หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 นิวไคลด์กัมมันตรังสีตามธรรมชาติ

แหล่งกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติสามารถแบ่งออกเป็นแหล่งใหญ่ๆได้ ดังนี้

ก. รังสีคอสมิก (Cosmic radiation)

ข. กัมมันตรังสีที่ปะปนอยู่ที่ผิวโลก

กัมมันตรังสีที่ปะปนอยู่ที่ผิวโลกที่เราสนใจที่จะศึกษาเป็นกัมมันตรังสีที่มีมาพร้อมกับการเกิดของโลก เรียกว่า ธาตุกัมมันตรังสีดั้งเดิม (Primodial radionuclides) เป็นพวกที่มีครึ่งชีวิต (half life) ยาวมาก ตัวอย่างของธาตุกัมมันตรังสีที่สำคัญในพวกนี้ ได้แก่ ยูเรเนียม - 238 ($T_{1/2}$=4.5 x 10^9 ปี) ยูเรเนียม - 235 ($T_{1/2}$=7.1 x 10^8 ปี) ทอเรียม - 232 ($T_{1/2}$=1.4 x 10^{10} ปี) และ โปแทสเซียม - 40 ($T_{1/2}$=1.3 x 10^9 ปี) เป็นต้น

2.1.1 โปแทสเซียม - 40 (Potassium - 40)[3]

ในปี ค.ศ. 1905 Thomson เป็นผู้ค้นพบ กัมมันตภาพรังสีในโปแทสเซียมซึ่งเป็นโปแทสเซียม - 40 เป็นธาตุกัมมันตรังสีที่พบว่ามีเพียง 0.0119% ของโปแทสเซียมในธรรมชาติ มีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 39.964008 มีค่าครึ่งชีวิต (half life) เท่ากับ 1.3 x 10^9 ปี ในการสลายตัวของโปแทสเซียม - 40 จะได้รังสีบีตา (β - radiation) 88% มีพลังงานของรังสีบีตาสูงสุด ($E_{\beta(max)}$) เท่ากับ 1.35 MeV และให้รังสีแกมมา (γ - radiation) 12% มี พลังงานของรังสีแกมมาพลังงานเดียว คือ 1.46 MeV

2.1.2 ยูเรเนียม - 238 และ อนุกรมของยูเรเนียม (Uranium - 238 and series)

ในปี ค.ศ. 1789 Martin Heinrich Klaproth[4] นักเคมีชาวเยอรมัน เป็นผู้ค้นพบว่ายูเรเนียมเป็นธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติ ซึ่งมีอยู่ประมาณ 0.0004% ของผิวโลกโดยมีปริมาณมากหรือน้อยแตกต่างกันตามสภาพของดินหรือหิน พบว่ายูเรเนียมที่เกิดในหินที่เป็นกรดจะมีปริมาณมากกว่ายูเรเนียมที่เกิดในหินที่เป็นด่าง ซึ่งยูเรเนียมในธรรมชาติจะมี 3 ไอโซโทป คือ ยูเรเนียม - 238 มี 99.274 % ยูเรเนียม - 235 มี 0.721% ยูเรเนียม - 234 มี 0.0056% ซึ่งเป็นไอโซโทปรังสีทั้ง 3 ไอโซโทป แต่เนื่องจากยูเรเนียม - 235 และ ยูเรเนียม - 234 มีปริมาณที่น้อยมาก จึงถือได้ว่ากัมมันตรังสีของยูเรเนียมเกิดจากยูเรเนียม - 238 แต่เพียงไอโซโทปเดียว

ตัวตั้งต้นของอนุกรมยูเรเนียมนี้ คือ ยูเรเนียม - 238 ซึ่งเป็นไอโซโทปที่มีครึ่งชีวิต (half life) ยาว คือ 4.5×10^9 ปี โดยอนุกรมนี้สิ้นสุดที่ตะกั่ว - 206 (Pb - 206) ดังตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่ารังสีแกมมาส่วนใหญ่เกิดจาก ตะกั่ว - 214 (Pb - 214) และ บิสมัท - 214 (Bi - 214) โดยที่บิสมัท - 214 จะสลายตัวให้ Po - 214 ดังรูปที่ 2.1 ก่อนที่จะสลายตัวเป็นบิสมัท - 214 นี้ อนุกรมของยูเรเนียมจะมีผลิตผล (daughter) ตัวหนึ่งมีสภาพเป็นก๊าซ คือ เรดอน (Rn - 222) สลายตัวให้อนุภาคแอลฟาแล้วกลายเป็น Po - 218 ซึ่งเป็นธาตุที่มีค่าครึ่งชีวิต (half life) สั้น เนื่องจากเรดอนมีสถานะเป็นก๊าซทำให้มีโอกาสเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้โดยง่าย จึงเป็นธาตุที่ได้รับการสนใจที่จะทำการหาปริมาณในธรรมชาติ ในการวัดเรดอนในธรรมชาติสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วัดจากรังสีแอลฟา วัดจากรังสีแกมมา (วัดจากผลิตผลของเรดอน) เป็นต้น

