

การปรับอากาศด้วยระบบลด-เพิ่มความชื้นในอากาศแบบวงจรเปิด

Dehumidification-Humidification Open Cycle Air Conditioning System

สมนึก บุญพาไสว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

บทคัดย่อ

การปรับอากาศด้วยระบบลด-เพิ่มความชื้นในอากาศแบบวงจรเปิด เป็นระบบทำความเย็นที่อาศัยการระเหยน้ำสู่อากาศ จุดเด่นของระบบนี้อยู่ที่พลังงานส่วนใหญ่ใช้สำหรับไล่ความชื้นออกจากสารดูดความชื้น (ความร้อนแฝง) ซึ่งเป็นพลังงานอุณหภูมิต่ำ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานความร้อนเหลือทิ้ง เป็นแหล่งพลังงานที่สามารถใช้ได้กับระบบนี้ นอกจากนี้ของไหลทำงานคือน้ำและอากาศซึ่งไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม

ในบทความนี้ได้นำเสนอความก้าวหน้าในการศึกษาวิจัยการปรับอากาศระบบลด-เพิ่มความชื้นในอากาศแบบวงจรเปิด การทำงานของระบบนี้อาจแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ ลดความชื้นในอากาศด้วยสารลดความชื้น ถ่ายโอนความร้อนที่เกิดขึ้นจากการลดความชื้น และเพิ่มความชื้นให้อากาศแบบ adiabatic เพื่อให้อุณหภูมิลดลง การวิจัยส่วนใหญ่จะเป็นการปรับปรุงระบบให้มีค่า COP สูงขึ้น การพัฒนาสารดูดความชื้นให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และอายุการใช้งานยาวนาน

Abstract

Dehumidification-humidification open cycle air conditioning system employs an evaporative cooling process. The main advantage of this system is the capability of using low grade thermal energy, solar energy, and waste heat to regenerate the desiccant. Only air and water are required as working fluids. There is no effect on the environment.

The paper presents the progress of the study and research on dehumidification-humidification open cycle air conditioning system. This system can be performed in 3 steps, dehumidifying the air, removing heat caused by dehumidification, and rehumidifying the air by adiabatic process to decrease temperature. The studies and researches focus on developing system to have high COP, and developing high performance and longer lasting of the desiccant.

ในประเทศที่มีอากาศร้อนชื้นเช่นประเทศไทยการปรับอากาศกลายเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับอาคารและที่พักอาศัย เช่นอาคารสำนักงาน โรงแรม ธนาคาร ฯลฯ การปรับอากาศไม่เพียงแต่เพื่อความสบายของมนุษย์เท่านั้น แต่ยังเพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของมนุษย์อีกด้วย ในอาคารใหญ่ ๆ ดังกล่าวพลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ใช้กับระบบปรับอากาศ

มีหลายวิธีที่จะเปลี่ยนอุณหภูมิและความชื้นของกระแอากาศเพื่อการปรับอากาศ วิธีหนึ่งก็คือการใช้อุปกรณ์ดูดความชื้นเพื่อลดความชื้นของกระแอากาศ สารดูดความชื้นอาจเป็นของแข็งหรือของเหลวก็ได้ สมรรถนะของการดูดความชื้นขึ้นอยู่กับสารดูดความชื้นที่ใช้ และวิธีการนำสารดูดความชื้นมาใช้ใหม่ การทำงานของสารดูดความชื้นจะเป็น 1 ใน 2 ทางต่อไปนี้

1. การดูดซับ (adsorption) เป็นการดูดซับน้ำที่ผิวของสารดูดความชื้น
2. การดูดซึม (absorption) เป็นการรวมตัวทางเคมีของสารดูดความชื้นกับน้ำ

ในแต่ละวิธีกระบวนการต้องย้อนกลับได้เพื่อจะสามารถใช้ปริมาณสารดูดความชื้นที่แน่นอน

วัสดุทุกชนิดมีความสามารถในการดูดซับและจับไอน้ำ แต่สารดูดความชื้นที่มีในทางการค้ามีความสามารถพิเศษในการจับน้ำ สารดูดความชื้นในทางการค้าสามารถดูดซับน้ำไว้ได้อยู่ระหว่าง 10 - 1100 % ของน้ำหนักแห้งของสารดูดความชื้น[1] ขึ้นอยู่กับความชื้นที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อม สารดูดความชื้นจะดึงความชื้นจากอากาศรอบ ๆ จนถึงจุดสมดุล ความชื้นเหล่านี้สามารถเอาออกจากสารดูดความชื้นได้โดยการใช้ความร้อนระหว่าง 50 - 260 °C และสิ่งไว้ให้ไอน้ำความชื้นออก เมื่อสารดูดความชื้นถูกทำให้เย็นแล้วก็จะสามารถดูดซับความชื้นได้อีก การถ่ายโอนความชื้นเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างความดันไอน้ำที่ผิวของสารดูดความชื้น กับความดันไอน้ำของอากาศที่อยู่รอบ ๆ เมื่อความดันไอน้ำที่ผิวของสารดูดความชื้นน้อยกว่าของอากาศ สารดูดความชื้นจะจับความชื้นไว้ และปล่อยออกมาเมื่อความดันไอน้ำที่ผิวของสารดูดความชื้นสูงกว่าของอากาศ ที่อยู่รอบ ๆ

การปรับอากาศที่ใช้ระบบการลด-เพิ่มความชื้นในอากาศแบบวงจรเปิด เป็นระบบปรับอากาศระบบหนึ่งที่กำลังมีการวิจัยและพัฒนา เนื่องจากมีข้อได้เปรียบที่สำคัญคือ ในการทำความเย็นต้องการแต่เพียงน้ำและอากาศเท่านั้นเป็นของไหลทำงาน (working fluid) ไม่ต้องใช้สาร CFC ดังนั้นไม่มีผลกระทบต่อชั้นโอโซน พลังงานที่ใช้สำหรับการรีเจนเนอเรตสารดูดความชื้นเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่สามารถใช้พลังงานที่อุณหภูมิต่ำซึ่งแหล่งความร้อนมีหลากหลาย เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ ความร้อนเหลือทิ้งจากโรงงาน แก๊สธรรมชาติ ทำให้ระบบมีศักยภาพสูงสำหรับการประหยัดพลังงานและลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ความต้องการพลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า 25% ของระบบทำความเย็นที่ใช้กันในปัจจุบัน คุณภาพของอากาศภายในห้องปรับอากาศที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบนี้จะดีกว่า เพราะอัตราการหมุนเวียนสูงกว่า และสารดูดความชื้นยังสามารถดึงมลภาวะทางอากาศเอาไว้ เช่น คาร์บอน ผุ่นละออง เชื้อโรค ระบบทำความเย็นแบบลด-เพิ่มความชื้นในอากาศทำงานที่ใกล้ความดันบรรยากาศ ดังนั้นการสร้างและการบำรุงรักษาจึงทำได้สะดวก

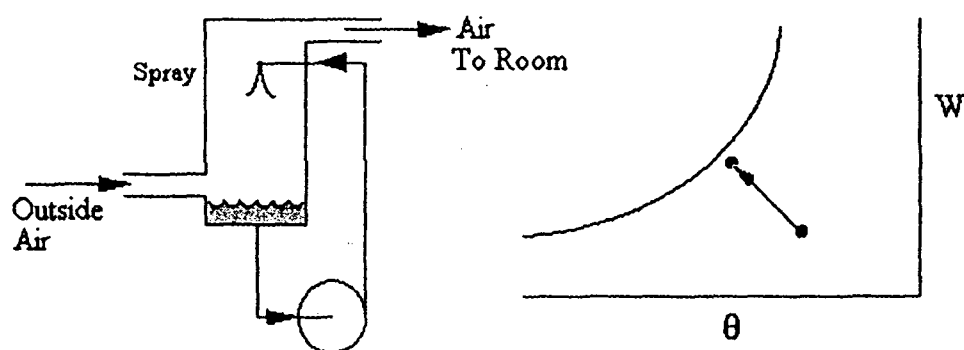
หลักการปรับอากาศด้วยระบบลด-เพิ่มความชื้นในอากาศแบบวงจรเปิด

