# การศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติเหล็กน้ำพี้เชิงวิศวกรรม

# A Comparison of the Engineering Properties of Nam Phi Steel

สุวัฐชัย วัชรถาวรศักดิ์[1*], อดุลย์ พุกอินทร์[2]

[1*] อาจารย์ประจำหลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีแม่พิมพ์ วิทยาลัยเทคนิคพิษณุโลก สถาบันการอาชีวศึกษาภาคเหนือ 3 เลขที่ 2 ถ.สนามบิน ต.ในเมือง อ.เมือง จ.พิษณุโลก โทร (055)302029 โทรสาร (055) 302030,E-mail: Su-317@hotmail.com

[2] อาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ เลขที่ 27 ถ.อินใจมี ต.ท่าอิฐ อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์ โทร (055)416625 โทรสาร (055) 416625, E-mail: Adun999@gmail.com

## บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ได้พบกระบวนการผลิตเหล็กน้ำพี้ในปัจจุบันของชุมชนน้ำพี้ ซึ่งผลิตเหล็กน้ำพี้โดยการน้ำแร่เหล็กน้ำพี้มาถลุงในเตาที่พัฒนาขึ้นจากภูมิปัญญาของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนดาบเหล็กน้ำพี้ กับการวิจัย การลงพื้นที่วิจัยได้ชิ้นทดสอบตัวอย่างจำนวน 20 ชิ้น แบ่งเป็นเหล็กน้ำพี้แบบดั้งเดิม จำนวน 10 ชิ้น เหล็กน้ำพี้แบบถลุงใหม่จำนวน 10 ชิ้น จากนั้นได้ระบุรหัสของเหล็กน้ำพี้แบบดั้งเดิม ระบุรหัส 101-105 กลุ่ม A ระบุรหัส 106-110 กลุ่ม B และเหล็กน้ำพี้แบบถลุงใหม่ระบุรหัส 201-205 กลุ่ม C ระบุรหัส 206-210 กลุ่ม D การวิจัยได้ทำการทดสอบการวิเคราะห์ผลการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ก่อนการชุบแข็งและหลังการชุบแข็ง โดยการทดสอบก่อนการชุบแข็งของกลุ่ม B และ D พบว่าเหล็กน้ำพี้แบบดั้งเดิมของกลุ่ม B มีค่าความแข็งสูงสุดเท่ากับ 180.00 HV ในชิ้นทดสอบที่ 106 และเหล็กน้ำพี้แบบถลุงใหม่ของกลุ่ม D มีค่าความแข็งสูงสุดเท่ากับ 293.67 HV ในชิ้นทดสอบที่ 208 ซึ่งพบว่าเหล็กน้ำพี้สภาพปกติก่อนการชุบแข็งเหล็กน้ำพี้แบบถลุงใหม่กลุ่ม D มีความแข็งมากกว่าเหล็กน้ำพี้แบบดั้งเดิมของกลุ่ม B

การทดสอบเหล็กน้ำพี้หลังการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ในสารจุ่มชุบน้ำ พบว่าเหล็กน้ำพี้แบบถลุงใหม่ในกลุ่ม C มีความแข็งสูงสุดเท่ากับ 839.67 HV ในชิ้นทดสอบที่ 205 เหล็กน้ำพี้ แบบดั้งเดิมในกลุ่ม A มีความแข็งสูงสุดเท่ากับ 319.67 HV ในชิ้นทดสอบที่ 101 จึงบอกได้ว่าเหล็กน้ำพี้แบบถลุงใหม่ในกลุ่ม C มีค่าความแข็งหลังการชุบแข็งที่ดีกว่าเหล็กน้ำพี้แบบดั้งเดิมในกลุ่ม A จึงเหมาะกับการนำไปใช้งานด้านวิศวกรรม

**คำสำคัญ** : เหล็กน้ำพี้แบบดั้งเดิม, เหล็กน้ำพี้แบบถลุงใหม่, คุณสมบัติเชิงวิศวกรรม, ปราชญ์ชาวบ้าน, ผู้รู้

## Abstract

The research compares the properties of traditional Nam Phi steel with those of a steel produced in a new smelter. Twenty pieces of steel were used in the study, 10 of traditional Nam Phi steel and 10 pieces of the newly smelted Nam Phi steel. The 10 traditional Nam Phi steel pieces were divided into two groups and coded 101-105 for Group A and 106-110 for Group B. The 10 new Nam Phi steel pieces were also divided into two groups and encoded 201-205 for Group C and 206-210 for Group D. All twenty pieces were subjected to the Vickers hardness test for both pre- and post-hardening.

The results for pre-hardening show that the maximum hardness of traditional Nam Phi steel was 180.00 HV (test piece 106) while the maximum hardness of the new Nam Phi steel was 293.67 HV (test piece 208). This showed that, for pre-hardening, the new Nam Phi steel of Group D was harder than traditional Nam Phi steel in Group B. After hardening at 850 degrees Celsius, it was found that the maximum hardness of items in Group C was 839.67 HV (test piece 205) while the maximum hardness of Group A was 319.67 HV (test piece 101). The new steel in Group D had higher levels of hardness after hardening than the traditional steel in Group A and so the new steel (Group D) was more suitable for engineering works.

