

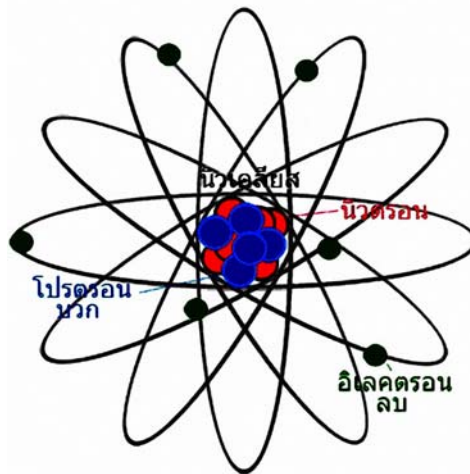
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการดำเนินงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพลาสมา ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้ คือ

- 2.1 โครงสร้างอะตอม
- 2.2 ไอโซน
- 2.3 ทฤษฎี HIGH VOLT ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องสร้างไอโซน
- 2.4 พลาสมา
- 2.5 แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงแบบสวิตชิง
- 2.6 ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า (Field-Effect Transistor: FET)

2.1 โครงสร้างอะตอม

อะตอมเป็นหน่วยพื้นฐานของโครงสร้างภายใน แต่ก่อนใคร ๆ คิดว่าอะตอมเป็นสิ่งที่เล็กที่สุดไม่สามารถแบ่งแยกออกได้อีก ปัจจุบันพบว่าอะตอมประกอบด้วยนิวเคลียสซึ่งมีอิเล็กตรอนโคจรรอบ ๆ นิวเคลียสประกอบด้วยโปรตรอน (Proton) และนิวตรอน (neutron) รวมกันอยู่ตรงกลางเป็นแก่นของอะตอม โดยมีโปรตรอนเป็นประจุบวก นิวตรอนไม่มีประจุทั้งสองมีขนาดและน้ำหนักใกล้เคียงกันจนอาจถือได้ว่าเท่ากัน อิเล็กตรอน มีประจุเป็นลบ และมีน้ำหนักน้อยมาก



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของอะตอม

สสารประกอบด้วยอนุภาคเล็ก ๆ ที่เรียกว่าอะตอม ได้มีการศึกษา ทดลอง และค้นคว้าเกี่ยวกับ โครงสร้างอะตอมกันอย่างแพร่หลาย และมีแบบจำลองอะตอมที่อธิบายโครงสร้างอะตอมตั้งแต่ เริ่มต้นจนถึงปัจจุบันเรียงลำดับดังต่อไปนี้

2.1.1 แบบจำลองอะตอมของดอลตัน



รูปที่ 2.2 แบบจำลองอะตอมของดอลตัน

แบบจำลองอะตอมของดอลตันสรุปได้ดังนี้

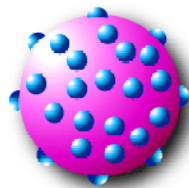
- สสารประกอบด้วยอนุภาคเล็ก ๆ ที่เรียกว่า อะตอม (atom) ไม่สามารถแบ่งแยกต่อไปได้อีก หรือไม่สามารถเปลี่ยนเป็นธาตุหรือสารอื่นได้
- อะตอมของธาตุชนิดเดียวกันจะมีมวลเท่ากัน มีสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์เหมือนกัน ส่วน อะตอมของธาตุหรือสารต่างชนิดกันจะแตกต่างกันทั้งคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมี
- อะตอมทั้งหลายไม่สามารถสร้างหรือสูญหายไป
- โมเลกุลของสารประกอบต่างชนิดกันย่อมมีคุณสมบัติแตกต่างกัน
- การรวมตัวทางเคมีของธาตุเมื่อเกิดเป็นสารประกอบจะรวมกัน โดยอัตราส่วนลงตัวน้อย ๆ

ทฤษฎีของดอลตันไม่สามารถอธิบายปัญหาบางอย่างได้ เช่น ทำไมอะตอมของธาตุชนิดเดียวกันก็มี มวลต่างกันได้ในปี ค.ศ. 1791-1807 ฟาราเดย์ได้ศึกษาเกี่ยวกับการแยกสลายด้วยไฟฟ้า ต่อมาปี ค.ศ. 1891 สโตเนียนได้ศึกษาผลงานของฟาราเดย์และสรุปว่า ไฟฟ้าประกอบด้วยอนุภาคทางไฟฟ้า และ ตั้งชื่ออนุภาคนี้ว่า อิเล็กตรอน โดยทำการทดลองด้วยหลอดรังสีแคโทด

รังสีแคโทด คือลำแสงที่พุ่งออกจากแคโทด มีสมบัติดังนี้

- เดินทางเป็นเส้นตรงจากแคโทดไปยังแอโนด
- ลำแสงนี้ประกอบด้วยอนุภาคที่มีมวล
- ลำแสงนี้เบี่ยงเบนได้ในสนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็ก โดยเบี่ยงเบนเข้าหาขั้วบวก แสดงว่า ลำแสงนี้มีประจุลบ

2.1.1.1 แบบจำลองอะตอมของทอมสัน



รูปที่ 2.3 แบบจำลองอะตอมของทอมสัน

ทอมสันทำการหาค่าประจุต่อมวล (e/m) ของอิเล็กตรอน พบว่ามีค่าเท่ากับ 1.76×10^8 คูลอมบ์ต่อกรัม หรือ 5.27×10^{17} esu ต่อกรัมเสมอ ไม่ว่าจะใช้ก๊าซชนิดใดบรรจุในหลอดรังสีแคโทดหรือใช้โลหะชนิดใดทำขั้วไฟฟ้า ทอมสันจึงสรุปว่าอิเล็กตรอนเป็นอนุภาคมูลฐานของอะตอมในธาตุทุกชนิด

มิลลิแกน (R.A. Millikan) ทำการทดลองวัดประจุบนหยดน้ำมัน (การทดลองหยดน้ำมัน) พบว่าอิเล็กตรอนมีประจุเป็น 1.6×10^{-19} คูลอมบ์

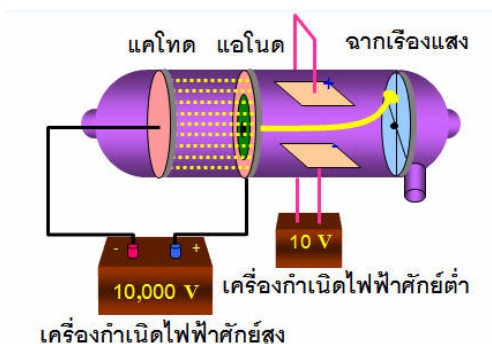
จากค่า $= 1.76 \times 10^8$ คูลอมบ์ต่อกรัม

และค่า $e = 1.6 \times 10^{-19}$ คูลอมบ์

ดังนั้น $m = 9.1 \times 10^{-28}$ กรัม

นั่นคือมวลของอิเล็กตรอนเท่ากับ 9.1×10^{-28} กรัม

โกลด์สไตน์ (Goldstein) พบรังสีบวกเกิดขึ้นพร้อม ๆ กับรังสีแคโทด และวิ่งสวนทางกับรังสีแคโทด ค่า e/m ของรังสีบวกไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับชนิดของก๊าซ เมื่อใช้ก๊าซไฮโดรเจนจะมีค่า e/m มากที่สุด และมีจำนวนเท่ากับอิเล็กตรอน เรียกอนุภาคบวกนี้ว่า โปรตอน

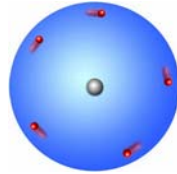


รูปที่ 2.4 หลอดรังสีคาร์โบด

จากการทดลองทั้งหมด ทอมสันสรุปว่า อะตอมเป็นทรงกลมประกอบด้วยโปรตอนและอิเล็กตรอนจำนวนเท่ากัน กระจายอยู่ทั่วไป

2.1.1.2 แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด

รัทเทอร์ฟอร์ดทำการทดลองโดยยิงรังสีแอลฟา (มีประจุบวก) ไปยังแผ่นทองคำเปลวหนา 0.0004 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.5 แบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ด

ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

- รังสีแอลฟาส่วนใหญ่ทะลุผ่านแผ่นทองคำไปในแนวเดิมไม่เบี่ยงเบน แสดงว่าภายในอะตอมมีช่องว่าง
- รังสีแอลฟาส่วนน้อยเบี่ยงเบนจากแนวเดิมเล็กน้อย แสดงว่ารังสีแอลฟาวิ่งเข้าใกล้ส่วนที่เป็นบวก
- รังสีแอลฟาส่วนน้อยสะท้อนกลับ แสดงว่ารังสีแอลฟาปะทะกับส่วนที่เป็นบวก

สรุปการทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ดแสดงว่าส่วนที่เป็นบวกจะต้องรวมตัวกันเป็นก้อนเพื่อให้เกิดช่องว่างแล้วมีอิเล็กตรอนวิ่งอยู่รอบนอก ใน ค.ศ. 1932 แซดวิก (Chadwick) ค้นพบอนุภาคนิวตรอน (neutron) อีกอนุภาคหนึ่งที่ไม่มีประจุแต่น้ำหนักรวมอยู่กับโปรตอน เรียกว่า นิวเคลียส รัทเทอร์ฟอร์ดจึงได้เสนอแบบจำลองอะตอมว่า อะตอมประกอบด้วยอนุภาค 3 ชนิด โดยโปรตอนและนิวตรอนจะรวมตัวกันเรียกว่า นิวเคลียส ซึ่งจะอยู่ตรงกลางแล้วมีอิเล็กตรอนวิ่งอยู่รอบ ๆ นิวเคลียส

ตารางที่ 2.1 ชนิดของอนุภาคในอะตอม

ชนิดอนุภาค	ชนิดประจุไฟฟ้า	มวล	สัญลักษณ์	มวล(หน่วย amu)
โปรตอน	+1	1		1.00783
นิวตรอน	0	1		1.00867
อิเล็กตรอน	-1			0.00054

สัญลักษณ์นิวเคลียร์ คือ สัญลักษณ์ที่แสดงจำนวนอนุภาคทั้งหมดในอะตอมของแต่ละธาตุ

Z : เลขอะตอม (atomic number) คือ จำนวนโปรตอนซึ่งเท่ากับจำนวนอิเล็กตรอน

A : เลขมวล (mass number) คือ ผลรวมของจำนวนโปรตอนกับจำนวนนิวตรอน

ไอออน คือ อะตอม หรือกลุ่มอะตอม ที่มีประจุสุทธิทางไฟฟ้าเป็นบวก หรือเป็นลบ

- ไอออนบวก มีจำนวนโปรตอนมากกว่าจำนวนอิเล็กตรอนซึ่งเท่ากับประจุ และจำนวนโปรตอนเท่าเดิม
- ไอออนลบ มีจำนวนโปรตอนน้อยกว่าจำนวนอิเล็กตรอน หรือมีจำนวนอิเล็กตรอนมากกว่าโปรตอนเท่ากับประจุธาตุปกติ

2.1.1.3 แบบจำลองอะตอมของโบร์

การศึกษาเกี่ยวกับลักษณะและการจัดเรียงอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียสโบร์ได้ทำการศึกษาโดยศึกษาสเปกตรัมของสารหรือธาตุ พบว่าเมื่อเผาสารประกอบของโลหะชนิดเดียวกันจะเห็นสีของเปลวไฟหรือเส้นสเปกตรัมสีเดียวกันเสมอ เช่น เผาเกลือของโลหะโซเดียมจะให้เปลวไฟหรือเส้นสเปกตรัมสีเหลือง เกลือของโลหะแคลเซียมให้เปลวไฟหรือเส้นสเปกตรัมสีแดงอิฐ จากการเผาสารประกอบต่าง ๆ พบว่าสีของเปลวไฟหรือเส้นสเปกตรัมเกิดจากส่วนที่เป็นโลหะในสารประกอบชนิดนั้น ๆ โบร์ พบว่าอิเล็กตรอนแต่ละตัวที่อยู่รอบนิวเคลียสมีพลังงานคงที่และต่ำ เรียกว่า **สถานะพื้น (ground state)** แต่ถ้ามีการให้พลังงานกับอิเล็กตรอนไม่ว่าในรูปใดจะมีการย้ายไปสู่ **สถานะเร้า (excited state)** แต่ถ้าอิเล็กตรอนที่สถานะเร้าที่กลับมาอยู่ที่เดิมจะคายพลังงานออกมาในรูปของพลังงานแสงสีต่าง ๆ หรือเส้นสเปกตรัมในการย้ายระดับพลังงานของอิเล็กตรอนจากสถานะหนึ่งไปยังอีกสถานะหนึ่ง พลังงานที่เกี่ยวข้องคำนวณได้ดังนี้

$$E = hv$$

เมื่อ E คือ พลังงาน มีหน่วยเป็นจูล

h คือ ค่าคงตัวของพลังค์ มีค่า 6.625×10^{-34} จูล-วินาที

v คือ ความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hz)

c คือ ความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสุญญากาศ มีค่าเท่ากับ 3×10^8 เมตรต่อวินาที

คือ ความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีหน่วยเป็นเมตร

2.1.1.4 พลังงานไอออไนเซชัน

พลังงานไอออไนเซชัน คือ พลังงานที่ใช้ในการทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอมเมื่ออะตอมอยู่ในสถานะก๊าซ เขียนย่อว่า IE พลังงานที่ใช้ในการทำให้อิเล็กตรอนตัวที่ 1 หลุดออกจากอะตอมในสถานะก๊าซ เรียกว่า พลังงานไอออไนเซชันลำดับที่หนึ่ง (IE_1) ในทำนองเดียวกันพลังงานใช้กับอิเล็กตรอนตัวที่ 2, 3, 4, ..., n เรียกว่า $IE_2, IE_3, IE_4, \dots, IE_n$

IE_1 ของธาตุใด ๆ ก็ตามจะมีค่าน้อยที่สุด เพราะอิเล็กตรอนตัวที่อยู่นอกสุดซึ่งเป็นตัวแรกที่หลุดจะถูกดึงดูดด้วยนิวเคลียสน้อยที่สุด จึงหลุดง่ายที่สุดหรือใช้พลังงานน้อยที่สุด ในทำนองกลับกัน IE_n มีค่ามากที่สุดเพราะอิเล็กตรอนตัวที่ n จะอยู่ชั้นในสุดจึงถูกดึงดูดด้วยนิวเคลียสมากที่สุด

2.1.1.5 การจัดเรียงอิเล็กตรอนในอะตอม

การศึกษาการจัดเรียงอิเล็กตรอนของแต่ละอะตอมในชั้นต่าง ๆ ด้วยค่า IE ของอิเล็กตรอนของธาตุสรุปได้ดังนี้

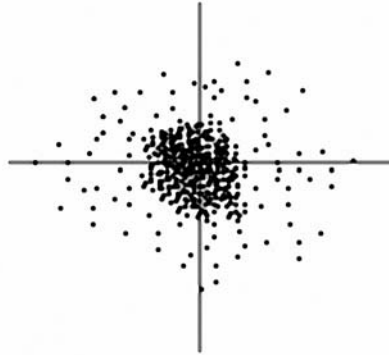
ตารางที่ 2.2 จำนวนอิเล็กตรอนที่มีได้เต็มที่ในแต่ละชั้น = $2n^2$ เมื่อ n คือชั้นที่

ชั้นที่	จำนวนอิเล็กตรอนที่มีได้เต็มที่
1(K)	2
2(L)	8
3(M)	18
4(N)	32

จากการจัดเรียงอิเล็กตรอนของแต่ละอะตอมนำไปสู่การบอกตำแหน่งธาตุในตารางธาตุ โดยจำนวนชั้นจะบอกตำแหน่งคาบ จำนวนอิเล็กตรอนวงนอกสุดบอกหมู่ของธาตุนั้น ๆ หรืออาจกล่าวได้ว่าธาตุที่อยู่ในคาบเดียวกันจะมีจำนวนที่บรรจุอิเล็กตรอนเท่ากัน และธาตุที่อยู่ในหมู่เดียวกันจะมีอิเล็กตรอนวงนอกสุดเท่ากัน

2.1.1.6 แบบจำลองอะตอมแบบกลุ่มหมอก

แบบจำลองอะตอมแบบนี้เป็นที่ยอมรับกันมากในปัจจุบัน ในชั้นเดียวกัน อิเล็กตรอนวิ่งอยู่รอบ ๆ นิวเคลียสด้วยระยะห่างจากนิวเคลียสไม่เท่ากัน อิเล็กตรอนวิ่งด้วยความเร็วสูงมากบอกตำแหน่งที่แน่นอนไม่ได้บอกได้แต่เพียงโอกาสที่จะพบอิเล็กตรอนที่ชั้นนั้น ๆ บริเวณไหนเท่านั้น



รูปที่ 2.6 แบบจำลองอะตอมแบบกลุ่มหมอก

2.2 โอนโซน

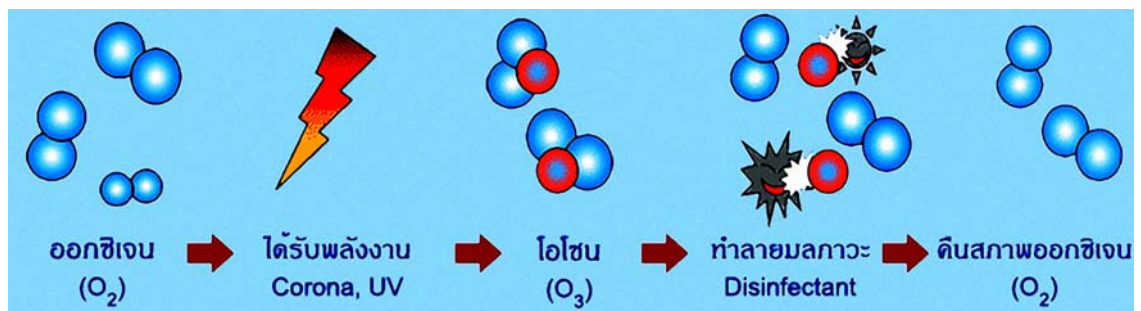
โอโซน

ชื่อทางเคมี Ozone (โอโซน)

สูตรเคมี O_3 ประกอบด้วยธาตุออกซิเจน (O) 3 อะตอม

น้ำหนักโมเลกุล 47.9982

โอโซน คือ อะตอมของออกซิเจน 3 อะตอมรวมตัวกันเป็นหนึ่งโมเลกุลของโอโซน (O_3) ตามปกติออกซิเจนจะประกอบด้วย 2 อะตอมเป็นหนึ่งโมเลกุล (O_2) ซึ่งมีสมบัติต่างกันมากคือ O_2 จะสามารถคงสภาพได้หลายสภาวะหรือกล่าวได้ว่ามีความเสถียร (Stable) แต่ก๊าซโอโซนจะไม่คงตัวหรือไม่เสถียร (unstable) เนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ความดัน และการสัมผัสกับสารที่มีพลังงานต่ำกว่าจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) อย่างรวดเร็ว ซึ่ง O_3 จะมีค่า oxidation potential สูงถึง 2.07 มิลลิโวลต์