การปรับอากาศเพื่อความสะดวกสบายมีจุดประสงค์ที่จะทำให้อากาศมีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์พอเหมาะ ธรรมชาติของความสบายอันหนึ่งคือ ธรรมชาติอุณหภูมิ-ความชื้น ซึ่งกำหนดเป็นสมการได้ดังนี้

$$i = \theta - 0.551(1-\phi)(\theta - 14.4)$$

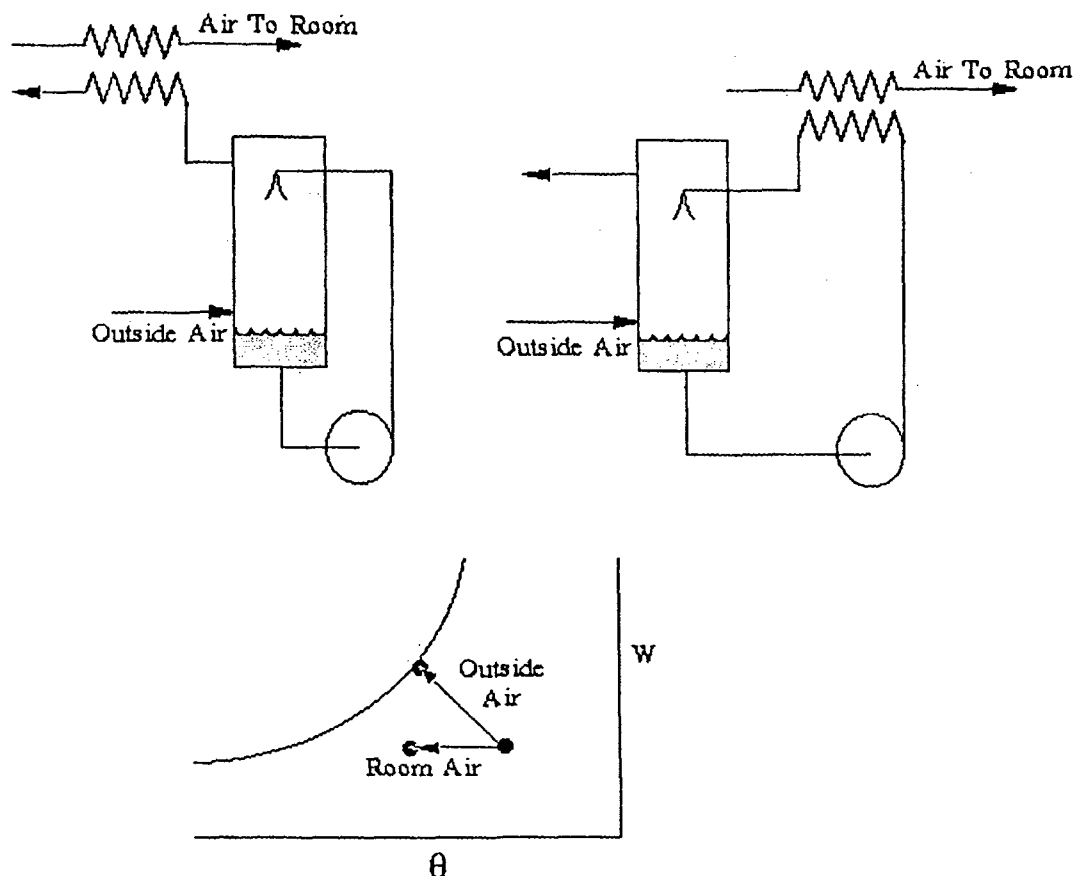
ขอบเขตของความสบายโดยมากมีธรรมชาติอุณหภูมิความชื้นระหว่าง 20 - 30 °C ซึ่งขึ้นอยู่กับความเห็นของแต่ละบุคคล ชนิดของเสื้อผ้าที่ใช้ การเคลื่อนไหวของอากาศ ค่าสภาวะอากาศที่ใช้กันทั่ว ๆ ไปในการปรับอากาศเพื่อความสบายจะมีอุณหภูมิประมาณ 25 - 27 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% - 55%

วิธีทำความเย็นที่ง่ายที่สุดในการปรับอากาศคือ การทำความเย็นโดยการระเหยน้ำโดยตรง ดังแสดงในรูปที่ 1 อากาศจะเข้าทางด้านล่างของห้อง(chamber) และไหลสวนทางกับระอองน้ำที่ฉีดลงมาจากด้านบน น้ำจะระเหยเข้าไปในอากาศ ทำให้อากาศที่ออกมาทางด้านบนมีความชื้นเพิ่มขึ้น และอุณหภูมิลดลง การทำความเย็นแบบนี้ใช้ได้กับบริเวณที่มีอากาศร้อนแห้งแล้ง สำหรับเขตอากาศร้อนชื้น ถ้าใช้การทำความเย็นแบบนี้จะทำให้อากาศที่ออกมาทางด้านบนมีความชื้นสูงมาก และผลในการทำความเย็นจะน้อยเพราะแรงขับ (driving force) สำหรับการระเหยมีน้อย



รูปที่ 1 การทำความเย็นโดยการระเหยน้ำโดยตรง

เพื่อหลีกเลี่ยงการเพิ่มความชื้นให้อากาศภายในห้องมากเกินไป อาจใช้การทำความเย็นแบบการระเหยน้ำโดยทางอ้อมดังแสดงในรูปที่ 2 อากาศจะถูกทำให้เย็นโดยการเพิ่มความชื้นเหมือนกับการทำความเย็นแบบระเหยน้ำโดยตรง อากาศเย็นหรือน้ำเย็นที่ได้จากการทำความเย็นโดยการระเหยน้ำโดยตรงนี้จะนำไปทำความเย็นให้กับอากาศภายนอกที่เข้าสู่ห้องโดยผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แต่สำหรับในเขตอากาศร้อนชื้น การใช้วิธีนี้มักทำให้อากาศภายในห้องยังคงมีธรรมชาติอุณหภูมิความชื้นสูงเกินไป ดังนั้นสำหรับเขตร้อนชื้นจึงต้องมีระบบลดความชื้นในอากาศด้วยเพื่อให้ได้สภาวะอากาศที่ต้องการ



รูปที่ 2 การทำความเย็นแบบระเหยน้ำโดยทางอ้อม

การปรับอากาศด้วยระบบการลด - เพิ่มความชื้นในอากาศแบบวงจรเปิดเป็นระบบทำความเย็นที่อาศัยความร้อนแฝงของการระเหยน้ำสู่อากาศ หลักพื้นฐานในการทำความเย็นแบบนี้ใช้หลักการปรับสภาพอากาศอย่างง่าย 2 ระบบรวมกันคือ

1. การลดความชื้น
2. การเพิ่มความชื้น

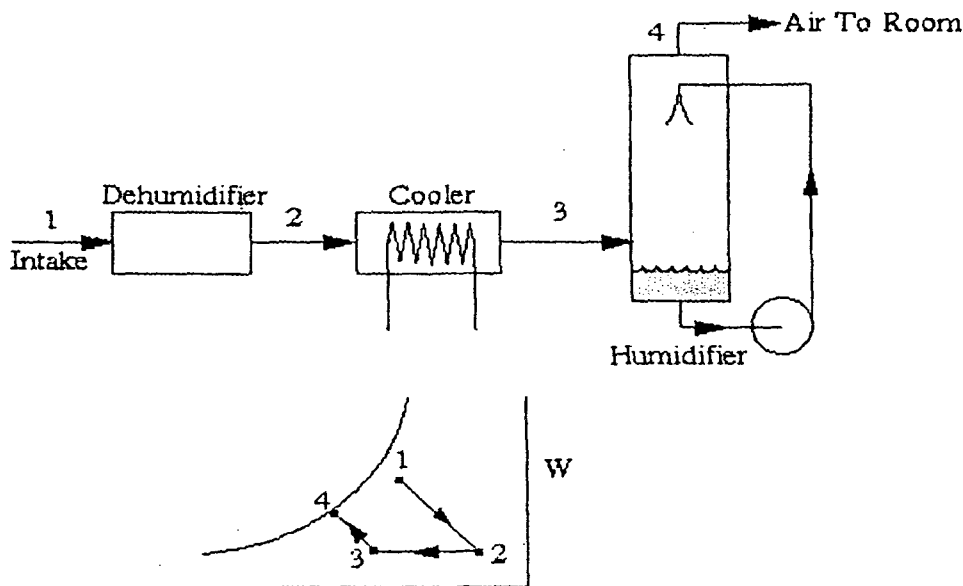
การลดความชื้นในอากาศสามารถทำได้ 2 วิธี วิธีที่ 1 เป็นการทำให้อากาศชื้นเย็นลงจนมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิไอน้ำอิ่มตัว ไอน้ำในอากาศจะควบแน่นเป็นหยดน้ำ อัตราส่วนความชื้นในอากาศจะลดลง วิธีที่ 2 เป็นการลดความชื้นในอากาศด้วยสารดูดความชื้น (desiccant) เพื่อให้อากาศชื้นเป็นอากาศแห้ง กระบวนการนี้เหมือนกับกระบวนการดูดซึม สำหรับการเพิ่มความชื้นมีวิธีการเหมือนกับการทำความเย็นโดยการระเหยน้ำโดยตรงแบบ adiabatic

