

# การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาของสารเร่งปฏิกิริยาเกรดทางการค้าชนิดต่างๆ ในการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวของมีดโต้ที่ชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์โบไรซิง

## The Efficient Comparison of the Different Commercial Energizers in Increasing Carbon Content on Surfaces of Big Knives in the Pack Carburizing Process

ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ<sup>1</sup> วรณา ทอมจะบก<sup>1</sup> นฤตม ทาดี<sup>1</sup>

Received: June, 2014; Accepted: September, 2014

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาของสารเร่งปฏิกิริยาเกรดทางการค้าชนิดต่างๆ ในการเพิ่มปริมาณคาร์บอนที่ผิวของมีดโต้ที่ชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์โบไรซิง โดยทำการเปรียบเทียบกับมีดโต้ที่ดีและชุบแข็งจากเหล็กแทนที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาด การทดลองดำเนินการโดยนำเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1020 มาตีขึ้นรูปเป็นมีดโต้แล้วนำไปทำการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวด้วยสารแพ็กคาร์โบไรซิงที่ใช้ถ่านไม้ผสมกับแบเรียมคาร์บอเนต โซเดียมคาร์บอเนต และแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาผสมเข้าไป 10% โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการอบเพิ่มคาร์บอนที่อุณหภูมิ 950°C เวลา 30, 60 และ 90 นาที ปล่องให้เย็นตัวในอากาศ แล้วนำไปชุบแข็งโดยใช้อุณหภูมิ ออสเทนไนไทซิง 780°C เวลาอบแช่ 20 นาที จุ่มชุบในน้ำเย็นและทำเทมเปอร์ที่อุณหภูมิ 180°C เวลา 1 ชั่วโมง ขึ้นทดสอบแต่ละสภาวะถูกนำมาตรวจสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส การทดสอบแรงกระแทก และโครงสร้างจุลภาค จากผลการทดลองทำให้ทราบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวได้ดีกว่าแบเรียมคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนต อีกทั้งยังให้ค่าความแข็งที่สูงกว่ามีดโต้ที่ดีจากเหล็กแทนบอีกด้วย อย่างไรก็ตามความต้านทานแรงกระแทกจะต่ำกว่าเล็กน้อย โดยเวลาในการเพิ่มคาร์บอนที่ให้ค่าความแข็งที่สูงกว่าคือเวลา 90 นาที

คำสำคัญ : แบเรียมคาร์บอเนต; โซเดียมคาร์บอเนต; แคลเซียมคาร์บอเนต; มีดโต้; แพ็กคาร์โบไรซิง

<sup>1</sup> คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา  
E - mail : narongsak.th@rmuti.ac.th

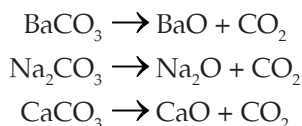
## Abstract

The purpose of this research is to compare the efficiency of different commercial energizers in increasing carbon content on the surface of hardened big knives by pack carburizing process. The commercial energizers were barium carbonate, sodium carbonate and calcium carbonate. The mechanical properties of the carburizing and hardened big knives were compared to those of hardened big knives made from leaf-spring steel. The experiment was conducted by forging big knives made of low carbon steel (grade AISI 1020). They were then pack-carburized using wood charcoal and different commercial energizers (10% by weight) at a carburizing temperature of 950°C and carburizing times of 30, 60 and 90 minutes, and then air-cooled. The austenitizing temperature was 780°C with a holding time of 20 minutes, followed by quenching in water. Finally, the big knives were tempered at 180°C for 1 hour. Mechanical tests of the specimens such as Micro-Vickers hardness testing, impact testing and microstructure inspection were carried out. The results of this experiment show that the efficiency of calcium carbonate in increasing carbon content on the surface of a hardened big knife by pack carburizing process is higher than barium carbonate and sodium carbonate. The hardness is also higher than leaf-spring steel. However, the impact energy is a bit less than leaf-spring steel. The highest value of hardness is derived from 90 minutes of carburizing time.

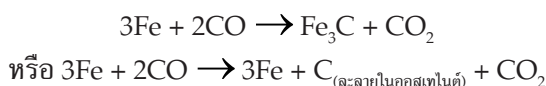
Keywords : barium carbonate; sodium carbonate; calcium carbonate; big knife; pack carburizing

## บทนำ

งานตีมีดทางการเกษตร เช่น มีดตัดอ้อย มีดพรวน มีดโต้ เป็นงานตัดถกรรมพื้นบ้านที่สร้างรายได้ให้แก่ชุมชนที่สืบทอดมาแต่บรรพบุรุษ โดยทั่วไปแล้วมีดที่มีลักษณะหนา เช่น มีดโต้ นิยมใช้เหล็กแท่นบในการตีเป็นมีด ซึ่งจะให้ความแข็งแรงภายหลังการตีและชุบแข็งที่ดี ในอุตสาหกรรมการผลิตงานทางด้านโลหะเทคนิคการชุบแข็งที่ผิวด้วยกรรมวิธีแพ็คเกจคาร์โบไรซิง (Pack Carburizing) เป็นหนึ่งในวิธีที่นิยมเพราะไม่ยุ่งยากและใช้ต้นทุนต่ำ วิธีการนี้ สามารถทำให้เหล็กมีความแข็งเพิ่มขึ้นโดยอาศัยการเพิ่มคาร์บอนที่ผิว โดยใช้ถ่านผสมกับสารเร่งปฏิกิริยา แล้วนำไปทำการชุบแข็งต่อไป สารเร่งปฏิกิริยาที่ช่วยให้เกิดการแตกตัวของคาร์บอนเป็นสารประกอบคาร์บอนेट ได้แก่ แบเรียมคาร์บอนेट ( $\text{BaCO}_3$ ) โซเดียมคาร์บอนेट ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) และแคลเซียมคาร์บอนेट ( $\text{CaCO}_3$ ) สารประกอบคาร์บอนेटเหล่านี้เมื่อถูกความร้อนจะเกิดการแตกตัวได้แก๊ส  $\text{CO}_2$  ดังสมการ