รูปที่ 2.7 การเกิดก๊าซโอโซน

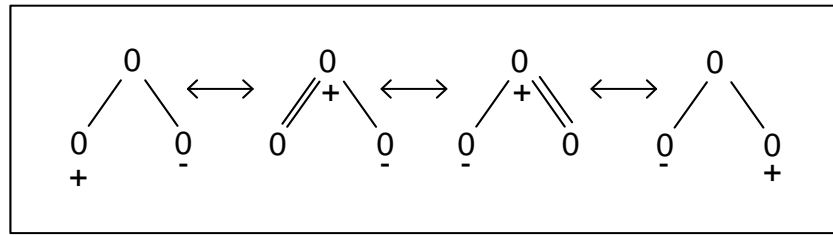
2.2.1 คุณสมบัติของไอโซน

- ไม่เสถียรที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ
- มีกลิ่นฉุนเฉพาะตัว เป็นก๊าซไม่มีสี
- สถานะก๊าซที่อุณหภูมิเฉพาะตัว เป็นก๊าซไม่มีสี
- สถานะก๊าซที่อุณหภูมิและความดันปกติ จุดเดือดที่ -111.9 องศาเซลเซียส มีจุดหลอมเหลวที่ 192.5 องศาเซลเซียส
- ถ้าอยู่ในรูปของเหลวมีสีน้ำเงินเข้ม
- ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์บางชนิดเช่น N-pentane, carbon tetrachloride
- ที่ 20 องศาเซลเซียส ละลายน้ำได้เล็กน้อย 0.57 ppm
- เป็นสารออกซิไดซ์ที่รุนแรงมาก สามารถเกิดระเบิดได้เมื่อได้รับความร้อนสูง
- สามารถดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้ดี
- สามารถฆ่าเชื้อโรค เชื้อรา ไวรัสและแบคทีเรียได้ไวกว่าคลอรีน 3,125 เท่า
- สามารถสลายโครงสร้างของโอระเหยจจากสารอินทรีย์และอนินทรีย์ส่วนใหญ่ให้เป็นโมเลกุลที่ไม่ มีกลิ่นและไม่มีพิษ
- สามารถสลายโครงสร้างของสารเคมี ยาฆ่าแมลง สีและสารพิษต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- ทำลายผนังเซลล์ของแบคทีเรีย ซึ่งเป็นต้นกำเนิดของไบโอฟิล์มและแหล่งสะสมตะกอน
- ครึ่งชีวิตของ ไอโซนที่ 20.00 องศาเซลเซียส มีค่าประมาณ 40 นาที

2.2.2 ข้อจำกัดของก๊าซไอโซน

- มีความคงสภาพต่ำไม่สามารถเก็บไว้ใช้งานได้ ดังนั้นเมื่อผลิตขึ้นมาแล้วต้องรีบใช้
- ความสามารถในการละลายน้ำต่ำกว่าคลอรีน ดังนั้นการนำไปฆ่าเชื้อโรคในน้ำต้องออกแบบให้เหมาะสม ส่วนใหญ่จะเล็ดลอดสู่อากาศ โดยอาจจะใช้ปั๊มลมที่มีไอโซนอัดอากาศผ่านหัวทรายจะช่วยให้การทำงานดีขึ้น แต่ต้องมีระดับน้ำที่ลึกเพียงพอ
- ต้องใช้เงินลงทุนครั้งแรกสูง เหมาะกับการทำงานในระยะยาว

ปรากฏการณ์เรโซแนนซ์ มีการเรียงตัวของโครงสร้างโมเลกุลเป็นรูปสามเหลี่ยมได้ 4 แบบ ที่มีแต่ละตะกอนเกาะกันด้วยพันธะเดี่ยวอย่างเดียวหรือเกาะกันด้วยพันธะคู่ร่วมกับพันธะเดี่ยว โครงสร้างแต่ละแบบมีการเคลื่อนไหวเปลี่ยนกันไปมาอยู่ตลอดเวลา ประจุไฟฟ้าบวกและประจุไฟฟ้าลบก็ปรับเปลี่ยนที่ไปด้วย โดยแต่ละเรโซแนนซ์มีมุมพันธะหรือมุมระหว่างอะตอมเป็น 116° ถ้าวัดด้วยวิธีการกระจายอิเล็กตรอน และมีความยาวพันธะหรือระยะห่างระหว่างอะตอมโดยเฉลี่ย 1.278Å



รูปที่ 2.8 ลักษณะโมเลกุลของก๊าซโอโซนทุกเรโซแนนซ์ (Harano et al,1991)

โมเลกุลของก๊าซโอโซนทุกเรโซแนนซ์ที่ไม่มีอิเล็กตรอนที่ขาดคู่ ไม่มีคุณสมบัติเป็นสารแม่เหล็กชนิดพาราแมกเนติก จึงไม่มีลักษณะเป็นอนุมูลอิสระที่จะทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารอื่น สี เป็นก๊าซสีฟ้า (bluish) ทำให้ท้องฟ้ามีสีฟ้า เมื่อละลายในน้ำก็ทำให้น้ำมีสีฟ้า ในบรรยากาศทั่วไปมีความเข้มข้นต่ำ มักไม่มีสี เมื่อเป็นของเหลวมีสีน้ำเงินเข้ม (dark blue)

การดูดซึมรังสี ก๊าซโอโซนสามารถดูดซึมรังสีอัลตราไวโอเลตระหว่างช่วงความยาวคลื่น 220-330 nm (นาโนเมตร) และดูดซึมแสงที่มองเห็นได้เล็กน้อยในช่วงความยาวคลื่น 435-475 นาโนเมตร

ความหนาแน่น

ก๊าซ	=	2.144 กก./ลูกบาศก์เมตร (kg/m ³) ที่อุณหภูมิและความดันปกติ (NTP, 273 K, 101.3 kPa) น้อยกว่าอากาศ 1.65 เท่า น้อยกว่าก๊าซออกซิเจน 1.5 เท่า
ของเหลว	=	1.574 กรัม/ซีซี (g/ml) ที่อุณหภูมิ -183° C
ของแข็ง	=	1.728 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm ³)

จุดเดือด (อุณหภูมิที่กลายเป็นของเหลว) -112° C ที่ความดัน 100 kPa ซึ่งจะระเบิดได้ง่าย การผลิตก๊าซโอโซนจากก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์ จนได้ความเข้มข้น 20% จนระเบิดได้ ในการผลิตจึงมักควบคุมความเข้มข้นไว้ที่ 5% หรืออย่างมากไม่เกิน 10%

จุดหลอมเหลว ที่อุณหภูมิ -196° C

ความหนืด 0.0042 Pa.s ที่อุณหภูมิ -196° C
000155 Pa.s ที่อุณหภูมิ -183° C

อุณหภูมิวิกฤต (อุณหภูมิสูงสุดที่สามารถทำให้โอโซนอยู่ในสถานะที่เป็นก๊าซได้) -12.1° C ที่ความดัน 5,460 kPa (ความดันวิกฤต)

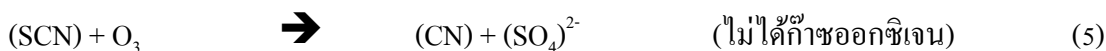
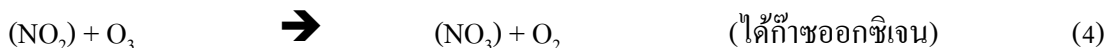
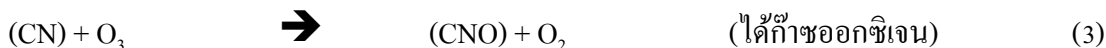
การทำปฏิกิริยาเคมีกับสารต่าง ๆ

ก๊าซโอโซนมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาเคมีทั้งในน้ำสารละลาย และอากาศ มีความสามารถในการรับอิเล็กตรอนจากสารอื่นเพิ่มเข้ามาได้อีก ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) โดยตัวเอง ทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดซ์ (Oxidizer) อย่างแรง ในบรรดาตัวออกซิไดซ์ทางเคมีที่มีอยู่มากมาย นับว่าโมเลกุลของโอโซนมีความสามารถสูงสุดเป็นอันดับสองรองลงมาจากโมเลกุลของก๊าซฟลูออรีน (Fluorine) และเป็นอันดับสี่ถ้านับรวมอนุมูลไฮดรอกซิล (Hydroxyl radical) และอะตอมเดี่ยวของออกซิเจน (Oxygen atom) โดยมีค่าศักย์ไฟฟ้า 20.8 โวลท์ สูงกว่าก๊าซคลอรีน (Chlorine) 1.52 เท่า

ตัวออกซิไดซ์	อีโอพี* (โวลท์)	เทียบกับคลอรีน (เท่า)
ก๊าซฟลูออรีน (F ²)	3.06	2.25
อนุมูลไฮดรอกซิล (OH)	2.8	2.05
อะตอมของออกซิเจน (O)	2.42	1.78
โอโซน (O ₃)	2.08	1.52
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H ₂ O ₂)	1.49	1.30
ก๊าซคลอรีน (Cl ₂)	1.36	1.00
ก๊าซออกซิเจน (O ₂)	1.23	0.90

(* อีโอพี = Electrochemical oxidation potential = ความต่างศักย์รีดอกซ์)

การทำปฏิกิริยาเคมีกับสารต่าง ๆ จะเกิดปรากฏการณ์ที่แตกต่างกันไปตามชนิดของสาร สภาพของก๊าซโอโซนที่อยู่ในอากาศหรือสารละลาย สารที่มีอิเล็กตรอนมากหรือตัวรีดิวซ์ เช่น ซัลไฟด์ (H₂S) ซัลไฟต์ (HSO₃) ไนไตรต์ (NO₂) โบรไมด์ (Br⁻) ไอโอดีน (I⁻) ไซยาไนด์ (CN⁻) ไธโอไซยาไนด์ (SCN⁻) และธาตุทุกชนิด ยกเว้นฟลูออไรด์ในตารางธาตุก็จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างตรงไปตรงมา มีการเติมออกซิเจนเข้าไปและมักจะได้ออกซิเจนเกิดขึ้นมา เช่น



สำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารอินทรีย์หรือสารอินทรีย์ที่มีโลหะ โดยเฉพาะโอโซนที่ละลายในน้ำ อาจเกิดปฏิกิริยาที่ไม่มีก๊าซออกซิเจนเหลืออยู่ เพราะทั้งโมเลกุลของก๊าซโอโซนจะเข้าร่วมตัวเป็นรูป

วงแหวนที่เรียกว่าปฏิกิริยาไดโพล่าไซโคลแอดดชัน (dipolar cyclo-addition) ซึ่งมักเกิดขึ้นกับสารประกอบอะโรมาติก (Aromatic compounds) ถ้าเป็นพวกอัลคีน (Alkenes) ก็จะเกิดปฏิกิริยาแทนที่อิเล็กโตรฟิลิก (Electrophilic substitution reaction) โดยเกิดขึ้นตรงพันธะคู่ของอะตอมของคาร์บอนซึ่งมีอิเล็กตรอนอยู่มาก ทำให้โมโลโซไนด์ (Molozonides) ซวิทเทอเรียน (Zwitterion) และโอโซไนด์ (Ozonides) ปฏิกิริยาทั้งสองนี้แตกต่างกับการเกิดออกซิเดชันธรรมดา เพราะก๊าซโอโซนจะไม่แตกตัวออกเป็นอะตอมเดี่ยวหรือโมเลกุลของออกซิเจนก่อน เนื่องจากการเข้าทำปฏิกิริยาเคมีของโอโซนกับสารอื่น เกิดขึ้นเร็วกว่าการแตกตัวของก๊าซโอโซน

สำหรับก๊าซโอโซนซึ่งละลายอยู่ในน้ำ ยังสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นทางอ้อมจากอนุมูลอิสระโดยโมเลกุลของน้ำบางส่วนแตกตัวออกเป็นอนุมูลไฮดรอกซี (OH) แล้วทำปฏิกิริยากับโอโซนกลายเป็นอนุมูลอิสระพวกซูเปอร์ออกไซด์ (Superoxide radical) และอนุมูลไฮดรอกซิล (Hydroxyl radical) ซึ่งเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงกว่าโอโซน แล้วจึงเข้าทำปฏิกิริยากับสารอื่นอีกที

จะเห็นได้ว่าปฏิกิริยาเคมีของโอโซน ถึงแม้ว่าโดยพื้นฐานจะอาศัยการออกซิเดชัน แต่บางครั้งก็อาจสิ้นสุดกระบวนการ ก็อาจมีความซับซ้อนหลายขั้นตอน นอกจากจะขึ้นกับสารที่จะทำปฏิกิริยาแล้วยังขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความเข้มข้นของโอโซน ระยะเวลาในการสัมผัส อุณหภูมิ และความชื้น การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับโอโซน จึงต้องมีห้องปฏิบัติการที่ทันสมัย ซึ่งสามารถตรวจสอบและวิเคราะห์สารต่าง ๆ ได้อย่างละเอียด เนื่องจากก๊าซโอโซนมีทั้งความว่องไวในการทำปฏิกิริยาและสลายตัวได้อย่างรวดเร็ว จนนักวิทยาศาสตร์ยุคใหม่หลายคนถึงกับเสนอว่าก๊าซโอโซนน่าเป็นก๊าซในอุดมคติ (Ideal gas) มากกว่าก๊าซที่จะอยู่อย่างอิสระหรือมีความบริสุทธิ์ได้อย่างแท้จริง

2.2.3 การประยุกต์ใช้งานโอโซน

ในระยะแรกที่มีการค้นพบก๊าซโอโซน ก็เป็นเรื่องธรรมดาที่จะมีนักวิทยาศาสตร์หลายคนให้ความสนใจ ทำการทดลองซ้ำแล้วซ้ำอีก เพื่อให้มีการพิสูจน์ที่แน่ชัด มีการวิพากวิจารณ์กันอย่างเต็มที่ทั้งในแง่บวกและลบ แม้แต่ ดร.เจินไบน์เอง ก็ยังเปลี่ยนแปลงความคิดและความเข้าใจของตนอยู่หลายครั้ง แต่ในที่สุดก็ได้ข้อสรุปที่ชัดเจนถึงคุณสมบัติพิเศษของก๊าซโอโซน ในการเป็นตัวออกซิไดซ์อย่างแรง โดยเฉพาะการทำปฏิกิริยาเคมีกับพันธะคู่ของธาตุคาร์บอนในสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการนำไปสู่การใช้ก๊าซโอโซนไปแยกสารโมเลกุลเชิงซ้อนให้มีขนาดเล็กลง ทำให้สามารถค้นพบโครงสร้างของยางธรรมชาติและสารเคมีอื่น ๆ

ปี 1856 มีการนำก๊าซโอโซนไปใช้ฆ่าเชื้อในห้องผ่าตัด ต่อมาเกิดการระบาดใหญ่ของอหิวาตกโรคหลายครั้งในเมืองแฮมบวร์ก ทำให้มีคนตายราว 30,000 คน ปี 1857 เวอร์เนอร์ ฟอน ซีเมนส์

นักเคมีผู้มีชื่อเสียงชาวเยอรมันจึงประดิษฐ์หลอดซีเมนส์ (Siemens tube) สำหรับผลิตก๊าซโอโซนขึ้นแล้วโคลนมันน์ นำไปศึกษาผลในการฆ่าเชื้อโรค (Harano et al.,1991)

ปี 1860 เริ่มใช้โอโซนทำน้ำประปาเป็นครั้งแรกในประเทศไทยโมนาโก ปี 1886 เดอ เมริตองส์ (Rip et al.,1978) ชาวฝรั่งเศสพบว่าก๊าซโอโซนสามารถลดจำนวนเชื้อแบคทีเรียลงได้ปี 1888 บารอนปีเตอร์ ทินคาล (Rip et al.,1978) คิดค้นระบบโอโซนเพื่อฆ่าเชื้อในน้ำ แล้วนำไปใช้ที่เมืองอุซซุมประเทศเนเธอร์แลนด์ ปี 1890 โอมูลเลอร์ (Rip et al.,1978) รายงานผลสำเร็จที่แสดงให้เห็นประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อแบคทีเรียโดยโอโซนในโครงการนำร่องที่เมืองมาร์ตินเค่นเฟลด์ ประเทศเยอรมันนี อีก 2 ปีต่อมา ก็นำก๊าซโอโซนมาใช้ในระบบการทำน้ำดื่มและน้ำประปาในเมืองใหญ่ๆ อย่างเมืองไวซ์บาดัน ของเยอรมันนี แล้วขยายตัวอย่างรวดเร็วไปยังสหรัฐอเมริกา รัสเซีย ฝรั่งเศส แคนาดา ฟินแลนด์ สวิตเซอร์แลนด์ เบลเยียม ลิงค์โปร์ ตะวันออกกลาง ในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 1(ค.ศ.1914-1918) กองทัพเยอรมันใช้น้ำโอโซนทำความสะอาดแผลและฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ปี 1915 นายแพทย์อัลเบิร์ต วอล์ฟ ชาวเยอรมัน (Rip et al.,1978) เป็นคนแรกที่นำก๊าซโอโซนมาใช้ทางการแพทย์ เพื่อรักษาผู้ป่วยโรคผิวหนัง ใช้ดับกลิ่นของเสียในผู้ป่วยที่เป็นโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ มะเร็งระบบสืบพันธุ์สตรีและแผลกดทับ เขาชี้ให้เห็นว่ากลิ่นเหม็นที่ฟุ้งกระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อมเป็นตัวบั่นทอนสุขภาพและปัจจัยส่งเสริมทำให้เกิดโรคได้ง่าย จนเทศบาลนครเบอร์ลินขอมนำก๊าซโอโซนมาใช้ดับกลิ่นในโรงฆ่าสัตว์หลังจากนั้นก็มิแพทย์และทันตแพทย์ใช้น้ำโอโซนรักษาโรคในช่องปาก มีการใช้ก๊าซโอโซนฉีดเข้าทางทวารหนัก เพื่อรักษาโรคลำไส้ใหญ่ และฉีดเข้าเส้นเลือดดำเพื่อรักษาโรคของระบบการไหลเวียนเลือด หลังปี 1950 เป็นต้นมา กลุ่มประเทศในยุโรปมีการใช้โอโซนในสระว่ายน้ำมากกว่า 2,000 แห่งปี 1960 เริ่มใช้บำบัดน้ำเสียปี 1977 มีการประปามากกว่า 1,000 แห่ง ใช้ระบบโอโซนฆ่าเชื้อโรคปี 1981 มีระบบบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนถึง 38 แห่ง ในสหรัฐอเมริกาและขยายตัวไปแทบทุกประเทศในทวีปอเมริกา ปี 1984 เริ่มติดตั้งในสระว่ายน้ำของนักกีฬาโอลิมปิกที่นครลอสแอนเจลิส สหรัฐอเมริกา และก็ใช้ต่อเนื่องกันมาจนถึงโอลิมปิกปี 2000 ที่ประเทศออสเตรเลีย

