บทที่ 2

การออกแบบตู้ควบคุมไฟฟ้า

ตู้ควบคุมไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าที่ทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้า ควบคุม สั่งการ และป้องกันระบบ จัดเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งในระบบไฟฟ้า โครงสร้างและรูปร่างของตู้ควบคุมมีหลายแบบ ตู้แต่ละแบบมีขนาดรูปทรงและส่วนประกอบภายในแตกต่างกัน การออกแบบตู้จะต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆ หลายประการ เช่น ลักษณะงาน ขนาดวงจรภายในตู้ และพื้นที่วางตู้ เป็นต้น

<u>มาตรฐานแผงสวิทช์ควบคุม ANSI/IEEE C37.21-1985</u>

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาขั้นตอนการออกแบบตู้ควบคุม 4 แบบ ได้แก่ ตู้แบบปิดหุ้ม (Enclosed) แบบแผงคู่ (Dual) แบบดูเพล็กซ์ (Duplex) และ แบบบานพับหน้า (SwingRack) โดยอ้างอิงตามร่างมาตรฐานการออกแบบแผงสวิทช์ควบคุม ANSI/IEEE C37.21-1985 ที่ออกประกาศโดย IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers) ร่วมกับ ANSI (American National Standard)

มาตรฐานชุดนี้ได้ทำการแบ่งประเภทของแผงสวิทช์ควบคุมระบบไฟฟ้าออกเป็น 10 ประเภทตามรูปทรงและหน้าที่การใช้งาน (ดูรูปที่ 2.1 ประกอบ) ดังนี้

1. แผงสวิทช์แนวตั้ง (Vertical Switchboard) ประกอบด้วยแผ่นเหล็กขนาดใหญ่สำหรับติดตั้งอุปกรณ์ วางตัวในแนวตั้ง ด้านหลังของแผงติดตั้งยึดติดกับผนังอาคารด้วยเสาเหล็ก ส่วนด้านบนและซ้ายขวาเปิดโล่ง

2. แผงสวิทช์ปิดหุ้ม (Enclosed Switchboard) เป็นตู้ปิดหุ้มด้วยแผ่นเหล็กทุกด้าน ติดตั้งอุปกรณ์บนแผ่นผนังตู้ด้านหน้าและบนแผงติดตั้งแบบบานพับที่อยู่ภายในตู้ ด้านหลังอาจเป็นประตูหรือฝาครอบเปิดปิดได้เพื่อเข้าไปติดตั้งอุปกรณ์และเดินสายไฟภายใน

3. แผงสวิทช์คู่ (Dual Switchboard) โครงสร้างโดยทั่วไปคล้ายแผงสวิทช์ปิดหุ้ม แต่มีข้อแตกต่างกันตรงที่ นอกจากจะติดตั้งอุปกรณ์บนผนังตู้ด้านหน้าและบนแผงบานพับเหมือนแผงสวิทช์ปิดหุ้มแล้ว ยังสามารถติดอุปกรณ์บนประตูหรือฝาครอบด้านหลังตู้ได้อีกด้วย

4. แผงสวิทช์ดูเพล็กซ์ (Duplex Switchboard) ลักษณะโครงสร้างของแผงสวิทช์ประเภทนี้แตกต่างไปจากแผงสวิทช์แบบที่ได้กล่าวมาแล้ว แผงสวิทช์มีรูปร่างเป็นตู้ขนาดใหญ่ เมื่อมองจาก

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ด้านบนจะเห็นเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยด้านคู่ขนานที่เป็นด้านยาวอาจเปิดโล่งทั้ง 2 ด้านหรือเปิดด้านเดียว สำหรับด้านที่ปิดทึบจะทำประตูไว้เพื่อเข้าไปภายในตู้ ส่วนด้านคู่ขนานที่เป็นด้านสั้นปิดด้วยแผ่นเหล็กและใช้เป็นแผงติดตั้งอุปกรณ์ นอกจากนี้ ภายในตู้ยังมีแผงติดตั้งแบบบานพับใกล้ด้านสั้นทั้ง 2 ด้าน การติดตั้งตู้แบบนี้ อาจมีเพียงตู้เดียวหรือหลายตู้วางเรียงต่อกันโดยวางหันให้ด้านยาวที่เปิดโล่งประกบกัน ช่วงพื้นที่ระหว่างด้านสั้นทั้ง 2 ด้านของตู้แบบดูเพล็กซ์นี้ ต้องกว้างพอสำหรับคนเดินผ่านเข้าออกจากตู้หนึ่งไปยังอีกตู้หนึ่งได้ และปรับระดับพื้นตู้ในบริเวณดังกล่าวของตู้ทุกใบให้อยู่ในระดับเดียวกัน

5. แท่นควบคุม (Control Desk) มีขนาดเล็กกว่าแบบอื่น รูปร่างคล้ายโต๊ะทำงาน เนื่องจากแผงควบคุมแบบนี้มีขนาดเล็ก จึงเลือกพื้นที่ด้านบนเป็นแผงติดตั้งอุปกรณ์ ซึ่งอาจจะออกแบบให้เป็นแผ่นเหล็กเอียงหรือขนานกับแนวระดับก็ได้ แต่ต้องอยู่ในระดับที่สามารถควบคุมอุปกรณ์บนแผงได้สะดวก