**Keywords :** traditional Nam Phi steel, newly smelted Nam Phi steel, engineering properties, village philosopher, guru

**1. บทนำ**

เหล็กในวงการอุตสาหกรรมนับว่ามีความสำคัญมาก เนื่องจากเป็นวัตถุดิบหลักในกระบวนการผลิตไม่ว่าจะเป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ชิ้นส่วนรถยนต์ การทำโครงสร้างของการก่อสร้างอาคารบ้านเรือน เหล็กที่ใช้งานในภาคอุตสาหกรรมมีความต้องการมากในแต่ละปี มีการนำเข้าเหล็กแผ่นรีดร้อนกัดกรดเคลือบน้ำมัน ประมาณปีละ 440,000 - 530,000 ตัน เหล็กแผ่นรีดร้อนหน้ากว้างสำหรับนำไปรีดเย็นต่อ (ที่มีส่วนผสมของคาร์บอนน้อยกว่าร้อยละ 0.01) ประมาณปีละ 170,000-350,000 ตัน และเหล็กแผ่นรีดร้อนหน้ากว้างสำหรับนำไปรีดเย็นต่อเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ (ที่มีส่วนผสมของคาร์บอนร้อยละ 0.01-0.1) ประมาณปีละ 300,000 - 400,000 ตัน ซึ่งปริมาณการนำเข้าเหล็กแผ่นรีดร้อนนี้คิดเป็นประมาณร้อยละ 50-80 ของปริมาณนำเข้าเหล็กแผ่นรีดร้อนทั้งหมดจากญี่ปุ่น จึงเห็นได้ว่าความต้องการใช้เหล็กในประเทศไทยมีปริมาณที่มาก

ในประเทศไทยมีแร่เหล็กอยู่ในพื้นที่จังหวัดต่าง ๆ เช่น บ้านหัวหวาย อำเภอตาคลี จังหวัดนครสวรรค์ ที่เขาทับควาย อำเภอโคกสำโรง จังหวัดลพบุรี ที่เขาชีโอน-ชีจัน อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ที่อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช ภูเฮี้ยะ อำเภอเชียงคาน แหล่งภูอ่าง อำเภอเมือง จังหวัดเลย แหล่งอึมครึม อำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี แหล่งหนองบอน อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา แหล่งแม่โถ อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ แหล่งเถิน อำเภอเถิน จังหวัดลำปาง แหล่งซับไม้แดง เขาเหล็ก อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ แหล่งปรกฟ้า อำเภอบ้านบึง จังหวัดชลบุรี แหล่งเกาะม่วง-เกาะเหล็ก อำเภอเกาะลันเตา จังหวัดกระบี่ และที่ตำบลน้ำพี้ อำเภอทองแสนขัน จังหวัดอุตรดิตถ์ (กรมทรัพยากรธรณี. 2543) สถานที่แร่ดังกล่าวบางแห่งถูกขุดขึ้นมาขายให้กับต่างประเทศในรูปแบบของสินแร่เหล็ก และบางแห่งยังไม่มีการขุดใช้เนื่องจากสินแร่เหล็กบางชนิดมีปริมาณเหล็กที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ต่ำ จึงไม่คุ้มทุนที่จะนำมาถลุง

เหล็กน้ำพี้เป็นแร่ที่ให้ปริมาณเหล็กที่คิดเป็นร้อยละ 40-65 ถือว่ามาก ในอดีตที่ผ่านมามีการนำมาถลุงในพื้นที่เพื่อที่นำไปทำเครื่องมือ และอาวุธต่าง ๆ ซึ่งสืบทราบข้อมูลจากเตาเก่าที่มีอยู่ในพื้นที่เป็นจำนวนมาก การถลุงโดยการนำสินแร่เหล็กน้ำพี้มาย่อย และนำใส่ลงในเตาที่ปั้นจากดินเหนียว และใช้เชื้อเพลิงเป็นถ่านไม้ ซึ่งเป็นภูมิปัญญาของชาวบ้านน้ำพี้ เหล็กน้ำพี้ที่ได้เป็นแท่งจาก

การหลอมจะนำมาขึ้นรูปอีกครั้งโดยช่างที่มีความชำนาญเพื่อเพิ่มคุณสมบัติที่ดีให้กับเหล็ก ซึ่งจะเป็นวิธีการของช่างแต่ละคน

สินแร่เหล็กน้ำพี้ที่พบจากหลักฐานจะมีอยู่สองบ่อ ชาวบ้านตั้งชื่อว่าบ่อพระแสง และบ่อพระขรรค์ เชื่อกันว่ามีความศักดิ์สิทธิ์ของเหล็กน้ำพี้ที่อยู่ในบ่อดังกล่าวและความศรัทธาของผู้คนที่อยู่ในพื้นที่ และนอกพื้นที่ ทำให้สภาพเศรษฐกิจในพื้นที่ดีขึ้น มีการขุดแร่เหล็กน้ำพี้มาย่อยแร่ และสร้างเป็นผลิตภัณฑ์มากมาย รวมไปถึงการถลุงเพื่อขึ้นรูปเป็นดาบ มีด พระขรรค์ เหล็กน้ำพี้ส่งขายให้กับนักท่องเที่ยวที่มาเที่ยวในพื้นที่ การผลิตเหล็กน้ำพี้ได้มีการถ่ายทอดองค์ความรู้ในการตีดาบ ตีมีด ตีเครื่องมือเครื่องใช้ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน แต่ในด้านองค์ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ ชาวบ้านน้ำพี้ยังไม่ทราบมากนักเพราะการผลิตผลิตภัณฑ์เหล็กน้ำพี้ ผู้ซื้อส่วนใหญ่นำไปไว้ในบ้านเพื่อความเป็นศิริมงคล

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบการดำเนินการวิจัย โดยการดำเนินการวิจัยร่วมกันสืบค้นชิ้นส่วนเหล็กน้ำพี้กับปราชญ์ชาวบ้าน ผู้รู้ กลุ่มแปรรูปแร่เหล็กน้ำพี้ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนแร่เหล็กน้ำพี้ เพื่อสืบค้นการผลิต และการสืบค้นชิ้นงานทดสอบจากการจัดเวที เพื่อนำชิ้นทดสอบมาออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรมด้านความแข็ง โดยแบ่งเป็นความแข็งก่อนทำการชุบ และความแข็งหลังจากการชุบแข็ง เพื่อสรุปเป็นแนวทางในการพัฒนาให้กับกลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย

**2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย**

2.1 เพื่อศึกษาการผลิตเหล็กน้ำพี้ในปัจจุบัน

2.2 เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงวิศวกรรม ของเหล็กน้ำพี้แบบดั้งเดิมกับเหล็กน้ำพี้แบบถลุงใหม่

