บทที่ 7
ของแข็ง

ของแข็งโดยทั่ว ๆ ไป มักมีลักษณะเนื้อสารที่แข็งแกร่ง รูปร่างไม่ขึ้นอยู่กับภาชนะ ปริมาตรเปลี่ยนแปลงได้น้อยมาก เมื่อถูกแรงกดดันเกิดการแพร่ได้น้อยมากเมื่อเทียบกับของเหลวและแก๊ส อนุภาคโมเลกุลหรืออะตอมที่เป็นองค์ประกอบจะอยู่ในตำแหน่งที่แน่นอนใกล้ชิดกันมาก มีรูปร่างเป็นผลึก สามารถหักเหแสงได้ในทิศทางที่เหมาะสม ของแข็งสามารถจำแนกได้เป็น **ของแข็งอสัญฐาน** (amorphous solid) ซึ่งเป็นของแข็งมีรูปผลึกไม่แน่นอน เช่น แก้ว ยาง พลาสติก ฯลฯ สามารถหักเหแสงได้ทุกทิศทาง มีจุดหลอมเหลวไม่แน่นอน และ **ของแข็งที่เป็นผลึก** (crystalline solids) ในหัวข้อนี้จะเน้นเฉพาะโครงสร้างของของแข็งที่เป็นผลึกเท่านั้น

7.1 สมบัติมหภาคของของแข็ง

ของแข็งสามารถจำแนกได้ 2 ประเภท คือ ของแข็งชนิดผลึก และ ของแข็งอสัญฐาน ของแข็งชนิดผลึก เช่น เกลือโซเดียมคลอไรด์ น้ำตาล เมื่อได้ผลึกได้รับแรงกระทำ จะทำให้เกิดแตกหักง่าย ตามธรรมชาติสารเหล่านี้จะมีผลึกเป็นรูปทรงเรขาคณิตที่เฉพาะ ของแข็งที่เป็นผลึกนั้นจะมีจุดหลอมเหลวที่แน่นอน สมบัติทางกลของผลึกจะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและหลอมเหลวเมื่ออุณหภูมิถึงจุดหลอมเหลว ซึ่งจะแตกต่างจากของแข็งอสัณฐาน เช่น แก้ว ยาง พลาสติก ที่มีจุดหลอมเหลวไม่แน่นอน อย่างเช่น แก้ว เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะค่อย ๆ อ่อนตัวและเริ่มไหล พบว่าการจัดตัวของอะตอมในสารอสัณฐานนั้นไม่เป็นระเบียบ สารเหล่านี้ไม่มีรูปร่างที่เฉพาะและมีสมบัติเป็น **ไอโซโทรปิก** (isotropic) โดยจะมีสมบัติเหมือนกันทุกทิศทุกทาง เช่น ความแข็งแรง การนำไฟฟ้า เป็นต้น แต่สำหรับของแข็งชนิดผลึกจะเป็น **แอนไอโซโทรปิก** (an-isotropic) ซึ่งจะมีสมบัติเชิงแสง และทางไฟฟ้า โดยขึ้นกับทิศทาง

ผลึก (crystal) ประกอบด้วย อะตอม ไอออน โมเลกุลมีการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ มีจุดหลอมเหลวแน่นอน ลักษณะเป็นพื้นผิวที่ทำมุมกันด้วยค่าที่แน่นอน เป็นรูปทรงเรขาคณิต สามารถหักเหแสงได้ในทิศทางที่เหมาะสม ผลึกขนาดใหญ่เมื่อทำให้เล็กจะมีรูปร่างเดิม สารบางอย่างอาจมีรูปผลึกได้หลายแบบ เรียกว่า **ปรากฏการณ์อัญรูป** (polymorphism) เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต เป็นต้น สารบางชนิดต่างมีรูปผลึกเหมือน เช่น NaCl KCl MgO CaS เป็นต้น ซึ่งเรียกว่า **ภาวะรูปร่างเหมือนกัน** (isomorphism)

ขนาดของผลึกสามารถจะเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นกับสภาวะขณะที่เกิดเป็นผลึกนั้นโดย ผลึกขนาดใหญ่ ๆ จะเกิดจากการตกผลึกอย่างช้า ๆ ในสารละลายที่อิ่มตัวยิ่งยวดเล็กน้อย เช่น ผลึกที่เกิดในธรรมชาติมักจะมีขนาดใหญ่ แต่ถ้ามีการตกผลึกอย่างรวดเร็วจากสารละลายที่อิ่มตัวยิ่งยวดมาก ๆ จะได้ผลึกที่มีขนาดเล็ก เช่น ผลึกที่เกิดขึ้นในห้องปฏิบัติการจะมีขนาดเล็ก ดังนั้น ขนาดของผลึกจึงเป็นสิ่งที่แสดงให้ถึงสภาวะของการเติบโตของผลึก

รูปร่างของผลึกของของแข็งแต่ละชนิด จะมีรูปร่างลักษณะเฉพาะตัว แต่ถ้าสภาพแวดล้อมของผลึกในขณะที่มีการเจริญเติบโตไม่เหมาะสม ก็อาจจะมีผลต่อรูปร่างของผลึกได้ เช่น ผลึกโซเดียมคลอไรด์ ที่ได้จากการเลี้ยงผลึกที่บริเวณส่วนกลางของสารละลายอิ่มตัวยิ่งยวดเล็กน้อย จะมีรูปทรงเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ (cubic) แต่ถ้าผลึกโซเดียมคลอไรด์เกิดขึ้นที่ก้นบีกเกอร์จะมีรูปร่างเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม เนื่องจากผลึกไม่สามารถจะเพิ่มขนาดออกไปได้ทุกด้าน

