การเพิ่มประสิทธิภาพในการรับก๊าซ C3, C4 Refrigerated จากการนำเข้าจากต่างประเทศ และการผลิตเป็นก๊าซ LPG ให้ทันต่อความต้องการใช้ภายในประเทศ

สุรสิทธิ์ จำเนียรศรี

งานนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน

คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา

สิงหาคม 2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยบูรพา

อาจารย์ผู้ควบคุมงานนิพนธ์และคณะกรรมการสอบปากเปล่างานนิพนธ์ ได้พิจารณางานนิพนธ์ของ สุรสิทธิ์ จำเนียรศรี ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

อาจารย์ผู้ควบคุมงานนิพนธ์

....ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานะ เชาวรัตน์)

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

....ประธานกรรมการ

(ดร. ฐิติมา วงศ์อินตา)

....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานะ เชาวรัตน์)

คณะโลจิสติกส์อนุมัติให้รับงานนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน ของมหาวิทยาลัยบูรพา

....คณบดีคณะโลจิสติกส์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานะ เชาวรัตน์)

วันที่..13.....เดือน.....สิงหาคม.....พ.ศ. 2558

54920377: สาขาวิชา: การจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน; วท.ม. (การจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน)
คำสำคัญ: เพิ่มประสิทธิภาพการรับก๊าซ C3,C4 Refrigerated / เพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซ LPG

สุรสิทธิ์ จำเนียรศรี: กรณีศึกษา การเพิ่มประสิทธิภาพการรับก๊าซ C3,C4 Refrigerated จากการนำเข้าจากต่างประเทศ และการผลิตก๊าซ LPG ให้ทันต่อความต้องการในประเทศ (A CASE STUDY OF "INCREASES EFFICIENCY C3 AND C4 REFRIGERATED IMPORT FROM ABROAD AND PRODUCTION GAS LPG TO MEETING WITH DOMESTIC DEMAND) อาจารย์ผู้ควบคุมงานนิพนธ์: ฐิติมา วงศ์อินตา, Ph.D. 95 หน้า. ปี พ.ศ. 2558.

คลังก๊าซเขาบ่อยา บ. ปตท. จำกัด (มหาชน) ทำหน้าที่ปฏิบัติการรับก๊าซ C3,C4 Refrigerated, ผลิตเป็นก๊าซ LPG และจ่ายก๊าซ LPG ให้ลูกค้าในประเทศ โดยมีเป้าหมายในการผลิตก๊าซ LPG ให้ได้ 100,000 ตัน/ เดือน

จากการศึกษาสภาพเครื่องจักร, ถังเก็บก๊าซ LPG Sphere Tank และ LPG Refrigerated Tank, ระบบท่อรับ-จ่ายผลิตภัณฑ์ และท่าเทียบเรือ โดยได้นำ Flow Process Chart เข้ามาวิเคราะห์กระบวนการรับก๊าซ C3, C4 Refrigerated ขึ้นจากเรือ, ผลิตเป็นก๊าซ LPG และจ่ายก๊าซ LPG ลงเรือเรือให้ลูกค้า พบว่าสามารถรับก๊าซขึ้นจากเรือและผลิตเป็นก๊าซ LPG ได้เพียง 53,311 ตันต่อเดือน เท่านั้นและยังจะต้องเสียค่า Demurrage เรืออีก 1 วันต่อเที่ยว คิดเป็นเงิน 40,000 USD/ Day คลังได้ทำการปรับปรุงแก้ไขโดยใช้หลักการกำจัด E(Eliminate), การรวมกระบวนการ C(Combine), การจัดเรียงใหม่ R(Rearrange), การทำให้ง่าย S(Simplify) และกำหนดทางเลือกในการปรับปรุงแก้ไขโดยใช้ HOW HOW Analysis มาวิเคราะห์ทางเลือกแต่ละวิธี โดยมีข้อกำหนดในการพิจารณาทางเลือก เช่น ค่าใช้จ่าย,ระยะเวลาการปรับปรุงแก้ไข และผลที่คาดว่าจะได้รับ โดยทางเลือกที่ได้นำมาดำเนินการปรับปรุงแก้ไขคือ

1. ปรับปรุงระบบท่อที่ใช้จ่ายก๊าซ LPG แบบ Pressurize ไปที่ Berth No. 1 ให้สามารถรับก๊าซ C3 และ C4 แบบ Pressurize ได้ โดยการนำท่อ LPG Rubber Hose มาใช้งาน

2. ปรับปรุงระบบท่อของการถ่ายก๊าซ C3 และ C4 Refrigerated จากถัง Refrigerated Tank ไปเข้าถัง Sphere Tank ให้ได้พร้อมกันโดยการตัดแยกท่อก๊าซ C3, C4 ออกจากกัน และใช้ปั๊ม 2 ตัว สูบถ่ายก๊าซแต่ละชนิดมาผสมพร้อมกัน

ผลการจากการแก้ไขตามทางเลือกทั้ง 2 วิธี ทำให้คลังสามารถรับก๊าซ C3, C4 Refrigerated

จากเรือรวมกันได้ได้ 127,000 ตันต่อเดือน จึงทำให้รับก๊าซได้มากกว่าเป้าหมาย 27,000 ตันต่อเดือน และเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการแก้ไขปัญหาซึ่งรับก๊าซได้เพียง 53,311 ตันต่อเดือน สามารถรับก๊าซได้มากกว่า 73,689 ตันต่อเดือน คิดเป็นเพิ่มขึ้นร้อยละ 138.22 นอกจากนั้นยังทำให้คลังไม่ต้องเสียค่า Demurrage ในการสูบถ่ายก๊าซขึ้นจากเรือ

54920377: MAJOR: LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT; M.Sc. (LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT)

KEYWORDS: INCREASES EFFICIENCY C3 AND C4 REFRIGERATED IMPORT UNLOADING PROCESS/ INCREASES EFFICIENCY LPG BLENDING PROCESS FROM BOTH PRODUCT

SURASIT CHAMNEANSI: A CASE STUDY OF INCREASES EFFICIENCY C3 AND C4 REFRIGERATED IMPORT FROM ABROAD AND PRODUCTION GAS LPG TO MEETING WITH DOMESTIC DEMAND. ADVISOR: THITIMA WONGINTA, Ph.D. 95 P. 2015.

PTT's Kho Bo Ya LPG Terminal (KBY) which has responsibility to import C3 and C4 refrigerated product, blending LPG and distribute LPG to Thailand domestic customer at least 100,000 tons per month.

According to using flow process chart, which analyses whole process of KBY that include information of equipment, LPG spherical tank, C3 and C4 refrigerated tank, jetty facilities and pipeline loading/ unloading system, it revealed that KBY has capacity to loading import product and blending to LPG only 53,311 tons per month. Moreover, KBY has to pay demurrage charge for one day per shipment that cost 40,000 USD. There for KBY has to improve own process by using principle of ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange and Simplify) and generate solution idea and decide by using How-How analysis base on many factors such as budget, period and scheduler and result.

There are two solutions that taken to improve are:

1. Modification unloading pressurize pipeline, which design for pressurizer's LPG product to berth no. 1, to loading pressurize of C3 and C4.

2. Modification pipeline transfer product form C3 and C4 refrigerated tank to sphere by separated both line and using two pump for transfer each product to blending process.

Result of improvements, KBY increases capacity to 127,000 tons per month (138.22%) and eliminate demurrage charge form loading shipment.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... จ

สารบัญ .... ฉ

สารบัญตาราง .... ซ

สารบัญภาพ .... ฌ

บทที่

1 บทนำ 1

ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ 2

ขอบเขตงานวิจัย 2

ผลประโยชน์ที่ได้รับ 2

นิยามศัพท์เฉพาะ 2

2 หลักทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

ก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG 4

แหล่งที่มาของก๊าซปิโตรเลียมเหลว 4

การวิเคราะห์การปฏิบัติงานและการศึกษาเวลาในการทำงาน 15

การตรวจพิจารณา 32

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 37

3 วิธีดำเนินงานวิจัย 40

ศึกษาสภาพพื้นที่ และ เครื่องจักรอุปกรณ์ ของคลัง 40

ศึกษาระบบท่อการรับ-จ่ายก๊าซ LPG 48

กำหนดวิธีในการแก้ไขปัญหา โดยใช้หลัก ECRS 54

กำหนดทางเลือกในการไขปัญหา โดยใช้ HOW HOW Analysis 55

4 วิเคราะห์ข้อมูลและผลการวิจัย 56

การคัดเลือกโครงการและการดำเนินงาน 56

เป้าหมายโครงการ 57

วิเคราะห์ขีดความสามารถในการรับก๊าซ C3/ C4 ก่อนทำโครงการ 59

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

วิเคราะห์กระบวนการผสมก๊าซทั้ง 2 ชนิดให้เป็นก๊าซ LPG 61

วิเคราะห์แนวทางแก้ไขปัญหา 63

ค้นหาทางเลือกในการปรับปรุงแก้ไข โดยใช้ HOW HOW Analysis 64

วิเคราะห์ทางเลือกแต่ละทางเลือกที่จะใช้ในการแก้ไขปัญหา 65

การดำเนินปรับปรุงตามแนวทางที่ได้รับการคัดเลือก 72

การเปรียบเทียบกระบวนการหลังการปรับปรุง 74

ผลการปรับปรุงเพื่อจ่ายก๊าซ LPG ทางท่อให้คลังก๊าซบ้านโรงโป๊ะ 87

5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 89

สรุปผลการศึกษา 89

บรรณานุกรม 93

ประวัติย่อของผู้วิจัย 95

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2-1 สัญลักษณ์ของแผนภูมิกระบวนการดำเนินงาน 17

2-2 การปรับปรุงด้วยหลักการของวิศวกรรมอุตสาหการ 32

2-3 รายละเอียดของท่อ LPG Rubber Hose 36

4-1 การคัดเลือกหัวข้อปัญหาที่ค้นพบ และพิจารณาความจำที่ต้องแก้ไขปัญหา 56

4-2 ปริมาณการรับก๊าซ C3, C4 Refrigerated จากนำเข้าจากต่างประเทศในปี พ.ศ. 2556 87

4-3 ปริมาณการจ่ายก๊าซ LPG ทั้งทางเรือ และทางท่อให้คลัง ปตท. และลูกค้ามาตรา 7 ใน ปี พ.ศ. 2556 88

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2-1 ผลิตน้ำมันแต่ละชนิดที่ถูกกลั่นออกมาจากหอกลั่นน้ำมัน 5
2-2 ผลิตก๊าซแต่ละชนิดที่ถูกแยกออกมาจากหอแยกก๊าซ 7
2-3 พันธะเคมีของสารไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว 8
2-4 แผนภูมิกระบวนการไหล 18
2-5 แผนภูมิกระบวนการไหลของกระบวนการทำงาน 19
2-6 รูปแบบการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้ Why Why Analysis 20
2-7 ตัวอย่างการวิเคราะห์ปัญหาโบลท์ไม่หมุนโดยใช้ Why Why Analysis 22
2-8 ตัวอย่างการวิเคราะห์ปัญหาโดยยึดกุมข้อเท็จจริง 23
2-9 ปัญหาทำไม่โบลท์ไม่หมุน 24
2-10 ตัวอย่างการวิเคราะห์ปัญหาโบลท์ไม่หมุนจากสภาพความเป็นจริง 25
2-11 ตัวอย่างการวิเคราะห์ปัญหาโบลท์ไม่หมุนจากหลักการหรือทฤษฎี 26
2-12 วิธีการวิเคราะห์ปัญหาแบบ Why Why Analysis 27
2-13 วิธีการแก้ไขปัญหาแบบ How How Analysis 28
2-14 วิธีการแก้ไขปัญหาแบบ How How Analysis หลาย ๆ วิธี 29
2-15 LPG Rubber Hose 33
2-16 ส่วนประกอบแต่ละชั้นของ LPG Rubber Hose 34
2-17 การใช้งาน LPG Rubber Hose 35
3-1 ภาพถ่ายทางอากาศถังเก็บผลิตภัณฑ์น้ำมันและก๊าซ LPG 41
3-2 ภาพถ่ายทางอากาศท่าเทียบเรือน้ำมันและก๊าซ LPG 42
3-3 ภาพถ่ายWarm Up Pump 43
3-4 ภาพถ่าย Transfer Air Heater 44
3-5 Boil off Compressor 45
3-6 Transfer Refrigerated Compressor System 45
3-7 ภาพถ่าย Tank to Sphere Transfer pump 46
3-8 ภาพถ่าย LPG Refrigerated Ship Loading Pump 47
3-9 LPG Ship Loading Pump 48
3-10 One line Diagram การรับ Unload เรือ Refrigerated Berth No. 1 49

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

3-11 One line Diagram การรับ Unload เรือ Refrigerated Berth No. 1 และระบบ Boil off Compressor และ Transfer Refrigerated Compressor System 50

3-12 One line Diagram การรับ Unload เรือ Refrigerated Berth No. 1 แบบ Pressurize เข้าถัง Sphere Tank 51

3-13 One line Diagram การ Transfer C4 จาก D-90911 มาเข้าถัง Sphere Tank D-90512-7 52

3-14 One line Diagram การ Transfer C3 จาก D-90910 มาเข้าถัง Sphere Tank D-90512-7 ... 53

4-1 ข้อมูล Demand และ Supply ก๊าซ LPG ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2551-2560....... 57

4-2 กระบวนการรับก๊าซ C3, C4 Refrigerated จากเรือเข้าถังเก็บทั้ง Cold Tank และ Sphere Tank รวมทั้งเวลาในแต่ละกระบวนการก่อนทำโครงการ 58

4-3 ปริมาณก๊าซ C3, C4 Refrigerated ที่รับได้จากเรือ และผลิตเป็นก๊าซ LPG ได้ต่อ 1 เดือน 62

4-4 การวิเคราะห์ปัญหาการรับก๊าซจากเรือ และผลิตเป็นก๊าซ LPG โดยใช้แผนภูมิกระบวนการไหล 63

4-5 การวิเคราะห์หาทางเลือกในการปรับปรุงแก้ไขการรับก๊าซจากเรือ และผลิตเป็นก๊าซ LPG โดยใช้ HOW HOW Analysis 64

4-6 การวิเคราะห์ทางเลือกในการปรับปรุงแก้ไขการรับก๊าซจากเรือ และผลิตเป็นก๊าซ LPG โดยการเพิ่มท่อรับก๊าซ C3,C4 Refrigerated เส้นใหม่ 66

4-7 การวิเคราะห์ทางเลือกในการปรับปรุงแก้ไขการรับก๊าซจากเรือ และผลิตเป็นก๊าซ LPG โดยการปรับปรุงท่อจ่ายก๊าซ LPG ลงเรือให้สามารถรับก๊าซ C3,C4 Refrigerated จากเรือได้ 67

4-8 การวิเคราะห์ทางเลือกในการปรับปรุงแก้ไขการรับก๊าซจากเรือ และผลิตเป็นก๊าซ LPG โดยการเพิ่ม Warm Up Pump อีก 1 ชุด 68

4-9 การวิเคราะห์ทางเลือกในการปรับปรุงแก้ไขการรับก๊าซจากเรือ และผลิตเป็นก๊าซ LPG โดยการเพิ่ม Transfer Pump อีก 1 ชุด 69

4-10 การวิเคราะห์ทางเลือกในการปรับปรุงแก้ไขการรับก๊าซจากเรือ และผลิตเป็นก๊าซ LPG โดยปรับปรุงระบบให้สามารถถ่ายก๊าซ C3, C4 ไปเข้าถัง Sphere Tank ได้พร้อมกัน...... 70

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-11 การวิเคราะห์ทางเลือกในการปรับปรุงแก้ไขการรับก๊าซจากเรือ และผลิตเป็นก๊าซ LPG โดยการสร้างถัง Cold Tank เพิ่มอย่างละ 1 ถัง 71

4-12 การคัดเลือกแนวทางการปรับปรุงแก้ไขการรับก๊าซจากเรือ และผลิตเป็นก๊าซ LPG.......... 72

4-13 การดำเนินการจัดหาท่อ Hose และติดตั้งท่อ Hose.......... 73

4-14 เวลาการรับก๊าซ C3, C4 Refrigerated จากเรือและผลิตเป็นก๊าซ LPG หลังการแก้ไขปัญหา 74

4-15 ปริมาณการรับก๊าซ C3, C4 Refrigerated จากเรือและผลิตเป็นก๊าซ LPG ต่อ 1 เดือน หลังการแก้ไขปัญหา.......... 75

4-16 ปริมาณการรับก๊าซ C3, C4 Refrigerated จากเรือและผลิตเป็นก๊าซ LPG หลังการแก้ไขปัญหา เปรียบเทียบกับเป้าหมายและก่อนการแก้ไขปัญหา.......... 76

4-17 การคัดเลือกแนวทางการปรับปรุงแก้ไขการรับก๊าซจากเรือ และผลิตเป็นก๊าซ LPG.......... 77

4-18 One Line Diagram การ Transfer C3, C4 Refrigerated ไปเข้าถัง Sphere Tank พร้อมกัน.......... 78

4-19 การติดตั้ง Blind Plate ตัดแยกท่อเพื่อให้สามารถ Transfer C3, C4 Refrigerated ไปเข้าถัง Sphere Tank พร้อมกัน 79

4-20 กระบวนการรับก๊าซ C3, C4 Refrigerated จากเรือเข้าถังเก็บทั้ง Cold Tank และ Sphere Tank รวมทั้งเวลาในแต่ละกระบวนการแก้ไขปัญหาครั้งที่ 2.......... 80

4-21 เวลาการรับก๊าซ C3, C4 Refrigerated จากเรือและผลิตเป็นก๊าซ LPG หลังการแก้ไขปัญหาครั้งที่ 2 81

4-22 ปริมาณการรับก๊าซ C3, C4 Refrigerated จากเรือและผลิตเป็นก๊าซ LPG ต่อ 1 เดือน หลังการแก้ไขปัญหาครั้งที่ 2.......... 82

4-23 ปริมาณการรับก๊าซ C3, C4 Refrigerated จากเรือและผลิตเป็นก๊าซ LPG หลังการแก้ไขปัญหาครั้งที่ 2 เปรียบเทียบกับเป้าหมายและก่อนการแก้ไขปัญหา 83

4-24 กิจกรรม LPG Logistics ของคลังก๊าซเขาบ่อยา และคลังก๊าซบ้านโรงโป๊ะ บ.ปตท.จำกัด (มหาชน).......... 84

4-25 แนวท่อที่ใช้ P-90514 B, C จ่ายก๊าซ LPG ให้คลังก๊าซบ้านโรงโป๊ะ บ.ปตท. จำกัด (มหาชน).......... 85

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-26 แนวท่อที่ได้ปรับปรุงเพื่อใช้ P-90516 จ่ายก๊าซLPG ให้คลังก๊าซบ้านโรงโป๊ะ บ.ปตท. จำกัด (มหาชน) 86

บทที่ 1
บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ก๊าซ LPG (Liquefied Petroleum Gas) เป็นก๊าซที่เกิดขึ้นจากการผสมก๊าซ C3 Propane และ ก๊าซ C4 Butane เข้าด้วยกัน ในอัตราส่วน 50:50 หรือ 60:40 หรือ 70:30 ก็ได้ ทั้งนี้กฎหมายของกระทรวงพานิชย์ จะควบคุมที่ค่า Vapour Pressure ไว้ว่าจะต้องไม่เกิน 200 PSI

ในปี พ.ศ. 2552 ประเทศไทยได้เกิดสภาวะขาดแคลนก๊าซ LPG เนื่องจากมีการนำก๊าซ LPG ไปใช้เป็นวัตถุดิบในภาคการผลิตของโรงงานปิโตรเคมีเพิ่มมากขึ้น เพื่อผลิตเม็ดพลาสติกที่มีคุณภาพสูง ประกอบกับราคาน้ำมันก็มีราคาสูงขึ้นจึงมีการนำก๊าซ LPG มาใช้ในภาคของการขนส่งเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ซึ่งทำให้เกิดสภาวะขาดแคลนก๊าซ LPG โดยประมาณ 100,000 ตัน/ เดือน จึงจำเป็นที่ประเทศไทยจะต้องมีการนำเข้าก๊าซ LPG จากต่างประเทศเข้ามาบริโภคภายในประเทศ ซึ่งแหล่งที่นำเข้ามาก็จะเป็นก๊าซที่มาจากประเทศในแทบตะวันออกกลาง เช่น ซาอุดิอาระเบีย, คูเวต ,สหรัฐอาหรับ เป็นต้น โดยที่ คลังก๊าซเขาบ่อยา บ.ปตท. จำกัด (มหาชน) ได้รับหน้าที่ในการปฏิบัติการนำเข้าก๊าซ LPG จากต่างประเทศเข้ามาบริโภคภายในประเทศ

การนำเข้าก๊าซ LPG จะนำเข้ามาในรูปของอุณหภูมิติดลบ (Refrigerated) และแยกผลิตภัณฑ์ออกจากกันเป็น C3 Refrigerated มีอุณหภูมิอยู่ที่ -40 องศาเซลเซียส และ C4 Refrigerated มีอุณหภูมิอยู่ที่ -4 องศาเซลเซียส ซึ่งการนำเข้าก๊าซในลักษณะนี้ จะทำให้สามารถนำเข้ามาได้ในปริมาณที่มากกว่า LPG ที่มีอุณหภูมิปกติ 30 องศาเซลเซียส (Pressurize) ในแต่และเที่ยว และเมื่อต้องการผลิตเป็นก๊าซ LPG ก็จะต้องนำก๊าซทั้ง 2 ชนิดมาผ่านระบบ Heater เพื่อให้ก๊าซทั้ง 2 ชนิดนี้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจนเป็นบวก ประมาณ 15-20 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาผสมรวมกันเป็นก๊าซ LPG และจำหน่ายให้ลูกค้าในประเทศ

ด้วยเครื่องจักร, อุปกรณ์และเก็บก๊าซ LPG ที่คลังก๊าซเขาบ่อยา มีอยู่อย่างจำกัด ประกอบกับคลังก๊าซเขาบ่อยาก็ไม่เคยรับก๊าซ C4 Refrigerated เข้าถัง Refrigerated Tank มาก่อน และปริมาณก๊าซมากมายขนาด 100,000 ตันต่อเดือน ที่ต้องรับ และผลิตเป็นก๊าซ LPG ก่อนจำหน่ายให้ลูกค้ารวมทั้งจะต้องไม่เสียค่า Demurrage ในการสูบถ่ายก๊าซขึ้นจากเรือในแต่ละเที่ยว ซึ่งถือเป็นเรื่องท้าทายความสามารถอย่างมากที่คลังก๊าซเขาบ่อยา บ. ปตท. จำกัด (มหาชน) จะต้องทำให้ได้ เพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนก๊าซ LPG

วัตถุประสงค์

1. เพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนก๊าซ LPG ในประเทศ โดยการนำเข้ามาจากต่างประเทศ

2. เพื่อหาทางผลิตก๊าซ LPG ให้ทันต่อความต้องการใช้ในประเทศ

ขอบเขตงานวิจัย

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพของการเพิ่มขีดความสามารถในการรับเข้าก๊าซ Refrigerated C3/ C4 จากเรือ Import ให้เพียงพอต่อความต้องการใช้ LPG ภายในประเทศ ของบริษัท ปตท.จำกัด (มหาชน) โดยเลือกพื้นที่คลังก๊าซเขาบ่อยาในการศึกษา โดยมีระยะเวลาในการศึกษาช่วง พ.ศ. 2552 จนถึงปัจจุบัน เนื่องจากปีดังกล่าวมีอัตราการใช้ก๊าซมีเพิ่มสูงขึ้นในปริมาณมาก และมีมากกว่าความสามารถในการรับเข้า

ผลประโยชน์ที่ได้รับ

1. ผลลัพท์ของงานวิจัยนี้จะสามารถทำให้ประเทศไทยมีก๊าซ LPG ใช้อย่างต่อเนื่อง จนไม่เกิดสภาวะการขาดแคลน โดยที่คลังก๊าซเขาบ่อยา บ.ปตท.จำกัด (มหาชน) ซึ่งรับหน้าที่ในการปฏิบัติการนำเข้าก๊าซ C3 Refrigerated และก๊าซ C4 Refrigerated จากต่างประเทศเข้ามา และผลิตเป็นก๊าซ LPG ให้ทันต่อความต้องการของลูกค้าในประเทศ

2. คลังก๊าซเขาบ่อยา บ. ปตท. จำกัด (มหาชน) สามารถที่จะนำเครื่องจักรอุปกรณ์ที่มีอยู่มาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างเต็มประสิทธิภาพ เนื่องจากสภาพการที่เปลี่ยนไปจากการที่ได้เคยเป็นผู้ส่งออกก๊าซ LPG ไปขายต่างประเทศ แต่ปัจจุบันต้องกลายเป็นผู้นำเข้าก๊าซ LPG จากต่างประเทศเข้ามาใช้ในประเทศ ซึ่งมีผลทำให้เครื่องจักรอุปกรณ์บางตัวไม่มีโอกาสได้ใช้งาน เช่น LPG Refrigerated Ship Loading Pump และ Tank To Tank Transfer Pump เป็นต้น ซึ่งสามารถที่จะนำปั๊มทั้ง 2 ชนิดนี้มาใช้งานได้ และทำประโยชน์อย่างมากในการผลิตก๊าซ LPG จากก๊าซ C3 Refrigerated และ C4 Refrigerated ที่เก็บอยู่ในถัง Cold Tank

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. C3 ก๊าซ Propane เป็นส่วนผสมของก๊าซ LPG มีอยู่ในแหล่งก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบ

2. C4 ก๊าซ Butane เป็นส่วนผสมของก๊าซ LPG มีอยู่ในแหล่งก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบ

3. Refrigerated Tank หรือ Cold Tank หมายถึงถังเก็บก๊าซที่มีอุณหภูมิต่ำจนถึงติดลบ ถังจะถูกออกแบบให้มีฉนวนป้องกันการถ่ายเทอุณหภูมิจากภายในสู่ภายนอกหรือภายนอกสู่ภายใน

4. Sphere Tank หมายถึงถังเก็บก๊าซทรงกลม ใช้เก็บก๊าซ LPG ในสภาพที่อุณหภูมิปกติ เนื่องจากก๊าซ LPG จะมีพลังงานในตัวหรือมีแรงดังที่สูงมากประมาณ 8-10 Bar จึงต้องออกแบบถังเก็บให้เป็นทรงกลมเพื่อกระจายแรงดันในถัง หรือหักเหแรงดันของก๊าซ

5. Insulation หมายถึงฉนวนป้องกันการถ่ายเทอุณหภูมิ จากภายในสู่ภายนอกหรือภายนอกสู่ภายใน ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายชนิดเช่น ใยแก้ว, ใยหิน, โฟม, แคลนเซียมซิลิเกต, เพอร์ไรด์

6. Booster Pump หมายถึงปั๊มแรงดังสูงประมาณ 10-15 Bar ใช้สำหรับปั๊มก๊าซจาก Cargo pump ของเรือซึ่งจะมีแรงดันอยู่ที่ 5-7 Bar จึงต้องใช้ Booster Pump ในการเพื่อแรงดันในการสูบถ่ายก๊าซเข้าเก็บในถัง Sphere Tank ที่มีแรงดันอยู่ที่ 8-10 Bar

7. Transfer Air Heater หมายถึงเครื่องจักรที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิของก๊าซจากอุณหภูมิติดลบให้มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นมาเท่าหรือใกล้เคียงอุณหภูมิของบรรยากาศ คือไม่เกิน 30-35 องศาเซลเซียส แต่ทำจริงได้แค่เพียง 15-20 องศาเซลเซียส

8. Cool Down หมายถึงการทำให้ท่อ หรือ ปั๊ม มีอุณหภูมิต่ำลง เนื่องจากก๊าซมีอุณหภูมิติดลบถึง -40 องศาเซลเซียส ดังนั้นเมื่อมีการใช้งานก็จะทำให้ท่อ และปั๊มมีอุณหภูมิลดต่ำลงถึง-40 องศาเซลเซียสด้วยเช่นกัน

9. M.Ton หรือ Metric Ton หมายถึงหน่วยวัดน้ำหนักในระบบ Metric 1 M.Ton เท่ากับ 1000 กิโลกรัม

10. Density หมายถึงค่าความหนาแน่นของก๊าซ มีหน่วยเป็น g/ cm^3

11. Loss Suction Pump หมายถึงการที่ของเหลวไหลเข้าปั๊มไม่ทัน มีผลทำให้ปั๊มทำงานตัวเปล่าโดยไม่มีของเหลวไหลเข้าปั๊ม ซึ่งเมื่อปั๊มทำงานตัวเปล่าจะทำให้ชิ้นส่วนภายในปั๊มเกิดความร้อน และเสียดสีกัน เนื่องจากเกิดการขยายตัวของชิ้นส่วนภายใน และมีผลทำให้เพลาของปั๊มขาด

12. Lay time หมายถึงระยะเวลาที่เรือกำหนดให้ทางท่าเทียบเรือรับทราบในการขนถ่ายสินค้า เมื่ออยู่ที่ท่าเทียบเรือ

13. Demurrage หมายถึงค่าเสียเวลาในการปฏิบัติงานล่าช้าที่เรือเรียกเก็บจากท่าเทียบเรือ โดยประมาณ 40,000 USD/ Day

บทที่ 2
หลักทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG

ก๊าซปิโตรเลียมเหลวหมายถึง "ก๊าซไฮโดรคาร์บอนเหลว คือ โปรเปน โปรปิลีน นอร์มัลบิวเทน ไอโซบิวเทนหรือบิวทีลีน อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่าง ผสมกันเป็นส่วนใหญ่" โดยทั่วไปเรามักเรียกก๊าซปิโตรเลียมเหลวนี้ว่า ก๊าซ แก๊ส แก๊สเหลว หรือแก๊สหุงต้มส่วนในวงการค้าและอุตสาหกรรม ชื่อที่เรารู้จักกันดี คือ แอล พี แก๊ส (LP GAS) หรือแอล พี จี (LPG) ซึ่งเป็นอักษรย่อ มาจาก Liquefied Petroleum Gas ก๊าซปิโตรเลียมเหลวมีสภาพเป็นก๊าซที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ โดยมีน้ำหนักประมาณ1.5-2 เท่าของอากาศ การที่ได้ชื่อว่าปิโตรเลียมเหลวเนื่องจากก๊าซจะถูกอัดให้อยู่ในสภาพของเหลวภายใต้ความดันเพื่อสะดวกต่อการเก็บและการขนส่ง เมื่อลดความดันก๊าซเหลวนี้จะกลายเป็นไอ สามารถนำไปใช้งานได้

ก๊าซปิโตรเลียมเหลว เป็นเชื้อเพลิงที่มีความสำคัญในปัจจุบัน ใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในครัวเรือน ร้านอาหาร ภัตตาคาร พาณิชยกรรม อุตสาหกรรม และในรถยนต์เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่ขนส่งสะดวกไม่เปลืองที่เก็บ และที่สำคัญคือเผาไหม้แล้วเกิดเขม่าน้อยกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น

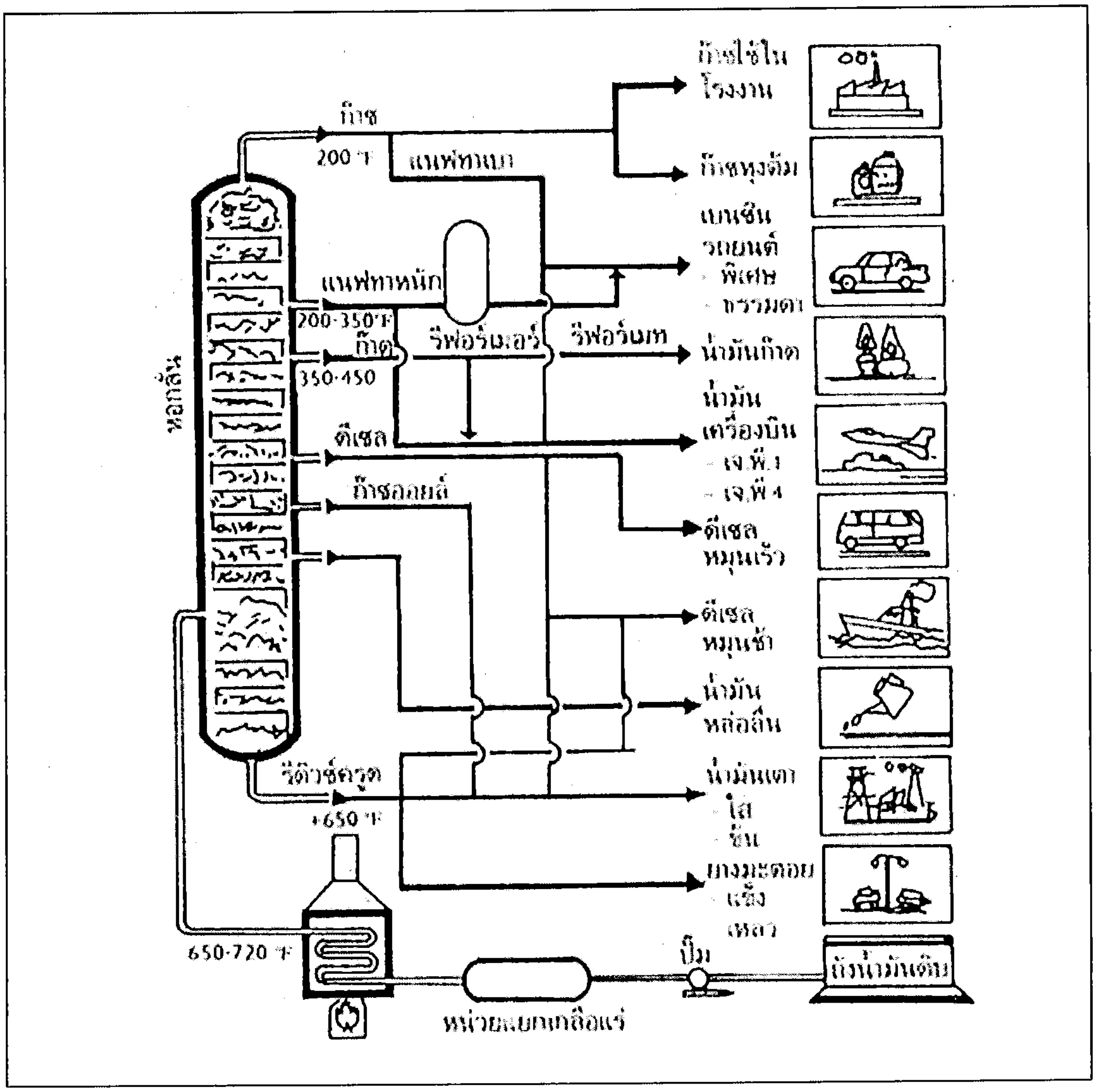
แหล่งที่มาของก๊าซปิโตรเลียมเหลว

แหล่งที่มาของก๊าซมี 2 แหล่ง ได้แก่

1. ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบในโรงกลั่นน้ำมันซึ่งจะได้ก๊าซโปรเปนและบิวเทนประมาณ 1-2% แต่ก่อนที่จะนำ น้ำมันดิบเข้ากลั่นต้องแยกน้ำและเกลือแร่ที่ปนอยู่ออกเสียก่อนหลักจากนั้นนำน้ำมันดิบมาให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิประมาณ 340-400 OC จากนั้นจะถูกส่งเข้าสู่หอกลั่น ซึ่งภายในประกอบด้วยถาด (Tray) เป็นชั้น ๆ หลายสิบชั้น ไอร้อนที่ลอยขึ้นไป เมื่อเย็นตัวลงจะกลั่นตัวเป็นของเหลวบนถาดตามชั้นต่าง ๆ และจะอยู่ชั้นใดขึ้นอยู่กับช่วงจุดเดือนต่ำจะลอยขึ้นสู่เบื้องบนของหอกลั่นคือไฮโดรคาร์บอนที่มีสถานะเป็นก๊าซ (LPG รวมอยู่ในส่วนนี้ด้วย) ส่วนไฮโดรคาร์บอนที่มีจุดเดือนปานกลางและสูงก็จะแยกตัวออกมาทางตอนกลางและตอนล่างของหอกลั่นซึ่งได้แก่แนพทา (Naphtha) น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล และน้ำมันเตา ตามลำดับ

ไฮโดรคาร์บอนที่มีสถานะเป็นก๊าซที่ออกจากด้านบนของหอกลั่นรวมเรียกว่า "ก๊าซปิโตรเลียม" ซึ่งประกอบด้วยส่วนผสมของ ก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอน 1 อะตอมถึง 4 อะตอม และมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H2S) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ไนโตรเจน (N2) ไฮโดรเจน (H2)

และอื่น ๆ ปนอยู่จำเป็นต้องกำจัดหรือแยกออกโดยนำก๊าซปิโตรเลียมผ่านเข้าหน่วยแยกก๊าซแอลพีจี (Gas recovery unit) เพื่อแยกเอาโปรเปนและบิวเทน (หรือแอลพีจี) ออกมาจากนั้นแอลพีจีจะถูกส่งเข้าหน่วยฟอก ซึ่งใช้โซดาไฟ (Caustic soda) เพื่อแยกเอากรด (Acid gas) เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ออกหลังจากนั้นแอลพีจีจะถูกส่งไปเก็บในถังเก็บและมีสภาพเป็นของเหลวภายใต้ความดัน

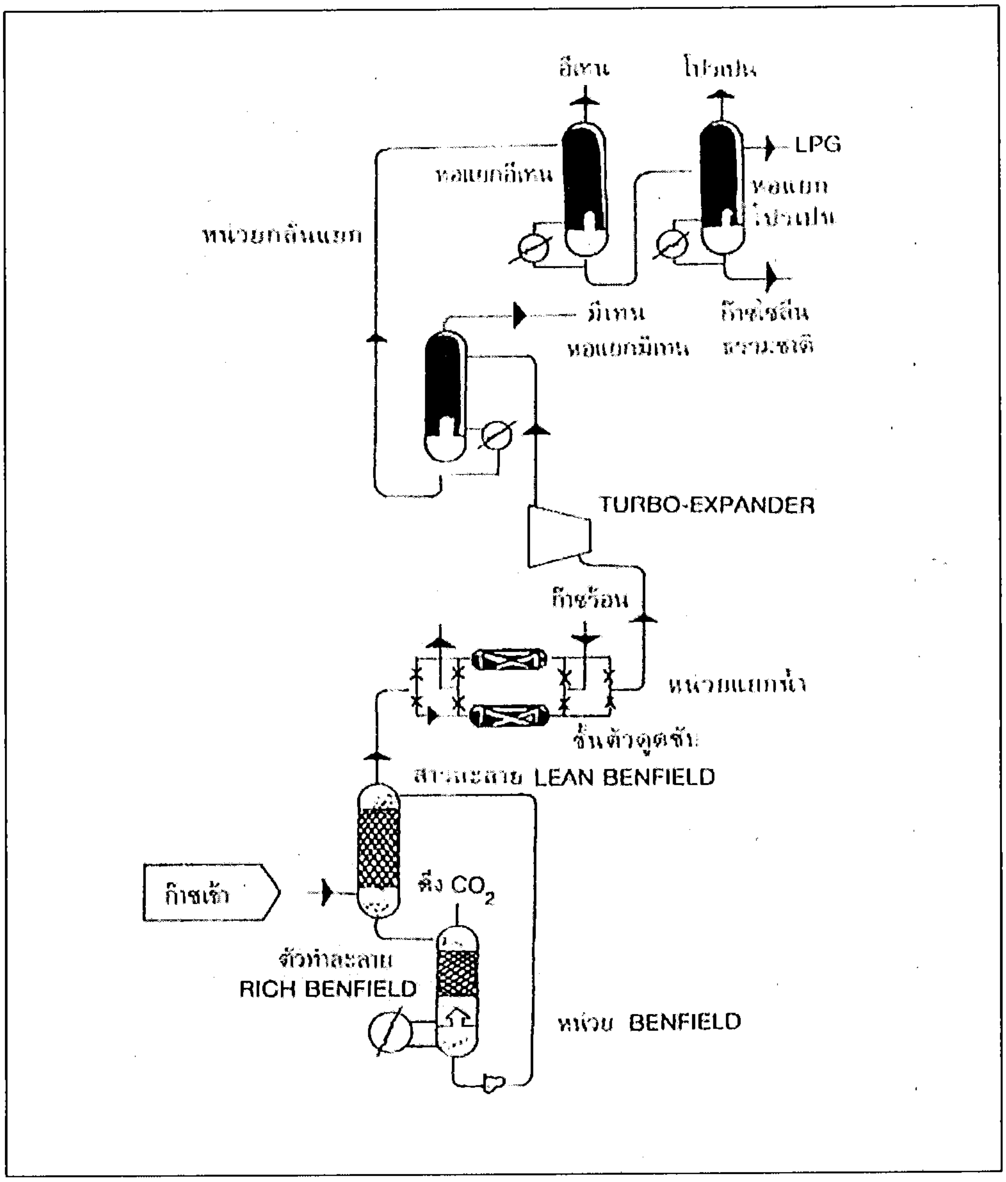


ภาพที่ 2-1 ผลิตน้ำมันแต่ละชนิดที่ถูกกลั่นออกมาจากหอกลั่นน้ำมัน

ที่มา: บทความเรื่องก๊าซปิโตรเลียมเหลว (2558)

