บทที่ 2

กระแสโคโรนาและความต่างศักย์ระหว่างขั้วของภาคประจุประจุไฟฟ้า

(Corona Current - Voltage Relation in Charging Unit.)

อากาศปกติเกือบจะเรียกได้ว่าเป็นฉนวนที่สมบูรณ์ แต่ก็มีประจุไฟฟ้าอิสระอยู่บ้างเป็นจำนวนเล็กน้อยมาจากรังสีคอสมิค และสารกัมมันตภาพทำให้โมเลกุลของอากาศแตกตัวเป็นอิออน (1) เมื่อเราเพิ่มความต่างศักย์ระหว่างขั้วอิออนจะถูกแรงดูดเข้าหาขั้วที่มีประจุตรงข้าม วิ่งชนโมเลกุลของอากาศ แตกตัวเป็นอิออนต่อไปแบบปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction or avalanche) จะเพิ่มอิออนตลอดแนวระหว่างขั้วไฟฟ้า อากาศเกิดมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านซึ่งเราเรียกว่า กระแสโคโรนา อากาศจึงกลายเป็นตัวนำไฟฟ้าไป (Conduction of Electricity in Gases) (2)

2.1 คนแรกที่ได้ศึกษาหาความสัมพันธ์ของกระแสโคโรนา กับความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้าของจุดปลายแหลมกับแผ่นราบ (point-plane electrode) ได้แก่ เรินท์เกน (Röntgen) (3) เขาพบความต่างศักย์วิกฤตของการเกิดกระแสโคโรนา (Critical Corona - onset Voltage) จะมีค่าน้อยลงเมื่อจุดปลายขั้วเล็กลง ความดันบรรยากาศต่ำลง ต่อมาวาร์เบอก (Warburg 1899) (4) ได้ทำการทดลองคล้าย ๆ กัน และพบความสัมพันธ์แบบ พาราโบลิค (Parabolic Relation) ของสมการความสัมพันธ์ กระแสโคโรนา กับ ความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้าที่เป็นจุดปลายแหลมและแผ่นราบ (point-plane electrode) แบบเดียวกับเรินท์เกน ได้แก่

$$i = AV (V - M)$$

i = กระแสไดโรนา

V = ความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้า

A, M = ค่าคงที่จากการทดลอง

2.2 เทาเส่น (Townsend) (5) ได้ทำการทดลองและตั้งทฤษฎีอธิบายการเกิดสภาพนำไฟฟ้าในอากาศหรืออากาซสามารถที่จะให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ โดยเขาได้อธิบายการเกิดของกระแสไดโรนา เริ่มแรกสมมุติว่าอากาศมีอิออนอิสระ จะได้รับพลังงานจากสนามไฟฟ้า ทำให้อิออนอิสระวิ่งชนโมเลกุลของอากาศ เกิดการแตกตัวเป็นอิออนแบบปฏิกิริยาลูกโซ่ เขาได้พบความสัมพันธ์ อัตราการเกิดของอิออนใหม่ ต่อระยะทางการเคลื่อนที่จะแปรตามจำนวนอิออนที่วิ่งชนโมเลกุลของอากาศ

$$dn = \alpha \, n \, dx$$

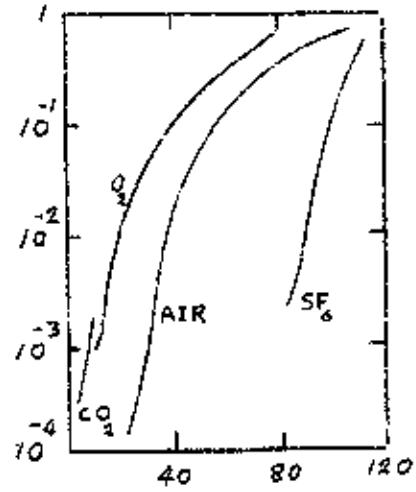
$\frac{dn}{dx}$ = อัตราการเกิดอิออนต่อ 1 หน่วยระยะทาง

n = จำนวนอิออน

α = ค่าคงที่ หรือ ส.ป.ส.การแตกตัวเป็นอิออน

จะเห็นได้ว่า $\frac{1}{\alpha}$ เป็นค่าเฉลี่ยระยะทางที่อิเลคตรอน วิ่งเคลื่อนไปตามเส้นแรงไฟฟ้าและชนโมเลกุลของอากาศ ทำให้เกิดการแตกตัว (ionizing mean free path)
ถ้าค่า $\frac{1}{\alpha}$ น้อย การแตกตัวเป็นอิออนก็มาก แต่ในขบวนการอันเดียวกันยังมีการจับอิเลคตรอนของโมเลกุลของอากาศด้วย ทำให้โอกาสที่จะวิ่งชนโมเลกุลอื่นมีน้อยลง ค่าที่ควรเป็น $\alpha - \eta$ (η คือ ส.ป.ส. การจับอิเลคตรอน) จากการทดลองของเขาเส่น ค่า ($\alpha - \eta$) = ส.ป.ส. การแตกตัวเป็นอิออน จะมีค่ามากก็ต่อเมื่อบรรยากาศมีอุณหภูมิสูงและความดันต่ำ คุณสมบัติของแก๊สบางชนิด

