

การวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของแก๊สออกซิเจนด้วย Paramagnetic Oxygen

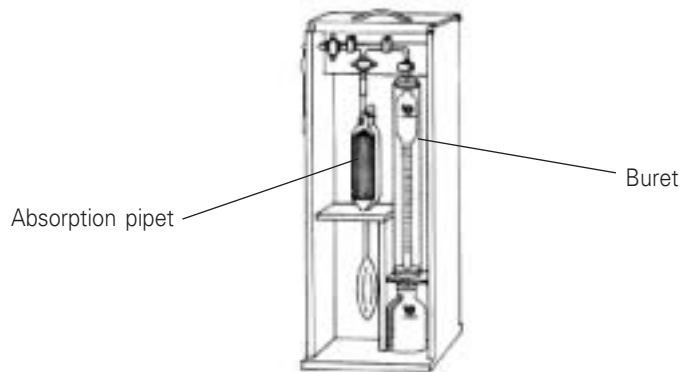
ภาสกร วสหมรังสรรค์

แก๊สออกซิเจนเป็นแก๊สไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่ติดไฟแต่ช่วยให้ไฟติด ใช้เป็นตัวออกซิไดส์ในการเผาไหม้วัสดุต่างๆ และการหายใจ แก๊สออกซิเจนการแพทย์ซึ่งเป็นออกซิเจนที่มีความบริสุทธิ์อย่างน้อยร้อยละ 99.0 และมีสารปนเปื้อนน้อย ได้นำไปใช้กับผู้ป่วยที่ไม่สามารถหายใจได้อย่างปกติเพื่อเป็นการเพิ่มออกซิเจนให้เพียงพอับความต้องการของร่างกาย การใช้แก๊สออกซิเจนบริสุทธิ์ร่วมกับแก๊สอะเซทิลีนในการตัดโลหะโดยใช้ความร้อนจะทำให้เปลวไฟมีความร้อนสูงถึงประมาณ 3300 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับเปลวไฟของเปลวไฟอะเซทิลีนในอากาศ ซึ่งมีออกซิเจนประมาณร้อยละ 21 จะมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 2300 องศาเซลเซียสเท่านั้น การนำออกซิเจนไปใช้ในทางอุตสาหกรรมสำหรับการเผาไหม้เพื่อให้ได้ความร้อนสูงจึงกำหนดค่าความบริสุทธิ์แก๊สออกซิเจนไว้อย่างน้อยร้อยละ 99.5 แต่ในการตัดโลหะที่มีความหนาหลายๆ และต้องการความร้อนสูงมากกว่าปกติต้องใช้แก๊สออกซิเจนที่มีความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 99.9

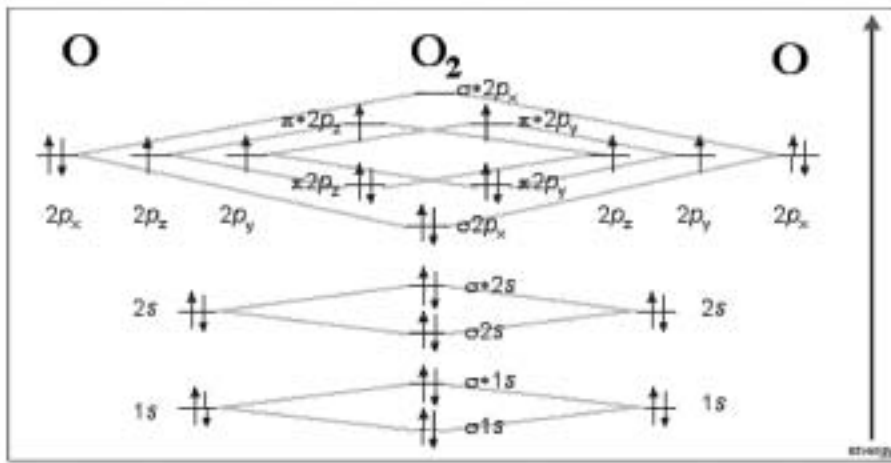
การวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของแก๊สออกซิเจนให้ได้ความแม่นยำจึงมีความสำคัญเพื่อการนำแก๊สออกซิเจนไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด การวิเคราะห์ความบริสุทธิ์จะใช้อุปกรณ์ออร์แซท (Orsat apparatus)