2. ได้จากกระบวนการแยกก๊าซธรรมชาติซึ่งจะมีก๊าซโปรเปนและบิวเทนในก๊าซธรรมชาติประมาณ 6-10% ก๊าซธรรมชาติที่นำขึ้นมาจะส่งเข้าสู่โรงแยกก๊าซ (Gas separation plant) เพื่อทำการแยกเอาสารไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในก๊าซธรรมชาติ ออกเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ คือ มีเทน (Methane) อีเทน (Ethane) โปรเปน (Propane) บิวเทน (Butane) แอลพีจี (Liquefied petroleum gas) และก๊าซโซลีนธรรมชาติ (Natural gasoline , NGL)

กระบวนการแยกก๊าซธรรมชาติ เริ่มต้นด้วยการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) และน้ำที่เจือปน อยู่ในก๊าซธรรมชาติออก ก่อน โดยกระบวนการ Benfield ซึ่งใช้โปตัสเซียมคาร์บอเนต (K2CO3) เป็นตัวจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และกระบวนการดูดซับ (Absorption process) โดยใช้สารจำพวก Molecular sieve ซึ่งมีลักษณะเป็นรูพรุน ทำหน้าที่ดูดซับน้ำก๊าซธรรมชาติที่แห้งจากหน่วยนี้จะผ่านเข้าไปใน Turbo-expander เพื่อลดอุณหภูมิจาก 250OK เป็น 170OK และลดความดันลง จาก 43 บาร์ เป็น 16 บาร์ก่อนแล้วจึงเข้าสู่หอแยกมีเทน (De-methanizer) มีเทนจะถูกกลั่นแยกออกไปและส่วนที่เหลือคือส่วนผสมของ ก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนตั้งแต่ 2 อะตอมขึ้นไป (Ethane plus stream) ซึ่งอยู่ในสถานะของเหลวและจะออกทางส่วนล่างของหอผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวหอดังกล่าวจะถูกนำเข้าสู่หอแยกอีเทน (De-ethanizer) และหอแยกโปรเปน (De-propanizer) เพื่อแยกอีเทนและโปรเปนออกตามลำดับต่อไปในหอแยกโปรเปนนี้ โปรเปนจะถูกแยกออกทางด้านบนของหอ ส่วนแอพีจีซึ่งเป็นส่วนผสมของโปรเปนและบิวเทนจะถูกแยกออกมาจากส่วนกลางของหอและส่วนผลิตภัณฑ์ที่ออกจากหอทางด้านล่างคือ ก๊าซโซลีนธรรมชาติ (Natural gasoline)



ภาพที่ 2-2 ผลิตก๊าซแต่ละชนิดที่ถูกแยกออกมาจากหอแยกก๊าซ
ที่มา: บทความเรื่องก๊าซปิโตรเลียมเหลว (2558)

คุณสมบัติของก๊าซปิโตรเลียมเหลว

1. คุณสมบัติทางเคมี

ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอน ที่มีส่วนประกอบของคาร์บอน (C) 3 อะตอม และคาร์บอน (C) 4 อะตอม ใน 1 โมเลกุล ไฮโดรคาร์บอนกลุ่มนี้ประกอบด้วย

โปรเปน (Propane) = C3H8

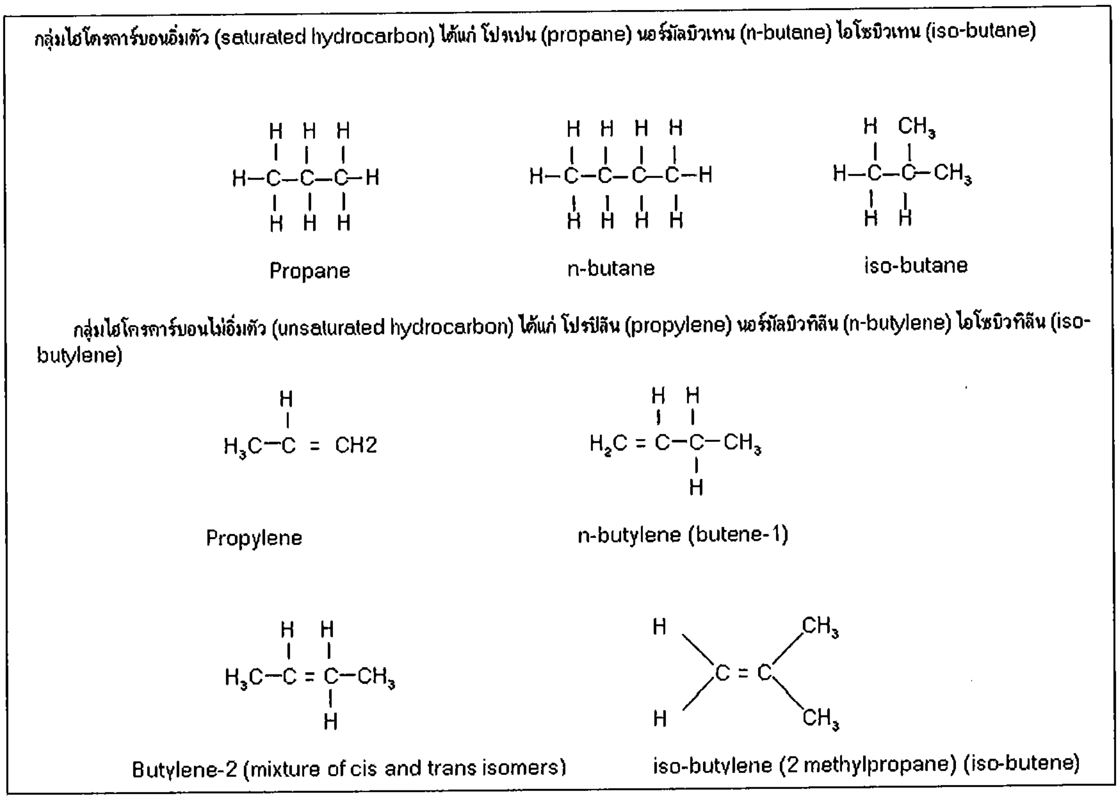
โปรปิลีน (Porpylene) = C3H6

บิวเทน (Butane) = C4H10

บิวทิลีน (Butylene) = C4H8

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ปรากฏอยู่ในส่วนผสมของก๊าซปิโตรเลียมเหลวอาจแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ พวกไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (Saturated hydrocarbon) และไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว (Unsaturated hydrocarbon)

กลุ่มไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (Saturated hydrocarbon) ได้แก่ โปรเปน (Propane) นอร์มัลบิวเทน (N-butane) ไอโซบิวเทน (Iso-butane)



ภาพที่ 2-3 พันธะเคมีของสารไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว
ที่มา: บทความเรื่องก๊าซปิโตรเลียมเหลว (2558)

ก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่ได้มาจากกระบวนการแยกก๊าซธรรมชาติจะประกอบด้วยโปรเปน (Propane) เป็นส่วนใหญ่ สัดส่วนของ C3 และ C4 ขึ้นอยู่กับแหล่งของก๊าซธรรมชาติหากได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ จะประกอบด้วยบิวเทน (Butane) เป็นส่วนใหญ่และอาจมีการผสม C3 และ C4 ในรูปของไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว (Un-saturated hydrocarbon) ซึ่งมักประกอบด้วยโปรปีลีน (Propylene) นอร์มัลบิวทีลีน (N-butylene) ไอโซบิวทีลีน (Iso-butylene) และ butylene-2

คุณสมบัติทางกายภาพ

ก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่ใช้กันอยู่มี 2 สถานะ คือ ของเหลวและก๊าซ ดังนั้นจำเป็นต้องทราบถึงคุณสมบัติทางกายภาพของก๊าซปิโตรเลียมเหลวทั้งสองสถานะ ดังนี้

1. ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเมื่ออยู่ในสถานะเป็นของเหลว

(ก) จุดเดือดและสภาวะวิกฤติ

เนื่องจากแอลพีจีมีจุดเดือดต่ำมาก คือ โปรเปน มีจุดเดือดเท่ากับ –42 องศาเซลเซียส นอร์มัลบิวเทนเท่ากับ -0.5 องศาเซลเซียส ไอโซบิวเทนเท่ากับ – 11.7 องศาเซสเซียส ดังนั้น แอลพีจีมีสถานะเป็นก๊าซที่อุณหภูมิปกติและความดันบรรยากาศเว้นเสียแต่จะถูกอัดให้เป็นของเหลวอยู่ในถังภายใต้ความดันหรือนำถังไปแช่เย็นเอาไว้ ค่าความดันที่ทำให้แอลพีจีเป็นของเหลว คือค่าความดันไอ (Vapor pressure) เช่น ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซสเซียสความดันไอของโปรเปนเท่ากับ 7.3 บรรยากาศ และที่อุณหภูมิสูงขึ้นค่าความดันไอก็จะสูงขึ้นด้วย

โปรเปนที่อุณหภูมิ 96.67 องศาเซลเซียสความดันที่ใช้อัดเท่ากับ 41.94 บรรยากาศเมื่ออุณหภูมิสูงกว่านี้โปรเปนจะไม่เป็นของเหลว แม้ว่าจะอัดด้วยความดันมากกว่า 41.94 บรรยากาศก็ตาม อุณหภูมิ 96.67 องศาเซลเซียส และความดัน 41.94 บรรยากาศ ก็คือสภาวะวิกฤติสำหรับโปรเปน

(ข) ความหนาแน่น ปริมาตรจำเพาะและความถ่วงจำเพาะ

ความหนาแน่น คือ อัตราส่วนของน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรเช่นที่อุณหภูมิ 15.5 องศาเซสเซียสความหนาแน่นของโปรเปนมีค่าเท่ากับ 507 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับส่วนกลับของความหนาแน่นก็คือ ปริมาตรจำเพาะ โปรเปนมีค่าปริมาตรจำเพาะเท่ากับ 2 ลูกบาศก์เมตรต่อตันดังนั้นถ้าต้องการเก็บโปรเปนไว้ใช้ 10 วัน โดยในแต่ละวันมีความต้องการ 0.5 ตันจะต้องใช้ถังที่มีขนาดความจุอย่างน้อยที่สุด 10 ลูกบาศก์เมตร

สำหรับค่าความถ่วงจำเพาะจะแสดงถึงอัตราส่วนของความหนาแน่นระหว่างก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่งกับน้ำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส อย่างเช่นค่าความถ่วงจำเพาะของโปรเปนเหลวที่อุณหภูมิ 15 0C มีค่าเท่ากับ 0.5077 ส่วนนอร์มัลบิวเทน เท่ากับ 0.5844 และไอโซบิวเทนเท่ากับ 0.5631

ดังนั้นก๊าซปิโตรเลียมเหลวในสถานะที่เป็นของเหลวจะเบากว่าน้ำถ้าเกิดมีก๊าซรั่วขึ้นในขณะที่อุณหภูมิโดยรอบในขณะนั้นต่ำมากและก๊าซปิโตรเลียมเหลวเกิดไหลลงไปในรางระบายน้ำคูคลองก๊าซปิโตรเลียมเหลวก็จะลอยไปกับน้ำซึ่งอาจจะทำให้เกิดอัคคีภัยในท้องที่ห่างไกลจากบริเวณที่ก๊าซปิโตรเลียมเหลวรั่วออกไปได้

นอกจากนี้อุณหภูมิยังมีผลต่อค่าความหนาแน่น คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความหนาแน่นของสารเมื่ออยู่ในสถานะของเหลวจะลดลง

(ค) ความหนืด

ความหนืด (ความข้นใส) คือความสามารถในการต้านทานการไหลของของไหล (ของเหลวหรือก๊าซ) ที่มีต่อภาชนะหรือท่อของไหลต่างชนิดกัน จะมีความหนืดแตกต่างกัน

จะเห็นได้ว่าก๊าซปิโตรเลียมเหลวในสภาพของเหลวจะมีความหนืดน้อยมาก (ความหนืดของน้ำเท่ากับ 1 เซนติพอยส์) จากคุณสมบัติอันนี้ ทำให้ก๊าซเหลวรั่วซึมได้ง่ายกว่าของเหลวชนิดอื่น และนอกจากนี้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวไม่มีคุณสมบัติในการหล่อลื่น เนื่องจากมีความหนืดต่ำอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง เช่น ปั๊ม จึงมีการสึกหรอสูงเพราะฉะนั้นอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับก๊าซปิโตรเลียมเหลวจึงต้องออกแบบให้เหมาะสมทนต่อการสึกหรอและแรงดันสูงได้

อนึ่งอุณหภูมิจะมีผลต่อความหนืดของของไหล กล่าวคือของไหลที่มีสถานะเป็นของเหลวเมื่ออุณหภูมิ สูงขึ้น ค่าความหนืดจะลดลงแต่ถ้าเป็นก๊าซ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความหนืดก็สูงขึ้นด้วย

(ง) ความดันไอ (Vapor Pressure)

ก๊าซแอลพีจีเมื่อถูกบรรจุอยู่ในภาชนะปิดภายใต้ความดันจะมีสถานะเป็นของเหลวแอลพีจีเหลวจะระเหยเป็นไอเต็มช่องว่างที่อยู่เหนือระดับส่วนที่เป็นของเหลวจนกระทั่งถึงจุดอิ่มตัว (Saturation point) จึงจะหยุดระเหยค่าความดันของก๊าซแอลพีจีที่จุดอิ่มตัวนี้เรียกว่า “ค่าความดันไออิ่มตัว”

ค่าความดันไออิ่มตัวเป็นตัวบ่งบอกคุณสมบัติการระเหย (Volatility) ของสาร กล่าวคือ ถ้าสารใดมีความดันไอสูง แสดงว่าสารนั้นสามารถระเหยได้เร็วและเป็นค่าที่ขึ้นกับอุณหภูมิโดยตรง กล่าวคือ ถ้าอุณหภูมิสูงค่าความดันไออิ่มตัวก็สูงขึ้นด้วย

(จ) ความร้อนแฝงในการระเหย

ความร้อนแฝงในการระเหย คือปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการระเหยต่อหน่วยน้ำหนักของสารเพื่อเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นก๊าซที่จุดเดือดปกติ (ณ ความดันบรรยากาศ) หรือปริมาณความร้อนที่ต้องถูกดึงออกต่อหน่วยน้ำหนักของสารเพื่อให้ได้กลั่นตัวเป็นของเหลวที่ความดันบรรยากาศและค่าความร้อนแฝงจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นซึ่งก๊าซปิโตรเลียมเหลวมีค่าความร้อนแฝงน้อยกว่าน้ำมาก

ดังนั้นเมื่อก๊าซถูกปล่อยออกจากภาชนะเก็บ ก๊าซเหลวจะระเหยการที่ก๊าซเหลวระเหยได้ต้องได้รับความร้อนหรือดึงความร้อนจากบริเวณใกล้เคียงซึ่งจะทำให้บริเวณที่ถูกดึงความร้อนไป

จะมีความเย็นจัดเพราะฉะนั้นถ้าก๊าซเหลวรั่วมาถูกผิวหนังหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของร่างกายจะทำให้ผิวหนังหรือส่วนของร่างกายนั้นได้รับความเย็นจัด จนถึงกับไหม้

(ฉ) ความร้อนจำเพาะ

ค่าความร้อนจำเพาะ คือปริมาณความร้อนที่ทำให้วัตถุหนึ่งหน่วยน้ำหนักมีอุณหภูมิสูงขึ้นหนึ่งองศามีหน่วยเป็นกิโลแคลอรี่/ กิโลกรัม/ องศาเซลเซียส หรือ บีทียู/ ปอนด์/ องศาฟาเรนไฮต์เช่น เมื่ออยู่ในสถานะของเหลว ความดันคงที่ 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสค่าความร้อนจำเพาะของโปรเปนเท่ากับ 0.6023 นอร์มัลบิวเทนเท่ากับ 0.5748 ไอโซบิวเทนเท่ากับ 0.5824 Commercial propane เท่ากับ 0.60 และ Commercial butane เท่ากับ 0.57

(ช) สัมประสิทธิ์การขยายตัว

ก๊าซปิโตรเลียมเหลวมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวที่ 15 องศาเซลเซียส ประมาณ 0.300/ 0C สำหรับโปรเปน และ 0.002/ 0C สำหรับบิวเทนอุณหภูมิ ยิ่งสูงการขยายตัวยิ่งมากตัวเลขนี้จำเป็นอย่างยิ่งใช้ในการคำนวณปริมาตรสูงสุดที่สามารถจะบรรจุก๊าซลงภาชนะหรือถังเก็บได้ในสภาพอุณหภูมิต่าง ๆ กัน ดังนั้นการบรรจุก๊าซปิโตรเลียมเหลวลงในถังจะต้องเหลือที่ว่างเหนือก๊าซเหลวไว้โดยในส่วนของช่องว่างนี้จะมีไอก๊าซอยู่ ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความดันที่เกิดการขยายตัวของของเหลวในกรณีที่ก๊าซได้รับความร้อนผิดปกตินอกจากนี้ระบบท่อส่งต่าง ๆ ที่ส่งก๊าซปิโตรเลียมเหลวจำเป็นต้องมีกลอุปกรณ์นิรภัยแบบระบาย (Hydrostatic relief valve) ไว้ในระบบด้วย ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำคัญตัวหนึ่ง

2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของก๊าซปิโตรเลียมเหลว เมื่ออยู่ในสถานะเป็นก๊าซ

(ก) ความหนาแน่น ปริมาตรจำเพาะและความถ่วงจำเพาะ

ค่าความถ่วงจำเพาะของก๊าซปิโตรเลียมเหลวเมื่อเป็นก๊าซจะแสดงถึงอัตราส่วนของความหนาแน่นระหว่างก๊าซกับอากาศที่อุณหภูมิและความดันเดียวกันหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าเป็นตัวเลขที่ชี้ให้เห็นว่าก๊าซปิโตรเลียมเหลวเมื่อเป็นก๊าซจะหนักเป็นกี่เท่าของอากาศ (เมื่อความหนาแน่นของอากาศ = 1)

ที่อุณหภูมิ 15.50C (600F) ณ ความดันบรรยากาศโปรเปนมีค่าความถ่วงจำเพาะเมื่อเป็นก๊าซ เท่ากับ 1.5 บิวเทน มีค่าความถ่วงจำเพาะเมื่อเป็นก๊าซ เท่ากับ 2.0

ดังนั้น ก๊าซปิโตรเลียมเหลวในสถานะที่เป็นก๊าซจะหนักกว่าอากาศเมื่อเกิดการรั่วไหลขึ้นก๊าซจะไปรวมตัวอยู่ในที่ต่ำและถ้าบริเวณที่ต่ำนั้นเป็นรางระบายน้ำหรือคูคลอง ก๊าซอาจจะไหลตามน้ำไปทำให้เกิดอุบัติเหตุไฟไหม้ ณ จุดซึ่งห่างไกลจากบริเวณที่ก๊าซรั่วได้ ความหนืดก๊าซปิโตรเลียมเหลวในสถานะของก๊าซจะมีความหนืดสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

(ค) ความสามารถในการอัดตัวของก๊าซแอลพีจี (Compressibility factor)

สำหรับก๊าซอุดมคติ (Ideal gas) ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิความดันและปริมาตร สามารถแสดงโดย สมการสภาวะ (Equation of state) คือ PV = nRT (P = ความดัน , V = ปริมาตร , n = จำนวนโมล , R = gas constant T = อุณหภูมิ) แต่สำหรับก๊าซแอลพีจีจะมีลักษณะเบี่ยงเบนไป จากก๊าซอุดมคติ ดังนั้นเพื่อให้สามารถใช้สมการสภาวะได้ จึงจำเป็นต้องเพิ่มค่าความสามารถในการอัดตัวของก๊าซ (Compressibility factor, Z) เข้าไปในสมการคือ PV = ZnRTสำหรับก๊าซไม่อุดมคติ โดยที่ Z จะมีค่าน้อยกว่า 1 คือที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ณ ความดันบรรยากาศโปรเปน นอร์มัลบิวเทน และไอโซบิวเทน มีค่า Z = 0.984 , 0.969 และ 0.971 ตามลำดับ

(ง) ช่วงการลุกไหม้ (Flammability Limits in Air)

ก๊าซที่สันดาปได้จะมีช่วงส่วนผสมกับอากาศเพียงช่วงเดียวที่จุดไฟแล้วลุกไหม้ได้เพราะมีอากาศผสมอยู่ในปริมาณที่พอเหมาะ ช่วงการลุกไหม้ได้จะแสดงค่าเป็นอัตราส่วนร้อยละ (%) ปริมาตร ก๊าซต่ออากาศค่าทางด้านความเข้มข้นสูงของช่วงการลุกไหม้ เรียกว่าค่าขอบบนส่วนทางด้านต่ำ เรียกว่าค่าขอบล่าง ก๊าซแอลพีจีจะสามารถลุกไหม้หรือติดไฟได้ก็ต่อเมื่อมีก๊าซผสมอยู่ในอากาศ 2-9% คือถ้ามีก๊าซแอลพีจีต่ำกว่า 2 ส่วนหรือมากกว่า 9 ส่วนในส่วนผสมของก๊าซกับอากาศกับอากาศ 100 ส่วน ส่วนผสมนั้นก็จะไม่ติดไฟ

(จ) อุณหภูมิของจุดติดไฟ (Ignition Temperature)

เมื่อค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิให้กับเชื้อเพลิงจนเลยอุณหภูมิค่าหนึ่งแล้วเชื้อเพลิงก็จะเริ่มลุกไหม้เอง แม้จะไม่มีประกายไฟหรือสาเหตุของการติดไฟอุณหภูมิต่ำสุดที่เริ่มเกิดการลุกไหม้ตามธรรมชาตินี้เรียกว่าอุณหภูมิของจุดติดไฟ (Ignition Temperature) เนื่องจากอุณหภูมิจุดติดไฟของโปรเปน คือ 460-580 องศาเซลเซียส และของบิวเทนคือ 410-550 องศาเซลเซียส ดังนั้นก๊าซปิโตรเลียมเหลวจึงติดไฟได้ยากกว่าเมื่อเทียบกับน้ำมันเบนซินซึ่งมีจุดติดไฟ 280-430 องศาเซลเซียส และน้ำมันดีเซล 250-340 องศาเซลเซียสดังนั้นเกี่ยวกับเรื่องนี้จึงกล่าวได้ว่าก๊าซปิโตรเลียมเหลวมีความปลอดภัยสูงกว่า

(ฉ) อุณหภูมิของเปลวไฟ (Flame temperature)

อุณหภูมิของเปลวไฟที่ได้จากการเผาไหม้ของแอลพีจีสูงมากพอที่จะหลอมโลหะต่าง ๆ ได้เช่น หลอมเหล็ก ทองเหลือง อลูมิเลียม และแก้ว เป็นต้น โดยโปรเปนมีอุณหภูมิของเปลวไฟในอากาศ 1,930 องศาเซลเซียส และบิวเทน 1,900 องศาเซลเซียสดังนั้นจึงเหมาะสำหรับงานอุตสาหกรรมหลอมโลหะนอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในการอบเครื่องเคลือบดินเผา อบสี ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

(ช) ค่าอ๊อกเทน (Octane Number)

ก๊าซแอลพีจีมีค่าอ๊อกเทนสูง ประมาณ 95-110 ซึ่งสูงกว่าค่าอ๊อกเทนของน้ำมันเบนซินจึงเหมาะกับการใช้เป็นเชื้อเพลิงของรถยนต์มาก

(ซ) อัตราส่วนปริมาตรของเหลว/ ก๊าซ (Liquid/ Vapor Volume Ratio)

แอลพีจีเหลวเมื่อระเหยและเปลี่ยนสถานะไปเป็นก๊าซ ปริมาตรจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากกล่าวคือที่อุณหภูมิ 15.5 องศาเซลเซียส (60 F) โปรเปนเหลว 1 หน่วยปริมาตรเมื่อกลายเป็นก๊าซจะมีปริมาตรเป็น 274 หน่วย ส่วนบิวเทนเหลว 1 หน่วยปริมาตรเมื่อกลายเป็นก๊าซจะมีปริมาตรเป็น 233 หน่วย

ดังนั้นแอลพีจีในสถานะที่เป็นของเหลว ถ้ารั่วออกมาจะมีอันตรายมากกว่าที่เป็นก๊าซ เพราะจำนวนที่ออกมาเป็นของเหลว เมื่อกลายเป็นก๊าซจะเพิ่มปริมาตร มากขึ้นปริมาณก๊าซมากอันตรายและความรุนแรงก็ย่อมมีมาก

(ฌ) ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ (Air Requirement)

ก๊าซออกซิเจนเป็นก๊าซที่มีส่วนผสมอยู่ในอากาศ 21 % โดยปริมาตรและเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้เกิดการเผาไหม้ดังนั้นปริมาณอากาศที่ป้อนเข้าไปใน ห้องเผาไหม้จะต้องมีปริมาณที่แน่นอนในกรณีที่ก๊าซแอลพีจีเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ทั้งหมดก็จะกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำและการเปลี่ยนแปลงนี้เขียนเป็นสมการเคมีได้ดังต่อไปนี้

โปรเปน	$C_3H_8 + 5O_2$	$\longrightarrow 3CO_2 + 4H_2O$
บิวเทน	$C_4H_{10} + 6.5O_2$	$\longrightarrow 4CO_2 + 5H_2O$

ดังจะเห็นได้จากสมการเหล่านี้ปริมาณออกซิเจนที่จำเป็นต่อการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์จะเป็น 5 เท่าในกรณีของโปรเปน และ 6.5 เท่าในกรณีของบิวเทน เนื่องจากปริมาณออกซิเจนในอากาศมีประมาณ 21% ฉะนั้นในการเผาไหม้โปรเปนอย่างสมบูรณ์ 1 ลูกบาศก์เมตร จะต้องใช้อากาศ 24 ลูกบาศก์เมตร ส่วนบิวเทน 1 ลูกบาศก์เมตร จะใช้อากาศ 31 ลูกบาศก์เมตรดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซินแล้วแอลพีจีต้องการปริมาณอากาศมากกว่าเล็กน้อย

(ญ) ค่าความร้อนของการเผาไหม้ (heat of combustion)

ค่าความร้อนของการเผาไหม้ของก๊าซแอลพีจีหมายถึงค่าปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากการนำเอาก๊าซแอลพีจีหนึ่งหน่วยน้ำหนักหรือหนึ่งหน่วยปริมาตรมาเผาไหม้ที่ความดันบรรยากาศ

และอุณหภูมิปกติ (25 องศาเซลเซียส) ค่าความร้อนของการเผาไหม้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงและใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องจักร

(ฎ) สี กลิ่นและการละลาย

แอลพีจีบริสุทธ์ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ดังนั้น บริษัทผู้ผลิตก๊าซแอลพีจีจึงต้องเติมสารประกอบที่มีกลิ่นเหม็นลงไปด้วยเพื่อให้ผู้ใช้รู้ตัวเมื่อก๊าซแอลพีจีเกิดรั่ว หรือผู้ใช้ลืมปิดวาล์วใช้ก๊าซ สารประกอบที่เติมลงไปเพื่อทำให้ก๊าซแอลพีจีมีกลิ่นเหม็นเป็นสารพวกเมอร์แคบแทน (Mercaptan)

นอกจากนี้ก๊าซแอลพีจี มีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลาย (Solvent) เช่นเดียวกับพวกน้ำมันระเหย จึงสามารถละลายหรือทำให้อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ทำมาจากยางธรรมชาติเสียคุณสมบัติได้ เช่น ปะเก็น หรือซีลต่าง ๆ ดังนั้นอุปกรณ์ที่นำมาใช้กับถังที่บรรจุก๊าซแอลพีจีควรใช้วัสดุอื่นที่ไม่ได้ทำมาจากยางธรรมชาติ เช่น ยางสังเคราะห์ เป็นต้น

อันตรายที่มีผลต่อสุขภาพอนามัยและมาตรฐานอาชีวอนามัยและความปลอดภัย

ผู้ที่ปฏิบัติการเกี่ยวข้องกับก๊าซปิโตรเลียมเหลวหากได้รับก๊าซจำนวนน้อยจะไม่เกิดอันตรายแต่อย่างใด แต่ถ้าร่างกายได้รับก๊าซนี้ใน ปริมาณระดับหนึ่งก็จะมีผลให้เกิดอันตรายได้

มาตรฐานอาชีวอนามัยและความปลอดภัยสำหรับผู้ใช้แรงงานที่ต้องคลุกคลีและเกี่ยวข้องกับแอลพีจีโดยทั่วไปแล้วจะกำหนดเป็นระดับความเข้มข้นเฉลี่ยของแอลพีจีในอากาศของสถานที่ทำงานในระยะเวลาการทำงานวันละ 8 ชั่วโมง ในเรื่องนี้กระทรวงแรงงานสหรัฐอเมริกาได้กำหนดมาตรฐานอาชีวอนามัยและความปลอดภัยของแอลพีจีไว้ว่า “ในอากาศสถานที่ที่ทำงานจะมีแอลพีจีได้ไม่เกิน 1,000 ส่วน ต่ออากาศล้านส่วน (Ppm) โดยเฉลี่ยในระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมง หรือ 1,800 มิลลิกรัมของแอลพีจีต่อหนึ่งลูกบาศก์เมตรของอากาศ”

แอลพีจีจัดอยู่ในกลุ่มที่เรียกว่า ยาสลบทั่วไป (General anesthetics) ซึ่งเป็นตัวที่ทำให้ผู้สูดดมก๊าซนี้เข้าไปมาก เกิดอาการง่วงเหงาหาวนอนเนื่องจากก๊าซนี้เป็นตัวไปกดระบบประสาทส่วนกลาง (Central nervous system depressants) ในรายที่สัมผัสก๊าซนี้จะทำให้เกิดระคายเคืองต่อเยื่อบุต่าง ๆ (Mucous membrane) ทำให้ระคายเคืองต่อผิวหนัง ทำให้ผิวหนังแห้งเนื่องจากก๊าซนี้เป็นตัวละลายไขมันของผิวหนัง (Defat the skin) ทำให้เกิดโรคผิวหนัง (Dermatitis) ในกรณีหายใจเข้าไปมาก ๆ อาจจะทำให้เป็นโรคปอดอักเสบ (Preumonitis) ปอดบวม (Pulmonary edcma) และตกเลือด (Hemorrhage) หากหายใจสูดแอลพีจีเข้าไปมาก ๆ อาจถึงแก่ความตาย เพราะขาดออกซิเจน เช่นกรณีอยู่ในห้องปิด ไม่มีอากาศระบาย

ถ้าก๊าซรั่วโดยเฉพาะอย่างยิ่งขณะนอนหลับก็จะหายใจเอาก๊าซเข้าไปทำให้ขาดออกซิเจนหมดสติและตายได้ สำหรับในบางกรณี ที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ใช้ก๊าซเช่น เครื่องทำน้ำร้อนในห้องอาบน้ำ ที่มีขนาดเล็กและแคบไม่มีการหมุนเวียนอากาศที่ดีขณะที่ใช้น้ำร้อนแอลพีจีก็จะถูกเผาไหม้

เพื่อให้ความร้อนออกซิเจนภายในห้องถูกใช้ไปในการเผาไหม้เรื่อย ๆ น้อยลงทุกที จึงอาจเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (Incomplete Combustion) เกิดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) แทนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ซึ่งก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์นี้เมื่อหายใจเข้าไปจะเกิดอันตราย บางรายทำให้ถึงแก่ความตายได้

ข้อปฏิบัติในกรณีฉุกเฉิน

ในกรณีที่เกิดเหตุฉุกเฉินขึ้นและมีผู้ได้รับอันตรายควรจัดให้มีการปฐมพยาบาลอย่างทันที ดังนี้

- กรณีแอลพีจีเหลว กระเด็นหรือกระฉอกเข้าตาจะต้องรีบล้างตาด้วยน้ำสะอาดหลาย ๆ ครั้งอย่างฉับพลันและให้ดึงหนังตาล่าง และหนังตาบนอยู่เสมอห้ามใช้น้ำร้อนล้างตาเป็นอันขาด แล้วรีบส่งผู้ป่วยไปยังสถานพยาบาลทันที
- กรณีที่แอลพีจีเหลว ถูกผิวหนัง จะต้องล้างด้วยน้ำทันทีและเมื่อเสื้อผ้าเปียกชุ่มด้วยแอลพีจีเหลว จะต้องถอดเสื้อผ้าออกทันทีแล้วอาบน้ำชำระล้างผิวหนังด้วยน้ำให้หมด ห้ามใช้น้ำร้อนชำระล้างผิวหนังเป็นอันขาดถ้าหากรู้สึกระคายเคืองผิวหนังหลังจากชำระล้าง ด้วยน้ำเรียบร้อยแล้วจะต้องส่งผู้ป่วยไปยังสถานพยาบาลทันที
- กรณีที่หายใจเอาแอลพีจีเข้าไปในปริมาณที่สูงจะต้องเคลื่อนย้ายผู้ป่วยไปยังบริเวณที่มีอากาศบริสุทธิ์ถ้าหากผู้ป่วยนั้นหยุดหายใจจะต้องช่วยผายปอดหรือใช้เครื่องช่วยหายใจแล้วจึงให้ผู้ป่วยได้พักผ่อนและห่มผ้าให้ร่างกายอบอุ่นแล้วส่งผู้ป่วยไปยังสถานพยาบาลโดยเร็ว

การวิเคราะห์การปฏิบัติงานและการศึกษาเวลาในการทำงาน

1. การวิเคราะห์การปฏิบัติงาน

การวิเคราะห์การปฏิบัติงานถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญมากขั้นตอนหนึ่งสำหรับการบริหารการจัดการและปรับปรุงกระบวนการทำงานโดยทั่วไปแล้วการวิเคราะห์ปฏิบัติงานสามารถทำได้กับงานทุก ๆ ชนิดตั้งแต่กระบวนการผลิตงานบริการและงานเอกสารต่าง ๆ จุดประสงค์ของการวิเคราะห์การปฏิบัติงานก็เพื่อเข้าใจภาพรวมของการทำงานนั้น ๆ ตลอดตั้งแต่ต้นจนจบงานทั้งในส่วนของวิธีของทำงานวัตถุดิบเครื่องมืออุปกรณ์และเอกสารที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาวิเคราะห์ถึงจุดด้อยและทำการปรับปรุงงานให้ดีขึ้นต่อไปข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์การปฏิบัติงานจะทำให้สามารถนำไปสู่ความเข้าใจในขั้นตอนการทำงานโดยละเอียดอาทิเช่นจุดประสงค์ของการทำงานอุปกรณ์และเครื่องมือที่จำเป็นวัตถุดิบและวัสดุต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องของเสียที่เกิดขึ้นรวมไปถึงเวลาที่ใช้ในการทำงานและเวลาที่ไม่ก่อให้เกิดงานเป็นต้นซึ่งข้อมูลเหล่านี้ถือเป็นข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับวางแผนการทำงานการบริหารจัดการงานและปรับปรุงแก้ไขงานเพื่อให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

เรื่องที่ 1.1 แผนภูมิสำหรับการวิเคราะห์กระบวนการทำงาน

เนื่องจากการวิเคราะห์การปฏิบัติงานนั้นมุ่งหน้าที่จะทำให้เกิดความเข้าใจในการทำงานโดยละเอียดดังนั้นเพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจจึงมีการจำลองการทำงานตั้งแต่ต้นจนจบผ่านทางแผนภูมิลักษณะต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. แผนภูมิกระบวนการดำเนินงาน (Operation process chart)
2. แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow process chart)
3. แผนภูมิการเคลื่อน (Flow diagram)

โดยแต่ละแผ่นภูมิก็วัตถุประสงค์แตกต่างกันดังต่อไปนี้

2. แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow process chart)

แผนภูมิชนิดนี้เน้นที่การแสดงถึงกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำงานได้แก่การทำงานการขนถ่ายการตรวจสอบการรอและการเก็บคงคลังโดยจะแสดงเวลาและระยะทางที่เกี่ยวข้องกับแต่ละกิจกรรมดังกล่าวด้วยชนิดของแผนภูมิกระบวนการไหล

1. แผนภูมิกระบวนการไหลของผลิตภัณฑ์ (Product flow process chart) จะแสดงถึงกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของวัสดุหรือผลิตภัณฑ์

2. แผนภูมิกระบวนการไหลของกระบวนการทำงาน (Operative flow process chart) เป็นแผนภูมิกระบวนการไหลที่บันทึกการทำงานและลำดับขั้นตอนในการทำงานของคนงานในการทำงานต่าง ๆ

สัญลักษณ์ของแผนภูมิกระบวนการดำเนินงานมี 5 ชนิดได้แก่วงกลมลูกศรสี่เหลี่ยมจัตุรัสสัญลักษณ์ “D” และสามเหลี่ยมกลับหัวดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 2-1 สัญลักษณ์ของแผนภูมิกระบวนการดำเนินงาน

สัญลักษณ์	ความหมาย
○	การปฏิบัติงาน
⇨	การเคลื่อนที่
□	การตรวจสอบงาน การตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน
D	การรอ
▽	การเก็บคงคลัง

ที่มา: เรืองศักดิ์แก้วธรรมชัย (2558)

แผนภูมิวิเคราะห์กระบวนการไหล หน้า ___ จาก ___

วิธีปัจจุบัน ☐ วิธีใหม่ ☐

ชื่องาน ______________ ชื่อกระบวนการ ______________

แผนก ______________ โรงงาน ______________

ชื่อผู้วิเคราะห์ ______________ วันที่ ______________

ขั้นตอนที่	ทำงาน ขนถ่าย ตรวจสอบ รอ คงคลัง	รายละเอียด	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (วินาที)
	○ ⇨ □ D ▽			
	○ ⇨ □ D ▽			
	○ ⇨ □ D ▽			
	○ ⇨ □ D ▽			
	○ ⇨ □ D ▽			
	○ ⇨ □ D ▽			
	○ ⇨ □ D ▽			
	○ ⇨ □ D ▽			
	○ ⇨ □ D ▽			
	○ ⇨ □ D ▽			

