บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 การวิเคราะห์หาปริมาณแทนนินในผลิตภัณฑ์แทนนิน

วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ colorimetric method ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานที่ใช้กันอยู่ (64) โดยเติมสารให้ทำปฏิกิริยาเคมีกับแทนนินเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสี แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องมือ spectrophotometer ถ้าสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสี มีความเข้มข้นสูงมาก จะอ่านค่าการดูดกลืนแสงไม่ได้ (ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดคือ 1.5) จำเป็นต้องทำให้สารประกอบเชิงซ้อนที่มีสี มีความเข้มข้นของสารละลายเจือจางลง มีกำหนดในวิธีมาตรฐาน (64) ให้เจือจางมีความเข้มข้นเป็น 1/4 เท่า แล้วนำไปหาความเข้มข้นจากการ์เทียบมาตรฐานของกรดแทนนิค ความผิดพลาดอาจเกิดขึ้นได้จากเครื่องมือที่ใช้ (62) พบว่าการใช้เครื่องมือเหล่านี้ 1 ครั้งจะให้ความผิดพลาดต่างกันออกไป เช่น volumetric flask 1000 มิลลิลิตร มีความผิดพลาด 0.6 มิลลิลิตร (0.06%), volumetric flask 50 มิลลิลิตร มีความผิดพลาด 0.06 มิลลิลิตร (0.12%), ปิเปต 5 มิลลิลิตร มีความผิดพลาด 0.008 มิลลิลิตร (0.16%), เครื่อง spectrophotometry อ่านค่าการดูดกลืนแสงผิดพลาด 0.001 (0.5%) คิดเป็นความผิดพลาดรวมทั้งหมด 0.90% ดังนั้นถ้าต้องเจือจางสารละลายให้มีความเข้มข้นน้อยลงก็ต้องผ่านการใช้เครื่องมือหลายครั้ง จึงทำให้ตัวเลขที่ได้ผิดพลาดมากขึ้น

5.2 การสกัดแยกผลิตภัณฑ์แทนนินโดยใช้ soxhlet apparatus

เครื่อง soxhlet apparatus นำมาใช้หาปริมาณผลิตภัณฑ์แทนนินทั้งหมดในเปลือกไม้ ใช้หาปริมาณผลิตภัณฑ์แทนนินที่เหลืออยู่ในกากหลังจากแยกสกัดออกจากคอลัมน์ โดยนำกากที่ได้มาอบแห้งก่อนนำไปสกัดในเครื่อง soxhlet apparatus

เครื่อง soxhlet apparatus เป็นเครื่องมือที่ใช้แยกสกัดผลิตภัณฑ์แทนนินที่ต้องการออกจากเปลือกไม้ น้ำเมื่อได้รับความร้อนจากเตาที่ควบคุมอุณหภูมิได้ (heating mantle) จะระเหยกลายเป็นไอเมื่อไอถ่ายเทความร้อนให้แก่น้ำในเครื่องควบแน่น จะกลั่นตัวควบแน่นเป็นหยดน้ำตกลงมายัง soxhlet apparatus ที่ใส่ห่อเปลือกไม้บดละเอียดไว้ หยดน้ำที่ตกลงมาจะสกัดผลิตภัณฑ์แทนนินที่มีอยู่ในเปลือกไม้ออกมา เมื่อหยดน้ำเต็มถึงระดับหนึ่งจะไหลลงสู่ขวดก้นกลมที่ต่ออยู่กับ soxhlet apparatus จากนั้นน้ำก็จะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำตกลงมายัง soxhlet

apparatus อีก เป็นไปในลักษณะนี้ จนกระทั่งสารละลายใน soxhlet apparatus ไม่มีสี แสดงว่าผลิตภัณฑ์แทนนินถูกสกัดออกมาหมดแล้ว

ขั้นตอนต่าง ๆ ที่กล่าวมาใช้เวลานานประมาณ 8-12 ชั่วโมง กว่าผลิตภัณฑ์แทนนินที่มีอยู่ในเปลือกไม้จะออกมาหมด

5.3 การสกัดผลิตภัณฑ์แทนนินในคอลัมน์แบบพัลส์ประเภทวงแหวนกับจานที่ทำงานแบบต่อเนื่องสวนทางกัน

การศึกษาเครื่องมือสกัดแยกในคอลัมน์แบบพัลส์ประเภทวงแหวนกับจานที่ทำงานแบบต่อเนื่องสวนทางกัน มีตัวแปรที่ได้ศึกษาคือ

