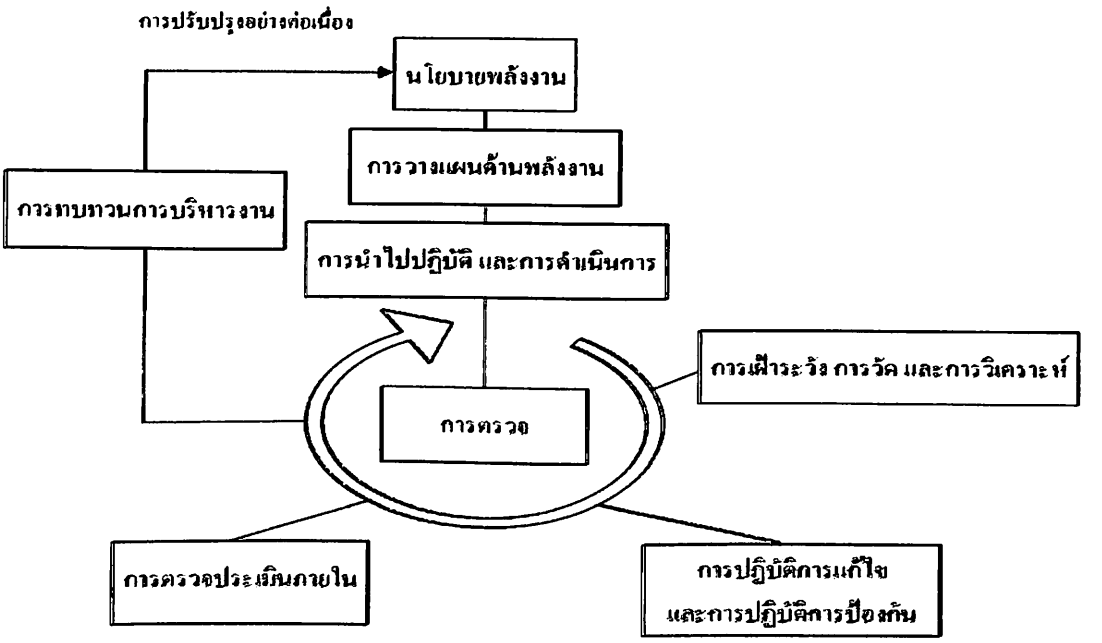
บทที่ 2

แนวคิดทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อกำหนดมาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001

ข้อกำหนดมาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001 ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ ๔๔๑๓ (พ.ศ. ๒๕๕๕) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. ๒๕๑๑ เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ระบบการจัดการพลังงาน – ข้อกำหนดและข้อแนะนำในการใช้ [1] มาตรฐานนี้ระบุข้อกำหนดระบบจัดการพลังงานสำหรับองค์กรในการกำหนดนโยบายพลังงานและการนำไปปฏิบัติเพื่อนำไปสู่การปรับปรุงสมรรถนะด้านพลังงานโดยมาตรฐานนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้และปรับให้เหมาะได้กับกิจกรรมภายใต้การควบคุมขององค์กร โดยใช้หลักการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องประกอบด้วย การวางแผน-การปฏิบัติ-การตรวจ-การแก้ไข และปรับปรุง (Plan-Do-Check-Act; PDCA) เข้าไปในกิจกรรมในการจัดการพลังงานขององค์กร ตามรูปที่ 2.1 โดยมีรายละเอียดของแนวทางการทำกิจกรรมดังนี้ คือ



ภาพประกอบที่ 2.1 รูปแบบระบบการจัดการพลังงาน [1]

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดของ PDCA

PDCA	รายละเอียด
การวางแผน	ดำเนินการทบทวนด้านพลังงานและจัดทำฐานข้อมูลด้านพลังงาน ตัวชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงาน วัตถุประสงค์ เป้าหมาย และแผนปฏิบัติการที่จำเป็นเพื่อให้ได้ผลที่จะปรับปรุงสมรรถนะด้านพลังงานให้เป็นไปตามนโยบายพลังงานขององค์กร
การปฏิบัติ	การนำแผนการจัดการพลังงานไปปฏิบัติ
การตรวจ	เฝ้าระวังและวัดกระบวนการและลักษณะของการดำเนินงานที่มีต่อสมรรถนะด้านพลังงานเทียบกับนโยบายพลังงานและวัตถุประสงค์ด้านพลังงาน
การแก้ไขปรับปรุง	ดำเนินการเพื่อปรับปรุงสมรรถนะด้านพลังงานและระบบการจัดการพลังงานอย่างต่อเนื่อง

การใช้มาตรฐานนี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้พลังงานที่มีอยู่และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและผลกระทบอื่นที่เกี่ยวข้อง โดยไม่ขึ้นกับชนิดของพลังงาน และสมรรถนะด้านพลังงานที่ใช้แตกต่างกันก็สามารถปฏิบัติตามข้อกำหนดของมาตรฐานนี้ได้

2.2 การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของดาต้าเซ็นเตอร์

ปัจจุบันดาต้าเซ็นเตอร์มีการใช้พลังงานสิ้นเปลืองมากเกินกว่าความจำเป็นซึ่งเป็นที่ทราบกันโดยทั่วไป ดาต้าเซ็นเตอร์จึงเป็นเป้าหมายที่ได้รับความสนใจในการลดการใช้พลังงานสำหรับทั้งหน่วยงานที่ควบคุมกฎระเบียบของรัฐ และผู้บริหารธุรกิจโดยพยายามให้ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ด้านทางสังคมและด้านเศรษฐกิจให้น้อยที่สุด โดยการออกแบบและการดำเนินงานของดาต้าเซ็นเตอร์นั้น มุ่งเน้นเรื่องความน่าเชื่อถือและขีดความสามารถของดาต้าเซ็นเตอร์เป็นสำคัญ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการปฏิบัติงานด้านไอทีมีค่าใช้จ่ายจากการใช้พลังงานสูง และในบางกรณีสูงเกินกว่าค่าใช้จ่ายของฮาร์ดแวร์ระบบไอที เนื่องจากการดำเนินการของแต่ละฝ่ายตัดสินใจเป็นอิสระแยกจากกันทั้งผู้ออกแบบอุปกรณ์ ผู้รวมระบบ โปรแกรมเมอร์ควบคุม ผู้ติดตั้ง ผู้รับเหมา ผู้จัดการไอที และผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งทุกฝ่ายมีส่วนทำให้มีการใช้พลังงานโดยรวมในระดับที่สูงขึ้น จึงทำให้เกิดความสนใจและให้ความสำคัญกับการจัดการพลังงานในดาต้าเซ็นเตอร์โดยจะต้องใช้กระบวนการที่เรียบง่ายที่สุด พึ่งพาเครื่องมือตรวจวัดน้อยที่สุดและสามารถดำเนินการได้ทันที

เป้าหมายสำหรับการประเมินประสิทธิภาพพลังงานหรือผลกระทบคาร์บอนไดออกไซด์จากดาต้าเซ็นเตอร์นั้น มีเป้าหมาย 3 ประการ คือ

1. เปรียบเทียบมาตรฐานประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพียงครั้งเดียวหรือทำอย่างสม่ำเสมอ
2. จัดสรรการใช้พลังงานหรือการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ไปให้ผู้อื่น

3. ใช้ข้อมูลเพื่อลดการใช้พลังงานของโครงสร้างพื้นฐานหรือลดผลกระทบจากการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์

