

# **PROCESSING OF IRON NUGGET FROM LOW GRADE IRON ORE**

Sarun Rojanakatananyoo

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science  
The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University  
in Academic Partnership with  
The University of Michigan, The University of Oklahoma,  
Case Western Reserve University and Institut Français du Pétrole  
2012


I 28374 010

**Thesis Title:** Processing of Iron Nugget from Low Grade Iron Ore  
**By:** Sarun Rojanakatananyoo  
**Program:** Petroleum Technology  
**Thesis Advisor:** Prof. Anuvat Sirivat  
**Co-advisor:** Asst. Prof. Kitipat Siemanond


Accepted by The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University, in partial fulfilment of the requirements for the Degree of Master of Science.

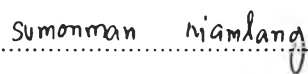
  
 ..... College Dean  
 (Asst. Prof. Pomthong Malakul)

**Thesis Committee:**

  
 .....  
 (Prof. Anuvat Sirivat)

  
 .....  
 (Asst. Prof. Kitipat Siemanond)

  
 .....  
 (Assoc. Prof. Thirasak Rirksomboon)

  
 .....  
 (Dr. Sumonman Niamlang)

## บทคัดย่อ

ศรัณย์ โจรจนกัตัญญ : กระบวนการผลิตเหล็กก้อนจากแร่เหล็กที่มีคุณภาพต่ำ (Processing of Iron Nuggets from Low Grade Iron Ore) อ. ที่ปรึกษา : ศ. ดร. อนุวัฒน์ ศิริวัฒน์ และ ผศ. ดร. กิติพัฒน์ สีมานนท์ 246 หน้า

กระบวนการการผลิตเหล็กได้ถูกพัฒนามาอย่างต่อเนื่องจากอดีตจนถึงปัจจุบัน เทคโนโลยี Blast Furnace และ Gas-based direct reduction ถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตเหล็ก โดยใช้แร่เหล็กเป็นสารตั้งต้น แต่เทคโนโลยีที่กล่าวมานั้นมีข้อเสียอยู่มาก ได้แก่ การลงทุนที่สูงมาก มีกากแร่หรือเศษแร่เป็นจำนวนมาก และปัญหาคอสิ่งแวดล้อม ซึ่งข้อบกพร่องเหล่านี้ ถูกพิจารณาและพัฒนาโดย Kobe Steel, Ltd และ Medrex Technologies มาเป็นเทคโนโลยีใหม่ ที่มีชื่อว่า “Iron Making Technology Mark Three” (ITmk3) ซึ่งงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์คือ ต้องการศึกษากิจกรรมการผลิตเหล็กด้วย ITmk3 และศึกษาตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อคุณภาพของเหล็ก ได้แก่ สัดส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ อุณหภูมิรีดักชัน และ เวลารีดักชัน เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของการผลิตเหล็กก้อนจากแร่เหล็กที่มีคุณภาพต่ำ (มีปริมาณเหล็กประมาณ 40-45%) และถ่านหินเป็นวัตถุดิบ จากการทดลองการปล่อยแร่เหล็กที่อัดเป็นก้อน (เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร และสูง 2 เซนติเมตร) ลงพื้นเพื่อทดสอบความแข็งแรงนั้น ผลปรากฏว่า ที่สัดส่วน Bentonite/Fe = 0.035 เป็นสัดส่วนที่ดีที่สุด ส่วนการรีดักชันนั้น สภาวะที่ดีที่สุดคือ C/Fe = 1.6, Limestone/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+SiO<sub>2</sub> = 0.65 และรีดิวซ์ที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที

## ABSTRACT

5373020063: Petroleum Technology Program

Sarun Rojanakatanayoo: Processing of Iron Nugget from Low Grade Iron Ore

Thesis Advisor: Prof. Anuvat Sirivat and Asst. Prof. Kitipat Siemanond

Keywords: Iron nugget/ ITmk3/ Direct reduction/ Low grade iron ore

The production of raw metals has been changed for several years. Blast furnace and gas-based direct reduction have been used to produce industrial metals from iron ore, but they have many drawbacks such as high capital cost, a lot of slag in the product, and environmental problems. A solution for these issues is a new technology known as IT Mark Three (Itmk3). This study evaluates the ITmk3 process to produce iron nuggets and the parameters that control the quality of the iron nuggets, such as weight ratios of feeds, the reduction time, and the reduction temperature. The goal of this work is to find the optimal conditions to produce the iron nuggets from a low grade iron ore (40% iron content). The drop test results show the suitable condition (endure up to 6 drops) for making a pellet, with a diameter of 4 cm and a height of 2 cm, by using the mole ratio of Bentonite/Fe = 0.035. For the reduction, the suitable conditions for making iron nugget are the mol ratios of C/Fe = 1.6, Limestone/ $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$  = 0.65, the reduction temperature of 1300 °C, and the reduction time of 60 minutes.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This thesis would not have been possible without the assistance of the following individuals:

First and foremost, I sincerely appreciate Prof. Anuvat Sirivat, my advisor, and Asst. Prof. Kitipat Siemanond, my co-advisor, for providing invaluable knowledge, unsearchable experience in classroom, creative comments, and support throughout this research work.

I would like to thank Assoc. Prof. Thirasak Rirksomboon and Dr. Sumonman Niamlang for being my thesis committee. Their guidance and suggestions are very beneficial for me and this work.

I have grateful for the scholarship and funding of the thesis work provided by the Petroleum and Petrochemical College, and by the Center of Excellence on Petrochemicals and Materials Technology, Thailand.

I greatly appreciate all PPC staffs and my friends who gave me support and encouragement.

Finally, I am deeply indebted to my family for their love, supporting, understanding, and encouragement me all time.