การปรับอากาศแบบลด-เพิ่มความชื้นอาจแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. ลดความชื้นของอากาศ อากาศจากภายนอกจะผ่านเข้าไปในหน่วยลดความชื้นโดยไหลผ่านสารดูดความชื้นจนกลายเป็นอากาศแห้ง
2. การถ่ายโอนความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการลดความชื้น การลดความชื้นในอากาศคือการทำให้ไอน้ำในอากาศเป็นของเหลว ซึ่งในการควบแน่นของไอน้ำ ความร้อนแฝงของการกลาย

เป็นไอจะคายออกมา ทำให้อุณหภูมิจากอากาศแห้งและสารดูดความชื้นสูงขึ้น ดังนั้นจึงต้องถ่ายโอนความร้อนออกเพื่อให้การลดอุณหภูมิในขั้นตอนต่อไปได้ผลดียิ่งขึ้น

3. เพิ่มความชื้นแบบ adiabatic เพื่อให้อุณหภูมิลดลง อากาศแห้งที่ผ่านการถ่ายโอนความร้อนแล้วจะผ่านเข้าไปในหน่วยเพิ่มความชื้น โดยไหลสวนทางกับน้ำที่ถูกกระจายลงมาในอัตราที่สามารถทำให้อากาศออกมีอุณหภูมิต่ำลงมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

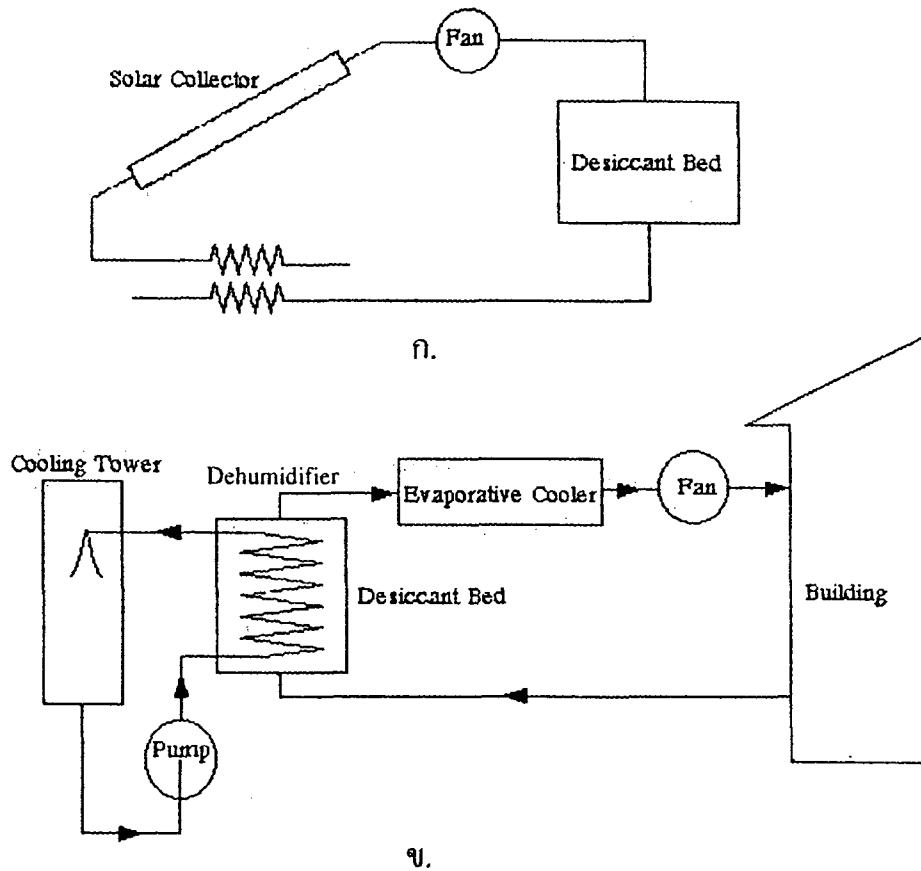


รูปที่ 3 การทำความเย็นแบบลด-เพิ่มความชื้นอย่างง่าย

การปรับอากาศด้วยระบบการลด-เพิ่มความชื้นในอากาศแบบวงจรเปิด สามารถแยกวิธีการปรับอากาศระบบนี้ตามการใช้สารดูดความชื้นออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ระบบสารดูดความชื้นที่เป็นของแข็ง และระบบสารดูดความชื้นที่เป็นของเหลว

ระบบสารดูดความชื้นที่เป็นของแข็งวงจรเปิด

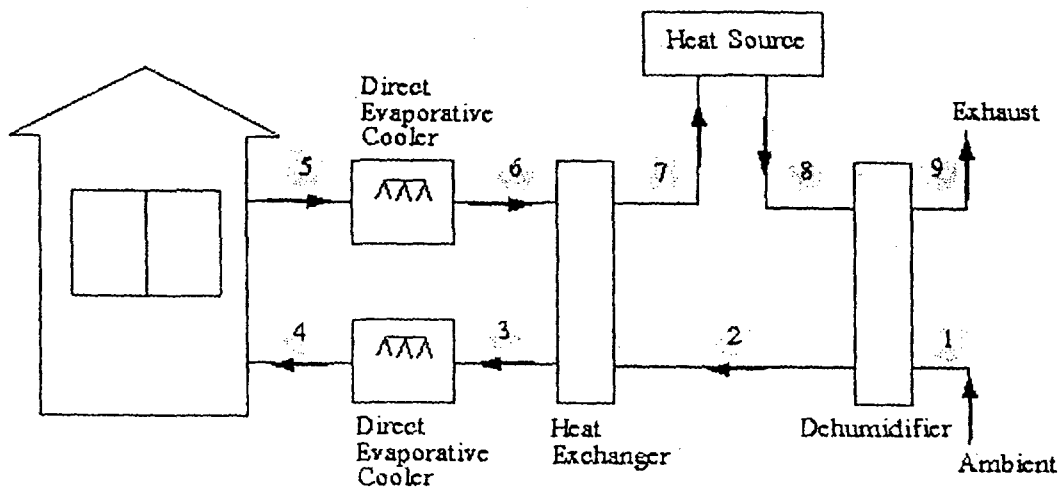
สารดูดความชื้นที่เป็นของแข็งซึ่งใช้ในการปรับอากาศ เช่น ซิลิกาเจล อลูมินาเจล แอทโมสเฟียร์ molecular sieve หรือ hygroscopic salts ปกติแล้วสารดูดความชื้นเหล่านี้จะสามารถลดความชื้นได้ดีกว่าสารดูดความชื้นที่เป็นของเหลว [7] ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้นักวิจัยจำนวนมากสนใจสารดูดความชื้นที่เป็นของแข็ง Close และ Dunkle [3] ได้ออกแบบการปรับอากาศระบบลด-เพิ่มความชื้นในอากาศแบบวงจรเปิดโดยใช้สารดูดความชื้นที่เป็นของแข็ง ดังแสดงในรูปที่ 4 คอลัมน์ดูดความชื้น 2 คอลัมน์ ทำด้วยซิลิกาเจล ในขณะที่คอลัมน์หนึ่งถูกทำให้แห้งด้วยอากาศร้อนซึ่งได้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ (รูปที่ 4 ก.) ซิลิกาเจลในอีกคอลัมน์หนึ่งจะใช้ดูดความชื้นจากอากาศที่จะนำไปผ่าน evaporative cooler (รูปที่ 4 ข.) เงื่อนไขที่ตั้งไว้มีดังนี้ : อากาศภายนอกมีอุณหภูมิ 35°C และอัตราส่วนความชื้น 0.0228 อุณหภูมิภายในอาคาร 25°C อัตราการไหลของอากาศภายในอาคาร 0.85 kg/s อุณหภูมิของอากาศที่เข้าภายในตัวอาคาร 6°C โดยสมมติให้ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน evaporative cooler และ dehumidifier



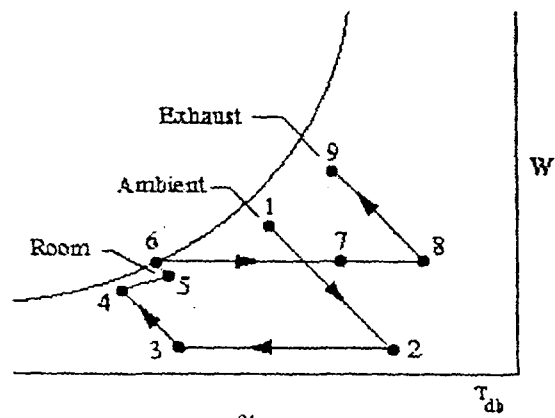
รูปที่ 4 การทำความเย็นแบบลด-เพิ่มความชื้นโดยสารดูดความชื้นที่เป็นของแข็ง