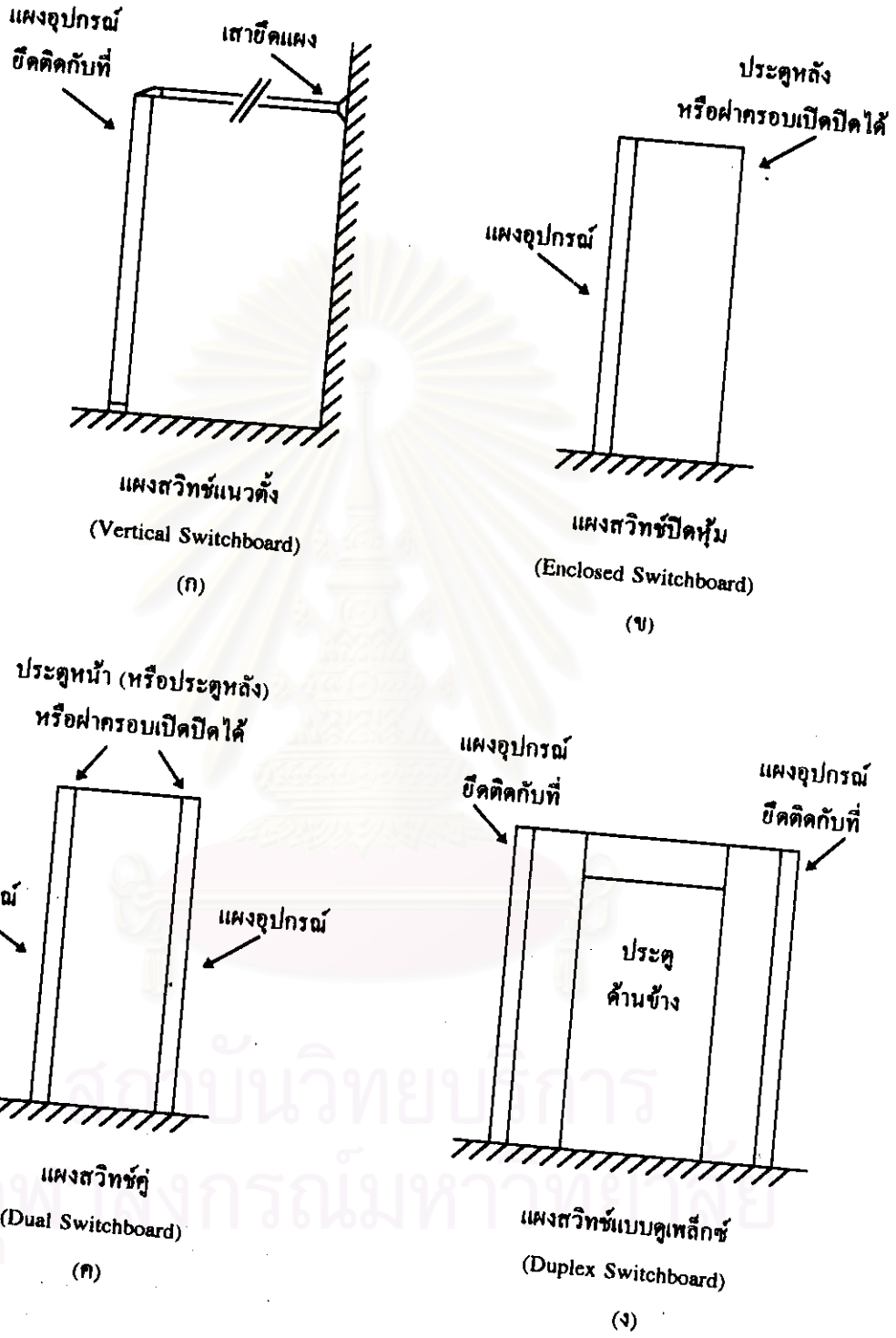
6. แท่นควบคุมโปร่ง (Benchboard) คล้ายแผงสวิทช์แบบแท่นควบคุมผสมแผงสวิทช์แนวตั้ง โครงสร้างหลักเหมือนแท่นควบคุม แต่ด้านหลังมีแผ่นเหล็กขนาดใหญ่ยื่นสูงขึ้นไปทางด้านบน ซึ่งแผ่นเหล็กนี้ใช้เป็นแผงติดตั้งอุปกรณ์ด้วย

7. แท่นควบคุมโปร่งแบบแผงคู่ (Dual Benchboard) เป็นตู้ปิดทึบคล้ายแผงสวิทช์คู่ แต่ด้านหน้าของตู้มีรูปร่างและการออกแบบแผงติดตั้งอุปกรณ์คล้ายแท่นควบคุมโปร่ง ตู้แบบนี้ไม่มีประตูหรือฝาครอบสำหรับเข้าออก แต่เจาะช่องขนาดใหญ่ไว้ที่พื้นที่ตู้สำหรับเข้าออก

8. แท่นควบคุมโปร่งแบบดูเพล็กซ์ (Duplex Benchboard) คล้ายแท่นควบคุมโปร่งแบบแผงคู่ผสมแผงสวิทช์แบบดูเพล็กซ์ แต่ไม่ต้องเจาะพื้นด้านล่างเพื่อเป็นทางเข้าไปในตู้ โดยทำประตูด้านข้างเหมือนตู้แบบดูเพล็กซ์

