

## การปรับปรุงกระบวนการให้ความร้อนในการอบแห้ง ของโรงงานแป้งมันสำปะหลัง

รศ.ดร. อนุคุณ สิทธิพงศ์ \*

นายวงศต วงศ์อภัย \*\*

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลังเป็นอุตสาหกรรมการเกษตรที่มีความสำคัญต่อการส่งออกของประเทศอย่างหนึ่ง กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังเป็นกระบวนการที่มีการใช้พลังงานความร้อนเพื่อการอบแห้งแป้งมันสำปะหลังค่อนข้างสูง บทความนี้จะกล่าวถึงการศึกษาปรับปรุงกระบวนการให้ความร้อนในการอบแห้งเพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานและลดต้นทุนในการผลิต

ในการศึกษาได้ทำการตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงานในโรงงานแป้งมันสำปะหลังขนาดใหญ่จำนวน 10 โรงงาน ซึ่งพบว่ามียอดการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 0.681 MJ ต่อกิโลกรัมแป้ง และมีอัตราการใช้พลังงานความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 2.125 MJ ต่อกิโลกรัมแป้ง

สำหรับแนวทางการปรับปรุงกระบวนการให้ความร้อนในการอบแห้งนั้น พบว่ามีอยู่ 4 วิธี ได้แก่ การปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาผลิตลมร้อน การติดตั้งเครื่องอุ่นอากาศ การเปลี่ยนเกรดของน้ำมันเตา และการปรับปรุงฉนวนของระบบท่อส่งลมร้อน จากการศึกษาพบว่าศักยภาพการประหยัดพลังงานความร้อนในโรงงานทั้งหมด 10 แห่ง มีค่าเท่ากับ 77,356.9 GJ/ปี ซึ่งคิดเป็นมูลค่าประมาณ 6.970 ล้านบาทต่อปี โดยเป็นศักยภาพจากการปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาผลิตลมร้อนเท่ากับ 47,876.5 GJ/ปี ศักยภาพจากการติดตั้งเครื่องอุ่นอากาศเท่ากับ 15,824.6 GJ/ปี ศักยภาพจากการเปลี่ยนเกรดของน้ำมันเตาเทียบเท่ากับ 14,207.6 GJ/ปี และศักยภาพจากปรับปรุงระบบของฉนวนท่อส่งลมร้อนเท่ากับ 3,448.0 GJ/ปี

---

\* รองศาสตราจารย์ ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

\*\* นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

## Improvement of the Thermal energy System for the Drying Process in the Tapioca Starch Industry

Assoc.Prof.Dr. Norkun Sitthiphong \*

Mr. Wongkot Wongsapai \*\*

### Abstract

The tapioca starch industry is one of an important agro-industry in Thailand. The production process of the tapioca starch consumes a large amount of thermal energy, mainly in the drying process. This paper describes the improvement of the thermal energy system for the drying process in the tapioca starch industry.

Energy audits were conducted in 10 large-scale tapioca factories. The average electrical and thermal specific energy consumption were found to be 0.681 MJ/kg of starch and 2.125 MJ/kg of starch respectively.

There are 4 measures to improve the thermal energy system namely, improvement of the combustion efficiency of the hot air generator, installation of an air-preheater, changing the fuel oil grade and installation of the proper insulation.

The potential of the thermal energy conservation was estimated to be 77,356.9 GJ/year which amounted to 6.970 million Baht annually. The improvement of combustion efficiency was estimated to save 47,876.5 GJ per year. The potential saving from the installation of air-preheater was estimated to be 15,824.6 GJ per year. Changing the fuel oil grade was estimated to be equivalent to 14,207.6 GJ per year and the installation of proper fiber glass insulation was estimated to be 3,448.0 GJ per year.

---

\* Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University

\*\* Graduate Student, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University

## 1. คำนำ

ในปี พ.ศ.2536-2537 ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังทั้งหมดประมาณ 8.8 ล้านไร่ ซึ่งให้ผลผลิตเป็นหัวมันสดประมาณ 19.8 ล้านตัน ซึ่งผลผลิตหัวมันสดประมาณ ร้อยละ 70 ได้ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปมันเส้นและมันอัดเม็ด ส่วนที่เหลืออีกประมาณ ร้อยละ 30 หรือประมาณ 5.7 ล้านตัน ได้ถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งสมาคมการค้าอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง (1) ได้รายงานไว้ในปี พ.ศ.2537 นั้น ประเทศไทยมีปริมาณการผลิตแป้งมันสำปะหลังรวม 1.9 ล้านตัน โดยเป็นการผลิตเพื่อใช้ในประเทศจำนวน 0.754 ล้านตัน และผลิตเพื่อการส่งออกจำนวน 1.146 ล้านตัน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าอุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลังเป็นอุตสาหกรรมการเกษตรที่มีความสำคัญต่อการส่งออกของประเทศอย่างหนึ่ง

