

เอกสารอ้างอิง

- ฉกร อินทร์พยุง. การแก้ปัญหาการตัดสินใจในอุตสาหกรรมการขนส่งและลอจิสติกส์.
กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2548.
- ระพีพันธ์ ปิตาคะโส. เอกสารประกอบการสอนวิชา เมตาฮีริสติกส์สำหรับปัญหาการวางแผนการผลิตและโลจิสติกส์. อุบลราชธานี: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2550.
- สุพรรณ สูดสนธิ์ และสมบัติ สินธุเชาวน์. “การประยุกต์วิธีการหาคำตอบโดยวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมสำหรับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าในภาคธุรกิจการขนส่งและโลจิสติกส์”, ใน สรุปการประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมประจำปีพ.ศ. 2549:มปท., 2549.
- สุพรรณ สูดสนธิ์,สมบัติ สินธุเชาวน์,ระพีพันธ์ ปิตาคะโสและ ศุภชัย ปทุมนากุล. “วิธีอาณานิคมมดและขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบสำหรับปัญหาสถานที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบหลายแห่งและการจัดเส้นทางการขนส่ง”, ใน สรุปการประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมประจำปีพ.ศ. 2550: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2550.
- Alumur, S., Kara, B.Y., “A new model for the hazardous waste location-routing problem,” Computers & Operations Research, 34: 1406-1423, 2007.
- Bell, John E. and McMullen, Patrick R.. “Ant colony optimization techniques for the vehicle routing problem”, Advanced Engineering Informatics. 18: 41-48; 2004.
- Brown, D.F., Policastro, A.J., Dunn W.E., Carhard, R.A., and Krumpolc, M., Development of the Table of Initial Isolation and Protective Action Distances for the 2004 Emergency Responce Guidebook, Chicago: Argonne National Laboratory, 2005.
- Buddadee, Banha et al. “The development of multi-objective optimization model for excess bagasse utilization: A case study for Thailand”, Environmental Impact Assessment Review.In press. 2007.
- Caballero, Rafael et al.. “Solving a multiobjective location routing problem with a metaheuristic based on tabu search. Application to a real case in Andalusia”, European Journal of Operational Research. 177:1751-1763; 2007.
- Doerner,K. and et al..”Pareto Ant Colony Optimization: A metaheuristic approach to a multiobjective portfolio selection”, Annals of Operations Research. 131:79-99; 2004.

- Jozefowicz, N., Semet, F. and Talbi, E..”Multi-objective vehicle routing problems”, European Journal of Operational Research. 189:293-309; 2008.
- Lin, C.K.Y. and Kwok, R.C.W.. “Multi-objective metaheuristics for a location-routing problem with multiple use of vehicles on real data and simulated data”, European Journal of Operational Research. 175:1833-1849; 2006.
- Nagy, Gabor and Salhi, Said. “Location-routing: Issues, models and methods”, European Journal of Operational Research. 177:649-672; 2007.
- Nanthasamroeng, Natthapong, Pitakaso, Rapeepan and Buddadee, Bancha. “A multiobjective model for multi-echelon location problem: Application in ethanol plant location analysis in Thailand”, Proceeding in International Conference on Intelligent Manufacturing and Logistics 2008, Waseda University; 2008.
- National Statistical Office of Thailand, “Population and Housing Census 2000”, Available: http://service.nso.go.th/nso/nsopublish/service/serv_poph43.html, 2008.
- ReVelle, C.S. and Eiselt, H.A.. “Location analysis: A synthesis and survey”, European Journal of Operational Research. 165:1-19; 2005.
- Wu, Tai-His et al. “Heuristic solutions to multi-depot location-routing problems”, Computers & Operations Research. 29:1393-1415; 2002.
- Zhang, M., Ma., Y., Weng, K., “Location-Routing Model of Hazardous Materials Distribution System Based on Risk Bottleneck,” in Proc. ICSSSM International Conf. on Services Systems and Services Management, 1: 362-368, 2005.

ภาคผนวก ก

บทความตีพิมพ์

International Conference on Logistics and Maritime Systems

September 15th -17th 2010 Busan, Korea

ITERATED LOCAL SEARCH FOR MULTI-CRITERIA AND MULTI-STAGE LOCATION ALLOCATION PROBLEM

Natthapong Nanthasamroeng^{1*} and Rapeepan Pitakaso²

^{1,2}Department of Industrial Engineering
 Faculty of Engineering, Ubon Rachathani University
 Warinchamrab, Ubon Ratchathani THAILAND 34190
 e-mail: nnanthas@yahoo.com

Abstract: This paper presents an iterated local search algorithm for solving a multi-criteria and multi-stage location allocation problem with an application in real case of ethanol plant in Thailand. The purpose of formulated model is to find an optimal solution for locating the ethanol plant for utilization of excess bagasses from 13 sugar mills and delivered ethanol product to 4 blending centers. Three criteria are considered including: (1) minimize an operating cost and transportation cost, (2) minimize an environmental impact focus on global warming potential (GWP) and (3) minimize a societal risk from ethanol transportation.

1. INTRODUCTION

The severity of energy crisis was increasing since the unstoppable raising of crude oil price in global market. Several alternative energies for vehicles were considered such as natural gas (NGV), fuel cells, hybrid energy and ethanol blended gasoline or gasohol. Nowadays, gasohol E10, which mixed 10 percent of bio-ethanol to gasoline, is the most popular alternative fuel for automobile user. Moreover, several car manufacturers are developing new engine which can use a new gasohol which mixed ethanol up to 85 percent to gasoline. There are several type of material for producing ethanol, but most of ethanol production are from agricultural or agro-industries products such as cassava, sugarcane, or barley. The beginning of E10 production starts at farm or sugar mill. Materials were sent from their source to produce ethanol at the plant. Then, the ethanol, a kind of hazardous material, will be transported to gasohol blending centre and mix to gasoline.

In this research, we presented a multi-criteria model to locate the bagasse ethanol plant. The aim of our multi-criteria, multi-stage production system is to decide where to open ethanol plant. Three criteria are considered including; (1) minimize total cost, (2) minimize an environment impact focus on global warming potential (GWPs) and, (3) minimize a societal risk from ethanol production and transportation.

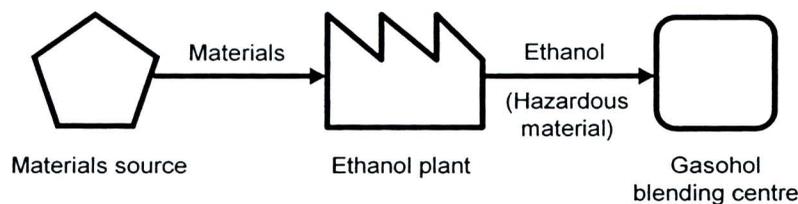


Figure 1. Multi-stage models for ethanol production

1.1 Literature Review

Facility location analysis plays an important role in many perspectives such as selection of the best location for treatment plant for hazardous waste, selection the warehouse or distribution centre in the supply chain (ReVelle and Eiselt, 2007).

Production of E10 is 2-echelon production system which similar to the two-level location-routing problem for newspapers production and delivery as Jacobsen and Madsen (1980) production system model.

Management of hazardous materials (HAZMAT) is the one in a little number of papers in a field of multi-objective location analysis. There are more than 3,300 substances was characterized as HAZMAT; this items comprises ignitability, flammable, corrosiveness, reactivity and toxicity. Various risk measures are used in HAZMAT papers such as societal risk and population exposure. Societal risk is calculated by multiply the probability of HAZMAT accident

occurrence by the consequences of that accident. On the other hand, the population exposure is the number of habitant exposed to HAZMAT (Alumar and Kara, 2007)

Buddadee et al. (2008) conducted LCIA to quantify the global warming potentials, which is one type of simplified index based upon radiative properties that can be used to estimate the potential future impacts of emissions of different greenhouse gases (GHGs) upon the climate system in a relative sense, for the utilization of the excess bagasses generated from sugar industry by 2 schemes. In the first scheme, excess bagasses were used as boiler's biomass fuel for producing high pressure steam and subsequently generating electricity for internal uses. For the second scheme, the excess bagasses were sent to ethanol plants for ethanol production and conveyed to blending centre for producing gasohol E10.

Focus on the second scheme, there are 3 GWPs components comprise of GWPs due to transportation excess bagasses from sugar mill to ethanol plant, GWPs due to ethanol production and, the offset GWPs due to utilization of produced ethanol as gasohol E10 fuel in gasoline vehicle.

Nanthasamroeng et al. (2008) had studied the location allocation problem for 6 ethanol plant in northeastern of Thailand. Production and transportation framework was similar to this study. The study shown that prioritized of each objective lead to difference of locations and number of plants opened. However, all six potential plants in the study were supposed by using center of gravity techniques.

Again, Nanthasamroeng et al. (2009) had improved their studied by supposed the potential plant at all 13 sugar mills. The computational result from LINGO V.11 shown that optimal solution for ethanol plant location was to open plant number 03 and 13 which would be calculated objective value 164.9 Million Baht.

Iterated local search (ILS) is a metaheuristic algorithm that have 2 main characteristics including (1) there must be a single chain that is being followed and, (2) the search for better solutions occurs in a reduced space defined by the output of a black-box heuristic. (Lourenco et al, 1999). Moreover, Stutzle (2003) stated that ILS has a simplicity of implementation and state-of-art results.

The purpose of this study is to introduce an ILS algorithm for multi-criteria and multi-stage location allocation problem with an application in real case of ethanol plant in Thailand.

2. RESEARCH FRAMEWORK AND METHODOLOGY



Figure 2. Research Framework

A formulation of mathematical model which improved from Nanthasamroeng et al. (2008). Then, the heuristic algorithm was designed and development. After that the algorithm was verified with real data that was collected in Northeastern of Thailand.

2.1 Data and Information Collection

The data used in this model are divided into three sets including; (1) economic data, (2) environmental data and, (3) risk data. The economic and environmental data are calculated from several factor based on LCIA and Life Cycle Cost (LCC) method. Sources of information came from several channels such as Truck and trailer suppliers, Japan Transportation Cooperation Association, SimaPro V5.1 (LCA Software), Emergency Response Guidebook, and government sector of Thailand. Sources of data and information were described in Table 1

Table 1. Sources of data

Process	Data & Information Source	Sources of information
Transportation	<ul style="list-style-type: none"> • Transportation cost • Vehicle maintenance cost • Vehicle fuel cost • Truck driver cost • Vehicle capacity • GHGs emission from vehicles • Societal risk from ethanol leakage 	<ul style="list-style-type: none"> - Truck and trailer supplier - Japan Transport Cooperation Association, 2004 - PTT, 2006 - SimaPro V5.1 (LCA software) - Emergency Response Guidebook, 2005 - National Statistic Office, 2008
Ethanol production	<ul style="list-style-type: none"> • Plant installation cost • GHGs emission from ethanol production process 	<ul style="list-style-type: none"> - Kadam, 2002 - Wooley et al., 1999 - Aden et al., 2002 - SimaPro V5.1 (LCA software)

(Source: Adopt from Buddadee, 2008)

2.2 Data of sugar mill location and bagasses amount in Northeastern of Thailand

An existing sugar industry in the northeastern region of Thailand is chosen for illustration of this mathematical model. There are 19 provinces in this region with population ranges from 338,700 to 2,555,346 people (National Statistical Office of Thailand, 2008). But, there are 13 sugar mill located in only 7 provinces including Buriram, Mukdahan, Udonthanee, Kalasin, Khonkaen, Chaiyabhum and, Nakornratchasima as shown in Figure 3.

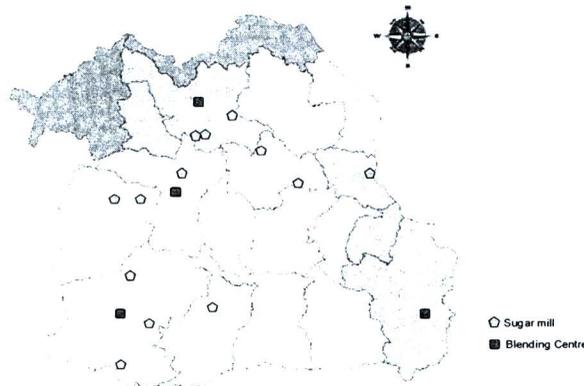


Figure 3. Location of sugar mill and blending centre in northeastern of Thailand.

The excess bagasse is considered as the material for ethanol production in this case because of environmental issue. Nowadays, excess bagasses were used as a fuel for electric generation which emitted 582,177 tons of CO₂ equivalents per year (Buddadee et al., 2008). Based on the production year 2002-2003, the excess bagasse from each sugar mill has been calculated in Table 2.