ตารางที่ 2.2 รายละเอียดของเป้าหมายการประเมินประสิทธิภาพพลังงาน

เป้าหมายที่	รายละเอียด
1	การเปรียบเทียบมาตรฐานประสิทธิภาพการใช้พลังงานหรือผลกระทบจากการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เพียงครั้งเดียวหรือทำอย่างสม่ำเสมอ การดำเนินการนี้อาจเป็นประโยชน์ในการช่วยกำหนดว่าควรมีการหันมาศึกษาโครงการการจัดการการใช้พลังงานที่ดำเนินการอยู่หรือควรเริ่มต้นเข้าร่วมในโครงการดังกล่าวนี้ แนวคิดสำหรับเรื่องนี้คือการเปรียบเทียบมาตรฐานเผยให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่อยู่ในระดับใกล้เคียงกันหรือดีกว่าดาต้าเซ็นเตอร์อื่นๆ ที่มีความคล้ายคลึงกัน บางที เราอาจไม่จำเป็นต้องดำเนินการใดๆ ในเรื่องนี้ในทางกลับกันหากการเปรียบเทียบมาตรฐานแล้วเผยให้เห็นว่า ประสิทธิภาพของเราแย่กว่าดาต้าเซ็นเตอร์ในระดับเทียบเคียงกันแสดงว่าโครงการการจัดการพลังงานที่ดำเนินการอยู่มีแนวโน้มที่จะช่วยให้เกิดผลดีได้ทั้งนี้จำเป็นที่จะต้องทราบว่า ในการมุ่งสู่เป้าหมายนี้ยังขาดซึ่งข้อมูลในเชิงปฏิบัติที่จะช่วยชี้แนะหรือผลักดันให้เกิดการลดการใช้พลังงานหรือลดผลกระทบของคาร์บอนไดออกไซด์ ยังมีผู้ให้บริการดาต้าเซ็นเตอร์เป็นจำนวนมากที่มักเริ่มต้นด้วยการมุ่งสู่เป้าหมายนี้และต้องผิดหวังกับผลที่ได้รับในการที่จะได้รับประโยชน์จากการบรรเทาผลกระทบได้นั้นจำเป็นที่จะต้องดำเนินการตามเป้าหมายที่จะอธิบายต่อไปนี้อย่างน้อยหนึ่งข้อหรือทั้งสองข้อ
2	ดาต้าเซ็นเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นให้บริการดาต้าเซ็นเตอร์แก่องค์กรอื่น โดยการจัดหาโครงสร้างพื้นฐานทางกายภาพของดาต้าเซ็นเตอร์ให้หรือจัดหาโครงสร้างพื้นฐานของระบบไอทีแบบคิดเป็นจำนวนต่อคอมพิวเตอร์หรือต่อเซิร์ฟเวอร์ ดังนั้นจึงอาจมีข้อกำหนดให้ต้องมีการจัดสรรลูกค้าของดาต้าเซ็นเตอร์หรือแม้แต่เรียกเก็บเงินเป็นค่าการใช้พลังงานหรือการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ ทั้งนี้อาจเป็นข้อกำหนดภายในองค์กร หรืออาจเป็นข้อบังคับที่กำหนดให้ปฏิบัติตามหรืออาจเป็นข้อบังคับที่กำหนดไว้ภายใต้สัญญา วัตถุประสงค์ก็คือเพื่อจัดให้มีการจูงใจโดยใช้วิธีการทางการเงินหรือด้านอื่นๆ อันจะส่งเสริมให้ลูกค้าของดาต้าเซ็นเตอร์เปลี่ยนแปลงพฤติกรรมเพื่อลดการใช้พลังงานหรือลดผลกระทบจากการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น การปิดเซิร์ฟเวอร์ที่ไม่ได้ใช้งาน การเปิดใช้งานฟังก์ชั่นการจัดการพลังงาน การจัดการกับการเก็บข้อมูลที่ไม่จำเป็น หรือการทำระบบเสมือนให้เซิร์ฟเวอร์ซึ่งมีโอกาสเป็นอย่างมากในการประหยัดพลังงานและลดผลกระทบจากการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์โดยการจัดการระบบไอทีให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถลดได้ในช่วง 10% ถึง 80% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับความพร้อมที่มีอยู่และการทำระบบเสมือนในดาต้าเซ็นเตอร์นั้นเนื่องจากวิธีการปรับปรุงหลายวิธีสามารถทำได้โดยแทบไม่ต้องมีค่าใช้จ่าย หรืออาจค่อยๆ นำเข้ามาใช้ในระดับค่าใช้จ่ายที่ไม่สูงในระหว่างการฟื้นฟูระบบไอที ดังนั้น การจัดสรรการใช้พลังงานหรือผลกระทบจากการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ไปให้ผู้อื่นจึงน่าจะเป็นวิธีการสำคัญที่ช่วยส่งเสริมความสำเร็จของโครงการการจัดการพลังงานที่คุ้มค่ากับการใช้จ่าย

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

เป้าหมายที่	รายละเอียด
3	ดาต้าเซ็นเตอร์ มีโครงสร้างพื้นฐานทางกายภาพ (พลังงาน การทำความเย็น ระบบไฟส่องสว่าง การควบคุมต่างๆ ฯลฯ) เป็นปัจจัยหลักของการใช้พลังงานและทำให้เกิดผลกระทบของการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ ระบบมาตรฐานการวัดที่ใช้สำหรับโครงสร้างพื้นฐานของดาต้าเซ็นเตอร์คือประสิทธิภาพการใช้พลังงาน หรือ PUE (ระบบที่มาเสริม PUE มีชื่อเรียกว่า DCiE ระบบนี้ยังถูกนำมาใช้เป็นระบบมาตรฐานการวัดด้วย) ในดาต้าเซ็นเตอร์เป็นจำนวนมาก พลังงานที่ใช้โดยโครงสร้างพื้นฐานทางกายภาพมักจะอยู่ในระดับสูงกว่าพลังงานที่ใช้โดยโหลดงานไอที (PUE > 2) ดังนั้นการลดการใช้พลังงานในส่วนที่เป็นโครงสร้างพื้นฐานทางกายภาพ (โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์) จึงเกือบจะมีความสำคัญพอๆ กับการลดโหลดงานไอที โดยวัตถุประสงค์ของเป้าหมายนี้คือเพื่อจัดให้มีข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการระบุและบ่งบอกถึงโอกาสในการดำเนินการเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ การกำหนดค่าหรือการตั้งค่า เพื่อลดการใช้พลังงานโดยที่ไม่ส่งผลกระทบแง่ลบต่อโหลดงานไอทีดาต้าเซ็นเตอร์ตามปกติมีโอกาสเป็นอย่างมากในการประหยัดพลังงานและลดผลกระทบจากการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์โดยการจัดการโครงสร้างพื้นฐานทางกายภาพเพื่อให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพซึ่งสามารถลดได้ในช่วง 10% ถึง 40% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพของ การตั้งค่า การกำหนดค่า และโหลดงานของดาต้าเซ็นเตอร์

การเลือกเป้าหมาย

การพิจารณาถึงสามเป้าหมายในการประหยัดพลังงานและการวัดผลกระทบของคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับดาต้าเซ็นเตอร์นั้น ควรพิจารณาประเด็นที่สำคัญดังต่อไปนี้

