

REFINERY OPERATIONS PLANNING UNDER UNCERTAINTY



Mr. Arkadej Pongsakdi

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
Case Western Reserve University, The University of Michigan,
The University of Oklahoma, and Institut Français du Pétrole

2004

ISBN 974-9651-06-5

Thesis Title: Refinery Operations Planning under Uncertainty
By: Mr. Arkadej Pongsakdi
Program: Petroleum Technology
Thesis Advisors: Asst. Prof. Pramoch Rangsunvigit
Dr. 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.

K. Bunyakit.

..... College Director
(Assoc. Prof. Kunchana Bunyakit)

Thesis Committee:

Pramoch R.

.....
(Asst. Prof. Pramoch Rangsunvigit)

T. Rirksomboon

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

Kitipat Siemanond

.....
(Dr. Kitipat Siemanond)

K. Maitriwong

.....
(Mr. Kiatchai Maitriwong)

M. J. Bagajewicz

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

ABSTRACT

4573003063: **PETROLEUM TECHNOLOGY PROGRAM**

Arkadej Pongsakdi: Refinery Operations Planning under
Uncertainty

Thesis Advisors: Asst. Prof. Pramoch Rangsunvigit, Dr. Kitipat
Siemanond, and Prof. Miguel J. Bagajewicz, 94 pp. ISBN 974-
9651-06-5

Keywords: Refinery Planning / Uncertainty / Financial Risk Management

Nowadays, the petroleum refinery business is very competitive resulted in a low economic margin. In this situation, refinery planning becomes a very important tool as it can bring all potential opportunities to push the economic margin to the maximum limit. However, most formulations presented are based on nominal parameter values without considering the uncertainty. In reality, the deterministic planning obtained may become unfeasible. Consequently, this study proposed a model for refinery operations under uncertainty based on two-stage stochastic. First, a deterministic model was developed for decision of crude oil purchased in order to attain the product specifications and demands. Then, the uncertainty in demand and price of products was introduced. The proposed objective function was based on optimizing the profit by maximizing the product sale and minimizing the crude oil cost, inventory cost, storage cost, and lost demand volume. A stochastic formulation was then developed to perform the financial risk management. Sampling algorithm was used to find the optimal solution and alternative plan that reduced risk. The model was tested on the simplified process of Bangchak Petroleum Public Company Limited. The optimization results from the deterministic and stochastic models were compared. The results show that the stochastic model can predict higher expected profit and lower risk compared to the deterministic model.

บทคัดย่อ

อักษรเลข พงษ์ศักดิ์: การวางแผนโรงกลั่นน้ำมันภายใต้ความไม่แน่นอน (Refinery Operations Planning under Uncertainty) อ. ที่ปรึกษา: ผศ. ดร. ปราโมช รังสรรค์วิจิตร ดร. กิติพัฒน์ สีมานนท์ และ ศ. ดร. มิเกล เจ บากาเฮวิช 94 หน้า ISBN 974-9651-06-5

ทุกวันนี้ธุรกิจโรงกลั่นน้ำมันมีการแข่งขันที่สูงมากเป็นผลให้กำไรที่ได้จากการกลั่นน้ำมันมีมูลค่าน้อย ในสภาวะการณ์เช่นนี้การวางแผนการปฏิบัติงานที่ดีจะมีส่วนสำคัญในการดึงศักยภาพของโรงกลั่นที่มีอยู่ให้ออกมามากที่สุดเพื่อผลกำไรที่มากขึ้น อย่างไรก็ตามปัจจัยที่ถูกละเลยในการวางแผนมักไม่ได้คำนึงถึงความไม่แน่นอนที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต ในความเป็นจริงแผนที่ไม่ได้คำนึงถึงความไม่แน่นอนนี้อาจจะไม่สามารถนำไปใช้ได้จริง เป็นผลให้เกิดการเรียนรู้งานวิจัยเรื่องการวางแผนโรงกลั่นภายใต้ความไม่แน่นอนโดยใช้วิธีทางสถิติในการตัดสินใจ ในขั้นแรกแบบจำลองสมการการปฏิบัติงานในโรงกลั่นที่ไม่คำนึงถึงความไม่แน่นอนได้รับการพัฒนาขึ้นก่อน แบบจำลองนี้ใช้ในการวางแผนและเลือกใช้น้ำมันดิบในการผลิตเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณและมีคุณสมบัติตรงตามความต้องการของตลาดมากที่สุด จากนั้นได้นำความไม่แน่นอนที่อาจเกิดขึ้นกับปริมาณความต้องการและราคาผลิตภัณฑ์เข้าไปในแบบจำลอง โดยวัตถุประสงค์ของแบบจำลองนี้คือเพิ่มกำไรให้มากที่สุด โดยการเพิ่มรายรับที่ได้จากผลิตภัณฑ์ และลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากค่าวัตถุดิบ ค่าเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ และค่าเสียโอกาส จากนั้นแบบจำลองที่มีปัจจัยความไม่แน่นอนนี้นำมาจัดการความเสี่ยงทางการเงินเพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลองที่ไม่คำนึงถึงความไม่แน่นอน แบบจำลองนี้ได้ถูกทดสอบในกระบวนการกลั่นของบริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ผลที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองจะเห็นได้ว่ากำไรเฉลี่ยจากแบบจำลองที่คิดปัจจัยความไม่แน่นอนมากกว่าแบบจำลองที่ไม่คิดถึงปัจจัยความไม่แน่นอน