2.1.3 ทอเรียม - 232 และ อนุกรมของทอเรียม (Thorium - 232 and series)

ในปี ค.ศ. 1828 Baron Jons Jakob Berzelius นักเคมีชาวสวีเดนเป็นผู้ค้นพบธาตุทอเรียมเป็นคนแรก ซึ่งในธรรมชาติจะมีทอเรียมมากพอ ๆ กับยูเรเนียม และ มีอยู่กระจายทั่วโลกโดยปะปนกับสินแร่ชนิดอื่น ๆ ส่วนมากจะอยู่ปะปนกับแร่ยูเรเนียม และ พวก rare earth เช่น แร่โมนาไซต์ เป็นต้น ทอเรียมมีหลายไอโซโทป แต่ไอโซโทปที่สำคัญคือ ทอเรียม - 232 (Th - 232) ซึ่งมีค่าครึ่งชีวิต (half life) เท่ากับ 1.4×10^{10} ปี

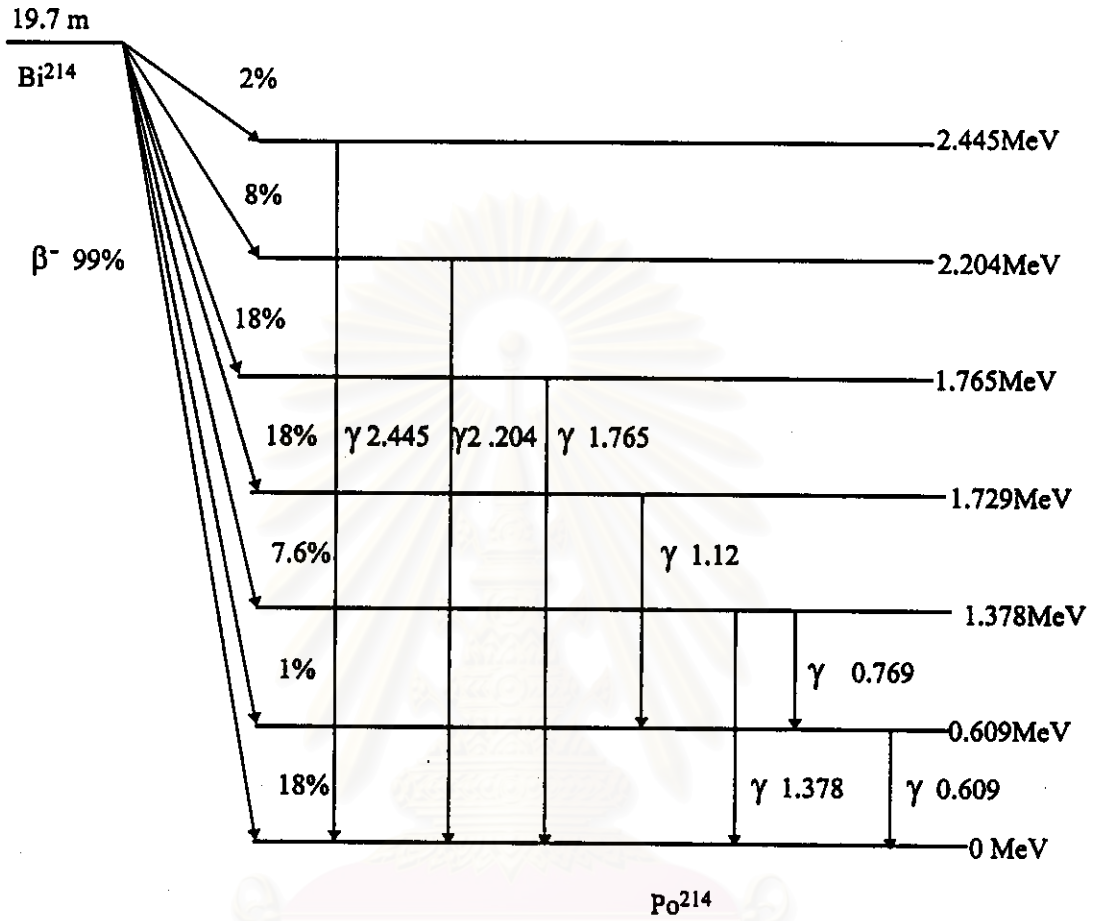
ตัวตั้งต้นของอนุกรมทอเรียมนี้ คือ ทอเรียม - 232 โดยอนุกรมนี้สิ้นสุดที่ตะกั่ว - 208 (Pb - 208) ดังตารางที่ 2.2 จะเห็นว่า รังสีแกมมาส่วนใหญ่เกิดจาก ทัลเลียม - 208 (Tl - 208) โดยทัลเลียม - 208 จะสลายตัวให้ ตะกั่ว - 208 (Pb - 208) ดังรูปที่ 2.2