ตามรูปที่ 1 ซึ่งมีการชักตัวอย่างแก๊สออกซิเจน โดยการแทนที่สารละลายในบิวเรต (buret) ที่มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร การวิเคราะห์ความบริสุทธิ์จะเปิดวาล์วให้ตัวอย่างแก๊สไหลเข้าสู่แอบซอร์ปชันปิเปต (absorption pipet) ซึ่งมีสารดูดกลืนออกซิเจนที่จะดูดกลืนเฉพาะแก๊สออกซิเจนจนหมด แก๊สออกซิเจนจากบิวเรตที่ถูกดูดกลืนไปก็จะถูกแทนที่ด้วยสารละลายเดิม ปริมาตรแก๊สในบิวเรตที่หายไป คือความบริสุทธิ์ของตัวอย่างแก๊สออกซิเจนเป็นร้อยละโดยปริมาตร ความแม่นยำของการวิเคราะห์โดยวิธีนี้ขึ้นกับความแม่นยำของปริมาตรบิวเรต การอ่านปริมาตรและการชักตัวอย่างของผู้วิเคราะห์ ซึ่งจะต้องใช้ความชำนาญ และอาจเกิดความผิดพลาดได้ง่าย

ปัจจุบันมีการนำเครื่องมือพาราแมกเนติก (paramagnetic instrument) มาใช้วิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของแก๊สออกซิเจนที่มีร้อยละความบริสุทธิ์สูง โดยอาศัยหลักการที่โมเลกุลของออกซิเจนมีคุณสมบัติเป็นพาราแมกเนติกหรือมีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กอ่อนเนื่องมาจากการจัดเรียงตัวของวงเลนซ์อิเล็กตรอนของโมเลกุลซึ่งแม่เหล็กจำนวนเท่ากับสองซึ่งเป็นคู่ แต่การที่อยู่คนละออร์บิทัลจึงทำให้สนามแม่เหล็กจากการสปินอิเล็กตรอนไม่หักล้างกัน จึงถูกเหนี่ยวนำได้ดีในสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 1 อุปกรณ์ออร์แซท (Orsat apparatus)



รูปที่ 2 การจัดเรียงตัวและการสปินของอิเล็กตรอนของโมเลกุลออกซิเจน

จากรูปที่ 2 ออร์บิทัล π^*2P_z และ π^*2P_y มีอิเล็กตรอนอยู่ในออร์บิทัลละหนึ่งตัวการสปินของอิเล็กตรอนแต่ละตัวจึงเป็นอิสระและสปินในทิศทางเดียวกัน โมเลกุลของแก๊สชนิดอื่นไม่มีคุณสมบัตินี้หรือมีแต่มีการเหนี่ยวนำได้น้อยกว่า เช่น โมเลกุลของแก๊สไนตริกออกไซด์ (NO) และไนตรัสออกไซด์ (NO_2) เนื่องจากมีจำนวนอิเล็กตรอนเป็นคี่จึงมีคุณสมบัติเป็นพาราแมกเนติกเช่นกัน แต่การเหนี่ยวนำในสนามแม่เหล็กจะมีน้อยกว่า