- ขนาดอนุภาคของเปลือกไม้
- อัตราการป้อนเปลือกไม้
- อัตราการไหลของน้ำ
- ผลคูณของความถี่และระยะทางการเคลื่อนที่ของลูกสูบ (af)
- อุณหภูมิของน้ำ
- การเติมสารเคมีโซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) ช่วยในการสกัด

5.3.1 ขนาดอนุภาคของเปลือกไม้

โดยปกติเปลือกไม้ที่มีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเปลือกไม้กับน้ำต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของของผสมสูงกว่าเปลือกไม้ที่มีขนาดใหญ่ (62) และเปลือกไม้ที่มีขนาดเล็กจะช่วยย่นระยะทางที่ตัวถูกละลายต้องผ่านขณะเกิดการถ่ายเทมวลสารให้สั้นลง (65) ดังในภาพที่ 4.1 เปลือกไม้ขนาด 0.25-0.355 มิลลิเมตรให้ร้อยละการสกัด 47.07 ของที่มีอยู่ในเปลือกไม้ เมื่ออัตราการไหลของน้ำ 54.9 ลิตรต่อชั่วโมง การเพิ่มอัตราการไหลของน้ำให้สูงขึ้นจะทำให้แผ่นฟิล์มบาง ๆ (resistance) ที่ล้อมรอบผิวเปลือกไม้ให้น้อยลง และยังทำให้เกิดความปั่นป่วนของเปลือกไม้รุนแรงตามไปด้วย ดีกรีของความปั่นป่วนสูง การถ่ายเทมวลหรือการซึมผ่านของแทนนินในเปลือกไม้มีโอกาสมากขึ้น ดังนั้นเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำสูงขึ้นเป็น 116.7 ลิตรต่อชั่วโมง ทำให้ร้อยละการสกัดเพิ่มเป็น 65.39 ของที่มีอยู่ในเปลือกไม้ เมื่อพิจารณาเฉพาะผลิตภัณฑ์แทนนินที่สกัดได้ในคอลัมน์ ดังในภาพที่ 4.3 ขนาดอนุภาคเปลือกไม้ 0.5-1 มิลลิเมตร

ให้ร้อยละการสกัด 57.07 ของที่มีอยู่ในเปลือกไม้ เมื่ออัตราการไหลของน้ำเป็น 116.7 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งสูงกว่าเปลือกไม้ขนาดเล็กให้ร้อยละการสกัด 53.26 ของที่มีอยู่ในเปลือกไม้ ทั้งนี้เนื่องจากการป้อนเปลือกไม้แบบ slurry เปลือกไม้ที่มีขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเปลือกไม้กับน้ำต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของของผสมสูงกว่า จึงถูกสกัดก่อนจะเข้าคอลัมน์ได้ดีกว่า ปริมาณเนื้อสารจึงเหลือเข้าคอลัมน์น้อยกว่าขนาดเปลือกไม้ที่ใหญ่กว่า เมื่อเปรียบเทียบกับไพบูลย์ (62) ได้ทำการสกัดในถังกวนใช้ขนาดอนุภาคต่ำกว่า 0.5 มิลลิเมตร ให้ร้อยละการสกัดเพียง 21.6 ของที่มีอยู่ในเปลือกไม้

