



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (ฟิสิกส์)

ปริญญา

ฟิสิกส์

ฟิสิกส์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง

คุณสมบัติการพันเป็นเกลียวของท่อลิปิด ทดสอบโดยเซอร์คูเลอรีไดโครอิสซึม  
สเปกโทรสโคปี

Helical Winding Characteristic of Lipid tubules Investigated by Circular Dichroism  
Spectroscopy

นามผู้วิจัย

นายวีรวัฒน์ อินทรทัต

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( อาจารย์ณัฐพร ฉัตรแถม, Ph.D. )

หัวหน้าภาควิชา

( อาจารย์วีวัฒน์ วงศ์ก่อเกื้อ, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่

เดือน

พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

คุณสมบัติการพันเป็นเกลียวของท่อลิพิด ทดสอบโดยเซอร์คูเลอรีไดโครอิสซึม  
สเปกโทรสโคปี

Helical Winding Characteristic of Lipid tubules Investigated by  
Circular Dichroism Spectroscopy

โดย

นายวีรวัฒน์ อินทรทัต

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ฟิสิกส์)

พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วีรวัฒน์ อินทรทัต 2555: คุณสมบัติการพันเป็นเกลียวของท่อลิปิด ทดสอบโดย  
เซอร์คิวลาร์ไดโครอิสซึมสเปกโทรสโคปี ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ฟิสิกส์) สาขา  
ฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์ณัฐพร นัทรแถม,  
Ph.D. 43 หน้า

คุณสมบัติความเป็นไครอลของฟอสโฟลิปิด 1,2-bis-(10,12-tricosadiynoyl)-*sn*-glycero-3-phosphocholine หรือ DC<sub>8</sub>PC สามารถขึ้นรูปได้ด้วยตัวเองเป็นโครงสร้างของท่อลิปิดทรงกระบอกกลวง ซึ่งท่อลิปิดมีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.6 ถึง 0.8 ไมโครเมตร และความยาวประมาณ 50 ไมโครเมตร การขึ้นรูปได้ด้วยตัวเองของท่อลิปิดในกระบวนการขั้นตอนการควบคุมอัตราการลดอุณหภูมิโครงสร้างของโมเลกุลจะเรียงตัวเป็นชั้นคู่ (bilayer) ต่อกันเป็นลักษณะของแผ่นฟิล์ม โครงสร้างของริบบิ้นเกิดจากการฉีกออกตรงบริเวณขอบของแผ่นฟิล์ม แล้วหมุนเป็นเกลียวเป็นโครงสร้างของท่อนาโนลิปิดทรงกระบอกกลวง งานวิจัยในครั้งนี้เป็นการควบคุมโครงสร้างทางกายภาพของท่อลิปิด โดยการควบคุมอัตราการลดอุณหภูมิกับการพันเป็นเกลียวภายใต้อัตราการลดอุณหภูมิที่แตกต่างกัน จากนั้นทำการวิเคราะห์โครงสร้างของท่อลิปิดโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (atomic force microscopy, AFM) และศึกษาคุณสมบัติความเป็นไครอลของการพันเป็นเกลียวของท่อลิปิดโดยใช้เทคนิคเซอร์คิวลาร์ไดโครอิสซึม (Circular dichroism, CD) จากผลการวิจัยพบว่า เซอร์คิวลาร์ไดโครอิสซึมสามารถแยกให้เป็นชัดเจนถึงคุณสมบัติความเป็นไครอลของท่อลิปิดขึ้นอยู่กับอัตราการลดอุณหภูมิแสดงโดยค่าโมลาร์ อีลิปติซิตี (Molar ellipticity) ดังนั้นคุณสมบัติความเป็นไครอลของท่อลิปิดสามารถควบคุมได้โดยควบคุมอัตราการลดอุณหภูมิของการขึ้นรูปได้ด้วยตัวเอง

Weerawat Intaratat 2012: Helical Winding Characteristic of Lipid tubules Investigated by Circular Dichroism Spectroscopy. Master of Science (Physics), Major Field: Physics, Department of Physics. Thesis Advisor: Miss Nattaporn Chatthem, Ph.D. 43 pages.

The chiral phospholipids 1,2-bis-(10,12-tricosadiynoyl)-*sn*-glycero-3-phosphocholine (DC<sub>8,9</sub>PC) can self assemble into cylindrical lipid tubules. The lipid tubules obtained were 0.6-0.8  $\mu\text{m}$  in diameter and approximately 50  $\mu\text{m}$  in length. Under controlled cooling process ribbons of lipid bilayer self assembled into tight helical structure forming hollow cylindrical nanotubules. We report their physical formation under controlled cooling with the helical pitches depending on the cooling rate. Their morphology was investigated by atomic force microscopy (AFM). We constructed Circular dichroism (CD) spectroscopy to investigate chirality of helical lipid tubules. The CD signal detected indicates the dependence on cooling rate of chirality, expressed through molar ellipticity. The result enables chirality control of lipid tubules during the self assembling process.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ดร. รัชฎพร ฉัตรแถม ประธานกรรมการที่ปรึกษาซึ่งได้อบรมสั่งสอนวิชาความรู้ ให้คำปรึกษา แนะนำ ควบคุมการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งตรวจและแนะนำการแก้ไขวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ คุณอัสวิน เรณูสวัสดิ์ ซึ่งให้ความอนุเคราะห์ด้านอุปกรณ์ และได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.พงศกร จันทรัตน์ และอ.ศักดิ์ชัย ชมโลกกรวด ซึ่งให้ความอนุเคราะห์ด้านอุปกรณ์ ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ นางสาวจาริณี เกียงเอียง และนางสาวยุวธิดา จันทร์ทิพนา สำหรับคำแนะนำ และความช่วยเหลือ ในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และพี่ น้อง ญาติๆ ทุกคน สำหรับความเชื่อมั่น และดูแลให้กำลังใจตลอดช่วงเวลารับการศึกษาและช่วงเวลาทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณเพื่อนๆ และรุ่นน้องทุกคน ที่ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับคำแนะนำ และให้กำลังใจเสมอมา

วีรวัฒน์ อินทรทัต

มีนาคม 2555

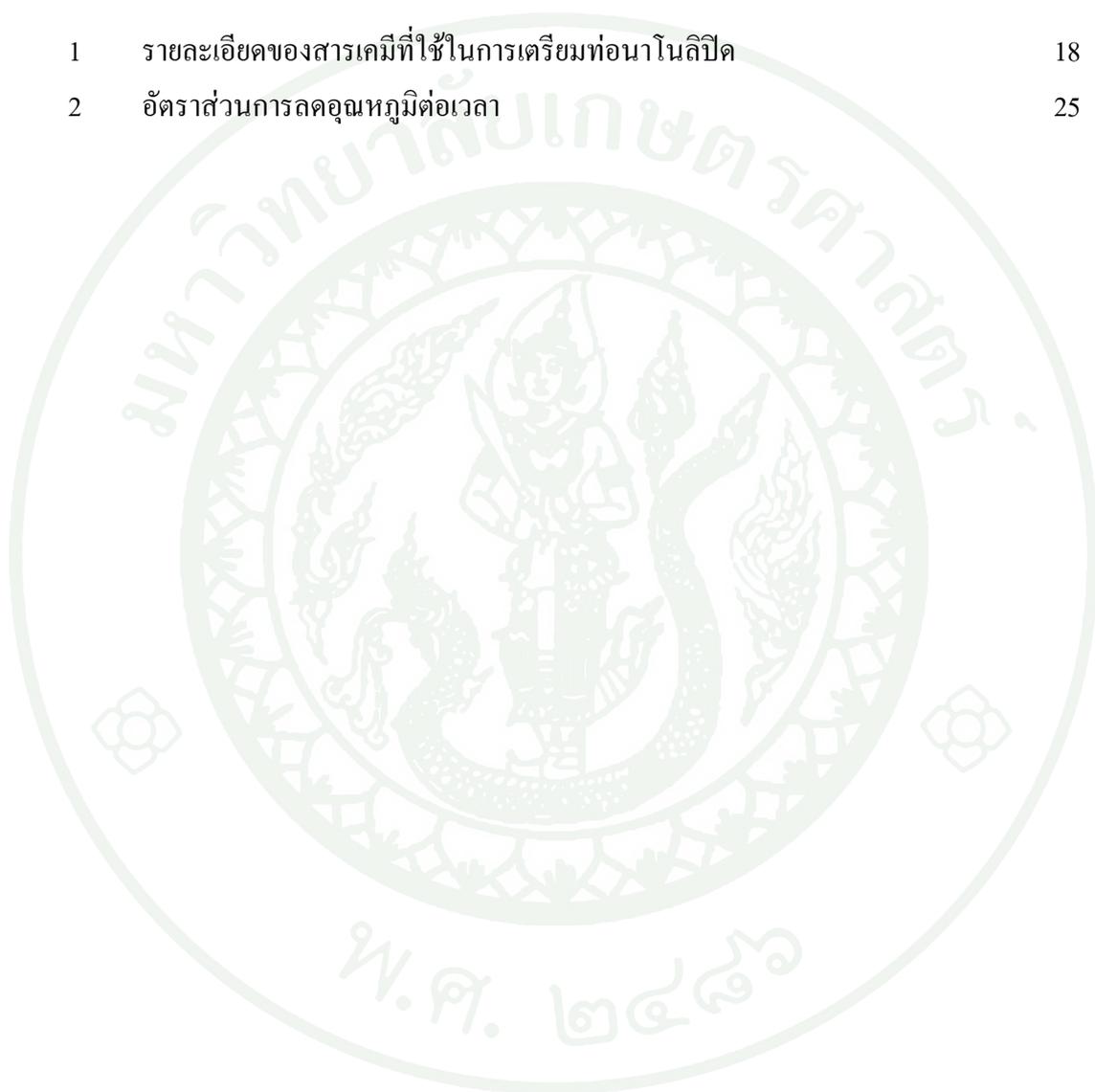
## สารบัญ

### หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	18
อุปกรณ์	18
วิธีการ	25
ผลการทดลองและวิจารณ์	30
สรุปและข้อเสนอแนะ	40
สรุป	40
ข้อเสนอแนะ	40
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	41
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	43

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	รายละเอียดของสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมท่อนานโนลิวด์	18
2	อัตราส่วนการลดอุณหภูมิต่อเวลา	25



## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงโครงสร้างของโมเลกุลฟอสโฟลิปิด (ก) แสดงส่วนประกอบของโมเลกุลฟอสโฟลิปิด (ข) แสดงโมเลกุลลิปิดที่รวมกันเป็นชั้นคู่ (bilayer)	4
2	แสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีของ $DC_{8,9}PC$	6
3	แสดงโครงสร้างของท่อลิปิด (ก) โครงสร้างของฟิล์มโมเลกุลสองชั้นบิดเป็นเกลียว (ข) โครงสร้างของฟิล์มเกิดการหมุนเป็นเกลียวคล้ายริบบิ้น (ค) โครงสร้างของฟิล์มโมเลกุลสองชั้นพันกันแน่นเป็นท่อทรงกระบอกกลาง	7
4	แสดงแบบจำลองโครงสร้างของท่อทรงกระบอกที่มีรัศมี $r$ และความยาว $L$	8
5	แสดงการบิดของโมเลกุลเป็นแบบการกระจาย (splay), การพันเป็นเกลียว (twist) และการโค้ง (bend) ตามลำดับ	9
6	แสดงรูปแบบโครงสร้างทศการเอียงของโมเลกุลในสองกรณี (ก) แสดงค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการโค้งของท่อทรงกระบอก โดย $qr \gg 1$ (ข) แสดงค่าขีดจำกัดมากสุดของการโค้งของท่อทรงกระบอก โดย $qr \ll 1$	10
7	แสดงโครงสร้างของแผ่นฟิล์มเป็นท่อลิปิด (ก) เป็นแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิต่ำ และเกิดการแยกออกตรงบริเวณขอบ (ข) การพันกันเป็นเกลียวของโครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายริบบิ้น (ค) โครงสร้างคล้ายริบบิ้นมายึดติดกันแน่นจนกลายเป็นท่อทรงกระบอก	11
8	แสดงลักษณะการเกิดเซอร์คูลาร์ไดโครอิสซึมจากตัวอย่างที่มีคุณสมบัติความเป็นไครอล	12
9	แสดงการทำงานของเครื่องโมโนโครมาเตอร์	14
10	ก) แสดงโครงสร้างชั้นของสารกึ่งตัวนำอวาเลนซ์โฟโตไดโอด ข) กราฟแสดงการกระจายของความหนาแน่นประจุ ค) กราฟแสดงความหนาแน่นของสนามไฟฟ้าและช่วงอวาเลนซ์	17
11	เครื่องชั่งอย่างละเอียด ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น XP 105	19
12	ไมโครปิเปต	19
13	เครื่องฉายรังสี UV ยี่ห้อ VILBER LOURMAT รุ่น VL-6LC	20

