

ผลของอุณหภูมิต่อการก่อกำเนิดเค้กฝุ่นและการไล่เค้กฝุ่น

Effect of Temperature on Dust Cake Formation and Detachment

มานะ อมรกิจบำรุง¹ และ ชิกาโอะ คานาโอกะ²¹คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

91 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

โทร. 0-2470-8662 โทรสาร 0-2470-8663

E-Mail: mana.amo@kmutt.ac.th

²Faculty of Engineering, Kanazawa University, Kanazawa 920-8667, Japan

Phone/Fax (81-76) 234-4644

E-Mail: kanaoka@t.kanazawa-u.ac.jp

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่อพฤติกรรมการก่อกำเนิดเค้กฝุ่นและการไล่เค้กฝุ่นออกจากตัวกรองเซรามิก ข้อมูลการทดลองได้จากการใช้ตัวกรองฝุ่นรูปแท่งทรงกระบอก ที่มีพื้นที่ผิวการกรองเท่ากับ 0.088 m^2 โดยให้แก๊สปนฝุ่นไหลผ่านจากด้านนอกสู่ด้านใน ส่วนในการทำความสะอาดจะใช้อากาศอัดฉีดพ่นสวนทางกับทางเดินของแก๊สสกปรก การศึกษาพฤติกรรมของตัวกรองในระหว่างการกรองและการทำความสะอาด ดำเนินการที่ความเร็วการกรองเท่ากับ 5 cm/s อุณหภูมิการกรองเท่ากับ 20°C และ 500°C ความดันของแก๊สพัลส์เท่ากับ 500 kPa ระยะเวลาการพัลส์เท่ากับ 220 ms จากผลการทดลองพบว่า อัตราการเพิ่มของความดันลด อันเนื่องมาจากการสะสมตัวของชั้นฝุ่น กรณีที่ทำการกรองฝุ่นที่อุณหภูมิห้อง จะเร็วกว่ากรณีที่ทำการกรองฝุ่นที่อุณหภูมิสูง นั่นหมายความว่า ที่อุณหภูมิสูงจะเกิดเค้กฝุ่นที่มีความพรุนสูงกว่า ส่วนในกระบวนการทำความสะอาดตัวกรอง พบว่าขนาดของชั้นเค้กฝุ่นที่หลุดจากผิวตัวกรองที่อุณหภูมิห้อง มีขนาดใหญ่กว่าที่หลุดจากผิวตัวกรองที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้ยังพบด้วยว่าเวลาที่เค้กฝุ่นเริ่มหลุดออกจากผิวตัวกรองที่สภาวะอุณหภูมิห้องจะเร็วกว่าที่สภาวะอุณหภูมิสูง ทั้งหมดนี้เป็นผลเนื่องมาจากแรงยึดติดระหว่างเค้กฝุ่นกับตัวกรองหรือความเข้มข้นภายในของเค้กฝุ่นที่เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

Abstract

This research work presents an experimental study of temperature effect on dust cake formation and its removal. The experimental data are obtained using a ceramic candle filter with an area of 0.088 m^2 through which the dust-laden gas flows from the outside inwards. In the cleaning period, compressed air is injected opposite to the filtration direction. The behavior of the filter during filtration and cleaning is studied using filtration velocity of 5 cm/s .

filtration temperature of 20°C and 500°C , pulse gas pressure of 500 kPa and pulse duration of 220 ms . The experimental results show that the increase rate of pressure drop at room temperature is faster than that at high temperature. That means a more porous filter cake forms at higher temperatures. In the cleaning process, it is revealed that the size of dust fragments released at room temperature is larger than that released at high temperature. Furthermore, it is also found that the starting time for dust cake to detach from filter surface at room temperature condition is also faster than at high temperature condition. This is thought to be due to the adhesive force between dust cake and the filter medium or the internal cohesion of the dust cake that remarkably increases at higher temperatures.

1. บทนำ

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อการจับเก็บฝุ่นจากแก๊สที่มีอุณหภูมิสูง อันเป็นหัวใจสำคัญในวัฏจักรกังหันที่ใช้แก๊สจากการเผาถ่านหินได้เจริญรุดหน้าไปอย่างรวดเร็ว [1-2] ความต้องการผลิตไฟฟ้าในระยะยาว อาจมีส่วนผลักดันการพัฒนาในระยะแรก ๆ แต่ปัจจุบัน ได้ขยายวงกว้างไปยังอุตสาหกรรมกระบวนการและอุตสาหกรรมเคมี ในโรงงานผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินโดยกระบวนการเผาไหม้แบบฟลูอิดไคซ์เบดภายใต้ความดัน แก๊สที่ได้จากการเผาไหม้โดยทั่วไปจะเข้าสู่กังหันที่ความดันระหว่าง $10\text{-}20 \text{ bar}$ และอุณหภูมิระหว่าง $800\text{-}850^\circ\text{C}$ เพื่อผลิตงานเพลลา งานเพลลาที่ได้จะถูกนำไปใช้ปั่นเครื่องปั่นไฟ (generator) เพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไป อนุภาคเถ้าลอยที่ปะปนอยู่ในแก๊สร้อนนี้จะต้องถูกกำจัดออกให้ได้ตามมาตรฐานที่กังหันแก๊สยอมรับได้ โดยการติดตั้งอุปกรณ์จับเก็บฝุ่นที่ด้านหน้ากังหัน ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการร่อนของใบพัด การจับเก็บฝุ่นจากแก๊สที่มีความดันสูงและอุณหภูมิสูงมีข้อได้เปรียบในเชิงอุณหพลศาสตร์ แทนที่จะทำการลดอุณหภูมิก่อนแล้วส่งไปยังอุปกรณ์ทำความสะอาดแก๊สแบบทั่วไป แล้วจึงทำการอุ่นแก๊ส

