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น

ผลการวิจัยดังแสดงตารางที่ 2 พบว่า ที่ระดับน้ำ 30 เซนติเมตร และเวลาลดระดับน้ำ 10, 15 และ 20 วินาที จะมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น 85.97±1.76%, 87.37±1.47% และ 85.59±1.20% ตามลำดับ ที่ระดับน้ำ 40 เซนติเมตร และเวลาลดระดับน้ำ 10, 15 และ 20 วินาที จะมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น 84.63±1.94%, 87.66±1.27% และ 84.71±1.35% ตามลำดับ และที่ระดับน้ำ 50 เซนติเมตร และเวลาลดระดับน้ำ 10, 15 และ 20 วินาที จะมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น 84.81±1.16%, 87.26±1.69% และ 84.92±1.00% ตามลำดับ

วิเคราะห์ผลของระดับน้ำในหอสุญญากาศและเวลาลดระดับน้ำ ด้วย ANOVA ดังแสดงในตารางที่ 3 จะพบว่า เวลาลดระดับน้ำส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของถังตกตะกอนอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% (p-value ≤ 0.05) ส่วนระดับน้ำในหอสุญญากาศและผลรวมของระดับน้ำและเวลาลดระดับน้ำ (อัตราพหุเชิงซ้อน) ไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของถังตกตะกอน (p-value > 0.05)

ตารางที่ 4 ความเข้มข้นของชั้นตะกอนที่ระดับความลึกชั้น B, M และ T กรณีระดับน้ำ 30, 40 และ 50 เซนติเมตร และ เวลาลดระดับน้ำ 10, 15 และ 20 วินาที

เวลาลดระดับน้ำ (วินาที)	ชั้นตะกอน	ระดับน้ำ (เซนติเมตร)		
		30	40	50
10	B	12.2	14.4	14.6
	M	11.4	13.6	13.2
	T	11.2	12.8	12.8
15	B	13.2	13.6	13.6
	M	12.8	12.8	13.2
	T	12.6	12.8	12.4
20	B	13.2	14.4	15.2
	M	12.0	12.0	14.4
	T	12.0	11.2	11.2

หมายเหตุ : จุดวัดความเข้มข้นชั้นตะกอน แสดงในรูปที่ 1

- B คือ ระดับความลึก 1.44 เมตรจากผิวน้ำ
- M คือ ระดับความลึก 0.9 เมตรจากผิวน้ำ
- T คือ ระดับความลึก 0.48 เมตรจากผิวน้ำ

รูปที่ 3 จะพบว่า เมื่อระดับน้ำในหอสุญญากาศเพิ่มขึ้น แต่ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น มีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ทั้งในกรณีเวลาลดระดับน้ำ 10, 15 และ 20 [3] จากตารางที่ 4 และ 5 จะพบว่า เมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้นจะทำให้ความเข้มข้นของชั้นตะกอนเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะชั้น B เนื่องจากแรงกระแทกเพิ่มขึ้น ส่วนผลต่างของความเข้มข้นชั้นตะกอน มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน ทำให้ชั้นตะกอนไม่เป็นเนื้อเดียวกัน

รูปที่ 4 จะพบว่า กรณีเวลาลดระดับน้ำ 15 วินาที จะมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงกว่าทั้งกรณี เวลาลดระดับน้ำ 10 และ 20 วินาที แสดงว่า เวลาลดระดับน้ำ ที่เหมาะสมจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นได้ เวลาลดระดับน้ำที่ต่ำหรือสูงเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นลดลง [2,10] จากตารางที่

3 พบว่ากรณีเวลาลดระดับน้ำที่นานเกินไป จะทำให้มีแรงตกกระทบน้อย ส่งผลให้ความเข้มข้นของชั้นตะกอน T มีค่าลดลงต่ำกว่าชั้น B และ M มาก และกรณีระดับน้ำที่สูงเกินไป จะส่งผลให้จะทำให้มีแรงตกกระทบสูงเกินไป ทำให้ความเข้มข้นของชั้นตะกอนระดับ T มีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับชั้น M และชั้น B เนื่องจากตะกอนชั้น T เกิดการแตกตัว ทั้ง 2 กรณีแสดงให้เห็นว่า เวลาปล่อยน้ำที่ไม่เหมาะสม จะส่งผลให้ชั้นตะกอนเกิดความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน

ตารางที่ 5 ผลต่างของความเข้มข้นของชั้นตะกอนระหว่างชั้น B และ T กรณีระดับน้ำ 30, 40 และ 50 เซนติเมตร และ เวลาลดระดับน้ำ 10, 15 และ 20 วินาที

เวลาลดระดับน้ำ (วินาที)	ระดับน้ำ (เซนติเมตร)		
	30	40	50
10	1	1.6	1.8
15	0.6	0.8	1.2
20	1.2	3.2	4.0

หมายเหตุ : จุดวัดความเข้มข้นชั้นตะกอน แสดงในรูปที่ 1

- B คือ ระดับความลึก 1.44 เมตรจากผิวน้ำ
- T คือ ระดับความลึก 0.48 เมตรจากผิวน้ำ

การควบคุมถังตกตะกอนให้ได้ประสิทธิภาพและประสิทธิภาพที่ดีนั้น จะต้องควบคุมเวลาลดระดับน้ำให้มีความเหมาะสม สามารถพิจารณาได้จากการวัดค่าความเข้มข้นของชั้นตะกอนในแต่ละชั้น โดยควรมีลักษณะของชั้นตะกอนเป็นเนื้อเดียวกันและมีความแตกต่างของความเข้มข้นของชั้นตะกอนน้อยที่สุด [11] ความแตกต่างของความเข้มข้นของชั้นตะกอน ระหว่างชั้น B และ T ที่มีค่าไม่เกิน 1.2% จะมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่ไม่น้อยกว่า 86% ดังแสดงในตารางที่ 2 และ 5

5. สรุป

จากการศึกษาผลของระดับน้ำและเวลาลดระดับน้ำในหอสุญญากาศต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ระดับน้ำในหอสุญญากาศ 30, 40 และ 50 เซนติเมตรไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น
2. เวลาลดระดับน้ำ ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นอย่างมีนัยสำคัญ ที่ความเชื่อมั่น 95% โดยเวลาลดระดับน้ำ 15 วินาที จะมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงกว่า เวลาลดระดับน้ำ 10 และ 20 วินาทีและมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นเฉลี่ย 87.6%
3. ผลรวมของระดับน้ำและเวลาลดระดับน้ำ (อัตราพัลเซชัน) ไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น

การควบคุมถังตกตะกอนชนิดชั้นตะกอน จะต้องควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ให้เหมาะสมและสอดคล้องกันไม่ว่าจะเป็น เวลาลดระดับน้ำ[2], ระดับน้ำ[2-5], อัตราผิวน้ำขึ้น[3]และอัตราการเติมสารตกตะกอน โดยใช้การพิจารณาความเข้มข้นและความแตกต่างของความเข้มข้นของชั้นตะกอน ให้มีความเป็นเนื้อเดียวให้ได้มากที่สุดซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้ว่า ถังตกตะกอนมีประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่ดี[11]

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] T. Wangpaisarn, Water supply engineering, 2th ed., Chulalongkorn University Press, 2003.
- [2] C. Chomsuwan, "Improvement turbidity removal efficiency of clarifier in water treatment process," M.E.dissertation (Industrial Engineering), Kasetsart University, Bangkok, Thailand, 2009.
- [3] S. Intrto, "Effect of pulsation rate, surface overflow rate and suction height on turbidity removal efficiency of pulsator clarifier," M.Sc. dissertation (Environmental Technology), Mahidol University, Nakorn Pathom, Thailand, 2005.
- [4] S. M. Khezri, E. Dadvar and H. H. Shekarabi, "A study of the suction height effect on turbidity removal efficiency of water in pulsator," Global Journal of Researches in Engineering, Vol. 12, pp. 6-12, May, 2012.
- [5] S. K. Al-Dawery, R. M. Hussain and K. M. Shibeab, "Performance of pulsator clarifier (low turbidity)," Iraqi Journal of Chemical and Petroleum Engineering, Vol. 8, pp. 9-17, March, 2007.
- [6] E. L. Sharp, S. A. Parsons and B. Jefferson, "Seasonal variations in natural organic matter and its impact on coagulation in water treatment," Science of the Total Environment 363, pp. 183-194, June, 2006.
- [7] W. Mo, H. Wang and J. M. Jacobs, "Understanding the influence of climate change on the embodied energy of water supply," Water Research 95, pp. 220-229, March, 2016.
- [8] C. C. Dorea, "Coagulant-based emergency water treatment," Desalination 248, pp. 83-90, May, 2009.
- [9] Y. Tantipalakul, K. Palawatwichai, T. Detchakan and, J. Khaisan, "The study of optimal coagulants for water treatment process of Metropolitan Waterworks Authority," Burabha Journal of Science, Vol. 23, No.1, pp. 207-220, January, 2018.
- [10] A. C. Twort, D. D. Ratnayaka and M. J. Brandt, Water supply, 5th ed., Butterworth-Heinemann, 2006.
- [11] American Water Work Association and American Society of Civil Engineers, Water treatment plant design, 4th ed., McGraw-Hill, 1990.

