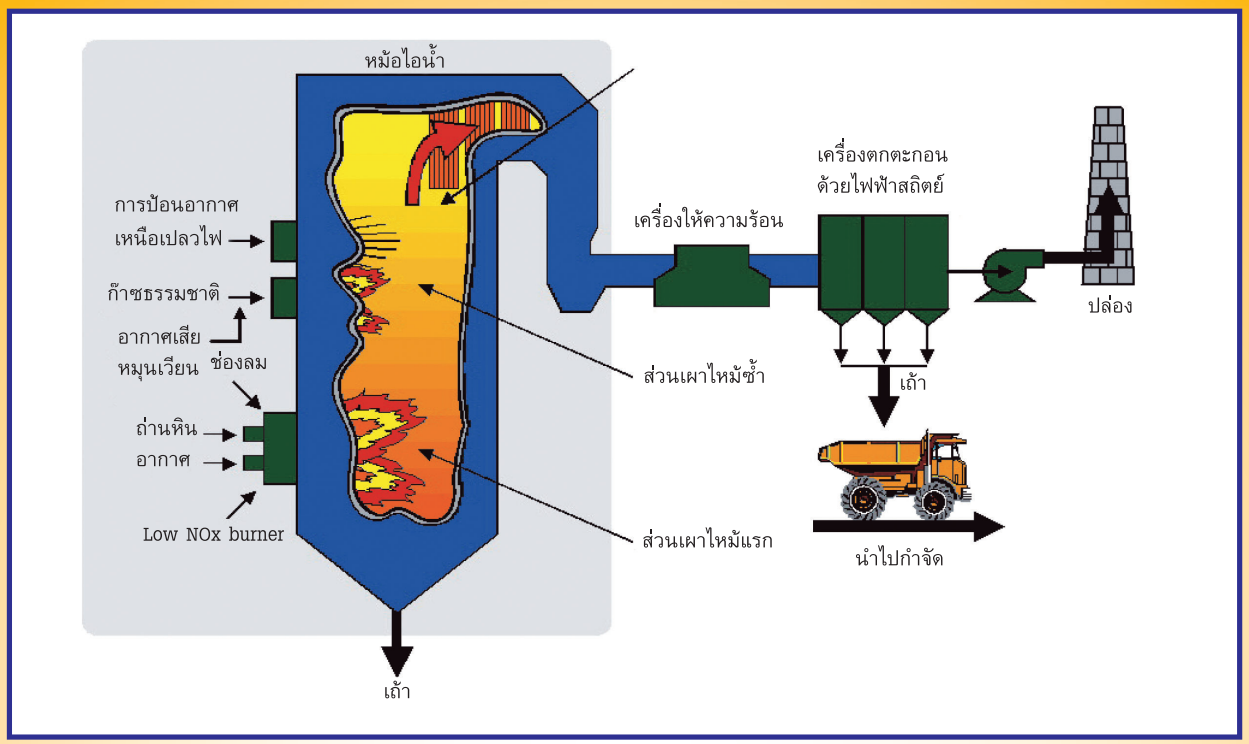
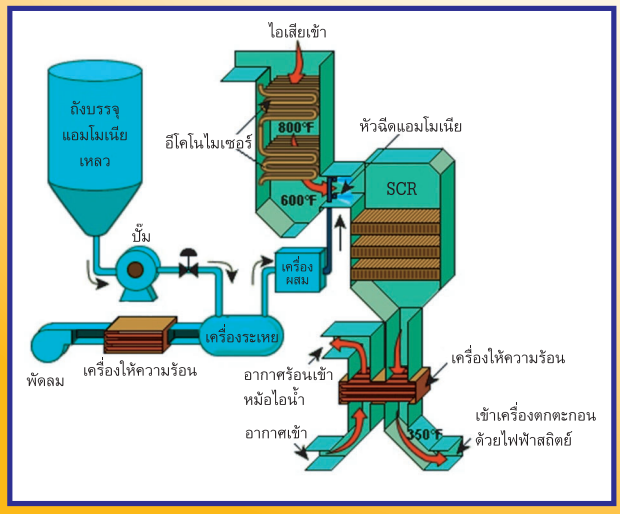
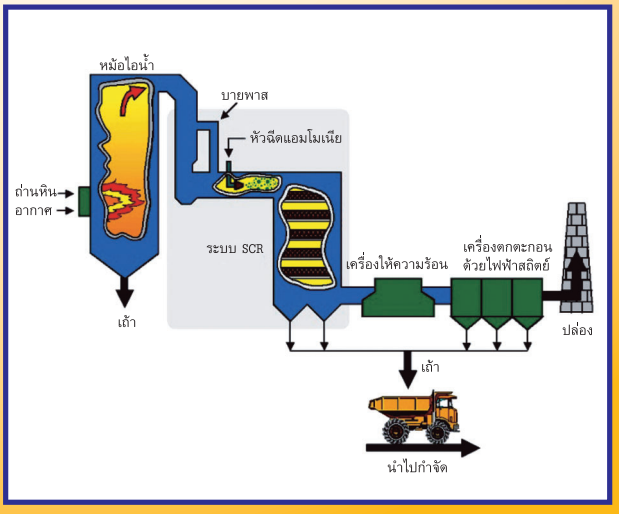
เทคโนโลยีการควบคุม NOx จากโรงไฟฟ้า