เป็น 0.8 ได้อัตราส่วนความชื้นของอากาศที่เข้าไปในอาคารเท่ากับ 0.0094 และอุณหภูมิของอากาศร้อนจาก solar collector เท่ากับ 92°C คอลัมน์ดูดความชื้นแต่ละคอลัมน์มีปริมาตร 0.63 m^3 บรรจุซิลิกาเจล 1000 kg จากเงื่อนไขที่ตั้งไว้ข้างต้นระบบปรับอากาศของ Close และ Dunkle สามารถปรับอากาศได้เท่ากับเครื่องปรับอากาศขนาด 1.6 ตันความเย็น

ในปี 1955 Pennington ได้จดลิขสิทธิ์วัฏจักรทำความเย็นด้วยสารลดความชื้น วัฏจักรทำความเย็นของ Pennington มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 5 ระบบนี้จะนำอากาศจากภายนอกเข้าไปยังหน่วยลดความชื้นซึ่งเป็นล้อดูดความชื้นที่หมุนได้ เมื่อความชื้นถูกดูดซับอุณหภูมิของสารดูดความชื้นและอากาศจะสูงขึ้น เพราะมีการปล่อยพลังงานในระหว่างกระบวนการดูดซับ จากนั้นอากาศจะถูกทำให้เย็นลงโดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และทำให้เย็นลงอีกโดยการระเหยน้ำแล้วส่งเข้าไปยังห้องที่ต้องการปรับอากาศ อากาศที่กลับออกมาจากห้องปรับอากาศจะถูกทำให้เย็นลงอีกโดยการระเหยน้ำ และผ่านไปยังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน รับความร้อนที่เกิดจากการดูดซับจากอากาศที่ป้อนเข้ามา ต่อจากนั้นจะถูกทำให้ร้อนขึ้นด้วยพลังงานความร้อนระดับต่ำ อากาศร้อนจะใช้สำหรับรีเจนเนอเรตสารดูดความชื้น สำหรับระบบนี้คาดหวังว่า COP จะมีค่าประมาณ 0.8 -1.0

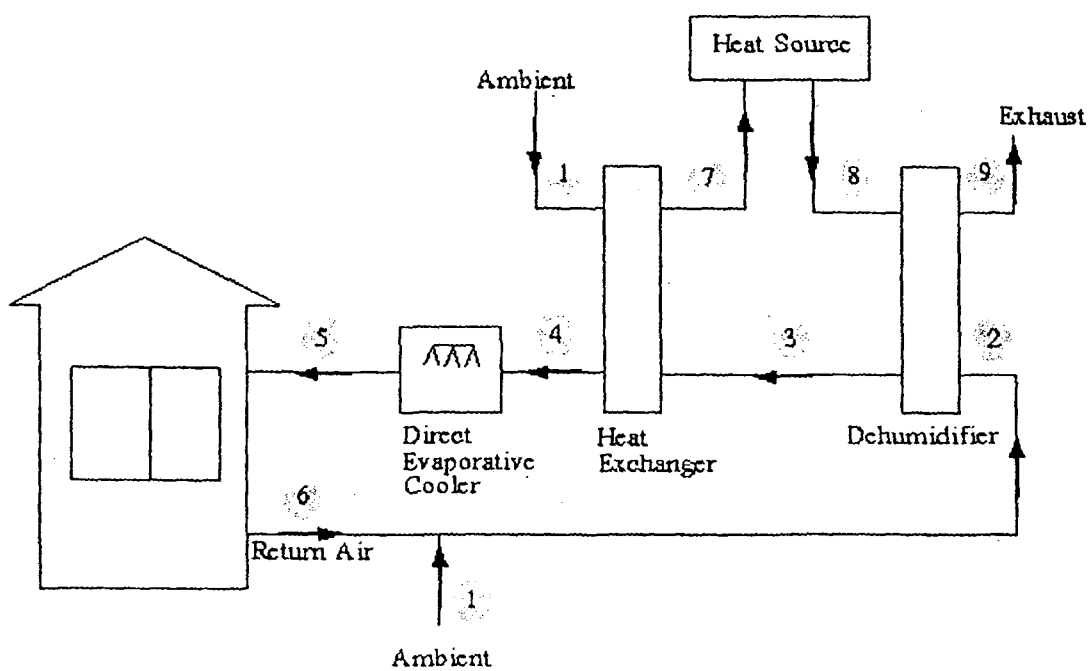


ก.

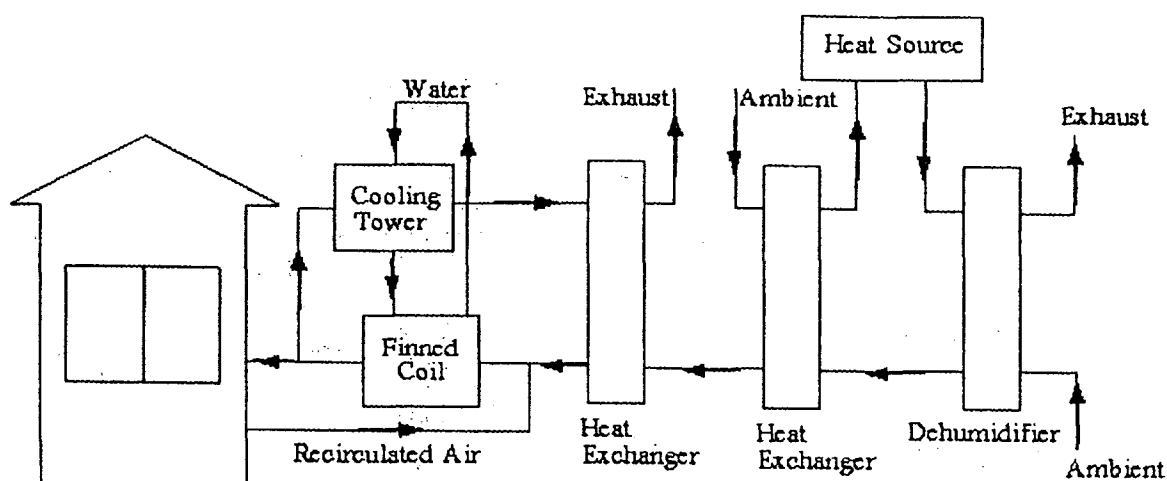


ข.