2.2 กัมมันตภาพรังสี และสมดุลทางกัมมันตรังสี

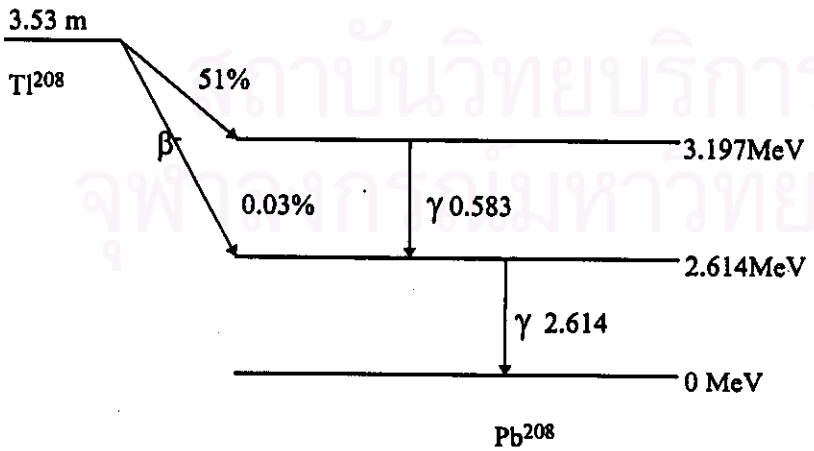
2.2.1 กัมมันตภาพรังสี

ในการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี จะไม่ขึ้นกับอิทธิพลของสภาพแวดล้อมภายนอกนิวเคลียส แต่จะเป็นไปตามหลักสถิติที่เกี่ยวกับโอกาส กล่าวคือถ้ามีสารกัมมันตรังสีอยู่จำนวนหนึ่งจะไม่สามารถบอกได้ว่านิวเคลียสตัวไหนในสารนี้จะสลายตัวก่อนหรือหลัง คือ กล่าวได้ว่าทุกนิวเคลียสมีโอกาสที่จะสลายตัวในช่วงเวลาหนึ่งๆได้เท่ากันตามกฎการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี ให้ N = จำนวนอะตอมที่มีอยู่ ณ เวลาใดๆ

$\frac{dN}{dt}$ = อัตราการสลายตัวของนิวเคลียสแม่หรืออัตราการเกิดของนิวเคลียสลูก



รูปที่ 2.1 Decay Scheme ของ Bi - 214[5]



รูปที่ 2.2 Decay Scheme ของ Tl - 208[5]

ตารางที่ 2.1 นิวไคลด์ต่างๆในอนุกรมยูเรเนียม(6)

Element	Type of disintegration	Half - life	Principal Gamma Activity (Energy (MeV) and Abundance)
^{238}U	α	4.51×10^9 Y	0.048 (0.075%)
^{234}Th	β	24.1 d	0.063 (5.7%) , 0.093 (6.8%)
^{234m}Pa	β	1.17 m	1.001 (0.59%)
^{234}U	α	2.48×10^5Y	0.053 (0.68%),0.121(0.23%)
^{230}Th	α	7.7×10^4 Y	0.068 (0.4%)
^{226}Ra	α	1.6×10^3 Y	0.186 (4%)
^{222}Rn	α	3.82 d	Weak - 0.510 (0.07%)
^{218}Po	α	3.1 m	Nil
^{214}Pb	β	26.8 m	0.352(36%),0.295(18.9%),0.075(15%),0.242(7.6%)
^{214}Bi	β	19.7 m	0.609(41.2%),1.764(15.8%),1.12(13.6%),0.285(5.2%), 1.378(4.7%)
^{214}Po	α	164 s	Weak - 0.799(0.014%)
^{210}Pb	β	20.4 Y	0.047(4%)
^{210}Bi	β	5 d	Nil
^{210}Po	α	138.4 d	Weak - 0.803(0.0011%)
^{206}Pb	Stable		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 นิวไคลด์ต่างๆในอนุกรมทอเรียม (6)

Element	Type of disintegration	Half - life	Principal Gamma Activity (Energy (MeV) and Abundance)
^{232}Th	α	1.41×10^{10} Y	
^{228}Ra	β	5.75 Y	Nil
^{228}Ac	β	6.13 h	0.911(22.0%),0.969(13.3%),0.964(3.7%) 0.339(9.3%),0.795(3.9%)
^{228}Th	α	1.913 Y	0.084(1.6%),0.216(0.29%),0.132(0.19%)
^{224}Ra	α	3.64 d	0.241(4.2%),0.084(0.16%x),0.082(0.1%x)
^{220}Rn	α	54.5 s	0.542(0.07%)
^{216}Po	α	0.15 s	Nil
^{212}Pb	β	10.6 h	0.239(43.1%) , 0.300(3.27%) , 0.077(17.5%x) , 0.075(9.6%x)
^{212}Bi	α,β	60.55 m	0.727(6.5%) , 0.040(1.1%) , 0.785(1.1%) , 1.620(1.51%)
^{212}Po	α	0.3 s	Nil
^{208}Tl	β	3.10 m	0.583(86%) , 0.511(22.5%) , 0.860(12%) , 0.277(6.5%)
^{208}Pb	Stable		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดังนั้น $\frac{dN}{dt} = -\lambda N$