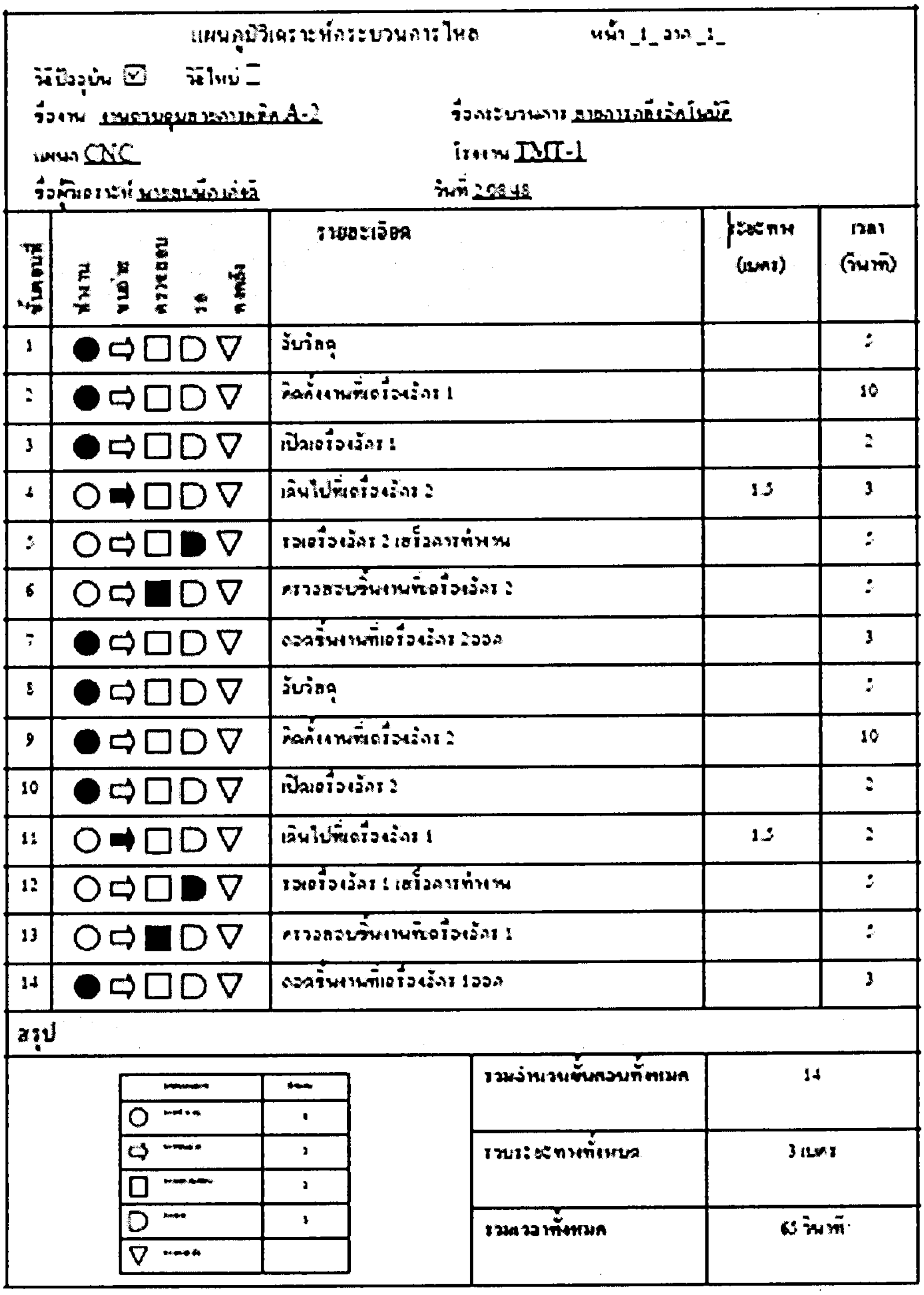
สรุป

[illegible]	[illegible]
○ [illegible]	
⇨ [illegible]	
□ [illegible]	
D [illegible]	
▽ [illegible]	

รวมจำนวนขั้นตอนทั้งหมด	
รวมระยะทางทั้งหมด	
รวมเวลาทั้งหมด	

ภาพที่ 2-4 แผนภูมิกระบวนการไหล

ที่มา: เรืองศักดิ์แก้วธรรมชัย (2558)



ภาพที่ 2-5 แผนภูมิกระบวนการไหลของกระบวนการทำงาน

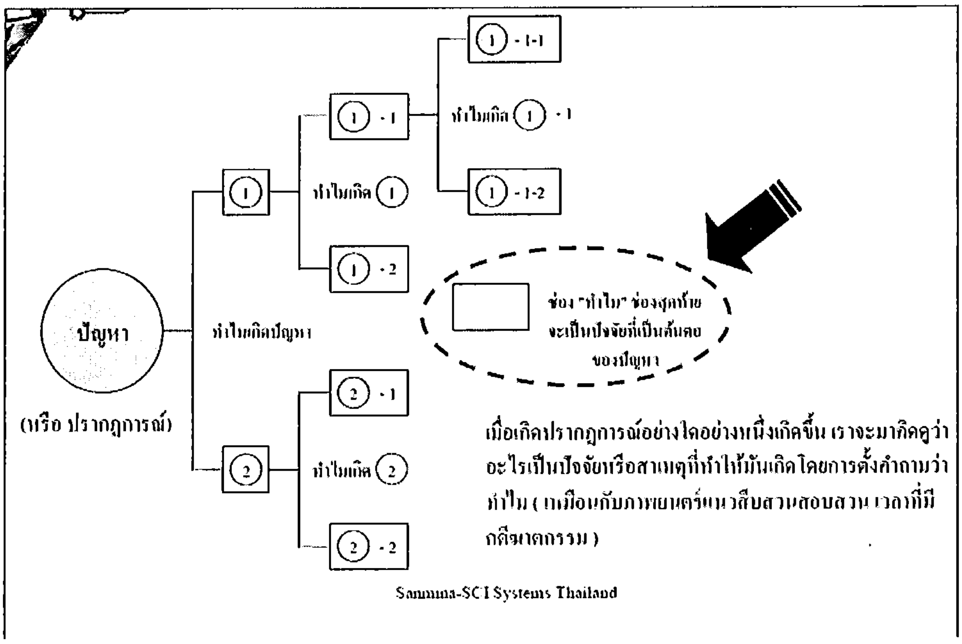
ที่มา: เรืองศักดิ์แก้วธรรมชัย (2558)

2.3 Why Why Analysis

1 Why Why Analysis คืออะไร?

Why Why Analysis ถือเป็นเครื่องมือที่นิยมใช้กันมากตัวหนึ่งในการหาต้นตอของปัญหา (Root Cause) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นเทคนิคการวิเคราะห์หาปัจจัยที่เป็นต้นเหตุของปรากฏการณ์หรือปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อให้ได้พบต้นตอหรือรากเหง้าที่แท้จริงและที่สำคัญคือเพื่อนำไปสู่การแก้ไขและป้องกันการเกิดซ้ำต่อไป แนวคิดของ Why Why จะคล้าย ๆ กับ 5Whys ขอให้ดูรูปในหน้าถัดไป

2. วิธีการคิดของ Why Why Analysis



ภาพที่ 2-6 รูปแบบการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้ Why Why Analysis
ที่มา: SCI Systems Thailand

3. จุดประสงค์ในการทำ Why – Why Analysis

1. เพื่อให้พนักงานทุกคนที่ทำงานในหน่วยการผลิตมีความชำนาญและสามารถคิดหรือวิเคราะห์ในเชิงทฤษฎีได้

2. สามารถปรับปรุงแก้ไขได้

3. เพื่อให้มีความรู้และความเข้าใจถึงโครงสร้างและการทำงานของเครื่องจักร

4. ทำให้พนักงานทราบได้การวิเคราะห์หาต้นตอของความผิดปกติของเครื่องจักรหรือการทำงานด้วยการวิเคราะห์อย่างถูกต้อง

5. เพื่อให้เกิดแนวคิดที่จะหามาตรการป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาขึ้นซ้ำอีก

6. ผู้เข้าร่วมในการวิเคราะห์ประกอบด้วยฝ่ายซ่อมบำรุงและระดับปฏิบัติงานจึงทำให้ทุกคนสามารถทราบสาเหตุของปัญหาร่วมกัน

4. ก่อนการวิเคราะห์ด้วย Why-Why Analysis

1) สะสางปัญหาให้ชัดเจนยึดกุมข้อเท็จจริงให้มั่น

1.1) สะสางปัญหาให้ชัดเจนโดยไปดูข้อเท็จจริงที่ต้นตอหรือสาเหตุจริง ๆ ข้อนี้ถือเป็นเรื่องสำคัญมากเราต้องไปดูที่สถานที่ที่เกิดเหตุการณ์จริง ๆ เพื่อให้รู้อย่างลึกซึ้งว่ามีที่มาที่ไปอย่างไรและลักษณะอาการเป็นอย่างไร (เพื่อป้องการการนั่งที่โต๊ะแล้วนึก ๆ ถาม ๆ เอาแต่เพียงอย่างเดียว) โดยทั่วไปจะใช้แนวทางของ 5Gen

Genba พื้นที่จริง

Genbutsu ของจริง (ชิ้นงานที่เกิดปัญหา)

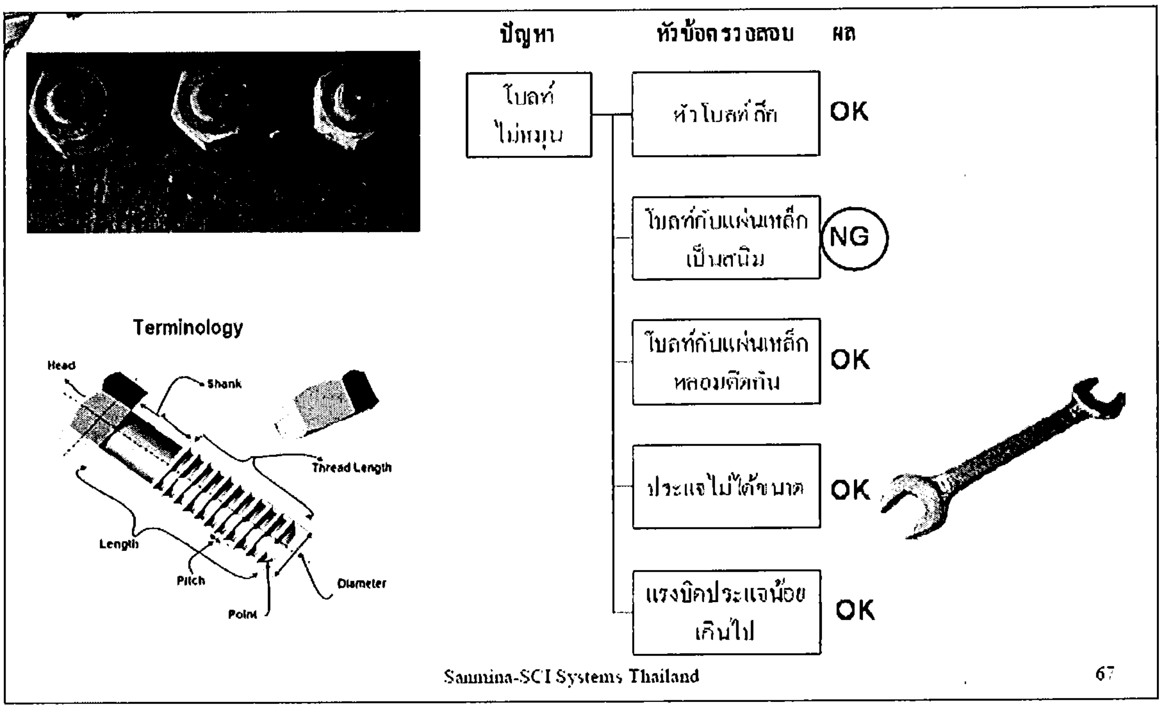
Genjisu สถานการณ์จริง (ใช้ข้อมูลจริง)

Genri หลักการทางทฤษฎีและปฏิบัติ

Gensoku ระเบียบกฎเกณฑ์

ในอดีตนั้นการวิเคราะห์ด้วย 5Whys หรือ Why Why Analysis มันจะขาดการทวนสอบจากสถานที่จริงโดยมักจะทำการวิเคราะห์อยู่บนโต๊ะทำงานหรือห้องประชุมเสียมากกว่าทำให้ปัญหาไม่ได้รับการแก้ไขและค่อนข้างจะมีการเอนเอียง (Bias) ให้เข้ากับความคิดของผู้ตอบคำถามมากกว่าสภาพจริงที่อยู่หน้างาน นอกจากนั้นเรื่องบางเรื่องที่เราสงสัยเราสามารถตรวจสอบได้ทันทีที่หน้างานทำให้เราสามารถลดหัวข้อในการซักถามลงไปได้มาก

โบลท์ (Bolt) ที่ใช้ยึดแผ่นโลหะ



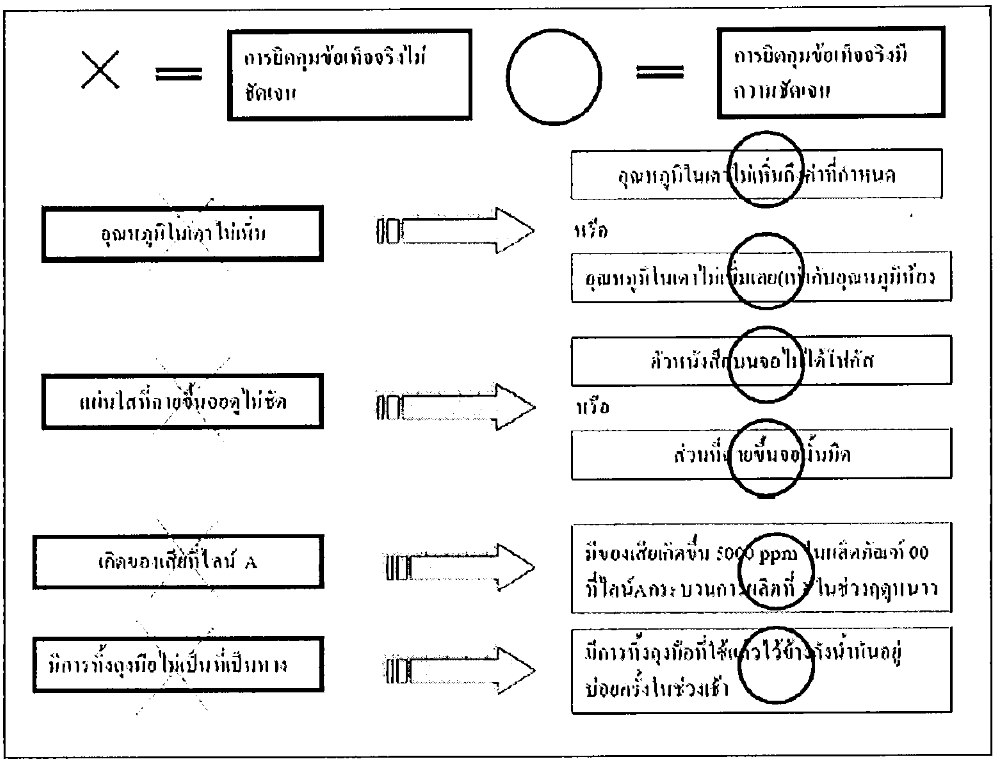
ภาพที่ 2-7 ตัวอย่างการวิเคราะห์ปัญหาโบลท์ไม่หมุนโดยใช้ Why Why Analysis

ที่มา: SCI Systems Thailand

จากตัวอย่างที่ยกมาจะเห็นว่าการไปดูที่สถานที่เกิดเหตุจริงจะทำให้เราตัดประเด็นในหัวข้อที่เราต้องทำการตรวจสอบออกไปได้จะทำให้เหลือแค่สิ่งที่เกิดปัญหาจริง ๆ

1.2 ยึดกุมข้อเท็จจริงให้มั่นในขณะเดียวกันเมื่อลงไปดูข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้นโดยใช้ตาสังเกตจะต้องยึดกุมข้อเท็จจริงให้ชัดเจนขอให้ลองดูจากตัวอย่างในหน้าถัดไป

ยึดกุมข้อเท็จจริงอย่างถูกต้องโดยใช้ตาสังเกต



ภาพที่ 2-8 ตัวอย่างการวิเคราะห์ปัญหาโดยยึดกุมข้อเท็จจริง
ที่มา: SCI Systems Thailand

การยึดกุมข้อเท็จจริงให้ถูกต้องควรพิจารณาจากตำแหน่งที่เกิดปัญหา-สถานที่-ประเภท-สภาพ-สัดส่วน-ความถี่-ปริมาณ-เวลา-อื่น ๆ

2. ทำความเข้าใจในโครงสร้างและหน้าที่ของส่วนที่เป็นปัญหา

2.1 จะต้องทำการแจกแจงส่วนงานที่เป็นปัญหาให้ออกมาเป็นไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ของชิ้นส่วน, แสดงความสัมพันธ์ของหน้าที่, แสดงค่าที่ควรจะเป็นของชิ้นส่วนนั้น ๆ กับสภาพที่ใช้งานจริงหรือกล่าวได้ว่าเป็นการเปรียบเทียบ Basiccondition กับ Working condition ฯลฯ

2.2 ในกรณีของงานทั่ว ๆ ไปให้เขียนภาพขั้นตอนหรือการไหลของงานและทำความเข้าใจเกี่ยวกับหน้าที่ของงานนั้น ๆ

5) วิธีการมองปัญหาของ Why-Why Analysis

1. การมองจากสภาพที่ควรจะเป็น

1.1 แนวทางแรกนั้นเป็นการค้นหาสาเหตุโดยการนึกภาพ.ขึ้นมาในหัวว่าการจะทำให้ดีนั้นจะต้องมีรูปแบบลักษณะและเงื่อนไขอย่างไร

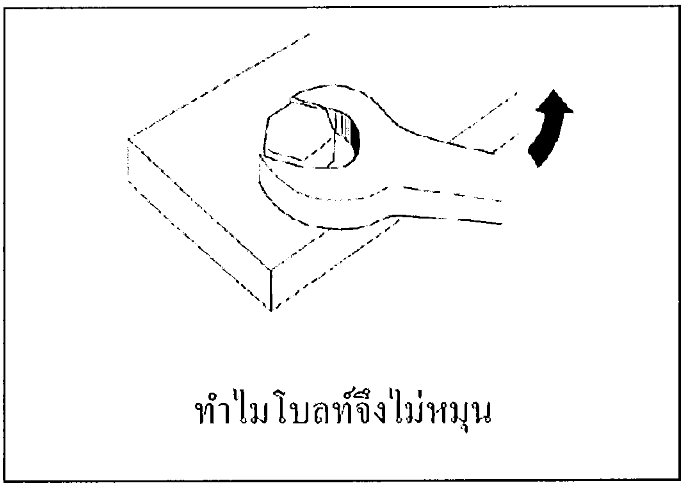
1.2 การมองปัญหาจากสภาพที่ควรจะเป็นคือการเปรียบเทียบวิธีการของตนเองกับสิ่งที่เป็นมาตรฐานหรือเป็นที่ยอมรับของคนทั่วไป

1.3 "การมองปัญหาจากสภาพที่ควรจะเป็น" เป็นการกำหนดแนวทางในการค้นหาสาเหตุของปัญหาโดยการเปรียบเทียบปัญหาที่เกิดกับสภาพที่ควรจะเป็นหลังจากกำหนดแนวทางได้แล้วก็จะตั้งคำถามว่า "ทำไม" ไปเรื่อย ๆ เพื่อค้นหาปัจจัยหรือสาเหตุออกมา

2) การมองจากหลักเกณฑ์หรือทฤษฎี

เป็นการมองปัญหาจากการทำความเข้าใจกับหลักเกณฑ์หรือจากทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเครื่องจักรนั้น ๆ

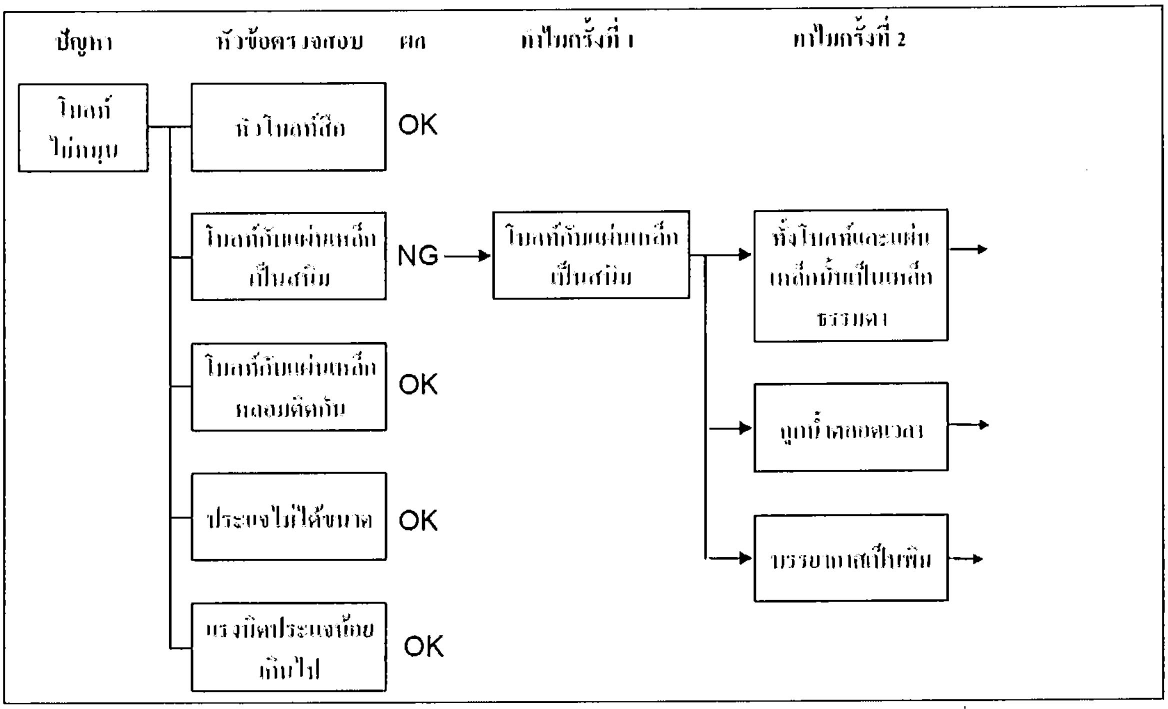
จากปัญหาหรือปรากฏการณ์"โบลท์ไม่หมุน"



ภาพที่ 2-9 ปัญหาทำไม่โบลท์ไม่หมุน

ที่มา: SCI Systems Thailand

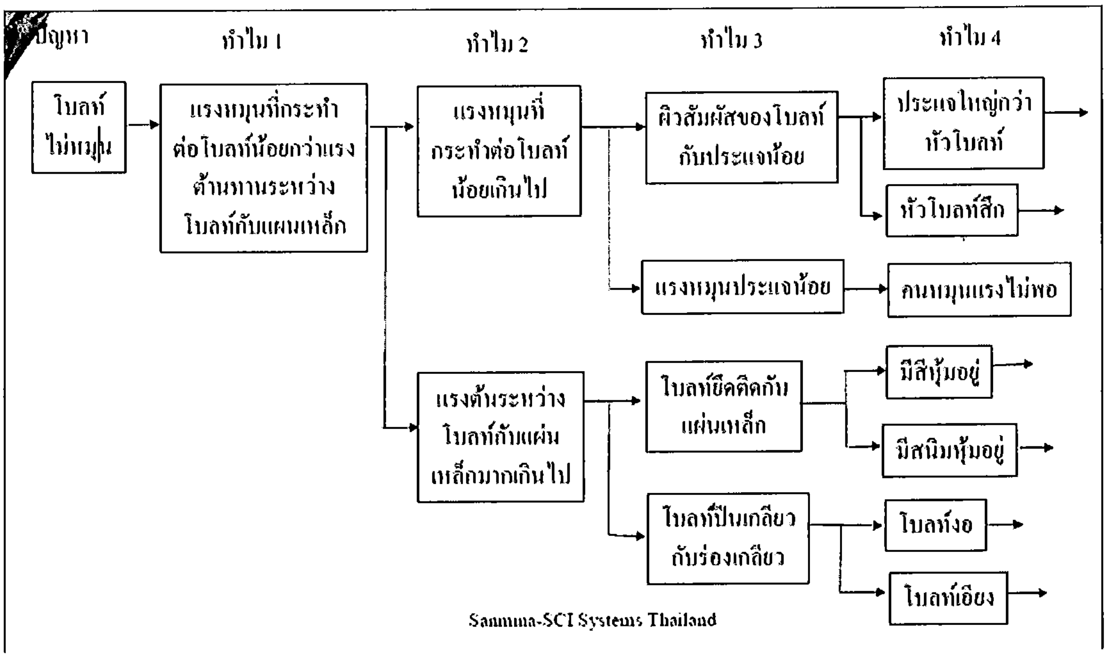
การมองสภาพของปัญหาจากความเป็นจริง



ภาพที่ 2-10 ตัวอย่างการวิเคราะห์ปัญหาโบลท์ไม่หมุนจากสภาพความเป็นจริง

ที่มา: SCI Systems Thailand

การมองจากหลักการหรือทฤษฎี



ภาพที่ 2-11 ตัวอย่างการวิเคราะห์ปัญหาโบลท์ไม่หมุนจากหลักการหรือทฤษฎี
ที่มา: SCI Systems Thailand

การมองปัญหาทั้งสองแบบมีข้อแตกตางหรือข้อควรระมัดระวังดังนี้

1.ในกรณีที่ปัญหาหรือปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเข้าใจได้ไม่ยากนักหรือมีต้นเหตุของปัญหาเพียงหนึ่งสาเหตุควรใช้วิธีการมองปัญหาจากสภาพที่ควรจะเป็น

2.ในกรณีที่ปัญหาหรือปรากฏการณ์ที่สนใจเกี่ยวข้องกับกลไกที่ค่อนข้างเข้าใจยากหรือมีต้นเหตุของปัญหาหลายสาเหตุควรเลือกใช้วิธีการมองปัญหาจากหลักเกณฑ์หรือทฤษฎี หากมีความเข้าใจมากพอแล้วอาจจะใช้ทั้งสองวิธีพร้อม ๆ กันก็ได้

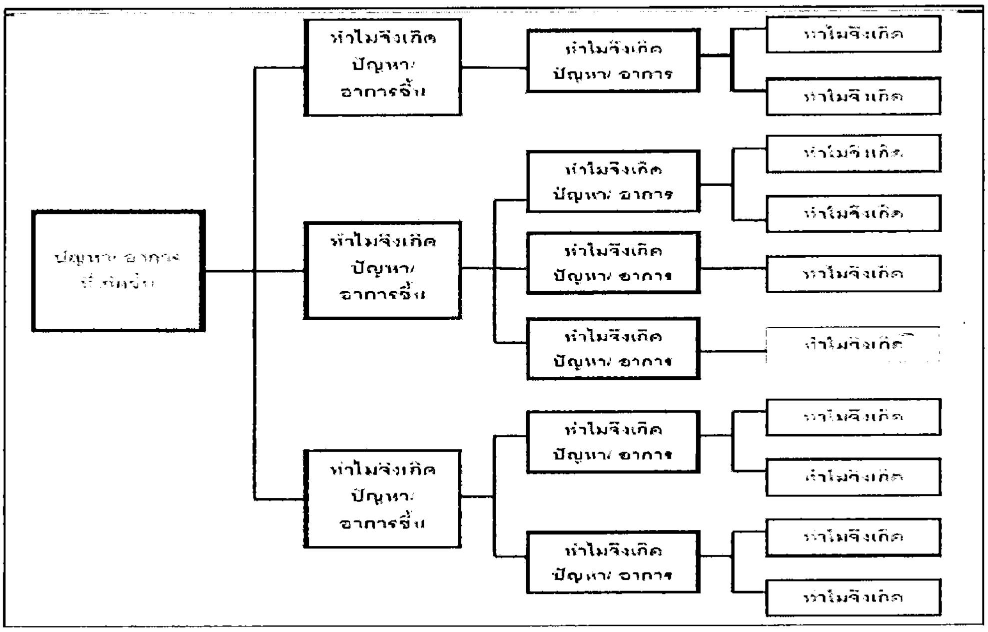
5) วิเคราะห์หาวิธีการแก้ไขหรือป้องกัน

จากการวิเคราะห์ขั้นสุดท้ายทำให้เราได้ทราบถึงต้นตอที่แท้จริงจากนั้นเราก็มาค้นหาวิธีการแก้ไขและมาตรการป้องกันการเกิดซ้ำซึ่งจากตัวอย่างมอเตอร์เสียจะเห็นว่าวิธีการแก้ไขคือซ่อมมอเตอร์และนำไปทำให้เครื่องจักรสามารถใช้งานได้ส่วนวิธีการป้องกันการเกิดซ้ำคือการกำหนดมาตรการการตรวจสอบดูแลรักษาเพื่อไม่ให้มอเตอร์ทำงานเกินกำลัง (OVER LOAD) ซ้ำอีก

6) นำมาตรการแก้ไขไปปฏิบัติจริง

นำวิธีการแก้ไขและป้องกันดังกล่าวไปปฏิบัตินอกจากนี้อาจนำวิธีการแก้ไขป้องกันดังกล่าวไปขยายผลกับสิ่งอื่น ๆ หรือหน่วยงานอื่น ๆ ที่มีความใกล้เคียงกันก็จะเป็นประโยชน์มากขึ้นอีกครับเหมือนยิงปืนนัดเดียวได้นกหลายตัว

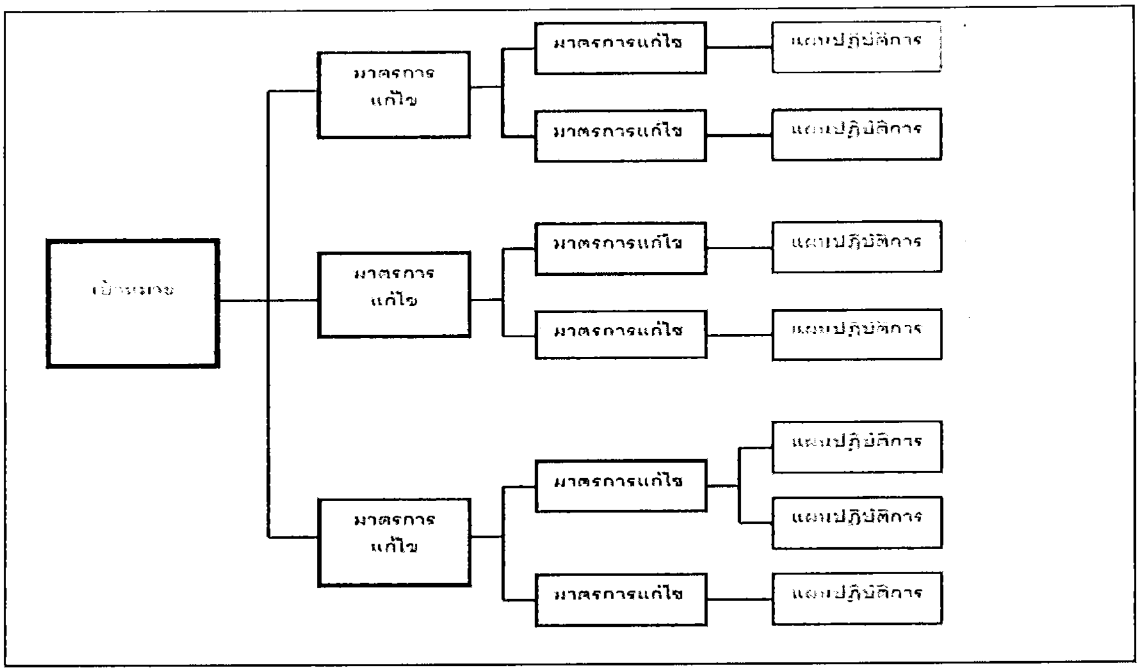
Why Why Tree



ภาพที่ 2-12 วิธีการวิเคราะห์ปัญหาแบบ Why Why Analysis

ที่มา: SCI Systems Thailand

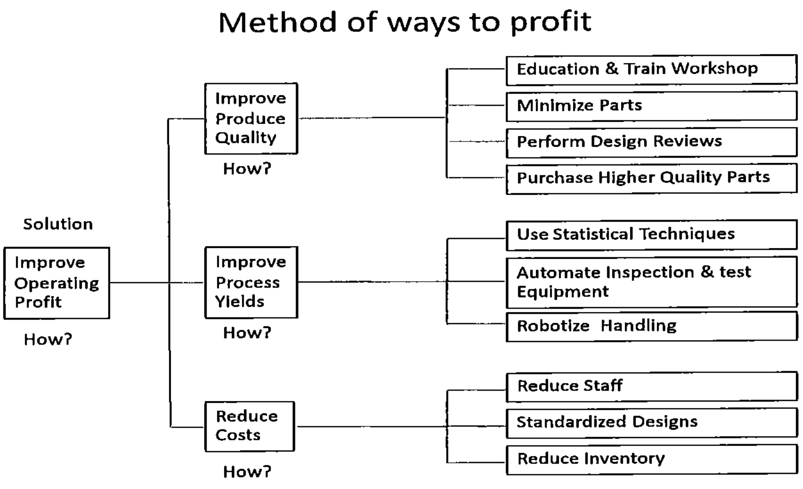
How How Tree



ภาพที่ 2-13 วิธีการแก้ไขปัญหาแบบ How How Analysis
ที่มา: SCI Systems Thailand

How-How analysis of ways toimprove operating profit

จุดประสงค์ของ How-HowDiagrams ก็คือช่วยให้เห็นทางเลือกของสถานการณ์ในเชิงได้รับผลกระทบอย่างไร (how to achieveimpact) โดยบล็อกแรกซ้ายสุดจะเป็นคำตอบที่ต้องการ (Solution) เช่น “ปรับปรุงผลประกอบการ” แล้วเราจะถามว่าแล้วจะ“ปรับปรุงผลประกอบการ” ได้อย่างไร(How)



ภาพที่ 2-14 วิธีการแก้ไขปัญหาแบบ How How Analysis หลาย ๆ วิธี
ที่มา: SCI Systems Thailand

2.5 ECRS คืออะไร ECRS หมายถึงเป็นหลักการที่ประกอบด้วยการกำจัด (Eliminate) การรวมกัน (Combine) การจัดใหม่ (Rearrange) และการทำให้ง่าย (Simplify) ซึ่งเป็นหลักการง่าย ๆ อธิบายได้ง่าย ๆ ดังนี้

E = Eliminate หมายถึงการตัดขั้นตอนการทำงานที่ไม่จำเป็นในกระบวนการออกไป กล่าวคือเดิมบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่ง (หีบห่อภายนอก) ใช้กระดาษกล่องลูกฟูก 5 ชั้นเกรดกระดาษค่อนข้างดีพิมพ์ลายยี่ห้อ 2 สีน้ำหนักสุทธิไม่เกิน 2 กิโลกรัมข้างในบรรจุสินค้าประเภทขนมขบเคี้ยวคือมีกล่องบรรจุขนาด 1 โหลพลาสติกซีลเรียบร้อยฉลากสีสวยงามสำหรับการขายส่งและภายในกล่องจะเป็นขนมซึ่งบรรจุในซองพลาสติกอัดก๊าซไนโตรเจนพิมพ์ลายสวยงาม

C = Combine หมายถึงการรวมขั้นตอนการทำงานเข้าด้วยกันเพื่อประหยัดเวลาหรือแรงงานในการทำงานสิ่งที่เห็นได้ชัดว่าเรื่องของการขนส่งแบบ Milk Run แต่ผมขอยกตัวอย่างที่เพิ่งพบเห็นในโรงงานคือเดิมพนักงานตรวจสอบคุณภาพต้องตรวจสอบสินค้าสำเร็จรูปและวัตถุดิบในอดีตที่ผ่านมามักจะทำงานไม่ทันโดยเฉพาะในช่วงเวลาที่วัตถุดิบเข้าและต้องส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้าในเวลาไล่เรียงกันที่สำคัญหากไม่มีผลจาการตรวจสอบก็ไม่สามารถส่งมอบสินค้าให้ลูกค้าหรืออนำวัตถุดิบไปผลิตได้การดำเนินการง่าย ๆ ที่ไปคุยกับทางโรงงานก็คือการรวมเข้าด้วยกันหลักการก็คือตั้งคำถามว่าพนักงานตรวจสอบคุณภาพจำเป็นต้องรับสินค้าด้วยหรือไม่คำตอบก็คือไม่ต้องเพียงแต่มาเก็บตัวอย่างไปตรวจสอบก็เลยเสนอวิธีการว่าให้พนักงาตรวจสอบคุณภาพสอนวิธีการ

เก็บตัวอย่างกับพนักงานรับสินค้าแล้วให้พนักงานรับสินค้าเก็บตัวอย่างให้ส่วนด้านสินค้าสำเร็จรูปก็เช่นกันนำแนวคิดของ Quality Built-In เข้ามาใช้คือให้พนักงานผลิตเป็นผู้ตรวจสอบสินค้าที่ตนเองผลิตส่วนพนักงานตรวจสอบคุณภาพให้มีหน้าที่เพียงการสุ่มตรวจเท่านั้น

R = Rearrange หมายถึงการจัดลำดับงานใหม่ให้เหมาะสมก็คือขั้นตอนของการตรวจสอบกล่องบรรจุภัณฑ์เดิมจะต้องได้กล่องสำเร็จรูปแล้วจึงตรวจสอบซึ่งสาระสำคัญของการตรวจอยู่ที่คุณภาพการพิมพ์เช่นเฉดสีความคมชัดซึ่งหากผลการตรวจไม่ผ่านก็ต้องปฏิเสธสินค้านั้นหากเราย้ายขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพการพิมพ์ไปก่อนการขึ้นรูปก็จะทำให้สามารถปฏิเสธสินค้าก่อนไม่ต้องเสียเวลาและต้นทุนในการขึ้นรูปกล่องอีก

S = Simplify หมายถึงปรับปรุงวิธีการทำงานหรือสร้างอุปกรณ์ช่วยให้ทำงานได้ง่ายขึ้นตัวอย่างของโรงงานหนึ่งที่มีปัญหาเกี่ยวกับลายมือของพนักงานที่เขียนมาบนเอกสารที่ได้รับทำให้หน่วยงานที่ได้เอกสารนั้นต้องทำการเดาส่งผลให้เกิดการผลิตสินค้าผิดรุ่นผิดขนาดผิดฉลากหากโรงงานทำการเปลี่ยนแบบฟอร์มของเอกสารใหม่ลดการเขียนลงเป็นมีช่องให้เลือกรุ่นขนาดฉลากแทนก็จะทำงานได้ง่ายขึ้นหรือมีบริษัทหนึ่งแต่ละแผนกใช้ชื่อเรียกสินค้าแตกต่างกันทำให้ต้องมาเดาว่าฝ่ายตลาดเรียกแบบนี้แล้วจะเป็นชื่ออะไรของฝ่ายวางแผนการผลิตซึ่งวิธีที่ทำให้ง่ายขึ้นก็คือใช้รหัสสินค้าที่เป็นตัวเลขแทนชื่อเรียกสินค้าจะป้องกันความสับสนของพนักงานได้ง่ายกว่า

ตัวอย่าง: เทคนิคการคิดวิธีการปรับปรุงแบบ ECRS

• ขจัดสิ่งที่ไม่จำเป็น (Eliminate)

ให้นักเรียนขจัดสิ่งที่ไม่จำเป็นหรืองานที่ไม่จำเป็นออกไปเช่นในขั้นตอนการทำก๋วยเตี๋ยวแม่ค้าต้องพิจารณาว่ามีสิ่งใดบ้างที่ไม่จำเป็นในการทำก๋วยเตี๋ยวมาวางทำให้เกะกะหรือเป็นอุปสรรคในการทำงานหรือแม้กระทั่งขจัดวิธีการทำงานที่ไม่จำเป็นเช่นการก้มเพื่อหยิบลูกชิ้นและเนื้อสัตว์มาลวกแม่ค้าควรขจัดการก้มลงออกไปนอกจากจะทำให้ปวดหลังแล้วยังเป็นการเสียเวลาอีกโดยแม่ค้าอาจคิดว่าควรมีโต๊ะมารองก้นถังน้ำแข็งให้สูงขึ้นเพื่อจะได้ไม่ต้องก้มอีก

• หาวิธีการจับมารวมกัน (Combine)

จากตัวอย่างแม่ค้าต้องหยิบเส้นก๋วยเตี๋ยวและถั่วงอกคนละที่กันทำให้เสียเวลาในการหยิบดังนั้นแม่ค้าควรนำเส้นก๋วยเตี๋ยวและถั่วงอกมารวมไว้ในที่เดียวกันอีกตัวอย่างหนึ่งได้แก่สมัยก่อนจะกินกาแฟเราต้องเสียเวลาตักกาแฟเสร็จแล้วต้องมาตักน้ำตาลและครีมเทียมแต่ตอนนี้มีการผลิตกาแฟในซองแบบ 3 in 1 คือมีกาแฟน้ำตาลครีมเทียมอยู่ในซองเดียวกันซึ่งเป็นการนำมารวมกันเพื่อที่จะประหยัดเวลาและพกพาได้สะดวก