## สารบัญภาพ (ต่อ)

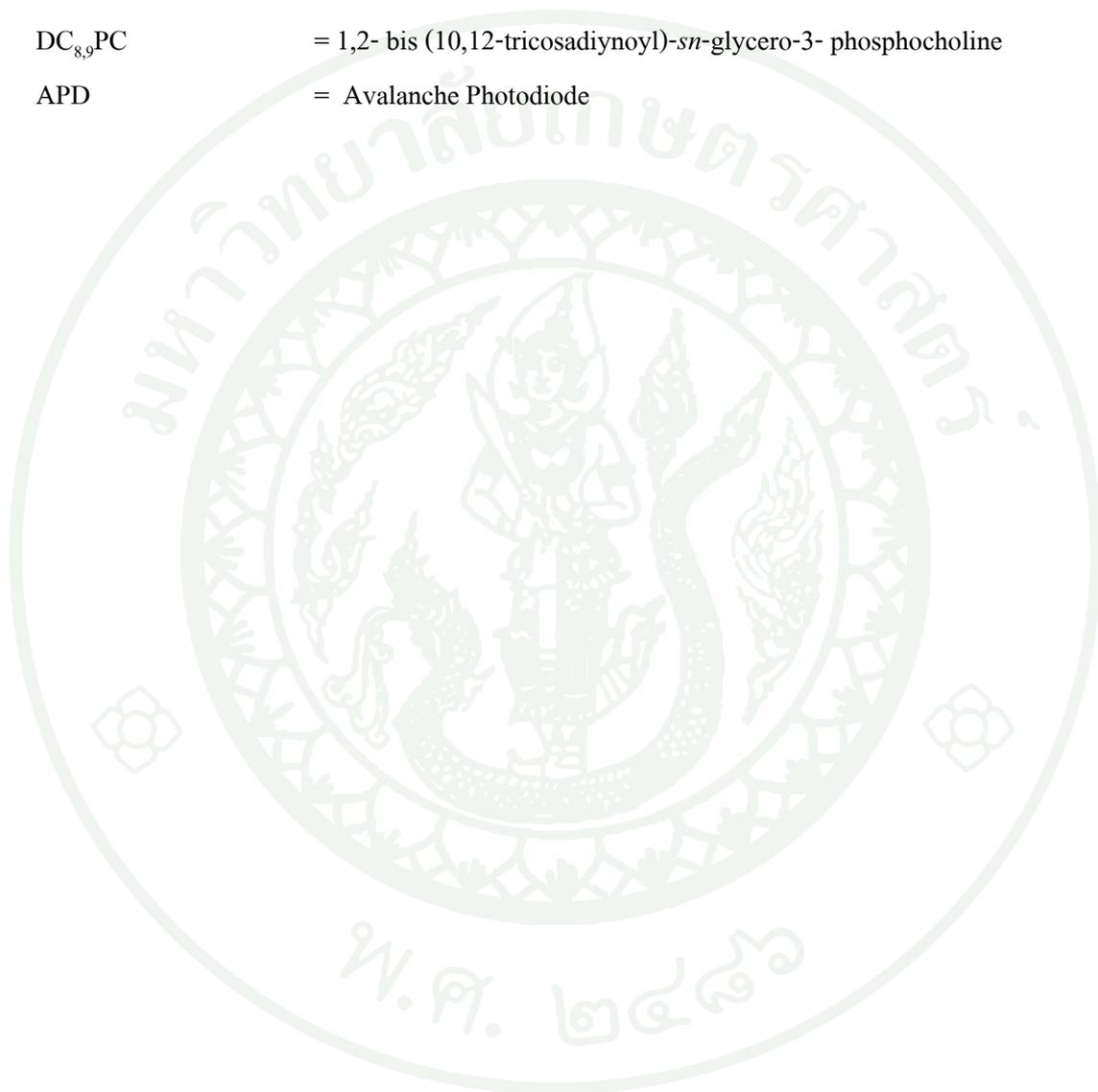
ภาพที่		หน้า
14	กล้องจุลทรรศน์ที่ติดตั้งกล้องถ่ายภาพ Nikon รุ่น Eclipse LV100 POL	20
15	แสดงกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Dimension 3100)	21
16	(ก) แหล่งกำเนิดแสง Xenon Flash Lamp (ข) สเปกตรัมของความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสง Xenon Flash Lamp	22
17	โมนโครมาเตอร์ SP spectral products CM110	23
18	quarter wave plate	23
19	avalanche photodiode detector รุ่น module C5658	24
20	เครื่องออสซิลอโคป (Oscilloscope) Tektronix TDS 220	24
21	แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมท่อนาโนลิปิด	26
22	แสดงลักษณะของเซลล์ (ก) แสดงการติดบนกระจกปิดแผ่นสไลด์ 3 ด้าน (ข) เซลล์แก้วที่เตรียมได้พร้อมทั้ง ทากาว (epoxy) ปิดทับทั้ง 3 ด้าน (ค) ท่อนาโนลิปิดที่เจือจางแล้วประมาณ 0.1 มิลลิลิตรใส่ในเซลล์ที่เตรียมไว้	27
23	แสดงภาพการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ความเป็นไครอลของท่อนาโนลิปิดจากคุณสมบัติเซอร์คูลาร์ไดโครอัสซิม	28
24	แสดงการจัดวางอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเป็นไครอลของท่อนาโนลิปิดโดยเทคนิคเซอร์คูลาร์ไดโครอัสซิม	29
25	แสดงความเข้มแสงที่วัดได้เมื่อผ่านท่อลิปิดโดยให้สัญญาณออกมาในหน่วย mV	29
26	แสดงลักษณะของท่อนาโนลิปิดถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์	30
27	แสดงภาพถ่ายท่อนาโนลิปิดด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอมที่อัตราการลดอุณหภูมิ 1.2 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ในสารละลายเอทานอลต่อน้ำ	31
28	แสดงภาพมุมของการพันเป็นเกลียวของท่อนาโนลิปิดที่อัตราการลดอุณหภูมิ 10.2 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง	32
29	แสดงภาพมุมของการพันเป็นเกลียวของท่อนาโนลิปิดที่อัตราการลดอุณหภูมิ 4.8 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง	32

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
30	แสดงภาพมุมของการพันเป็นเกลียวของท่อนาโนลิปิตที่อัตราการลดอุณหภูมิ 1.8 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง	33
31	แสดงภาพมุมของการพันเป็นเกลียวของท่อนาโนลิปิตที่อัตราการลดอุณหภูมิ 1.2 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง	33
32	แสดงภาพมุมของการพันเป็นเกลียวของท่อนาโนลิปิตที่อัตราการลดอุณหภูมิ 0.6 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง	34
33	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมของเกลียวท่อนาโนลิปิตกับอัตราการควบคุมการลดอุณหภูมิ	34
34	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของท่อนาโนลิปิตกับอัตราการควบคุมการลดอุณหภูมิ ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร	35
35	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของท่อนาโนลิปิตกับอัตราการควบคุมการลดอุณหภูมิ ที่ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร	36
36	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของท่อนาโนลิปิตกับอัตราการควบคุมการลดอุณหภูมิ ที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร	36
37	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของท่อนาโนลิปิตกับอัตราการควบคุมการลดอุณหภูมิ ที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร	37
38	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของท่อนาโนลิปิตกับอัตราการควบคุมการลดอุณหภูมิ ที่ความยาวคลื่น 633 นาโนเมตร	37
39	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง molar ellipticity ของท่อนาโนลิปิตกับอัตราการควบคุมการลดอุณหภูมิที่ความยาวคลื่นแตกต่างกันของแสง	38
40	แสดงสเปกตรัมของท่อนาโนลิปิตที่อัตราการควบคุมการลดอุณหภูมิที่ต่าง ๆ กัน	39

### คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

AFM	= กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic Force Microscopy)
CD	= Circular Dichroism
DC <sub>8,9</sub> PC	= 1,2- bis (10,12-tricosadiynoyl)- <i>sn</i> -glycero-3- phosphocholine
APD	= Avalanche Photodiode



คุณสมบัติการพันเป็นเกลียวของท่อลิปิด ทดสอบโดยเซอร์คูลาไรซ์ไดโครอิสซึม  
สเปกโทรสโคปี

Helical Winding Characteristic of Lipid tubules Investigated by  
Circular Dichroism Spectroscopy

คำนำ

การค้นพบโมเลกุลที่ขึ้นรูปได้เอง (Self assemble) เป็นสิ่งที่น่าสนใจ ในปีค.ศ. 1983 ยาเกอร์ (Yager) และ ชเนอร์ (Schoen) ได้ค้นพบโมเลกุลลิปิดที่สามารถขึ้นรูปได้เองเป็นโครงสร้างของท่อทรงกระบอก โดยใช้กระบวนการพอลิเมอไรเซชันของฟอสโฟลิปิด 1,2- bis (10,12-tricosadiynoyl)-sn-glycero-3- phosphocholine หรือ DC<sub>8,9</sub>PC ต่อมาการศึกษาทฤษฎีความเป็นไครอลของโมเลกุลลิปิด (Jonathan *et al.*, 1993; Thomas *et al.*, 1998 ) ความเป็นไครอลของโมเลกุลอธิบายถึงโมเลกุลที่ไม่สามารถซ้อนทับกันได้เป็นโมเลกุลในภาพสะท้อนกระจกโดยทั่วไปจะเปรียบเทียบโมเลกุลไครอลเหมือนกับมือซ้ายและมือขวาของคน เมื่อนำมาวางซ้อนกันจะไม่สามารถทับกันสนิท ซึ่งโมเลกุลลิปิดจะมีอะตอมคาร์บอนเป็นไครอล ในการขึ้นรูปเป็นท่อนานลิปิดของ DC<sub>8,9</sub>PC มีการควบคุมอัตราการลดอุณหภูมิและอัตราส่วนการผสมสาร DC<sub>8,9</sub>PC กับสารละลายเอทานอลต่อน้ำ (Spector *et al.*, 1999)

การขึ้นรูปด้วยตนเองของโมเลกุลลิปิดที่บีบแน่นกลายเป็นท่อทรงกระบอกกลางซึ่งอธิบายการขึ้นรูปด้วยตนเองนี้จากทฤษฎีไครอล เมื่อเร็ว ๆ นี้ ได้มีการนำโมเลกุลลิปิดที่มีโซ่ของกรดไขมันสายสั้นมาผสมกับสาร DC<sub>8,9</sub>PC จากผลการทดลองพบว่าท่อลิปิดที่ได้มีขนาดเล็กถึงในระดับนาโน (Singh *et al.*, 2003) และมีเทคนิคในการศึกษาท่อนานลิปิด ตัวอย่างเช่น การศึกษาเซอร์คูลาไรซ์ไดโครอิสซึม (Spector *et al.*, 1996, 1997, 1998; Pakhomov *et al.*, 2003 ) การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Mahajan *et al.*, 2006) คอนโฟคอลรามานสเปกโทรสโคปี (Kiang-ia *et al.*, 2010) และการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Zhou *et al.*, 2008)

แนวโน้มในการนำท่อลิปิดมาใช้ประโยชน์ในอนาคต เช่น ใช้ในการส่งยาไปในร่างกายในรูปของแคปซูล และได้มีการพัฒนาโดยการนำท่อลิปิดไปใช้ในด้านการทหาร โดยได้มีการนำ

ท่อนลิปิดนาโนไปใช้ในการตรวจจับสัญญาณของ Decoy Missile ซึ่ง เป็นอุปกรณ์ในการล่อจรวด Missile เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไครอลของท่อนาโนลิปิดโดยใช้เซอร์คูลาไดโครอิส ซีมจำแนกความแตกต่างในการดูดกลืนของแสงโพลาไรซ์ทางขวา (RCPL) และการดูดกลืนของแสงโพลาไรซ์ทางซ้าย (LCPL) พบว่าการดูดกลืนของแสงโพลาไรซ์ขึ้นอยู่กับความเป็นไครอลของโมเลกุลลิปิดภายใต้การควบคุมการลดอุณหภูมิระหว่างขั้นตอนการเกิดท่อนาโนลิปิด



## วัตถุประสงค์

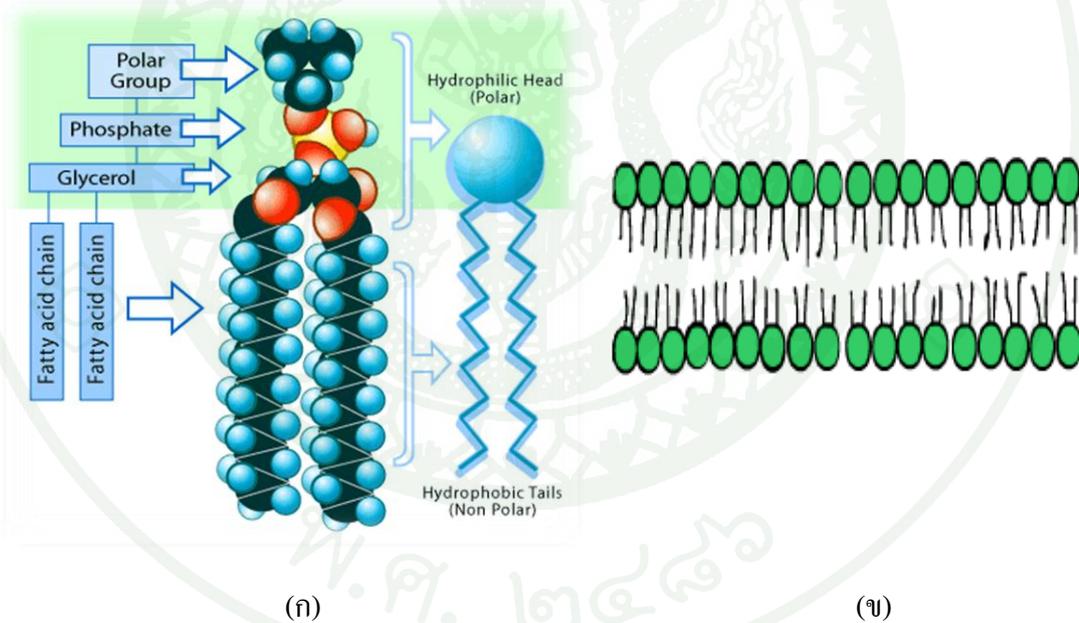
การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อศึกษาการสังเคราะห์ท่อนาโนลิปิด โดยการควบคุมอัตราการลดอุณหภูมิที่แตกต่างกัน
2. เพื่อศึกษาโครงสร้างภายนอกของท่อนาโนลิปิด โดยกล้องจุลทรรศน์ที่ติดตั้งกล้องถ่ายภาพและกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic Force Microscope, AFM)
3. เพื่อประยุกต์การทดลองทางทัศนศาสตร์ในการศึกษาคุณสมบัติการพันเป็นเกลียวของท่อนาโนลิปิด ทดสอบโดยใช้เซอร์คิวลาร์ไดโคริซึม (Circular dichroism spectroscopy, CD)

## การตรวจเอกสาร

### 1. โครงสร้างลิปิด (Lipid Structure)

ลิปิด (Lipid) เป็นสารประกอบอินทรีย์ สามารถแบ่งโมเลกุลเป็นสองส่วน แสดงดังภาพที่ 1(ก) ส่วนแรกเป็นส่วนหัวของโมเลกุลซึ่งมีขั้ว (polar) จะมีการดึงดูดกับโมเลกุลของน้ำ เรียกว่า hydrophilic และส่วนที่สองเป็นส่วนหางของโมเลกุล ซึ่งจะไม่มีขั้ว (nonpolar) เรียกว่า hydrophobic ซึ่งจะหันเข้าหาส่วนหางของโมเลกุลฝั่งตรงข้ามประกอบเป็นชั้นคู่ (bilayer) แสดงดังภาพที่ 1 (ข) โครงสร้างโมเลกุลของลิปิดประกอบด้วยกลีเซอรอล (glycerol) และกรดไขมัน (fatty acids) ลิปิดที่มีโครงสร้างลักษณะนี้อาจ เรียกว่า ฟอสโฟลิปิด เนื่องจากโมเลกุลมีหมู่ฟอสเฟสเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ

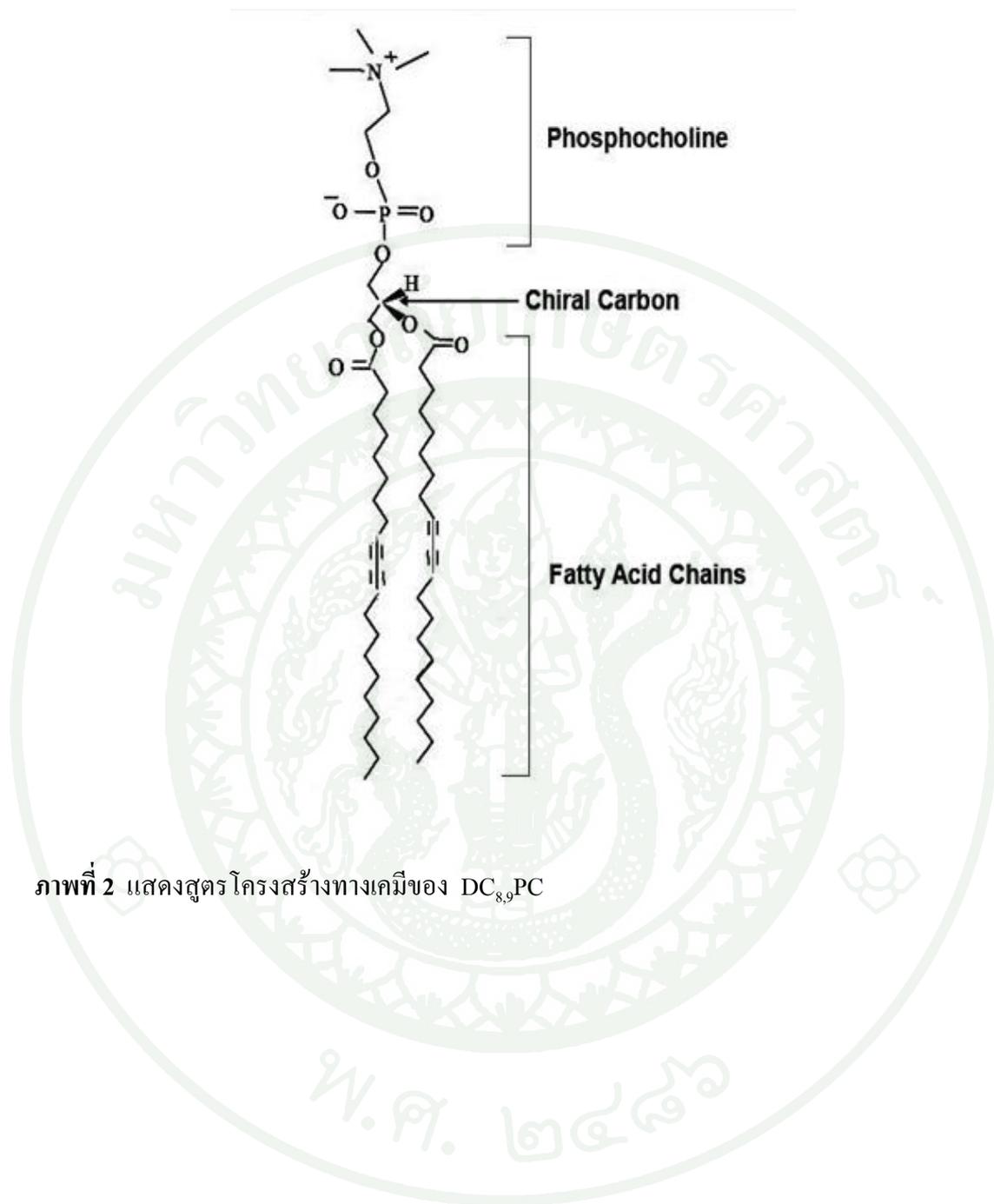


ภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างของโมเลกุลฟอสโฟลิปิด (ก) แสดงส่วนประกอบของโมเลกุลฟอสโฟลิปิด (ข) แสดงโมเลกุลลิปิดที่รวมกันเป็นชั้นคู่ (bilayer)