เป็นเวลา 150 ปีเศษ ที่มีการพัฒนาเครื่องให้กำเนิดโอโซนในประเทศอุตสาหกรรมขนาดใหญ่และประเทศกำลังพัฒนามากกว่า 70 ประเทศ มีเทศบาลและเมืองใหญ่กว่า 3,000 แห่งทั่วโลกมีความพยายามที่จะลดอันตรายจากการใช้คลอรีน โดยเพิ่มระบบโอโซนในการทำน้ำประปาและน้ำดื่มเข้าไปแทน สำหรับประเทศไทยเราเริ่มมีการใช้กันประปรายในระยะเวลาไม่ถึง 10 ปี เพื่อบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมใช้ดับกลิ่นและบำบัดอากาศในตัวอาคาร ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายก็คงอยู่ในระยะ 3-4 ปีที่ผ่านมา ซึ่งส่วนใหญ่มักเป็นเครื่องขนาดเล็ก (Small scales) ผลิตก๊าซโอโซนในระดับเป็นมิลลิกรัมต่อชั่วโมง สำหรับดับกลิ่นและบำบัดอากาศในรถยนต์ในอาคารบ้านพักและใช้น้ำ

โอโซนแช่ล้างพืชผัก อาหารและภาชนะ ส่วนการทำน้ำดื่มบรรจุขวด การบำบัดน้ำเสีย การกำจัดขยะพิษ การใช้ในสระว่ายน้ำ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และการใช้ทางการแพทย์มีใช้กันบ้างแต่ก็ยังมีอยู่ในวงจำกัด

ปัจจุบันมีการนำโอโซนมาใช้ทั้งในรูปของก๊าซ สารละลายในน้ำในของเหลวพวกน้ำมันมะกอกน้ำมันเชื้อเพลิงและน้ำมันหล่อลื่น นับว่าก็ยิ่งจะเห็นคุณประโยชน์ของก๊าซโอโซนและการประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางมีการพัฒนาการผลิตรจากขนาดเล็กเป็นมิลลิกรัมต่อชั่วโมงไปจนถึงหลายร้อยกิโลกรัมต่อชั่วโมงแนวโน้มของการขยายตัวทั่วโลกวมทั้งประเทศไทยกำลังเป็นไปอย่างรวดเร็ว

ก๊าซโอโซนที่นำไปใช้งานอื่นนอกเหนือจากการแพทย์เรียกว่า เทคนิคัลโอโซน (Technical ozone) โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ทั้งในรูปของก๊าซ (Air treatment) สารละลายในน้ำกลายเป็นน้ำโอโซน (Ozonated water) หรือในน้ำมัน (Ozonated oil) แต่ไม่ว่าจะใช้ในรูปแบบใด คุณสมบัติของโอโซนในการทำปฏิกิริยากับสารต่าง ๆ ก็จะคล้าย ๆ กัน แต่เนื่องจากสารเคมีหรือส่วนประกอบต่าง ๆ ในสิ่งแวดล้อมมีอยู่มากมายและมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา การนำโอโซนไปใช้จึงขึ้นอยู่กับสภาพที่เป็นจริงในช่วงเวลาที่แน่นอน บางครั้งก็ซับซ้อนจนยากที่จะอธิบายกลไกในการทำปฏิกิริยาให้ชัดเจนลงไปได้ แต่ถึงอย่างไรก็ตามก๊าซโอโซนก็มีความเด่นชัดและได้เปรียบตรงที่สามารถนำไปฆ่าเชื้อโรคได้ทุกชนิด สามารถใช้กำจัดสารพิษ คับกลิ่นและฟอกสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังไม่ก่อให้เกิดสารตกค้างที่เป็นอันตรายเหมือนกับการใช้สารเคมีอย่างอื่น

แต่ละปีสมาคมโอโซนนานาชาติและหน่วยงานอื่นที่ทำงานเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม ได้จัดประชุมกันหลายครั้งเพื่อแลกเปลี่ยนประสบการณ์และพัฒนาการประยุกต์ใช้เทคนิคัลโอโซน โดยมีหัวข้อที่ใช้ในการสัมมนากันอยู่เสมอ การประยุกต์ใช้โอโซนส่วนใหญ่ มักอยู่ในรูปของน้ำโอโซนอาจเป็นการผลิตขนาดเล็ก (Small scales) เพื่อใช้ในครัวเรือน หรือขนาดใหญ่ระดับเมือง (Municipal) เพื่อทำน้ำประปาและน้ำดื่ม หรือการบำบัดน้ำเสีย น้ำโอโซนมีคุณสมบัติที่นอกเหนือจากก๊าซโอโซนที่เกิดปฏิกิริยาของก๊าซโอโซนในน้ำนั้น จะทำให้โมเลกุลของน้ำส่วนหนึ่งแตกตัวออกเป็นอนุมูลอิสระ ซึ่งเป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรงกว่า การออกฤทธิ์จึงดีกว่าโอโซนในปริมาณและความเข้มข้นต่ำที่สุด และใช้ระยะเวลาให้สั้นที่สุด เพื่อประหยัดพลังงานในการผลิตและป้องกันไม่ให้เกิดการสะสมก๊าซโอโซนมากเกินไปทั้งนี้ก็ขึ้นกับการวิเคราะห์ชนิด คุณสมบัติ และปริมาณของสารที่จะให้โอโซนไปทำปฏิกิริยา และสภาพแวดล้อมที่เป็นจริงในขณะนั้น ทั้งด้านอุณหภูมิ ความเป็นกรดด่าง (pH) การกระจายตัว ความคงที่ในการผลิตก๊าซของเครื่องให้กำเนิดโอโซน และตัวควบคุมอื่น ๆ (Parameters) ในกระบวนการใช้โอโซนแต่ละวัตถุประสงค์จึงต้องมีเครื่องมือ (Monitors) และระบบติดตามตรวจสอบอยู่ตลอดเวลาเพื่อควบคุมปริมาณ โอโซนที่เหมาะสมและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา การ

อธิบายกลไกทางเคมี การควบคุมก๊าซโอโซนตกค้างให้อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยสำหรับการหายใจ ซึ่งก็แล้วแต่กฎหมายของแต่ละประเทศ ไปจนถึงผลขั้นสุดท้ายหรือสารตกค้าง (By products) ที่จะเกิดขึ้นตามมา

ในการปฏิบัติงานทั่วไปของการใช้น้ำโอโซน วิศวกรหรือผู้ควบคุมงานมักใช้กฎเกณฑ์ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและระยะเวลา โดยแต่ละวัตถุประสงค์หนึ่งหรือการนำไปใช้กับกิจกรรมหนึ่ง ก็จะมีค่าคงที่ของตัวเอง (K) เป็นผลคูณระหว่างความเข้มข้นของโอโซนที่ใช้ (Contact, Concentration, mg/L) และระยะเวลาในการสัมผัส (Contact time, t, minute)

ยกตัวอย่างของการใช้โอโซนในการทำน้ำดื่มบรรจุขวดของโรงงานหนึ่ง บางครั้งการใช้เครื่องกรองร่วมกับกับรังสีอัลตราไวโอเล็ต และคลอรีน ก็ยังไม่สามารถแก้ปัญหาการปนเปื้อนของเชื้อโรค สารพิษเจือปน รสชาติและกลิ่นเหม็นในน้ำได้ เมื่อนำก๊าซโอโซนมาใช้ให้ละลายอยู่ในน้ำที่ความเข้มข้น 1 ไมโครกรัม (0.001 มิลลิกรัม) ต่อลิตร เป็นเวลาติดต่อกัน (ระยะเวลาที่สัมผัส) 30 นาที ก็ทำให้น้ำสะอาดสำหรับการบริโภคได้ ถ้าลดความเข้มข้นของโอโซนลงครึ่งหนึ่ง ก็ต้องทำให้มีค่าคงที่เท่าเดิมก็โดยใช้เวลานานขึ้นอีกหนึ่งเท่า แต่ถ้าสภาพของน้ำเปลี่ยนไป เช่น มีเชื้อโรคและกลิ่นเหม็นมากขึ้นค่าคงที่ก็จะต้องเพิ่มขึ้นเป็นอีกตัวเลขหนึ่ง และจะต้องปรับค่าความเข้มข้นหรือเวลากันใหม่

อีกตัวอย่างของการใช้ก๊าซโอโซนในการกำจัดควินนุรีและบำบัดอากาศเสียในห้องนอน เมื่อใช้ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนในการผลิตที่ 100 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง และใช้ระยะเวลาสัมผัส 60 นาที จะทำการกำจัดได้หมดพอดี แต่ถ้าเครื่องผลิตได้ชั่วโมงละ 50 มิลลิกรัม ก็จะต้องยืดระยะเวลาในการสัมผัสออกไปเป็น 2 ชั่วโมง (120 นาที) และถ้าเครื่องผลิตได้ความเข้มข้นเพิ่มอีกหนึ่งเท่าเป็น 200 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง ระยะเวลาสัมผัสก็ลดเหลือครึ่งหนึ่งคือ 30 นาที ในกรณีที่เชื้อโรคหรือสารพิษที่ต้องกำจัดมีมาก ทุกอย่างก็จะมากขึ้นในทำนองเดียวกัน เพราะฉะนั้นเมื่อสภาพที่เป็นจริงของการจะนำโอโซนไปใช้เปลี่ยนไปค่าคงที่ ความเข้มข้นและระยะเวลาก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย การจะนำก๊าซโอโซนไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพจึงขึ้นอยู่กับ การตรวจวัดทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณของสารที่จะทำปฏิกิริยากับโอโซน การเข้าใจถึงรายละเอียดและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสภาพของงานที่ต้องการใช้ อย่างถ่องแท้ ต้องมีเครื่องให้กำเนิดที่สามารถผลิตก๊าซโอโซนได้อย่างสม่ำเสมอและพอเพียง ต้องมีการออกแบบระบบและควบคุมกระบวนการทำงานอย่างถูกต้องของผู้จะนำไปใช้ด้วย

ฆ่าเชื้อโรคด้วยโอโซน

โอโซนมีคุณสมบัติโคเคนในการฆ่าเชื้อโรคได้ทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็นเชื้อไวรัส แบคทีเรีย รา ยีสต์ เชื้อโปรโตซัวหรือสัตว์เซลล์เดียว สปอร์ซิสต์และไข่พยาธิ โดยโอโซนจะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารประกอบที่ห่อหุ้มอยู่ชั้นนอกสุดของเชื้อโรค โดยเริ่มต้นที่พันธะคาร์บอนในไขมันชนิดพอสโพลีปิดของเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้เซลล์รั่วหรือแตกออก แล้วตายไปในที่สุด ก๊าซโอโซนบางส่วนจะซึมเข้าไปทำลายส่วนประกอบกลุ่มซัลไฮดริลเพื่อขัดขวางการทำงานของเอ็นไซม์ในแบคทีเรีย ถ้าเป็นไวรัสก็จะทำปฏิกิริยาที่แคพซิด (Proteic capsid) ซึ่งใช้ในการเกาะกับเซลล์อื่น และสลายกรดนิวคลีอิก ซึ่งไวรัสใช้ในการขยายพันธุ์ ส่วนซิสต์หรือถุงที่หุ้มเชื้อโปรโตซัว ก็จะทำปฏิกิริยากับผนังหุ้มชั้นนอก (Cyst wall) จนทะลุแล้วต่อด้วยการทำลายที่เยื่อหุ้มชั้นใน จนถึงส่วนประกอบภายในเซลล์

ปี 1974 ที่เมืองบอสตัน แมสซาชูเซต สหรัฐอเมริกา สถาบันโอโซนนานาชาติ ได้จัดห้องทำงานสำหรับนักวิทยาศาสตร์ 200 คน เพื่อทำการวิจัยเกี่ยวกับการนำโอโซนไปใช้ในการทำน้ำดื่ม และการบำบัดน้ำเสีย ดร.วอลต์ โบลกอสตอว์กี ได้รายงานผลการทดลองฆ่าเชื้อแบคทีเรียในน้ำทะเลโดยใช้น้ำโอโซนเข้มข้น 0.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาสัมผัส 30 วินาที พบว่าสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียจำนวน 10,000 ตัวในน้ำ 1 ซี.ซี. ได้อย่างสิ้นเชิง และมีหลายการทดลองที่ใช้เวลาสัมผัสเพียง 2 วินาทีเท่านั้น ยังมีการทดลองฆ่าเชื้อยีสต์ชนิดสปอโรโอบิโอบีโลมัยซีดีส โรเซียส ซึ่งมีผนังหุ้มภายนอกค่อนข้างหนา เมื่อใช้ก๊าซโอโซนที่มีกำลังผลิตขนาด 8 กรัมต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 22 °C ที่ระยะเวลาสัมผัส 60 วินาที ตัวเชื้อจะมีสีเข้ม เทียวและมีผิวขรุขระ ถ้าใช้เวลา 90 วินาที เชื้อยีสต์ก็จะตายหมด

การฆ่าเชื้อโรคในอากาศหรือการบำบัดอากาศเสีย เกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายอย่าง ทั้งด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม การลดมลพิษ การกำจัดขยะและสิ่งปฏิกูล การแยกผู้ป่วยติดเชื้อ การป้องกันเสมหะฟุ้งกระจาย มีความพยายามในการใช้เครื่องฟอกอากาศและเครื่องยิงประจุไฟฟ้า แต่ก็ทำได้เพียงให้ฝุ่นละอองตกตะกอน ไม่สามารถฆ่าเชื้อโรคได้ การนำก๊าซโอโซนมาใช้ในห้องหรือกำจัดเชื้อในอากาศทำได้ง่ายโดยพยายามควบคุมให้มีปริมาณโอโซนอยู่ที่ระดับ 0.03 ส่วนในล้านส่วนซึ่งเป็นระดับเดียวกับที่มีอยู่ตามธรรมชาติ เป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที เชื้อโรคก็จะหมดไป

การตรวจสอบว่ายังมีเชื้อโรคหรือไม่ ทำได้โดยการเพาะเชื้อ ถ้ามีเชื้อโรคน้อยกว่า 500 ซีเอฟยู (Colonial forming unit, CFU) แสดงว่ามีเชื้อโรคน้อยหรือรุนแรง จึงเพิ่มความเข้มข้นหรือใช้ระยะเวลาสัมผัสให้นานขึ้น การฆ่าเชื้อโรคครั้งแรกอาจเริ่มที่ความเข้มข้นสูงและเวลานาน ครั้งต่อไปเมื่อเชื้อโรคน้อยลงก็ลดขนาดและเวลาดัง ไม่ควรใช้ก๊าซโอโซนในที่ปิดโล่ง เพราะต้องใช้ความ

เข้มข้นสูงและควบคุมยาก การใช้ห้องปิดที่มีเครื่องปรับอากาศ ความเย็นทำให้ก๊าซโอโซนมากจนทำให้เกิดกลิ่นฉุน หรือระคายเคืองจนเป็นอันตรายจึงไม่ควรเปิดโอโซนเวลนอนหรือช่วงที่อยู่ในห้องควรทิ้งเวลา 1-2 ชั่วโมง เพื่อให้ก๊าซโอโซนสลายตัวจนหมดเสียก่อน จึงจะเข้าไปใช้สถานที่ถ้าอากาศสกปรกมาก ควรใช้วิธีเปิดและปิดเครื่องเป็นระยะตลอดช่วงเวลาที่อยู่ภายใน แต่ต้องควบคุมให้มีความเข้มข้นอยู่ในระดับที่ปลอดภัยเสมอ ในสถานที่กว้างใหญ่ อาจเพิ่มตัวตัดเวลา (Timer) สัญญาณเตือน (Alarm) หรือตัวตรวจจับอัตโนมัติ (Sensor) เมื่อมีการสะสมจนถึงขีดกำหนด

การฆ่าเชื้อโรคในน้ำ องค์การอนามัยโลก กำหนดให้ใช้น้ำโอโซนที่สามารถควบคุมการละลายไว้ที่ระดับ 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลาอย่างน้อย 4 นาที เพราะสามารถฆ่าเชื้อไวรัสโพลีโอได้ร้อยละ 99.99 จึงเพียงพอที่จะใช้เป็นมาตรฐานของการผลิตน้ำดื่ม น้ำประปาและน้ำในสระว่ายน้ำ ถ้าเป็นห้องเย็นให้ควบคุมในระดับ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และใช้ตลอดเวลา อาจติดระบบควบคุมความปลอดภัยเช่นเดียวกับที่ใช้ในอากาศ

สลายสารพิษด้วยโอโซน

สารพิษมีอยู่ทั่วไปทั้งในดิน น้ำ อาหาร และอากาศ ซึ่งเป็นผลมาจากความเจริญก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ ทำให้เกิดมลภาวะจากโรงงานอุตสาหกรรม เกษตรกรรม ยานพาหนะ การประกอบอาหาร การอำนวยความสะดวกภายในครัวเรือน การแต่งกายอื่น ๆ ที่เป็นปัญหาหนักไม่แพ้การติดเชื้อสารพิษจากแหล่งต่าง ๆ ก็สามารถกระจายไปมาซึ่งกันและกัน อาจเปลี่ยนเส้นทางเข้าสู่ร่างกายและมีผลต่อการทำลายสิ่งแวดล้อม ผลเสียของสารพิษแต่ละชนิดจะแตกต่างกันแต่โดยรวมแล้วอาจมีอาการเล็กน้อยเพียงการระคายเคืองต่อผิวหนังและเยื่อเมือกต่าง ๆ ของทางเดินหายใจและทางเดินอาหาร หรือมีพิษมากจนช็อกตาย บางอย่างก็ออกฤทธิ์สะสมทีละน้อย เช่น พวกสารเสพติดสารทำลายกระดูก สารทำให้กลายพันธุ์และสารก่อมะเร็ง

ในชีวิตประจำวันหลังจากตื่นนอน แล้วต้องการเดินทางออกนอกบ้านไป แต่ทุกคนก็ต้องผจญกับสารพิษต่าง ๆ นานาชนิดนับไม่ถ้วน ยังมีวัตถุที่ห่างไกลจากธรรมชาติมากเท่าไร ก็ยิ่งเสี่ยงต่อการได้รับสารพิษมากขึ้นเท่านั้น เริ่มด้วยฟอร์มาดีไฮด์จากไม้อัด เฟอร์นิเจอร์ พรม สารเนฟทาลินจากลูกเหม็น แอสเบสตอสจากผนังกันความร้อน เมธิลีนคลอไรด์จากสีทาบ้าน เตตราคลอเอธิลีนจากน้ำยาซักแห้ง แอมโมเนียจากน้ำยาล้างสุขภัณฑ์ น้ำยาเช็ดกระจกพาราไดคลอโรเบนซีนจากน้ำหอมปรับอากาศ ไตรคลอโรเอเทนจากน้ำยาล้างสี น้ำยาลบคำผิด สไตรีนจากโฟม กาว ไฮโดรคาร์บอนจากน้ำมันเชื้อเพลิง สเปรย์ปรับอากาศในโตรเจนออกไซด์จากการเผาไหม้