รูปที่ 5 วัฏจักรทำความเย็นของ Pennington



รูปที่ 6 Recirculation cycle

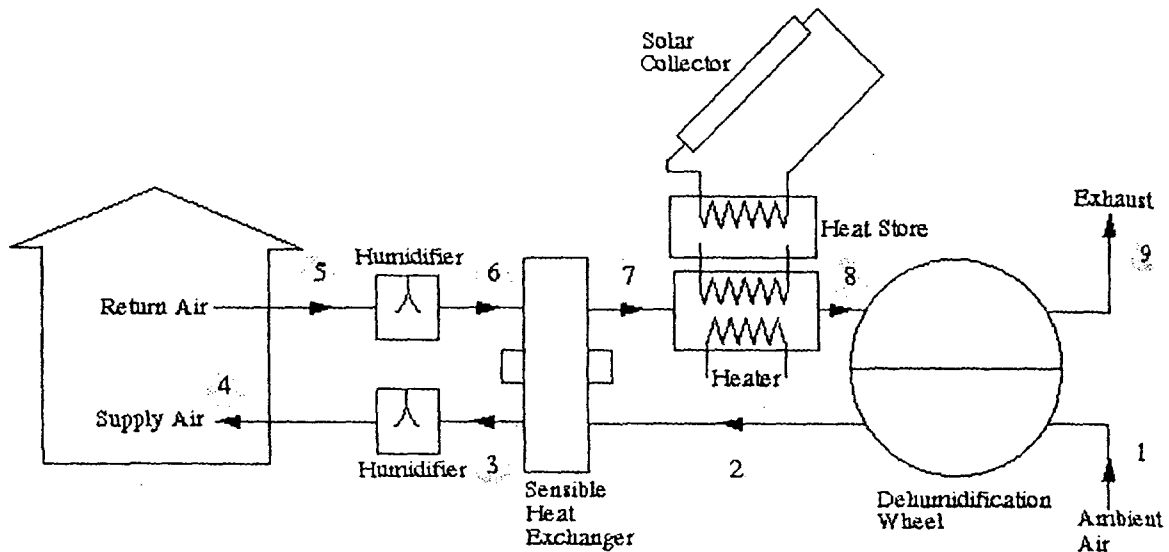


รูปที่ 7 SENS Cycle

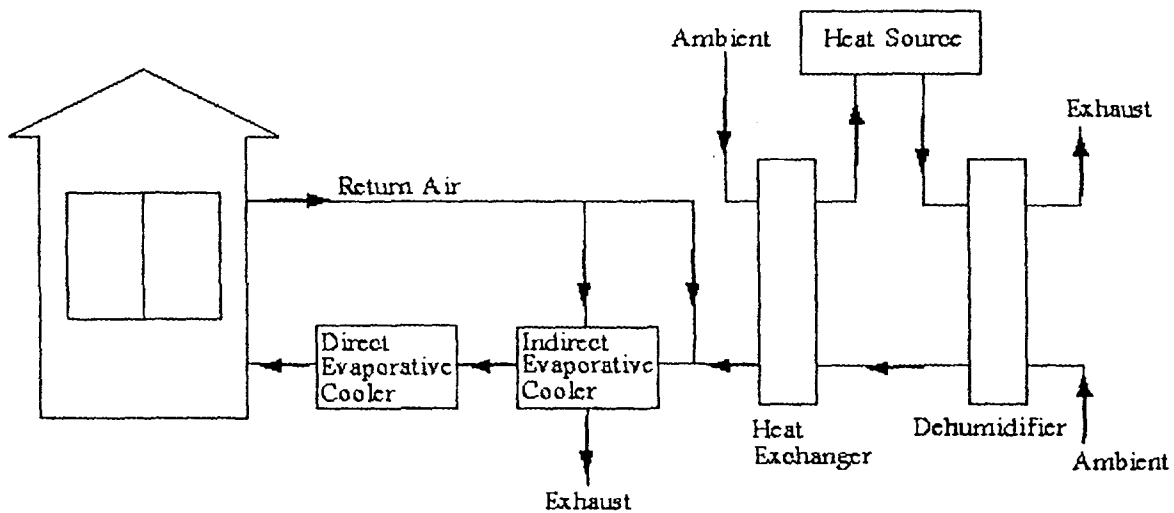
รูปที่ 6 เป็นวัฏจักรทำความเย็นของ Pennington ที่ได้รับการดัดแปลง อากาศจากห้องปรับอากาศจะถูกผสมกับอากาศภายนอก เพื่อปรับปรุงคุณภาพอากาศแล้วนำกลับมานผ่านอุปกรณ์ลดความชื้นและอุปกรณ์อื่น ๆ เพื่อนำไปใช้ปรับอากาศในห้องอีกครั้ง ส่วนการรีเจนเนอเรตสารดูดความชื้นจะใช้อากาศภายนอกผ่านตัวแลกเปลี่ยนความร้อนและฮีตเตอร์ ในการไล่ความชื้นออกจากสารดูดความชื้นแล้วปล่อยสู่บรรยากาศ ระบบนี้มีค่า COP ไม่เกิน 0.8

ได้มีการพัฒนาวัฏจักรนี้หลายแบบเพื่อให้ได้ค่า COP สูงขึ้น ในปี 1974 ได้มีการนำเสนอ SEN cycle ดังแสดงในรูปที่ 7 ในวัฏจักรนี้อากาศจากภายนอกจะถูกลดความชื้น โดยวงล้อลดความชื้น แล้วทำให้เย็นลงในวงล้อแลกเปลี่ยนความร้อน จากนั้นผสมกับอากาศที่ออกจากอาคารซึ่งนำกลับมาใช้ใหม่ และผ่านอากาศผสมเข้าไปในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ finned coil ซึ่งป้อนด้วยน้ำเย็นจากหอทำน้ำเย็นขนาดเล็ก อากาศเย็นบางส่วนจาก finned coil จะถูกป้อนให้กับหอทำน้ำเย็นและปล่อยสู่บรรยากาศผ่านวงล้อแลกเปลี่ยนความร้อน อากาศเย็นส่วนที่เหลือจะส่งเข้าไปยังอาคารบริเวณที่ปรับอากาศ ทางด้านการไล่ความชื้นออกจากสารดูดความชื้น อากาศภายนอกจะผ่านเข้าไปยังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และทำให้ร้อนขึ้นอีกโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ แล้วผ่านอากาศร้อนไปยังวงล้อดูดความชื้นบริเวณที่ต้องการรีเจนเนอเรต จากการทดสอบจริงในที่ Solar Energy Applications Laboratory ที่มหาวิทยาลัยรัฐโคโลราโดพบว่าค่า COP ประมาณ 2.45 ที่ อุณหภูมิภายนอก 26 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 26%

ในปี 1976 Nelson และคณะได้ทำการศึกษาการปรับอากาศระบบลด-เพิ่มความชื้นในอากาศแบบวงจรเปิดโดยใช้ rotary generator เป็นตัวดูดความชื้น ซึ่งเป็นการศึกษาทางด้านทฤษฎี rotary generator เป็นล้อพุนจัดให้ส่วนพุนของล้อมีกระแสอากาศ 2 กระแสผ่านและมีการถ่ายโอนความร้อนและความชื้นระหว่างกระแสทั้งสอง ส่วนพุนของล้อจะเป็นตัวทำให้อากาศแห้ง ซึ่งส่วนนี้ทำจากซิลิกาเจล หรือวัสดุที่มีการดูดซับความชื้นสูง ระบบนี้จะเหมือนกับวัฏจักรทำความเย็นของ Pennington แต่ความร้อนในการรีเจนเนอเรตสารดูดความชื้น Nelson ได้ออกแบบ



รูปที่ 8 แบบแผนระบบปรับอากาศแบบลด-เพิ่มความชื้นในอากาศของ Nelson



รูปที่ 9 DINC Cycle

ให้ใช้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ หรือเครื่องทำความร้อนสำรอง สภาพของอากาศที่จุดต่าง ๆ ในระบบเมื่อนำมาลงในแผนภูมิไซโครเมตริกจะเป็นดังรูปที่ 5 ก. ต่อมาในปี 1978 Nelson และคณะได้ทำการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบปรับอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 8 พบว่าในการทำความเย็นที่มีภาระสัมผัส 20.8 GJ และภาระแฝง 6 GJ พลังงานมากกว่า 80% ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดเป็นพลังงานความร้อนที่ได้จากแผงรับแสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่มากกว่า 30 m²

Waugaman และ Kettleborough ได้เสนอ direct-indirect evaporative cooling (DINC) cycle ในปี 1987 วัฏจักรนี้ได้แทนหน่วยทำความเย็นแบบการระเหยน้ำโดยตรงในวัฏจักร Pennington ด้วยหน่วยทำความเย็นแบบระเหยน้ำโดยทางอ้อมดังแสดงในรูปที่ 9 จากการทำนายโดยใช้เงื่อนไขของ ARI (American Refrigeration Institute) (ภายในห้องอุณหภูมิ 80 °F ความชื้นสัมพัทธ์ 50% ภายนอกห้องอุณหภูมิ 95 °F ความชื้นสัมพัทธ์ 40%) พบว่า COP มีค่ามากกว่า 1.6

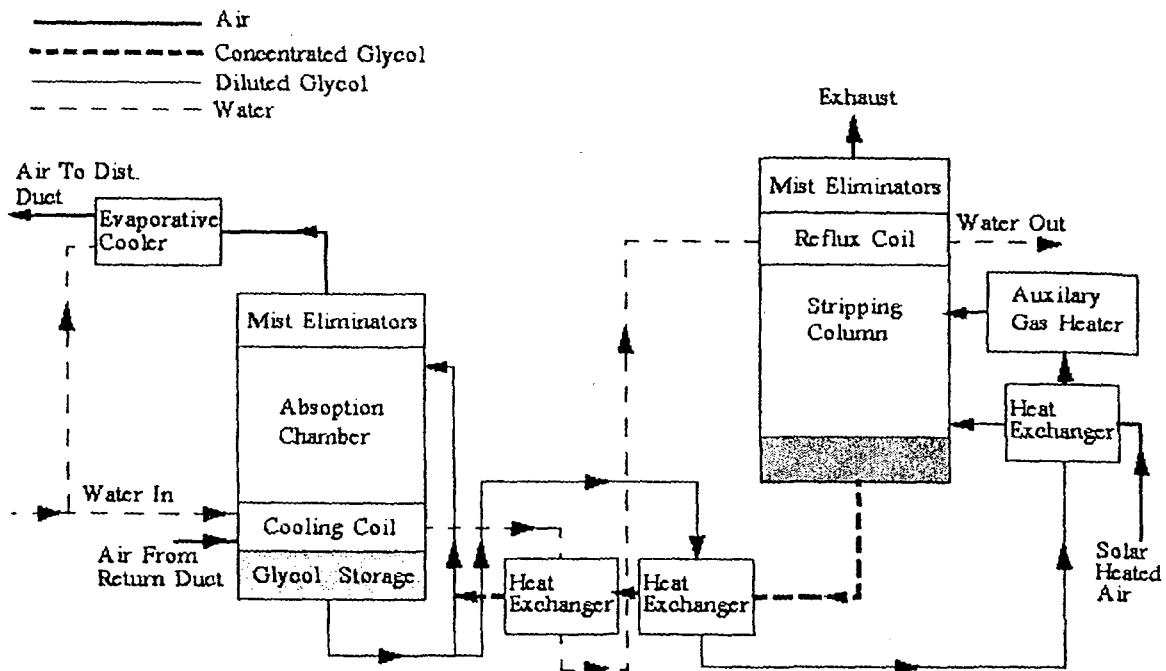
การปรับอากาศด้วยระบบการลด-เพิ่มความชื้นในอากาศแบบวงจรเปิดที่ใช้สารดูดความชื้นที่เป็นของแข็ง พลังงานส่วนใหญ่ที่ใช้เป็นพลังงานความร้อน เพื่อให้ความร้อนกับอากาศที่ใช้ในการรีเจนเนอเรตสารดูดความชื้น และเป็นพลังงานกลเพื่อใช้กับพัดลม สมรรถนะของอุปกรณ์ลดความชื้นขึ้นอยู่กับรูปร่างทางเรขาคณิต และสารดูดความชื้นที่เลือกใช้ รูปร่างทางเรขาคณิตจะมีผลต่อความดันตกคร่อม ขนาด ราคา สมรรถนะ และความสามารถในการทำคามเย็น