**3. ขอบเขตของงานวิจัย**

3.1 ขอบเขตด้านการศึกษาการผลิตเหล็กน้ำพี้ การจัดเวทีเพื่อหาชิ้นทดสอบ โดยการเชิญปราชญ์ชาวบ้าน ผู้รู้ และกลุ่มนักวิจัย ร่วมแสดงความคิดเห็น เพื่อนำชิ้นทดสอบมาเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงวิศวกรรม ของเหล็กน้ำพี้แบบดั้งเดิมกับเหล็กน้ำพี้แบบถลุงใหม่

3.2 ขอบเขตด้านพื้นที่ใช้พื้นที่บ้านน้ำพี้ ตำบลน้ำพี้ อำเภอทองแสนขัน จังหวัดอุตรดิตถ์

**4. อุปกรณ์และวิธีการ**

อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยแสดงดังนี้

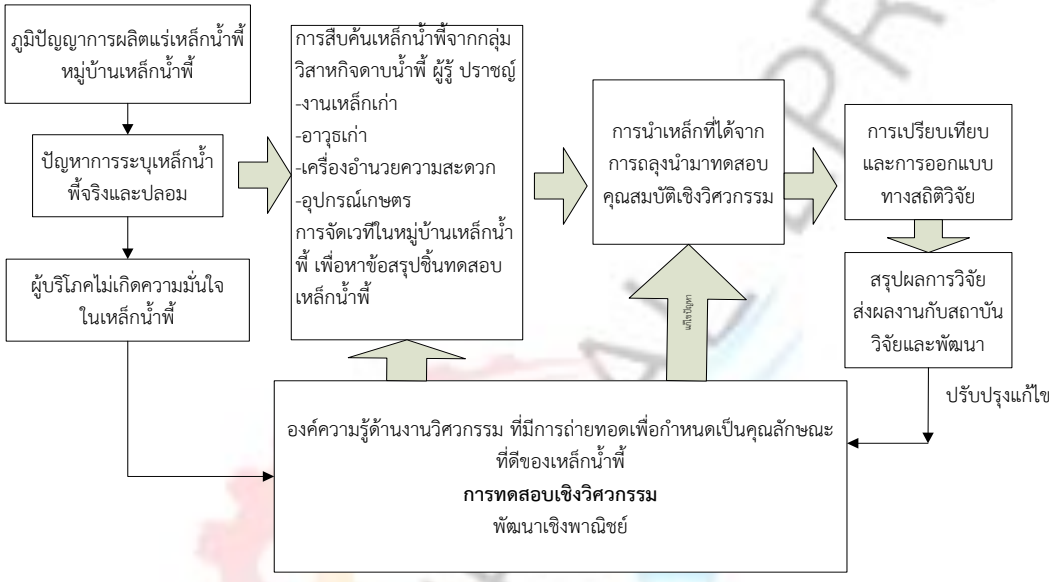
4.1 เครื่องทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers)

4.2 เครื่องชุบโลหะอุณหภูมิสูง

4.3 โปรแกรมวิเคราะห์ผล และเครื่องคอมพิวเตอร์

**5. กรอบความคิดในการวิจัย/สมมุติฐานการออกแบบและพัฒนา**

การดำเนินโครงการวิจัยผู้วิจัยได้ออกแบบแนวคิด ของโครงการตามวัตถุประสงค์ในการดำเนินการวิจัยโดยมีการสืบค้นการผลิตเหล็กน้ำพี้ในปัจจุบัน และนำสิ่งที่ได้จากการสืบทราบหาคุณสมบัติเชิงวิศวกรรมของเหล็กน้ำพี้ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนากรรมวิธีผลิตเหล็กน้ำพี้และการสร้างคุณค่าของผลิตภัณฑ์เหล็กน้ำพี้ ดังแสดงภาพที่ 1




**ภาพที่1** แสดงสมมุติฐานการวิจัย

**6. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

6.1 การแปรรูปเหล็กน้ำพี้ในปัจจุบัน

ผู้วิจัยได้ศึกษากระบวนการผลิตเหล็กน้ำพี้ในปัจจุบันในช่วงปี 2557-ปัจจุบัน กระบวนการผลิตใช้วิธีการถลุงใหม่แทนการหาตะกรันเหล็กน้ำพี้ในพื้นที่เตาดั้งเดิมที่มีการผลิตตั้งแต่อดีต ในปัจจุบันกลุ่มวิสาหกิจชุมชนดาบเหล็กน้ำพี้ได้ร่วมพัฒนางานวิจัยร่วมกับอนุวัตน์ จุติลาภถาวร ปี 2552 ซึ่งการผลิตใช้สินแร่ที่ผ่านการย่อยมาใส่เตาที่พัฒนาจนได้เหล็กน้ำพี้แบบถลุงใหม่ แสดงการผลิตเหล็กน้ำพี้ดังนี้

เตาถลุงเหล็กน้ำพี้มีด้วยกันสามชั้น ใช้พัดลมเป่าลม (Bower) ขนาด 1 แรงม้าในการให้แรงลมเตา 2 ตัว การให้แรงลม เป็นการเพิ่มออกซิเจน ให้ความร้อนมากขึ้นเพื่อให้สินแร่เกิดการหลอมละลายที่อุณหภูมิประมาณ 1600 องศาเซลเซียส การหลอมทำการใส่ถ่านไม้ลงในเตาที่มีการจุดติดไฟและทำการใส่ถ่านไม้ลงในเตาให้เต็ม ทำการเปิดพัดลมเป่าลมทั้งสองตัว จากนั้นให้สังเกตเปลวไฟควันที่เตา ถ้าไฟที่ยังมีอุณหภูมิไม่สูงจะมีควันมาก ถ้าไฟที่มีอุณหภูมิสูงจะไม่มีควันและจะมีสีฟ้า เมื่ออุณหภูมิสูงให้ทำการใส่สินแร่เหล็กน้ำพี้ด้านบนของเตาจำนวน 4.5 กิโลกรัม จากนั้นใส่ถ่านไม้เพิ่มลงไปเนื่องจากมีการยุบตัวของถ่านไม้เดิม และรอเวลาประมาณ 50 นาที จะสังเกตเห็นขี้ตะกรันไหลออกมาจากเตาชั้นที่ 1 ดังแสดงภาพที่ 2 และภาพที่ 3