เนื่องจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง เป็นกระบวนการที่มีการใช้ทั้งพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยการผลิตค่อนข้างสูง โดยพลังงานความร้อนส่วนมากจะนำไปใช้ในกระบวนการอบแห้งแป้งมันสำปะหลัง ดังนั้นจึงเห็นสมควรที่จะให้มีการศึกษาปรับปรุงกระบวนการให้ความร้อนในการอบแห้งของโรงงานแป้งมันสำปะหลัง

## 2. กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังภายในประเทศ จากการศึกษาพบว่า มีกรรมวิธีในการผลิตแป้งมันสำปะหลังอยู่ 2 แบบด้วยกัน คือ กรรมวิธีการผลิตแบบเก่า กับกรรมวิธีในการผลิตแบบใหม่ ซึ่งมีรายละเอียดวิธีและขั้นตอนการผลิตต่อไปนี้

### 2.1 กรรมวิธีการผลิตแบบเก่า

กรรมวิธีการผลิตแบบเก่า จะพบในโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังขนาดเล็ก ซึ่งกรรมวิธี จะทำการแยกแป้งออกจากหัวมันสดด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยน้ำ ทำให้ได้แป้งที่มีคุณภาพไม่ดีนักและเรียกแป้งที่ผลิตตามกรรมวิธีนี้ว่า Tapioca Flour โดยมีขั้นตอนการผลิตแบ่งเป็น 8 ขั้นตอนด้วยกัน คือ

1. ชั่งน้ำหนักและวัดเปอร์เซ็นต์แป้ง
2. ตัดเหง้าและส่วนของลำต้นที่มากับหัวมันสดทิ้งก่อนส่งเข้าเครื่องปอกเปลือก
3. ปอกเปลือกชั้นนอกของหัวมันสดออกแล้วแช่หัวมันสดในบ่อเพื่อล้างหัวมันให้สะอาด
4. นำหัวมันสดเข้าเครื่องสับและม่ให้ละเอียดแล้วปล่อยให้เนื้อเยื่อที่ได้ตกตะกอนในน้ำ
5. กรองของเหลวที่ได้เพื่อแยกน้ำแป้งและกากมันออกจากกัน
6. ทำให้แป้งตกตะกอน
7. แป้งชั้นที่ได้จะถูกนำมาผึ่งแดดให้แห้ง
8. นำแป้งที่แห้งสนิทมาบดให้ละเอียด

## 2.2 กรรมวิธีการผลิตแบบใหม่

กรรมวิธีการผลิตแบบใหม่ เป็นกรรมวิธีการผลิตแป้งมันสำปะหลังที่โรงงานขนาดใหญ่และขนาดกลางใช้กันอยู่ มีการใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ทันสมัย มีการไม่ด้วยลูกไม้เสร็จแล้วแยกน้ำแป้งด้วยเครื่องสไลด์แป้งและอบแห้งด้วยเตาน้ำมันซึ่งทำให้ได้แป้งบริสุทธิ์ คุณภาพดี และใช้เวลาในการผลิตน้อย แป้งที่ได้เรียกว่า Tapioca Starch ทั้งหมดจะมีขั้นตอนการผลิต 7 ขั้นตอน ด้วยกันคือ

1. ชั่งน้ำหนักและวัดเปอร์เซ็นต์แป้ง
2. เข้าเครื่องร่อนดินทรายออก
3. เข้าเครื่องปอกเปลือกและล้างในเครื่องเดียวกัน
4. นำหัวมันสดเข้าเครื่องโม่ละเอียดนำเข้าเครื่องแยกกากจากน้ำแป้ง
5. แยกน้ำแป้งออกจากแป้งโดยใช้เครื่องสไลด์แห้งระบบแรงเหวี่ยง
6. อบให้แห้งด้วยความร้อนโดยใช้ท่อลมร้อน
7. แป้งที่อบแห้งแล้วจะถูกนำมาตีให้แตกตัวออกเป็นผง

สำหรับการศึกษานี้ จะเน้นการปรับปรุงเฉพาะกรรมวิธีการผลิตแบบใหม่นั้น โดยรายละเอียดของการกระบวนการผลิตนั้น ได้แสดงในรูปที่ 1

## 3. ระบบการอบแห้งแป้งมันสำปะหลัง

ในระบบการอบแห้งแป้งมันสำปะหลังนั้น สามารถแบ่งระบบหลักในการใช้พลังงานความร้อนในกระบวนการผลิตได้เป็น 2 ระบบ คือ

### 3.1 ระบบการผลิตลมร้อน

ในการผลิตลมร้อนเพื่อใช้ในการอบแห้งแป้งมันสำปะหลังนั้น สามารถแบ่งระบบการผลิตลมร้อนออกได้เป็น 2 ระบบ คือ

