งานวิจัยเชิงบูรณาการนี้เป็นโครงการต่อเนื่องระยะที่ 2 จากโครงการนำร่องการลดพลังงานในการกลั่นเอทานอลที่สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ เป็นโครงการวิจัยร่วมของ 3 มหาวิทยาลัย ได้แก่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เป็นการออกแบบและพัฒนาปรับปรุงระบบผลิตเอทานอลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งได้พัฒนาขึ้นจากงานวิจัยในปีที่ผ่านมา ให้เหมาะสมกับการนำลงสู่ชุมชนเพื่อการปฏิบัติงานจริง

การปฏิบัติงานในชุมชนแบ่งเป็น 2 แห่ง ได้แก่ ชุมชนบ้านวังศิลา จ.นครราชสีมา ที่ดำเนินการโรงงานต้นแบบการหมักโดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และระบบการกลั่นด้วยรังสีอาทิตย์ ดำเนินการโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ส่วนแห่งที่ 2 ดำเนินการที่ชุมชนแม่บัว-สี กรุ๊ป จ.ลำพูน ซึ่งดำเนินการโดยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

โรงงานต้นแบบระบบการหมักโดยใช้มันเส้น โดยกระบวนการย่อยและการหมักในขั้นตอนเดียว (SSF) (ซึ่งรับผิดชอบโดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์) มีประสิทธิภาพการหมักเฉลี่ยประมาณ 82% โดยมี Conversion value เฉลี่ยอยู่ที่ 0.33 กรัมเอทานอล/กรัมมันเส้นแห้ง (หรือ 0.46 กรัมเอทานอล/กรัมแป้งแห้ง) และมีต้นทุนรวมในการผลิตน้ำส่าที่ความเข้มข้นเฉลี่ย 8%v/v เท่ากับ 22.94 บาท/ลิตรเอทานอล โดยแบ่งเป็นค่าต้นทุนวัตถุดิบ 16.05 บาท/ลิตรเอทานอล และค่าใช้จ่ายในการผลิต 6.89 บาท/ลิตรเอทานอล ที่อัตราการผลิต 1,000 ลิตร/วัน

ระบบการกลั่นด้วยรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ซึ่งดำเนินการโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สามารถกลั่นเอทานอลได้ที่ความเข้มข้น 70 – 75%v/v อัตราการกลั่น 50 ลิตร/วัน มีต้นทุนการกลั่น 11.25 บาท/ลิตรเอทานอล 75%v/v ซึ่งถ้าหากเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงไม้เบญจพรรณที่มีอัตราการกลั่นเท่ากัน และคิดราคาไม้เชื้อเพลิงที่ 0.7 บาท/กก. จะพบว่า ต้นทุนการจะมีค่า 11.42 บาท/ลิตรเอทานอล 75%v/v และถ้าหากเปลี่ยนไปใช้เชื้อเพลิง LPG (ค่าเชื้อเพลิง LPG เท่ากับ 18.54 บาท/กก.) จะมีต้นทุนการกลั่น 14.90 บาท/ลิตรเอทานอล 75%v/v และถ้าหากคิด Carbon tax ที่ราคา 3 – 16US$/Ton carbon รวมทั้งหมดจะมีต้นทุนในการกลั่นเพิ่มขึ้นเป็น 14.95 – 15.18 บาท/ลิตรเอทานอล 75%v/v ตามลำดับ

การวิเคราะห์ค่าพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตของชุมชนบ้านวังศิลา จากระบบการหมักน้ำส่าใช้พลังงานในการผลิตน้ำส่าเป็น 2.9 MJ/ลิตรเอทานอล 75%v/v ในระบบการกลั่นด้วยรังสีอาทิตย์ ใช้พลังงานในการกลั่นเอทานอล 4.42 MJ/ลิตรเอทานอล 75%v/v รวมเป็นพลังงานที่ใช้ในการผลิตตั้งแต่หมักจนกระทั่งกลั่นที่ความเข้มข้น 75%v/v ใช้พลังงาน 7.32 MJ/ลิตรเอทานอล 75%v/v ในขณะที่ค่าพลังงานที่ได้จากค่าความร้อนด้านสูงของเอทานอล (HHV) ที่ 75%v/v มีค่า 17.61 MJ/ลิตรเอทานอล 75%v/v