พอเริ่มรับประทานอาหารก็ต้องเลี้ยงกับสารบอแรกซ์ในผงกรอบ อาหารบด ของดอง พอร์มาลินในอาหารทะเล สารซาลบูตามอลในเนื้อสัตว์ สารไฮโดรซัลไฟด์สำหรับฟอกขาวในถั่วงอก จิงฝอย กระชายฝอย ของดอง ของกวน น้ำตาลปีบ สารโปแตสเซียมไนเตรดหรือดินปะสิวในกุนเชียง ปลาเค็ม ไข่กรอก แสม เบคอน ต้องรับประทานพืชผักที่ปนเปื้อนยากำจัดศัตรูพืชและยาฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟสพวกพาราไรออน ไคอะซิโนน ดิฟเทอเรกซ์ มาลาไอออน กลุ่มออร์กาโนคลอรีน พวกคลีทีที ลินเคน เฮปตาคลอร์ คีลคิน กลุ่มคาร์บาเมตพวกคาร์บาริลหรือเซวิล เฟอร์ทรม กลุ่มสารรมควันพวกไฮโดรไซยานิก เมธิลโบรไมด์ คาร์บอนไดซัลไฟด์เอธิลีนออกไซด์ ฟอสฟีน และตัวพิษที่รุนแรงที่สุดก็คือไดออกซินหรือทีซีดีดี ซึ่งมีความเป็นพิษมากกว่ายาพิษไซยาไนด์ถึง 150,000 เท่า เมื่อเร็ว ๆ นี้มีการวิจัยคะน้ำซึ่งเป็นผักยอดนิยมในกรุงเทพฯ ๑ จำนวน 38 ตัวอย่าง ก็พบสารพิษตกค้าง 18 ตัวอย่าง ซึ่งมี 8 ตัวอย่างที่ไม่สามารถบริโภคได้เพราะมีปริมาณสารตกค้างเกินค่าสูงสุดที่กำหนดไว้ ถ้าดื่มน้ำประปาที่อาจได้รับสารคลอโรฟอร์มซึ่งเป็นสารตกค้างมาจากการใช้คลอรีนในน้ำบาดาล มีสารพิษพวกธาตุเหล็กแมงกานีสไซยาไนด์ และโลหะหนักที่เป็นอันตรายอื่น ๆ เมื่อเดือนสิงหาคม 2542 องค์การอนามัยโลกได้เปิดเผยผลสำรวจน้ำนมแม่ซึ่งถือได้ว่าเป็นอาหารที่วิเศษที่สุดของทารกที่เก็บตัวอย่างมาจากทั่วโลกก็ยังมีสารพิษปนเปื้อนรวมกันได้ถึง 350 ชนิด

ออกจากบ้านนั่งรถ พอติดเครื่องปิดกระจกเปิดเครื่องปรับอากาศก็เริ่มรับไอเสียก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ สารระเหยและไอน้ำมันจากรถของตัวเอง ต้องสูดควันพิษจากก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ไม่เป็นเรื่องแปลกที่จะได้ยินข่าวคนขับและผู้โดยสารหลับตายจากก๊าซพิษในรถ จากการเปิดเผยของเจ้าหน้าที่สำนักงานสำรวจอากาศในรถยนต์อาจเป็นพิษมากกว่าภายนอกถึง 10 เท่า โดยเฉพาะเมื่อขับรถหรือจอดอยู่ข้างหลังรถโดยสารหรือรถบรรทุกขนาดใหญ่ที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล ตัวสารที่ออกมาพวกไนโตรเบนซาโธรน จัดว่าเป็นสารเคมีที่สามารถก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้มากที่สุด ในบรรดาสารพิษทั้งหลาย สถิติจากกระทรวงสาธารณสุขไทยก็ระบุไว้ชัดเจน ว่าคนกรุงเทพฯ ๑ มีโอกาสเกิดโรคมะเร็งมากกว่าคนชนบท 3 เท่า สารพิษยังมีอีกมากจากน้ำโสโครกในท่อระบาย น้ำเสียน้ำทิ้งจากแหล่งต่าง ๆ มาถึงตอนนี้หลายคนคงไม่อยากจะลงจากรถ อยากจะหนีไปอยู่ตามป่าเขา หาที่ปลูกข้าวปลูกผักกินเอง แต่จะไปไหนได้ เมื่อประเทศไทยเรายังนำเข้าสารเคมีถึงปีละ 7 แสนตัน ดีไม่ดีอาจจะเจอพิษจากแรงระเบิดของสารโปแตสเซียมคลอเรตที่ใช้เร่งผลลำไยตามที่เป็นข่าวครึกโครมเข้าไว้ก็ได้ เป็นที่ยอมรับกันมานานแล้วว่าก๊าซโอโซนมีบทบาทที่สุดในการกำจัดสารพิษ ถ้าหากออกแบบเครื่องมือและจัดกระบวนการให้ถูกวิธีเพื่อให้มีปริมาณก๊าซโอโซนเพียงพอและมีการคลุกเคล้าหรือสัมผัสกันอย่างทั่วถึง ก็สามารถนำก๊าซโอโซนไปกำจัดสารพิษได้แทบทุกชนิด ตัวอย่างเช่นควันพิษจากก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ทำปฏิกิริยากับก๊าซโอโซน (O₃) จะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการหายใจของพืชและได้ก๊าซออกซิเจน (O₂) ซึ่งจำเป็นต่อการหายใจของพืชและได้ก๊าซออกซิเจน (O₂) ซึ่งจำเป็นต่อการหายใจของมนุษย์และสัตว์ ก๊าซพิษ

แอมโมเนีย (NH_3) กับโอโซน (O_3) ก็จะได้เกลือไนเตรต (NO_3) ซึ่งไม่มีพิษ การทำปฏิกิริยากับสารพิษเป็นไปตามคุณสมบัติทางเคมีของก๊าซโอโซนที่มีเกิดปฏิกิริยาแตกต่างกันตามแต่สารตกค้างที่เป็นก๊าซออกซิเจน อาจใช้ทั้งโมเลกุลของก๊าซโอโซนเข้าทำปฏิกิริยาได้เป็นสารตัวใหม่และไม่มีก๊าซออกซิเจนเกิดขึ้น โดยสารตกค้างส่วนใหญ่จะเป็นพวกอัลดีไฮด์และคีโตแอซิด ซึ่งไม่มีพิษสารตกค้างที่อาจเป็นปัญหาอยู่บ้างก็คือสารก่อมะเร็งชนิดหนึ่งซึ่งเกิดจากการบำบัดน้ำเสียบางอย่างจำเป็นต้องตรวจวัดให้ดีแต่ก็ยังไม่เป็นปัญหา เพราะมีกรรมวิธีที่สามารถกำจัดสารโบรมेटออกไปได้

5 ฟอกสีด้วยโอโซน

แต่เดิมสารเคมีที่ใช้ฟอกสีให้ขาวสะอาดมักใช้คลอรีนและคลอรีนไดออกไซด์ เพราะมีราคาถูกและได้ผลดี แต่ก็มักเกิดกลิ่นและพิษที่ระคายเคืองต่อเยื่อจมูกและตา ที่หันมาใช้โอโซนกันมากก็เพราะโอโซนสามารถออกซิไดซ์สารหรือวัตถุสีได้ดีกว่า เร็วกว่า และไม่มีผลข้างเคียง มีการนำมาแช่และล้างผักผลไม้เพื่อฟอกสีของดินและสิ่งสกปรกที่ติดอยู่ตามผิว ทำให้ผักผลไม้สะอาด มีสีสวยสดใสมตามธรรมชาติและเก็บถนอมอาหารได้นานขึ้น เมื่อใช้แช่ผ้าที่สกปรกก็ช่วยขจัดสีออกไปได้ โดยไม่ทำให้สีเดิมของผ้าซีดลง เพราะสีสังเคราะห์ที่ใช้ย้อมจะติดกับเส้นใยของผ้าอย่างเหนียวแน่น บ่อน้ำหรือสระน้ำที่มีสีเขียวของตะไคร่น้ำซึ่งเป็นพืชพวกสาหร่ายเซลล์เดียวจะถูกขจัดด้วยโอโซน สารแขวนลอยในแหล่งน้ำธรรมชาติที่ทำให้น้ำขุ่นก็จะสลายตัวจากปฏิกิริยาของก๊าซโอโซน น้ำในสระจึงใสสะอาด การอาบน้ำล้างหน้าด้วยน้ำโอโซนเจือจาง ก็จะช่วยขจัดสีของคราบสกปรกและรอยต่างดำได้ ร้านเสริมสวยบางร้านมีบริการถนอมผิวหน้าให้นุ่มขาวผ่องใสจากการพ่นด้วยไอน้ำและก๊าซโอโซน

ก๊าซโอโซนทำให้เมล็ดสีโครโมฟอร์เจือจางหรือซีดลง โดยโอโซนไปทำลายพันธะคู่ทางเคมีของโครงสร้างที่เป็นส่วนประกอบของสีพวกไฮดรอกซีอะโรเมติกและคาร์บอกซิลิก โดยมีปฏิกิริยาที่ดีกว่าการใช้คลอรีนหลายเท่า

ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมของโรงงานทอผ้าและย้อมสี มักมีปัญหาการกำจัดสี โดยเฉพาะสีดำ แดง และเหลือง ซึ่งใช้กันมากที่สุดและการเพิ่มออกซิเจนในน้ำเสีย ในประเทศบราซิล เดิมเคยใช้กระบวนการทางชีวภาพโดยการเติมเชื้อแบคทีเรียเพื่อช่วยในการย่อยสลายของเสียและการตกตะกอนก็ยังไม่สามารถแก้ปัญหาได้ มีการใช้กรดหลายชนิด เพื่อควบคุมค่าความเป็นกรดต่าง (pH) แต่ก็ยังจะทำให้หน้าขาดออกซิเจนมากขึ้น

การศึกษาของศูนย์วิจัยสิ่งแวดล้อม แห่งมหาวิทยาลัยมิสซูรีรอลลา สหรัฐอเมริกา เมื่อปี 1999 พบว่า การใช้ก๊าซโอโซนในปริมาณ 1,7 และ 11% โดยน้ำหนักทั้งความเข้มข้นต่ำและสูง มีผลต่อการ

สลายสีทั้งชนิดรีแอกทีฟ ไคเรค และแอซิด ซึ่งถ้าสารละลายอยู่ในสภาพเป็นกรดก็จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้ดียิ่งขึ้น

การศึกษาของมหาวิทยาลัยแอนนาและมหาวิทยาลัยมัคคริส ประเทศอินเดีย ในโรงงานผลิตผ้าเช็ดตัว มีการนำโอโซนมาใช้บำบัดน้ำเสียที่เป็นสีในขั้นตอนแรกสุดก่อน เพื่อช่วยแยกสลายโมเลกุลของสีที่มีความยาวมากให้มีขนาดสั้นลง แล้วต่อด้วยการย่อยสลายโดยเชื้อแบคทีเรียในขั้นต่อไปก็ใช้โอโซนบำบัดอีกครั้งเพื่อเป็นการเพิ่มออกซิเจนในน้ำ เป็นการลดค่าบีโอดีและซีโอดีและฟอกสีอีกครั้งเป็นขั้นตอนสุดท้าย การใช้โอโซนรวมสองขั้นตอนเป็นสิ่งที่ดีกว่าใช้ตอนสุดท้ายเพียงอย่างเดียว การบำบัดน้ำเสียขั้นแรกที่สามารถลดค่าซีโอดีลง 40% และบีโอดี 25% ถ้ามีการใช้โอโซนก่อนก็จะช่วยซีโอดีลงได้อีก 22% และสามารถลดสีลงได้ถึง 40% แล้วถ้าเพิ่มโอโซนในขั้นตอนสุดท้ายอีกจากการกรวดน้ำเสียภายหลังการบำบัดพบว่า ค่าซีโอดีมีน้อยกว่า 100 มก/ลิตร และบีโอดีน้อยกว่า 30 มก/ลิตร เป็นไปตามมาตรฐานของกฎหมายที่ใช้ควบคุม คุณภาพน้ำและสีก็จัดอยู่ในขั้นดีมาก ลดสีลงได้มากกว่า 92% เป็นที่น่าพอใจ สามารถนำน้ำกลับไปใช้ใหม่ได้อย่างปลอดภัย ถ้ามีการกรองทรายก็จะไม่มีสีเลย ทิ้งน้ำไว้ถึง 10 วัน ก็ไม่มีการเปลี่ยนสี ระยะเวลาที่ใช้โอโซนในช่วง 12-20 ชั่วโมง ใช้เครื่องที่ผลิตด้วยก๊าซออกซิเจน ขั้นแรกใช้กำลังผลิต 750 กรัม/ชั่วโมง ขั้นสุดท้ายใช้กำลังผลิต 250 กรัม/ชั่วโมง

ถ้าเปลี่ยนจากการกรองทรายเป็นผงถ่านกัมมันต์ การเติมโซเดียมไฮโอซัลเฟตและใช้ระบบการกรองด้วยรีเวอร์สออสโมซิส ก็จะสามารถนำน้ำไปใช้ในการบริโภคได้เลย การบำบัดน้ำเสียและการฟอกสีนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกลุ่มซักอบรีดและโรงงานกระดาษได้เช่นเดียวกัน

จากการศึกษาของบริษัทในประเทศญี่ปุ่น ก็ประสบผลสำเร็จในการใช้กับสารฟอกกระดาษที่ใช้แล้ว เพราะญี่ปุ่นมีความต้องการที่จะนำกระดาษที่ใช้ในการพิมพ์และการกระดาษจากเครื่องคอมพิวเตอร์มาใช้ใหม่ถึง 90% แต่การนำกระดาษที่เสียแล้วมาใช้ใหม่มีไม่ถึง 30% ที่เป็นเช่นนี้เพราะกระดาษที่ใช้มีหลายชนิด ต้องใช้กระบวนการหลายอย่างไปจัดการและความรวดเร็วในการพิมพ์ ทำให้ต้องใช้หมึกที่แห้งเร็วและติดแน่นเป็นพิเศษ จึงมีการนำโอโซนมาใช้ฟอกสีกระดาษ และใช้ปฏิกิริยาของโอโซนในการออกซิไดซ์ไปทำลายโครงสร้างของพลาสติกที่ติดกับกระดาษ เพื่อนำกระดาษกลับไปใช้ใหม่ในขณะเดียวกันก็ใช้บำบัดน้ำเสียไปในตัวด้วย

สีของน้ำอาจเป็นสีที่แท้จริง ซึ่งเกิดจากการละลายของสารประกอบที่ปนอยู่ในน้ำ และสีที่ปรากฏเป็นสีที่เกิดจากการสะท้อนของสิ่งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำหรือไม่ก็สะท้อนมาจากท้องฟ้า โอโซนมีข้อเด่นในการกำจัดธาตุเหล็กและแมงกานีส โดยเฉพาะในน้ำบาดาล การเติมอากาศในขั้นตอนแรกของการ

ทำน้ำประปา ก็เพื่อให้มีออกซิโดซ์กับก๊าซออกซิเจน แต่ถ้าใช้โอโซนก็เกิดปฏิกิริยาที่ดีและเร็วกว่า เพราะโอโซนละลายน้ำได้ดีกว่าก๊าซออกซิเจน แต่ถ้าใช้โอโซนก็เกิดปฏิกิริยาที่ดีและเร็วกว่า เพราะโอโซนละลายน้ำได้ดีกว่าก๊าซออกซิเจนถึง 13 เท่า ออกไซด์ของเหล็กที่เกิดขึ้นจะตกตะกอนเป็นสีแดง แมงกานีสก็ตกตะกอนเป็นสีน้ำตาลหรือสีดำ ง่ายต่อการกรองทิ้งไป พวกสีจากสารประกอบอิมิกก็จะถูกสลายตัวไปด้วยโอโซน การใช้คลอรีน 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่อด้วยโอโซน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดความเข้มของสีลงได้ต่ำกว่า 10 หน่วยของพลาตินัมโคบอลท์เป็นการช่วยลดปริมาณของสารทั้งสองในการทำน้ำประปาด้วย

2.2.3.1 ใช้ในการบำบัดน้ำ สามารถฟอกน้ำโดยขจัดกลิ่น สี รส รวมทั้งช่วยปรับความสมดุลของน้ำ ทำให้น้ำมีคุณภาพสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงถือได้ว่า การใช้โอโซนเพียงชนิดเดียวก็เพียงพอสำหรับกระบวนการบำบัดน้ำดื่ม โดยโอโซนมีคุณสมบัติ ดังนี้คือ

- ขจัดโลหะหนัก เช่น เหล็ก แมงกานีส
- ขจัดสารที่ก่อให้เกิดกลิ่น สี รส
- ช่วยรวมสารแขวนลอยเล็ก ๆ ในน้ำให้มีขนาดใหญ่และสามารถกรองออกได้

2.2.3.2 ปรับปรุงคุณภาพน้ำในสระว่ายน้ำ โดยมีจุดมุ่งหมายคือ

- ขจัดสารอินทรีย์และรวบรวมตะกอนเล็ก ๆ ที่มีอยู่ในน้ำ
- ขจัดและฟอกยูเรีย (ที่มาจากปัสสาวะ) และรวมตัวกับคลอรีน
- ลดปัญหาเรื่องกลิ่นของสระว่ายน้ำในกรณีที่เป็นสระว่ายน้ำในร่ม
- ให้ความสบายกับผิวหนัง ไม่ก่อให้เกิดการระคายเคือง

2.2.3.3 ระบบบำบัดน้ำเสีย มีจุดประสงค์หลักคือ

- ขจัดสี กลิ่น และฆ่าเชื้อโรค
- ขจัดและฟอกสารอินทรีย์
- ขจัดโลหะหนัก
- ฟอกสารไนโตรเจนและซัลไฟด์
- ขจัดสารที่เป็นพิษ เช่น ไซยาไนต์

2.2.3.4 ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำโซดา

- เปลี่ยนรูปของแร่ธาตุเหล็กและแมงกานีสและกรองออกด้วยตัวกรองถ่าน
- ช่วยฆ่าเชื้อโรคและรักษาความปลอดภัยของขวด

2.2.3.5 การประมง

- ฆ่าเชื้อโรค ขจัดสารอินทรีย์แลเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำ เช่น บ่อเลี้ยงกุ้ง ปลา

2.2.3.6 ใช้ล้างผัก ผลไม้ กำจัดกลิ่นคาวในเนื้อสัตว์ อาหารทะเล

- เพื่อฆ่าเชื้อโรค สลายสารพิษ ขจัดสารเคมีและยาฆ่าแมลง

2.2.3.7 ใช้อาบน้ำ ล้างหน้า สระผม

- จะทำให้ผิวหนังเปล่งปลั่งยิ่งขึ้น ลดการเป็นสิว

2.2.3.8 ทางการแพทย์สามารถใช้ทำความสะอาดอุปกรณ์ต่าง ๆ ล้างแผลสด แผลอักเสบ

- เพื่อฆ่าเชื้อโรคและลดอาการอักเสบของแผล

2.2.3.9 ขจัดสารพิษในอากาศ เช่น กำจัดควันต่าง ๆ

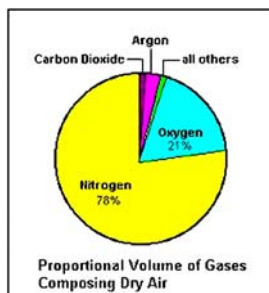
- เพื่อฆ่าเชื้อโรคในอากาศ ทำให้อากาศบริสุทธิ์