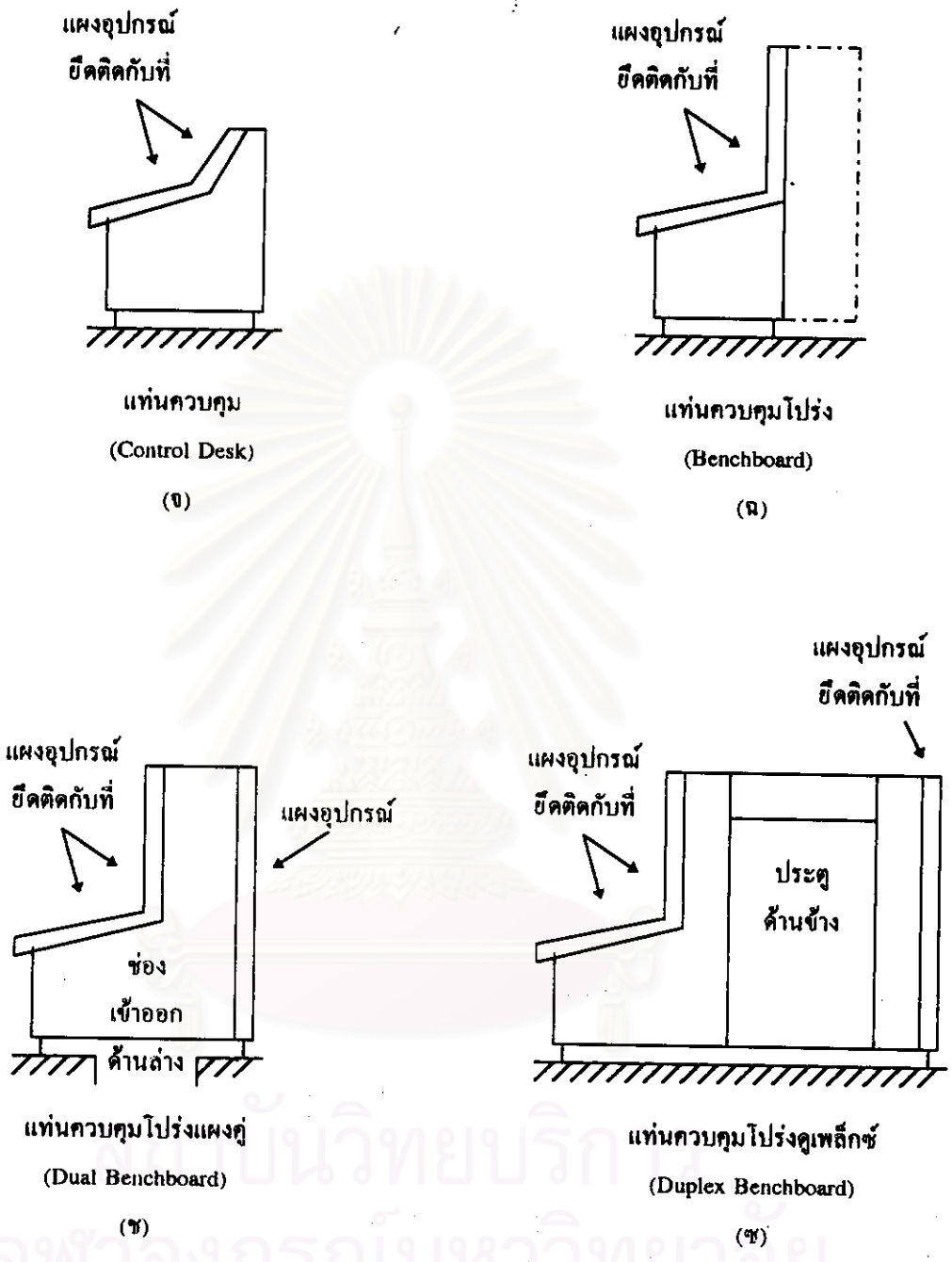
9. ตู้บานพับหน้า (Swing Rack Cabinet) โครงสร้างภายนอกคล้ายตู้แผงสวิทช์คู่ ผนังตู้เป็นแผ่นเหล็กปิดทึบทุกด้าน โดยด้านหน้าหรือด้านหลัง (ด้านใดด้านหนึ่ง) ทำประตูเปิดปิด ภายในตู้มีแผงแบบบานพับวางอยู่ใกล้และขนานกับด้านที่มีประตู

10. ตู้บานพับยึดติดกับที่ (Fixed Rack Cabinet) คล้ายแบบตู้บานพับหน้า โดยต่างกันตรงที่แผงติดตั้งภายในตู้ถูกยึดติดอยู่กับที่ เปิดปิดไม่ได้

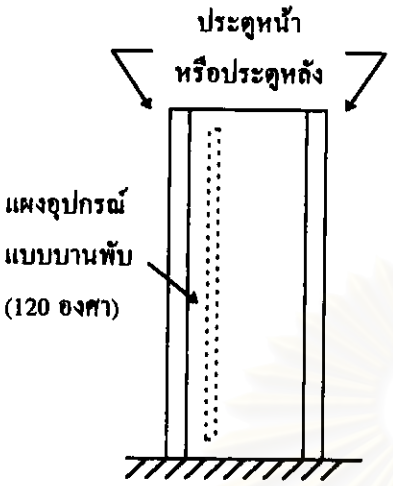


รูปที่ 2.1 ภาพด้านข้างของแผงสวิทช์บอร์ดแบบต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



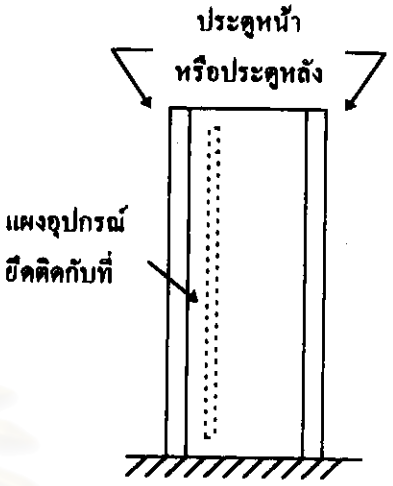
รูปที่ 2.1 ภาพด้านข้างของแผงสวิทช์บอร์ดแบบต่างๆ (ต่อ)



ตู้บานพับหน้า

(Swing Rack Cabinet)

(ฌ)



ตู้บานพับยึดติดกับที่

(Fixed Rack Cabinet)

(ญ)

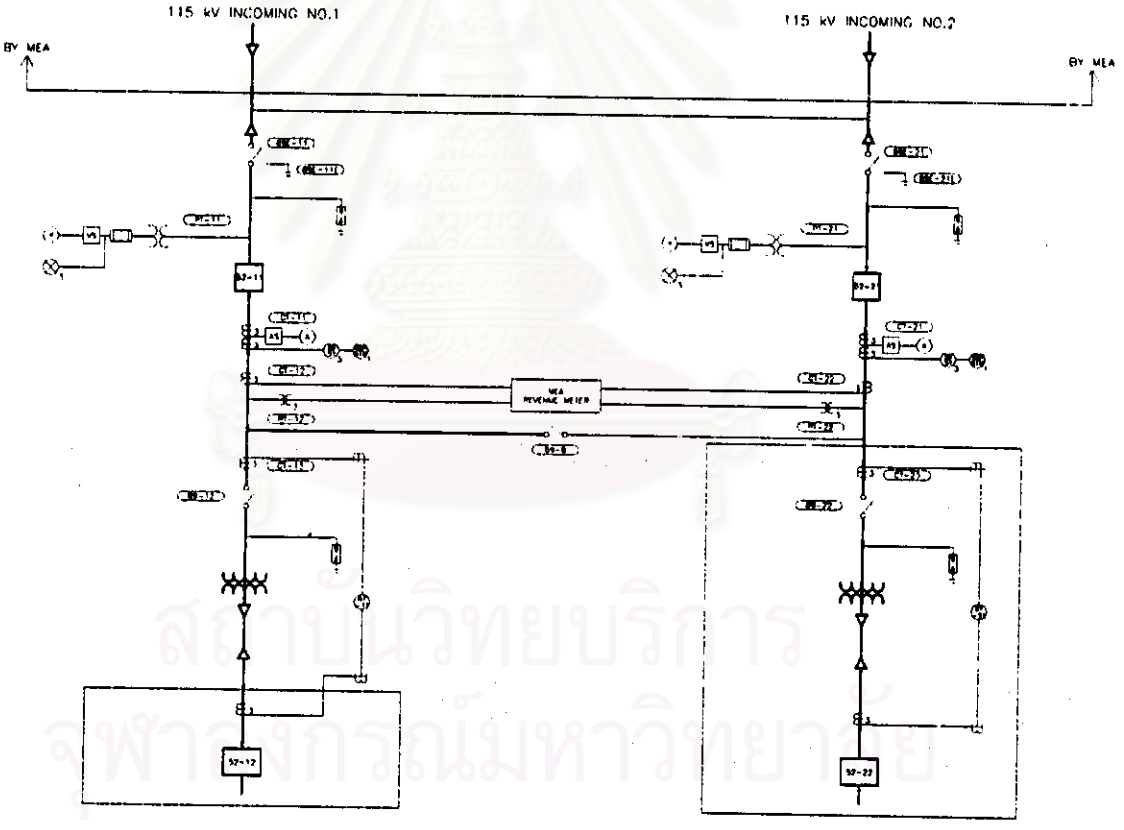
รูปที่ 2.1 ภาพด้านข้างของแผงสวิทช์บอร์ดแบบต่างๆ (ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภาพ (Diagram)