5.3.2 อัตราการป้อนเปลือกไม้

การป้อนเปลือกไม้มากเกินไป ทำให้การถ่ายเทมวลสารลดลง เนื่องจากเปลือกไม้จะรวมกันอย่างหนาแน่น ทำให้ตัวทำละลายซึมผ่านเข้าไปในช่องว่างของเปลือกไม้ได้ยากขึ้น ผลต่างของความเข้มข้นแทนนินในสารละลายที่ผิวสัมผัสระหว่างเปลือกไม้กับสารละลายและความเข้มข้นของแทนนินในสารละลายเมื่อเวลาใด ๆ มีค่าน้อยทำให้อัตราการถ่ายเทมวลต่อปริมาตรของของเหลวน้อยตามไปด้วย ร้อยละการสกัดของขนาดอนุภาคเปลือกไม้ 0.25-0.355 มิลลิเมตร ลดลงจาก 36.70 เป็น 32.54 ของที่มีอยู่ในเปลือกไม้ เมื่ออัตราการป้อนเปลือกไม้เพิ่มขึ้นจาก 148.2 เป็น 255 กรัมต่อชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 4.10 เมื่อขนาดอนุภาคเปลือกไม้ใหญ่ขึ้น โอกาสที่ตัวทำละลายจะซึมผ่านเข้าไปในช่องว่างของเปลือกไม้ง่ายขึ้น เพราะมีพื้นที่ผิวสัมผัสต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรต่ำกว่าขนาดอนุภาคเปลือกไม้ขนาดเล็ก ทำให้อัตราการถ่ายเทมวลต่อปริมาตรของของเหลวเพิ่มขึ้นขนาดอนุภาคเปลือกไม้ 0.355-0.5 มิลลิเมตร ให้ร้อยละการสกัดสูงขึ้นจาก 35.13 เป็น 47.39 ของที่มีอยู่ในเปลือกไม้ เมื่ออัตราการป้อนเปลือกไม้เพิ่มจาก 148.2 เป็น 180 กรัมต่อชั่วโมง แต่เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนเปลือกไม้สูงขึ้นเป็น 255 กรัมต่อชั่วโมง ร้อยละการสกัดลดลงเป็น 39.56 ของที่มีอยู่ในเปลือกไม้ เพราะเปลือกไม้จะรวมกันหนาแน่นมากขึ้น ผลต่างของความเข้มข้นแทนนินในสารละลายที่ผิวสัมผัสระหว่างเปลือกไม้กับสารละลาย และความเข้มข้นของแทนนินในสารละลายเมื่อเวลาใด ๆ มีค่าน้อยลง ดังแสดงในภาพที่ 4.10 เมื่อพิจารณาเฉพาะผลิตภัณฑ์แทนนินที่สกัดได้ในคอลัมน์ในภาพที่ 4.12 พบว่าขนาดอนุภาคเปลือกไม้ 0.355-0.5 มิลลิเมตร ที่อัตราการป้อนเปลือกไม้ 180 กรัมต่อชั่วโมง ให้ร้อยละการสกัดสูงสุด 39.90 ของที่มีอยู่ในเปลือกไม้ เมื่อเปรียบเทียบกับไพบูลย์ (62) ใช้อัตรา

การป้อนเปลือกไม้ 7 นาทีต่อครั้ง ๆ ละ 500 กรัม ทำการสกัด 4 ครั้ง แบบกึ่งต่อเนื่องสวนทางกัน ให้ร้อยละการสกัด 43.0 ของที่มีอยู่ในเปลือกไม้

5.3.3 อัตราการไหลของน้ำ

เมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้นทำให้แผ่นฟิล์มบาง ๆ (resistance) ที่ล้อมรอบผิวเปลือกไม้น้อยลง และยังทำให้เกิดความปั่นป่วนของเปลือกไม้รุนแรงตามไปด้วย ดีกรีของความปั่นป่วนสูง การถ่ายเทมวลหรือการซึมผ่านของแทนนินในเปลือกไม้มีโอกาสมากขึ้น ทำให้ร้อยละการสกัดสูงขึ้นจากภาพที่ 4.7 ที่อัตราการไหลของน้ำ 116.7 ลิตรต่อชั่วโมง ให้ร้อยละการสกัดเพิ่มขึ้นจาก 57.53 เป็น 64.46 ของที่มีอยู่ในเปลือกไม้ เมื่อผลคูณของความถี่และระยะทางการเคลื่อนที่ของลูกสูบเพิ่มขึ้นจาก 1.29 เป็น 3.54 เซนติเมตรต่อวินาที เมื่อคิดเฉพาะผลิตภัณฑ์แทนนินที่สกัดได้ในคอลัมน์ให้ร้อยละการสกัดเพิ่มขึ้นจาก 48.46 เป็น 56.87 เมื่อผลคูณของความถี่และระยะทางการเคลื่อนที่ของลูกสูบเพิ่มจาก 1.29 เป็น 3.54 เซนติเมตรต่อวินาที ดังแสดงในภาพที่ 4.9 เมื่อเทียบกับไพบูลย์ (62) ใช้อัตราการไหลของน้ำ 30 ลิตรต่อชั่วโมง โดยการสกัด 4 ครั้ง แบบต่อเนื่องสวนทางกัน ให้ร้อยละการสกัด 33.80 ของที่มีอยู่ในเปลือกไม้ ซึ่งให้ร้อยละการสกัดใกล้เคียงกับใช้อัตราการไหลของน้ำที่ 54.9 ลิตรต่อชั่วโมง (ภาพที่ 4.7) ที่ผลคูณของความถี่และระยะทางการเคลื่อนที่ของลูกสูบ 3.54 เซนติเมตรต่อวินาที ให้ร้อยละการสกัด 33.44 ของที่มีอยู่ในเปลือกไม้

