การประเมินค่าผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมของวัสดุประกอบแต่งไม้-พลาสติก

นายภูมิพัฒน์ รัตนตรัยเจริญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ESTIMATION OF ENVIRONMENTAL IMPACTS OF WOOD PLASTIC COMPOSITES (WPC)

Mr.Poompat Rattanatraicharoen

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2006
Copyright of Chulalongkorn University

490631

Thesis Title	ESTIMATION OF ENVIRONMENTAL IMPACTS OF WOOD-PLASTIC COMPOSITES (WPC)
By	Mr. Poompat Rattanatraicharoen
Field of Study	Chemical Engineering
Thesis Advisor	Associate Professor Chairit Satayaprasert, Dr.Ing.
Thesis Co-advisor	Soorathep Kheawhom, Ph.D.

Accepted by the Faculty of Engineering, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree

..... Dean of the Faculty of Engineering
(Professor Direk Lavansiri, Ph.D.)

THESIS COMMITTEE

..... Chairman
(Associate Professor Suttichai Assabumrungrat, Ph.D.)

..... Thesis Advisor
(Associate Professor Chairit Satayaprasert, Dr.Ing.)

..... Thesis Co-advisor
(Soorathep Kheawhom, Ph.D.)

..... Member
(Weerawat Patthaveekongka, D.Eng.)

..... Member
(Amornchai Arpornwichanop, D.Eng.)

ภูมิพัฒน์ รัตนตรัยเจริญ : การประเมินค่าผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมของวัสดุประกอบแต่งไม้-พลาสติก. (ESTIMATION OF ENVIRONMENTAL IMPACTS OF WOOD-PLASTIC COMPOSITES) อ.ที่ปรึกษา: รศ.ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ, อ.ที่ปรึกษาร่วม: อ.ดร.สุรเทพ เขียวหอม; 111 หน้า.

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการประเมินค่าและเปรียบเทียบผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตวัสดุประกอบแต่งไม้-พลาสติกที่เตรียมจากพอลิไวนิลคลอไรด์และพอลิพรอพิลีน โดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment : LCA) เป็นเครื่องมือในการประเมินผลกระทบ ซึ่งขอบเขตของการศึกษาคือศึกษาตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ และกระบวนการผลิต สำหรับหน่วยหน้าที่ของการศึกษานี้คือ วัสดุประกอบแต่งไม้-พลาสติกน้ำหนัก 1 กิโลกรัม ในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม SimaPro®6.0 ในการประมวลผล และใช้วิธี Eco-Indicator 95 และวิธี Eco-Indicator99 เป็นวิธีในการประเมินค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของวัสดุประกอบแต่งไม้-พลาสติก จากผลการวิจัยพบว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของวัสดุประกอบแต่งไม้-พลาสติกทั้งสองสองชนิดส่วนใหญ่จะมาจากขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ และขั้นตอนการผลิต สำหรับวัสดุประกอบแต่งไม้-พลาสติกที่เตรียมจากพอลิพรอพิลีนนั้นพบว่าผลกระทบส่วนใหญ่จะมาจากการใช้พอลิพรอพิลีนในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ ซึ่งจะส่งผลกระทบในด้านการทำให้เกิดภาวะความเป็นกรด ปัญหาโลหะหนัก และโรคทางเดินหายใจจากสารอนินทรีย์ ส่วนผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของวัสดุประกอบแต่งไม้-พลาสติกที่เตรียมจากพอลิไวนิลคลอไรด์นั้นจะเกิดจากการใช้พอลิไวนิลคลอไรด์ ซึ่งจะส่งผลกระทบในด้านการทำให้เกิดฝนกรด ปัญหาโลหะหนัก และโรคทางเดินหายใจจากสารอนินทรีย์เช่นเดียวกับวัสดุประกอบแต่งไม้-พลาสติกที่เตรียมจากพอลิพรอพิลีน และเมื่อทำการเปรียบเทียบผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมของวัสดุประกอบแต่งไม้-พลาสติกทั้งสองชนิดพบว่าวัสดุประกอบแต่งไม้-พลาสติกที่เตรียมจากพอลิไวนิลคลอไรด์จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงกว่าวัสดุประกอบแต่งไม้-พลาสติกที่เตรียมจากพอลิพรอพิลีนประมาณ 1.3 เท่า นอกจากนี้เมื่อทำการศึกษาการเลือกทำเลที่ตั้งโรงงานที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมจากการขนส่งวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์พบว่า ตำแหน่งที่ตั้งโรงงานผลิตวัสดุประกอบแต่งไม้-พลาสติกที่เหมาะสมควรตั้งอยู่ใกล้กับตลาดผู้บริโภค เนื่องจากจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการขนส่งน้อยกว่าการตั้งโรงงานอยู่ใกล้กับแหล่งวัตถุดิบ