โดย λ = ค่าคงที่ของการสลายตัว

ที่ $t = 0$

$N = N_0$

จะได้ $N = N_0 e^{-\lambda t}$

$A = \lambda N$

โดย A = ความแรงรังสี

ให้ครึ่งชีวิตของสารกัมมันตรังสี เท่ากับ $T_{1/2}$ ซึ่งเป็นระยะเวลาที่นิวเคลียสแม่ (parent) จะสลายตัวเหลือครึ่งหนึ่งของสารที่มีอยู่เดิม

คือ $N = N_0/2$

ดังนั้น $T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda}$

ในอนุกรมของสารกัมมันตรังสี การสลายตัวของสารต่างๆเกิดต่อเนื่องกันไปจะเขียนสมการการสลายตัวได้ดังนี้

$$\frac{dNn}{dt} = \lambda_{n-1} N_{n-1} - \lambda_n N_n$$

2.2.2 สมดุลทางกัมมันตรังสี

ภาวะสมดุลกัมมันตรังสีมี 2 ประเภท คือ

2.2.2.1 transient equilibrium จากสมการ

$$A \xrightarrow{\lambda_A} B \xrightarrow{\lambda_B} C$$

โดยเวลาครึ่งชีวิตของ A มากกว่าเวลาครึ่งชีวิตของ B

ดังนั้น $\lambda_B > \lambda_A$

จะได้ $\frac{A_A}{A_B} = \frac{\lambda_B - \lambda_A}{\lambda_B}$

ซึ่ง $\frac{A_A}{A_B} < 1$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$N_B = \frac{\lambda_A}{\left(\lambda_B - \lambda_A\right)}\left[N_0 \exp\left(-\lambda_A t\right)\right]$$

2.2.2.2 secular equilibrium จากสมการ

$$A \xrightarrow{\lambda_A} B \xrightarrow{\lambda_B} C$$

โดยเวลาครึ่งชีวิตของ A มากกว่าครึ่งชีวิตของ B มากๆ

ดังนั้น $\lambda_A \ll \lambda_B$

$$\frac{\lambda_A}{\lambda_B} = 0$$

จะได้ $A_A = A_B$

$$\lambda_B N_B = \lambda_A N_A$$

$$N_B = \frac{\lambda_A}{\lambda_B}\left[N_0 \exp\left(-\lambda_A t\right)\right]$$

2.3 วิธีวัดรังสีแกมมาในธรรมชาติ

2.3.1 หัววัดรังสีแกมมา

หัววัดที่เหมาะสำหรับทำการวัดรังสีแกมมาแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

2.3.1.1 หัววัดรังสีแกมมาแบบ Solid State หรือ Semi - Conductor

เป็นหัววัดรังสีที่ได้รับนิยมสูงมาก สำหรับวัด รังสีเอกซ์ (X - ray) และรังสีแกมมา เพราะมีประสิทธิภาพ (efficiency)สูง และมีความสามารถในการแยกพลังงาน (Resolution) ดีที่สุด ตัวอย่างของหัววัดชนิดนี้ที่ใช้ในปัจจุบัน คือ Si(Li) และ HPGe เป็นต้น

2.3.1.2 หัววัดรังสีแกมมาแบบซินทิลเลชัน (Scintillation)

ประกอบด้วย ซินทิลเลเตอร์ (Scintillator) หรือ Phosphor ที่เป็นของแข็ง และ เป็นผลึก ได้แก่ NaI(Tl) และ CsI(Tl) เป็นต้น

การวัดรังสีในธรรมชาติซึ่งมีปริมาณน้อยมากนั้นนิยมใช้หัววัด NaI(Tl)[7] ซึ่งเป็นหัววัดที่มีประสิทธิภาพ (efficiency) สูงกว่าหัววัดแบบ HPGe แต่ความสามารถในการแยกพลังงาน (resolution) ไม่ดี และ ผลึก NaI(Tl) เป็นผลึกที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการวัดรังสีแกมมาเนื่องจากเป็นผลึกที่มีขนาดใหญ่มากสำหรับวัดรังสี และ ไอโอดีนมีเลขอะตอม (atomic number) สูง ทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดกลืน (absorption coefficient) สูง ผลึก NaI(Tl) มีความหนาแน่นเท่ากับ 3.7 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งถือว่าสูงทำให้เกิดการดูดกลืนรังสีได้ดี