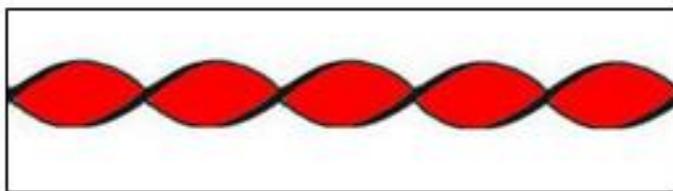
ที่มา: Annam (2009)

## 2. ท่อลิปิด (Lipid Tubule)

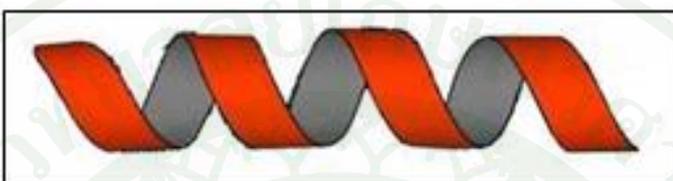
1,2- bis (10,12-tricosadiynoyl)-*sn*-glycero-3- phosphocholine หรือ DC<sub>8,9</sub>PC มีโครงสร้างทางเคมีแสดงดังภาพที่ 2 สูตรโครงสร้างทางเคมีของ DC<sub>8,9</sub>PC ประกอบด้วยหมู่ฟอสเฟตและโซ่ของกรดไขมันบริเวณส่วนกลางของโมเลกุลจะมีคาร์บอนที่ทำให้โมเลกุลเป็นไครอล และส่วนประกอบที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งของ DC<sub>8,9</sub>PC เป็นส่วนโซ่ของกรดไขมัน ที่มีลักษณะพิเศษโดยมีเมทิลีน(methylenes) 8 โมเลกุลอยู่ระหว่าง เอสเทอร์ (ester) กับหมู่ไดอะเซทิลีน (diacetylene group) และมีเมทิลีน (methelenes) 9 โมเลกุลอยู่ระหว่าง หมู่ไดอะเซทิลีน (diacetylene group) กับหมู่เมทิล (methyl group) (Mahajan, 2005) ท่อลิปิดเตรียมโดยการผสม DC<sub>8,9</sub>PC กับเอทานอล : น้ำ (75 : 25) แล้วให้ความร้อนเข้าไปทำให้ลิปิดมีโครงสร้างเป็นเวสิเคิล (vesicle) คือมีลักษณะเป็นทรงกลมกลวง เมื่อลดอุณหภูมิลง จะขึ้นรูปได้ด้วยตนเองกลายเป็นท่อทรงกระบอกกลวง ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 0.5 ไมโครเมตร และมีความยาวของท่ออยู่ระหว่าง 50 ถึง 200 ไมโครเมตร ซึ่งขนาดและรูปร่างของท่อลิปิดจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขต่าง ๆ จากการเตรียม เช่น ความเข้มข้นของลิปิด, อัตราส่วนระหว่างแอลกอฮอล์กับน้ำ และอัตราการลดอุณหภูมิ เป็นต้น โดยโครงสร้างของท่อลิปิดที่เป็นไปได้แสดงดังภาพที่ 3 (ก) แสดงฟิล์มโมเลกุลสองชั้น(bilayer) ของลิปิดที่เกิดจากการขึ้นรูปด้วยตนเอง เป็นลักษณะโครงสร้างของโมเลกุลสองชั้นบิดเป็นเกลียว ภาพที่ 3 (ข) ฟิล์มโมเลกุลสองชั้นของลิปิดมีการหมุนเป็นเกลียวลักษณะคล้ายริบบิ้นและภาพที่ 3 (ค) เป็นโครงสร้างการบิดแน่นของฟิล์มโมเลกุลสองชั้นเป็นท่อทรงกระบอกกลวง



ภาพที่ 2 แสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีของ DC<sub>8,9</sub>PC



(ก)



(ข)

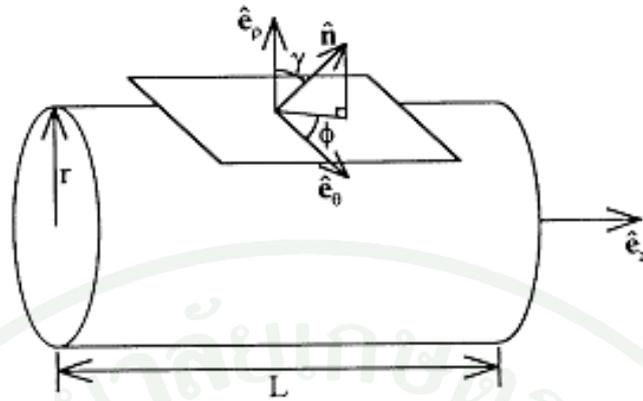


(ค)

ภาพที่ 3 แสดงโครงสร้างของท่อลิปิด (ก) โครงสร้างของฟิล์ม โมเลกุลสองชั้นบิดเป็นเกลียว (ข) โครงสร้างของฟิล์มเกิดการหมุนเป็นเกลียวคล้ายริบบิ้น (ค) โครงสร้างของฟิล์ม โมเลกุลสองชั้นพันกันแน่นเป็นท่อทรงกระบอกกลวง

### 3. ทฤษฎีของท่อลิปิด

ท่อลิปิดที่เกิดจากโมเลกุลแบบไครอลของ amphiphilic สามารถอธิบายโดยใช้ท่อทรงกระบอกกลวงที่เกิดจากฟิล์ม โมเลกุลสองชั้นมีรัศมีเป็น  $r$  และความยาวเป็น  $L$  ดังภาพที่ 4 ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวอธิบายโดยกำหนดพิกัดของทรงกระบอก  $(\rho, \theta, z)$  ให้  $r$  เป็นมุมของโมเลกุลที่เอียงเทียบกับเวกเตอร์หนึ่งหน่วย  $\hat{e}_\rho$  และให้  $\phi$  เป็นมุมระหว่างภาพฉายของเวกเตอร์หนึ่งหน่วยในระนาบ  $(\theta, z)$  กับแกน  $\hat{e}_\theta$



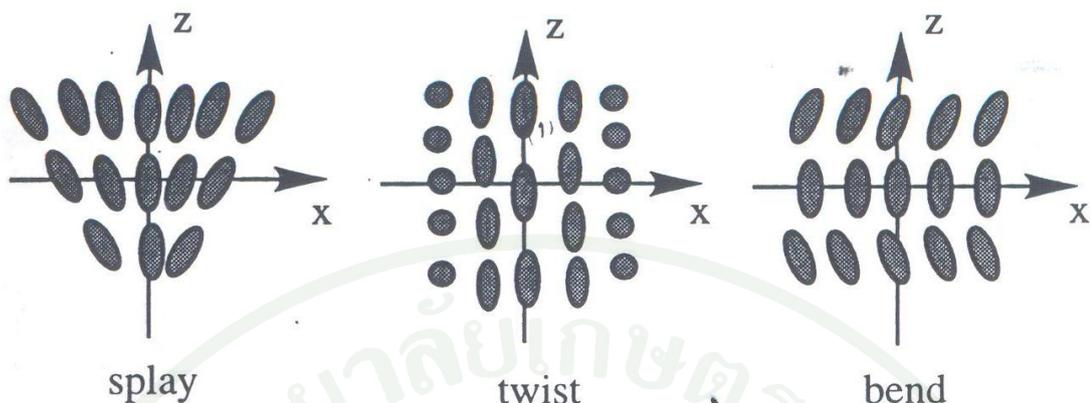
ภาพที่ 4 แสดงแบบจำลองโครงสร้างของท่อทรงกระบอกที่มีรัศมี  $r$  และความยาว  $L$

ที่มา: Selinger *et al.* (1993)

จากคุณสมบัติความยืดหยุ่นของความเป็นไครอล พิจารณาพลังงานอิสระในพิกัดทรงกระบอก สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ (Selinger and Schnur, 1993)

$$\begin{aligned}
 F = \int d^2x \left\{ \frac{\kappa}{2r^2} - \frac{a\gamma^2}{2} + \frac{b\gamma^4}{4} + \frac{K}{2r^2} \cos^2 \gamma + \frac{K}{2r^2} \sin^2 \gamma \cos^2 \phi - \frac{Kq}{r} \sin^2 \gamma \sin \phi \cos \phi \right. \\
 + \frac{K}{r} \sin \gamma \cos \gamma \left[ \frac{\partial}{r\partial\theta} (\cos \phi) + \frac{\partial}{\partial z} (\sin \phi) \right] - Kq \sin \gamma \cos \gamma \left[ \frac{\partial}{r\partial\theta} (\sin \phi) - \frac{\partial}{\partial z} (\cos \phi) \right] \\
 \left. + \frac{K}{2} \sin^2 \gamma \left[ \left( \frac{\partial \phi}{r\partial\theta} \right)^2 + \left( \frac{\partial \phi}{\partial z} \right)^2 \right] \right\} \quad (1)
 \end{aligned}$$

จากรูปแบบการเอียงของโมเลกุลลิปิด ซึ่งจะได้ว่า  $a = \alpha(T_c - T)$  เมื่อ  $b$  เป็นค่าคงที่  $\kappa$  เป็นค่าการเบนของวัตถุแข็งเกร็ง.  $K_1$ ,  $K_2$  และ  $K_3$  เป็นค่าคงที่ที่ยืดหยุ่นของการบิดเป็นแบบการกระจาย (splay), การพันเป็นเกลียว (twist) และการโค้ง (bend) ตามลำดับ ดังภาพที่ 5 ในที่นี้กำหนดให้  $K \cong K_1 \cong K_2 \cong K_3$  และให้  $q$  แทนไครอลพารามิเตอร์ของโมเลกุล



ภาพที่ 5 แสดงการบิดของโมเลกุลเป็นแบบการกระจาย (splay), การพันเป็นเกลียว (twist) และการโค้ง (bend) ตามลำดับ

การหาค่าที่ต่ำสุด (minimizing) ของพลังงานรวมอิสระในเทอมของ  $\phi$  โดยใช้

$$\frac{dF}{d\phi} = 0 \quad (2)$$

จะได้

$$\frac{dF}{d\phi} = \frac{d}{dx} \left\{ \int d^2x \left[ \frac{\kappa}{2r^2} + \frac{K}{2r^2} \cos^2 \gamma + \frac{K}{2r^2} \sin^2 \gamma \cos^2 \phi - \frac{Kq}{r} \sin^2 \gamma \sin \phi \cos \phi \right] \right\} \quad (3)$$

$$\frac{K}{r^2} \sin^2 \gamma \cos \phi (-\sin \phi) - \frac{Kq}{r} \sin^2 \gamma (\cos^2 \phi - \sin^2 \phi) = 0 \quad (4)$$

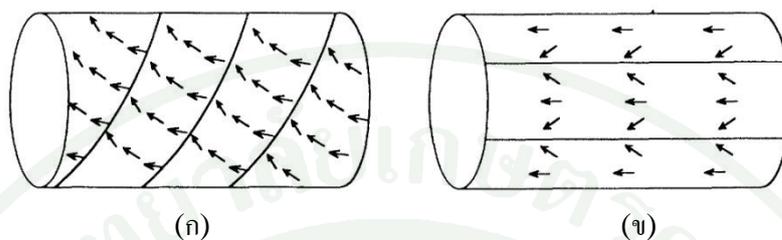
ผลลัพธ์คือ

$$\tan 2\phi_0 = -2qr \quad (5)$$

โดยที่  $45^\circ \leq \phi_0 \leq 90^\circ$

จากสมการที่ 4 พิจารณากรณีขีดจำกัดค่าต่ำสุดของการพันกันโดย  $qr \gg 1$  จะได้ว่ามุม  $\phi_0$  เท่ากับ  $45^\circ$  ซึ่งก็คือ ค่าเฉลี่ยของการเอียงจะทำมุม  $45^\circ$  กับแนวตั้งฉากของท่อทรงกระบอก

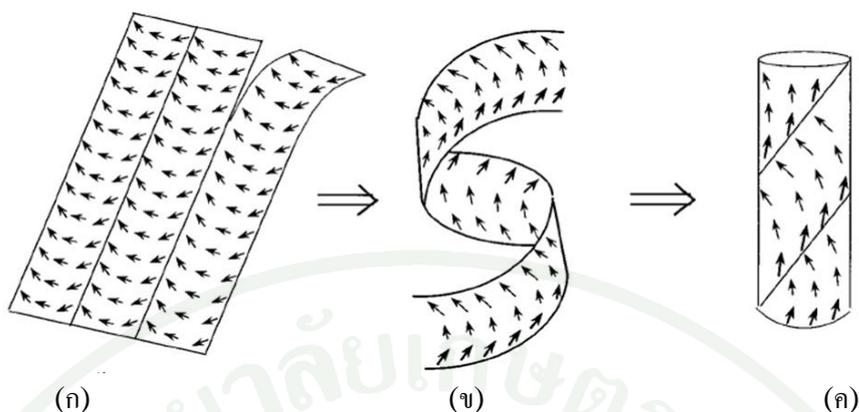
ดั่งภาพที่ 6 (ก) และกรณีขีดจำกัดค่าสูงสุดของการพันกัน โดย  $qr \ll 1$  จะได้ค่ามุม  $\phi_0$  เท่ากับ  $90^\circ$  ซึ่งค่าเฉลี่ยของการเอียงปรับตัวไปตามแกนขนานของท่อทรงกระบอก ดั่งภาพที่ 6 (ข)