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต ภูมิพัฒน์ รัตนตรัยเจริญ

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2549 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม สุรเทพ เขียวหอม

4870423121 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING
KEY WORD : LIFE CYCLE ASSESSMENT / WOOD PLASTIC COMPOSITES / ENVIRONMENTAL IMPACTS

POOMPAT RATTATANATRAICHAROEN: ESTIMATION OF ENVIRONMENTAL IMPACTS OF WOOD PLASTIC COMPOSITES (WPC). THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. CHAIRIT SATAYAPRASERT, Dr.Ing., THESIS CO-ADVISOR: SOORATHEP KHEAWHOM, Ph.D., 111 pp.

The objectives of this study are to estimate and to compare the environmental impacts of wood-plastic composites (WPCs) based on poly (vinyl chloride) (PVC) and polypropylene (PP). In this work, Life Cycle Assessment (LCA) is used as an environmental tool for the evaluation. The system boundary is defined to include materials acquisition, transportation and production. The functional unit is defined as 1 kg of WPC produced. LCA software tool, SimaPro®6.0 with Eco-Indicator 95 and Eco-Indicator 99 methods, is applied. From the results obtained, the environmental impacts of these two WPCs come mainly from the material acquisition and manufacturing phases. For WPC-PP/Sawdust, the environmental impacts are essentially from polypropylene production in the material acquisition phase which resulting in impact category of acidification, heavy metals and respiration of inorganic substances. For WPC-PVC/Sawdust, the impacts caused mainly from poly (vinyl chloride) which resulting in impact category of acidification, heavy metals and respiration of inorganic substances. It is also observed that the production of WPC-PVC/Sawdust creates the environmental impacts approximately 1.3 times higher than WPC-PP/Sawdust. Moreover, this research considers the suitable plant location by investigation of the environmental impacts from the transportation. Base on the results, the suitable manufacturing plant location for WPCs production should be located near market (customer) because the environmental impacts contributed from transportation when the factory is located close to market, are lower than that of when factory is located near raw material sources.

Department....Chemical Engineering.....Student's signature..Poompat Rattanatraicharoen
Field of study..Chemical Engineering.....Advisor's signature.....Chairit Satayaprasert
Academic year .....2006.....Co-advisor's signature..Soorathep Kheawhom

ACKNOWLEDGEMENTS

I sincerely wish to thanks my advisor, Associate Professor Chairit Satayaprasert for his deep greatest advice, deep discussion and constant encouragement throughout this research. I am very grateful to the late, Dr.Soorathep Khaewhom, thesis co-advisor for his indispensable guidance and supervision. Their advices are always worthwhile. Without of them, this work could not be undertaken.

Next, I respectfully thanks Associate Professor Suttichai Assabumrungrat, Dr.Weerawat Patthaveekongka and Dr.Amornchai Arpornwichanop for their stimulate comments and participation as thesis committee.

Moreover, financial support for educational tuition fee and monthly expenses from UBE Group Industries, Ltd. was grateful acknowledged

Eventually, I would also thank all of the members of Life Cycle Engineering Research Laboratory (LCE) in Chulalongkorn University for their assistance along the thesis study.

Finally, I would like to dedicate this paragraph to my beloved family whom mean most in my life, especially my father and my mother for their eternal care, endless supports and understandings in my life throughout the course of education. There is never a single day without them standing by me.

CONTENTS

page

ABSTRACT IN THAI iv
ABSTRACT IN ENGLISH v
ACKNOWLEDGEMENTS vi
CONTENTS vii
LIST OF FIGURES xi
LIST OF TABLES xiii

CHAPTER
I INTRODUCTION 1
1.1 General Introduction 1
1.2 Objectives of the Research 3
1.3 Scope of the Research 3
1.4 Contributions of the Research 3
1.5 Thesis Organization 4
II THEORY 5
2.1 Life Cycle Assessment (LCA) 5
2.2 Criterion of Life Cycle Assessment 6
2.2.1 Goal and Scope Definition 8
2.2.1.1 Defining the Goal 9
2.2.1.2 Defining the Scope 9
2.2.1.3 Functional Unit 9
2.2.1.4 System Boundary 10
2.2.1.5 Data Quality 10
2.2.2 Inventory Analysis 10
2.2.3 Impact Assessment 12
2.2.3.1 Selection of Methods and Impact Categories 14
2.2.3.2 Classification 15
2.2.3.3 Characterisation 16
2.2.3.4 Normalisation 16
2.2.3.5 Grouping and Ranking 17
2.2.3.6 Damage Assessment 17