จากนั้น  $\text{CO}_2$  จะรวมตัวกับคาร์บอนในถ่านทำให้ได้แก๊ส CO แก๊ส CO ที่เกิดขึ้นสัมผัสกับผิวเหล็กแล้วแตกตัวให้อะตอมของคาร์บอนและแพร่เข้าไปในเนื้อเหล็กทำให้ปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้น ปฏิกริยาจะเกิดอย่างต่อเนื่อง (Sinha A. K., 2003; Lakhtin Y. M., 1990; Rajan T. V., et al., 1994) ดังนี้



คาร์บอนจะแพร่เข้าไปในเนื้อเหล็กได้มากหรือน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของอุณหภูมิและเวลาในการอบเพิ่มคาร์บอน รวมถึงชนิดและปริมาณของสารเร่งปฏิกริยา จากการศึกษารายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวที่ผ่านมา (ธีระเดช และประวุธ; ศิริพร และวชิร, 2541; เจริญ, 2541) เป็นการผสมสารแพ็กคาร์เบอร์โรซิงระหว่างถ่านไม้และถ่านโค้กกับสารเร่งปฏิกริยาชนิดต่าง ๆ หลายชนิดเข้าด้วยกันในปริมาณที่ต่างกัน ซึ่งทำให้ไม่ทราบประสิทธิภาพของสารเร่งแต่ละชนิดว่ามีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ และคณะ (ณรงค์ศักดิ์ และคณะ, 2556; ณรงค์ศักดิ์ และคณะ, 2556) ได้ทำการเปรียบเทียบความสามารถในการเร่งปฏิกริยาของสารแคลเซียมคาร์บอเนต และหินปูนในการชุบแข็งมิตัดอ้อย สรุปลงออกมาว่าสารแคลเซียมคาร์บอเนตมีความสามารถในการเร่งปฏิกริยาที่ดีกว่าหินปูนและหินปูนสามารถนำมาใช้เป็นสารเร่งปฏิกริยาในกรรมวิธีแพ็กคาร์เบอร์โรซิงซึ่งใช้ในการชุบแข็งมิตัดได้โดยความแข็งและความต้านทานแรงกระแทกที่ใกล้เคียงกับเหล็กใบเลื่อยที่ใช้ดีและชุบแข็งมิตัดอ้อยที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการเร่งปฏิกริยาของสารเร่งเกรดทางการค้าชนิดต่าง ๆ ในการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวของมิตัดที่ชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์เบอร์โรซิง เปรียบเทียบกับมิตัดที่ดีและชุบแข็งจากเหล็กเหน็บที่มีจำหน่ายในท้องตลาด เพื่อเป็นแนวทางในการชุบแข็งมิตัดให้มีความแข็งและความเหนียวเหมาะสมกับการใช้งานเป็นทางเลือกในการผลิตมิตัดทางการเกษตรได้อีกทางหนึ่ง

## วิธีการทดลอง

### ข้อกำหนดการทดลอง

- สารเพิ่มคาร์บอนใช้ถ่านไม้ยูคาลิปตัส
- สารเร่งปฏิกริยาใช้  $\text{BaCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  และ  $\text{CaCO}_3$  เกรดทางการค้าผสม 10% โดยน้ำหนัก
- ขั้นตอนอบใช้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1020
- อุณหภูมิการเพิ่มคาร์บอนที่ผิว  $950^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$
- เวลาการเพิ่มคาร์บอนที่ผิว 30, 60 และ 90 นาที

- ชุบแข็งโดยใช้อุณหภูมิออสเทนไนไทซิง  $780^{\circ}\text{C}$  เวลา 20 นาที จุ่มชุบในน้ำแล้ว ทำเทมเปอร์ที่อุณหภูมิ  $180^{\circ}\text{C}$  เวลา 1 ชั่วโมง
- ทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส (เครื่องทดสอบยี่ห้อ Matsuzawa รุ่น MHT2)
- ทดสอบการกระแทก (เครื่องทดสอบยี่ห้อ Aver-Denison รุ่น 67050/32901)
- ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคภาพขาวดำด้วยกล้องจุลทรรศน์ (ยี่ห้อ OLYMPUS รุ่น BX60M)