ภาพที่ 6 แสดงรูปแบบโครงสร้างทิศการเอียงของโมเลกุลในสองกรณี (ก) แสดงค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการโค้งงอของท่อทรงกระบอก โดย  $qr \gg 1$  (ข) แสดงค่าขีดจำกัดมากที่สุดของการโค้งงอของท่อทรงกระบอก โดย  $qr \ll 1$

ที่มา: Selinger *et al.* (1993)

จากแผนภาพที่ 7 แสดงโครงสร้างของแผ่นฟิล์มลิปิดแบบโมเลกุลสองชั้นกลายเป็นท่อลิปิด (Selinger *et al.*, 2001) Selinger และคณะ ได้ทำการสร้างโครงสร้างโมเลกุลของแผ่นฟิล์มจากเฟสของโมเลกุลที่อุณหภูมิต่ำซึ่งโมเลกุลจะเรียงตัวแบบไม่มีทิศทางกลายเป็นโมเลกุลที่มีการเรียงตัวเป็นทิศทางดั่งภาพที่ 7 (ก) จะเกิดการแยกตัวออกตามแนวขอบของผนังแล้วพันกันเป็นลักษณะคล้ายริบบิ้น จากนั้นริบบิ้นมายึดติดกันแน่นจนกลายเป็นท่อทรงกระบอกกลวง แสดงดั่งภาพที่ 7 (ค)

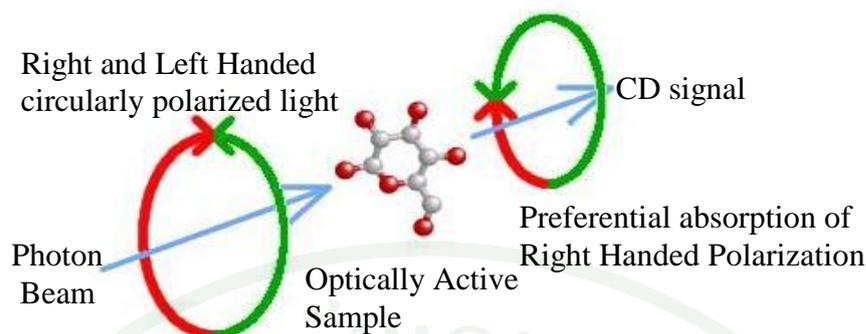


ภาพที่ 7 แสดงโครงสร้างของแผ่นฟิล์มเป็นท่อลิปิต (ก) เป็นแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิต่ำ และเกิดการแยกออกตรงบริเวณขอบ (ข) การพันกันเป็นเกลียวของโครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายริบบิ้น (ค) โครงสร้างคล้ายริบบิ้นมาชิดติดกันแน่นจนกลายเป็นท่อทรงกระบอก

ที่มา: Selinger *et al.* (2001)

#### 4. เซอร์คูลาร์ไดโครอิซึม (Circular Dichroism)

เซอร์คูลาร์ไดโครอิซึม (Circular Dichroism หรือ CD) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวัดความแตกต่างของการดูดกลืนแสงโพลาไรซ์วงกลมทางซ้ายและทางขวา แสดงดังภาพที่ 8 โดยเมื่อให้แสงโพลาไรซ์วงกลม (circularly polarized light) ผ่านตัวอย่างที่มีความเป็นไครอลของโมเลกุล จะทำให้ตัวอย่างดูดกลืนแสงโพลาไรซ์วงกลมทางซ้ายและทางขวา (left - right handed circularly polarized light) ได้ไม่เท่ากัน



ภาพที่ 8 แสดงลักษณะการเกิดเซอร์คูลาร์ไดโครอิซึมจากตัวอย่างที่มีคุณสมบัติความเป็นไครอล

ที่มา: Department of Chemistry and Biochemistry New Mexico State University (2006)

การหาความแตกต่างในการดูดกลืนแสงโพลาไรซ์วงกลม และ Molar ellipticity สามารถหาได้ดังนี้

กำหนดให้ความเข้มของแสงโฟตอนที่ผ่านมาตัวอย่างเป็น  $I$  และความเข้มโฟตอนผ่านเซลล์ที่ไม่มีตัวอย่างเป็น  $I_0$  การดูดกลืน  $A$  ของตัวอย่างสามารถหาได้จากสมการ

$$A = -\log \frac{I}{I_0} \quad (6)$$

เนื่องจากการดูดกลืนมีทั้งแสงโพลาไรซ์วงกลมทางซ้าย (left circularly polarized light ; LCPL) และแสงโพลาไรซ์วงกลมทางขวา (right circularly polarized light ; RCPL)

ดังนั้นความแตกต่างในการดูดกลืน  $\Delta A$  สามารถหาได้จากสมการ

$$\Delta A = A_{LCPL} - A_{RCPL} \quad (7)$$

โดยถ้า  $\Delta A$  มีค่ามาก แสดงว่ามีความแตกต่างในการดูดกลืนมาก

จากกฎของ Beer (Beer's law)

$$\Delta A = (\varepsilon_{LCPL} - \varepsilon_{RCPL})Cl \quad (8)$$

เมื่อ  $\varepsilon_{LCPL}$  และ  $\varepsilon_{RCPL}$  เป็นสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนของแสงโพลาไรซ์  
วงกลมทางซ้าย และทางขวา

$C$  เป็นความเข้มข้นของตัวอย่าง (molar)

$l$  เป็นความยาวของเส้นทางเดินแสงก่อนที่จะผ่านตัวอย่าง (cm)

ดังนั้น

$$\Delta \varepsilon = (\varepsilon_{LCPL} - \varepsilon_{RCPL}) \quad (9)$$

เนื่องจาก Molar ellipticity  $[\theta]$  คือค่าที่ใช้วัดความเป็นไครอลของโมเลกุล ซึ่งสามารถหา  
ได้จากสมการ

$$[\theta] = 3298.2 \Delta \varepsilon \quad (10)$$

แทน (8) และ (9) ลงใน (10)

จะได้

$$[\theta] = 3298.2 \frac{\Delta A}{c \times l} \quad (11)$$

โดยถ้า  $\Delta A$  มีค่ามาก เนื่องจากความแตกต่างในการดูดกลืนมาก จะทำให้  $[\theta]$  มีค่ามาก  
ซึ่งแสดงว่าโมเลกุลจะมีความเป็นไครอลสูง

## 5. เครื่องโมนโครมาเตอร์ (Monochromator)

โมนโครมาเตอร์ มาจากภาษากรีก mono- แปลว่า เดี่ยว chroma แปลว่า สี ทำหน้าที่คัด  
แยกแสงจากแหล่งกำเนิดแสงให้กลายเป็นลำแสงที่มีความยาวคลื่นเดียว

### 5.1 หลักการของเครื่องโมนโครมาเตอร์

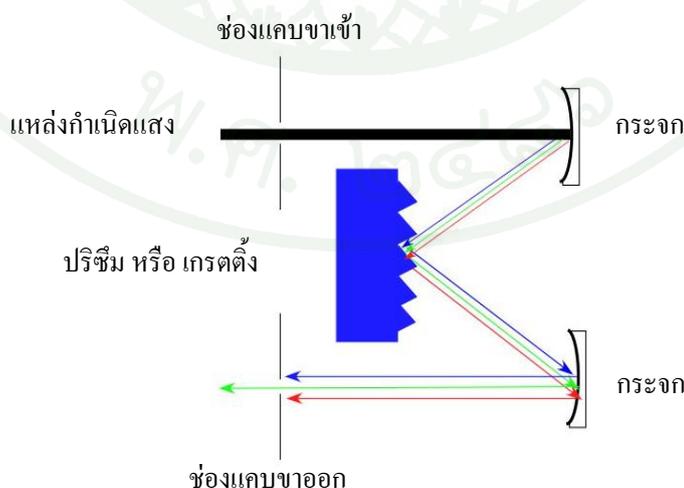
โมนโครมาเตอร์ใช้หลักการของปรากฏการณ์การกระจายสีของแสง (Optical dispersion) เมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลาง เช่น ปริซึม (Prism) หรือ การเลี้ยวเบนโดยใช้การเลี้ยวเบนของเกรตติง (Grating) แยกเป็นแสงสี โดยทั่วไป เกรตติง หรือ ปริซึม จะใช้ในส่วนของการสะท้อน

### 5.2 ส่วนประกอบของโมนโครมาเตอร์

โมนโครมาเตอร์ประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสง, กระจกเงา, ปริซึม หรือ เกรตติง และช่องแคบ (slit)

### 5.3 หลักการทำงานของเครื่องโมนโครมาเตอร์

แสงที่กำเนิดจากแหล่งกำเนิดแสงผ่านเข้าทางช่องแคบตกกระทบกับกระจกตัวที่ 1 สะท้อนเข้าไปในปริซึม หรือ เกรตติง แสงที่ผ่านออกมาจะแยกออกเป็นแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันตกกระทบที่กระจกตัวที่ 2 และสะท้อนผ่านช่องแคบขาออก แสงที่ออกมาจะมีความยาวคลื่นเดียว (Monochrome beam) ซึ่งสามารถเลือกช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการได้โดยการหมุน ปริซึม หรือ เกรตติง ให้มีมุมเปลี่ยนไป ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แสดงการทำงานของเครื่องโมนโครมาเตอร์

## 6. ตัวตรวจจับแสง หรือ โฟโตดีเทคเตอร์ (Photodetector)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า (Electrical to Optical Converter หรือ O/E converter) ประเภทของโฟโตดีเทคเตอร์ แบ่งออกเป็น โฟโตไดโอด (Photodiodes), โฟโตทรานซิสเตอร์ (Phototransistors), โฟโตมัลติพลายเออร์ (Photon multipliers) และ โฟโต รีซิสเตอร์ (Photo-resistors) เป็นต้น

### 6.1 คุณสมบัติของโฟโตดีเทคเตอร์

6.1.1 ต้องมีความไวในการรับแสงได้ดี (High Sensitivity) เฉพาะในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการ เนื่องจากการส่งสัญญาณแสงจะใช้ความยาวคลื่นแสงในช่วงเฉพาะ ดังนั้นหากแสงอื่นที่มีความยาวคลื่นไม่เกี่ยวข้องกันมาตกกระทบพร้อมกัน ย่อมทำให้เกิดสัญญาณรบกวน

6.1.2 สัญญาณรบกวนภายในอันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมต้องมีค่าน้อยที่สุด

6.1.3 เวลาในการตอบสนองสัญญาณ (Fast Response Time) ต้องสั้นมาก กล่าวคือ เมื่อมีแสงตกกระทบโฟโตดีเทคเตอร์ต้องเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าด้วยเวลาที่สั้นที่สุด

6.1.4 ต้องมีแบนด์วิธกว้าง (High Bandwidth) เพียงพอสำหรับอัตราข้อมูลสูงๆ

6.1.5 อุปกรณ์รับแสงต้องไม่เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

### 6.2 ประเภทของโฟโตไดโอด แบ่งเป็น

#### 6.2.1 พินโฟโตไดโอด (Positive-Intrinsic-Negative (*pin*) photodiode)

เป็นอุปกรณ์รับแสงที่ใช้ หลักการทำงานของพินโฟโตไดโอดจะคล้ายคลึงกับของพีเอ็นโฟโตไดโอด แต่พินโฟโตไดโอดรับการปรับปรุงให้มีชั้นอินทรินสิค (ส่วนที่ไม่มีอนุภาคอยู่ภายใน) ที่กว้าง จึงเท่ากับเพิ่มโอกาสให้เกิดอนุภาคตัวนำ (Electron and Hole) หรือกระแสไหลในวงจรภายนอกได้มากขึ้นนั่นเอง ซึ่งนอกจากจะทำให้การตอบสนองสูงขึ้นแล้วก็ยังใช้ไรส์ไทม์ (Rise Time,  $t_r$ ) ก็สั้นลงอีกด้วย

พินโฟโตไดโอดเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ทำงานเป็นตัวรับแสงที่มีส่วนประกอบของ n และ p รีเจียน ซึ่งถูกแยกโดยรีเจียน i ซึ่งเป็นชั้นที่ได้ปสาร n น้อยมาก

## 6.2.2 อวาเลนซ์โฟโตไดโอด (Avalanche Photodiode)

อวาเลนซ์โฟโตไดโอด (Avalanche Photodiode, APD) หรือตัวตรวจจับแสงที่มีความไวสูง เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จำพวกสารกึ่งตัวนำซิลิกา ใช้ประโยชน์ในการศึกษาปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกส์

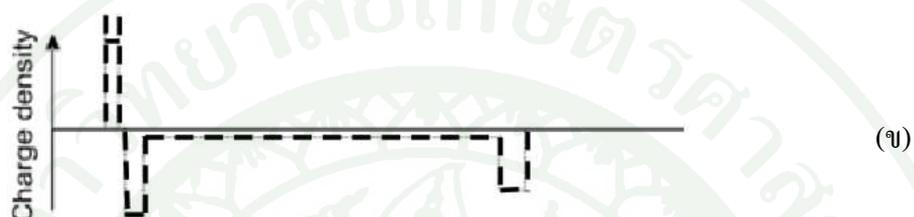
อวาเลนซ์โฟโตไดโอดนั้นใช้ปฏิกิริยาการขยาย (Avalanche) ของอิเล็กตรอนและโฮล ในสารกึ่งตัวนำเมื่อเปรียบเทียบกับโฟโตไดโอดแล้วเป็นอุปกรณ์รับแสงที่ให้กระแสจำนวนมาก หลักการทำงานของอวาเลนซ์โฟโตไดโอดทางด้านสารพีของรอยต่อพีเอ็นจะมีสารกึ่งตัวนำแบบสารพีที่มีความหนาแน่นของโฮลสูงติดอยู่ (ส่วนที่แสดงด้วยสารพีบวก) โดยการทำให้เช่นนี้จะทำให้สนามไฟฟ้าภายในของบริเวณใกล้เคียงรอยต่อที่มีสารพีเป็นศูนย์กลางมีค่ามาก อิเล็กตรอนที่ดูดแสงที่มากกระทบทางด้านพีบวก และถูกกระตุ้นจากระดับพลังงานต่ำไปยังระดับพลังงานสูงในระหว่างที่

อวาเลนซ์โฟโตไดโอดเป็นอุปกรณ์รับแสงที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อให้มีความไวที่สูงกว่าพินโฟโตไดโอด เนื่องจากโครงสร้างของอวาเลนซ์โฟโตไดโอด ทำให้เกิดอัตราการขยายกระแสได้จากภายนอก กรณีของพินโฟโตไดโอด ซึ่งการใช้วงจรขยายภายนอกนี้มีโอกาสทำให้คุณภาพของสัญญาณด้อยลงมาเนื่องจากสัญญาณรบกวนที่เกิดมาจากวงจรที่ต่อเพิ่มเติมเข้าไปนั่นเอง

อวาเลนซ์โฟโตไดโอดมีชั้นของสารกึ่งตัวนำเป็น  $n+pip+$  ซึ่งตรงรอยต่อระหว่าง  $n+$  (ได้ไปให้มีปริมาณของอิเล็กตรอนสูงมาก) และ  $p$  จะเกิดเป็นบริเวณที่สนามไฟฟ้ามีค่าสูงมากเมื่อได้รับการไบแอส ทำให้เกิดการชนกันของอิเล็กตรอนและโฮลในบริเวณนี้ ทำให้ทั้งอิเล็กตรอนและโฮลเกิดการแตกตัว และมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็นทวีคูณ เกิดช่วงที่เรียกว่า ช่วงอัตราการขยาย (Gain region) หรือ ช่วงอวาเลนซ์ (Avalanche region) ดังนั้น ค่ากระแสที่ได้จากการตรวจจับแสงจึงมีค่าเพิ่มเป็นทวีคูณด้วย กล่าวคือ เกิดการขยายของกระแสไฟฟ้าขึ้นภายในตัวไดโอด อวาเลนซ์โฟโตไดโอด ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า avalanche effect โดยค่าที่ทวีคูณ (Multiplication :  $M$ ) ได้จากนิยามดังนี้

$$M = \frac{I_M}{I_P} \quad (13)$$

โดยที่  $I_M$  เป็นค่าเฉลี่ยของกระแสเอาต์พุตเมื่อมีการทวีคูณ  
 $I_p$  เป็นกระแสในกรณีที่ไม่มีกรทวีคูณ