2.3.2 อุปกรณ์และวิธีที่ใช้วัดรังสีแกมมาในธรรมชาติโดยใช้หัววัดรังสี NaI(Tl)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดรังสีแกมมาประกอบด้วย

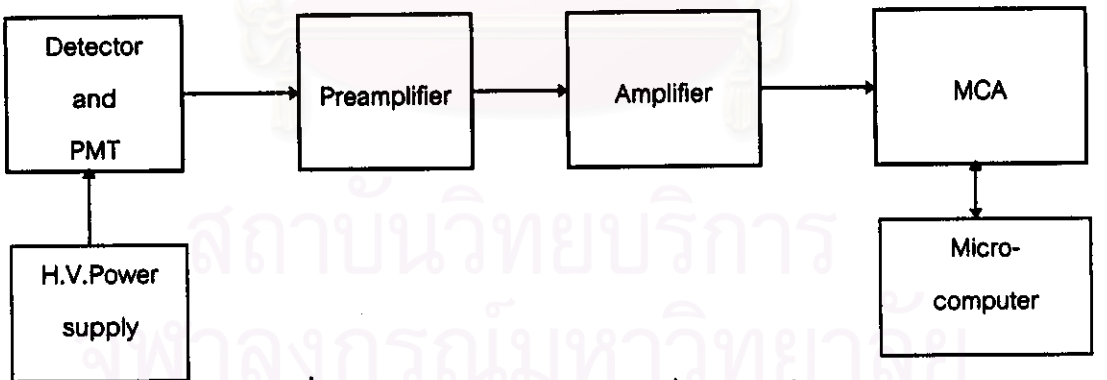
ก. หัววัดรังสี NaI(Tl)

ข. High Voltage Power Supply

ค. Preamplifier and Amplifier

ง. Multichannel Analyzer

จ. Microcomputer



รูปที่ 2.3 แสดงแผนภาพของอุปกรณ์การวัดรังสีแกมมา

หลักการทำงานของเครื่องมือชนิดนี้ คือ เมื่อรังสีแกมมาผ่านเข้ามาในผลึก NaI(Tl) จะเกิดปฏิกิริยากับ NaI(Tl)[8] แบบ Photoelectric effect Compton effect และ Pair production ในการเกิดปฏิกิริยาเหล่านี้จะทำให้ได้อิเล็กตรอนออกมา อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นนี้มีพลังงานจลน์ และวิ่งไปในผลึก NaI(Tl) ทำให้เกิดกระบวนการ Ionization และ Excitation แล้วทำให้เกิดประกาย

แสงออกมา โฟตอนของแสงที่เกิดขึ้นจะถูกเปลี่ยนด้วยหลอด Photocathode ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ผ่านเข้าไปใน Preamplifier ซึ่งจะตัดการรบกวนต่าง ๆ แล้วผ่านต่อไปยังเครื่องขยายสัญญาณ (Amplifier) สัญญาณที่ได้นี้จะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับแสงที่เกิดขึ้น และ เป็นปฏิภาคโดยตรงกับพลังงานของรังสีที่ตกกระทบกับหัววัด

เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง (Multichannel Analyzer , MCA) จะทำหน้าที่ในการนับแยกสัญญาณที่มีความสูงของสัญญาณพัลส์ต่างกัน และแสดงเป็นสเปกตรัมความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสี กับความสูงของสัญญาณพัลส์

2.4 ปูนซีเมนต์ (cement)[9]

ในปัจจุบันปูนซีเมนต์ที่ใช้ เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ซึ่งเมื่อปลายศตวรรษที่ 19 ผลิตในประเทศอังกฤษ และ ได้ส่งออกจำหน่ายทั่วโลก ส่วนในประเทศไทยได้มีการเริ่มผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นครั้งแรกในปี พ.ศ.2456 โดยผู้ผลิตปูนซีเมนต์สามารถปรับปรุงคุณภาพของปูนซีเมนต์ให้เหมาะสมกับการใช้งานเฉพาะอย่างได้ ปูนซีเมนต์ มีอยู่หลายประเภท โดยประเภทหนึ่งและ สองนิยมใช้กันมาก

ก. ปูนซีเมนต์ประเภทหนึ่ง เป็นปูนซีเมนต์ธรรมดา สำหรับใช้ในการทำคอนกรีต หรือผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรมใด ๆ ที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดาใช้ในการก่อสร้างทั่วไป

ข. ปูนซีเมนต์ประเภทสอง เหมาะสำหรับใช้ในการทำคอนกรีต หรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใด ๆ ที่เกิดความร้อน และทนต่อซัลเฟตได้ปานกลาง

ค. ปูนซีเมนต์ประเภทสาม เป็นปูนซีเมนต์ที่แข็งตัวเร็ว และให้กำลังสูงในระยะแรกมีเนื้อเป็นผงละเอียดกว่าปูนซีเมนต์ธรรมดา