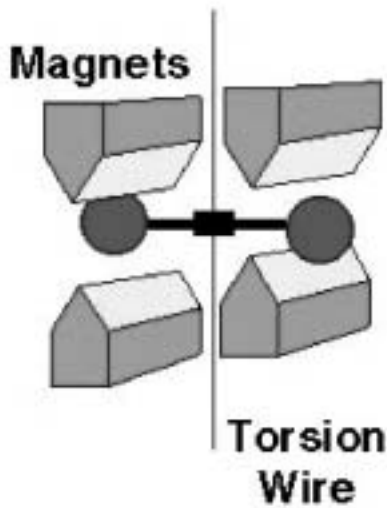
โมเลกุลแก๊สออกซิเจน การเหนี่ยวนำในสนามแม่เหล็กที่ต่างกันสามารถวัดเป็นค่า susceptibility ของแก๊สแต่ละชนิดซึ่งกำหนดให้โมเลกุลแก๊สออกซิเจนมีค่าเท่ากับร้อยละ 100 ตามตารางที่ 1 โมเลกุลแก๊สไนโตรเจนมีคุณสมบัติเป็นไดอะแมกเนติกซึ่งจะถูกผลักจากสนามแม่เหล็ก กำหนดให้โมเลกุลแก๊สไนโตรเจนเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจึงมีการนำแก๊สไนโตรเจนบริสุทธิ์มาใช้เป็นแก๊สซีโร (zero gas) ซึ่งใช้ในขั้นตอนการปรับเครื่องมือเป็นศูนย์

แก๊ส	Susceptibility
อะเซติลีน	-0.24
แอมโมเนีย	-0.26
อาร์กอน	-0.22
คาร์บอนไดออกไซด์	-0.27
ไนโตรเจน	0.0
ไนตริกออกไซด์	+43.0
ออกซิเจน	100.0

ตารางที่ 1 ค่า Susceptibility ของแก๊สแต่ละชนิด

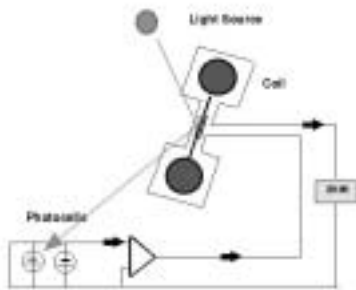
เครื่องมือพาราแมกเนติกที่ใช้หาความบริสุทธิ์ของแก๊สออกซิเจนมีการสร้างขึ้นมาหลายแบบ แต่ที่นิยมใช้กันมากคือ แบบดัมเบล (dumbell) หรือแมกเนโตไดนามิก (magnetodynamic) เป็นการวัดค่า Susceptibility โดยตรง แผนภาพในรูปที่ 3 แสดงส่วนประกอบของเครื่องมือพาราแมกเนติกโดยมีแม่เหล็ก (magnets) เป็นตัวกำเนิดสนามแม่เหล็ก กระเปาะแก้วทรงกลมบรรจุแก๊สไนโตรเจนจะอยู่บนปลายแกนโลหะทั้งสองด้าน ตรงกลางจะติดตั้งบนลวด (torsion wire) ซึ่งทำให้แกนรูปทรงดัมเบลหมุนได้

ในแนวระดับโดยปกติแกนนี้จะอยู่ในแนวที่บิดตัวให้กระเปาะแก้วออกห่างจากแนวสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มสูงที่สุด แต่ถ้ามีแก๊สที่มีออกซิเจนไหลเข้าสู่สนามแม่เหล็กจะเกิดการเหนี่ยวนำทำให้สนามแม่เหล็กเดิมมีการเปลี่ยนแปลงจะทำให้แกนดัมเบลจะหมุนบิดไปจากแนวเดิม ระยะห่างของการหมุนบิดตัวขึ้นกับความเข้มชั้นของออกซิเจนในแก๊ส การวัดค่าที่ได้จะทำได้โดยการติดตั้งโลหะหรือกระจกเงาสะท้อนคลื่นแสงบนกึ่งกลางแกนดัมเบลซึ่งจะสะท้อนคลื่นแสงจากแหล่งกำเนิดแสง



รูปที่ 3 แผนภาพเครื่องมือพาราแมกเนติกแบบดัมเบลหรือแมกเนโตไดนามิก

(light source) ไปตกที่โฟโตเซลล์ (photocells) ซึ่งเป็นตัวตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของการบิดตัวจากผลของการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก และประมวลผลออกมาเป็นร้อยละโดยปริมาตรของแก๊สออกซิเจน



รูปที่ 4 แผนภาพเครื่องมือพาราแมกเนติกแสดงการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กโดยการวัดการเบี่ยงเบนลำแสงและตรวจหาด้วยโฟโตเซลล์