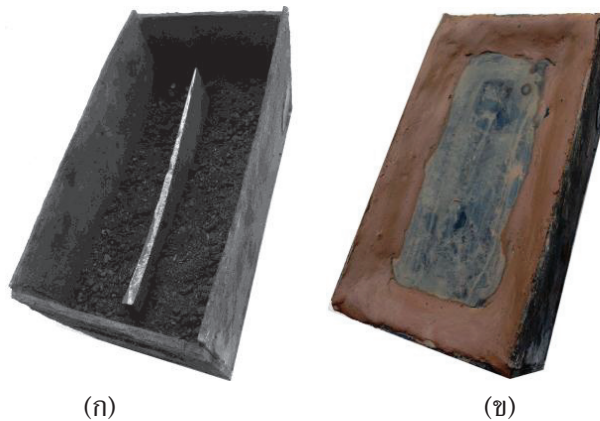
#### การดำเนินการทดลอง

ชิ้นทดสอบที่ศึกษาเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด AISI 1020 นำมาทำการตีขึ้นรูปมิดโดที่มีรูปร่างและขนาดตามที่จำหน่ายในท้องตลาดและเลือกตัดมาทำการทดลองเพียงส่วนที่เป็นตัวมิดโดที่ใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 1 การเตรียมสารแพ็กคาร์เบอร์ไรซิงดำเนินการโดยนำถ่านไม้ยูคาลิปตัสมาทำการบดและร่อนด้วยตะแกรงให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 5 มิลลิเมตร จากนั้นผสมกับผงสารเร่งปฏิกิริยาเกรดทางการค้าชนิดต่าง ๆ ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก



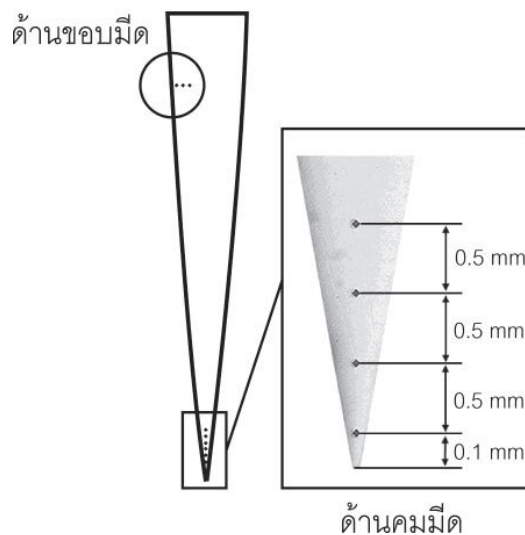
รูปที่ 1 ลักษณะมิดโดและช่วงที่ตัดไปทำการทดลอง

การแพ็กคาร์เบอร์ไรซิงทำโดยนำชิ้นทดสอบบรรจุลงในกล่องเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 2 (ก) แล้วเติมสารแพ็กคาร์เบอร์ไรซิงที่เตรียมไว้จนเต็มโดยความหนาของสารแพ็กคาร์เบอร์ไรซิงจากผิวกล่องด้านในถึงชิ้นทดสอบจะต้องไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร จากนั้นทำการปิดฝากล่องและใช้ดินเหนียวเคลือบด้านบนฝาปิด ดังแสดงในรูปที่ 2 (ข) แล้วนำเข้าเตาอบให้ความร้อนและเวลาตามที่กำหนด จากนั้นนำกล่องเหล็กออกจากเตาแล้วนำชิ้นทดสอบออกจากกล่องเหล็กเพื่อให้เย็นตัวในอากาศ การชุบแข็งและทำเทมเปอร์ทำโดยนำชิ้นทดสอบที่ผ่านการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวมาทำการชุบแข็งโดยใช้อุณหภูมิออสเทนไนไทซิง  $780^{\circ}\text{C}$  เวลาอบแช่ 20 นาที จุ่มชุบในน้ำเย็นและทำเทมเปอร์ที่อุณหภูมิ  $180^{\circ}\text{C}$  เวลาอบแช่ 1 ชั่วโมง เมื่อได้เวลาแล้วนำชิ้นทดสอบออกจากเตาแล้วปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ



รูปที่ 2 (ก) บรรจุชั้นทดสอบและสารแพ็คคาร์เบอไรซิงในกล่องเหล็ก (ข) เคลือบดินเหนียวที่ฝากล่อง

การทดสอบสมบัติทางกล แบ่งเป็นการทดสอบความแข็งแรงและการทดสอบแรงกระแทก การทดสอบความแข็งแรงกำหนดบริเวณในการวัดเป็นสองด้าน ดังแสดงในรูปที่ 3 คือ ด้านขอบมีดและด้านคมมีด โดยด้านขอบมีด ตำแหน่งการวัดห่างจากผิวนอกของชิ้นงานเข้ามา 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนด้านคมมีดตำแหน่งแรกของการวัดห่างจากคมของชิ้นงานเข้ามา 0.1 มิลลิเมตร ตำแหน่งถัดมาแต่ละตำแหน่งห่างกัน 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ



รูปที่ 3 ตำแหน่งการวัดความแข็งแรง

การทดสอบการรับแรงกระแทกใช้การทดสอบแบบชาร์ปี (Charpy test) โดยไม่มีรอยบากตรงกึ่งกลางชิ้นงาน ทั้งนี้เพื่อต้องการทราบการรับแรงกระแทกที่เป็นสภาวะการใช้งานจริง ชิ้นทดสอบเป็นส่วนของตัวมิดโดที่รับแรงกระแทกขณะฟันวัสดุขนาดความยาว 70 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4 (ก) ส่วนรูป (ข) แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบที่ผ่านการทดสอบการรับแรงกระแทกแล้ว



