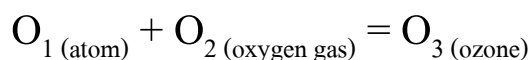


โอโซน (Ozone)

เรียบเรียงโดย ดร.สืบตระกูล วิเศษสมบัติ

โอโซนเป็นสารอยู่ในสถานะก๊าซประกอบด้วยโมเลกุลของออกซิเจน 3 โมเลกุล ก๊าซโอโซนพบมากที่ระดับความสูงประมาณ 10-50 กิโลเมตรเหนือผิวโลกในชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์ (Stratospheres) ช่วยลดอันตรายจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ ก๊าซโอโซนเกิดได้เองในธรรมชาติจากกระแสไฟฟ้าแรงสูงในอากาศเนื่องจากฟ้าผ่าหรือฟ้าแลบทำให้ก๊าซออกซิเจนซึ่งปกติประกอบด้วยออกซิเจน 2 อะตอม รวมกันเป็น 1 โมเลกุล (O_2) แตกตัวเป็นออกซิเจนอะตอม (O) อิสระแล้วรวมกับก๊าซออกซิเจนโมเลกุลอื่น เกิดเป็นโอโซนโมเลกุล (O_3) ดังแสดงในรูปที่ 1 นอกจากนี้รังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ก็ทำให้ออกซิเจนโมเลกุลแตกตัวเกิดก๊าซโอโซนได้เช่นกัน O_3 ที่เกิดโดยวิธีนี้มีความปริมาณเพียง 0.02-0.2 ppm เท่านั้น (Horvath *et al.*, 1985)



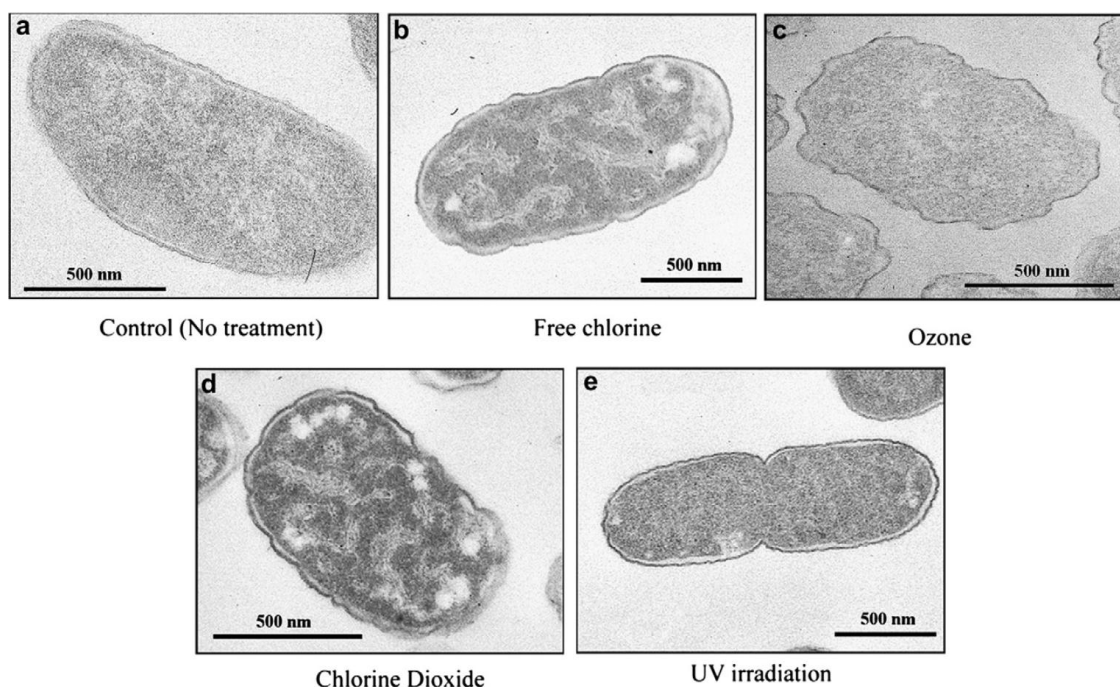
รูปที่ 1 แสดงปฏิกิริยาการเกิดโอโซน (O_3)