ก. การผลิตลมร้อนโดยใช้เตาเผาอากาศร้อน โดยผลิตลมร้อนจากการที่เตาเผาเชื้อเพลิงจะถ่ายเทความร้อนจากการเผาน้ำมันเตาให้กับอากาศซึ่งจะถูกดูดผ่านแผ่นกรองทำให้อากาศร้อนขึ้นจนมีอุณหภูมิประมาณ  $180^{\circ}\text{C}$  และสามารถนำไปใช้ในการอบแห้งได้ สำหรับระบบดังกล่าวนี้ได้แสดงในรูปที่ 2

ข. การผลิตลมร้อนโดยใช้เตาเผาน้ำมัน (Thermo-oil) โดยที่เตาเผาเชื้อเพลิงจะถ่ายเทความร้อนจากการเผาน้ำมันเตาให้กับน้ำมันร้อนภายในเตาเผาจนมีอุณหภูมิประมาณ  $250^{\circ}\text{C}$  และน้ำมันร้อนจากเตาเผาไปถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอีกต่อหนึ่ง โดยระบบดังกล่าวนี้ได้แสดงในรูปที่ 3

### 3.2 ระบบการอบแห้งแป้งมันสำปะหลังด้วยลมร้อน

ในระบบการอบแห้งแป้งมันสำปะหลังด้วยลมร้อนจะใช้ระบบท่อส่งลมร้อน ซึ่งเป็นท่อขนาดใหญ่ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เมตรขึ้นไป เป็นท่อส่งลมร้อนโดยใช้พัดลมดูดอากาศจากระบบการผลิตลมร้อน และทำการอบแห้งแป้งภายในท่อส่งลมร้อนนั่นเอง

หลังจากที่ความร้อนของอากาศร้อนถูกถ่ายเทให้กับแป้งภายในท่อลมร้อนแล้ว จะทำให้แป้งสูญเสียความชื้นและแห้งลง จากนั้นอากาศร้อนซึ่งมีผงแป้งที่แห้งแล้วปนอยู่ จะไหลไปสู่ไซโคลนเพื่อแยกเอาผงแป้งที่แห้งและออกจากอากาศต่อไป

#### 4. การตรวจสอบการใช้พลังงานในโรงงานแป้งมันสำปะหลัง

ในการศึกษาได้ทำการตรวจสอบการใช้พลังงานในโรงงานแป้งมันสำปะหลังขนาดใหญ่ จำนวน 10 โรงงาน ที่มีการใช้พลังงานเชื้อเพลิงมากกว่า 1 ล้านลิตรต่อปี หรือเป็นโรงงานที่มีกำลังการผลิตมากกว่า 25,000 ตันต่อปี สำหรับข้อมูลการใช้พลังงานและข้อมูลการผลิตของโรงงานแต่ละโรงงานนั้นได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

จากข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานทั้ง 10 แห่งนั้น ได้พบว่าได้อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยการผลิตอยู่ในช่วงระหว่าง 0.320 - 0.939 MJ ต่อกิโลกรัมของแป้งที่ผลิตได้ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.681 MJ/kg สำหรับอัตราการใช้พลังงานความร้อนต่อหน่วยการผลิตนั้นอยู่ในช่วงระหว่าง 1.141 - 2.749 MJ ต่อกิโลกรัมของแป้งที่ผลิตได้ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.125 MJ/kg เมื่อรวมทั้งพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนแล้วจะพบว่าค่าอัตราการใช้พลังงานรวมต่อหน่วยการผลิตเฉลี่ยจะมีค่าเท่ากับ 2.806 MJ/kg

เมื่อทำการตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละโรงงานจะพบว่าพลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่จะใช้ในเครื่องแยกน้ำแป้งชั้น (ร้อยละ 35.0) เครื่องโม่ (ร้อยละ 25.0) เครื่องสไลด์แป้ง (ร้อยละ 15.0) ระบบส่งน้ำดี (ร้อยละ 12.0) ระบบบรรจุแป้ง (ร้อยละ 5.0) เครื่องล้างและสับหัวมัน (ร้อยละ 3.5) และระบบอบแป้ง (ร้อยละ 1.5) และระบบอื่นๆ (ร้อยละ 3.0)

เมื่อทำการตรวจวัดการใช้พลังงานความร้อนในแต่ละโรงงาน จะพบว่าโรงงานทั้งหมดมีระบบการผลิตอากาศร้อน โดยใช้เตาเผาอากาศร้อนและใช้เตาเผาน้ำมันร้อนทั้งสองแบบ โดยประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาผลิตลมร้อนจะอยู่ในช่วง ร้อยละ 31.1-71.7 ดังนั้นแนวทางการปรับปรุงกระบวนการให้ความร้อนจึงจะมุ่งเน้นที่การเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาผลิตลมร้อน

#### 5. แนวทางการปรับปรุงกระบวนการให้ความร้อน

จากการตรวจสอบการใช้พลังงานความร้อน จะพบว่ามีแนวทางการปรับปรุงกระบวนการให้ความร้อนอยู่ 4 แนวทาง คือ

