

การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกโดยตรงจาก  
กระบวนการผลิตเม็ดปูนซีเมนต์

Direct Greenhouse Gases Emission from  
Cement Clinker Production

รองศาสตราจารย์ ดร. ปิติ สุคนธ์สุขกุล

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

บทนำ

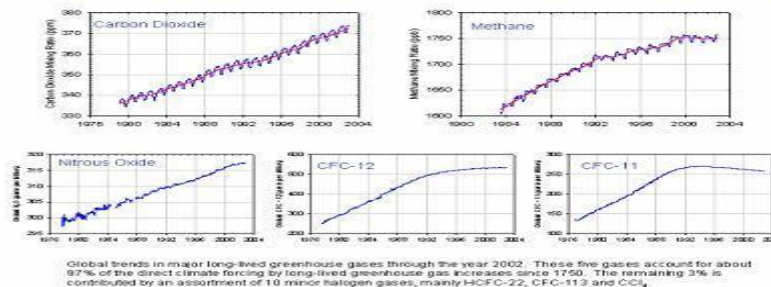
บทความนี้เป็นตอนต่อจากบทความที่แล้วที่พูดถึงเรื่องสภาวะเรือนกระจก ต้นเหตุและผลกระทบของสภาวะเรือนกระจก ซึ่งได้แก่ สภาวะโลกร้อน ผลกระทบที่ตามมาของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิผิวโลก รวมถึงมาตรการต่างๆ ที่ออกตามมาเพื่อรับมือกับสภาวะต่างๆ ที่ อาทิเช่น พิธีสารเกียวโต ซึ่งกล่าวถึงความพยายามของประเทศอุตสาหกรรมชั้นนำของโลกในการที่จะลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกให้ได้ อย่างต่ำ 5%

ในบทความนี้จะกล่าวถึงแหล่งที่มาของแก๊สเรือนกระจกที่สำคัญคือแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แยกเป็นหมวดต่างๆตามประเภทของอุตสาหกรรมได้ 3 หมวด โดยการผลิต

ซีเมนต์นั้นจัดอยู่ในหมวดอุตสาหกรรมการแปรรูป จากนั้นจะนำเข้าสู่วิธีการคำนวณการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์โดยตรง ของกระบวนการผลิตเม็ดปูน (Clinker) ซึ่งเป็นผลผลิตขั้นต้นในการผลิตซีเมนต์ สมการที่ใช้ในการคำนวณ ค่าคงที่ต่างๆที่ถูกลำมาใช้ (ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลเพียงพอ) โดยในบทความนี้จะพิจารณาเฉพาะการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อันเกิดจากการ พอร์มตัวของเม็ดปูน โดยตรงเท่านั้น ไม่รวมถึงการปลดปล่อยจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในช่วงการเผาและการขนส่ง

ที่มาของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ตามที่ได้อธิบายไปในบทความที่แล้ว แก๊สเรือนกระจกนั้นหลักๆมีประมาณ 5 ตัว คือ Carbon Dioxide, Methane, Nitrous Oxide, CFC-11 and CFC-12 หน้าที่สำคัญของแก๊สเรือนกระจกคือเป็นตัวกักเก็บความร้อนไว้ในชั้นบรรยากาศไม่ให้ออกไปจากโลก สรุปโดยย่อ เมื่อแสงอาทิตย์เดินทางมาสู่โลก ส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนออกไป ส่วนที่เหลือจะหลุดเข้ามาในชั้นบรรยากาศลงสู่ผิวโลก พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์จะถูกสะสมที่ผิวโลกทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น บางส่วนจะถูกปลดปล่อยเข้าสู่ชั้นบรรยากาศ ความร้อนส่วนที่ถูกปลดปล่อยเข้าสู่ชั้นบรรยากาศจะถูกกักเก็บโดยแก๊สเรือนกระจก การมีอยู่ของแก๊สเรือนกระจกส่งผลทำให้อุณหภูมิของโลกอุ่นพอเพียงที่มนุษย์จะอาศัยอยู่ได้ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันที่แก๊สเรือนกระจกมีปริมาณเพิ่มขึ้นมากจนเกินพอดี (รูปที่ 1) ส่งผลให้อุณหภูมิของผิวโลกสูงเกินปกติ