Table 2. Amount of excess bagasse in each sugar mill

Plant Code	Factory	Amount of excess bagasse (Tons/year)
01 Bu	Buriram sugar mill	36,408
02	Sahareong sugar mill	34,150
03	Reum-Udom sugar mill	68,129
04	Kasetphon sugar mill	52,631
05	Kumpawapee sugar mill	52,303
06	Khon-kaen sugar mill	87,092
07 Mitr	Mukdahan sugar mill	90,239
08	Roumkasettrakorn Utsahakam sugar mill	104,983
09	Utsahakamkorat sugar mill	89,330

Plant Code	Factory	Amount of excess bagasse (Tons/year)
10	Angwean (ratchasrima) sugar mill	89,952
11	N.Y. sugar mill	61,628
12	Utsahakamnamtan-Esarn sugar mill	36,663
13	Mitrcalasin sugar mill	61,259
	Total	864,406

2.3 Mathematical Model Formulation

Mathematical Model was formulated and adopt from Nanthasamroeng et al. (2008), Buddadee et al. (2007), Alumar and Kara (2005) and Wu,T.-H. (2002)

The following indices, parameters and, decision variables are used in the mathematical model:

a. Parameters and Decision Variables:

- m cost of material per unit
- θ cost of transportation one unit of material
- a cost of transportation one unit of ethanol
- c cost of base case ethanol plant
- s size of base case ethanol plant
- n_{ij} amount of material transported through link (i,j)
- e_{jk} amount of ethanol transported through link (j,k)
- o_i amount of material available in generation node i
- λ_j amount of ethanol produced in ethanol plant j
- d_{ij} distance between material generation node and
- r_{jk} potential ethanol plant distance between potential ethanol plant and blending centre
- t emission factor for the transportation of material / ethanol through link $(i,j) / (j,k)$
- b emission factor for the diesel consumption used in transportation of material / ethanol through link $(i,j) / (j,k)$
- f emission factor of chemical used in production of ethanol
- γ emission factor due to production of diesel used in production of ethanol
- g emission factor of CO₂ due to production of ethanol
- h emission factor of CH₄ due to production of ethanol
- δ emission factor of electric generation by using material as a fuel for the production of ethanol
- v offset emission factor of E10 for the utilization of produced ethanol as E10 fuel
- w offset emission factor of gasoline for the utilization of produced ethanol as E10 fuel
- p offset emission factor of production of conventional gasoline for the utilization of produced ethanol as E10 fuel
- $POPU$ number of population in the bandwidth for ethanol plant (j)
- POP_{jk} number of population in the bandwidth for ethanol along link (j,k)
- ϕ production efficiency factor for utilization of material from biomass to ethanol
- N maximum number of ethanol plant
- CC Carbon credit price
- SC Spill compensation cost

b. Objective Function

$$\begin{aligned} \text{Minimize } & \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I m n_{ij} y_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \alpha d_{ij} n_{ij} y_{ij} + \left[\frac{\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I n_{ij} y_{ij}}{s} \right]^{\text{exp}} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J a r_{jk} e_{jk} x_{jk} + cc \left(\sum_{i \in I \cup J^b} \sum_{j \in I \cup J^b} \sum_{k \in K^b} (t+b) C_{ij}^b d_j^b x_{ijk}^b + \right. \\ & \left. \sum_{i \in I \cup J^e} \sum_{j \in I \cup J^e} \sum_{k \in K^e} (f+\gamma+g+h+\delta+v+w) d_j^e x_{ijk}^e + \sum_{i \in I \cup J^e} \sum_{j \in I \cup J^e} \sum_{k \in K^e} (t+b) C_{ij}^e d_j^e x_{ijk}^e + \sum_{i \in I \cup J^e} \sum_{j \in I \cup J^e} \sum_{k \in K^e} p C_{ij}^e d_j^e x_{ijk}^e \right) + \\ & SC \left(\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J POP_{jk} e_{jk} + \sum_{j=1}^J POPU_j z_j \right) \end{aligned} \quad (1)$$

c. Constraints

Subject to;

$$\sum_{j=1}^J n_{ij} y_{ij} = o_i \quad \forall i \quad (2)$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if generation node } i \text{ send material to ethanol plant } j \\ 0 & \text{,otherwise} \end{cases} \quad \forall i \forall j \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^J y_{ij} \geq 1 \quad \forall i \quad (4)$$

$$z_j = \begin{cases} 1 & \text{,if ethanol plant } j \text{ is open} \\ 0 & \text{,otherwise} \end{cases} \quad \forall j \quad (5)$$

$$z_j = y_{ij} \quad \forall i \forall j \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^J z_j \leq N \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^K e_{jk} x_{jk} = \lambda_j \quad \forall j \quad (8)$$

$$\lambda_j \leq \phi n_{ij} \quad \forall i \forall j \quad (9)$$

$$x_{jk} = \begin{cases} 1 & \text{if ethanol plant } j \text{ send ethanol to blending centre } k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall j \forall k \quad (10)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{jk} \geq 1 \quad \forall j \quad (11)$$

$$z_j = x_{jk} \quad \forall j \forall k \quad (12)$$

The first constraint is the mass balance constraint for material. This constraint ensures that all materials available in generation node are adequate for transportation to ethanol plant. The second and third constraint indicate the 0-1 variable representing the available of material from source i to ethanol plant j . The fourth constraint also indicate the 0-1 variable representing presence or absence of ethanol plant j . The fifth constraint ensured that the opened ethanol plant will have materials supplied from any sugar mills. The sixth constraint is limitation constraint for number of ethanol plant. The seventh constraint is the mass balance constraint for ethanol. The eighth constraints represent the production efficiency of ethanol plant. The ninth and tenth constraint is indicating 0-1 variable represent the presence or absence of ethanol delivered from ethanol plant to blending centre.

2.4 Decoding algorithm

In this research, we use a decoding method called “Randomized Binary Selection” or RBS. RBS start with array n column; while n represent number of customer. At first step, all columns will be filled with random number 0-1. The first column represents open criteria of all plants. If a number in the column less than number in the first column, the number in this column will be changed to 0. On the other hands, the number in column that have higher value than the first column will be changed to 1. In this method, 0 represent “close” and 1 represent “open”.

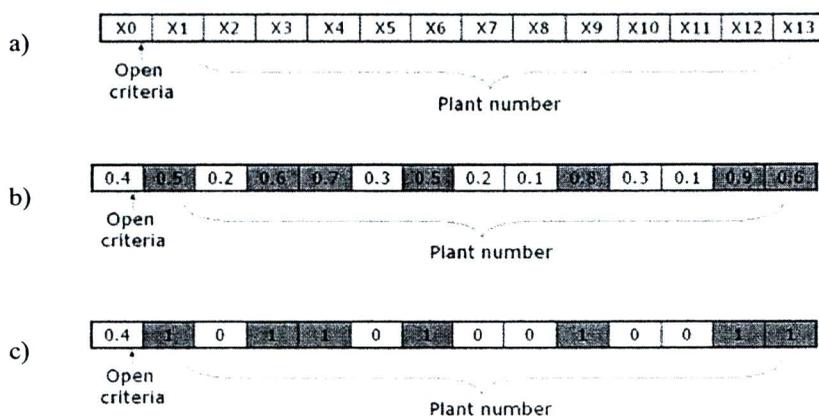


Figure 4. Illustrate of RBS algorithm

As described above, we can write pseudo-code for RBS as shown in Figure 5.

```

Procedure RBS
  Generate 1 dimension array with n column
  Random number in each column ( $x_0-x_n$ )
  for  $i = 1, i < n$  do;
    if  $x_n < x_0$  then  $x_n = 0$ , else = 1;
  end for loop;
end
  
```

Figure 5. A Pseudo-code for RBS

2.5 Iterated local search algorithm

Iterated local search was officially defined by Lourenço, Martin and Stutzle (2002). ILS consists of 4 components including (1) Generate initial solution (S_0), (2) Perturbation that modified current solution (S^*) to inception solution (S'), (3) Local search that improve the solution to (S'') and (4) Acceptance criterion that decide the application of perturbation(S^*). A procedural view of ILS is shown in Figure 6.

```

 $s_0 \leftarrow$  Generate Initial Solution ( )
 $s^* \leftarrow$  Local Search ( $s_0$ )
repeat
   $s' \leftarrow$  Perturbation ( $s^*$ )
   $s'' \leftarrow$  Local Search ( $s'$ )
   $s^* \leftarrow$  Acceptance Criterion ( $s^*, s''$ )
until terminate criterion met
  
```

Figure 6. A Pseudo-code for ILS procedure

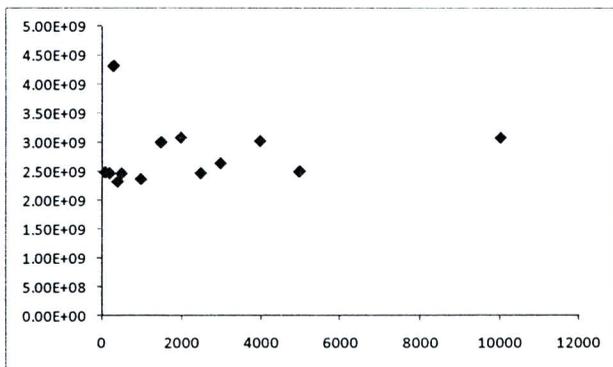
We proposed 2 algorithms, ILS-SS-SBM and ILS-SS-SBMRW, to solve our MCMSLAP and compare the result from both algorithms. The ILS-SS-SBM represents “Iterated local search with simply swap and single bit mutation” and the ILS-SS-RW represents “Iterated local search with simply swap and single bit mutation plus random walk”. Main features of both algorithms are local search and perturbation process. In local search process, we use simple swap column x_n to x_{n+1} . And for perturbation process, in ILS-SS-SBM, we use single bit mutation to change “0” to “1” in selected column. The ILS-SS-SBMRW was improved to jump away from current search space if its objective value is not improved with 5 iterations.

3. COMPUTATIONAL RESULT

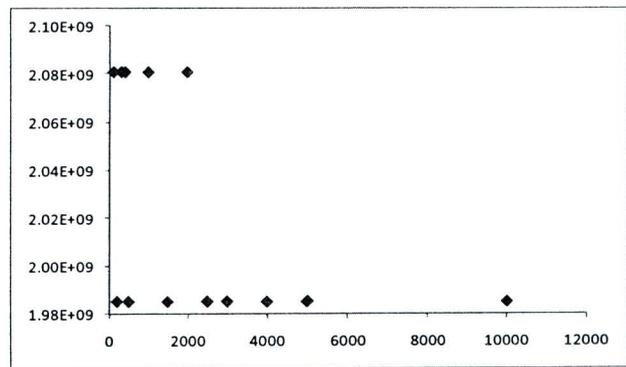
Computational experiments were carried out on a Intel Core2Duo CPU 2.00GHz with 1.99GB of RAM. We compared result from both ILS-SS-SBM and ILS-SS-SBMRW. Both algorithms were coded in Visual C++. We test our algorithms with real case data and define number of iteration from 100 to 10,000 iterations. The computational result was shown in table 3.

Table 3. Comparison of computational result

Iteration	-SBM			ILS-SS-SBMRW		
	Plant Open	Objective Value	Computational Time (ms)	Plant Open	Objective Value	Computational Time (ms)
100 05	,11,13	2.4835e9	32	02	2.0809e9	125
200 0	4,05,13	2.4606e9	31	01,02	1.9851e9	234
300 AI	1 plants	4.3119e9	47	02	2.0809e9	281
400 0	2,13	2.3209e9	63	02	2.0809e9	359
500 0	4,05,13	2.4606e9	78	01,02	1.9851e9	406
1000 0	5,13	2.3688e9	94	02	2.0809e9	656
1500 0	1,02,03,05,09,13	3.0008e9	140	01,02	1.9851e9	828
2000 0	1,03,05,09,11,13	3.0764e9	78	02	2.0809e9	1,188
2500 0	4,05,13	2.4606e9	125	01,02	1.9851e9	1,297
3000 0	4,05,11,13	2.6335e9	78	01,02	1.9851e9	1,546
4000 0	2,04,05,06,11,13	3.0246e9	219	01,02	1.9851e9	2,234
5000 0	2,06,13	2.4947e9	219	01,02	1.9851e9	2,437
10000 0	1,03,05,09,11,13	3.0764e9	375	01,02	1.9851e9	4,844



a) ILS-SS-SBM



b) ILS-SS-SBMRW

Figure 7. Comparison of ILS-SS-SBM and ILS-SS-SBMRW

ภาคผนวก ข

บทความตีพิมพ์

**The 4th International Congress on logistics and
SCM System
(ICLS 2008 Bangkok)**

MULTI-OBJECTIVE LOCATION ANALYSIS FOR 2-ECHELON BAGASSES ETHANOL PRODUCTION SYSTEM: A CASE STUDY IN NORTHEASTERN OF THAILAND

Natthapong Nanthasamroeng †
*Department of Industrial Engineering
Ubon Rajathanee University, Ubon Ratchathani 13490, THAILAND
+664-526-2988, Email: nnanthas@yahoo.com*

Rapeepan Pitakaso
*Department of Industrial Engineering
Ubon Rajathanee University, Ubon Ratchathani 13490, THAILAND
+664-535-3352, Email: touch@rocketmail.com*

Bancha Buddadee
*Department of Mechanical Engineering
Ubon Rajathanee University, Ubon Ratchathani 13490, THAILAND
+664-535-3352, Email: bancha_eng@yahoo.com*

Abstract

This study aims to find out locations of ethanol plant which utilized bagasse from sugar mills in northeastern of Thailand. Three objectives were involved in this study including economics, environments and social risk. Ethanol production framework is 2-echelon system that bagasses from sugar mill were transported to ethanol plants and, then, ethanol was delivered to blending centre for mixing gasohol (E10). To adjust the unit of the objective values, the environmental objectives, measured from greenhouse gases emission (GHGs), were multiplied by carbon credit cost and social risk, measured from population exposure at ethanol plant and along the transportation routes, were multiplied by spill compensation cost. Computational results shown that changing priority in each objective contribute to number of plants which will be opened and objective value also.