เนื่องจากเครื่องมือพาราแมกเนติกแบบดัมเบล มีการหมุนของแกนดัมเบลแบบอิสระ ดังนั้นจึงไวต่อการสั่นสะเทือน จึงต้องติดตั้งเครื่องมือให้อยู่ในที่มั่นคง และเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่า Susceptibility จะแปรผกผันกับอุณหภูมิยกกำลังสองจึงต้องมีการควบคุมอุณหภูมิ หรือต้องมีการชดเชยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเครื่องมือ นอกจากนี้จะตั้งค่านิ่งถึงแก๊สไนโตรเจนที่มีคุณสมบัติเป็นพาราแมกเนติก (ตารางที่ 1)

เครื่องมือพาราแมกเนติกเหมาะสำหรับการนำมาใช้วิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของแก๊สออกซิเจนที่มีความบริสุทธิ์สูง เช่น ออกซิเจนการแพทย์ ออกซิเจนอุตสาหกรรม ออกซิเจนอุตสาหกรรมเฉพาะงานตัดเชื่อมโลหะที่ต้องใช้ความร้อนสูงมาก เช่น การตัดโลหะด้วยเลเซอร์ เพราะแก๊สออกซิเจนผลิตโดยการแยกจากอากาศ แก๊สที่ปนเปื้อนที่มีความเข้มข้นมากที่สุดคือแก๊สไนโตรเจน ไม่มีผลต่อความแม่นยำของการวิเคราะห์ นอกจากนี้การสอบเทียบเครื่องมือทำได้โดยการใช้แก๊สซีโรปรับการอ่านค่าความเข้มข้นแก๊สออกซิเจนเป็นร้อยละ 0 จากนั้นใช้แก๊สมาตรฐานออกซิเจนบริสุทธิ์ให้อ่านเป็นร้อยละ 100

โดยสรุป การวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของแก๊สออกซิเจนด้วยเครื่องมือพาราแมกเนติกสามารถชักตัวอย่างโดยการต่อท่อจากท่อแก๊สตัวอย่างผ่านตัวควบคุมอัตราการไหลเข้าสู่เครื่องมือได้โดยตรง และการอ่านผลได้จากการแสดงผลเป็นตัวเลข ซึ่งในปัจจุบันสามารถแสดงผลได้ละเอียดระดับทศนิยม 2 ตำแหน่ง สามารถลดความผิดพลาดที่อาจเกิดจากตัวผู้วิเคราะห์ นอกจากนี้เครื่องมือพาราแมกเนติกให้การตอบสนองไวโดยใช้เวลาในการวิเคราะห์ต่อครั้งประมาณ 10 วินาที ขณะที่อุปกรณ์ออร์แซทต้องใช้เวลามากกว่า 15 นาที การใช้เครื่องมือพาราแมกเนติกสำหรับวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของแก๊สออกซิเจนจึงช่วยลดเวลาในการวิเคราะห์ลงด้วย รวมถึงสารเคมีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือพาราแมกเนติกเป็นแก๊สไนโตรเจนและแก๊สออกซิเจนซึ่งสามารถปล่อยออกสู่บรรยากาศได้โดยไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่ในกรณีที่ใช้อุปกรณ์ออร์แซทต้องใช้อุณหภูมิสูงและสารละลายดูดกลืนแก๊สออกซิเจน คือ สารละลายแอมโมเนีย-แอมโมเนียคลอไรด์กับโลหะทองแดงซึ่งจะเปลี่ยนเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของทองแดงกับแอมโมเนีย ซึ่งต้องมีการบำบัดก่อนทิ้งลงสู่สิ่งแวดล้อม ดังนั้นการนำเครื่องมือพาราแมกเนติกมาใช้ในการวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของแก๊สออกซิเจนแทนการใช้อุปกรณ์ออร์แซท สามารถลดความผิดพลาดซึ่งเกิดจากผู้วิเคราะห์ได้ รวมถึงสามารถลดเวลาและการใช้สารเคมีได้อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

Verdin, A. Gas analysis instrumentation. New York : Macmillan, 1973. p. 49-66.