ดร.อังก์ศิริ ทิพยารมณ์*



ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NOx)เป็นสารมลพิษทางอากาศที่มีความสำคัญชนิดหนึ่ง ซึ่งส่งผลกระทบหลายประการต่อสิ่งแวดล้อม อาทิเช่น มีบทบาทในการเพิ่มขึ้นของก๊าซโอโซนระดับพื้นดิน (Ground-level ozone หรือ Bad ozone) เป็นสารเริ่มต้นในการเกิดฝนกรด ก่อให้เกิดความเป็นกรดขึ้นในระบบนิเวศแหล่งน้ำ ทำลายป่าไม้ และลดทัศนวิสัย เมื่อทำปฏิกิริยากับก๊าซโอโซนเกิดเป็นหมอก (Photochemical smog) ในธรรมชาติ





*อาจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

แหล่งกำเนิด NO_x ได้แก่ กระบวนการทางแบคทีเรีย เช่น การเจริญเติบโตและการย่อยสลายทางชีวภาพ การเกิดฟ้าผ่า และไฟป่า เป็นต้น ส่วน NO_x ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์นั้นส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล โดยเฉพาะจากแหล่งกำเนิดขนาดใหญ่ เช่น โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น NO_x ทั้งที่เกิดจากธรรมชาติและจากกิจกรรมของมนุษย์ แบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม (May, no date) ดังนี้

(1) Nitric oxide (NO), Nitrogen (II) oxide

(2) Nitrogen dioxide (NO_2), nitrogen (IV) oxide

(3) Nitrous oxide (N_2O), nitrogen (I) oxide

(4) Dinitrogen trioxide (N_2O_3), Nitrogen (II,IV) oxide

(5) Dinitrogen tetraoxide (N_2O_4), nitrogen (IV) oxide

(6) Dinitrogen pentoxide (N_2O_5), nitrogen (V) oxide

โดย 3 กลุ่ม สุดท้ายจะไม่เสถียร และจะเปลี่ยนรูปไปเป็น NO หรือ NO_2 ซึ่งก๊าซทั้งสองชนิดนี้มีความเป็นพิษสูงมาก

แหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์นั้น โรงไฟฟ้านับเป็นแหล่งกำเนิดสำคัญที่ปลดปล่อย NO_x ออกมาในปริมาณมาก (Cohan & Douglass, 2011) และถึงแม้ว่าจะเป็นโรงไฟฟ้าที่ใช้พลังงานทดแทนร่วมกับถ่านหินก็ตาม ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ที่ปลดปล่อยออกมาต่อกิโลวัตต์ก็ยังมีปริมาณมาก (Porate et al., 2013) นอกจากนี้ พลูมจากปล่องโรงไฟฟ้าสามารถเคลื่อนที่ไปได้ในระยะไกลโดยการพัดพาของลม จึงก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอนามัยของมนุษย์ในวงกว้าง

NO_x ที่เกิดขึ้นในกระบวนการเผาไหม้ของโรงไฟฟ้านั้นแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

(1) ***Thermal NO_x*** เป็น NO_x จากความร้อน เกิดขึ้นระหว่างการเผาไหม้ถ่านหินในหม้อไอน้ำ ซึ่งมีสัดส่วนประมาณร้อยละ 20 ของ NO_x ทั้งหมดจากหม้อไอน้ำ อัตราการเกิด Thermal NO_x จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน ในส่วนเผาไหม้ซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่า 2,800 องศาฟาเรนไฮต์ (1538 องศาเซลเซียส)ทำให้เกิด Thermal NO_x ชนิดไนตริกออกไซด์ (NO) ขึ้นในปริมาณมาก (Srivastava et al., 2005) โดยในบางครั้งอาจมีความเข้มข้นสูงถึง 1,000 ส่วนในล้านส่วน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2550) NO_x ชนิดนี้เกิดจากการที่ก๊าซออกซิเจนและก๊าซไนโตรเจนในอากาศบางส่วนรวมตัวกันเกิดเป็นไนตริกออกไซด์และไนโตรเจนไดออกไซด์

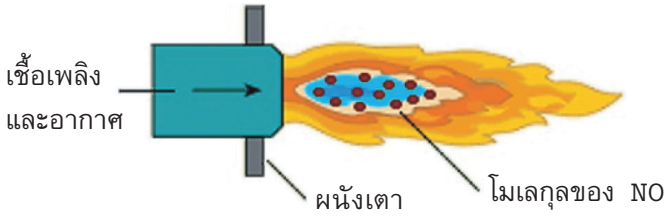
(2) ***Fuel NO_x*** เป็น NO_x ที่เกิดจากเชื้อเพลิง มีสัดส่วนมากที่สุดในบรรดา NO_x ที่ปลดปล่อยออกมาทั้งหมดจากการเผาไหม้ถ่านหินในหม้อไอน้ำ โดยมีสัดส่วนประมาณร้อยละ 80 (Srivastava et al., 2005) NO_x ชนิดนี้เกิดจากการที่สารประกอบที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบในเชื้อเพลิงทำให้เกิดเป็นก๊าซไนตริกออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ขึ้นเมื่อเผาไหม้ Fuel NO_x ที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจนที่มีอยู่ในเชื้อเพลิง โดยเฉพาะเชื้อเพลิงประเภทถ่านหินและน้ำมันเตา การเกิด Fuel NO_x จากไนโตรเจนในเชื้อเพลิงได้รับอิทธิพลจากความเข้มข้นของออกซิเจนในเปลวไฟ และอัตราการผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศ เช่นเดียวกับการเกิด Thermal NO_x (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2550)

(3) ***Prompt NO_x*** เป็น NO_x จากการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของไนโตรเจนกับอนุมูลอิสระของสารไฮโดรเจนไซยาไนด์ แอมโมเนียม และไนโตรเจน ที่มีอยู่ในเปลวไฟ ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของก๊าซขณะเผาไหม้ NO_x ชนิดนี้มีสัดส่วนน้อยมากใน NO_x ทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากหม้อไอน้ำของโรงไฟฟ้า (Srivastava et al., 2005)