• จัดเรียงใหม่ (Rearrange)

ถ้าหากว่าวิธีการทำงานแบบเดิมมีความสูญเสียเกิดขึ้นไม่ว่าเกิดจากระยะทางในการหยิบสิ่งของต่าง ๆ ซึ่งทำให้เกิดความสูญเสียได้ถ้าระยะทางกับสิ่งของนั้นอยู่ไกลกันเช่นในร้านอาหารโต๊ะลูกค้ากับที่วางจานช้อนส้อมน้ำและน้ำแข็งอยู่ไกลกันมากทำให้ต้องใช้เวลานานในการไปหยิบสิ่งเหล่านี้ดังนั้นควรมีการจัดเรียงใหม่เช่นจานช้อนส้อมน้ำและน้ำแข็งซึ่งเป็นของที่ใช้บ่อย ๆ มาวางไว้ใกล้โต๊ะของลูกค้าเมื่อลูกค้าสั่งจะได้หยิบได้ทันท่วงทีและควรมีหลาย ๆ จุดหรือตัวอย่างแม่ค้าขายก๋วยเตี๋ยวการลวกลูกชิ้นและเนื้อหมูต้องใช้เวลาในการลวกให้ลูกค้าแต่ละคนคนละ 30 วินาทีซึ่งใช้เวลานานแม่ค้าอาจเปลี่ยนวิธีการใหม่โดยอาจจะลวกลูกชิ้นกับเนื้อสัตว์เตรียมไว้ก่อนเวลาที่นักเรียนจะพักรับประทานอาหารเมื่อนักเรียนสั่งก๋วยเตี๋ยวแม่ค้าก็ใส่เนื้อหมูลูกชิ้นที่สุกแล้วลงในชามโดยไม่ต้องมาทำในขณะที่นักเรียนสั่งก็จะทำให้ลดเวลาได้ถึงคนละ 30 วินาทีหรือครั้งละมาก ๆ เพื่อไม่ให้เป็นการเสียเวลาและลูกค้าก็ไม่ต้องรอนาน

• การทำให้ง่ายขึ้น (Simplify)

ถ้านักเรียนไปห้องสมุดจะเห็นว่าห้องสมุดที่ดีนั้นนอกจากมีหนังสือที่ดีแล้วยังต้องค้นหาได้ง่ายด้วยและสาเหตุที่ค้นหาหนังสือได้ง่ายนั้นเพราะมีการแบ่งแยกประเภทหมวดหมู่ไว้อย่างชัดเจนมีป้ายติดแสดงประเภทของหนังสือแต่ละประเภททำให้เราสามารถค้นหาหนังสือได้อย่างรวดเร็วในการทำงานต่าง ๆ ก็แข่งกันเราต้องคิดว่าทำอย่างไรจึงจะทำให้ง่ายขึ้นเช่นร้านขายก๋วยเตี๋ยวแม่ค้าต้องนำถังแก๊สออกมาหน้าร้านทุกวันพอตอนเย็นก็นำถังแก๊สไปเก็บหลังร้านการที่ต้องยกถังแก๊สทุกวันนั้นเป็นสิ่งที่ลำบากเพราะถังแก๊สมีน้ำหนักมากและถ้ายกไม่ถูกวิธีอาจจะก่อให้เกิดอันตรายได้ดังนั้นจึงมีการคิดว่าจะขนถังแก๊สอย่างไรให้ง่ายจึงมีการประดิษฐ์ที่รองถังแก๊สที่มีขนาดวงกลมทำด้วยเหล็กและรองข้างล่างที่ทำด้วยล้อเพื่อให้สามารถเลื่อนไปไหนมาไหนได้อย่างสะดวกเมื่อจะนำถังแก๊สออกไปหน้าร้านก็ยกประหยัดแรงงานอีกด้วย

หลัก E-C-R-S นี้ไม่จำเป็นต้องใช้ทั้งหมดพร้อมกันจะเลือกใช้ E C R S ตัวใดตัวหนึ่งก็ได้ตามความเหมาะสม

การตรวจพิจารณา

การตรวจพิจารณาเป็นขั้นตอนของการตรวจสอบหาข้อบกพร่องของการทางานวิธีเดิมเพื่อหาวิธีการปรับปรุงให้การทางานนั้นเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพอันเป็นการเพิ่มผลผลิตหลักการของการปรับปรุงงานให้ง่ายคือหลักการ4W 1H และ ECRS เพื่อกำหนดมาตรการโต้ตอบการเลือกมาตรการที่เหมาะสมโดยคำนึงความเป็นไปได้ทางเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์

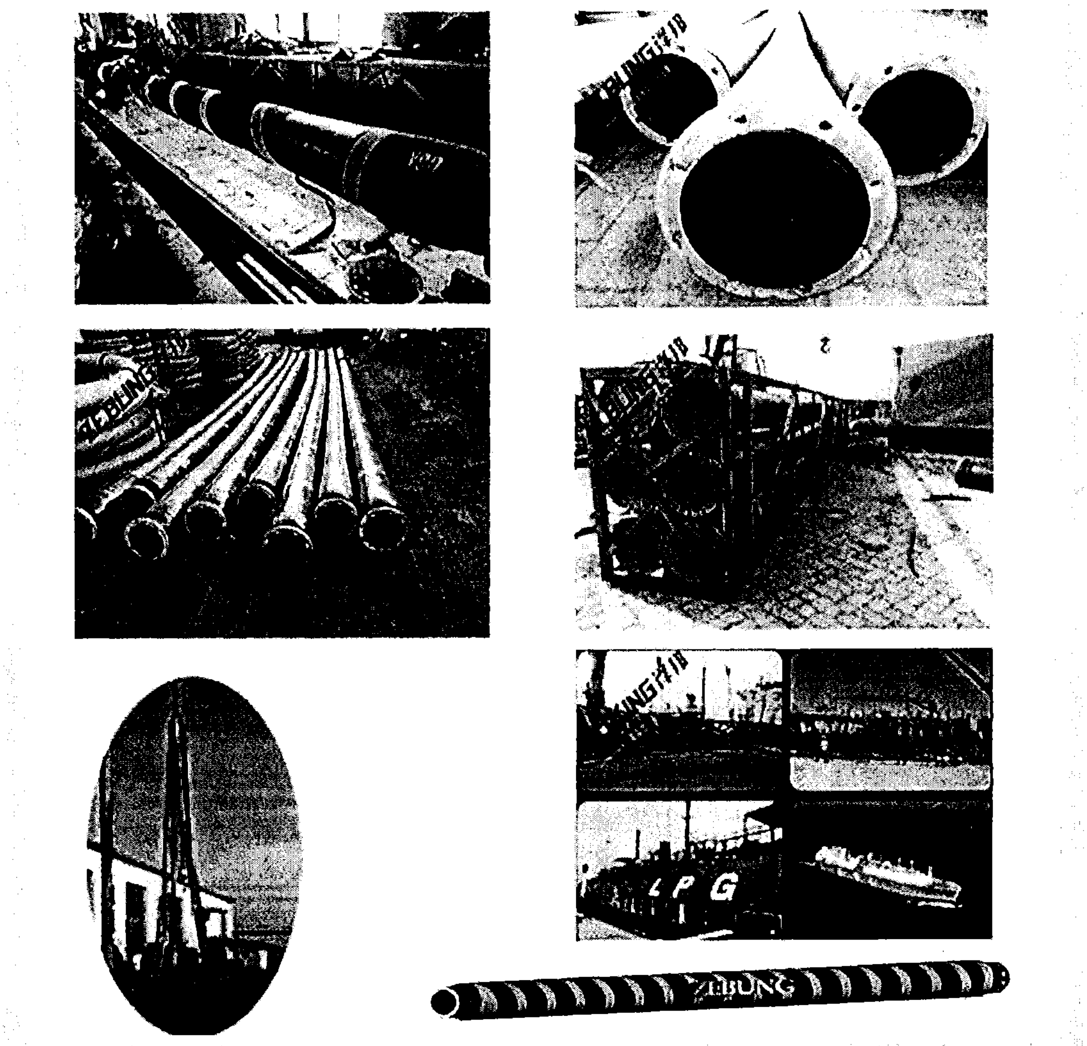
ตารางที่ 2-2 การปรับปรุงด้วยหลักการของวิศวกรรมอุตสาหการ

ประเด็น	สถานะปัจจุบัน	เหตุผล	แนวทางอื่น	บทสรุป
1. จุดประสงค์ (What)	หวังผลอะไรจากวิธีการทำงานในปัจจุบัน	ทำไม (Why) หวังผลเช่นนั้น	กำจัดทิ้งได้หรือไม่ (Eliminate)	จุดประสงค์คืออะไร
2. สถานที่ (Where)	ปัจจุบันนี้ทำงานนี้ที่สถานที่ใด	ทำไม (Why) ทำงานที่สถานที่นั้น	รวมสถานที่ทำงานเข้าด้วยกันได้ไหม (Combine)	ทำที่สถานที่ใด
3. ลำดับขั้น (When)	ปัจจุบันมีลำดับขั้นตอนการทำงานอย่างไร	ทำไม (Why) มีลำดับขั้นตอนอย่างนั้น	สามารถสลับขั้นตอนการทำงานได้ไหม (Rearrange)	การทำงานควรมีขั้นตอนอย่างไร
4. บุคลากร (Who)	ปัจจุบันมอบหมายให้ใครทำงานนี้	ทำไม (Why) ให้คนนั้น	คนอื่นทำได้ไหม	ควรให้ใครเป็นคนทำงานนี้
5. วิธีการ (How)	ปัจจุบันมีวิธีการทำงานอย่างไร	ทำไม (Why) มีวิธีการทำงานอย่างนั้น	มีวิธีการทำงานที่ง่ายกว่านี้หรือไม่ (Simplification)	ควรมีวิธีการทำงานอย่างไร

4W 1H (ประเด็น, สถานะปัจจุบัน, เหตุผล) **ECRS** (แนวทางอื่น, บทสรุป)

ที่มา: วันชัยริจิรวนิช (2539)

LPG RUBBER HOSE

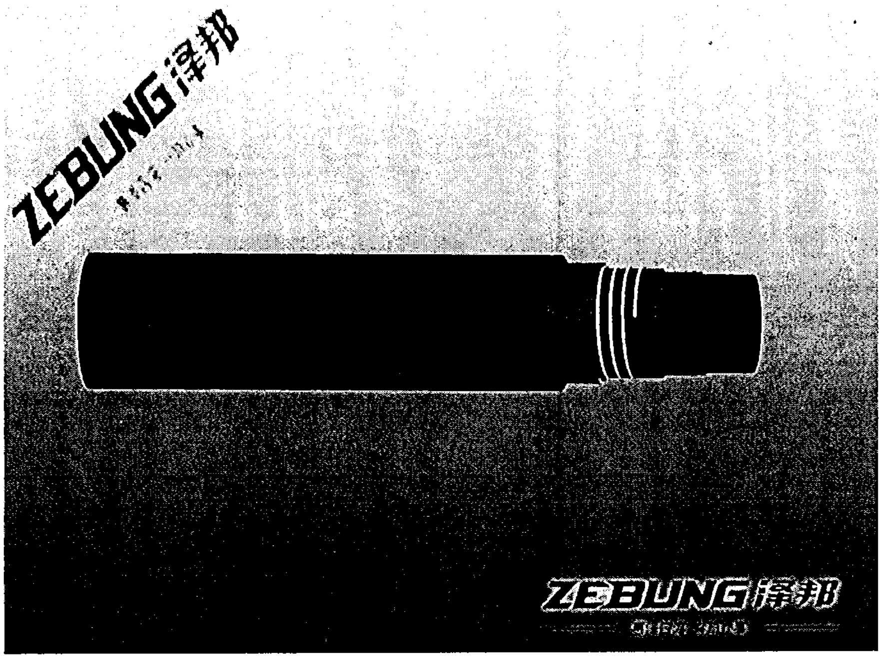


ภาพที่ 2-15 LPG Rubber Hose
ที่มา: Jing County ZeBung Rubber Technolgy Co.,Ltd

รายละเอียด

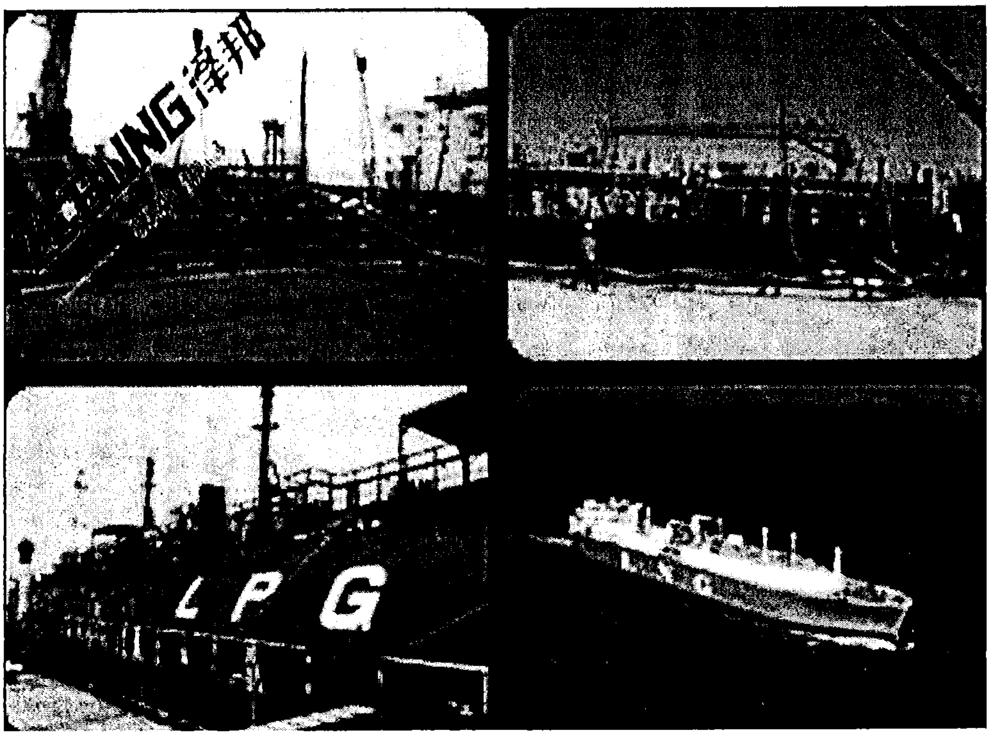
ส่วนใหญ่ใช้สำหรับการขนส่งก๊าซสำหรับระบบก๊าซเชื้อเพลิง ท่อยางจะทำจากยางคลอโรพรีน ซึ่งเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่ทนอุณหภูมิติดต่ำได้มาก และเสริมด้วยวัสดุทนแรงดึงได้มากโดยมีการถักเป็นใย หรือหมุนวนเป็นวง และทนต่อสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป ทนได้กับการยืดหยุ่น

ของท่อ และมีน้ำหนักเบา ดัดโค้งงอได้พอสมควร และมีผิวเรียบเส้นผ่าศูนย์กลางจาก 100 มม. (4 ") ถึง 300mm (12") ทนแรงดันได้ 20 ถึง 100 Bar, ทนอุณหภูมิได้ -40 ถึง 100 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 2-16 ส่วนประกอบแต่ละชั้นของ LPG Rubber Hose
ที่มา: Jing County ZeBung Rubber Technolgy Co.,Ltd

การนำไปใช้งาน



ภาพที่ 2-17 การใช้งาน LPG Rubber Hose

ที่มา: Jing County ZeBung Rubber Technolgy Co.,Ltd

ใช้เป็นท่อขนถ่ายก๊าซ และน้ำมันจากเรือขึ้นไปที่ถังเก็บผลิตภัณฑ์ หรือจากถังเก็บผลิตภัณฑ์ลงไปที่เรือ หรือจะขนถ่ายจากเรือใหญ่ลงสู่เรือเล็กก็ได้ ซึ่งสามารถใช้แทนท่อเหล็กได้

ตารางที่ 2-3 รายละเอียดของท่อ LPG Rubber Hose

Inside Diameter เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน		Working Pres s ureทำงาน Pressure		Burst pressureความดันที่ทำให้ท่อ ยางแตก		Vacuum Pres s ure สูญญากาศPressure		Bending Radiusรัศมีดัดโค้ง		Adhesive Strength แรงยึดเกาะ	Abrasion valueค่าการสึกหล่อที่ผิว	ความยาว Length
inchนิ้ว	mm มิลลิเมตร	psiปอนด์ต่อตารางนิ้ว	barบาร์	psiปอนด์ต่อตารางนิ้ว	barบาร์	psiปอนด์ต่อตารางนิ้ว	barบาร์	inchนิ้ว hchHCH	mm มิลลิเมตร	กิโลนิวตัน KN/m/ เมตร	cm3cm3	mเมตร
100100	44	300300	2020	150001500	100100	-240	-16	2424	600600	≥4≥4	≤1≤1	10 to 2010 ถึง 20
125125	55	300300	2020	15001500	100100	-240	-16	3030	750750	≥4≥4	≤1≤1	10 to 2010 ถึง 20
152152	66	300300	2020	15001500	100100	-240	-16	3535	900900	≥4≥4	≤1≤1	10 to 2010 ถึง 20
200200	88	300300	2020	15001500	100100	-240	-16	5555	14001400	≥4≥4	≤1≤1	9 to 11.89-11.8
250250	1010	300300	2020	15001500	100100	-240	-16	7979	20002000	≥4≥4	≤1≤1	9 to 11.89-11.8

ที่มา: Jing County ZeBung Rubber Technolgy Co.,Ltd

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ภีม พรประเสริฐ และคณิศร ภูนิคม (2556) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตเครื่องปั้นดินเผา กรณีศึกษา กลุ่มชุมชนปากห้วย ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี การดำเนินการวิจัยเริ่มจากการเก็บข้อมูลจากใบตรวจสอบ และการสนทนากลุ่มผู้เกี่ยวข้องแล้วทำการคัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่จะนำมาปรับปรุงโดยกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น ทำการวิเคราะห์ข้อขัดข้องและผลกระทบ โดยใช้แผนภูมิพาเรโต้ค้นหากระบวนการที่มีความเสี่ยงสูงเพื่อนำมาปรับปรุงคุณภาพ และวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้แผนภาพ ทำไม ทำไม และหามาตรการปรับปรุงคุณภาพโดยใช้แผนภูมิต้นไม้ หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์หาความสูญเปล่าจากแผนภูมิกระบวนการไหล แล้วทำการลดความสูญเปล่าโดยใช้หลักการ ECRS ซึ่งผู้วิจัยพบว่าปัญหาหลักในกระบวนการผลิตเครื่องปั้นดินเผาคือ เครื่องตัดดินไม่ได้คุณภาพ และเกิดความสูญเปล่าจากการรอคอย จึงทำการกำจัดความแปรผันโดยใช้วิธีการดำเนินงานตามกระบวนการ Six Sigma ได้ผลลัพธ์คือ ค่าสมรรถนะในกระบวนการตัดดินสูงขึ้น ค่าความเสี่ยงลดลง ระยะทางในสายการผลิตลดลง และระยะเวลาที่ใช้ลดลง

Hashim (2008) LPG มีหลายชนิดขึ้นกับอัตราส่วนผสมระหว่าง Propane และ Butane โดยทั่วไปจะผสมที่ Butane 70% หรือ 60% และ Propane30% – 40% อย่างไรก็ดีอัตราส่วนผสมบางครั้งก็ถูกควบคุมด้วยลักษณะการนำไปใช้งาน เนื่องจากอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกันนี้จะทำให้การให้ความพลังงาน/ ให้ความร้อน (Combustion characteristics) ที่แตกต่างกัน งานวิจัยชิ้นนี้จึงศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติการให้พลังงานของ LPG ที่มีส่วนผสมที่แตกต่างกัน โดยวิเคราะห์จากพลังงานที่ปล่อยออกมา (Calorific Value: CV), Flame speed (อัตราการกระจายตัวของเปลวไฟ) และค่า Emission ที่ส่วนผสมในอัตราที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาพบว่า LPG ที่มี Butane มาก จะให้ CV มาก, ค่า Emission จากการเผาไหม้ของ LPG จะเพิ่มขึ้นตามจำนวน Hydrocarbon ในส่วนผสมของ LPG และค่า Flame speed จะลดลงเมื่อมีการผสมของ Hydrocarbon มากขึ้น (มี Butane มาก) กล่าวโดยสรุปคือ LPG ที่มีการผสมของ Hydrocarbon มาก (มี Butane มาก) จะให้ความร้อนดี แต่ Flame speed ช้า จึงมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า

Tsou (2002) ในประเทศจีนกำลังมีนักลงทุนจากต่างชาติเข้ามาลงทุนด้านพลังงาน โดยมากกว่า 50% ของพลังงานที่ใช้ในประเทศจีนมาจากถ่านหิน ดังนั้น เพื่อลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม รัฐบาลจีนจึงส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานจากก๊าซธรรมชาติและ LPG แต่การลงทุนในก๊าซธรรมชาติใช้ระยะเวลาและเงินทุนสูงมาก จึงมีการใช้ LPG ในประเทศจีนอย่างแพร่หลายมาก

ขึ้นในปัจจุบัน ดังนั้นส่งผลให้มีการลงทุนอย่างมากมายในด้าน facility แต่พบว่าระบบการกระจาย LPG ยังเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพ

งานวิจัยชิ้นนี้มุ่งไปที่การศึกษาระบบกระจาย LPG ที่มีประสิทธิภาพ โดยเน้นที่การลดค่าใช้จ่ายโดยรวมของระบบการกระจาย รวมไปถึงการเพิ่มประสิทธิภาพการของ facility, การเลือกที่ตั้ง facility ที่เหมาะสมและทำให้ระบบมีความยืดหยุ่นในการทำงาน

จากการศึกษาสรุปได้ว่าการจัดการระบบ logistic ที่มีประสิทธิภาพ รวมทั้งการบริหารจัดการความเสี่ยง ช่วยให้บริษัทด้าน LPG ประสบผลสำเร็จในประเทศจีน โดยเฉพาะอย่างยิ่งแม้จีนจะเป็นสมาชิกของWTO แต่ยังเป็นประเทศคอมมิวนิสอยู่ ดังนั้นการบริหารจัดการ โดยการควบคุมราคาต้นทุนเท่าที่ทำได้จะเป็นปัจจัยที่ช่วยให้บริษัทสามารถจัดการเสถียรภาพด้านการเงินได้

Battlle energy and environment (2005) จากรายงานทางเทคนิคของฝรั่งเศส ญี่ปุ่น และแคนาดา ระบุว่าสาร Hydrocarbon ลักษณะเช่นเดียวกับ Propane ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของ LPG จะดูดซึมและดึง สารเคมีที่เคลือบอยู่ภายในผนัง hose มาด้วย ทำให้ Propane ที่รับ-จ่ายผ่าน hose มีการปนเปื้อนสารเคมีเหล่านี้ โดยอัตราการปนเปื้อนขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ส่วนประกอบของ hose, การก่อสร้างและประกอบ hose, ระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์อยู่ในท่อ, องค์ประกอบของ LPG, อุณหภูมิ เป็นต้น

สารเคมีจาก Hose ที่ปนเปื้อนใน LPG หากนำมาใช้ในเครื่องยนต์จะทำให้ประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงลดลง หรือมีสารปนเปื้อนออกมากับท่อไอเสีย หรือหากมีการปนเปื้อนจาก hose มากเกินไปก็อาจจะเกิดปัญหา Product loss มีผลไปถึงด้านความปลอดภัยด้วย ทั้งนี้หากปัญหานี้ไม่ถูกแก้ไขในระยะยาวอาจมีผลกระทบกับ LPG โดยรวมได้

เพื่อประเมินความสำคัญและผลกระทบของปัญหานี้ PERC จึงได้ทำการวัดสารเคมีใน hose ที่อาจทำให้เกิดการปนเปื้อน เพื่อวิเคราะห์หา “Hose condition” โดยพิจารณาหาว่าที่ระยะเวลานานเท่าไรปริมาณสารเคมีใน hose จะหมด ไม่มีผลต่อ LPG แล้วจึงนำ Hose นั้น มาใช้งาน

Conclusions

1. สารปนเปื้อนโดยมากเป็นพวก Plasticizers (สารที่ใส่เข้าไปเพื่อปรับคุณสมบัติยางด้านการแข็งตัว การยืดหยุ่น ฯลฯ ให้เป็นไปตามที่ออกแบบ)

2. พบการปนเปื้อนมีสูงสุดใน Hose ใหม่ และจะลดลงเมื่อใช้งานไปไม่กี่วันจนไม่พบเลยหรืออาจจะมีการปนเปื้อนอยู่แต่ในระดับที่คงที่

3. การวัดการปนเปื้อนสู่ LPG จากผนัง Hose ทำตามหลักการการประมาณสารที่ผ่านรูพรุน

4. ปริมาณการปนเปื้อนที่วัดได้ คือ 0.84 – 1.23 g/ วัน (หรือ 30 cm^3 / m/ hr (0.6 in^3 / ft/ hr) ถึง 50 cm^3 / m/ hr (0.9 in^3 / ft/ hr)) สำหรับ hose ความยาว 2 ฟุต ซึ่งค่านี้ยังอยู่ในมาตรฐานของ

a. Underwriter Laboratories UL21 (กำหนดไว้ที่ 560 cm^3 / m/ hr (10.4 in^3 / ft/ hr))

b. มาตรฐานISO 11759:1999(E) , "Rubber Hoses and Hose Assemblies for Dispensing Liquefied Petroleum Gases (LPGs) – Specification (กำหนดให้ค่าสูงสุดไม่เกิน 400 cm^3 / m/ hr (7.4 in^3 / ft/ hr))

c. มาตรฐาน Japanese standard (กำหนดให้ค่าสูงสุดไม่เกิน 50 cm^3 / m/ hr (0.9 in^3 / ft/ hr)) แต่มีปริมาณมากเกินกว่าที่ที่มาตรฐานของออสเตรเลียแนะนำ (ไม่เกิน 25 cm^3 / m/ hr (0.5 in^3 / ft/ hr))

Peter Brook- Foster Wheeler Energy Limited, UK (2005) ผู้ผลิต LPG มีหลายวิธีในการส่งออก LPG ไปให้ลูกค้า โดยวิธีการนั้นขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ที่ตั้งของ plant ปริมาณที่ส่งออก ขนาดของที่ส่งไปในแต่ละครั้งตามความต้องการของลูกค้า เป็นต้น

Foster Wheeler มีประสบการณ์ในการออกแบบและก่อสร้าง plant และ facility ต่าง ๆ สำหรับเก็บและขนส่ง LPG ทุกชนิด

งานวิจัยนี้ศึกษา

- ตลาดของ LPG
- ระบบการเก็บและ load ที่ความดันปกติ (ความดันบรรยากาศ)
- ระบบการเก็บและ load โดยใช้ความดันสูง
- การรวมทั้งระบบเก็บแบบความดันปกติและความดันสูง

งานวิจัยนี้ศึกษาระบบการเก็บและ Facility ในการ Load เทคนิคที่ใช้ในการประเมินการเลือกรูปแบบการเก็บ, การ Review เพื่อหารูปแบบที่ Flexible ต่อการ Operate มากที่สุด รวมไปถึงการพิจารณาถึงด้านความปลอดภัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบจัดเก็บขนาดใหญ่และทำงานแบบ Multifunction โดยในการศึกษาทั้งหมดนี้จะพิจารณาทั้งความคุ้มค่าด้านการลงทุนและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

Conclusion

ในการออกแบบเพื่อให้ตรงกับความต้องการ มีแนวทางที่เป็นไปได้มากมาย ปัจจัยที่สำคัญคือการทำความเข้าใจกับทางเลือกต่าง ๆ ที่มี ข้อจำกัด และราคาของแต่ละรูปแบบ เพื่อใช้ในการพิจารณาคัดเลือกรูปแบบของระบบที่เหมาะสม

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัยประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ 4 ขั้นตอนคือ ศึกษาสภาพพื้นที่ ขั้นตอนการดำเนินการศึกษาเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล และอธิบายผลการวิเคราะห์

คลังปิโตรเลียมภาคตะวันออก (คลังก๊าซเขาบ่อยา) บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ตำบลทุ่งสุขลา อำเภอ ศรีราชา จังหวัดชลบุรี เป็นคลังเก็บสำรองก๊าซ ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในประเทศไทย ตั้งอยู่ในพื้นที่แหลมฉบัง ทำหน้าที่ปฏิบัติการรับเข้าและเก็บสำรองก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) จากต่างประเทศ โดยแบ่งเป็น 2 ภารกิจหลักคือ

1. ภารกิจในการรับเข้า

1.1 ทำหน้าที่รับเข้ารับผลิตภัณฑ์ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG), NGL จากโรงแยกก๊าซระยองทางท่อ

1.2 ทำหน้าที่รับเข้ารับผลิตภัณฑ์โพรเพน (C3), บิวเทน(C4), น้ำมันดีเซล (HSD จากต่างประเทศ ทางเรือ

2. ภารกิจในการจ่ายออก

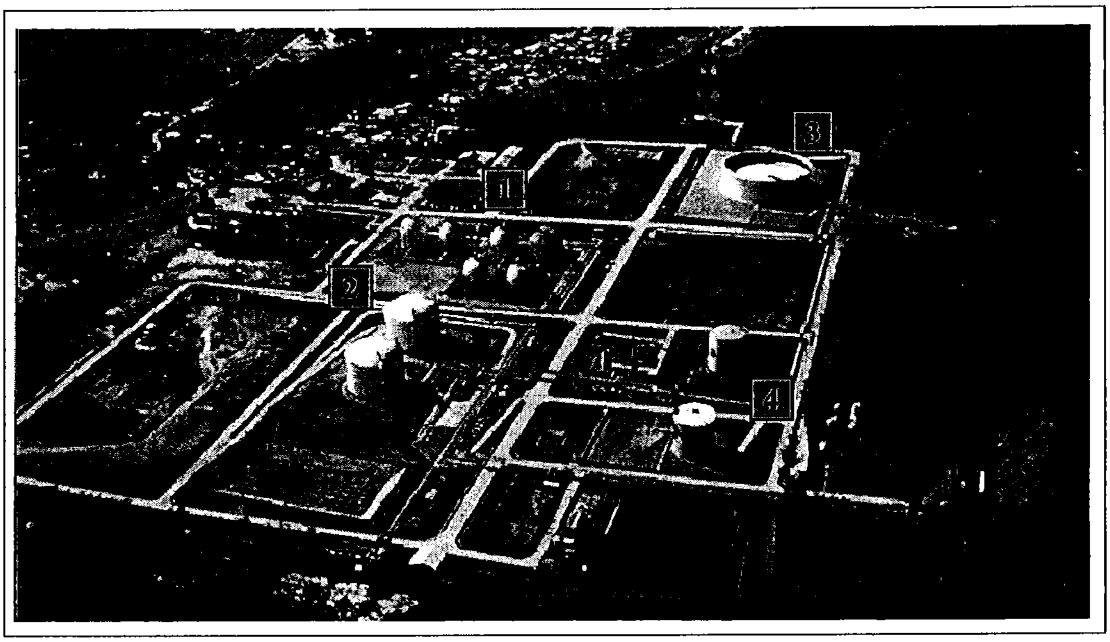
2.1 จ่ายจ่ายผลิตภัณฑ์ NGL ให้ไทยออยล์ ทางท่อ

2.2 จ่ายจ่ายผลิตภัณฑ์ ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ,โพรเพน (C3), NGL, น้ำมันดีเซล (HSD) ให้ลูกค้าทางเรือ

2.3 จ่ายผลิตภัณฑ์ น้ำมันดีเซล (HSD) ไปยังคลังน้ำมันศรีราชาทางท่อ

ศึกษาสภาพพื้นที่ และ เครื่องจักรอุปกรณ์ ของคลัง

ถังเก็บผลิตภัณฑ์ของคลังก๊าซเขาบ่อยา



ภาพที่ 3-1 ภาพถ่ายทางอากาศถังเก็บผลิตภัณฑ์น้ำมันและก๊าซ LPG
ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ.ปตท. จำกัด (มหาชน)

1. LPG SPHERICAL STORAGE

- ใช้สำหรับจัดเก็บผลิตภัณฑ์ ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG)/ โพรเพน (C3)
- จัดเก็บอยู่ในรูปความดัน (ควบคุมแรงดันที่ 5-10 bar)
- สามารถจัดเก็บได้ 1,700 ตัน/ ถัง (85% ของความจุถัง)
- มีจำนวน 6 ถัง สามารถเก็บได้ปริมาณ 10,200 ตัน

2. Refrigerated propane cylindrical storage

- จัดเก็บผลิตภัณฑ์ โพรเพน (C3)/ บิวเทน (C4) เพื่อใช้ผสมเป็น LPG
- จัดเก็บอยู่ในรูปอุณหภูมิ (โพรเพนเก็บในอุณหภูมิ –43องศาเซลเซียส/ บิวเทนในอุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส
- สามารถจัดเก็บได้ 8,500 ตัน/ ถัง
- มีจำนวน 2 ถัง สามารถเก็บได้ปริมาณ 17,000 ตัน

3. HSD STORAGE

- จัดเก็บผลิตภัณฑ์น้ำมัน HSD B0 (0.05%S)
- จัดเก็บที่อุณหภูมิปกติ 30 องศาเซลเซียส
- สามารถจัดเก็บได้ 59.5 ล้านลิตร และมีจำนวน 1 ถัง

4. Natural gasoline liquid storage

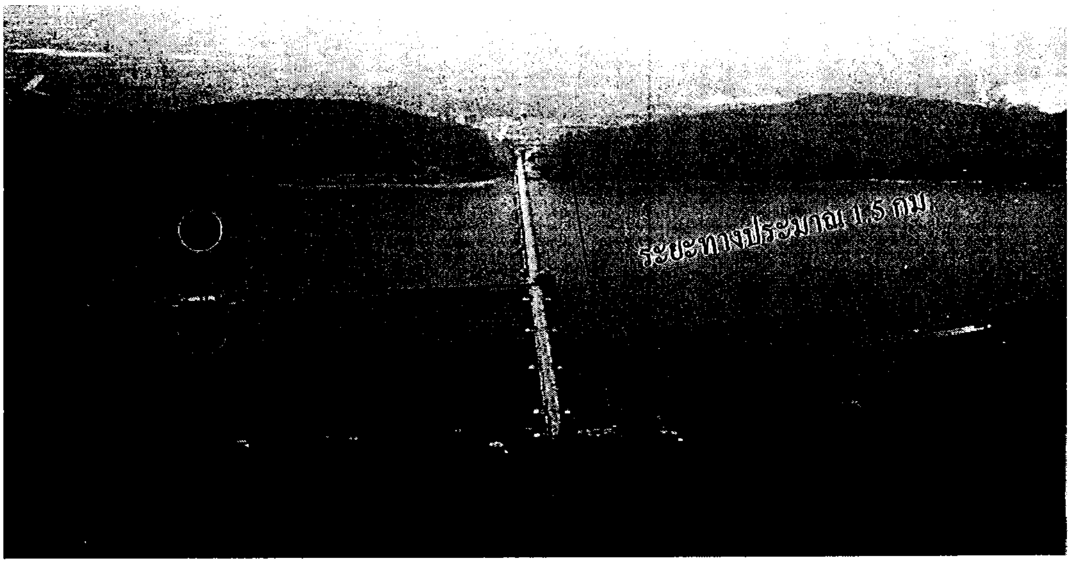
- จัดเก็บผลิตภัณฑ์ก๊าซธรรมชาติเหลว (NGL) ใช้เป็นวัตถุในการผลิตสารตัวทำละลาย (Solvent)

- จัดเก็บที่อุณหภูมิปกติ30 องศาเซลเซียส

- สามารถจัดเก็บได้ 6.8 ล้านลิตรต่อถัง

- มีจำนวน 2 ถัง สามารถเก็บได้ปริมาณ 13.6 ล้านลิตร

พื้นที่คลังก๊าซเขาบ่อยา (ท่าเทียบเรือ)



ภาพที่ 3-2 ภาพถ่ายทางอากาศท่าเทียบเรือน้ำมันและก๊าซ LPG
ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ.ปตท. จำกัด (มหาชน)

1. BERTH No.1 2,000 - 100,000 DWT.

- Loading Arm LPG Refrigerated มีความสามารถในการรับและจ่ายก๊าซ LPG Refrigerated ได้ Flow Rate สูงสุดที่ 1500 M3/ H มีจำนวน 1 ตัว

- Loading Arm LPG Pressurize มีความสามารถในการรับและจ่ายก๊าซ LPG Pressurize ได้ Flow Rate สูงสุดที่ 400 M3/ Hมีจำนวน 1 ตัว

2. BERTH No.2 500 - 3,000 DWT.

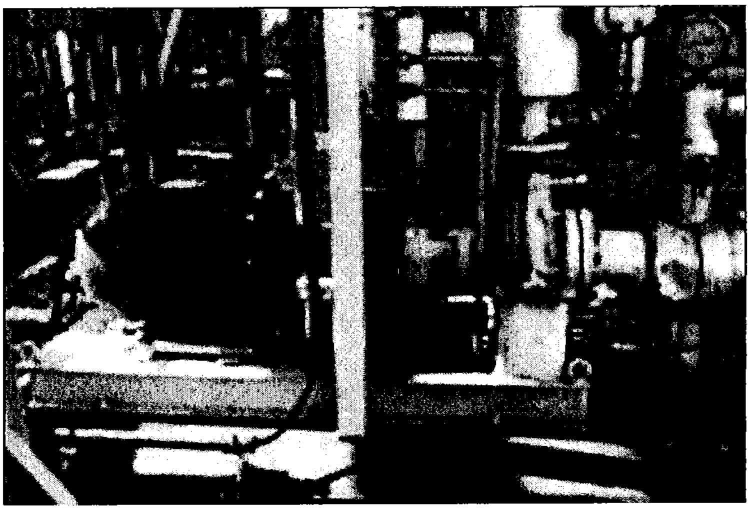
- Loading Arm LPG Pressurize มีความสามารถในการรับและจ่ายก๊าซ LPG Pressurize ได้ Flow Rate สูงสุดที่ 400 M3/ H มีจำนวน 2 ตัวใช้งาน 1 ตัว และ Stand By 1 ตัว

3. BERTH No.3 500- 2,000 DWT

- Loading Arm LPG Pressurize มีความสามารถในการรับและจ่ายก๊าซ LPG Pressurize ได้ Flow Rate สูงสุดที่ 400 M3/ H มีจำนวน 2 ตัวใช้งาน 1 ตัว และ Stand By 1 ตัว

เครื่องจักรอุปกรณ์ของคลังที่ใช้ในการรับก๊าซขึ้นจากเรือ, การจ่ายก๊าซลงเรือ และการ Transfer ก๊าซจากถัง Cold Tank เข้ามาผสมกันในถัง Cold Tank

