

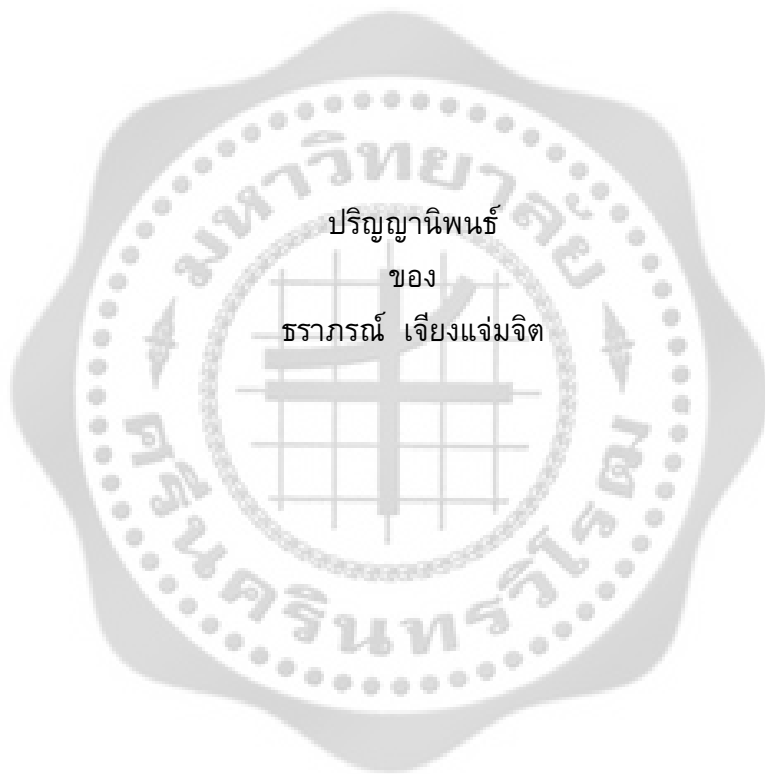
ผลการใช้ซิลิกอนไดออกไซด์ต่อการลดความชื้นสมดุลในพรีมิกซ์



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

พฤษภาคม 2553

ผลการใช้ซิลิกอนไดออกไซด์ต่อการลดความชื้นสมดุลในพรีมิกซ์



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

พฤษภาคม 2553

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ผลการใช้ซิลิกอนไดออกไซด์ต่อการลดความชื้นสมดุลในพรีมิกซ์



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

พฤษภาคม 2553

ธราภรณ์ เจียงแจ่มจิต. (2553). ผลการใช้ชิลิกอนไดออกไซด์ต่อการลดความชื้นสมดุลในพรีมิกซ์.

ปริญญาพันธ์ วศ.ม.(วิศวกรรมเคมี). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย

ศรัณนครินทร์วิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สีนสุภา จั๋ยจุลเจิม,

ดร.จันจิรา จัปศิลป์.

พรีมิกซ์มีส่วนผสมของวิตามิน แร่ธาตุ เอนไซม์ กรดอะมิโน หรือยาสำหรับสัตว์ พรีมิกซ์สามารถเสื่อมคุณภาพได้อย่างรวดเร็วเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปลี่ยนแปลงความชื้น ในกระบวนการผลิตพรีมิกซ์จึงมักมีการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ลงไปเพื่อป้องกันการจับตัวเป็นก้อนและป้องกันการเสื่อมคุณภาพ อย่างไรก็ตามปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการผสมสามารถเปลี่ยนไปตามสูตรของพรีมิกซ์ ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความชื้นและอุณหภูมิในอากาศที่มีผลต่อความชื้นสมดุลของพรีมิกซ์ พบว่าในสภาวะการเก็บที่ควบคุมให้อุณหภูมิและความชื้นสูงพรีมิกซ์จะดูดความชื้นได้มากและเร็ว แต่เมื่อเก็บพรีมิกซ์ในบรรยากาศที่มีอุณหภูมิสูงแต่ความชื้นต่ำจะทำให้พรีมิกซ์มีแนวโน้มในการคายความชื้น แต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้อยู่ในช่วง 25-40 องศาเซลเซียสเท่านั้น จึงทำให้อุณหภูมิมีผลต่อความชื้นสมดุลของพรีมิกซ์น้อยมากโดยเฉพาะเมื่ออากาศมีความชื้นอยู่ในช่วง 32 – 75%RH จึงไม่จำเป็นต้องเพิ่มซิลิกอนไดออกไซด์ลงไปในสูตรพรีมิกซ์ ในทางกลับกันเมื่อเก็บพรีมิกซ์ในสภาวะที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ พบว่าการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.5 % โดยน้ำหนักลงในพรีมิกซ์สามารถช่วยป้องกันไม่ให้พรีมิกซ์เกิดการจับตัวเป็นก้อนและเสื่อมคุณภาพจากความชื้นสมดุลได้

คำสำคัญ: ซิลิกอนไดออกไซด์ ปริมาณ ความชื้นสมดุล การควบคุมความชื้น

ที่อยู่ส่วนราชการ : ในที่ใด อ.ท.ระดับมหา

THE EFFECT OF SILICON DIOXIDE ON THE REDUCTION EQUILIBRIUM MOISTURE
CONTENT OF THE PREMIX

A large, faint watermark of the Srinakharinwirot University logo is centered on the page. The logo is circular with a decorative border and contains the university's name in Thai script and a central emblem.

AN ABSTRACT
BY
TARAPORN JEANGJAMJIT

Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Master of Engineering Degree in Chemical Engineering
at Srinakharinwirot University

May 2010

Taraporn Jeangjamjit. (2010). *The Effect of Silicon dioxide on the Reduction Equilibrium Moisture Content of the Premix*. Master thesis, M.Eng. (Chemical Engineering). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Assist. Prof. Dr. Sinsupha Chuichulcherm, Dr. Chanchira Jubsilp.

Premix is a mixture of vitamins, minerals, enzymes, amino acids, or medicine for animal. Premix deteriorates quickly due to environmental change especially moisture alteration. In order to prevent premix agglomeration and deterioration, silicon dioxide is usually added during the production process. However the optimum quantity of silicon dioxide in a mixture can be varied due to a premix recipe. The research was aimed to study the effect of humidity and ambient temperature on the premix moisture equilibrium. High temperature and humidity affect the increased of moisture adsorption ability of the premix. From this experiment, when ambience had high temperature but low humidity, the premix tended to desorp moisture. Nevertheless, ambient temperature, refered to 25-40°C in this study, had very littele effect on the moisture equilibrium of the premix when the humidity was controlled in a range of 30-75%RH. Therefore, it is not essential to add silicon dioxide in a recipe. Contradictory in a non-controlled condition, 0.5% silicon dioxide in the premix was sufficient for the prevention of premix agglomeration and deterioration due to its' low moisture content.

Keyword : silicon dioxide, premix, equilibrium moisture content, moisture control

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง

ผลการใช้ซิลิกอนไดออกไซด์ต่อการลดความชื้นสมดุลในพรีมิกซ์

ของ
ธราภรณ์ เจียงแจ่มจิต

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. 2553

คณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

.....ประธาน

.....ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิ้นสุภา จุ้ยจุลเจิม)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรณวิไล ไกรเพ็ชร เอวานส์)

.....กรรมการ

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. จันจิรา จัปศิลป์)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิ้นสุภา จุ้ยจุลเจิม)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. จันจิรา จัปศิลป์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนุสิทธิ์ ฐนะพิมพ์เมธา)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดีเป็นเพราะผู้วิจัยได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สินศุภา จุ้ยจุลเจิม ประธานกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ และ อาจารย์ ดร.จันจิรา จัปศิลป์ กรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ ท่านทั้งสองได้เสียสละเวลาอันมีค่าเพื่อให้คำปรึกษาแนะนำในการจัดทำงานวิจัยนี้ทุกขั้นตอน อีกทั้งทำให้ผู้วิจัยได้รับประสบการณ์ในการทำงานวิจัยด้านวิศวกรรมเคมีและรู้ถึงคุณค่าของงานวิจัยทางวิศวกรรมเคมีที่สามารถดัดแปลงการวิจัยให้เหมาะสมกับการทำงานในด้านวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์เคมีได้อย่างมีคุณค่ามากขึ้น ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรณวิไล ไกรเพชร เอวานส์ ประธานสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนุสิทธิ์ ธนะพิมพ์เมธา กรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์ ที่ให้ข้อเสนอแนะและอภิปรายผลจากงานวิจัยในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณฝ่ายควบคุมคุณภาพ บริษัท แอนิมัล ซัพพลีเมนต์ แอนด์ ฟาร์มาซูติคอล จำกัด ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยมาโดยตลอด

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้แก่ผู้วิจัยในการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมเคมี รวมถึงให้คำแนะนำเกี่ยวกับการทำงาน ซึ่งทำให้ผู้วิจัยได้เรียนรู้และได้แนวความคิดใหม่ๆ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการทำงานของผู้วิจัยได้อีกด้วย

ท้ายสุดผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา น้องสาว เพื่อน และทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจที่ดีเยี่ยมตลอดระยะเวลาที่ศึกษาและทำงานวิจัย

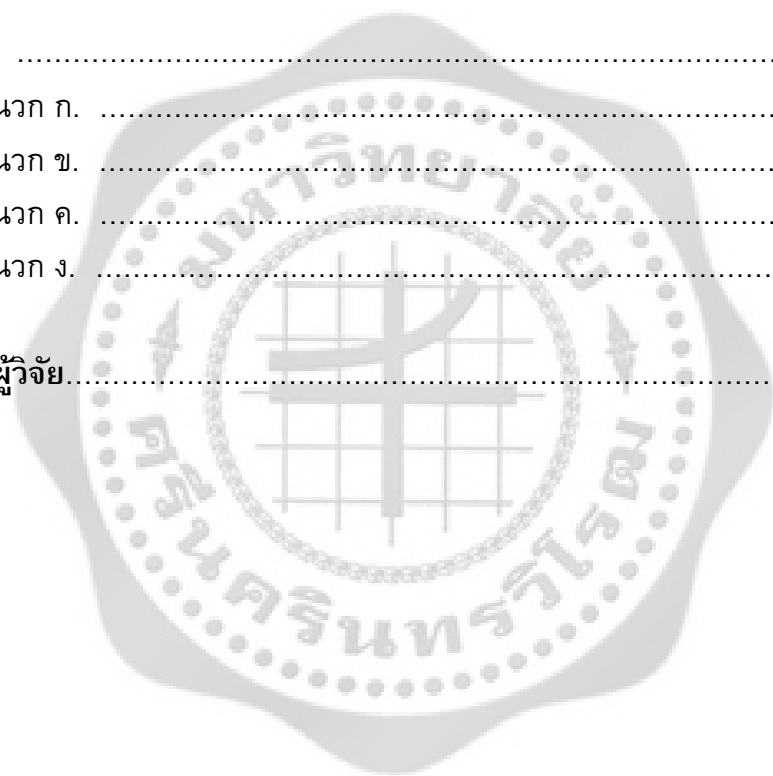
ธราภรณ์ เจียงแจ่มจิต

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์งานวิจัย.....	1
ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
การดูดซับ (adsorption).....	5
วัฏจักรการทำงานของสารดูดความชื้น.....	6
ประเภทของการดูดซับ.....	7
ซิลิกอนไดออกไซด์ (Silicon dioxide)	8
การดูดความชื้นของซิลิกอนไดออกไซด์.....	9
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	12
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	15
สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	15
เครื่องวิเคราะห์.....	15
อุปกรณ์สำหรับการทดลอง.....	15
การเตรียมตัวอย่างและสารเคมี.....	16
วิธีดำเนินการวิจัย.....	17
วิธีวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของพรีมิกซ์	20
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....	21
การใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว.....	21
การหาเวลาเข้าสู่ความชื้นสมดุลของพรีมิกซ์.....	21
ศึกษาอิทธิพลของการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ต่อปริมาณความชื้นของพรีมิกซ์.....	32
ภาพรวมของความชื้นสมดุล.....	41
เปรียบเทียบประสิทธิภาพของซิลิกอนไดออกไซด์ในการดูดความชื้น.....	42

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	44
สรุปผลการทดลอง.....	44
ข้อเสนอแนะ.....	45
บรรณานุกรม	46
ภาคผนวก	49
ภาคผนวก ก.	50
ภาคผนวก ข.	85
ภาคผนวก ค.	87
ภาคผนวก ง.	94
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	96



บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 สมดุลความชื้นของเดกซ์โตรส และแอลบดที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ.....	4
2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเดกซ์โตรส.....	5
3 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของซิลิกอนไดออกไซด์.....	9
4 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ภาวะสมดุลในสารละลายเกลืออิ่มตัวทั้ง 5 ชนิด....	21



บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 โครงสร้างทางเคมีของเดกซ์โตรส.....	4
2 การยึดเกาะของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับ.....	6
3 ความสัมพันธ์ระหว่างสมดุลการดูดซับน้ำกับความชื้นสัมพัทธ์ของสารดูดความชื้นแต่ละชนิด.....	6
4 ก) การดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer adsorption) ข) การดูดซับแบบหลายชั้น (multilayer adsorption).....	7
5 โครงสร้างทางเคมีของซิลิกอนไดออกไซด์.....	8
6 การเกิด hydroxyl group บนผิวหน้าของซิลิกอนไดออกไซด์.....	10
7 การจับกันระหว่างโมเลกุลของน้ำแบบ multilayer adsorption.....	11
8 การดูดซับโมเลกุลของน้ำบนผิวหน้าของซิลิกอนไดออกไซด์.....	11
9 ลักษณะของพรีมิกซ์ที่ทำการเติมซิลิกอนไดออกไซด์.....	16
10 ลักษณะตัวอย่างในกล่องที่ทำการควบคุมความชื้นโดยใช้สารละลายอิมมิด.....	17
11 วิธีการควบคุมอุณหภูมิตัวอย่างที่อุณหภูมิ 25 และ 40 องศาเซลเซียส.....	18
12 ตู้อบที่ใช้เป็นเครื่องมือในการอบเพื่อหาความชื้นของตัวอย่าง.....	19
13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในพรีมิกซ์ (%) กับเวลา (วัน) ที่อุณหภูมิ 25 และ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ LiCl	22
14 ลักษณะทางกายภาพของพรีมิกซ์ที่มีการคายความชื้นจนแห้ง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ LiCl	23
15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในพรีมิกซ์ (%) กับเวลา (วัน) ที่อุณหภูมิ 25 และ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ MgCl ₂	24
16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในพรีมิกซ์ (%) กับเวลา (วัน) ที่อุณหภูมิ 25 และ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ Mg(NO ₃) ₂	25
17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในพรีมิกซ์ (%) กับเวลา (วัน) ที่อุณหภูมิ 25 และ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ NaCl	26

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในพรีมิกซ์ (%) กับเวลา (วัน) ที่อุณหภูมิ 25 และ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ BaCl_2	27
19 ลักษณะทางกายภาพของพรีมิกซ์ที่มีการดูดความชื้นจนหลอมเหลวกลายเป็นน้ำ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ BaCl_2	28
20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในพรีมิกซ์ (%) กับเวลา (วัน) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือชนิดต่างๆ.....	29
21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในพรีมิกซ์ (%) กับเวลา (วัน) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือชนิดต่างๆ.....	30
22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลของพรีมิกซ์ (%) กับ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (%) ที่อุณหภูมิ 25 และ 40 องศาเซลเซียส.....	31
23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ที่ทำการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.0 และ 0.5% กับเวลา (วัน) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ LiCl ...	33
24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ที่ทำการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.0 และ 0.5% กับเวลา (วัน) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ MgCl_2	34
25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ที่ทำการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.0 และ 1.0% กับเวลา (วัน) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	35
26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ที่ทำการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.0 และ 1.5% กับเวลา (วัน) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ NaCl	36
27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ที่ทำการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.0 และ 1.5% กับเวลา (วัน) ที่อุณหภูมิ 25 องศา	

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ที่ทำการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.0 และ 1.0% กับเวลา (วัน) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลืออิมิตัว LiCl , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ และ BaCl_2	38
29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ที่ทำการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.0 และ 0.5% กับเวลา (วัน) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลืออิมิตัว LiCl , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ และ BaCl_2	39
30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลของพรีมิกซ์ (%) ทำการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.0% กับ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (%) ที่อุณหภูมิ 25 40 องศาเซลเซียส และไม่ควบคุมอุณหภูมิ	40
31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ที่มีการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.0, 0.5, 1.0 และ 1.5% กับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (%RH) ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส และไม่ควบคุมอุณหภูมิ	41
32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ที่มีการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.0, 0.5, 1.0 และ 1.5% กับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (%RH) ควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส และไม่ควบคุมอุณหภูมิ	42

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สารผสมลว่งหน้า (Premix) และยาสำหรับสัตว์ สามารถเกิดการเสื่อมคุณภาพได้เนื่องมาจากปัจจัยหลายประการด้วยกัน เช่น ความชื้น ความร้อน แสง อากาศ แรงกดดัน สารเคมี ความสมดุลของกรดและด่าง และแร่ธาตุต่างๆ ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาเคมีกับวิตามิน ซึ่งความชื้นถือได้ว่าเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้สารผสมลว่งหน้าและยาสำหรับสัตว์เกิดการเสื่อม ซึ่งแบ่งเป็น

- การเสื่อมทางกายภาพ คือ สีของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป เกิดการจับตัวเป็นก้อน
- การเสื่อมทางคุณภาพ คือ ความเข้มข้นของสารสำคัญลดลง เกิดเชื้อรา และเกิดเชื้อจุลินทรีย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารผสมลว่งหน้าและยาสำหรับสัตว์ที่ใช้น้ำตาลเป็นสื่อ จะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิด ความชื้นได้ง่าย

สำหรับสารผสมลว่งหน้าและยาสำหรับสัตว์นั้น ไม่สามารถนำมาผ่านกระบวนการอบเพื่อให้ความชื้นในผลิตภัณฑ์ลดลงได้ เพราะความร้อนก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเสื่อมคุณภาพ ในกระบวนการผลิตจึงมีการเติมสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อน (Anti-caking agent) ลงไปแทน วัตถุดิบแต่ละชนิดจะมีโครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีที่แตกต่างกัน โดยวัตถุดิบบางชนิดมีความสามารถในการดูดความชื้นสูง

ที่ผ่านมายังไม่มีการระบุอย่างชัดเจนว่าควรเติมซิลิกอนไดออกไซด์ในปริมาณเท่าใดจึงจะเหมาะสม โดยทั่วไปจะระบุเฉพาะปริมาณสูงสุดที่ให้อผสมในผลิตภัณฑ์ได้เท่านั้น เพราะหากเติมน้อยเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์ชื้น จับตัวเป็นก้อน และเสื่อมคุณภาพ แต่หากเติมมากเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเคลื่อนไหวย่างอิสระมากเกินไป ทำให้เกิดการฟุ้งกระจาย และเพิ่มต้นทุนในการผลิตโดยใช้เหตุ

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1.2.1 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลความชื้นของพรีมิกซ์ เช่น อุณหภูมิ และความชื้นในอากาศ

1.2.2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ที่ใช้กับปริมาณความชื้นสมดุลของพรีมิกซ์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาสมมูลความชื้นของพรีมิกซ์ที่อุณหภูมิ 25 และ 40 องศาเซลเซียส รวมทั้งที่สภาวะที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ

1.3.2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ซิลิกอนไดออกไซด์ที่ 0.5, 1.0 และ 1.5% โดยน้ำหนักกับปริมาณความชื้นสมมูลของพรีมิกซ์ที่อุณหภูมิ 25 และ 40 องศาเซลเซียส รวมทั้งที่สภาวะที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ

1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

กิจกรรมที่ 1 ศึกษาคุณสมบัติในการดูดความชื้นของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตพรีมิกซ์ ทฤษฎีและคํานวณงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กิจกรรมที่ 2 ศึกษาผลของความชื้นในอากาศต่อสมมูลความชื้นของพรีมิกซ์

- ศึกษาปริมาณความชื้นของพรีมิกซ์ โดยควบคุมความชื้นในอากาศด้วยสารละลายเกลืออิ่มตัว

- ศึกษาสมมูลความชื้นของพรีมิกซ์ที่อุณหภูมิ 25 และ 40 องศาเซลเซียส รวมทั้งที่สภาวะที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ

กิจกรรมที่ 3 ศึกษาอิทธิพลของการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ต่อปริมาณความชื้นของพรีมิกซ์

- ศึกษาปริมาณการใช้ซิลิกอนไดออกไซด์ที่ 0.5, 1.0 และ 1.5% โดยน้ำหนัก
- ศึกษาปริมาณความชื้นของพรีมิกซ์ โดยควบคุมความชื้นในอากาศด้วยสารละลายเกลืออิ่มตัว

- ศึกษาสมมูลความชื้นของพรีมิกซ์ที่อุณหภูมิ 25 และ 40 องศาเซลเซียส รวมทั้งที่สภาวะที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ

กิจกรรมที่ 4 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดความชื้นของซิลิกอนไดออกไซด์

กิจกรรมที่ 5 วิเคราะห์ สรุปผลการวิจัย และทำรายงานการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบสมมูลความชื้นของพรีมิกซ์

1.5.2 ทราบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ซิลิกอนไดออกไซด์กับปริมาณความชื้นสมมูลของพรีมิกซ์

1.5.3 สามารถนำความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ซิลิกอนไดออกไซด์กับปริมาณความชื้นสมมูลของพรีมิกซ์ที่ใช้ในช่วงสภาวะของการศึกษาวิจัยและพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์พรีมิกซ์ของบริษัทได้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

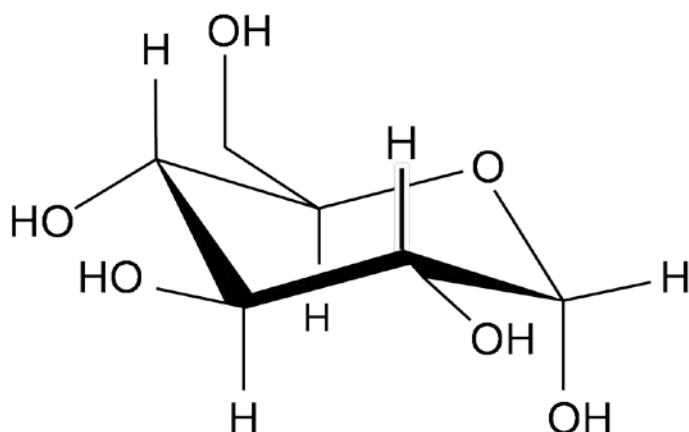
สารผสมล่วงหน้า (Premix) (www.dld.go.th) หมายถึง ส่วนผสมที่ประกอบด้วย วัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ผสมกับ สัตว์

วัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ หมายถึง วิตามิน แร่ธาตุ กรดอะมิโน สารเร่งการเจริญเติบโต สารถนอมคุณภาพอาหารสัตว์ สารปรุงแต่งอาหารสัตว์ สารปรับปรุงคุณภาพซากและผลิตภัณฑ์สัตว์ สารเสริมชีวนะ สารเอนไซม์ สารช่วยเสริมการย่อย สารคล้ายฮอร์โมน หรือสารกึ่งฮอร์โมน สารควบคุมหนอนและแมลง

สารป้องกันการจับตัวเป็นก้อน (Anti-caking agent) หมายถึง สารที่เติมลงในผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผงแห้ง เพื่อช่วยเก็บหรือดูดความชื้นไว้ที่ตัวของสารเอง โดยที่สารนั้นไม่ขึ้น สารนี้อาจไปรวมตัวกันกับน้ำในผลิตภัณฑ์ หรือจับน้ำในบรรยากาศที่เก็บผลิตภัณฑ์นั้น จึงทำให้สารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนกลายเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับอุตสาหกรรมหลายประเภท เพื่อรักษาผลิตภัณฑ์ให้คงสภาพเดิมจากโรงงานผลิตจนถึงมือลูกค้า สารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนมีหลายชนิดด้วยกัน เช่น แคลเซียมซิลิเกต แมกนีเซียมสเตียเรต แมกนีเซียมไตรซิลิเกต ไตรแคลเซียมโมโนฟอสเฟต แต่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ ซิลิกอนไดออกไซด์ (Silicon dioxide)

สัตว์ (Carrier) (www.fisheries.go.th) หมายถึง วัตถุที่ใช้ในการเจือจางหรือใช้เป็นส่วนผสมของวัตถุที่เติมในอาหารสัตว์ และให้หมายความรวมถึงส่วนของพืช แร่ธาตุ กากน้ำตาล ผลิตภัณฑ์เหลือจากการหมัก น้ำ น้ำมัน ที่ใช้ในการผลิตอาหารสัตว์ วัสดุที่เหลือจากการเกษตรที่ปลอดภัย เคลย์ (Clay) ซิลิกอนไดออกไซด์ เคโอลิน (Kaolin) แป้งจากพืชที่ใช้ในการผลิตอาหารสัตว์ เดกซ์โตรส แล็กโตส

เดกซ์โตรส (Dextrose) (<http://th.wikipedia.org>) เป็นน้ำตาลประเภท โมโนแซคคาไรด์ (Monosaccharide) มีอีกชื่อที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายคือ กลูโคส (Glucose) แต่ในอุตสาหกรรมอาหารมักเรียกว่า เดกซ์โตรส โครงสร้างโมเลกุลตามธรรมชาติของมันคือ (D-glucose) มีความสำคัญที่สุดในกลุ่ม คาร์โบไฮเดรตด้วยกัน เซลล์ของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดใช้กลูโคสเป็นแหล่งพลังงาน และสารเผาผลาญขั้นกลาง (Metabolic intermediate) กลูโคสเป็นหนึ่งในผลผลิตหลักของการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) และเป็นแหล่งพลังงานสำหรับการหายใจของเซลล์ (Cellular respiration)



ภาพประกอบ 1 โครงสร้างทางเคมีของเดกซ์โตรส (<http://www.3dchem.com>: 2552)

ตาราง 1 สมดุลความชื้นของเดกซ์โตรส และแกลบบดที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ (Atul J. Shukla: 1991 และ <http://www.knowledgebank.irri.org>)

ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความชื้นสมดุล (%)	
	แกลบบด	เดกซ์โตรส
10	3.7	0.3
30	6.8	0.53
50	9.1-9.5	1.49
80	11.6-12.9	12.16
90	14.0-15.3	26.79

ตาราง 2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเดกซ์โตรส (<http://scientifics.edsci.com>)

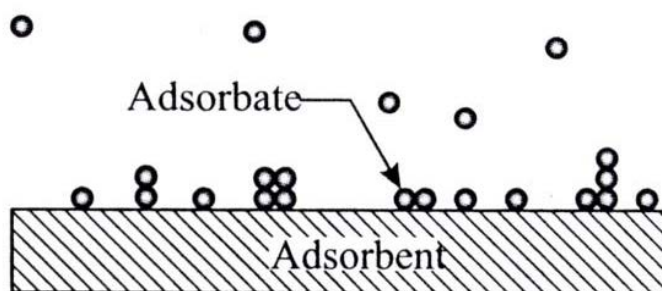
คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี			
สูตรโมเลกุล	$C_6H_{12}O_6 \cdot H_2O$	ทางกายภาพ	ผงผลึกสีขาว
น้ำหนักโมเลกุล	198.17	กลิ่น	ไม่มี
ความถ่วงจำเพาะ	1.5	จุดหลอมเหลว	146°C (295°F)
ความหนาแน่นไอ (อากาศ=1)	6.3	การละลาย	ละลายในน้ำ

ความชื้น (Humidity) หมายถึง มวลของไอน้ำ (kg) ที่อยู่ในอากาศแห้ง 1 kg

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างมวลไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศขณะนั้นกับมวลไอน้ำอิ่มตัวในอากาศที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศเดียวกัน

2.1 การดูดซับ (Adsorption) (ศุภรัตน์: 2546)

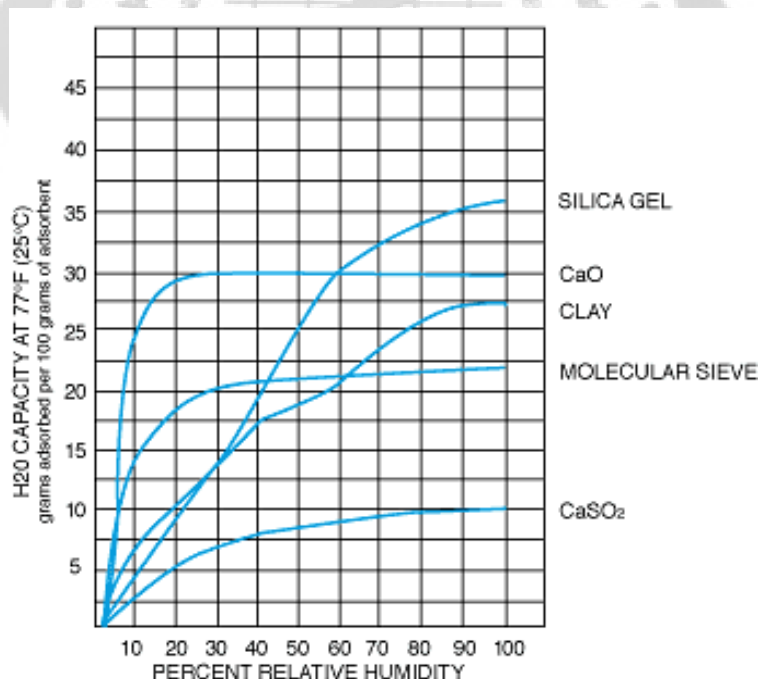
การดูดซับเป็นกระบวนการที่โมเลกุลของก๊าซหรือของเหลวเกิดการยึดเกาะหรือรวมตัวกันบริเวณผิวหน้าของของแข็ง โดยโมเลกุลที่เข้ายึดเกาะที่บริเวณผิวหน้าของของแข็งนี้เรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) และของแข็งที่ตัวถูกดูดซับเข้าไปยึดเกาะบริเวณผิวหน้าเรียกว่า ตัวดูดซับ (Adsorbent) ดังแสดงในภาพประกอบ 2 การดูดซับเกิดขึ้นเนื่องจากพื้นผิวของตัวดูดซับเกิดปฏิกิริยากับตัวถูกดูดซับและการจับกันระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับเอง โดยกระบวนการดูดซับจะขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างที่ซับซ้อนของตัวดูดซับ สมบัติทางเคมีของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ จำนวนชั้นของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวและขนาดรูพรุนของตัวดูดซับ ดังนั้นในการเลือกตัวดูดซับจึงควรเลือกให้เหมาะสมกับองค์ประกอบต่างๆ ของตัวถูกดูดซับ เช่น ผงคาร์บอนกัมมันต์ (Activated carbon) สามารถดูดซับสารละลายที่ไม่มีขั้วได้ดี แต่ซิลิกอนไดออกไซด์สามารถดูดซับสารละลายที่มีขั้วได้ดี เป็นต้น