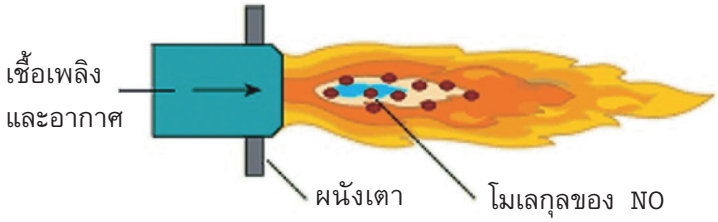
ในการลด NO_x ที่เกิดขึ้นจากหม้อไอน้ำของโรงไฟฟ้านั้น ต้องอาศัยเทคโนโลยีต่างๆ ในการควบคุม บทความนี้จะกล่าวถึงเทคโนโลยีที่นิยมใช้กับโรงไฟฟ้าทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ อันมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (US EPA, 2010)

(1) การลดอากาศส่วนเกิน (Low excess air operation)

การลดอากาศส่วนเกินเป็นการลดปริมาณอากาศทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการเผาไหม้ โดยการป้อนอากาศเกินกว่าปริมาณอากาศที่ต้องใช้ตามทฤษฎีเพียงเล็กน้อยเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ การลดปริมาณอากาศส่วนเกินให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้นั้นจะทำให้ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงในกระบวนการเผาไหม้ลดลง ซึ่งสามารถลดการเกิด Fuel NO_x ได้ (Srivastava et al., 2005) รูปที่ 1 แสดงการเผาไหม้แบบปกติเปรียบเทียบกับการเผาไหม้แบบลดอากาศส่วนเกิน



(ก) การเผาไหม้แบบปกติ

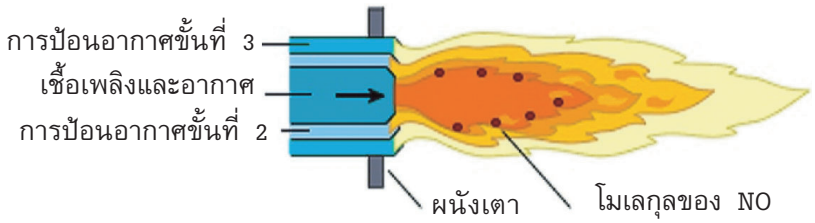


(ข) การเผาไหม้แบบลดอากาศส่วนเกิน

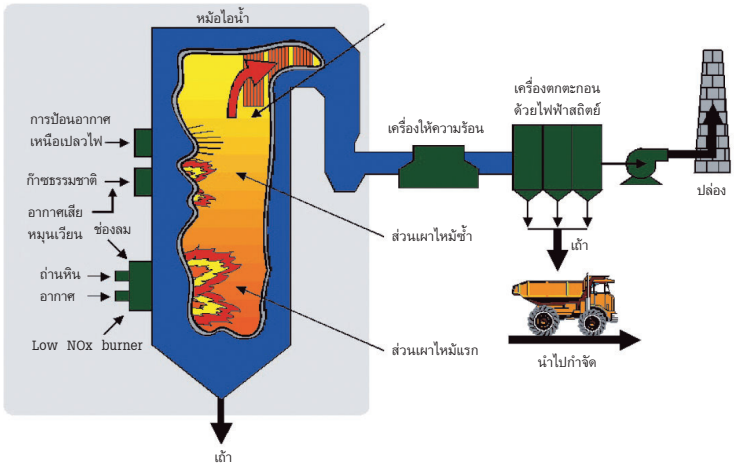
รูปที่ 1 การเผาไหม้แบบปกติ (ก) และการเผาไหม้แบบลดอากาศส่วนเกิน (ข)
ที่มา : ดัดแปลงจาก US EPA (2010)

(2) หัวเผา NO_x ต่ำ (Low NO_x burner)

