

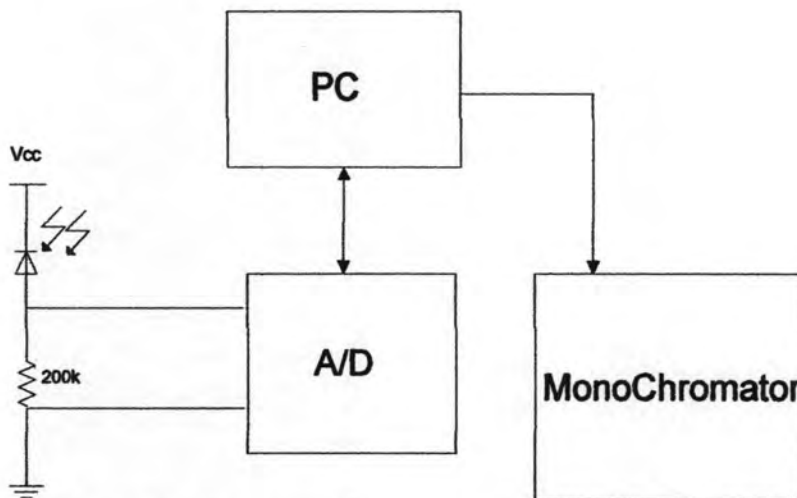
## บทที่ 8

### ผลการทดลอง

การทดลองได้ทำกับตัวอย่างแป้ง 4 ชนิดด้วยกัน คือ แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวเจ้า และแป้งมันสำปะหลัง โดยทำการแปลผลของข้อมูลแยกกันในแต่ละชนิด เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมีปัจจัยองค์ประกอบของข้อมูลแตกต่างกัน ค่าความชื้นที่เกิดขึ้นนั้นทำให้แตกต่างกันจากสภาวะสมดุลของแป้งแต่ละชนิด โดยการอบในเตาอบ (Oven drying) เพื่อทำการลดค่าความชื้น และการฉีดพ่นน้ำ เพื่อเพิ่มค่าความชื้น ในการหาค่าความชื้นนั้นทำตามวิธีของ มอก. 52-2516

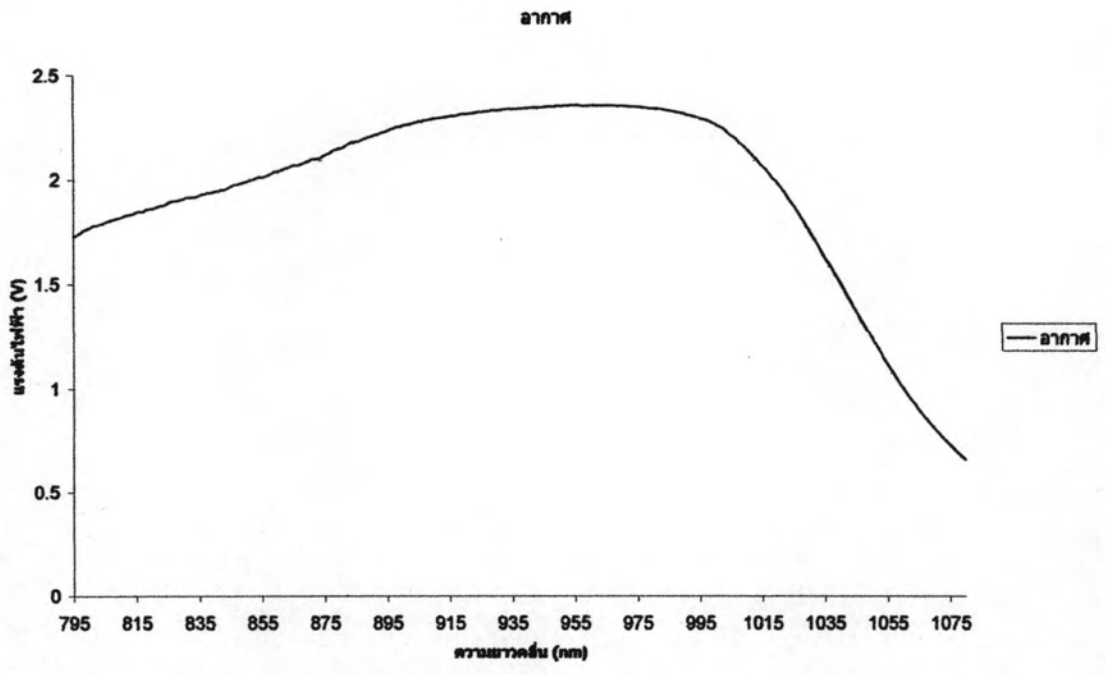
#### 8.1 ส่วนภาครับสัญญาณของวงจร

การรับสัญญาณผ่าน A/D 15 บิต ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ทางพอร์ตขนาน เพื่อทำการเก็บข้อมูล และควบคุม โมโน โครเมเตอร์ (รูปที่ 8.1)

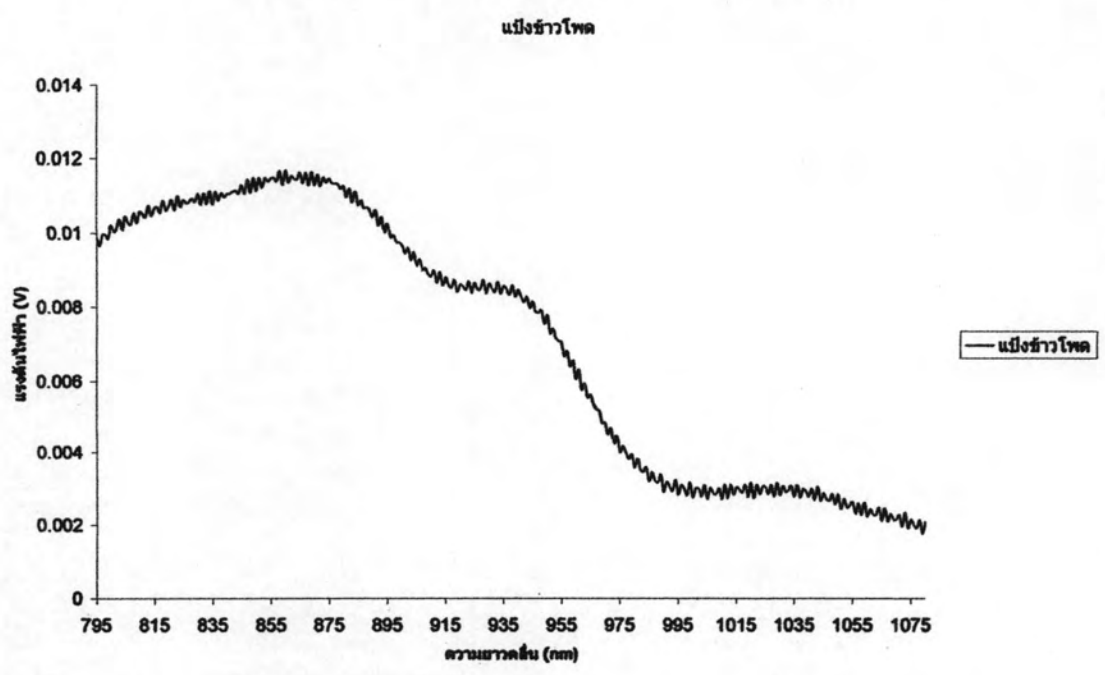


รูปที่ 8.1 ส่วนการวัดสัญญาณแสงที่เกิดจากการดูดกลืนและแปลงสัญญาณ

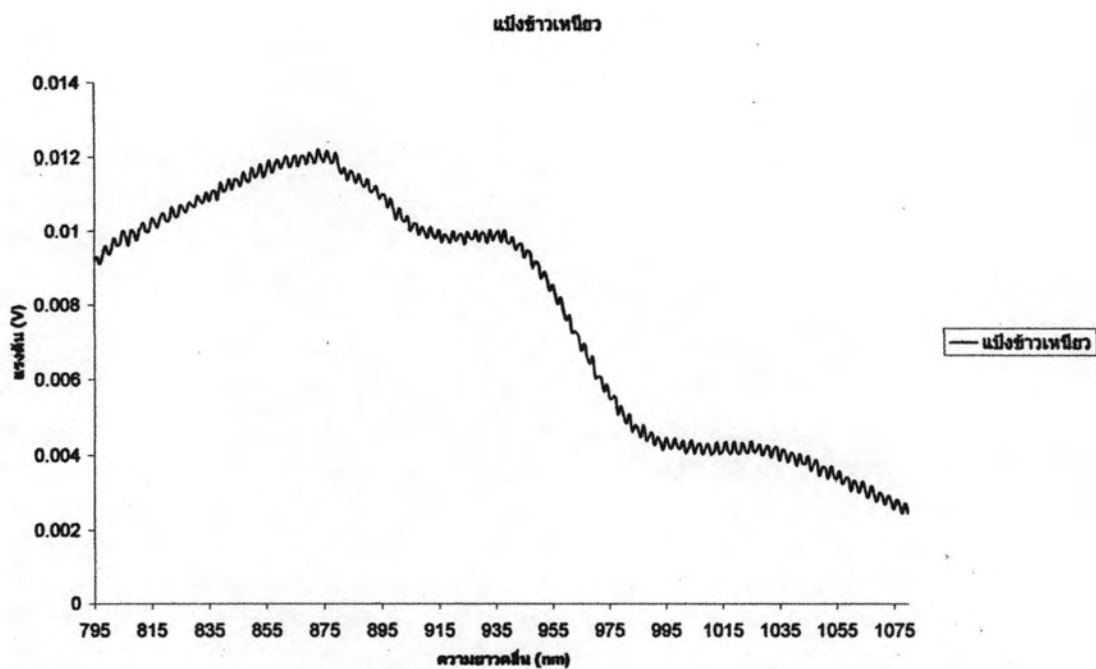
รูปที่ 8.2 - 8.6 แสดงสเปกตรัมของแสงที่ผ่านอากาศและแป้งแต่ละชนิด ก่อนนำมาหาสเปกตรัมการดูดกลืน ปริมาณที่ทำการวัดได้เป็นหน่วยของแรงดัน เมื่อทำการวัดโดยใช้หลอดไส้ทั้งสแตนเป็นแหล่งกำเนิดแสง แยกแสงผ่าน โมโน โครเมเตอร์ในช่วงความยาวคลื่น 795 ถึง 1080 นาโนเมตร ให้แสงผ่านอากาศเพื่อใช้ในการสอบเทียบเครื่องมือ ก่อนทำการวัดสเปกตรัมของตัวอย่าง และใช้การเทียบเพื่อหาค่าการดูดกลืนที่เกิดขึ้น



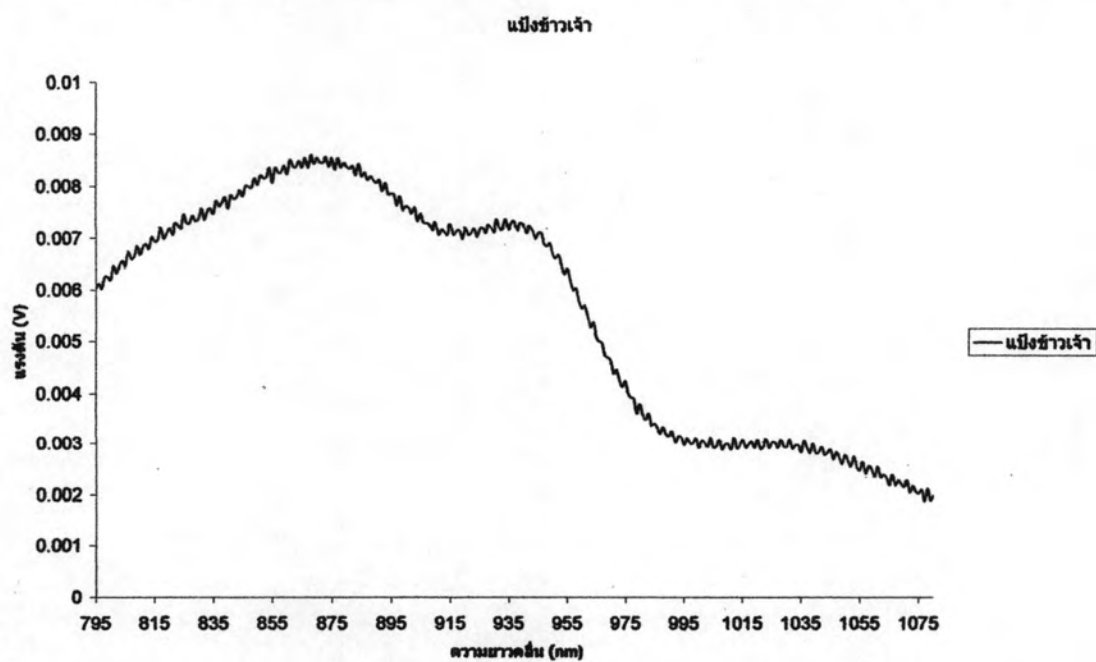
รูปที่ 8.2 แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้เป็นฟังก์ชันของความยาวคลื่นในอากาศ



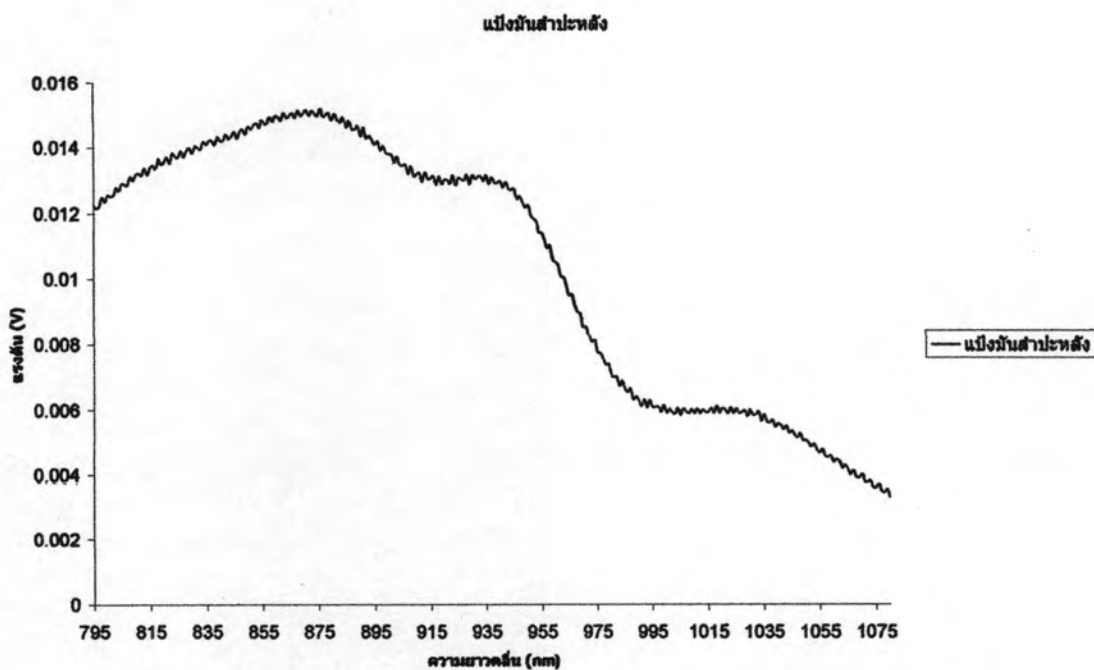
รูปที่ 8.3 แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้เป็นฟังก์ชันของความยาวคลื่นในแป้งข้าวโพด



รูปที่ 8.4 แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้เป็นฟังก์ชันของความยาวคลื่นในแป้งข้าวเหนียว



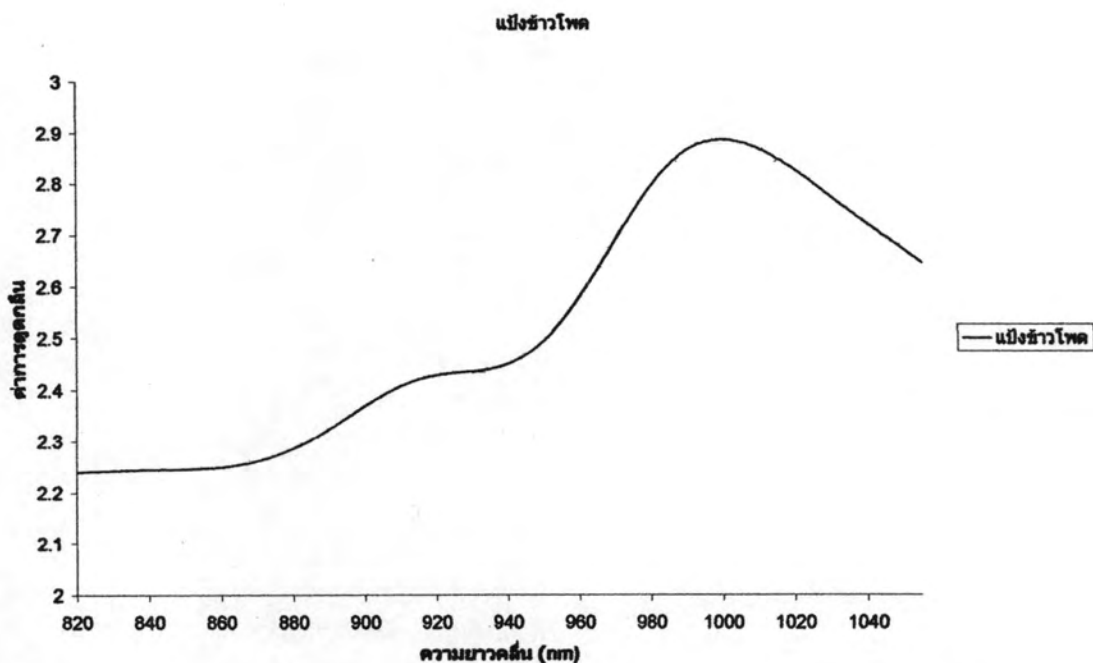
รูปที่ 8.5 แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้เป็นฟังก์ชันของความยาวคลื่นในแป้งข้าวเจ้า



