



การเปรียบเทียบธาตุผสมระหว่างเหล็กน้ำพี้ และแร่เหล็กที่พบในจังหวัดอุดรดิตถ์

COMPARISON OF ALLOYING ELEMENTS BETWEEN NAM PHI IRON ORE AND IRON ORE OF IN UTTARDIT PROVINCE

อดุลย์ พุกอินทร์

อาจารย์ประจำหลักสูตรเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

Corresponding author: Adun999@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ได้ทำการสืบค้นแหล่งแร่ที่พบในพื้นที่จังหวัดอุดรดิตถ์ ได้แก่ แหล่งแร่เหล็กน้ำพี้ แหล่งแร่เหล็กบ้านเขาเหล็ก และแหล่งแร่เหล็กบ้านปางวุ้น จากการวิเคราะห์ค่าปริมาณร้อยละของเหล็ก (Fe) พบว่า แร่เหล็กน้ำพี้มี Fe เท่ากับ 68.40 แร่เหล็กบ้านเขาเหล็กมี Fe เท่ากับ 67.01 และแร่เหล็กบ้านปางวุ้นมี Fe เท่ากับ 57.24 โดยทั้ง 3 แหล่ง เป็นแร่เหล็กชนิดฮีมาไทต์ (Hematite) จากการนำแร่ที่ขุดได้มาย่อยแร่ และถลุง โดยใช้เตาแบบผสมผสานวิธีการแบบโบราณ ขึ้นรูปแท่งด้วยการตีขึ้นรูป พบว่า เหล็กน้ำพี้ได้ปริมาณเหล็กจำนวน 1,300 กรัม เหล็กบ้านเขาเหล็กได้ปริมาณเหล็กจำนวน 773 กรัม และเหล็กบ้านปางวุ้นได้ปริมาณเหล็กจำนวน 873 กรัม จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุผสม พบว่า แร่เหล็กน้ำพี้มีปริมาณร้อยละ Cu และ W มากที่สุด เท่ากับ 0.675 และ 3.19 ตามลำดับ แร่เหล็กบ้านปางวุ้นมีปริมาณร้อยละของ C และ Mn มากที่สุด เท่ากับ 1.8 และ 0.130 ตามลำดับ และแร่เหล็กบ้านเขาเหล็กมีปริมาณร้อยละของ Fe มากที่สุด เท่ากับ 96.46 โดยแร่เหล็กทั้ง 3 แหล่ง สามารถที่จะนำมาถลุงและขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ และมีคุณสมบัติเทียบกับเหล็กที่ใช้ในอุตสาหกรรมได้เช่นเดียวกับเหล็กทั่วไป

คำสำคัญ : แร่เหล็กน้ำพี้, แร่เหล็กบ้านเขาเหล็ก, แร่เหล็กบ้านปางวุ้น, เตาถลุงแบบผสมผสาน, เตาถลุงแร่, ปริมาณธาตุผสมในเหล็กน้ำพี้

ABSTRACT

This research explored the iron ore deposit found in Uttaradit province such as Nampee, Baan Kao Lek and Baan Pang Woon. The chemical analysis showed that the percentage of iron in the iron ores from Nampee, Baan Kao Lek and Baan Pang Woon were 68.40, 67.01 and 57.24 respectively. All of the iron ores found were in form of Hematite. In this study, the iron ores were processed, smelted by a smelter with the combination of ancient and modern skills. The smelted irons were forged into bars with quantities of 1,300 grams of Nampee iron, 773 grams of Baan Kao Lek iron and 873 grams of Baan Pang Woon iron. The chemical analysis after smelting showed that Nampee iron consisted of 0.675%Cu and 3.19%W. Baan Pang Woon iron consisted of 1.8%C and 0.130%Mn. Baan Kao Lek iron consisted of 96.47%Fe. The iron ore from these deposits could be forged with comparable qualities with the modern steel.