ภาพประกอบ 2 การยึดเกาะของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับ (ศุภรัตน์: 2546)

2.1.1 วงจรการทำงานของสารดูดความชื้น (ประเสนต์: 2549)

สารดูดความชื้นทุกชนิดมีกลไกการทำงานคล้ายกันในการดูดความชื้น คือ จะดูดไอน้ำจากอากาศเมื่อความดันไอน้ำที่ผิวสารดูดความชื้นมีค่าต่ำกว่าความดันไอน้ำของอากาศ และจะคายไอน้ำให้กับอากาศ เมื่อความดันไอน้ำที่ผิวสารดูดความชื้นมีค่าสูงกว่าความดันไอน้ำของอากาศ กระบวนการนี้เรียกว่า รีเจนเนอเรชัน (Regeneration) เมื่อความดันไอน้ำภายในสารดูดความชื้นเท่ากับอากาศภายนอกจะไม่มีการถ่ายเทไอน้ำ

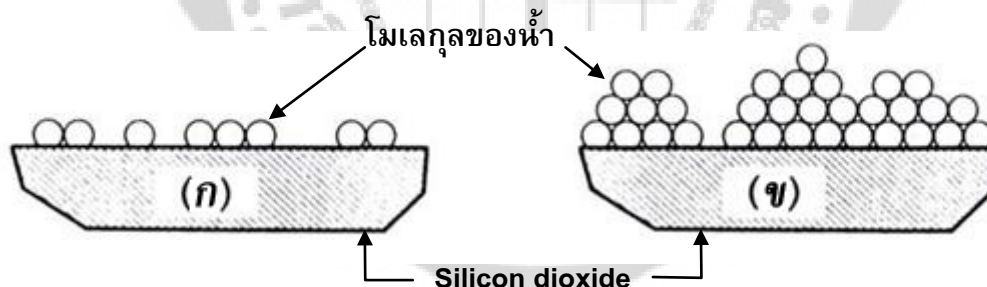


ภาพประกอบ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างสมดุลการดูดซับน้ำกับความชื้นสัมพัทธ์ของสารดูดความชื้นแต่ละชนิด (ประเสนต์: 2549)

2.1.2 ประเภทของการดูดซับ (ศุภรัตน์: 2546) การดูดซับแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.1.2.1 การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) เป็นการดูดซับที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลไม่สูง ส่วนมากเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals' forces) และในการดูดซับทางกายภาพนี้เป็นการดูดซับที่เป็นปฏิกิริยาที่เกิดความร้อนขึ้น (Exothermic reaction) ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นเมื่อมีการดูดซับ (Heat of adsorption, ΔH_{ads}) จะอยู่ในช่วง -10 ถึง -40 กิโลจูลต่อโมล และในการเกิดการดูดซับลักษณะนี้เป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นบริเวณใดก็ได้ภายในรูพรุนไม่ว่าจะเป็นบริเวณผิวหน้าของตัวดูดซับหรือระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวถูกดูดซับ แต่โดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นการเกิดระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับตัวถูกดูดซับมากกว่า โดยการดูดซับแบบนี้เป็นการดูดซับที่เกิดได้หลายชั้น (Multilayer adsorption) ดังแสดงในภาพประกอบ 4ข

2.1.2.2 การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption) เป็นการดูดซับที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่สูงมาก ซึ่งพันธะที่เกิดขึ้นในการดูดซับลักษณะนี้ได้แก่ พันธะโควาเลนต์ (Covalent bond) หรือพันธะไอออนิก (Ionic bond) และความร้อนที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดการดูดซับนั้นสูงกว่าการดูดซับทางกายภาพมาก คืออยู่ในช่วง -40 ถึง -1000 กิโลจูลต่อโมล และการดูดซับทางเคมีนี้เกิดขึ้นเฉพาะบริเวณผิวหน้าของตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับเท่านั้น โดยการดูดซับจะเกิดเพียงชั้นเดียว (Monolayer adsorption) ดังแสดงในภาพประกอบ 4ก การดูดซับในลักษณะนี้สามารถทำการ Desorption ได้ โดยการรบกวนสภาวะที่สมดุลนั้น เช่น การเพิ่มอุณหภูมิหรือการลดความดัน



ภาพประกอบ 4 ก) การดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer adsorption)

ข) การดูดซับแบบหลายชั้น (Multilayer adsorption) (ศุภรัตน์: 2546)

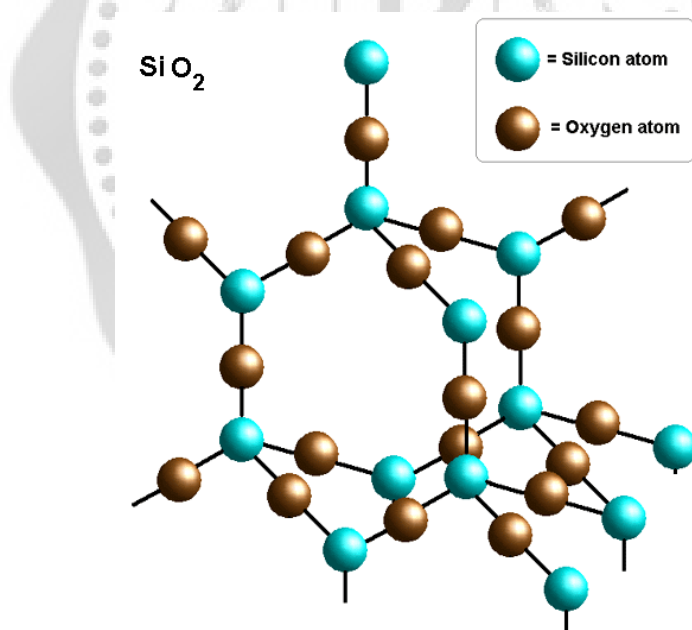
ข้อแตกต่างระหว่างการดูดซับทางเคมีและทางกายภาพ

การดูดซับทางกายภาพเป็นการดูดซับที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลต่ำกว่าการดูดซับทางเคมี ซึ่งเป็นผลทำให้การดูดซับทางกายภาพสามารถทำการ Desorption ได้ ส่วนการดูดซับทางเคมีนั้นทำได้ยาก และการดูดซับทางเคมีเป็นการดูดซับที่บริเวณผิวหน้าของตัวดูดซับ ดังนั้นเมื่อบริเวณผิวหน้าของตัวดูดซับถูกปกคลุมด้วยตัวถูกดูดซับเต็มพื้นที่แล้ว จึงไม่สามารถเกิดการดูดซับทางเคมีอีกได้ เป็นผลทำให้การดูดซับทางเคมีเป็นการดูดซับแบบเกิดเพียงชั้นเดียว ส่วน

การดูดซับทางกายภาพเป็นการดูดซับระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับตัวถูกดูดซับเอง ทำให้การดูดซับทางกายภาพเป็นการดูดซับแบบหลายชั้น

2.1.3 ซิลิกอนไดออกไซด์ (Silicon dioxide)

ซิลิกอนไดออกไซด์ เป็นสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมหลายประการ เช่น เป็นผงละเอียดสีขาว ไม่มีรส ไม่มีกลิ่น มีคุณสมบัติเฉื่อย มีค่า pH เป็นกลาง ซึ่งคุณสมบัติที่กล่าวมาทำให้ไม่ส่งผลกระทบที่จะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงไป ทั้งทางกายภาพและทางเคมี และซิลิกอนไดออกไซด์มีคุณสมบัติสำคัญคือ ช่วยในการดูดความชื้น น้ำมัน และ ไขมันได้ดีมาก เพราะซิลิกอนไดออกไซด์มีลักษณะทางกายภาพเป็นผงละเอียด มีรูปร่างกลมขนาดเล็กเท่ากัน และมีเส้นผ่าศูนย์กลางโดยประมาณ 30 ไมครอน มีโครงสร้างที่เป็นรูพรุน ที่พื้นที่ผิวสามารถดูดซับได้สูงมากกว่า 300 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อ 100 กรัม มีพื้นที่ผิวประมาณ 155 ± 15 ตารางเมตรต่อกรัม และสามารถดูดความชื้นได้ 259 มิลลิลิตรต่อ 100 กรัมซิลิกอนไดออกไซด์ ช่วยป้องกันการเกาะกันเป็นก้อน (Anti caking) ป้องกันการอัดตัวแน่นเมื่อเก็บไว้นาน (Protect against compaction) และช่วยเพิ่มคุณสมบัติการเคลื่อนไหลอย่างอิสระ (Improve flowability)



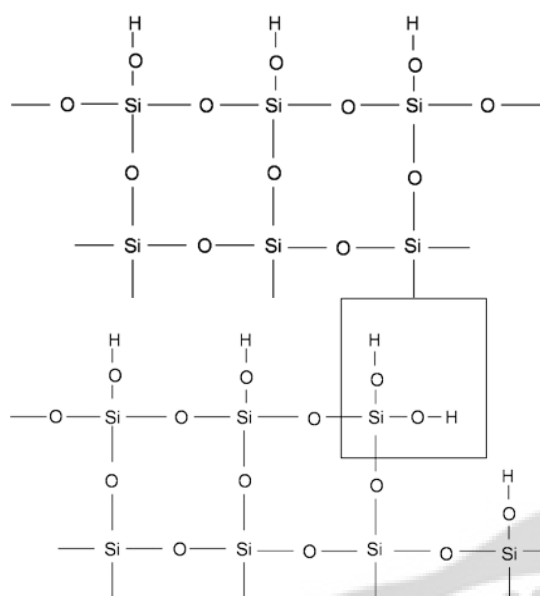
ภาพประกอบ 5 โครงสร้างทางเคมีของซิลิกอนไดออกไซด์
(<http://www.green-planet-solar-energy.com>: 2553)

ตาราง 3 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของซิลิกอนไดออกไซด์

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี			
สูตรโมเลกุล	SiO ₂	จุดหลอมเหลว	1650(±75) °C
น้ำหนักโมเลกุล	60.0843 g/mol	จุดเดือด	2230 °C
ลักษณะทางกายภาพ	white powder	การละลายในน้ำ	0.012 g/100 ml
ความหนาแน่น	2.634 g/cm ³	ความถ่วงจำเพาะ	2.2

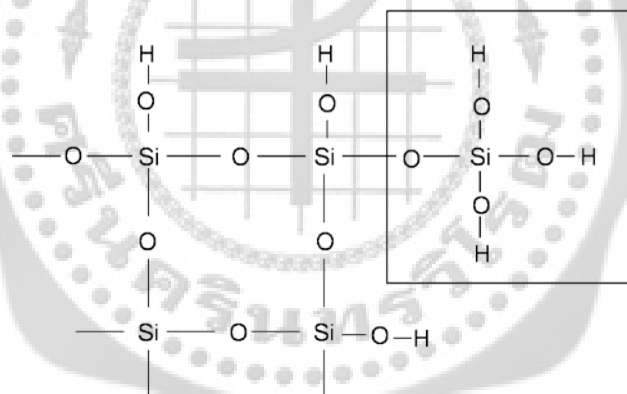
2.1.4 การดูดความชื้นของซิลิกอนไดออกไซด์ (ศุภรัตน์: 2546)

การดูดความชื้นของซิลิกอนไดออกไซด์นั้นเป็นผลมาจากสมบัติการดูดซับ (Adsorption) ของซิลิกอนไดออกไซด์ จากทฤษฎีการดูดซับที่ได้กล่าวในหัวข้อ 2.1 จะเห็นว่าการดูดซับจะเกิดเฉพาะบริเวณผิวเท่านั้นดังนั้นในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงลักษณะโครงสร้างของซิลิกอนไดออกไซด์ บริเวณผิวหน้าซิลิกอนไดออกไซด์นั้นจัดอยู่ในจำพวกที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) โดยที่ผิวของซิลิกอนไดออกไซด์เต็มไปด้วย Siloxane bonds ซึ่งจะจับกับ Hydroxyl group ได้ดีซึ่งการจับกันระหว่าง Siloxane bonds ที่บริเวณผิวของซิลิกอนไดออกไซด์กับ Hydroxyl group นั้นอาจเกิดได้ในหลายรูปแบบดังภาพประกอบ 6 โดยการจับกันระหว่าง Siloxane bonds กับ Hydroxyl group เป็นการจับกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ และเป็นการดูดซับเพียงชั้นเดียว (Monolayer adsorption) กล่าวคือเมื่อ Siloxane bonds จับกันกับ Hydroxyl group จนไม่เหลือแล้วจะไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาเช่นนี้ได้ อีก ซึ่งการเกิดการดูดซับในชั้นนี้เป็นการดูดซับทางเคมี (Chemisorption) และในการระเหยน้ำในชั้นนี้ ต้องให้อุณหภูมิสูงถึง 300 องศาเซลเซียส จากนั้นในการดูดซับน้ำในชั้นต่อไปเป็นการดูดซับทางกายภาพ (Physisorption) โดยการจับกันระหว่างโมเลกุลของน้ำเป็นการจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ซึ่งการจับกันระหว่างโมเลกุลของน้ำเป็นการดูดซับแบบหลายชั้น (Multilayer adsorption) ดังแสดงในภาพประกอบ 7 และรูปแสดงการดูดซับโมเลกุลของน้ำบนผิวหน้าของซิลิกอนไดออกไซด์แสดงดัง ภาพประกอบ 8



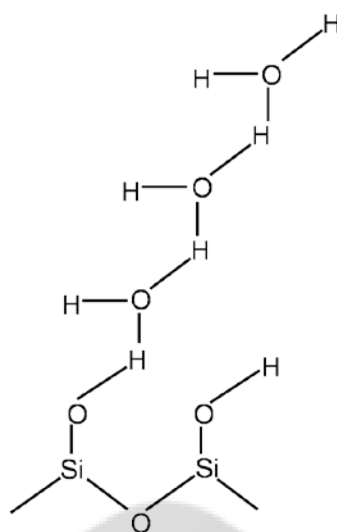
The single hydroxyl group

The double hydroxyl group

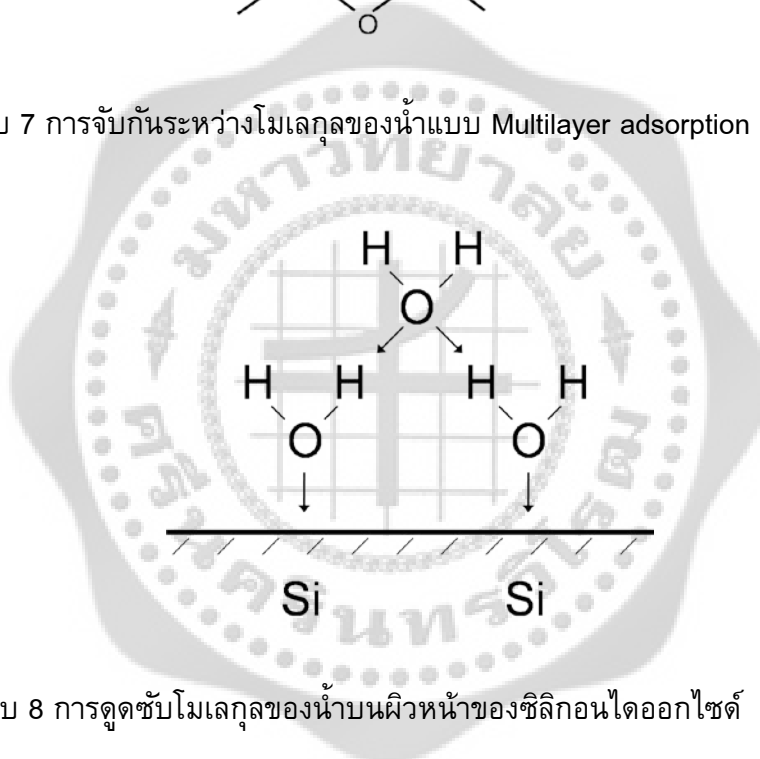


The triple hydroxyl group

ภาพประกอบ 6 การเกิด Hydroxyl group บนผิวหน้าของซิลิกอนไดออกไซด์ (ศุภรัตน์: 2546)



ภาพประกอบ 7 การจับกันระหว่างโมเลกุลของน้ำแบบ Multilayer adsorption (ศุภรัตน์ : 2546)



ภาพประกอบ 8 การดูดซับโมเลกุลของน้ำบนผิวหน้าของซิลิกอนไดออกไซด์ (ศุภรัตน์ : 2546)

โดยธรรมชาติแล้ววัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสารผสมล่องหน้าและยาสำหรับสัตว์ มีวัตถุดิบหลาย ๆ ชนิดที่มีคุณสมบัติในการดูดความชื้นได้อย่างรวดเร็ว จึงจำเป็นต้องหาวิธีแก้ไขไม่ให้ผลิตภัณฑ์เกิดการขึ้น หรือจับตัวกันเป็นก้อน สารดูดความชื้นจึงได้กลายเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับอุตสาหกรรมหลายประเภท เพื่อรักษาสภาพสินค้าให้คงสภาพเดิมจากโรงงานผลิต จนถึงมือลูกค้า สินค้าประเภท อาหารและอื่นๆ มีความเสี่ยงต่อความเสียหายจากความชื้นสูงหากไม่มีการป้องกัน

ความชื้นในอากาศทั้งภายนอกทั่วไปหรือในวัสดุหีบห่อที่บรรจุสินค้า จะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ดังนั้น การขนส่งสินค้าจากโรงงานไปยังลูกค้าโดยเฉพาะอย่างยิ่งการส่งออกนอกประเทศ หีบห่อที่บรรจุสินค้าจะต้องสัมผัสกับอุณหภูมิที่แตกต่างกันตลอดเวลา จากปัจจัยต่างๆ เช่น กลางวัน กลางคืน เขตอากาศร้อน หนาว อากาศภายนอก อากาศในห้องปรับ

อากาศ จึงมีความเสี่ยงที่ความชื้นในหีบห่อที่บรรจุสินค้าจะกลั่นตัวเป็นน้ำและสร้างความเสียหายให้แก่สินค้าได้ ความชื้นที่เปอร์เซ็นต์ที่สูงมากการกลั่นตัวจะเร็วขึ้น

การป้องกันการดูดน้ำของผลิตภัณฑ์สามารถแบ่งได้เป็น

- การเติมสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อน (Anti-caking agent) ผสมไปกับวัตถุดิบ ชนิดอื่นๆ ตัวอย่างเช่น ซิลิกอนไดออกไซด์ (Silicon dioxide) แคลเซียมซิลิเกต (Calcium silicate) แคลเซียมฟอสเฟต (Calcium phosphate) ข้อดีของการเติมสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนคือ สารนี้จะไปรวมตัวกับน้ำในผลิตภัณฑ์ หรือจับน้ำในบรรยากาศในภาชนะบรรจุได้ดี เนื่องจากมีการผสมสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนไปพร้อมกับวัตถุดิบตัวอื่นๆ
- การใส่สารดูดความชื้นเข้าไปภายในหีบห่อขณะทำการบรรจุ เช่น การใส่ซิลิกาเจล (Silica gel) ข้อดีคือการจัดการง่ายเพราะแยกเป็นซองบรรจุเล็กๆ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยการอบเพื่อไล่ความชื้นในตัวซิลิกาเจลออกไป ลดปัญหาการบริโภคสารดูดความชื้นโดยไม่ตั้งใจ ข้อเสียคือ ไม่ได้ผสมเข้าไปอย่างทั่วถึงในตัวผลิตภัณฑ์ จึงจับได้เฉพาะความชื้นในอากาศ

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Nassya Mohd Said (2007) ทำการศึกษาความคงตัวของผงทำให้เนื้อนุ่ม โดยทำการทดลองใช้สารป้องกันการจับตัวเป็นก้อน 3 ชนิด ไตรแคลเซียมฟอสเฟต(tricalciumphosphate; TPC) ไมโครคริสทอลไรต์ เซลลูโลส (Microcrystalline cellulose; MCC) และ โซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium bicarbonate) ผสมกับน้ำตาล (น้ำตาลซูโครสและน้ำตาลแลคโตส) และเกลือ (โซเดียมคลอไรด์) ที่อัตราส่วนต่างๆ ได้แก่ 0, 1.0, 1.5 และ 2.0% พบว่าเมื่อค่าวอเตอร์แอกติวิตีเพิ่มขึ้นค่าความชื้นจะเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อเติมสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อน พบว่าการเติมสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนที่ 1.0 1.5 และ 2.0% เมื่อเวลาผ่านไปการจับตัวเป็นก้อนของน้ำตาลไม่แตกต่างกันมากนัก จึงเลือกใช้การเติมสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนเข้าไปในผงทำให้เนื้อนุ่มที่ 1.0% ซึ่งการเติมสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนทำให้ความชื้นโดยรวมลดลง และทำให้ผงเนื้อนุ่มมีการไหลได้อย่างอิสระ ไม่จับตัวเป็นก้อน

Wei-Youh Kuu และคณะ (1997) ทำการศึกษาผลกระทบของความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิที่มีต่อการดูดความชื้นและความคงตัวของผงโซเดียมไบคาร์บอเนต พบว่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเป็นปัจจัยสำคัญในการดูดซับความชื้นของผงโซเดียมไบคาร์บอเนต เมื่ออุณหภูมิต่ำและความชื้นในอากาศสูงขึ้น ผงโซเดียมไบคาร์บอเนตจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และที่ อุณหภูมิสูงและความชื้น ต่ำลงผงโซเดียมไบคาร์บอเนตจะมีน้ำหนักลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากการดูดหรือคายความชื้นของผงโซเดียมไบคาร์บอเนต

Inar A Castro และคณะ (2006) ศึกษาผลการเติมสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนโดยใช้ซิลิกอนไดออกไซด์ 2% (S) การลดพื้นผิวสัมผัสภายในบรรจุภัณฑ์ลง 70% (H) และการรวมทั้ง 2 วิธีเข้าด้วยกัน (SH) ซึ่งจะดูลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของผงผสมเครื่องดื่ม โดยทำการ

ทดสอบดูครึ่งชีวิตของผงผสมเครื่องดื่มเป็นระยะเวลา 120 วัน โดยทำการประเมินทุก 30 วัน ทั้งหมด 4 ครั้ง ในการทดสอบจะดูลักษณะทางกายภาพของผงผสมและรสชาติของเครื่องดื่ม จากผลการทดลองพบว่า การลดพื้นผิวสัมผัสลง 70% จะมีประสิทธิภาพในการคงสภาพของผลิตภัณฑ์ได้ดีที่สุด ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (A_w) ก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ไวต่อปริมาณความชื้นและการเสื่อมคุณภาพของวิตามินซีมาก แม้ว่าค่าวอเตอร์แอกติวิตีจะแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของคุณสมบัติทางกายภาพเมื่อเวลาเปลี่ยนไป และบอกค่าครึ่งชีวิตของผงผสมด้วย หากต้องการให้ค่าครึ่งชีวิตของผงผสมเครื่องดื่มได้ตามที่ต้องการจะสามารถเปลี่ยนแปลงพื้นที่ผิวสัมผัสได้ในช่วง 60 – 90 %

A. M. Hollenbach และคณะ (2006) ทำการศึกษาผลของสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อน 4 ชนิดกับลักษณะทางกายภาพของน้ำตาล การเติมสารเพื่อคงความแห้งของน้ำตาลทั้ง 4 ชนิด คือ ซิลิกอนไดออกไซด์ โซเดียมมอลูมิเนียมซิลิเกต ไตรแคลเซียมฟอสเฟต และแคลเซียมสเตเรท อยู่ในช่วง 0.1 – 2.0% การเติมสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนทั้ง 4 ชนิดในปริมาณ 0.1% สามารถทำให้น้ำตาลมีปริมาณความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น และลดการจับตัวแข็งเป็นก้อนได้ ปริมาณสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนประมาณ 0.5 – 1.0% จะมีประสิทธิภาพที่ชัดเจนที่สุดหรือสูงที่สุด ยกเว้นซิลิกอนไดออกไซด์ จะช่วยรักษาสภาพความเป็นผงละเอียด เพิ่มความหนาแน่นของน้ำตาล โดยลดการจับตัวแข็งเป็นก้อนลง สำหรับปัจจัยสำคัญ (ความหนาแน่นและการจับตัวเป็นก้อน) ที่ส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผงน้ำตาลในการทดลองการจับตัวเป็นก้อน (ได้แก่ การยอมรับ การเสียดสีภายในและรูปแบบของการเกาะกันอย่างหลวมๆ) ผลการทดลองทำให้ทราบว่าความแตกต่างของขนาดและรูปร่างของน้ำตาลสามารถอธิบายถึงการเกิดปัญหาต่างๆ ข้างต้นได้ โดยสามารถทราบขนาดของน้ำตาลจากการสแกนของอิเล็กตรอนไมโครกราฟ

Pimjai Maneepan (2007) ศึกษาผลของการใช้สารป้องกันการจับตัวเป็นก้อน คือ ซิลิกอนไดออกไซด์ ไตรแคลเซียมฟอสเฟตและแมกนีเซียมคาร์บอเนตร่วมกับการควบคุมความชื้นของส่วนผสมของผงปรุงรสต้มยำ ค่าคุณภาพที่วัด ได้แก่ คุณลักษณะการไหล มุมกองของอาหารผง ความชื้น และวันที่เกิดการจับตัวเป็นก้อน จากการพิจารณาคูณภาพดังกล่าว พบว่าสิ่งทดลองที่ดีที่สุด คือ การใช้ซิลิกอนไดออกไซด์ร่วมกับไตรแคลเซียมฟอสเฟตสัดส่วน 70:30 โดยเติมร้อยละ 1.5 ของปริมาณส่วนผสมทั้งหมด และควบคุมความชื้นของส่วนผสมเป็นร้อยละ 3-4 ทำให้อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง มีลักษณะเป็นผงร่วนตลอดการเก็บ 6 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีค่าวอเตอร์แอกติวิตี 0.32 ปริมาณความชื้นร้อยละ 3.12 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 50 CFU/กรัม (est.) ยีสต์และรา 25 CFU/กรัม(est.) และได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส รสชาติและความชอบโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

เทวรัตน์ และสมยศ (2008) ทำการวิจัยเพื่อศึกษาหาค่าความชื้นสมดุลและจลศาสตร์การอบแห้งโพล ซึ่งพบว่าที่อุณหภูมิเดียวกันค่าความชื้นสมดุลของโพลมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์อากาศสูงขึ้น และแบบจำลอง Modified GAB ให้ค่าในการทำนายผลการทดลองความชื้นสมดุลได้ดีที่สุด

มารีนา มะหฺนึ (2002) เสนองงานวิจัยที่เป็นการทดลองและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความชื้นสมดุลสัมประสิทธิ์การแพร่ ความร้อนจำเพาะและความหนาแน่น ซึ่งค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งซึ่ง ซึ่งจากการวิเคราะห์หาค่าความชื้นสมดุลของซิงโดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัวเป็นตัวควบคุมความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 10-90% อุณหภูมิในช่วง 50-72 องศาเซลเซียส แล้วนำผลค่าความชื้นสมดุลมาวิเคราะห์กับรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของเส้นความชื้นสมดุลไอโซเทอมในรูปแบบสมการต่างๆ ปรากฏว่ารูปแบบสมการที่ให้ความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับการทดลองมากที่สุด คือรูปแบบสมการของ Oswin, ที่ตีพิมพ์ในปี 1946 ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ของความชื้นสมดุล คือในช่วงความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 30% เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความชื้นสมดุลจะมีค่าลดลง แต่ในช่วงความชื้นสัมพัทธ์อากาศมากกว่า 40% เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความชื้นสมดุลจะมีค่าเพิ่มขึ้น จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ ความชื้นของซิงในช่วงอุณหภูมิ 45-72 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วลม 1.3 เมตรต่อวินาที แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์หารูปแบบสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ ความชื้น จะได้ความสัมพันธ์ในลักษณะเอ็กซ์โปเนนเชียล คือ เมื่ออุณหภูมิมีค่าสูงขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นจะมีค่าเพิ่มขึ้น และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งควรอยู่ในช่วง 55-60 องศาเซลเซียส สำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนจำเพาะกับความชื้น (มาตรฐานแห้ง) ของซิงจะได้ความสัมพันธ์ในลักษณะเส้นโค้ง โดยที่ค่าความร้อนจำเพาะจะมีค่าลดลง เมื่อความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับความชื้น (มาตรฐานแห้ง) ของซิง จะได้ความสัมพันธ์ในลักษณะเชิงเส้น โดยที่ค่าความหนาแน่นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้น

อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์ และคณะ (2002) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและความชื้นสมดุลของตะไคร้ มีวัตถุประสงค์ คือ การหาซอร์พชัน ไอโซเทอมของตะไคร้ และเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยที่การหาความชื้นสมดุลสำหรับตะไคร้ใช้วิธีเชิงสถิตยแบบคายความชื้น ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 10 % ถึง 90 % และช่วงอุณหภูมิจาก 50 องศาเซลเซียส ถึง 72 องศาเซลเซียส นำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 4 แบบจำลองของ Chung – Pfost, Halsey, Henderson และ Oswin ปรากฏว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ให้ความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับผลการทดลองมากที่สุด คือ แบบจำลองของ Oswin คือในช่วงความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 30% เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความชื้นสมดุลจะมีค่าลดลง แต่ในช่วงความชื้นสัมพัทธ์อากาศมากกว่า 40% เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความชื้นสมดุลจะมีค่าเพิ่มขึ้นโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (σ_D) 0.342

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้สารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนกับปริมาณความชื้นสมดุล เพื่อใช้เป็นแนวทางในการคำนวณค่าปริมาณการเติมสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนของสารผสมล่วงหน้า (Premix) และยาสำหรับสัตว์