แม้จะเกิดจากโมเลกุลของออกซิเจนเหมือนกันแต่ O_2 และ O_3 กลับมีคุณสมบัติต่างกันมาก กล่าวคือ O_2 สามารถคงสภาพอยู่ได้ดีกว่า เนื่องจากพันธะที่ยึดอะตอมของออกซิเจน 2 อะตอมไว้ด้วยกันมีความแข็งแรง นั่นคือมีความเสถียรสูง ในขณะที่ O_3 เป็นมีการเติมอะตอมของออกซิเจนเพิ่มเข้ามาอีก 1 อะตอม ทำให้โมเลกุลใหม่ที่ได้อาจมีพลังงานสูง มีความเสถียรต่ำทำให้เสียสภาพได้ง่ายจากปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความร้อน ความดันและการเกิดปฏิกิริยากับสารที่มีพลังงานต่ำกว่าจะเกิดการออกซิเดชัน (Oxidation) อย่างรวดเร็วด้วยการให้อะตอมของออกซิเจน 1 อะตอม และได้ผลผลิตกลับเป็น O_2 ที่มีพลังงานต่ำกว่านั่นเอง พบว่า O_3 มีความแรงปฏิกิริยา (Oxidation potential) สูงถึง 2.07 Electron Volt (eV) ในขณะที่อนุพันธ์ของออกซิเจน (Reactive oxygen species) ที่นิยมใช้เป็นส่วนผสมของน้ำยาล้างแผลคือ Hydrogen peroxide มีค่า Oxidation potential เท่ากับ 1.78 eV ตลอดจนน้ำยาเคมีที่ใช้ในการฆ่าเชื้อสำคัญได้แก่ Sodium hypochlorite และ Chlorine dioxide มีค่าเท่ากับ 1.36 eV และ 0.95 eV ตามลำดับ (Horvath *et al.*, 1985)

ในปี 1976 องค์กรปกป้องสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (U.S. Environmental Protection Agency, U.S.EPA) พบว่า O_3 สามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้ (Antimicrobial agent) และรับรองความปลอดภัยในการใช้ O_3 ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำได้ (U.S.EPA, 1999) เช่นเดียวกับองค์อาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา (United states food and drug administration U.S.FDA) ขอมรับการให้ O_3 ในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์และมีความปลอดภัยในการใช้กับ

อาหาร (Food additive agent) (U.S.FDA, 2001) ตลอดจนรายงานการศึกษาโดย U.S.EPA ในปี 2007 พบว่าน้ำโอโซน (Ozonated water) ที่ระดับความเข้มข้น 6-10 ppm มีประสิทธิภาพในการลดจำนวนเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus atrophaeus*, *Staphylococcus epidermidis* และเชื้อรา *Rhodotorula mucilaginosa*, *Penicillium brevicompactum* ทั้งชนิดที่สร้างสปอร์ได้และไม่สร้างสปอร์ได้ 99.99% ในเวลา 24 ชั่วโมง (U.S.EPA, 2007)

การศึกษาเปรียบเทียบผลของ O_3 ต่อความอยู่รอดของแบคทีเรีย *Escherichia coli* โดยเปรียบเทียบกับสารเคมีที่มีสมบัติฆ่าเชื้อ (Disinfectant) ที่นิยมใช้ในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย พบว่าน้ำโอโซนทำลายเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* ได้ดีกว่าคลอรีน (Chlorine) และรังสีอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet radiation) ด้วยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียมีฤทธิ์ โดยซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์สูญเสียสมบัติการเป็นเยื่อเลือกผ่าน เสียสมดุลย์สารน้ำ และส่งผลให้เซลล์แบคทีเรียแตกในที่สุด (Osmotic bursting) ดังแสดงในรูปที่ 2 (Cho *et al.*, 2010)



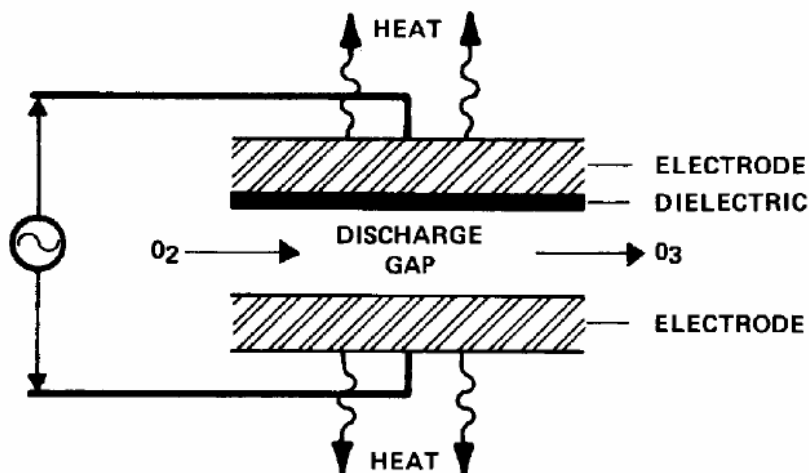
รูปที่ 2 ภาพถ่าย Transmission electron microscope (TEM) แสดงระดับการเสียหายของเยื่อหุ้มเซลล์แบคทีเรีย *E. coli* จากผลของ O_3 (c) เปรียบเทียบกับสารเคมี chlorine (b), chlorine dioxide (d), UV irradiation (e), และกลุ่มควบคุม (a)