ตารางที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของโอโซนที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรค

ข้อดี	ข้อเสีย
<ul style="list-style-type: none"> - มีกำลังในการออกซิไดซ์ที่รุนแรงและใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาสั้น ซึ่งสามารถฆ่าเชื้อโรคจุลินทรีย์และไวรัสได้ภายใน 2-3 วินาที - โอโซนจะเปลี่ยนเป็นออกซิเจนหลังจากทำการฆ่าเชื้อโรคแล้ว - ปฏิกิริยาจะเกิดและสลายตัวไปอย่างรวดเร็วเมื่อกระทำกับสารพวกอินทรีย์ - โอโซนส่วนมากจะสลายตัวในน้ำอย่างรวดเร็วจึงไม่มีสารตกค้าง - โอโซนเป็นก๊าซที่ไม่มีสี 	<ul style="list-style-type: none"> - เป็นก๊าซที่มีพิษ - ราคาของกระบวนการผลิตโอโซนจะสูงกว่าเมื่อใช้คลอรีน - การติดตั้งค่อนข้างยุ่งยาก - อุปกรณ์ในส่วนที่เกิดปฏิกิริยาโอโซนจำเป็นต้องป้องกันก๊าซพิษและอันตรายจากไฟ - ละลายน้ำได้ยากกว่าคลอรีน จึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ในการผสมชนิดพิเศษ

2.2.4 องค์ประกอบของบรรยากาศ

บรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกส่วนใหญ่ประกอบด้วยก๊าซไนโตรเจน 78 % ก๊าซออกซิเจน 21% ก๊าซอาร์กอน 0.9% ที่เหลือเป็น ไออน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซอื่น ๆ จำนวนเล็กน้อย



รูปที่ 2.9 องค์ประกอบของบรรยากาศ

องค์ประกอบหลักประกอบด้วยก๊าซไนโตรเจน (N_2) โดยปกติไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับสารอื่น แต่เมื่ออะตอมเดี่ยวของมันแยกออกมา จะสามารถรวมเข้าเป็นองค์ประกอบของสารอื่น ๆ เช่น สารในเครทจะมีบทบาทสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตก๊าซออกซิเจน (O_2) เป็นผลผลิตจากการสังเคราะห์แสงของพืช สหาร่าย แพลงตอน และสิ่งมีชีวิต มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับสารอื่น และช่วยให้ไฟติด ถ้าปริมาณของออกซิเจนในอากาศมีมากกว่า 35% โลกทั้งดวงจะลุกไหม้ติดไฟ ดังนั้นสิ่งมีชีวิตบนโลกจึงวิวัฒนาการให้มีสัตว์ซึ่งใช้ออกซิเจนในการเผาผลาญธาตุอาหารและคายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาก๊าซอาร์กอน (Ar) เป็นก๊าซเฉื่อยไม่ทำปฏิกิริยากับธาตุอื่น เกิดขึ้นจากการสลายตัวของไอโซโทปกัมมันตภาพรังสีของธาตุโปแตสเซียมภายในโลกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gas) แม้มีอยู่ในบรรยากาศเพียง 0.036% แต่เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิตเนื่องจากก๊าซเรือนกระจกมีสมบัติในการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดซึ่งแผ่ออกจากโลก ทำให้โลกอบอุ่น อุณหภูมิของกลางวันและกลางคืนไม่แตกต่างกันจนเกินไป นอกจากนี้ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยังเป็นแหล่งผลิตอาหารของพืช

2.2.5 โอโซนเกิดตามธรรมชาติได้ 2 แบบ

2.2.5.1 รังสีอัลตราไวโอเล็ต ที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่า 240 นาโนเมตร ทำให้ก๊าซออกซิเจนที่ได้รับรังสีในช่วงคลื่นดังกล่าวแตกตัวและไปรวมตัวกับก๊าซออกซิเจนอะตอมคู่ที่อยู่ใกล้ ๆ เกิดเป็นก๊าซโอโซน ซึ่งมีความสามารถในการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ต จึงทำให้เกิดความร้อนจัดในชั้นบรรยากาศระดับนี้ คือ ชั้นสตราโตสเฟียร์ (stratosphere) สูงจากพื้นโลก 20 กิโลเมตร หรือเรียกว่าเขตอุ่น (Warm region) โอโซนในชั้นดังกล่าวนี้ทำหน้าที่กั้นไม่ให้รังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet, UV) ส่องมายังโลกในปริมาณที่มากเกินไป โดยทั่วไปรังสีอัลตราไวโอเล็ตชนิดซี (UVC) ที่มีความยาวคลื่นในช่วง 200-280 นาโนเมตร จะถูกกั้นโดยชั้นบรรยากาศโอโซน เพื่อไม่ให้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ส่วนรังสีอัลตราไวโอเล็ต ชนิดเอ (UVA) ที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 320 นาโนเมตรนี้เป็นประโยชน์ต่อคนเรา เนื่องจากช่วยในการสร้างวิตามินดีเมื่อออกซิเจนในบรรยากาศ ได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มี

ความยาวคลื่นสั้นกว่า 242 นาโนเมตร ทำให้โมเลกุลแตกเป็นอะตอมอิสระ $O+O$ ซึ่งจะรวมตัวกับออกซิเจนอะตอมคู่เป็น ก๊าซโอโซน O_3

ปฏิกิริยาในธรรมชาติเกิดเป็นปฏิกิริยาถูกโซ่ โดยมีรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเรียกว่าปฏิกิริยาแสงทางเคมี (photochemical reaction) โอโซนในชั้นสตราโตสเฟียร์จะช่วยรักษาสมดุลของรังสีจากดวงอาทิตย์ (UVB) ไม่ให้ลงมาบนพื้นโลกมากเกินไปจนเป็นอันตรายต่อมนุษย์เนื่องจากมีผลทำให้เกิดมะเร็งผิวหนัง เป็นอันตรายต่อสัตว์และพืช รวมทั้งยังทำให้วัสดุและอุปกรณ์ประเภทพลาสติกพีวีซี (PVC) ยางมีอายุการใช้งานลดลงด้วยก๊าซ 2 กลุ่มในชั้นบรรยากาศที่มีบทบาทสำคัญมากในการทำลายโอโซนได้คือ สารประกอบคลอรีนออกไซด์ (Chlorine Oxides; ClOX) และ ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxides; Nox) โดยไนโตรเจนออกไซด์มาจากไนตรัสออกไซด์ (Nitrous Oxides; N_2O) ซึ่งมีจุดกำเนิดตามธรรมชาติจากกระบวนการ denitrification ของจุลินทรีย์และเกิดจากฟ้าแลบฟ้าร้อง นอกจากนี้ยังมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงและเครื่องบินที่บินเร็วเหนือเสียง (supersonic transport, SST) ที่อยู่ในชั้นที่มีโอโซน ซึ่งปล่อยไนตริกออกไซด์ (NO) และสารพวฮาโลเจน (halogen) โดยเฉพาะพวกก๊าซโบรมีน (Br) ที่สามารถสลายโอโซนทำให้เกิดภาวะ รูโอโซนในชั้นบรรยากาศ และจะเปิดช่องให้แสง UV ส่องมายังพื้นโลกมากขึ้น ทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต การทำลายชั้นโอโซนโดยอะตอมของคลอรีน ไนตริกออกไซด์ไฮโดรเจนออกไซด์ โบรมีน และไฮโดรเจน เกิดขึ้นโดยที่สารเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของโอโซนและอะตอมของสารทำลายโอโซนวนเวียนเป็นวัฏจักร

ความเข้มข้นของ O_3 จะลดลงถ้ามีอะตอมของสารอื่นเข้าไปทำปฏิกิริยาซึ่งจะรบกวนสมดุลระหว่าง O_3 และ O_2 ทำให้เกิด O_2 มากขึ้น หรือ O_3 ลดลงนั่นเองแหล่งกำเนิดของสารคลอรีนมาจากสารกลุ่มซีเอฟซี (CFCs) ซึ่งเรียกโดยทั่วไปว่าฟรอน ซึ่งเป็นสารที่ใช้เพื่อทำความเย็น เช่น ในตู้เย็น สารกลุ่มนี้จะคงตัวได้นาน และกระจายสู่บรรยากาศ จะแตกตัวให้อะตอมอิสระของคลอรีน (Cl) เข้าทำปฏิกิริยากับโอโซนทันที ทำให้เกิดเป็นสารประกอบออกไซด์ (ClO) และออกซิเจน

2.2.5.2 โคโรนาดีสชาร์จ (corona discharge) เกิดในเวลาที่มีฟ้าแลบ ฟ้าผ่า ปรากฏการณ์นี้จะมีศักย์ไฟฟ้าในอากาศที่สูงมาก ทำให้ก๊าซออกซิเจนแตกตัวเป็นออกซิเจนอะตอมเดี่ยวและไปรวมตัวกับก๊าซออกซิเจนที่อยู่ใกล้ ๆ เกิดเป็นก๊าซโอโซน

2.2.6 ขบวนการผลิตก๊าซโอโซนในอุตสาหกรรม นิยม 2 วิธี คือ

2.2.6.1 วิธีการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet method) เป็นการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่น 185 นาโนเมตร ให้แก่ออกซิเจน ซึ่งสามารถผลิตโอโซนได้สูงสุดถึง 0.25% โอโซนจะถูกผลิตโดยใช้หลักการทางเคมีของแสง พลังงานโฟตอนของแสงที่ใช้หาได้จากสมการ'

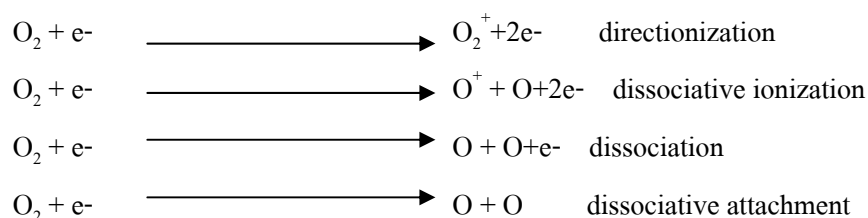
$$E = hV = hc/\lambda \quad \dots\dots\dots (1.1)$$

- เมื่อ E = พลังงานโฟตอน (จูล)
 h = ค่าคงที่ของพลังค์ (6.63x10⁻³⁴ จูล-วินาที)
 c = ความเร็วของแสง (3x10⁸ เมตร/วินาที)
 V = ความถี่ของแสง (เฮิรตซ์)
 λ = ความยาวคลื่นแสง (เมตร)

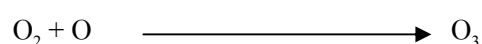
2.2.6.2 วิธีโคโรนาดีสชาร์จ (corona discharge method)

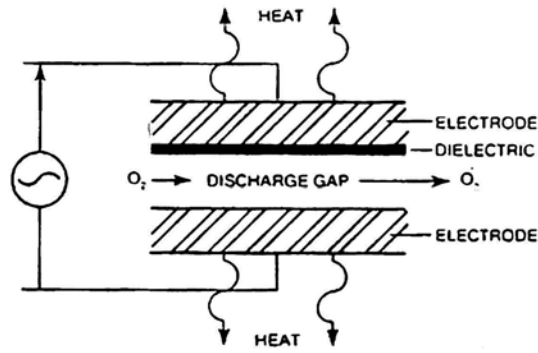
ก๊าซโอโซนเกิดขึ้นจากปรากฏการณ์โคโรนา โดยการป้อนก๊าซออกซิเจนเข้าไปในสนามไฟฟ้าความเข้มสูง ทำให้โมเลกุลของออกซิเจนแตกตัว เนื่องจากความเครียดของสนามไฟฟ้าความเข้มสูง กลายเป็นออกซิเจนอะตอมเดี่ยว และปล่อยอิเล็กตรอนออกมา ก๊าซออกซิเจนจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซโอโซน การที่จะทำให้ ออกซิเจนเป็นอะตอมอิสระ อิเล็กตรอนจะต้องมีพลังงานมากกว่าพลังงานพันธะของโมเลกุลออกซิเจน โดยจะมีพลังงานประมาณ 493.2 kJ/mol ถึง 682.8 kJ/mol จึงจะทำให้เริ่มเกิดโอโซนตามขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสลายโมเลกุลของออกซิเจน



ขั้นตอนที่ 2 การรวมตัวของอะตอมของออกซิเจนเป็นโมเลกุลโอโซน





รูปที่ 2.10 แสดงเครื่องผลิตก๊าซโอโซนโดยใช้สนามไฟฟ้าโคโรนา

โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องสร้างโอโซนโดยใช้วิธีโคโรนาดิสชาร์จ แสดงดังรูปที่ 2.9 ประกอบด้วยอิเล็กโทรด 2 แผ่น วางขนานกัน โดยห่างกันพอประมาณเพื่อให้เกิดช่องว่างของอากาศมีแผ่นไดอิเล็กทริก ติดอยู่ที่ขั้วของอิเล็กโทรดภายในสนามไฟฟ้าความเข้มสูง เมื่ออิเล็กโทรดมีความเร็วมากพอ ก็สามารถแตกโมเลกุลออกซิเจนออกเป็นออกซิเจนอะตอมเดี่ยว จากนั้นอะตอมเหล่านี้ก็จะรวมตัวกับโมเลกุลออกซิเจนกลายเป็นก๊าซโอโซน การสร้างโอโซนด้วยเครื่องผลิตโอโซนแบบใช้สนามไฟฟ้าของโคโรนาดิสชาร์จ สามารถแสดงได้ด้วยความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการออกแบบเครื่องผลิตโอโซน ดังนี้

$$V = k1 \cdot p \cdot g \dots\dots\dots (1.2)$$

$$\text{ปริมาณของโอโซน Yield} = k2 \cdot f \cdot e \cdot v^2 / d \dots\dots\dots (1.3)$$

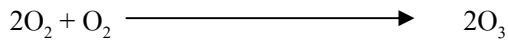
- เมื่อ V = ความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)
- P = ความดันก๊าซในช่องอากาศ (นิตันต่อตารางเมตร)
- G = ความกว้างของช่องอากาศ (เมตร)
- F = ความถี่ของศักย์ไฟฟ้าที่ป้อน (เฮิรตซ์)
- E = ค่าไดอิเล็กทริก (ฟารัด/เมตร)
- D = ความหนาของไดอิเล็กทริก (เมตร)
- k1 ,k2 = ค่าคงที่

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวพบว่า ปัญหาของการออกแบบเครื่องผลิตก๊าซโอโซนคือ จะต้องพยายามออกแบบให้ผนังไดอิเล็กทริกบางที่สุดเท่าที่จะทำได้ แต่ต้องสามารถทนแรงดันได้สูง ในขณะเดียวกัน

ทั้งนี้หากต้องการให้ได้ก๊าซโอโซนในปริมาณมาก ๆ จะต้องเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าให้สูงขึ้นด้วย (พิจารณาจากสมการด้านบน ก๊าซโอโซนที่ผลิตได้จะแปรผันตามความต่างศักย์ไฟฟ้ายกกำลังสอง) แต่ถ้าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงเกินไป สารไดอิเล็กทริกที่ใช้จะเสียหายได้ง่ายขึ้น ในปัจจุบันวิธีที่นิยมใช้เพิ่มปริมาณก๊าซโอโซนที่ผลิตขึ้นได้แก่ การเพิ่มความสามารถในการระบายความร้อนออกจากเครื่องผลิตก๊าซโอโซน ซึ่งมีผลให้ปริมาณก๊าซโอโซนที่ผลิตได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นด้วยกลไกการทำงานของ การกำเนิดโอโซนในการดิสชาร์จทางไฟฟ้าเนื่องจากโอโซนเป็นก๊าซที่ไม่เสถียร จากส่วนประกอบนี้จะพิจารณาคุณลักษณะภายในของพลังงานจลน์และการให้ความร้อนและการควบคุมสำหรับการผลิตโอโซนเป็นไปตามสมการ



ปฏิกิริยาของก๊าซเกิดได้โดยการดูดความร้อนด้วยค่าพลังงานที่ใส่เข้าไปใน $H = 143 \text{ kJ/mol}$
 ปฏิกิริยาของก๊าซจำนวนนี้มีการส่งผ่านโดยวิธีการกระตุ้นโมเลกุลหรืออะตอมออกซิเจน ทำให้เกิดการ
 ผลิตโอโซน สำหรับการที่จะเปลี่ยน O_2 เป็น O_3 นั้นเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ระบบต้องเป็นรูปแบบ
 พลังงานอิสระที่มีค่ามากกว่าพลังงานของโอโซน ถ้าโมเลกุล O_2 มีพลังงานประมาณ 143 kJ/mol ใน
 ระดับพลังงานกระตุ้น ปฏิกิริยาสามารถแสดงได้ดังสมการ

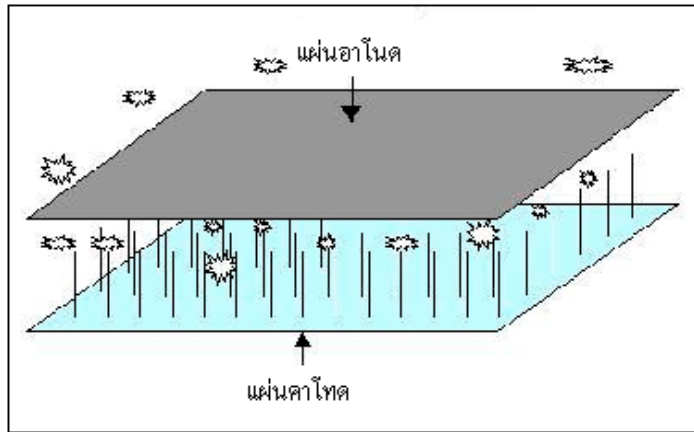


2.3 ทฤษฎี HIGH VOLT

2.3.1 การสร้างโอโซนด้วยแรงดันไฟฟ้าสูง

ในการสร้างโอโซนด้วยแรงดันสูงสามารถสร้างได้โดยสร้างสนามไฟฟ้าความเข้มสูง สนามไฟฟ้าความ
 เข้มสูงนี้จะทำให้เกิดเป็นโอโซนกระจายออกไปในอากาศและโอโซนนั้นก็จะต้องสร้างให้เป็นประจุ
 โอโซนลบด้วย ซึ่งสามารถสร้างได้จากการจากการจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงให้แก่ชุดอิเล็กโตรด ชุด
 อิเล็กโตรดจะปล่อยสนามไฟฟ้าความเข้มสูง (โอโซนลบ) ออกมาหากจะให้มีโนภาพเองก็จะมีประกาย
 กระจายออกจากปลายอิเล็กโตรดในแบบของสปเรย์โอโซน (แต่ในความจริงเรามองไม่เห็น) จึงทำให้
 เกิดฟุ้งกระจายออกไปในทุกทิศทางหลังจากนั้นในช่วงการเดินทางของประจุโอโซนลบในระยะทางที่
 สั้นมากๆก็จะเกิดการปะทะกันระหว่างโอโซนกับโมเลกุลของอากาศจนกลายเป็นโอโซนโดยจะกลาย
 มาอยู่ในรูปโอโซน (OZONE: O_3) ซึ่งโอโซนนี้ก็คือออกซิเจนที่มีอะตอม 3 อะตอมหน้าที่อีกอย่างหนึ่ง
 ของเครื่องผลิตโอโซนก็คือ อิเล็กตรอนที่ถูกขับออกไปไม่ได้มีแต่โอโซนในอากาศเท่านั้นแต่ใน
 ทำนองเดียวกันก็จะมีผลต่ออนุภาคประจุไฟฟ้าของฝุ่นละอองด้วย เมื่อประจุไฟฟ้าลบเข้าทำปฏิกิริยา