Keywords: Bagasse ethanol plant, Global warming, Location analysis, 2-echelon production system, Multi-objective optimization

1. INTRODUCTION

The severity of energy crisis was increasing since the unstoppable raising of crude oil price in global market. Several alternative energies for vehicles were considered such as natural gas (NGV), fuel cells, hybrid energy and ethanol blended gasoline or gasohol. Nowadays, gasohol E10, which mixed 10 percent of bio-ethanol to gasoline, is the most popular alternative fuel for automobile user. Moreover, several car manufacturers are developing new engine which can use a new gasohol which mixed ethanol up to 85 percent to gasoline. There are several type of material for producing ethanol, but most of ethanol production are from agricultural or agro-industries products such as cassava, sugarcane, or barley. The beginning of E10 production starts at farm or sugar mill. Materials were sent from their source to produce ethanol at the plant. Then, the ethanol, a kind of hazardous material, will be transported to gasohol blending centre and mix to gasoline.

In this paper, we present a multi-objective model to locate the bagasse ethanol plant. The aim of our multi-objective, 2-echelon production system is to decide where to open ethanol plant. Three objectives are considered including; (1) minimize total cost, (2) minimize an

environment impact focus on global warming potential (GWPs) and, (3) minimize a societal risk from ethanol production and transportation.

The frame of mathematical model in this paper is shown in Fig.1

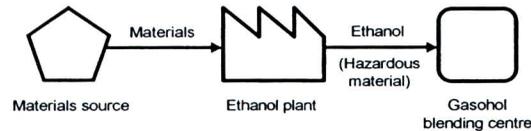


Figure 1: Ethanol and gasohol (E10) production framework.

In the following section, existing literature will be reviewed in section 2. A proposed mathematical model is introduced in section 3 and, in section 4, a case study of bagasse ethanol plants in northeastern of Thailand is presented. Finally, some conclusion and recommendation for future study are provided in section 5.

2. LITERATURE REVIEW

Facility location analysis plays an important role in many perspectives such as selection of the best location for treatment plant for hazardous waste, selection the warehouse or distribution centre in the supply chain (ReVelle and Eiselt, 2007).

Production of E10 is 2-echelon production system which similar to the two-level location-routing problem for newspapers production and delivery as Jacobsen and Madsen (1980) production system model.

Management of hazardous materials (HAZMAT) is the one in a little number of papers in a field of multi-objective location analysis. There are more than 3,300 substances was characterized as HAZMAT; this items comprises ignitability, flammable, corrosiveness, reactivity and toxicity. Various risk measures are used in HAZMAT papers such as societal risk and population exposure. Societal risk is calculated by multiply the probability of HAZMAT accident occurrence by the consequences of that accident. On the other hand, the population exposure is the number of habitant exposed to HAZMAT (Alumar and Kara,2007)

Buddadee et al. (2008) conducted LCIA to quantify the global warming potentials, which is one type of simplified index based upon radiative properties that can be used to estimate the potential future impacts of emissions of different greenhouse gases (GHGs) upon the climate system in a relative sense, for the utilization of the excess bagasses generated from sugar industry by 2 schemes. In the first scheme, excess bagasses were used as boiler's biomass fuel for producing high pressure steam and subsequently generating electricity for internal uses. For the second scheme, the excess bagasses were sent to ethanol plants for ethanol production and conveyed to blending centre for producing gasohol E10.

Focus on the second scheme, there are 3 GWPs components comprise of GWPs due to transportation excess bagasses from sugar mill to ethanol plant, GWPs due to ethanol production and, the offset GWPs due to utilization of produced ethanol as gasohol E10 fuel in gasoline vehicle.

Nanthasamroeng et al. (2008) had studied the location allocation problem for 6 ethanol plant in northeastern of Thailand. Production and transportation framework was similar to this study. The study shown that prioritized of each objective lead to difference of locations and number of plants opened. However, all six potential plants in the study were supposed by using center of gravity techniques. Therefore, realistic of the case could be improved by supposed the potential plant at all 13 sugar mills.

3. MATHEMATICAL MODEL

The ethanol plant and the blending centre at certain sites require the existence of transportation network along which the material or ethanol is transported. The nodes of this transportation network may be a generation node, a transshipment node, a potential ethanol plant, a potential blending centre, or a combination of any of these nodes. The mathematical

model proposed in this paper intend to establish ethanol plant and send to blending centre with minimization of cost, minimization of environmental impact and, minimization of population risk. Cost of operation consists of material cost, material transportation cost, ethanol production cost and, ethanol transportation cost. Environmental impact based on GWPs including GWPs due to transportation material from generation node to ethanol plant, GWPs due to ethanol production, GWPs due to transportation ethanol from the ethanol plant to blending centre and, the offset GWP due to the utilization of gasohol E10 in vehicles. Social risk in the proposed model comprises of population exposure due to ethanol plant and population exposure due to ethanol transportation. It is assume in the model that the potential sites for ethanol plants and blending centre have already been identified.

The material cost is only depends on amount of material. But, the material transportation cost is depends on both distance from material source to ethanol plant and amount of material. Same as the material transportation cost, the ethanol transportation cost is also depends on both distance from ethanol plant to blending centre and amount of ethanol. The cost of ethanol production has more complexity, it consists of the plant capital cost, the fixed operating cost and, the variable cost which including indirect material cost and overhead cost. However, in this paper, it is assume that cost of base case ethanol plant for all plant size is the same. But, the effect of “economy of scale” is taken into account by substitution of the cost calculated for the base case ethanol plant size with the equation that recalculates the cost with the function of size using the power law type of equation for the scaling factor. (Buddadee et al., 2008)

The GWPs due to transportation of materials from their source to the corresponding ethanol plant comprises of the GWPs due to exhaust pipe emission from the truck with trailer used in the transportation and the GHGs emission due to the production of the diesel consumed by the truck in excess transportation. These can be implied that GWPs due to transportation of ethanol from the ethanol plant to blending centre also consists of GWPs due to exhaust pipe emission and GHGs emission as above. The production and transportation of ethanol poses some risk to the population. This paper uses population exposure as a representative of social risk measure.

The following indices, parameters and, decision variables are used in the mathematical model:

Parameters:

m	cost of material per unit
θ	cost of transportation one unit of material
a	cost of transportation one unit of ethanol
c	cost of base case ethanol plant
s	size of base case ethanol plant
n_{ij}	amount of material transported through link (i,j)
e_{jk}	amount of ethanol transported through link (j,k)
o_i	amount of material available in generation node i
λ_j	amount of ethanol produced in ethanol plant j
d_{ij}	distance between material generation node and potential ethanol plant
r_{jk}	distance between potential ethanol plant and blending centre
t	emission factor for the transportation of material / ethanol through link $(i,j) / (j,k)$
b	emission factor for the diesel consumption used in transportation of material / ethanol through link $(i,j) / (j,k)$
f	emission factor of chemical used in production of ethanol
γ	emission factor due to production of diesel used in production of ethanol
g	emission factor of CO ₂ due to production of ethanol
h	emission factor of CH ₄ due to production of ethanol
δ	emission factor of electric generation by using material as a fuel for the production of ethanol
v	offset emission factor of E10 for the utilization of produced ethanol as E10 fuel
w	offset emission factor of gasoline for the utilization of produced ethanol as E10 fuel
p	offset emission factor of production of conventional gasoline for the utilization of produced ethanol as E10 fuel
POP_{U_j}	number of population in the bandwidth for ethanol plant (j)
POP_{jk}	number of population in the bandwidth for ethanol along link (j,k)

- ϕ production efficiency factor for utilization of material from biomass to ethanol
 N maximum number of ethanol plant
 M maximum number of blending centre

1) Economic objectives

$$\text{Minimize} \quad \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I mn_{ij}y_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \theta d_{ij}n_{ij}y_{ij} + c \left[\frac{\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I n_{ij}y_{ij}}{s} \right]^{\text{exp}} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J ar_{jk}e_{jk}x_{jk}$$

and

2) Environmental objectives

$$\begin{aligned} \text{Minimize} \quad & \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I td_{ij}n_{ij}y_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I bd_{ij}n_{ij}y_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I fn_{ij}y_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I m_{ij}y_{ij} + \\ & \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I gn_{ij}y_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I hn_{ij}y_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \delta n_{ij}y_{ij} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J tr_{jk}e_{jk}x_{jk} + \\ & \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J br_{jk}e_{jk}x_{jk} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I vn_{ij}y_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I wn_{ij}y_{ij} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J pr_{jk}e_{jk}x_{jk} \end{aligned}$$

and

3) Social risk objectives

$$\text{Minimize} \quad \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J POP_{jk}e_{jk} + \sum_{j=1}^J POP_j z_j$$

$$\text{Subject to;} \quad \sum_{j=1}^J n_{ij}y_{ij} = o_i \quad \forall i \quad (1)$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if generation node } i \text{ send} \\ & \text{material to ethanol plant } j \\ & \forall i \forall j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^J y_{ij} \geq 1 \quad \forall i \quad (3)$$

$$z_j = \begin{cases} 1 & \text{if ethanol plant } j \text{ is open} \\ & \forall j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

$$z_j = y_{ij} \quad \forall i \forall j \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^J z_j \leq N \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^K e_{jk}x_{jk} = \lambda_j \quad \forall j \quad (7)$$

$$\lambda_j \leq \phi n_{ij} \quad \forall i \forall j \quad (8)$$

$$x_{jk} = \begin{cases} 1 & \text{if ethanol plant } j \text{ sends ethanol to blending centre } k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall j \forall k \quad (9)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{jk} \geq 1 \quad \forall j \quad (10)$$

$$z_j = x_{jk} \quad \forall j \forall k \quad (11)$$

$$\omega_k = \begin{cases} 1 & \text{if blending center } k \text{ is open} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall k \quad (12)$$

$$x_{jk} = \omega_k \quad \forall j \forall k \quad (13)$$

$$\sum_{k=1}^K \omega_k \leq M \quad (14)$$

The first constraint is the mass balance constraint for material. This constraint ensures that all materials available in generation node are adequate for transportation to ethanol plant. The second and third constraint is indicate the 0-1 variable representing the available of material from source i to ethanol plant j . The forth constraint also indicate the 0-1 variable representing presence or absence of ethanol plant j . The fifth constraint ensured that the opened ethanol plant will have materials supplied from any sugar mills. The sixth constraint is limitation constraint for number of ethanol plant. The seventh constraint is the mass balance constraint for ethanol. The eight constraints represent the production efficiency of ethanol plant. The ninth and tenth constraint is indicating 0-1 variable represent the presence or absence of ethanol delivered from ethanol plant to blending centre. The eleventh constraint also limits ethanol from one ethanol plant to one blending centre. The twelfth constraint is indicates the 0-1 variable representing the presence or absence of blending centre. The thirteenth constraint limits ethanol from one plant to one blending centre respectively. Last, the fourteenth constraint is limitation constraint for number of blending centre.

4. APPLICATION IN THE NORTHEASTERN OF THAILAND

An existing sugar industry in the northeastern region of Thailand is chosen for illustration of this mathematical model. There are 19 provinces in this region with population ranges from 338,700 to 2,555,346 people (National Statistical Office of Thailand, 2008). But, there are 13 sugar mill located in only 7 provinces including Buriram, Mukdahan, Udonthanee, Kalasin, Khonkaen, Chaiyabhum and, Nakornratchasima. The excess bagasse is considered as the material for ethanol production in this case because of environmental issue. Nowadays, excess bagasses were used as a fuel for electric generation which emitted 582,177 tons of CO₂ equivalents per year (Buddadee et al., 2008). Based on the production year 2002-2003, the excess bagasse from each sugar mill has been calculated in Table 1.

Location of all 13 sugar mills and 4 blending centre can be defined by application of ArcView GIS software version 3.2 and are shown in Figure 2. The data used in this model are divided into three sets including; (1) economic data, (2) environmental data and, (3) risk data. The economic and environmental data are calculated from several factor based on LCIA and

Life Cycle Cost (LCC) method. Sources of information came from several channels such as Truck and trailer suppliers, Japan Transportation Cooperation Association, SimaPro V5.1 (LCA Software), Emergency Response Guidebook, and government sector of Thailand.

Table 1: Amount of excess bagasse in each sugar mill [5]

Plant Code	Factory	Amount of excess bagasse (Tons/year)	Plant Code	Factory	Amount of excess bagasse (Tons/year)
01	Burirum sugar mill	36,408	08	Roumkasettrakorn Utsahakam sugar mill	104,983
02	Sahareong sugar mill	34,150	09	Utsahakamkorat sugar mill	89,330
03	Reum-Udom sugar mill	68,129	10	Angwean (ratchasrima) sugar mill	89,952
04	Kasetphon sugar mill	52,631	11	N.Y. sugar mill	61,628
05	Kumpawapee sugar mill	52,303	12	Utsahakamnamtan-Esarn sugar mill	36,663
06	Khon-kaen sugar mill	87,092	13	Mitrkalasin sugar mill	61,259
07	Mitrphuiwieng sugar mill	90,239		Total	864,406

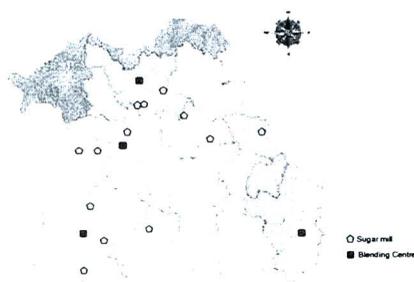


Figure 3: Location of sugar mill and blending centre in northeastern of Thailand.

For the risk data, we take the population exposure bandwidth as 800m in all direction along the distance from the potential ethanol plant to blending centre. This bandwidth is specified in the Emergency Response Guidebook for flammable liquid (Brown et al. , 2005). The population exposure data is calculated by multiply the area of bandwidth to the average population density along the distance. It is assumed that population is uniformly distributed within the province. With all data and parameters described, this model was solved using LINGO11 on a 2.20GHz Pentium Dual E2200 computer with 896 MB of RAM. However, we adjusted the unit of objective value, especially in environments and social risk, to the same unit of economics objective. For environments objective which measured global warming potential from GHGs emission, we use the estimate carbon credit price at EUA market at 7 July 2008 to multiply with GHGs emission from ethanol production and transportation. For social risk, we took spill compensation from official daily wage as ministry of labor announcement at 1 June 2008.