ลักษณะการเรียงตัวของผลึกที่เป็นระเบียบ มีการยึดกันด้วยแรงชนิดต่าง ๆ มีรูปทรงเรขาคณิต นี้ เรียกว่า **แลตทิซ** (lattice) โดยมองว่า ไอออน อนุภาค โมเลกุลในผลึกมีลักษณะเป็นจุดเรียกว่า **จุดแลตทิซ** (lattice point)

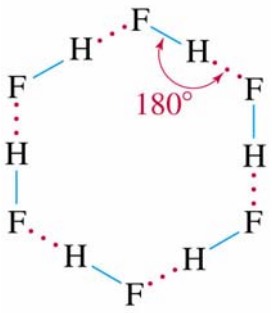
7.2 ชนิดของผลึก

ชนิดของผลึก สามารถจำแนกโดยอาศัยสมบัติของผลึก ได้ดังนี้

7.2.1 ผลึกโมเลกุล มีลักษณะเนื้ออ่อน ไม่เปราะ มีจุดหลอมเหลวต่ำ นำไฟฟ้าได้ไม่ดี (อิเล็กตรอนไม่สามารถเคลื่อนที่ไปมาระหว่างผลึกได้ มีลักษณะเป็นฉนวน)

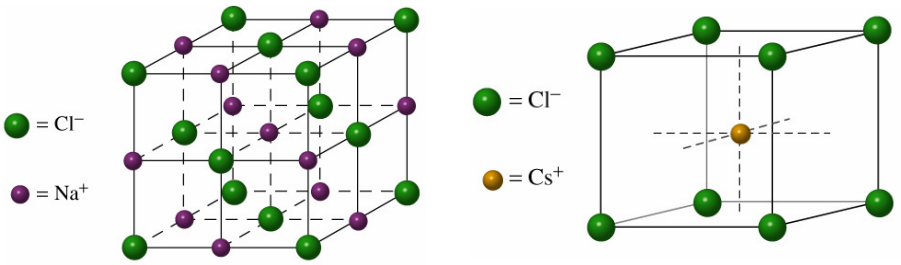
1) ชนิดโมเลกุลไม่มีขั้ว มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแบบแรงแวนเดอวาลส์ เช่น O_2 , แนฟทาลีน , CO_2

2) ชนิดโมเลกุลมีขั้ว มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างไดโพล-ไดโพล (dipole-dipole) เช่น น้ำแข็ง แอมโมเนีย ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ ดังภาพที่ 7.1 ในผลึกโมเลกุลหน่วยซ้ำ ๆ กัน จะเป็นอะตอมหรือโมเลกุลที่ไม่มีประจุแรงดึงดูดภายในผลึกเป็นผลจากแรงแวนเดอร์วาลส์ (van der waals force) ซึ่งแรงนี้จะอ่อนแรงกว่าแรงคูลอมบ์ระหว่างไอออน ดังนั้นพลังงานยึดเหนี่ยว (binding energy) ของผลึกโมเลกุลจะน้อยและน้อยกว่าผลึกชนิดอื่น ๆ ถ้าให้พลังงานแต่เพียงเล็กน้อยจะสามารถแยกแต่ละโมเลกุลของผลึกทำให้ผลึกชนิดนี้มีแนวโน้มที่จะระเหยได้ง่าย จึงมีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวต่ำ ขนาดของแวนเดอร์วาลล์จะแปรเปลี่ยนได้ขึ้นกับจำนวนอิเล็กตรอนและความเป็นขั้วของโมเลกุล ผลึกโมเลกุลนั้นเป็นฉนวนที่ดี โมเลกุลไม่มีประจุจึงไม่อาจจะส่งผ่านไฟฟ้า ยิ่งกว่านั้นการคงอยู่ของโมเลกุลจะมีอิเล็กตรอนอยู่โดยรอบเฉพาะกลุ่มนิวไคลหนึ่ง ๆ เท่านั้น



ภาพที่ 7.1 โครงสร้างโมเลกุลของไฮโดรเจนฟลูออไรด์
ที่มา (Petrucci, Harwood & Herring, 2002, p. 501)

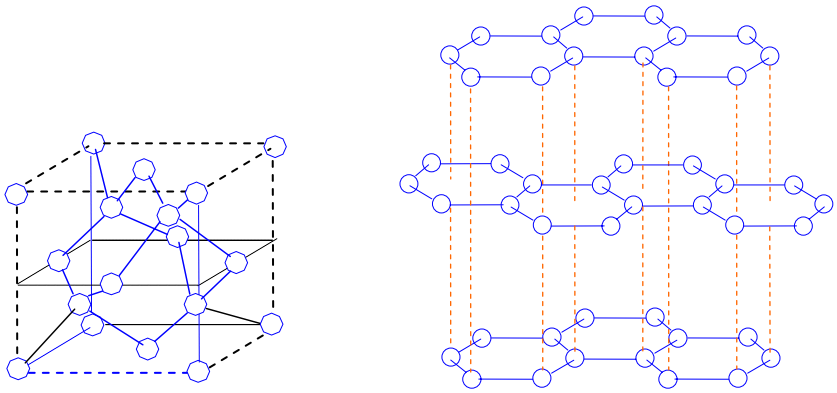
7.2.2 ผลึกไอออนิก มีลักษณะเนื้อสารแข็ง แต่เปราะ ประกอบด้วย แลตทิซที่ซ้ำกัน ซึ่งมีไอออนบวกและไอออนลบ ที่ดึงดูดกันไว้ให้อยู่กับที่ ไม่มีการเลื่อนไหล ดังนั้นจึงไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า แต่เมื่อหลอมเหลวหรือเป็นสารละลาย จะนำไฟฟ้าได้ เพราะจะเกิดไอออนอิสระ เช่น ผลึกโซเดียมคลอไรด์ ประกอบด้วย Na^+ , Cl^- มีแรงยึดเหนี่ยวกันทางไฟฟ้าสถิตที่แข็งแรงมาก ต้องใช้พลังงานสูงในการสลาย มีความดันไอต่ำ จุดเดือด จุดหลอมเหลวสูง