RECEIVED 30 NOVEMBER, 2001

ACCEPTED 6 FEBRUARY, 2002

นั้นอีกครั้งตั้งแต่เคยปฏิบัติกันมา นอกจากนั้นยังมีข้อได้เปรียบในแง่ขนาดของอุปกรณ์ที่เล็กลงเมื่อเดินเครื่องที่ความดันสูง ในอุตสาหกรรมกระบวนการและอุตสาหกรรมเคมี รวมถึงในกระบวนการเผา (incineration) ความจำเป็นต้องทำความสะอาดแก๊สได้เพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากข้อบังคับของกฎหมายสิ่งแวดล้อมที่เข้มงวดมากขึ้น โดยเฉพาะในส่วนของอนุภาคฝุ่น แก๊สกรด สารประกอบของโลหะหนัก ไฮโดรเจนคลอไรด์และสารอินทรีย์คลอไรด์ อย่างเช่น ไดออกซินและฟูแรน เป็นต้น

เทคโนโลยีการจับเก็บฝุ่นดั้งเดิม ไม่ว่าจะเป็นไซโคลอน เครื่องกรองฝุ่นแบบถุงกรอง หรือเครื่องแยกฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิตนั้น ไม่สามารถกำจัดฝุ่นขนาดเล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพ และ/หรือมีข้อจำกัดในแง่วัสดุ เมื่อนำไปใช้จับเก็บฝุ่นจากแก๊สที่มีอุณหภูมิสูงและมีฤทธิ์กัดกร่อน การพัฒนาอุปกรณ์จับเก็บฝุ่นแนวใหม่ ที่สามารถจับเก็บฝุ่นจากแก๊สที่มีอุณหภูมิสูง (โดยไม่ต้องทำแก๊สนั้นให้เย็นก่อน) เป็นประเด็นที่กำลังได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ หนึ่งในบรรดาเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่กำลังพัฒนาอยู่นั้น ตัวกรองเซรามิกดูเหมือนจะได้รับการพัฒนาล้ำหน้าไปมาก

ตัวกรองอนุภาคฝุ่นที่มาจากเซรามิก ถือได้ว่าเป็นเทคโนโลยีก้าวหน้าล่าสุด สำหรับการกรองอนุภาคฝุ่นออกจากแก๊สที่มีอุณหภูมิสูง ทั้งนี้เนื่องจากตัวกรองชนิดดังกล่าวมีความแข็งแรงเชิงกลสูง ทนต่อความร้อนและสารเคมี โดยเฉพาะไอน้ำและไอของสารแอลคาไล จากประสบการณ์ในอดีตถึงปัจจุบันได้แสดงให้เห็นแล้วว่า เทคโนโลยีนี้สามารถบรรลุประสิทธิภาพการจับเก็บ (collection efficiency) ที่สูง อีกทั้งอุณหภูมิและความดันลดในระบบยังต่ำอีกด้วย ในระหว่างวัฏจักรการกรอง ฝุ่นจะถูกจับอยู่ที่ผิวด้านนอกจนกระทั่งถึงเวลาหรือค่าความดันลดที่กำหนดไว้ จึงทำความสะอาด (โดยทั่วไป 2-3 ครั้งต่อชั่วโมง) โดยปกติกระทำแบบออนไลน์ โดยพ่นแก๊สสะอาดความดันสูงในลักษณะพัลส์เข้าทางด้านผิวสะอาดของตัวกรอง (ย้อนทางของแก๊สสกปรก) เพื่อไล่อนุภาคที่เกาะอยู่ที่ผิวของตัวกรองออกไปโดยไม่ต้องหยุดการกรอง แก๊สที่หลุดออกมาจะตกลงสู่ถังรองรับทางด้านล่างของหน่วยกรอง จากนั้นวัฏจักรการกรองก็กลับมาเริ่มต้นใหม่อีกครั้ง ปัจจุบันการไล่อนุภาคฝุ่นที่สะสมอยู่ออกจากผิวตัวกรองให้ได้โดยมีประสิทธิภาพ ยังเป็นประเด็นสำคัญอันหนึ่งที่จะต้องหาทางแก้ไขเพื่อการเดินเครื่องในแบบต่อเนื่อง

บทความวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อพฤติกรรมการก่อกำเนิดเค้กฝุ่นและการไล่เค้กฝุ่นออกจากตัวกรองเซรามิก โดยทำการศึกษาโครงสร้างของชั้นฝุ่นบนตัวกรอง ด้วยวิธีการวัดความดันลดอันเนื่องมาจากการสะสมตัวของฝุ่น และทำการศึกษาพฤติกรรมการหลุดของเค้กฝุ่นจากผิวตัวกรองหลังฉีดพ่นด้วยแก๊สพัลส์ความดันสูง โดยใช้ภาพถ่ายจากกล้องวิดีโอที่ความเร็วสูง สำหรับฝุ่นที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นฝุ่นเถ้าลอย (fly ash) จากการเผาถ่านหินในเตาฟลูอิดไคเซิลเบดภายใต้ความดัน ผลการทดลองและข้อสรุปต่าง ๆ ที่ได้จากการศึกษานี้ จะเป็นข้อมูลเบื้องต้น สำหรับการออกแบบและพัฒนากระบวนการจับเก็บฝุ่นจากแก๊สที่มี

อุณหภูมิสูงด้วยตัวกรองเซรามิก เพื่อประยุกต์ใช้ในโรงงานผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินสมัยใหม่ต่อไป

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ได้มีผู้ศึกษาการทำความสะอาดตัวกรอง ด้วยวิธีการฉีดพ่นแก๊สสะอาดความดันสูงในลักษณะพัลส์ ผลของสมบัติเฉพาะตัวของฝุ่น อุณหภูมิ และองค์ประกอบทางเคมีที่มีต่อความแข็งแรงและการยึดติดของเค้กฝุ่นที่กรองได้หลายแนวทางด้วยกัน

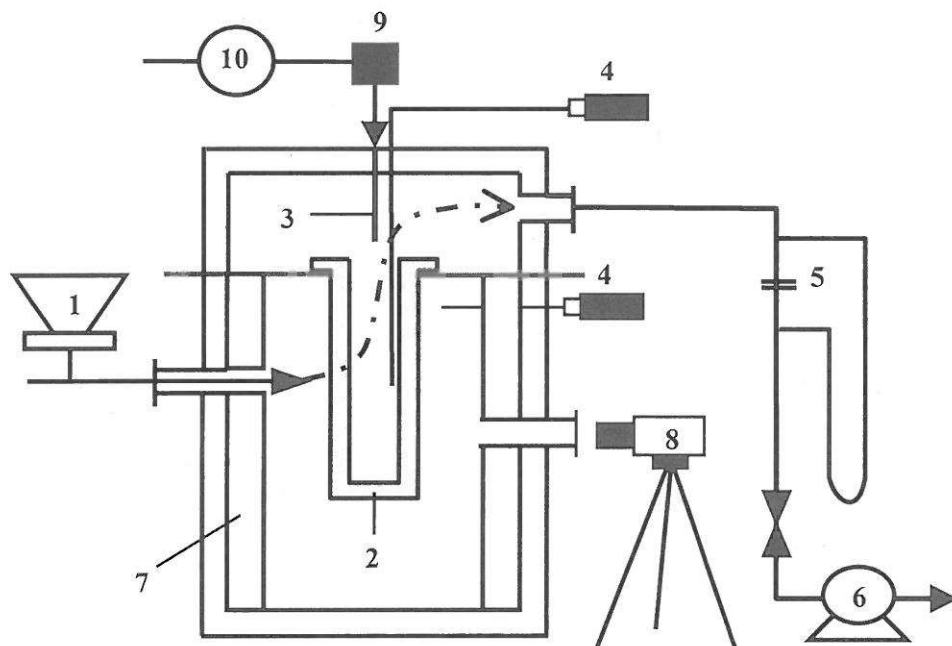
Berbner และ Löffler [3] ได้ใช้ชุดทดสอบที่ประกอบด้วยตัวกรองเซรามิก 1 แท่ง เพื่อศึกษาพฤติกรรมการทำความสะอาดด้วยการฉีดพ่นแก๊สพัลส์ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง จากผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพการทำความสะอาดจะเพิ่มขึ้นตามความดันของถังเก็บแก๊สพัลส์ ซึ่ง Berbner และ Pilz [4] ก็ได้รายงานผลการค้นพบที่คล้ายกันนี้ที่สภาวะอุณหภูมิสูง

Berbner และ Löffler [5] พบว่าเค้กฝุ่นที่หนาจะสามารถไล่ออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเพิ่มความหนาของเค้กฝุ่นจะเพิ่มความดันสูงสุดภายในแท่งตัวกรอง อย่างไรก็ดี ที่อุณหภูมิสูง (850°C) ข้อได้เปรียบของเค้กฝุ่นที่หนา จะถูกลดทอนลงด้วยแรงเกาะติดของฝุ่น (cohesive force) ที่เพิ่มขึ้น

Giemoth และ Renz [6] พบว่ากระบวนการทำความสะอาดไม่เพียงขึ้นอยู่กับค่าสภาพให้ซึมได้ของเค้กฝุ่น (dust cake permeability) แต่ยังขึ้นอยู่กับความเร็วในการกรอง (filtration velocity) และความหนาของชั้นฝุ่นอีกด้วย การเพิ่มช่วงรอบ (cycle duration) หรือเวลาระหว่างการทำความสะอาดด้วยการฉีดพ่นย้อนแบบพัลส์ และการเพิ่มความเร็วในการกรอง จะส่งผลให้ชั้นฝุ่นมีความหนาเพิ่มขึ้นและลดค่าสภาพให้ซึมได้ลง ความเร็วในการกรองที่สูง จะทำให้เกิดชั้นฝุ่นตกค้างที่มีลักษณะเนื้อแน่นเนื่องจากอนุภาคจะหลุดลอดเข้าไปในตัวกลาง และเกิดการอัดตัวกันแน่นของเค้ก นอกจากนี้ยังพบว่าค่าสภาพให้ซึมได้ของเค้กฝุ่นไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของฝุ่นที่ทางเข้า