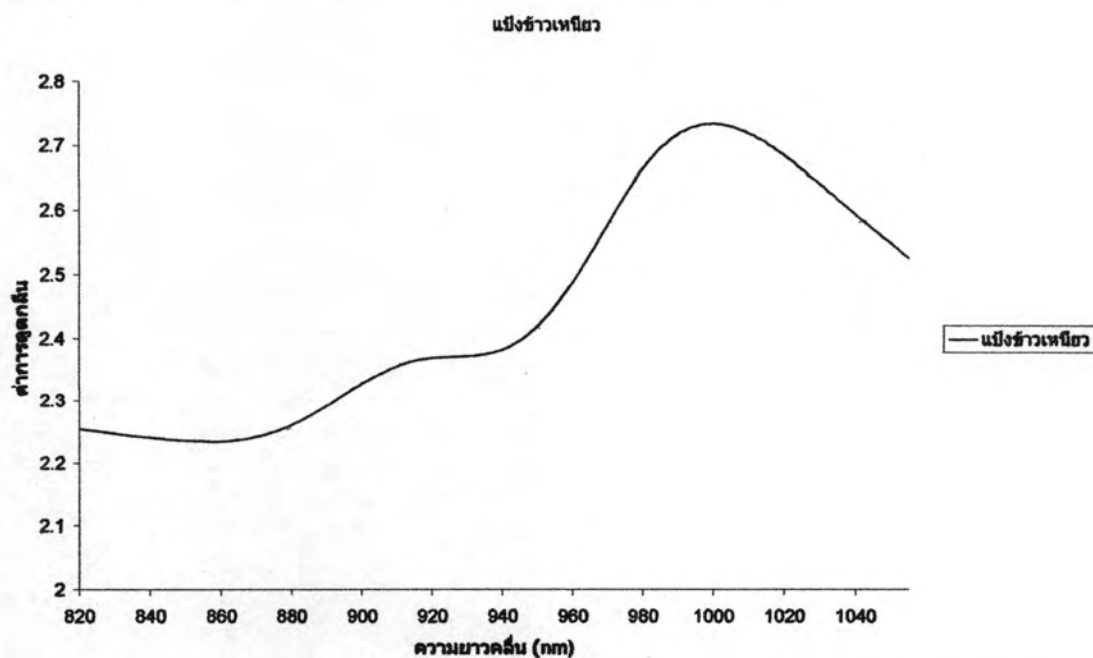
รูปที่ 8.6 แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้เป็นฟังก์ชันของความยาวคลื่นในแป้งมันสำปะหลัง

หลังจากนั้น นำเอาสัญญาณที่วัดได้ของอากาศและแป้งมาเทียบกัน ตามกฎของ Beer-Lambert และสามารถสรุปได้ว่า ความเข้มข้นเป็นเชิงเส้นกับ  $\log(1/\text{ค่าการดูดกลืน})$  ด้วยการนำมาเขียนกราฟเทียบกับความยาวคลื่น เพื่อพิจารณาค่าการดูดกลืนที่เกี่ยวข้องกับค่าความชื้นในตัวอย่างที่ต้องการหาค่า

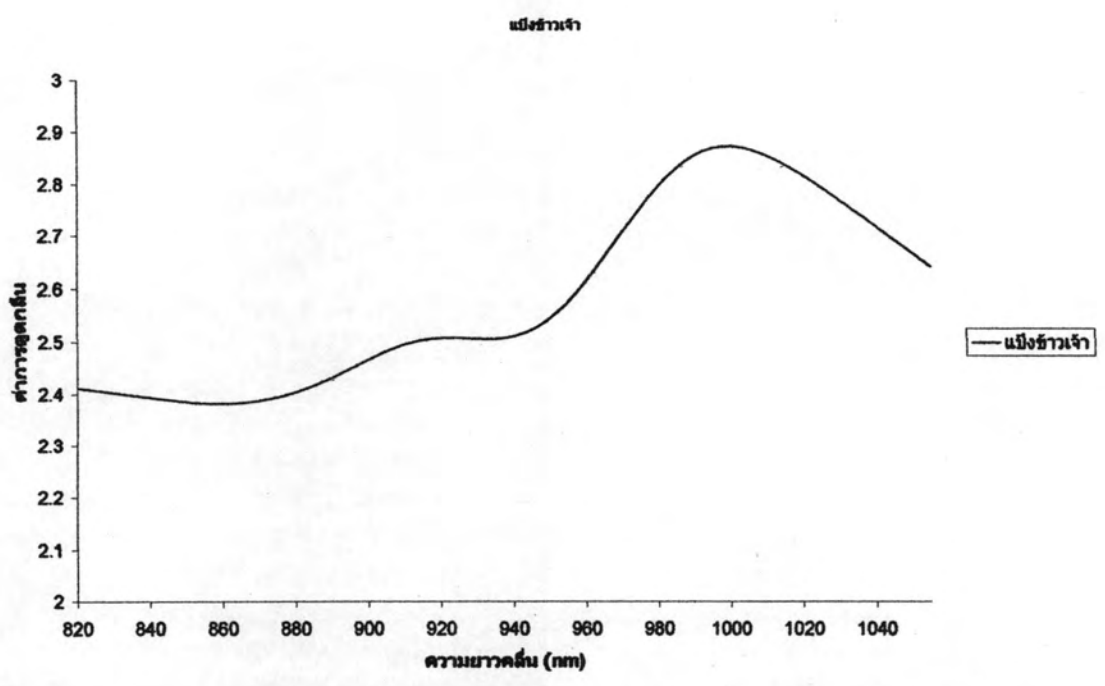
รูปที่ 8.7 - 8.10 แสดงกราฟที่เป็นค่าการดูดกลืนของแป้งข้าวโพด แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวเจ้า และแป้งมันสำปะหลัง ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นประมาณ 13.05 13.88 12.69 และ 13.30 ตามลำดับ และรูปที่ 8.11 เป็นสเปกตรัมการดูดกลืนของข้าวกล้อง ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับสเปกตรัมของแป้งที่ทำกรทดลอง เนื่องจากข้าวกล้องก็มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก



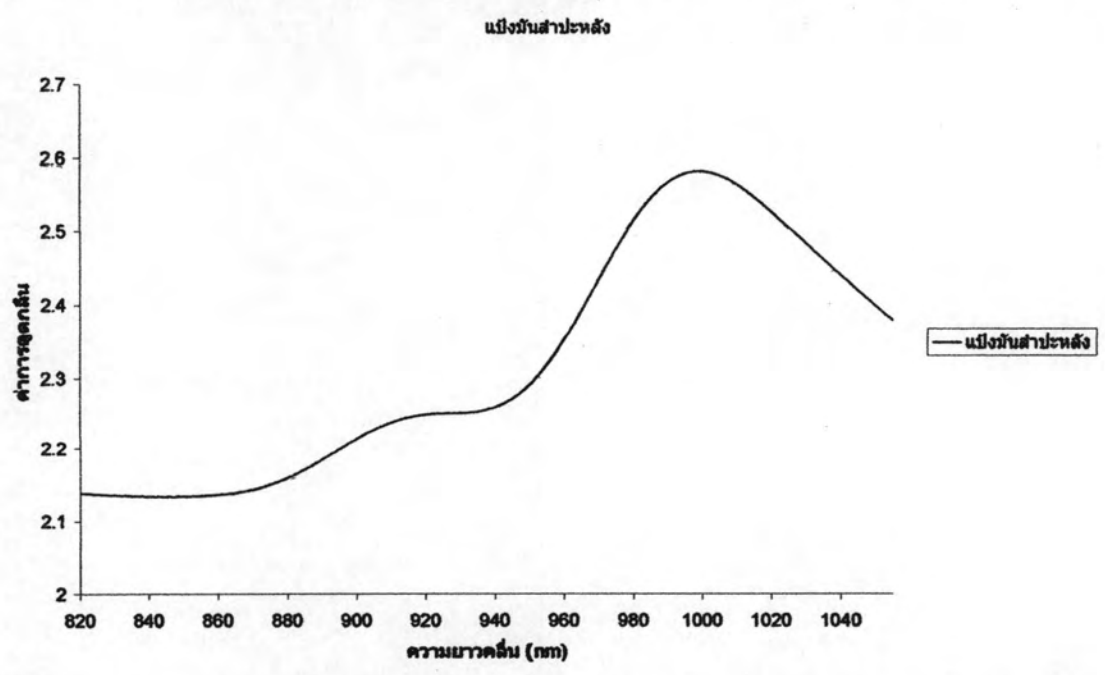
รูปที่ 8.7 ค่าการดูดกลืนที่วัดได้เป็นฟังก์ชันของความยาวคลื่น ในแป้งข้าวโพดที่มีความชื้น 13.05%



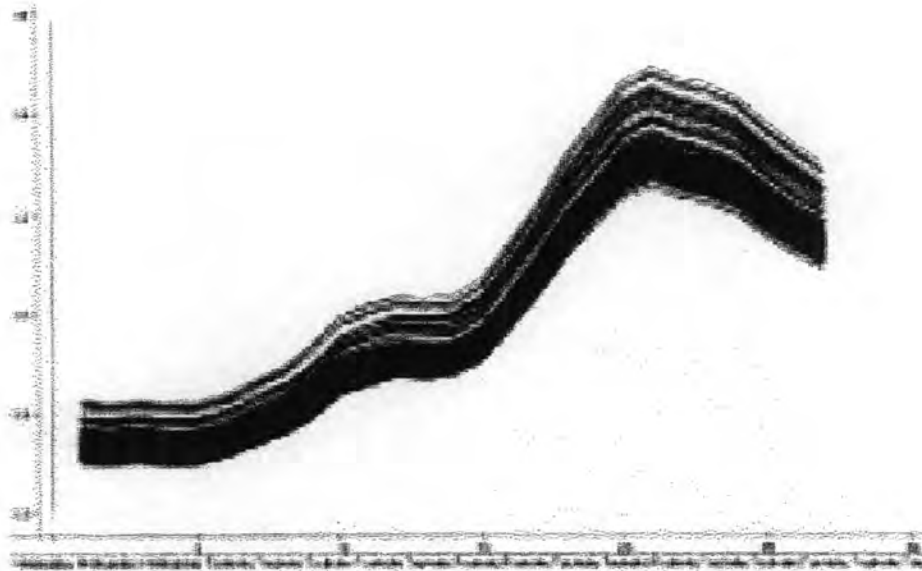
รูปที่ 8.8 ค่าการดูดกลืนที่วัดได้เป็นฟังก์ชันของความยาวคลื่น ในแป้งข้าวเหนียวที่มีความชื้น 13.88%



รูปที่ 8.9 ค่าการหักเหที่วัดได้เป็นฟังก์ชันของความยาวคลื่นในแป้งข้าวเจ้าที่มีความชื้น 12.69%



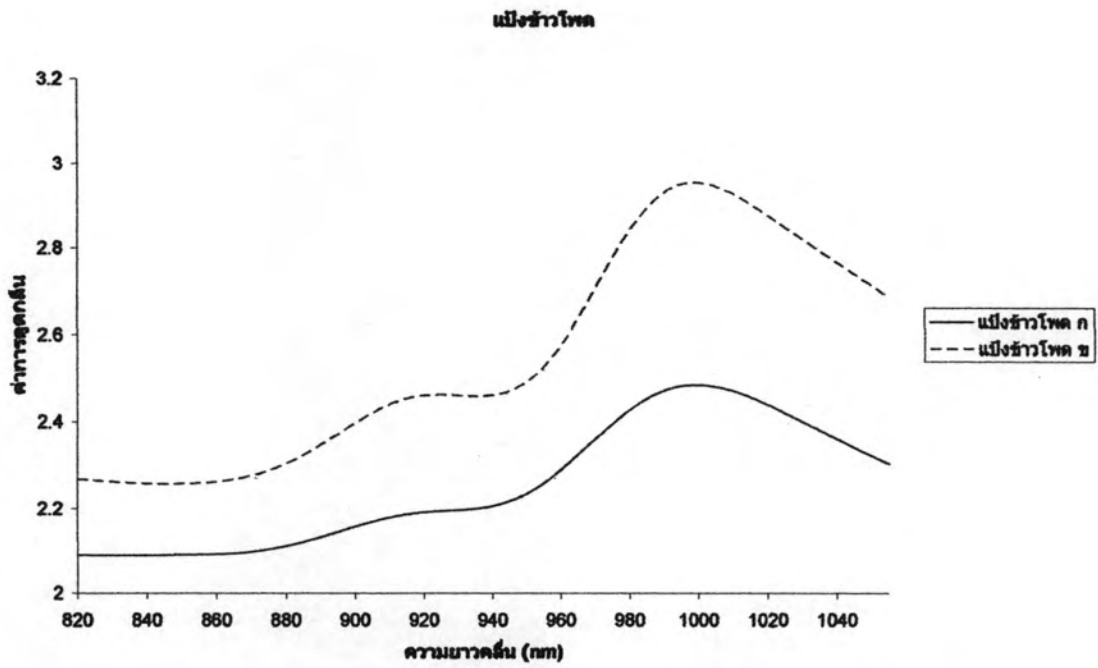
รูปที่ 8.10 ค่าการหักเหที่วัดได้เป็นฟังก์ชันของความยาวคลื่นในแป้งมันสำปะหลังที่มีความชื้น 13.30%



รูปที่ 8.11 ค่าการดูดกลืนการวัดแบบส่งผ่านของข้าวกล้องในช่วง 825-1075 นาโนเมตร [15]

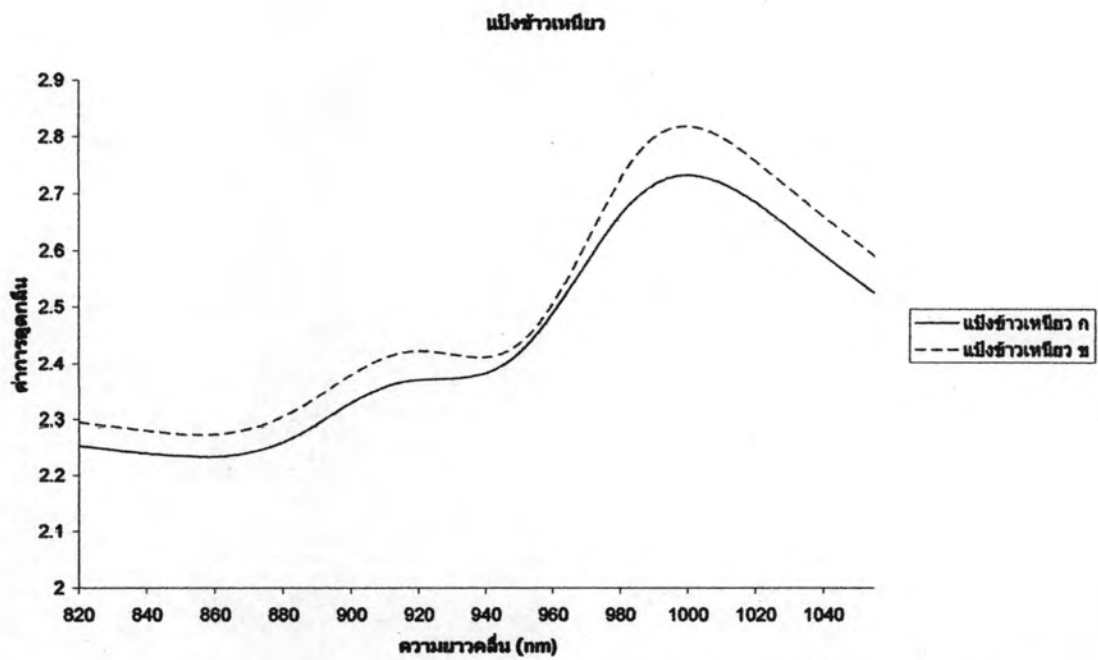
จากการทดลองจะสังเกตเห็นได้ว่า แป้งแต่ละชนิดมีสเปกตรัมคล้ายกัน ซึ่งมีจุดยอดอยู่ที่ประมาณ 915 และ 1000 นาโนเมตร โอเวอร์โทนที่สองของน้ำนั้นเกิดขึ้นที่ประมาณ 975 ถึง 985 นาโนเมตร และเกิดชัดเจนขึ้นอยู่กับค่าความชื้นที่มีอยู่ในตัวอย่าง และอาจเกิดการเลื่อนของสเปกตรัม และค่าอื่นๆตามตารางที่ 4.2 โดยที่แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียนั้นจะมีลักษณะของเนื้อแป้งที่ร่วนมากกว่าแป้งข้าวโพดและแป้งมันสำปะหลัง ในขณะที่แป้งข้าวโพดจะมีกลิ่นที่แรงกว่า เนื่องจากสเปกตรัมในช่วงนี้เกิดทั้ง โอเวอร์โทนและคอมบินเนชันของแต่ละองค์ประกอบซ้อนกันอยู่ เราจะวิเคราะห์โดยใช้การหาอนุพันธ์อันดับสอง และสัมประสิทธิ์ของทั้งสมการถดถอยหลายตัวแปร เวกเตอร์ของ PLS มาร่วมในการพิจารณาหาความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการแปลผลข้อมูล