5.3.4 ผลคูณของความถี่และระยะทางการเคลื่อนที่ของลูกสูบ (af)

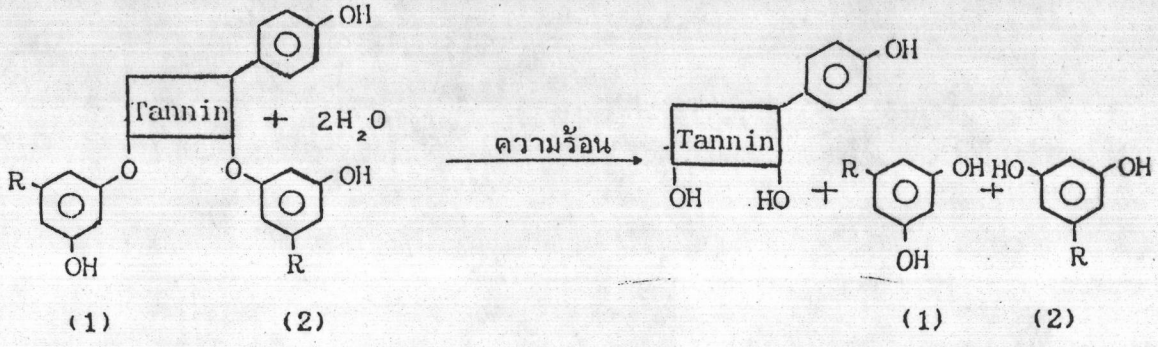
การมีระบบความถี่และระยะทางการเคลื่อนที่ของลูกสูบจะช่วยให้การกระจายตัวของเปลือกไม้ในน้ำเป็นไปได้ดี โดยที่เปลือกไม้จะเคลื่อนที่ขึ้นลงตามจังหวะของลูกสูบ ทำให้อัตราการถ่ายเทระหว่างน้ำกับเปลือกไม้สูงขึ้น ดังในภาพที่ 4.7 ผลคูณของความถี่และระยะทางการเคลื่อนที่ของลูกสูบ 3.54 เซนติเมตรต่อวินาที จะให้ร้อยละการสกัดสูงถึง 64.46 ของที่มีอยู่ในเปลือกไม้ เมื่ออัตราการไหลของน้ำ 116.7 ลิตรต่อชั่วโมง การเพิ่มอัตราการไหลของน้ำสูงทำให้ดีกรีของความปั่นป่วนสูงขึ้น ประกอบกับผลคูณของความถี่และระยะทางการเคลื่อนที่ของลูกสูบเพิ่มขึ้นทำให้การไหลเวียนของสารละลาย ภายในคอลัมน์เกิดการปั่นป่วนมากขึ้น มีการแพร่ของแทนนินจากผิวของเปลือกไม้ออกสู่ภายนอกได้ง่ายขึ้น ร้อยละการสกัดจึงสูงขึ้น อัตราการไหล

ของน้ำและผลคูณของความถี่และระยะทางการเคลื่อนที่ของลูกสูบที่ 116.7 ลิตรต่อชั่วโมง และ และ 3.54 เซนติเมตรต่อวินาที ให้ร้อยละการสกัด 56.87 ของที่มีอยู่ในเปลือกไม้ เมื่อคิดเฉพาะการสกัดได้ในคอลัมน์ ดังแสดงในภาพที่ 4.9