(ก) ขนาดชิ้นทดสอบ



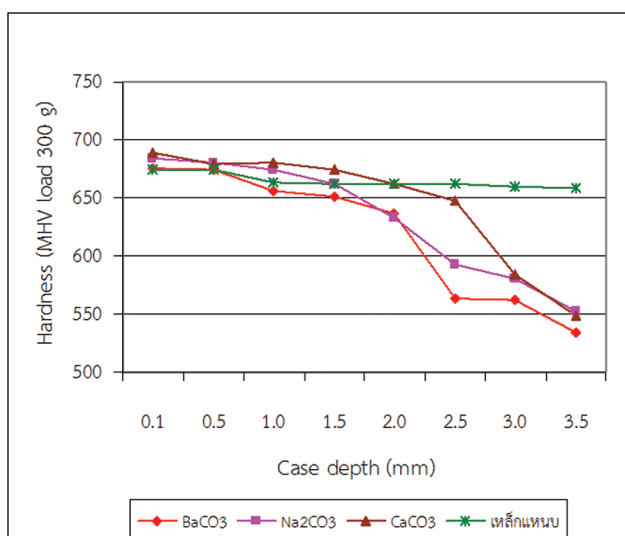
(ข) ชิ้นทดสอบที่ผ่านการทดสอบการรับแรงกระแทก

รูปที่ 4 ลักษณะชิ้นทดสอบการรับแรงกระแทก

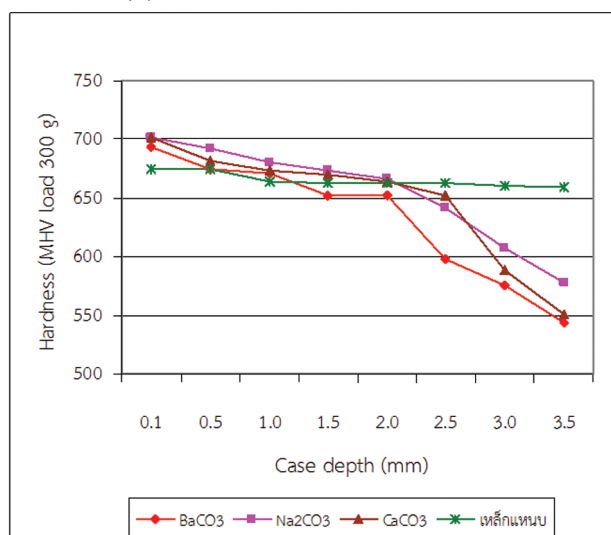
## ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

### การเปรียบเทียบความแข็ง

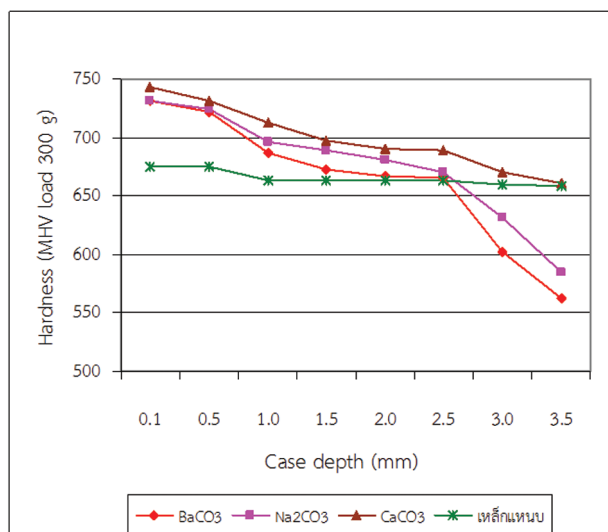
ด้านคมมิด การเปรียบเทียบความแข็งด้านคมมิด แสดงในรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่า ที่เวลาการอบเพิ่มคาร์บอน 30 นาที สารเร่ง  $\text{CaCO}_3$  ให้ค่าความแข็งที่สูงกว่า  $\text{BaCO}_3$  และ  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  สารเร่งทั้งสามชนิดให้ค่าความแข็งที่ใกล้เคียงกับเหล็กแทนบในช่วงความลึก 0.1 - 1.5 มิลลิเมตร ที่ระดับความลึกมากกว่านี้ค่าความแข็งจะน้อยกว่าเหล็กแทนบ เมื่อเวลาอบเพิ่มคาร์บอนเพิ่มขึ้นเป็น 60 นาที (รูป (ข)) ค่าความแข็งของสารทั้งสามชนิดเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะที่ระดับความลึกใกล้ๆ กับคมมิดที่ระยะ 0.1 - 0.5 มิลลิเมตร ค่าความแข็งของสารทั้งสามชนิดจะสูงกว่าเหล็กแทนบ และเช่นเดียวกันที่ระดับความลึก 2.0 มิลลิเมตรขึ้นไป ค่าความแข็งของสารเร่งทั้งสามชนิดจะต่ำกว่าเหล็กแทนบ ที่เวลานี้สาร  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  จะให้ค่าความแข็งที่สูงกว่า  $\text{CaCO}_3$  เล็กน้อยในช่วงความลึกระหว่าง 0.1 - 2.0 มิลลิเมตร สุดท้ายที่เวลาอบเพิ่มคาร์บอน 90 นาที (รูป (ค)) สารเร่งทุกชนิดให้ค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งสาร  $\text{CaCO}_3$  ให้ค่าความแข็งที่สูงกว่าทุกสารเร่งและสูงกว่าเหล็กแทนบ