ACKNOWLEDGEMENTS

This work would not have been possible without the assistance of the following individuals. I would like to thank all of them for making this thesis a success.

First of all, I am deeply indebted to Asst. Prof. Dr. Pramoch Rangsunvigit, Dr. Kitipat Siemanond, and Prof. Dr. Miguel J. Bagajewicz, my thesis advisors, for providing useful recommendations, creative comments, and encouragement throughout the course of my work.

I would like to thank Assoc. Prof. Thirasak Rirksomboon and Mr. Kiatchai Maitriwong for useful advice and being on the thesis committee.

Moreover, I am most obliged to the Bangchak Petroleum Public Co., Ltd. for providing the invaluable data for simulation and Ms. Usakanok Thamnijkul for providing me useful information and recommendation on my thesis work.

Special thanks go to all of the Petroleum and Petrochemical College's staff for their helpful assistance.

Finally, I would like to take this opportunity to thank all my PPC friends for their friendly assistance, cheerfulness, creative suggestions, and encouragement. I had the most enjoyable time working with all of them. Also, I am greatly indebted to my parents and my family for their support, love, and understanding.

This thesis work is partially funded by Postgraduate Education and Research Programs in Petroleum and Petrochemical Technology (PTT Consortium).

TABLE OF CONTENTS

	PAGE
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
Abbreviations	xi
CHAPTER	
I INTRODUCTION	1
II BACKGROUND AND LITERATURE SURVEY	3
2.1 Mathematical and Optimization Models	3
2.1.1 Optimization	4
2.1.2 Structure of Optimization Models	4
2.1.3 Modeling Procedures	5
2.2 Mathematical Programming	7
2.2.1 Deterministic and Stochastic Programming	7
2.2.2 Mathematical Programming in Refinery Planning	8
2.3 Refinery Operations Planning and Scheduling	8
2.3.1 Planning and Scheduling	8
2.3.2 Blending	10
2.3.3 Uncertainties in Refinery Planning	14
2.4 Two-Stage Stochastic Programming	14
2.5 Financial Risk Management	15
2.5.1 Value at Risk and Upside Potential	16
2.5.2 Risk Area Ratio	16

CHAPTER	PAGE
2.5.3 Use of the Sampling Algorithm to Obtain Optimal Solution	17
2.5.4 Upper Risk Curve Bounds	17
2.6 Literature Survey	18
2.6.1 Refinery Operations Planning and Scheduling	18
2.6.2 Planning of Petroleum Supply Chain under Uncertainty	21
2.6.3 Financial Risk Management	23
 III MATHEMATICAL MODEL FORMULATION	 24
3.1 Problem Definition	24
3.2 General Mathematical Formulation	25
3.2.1 Assumption	25
3.2.2 General Mathematical Model	25
3.3 Case Study	29
3.4 Objective Function	47
3.5 Heuristic	50
3.6 Stochastic Formulation	50
3.7 Model Testing	51
 IV RESULTS AND DISCUSSION	 52
4.1 Blending	52
4.2 Computational Results	56
4.2.1 Input Data	56
4.2.2 Deterministic Model Results	56
4.2.3 Stochastic Model Results	62
4.2.4 Risk Curves Analysis	63
 V CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS	 69
5.1 Conclusions	69