- ดาต้าเซ็นเตอร์ตามปกติมีโอกาสเป็นอย่างมากในการประหยัดพลังงานและลดผลกระทบจากการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ ทั้งนี้สามารถประหยัดพลังงานและลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ได้ในช่วง 20% ถึง 90% เมื่อมีการจัดการในสองด้านร่วมกัน ซึ่งได้แก่ ลักษณะการใช้ระบบไอทีและโครงสร้างพื้นฐานทางกายภาพ
- การเปรียบเทียบมาตรฐานเพียงอย่างเดียวไม่สามารถช่วยปรับปรุงสิ่งใดได้ วิธีการนี้ไม่สามารถพิจารณาได้ว่าเป็นส่วนสำคัญของแผนการลดพลังงานและคาร์บอนไดออกไซด์ แต่วิธีการนี้มีประโยชน์ในแง่ของการช่วยกำหนดปริมาณทรัพยากรที่จะใช้ในการจัดการพลังงานการจัดสรรพลังงานและการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ให้แก่ผู้ใช้ระบบไอที จะทำให้มีเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับใช้ประกอบการตัดสินใจในการประหยัดพลังงานเกี่ยวกับการใช้ระบบไอที
- การจัดสรรค่าใช้จ่ายด้านพลังงานให้กับระบบไอที และการจัดการการใช้พลังงานของโครงสร้างพื้นฐานทางกายภาพ มีโอกาสในการประหยัดได้เป็นอย่างมาก แต่เมื่อใช้ทั้ง

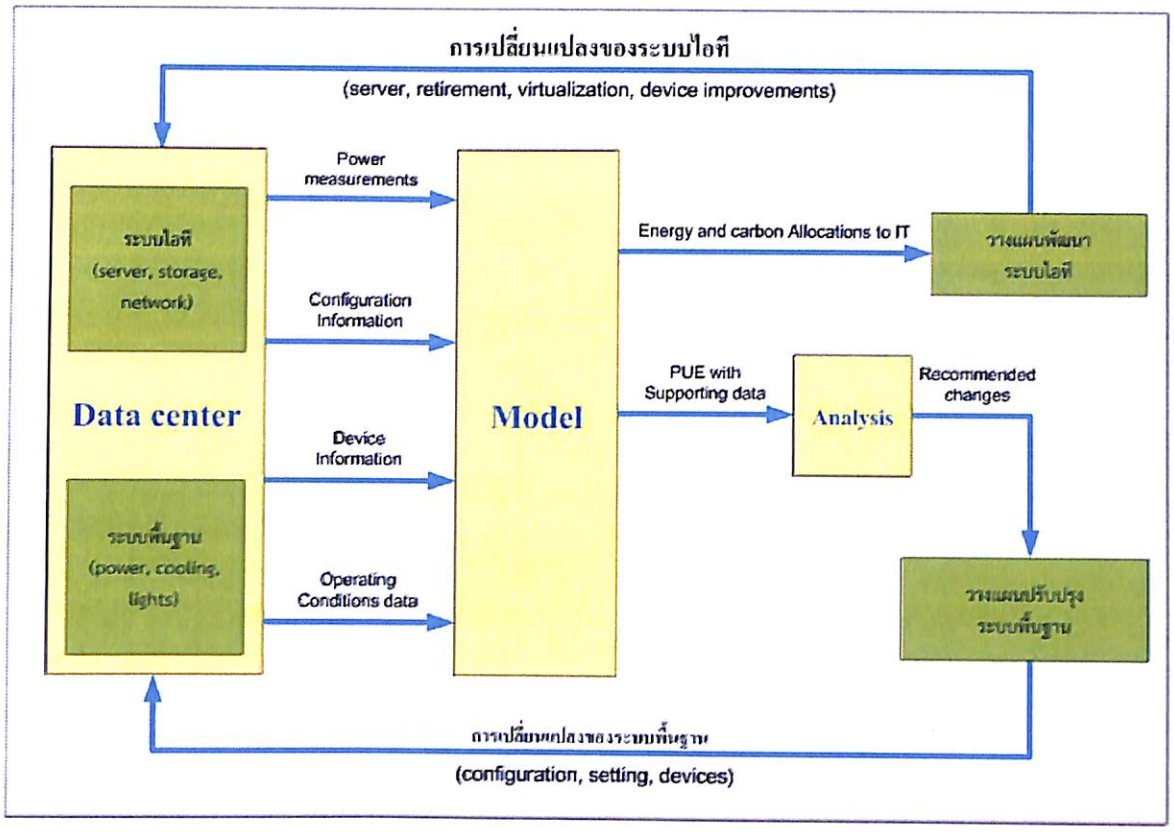
สองเป้าหมายร่วมกันโอกาสในการประหยัดพลังงานจะยิ่งเพิ่มค่าเป็นเท่าทวีคูณซึ่งมากเกินกว่าการนำยอดการประหยัดที่ได้จากการทำแต่ละวิธีการมารวมกัน

กลยุทธ์ที่ดีที่สุดของการลดการใช้พลังงานและผลกระทบของคาร์บอนไดออกไซด์คือ การใช้เป้าหมายดังกล่าวข้างต้นร่วมกัน โดยมุ่งเน้นเรื่องการเปรียบเทียบมาตรฐานให้น้อยลง การสร้างแบบจำลองเพื่อแสดงวิธีการทำงานของดาต้าเซ็นเตอร์นั้นจะทำให้สามารถเห็นความชัดเจนในการตรวจวัดพลังงาน เช่น การวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ปั๊มน้ำเย็นนั้นก็ไม่อาจรู้ได้ว่าเครื่องปั๊มกำลังทำงานอยู่ภายใต้เงื่อนไขด้านประสิทธิภาพที่คาดหมายหรือไม่ หรือเครื่องปั๊มเครื่องอื่นที่มีฟังก์ชั่นการทำงานเดียวกันจะใช้พลังงานน้อยกว่าหรือไม่

แผนผังข้อมูลกระบวนการจัดการพลังงานของดาต้าเซ็นเตอร์แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองและฟังก์ชั่นการวิเคราะห์ผนวกรวมเข้ากับระบบไอทีที่มีอยู่และกิจกรรมการวางแผนโครงสร้างพื้นฐานได้อย่างไรเพื่อนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงให้เกิดการลดการใช้พลังงาน โดยกำหนดค่าพื้นฐานของระดับพลังงานให้เป็นมาตรฐาน โดยคิดตามต่อวัตต์ของระบบไอที พร้อมกับการจัดสรรสัดในส่วนของการใช้พลังงานของโครงสร้างพื้นฐานให้เท่ากัน โดยมีวิธีการจัดประเภทดังนี้กำหนดประเภทให้เซิร์ฟเวอร์ทั้งหมด

- กำหนดจำนวนเซิร์ฟเวอร์มาตรฐานให้แก่ผู้ใช้ระบบไอทีแต่ละราย
- รวมพลังงานที่คำนวณจากเซิร์ฟเวอร์ทุกประเภท แล้วปรับให้สอดคล้องกับพลังงานของโหลดงานไอทีตามจริง (กำหนดได้จากการจำลองแบบหรือการตรวจวัด)
- นำข้อมูล PUE มาใช้กับเซิร์ฟเวอร์แต่ละประเภท

วิธีการนี้จะสามารถจัดสรรการใช้พลังงานทั้งหมดของดาต้าเซ็นเตอร์ให้กับเซิร์ฟเวอร์ประเภทต่างๆ และสามารถจัดสรรประเภทเซิร์ฟเวอร์เหล่านี้ให้แก่ผู้ใช้ระบบไอทีได้