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- 3.1.1 แมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl_2 ; AR Grade)
- 3.1.2 ลิเทียมคลอไรด์ (LiCl ; AR Grade)
- 3.1.3 แมกนีเซียมไนเตรต ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$; AR Grade)
- 3.1.4 โซเดียมคลอไรด์ (NaCl ; AR Grade)
- 3.1.5 แบเรียมคลอไรด์ (BaCl_2 ; AR Grade)
- 3.1.6 ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2 ; Feed Grade บริษัทนิวทรีน จำกัด)
- 3.1.7 ตัวอย่างสารผสมล่วงหน้า (Premix ; Feed Grade) ของบริษัท แอนิมัล ซัพพลีเมนต์ แอนด์ ฟาร์มาซูติคอล จำกัด

3.2 เครื่องวิเคราะห์

- 3.2.1 เครื่องชั่ง Mettler Toledo รุ่น AL 204 ประเทศสวิสเซอร์แลนด์
- 3.2.2 ตู้อบ รุ่น BE 500 ประเทศเยอรมัน
- 3.2.3 ตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น (Stability Chamber) รุ่น S525L ประเทศไทย

3.3 อุปกรณ์สำหรับการทดลอง

- 3.3.1 ถ้วยชั่งหาปริมาณความชื้น (Weighting Bottle) ขนาด 3.2 x 5.0 เซนติเมตร
- 3.3.2 ช้อนตักสาร (Spoon)
- 3.3.3 แท่งกวนคนสาร (Stirring rod)
- 3.3.4 บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 1,000 มิลลิลิตร
- 3.3.5 ปิเปต (Pipet) ขนาด 20 มิลลิลิตร
- 3.3.6 โถดูดความชื้น (Desicator)
- 3.3.7 ที่คีบ (Forceps)
- 3.3.8 คีมจับภาชนะ (Tung)
- 3.3.9 กล่องพลาสติกขนาด 3.15x8.40x0.75 เซนติเมตร
- 3.3.10 กล่องพลาสติกฝาปิดสนิทขนาด 3.15x8.40x9.50 เซนติเมตร

3.4 การเตรียมตัวอย่างและสารเคมี

3.4.1 การเตรียมตัวอย่างพรีมิกซ์

3.4.1.1 ชั่งวิตามิน แร่ธาตุ สารอาหารตามสูตรของพรีมิกซ์

3.4.1.2 ชั่งน้ำตาลเดกซ์โตรสประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ของพรีมิกซ์

3.4.1.3 ทำการผสมสารที่ชั่งในข้อ 3.4.1.1 และ 3.4.1.2 ให้เข้ากันจะได้พรีมิกซ์

ควบคุม

3.4.1.4 ทำตามข้อ 3.4.1.1 3.4.1.2 และ 3.4.1.3 แต่ทำการเติมซิลิกอนไดออกไซด์

0.5 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

3.4.1.5 นำตัวอย่างพรีมิกซ์ทั้ง 4 แบบไปหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นเริ่มต้น

3.4.1.6 ทำการจัดเก็บตัวอย่างพรีมิกซ์ทั้ง 4 แบบ ไว้ในถุงพอยล์ที่ปิดสนิทจนกว่าจะ

นำมาทำการทดลอง



ภาพประกอบ 9 ลักษณะของพรีมิกซ์ที่ทำการเติมซิลิกอนไดออกไซด์

3.4.2 การเตรียมสารละลายเกลืออิมิตัว

3.4.2.1 เตรียมสารละลายเกลืออิมิตัว ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.4.2.1.1 นำน้ำกลั่น 600 มิลลิลิตร ใส่บีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร

3.4.2.1.2 นำน้ำกลั่นไปให้ความร้อนประมาณ 60 องศาเซลเซียส แล้วใส่เกลือ $MgCl_2$ ลงไปแล้วคนจนละลาย

3.4.2.1.3 เติมเกลือลงไปเรื่อยๆ จนว่าเกลือจะไม่สามารถละลายได้อีก หรือสังเกตเห็นว่ามึนผลึกของเกลือเกิดขึ้น นั่นแสดงว่าสารละลายเกลืออิ่มตัวแล้ว

3.4.2.1.4 ทำตามข้อ 3.4.2.1.1, 3.4.2.1.2 และ 3.4.2.1.3 แต่ในข้อ 3.4.2.1.2 ให้เปลี่ยนเป็นเกลือ $LiCl$, $Mg(NO_3)_2$, $NaCl$ และ $BaCl_2$ ตามลำดับ

3.4.2.2 ใช้ปิเปตดูดสารละลายเกลืออิมิตัวที่ละชนิดที่ยังอุ่นอยู่ 20 มิลลิลิตร ใส่ลงในกล่องพลาสติกปิดสนิท จากนั้นทิ้งไว้จนเย็นที่อุณหภูมิห้อง จะเห็นผลึกของเกลือเกิดขึ้น

3.4.2.3 นำกล่องพลาสติกในข้อ 3.4.2.2 ไปวางในสภาวะที่จะทำการทดลองอย่างน้อย 1 คืน เพื่อให้สารละลายเกลืออิมิตัวเข้าสู่สมดุล ก่อนใส่ตัวอย่างพรีมิกซ์ลงไป



ปิเปตสารละลายเกลืออิมิตัว
ใส่กล่องพลาสติก



สารละลายเกลืออิมิตัว
ในกล่องพลาสติก



ชั่งตัวอย่างพรีมิกซ์เพื่อ
ทำการทดลอง



ภาพประกอบ 10 การเตรียมตัวอย่างในกล่องที่ทำการควบคุมความชื้นโดยใช้สารละลายเกลืออิมิตัว

3.5 วิธีดำเนินการวิจัย

3.5.1 ศึกษาผลของความชื้นในอากาศต่อสมดุลความชื้นของพรีมิกซ์

3.5.1.1 ชั่งน้ำหนักพรีมิกซ์ควบคุมโดยใช้เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่งประมาณ 15 กรัม (บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ลงในกล่องพลาสติก 5 ใบ

3.5.1.2 นำตัวอย่างวางไว้ในห้องสารละลายเกลืออิมิตัว $MgCl_2$ ภายในกล่องพลาสติก ปิดสนิท แล้วนำไปวางไว้ที่อุณหภูมิ 25 และ 40 องศาเซลเซียส รวมทั้งที่สภาวะที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ

3.5.1.3 ชั่งน้ำหนักของพรีมิกซ์ควบคุม ในข้อ 3.5.1.2 ทุกๆ 5 วันโดยทำการชั่งในช่วง 9.00 – 11.00 นาฬิกา ทำการตรวจวิเคราะห์ความชื้นด้วย

3.5.1.4 เวลาซึ่งให้นำกล่องพลาสติกใส่ตัวอย่างปิดสนิทมาวางไว้ให้ใกล้กับเครื่องชั่งให้มากที่สุดและจะเปิดฝาของกล่องพลาสติกเพื่อนำตัวอย่างออกมาชั่งเมื่อจะทำการชั่งเท่านั้น เพื่อควบคุมความชื้นในอากาศให้คงที่มากที่สุด ในการนำตัวอย่างออกมาชั่งให้คีบกล่องพลาสติกที่ใส่ตัวอย่างด้านในโดยใช้ที่คีบ (Forceps) ออกมาทำการชั่ง

3.5.1.5 นำปริมาตรที่ควบคุมในข้อ 3.5.1.4 มาหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น

3.5.1.6 ทำการทดลองตามข้อ 3.5.1.1 3.5.1.2 3.5.1.3 3.5.1.4 และ 3.5.1.5 แต่เปลี่ยนสารละลายเกลืออิมิตัวเป็น LiCl , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, NaCl และ BaCl_2



ห้องควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ตู้ควบคุมอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ภาพประกอบ 11 วิธีการควบคุมอุณหภูมิตัวอย่างที่อุณหภูมิ 25 และ 40 องศาเซลเซียส

3.5.2 ศึกษาหาผลของอุณหภูมิที่มีต่อความชื้นในปริมาตร

3.5.2.1 ชั่งน้ำหนักปริมาตรที่ควบคุม โดยใช้เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่งประมาณ 15 กรัม (บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ลงในกล่องพลาสติก

3.5.2.2 นำตัวอย่างที่ได้ไปวางที่อุณหภูมิต่างๆ คือ 25 และ 40 องศาเซลเซียส รวมทั้งที่สภาวะที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ

3.5.2.3 ชั่งน้ำหนักของปริมาตรที่ควบคุม ในข้อ 3.4.1.3 ทุกๆ 5 วัน โดยทำการชั่งในช่วง 9.00 – 10.00 นาฬิกา จนกระทั่งครบ 35 วัน

3.5.2.4 นำตัวอย่างที่ได้จากข้อ 3.5.2.3 ไปทำการหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

3.5.2.5 ทำการทดลองตามข้อ 3.5.2.1 3.5.2.2 3.5.2.3 และ 3.5.2.4 แต่เปลี่ยนตัวอย่างปริมาตรที่ควบคุมเป็นปริมาตรในข้อ 3.4.1.4 แทน



ภาพประกอบ 12 ตู้บที่ใช้เป็นเครื่องมือในการอบเพื่อหาความชื้นของตัวอย่าง

3.5.3 ศึกษาอิทธิพลของการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ต่อความชื้นในพรีมิกซ์

3.5.3.1 ชั่งน้ำหนักพรีมิกซ์ควบคุมโดยใช้เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่งประมาณ 15 กรัม (บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ลงในกล่องพลาสติก 5 ใบ

3.5.3.2 นำตัวอย่างวางไว้ในหีอสารละลายเกลืออิ่มตัวชนิดต่างๆ ภายในกล่องพลาสติกปิดสนิท แล้วนำไปวางไว้ในอุณหภูมิ 25 และ 40 องศาเซลเซียส รวมทั้งที่สภาวะที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ

3.5.3.3 ชั่งน้ำหนักของพรีมิกซ์ควบคุมในข้อ 3.4.1.3 ทุกๆ 5 วันโดยทำการชั่งในช่วง 9.00 – 11.00 นาฬิกา ทำการตรวจวิเคราะห์ความชื้นด้วย

3.5.3.4 เวลาชั่งให้นำกล่องพลาสติกใส่ตัวอย่างปิดสนิทมาวางไว้ให้ใกล้กับเครื่องชั่งให้มากที่สุด และจะเปิดฝาของกล่องพลาสติกเพื่อนำตัวอย่างออกมาชั่งเมื่อจะทำการชั่งเท่านั้น เพื่อควบคุมความชื้นในอากาศให้คงที่มากที่สุด ในการนำตัวอย่างออกมาชั่งให้คีบกล่องพลาสติกที่ใส่ตัวอย่างด้านในโดยใช้ที่คีบ (Forceps) ออกมาทำการชั่ง

3.5.3.5 นำพรีมิกซ์ควบคุมในข้อ 3.5.3.4 มาหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น

3.5.3.6 ทำการทดลองตามข้อ 3.5.3.1 3.5.3.2 3.5.3.3 3.5.3.4 และ 3.5.3.5 แต่เปลี่ยนตัวอย่างพรีมิกซ์ควบคุมเป็นพรีมิกซ์ในข้อ 3.4.1.4 แทน

3.5.3.7 คำนวณหาปริมาณความชื้นสมมูลได้จากสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้นสมดุล} = \left| \frac{W_2 - W_1}{W_3} \right| \times 100$$

โดยที่ W_1 คือ น้ำหนักพรีมิกซ์ (กรัม)
 W_2 คือ น้ำหนักพรีมิกซ์หลังทิ้งไว้กับสารละลายเกลืออิ่มตัว (กรัม)
 W_3 คือ น้ำหนักพรีมิกซ์หลังอบที่ 105 องศาเซลเซียส (กรัม)

3.6 วิธีวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของพรีมิกซ์

3.6.1 หาน้ำหนักคงที่ของภาชนะ (Weighting bottle)

3.6.1.1 นำ weighting bottle ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เริ่มจับเวลาเมื่ออุณหภูมิถึง 105 องศาเซลเซียส อบทิ้งไว้ 5 ชั่วโมง

3.6.1.2 ใช้คีมจับ weighting bottle ใส่ลงใน desiccator ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

3.6.1.3 ชั่งน้ำหนัก โดยเครื่องชั่งละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

3.6.1.4 นำ weighting bottle ไปอบต่ออีก 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิเท่าเดิม เมื่อครบ 1 ชั่วโมงแล้วใส่ลงใน dessicator ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

3.6.1.5 แล้วชั่งน้ำหนักคงที่ (น้ำหนักคงที่ (Constant weight) หมายถึง น้ำหนักที่ได้จากการชั่งติดต่อกัน 2 ครั้ง มีค่าต่างกันไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม โดยการชั่งครั้งที่สองเพื่อหาความต่างของน้ำหนัก)

3.6.2 วิธีตรวจวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.6.2.1 ชั่งตัวอย่าง จำนวน 1.0 กรัม ชั่งอย่างละเอียด ลงใน (weighting bottle)

3.6.2.2 ชั่งน้ำหนัก โดยเครื่องชั่งละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

3.6.2.3 เคาะ weighting bottle เบาๆ เพื่อปรับสภาพผิวหน้าของตัวอย่างข้างในให้เรียบ

3.6.2.4 นำไปอบที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง (เวลาอบให้เปิดฝา weighting)

3.6.2.5 เมื่ออบ 3 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ใน dessicator แล้วชั่งน้ำหนัก จากนั้นอบต่ออีก 1 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักจะได้น้ำหนักที่คงที่

3.6.3 คำนวณหาปริมาณเปอร์เซ็นต์ความชื้น จากสูตร

$$\text{ปริมาณเปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \left| \frac{W_1 - W_3}{W_3} \right| \times 100$$

โดยที่ W_1 คือ น้ำหนักพรีมิกซ์ก่อนอบที่ 105 องศาเซลเซียส (กรัม)
 W_3 คือ น้ำหนักพรีมิกซ์หลังอบที่ 105 องศาเซลเซียส (กรัม)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 การใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว

การกำหนดใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว 5 ชนิดได้แก่ LiCl , MgCl_2 , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, NaCl และ BaCl_2 เพื่อสร้างบรรยากาศที่มีความชื้นต่างๆ กัน ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานที่ใช้กันอยู่ทั่วไป โดยความชื้นอากาศเหนือสารละลายอิ่มตัวมีค่าต่างๆ ดังแสดงในตาราง 4

ตาราง 4 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ภาวะสมดุลในสารละลายเกลืออิ่มตัวทั้ง 5 ชนิด (Greenspan, Lewis.:1977)

ชนิดของสารละลายเกลืออิ่มตัว	อุณหภูมิ($^{\circ}\text{C}$)	ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ(%RH)
ลิเทียมคลอไรด์ (LiCl)	20 - 40	11.00 - 11.62
แมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl_2)	20 - 40	31.47 - 33.25
แมกนีเซียมไนเตรต ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$)	20 - 40	48.05 - 54.61
โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)	20 - 40	74.55 - 75.61
แบเรียมคลอไรด์ (BaCl_2)	20 - 40	87.62 - 91.88

แม้ว่าความชื้นของบรรยากาศในสารละลายอิ่มตัวจะมีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ แต่เมื่อใช้ในการทดลองซึ่งมีช่วงอุณหภูมิ 20-40 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าความชื้นสัมพัทธ์จะมีการเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 10% เมื่อวางพรีมิคซ์ในบรรยากาศที่มีความชื้นต่างๆ กัน และวัดความชื้นในพรีมิคซ์ทุก 5 วัน

4.2 การหาเวลาเข้าสู่ความชื้นสมดุลของพรีมิคซ์

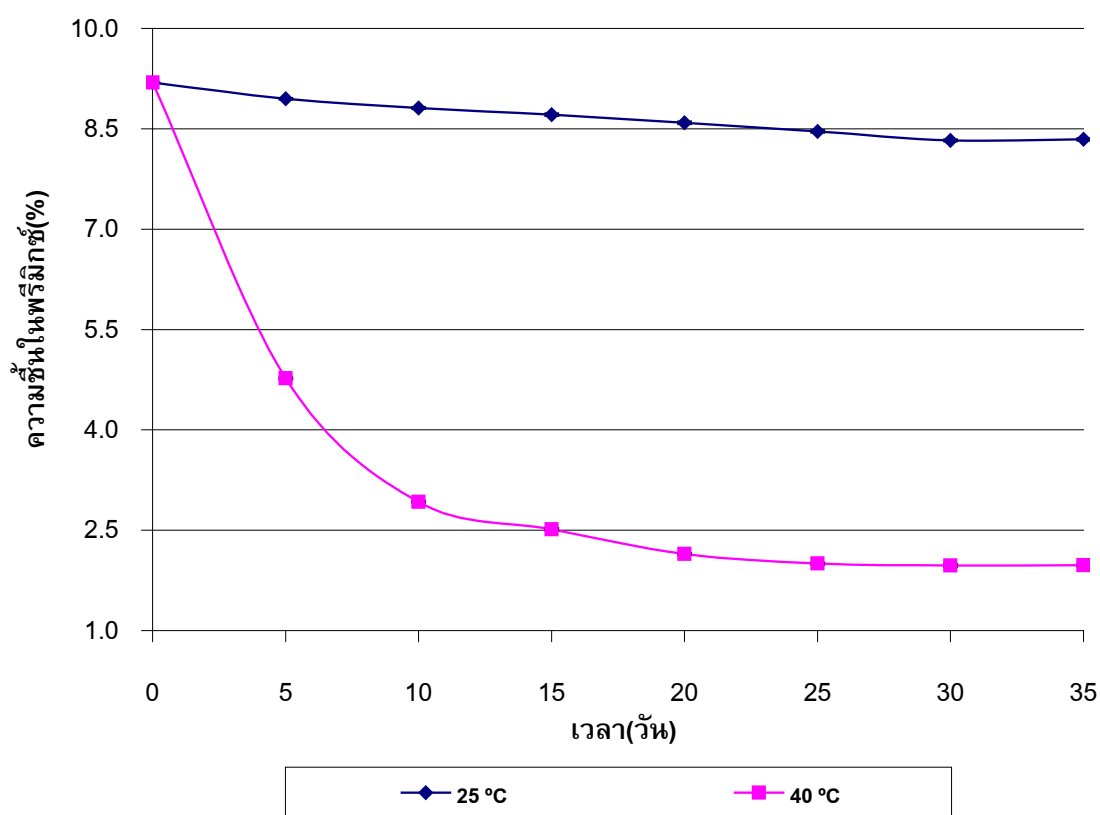
4.2.1 ศึกษาผลของบรรยากาศที่ความชื้นต่างๆ กัน

เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์การดูดความชื้นของพรีมิคซ์ ที่ความชื้นในอากาศต่างๆ โดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว 5 ชนิดเป็นตัวควบคุมความชื้นในอากาศ โดยนำพรีมิคซ์วางไว้ในเหนือสารละลายเกลืออิ่มตัวภายในกล่องพลาสติกปิดสนิท มีการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในสภาวะเดียวกันทั้ง 5 ชนิด อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองคือที่อุณหภูมิ 25 และ 40 องศาเซลเซียส เนื่องจากเพื่อให้ครอบคลุมอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาพรีมิคซ์ เพราะหากเป็นพรีมิคซ์ที่มีราคาสูงเช่น ยา ส่วนใหญ่ จะทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แต่หากเป็นพรีมิคซ์ทั่วๆ ไปซึ่งราคาไม่สูงจะเก็บ

รักษาที่อุณหภูมิปกติ ซึ่ง ณ ปัจจุบันประเทศไทยมีอากาศค่อนข้างร้อนอุณหภูมิในบางวันสูงถึง 40 องศาเซลเซียส ในการทดลองนี้มีการทำซ้ำ 5 ครั้งและมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุด $\pm 2\%$ ของค่าเฉลี่ย

4.2.1.1 ควบคุมความชื้นโดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว LiCl

จากภาพประกอบ 13 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในพรีมิกซ์ เมื่ออุณหภูมิคงที่ 25 และ 40 องศาเซลเซียส ควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว LiCl ทำการวางภาชนะที่บรรจุพรีมิกซ์ไว้เหนือสารละลายเกลืออิ่มตัว LiCl ซึ่งจะให้บรรยากาศความชื้น 11%RH แล้วทำการตรวจวิเคราะห์ความชื้นทุกๆ 5 วัน จนกระทั่งความชื้นอิ่มตัว



ภาพประกอบ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในพรีมิกซ์(%) กับเวลา(วัน) ที่อุณหภูมิ 25 และ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ LiCl

พบว่าความชื้นของพรีมิกซ์ที่มีความชื้นตั้งต้นที่ 9.19% จะลดลงตามเวลาจนกระทั่งความชื้นคงที่ โดยที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นจะเริ่มคงที่เมื่อเข้าสู่วันที่ 20 ซึ่งความชื้นในพรีมิกซ์ตั้งแต่วันที่ 20 ถึงวันที่ 35 มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นอย่างไม่มีนัยสำคัญ สามารถวัดความชื้นได้ 8.33% ซึ่งถือว่าความชื้นนี้เป็นความชื้นสมดุลของพรีมิกซ์ที่ควบคุมความชื้นในอากาศโดยสารละลายเกลืออิ่มตัว LiCl ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ส่วนการทดลองที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นจะคงที่เมื่อเข้าสู่วันที่ 20 ซึ่งความชื้นในพรีมิกซ์ตั้งแต่วันที่ 20 ถึงวันที่ 35 ไม่มี

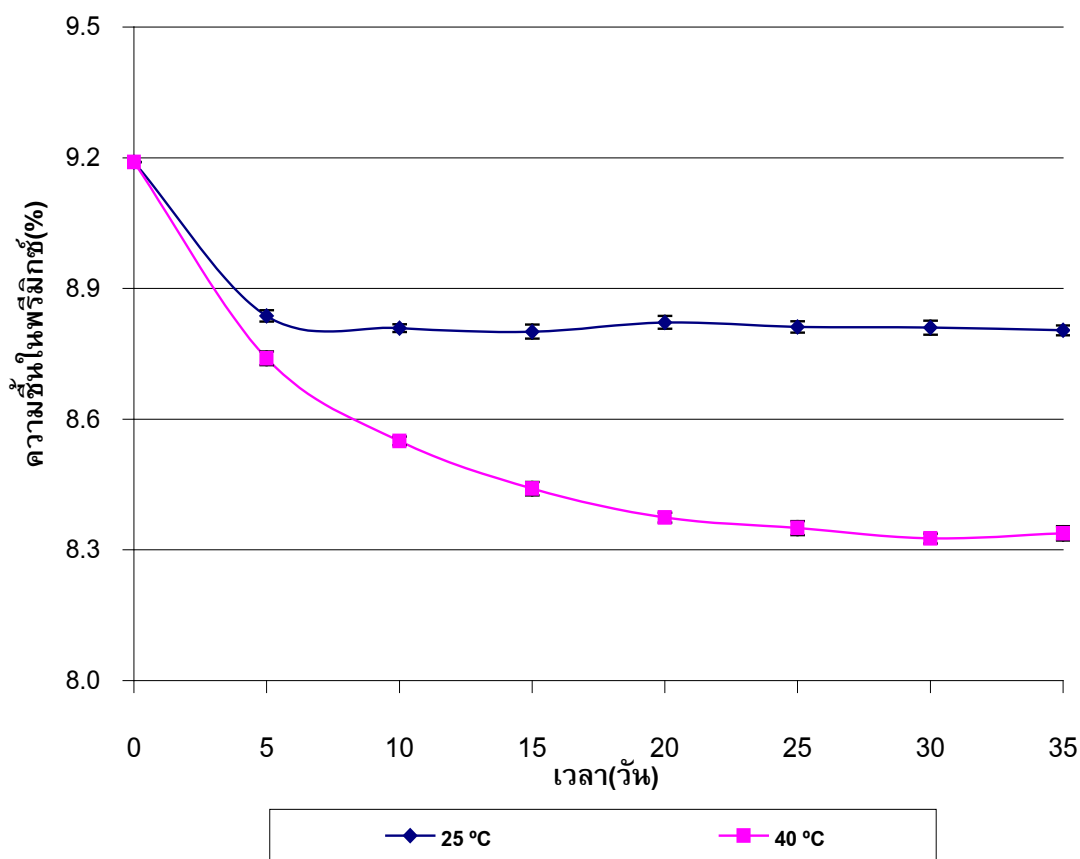
การเปลี่ยนแปลงความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ สามารถวัดความชื้นได้เพียง 2.00% ซึ่งถือว่าความชื้นนี้เป็นความชื้นสมดุลของพรีมิกซ์ที่ควบคุมความชื้นในอากาศโดยสารละลายเกลืออิมตัว LiCl ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พรีมิกซ์จะมีลักษณะแห้งมากดังภาพประกอบ 14 และจากการเปรียบเทียบสภาวะการเก็บที่อุณหภูมิทั้ง 2 พบว่าที่ทั้ง 2 อุณหภูมิความชื้นของพรีมิกซ์จะเข้าสู่สมดุลพร้อมกัน จากภาพประกอบ 13 จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นในพรีมิกซ์ตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งถึงจุดสมดุลจะแตกต่างกันไม่มากนัก ซึ่งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นในพรีมิกซ์จะลดลงมากแสดงว่าที่ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ 11%RH อุณหภูมิจะมีผลต่อการคายความชื้นของพรีมิกซ์ด้วย



ภาพประกอบ 14 ลักษณะทางกายภาพของพรีมิกซ์ที่มีการคายความชื้นจนแห้ง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ LiCl

4.2.1.2 ควบคุมความชื้นโดยใช้สารละลายเกลืออิมตัว $MgCl_2$

จากภาพประกอบ 15 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในพรีมิกซ์เมื่ออุณหภูมิคงที่ 25 และ 40 องศาเซลเซียส ควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลืออิมตัว $MgCl_2$ ทำการวางภาชนะที่บรรจุพรีมิกซ์ไว้ในสารละลาย $MgCl_2$ ซึ่งจะให้บรรยากาศความชื้น 32%RH แล้วทำการตรวจวิเคราะห์ความชื้นทุกๆ 5 วัน จนกระทั่งความชื้นของพรีมิกซ์อิมตัว

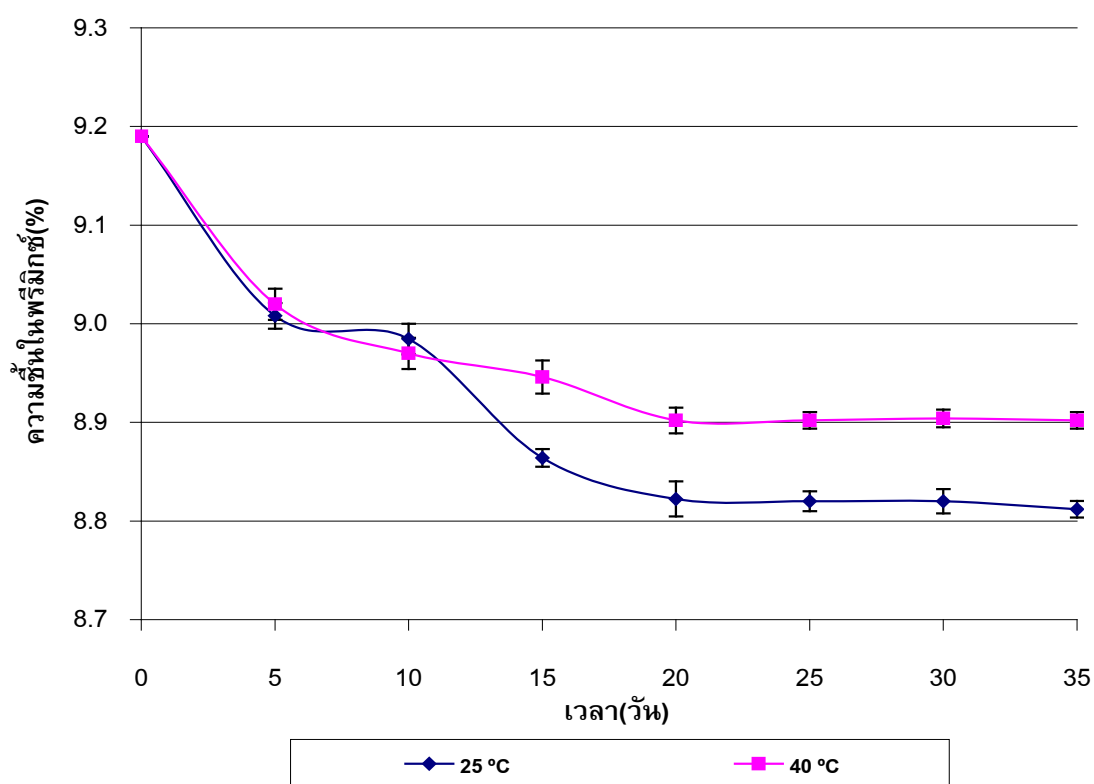


ภาพประกอบ 15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในพรีมิกซ์(%) กับเวลา(วัน) ที่อุณหภูมิ 25 และ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ $MgCl_2$

พบว่าความชื้นของพรีมิกซ์ที่มีความชื้นตั้งต้นที่ 9.19% จะลดลงตามเวลาจนกระทั่งความชื้นคงที่ โดยที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นจะคงที่เมื่อเข้าสู่วันที่ 5 ซึ่งความชื้นในพรีมิกซ์ ตั้งแต่วันที่ 5 ถึงวันที่ 35 มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นอย่างไม่มีนัยสำคัญ สามารถวัดความชื้นได้ 8.81% ซึ่งถือว่าความชื้นนี้เป็นความชื้นสมดุลของพรีมิกซ์ที่ควบคุมความชื้นในอากาศโดยสารละลายเกลืออิมิตัว $MgCl_2$ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นจะคงที่เมื่อเข้าสู่วันที่ 20 ซึ่งความชื้นในพรีมิกซ์ตั้งแต่วันที่ 20 ถึงวันที่ 35 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ สามารถวัดความชื้นได้ 8.33% ซึ่งถือว่าความชื้นนี้เป็นความชื้นสมดุลของพรีมิกซ์ที่ควบคุมความชื้นในอากาศโดยสารละลายเกลืออิมิตัว $MgCl_2$ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จากการเปรียบเทียบสภาวะการเก็บที่อุณหภูมิทั้ง 2 พบว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นของพรีมิกซ์จะเข้าสู่สมดุลก่อน

4.2.1.3 ควบคุมความชื้นโดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$

จากภาพประกอบ 16 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในพรีมิกซ์เมื่ออุณหภูมิคงที่ 25 และ 40 องศาเซลเซียส ควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ทำการวางภาชนะที่บรรจุพรีมิกซ์ไว้เหนือสารละลาย $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ซึ่งจะให้บรรยากาศความชื้น 50%RH แล้วทำการตรวจวิเคราะห์ความชื้นทุกๆ 5 วัน จนกระทั่งความชื้นของพรีมิกซ์อิ่มตัว