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับบทความ

“บทความทางวิชาการ” หมายความว่า บทความที่เขียนขึ้นในลักษณะวิเคราะห์ วิจัย หรือเสนอแนวความคิดใหม่ ๆ จากพื้นฐานทางวิชาการที่ได้เรียบเรียงจากผลงานทางวิชาการของตนเอง หรือของผู้อื่น หรือเป็นบทความทางวิชาการที่เขียนขึ้นเพื่อเป็นความรู้ทั่วไปสำหรับประชาชน

“บทความวิจัย” หมายความว่า บทความที่มีลักษณะเป็นเอกสารที่มีรูปแบบของการวิจัยตามหลักวิชาการ เช่น มีการตั้งสมมติฐาน หรือมีการกำหนดปัญหาที่ชัดเจนสมเหตุสมผล โดยจะต้องระบุถึงวัตถุประสงค์ที่ชัดเจนแน่นอน มีการค้นคว้าอย่างมีระบบ มีการรวบรวมข้อมูลพิจารณาวิเคราะห์ ตีความ และสรุปผลการวิจัยที่สามารถให้คำตอบบรรลุวัตถุประสงค์ หรือหลักการบางอย่างที่จะนำไปสู่ความก้าวหน้าทางวิชาการ หรือการนำวิชานั้นมาประยุกต์ใช้

1. การเรียงลำดับเนื้อหาบทความ

1.1 ชื่อเรื่อง (Title) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรสั้น กระชับ และสื่อความหมายของเรื่องที่ทำการชัดเจน

1.2 ชื่อ-นามสกุลของผู้เขียนใส่ทุกคน เป็นภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ระบุสถานที่ทำงาน สำหรับผู้รับผิดชอบประสานงาน (Corresponding Author)

1.3 บทคัดย่อ (Abstract) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ เป็นเนื้อความสรุปสาระสำคัญของเรื่อง วัตถุประสงค์ วิธีการศึกษา ผลการศึกษา และผลสรุป มี 1 ย่อหน้า

1.4 คำสำคัญ (Keyword) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

ให้ใส่คำสำคัญ 3-5 คำ ไว้ท้ายบทคัดย่อแต่ละภาษา

1.5 เนื้อหา (Text) บทความวิจัยควรประกอบด้วย

- บทนำ (Introduction) บอกความสำคัญหรือที่มาของปัญหาที่นำไปสู่การศึกษา วัตถุประสงค์ และอาจรวมวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

- วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย (Materials and Methods) กล่าวถึงรายละเอียด การวิเคราะห์และทดลองที่กระชับและชัดเจน

- ผลการทดลอง (Results) บอกผลที่พบอย่าง

ชัดเจน สมบูรณ์ และมีรายละเอียดครบถ้วน

- อภิปรายผลและสรุป (Discussion and Conclusion) อาจเขียนรวมกับผลการทดลองได้ เป็นการประเมินการตีความและการวิเคราะห์ในแง่มุมต่างๆ ของผลที่ได้ว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์หรือไม่ มีความสอดคล้อง หรือขัดแย้งกับผลงานของผู้อื่นอย่างไร ต้องมีการอ้างหลักการหรือทฤษฎีมาสนับสนุน หรือหักล้างอย่างเป็นเหตุเป็นผล และอาจมีข้อเสนอแนะที่จะนำผลวิจัยไปใช้ประโยชน์