(ก) เวลาการอบเพิ่มคาร์บอน 30 นาที



(ข) เวลาการอบเพิ่มคาร์บอน 60 นาที

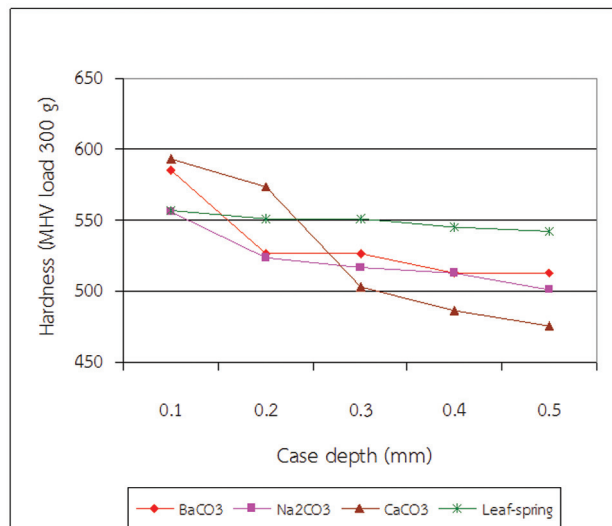


(ค) เวลาการอบเพิ่มคาร์บอน 90 นาที

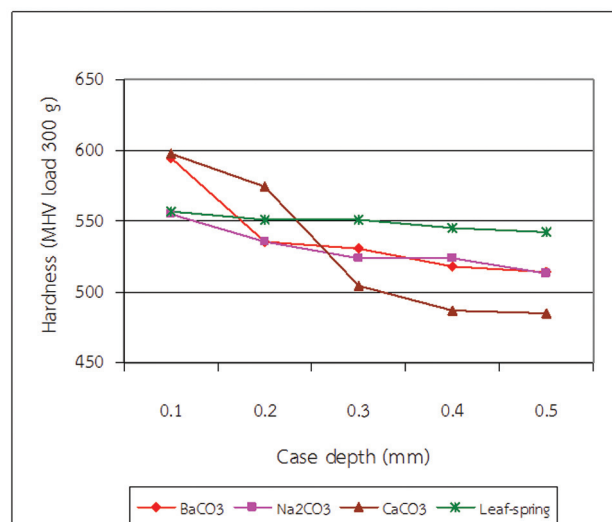
รูปที่ 5 ความแข็งด้านคมเม็ดที่เวลาการอบเพิ่มคาร์บอนเวลาต่างๆ

ด้านขอบ การเปรียบเทียบความแข็งด้านขอบเม็ดแสดงในรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่า ที่เวลาการอบเพิ่มคาร์บอน 30 และ 60 นาที (รูป (ก) และ (ข)) นั้นค่าความแข็งของสารเร่งทั้งสามชนิดนั้นให้ค่าความแข็งเข้าไปได้น้อย โดยสารเร่ง  $\text{CaCO}_3$  ให้ค่าความแข็งที่สูงกว่าเหล็กแทนบที่ความลึกระหว่าง 0.1 - 0.2 มิลลิเมตร แต่ที่ความลึกตั้งแต่ 0.2 มิลลิเมตรขึ้นไปความแข็งกลับต่ำกว่าเหล็กแทนบ ส่วนสารเร่ง  $\text{BaCO}_3$  ที่ระดับความลึก 0.1 มิลลิเมตรให้ความแข็งที่สูงกว่าเหล็กแทนบ แต่เมื่อความลึกเพิ่มขึ้นความแข็งจะต่ำกว่าเหล็กแทนบสำหรับเวลาการอบเพิ่มคาร์บอนที่ 90 นาทีนั้น (รูป (ค)) ค่าความแข็งของสารเร่ง  $\text{CaCO}_3$  ให้ค่าที่สูงกว่าเหล็กแทนบในช่วงความลึกระหว่าง 0.1 - 0.4 มิลลิเมตรและค่าจะลดลงมาเล็กน้อยที่ความลึก 0.5 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตามค่าความแข็งจะสูงกว่าสารเร่ง  $\text{BaCO}_3$  และ  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