ระบบสารดูดความชื้นที่เป็นของเหลววงจรเปิด

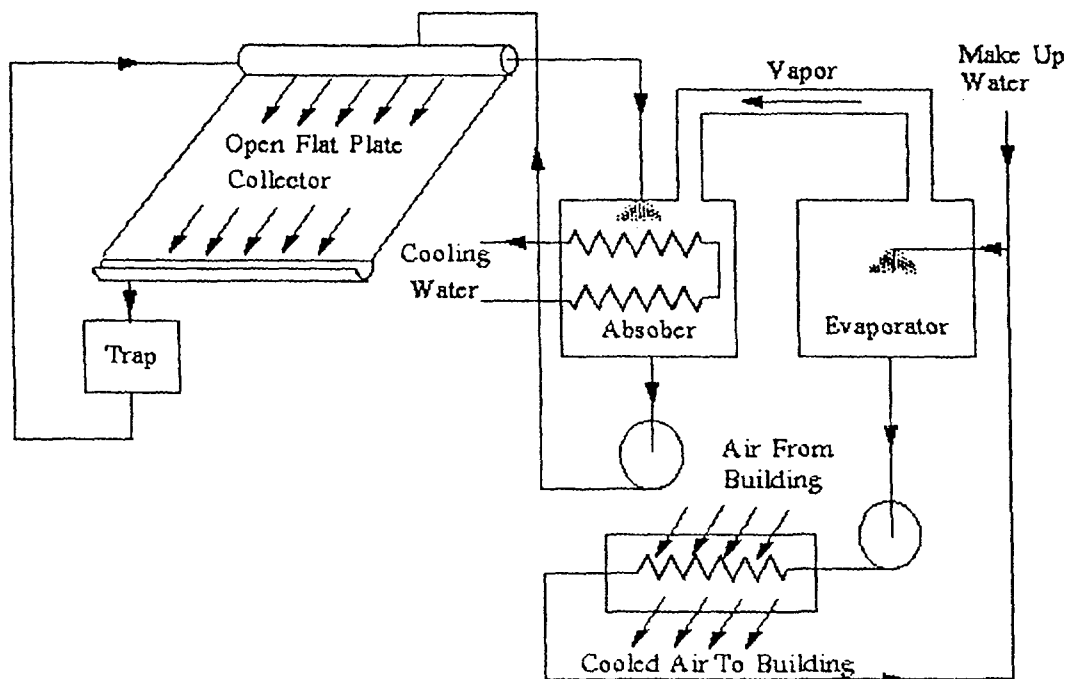
สำหรับระบบปรับอากาศแบบลด-เพิ่มความชื้นในอากาศ โดยใช้สารดูดความชื้นที่เป็นของเหลว นั้นยังมีการวิจัยและพัฒนาค่อนข้างน้อย เนื่องจากมีความสามารถในการดูดความชื้นน้อยกว่า สารดูดความชื้นที่เป็นของแข็ง และค่า COP ของระบบที่ถูกทำนายต่ำกว่า 1.0 อย่างไรก็ตามระบบสารดูดความชื้นที่เป็นของเหลวก็มีข้อได้เปรียบระบบสารดูดความชื้นที่เป็นของแข็งหลายประการ เนื่องจากพลังงานถูกเก็บไว้ในรูปของพลังงานเคมีมากกว่าพลังงานความร้อน ทำให้ความจำเป็นในการป้อนพลังงานความร้อนอย่างต่อเนื่องลดลง อุปกรณ์ลดความชื้นสำหรับสารลดความชื้นที่เป็นของเหลวไม่ต้องการรูปร่างทางเรขาคณิตที่ซับซ้อน การสูญเสียความดันในการสัมผัสกับอากาศต่ำ มีความเป็นไปได้ในการกรองเอาสิ่งสกปรกออกจากอากาศโดยที่ประสิทธิภาพในการดูดความชื้นหลังการรีเจนเนอเรตแล้วไม่เปลี่ยนแปลง ความเป็นไปได้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารดูดความชื้นที่นำไปดูดความชื้น กับสารดูดความชื้นที่นำไปทำให้มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น และการทำให้สารดูดความชื้นมีความเข้มข้นขึ้นใหม่อีกครั้งสามารถทำได้ที่อุณหภูมิต่ำ หรือใช้แสงรับแสงอาทิตย์ราคาถูก ข้อด้อยของสารดูดความชื้นที่เป็นของเหลวคือ สารดูดความชื้นที่เป็นของเหลวอาจทำให้เกิดการฟุ้งกระจาย และเนื่องจากความดันไอของสารดูดความชื้นมีค่าสูง สารดูดความชื้นอาจถูกปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศ สารดูดความชื้นที่เป็นของเหลวที่ใช้ในระบบนี้ เช่น LiCl LiBr และ Glycol ชนิดต่าง ๆ

Lof เป็นผู้หนึ่งที่บุกเบิกการปรับอากาศด้วยระบบการลด-เพิ่มความชื้นในอากาศแบบวงจรเปิดโดยใช้สารดูดความชื้นที่เป็นของเหลว ในปี 1955 เขาได้เสนอให้ใช้ triethylene glycol พ่นเป็นละอองเล็ก ๆ เข้าไปในห้องดูดซึม (absorption chamber) เพื่อดูดความชื้นออกจากอากาศ แล้ว glycol จะถูกสูบผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไปยัง stripping column และพ่นอากาศร้อนซึ่งได้จากแผงรับแสงอาทิตย์ หรืออุปกรณ์ให้ความร้อนสำรอง เพื่อระเหยน้ำออกจาก glycol จากนั้นจะสูบ glycol ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนกลับไปยังห้องดูดซึม ส่วนอากาศที่แห้งแล้วจะถูกส่งไปยัง evaporative cooler เพื่อทำให้อากาศเย็นลงและส่งไปตามท่อจ่ายอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 10 ในวันที่อากาศแจ่มใสศักยภาพโดยเฉลี่ยของการทำความเย็นที่มีแผงรับแสงอาทิตย์ 56 m^2 ประมาณ 4 ตันความเย็นใน 8 ชั่วโมง

ที่เมือง Turkmenia ประเทศสหภาพโซเวียต Buam และ Kakabayev ได้ประสบความสำเร็จในการทำใหระบบนี้ง่ายขึ้นโดยการรวมแผงรับแสงอาทิตย์และ stripper เข้าด้วยกัน ใช้สารละลาย



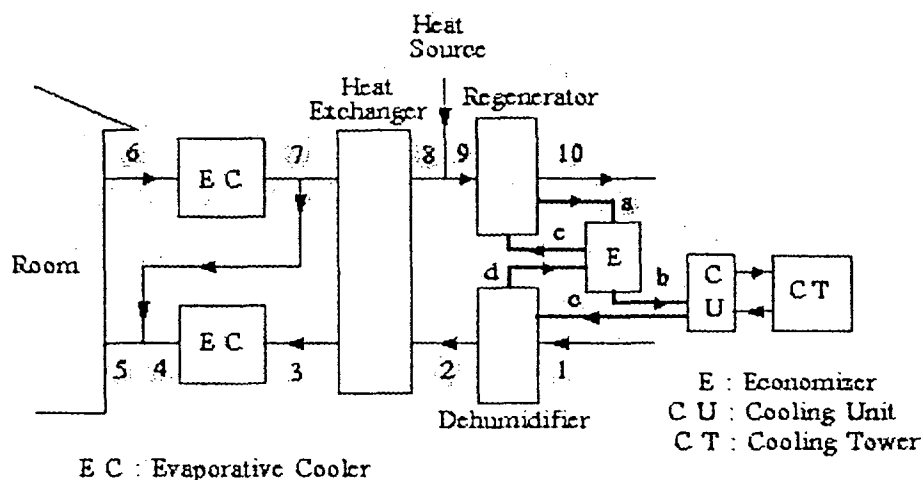
รูปที่ 10 การปรับอากาศระบบลด-เพิ่มความชื้นแบบวงจรเปิดโดยใช้ Triethylene Glycol เป็นสารดูดความชื้น ของ Lof (1955)