ฆ. ปูนซีเมนต์ประเภทสี่ เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำที่สุด ใช้มากในการก่อสร้างคอนกรีตหลา (mass concrete) เนื่องจากให้อุณหภูมิของคอนกรีตต่ำกว่าปูนซีเมนต์ชนิดอื่นขณะแข็งตัว

ง. ปูนซีเมนต์ประเภทห้า เป็นปูนซีเมนต์ชนิดต้านทานซัลเฟตได้สูง

2.4.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประกอบด้วยส่วนผสมที่สำคัญดังนี้

ก. Calcareous Materials ได้แก่ หินปูน (Limestone) และ ดินสอพอง (Chalk)

ข. Argillaceous Materials ได้แก่ ซิลิกา อะลูมินา ซึ่งอยู่ในรูปของดินดำ หรือ ดินเหนียว (Clay) และดินดาน (Shale)

ค. Iron Oxide Materials ได้แก่ แร่เหล็ก (Iron Ore) หรือ ศิลาแลง (Laterite)

2.4.2 กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์

กรรมวิธีในการผลิตปูนซีเมนต์มี 2 กรรมวิธี คือ

2.4.2.1 กรรมวิธีการผลิตแบบเปียก (Wet Process) วัตถุดิบที่ใช้ ได้แก่ ดินสอพองและดินเหนียว ถูกนำมาผสมกันให้ได้สัดส่วนพอเหมาะตามต้องการ โดยเติมน้ำลงช่วยผสมแล้วนำไปบดให้ละเอียดก่อนที่จะป้อนเข้าไปในหม้อเผา (Kiln)

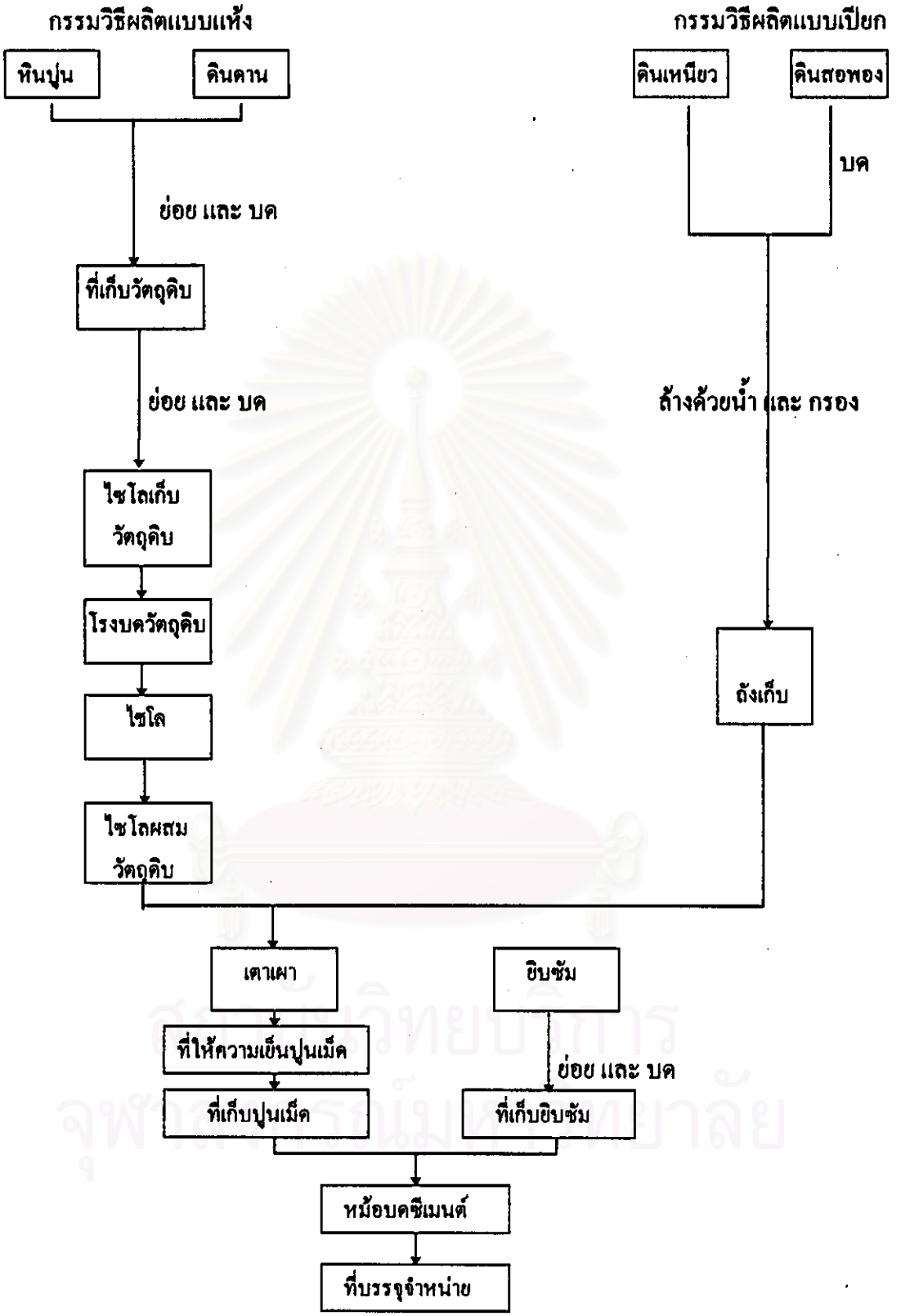
2.4.2.2 กรรมวิธีในการผลิตแบบแห้ง (Dry process) วัตถุดิบที่ใช้ได้แก่ หินปูนและดินดาน จะถูกนำมาผสมกันในสภาพแห้งๆให้ได้สัดส่วนที่ต้องการ แล้วบดให้ละเอียดก่อนจะเข้าสู่เตาเผาซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นหม้อแบบหมุน (Rotary Kiln) อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาประมาณ 1,400 - 1,500 องศาเซลเซียส ณ อุณหภูมินี้ วัตถุดิบต่าง ๆ จะถูกหลอมรวมกันเป็น Clinker ทิ้งไว้ให้เย็นตัวลง จากนั้นนำปูนเม็ดที่เย็นตัวลงนี้ มาบดให้ละเอียดอีกครั้งหนึ่ง ในขณะที่ทำการบดจะมีการเติมยิบซัมลงไปเล็กน้อยประมาณ 3 ถึง 6 เปอร์เซ็นต์ เพื่อหน่วงเวลาการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ อันเป็นผลทำให้สะดวกต่อการนำไปใช้งานต่อไป สำหรับกรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์ในประเทศไทยนิยมผลิตแบบแห้งซึ่งเป็นกรรมวิธีที่ทันสมัยที่สุดไม่ยุ่งยากและสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้อย