**ภาพที่ 2** แสดงการเตรียมเตาก่อนการใส่สินแร่เหล็กน้ำพี้

**ภาพที่ 3** แสดงการการไหลของตะกรัน

การนำเหล็กน้ำพี้ออกจากเตา เหล็กน้ำพี้ที่ผ่านความร้อนจากการถลุงจะไปรวมกันอยู่ในเตาชั้นที่ 1 เพราะฉะนั้นจะต้องยกเตาชั้นที่ 3 และ 2 ออก ให้เหลือแต่เตาชั้นที่ 1 ดังแสดงภาพที่ 4 และภาพที่ 5

**ภาพที่ 4** แสดงการนำชั้นเตาถลุงเหล็กน้ำพี้ออก

**ภาพที่ 5** แสดงการนำเหล็กน้ำพี้ที่ได้จากการถลุงออกจากเตาถลุง

จากภาพที่ 5 ได้เหล็กน้ำพี้ที่ได้จากการถลุง จากนั้นนำมาขึ้นรูปโดยการตีให้มีลักษณะรูปทรงสี่เหลี่ยม ดังแสดงภาพที่ 6

**ภาพที่ 6** แสดงการขึ้นรูปเหล็กน้ำพี้จากการถลุง

จากภาพที่ 6 แสดงวิธีการตีเหล็กน้ำพี้ที่ได้จากการถลุง ระยะเวลาจะทำให้ความร้อนของเหล็กเกิดการสูญเสียจะต้องมีกระบวนการให้ความร้อนเพิ่มอยู่ตลอด และจะสังเกตว่าขี้ตะกรันที่ติดมากับเหล็กน้ำพี้จะหลุดออกจากการตี ช่างตีเหล็กและผู้จับจะต้องมีระดับจังหวะที่เหมาะสม ดังแสดงภาพ ที่ 7

**ภาพที่ 7** แสดงเหล็กน้ำพี้ที่ได้จากการขึ้นรูปโดยการตี

จากภาพที่ 7 เมื่อได้เหล็กน้ำพี้จากการตี การนำไปใช้จะต้องนำมาให้ความร้อนและตีให้มีลักษณะแบนตามขนาดของรูปทรงผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น มีดดาบขนาด 3 นิ้ว 5 นิ้ว 9 นิ้ว 12 นิ้ว 15 นิ้ว 19 นิ้ว 23 นิ้ว 25 นิ้ว 29 นิ้ว เป็นต้น

ในการผลิตส่วนใหญ่ใช้ความชำนาญของช่างที่อยู่ในพื้นที่ โดยการสืบทอดวิธีการผลิต เทคนิค และวัฒนธรรมที่สืบทอดตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน งานวิจัยนี้จึงได้สืบทราบคุณสมบัติเชิงวิศวกรรม เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาคุณสมบัติของเหล็กน้ำพี้ที่ดี

6.2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

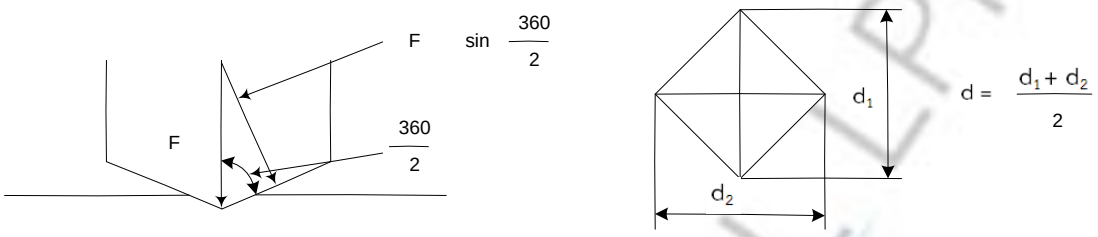
สิงหเดช แตงจวง. (2549) ได้ศึกษาวิจัยเรื่ององค์ประกอบของธาตุและคุณสมบัติกายภาพของเหล็กน้ำพี้ในชุมชนน้ำพี้ โดยมีวัตถุประสงค์ คือ การวิจัยองค์ประกอบของธาตุและคุณสมบัติกายภาพของเหล็กน้ำพี้ โดยการนำชิ้นงานทดสอบ ได้แก่ เหล็กน้ำพี้ธรรมชาติ ตะกรัน และผลิตภัณฑ์เหล็กน้ำพี้ 5 ชนิด นำไปวิเคราะห์หาโครงสร้างจุลภาค หาองค์ประกอบของธาตุ และทดสอบความแข็งด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง SEM & EDS XRF Spark emission spectroscopy และเครื่องวัดความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ ผลจากการวิเคราะห์พบว่าเหล็กน้ำพี้ประกอบด้วยธาตุที่สำคัญหลายธาตุ เช่น เหล็ก (Fe) คาร์บอน (C) ซิลิคอน (Si) อลูมิเนียม (Al) ไทเทเนียม (Ti) แมงกานีส (Mn) ฟอสฟอรัส (P) โคบอลต์ (Co) ทองแดง (Cu) ทังสเตน (W) ตะกั่ว (Pb) ดีบุก (Sn) กำมะถัน (S) และนิเกิล (Ni) โดยมีธาตุเหล็ก (Fe) เป็นองค์ประกอบหลักมีปริมาณธาตุเหล็กมากกว่าร้อยละ 99 ขึ้นไป ในการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคพบว่าส่วนใหญ่เป็นเฟสผสมระหว่างเฟร์ไรต์ และเพอร์ไลต์มีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 19 – 327 HV ค่าความแข็งที่วัดได้ยังมีค่าที่ต่ำ อาจเนื่องมาจากถูกจำกัดด้วยบริเวณพื้นที่ผิวชิ้นงานที่ใช้ในการวิเคราะห์ไม่ครอบคลุมทุกส่วนของเหล็กน้ำพี้