Smith *et al.* [7] ได้ทำการศึกษาเพื่อวัดความแข็งแรงเฉือน (shear strength) ของอนุภาคผง $MgSO_4$, $CaSO_4$ และของผสมของอนุภาคผงทั้ง 2 ชนิดทั้งก่อนและหลังการให้ความร้อนที่ 750°C เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่า ความแข็งแรงเฉือนของตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนและตัวอย่างที่มีส่วนประกอบของ $MgSO_4$ จะมีค่าสูง

Kanaoka และ Amornkitbamrung [8] ได้ทำการศึกษาผลของค่าสภาพให้ซึมได้ของตัวกรอง (filter permeability) ที่มีต่อพฤติกรรมการไล่เค้กฝุ่นออกจากผิวของตัวกรองเซรามิก จากผลการทดลองพบว่า pressure trace หลังฉีดพ่นด้วยแก๊สพัลส์ มีลักษณะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับค่าสภาพให้ซึมได้ของตัวกรอง ในกรณีของตัวกรองที่มีค่าสภาพให้ซึมได้สูง กระบวนการทำความสะอาดเกือบจะเกิดขึ้นทันทีภายหลังฉีดพ่นด้วย



1.Dust feeder; 2.Ceramic filter; 3.Pulse-jet nozzle; 4.Pressure sensor; 5.Orifice and manometer; 6.Blower; 7.Heater; 8.High speed camera; 9.Solienoid valve; 10.Compressed air tank

Fig.1. Schematic diagram of the experimental setup.

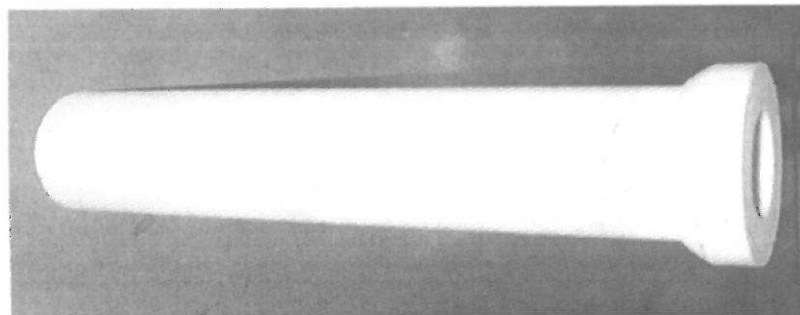


Fig. 2. Photograph of a rigid ceramic candle filter.

แก๊สพลัส สำหรับตัวกรองที่มีค่าสภาพให้ซึมได้ต่ำ แก๊สสะอาดจะถูกเก็บสะสมไว้ก่อนกระบวนการทำความสะอาดจะเกิดขึ้น

3. อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง

รูปที่ 1 แสดงแผนภาพของอุปกรณ์การทดลองที่ใช้ ภายในภาชนะบรรจุตัวกรองจะติดตั้งฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 4 kW พร้อมชุดควบคุมอุณหภูมิ เพื่อควบคุมอุณหภูมิรอบแท่งตัวกรองให้ได้ตามต้องการ (สามารถทำอุณหภูมิได้สูงสุด 1000°C) ตัวกรองเซรามิกรูปแท่งทรง

กระบอกปลายปิด จำนวน 1 แท่ง (ขนาด 40 mm ID × 60 mm OD × 500 mm long) ดังแสดงในรูปที่ 2 ถูกติดตั้งในแนวตั้งที่ตำแหน่งใจกลางของภาชนะบรรจุ (ขนาด 200 mm × 200 mm × 500 mm) ระบบทำความสะอาดประกอบด้วยถังเก็บแก๊สอัดขนาด 6 ลิตร วาล์วโซลินอยด์ และน๊อตเชล (ขนาด 9 mm ID × 450 mm long) น๊อตเชลถูกติดตั้งในตำแหน่งศูนย์กลาง ห่างจากปลายเปิดของตัวกรอง 10 มิลลิเมตร อนุภาคเถ้าลอยถูกป้อนด้วยเครื่องป้อนแบบตั้งโต๊ะ (table feeder) และถูกทำให้กระจายตัวออกจากกันด้วยอากาศอัด แล้วจึงผ่านเข้าไปยังส่วนทดสอบ

Table 1. Properties of tested ceramic filter and dust particles

Filter	
Dimension (ID × OD × L)	Ø40 mm × Ø60 mm × 500 mm
Material	SiC
Mean pore size (µm)	10
Porosity (—)	0.35
Density (kg/m ³)	2200
Permeability (m ²)	3.93×10^{-12}
Particles	
Material	Fly ash from PFBC plant*
Mean diameter (µm)	1.7
Specific surface (m ² /m ³)	3.53×10^6