CHAPTER	PAGE
5.2 Recommendations	70
REFERENCES	71
APPENDICES	75
Appendix A Nomenclature	75
Appendix B Blending equation for each property	77
Appendix C Data of commodities and productive units	84
Appendix D Members of sets	93
CURRICULUM VITAE	94

LIST OF TABLES

TABLE	PAGE
3.1 Summary of feeds and products for each unit	31
3.2 Intermediate streams for product blending in each pool	33
3.3 Property constraints of products leaving from both CDU	37
4.1 Composition of crude oil mixture	52
4.2 Comparison between composition of crude blending assay report blending and calculation blending	54
4.3 Property of crude oil mixture D compared with the assay blending report from Bangchak Refinery	55
4.4 Crude oil cost and available quantity	56
4.5 Product demand, price, and cost of lost demand penalty	57
4.6 Standard deviation of demand and price	57
4.7 Volume and percentage of petroleum purchased for each period from the deterministic model	58
4.8 Percentage of crude feed to each CDU	59
4.9 Volumes of production and inventory	61
4.10 Volumes of sales and lost demand	61
4.11 Product properties (x = maximum, n = minimum)	62
4.12 Volume and percentage of petroleum purchased for each period from the stochastic model	64
4.13 Volume and percentage of petroleum purchased for each period from the second solution of the stochastic model	66
4.14 Value at Risk and Upside Potential for the alternative solution	67

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.	9
2.3 Overview picture of the oil refinery operations.	10
2.4 Risk area ratio.	17
2.5 Upper bound risk curve.	18
3.1 Balancing of a typical unit.	26
3.2 Simplified scheme of Bangchak Petroleum Public Company Limited.	30
3.3 Gasoline pool blending.	32
3.4 Overview of crude storage tanks and charging tanks.	36
4.1 Risk curves of the deterministic model and stochastic model solutions.	63
4.2 Risk curves of the first and second plan of stochastic model solutions.	65
4.3 Area of risk and opportunity ratio.	67
4.4 Upper bound risk curve for the stochastic solution.	68

ABBREVIATIONS

GRM	Gross refinery margin
tFOE	ton of fuel oil equivalence

CRUDE OILS

LB	Labuan
MB	Murban
OM	Oman
PHET	Phet
SLEB	Seria light
TP	Tapis

INTERMEDIATES

DCC	Intermediate from deep catalytic cracking
DO	Diesel oil from crude distillation column
HN	Heavy naphtha
IHSD	Intermediate for high speed diesel blending
IK	Illuminating kerosene
ISO	Isomerate
LN	Light naphtha
MN	Medium naphtha
MTBE	Methyl tertiary butyl ether
REF	Reformate

PRODUCTS

FG	Fuel gas
FO1	Fuel oil no.1
FO2	Fuel oil no.2
FOVS	Low sulfur fuel oil
HSD	High speed diesel
ISOG	Gasoline octane 95
JP-1	Jet fuel
LPG	Liquefied petroleum gas

SUPG Gasoline octane 91

PROPERTIES

ARO Aromatic content (%)
 CI Cetane Index
 FP Freezing point (°C)
 PP Pour point (°C)
 RON Research octane number
 RVP Reid vapor pressure (psia)
 S Sulfur content (%)
 SG Specific gravity
 V100 Viscosity @ 100 °C (cSt)
 V50 Viscosity @ 50 °C (cSt)
 YD Percent yield (%)

UNITS

CDU Crude distillation unit
 CRU Catalytic reformer unit
 DCCT DCC tank
 DGO-HDS Deep gas oil hydrodesulfurization
 DSP Diesel pool
 FGT Fuel gas tank
 FO1P Fuel oil 1 pool
 FO2P Fuel oil 2 pool
 FOVSP Low sulfur fuel oil pool
 GO-HDS Gas oil hydrodesulfurization
 GSP91 Gasoline RON 91 pool
 GSP95 Gasoline RON 95 pool
 HNT Heavy naphtha tank
 ISOT Isomerase tank
 ISOU Isomerization unit
 JPT Jet fuel tank
 KTU Kerosene treating unit

LNT	Light naphtha tank
LPGT	LPG tank
MTBET	MTBE tank
NPU	Naphtha pretreating unit
REFT	Reformat tank