ภาพที่ 7.2 ผลึกไอออนิกของโซเดียมคลอไรด์ และ ซีเซียมคลอไรด์

ที่มา (Petrucci, Harwood & Herring, 2002, p. 517)

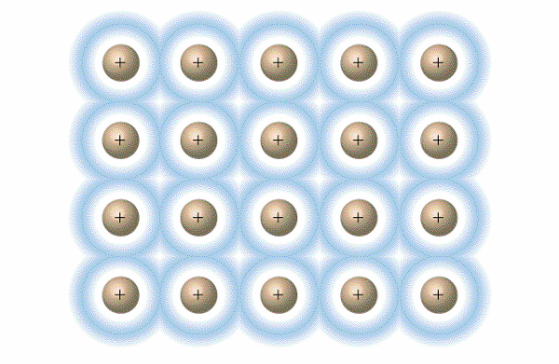
7.2.3 ผลึกโคเวเลนต์ เป็นผลึกที่มีเนื้อแข็งมาก ความดันไอต่ำ จุดเดือดจุดหลอมเหลวสูง กด-อัดได้ยาก ไม่นำไฟฟ้า แม้จะละลายหรือหลอมเหลว ภายในผลึกประกอบด้วยอะตอมที่เชื่อมต่อกันอย่างต่อเนื่องด้วยพันธะโคเวเลนต์ เช่น ผลึกของคาร์บอน ซึ่งมี 2 อัญรูป ได้แก่ เพชร และ แกรไฟต์ , $AlCl_3$, $Al(OH)_2$ เป็นต้น



ภาพที่ 7.3 โครงสร้างผลึกของเพชร และแกรไฟต์

ที่มา (Chang, 1998, p. 439)

7.2.4 ผลึกโลหะ ลักษณะทั่วไปเป็นของแข็งที่ผิวหน้าจะมันวาว สะท้อนแสง บิดงอโดยไม่หัก ส่วนมากจุดเดือด จุดหลอมเหลวสูง สามารถนำไฟฟ้า นำความร้อนได้ดี เนื่องจากอิเล็กตรอนวงนอกสุดของแต่ละอะตอม สามารถเคลื่อนที่ไปทั่วเนื้อของโลหะได้อย่างอิสระ

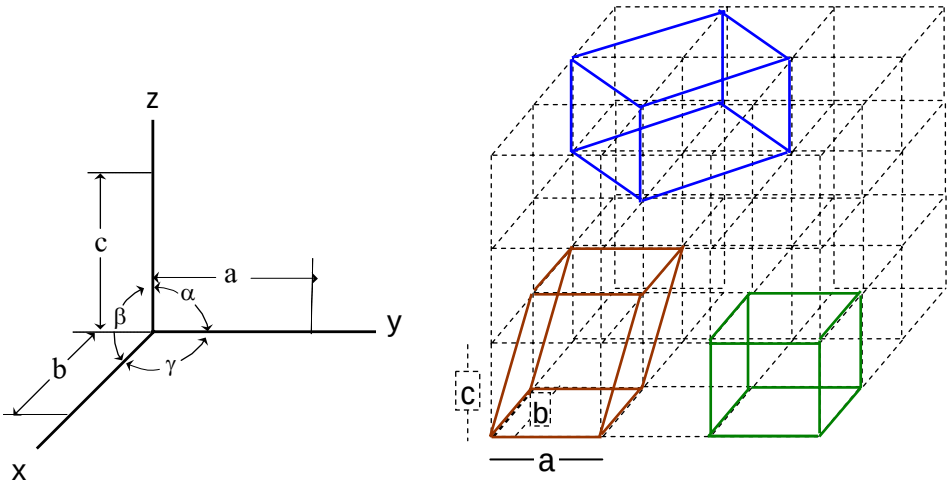


ภาพที่ 7.4 แบบจำลองผลึกโลหะ
ที่มา (White, 1999)

7.3 ระบบของผลึก

ในระบบของผลึกจะได้กล่าวถึง หน่วยเซลล์ และแลตทิซของผลึก ดังนี้

7.3.1 หน่วยเซลล์ (unit cell) หมายถึง หน่วยที่เล็กที่สุดของผลึก มีลักษณะเป็นโครงร่างที่เกิดจากการเรียงตัวของจุดแลตทิซ ในทิศทางต่าง ๆ ในลักษณะตาข่าย



ภาพที่ 7.5 แกนคริสแทลโลกราฟิก และหน่วยเซลล์
ที่มา (ทบวงมหาวิทยาลัย, 2526, หน้า 182)

7.3.2 แลตทิซของผลึก หมายถึง ลักษณะรูปร่างของแลตทิซจะถูกกำหนดด้วยแกน 3 มิติ ที่มีความสัมพันธ์กับรูปร่างภายนอกของผลึก ซึ่งจะขนานหรือทับพื้นผิวของผลึก เรียกว่า **แกนคริสแทลโลกราฟิก** (crystallographic axes) ทำให้สามารถกำหนดเป็นรูปร่างของแลตทิซเป็นหน่วยเล็กที่สุด เรียกว่า **เซลล์หน่วย** (unit cell) ซึ่งเซลล์หน่วยนั้นเป็นเซลล์หน่วย 3 มิติ ที่เป็นองค์ประกอบซ้ำ ๆ กันในผลึก นั่นคือ ผลึกจะประกอบขึ้นจากการรวมกันของเซลล์หน่วย