กับฝุ่นละอองที่เป็นประจุบวก (IONIZE) ดังนั้นอนุภาคของประจุก็จะเกิดการสะสมอยู่บนอิออนในบริเวณใกล้เคียงอย่างฉับพลันและนี่ก็คือวิธีการขั้วไล่ฝุ่นละอองในอากาศให้มีน้ำหนักและตกสู่เบื้องล่างอย่างรวดเร็วซึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆก็มีการประยุกต์ไปใช้งานในการเคลื่อนย้ายหรือขจัดเขม่าออกจากกลุ่มควันพิษต่างๆด้วย



รูปที่ 2.11 แสดงการเกิดอิออนลบจากอิเล็กโตรดแบบปลายเข็ม

2.3.2 ผลของสนามไฟฟ้าในการตกตะกอน

สนามไฟฟ้า (Electric field) มีบทบาทสำคัญ ในการตกตะกอนสนามไฟฟ้ามีผลทั้งต่อการใส่ประจุให้กับอนุภาค และต่อแรงที่กระทำต่ออนุภาคที่ได้รับประจุแล้ว ในแง่ทฤษฎี ผลคูณระหว่างความแรงของสนามไฟฟ้าในย่านที่เกิดการใส่ประจุของสนามไฟฟ้าใกล้ขั้วเก็บจะเป็นตัวกำหนดคุณภาพในการเก็บอนุภาคแต่ละขนาดสนามไฟฟ้าในเครื่องตกตะกอนเกิดจากการใส่ไฟฟ้าแรงสูงให้กับคู่ของขั้วไฟฟ้าและจากผลกระทำโดยประจุในอากาศ (Space charge effect) ของอิออนและอนุภาคติดประจุที่อยู่ในย่านระหว่างคู่ไฟฟ้า ในกรณีที่ไม่มีการไหลของกระแสไฟฟ้า สนามไฟฟ้าจะประกอบด้วยองค์ประกอบที่เกิดจากแรงดันไฟฟ้าที่ใส่ในรูปทรง(geometry) ของระบบเท่านั้นในกรณีของระบบขั้วแบบเส้นลวดและผนังทรงกระบอกที่มีแนวแกนกลางร่วมกันความแรงของสนามไฟฟ้าที่รัศมีใดๆ E(r) สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$E(r) = V/[r \ln(b/a) I] \dots\dots\dots(2.1)$$

- ในกรณีนี้ a คือ รัศมีของเส้นลวดโคโรนา (m)
- B คือ ระยะระหว่างขั้วโคโรนา และขั้วเก็บ (m)
- r คือ ระยะรัศมี (m)

V คือ แรงดันไฟฟ้าที่ใส่ (V)

$E(r)$ คือ ความแรงของสนามไฟฟ้า (V/m)

เมื่อใส่แรงดันไฟฟ้าเกินกว่าขีดเริ่มของโคโรนา (Corona threshold) สนามไฟฟ้าจะถูกแปรเปลี่ยนโดย อีออนที่เกิดในย่านระหว่างขั้วไฟฟ้า เนื่องจากความว่องไว (mobility) ของอีออนก๊าซมีน้อยกว่าของ อิเล็กตรอนมากกว่าดังนั้นอีออนที่เกือบไม่เคลื่อนที่นี้ จะเป็นเหมือนประจุในอากาศ (space charge) เรา สามารถนึกภาพอิทธิพลของประจุเชิง ไอออนิกในอากาศได้ โดยคิดว่าเป็นประจุที่รวมจุดอยู่ที่ตำแหน่ง ต่าง ๆ ในย่านระหว่างขั้วไฟฟ้า อีออนและอนุภาคที่มีประจุเหมือนกันจะถูกเร่งเข้าหาขั้วเก็บโดยแรง ขั้วใส่ซึ่งเกิดจากประจุในอากาศและสนามไฟฟ้า ผลก็คือ ทำให้สนามไฟฟ้าที่อยู่ใกล้ขั้วเก็บมีค่าสูงขึ้น ในทางตรงกันข้าม อิเล็กตรอนและอีออนที่มีประจุเหมือนกันในบริเวณใกล้ขั้วโคโรนาจะถูกขับไล่ กลับไปหาขั้วโคโรนา ทำให้ความแรงของสนามไฟฟ้าในบริเวณใกล้ขั้วโคโรนาลดลง สรุปแล้วผล การกระทำรวมของกระแสไฟฟ้าโคโรนาจะไปแปรสนามไฟฟ้า

2.3.3 การใส่ประจุให้อนุภาค

เงื่อนไขพื้นฐานข้อหนึ่งของกระบวนการตกตะกอนคือการใส่ประจุให้กับอนุภาคในจำนวนมากที่สุด ที่สอดคล้องกับเงื่อนไขการเดินเครื่องนั้นๆ โดยปกติจะถือว่าการใส่ประจุเกิดขึ้นในย่านระหว่าง ขอบเขตของแสงเรืองโคโรนากับขั้วเก็บ ภายในย่านอนุภาคจะได้รับการชนจากท่าฝนของอีออนที่เกิด จากปรากฏการณ์โคโรนา

2.3.3.1 การใส่ประจุโดยสนามไฟฟ้า

กลไกการใส่ประจุแบบใดจะมีความสำคัญเหนือกว่าขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคที่รับประจุอนุภาค ขนาดโต (เส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่าประมาณ 0.5 ไมครอน) จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนรูปเฉพาะที่ (local deformation) ของสนามไฟฟ้าในลักษณะที่เส้นแรงไฟฟ้าจะวิ่งตัดกับอนุภาค อีออนวิ่งเคลื่อนที่ตาม เส้นของสนามไฟฟ้าจะกระทบกับอนุภาค และถูกจับยึดโดยแรงของประจุจินตภาพ เมื่อจำนวน อีออนที่กระทบกับอนุภาคมีเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ปริมาณประจุบนอนุภาคจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งสนามไฟฟ้า เฉพาะถิ่นที่เกิดจากประจุบนอนุภาคก่อให้เกิดการเปลี่ยนรูปของเส้นแรงสนามไฟฟ้าเดิมจนเส้นเหล่านี้ ไม่วิ่งตัดกับอนุภาคอีกต่อไป ทำให้อีออนไม่กระทบกับอนุภาคอีกและไม่มีการเพิ่มของประจุบน อนุภาคอีก เรียกกรณีนี้ว่า ประจุ่มตัว (saturation charge) ค่าของประจุ่มตัวจะขึ้นกับขนาดของ อนุภาคและความแรงของสนามแม่เหล็ก เวลาที่อนุภาคใช้ในการรับประจุค่าอิมตัวแปรผันตาม ความเข้มข้นของอีออนในย่านที่เกิดการใส่ประจุ

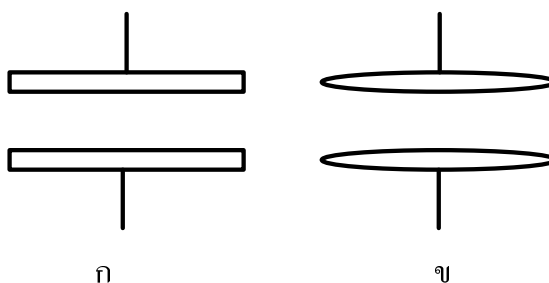
2.3.3.2 การใส่ประจุแบบแพร่

นอกจากกระบวนการใส่ประจุโดยการกระทบจากออรอนที่วิ่งตามเส้นแรงสนามไฟฟ้าแล้วอนุภาคยังสามารถรับประจุจากการสัมผัสและเกาะติดของออรอนซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่อย่างไม่มีกฎเกณฑ์เชิงความร้อน (Thermal random motion) อีกด้วย วิธีการใส่ประจุนี้เรียกว่าการใส่ประจุแบบแพร่ (diffusion charging) เป็นวิธีการใส่ประจุที่ใช้ในกรณีของเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าประมาณ 0.2 ไมครอน การใส่ประจุแบบแพร่จะขึ้นอยู่กับความแรงของสนามไฟฟ้าด้วย เพราะการเคลื่อนไหวของออรอนย่อมขึ้นกับทั้งแรงเชิงไฟฟ้าสถิตย์และแรงของการแพร่

2.3.4 รูปแบบของขั้วไฟฟ้า

2.3.4.1 ขั้วไฟฟ้าแบบแผ่นระนาบ

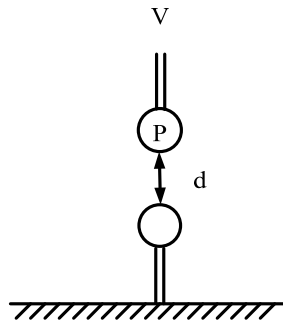
ตามรูปที่ 2.12(ก) บริเวณตรงกลางของขั้วไฟฟ้าจะเป็นสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ แต่ที่ขอบของขั้วไฟฟ้าจะมีความเข้มของสนามไฟฟ้าอยู่สูง ดังนั้น เมื่อมีแรงดันกระทำต่อขั้วไฟฟ้า จะเกิดโคโรนาขึ้นที่ขอบของขั้วไฟฟ้า จะเกิดการสปาร์คขึ้นระหว่างขอบของขั้วไฟฟ้าทั้งสอง แต่ถ้าให้ขอบของขั้วไฟฟ้ามีลักษณะโค้งดังรูปที่ 2.11(ข) การสปาร์คจะเกิดในบริเวณตรงกลางของขั้วไฟฟ้า



รูปที่ 2.12 ขั้วไฟฟ้าแบบแผ่นระนาบ

2.3.4.2 ขั้วไฟฟ้าแบบช่องว่างทรงกลม (Sphere gap)

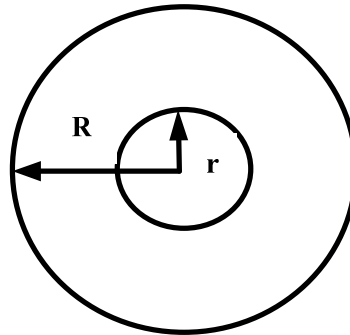
รูปที่ 2.13 เป็นรูปขั้วไฟฟ้าแบบช่องว่างทรงกลม สนามไฟฟ้าไม่เป็นสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอเหมือนแบบแรก แต่ถ้าช่องว่าง (d) มีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกลม (P) สนามไฟฟ้าตรงใจกลางของช่องว่าง (Gap) จะไม่แตกต่างไปจากสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอมากนัก จึงนิยมใช้กันมากในการวัดแรงดันทางไฟฟ้าแรงสูง



รูปที่ 2.13 ขั้วไฟฟ้าแบบช่องว่างทรงกลม

2.3.4.3 ขั้วไฟฟ้าทรงกระบอกแกนร่วม

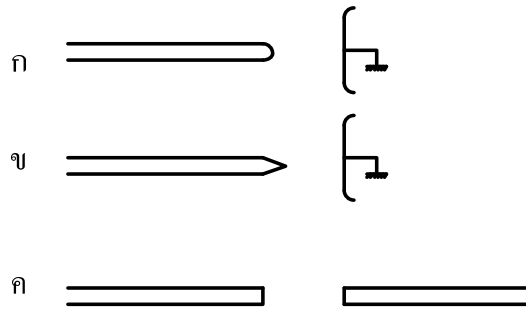
ขั้วไฟฟ้าชนิดนี้สามารถคำนวณหาค่าสนามไฟฟ้าได้ง่ายใช้กันมากในการค้นคว้าหาปรากฏการณ์โคโรนาและใช้ในการทำสายไฟฟ้าเคเบิล หรือบัสบาร์ที่ใช้ก๊าซ SF₆ เป็นฉนวน ขั้วไฟฟ้าด้านในรัศมี r และขั้วไฟฟ้าด้านนอกรัศมี R ตามรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ขั้วไฟฟ้าทรงกระบอกแกนร่วม

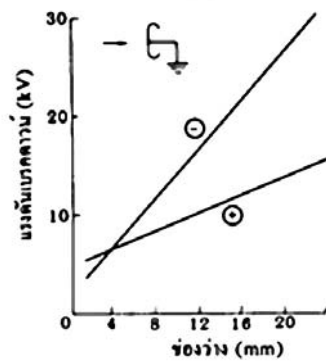
2.3.4.4 ขั้วไฟฟ้ารูปแท่งกลมและรูปเข็ม

มีรูปแบบต่าง ๆ กันตามรูปที่ 2.15 ขั้วไฟฟ้าชนิดนี้มีการกระจายความเข้มของสนามไฟฟ้าอย่างสม่ำเสมอเมื่อให้แรงดันกระทำต่อขั้วไฟฟ้าจะเกิดโคโรนาที่มีลักษณะต่าง ๆ ขึ้น แรงดันเริ่มต้นที่ทำให้เกิดโคโรนาขึ้นนี้เราเรียกว่า Corona Inception Voltage หลังจากเกิดโคโรนาแล้ว ถ้าเราเพิ่มแรงดันให้สูงขึ้นอีก จะเกิดการเบรกดาวน์ในที่สุด



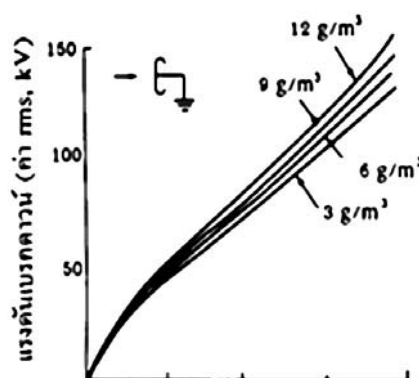
รูปที่ 2.15 ตัวอย่าง Rod-Gap และ Needle-Gap

ในกรณีของกระแสสลับนั้น แรงดันที่กระทำต่อขั้วไฟฟ้าจะเป็นแรงดันบวกและลบสลับกันไปทุกครึ่งไซเคิล ส่วนใหญ่การเบรกดาวนจะเกิดขึ้นในครึ่งบวกซึ่งมีค่าแรงดันเบรกดาวนต่ำกว่าครึ่งลบ ดังรูปที่ 2.16 สามารถอธิบายได้ว่าเป็นเพราะโคโรนาบวกสามารถออกได้ง่ายกว่าโคโรนาลบแต่ในบริเวณที่ gab มีระยะห่างน้อยกว่า 4 mm โคโรนาบวกจะมีลักษณะเป็นแผ่นบางหุ้มขั้วไฟฟ้าทำให้ไม่สามารถออกยาวออกไป



รูปที่ 2.16 แรงดันเบรกดาวนของ Needle-Gap

จากรูปที่ 2.17 แสดงแรงดันเบรกดาวนของขั้วไฟฟ้ารูปเข็มและแผ่นระนาบ จะเห็นว่าเมื่อแรงดันที่กระทำเป็นบวก แรงดันเบรกดาวนจะต่ำกว่าแรงดันเบรกดาวนเมื่อแรงดันที่กระทำเป็นลบอยู่เกือบครึ่งหนึ่ง



รูปที่ 2.17 ผลความชื้นต่อแรงดันเบรกคาวน

รูปที่ 2.17 แสดงอิทธิพลของความชื้นที่มีต่อแรงดันเบรกคาวน แรงดันที่ใช้เป็นกระแสสลับ การสปาร์คจะเกิดขึ้นทางด้านบวกของแรงดัน จะเห็นได้ว่า เมื่อความชื้นสูง แรงดันเบรกคาวนจะมากขึ้น ซึ่งจะอธิบายได้ว่า โครโมนาบวกถูกละอองน้ำในอากาศขวางไว้ไม่ให้หยั่งกยาวได้มากนัก ทั้งนี้เนื่องจาก ละอองน้ำจะจับอิเล็กตรอนเกิดเป็นไอออนลบขึ้นจากรูป 2.17 อาจกล่าวได้ว่าความเข้มของสนามไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการเบรกคาวนในกรณีที่เป็นขั้วบวกมีค่าประมาณ 5 kV/cm ซึ่งน้อยกว่าในกรณีของสนามไฟฟ้าสมำเสมอซึ่งมีค่าเป็น 30 kV/cm

2.3.4.5 การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากขั้วไฟฟ้า (Electron Emission)

ในการเกิดดิสชาร์จในก๊าซ นอกจากอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจากการแตกตัวเป็นไอออนของโมเลกุลในก๊าซด้วยกระบวนการต่างๆ อิเล็กตรอนที่ถูกปล่อยออกมาจากขั้วไฟฟ้ามี่ส่วนสำคัญในการเกิดดิสชาร์จในก๊าซเช่นกัน ซึ่งกระบวนการปล่อยอิเล็กตรอนออกจากขั้วไฟฟ้าสามารถอธิบายได้ดังนี้คือ โลหะที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้าจะมีอะตอมอยู่ใกล้กันมากจนกระทั่งวาเลนซ์อิเล็กตรอนของอะตอมหนึ่งอาจจะถือเป็นอิเล็กตรอนของอีกอะตอมหนึ่งได้ถ้าอิเล็กตรอนตัวใดตัวหนึ่งมีพลังงานสูงพอที่จะสามารถเคลื่อนที่ไปมาได้โดยอิสระภายในโลหะ เราเรียกอิเล็กตรอนเหล่านี้ว่า อิเล็กตรอนอิสระ อย่างไรก็ตาม ใดๆก็ดีที่ผิวของโลหะจะมีกำแพงพลังงานศักย์ (Potential Energy Barrier) กั้นอยู่ อิเล็กตรอนจะไม่สามารถหลุดออกมาจากผิวของโลหะได้จนกว่าจะได้รับพลังงานเพิ่มเติมจากภายนอก เราอาจแบ่งประเภทของการปล่อยอิเล็กตรอนออกจากขั้วไฟฟ้าตามแหล่งพลังงานที่เพิ่มเติมเข้ามาจากภายนอกดังนี้

2.3.4.6 การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากขั้วไฟฟ้าโดยใช้ความร้อน (Thermion Emission) คือ การที่อิเล็กตรอนหลุดออกจากผิวโลหะ โดยได้รับพลังงานเพิ่มเติมในรูปของพลังงานความร้อนตัวอย่างเช่น การเผาขั้วคาโทดในหลอดสุญญากาศโดยให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านถ้าอุณหภูมิสูงพอจะทำให้ อิเล็กตรอนบางตัวมีพลังงานสูงอยู่แล้วมีพลังงานมากขึ้นจนหลุดออกจากผิวโลหะได้