1.6 กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement) (ถ้ามี) ระบุสั้นๆ ว่าได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยและความช่วยเหลือจากที่ใดบ้าง

1.7 เอกสารอ้างอิง (References) การอ้างอิงในบทความใช้การอ้างอิงแบบตัวเลข เอกสารอ้างอิงท้ายบททุกฉบับ จะต้องมีการอ้างอิงในบทความ และมีการอ้างอิงที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ ตามรูปแบบของ IEEE ซึ่งประกอบด้วย ชื่อผู้เขียน ชื่อหนังสือหรือชื่อบทความ ชื่อของเอกสารที่พิมพ์สำนักหรือสถานที่พิมพ์ ฉบับที่ เล่มที่ เลขหน้า และปีที่พิมพ์ ทั้งนี้การเขียนให้เป็นไปตามรูปแบบของชนิดเอกสารที่อ้างอิง ดังรูปแบบดังนี้

- [1] P. Choeysuwan and S. Choomchuay, "The Economics Analysis of RFID Implementation in Logistic," *Ladkrabang Engineering Journal*, Vol.30, No.1, pp.7-12, March, 2556.
- [2] I. M. Filanovsky and H.P. Baltes, "Simple CMOS Analog Square-Rooting and Squaring Circuits," *IEEE Trans. Circuits and Systems*, Vol.39, No.4, pp.312-315, Sept., 1992.
- [3] R. E. Blahut, *Theory and Practice of Error Control Codes*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1983.

1.8 ภาคผนวก (ถ้ามี)

1.9 ตารางและรูป ต้องมีความคมชัด และให้แทรกไว้ในบทความ มีคำอธิบายสั้นๆ แต่สื่อความหมายได้สาระครบถ้วนและเข้าใจ กรณีที่เป็นตาราง ให้ระบุลำดับที่ของตาราง ใช้คำว่า "ตารางที่..." และมีคำอธิบายใส่ไว้เหนือตาราง กรณีที่เป็นรูปให้ระบุลำดับที่ของรูปใช้คำว่า "รูปที่..." และมีคำอธิบายใส่ไว้ใต้รูป

2. คำแนะนำในการเขียนและพิมพ์

2.1 คำแนะนำทั่วไป บทความต้องมีความยาวไม่เกิน 8 หน้ากระดาษ A4 พิมพ์ด้วย Microsoft Word หรือซอฟต์แวร์อื่น ที่ขนาดตัวอักษรกำหนดได้ใกล้เคียงกัน การตั้งค่าหน้ากระดาษ

- ระยะบน (Top Margin) 1" หรือ 2.54 ซม.
- ระยะล่าง (Bottom Margin) 1" หรือ 2.54 ซม.
- กั้นซ้าย (Left Margin) 1" หรือ 2.54 ซม.
- กั้นขวา (Right Margin) 1" หรือ 2.54 ซม.

การแบ่งส่วน (Section) ควรแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนแรก กำหนด (format) เป็นคอลัมน์เดี่ยว และส่วนที่สองกำหนดเป็น 2 คอลัมน์ โดยระยะห่างระหว่างคอลัมน์เป็น 0.26" หรือ 0.7 ซม.

การลำดับหัวข้อของเนื้อเรื่องให้ใช้เลขกำกับบทหน้าเป็นหัวข้อหมายเลข 1 และหากมีหัวข้อย่อยให้ใช้เลขระบบทศนิยมกำกับหัวข้อย่อย และสามารถเว้นโคลงตรงละเอียดได้ที่ <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/lej>

2.2 แบบและขนาดตัวอักษร ใช้ตัวอักษรแบบ **Angsana New** สำหรับบทความภาษาไทย และให้ใช้รูปแบบตัวอักษร **Times New Roman** สำหรับบทความภาษาอังกฤษ