ภาพประกอบที่ 2.2 กระบวนการจัดการพลังงานของดาต้าเซ็นเตอร์

2.2.1 การจัดสรรการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์

เมื่อกำหนดปริมาณการใช้พลังงานของโหลดงานไอทีหรือระบบโครงสร้างพื้นฐานในดาต้าเซ็นเตอร์ได้แล้ว ก็จะสามารถจัดสรรการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ได้ โดยผลกระทบของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากดาต้าเซ็นเตอร์นั้นเป็นผลทางอ้อมและมีที่มาจาก 3 แหล่งหลักๆ ดังต่อไปนี้

1. คาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกสร้างขึ้นในระหว่างการทำงานของดาต้าเซ็นเตอร์ และระบบไอที (รวมทั้งอุปกรณ์โครงสร้างพื้นฐาน) ซึ่งมักเรียกว่า “คาร์บอนแฝง (Embedded Carbon)”

2. คาร์บอนไดออกไซด์จากในพื้นที่ เกิดจากระบบการทำความร้อน ไฟสำรอง หรือระบบพลังงานร่วม

3. คาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกสร้างขึ้นในระหว่างการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับขับเคลื่อนดาต้าเซ็นเตอร์

การเทียบวัดปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของพลังงานสามารถประเมินปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการใช้พลังงานในดาต้าเซ็นเตอร์ได้ โดยพิจารณาถึงกำลัง

สูญเสียในระบบจำหน่าย (Distribution Loss) ปกติอยู่ในระดับประมาณ 10% ระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและดาต้าเซ็นเตอร์เพื่อคำนวณการใช้พลังงานของดาต้าเซ็นเตอร์ สูตรต่อไปนี้แสดงถึงการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์รายปีที่คิดจากโหลดของสถานที่

$$AnnualCO2(tons) = Load(kw) \times \frac{Carbon}{kwhr} \times \frac{8760hr}{year} \times \frac{1}{(1 - DistLoss)}$$

การผนวกรวมเรื่องพลังงานเข้าไว้เป็นส่วนหนึ่งในการวางแผนระบบไอทีและการตัดสินใจเรื่องการนำไปใช้งาน ผู้ใช้ระบบไอทีต้องมีข้อมูลสรุปที่เรียบง่ายเกี่ยวกับการใช้พลังงานและผลกระทบของการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากทรัพยากรไอทีที่ใช้ โดยไม่จำเป็นต้องเข้าใจถึงหลักการและเทคนิคต่างๆ ของการดำเนินการ

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างการจัดสรรปริมาณพลังงานและการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ให้แก่ผู้ใช้ระบบไอที

ลำดับที่	ประเภท Server	จำนวนที่ติดตั้ง	พลังงาน (ต่อหน่วย)	คาร์บอนไดออกไซด์ (ต่อหน่วย)
1	Application Server 1U	50	6,000	2.7
2	Virtual Server	30	2,650	1.2
3	Web Base	15	5,200	2.3
4	ERP Base	10	5,500	2.5
5	Main Frame	2	117,000	53.0
6	Server 3-10U	15	44,000	20.0
รวมพลังงานและคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด (ต่อปี)			1,409,000 (kWhr)	634 ตัน
ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน (ต่อปี)				169,000 ดอลลาร์

2.3 มาตรฐานสากลของดาต้าเซ็นเตอร์ (Standards by International Bodies)

ประกอบด้วย 3 มาตรฐานหลัก คือ

1. UPTIME INSTITUTE
2. TIA-942 (Telecommunications Infrastructure Standard for DATA Centers,

Telecommunications Industry Association)

3. BICSI (Building Industry Consulting Service International standards)

ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติมาตรฐานการออกแบบและการก่อสร้างทั้ง 3 มาตรฐาน

ตารางที่ 2.4 แสดงมาตรฐาน Uptime Institute

1. Uptime institute: ดาต้าเซ็นเตอร์ Site Infrastructure Tier Standard: Topology	
จุดประสงค์	มาตรฐานบนพื้นฐานของผลลัพธ์
ประเภท	การแบ่งระดับมาตรฐานตามผลลัพธ์
ความเป็นกลาง	มี
มิติครอบคลุม	ศักยภาพสำรอง – วงจรจ่ายกาลังไฟฟ้า – พลังงาน – การจัดเก็บข้อมูล – การบริหารจัดการภาวะไฟฟ้าดับ (outage management) – การบำรุงรักษาโครงสร้าง – การทำความเย็น – เครื่องสำรองไฟฟ้า/เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ตารางที่ 2.5 แสดงมาตรฐาน TIA-942

2. ANSI/TIA-942-A (2012) Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers	
จุดประสงค์	มาตรฐานอุตสาหกรรมแบบเปิด
ประเภท	มาตรฐาน
ความเป็นกลาง	ไม่มี
มิติครอบคลุม	บทปกติ TIA-942-A (กฎเกณฑ์) – ภาพรวมของการออกแบบดาต้าเซ็นเตอร์ – โครงสร้างระบบสายสัญญาณดาต้าเซ็นเตอร์ – พื้นที่โทรคมนาคมดาต้าเซ็นเตอร์และรูปแบบการเชื่อมต่อที่เกี่ยวข้อง – ระบบสายสัญญาณดาต้าเซ็นเตอร์ – การเดินสายสัญญาณดาต้าเซ็นเตอร์ – ระบบสำรองดาต้าเซ็นเตอร์ • ภาคผนวก TIA-942-A (สาระ) – ข้อพิจารณาเพื่อออกแบบการเดินสายสัญญาณ – ข้อมูลสาหรับผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต – การประสานงานแผนอุปกรณ์กับวิศวกรอื่นๆ – การพิจารณาพื้นที่ดาต้าเซ็นเตอร์ – การพิจารณาเลือกสถานที่ตั้งดาต้าเซ็นเตอร์และการออกแบบอาคาร – การแบ่งระดับโครงสร้างดาต้าเซ็นเตอร์ – ตัวอย่างงานออกแบบดาต้าเซ็นเตอร์

ตารางที่ 2.6 แสดงมาตรฐาน BICSI

3. ANSI/BICSI 002-2011 ดาต้าเซ็นเตอร์Design and Implementation Best Practices	
จุดประสงค์	มาตรฐานอุตสาหกรรมแบบเปิด
ประเภท	มาตรฐาน
ความเป็นกลาง	มี
มิติครอบคลุม	บทปกติ BICSI 002 – การวางแผนการใช้พื้นที่ – การเลือกสถานที่ตั้ง – สถาปัตยกรรม – โครงสร้าง – ระบบไฟฟ้า – เครื่องกล – การป้องกันอัคคีภัย • ภาคผนวก BICSI 002 – กระบวนการออกแบบ – ความน่าเชื่อถือและความพร้อมใช้งาน – ความปลอดภัย – ระบบอัตโนมัติภายในอาคาร – โทรคมนาคม – เทคโนโลยีสารสนเทศ – การเริ่มดำเนินงาน – การบำรุงรักษาดาต้าเซ็นเตอร์

การใช้พลังงานของดาต้าเซ็นเตอร์จะสามารถวัดได้โดยตรงและเป็นไปได้ว่ามีความเกี่ยวข้องกับผู้ใช้ระบบไอทีแต่พลังงานส่วนใหญ่ในดาต้าเซ็นเตอร์มักถูกใช้ไปในโหลดอื่นๆ มากกว่าใช้ไปกับเซิร์ฟเวอร์หรือบริภัณฑ์ด้านไอที