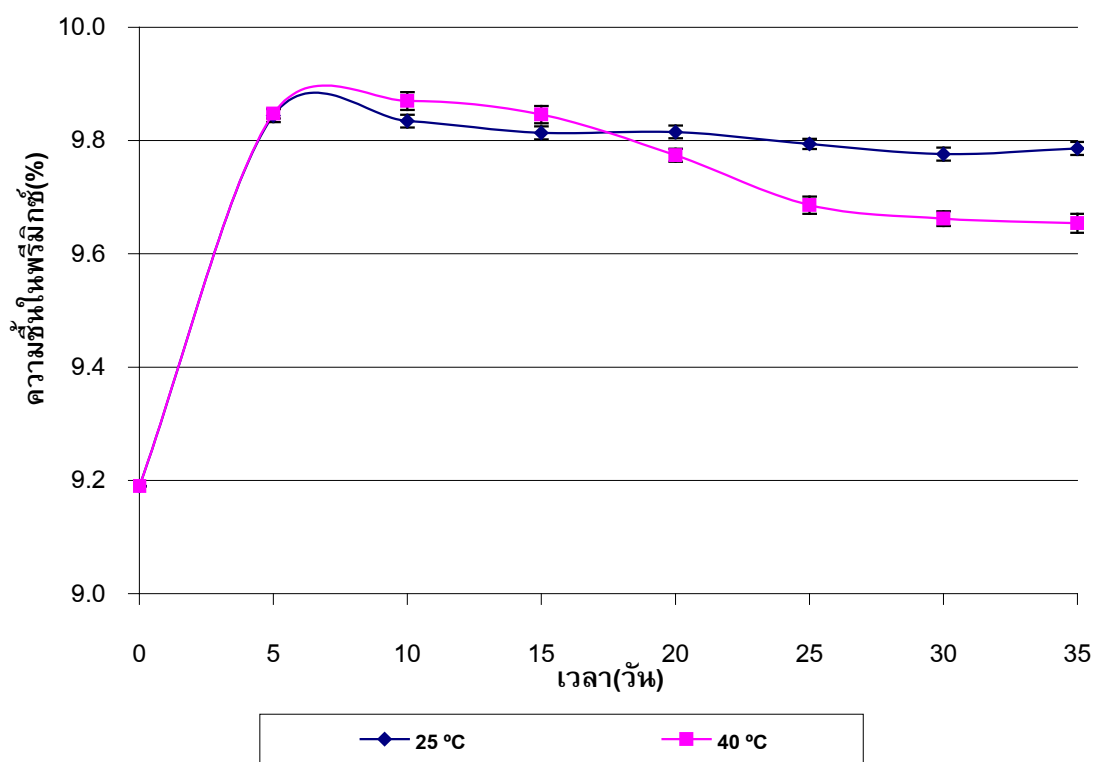
ภาพประกอบ 16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในพรีมิกซ์(%) กับเวลา(วัน) ที่อุณหภูมิ 25 และ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$

พบว่าความชื้นของพรีมิกซ์ที่มีความชื้นตั้งต้นที่ 9.19% จะลดลงตามเวลาจนกระทั่งความชื้นคงที่ โดยที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นจะคงที่เมื่อเข้าสู่วันที่ 20 ซึ่งความชื้นในพรีมิกซ์ ตั้งแต่วันที่ 20 ถึงวันที่ 35 มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นอย่างไม่มีนัยสำคัญ สามารถวัดความชื้นได้ 8.82% ซึ่งถือว่าความชื้นนี้เป็นความชื้นสมดุลของพรีมิกซ์ที่ควบคุมความชื้นในอากาศโดยสารละลายเกลืออิ่มตัว $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นจะคงที่เมื่อเข้าสู่วันที่ 20 ซึ่งความชื้นในพรีมิกซ์ตั้งแต่วันที่ 20 ถึงวันที่ 35 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ สามารถวัดความชื้นได้ 8.90% ซึ่งถือว่าความชื้นนี้เป็น

ความชื้นสมดุลของพรีมิกซ์ที่ควบคุมความชื้นในอากาศโดยสารละลายเกลืออัมมัตว์ $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จากการเปรียบเทียบสภาวะการเก็บที่อุณหภูมิทั้ง 2 พบว่า ความชื้นของ พรีมิกซ์จะเข้าสู่สมดุลพร้อมกัน

4.2.1.4 ควบคุมความชื้นโดยใช้สารละลายเกลืออัมมัตว์ NaCl

จากภาพประกอบ 17 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในพรีมิกซ์เมื่ออุณหภูมิคงที่ 25 และ 40 องศาเซลเซียส ควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลืออัมมัตว์ NaCl ทำการวางภาชนะที่บรรจุพรีมิกซ์ไว้เหนือสารละลาย NaCl ซึ่งจะให้บรรยากาศความชื้น 75%RH แล้วทำการตรวจวิเคราะห์ความชื้นทุกๆ 5 วัน จนกระทั่งความชื้นของพรีมิกซ์อัมมัตว์



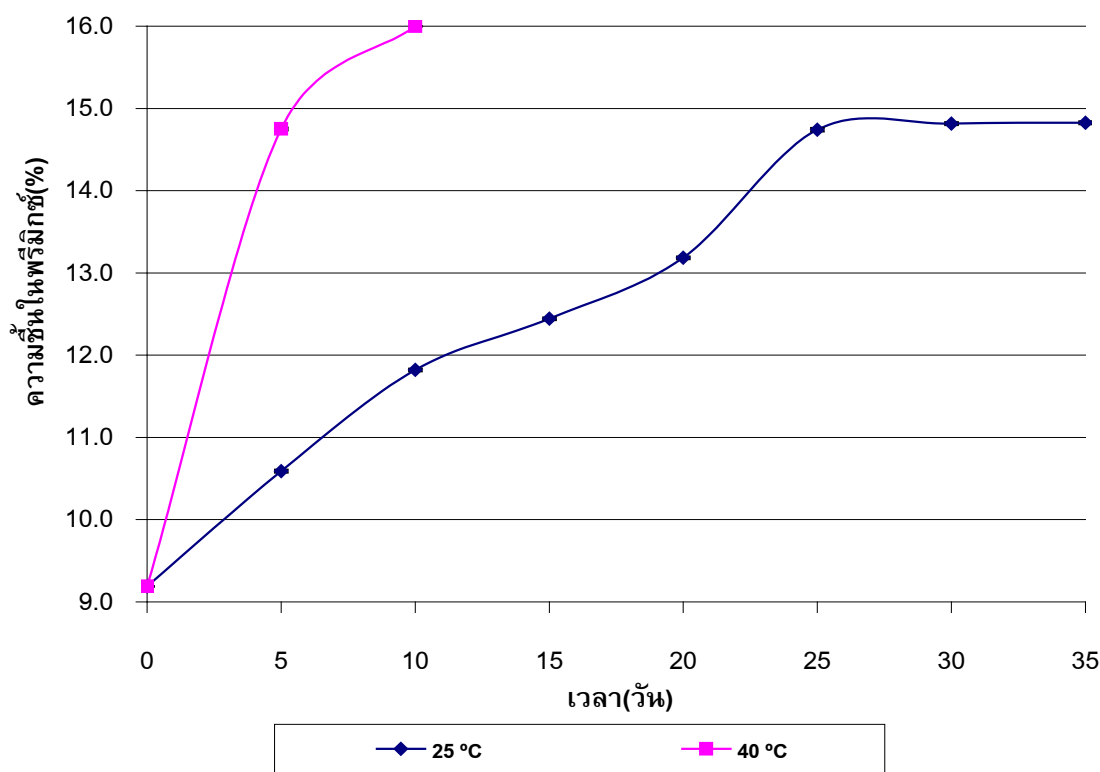
ภาพประกอบ 17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในพรีมิกซ์(%) กับเวลา(วัน) ที่อุณหภูมิ 25 และ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ NaCl

พบว่าความชื้นของพรีมิกซ์ที่มีความชื้นตั้งต้นที่ 9.19% จะเพิ่มขึ้นตามเวลาจนกระทั่งความชื้นคงที่ โดยที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นจะคงที่เมื่อเข้าสู่วันที่ 5 ซึ่งความชื้นในพรีมิกซ์ตั้งแต่วันที่ 5 ถึงวันที่ 35 มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นอย่างไม่มีนัยสำคัญ สามารถวัดความชื้นได้ 9.79% ซึ่งถือว่าความชื้นนี้เป็นความชื้นสมดุลของพรีมิกซ์ที่ควบคุมความชื้นในอากาศโดยสารละลายเกลืออัมมัตว์ NaCl ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ความชื้นจะคงที่เมื่อเข้าสู่วันที่ 25 ซึ่งความชื้นในพรีมิกซ์ตั้งแต่วันที่ 25 ถึงวันที่ 35 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ สามารถวัดความชื้นได้ 9.65% ซึ่งถือว่าความชื้นนี้เป็นความชื้นสมดุลของพรีมิกซ์ที่ควบคุมความชื้นในอากาศโดยสารละลายเกลืออิ่มตัว NaCl ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จากการเปรียบเทียบสภาวะการเก็บที่อุณหภูมิทั้ง 2 พบว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นของพรีมิกซ์จะเข้าสู่สมดุลก่อน

4.2.1.5 ควบคุมความชื้นโดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว BaCl_2

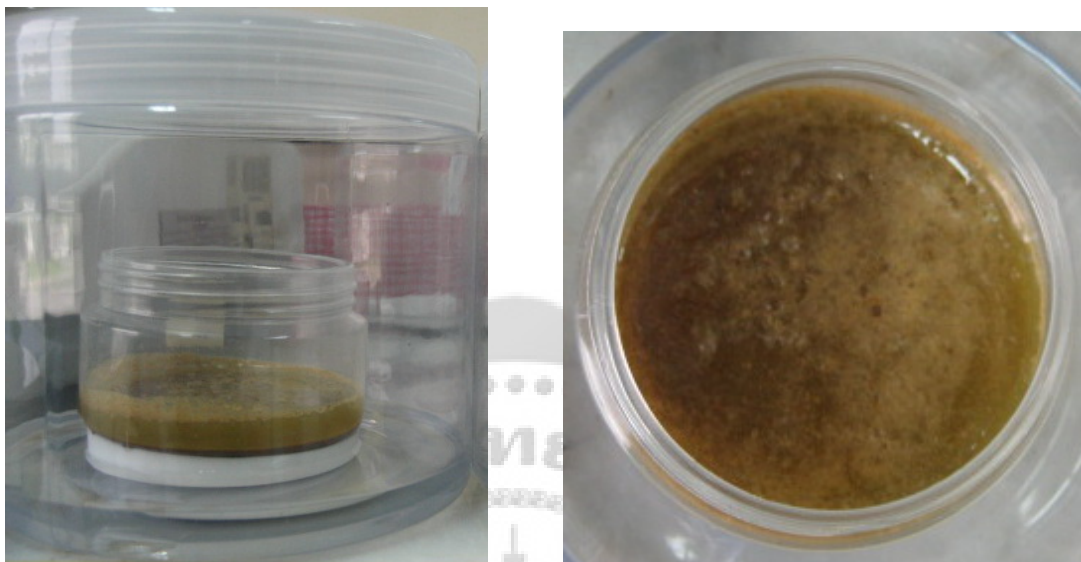
จากภาพประกอบ 18 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในพรีมิกซ์เมื่ออุณหภูมิคงที่ 25 และ 40 องศาเซลเซียส ควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว BaCl_2 ทำการวางภาชนะที่บรรจุพรีมิกซ์ไว้เหนือสารละลาย BaCl_2 ซึ่งจะให้บรรยากาศความชื้น 90%RH แล้วทำการตรวจวิเคราะห์ความชื้นทุกๆ 5 วัน จนกระทั่งความชื้นของพรีมิกซ์อิ่มตัว



ภาพประกอบ 18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในพรีมิกซ์(%) กับเวลา(วัน) ที่อุณหภูมิ 25 และ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ BaCl_2

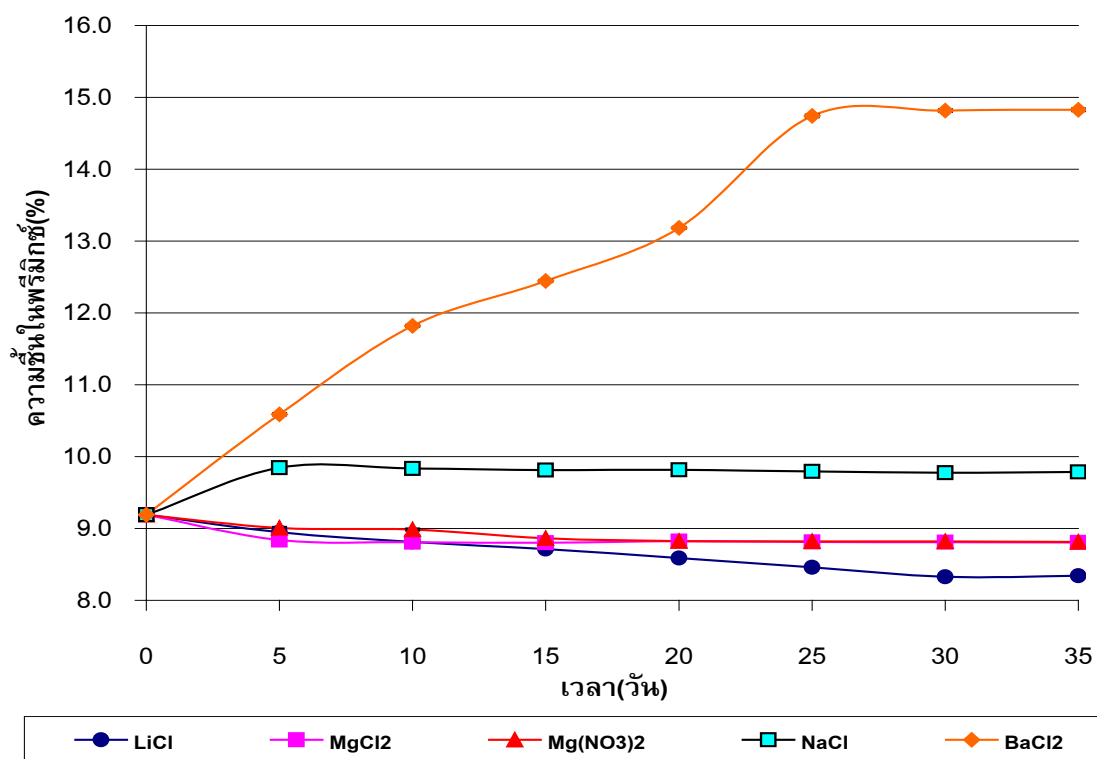
พบว่าความชื้นของพรีมิกซ์ที่มีความชื้นตั้งต้นที่ 9.19% จะเพิ่มขึ้นตามเวลาจนกระทั่งความชื้นคงที่ โดยที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นจะคงที่เมื่อเข้าสู่วันที่ 25 ซึ่งความชื้นในพรีมิกซ์ตั้งแต่วันที่ 25 ถึงวันที่ 35 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ สามารถวัดความชื้นได้ 14.82% ซึ่งถือว่าความชื้นนี้เป็นความชื้นสมดุลของพรีมิกซ์ที่ควบคุมความชื้นในอากาศ

โดยสารละลายเกลืออัมโมเนียม BaCl_2 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิและความชื้นในอากาศสูงทำให้หลังจากวันที่ 10 ปริมาณจะเกิดการหลอมเหลวเป็นน้ำจนไม่สามารถวัดความชื้นได้ ดังแสดงลักษณะทางกายภาพของปริมาณในภาพประกอบ 19



ภาพประกอบ 19 ลักษณะทางกายภาพของปริมาณที่มีการดูดความชื้นจนหลอมเหลวกลายเป็นน้ำ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ BaCl_2

4.2.2 ผลสรุปของความชื้นในบรรยากาศที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสที่มีต่อพรีมิกซ์



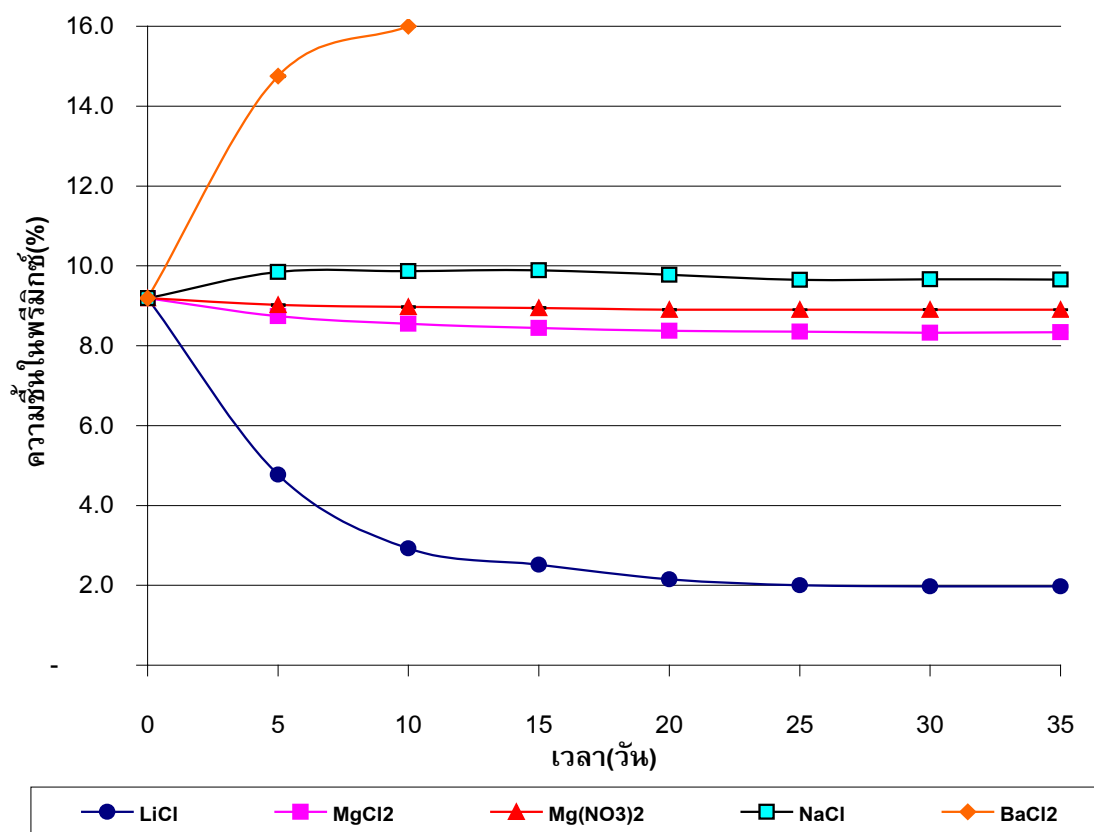
ภาพประกอบ 20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในพรีมิกซ์(%) กับเวลา(วัน) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือชนิดต่างๆ

จากภาพประกอบ 20 พบว่าความชื้นในพรีมิกซ์ภายใต้การควบคุมความชื้นโดยสารละลายเกลืออิมิตัวแต่ละชนิด สามารถส่งผลให้พรีมิกซ์ เกิดการดูดความชื้นและคายความชื้นระหว่างภายในตัวพรีมิกซ์กับความชื้นในบรรยากาศโดยรอบพรีมิกซ์ได้ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสพรีมิกซ์จะคายความชื้นจากพรีมิกซ์สู่บรรยากาศโดยรอบภายใต้การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศโดยใช้สารละลายเกลืออิมิตัว LiCl, MgCl₂ และ Mg(NO₃)₂ แต่สำหรับที่ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่ควบคุมโดยใช้สารละลายเกลืออิมิตัว NaCl และ BaCl₂ พรีมิกซ์จะมีความสัมพันธ์แบบการดูดความชื้นจากบรรยากาศโดยรอบเข้าสู่พรีมิกซ์ การคายความชื้นที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะไม่ชัดเจนมากนัก ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่ควบคุมโดยใช้สารละลายเกลืออิมิตัว LiCl, MgCl₂, Mg(NO₃)₂ และ NaCl จะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความชื้นในพรีมิกซ์

มี

มากนัก

4.2.3 ผลสรุปของความชื้นในบรรยากาศที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสที่มีต่อพรีมิกรี

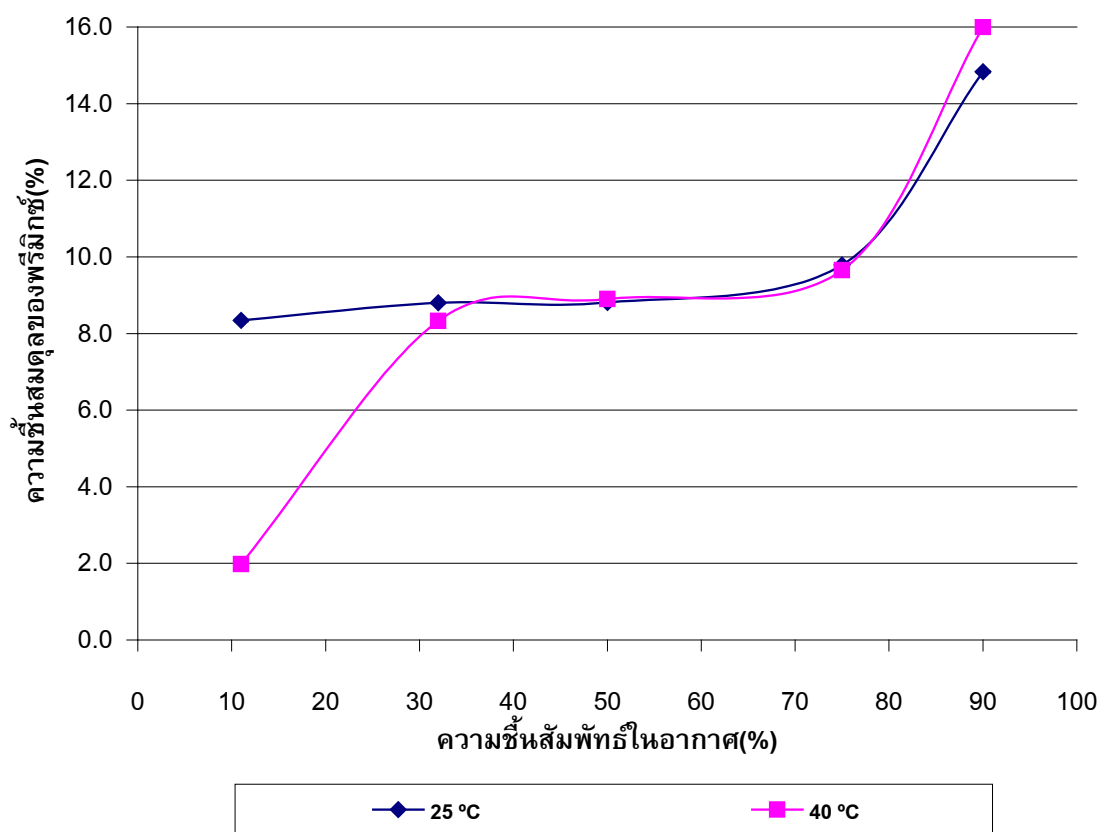


ภาพประกอบ 21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในพรีมิกรี(%) กับเวลา(วัน) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือชนิดต่างๆ

จากภาพประกอบ 21 พบว่าความชื้นในพรีมิกรีภายใต้การควบคุมความชื้นโดยสารละลายเกลืออิมิตัวแต่ละชนิด สามารถส่งผลให้พรีมิกรีเกิดการดูดความชื้นและคายความชื้นระหว่างภายในตัวพรีมิกรีกับความชื้นในบรรยากาศรอบพรีมิกรี ได้ โดยที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสพรีมิกรีจะคายความชื้นจากพรีมิกรีสู่บรรยากาศโดยรอบภายใต้การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศโดยใช้สารละลายเกลืออิมิตัว LiCl, MgCl₂ และ Mg(NO₃)₂ แต่สำหรับที่ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่ควบคุมโดยใช้สารละลายเกลืออิมิตัว NaCl และ BaCl₂ พรีมิกรีจะมีความสัมพันธ์แบบการดูดความชื้นจากบรรยากาศโดยรอบเข้าสู่พรีมิกรี แต่การดูดและคายความชื้น ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โดยความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่ใช้สารละลายเกลืออิมิตัว LiCl และ BaCl₂ จะเห็นได้อย่างชัดเจน และโดยเฉพาะอย่างยิ่งภายใต้การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศโดย BaCl₂ ทำให้พรีมิกรีดูดความชื้นจนกระทั่งล้นไหลเป็นน้ำ

4.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมมูลกับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่อุณหภูมิ 25 และ 40 องศาเซลเซียส

จากการทดลองด้านบนทำให้ทราบถึงความชื้นสมมูลของพรีมิกซ์ ที่อุณหภูมิ 25 และ 40 องศาเซลเซียสได้



ภาพประกอบ 22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมมูลของพรีมิกซ์(%) กับ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ(%) ที่อุณหภูมิ 25 และ 40 องศาเซลเซียส

จากภาพประกอบ 22 พบว่าความชื้นสมมูลของพรีมิกซ์ภายใต้การควบคุมความชื้นโดยสารละลายเกลืออิ่มตัว ที่อุณหภูมิ 25 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 32 – 75%RH ค่าความชื้นสมมูลของพรีมิกซ์จะเท่ากัน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ช่วง 11-32%RH ความชื้นสมมูลจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจาก 2.00% เป็น 8.33% และในช่วง 30-75%RH ความชื้นสมมูลจะค่อนข้างคงตัว แสดงให้เห็นว่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศของช่วงระหว่าง 32-75%RH ไม่มีผลต่อการดูดหรือคายความชื้นของพรีมิกซ์ และจะมีการดูดความชื้นจากบรรยากาศโดยรอบอย่างรวดเร็วในช่วง 75-90%RH

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับอุณหภูมิพบว่าที่อุณหภูมิสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำมีผลทำให้ความชื้นของพรีมิกซ์ลดลง เนื่องจากความชื้นในพรีมิกซ์สูงกว่า

ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศโดยรอบทำให้ความชื้นในพรีมิกซ์ถูกคายออกมาสู่อากาศโดยรอบ ความชื้นของพรีมิกซ์จึงลดลง เมื่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สูงมีผลทำให้ความชื้นของพรีมิกซ์สูงขึ้น เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่สูงกว่าในพรีมิกซ์ ทำให้พรีมิกซ์ดูดความชื้นเข้าไปเก็บไว้ในตัวพรีมิกซ์ ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการศึกษาของ Wei-Youh Kuu และคณะ (1997) ทำการศึกษาและพบว่าเมื่ออุณหภูมิต่ำและความชื้นในอากาศสูงขึ้น ผงโซเดียมไบคาร์บอเนตจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและที่อุณหภูมิสูงแต่ความชื้นต่ำลงผงโซเดียมไบคาร์บอเนตจะมีน้ำหนักลดลงและเหมือนกับการศึกษาของมารีนา มะหิ (2002) ซึ่งศึกษาค่าความชื้นสมดุลของขิงโดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัวเป็นตัวควบคุมความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 10-90% อุณหภูมิในช่วง 50-72 องศาเซลเซียส รวมทั้งการศึกษาของ อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์ และคณะ (2002) ซึ่งทำการศึกษาค่าความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและความชื้นสมดุลของตะไคร้ แต่จากการศึกษาของทั้งคู่มีความแตกต่างกับการศึกษาความชื้นสมดุลของพรีมิกซ์ กล่าวคือความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 32-75%RH ความชื้นของพรีมิกซ์จะคงที่ และความชื้นสมดุลของพรีมิกซ์จะเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 75%RH แต่การศึกษาความชื้นในขิงและตะไคร้จะสูงขึ้นตั้งแต่ความชื้นสัมพัทธ์ 40%RH ขึ้นไป

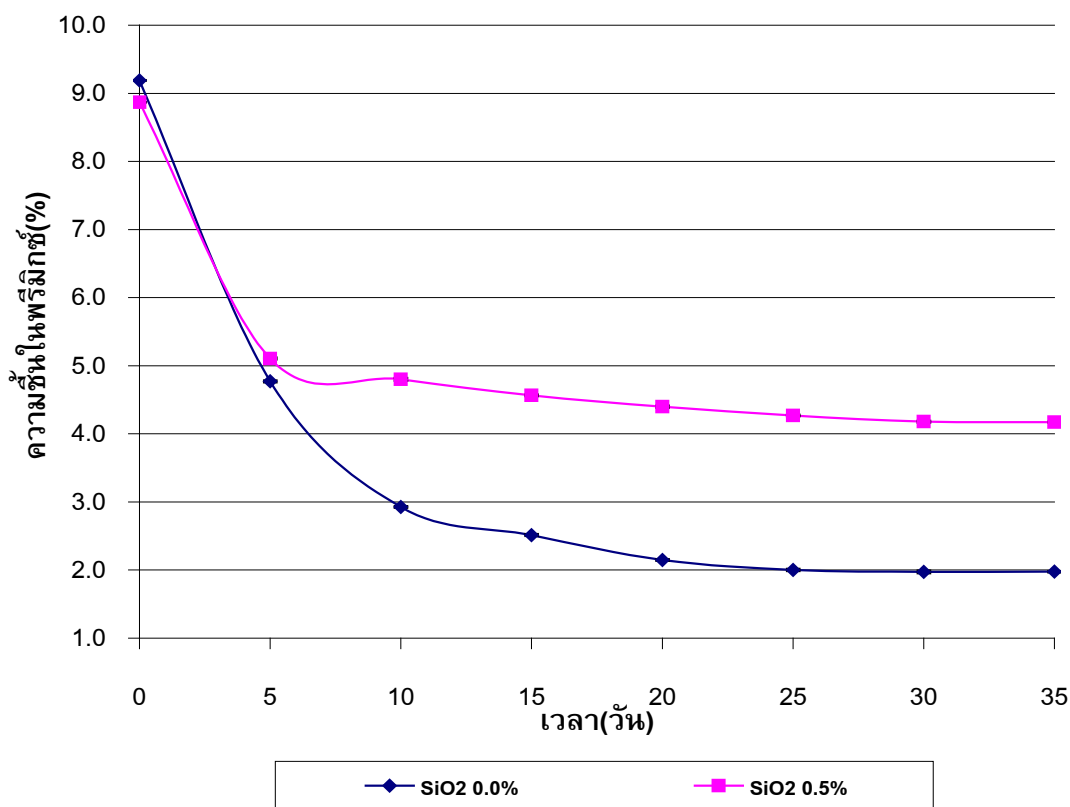
4.3 ศึกษาอิทธิพลของการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ต่อปริมาณความชื้นของพรีมิกซ์

จากการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์การดูดความชื้นของพรีมิกซ์กับปริมาณการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ป้องกันการจับตัวเป็นก้อน ซึ่งในการทดลองใช้ซิลิกอนไดออกไซด์ ที่ปริมาณต่างๆ กัน คือ 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำการควบคุมอุณหภูมิที่ 25 และ 40 องศาเซลเซียส รวมทั้งสภาวะที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งการไม่ควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้สภาวะการทดลองใกล้เคียงกับสภาวะการเก็บรักษาพรีมิกซ์ในโรงงานจริง ซึ่งอุณหภูมิที่ทำการทดลองจะอยู่ในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคม 2552 อุณหภูมิที่จังหวัดปทุมธานีจะอยู่ในช่วง 19-36 องศาเซลเซียส ส่วนการควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว 5 ชนิด การทดลองนี้มีการทำซ้ำ 5 ครั้งและมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เกิน $\pm 2\%$ ของค่าเฉลี่ย

4.3.1 ศึกษาผลของบรรยากาศที่ความชื้นต่าง ๆ กันกับการเติมซิลิกอนไดออกไซด์

4.3.1.1 ควบคุมความชื้นโดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว LiCl

จากภาพประกอบ 23 แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นในพรีมิกซ์เมื่อทำการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.5% โดยน้ำหนัก ควบคุมอุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียสและควบคุมความชื้นโดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว LiCl ภายในภาชนะพลาสติกปิดสนิท แล้วทำการตรวจวิเคราะห์ความชื้นทุกๆ 5 วันจนกระทั่งครบ 35 วัน

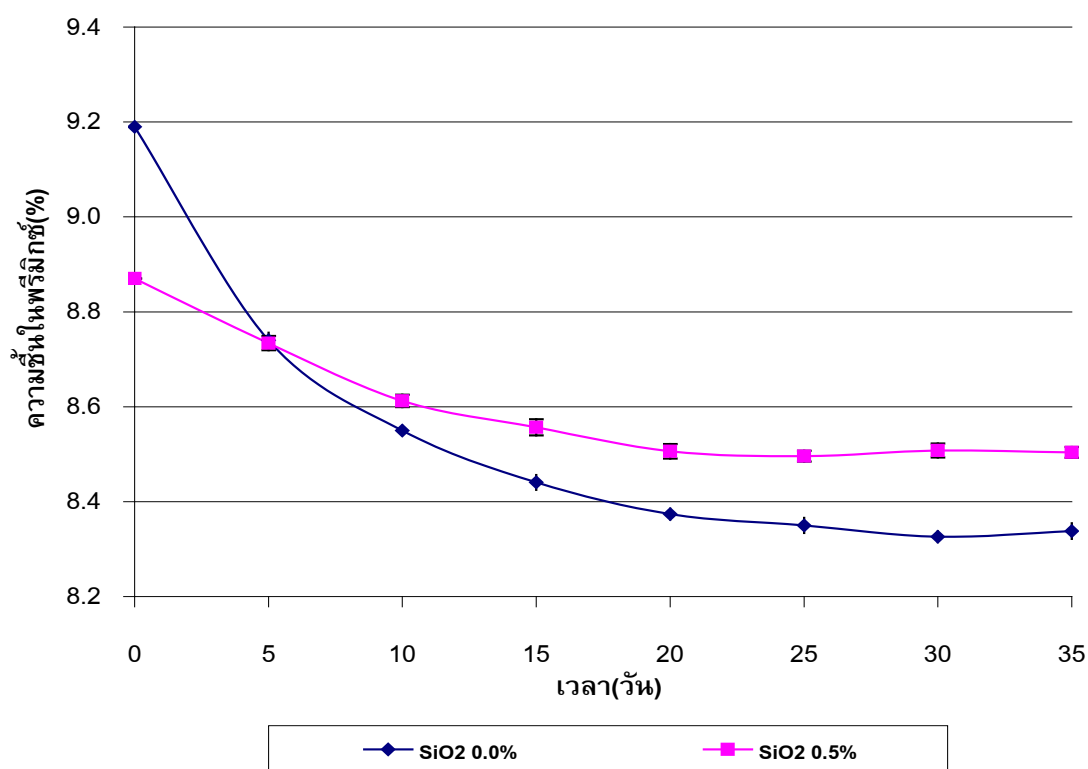


ภาพประกอบ 23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในพรีมิกซ์(%) ที่ทำการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.0 และ 0.5% กับเวลา(วัน) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ LiCl

จากการทดลองพบว่าความชื้นของพรีมิกซ์ที่ทำการเติมซิลิกอนไดออกไซด์จะเข้าสู่สมดุลเร็วกว่าพรีมิกซ์ที่ไม่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ ซิลิกอนไดออกไซด์ช่วยควบคุมการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในพรีมิกซ์ให้เปลี่ยนแปลงลดลง จากกราฟแสดงให้เห็นว่าซิลิกอนไดออกไซด์มีการดูดความชื้นจากพรีมิกซ์ไปเก็บไว้ในขณะเดียวกันที่ความชื้นในพรีมิกซ์มีการถ่ายเทในลักษณะการคายความชื้นออกไปสู่บรรยากาศโดยรอบ ซึ่งภายใต้การควบคุมความชื้นโดยสารละลายเกลืออิ่มตัว LiCl จะมีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 11%RH จนกระทั่งความชื้นเข้าสู่สมดุลทำให้ความชื้นในพรีมิกซ์เมื่อทำการวิเคราะห์จะมีค่ามากกว่าพรีมิกซ์ที่ไม่ได้เติมซิลิกอนไดออกไซด์

4.3.1.2 ควบคุมความชื้นโดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว $MgCl_2$

จากภาพประกอบ 24 แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นในพรีมิกซ์เมื่อทำการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.5% โดยน้ำหนัก ควบคุมอุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียสและควบคุมความชื้นโดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว $MgCl_2$ ภายในภาชนะพลาสติกปิดสนิท แล้วทำการตรวจวิเคราะห์ความชื้นทุกๆ 5 วันจนกระทั่งครบ 35 วัน

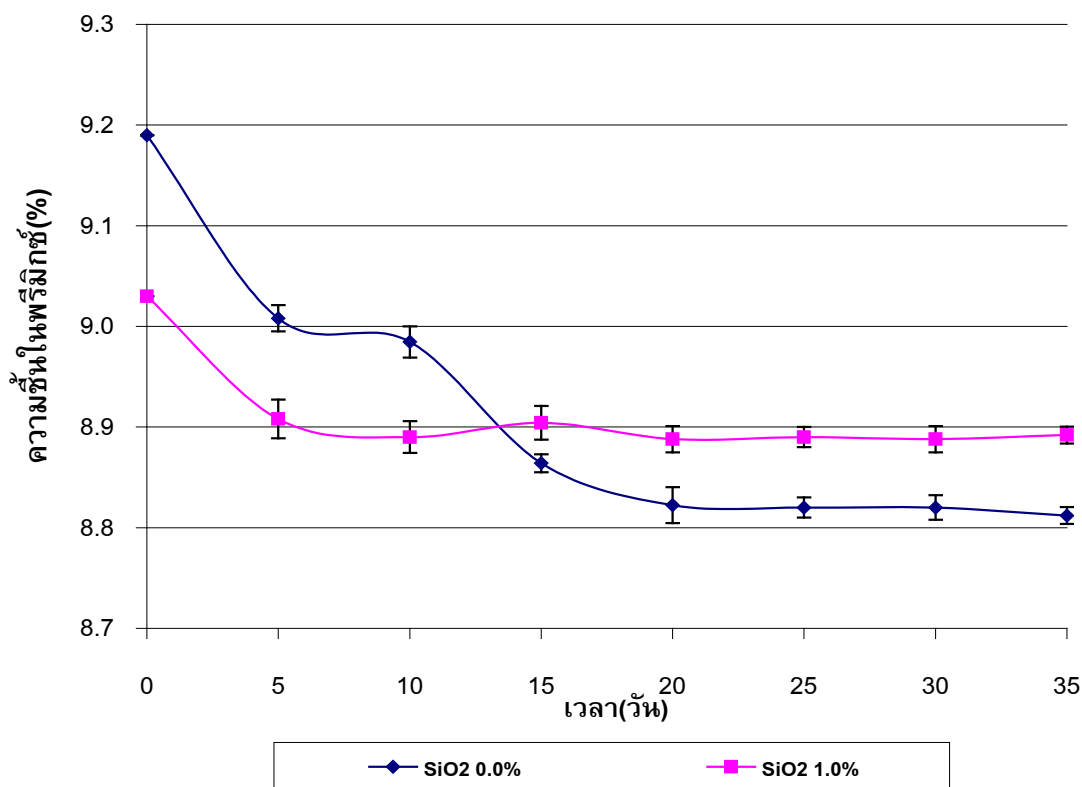


ภาพประกอบ 24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในพรีมิกซ์(%) ที่ทำการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.0 และ 0.5% กับเวลา(วัน) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ $MgCl_2$

จากการทดลองพบว่าความชื้นของพรีมิกซ์ที่ทำการเติมซิลิกอนไดออกไซด์จะเข้าสู่สมดุลเร็วกว่าพรีมิกซ์ที่ไม่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ และช่วยควบคุมการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในพรีมิกซ์ให้เปลี่ยนแปลงลดลง จากกราฟแสดงให้เห็นว่าซิลิกอนไดออกไซด์มีการดูดความชื้นจากพรีมิกซ์ไปเก็บไว้ในขณะที่ความชื้นในพรีมิกซ์มีการถ่ายเทในลักษณะการคายความชื้นออกไปสู่บรรยากาศโดยรอบ ซึ่งภายใต้การควบคุมความชื้นโดยสารละลายเกลืออิมิตัว $MgCl_2$ จะมีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 32%RH จนกระทั่งความชื้นเข้าสู่สมดุลทำให้ความชื้นในพรีมิกซ์เมื่อทำการวิเคราะห์จะมีค่ามากกว่าพรีมิกซ์ที่ไม่ได้เติมซิลิกอนไดออกไซด์

4.3.1.3 ควบคุมความชื้นโดยใช้สารละลายเกลืออิมิตัว $Mg(NO_3)_2$

จากภาพประกอบ 25 แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นในพรีมิกซ์เมื่อทำการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.0% โดยน้ำหนัก ควบคุมอุณหภูมิคงที่ 25 องศาเซลเซียสและควบคุมความชื้นโดยใช้สารละลายเกลืออิมิตัว $Mg(NO_3)_2$ ภายในภาชนะพลาสติกปิดสนิท แล้วทำการตรวจวิเคราะห์ความชื้นทุกๆ 5 วันจนกระทั่งครบ 35 วัน

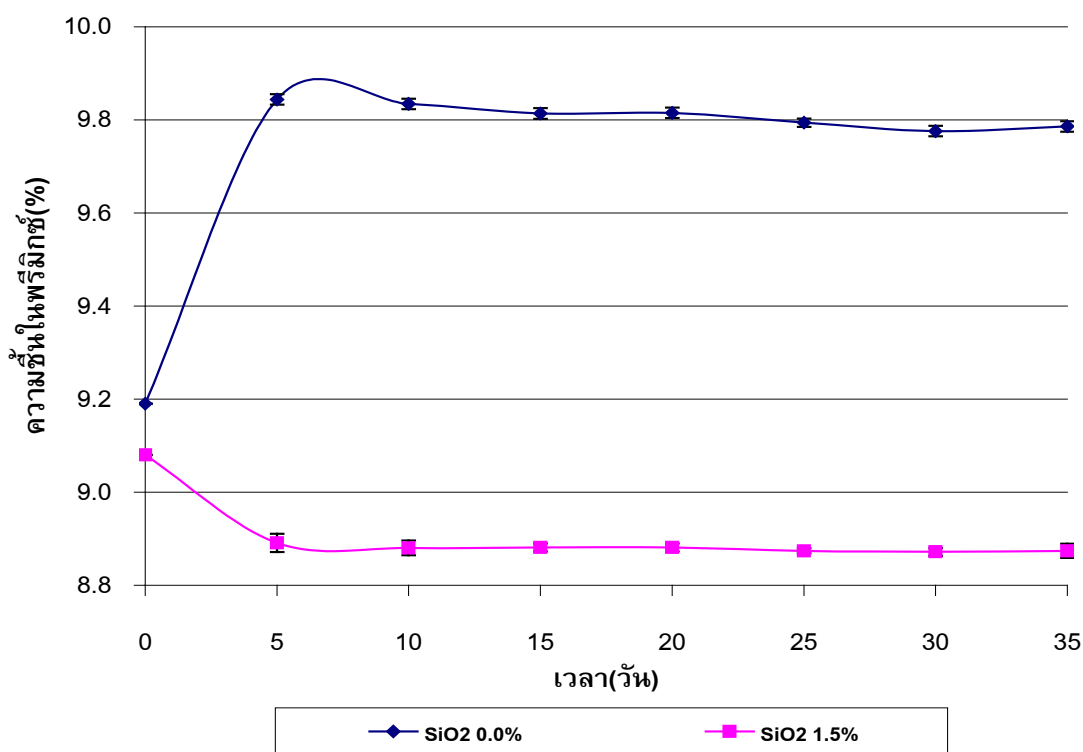


ภาพประกอบ 25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในพรีมิกซ์(%) ที่ทำการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.0 และ 1.0% กับเวลา(วัน) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ $Mg(NO_3)_2$

จากการทดลองพบว่าความชื้นของพรีมิกซ์ที่ทำการเติมซิลิกอนไดออกไซด์จะเข้าสู่สมดุลเร็วกว่าพรีมิกซ์ที่ไม่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ จากกราฟแสดงให้เห็นว่าซิลิกอนไดออกไซด์มีการดูดความชื้นจากพรีมิกซ์ไปเก็บไว้ในขณะเดียวกันที่ความชื้นในพรีมิกซ์มีการถ่ายเทในลักษณะการคายความชื้นออกไปสู่บรรยากาศโดยรอบ

4.3.1.4 ควบคุมความชื้นโดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว NaCl

จากภาพประกอบ 26 แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นในพรีมิกซ์เมื่อทำการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.5% โดยน้ำหนัก ควบคุมอุณหภูมิคงที่ 25 องศาเซลเซียสและควบคุมความชื้นโดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว NaCl ภายในภาชนะพลาสติกปิดสนิท แล้วทำการตรวจวิเคราะห์ความชื้นทุกๆ 5 วันจนกระทั่งครบ 35 วัน



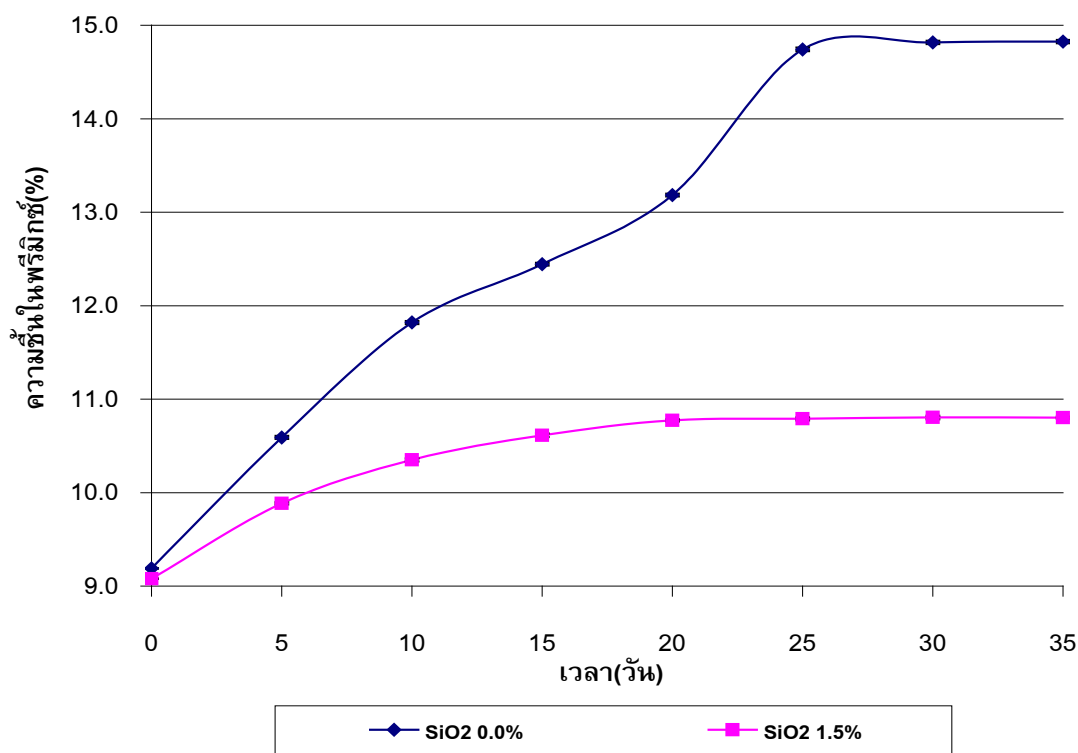
ภาพประกอบ 26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในพรีมิกซ์(%)ที่ทำการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.0 และ 1.5% กับเวลา(วัน) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ NaCl

จากการทดลองพบว่าซิลิกอนไดออกไซด์มีการดูดความชื้นจากพรีมิกซ์ไปเก็บไว้ในขณะเดียวกับที่ความชื้นในพรีมิกซ์มีการถ่ายเทในลักษณะการคายความชื้นออกไปสู่บรรยากาศโดยรอบ ต่างจากที่ไม่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ซึ่งมีการถ่ายเทความชื้นในลักษณะการดูดความชื้นจากบรรยากาศโดยรอบเข้าสู่พรีมิกซ์ แต่หากเติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.5 และ 1.0% ลักษณะการถ่ายเทความชื้นจะเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับไม่ได้ทำการเติมซิลิกอนไดออกไซด์คือการดูดความชื้นและทำให้ความชื้นในพรีมิกซ์สูงขึ้นจากความชื้นเริ่มต้น ทำให้เห็นว่าที่สภาวะที่มีการควบคุมความชื้นในบรรยากาศโดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว NaCl ซึ่งให้ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศประมาณ 50%RH การเติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.5%โดยน้ำหนักจะมากเกินไปที่จะดูดความชื้นทั้งจากในตัวพรีมิกซ์และความชื้นในบรรยากาศโดยรอบ

4.3.1.5 ควบคุมความชื้นโดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว BaCl_2

จากภาพประกอบ 27 แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นในพรีมิกซ์เมื่อทำการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.5% โดยน้ำหนัก ควบคุมอุณหภูมิคงที่ 25 องศาเซลเซียสและควบคุมความชื้น

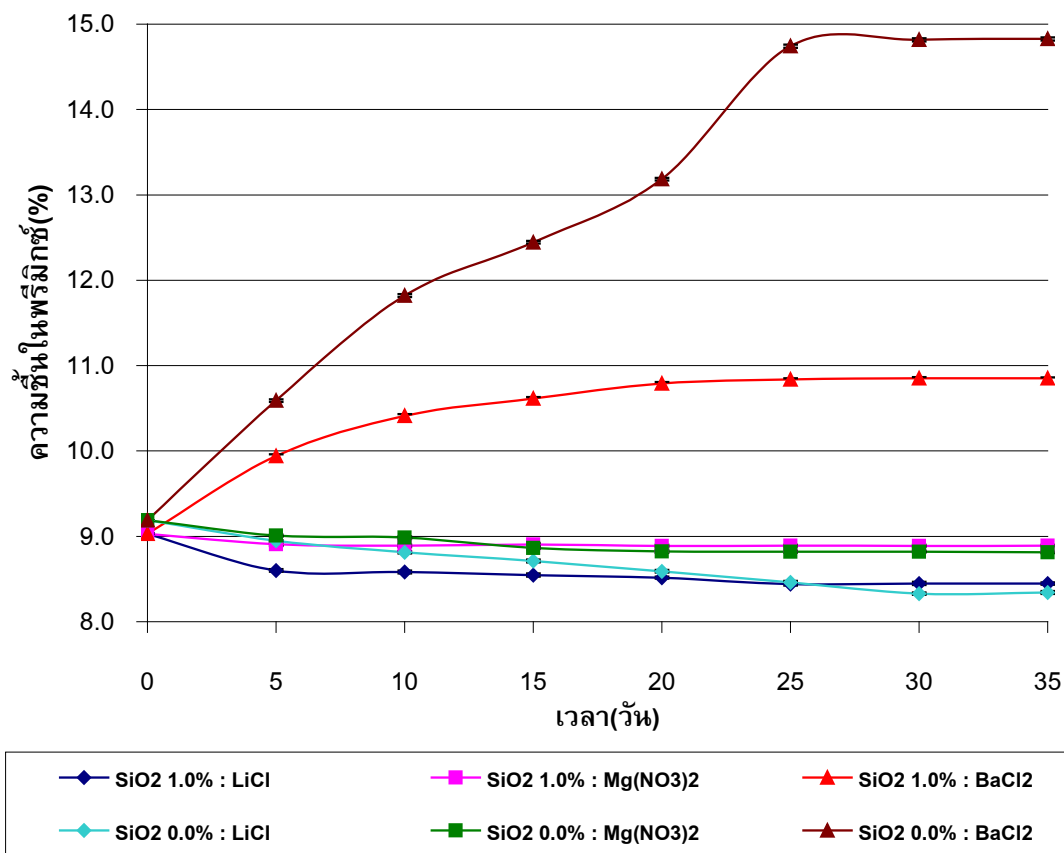
โดยใช้สารละลายเกลืออิมิตัว BaCl_2 ภายในภาชนะพลาสติกปิดสนิท แล้วทำการตรวจวิเคราะห์ความชื้นทุกๆ 5 วันจนกระทั่งครบ 35 วัน



ภาพประกอบ 27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในพรีมิกซ์(%) ที่ทำการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.0 และ 1.5% กับเวลา(วัน) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ BaCl_2

จากการทดลองพบว่าความชื้นของพรีมิกซ์ที่ทำการเติมซิลิกอนไดออกไซด์จะเข้าสู่สมดุลเร็วกว่าพรีมิกซ์ที่ไม่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ และช่วยควบคุมการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในพรีมิกซ์ให้เปลี่ยนแปลงลดลง จากกราฟแสดงให้เห็นว่าซิลิกอนไดออกไซด์มีการดูดความชื้นจากพรีมิกซ์ไปเก็บไว้ทำให้ความชื้นในพรีมิกซ์มีปริมาณลดลงที่สภาวะสมดุล

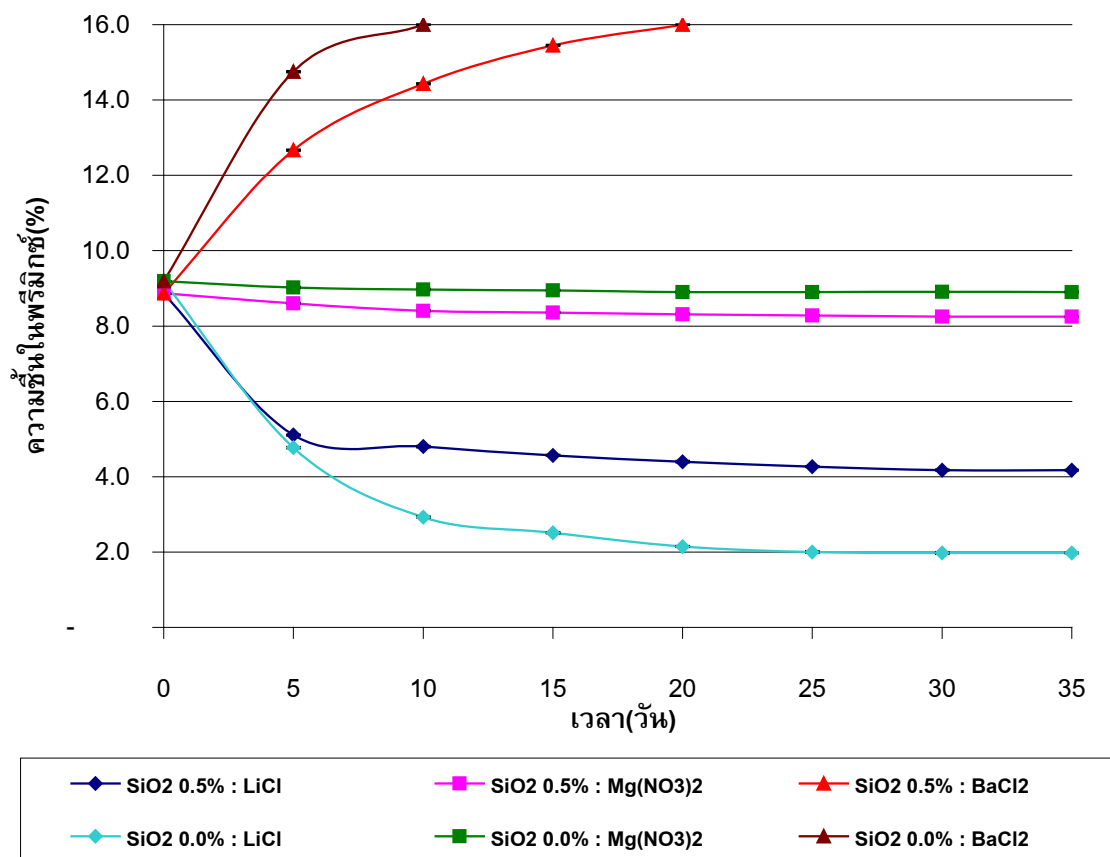
4.3.2 ผลสรุปของความชื้นในบรรยากาศที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในปริมาตร(%)ที่ทำการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.0 และ 1.0% กับเวลา(วัน) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว LiCl, Mg(NO₃)₂ และ BaCl₂

จากภาพประกอบ 28 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นในปริมาตรระหว่างปริมาตรที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.0 และ 1.0% ภายใต้อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว LiCl, Mg(NO₃)₂ และ BaCl₂ (ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศคือ 11, 50 และ 90%RH ตามลำดับ) จากกราฟจะเห็นได้ว่าภายใต้ความชื้นในอากาศที่ควบคุมโดย LiCl และ Mg(NO₃)₂ การเติมซิลิกอนไดออกไซด์จะมีผลต่อเวลาในการเข้าสู่สมดุลความชื้น คือทำให้เข้าสู่สมดุลเร็วขึ้น แต่จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในปริมาตรค่อนข้างน้อย ส่วนความชื้นในอากาศที่ควบคุมโดยใช้ BaCl₂ การเติมซิลิกอนไดออกไซด์จะมีผลต่อเวลาในการเข้าสู่สมดุลความชื้นเร็วขึ้นและปริมาณความชื้นในปริมาตรลดลงค่อนข้างมาก

4.3.3 ผลสรุปของความชื้นในบรรยากาศที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

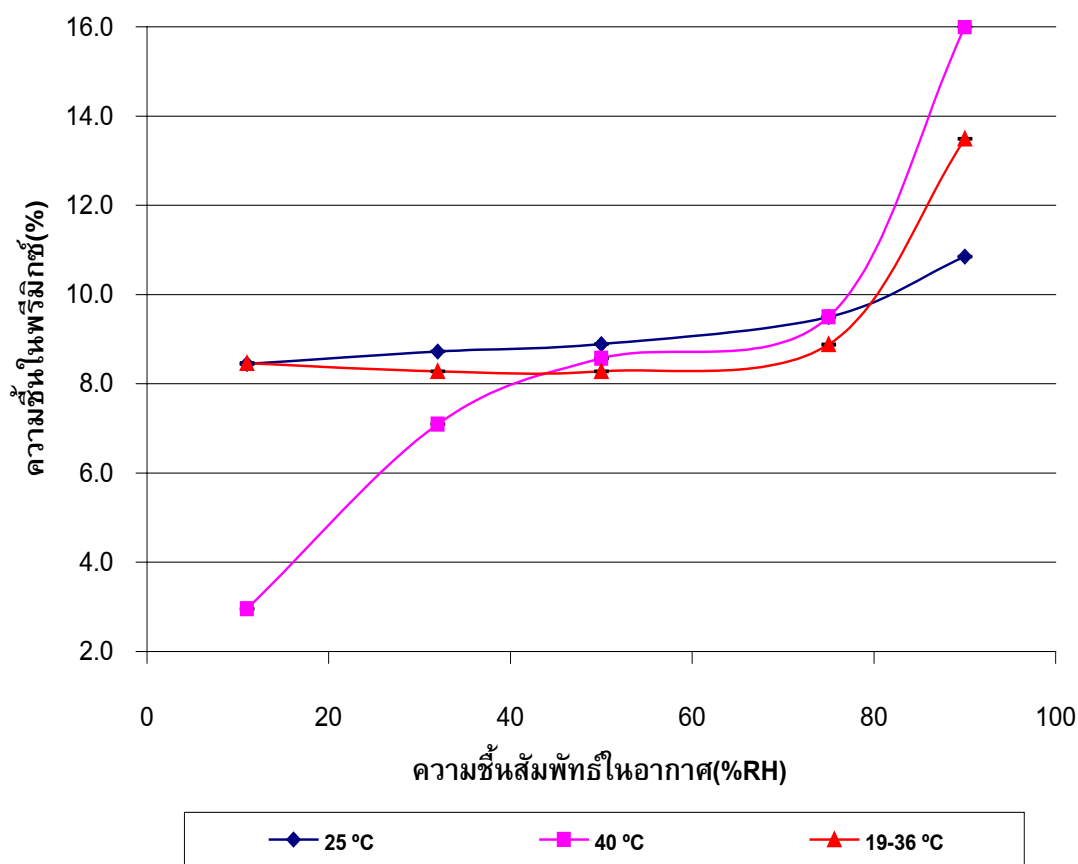


ภาพประกอบ 29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในปริมาตร(%) ที่ทำการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.0 และ 0.5% กับเวลา(วัน) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว LiCl, $Mg(NO_3)_2$ และ $BaCl_2$