หัวเผาชนิด Low NO_x จะควบคุมการผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศให้มีอุณหภูมิของเปลวไฟต่ำ มีการป้อนอากาศขั้นที่ 2 และ 3 และสามารถกระจายความร้อนอย่างรวดเร็ว (ดังรูปที่ 2) ซึ่งจะทำให้เกิดสภาวะอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายสภาวะดังต่อไปนี้ (1) ลดความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในส่วนเผาไหม้ส่วนแรกทำให้ Thermal NO_x และ Fuel NO_x ลดลง (2) ลดอุณหภูมิของเปลวไฟซึ่งส่งผลให้ Thermal NO_x ลดลง และ (3) ลดเวลาที่ไอเสียอยู่ในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงซึ่งสามารถลด Thermal NO_x ลงได้เช่นกัน สิ่งที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของหัวเผาชนิดนี้ในการลดการเกิด NO_x ได้แก่ คุณภาพ ความละเอียด ปริมาณสารระเหย และปริมาณไนโตรเจน ในถ่านหิน โดยคุณภาพของถ่านหินและปริมาณสารที่ระเหยได้ในถ่านหินเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุด อย่างไรก็ตาม ความละเอียดของถ่านหินก็สามารถลดการเกิด NO_x ได้เช่นกัน โดยทั่วไปถ่านหินคุณภาพต่ำ เช่น ถ่านหินประเภทซับบิทูมินัสจะมีปริมาณสารระเหยสูง ซึ่งการเผาถ่านหินชนิดนี้จะทำให้เกิด NO_x มาก หัวเผาชนิด Low NO_x จะมีเปลวไฟยาวกว่าหัวเผาทั่วไป ดังนั้นจึงต้องออกแบบเตาเผาให้มีความยาวเพิ่มขึ้น เพื่อป้องกันมิให้เปลวไฟกระทบกับผนังเตาเผา (Srivastava et al., 2005) การติดตั้ง หัวเผาชนิด Low NO_x ในหม้อไอน้ำของโรงไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 3



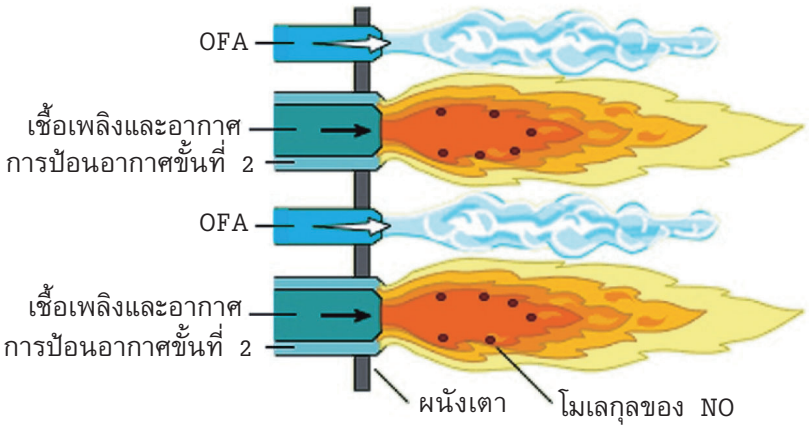
รูปที่ 2 Low NO_x burner
ที่มา : ดัดแปลงจาก US EPA (2010)



รูปที่ 3 ตำแหน่งของ Low NO_x burner ที่ติดตั้งในหม้อไอน้ำของโรงไฟฟ้า
ที่มา : ดัดแปลงจาก US Department of Energy (1999)

(3) การป้อนอากาศเหนือเปลวไฟ (Overfire air)

การป้อนอากาศเหนือเปลวไฟ หรือมักเรียกกันอย่างย่อๆ ว่า OFA เป็นเทคโนโลยีในการควบคุม NO_x โดยการป้อนอากาศบางส่วนที่ใช้ในการเผาไหม้ (ร้อยละ 5–20) เหนือหัวเผาที่ใช้อัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงต่ำ นั่นคือ มีความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนต่ำจึงสามารถลด Thermal NO_x ลงได้ เทคนิคนี้สามารถใช้ร่วมกับหัวเผาแบบ Low NO_x ได้ และหากใช้ร่วมกันจะสามารถลด Thermal NO_x ลงได้อีกร้อยละ 10–15 (Srivastava et al., 2005) รูปที่ 3 และ 4 แสดงการป้อนอากาศเหนือเปลวไฟในหม้อไอน้ำของโรงไฟฟ้า