1. UPTIME INSTITUTE

หน่วยงาน UPTIME เป็นหน่วยงานที่ทำหน้าที่ประเมินระดับของดาต้าเซ็นเตอร์ ซึ่งเรียกระดับของดาต้าเซ็นเตอร์ว่า “Data Center Tiers” โดยแบ่งออกเป็น 4 ระดับ เริ่มตั้งแต่ระดับ Tier I ถึง Tier IV ทั้งนี้ในการประเมินสถาบัน Uptime ได้สร้างระบบการจำแนกระดับชั้นมาตรฐานเพื่อประเมินสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ ของดาต้าเซ็นเตอร์อย่างต่อเนื่องในแง่ของประสิทธิภาพของโครงสร้างพื้นฐานของดาต้าเซ็นเตอร์ พัฒนามาตรฐานนี้เพื่อประเมินโครงสร้างพื้นฐานของศูนย์ข้อมูลในแง่ความต้องการทางธุรกิจสำหรับความพร้อมใช้งานของระบบ โดยแบ่งระดับมาตรฐานโครงสร้างศูนย์ข้อมูลเป็น 4 Tier แต่ละ Tier สอดคล้องกับหน้าที่เฉพาะด้านในการดำเนินธุรกิจและกำหนดเกณฑ์การใช้พลังงาน การทำความเย็น การบำรุงรักษา และ ความสามารถในการต้านทานข้อผิดพลาดที่เหมาะสม Tier ทั้งหมดเป็นระบบก้าวหน้า ซึ่งแต่ละ Tier จะรวมข้อกำหนดของ Tier ในระดับต่ำกว่าเข้าไว้ด้วยกัน นอกจากนี้ ระบบ Tier เปิดกว้างต่อแนวทางที่หลากหลาย ทำให้มีความยืดหยุ่นที่จะตอบสนองทั้งเป้าหมายในเชิงประสิทธิภาพและการปฏิบัติตามกฎหมาย ระเบียบและข้อบังคับตามท้องถิ่น มาตรฐานของ Uptime Institute ให้ความสำคัญต่อประเด็นการใช้พลังงานและการทำความเย็น (Critical systems infrastructure) เป็นลำดับแรก และมุ่งเน้นการปฏิบัติงานของ

ศูนย์ข้อมูล (data center operations) เป็นลำดับรอง โดยมาตรฐานของ Uptime Institute มีข้อดีและข้อเสีย ดังนี้

ข้อดี

Uptime เป็นมาตรฐานด้านประสิทธิภาพที่เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายที่สุดในอุตสาหกรรมศูนย์ข้อมูลทั่วโลก โดยทั่วไป มาตรฐานข้อมูลภาครัฐมักนำเอาองค์ประกอบต่างๆ จากมาตรฐานของ Uptime Institute มาประยุกต์ใช้

ข้อเสีย

- องค์กรจะต้องมีแบบทบทวนแนวปฏิบัติโดยที่ปรึกษามืออาชีพ (professional consulting practice review) ของ Uptime Institute และได้รับการอนุมัติแผนศูนย์ข้อมูล หรือ มีที่ปรึกษาของ Uptime มาเยี่ยมสถานที่ เพื่อได้รับการจัดระดับ Tier ของ Uptime อย่างเป็นทางการ
- ข้อกำหนดของ Tier ไม่ได้ตอบสนองความต้องการด้านประสิทธิภาพพลังงานโดยตรง โดยระบุในทางอ้อมเป็นเพียงเป้าหมายพึงประสงค์ที่ดำเนินการต่อเนื่องสำหรับศูนย์ข้อมูลเท่านั้น
- มาตรฐานของ Uptime Institute ขาดการชี้แจงความแตกต่างระหว่างระดับ Tier ต่างๆ ที่ชัดเจน ในทางตรงกันข้าม มาตรฐานอื่นๆ เช่น TIA-942 มีรายละเอียดเฉพาะเจาะจงในทุกระดับ Tier และครอบคลุมองค์ประกอบมากมาย รวมถึง โทรคมนาคม สถาปัตยกรรม ไฟฟ้า เครื่องกล การติดตามผลและการปฏิบัติงาน ยกตัวอย่าง เช่น เอกสาร Uptime ไม่ได้กำหนดแนวทางสำหรับทางเดินของผู้ให้บริการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต (access provider entrance pathway) ขณะที่ TIA-942 กำหนดให้ศูนย์ข้อมูลระดับ Tier 2 ต้องมี 2 access provider entrance pathway อยู่ห่างกัน 20 เมตร หรือ 66 ฟุต เป็นอย่างต่ำ

ตารางที่ 2.7 ระดับและรายละเอียดของ Tier

Tier I (Basic) (N*): Data Center **ที่มีองค์ประกอบของงานระบบในระดับพื้นฐาน**
มีวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าและทำความเย็นชุดเดียว ไม่มีเครื่องสำรองต่อขนานในระบบ ความพร้อมใช้งาน 99.671% อ่อนไหวต่อการรบกวนระบบจากทั้งกิจกรรมที่อยู่ในและนอกเหนือแผน UPS หรือ generator เป็นระบบโมดูลเดียวที่มีจุดเดียวที่ทำให้ระบบล้มเหลว (single point of failure) อยู่หลายจุด การบำรุงรักษาและซ่อมแซมประจำปีส่งผลให้ต้องปิดระบบทั้งหมด เช่น - มี Capacity ระบบไฟฟ้า, ระบบปรับอากาศ เพียงพอที่จะรองรับ Data Center - ด้านจำนวนอุปกรณ์งานระบบไม่มีชุดสำรอง (Redundant) หรือมีอุปกรณ์เพียง N เดียว เช่น Data Center ต้องการใช้ไฟฟ้า 100 kW ก็จะมี UPS ขนาด 100 kW เพียง 1 ชุด เท่านั้น ไม่มีชุดสำรอง - ด้านการส่งจ่าย ระบบส่งไฟฟ้าหรือระบบส่งน้ำเย็นฯ (Distribution Path) มีเพียงชุดเดียว
Tier II (Redundant Components) (N+1): Data Center **ที่มีอุปกรณ์ชุดสำรองในระบบที่สำคัญ**
"ความต้องการบวก 1 (Need plus one)" มีวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าและทำความเย็นชุดเดียว มีเครื่องสำรองต่อขนานในระบบ อ่อนไหวต่อการรบกวนระบบต่ำกว่าเล็กน้อย ความพร้อมใช้งาน 99.749% ในการบำรุงรักษาวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าหลัก (critical power path) และส่วนอื่นๆ ของโครงสร้างศูนย์ข้อมูล ทำให้ต้องปิดระบบประมวลผล (processing shutdown) เช่น - ด้านจำนวนอุปกรณ์ ระบบที่มีชุดสำรอง (N+R) ได้แก่ Generator, UPS, IT cooling, UPS cooling R คือ Redundant เช่น N+1 แสดงว่า Redundant = 1 กรณี Data Center ต้องการ UPS 100 kW ก็สามารถเลือกใช้ได้เป็น 100kW+100kW หรือ 50kW+50kW+ 50kW ก็ได้ ขึ้นอยู่กับรายละเอียดการออกแบบ - ด้านการส่งจ่าย ยังคงมีเพียงชุดเดียวเหมือน Tier I
Tier III (Concurrently Maintainable) (N+1): Data Center **ที่ยังคงสามารถทำงานอยู่ได้ ในขณะที่มีการจัดการซ่อมบำรุงหรือเปลี่ยนทดแทนในส่วนที่ต้องการ**
มีวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าและทำความเย็น 2 ชุด แต่มีเพียงชุดเดียวที่พร้อมทำงาน (active) สามารถรองรับกิจกรรมใดๆ ของศูนย์ข้อมูลที่อยู่ในแผนโดยไม่หยุดการทำงานของฮาร์ดแวร์คอมพิวเตอร์ มีเครื่องทำต่อขนานในระบบที่สามารถให้บริการได้ในขณะที่มีการซ่อมทำหรือการเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ในระบบ (concurrently maintainable) ด้วยความพร้อมใช้งาน 99.982% ศูนย์ข้อมูลระดับ Tier III มักถูกออกแบบเพื่อปรับระดับขึ้นเป็น Tier IV เมื่อค่าใช้จ่ายมีความเหมาะสม - ด้านจำนวนอุปกรณ์ ระบบที่มีชุดสำรอง (N+R) ได้แก่ Generator, UPS, IT cooling, UPS cooling - ด้านการส่งจ่าย ระบบส่งจ่ายมีเส้นทางสำรองที่ไม่ขึ้นต่อกัน (Independent Distribution Paths) ซึ่งอาจสำรองในสถานะ Inactive ก็ได้ - Engine generator ต้องเป็นแบบ Continuous Rating - สามารถวางแผนเพื่อทำการซ่อมบำรุงหรือเปลี่ยนทดแทนอุปกรณ์ต่างๆ และระบบส่งจ่ายทุกๆ ส่วนได้ โดยไม่ต้องหยุด Data Center - ยังคงมีจุดอ่อนที่ยังสามารถทำให้ Data Center หยุดการทำงานได้ ที่เรียกว่า Single Point-of-Failure