รูปที่ 8.12 - 8.15 แสดงค่าการดูดกลืนของแป้งที่มีค่าความชื้นต่างๆกันของแป้งแต่ละชนิด เพื่อเปรียบเทียบระดับค่าการดูดกลืนที่วัดได้ แป้งข้าวโพด ก และ ข มีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเป็น 14.14 และ 6.92 ตามลำดับ แป้งข้าวเหนียว ก และ ข มีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเป็น 13.88 และ 6.37 ตามลำดับ แป้งข้าวเจ้า ก และ ข มีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเป็น 17.22 และ 6.54 ตามลำดับ และแป้งมันสำปะหลัง ก และ ข มีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเป็น 15.18 และ 7.02 ตามลำดับ ในกรณีที่แป้งมีค่าความชื้นต่างกันมากๆ แป้งที่มีค่าความชื้นสูงมีแนวโน้มที่เกิดการดูดกลืนต่ำกว่าแป้งที่มีค่าความชื้นต่ำ ทั้งนี้ การวัดสเปกตรัมของ NIR แบบส่งผ่านนั้น ค่าการดูดกลืนที่ได้จะมีผลจากระยะทางเดินแสง (ความหนาของตัวอย่าง) ความเป็นเนื้อเดียวกันของตัวอย่าง ขนาดของอนุภาคตัวอย่าง (Particle size) ปริมาณองค์ประกอบที่มีอยู่ในตัวอย่าง ความหนาแน่นของตัวอย่าง



รูปที่ 8.12 ค่าการหักเห้ของแป้งข้าวโพดสองตัวอย่างที่มีค่าความชื้นต่างกัน

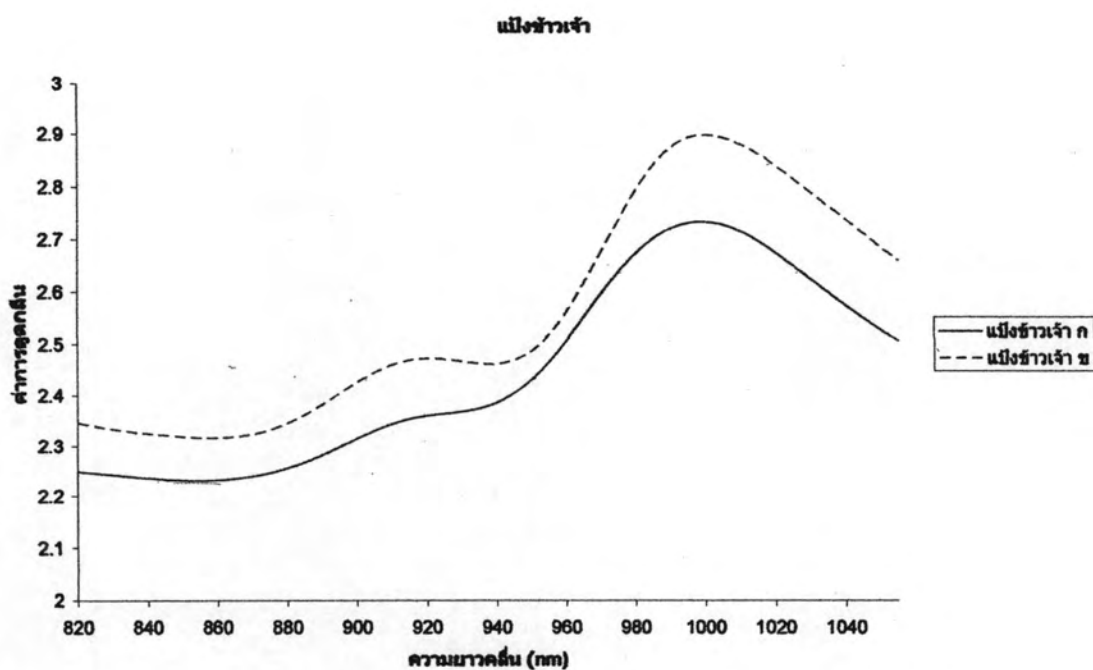
ก) 14.14%    ข) 6.92%



รูปที่ 8.13 ค่าการหักเห้ของแป้งข้าวเหนียวสองตัวอย่างที่มีค่าความชื้นต่างกัน

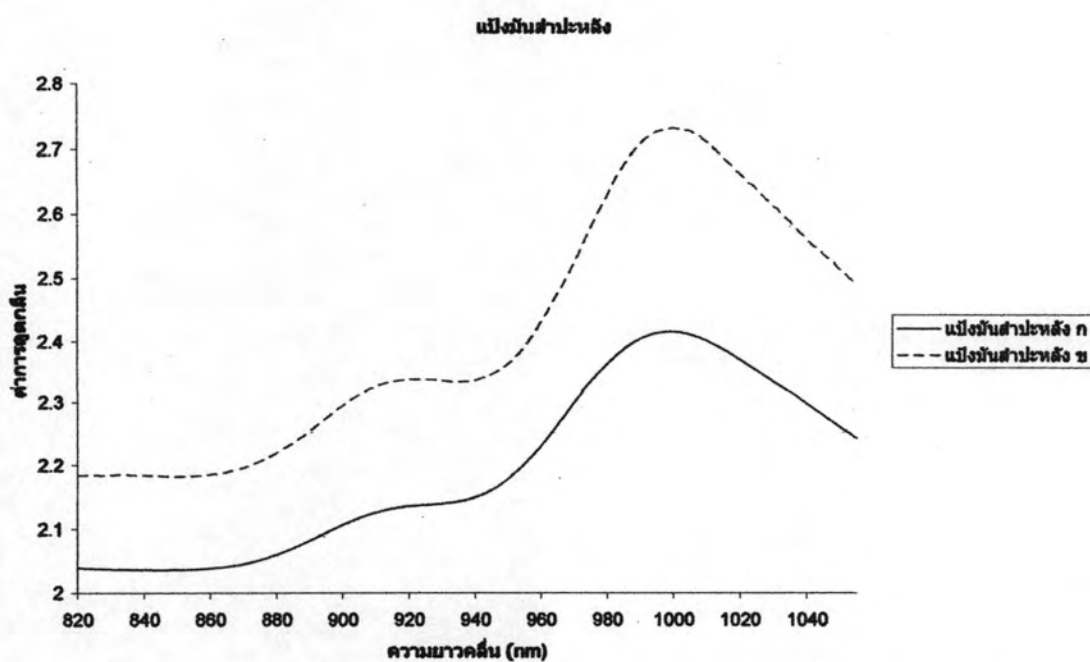
ก) 13.88%    ข) 6.37%





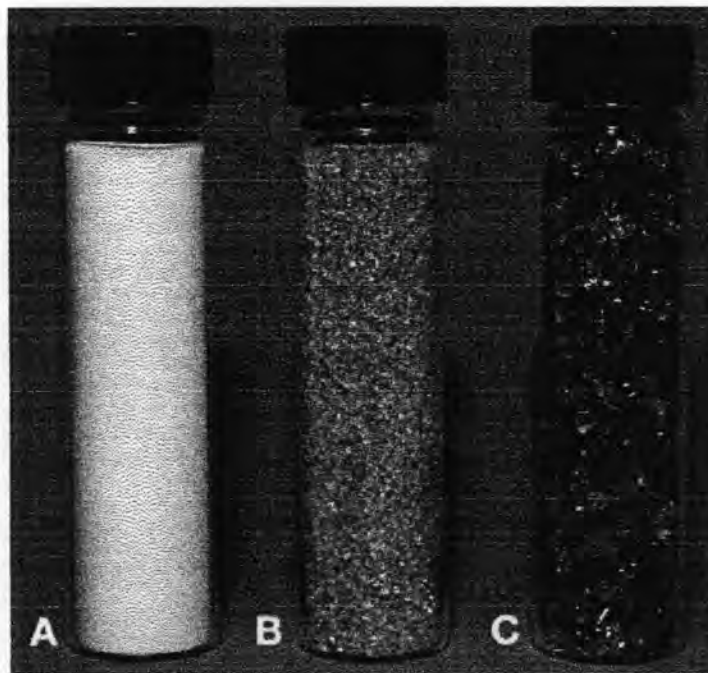
รูปที่ 8.14 ค่าการดูดกลืนของแป้งข้าวเจ้าสองตัวอย่างที่มีค่าความชื้นต่างกัน

ก) 17.22%    ข) 6.54%



รูปที่ 8.15 ค่าการดูดกลืนของแป้งมันสำปะหลังสองตัวอย่างที่มีค่าความชื้นต่างกัน

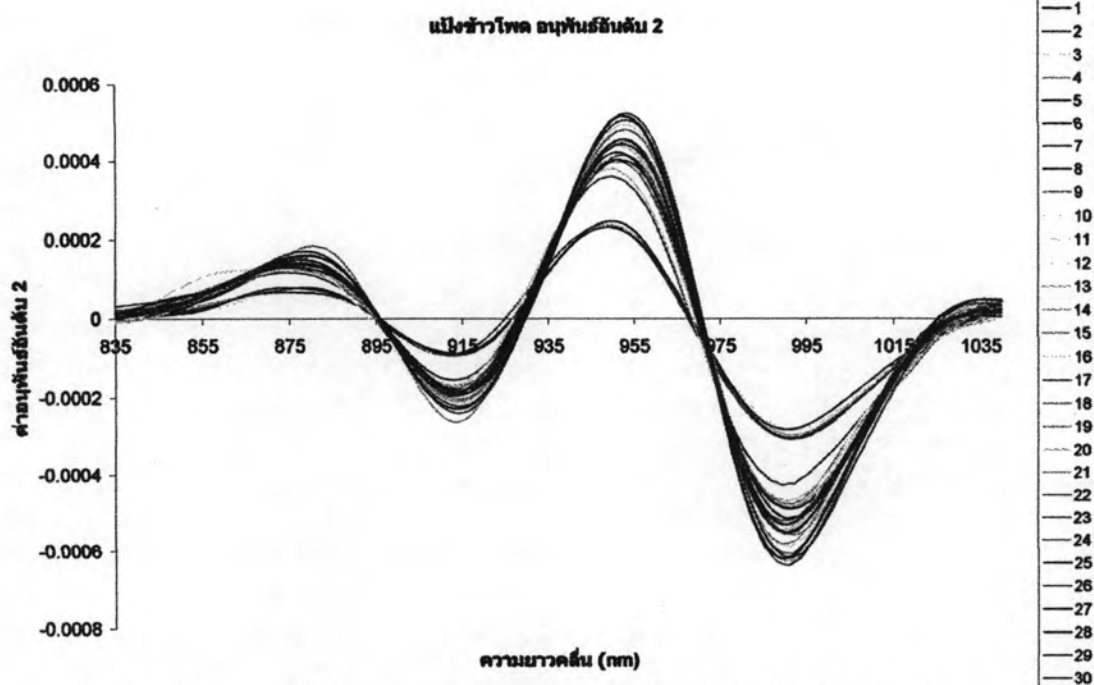
ก) 15.18%    ข) 7.02%



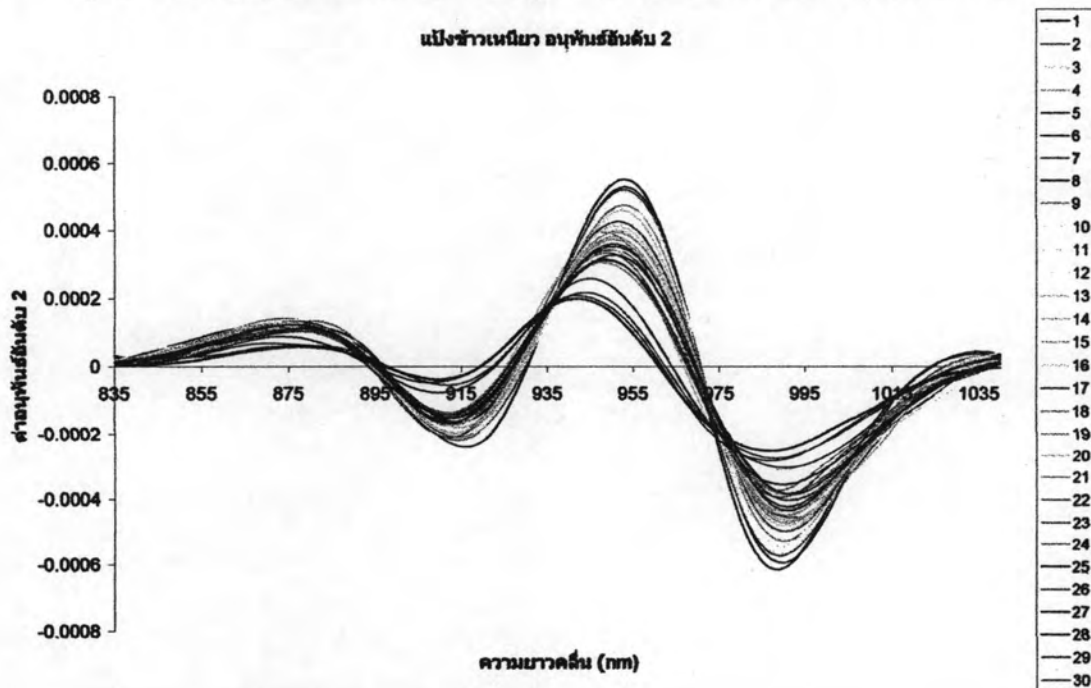
รูปที่ 8.16 ขวดบรรจุแก้วสีเขียวที่มีขนาดต่างๆกัน; ขวด A มีขนาดของอนุภาคน้อยกว่า 0.125 มม. ขวด B มีขนาด 0.25-0.5 มม. และขวด C มีขนาด 1.0-2.0 มม.

การวัดแบบสะท้อนของตัวอย่างตามรูปที่ 8.16 เป็นผลจากการกระเจิงแสงที่เกิดขึ้นที่ผิวของวัสดุ โดยขวด A เกิดการกระเจิงและสะท้อนกลับที่ผิวหน้ามากกว่า และแสงสามารถส่งผ่านลงไปเนื้อของวัสดุได้น้อยกว่าในขวด B และ C ซึ่งเป็นผลมาจากขนาดของอนุภาค [11] นั่นคือแสงจะเกิดการกระเจิงและสะท้อนกลับที่ผิวหน้ามากกว่า และเกิดการดูดกลืนน้อยกว่าในกรณีที่อนุภาคมีขนาดเล็กและการวัดแบบสะท้อน สำหรับในงานวิจัยนี้เป็นการวัดแบบส่งผ่านซึ่งตรงกันข้ามกับผลจากการวัดแบบสะท้อน ในกรณีของแป้งนั้นมีปัจจัยหลายอย่าง เช่น เมื่อแป้งมีความชื้นมากขึ้น เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัวขึ้น ทำให้มีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้นมากกว่าแป้งที่มีค่าความชื้นน้อยกว่า และเป็นผลให้การใส่ตัวอย่างในที่ใส่ตัวอย่างนั้น แป้งที่มีค่าความชื้นสูงกว่าจะมีความหนาแน่นน้อยกว่า ดังนั้น การส่งผ่านแสงในอนุภาคที่มีค่าความชื้นสูงกว่า ทำให้แสงสามารถส่งผ่านได้มากกว่าในกรณีของแป้งที่มีค่าความชื้นน้อยกว่า นอกจากนี้ ผลขององค์ประกอบอื่นเช่น ปริมาณแป้ง ไขมัน และ โปรตีน ก็มีผลต่อสเปกตรัมที่วัดได้ด้วย