ภาพที่ 10 (ก) แสดงโครงสร้างชั้นของสารกึ่งตัวนำอวาแลนซ์โฟโตไดโอด (ข) กราฟแสดงการกระจายของความหนาแน่นประจุ (ค) กราฟแสดงความหนาแน่นของสนามไฟฟ้าและช่วงอวาแลนซ์

ที่มา: Rongqing (2008)

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

#### 1. สารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์ท่อนานิลิปิด

สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมท่อนานิลิปิดเพื่อใช้เป็นตัวอย่างในงานวิจัยนี้มีรายละเอียดดัง  
ตารางที่ 1

#### ตารางที่ 1 รายละเอียดของสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมท่อนานิลิปิด

สารเคมี	สูตรทางเคมี
ฟอสโฟลิปิด (1,2-bis(10,12-Tricosadiynoyl- <i>sn</i> -Glycero-3-Phosphocholine ; DC <sub>8,9</sub> PC))	C <sub>54</sub> H <sub>92</sub> NO <sub>8</sub> P
เอทานอล	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH
น้ำกลั่นบริสุทธิ์ (Ultra-pure water )	D <sub>2</sub> O

#### 2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ท่อนานิลิปิด

- ขวด (vial) ขนาด 3 มิลลิลิตร สีใส
- เทอร์โมมิเตอร์
- เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้
- คอมพิวเตอร์
- เครื่องชั่งอย่างละเอียด ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น XP 105 ที่ชั่งน้ำหนักได้สูงสุด  
120 กรัม ความแม่นยำ 0.01 มิลลิกรัม จอแสดงผลแบบ กราฟฟิกแบบสัมผัส ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 11 เครื่องชั่งอย่างละเอียด ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น XP 105

2.6 ไมโครปิเปต ที่มีความจุ 0.01- 0.1 มิลลิลิตร และ 0.01-1.0 มิลลิลิตร



ภาพที่ 12 ไมโครปิเปต

2.7 เครื่องฉายรังสียูวี UV (Ultra-violet Radiation) มีความยาวคลื่น 2 ระดับ คือ 254 นาโนเมตร และ 365 นาโนเมตร 230 โวลต์ ประมาณ 50/60 เฮิร์ตซ์



ภาพที่ 13 เครื่องฉายรังสี UV ยี่ห้อ VILBER LOURMAT รุ่น VL-6LC

### 3. อุปกรณ์ที่ใช้ศึกษาโครงสร้างภายนอกของท่อนาโนลิปิด

3.1 กล้องจุลทรรศน์ที่ติดตั้งกล้องถ่ายภาพ ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 กล้องจุลทรรศน์ที่ติดตั้งกล้องถ่ายภาพ Nikon รุ่น Eclipse LV100 POL

3.2 กระจกสไลด์

3.3 หลอดหยด

#### 4. อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาลักษณะทางกายภาพของท่อนาโนลิปิด

4.1 กระจกสไลด์

4.2 หลอดหยด

4.3 ปากกาตัดกระจก

4.4 กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic Force Microscope หรือ AFM) รุ่น Dimension

3100 Digital



ภาพที่ 15 แสดงกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Dimension 3100)

#### 5. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมเซลล์แก้วสำหรับบรรจุสารแขวนลอยท่อนาโนลิปิด

5.1 กระจกปิดสไลด์ (cover slip)

5.2 กาวสองหน้า

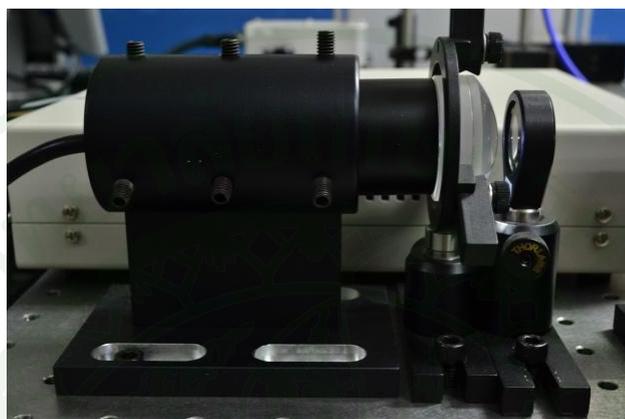
5.3 กาว (epoxy)

5.4 คัตเตอร์

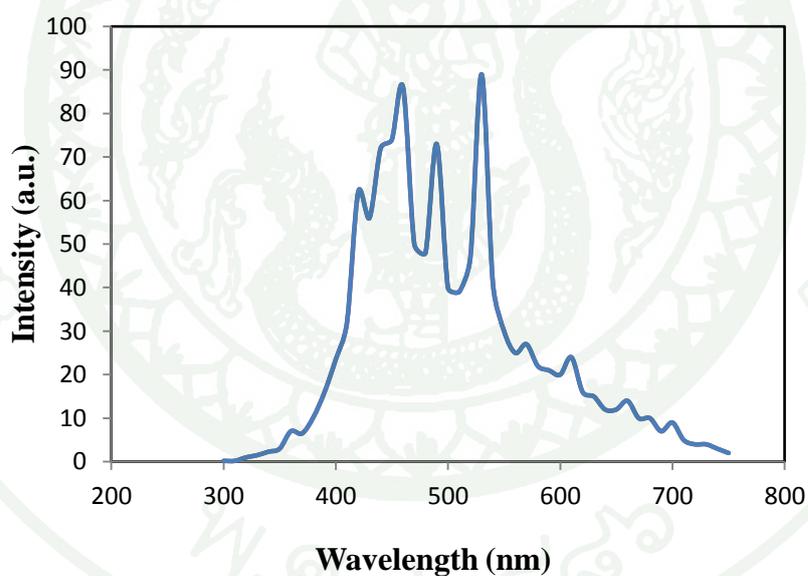
5.5 ไม้บรรทัด

## 6. อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาความเป็นโครอลของท่อนาโนลิปิด

### 6.1 แหล่งกำเนิดแสง Xenon Flash Lamp รุ่น Shield Box E2608



(ก)



(ข)

ภาพที่ 16 (ก) แหล่งกำเนิดแสง Xenon Flash Lamp (ข) สเปกตรัมของความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสง Xenon Flash Lamp

6.2 โมโนโครมาเตอร์ (Monochromator) รุ่น CM110 สามารถเลือกช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ UV จนถึง อินฟราเรด



ภาพที่ 17 โมโนโครมาเตอร์ SP spectral products CM110

6.3 เลนส์

6.4 โพลาริเซอร์

6.5 quarter wave plate



ภาพที่ 18 quarter wave plate

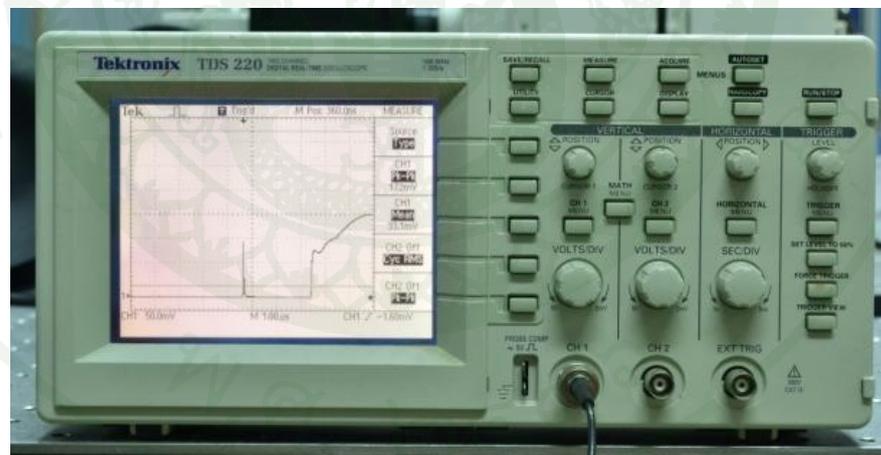
### 6.6 avalanche photodiode detector รุ่น module C5658



ภาพที่ 19 avalanche photodiode detector รุ่น module C5658

### 6.7 power supply

### 6.8 เครื่องออสซิลอโคป (Oscilloscope)



ภาพที่ 20 เครื่องออสซิลอโคป (Oscilloscope) Tektronix TDS 220

## วิธีการ

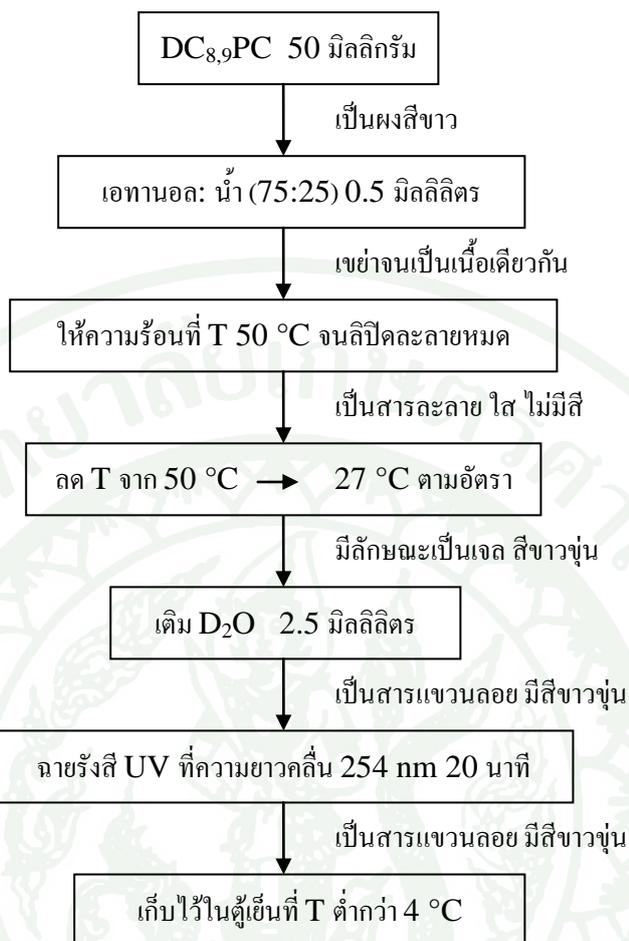
### 1. การตั้งเครื่องที่อานาโนลิปิด

เตรียมลิปิด (DC<sub>8,9</sub>PC) ที่มีลักษณะเป็นผงสีขาวใส่ขวด ขวดละ 50 มิลลิกรัม จำนวน 5 ขวด จากนั้นเติมตัวทำละลายที่ได้จากการผสมเอทานอลกับน้ำกลั่นบริสุทธิ์ (D<sub>2</sub>O) ในอัตราส่วน 75:25 (v:v) ประมาณ 0.5 มิลลิลิตร ลงในแต่ละขวด ซึ่งต้องเติมเอทานอล 0.375 มิลลิลิตรและน้ำกลั่น 0.125 มิลลิลิตร โดยใช้ไมโครปิเปตที่มีความจุ 0.01 ถึง 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นให้ความร้อนด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 15-20 นาที (หรือจนกว่าลิปิดจะละลายหมด) ซึ่งจะเป็นสารละลายใส ไม่มีสี จากนั้นลดอุณหภูมิแบบควบคุมตามอัตราที่กำหนด 5 อัตรา ดังแสดงในตารางที่ 2 จากอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสจนถึงอุณหภูมิต่ำกว่า 27 องศาเซลเซียส โดยใช้โปรแกรม Wintemp ที่ติดตั้งบนคอมพิวเตอร์ และต่อกับเตาอบที่สามารถควบคุมการลดอุณหภูมิในอัตราที่กำหนดได้

ตารางที่ 2 อัตราส่วนการลดอุณหภูมิต่อเวลา

ลำดับที่	อัตราการลดอุณหภูมิ		รวมเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ	ส่วนกลับของอัตราการลดอุณหภูมิ
	ต่อเวลา			
1	10.2 °C/hr		2 ชั่วโมง 18 นาที	0.10 hr/ °C
2	4.8 °C/hr		4 ชั่วโมง 47 นาที	0.21 hr/ °C
3	1.8 °C/hr		12 ชั่วโมง 47 นาที	0.56 hr/ °C
4	1.2 °C/hr		19 ชั่วโมง 10 นาที	0.83 hr/ °C
5	0.6 °C/hr		38 ชั่วโมง 20 นาที	1.66 hr/ °C

เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนการลดอุณหภูมิแบบควบคุมจะได้สารที่มีลักษณะเป็นเจลสีขาวขุ่น จากนั้นเติมน้ำกลั่นบริสุทธิ์ 2.5 มิลลิลิตร แล้วเขย่าให้เป็นเนื้อเดียวกัน จะได้สารแขวนลอยที่มีสีขาวขุ่น ซึ่งเมื่อนำไปศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นเป็นท่อนาโนลิปิดจำนวนมาก จากนั้นฉายรังสียูวี (Ultraviolet, UV) ที่มีความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร นาน 20 นาที เพื่อรักษาความเป็นท่อนาโนลิปิด จากนั้นนำท่อนาโนลิปิดที่ได้ไปเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถรักษาความเป็นท่อนานได้ถึง 3 เดือน



ภาพที่ 21 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมท่อนาโนลิปิด

## 2. การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่ติดตั้งกล้องถ่ายภาพ

นำท่อนาโนลิปิดที่เก็บไว้ในตู้เย็นมาหยดบนกระจกสไลด์ 2 หยด วางทิ้งไว้แห้งในอากาศ จากนั้นนำกระจกสไลด์ที่มีท่อนาโนลิปิดอยู่มาศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่เลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยาย 20x จะเห็นท่อนาโนลิปิดที่มีลักษณะเป็นเส้นๆ สีดำซ้อนทับกันเป็นจำนวนมาก จากนั้นถ่ายภาพท่อนาโนลิปิดที่ได้จากการลดอุณหภูมิแบบควบคุม

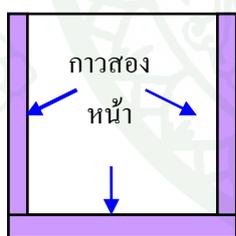
## 3. การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM)

นำท่อนาโนลิปิดที่เก็บไว้ในตู้เย็นมาหยดบนกระจกสไลด์ 2 หยด ทิ้งไว้ให้แห้งในอากาศ จากนั้นตัดกระจกสไลด์ในส่วนที่ไม่มีท่อนาโนลิปิดทิ้ง ด้วยปากกาตัดกระจก (ให้มีขนาดที่ใส่ใน