ตารางที่ 2.7 (ต่อ)

Tier IV (Fault Tolerant) 2(N+1): Data Center ที่ยังคงสามารถทำงานอยู่ได้ เมื่อมีปัญหาจากความผิดพลาดเกิดขึ้น
- อุปกรณ์แต่ละชุด ทุกๆ ส่วนในระบบและเส้นทางส่งจ่าย ถึงแม้ว่าจะเกิดความบกพร่อง ความผิดพลาด ต่างๆ จากเหตุการณ์ที่วางแผนไว้หรือไม่ก็ตาม ระบบก็ยังคงสามารถทำงานได้โดยไม่กระทบต่อ Data Center หรือที่เรียกว่า Fault Tolerant - ไม่มี Single Point-of-Failure

หมายเหตุ

Uptime Institute นิยาม "N" คือ "ความต้องการ (Need)" และ "S" คือ "ระบบ (System)"

2. TIA-942 (Telecommunications Industry Association)

มาตรฐานนี้เป็นมาตรฐานที่กำหนดแนวทางการออกแบบและความต้องการด้านโครงสร้างพื้นฐานของดาต้าเซ็นเตอร์ โดยสามารถนำไปอ้างอิงและออกแบบดาต้าเซ็นเตอร์ โดยมีการครอบคลุมถึงหัวข้อต่างๆ ได้แก่ Site space and layout, Cabling infrastructure, Tired reliability และ Environmental considerations ซึ่งครอบคลุมความต้องการในการออกแบบ ดาต้าเซ็นเตอร์ตั้งแต่เริ่มต้น TIA ร่วมกับ American National Standards Institute (ANSI) ระบุข้อกำหนดทางเทคนิคในการออกแบบหรือก่อสร้างศูนย์ข้อมูล มาตรฐาน TIA มุ่งเน้นเรื่องการเดินสายสัญญาณ และการวางแผนการใช้พื้นที่ศูนย์ข้อมูล เป็นลำดับแรก โดยให้ความสำคัญต่อโครงสร้างระบบศูนย์ข้อมูลเป็นสำคัญ สถาปัตยกรรม และการเลือกสถานที่ตั้ง เป็นลำดับรองลงมา นอกเหนือจากการเดินสายสัญญาณรายละเอียดอื่นที่สำคัญในการแบ่งระดับมาตรฐานแบบ Tier ของ TIA มีการกำหนดขอบเขตอย่างเฉพาะเจาะจงมาก ครอบคลุมการก่อสร้างในเชิงกายภาพ พลังงานไฟฟ้า การทำความเย็น การติดตาม การรักษาความปลอดภัย ระบบสำรอง การดูแลรักษา และการเริ่มดำเนินงาน เพื่อตอบสนองความต้องการในการปฏิบัติงาน บรรลุเป้าหมายด้านไอที

ข้อดี

- การแบ่งระดับ Tier และข้อกำหนดผู้ตรวจสอบสำหรับองค์ประกอบสำรองและความพร้อมใช้งานในแต่ละระดับมีความเฉพาะเจาะจงและลึกในรายละเอียด
- มาตรฐาน TIA-942 มีการออกใบรับรองโดยหน่วยงานอย่างเป็นทางการ คือ Telecommunications Industry Association (TIA) ซึ่งแตกต่างจากกรณีของ Uptime Institute

ข้อเสีย

- ข้อกำหนด Tier ไม่ได้ตอบสนองความต้องการด้านประสิทธิภาพพลังงานในศูนย์ข้อมูลโดยตรง โดยระบุในทางอ้อมเป็นเพียงเป้าหมายพึงประสงค์ที่ดำเนินการต่อเนื่องสำหรับศูนย์ข้อมูลเท่านั้น
- ครอบคลุมขอบเขตของมาตรฐานในกรอบที่แคบกว่า เมื่อเทียบกับ BICSI เช่น ขณะที่ BICSI พูดถึงเครื่องกลไฟฟ้า สถานที่ตั้งและความปลอดภัย แต่มาตรฐาน TIA ไม่ครอบคลุมมิติเหล่านี้เลย

3. **BICSI** (Building Industry Consulting Service International standards)

ได้กำหนดแนวปฏิบัติที่ดีเพื่อใช้ในการออกแบบดาต้าเซ็นเตอร์ โดยนำมาตรฐานที่มีใช้อย่างแพร่หลายอยู่แล้ว เช่น มาตรฐานจาก American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) เป็นเอกสารอ้างอิง และได้ขยายขอบเขตให้ครอบคลุม ระบบเครื่องกลไฟฟ้า และโทรคมนาคม ระบบความร้อน การวางผัง และความปลอดภัยในดาต้าเซ็นเตอร์ และยังเจาะลึกลงไปในรายละเอียดมากกว่า TIA-942 อีกด้วย

กำหนดแนวปฏิบัติที่ดีเพื่อใช้ในการออกแบบและดำเนินงานศูนย์ข้อมูล โดยอาศัยมาตรฐานที่มีใช้อย่างแพร่หลายอยู่แล้วในองค์กรภายนอก เช่น มาตรฐานจาก American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) มาตรฐานนี้มีความเฉพาะเจาะจงในรายละเอียดกว่า Uptime และมีความคล้ายคลึงกับ TIA-942 ส่วนที่แตกต่างจากมาตรฐาน Uptime และ TIA คือ มาตรฐาน BICSI ไม่มีระบบแบ่งระดับมาตรฐานแบบ Tier แต่กำหนดความพร้อมใช้งานสำหรับระบบไฟฟ้าของศูนย์ข้อมูลเป็น 5 ระดับชั้น คือ F0 – F5 F0 คือศูนย์ข้อมูลที่มีวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าชุดเดียว โดยไม่มี UPS ทั้งนี้ F1 – F5 ลอกเลียนโครงสร้าง Tier ที่พบเห็นใน Uptime และ TIA ในส่วนของ BICSI ได้ขยายขอบเขตให้ครอบคลุม ระบบเครื่องกล ไฟฟ้า และโทรคมนาคม ระบบความร้อน การวางผัง และความปลอดภัยในศูนย์ การวางแผนใช้พื้นที่ (space planning) การเลือกสถานที่ตั้ง การป้องกันอัคคีภัย ตลอดจน กระบวนการออกแบบเรื่องความน่าเชื่อถือและความพร้อมใช้งาน