##### 5.1 การปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาผลิตลมร้อนโดยการปรับอากาศส่วนเกิน

จากการตรวจสอบพบว่าเตาเผาอากาศร้อนทุกเตาไม่ได้มีการปรับอากาศส่วนเกินให้เหมาะสม ถ้ามีการปรับอากาศส่วนเกินให้เหมาะสม จะสามารถประหยัดเตาได้ประมาณ 1.01 ล้านลิตรต่อปี ซึ่งคิดเป็นมูลค่าประมาณ 4.01 ล้านบาทต่อปี สำหรับรายละเอียดของผลการประหยัดที่ได้จากแต่ละโรงงานนั้นได้แสดงในตารางที่ 2

### 5.2 การติดตั้งเครื่องอุ่นอากาศ (air-preheater)

จากการตรวจสอบพบว่าอากาศร้อนที่ปล่อยทิ้ง (exhaust air) จากเครื่องผลิตอากาศร้อนมีอุณหภูมิสูงซึ่งสามารถนำมาใช้อุ่นอากาศก่อนที่จะเข้าเครื่องผลิตอากาศร้อนได้ อย่างไรก็ตามเนื่องจากเครื่องอุ่นอากาศร้อนมีราคาต่ำก่อสร้างและติดตั้งสูง ดังนั้นจึงต้องมีการคำนวณอัตราผลตอบแทนการลงทุนด้วย ซึ่งจากการคำนวณพบว่า ระยะเวลาการคืนทุนของการติดตั้งเครื่องอุ่นอากาศจะอยู่ในช่วงระหว่าง 0.67 - 11.01 ปี โดยมีผลการประหยัดรวมได้ประมาณ 0.365 ล้านบาทต่อปี สำหรับรายละเอียดของผลการประหยัดที่ได้จากการติดตั้งเครื่องอุ่นอากาศในแต่ละโรงงานนั้นได้แสดงในตารางที่ 2

### 5.3 การเปลี่ยนเกรดของน้ำมันเตา

จากการตรวจสอบพบว่า มีโรงงานอยู่ 2 แห่งที่มีการใช้น้ำมันเตาเกรด A ซึ่งมีปัจจุบันมีราคา 4.05 บาทต่อลิตร ถ้ามีการเปลี่ยนมาใช้น้ำมันเตาเกรด C ซึ่งปัจจุบันมีราคา 3.78 บาทต่อลิตร จะสามารถประหยัดเงินได้ถึงโรงงานละ 330,750 บาทต่อปี และ 885,600 บาทต่อปี โดยที่ไม่ต้องลงทุนเพิ่มเติมเนื่องจากทางโรงงานแต่ละแห่งมีอุปกรณ์ปรับอุณหภูมิการอุ่นน้ำมันเตาก่อนเข้าสู่หัวเผาอยู่แล้ว

### 5.4 การปรับปรุงฉนวนของระบบท่อส่งลมร้อน

จากการตรวจสอบพบว่า ระบบท่อส่งลมร้อนของโรงงานส่วนมาก มีการบุฉนวนใยแก้วหนา 25-50 มิลลิเมตร ซึ่งมีการสูญเสียความร้อนค่อนข้างมาก ถ้ามีการเปลี่ยนฉนวนจากความหนาเดิม เป็นฉนวนใยแก้วหนา 100 มิลลิเมตร จะพบว่า สามารถประหยัดพลังงานได้เป็นมูลค่าถึง 302,391 บาท โดยใช้เงินลงทุนรวม 1.275 ล้านบาท สำหรับรายละเอียดของผลการประหยัดได้จากแต่ละโรงงานนั้นแสดงในตารางที่ 3