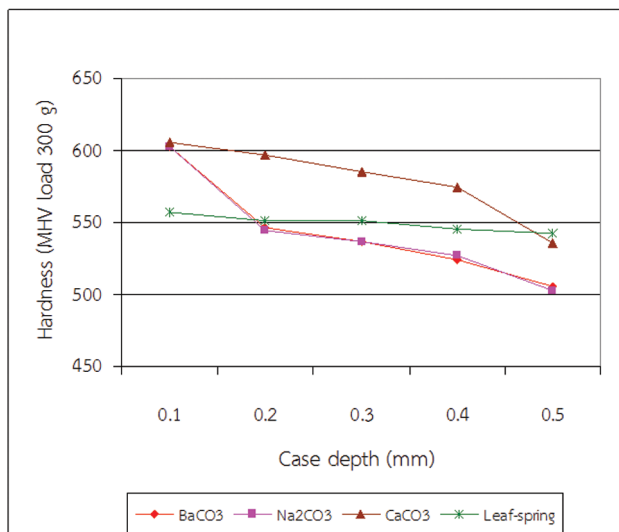




(ก) เวลาการอบเพิ่มคาร์บอน 30 นาที



(ข) เวลาการอบเพิ่มคาร์บอน 60 นาที

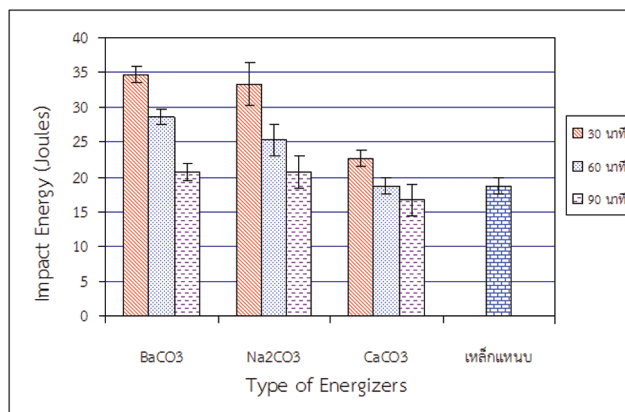


(ค) เวลาการอบเพิ่มคาร์บอน 90 นาที

รูปที่ 6 ความแข็งด้านขอบมิดที่เวลาการอบเพิ่มคาร์บอนเวลาต่างๆ

#### ความต้านทานแรงกระแทก

ผลการเปรียบเทียบความต้านทานแรงกระแทกแสดงในรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่า สารเร่งปฏิกิริยา BaCO<sub>3</sub> และ Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> จะให้ความต้านทานแรงกระแทกที่สูงกว่าสารเร่ง CaCO<sub>3</sub> ซึ่งสัมพันธ์กับค่าความแข็งที่ได้ โดยขั้นตอนทดสอบที่มีค่าความแข็งต่ำจะมีความเหนียวจึงให้ความต้านทานแรงกระแทกที่สูงกว่าชิ้นงานที่แข็งและเปราะ หากพิจารณาเปรียบเทียบกับความต้านทานแรงกระแทกของมิดที่ทำจากเหล็กเหนียว จะเห็นได้ว่า CaCO<sub>3</sub> จะให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกที่ต่ำกว่าเล็กน้อยในขณะที่ความแข็งจะสูงกว่าเหล็กเหนียวที่เวลาการอบเพิ่มคาร์บอน 90 นาที



รูปที่ 7 พลังงานการรับแรงกระแทกของสารเร่งต่างๆ

## โครงสร้างจุลภาค

โครงสร้างจุลภาคของมิดที่ชุบแข็งด้วยกรรมวิธีแพกคาร์โบไรซิงโดยใช้สารเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ แสดงในรูปที่ 8 โดยภาพโครงสร้างที่นำมาแสดงนี้ถ่ายที่ตำแหน่งห่างจากคมมิดเข้ามา 0.5, 2.0 และ 5.0 มิลลิเมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่า โครงสร้างที่ความลึก 0.5 มิลลิเมตร ของชิ้นงานทุกชิ้น จะมีเมทริกซ์เป็นมาร์เทนไซต์และมีคาร์ไบด์กระจายอยู่ทั่วไป ขนาดความโตของเม็ดคาร์ไบด์ของมิดที่ใช้สารเร่งปฏิกิริยามีขนาดที่โตกว่าคาร์ไบด์ของเหล็กเหนบทำให้ค่าความแข็งที่วัดได้มีค่ามากกว่า สำหรับที่ความลึก 2.0 มิลลิเมตร ชิ้นงานที่ใช้สารเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ เมทริกซ์ยังคงเป็นมาร์เทนไซต์อยู่แต่ปริมาณของคาร์ไบด์ลดลงอย่างเห็นได้ชัดและมีเฟอร์ไรต์ปะปนอยู่เล็กน้อย ทำให้ค่าความแข็งที่วัดได้นั้นลดลง ต่างจากมิดที่ทำจากเหล็กเหนบที่ยังคงมีคาร์ไบด์เป็นเม็ดขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วไปจนเมทริกซ์ที่เป็นมาร์เทนไซต์ ส่วนที่ความลึก 5.0 มิลลิเมตรนั้น ปริมาณคาร์บอนแพร่เข้าไปได้น้อยทำให้ยังคงมีโครงสร้างเฟอร์ไรต์อยู่มาก บริเวณนี้จึงอ่อนตัวสูง สำหรับเหล็กเหนบนั้น จะมีโครงสร้างที่ละเอียดซึ่งเป็นลักษณะของโครงสร้างของเหล็กเครื่องมือหรือเหล็กผสม