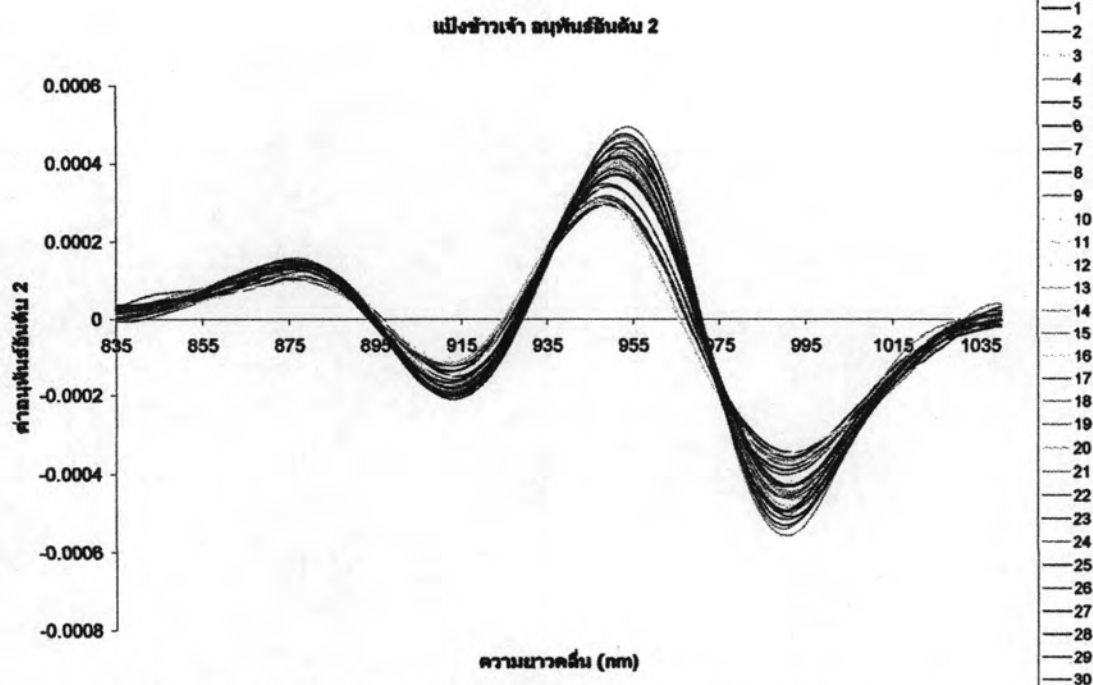
เนื่องจากในกราฟค่าการดูดกลืนที่ได้ เราไม่อาจกำหนดความยาวคลื่นที่จะนำมาใช้ในการแปลผลค่าความชื้น ได้อย่างชัดเจน เนื่องจากการเกิดโอเวอร์ โทนและคอมบิเนชัน ดังนั้น เราจึงทำการหาอนุพันธ์เพื่อหาจุดที่มีการเปลี่ยนแปลง เพื่อจะสามารถเห็นข้อมูลได้ชัดเจนยิ่งขึ้น รูปที่ 8.17 – 8.20 แสดงค่าอนุพันธ์อันดับสองของแป้ง โดยจุดยอดจะเกิดขึ้นที่ประมาณ 875 915 955 และ 995 นาโนเมตร รูปที่ 8.21 แสดงค่าการดูดกลืนของน้ำ ซึ่งจะเห็นจุดยอดที่เด่นชัดประมาณ 975 นาโนเมตร และรูปที่ 8.22 แสดงค่าอนุพันธ์อันดับสองของน้ำ ซึ่งเกิดจุดยอดหลักๆ ขึ้นที่ความยาวคลื่นประมาณ 850 870 885 930 และ 970 นาโนเมตร



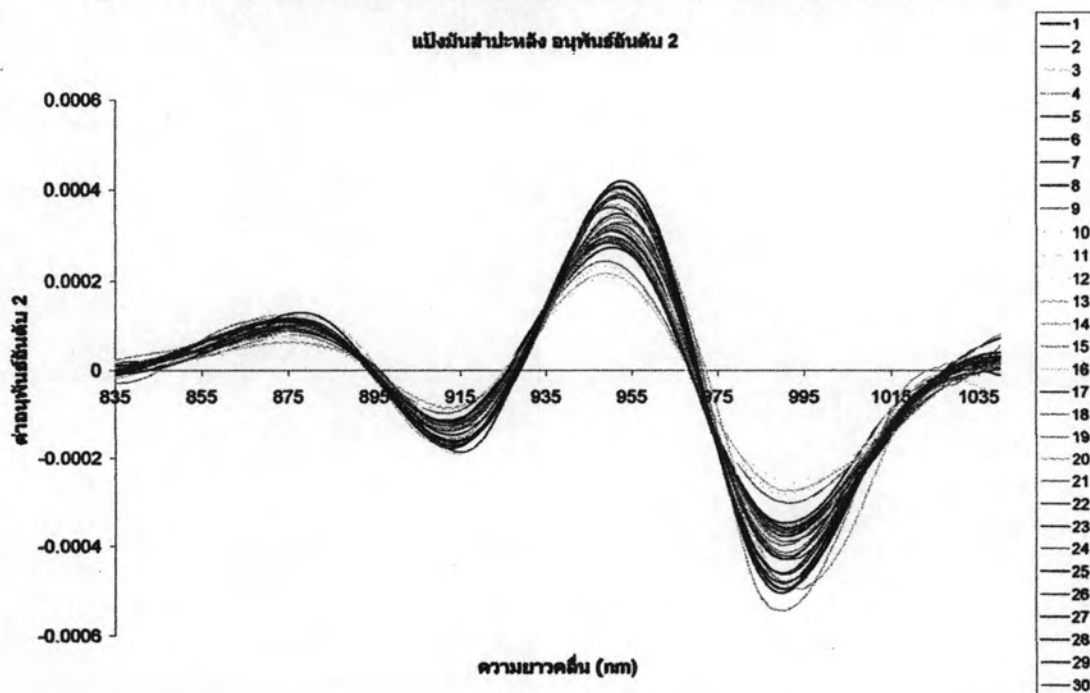
รูปที่ 8.17 อนุพันธ์อันดับ 2 ของค่าการดูดกลืนของแป้งข้าวโพดในกลุ่มสอบเทียบ



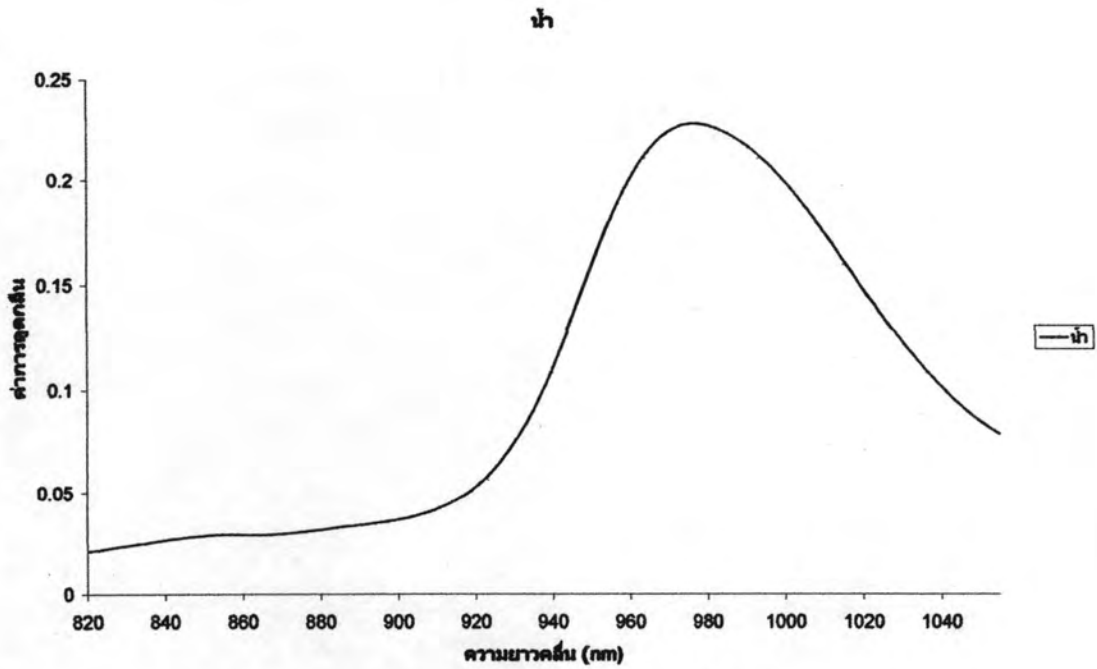
รูปที่ 8.18 อนุพันธ์อันดับ 2 ของค่าการดูดกลืนของแป้งข้าวเหนียวในกลุ่มสอบเทียบ



รูปที่ 8.19 อนุพันธ์อันดับ 2 ของค่าการดูดกลืนของแป้งข้าวเจ้าในกลุ่มสอบเทียบ

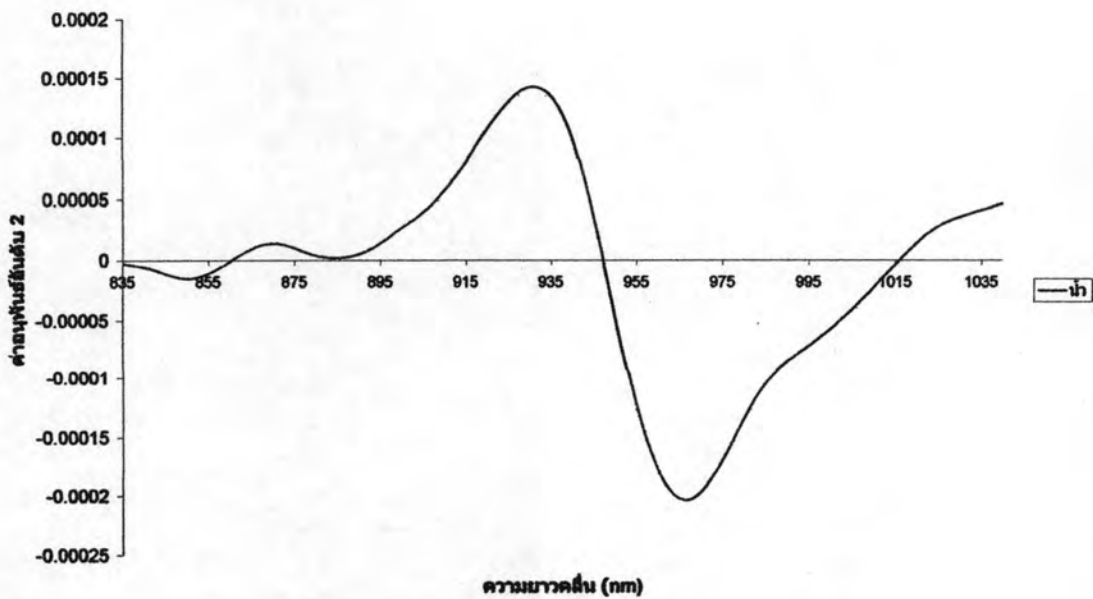


รูปที่ 8.20 อนุพันธ์อันดับ 2 ของค่าการดูดกลืนของแป้งมันสำปะหลังในกลุ่มสอบเทียบ



รูปที่ 8.21 ค่าการหักเหของน้ำ

น้ำ อนุพันธ์อันดับ 2

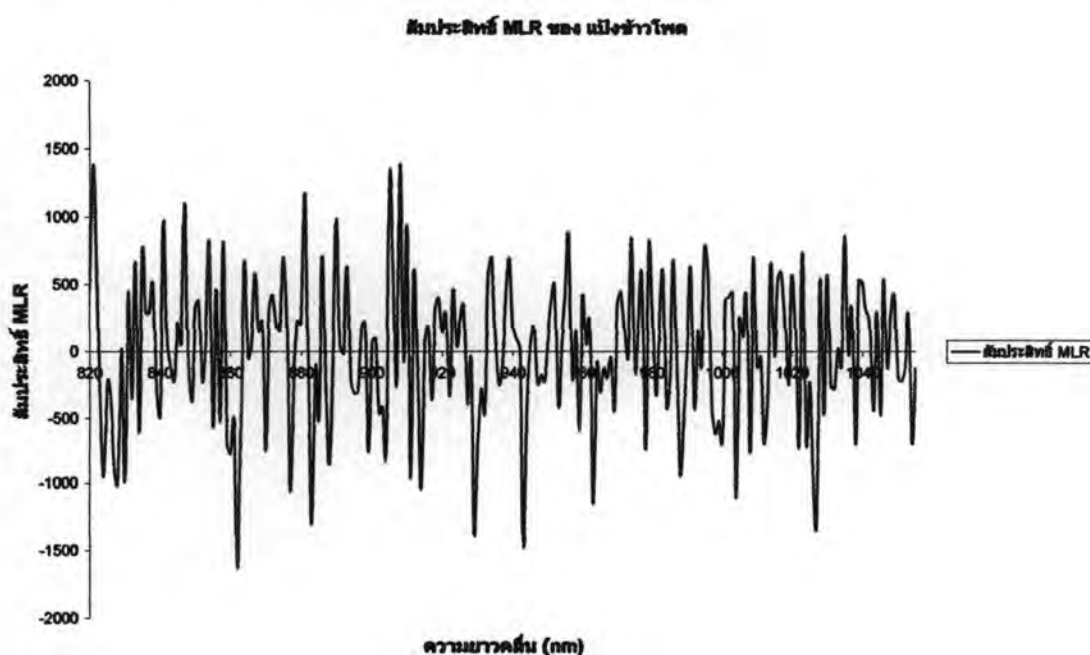


รูปที่ 8.22 อนุพันธ์อันดับ 2 ของค่าการหักเหของน้ำ

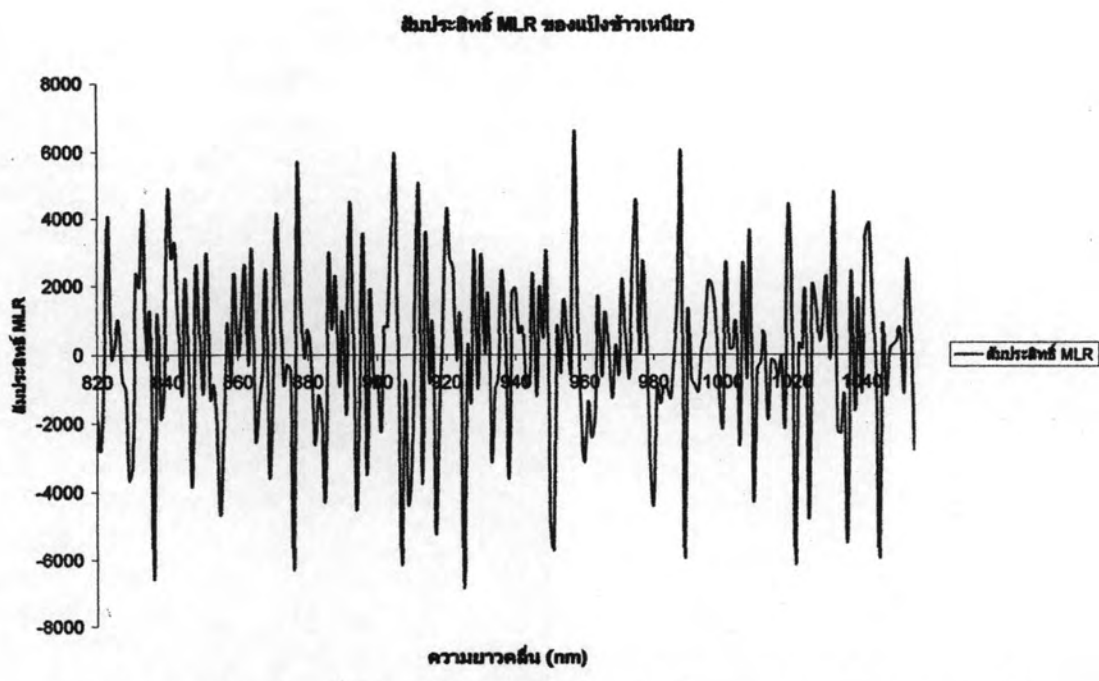
ถึงแม้ว่าจุดยอดของค่าอนุพันธ์อันดับสองบางจุดของแปรนั้น จะมีตำแหน่งใกล้เคียงกับจุดยอดของค่าอนุพันธ์อันดับสองของน้ำ นั้น ไม่ได้หมายความว่าที่ความยาวคลื่นนั้นมีความเกี่ยวข้องกับการหักเหของน้ำ เนื่องจากการหาอนุพันธ์อันดับสองเป็นเพียงการแสดงให้เห็นจุดยอดที่ซ้อนทับกัน ดังนั้น เพื่อให้เกิดความชัดเจนมากยิ่งขึ้น นอกจากการพิจารณาจากการหาอนุพันธ์อันดับสองแล้ว เรายังสามารถพิจารณาจากสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์จะมีค่าเด่นในความยาวคลื่นที่มีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่เราพิจารณาอยู่ ในที่นี้คือ ค่าความชื้น

โดยนำมาเขียนกราฟเทียบกับความยาวคลื่น ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยสามารถหาได้จากวิธีที่กล่าวในบทที่ 6 คือ สมการถดถอยหลายตัวแปร และ PLS (partial least square) แต่ในกรณีของ PLS นิยามพิจารณาองค์ประกอบของเวกเตอร์ที่ถูกแยกออกมา เนื่องจากมีความละเอียดมากกว่า เพื่อที่จะคำนวณส่วนที่มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นและค่าการดูดกลืนแสงในช่วง NIR

