

**STOCHASTIC PROGRAMMING WITH PRICING DECISION  
FOR REFINERY PLANNING**



Ms. Hansa Lakkhanawat

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,  
and Case Western Reserve University

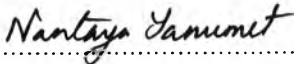
2007

502022

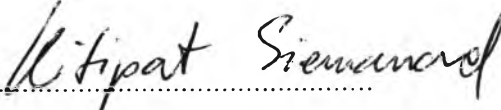
**Thesis Title:** Stochastic Programming with Pricing Decision for Refinery  
Planning  
**By:** Ms. Hansa Lakkhanawat  
**Program:** Petroleum Technology  
**Thesis Advisors:** Asst. Prof. Kitipat Siemanond  
Prof. Miguel J. Bagajewicz

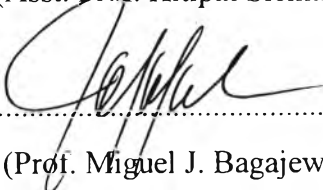
---

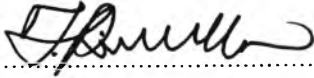
Accepted by the Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn  
University, in partial fulfilment of the requirements for the Degree of Master of  
Science.

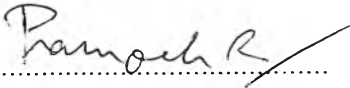
  
..... College Director  
(Assoc. Prof. Nantaya Yanumet)

**Thesis Committee:**

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

  
.....  
(Prof. Miguel J. Bagajewicz)

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

  
.....  
(Assoc. Prof. Pramoch Rangsunvigit)

## ABSTRACT

4873003063: PETROLEUM TECHNOLOGY PROGRAM

Hansa Lakkhanawat: Stochastic Programming with Pricing Decision  
for Refinery Planning

Thesis Advisors: Asst. Prof. Kitipat Siemanond, and Prof. Miguel J.  
Bagajewicz 100 pp.

Keywords: Planning and scheduling/ Pricing Decision/ Uncertainty

Planning and scheduling of refinery involve the management of crude oil purchasing and products production schedule for reaching the maximum limit of economic margin. The development of modeling and optimization for refinery planning and scheduling to response the dynamic environment is underway. Another important aspect for planning in a highly dynamic environment is price-decision making. This study proposed a planning model with pricing decision for refinery operation under uncertainty based on two-stage stochastic approach. The starting point was the development of the planning model. The relationship between product prices and demand was modelled and forecasted. Then it was integrated into a mathematical planning model in order to simultaneously determine the prices and the optimal schedule. The objective function was based on optimizing the profit by maximizing sale and minimizing cost. The consideration of the uncertainty and financial risk management were introduced. Then the input/output interfaces of the model were created to make the model more user-friendly. The model was tested/run by applying the data from the Bangchak Petroleum Public Company Limited. The optimization results show that the planning model with pricing decision suggests a lower expected profit but it is more reliable when compared to the non-pricing one and the stochastic model results can predict a higher profit than that of the deterministic model.

## บทคัดย่อ

หรรษา ลักขณาวิฑู : โปรแกรมกำหนดราคาแบบคำนึงถึงความไม่แน่นอนเพื่อการวางแผนปฏิบัติงานสำหรับโรงกลั่น (Stochastic Programming with Pricing Decision for Refinery Planning) อ. ที่ปรึกษา: ศศ.ดร. กิติพัฒน์ สีมานนท์ และ ศ.ดร. มิเกล เจ บากาเฮวิช  
100 หน้า