รูปที่ 11 ระบบปรับอากาศแบบวงจรเปิดของ Buam และคณะ

LiCl เป็นสารดูดความชื้น สารละลาย LiCl เจือจางจะถูกสูบขึ้นไปสู่จุดสูงสุดของอาคารแล้วปล่อยลงมาบนหลังคาเป็นชั้นบาง ๆ ทำให้น้ำในสารละลาย LiCl ระเหยสู่อากาศ (ดูรูปที่ 11) ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำได้จากแสงอาทิตย์ สารละลาย LiCl จะไหลลงสู่ส่วนล่างของหลังคาและถูกนำกลับไปยังห้องดูดซึม มีการติดตั้งระบบนี้ซึ่งมีความสามารถทำความเย็นได้ถึง 11.6 ตันความเย็น (40 kW) เพื่อใช้ทำความเย็นให้กับตึก 3 ชั้น ที่มีห้องชุด 9 ห้อง

ระบบนี้แม้จะใช้ได้ดีในที่ที่มีอากาศแห้งอย่างเมือง Turkmenia แต่ไม่สามารถใช้ได้กับประเทศในแถบร้อนชื้น อย่างไรก็ตามจากการตรวจสอบของ Mulick และ Gupta ในเมือง Madras ประเทศอินเดียโดยใช้สารละลาย CaCl_2 เป็นสารดูดความชื้น ได้แสดงให้เห็นว่าการระเหยของน้ำออกจากสารละลายทำได้โดยการปล่อยให้สารละลายไหลลงมาบนสังกะสีที่ถูกฟูกที่ฉาบสีดำไว้ วางเอียงทำมุม 18° กับพื้นราบและมีกระจกปิดไว้ อากาศร้อนเนื่องจากแสงอาทิตย์ไหลขึ้นแบบ free convection ผ่านช่องว่างระหว่างกระจกและแผ่นสังกะสีฉาบสีดำ ความร้อนจากอากาศร้อนจะทำให้น้ำระเหยออกจากสารละลาย CaCl_2 ซึ่งการออกแบบการลดความชื้นแบบนี้สามารถใช้ได้กับแถบที่มีอากาศร้อนชื้น

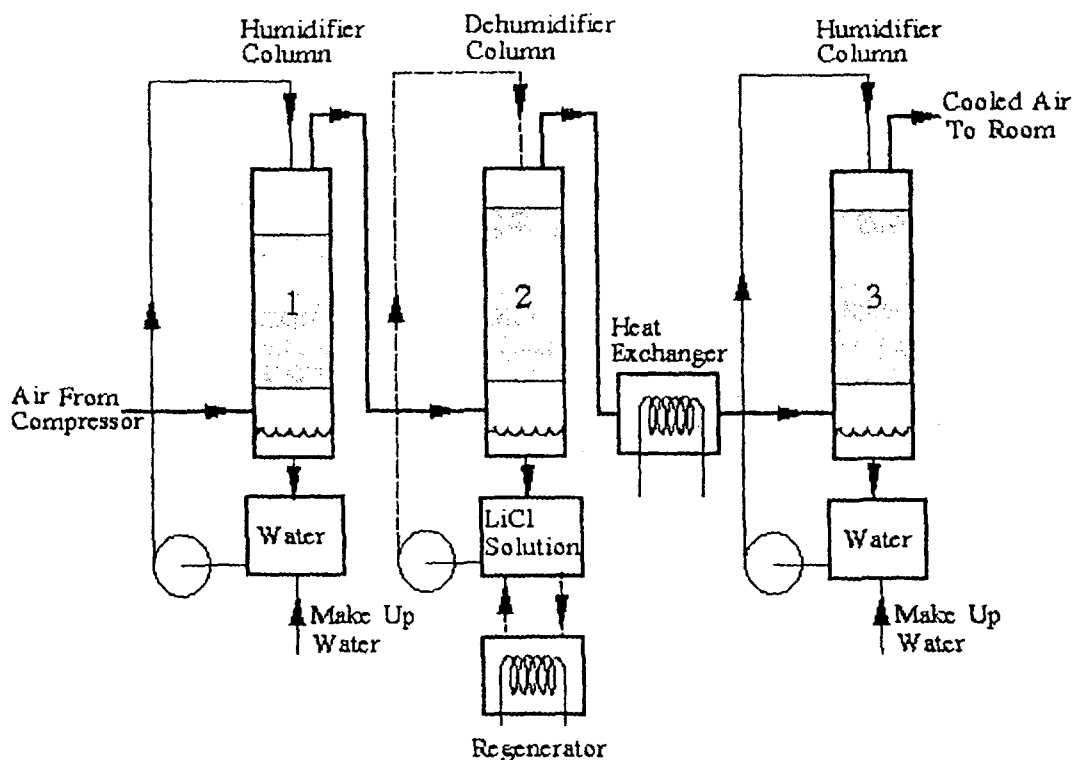


รูปที่ 12 ระบบทำความเย็นด้วยสารดูดความชื้นเหลวของ Patnaik

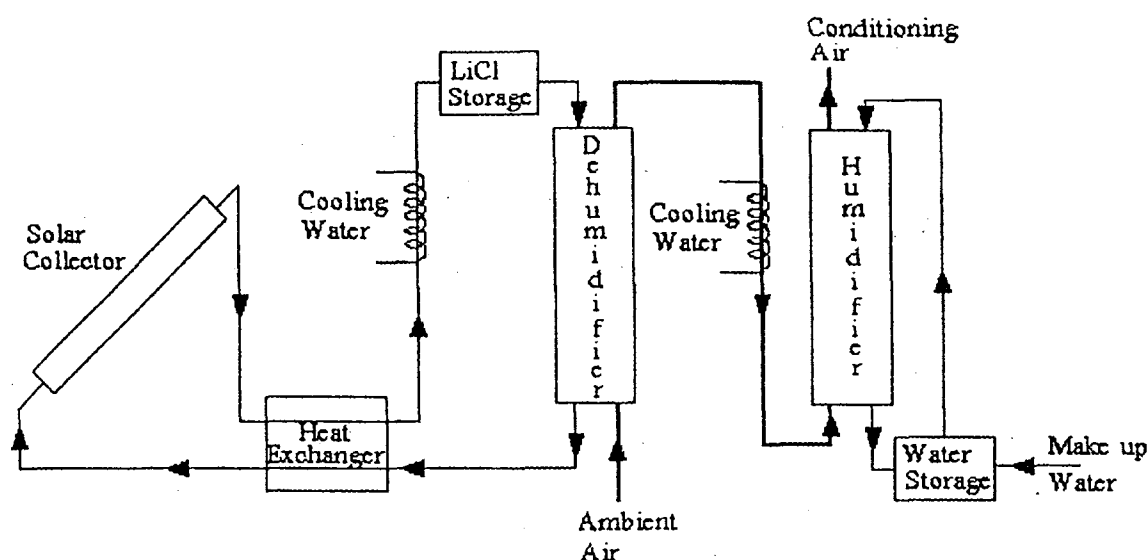
รูปที่ 12 เป็นระบบทำความเย็นที่ใช้สารดูดความชื้นที่เป็นของเหลวซึ่งนำเสนอโดย Patnaik ในปี 1987 อากาศจากภายนอกจะถูกลดความชื้น และทำให้เย็นลงโดยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัส จากนั้นจะถูกทำให้เย็นลงอีกด้วยเครื่องทำความเย็นแบบระเหยเหมือนใน Pennington cycle ก่อนที่จะเข้าพื้นที่ปรับอากาศ อากาศที่ออกจากห้องถูกทำให้เย็นก่อนในอุปกรณ์ทำความเย็นแบบระเหย อากาศส่วนหนึ่งถูกส่งกลับไปยังห้องปรับอากาศอีกครั้ง อากาศส่วนที่เหลือจะผ่านไปยังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อทำให้อากาศใหม่ที่เข้ามามีอุณหภูมิลดลง สำหรับวงจรของสารดูดความชื้นที่เป็นของเหลว เริ่มจากสารละลายเจือจางจากอุปกรณ์ลดความชื้นไหลผ่าน heat recovery unit (economizer) เพื่อเพิ่มอุณหภูมิ แล้วผ่านเข้าไปยังรีเจนเนอเรเตอร์ หลังจากขับไล่ความชื้นออกไป สารละลายเข้มข้นที่ออกจากรีเจนเนอเรเตอร์ถูกทำให้เย็นลงใน economizer และผ่านเข้าไปในหน่วยทำความเย็นเพื่อลดอุณหภูมิลงอีกก่อนส่งกลับไปยังอุปกรณ์ลดความชื้นเมื่อสามารถลดความชื้นได้อีก จากการทดสอบที่ Solar Energy Application Laboratory โดยการใช้สารละลาย LiBr และ LiCl เป็นสารดูดความชื้น พบว่าสามารถทำความเย็นได้ 1.0-4.0 ดันความเย็น สำหรับอัตราไหลอากาศระหว่าง $0.65 - 0.95 \text{ kg/s}$ โดยที่ไม่มีอุปกรณ์ทำความเย็นหรือภาระต่อควบกับสารลดความชื้น