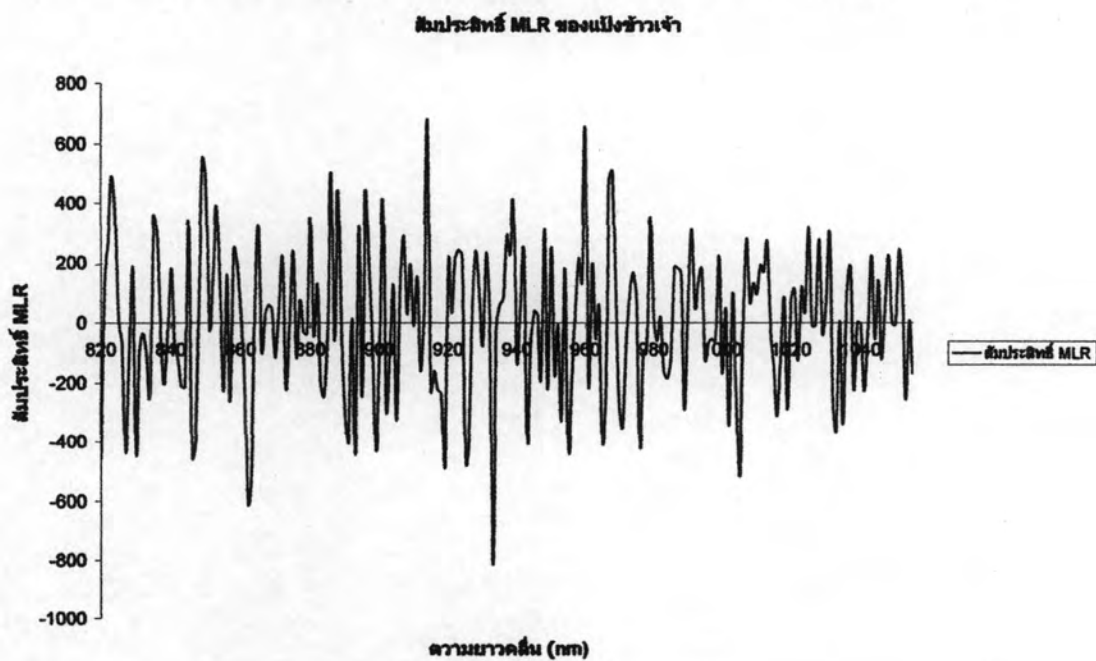
รูปที่ 8.23 - 8.26 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของ MLR (สมการถดถอยหลายตัวแปร) ในแต่ละความยาวคลื่น เพื่อที่จะทำการเลือกความยาวคลื่นก่อนจะนำมาคำนวณค่าสัมประสิทธิ์อีกครั้งในการสร้างแบบจำลองสอบเทียบ โดยคำนวณจากสมการที่ 6.9 X คือเมตริกซ์ข้อมูลสเปกตรัมของตัวอย่างทั้งหมด มิติ  $n \times p$  และ Y คือเมตริกซ์ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ได้จากวิธีมาตรฐานของทุกตัวอย่าง มิติ  $n \times 1$  โดย  $n$  คือจำนวนของตัวอย่าง และ  $p$  คือจำนวนของความยาวคลื่นที่ทำการวัด ไม่อาจจำแนกได้อย่างชัดเจนได้ถึงส่วนที่มีความสำคัญต่อค่าความชื้นที่มีอยู่ในแป้งได้ เนื่องจากสมการถดถอยหลายตัวแปรนั้นจะมีความไวต่อสัญญาณรบกวนมาก และค่าสัมประสิทธิ์ที่หาค่าได้นั้น เกิดจากการรวมกันของหลายองค์ประกอบด้วยกันเช่น ค่าความชื้นของน้ำ และค่าสัญญาณรบกวน เป็นต้น ซึ่งเป็นข้อด้อยหนึ่งของวิธีนี้ ดังนั้น ในการคำนวณค่าสมการถดถอยหลายตัวแปร ควรจะเลือกหาความยาวคลื่นที่มีความสำคัญก่อนจะนำมาคำนวณหาสิ่งที่สนใจ เนื่องจากเรายังไม่แน่ใจในความยาวคลื่นที่จะมาใช้ในแบบจำลอง ดังนั้น เราจะใช้ PLS มาช่วยในการพิจารณา เพราะ PLS เป็นการแยกข้อมูลออกเป็นองค์ประกอบที่เป็นอิสระต่อกัน ขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของการคำนวณ ในองค์ประกอบแรกที่คำนวณออกมาจะมีความสัมพันธ์กับข้อมูลมากที่สุด จนกระทั่งข้อมูลหลายๆ ที่ทำการแยกออกมาจะเป็นส่วนของสัญญาณรบกวน แบบจำลอง MLR ไม่สามารถแยกองค์ประกอบในลักษณะนี้ได้



รูปที่ 8.23 ค่าสัมประสิทธิ์ MLR ของแป้งข้าวโพดที่มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้น



รูปที่ 8.24 ค่าสัมประสิทธิ์ MLR ของแป้งข้าวเหนียวที่มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้น



รูปที่ 8.25 ค่าสัมประสิทธิ์ MLR ของแป้งข้าวเจ้าที่มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้น

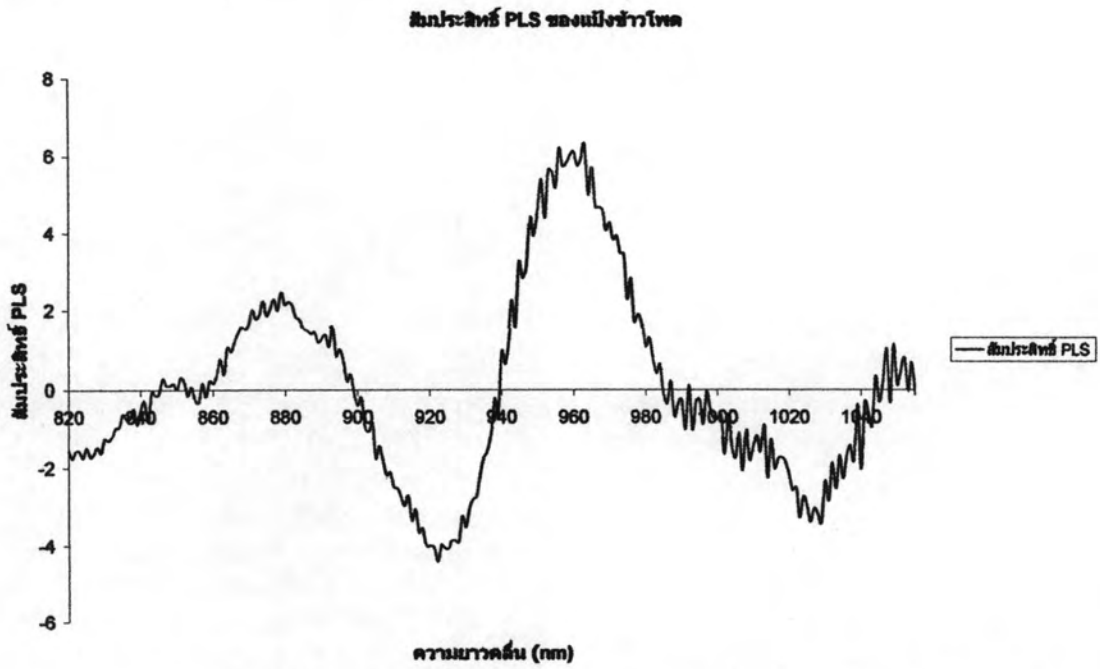
สัมประสิทธิ์ MLR ของแป้งมันสำปะหลัง



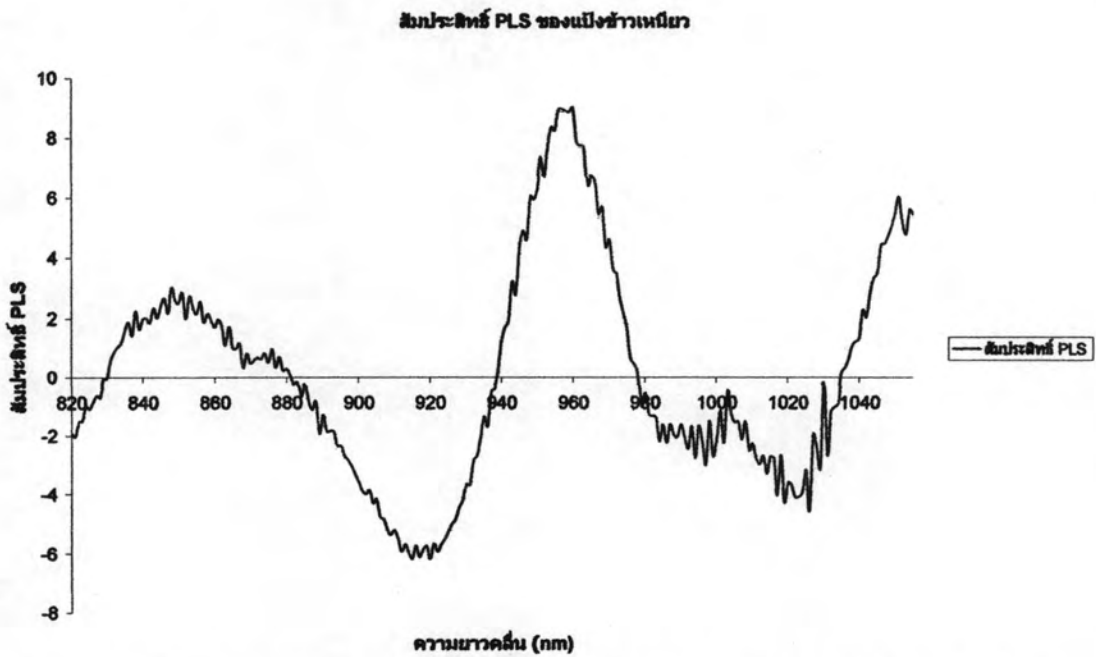
รูปที่ 8.26 ค่าสัมประสิทธิ์ MLR ของแป้งมันสำปะหลังที่มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้น

รูปที่ 8.27 - 8.30 เป็นกราฟของสัมประสิทธิ์เชิงเส้น โดยหาจากวิธี PLS (partial least square) ตามสมการที่ 6.16 – 6.22 ที่มีค่า NF (number of factor) เท่ากับ 6 (จำนวน 6 รอบ) แล้วหาสัมประสิทธิ์เชิงเส้นตามแนวความคิดของกำลังสองน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาภาพจากกราฟ จะเห็นส่วนที่เป็นจุดยอดในบางความยาวคลื่น นั่นคือ ข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันมากระหว่างค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นนั้นๆ และค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่มีอยู่ในตัวอย่าง ค่า NF นั่นก็คือจำนวนองค์ประกอบหรือแกนที่มีความเกี่ยวข้องกับสิ่งที่สนใจ เมื่อพิจารณาในแง่แต่ละชนิดแล้ว แป้งข้าวโพดมีจุดยอดอยู่ที่ความยาวคลื่นประมาณ 850 875 922 960 และ 1026 นาโนเมตร แป้งข้าวเหนียวมีจุดยอดอยู่ที่ความยาวคลื่นประมาณ 850 875 920 960 1000 และ 1024 นาโนเมตร แป้งข้าวเจ้ามีจุดยอดอยู่ที่ความยาวคลื่นประมาณ 850 865 890 926 960 990 และ 1020 นาโนเมตร แป้งมันสำปะหลังมีจุดยอดอยู่ที่ความยาวคลื่นประมาณ 856 918 962 994 และ 1016 นาโนเมตร ถึงแม้ว่าวิธีนี้จะเห็นค่าที่มีความสัมพันธ์กันชัดเจนกว่าในการหาค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้นแบบสมการถดถอยหลายตัวแปร แต่เนื่องจากการหาค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้น ดังนั้นจึงเป็นการรวมค่าที่เกิดจากแต่ละแกนของเวกเตอร์ที่เกี่ยวข้องกันออกมาพร้อมกันในการคำนวณ จึงทำให้ภาพสเปกตรัมที่วาดออกมานั้นมีความไม่ชัดเจนอยู่ แต่ค่าความยาวคลื่นบางส่วนก็ใกล้เคียงกับสเปกตรัมของน้ำที่แสดงไว้ก่อนหน้านี้ เพื่อให้เกิดความชัดเจนมากยิ่งขึ้น เราจะทำการพล็อตค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้นที่คำนวณได้จาก PLS ในแง่แต่ละชนิด

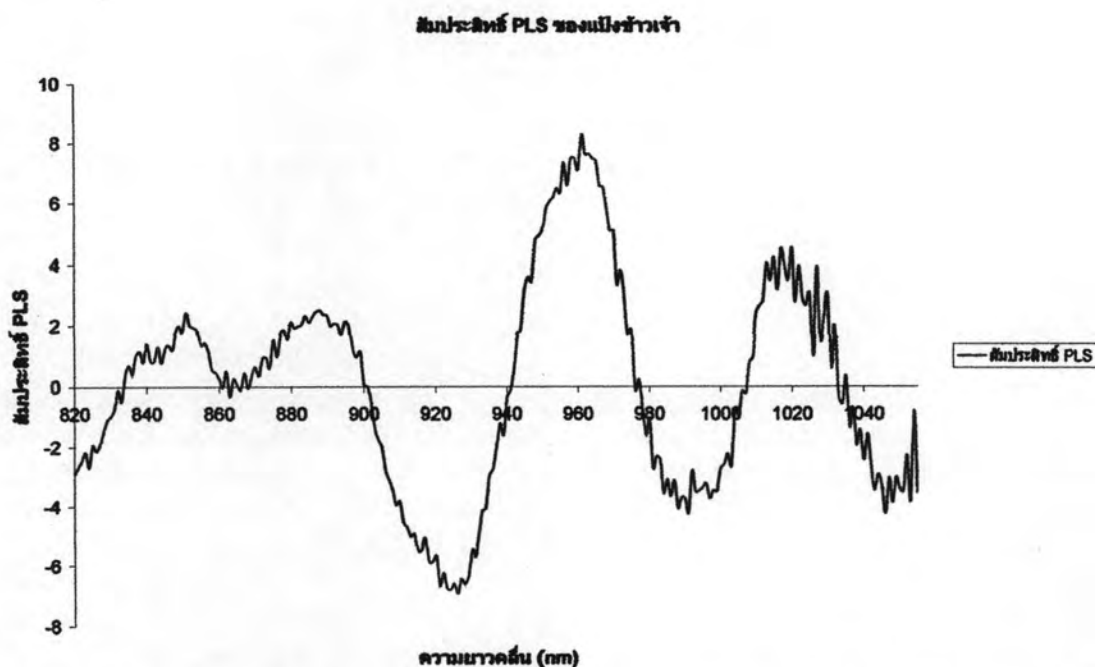




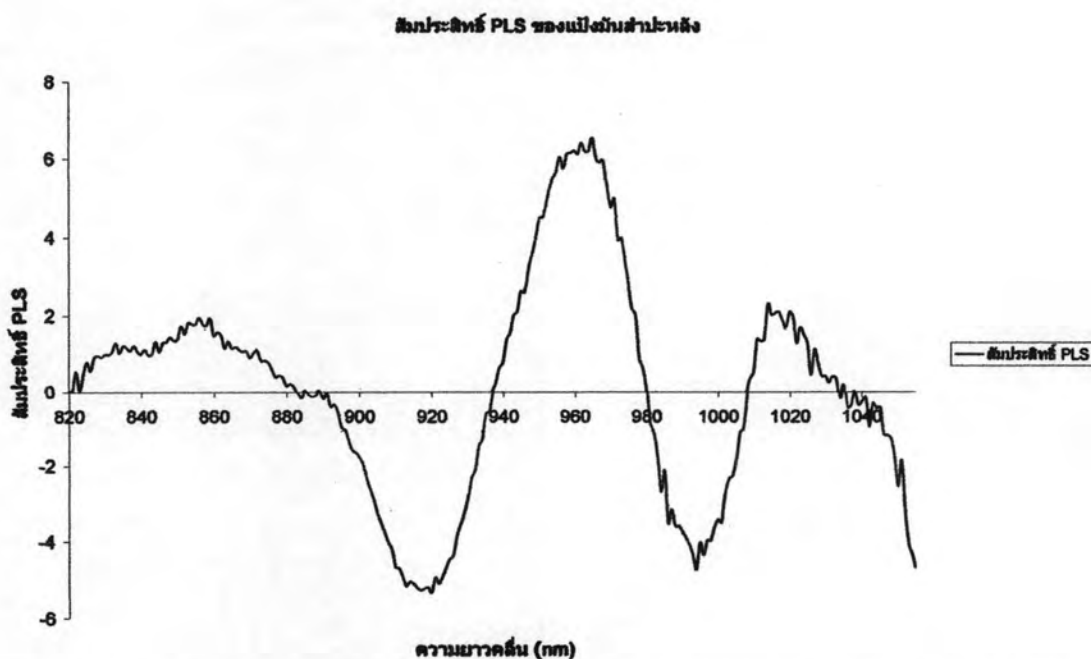
รูปที่ 8.27 ค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้นที่หามาจาก PLS ของแป้งข้าวโพดที่มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้น (NF=6)



รูปที่ 8.28 ค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้นที่หามาจาก PLS ของแป้งข้าวเหนียวที่มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้น (NF=6)