สำหรับกากส่าและน้ำส่าที่เหลือจากกระบวนการหมักและกระบวนการกลั่นได้มีการดำเนินการนำไปผสมเป็นปุ๋ยอินทรีย์เพื่อให้ชาวบ้านนำไปปลูกพืชที่มีการเพาะปลูกในบริเวณชุมชนบ้านวังศิลา

ระบบการกลั่นที่ทำดำเนินการโดยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เป็นการปรับปรุงระบบจากโครงการระยะที่ 1 เพื่อความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยการใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์จำนวน 6 แผง ทำการอุ่นน้ำส่าก่อนทำการกลั่นด้วยก๊าซ LPG โดยมีต้นทุนการกลั่น 7.93 บาท/ลิตรเอทานอล 75%v/v (ราคา LPG 18.54 บาท/กก.) และเมื่อมีการใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์เป็นพลังงานเสริมร่วมจะมีต้นทุนการกลั่น 5.71 – 6.54 บาท/ลิตรเอทานอล 75%v/v เมื่อคิดราคา Carbon tax ร่วมด้วยที่ค่า Carbon tax 3 – 16 US$/Ton carbon ค่าต้นทุนการผลิตกรณี LPG จะเพิ่มขึ้นเป็น 7.96 – 8.08 บาท/ลิตรเอทานอล 75%v/v ในขณะที่ต้นทุนการกลั่นกรณีมีระบบรังสีอาทิตย์ร่วมมีค่า 5.73 – 6.65 บาท/ลิตรเอทานอล 75%v/v ตามลำดับ

ในส่วนการวิเคราะห์การใช้พลังงานในกระบวนการผลิตแบบครบวงจรตั้งแต่การปลูกข้าว การสีข้าว การขนส่ง ตลอดจนกระทั่งการกลั่นจนได้เอทานอลที่ความเข้มข้น 80%v/v 50 ลิตร พบว่า มีการใช้พลังงานในการผลิตทั้งสิ้น 2,677.49 MJ ในขณะที่ค่าความร้อนด้านสูงของเอทานอล (HHV) ที่ความเข้มข้น 80%v/v มีค่า 2381.42 MJ ที่ 50 ลิตร พบว่ามีค่าการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตมากกว่าพลังงานที่ได้จากเอทานอล 5.92 MJ/ลิตรเอทานอล 80%v/v

สำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบครบวงจร โดยการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตตั้งแต่กระบวนการเพาะปลูกจนถึงการกลั่น เมื่อคิดต้นทุนสิ่งแวดล้อม (Externality cost) พบว่าในกระบวนการเพาะปลูกผลกระทบทาง Human toxicity to water มีผลกระทบมากที่สุดถึง 97.90 Pt ส่วนระบบการกลั่นเมื่อใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ร่วมกับการใช้ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิงสามารถลดผลกระทบลง 25.75% (โดยการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SimaPro)

ปัญหาการจัดการในระดับชุมชนยังคงเป็นปัญหาของการเตรียมความพร้อมให้แก่บุคลากรในชุมชนที่ต้องการผู้ที่มีพื้นฐานความรู้พอสมควร ซึ่งค่อนข้างมีความจำกัดในตัวบุคคล อย่างไรก็ตามการฝึกอบรมให้แก่ชุมชนเป็นแนวทางที่พิจารณาสำหรับรองรับปัญหาดังกล่าว

This research is the second phase project continuing from Pilot Project for Cost Reduction of Ethanol Production project which was sponsored by the National Research Council of Thailand (NRCT). The project is under cooperation among three universities; King Mongkut's University of Technology Thonburi (KMUTT), Kasetsart University (KU) and Chiang Mai University (CMU). The objective of this project is to design and develop the prototype of ethanol production system that being acquired from the first phase project for implementing on the Thai's local community.