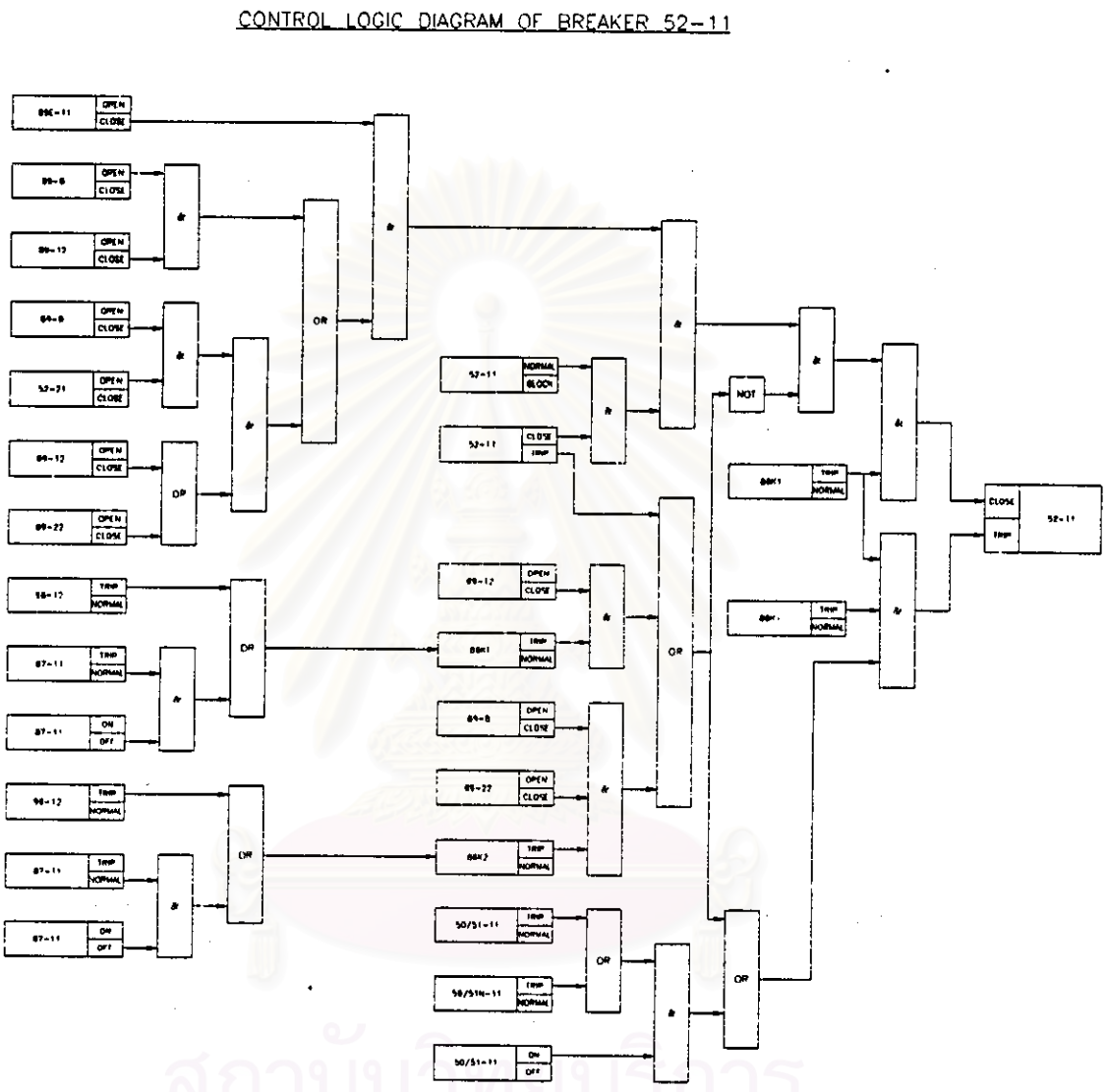
แผนภาพเป็นรูปแบบการแสดงข้อมูลอย่างหนึ่งที่นิยมใช้ในงานด้านไฟฟ้ากำลัง เช่น งานออกแบบและผลิตตู้ควบคุมไฟฟ้า แผนภาพที่ใช้ในงานประเภทนี้มีหลายชนิด แบ่งตามลักษณะและรูปแบบของข้อมูล เช่น

1. แผนภาพเส้นเดี่ยว (Single Line Diagram) แสดงภาพจำลองโครงสร้างระบบไฟฟ้า ประกอบด้วยส่วนประกอบ 2 ส่วนหลักคือ รูปสัญลักษณ์ของอุปกรณ์ และเส้นลากเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างแผนภาพเส้นเดี่ยว