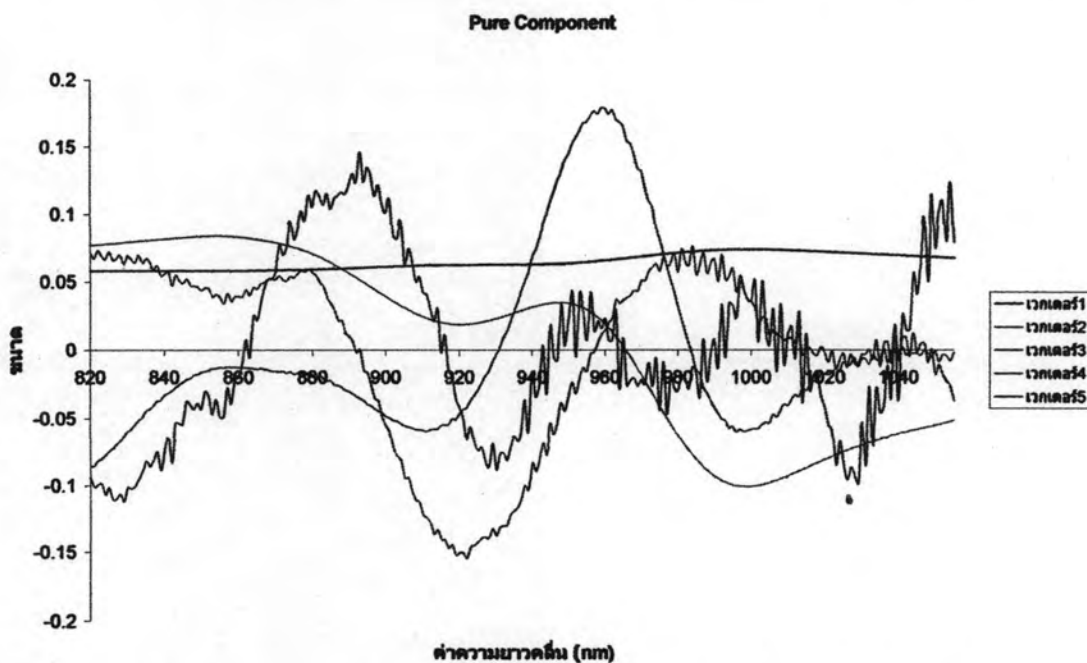
รูปที่ 8.29 ค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้นที่หามาจาก PLS ของแป้งข้าวเจ้าที่มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้น (NF=6)



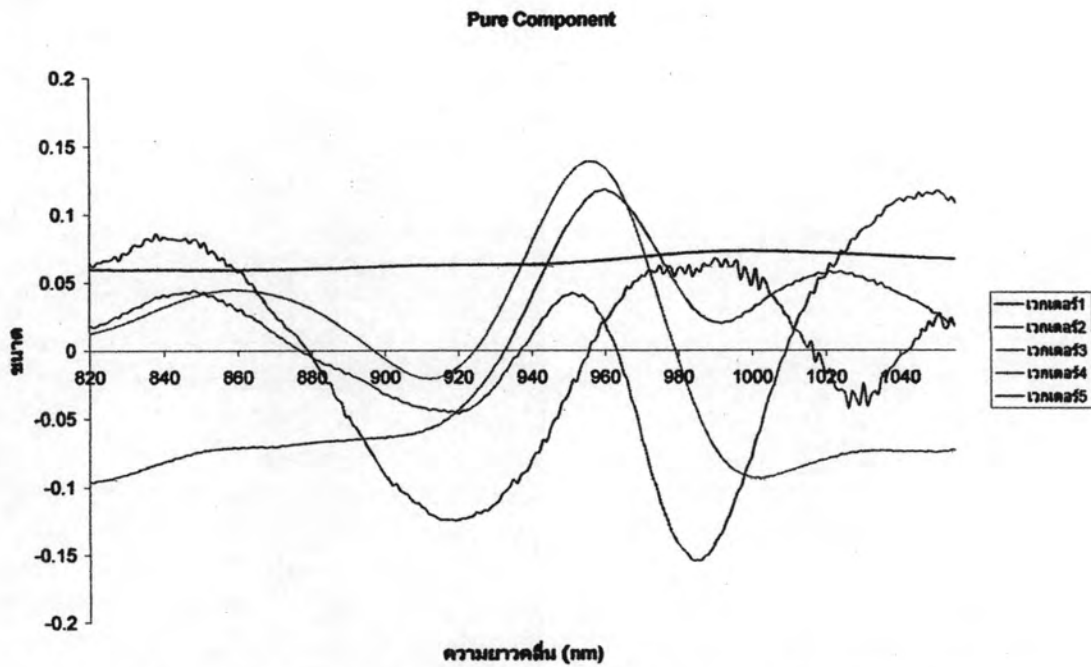
รูปที่ 8.30 ค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้นที่หามาจาก PLS ของแป้งมันสำปะหลังที่มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้น (NF=6)

รูปที่ 8.31 - 8.34 สเปกตรัมของเวกเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กับค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในตัวอย่างที่เป็นแป้ง ทำให้สามารถพิจารณาได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น เมื่อมีองค์ประกอบในการคำนวณมากขึ้น นอกจากส่วนที่ใช้ในการอธิบายสิ่งที่สนใจแล้ว ยังมีส่วนที่เป็นสัญญาณรบกวนด้วย สังเกตได้จากรูปคือ ในเวกเตอร์ที่ถูกแยกออกมาในตอนหลัง จะยังแสดงให้เห็นถึงสัญญาณรบกวนมาก

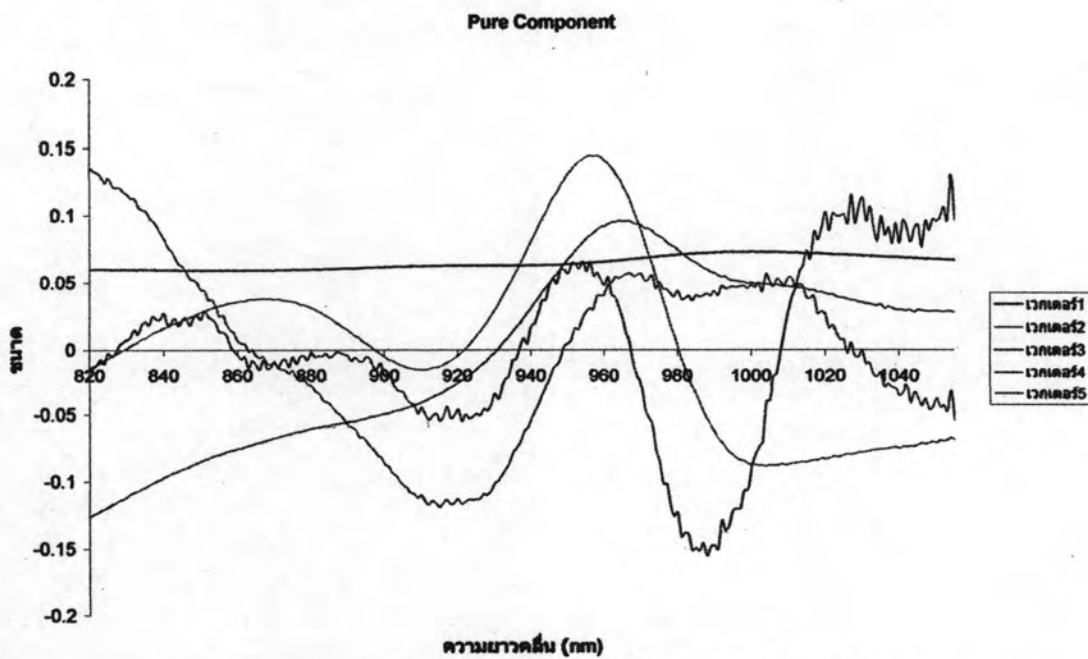
ยิ่งขึ้น จากรูปแสดงตัวอย่างเวกเตอร์ 5 ตัวที่ถูกแยกออกมาจากสเปกตรัม จุดยอดของแป้งจากแป้ง 4 ชนิดนั้นคือ ที่ความยาวคลื่นประมาณ 860 910 920 960 970 และ 1000 นาโนเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับส่วนของสเปกตรัมของน้ำที่วัดได้ โดยบางส่วนอาจเป็นการซ้อนทับกันของช่วงการดูดกลืนที่เกิดขึ้น ดังนั้น จากการวิเคราะห์ข้างต้น เราจะนำเอาค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นที่เด่นชัดมาคำนวณในวิธีของสมการถดถอยหลายตัวแปรคือที่จุด 860 910 920 960 และ 1000 นาโนเมตร



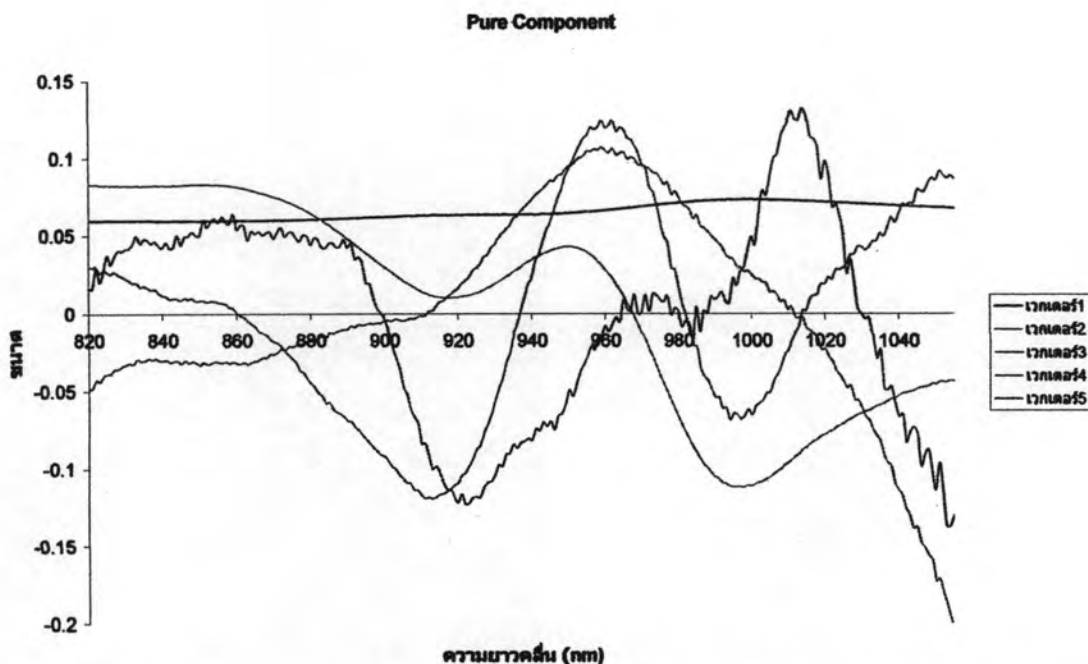
รูปที่ 8.31 สเปกตรัมของเวกเตอร์ 5 ตัวที่มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นและข้อมูลในกลุ่มสอบเทียบของแป้งข้าวโพด โดยคำนวณมาจาก PLS



รูปที่ 8.32 สเปกตรัมของเวกเตอร์ 5 ตัวที่มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นและข้อมูลในกลุ่มสอบเทียบของแป้งข้าวเหนียว โดยคำนวณมาจาก PLS



รูปที่ 8.33 สเปกตรัมของเวกเตอร์ 5 ตัวที่มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นและข้อมูลในกลุ่มสอบเทียบของแป้งข้าวเจ้า โดยคำนวณมาจาก PLS



รูปที่ 8.34 สเปกตรัมของเวกเตอร์ 5 ตัวที่มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นและข้อมูลในกลุ่มสอบเทียบของแป้งมันสำปะหลัง โดยคำนวณมาจาก PLS

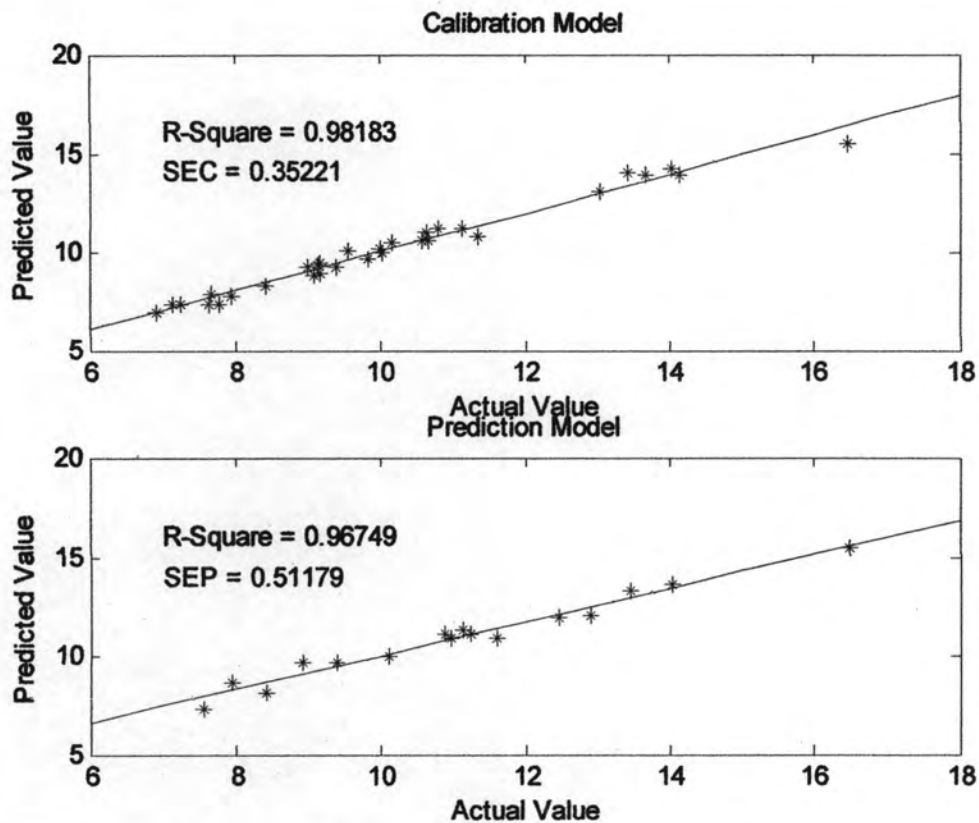
เราจะแปลผลข้อมูลด้วยแบบจำลอง MLR คำนวณสัมประสิทธิ์เชิงเส้น ( $\beta$ ) ด้วยวิธีที่กล่าวในบทที่ 6 Chemometric เพื่อหาสมการทำนาย

$$\hat{Y} = X\beta \quad (8.1)$$

หลังจากนั้น หาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination) เพื่อพิจารณาความสามารถในการอธิบายข้อมูลของสมการที่ได้ Standard error of calibration (SEC) จากกลุ่มสอบเทียบ เพื่อพิจารณาค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น และ Standard error of prediction (SEP) จากกลุ่มทำนาย เพื่อทดสอบความสามารถในการทำนายของสมการ ผลจากแบบจำลอง MLR แสดงในรูปที่ 8.35 – 8.38 โดยสมการจากแบบจำลอง MLR เป็น

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 A_{860} + \beta_2 A_{910} + \beta_3 A_{920} + \beta_4 A_{960} + \beta_5 A_{1000} \quad (8.2)$$

(ค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้นนี้เป็นค่าที่คำนวณใหม่จากจุดเฉพาะที่ทำการเลือกมา)  
โดย  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots$  คือค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้น  
 $A_i$  คือค่าการดูดกลืนในแต่ละความยาวคลื่น  $i$



รูปที่ 8.35 กราฟค่า R-Square ค่า SEC ในกลุ่มสอบเทียบ และค่า SEP ในกลุ่มทำนาย ของแป้งข้าวโพด ที่ได้จากแบบจำลอง MLR

สมการทำนายเปอร์เซ็นต์ค่าความชื้นของแป้งข้าวโพดด้วยแบบจำลอง MLR ที่ได้จากกลุ่มสอบเทียบ

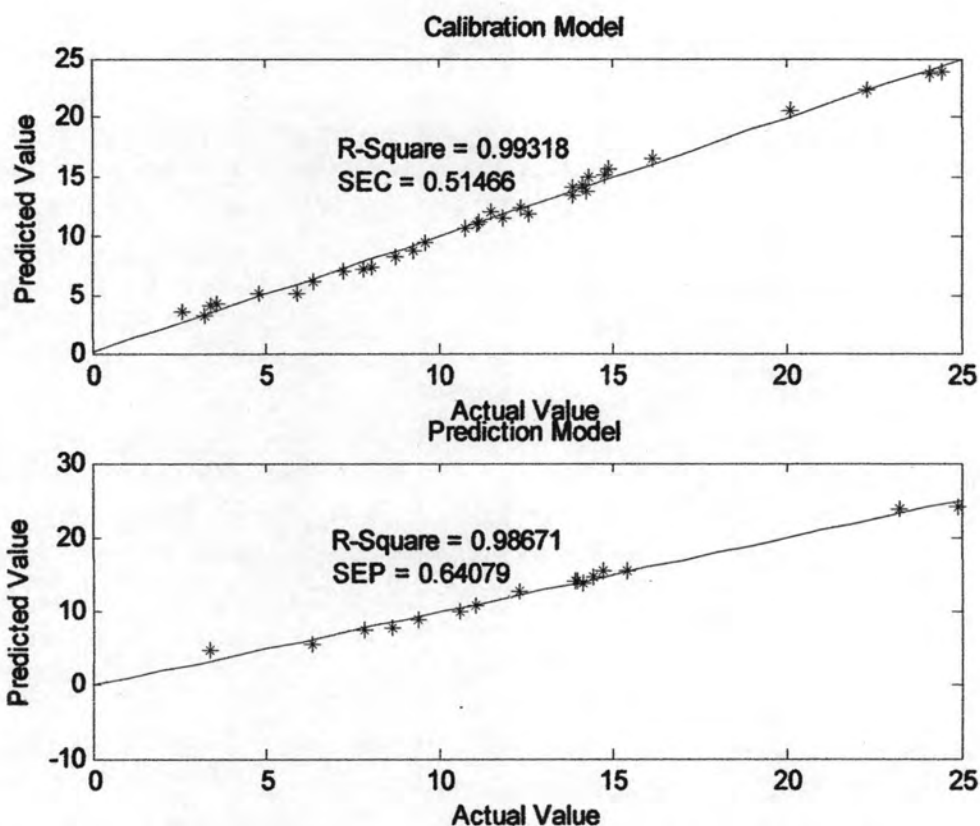
$$\hat{Y} = 44.8364 - 26.6238A_{860} + 61.5276A_{910} - 155.2166A_{920} + 139.0956A_{960} - 35.2149A_{1000} \quad (8.3)$$