จากภาพประกอบ 29 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นในปริมาตรระหว่างปริมาตรที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.0 และ 0.5% ภายใต้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว LiCl, $Mg(NO_3)_2$ และ $BaCl_2$ (ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศคือ 11, 50 และ 90%RH ตามลำดับ) จากกราฟจะเห็นได้ว่าภายใต้ความชื้นในอากาศที่ควบคุมโดย $Mg(NO_3)_2$ การเติมซิลิกอนไดออกไซด์จะมีผลต่อเวลาในการเข้าสู่สมดุลความชื้นและปริมาณความชื้นในปริมาตรค่อนข้างน้อย แต่ความชื้นในอากาศที่ควบคุมโดยใช้ LiCl และ $BaCl_2$ การเติมซิลิกอนไดออกไซด์จะมีผลต่อเวลาในการเข้าสู่สมดุลความชื้น คือทำให้เข้าสู่สมดุลเร็วขึ้น และเปอร์เซ็นต์ความชื้นในปริมาตรลดลงมาก อย่างไรก็ตามการใช้ซิลิกอนไดออกไซด์เพียง 0.5% ยังไม่เพียงพอที่จะยับยั้งการดูดความชื้นของปริมาตรภายใต้สภาวะความชื้นในอากาศ 90%RH เนื่องจากปริมาตรยังมีลักษณะค่อนข้างแฉะ

4.3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่อุณหภูมิ 25 และ 40 องศาเซลเซียสและไม่ควบคุมอุณหภูมิ

จากการทดลองด้านบนทำให้ทราบถึงความชื้นสมดุลของพรีมิกซ์ที่อุณหภูมิ 25 40 องศาเซลเซียส และไม่ควบคุมอุณหภูมิ (วัดอุณหภูมิได้ในช่วง 19-36 องศาเซลเซียส) ได้

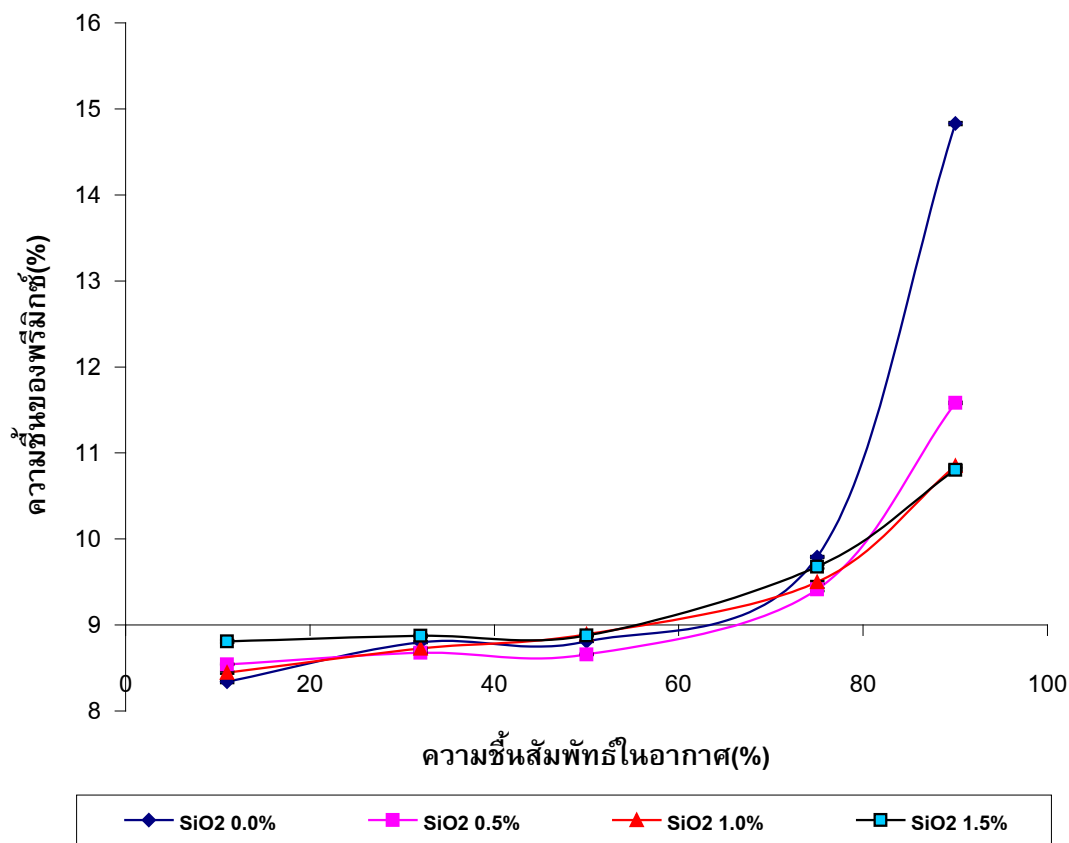


ภาพประกอบ 30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลของพรีมิกซ์(%)ทำการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.0% กับ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ(%) ที่อุณหภูมิ 25 40 องศาเซลเซียส และไม่ควบคุมอุณหภูมิ

จากภาพประกอบ 30 พบว่าความชื้นสมดุลของพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.0%โดยน้ำหนัก ภายใต้การควบคุมความชื้นโดยสารละลายเกลืออิ่มตัวทั้ง 5 ชนิด เพื่อให้ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศอยู่ในช่วง 11-90%RH ที่อุณหภูมิ 25 และ ไม่ควบคุมอุณหภูมิ เมื่อความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 11-75%RH ความชื้นสมดุลของพรีมิกซ์มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย แต่เมื่อความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 75-90%RH ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสมดุลของพรีมิกซ์จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่ที่อุณหภูมิ 19-36 องศาเซลเซียส ความชื้นสมดุลของพรีมิกซ์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เมื่อความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 11-50%RH และ 75-90%RH ค่า

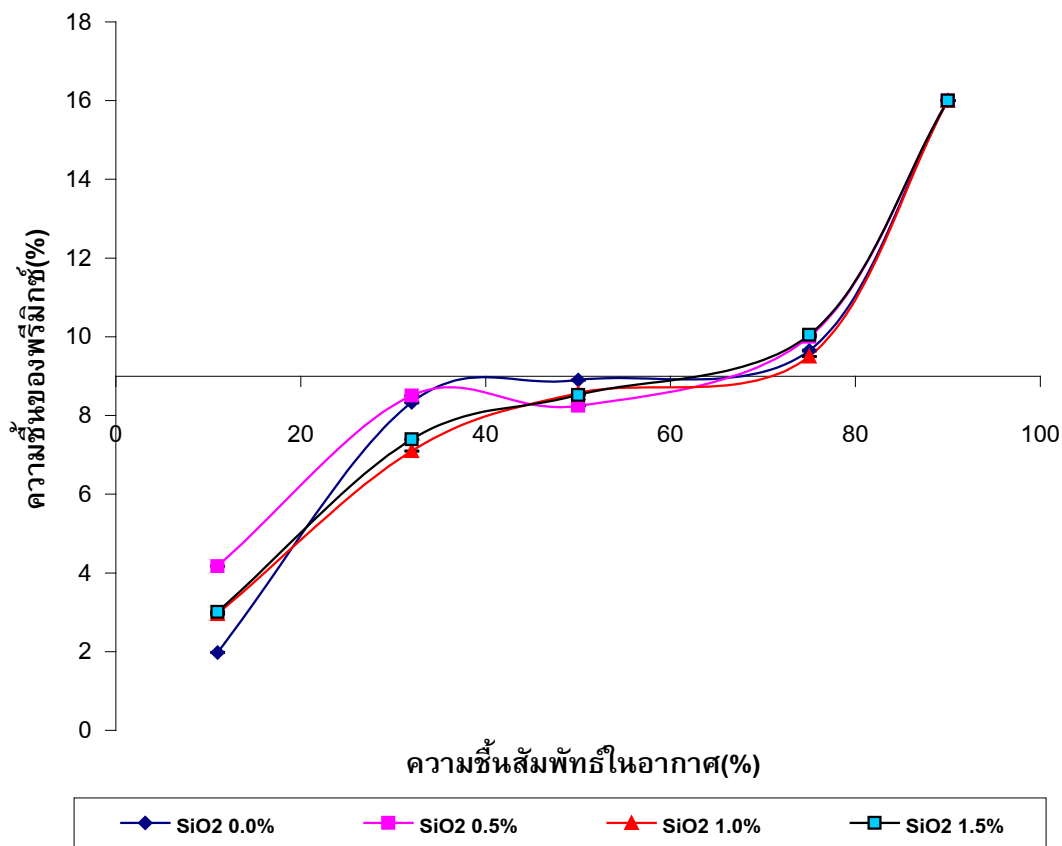
ความชื้นสมดุลของพรีมิกซ์จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว แต่จะเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยเมื่อความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 50–75%RH

4.4 ภาพรวมของความชื้นสมดุล



ภาพประกอบ 31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในพรีมิกซ์(%) ที่มีการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.0, 0.5, 1.0 และ 1.5% กับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ(%RH) ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส

จากภาพประกอบ 31 แสดงการเปรียบเทียบผลของการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ในพรีมิกซ์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศอยู่ในช่วง 11-90%RH พบว่าที่ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ 11-75%RH ความชื้นของพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.0, 0.5, 1.0 และ 1.5% โดยน้ำหนักจะไม่ต่างกันมาก ดังนั้นหากอยู่ภายใต้สภาวะเดียวกันกับการทดลองจะถือได้ว่าไม่จำเป็นต้องเติมซิลิกอนไดออกไซด์ก็สามารถช่วยควบคุมความชื้นในพรีมิกซ์ได้ แต่ที่ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศในช่วง 75-90%RH การเติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.5% โดยน้ำหนักจะดีที่สุดในการช่วยควบคุมความชื้นในพรีมิกซ์ จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.5% ก็สามารถช่วยควบคุมความชื้นในพรีมิกซ์ได้



ภาพประกอบ 32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในพรีมิกซ์(%)ที่มีการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.0, 0.5, 1.0 และ 1.5% กับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ(%RH) ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 40 องศาเซลเซียส

จากการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลของการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ในพรีมิกซ์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศอยู่ในช่วง 11-90%RH จากภาพประกอบ 32 พบว่าความชื้นสมดุลของพรีมิกซ์ที่ทำการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.0, 0.5, 1.0 และ 1.5% โดยน้ำหนักจะไม่แตกต่างกัน ดังนั้นการเก็บพรีมิกซ์ในอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสจะไม่มีผลต่อความชื้นสมดุลของพรีมิกซ์

4.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของซิลิกอนไดออกไซด์ในการดูดความชื้น

ปริมาณการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ที่ใช้ในการทดลองนำมาจากค่ามวลของปริมาณที่ใช้ในการผลิตจริง ซึ่งจากคุณสมบัติการดูดความชื้นของซิลิกอนไดออกไซด์ที่ทางผู้ขายระบุไว้คือ 259 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของซิลิกอนไดออกไซด์ในการดูดความชื้น

ระหว่างตามทฤษฎีกับการทดลอง เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ในพรีมิกซ์ในสูตรต่างๆ ได้อย่างเหมาะสมที่สุด

จากโครงสร้างของซิลิกอนไดออกไซด์เมื่อดูดน้ำพบว่า ซิลิกอนไดออกไซด์สามารถดูดน้ำได้ทั้งเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer adsorption) และการดูดซับแบบหลายชั้น (Multilayer adsorption) ในการทดลองนี้จึงได้คำนวณความสามารถในการดูดความชื้น พบว่าถ้าซิลิกอนไดออกไซด์ดูดความชื้นทางเคมีจะมีการดูดน้ำได้เพียง 0.41 กรัมต่อกรัมซิลิกอนไดออกไซด์ ส่วนผลจากการทดลองพบว่าซิลิกอนไดออกไซด์สามารถดูดความชื้นได้ถึง 6.5 กรัมต่อกรัมซิลิกอนไดออกไซด์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการดูดน้ำของซิลิกอนไดออกไซด์เป็นการดูดความชื้นแบบหลายชั้น ซึ่งรวมทั้งการดูดซับทางเคมีในชั้นแรกและการดูดซับทางกายภาพในชั้นถัดไป แม้ว่าคำแนะนำจากบริษัทผลิตจะกล่าวว่าซิลิกอนไดออกไซด์สามารถใช้ดูดความชื้นได้ 2.6 กรัมต่อกรัมซิลิกอนไดออกไซด์

ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดความชื้นของซิลิกอนไดออกไซด์ ระหว่างคำแนะนำจากบริษัทผลิตกับการทดลองจริงจะเห็นได้ว่าแตกต่างกันค่อนข้างมาก ซึ่งอาจเนื่องมาจากส่วนประกอบอื่นๆ ในพรีมิกซ์ซึ่งวัตถุดิบส่วนมากจะมีการเติมสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนเช่นกัน ดังนั้นการดูดความชื้นของพรีมิกซ์จึงอาจขึ้นอยู่กับองค์ประกอบอื่นๆ ในพรีมิกซ์ด้วย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลความชื้นของพรีมิกซ์ พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการเข้าสู่สมดุลความชื้นเมื่อควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นของพรีมิกซ์ที่ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศในช่วง 32-75%RH จะเข้าสู่สมดุลก่อนเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลความชื้นของพรีมิกซ์ พบว่าอุณหภูมิและความชื้นในอากาศมีผลต่อการดูดหรือคายความชื้นของพรีมิกซ์ ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว 5 ชนิดได้แก่ LiCl , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, MgCl_2 , NaCl และ BaCl_2 พบว่าที่อุณหภูมิ 25 และ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศในช่วง 32-75%RH ค่าความชื้นสมดุลจะค่อนข้างคงตัวและใกล้เคียงกัน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ช่วง 11-32%RH ความชื้นสมดุลจะลดลงอย่างรวดเร็วจาก 8.33% เป็น 2.00% และในช่วง 32-75%RH ความชื้นสมดุลจะค่อนข้างคงตัว แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 75-90%RH ทำให้ทราบว่าในสภาวะที่มีอุณหภูมิและความชื้นในอากาศสูงจะทำให้พรีมิกซ์สามารถดูดความชื้นได้มากที่สุด ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงแต่ความชื้นในอากาศต่ำจะทำให้ พรีมิกซ์สามารถคายความชื้นได้ดีที่สุด แต่เมื่อความชื้นในอากาศอยู่ในช่วง 32-75%RH อุณหภูมิจะมีผลต่อการดูดหรือคายความชื้นของพรีมิกซ์น้อยมาก

สำหรับการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ซิลิกอนไดออกไซด์ที่ 0.5 1.0 และ 1.5% กับปริมาณความชื้นสมดุลของพรีมิกซ์ที่อุณหภูมิ 25, 40 องศาเซลเซียส และไม่ควบคุมอุณหภูมิ พบว่าการดูดหรือคายความชื้นของพรีมิกซ์เป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยการทดลองที่มีการควบคุมความชื้นในอากาศในช่วง 11-75%RH ค่าความชื้นสมดุลของพรีมิกซ์จะใกล้เคียงกันและคงตัว ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสและไม่ควบคุมอุณหภูมิ แต่ควบคุมความชื้นในอากาศช่วง 11-32 และ 75-90%RH ปริมาณความชื้นของพรีมิกซ์จะลดลงและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามลำดับ แต่เมื่อเติมซิลิกอนไดออกไซด์มากขึ้นพบว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสการเปลี่ยนแปลงของความชื้นลดลง เนื่องจากซิลิกอนไดออกไซด์ช่วยดูดความชื้นในอากาศไปอยู่ในรูพรุนของซิลิกอนไดออกไซด์ แต่ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส การเติมซิลิกอนไดออกไซด์ช่วยยืดระยะเวลาในการเก็บรักษามากขึ้นก่อนที่พรีมิกซ์จะเกิดการหลอมเหลวในบรรยากาศความชื้น 90%RH

เมื่อทำการศึกษาสมดุลความชื้นของพรีมิกซ์ที่อุณหภูมิ 25, 40 องศาเซลเซียส และไม่ควบคุมอุณหภูมิ โดยวางไว้ในห้องที่ไม่ควบคุมความชื้นในอากาศ ในช่วงเวลาทำการทดลองความชื้นในอากาศจะอยู่ในช่วง 59-82 %RH พบว่าทุกๆ อุณหภูมิที่ทำการทดลองพรีมิกซ์จะมีลักษณะการดูดหรือคายความชื้นไปในทิศทางเดียวกัน และเมื่อเปรียบเทียบโดยการเติม

ซิลิกอนไดออกไซด์ 0.5 1.0 และ 1.5% พบว่าตัวอย่างพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.5 % มีการเปลี่ยนแปลงการดูดหรือคายความชื้นของพรีมิกซ์น้อยที่สุด

เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดความชื้นของซิลิกอนไดออกไซด์ ระหว่างคำแนะนำจากผู้ผลิตกับการทดลองจริงจะมีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก คือคำแนะนำจากผู้ผลิตกล่าวว่าซิลิกอนไดออกไซด์มีประสิทธิภาพการดูดความชื้นเป็น 259 มิลลิตรต่อ 100 กรัม ซิลิกอนไดออกไซด์ จากการทดลองจริงเมื่อเติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.5% โดยน้ำหนัก พบว่าจากการคำนวณซิลิกอนไดออกไซด์มีประสิทธิภาพการดูดความชื้นเป็น 650 มิลลิตรต่อ 100 กรัม ซิลิกอนไดออกไซด์ ซึ่งความแตกต่างของการดูดความชื้นของซิลิกอนไดออกไซด์อาจเนื่องมาจากส่วนประกอบอื่นๆ ในพรีมิกซ์ซึ่งวัตถุดิบส่วนมากจะมีการเติมสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนเช่นกัน ดังนั้นการดูดความชื้นของพรีมิกซ์จึงอาจขึ้นอยู่กับองค์ประกอบอื่นๆ ในพรีมิกซ์ด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 จากผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล ควรมีการศึกษาถึงวัสดุบรรจุที่จะนำมาใช้กับผลิตภัณฑ์พรีมิกซ์เพื่อป้องกันความชื้นจากภายนอกเข้าไปสู่ตัวพรีมิกซ์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเมื่อทำการเติมซิลิกอนไดออกไซด์แล้ว

5.2.2 ควรมีการทดลองจากพรีมิกซ์ที่ได้จากการผสมจากเครื่องผสมและสภาวะต่างๆ ที่ใช้ในการผลิตจริงมาทำการทดลองเพิ่มเติมได้แก่ ความร้อนที่เกิดจากการผสมของเครื่องผสม ผลกระทบจากการกดทับในระหว่างการจัดเก็บ เป็นต้น

5.2.3 จากการทดลองควรมีการทดลองลดปริมาณการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ลง เพื่อดูประสิทธิภาพที่แท้จริงของซิลิกอนไดออกไซด์



บรรณานุกรม

- เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และ สมยศ เชื้ออักษร. (2551). ความชื้นสมดุลและจุลศาสตร์การอบแห้งของไพล. *การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 10 ประจำปี 2552*
- ประเสริฐ ยาระมิ่ง วรพจน์ เกตุมนตรี และ วีระศักดิ์ เต็ดแก้ว. (2549). การศึกษาเชิงทดลองผลของความชื้นในห้องปรับอากาศต่อการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ. *ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล. คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.*
- มารีนา มะหฺน. (2545 ม.ค.-มิ.ย.). การศึกษาหาพารามิเตอร์สำหรับการวิเคราะห์การอบแห้งขิง. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ 6 (1): 32-40*
- ศุภรัตน์ กักเครือ. (2546). การศึกษาเตรียมแผ่นสารดูดความชื้นเพื่อใช้ในการลดภาระความร้อนที่ผ่านหลังคา. *สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.*
- อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์ มารีนา มะหฺน และบัวไข มณีวงศ์. (2545). แบบจำลองความชื้นสมดุลสำหรับตะไคร้. *33rd Congress on Science and Technology of Thailand. ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์.*
- A. M. Hollenbach:& M. Peleg R. Rufner. (2006). Effect of Four Anticaking Agents on the Bulk Characteristics of Ground Sugar . *Journal of Food Science.* 47 (2): 538 – 544.
- Atul J. Shukla :& James C. Price., (1991). Effect of Moisture Content on Compression Properties of Two Dextrose-Based Directly Compressible Diluents. *Journal Pharmaceutical Research.* 8 (3): 336-340.
- Castro, Inar A. :& Motizuki, Miram; Murai, Helcio; Chiu, Ming C.; Silva, Rui S.S.F. (2006 June). Effect of Anticaking Agent Addition and Headspace Reduction in the Powdered-Drink Mix Sensory Stability. *Journal of Food Quality,* 29(3): 203-215(13)
- Greenspan, Lewis. (1977 January - February). Humidity Fixed Points of Binary Saturated Aqueous Solutions. *Journal of Research of the National Bureau of Standards - A. Physics and Chemistry.* 81(1).
- Mohd Said :& Nassya (2007) Sability study of meat tenderizer powder. PSM Presentation , Bioprocess Engineering Dept.
- Pimjai Maneepan :& Wichamanee Yuenyongputtakal (2007).Effect of Anticaking Agents Combined With Moisture Control on the Quality of Tom-Yum Powder. *33rd Congress on Science and Technology of Thailand. Pages 1-5*

Wei-Youh Kuu :& Rao Chilamkurti and Chi Chen(1998 May 18). Effect of relative humidity and temperature on moisture sorption and stability of sodium bicarbonate powder. *International Journal of Pharmaceutics*. 166 (2): 167-175.

<http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%81%E0%B8%A5%E0%B8%B9%E0%B9%82%E0%B8%84%E0%B8%AA> สืบค้นวันที่ 19 กรกฎาคม 2552

http://scientifics.edsci.com/msds/Dextrose_Mono.pdf สืบค้นวันที่ 23 เมษายน 2553

<http://www.3dchem.com/moremolecules.asp?ID=423&othername=Dextrose%20monohydrate> สืบค้นวันที่ 11 พฤศจิกายน 2552

<http://www.dld.go.th/inform/law/lawkks.html> สืบค้นวันที่ 19 กรกฎาคม 2552

http://www.fisheries.go.th/if-inland_feed/service/diet_register.htm สืบค้นวันที่ 19 กรกฎาคม 2552

<http://www.green-planet-solar-energy.com/silicon-element-facts.html> สืบค้นวันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2553

<http://www.knowledgebank.irri.org/rkb/index.php/rice-milling/contributions-and-references-milling/further-information-byproducts/husk-and-straw-properties> สืบค้นวันที่ 29 เมษายน 2553





ภาคผนวก ก

ผลการทดลองและการคำนวณปริมาณความชื้นสมดุล

ภาคผนวก ก
ผลการทดลองและการคำนวณปริมาณความชื้นสมดุล

ตาราง ก-1 ผลการทดลองความชื้นสมดุลในพรีมิกซ์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ LiCl

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.19	8.95	8.83	8.72	8.61	8.45	8.34	8.35
2	9.19	8.94	8.80	8.72	8.60	8.48	8.33	8.35
3	9.19	8.94	8.81	8.70	8.59	8.47	8.34	8.33
4	9.19	8.96	8.82	8.69	8.57	8.46	8.31	8.32
5	9.19	8.95	8.80	8.73	8.58	8.44	8.32	8.36
ค่าเฉลี่ย	9.19	8.95	8.81	8.71	8.59	8.46	8.33	8.34
SD	0.00%	0.84%	1.30%	1.64%	1.58%	1.58%	1.30%	1.64%

ตาราง ก-2 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ $MgCl_2$

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.19	8.84	8.81	8.80	8.82	8.81	8.81	8.80
2	9.19	8.85	8.80	8.82	8.83	8.80	8.80	8.80
3	9.19	8.83	8.81	8.78	8.80	8.83	8.79	8.79
4	9.19	8.82	8.82	8.79	8.82	8.80	8.83	8.82
5	9.19	8.85	8.80	8.81	8.84	8.82	8.82	8.81
ค่าเฉลี่ย	9.19	8.84	8.81	8.80	8.82	8.81	8.81	8.80
SD	0.00%	1.30%	0.88%	1.59%	1.48%	1.30%	1.58%	1.14%

ตาราง ก-3 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ $Mg(NO_3)_2$

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.19	9.00	8.99	8.87	8.80	8.82	8.82	8.81
2	9.19	9.02	9.00	8.85	8.84	8.83	8.83	8.82
3	9.19	8.99	8.96	8.87	8.84	8.81	8.82	8.81
4	9.19	9.02	8.99	8.86	8.82	8.83	8.83	8.82
5	9.19	9.01	8.98	8.87	8.81	8.81	8.80	8.80
ค่าเฉลี่ย	9.19	9.01	8.98	8.86	8.82	8.82	8.82	8.81
SD	0.00%	1.30%	1.55%	0.89%	1.79%	1.00%	1.22%	0.84%

ตาราง ก-4 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ NaCl

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.19	9.85	9.83	9.81	9.82	9.80	9.78	9.79
2	9.19	9.84	9.84	9.83	9.83	9.79	9.79	9.80
3	9.19	9.84	9.83	9.81	9.80	9.80	9.76	9.77
4	9.19	9.86	9.85	9.82	9.82	9.80	9.77	9.78
5	9.19	9.83	9.82	9.80	9.81	9.78	9.78	9.79
ค่าเฉลี่ย	9.19	9.84	9.83	9.81	9.82	9.79	9.78	9.79
SD	0.00%	1.14%	1.12%	1.15%	1.12%	0.89%	1.14%	1.14%

ตาราง ก-5 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ BaCl₂

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.19	10.57	11.83	12.44	13.19	14.74	14.80	14.83
2	9.19	10.60	11.81	12.42	13.18	14.77	14.80	14.82
3	9.19	10.61	11.80	12.45	13.16	14.75	14.83	14.80
4	9.19	10.58	11.84	12.46	13.20	14.73	14.84	14.85
5	9.19	10.59	11.82	12.45	13.19	14.72	14.81	14.83
ค่าเฉลี่ย	9.19	10.59	11.82	12.44	13.18	14.74	14.82	14.83
SD	0.00%	1.58%	1.58%	1.52%	1.52%	1.92%	1.82%	1.82%

ตาราง ก-6 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ LiCl

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.19	4.76	2.92	2.52	2.15	1.99	1.96	1.98
2	9.19	4.78	2.93	2.53	2.13	1.98	1.95	1.97
3	9.19	4.77	2.93	2.51	2.16	2.02	2.00	1.99
4	9.19	4.79	2.94	2.52	2.14	2.01	1.99	1.98
5	9.19	4.75	2.91	2.49	2.16	2.01	1.97	1.96
ค่าเฉลี่ย	9.19	4.77	2.93	2.51	2.15	2.00	1.97	1.98
SD	0.00%	1.58%	1.14%	1.52%	1.30%	1.64%	2.07%	1.14%

ตาราง ก-7 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ $MgCl_2$

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.19	8.73	8.54	8.45	8.37	8.35	8.33	8.33
2	9.19	8.74	8.55	8.43	8.36	8.33	8.33	8.35
3	9.19	8.76	8.56	8.45	8.39	8.37	8.34	8.33
4	9.19	8.75	8.54	8.46	8.37	8.36	8.31	8.32
5	9.19	8.72	8.56	8.42	8.38	8.34	8.32	8.36
ค่าเฉลี่ย	9.19	8.74	8.55	8.44	8.37	8.35	8.33	8.34
SD	0.00%	1.58%	1.00%	1.57%	1.14%	1.58%	1.14%	1.64%

ตาราง ก-8 ผลการทดลองความชื้นสมมูลไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ $Mg(NO_3)_2$

ครั้งที่	ความชื้นไนโตรเจน (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.19	9.02	8.96	8.94	8.90	8.90	8.91	8.90
2	9.19	9.01	8.98	8.92	8.92	8.91	8.91	8.91
3	9.19	9.00	8.95	8.96	8.89	8.90	8.89	8.89
4	9.19	9.03	8.97	8.95	8.91	8.91	8.91	8.91
5	9.19	9.04	8.99	8.96	8.89	8.89	8.90	8.90
ค่าเฉลี่ย	9.19	9.02	8.97	8.95	8.90	8.90	8.90	8.90
SD	0.00%	1.58%	1.58%	1.67%	1.30%	0.84%	0.89%	0.84%

ตาราง ก-9 ผลการทดลองความชื้นสมมูลไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ $NaCl$

ครั้งที่	ความชื้นไนโตรเจน (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.19	9.85	9.01	9.88	9.77	9.64	9.66	9.65
2	9.19	9.84	9.00	9.87	9.76	9.67	9.67	9.67
3	9.19	9.84	9.02	9.91	9.79	9.65	9.65	9.63
4	9.19	9.86	8.99	9.89	9.77	9.63	9.68	9.65
5	9.19	9.85	9.00	9.88	9.78	9.64	9.65	9.67
ค่าเฉลี่ย	9.19	9.85	9.00	9.89	9.77	9.65	9.66	9.65
SD	0.00%	0.83%	1.14%	1.52%	1.14%	1.52%	1.30%	1.67%

ตาราง ก-10 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ BaCl_2

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.19	14.75	16.00	-	-	-	-	-
2	9.19	14.77	16.00	-	-	-	-	-
3	9.19	14.76	16.00	-	-	-	-	-
4	9.19	14.73	16.00	-	-	-	-	-
5	9.19	14.74	16.00	-	-	-	-	-
ค่าเฉลี่ย	9.19	14.75	16.00	-	-	-	-	-
SD	0.00%	1.58%	0.00%	-	-	-	-	-

หมายเหตุ : - คือ ไม่สามารถหาความชื้นได้เนื่องจากตัวอย่างหลอมเหลวเป็นน้ำ

ตาราง ก-11 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.5% ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ LiCl

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	8.87	8.70	8.68	8.65	8.62	8.55	8.55	8.54
2	8.87	8.72	8.70	8.67	8.62	8.54	8.53	8.55
3	8.87	8.71	8.70	8.66	8.61	8.53	8.54	8.53
4	8.87	8.68	8.67	8.64	8.65	8.56	8.56	8.55
5	8.87	8.69	8.67	8.63	8.64	8.54	8.56	8.54
ค่าเฉลี่ย	8.87	8.70	8.68	8.65	8.63	8.54	8.55	8.54
SD	0.00%	1.59%	1.54%	1.59%	1.64%	1.14%	1.30%	0.84%

ตาราง ก-12 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.5% ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ $MgCl_2$

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	8.87	8.69	8.71	8.81	8.70	8.67	8.67	8.68
2	8.87	8.72	8.68	8.82	8.71	8.68	8.68	8.67
3	8.87	8.70	8.70	8.80	8.69	8.67	8.69	8.69
4	8.87	8.71	8.67	8.79	8.67	8.66	8.65	8.67
5	8.87	8.69	8.68	8.80	8.68	8.65	8.66	8.67
ค่าเฉลี่ย	8.87	8.70	8.69	8.80	8.69	8.67	8.67	8.68
SD	0.00%	1.30%	1.64%	1.14%	1.58%	1.14%	1.58%	0.89%