## 6. สรุป

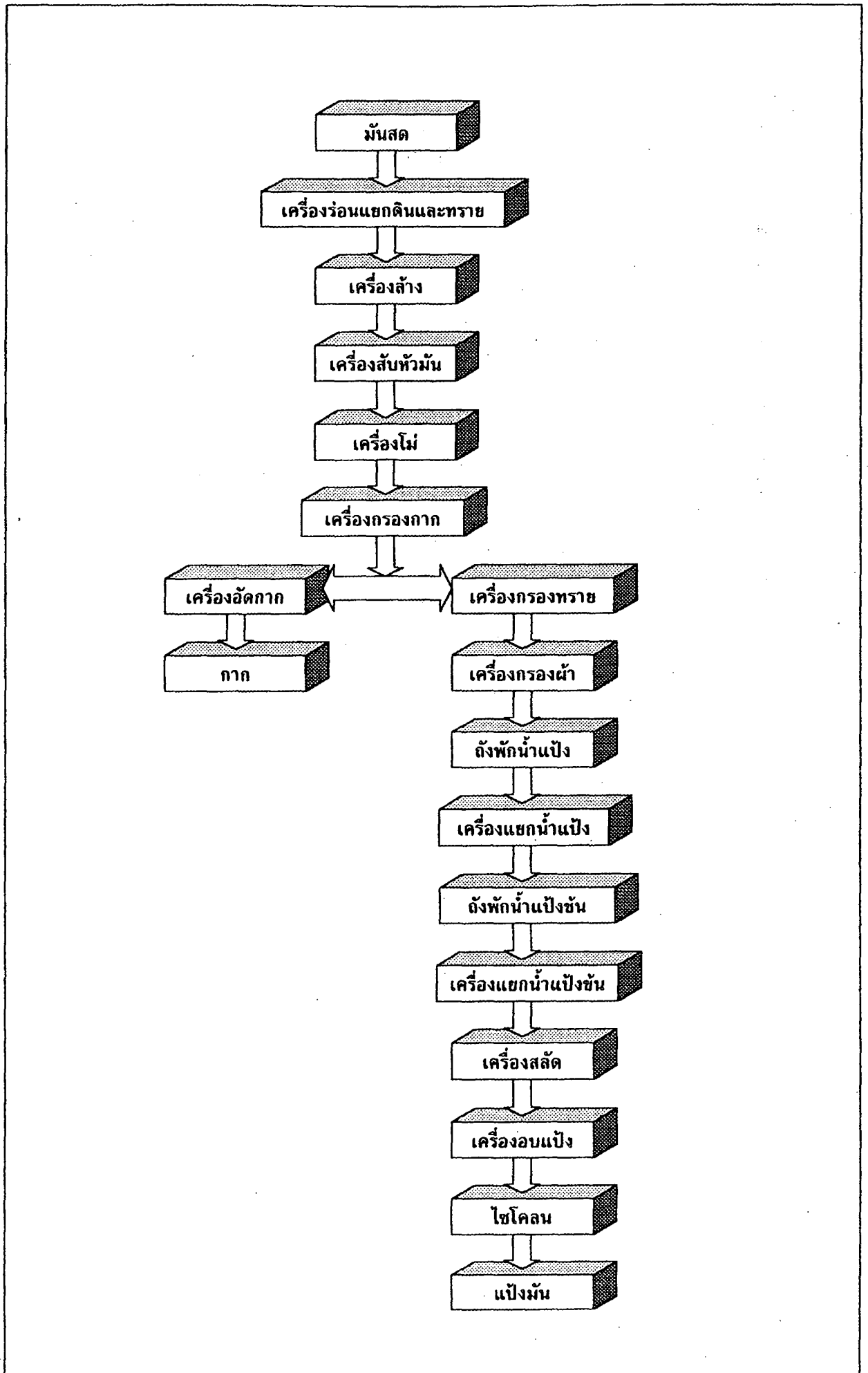
จากการตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงานในโรงงานแปงมันสำปะหลัง จำนวน 10 แห่ง พบว่า กระบวนการให้ความร้อนในการอบแห้งแปงมันสำปะหลังนั้น มีอยู่ 2 ระบบด้วยกัน คือ ระบบผลิตลมร้อนจากเตาเผาอากาศร้อน และระบบการผลิตลมร้อนจากเตาเผาบน้ำมันร้อน โดยมีอัตราการใช้พลังงานความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 2.125 MJ ต่อกิโลกรัมของแป้งที่ผลิตได้

สำหรับแนวทางการปรับปรุงกระบวนการให้ความร้อนนั้น จะพบว่ามีอยู่ 4 แนวทางด้วยกัน คือ

- ก. การปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาผลิตลมร้อน
- ข. การนำอากาศร้อนที่ปล่อยทิ้งที่ปล่อยมาใช้กับเครื่องอุ่นอากาศร้อน
- ค. การเปลี่ยนเกรดของน้ำมันเตา
- ง. การปรับปรุงความหนาของฉนวนให้เหมาะสม