บทความภาษาไทย กำหนดรูปแบบดังนี้

- ขนาดของตัวอักษรให้ใช้ **Angsana New** เท่านั้น
- ชื่อเรื่องทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
ขนาด **26 ตัวหนา** (พิมพ์กลางหน้ากระดาษ)
- ชื่อผู้เขียนและผู้ร่วมงาน
ขนาด **14 ตัวปกติ** (พิมพ์กลางหน้ากระดาษ)
- สถานที่ทำงาน
ขนาด **12 ตัวปกติ** (พิมพ์กลางหน้ากระดาษ)
- คำว่า "บทคัดย่อ"
ขนาด **16 ตัวหนา**
- คำสำคัญ (Key Words)
ให้ใส่คำสำคัญ 3 – 5 คำ ซึ่งเกี่ยวข้องกับบทความที่นำเสนอ โดยให้จัดพิมพ์ใต้บทคัดย่อภาษาอังกฤษ
- ส่วนของเนื้อความในบทคัดย่อ
ขนาด **14 ตัวปกติ** (พิมพ์แบบเต็มขอบ)
- ส่วนของเนื้อความทั้งหมด
ขนาด **14 ตัวปกติ** (แบ่งเป็น 2 คอลัมน์)
- คำว่า "Abstract"
ขนาด **16 ตัวหนา**
- ส่วนของเนื้อความใน Abstract
ขนาด **16 ตัวปกติ** (พิมพ์แบบเต็มขอบ)
- หัวข้อใหญ่และหมายเลขประจำหัวข้อใหญ่
ขนาด **16 ตัวหนา** (พิมพ์แบบชิดซ้าย)
- หัวข้อย่อยและหมายเลขประจำหัวข้อย่อย
ขนาด **14 ตัวหนา**
- คำว่า "กิตติกรรมประกาศ" หรือ "Acknowledgement" ขนาด **16 ตัวหนา** (ใส่หมายเลขลำดับหัวข้อด้วย)
- คำว่า "เอกสารอ้างอิง" หรือ "Reference" ขนาด **16 ตัวหนา** (ใส่หมายเลขลำดับหัวข้อด้วย)
- สมการ หรือพจน์ทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน
ควรเขียนโดยใช้ Equation Editor โดยจัดแยกบรรทัด และมีเลขกำกับอยู่ในวงเล็บเล็ก

บทความอังกฤษ กำหนดรูปแบบดังนี้

- ขนาดของตัวอักษรให้ใช้ Times New Roman เท่านั้น
- ชื่อเรื่อง
ขนาด 18 ตัวหนา (พิมพ์กลางหน้ากระดาษ)
- ชื่อผู้เขียนและผู้ร่วมงาน
ขนาด 12 ตัวปกติ (พิมพ์กลางหน้ากระดาษ)
- สถานที่ทำงาน
ขนาด 10 ตัวปกติ (พิมพ์กลางหน้ากระดาษ)
- คำว่า “Abstract”
ขนาด 12 ตัวหนา
- คำสำคัญ (Key Words)
ให้ใส่คำสำคัญ 3 – 5 คำ ซึ่งเกี่ยวข้องกับบทความที่นำเสนอ โดยให้จัดพิมพ์ได้บทความด้วยภาษาอังกฤษ
- ส่วนของเนื้อความใน “Abstract”
ขนาด 11 ตัวปกติ (พิมพ์แบบเต็มขอบ)
- ส่วนของเนื้อความทั้งหมด
ขนาด 11 ตัวปกติ (แบ่งเป็น 2 คอลัมน์)
- หัวข้อใหญ่และหมายเลขประจำหัวข้อใหญ่
ขนาด 12 ตัวหนา (พิมพ์แบบชิดซ้าย)
- หัวข้อย่อยและหมายเลขประจำหัวข้อย่อย
ขนาด 11 ตัวหนา
- คำว่า “กิตติกรรมประกาศ” หรือ “Acknowledgement” ขนาด 12 ตัวหนา (ใส่หมายเลขลำดับหัวข้อด้วย)
- คำว่า “เอกสารอ้างอิง” หรือ “Reference” ขนาด 12 ตัวหนา (ใส่หมายเลขลำดับหัวข้อด้วย)
- สมการ หรือพจน์ทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนควรเขียนโดยใช้ Equation Editor โดยจัดแยกบรรทัด และมีเลขกำกับอยู่ในวงเล็บเล็ก

3. เกณฑ์การพิจารณาบทความ

มีดังนี้ ความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ คุณค่าทางวิชาการ ความสมบูรณ์ของเนื้อหา และโครงสร้าง ภาษาที่ใช้ ความชัดเจนของสมมุติฐาน / วัตถุประสงค์ ความชัดเจนของการนำเสนอ และการจัดระเบียบบทความ ความถูกต้องทางวิชาการ การอภิปรายผล และการอ้างอิงที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ

บทความจะต้องได้รับการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชานั้นๆ อย่างน้อย 2 ท่าน ซึ่งกองบรรณาธิการอาจให้ผู้เขียนปรับปรุงให้เหมาะสมยิ่งขึ้น และสงวนสิทธิ์ในการตัดสินใจตีพิมพ์หรือไม่ก็ได้ และเมื่อบทความได้รับการแก้ไข (หากมี) อย่างเหมาะสม ผู้เขียนต้องส่งต้นฉบับ 1 ชุด โดยส่งเป็นไฟล์งาน .pdf และ .doc เป็น Word 2010

4. วิธีการส่งบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารลาดกระบัง

บทความที่ส่ง เปิดรับทั้งจากบุคคลภายใน และภายนอกสถาบันฯ โดยบทความนั้น ต้องมีความยาวไม่เกิน 8 หน้า 2 คอลัมน์ ผู้เขียนจะต้องส่งต้นฉบับ 1 ชุด โดยหน้าแรกของบทความจะมีชื่อที่อยู่ของผู้เขียน 1 หน้า และหน้าแรกของบทความที่ไม่ระบุชื่อผู้เขียนอีก 1 หน้า รวมทั้งหมด 9 หน้า และกรุณาระบุชื่อ-นามสกุล ที่อยู่ เบอร์โทรศัพท์ และ E-mail address ใช้ชัดเจนในรูปแบบฟอร์มการส่งบทความด้วย ผู้เขียนสามารถส่งผ่านระบบวารสารออนไลน์ โดยลงทะเบียนและส่งบทความ ได้ที่ ลิงก์ <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/lej/about/submissions> ผู้ประสานงานและสถานที่ติดต่อ: นางสาวชนัญชิตา นอนน้อย งานวิจัยและนวัตกรรม (ส่วนวารสารลาดกระบัง) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ อาคาร 6 ชั้น (ตึก A) ชั้น 2 เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 E-mail : kmitleng.jnl@gmail.com หมายเลขติดต่อ :

โทรศัพท์(เบอร์กลาง) 02-329-8000 ต่อ 3465

โทรศัพท์สายตรง/โทรสาร : 02-327-8317

โทรศัพท์มือถือ 088-262-4617



เลขที่อ้างอิง.....

แบบฟอร์มการส่งบทความ

วันที่ส่ง.....

ชื่อบทความ (ภาษาไทย).....

ชื่อบทความ(ภาษาอังกฤษ).....

ประเภทบทความ ☐ บทความวิชาการ ☐ บทความวิจัย

Keywords (คำสำคัญ).....

ชื่อ - นามสกุล ผู้เขียน (ภาษาไทย)	และ	(ภาษาอังกฤษ)
1.....	1.....	
2.....	2.....	
3.....	3.....	

จำนวนหน้า.....หน้า

ชื่อและที่อยู่ผู้เขียนที่สามารถติดต่อได้

ชื่อ - นามสกุล.....

ที่อยู่.....

เบอร์โทรศัพท์..... E-mail.....

ข้าพเจ้าได้แนบบทความที่มีความถูกต้องสมบูรณ์ตามคำแนะนำรูปแบบการเขียนบทความมาพร้อมนี้ และรับรองว่า

- ☐ ได้รับความเห็นชอบในการส่งบทความครั้งนี้จากผู้ร่วมเขียนบทความแล้ว (ถ้ามี)
- ☐ ข้าพเจ้า และผู้ร่วมเขียนบทความ (ถ้ามี) จะรับผิดชอบเกี่ยวกับลิขสิทธิ์ของต้นฉบับในทุกกรณี
- ☐ ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความยังไม่เคยตีพิมพ์ หรืออยู่ระหว่างการพิจารณาเพื่อขอรับการตีพิมพ์ในวารสารอื่น

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ ซึ่งสามารถประเมินบทความของท่านได้ จำนวน 2 ท่าน โดยระบุชื่อ-นามสกุล ตำแหน่งทางวิชาการ, E-mail และเบอร์โทรศัพท์ที่สามารถติดต่อได้)