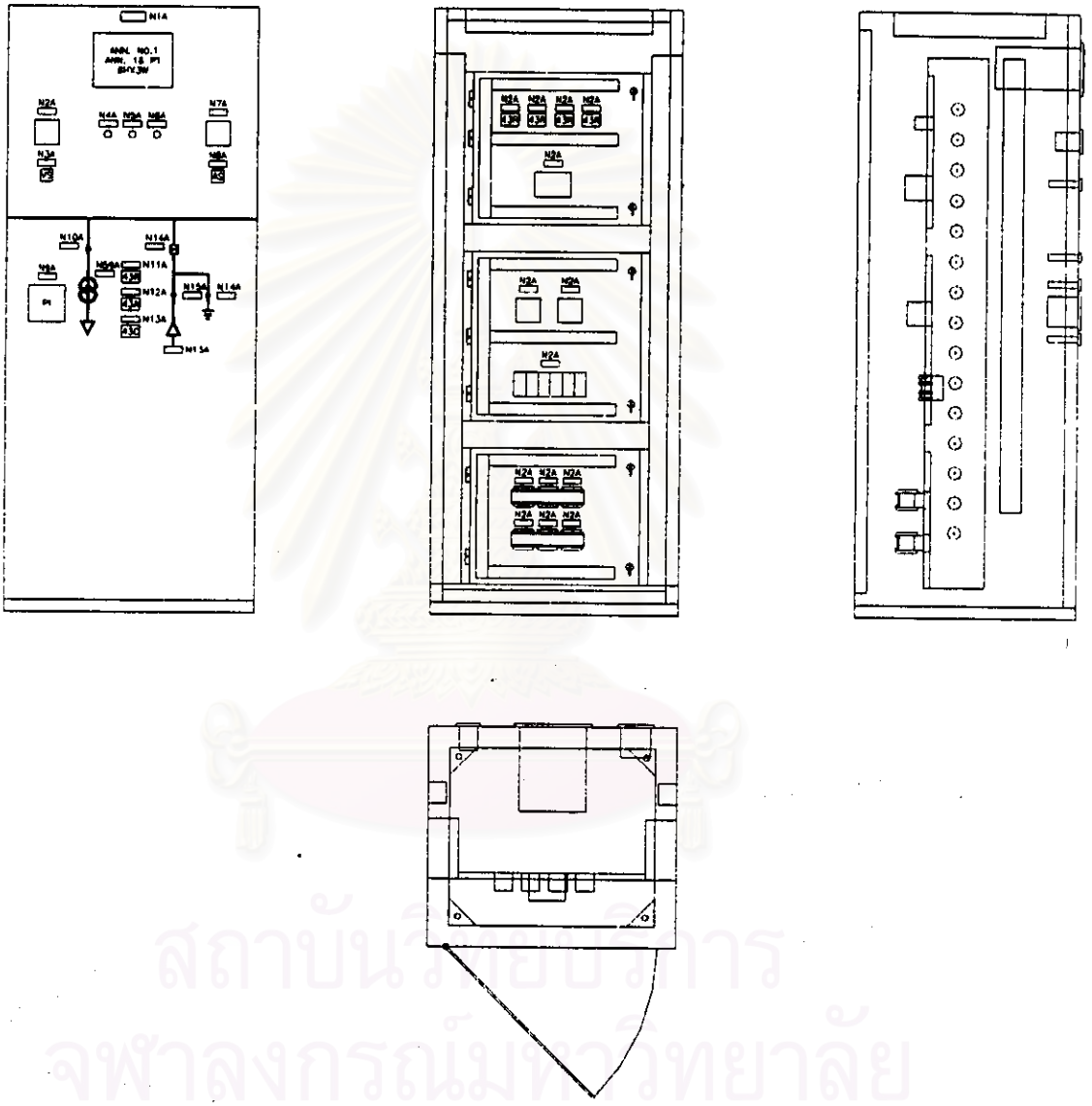
2. แผนภาพตรรกควบคุม (Control Logic Diagram) แสดงวงจรทางตรรกสำหรับควบคุมการทำงานของรีเลย์และอุปกรณ์อื่นๆ



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างแผนภาพตรรกควบคุม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. แผนภาพการจัดวางแผงอุปกรณ์ (Panel Layout Diagram) แสดงภาพในด้านต่างๆ ของตู้และอุปกรณ์ที่ติดตั้ง เพื่อใช้ในการผลิตตู้ ภาพในแผนภาพชนิดนี้ ประกอบด้วยภาพด้านหน้า ด้านบน ด้านข้าง และภายในตู้ นอกจากนี้ ยังอาจแสดงรายละเอียดของชิ้นส่วนใดๆ บนตู้ เพื่อให้ผลิตตู้ได้ตรงตามขนาดและรูปทรงที่ต้องการ



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการจัดวางแผงอุปกรณ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. รายการอุปกรณ์ (Bill of Materials) แสดงรายการอุปกรณ์ทั้งหมดที่ติดตั้งภายในตู้ ในรูปแบบตาราง

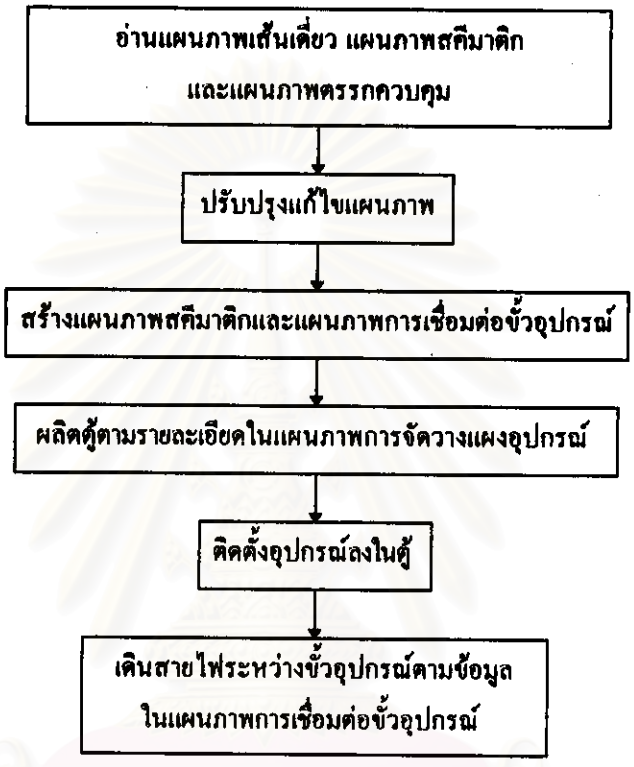
5. แผนภาพสคีมาติก (Schematic Diagram) แสดงวงจรไฟฟ้าภายในตู้ แบ่งเป็น 2 ประเภทย่อย ได้แก่แผนภาพสคีมาติกไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Schematic Diagram) และแผนภาพสคีมาติกไฟฟ้ากระแสตรง (DC Schematic Diagram) จัดเป็นส่วนสำคัญของการผลิตตู้ เนื่องจากบรรจุข้อมูลการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อใช้ในการเดินสายไฟภายในตู้