การวางแผนปฏิบัติงานสำหรับโรงกลั่นเป็นงานที่เกี่ยวกับการจัดการเลือกซื้อน้ำมันดิบ และวางแผนตารางการผลิตเพื่อเพิ่มกำไรให้ได้มากที่สุด การพัฒนาแบบจำลองสำหรับการวางแผน การปฏิบัติงานของโรงกลั่นให้สามารถตอบสนองต่อสถานการณ์ที่ไม่แน่นอนยังอยู่ในระหว่างการพัฒนา วิธีการกำหนดราคาเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่สำคัญและจำเป็นต่อการวางแผนปฏิบัติงานในสภาวะที่ไม่แน่นอน งานวิจัยนี้ศึกษาการสร้างแบบจำลองเพื่อการวางแผนปฏิบัติงานและการกำหนดราคาผลิตภัณฑ์ของโรงกลั่น ในขั้นแรกแบบจำลองสมการการปฏิบัติงานของโรงกลั่นได้รับการพัฒนาขึ้นก่อน จากนั้นชุดความสัมพันธ์ระหว่างราคากับความต้องการผลิตภัณฑ์ถูกสร้างขึ้น และเพิ่มเข้าไปในแบบจำลองของแผนปฏิบัติงาน เพื่อให้แบบจำลองสามารถตัดสินใจเลือกราคาผลิตภัณฑ์พร้อมๆ กับกำหนดแผนปฏิบัติงานที่เหมาะสม วัตถุประสงค์ของแบบจำลองนี้คือการเพิ่มกำไรให้ได้มากที่สุด โดยการเพิ่มรายรับที่ได้และลดค่าใช้จ่ายต่างๆ ในกระบวนการผลิต จากนั้นแบบจำลองได้รับการปรับให้พิจารณาถึงความไม่แน่นอนที่อาจเกิดขึ้นกับข้อมูลรวมทั้งจัดการกับความเสี่ยงทางการเงินเพื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่ไม่ได้พิจารณาถึงการกำหนดราคา ท้ายสุดตัวต่อประสาน (Interfaces) ระหว่างแบบจำลองและผู้ใช้ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อทำให้สะดวกต่อการใช้งาน แบบจำลองนี้ได้ถูกทดสอบโดยใช้ข้อมูลจากโรงกลั่นของบริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ผลที่ได้จากแบบจำลองแสดงให้เห็นว่า แบบจำลองที่มีการกำหนดราคาผลิตภัณฑ์ให้กำไรเฉลี่ยน้อยกว่า แต่ให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่ไม่มีการกำหนดราคา และแบบจำลองที่คำนึงถึงปัจจัยความไม่แน่นอนเสนอกำไรเฉลี่ยมากกว่าแบบจำลองที่ไม่คำนึงถึงความไม่แน่นอน

## ACKNOWLEDGEMENTS

This work would not have been possible without the assistance of the following individuals.

First of all, I greatly appreciate Assistant Professor Kitipat Siemanond and Professor Miguel J. Bagajewicz, my thesis advisors, for providing invaluable recommendations, creative comments, and kind support throughout the course of this research work.

I would like to thank Associate Professor Pramoch Rangsunvigit and Associate Professor Thirasak Rirksomboon for being my thesis committee. Their suggestions and comments are very valuable for me and this work.

I am thankful too, for the scholarship and full funding for the thesis work provided by the Postgraduate Education and Research Programs in The National Excellence Center for Petroleum, Petrochemical, and Advanced Materials, Thailand. I would like to thank PTT Public Company Limited also for the research funds for this work.

My two-year study at The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University, is very meaningful to me. The PPC staff and my friends who support, encourage, and welcome me all the time will be stuck in my heart forever.

Lastly, I am deeply indebted to my family for their enduring and unconditional love, understanding, and encouragement and support for me all the 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	xi
<b>CHAPTER</b>	
<b>I INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>II BACKGROUND AND LITERATURE REVIEW</b>	<b>3</b>
2.1 Mathematical and Optimization Models	3
2.1.1 Optimization Models	3
2.1.2 Structure of Optimization Models	4
2.1.3 Modeling Procedures	5
2.2 Mathematical Programming	6
2.3 Refinery Operations Planning and Scheduling	7
2.3.1 Refinery Planning and Scheduling with Mathematical Programming Application	9
2.3.2 General Algebraic Modeling System (GAMS) and GAMS Data Exchange (GDX) facilities	10
2.4 Pricing Theory	10
2.4.1 Consumer Behavior	11
2.4.2 Utility Function	11
2.4.3 Constant Elasticity of Substitution (CES) Utility	12