Murray และคณะ (2008) แสดงพบว่าน้ำโอโซนสามารถทำลายไวรัสได้หลายชนิด ทั้งชนิดที่มีถุงหุ้ม (Enveloped viruses) และชนิดที่ไม่มีถุงหุ้ม (Non-enveloped viruses) ได้แก่ herpes simplex virus type-1, vaccinia virus, adenovirus type-2, และ influenza A virus นอกจากนี้ Thabet และคณะ (2007) ยังพบว่า O_3 สามารถทำลายไข่ของพยาธิ *Schistosomiasis mansoni* ในหนูได้

การใช้ประโยชน์ทางการแพทย์อื่น ๆ นั้น Oizumi และคณะ (1998) ทำการศึกษาในหลอดทดลอง (*In vitro*) แสดงให้เห็นความเป็นไปได้ในการใช้น้ำโอโซนทำความสะอาดฟัน Celiberti และคณะ (2006) พบว่าการใช้น้ำโอโซนทำความสะอาดฟันไม่ส่งผลใดๆ สารเคลือบฟัน (Enamel) ตลอดจนคุณภาพของชิ้นส่วน denture alloy ที่ใช้ในช่องปาก (Suzuki *et al.*, 1999) การทดลองในห้องปฏิบัติการยังพบว่าน้ำโอโซนมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย *Streptococcus. mutans*, methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA), และ *Candida albicans* และกำจัด Biofilms ของเชื้อแบคทีเรีย *Legionella pneumophila*, *Mycobacterium spp.*, *Pseudomonas aeruginosa*, และ *Candida spp.* ได้ (Arita *et al.*, 2005; Murakami *et al.*, 2002; Estrela *et al.*, 2006) โดยไม่ส่งผลต่อเซลล์ Epithelial ในช่องปากของมนุษย์ (Huth *et al.*, 2006) Baysan และคณะ (2000) ใช้น้ำโอโซน ในการหัตถกรรมทางทันตกรรมพบว่ายับยั้งการเจริญเพิ่มจำนวนของเชื้อแบคทีเรียบริเวณบาดแผล ทำให้เชื่อว่าลดการติดเชื้อแบคทีเรียของเนื้อฟันภายหลังได้ (Rickard *et al.*, 2004)

เนื่องจาก O_3 เสถียรจึงมีแนวโน้มที่จะสลายตัวกลับเป็นก๊าซออกซิเจนได้ง่าย มีครึ่งชีวิต (Half-life) 12 ชั่วโมงในบรรยากาศ (Horvath *et al.*, 1985) และเพียง 20-30 นาที หากละลายอยู่ในน้ำ (Kim *et al.*, 2003) หรือกล่าวได้ว่าการใช้ O_3 ไม่มีการตกค้างที่จะเป็นอันตรายใดๆ กระนั้นก็ตามพบว่าหากมนุษย์หายใจรับ O_3 ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ (>0.1 ppm) ทำให้ระบบทางเดินหายใจระคายเคือง, ปวดศีรษะ, คลื่นไส้, และอาเจียนได้ หรือหากได้รับที่ระดับความเข้มข้นสูง (> 6 ppm) จะเกิดภาวะปอดบวมน้ำ (Pulmonary edema) ได้ (Horvath *et al.*, 1985) ส่งผลให้การสร้าง O_3 และเก็บไว้จะไม่สามารถทำได้ จึงต้องสร้างขึ้น ณ แหล่งที่จะใช้งานเลย วิธีการที่นิยมใช้ในการผลิตโอโซนในปัจจุบันมี 4 วิธี (Barlow, 1994)

1. Corona Discharge เป็นวิธีจำลองการเกิด O_3 ตามปรากฏการณ์ฟ้าผ่าในธรรมชาติ โดยใช้กระแสไฟฟ้าความต่างศักย์สูงทำลายโมเลกุลของ O_2 แล้วจึงลดพลังงานโมเลกุลลงเพื่อเอื้อให้เกิดการจับกันของโมเลกุลออกซิเจนอิสระ ได้เป็น O_3 ในที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 3 วิธีนี้นิยมใช้มากที่สุดเนื่องจากต้นทุนต่ำและสร้าง O_3 ได้มากพอในการใช้ประโยชน์เชิงการค้า