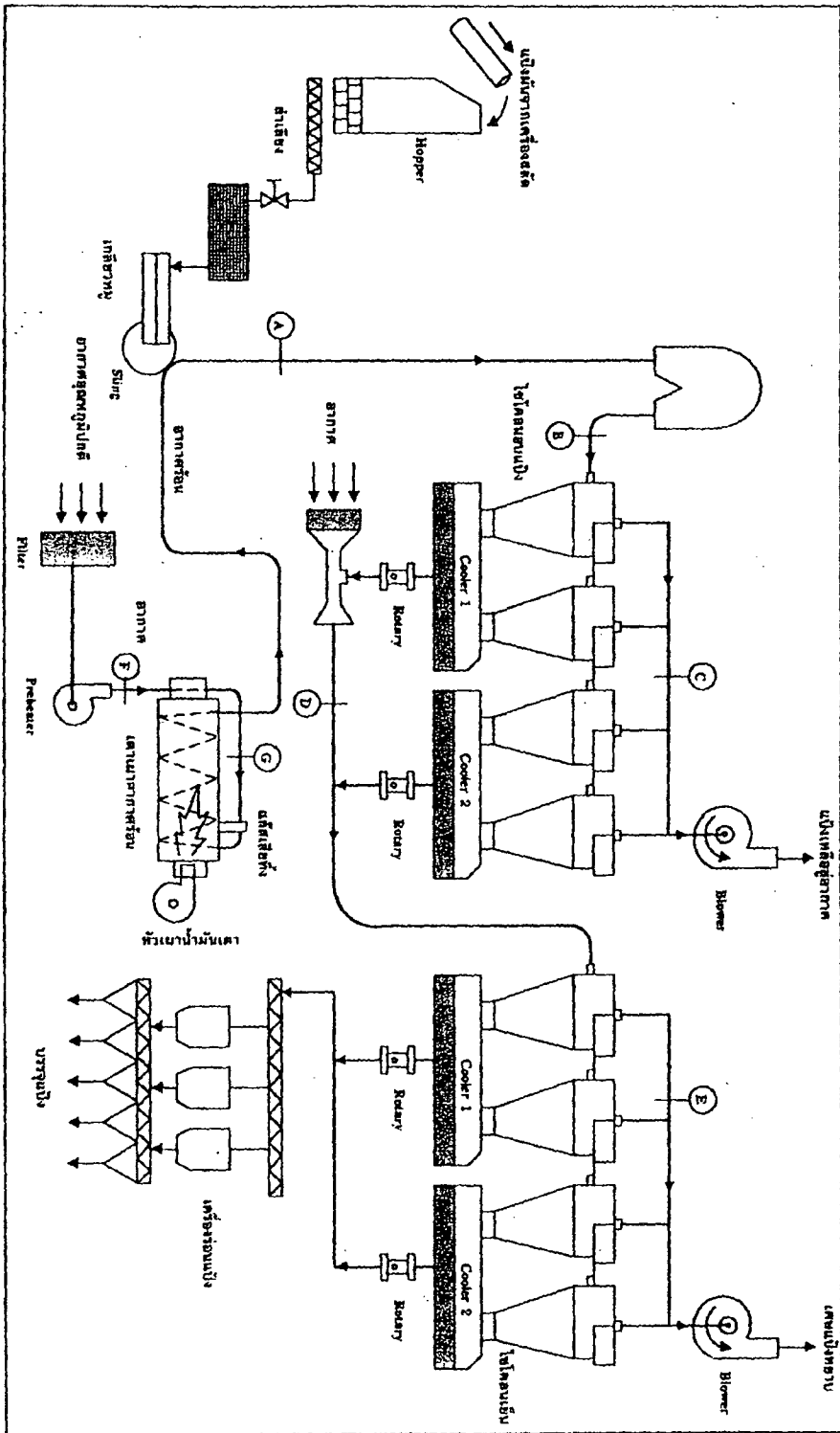
## 7. กิตติกรรมประกาศ

งานศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนทางด้านงบประมาณจากสำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม และโรงงานแปงมันสำปะหลัง ที่ให้คณะผู้ทำการศึกษาเข้าทำการตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงาน คณะผู้ทำการศึกษาขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