ตารางที่ 2.8 แสดงความแตกต่างระหว่างสถาบันต่าง ๆ ในการก่อสร้าง Data Center

รายการ	Uptime	TIA-942	BICSI
ขอบเขตที่พิจารณา	ไฟฟ้าและเครื่องกล	ไฟฟ้า เครื่องกล สถาปัตยกรรม และการสื่อสารโทรคมนาคม	ไฟฟ้า เครื่องกล สถาปัตยกรรม และการสื่อสารโทรคมนาคม
เนื้อหา	ความต้องการและแนวทางปฏิบัติ	ความต้องการและแนวทางปฏิบัติ	ความต้องการ แนวทางปฏิบัติ และวิธีการติดตั้ง
ความเป็นกลาง	องค์กรเดียว	เป็นมาตรฐาน	เป็นมาตรฐาน
การแบ่งลำดับชั้น	Tier1 – Tier4	Rate1- Rate4	Class F0 - Class F5
การขอใบรับรอง	มี, เสียค่าใช้จ่าย	ไม่มี	ไม่มี

ตารางที่ 2.9 การใช้ประโยชน์โดยหน่วยงานภาครัฐ

มาตรฐาน	การใช้ประโยชน์โดยหน่วยงานภาครัฐ	ความคิดเห็น
Uptime Institute	75%	มาตรฐานที่มุ่งเน้นผลลัพธ์ โดยใช้โครงสร้าง Tier เป็นแนวทาง
TIA-942	50%	ข้อกำหนดที่ละเอียดของ TIA-942 จากการนำมาตรฐานไปประยุกต์ใช้อย่างตรงไปตรงมา
BICSI	25%	แนวทางของ Uptime และ TIA มีการประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายมากกว่า BICSI ในด้านข้อกำหนดของการออกแบบศูนย์ข้อมูลภาครัฐ

การให้บริการศูนย์ข้อมูลภาครัฐ

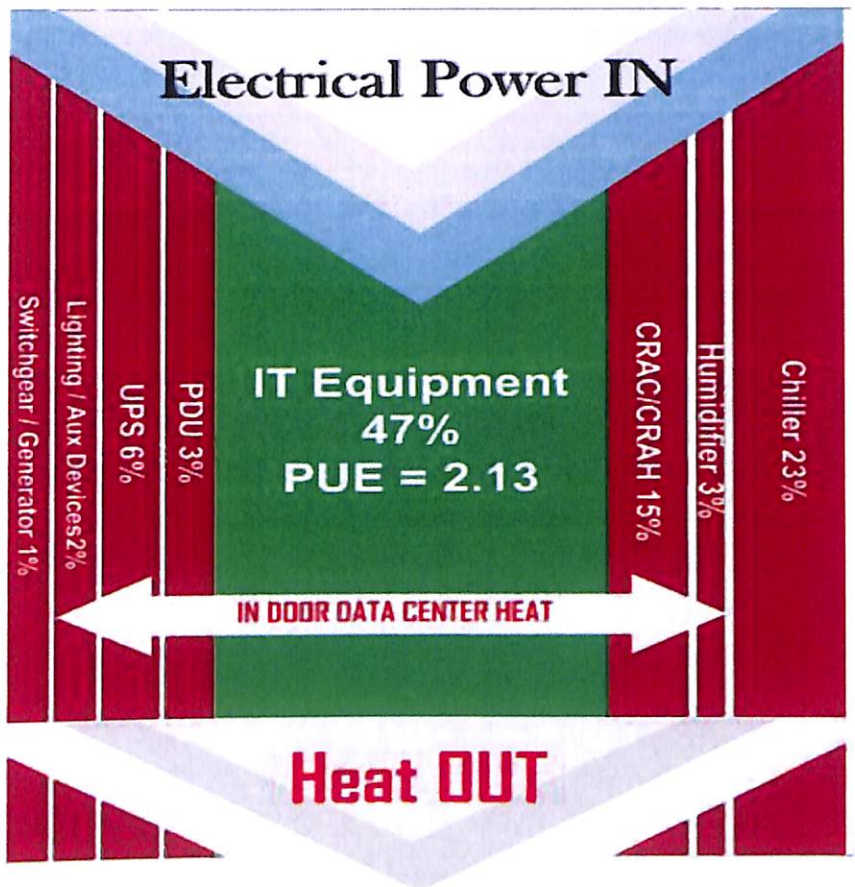
ข้อตกลงระดับการให้บริการ (Service Level Agreement หรือ SLA) คือเอกสารทางกฎหมายที่ครอบคลุมมิติด้านประสิทธิภาพของการให้บริการ ระบุถึงประสิทธิภาพทางเทคนิคที่ผู้ให้บริการศูนย์ข้อมูลได้ให้คำมั่นสัญญาไว้ โดยศูนย์ข้อมูลจะต้องมีความพร้อมใช้งาน (Availability) ที่กำหนดระดับชั้นความพร้อมใช้งาน (Availability Tier) ของศูนย์ข้อมูลและ Availability Tier เหล่านี้อ้างอิงข้อมูลจาก Uptime Institute โดยแต่ละ Tier มีการกำหนดระดับความพร้อมใช้งาน ของเครื่องสำรองต่อขนาน และเวลาหยุดทำงานต่อปี ดังนี้

ตารางที่ 2.10 ระดับชั้นความพร้อมใช้งาน (Availability Tier)

ระดับของ Tier	ความพร้อมใช้งาน (Availability)	เครื่องสำรองต่อขนาน (Redundancies)	เวลาหยุดทำงานต่อปี (Annual downtime)
Tier 1	99.671 %	ไม่มี	28.8 ชั่วโมง
Tier 2	99.741 %	มีวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าและทำความเย็นชุดเดียว รวมถึงมีเครื่องสำรองต่อขนานในระบบ (N+1)	22.0 ชั่วโมง
Tier 3	99.982 %	มีวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าและทำความเย็นหลายชุด แต่มีเพียงวงจรเดียวที่พร้อมทำงาน รวมถึงมีเครื่องสำรองต่อขนานในระบบ (N+2)	1.6 ชั่วโมง
Tier 4	99.995 %	มีวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าและทำความเย็นที่พร้อมทำงานหลายชุด รวมถึงมีเครื่องสำรองต่อขนานในระบบ (2 (N+1)) เช่น มี UPS 2 หน่วยสาหรับแต่ละเครื่องสำรองต่อขนาน N+1	0.4 ชั่วโมง