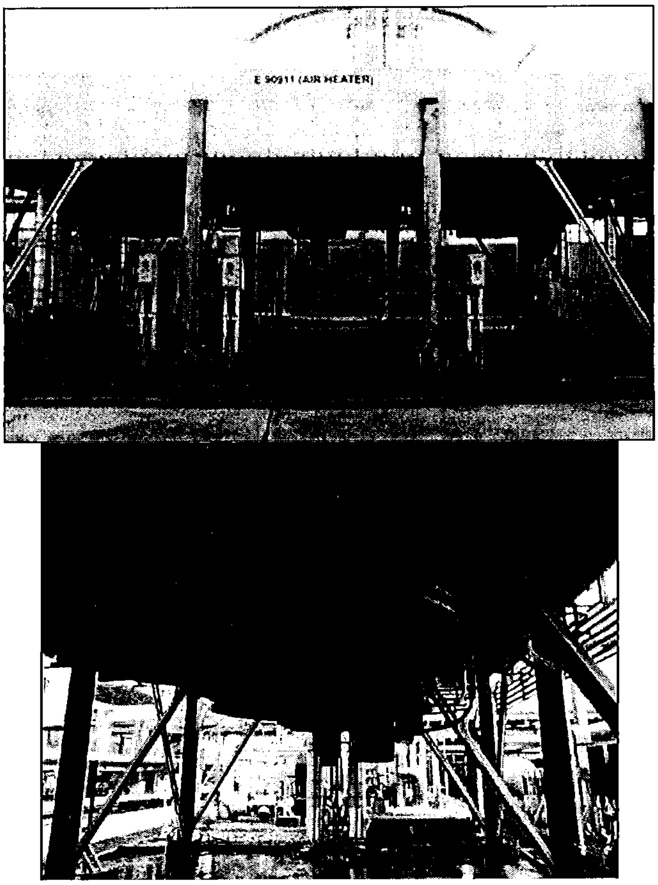
1. Warm Up Pump ใช้สำหรับปั๊มก๊าซจากที่เรือปั๊มส่งมาเข้าไปเก็บในถัง Sphere Tank



ภาพที่ 3-3 ภาพถ่ายWarm Up Pump
ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ.ปตท. จำกัด (มหาชน)

- Flow Rate 150 M3/ H ต่อ 1 ตัว มีจำนวน 2 ตัว
- Flow Rate สูงสุดในการสูบถ่าย เท่ากับ 250 M3/ H

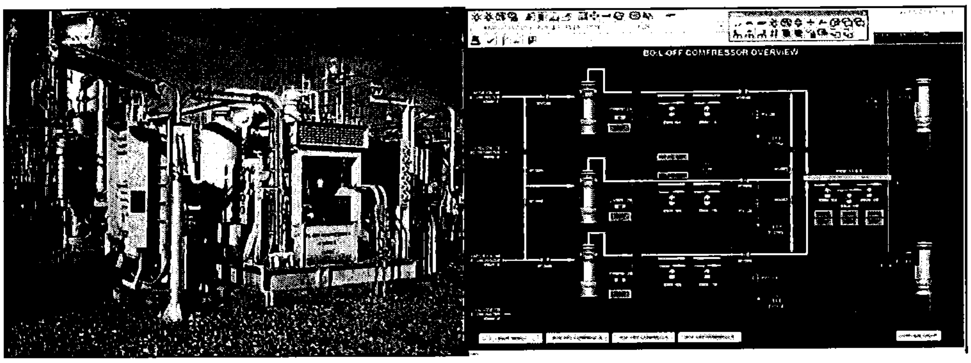
Transfer Air Heater ใช้สำหรับเพิ่มอุณหภูมิของก๊าซให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น



ภาพที่ 3-4 ภาพถ่าย Transfer Air Heater
ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ.ปตท. จำกัด (มหาชน)

- กรณีใช้กับก๊าซ Propane ซึ่งมีอุณหภูมิติดลบอยู่ -40 องศาเซลเซียส สามารถทำ Flow rate สูงสุดได้ 75 ตัน/ ชั่วโมง
- กรณีใช้กับก๊าซ Butane ซึ่งจะมีอุณหภูมิติดลบอยู่ที่ -5 องศาเซลเซียส สามารถทำ Flow rateสูงสุดได้ 125 ตัน/ ชั่วโมง

Boil off Compressor ใช้ในควบคุมแรงดันของถัง Cold Tank ให้อยู่ในค่าควบคุมที่ 116.0 mm.Bar



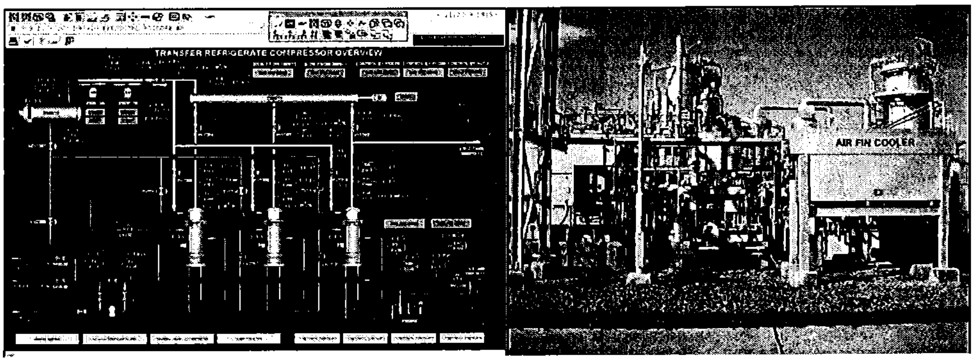
ภาพที่ 3-5 Boil off Compressor

ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ.ปตท. จำกัด (มหาชน)

- **Flow rate 500 Nm3/ H**
- มีจำนวน 3 เครื่อง C-90912A,B,R ตัว A จะใช้ Service D-90910 ถังเก็บก๊าซ Propane
- ตัว B จะใช้ Service D-90911 ถังเก็บก๊าซ Butane
- ตัว R ใช้ Stand by โดยจะสามารถ Service ได้ทั้ง 2 ถัง
- Flow rate ในการดูด Vapour ของก๊าซได้สูงสุด 500 M3/ H

ระบบ Transfer Refrigerated Compressor

เป็นเครื่องจักรที่ใช้ในเปลี่ยนอุณหภูมิของก๊าซจากอุณหภูมิปกติ 30 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิติดลบ -40 เซลเซียส นอกจากนั้นยังสามารถใช้เครื่องจักรตัวนี้ในการลดแรงดันของถัง Cold Tank ได้อีกด้วย ซึ่งจะใช้ขณะรับก๊าซ Propane Refrigerated จากเรือเข้าไปเก็บในถัง Cold Tank จะใช้เครื่องจักรตัวนี้ในการควบคุมแรงดันของถัง Cold Tank



ภาพที่ 3-6 Transfer Refrigerated Compressor System

ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ.ปตท. จำกัด (มหาชน)

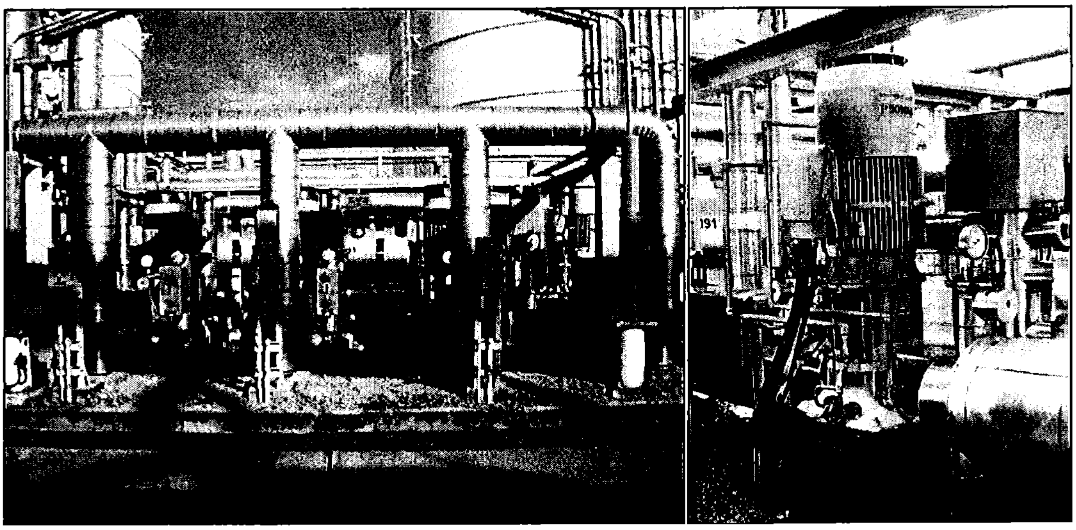
- Flow Rate ในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของก๊าซเท่ากับ 40 M^3/ H
- Flow rate ในการดูด Vapour ของก๊าซรวมกันได้สูงสุดเท่ากับ 7,300 M3/ H โดยแบ่งเป็น

Stage ที่ 1 ดูด Vapour ของก๊าซได้สูงสุด เท่ากับ 1,800 M3/ H

Stage ที่ 2 ดูด Vapour ของก๊าซได้สูงสุด เท่ากับ 2,300 M3/ H

Stage ที่ 3 ดูด Vapour ของก๊าซได้สูงสุด เท่ากับ 3,200 M3/ H

Tank to Sphere Transfer Pumpเป็นปั๊มที่ใช้สำหรับสูบถ่ายก๊าซจากถัง Cold Tank ไปเข้าถัง Sphere Tank



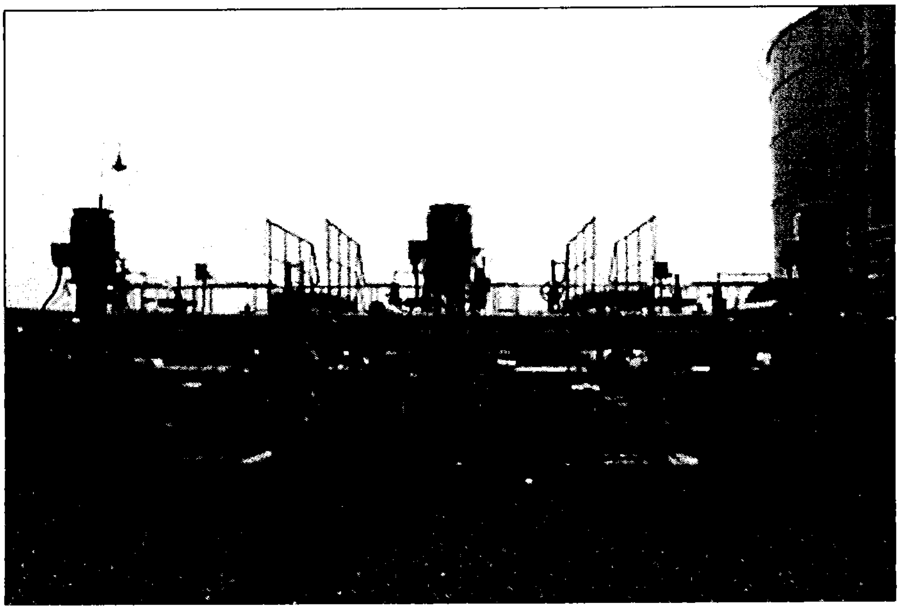
ภาพที่ 3-7 ภาพถ่าย Tank to Sphere Transfer pump

ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ.ปตท. จำกัด (มหาชน)

- Flow Rate 75 M^3/ H ต่อตัว
- มีจำนวน 3 ตัว ใช้งาน 2 ตัวพร้อมกัน และ Stand By 1 ตัว

LPG Refrigerated Ship Loading Pump

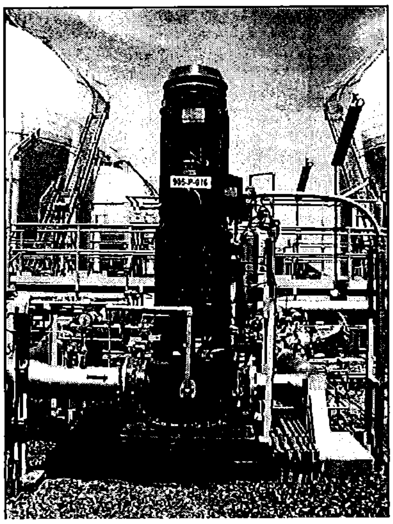
ปั๊มสำหรับจ่ายก๊าซ LPG Refrigerated ลงเรือที่ท่าเทียบเรือหมายเลข 1 และส่งออกไปต่างประเทศ ซึ่งได้นำปั๊มตัวนี้มาใช้ในการ Transfer ก๊าซ C3 Refrigerated จากถัง Cold Tank มาเข้าถัง DEGASSOR และใช้ Warm Up Pump ปั๊มก๊าซ C3 Refrigerated ผ่าน Air Heater เข้าไปเก็บในถัง Sphere Tank



ภาพที่ 3-8 ภาพถ่าย LPG Refrigerated Ship Loading Pump
ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ.ปตท. จำกัด (มหาชน)

- Flow Rate 450 M3/ H
- ใช้งาน 2 ตัว และ Stand By 1 ตัว
- สามารถใช้สูบถ่ายก๊าซจากถัง Cold Tank ไปเข้าถัง Sphere Tank ได้ โดยต้องใช้ Warm Up Pump ในการเพิ่มแรงดันของก๊าซให้สามารถเข้าไปเก็บในถัง Sphere Tank

LPG Ship Loading Pump เป็นปั๊มสำหรับจ่ายก๊าซ LPG ทางเรือ

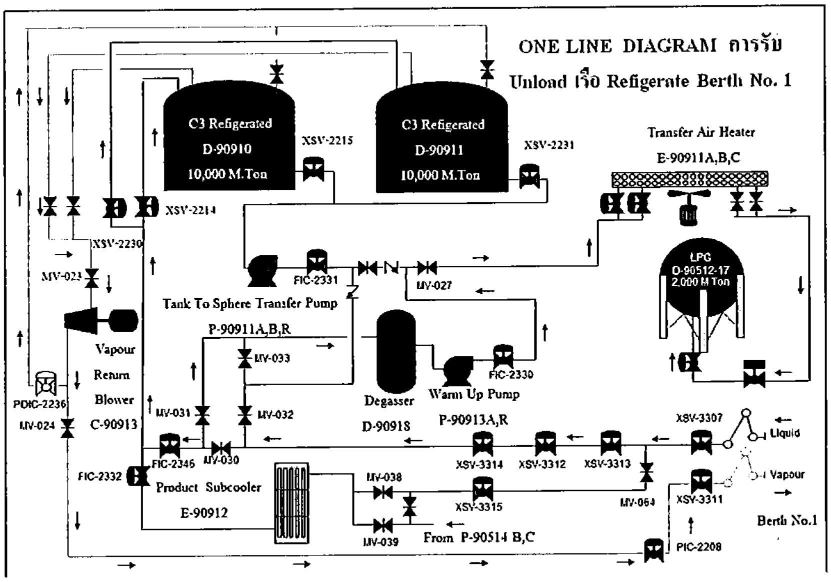


ภาพที่ 3-9 LPG Ship Loading Pump
ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ.ปตท. จำกัด (มหาชน)

- Flow Rate 635 M3/ H ต่อตัว
- มีจำนวน 2 ตัว ใช้งาน 1 ตัว Stand By 1 ตัว
- การจ่ายก๊าซ LPG ลงเรือจะจ่าย 2 ท่าพร้อมกัน ท่าเทียบเรือหมายเลข 2 และ 3 โดยใช้ปั๊มจำนวน 1 ตัว

ศึกษาระบบท่อการรับ-จ่ายก๊าซ LPG

1. One Line Diagram การรับก๊าซ C3,C4 Refrigerated จากเรือ Berth NO.1



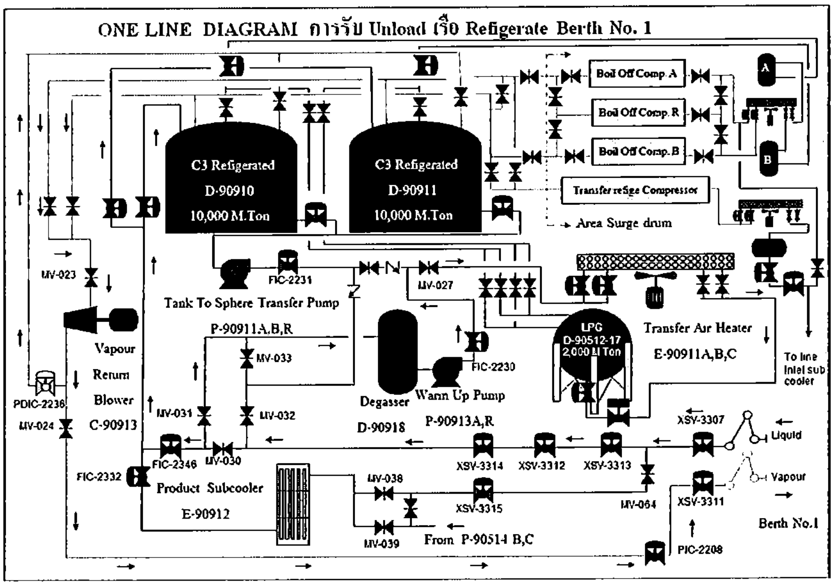
ภาพที่ 3-10 One line Diagram การรับ Unload เรือ Refrigerated Berth No. 1
ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ.ปตท. จำกัด (มหาชน)

เรือจะสูบถ่ายก๊าซ C3,C4 Refrigerated เข้าท่อ Loading Arm ที่เป็นท่อ Liquid ผ่านวาล์ว XSV-3307, 3313, 3312, 3314, MV-030, FIC-2346 และมาถึงวาล์ว XSV-2214 และวาล์ว XSV-2230 ถ้าเป็นก๊าซ C3 จะไหลผ่านวาล์ว XSV-2230 เข้า D-90910 แต่ถ้าเป็นก๊าซ C4 จะไหลผ่านวาล์ว XSV-2214 เข้า D-90911

นอกจากนั้นยังจะสามารถรับก๊าซ C3,C4 Refrigerated เข้าไปเก็บในถัง Sphere Tank ได้ โดยหลังจากวาล์ว MV-030 ก๊าซสามารถไหลผ่านวาล์ว MV-031 เข้าถัง Degasser D-90918 และ Warm up pump สูบก๊าซผ่านวาล์ว MV-027 ผ่านระบบ Transfer air heater เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของก๊าซจากอุณหภูมิติดลบให้กลายเป็นอุณหภูมิบวกประมาณ 15 องศาเซลเซียส และไหลผ่านวาล์วรับของแต่ละถังก่อนเข้าเก็บในถัง Sphere Tank

สำหรับ Loading Arm ของ Vapour ไม่ได้ใช้งานเพราะเนื่องจากปัจจุบันเรือไม่รับ Vapour Return จากทางคลังเป็นส่วนมาก เหตุผลเพราะเกรงว่าจะเกิดการปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์

2. One Line Diagram ของระบบ Boil off Compressor และ ระบบ Transfer Refrigerated Compressor



ภาพที่ 3-11 One line Diagram การรับ Unload เรือ Refrigerated Berth No. 1 และระบบ Boil off Compressor และ Transfer Refrigerated Compressor System

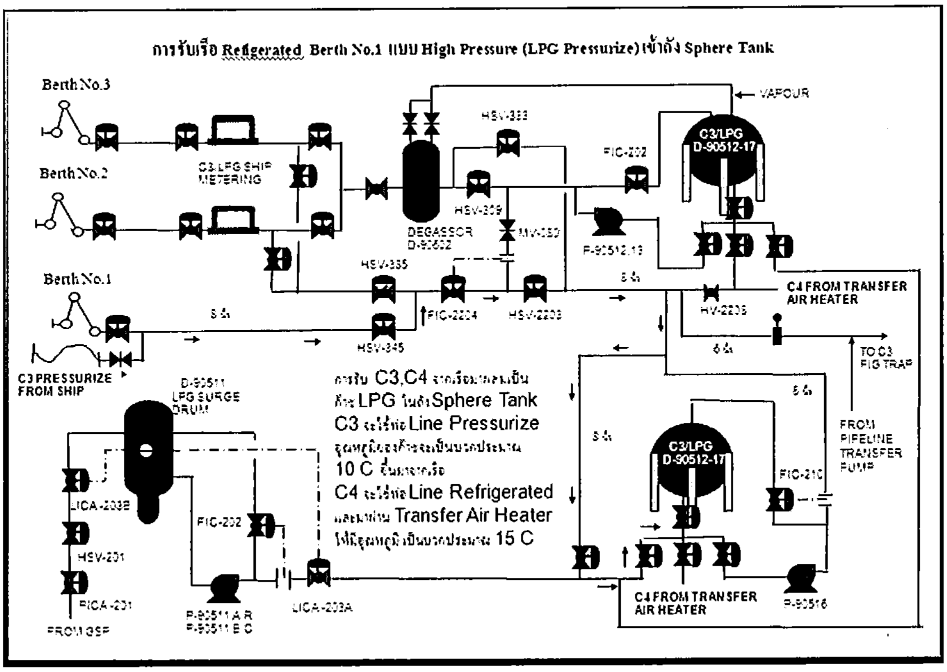
ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ.ปตท. จำกัด (มหาชน)

ระบบควบคุมแรงดันของถัง Cold Tank จะมีอยู่ 2 แบบคือ Boil off Compressor และ Transfer Refrigerated Compressor

1 Boil off Compressor จะมี 3 ชุดด้วยกัน ชุด A จะควบคุมแรงดันของถัง D-90910, ชุด B จะควบคุมแรงดันของถัง D-90911 และชุด R จะใช้เป็นตัว Stand by โดยสามารถใช้ควบคุมแรงดันของถังได้ทั้ง 2 ถัง

2 Transfer Refrigerate Compressor มี 1 ชุด โดยระบบท่อนั้นออกแบบให้สามารถควบคุมแรงดันของถังได้ทั้ง 2 ถัง ซึ่งจะใช้งานในขณะรับก๊าซจากเรือเข้าถัง เพราะเนื่องจากการรับก๊าซขึ้นจากเรือจะรับด้วยอัตราการไหลที่สูงมากถึง 1000 M3/ H ซึ่งส่งผลให้แรงดันของถังเพิ่มสูงขึ้นเร็วมาก

One Line Diagram การรับ LPG Pressurize จาก Berth No.1 เข้าถัง Sphere Tank

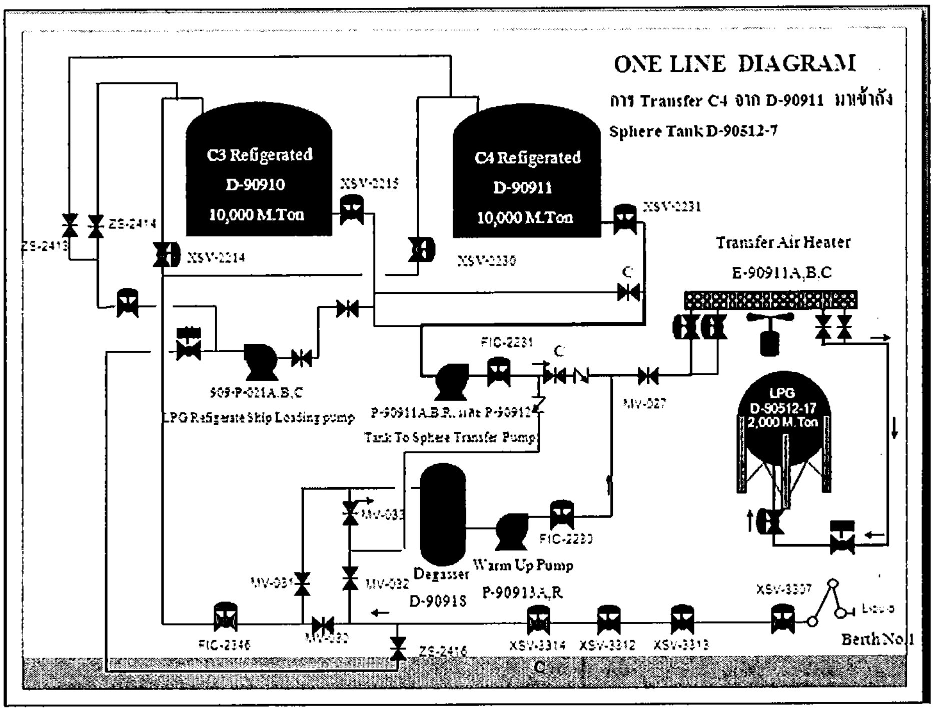


ภาพที่ 3-12 One line Diagram การรับ Unload เรือ Refrigerated Berth No. 1 แบบ Pressurize เข้าถัง Sphere Tank

ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ.ปตท. จำกัด (มหาชน)

ท่อจ่ายก๊าซ LPG ไป Berth no. 1 ได้ถูกนำมาใช้ในการรับก๊าซ C3, C4 แบบ Pressurize ขึ้นจากเรือ โดยได้นำท่อ Flexible Rubber Hose มาต่อเข้ากับท่อและใช้ Flexible Rubber Hose แทน Loading Arm โดยเรือจะสูบถ่ายก๊าซ C3, C4 Pressurize เข้า Flexible Rubber Hose ไหลผ่านวาล์วที่ปลายท่อ, วาล์ว HSV-345, FIC-2204, HSV-2203 และลงมาเข้ารับรับของถัง Sphere แต่ละถัง

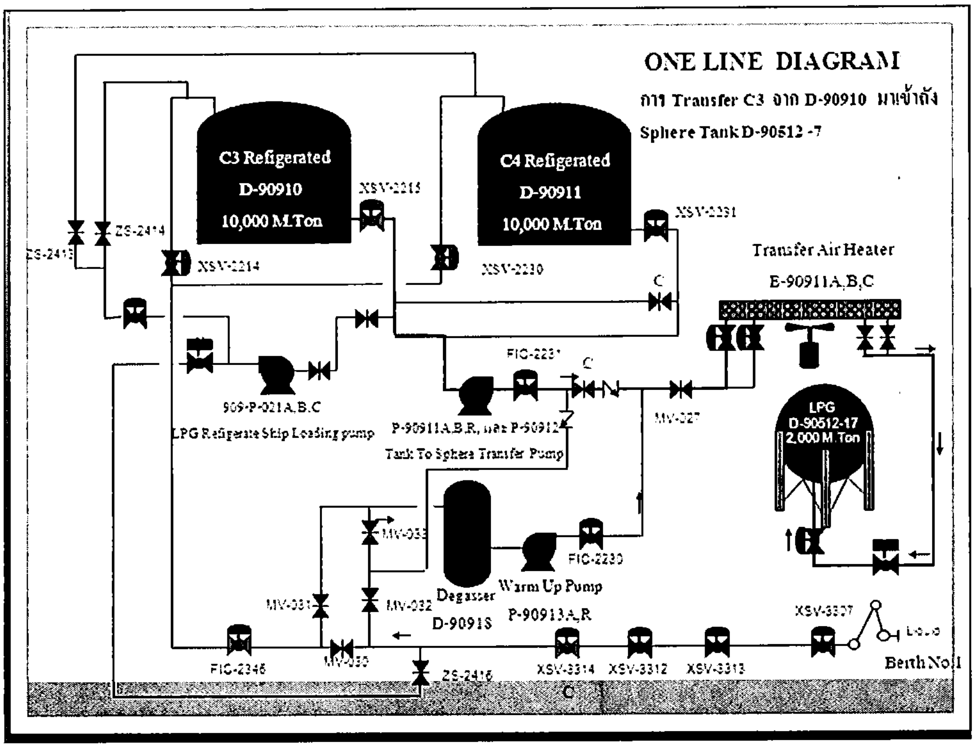
One line Diagram การ Transfer C3, C4 Refrigerated จากถัง Cold Tank เข้าไปผสมกันให้เป็นก๊าซ LPG ในถัง Sphere Tank



ภาพที่ 3-13 One line Diagram การ Transfer C4 จาก D-90911 มาเข้าถัง Sphere Tank D-90512-7

ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ.ปตท. จำกัด (มหาชน)

ก๊าซ C4 Refrigerated จาก D-90911 จะไหลออกจากถังผ่านวาล์ว XSV-2231 มาที่ปั๊ม P-90911 A, B, R Transfer Pump และปั๊มสูบถ่ายก๊าซไปผ่านระบบ Transfer Air Heater เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของก๊าซ จากอุณหภูมิติดลบ -5 องศาเซลเซียส ให้กลายเป็นอุณหภูมิบวกประมาณ 15 องศาเซลเซียส และไหลผ่านวาล์วรับเข้าไปเก็บในถัง D-90512-17



ภาพที่ 3-14 One line Diagram การ Transfer C3 จาก D-90910 มาเข้าถัง Sphere Tank D-90512-7
ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ.ปตท. จำกัด (มหาชน)

ก๊าซ C3 Refrigerated จาก D-90910 จะไหลออกจากถังผ่านวาล์ว XSV-2215 มาที่ปั๊ม P-90911 A, B, R Transfer Pump และปั๊มสูบถ่ายก๊าซไปผ่านระบบ Transfer Air Heater เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของก๊าซ จากอุณหภูมิติดลบ -40 องศาเซลเซียส ให้กลายเป็นอุณหภูมิบวกประมาณ 15 องศาเซลเซียส และไหลผ่านวาล์วรับเข้าไปเก็บในถัง D-90512-17

วิเคราะห์ขีดความสามารถของคลังในการรับก๊าซ C3,C4 Refrigerated เข้าถัง Cold tank และถัง Sphere Tank และ การ Transfer ก๊าซ C3,C4Refrigerated จากถัง Cold Tank มาผลิตเป็นก๊าซ LPG ในถัง Sphere Tank

1. คำนวนระยะเวลาการรับก๊าซ C3 Refrigerated เข้าไปเก็บในถัง Cold Tank โดยพิจารณาจาก Capacity ของ Loading Arm Maximum 1500 M3/ H ซึ่ง Flow Rate ที่ใช้ในการรับก๊าซเข้าถัง Cold Tank แล้วจะต้องไม่ทำให้ Pressure ของถัง Cold Tank เพิ่มสูงขึ้นจนต้องระบายก๊าซออก Flare

2. คำนวนระยะเวลาการรับก๊าซ C3 เข้าไปเก็บในถัง Sphere Tank โดยดูจากความสามารถของTransfer Air Heater เป็นหลักเมื่อใช้กับก๊าซก๊าซ C3 Refrigerated ซึ่ง Transfer

Air Heater จะทำ Flow Rate ได้สูงสุดที่ 75 ตัน/ ชั่วโมง หรือ 150 M3/ Hเมื่อใช้กับก๊าซ C3 Refrigerated ที่มีอุณหภูมิติดลบที่ -40องศาเซลเซียส

3. คำนวนระยะเวลาการรับก๊าซ C4 Refrigerated เข้าไปเก็บในถัง Cold Tank โดยพิจารณาจาก Capacity ของ Loading Arm Maximum 1500 M3/ H ซึ่ง Flow Rate ที่ใช้ในการรับก๊าซเข้าถัง Cold Tank แล้วจะต้องไม่ทำให้ Pressure ของถัง Cold Tank เพิ่มสูงขึ้นจนต้องระบายก๊าซออก Flare

4. คำนวนระยะเวลาการรับก๊าซ C4 เข้าไปเก็บในถัง Sphere Tank โดยดูจากความสามารถของ Warm Up Pump เป็นหลัก ซึ่ง Warm Up Pump จะทำ Flow Rate สูงสุดได้ 250 M3/ H และก๊าซ C4 Refrigerated จะมีอุณหภูมิอยู่ที่ -5 องศาเซลเซียส ซึ่ง Transfer Air Heater สามารถทำอุณหภูมิของก๊าซออกมาเป็นบวกได้อย่างดี

5. คำนวนการ Transfer ก๊าซ C3และ C4 Refrigerated จะถัง Cold Tank เข้าไปเก็บในถัง Sphere Tank และผลิตเป็นก๊าซ LPG

5.1 คำนวนระยะเวลาการ Transfer ก๊าซ C3 Refrigerated จากถัง Cold Tank ไปเข้าถัง Sphere tank โดยดูจากความสามารถของ Transfer Air Heater เป็นหลักเมื่อใช้กับก๊าซก๊าซ C3 Refrigerated ซึ่ง Transfer Air Heater จะทำ Flow Rate ได้สูงสุดที่ 75 ตัน/ ชั่วโมง หรือ 150 M3/ H เมื่อใช้กับก๊าซ C3 Refrigerated ที่มีอุณหภูมิติดลบที่ -40องศาเซลเซียส

5.2 คำนวนระยะเวลาการรับ Transfer ก๊าซ C4 Refrigerated จากถัง Cold Tank เข้าไปเก็บในถัง Sphere Tank โดยดูจากความสามารถของ Tank to Sphere Transfer Pump เป็นหลัก ซึ่งปั๊มจะทำ Flow Rate สูงสุดได้ 200 M3/ H และก๊าซ C4 Refrigerated จะมีอุณหภูมิอยู่ที่ -4 องศาเซลเซียส ซึ่ง Transfer Air Heater สามารถทำอุณหภูมิของก๊าซออกมาเป็นบวกได้อย่างดี

กำหนดวิธีในการแก้ไขปัญหา โดยใช้หลัก ECRS

1. Eliminate เป็นการขจัดขั้นตอนที่ไม่จำเป็นออกไปเช่นการรอคอย

2. Combine เป็นการรวมขั้นให้สามารถทำงานได้พร้อมกัน เช่นการรับก๊าซทั้ง 2 ชนิดพร้อมกัน

3. Rearrange เป็นการสลับสับเปลี่ยน การรับก๊าซ เช่นจะรับก๊าซชนิดไหนขึ้นมาก่อน

4. Simplify เป็นการทำให้ง่าย เช่น การ Line Up ระบบท่อที่ใช้ก๊าซจากเรือมีวาล์วที่เกี่ยวข้องหลายตัว ซึ่ง

ต้องใช้เวลามากในการเปิด-ปิดวาล์ว

กำหนดทางเลือกในการไขปัญหา โดยใช้ HOW HOW Analysis

1. กำหนดทางเลือกในการแก้ปัญหาให้ได้หลายๆ วิธี

2. ใช้หลักทฤษฎี How How Analysisในการเลือกทางเลือกที่ใช้ในการแก้ไขปัญหา

- กำหนดหัวข้อในการ พิจารณา เช่น สอดคล้องกับ KPI ของหน่วยงาน, มูลค่าความสูญเสีย, ผลที่ได้รับ, ผลกระทบกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

แก้ไขปัญหาตามทางเลือกที่ได้พิจารณา

ตรวจสอบผลการแก้ไขปัญหาตามทางเลือกที่ได้ดำเนินการ

- ใช้ตารางเก็บข้อมูลปริมาณก๊าซที่รับจากเรือแต่ละวัน

- ใช้กราฟแท่งในการแสดงผลและเปรียบเทียบผลการแก้ไขปัญหา กับเป้าหมายที่ตั้งไว้

สรุปผลการแก้ไขปัญหาและจัดทำคู่มือการปฏิบัติงาน

บทที่ 4
วิเคราะห์ข้อมูลและผลการวิจัย

การคัดเลือกโครงการและการดำเนินงาน

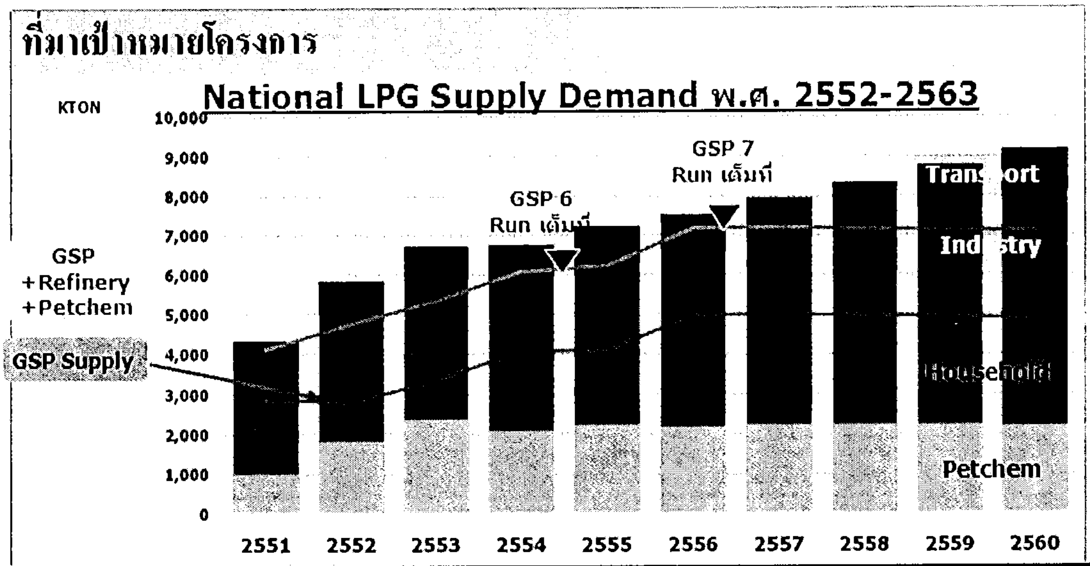
จากการระดมความคิดและเก็บรวบรวมข้อมูลในการค้นหาสิ่งผิดปกติต่าง ๆ ในหน่วยงาน หรือต้องการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสินค้าและบริการ ของหน่วยงาน ทำให้พบปัญหาที่จะควรได้รับการแก้ไขอยู่ 4หัวข้อและได้ทำการจัดลำดับความสำคัญของปัญหาทั้งหมดนี้โดยพิจารณาจาก ความถี่ ,ผลกระทบกับลูกค้า ภายใน ,ภายนอก ,มูลค่าความสูญเสียหรือผลประโยชน์ที่ได้รับและความสอดคล้องกับ KPI ของหน่วยงาน ซึ่งปัญหาที่ 4 เพิ่มความสามารถในการรับผลิตภัณฑ์ C3/ C4 Import ให้ทันต่อความต้องการภายในประเทศ เป็นปัญหาที่เมื่อทำการจัดลำดับความสำคัญแล้วได้รับความสนใจมากที่สุด จึงได้นำเรื่องนี้มาทำการปรับปรุงแก้ไข

ตารางที่ 4-1 การคัดเลือกหัวข้อปัญหาที่ค้นพบ และพิจารณาความจำที่ต้องแก้ไขปัญหา

หัวข้อปัญหา	สอดคล้องกับ KPIs	มูลค่า (G/L)	ผลกระทบ		ความถี่ (ครั้ง/เดือน)
			ภายใน	ภายนอก	
1. ไม่เสีย Demurrage จากการรับผลิตภัณฑ์ทางเรือต่างประเทศ กรณี VA pour Return ขณะรับ C3/ C4 Refrigerated	KPIs คก.ขบ. ข้อ I - 5.1	-10 M	ค่าใช้จ่าย	คู่ค้า	4
2. ปรับปรุงระบบการ Cool Down ท่อ ก่อนรับผลิตภัณฑ์	KPIs คก.ขบ. ข้อ I - 9.1	0.3 M	ค่าใช้จ่าย	-	4
3.เพิ่มการรับ-จ่ายผลิตภัณฑ์ LPG ให้ โรงกลั่นบางจาก	KPIs คก.ขบ. ข้อ I - 9.1	0.14 M	-	-	1
4. เพิ่มความสามารถในการรับผลิตภัณฑ์ C3/ C4 Import ให้ทันต่อความต้องการภายในประเทศ	KPIs คก.ขบ. ข้อ I - 5.1 ,9.1	200M	ค่าใช้จ่าย	คู่ค้า ลูกค้าภายนอก	4

ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ. ปตท. จำกัด (มหาชน)

เป้าหมายโครงการ



Unit : Kton	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Net Export / (Import)	-531	-1,102	-1,396	-698	-1,004	-356	-749	-1,187	-1,641	-2,083
National Domestic Demand	3,642	4,022	4,352	4,664	4,987	5,334	5,703	6,099	6,526	6,986
% Growth (Exc. Petchem)	13%	10%	8%	7%	→					
Petrochem Demand	1,024	1,839	2,393	2,105	2,252	2,208	2,251	2,251	2,252	2,216

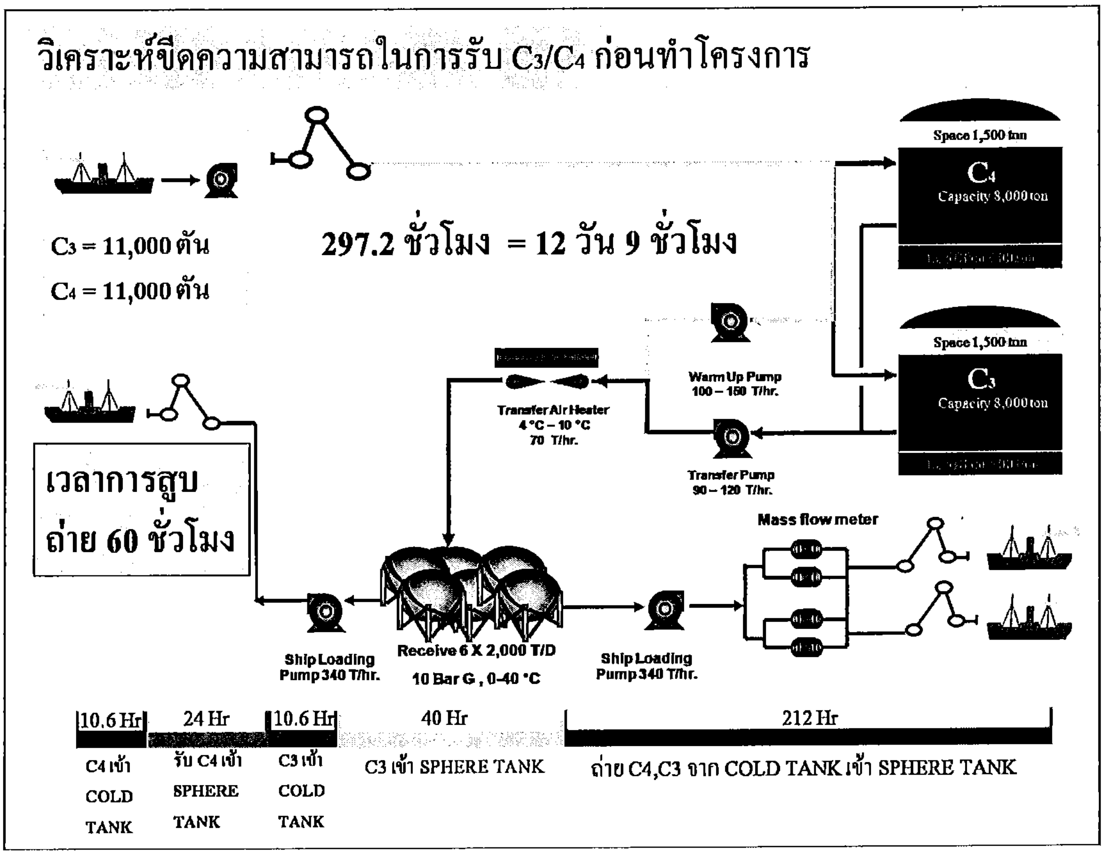
ที่มา: ประชุมร่วม อง.ธกก., กน.กห.ปห.ธกห., บปป.ธกป., นสท.ธกท.และ กก.ขบ. ปอม.