อนุวัฒน์ จุติลาภถาวร. (2552) ได้ศึกษาวิจัยกรรมวิธีการถลุงเหล็กจากแร่เหล็กน้ำพี้ ซึ่งทำให้ทราบว่าชาวบ้านในบริเวณหมู่บ้านเหล็กน้ำพี้ไม่สามารถถลุงแร่เหล็กน้ำพี้ได้ โดยส่วนใหญ่เหล็กน้ำพี้ที่นำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้มาจากการเก็บขี้ตะกรันที่ได้จากการค้นหาในพื้นที่ที่มีการผลิตในอดีต และในปัจจุบันหาได้ยากขึ้นเนื่องจากความต้องการมีมาก ผู้วิจัยพบปัญหาดังกล่าว และได้นำความรู้ทางด้านโลหะวิทยามาทำการออกแบบสร้างเตาถลุงเหล็กที่สามารถถลุงเหล็กจากสินแร่เหล็กน้ำพี้ โดยผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลอง เพื่อหาประสิทธิภาพการทดลองเตาถลุงไว้ 2 การทดลอง คือ การทดลองแรกได้ทิ้งเหล็กไว้ในเตา โดยใช้เวลาที่แตกต่างกัน พบว่าเหล็กน้ำพี้ที่ทิ้งไว้ในเตาในเวลาที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์คาร์บอนในเหล็กน้ำพี้ที่ถลุงได้ สาเหตุเกิดจากเหล็กน้ำพี้ที่ถลุงได้จะมีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนที่ใกล้เคียงกัน คือ อยู่ในช่วงคาร์บอนสูงประมาณร้อยละ 0.8 – 1.5 ของคาร์บอน นอกจากนี้เหล็กน้ำพี้ที่ถลุงได้มีความแข็งมากกว่าเหล็กน้ำพี้ของชาวบ้าน คือ เหล็กน้ำพี้ที่ถลุงได้จะมีค่าความแข็งก่อนชุบที่ 29.58 HC และหลังชุบที่ 64.34 HC ส่วนเหล็กน้ำพี้ของชาวบ้านมีค่าความแข็งก่อนชุบอยู่ที่ 121.38 HB และหลังชุบแข็งที่ 198.31 HB

การทดสอบแบบบริเนลล์ (Brinell Hardness Test) วิธีการทดสอบที่นิยมใช้ทดสอบกับโลหะมี 3 วิธี คือ รอกเวลล์ซ C (Rockwell – C : HC) รอกเวลล์ B (Rockwell – B : HB) และรอกเวลล์ A (Rockwell – A : HA)

การทดสอบความแข็งวิกเกอร์ (Vickers Hardness test) การทดสอบความแข็งแบบนี้ ก็นิยมใช้มากเพราะเป็นวิธีการทดสอบความแข็งที่มาตรฐานและสามารถกำหนดค่าความแข็งของวัสดุได้

ถูกต้องเหมาะสำหรับใช้วัดความแข็งของวัสดุหรือโลหะอ่อนจนกระทั่งแข็งมาก จากการทดสอบความแข็งวิกเกอร์นี้ใช้หัวกดทดสอบทำด้วยเพชรรูปพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมจตุรัส มุมที่ยอด 136 องศา (Diamond pyramid with a square base and an angle of 136) ซึ่งในการทดสอบความแข็งบริเนลล์จะเห็นว่าอัตราส่วนการกดรอยบุ๋มที่เหมาะสมที่สุด คือ d/D = 0.375 ดังนั้นถ้าเปรียบเทียบกับหัวกดเพชร 136 องศา จะเป็นระยะที่สัมผัสได้อย่างพอดี (ที่มา : การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์. 2557:ระบบออนไลน์) ดังภาพที่ 8




**ภาพที่ 8** หัวกดรูปทรงพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัส มุมที่ยอด 136 องศา

## 7. วิธีการดำเนินการวิจัย

7.1 การลงพื้นที่หมู่บ้านเหล็กน้ำพี้ เพื่อศึกษาข้อมูลการผลิตเหล็กน้ำพี้ โดยได้ร่วมสืบค้นผู้ที่บุกเบิกในการตั้งกลุ่มวิสาหกิจชุมชนตำบลน้ำพี้ ซึ่งกลุ่มนี้มีการดำเนินการร่วมกับอำเภอ จังหวัด และร่วมมือกับภาครัฐในการร่วมการจัดแสดง จัดเวที จัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์จากแร่เหล็กน้ำพี้ ซึ่งกลุ่มสมาชิกวิสาหกิจดาบเหล็กน้ำพี้ ที่มีการรวมกลุ่มผลิตเหล็กน้ำพี้จากสินแร่เหล็กน้ำพี้ ผลิตภัณฑ์ที่กลุ่มผลิตส่วนใหญ่เป็นผลิตภัณฑ์ดาบ พระขรรค์ ที่มีความยาวตั้งแต่ 3 นิ้ว ถึง 29 นิ้ว ดังแสดงภาพสมาชิกภาพที่ 9

**ภาพที่ 9** สมาชิกกลุ่มวิสาหกิจดาบเหล็กน้ำพี้ในการทำกิจกรรมการถลุงและตี

การวิจัยได้ลงพื้นที่ จัดเวทีเพื่อคัดสรรชิ้นทดสอบที่กลุ่มระบุที่มา ซึ่งยังค้นพบได้ในพื้นที่ทำให้ได้ชิ้นทดสอบเหล็กน้ำพี้แบบถลุงใหม่จากการถลุงจำนวน 10 ชิ้น และเหล็กน้ำพี้แบบดั้งเดิมโดยมีที่มา

จากการจัดเวทีจำนวน 10 ชิ้น ซึ่งใช้แบ่งระดับการทดสอบในแต่ละแบบ ดังแสดงภาพที่ 10 และภาพที่ 11