## อภิปรายผล

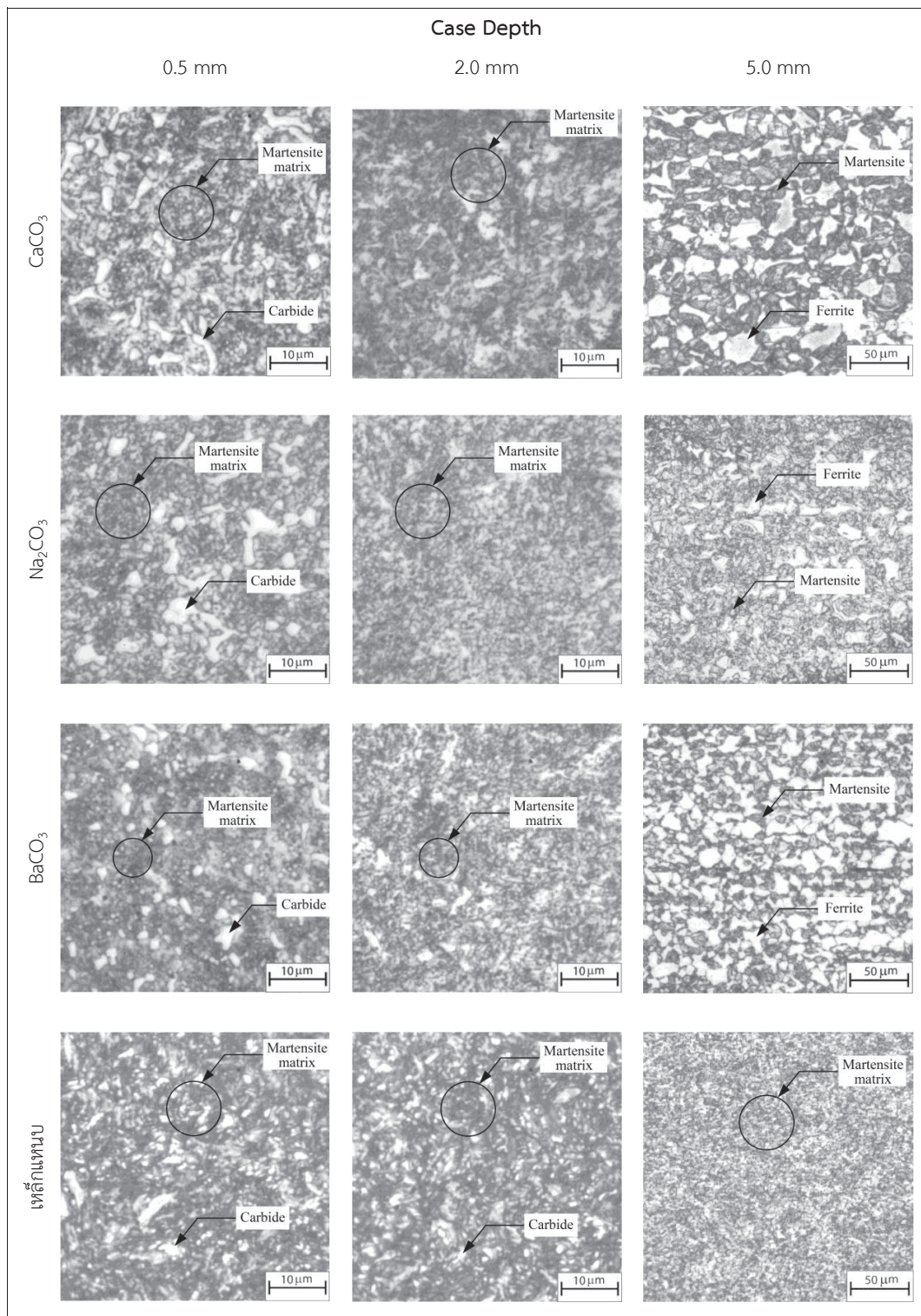
หากใช้ความแข็งและความต้านทานแรงกระแทกของเหล็กเหนบเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาในการเพิ่มคาร์บอนของสารเร่งชนิดต่างๆ จะเห็นได้ว่า สารเร่งแต่ละชนิดมีผลต่อความสามารถในการเพิ่มคาร์บอนในผิวเหล็ก โดยสารเร่งปฏิกิริยาที่เป็น  $\text{CaCO}_3$  ที่ใช้เวลาในการอบเพิ่มคาร์บอนที่ 90 นาที จะให้ค่าความแข็งที่สูงกว่าสาร  $\text{BaCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  และเหล็กเหนบ การที่  $\text{CaCO}_3$  สามารถเร่งปฏิกิริยาได้มากนั้นเมื่อพิจารณาจากน้ำหนักโมเลกุลของธาตุต่างๆ จะพบว่า  $\text{Ca} = 40.08$ ,  $\text{Na} = 22.99$ ,  $\text{Ba} = 137.33$ ,  $\text{C} = 12.01$  และ  $\text{O} = 16.00$  (Askeland D.R. and Phule P.P., 2003) เมื่อรวมเป็นสารประกอบจะพบว่าน้ำหนักโมเลกุลของ  $\text{CaCO}_3 = 100.09$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 105.99$  และ  $\text{BaCO}_3 = 197.34$  ดังนั้น เมื่อเกิดการสลายตัวของแก๊ส  $\text{CO}_2$  จากสารประกอบต่างๆ จะเห็นได้ว่า โมลของ  $\text{CO}_2$  ที่สลายจาก  $\text{CaCO}_3$  นั้น จะมีค่ามากกว่า  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  และ  $\text{BaCO}_3$  ตามลำดับ เมื่อปริมาณ  $\text{CO}_2$  มีมากกว่า จึงเข้าทำปฏิกิริยากับคาร์บอนในถ่านได้มากกว่าทำให้มีปริมาณคาร์บอนที่แพร่เข้าไปได้สูงกว่าส่งผลให้มีความแข็งที่สูงกว่าสารกระตุ้นตัวอื่นๆ อย่างไรก็ตามค่าความแข็งที่สูงขึ้นส่งผลให้ความต้านทานแรงกระแทกมีค่าต่ำกว่าเหล็กเหนบเล็กน้อย หากต้องการเพิ่มความเหนียวให้กับมิดที่ชุบแข็งด้วยสาร  $\text{CaCO}_3$  อาจทำได้โดยการทำเทมเปอร์ที่อุณหภูมิที่สูงขึ้น จะทำให้ได้สมบัติทางด้านความแข็งและความเหนียวรวมกันซึ่งเป็นสมบัติที่สอดคล้องกับเอกสารของ Morimoto M (Morimoto M., 2004) และการศึกษาของณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ (ณรงค์ศักดิ์, 2547) ตรงที่ดาบซามูไรที่ดีจะมีโครงสร้างเปลือกนอกที่แข็งเพื่อให้มีความคมและแกนกลางที่อ่อนนุ่มเพื่อช่วยให้เกิดความยืดหยุ่นรับแรงกระแทกได้ดีโดยไม่เกิดการแตกหัก