ภาพที่ 4-1 ข้อมูล Demand และ Supply ก๊าซ LPG ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2551-2560
ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ. ปตท. จำกัด (มหาชน)

จากภาพที่ 4-1 ข้อมูล Demand และ Supply ก๊าซ LPG ของประเทศไทย ในช่วง พ.ศ. 2551 ถึงปี พ.ศ. 2560 จะเห็นว่ากำลังการผลิตก๊าซ LPG ของโรงแยกก๊าซระยองใน ปี พ.ศ. 2551 จะอยู่ที่ 3 ล้านตัน/ ปี และเมื่อรวมกำลังการผลิตก๊าซ LPG ที่ได้จากโรงกลั่นน้ำมัน และโรงงานปิโตรเคมีด้วยแล้วจะทำให้ ปริมาณก๊าซ LPG ที่ผลิตได้เท่ากับ 4 ล้านตัน/ ปี ในขณะที่ปริมาณการใช้ก๊าซ LPG ของประเทศไทย โดยแบ่งเป็นภาคปิโตรเคมีมีความต้องการใช้ก๊าซ LPG เป็นวัตถุดิบในการผลิตเม็ดพลาสติก ประมาณ 1 ล้านตัน/ ปี ภาคครัวเรือนมีความต้องการใช้ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิงจำนวน 2 ล้านตัน/ ปี ภาคอุตสาหกรรมมีความต้องการใช้ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิง จำนวน 500,000 ตัน/ ปี และภาคขนส่งมีความต้องการใช้ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิง จำนวน 1.5 ล้านตัน/ ปี เมื่อรวมความต้องการใช้ก๊าซ LPG ของทุกภาคส่วนแล้วจะเห็นว่ามีปริมาณเท่ากับ 4ล้านตัน ซึ่งเท่ากับกำลัง

การผลิตรวมกันทั้งของโรงแยกก๊าซ ,โรงกลั่นน้ำมัน และโรงงานปิโตรเคมี ดังนั้นจะเห็นว่าในปี พ.ศ. 2551 นั้น Demand และ Supply จะยังสมดุลกันอยู่

แต่ในปี พ.ศ. 2552 ได้เกิดการขาดแคลนก๊าซ LPG เนื่องจากปริมาณการใช้นั้นเพิ่มขึ้นในขณะที่กำลังการผลิตยังเท่าเดิมอยู่ ซึ่งปริมาณการใช้ที่เพิ่มขึ้นนั้นมาจากภาคของปิโตรเคมีที่ได้โตขึ้นมาประมาณ 800,000 ตัน/ ปี จากปี พ.ศ. 2551 และในภาคของครัวเรือน ,ภาคอุตสาหกรรมและภาคขนส่ง โตขึ้นมารวมกันประมาณ 600,000 ตัน/ ปี จากปี พ.ศ. 2551 จึงทำให้ก๊าซ LPG ที่ผลิตได้ภายประเทศไม่เพียงพอต่อการบริโภคภายในประเทศ ซึ่งประเทศไทยจึงจำเป็นที่จะต้องพึ่งพาการนำเข้าก๊าซ LPG จากต่างประเทศมาบริโภคภายในประเทศ ซึ่งคลังก๊าซเขาบ่อยา บ.ปตท.จำกัด (มหาชน) นั้นถือเป็นคลังก๊าซ LPG ที่ทันสมัยและใหญ่ที่สุดในประเทศได้ และได้มี Facility ที่ค่อนข้างพร้อมที่จะทำการปฏิบัติการนำเข้าก๊าซ LPG จากต่างประเทศในช่วงเวลาดังกล่าว และได้ตั้งเป้าหมายไว้ที่ 100,000 ตัน/ เดือนในการรับก๊าซ C3,C4 Refrigerated จากเรือ



ภาพที่ 4-2 กระบวนการรับก๊าซ C3,C4 Refrigerated จากเรือเข้าถังเก็บทั้ง Cold Tank และ Sphere Tank รวมทั้งเวลาในแต่ละกระบวนการก่อนทำโครงการ

ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ. ปตท. จำกัด (มหาชน)

วิเคราะห์ขีดความสามารถในการรับก๊าซ C3/ C4 ก่อนทำโครงการ

1. ข้อกำหนดในการปฏิบัติงานและรายละเอียดของสินค้า

1.1 ชื่อเรือ YUYO BERGE

1.2 สินค้า และปริมาณ

a. C3 Refrigerated จำนวน 11,000 ตัน

b. C4 Refrigerated จำนวน11,000 ตัน

1.3 เทอมการซื้อขาย/ Laytime/ Demurrage

1.4 เทอมการซื้อขาย Spot-DES สิทธิในสินค้าและความเสี่ยงเป็นของผู้ซื้อเมื่อสินค้าผ่านหน้าแปลนเรือ (Vessel's flange) ที่ท่าปลายทาง

1.5 Lay time Allowed 60 +6 ชม.

1.6 เริ่มนับ Laytimeเมื่อ

a. NOR Tender +6 b. Vessel commences discharge

c. a หรือ b แล้วแต่ข้อใดเกิดก่อน

1.7 Demurrage: 40,000 USD/ PDPR

2. แผนการรับก๊าซขึ้นจากเรือ

คลังจะต้องจัดทำแผนการรับก๊าซทั้ง 2 ชนิดขึ้นจากเรือ เข้ามาเก็บในถัง Cold Tank และถัง Sphere Tank ให้ได้ปริมาณครบถ้วน และ เนื่องจากมีท่อรับก๊าซ C3/ C4 Refrigerated อยู่เพียง 1 เส้นที่ใช้ในการรับก๊าซจากท่าเทียบเรือหมายเลข 1 ดังนั้นจึงต้องรับก๊าซจากเรือให้เสร็จทีละ Product ดังนี้

2.1 ถัง Cold Tank ถูกออกแบบให้มีความจุ 10,000 ตันหรือ 20,000,000 ลิตร แต่การเก็บก๊าซจะเก็บได้มากที่สุดแค่ 85% เท่านั้น โดยเผื่อที่วางในถังไว้ 15% เพื่อรองรับการขยายตัวของก๊าซและจะต้องมี Desk Stock อยู่ 500 ตันดังนั้นจะรับก๊าซจากเรือเข้าถัง Cold Tank ได้ประมาณ 8,000 ตันซึ่งจะมีก๊าซเหลือจากเรืออีก 3,000 ตัน จะต้องนำเข้าไปเก็บในถัง Sphere Tank

2.2 ถัง Sphere Tank ถูกออกแบบให้มีความจุ 2,000 ตันหรือ 4,000,000 ลิตร แต่จะเก็บก๊าซได้แค่ 85% หรือ 1,700 ตันและจะต้องมี Stockขั้นต่ำในถังอยู่ 100 ตัน ดังนั้นจะสามารถรับก๊าซจากเรือได้ 1,600 ตันต่อถัง ซึ่งก๊าซแต่ละชนิดที่เหลือหลังจากนำก๊าซเข้าไปเก็บในถัง Cold Tank จะเหลืออยู่ประมาณชนิดละ 3,000 ตันจะต้องใช้ถัง Sphere Tank จำนวน 2 ถังในการเก็บก๊าซ และเมื่อรวมปริมาณก๊าซทั้ง 2 ชนิดจะต้องใช้ถัง Sphere Tank ทั้งหมด 4 ถัง

3. ขั้นตอนการรับก๊าซขึ้นจากเรือ

3.1 คลังจะต้องจะทำการ Cool Down ท่อก่อนที่จะมีการรับก๊าซขึ้นจากเรือ ซึ่งคลังจะต้องเตรียมระบบท่อให้พร้อมก่อนที่เรือจะถึง การ Cool Down ท่อรับก๊าซคือการทำให้ท่อมีอุณหภูมิลดลงจนติดลบประมาณ -30 องศาเซลเซียส เพื่อให้เรือสามารถปั๊มก๊าซขึ้นมาได้ เนื่องจาก Pressure Discharge ปั๊มของเรือจะอยู่ที่ 5-7 Bar เท่านั้น ส่วน Pressure ของท่อรับส่งก๊าซจะอยู่ที่ 10 Bar ในอุณหภูมิปกติ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งมากกว่า Pressure Discharge ของปั๊มเรือ จึงทำให้เรือไม่สามารถปั๊มก๊าซขึ้นมาได้ ซึ่งเมื่อทำการ Cool Down ท่อแล้วนอกจากจะทำอุณหภูมิของท่อลดลงแล้วยังจะทำให้แรงดันในท่อก๊าซลดลงเหลือเพียง 1-3 Bar เท่านั้น

วิธีการ Cool Down ท่อก็จะทำโดยการปั๊มก๊าซ C3 Refrigerated ที่อยู่ในถัง Cold Tank ไปไล่ก๊าซในท่อที่มีอุณหภูมิสูงออก ด้วย Flow Rate 30 M3/ H ซึ่งก็จะทำให้ก๊าซและท่อมีอุณหภูมิลดลงจนติดลบถึง -30 องศาเซลเซียส ส่วนก๊าซที่ค้างท่ออยู่ก่อนหน้านั้นก็จะถูกนำไปลดอุณหภูมิลงจนมีอุณหภูมิลดลงจนติดลบประมาณ -38 ถึง -40 องศาเซลเซียสก่อนนำเข้าไปเก็บถัง Cold Tank หรือไม่ก็นำก๊าซที่มีอุณหภูมิสูงไปเข้าถัง Sphere เพื่อผสมเป็นก๊าซ LPG

3.2 เริ่มทำการรับก๊าซ เรือก็จะปั๊มก๊าซ C3 เข้ามาก่อน Flow Rate ประมาณ 150 M3/ H เพื่อไล่ก๊าซในท่อที่มีอุณหภูมิประมาณ -30 องศาเซลเซียส ไปเข้าถัง Sphere Tank ให้หมด และเมื่อก๊าซในท่อบริเวณหน้าถัง Cold Tank มีอุณหภูมิถึง -40 องศาเซลเซียสแล้ว ก็จะนำก๊าซเข้าไปเก็บในถัง Cold Tank ซึ่งก็จะหยุดการนำก๊าซเข้าไปเก็บในถัง Sphere Tank ไว้ชั่วคราว และทำการรับก๊าซเข้าถัง Cold Tank จนครบจำนวน 8000 ตัน ใช้เวลา 10. 6 ชั่วโมง ด้วย Flow Rate 750 ตัน/ชั่วโมง

3.3 เมื่อนำก๊าซ C3 Refrigerated เข้าถัง Cold Tank จนครบจำนวนแล้ว ก็จะมีก๊าซเหลืออีก 3,000 ตัน ซึ่งจะต้องนำเข้าไปเก็บในถัง Sphere Tankให้หมด โดยก๊าซทั้ง 3,000 ตัน นี้จะต้องนำมาเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นจนเป็นบวกประมาณ 15-20 องศาเซลเซียส โดยผ่านระบบ Heater ใช้เวลา 40 ชั่วโมง ด้วย Flow Rate 75 ตัน/ ชั่วโมง

3.4 เมื่อก๊าซ C3 Refrigerated ที่เรือหมดแล้วก็จะเปลี่ยน Product เป็นก๊าซ C4 Refrigerated ซึ่งเรือก็จะปั๊มก๊าซ C4 ขึ้นมาไล่ก๊าซ C3 ที่ค้างท่ออยู่ไปเข้าถัง Sphere Tank ให้หมด ซึ่งช่วงนี้จะมีการปนเปื้อนของก๊าซ C3 และ C4 อยู่บ้าง แต่ไม่มีปัญหาอะไร และเมื่อก๊าซ C4 ในท่อบริเวณหน้าถัง Cold Tank มีอุณหภูมิติดลบอยู่ที่ -4องศาเซลเซียส แล้วก็จะนำก๊าซ C4 เข้าไปเก็บในถัง Cold Tank และก็จะหยุดการนำก๊าซไปเข้าถัง Sphere Tank ไว้ชั่วคราว และรอให้ก๊าซ C4 เข้าไปเก็บในถัง Cold Tank ได้ครบจำนวน 8000 ตัน ใช้เวลา 10.6 ชั่วโมงด้วย Flow Rate 750 ตัน/ชั่วโมง

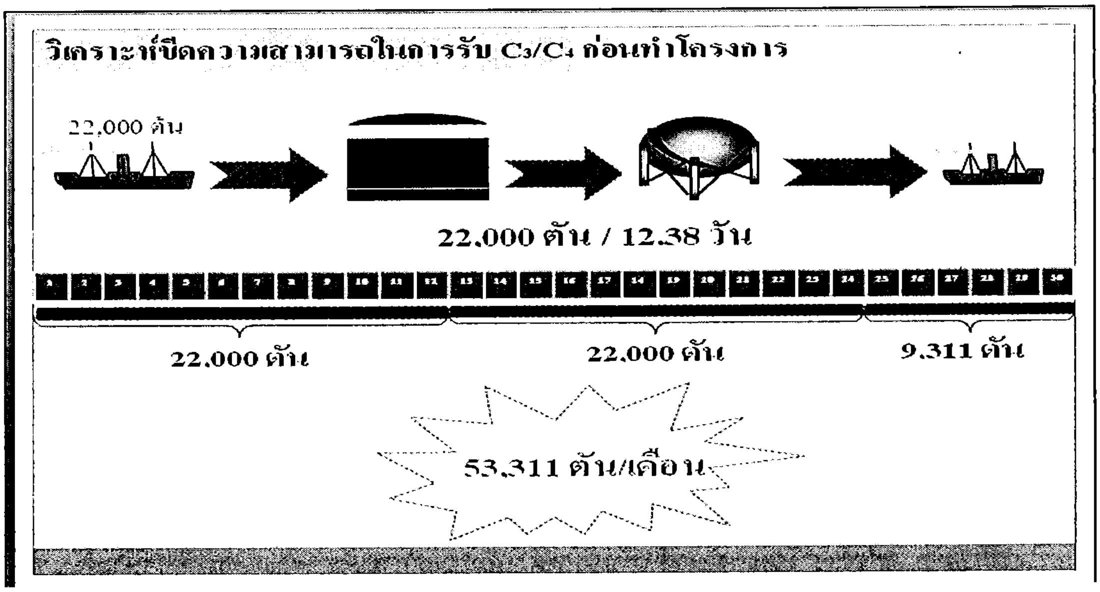
3.5 เมื่อก๊าซ C4 Refrigerated เข้าถังCold Tank ครบ 8,000ตัน แล้ว ก็จะยังมีก๊าซเหลืออยู่อีก 3000 ตันที่จะนำไปเข้าถัง Sphere Tank โดยปั๊มก๊าซผ่านระบบHeaterเพื่อให้ก๊าซมีอุณหภูมิสูงขึ้นใช้เวลา24 ชั่วโมง Flow Rate 125 ตัน/ ชั่วโมง

เมื่อเรือ Discharge ก๊าซ C4 Refrigerated เสร็จแล้ว ก็เป็นการสิ้นสุดการรับก๊าซจากเรือและรวมเวลาได้เท่ากับ 85.2 ชั่วโมง ซึ่งจะเห็นว่าเวลาที่ใช้ทั้งหมดนั้นเกินเวลาที่ทางเรือกำหนดให้ไว้ที่ 60 ชั่วโมง และได้ใช้เวลาเกินไป 25.2 ชั่วโมง ซึ่งจะต้องเสียค่า Demurrage วันละ 40,000 USD

วิเคราะห์กระบวนการผสมก๊าซทั้ง 2 ชนิดให้เป็นก๊าซ LPG

หลังจากที่รับก๊าซขึ้นจากเรือเสร็จแล้วเราจะต้องทำการถ่ายก๊าซ C3 และ C4 ที่เก็บแยกกันไว้ในถัง Sphere Tank และ Cold Tank ออกมาผสมให้เป็นก๊าซ LPG และจำหน่ายให้ลูกค้า การผสมนั้นถ้าเป็นก๊าซที่มีอุณหภูมิปกติคือ 30 องศาเซลเซียส ก็สามารถที่จะทำการนำก๊าซทั้ง 2 ชนิดนี้มาผสมกันได้เลย แต่ถ้าก๊าซที่มีอุณหภูมิติดลบ ก็จะต้องทำการเพิ่มอุณหภูมิของก๊าซให้เป็นบวกก่อนนำก๊าซมาผสมกัน วิธีการผสมก็จะนำก๊าซ C4 เข้าถัง Sphere Tank ก่อน เนื่องจากก๊าซ C4 จะค่า Density อยู่ 0.5750-0.5800 ซึ่งมีน้ำหนักมากกว่าก๊าซ C3 ที่มีค่า Density อยู่ 0.5000 -0.5050 สมมุติว่าต้องการผลิตก๊าซ LPG จำนวน 3000 M3 ก็จะต้องนำก๊าซ C4 เข้าถัง Sphere Tank จำนวน 1500 M3 และตามด้วยก๊าซ C3 อีก 1500 M3 ซึ่งรวมเวลาในการถ่ายก๊าซทั้ง 2 ชนิดนี้มาผสมกันจะใช้เวลารวมทั้งหมด 212 ชั่วโมง

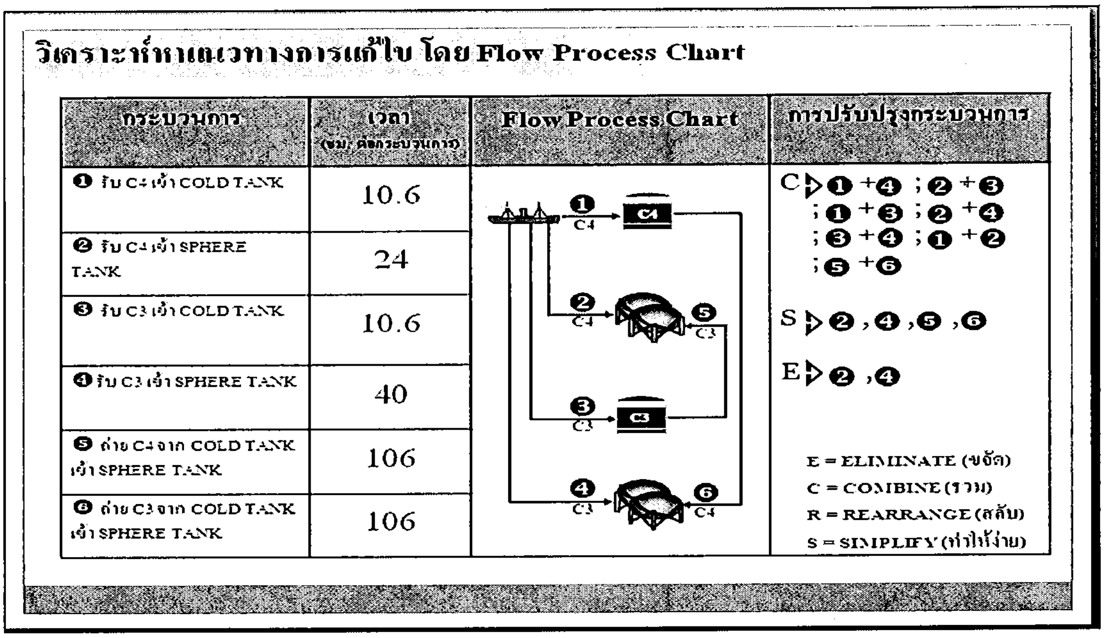
ข้อควรระวัง: การผสมก๊าซนั้นจำเป็นจะต้องนำก๊าซ C4 เข้ามารองถังไว้ก่อน แล้วจึงนำก๊าซ C3 เข้าตามไปทีหลัง สาเหตุที่ต้องทำลักษณะนี้ก็เพื่อให้ก๊าซ C3 ซึ่งเบากว่าก๊าซ C4 นั้นได้ลอยแทรกซึมผ่านก๊าซ C4 ขึ้นมาซึ่งจะทำให้โมเลกุลของก๊าซทั้ง 2 ชนิดนี้ จับตัวกันได้ดี หลังจากนั้นก็จะทำการ Circulate ก๊าซในถังให้ผสมรวมตัวกันกลายจนเป็นก๊าซ LPGเนื้อเดียวกันที่มีคุณภาพตรงตามความต้องการของลูกค้า



ภาพที่ 4-3 ปริมาณก๊าซ C3,C4 Refrigerated ที่รับได้จากเรือ และผลิตเป็นก๊าซ LPG ได้ต่อ 1 เดือน
ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ. ปตท. จำกัด (มหาชน)

เมื่อรวมเวลาที่ใช้ในการรับเรือ 1 ลำจะใช้เวลารวมกันทั้งหมด 297.12 ชั่วโมง หรือ 12 วัน 9 ชั่วโมงเพราะฉะนั้นคลังจะสามารถรับก๊าซจากเรือได้ประมาณ 53,311 ตันต่อเดือน ซึ่งยังขาดอีก 46,689 ตันต่อเดือน

วิเคราะห์แนวทางแก้ไขปัญหา



วิเคราะห์หาแนวทางการแก้ไข โดย Flow Process Chart

กระบวนการ	เวลา (ชม. ต่อกระบวนการ)	Flow Process Chart	การปรับปรุงกระบวนการ
❶ รับ C4 เข้า COLD TANK	10.6		C ▷ ❶+❹ ; ❷+❸ ; ❶+❸ ; ❷+❹ ; ❸+❹ ; ❶+❷ ; ❺+❻ S ▷ ❷,❹,❺,❻ E ▷ ❷,❹ E = ELIMINATE (ขจัด) C = COMBINE (รวม) R = REARRANGE (สลับ) S = SIMPLIFY (ทำให้ง่าย)
❷ รับ C4 เข้า SPHERE TANK	24		
❸ รับ C3 เข้า COLD TANK	10.6		
❹ รับ C3 เข้า SPHERE TANK	40		
❺ ถ่าย C4 จาก COLD TANK เข้า SPHERE TANK	106		
❻ ถ่าย C3 จาก COLD TANK เข้า SPHERE TANK	106		

ภาพที่ 4-4 การวิเคราะห์ปัญหาการรับก๊าซจากเรือ และผลิตเป็นก๊าซ LPG โดยใช้แผนภูมิกระบวนการไหล

ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ. ปตท. จำกัด (มหาชน)

ทำการแก้ไขโดยใช้ Flow Process Chart นำทุกขบวนการในการรับก๊าซขึ้นจากเรือมาวิเคราะห์และปรับปรุงแก้ไข ซึ่งมีทั้งหมด 6 กระบวนการด้วยกันดังนี้

1. การรับก๊าซ C4 Refrigerated เข้าถัง Cold Tank ใช้เวลาทั้งหมด 10.6 ชั่วโมง
2. การรับก๊าซ C4 Sphere Refrigerated เข้าถัง Sphere Tank ใช้เวลาทั้งหมด 24 ชั่วโมง
3. การรับก๊าซ C3 Refrigerated เข้าถัง Cold Tank ใช้เวลาทั้งหมด 10.6 ชั่วโมง
4. การรับก๊าซ C3 Refrigerated เข้าถัง Sphere Tank ใช้เวลาทั้งหมด 40 ชั่วโมง
5. การถ่ายก๊าซ C4 จากถัง Cold Tank ไปเข้าถัง Sphere Tank ใช้เวลา 106 ชั่วโมง
6. การถ่ายก๊าซ C3 จากถัง Cold Tank ไปเข้าถัง Sphere Tank ใช้เวลา 106 ชั่วโมง

จะเห็นว่าทุก ๆ ขบวนการต้องทำเรียงต่อกันมา เมื่อรวมเวลาทั้งหมดจะใช้เวลา 297.12 ชั่วโมง หรือ 12 วัน 9 ชั่วโมง ต่อการรับก๊าซจากเรือ 1 ครั้ง ซึ่งเป็นเวลาที่มาก และปริมาณก๊าซที่รับได้ก็ไม่เพียงพอต่อความต้องการในแต่ละเดือน

การปรับปรุงกระบวนการให้แต่ละกระบวนการนั้นใช้เวลาลดลงเพื่อที่จะสามารถทำให้รับก๊าซขึ้นจากเรือได้มากขึ้น ซึ่งทำโดยวิธีการดังนี้

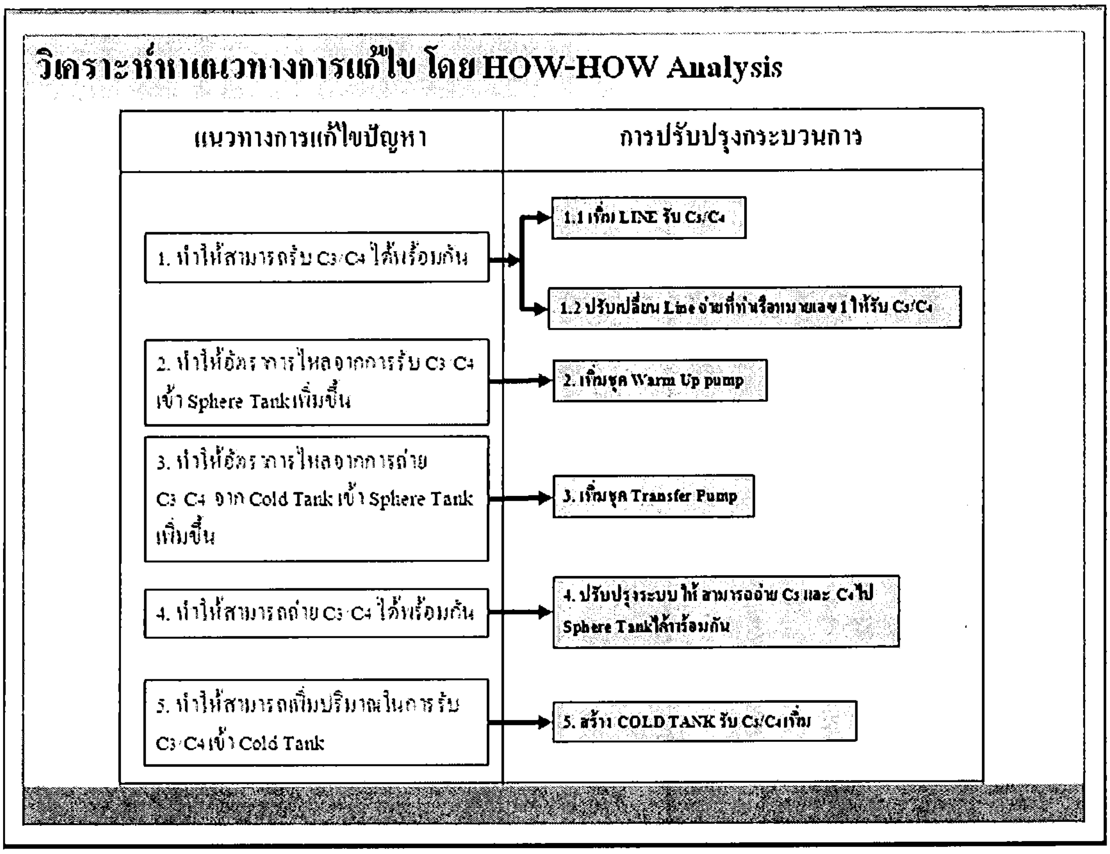
1. Eliminate ขจัดวิธีการในแต่ละขั้นตอนออกไปหรือลดขั้นตอนลง

2. Combine รวมหรือทำพร้อมกัน เช่นแต่ก่อนต้องรับก๊าซทีละ Product แก้ไขโดยรับพร้อมกัน

3. Rearrange สลับสับเปลี่ยน เช่น รับก๊าซ C3 ก่อนหรือจะรับก๊าซ C4 ก่อน หรือจะนำก๊าซเข้าถัง Cold Tank ก่อนหรือเข้าถัง Sphere Tank ก่อน

4. Simplify ทำให้วิธีการรับก๊าซสะดวกและง่ายขึ้น

ค้นหาทางเลือกในการปรับปรุงแก้ไข โดยใช้ HOW HOW Analysis



ภาพที่ 4-5 การวิเคราะห์หาทางเลือกในการปรับปรุงแก้ไขการรับก๊าซจากเรือ และผลิตเป็นก๊าซ LPG โดยใช้ HOW HOW Analysis

ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ. ปตท. จำกัด (มหาชน)

ทางเลือกในการแก้ไขปัญหา ซึ่งได้ทำการหาทางเลือกในการแก้ไขปัญหาไว้ 6 ทางเลือก ดังนี้

1. ทำให้สามารถรับก๊าซ C3/ C4 จากเรือได้พร้อมกัน แนวทางการแก้ไขมี 2 ทางเลือก ด้วยกันคือ

1.1 เพิ่มท่อรับก๊าซ C3 หรือ C4 Refrigerated อีก1 เส้น

1.2 ปรับปรุงท่อจ่ายก๊าซ LPG แบบ Pressurize ที่ท่าเทียบเรือหมายเลข1ให้สามารถรับก๊าซ C3, C4 แบบ Pressurize จากเรือได้

2. ทำให้อัตราการไหลจากการรับก๊าซ C3 และ C4 Refrigerated จากเรือเข้า Sphere Tank เพิ่มขึ้น

2.1 เพิ่มชุด Warm Up Pump และ Air Heater อย่างละ 1 ชุด

3. ทำให้อัตราการไหลจากการถ่ายก๊าซ C3,C4 จากถัง Cold Tank มาเข้าถัง Sphere Tank เพิ่มขึ้น

3.1 เพิ่มชุด Transfer Pump และ Air Heater อย่างละ 1 ชุด

4. ทำให้สามารถสูบถ่ายก๊าซ C3, C4 ออกจากถัง Cold Tank ได้พร้อมกัน

4.1 ปรับปรุงท่อให้สามารถสูบถ่ายก๊าซ C3,C4 จากถัง Cold Tank ไปเข้าถัง Sphere Tank ได้พร้อมกัน

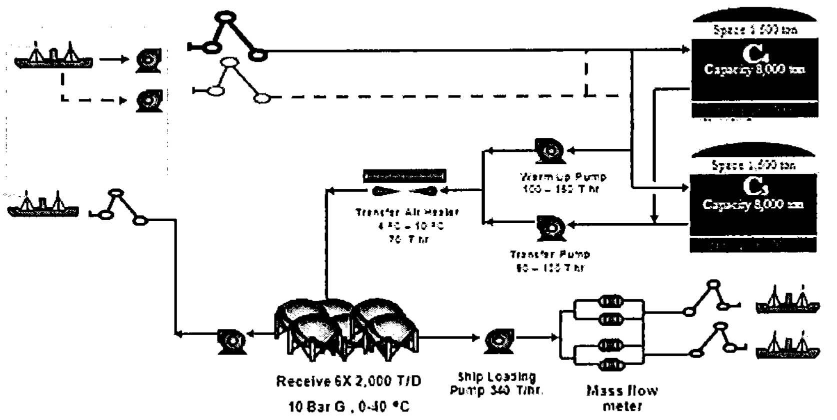
5. ทำให้สามารถรับก๊าซ C3, C4 Refrigerated เข้าถัง Cold Tank ได้เพิ่มขึ้น

5.1 สร้างถัง Cold Tank เพิ่มขึ้นเพื่อให้รับก๊าซได้มากขึ้น

วิเคราะห์ทางเลือกแต่ละทางเลือกที่จะใช้ในการแก้ไขปัญหา

1. วิเคราะห์ทางเลือกที่ 1.1

การปรับปรุงกระบวนการ



แนวทางการแก้ไข	ค่าใช้จ่าย	ระยะเวลา	ผลที่คาดว่าได้รับ	เทียบกับเป้าหมาย
1.1 เพิ่ม LINE รับ C3/C4	30 ล้านบาท	24 เดือน	55,287 ตันต่อเดือน	< 44,713 ตันต่อเดือน

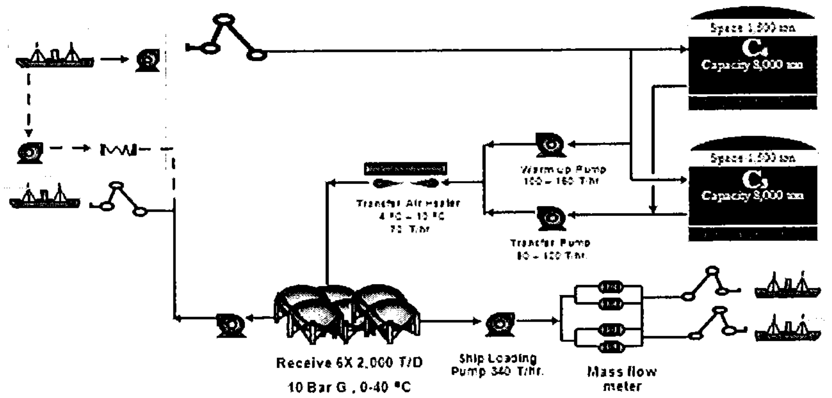
ภาพที่ 4-6 การวิเคราะห์ทางเลือกในการปรับปรุงแก้ไขการรับก๊าซจากเรือ และผลิตเป็นก๊าซ LPG โดยการเพิ่มท่อรับก๊าซ C3,C4 Refrigerated เส้นใหม่

ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ. ปตท. จำกัด (มหาชน)

เพิ่มท่อรับก๊าซ C3,C4 Refrigerated ในการรับก๊าซเข้าถัง Cold Tank ให้เร็วขึ้น แต่ก็ยังน้อยกว่าเป้าหมายประมาณ 44,713 เพราะเนื่องจากเมื่อนำก๊าซเข้าไปเก็บในถัง Cold Tank แล้ว แต่ก็ยังต้องเสียเวลาในการถ่ายก๊าซออกมาผสมเป็นก๊าซ LPG ซึ่งไม่ใช่ทางเลือกที่ดี

2. วิเคราะห์ทางเลือกที่ 1.2

การปรับปรุงกระบวนการ



แนวทางการแก้ไข	ค่าใช้จ่าย	ระยะเวลา	ผลที่คาดว่าได้รับ	เทียบกับเป้าหมาย
1.2 ปรับปรุง LINE จ่าย LPG ให้สามารถรับ C3 C4	2 ล้านบาท	1 เดือน	110,440 ตันต่อเดือน	> 10,440 ตันต่อเดือน

ภาพที่ 4-7 การวิเคราะห์ทางเลือกในการปรับปรุงแก้ไขการรับก๊าซจากเรือ และผลิตเป็นก๊าซ LPG โดยการปรับปรุงท่อจ่ายก๊าซ LPG ลงเรือให้สามารถรับก๊าซ C3,C4 Refrigerated จากเรือได้

ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ. ปตท. จำกัด (มหาชน)

ปรับปรุงท่อจ่ายก๊าซ LPG แบบ Pressurize ที่ท่าเทียบเรือหมายเลข 1 ให้สามารถรับก๊าซ C3,C4 แบบ Pressurize ได้ ซึ่งวิธีนี้เรือที่มาส่งสินค้าจะต้องมีระบบ Heater และ Booster Pump และการรับก๊าซด้วยวิธีนี้จะรับก๊าซจากเรือทั้ง 2 ท่อ โดยที่ท่อก๊าซระบบ Refrigerated จะให้เรือปั๊มก๊าซ C4 Refrigerated ขึ้นมา ซึ่งทางคลังก็จะมี Booster Pump ในการรับก๊าซจากเรือมาผ่านระบบ Air Heater เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของก๊าซให้สูงขึ้นจนเป็นบวกประมาณ 15-20 องศาเซลเซียส และนำเข้าไปเก็บในถัง Sphere Tank และรอการผสมเป็นก๊าซ LPG โดยจะนำก๊าซ C4 เข้าถัง Sphere Tank ประมาณ 1700 M3

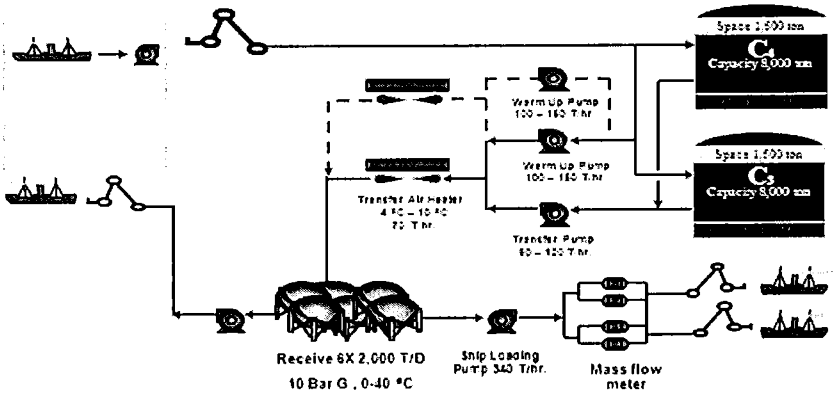
ท่อ Pressurize จะให้เรือปั๊มก๊าซ C3 ขึ้นมาซึ่งเรือก็จะทำการเพิ่มอุณหภูมิของก๊าซให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจนเป็นบวกขึ้นมาให้และใช้ Booster ปั๊มของเรือในการปั๊มก๊าซ C3 มาเข้าถัง Sphere Tank ต่อจากก๊าซ C4 ที่ได้รองพื้นถังไว้แล้วก่อนหน้านี้ประมาณ 1700 M3 และจะนำก๊าซ C3 เข้าถัง Sphere Tank ต่ออีก 1700 M3 รวมเป็น 3400 M3 เรียกได้ว่าเป็นการผสมก๊าซ C3,C4 ให้เป็น

ก๊าซ LPG ภายในตัวไปเลย ซึ่งก็จะสามารถนำก๊าซ LPG ที่ได้ผสมเสร็จแล้วจ่ายเรือให้ลูกค้าได้เลยที่ท่าเทียบเรือหมายเลข 2 และ 3

วิธีนี้มีข้อดีตรงที่สามารถผลิตก๊าซ LPG ได้ทันทีเลย โดยที่จะเหลือก๊าซ C3,C4 Refrigerated แค่เพียงอย่างละ 1000 ถึง 2000 ตันเท่านั้นต่อการรับก๊าซจากเรือ 1 เที่ยว ที่จะต้องนำก๊าซเข้าถัง Cold Tank เนื่องจากถูกบีบบังคับด้วยระยะเวลาการสูบถ่ายก๊าซจากเรือจะต้องไม่เกิน 60 ชั่วโมง และจะสามารถรับก๊าซจากเรือได้สูงกว่าเป้าหมายประมาณ 10,440 ตันต่อเดือน