2.4.3 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์

สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ประกอบไปด้วยดังนี้คือ

2.4.3.1 ไตรคัลเซียมซิลิเกต (C_3S) เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างเป็นผลึก 6 เหลี่ยม มีสีเทาเข้ม คุณสมบัติของไตรคัลเซียมซิลิเกตเหมือนกับคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เมื่อผสมกับน้ำจะแข็งตัวภายใน 2 -3 ชั่วโมง และจะมีกำลังอัดเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงสัปดาห์แรกการเกิดปฏิกิริยากับน้ำจะก่อให้เกิดความร้อน 500 จูลต่อกรัม กำลังอัดของไตรคัลเซียมซิลิเกตถูกกระทบโดยปริมาณยิบซัมในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีปริมาณ ไตรคัลเซียมซิลิเกต ประมาณ 35 - 55 % โดยปูนซีเมนต์ประเภท 3 จะมีสารประกอบนี้สูง

2.4.3.2 ไดคัลเซียมซิลิเกต (C_2S) เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างกลม โดยไดคัลเซียมซิลิเกตมีหลายรูปแบบมีเพียง βC_2S เท่านั้นที่อยู่ตัวที่อุณหภูมิทั่วไปและมีคุณสมบัติยึดเกาะ เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นโดยปล่อยความร้อน 250 จูลต่อกรัม เมื่อแข็งตัวจะพัฒนากำลังอัดอย่างช้า ๆ แต่ในระยะยาวจะได้กำลังอัดใกล้เคียงกับไตรคัลเซียมซิลิเกต ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมีปริมาณไดคัลเซียมซิลิเกตประมาณ 15 - 35 % มีมากในปูนซีเมนต์ประเภท 4 และปูนซีเมนต์ประเภท 5



รูปที่ 2.4 กรรมวิธีในการผลิตปูนซีเมนต์

2.4.3.3 ไตรคัลเซียมอลูมิเนต (C_3A) เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างเหลี่ยมมุม สีเทาอ่อน ไม่ต้านทานกับการกัดกร่อนของสารจำพวกซัลเฟต ทำปฏิกริยากับน้ำทันที ก่อให้เกิดการแข็งตัวของซีเมนต์อย่างเร็ว (Flash Set) และเกิดความร้อนจำนวนมากประมาณ 850 จูลต่อกรัม การป้องกัน Flash Set ทำได้โดยการเติมยิบซัมลงไประหว่างการบดซีเมนต์กำลังอัดของไตรคัลเซียมอลูมิเนตจะพัฒนาขึ้นภายใน 1 - 2 วัน แต่กำลังอัดค่อนข้างต่ำ ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมีไตรคัลเซียมอลูมิเนตประมาณ 7 - 15 % ในปูนซีเมนต์ประเภท4 และ 5 จึงมีปริมาณไตรคัลเซียมอลูมิเนตต่ำกว่าปกติ