6. แผนภาพการเชื่อมต่อขั้วอุปกรณ์ (Wiring Diagram) แสดงข้อมูลการเดินสายไฟระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ ภายในตู้ โดยระบุป้ายชื่อของขั้วอุปกรณ์และป้ายชื่อของสายไฟ ข้อมูลในแผนภาพการเชื่อมต่อขั้วอุปกรณ์นี้ ได้จากการคำนวณข้อมูลการเชื่อมต่อขั้วอุปกรณ์ในแผนภาพสคีมาติกและตำแหน่งอุปกรณ์ในแผนภาพการจัดวางแผงอุปกรณ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนการผลิตตู้ควบคุมไฟฟ้า

จากการศึกษากรรมวิธีการผลิตตู้ควบคุมไฟฟ้า พบว่า สามารถแบ่งขั้นตอนในการทำงานออกเป็น 6 ขั้นตอนหลัก ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการผลิตตู้ควบคุมไฟฟ้า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายละเอียดในแต่ละขั้นตอน สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. อ่านแผนภาพเส้นเดี่ยว แผนภาพการจัดวางแผงอุปกรณ์ และแผนภาพตรรกควบคุม

แผนภาพทั้ง 3 ประเภทนี้ จัดเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบและผลิตตู้ควบคุม เป็นส่วนที่ลูกค้าเป็นผู้กำหนดเอง ข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำมาใช้สร้างแผนภาพสคีมาติกและแผนภาพการเชื่อมต่อขั้วอุปกรณ์

2. ปรับปรุงแก้ไขแผนภาพ

แผนภาพที่ลูกค้าส่งให้ผู้ออกแบบอาจมีบางส่วนไม่ถูกต้องเหมาะสม เช่น ตู้ที่ลูกค้าออกแบบอาจมีขนาดเล็กเกินไปจนไม่สามารถติดตั้งอุปกรณ์ได้ครบทั้งหมด ทำให้ต้องทำการแก้ไขหรือปรับเปลี่ยนบางประการ

3. สร้างแผนภาพสคีมาติกและแผนภาพการเชื่อมต่อขั้วอุปกรณ์

จากข้อมูลในแผนภาพเส้นเดี่ยว แผนภาพการจัดวางแผงอุปกรณ์ และแผนภาพตรรกควบคุม ผู้ออกแบบจะสร้างแผนภาพสคีมาติกและแผนภาพการเชื่อมต่อขั้วอุปกรณ์

4. ผลิตตู้ตามรายละเอียดในแผนภาพการจัดวางแผงอุปกรณ์

แผนภาพการจัดวางแผงอุปกรณ์แสดงรูปร่างและขนาดของตู้ รวมทั้งรายละเอียดปลีกย่อยต่างๆ การผลิตตู้จะใช้ข้อมูลในแผนภาพนี้ในการผลิต

5. ติดตั้งอุปกรณ์ลงในตู้

เมื่อผลิตตัวตู้ควบคุมไฟฟ้าเสร็จเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการติดตั้งอุปกรณ์บนแผงติดตั้งอุปกรณ์ ตำแหน่งของอุปกรณ์เป็นไปตามที่ระบุในแผนภาพการจัดวางแผงอุปกรณ์

6. เดินสายไฟระหว่างขั้วอุปกรณ์ตามข้อมูลในแผนภาพการเชื่อมต่อขั้วอุปกรณ์

ขั้นตอนนี้ ผู้ออกแบบจะกำหนดแนวทางเดินของสายไฟให้เหมาะสม โดยพิจารณาเรื่องความสวยงามในการเดินสายไฟ ความเป็นระเบียบเรียบร้อยไม่ระเกะระกะ หรือกีดขวางต่อการเข้าไปปฏิบัติงานภายในตู้ เช่นการซ่อมบำรุงหรือเปลี่ยนแปลงแก้ไขวงจรในอนาคต การเดินสายไฟจะทำที่หน้างาน คือ พนักงานเดินสายไฟจะทำการวัดระยะห่างระหว่างขั้วต่อสายของอุปกรณ์ที่จะลากสายไฟ จากนั้นจึงตัดสายไฟให้ยาวตามที่วัดได้แล้วขันน็อตยึดสายไฟติดกับขั้ว ทำเช่นนี้ทีละเส้นไปเรื่อยๆ จนครบทุกเส้นตามแผนการเชื่อมต่อขั้วอุปกรณ์

ปัญหาที่พบในการทำงาน

เมื่อพิจารณาขั้นตอนการออกแบบและผลิตตู้ตามที่ได้กล่าวมาในข้างต้นนี้ พบว่า ในทางปฏิบัตินั้น ขั้นตอนดังกล่าวยังคงมีข้อบกพร่องอยู่บางประการ เช่น

1. การติดตั้งอุปกรณ์ในตู้โดยดูจากแผนภาพการจัดวางแผงอุปกรณ์ เป็นวิธีค่อนข้างยากและมีโอกาสผิดพลาดสูง เนื่องจาก ต้องแน่ใจว่าอุปกรณ์ทุกตัวสามารถติดตั้งได้จริงโดยไม่ชนหรือทับซ้อนกับอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนใดๆ ของตัวตู้ แต่ในความเป็นจริงแล้ว การวาดรูปสัญลักษณ์ของอุปกรณ์ในแผนภาพผังอุปกรณ์ มักวาดโดยไม่ได้คำนึงถึงเรื่องความถูกต้องเกี่ยวกับขนาดของรูป กล่าวคือ รูปที่วาดมักจะมีขนาดไม่ตรงกับขนาดจริงของตัวอุปกรณ์นั้นๆ ทำให้ไม่สามารถแน่ใจได้ว่า อุปกรณ์จะสามารถติดตั้งลงในตำแหน่งที่ระบุในแผนภาพได้จริงหรือไม่