ปัจจัยอีกประการหนึ่งที่มีผลต่อค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงคือเวลาในการอบเพิ่มคาร์บอน เวลาที่เพิ่มขึ้นจะทำให้คาร์บอนสามารถแพร่เข้าไปในผิวเหล็กได้มากขึ้นเป็นไปตามกฎของฟิกส์ (Askel and D.R. and Phule P.P., 2003) ที่ว่าการแพร่จะแปรผันตามความเข้มข้นของอะตอมและเวลาในการแพร่ ดังนั้นเวลาในการอบเพิ่มคาร์บอนที่ 30, 60 และ 90 นาที จึงทำให้ค่าความแข็งของชิ้นงานเพิ่มขึ้นไปตามลำดับ

### สรุปผลการทดลอง

สารเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมคาร์บอเนตมีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาในการเพิ่มปริมาณคาร์บอนที่ผิวของมิดโด้ที่ชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์บอนโรซิงที่สูงกว่าสารแบเรียมคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนต

เวลาในการอบเพิ่มคาร์บอนที่สูงขึ้น มีผลต่อสมบัติทางกล โดยทำให้ความแข็งและความลึกของชั้นผิวแข็งเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความสามารถในการรับแรงกระแทกลดลง โดยเวลาในการอบเพิ่มคาร์บอนที่ผิวที่ให้ค่าความแข็งและชั้นผิวแข็งที่สูงกว่าเหล็กเหน็บ คือ เวลา 90 นาที



รูปที่ 8 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบที่ผ่านการชุบแข็งที่ความลึกระดับต่างๆ

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณสาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุในความอนุเคราะห์การใช้อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง ขอขอบคุณนักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ นายคทาวุฒ ศรีจันทร์ และนายอรรถพล พยาบาล ในการดำเนินการทดลองและเก็บข้อมูล

## บรรณานุกรม

- ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ (2547). ผลของกระบวนการอบชุบความร้อนที่มีต่อโครงสร้างจุลภาคและความแข็งของดาบขามูไร. วารสารวิจัยและฝึกอบรม สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล. ปีที่ 8. ฉบับที่ 1.
- ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ และคณะ (2556). การเปรียบเทียบการเร่งปฏิกิริยาของหินปูนและแคลเซียมคาร์บอเนตในการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวของมิดตัดด้วยที่ชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์บอนไธซิง. ใน การประชุมวิชาการทางโลหะวิทยาแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7 กระบี่.
- ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ และคณะ (2556). ผลของอุณหภูมิและเวลาในการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวต่อสมบัติทางกลของมิดตัดด้วยที่ชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์บอนไธซิง. ใน การประชุมวิชาการและการนำเสนอผลงานทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 4 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น.
- ธีระเดช อีรทรัพย์กุล และประวุธ ตันตยกร. รายงานการศึกษาทดลอง เรื่อง Pack carburizing compound. สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมสนับสนุน กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- ศิริพร ดาวพิเศษ และวชิร ฉายสุวรรณ (2541). เม็ดถ่านผสมสำหรับใช้ในการเติมคาร์บอนที่ผิวเหล็ก, วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ปีที่ 8. ฉบับที่ 5. หน้า 19-23
- เหรียญ พลต่าง (2541). การทดลองเปรียบเทียบส่วนผสมของสารแพ็กคาร์บอนไธซิงในกระบวนการชุบผิวแข็งโลหะ. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Askeland D.R. and Phule P.P. (2003). The Science and Engineering of Materials. Thomson Brooks/Cole: USA.
- Lakhtin Y. M. (1990). Engineering Physical Metallurgy and Heat Treatment. Mir Publishers Moscow: Russia.
- Morimoto M. (2004). The forging of a Japanese Katana, Colorado school of mines.
- Rajan T. V., et al. (1994). Heat Treatment; Principles and Techniques. Prentice-Hall of India Private Limited: New Delhi.
- Sinha A. K. (2003). Physical Metallurgy Handbook. McGraw-Hill Company Inc: USA.