Thirteen cases were considered by varying the weight in each objective. Case 1 was uniformly weight of economics, environment and, social risk. Case 2 was increases priority for economic objective (50%) and decreases other objectives. Case 3 was still focus on economics objective by weight 67% to economics, 16.5% to environment and, 16.5% to social risk. Case 4 was still focus on economics objective by weight 84% to economics, 8% to environment and, 8% to social risk. Case 5 is only focus on economics objective. Case 6 was increases priority for environments objective (50%) and decreases other objectives. Case 7 was still focus on environments objective by weight 67% to environments, 16.5% to economics and, 16.5% to social risk. Case 8 was still focus on environments objective by weight 84% to environments, 8% to economics and, 8% to social risk. Case 9 is only focus on environments objective. Case 10 was changed the 1st priority to social risk by weighted 50% and increasing to 67%, 84% and 100% in case 11, 12 and 13 respectively. Potential ethanol plants in all 13 cases were forced to be opened at least one plant. The opened ethanol plants have to send their ethanol to at least one blending centre.

Table 2: Optimum location of ethanol plant and their cost.

Case	Priority			Plant to be opened	Objective value (Million Baht)
	Econ	Envi	Risk		
1	33%	33%	33%	03, 13	164.9
2	50%	25%	25%	07, 10	74.7
3	67%	16.5%	16.5%	02,03, 04	53.7
4	84%	8%	8%	02,04	37.1
5	100%	0%	0%	02, 08	12.8
6	25%	50%	25%	07, 10	52.5
7	16.5%	67%	16.5%	02, 07, 13	61.0
8	8%	84%	8%	02, 04	70.6
9	0%	100%	0%	02, 04, 06, 08	7.52
10	25%	25%	50%	03, 07, 10	467.9
11	16.5%	16.5%	67%	01, 02, 08	435.2
12	8%	8%	84%	01, 03, 07, 13	509.2
13	0%	0%	100%	05	148.9

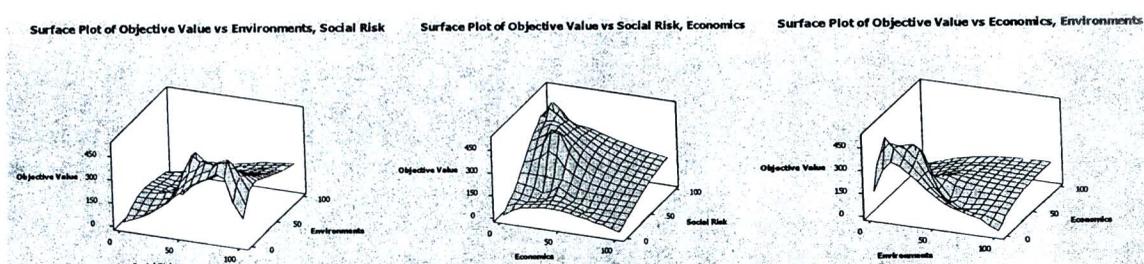


Figure 4: Surface Plot of objective value vs each objective.

By varying weight between three objectives, the result is dissimilar according to weight applied. Minimum objective value was shown in case 9 with prioritized 100% environments objective. The main reason of the lowest objective value came from benefit of carbon credit trading as Clean Development Mechanism (CDM) policy.

5. CONCLUSION AND RECOMMENDATION

The multi-objective model in this paper is combination of the serial, 2-echelon production system and location analysis. Three objectives is considered consist of economic objective, environmental objective and, social risk objective. Location analysis for excesses bagasses from sugar industry in Northeastern of Thailand is considered. The LCIA and LCC procedure implemented in this case to define the constant in objective function and constraints. For social risk, we assume population exposure bandwidth by applied the Emergency Response Guidebook for flammable liquid along the route of transportation ethanol from decided location to optimal blending centre. Thirteen cases in various weight proportions between economics, environmental and, social risk are solved with LINGO11. The optimal solution of each case was different. In the future research, this model should be applied to be a multi-objective location-routing problem. Moreover, the model could be improved for several productions planning due to proportion of utilized bagasse for generate electricity and ethanol production.

REFERENCES

- Alumur, S., Kara, B.Y. (2007) A new model for the hazardous waste location-routing problem," *Computers & Operations Research*, **34**,1406-1423.
- Brown, D.F., Policastro, A.J., Dunn W.E., Carhard, R.A., and Krumpolc, M. (2005) *Development of the Table of Initial Isolation and Protective Action Distances for the 2004 Emergency Response Guidebook*, Chicago: Argonne National Laboratory.
- Buddadee, B., Wirojanakud, W., Watts, D., Pitakaso, R. (2008) The Development of Multi-Objective Optimization Model for Excess Bagasse Utilization: A Case Study for Thailand, *Environmental Impact Assessment Review*,**25**, 380-391.
- EMIT Environmental Brokers. (2008) Carbon market overview. <http://www.emit-markets.com/content/view/24/103/> (Online Sources)
- Jacobsen, S.K. and Madsen, O.B.G, L. (1980) A comparative study of heuristics for a two-level routing-location problem. *European Journal of Operational Research*, **6**, 378-387.
- Ministry of Labor.(2008) Thailand Basic Wage Overview. http://www.mol.go.th/statistic_01.html (Online Sources)
- Nanthasamroeng,N., Pitakaso, R., and Buddadee,B. (2008) A multi-objective model for multi-echelon location problem: Application in ethanol plant location analysis in Thailand. *Proceeding of the Asia conference on Intelligent Manufacturing & Logistics Systems, Waseda University, Kitakyushu, Japan.*
- National Statistical Office of Thailand. (2008) Population and Housing Cencus 2000. http://service.nso.go.th/nso/nsopublish/service/serv_poph43.html
- ReVelle, C.S., Eiselt, H.A. (2005) Location analysis: A synthesis and survey," *European Journal of Operational Research*.**165**,1-19.

AUTHOR BIOGRAPHIES

Natthapong Nanthasamroeng is a Ph.D. candidate in Industrial Engineering, Ubon Rajathanee University, Thailand. His research interests include multi-objective combinatorial optimization. His email address is nnanthas@yahoo.com

Dr. Rapeepan Pitakaso is an Assistant Professor in Department of Industrial Engineering, Ubon Rajathanee University, Thailand. He received a Ph. D. in "Business Administration: Production, Operation and Logistical Management" from University of Vienna, Austria in 2005. His teaching and research interests include optimization, logistics and supply chain management, software development, database management. His email address is touch@rocketmail.com

Dr. Bancha Buddadee is an Assistant Professor in Department of Mechanical Engineering, Ubon Rajathanee University, Thailand. He received a Ph. D. in "Environmental

Nanthasamroeng et al.

Management” from Chulalongkorn University, Thailand in 2007. His teaching and research interests include optimization system, renewable energy, waste exchange management. His email address is <bancha_eng@yahoo.com>

ภาคผนวก ค

บทความตีพิมพ์

**The 4th International Congress on logistics and
SCM System
(ICLS 2008 Bangkok)**

A BI-OBJECTIVE MODEL FOR MULTI-ECHELON LOCATION PROBLEM: APPLICATION IN ETHANOL PLANT LOCATION ANALYSIS IN NORTHEASTERN THAILAND

**Kiatisak Pranet † Natthapong Nanthasamroeng
Rapeepan Pitakaso Bancha Buddadee**

*Department of Industrial Engineering
Ubon Rajathanee University, Ubon Ratchathani 13490, THAILAND
+664-526-2988, Email: jiou_kiatisak@hotmail.com, nnanthas@yahoo.com,
touch@rocketmail.com, bancha_eng@yahoo.com*

Abstract

This paper presents a bi-objective model which is used to select location to establish ethanol plant among all candidates and transport ethanol to suitable blending center. This study aims to select appropriate cassava-flour plant(s) to operate as the ethanol plant which uses cassava residue as raw material. All ethanol which is produced from opened ethanol plant will be transported to appropriate existing blending center. Two objectives are considered: (1) minimize an operating cost and transportation cost and (2) minimize a societal risk from ethanol transportation and locating. An implementation of the model in the northeastern region of Thailand is presented.

Keywords: Ethanol plant; Location analysis; Multi-echelon location; bi-objective model

1. INTRODUCTION

Global warming is the increase in the average measured temperature of the Earth's. The average global air temperature near the Earth's surface increased 0.74 ± 0.18 °C during the 100 years. Increasing global temperature is expected to cause sea levels to raise, an increase in the intensity of extreme weather events, and significant changes to the amount and pattern of precipitation, likely leading to an expanse of tropical areas and increased pace of desertification. Other expected effects of global warming include changes in agricultural yields, modifications of trade routes, glacier retreat, mass species extinctions and increases in the ranges of disease vectors.

In the most recent year, the world faced two major problems which are climate changed and the oil crisis. These problems not only affect the environment but also cause the changing of transportation and logistics planning. For oil crisis, using alternative energy for vehicle is one of possible solution. Nowadays, gasohol E10, which mixed 10 percent of bio-ethanol to gasoline, is the most popular alternative fuel for automobile user. Moreover, several car manufacturers are developing new engine which can use a new gasohol which mixed ethanol up to 85 percent to gasoline.

There are several type of material for producing ethanol, but most of ethanol production are from agricultural or agro-industries products such as cassava, sugarcane, and barley. Once, E10 starts a production line at a cassava field or cassava-flour plant (use residue of the cassava). The Materials were sent from their source to produce ethanol at the plant. Then, the ethanol, a kind of hazardous material, will be transported to gasohol blending center and mix to gasoline.

In this paper, we present a bi-objective model to locate the ethanol plant and transport both material and ethanol along the link of transportation route. The aim of our model is to decide where to open ethanol plant and the gasohol blending center. Two objectives are

considered including; (1) minimize total cost, (2) minimize a societal risk from ethanol locating the ethanol plant and the transportation of ethanol to blending center. The frame of mathematical model in this paper is shown in Fig.1

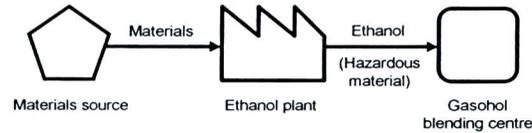


Figure 1: Ethanol and gasohol (E10) production framework.

In the following section, existing literature will be reviewed in section 2. A proposed mathematical model is introduced in section 3 and, in section 4, implementation of ethanol production from residue of the cassava in the northeastern of Thailand is presented. Finally, some conclusion and recommendation for future study are provided in section 5.

2. LITERATURE REVIEW

Facility location problem is the problem which determines the most appropriate location to locate the distribution center, warehouse or production plant. ReVelle and Eiselt [1] said that facility location problem composes of four components of location problem including; (1) customer who are already located at points or on the routes, (2) facilities that will be located, (3) a space where customers and facility located, and (4) a metric that indicates distances or times between customers and facilities. Normally facility location problem has been study in single objective. Buncha et al. [5] present multi objective model to locate the ethanol plant which is produced from bagasses. These two objectives which are interested in [5] are environment impact and the transportation cost. In this research, raw material used has been changed from bargasse to cassava residue. The Risk of population that can be effected when ethanol plant exposed, is considered. Moreover, we take into account the risk of people that living along the transportation route of the ethanol to blending center.

3. MATHEMATICAL MODEL

The model formulated has two objectives which are economic and social risk. The economic objective composes of four parts. First part is the cost corresponds to the material cost of the cassava residue delivered from cassava-flour plant to the ethanol plant. The second term is the transportation cost from the cassava-power plant to the opened ethanol plant. Third cost term is the locating cost of the ethanol plant. In this model we did not consider the fixed cost of the blending center because blending center already exists. The fourth cost component is the cost reflected the transportation cost of the ethanol from opened ethanol plant to selected blending center.

The second objective is to minimize the social risk composed of two cost term which is multiplied to cost of risk per unit. The first cost is risk from transport ethanol to blending center and second term is risk of people who are living around selected ethanol plant.