**ภาพที่ 10** แสดงชิ้นงานเหล็กน้ำพี้ที่ได้จากเหล็กดั้งเดิม

**ภาพที่ 11** แสดงชิ้นงานเหล็กน้ำพี้ที่ได้จากการถลุงใหม่

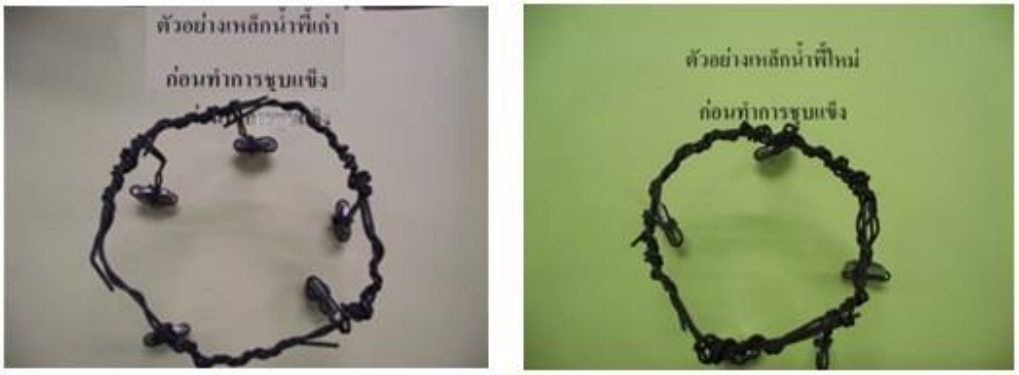
การระบุรหัสของเหล็กน้ำพี้ ผู้วิจัยได้กำหนดรหัสของเหล็กน้ำพี้แบบดั้งเดิม โดยกำหนด คือ ชิ้นงานที่ 1 คือ 101 ชิ้นงานที่ 2 คือ 102 ชิ้นงานที่ 3 คือ 103 ชิ้นงานที่ 4 คือ 104 ชิ้นงานที่ 5 คือ 105 (อยู่ในกลุ่ม A) ชิ้นงานที่ 6 คือ 106 ชิ้นงานที่ 7 คือ 107 ชิ้นงานที่ 8 คือ 108 ชิ้นงานที่ 9 คือ 109 ชิ้นงานที่ 10 คือ 110 (อยู่ในกลุ่ม B) และเหล็กน้ำพี้แบบถลุงใหม่กำหนดรหัส คือ ชิ้นงานที่ 1 คือ 201 ชิ้นงานที่ 2 คือ 202 ชิ้นงานที่ 3 คือ 203 ชิ้นงานที่ 4 คือ 204 ชิ้นงานที่ 5 คือ 205 (อยู่ในกลุ่ม C) ชิ้นงานที่ 6 คือ 206 ชิ้นงานที่ 7 คือ 207 ชิ้นงานที่ 8 คือ 208 ชิ้นงานที่ 9 คือ 209 ชิ้นงานที่ 10 คือ 210 (อยู่ในกลุ่ม D) การกำหนดโดยการตอกรหัส จากนั้นทำการแต่งผิวด้วยเครื่องจักรก่อนนำไปทดสอบเชิงวิศวกรรม

การทดสอบเชิงวิศวกรรมแบ่งเป็น 2 วิธี ตามทฤษฎี คือ การทดสอบแบบทำลาย และแบบไม่ทำลาย ผู้วิจัยเลือกการทดสอบแบบไม่ทำลาย เพื่อสืบทราบถึงคุณสมบัติเชิงวิศวกรรมด้านความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers) ก่อนการชุบ และความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers) หลังการชุบแข็ง ดังแสดงดังนี้

7.2 การทดสอบคุณสมบัติเชิงวิศวกรรมด้านความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers) งานวิจัยฉบับนี้ได้นำชิ้นงานเหล็กน้ำพี้ที่ได้แบบดั้งเดิมและแบบถลุงใหม่ มาทดสอบคุณสมบัติความแข็งที่มีอยู่ของเหล็กน้ำพี้ในสภาพปกติ (ก่อนกรรมวิธีการชุบแข็ง) โดยนำชิ้นงานเหล็กน้ำพี้แบบดั้งเดิมจำนวนตัวอย่างละ 5 ชิ้น คือ 106 107 108 109 110 (กลุ่ม B) และเหล็กน้ำพี้แบบถลุงใหม่จำนวนตัวอย่างละ 5 ชิ้น คือ 206 207 208 209 210 (กลุ่ม D) มาทดสอบความแข็ง และเหล็กน้ำพี้ที่ผ่านกรรมวิธีชุบคือ เหล็กน้ำพี้แบบดั้งเดิมรหัส 101 102 103 104 105 (กลุ่ม A) และเหล็กน้ำพี้แบบถลุงใหม่รหัส 201 202 203 204 205 (กลุ่ม C) การทดสอบใช้หัวกดเพชรรูปทรงพีระมิดฐานทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีมุม 136 องศา น้ำหนักที่ใช้ในการให้แรงกด 50 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิปกติ เวลาที่ใช้ในการกด 15 วินาที ทำการกดทดสอบจำนวน 3 ครั้ง เพื่อหาค่าความแข็งสูงสุด ค่าความแข็งต่ำสุด และหาค่าเฉลี่ย การเตรียมชิ้นงานทดสอบและการเตรียมเครื่องทดสอบ ดังแสดงภาพที่ 12

**ภาพที่ 12** แสดงการเตรียมเครื่องทดสอบแบบวิกเกอร์ (Vickers)

7.3 การชุบแข็ง ผู้วิจัยได้ออกแบบกรรมวิธีการชุบแข็ง เพื่อสืบทราบและเปรียบเทียบเหล็กน้ำพี้แบบดั้งเดิมกับเหล็กน้ำพี้แบบถลุงใหม่ ด้านคุณสมบัติวิศวกรรมของความแข็งเพื่อเปรียบเทียบเหล็กน้ำพี้แบบดั้งเดิม และเหล็กน้ำพี้แบบถลุงใหม่หลังการชุบแข็ง โดยการเตรียมการชุบแข็ง ผู้วิจัยได้เตรียมชิ้นงานก่อนการชุบโดยเลือกแบบเจาะจงของชิ้นงานทดสอบที่ 101 102 103 104 105 (กลุ่ม A) เหล็กน้ำพี้แบบดั้งเดิม และเลือกแบบเจาะจงของชิ้นทดสอบเหล็กน้ำพี้แบบถลุงใหม่ที่ 201 202 203 204 205 (กลุ่ม C) มาจัดเตรียมก่อนเข้าเตา และทำการชุบแข็งดังแสดงภาพที่ 13