ตาราง ก-13 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.5% ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ $Mg(NO_3)_2$

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	8.87	8.72	8.68	8.68	8.69	8.67	8.67	8.65
2	8.87	8.74	8.70	8.70	8.70	8.68	8.69	8.67
3	8.87	8.74	8.71	8.68	8.68	8.67	8.66	8.65
4	8.87	8.70	8.68	8.67	8.67	8.66	8.67	8.66
5	8.87	8.71	8.69	8.69	8.70	8.69	8.68	8.66
ค่าเฉลี่ย	8.87	8.72	8.69	8.68	8.69	8.67	8.67	8.66
SD	0.00%	1.79%	1.30%	1.14%	1.30%	1.14%	1.14%	0.84%

ตาราง ก-14 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.5% ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ NaCl

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	8.87	9.52	9.50	9.50	9.49	9.42	9.41	9.41
2	8.87	9.54	9.50	9.51	9.50	9.43	9.42	9.43
3	8.87	9.53	9.51	9.50	9.48	9.40	9.40	9.39
4	8.87	9.51	9.47	9.48	9.47	9.40	9.40	9.40
5	8.87	9.52	9.48	9.49	9.48	9.43	9.42	9.43
ค่าเฉลี่ย	8.87	9.52	9.49	9.50	9.48	9.42	9.41	9.41
SD	0.00%	1.12%	1.64%	1.15%	1.14%	1.52%	1.00%	1.79%

ตาราง ก-15 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.5% ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ BaCl₂

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	8.87	9.82	10.66	10.99	11.32	11.58	11.59	11.58
2	8.87	9.81	10.68	11.00	11.34	11.57	11.58	11.57
3	8.87	9.82	10.67	10.97	11.31	11.58	11.58	11.57
4	8.87	9.79	10.65	11.02	11.30	11.59	11.60	11.60
5	8.87	9.79	10.68	10.98	11.33	11.56	11.58	11.59
ค่าเฉลี่ย	8.87	9.81	10.67	10.99	11.32	11.58	11.59	11.58
SD	0.00%	1.52%	1.30%	1.92%	1.58%	1.14%	0.89%	1.30%

ตาราง ก-16 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.5% ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ LiCl

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	8.87	5.10	4.80	4.57	4.39	4.27	4.17	4.17
2	8.87	5.12	4.78	4.55	4.38	4.26	4.19	4.18
3	8.87	5.10	4.83	4.58	4.40	4.28	4.16	4.16
4	8.87	5.09	4.81	4.56	4.42	4.28	4.18	4.17
5	8.87	5.12	4.79	4.57	4.41	4.25	4.19	4.18
ค่าเฉลี่ย	8.87	5.11	4.80	4.57	4.40	4.27	4.18	4.17
SD	0.00%	1.34%	1.94%	1.14%	1.58%	1.30%	1.30%	0.84%

ตาราง ก-17 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.5% ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ MgCl₂

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	8.87	8.71	8.61	8.56	8.51	8.50	8.51	8.50
2	8.87	8.74	8.63	8.57	8.50	8.48	8.53	8.52
3	8.87	8.73	8.60	8.57	8.49	8.49	8.50	8.50
4	8.87	8.75	8.62	8.55	8.53	8.51	8.51	8.51
5	8.87	8.74	8.60	8.53	8.50	8.50	8.49	8.49
ค่าเฉลี่ย	8.87	8.73	8.61	8.56	8.51	8.50	8.51	8.50
SD	0.00%	1.52%	1.30%	1.71%	1.52%	1.14%	1.48%	1.14%

ตาราง ก-18 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.5% ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ $Mg(NO_3)_2$

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	8.87	8.61	8.39	8.37	8.31	8.27	8.25	8.25
2	8.87	8.58	8.38	8.34	8.34	8.28	8.23	8.25
3	8.87	8.60	8.41	8.36	8.29	8.27	8.24	8.23
4	8.87	8.62	8.42	8.37	8.32	8.29	8.26	8.25
5	8.87	8.59	8.42	8.35	8.30	8.29	8.26	8.26
ค่าเฉลี่ย	8.87	8.60	8.40	8.36	8.31	8.28	8.25	8.25
SD	0.00%	1.58%	1.82%	1.30%	1.92%	1.00%	1.30%	1.10%

ตาราง ก-19 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.5% ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ NaCl

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	8.87	9.97	10.11	10.10	9.91	9.97	10.00	9.99
2	8.87	9.99	10.13	10.12	9.90	9.99	10.01	10.00
3	8.87	9.98	10.12	10.11	9.89	9.98	10.02	10.02
4	8.87	9.96	10.09	10.08	9.92	9.96	9.98	9.99
5	8.87	9.96	10.10	10.11	9.89	10.00	9.99	9.99
ค่าเฉลี่ย	8.87	9.97	10.11	10.10	9.90	9.98	10.00	10.00
SD	0.00%	1.30%	1.58%	1.50%	1.30%	1.58%	1.58%	1.30%

ตาราง ก-20 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.5% ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ BaCl_2

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	8.87	12.67	14.44	15.45	16.00	-	-	-
2	8.87	12.68	14.45	15.47	16.00	-	-	-
3	8.87	12.66	14.43	15.44	16.00	-	-	-
4	8.87	12.65	14.42	15.46	16.00	-	-	-
5	8.87	12.68	14.41	15.44	16.00	-	-	-
ค่าเฉลี่ย	8.87	12.67	14.43	15.45	16.00	-	-	-
SD	0.00%	1.30%	1.58%	1.30%	0.00%	-	-	-

หมายเหตุ : - คือ ไม่สามารถหาความชื้นได้เนื่องจากตัวอย่างหลอมเหลวเป็นน้ำ

ตาราง ก-21 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.0% ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ LiCl

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.03	8.59	8.58	8.54	8.52	8.45	8.45	8.44
2	9.03	8.61	8.60	8.57	8.53	8.42	8.43	8.43
3	9.03	8.62	8.60	8.56	8.52	8.46	8.47	8.46
4	9.03	8.60	8.58	8.53	8.50	8.43	8.43	8.44
5	9.03	8.58	8.56	8.53	8.51	8.44	8.46	8.46
ค่าเฉลี่ย	9.03	8.60	8.58	8.55	8.52	8.44	8.45	8.45
SD	0.00%	1.58%	1.68%	1.82%	1.12%	1.58%	1.79%	1.34%

ตาราง ก-22 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.0% ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ $MgCl_2$

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.03	8.75	8.74	8.73	8.73	8.73	8.74	8.73
2	9.03	8.76	8.75	8.72	8.75	8.74	8.75	8.74
3	9.03	8.75	8.77	8.70	8.73	8.72	8.71	8.72
4	9.03	8.77	8.72	8.69	8.72	8.73	8.73	8.73
5	9.03	8.75	8.73	8.73	8.73	8.74	8.72	8.71
ค่าเฉลี่ย	9.03	8.76	8.74	8.71	8.73	8.73	8.73	8.73
SD	0.00%	0.89%	1.93%	1.87%	1.09%	0.84%	1.58%	1.14%

ตาราง ก-23 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.0% ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ $Mg(NO_3)_2$

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.03	8.90	8.88	8.90	8.88	8.89	8.88	8.89
2	9.03	8.88	8.89	8.88	8.87	8.88	8.87	8.88
3	9.03	8.92	8.91	8.90	8.90	8.90	8.89	8.90
4	9.03	8.91	8.87	8.92	8.89	8.90	8.90	8.89
5	9.03	8.93	8.90	8.92	8.90	8.88	8.90	8.90
ค่าเฉลี่ย	9.03	8.91	8.89	8.90	8.89	8.89	8.89	8.89
SD	0.00%	1.92%	1.58%	1.67%	1.30%	1.00%	1.30%	0.84%

ตาราง ก-24 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.0% ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ NaCl

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.03	9.49	9.49	9.50	9.48	9.45	9.51	9.50
2	9.03	9.52	9.51	9.51	9.51	9.47	9.52	9.52
3	9.03	9.51	9.52	9.51	9.50	9.46	9.49	9.50
4	9.03	9.48	9.47	9.48	9.47	9.43	9.48	9.48
5	9.03	9.51	9.50	9.49	9.48	9.46	9.50	9.49
ค่าเฉลี่ย	9.03	9.50	9.50	9.50	9.49	9.45	9.50	9.50
SD	0.00%	1.64%	1.92%	1.33%	1.64%	1.52%	1.58%	1.48%

ตาราง ก-25 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.0% ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ BaCl₂

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.03	9.94	10.41	10.60	10.78	10.84	10.86	10.85
2	9.03	9.97	10.43	10.63	10.77	10.82	10.85	10.85
3	9.03	9.95	10.40	10.62	10.79	10.85	10.87	10.86
4	9.03	9.92	10.39	10.60	10.80	10.83	10.84	10.86
5	9.03	9.93	10.43	10.63	10.81	10.85	10.83	10.83
ค่าเฉลี่ย	9.03	9.94	10.41	10.62	10.79	10.84	10.85	10.85
SD	0.00%	1.92%	1.79%	1.52%	1.58%	1.30%	1.58%	1.22%

ตาราง ก-26 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.0% ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ LiCl

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.03	4.72	3.50	3.30	3.13	3.00	2.95	2.96
2	9.03	4.71	3.52	3.31	3.13	2.97	2.94	2.95
3	9.03	4.74	3.53	3.28	3.14	2.99	2.93	2.94
4	9.03	4.73	3.49	3.32	3.16	3.02	2.96	2.97
5	9.03	4.71	3.49	3.31	3.12	3.01	2.96	2.96
ค่าเฉลี่ย	9.03	4.72	3.51	3.30	3.14	3.00	2.95	2.96
SD	0.00%	1.30%	1.82%	1.51%	1.52%	1.92%	1.30%	1.14%

ตาราง ก-27 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.0% ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ MgCl₂

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.03	8.48	7.94	7.74	7.54	7.31	7.12	7.10
2	9.03	8.50	7.96	7.72	7.55	7.33	7.11	7.08
3	9.03	8.49	7.93	7.75	7.56	7.31	7.12	7.10
4	9.03	8.47	7.95	7.73	7.53	7.28	7.09	7.11
5	9.03	8.51	7.95	7.75	7.53	7.29	7.13	7.09
ค่าเฉลี่ย	9.03	8.49	7.95	7.74	7.54	7.30	7.11	7.10
SD	0.00%	1.58%	1.14%	1.31%	1.30%	1.95%	1.52%	1.14%

ตาราง ก-28 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.0% ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ $Mg(NO_3)_2$

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.03	8.66	8.61	8.60	8.57	8.58	8.58	8.57
2	9.03	8.68	8.60	8.62	8.60	8.58	8.59	8.55
3	9.03	8.69	8.64	8.60	8.59	8.57	8.57	8.56
4	9.03	8.66	8.62	8.59	8.57	8.56	8.57	8.58
5	9.03	8.67	8.63	8.58	8.58	8.59	8.60	8.59
ค่าเฉลี่ย	9.03	8.67	8.62	8.60	8.58	8.58	8.58	8.57
SD	0.00%	1.30%	1.58%	1.48%	1.30%	1.14%	1.30%	1.58%

ตาราง ก-29 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.0% ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ NaCl

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.03	9.75	9.84	9.81	9.67	9.53	9.51	9.50
2	9.03	9.78	9.83	9.82	9.68	9.52	9.52	9.49
3	9.03	9.76	9.84	9.83	9.69	9.55	9.49	9.51
4	9.03	9.77	9.86	9.79	9.66	9.54	9.53	9.48
5	9.03	9.76	9.87	9.79	9.65	9.56	9.51	9.51
ค่าเฉลี่ย	9.03	9.76	9.85	9.81	9.67	9.54	9.51	9.50
SD	0.00%	1.14%	1.64%	1.80%	1.58%	1.58%	1.48%	1.30%

ตาราง ก-30 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.0% ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ BaCl_2

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.03	12.31	13.63	14.92	16.00	-	-	-
2	9.03	12.32	13.66	14.93	16.00	-	-	-
3	9.03	12.29	13.65	14.95	16.00	-	-	-
4	9.03	12.30	13.64	14.90	16.00	-	-	-
5	9.03	12.31	13.67	14.91	16.00	-	-	-
ค่าเฉลี่ย	9.03	12.31	13.65	14.92	16.00	-	-	-
SD	0.00%	1.14%	1.58%	1.92%	0.00%	-	-	-

หมายเหตุ : - คือ ไม่สามารถหาความชื้นได้เนื่องจากตัวอย่างหลอมเหลวเป็นน้ำ

ตาราง ก-31 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.5% ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ LiCl

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.08	8.88	8.87	8.85	8.84	8.81	8.81	8.80
2	9.08	8.89	8.88	8.86	8.85	8.83	8.82	8.83
3	9.08	8.86	8.87	8.86	8.83	8.80	8.81	8.82
4	9.08	8.87	8.86	8.87	8.86	8.82	8.82	8.80
5	9.08	8.85	8.84	8.83	8.84	8.79	8.80	8.79
ค่าเฉลี่ย	9.08	8.87	8.86	8.85	8.84	8.81	8.81	8.81
SD	0.00%	1.58%	1.52%	1.50%	1.14%	1.58%	0.84%	1.64%

ตาราง ก-32 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.5% ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ $MgCl_2$

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.08	8.89	8.88	8.88	8.88	8.87	8.87	8.88
2	9.08	8.90	8.89	8.89	8.89	8.88	8.88	8.87
3	9.08	8.92	8.90	8.89	8.88	8.87	8.88	8.89
4	9.08	8.88	8.86	8.87	8.87	8.88	8.87	8.88
5	9.08	8.87	8.87	8.88	8.89	8.87	8.86	8.85
ค่าเฉลี่ย	9.08	8.89	8.88	8.88	8.88	8.87	8.87	8.87
SD	0.00%	1.94%	1.58%	0.88%	0.88%	0.55%	0.84%	1.52%

ตาราง ก-33 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.5% ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ $Mg(NO_3)_2$

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.08	8.92	8.91	8.91	8.90	8.89	8.89	8.89
2	9.08	8.90	8.90	8.89	8.89	8.88	8.88	8.87
3	9.08	8.89	8.88	8.87	8.88	8.87	8.87	8.88
4	9.08	8.93	8.92	8.91	8.90	8.90	8.89	8.88
5	9.08	8.90	8.89	8.89	8.88	8.87	8.86	8.87
ค่าเฉลี่ย	9.08	8.91	8.90	8.89	8.89	8.88	8.88	8.88
SD	0.00%	1.64%	1.58%	1.67%	1.00%	1.30%	1.30%	0.84%

ตาราง ก-34 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.5% ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ NaCl

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.08	9.64	9.65	9.68	9.69	9.67	9.66	9.67
2	9.08	9.67	9.68	9.70	9.71	9.70	9.70	9.71
3	9.08	9.65	9.66	9.67	9.68	9.67	9.68	9.67
4	9.08	9.63	9.64	9.66	9.67	9.66	9.65	9.66
5	9.08	9.64	9.65	9.67	9.69	9.67	9.68	9.67
ค่าเฉลี่ย	9.08	9.65	9.66	9.68	9.69	9.67	9.67	9.68
SD	0.00%	1.52%	1.52%	1.51%	1.48%	1.52%	1.95%	1.95%

ตาราง ก-35 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.5% ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ BaCl₂

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.08	9.88	10.35	10.59	10.77	10.78	10.78	10.79
2	9.08	9.87	10.33	10.63	10.77	10.77	10.79	10.79
3	9.08	9.89	10.37	10.62	10.79	10.81	10.83	10.82
4	9.08	9.90	10.36	10.60	10.76	10.79	10.81	10.81
5	9.08	9.89	10.34	10.63	10.78	10.80	10.81	10.80
ค่าเฉลี่ย	9.08	9.89	10.35	10.61	10.77	10.79	10.80	10.80
SD	0.00%	1.14%	1.58%	1.82%	1.14%	1.58%	1.95%	1.30%

ตาราง ก-36 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.5% ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ LiCl

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.08	4.90	3.64	3.41	3.24	3.11	3.03	3.02
2	9.08	4.89	3.63	3.43	3.25	3.12	3.02	3.03
3	9.08	4.88	3.64	3.40	3.22	3.09	3.01	3.00
4	9.08	4.91	3.61	3.39	3.23	3.09	3.05	3.01
5	9.08	4.89	3.62	3.42	3.24	3.12	3.04	2.99
ค่าเฉลี่ย	9.08	4.89	3.63	3.41	3.24	3.11	3.03	3.01
SD	0.00%	1.14%	1.30%	1.60%	1.14%	1.52%	1.58%	1.58%

ตาราง ก-37 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.5% ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ MgCl₂

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.08	8.66	8.21	7.98	7.76	7.54	7.39	7.39
2	9.08	8.64	8.22	8.00	7.78	7.54	7.41	7.40
3	9.08	8.63	8.18	7.99	7.76	7.56	7.42	7.41
4	9.08	8.65	8.21	7.98	7.77	7.53	7.40	7.39
5	9.08	8.64	8.20	8.01	7.78	7.52	7.39	7.38
ค่าเฉลี่ย	9.08	8.64	8.20	7.99	7.77	7.54	7.40	7.39
SD	0.00%	1.14%	1.52%	1.30%	1.00%	1.48%	1.30%	1.14%

ตาราง ก-38 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.5% ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ $Mg(NO_3)_2$

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.08	8.62	8.54	8.53	8.53	8.53	8.52	8.52
2	9.08	8.64	8.57	8.52	8.54	8.53	8.53	8.52
3	9.08	8.61	8.53	8.54	8.52	8.51	8.50	8.50
4	9.08	8.63	8.55	8.57	8.55	8.56	8.55	8.54
5	9.08	8.61	8.56	8.53	8.55	8.54	8.52	8.53
ค่าเฉลี่ย	9.08	8.62	8.55	8.54	8.54	8.53	8.52	8.52
SD	0.00%	1.30%	1.58%	1.92%	1.30%	1.82%	1.82%	1.48%

ตาราง ก-39 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.5% ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ NaCl

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.08	9.95	10.06	10.10	9.95	10.05	10.06	10.05
2	9.08	9.97	10.05	10.08	9.97	10.07	10.08	10.06
3	9.08	9.94	10.08	10.11	9.96	10.06	10.07	10.04
4	9.08	9.98	10.07	10.08	9.94	10.04	10.05	10.03
5	9.08	9.96	10.08	10.12	9.93	10.06	10.08	10.06
ค่าเฉลี่ย	9.08	9.96	10.07	10.10	9.95	10.06	10.07	10.05
SD	0.00%	1.58%	1.30%	1.81%	1.58%	1.14%	1.30%	1.30%

ตาราง ก-40 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.5% ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ BaCl_2

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.08	12.36	13.58	14.88	16.00	-	-	-
2	9.08	12.38	13.56	14.87	16.00	-	-	-
3	9.08	12.35	13.55	14.89	16.00	-	-	-
4	9.08	12.36	13.57	14.87	16.00	-	-	-
5	9.08	12.37	13.58	14.86	16.00	-	-	-
ค่าเฉลี่ย	9.08	12.36	13.57	14.87	16.00	-	-	-
SD	0.00%	1.14%	1.30%	1.14%	0.00%	-	-	-

หมายเหตุ : - คือ ไม่สามารถหาความชื้นได้เนื่องจากตัวอย่างหลอมเหลวเป็นน้ำ

ตาราง ก-41 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.5% ที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิ ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ LiCl

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	8.87	8.75	8.70	8.66	8.62	8.57	8.58	8.57
2	8.87	8.77	8.68	8.64	8.61	8.59	8.59	8.58
3	8.87	8.78	8.71	8.65	8.60	8.58	8.57	8.58
4	8.87	8.76	8.69	8.67	8.64	8.60	8.59	8.58
5	8.87	8.75	8.70	8.64	8.63	8.59	8.57	8.56
ค่าเฉลี่ย	8.87	8.76	8.70	8.65	8.62	8.59	8.58	8.57
SD	0.00%	1.30%	1.14%	1.30%	1.58%	1.14%	1.00%	0.89%

ตาราง ก-42 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.5% ที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิ ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ $MgCl_2$

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	8.87	8.71	8.66	8.57	8.49	8.46	8.46	8.45
2	8.87	8.72	8.68	8.58	8.50	8.48	8.47	8.47
3	8.87	8.73	8.67	8.57	8.49	8.47	8.48	8.46
4	8.87	8.71	8.69	8.56	8.53	8.50	8.44	8.43
5	8.87	8.74	8.67	8.55	8.50	8.46	8.45	8.42
ค่าเฉลี่ย	8.87	8.72	8.67	8.57	8.50	8.47	8.46	8.45
SD	0.00%	1.30%	1.14%	1.14%	1.64%	1.67%	1.58%	2.07%

ตาราง ก-43 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.5% ที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิ ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ $Mg(NO_3)_2$

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	8.87	8.67	8.60	8.56	8.53	8.53	8.51	8.49
2	8.87	8.68	8.58	8.57	8.57	8.51	8.49	8.48
3	8.87	8.66	8.61	8.56	8.54	8.52	8.48	8.47
4	8.87	8.70	8.62	8.59	8.57	8.54	8.50	8.50
5	8.87	8.69	8.60	8.55	8.56	8.53	8.52	8.51
ค่าเฉลี่ย	8.87	8.68	8.60	8.57	8.55	8.53	8.50	8.49
SD	0.00%	1.58%	1.48%	1.52%	1.82%	1.14%	1.58%	1.58%

ตาราง ก-44 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.5% ที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิ ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ NaCl

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	8.87	8.88	8.88	8.87	8.89	8.85	8.88	8.91
2	8.87	8.89	8.88	8.88	8.89	8.87	8.89	8.90
3	8.87	8.87	8.87	8.86	8.87	8.83	8.86	8.92
4	8.87	8.86	8.87	8.87	8.88	8.85	8.87	8.89
5	8.87	8.90	8.89	8.89	8.90	8.87	8.89	8.89
ค่าเฉลี่ย	8.87	8.88	8.88	8.87	8.89	8.85	8.88	8.90
SD	0.00%	1.58%	0.84%	1.14%	1.14%	1.67%	1.30%	1.30%

ตาราง ก-45 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.5% ที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิ ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ BaCl₂

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	8.87	12.02	14.04	15.20	15.63	15.78	16.00	16.21
2	8.87	12.01	14.05	15.22	15.65	15.76	16.01	16.20
3	8.87	11.98	14.03	15.21	15.64	15.78	15.98	16.19
4	8.87	11.99	14.02	15.19	15.63	15.77	16.02	16.22
5	8.87	12.00	14.06	15.21	15.63	15.79	15.99	16.23
ค่าเฉลี่ย	8.87	12.00	14.04	15.21	15.64	15.78	16.00	16.21
SD	0.00%	1.58%	1.58%	1.14%	0.89%	1.14%	1.58%	1.58%

ตาราง ก-46 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.0% ที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิ ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ LiCl

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.03	8.65	8.58	8.52	8.51	8.46	8.45	8.46
2	9.03	8.67	8.60	8.54	8.51	8.43	8.43	8.44
3	9.03	8.64	8.57	8.55	8.50	8.48	8.47	8.47
4	9.03	8.66	8.60	8.55	8.53	8.45	8.46	8.46
5	9.03	8.64	8.58	8.54	8.49	8.46	8.44	8.48
ค่าเฉลี่ย	9.03	8.65	8.59	8.54	8.51	8.46	8.45	8.46
SD	0.00%	1.30%	1.34%	1.22%	1.48%	1.82%	1.58%	1.48%

ตาราง ก-47 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.0% ที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิ ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ MgCl₂

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.03	8.60	8.55	8.45	8.41	8.35	8.34	8.28
2	9.03	8.62	8.57	8.46	8.40	8.36	8.33	8.27
3	9.03	8.63	8.53	8.43	8.41	8.37	8.35	8.26
4	9.03	8.61	8.55	8.46	8.42	8.34	8.34	8.29
5	9.03	8.63	8.54	8.45	8.38	8.33	8.35	8.29
ค่าเฉลี่ย	9.03	8.62	8.55	8.45	8.40	8.35	8.34	8.28
SD	0.00%	1.30%	1.48%	1.22%	1.52%	1.58%	0.84%	1.30%

ตาราง ก-48 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.0% ที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิ ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ $Mg(NO_3)_2$

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.03	8.60	8.56	8.53	8.48	8.44	8.30	8.28
2	9.03	8.62	8.57	8.52	8.50	8.45	8.29	8.29
3	9.03	8.61	8.54	8.50	8.49	8.42	8.27	8.26
4	9.03	8.58	8.53	8.52	8.47	8.43	8.31	8.28
5	9.03	8.59	8.53	8.51	8.48	8.41	8.32	8.29
ค่าเฉลี่ย	9.03	8.60	8.55	8.52	8.48	8.43	8.30	8.28
SD	0.00%	1.58%	1.82%	1.14%	1.14%	1.58%	1.92%	1.22%

ตาราง ก-49 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.0% ที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิ ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ NaCl

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.03	9.01	8.97	8.97	8.90	8.86	8.88	8.88
2	9.03	9.02	8.99	8.96	8.91	8.87	8.89	8.89
3	9.03	8.99	8.96	8.95	8.92	8.89	8.87	8.90
4	9.03	8.98	8.99	8.99	8.89	8.86	8.88	8.87
5	9.03	9.01	8.97	8.98	8.88	8.88	8.89	8.86
ค่าเฉลี่ย	9.03	9.00	8.98	8.97	8.90	8.87	8.88	8.88
SD	0.00%	1.64%	1.34%	1.58%	1.58%	1.30%	0.84%	1.58%

ตาราง ก-50 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.0% ที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิ ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ BaCl_2

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.03	10.90	12.09	12.70	13.36	13.42	13.46	13.49
2	9.03	10.92	12.11	12.68	13.39	13.44	13.47	13.50
3	9.03	10.91	12.13	12.69	13.37	13.40	13.45	13.48
4	9.03	10.90	12.08	12.72	13.39	13.40	13.43	13.51
5	9.03	10.88	12.10	12.71	13.40	13.43	13.43	13.47
ค่าเฉลี่ย	9.03	10.90	12.10	12.70	13.38	13.42	13.45	13.49
SD	0.00%	1.48%	1.92%	1.58%	1.64%	1.79%	1.79%	1.58%

ตาราง ก-51 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.5% ที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิ ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ LiCl

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.08	8.69	8.40	8.25	8.11	8.11	8.07	8.05
2	9.08	8.70	8.38	8.24	8.11	8.09	8.08	8.08
3	9.08	8.72	8.41	8.25	8.10	8.08	8.06	8.07
4	9.08	8.68	8.39	8.27	8.14	8.11	8.09	8.03
5	9.08	8.73	8.40	8.24	8.13	8.09	8.07	8.04
ค่าเฉลี่ย	9.08	8.70	8.40	8.25	8.12	8.10	8.07	8.05
SD	0.00%	2.07%	1.14%	1.22%	1.64%	1.34%	1.14%	2.07%

ตาราง ก-52 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.5% ที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิ ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ $MgCl_2$

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.08	8.78	8.56	8.30	8.24	8.11	8.06	8.07
2	9.08	8.79	8.58	8.58	8.25	8.08	8.07	8.07
3	9.08	8.76	8.57	8.57	8.23	8.09	8.08	8.06
4	9.08	8.81	8.54	8.56	8.26	8.11	8.09	8.08
5	9.08	8.77	8.54	8.55	8.24	8.09	8.08	8.06
ค่าเฉลี่ย	9.08	8.78	8.56	8.51	8.24	8.10	8.08	8.07
SD	0.00%	1.92%	1.79%	11.90%	1.14%	1.34%	1.14%	0.84%

ตาราง ก-53 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.5% ที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิ ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ $Mg(NO_3)_2$

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.08	8.80	8.84	8.83	8.81	8.79	8.77	8.74
2	9.08	8.82	8.86	8.82	8.80	8.80	8.78	8.72
3	9.08	8.81	8.83	8.84	8.82	8.81	8.75	8.75
4	9.08	8.78	8.85	8.85	8.83	8.78	8.76	8.74
5	9.08	8.79	8.84	8.83	8.80	8.79	8.75	8.73
ค่าเฉลี่ย	9.08	8.80	8.84	8.83	8.81	8.79	8.76	8.74
SD	0.00%	1.58%	1.14%	1.14%	1.30%	1.14%	1.30%	1.14%

ตาราง ก-54 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.5% ที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิ ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ NaCl

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.08	9.71	9.69	9.67	9.63	9.62	9.62	9.61
2	9.08	9.72	9.70	9.69	9.65	9.60	9.60	9.60
3	9.08	9.69	9.68	9.67	9.62	9.61	9.62	9.63
4	9.08	9.68	9.66	9.66	9.64	9.64	9.63	9.59
5	9.08	9.70	9.67	9.67	9.62	9.63	9.62	9.62
ค่าเฉลี่ย	9.08	9.70	9.68	9.67	9.63	9.62	9.62	9.61
SD	0.00%	1.58%	1.58%	1.10%	1.30%	1.58%	1.10%	1.58%

ตาราง ก-55 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.5% ที่ไม่ควบคุมอุณหภูมิ ภายใต้การควบคุมความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายเกลือ BaCl₂

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ในวันที่							
	0	5	10	15	20	25	30	35
1	9.08	10.50	11.91	13.37	14.30	14.51	14.80	14.92
2	9.08	10.48	11.92	13.38	14.31	14.49	14.81	14.91
3	9.08	10.49	11.89	13.39	14.33	14.50	14.83	14.94
4	9.08	10.51	11.91	13.36	14.29	14.50	14.79	14.95
5	9.08	10.50	11.89	13.35	14.28	14.48	14.78	14.92
ค่าเฉลี่ย	9.08	10.50	11.90	13.37	14.30	14.50	14.80	14.93
SD	0.00%	1.14%	1.34%	1.58%	1.92%	1.14%	1.92%	1.64%

ตาราง ก-56 ผลการทดลองความชื้นสมดุลในพรีมิกซ์ที่ไม่ได้เติมซิลิกอนไดออกไซด์ ไม่ควบคุมความชื้นในอากาศ แต่ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ที่ความชื้นในอากาศ(%RH)							
	82.00	71.00	59.00	61.00	63.00	66.00	66.00	66.00
1	9.19	9.36	9.21	9.02	8.94	8.73	8.66	8.54
2	9.19	9.39	9.19	9.01	8.93	8.71	8.68	8.53
3	9.19	9.35	9.23	8.98	8.93	8.74	8.65	8.52
4	9.19	9.37	9.20	9.00	8.93	8.75	8.67	8.56
5	9.19	9.38	9.22	9.00	8.91	8.73	8.63	8.56
ค่าเฉลี่ย	9.19	9.37	9.21	9.00	8.93	8.73	8.66	8.54
SD	0.00%	1.58%	1.58%	1.48%	1.10%	1.48%	1.92%	1.79%