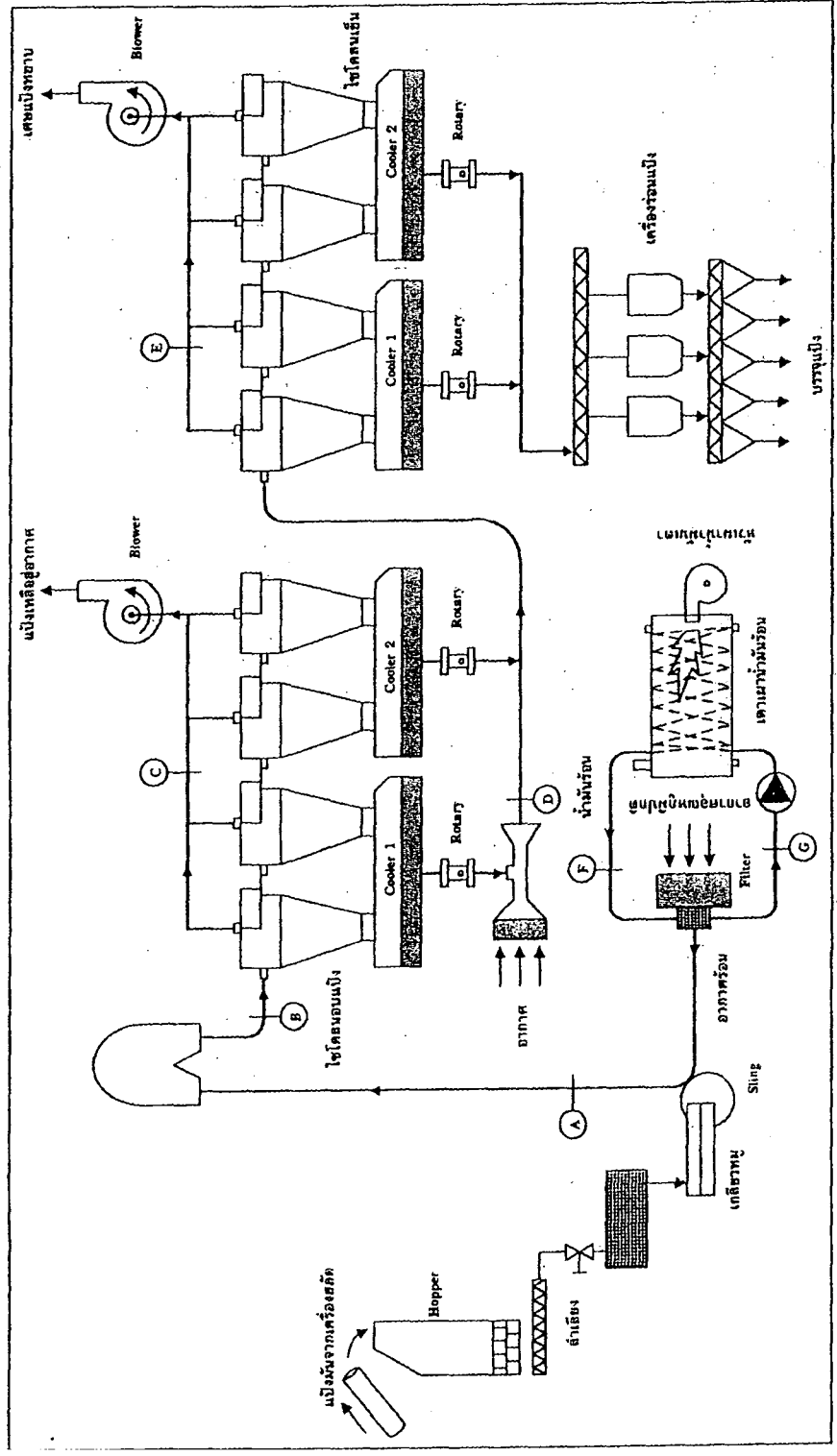


รูปที่ 1 รายละเอียดกระบวนการผลิต

รูปที่ 2 แผนผังการอบแห้งชนิดสายพานโดยใช้เตาอากาศร้อน







รูปที่ 3 แผนผังการอบแป้งมันสำปะหลังโดยใช้เตาเผาหัวมีร้อน

ตารางที่ 1 ข้อมูลการใช้พลังงานและกำลังการผลิตของโรงงานแปรงแม้งนํ้าประปาหัดงแต่ละโรง

| โรงงานที่ | ประเภทของหม้อต้มร้อน | จำนวนหม้อต้มร้อน (ชุด) | ปริมาณการใช้พลังงานรายปีถึง |                   |                | ปริมาณการใช้พลังงานไปทั่ว            |                            |         |                | กำลังผลิตจริง (ตันตันปี) |
|-----------|----------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------|----------------|--------------------------------------|----------------------------|---------|----------------|--------------------------|
|           |                      |                        | ประเภท                      | จำนวน (ตันลิตรปี) | ราคา (ล้านบาท) | ความถี่ของการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (กพ) | พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กพพปี) | พลังงาน | ราคา (ล้านบาท) |                          |
| 1         | เตาเผาหม้อต้มร้อน    | 1                      | น้ำมันเตา C                 | 1628.4            | 6,611.6        | 1724                                 |                            | 6914.2  | 13,461.1       | 42.5                     |
| 2         | เตาเผาหม้อต้มร้อน    | 1                      | น้ำมันเตา C                 | 1305.0            | 4,828.5        | 1016                                 |                            | 4600.5  | 8,160.7        | 27.8                     |
| 3         | เตาเผาหม้อต้มร้อน    | 1                      | น้ำมันเตา A                 | 1225.0            | 4,961.2        | 1254                                 |                            | 3768.8  | 7,556.4        | 25.0                     |
| 4         | เตาเผาหม้อต้มร้อน    | 3                      | น้ำมันเตา C                 | 5130.0            | 20,111.2       | 4596                                 |                            | 26854.0 | 48,012.4       | 140.0                    |
| 5         | เตาเผาอากาศร้อน      | 1                      | น้ำมันเตา C                 | 1646.0            | 6,057.2        | 1896                                 |                            | 7830.5  | 12,866.2       | 30.8                     |
| 6         | เตาเผาอากาศร้อน      | 2                      | น้ำมันเตา C                 | 1242.0            | 4,868.6        | 2265                                 |                            | 9944.3  | 15,502.6       | 46.6                     |
| 7         | เตาเผาอากาศร้อน      | 2                      | น้ำมันเตา C                 | 1740.0            | 6,449.8        | 948                                  |                            | 2409.3  | 4,724.5        | 27.1                     |
| 8         | เตาเผาอากาศร้อน      | 1                      | น้ำมันเตา C                 | 2112.0            | 8,595.8        | 1861                                 |                            | 6577.6  | 9,963.5        | 33.9                     |
| 9         | เตาเผาอากาศร้อน      | 2                      | น้ำมันเตา A                 | 1968.0            | 8,324.6        | 2224                                 |                            | 7792.2  | 15,520.2       | 36.9                     |
| 10        | เตาเผาอากาศร้อน      | 1                      | น้ำมันเตา C                 | 1906.9            | 7,208.3        | 1767                                 |                            | 8483.0  | 16,643.0       | 32.5                     |