*PFBC = Pressurized Fluidized Bed Combustion

Table 2. Experimental conditions

Dust feed rate (g/min)	1
Temperature (°C)	20, 500
Filtration velocity (cm/s)	5
Cleaning pressure (kPa)	500
Pulse duration (ms)	220 (off-line)

และถูกจับเก็บอยู่บนผิวของตัวกรอง จนกระทั่งความดันลดเนื่องจากการสะสมตัวของเค้กฝุ่นถึงค่าที่กำหนดไว้ที่ 3600 Pa หลังจากนั้นหยุดป้อนฝุ่นเข้าเครื่องแล้วทำความสะอาดตัวกรอง โดยฉีดพ่นแก๊สสะอาดความดันสูงในลักษณะพัลส์เข้าทางด้านผิวสะอาดของตัวกรอง ในที่นี้ตัวกรองเซรามิกจะถูกทดสอบภายใต้เงื่อนไขดังนี้: ความเร็วของการกรอง 5 cm/s อุณหภูมิการกรอง 20°C และ 500°C อัตราการป้อนฝุ่น 1 g/min ความดันที่ใช้ทำความสะอาดตัวกรอง 500 kPa และระยะเวลาการพัลส์ 220 ms ในระหว่างการจับเก็บฝุ่น จะทำการวัดความดันที่ผิวด้านนอกและด้านในของตัวกรองด้วยเครื่องรับรู้ความดัน (pressure sensor) ส่วนกระบวนการทำความสะอาดตัวกรอง จะทำการเผาสังเกตด้วยกล้องวิดีโอความเร็วสูง (high-speed video camera) ตารางที่ 1 ได้สรุปสมบัติของตัวกรองและฝุ่นที่นำมาทดสอบ ส่วนเงื่อนไขการทดลองได้สรุปไว้ในตารางที่ 2

4. ผลการทดลองและการอภิปรายผลที่ได้

4.1 การกรอง (cake filtration)

รูปที่ 3 แสดงการแปรเปลี่ยนของความดันลดกับเวลาที่ใช้ในการกรองที่อุณหภูมิ 20°C และ 500°C สำหรับชั้นฝุ่นที่มีความหนาแน่น ๆ อาจสมมุติได้ว่าฝุ่นที่เกาะตัวอยู่มีลักษณะเป็นชั้นที่มีความสม่ำเสมอ ดังนั้นสมการ Kozeny-Carman ข้างล่างนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้

$$\Delta p = 5 \frac{(1-\varepsilon)^2 S_v^2 \mu v \Delta L}{\varepsilon^3} = \frac{\mu}{\kappa} v \Delta L \quad (1)$$

ความหนาของชั้นฝุ่น ΔL สามารถประเมินได้จากมวลของฝุ่นที่เกาะอยู่บนแท่งตัวกรอง ดังสมการ

$$\Delta L = \frac{\Delta m}{\rho_p(1-\varepsilon)} = \frac{Cv\Delta t}{\rho_p(1-\varepsilon)} \quad (2)$$

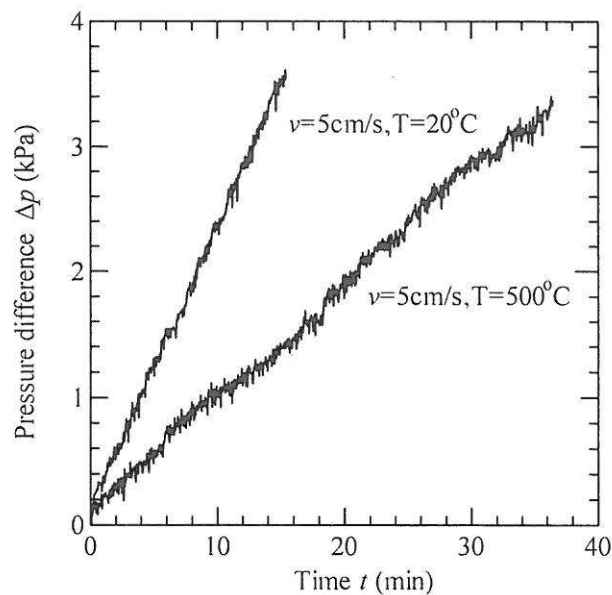


Fig. 3. Pressure increase during cake filtration with fly ashes at $T=20^{\circ}\text{C}$ and 500°C for $v=5\text{cm/s}$.