ค่าจากกลุ่มสอบเทียบ

Coefficient of determination (R-Square) = 0.98183  
Standard error of calibration (SEC) = 0.35221

ค่าจากกลุ่มทำนาย

Coefficient of determination (R-Square) = 0.96779  
Standard error of prediction (SEP) = 0.51179



รูปที่ 8.36 กราฟค่า R-Square ค่า SEC ในกลุ่มสอบเทียบ และค่า SEP ในกลุ่มทำนาย ของแป้งข้าวเหนียว ที่ได้จากแบบจำลอง MLR

สมการทำนายเปอร์เซ็นต์ค่าความชื้นของแป้งข้าวเหนียวด้วยแบบจำลอง MLR ที่หาได้จากกลุ่มสอบเทียบ

$$\hat{Y} = 5.9615 + 35.6157A_{860} - 50.3457A_{910} - 83.6903A_{920} + 164.4097A_{960} - 59.8013A_{1000} \quad (8.4)$$

ค่าจากกลุ่มสอบเทียบ

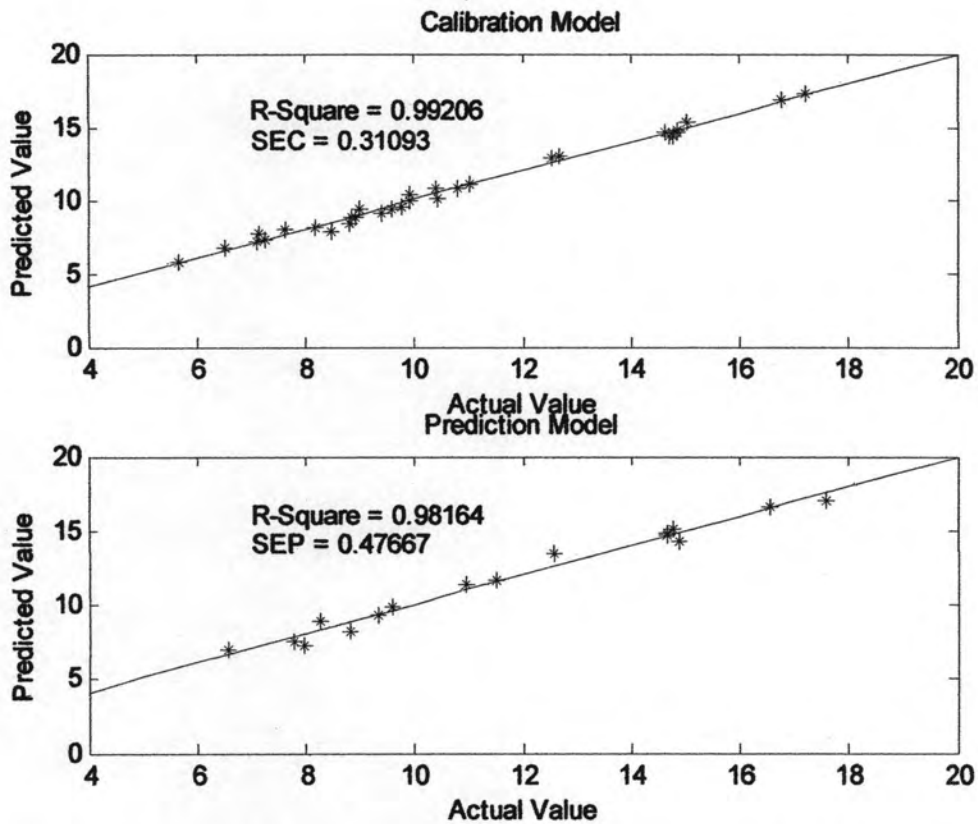
Coefficient of determination (R-Square) = 0.99318

Standard error of calibration (SEC) = 0.51466

ค่าจากกลุ่มทำนาย

Coefficient of determination (R-Square) = 0.98671

Standard error of prediction (SEP) = 0.64079



รูปที่ 8.37 กราฟค่า R-Square ค่า SEC ในกลุ่มสอบเทียบ และค่า SEP ในกลุ่มทำนาย ของแป้งข้าวเจ้า ที่ได้จากแบบจำลอง MLR

สมการทำนายเปอร์เซ็นต์ค่าความชื้นของแป้งข้าวเจ้าด้วยแบบจำลอง MLR ที่หาได้จากกลุ่มสอบเทียบ

$$\hat{Y} = 10.3533 + 10.9587A_{860} + 54.8965A_{910} - 157.1018A_{920} + 142.8724A_{960} - 48.7857A_{1000} \quad (8.5)$$

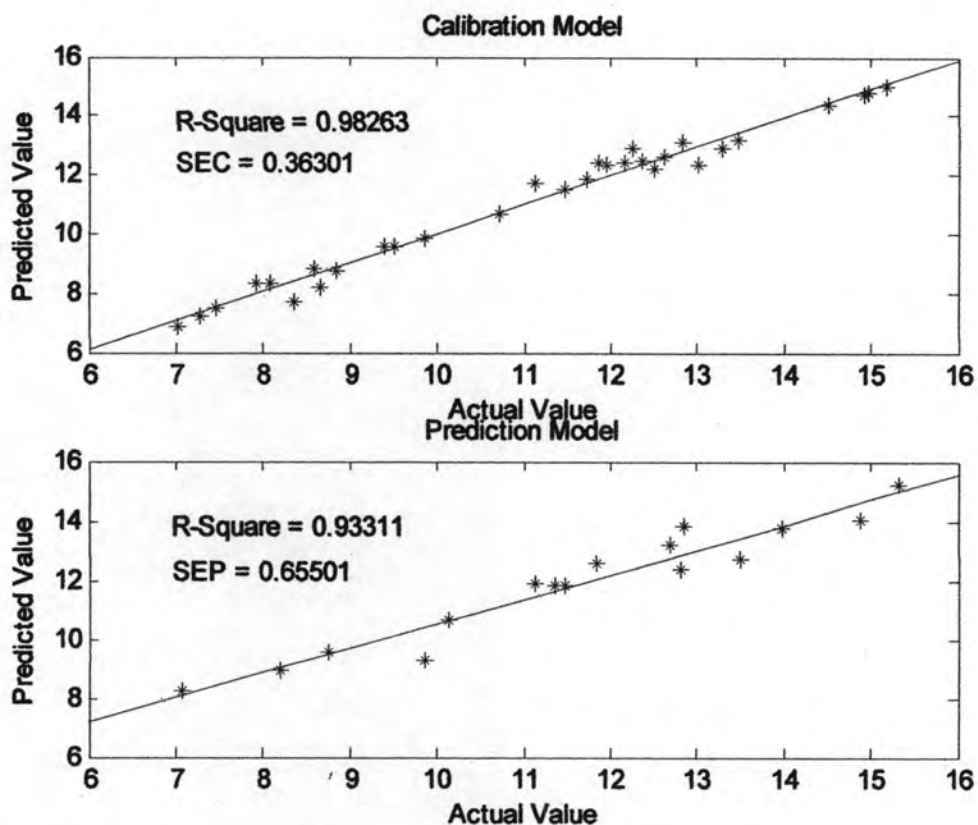
ค่าจากกลุ่มสอบเทียบ

Coefficient of determination (R-Square) = 0.99206  
Standard error of calibration (SEC) = 0.31093

ค่าจากกลุ่มทำนาย

Coefficient of determination (R-Square) = 0.98164  
Standard error of prediction (SEP) = 0.47667





รูปที่ 8.38 กราฟค่า R-Square ค่า SEC ในกลุ่มสอบเทียบ และค่า SEP ในกลุ่มทำนาย ของแป้งมันสำปะหลัง ที่ได้จากแบบจำลอง MLR

สมการทำนายเปอร์เซ็นต์ค่าความชื้นของแป้งมันสำปะหลังด้วยแบบจำลอง MLR ที่หาได้จากกลุ่มสอบเทียบ

$$\hat{Y} = 9.8463 + 29.3260A_{860} - 19.4499A_{910} - 89.4360A_{920} + 145.7590A_{960} - 61.0967A_{1000} \quad (8.6)$$

ค่าจากกลุ่มสอบเทียบ

Coefficient of determination (R-Square) = 0.98263  
Standard error of calibration (SEC) = 0.36301

ค่าจากกลุ่มทำนาย

Coefficient of determination (R-Square) = 0.93311  
Standard error of prediction (SEP) = 0.65501

จากการทำนายที่ได้โดยใช้แบบจำลอง MLR ทั้งกลุ่มสอบเทียบและกลุ่มทำนาย แสดงให้เห็นความเป็นไปได้ในการทำนายค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นจากค่าการดูดกลืนที่โนเกิดขึ้นในช่วง NIR ส่วนการคำนวณด้วยแบบจำลองของ PLS นั้น ค่าสมการเชิงเส้นเขียนได้เป็น

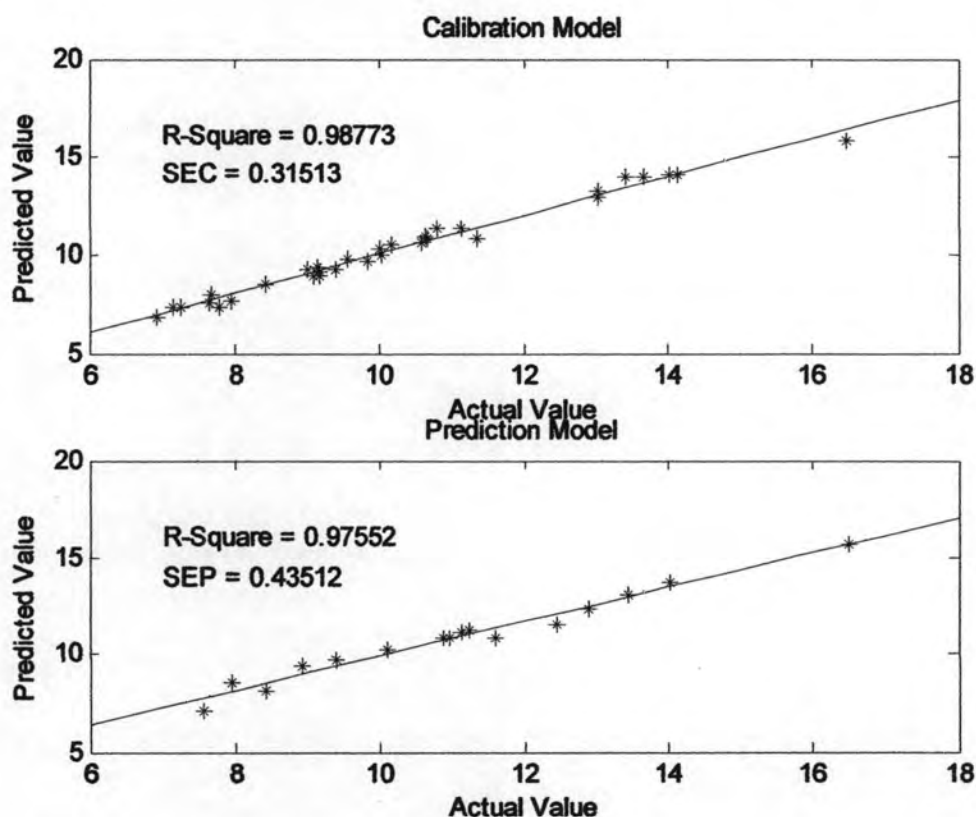
$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 A_{820} + \beta_2 A_{821} + \beta_3 A_{822} + \dots \quad (8.7)$$

โดย  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots$  คือค่าสัมประสิทธิ์สมการเชิงเส้น

$A_i$  คือค่าการดูดกลืนในแต่ละความยาวคลื่น  $i$

(ในงานวิจัยนี้จะนำทุกจุดมาคำนวณ แต่สามารถเลือกเพียงบางจุดได้เหมือน MLR)

เนื่องจากแบบจำลอง PLS อาศัยการคำนวณแบบแฟคเตอร์ หรือการแยกออกเป็นแกนที่มีความสัมพันธ์กับสิ่งที่เราสนใจ ดังนั้น จึงสามารถนำเอาทุกความยาวคลื่นมาคำนวณสมการได้ เนื่องจากแบบจำลอง PLS มีความไวต่อสัญญาณรบกวนน้อยกว่าแบบจำลองสมการถดถอยหลายตัวแปร กราฟของเวกเตอร์ที่แสดงก่อนหน้านี้นี้คือ ความสัมพันธ์แต่ละความยาวคลื่นกับค่าความชื้น รูปที่ 8.39 - 8.42 แสดงผลที่ได้จากแบบจำลอง PLS โดยคำนวณค่าความชื้นตามสมการที่ (8.7)



รูปที่ 8.39 กราฟค่า R-Square, ค่า SEC ในกลุ่มสอบเทียบ และค่า SEP ในกลุ่มทำนาย ของแป้งข้าวโพด (NF=8) ที่ได้จากแบบจำลอง PLS

ค่าจากกลุ่มสอบเทียบ

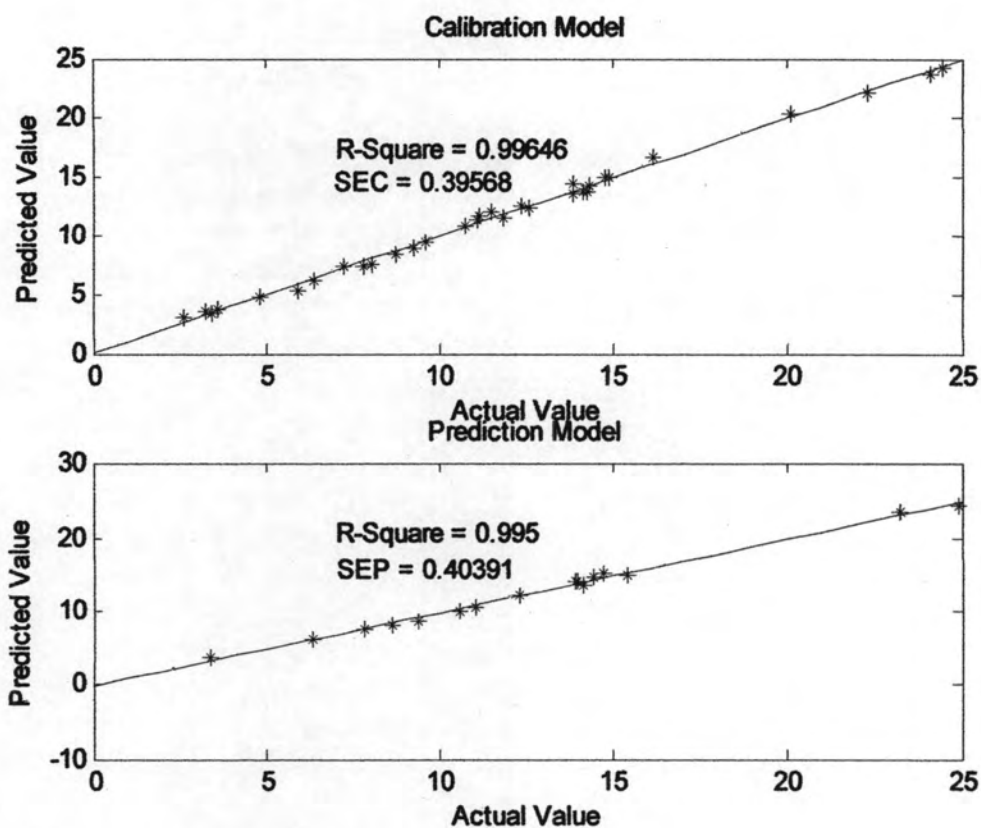
Coefficient of determination (R-Square) = 0.98773

Standard error of calibration (SEC) = 0.31513

ค่าจากกลุ่มทำนาย

Coefficient of determination (R-Square) = 0.97552

Standard error of prediction (SEP) = 0.43512



รูปที่ 8.40 กราฟค่า R-Square, ค่า SEC ในกลุ่มสอบเทียบ และค่า SEP ในกลุ่มทำนาย ของแป้งข้าวเหนียว (NF=8) ที่ได้จากแบบจำลอง PLS