ตารางที่ 2 ผลการประหยัคพลังงานจากถารปรับอากาศส่วนเกิน และการติดตั้งเครื่องอุ้นอากาศ

| เรียงนที่ | ผลการประหยัคพลังงานจากถารปรับอากาศส่วนเกิน |             | ผลการประหยัคพลังงานจากถารติดตั้งเครื่องอุ้นอากาศ |             |
|-----------|--|-------------|--|-------------|
|           | (ทังอัตรทัง)                               | (ทังบาททัง) | (ทังอัตรทัง)                                     | (ทังบาททัง) |
| 1         | 85.1                                       | 345.6       | 25.7   | 104.4       |
| 2         | 45.8                                       | 169.6       | 25.0   | 92.5        |
| 3         | 30.0                                       | 121.5       | 19.1   | 77.3        |
| 4         | 474.8                                      | 1,862.8     | 72.2   | 283.3       |
| 5         | 15.7                                       | 58.0        | 30.9   | 114.0       |
| 6         | 41.3                                       | 161.9       | 39.5   | 155.1       |
| 7         | 81.1                                       | 300.6       | 29.2   | 108.2       |
| 8         | 147.9                                      | 602.1       | 69.2   | 281.6       |
| 9         | 59.3                                       | 250.8       | 36.7   | 155.3       |
| 10        | 37.1                                       | 140.3       | 17.7   | 67.2        |
| รวม       | 1018.4                                     | 4,013.6     | 385.2  | 1,439.2     |
|           |  |             |  | 8.60        |
|           |  |             |  | 11.01       |
|           |  |             |  | ไม่คุ้มค่า  |
|           |  |             |  | 7.20        |
|           |  |             |  | 7.36        |
|           |  |             |  | 4.61        |
|           |  |             |  | 8.05        |
|           |  |             |  | 2.18        |
|           |  |             |  | 4.60        |
|           |  |             |  | 0.66        |
|           |  |             |  | --          |

ตารางที่ 3 ผลการประหยัดพลังงานที่ได้จากการเปลี่ยนมาเป็นฉนวนหนา 100 มิลลิเมตรของระบบท่อส่งลมร้อน

| โรงงาน<br>ที่ | เตาที่ | เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ<br>(เมตร) | ความยาวท่อ<br>(เมตร) | ผลการประหยัดพลังงานที่ได้ |          | เงินลงทุน<br>(บาท) | อัตราการคืนทุน<br>(ปี) |
|---------------|--------|-------------------------------|----------------------|---------------------------|----------|--------------------|------------------------|
|               |        |                               |                      | (กิโลวัตต์)               | (บาท/ปี) |                    |                        |
| 1             | 1      | 1.3                           | 36.0                 | 279.92                    | 25,555   | 79,330             | 4.38                   |
| 2             | -      | 1.0                           | 45.5                 | -                         | -        | -                  | -                      |
| 3             | 1      | 1.5                           | 40.2                 | 222.46                    | 19,113   | 102,697            | 10.89                  |
| 4             | 1      | 1.0                           | 30.0                 | 144.46                    | 12,825   | 50,083             | 6.10                   |
|               | 2      | 1.0                           | 30.0                 | 234.30                    | 20,806   | 50,083             | 3.15                   |
| 5             | 3      | 1.0                           | 30.0                 | 170.87                    | 15,171   | 50,083             | 4.77                   |
|               | 1      | 1.2                           | 43.0                 | 269.77                    | 22,485   | 83,922             | 5.69                   |
| 6             | 1      | 1.2                           | 76.2                 | 336.24                    | 29,852   | 140,626            | 8.35                   |
|               | 2      | 0.9                           | 74.1                 | 245.97                    | 21,838   | 115,647            | 10.54                  |
| 7             | 1      | 1.0                           | 52.0                 | 226.81                    | 19,042   | 89,796             | 8.36                   |
|               | 2      | 1.0                           | 52.0                 | 196.90                    | 16,531   | 89,796             | 11.16                  |
| 8             | 1      | 1.4                           | 42.0                 | 226.18                    | 20,850   | 92,162             | 7.52                   |
|               | 1      | 1.0                           | 50.2                 | 213.63                    | 19,169   | 86,154             | 7.67                   |
| 9             | 1      | 1.0                           | 50.2                 | 216.17                    | 19,397   | 86,154             | 7.52                   |
|               | 2      | 1.5                           | 63.0                 | 464.38                    | 39,757   | 158,664            | 6.31                   |
| รวม           | -      | -                             | -                    | 8448.06                   | 302,891  | 1,275,627          | -                      |