**KEYWORDS:** Nampee iron ore, Ban Kao Lek iron ore, Ban Pang Woon iron ore, integrated smelter, ore smelter, alloying element quantity in Nampee iron

## 1. บทนำ

แร่เหล็กมีอยู่หลายชนิดที่ถูกค้นพบ ซึ่งแต่ละชนิดจะให้ค่าร้อยละของเหล็กที่แตกต่างกัน ซึ่งจะมากหรือน้อยแล้วแต่ชนิดของแร่เหล็ก มีนักวิชาการแบ่งชนิดของแร่เหล็ก คือ แร่เหล็กแมกนีไทต์ (Magnetite) มีสูตรทางเคมี  $Fe_3O_4$  แร่เหล็กไลมอไนต์ (Limonite) มีสูตรทางเคมี  $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$  แร่เหล็กไพไรต์ (Pyrite) มีสูตรทางเคมี  $FeS_2$  แร่เหล็กซิเดอไรต์ (Siderite) มีสูตรทางเคมี  $FeCO_3$  และในพื้นที่บ้านน้ำผึ้ง พบแร่เหล็กน้ำผึ้งเป็นชนิด ฮีมาไทต์ (hematite) มีสูตรทางเคมี  $Fe_2O_3$  B. Peters, [1] ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยปี 2559 [2] ในการนำแร่เหล็กน้ำผึ้งวิเคราะห์ยังสำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่เขต 3 จำนวน 2 แห่ง [2, 3] คือ แร่เหล็กน้ำผึ้งในพิพิธภัณฑ์บ่อเหล็กน้ำผึ้ง ซึ่งปัจจุบันไม่อนุญาตให้ประชาชนและผู้ประกอบการขุดแร่เหล็ก (เนื่องจากการอนุรักษ์ของจังหวัด) พบค่าร้อยละของแร่เหล็กน้ำผึ้งเฉลี่ยเท่ากับ 61.85 และแหล่งแร่เหล็กน้ำผึ้งในแหล่งขุดแร่ปัจจุบันที่มีการขุดอยู่บริเวณด้านหลังพิพิธภัณฑ์ ซึ่งเป็นบริเวณที่ขุดแร่เหล็กมาใช้งานทำผลิตภัณฑ์ในปัจจุบัน พบค่าร้อยละของแร่เหล็กน้ำผึ้งเฉลี่ยเท่ากับ 59.06 [4] ซึ่งแร่เหล็กทั้ง 2 แห่งให้ค่าร้อยละที่ไม่แตกต่างกันมาก และในพิพิธภัณฑ์ยังพบร่องรอยการขุดแร่ในอดีต คือ บ่อพระแสง และบ่อพระขรรค์ แร่เหล็กน้ำผึ้งทั้ง 2 บ่อ เป็นแหล่งแร่เหล็กที่นำแร่มาถลุงเพื่อทำพระขรรค์ และดาบเหล็กน้ำผึ้ง เพื่อนำถวายพระมหากษัตริย์ในสมัยโบราณตามคำบอกเล่าสืบต่อกันมา การถลุงในประเทศฝั่งยุโรปใช้เตาสูงในการถลุงแร่เหล็ก ใช้เชื้อเพลิงถ่านโค้ก (Coke) หินปูน (Limestone) ทำให้เกิดความร้อนที่มีอุณหภูมิสูง [3, 5, 6, 7] ทำให้เกิดการหลอมละลาย จะได้เหล็กดิบ (Pig Iron)

การถลุงแร่เหล็กน้ำผึ้งในอดีตของชาวบ้านน้ำผึ้ง ใช้เตาที่สร้างขึ้นจากการปั้นโดยใช้ดินเหนียวผสมกับวัสดุที่มีในท้องถิ่น ซึ่งพบได้จากร่องรอยของเตาถลุงที่พบในพื้นที่ มีรูปทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 60-70 เซนติเมตร ความสูง 80 เซนติเมตร ใช้แรงดันลมจากการอัดอากาศในวัตถุรูปทรงกระบอกจำนวน 1-2 ลูก ใช้แรงงานคนในการสร้างแรงลม [7] แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ชากเตาถลุงเหล็กน้ำผึ้งในอดีต [3, 7]