page

CHAPTER

2.3.3.7 Weighting 19
2.2.4 Interpretation 20
2.3 The LCA Software Tools 21
2.4 Wood – Plastic Composites..... 23
2.4.1 Composite Material 23
2.4.2 Wood Plastics Composites (WPC) 23
2.4.3 History and Current Situation of WPC..... 25
2.4.4 Polymer Matrices 26
2.4.4.1 Poly(vinyl chloride) (PVC) 27
2.4.4.2 Polypropylene (PP)..... 28
2.4.4.3 Wood Flour..... 28
2.4.4 Polymer Processing..... 29
III. LITERATURE REVIEW 31
3.1 Life Cycle Assessment..... 31
3.2 Life Cycle Assessment for Comparison 32
3.3 Wood-Plastic Composites 34
IV. RESEARCH METHODOLOGY..... 36
4.1 Materials and Equipments 36
4.2 Variables 36
4.2.1 Independent Variables 36
4.2.2 Dependent Variables..... 37
4.3 Research Methodology 37
4.3.1Goal and Scope Definition..... 37
4.3.1.1 Objectives and Purposes of the Research Work.. 37
4.3.1.2 Functional Unit 37
4.3.1.3 Scope and System Boundary..... 37
4.3.1.4 Limitation and Assumption 37
4.3.2 Life Cycle Inventory (LCI)..... 38
4.3.3 Life Cycle Impact Assessment (LCIA)..... 38
4.3.3.1 Structure of Method in SimaPro® Software..... 39

page

CHAPTER

4.3.3.2 Factors Used in Eco-indicator 95 and 99 39
V. RESULTS AND DISCUSSIONS 40
5.1. Plant Location Decision 40
5.1.1 Comparison of Environmental Impacts from transportation of 2 WPC-PP/Sawdust plant location..... 41
5.1.2 Comparison of Environmental Impacts from transportation of 2 WPC-PVC/Sawdust plant location..... 43
5.2 Life Cycle Inventory (LCI)..... 45
5.2.1 Life Cycle Inventory of WPC-PP/Sawdust..... 45
5.2.2 Life Cycle Inventory of WPC-PVC/Sawdust 46
5.3 Environmental Impact Assessment 48
5.3.1 Environmental Impacts of WPC-PP/Sawdust 48
5.3.2 Environmental Impacts of WPC-PVC/Sawdust 53
5.4 Comparison of Environmental Impact between WPC-PP/Sawdust and WPC-PVC/Sawdust 59
5.4.1 Comparison of Green House Gas between WPC-PP/Sawdust and WPC-PVC/Sawdust 59
5.4.2 Comparison of Ozone Layer Depletion between WPC-PP/Sawdust and WPC-PVC/Sawdust..... 60
5.4.3 Comparison of Acidification effectbetween WPC-PP/Sawdust and WPC-PVC/Sawdust 60
5.4.4 Comparison of Eutrophication effect between WPC-PP/Sawdust and WPC-PVC/Sawdust..... 62
5.4.5 Comparison of Heavy Metal effect between WPC-PP/Sawdust and WPC-PVC/Sawdust..... 62
5.4.6 Comparison of Carcinogen effect between WPC-PP/Sawdust and WPC-PVC/Sawdust 63
5.4.7 Comparison of Energy Resource Depletion between WPC-PP/Sawdust and WPC-PVC/Sawdust..... 63

page

CHAPTER

5.5 Comparison of Environmental Impacts of Wood-Plastic Composites by Using Eco-Indicator and the Other Methods 65
5.5.1 Comparison of Environmental Impacts of WPC by Using Eco-Indicator and IPCC Method 65
5.5.2 Comparison of Environmental Impacts of WPC by Using Eco-Indicator and CML Method 66
5.6 Interpretation and Amplification 67
5.7 Cost Estimation 70
5.5.1 Fixed Costs 70
5.5.2 Variable Costs 70
5.5.3 Break-Even Point 72
5.5.4 Gross Profit 74
VI. CONCLUSIONS 76
6.1 Conclusions 76
6.2 Recommendations 78

REFFERENCES 79

APPENDICES 83
APPENDIX A Impact Assessment Analysis of WPC 78
APPENDIX B Characterization Factor of Eco-Indicator 95 88
APPENDIX C Characterization Factor of Eco-Indicator 99 95
APPENDIX D Guidance for SimaPro®6.0 software 105