5.3.5 อุณหภูมิของน้ำ

เมื่อเพิ่มความร้อนให้กับน้ำจะช่วยให้อัตราการสกัดสูงขึ้น เพราะสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายเพิ่มขึ้น ทำให้การละลายของตัวถูกละลายในตัวทำละลายสูงขึ้นความหนืดของน้ำลดลง ช่วยให้ความสามารถในการแพร่มากขึ้น ทำให้อัตราการสกัดเพิ่มขึ้นด้วย ประกอบกับผลคูณของความถี่และระยะทางการเคลื่อนที่ของลูกสูบสูงขึ้น ทำให้เกิดการไหลเวียนของสารละลายภายในคอลัมน์เกิดการปั่นป่วน มีการแพร่ของแทนนินจากผิวของเปลือกออกสู่ภายนอกได้ง่ายขึ้น ร้อยละการสกัดจึงสูงขึ้นดังแสดงในภาพที่ 4.19 ที่อุณหภูมิของน้ำ 50 °ซ และผลคูณของความถี่และระยะทางการเคลื่อนที่ของลูกสูบ 3.54 เซนติเมตรต่อวินาที ให้ร้อยละการสกัดสูงสุด 52.54 ของที่มีอยู่ในเปลือกไม้ เมื่อคิดเฉพาะการสกัดในคอลัมน์ให้ร้อยละการสกัด 44.55 ของที่มีอยู่ในเปลือกไม้ ดังแสดงในภาพที่ 4.21 ในขณะที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30 °ซ) และอุณหภูมิ 40 °ซ มีแนวโน้มลดลง เมื่อผลคูณของความถี่และระยะทางการเคลื่อนที่ของลูกสูบเพิ่มขึ้นอาจเป็นผลเนื่องจากสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายต่ำ ทำให้การละลายของตัวถูกละลายในตัวทำละลายน้อยลง ผลต่างของความเข้มข้นของแทนนินในสารละลายที่ผิวสัมผัสระหว่างเปลือกไม้กับสารละลาย และความเข้มข้นของแทนนินในสารละลายใด ๆ มีค่าน้อยลง แม้จะเพิ่มผลคูณของความถี่และระยะทางการเคลื่อนที่ของลูกสูบก็ตาม เมื่อเทียบกับการสกัดแบบแช่ของไพบูลย์ (62) ใช้อุณหภูมิ 60 °ซ ให้ร้อยละการสกัด 51.8 ของที่มีอยู่ในเปลือกไม้

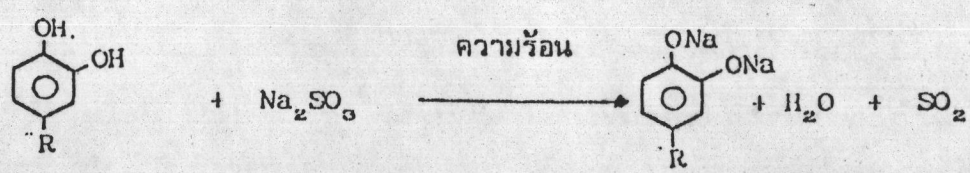
เมื่อผลิตภัณฑ์แทนนินถูกความร้อน phenol substance ที่อยู่รอบ ๆ จะแยกตัวออกมา ทำให้ปริมาณแทนนินในผลิตภัณฑ์แทนนินมีมากขึ้น ดังสมการเคมี



5.3.6 สารเคมีโซเดียมซัลไฟต์

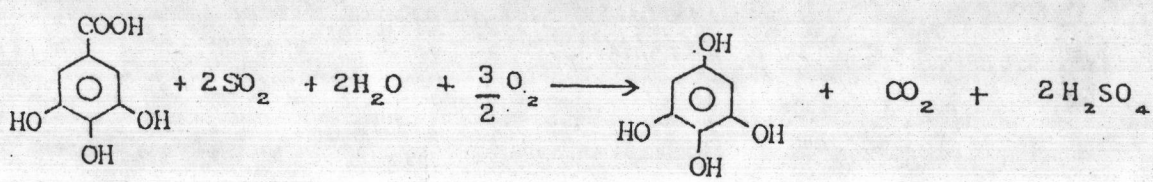
การเติมสารเคมีโซเดียมซัลไฟต์ช่วยให้ร้อยละการสกัดสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโซเดียมซัลไฟต์เข้าทำปฏิกิริยากับกลุ่มไฮดรอกซิลของ phenol substance ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์แทนนินก่อน จากนั้นจึงถ่ายเทมวลสารของตัวถูกละลายจากสารละลายภายในเปลือกไม้ออกสู่สารละลายทั้งหมดได้ดี เนื่องจากผลต่างของความเข้มข้นแทนนินที่ผิวสัมผัสระหว่างเปลือกไม้กับสารละลาย และความเข้มข้นของแทนนินในสารละลายเมื่อเวลาใด ๆ มีค่ามาก ทำให้ร้อยละการสกัดสูงขึ้น ดังในภาพที่ 4.16 เมื่อความเข้มข้นโซเดียมซัลไฟต์ 3 เปอร์เซนต์น้ำหนักต่อปริมาตร และผลคูณของความถี่และระยะทางการเคลื่อนที่ของลูกสูบ 1.29 เซนติเมตรต่อวินาที ให้ร้อยละการสกัดสูงสุด 52.32 ของที่มีอยู่ในเปลือกไม้ เมื่อคิดเฉพาะที่สกัดได้ในคอลัมน์ ดังแสดงในภาพที่ 4.18 ให้ร้อยละการสกัด 45.33 ของที่มีอยู่ในเปลือกไม้ เมื่อเทียบกับไพบูลย์ (62) ที่ทำการสกัดแบบกึ่งต่อเนื่องสวนทางกัน โดยทำการสกัด 4 ครั้งให้ร้อยละการสกัด 46.6 ของที่มีอยู่ในเปลือกไม้