จากความแตกต่างของแนวแกนของแลตทิซ กับ มุมระหว่างแกน ทำให้ในปี ค.ศ. 1848 บราเว (Auguste Bravais) ได้ทำการจำแนกระบบผลึก ออกเป็น 7 แบบ คือ ไทรคลินิก (triclinic) มอโนคลินิก (monoclinic) ออร์โทรอมบิก (orthorhombic) เตตระโกนอล (tetragonal) รอมโบฮีดรัล หรือไทรโกนอล (thombohedral or trigonal) เฮกซะโกนัล (Hexagonal) และลูกบาศก์ (cubic)

ตารางที่ 7.1 แกนของแลตทิซ กับ มุมระหว่างแกน ของผลึกชนิดต่างๆ

ระบบ	มุม	ความยาวของแกน
ลูกบาศก์	$\alpha = \beta = \gamma = 90^{o}$	$a = b = c$
เตตระโกนอล	$\alpha = \beta = \gamma = 90^{o}$	$a = b \neq c$
ออร์โทรอมบิก	$\alpha = \beta = \gamma = 90^{o}$	$a \neq b \neq c$
มอโนคลินิก	$\alpha = \gamma = 90^{o}, \beta \neq 90^{o}$	$a \neq b \neq c$
ไทรคลินิก	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^{o}$	$a \neq b \neq c$
รอมโบฮีดรัลหรือไตรโกนอล	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^{o}$	$a = b = c$
เฮกซะโกนัล	$\alpha = \beta = 90^{o}, \gamma = 120^{o}$	$a = b \neq c$

ที่มา (ทบวงมหาวิทยาลัย, 2526, หน้า 183)

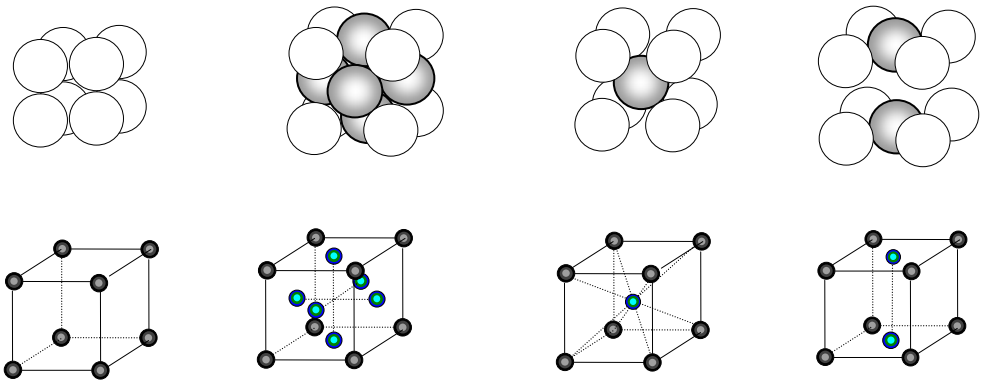
ระบบของผลึกที่มีลักษณะหน่วยเซลล์เป็นระบบลูกบาศก์ (cubic system) อาจมีหน่วยเซลล์ย่อย ๆ อีกดังนี้

1) แบบสามัญ (simple) มีไอออนที่มุมทั้ง 4

2) แบบกลางหน้า (face centered) มีไอออนที่มุมทั้ง 4 และ จุดศูนย์กลางผิวหน้า 6 ด้าน

3) แบบกลางตัว (body centered) มีไอออนที่มุมทั้ง 4 และที่ใจกลางของลูกบาศก์

4) แบบกลางหน้าปลาย (end-entered) มีไอออนที่มุมทั้ง 4 และจุดศูนย์กลางผิวหน้า 2 ด้าน

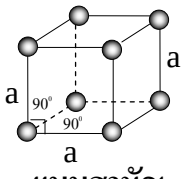


แบบสามัญ แบบกลางหน้า แบบกลาวตัว แบบกลางหน้าปลาย

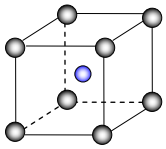
ภาพที่ 7.6 หน่วยเซลล์ย่อยของหน่วยเซลล์ระบบลูกบาศก์

ที่มา (Chang, 1998, p. 431)

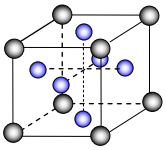
จากระบบผลึกทั้ง 7 แบบ และระบบลูกบาศก์ย่อยๆ ทำให้เกิดเป็นระบบผลึกทั้งหมด 14 แบบ เรียกว่า แลตทิชบราเวียส์ (Bravias lattices) ดังภาพที่ 7.7