2.3.4.7 การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากขั้วไฟฟ้าโดยใช้พลังแสง (Photo Emission) คือ การที่อิเล็กตรอนหลุดออกจากผิวโลหะโดยพลังงานที่ได้รับเพิ่มเติมเป็นพลังงานโฟตอนจากการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น กรณียิงแสงเหนือม่วงตกกระทบขั้วคาโทดของหลอดคิซซาร์จเป็นต้น

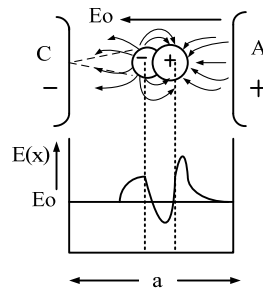
2.3.4.8 การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากขั้วไฟฟ้าโดยสนามไฟฟ้า (Field Emission) คือ การที่อิเล็กตรอนหลุดออกจากผิวโลหะได้โดยรับอิทธิพลจากสนามไฟฟ้าภายนอกผิวโลหะเมื่อมีสนามไฟฟ้าจากภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้องกับกำแพงพลังงานศักย์จะลดลง ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาจากขั้วไฟฟ้าด้วยพลังงานความร้อนได้ง่ายขึ้น

2.3.4.9 การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากขั้วไฟฟ้าโดยการชนของอนุภาค (Secondary Emission) คือ การที่อิเล็กตรอนหลุดออกจากผิวโลหะโดยได้รับพลังงานเพิ่มเติมจากการชนของอนุภาค เช่น อิเล็กตรอน หรือ ไอออนในกรณีการชนด้วยไอออน ประสิทธิภาพของการเกิดเซกันดารีอิมมิชชันจะน้อยกว่าการชนกันด้วยอิเล็กตรอนมาอย่างไรก็ดี การเกิดเซกันดารีอิมมิชชันโดยไอออนนั้นก็มีบทบาทสำคัญในกลไกการเกิดคิซซาร์จในก๊าซ

2.3.4.10 กลไกของการเกิดเบรกดาวนในก๊าซ

กลไกของการเกิดเบรกดาวนในก๊าซจะใช้ทฤษฎีในการวิเคราะห์ที่อยู่ 2 ทฤษฎีโดยพิจารณาที่ค่าของ Gap แคบๆ และที่ gap กว้างขึ้น ดังนี้กลไกของการเกิดเบรกดาวนของ Townsend ใช้อธิบายการพัฒนาของประจุจากอิเล็กตรอนจนเกิดเป็นกลุ่มก้อนประจุเคลื่อนที่จากขั้วอิเล็กโทรดขั้วหนึ่งไปยังอีกขั้วหนึ่งโดยจะใช้วิเคราะห์ในกรณีที่ gap มีค่าแคบๆ ($X \leq \frac{1}{2} * D$) กลไกของการเกิดเบรกดาวนของ Streamer ใช้อธิบายการก่อรวมตัวของประจุที่เป็นกลุ่มและแผ่กระจายไปจนกระทั่งข้ามจากขั้วอิเล็กโทรดหนึ่งไปยังอีกขั้วอิเล็กโทรดโดยจะใช้วิเคราะห์ในกรณีที่ gap มีค่ากว้างๆ ($X \geq D$)

2.3.4.11 กลไกเบรกดาวนของ Streamer เนื่องจากว่าในช่องว่าง gap ที่กว้างการอธิบายโดยใช้ทฤษฎีของ Townsend นั้นอธิบายได้ลำบาก Meek, Loeb และ Raether ได้เสนอทฤษฎีกลไกการเบรกดาวนขึ้น ทฤษฎีของ Streamer เมื่อไอออนในเซชันจากขบวนการ alpha แล้วจะเกิดขบวนการโฟโต้ไอออนเซชันของโมเลกุล ก๊าซที่หัวของ Streamer space charge ทำให้สนามไฟฟ้าที่หัว streamer มีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้สนามไฟฟ้าใน gap เปลี่ยนไป ซึ่งทำให้สนามไฟฟ้าที่ปลายและบริเวณข้างของ avalanche มีค่ามากสำหรับสนามไฟฟ้าระหว่างอิเล็กตรอนและกลุ่ม avalanche มีค่าน้อยดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.18 แสดงสนามไฟฟ้าที่เกิดจาก space charge

2.4 พลาสมา PLASMA

PLASMA เป็นเทคโนโลยีใหม่ในการทำให้อากาศบริสุทธิ์ซึ่งจัดคลื่นอับ โดยการผ่านกระแสไฟฟ้าสู่อากาศที่หมุนเวียนภายในห้องทำให้อะตอมของอากาศแตกตัว เป็นกลุ่มอนุภาคบวกและกลุ่มอนุภาคลบดังนี้

H_2O (น้ำ)	$H + OH$
O_2 (ออกซิเจน)	$O + O$
$O_2 + O$	O_3 (OZONE)
$O + e$	O^- (Negative Oxygen Ion)

PLASMA เป็นสสารที่มีลักษณะคล้ายกลุ่มแก๊สฮีเลียม หรือสีน้ำเงินอ่อนเป็นอนุภาคเล็กๆ ที่ไม่ได้ อยู่ในสภาพเป็นกลาง ประกอบด้วย

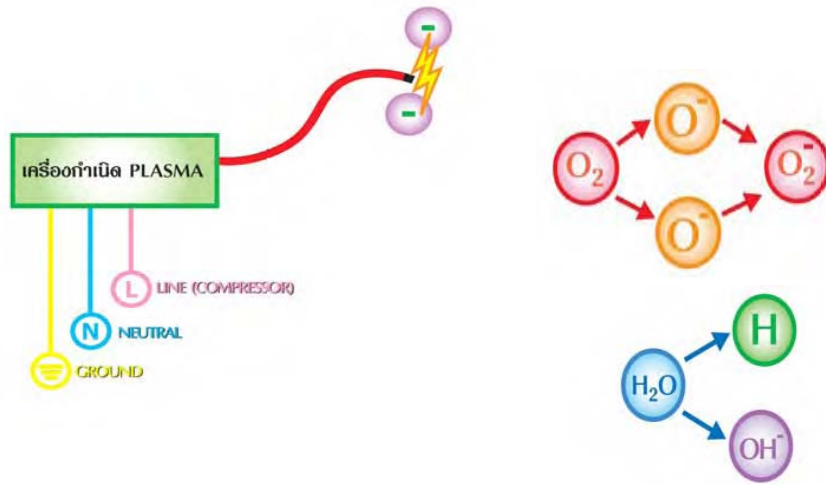
- กลุ่มประจุบวก (ion)
- กลุ่มประจุลบ (free electron)

ซึ่งมีจำนวนน้อยมากในจำนวนสสารที่อยู่บนโลกมนุษย์

PLASMA สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ HOT PLASMA และ COLD PLASMA

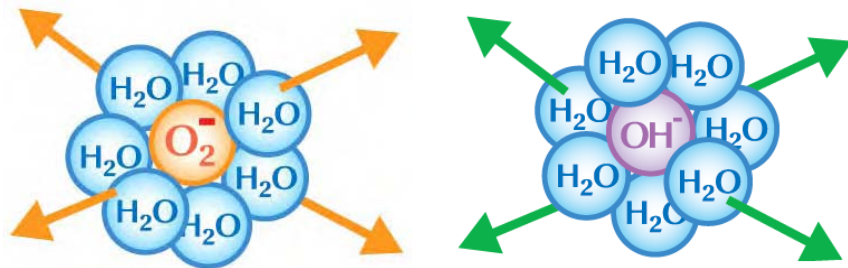
การกำเนิดประจุไฟฟ้าบวกและลบ

เมื่อเครื่องกำเนิด COLD PLASMA ทำงานจะทำให้เกิดประจุไฟฟ้าลบ ในขณะที่เดียวกันอากาศโดยรอบมีความชื้น ทำให้โมเลกุลของน้ำในอากาศแตกตัว



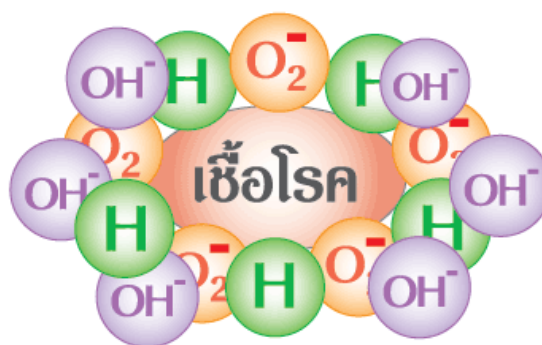
รูปที่ 2.19 โมเลกุลของน้ำแตกตัว

หลังจากโมเลกุลของน้ำแตกตัว ประจุไฟฟ้าลบที่เกิดมาจากเครื่องกำเนิด **COLD PLASMA** จะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำ



รูปที่ 2.20 โมเลกุลของน้ำที่มีในอากาศ

การฆ่าเชื้อโรค เชื้อโรคในอากาศ เช่น เชื้อแบคทีเรีย, ไวรัส, ฯลฯ จะมีสารไฮโดรเจน เป็นส่วนประกอบ เมื่อสารที่มีประจุไฟฟ้าลบจาก **COLD PLASMA** ประกอบ ไปล้อมรอบเชื้อโรค



รูปที่ 2.21 การล้อมรอบเชื้อโรค

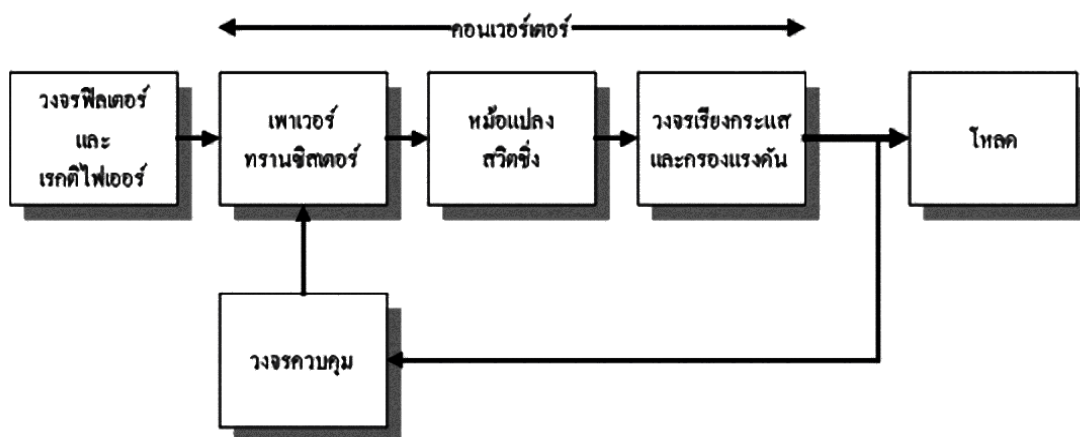
COLD PLASMA จึงมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคในอากาศโดยกลุ่มอนุภาคบวกและลบดังกล่าว เช่น เชื้อจุลินทรีย์, แบคทีเรีย, ไวรัส ฯลฯ และยังสามารถสลายกลิ่นอับชื้นและสารที่ก่อให้เกิดโรคภูมิแพ้

2.5 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าแบบสวิตชิง

สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย (Switching Power Supply) เป็นแหล่งจ่ายไฟตรงคงค่าแรงดันแบบหนึ่ง และสามารถเปลี่ยนแรงดันไฟจากไปสลับโวลต์สูง ให้เป็นแรงดันไฟตรงค่าต่ำ เพื่อใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ได้เช่นเดียวกันแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น (Linear Power Supply) ถึงแม้เพาเวอร์ซัพพลายทั้งสองแบบจะต้องมีการใช้หม้อแปลงในการลดทอนแรงดันสูงให้เป็นแรงดันต่ำเช่นเดียวกัน แต่สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจะต้องการใช้หม้อแปลงที่มีขนาดเล็ก และน้ำหนักน้อย เมื่อเทียบกับแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น อีกทั้งสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายยังมีประสิทธิภาพสูงกว่าอีกด้วยในปัจจุบันสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายได้เข้ามามีบทบาทกับชีวิตเราอย่างมาก เครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กซึ่งต้องการ

2.5.1 หลักการทำงานของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย

สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายโดยทั่วไปมีองค์ประกอบพื้นฐานที่คล้ายคลึงกัน และไม่ซับซ้อนมากนัก ดังแสดงในรูปที่ 1 หัวใจสำคัญของสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายจะอยู่ที่คอนเวอร์เตอร์ เนื่องจากทำหน้าที่ทั้งลดทอนแรงดันและคงค่าแรงดันเอาต์พุตด้วย องค์ประกอบต่างๆ ทำงานตามลำดับดังนี้

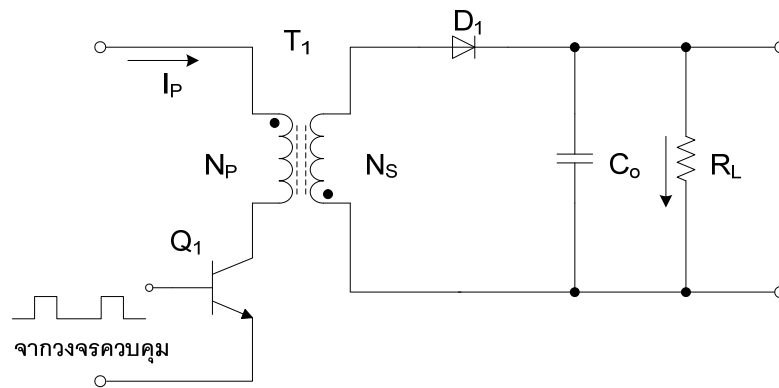


รูปที่ 2.22 องค์ประกอบพื้นฐานของสวิตซิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย

แรงดันไฟสลับค่าสูงจะผ่านเข้ามาทางวงจร RFI ฟิลเตอร์ เพื่อกรองสัญญาณรบกวนและแปลงเป็นไฟตรงค่าสูงด้วยวงจรเรกติไฟเออร์ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะทำงานเป็นเพาเวอร์คอนเวอร์เตอร์โดยการตัดต่อแรงดันเป็นช่วงๆ ที่ความถี่ประมาณ 20-200 KHz จากนั้นจะผ่านไปยังหม้อแปลงสวิตซิ่งเพื่อลดแรงดันลง เอาต์พุตของหม้อแปลงจะต่อกับวงจรเรียงกระแส และกรองแรงดันให้เรียบ การคงค่าแรงดันจะทำได้โดยการป้อนกลับค่าแรงดันที่เอาต์พุตกลับมายังวงจรควบคุม เพื่อควบคุมให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์นำกระแสมากขึ้นหรือน้อยลงตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่เอาต์พุต ซึ่งจะมีผลทำให้แรงดันเอาต์พุตคงที่ได้ รูปที่ 2.22 แสดงวงจรซึ่งแบ่งส่วนตามองค์ประกอบหลักในรูป 2.24 เพื่อเป็นตัวอย่าง

2.5.2 วงจรคอนเวอร์เตอร์

คอนเวอร์เตอร์มีทั้งหมด 5 แบบนี้ มีลักษณะการทำงานที่ไม่แตกต่างกันจนเกินไปนัก และค่อนข้างง่ายต่อการทำความเข้าใจและศึกษา คอนเวอร์เตอร์เหล่านี้ยังสามารถแบ่งย่อยได้อีกหลายประเภทโดยการเพิ่มเทคนิคบางประการให้กับคอนเวอร์เตอร์ ในที่นี้จะกล่าวถึงแต่เพียงการทำงานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์เท่านั้น

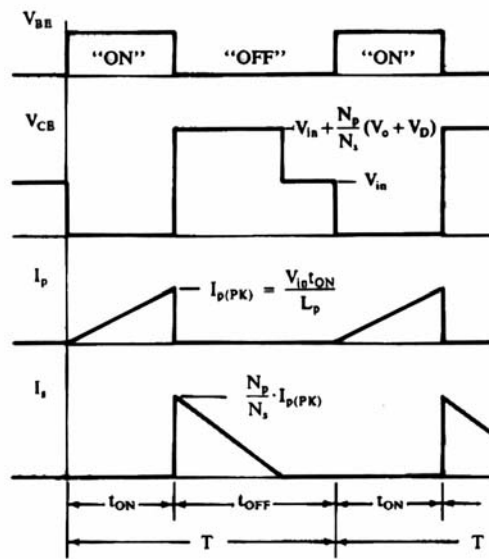


รูปที่ 2.23 วงจรพื้นฐานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

จากรูป 2.25 เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 ในฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์จะทำงานในลักษณะเป็นสวิตช์ และจะนำกระแสตามคำสั่งของพัลส์สี่เหลี่ยมที่ป้อนให้ทางขาเบส เนื่องจากหม้อแปลง T_1 จะกำหนด ขดไฟโพรมารี่และขดเซคันดารีให้มีลักษณะกลับเฟสกันอยู่ ดังนั้นเมื่อ Q_1 นำกระแส ไดโอด D_1 จึงอยู่ใน ลักษณะถูกไบแอสกลับและไม่นำกระแส จึงมีการสะสมพลังงานที่ขดไฟโพรมารี่ของหม้อแปลง T_1 แทน เมื่อ Q_1 หยุดนำกระแส สนามแม่เหล็ก T_1 ยุบตัวทำให้เกิดการกลับขั้วแรงดันที่ขดไฟโพรมารี่และ เซคันดารี D_1 ก็จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรง พลังงานที่สะสมในขดไฟโพรมารี่ของหม้อแปลงก็จะถูก ถ่ายเทออกไปยังขดเซคันดารี และมีกระแสไหลผ่านไดโอด D_1 ไปยังตัวเก็บประจุเอาต์พุต C_o และ โหลดได้ ค่าของแรงดันที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์จะขึ้นอยู่กับค่าความถี่การทำงานของ Q_1 ช่วงเวลานำกระแสของ Q_1 อัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลง และค่าของแรงดันที่อินพุตเมื่อวงจร ทำงานอยู่ในสภาวะคงที่ ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากคอนเวอร์เตอร์จะเป็นไปตามสมการ

$$V_{out} = \frac{t_{ON} \times (N_s / N_p)(V_{in} - V_{CE(sat)})}{(T - t_{ON})} - V_D$$

T	คือ คาบเวลาการทำงานของ Q_1 เป็นวินาที
t_{ON}	คือ ช่วงเวลา
N_p	คือ จำนวนรอบของขดไฟโพรมารี่
N_s	คือ จำนวนรอบของขดเซคันดารี
V_{out}	คือ แรงดันที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ เป็น โวลต์
V_{in}	คือ แรงดันที่อินพุตของคอนเวอร์เตอร์ เป็น โวลต์
$V_{CE(sat)}$	คือ แรงดันตกคร่อม Q_1 ขณะนำกระแสที่จุดอิ่มตัว เป็น โวลต์
V_D	คือ แรงดันตกคร่อมไดโอด D_1 ขณะนำกระแส เป็น โวลต์