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างโซเดียมซัลไฟต์กับกลุ่มไฮดรอกซิลของ phenol substance ที่อยู่ในผลิตภัณฑ์แทนนินมีสมบัติเป็นกรดเกิดเป็นเกลือ sodium phenoxide ซึ่งมีสมบัติเป็นกลาง ละลายน้ำได้ดี ดังนั้นผลิตภัณฑ์แทนนินที่สกัดได้จึงสูงขึ้นด้วย (62) ดังสมการเคมี



phenol substance (ก๊าซ)

นอกจากนี้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นยังทำปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ ที่อยู่ในผลิตภัณฑ์แทนนินได้ด้วย คือ กรดคาร์บอกซิลิก เช่น กรดแกลลิก เกิดเป็นสารพวก phenol substance ทำให้ปริมาณแทนนินในผลิตภัณฑ์สูงขึ้น (62) ดังสมการเคมี



gallic acid

ความเข้มข้นของสารละลายที่ได้จากการสกัด พบว่า ความเข้มข้นที่ได้สูงสุดเพียง 1.055 กรัมต่อลิตร (ภาพที่ 4.17) เมื่อพิจารณาถึงการนำไปใช้งาน ซึ่งมีมาตรฐานขององค์การฟอกหนัง มอก. 160-2518 แก้ไขเพิ่มเติมตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 920 (พ.ศ. 2528) (63) กำหนดให้มีความเข้มข้นของสารละลายตั้งแต่ 20-160 กรัมต่อลิตร (62) ดังนั้น การนำความเข้มข้นเพียง 1.055 กรัมต่อลิตร มาใช้ฟอกหนังจึงเป็นไปไม่ได้ จำเป็นต้องปรับปรุงความเข้มข้นของสารละลายให้สูงขึ้น เช่น การทำ recycle โดยนำสารละลายที่ได้กลับเข้าคอลัมน์ใหม่พร้อมกับป้อนเปลือกไม้ใหม่เข้ามาทำการสกัด การทำในลักษณะนี้ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายสูงขึ้น ส่วนไพบูลย์ (62) ได้นำผลิตภัณฑ์แทนนินที่ได้เติมลงไปฟอกหนังวันละ 20 กรัมต่อลิตร เป็นเวลา 6 วัน พบว่า หนังที่ได้มีสีน้ำตาลแดง แข็งกระด้างมากกว่าหนังที่ฟอกด้วยแทนนินจากต่างประเทศ และเกิดรอยย่น แสดงว่ายังคงมีคุณภาพต่ำ ในขณะที่ประสิทธิ์สินธุ์และชูเกียรตินำแทนนินที่มีความเข้มข้นประมาณ 31.4 กรัมต่อน้ำ 1.2 ลิตร (26.17 กรัมต่อลิตร) มาฟอกหนังพบว่า หนังที่ได้มีความกรอบ และมีสีเข้มกว่าหนังที่ฟอกด้วยแทนนินที่นำมาจากโรงงาน

ดังนั้น จึงอาจกล่าวได้ว่า การนำเครื่องสกัดคอลัมน์แบบพัลส์ประเภทวงแหวนกับจานมาใช้สกัดแทนนินจากเปลือกไม้โกงกาง จะต้องปรับปรุงให้สารละลายที่ได้จากการสกัดมีความเข้มข้นมากขึ้นโดยอาจทำการ recycle หรือทำ multistage column คือ นำสารละลายที่ได้จากการสกัดมาผ่านทีละคอลัมน์จนกระทั่งสารละลายที่ได้มีความเข้มข้นมากพอตามต้องการ แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายที่ต้องเสียไปว่าคุ้มกับการลงทุนหรือไม่