Global Trends in Major Greenhouse Gases to 1/2003



รูปที่ 1 การเพิ่มขึ้นของแก๊สเรือนกระจกตั้งแต่ปี 1970 ถึง 2003 [1]

ในบรรดาแก๊สเรือนกระจกทั้ง 5 ตัวที่กล่าวมา คาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวที่มีประสิทธิภาพในการกักเก็บความร้อนได้ดีที่สุด โดยมีอยู่ในชั้นบรรยากาศคิดเป็นประมาณ 26% ของแก๊สเรือนกระจกทั้งหมด รวมถึงเป็นตัวที่มีอัตราการเพิ่มที่สูงที่สุดตั้งแต่ปี 1970 เป็นต้นมา (รูปที่ 1) จึงจัดเป็นแก๊สที่ได้รับความสนใจมากที่สุดในแง่ของความพยายามที่จะลดปริมาณ การปลดปล่อย

ที่มาของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์นั้นมีที่มาหลักๆ จาก 2 แหล่งคือ 1) จากธรรมชาติ (อาทิเช่น ไฟไหม้ป่า ภูเขาไฟระเบิด) และ 2) จากฝีมือมนุษย์ (Anthropogenic-Human induced) อาจแบ่งได้เป็นหมวดๆ ดังนี้

### 1) หมวดพลังงาน [CO<sub>2</sub>]

a. การปลดปล่อยโดยตรงหรือจงใจ (Intentional Release) จากการเผาผลาญเชื้อเพลิง (Fuel Combustion) จากภาคอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมพลังงาน อุตสาหกรรมการผลิต อุตสาหกรรมก่อสร้างและการขนส่ง

b. การปลดปล่อยแฝง (Fugitive Release) จากการเผาผลาญเชื้อเพลิง เป็นการปลดปล่อยที่ไม่จงใจ (Unintentional Release) เช่น อุบัติเหตุจากการขนส่งน้ำมันหรือแก๊สธรรมชาติ การรั่วซึม การทดสอบ หรือการหลุดลอดออกจากระบบกักหรือดักเก็บ (ปล่องควัน)

c. เชื้อเพลิง Bunker โดยคำจำกัดความ Bunker Fuels คือเชื้อเพลิงที่เกิดจากการขนส่งข้ามประเทศหรือนานาชาติ ทั้งจากทางอากาศและทางน้ำ (International Marine and Aviation Transportation)

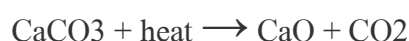
d. เชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass) จากการเผาไม้ (ถ่าน) ในเตาหุงต้มหรือเตาเผา ของแต่ละบ้าน หรือภาคอุตสาหกรรม

2) หมวดอุตสาหกรรมแปรรูป [CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs, SF<sub>6</sub>] เช่น เคมีภัณฑ์ โลหะภัณฑ์ หรือผลิตภัณฑ์จากแร่ธาตุ (Mineral Products)

3) หมวด เกษตรกรรม [CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>] การปลดปล่อย CH<sub>4</sub> จากการเกิดแก๊สในลำไส้สัตว์ การปลดปล่อย (N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub>) จากการจัดการมูลสัตว์ การปลดปล่อย N<sub>2</sub>O จากดินเกษตร การปลดปล่อย CO<sub>2</sub> จากการเผาหญ้า

แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตเม็ดปูนอุตสาหกรรมซีเมนต์ปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์คิดเป็นประมาณ 5 % ของทั้งหมดทั่วโลก [Lafarge] ประมาณว่า 60% ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิตเม็ดปูน (Clinker) ซึ่งเป็นผลผลิตในขั้นต้นจากการเผาวัตถุดิบ ก่อนที่จะนำไปบดละเอียดเป็นซีเมนต์

โดยระหว่างการเผาแคลเซียมคาร์บอเนต (มีที่มาจากหินปูน (Limestone) ชอล์ก (Chalk) และจากวัตถุดิบอื่นที่มีองค์ประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนต) ร่วมกับวัตถุดิบประเภทซิลิกาที่อุณหภูมิประมาณ 800-900°C การฟอร์มตัวของแคลเซียมออกไซด์จะเกิดขึ้นพร้อมๆ กับการปล่อยแก๊สคาร์บอน ไดออกไซด์ เป็นกระบวนการที่เรียกว่า Calcination ดังสมการ [2]



ที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นประมาณ 1350-1450°C ซึ่งแคลเซียมออกไซด์ที่ได้จะรวมตัวกับวัตถุดิบที่มีองค์ประกอบของซิลิกา เกิดเป็นเม็ดปูน (Clinker) ซึ่งมีลักษณะกลมดำมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10-12 มม



ซึ่งจากกระบวนการผลิตข้างต้น (ไม่รวมเชื้อเพลิงในการเผา ขนส่งวัตถุดิบและการ บดละเอียด) จะพบปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์โดยตรงจากการผลิตเม็ดปูนเป็นสัดส่วน โดยตรง กับปริมาณแคลเซียมออกไซด์ที่ได้ โดยสมการที่ใช้ในการคำนวณปริมาณการ ปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จะได้จากการคูณสัดส่วนการปล่อยแก๊ส (Emission Factor) กับปริมาณเม็ดปูนที่ผลิตได้ (Clinker Production) เป็นไปดังแสดงด้านล่าง [2,3]

$$\text{CO}_2 \text{ emissions} = \text{EF}_{\text{clinker}} \times \text{CP} \times \text{CKD Correction Factor (1)}$$

โดยที่

$\text{EF}_{\text{clinker}}$  = Emission Factor based on clinker production

CP = Clinker Production data (t)

CKD Correction Factor = Factor that corrects for the loss of cement kiln dust

สำหรับค่า  $\text{EF}_{\text{clinker}}$  นั้นในกรณีที่ทางผู้ผลิตไม่มีข้อมูลหรือไม่รู้ค่าจริง ทาง IPCC Good Practice Guidance [4] กำหนดให้ใช้ค่าคงที่ที่ 510 kg-CO<sub>2</sub>/t-clinker (ได้มาจากค่าการ สัดส่วนการปลดปล่อยแก๊สของแคลเซียมออกไซด์ที่ 0.785 t CO<sub>2</sub>/t CaO คูณด้วยสัดส่วนของ แคลเซียมในเม็ดปูน ถ้ากำหนดให้สัดส่วนของแคลเซียมอยู่ที่ 65% จะได้ค่าคงที่ 510 kg-CO<sub>2</sub> ต่อ 1 ตันของเม็ดปูน) อย่างไรก็ตามค่า  $\text{EF}_{\text{clinker}}$  นั้นมีความแตกต่างกันในแต่ละประเทศ ดัง แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่า EF ของแต่ละหน่วยงาน [5]

ประเทศหรือหน่วยงาน	$\text{EF}_{\text{clinker}}$ (kg-CO <sub>2</sub> /t-clinker)
CSI [5]	525
Portland CA	522
Australian CIF	518
Holcim Group	524

ส่วนในกรณีของค่า CKD นั้น ในระหว่างกระบวนการผลิตนั้น มีฝุ่นซีเมนต์บางส่วนที่เล็ดลอดออกจากเตาเผา (Cement Kiln Dust, CKD) ซึ่งจะต้องนำมาคำนวณคิดรวมทาง IPCC กำหนดค่า CKD Correction Factor ไว้ที่ประมาณ 2% หรือคูณด้วย 1.02 [4]