จากข้อมูลด้านวัตถุที่พบในหมู่บ้านน้ำพี้จึงเป็นหลักฐานที่พิสูจน์ได้ว่า พื้นที่ดังกล่าวเป็นแหล่งถลุงแร่เหล็กที่ใหญ่ และดีที่สุดในประเทศไทยตั้งแต่สมัยอดีตถึงปัจจุบัน [3, 6] (รูปที่ 2 a.) เทียบเท่าเหล็กที่ใช้ในต่างประเทศ (รูปที่ 2 b.) และในประเทศที่พบในแหล่งต่าง ๆ [9, 11] เนื่องจากความต้องการใช้งานที่มีมากในอดีต จึงใช้เป็นวัตถุดิบในการสร้างผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ และจากปัญหาความต้องการ การใช้งานที่มากตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน และการขาดซึ่งข้อมูลที่เป็นเชิงวิชาการ เช่น การวิเคราะห์ปริมาณธาตุผสมจากแหล่งแร่ที่พบในพื้นที่

วัตถุประสงค์การวิจัยนี้จึงจะทำการสืบค้นแหล่งแร่ การถลุงแร่ การขึ้นรูปชิ้นทดสอบ และทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุผสมที่ทำให้คุณสมบัติที่ดีกับเหล็ก โดยใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer) เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของแหล่งแร่ต่าง ๆ ในพื้นที่จังหวัดอุดรดิตถ์ ซึ่งการขุดแร่ในอดีต แสดงดังรูปที่ 2



a. การถลุงแร่ในหมู่บ้านเหล็กน้ำพี้ [3, 7]



b. การถลุงแร่ในสหราชอาณาจักร [3, 8]

รูปที่ 2 การถลุงแร่เหล็กในอดีตที่ผ่านมา

## 2. วิธีการวิจัย

2.1 การลงพื้นที่ และการเก็บตัวอย่างการศึกษาแหล่งแร่เหล็กน้ำพี้ ได้สำรวจข้อมูลในพื้นที่ตำบลน้ำพี้ อำเภอทองแสนขัน จังหวัดอุดรดิตถ์ ซึ่งเป็นหมู่บ้านที่มีการสร้างผลิตภัณฑ์เหล็กน้ำพี้มากที่สุด [3, 4, 12, 13] จากการนำแร่เหล็กน้ำพี้มาถลุงในเตาถลุง และการตีขึ้นรูป ได้ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของ คานเหล็กน้ำพี้ พระขรรค์เหล็กน้ำพี้ และมิดเหล็กน้ำพี้ แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การตีขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เหล็กน้ำพี้ [14]

การศึกษาแหล่งแร่เหล็กบ้านเขาเหล็ก ตั้งอยู่ที่บ้านเขาเหล็ก ตำบลวังแดง อำเภอตรอน จังหวัดอุดรดิตถ์ การสำรวจแร่  
ประสานผู้รู้ในพื้นที่ เพื่อการขุดและย่อยแร่ เพื่อเตรียมการถลุงในขั้นตอนการวิจัย การศึกษาแหล่งแร่เหล็กบ้านปางวัน ตั้งอยู่ที่  
ตำบลฝักขวง อำเภอทองแสนขัน จังหวัดอุดรดิตถ์ การศึกษาประสานกับกลุ่มผู้รู้ และนักวิชาการเหมืองแร่ โดยทำการขุดค้นแร่ที่  
แหล่งแร่ นำมาย่อยและการแต่งแร่ เพื่อเตรียมการถลุงโดยใช้เตาถลุงแบบผสมผสานวิธีการโบราณ [3, 13] และพบว่า แหล่งแร่ทั้ง 2  
แหล่งเป็นสายแร่เดียวกันกับแหล่งแร่เหล็กน้ำพี้ แสดงการลงพื้นที่เพื่อเก็บตัวอย่างดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การลงพื้นที่เพื่อเก็บตัวอย่างแร่เหล็ก