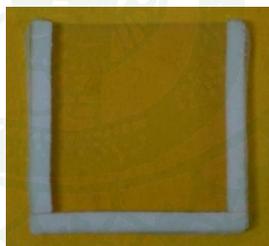
เครื่อง AFM ได้) นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AFM แล้วนำภาพจากกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอมที่ได้ มาหาค่ามุมเกลียวของท่อ โดยการลากเส้นให้ขนานกับแกนกลางของท่อ นาโนลิปิด 1 เส้น จากนั้น ลากเส้นตั้งฉากกับเส้นที่ลากขึ้น แล้วลากเส้นในแนวขอบของท่อลิปิด ทำให้เกิดมุมหลังจากนั้นวัด ค่าของมุม โดยในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการสุ่มตัวอย่างในการวัด 30 ท่อจากแต่ละอัตราการลด อุณหภูมิ ซึ่งเป็นจุดที่ค่อนข้างชัดเจนที่สุด แล้วจึงนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยของแต่ละอัตรา

#### 4. ขั้นตอนการเตรียมเซลล์

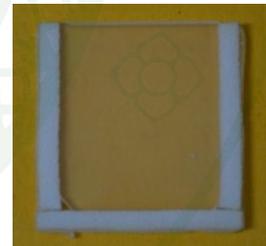
ตัดกาวสองหน้าที่มีความหนา 1.23 มิลลิเมตรให้เป็นเส้น โดยมีขนาดความกว้างเส้นละ ประมาณ 1 มิลลิเมตร จากนั้นนำมาติดบนกระจกปิดแผ่นสไลด์ 3 ด้าน ดังแสดงในภาพที่ 22 (ก) หลังจากนั้นนำกระจกปิดแผ่นสไลด์อีกแผ่นมาปิดทับ ทากาว (epoxy) ปิดทับทั้ง 3 ด้าน (ทำให้ปิดสนิท) จะได้เซลล์ที่มีลักษณะดังภาพที่ 22 (ข) รองกาวแห้ง แล้วนำท่อนาโนลิปิดที่เก็บไว้ใน ตู้เย็น เจือจางความเข้มข้นลิปิดด้วยการเติมน้ำกลั่นบริสุทธิ์ให้มีความเข้มข้นลิปิด 0.39 มิลลิกรัมต่อ มิลลิลิตร แล้วนำท่อนาโนลิปิดที่เจือจางแล้วประมาณ 0.1 มิลลิลิตรใส่ในเซลล์ที่เตรียมไว้ จากนั้น ปิดผนึกเซลล์ด้านที่เหลือ ซึ่งจะได้เซลล์ดังภาพที่ 22 (ค) ที่จะใช้ในการทดลอง



(ก)



(ข)



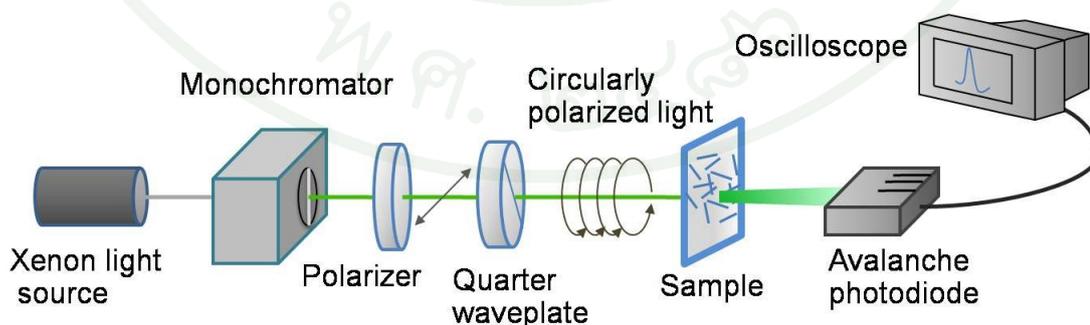
(ค)

ภาพที่ 22 แสดงลักษณะของเซลล์ (ก) แสดงการติดบนกระจกปิดแผ่นสไลด์ 3 ด้าน (ข) เซลล์แก้ว ที่เตรียมได้พร้อมทั้ง ทากาว (epoxy) ปิดทับทั้ง 3 ด้าน (ค) ท่อนาโนลิปิดที่เจือจางแล้ว ประมาณ 0.1 มิลลิลิตรใส่ในเซลล์ที่เตรียมไว้

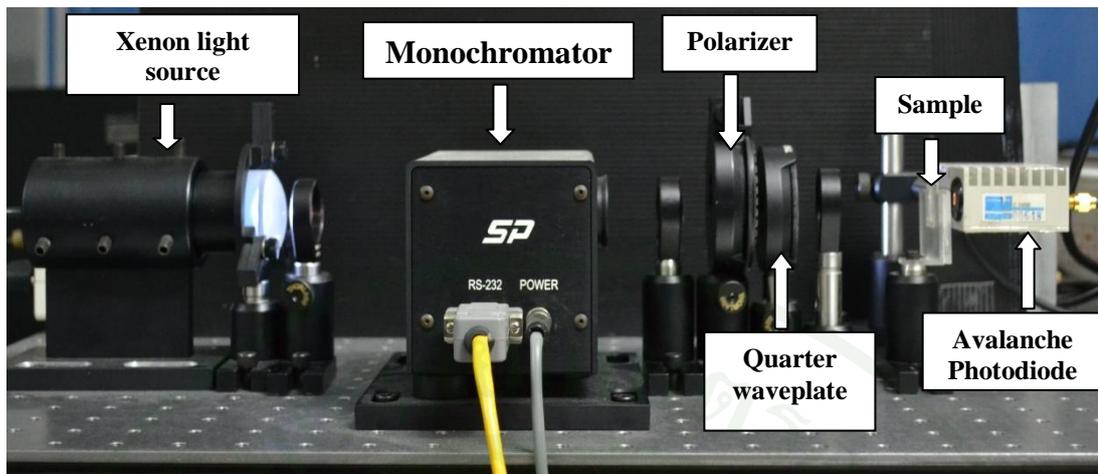
#### 5. การวิเคราะห์ความเป็นไครอลของท่อนาโนลิปิด โดยใช้คุณสมบัติเซอร์ดูการ์โดโครอิสซึม

การวิเคราะห์ความเป็นไครอลของท่อนาโนลิปิด โดยใช้คุณสมบัติเซอร์ดูการ์โดโครอิสซึม มีขั้นตอน ตามแบบจำลองของการติดตั้งอุปกรณ์แสดงดังภาพที่ 23 โดยเริ่มจากการเปิด

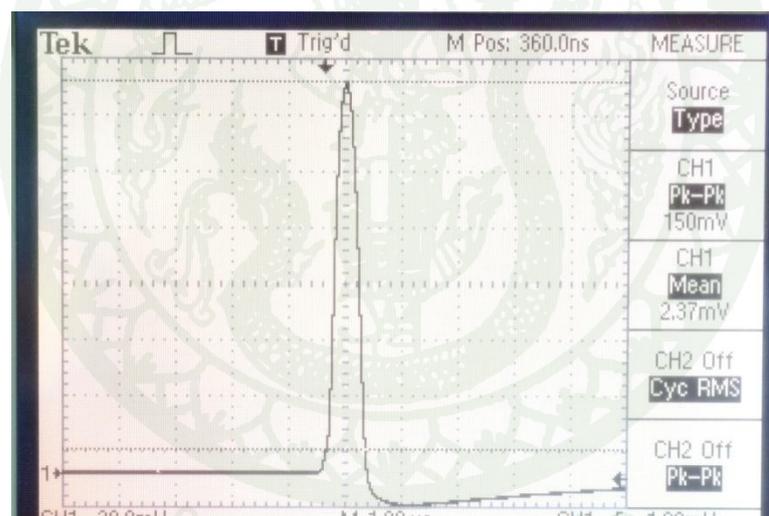
แหล่งกำเนิดแสง Xenon Flash Lamp ที่ไว้อย่างน้อย 15 นาที่ แล้วจึงนำเลนส์นูนมาวางเพื่อรวมแสงให้ตกลงบนโมโนโครมาเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถเลือกความยาวคลื่นได้โดยใช้ตัวควบคุมโมโนโครมาเตอร์เลือกช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการ นำเลนส์นูนมาวางเพื่อรวมแสงที่ออกจากโมโนโครมาเตอร์ให้ส่องผ่านโพลาไรเซอร์ซึ่งจะให้แสงเป็นแสงโพลาไรซ์แบบเชิงเส้น จากนั้นนำ quarter wave plate มาวางทำมุม 45 องศา กับแกนโพลาไรเซอร์ให้แสงที่ออกจากโพลาไรเซอร์ผ่านไป ทำให้แสงกลายเป็นแสงโพลาไรซ์แบบวงกลม โดยใช้เลนส์นูนรวมแสงให้ตกลงบน avalanche photodiode detector (APD) ซึ่งจะให้สัญญาณออกมาในหน่วย โวลต์ (Volt) โดยอ่านค่าที่ได้ด้วยเครื่องออสซิลโลสโคป วิธีการทดลองคือเลือกช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการ นำเซลล์ที่ใส่น้ำบริสุทธิ์แล้วมาวางระหว่าง quarter wave plate และ APD เพื่อวัดค่าเริ่มต้น จากนั้นนำเซลล์ที่มีสารละลายท่อนาโนลิปิดอยู่วางตำแหน่งเดียวกันกับตอนแรก โดยปรับมุมเริ่มต้นของ quarter wave plate ไว้ที่ 0 องศา แล้วหมุน quarter wave plate ไปทางขวา 45 องศา (เทียบกับแกนโพลาไรซ์ของแสง) เพื่อให้ได้แสงโพลาไรซ์เชิงวงกลมหมุนขวาหรือซ้าย อ่านค่าสัญญาณที่แสงส่องผ่านตัวอย่างออกมาด้วยเครื่องออสซิลโลสโคป โดยสังเกตพีคของสัญญาณ แล้วบันทึกผล จากนั้นหมุน quarter wave plate ไปทางซ้าย 45 องศา (เทียบกับแกนโพลาไรซ์ของแสง) อ่านค่าสัญญาณที่แสงส่องผ่านตัวอย่างออกมาด้วยเครื่องออสซิลโลสโคป อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้แสดงดังภาพที่ 24 โดยสังเกตพีคของสัญญาณแล้วบันทึกผล สัญญาณที่วัดออกมาอยู่ในหน่วย มิลลิโวลต์ดังภาพที่ 25 และทำการทดลองแบบนี้ซ้ำ 25 ครั้ง จึงนำค่าที่ได้มาเฉลี่ย เพื่อหาค่าในการดูคลื่นแสงของท่อนาโนลิปิด และทำการวัดแต่ละตัวอย่างจนครบทุกตัวอย่าง โดยเริ่มทดลองที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร และทดลองเปลี่ยนช่วงความยาวคลื่นอื่นๆ ได้แก่ 460, 490, 532 และ 633 นาโนเมตร และทดลองซ้ำจนครบทุกความยาวคลื่นที่ต้องการ



ภาพที่ 23 แสดงภาพการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ความเป็นไครอลของท่อนาโนลิปิดจากคุณสมบัติเชอร์คูลารีไดโคริซึม



ภาพที่ 24 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเป็นไครอลของท่อนาโนลิปิด โดยเทคนิคเซอร์คิวลาร์ไดโครอิสซึม

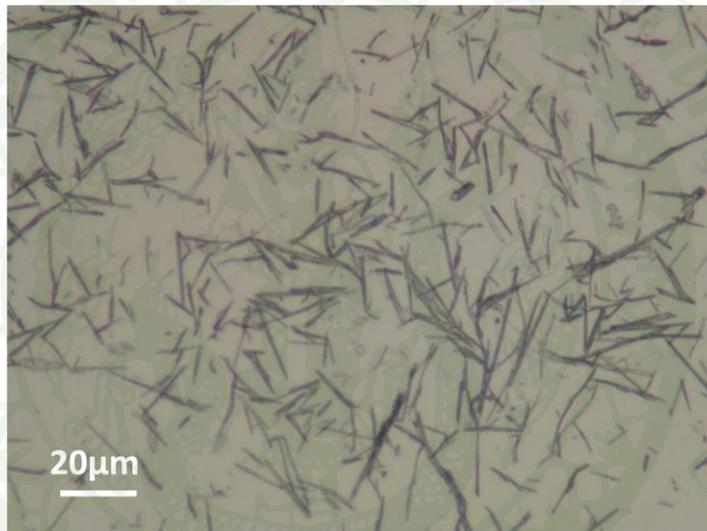


ภาพที่ 25 แสดงความเข้มแสงที่วัดได้เมื่อผ่านท่อลิปิด โดยให้สัญญาณออกมาในหน่วย mV

## ผลการทดลองและวิจารณ์

### 1. ผลการวิเคราะห์ท่อนาโนลิปิดด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่ติดตั้งกล้องถ่ายภาพ

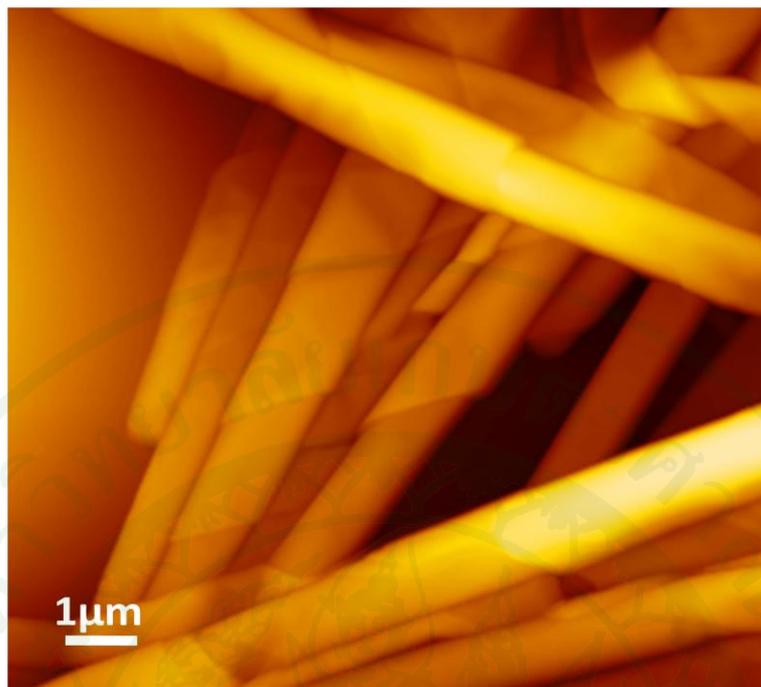
จากผลการวิเคราะห์ท่อนาโนลิปิดด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่ติดตั้งกล้องถ่ายภาพ พบว่าท่อนาโนลิปิดมีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกกระจายอยู่เป็นจำนวนมาก โดยกำลังขยายที่ใช้เป็น 20 เท่า ผลการศึกษาลักษณะภายนอกของท่อนาโนลิปิดมีความยาวประมาณ 50 ไมโครเมตรและเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 0.6 ถึง 0.8 ไมโครเมตร แสดงดังภาพที่ 26



ภาพที่ 26 แสดงลักษณะของท่อนาโนลิปิดถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์

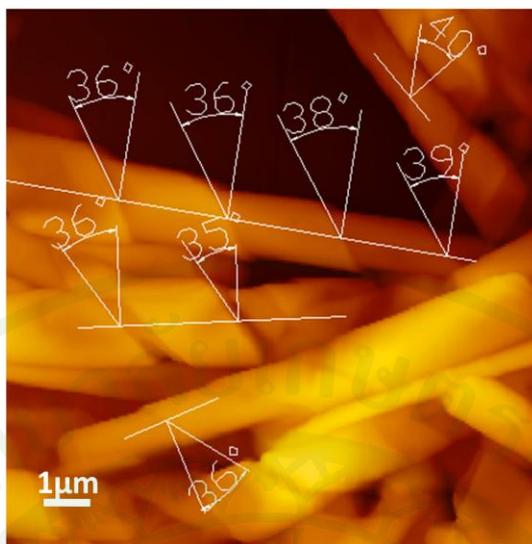
### 2. ผลการวิเคราะห์ท่อนาโนลิปิดด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม

จากการศึกษาโครงสร้างของท่อนาโนลิปิดด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม พบว่าโครงสร้างของท่อนาโนลิปิดที่เกิดจากการขึ้นรูปเป็นฟิล์มโมเลกุลสองชั้นเมื่อลดอุณหภูมิโดยการควบคุมอัตราการลดอุณหภูมิเกิดการแยกตัวของฟิล์มบริเวณขอบของโมเลกุล บิดรูปออกมาเป็นโครงสร้างคล้ายริบบิ้นและโครงสร้างที่บิดรูปกันแน่นชิดกันกลายเป็นท่อนาโนลิปิด (Selinger *et al.*, 1996, 2001) แสดงดังภาพที่ 27

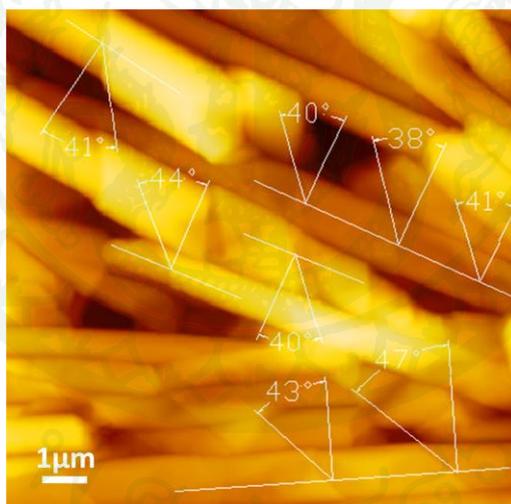


ภาพที่ 27 แสดงภาพถ่ายท่อนาโนลิปิดด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอมที่อัตราการลดอุณหภูมิ 1.2 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ในสารละลายเอทานอลต่อน้ำ

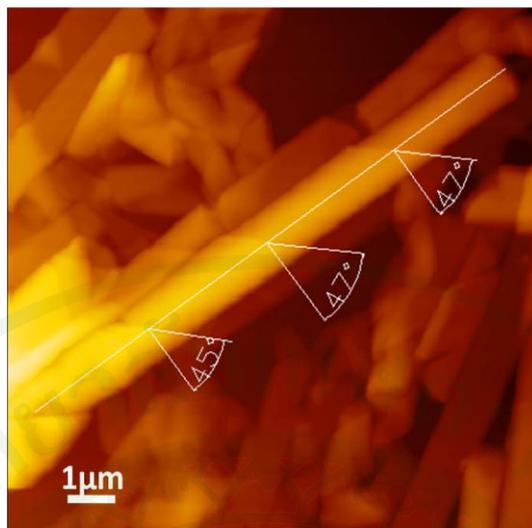
พิจารณาภาพถ่ายท่อนาโนลิปิดจากกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม นำมาศึกษามุมของการหมุนเป็นเกลียวของท่อนาโนลิปิด โดยใช้โปรแกรมออโตแคด (AutoCAD) ลากเส้นตรงขนานกับท่อนาโนลิปิดที่วัดขนาดมุมที่อัตราการลดอุณหภูมิ 10.2 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง มุมเฉลี่ย 37.0 องศา แสดงดังภาพที่ 28 ที่อัตราการลดอุณหภูมิ 4.8 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง มุมของท่อนาโนลิปิดเฉลี่ย 40.9 องศา แสดงดังภาพที่ 29 ที่อัตราการลดอุณหภูมิ 1.8 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง มุมของท่อนาโนลิปิด มุมเฉลี่ย 42.5 องศา แสดงดังภาพที่ 30 ที่อัตราการลดอุณหภูมิ 1.2 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง มุมของท่อนาโนลิปิด มุมเฉลี่ย 45.7 องศาแสดงดังภาพที่ 31 และที่อัตราการลดอุณหภูมิ 0.6 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง มุมของท่อนาโนลิปิด มุมเฉลี่ย 48.7 องศาแสดงดังภาพที่ 32 จากนั้นนำค่าของมุมเฉลี่ยของแต่ละอัตราการควบคุมการลดอุณหภูมินำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมเฉลี่ยกับอัตราการควบคุมการลดอุณหภูมิ แสดงดังภาพที่ 33



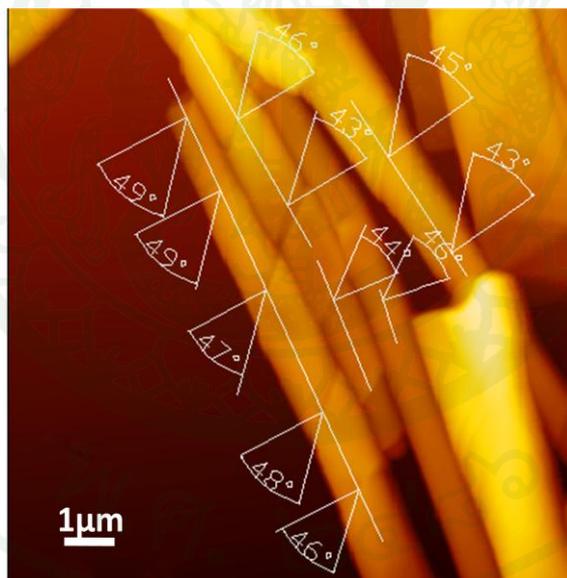
ภาพที่ 28 แสดงภาพมุมของการพันเป็นเกลียวของท่อนานอลิปิดที่อัตราการผลิตอนุภาค 10.2 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง



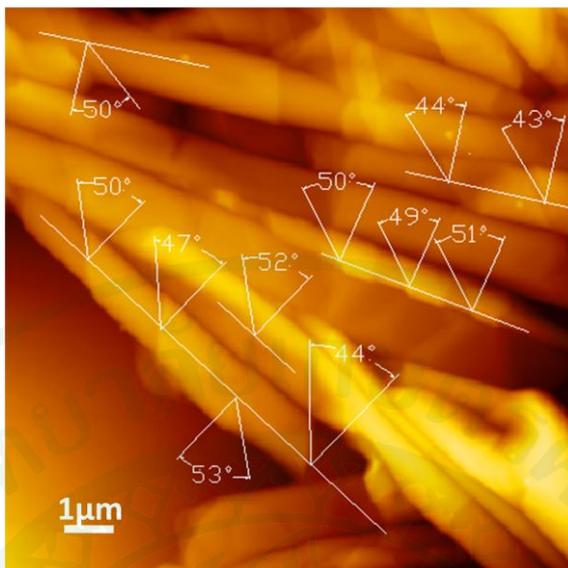
ภาพที่ 29 แสดงภาพมุมของการพันเป็นเกลียวของท่อนานอลิปิดที่อัตราการผลิตอนุภาค 4.8 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง



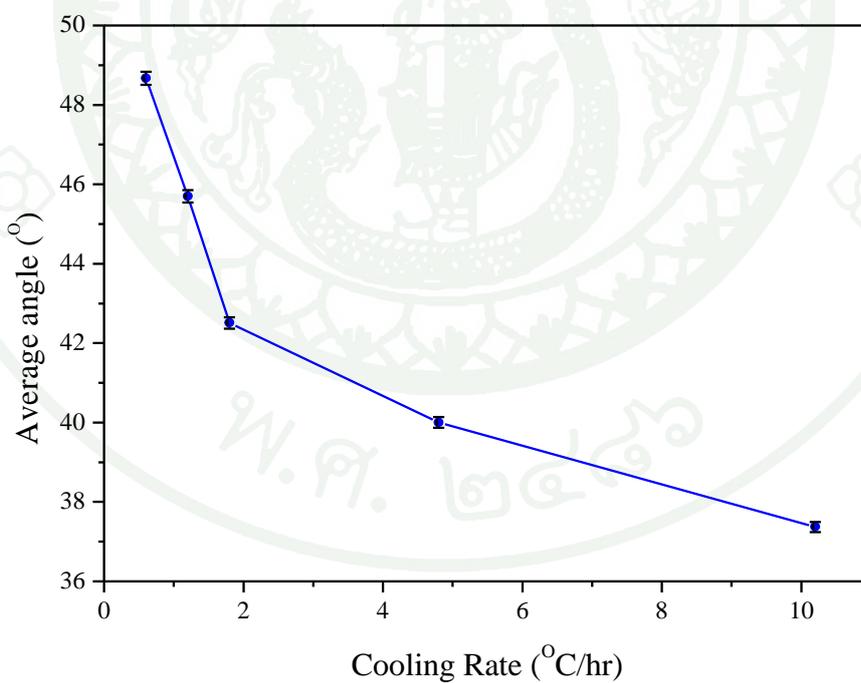
ภาพที่ 30 แสดงภาพมุมของการพันเป็นเกลียวของท่อนาโนลิปิดที่อัตราการลดอุณหภูมิ 1.8 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง



ภาพที่ 31 แสดงภาพมุมของการพันเป็นเกลียวของท่อนาโนลิปิดที่อัตราการลดอุณหภูมิ 1.2 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง



ภาพที่ 32 แสดงภาพมุมของการพันเป็นเกลียวของท่อนาโนลิปิดที่อัตราการลดอุณหภูมิ 0.6 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง

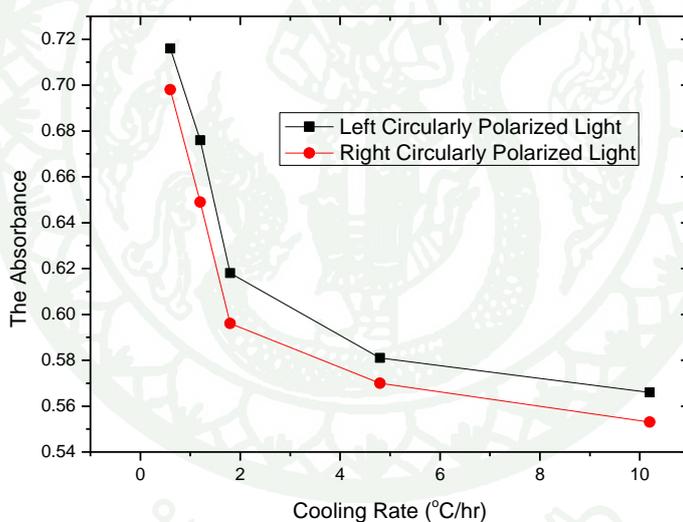


ภาพที่ 33 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมของเกลียวท่อนาโนลิปิดกับอัตราการควบคุมการลดอุณหภูมิ

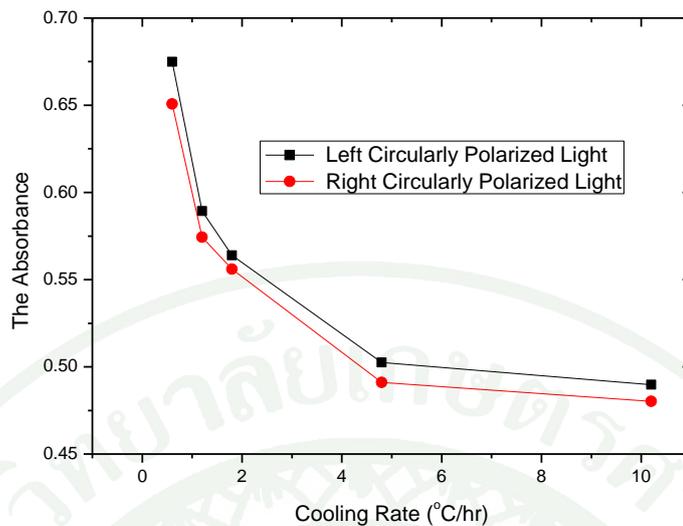
จากกราฟความสัมพันธ์ดังภาพที่ 33 แสดงให้เห็นว่า รูปแบบโครงสร้างของท่อนาโนลิปิด ที่อัตราการควบคุมการลดอุณหภูมิสูงขึ้น ค่าของมุมของเกลียวมีค่าน้อย และที่อัตราการควบคุมการลดอุณหภูมิต่ำลง ค่าของมุมของเกลียวจะมีค่ามาก ซึ่งผลที่ได้เป็นไปตามการศึกษาความยาวของท่อนาโนลิปิดที่ขึ้นอยู่กับอัตราการควบคุมการลดอุณหภูมิ (Thomas *et al.*, 1995) โดยค่ามุมของเกลียวสูง ค่าของความยาวของท่อนาโนลิปิดยิ่งสูงขึ้นด้วย

### 3. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติโครอลของเกลียวทอлипิดโดยใช้เซอร์คูลาร์ไดโครอิม

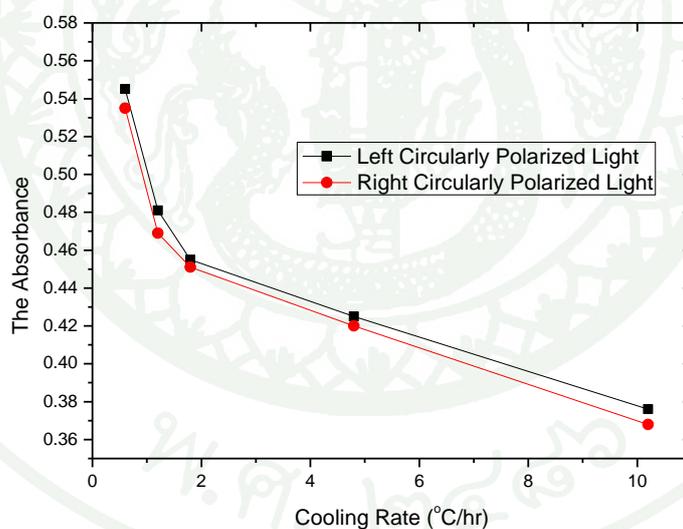
การศึกษาคุณสมบัติความเป็นโครอลของท่อนาโนลิปิด โดยการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงโพลาไรซ์แบบวงกลมทางซ้ายและการดูดกลืนแสงโพลาไรซ์แบบวงกลมทางขวา ในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน ได้แก่ 420, 460, 490, 532 และ 633 นาโนเมตรได้ผลดังนี้



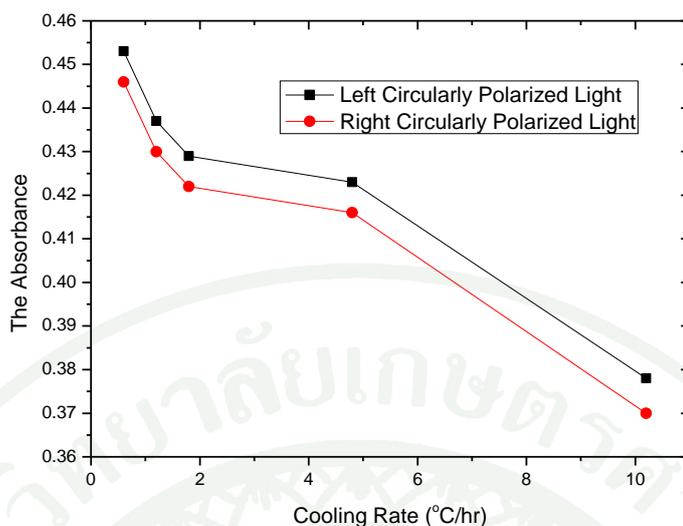
ภาพที่ 34 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของท่อนาโนลิปิดกับอัตราการควบคุมการลดอุณหภูมิ ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร



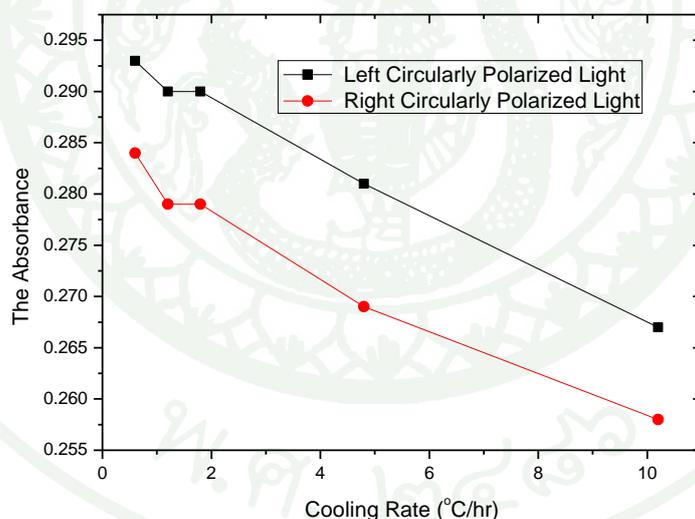
ภาพที่ 35 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของท่อนาโนลิปิดกับอัตราการควบคุมการลดอุณหภูมิ ที่ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร



ภาพที่ 36 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของท่อนาโนลิปิดกับอัตราการควบคุมการลดอุณหภูมิ ที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร



ภาพที่ 37 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของท่อนาโนลิปิดกับอัตราการควบคุมการลดอุณหภูมิ ที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร

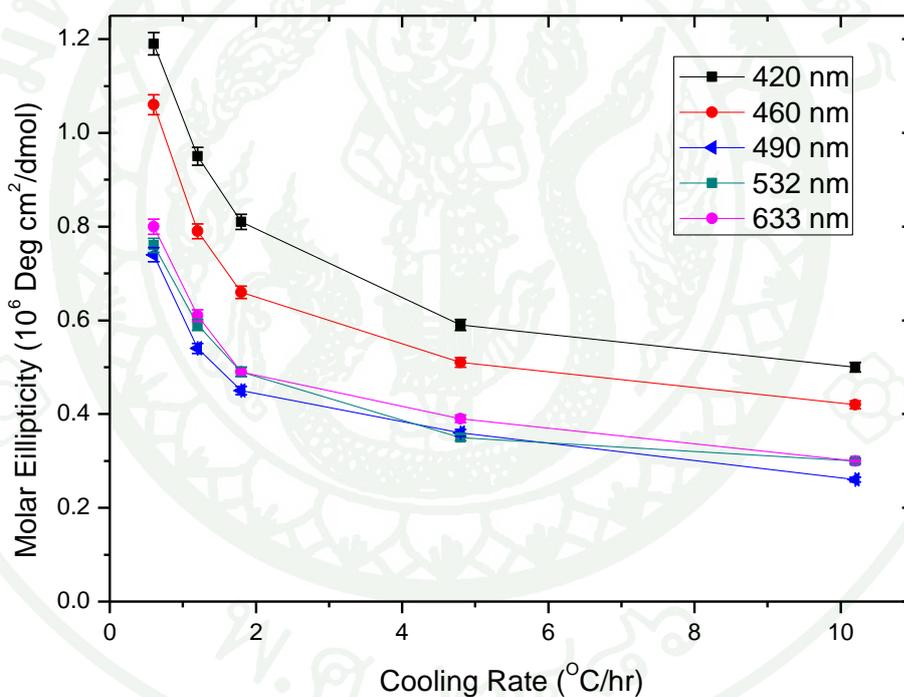


ภาพที่ 38 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของท่อนาโนลิปิดกับอัตราการควบคุมการลดอุณหภูมิ ที่ความยาวคลื่น 633 นาโนเมตร

จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าของการดูดกลืนแสงของท่อนาโนลิปิดกับอัตราการลดอุณหภูมิในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ พบว่าท่อนาโนลิปิดที่มีโครงสร้างโมเลกุลเป็น อาร์-อีแนนทิโอเมอร์ (R-enantiomer) มีการดูดกลืนของแสงโพลาไรซ์วงกลม (circular polarized light)

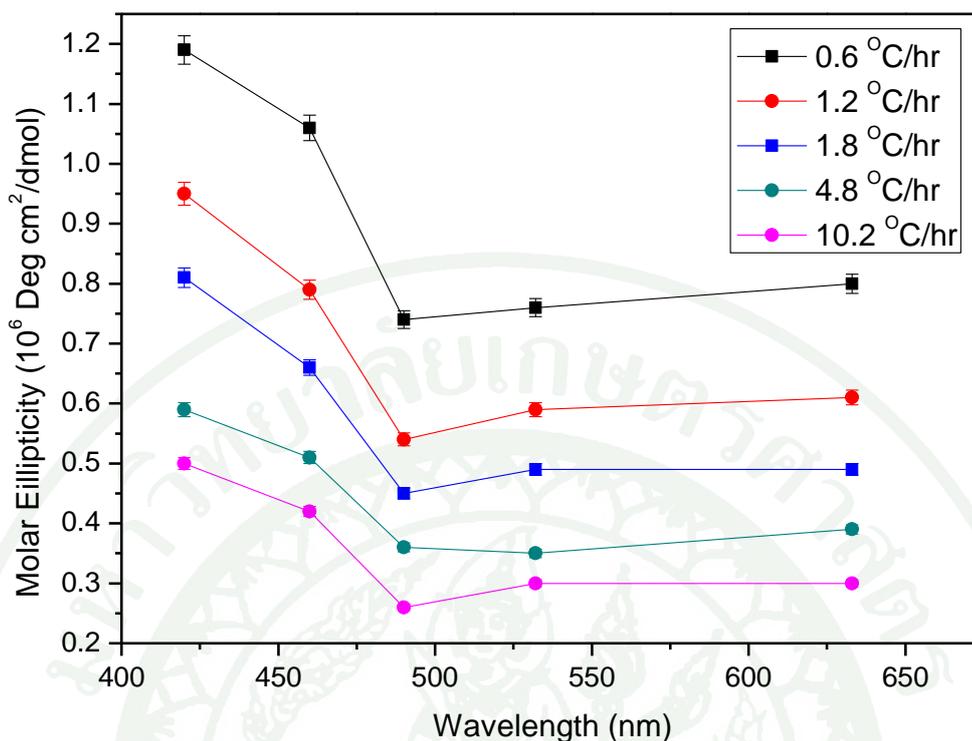
ทางซ้าย (LCPL) มากกว่าทางขวา (RCPL) ในช่วงความยาวคลื่นแสง ผลต่างของการดัดโค้งของแสงโพลาไรซ์มีค่าขึ้นอยู่กับอัตราการลดอุณหภูมิ

จากการศึกษาท่อนานิลิปิดหาคณสมบัติโครอลของการพันเป็นเกลียวท่อนานิลิปิดโดยใช้เซอร์คูลาร์ไดโครอิสซึม ศึกษาในช่วงที่สัญญาณสเปกตรัมที่ความเข้มแสงน้อยเลือกค่าความยาวคลื่น 420, 460, 490, 532 และ 633 นาโนเมตร พิจารณาการดัดโค้งของแสง พบว่า ความแตกต่างในการดัดโค้งแสงโพลาไรซ์แบบวงกลมทางซ้ายและการดัดโค้งแสงโพลาไรซ์แบบวงกลมทางขวาของท่อนานิลิปิดแสดงด้วยค่า molar ellipticity โดยเขียนกราฟความสัมพันธ์ แสดงดังภาพที่ 39



ภาพที่ 39 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง molar ellipticity ของท่อนานิลิปิดกับอัตราการควบคุมการลดอุณหภูมิที่ความยาวคลื่นแตกต่างกันของแสง

จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง molar ellipticity ของท่อนานิลิปิดกับอัตราการควบคุมการลดอุณหภูมิพบว่า ท่อนานิลิปิดที่มีอัตราการลดอุณหภูมิต่ำ ท่อนานิลิปิดจะมีความเป็นโครอลสูง สังเกตได้จาก molar ellipticity ที่มีค่าสูง



ภาพที่ 40 แสดงสเปกตรัมของท่อนานอลิปิดที่อัตราการควบคุมการลดอุณหภูมิที่ต่าง ๆ กัน

พิจารณาค่า molar ellipticity กับความยาวคลื่น ดังภาพที่ 40 พบว่า สเปกตรัมที่มีความเข้มสูง จะมีอัตราการลดอุณหภูมิต่ำ การเปรียบเทียบสเปกตรัมภายในอัตราการลดอุณหภูมิเดียวกัน ได้มีการศึกษาก่อนหน้านี้ โดยตำแหน่งความยาวคลื่นต่ำในช่วงของความยาวคลื่นแสง (Spector *et al.*, 1996, 1997, 1998; Pakhomov *et al.*, 2003) จากกราฟสเปกตรัมพบว่า สเปกตรัมมีลักษณะลาดเอียงลงทันที เมื่อความยาวคลื่นมากกว่า 460 นาโนเมตร จากการศึกษาก่อนหน้านี้ สำหรับทอลิปิดนาโนจะเป็นการศึกษาในช่วงความยาวคลื่นอัลตราไวโอเล็ต (UV) ซึ่งมีค่าดีกว่าขีดจำกัดสำหรับการทดลองในครั้งนี้ อย่างไรก็ตาม การศึกษาเซอร์คูลาไดโครอิสซึม ในช่วงคลื่นแสงก็เพียงพอที่จะใช้เป็นหลักฐานยืนยันว่า molar ellipticity ขึ้นอยู่กับอัตราการลดอุณหภูมิในขั้นตอนการขึ้นรูปเป็นทอลิปิดนาโน

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

จากการศึกษาโครงสร้างและรูปร่างลักษณะของท่อนาโนลิปิดโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ที่ติดตั้งกล้องถ่ายและกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม พบว่า โครงสร้างและลักษณะทางกายภาพของท่อนาโนลิปิด เกิดจากการบิดตัวของโมเลกุลชั้นคู่เป็นเกลียวคล้ายริบบิ้นและการบิดตัวแน่นเป็นลักษณะของท่อทรงกระบอกกลวง เนื่องจากความเป็นไครอลของโมเลกุลในชั้น โมเลกุลคู่และจากการศึกษามุมของการพันเป็นเกลียวของท่อนาโนลิปิดขึ้นอยู่กับอัตราการลดอุณหภูมิ

การวิเคราะห์คุณสมบัติเซอร์คูลาร์ไดโครอิสมิสามารถนำมาอธิบายความเป็นไครอลของท่อนาโนลิปิดได้ ภายใต้การควบคุมการลดอุณหภูมิ มุมของการพันเป็นเกลียวและความเป็นไครอลของท่อนาโนลิปิดทดสอบโดยเซอร์คูลาร์ไดโครอิสมิ พบว่าคุณสมบัติทั้งสองมีผลเกิดจากอัตราการลดอุณหภูมิ ซึ่งอัตราการลดอุณหภูมิต่ำ ค่าของมุมของการพันเป็นเกลียวจะมีค่ามาก และ molar ellipticity ก็จะมีค่ามากด้วย ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการเปิดเผยให้รู้ว่าลักษณะที่เกิดจากการควบคุมคุณสมบัติความเป็นไครอลของท่อนาโนลิปิดเป็นคุณสมบัติความเป็นไครอลของโมเลกุล

### ข้อเสนอแนะ

ในการหา molar ellipticity จากการทดลองที่แต่ละอัตราการลดอุณหภูมิ โดยใช้ความยาวคลื่นที่มีค่าสูง ๆ molar ellipticity จะมีค่าใกล้เคียงกัน หรือเกือบจะไม่มีค่าแตกต่างกัน ดังนั้นถ้าจะทดลองให้ molar ellipticity ที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นของแสงอัลตราไวโอเล็ตหรือแสงยูวี และในขั้นตอนการทำเซลล์ เซลล์ที่เหมาะสมในการทดลองนี้ จะต้องมีระยะห่างระหว่างเซลล์หนาพอสำหรับการวัดค่าการดูดกลืนของแสงโพลาไรซ์ ถ้าทำเซลล์บาง การดูดกลืนของแสงโพลาไรซ์จะมีค่าน้อยมาก ๆ

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

Colling, P.J. 1990. **Liquid Crystals**, Adam Hilger, Princeton University, The United States of America.

Kiang-ia, J., H. Hailong, Y. Bin, Y. Jantippana, P. Pantu, J. Limtrakul, N. Chattham, S. Zexiang and Y. Ting. 2010. Probing chirality of a lipid tubular by confocal raman microscopy. **JNN**. 10: 7208-7211.

Mahajan, N., Y. Zhao, T. Du and T. Fang. 2006. Nanoscale ripples in self-assembled lipid tubules. **Langmuir** 22: 1973-1975.

Pakhomov, S., R.P. Hammer, B.K. Mishra and B.N. Thomas. 2003. Chiral tubules self-assembly from an achiral diynoic lipid. **PNAS**. 100: 3040-3042.

Selinger, J.V., F.C. MacKintosh and J.M. Schnur. 1996. Theory of cylindrical tubules and helical ribbons of chiral lipid membranes. **Phys. Rev. E**. 53: 3804-3818.

\_\_\_\_\_ and J.M. Schnur. 1993. Theory of chiral lipid tubules. **Phys. Rev. Lett.** 71 (24): 4091-4094.

\_\_\_\_\_, M.S. Spector and J.M. Schnur. 2001. Theory of self-assembled tubules and helical ribbons. **J. Phys. Chem. B**. 105: 7157-7169.

Singh, A., E.M. Wong and J.M. Schnur. 2003. Toward the rational control of nanoscale structures using chiral self-assembly: Diacetylenic phosphocholines. **Langmuir** 19: 1888-1898.

Spector, M.S., J.V. Selinger and J.M. Schnur. 1997. Thermodynamics of phospholipid tubules in alcohol/water solutions. **J. Am. Chem. Soc.** 119: 8533-8539.

Spector, M.S., A. Singh, J.M. Rodriguez , R.R. Price and J.M. Schnur. 1998. Controlling the morphology of chiral lipid tubules. **Langmuir** 14: 3493-3500.

\_\_\_\_\_, K.R.K. Easwaran , G. Jyothi, J.V. Selinger, A. Singh, and J.M. Schnur. 1996. Chiral molecular self-assembly of phospholipid tubules: A circular dichroism study. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA.** 93: 12943-12946.

\_\_\_\_\_, R.R. Price and J.M. Schnur. 1999. Chiral lipid tubules. **Adv. Mater.** 11: 337-340.

Thomas, B.N., C.R. Safinya, R.J. Plano and N.A. Clark. 1995. Lipid tubule self-assembly: Length dependence on cooling rate through a first-order phase transition. **Science** 267: 1635-1638

\_\_\_\_\_, R.C. Corcoran, C.L. Cotant, C.M. Lindemann, J.E. Kirsch and P.J. Persichini. 1998. Phosphonate lipid bubbles 1. **J. Am. Chem. Soc.** 120: 12178-12186.

Zhou, Y. and T. Shimizu. 2008. Lipid nanotubes: a unique template to create drives one-dimensional nanostructures. **Chem. Mater.** 20: 625-633

## ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ -นามสกุล	นายวีรวัฒน์ อินทรทัต
วัน เดือน ปี ที่เกิด	27 พฤศจิกายน 2527
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดยะลา
ประวัติการศึกษา	วท.บ.(ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยทักษิณ (พ.ศ. 2550)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-