The following indices, parameters and, decision variables are used in the mathematical model:

Parameters:

i	number of cassava-flour plant.	k	number of existing blending center.
j	number of candidate ethanol plant.	m	cost of material per unit
θ	cost of transportation one unit of material	a	cost of transportation one unit of ethanol
c	cost of base case ethanol plant	s	size of base case ethanol plant
n_{ij}	amount of material transported through link (i,j)	e_{jk}	amount of ethanol transported through link (j,k)
o_i	amount of material available in generation node i	N	maximum number of ethanol plant
λ_j	amount of ethanol produced in ethanol plant j	d_{ij}	distance between material generation

r_{jk} distance between potential ethanol plant and blending center ; M node and potential ethanol plant maximum number of blending center
 ϕ production efficiency factor for utilization of material from biomass to ethanol
 POP_{jk} number of population in the bandwidth for ethanol along link (j,k)
 POP_U_j number of population in the bandwidth for ethanol plant (j)



1) Economic objectives

$$\text{Minimize} \quad \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I mn_{ij}y_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \theta d_{ij} n_{ij} y_{ij} + c \left[\frac{\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I n_{ij} y_{ij}}{s} \right]^{\text{exp}} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J ar_{jk} e_{jk} x_{jk} \quad \text{and}$$

2) Social risk objectives

$$\text{Minimize} \quad \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J POP_{jk} e_{jk} + \sum_{j=1}^J POP_j z_j \quad \text{subject to}$$

$$\sum_{j=1}^J n_{ij} y_{ij} = o_i \quad \forall i \quad (1)$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if generation node } i \text{ send material to ethanol plant } j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall i \forall j \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^J y_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (3)$$

$$z_j = \begin{cases} 1 & \text{if ethanol plant } j \text{ is open} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall j \quad (4)$$

$$z_j = y_{ij} \quad \forall i \forall j \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^J z_j \leq N \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^K e_{jk} x_{jk} = \sum_{i=1}^I \phi n_{ij} y_{ij} \quad \forall j \quad (7)$$

$$x_{jk} = \begin{cases} 1 & \text{if ethanol plant } j \text{ send ethanol to blending centre } k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall j \forall k \quad (8)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{jk} = 1 \quad \forall j \quad (9)$$

$$z_j = x_{jk} \quad \forall j \forall k \quad (10)$$

$$\omega_k = \begin{cases} 1 & \text{if blending center } k \text{ is open} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall k \quad (11)$$

$$x_{jk} = \omega_k \quad \forall j \forall k \quad (12)$$

$$\sum_{k=1}^K \omega_k \leq M \quad (13)$$

The first constraint is the mass balance constraint for material. This constraint ensures that all materials available in generation node are adequate for transportation to ethanol plant. The second constraint is indicate the 0-1 variable whether it has shipping between location i and the ethanol plant j . The third constraint force node i to send the material to ethanol plant exactly one time. Constraint (9) use the same idea as (3) but for the shipping between node j and k . The fourth constraint indicate the binary behavior of open or close potential ethanol plant while (11) use to determine the appropriate blending center to the selected ethanol plant. The (5) and (10) constraint ensures that the shipping in and out (respectively) can happen only with the opened ethanol plant while (12) ensure the shipping in of the ethanol to opened blending center. The sixth constraint is used to control the maximum number of ethanol plant the same is applied to (13) which use to control the maximum number of blending center that can be opened. (7) is mass balance constraint between the ethanol that can be produced from ethanol plant j and the amount of shipping out to blending k .

4. APPLICATION IN THE NORTHEASTERN OF THAILAND

There are 26 cassava-flour plants in north eastern of Thailand. Each plant has cassava residue which can be used as raw material of ethanol production plant. Table 1 show the amount of cassava residue produced from each plant.

There are 26 nodes represent location of cassava-flour plants, 4 nodes represent location of blending center. The node information is shown in Table 2. The factory code that start with E is the cassava-power plant (also be candidates to build ethanol factory) and the one which start with B represents blending center. Location of all cassava-flour plants and blending center can be defined by application of ArcView GIS software version 3.2 and are shown in Figure 2.

The data used in this model are divided into two sets including; (1) economic data and (2) risk data. The economic data are calculated from several factor based on LCIA and Life Cycle Cost (LCC) method [5]. We conclude sources of all information detail in Table 4. For the risk data, we take the population exposure bandwidth as 800 meters in all direction along the distance from the potential ethanol plant to blending center. This bandwidth is specified in the Emergency Response Guidebook for flammable liquid [8]. The population exposure data is calculated by multiply the area of bandwidth to the average population density along the distance. It is assumed that population is uniformly distributed within the province. This model is solved by LINGO version 11 on a 1400 MHz Pentium M computer with 496 MB RAM.

However, we adjusted the unit of objective value, social risk, to the same unit of economics objective. For social risk, we took spill compensation from official daily wage as ministry of labor announcement at 1 June 2008. Eleven cases were considered by varying the weight of two objectives from 1.0 and 0.0 and from 0.0 to 1.0 in step of 0.1.

Potential ethanol plants in all 11 cases were forced to be opened at least one plant. The opened ethanol plants have to send their ethanol to at least one blending center.

Table 3 summarizes optimal locations of ethanol plant among 26 potential candidates. Plant code shown in Table 3 is referred to Table 1 in detail. 10 out of 11 cases generate the same solution (E11 is opened as ethanol plant) and have the same cost. The first case is only one solution that can find different opened ethanol plant (E02). Figure 3 shows the different distribution mode of both optimal solutions. All cases blending center number 2 (B02) is the only one blending center that appropriate for opened location.

5. CONCLUSION AND RECOMMENDATION

The bi-objective model in this paper is combination 2-echelon production system and location analysis. Two objectives is considered consisted of economic objective, and social risk objective. Location analysis for cassava residue from cassava-flour plant in Northeastern

of Thailand is considered. For social risk, we assume population exposure bandwidth by applied the Emergency Response Guidebook (Brown et al., 2005) for flammable liquid along the route of transportation ethanol from decided location to optimal blending center. From the result shown in Section 4, in first case E11 is selected to be ethanol plant because in this case all cost represents the transportation and material cost of the material delivered to ethanol plant and from ethanol plant to blending center. We can see clearly from Figure 3(b) that E11 is the one which has lowest transportation cost. The remaining cases, the solution try to avoid risk from locating the ethanol plant close to high population density area. In the future research, the environment objectives need to be added in the model to utilize this model to reduce the global warming crisis.

Table 1: Amount of cassava residue produced from each cassava-flour plant.

Plant Code	Amount of cassava residue (Tons/day)	Plant Code	Amount of cassava residue (Tons/year)
E01	100	E 14	50
E02	82.5	E 15	75
E03	150	E 16	375
E04	100	E 17	95
E 05	75	E 18	150
E 06	125	E 19	100
E 07	125	E 20	125
E 08	50	E 21	200
E 09	175	E 22	25
E 10	25	E 23	75
E 11	50	E 24	135
E 12	135	E 25	275
E 13	250	E 26	175
total			3297.5

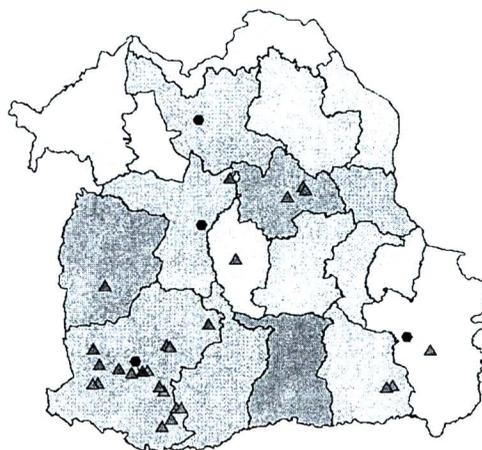


Figure 2: Location of cassava-flour plant and blending center in northeastern of Thailand.

Table 2: Nodes information

Factory code	X	Y	Factory code	X	Y
E01	1152.038	1673.533	E 16	865.1766	1597.308
E02	799.1603	1743.087	E 17	829.5003	1647.33
E03	911.3828	1701.56	E 18	870.3426	1596.949
E04	864.5488	1628.033	E 19	935.0706	1770.544
E 05	790.3184	1639.16	E 20	1110.692	1635.086
E 06	785.0298	1671.318	E 21	1104.892	1849.031
E 07	814.4977	1653.742	E 22	997.6155	1837.675
E 08	789.9572	1651.678	E 23	1014.176	1849.031
E 09	858.4988	1633.198	E 24	879.7849	1598.61
E 10	780.2028	1641.849	E 25	936.4849	1861.54
E 11	838.5298	1651.472	E 26	1017.215	1847.659
E 12	879.8105	1598.416	B 01	1126.977	1688.356
E 13	862.737	1627.286	B 02	835.4756	1655.761
E 14	866.8005	1679.411	B 03	902.7053	1924.857
E 15	840.5833	1649.706	B 04	906.3682	1809.792

Table 3: Optimal location of ethanol plant.

Case	Plant to be opened		Objective value (Million Baht)	
	Econ	Risk	Opened location	Appropriate blending center
1	1.0	0.0	E11	B02
2	0.9	0.1	E02	B02
3	0.8	0.2	E02	B02
4	0.7	0.3	E02	B02
5	0.6	0.4	E02	B02
6	0.5	0.5	E02	B02
7	0.4	0.6	E02	B02
8	0.3	0.7	E02	B02
9	0.2	0.8	E02	B02
10	0.1	0.9	E02	B02
11	0.0	1.0	E02	B02

Table 4: Information of economics, and risk used in the model.

Process	Information	Sources
Transportation	-Transportation cost -Vehicles maintenance cost -Dimension of truck's cabin -Population exposure and risk -Spill compensation	-Truck and trailer suppliers - Japan Transportation Cooperation Association, 2004 - PTT, 2006 - Emergency Response Guidebook, 2005 - National Statistical Office of Thailand, 2008 -Ministry of Labor, 2008
Ethanol production	-Lignocellulosic biomass to ethanol process utilizing co-current dilute acid prehydrolysis and enzymatic hydrolysis	-Kadam,2002 -Wooley et al.,1999 -Aden et al.,2002

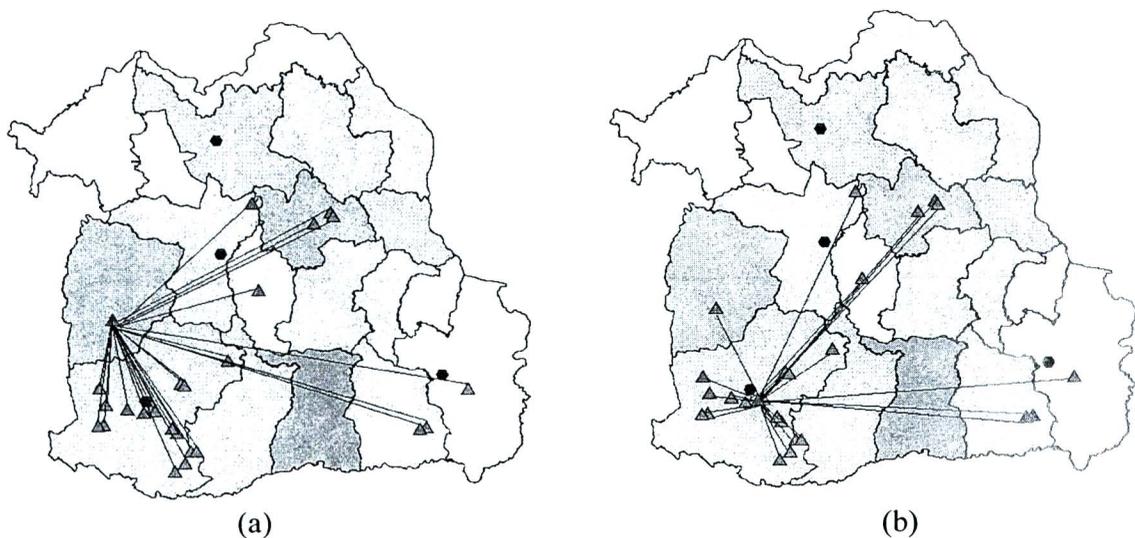


Figure 3 shows the solution represent the optimal solution which E 02(a) or E11 (b) is the optimal location.

REFERENCES

- Alumur, S., Kara, B.Y. (2007) A new model for the hazardous residue location-routing problem,” *Computers & Operations Research*, **34**,1406-1423.
- Brown, D.F., Policastro, A.J., Dunn W.E., Carhard, R.A., and Krumpolc, M. (2005) *Development of the Table of Initial Isolation and Protective Action Distances for the 2004 Emergency Response Guidebook*, Chicago: Argonne National Laboratory.
- Buddadee, B., Wirojanakud, W., Watts, D., Pitakaso, R. (2008) The Development of Multi-Objective Optimization Model for Excess Bagasse Utilization: A Case Study for Thailand, *Environmental Impact Assessment Review*,**25**, 380-391.
- EMIT Environmental Brokers. (2008) Carbon market overview. <http://www.emit-markets.com/content/view/24/103/> (Online Sources)
- Jacobsen, S.K. and Madsen, O.B.G, L. (1980) A comparative study of heuristics for a two-level routing-location problem. *European Journal of Operational Research*, **6**, 378-387.
- Minnesota Pollution Control Agency (2007) *Planning and Constructing an Ethanol Plant in Minnesota: A Guidance Document*. Minesota. U.S.A.
- Ministry of Labor.(2008) Thailand Basic Wage Overview. http://www.mol.go.th/statistic_01.

html (Online Sources)

- Nanthasamroeng, N., Pitakaso, R., and Buddadee, B. (2008) A multi-objective model for multi-echelon location problem: Application in ethanol plant location analysis in Thailand. *Proceeding of the Asia conference on Intelligent Manufacturing & Logistics Systems, Waseda University, Kitakyushu, Japan.*
- National Statistical Office of Thailand. (2008) Population and Housing Census 2000. http://service.nso.go.th/nso/nsopublish/service/serv_poph43.html
- ReVelle, C.S., Eiselt, H.A. (2005) Location analysis: A synthesis and survey," *European Journal of Operational Research*. **165**,1-19.
- Wooley, R., Ruth, M., Sheehan, J., Majdeski, H., and Galvez, A. (1999) Lignocellulosic biomass to ethanol process design and economic, utilizing co-current dilute acid prehydrolysis and enzymatic hydrolysis: current and futuristic scenarios *NREL Report No. TP-580-26157, CO: National Renewable Energy Laboratory.*

AUTHOR BIOGRAPHIES

Kiatissak Pranet is a Master student in industrial engineering Ubonratchathani University, Thailand. He received his bachelor degree of computer science in Ubon ratchathani Rajaphat University, Thailand. Now he is working as a teacher assistant in department of Industrial engineering Ubon Racthathani Univesity and intensive working in area of Software development.