3. วิเคราะห์ทางเลือกที่ 2

การปรับปรุงกระบวนการ



แนวทางการแก้ไข	ค่าใช้จ่าย	ระยะเวลา	ผลที่คาดว่าได้รับ	เทียบกับเป้าหมาย
2. เพิ่มระบบ Warm up pump 1 ชุด	60 ล้านบาท	10 เดือน	59,728 ตันต่อเดือน	< 40,272 ตันต่อเดือน

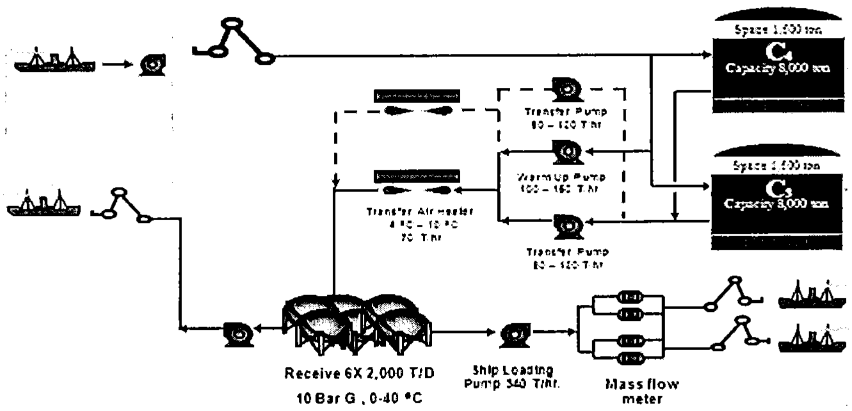
ภาพที่ 4-8 การวิเคราะห์ทางเลือกในการปรับปรุงแก้ไขการรับก๊าซจากเรือ และผลิตเป็นก๊าซ LPG โดยการเพิ่ม Warm Up Pump อีก 1 ชุด

ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ. ปตท. จำกัด (มหาชน)

เพิ่มชุด Warm Up และ AirHeater ขึ้นมา เพื่อให้รับก๊าซจากเรือได้เร็วขึ้น ซึ่งก็ยังรับก๊าซได้น้อยกว่าเป้าหมายจำนวน 40,272ตันเนื่องจากก็ยังรับก๊าซจากเรือได้ทีละ Product และยังต้องเสียเวลาในการถ่าย C3,C4 Refrigerated จากถัง Cold Tank ออกมาผสมเป็นก๊าซ LPG ซึ่งก็ยังไม่ใช่ทางเลือกที่ดี

4. วิเคราะห์ทางเลือกที่ 3

การปรับปรุงกระบวนการ



แนวทางการแก้ไข	ค่าใช้จ่าย	ระยะเวลา	ผลที่คาดว่าได้รับ	เทียบกับเป้าหมาย
3. เพิ่มระบบ Transfer pump 1 ชุด	266 ล้านบาท	18 เดือน	82,845 ตันต่อเดือน	< 12,070 ตันต่อเดือน

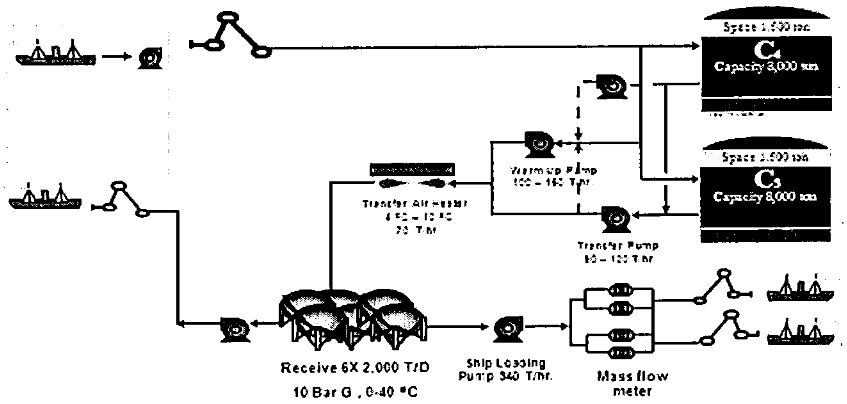
ภาพที่ 4-9 การวิเคราะห์ทางเลือกในการปรับปรุงแก้ไขการรับก๊าซจากเรือ และผลิตเป็นก๊าซ LPG โดยการเพิ่ม Transfer Pump อีก 1 ชุด

ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ. ปตท. จำกัด (มหาชน)

เพิ่มชุด Transfer Pump และ Air Heater ขึ้นมา เพื่อให้สามารถถ่ายก๊าซจากถัง Cold Tank ได้เพิ่มขึ้น ซึ่งก็ยังรับก๊าซได้น้อยกว่าเป้าหมายจำนวน 12,070 ตันเนื่องก็ยังรับก๊าซจากเรือได้ทีละ Product ซึ่งก็ยังไม่ใช่ทางเลือกที่ดี

5. วิเคราะห์ทางเลือกที่ 4

การปรับปรุงกระบวนการ



แนวทางการแก้ไข	ค่าใช้จ่าย	ระยะเวลา	ผลที่คาดว่าได้รับ	เทียบกับเป้าหมาย
4. ปรับปรุงระบบ ให้ สามารถถ่าย C3 และ C4 ไป Sphere Tankได้พร้อมกัน	0.05 ล้านบาท	1 เดือน	74,296 ตันต่อเดือน	< 25,704 ตันต่อเดือน

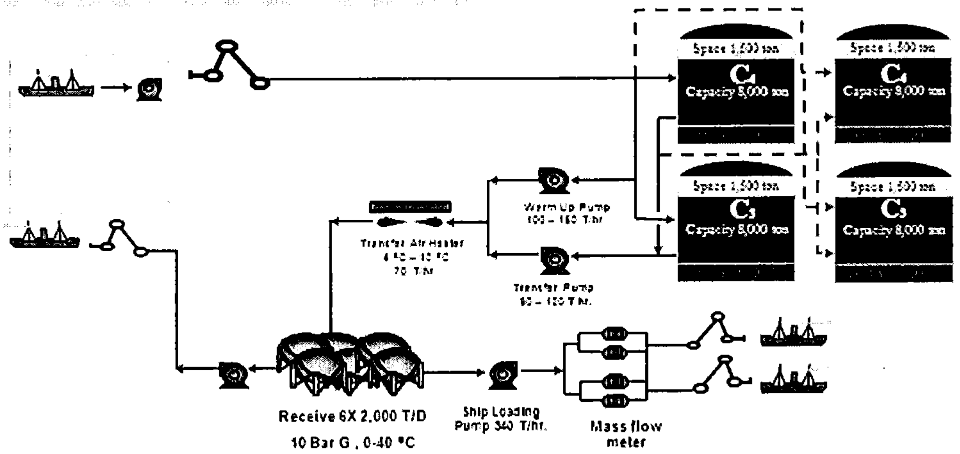
ภาพที่ 4-10 การวิเคราะห์ทางเลือกในการปรับปรุงแก้ไขการรับก๊าซจากเรือ และผลิตเป็นก๊าซ LPG โดยปรับปรุงระบบให้สามารถถ่ายก๊าซ C3, C4 ไปเข้าถัง Sphere Tank ได้พร้อมกัน

ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ. ปตท. จำกัด (มหาชน)

ปรับปรุงระบบท่อให้สามารถถ่ายก๊าซ C3,C4 Refrigerated จากถัง Cold Tank มาเข้าถัง Sphere Tank ได้พร้อมกัน ซึ่งก็ยังรับก๊าซได้น้อยกว่าเป้าหมายจำนวน 25,704 ตันเนื่องจากก็ยังรับก๊าซจากเรือได้ทีละ Product และยังมีข้อจำกัดตรงที่ Air Heater ที่มีเพียง 1 ชุดเท่านั้นเนื่องจาก Air Heater มี Capacity 75 ตัน/ ชั่วโมงเท่านั้นซึ่งก็ยังไม่ใช่ทางเลือกที่ดี

6. วิเคราะห์ทางเลือกที่ 5

การปรับปรุงกระบวนการ



แนวทางการแก้ไข	ค่าใช้จ่าย	ระยะเวลา	ผลที่คาดว่าได้รับ	เทียบกับเป้าหมาย
5. เพิ่ม ถัง COLD TANK รับ C3 C4	1,585 ล้านบาท	32 เดือน	49,092 ตันต่อเดือน	< 50,908 ตันต่อเดือน

ภาพที่ 4-11 การวิเคราะห์ทางเลือกในการปรับปรุงแก้ไขการรับก๊าซจากเรือ และผลิตเป็นก๊าซ LPG โดยการสร้างถัง Cold Tank เพิ่มอย่างละ 1 ถัง

ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ. ปตท. จำกัด (มหาชน)

เพิ่มทั้ง Cold Tank ให้สามารถรับก๊าซจากเรือได้มากขึ้นและเร็วขึ้น ซึ่งก็ยังรับก๊าซได้น้อยกว่าเป้าหมายจำนวน 50,908 ตันเนื่องจากก็ยังรับก๊าซจากเรือได้ทีละ Product และยังจะเสียเวลาถ่ายก๊าซ C3,C4 จากถัง Cold Tank มาผลิตเป็นก๊าซ LPG เพราะจะต้องถ่ายทีละ Product ซึ่งก็ยังไม่ใช่ทางเลือกที่ดี

การคัดเลือกแนวทางการปรับปรุงกระบวนการ

เป้าหมาย : เพิ่มความสามารถในการรับ Refrigerated C_3/C_4 ทางเรือที่คลังก๊าซเขาบ่อยา เป็น 100,000 ตันต่อเดือน ภายใน 5 เดือน (กันยายน 2551)

แนวทางการแก้ไข	ค่าใช้จ่าย	ระยะเวลา	ผลที่คาดว่าได้รับ	เทียบกับเป้าหมาย	ลำดับ
1.1 เพิ่ม LINE รับ C3 C4	30 ล้านบาท	24 เดือน	55,287 ตันต่อเดือน	< 44,713 ตันต่อเดือน	3
1.2 ปรับปรุง LINE จ่าย LPG ให้สามารถรับ C3 C4	2 ล้านบาท	1 เดือน	110,440 ตันต่อเดือน	> 10,440 ตันต่อเดือน	1
2. เพิ่มระบบ Warm up pump 1 ชุด	60 ล้านบาท	10 เดือน	59,728 ตันต่อเดือน	< 40,272 ตันต่อเดือน	4
3. เพิ่มระบบ Transfer pump 1 ชุด	266 ล้านบาท	18 เดือน	82,845 ตันต่อเดือน	< 12,070 ตันต่อเดือน	5
4. ปรับปรุงระบบ ให้ สามารถถ่าย C3 และ C4 ไป Sphere Tank ได้พร้อมกัน	0.05 ล้านบาท	1 เดือน	74,296 ตันต่อเดือน	< 25,704 ตันต่อเดือน	2
5. เพิ่ม ถัง COLD TANK รับ C3 C4	1,585 ล้านบาท	32 เดือน	49,092 ตันต่อเดือน	< 50,908 ตันต่อเดือน	6

ที่มา : ประชุมร่วม ฝ.วภ., ชล. และ คก.ขบ. ปอน.

ภาพที่ 4-12 การคัดเลือกแนวทางการปรับปรุงแก้ไขการรับก๊าซจากเรือ และผลิตเป็นก๊าซ LPG
ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ. ปตท. จำกัด (มหาชน)

ผลจากวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงกระบวนการ จะเห็นว่าหัวข้อที่ 1.2 ได้รับการคัดเลือกเป็นอันดับที่ 1 เนื่องจากทำได้สูงกว่าเป้าหมายประมาณ 10,440 ตันต่อเดือน

การดำเนินปรับปรุงตามแนวทางที่ได้รับการคัดเลือก

1. ประชุมเพื่อกำหนดจุดติดตั้ง Hose และจัดทำ TOR การจัดซื้อจัดจ้าง
2. สำรวจจุดที่จะติดตั้ง Hose และ อุปกรณ์อื่นเพิ่มเติม
3. ประชุมจัดหา Hose และรับมอบพัสดุ
4. ทำการติดตั้ง Hose และทดสอบระบบ

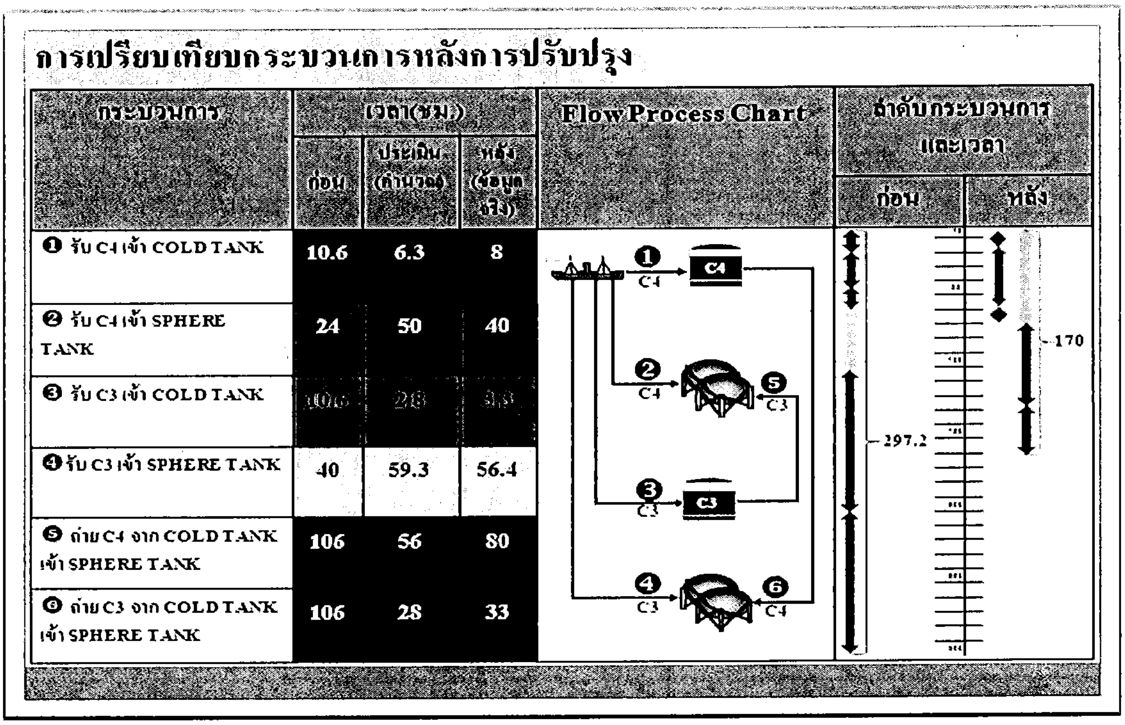
การดำเนินการแก้ไข

ลำดับ	รูปกิจกรรม	รายการกิจกรรม
1		ประชุมเพื่อกำหนดจุดติดตั้ง จัดทำ TOR ของ Hose
2		สำรวจจุดที่จะติดตั้ง Hose และอุปกรณ์อื่นเพิ่มเติม
3		ประชุมจัดหา Hose และ รับมอบพัสดุ
4		ติดตั้ง ทดสอบระบบ ดูผลการทดสอบเพื่อ ให้เป็นไปตามเป้าหมาย

ภาพที่ 4-13 การดำเนินการจัดหาท่อ Hose และติดตั้งท่อ Hose

ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ. ปตท. จำกัด (มหาชน)

การเปรียบเทียบกระบวนการหลังการปรับปรุง



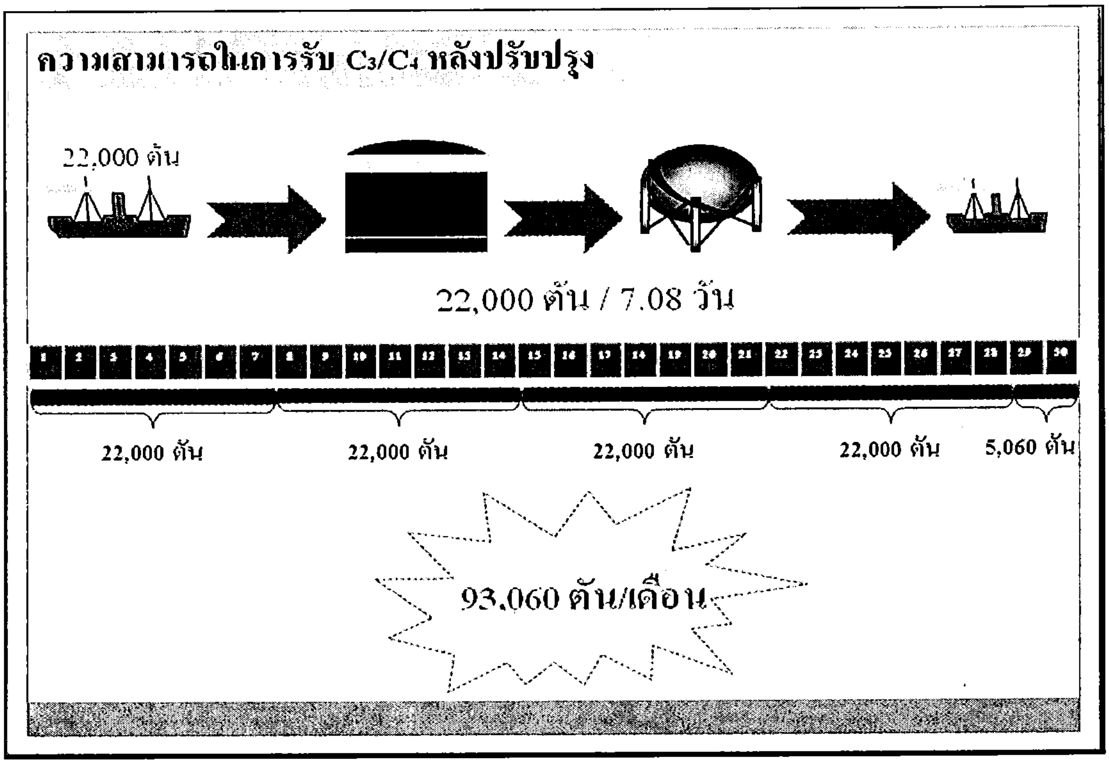
การเปรียบเทียบกระบวนการหลังการปรับปรุง

กระบวนการ	เวลา(ชม.)		
	ก่อน	ประเมิน (คำนวณ)	หลัง (ข้อมูลจริง)
❶ รับ C4 เข้า COLD TANK	10.6	6.3	8
❷ รับ C4 เข้า SPHERE TANK	24	50	40
❸ รับ C3 เข้า COLD TANK	106	28	33
❹ รับ C3 เข้า SPHERE TANK	40	59.3	56.4
❺ ถ่าย C4 จาก COLD TANK เข้า SPHERE TANK	106	56	80
❻ ถ่าย C3 จาก COLD TANK เข้า SPHERE TANK	106	28	33

ภาพที่ 4-14 เวลาการรับก๊าซ C3,C4 Refrigerated จากเรือและผลิตเป็นก๊าซ LPG หลังการแก้ไขปัญหา

ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ. ปตท. จำกัด (มหาชน)

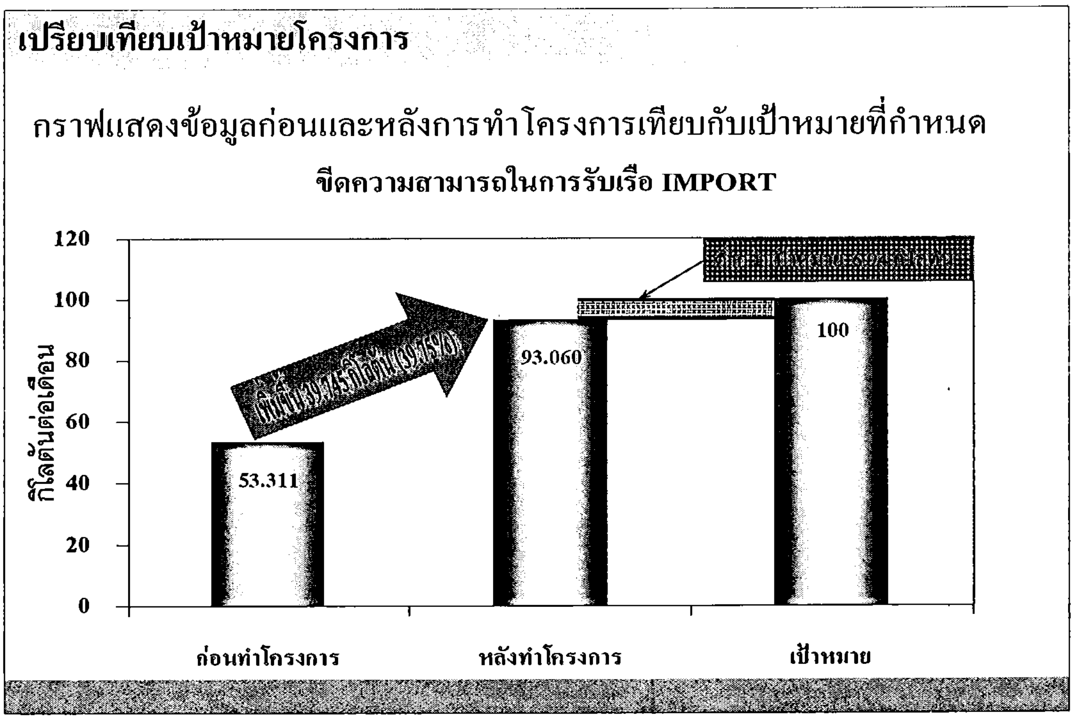
หลังจากที่ได้ปรับปรุงกระบวนการรับการ C3,C4 Refrigerated จากเรือทำให้เวลารวมทั้งหมดลดลงมาเหลือแค่ 170 ชั่วโมง จากเดิมที่ใช้เวลารวม 297.2 ชั่วโมง เนื่องจากสามารถรับก๊าซขึ้นจากเรือได้พร้อมกันทั้ง 2 Product เหลือแต่การถ่ายก๊าซจากถัง Cold Tank ทั้ง 2 Product มาผสมกันเพื่อผลิตเป็นก๊าซ LPG ซึ่งจะต้องทำการถ่ายทีละ Product



ภาพที่ 4-15 ปริมาณการรับก๊าซ C3,C4 Refrigerated จากเรือและผลิตเป็นก๊าซ LPG ต่อ 1 เดือน หลังการแก้ไขปัญหา

ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ. ปตท. จำกัด (มหาชน)

หลังจากที่ได้ทำการปรับปรุงกระบวนการรับก๊าซ C3,C4, Refrigerated จากเรือทำให้สามารถรับก๊าซจากเรือได้ทั้งหมด 93,060 ตัน/ เดือน



ภาพที่ 4-16 ปริมาณการรับก๊าซ C3,C4 Refrigerated จากเรือและผลิตเป็นก๊าซ LPG หลังการแก้ไขปัญหา เปรียบเทียบกับเป้าหมายและก่อนการแก้ไขปัญหา

ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ. ปตท. จำกัด (มหาชน)

เมื่อเทียบกับเป้าหมายที่ตั้งไว้ 100,000 ตันต่อเดือน หลังการปรับปรุงกระบวนการทำได้ 93,060 ตันต่อเดือน น้อยกว่าเป้าหมาย 6,940 ตันต่อเดือน

การแก้ไขปัญหาครั้งที่ 2

การคัดเลือกแนวทางการปรับปรุงกระบวนการ

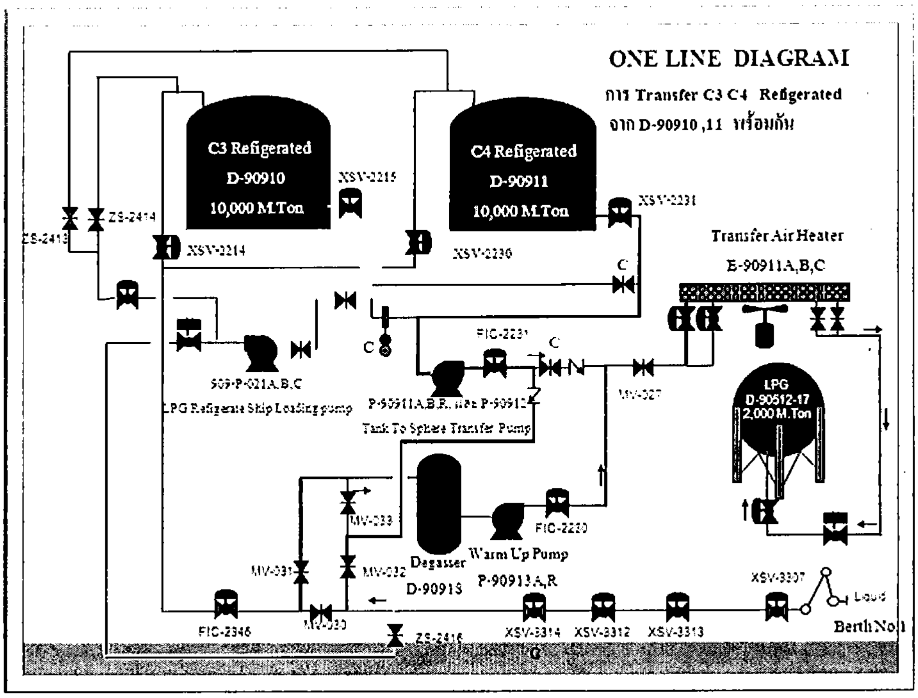
เป้าหมาย : เพิ่มความสามารถในการรับ Refrigerated C_3/C_4 ทางเรือที่คลังก๊าซเขาบ่อยา เป็น 100,000 ตันต่อเดือน ภายใน 5 เดือน (กันยายน 2551)

แนวทางการแก้ไข	ค่าใช้จ่าย	ระยะเวลา	ผลที่คาดว่าได้รับ	เทียบกับเป้าหมาย	ลำดับ
1.1 เพิ่ม LINE รับ C3 C4	30 ล้านบาท	24 เดือน	55,287 ตันต่อเดือน	< 44,713 ตันต่อเดือน	3
1.2 ปรับปรุง LINE จ่าย LPG ให้สามารถรับ C3 C4	2 ล้านบาท	1 เดือน	110,440 ตันต่อเดือน	> 10,440 ตันต่อเดือน	1
2. เพิ่มระบบ Warm up pump 1 ชุด	60 ล้านบาท	10 เดือน	59,728 ตันต่อเดือน	< 40,272 ตันต่อเดือน	4
3. เพิ่มระบบ Transfer pump 1 ชุด	266 ล้านบาท	18 เดือน	82,845 ตันต่อเดือน	< 12,070 ตันต่อเดือน	5
4. ปรับปรุงระบบ ให้ สามารถถ่าย C3 และ C4 ไป Sphere Tank ได้พร้อมกัน	0.05 ล้านบาท	1 เดือน	74,296 ตันต่อเดือน	< 25,704 ตันต่อเดือน	2
5. เพิ่ม ถัง COLD TANK รับ C3 C4	1,585 ล้านบาท	32 เดือน	49,092 ตันต่อเดือน	< 50,908 ตันต่อเดือน	6

ภาพที่ 4-17 การคัดเลือกแนวทางการปรับปรุงแก้ไขการรับก๊าซจากเรือ และผลิตเป็นก๊าซ LPG
ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ. ปตท. จำกัด (มหาชน)

จากการที่รับก๊าซขึ้นจากเรือได้น้อยกว่าเป้าหมาย 6,940 ตันต่อเดือน จากเป้าหมาย 100,000 ตันต่อเดือน จึงได้ทำการปรับปรุงแก้ไขเพื่อเติมอีกโดยได้นำทางเลือกที่ได้รับการคัดเลือกเป็นอันดับที่ 2 มาดำเนินการ

1. ปรับปรุงระบบท่อให้สามารถถ่ายก๊าซ C3, C4 Refrigerated จากถัง Cold Tank ไปเข้าถัง Sphere Tank ได้พร้อมกัน ตามแนวทางการแก้ไขวิธีที่ 4



ภาพที่ 4-18 One Line Diagram การ Transfer C3, C4 Refrigerated ไปเข้าถัง Sphere Tank พร้อมกัน

ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ. ปตท. จำกัด (มหาชน)

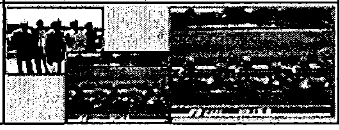
จาการศึกษา Drawing แล้วพบว่าคลังมีปั๊มอีก 1 ชุดเป็นปั๊มที่ใช้สำหรับการจ่ายก๊าซ C3 Refrigerated ทางเรือได้ เรียกว่า LPG Refrigerated Ship Loading Pumpและมีแนวท่อที่สามารถจะถ่ายก๊าซออกจากถัง Cold Tank คลังจึงได้ทำการตัดแยกท่อก๊าซด้าน Suction ของปั๊มโดยการใช้ Blind Plate ปิดกั้นท่อ เพื่อให้ก๊าซ C4 Refrigerated ไปใช้ปั๊ม Transfer Pump(P-90912) ในการถ่ายก๊าซ C4 ออกมา และใช้ LPG Refrigerated Ship Loading Pump(909-P-020A,B,C) โดยใช้เพียง 1 ตัว ในการถ่ายก๊าซ C3 Refrigerated ออกมา และผสมกันในท่อรับ-จ่ายก๊าซอยู่ช่วงหนึ่งก่อนเข้าถัง Degasser (D-90918) และจากนั้นใช้ Warm Up Pump(P-90913A,R) สูบถ่ายก๊าซ LPG Refrigerated ที่เกิดจากการผสมกันของก๊าซขณะที่ยังมีอุณหภูมิติดลบอยู่ ไปผ่านระบบ Air Heater เพื่อให้ก๊าซมีอุณหภูมิสูงขึ้น และเข้าไปเก็บในถัง Sphere Tank

ข้อควรระวังของวิธีนี้คือก๊าซ C4 Refrigerated ซึ่งมีอุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส และก๊าซ C3 Refrigerated มีอุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส ซึ่งมาผสมกันขณะที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน -36 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจจะให้เกิดอุบัติเหตุได้ แต่คลังก็ได้มีการทำ Engineering Request เพื่อให้พนักงานส่วน วิศวกรรม ทำการวิเคราะห์ และหาข้อมูลก่อนทำการปรับปรุงแก้ไข

การดำเนินการแก้ไขครั้งที่ 2

1. ประชุมเพื่อหาแนวทางให้สามารถถ่ายก๊าซ C3,C4 ได้พร้อมกัน
2. สำรวจจุดที่จะทำการตัดแยกท่อ
3. ทำการติดตั้ง Blind Plate เพื่อตัดแยกท่อ
4. ทดสอบระบบ และตรวจสอบผล

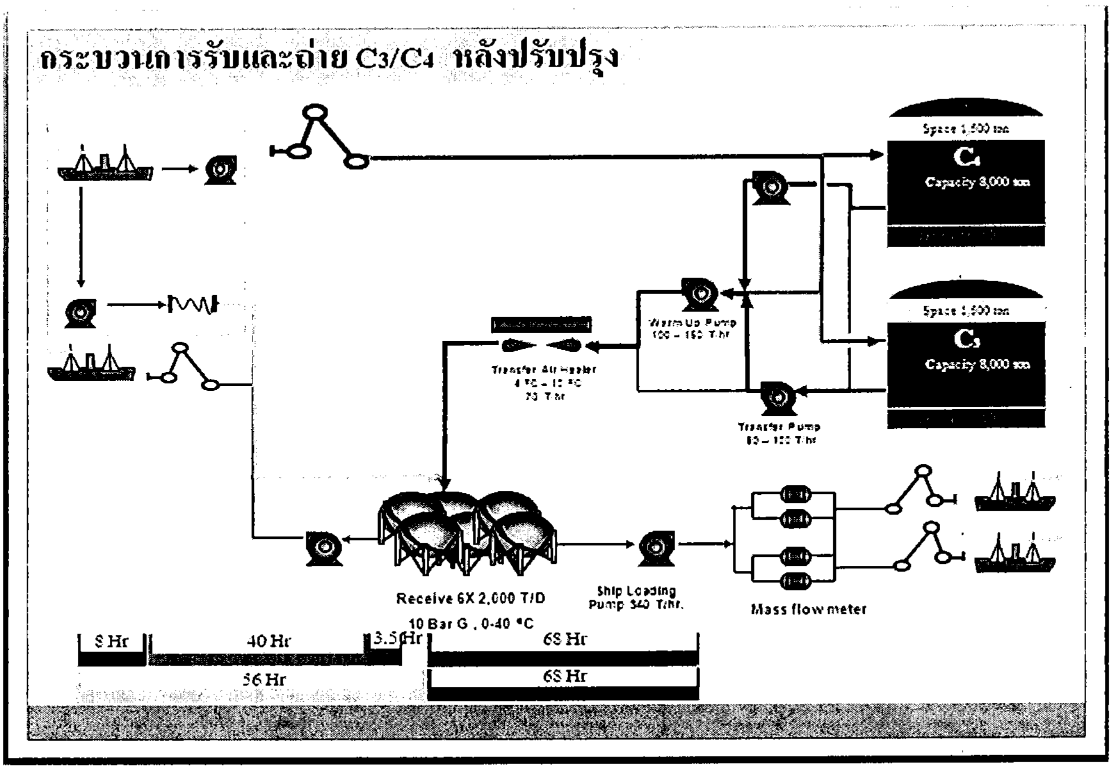
การดำเนินการแก้ไข

ลำดับ	รูปกิจกรรม	รายการกิจกรรม
1		ประชุมเพื่อหาแนวทางให้สามารถถ่าย C3/C4 ได้พร้อมกัน
2		สำรวจจุดที่จะทำการตัดแยกระบบ
3		ทำการติดตั้ง Blind Plate เพื่อตัดแยกระบบ
4		ทดสอบระบบ ดูผลการทดสอบเพื่อให้เป็นไปตามเป้าหมาย

ภาพที่ 4-19 การติดตั้ง Blind Plate ตัดแยกท่อเพื่อให้สามารถ Transfer C3, C4 Refrigerated ไปเข้าถัง Sphere Tank พร้อมกัน

ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ. ปตท. จำกัด (มหาชน)

ตรวจสอบผลการแก้ไขปัญหาครั้งที่ 2

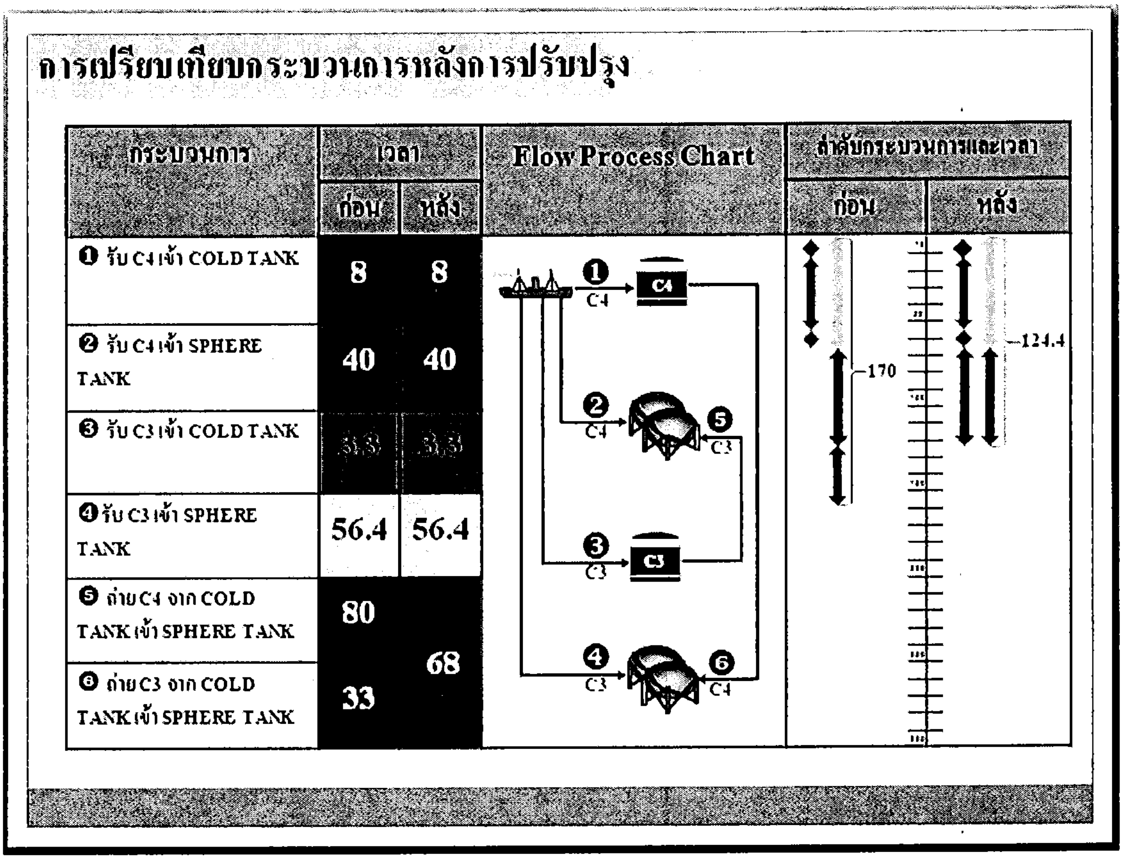


ภาพที่ 4-20 กระบวนการรับก๊าซ C3,C4 Refrigerated จากเรือเข้าถังเก็บทั้ง Cold Tank และ Sphere Tank รวมทั้งเวลาในแต่ละกระบวนการแก้ไขปัญหาครั้งที่ 2

ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ. ปตท. จำกัด (มหาชน)

เมื่อทำการปรับปรุงระบบท่อของการถ่ายก๊าซ C3 และ C4 Refrigerated ออกมาพร้อมกัน ซึ่งทำให้สามารถผลิตก๊าซ LPG ได้เร็วขึ้น ไม่ต้องเสียเวลาในการสลับท่อ,เปลี่ยนวาล์ว และเปลี่ยน Product ในการถ่ายก๊าซออกจากถัง Cold Tank

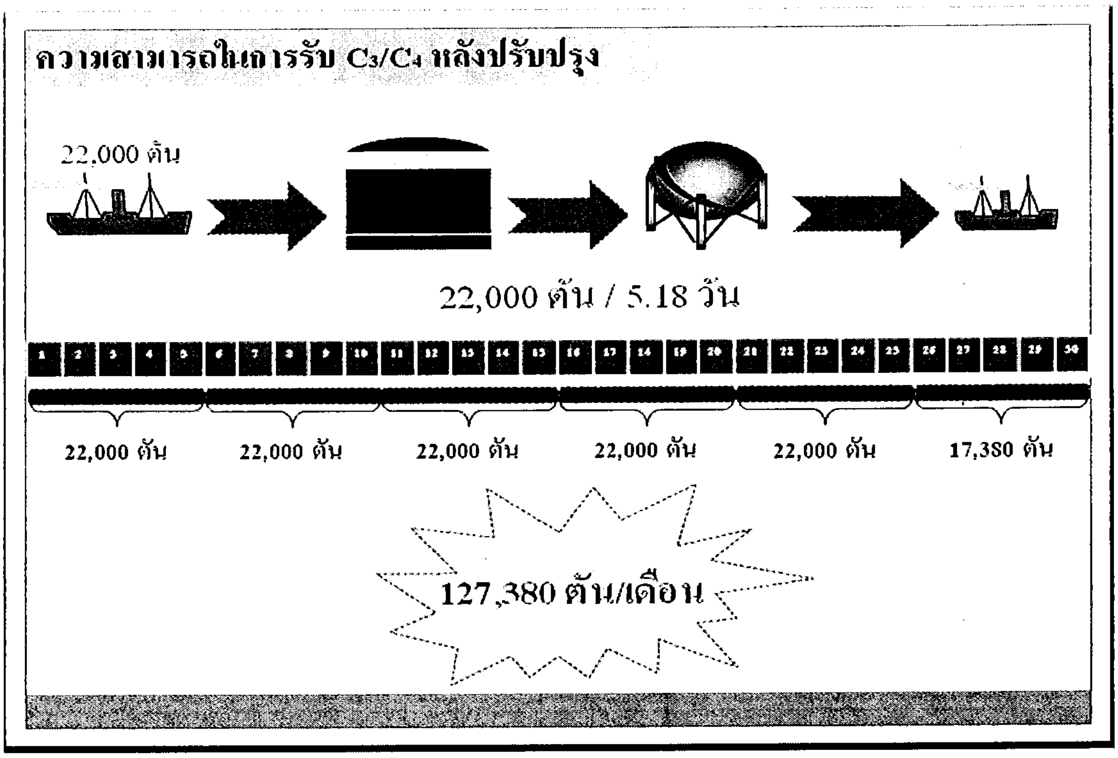
ข้อดีของการนำก๊าซ C3 Refrigerated และก๊าซ C4 Refrigerated มาผสมกันขณะที่ยังมีอุณหภูมิติดลบอยู่ทำให้กลายเป็นก๊าซ LPG Refrigerated และทำให้อุณหภูมิของก๊าซอยู่ที่ -20 องศาเซลเซียส ซึ่งมีผลทำให้ระบบ Air Heater ไม่ต้องทำงานหนัก