ในปี 1989 Chen และคณะได้ทำการศึกษาผลของตัวประกอบการออกแบบและเงื่อนไขการทำงานกับสมรรถนะของอุปกรณ์ลดความชื้น พบว่าอัตราการลดความชื้นเป็นสัดส่วนเชิงเส้นกับความเข้มข้นของสารละลาย ความชื้นและอุณหภูมิ และเป็นสัดส่วนแบบกำลังสองกับอัตราไหลของสารละลายและอากาศ และยังพบอีกว่าอัตราการลดความชื้นเป็นเชิงเส้นกับสารละลาย

สำหรับประเทศไทย ปี 1984 นายวิทยา เทพไพฑูรย์ และคณะได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้การปรับอากาศแบบลด-เพิ่มความชื้นโดยใช้สารละลาย LiCl เป็นสารดูดความชื้น อุปกรณ์ต้นแบบที่ใช้ในการทดลองแสดงดัง รูปที่ 13 คอลัมน์ที่ 1 ใช้เพิ่มความชื้นให้กับอากาศที่มาจากเครื่องอัดอากาศให้มีสถานะเหมือนอากาศภายนอกห้อง คอลัมน์ที่ 2 เป็นคอลัมน์ลดความชื้นใช้สารละลาย LiCl เข้มข้น 45% เป็นสารดูดความชื้น คอลัมน์ที่ 3 เป็นคอลัมน์ที่ใช้เพิ่มความชื้นให้กับอากาศที่ลดความชื้นแล้วเพื่อให้อุณหภูมิลดลงและนำไปใช้ในการปรับอากาศต่อไป จากการศึกษาพบว่าอากาศที่ออกจากคอลัมน์ที่ 3 มีอุณหภูมิต่ำสุด 18°C และมีอุณหภูมิกระเปาะเปียก 17°C ด้วยเงื่อนไขทางเทคนิคมีความเป็นไปได้ในการใช้สำหรับปรับอากาศ จากการออกแบบเครื่องปรับอากาศที่ทำงานโดยระบบนี้ที่ขนาด 1 ตันความเย็น และทำการวิเคราะห์ค่าว่าระบบจะมีค่า COP ประมาณ 0.76



รูปที่ 13 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองกระบวนการลด-เพิ่มความชื้นในระบบปรับอากาศ



รูปที่ 14 แผนภูมิระบบปรับอากาศแบบลด-เพิ่มความชื้นในอากาศขนาด 1 ตันความเย็น
ของนายวิทยา เทพไพฑูรย์ และคณะ (1984)

สรุป

การปรับอากาศด้วยระบบการลด-เพิ่มความชื้นในอากาศแบบวงจรเปิด เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูงในเรื่องการประหยัดพลังงานเพราะพลังงานที่ใช้กับระบบนี้เป็นพลังงานความร้อนแทนไฟฟ้า อย่างไรก็ตามระบบนี้ยังไม่เป็นที่แพร่หลายเพราะราคาต้นทุนค่อนข้างสูง ระยะเวลาคืนทุนนาน และตลาดมีจำกัด การศึกษาวิจัยพัฒนามีบ้างพอสมควรส่วนใหญ่เป็นการศึกษาวิจัยด้วยคอมพิวเตอร์ การทดลองมีน้อยมาก การวิจัยส่วนใหญ่จะเป็นการปรับปรุงระบบให้มีค่า COP สูงขึ้น

ระบบลดความชื้นที่ใช้สารดูดความชื้นที่เป็นของแข็งเมื่อใช้ไปนาน ๆ จะมีปัญหาเกิดขึ้นคือประสิทธิภาพการดูดความชื้นลดลง เนื่องจากสารดูดความชื้นที่เป็นของแข็งส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุพอรอนอนำไปดูดความชื้นจากอากาศซึ่งมีสถานะปนอยู่ ผุ่นละออง กวีน อาจเข้าไปในรูพอรอนทำให้การดูดซับความชื้นของสารดูดความชื้นลดลง วัฏจักรความร้อนของสารดูดความชื้นมีผลต่อผลตอบแทนประสิทธิภาพการดูดความชื้นด้วยเช่นกัน

การใช้สารดูดความชื้นที่เป็นของเหลวในการปรับอากาศสิ่งที่สำคัญในระบบคือ การสัมผัสกันระหว่างของเหลวกับอากาศ ถ้าพื้นที่การสัมผัสกันมีมากการลดความชื้นจะให้ผลดี นอกจากนั้นระยะทางการสัมผัสกันก็มีผลต่อความชื้นของอากาศที่ออกมา

จากการที่สาร CFC ได้สร้างปัญหากับชั้นโอโซนในบรรยากาศ และการพัฒนาสารดูดความชื้นที่มีประสิทธิภาพดีขึ้นทำให้เกิดทางเลือกใหม่กับระบบปรับอากาศ การเพิ่มปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างรวดเร็ว มาตรการประหยัดพลังงาน และปัญหาสิ่งแวดล้อม จะทำให้ความต้องการระบบปรับอากาศแบบลด-เพิ่มความชื้นในอากาศเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้มีการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์และสารดูดความชื้นให้ก้าวหน้าต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. ASHRAE, " Fundamentals Handbook SI Edition ", American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta ,Ga., p. 19.1
2. Waugaman, D.G., Kini, A., and Kettleborough, C.F., "A Review of Desiccant Cooling Systems", Transactions of the ASME Journal of Energy Resources Technology, Vol. 115, November 1993, pp. 1-8
3. Joseph, K., Thornton, P.E., "A Review of Currently Available Sorption Equipment for Air Conditioning", ASHRAE Transactions 1980 Part one, 1980
4. John A. Duffy, and William A. Beckman, "Solar Engineering of Thermal Processes", John-Wiley & Sons, New York, 1980
5. Griffiths, W.C., "Use of Liquid Sorption Dehumidification to Improve Energy Utilization of Air Systems", ASHRAE Transactions 1980 Part one, 1980
6. Coellner, J.A., " Energy Conservation Techniques for Use in Rotary Solid Sorption Dehumidification Systems", ASHRAE Transactions 1980 Part one, 1980
7. Factor, H.M., and Gershor Grossmar, " A Pack Bed Dehumidifier/Regenerator for Solar Air Conditioning with Liquid Desiccants", Solar Energy, Vol. 24, pp. 541-540, Great Britain, 1980
8. Skole, J.O., " Energy Savings in Cooling Tower Packings ", Chemical Engineering Progress, Vol. 77 No. 10, 1981
9. Lu, L.T., D. Charoensupaya, and Z. Lavan, " Determination of Sorption Rate and Apparent Solid-Side Diffusivity of Pure H₂O in Silica Gel Using a Constant Volume/Variable Pressure Apparatus ", Transactions of the ASME Journal of Solar Energy Engineering, Vol. 113, November 1991, pp. 257 - 263
10. Pesaran, A.A., " Desiccant Degradation in Desiccant Cooling Systems: An Experimental Study ", Transactions of the ASME Journal of Solar Energy Engineering, Vol.115, November 1993, pp. 212 - 219
11. Mullick, S.C., and Gupta, "Solar Desorption of Absorbent Solutions", Solar Energy, Vol.16 (1974) : pp. 19 - 24
12. Boonpasawai, S., "A Study of LiCl-H₂O Dehumidification-Humidification Open Cycle Air Conditioning System ", M.Sc. Thesis, KMITT, 1983
13. Teppaitoon, W., Bhumiratana, S., and Boonpasawai, S., " Feasibility of Dehumidification-Humidification Air Conditioning in Thailand ", Third APCCHE Congress Bangkok Thailand October 8- 10 , 1984