Natthapong Nanthasamroeng is a Ph.D. candidate in Industrial Engineering, Ubon Rajathanee University, Thailand. He received a M.BA. from the School of Business Administration at Rangsit University in 2005 and B.Eng (Mechanical Engineering) from Chiang Mai University in 1999. He had worked for Robere & Associates (Thailand) as management consultant. He had also worked for MINEBEA group of companies as production and engineering manager for vehicle's electromagnetic clutch division . His research interests include multi-objective combinatorial optimization, occupational health and safety, environmental management system for SMEs. He was granted from Thailand Research Fund for several research projects. His email address is <nnanthas@yahoo.com>

Dr. Rapeepan Pitakaso is an Assistant Professor in Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Rajathanee University, Thailand. He received a Ph. D. in "Business Administration: Production, Operation and Logistical Management" from University of Vienna, Austria in 2005. He has worked for Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Rajathanee University, Thailand since 1998. His teaching and research interests include optimization, operation and production management, logistics and supply chain management, software development, database management. He was awarded several scholarships such as Royal Thai government scholarship (2001-2003), Tim Kendal Price for the most outstanding student in academic performance, AIT (2003), and Austrian government scholarship (2003-2005). His email address is <touch@rocketmail.com>

Dr. Bancha Buddadee is an Assistant Professor in Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Rajathanee University, Thailand. He received a Ph. D. in "Environmental Management" from Chulalongkorn University, Thailand in 2007. His teaching and research interests include optimization system, renewable energy, public sector management, residue exchange management. He has involved in several projects such as design of municipality residuewater system (Nakornratchasrima, Thailand), provincial strategic planning on energy (Nakornpanom, Mukdaharn, and Kalasin, Thailand). His email address is <bancha_eng@yahoo.com>

ภาคผนวก ง

บทความตีพิมพ์

วารสารงานวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ฉบับที่ 3 เดือน มีนาคม 2552

การแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งแบบหลายวัตถุประสงค์ และหลายลำดับชั้น: กรณีศึกษาโรงงานผลิตเอทานอลจากชานอ้อย ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

Solving a multi-stage multi-objective location problem (MMLP): a case study in a bagasse ethanol plant in northeastern Thailand

นัทธพงศ์ นันทสำริง (Natthapong Nanthasamroeng)¹*

ระพีพันธ์ ปิตาคะโส (Rapeepan Pitakaso)²

บรรชา บุคคาคี (Bancha Buddadee)³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลที่ใช้วัตถุดิบจากชานอ้อยเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำตาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยภายใต้วัตถุประสงค์ด้านเศรษฐศาสตร์, สิ่งแวดล้อม และความเสี่ยงด้านความปลอดภัย ซึ่งรูปแบบการขนส่งจะเป็นแบบหลายลำดับชั้น คือพิจารณาการขนส่งวัตถุดิบจากแหล่งวัตถุดิบไปยังโรงงานเอทานอล และการขนส่งเอทานอลจากโรงงานผลิตไปยังคลังน้ำมันย่อยเพื่อทำการผสมเป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์และจำหน่ายต่อไป จากการประมวลผลพบว่า การให้น้ำหนักในสมการเป้าหมายมีผลต่อจำนวนและสถานที่ตั้งของโรงงานที่จะเปิด รวมทั้งมีผลต่อค่าของสมการเป้าหมายอีกด้วย ซึ่งพบว่า โรงงานน้ำตาลกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานีมีศักยภาพที่จะเปิดเป็นโรงงานผลิตเอทานอลจากชานอ้อยมากที่สุด โดยโรงงานดังกล่าวมีอัตราการเปิดเป็นโรงงานเอทานอลถึงร้อยละ 93.33 เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองเปลี่ยนน้ำหนักของสมการเป้าหมาย 15 กรณี

Abstract

The aim of this study was to find out locations for ethanol plants which utilize bagasse from the sugar industries in northeastern Thailand as raw material. Three objectives were determined in this study including economic, environmental and social objectives. This study was delineated as a multi-stage location problem. Firstly, bagasse was delivered from a sugar mill to the ethanol plant, then ethanol was transported to a blending centre and mixed to be gasohol (E10) for vehicles. From the computational results, the weighting factor in each objective function significantly affects both the number of opened ethanol plants and objective value. Moreover, the study results show that Kumpawapee sugar mill at Udonthani was a potential ethanol plant due to its 93.33% opening rate, while changing weight factors in 15 cases.

คำสำคัญ: ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง, โรงงานผลิตเอทานอลจากชานอ้อย, การตัดสินใจแบบหลายวัตถุประสงค์

Keywords: Location allocation problem, bagasse ethanol plant, multiobjective optimization

¹ อาจารย์ สาขาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

* corresponding author, e-mail: nnanthas@yahoo.com

บทนำ

วิกฤตด้านพลังงานของประเทศไทยมีแนวโน้มที่จะรุนแรงขึ้นเรื่อยๆ นับแต่ราคาน้ำมันดิบในตลาดโลกเพิ่มสูงขึ้นโดยไม่มีทีท่าว่าจะลดลงซึ่งมาตรการหนึ่งที่หลายประเทศใช้กันคือการหาพลังงานทดแทนมาใช้ และรูปแบบหนึ่งของพลังงานทดแทนที่นิยมใช้คือการใช้เอทานอลผสมกับน้ำมันแก๊สโซลีนหรือเบนซินหรือที่เรียกว่าน้ำมันแก๊สโซลอลล์นั่นเอง

จากข้อมูลการใช้น้ำมันแก๊สโซลอลล์ภายในประเทศซึ่งเพิ่มสูงขึ้นตลอดเวลา แสดงให้เห็นแนวโน้มการขาดแคลนของเอทานอลที่ผลิตได้ภายในประเทศ ดังนั้นรัฐบาลโดยคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (Board of investment; BOI) จึงได้ส่งเสริมให้มีการสร้างโรงงานเอทานอลเพิ่มขึ้นในทุกภูมิภาคในประเทศไทยซึ่งพบว่ามีโรงงานเอทานอลที่ได้รับอนุญาตให้เปิดดำเนินการทั้งในระยะที่หนึ่ง และระยะที่สองอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือถึง 13 โรงงานจากทั้งหมด 24 โรงงาน และจะมีกำลังการผลิตรวมกันกว่า 2.4 ล้านลิตรต่อวัน หรือคิดเป็น 62% ของกำลังการผลิตทั้งประเทศ (กระทรวงพลังงาน, 2550)

อย่างไรก็ตามหากพิจารณาถึงวัตถุดิบที่จะนำมาผลิตเป็นเอทานอลแล้วจะพบว่าโดยมากจะเป็นกากน้ำตาล, อ้อยสด และมันสำปะหลัง ซึ่งวัตถุดิบดังกล่าวต่างก็มีความต้องการในการใช้จากอุตสาหกรรมอื่นๆ ในปริมาณที่มากอยู่แล้ว ดังนั้นโรงงานเอทานอลที่จะดำเนินการผลิตในอนาคตอาจประสบปัญหาอุปทานส่วนขาดของวัตถุดิบได้

งานวิจัยนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อหาสถานที่ตั้งของโรงงานเอทานอลที่ใช้วัตถุดิบเป็นชานอ้อยจากโรงงานน้ำตาลภายใต้วัตถุประสงค์ด้านเศรษฐศาสตร์, สิ่งแวดล้อม และความเสียด้านความปลอดภัย

ReVelle and Eiselt (2005) ได้ระบุว่าปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งจะมีลักษณะเฉพาะอยู่ 4 ประการด้วยกันคือ (1) ลูกค้านั้นมีที่ตำแหน่งที่ตั้งแน่นอนอยู่แล้วที่ใดที่หนึ่ง หรืออยู่บนเส้นทางขนส่ง, (2) โรงงานที่ต้องการหาตำแหน่งที่ตั้ง, (3) ที่ตั้งซึ่งลูกค้าและโรงงานตั้งอยู่ และ (4) ค่าระยะทางหรือเวลาในการเดินทางระหว่างโรงงานกับลูกค้า

Minnesota Pollution Control Agency (2007) ร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องของรัฐ Minnesota ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้จัดทำคู่มือในการประเมินความเหมาะสมของการเลือกสถานที่ตั้งของโรงงานผลิตเอทานอล (Planning and Constructing an Ethanol Plant in Minnesota) โดยในคู่มือดังกล่าวระบุถึงปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการเลือกสถานที่ตั้งของโรงงานผลิตเอทานอล ซึ่งประกอบด้วย (1) แหล่งน้ำสำหรับใช้ในกระบวนการผลิต (Water supply) ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ที่ 4.0 - 4.8 แกลลอนต่อการผลิตเอทานอล 1 แกลลอน, (2) การบำบัดน้ำเสียที่ออกมาจากโรงงาน (Wastewater disposal), (3) ความอุดมสมบูรณ์ของวัตถุดิบทางเกษตรที่ใช้ในการผลิตเอทานอล (Feedstock availability), (4) ระบบขนส่งวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ (Transportation) เช่น สภาพถนน สถานีรถไฟ เป็นต้น, (5) ประเภทของเชื้อเพลิงที่ให้พลังงานในการผลิตเอทานอล (Type of fuel), (6) ทุนสนับสนุนหรือสิทธิประโยชน์จากภาครัฐ (Funding and economics) เนื่องจากการจัดตั้งโรงงานในบางพื้นที่อาจมีสิทธิประโยชน์ตามนโยบายส่งเสริมการลงทุนของรัฐบาล, (7) ประเด็นด้านผลกระทบต่อคนที่ในพื้นที่ (Local site issues) เช่น ฝุ่นจากการขนส่งวัตถุดิบ, เสียงจากโรงงาน, กลิ่นจากโรงงาน ฯลฯ และ (8) ความสัมพันธ์กับชุมชน (Community relations)

อย่างไรก็ตาม การศึกษาในครั้งนี้จะเป็นการเลือกสถานที่ตั้งแบบสองระดับ ซึ่งคล้ายคลึงกับปัญหาที่ Jacobsen and Madsen (1980) ได้นำเสนอไว้ คือ ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางขนส่งยานพาหนะแบบสองระดับ (two-level location-routing problem) โดยในปัญหาดังกล่าวหนังสือพิมพ์จะถูกส่งจากโรงพิมพ์ไปยังจุดกระจายสินค้าก่อนที่จะถูกส่งไปยังลูกค้าในที่สุด ซึ่งปัญหาการส่งหนังสือพิมพ์นี้จะประกอบไปด้วย (1) การหาสถานที่ตั้งของจุดกระจายสินค้า, (2) การออกแบบเส้นทางขนส่งของยานพาหนะที่ออกจากจุดกระจายสินค้า, (3) การจัดสรรลูกค้าให้กับแต่ละจุดกระจายสินค้า และ (4) การออกแบบเส้นทางขนส่งของยานพาหนะที่ออกจากจุดกระจายสินค้าไปยังลูกค้ารายต่างๆ

นอกจากนั้น ในการวิจัยครั้งนี้ยังได้กำหนดกรอบของปัญหาให้เป็นแบบหลายวัตถุประสงค์ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการตัดสินใจด้านโลจิสติกส์จะมีวัตถุประสงค์เพียงอย่างเดียวเช่น เพื่อลดระยะเวลาในการขนส่ง, ลดเวลาในการขนส่ง, ลดขนาดของยานพาหนะ หรือ, เพิ่มผลกำไรจากการดำเนินการ เป็นต้น อย่างไรก็ตามหากเป็นการตัดสินใจในวัตถุประสงค์ที่มากกว่าหนึ่งวัตถุประสงค์ สิ่งที่มีเกิดขึ้นก็คือวัตถุประสงค์บางอย่างจะเกิดความขัดแย้งกันเองภายใน ดังนั้นจึงต้องมีการเปลี่ยนมุมมองของปัญหาให้เป็นแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multiobjective) (Jozefowicz, 2008) ซึ่งในที่นี้จะพิจารณาวัตถุประสงค์ด้านเศรษฐศาสตร์, สิ่งแวดล้อม และความเสียด้านความปลอดภัย

Buddadee et al. (2007) ได้ทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ตลอดจนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลที่ใช้ชานอ้อยซึ่งเหลือจากการผลิตน้ำตาลมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลสำหรับนำไปผสมกับน้ำมันเบนซินเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ และพบว่าการใช้ชานอ้อยดังกล่าวมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแง่ของการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก (Green house gases; GHGs) ที่ปล่อยสู่บรรยากาศซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของภาวะโลกร้อน (Global warming)

ระเบียบวิธีวิจัย

วิธีในการการดำเนินการวิจัย เริ่มจากกำหนดสถานะของปัญหา โดยกำหนดตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในรูปของกำหนดการเชิงเส้นที่เป็นจำนวนเต็ม (Integer linear programming) ที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาทำเลที่ตั้งของโรงงานผลิตเอทานอล ภายใต้วัตถุประสงค์เพื่อให้มีต้นทุนการดำเนินการที่ต่ำที่สุด, ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด และ มีความเสียด้านความปลอดภัยต่ำที่สุด โดยรูปแบบในการขนส่งจะเป็นแบบหลายลำดับชั้น ดังแสดงในรูปที่ 1

1. ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการเลือกทำเลที่ตั้ง

ก. ตัวแปรตัดสินใจ

n_{ij}	ปริมาณวัตถุดิบที่ขนส่งระหว่างเส้นทาง (i,j)
$e_{j,k}$	ปริมาณเอทานอลที่ขนส่งระหว่างเส้นทาง (j,k)
o_i	ปริมาณวัตถุดิบที่มี ณ แหล่งวัตถุดิบ i
λ_j	ปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้ ณ โรงงาน j
d_{ij}	ระยะทางระหว่างแหล่งวัตถุดิบถึงโรงงานเอทานอล
r_{jk}	ระยะทางระหว่างโรงงานเอทานอลถึงคลังน้ำมัน
POP_{jk}	จำนวนประชากรในแถบเสี่ยงที่เกิดจากเอทานอลระหว่าง (j,k)