**ภาพที่ 13** แสดงการเตรียมชิ้นงานทดสอบเหล็กน้ำพี้ กลุ่ม A และกลุ่ม C

การกำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการชุบผู้วิจัยได้นำค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์คาร์บอน (C) ที่อยู่ในเหล็กน้ำพี้มาเปรียบเทียบตาราง จากนั้นกำหนดอุณหภูมิในการชุบที่ 850 องศาเซลเซียส สารจุ่มชุบที่ใช้ คือ น้ำ และแสดงกรรมวิธีชุบ ภาพที่ 14

**ภาพที่ 14** แสดงการชุบเหล็กน้ำพี้ทั้งแบบดั้งเดิมและแบบถลุงใหม่ด้วยสารจุ่มชุบ ได้แก่ น้ำ

**8. ผลการศึกษา**

การวิจัยได้ผลดังแสดงดังนี้

1. การทดสอบคุณสมบัติเชิงวิศวกรรมด้านความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers) ผู้วิจัยใช้หัวกดเพชรรูปทรงพีระมิดฐานทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีมุม 136 องศา น้ำหนักที่ใช้ในการให้แรงกด 50 กิโลกรัม ชิ้นงานเหล็กน้ำพี้แบบดั้งเดิมที่นำมาทดสอบความแข็งก่อนการชุบของกลุ่ม B คือ ชิ้นงานที่ 106 107 108 109 110 และชิ้นงานทดสอบเหล็กน้ำพี้แบบถลุงใหม่ของกลุ่ม D คือ ชิ้นงานที่ 206 207 208 209 210 การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers) ดังแสดงดังนี้

การทดสอบเหล็กน้ำพี้แบบดั้งเดิมที่สภาพปกติของกลุ่ม B กับกลุ่ม D ในการทดสอบได้มีการบันทึกค่าความแข็งในการกดทั้ง 3 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ยค่าความแข็งที่เกิดจากการกดทดสอบ ดังแสดงตารางที่ 1 และตารางที่ 2

**ตารางที่ 1** แสดงการทดสอบความแข็งเหล็กน้ำพี้แบบดั้งเดิมกลุ่ม B สภาพปกติ

| กลุ่ม | ชิ้นทดสอบที่ | ทดสอบครั้งที่ 1 | ทดสอบครั้งที่ 2 | ทดสอบครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|---|
| B | รหัส 106 | 174 | 177 | 189 | 180.00 HV |
| | รหัส 107 | 157 | 155 | 147 | 153.00 HV |
| | รหัส 108 | 172 | 183 | 182 | 179.00 HV |
| | รหัส 109 | 162 | 155 | 158 | 158.34 HV |
| | รหัส 110 | 121 | 121 | 123 | 121.64 HV |
| รวมค่าเฉลี่ย | | 157.20 | 158.20 | 159.80 | |

**ตารางที่ 2** แสดงการทดสอบความแข็งเหล็กน้ำพี้แบบถลุงใหม่กลุ่ม D สภาพปกติ

| กลุ่ม | ชิ้นทดสอบที่ | ทดสอบครั้งที่ 1 | ทดสอบครั้งที่ 2 | ทดสอบครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|---|
| D | รหัส 206 | 269 | 279 | 279 | 275.67 HV |
| | รหัส 207 | 215 | 216 | 216 | 215.67 HV |
| | รหัส 208 | 299 | 299 | 283 | 293.67 HV |
| | รหัส 209 | 149 | 160 | 158 | 155.67 HV |
| | รหัส 210 | 186 | 158 | 186 | 176.67 HV |
| รวมค่าเฉลี่ย | | 223.60 | 222.40 | 224.40 | |

จากตารางที่ 1 และตารางที่ 2 เป็นการทดสอบความแข็งเหล็กน้ำพี้แบบดังเดิมของกลุ่ม B และการทดสอบความแข็งเหล็กน้ำพี้แบบถลุงใหม่ของกลุ่ม D พบว่า เหล็กน้ำพี้แบบถลุงใหม่ของกลุ่ม D มีค่าความแข็งดีกว่าเหล็กน้ำพี้แบบดั้งเดิมของกลุ่ม B จากการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers : HV)

การทดสอบเหล็กน้ำพี้แบบดั้งเดิมที่สภาพหลังการชุบแข็งของกลุ่ม A กับกลุ่ม C ในการทดสอบได้มีการบันทึกค่าความแข็งในการกดทั้ง 3 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ยค่าความแข็งที่เกิดจากการกดทดสอบ ดังแสดงตารางที่ 3 และตารางที่ 4

**ตารางที่ 3** แสดงการทดสอบความแข็งเหล็กน้ำพี้แบบดั้งเดิมกลุ่ม A สภาพหลังกรรมวิธีชุบ

| กลุ่ม | ชิ้นทดสอบที่ | ทดสอบครั้งที่ 1 | ทดสอบครั้งที่ 2 | ทดสอบครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|---|
| A | รหัส 101 | 307 | 326 | 326 | 319.67 HV |
| | รหัส 102 | 119 | 116 | 113 | 116.00 HV |
| | รหัส 103 | 127 | 124 | 127 | 126.00 HV |
| | รหัส 104 | 215 | 216 | 217 | 216.00 HV |
| | รหัส 105 | 105 | 111 | 106 | 107.34 HV |
| รวมค่าเฉลี่ย | | 174.60 | 178.60 | 177.80 | |

**ตารางที่ 4** แสดงการทดสอบความแข็งเหล็กน้ำพี้แบบถลุงใหม่กลุ่ม C สภาพหลังกรรมวิธีชุบ

| กลุ่ม | ชิ้นทดสอบที่ | ทดสอบครั้งที่ 1 | ทดสอบครั้งที่ 2 | ทดสอบครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|---|
| C | รหัส 201 | 783 | 772 | 758 | 771.00 HV |
| | รหัส 202 | 656 | 592 | 667 | 638.34 HV |
| | รหัส 203 | 760 | 695 | 691 | 715.34 HV |
| | รหัส 204 | 844 | 792 | 835 | 823.67 HV |
| | รหัส 205 | 844 | 832 | 843 | 839.67 HV |
| รวมค่าเฉลี่ย | | 777.40 | 736.60 | 758.80 | |