ในกรณีที่ทางโรงงานสามารถตรวจจับปริมาณฝุ่นซีเมนต์ได้ สามารถที่จะคำนวณแยกค่าปริมาณการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้โดยตรงจาก ปริมาณฝุ่นซีเมนต์ได้ โดยสมการที่ 2 (ซึ่งสมการที่ 1 จะต้องเปลี่ยนไป โดยตัดค่า CKD Correction Factor ออกไป)

โดยทั่วไปฝุ่นซีเมนต์จากเตาเผานั้นก็ยังถือว่าเป็นซีเมนต์ เพราะฉะนั้นค่าสัดส่วนการปลดปล่อยก็ยังคงใช้ค่าเดียวกับของเม็ดปูน เพียงแต่ยังถือว่าเป็นทำปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ (Not Fully Calcination) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องคูณด้วยค่าคงที่  $d$  ที่แสดงอัตราการทำปฏิกิริยา โดยสมการที่ใช้ในการคำนวณเป็นไปดังสมการที่ 2 ด้านล่าง

$$EF_{CKD} = \frac{CO_{2(RM)} \times d}{CKD} = \frac{CO_{2(RM)} \times d}{RW - CO_{RM} \times d}$$

โดยที่

CKD = Quantity of cement kiln dust produced (t)

RM = Amount of dry raw meal consumed and converted to CKD (t)

CO<sub>2</sub>(RM) = Total carbonate CO<sub>2</sub> contained in the raw meal (t)

$d$  = CKD calcination rate (released CO<sub>2</sub> expressed as a fraction of the total carbonate CO<sub>2</sub> in the raw meal)

สำหรับค่า  $d$  นั้นในกรณีที่ไม่มีข้อมูลให้ใช้ ค่าคงที่เท่ากับ 1 ซึ่งก็จะถือว่ามีการทำปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ (Fully Calcination) ดังนั้นจึงค่าที่ได้จะเกินความเป็นจริง

### สรุป

บทความนี้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับผู้ที่สนใจต้องการจะรู้วิธีการคำนวณหาปริมาณการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตเม็ดปูนโดยตรง ซึ่งในความเป็นจริงนั้นยังมีอีกหลายขั้นตอนในที่จะคำนวณทั้งระบบไม่ว่าจะเป็นการปลดปล่อยทางอ้อมจากการเผาผลาญน้ำมันเชื้อเพลิงในระหว่างการผลิตและ การขนส่ง การปรับลดสัดส่วนการปลดปล่อยจากการใช้เชื้อเพลิงทางเลือกประเภทอื่น การปรับส่วนลดจากการนำวัตถุดิบประเภทกากอุตสาหกรรม หรือ การปรับลดจากการซื้อวัตถุดิบจากภายนอก โดยทั้งหมดนี้จะได้กล่าวถึงในบทความครั้งหน้า โปรดติดตามต่อไป

### เอกสารอ้างอิง

- [1] Tans, Pieter. Trends in Atmospheric Carbon Dioxide – Mauna Loa. National Oceanic and Atmospheric Administration. Retrieved on 2008-02-15
- [2] National Inventory Report- Greenhouse Gases and Sinks in Canada 1990-2005, April 2007
- [3] Canadian Cement Industry-2006 Sustainability Report, Cement Association of Canada (CAC)

# วารสารคอนกรีต

## TCA e-magazine



[4] Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, 2000

[5] World Business Council for Sustainable Development, CO2 Accounting and Reporting Standard for Cement Industry

### สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

ชั้น 3 อาคารสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 487 รามคำแหง 39 ถ.รามคำแหง แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310  
โทรศัพท์ 0-2935-6539 โทรสาร 0-2935-6538 Email : thaitca@gmail.com Homepage : <http://www.thaitca.or.th>