- | | |
|----------------------|------------------------|
| 1. ชื่อ-นามสกุล..... | ตำแหน่งทางวิชาการ..... |
| E-mail : | โทรศัพท์..... |
| 2. ชื่อ-นามสกุล..... | ตำแหน่งทางวิชาการ..... |
| E-mail : | โทรศัพท์..... |

ใบรับรอง

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว).....
ตำแหน่ง.....สถานที่ทำงาน.....
ที่อยู่.....
โทรศัพท์.....มือถือ.....โทรสาร.....
e-mail : Line :
ขอรับรองว่า(นาย/นาง/นางสาว).....
เป็นนิสิต/นักศึกษามหาวิทยาลัย.....ปีการศึกษา.....
ระดับปริญญา.....ชั้นปีที่ จริง และได้พิจารณาบทความแล้วว่ามีความเหมาะสมที่จะ
ขอเสนอเพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมลาดกระบัง

***กรณีที่เป็นนิสิตนักศึกษา ต้องให้อาจารย์ที่ปรึกษากรอกใบรับรอง (วิทยานิพนธ์ / การศึกษาค้นคว้าอิสระ)

แบบฟอร์มสั่งซื้อวัสดุสารลาดกระบัง และ สมัครสมาชิก

ชื่อ.....นามสกุล.....

สถานที่จัดส่งหนังสือ.....

จังหวัด.....รหัสไปรษณีย์.....โทรศัพท์.....

สมัครสมาชิกวัสดุสารลาดกระบัง

- | | |
|--|--|
| ☐ ปี 2559 ค่าสมัคร 200 บาท | ☐ ปี 2562 ค่าสมัคร 200 บาท |
| ☐ ปี 2560 ค่าสมัคร 200 บาท | ☐ ปี 2563 ค่าสมัคร 200 บาท |
| ☐ ปี 2561 ค่าสมัคร 200 บาท | ☐ ปี 2564 ค่าสมัคร 200 บาท |

หมายเหตุ ปีละ 4 ฉบับ (รวมค่าจัดส่ง)

ต้องการซื้อวัสดุสารลาดกระบัง

- | | |
|---|--|
| ☐ เล่มที่ 1 / 2562 ราคา 100 บาท | ☐ เล่มที่ 1 / 2563 ราคา 100 บาท |
| ☐ เล่มที่ 2 / 2562 ราคา 100 บาท | ☐ เล่มที่ 2 / 2563 ราคา 100 บาท |
| ☐ เล่มที่ 3 / 2562 ราคา 100 บาท | ☐ เล่มที่ 3 / 2563 ราคา 100 บาท |
| ☐ เล่มที่ 4 / 2562 ราคา 100 บาท | ☐ เล่มที่ 4 / 2563 ราคา 100 บาท |
| ☐ อื่น ๆ ปีที่.....ฉบับที่.....ประจำเดือน.....พ.ศ..... | |

รวมรายการทั้งหมด.....รายการ เป็นเงิน.....บาท

ชำระค่าสั่งซื้อโดย

☐ เงินสด แผนกตำรา วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

☐ ธนาคารตั้งจ่ายในนาม แผนกตำรา

เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง

กรุงเทพมหานคร 10520 ที่ทำการเคาน์เตอร์บริการเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 00016

☐ ผ่านบัญชีออมทรัพย์ธนาคารไทยพาณิชย์ สาขาย่อยเทคโนโลยีฯ เจ้าคุณทหาร

เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง

กรุงเทพมหานคร 10520

ชื่อบัญชี “แผนกตำราและประชาสัมพันธ์” เลขที่ 088 - 2 15272 - 2

ถ่ายสำเนาใบสั่งซื้อ และส่งเอกสารการชำระค่าสั่งซื้อมาที่ :

งานวิจัยและนวัตกรรม (วัสดุสารลาดกระบัง) ส่วนสนับสนุนวิชาการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

โทร. 0-2329-8000 ต่อ 3464, 3465

(ท่านสามารถแฟกซ์ใบสั่งซื้อ และเอกสารการชำระค่าสั่งซื้อมาที่เบอร์แฟกซ์ : 0-2329-8317

การจัดส่งหนังสือจะรวดเร็วขึ้น)

Ladkrabang Engineering Journal

The Ladkrabang Engineering Journal is a technical journal belonging to the Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, (KMUTL).