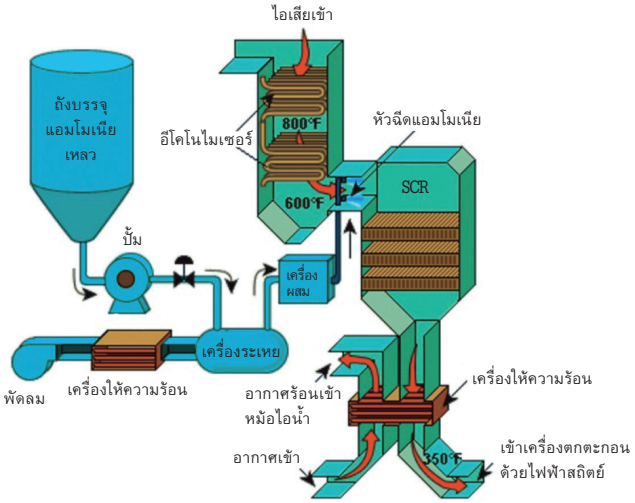
รูปที่ 4 การป้อนอากาศเหนือเปลวไฟ (OFA)
ที่มา : ดัดแปลงจาก US EPA (2010)

(4) การหมุนเวียนไอเสีย (Flue gas recirculation)

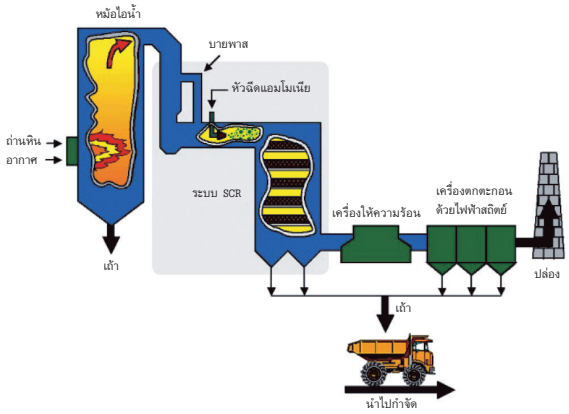
การหมุนเวียนไอเสียเป็นการหมุนเวียนก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ซึ่งมีความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนต่ำ แต่เพียงพอสำหรับกระบวนการเผาไหม้แบบสมบูรณ์กลับเข้าสู่ส่วนเผาไหม้ของหม้อไอน้ำอีกครั้งหนึ่ง ดังรูปที่ 3 ก๊าซร้อนซึ่งเย็นลงเล็กน้อยที่ออกจากหม้อไอน้ำจะนำไปผ2สมกับเปลวไฟเพื่อลดอุณหภูมิของเปลวไฟลง ดังนั้นจึงสามารถลด Thermal NO_x ลงได้ (Srivastava et al., 2005) เทคนิคนี้จะต้องมีการติดพัดลมหมุนเวียนและระบบท่อแยกต่างหากเพิ่มเติม (US EPA, 2010)

(5) เทคนิคเอสซีอาร์ (SCR)