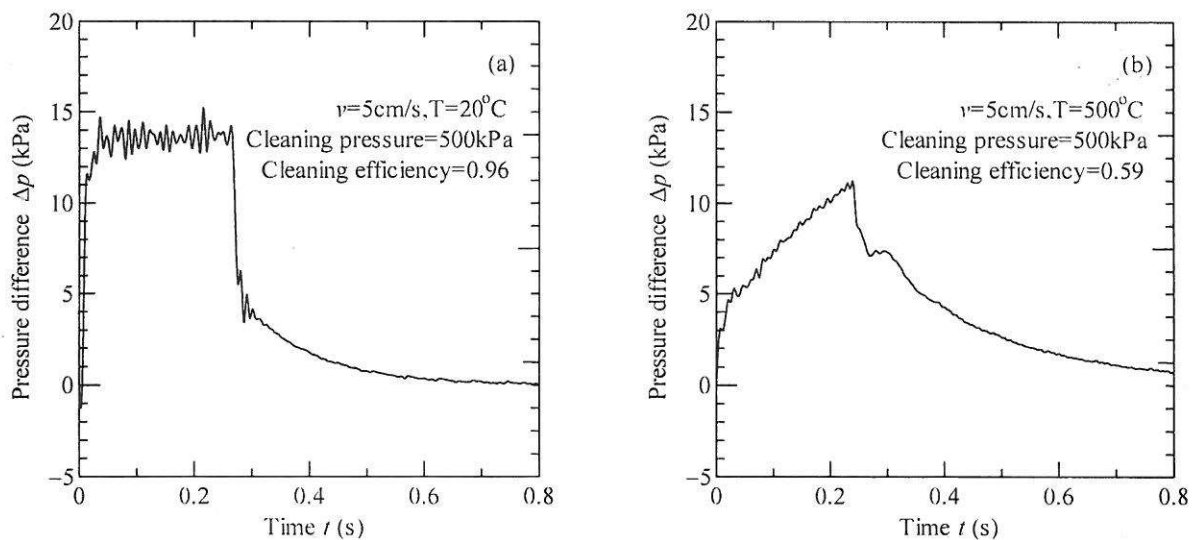


Fig. 4. Time dependence of pressure difference after injection of cleaning air pressure of 500 kPa for $v=5\text{cm/s}$ and $\Delta p_d=3600\text{Pa}$: (a) $T=20^{\circ}\text{C}$; (b) $T=500^{\circ}\text{C}$.

ดังนั้น ความพรุน (porosity) ของชั้นฝุ่นที่มีความหนาแน่นน้อย ๆ สามารถประมาณได้จากสมการ

$$\Delta p = 5 \frac{(1 - \varepsilon) S_v^2 \mu v \Delta m}{\varepsilon^3 \rho_p} \quad (3)$$

ในสมการ (3) ค่า Δp และ Δm ได้จากการทดลอง ดังนั้น ε เป็นตัวไม่ทราบค่าเพียงตัวเดียวเท่านั้น ซึ่งสามารถหาได้จากสมการดังกล่าว

จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าเส้นโค้งลักษณะการกรองทั้งคูมีลักษณะคล้ายกัน แต่อัตราการเพิ่มขึ้นของความดันลดกรณีกรองที่อุณหภูมิห้องจะเร็วกว่าการกรองที่อุณหภูมิสูง เมื่อพิจารณาเส้นกราฟในรูปที่ 3 ร่วมกับสมการ (3) อาจกล่าวได้ว่า ที่อุณหภูมิสูงจะเกิดเค้กฝุ่นที่มี

