

การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอายุการเก็บรักษาข้าวโพดอัดพองอบกรอบที่สภาวะการเก็บต่างๆ สามารถแบ่งงานวิจัยออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนแรก เป็นการศึกษาเสถียรภาพของผลิตภัณฑ์ เพื่อหาดัชนีคุณภาพและเส้นความชื้นสมดุลไอโซเทอร์มของการดูดซับน้ำที่สภาวะต่างๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้ ทำการศึกษาครอบคลุมช่วงความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศตั้งแต่ร้อยละ 11 ถึงร้อยละ 95 ที่อุณหภูมิ 28, 38 และ 48°C ผลการศึกษาพบว่า การสูญเสียความกรอบเนื่องจากการดูดซับความชื้นเป็นดัชนีที่กำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์มากกว่าการเกิดกลิ่นหืนเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เส้นความชื้นสมดุลไอโซเทอร์มของการดูดซับเป็นประเภทที่ III ตามการแบ่งโดย BET ซึ่งเป็นแบบที่พบสำหรับอาหารทั่วไป จากการทดสอบความเหมาะสมของสมการไอโซเทอร์ม 9 แบบ โดยใช้ค่าสหสัมพันธ์ (R^2) และค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์เฉลี่ย (Mean Relative Error) เป็นเกณฑ์ พบว่าสมการของ Henderson สามารถอธิบายเส้นไอโซเทอร์มที่อุณหภูมิต่างๆ ได้ดีที่สุดใน และจาก Henderson Plot แสดงให้เห็นว่าน้ำที่สร้างพันธะกับผลิตภัณฑ์เป็นน้ำที่เรียงตัวเป็นชั้นเดี่ยวเท่านั้น และมีค่าเท่ากับร้อยละ 5.5-6.3 ฐานแห้งขึ้นกับอุณหภูมิ (ตามสมการของ BET) นอกจากนี้ยังสามารถนำข้อมูลการดูดซับมาพิจารณาถึงพลังงานที่ใช้ในกระบวนการดูดซับ โดยใช้สมการ Clausius-Clapeyron จากการพิจารณาเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไอโซสแตติกและความชื้นในอาหาร พบว่าพลังงานไอโซสแตติกมีค่าลดลงเมื่อความชื้นสูงขึ้น และเริ่มเปลี่ยนแปลงเข้าใกล้ศูนย์อย่างช้าๆ ที่ระดับความชื้นสมดุลร้อยละ 5.5 ฐานแห้ง ซึ่งสัมพันธ์กับค่าความชื้นโมเลกุลชั้นเดี่ยว (Monolayer Moisture Content) ซึ่งเป็นจุดที่ผลิตภัณฑ์ข้าวโพดอัดพองอบกรอบเริ่มเป็นที่ไม่ยอมรับของผู้บริโภค เนื่องจากการสูญเสียความกรอบ

งานวิจัยส่วนที่สอง เป็นการทำนายอายุผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงพลาสติก (PP) หนา 80 ไมครอนด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยการทำให้สมการความชื้นระหว่างความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่เวลาใดๆ กับการซึมผ่านของไอน้ำผ่านภาชนะบรรจุ ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านไอน้ำ (K) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์สำคัญของถุงพลาสติกเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิในช่วง 28-48°C ตามสมการของ Arrhenius และพารามิเตอร์ของสมการ Arrhenius เป็นฟังก์ชันกับความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงร้อยละ 50-90 ในรูปแบบของสมการยกกำลัง อายุของผลิตภัณฑ์สามารถทำนายได้โดยการแก้สมการสมการความชื้นด้วยวิธี Explicit Finite Difference ร่วมกับสมการไอโซเทอร์ม ใช้ความชื้นสมดุลวิกฤตที่ร้อยละ 5.5 ฐานแห้งเป็นเกณฑ์สำหรับกำหนดอายุของผลิตภัณฑ์ เขียนโปรแกรมด้วยโปรแกรม MATLAB[®] (V.7.1) จากการจำลองแบบทางคณิตศาสตร์ พบว่า ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแบบจำลองเมื่อแทนค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านไอน้ำปรากฏ (K_{app}) ลงในสมการ ให้ผลสอดคล้องกับการทดลองเก็บผลิตภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ ด้วย R^2 0.90-0.98 จากการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) ของอายุผลิตภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม พบว่า อายุของผลิตภัณฑ์มีความไวในทางลบต่ออุณหภูมิมากกว่าความชื้นสัมพัทธ์ ในช่วงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า 38°C และ 70%RH ตามลำดับ ในขณะที่ ผลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่ออายุของผลิตภัณฑ์มีความไวในทางบวกไม่แตกต่างกัน ในช่วงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 38°C และ 70%RH ตามลำดับ

The study of modeling the shelf-life of extruded corn snack is separated into 2 parts. The first part involves the product stability so as to identify the quality index and to determine equilibrium moisture sorption isotherms of the product at 28, 38 and 48°C over the range of relative humidity from 11% to 95%. The results showed that the loss of crispness due to moisture adsorption determined the quality index of the product rather than rancidity due to oxidation reaction. The isotherms exhibited sigmoid shape of type III behavior of BET classification, which is typical for many food products. Among 9 sorption equations, the Henderson model was found to be the best fit to the experimental data over the studied range of temperatures with high correlation coefficient (R^2) and low mean relative error (MRE) values. According to the Henderson plot, there was only monolayer moisture binding in the product and varied from 5.5 - 6.3% (d.b.) depending on temperatures (based on the BET equation). The experimental sorption data were also evaluated for isosteric heat of sorption by applying the Clausius-Clapeyron equation. It was found that the isosteric heat decreased with an increase in moisture content. At the equilibrium moisture content of 5.5% (d.b.), a change in the isosteric heat was slow down and approached zero. At this point, the product was unacceptable due to crispness loss.

The second part of this study was aimed to predict the shelf-life of the product containing in a polypropylene (PP) plastic bag with 80 μm in thick. A transient moisture balance between the product and the surrounding through the plastic bag was made. The water vapor permeability coefficient (K) was proposed as function temperatures (28-48°C in range) according to Arrhenius's equation and parameters of the equation were found to be a power function the relative humidity in the range of 50-90%. The shelf-life of the product could be predicted by solving the moisture balance equation using the Explicit Finite Difference method, coupled with the sorption isotherm equation. The moisture content at 5.5% (d.b.) was used as a criterion to determine the product shelf-life, which was simulated by using the MATLAB® (V.7.1) program. It was found that the simulated results had a good agreement with observed data with high correlation of 0.90-0.98 R^2 , when the apparent water vapor permeability coefficient (K_{app}) was used in the model. Moreover, sensitivity analysis showed that the shelf-life of the product was more negatively sensitive to the temperature than to the relative humidity at higher 38°C and 70%RH. Meanwhile at lower 38°C and 70%RH the effects of the temperature and the relative humidity had positively equal influence on the shelf-life of the extruded corn snack product.