2.4 การวัดประสิทธิภาพของดาต้าเซ็นเตอร์

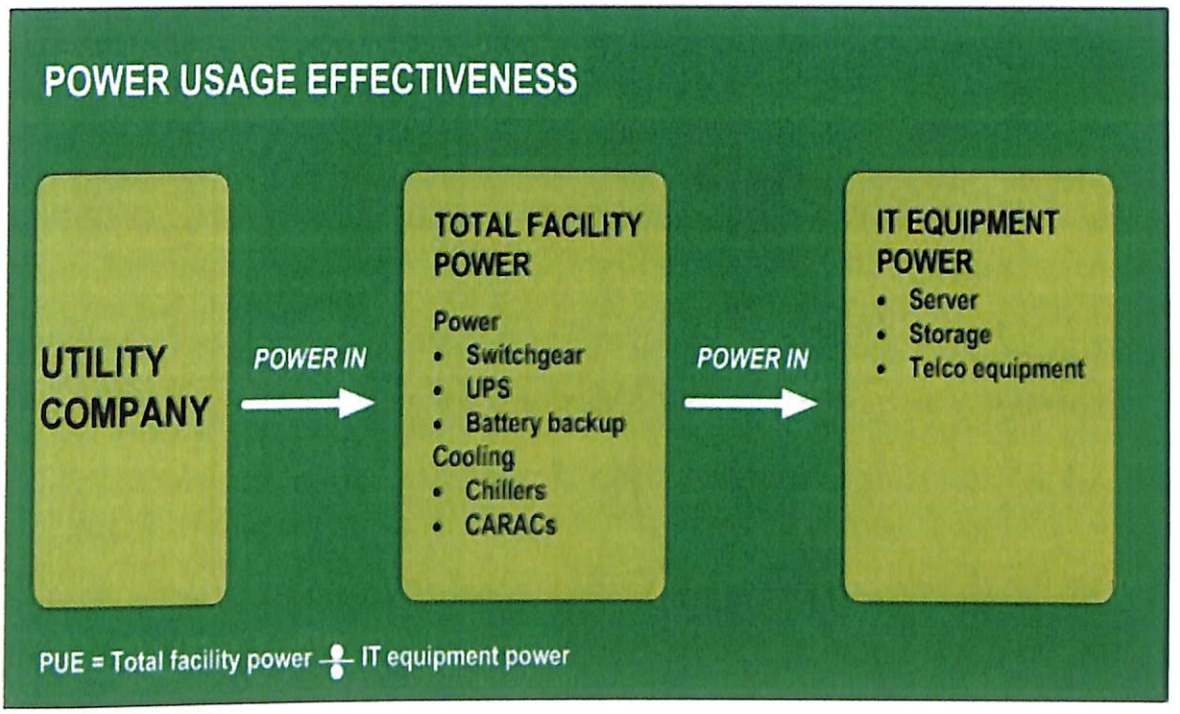
การประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานในดาต้าเซ็นเตอร์มีการกำหนดแนวทางในการวัดประสิทธิผลของการใช้พลังงานจาก Uptime Institute โดยกำหนดเป็นหน่วย PUE (Power Usage Effectiveness) ซึ่งหมายถึง จำนวนกำลัง (Power) ที่ใส่เข้าไปในดาต้าเซ็นเตอร์หารด้วยกำลังที่ใช้โดยเครื่องคอมพิวเตอร์และบริภัณฑ์ด้านไอทีต่างๆ ในดาต้าเซ็นเตอร์โดยค่า PUE ที่ยิ่งน้อยและมีค่าเข้าใกล้ 1 จะแสดงถึงการใช้พลังงานที่มีประสิทธิผลดียิ่งขึ้น ดังนั้นค่า PUE ในอุดมคติจึงมีค่าเท่ากับ 1.0 และ Green Grid ได้นิยามคำว่า DCiE (Data Center Infrastructure Effectiveness) เป็นส่วนกลับของค่า PUE โดยระบุค่าเป็นร้อยละ หากค่า DCiE มากขึ้นจะแสดงว่าประสิทธิผลของการใช้พลังงานดีขึ้น ดังนั้นค่า DCiE ในอุดมคติจึงมีค่าเท่ากับ 100% โดยทั่วไปดาต้าเซ็นเตอร์จะมีค่า PUE เฉลี่ยที่ 2.5 kWh หมายถึงพลังงานทุกๆ 2.5 kWh ที่ป้อนให้ดาต้าเซ็นเตอร์จะใช้เพียง 1 kWh ส่วนที่เหลือจะหมดไปกับระบบโครงสร้างพื้นฐานของดาต้าเซ็นเตอร์ได้แก่ ระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง รวมถึงความสูญเสียในระบบไฟฟ้าและอื่นๆ ด้วย



ภาพประกอบที่ 2.3 ตัวอย่างการไหลของพลังงานในดาต้าเซ็นเตอร์

การหาค่า PUE (Power Usage Effectiveness) ซึ่งเป็นการวัดประสิทธิผลการใช้ไฟฟ้าโดยตรงของดาตาเซ็นเตอร์ โดยคิดเป็นกำลังไฟฟ้าทั้งหมดหารด้วยกำลังไฟฟ้าที่ใช้โดยอุปกรณ์ ICT

$$PUE = \frac{Total\ facility\ power}{IT\ equipment\ power}$$

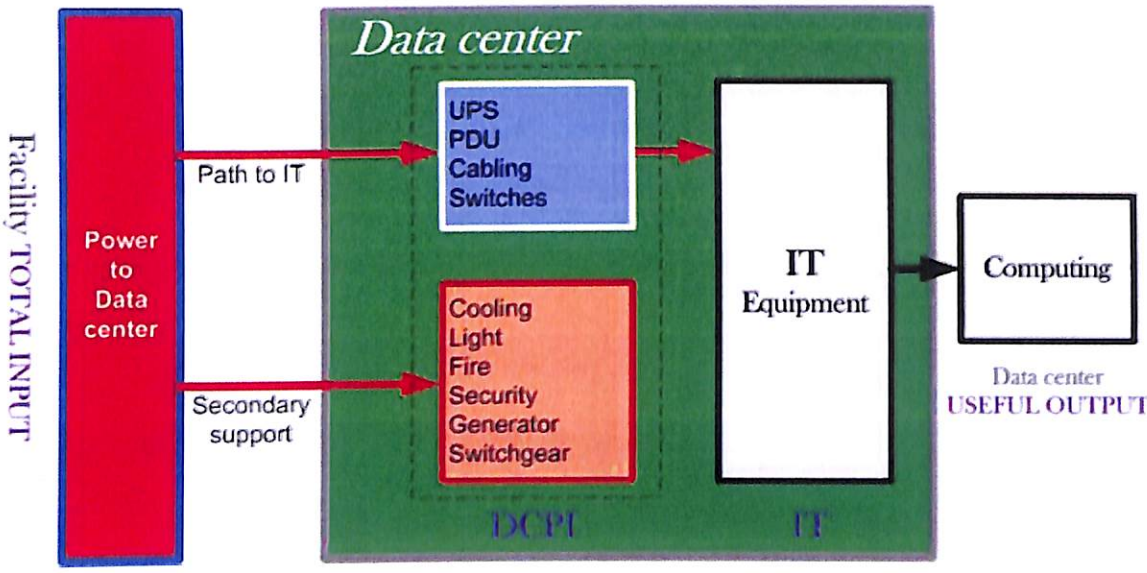


Source: The Green Grid

ภาพประกอบที่ 2.4 สูตรการหาค่า PUE (Power Usage Effectiveness)

ปัจจุบันมีดาตาเซนเตอร์บางแห่งที่ใช้การวัดเป็น “ประสิทธิภาพโครงสร้างพื้นฐานของดาต้าเซนเตอร์” (Data center infrastructure efficiency – DCiE) ซึ่งเป็นส่วนกลับของ PUE ตามสูตร

$$DCiE = \frac{1}{PUE} = \frac{ITE\ power}{Total\ facility\ power} \times 100\%$$



ภาพประกอบที่ 2.5 รายละเอียดของการใช้พลังงานในรูปแบบประสิทธิภาพของดาต้าเซ็นเตอร์