2.2 การถลุงแร่เหล็ก การถลุงจะใช้ตัวอย่างแร่ที่ผ่านการย่อยจำนวนตัวอย่างละ 20 กิโลกรัม ใช้การควบคุมแรงดันลมเข้าเตา  
ถลุงปริมาณที่เท่ากัน ใช้ถ่านไม้จำนวน 20 กิโลกรัม/เตา เครื่องเป่าลมขนาด 1 แรงม้า (Hp) จำนวน 1 ตัว [3, 7, 10, 13] การถลุงแสดง  
ดังรูปที่ 5 และรูปที่ 6



รูปที่ 5 การถลุงแร่เหล็กทั้ง 3 แหล่ง



รูปที่ 6 แร่เหล็กที่ผ่านการถลุงด้วยเตาถลุง

เมื่อถลุงแร่เหล็กน้ำพี้ ถลุงแร่เหล็กบ้านเขาเหล็ก และถลุงแร่เหล็กบ้านปางวุ้น จะนำมาขึ้นรูปแบบแท่งในพื้นที่บ้านน้ำพี้ พบว่า แร่แต่ละแหล่งได้ปริมาณเหล็กที่แตกต่างกัน คือ แร่เหล็กน้ำพี้ได้ปริมาณเหล็กที่ถลุง 1,300 กรัม คิดเป็นร้อยละของเหล็กที่ได้ร้อยละ 65 แร่เหล็กบ้านเขาเหล็กได้ปริมาณเหล็กที่ถลุง 773 กรัม คิดเป็นร้อยละของเหล็กที่ได้ร้อยละ 38.65 แร่เหล็กบ้านปางวุ้นได้ปริมาณเหล็กที่ถลุง 873 กรัม คิดเป็นร้อยละของเหล็กที่ได้ร้อยละ 43.65 แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณร้อยละของแร่เหล็กและเหล็กที่ถลุงได้แต่ละแหล่งแร่

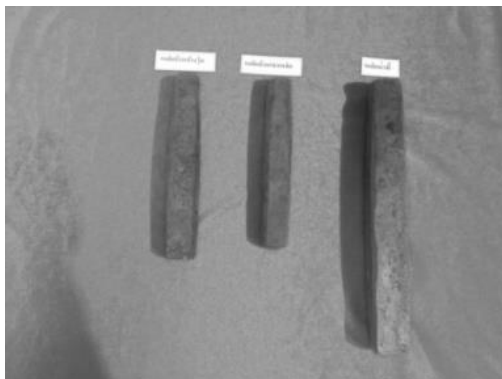
แหล่งแร่เหล็ก (ปริมาณแหล่งแร่ละ 2,000 กรัม)	ปริมาณแร่เหล็ก (Fe) ร้อยละ (ทดสอบทางเคมีก่อนการถลุง)	ปริมาณเหล็กที่ถลุงได้ (กรัม)
แหล่งแร่เหล็กน้ำพี้	68.40	1,300 (65%)
แหล่งแร่เหล็กบ้านเขาเหล็ก	67.01	773 (38.65%)
แหล่งแร่เหล็กบ้านปางวุ้น	57.24	873 (43.65%)

จากตารางที่ 1 ปริมาณแร่เหล็กที่ถลุงได้แต่ละแหล่งแร่ พบว่า แต่ละแหล่งแร่ให้ปริมาณเหล็กที่แตกต่างกัน ซึ่งมีความสอดคล้องกับการนำแร่เหล็กก่อนการถลุงตรวจสอบปริมาณธาตุเหล็กที่สำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่เขต 3 จังหวัดเชียงใหม่ ผลการวิเคราะห์ พบว่า แร่เหล็กน้ำพี้มีปริมาณแร่เหล็กร้อยละ 68.40 แร่เหล็กบ้านเขาเหล็กมีปริมาณแร่เหล็กร้อยละ 67.01 และแร่เหล็กบ้านปางวุ้นมีปริมาณแร่เหล็กร้อยละ 57.24 โดยทั้ง 3 แหล่งเป็นแร่ชนิดฮีมาไทต์ (Hematite)

### 3. ผลการวิจัย

จากการขุดแร่ การแต่งแร่ การถลุงแร่ และการตีขึ้นรูป ได้แท่งเหล็กจากแร่ทั้ง 3 แหล่งแร่ การวิจัยได้นำแท่งเหล็กมาวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณธาตุผสมด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer) ซึ่งจะแสดงถึงปริมาณธาตุผสมจากการวิเคราะห์จะเก็บค่าปริมาณธาตุเหล็ก (Fe) ปริมาณธาตุคาร์บอน (C) ปริมาณธาตุทองแดง (Cu) ปริมาณธาตุแมงกานีส (Mn) ปริมาณธาตุทองแดง (Cu)

และปริมาณธาตุทั้งสแตน (W) ที่ผสมในเหล็กน้ำพี้ เหล็กบ้านเขาเหล็ก และเหล็กบ้านปางวุ่น แท่งเหล็กที่ได้จากการขึ้นรูปทั้ง 3 แหล่งแร่ แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แท่งเหล็กจากทั้ง 3 แหล่งแร่

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุผสมในเหล็กทั้ง 3 แหล่งแร่ แสดงดังนี้

3.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็กน้ำพี้ การวิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็ก (Fe) ธาตุคาร์บอน (C) ธาตุทองแดง (Cu) ธาตุแมงกานีส (Mn) และธาตุทั้งสแตน (W) ที่ผสมในเหล็กน้ำพี้ แสดงผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็กน้ำพี้

ครั้งที่	Fe%	C%	Cu%	Mn%	W%
1	79.7	0.0458	0.740	0.234	3.72
2	86.2	0.0185	0.461	0.369	2.14
3	76.7	0.0965	0.824	0.294	3.72
ค่าเฉลี่ย	80.8	0.0536	0.675	0.299	3.19

3.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็กบ้านเขาเหล็ก การวิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็ก (Fe) ธาตุคาร์บอน (C) ธาตุทองแดง (Cu) ธาตุแมงกานีส (Mn) และธาตุทั้งสแตน (W) ที่ผสมในเหล็กบ้านเขาเหล็ก แสดงผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็กบ้านเขาเหล็ก

ครั้งที่	Fe%	C%	Cu%	Mn%	W%
1	94.9	0.0681	0.0324	0.028	0.019
2	97.1	0.1110	0.0350	0.031	0.017
3	97.4	0.0594	0.0389	0.025	0.015
ค่าเฉลี่ย	96.46	0.0795	0.0354	0.028	0.017

3.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็กบ้านปางวุ้น การวิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็ก (Fe) ธาตุคาร์บอน (C) ธาตุทองแดง (Cu) ธาตุแมงกานีส (Mn) และธาตุทังสแตน (W) ที่ผสมในเหล็กบ้านปางวุ้น ดังแสดงผลตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็กบ้านปางวุ้น

ครั้งที่	Fe%	C%	Cu%	Mn%	W%
1	84.6	1.80	0.698	0.120	3.72
2	85.7	1.80	0.553	0.128	2.97
3	87.8	1.80	0.313	0.143	1.57
ค่าเฉลี่ย	86.03	1.80	0.521	0.130	2.75

#### 4. อภิปรายผล

การวิจัยนี้เป็นการสืบค้นแหล่งแร่เหล็ก เพื่อเปรียบเทียบปริมาณแร่ร้อยละของธาตุเหล็ก (Fe) ก่อนการถลุง ปริมาณการถลุง และการวิเคราะห์ปริมาณธาตุผสมของตัวอย่างเหล็กน้ำพี้ อำเภอทองแสนขัน แร่เหล็กบ้านเขาเหล็ก อำเภอตรอน และแร่เหล็กบ้านปางวุ้น อำเภอทองแสนขัน จากการถลุงได้ปริมาณเหล็กที่แตกต่างกัน คือ เหล็กน้ำพี้ได้ปริมาณเหล็กร้อยละ 65 เหล็กบ้านเขาเหล็กได้ปริมาณร้อยละ 38.65 และเหล็กบ้านปางวุ้นได้ปริมาณร้อยละ 43.65 ด้านการวิเคราะห์ปริมาณธาตุผสมในเหล็กทั้ง 3 แหล่ง พบว่า เหล็กที่มีปริมาณธาตุเหล็ก (Fe) มากที่สุด คือ เหล็กบ้านเขาเหล็กมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 96.46 เหล็กที่มีปริมาณธาตุคาร์บอน (C) มากที่สุด คือ เหล็กบ้านปางวุ้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.80 เหล็กที่มีปริมาณธาตุทองแดง (Cu) มากที่สุด คือ เหล็กน้ำพี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.675 เหล็กที่มีปริมาณธาตุแมงกานีส (Mn) มากที่สุด คือ เหล็กน้ำพี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.299 และเหล็กที่มีปริมาณธาตุทังสแตน (W) มากที่สุด คือ เหล็กน้ำพี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.19 จากผลการทดสอบ พบว่า แหล่งแร่เหล็กที่ธาตุคาร์บอนต่ำ ได้แก่ เหล็กน้ำพี้และเหล็กบ้านเขาเหล็ก ซึ่งจะทำให้มีความเหนียวสามารถขึ้นรูปได้ดี ส่วนเหล็กบ้านปางวุ้นมีธาตุคาร์บอนสูง อาจขึ้นรูปได้ยากกว่าเหล็กทั้ง 2 แหล่ง แต่สามารถชุบแข็งได้ และพบว่า เหล็กทั้ง 3 แหล่งจากการวิจัยสามารถนำมาถลุง ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ และคุ้มค่ากับการนำมาใช้งานเทียบเท่าเหล็กอุตสาหกรรม สอดคล้องกับที่มีการสืบค้นงานวิจัยจาก (อนุวัฒน์ จุติลาภการ, 2552) [9] และ (อดุลย์ พุกอินทร์, 2558, 2562) [4, 7] เพื่อสร้างเป็นผลิตภัณฑ์เหล็กน้ำพี้

#### 5. สรุป

การวิจัยได้นำแร่เหล็กน้ำพี้ อำเภอทองแสนขัน แร่เหล็กบ้านเขาเหล็ก อำเภอตรอน และแร่เหล็กบ้านปางวุ้น อำเภอทองแสนขัน ซึ่งทั้ง 3 แหล่งอยู่ในจังหวัดอุตรดิตถ์ โดยนำมาวิเคราะห์ทางเคมี การถลุง และวิเคราะห์ปริมาณธาตุผสม พบว่า เหล็กทั้ง 3 แหล่งมีปริมาณแร่เหล็ก (Fe) ร้อยละที่แตกต่างกันเล็กน้อย จากการทดสอบทางเคมีก่อนการถลุง และเมื่อนำเหล็กทั้ง 3 แหล่งมา ถลุงและขึ้นรูปแท่ง เหล็กน้ำพี้ได้ปริมาณเหล็กที่มากที่สุดร้อยละ 65 ปริมาณธาตุผสมที่มีอยู่ในเหล็กทั้ง 3 แหล่ง พบว่า ค่าปริมาณธาตุเหล็ก (Fe) ของเหล็กบ้านเขาเหล็กมีปริมาณมากที่สุดร้อยละ 96.46 ค่าปริมาณธาตุคาร์บอน (C) ของเหล็กบ้านปางวุ้น มีปริมาณมากที่สุดร้อยละ 1.80 ส่วนค่าปริมาณธาตุทองแดง (Cu) ธาตุแมงกานีส (Mn) ธาตุทังสแตน (W) ของเหล็กน้ำพี้มีมากกว่า