จากตารางที่ 3 และตารางที่ 4 เป็นการทดสอบความแข็งเหล็กน้ำพี้แบบดังเดิมของกลุ่ม A หลังผ่านกรรมวิธีชุบโลหะ และการทดสอบความแข็งเหล็กน้ำพี้แบบถลุงใหม่ของกลุ่ม D หลังผ่าน

กรรมวิธีชุบโลหะ พบว่า เหล็กน้ำพี้แบบถลุงใหม่ของกลุ่ม A มีค่าความแข็งดีกว่าเหล็กน้ำพี้แบบดั้งเดิมของกลุ่ม C จากการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers : HV)

## 9. สรุปผล

การวิจัยการผลิตเหล็กน้ำพี้ในพื้นที่ตำบลน้ำพี้ อำเภอทองแสนขัน จังหวัดอุตรดิตถ์ พบว่าการถลุงเหล็กน้ำพี้ตั้งแต่ปี 2552 จนถึงปัจจุบัน มีเตาถลุงที่พัฒนาของกลุ่มวิสาหกิจดาบเหล็กน้ำพี้ ซึ่งสามารถหลอมได้ครั้งละ 2-3 กิโลกรัม/ครั้ง เหล็กน้ำพี้ที่ได้จะนำมาตี และขึ้นรูปเป็น มีดดาบพระขรรค์จำลอง ขายในพื้นที่และต่างจังหวัด

การวิจัยได้ลงพื้นที่เพื่อจัดเวทีในการได้มาซึ่งชิ้นงานทดสอบของเหล็กน้ำพี้แบบดั้งเดิมจำนวน 10 ชิ้น แบ่งกลุ่มชิ้นทดสอบเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม A และกลุ่ม B ในชิ้นทดสอบเหล็กน้ำพี้แบบถลุงใหม่ทำการถลุงใหม่ได้ชิ้นทดสอบจำนวน 10 ชิ้น แบ่งกลุ่มชิ้นทดสอบเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม C และกลุ่ม D และได้วางแผนในการทดสอบเชิงวิศวกรรมโดยใช้วิธีการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers : HV)

การทดสอบความแข็งก่อนการชุบแข็งใช้กลุ่มตัวอย่างที่ B และ D ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียล การทดสอบก่อนการชุบแข็ง พบว่าเหล็กน้ำพี้แบบดั้งเดิมกลุ่ม B มีค่าความแข็งสูงสุดเท่ากับ 180.00 HV ในชิ้นทดสอบที่ 106 เหล็กน้ำพี้แบบถลุงใหม่กลุ่ม D มีค่าความแข็งสูงสุดเท่ากับ 293.67 HV ในชิ้นทดสอบที่ 208 จากวิจัยพบว่า เหล็กน้ำพี้แบบถลุงใหม่ในสภาพปกติก่อนการชุบแข็งมีความแข็งมากกว่าเหล็กน้ำพี้แบบดั้งเดิม และการทดสอบเหล็กน้ำพี้หลังการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส สารจุ่มชุบน้ำ เหล็กน้ำพี้แบบดั้งเดิมกลุ่ม A มีความแข็งสูงสุดเท่ากับ 319.67 HV ในชิ้นทดสอบที่ 101 เหล็กน้ำพี้แบบถลุงใหม่กลุ่ม C มีความแข็งสูงสุดเท่ากับ 839.67 HV ในชิ้นทดสอบที่ 205 จากการวิจัยพบว่า เหล็กน้ำพี้แบบถลุงใหม่มีค่าความแข็งทั้งก่อนและหลังการชุบแข็งที่ดีกว่าเหล็กน้ำพี้แบบดั้งเดิม เหมาะกับการนำไปใช้งานด้านวิศวกรรม และผลการวิจัยผู้วิจัยได้ถ่ายทอดให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนดาบเหล็กน้ำพี้ ปราชญ์ชาวบ้าน และผู้รู้ เพื่อจะได้ใช้ประโยชน์ต่อไป

## 10. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ วิทยาลัยเทคนิคพิษณุโลกที่สนับสนุนทุนการวิจัย อาจารย์หลักสูตรเทคโนโลยีอุตสาหการ หลักสูตรวิศวกรรมโลจิสติกส์ กลุ่มวิสาหกิจดาบเหล็กน้ำพี้ คุณไวพจน์ เพ็งเป้ิน และกลุ่มสมาชิก ปราชญ์ ผู้รู้ในชุมชนที่ช่วยชี้แนะแนวทาง การให้ข้อมูลในการดำเนินการวิจัยแล้วเสร็จ

## 11. เอกสารอ้างอิง

บัณฑิต ใจชื่น. (ม.ป.ป.). **โลหะวิทยากายภาพ** (Physical Metallurgy). กรุงเทพฯ : [ม.ป.ท.]

ประภา พูลสุข. (2550). **รายงานฐานข้อมูลท้องถิ่นอุตสาหกรรมเหล็กน้ำพี้และแหล่งท่องเที่ยวบ่อเหล็กน้ำพี้.โปรแกรมบรรณารักษ์ศาสตร์และสารนิเทศศาสตร์.** อุตรดิตถ์ : มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์,

มานพ ตันตระบัณฑิตย์. (2538). **วัสดุวิศวกรรม**. กรุงเทพฯ : ดวงกมลสมัย, หน้า 347.

ยุทธทวินทร์ อินต๊ะกัน และคณะ. (2554). **การพัฒนาเครื่องตำแร่เหล็กน้ำพี้**. ภาคนิพนธ์ หลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอุตสาหการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์.

สุขุมา การสมใจ. (2551). **ความเชื่อเรื่องเหล็กน้ำพี้**. ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยศิลปกร.

อนุวัฒน์ จุติลาภถาวร. (2552). **การสร้างเตาถลุงเหล็กและถลุงเหล็กจากแร่เหล็กน้ำพี้**. งานวิจัยภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

I-TECH JOURNAL LPRU
Industrial Technology