2.4.3.4 เตตราคัลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C_4AF) จะทำปฏิกริยากับน้ำรวดเร็วมากและก่อตัวภายในไม่กี่นาที ความร้อนที่เกิดประมาณ 420 จูลต่อกรัม กำลังอัดของ C_4AF อยู่ในปริมาณ 5 - 10 % ในปูนซีเมนต์ขาวจะไม่มีสารประกอบนี้หรือมีน้อยมากเพราะ C_4AF เป็นสารประกอบที่ทำให้ปูนซีเมนต์มีสีดำ

2.4.3.5 คัลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$) เป็นสารประกอบที่ชะลอการแข็งตัวของปูนซีเมนต์และเพิ่มแรงอัดในระยะหลัง

2.4.4 ประเภทของปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ สามารถแบ่งได้เป็น 5 ประเภทดังนี้

ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ผลิตใช้มากที่สุดเหมาะสำหรับคอนกรีตทั่วไป ที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา ได้แก่ ปูนปอร์ตแลนด์ตราช้าง ตราเพชร ตราพญานาคเขียว เป็นต้น

ประเภทที่ 2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modifiod Portland Cement) เหมาะสำหรับใช้ในงานคอนกรีตที่เกิดความร้อนและทนซัลเฟตได้ปานกลาง ซึ่งในปัจจุบันไม่มีการผลิตใช้ในประเทศไทย

ประเภทที่ 3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทให้กำลังอัดเร็ว (High Early Strength Portland Cement) ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ให้กำลังอัดสูงในระยะแรก เพราะมีความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา เหมาะสำหรับทำคอนกรีตที่ต้องการจะใช้งานเร็วหรือถอดไม้แบบในเวลาอันสั้น ได้แก่ ปูนตราเอราวัณ ตราสามเพชร ตราพญานาคสีแดง ข้อควรระวังคือ ไม่ควรใช้ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ในงานโครงสร้างคอนกรีตขนาดใหญ่เพราะความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น จะเกิดสูงมากในช่วงต้น อันอาจก่อให้เกิดโครงสร้างนั้นแตกร้าวได้

ประเภทที่ 4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่เกิดความร้อนต่ำ (Low Heat Portland Cement) ได้ถูกพัฒนาใช้เป็นครั้งแรกที่ประเทศอเมริกา เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำเหมาะสำหรับงานคอนกรีตหลา (Mass Concrete) เช่น การสร้างเขื่อน เนื่องจากทำให้อุณหภูมิ ของคอนกรีตขณะก่อ

ตัวต่ำกว่าปูนซีเมนต์อื่นซึ่งเป็นการลดปัญหา ความเสี่ยงจากการแตกร้าวเนื่องจากความร้อน ในประเทศไทยไม่มีการผลิตปูนซีเมนต์ประเภทนี้ ปัจจุบันปูนซีเมนต์ประเภทนี้ถูกแทนด้วยการใช้ปูนปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ผสมกับ Pulverlized Fuel Ash (PFA) และ Ground Granular Blast Furnace Slag (GGBS)

ประเภทที่ 5 ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ที่ทนซัลเฟตในปริมาณที่สูง สำหรับใช้ในงานก่อสร้างที่ต้องทนการกัดกร่อนมากกว่าปกติ เช่น สะพานที่ยื่นไปในทะเล บ่อน้ำมัน (Oil Well Cement)

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์พิเศษ ได้แก่

ก. ปูนซีเมนต์ขาว (White Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มี C_4AF อยู่ต่ำมาก จึงมีสีขาว โดยทั่วไปความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนประเภทนี้จะสูงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง เนื่องจากมี C_3A และ C_3S สูงกว่า เหมาะสำหรับงานตกแต่งต่างๆ เช่น งานหินขัด การปูกระเบื้องและ งานสถาปัตยกรรมอื่นๆปูนซีเมนต์ขาวที่มีใช้อยู่ในประเทศไทยได้แก่ ตราช้างเผือก ตราเสือเผือก ตรามังกร ปูนซีเมนต์ประเภทนี้มีความถ่วงจำเพาะระหว่าง 3.05 - 3.10 ซึ่งต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั่วไปที่มีค่า 3.15 เล็กน้อย

ข. ปูนซีเมนต์ซิลิกา หรือ ปูนซีเมนต์ผสม (Silica Cement) ผลิตโดยการบดปูนซีเมนต์ประเภทหนึ่ง กับทรายหรือหินปูน ประมาณ 25 - 30 % คุณสมบัติทั่วไปของปูนซีเมนต์ประเภทนี้คือจะแข็งตัวช้า ไม่ยืดหรือหดตัวมาก ช่วยลดการแตกร้าวที่ผิว เหมาะสำหรับผสมปูนก่อปูนฉาบนอกจากนี้ปูนประเภทนี้จะให้กำลังอัดไม่สูงมากนัก ตัวอย่างปูนประเภทนี้คือ ตราเสือ ตราจูเห่า ตรานกอินทรีย์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย