บทที่ 2

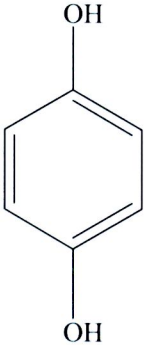
การตรวจสอบเอกสาร

แนวคิดและทฤษฎี

ไฮโดรควิโนน (Hydroquinone)

ภาพ 1 ลักษณะของไฮโดรควิโนน

ไฮโดรควิโนนเป็นสารฟีนอลชนิดหนึ่ง มีลักษณะทางกายภาพแสดงดังภาพ 1 มีชื่อเรียกทางเคมีว่า benzene-1,4-diol มีสูตรโมเลกุล $C_6H_4(OH)_2$ ลักษณะโครงสร้างทางเคมีเป็น hydroxyl groups สองกลุ่มเชื่อมต่อกับ benzene ring ลักษณะการเชื่อมต่อเป็นแบบพารา แสดงดังภาพ 2



ภาพ 2 โครงสร้างของไฮโดรควิโนน

ไฮโดรควิโนน ถูกนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางโดยกลไกการออกฤทธิ์ที่ทำให้ผิวขาวขึ้น โดยการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซีเนส (Tyrosinase) (มานิตา, 2546) ในบางประเทศก็ไม่อนุมัติให้วางจำหน่าย เช่น ฝรั่งเศส เนื่องจากอาจเป็นสารก่อมะเร็งได้ บางประเทศอนุมัติให้วางจำหน่ายได้เฉพาะรูปแบบครีมที่มีความเข้มข้น 2% ในบางผลิตภัณฑ์ความเข้มข้นของไฮโดรควิโนนอาจมากถึง 4% ปัญหาที่สำคัญประการหนึ่ง คือ การนำไฮโดรควิโนนมาผสมอย่างไม่ถูกต้อง โดยที่ไม่สามารถตรวจสอบได้ว่าปริมาณความเข้มข้นมากน้อยเพียงใด และบางรายอาจใช้วัตถุดิบปลอมในการผลิตอีกด้วย

คุณสมบัติของสารไฮโดรควิโนน (Hydroquinone, 2010)

สูตรโมเลกุล	$C_6H_4(OH)_2$
มวลโมเลกุล	110.1 g/mol
ความหนาแน่น	1.3 g/cm^3, solid
จุดหลอมเหลว	172 °C
จุดเดือด	287 °C
การละลายน้ำ	5.9 g/100 ml (15 °C)
ลักษณะ	ลักษณะผลึกรูปเข็มหรือลิ่ม
ความสามารถในการละลาย	ละลายในแอลกอฮอล์และตัวทำละลายที่มีขั้ว

ลักษณะทางกายภาพ (ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์, 2553)

ที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ไฮโดรควิโนนมีสถานะเป็นของแข็งสีขาวเนื้อละเอียด ไม่มีกลิ่น

การใช้ประโยชน์ไฮโดรควิโนน

1. ใช้เป็นสารในอุตสาหกรรมฟอสเฟต
2. เป็นตัว antioxidant ไขมันและน้ำมัน
3. เป็นตัวยับยั้งการเกิดพอลิเมอไรเซชัน
4. ใช้ในอุตสาหกรรมสีย้อม

อันตรายต่อสุขภาพอนามัย

1. สัมผัสทางหายใจ การหายใจเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคืองจมูก คอ และทางเดินหายใจส่วนบน

2. สัมผัสทางผิวหนัง สามารถดูดซึมผ่านผิวหนัง ทำให้คลื่นไส้ อาเจียน กล้ามเนื้อท้องเกร็ง และท้องร่วง ปวดศีรษะ หายใจติดขัด ผิวเป็นสีเขียวคล้ำ เป็นลมได้

3. กินหรือกลืนเข้าไป ทำให้มึนงง ปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน กล้ามเนื้อท้องเกร็ง ท้องร่วง หายใจติดขัด เป็นลม หมดสติได้

4. สัมผัสถูกตา การสัมผัสถูกผิวหนังจะก่อให้เกิดการระคายเคืองอย่างรุนแรง

ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา

ตาราง 1 แสดงความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยาของสารไฮโดรควิโนน

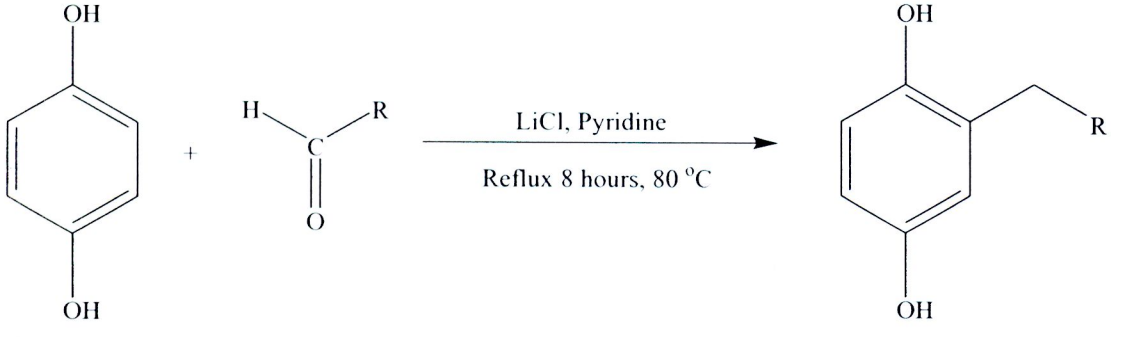
สภาวะ	การเกิดปฏิกิริยา
ความคงตัวทางเคมี	สารนี้ไวต่ออากาศ สารละลายของสารนี้จะกลายเป็นสีน้ำตาลในระหว่างที่เกิดการออกซิเดชันในอากาศ และจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในขณะที่มีด่าง
สารที่เข้ากันไม่ได้	เบสเข้มข้น สารออกซิไดซ์รุนแรง
สภาวะที่ควรหลีกเลี่ยง	อากาศ แสงสว่าง ประจุไฟฟ้า อุณหภูมิที่มากกว่า 165 องศาเซลเซียส
การกัดกร่อนโลหะ	กัดกร่อนทองแดงและทองเหลือง
อันตรายจากการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์	ไม่เกิดขึ้น

ที่มา: ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์ (2553)

อนุพันธ์ไฮโดรควิโนน

อนุพันธ์ของไฮโดรควิโนนสังเคราะห์จาก 1,4-cyclohexanedione กับ อัลดีไฮด์

อนุพันธ์ของไฮโดรควิโนนสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาอัลดอลคอนเดนเซชันระหว่าง 1,4-cyclohexanedione และอัลดีไฮด์ชนิดต่างๆ ซึ่งปฏิกิริยาอัลดอลคอนเดนเซชันเป็นปฏิกิริยาคอนเดนเซชันในตัว (self condensation) ของอัลดีไฮด์หรือคีโตน โดยมีกรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (ณัฐพร, 2553) แสดงในภาพ 3



1,4-cyclohexane dione aldehyde derivative hydroquinone derivative

ภาพ 3 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์อนุพันธ์ของไฮโดรควิโนน

อัลฟา อาร์บูติน (Alpha Arbutin)

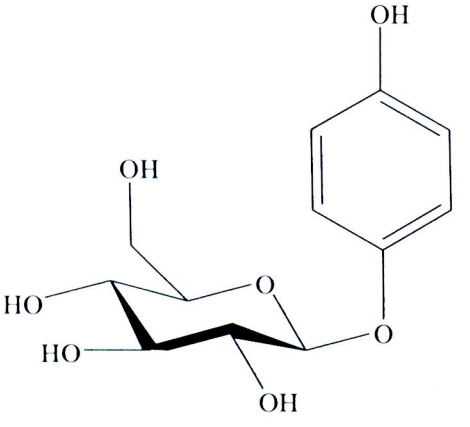
อัลฟา อาร์บูติน คืออนุพันธ์ของสารไฮโดรควิโนน โดยโครงสร้างแสดงดังภาพ 4 นิยมใช้กันมากในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางหรือผลิตภัณฑ์บำรุงผิวต่างๆ อัลฟา อาร์บูติน เป็นสารสกัดที่ได้จากพืชหลายชนิด เช่น Mulberry (คณิต, 2553)

จากการวิจัยพบว่า อัลฟา อาร์บูติน สามารถไปหยุดขบวนการสร้างเม็ดสีเมลานินที่เซลล์ผิวหนังได้ โดยไปยับยั้งเอ็นไซม์ Tyrosinase ซึ่งเอ็นไซม์นี้จะไปเปลี่ยนสาร Tyrosine และ Dopa ให้เป็นเมลานิน เนื่องจาก Tyrosine มีอยู่ในทั้งพืชและสัตว์ ตัวอย่างการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Tyrosine ในพืช เช่น เมื่อวางมะม่วงทิ้งไว้จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Tyrosine ทำให้มะม่วงมีสีคล้ำดำขึ้น (Nordlund and Ortonne, 2006)

ถึงแม้ สารอัลฟา อาร์บูติน จะเป็นอนุพันธ์ของสารไฮโดรควิโนน แต่ความปลอดภัยในการรักษาผิว นั้นต่างกันมาก เพราะอาร์บูติน ได้มาจากการรวมตัวของ กลูโคสและไฮโดรควิโนน

จึงสามารถใช้รักษาผิวได้ในระยะเวลาที่ยาวนานได้โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย จึงไม่อยู่ในกลุ่มสารเคมีควบคุม (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2554)

ด้วยเหตุนี้ อัลฟา อาร์บูติน จึงได้รับความนิยมสูงมากและมักเป็นส่วนผสมหลักที่มีอยู่ในครีมบำรุงราคาแพงทั้งหลาย แต่โดยส่วนมากแล้วมักจะผสม เบต้า อาร์บูติน เนื่องจากมีราคาถูกกว่า ซึ่งก็ให้ผลที่น้อยกว่า อัลฟา อาร์บูติน ประมาณ 20% (Chakraborty et al., 1998)



ภาพ 4 โครงสร้างของอัลฟา อาร์บูติน

สายหยุด

สายหยุด (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2553)

ชื่อภาษาไทย	สายหยุด
ชื่ออื่นๆ	กล้วยเครือ เครือเขาแกลบ สาวหยุด เสลา
ชื่อวิทยาศาสตร์	*Desmos chinensis* Lour.
ชื่อพ้อง	Unona discolor Vahl
วงศ์	Annonaceae

แหล่งที่พบ

สายหยุดพบในประเทศจีน เพราะถิ่นกำเนิด ดั้งเดิมของสายหยุดอยู่ตอนใต้ของจีน ตลอดจนเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ส่วนที่เป็นแผ่นดินใหญ่ ต่อลงไปถึงแหลมมลายู (ประเทศมาเลเซีย) ซึ่งประเทศไทยก็เป็นแหล่งกำเนิดดั้งเดิมของสายหยุดด้วย (เดชา, 2554) และในประเทศไทย สามารถพบได้ทั่วไป ในป่าเบญจพรรณชื้น ป่าดงดิบ ทุกภาค

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

สายหยุดเป็นไม้เลื้อยกึ่งไม้ยืนต้น มีเถาหรือต้นใหญ่แข็งแรง สามารถเลื้อยพันเกาะต้นไม้หรือสิ่งอื่นไปได้ไกลตั้งแต่ 5-8 เมตร มักแตกกิ่งก้านสาขามากในบริเวณส่วนยอด และแผ่สาขาออกไปเป็นบริเวณกว้าง ใบสีเขียวเข้ม รูปรีขอบขนานปลายใบแหลม ออกใบสลับกันตรงข้ามตามข้อต้นขนาดใบยาวประมาณ 12-14 เซนติเมตร (วชัย, 2545) ดังภาพ 5

ภาพ 5 ลักษณะดอกและใบของต้นสายหยุด

ดอกออกเป็นดอกเดียว ตามข้อต้นโคนก้านใบ และตามตาติดกับกิ่งหรือลำต้น ดอกมีลักษณะคล้ายดอกกระดังงาไทย กลีบเลี้ยงยาวดอกละ 5 กลีบ แต่ละกลีบจะบิดงออย่างกระดังงาไทย เมื่ออ่อนดอกเป็นสีเขียว และเมื่อแก่จัดหรือบานเต็มที่ดอกจะออกสีเหลือง จะออกดอกตลอดทั้งปี ดอกไม้ชนิดนี้ส่งกลิ่นหอมจัดในตอนเช้าตรู่ พอสายกลิ่นจะค่อยลดกลิ่นหอมลงและหมดกลิ่นเมื่อใกล้เที่ยงวัน

การขยายพันธุ์

พันธุ์ไม้ชนิดนี้ขยายพันธุ์ ด้วยวิธีเพาะเมล็ดหรือตอน แต่ก็เป็นต้นไมที่ตอนออกรากยาว และตายง่ายกว่าต้นที่ปลูกจากเมล็ด เป็นพันธุ์ไม้กลางแจ้ง ควรปลูกบนที่ซึ่งน้ำท่วมไม่ถึง ในสภาพดินอันชุ่มชื้น สายหยุดเป็นไม้ที่เติบโตช้า ปลูกโดยใช้เมล็ดและบำรุงเต็มที่ประมาณ 3-4 ปี จึงจะมีดอก

ด้านการเป็นไม้ประดับ ความน่าสนใจของไม้ต้นนี้ คือ เป็นไม้เถาขนาดเล็ก มีใบเขียวตลอดปี ดอกหอมแรงช่วงเช้าเท่านั้น และออกดอกตลอดปี สามารถปลูกเป็นไม้เลื้อยซุ้มหรือตัดแต่งทรงพุ่มก็ได้ เพาะกล้าจากเมล็ดหรือปักชำหรือตอนกิ่งได้ ปลูกและบำรุงได้ง่าย เติบโตเร็ว ต้องการแสงแดดเต็มที่ ในการปลูกเป็นไม้ประดับในป่าอนุรักษ์ไม่ขัดกับหลักการจัดการอุทยานแห่งชาติ เพราะว่าเป็นไม้ท้องถิ่นดอกหอมชนิดหนึ่ง ใช้พื้นที่ปลูกไม่กว้างขวางนัก สามารถปรับแต่งให้เหมาะสมกับความต้องการในการปลูกได้ง่าย

สรรพคุณ

รากใช้แก้บิด แก้ไข้ ดอกใช้แก้ไข้ บำรุงหัวใจ แก้ลมวิงเวียน (Kummee and Intaraksa, 2008)

ข้อมูลการวิจัยที่สำคัญ

ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา สามารถต้านเชื้อแบคทีเรีย (Jianhua and Jingguang, 1999) ยับยั้งเอนไซม์ HIV-reverse transcriptase (Wu et al., 2003)

การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent extraction)

การสกัดด้วยตัวทำละลาย (ธวัชชัย, 2553) สามารถทำได้โดยใช้ตัวทำละลายของเหลวชนิดหนึ่งสกัดตัวถูกละลายออกจากของเหลวชนิดหนึ่งมีชื่อเรียกวิธีการสกัดนี้ว่า การสกัดของเหลว้ด้วยของเหลว (liquid-liquid extraction) ถ้าการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายของเหลวชนิดเดียวสกัดตัวถูกละลายออกจากสารตัวอย่างของแข็ง จะเรียกการสกัดนี้ว่า การสกัดของแข็งด้วยของเหลว (Solid-liquid extraction) การสกัดจะเกิดขึ้นดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับการละลายของตัวถูกละลายในตัวทำละลาย ถ้าตัวถูกละลายสามารถละลายได้น้อย จำเป็นต้องใช้เทคนิคการสกัดที่ทำได้อย่างต่อเนื่องและใช้ตัวทำละลายเพียงเล็กน้อย จะเห็นได้ว่าเทคนิคการสกัดมีได้หลายวิธี การสกัด

จะเลือกใช้เทคนิคและวิธีการใดขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของการสกัดหรือชนิดของตัวทำละลายและตัวถูกละลาย

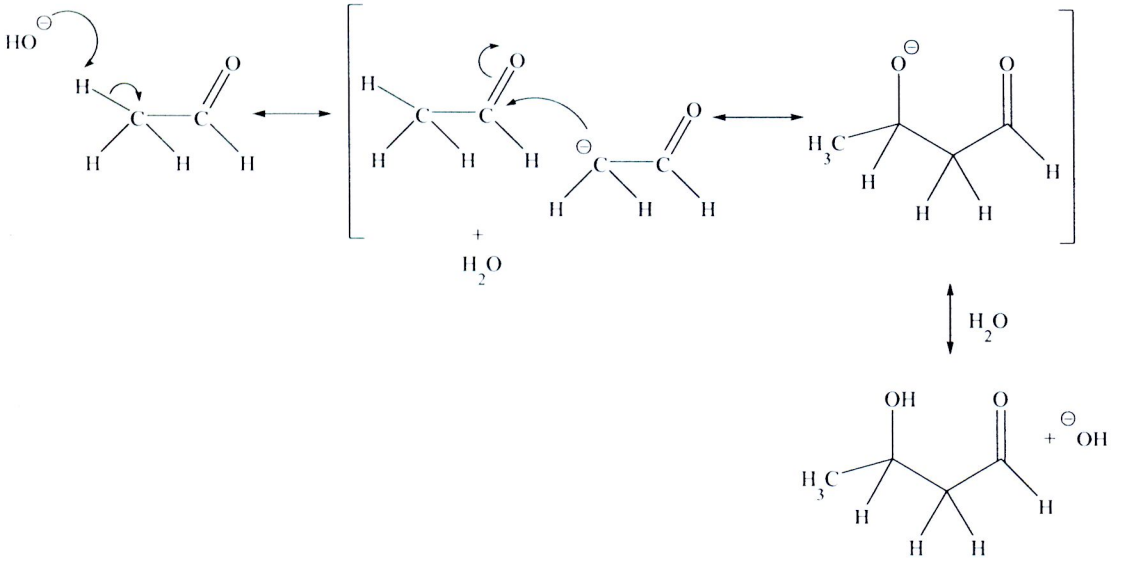
การสกัดของแข็ง (Extraction of solids)

ถ้าสารที่สนใจสกัดอยู่ในสารตัวอย่างที่เป็นของแข็งสามารถทำการสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลว เรียกการสกัดนี้ว่า การสกัดของแข็งด้วยของเหลว (Solid-liquid extraction) การสกัดจะทำได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับการละลายของตัวถูกละลายในตัวสกัดหรือตัวทำละลายของเหลวและเวลาที่ใช้ในการสกัด เวลาที่ใช้จะสั้นหรือนานขึ้นอยู่กับลักษณะของสารที่สนใจที่มีอยู่ในสารตัวอย่างของแข็ง ถ้าสารที่สนใจเพียงดูดซับที่ผิวของของแข็ง การสกัดจะใช้เวลาน้อย แต่ถ้าสารที่สนใจอยู่ในสารตัวอย่างของแข็ง จะต้องใช้เวลามากกว่า และถ้าปรากฏว่าการกระจายตัวของตัวทำละลายสู่ภายในของแข็งเกิดขึ้นได้ช้ามาก จำเป็นต้องบดของแข็งให้ละเอียดก่อนการสกัด การสกัดของแข็งหรือการทำ Solid-liquid extraction สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการสกัดสารทางชีววิทยา สารอินทรีย์ ตลอดจนเกลือของสารอินทรีย์ได้ ตัวอย่างเช่น การสกัดแยกแคลเซียมออกจากสทรอนเซียม ถ้าแคลเซียมอยู่ในรูปของเกลือไนเตรตจะสกัดแยกออกจากสารตัวอย่างได้โดยใช้แอลกอฮอล์ที่บริสุทธิ์ผสมกับเอทิลอีเทอร์หรือถ้าต้องการแยกโซเดียมออกจากโพแทสเซียม ทำได้โดยสกัดเกลือโซเดียมเปอร์คลอเรตออกจากสารตัวอย่างด้วยเอทิลอะซิเตต เป็นต้น

วิธีการสกัดของแข็งสามารถทำได้โดย ถ้าสารที่สนใจในสารตัวอย่างของแข็งเพียงแค่ดูดซับที่ผิวและการละลายของตัวถูกละลายในตัวสกัดมีค่าสูง การสกัดสามารถทำได้อย่างง่ายๆ คือนำสารตัวอย่างใส่ลงในบีกเกอร์หรือขวดปากกว้างแล้วเติมตัวสกัดหรือตัวทำละลายลงไป จากนั้นคนด้วยเครื่องคน ถ้าขวดปากกว้างที่มีฝาปิดสนิทได้ก็สามารถใช้เครื่องเขย่า เมื่อคนเป็นเวลานานพอจนแน่ใจว่าตัวถูกละลายละลายในตัวสกัดหมดแล้ว ให้ใช้วิธีกรองของแข็งออกจากสารละลาย ด้วยเทคนิคนี้ก็สามารถแยกตัวถูกละลายออกจากสารตัวอย่างของแข็งได้ เทคนิคนี้เหมาะสำหรับใช้ในการแยกสารประกอบประเภทเกลือของสารอนินทรีย์และเป็นเทคนิคที่สำคัญในกระบวนการชะละลาย (ธวัชชัย, 2553)

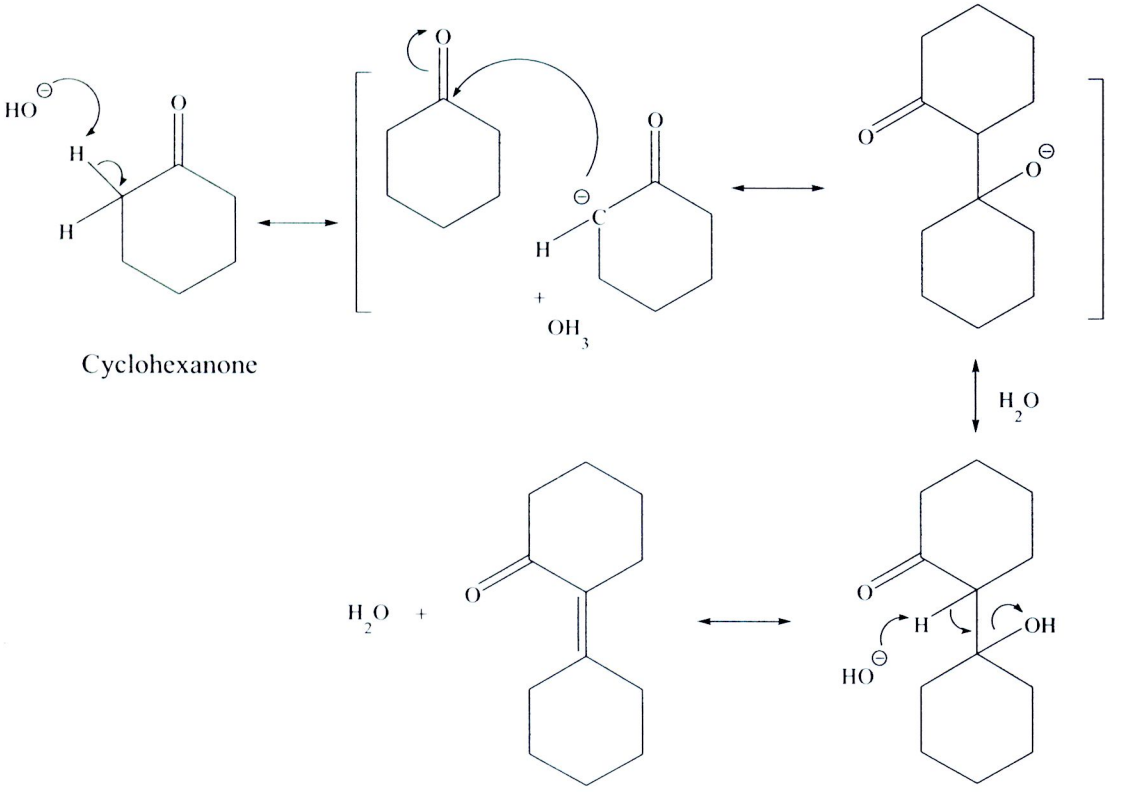
ปฏิกิริยาการควบแน่นแบบอัลดอล (Aldol condensation)

ปฏิกิริยาการควบแน่นแบบอัลดอล เกิดเมื่อ aldehyde หรือ ketone ที่มี α-hydrogen เปลี่ยนเป็น enolate ion และทำหน้าที่เป็น nucleophile เพิ่มเข้าไปที่ aldehyde หรือ ketone อีกโมเลกุลหนึ่ง เกิดสารผลิตภัณฑ์คือ β-hydroxy carbonyl หรือที่เรียกกันว่า aldol (สลิลทิพย์และวรินทร, 2548.) ดังภาพ 6



ภาพ 6 ปฏิกิริยาการควบแน่นแบบอัลดอล

สาร β-hydroxy aldehyde หรือ ketone ที่เกิดขึ้น ถ้ายังมี α-hydrogen เหลืออยู่จะสูญเสียโมเลกุลของน้ำได้ง่ายโดยเกิดเป็นสารที่ไม่อิ่มตัวโดยมีพันธะที่ตำแหน่ง α, β เรียกว่า α, β-unsaturated aldehyde หรือ ketone ภาพ 7 แสดงปฏิกิริยาการควบแน่นแบบอัลดอล ของ Cyclohexanone



ภาพ 7 ปฏิกิริยาการควบแน่นแบบอัลดอล ของ Cyclohexanone

โครมาโทกราฟี (Chromatography)

โครมาโทกราฟี (มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2553) การแยกสารผสมที่มีสีหรือสารที่สามารถทำให้เกิดสีได้ วิธีการนี้จะมีเฟส 2 เฟส คือ เฟสอยู่กับที่ (stationary phase) กับเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) โดยที่สารในเฟสอยู่กับที่จะทำหน้าที่ดูดซับ (adsorb) สารผสมด้วยแรงไฟฟ้าสถิตย์ สารที่ใช้ทำเฟสอยู่กับที่จึงมีลักษณะเป็นผงละเอียดมีพื้นที่ผิวมาก เช่น อลูมินา (alumina: Al_2O_3) ซิลิกาเจล (silica gel: SiO_2) หรืออาจจะใช้วัสดุที่สามารถดูดซับได้ดี เช่น ชอล์ก กระดาษ ซึ่งสารที่ทำหน้าที่ดูดซับในเฟสอยู่กับที่ เช่น น้ำ ส่วนเฟสเคลื่อนที่จะทำหน้าที่ชะ (elute) เอาสารผสมออกจากเฟสอยู่กับที่ให้เคลื่อนที่ไปด้วย การจะเคลื่อนที่ได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดระหว่างสารในสารผสมกับตัวดูดซับในเฟสอยู่กับที่ สารที่ใช้เป็นเฟสเคลื่อนที่ ได้แก่ พวกตัวทำละลาย เช่น ปิโตรเลียมอีเทอร์ เฮกเซน คลอโรฟอร์ม เบนซีน ฯลฯ การทำโครมาโทกราฟีสามารถทำได้หลายวิธี จะแตกต่างกันที่เฟสอยู่กับที่ว่าอยู่ในลักษณะใด

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

หลักการของโครมาโทกราฟี

โครมาโทกราฟี อาศัยหลักการละลายของสารในตัวทำละลายและการถูกดูดซับโดยตัวดูดซับ โดยสารที่ต้องการนำมาแยกโดยวิธีนี้จะมีสมบัติการละลายในตัวทำละลายได้ไม่เท่ากันและตัวถูกดูดซับโดยตัวดูดซับได้ไม่เท่ากัน ทำให้สารเคลื่อน ที่ได้ไม่เท่ากัน

วิธีการทำโครมาโทกราฟี

นำสารที่ต้องการแยกมาละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสมแล้วให้เคลื่อนที่ไปบนตัวดูดซับ การเคลื่อนที่ของสารบนตัวดูดซับขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายของ สารแต่ละชนิดในตัวทำละลาย และความสามารถในการดูดซับที่มีต่อสารนั้น กล่าวคือสารที่ละลายในตัวทำละลายได้ดี และถูกดูดซับน้อยจะถูกเคลื่อนที่ออกมาก่อน ส่วนสารที่ละลายได้น้อยและถูกดูดซับได้ดีจะเคลื่อนที่ ออกมาทีหลัง ถ้าใช้ตัวดูดซับมากๆ จะสามารถแยกสารออกจากกันได้

การเลือกตัวทำละลายและตัวดูดซับ

1. ตัวทำละลายและสารที่ต้องการแยกจะต้องมีการละลายไม่เท่ากัน
2. ควรเลือกตัวดูดซับที่มีการดูดซับสารได้ไม่เท่ากัน
3. ถ้าต้องการแยกสารที่ผสมกันหลายชนิด อาจต้องใช้ตัวทำละลายหลายชนิดหรือใช้ตัวทำละลายผสม
4. ตัวทำละลายที่นิยมใช้ ได้แก่ เฮกเซน ไซโคลเฮกเซน เบนซีน อะซีโตน
5. ตัวดูดซับที่นิยมใช้ ได้แก่ อะลูมินา (Al_2O_3) ซิลิกาเจล (SiO_2)

ค่า R_f (Rate of flow)

โครมาโทกราฟีแบบกระดาษสามารถนำมาคำนวณหาค่า R_f ได้ ค่า R_f เป็นค่าเฉพาะตัวของสาร ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวทำละลายและตัวดูดซับ ดังนั้นการบอกค่า R_f ของสารแต่ละชนิดจึงต้องบอกชนิดของตัวทำละลาย และตัวดูดซับเสมอค่า R_f สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$R_f = \frac{\text{ระยะทางที่สารเคมีคลื่อนที่ (cm)}}{\text{ระยะทางที่ตัวทำละลายเคลื่อนที่ (cm)}}$$

สารต่างชนิดกันจะมีค่า R_f แตกต่างกัน เพราะฉะนั้นเราจึงสามารถใช้ค่า R_f มาใช้ในการวิเคราะห์ชนิดของสารได้ กล่าวคือ ถ้าสารใดมีความสามารถในการละลายสูงจะมีค่า R_f มาก เนื่องจากตัวทำละลายจะเคลื่อนที่เร็วกว่าสารที่จะแยก ค่า $R_f < 1$ เสมอ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 18 ต.ค. 2555
เลขทะเบียน 250412

ถ้าใช้ตัวทำละลายและตัวดูดซับชนิดเดียวกันปรากฏว่ามีค่า R_f เท่ากัน อาจสันนิษฐานได้ว่า สารดังกล่าวเป็นสารชนิดเดียวกัน หรือนำสารตัวอย่างมาทำโครมาโทกราฟีคู่กับสารจริงก็ได้

ข้อดีของโครมาโทกราฟี

1. สามารถแยกสารที่มีปริมาณน้อยได้
2. สามารถแยกได้ทั้งสารที่มีสี และไม่มีสี
3. สามารถใช้ได้ทั้งปริมาณวิเคราะห์ (บอกได้ว่าสารที่แยกออกมา มีปริมาณเท่าใด) และคุณภาพวิเคราะห์ (บอกได้ว่าสารนั้นเป็นสารชนิดใด)
4. สามารถแยกสารผสมออกจากกันได้
5. สามารถแยกสารออกจากกระดาษกรองหรือตัวดูดซับโดยสกัดด้วยตัวทำละลาย

ประเภทของโครมาโทกราฟี

1. โครมาโทกราฟีแบบคอลัมน์ (Column chromatography) ทำได้โดยการบรรจุสารที่เป็นเฟสอยู่กับที่ เช่น อลูมินาหรือซิลิกาเจลไว้ในคอลัมน์ แล้วเทสารผสมที่เป็นสารละลายของเหลว ลงสู่คอลัมน์ สารผสมจะผ่านคอลัมน์ช้าๆ โดยตัวทำละลายซึ่งเป็นเฟสเคลื่อนที่ เป็นผู้พาไป สารในเฟสอยู่กับที่จะดูดซับสารในสารผสมไว้ส่วนประกอบใดของสารผสมที่ถูกดูด ซับได้ดีจะเคลื่อนที่ช้า ส่วนที่ถูกดูดซับไม่ดีจะเคลื่อนที่ได้เร็ว ทำให้สารผสมแยกจากกันได้

2. โครมาโทกราฟีแบบชั้นบาง (Thin layer chromatography) เป็นโครมาโทกราฟีแบบระนาบ (plane chromatography) โดยทำเฟสอยู่กับที่ให้มีลักษณะเป็นครีมข้น แล้วเคลือบบนแผ่นกระจกให้ความหนาของการเคลือบเท่ากันตลอดแล้วนำไปอบให้แห้ง หยดสารละลายของสารผสมที่ต้องการแยกบนแผ่นที่เคลือบเฟสอยู่กับที่นี้ไว้ แล้วนำไปจุ่มในภาชนะที่บรรจุตัวทำละลายที่เป็นเฟสเคลื่อนที่ไว้ โดยให้ระดับของตัวทำละลายต้องอยู่ต่ำกว่าระดับของจุดที่หยดสารผสมไว้ ตัวทำละลายจะซึมไปตามเฟสอยู่กับที่ด้วยการซึมตามรูเล็กเหมือนกับน้ำที่ซึมไปในกระดาษหรือผ้า เมื่อซึมถึงจุดที่หยดสารผสมไว้ ตัวทำละลายจะชะเอาองค์ประกอบในสารผสมนั้นไปด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพมีขั้ว (polarity) ของสารที่เป็นองค์ประกอบกับสารที่เป็นตัวทำละลาย ถ้าตัวทำละลายเป็นโมเลกุลมีขั้ว (polar molecules) จะชะเอาสารในสารผสมที่เป็นสารมีขั้วไปด้วยได้เร็ว ส่วนสารที่ไม่มีขั้วในสารผสมจะถูกชะพาไปได้ช้า สารผสมก็จะแยกออกจากกัน

3. โครมาโทกราฟีแบบกระดาษ (Paper chromatography) เป็นโครมาโทกราฟีแบบระนาบอีกแบบหนึ่ง มีวิธีการและหลักการเหมือนกับโครมาโทกราฟีแบบชั้นบาง แตกต่างกันที่เฟสอยู่กับที่ใช้กระดาษที่สามารถดูดซับได้แทนกระจกที่เคลือบ ด้วยซิลิกาเจล

4. โครมาโทกราฟีแบบแก๊ส (gas chromatography, GC) ใช้สำหรับแยกสารผสมที่เป็นแก๊ส โดยมีเฟสเคลื่อนที่เป็นแก๊สเช่นกันแต่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารผสม เช่น ฮีเลียม จะทำหน้าที่เป็นตัวพา (carier) สารผสม ส่วนเฟสอยู่กับที่อาจจะเป็นของแข็งหรือของเหลวที่บรรจุอยู่ในคอลัมน์ เมื่อทั้งตัวพาและสารผสมเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์นี้ เฟสอยู่กับที่ในคอลัมน์จะดึงดูดด้วยแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตย์ตามความเป็นขั้วของสารกับโมเลกุลในสารผสมทำให้องค์ประกอบในสารผสมถูกพาไปด้วยอัตราเร็วที่ต่าง กัน สารผสมก็จะแยกออกจากกัน

ปัจจุบันเทคนิคของโครมาโทกราฟีได้ถูกพัฒนาให้สามารถทำงานได้รวดเร็ว และใช้แยกสารตัวอย่างได้ครั้งละหลายสารตัวอย่าง เช่น Gas - Liquid Chromatography (GLC), High Performance Liquid Chromatography (HPLC) เป็นต้น

อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Infrared Spectroscopy)

อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2553) ใช้ศึกษาโครงสร้างและพันธะของสารประกอบอินทรีย์ที่โมเลกุลมีพันธะแบบโคเวเลนต์และมีการเปลี่ยนโมเมนต์ขั้วคู่ (dipole moment) โมเลกุลเนื่องจากการสั่น (vibration) หรือการหมุน (rotation)

แสงอินฟราเรด ช่วยทำให้โมเลกุลสั่น ใช้ในการวิเคราะห์ของผสมพวกไฮโดรคาร์บอน แบ่งช่วงอินฟราเรดสเปกตรัมออกเป็น 3 ช่วง คือ

1. ช่วงใกล้อินฟราเรด (Near IR region) หรือ overtone region เริ่มที่เลขคลื่น 12800 ถึง 4000 ต่อเซนติเมตร เป็นช่วงที่ ใช้ในการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันและศึกษาโครงสร้างโมเลกุล

2. ช่วงกลางอินฟราเรด (Middle IR region) หรือ fundamental region เริ่มที่เลขคลื่น 4000 ถึง 200 ต่อเซนติเมตร ช่วงนี้ใช้ประโยชน์ในการทำคุณภาพวิเคราะห์

3. ช่วงไกลอินฟราเรด (Far IR region) ไม่ค่อยใช้ในการวิเคราะห์ เนื่องจากสเปกตรัมนี้มักจะเกิดการสั่นของโครงสร้าง (molecular structure) หรือเกิดจากการหมุนของโมเลกุล ทำให้อ่านค่าได้ยาก

หลักการดูดกลืนแสง IR ของโมเลกุล

แสง IR จะทำให้โมเลกุลเกิดการสั่น (vibration) หรือเกิดการหมุน (rotation) รวมทั้งการดูดกลืนแสงของโมเลกุลจะไม่เกิดหมดทุกโมเลกุล แต่ต้องมีลักษณะเฉพาะ และสภาวะที่เหมาะสม คือ

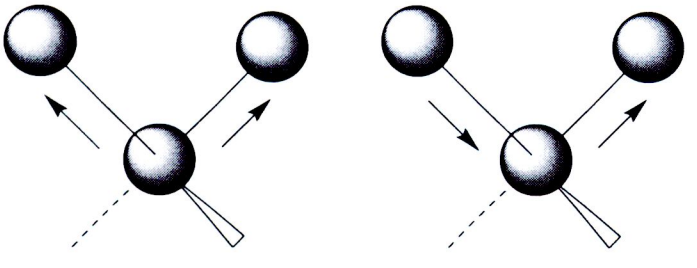
1. รังสีหรือแสงที่เกิดขึ้นนั้น จะต้องมีพลังงานที่พอเหมาะ (quantise) หรือเพียงพอที่จะทำให้เกิดแทรนซิชัน (transition) ได้

2. จะต้องเกิดแรงควบคู่ (coupling) พอดี ระหว่างสนามไฟฟ้ากับสารนั้น รวมทั้งเมื่อมีการดูดกลืนพลังงานแล้วจะทำให้เกิดโมเมนต์ขั้วคู่ (dipole moment) ของโมเลกุลนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลง

ชนิดของการโมเลกุลที่มีการสั่น (Types of Molecular Vibrations)

การสั่นของโมเลกุลมี 2 แบบ ได้แก่ การยืด และการงอ

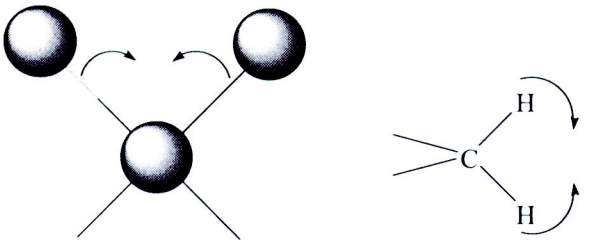
1. การสั่นแบบยืด (Stretching Vibration) เกิดจากการเปลี่ยนระยะห่างระหว่างอะตอมทั้ง 2 อะตอม โมเลกุลที่มีสามอะตอมก็เกิดการสั่นแบบยืด ดังภาพ 8



ภาพ 8 การสั่นของโมเลกุลแบบยืด

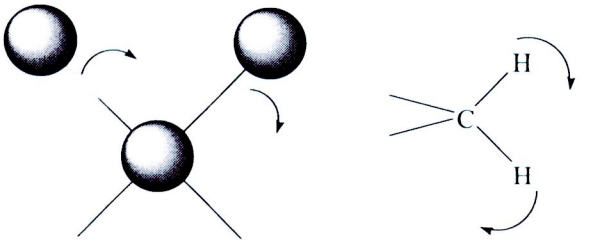
2. การสั่นแบบงอ (Bending Vibration) การสั่นแบบงอแบ่งได้เป็น 4 แบบ

2.1 ซิสซอริงจ์ (scissoring) เกิดจาก 2 อะตอมที่ต่อกับอะตอมตรงกลางเคลื่อนที่เข้าหากันหรือออกจากกันในระนาบของโมเลกุล ดังภาพ 9



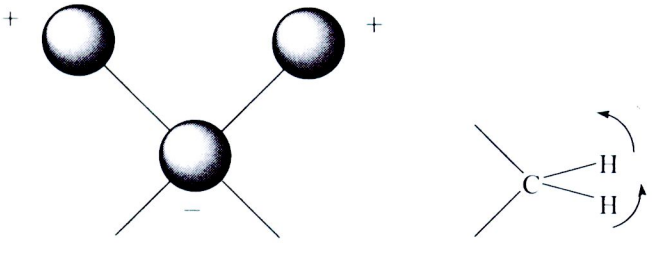
ภาพ 9 การสั่นของโมเลกุลแบบซิสซอริงจ์ (scissoring)

2.2 ร็อคกิงจ์ (rocking) เกิดจาก 2 อะตอมที่ต่อกับอะตอมตรงกลางแกว่งไปด้านข้างในระนาบของโมเลกุล ดังภาพ 10



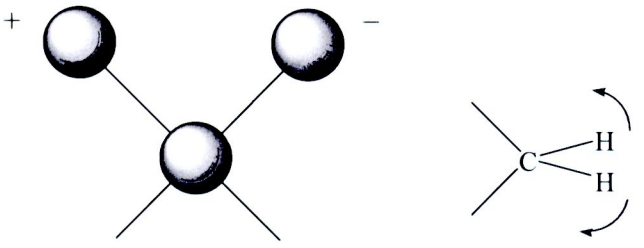
ภาพ 10 การสั่นของโมเลกุลแบบร็อคกิงจ์ (rocking)

2.3 แวจจิงจ์ (wagging) เกิดจาก 2 อะตอมที่ต่อกับอะตอมตรงกลางแกว่งไปข้างหลังและข้างหน้านอกระนาบของโมเลกุล ดังภาพ 11



ภาพ 11 การสั่นของโมเลกุลแบบแวจจิงจ์ (wagging)

2.4 ทวิสติงจ์ (twisting) เกิดจาก 2 อะตอมที่ต่อกับอะตอมตรงกลาง หมุนรอบพันธะนอกระนาบของโมเลกุล ดังภาพ 12



ภาพ 12 การสั่นของโมเลกุลแบบทวิสติงจ์ (twisting)

ส่วนประกอบของเครื่อง IR

ภาพ 13 ส่วนประกอบของเครื่อง IR

1. ต้นกำเนิดแสงอินฟราเรด (IR sources) ที่ใช้กันทั่วไปนั้นเป็นของแข็งที่เฉื่อย ซึ่งสามารถเผาให้ร้อนด้วยไฟฟ้าจนมีอุณหภูมิประมาณ 1,500-2,000 K ได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะให้แสงมีความเข้มสูงสุดที่ความถี่ประมาณ 3,000 cm^{-1}

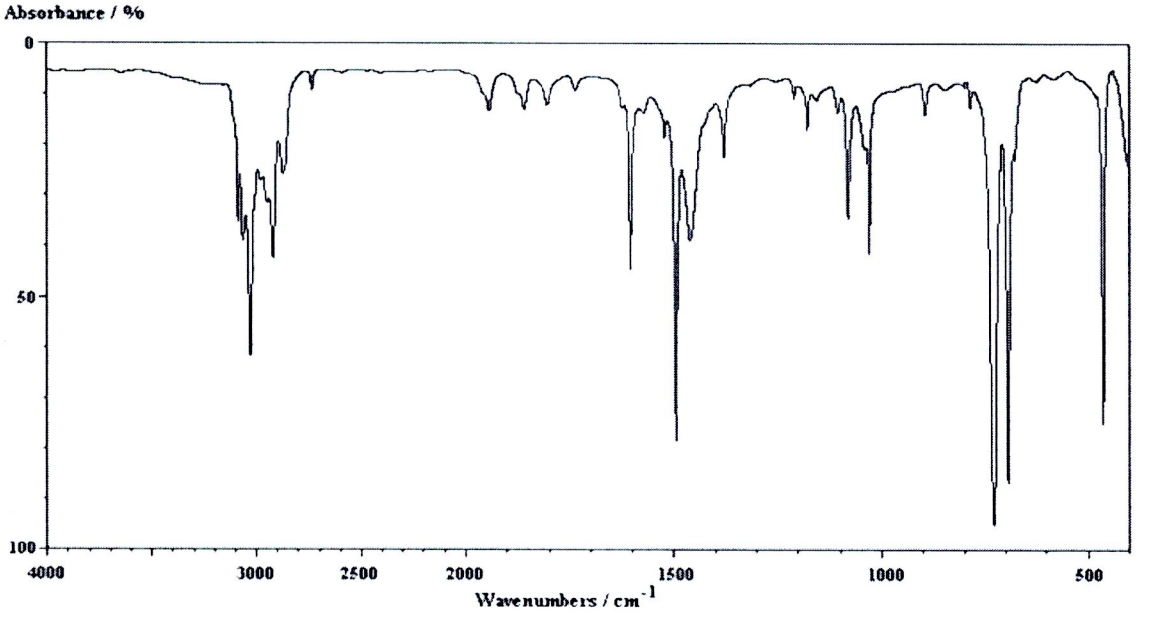
2. โมโนโครเมเตอร์ ประกอบด้วยช่องแสงผ่าน (Slits) เกรตติง (Grating) หรืออาจมีฟิลเตอร์ (Filter) ประกอบด้วยก็ได้

3. เครื่องวัดแสงอินฟราเรด (IR detectors) แบ่งออกได้เป็น 2 พวก คือ

3.1 อาศัยหลักการทาง Photoconductive effect ซึ่งเกิดขึ้นเช่นเดียวกับสารกึ่งตัวนำ เป็นแบบ Photon detector

3.2 อาศัยหลักการ Heating effect โดยที่แสงอินฟราเรดถูกดูดกลืนจะเกิดความร้อนขึ้นแล้วทำให้ความต้านของเส้นลวดในเครื่องวัดการเปลี่ยนแปลง เรียกว่า Thermal Detector ซึ่งใช้เป็นเครื่องวัดที่ครอบคลุมความยาวคลื่นได้กว้างขวาง

4. เครื่องบันทึกสเปคตรัม (Read out devices) สัญญาณที่อ่านได้เป็นสัญญาณที่น้อย จำเป็นจะต้องเข้าเครื่องขยายสัญญาณเสียก่อนที่จะเข้าเครื่องบันทึกหรือ เครื่องอ่านสัญญาณ อาจเป็นเครื่อง Recorders, Printers, Video display terminals หรือ XY plotters เป็นต้น โดยลักษณะสเปคตรัมของ $C_6H_5CH_3$ เครื่อง IR แสดงดังภาพ 14



ภาพ 14 ลักษณะสเปคตรัมของ $C_6H_5CH_3$ โดยเครื่อง IR

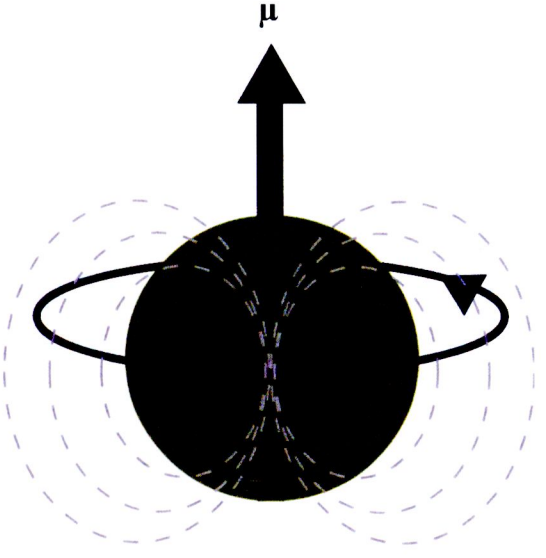
นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี (Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy)

นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี (มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2553) เป็นการศึกษาโครงสร้างของโมเลกุลโดยอาศัยอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงคลื่นวิทยุกับนิวเคลียส ที่วางตัวอยู่ในสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มข้นสูง ใช้ประโยนช์ในการศึกษาสูตรโครงสร้างของสาร

นิวเคลียสหลายชนิดที่ถูกนำมาศึกษาด้วย NMR ได้แก่ ^{1}H, ^{13}C, ^{15}N, ^{17}O, ^{19}F, ^{31}P เป็นต้น

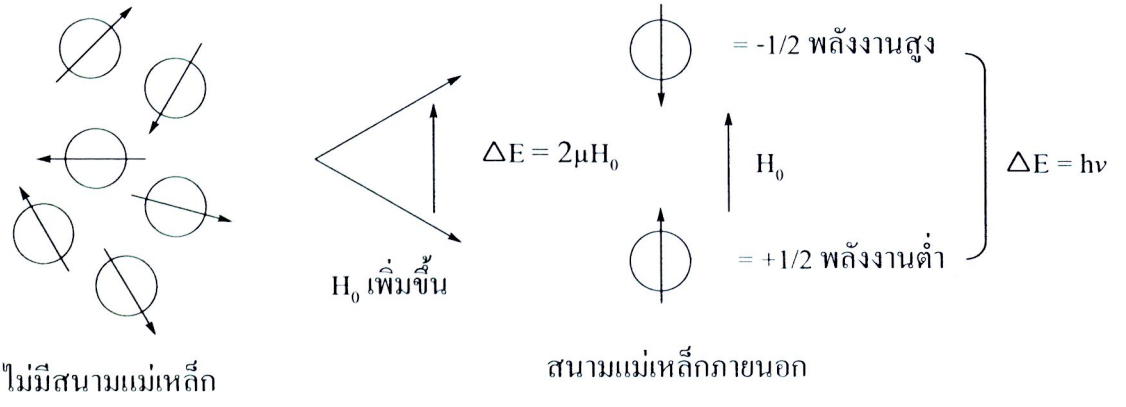
หลักการ

นิวเคลียสของอะตอมบางชนิดที่แสดงปรากฏการณ์ของ NMR จะมีประจุหมุนรอบแกนของนิวเคลียสในขณะที่หมุนประจุจะกระจายเป็นวงกลม จากความรู้ทางฟิสิกส์ อนุภาคที่มีประจุเมื่อหมุนรอบตัวเองจะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้น ดั้งนั้นนิวเคลียสของอะตอมที่หมุนรอบตัวเองได้จึงมีสมบัติเป็นแท่งแม่เหล็กเล็กๆ เรียกว่า แม่เหล็กนิวเคลียส (nuclear magnet) สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น เรียกว่า แมกเนติกโมเมนต์ (magnetic moment) ภาพ 15 แสดงสนามแม่เหล็ก (μ) ซึ่งเกิดจากการหมุนของประจุนิวเคลียส



ภาพ 15 สนามแม่เหล็ก (μ) ซึ่งเกิดจากการหมุนของประจุนิวเคลียส

ถ้านำแม่เหล็กนิวเคลียสไปวางในสนามแม่เหล็กภายนอกแม่เหล็กนิวเคลียส จะจัดตัวอยู่ใน 2 ลักษณะ คือ จัดตัวตามทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็ก (พลังงานต่ำ) หรือจัดตัวตามทิศทางตรงข้ามกับสนามแม่เหล็ก (พลังงานสูง) แสดงดังภาพ 16



ภาพ 16 การวางตัวของแม่เหล็กนิวเคลียสในสนามแม่เหล็ก

ความแตกต่างของพลังงาน (E) ระหว่างการจัดตัวทั้ง 2 แบบจะเป็นไปตามสมการ

$$\Delta E = h\nu$$

เมื่อนำแม่เหล็กนิวเคลียสไปวางในสนามแม่เหล็ก แล้วให้พลังงานในช่วงความถี่วิทยุ จะเกิดการเปลี่ยนแปลง คือ แม่เหล็กนิวเคลียสที่มีพลังงานต่ำจะดูดกลืนพลังงานแล้วขึ้นไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูง แม่เหล็กนิวเคลียสที่มีพลังงานสูงจะถูกกระตุ้นให้คายพลังงานออกมาแล้วลงไปอยู่ในระดับพลังงานที่ต่ำ การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จะเกิดขึ้นได้เมื่อ $\Delta E = h\nu$ เรียกว่าเกิดเรโซแนนซ์ (resonance)

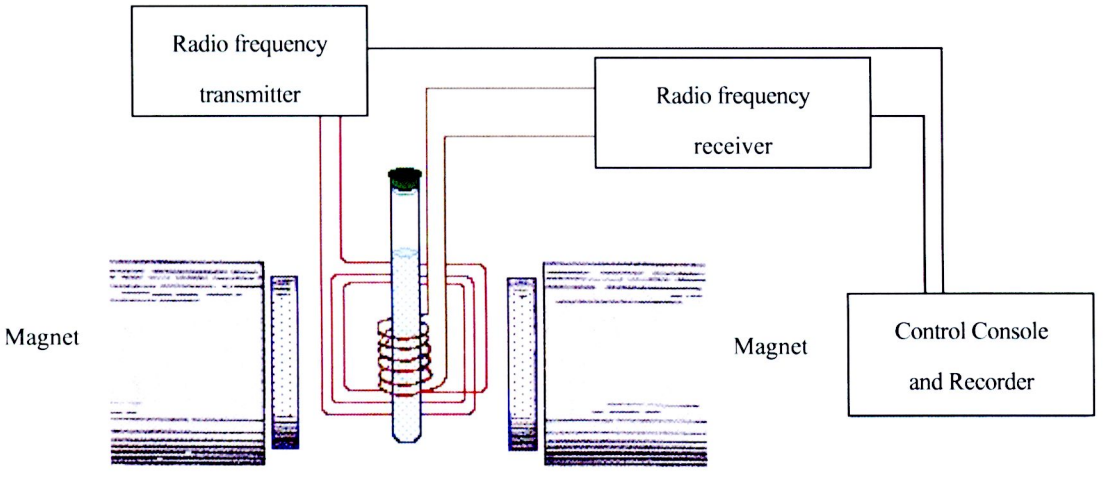
ส่วนประกอบของเครื่อง นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรมิเตอร์

แม่เหล็กซึ่งให้สนามแม่เหล็กที่มีความเข้มข้นสม่ำเสมอ และมี sweep generator ทำหน้าที่เปลี่ยนความเข้มสนามแม่เหล็กในช่วงแคบๆอย่างต่อเนื่องและถูกต้อง ภาพ 17 แสดงส่วนประกอบของเครื่อง นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโทรมิเตอร์ และภาพ 18 แสดงลักษณะสเปคตรัมของเครื่อง นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโทรมิเตอร์

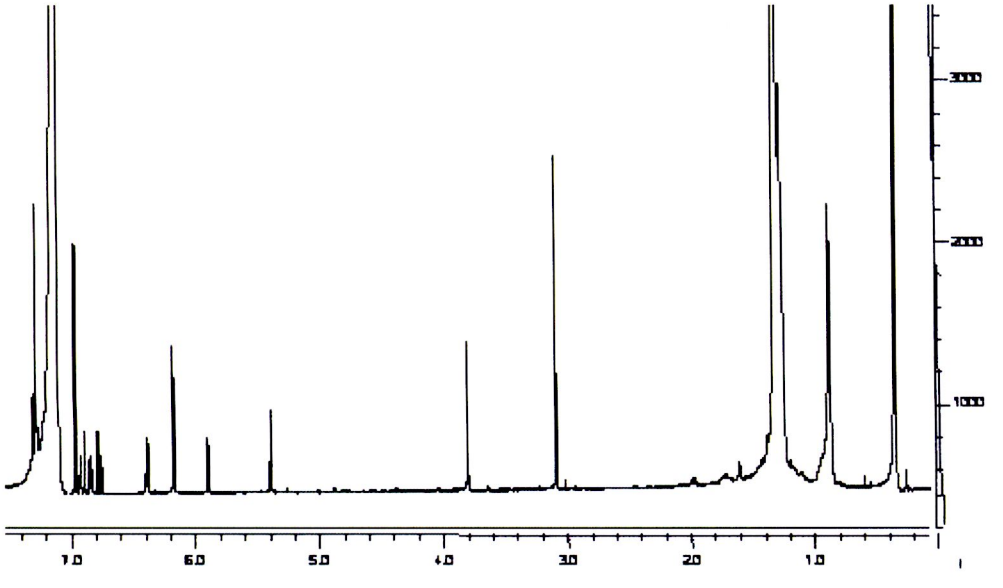
1. อุปกรณ์ส่งความถี่วิทยุ (radio frequency transmitter) ทำหน้าที่ส่งรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นวิทยุไปยังสารตัวอย่าง

2. อุปกรณ์รับความถี่วิทยุ (radio frequency receiver) ทำหน้าที่วัดการดูดกลืนพลังงานของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงคลื่นวิทยุโดยสารตัวอย่าง

3. อุปกรณ์บันทึกสเปกตรัมและเครื่อง integrator ใช้วัดพื้นที่ใต้สัญญาณ



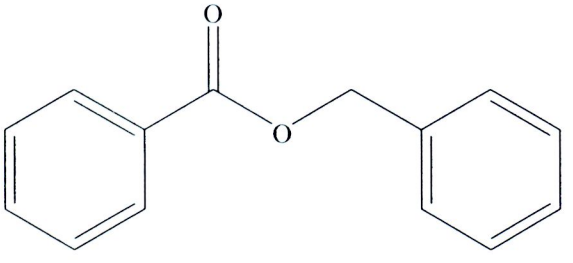
ภาพ 17 ส่วนประกอบของเครื่อง นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรมิเตอร์



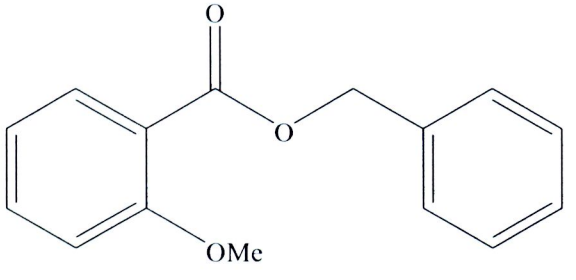
ภาพ 18 ลักษณะสเปคตรัมของสาร Rhaponticin โดยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรมิเตอร์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

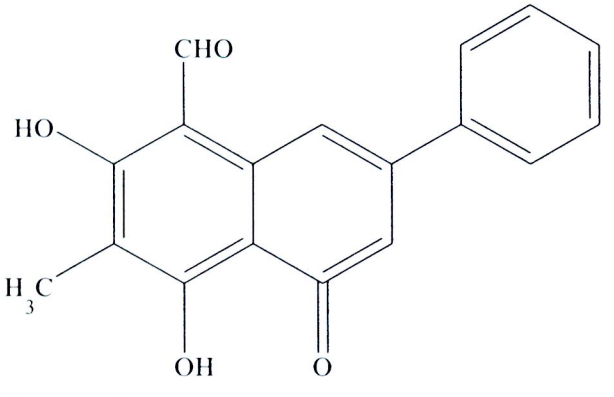
ฑริกานต์ และสุดา (2553) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของส่วนสกัดหยาบไดคลอโรมีเทนจากใบสายหยุด (*Demos chinensis* Lour.) สามารถแยกสารที่มีการรายงานโครงสร้างมาแล้วได้ จำนวน 4 สาร ซึ่งเป็นสารประเภทเอสเทอร์ จำนวน 2 สาร คือ benzyl benzoate (ภาพ 19) และ benzyl 2-methoxybenzoate (ภาพ 20) สารประเภทฟลาโวน จำนวน 2 สาร คือ isounonal (ภาพ 21) และ unonal (ภาพ 22) โดยยืนยันโครงสร้างด้วยข้อมูลทางสเปกโทรสโกปี



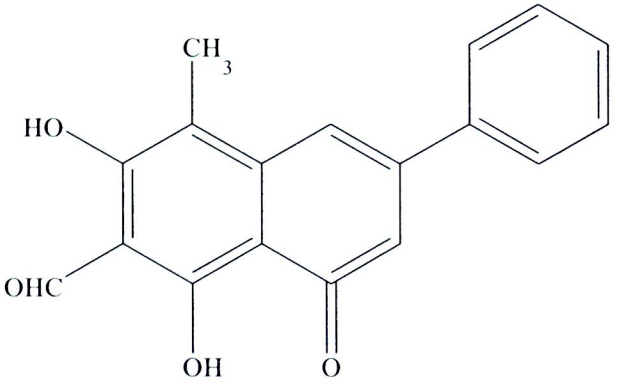
ภาพ 19 โครงสร้างของ benzyl benzoate



ภาพ 20 โครงสร้างของ benzyl 2-methoxybenzoate



ภาพ 21 โครงสร้างของ isounonal

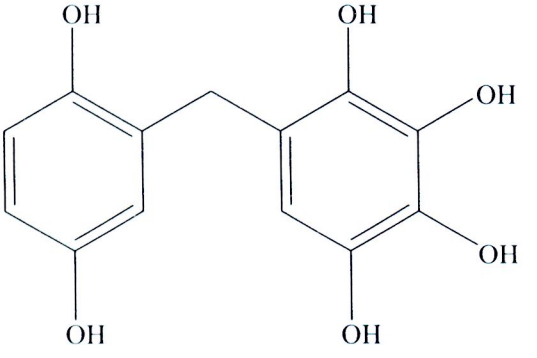


ภาพ 22 โครงสร้างของ unonal

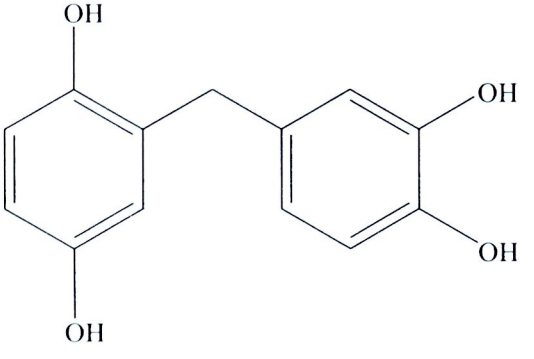
ณัฐพร (2553) จากการสังเคราะห์อนุพันธ์ไฮโดรควิโนนที่มีหมู่แอลคิลเป็นหมู่แทนที่ในตำแหน่งต่างๆ จากอัลดีไฮด์ชนิดต่างๆ ด้วยปฏิกิริยาอัลดอลคอนเดนเซชันระหว่าง 1,4-cyclohexanedione กับอนุพันธ์ของอัลดีไฮด์ 4 ชนิด ได้แก่ 2,3,4-trihydroxybenzaldehyde, 3,4-dihydroxybenzaldehyde, 3-nitrobenzaldehyde และ 3,5-dimethoxy-4-hydroxybenzaldehyde โดยมีลิเทียมคลอไรด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและมีพิริดีนเป็นตัวทำละลาย พบว่า สารสังเคราะห์อนุพันธ์ไฮโดรควิโนนทั้ง 4 ชนิด มีสีที่เข้ม เมื่ออยู่ในสภาวะของแข็งจะมีลักษณะผลึกที่คล้ายกันและแยกสีได้ยาก แต่จะเห็นความแตกต่างของสีได้ชัดเจนเมื่ออยู่ในสภาวะของสารละลาย สามารถแยกออกได้สามกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มแรกเป็นกลุ่มที่มีหมู่ไฮดรอกซี (-OH) เป็นหมู่แทนที่ คือ สารสังเคราะห์ 2-(2,3,4-trihydroxybzyl) hydroquinone (ภาพ 25) และ 2-(3,4-dihydroxybenzyl) hydroquinone (ภาพ 26) เป็นของแข็งสีม่วงเข้มและสีส้มน้ำตาล ให้ร้อยละผลได้ 19.12 % และ 45.82 % ตามลำดับ กลุ่มที่สองคือสารสังเคราะห์ 2-(3-nitrobenzyl) hydroquinone (ภาพ 27) เป็นกลุ่มที่มีหมู่ไนโตร ($-NO_2$) เป็นองค์ประกอบ ลักษณะของสารเป็นของแข็งสีน้ำตาลเข้ม ให้ร้อยละผลได้ 51.12 % และกลุ่มที่สามคือ สารสังเคราะห์ 2-(4-hydroxy-3,5-dimethoxybenzyl) hydroquinone (ภาพ 28) เป็นกลุ่มที่มีหมู่เมทอกซี ($-OCH_3$) เป็นองค์ประกอบ ลักษณะของสารเป็นของแข็งสีน้ำตาลแดง ให้ร้อยละผลได้ 41.21 %

จากนั้นนำสารที่สังเคราะห์ได้มาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยการตรวจสอบเชิงคุณภาพวิเคราะห์โดยวิธี DPPH radical scavenging assay จากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าสารเคราะห์อนุพันธ์ไฮโดรควิโนนทั้ง 4 ชนิดแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และเมื่อนำมาตรวจวิเคราะห์เชิงปริมาณโดยวิธี spectrophotometric assay และคำนวณค่า IC_{50} พบว่า สารสังเคราะห์อนุพันธ์ไฮโดรควิโนน 2-(3,4-dihydroxybenzyl) hydroquinone แสดงฤทธิ์

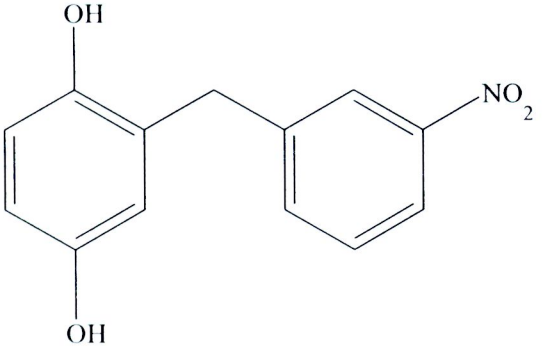
ต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุดด้วยค่า IC_{50} เท่ากับ 0.11 mg/mL หลังจากนั้นนำสารสังเคราะห์อนุพันธ์ไฮโดรควิโนนทั้ง 4 ชนิดมาทดสอบเพื่อเป็นสารตัวเติมในน้ำยางข้น พบว่ายางที่ผสมสารสังเคราะห์อนุพันธ์ไฮโดรควิโนนชนิด 2-(3,4-dihydroxybenzyl) hydroquinone สามารถทนสารเคมีและตัวทำละลายได้ดีที่สุด ด้วยค่า swelling ratio เท่ากับ 1.00 เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานโลวินอกซ์ และเมื่อศึกษากระบวนการการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนโดยใช้เทคนิค differential scanning calorimetry พบว่า ยางที่ผสมสารสังเคราะห์อนุพันธ์ไฮโดรควิโนนทุกชนิดมีความเสถียรทางความร้อนที่ดีขึ้น โดยมีจุดหลอมเหลวที่สูงกว่าจุดหลอมเหลวของยางธรรมชาติ