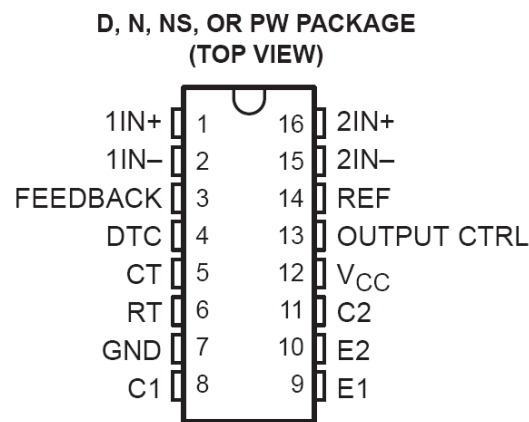


รูปที่ 2.24 แสดงลักษณะกระแสและแรงดันในวงจรขณะทำงาน

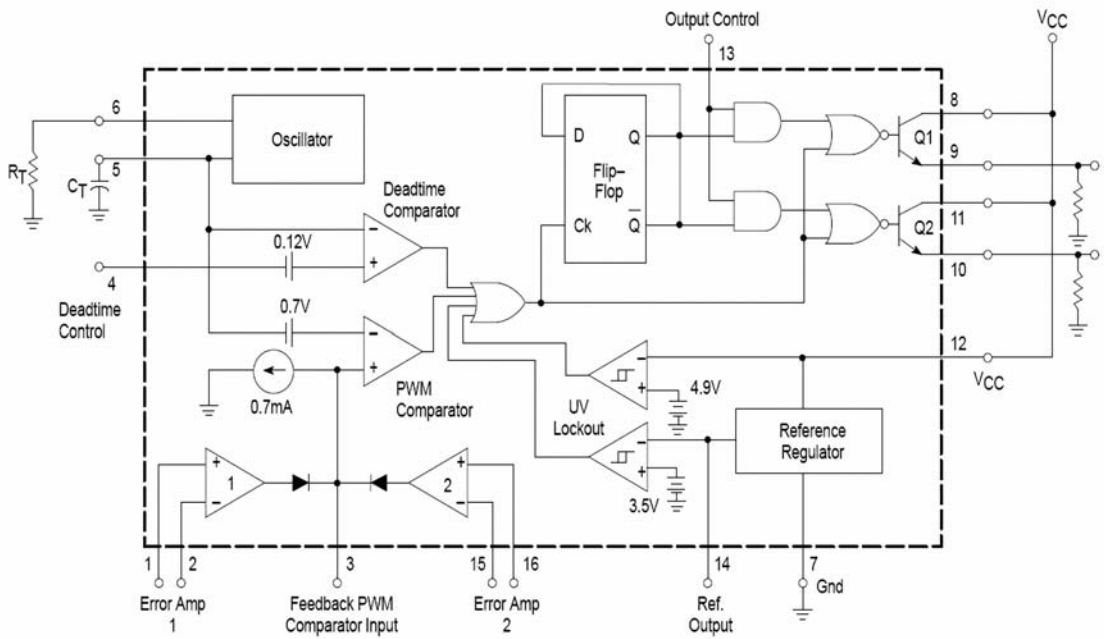
ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่ให้กำลังงานได้ไม่สูงนัก โดยอยู่ในช่วงไม่เกิน 150 วัตต์ และให้ค่าสัญญาณรบกวน RFI/EMI ค่อนข้างสูง แต่ใช้อุปกรณ์น้อย

2.5.3 PWM สำหรับโหมคควบคุมแรงดัน ด้วย IC TL 494

ไอซีเบอร์ TL 494 เป็นไอซีที่ออกแบบมาเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์โดยทำงานด้วยโหมคควบคุมจากแรงดัน ซึ่งจะได้นำมาเป็นตัวอย่างการทำงานสำหรับวงจรควบคุมด้วยวิธีควบคุมจากแรงดัน มีโครงสร้างภายในและตำแหน่งของขาอุปกรณ์ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และการทำงานของไอซีจะเป็นดังนี้



รูปที่ 2.25 แสดงรูปร่างแสดงไอซีเบอร์ TL 494 (ที่มา: Texas Instruments)

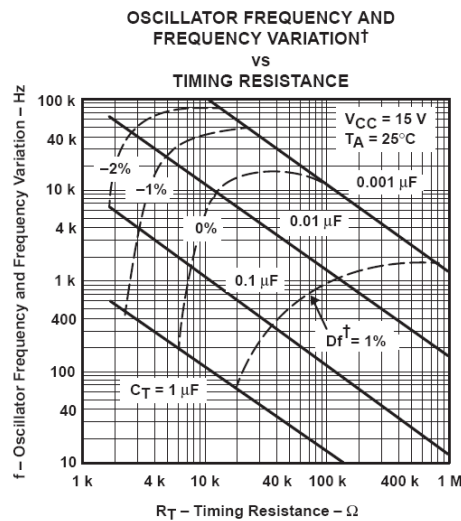


รูปที่ 2.26 แสดงการจัดโครงสร้างภายในและการจัดขาของไอซี TL 494 (ที่มา : Texas Instruments)

2.5.4 การกำหนดคาบเวลาการทำงาน

การออกแบบคาบเวลาการทำงานของวงจร PWM ที่ใช้ไอซีเบอร์ TL494 สามารถกำหนดค่าของ R_T และ C_T ได้จากกราฟความสัมพันธ์รูปที่ 2.4 หรือสามารถหาได้จากสมการ

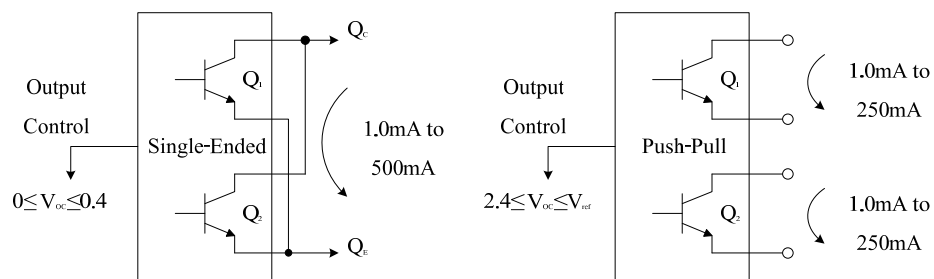
$$T = \frac{R_T C_T}{1.1}$$



รูปที่ 2.27 แสดงความสัมพันธ์ของค่า $R_T C_T$ ในการกำหนดความถี่ (ที่มา: Texas Instruments)

2.5.5 การทำงานของไอซีในการคงค่าแรงดันของคอนเวอร์เตอร์

ความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของไอซีจะได้จากการเปรียบเทียบสัญญาณพื้นเลี้ยงที่ขา 5 กับแรงดันที่ได้จากวงจรขยายความแตกต่าง (Error Amp) ทั้ง 2 ตัวที่ PWM Comparator ส่วน NoR เกทที่ควบคุมมอเตอร์เอาต์พุต Q_1 และ Q_2 จะทำงานต้อง C_K ของ Flip-Flop อยู่ในสถานะ LOW เท่านั้นซึ่ง C_K จะเป็น LOW ได้ก็ต่อเมื่อแรงดันของสัญญาณพื้นเลี้ยงมีค่ามากกว่าแรงดันที่มาจาก Error Amp ทั้ง 2 ตัว นั่นคือแรงดันป้อนกลับจากเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์หากมีค่าสูงขึ้น ความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของไอซีจะลดลง ในทางกลับกัน แรงดันป้อนกลับหากมีค่าลดลงความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของไอซีจะเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.28 แสดงลักษณะการเลือกใช้อาต์พุตของ TL 494 (ที่มา: Texas Instruments)

TL494 ต้องการไฟเลี้ยงในช่วง $7 \leq 40 V_{CC}$ โวลต์ มีแรงดันอ้างอิงภายใน $= 5 V_{ref}$ โวลต์ และสามารถจ่ายกระแสได้ถึง 10 มิลลิแอมป์เพื่อใช้กับวงจรภายนอกได้ โดยมีค่าความถูกต้อง $\pm 1.5\%$ ความคลาดเคลื่อนทางอุณหภูมิมีค่าน้อยกว่า 50 มิลลิโวลต์ เมื่อทำงานในช่วง $0-70^\circ C$

2.5.6 การออกแบบวงจร IC TL494

- วงจร output แบบ Push-Pull Configuration
- มีความถี่ตั้งแต่ 20 kHz-150 kHz

IC ที่ขา 1 ทำหน้าที่ ตรวจสอบแรงดันที่จุด Sensor เพื่อเอาแรงดันมาเปรียบเทียบกับขา 2 ซึ่งเป็นตัว feedback ของสัญญาณ output โดยผ่าน R 50K และที่ขา 2 นี้ จะไปเอาแรงไฟ Ref output ที่ขา 14 (ใช้วงจรแบ่งแรงดัน)ความกว้างเอาต์พัลส์ของไอซีนีสามารถกำหนดให้มีค่ามากที่สุดหรือมีค่าเท่ากับศูนย์ได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ขา 3 จาก 0.5 โวลต์ จนถึง 3.5 โวลต์ ส่วน Error Amp ทั้งสองตัวจะมีช่วงของอินพุตคอมมอนโวลต์ ตั้งแต่ -0.3 ถึง $(V_{cc}-2)$ โวลต์ และสามารถใช้ตรวจจับแรงดันหรือกระแสที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ได้ Error Amp ทั้ง 2 ตัวจะให้เอาต์พุตในลักษณะให้สถานะ High (Activehigh) โดยต่อกันอยู่ในลักษณะ OR ที่ขา noninverting ของ PWM Comparator

2.5.7 การกำหนดค่าเวลาเพื่อ T

TL494 สามารถให้ผู้ใช้กำหนดค่าเวลาเพื่อ t ของวงจรถัดเอง ด้วยการต่อแรงดันระหว่าง 0 ถึง 3.3 โวลต์ ที่ขา 4 ของไอซี อย่างไรก็ตาม หากแรงดันที่ขา 4 ที่ค่าเท่ากับ 0 โวลต์ค่าเพื่อต่ำสุดของไอซีจะไม่ต่ำกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ของค่าเวลาการทำงานเนื่องจากมีแรงดันออฟเซต 120 มิลลิโวลต์ต่ออยู่ภายในนอกจากช่วงเวลา t สูงสุดของคอนเวอร์เตอร์ที่ได้จากไอซีจะได้เท่ากับ 48% ของค่าคาบเวลาเมื่อต่อขา 13 (output control) เข้ากับขา 14 (+5 *ref V*) และมีค่าเท่ากับ 96% ของค่าคาบเวลาเมื่อต่อขา 13 ลงกราวด์

การเลือกใช้ Q1 และ Q2 ของไอซีสามารถทำงานได้ 2 โหมด คือทำงานพร้อมกัน หรือสลับการทำงาน ซึ่งสามารถเลือกการทำงานได้ที่ขา 13 (output control) โดยขณะที่ C ดิซชาร์จเอาต์พุตของ Dead-time Comparator จะให้พัลส์ออกมา C จะมีสถานะเป็น Hing โดยการต่อเข้ากับขา 4 (+5 V) Q1 และ Q2 จะสลับการทำงานตามจังหวะของ Flip-Flop เพื่อใช้ขับคอนเวอร์เตอร์แบบ พุช-พูล ในกรณีนี้คาบเวลาการทำงานจะเป็น 2 เท่า ของค่าคาบเวลาสัญญาณพินเลี้ยงของไอซี แต่ถ้ากำหนดให้ขา 13 มีสถานะเป็น LOW โดยการต่อลงกราวด์ (ยกเลิก Flip-Flop) Q1 และ Q2 จะทำงานพร้อมกันและสามารถขนาด Q1 และ Q2 เข้าด้วยกันได้ และถ้าต้องการทำกระแสให้มากขึ้น ในกรณีนี้คาบเวลาการทำงานจะมีค่าเท่ากับค่าคาบเวลาของสัญญาณพินเลี้ยงของไอซี (ช่วงเวลานำกระแสสูงสุดเท่ากับ 96% ของค่าคาบเวลา) ขาที่ 3 เป็น output ของ IC Opamp Error Amp ซึ่งจะทำหน้าที่ feedback ของสัญญาณ PWM ที่ได้ในการเปรียบเทียบ ขา 5-6 ทำหน้าที่ สร้างวงจรถัด Osc โดยใช้หลักการ RC time IC TL494 เป็นไอซีแบบ Open Collector Transister ซึ่งเราสามารถจะกำหนด Output เป็นแบบอะไรก็ได้ ซึ่งตอนนี้ เราจะกำหนดเป็นแบบ 2 Output จากรูป เรากำหนด output ที่ขา E โดยการต่อรวมกันของ Transistor Q1,Q2 และที่ขา C ต่อกับ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง V_{cc} จึงสังเกตเห็นว่า ที่ขา 8,11 จะรวมกันและมีค่า R 100 โอห์มเป็นตัวควบคุมกระแส TC ของ Q1,Q2 ที่ขา 13 มีความสำคัญมาก เพราะเป็นตัวกำหนด PWM ทำให้ Q1,Q2 ทำงานตามความต้องการได้ เพราะขา 13 จะต่อกับ AND ถ้าเรากำหนดตามตารางจะได้ output ดังตารางที่ 2.2

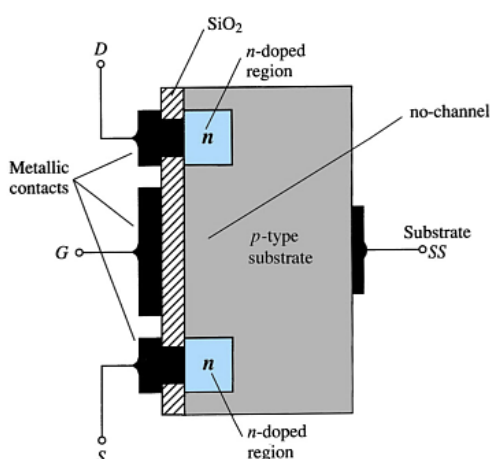
ตารางที่ 2.4 การกำหนดเอาต์พุตของ IC TL 494

กำหนดแรงดันที่ขา 13 (V_{oc})	Output Q1	Output Q2
0V	H	H
5V	H	L

2.6 ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า (Field-Effect Transistor: FET)

ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า คือ ทรานซิสเตอร์ที่ใช้สนามไฟฟ้า ในการเปลี่ยนแปลงสภาพของสารกึ่งตัวนำ เพื่อให้เกิดการนำกระแสเมื่อได้รับแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสม โดยทั่วไปเรียกว่า “เฟต ” (FET) เฟตแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้าแบบรอยต่อ (Junction Field Effect Transistor) หรือ เจเฟต (JFET) และ ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้าแบบโลหะ-ออกไซด์-สารกึ่งนำ (Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor) หรือ มอสเฟต (MOSFET) ในที่นี้จะกล่าวถึง MOSFET เท่านั้น ปัจจุบันอุปกรณ์ที่เรียกว่า MOSFET ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในวงจรรวมแบบดิจิทัลเกต ทั้งนี้มาจากคุณสมบัติที่สามารถเราสามารถสร้างมอสเฟตให้มีขนาดเล็กได้ ทำให้สามารถสร้างชิปที่ซับซ้อนได้

2.6.1 โครงสร้างของ MOSFET



รูปที่ 2.29 แสดงรูปโครงสร้างของ MOSFET

2.6.2 เราสามารถแบ่ง MOSFET ได้เป็นสองประเภท คือ

- แบบแชนแนล n (n-channel MOSFET) หรือ NMOS
- แบบแชนแนล p (p-channel MOSFET) หรือ PMOS

2.6.3 การทำงานของ NMOS คือ

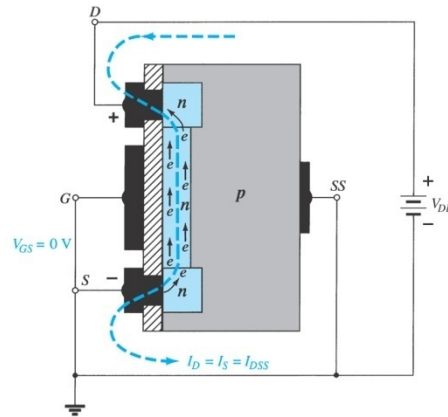
แรงดันที่ขา G จะเป็นตัวควบคุมกระแสจาก D และ S กล่าวคือ

- ถ้า VG ต่ำเสมือนวงจรเปิดไม่มีกระแสไหล
- ถ้า VG สูงจะเกิดช่องนำกระแสไหลระหว่างขาทั้งสอง

2.6.4 การทำงานของ PMOS คือ จะตรงกันข้ามกับ NMOS กล่าว คือ

- ถ้า VG สูงเสมือนวงจรเปิดไม่มีกระแสไหล
- ถ้า VG ต่ำจะเกิดช่องนำกระแสไหลระหว่างขาทั้งสอง

2.6.5 ความสัมพันธ์แรงดัน-กระแสของ MOSFET



รูปที่ 2.30 แสดงรูปทิศทางการไหลของกระแส

เมื่อกำหนดให้ $V_{eff} = V_{GS} - V_{TH}$ และ $V_{DP} = V_{DS} - V_{eff}$ ถ้าไม่คิดผลของ 'ปรากฏการณ์บอดี้' จะได้ความสัมพันธ์แรงดันกับกระแสของ NMOS ที่อยู่ในสถานะต่างๆ ดังนี้

$I_D = 0$ เมื่อ $V_{eff} < 0$ หรือ $V_{GS} < V_{TH}$ อยู่ในสถานะ Cut-off

$I_D = K(2V_{eff} - V_{DS})V_{DS}$ เมื่อ $V_{eff} > V_{DS} > 0$ อยู่ในสถานะ Triode

$I_D = KV_{eff}^2$ เมื่อ $V_{DS} > V_{eff} > 0$ อยู่ในสถานะ active

คือเมื่อความคล่องตัว (mobility) ของอิเล็กตรอนในช่องทางเดินกระแส คือความเก็บประจุต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของตัวเก็บประจุ MOS ส่วน w/L คือพื้นที่ที่เกต เราสามารถสร้างกราฟโดยใช้สมการกระแสข้างบนเพื่อสร้างกราฟกระแสและแรงดัน ของ NMOS ในสถานะการทำงานต่างๆ จะเห็นได้ว่าเมื่อแรงดัน V_{GS} มีค่าคงที่ ในสถานะ triode ทรานซิสเตอร์ของ NMOS จะมีคุณสมบัติเหมือนตัวต้านทาน แต่เมื่ออยู่ในสถานะ active ทรานซิสเตอร์ของ NMOS จะจ่ายกระแสคงที่ จะเห็นได้ว่าเมื่อ V_{GS} มีค่าคงที่ในสถานะ active กระแส I_D จะแปรผันตามฟังก์ชันกำลังสองของ V_{GS} และในสถานะ active กระแส I_D จะแปรผันอย่างเป็นเชิงเส้นกับ V_{GS} ทั้งนี้ถ้าเป็นวงจรขยายสัญญาณจะนิยมไบอัสให้ MOSFET ทำงานอยู่ในสถานะ active ตลอดเวลา ส่วนในวงจรดิจิทัล MOSFET จะทำงานสลับไปมาระหว่างสถานะ cut-off กับสถานะ triode