ภาพที่ 4-21 เวลาการรับก๊าซ C3, C4 Refrigerated จากเรือและผลิตเป็นก๊าซ LPG หลังการแก้ไขปัญหาครั้งที่ 2

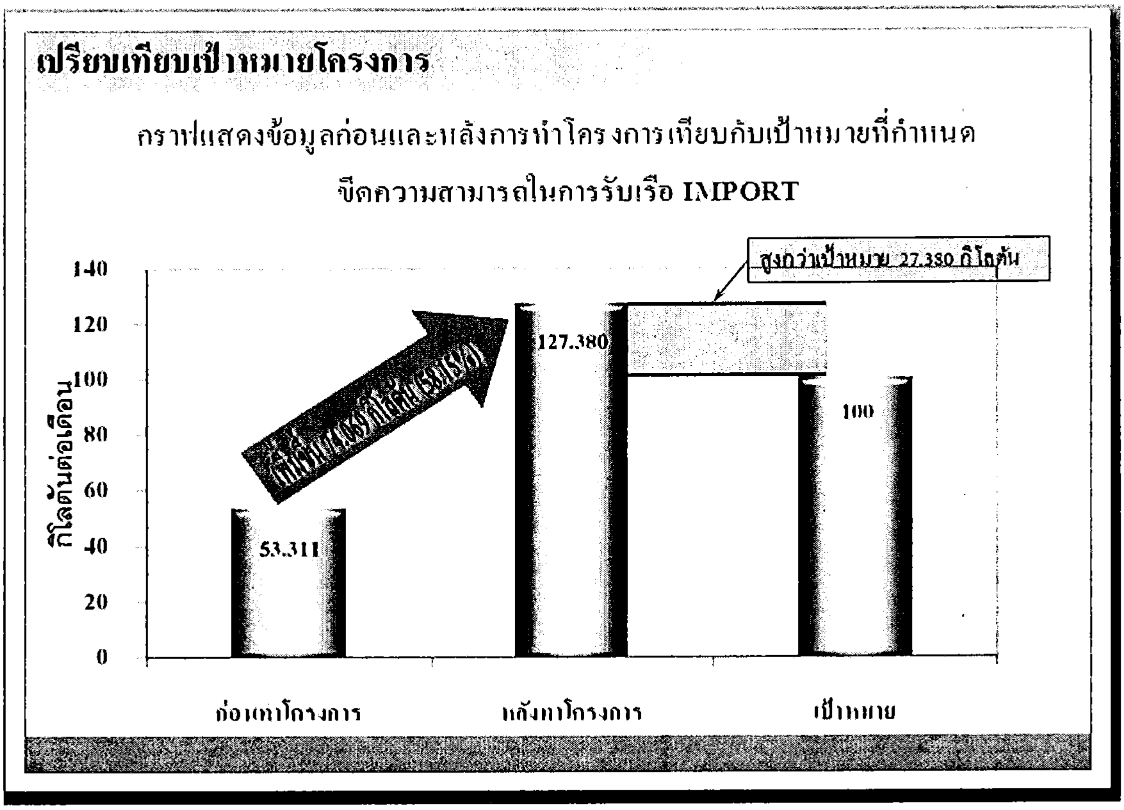
ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ. ปตท. จำกัด (มหาชน)

1. เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการรับก๊าซจากเรือ 1 ครั้งจะใช้ลดลงเหลือแค่ 124.4 ชั่วโมง จากที่ได้แก้ไขปัญหาครั้งที่ 1 ใช้เวลา 170 ชั่วโมง เพราะสามารถรับก๊าซจากเรือได้พร้อมกันทั้ง 2 Product และถ่ายก๊าซจากถัง Cold Tank ออกมาพร้อมกันได้ทั้ง 2 Product



ภาพที่ 4-22 ปริมาณการรับก๊าซ C3, C4 Refrigerated จากเรือและผลิตเป็นก๊าซ LPG ต่อ 1 เดือน หลังการแก้ไขปัญหาครั้งที่ 2

2.ปริมาณก๊าซที่รับได้จากเรือเพิ่มขึ้นเป็นจำนวน127,380 ตัน/ เดือน



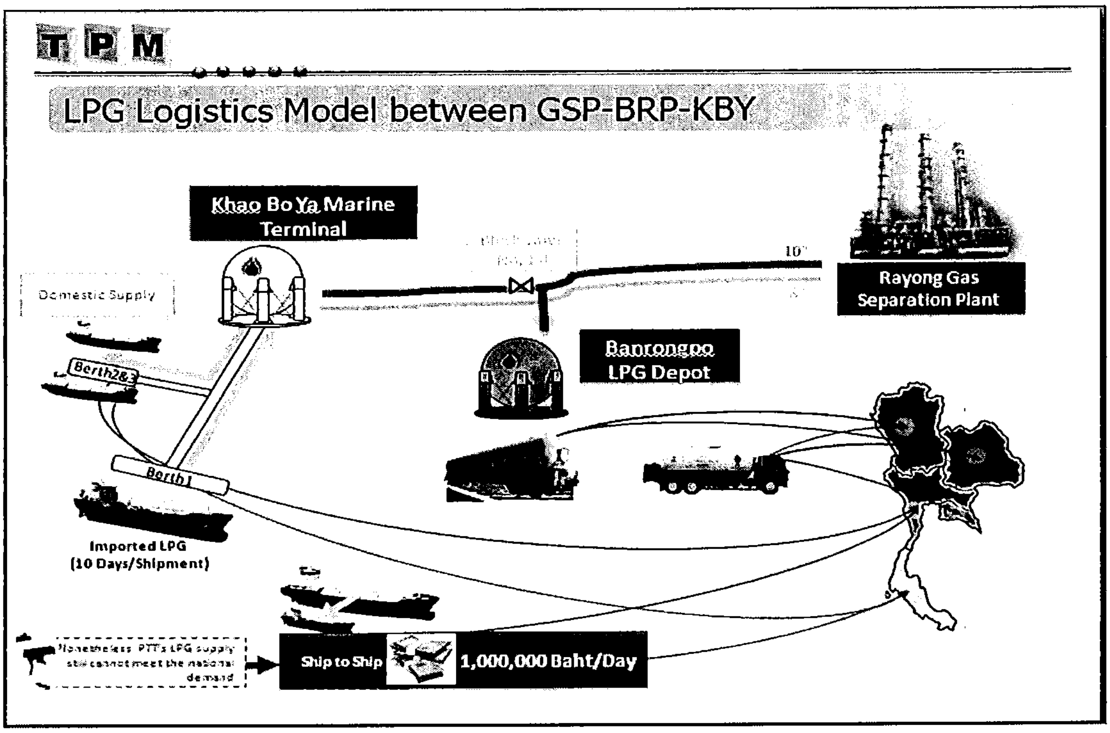
ภาพที่ 4-23 ปริมาณการรับก๊าซ C3, C4 Refrigerated จากเรือและผลิตเป็นก๊าซ LPG หลังการแก้ไขปัญหาครั้งที่ 2 เปรียบเทียบกับเป้าหมายและก่อนการแก้ไขปัญหา

ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ. ปตท. จำกัด (มหาชน)

3. หลังการแก้ไขปัญหาครั้งที่ 2 ทำให้สามารถรับก๊าซ C3,C4 Refrigerated ขึ้นจากเรือได้ 127,380 ตัน/ เดือน สูงกว่าเป้าหมาย 27,380 ตัน/ เดือน และสูงกว่าก่อนทำโครงการ 74,069 ตัน/ เดือน

คลังได้มีการเพิ่มศักยภาพในการจ่ายก๊าซให้ได้ปริมาณมากขึ้นโดยการจ่ายก๊าซทางท่อเพิ่มเติมการจ่ายก๊าซ LPG ทางท่อ คลังก๊าซเขาบ่อยานั้นนอกจากการก๊าซLPG ทางเรือแล้วยังสามารถที่จะจ่ายก๊าซ LPG ทางท่อได้อีก 1 ช่องทาง ซึ่งระบบการจ่ายก๊าซ LPG ทางท่อนั้นถูกออกแบบมาเพื่อให้คลังก๊าซเขาบ่อยา ทำหน้าที่จ่ายก๊าซ LPG ให้กับคลังก๊าซบ้านโรงโป๊ะ บ.ปตท. จำกัด (มหาชน) ซึ่งตั้งอยู่ที่ อ.บางละมุง จ.ชลบุรี โดยปกติคลังก๊าซเขาบ่อยา และคลังก๊าซบ้านโรงโป๊ะ จะรับก๊าซ LPG ทางท่อจากโรงแยกก๊าซระยองเป็น หลัก โดยใช้ท่อเส้นเดียวกันทั้ง 2 คลัง คลังก๊าซบ้านโรงโป๊ะจะเป็นศูนย์กระจ่ายก๊าซ LPG ขึ้นไปในพื้นที่ภาคเหนือ และภาคอีสาน โดยจะ

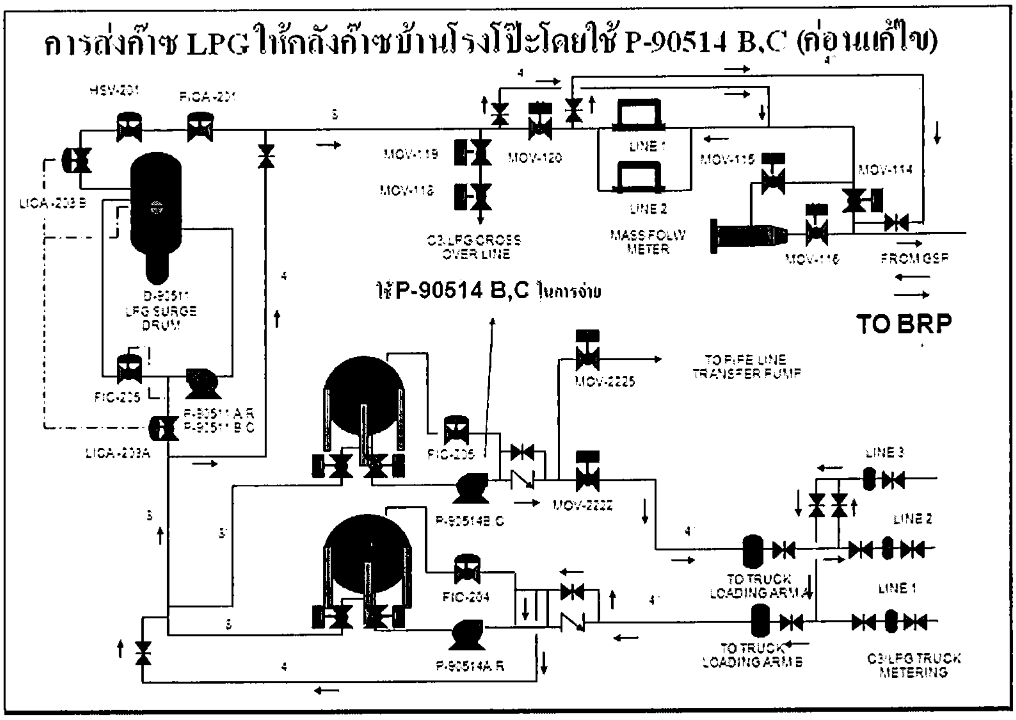
ขนส่งทางรถยนต์ และรถไฟ ส่วนคลังก๊าซเขาบ่อยาจะเป็นศูนย์กระจ่ายก๊าซ LPG ไปภาคกลางและภายใต้ โดยจะขนส่งทางเรือ



ภาพที่ 4-24 กิจกรรม LPG Logistics ของคลังก๊าซเขาบ่อยา และคลังก๊าซบ้านโรงโป๊ะ บ.ปตท.จำกัด (มหาชน)

ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ. ปตท. จำกัด (มหาชน)

เมื่อโรงแยกก๊าซทำการ Shut Down Plant พร้อมกันมากกว่า 3 โรง ก็จะทำให้ปริมาณก๊าซที่โรงแยกก๊าซต้องส่งให้คลังลดน้อยลงไป ซึ่งก็จะทำการแก้ปัญหาโดยการนำเข้าก๊าซ LPG จากต่างประเทศเข้ามา ซึ่งจะนำเข้ามาที่คลังก๊าซเขาบ่อยาทางเรือที่ท่าเทียบเรือหมายเลข 1 และคลังก๊าซเขาบ่อยาก็จะส่งก๊าซ LPG ให้คลังก๊าซบ้านโรงโป๊ะ ทางท่อแทนโรงแยกก๊าซระยอง ด้วย Flow Rate 120ตัน/ ชั่วโมงโดยใช้ปั๊มจ่ายก๊าซทางรถยนต์ในการส่งก๊าซ LPG ให้กับคลังก๊าซบ้านโรงโป๊ะ

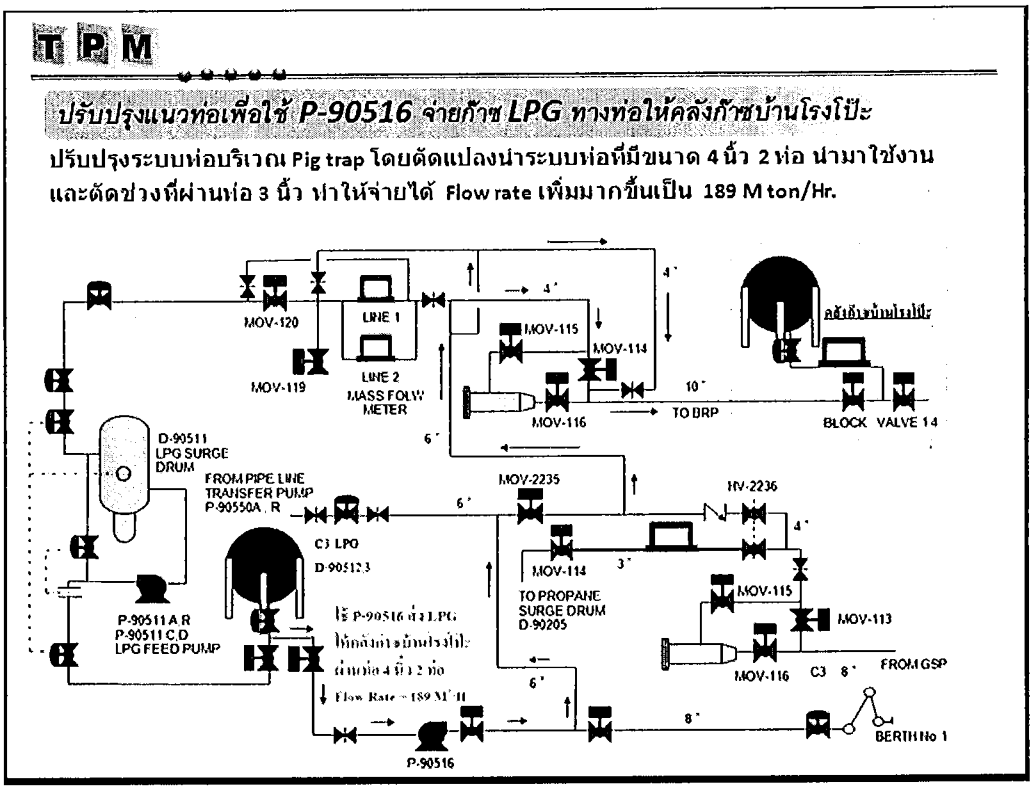


ภาพที่ 4-25 แนวท่อที่ใช้ P-90514 B,C จ่ายก๊าซ LPG ให้คลังก๊าซบ้านโรงโป๊ะ บ.ปตท. จำกัด (มหาชน)

ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ. ปตท. จำกัด (มหาชน)

แต่ในสภาพปัจจุบันคลังก๊าซบ้านโรงโป๊ะมีความต้องการก๊าซ LPG ประมาณ 190 ตัน/ชั่วโมงเนื่องจากยอดจำหน่ายก๊าซ LPG ที่คลังก๊าซบ้านโรงโป๊ะที่เพิ่มมากขึ้น ประมาณวันละ 4,500 ตันจึงทำให้ปั๊มจ่ายก๊าซทางรถยนต์นั้น ไม่เหมาะสมที่จะนำมาจ่ายก๊าซ LPG ให้คลังก๊าซบ้านโรงโป๊ะอีกต่อไป

แนวทางการปรับปรุงแก้ไข เนื่องจากท่าเทียบเรือหมายเลข 1 นั้นจะมีเรือบรรทุกก๊าซ C3,C4 Refrigerated ซึ่งเป็นเรือขนาดใหญ่เทียบท่าอยู่ตลอดเวลาทุกวัน จึงทำให้ท่าเทียบเรือหมายเลข 1 ไม่มีโอกาสที่จะทำการจ่ายก๊าซ LPG ลงเรือขนาดเล็กได้ จึงมีแนวคิดที่จะนำปั๊มจ่ายก๊าซ LPG ทางเรือที่ท่าเทียบเรือหมายเลข 1 มาดัดแปลงท่อทางเพื่อใช้จ่ายก๊าซ LPG ทางท่อให้กับคลังก๊าซบ้านโรงโป๊ะแทนปั๊มจ่ายก๊าซทางรถยนต์ ซึ่งปั๊มจ่ายก๊าซ LPG ทางเรือที่ท่าเทียบเรือหมายเลข 1 นั้น ทำ Flow Rate ได้สูงสุดที่ 250 ตัน/ ชั่วโมง



ภาพที่ 4-26 แนวท่อที่ได้ปรับปรุงเพื่อใช้ P-90516 จ่ายก๊าซ LPG ให้คลังก๊าซบ้านโรงโป๊ะ บ.ปตท. จำกัด (มหาชน)

ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ. ปตท. จำกัด (มหาชน)

ผลการปรับปรุงเพื่อจ่ายก๊าซ LPG ทางท่อให้คลังก๊าซบ้านโรงโป๊ะ

ตารางที่ 4-2 ปริมาณการรับก๊าซ C3,C4 Refrigerated จากนำเข้าจากต่างประเทศในปี พ.ศ. 2556

เดือน	C3 (M.TON)	C4 (M.TON)	C3+C4 (M.TON)	ปริมาณก๊าซที่รับเข้าถังแต่ละชนิด (หน่วย : M.TON)			
				C3 To Cold Tank	C4 To Cold Tank	C3+C4 To Cold tank	C3+C4 To Sphere tank
มกราคม	87,679.708	86,232.011	173,911.719	2,021.414	3.033.658	5.055.072	168,856.647
กุมภาพันธ์	76,198.377	79,026.374	155,224.751				155,224.751
มีนาคม	70.578.971	73,989.831	144,568.802				144,568.802
เมษายน	78,434.090	62,960.343	141,394.433	3,746.587	4.078.830	7.825.417	133,569.016
พฤษภาคม	66,300.984	67,106.235	133,407.219				133,407.219
มิถุนายน	61.160.429	66.051.102	127,211.531	2,201.834	3.985.661	6.187.495	121,024.036
กรกฎาคม	80.516.726	82,494.776	163,011.502	7.616.596	5.343.357	10.959.953	152.051.549
สิงหาคม	82,951.943	84,374.548	167,326.491				167,326.491
กันยายน	81.460.208	81.899.466	163,359.674	4,094.831	2.718.763	6.813.594	156,546.080
ตุลาคม	77,936.807	81,510.129	159,446.936	6,056.021	2,027,862	8,083.883	151,363.053
พฤศจิกายน	74,058.425	75,308.633	149,367.058		5,007.837	5,007.837	144,359.221
ธันวาคม	70,868.334	50,103.040	120,971.374	6,002.732		6,002.732	114,968.642
รวม	908,145.002	891.056.488	1,799,201.490	31,740.015	24,195.968	55,935.983	1,743,265.507

ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ. ปตท. จำกัด (มหาชน)

จากตารางที่ 4-2 จะพบว่าปริมาณการรับก๊าซ C3,C4 Refrigerated โดยการนำเข้าจากต่างประเทศนั้นได้เพิ่มขึ้นมาถึง 173,911 ตัน ในเดือนมกราคม ซึ่งจากการที่คลังสามารถเพิ่มช่องทางการจ่ายก๊าซ LPG ทางท่อให้กับคลังก๊าซบ้านโรงโป๊ะ ส่งผลให้ปริมาณการรับก๊าซเพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากสามารถที่จะนำถัง Sphere Tank มาใช้ในการรับก๊าซ C3,C4 จากเรือได้เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4-3 ปริมาณการจ่ายก๊าซ LPG ทั้งทางเรือ และทางท่อให้คลัง ปตท. และลูกค้ามาตรา 7 ในปี พ.ศ. 2556

เดือน	จ่ายทางเรือให้คลัง ปตท. และลูกค้ามาตรา 7 (M.TON)	จ่ายทางท่อให้คลังก๊าซบ้านโรงโป๊ะ (M.TON)	รวม (M.TON)
มกราคม	134,703.190	37,027.217	171,730.407
กุมภาพันธ์	118,609.846	32,157.655	150,767.501
มีนาคม	136,276.720	9,522.609	145,799.329
เมษายน	130,060.709	12,709.427	142,770.136
พฤษภาคม	135,812.060	18,649.418	154,461.478
มิถุนายน	123,223.690	17,238.833	140,462.523
กรกฎาคม	127,919.308	19,624.489	147,543.797
สิงหาคม	130,056.014	39,734.037	169,790.051
กันยายน	121,537.835	48,397.130	169,934.965
ตุลาคม	125,893.153	23,747.861	149,641.014
พฤศจิกายน	123,504.025	36,522.376	160,026.401
ธันวาคม	131,215.523	14,583.598	145,799.121
รวม	1,538,812.073	309,914.650	1,848,726.723

ที่มา: คลังก๊าซเขาบ่อยา บ. ปตท. จำกัด (มหาชน)

จากตารางที่ 4-3 ปริมาณการจ่ายก๊าซ LPG ของคลังก๊าซเขาบ่อยานั้นจะมีทั้งการจ่ายก๊าซทางเรือ และทางท่อ ซึ่งแต่เดิมนั้นคลังจะจ่ายก๊าซ LPG เฉพาะทางเรือให้คลัง ปตท. และลูกค้ามาตรา 7 เท่านั้น แต่ปัจจุบันคลังสามารถที่จะจ่ายก๊าซ LPG ทางท่อให้กับคลังก๊าซบ้านโรงโป๊ะได้อีก 1 ช่องทาง จึงมีผลให้ปริมาณการจ่ายก๊าซ LPG ในเดือนมกราคมนั้นมากถึง 171,730.407 ตัน โดยแบ่งเป็นการจ่ายก๊าซ LPG ทางเรือจำนวน 134,703.190 ตัน และจ่ายทางท่อจำนวน 37,027.217 ตัน

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการรับก๊าซ C3, C4 Refrigerated จากเรือบรรทุกก๊าซที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ และผลิตเป็นก๊าซ LPG ให้ทันต่อความต้องการใช้ภายในประเทศ เนื่องจากในช่วงปี พ.ศ. 2552 ได้เกิดการคลาดการว่าจะเกิดการขาดแคลนก๊าซ LPG เพราะเนื่องจากมีการนำก๊าซ LPG ที่ผลิตได้ภายในประเทศไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตเม็ดพลาสติกที่มีคุณภาพสูงมากขึ้นประกอบกับราคาน้ำมันเชื้อเพลิงได้เพิ่มสูงขึ้นมาก จึงมีการนำก๊าซ LPG ไปใช้ในภาคการขนส่งมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ปริมาณก๊าซ LPG ที่ผลิตได้ภายในประเทศไม่เพียงพอต่อการบริโภคภายในประเทศ โดยได้ขาดแคลนประมาณ 100,000 ตันต่อเดือน ตามแผนภูมิแสดงปริมาณการผลิตก๊าซ LPG ในประเทศ เปรียบเทียบกับปริมาณการบริโภคก๊าซ LPG ตามแต่ละภาคส่วนในประเทศตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 ถึงปี พ.ศ. 2560 ที่แสดงไว้ในบทที่ 3

คลังก๊าซเขาบ่อยา บ.ปตท. จำกัด (มหาชน) เป็นหน่วยงานที่ทำหน้าที่ในการปฏิบัติการนำเข้าก๊าซ LPG ในช่วงเวลานี้ และด้วย Facility ที่คลังก๊าซเขาบ่อยา มีอยู่อย่างจำกัด และไม่มีการเพิ่มเติมเครื่องจักรอุปกรณ์อะไรได้เลยในช่วงเวลานั้น ประกอบกับคลังก๊าซเขาบ่อยาก็ไม่เคยรับก๊าซ C4 Refrigerated เข้าถัง Refrigerated Tank มาก่อน และปริมาณก๊าซมากมายขนาด 100,000 ตันต่อเดือน ที่ต้องรับ และผลิตเป็นก๊าซ LPG ก่อนจำหน่ายให้ลูกค้า รวมทั้งจะต้องไม่เสียค่า Demurrage ในการสูบถ่ายก๊าซขึ้นจากเรือในแต่ละเที่ยว

สรุปผลการศึกษา

การสรุปผลการศึกษาในงานวิจัยนี้จะบรรยายแยกตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยดังนี้

1. ทางเลือกที่ใช้ในการรับก๊าซ C3,C4 Refrigerated ขึ้นจากเรือบรรทุกก๊าซ และการผลิตเป็นก๊าซ LPG

1.1 ทางเลือกที่ 1 .2 ปรับปรุงระบบท่อที่ใช้จ่ายก๊าซ LPG แบบ Pressurize ไปที่ Berth No. 1 ให้สามารถรับก๊าซ C3 และ C4 แบบ Pressurize ได้ โดยการติดตั้งท่อ Flexible Hose ขนาด Ø8 นิ้ว จำนวน 1 เส้น มีความยาว 24 เมตร แทนตัว Loading Arm ของระบบท่อจ่ายก๊าซ ซึ่งตัว Loading Arm เดิมได้ออกแบบไว้สำหรับจ่ายเรือที่มีขนาดเล็กแค่ 700-2000 ตัน ซึ่งไม่สามารถใช้กับเรือขนาดใหญ่ที่มีขนาด 75,000-100,000 ตันได้ และใช้ท่อจ่ายก๊าซ LPG เส้นนี้ในการรับก๊าซ C3,C4 จากเรือแทน ซึ่งก๊าซที่อยู่ในเรือจะอยู่ในรูป Refrigerated โดยที่ C3 จะมีอุณหภูมิติด

ลบอยู่ที่ -40 องศาเซลเซียส และ C4 จะมีอุณหภูมิติดลบอยู่ที่ -4 องศาเซลเซียส และเรือบรรทุกก๊าซในแบบ Refrigerated นั้นจะมีระบบ Heater และ Booster Pump ใช้สำหรับสูบก๊าซที่มีอุณหภูมิติดลบไปผ่านระบบ Heater ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจนเป็นบวกประมาณ 5-10 องศาเซลเซียส ก่อนส่งเข้าท่อรับผลิตภัณฑ์ของลูกค้าให้ และคลังก๊าซเขาบ่อยาได้ขอใช้ Operation ของเรือด้านนี้ในการรับก๊าซขึ้นจากเรืออีก 1 เส้น จากเดิมที่มีท่อรับก๊าซแบบ Refrigerated อยู่เพียงเส้นเดียว

จากการที่คลังก๊าซเขาบ่อยาสามารถรับก๊าซจากเรือได้ 2 ท่อ ก็จะกำหนดให้ก๊าซ C3 Refrigerated นั้นให้เรือทำการสูบถ่ายขึ้นมาในท่อ Pressurize ซึ่งเรือก็จะทำการเพิ่มอุณภูมิของก๊าซจากอุหภูมิติดลบ -40 องศาเซลเซียสให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจนเป็นบวกประมาณ 5-10 องศาเซลเซียส และสูบถ่ายเข้าไปเก็บในถัง Sphere Tank ได้โดยตรง และก๊าซ C4 Refrigerated จะให้เรือทำการสูบถ่ายขึ้นมาในท่อ Refrigerated จากนั้นก๊าซก็จะเข้ามาพักไว้ในถัง Degasser และคลังก็จะใช้ Warm Up Pump ปั๊มก๊าซในท่อไปผ่านระบบ Air Heater เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของก๊าซ เป็นบวกประมาณ 5-10 องศาเซลเซียส ก่อนนำเข้าเก็บในถัง Sphere Tank และทำให้คลังสามารถที่จะทำการผลิตเป็นก๊าซ LPG ได้ทันทีโดยไม่ต้องทำการสูบถ่ายก๊าซระหว่างถัง โดยที่การผลิตก๊าซ LPG จำนวน 1 ถัง ปริมาณ 3000 M3 ใช้อัตราส่วน 50:50 และเนื่องจากถังเก็บก๊าซ LPG ของคลังนั้นท่อรับ-จ่ายก๊าซเข้าถังจะอยู่ที่ใต้ถัง ก็จะนำก๊าซ C4 เข้าไปรองพื้นถังไว้ก่อนจำนวน 1500 M3 เนื่องจากก๊าซ C4 จะมีค่า Density ที่หนักกว่าก๊าซ C3 โดยที่ก๊าซ C4 จะมีค่า Density อยู่ที่ 0.5770-5780 และค่า Density ของก๊าซ C3 จะมีค่า Density อยู่ที่ 0.5070-5080 จากนั้นก็จะนำก๊าซ C3 ตามเข้าไปอีกจำนวน 1500 M3 หลังจากนั้นก็จะใช้ปั๊มจ่ายก๊าซ LPG ทางเรือ ทำการ Circulate ก๊าซ LPG ในถังให้ผสมรวมตัวจนเป็นเนื้อเดียวกัน ให้ได้คุณภาพตรงตามความต้องการของลูกค้า

1.2 ทางเลือกที่ 4 ปรับปรุงระบบท่อให้สามารถถ่ายก๊าซ C3,C4 Refrigerated จากถัง Cold Tank มาเข้าถัง Sphere Tank ได้พร้อมกันซึ่งเป็นแก้ไขเพิ่มเติมจากครั้งที่ 1เนื่องจากยังรับก๊าซขึ้นจากเรือได้น้อยกว่าเป้าหมาย 6,940 ตันต่อเดือน จากเป้าหมายที่ตั้งไว้100,000 ตันต่อเดือน จึงได้ทำการปรับปรุงแก้ไขเพื่อเติมอีกโดยได้นำทางเลือกที่ได้รับการคัดเลือกเป็นอันดับที่ 2 มาดำเนินการ

จาการศึกษา Drawing แล้วพบว่าคลังได้มีปั๊มอีก 1 ชุดเป็นปั๊มที่ใช้สำหรับการจ่ายก๊าซ C3 Refrigerated ทางเรือ เรียกว่า LPG Refrigerated Ship Loading Pump คลังได้ทำการตัดแยกท่อก๊าซด้าน Suction ของปั๊ม เพื่อให้ก๊าซ C4 Refrigerated ไปใช้ปั๊ม Transfer Pump ในการถ่ายก๊าซ C4 ออกมา และใช้ LPG Refrigerated Ship Loading ปั๊ม ในการถ่ายก๊าซ C3 Refrigerated ออกมา และให้ก๊าซมาผสมกันในท่อรับก๊าซจากเรืออยู่ช่วงหนึ่งก่อนเข้าถัง Degasser และใช้ Warm Up Pump ปั๊มก๊าซ LPG Refrigerated ที่เกิดจากการผสมกันของก๊าซในท่อขณะที่ยังมีอุณหภูมิติดลบอยู่ ไป

ผ่านระบบ Air Heater เพื่อให้ก๊าซมีอุณหภูมิสูงขึ้น และเข้าไปเก็บในถัง Sphere Tank เมื่อทำการปรับปรุงระบบท่อของการถ่ายก๊าซ C3 และ C4 Refrigerated ออกมาพร้อมกัน ซึ่งทำให้สามารถผลิตก๊าซ LPG ได้เร็วขึ้น ไม่ต้องเสียเวลาในการสลับท่อ,เปลี่ยนวาล์ว และเปลี่ยน Product ในการถ่ายก๊าซออกจากถัง Cold Tank

ข้อดีของการนำก๊าซ C3 Refrigerated และก๊าซ C4 Refrigerated มาผสมกันขณะที่ยังมีอุณหภูมิติดลบอยู่ทำให้กลายเป็นก๊าซ LPG Refrigerated และทำให้อุณหภูมิของก๊าซอยู่ที่ -20 องศาเซลเซียส ซึ่งมีผลทำให้ระบบ Air Heater ไม่ต้องทำงานหนัก

2. สรุปผลการแก้ไขปัญหาตามแนวทางที่เลือก

2.1 ผลการแก้ไขปัญหาครั้งที่ 1 สามารถรับก๊าซ C3,C4 Refrigerated จากเรือรวมกันได้ 93,060 ตันต่อเดือน เมื่อเทียบกับเป้าหมายที่ตั้งไว้ 100,000 ตันต่อเดือน จึงทำให้รับก๊าซได้น้อยกว่าเป้าหมาย 6,940 ตัน ต่อเดือน

2.2 ผลการแก้ไขปัญหาครั้งที่ 2 สามารถรับก๊าซC3,C4 Refrigerated จากเรือรวมกันได้ได้ 127,000 ตันต่อเดือน เมื่อเทียบกับเป้าหมายที่ตั้งไว้ 100,000 ตันต่อเดือน จึงทำให้รับก๊าซได้มากกว่าเป้าหมาย 27,000ตันต่อเดือน

เปรียบเทียบกับก่อนการแก้ปัญหาซึ่งรับก๊าซได้เพียง 53,311 ตันต่อเดือน สามารถรับก๊าซได้มากกว่า 73,689 ตันต่อเดือน คิดเป็นเพิ่มขึ้น 138.22%

3. แนวทางศึกษาต่อ

คลังก๊าซเขาบ่อยาได้มีการเพิ่มศักภาพและขีดความสามารถของคลังให้สามารถรับก๊าซ C3,C4 Refrigerated ได้เพิ่มมากขึ้น และขีดความสามารถในการจ่าย ก๊าซ LPG ได้มากขึ้นทั้งทางเรือและทางท่อ โดยได้ดำเนินก่อสร้างอุปกรณ์หลักเพิ่มเติมดังนี้

3.1 ถังเก็บก๊าซ C3 Refrigerated ขนาดความจุ 20,000 ตันจำนวน 1 ใบ (กำลังก่อสร้าง)

3.2 ถังเก็บก๊าซ C4 Refrigerated ขนาดความจุ 20,000 ตันจำนวน 1 ใบ (กำลังก่อสร้าง)

3.3 ถังเก็บก๊าซ LPG (Sphere Tank) ขนาดความจุ 2,000 ตันจำนวน 2 ใบ (กำลังก่อก่อสร้าง)

3.4 ก่อสร้างเทียบเรือที่สามารถรับเรือบรรทุกก๊าซขนาด 100,000 DWT เพิ่มเติมอีก 1 ท่าเทียบ เพื่อใช้รับก๊าซ C3,C4 Refrigerated จากเรือได้เพิ่มมากขึ้น (กำลังสำรวจพื้นที่)

3.5 ก่อสร้างเทียบเรือที่สามารถรับเรือบรรทุกก๊าซขนาด 2,000 DWT เพิ่มเติมอีก 1 ท่าเทียบเพื่อใช้จ่ายก๊าซ LPG ทางเรือได้เพิ่มมากขึ้น (กำลังสำรวจพื้นที่) ซึ่งสิ่งที่ก่อสร้างเพิ่มเติมนี้ เมื่อดำเนินการเสร็จก็จะทำให้คลังก๊าซเขาบ่อยามีศักยภาพเพิ่มขึ้นอย่างมาก

4. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อไป

จากการที่คลังก๊าซเขาบ่อยาสามารถจ่ายก๊าซ LPG ทางท่อให้กับคลังก๊าซบ้านโรงโป๊ะในปริมาณที่มากถึง 37,027 ตันต่อเดือน ทำให้ยอดการจ่ายก๊าซ LPG โดยรวมของคลังสูงถึง 171,730 ตันต่อเดือน และส่งผลให้ปริมาณการรับก๊าซ C3,C4 Refrigerated จากการนำเข้าได้มากถึง 173,911 ตันต่อเดือน ซึ่งสูงขึ้นตามความสามารถในการจ่ายก๊าซของคลัง คลังจึงควรที่จะพิจารณาเรื่องค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าเพิ่มเติม เพราะการรับก๊าซเข้าไปเก็บในถัง Cold Tank นั้นจะมีต้นทุนของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าทั้งการรับก๊าซเข้าถัง และการถ่ายก๊าซออกจากถัง ซึ่งมากกว่าการรับก๊าซแบบ Pressurize เข้าถัง Sphere Tank เพราะทางเรือนั้นสามารถที่จะทำการส่งก๊าซ แบบ Pressurize ให้คลังได้เช่นกัน จึงทำให้ไม่จำเป็นที่คลังจะต้องรับก๊าซ C3,C4 Refrigerated เข้าไปเก็บในถัง Cold Tank จำนวนมาก

บรรณานุกรม

กรมธุรกิจพลังงาน. (2551). *ก๊าซปิโตรเลียมเหลว LPG.* เข้าถึงได้จาก http:// www.doeb.go.th/knowledge/knowledge_article.html

ครูบุญรอด วงษ์สวาท. (2009). *ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิของแก๊สกฎของแก๊ส (GAS Law).* เข้าถึงได้จาก http://www.chem.iastate.edu/group/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/gaslaw/boyles_law.swf

ภีม พรประเสริฐ และคณิศร ภูนิคม. (2556). *การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตเครื่องปั้นดินเผา.* อุบลราชธานี: สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรมคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

เรืองศักดิ์แก้วธรรมชัย. (2558). การวิเคราะห์การปฏิบัติงานและการศึกษาเวลาในการทำงานแผนภูมิกระบวนการไหล เข้าถึงได้จาก http://www.safety-stou.com/UserFiles/File/master%2054109%20unit%209.pdf

บทความเรื่องก๊าซปิโตรเลียมเหลว. (2558). เข้าถึงได้จาก http://www.doeb.go.th/knowledge/knowledge_article_Natural1.htm

สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). (2012). *ประเภทการแลกเปลี่ยนความร้อน.* เข้าถึงได้จาก http://www .tpa.or.th

________. (2012). *วัฏจักรการทำความเย็น.* เข้าถึงได้จาก http://www .tpa.or.th

Battlle energy and environment. (2005). *The Propane Education and Research Councilon An Assessment of the Merit of Conditioning LP Gas Hoses.* n.p.

Hashim, N. B. (2008). *The study of combustion characteristics for different composition of LPG.* Faculty of Chemical and Natural Resources Engineering, University Malaysia Pahang.

Peter Brook- Foster Wheeler Energy Limited, UK. (2005). *LPG storage systems, atmospheric vs pressurized.* n.p.

Sanmina-SCI Systems Thailand. (2555). *Root Cause Analysis (RCA), Why Why Analysis คืออะไร?.* เข้าถึงได้จาก http://www.msit2005.mut.ac.th/msit_media/2.../201202250805576f.pdf

Tsou, S. (2002). *Strategic design for imported liquefied petroleum gas distribution systems in east china.* Master Of Science In Civil And Environmental Engineering, Massachusetts Institute Of Technology.