ค่าจากกลุ่มสอบเทียบ

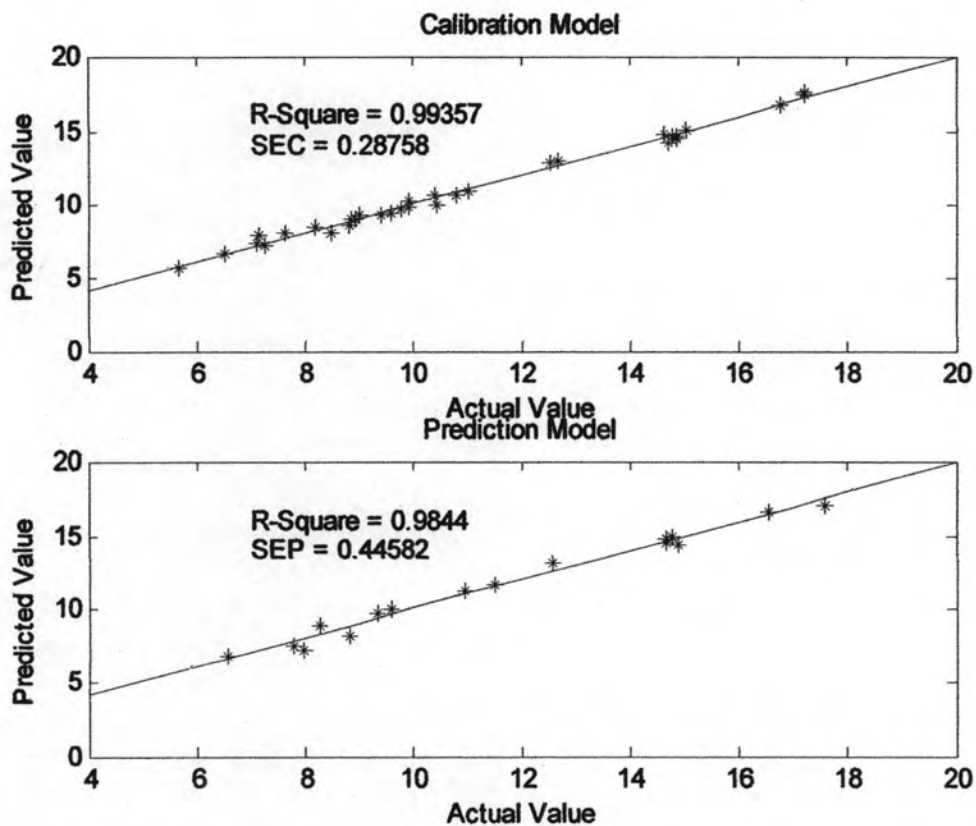
Coefficient of determination (R-Square) = 0.99646

Standard error of calibration (SEC) = 0.39568

ค่าจากกลุ่มทำนาย

Coefficient of determination (R-Square) = 0.99500

Standard error of prediction (SEP) = 0.40391



รูปที่ 8.41 กราฟค่า R-Square, ค่า SEC ในกลุ่มสอบเทียบ และค่า SEP ในกลุ่มทำนาย ของแป้งข้าวเจ้า (NF=6) ที่ได้จากแบบจำลอง PLS

ค่าจากกลุ่มสอบเทียบ

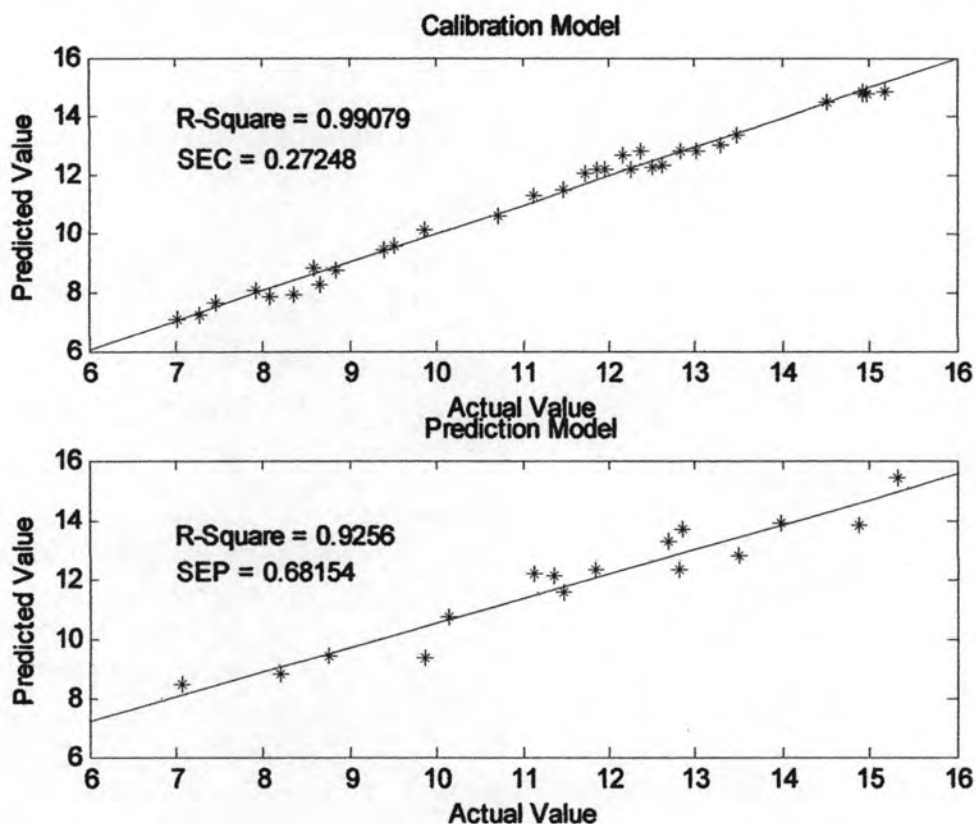
Coefficient of determination (R-Square) = 0.99357

Standard error of calibration (SEC) = 0.28758

ค่าจากกลุ่มทำนาย

Coefficient of determination (R-Square) = 0.98440

Standard error of prediction (SEP) = 0.44582



รูปที่ 8.42 กราฟค่า R-Square, ค่า SEC ในกลุ่มสอบเทียบ และค่า SEP ในกลุ่มทำนาย ของแป้งมันสำปะหลัง (NF=6) ที่ได้จากแบบจำลอง PLS

ค่าจากกลุ่มสอบเทียบ

Coefficient of determination (R-Square) = 0.99079

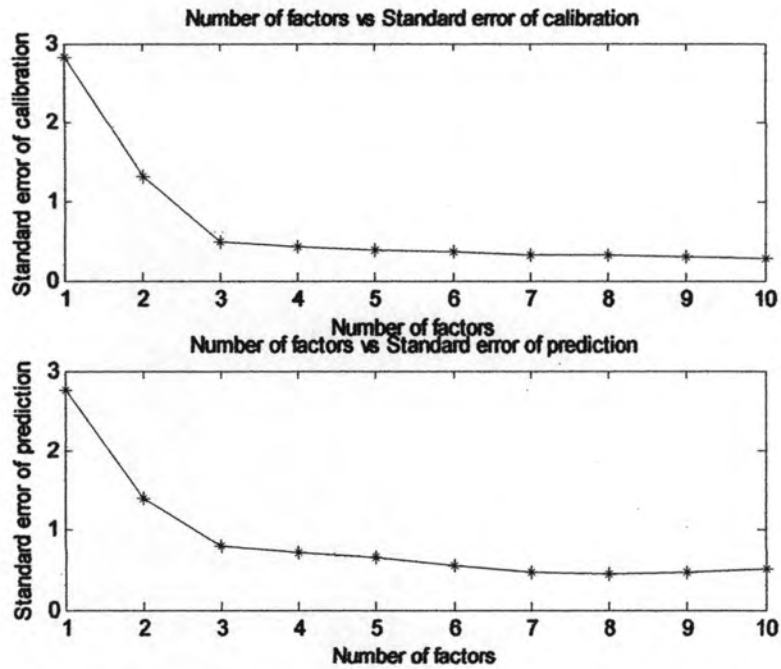
Standard error of calibration (SEC) = 0.27248

ค่าจากกลุ่มทำนาย

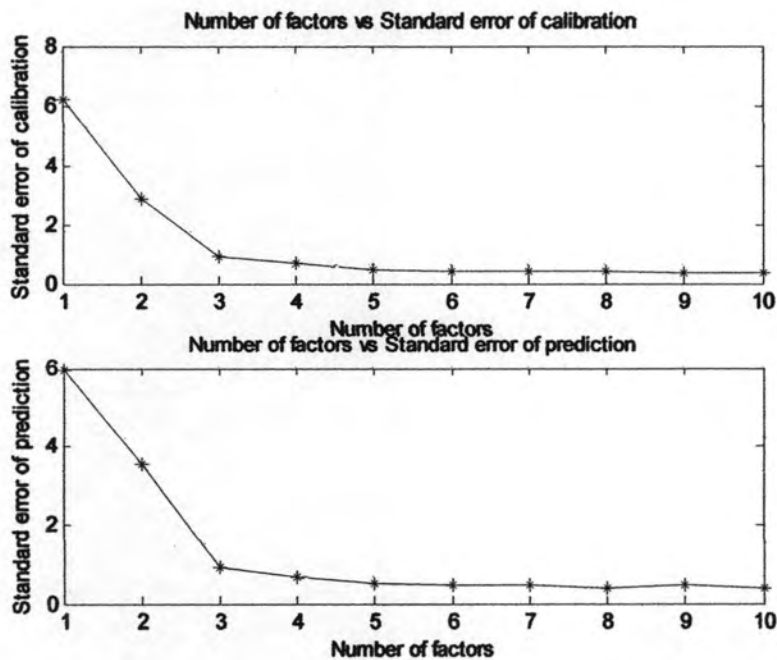
Coefficient of determination (R-Square) = 0.92560

Standard error of prediction (SEP) = 0.68154

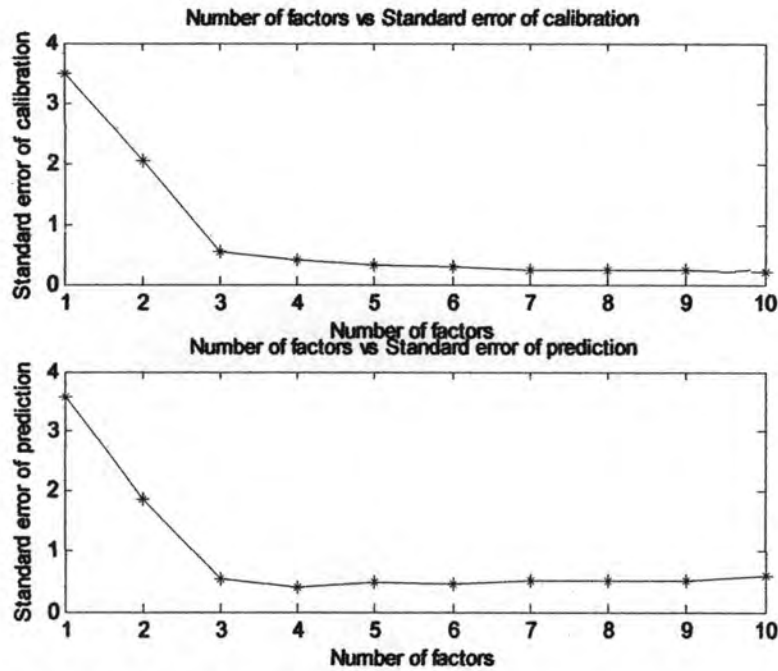
จากข้อมูลข้างบน จะสังเกตเห็นได้ว่า แบบจำลอง PLS มีแนวโน้มที่จะทำนายค่าได้ดีกว่าแบบจำลองสมการถดถอยหลายตัวแปร เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจและค่าความผิดพลาดจากการทำนาย ซึ่งมีค่าสูงกว่าและน้อยกว่าตามลำดับ แต่แบบจำลอง PLS มีรูปแบบการคำนวณแบบวนลูบ ในการพิจารณา NF ที่เหมาะสมในการคำนวณเพื่อลดเวลานั้น จะต้องนำมาเทียบกับค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น คือ ค่า SEC และ SEP



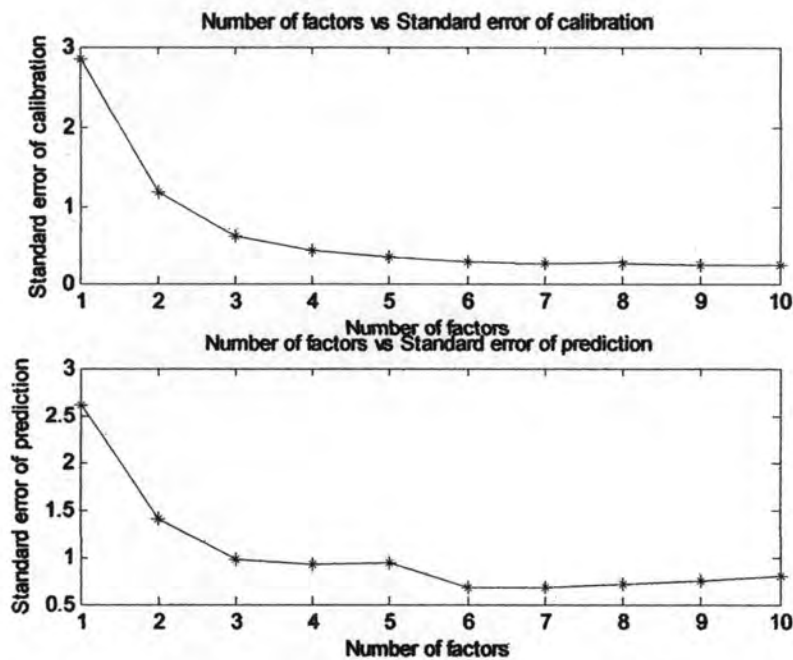
รูปที่ 8.43 กราฟระหว่าง Number of factors กับ Standard error of calibration และ Number of factors กับ Standard error of prediction ของแป้งข้าวโพด



รูปที่ 8.44 กราฟระหว่าง Number of factors กับ Standard error of calibration และ Number of factors กับ Standard error of prediction ของแป้งข้าวเหนียว



รูปที่ 8.45 กราฟระหว่าง Number of factors กับ Standard error of calibration และ Number of factors กับ Standard error of prediction ของแป้งข้าวเจ้า



รูปที่ 8.46 กราฟระหว่าง Number of factors กับ Standard error of calibration และ Number of factors กับ Standard error of prediction ของแป้งมันสำปะหลัง

จากรูปที่ 8.43 ถึง 8.46 โดยการพิจารณาในส่วนของ SEC และ SEP ทำให้สามารถพิจารณาค่า NF ที่เหมาะสมในการคำนวณแบบจำลอง PLS ในแป้งแต่ละชนิด โดยดูจากกราฟเมื่อนำเอา NF เขียนกราฟเทียบกับ SEC และ SEP แล้วจากนั้น พิจารณาจุดที่เริ่มถ่วงเข้าหาค่าๆหนึ่ง

ดังนั้นเมื่อเรากำหนดแบบจำลองที่มี NF มากขึ้น แล้วค่าความผิดพลาดไม่ได้มีแนวโน้มลดลงจากเดิมมากขึ้นหรือมีค่าเข้าใกล้ศูนย์แล้ว [13] จะทำให้สูญเสียเวลาในการคำนวณ

แป้งข้าวโพคนั้นมีค่า NF ที่เหมาะสมในการคำนวณเท่ากับ 8 แป้งข้าวเหนียนั้นมีค่า NF ที่เหมาะสมในการคำนวณเท่ากับ 8 แป้งข้าวเจ้านั้นมีค่า NF ที่เหมาะสมในการคำนวณเท่ากับ 6 แป้งมันสำปะหลังนั้น มีค่า NF ที่เหมาะสมในการคำนวณเท่ากับ 6

ตารางที่ 8.1 และ 8.2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง MLR และ PLS จากค่า  $R^2$  SEC และ SEP แสดงให้เห็นว่า PLS มีแนวโน้มในการทำนายค่าความชื้นได้ดีกว่า สังเกตได้จากค่า SEC และ SEP จะมีค่าน้อยกว่า คือ ค่าทำนายที่ได้จากแบบจำลองเกิดความผิดพลาดน้อยกว่า

ตารางที่ 8.1 การเปรียบเทียบการคำนวณระหว่างแบบจำลอง MLR และ PLS ของกลุ่มสอบเทียบ

แป้ง	แบบจำลอง MLR		แบบจำลอง PLS		
	$R^2$	SEC	$R^2$	SEC	NF
แป้งข้าวโพค	0.98183	0.35221	0.98773	0.31513	8
แป้งข้าวเหนียว	0.99318	0.51466	0.99646	0.39568	8
แป้งข้าวเจ้า	0.99206	0.31093	0.99357	0.28758	6
แป้งมันสำปะหลัง	0.98263	0.36301	0.99079	0.27248	6

ตารางที่ 8.2 การเปรียบเทียบการคำนวณระหว่างแบบจำลอง MLR และ PLS ของกลุ่มทำนาย

แป้ง	แบบจำลอง MLR		แบบจำลอง PLS		
	$R^2$	SEP	$R^2$	SEP	NF
แป้งข้าวโพค	0.96779	0.51179	0.97552	0.43512	8
แป้งข้าวเหนียว	0.98671	0.64079	0.99500	0.40391	8
แป้งข้าวเจ้า	0.98164	0.47667	0.98440	0.44582	6
แป้งมันสำปะหลัง	0.93311	0.65501	0.92560	0.68154	6