<b>CHAPTER</b>	<b>PAGE</b>
2.5 Uncertainty and Risk	13
2.5.1 Uncertainty in Refinery Planning	13
2.5.2 Two-stages Stochastic Programming	13
2.5.3 Financial Risk	15
2.6 Financial Risk Management	15
2.6.1 Value at Risk and Upside Potential	15
2.6.2 Use of Sampling Algorithm to Obtain <b>Optimal</b> Solution	16
2.6.3 Upper and Lower Risk Curve Bounds	16
2.7 Literature Survey	17
2.7.1 Refinery Operation Planning and Scheduling	17
2.7.2 Pricing Decisions in Planning and Scheduling Model	20
2.7.3 Planning and Scheduling under <b>Uncertainty</b>	20
2.7.4 Financial Risk Management	22
 <b>III MATHEMATICAL MODEL FORMULATION</b>	 26
3.1 Problem Definition	26
3.2 General Mathematical Formulation	26
3.2.1 Assumption	26
3.2.2 General Mathematical Model	27
3.3 Objective Function	41
3.4 Pricing Decision	43
3.5 Stochastic Formulation	52
3.6 Model Interfaces	52
3.7 Case Study	53
3.8 Model Testing	58

<b>CHAPTER</b>	<b>PAGE</b>
<b>IV RESULTS AND DISCUSSION</b>	<b>60</b>
4.1 The General Planning Model	60
4.1.1 Input Data	60
4.1.2 The General Deterministic Model Results	61
4.1.3 The General Stochastic Model Results	63
4.2 The Planning Model with Pricing	64
4.2.1 Effects of Price-Demand Relation Factors	64
4.2.2 Input Data	65
4.2.3 The Pricing Deterministic Model Results	72
4.2.4 The Pricing Stochastic Model Results	73
4.3 Financial risk management	76
<b>V CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS</b>	<b>81</b>
<b>REFERENCES</b>	<b>83</b>
<b>APPENDICES</b>	<b>87</b>
<b>Appendix A</b> Nomenclature	87
<b>Appendix B</b> Data of commodities and productive units	90
<b>Appendix C</b> Members of sets	99
<b>CURRICULUM VITAE</b>	<b>100</b>



## LIST OF TABLES

TABLE	PAGE	
3.1	Summary of feeds and products for each unit	56
3.2	Intermediate streams for product blending in each pool	57
4.1	Crude oil cost and available quantity	60
4.2	Product demand and price	61
4.3	Standard deviation of demand and price	61
4.4	Volume and percentage of petroleum purchased for each period from the general deterministic model	62
4.5	Percentage of crude fed to each CDU	62
4.6	Volume and percentage of petroleum purchased for each period from the general stochastic model	63
4.7	The competition product price and the total demand of product	69
4.8	Consumer Budget in time period t	70
4.9	Standard deviation of total demand and consumer budget	71
4.10	Product demand and price for each time period from the deterministic pricing model	72
4.11	Volume and percentage of petroleum purchased for each period from the deterministic pricing model	73
4.12	Product demand and price for each time period from the stochastic pricing model	74
4.13	Volume and percentage of petroleum purchased for each period from the stochastic pricing model	74
4.14	Volume and percentage of petroleum purchased for each period from the alternative solution with lower risk	77

**LIST OF TABLES (cont.)**

<b>TABLE</b>		<b>PAGE</b>
4.15	Value at risk and opportunity value for the alternative solution with lower risk	77
4.16	Volume and percentage of petroleum purchased for each period from the alternative solution with opportunity of higher profit	78
4.17	Value at risk and opportunity value for the alternative solution with higher opportunity of profit	79

## LIST OF FIGURES

FIGURE	PAGE
2.1 Major activities in model building prior to application	6
2.2 Planning and scheduling cascade in a refinery	8
2.3 Overview picture of the oil refinery operations	9
2.4 Upper bound risk curve, or envelope	17
3.1 Balancing of a typical unit	27
3.2 Data flow diagram of the planning and scheduling mode	53
3.3 Simplified scheme of Bangchak Petroleum Public Company Limited	55
4.1 Risk curves of the deterministic and stochastic model solutions	64
4.2 The demand ratio of product 1 compared to competition product obtained from different values of alpha	66
4.3 The demand ratio of product 1 compared to competition product obtained from different values of beta	67
4.4 The demand ratio of product 1 compared to competition product obtained from different values of rho	68
4.5 Risk curves of the deterministic and stochastic pricing model solutions	75
4.6 Risk curves of the stochastic pricing solution and the alternative solution with lower Value at Risk (VaR)	76
4.7 Risk curves of the stochastic pricing solution and the alternative solution with higher Opportunity Value (OV)	78
4.8 Upper bond risk curve for the stochastic and alternative solution	80