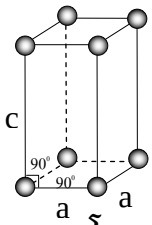
แบบสามัญ



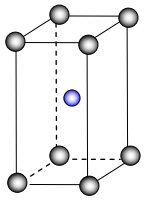
แบบกลางตัว



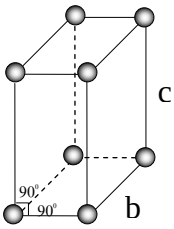
แบบกลางหน้า



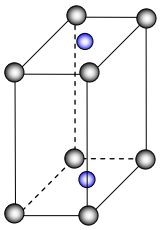
เตตระโกนอล



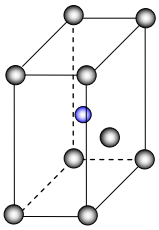
แบบกลางตัว



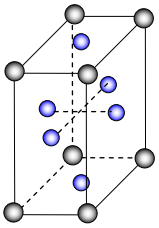
ออร์โธรอมบิก



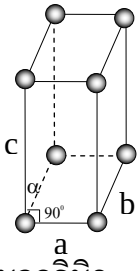
แบบผิวสองด้าน



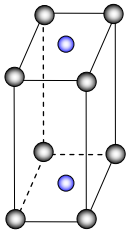
แบบกลางตัว



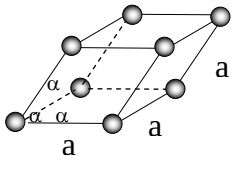
แบบกลางหน้า



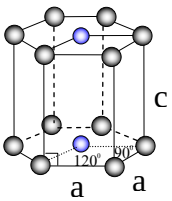
มอนอคลินิก



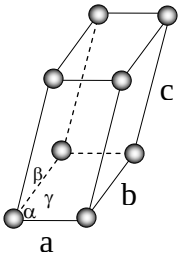
แบบกลางหน้าปลาย



รอมโบฮีดรอล



เฮกซะโกนอล



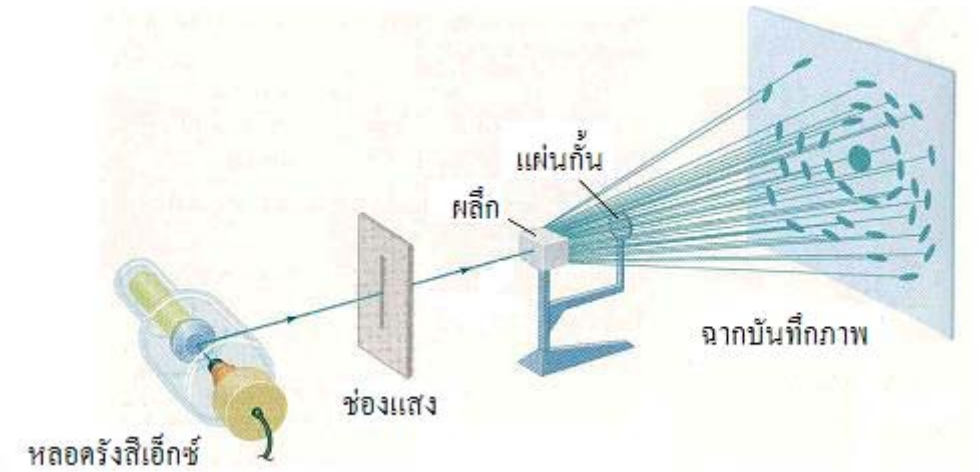
ไทรคลินิก

ภาพที่ 7.7 แลตทิซบราเวียส์ ทั้ง 14 แบบ

ที่มา (Kask & Rawn, 1993, p. 425)

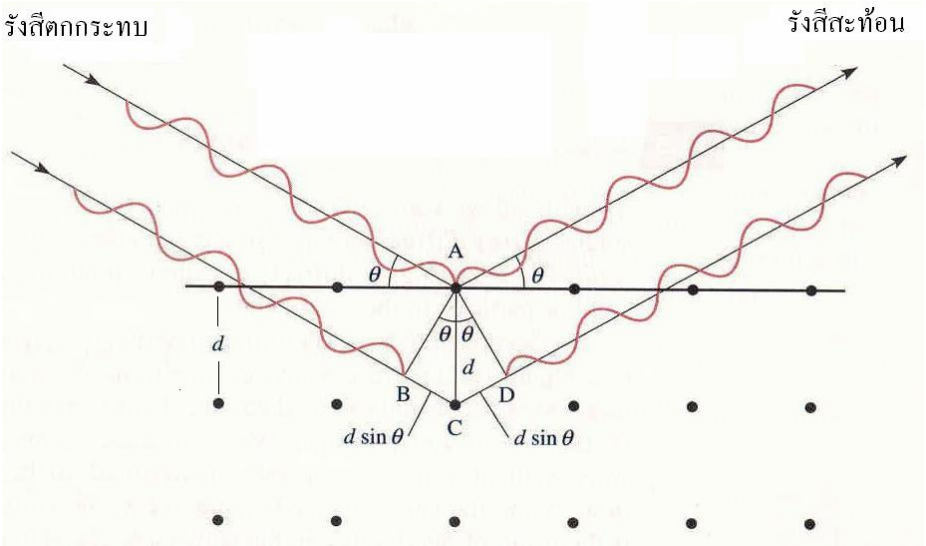
7.4 การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

ในการศึกษาการจัดตัวของอะตอมภายในผลึกนั้น จะต้องอาศัยการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (x-ray diffraction) เป็นกระบวนการที่อนุภาคในผลึกของแข็งทำให้รังสีเอกซ์ เกิดการกระเจิง (scatter) แล้วเกิดการแทรกสอดแบบเสริมกันและหักล้างกัน กรณีที่เสริมกัน รังสีของแสงจะตกกระทบฉากจะเป็นจุดที่มีความเข้มสูงสุดหรือเป็นแถบสว่าง แต่ถ้าเป็นการหักล้างกัน ความเข้มของรังสีบนฉากจะน้อยหรือเป็นแถบมืด ทำให้สังเกตเห็นเป็นแถบมืดและแถบสว่างที่มีลักษณะเฉพาะที่เรียกว่า **แบบอย่างการเลี้ยวเบน** (diffraction pattern) ที่สังเกตได้ ดังภาพที่ 7.8



ภาพที่ 7.8 การทดลองการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ผ่านผลึก
ที่มา (Chang, 1994, p. 436)