Contents:

The journal contains research reports, articles concerning development work and research activities carried out by the faculty staff. The objectives are to publicize and promote the research contributions and innovative works in the field of engineering.

Frequency :

The journal is published quarterly.

Policy :

Articles and reports should have engineering research values whether containing substantial supported theories, innovative works, substantial experiment results and/or fulfilled with useful and constructive discussions or reviews standardized to regional or international acceptance.

Manuscripts :

Four copies which are not exceed 8 pages with two-columns (one copy with author names, three copies without author names) of either Thai or English are to be submitted in camera ready form. The page charge from the 9th page is 500 Baht per page. To ensure that all papers are at the same standard, authors are asked to prepare their manuscripts in computerized format. Microsoft Word for windows[®] is recommended as a text processor. Others associated components such as graphs or figures should be prepared using windows-based packages.

Manuscripts are to be reviewed by at least 3 referees who are specialists in that fields. Comments and suggestions (if any) are summarized before they are passed to authors. Revised form of the manuscripts have to be resubmitted with a copy of the manuscript in a disk file.

For convenience in printing and to common standard in publication, submitted manuscripts should conform to the following orders.

Titles : Should be given in both Thai and English.

Author and co-authors : Are given without any title.

Correspondent address: Specify short address of authors. If authors are students, institution address (department, faculty and institution) is required.

Abstract : Should be given in both Thai and English.

Main theme : Should contain the following sections.

1. Introduction
2. Theory
3. Construction and experimental procedures
4. Experimental results and discussions
5. Conclusion or Summary

Acknowledgement : (if required)

References : Should follow the pattern given below.

- [1] P. Choeysuwan and S. Choomchuay, "The Economics Analysis of RFID Implementation in Logistic," Ladkrabang Engineering Journal, Vol.30, No.1, pp.7-12, March, 2556.
- [2] I. M. Filanovsky and H.P. Baltes, "Simple CMOS Analog Square-Rooting and Squaring Circuits," IEEE Trans. Circuits and Systems, Vol.39, No.4, pp.312-315, Sept., 1992.
- [3] R. E. Blahut, Theory and Practice of Error Control Codes, Addison-Wesley, Reading, MA, 1983.

Submission :

1. Please submit your manuscript as ONE original .pdf file. The first page of the manuscript contains the authors' names and complete affiliations. Please also duplicate the first page of the manuscript with the names and affiliations made anonymous. The total number of pages for a manuscript shall be nine (9).

2. Please clearly fill out the submission form. Authors can submit their manuscript online via the journal system at the url : <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/lej/about/submissions>

Published by :

Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.

Tel : (662) 329-8000 Ext. 3464, 3465

Fax : (662) 329-8317

Advisors :

Dean of Engineering

Assoc.Prof. Dr.Komsan Maleesee

Editor-in-chief :

Prof. Dr. Worapong Tangsirat

Editorial Staff :

*Mr.Thanongsak Chaichuensaen
Cover Design.*

*Asst. Prof. Dr.Napasool Wongvanich
Miss.Chanunchida Nobnom*

Mr.Sataporn Pongprayoon

Liaise & Member Relationships

*Create Original Artwork & Proofreading
and Photo Books.*

Distributed by :

Faculty of Engineering,

Miss.Chanunchida Nobnom

Mrs.Atisuda Chanvikorn

Tel : (662) 329-8317



ISSN 0125-1724

วิศวกรรม
ลาดกระบัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL

Volume 37 Number 2

April - June 2020

Research Papers

1. A Study of Wind Energy Potential for Electricity in Nakhon Phanom Province,
Thailand. 1
P.Suksomprom K. Tangchaichit and S. Pattanpairoj
2. Influence of Mn on Mechanical Properties and Hardening Behaviors of High
Carbon Containing Austenitic Manganese Fe-xMn-2Cr-1.3C Steels. 10
K. Pothikamjorn and P. Tunthawiroon
3. Effect of Water Level and Falling Time in Vacuum Chamber on Turbidity
Removal Efficiency for Water Treatment by Sludge Blanket Clarifier 18
W. Onnakklum