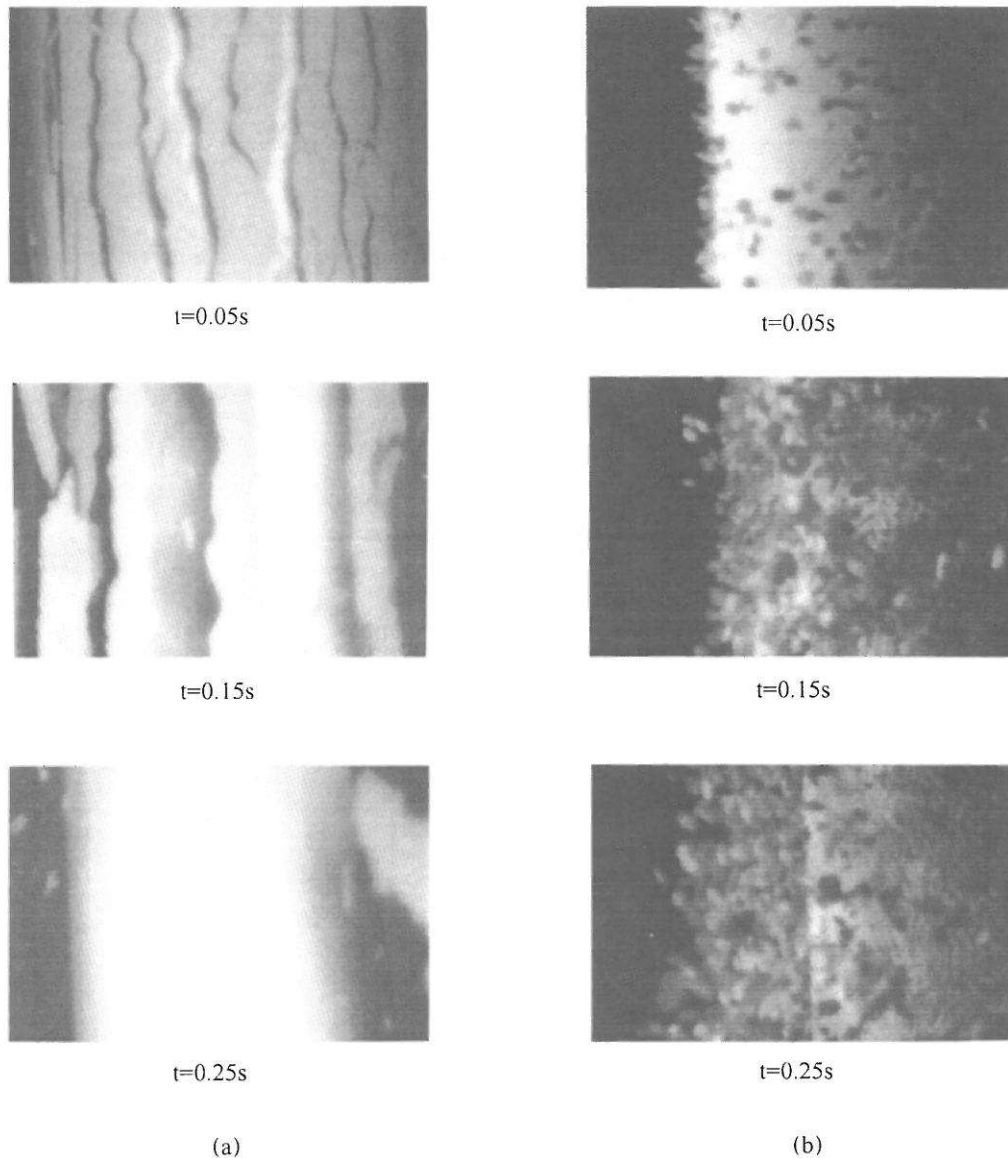


Fig. 5. Dust cake detachment behavior after injecting cleaning air at pressure of 500 kPa:

(a) $T=20^{\circ}\text{C}$; (b) $T=500^{\circ}\text{C}$.

ความพรุนสูงกว่า (สมมุติว่าการนำพาอนุภาคไปยังผิวตัวกรองไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ) ส่งผลให้เวลาการกรองยาวนานกว่าการกรองที่อุณหภูมิห้องถึง 2.5 เท่า ผลที่ได้นี้คล้ายกันกับที่นักวิจัยท่านอื่น ๆ ได้ทดลองไว้ [4,9]

4.2 การไล่เค้กฝุ่น (dust cake detachment)

เพื่อควบคุมความดันตกของตัวกรอง ให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ จำเป็นที่จะต้องทำการไล่เค้กฝุ่นออกจากผิวตัวกรองเป็นระยะ ๆ โดยการฉีดพ่นแก๊สสะอาดความดันสูง สวนทางกับทางเดินของแก๊สสกปรกในทางทฤษฎี เค้กฝุ่นจะหลุดออกจากผิวตัวกรองก็ต่อเมื่อความดันที่ป้อนเข้า ต้องสูงพอที่จะเอาชนะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเค้กฝุ่นกับผิวตัวกรอง

หรือเอาชนะแรงยึดเหนี่ยวภายในเค้กฝุ่น จากผลการทดลองที่ทำไว้ก่อนหน้านี้ [8] พบว่าการไล่ฝุ่นจะเกิดขึ้นได้ดีถ้าความดันแก๊สพัลส์มีค่ามากประสิทธิภาพการทำความสะอาด จะเพิ่มขึ้นตามความดันของแก๊สในถังเก็บ ความดันในถังเก็บที่สูงขึ้น จะเพิ่มประสิทธิภาพการทำความสะอาด ทั้งนี้เนื่องจากความเร็วของแก๊สที่ไหลผ่านผนังตัวกรองและชั้นเค้กฝุ่นจะเพิ่มสูงขึ้น

รูปที่ 4 แสดงความดันที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาหลังฉีดพ่นแก๊สพัลส์ความดัน 500 kPa ที่อุณหภูมิ 20°C และ 500°C เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำความสะอาดที่ 2 เงื่อนไขนี้พบว่า ประสิทธิภาพการทำความสะอาดที่อุณหภูมิสูง ($\eta=0.59$) มีค่าต่ำกว่าประสิทธิภาพการทำ

ความสะอาดที่อุณหภูมิดันเป็นอย่างมาก ($\eta=0.96$) ทั้งนี้เป็นผลมาจากแรงเกาะติดของเค้กฝุ่นกับตัวกรองที่เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นนั่นเอง [5] ในที่นี้ ประสิทธิภาพการทำความสะอาดนิยามไว้ดังสมการข้างล่างนี้

$$\eta = \frac{\Delta p_d - \Delta p_o}{\Delta p_d - \Delta p_o} \quad (4)$$

เมื่อ Δp_d คือความดันลดของตัวกรองก่อนไล่เค้กฝุ่นออก Δp_o คือความดันลดของตัวกรองหลังไล่เค้กฝุ่นออกแล้ว และ Δp_o คือความดันลดของตัวกรองที่สภาวะเริ่มต้นการกรอง