แบบอย่างการเลี้ยวเบนจะเกิดขึ้นได้ เมื่อเกิดการแสงผ่านหรือเกิดการสะท้อนด้วยโครงสร้างที่มีลักษณะซ้ำ ๆ กัน (periodic structure) ซึ่งถ้าเท่ากับความยาวคลื่นที่ใช้ ยิ่งจะเกิดได้ชัดเจน ซึ่งแลตทิซของผลึกก็ประกอบด้วยโครงสร้างซ้ำๆ 3 มิติ ซึ่งมีระยะห่างระหว่างอะตอมประมาณ 10^{-8} ซนติเมตร ดังนั้น รังสีเอกซ์ ที่ความยาวคลื่นประมาณ 10^{-8} เซนติเมตร จึงเกิดแบบอย่างการเลี้ยวเบนขึ้นเมื่อส่องผ่านผลึก จากภาพที่ 7.9 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ผ่านแลตทิซของผลึกบนระนาบผลึกที่ขนานกันเป็นชั้น 2 มิติของอะตอมในแลตทิซ คลื่นที่มากระทบจะกระเจิงด้วยอะตอมในผลึกโดยที่ทุกอะตอมจะกระจายรังสีในทุกทิศทุกทาง ทิศทางระนาบผลึกที่เหมาะสมจะทำให้คลื่นที่กระเจิงออกมา มีมุมของการกระเจิงเท่ากับมุมตกกระทบ ส่วนอะตอมในผลึกจะทำให้คลื่นที่กระเจิงจากแต่ละอะตอมช่วยเสริมกันเมื่อทิศทางสอดคล้องกับการสะท้อนจากระนาบผลึก



ภาพที่ 7.9 คลื่นที่สะท้อนออกมาจากผลึกเป็นแบบเสริมกัน
ที่มา (Chang, 1994, p. 436)

จากภาพที่ 7.9 d คือระยะห่างระหว่างระนาบทั้งสอง ซึ่งพบว่ามุมตกกระทบ (θ) มุมสะท้อน และมุม BAC จะเท่ากัน โดยความแตกต่างของระยะทางที่เกิดจากการสะท้อนของ 2 ระนาบ ดังสมการต่อไปนี้

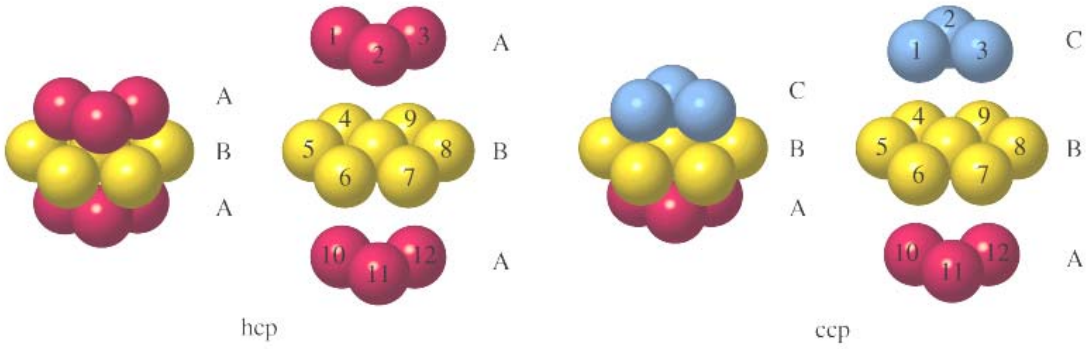
$$BC + CD = 2\,d \sin\theta = n\lambda$$

หรือ $n\lambda = 2\,d \sin\theta$ เมื่อ n = 1, 2, 3, …

เรียกสมการนี้ว่า **สมการแบร็กก์** (Bragg's equation) ตามชื่อของนักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ ชื่อวิลเลียม เฮนรี แบรกก์ (William H. Bragg) และเซอร์วิลเลียม ลอเรนซ์ แบรกก์ (Sir William L.Bragg) โดยสมการนำไปคำนวณหาระยะระหว่างชั้นของอะตอม (d) เมื่อทราบมุมของการสะท้อน (θ) และความยาวคลื่น (λ) ของสีเอกซ์ อันจะทำให้ทราบถึงโครงสร้างของแลตทิซ

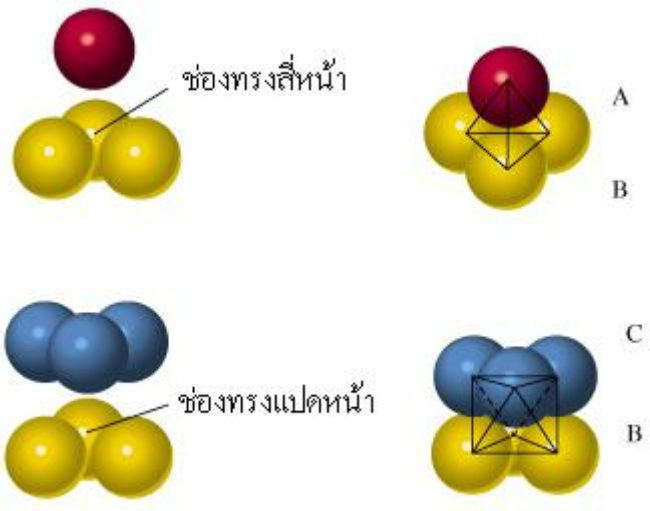
7.5 การเรียงตัวของอะตอมหรือไอออนในผลึก

ไอออนในผลึกมีลักษณะเป็นทรงกลมเรียงชิดติดกัน ซ้อนเป็นชั้น ๆ ทำให้มีการสัมผัสกันมากที่สุดเท่าที่จะมากได้ จึงเป็นโครงสร้างการบรรจุแบบชิดที่สุด (closest-packed patterns) ซึ่งมี 2 โครงสร้าง คือ แบบรูปเฮกซะโกนอล (hexagonal closest-packed structure ; hcp) และแบบรูปลูกบาศก์ (cubic closest-packed structure ; ccp)



ภาพที่ 7.10 โครงสร้างแบบรูปเฮกซะโกนอล และแบบรูปลูกบาศก์
ที่มา (Petrucci, Harwood & Herring, 2002, p. 512)