BIOGRAPHY 111

LIST OF FIGURES

Figure		page
2.1	Phases and applications of an LCA	7
2.2	Life cycle stages and boundaries.....	11
2.3	Element of LCA (ISO 14042, 2000)	14
2.4	The grouping option on the Eco-indicator 99 method	18
2.5	Basic extruder machine	30
5.1	Environmental impacts from transportation of two WPC-PP/Sawdust plant Location obtained by using Eco-Indicator99 and GWP method.....	42
5.2	Environmental impacts from transportation of two WPC-PVC/Sawdust plant Location obtained by using Eco-Indicator99 and GWP method	44
5.3	Production of Wood – Plastics Composite based on PP	45
5.4	Production of Wood – Plastics Composite based on PVC	47
5.5	Environmental impact categories of 1 kg WPC-PP/Sawdust production obtained by using Eco-Indicator 95.....	49
5.6	Environmental impact categories of each phase in the production of 1 kg WPC-PP/Sawdust obtained by using Eco-Indicator 95	49
5.7	Environmental impact categories of the production phase in production of 1 kg WPC-PP/Sawdust obtained by using Eco-Indicator 95.....	50
5.8	Damage assessment of the production of 1 kg WPC-PP/Sawdust by using Eco-Indicator 99.....	51
5.9	Impact assessment of the production of 1 kg WPC-PP/Sawdust by using Eco-Indicator 99	51
5.10	Impact assessment of the production of 1 kg WPC-PP/Sawdust by using Eco-Indicator 99	52
5.11	Impact assessment of each phase in the production of 1 kg WPC-PP/Sawdust by using Eco-Indicator 99	52
5.12	Environmental impact categories of 1 kg WPC-PVC/Sawdust production obtained by using Eco-Indicator 95.....	54
5.13	Environmental impact categories of each phase in the production of 1 kg WPC-PVC/Sawdust obtained by using Eco-Indicator 95.....	54

page

Figure

5.14 Environmental impact categories of the material preparation phase of production of 1 kg WPC-PVC/Sawdust obtained by using Eco-Indicator 95 55
5.15 Damage assessment of the production of 1 kg WPC-PVC/Sawdust by using Eco-Indicator 99 56
5.16 Impact assessment of the production of 1 kg WPC-PP/Sawdust by using Eco-Indicator 99 56
5.17 Impact assessment of the production of 1 kg WPC-PVC/Sawdust by using Eco-Indicator 99 57
5.18 Impact assessment of each phase in the production of 1 kg WPC-PVC/Sawdust by using Eco-Indicator 99 57
5.19 LCA comparison between WPC-PP/Sawdust and WPC-PVC/Sawdust 58
5.20 Comparison of green house effect between WPC-PP/Sawdust and WPC-PVC/Sawdust 59
5.21 Comparison of ozone layer depletion between WPC-PP/Sawdust and WPC-PVC/Sawdust 60
5.22 Comparison of acidification between WPC-PP/Sawdust and WPC-PVC/Sawdust 60
5.23 Comparison of eutrophication effect between WPC-PP/Sawdust and WPC-PVC/Sawdust..... 61
5.24 Comparison of heavy metals effect between WPC-PP/Sawdust and WPC-PVC/Sawdust 62
5.25 Comparison of carcinogen effect between WPC-PP/Sawdust and WPC-PVC/Sawdust 63
5.26 Comparison of energy resource depletion between WPC-PP/Sawdust and WPC-PVC/Sawdust 63
5.2.7 Comparison of green house gas effect between WPC-PP/Sawdust and WPC-PVC/Sawdust using Eco-Indicator and IPCC method 66
5.2.8 Comparison of acidification between WPC-PP/Sawdust and WPC-PVC/Sawdust using Eco-Indicator and CML method..... 57

LIST OF TABLES

page

Table

2.1 Comparison of LCA software tools 22

5.1 Formulation for production of WPC based on PP..... 40

5.2 Formulation for production of WPC based on PVC..... 41

5.3 Distance and transportation method of transportation of raw materials and product for WPC based on PP..... 41

5.4 Distance and transportation method of transportation of raw materials and product for WPC based on PVC..... 43

5.5 Data collection for WPC-PP/Sawdust Production..... 45

5.6 Data collection for WPC-PVC/Sawdust Production..... 46

5.7 The industrial waste emission standard which influences to heavy metal problem 69

5.8 The industrial waste emission standard which influences to acidification problem 69

5.9 Fixed cost for WPC production 70

5.10 Comparison of price of raw materials for production of WPC 1 kg.. 71

5.11 Electrical cost for production of WPC 1 kg 72

5.12 Comparison of cost for production of WPC 1 kg..... 72

5.13 Price of WPC 1 kg..... 73