ข. พารามิเตอร์

m	ราคาวัตถุดิบต่อหน่วย
θ	ต้นทุนการขนส่งวัตถุดิบต่อหน่วย
a	ต้นทุนการขนส่งเอทานอลต่อหน่วย
c	ต้นทุนในการสร้างโรงงานเอทานอล
s	ขนาดของโรงงานเอทานอลที่จะสร้าง
t	emission factor สำหรับการขนส่งทั้งจาก (i,j) และ (j,k)
b	emission factor สำหรับการใช้น้ำมันดีเซลในการขนส่งทั้งจาก (i,j) และ (j,k)
f	emission factor สำหรับสารเคมีที่ใช้ในการผลิตเอทานอล
γ	emission factor จากกระบวนการผลิตดีเซลที่ใช้ในการผลิตเอทานอล
g	emission factor ของ CO_2 จากการผลิตเอทานอล
h	emission factor ของ CH_4 จากการผลิตเอทานอล
δ	emission factor การผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในการผลิตเอทานอล
v	offset emission factor ของ E10 ที่เกิดจากการผลิตเอทานอลเพื่อนำมาใช้เป็นแก๊สโซฮอล์
w	offset emission factor ของ gasoline ที่เกิดจากการผลิตเอทานอลเพื่อนำมาใช้เป็นแก๊สโซฮอล์

294 การแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งแบบหลายวัตถุประสงค์และหลายลำดับชั้น:
กรณีศึกษาโรงงานผลิตเอทานอลจากชานอ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

วารสารวิจัย มช. 14 (3) : มีนาคม 2552

p	offset emission factor ของการผลิตน้ำมันเบนซินแบบดั้งเดิมที่เกิดจากการผลิตเอทานอลเพื่อนำมาใช้เป็นแก๊สโซฮอล์	N	จำนวนสูงสุดของโรงงานเอทานอลที่จะสร้าง
ϕ	production efficiency factor สำหรับการเปลี่ยนวัตถุดิบให้เป็นเอทานอล	M	จำนวนสูงสุดของคลังน้ำมันที่โรงงานเอทานอลจะส่งผลิตภัณฑ์ให้

ก. สมการเป้าหมายด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic objectives)

$$\text{Minimize} \quad \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I mn_{ij} y_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \theta d_{ij} n_{ij} y_{ij} + C \left[\frac{\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I n_{ij} y_{ij}}{S} \right]^{\text{exp}} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J ar_{jk} e_{jk} x_{jk}$$

และ

ง. สมการเป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อม (Environment objectives)

$$\begin{aligned} \text{Minimize} \quad & \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I td_{ij} n_{ij} y_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I bd_{ij} n_{ij} y_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I fn_{ij} y_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I m_{ij} y_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I gn_{ij} y_{ij} \\ & + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I hn_{ij} y_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \delta n_{ij} y_{ij} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J tr_{jk} e_{jk} x_{jk} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J br_{jk} e_{jk} x_{jk} + \\ & \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I vn_{ij} y_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I wn_{ij} y_{ij} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J pr_{jk} e_{jk} x_{jk} \end{aligned}$$

และ

จ. สมการเป้าหมายด้านความปลอดภัย (Population objective)

$$\text{Minimize} \quad \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J POP_{jk} e_{jk}$$

จ. สมการข้อจำกัด (Constraints)

Subject to;

$$\sum_{j=1}^J n_{ij} y_{ij} = o_i \quad \forall i \quad (1)$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้า node } i \text{ ส่งวัตถุดิบไปยังโรงงาน } j \\ 0 & \text{หากเป็นอย่างอื่น} \end{cases} \quad \forall i \forall j \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^J y_{ij} \geq 1 \quad \forall i \quad (3)$$

$$z_j = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าโรงงาน } j \text{ เปิด} \\ 0 & \text{ถ้าเป็นอย่างอื่น} \end{cases} \quad \forall j \quad (4)$$

$$z_j = y_{ij} \quad \forall i \forall j \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^J z_j \leq N \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^K e_{jk} x_{jk} = \lambda_j \quad \forall j \quad (7)$$

$$\lambda_j \leq \phi_{ij} \quad \forall i \forall j \quad (8)$$

$$x_{jk} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าโรงงาน } j \text{ ส่งเอทานอลให้คลังน้ำมัน } k \\ 0 & \text{ถ้าเป็นอย่างอื่น} \end{cases} \quad \forall j \forall k \quad (9)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{jk} \geq 1 \quad \forall j \quad (10)$$

$$z_j = x_{jk} \quad \forall j \forall k \quad (11)$$

$$\omega_k = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าคลังน้ำมัน } k \text{ เปิดรับเอทานอล} \\ 0 & \text{ถ้าเป็นอย่างอื่น} \end{cases} \quad \forall k \quad (12)$$

$$x_{jk} = \omega_k \quad \forall j \forall k \quad (13)$$

$$\sum_{k=1}^K \omega_k \leq M \quad (14)$$

สมการเป้าหมายด้านเศรษฐศาสตร์ประกอบด้วย 4 พจน์ คือ (1) สมการต้นทุนด้านวัตถุดิบซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณวัตถุดิบและราคาวัตถุดิบ, (2) สมการต้นทุนด้านการขนส่งวัตถุดิบซึ่งขึ้นอยู่กับระยะทางการขนส่ง ปริมาณวัตถุดิบที่ขนส่งและค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่อหน่วย (3) สมการต้นทุนในการผลิตเอทานอลซึ่งในที่นี้ให้ความสำคัญกับขนาดของโรงงานตามหลักของความประหยัดเนื่องจากขนาด (Economy of scale) โดยใช้สมการในรูปของฟังก์ชันปัจจัยด้านขนาด (Scaling factor) (Buddadee, 2008)

สมการเป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อมจะอ้างอิงปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกจากกระบวนการต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยสมการ 12 พจน์ คือ (1) ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการขนส่งวัตถุดิบปริมาณ m ผ่านเส้นทาง (i,j) (2) ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้น้ำมันดีเซลในการขนส่งวัตถุดิบปริมาณ m ผ่านเส้นทาง (i,j) (3) ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้สารเคมีในการผลิตเอทานอล (4) ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการผลิตน้ำมันดีเซลเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล (5) ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการคาร์บอนไดออกไซด์ในการผลิตเอทานอล (6) ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดมีเทนในการผลิตเอทานอล (7) ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในการผลิตเอทานอล (8) ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการขนส่งเอทานอลปริมาณ e ผ่านเส้นทาง (j,k) (9) ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้น้ำมันดีเซลในการขนส่งเอทานอลปริมาณ e ผ่านเส้นทาง (j,k) (10) ค่าชดเชยของการนำเอทานอลมาผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์แทนที่จะนำไปเผาเพื่อผลิตไฟฟ้าซึ่งจะปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่า (11) ค่าชดเชยของการนำเอทานอลมาผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์แทนที่จะใช้น้ำมันเบนซินปกติ

สำหรับสมการเป้าหมายด้านความปลอดภัยนั้นจะอ้างอิงจาก Alumar and Kara (2007) กล่าวคือจะใช้จำนวนประชากรที่จะได้รับผลกระทบจากการที่เอทานอลเกิดการรั่วไหลระหว่างเส้นทางขนส่ง

เป็นตัวบ่งชี้ความเสี่ยง ดังนั้นสมการเป้าหมายด้านความปลอดภัยจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของประชากรต่อหน่วยพื้นที่และระยะทางจากโรงงานเอทานอลไปยังคลังน้ำมันที่ทำการผสมน้ำมันแก๊สโซฮอล์

สมการข้อบ่งชี้ (1) เป็นสมการข้อจำกัดด้านสมดุลมวลเพื่อให้มั่นใจว่าวัตถุดิบจะมีเพียงพอต่อการผลิตเอทานอล สมการข้อบ่งชี้ (2) และ (3) เป็นตัวแปรตัดสินใจว่าแหล่งวัตถุดิบจะส่งวัตถุดิบให้โรงงานเอทานอลที่เปิดขึ้นหรือไม่ สมการข้อบ่งชี้ (4) เป็นตัวแปรตัดสินใจว่าจะเปิดโรงงานเอทานอล j หรือไม่ สมการข้อบ่งชี้ (5) จำกัดให้มีการรับวัตถุดิบจากแหล่งเดียวสำหรับโรงงานเอทานอล 1 โรงงาน

สมการข้อบ่งชี้ (6) จำกัดจำนวนของโรงงานเอทานอลที่จะเปิด สมการข้อบ่งชี้ (7) เป็นสมการข้อจำกัดด้านสมดุลมวลสำหรับเอทานอลที่ผลิตได้ สมการข้อบ่งชี้ (8) กำหนดประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอล สมการข้อบ่งชี้ (9) และ (10) เป็นตัวแปรตัดสินใจว่าโรงงานเอทานอลที่เปิดจะส่งผลิตภัณฑ์ไปให้คลังน้ำมันใด สมการข้อบ่งชี้ (11) กำหนดให้โรงงานเอทานอล 1 โรงส่งผลิตภัณฑ์ไปให้คลังน้ำมันได้เพียง 1 คลังเท่านั้น สมการข้อบ่งชี้ (12) กำหนดตัวแปรตัดสินใจว่าคลังน้ำมันใดที่เปิดรับผลิตภัณฑ์บ้าง สมการข้อบ่งชี้ (13) จำกัดว่าโรงงานเอทานอลต้องส่งผลิตภัณฑ์ให้คลังน้ำมันในลักษณะหนึ่งต่อหนึ่งเท่านั้น และสมการข้อบ่งชี้ (14) จำกัดจำนวนของคลังน้ำมันที่เปิดรับเอทานอล

2. กรณีศึกษาโรงงานเอทานอลจากขานอ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

โรงงานน้ำตาลจำนวน 13 โรงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้ถูกกำหนดให้เป็นแหล่งวัตถุดิบและเป็นทั้งจุดที่มีศักยภาพในการตั้งโรงงานผลิตเอทานอลด้วย โดยโรงงานทั้งหมดกระจายตัวอยู่ใน 7 จังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งประกอบด้วย บุรีรัมย์, มุกดาหาร, อุรธานี, กาฬสินธุ์, ขอนแก่น, ชัยภูมิ และ นครราชสีมา ดังแสดงในรูปที่ 2

ในงานวิจัยนี้กำหนดให้วัตถุดิบสำหรับโรงงานผลิตเอทานอลเป็นขานอ้อยหรือกากอ้อยที่เป็นวัสดุ

เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำตาล ซึ่งแต่เดิมจะนำไปเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำและไฟฟ้าเพื่อใช้ภายในโรงงาน โดยปริมาณของชานอ้อยจากโรงงานน้ำตาลมีปริมาณคงแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งจากศึกษาของ Buddadee et al. (2007) พบว่ากิจกรรมดังกล่าวก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกถึงกว่า 582,177 ตันเทียบเท่าของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี

ข้อมูลต่างๆ ที่นำมาใช้ในการตัดสินใจเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลแบ่งออกสามส่วนได้แก่ (1) ข้อมูลด้านต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์, (2) ข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อม, และ (3) ข้อมูลด้านความเสี่ยงด้านความปลอดภัย โดยข้อมูลด้านต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์และข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมเป็นข้อมูลทุติยภูมิที่ได้มาจากงานวิจัยของ Buddadee et al. (2007) ดังแสดงในตารางที่ 2

ในส่วนของข้อมูลด้านความเสี่ยงด้านความปลอดภัยนั้นคิดจากอันตรายของเอทานอลที่อาจเกิดขึ้นหากมีการรั่วไหล โดยอ้างอิง Emergency Response Guidebook for flammable liquid (2004) ซึ่งระบุแถบความเสี่ยงของเอทานอลไว้ที่ 800 เมตรในทุกทิศทาง นั่นคือจำนวนประชากรที่จะได้รับความเสี่ยงหากมีการรั่วไหลของเอทานอลจะมีค่าเท่ากับพื้นที่ของแถบความเสี่ยงคูณกับจำนวนความหนาแน่นของประชากรต่อหน่วยพื้นที่ตลอดเส้นทางรถขนส่งเอทานอลจากโรงงานผลิตไปยังคลังน้ำมัน โดยมีสมมติฐานว่าประชากรของแต่ละจังหวัดมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในแต่ละพื้นที่ของจังหวัด

ข้อมูลทั้งหมดคงที่กล่าวมาแล้วข้างต้นได้รับการประมวลผลโดยซอฟต์แวร์สำเร็จรูป LINGO 4.0 บนคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผลแบบ Pentium M 1400MHz และมีขนาดหน่วยความจำ (RAM) เท่ากับ 496 MB

อย่างไรก็ตาม เพื่อปรับให้ค่าสมการเป้าหมายเป็นหน่วยเดียวกัน ผู้วิจัยจึงใช้ค่าประมาณของราคาคาร์บอนเครดิต (Carbon credit) ในตลาด EUA ที่ราคา 27.51 ยูโรต่อตัน หรือคิดเป็นประมาณ 1,440 บาทต่อตันคาร์บอนเทียบเท่า ณ วันที่ 7 กรกฎาคม 2551 (<http://www.emit-markets.com>, 2008) และค่าชดเชยอันเกิด

จากการรั่วไหลของเอทานอล (Spill compensation) ประมาณจากค่าแรงขั้นต่ำต่อวันของจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเป็นค่าที่สูงที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คือ 170 บาทต่อวันต่อคน ณ วันที่ 1 มิถุนายน 2551 (กระทรวงแรงงาน, 2551)