นอกจากนี้ จากการจัดเรียงอะตอมหรือไอออนจึงเป็นโครงสร้างการบรรจุแบบชิดที่สุด ทั้งแบบรูปเฮกซะโกนอล และแบบรูปลูกบาศก์ จะมีช่องว่างเกิดขึ้นภายในผลึก ซึ่งเป็นช่องว่างอยู่ระหว่างอะตอมหรือไอออน ซึ่งลักษณะของช่องว่างจะมี 2 แบบคือ ช่องทรงสี่หน้า (tetrahedral holes ; t) และ ช่องทรงแปดหน้า (octahedral holes ; o)

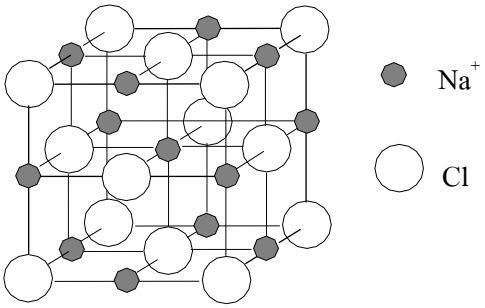


ภาพที่ 7.11 ช่องทรงสี่หน้า และ ช่องทรงแปดหน้า
ที่มา (Pertrucci, 2002, p. 510)

7.6 โครงสร้างผลึกสามัญบางชนิด

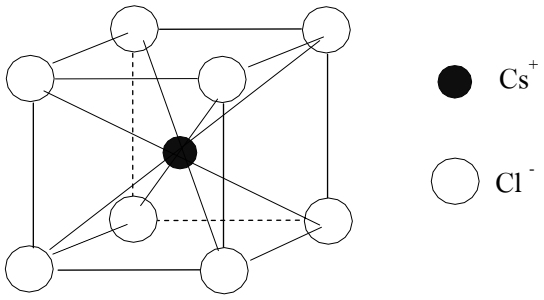
โครงสร้างผลึกสามัญบางชนิด ประกอบด้วยโครงสร้างผลึกของสารดังต่อไปนี้

7.6.1 โครงสร้างโซเดียมคลอไรด์ (rock-salt structure) ได้แก่ สารประกอบของเฮไลด์ของโลหะอัลคาไล ออกไซด์และซัลไฟด์ของอัลคาไลน์เอิร์ท เช่น KCl, KBr, KI, LiI CaO, CaS, AgCl, AgBr, NH_4I, MnS, MnO และ PbS เป็นต้น



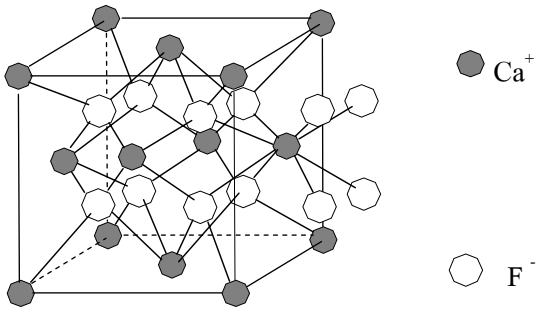
ภาพที่ 7.12 โครงสร้างโซเดียมคลอไรด์
ที่มา (Petrucci, Harwood & Herring, 2002, p. 517)

7.6.2 โครงสร้างซีเซียมคลอไรด์ (cesium chloride structure) ได้แก่ สารประกอบของ CsBr, CsI, RbCl, RbBr, NH_4Cl และ NH_4Br เป็นต้น



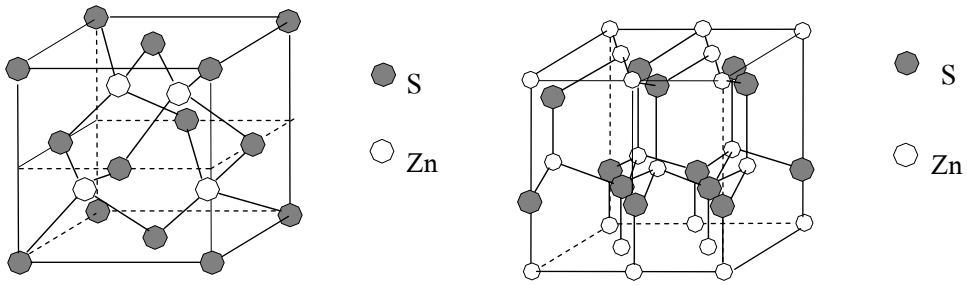
ภาพที่ 7.13 โครงสร้างซีเซียมคลอไรด์
ที่มา (Chang, 1998, p. 438)

7.6.3 โครงสร้างฟลูออไรต์ (fluorite structure) ได้แก่ สารประกอบของ SrF_2 , $SrCl_2$ BaF_2 , CdF_2 , PbF_2 ZrO_2 , HfO_2 , NpO_2 , ThO_2 , PuO_2 และ AmO_2 เป็นต้น



ภาพที่ 7.14 โครงสร้างฟลูออไรต์
ที่มา (Chang, 1998, p. 438)

7.6.4 โครงสร้างซิงค์ซัลไฟด์ (zinc blende and wurtzite structure) มี 2 แบบ คือ แบบซิงค์เบลนด์ เช่น CuF, CuCl, BeS, CuBr, CuI, CaS, AgI, HgS, SiC , เป็นต้น และแบบเวิร์ตไซต์ เช่น BeO, MnSe, MnTe, AlN ,GaN, InN, NH_4F เป็นต้น



ภาพที่ 7.15 โครงสร้างซิงค์ซัลไฟด์
ที่มา (Chang, 1998, p. 438)