Two local communities were chosen in this project which was Baan Wang Sila Community in Nakorratchasrima province and Mae Bua-Sri group community in Lumphun province. At Baan Wang Sila community, fermentation plant (KU) and solar ethanol distillation plant (KMUTT) was installed and operated while CMU carried out the solar ethanol distillation plant at Mae Bua-Sri group community.

The fermentation pilot plant was carried out to produce ethanol mash from cassava chips using Simultaneous Saccharification and Fermentation (SFF) process. The fermentation efficiency of this plant was about 82% with an average conversion ratio of 0.33 $g_{ethanol}/g_{dry\ cassarachips}$ (or an average of 0.4746 $g_{ethanol}/g_{dry\ starch}$). The production cost at 1,000 l/d of the concentration of 8%v/v ethanol mash was around 22.94 baht/$l_{ethanol\ 8\%v/v}$. The cost could be classified as 16.05 baht/$l_{ethanol\ 8\%v/v}$ for material and 6.89 baht/$l_{ethanol\ 8\%v/v}$ for production process.

Solar ethanol distillation system that performed by KMUTT could yieled 75%v/v ethanol at the capacity of 50 l/day. The distillation cost of the system was 11.25baht/$l_{ethanol\ 75\%v/v}$. In comparison with the system using wood-biomass, the cost of the system using wood-biomass would be 11.42baht/ $l_{ethanol\ 75\%v/v}$. This calculation was done based on the assumption that the cost of wood-biomass was 0.7 baht/kg. Comparison study between the system using solar energy and LPG found that the system using solar energy was 3.65 baht/$l_{ethanol\ 75\%v/v}$ lower. This study was based on the price of LPG at 18.54baht/kg. In addition to this, in the case of carbon tax was taken into the consideration at the rate of 3-16US$/$Ton_{carbon}$ the distillation cost by using LPG was then 14.95-15.18baht/$e_{thanol\ 75\%v/v}$ respectively.

Energy analysis indicated that energy usage in the ethanol production from molasses fermentation at Baan Sila is 2.9 $MJ/l_{ethanol\ 75\%v/v}$ and that of solar distillation system is 4.42 $MJ/l_{ethanol\ 75\%v/v}$. Consequently, total energy usage is 7.32 $MJ/l_{ethanol\ 75\%v/v}$ while high heating value (HHV) of ethanol is 17.61 $MJ/l_{ethanol\ 75\%v/v}$.

At Baan Sila community, molasses and ethanol mash that wasted from both fermentation and distillation process was utilized by mixing it with an organic compose for agriculture purpose in the community.

Ethanol distillation plant at Mae Bua-Sri group community (CMU) was operated based on the concept of using solar energy to preheat the mash before the distillation system using LPG. The system mainly composed of 6 flat plate collectors connected to the LPG distillation unit. The cost of producing ethanol with LPG was around 7.93baht/l (cost of LPG is 18.54baht/kg) while the solar-LPG combination system would drop the cost to 5.71-6.54baht/l. Likewise, taking carbon tax in the calculation the cost of producing LPG would increase to 7.96-8.08baht/l and the cost of the combined solar-LPG system remained 5.73-6.65baht/l.

Energy analysis from total ethanol production, including energy usage in rice farming, rice milling, transportation and ethanol distillation, showed that to obtain 50 liter of ethanol with concentration of 80%v/v, total energy spent is 2,677.49 MJ while high heating value (HHV) at 80 %v/v ethanol is 2,381.42 MJ. Therefore, energy usage in ethanol production is about 5.92 $MJ/l_{ethanol\ 80\%v/v}$ higher than that obtained from distilled ethanol.

Environmental impact assessment was investigated based on the life cycle concept. The assessment included all the activities from farming to the distillation process. From the externality cost of the system, it showed that in the farming process human toxicity to water is the key environmental impact which has the value of 97.9 Pt. For the distillation process, using LPG combine with solar energy could result in decreasing the environmental impact down to 25.75%. (This analysis was done by SimaPro Software).

The major managerial problem of implementing this ethanol production system to the local community would be the limitation of human resources at the community. However the training program was planned and would be conducted in order to overcome this problem.