รูปที่ 3 แผนภาพแสดงกระบวนการสร้าง O_3 ด้วยวิธี Corona Discharge

2. UV radiation เป็นวิธีจำลองการเกิด O_3 ในธรรมชาติกล่าวคือใช้รังสี UV ความยาวคลื่นสั้น โดยเฉพาะที่ 254 nm ซึ่งจะมีพลังงานมากพอที่จะทำให้โมเลกุลของ O_2 ไม่เสถียรได้เป็นโมเลกุลออกซิเจนอิสระแล้วจึงสร้าง O_3 ได้ใหม่ วิธีนี้มีต้นทุนสูงและผลิต O_3 ได้น้อยกว่า
3. Electrolysis วิธีนี้ทำโดยให้กระแสไฟฟ้าวิ่งในตัวนำไฟฟ้าที่มีสถานะเป็นของเหลว (Electrolyte) เช่น น้ำ หรือ H_2SO_4 วิธีนี้ประสิทธิภาพในการผลิต O_3 ไม่ดียังต้องการ การพัฒนาต่อไป
4. Radiochemical ใช้สารกัมมันตรังสี (Radioactive) เป็นแหล่งพลังงานเพื่อแยกโมเลกุล O_2 เป็นวิธีที่ผลิต O_3 ได้ปริมาณมาก ต้นทุนต่ำ แต่ต้องมีการควบคุมความปลอดภัยที่ดีพอ

เอกสารอ้างอิง

- Arita M, Nagayoshi M, Fukuizumi T, Okinaga T, Masumi S, Morikawa M, et al. Microbicidal efficacy of ozonated water against *Candida albicans* adhering to acrylic denture plates. 2005. Oral Microbiology & Immunology; 20: 206.
- Baysan A, Whiley RA, Lynch E. 2000. Antimicrobial effect of a novel ozone-generating device on microorganisms associated with primary root carious lesions in vitro. Caries Research; 34: 498–501.
- Celiberti P, Pazera P, Lussi A. 2006. The impact of ozone treatment on enamel physical properties. American Journal of Dentistry; 19: 67–72.
- Cho M, Kim J, Kim JY, Yoon J, Kim JH. 2010. Mechanisms of Escherichia coli inactivation by several disinfectants. Water Res; 44: 3410-3418.

- Estrela C, Estrela CR, Decurcio Dde A, Silva JA, Bammann LL. 2006. Antimicrobial potential of ozone in an ultrasonic cleaning system against *Staphylococcus aureus*. *Brazilian Dental Journal*; 17: 134–138.
- Horvath M, Bilitzky L, Huttner J. 1985. *Ozone*. Budapest: Elsevier.
- Huth KC, Jakob FM, Saugel B, Cappello C, Paschos E, Hollweck R. 2006. Effect of ozone on oral cells compared with established antimicrobials. *European Journal of Oral Sciences*; 114: 435–440.
- Kim JG, Yousef AE, Khadre MA. 2003. Ozone and its current and future application in the food industry. *Adv. Food Nutr. Res*; 45: 167–218
- Murakami H, Mizuguchi M, Hattori M, Ito Y, Kawai T, Hasegawa J. 2002. Effect of denture cleaner using ozone against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* and *E. coli* T1 phage. *Dental Materials Journal*; 21: 53–60.
- Murray BK, Ohmine S, Tomer DP, Jensen KJ, Johnson FB, Kirsi JJ, Robison RA, O'Neill KL. 2008. Virion disruption by ozone-mediated reactive oxygen species. *J Virol Methods*; 153: 74-77.
- Oizumi M, Suzuki T, Uchida M, Furuya J, Okamoto Y. 1998. *In vitro* testing of a denture cleaning method using ozone. *Journal of Medical and Dental Sciences*; 45: 135–139.
- Barlow PJ. 1994. An introduction to ozone generation.
- Rickard GD, Richardson R, Johnson T, McColl D, Hooper L. 2004. Ozone therapy for the treatment of dental caries. *Cochrane Database of Systematic Reviews*; CD004153.
- Suzuki T, Oizumi M, Furuya J, Okamoto Y, Rosenstiel SF. 1999. Influence of ozone on oxidation of dental alloys. *The International Journal of Prosthodontics*; 12: 179–183.
- Thabet SS, Thabet HS, Atalla SS. 2007. Efficacy of medical ozone in attenuation of murine *Schistosomiasis mansoni* infection morbidity. *J Egypt Soc Parasitol*; 37:915-944.
- United States environmental protection agency. 1999. Ozone as safe for surface and ground water.
- United States environmental protection agency. 2007. Ozone antimicrobial efficacy.
- United States food and drug administration. 2001. Approve ozone as an antimicrobial food additive.