2. แผนภาพการจัดวางแผงอุปกรณ์ที่สร้างโดยทั่วไปนั้น จะไม่แสดงภาพของอุปกรณ์ภายในตู้ครบทุกตัว เนื่องจากจะทำให้แผนภาพเต็มไปด้วยลายเส้นทับซ้อนกัน การหาตัวเลขตำแหน่งของอุปกรณ์แต่ละตัวจะทำได้ค่อนข้างยากและอาจผิดพลาดได้ง่าย โดยพิจารณาภาพในด้านต่างๆ ทั้ง 3 ด้านได้แก่ ภาพด้านหน้า ด้านข้าง และด้านบน ซึ่งเป็นงานที่อาศัยความละเอียดและใช้เวลาค่อนข้างนาน นอกจากนี้ การแก้ไขตำแหน่งอุปกรณ์ในแผนภาพก็ทำได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากต้องแก้ไขรูปภาพทุกด้านที่มีรูปอุปกรณ์นั้นอยู่ด้วย

3. การทำแผนภาพการเชื่อมต่อขั้วอุปกรณ์จากแผนภาพสคีมาติก เป็นงานยุ่งยากและใช้เวลานาน โดยผู้ทำจะอ่านแผนภาพสคีมาติกเพื่อถอดข้อมูลการเดินสายไฟออกมา โดยตรวจดูว่าแผนภาพลากสายไฟเชื่อมต่ออุปกรณ์ใดกับอุปกรณ์ใดบ้าง และเชื่อมต่อที่ขั้วใดของอุปกรณ์คู่นั้น การเดินสายไฟจริงจะเดินตามแผนภาพการเชื่อมต่อขั้วอุปกรณ์ ดังนั้น แผนภาพดังกล่าวควรมีข้อมูลรายการสายไฟที่จะเดินครบถ้วน ซึ่งข้อมูลเหล่านี้มาจากแผนภาพสคีมาติก ขั้นตอนนี้ใช้เวลานาน เนื่องจากต้องถอดข้อมูลการเดินสายไฟทุกเส้นออกมาให้ถูกต้องครบถ้วน

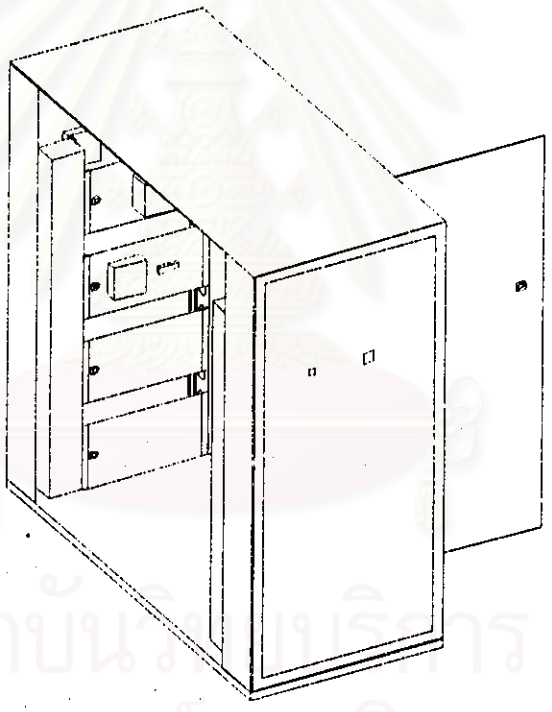
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แนวคิดในการปรับปรุงวิธีการออกแบบ

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการออกแบบตู้ควบคุมไฟฟ้าด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยมีวัตถุประสงค์คือแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยทำการปรับปรุงแก้ไขขั้นตอนการทำงานบางขั้นตอนและเปลี่ยนแปลงรูปแบบการทำงานบางประการ ดังนี้

1. เปลี่ยนจากการทำงานแบบ 2 มิติ มาเป็นแบบ 3 มิติ

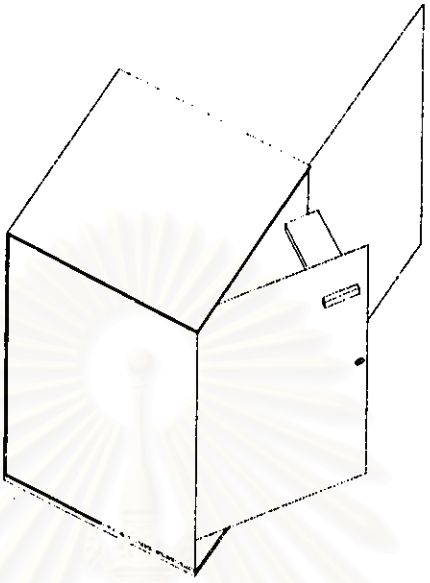
โปรแกรมได้ถูกออกแบบให้ทำงานในเชิง 3 มิติ เพื่อแก้ไขปัญหาเรื่องความผิดพลาดที่เกิดจากการถอดแบบซึ่งเป็นการทำงานในเชิง 2 มิติ ด้วยแนวความคิดใหม่นี้ การออกแบบตู้สามารถทำได้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น รวมทั้งผู้ออกแบบสามารถตรวจดูตำแหน่งของอุปกรณ์และการทับซ้อนได้ง่ายขึ้น เนื่องจากภายในโปรแกรมมีฟังก์ชันสำหรับตรวจสอบไว้แล้ว



รูปที่ 2.6 การออกแบบตู้ควบคุมไฟฟ้าโดยใช้แนวคิดการจัดการข้อมูลแบบ 3 มิติ

การออกแบบโปรแกรม ใช้แนวคิดในการจัดการวัตถุ 3 มิติ โดยจัดทำฐานข้อมูลอุปกรณ์และตู้ควบคุมไฟฟ้าแทนวิธีเดิมที่สร้างแผนภาพการจัดวางแผงอุปกรณ์ โดยวิธีการกำหนดตำแหน่งอุปกรณ์ได้เปลี่ยนจากการวาดภาพตู้ในด้านต่างๆ เป็นการวาดภาพวัตถุที่มีมิติทั้ง3 มิติ คือ กว้างยาวสูงด้วยโปรแกรม AutoCAD วิธีนี้ช่วยให้ออกแบบตู้ได้ง่ายขึ้น เนื่องจากสามารถดูภาพตู้