การสังเกตพฤติกรรมผลการหลุดของเค้กฝุ่น จากภาพที่ถ่ายด้วยกล้องวิดีโอความเร็วสูง (รูปที่ 5) จะเห็นได้ว่า ขนาดของชิ้นเค้กฝุ่นที่หลุดจากผิวตัวกรองที่อุณหภูมิห้องมีขนาดใหญ่กว่าที่หลุดจากผิวตัวกรองที่อุณหภูมิสูง การหลุดของเค้กฝุ่นในลักษณะแผ่นหรือก้อนขนาดใหญ่มีข้อดีคือ จะช่วยลดปัญหาการหลุดลอยหนีใหม่ของอนุภาคฝุ่น (particle reentrainment) ทำให้ประสิทธิภาพการทำความสะอาดเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า เวลาที่เค้กฝุ่นเริ่มหลุดออกจากผิวตัวกรองที่สภาวะอุณหภูมิห้องจะเร็วกว่าที่สภาวะอุณหภูมิสูง พฤติกรรมทั้งหมดนี้เป็นผลเนื่องมาจากแรงยึดติด (adhesive force) ระหว่างเค้กฝุ่นกับตัวกรองหรือความเชื่อมแน่นภายใน (internal cohesion) ของเค้กฝุ่นที่เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

5. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อพฤติกรรมการก่อเกิดเค้กฝุ่นและการไล่เค้กฝุ่นออกจากตัวกรองเซรามิก โดยทำการศึกษาโครงสร้างของชิ้นฝุ่นบนตัวกรอง ด้วยวิธีการวัดความดันลดอันเนื่องมาจากการสะสมตัวของฝุ่น และทำการศึกษาพฤติกรรมผลการหลุดของเค้กฝุ่นจากผิวตัวกรองหลังฉีดพ่นด้วยแก๊สพัลส์ความดันสูง โดยใช้ภาพถ่ายจากกล้องวิดีโอความเร็วสูง

จากผลการศึกษาพบว่า อัตราการเพิ่มขึ้นของความดันลดเนื่องจากการสะสมตัวของชิ้นฝุ่นกรณีทำการกรองที่อุณหภูมิห้อง จะเร็วกว่ากรณีทำการกรองที่อุณหภูมิสูง นั่นหมายถึงว่าที่อุณหภูมิสูงจะเกิดเค้กฝุ่นที่มีความพรุนสูงกว่า สำหรับพฤติกรรมผลการทำความสะอาดตัวกรองพบว่า ขนาดของชิ้นเค้กฝุ่นที่หลุดจากผิวตัวกรองที่อุณหภูมิห้องมีขนาดใหญ่กว่าที่หลุดจากผิวตัวกรองที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้ยังพบว่าเวลาที่เค้กฝุ่นเริ่มหลุดออกจากผิวตัวกรองที่สภาวะอุณหภูมิห้อง จะเร็วกว่าที่สภาวะอุณหภูมิสูง ทั้งหมดนี้เป็นผลเนื่องมาจากแรงยึดติดระหว่างเค้กฝุ่นกับตัวกรอง หรือความเชื่อมแน่นภายในของเค้กฝุ่นที่เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

การตั้งชื่อ

Δp	ความดันลด	(kPa)
Δp_d	ความดันลดของชิ้นฝุ่น	(kPa)
t	เวลา	(s)
v	ความเร็วที่ใช้ในการกรอง	(cm/s)
η	ประสิทธิภาพการทำความสะอาด (—)	

เอกสารอ้างอิง

- [1] มานะ อมรกิจบำรุง “การเก็บฝุ่นจากแก๊สอุณหภูมิสูงด้วยตัวกรองเซรามิก” วารสารส่งเสริมเทคโนโลยี ฉบับที่ 147 ปีที่ 26 พ.ศ. 2542 หน้า 131-134.
- [2] มานะ อมรกิจบำรุง “เทคโนโลยีการทำความสะอาดแก๊สอุณหภูมิสูง: ปัจจุบันและอนาคต” วารสารส่งเสริมเทคโนโลยี ฉบับที่ 158 ปีที่ 28 พ.ศ. 2544 หน้า 130-137.
- [3] S. Berbner and F. Löffler, “Pulse Jet Cleaning of Rigid Filter Elements at High Temperatures”, Proceedings of the Second International Symposium on Gas Cleaning at High Temperatures, 1993, pp. 225-237.
- [4] S. Berbner and T. Pilz, “Characterization of the Filtration and Regeneration Behaviour of Rigid Ceramic Barrier Filters at High Temperatures”, Powder Technology, Vol.86, 1996, pp. 103-111.
- [5] S. Berbner and F. Löffler, “Influence of High Temperatures on Particle Adhesion”, Powder Technology, Vol.78, 1994, pp. 273-280.
- [6] B. Giemoth and U. Renz, “Investigation in Hot Gas Filtration with Ceramic Filter Elements”, Proceedings of the Third International Symposium on Gas Cleaning at High Temperatures, Vol.1, 1996, pp. 233-245.
- [7] D.H. Smith, G.J. Haddad and M. Ferer, “Shear Strengths Ca&Mg Powders”, Energy and Fuels, Vol.11, 1997, pp. 1006-1011.
- [8] C. Kanaoka and M. Amornkitbamrung, “Effect of Filter Permeability on the Release of Captured Dust from a Rigid Ceramic Filter Surface”, Powder Technology, Vol.118, 2001, pp. 113-120.
- [9] W. Peukert, “High Temperature Filtration in the Process Industry”, Filtration & Separation, Vol.35, 1998, pp. 461-464.