7.7 บทสรุป

ของแข็ง สามารถจำแนกได้ 2 ประเภท คือ ของแข็งอสัญฐาน ซึ่งเป็นของแข็งมีรูปผลึกไม่แน่นอน และ ของแข็งที่เป็นผลึก เกิดแตกหักง่าย มีผลึกเป็นรูปทรงเรขาคณิตที่เฉพาะตัว มีจุดหลอมเหลวที่แน่นอน สมบัติทางกลของผลึกจะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และจะหลอมเหลวเมื่ออุณหภูมิถึงจุดหลอมเหลว สารบางอย่างอาจมีรูปผลึกได้หลายแบบ เรียกว่า ปรากฏการณ์อัญรูป ผลึกจำแนกออกเป็น ผลึกโมเลกุล ผลึกไอออนิก ผลึกโคเวเลนต์ และผลึกโลหะ ระบบของผลึก จะประกอบด้วยหน่วยเซลล์ ซึ่งเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดของผลึก มีลักษะเป็นโครงร่างที่เกิดจากการเรียงตัวของจุดแลตติช ในทิศทางต่างๆ ในลักษณะตาข่าย และแลตทิซของผลึก ซึ่งเป็นลักษณะรูปร่างของแลตทิซจะถูกกำหนดด้วยแกน 3 มิติ ที่เรียกว่า แกน คริสแทลโลกราฟิก บราเวียส์ ได้ทำการจำแนกระบบผลึก เป็น 7 แบบ ตามความแตกต่างของแนวแกนของแลตทิซ กับ มุมระหว่างแกน ได้แก่ ลูกบาศก์ เตตระโกนอล ออร์โทรอมบิก มอโนคลินิก ไทรคลินิก รอมโบฮีดรัลหรือไตรโกนอล และ เฮกซะโกนัล ในการศึกษาการจัดตัวของอะตอมภายในผลึกนั้น จะต้องอาศัยการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ซึ่งเป็นกระบวนการที่อนุภาคในผลึกของแข็งทำให้รังสีเอกซ์เกิดการกระเจิง ทำให้สังเกตเห็นเป็นแถบมืดและแถบสว่าง ที่มีลักษณะเฉพาะที่เรียกว่า แบบอย่างการเลี้ยวเบน การเรียงตัวของอะตอมหรือไอออนในผลึก ไอออนในผลึกมีลักษณะเป็นทรงกลมเรียงชิดติดกัน ซ้อนเป็นชั้น ๆ เป็นโครงสร้างการบรรจุแบบชิดที่สุด ซึ่งมี 2 แบบ คือ แบบรูปเฮกซะโกนอล และแบบรูปลูกบาศก์ ในระหว่างอนุภาคจะมีช่องว่างเกิดขึ้นภายในผลึก 2 แบบคือ ช่องทรงสี่หน้า และ ช่อง

ทรงแปดหน้า โครงสร้างผลึกสามัญบางชนิด ได้แก่ โครงสร้างโซเดียมคลอไรด์ โครงสร้างซีเซียมคลอไรด์ โครงสร้างฟลูออไรต์ โครงสร้างซิงค์ซัลไฟด์ เป็นต้น

7.8 คำถามท้ายบท

7.8.1 ของแข็งอสัญฐาน กับ ของแข็งที่เป็นผลึก มีสมบัติแตกต่างกันอย่างไรบ้าง

7.8.2 จงให้ความหมายของข้อความต่อไปนี้

ก) แอนไอโซโทรปิก

ข) ปรากฏการณ์อัญรูป

ค) ภาวะรูปร่างเหมือนกัน

7.8.3 ผลึก สามารถจำแนกตามสมบัติได้กี่ประเภท และมีสมบัติอย่างไร

7.8.4 ของแข็งผลึกแบบโคเวเลนต์ และ ผลึกไอออนิก มีสมบัติแตกต่างกันอย่างไร

7.8.5 จงอธิบายความหมายของข้อความต้อไปนี้

ก) เซลล์หน่วย

ข) แกนคริสแทลโลกราฟิก

ค) แลตทิซของผลึก

7.8.6 จงอธิบายการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ เมื่อผ่านผลึก

7.8.7 หน่วยเซลล์ระบบลูกบาศก์ มีหน่วยเซลล์ย่อย ๆ อะไรได้บ้าง

7.8.8 บราเวียส์ มีหลักเกณฑ์ในการจำแนกระบบผลึกอย่างไร

7.8.9 สมการแบร็กก์ คืออะไร มีประโยชน์อย่างไร

7.8.10 การเรียงตัวของอะตอมหรือไอออนในผลึก ไอออนในผลึกมีลักษณะเป็นทรงกลมเรียงชิดติดกัน ซ้อนเป็นชั้น ๆ เป็นโครงสร้างการบรรจุแบบชิดที่สุด

7.8.11 ช่องว่างระหว่างอนุภาคที่เกิดขึ้นภายในผลึก มีรูปร่างอย่างไรบ้าง

7.8.12 โครงสร้างผลึกสามัญมีกี่ประเภท อะไรบ้าง พร้อมยกตัวอย่างประกอบ

เอกสารอ้างอิง

ทบวงมหาวิทยาลัย (2526). **เคมี เล่ม 1** (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: อักษรเจริญทัศน์.

Chang, R. (1998). **Chemistry (**6th ed.). Boston: McGraw-Hill.

Kask, U.& Rawn, J. D. (1993). **General Chemistry**. Melbourne : Wm.C. Brown .

Moore, J.W. , Stanitski, C.L & Jurs, P.C. (2002). **CHEMISTRY-The Molecular Science**. Fort Worth: Harcourt college.

Petrucci, R. H., Harwood, W. S. & Herring, F. G. (2002). **General chemistry-principles and modern applications** (8th ed.). N.J.: Prentice Hall.

White, D. P. (2002). **General Chemistry** [Online], Available HTTP: http://www.chem.neu.edu/courses/reiff/download/