ตาราง ก-57 ผลการทดลองความชื้นสมดุลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.5% ไม่ควบคุมความชื้นในอากาศ แต่ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ที่ความชื้นในอากาศ(%RH)							
	82.00	71.00	59.00	61.00	63.00	66.00	66.00	66.00
1	8.87	8.92	8.90	8.92	8.91	8.90	8.90	8.90
2	8.87	8.95	8.91	8.93	8.92	8.91	8.91	8.91
3	8.87	8.91	8.90	8.91	8.92	8.92	8.91	8.90
4	8.87	8.90	8.92	8.89	8.88	8.89	8.89	8.89
5	8.87	8.93	8.88	8.88	8.90	8.90	8.90	8.91
ค่าเฉลี่ย	8.87	8.92	8.90	8.91	8.91	8.90	8.90	8.90
SD	0.00%	1.92%	1.48%	2.07%	1.67%	1.14%	0.84%	0.84%

ตาราง ก-58 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.0% ไม่ควบคุมความชื้นในอากาศ แต่ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ที่ความชื้นในอากาศ(%RH)							
	82.00	71.00	59.00	61.00	63.00	66.00	66.00	66.00
1	9.03	9.12	9.05	8.92	8.66	8.47	8.41	8.37
2	9.03	9.16	9.08	8.95	8.70	8.50	8.45	8.41
3	9.03	9.15	9.07	8.94	8.67	8.48	8.43	8.39
4	9.03	9.12	9.04	8.90	8.66	8.46	8.40	8.36
5	9.03	9.13	9.05	8.93	8.69	8.49	8.42	8.38
ค่าเฉลี่ย	9.03	9.14	9.06	8.93	8.68	8.48	8.42	8.38
SD	0.00%	1.82%	1.64%	1.92%	1.82%	1.58%	1.92%	1.92%

ตาราง ก-59 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.5% ไม่ควบคุมความชื้นในอากาศ แต่ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ที่ความชื้นในอากาศ(%RH)							
	82.00	71.00	59.00	61.00	63.00	66.00	66.00	66.00
1	9.08	9.16	9.10	9.00	8.71	8.50	8.46	8.43
2	9.08	9.19	9.13	9.04	8.75	8.53	8.49	8.47
3	9.08	9.15	9.10	9.02	8.73	8.48	8.45	8.44
4	9.08	9.14	9.09	9.03	8.74	8.51	8.47	8.45
5	9.08	9.18	9.12	9.00	8.71	8.49	8.46	8.43
ค่าเฉลี่ย	9.08	9.16	9.11	9.02	8.73	8.50	8.47	8.44
SD	0.00%	2.07%	1.64%	1.79%	1.79%	1.92%	1.52%	1.67%

ตาราง ก-60 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่ไม่ได้เติมซิลิกอนไดออกไซด์ ไม่ควบคุมความชื้นในอากาศ แต่ควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ที่ความชื้นในอากาศ(%RH)							
	82.00	71.00	59.00	61.00	63.00	66.00	66.00	66.00
1	9.19	9.02	8.88	8.72	8.63	8.58	8.55	8.54
2	9.19	9.03	8.87	8.70	8.66	8.54	8.56	8.52
3	9.19	9.06	8.90	8.75	8.67	8.56	8.57	8.57
4	9.19	9.02	8.91	8.73	8.65	8.58	8.53	8.54
5	9.19	9.05	8.87	8.74	8.63	8.59	8.54	8.53
ค่าเฉลี่ย	9.19	9.04	8.89	8.73	8.65	8.57	8.55	8.54
SD	0.00%	1.82%	1.82%	1.92%	1.79%	2.00%	1.58%	1.87%

ตาราง ก-61 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.5% ไม่ควบคุมความชื้นในอากาศ แต่ควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ที่ความชื้นในอากาศ(%RH)							
	82.00	71.00	59.00	61.00	63.00	66.00	66.00	66.00
1	8.87	8.92	8.90	8.90	8.91	8.90	8.90	8.90
2	8.87	8.95	8.93	8.93	8.92	8.92	8.91	8.92
3	8.87	8.90	8.88	8.88	8.87	8.88	8.89	8.88
4	8.87	8.93	8.91	8.90	8.91	8.92	8.91	8.91
5	8.87	8.91	8.89	8.89	8.89	8.90	8.91	8.89
ค่าเฉลี่ย	8.87	8.92	8.90	8.90	8.90	8.90	8.90	8.90
SD	0.00%	1.92%	1.92%	1.87%	2.00%	1.67%	0.89%	1.58%

ตาราง ก-62 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.0% ไม่ควบคุมความชื้นในอากาศ แต่ควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ที่ความชื้นในอากาศ(%RH)							
	82.00	71.00	59.00	61.00	63.00	66.00	66.00	66.00
1	9.03	8.89	8.84	8.74	8.67	8.46	8.40	8.37
2	9.03	8.91	8.86	8.77	8.70	8.50	8.44	8.41
3	9.03	8.86	8.82	8.73	8.66	8.47	8.42	8.39
4	9.03	8.87	8.85	8.75	8.68	8.49	8.44	8.40
5	9.03	8.90	8.85	8.75	8.69	8.46	8.42	8.38
ค่าเฉลี่ย	9.03	8.89	8.84	8.75	8.68	8.48	8.42	8.39
SD	0.00%	2.07%	1.52%	1.48%	1.58%	1.82%	1.67%	1.58%

ตาราง ก-63 ผลการทดลองความชื้นสมมูลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.5% ไม่ควบคุมความชื้นในอากาศ แต่ควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ที่ความชื้นในอากาศ(%RH)							
	82.00	71.00	59.00	61.00	63.00	66.00	66.00	66.00
1	9.08	9.00	8.87	8.81	8.71	8.50	8.45	8.43
2	9.08	9.03	8.90	8.85	8.75	8.54	8.49	8.46
3	9.08	8.98	8.88	8.82	8.73	8.52	8.47	8.46
4	9.08	8.99	8.90	8.84	8.74	8.51	8.48	8.43
5	9.08	9.02	8.92	8.85	8.72	8.49	8.46	8.42
ค่าเฉลี่ย	9.08	9.00	8.89	8.83	8.73	8.51	8.47	8.44
SD	0.00%	2.07%	1.95%	1.82%	1.58%	1.92%	1.58%	1.87%

ตาราง ก-64 ผลการทดลองความชื้นสมดุลในพรีมิกซ์ที่ไม่ได้เติมซิลิกอนไดออกไซด์ ไม่ควบคุมความชื้นในอากาศ และไม่ควบคุมอุณหภูมิ

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ที่ความชื้นในอากาศ(%RH)							
	82.00	71.00	59.00	61.00	63.00	66.00	66.00	66.00
1	9.19	9.11	9.03	8.98	8.95	8.74	8.65	8.54
2	9.19	9.12	9.01	9.00	8.97	8.74	8.68	8.56
3	9.19	9.08	9.02	9.01	8.94	8.73	8.65	8.53
4	9.19	9.08	9.05	9.02	8.92	8.75	8.69	8.54
5	9.19	9.09	9.06	9.00	8.94	8.70	8.66	8.54
ค่าเฉลี่ย	9.19	9.10	9.03	9.00	8.94	8.73	8.67	8.54
SD	0.00%	1.82%	2.07%	1.48%	1.82%	1.92%	1.82%	1.10%

ตาราง ก-65 ผลการทดลองความชื้นสมดุลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 0.5% ไม่ควบคุมความชื้นในอากาศ และไม่ควบคุมอุณหภูมิ

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ที่ความชื้นในอากาศ(%RH)							
	82.00	71.00	59.00	61.00	63.00	66.00	66.00	66.00
1	8.87	8.94	8.93	8.93	8.92	8.92	8.92	8.92
2	8.87	8.93	8.92	8.92	8.92	8.91	8.91	8.92
3	8.87	8.90	8.90	8.91	8.91	8.90	8.90	8.90
4	8.87	8.92	8.91	8.90	8.90	8.90	8.90	8.90
5	8.87	8.91	8.89	8.90	8.90	8.89	8.89	8.88
ค่าเฉลี่ย	8.87	8.92	8.91	8.91	8.91	8.90	8.90	8.90
SD	0.00%	1.58%	1.58%	1.30%	1.00%	1.14%	1.14%	1.67%

ตาราง ก-66 ผลการทดลองความชื้นสมดุลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.0% ไม่ควบคุมความชื้นในอากาศ และไม่ควบคุมอุณหภูมิ

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ที่ความชื้นในอากาศ(%RH)							
	82.00	71.00	59.00	61.00	63.00	66.00	66.00	66.00
1	9.03	8.96	8.88	8.73	8.68	8.47	8.41	8.38
2	9.03	8.98	8.90	8.76	8.70	8.50	8.44	8.41
3	9.03	8.94	8.87	8.73	8.69	8.47	8.43	8.39
4	9.03	8.95	8.90	8.73	8.66	8.45	8.41	8.36
5	9.03	8.96	8.92	8.77	8.69	8.49	8.43	8.38
ค่าเฉลี่ย	9.03	8.96	8.89	8.74	8.68	8.48	8.42	8.38
SD	0.00%	1.48%	1.95%	1.95%	1.52%	1.95%	1.34%	1.82%

ตาราง ก-67 ผลการทดลองความชื้นสมดุลในพรีมิกซ์ที่เติมซิลิกอนไดออกไซด์ 1.5% ไม่ควบคุมความชื้นในอากาศ และไม่ควบคุมอุณหภูมิ

ครั้งที่	ความชื้นในพรีมิกซ์ (%) ที่ความชื้นในอากาศ(%RH)							
	82.00	71.00	59.00	61.00	63.00	66.00	66.00	66.00
1	9.08	9.02	8.88	8.77	8.62	8.50	8.46	8.42
2	9.08	9.02	8.89	8.80	8.65	8.53	8.49	8.46
3	9.08	8.98	8.85	8.75	8.63	8.51	8.47	8.45
4	9.08	8.99	8.87	8.78	8.64	8.48	8.45	8.42
5	9.08	9.00	8.88	8.79	8.63	8.52	8.46	8.44
ค่าเฉลี่ย	9.08	9.00	8.87	8.78	8.63	8.51	8.47	8.44
SD	0.00%	1.79%	1.52%	1.92%	1.14%	1.92%	1.52%	1.79%



ภาคผนวก ข
ตัวอย่างการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้น

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้น

การคำนวณปริมาณความชื้น

สามารถคำนวณหาปริมาณความชื้นได้จากสูตร

$$\text{ปริมาณเปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \left| \frac{W_1 - W_3}{W_3} \right| \times 100$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณเปอร์เซ็นต์ความชื้น} &= \left| \frac{1.0045 - 0.9080}{0.9080} \right| \times 100 \\ &= 10.63\% \end{aligned}$$

การคำนวณหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล (Standard deviation, SD)

เมื่อได้ค่าปริมาณความชื้นของพรีมิกซ์แล้ว เราจะนำข้อมูลที่ได้มาหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล ซึ่งจะบอกการกระจายตัวของข้อมูล ซึ่งถ้าข้อมูลใดมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลต่ำ แสดงว่าข้อมูลชุดนั้นมีความน่าเชื่อถือมากกว่าข้อมูลชุดที่มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลมาก สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

จากตาราง ก-1 จากข้อมูลปริมาณความชื้นของพรีมิกซ์ 8.95 8.94 8.94 8.96 และ 8.95

$$\bar{X} = \frac{8.95 + 8.94 + 8.94 + 8.96 + 8.95}{5}$$

$$= 8.95$$

$$SD =$$

$$\sqrt{\frac{(8.95 - 8.95)^2 + (8.94 - 8.95)^2 + (8.94 - 8.95)^2 + (8.96 - 8.95)^2 + (8.95 - 8.95)^2}{5-1}}$$

$$= 0.84\%$$



ภาคผนวก ค

ค่าคงที่ที่ใช้ในการทดลอง

ตาราง ค-1 ตารางค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ภาวะสมดุลในสารละลายเกลืออิ่มตัวทั้ง 28 ชนิด ที่อุณหภูมิต่างๆ

T(°C)	RELATIVE HUMIDITY,%					
	Cesium Fluoride	Lithium Bromide	Zinc Bromide	Potassium Hydroxide	Sodium Hydroxide	Lithium Chloride
0		7.75 ± 0.83				11.23 ± 0.54
5	5.52 ± 1.90	7.43 ± 0.76	8.86 ± 0.89	14.34 ± 1.70		11.26 ± 0.47
10	4.89 ± 1.60	7.14 ± 0.69	8.49 ± 0.74	12.34 ± 1.40		11.29 ± 0.41
15	4.33 ± 1.40	6.86 ± 0.63	8.19 ± 0.61	10.68 ± 1.10	9.57 ± 2.80	11.30 ± 0.35
20	3.83 ± 1.10	6.61 ± 0.58	7.94 ± 0.49	9.32 ± 0.90	8.91 ± 2.40	11.31 ± 0.31
25	3.39 ± 0.94	6.37 ± 0.52	7.75 ± 0.39	8.23 ± 0.72	8.24 ± 2.10	11.30 ± 0.27
30	3.01 ± 0.77	6.16 ± 0.47	7.62 ± 0.31	7.38 ± 0.56	7.58 ± 1.70	11.28 ± 0.24
35	2.69 ± 0.63	5.97 ± 0.43	7.55 ± 0.25	6.73 ± 0.44	6.92 ± 1.50	11.25 ± 0.22
40	2.44 ± 0.52	5.80 ± 0.39	7.54 ± 0.20	6.26 ± 0.35	6.26 ± 1.20	11.21 ± 0.21
45	2.24 ± 0.44	5.65 ± 0.35	7.59 ± 0.17	5.94 ± 0.29	5.60 ± 1.00	11.16 ± 0.21
50	2.11 ± 0.40	5.53 ± 0.31	7.70 ± 0.16	5.72 ± 0.27	4.94 ± 0.85	11.10 ± 0.22
55	2.04 ± 0.38	5.42 ± 0.28	7.87 ± 0.17	5.58 ± 0.28	4.27 ± 0.73	11.03 ± 0.23
60	2.03 ± 0.40	5.33 ± 0.25	8.09 ± 0.19	5.49 ± 0.32	3.61 ± 0.65	10.95 ± 0.26

T(°C)	RELATIVE HUMIDITY,%					
	Calcium Bromide	Lithium Iodide	Potassium Acetate	Potassium Fluoride	Magnesium Chloride	Sodium Iodide
0					33.66 ± 0.33	
5		21.68 ± 0.30			33.60 ± 0.28	42.42 ± 0.99
10	21.62 ± 0.13	20.61 ± 0.25	23.38 ± 0.53		33.47 ± 0.24	41.83 ± 0.83
15	20.20 ± 0.12	19.57 ± 0.20	23.40 ± 0.32		33.30 ± 0.21	40.88 ± 0.70
20	18.50 ± 0.12	18.56 ± 0.16	23.11 ± 0.25		33.07 ± 0.18	39.65 ± 0.59
25	16.50 ± 0.12	17.56 ± 0.13	22.51 ± 0.32	30.85 ± 1.30	32.78 ± 0.16	38.17 ± 0.50
30		16.57 ± 0.10	21.61 ± 0.53	27.27 ± 1.10	32.44 ± 0.14	36.51 ± 0.43
35		15.57 ± 0.08		24.59 ± 0.94	32.05 ± 0.13	34.73 ± 0.39
40		14.55 ± 0.06		22.68 ± 0.81	31.60 ± 0.13	32.88 ± 0.37
45		13.49 ± 0.05		21.46 ± 0.70	31.10 ± 0.13	31.02 ± 0.37
50		12.38 ± 0.05		20.80 ± 0.62	30.54 ± 0.14	29.21 ± 0.40
55		11.22 ± 0.05		20.60 ± 0.56	29.93 ± 0.16	27.50 ± 0.45
60		9.98 ± 0.06		20.77 ± 0.53	29.26 ± 0.18	25.95 ± 0.52

ตาราง ค-1 ตารางค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ภาวะสมดุลในสารละลายเกลืออิ่มตัวทั้ง 28 ชนิด ที่อุณหภูมิต่างๆ (ต่อ)

T(°C)	RELATIVE HUMIDITY,%					
	Potassium Carbante	Magnesium Nitrate	Sodium Bromide	Cobalt Chloride	Potassium Iodide	Strontium Chloride
0	43.13 ± 0.66	60.35 ± 0.55				
5	43.13 ± 0.50	58.86 ± 0.43	63.51 ± 0.72		73.30 ± 0.34	77.13 ± 0.12
10	43.14 ± 0.39	57.36 ± 0.33	62.15 ± 0.60		72.11 ± 0.31	75.66 ± 0.09
15	43.15 ± 0.33	55.87 ± 0.27	60.68 ± 0.51		70.98 ± 0.28	74.13 ± 0.06
20	43.16 ± 0.33	54.38 ± 0.23	59.14 ± 0.44		69.90 ± 0.26	72.52 ± 0.05
25	43.16 ± 0.39	52.89 ± 0.22	57.57 ± 0.40	64.92 ± 3.50	68.86 ± 0.24	70.85 ± 0.04
30	43.17 ± 0.50	51.40 ± 0.24	56.03 ± 0.38	61.83 ± 2.80	67.89 ± 0.23	69.12 ± 0.03
35		49.91 ± 0.29	54.55 ± 0.38	58.63 ± 2.20	66.96 ± 0.23	
40		48.42 ± 0.37	53.17 ± 0.41	55.48 ± 1.80	66.09 ± 0.23	
45		46.93 ± 0.47	51.95 ± 0.47	52.56 ± 1.50	65.26 ± 0.24	
50		45.44 ± 0.60	50.93 ± 0.55	50.01 ± 1.40	64.49 ± 0.26	
55			50.15 ± 0.65	48.02 ± 1.40	63.78 ± 0.28	
60			49.66 ± 0.78	46.74 ± 1.50	63.11 ± 0.31	

T(°C)	RELATIVE HUMIDITY,%					
	Sodium Nitrate	Sodium Chloride	Ammonium Chloride	Potassium Bromide	Ammonium Sulfate	Potassium Chloride
0		75.51 ± 0.34			82.77 ± 0.90	88.61 ± 0.53
5	78.57 ± 0.52	75.65 ± 0.27		85.09 ± 0.26	82.42 ± 0.68	87.67 ± 0.45
10	77.53 ± 0.45	75.67 ± 0.22	80.55 ± 0.96	83.75 ± 0.24	82.06 ± 0.51	86.77 ± 0.39
15	76.46 ± 0.39	75.61 ± 0.18	79.89 ± 0.59	82.62 ± 0.22	81.70 ± 0.38	85.92 ± 0.33
20	75.36 ± 0.35	75.47 ± 0.14	79.23 ± 0.44	81.67 ± 0.21	81.34 ± 0.31	85.11 ± 0.29
25	74.25 ± 0.32	75.29 ± 0.12	78.57 ± 0.40	80.89 ± 0.21	80.99 ± 0.28	84.34 ± 0.26
30	73.14 ± 0.31	75.09 ± 0.11	77.90 ± 0.57	80.27 ± 0.21	80.63 ± 0.30	83.62 ± 0.25
35	72.06 ± 0.32	74.87 ± 0.12		79.78 ± 0.22	80.27 ± 0.37	82.95 ± 0.25
40	71.00 ± 0.34	74.68 ± 0.13		79.43 ± 0.24	79.91 ± 0.49	82.32 ± 0.25
45	69.99 ± 0.37	74.52 ± 0.16		79.18 ± 0.26	79.56 ± 0.65	81.74 ± 0.28
50	69.04 ± 0.42	74.43 ± 0.19		79.02 ± 0.28	79.20 ± 0.87	81.20 ± 0.31
55	68.15 ± 0.49	74.41 ± 0.24		78.95 ± 0.32		80.70 ± 0.35
60	67.35 ± 0.57	74.50 ± 0.30		78.94 ± 0.35		80.25 ± 0.41

ตาราง ค-1 ตารางค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ภาวะสมดุลในสารละลายเกลืออิ่มตัวทั้ง 28 ชนิด ที่อุณหภูมิต่างๆ (ต่อ)

T(°C)	RELATIVE HUMIDITY,%					
	Strontium Nitrate	Barium Chloride	Potassium Nitrate	Potassium Sulfate	Potassium Chromate	
0			96.33 ± 2.90	98.77 ± 1.10		
5	92.38 ± 0.56	93.79 ± 0.26	96.27 ± 2.10	98.48 ± 0.91		
10	90.55 ± 0.38	93.05 ± 0.24	95.96 ± 1.40	98.18 ± 0.76		
15	88.72 ± 0.28	92.62 ± 0.22	95.41 ± 0.96	97.89 ± 0.63		
20	86.89 ± 0.29	91.67 ± 0.21	94.62 ± 0.66	97.59 ± 0.53		
25	85.06 ± 0.38	90.89 ± 0.21	93.58 ± 0.55	97.30 ± 0.45	97.88 ± 0.49	
30		89.97 ± 0.21	92.31 ± 0.60	97.00 ± 0.40	97.08 ± 0.41	
35		88.78 ± 0.22	90.79 ± 0.83	96.71 ± 0.38	96.42 ± 0.37	
40		87.88 ± 0.26	89.03 ± 1.20	96.41 ± 0.38	95.89 ± 0.37	
45			87.03 ± 1.80	96.12 ± 0.40	95.50 ± 0.40	
50			84.78 ± 2.50	95.82 ± 0.45	95.25 ± 0.48	
55						
60						

หมายเหตุ : Greenspan, Lewis. (1977)

ตาราง ค-2 ตารางแสดงข้อมูลสภาพอากาศของ เดือนพฤศจิกายน 2552 ณ จังหวัดปทุมธานี

Year	Month	Day	Mean temp	Max temp	Min temp	Rain	Avg %RH
2009	11	1	28.4	33.5	23.5	0.0	63
2009	11	2	28.1	33.7	24.2	0.0	59
2009	11	3	25.2	28.2	24.2	1.4	63
2009	11	4	26.1	31.0	21.3	0.0	65
2009	11	5	27.8	32.0	23.5	0.0	63
2009	11	6	28.6	32.8	24.5	0.0	63
2009	11	7	28.9	34.0	25.5	0.0	70
2009	11	8	29.2	34.5	25.0	0.8	76
2009	11	9	29.6	34.3	26.3	0.0	76
2009	11	10	30.6	35.0	26.7	0.0	72
2009	11	11	30.3	33.8	27.0	0.0	74
2009	11	12	30.5	35.7	25.6	0.0	76
2009	11	13	31.0	35.6	27.0	0.0	72
2009	11	14	29.9	35.0	26.3	0.0	75
2009	11	15	28.8	34.3	25.0	0.0	80
2009	11	16	28.6	33.6	26.0	0.0	82
2009	11	17	28.5	35.4	24.8	3.8	79
2009	11	18	26.1	29.7	22.7	0.0	71
2009	11	19	25.7	30.2	21.4	0.0	65
2009	11	20	25.6	29.5	21.6	0.0	67
2009	11	21	24.9	29.5	20.0	0.0	71
2009	11	22	22.4	25.7	19.0	0.0	61
2009	11	23	23.8	29.4	19.5	0.0	59
2009	11	24	24.9	30.0	19.8	0.0	64
2009	11	25	25.6	32.5	19.2	0.0	69
2009	11	26	26.6	32.5	19.8	0.0	59
2009	11	27	27.1	33.2	21.0	0.0	62
2009	11	28	27.7	33.5	22.5	0.0	63
2009	11	29	28.1	34.0	22.8	0.0	62
2009	11	30	27.0	32.7	21.0	0.0	61

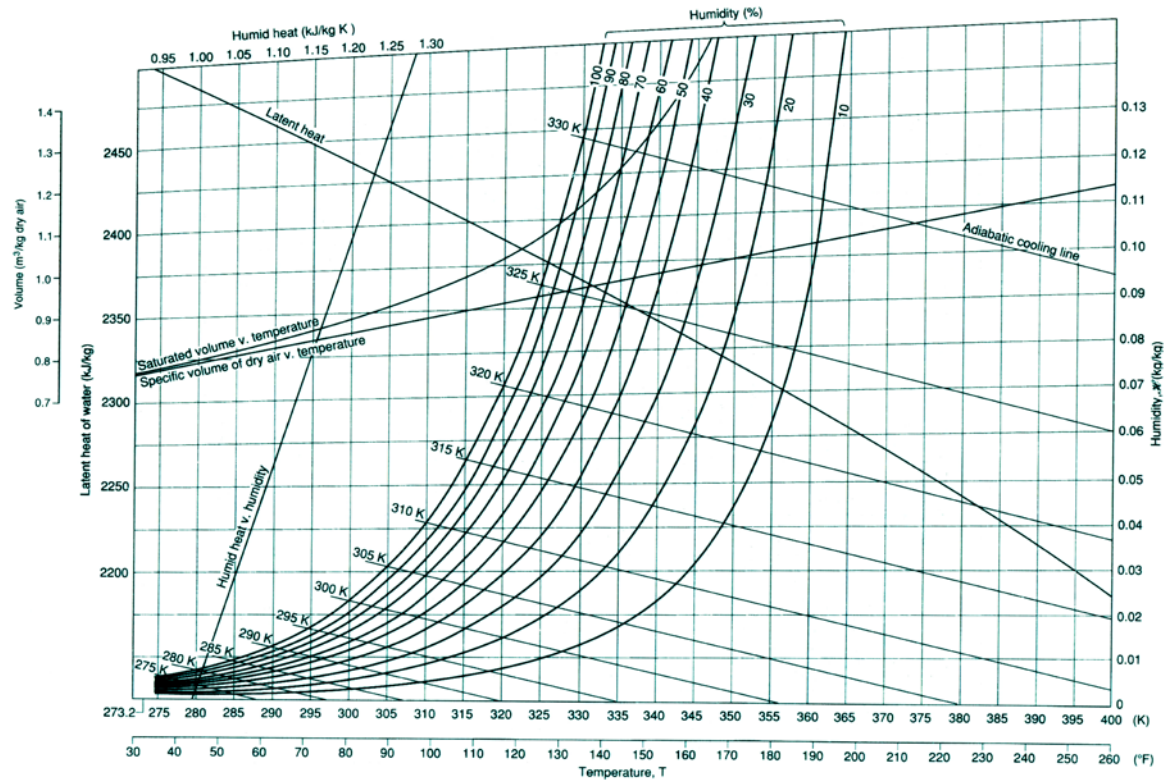
หมายเหตุ : ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา

ตาราง ก-3 ตารางแสดงข้อมูลสภาพอากาศของ เดือนธันวาคม 2552 ณ จังหวัดปทุมธานี

Year	Month	Day	Mean temp	Max temp	Min temp	Rain	Avg %RH
2009	12	1	26.7	32.2	21.0	0.0	61
2009	12	2	26.8	32.4	21.5	0.0	61
2009	12	3	26.5	32.5	21.8	0.0	63
2009	12	4	25.6	30.5	20.4	0.0	68
2009	12	5	25.7	31.5	20.6	0.0	67
2009	12	6	26.0	32.5	19.0	0.0	63
2009	12	7	25.4	32.5	19.7	0.0	70
2009	12	8	26.5	32.7	20.4	0.0	68
2009	12	9	26.9	32.7	22.0	0.0	69
2009	12	10	27.0	33.3	21.0	0.0	67
2009	12	11	27.1	33.2	22.0	0.0	66
2009	12	12	27.3	33.7	21.0	0.0	67
2009	12	13	28.1	33.3	23.0	0.0	65
2009	12	14	28.4	33.0	24.5	0.0	67
2009	12	15	28.8	34.0	24.2	0.0	70
2009	12	16	29.6	35.7	24.5	0.0	66
2009	12	17	29.6	35.4	24.2	0.0	68
2009	12	18	28.8	34.0	23.2	0.0	66
2009	12	19	27.8	33.0	23.0	0.2	71
2009	12	20	27.2	32.0	22.0	0.0	66
2009	12	21	25.9	31.7	21.0	0.0	66
2009	12	22	26.3	32.2	21.4	0.0	65
2009	12	23	26.5	32.3	21.0	0.0	66
2009	12	24	27.3	33.0	21.4	0.0	67
2009	12	25	27.6	33.7	21.8	0.0	69
2009	12	26	27.6	33.0	22.0	0.0	77
2009	12	27	28.4	33.8	23.5	0.0	75
2009	12	28	29.0	34.8	24.5	0.0	73
2009	12	29	28.9	34.0	24.4	0.0	75
2009	12	30	28.1	33.0	24.2	0.0	78
2009	12	31	28.4	33.2	24.0	0.0	77

หมายเหตุ : ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา

ตาราง ค-4 humidity chart





ภาคผนวก ง
คำอธิบายสัญลักษณ์

ภาคผนวก ง

คำอธิบายสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย
W_1	น้ำหนักพรีมิกซ์ก่อนอบที่ 105 องศาเซลเซียส มีหน่วยเป็นกรัม
W_2	น้ำหนักพรีมิกซ์หลังทิ้งไว้กับสารละลายเกลืออิ่มตัว มีหน่วยเป็นกรัม
W_3	น้ำหนักพรีมิกซ์หลังอบที่ 105 องศาเซลเซียส มีหน่วยเป็นกรัม
X_i	ค่าของสารที่ทำการตรวจวิเคราะห์ในแต่ละตัวอย่าง
$\bar{X}$	ค่าเฉลี่ยของค่า X ทั้งหมด
n	จำนวนตัวอย่างที่ทำการทดลอง
SD	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์
Σ	สัญลักษณ์ที่แสดงว่าเป็นผลรวม (Summation)



ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	ธราภรณ์ เจียงแจ่มจิต
วันเดือนปีเกิด	3 ธันวาคม 2522
สถานที่เกิด	ราชบุรี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	39/10 หมู่ 6 ต.คลองหก อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	ผู้ช่วยผู้จัดการฝ่ายควบคุมคุณภาพ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	ฝ่ายควบคุมคุณภาพ บริษัทแอนิมัล ซัพพลายเมนท์ แอนด์ ฟาร์มาซูติคอล จำกัด
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2541	มัธยมศึกษาตอนปลาย จาก โรงเรียนมัธยมวัดหัตถสารเกษตร
พ.ศ. 2546	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี จาก สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
พ.ศ. 2553	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมเคมี จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