ผลการทดลอง

เมื่อทำการทดลองประมวลผลโดยกำหนดน้ำหนักของแต่ละสมการเป้าหมายต่างๆ กัน โดยแบ่งเป็น 15 กรณี พบว่าจำนวนของโรงงานเอทานอลที่จะเปิด และค่าของสมการวัตถุประสงค์มีความแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 3

จากนั้น ผู้วิจัยได้นำผลที่ได้ไปสร้างแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของสมการวัตถุประสงค์และน้ำหนักของแต่ละวัตถุประสงค์โดยใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูป Minitab 15 ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 3

สรุปและอภิปรายผล

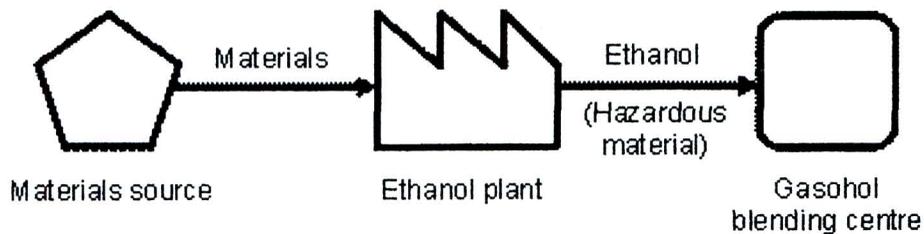
จากการทดลองพบว่า การให้น้ำหนักกับสมการเป้าหมายที่ต่างกันจะส่งผลให้มีการเปิดโรงงานเอทานอลในพื้นที่และจำนวนที่ต่างกัน โดยหากให้น้ำหนักในด้านสิ่งแวดล้อมมากกว่าปัจจัยด้านอื่นจะพบว่าจำนวนโรงงานเอทานอลที่จะเปิดจะมีจำนวนมากและกระจายตามจังหวัดต่างๆ รวมทั้งค่าของสมการเป้าหมายจะมีค่าเป็นลบ ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ชานอ้อยเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลจะช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้เป็นปริมาณมากซึ่งตามกลไกการพัฒนาที่สะอาด (Clean development mechanism; CDM) แล้วสามารถนำคาร์บอนเครดิตที่ได้ไปจำหน่ายให้ประเทศในกลุ่มที่พัฒนาแล้วได้ ดังนั้นค่าของสมการเป้าหมายจึงมีค่าเป็นลบ ในทางกลับกันหากให้น้ำหนักกับสมการเป้าหมายด้านความเสี่ยง จะพบว่าโรงงานน้ำตาลที่จะเปิดก็จะอยู่ในบริเวณจังหวัดเดียวกันกับคลังน้ำมันหรือใกล้เคียงเพื่อลดความเสี่ยงที่จะเกิดการรั่วไหลซึ่งจะทำให้ต้องจ่ายค่าชดเชยนั้นเอง

จะเห็นได้ว่าโรงงานเอทานอลมีแนวโน้มที่จะเปิดในตำแหน่งของโรงงานน้ำตาลกุ่มกวาปี จังหวัดอุดรธานีมากที่สุด กล่าวคือเมื่อมีการเปลี่ยนน้ำหนักของสมการเป้าหมายใน 15 กรณี พบว่าโรงงานน้ำตาลกุ่มกวาปีมีศักยภาพที่จะเปิดเป็นโรงงานเอทานอลมากถึง 14 กรณีหรือมีโอกาสถึงร้อยละ 93.33 ทั้งนี้เนื่องจากตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานน้ำตาลดังกล่าวอยู่ในทำเลที่ใกล้กับโรงงานน้ำตาลอื่นๆ ซึ่งทำให้การขนส่งชานอ้อยซึ่งเป็นวัตถุดิบของการผลิตเอทานอลมีต้นทุนที่ไม่สูงนักเมื่อเทียบกับการตั้งโรงงานในตำแหน่งอื่นๆ และยังส่งผลให้การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่าการขนส่งในระยะทางไกลๆ อีกด้วย

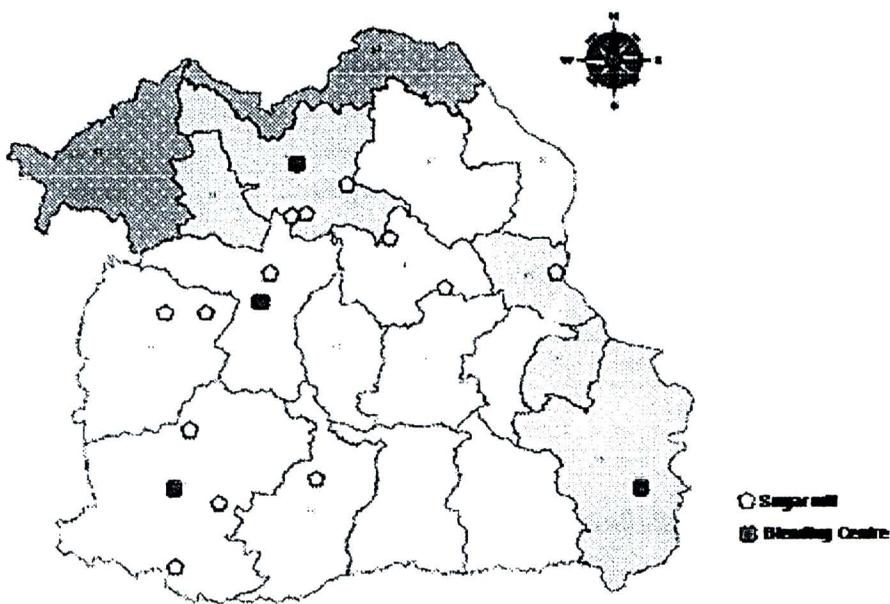
นอกจากนี้ด้วยระยะทางที่ไม่ไกลจากคลังน้ำมัน 2 แห่ง คือคลังน้ำมันอุดรธานี และคลังน้ำมันขอนแก่น จึงทำให้ความเสี่ยงที่อาจเกิดจากการรั่วไหลของเอทานอลระหว่างขนส่งมีต่ำกว่าทางเลือกที่จะเปิดโรงงานเอทานอลในตำแหน่งอื่นๆ อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

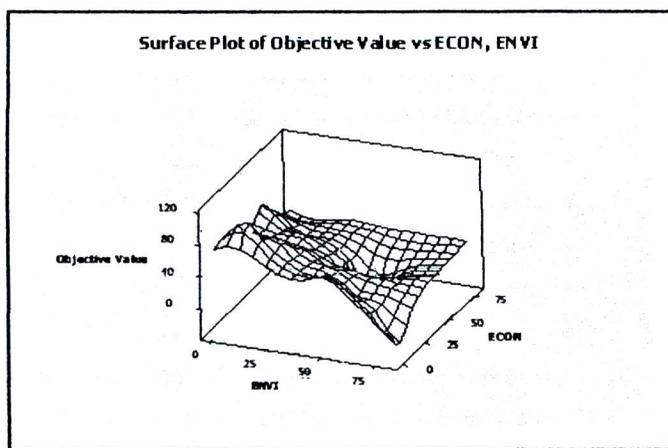
-อัตราค่าจ้างขั้นต่ำตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน 2551
http://www.mol.go.th/statistic_01.html
- กระทรวงพลังงาน. 2550. การส่งเสริมพลังงานทดแทนในภาวะราคาน้ำมันแพง. วารสารทิศทางพลังงาน. 1:65-73.
-Carbon market overview. Available on line at <http://www.emit-markets.com/content/view/24/103/>
- Alumur, S., Kara, B.Y.. 2007. A new model for the hazardous waste location-routing problem. *Computers & Operations Research*. 34:1406-1423.
- Bancha Buddadee, Wanpen Wirojanagud, Daniel J. Watts and Rapeepan Pitakaso. 2008. The development of multi-objective optimization model for excess bagasse utilization: A case study for Thailand, *Environmental Impact Assessment Review*,28(6): 380-391.
- Brown, D.F., Policastro, A.J., Dunn W.E., Carhard, R.A., and Krumpolc, M. 2005. **Development of the Table of Initial Isolation and Protective Action Distances for the 2004 Emergency Responce Guidebook**,Chicago:Argonne National Laboratory.
- Jacobsen, S.K. and Madsen, O.B.G, L. 1980. A comparative study of heuristics for a two-level routing-location problem. *European Journal of Operational Research*, 6: 378-387.
- Jozefowicz, N., Semet, F. and Talbi, E..2008. Multi-objective vehicle routing problems. *European Journal of Operational Research*. 189: 293-309.
- Minnesota Pollution Control Agency. 2007. **Planning and Constructing an Ethanol Plant in Minnesota: A Guidance Document**. Minesota. U.S.A.
- ReVelle, C.S. and Eiselt, H.A.. 2005. Location analysis: A synthesis and survey. *European Journal of Operational Research*. 165: 1-19.



รูปที่ 1. รูปแบบการผลิตเอทานอลเพื่อนำไปผสมเป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์ (E10)



รูปที่ 2. ตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานน้ำตาลและคลังน้ำมันในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ



รูปที่ 3. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของสมการวัตถุประสงค์กับน้ำหนักที่ให้กับแต่ละวัตถุประสงค์

ตารางที่ 1. ปริมาณชานอ้อยที่เหลือจากโรงงานผลิตน้ำตาลในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ลำดับที่	โรงงาน	จังหวัด	ปริมาณกากอ้อย (ตันต่อปี)
1	โรงงานน้ำตาลบุรีรัมย์	บุรีรัมย์	36,408
2	โรงงานน้ำตาลสหเรือง	มุกดาหาร	34,150
3	โรงงานน้ำตาลทรายขาวเริ่มอุดม	อุดรธานี	68,129
4	โรงงานน้ำตาลเกษตรผล	อุดรธานี	52,631
5	โรงงานน้ำตาลกุมภวาปี	อุดรธานี	52,303
6	โรงงานน้ำตาลขอนแก่น	ขอนแก่น	87,092
7	โรงงานน้ำตาลมิตรภูเวียง	ขอนแก่น	90,239
8	โรงงานน้ำตาลรวมเกษตรอุตสาหกรรม	ชัยภูมิ	104,983
9	โรงงานน้ำตาลอุตสาหกรรมโคราช	นครราชสีมา	89,330
10	โรงงานน้ำตาลอุตสาหกรรมอ่างเวียน	นครราชสีมา	89,592
11	โรงงานน้ำตาลเอ็นวาย (ครบุรี)	นครราชสีมา	61,628
12	โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลอีสาน	กาฬสินธุ์	36,663
13	โรงงานน้ำตาลมิตรกาฬสินธุ์	กาฬสินธุ์	61,259
รวม			864,406

(ที่มา: Buddadee และคณะ, 2007)

ตารางที่ 2. ข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์, สิ่งแวดล้อม และความเสียด้านความปลอดภัยที่ใช้การตัดสินใจ

กระบวนการ	ข้อมูล	แหล่งข้อมูล
การขนส่ง	• ต้นทุนค่าขนส่ง	- Truck and trailer supplier
	• ต้นทุนค่าซ่อมบำรุงยานพาหนะ	- Japan Transport Cooperation
	• ต้นทุนค่าน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่ง	Association, 2004 - PTT, 2006
	• ต้นทุนค่าจ้างพนักงานขับรถ	-SimaPro V5.1 (LCA software)
	• ขนาดความจุของรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่ง	- Emergency Response Guidebook, 2005
	• ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยออกจากยานพาหนะในการขนส่ง	- สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2008
	• ความเสียด้านความปลอดภัย	
การสร้างโรงงานผลิตเอทานอล	• ต้นทุนในการสร้างโรงงาน	- Kadam,2002
	• การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตเอทานอล	- Wooley et al.,1999 - Aden et al.,2002
		- SimaPro V5.1(LCA software)

(ที่มา: ปรับปรุงจาก Buddadee และคณะ, 2007)

ตารางที่ 3. ผลการทดลองเปลี่ยนน้ำหนักของสมการวัตถุประสงค์ในด้านต่างๆ

กรณีที่	เศรษฐศาสตร์	สิ่งแวดล้อม	ความเสี่ยงด้านความปลอดภัย	โรงงานน้ำตาลที่ควรเปิดเป็นโรงงานเอทานอล ^u	จำนวนโรงงานเอทานอล	ค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์	หน่วย
1	10	10	80	5,8	2	100.8	ล้านบาท
2	20	20	60	2,3,5,8	4	74.1	ล้านบาท
3	30	30	40	5,6,7,8	4	50.1	ล้านบาท
4	40	40	20	5,6,7,9	4	16.6	ล้านบาท
5	50	50	0	1,2,3,6,8,9,12,13	8	-29.8	ล้านบาท
6	80	10	10	1,2,5	3	20.4	ล้านบาท
7	60	20	20	2,5,9	3	26.8	ล้านบาท
8	40	30	30	5	1	36	ล้านบาท
9	20	40	40	5	1	43.8	ล้านบาท
10	0	50	50	5,6,7,8,9	5	59.5	ล้านบาท
11	10	80	10	4,5,7,8,9,10,12	7	-25.2	ล้านบาท
12	20	60	20	3,5,9	3	13.5	ล้านบาท
13	30	40	30	5,6,7,9	4	30.9	ล้านบาท
14	40	20	40	4,5	2	51.2	ล้านบาท
15	50	0	50	1,5,6,7,11	5	70	ล้านบาท

^u ตัวเลขแสดงโรงงานน้ำตาลอ้างอิงจากตารางที่ 1