เทคนิค SCR หรือ Selective catalyst reduction เป็นเทคนิคในการลด NO_x ทุกประเภทในไอเสีย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Prompt NO_x ซึ่งไม่สามารถกำจัดได้ด้วยเทคนิคอื่นๆ ที่กล่าวมาแล้ว การใช้เทคนิค SCR จัดเป็นการกำจัดขั้นที่สอง (Secondary control) เพื่อลด NO_x ให้เหลือน้อยที่สุดก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ วิธีการนี้เป็นที่นิยมใช้กันแพร่หลายเนื่องจากมีประสิทธิภาพสูง การกำจัด NO_x ด้วยวิธีนี้อาศัยการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างแอมโมเนียกับ NO_x โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในการเปลี่ยน NO_x เป็นน้ำและก๊าซไนโตรเจน แอมโมเนียที่ใช้อาจจะอยู่ในรูปที่ปราศจากน้ำ (Anhydrous ammonia) หรือในรูปแอมโมเนียเหลว (Aqueous ammonia) หรือใช้ยูเรียก็ได้ การกำจัด NO_x ทำได้โดยการผสมแอมโมเนียกับอากาศในอัตราส่วนที่เหมาะสมจากนั้นพ่นเป็นละอองเข้าไปในถังปฏิกิริยาที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งวางเรียงเป็นชั้นๆ เพื่อดักจับ NO_x วิธี SCR นี้มีประสิทธิภาพในการกำจัด NO_x ประมาณร้อยละ 50 ไอเสียที่ผ่านการกำจัด NO_x จะต้องนำไปกำจัดฝุ่นด้วยเครื่องตกตะกอนด้วยไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic precipitator) ก่อนออกสู่บรรยากาศ รูปที่ 5 แสดงแผนภาพของระบบ SCR และรูปที่ 6 แสดงการติดตั้ง SCR ในโรงไฟฟ้า (Srivastava et al., 2005)



รูปที่ 5 SCR
ที่มา : ดัดแปลงจาก US EPA (2010)



รูปที่ 6 ระบบ SCR ในโรงไฟฟ้า
ที่มา : ดัดแปลงจาก US Department of Energy (1998)

จากปัญหาสิ่งแวดล้อมอันเกิดจาก NO_x ดังที่กล่าวมาแล้ว จึงจำเป็นที่จะต้องมีลดการปลดปล่อยก๊าซชนิดนี้ออกสู่สิ่งแวดล้อม ในการนี้จึงได้มีมาตรการในการควบคุมการปลดปล่อย NO_x จากจากโรงไฟฟ้าขึ้นในหลายประเทศ ซึ่งการควบคุมการปลดปล่อยก๊าซนั้น จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีในการควบคุมที่มีประสิทธิภาพหลายๆ เทคโนโลยีร่วมกันจึงจะสามารถลดปริมาณของ NO_x ที่จะออกสู่บรรยากาศให้อยู่ในระดับที่ได้มาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อมและไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์

เอกสารอ้างอิง

กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2550) ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ. ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร

Cohan DS and Douglass C (2011) Potential emissions reductions from grandfathered coal power plants in the United States. Energy Policy, 39(9): 4819 ' 4822.

Jing J, Li Z, Zhu Q, Chen Z and Ren F (2011) Influence of primary air ratio on flow and combustion characteristics and NO_x emissions of a new swirl coal burner. Energy, 3(2): 1206-1213.

May WR (no date) Reduction of Thermal and prompt NO_x in exhausts of natural gas fueled boilers. Technical Paper, SFA International, Inc.

Porate KB, Thakre KL and Bodhe GL (2013) Impact of wind power on generation economy and emission from coal based thermal power plant. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 44(1): 889-896.

Srivastava RK, Hall RE, Khan S, Culligan K and Lani BW (2005) Nitrogen oxides emission control options for coal-fired electric utility boilers. Journal of Air and Waste Management Association, 55:1367'1388.

US Department of Energy Office of Fossil Energy (1998) Environmental Control Devices NO_x Control Technologies (Online) http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/cctc/cctdp/project_briefs/scr/selcatreddemo.html February 14, 2013.

US Department of Energy Office of Fossil Energy (1999) Environmental Control Devices NO_x Control Technologies (Online) http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/cctc/cctdp/project_briefs/eerco/gasreburndemo.html February 15, 2013.

US EPA (2010) Module 6: Air pollutants and control techniques - nitrogen oxides - control techniques (Online) http://www.epa.gov/eogapti1/bces/module6/nitrogen/control/control.htm February 18, 2010.