## TABLE OF CONTENTS

	<b>PAGE</b>
Title Page	i
Abstract (in English)	iii
Abstract (in Thai)	iv
Acknowledgements	v
Table of Contents	vi
List of Tables	ix
List of Figures	x
<b>CHAPTER</b>	
<b>I INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>II LITERATURE REVIEW</b>	<b>2</b>
2.1 Iron	2
2.2 Iron Ore	2
2.2.1 Grade of Iron Ore	2
2.3 Ironmaking Technology	3
2.3.1 Ironmaking Technology Mark 1	3
2.3.2 Ironmaking Technology Mark 2	3
2.3.3 Ironmaking Technology Mark 3	3
2.4 Reactions in ITmk3 Process	4
2.5 ITmk3 Process Features	4
2.6 Product Features	6
2.7 Environmental Advantages	6
2.8 Iron Nugget Production	7
2.9 Direct Reduction	10

<b>CHAPTER</b>	<b>PAGE</b>
<b>III EXPERIMENTAL</b>	12
3.1 Raw Materials	12
3.1.1 Iron Ore	12
3.1.2 Reductant	12
3.1.3 Flux	13
3.1.4 Binder	13
3.2 Equipments	14
3.3 Characterization	14
3.3.1 Energy Dispersive X-Ray Fluorescence	14
3.3.2 X-Ray Fluorescence Spectrometer	14
3.3.3 Particle Size Analyzer	14
3.3.4 Gas Pycnometer	15
3.3.5 Polarized Optical Microscope	15
3.3.6 Scanning Electron Microscope	15
3.3.7 X-Ray Diffraction	15
3.3.8 Wet Chemical Analysis	15
3.3.9 Proximate Analysis	15
3.4 Methodology	16
3.4.1 Analysis and Preparation of Raw Materials	16
3.4.2 Mixing of Raw Materials	16
3.4.3 Pellet Preparation	18
3.4.4 Drop Test of the Pellet	18
3.4.5 Reduction	19
<b>IV PROCESSING OF IRON NUGGET FROM LOW GRADE IRON ORE</b>	
4.1 Abstract	20
4.2 Introduction	21
4.3 Experimental	24

4.4 Results and Discussion	28
<b>CHAPTER</b>	<b>PAGE</b>
4.5 Conclusion	36
4.6 References	37
<b>V CONCLUSIONS</b>	<b>40</b>
<b>REFERENCES</b>	<b>41</b>
<b>APPENDICES</b>	<b>44</b>
<b>Appendix A</b> Raw Materials and Product Characterization	44
<b>Appendix B</b> Calculations of Pellet Mixtures	52
<b>Appendix C</b> Sample Preparation	56
<b>Appendix D</b> Results of Experiment 1-2	62
<b>Appendix E</b> Results of Experiment 3	68
<b>Appendix F</b> Results of Experiment 4	72
<b>Appendix G</b> Results of Experiment 5	78
<b>Appendix H</b> Results of Experiment 6	84
<b>Appendix I</b> Results of Experiment 7	89
<b>Appendix J</b> Raw Data	92
<b>Appendix K</b> Iron Ore Dressing	242
<b>CURRICULUM VITAE</b>	<b>246</b>



## LIST OF TABLES

<b>TABLE</b>		<b>PAGE</b>
<b>CHAPTER III</b>		
3.1	Wt % element of XK-03	12
3.2	Proximate analysis of FIRST coal	13
3.3	Amounts of the raw materials in the mixtures of the experiment 1-5	17
3.4	The reduction conditions of the experiment 3	19
3.5	The reduction conditions of the experiment 6	19
<b>CHAPTER IV</b>		
1	The mol ratios and the weight of the raw materials in the mixture	26
2	Composition of the XK-03 iron ore; (a) XRF characterization, (b) EDX characterization, and (c) Wet chemical analysis	28
3	Proximate analysis of the FIRST coal	29
4	Experiment 3 and 6; the weight of the pellets after reduction, wt % Fe iron nugget from EDX and % yield	30
5	Experiment 4 and 5; the weight of pellets after reduction, % Fe from EDX and % yield	32

## LIST OF FIGURES

FIGURE	PAGE
<b>CHAPTER II</b>	
2.1 Hematite: the main iron ore.	2
2.2 Fe-C Phase Diagram.	4
2.3 Rotary heart furnace (RHF) details.	5
2.4 ITmk3 process flowsheet.	5
<b>CHAPTER III</b>	
3.1 Grinding step of raw material.	16
3.2 Preparation of the pellet.	18
<b>CHAPTER IV</b>	
1 The sample preparation; (a) Grinding of raw material and (b) Mixing and the pellet preparation.	24
2 Size of the pellet after pelletizer.	25
3 Appearances of the pellet from drop test; (a) Perfect pellet, sample No.2-2 after 1 <sup>st</sup> drop time, (b) Nicked pellet, sample No.2-2 after 2 <sup>nd</sup> drop time, (c) Crack pellet, sample No.2-3 after 2 <sup>nd</sup> drop time, and (d) Broken pellet, sample No.2-4 after 3 <sup>rd</sup> drop time.	30
4 For Experiment 3 and 6; (a) Reduction time vs. weight and (b) Reduction time vs. wt % Fe.	31
5 Element of iron nugget vs. molar ratio of C/Fe of experiment 4 and (b) % Element of iron nugget vs.molar ratio of Limestone/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +SiO <sub>2</sub> .	33
6 Appearances of the product after reduction; (a) Product No.3-1, 1200 °C and 30 minutes, (b) Product No.5-6, 1300 °C and 60 minutes, and (c) Product No.4-3, 1300 °C and 60 minutes.	35
7 XRD spectrum of iron nugget No.5-3.	36