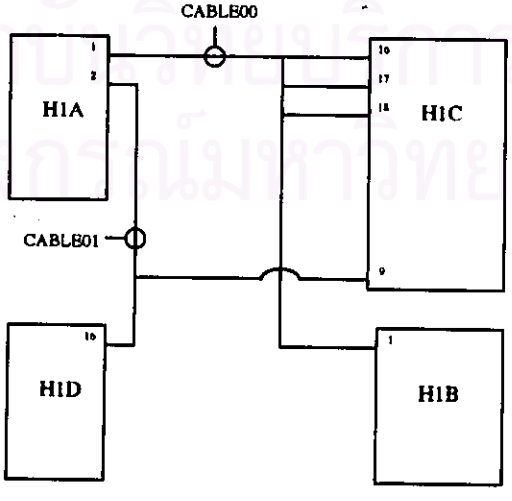
ในมุมมองต่างๆ ได้โดยการใช้คำสั่งเปลี่ยนมุมมองในโปรแกรม และสามารถตรวจสอบได้ว่าอุปกรณ์ใดหรือชิ้นส่วนใดทับซ้อนกันอยู่ ดังในรูปที่ 2.7 เพื่อจะได้ทำการแก้ไขให้ถูกต้อง



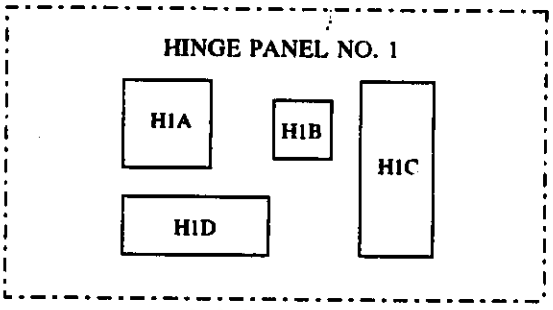
รูปที่ 2.7 การติดตั้งอุปกรณ์ในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสม

2. เปลี่ยนรูปแบบการทำแผนภาพสคีมาติก

กรรมวิธีการทำแผนภาพสคีมาติกได้ถูกดัดแปลงใหม่ โดยนำเอาแนวคิดในการออกแบบวงจรไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์มาปรับใช้กับงานด้านไฟฟ้ากำลัง แนวคิดที่ว่านี้คือ การเน้นเรื่องความครบถ้วนสมบูรณ์ของข้อมูลเป็นหลักสำคัญ วงจรไฟฟ้าในแผนภาพจะต้องวาดโดยละเอียดเพื่อให้สามารถจัดทำแผนภาพการเชื่อมต่อขั้วอุปกรณ์ได้อัตโนมัติด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งหากข้อมูลที่ต้องการในแผนภาพสคีมาติกมีครบถ้วน การทำแผนภาพการเชื่อมต่อขั้วอุปกรณ์ก็เป็นเพียงการดึงข้อมูลออกมาให้อยู่ในอีกรูปแบบหนึ่งเท่านั้น สามารถทำด้วยคอมพิวเตอร์ได้ และรวดเร็วกว่าใช้คนทำการถอดแบบเองมาก

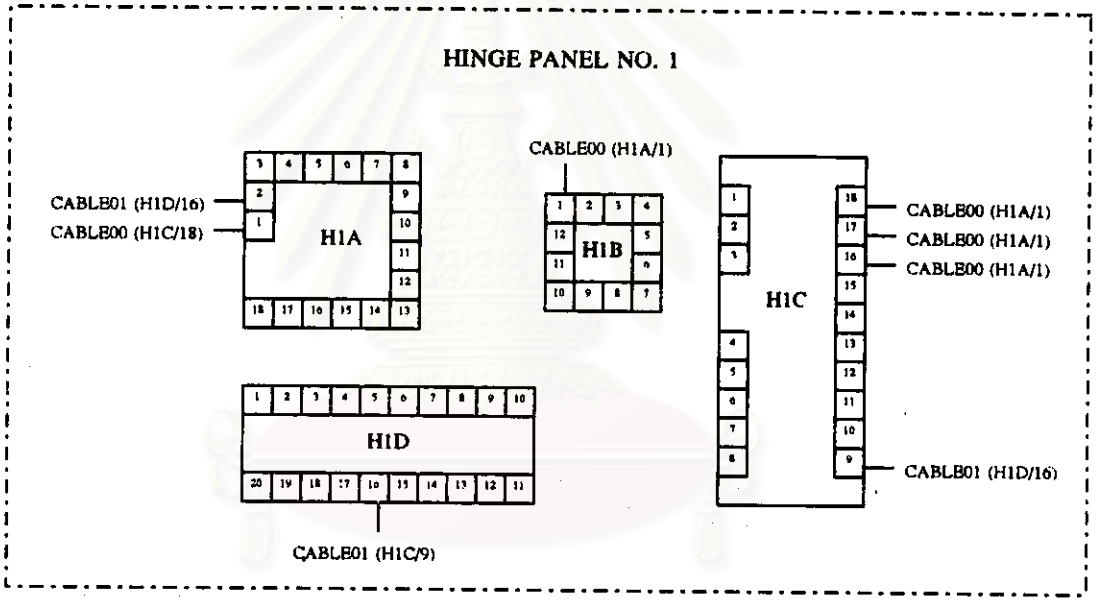


รูปที่ 2.8 การเดินสายไฟระหว่างขั้วอุปกรณ์ในแผนภาพสคีมาติก



รูปที่ 2.9 ตำแหน่งอุปกรณ์บนแผงบานพับ

จากแผนภาพสคีมาติก (รูปที่ 2.8) และแผนภาพการวางตำแหน่งอุปกรณ์ (รูปที่ 2.9) สามารถสร้างแผนภาพการเชื่อมต่อขั้วอุปกรณ์ได้ดังในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างแผนภาพการเชื่อมต่อขั้วอุปกรณ์