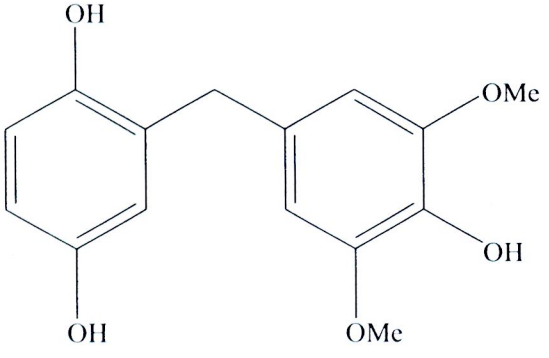
ภาพ 23 โครงสร้างของ 2-(2,3,4-trihydroxybzyl) hydroquinone



ภาพ 24 โครงสร้างของ 2-(3,4-dihydroxybenzyl) hydroquinone

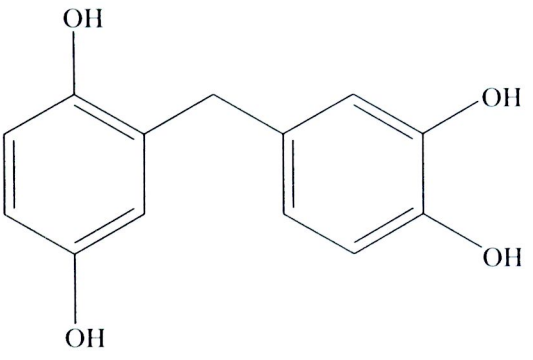


ภาพ 25 โครงสร้างของ 2-(3-nitrobenzyl) hydroquinone

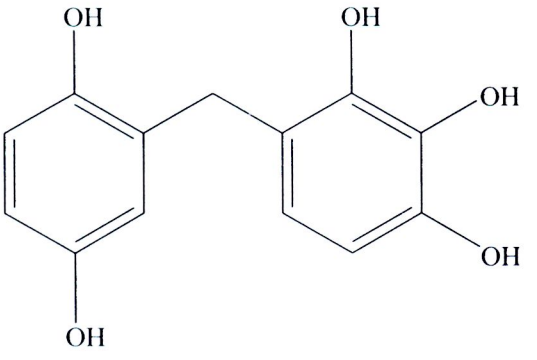


ภาพ 26 โครงสร้างของ 2-(4- hydroxyl-3,5-dimethoxybenzyl) hydroquinone

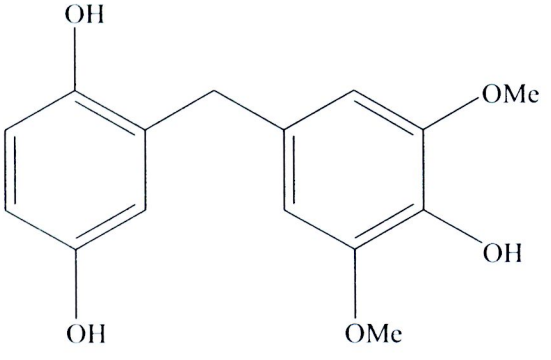
สลิลทิพย์ และวรินทร (2548) ได้สังเคราะห์ 2-แอลคิลไฮโดรควิโนน 21 ชนิด เพื่อใช้เป็นสารต้านออกซิเดชันในน้ำมันหล่อลื่นพบว่าเป็นสารใหม่ 9 ชนิด จากผลการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเบื้องต้นชี้ให้เห็นว่าสารสังเคราะห์กลุ่มไฮโดรควิโนนทั้งหมดแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในระดับสูง สารใหม่ 3 ตัว (H6, H7 และ H12 แสดงดังภาพ 29) แสดงฤทธิ์สูงสุดต่อ DPPH โดยคาดว่าเป็นผลจากการเกิดอนุมูลอิสระ phenoxy ที่เสถียร และฤทธิ์ดังกล่าวดีกว่า TBHQ ซึ่งเป็นสารต้านออกซิเดชันในอุตสาหกรรม เมื่อทดสอบโดยวิธีการ RBOT สารที่มีศักยภาพสามชนิดดังกล่าวยังคงแสดงฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงกว่า TBHQ โดยสามารถชะลอการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานได้ยาวนานกว่า การยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารเหล่านี้เกิดขึ้นได้ในระบบ heterogeneous โดยไม่ได้รับอิทธิพลจากการละลาย



H6



H7

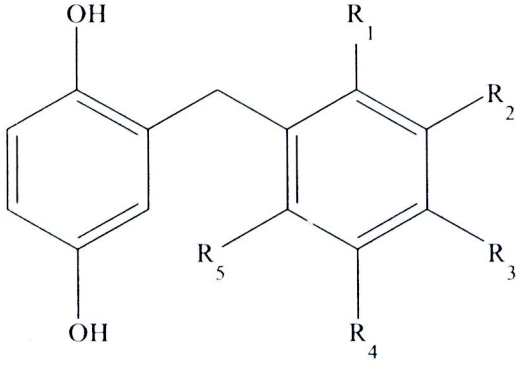
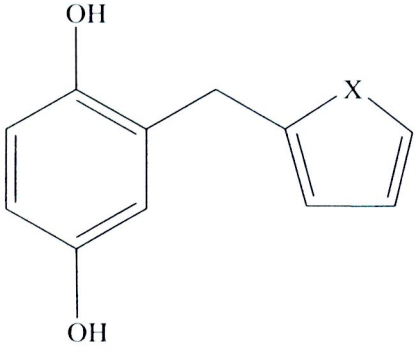
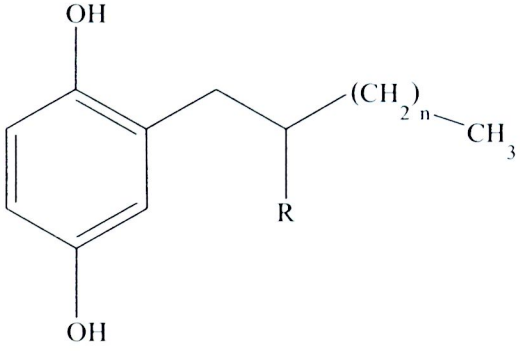


H12

ภาพ 27 โครงสร้างสารอนุพันธ์ไฮโดรควิโนนที่แสดงฤทธิ์สูงสุดต่อ DPPH

จิตตินันท์ และคณะ (2548) ได้สังเคราะห์อนุพันธ์ไฮโดรควิโนนที่มีหมู่แอลคิลเป็นหมู่แทนที่ที่ตำแหน่งที่สอง 13 ชนิด (ดังตาราง 2) โดยอาศัยปฏิกิริยา Aldol condensation ของ1,4-ไซโคล เฮกเซนไดโอน กับแอลดีไฮด์ที่สนใจ โดยมีลิเทียมคลอไรด์เป็นแคตะลิสต์ ในตัวทำละลายพิริดีน เมื่อนำสารที่สังเคราะห์ได้มาศึกษาความสัมพันธ์ ระหว่างโครงสร้างกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยการทดสอบกับ 2,2-diphenyl-1-pycryhydrazyl radical (DPPH) พบว่า อนุพันธ์ของไฮโดรควิโนนทุกชนิดแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จาก 3,4-ไดไฮดรอกซีเบนซาลดีไฮด์ แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุดด้วยค่าIC_{50} 0.0075 ซึ่งให้ค่าที่ดีกว่า butylated hydroxyanisole (BHA) ซึ่งเป็นสารมาตรฐานที่ใช้เปรียบเทียบอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้คาดว่าเนื่องมาจากผลของออร์โทไดไฮ ดรอกซีฟีนอล ที่ทำให้ฟีนอกซีแรดิคัลที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยามีความเสถียรมากขึ้น

ตาราง 2 แสดงโครงสร้างของอนุพันธ์ไฮโดรควิโนนกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยการตรวจสอบเชิงคุณภาพวิเคราะห์โดยวิธี DPPH radical scavenging assay

อนุพันธ์ไฮโดรควิโนน	หมู่แทนที่	IC_{50} (mM)
	R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 = -H	0.1585
	R_3 = -OCH_3, R_1, R_2, R_4, R_5 = -H	0.1588
	R_1 = -OH, R_2, R_3, R_4, R_5 = -H	0.2603
	R_2 = -OH, R_1, R_3, R_4, R_5 = -H	0.1540
	R_3 = -OH, R_1, R_2, R_4, R_5 = -H	0.1483
	R_1, R_3 = -OH, R_2, R_4, R_5 = -H	0.4420
	R_2, R_3 = -OH, R_1, R_4, R_5 = -H	0.0075
	R_1, R_2, R_3 = -OH, R_4, R_5 = -H	0.0423
	R_2, R_3 = -OCH_3, R_1, R_4, R_5 = -H	0.1885
	X = O	0.1289
	X = S	0.1627
	n = 6, R = -H	0.1655
	n = 1, R = -C_2H_5	0.2496