เหล็กบ้านเขาเหล็ก และบ้านปางวุ้น ผลการวิจัยแร่เหล็กทั้ง 3 แหล่งสามารถนำไปถลุงใช้งานได้ มีความคุ้มค่ากับการถลุงใช้งาน และการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์เหล็ก โดยมีคุณสมบัติเทียบเท่ากับเหล็กที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ อาจารย์หลักสูตรเทคโนโลยีอุตสาหกรรม กลุ่มวิสาหกิจดาบเหล็กน้ำพี้ คุณไวยจน์ เฟื่องเป็น และปราชญ์ ผู้รู้ ในชุมชนที่ช่วยชี้แนะแนวทาง การให้ข้อมูลในการดำเนินการวิจัยนี้แล้วเสร็จ

### เอกสารอ้างอิง

- [1] Peters, B., Hoffmann, F. Iron ore reduction predicted by a discrete approach. *Chemical Engineering Journal*, 2016, 304. pp. 692–702.
- [2] Puk-in, A. *Development of Nam Phi Steel Quality from Newly Smelted Nam Phi Steel*. Research. Uttaradit Rajabhat University, 2016
- [3] Phuk-in, A. Development of Nam Phi Iron Ore smelter from local knowledge to find engineering properties. *Asia-Pacific of Science and Technology*. 2018, 23 (3), pp. 1 – 7.
- [4] Puk-in, A. *Investigation of Nam Phi Steel Production Process in the Past and Present for Finding Mechanic Properties of Nam Phi Steel in Nam Phi Sub-District, Thong Saen Khan District, Uttaradit Province*. Research. Uttaradit Rajabhat University, 2015.
- [5] Dong, F., Guangwu, T., Yongfu, Z., John, D. A., Chenn, Q. Z. Modeling of iron ore reactions in blast furnace. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2016, 103. pp. 77–86.
- [6] Watcharathawornsak, S, Puk-in, A. Study on Comparison of Engineering Properties of Nam Phi Steel. *Academic Journal of Faculty of Industrial Technology, Lampang Rajabhat University*, 2015, 1. pp. 92-105.
- [7] Phuk-in, A. Comparison of alloying elements between Nam Phi Iron ore in Uttaradit province and iron ore of Bu Hom Sub-District, Chiang Khan district, Loei province. *Academic journal science and technology (For local development)*, 2019, 14 (2). pp. 105 –117.
- [8] IEEE. *History of iron ore smelting. Shropshire History*, 2016. Available from: <http://www.shropshirehistory.com>. [Accessed 7 Jan 2016].
- [9] Jutilapthaworn, A. *Constructing of Kiln and Nam Phi Steel Smelting*. Research. Srinakharinwirot University, 2009.
- [10] Puk-in, A. *Development of Nam Phi Steel Quality from Newly Smelted Nam Phi Steel*. Research. Uttaradit Rajabhat University, 2016.
- [11] Pahlevaninezhad, M., Emami, M.D., Panjepour, M. Identifying major zones of an iron ore sintering bed. *Applied Mathematical Modelling*, 2016, 40. pp. 8475–8492.
- [12] Taengjuang, S. *Steel Smelting Methods of Nam Phi Steel*. Research. Uttaradit Rajabhat University, 2006.
- [13] Phuk-in, A. Thai local Nam Phi iron ore and furnace smelting combined with sustained ancient method. *Engineering journal of research and development*, 2018, 29 (4). pp. 77 – 87.
- [14] Phuk-in, A. Nam Phi steel – sustainable quality steel. *Rajabhat Research Journal (Science and Technology)*. 2017, 12 (1), pp. 120 – 127.