มีค่า สูง เช่น แกรออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดรด์ ไนตรัสออกไซด์ ไอน้ำ ฯลฯ

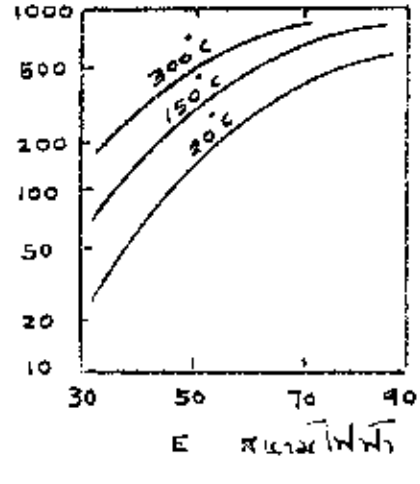


α/p จำนวนอิออนต่อเซ็นติเมตรต่อมิลลิเมตรของความดันปรอท

กราฟที่ 2.1

E/p โวลท์ต่อ ซม. ต่อ มม.ของปรอท

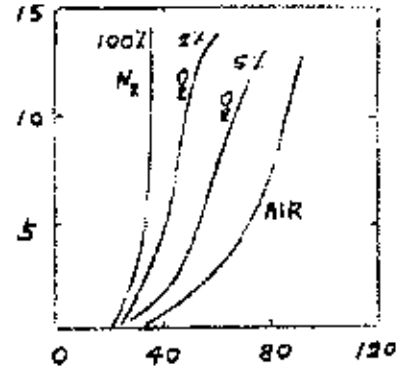
กราฟแสดง ส.ป.ส. การแตกตัวเป็นอิออนของแกส



α = จำนวนอิออนต่อเซ็นติเมตร.

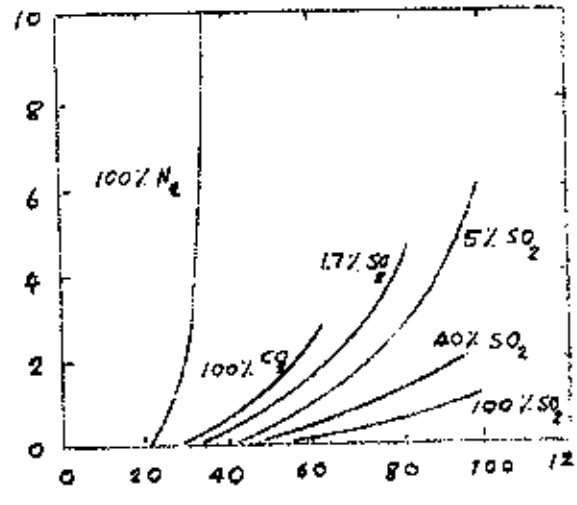
กราฟที่ 2.2

กราฟแสดง ส.ป.ส. การแตกตัวของอากาศที่ความดันปกติ



กราฟที่ 2.5

การหดลองชั่วหรงกระบอก รัศมี 6 นิ้ว ลวดรัศมี 0.109 นิ้ว เป็นขั้วลบ แสดงการจับอิเลคตรอนของแก๊สออกซิเจน (6)



กราฟที่ 2.4

กราฟการหดลองอันเดียวกัน แต่แสดงความสามารถการจับอิเลคตรอนของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ปริมาณต่าง ๆ กัน จุดปลายเส้นเป็นจุดการเกิดสปาร์ก (spark)

2.3 ต่อมา เพาเว่น ได้หาความสัมพันธ์ของกระแสโคโรนา กับ ความต่างศักย์ระหว่างขั้ว โดยดัดแปลงจากสมการของปัวซอง (Poisson's equation)

$$\nabla^2 V = -4\pi\rho$$

V = ความต่างศักย์

ρ = ความหนาแน่นของไอออน (ion density)

ในกรณีที่เป็นขั้วทรงกระบอก (Cylindrical Electrode)

$$\rho = \frac{i}{2\pi rkE}$$

i = กระแสโคโรนา ต่อ ความยาวขั้ว

k = ไอออนโมบิลิตี้ (ion mobility)

จะได้สมการของเพาเว่น เป็น

$$i = V(V - V_o)\frac{2k}{b^2 \ln(\frac{b}{a})} \qquad (7)$$

V_o = ความต่างศักย์วิกฤตของการเกิดกระแสโคโรนา

V = ความต่างศักย์ระหว่างขั้ว

b = รัศมีของกระบอก

a = รัศมีของลวด

ค่า V_o หาได้จากสูตรเอมไพริกัล (Empirical formula) ของพีค (Peek)

$$E_o = 30\,\delta + 9\sqrt{\frac{\delta}{a}} \quad \frac{kV}{cm} \qquad (8)$$

∴ ขั้วไฟฟ้าที่เป็นรูปทรงกระบอกดังภาพที่ 2.1

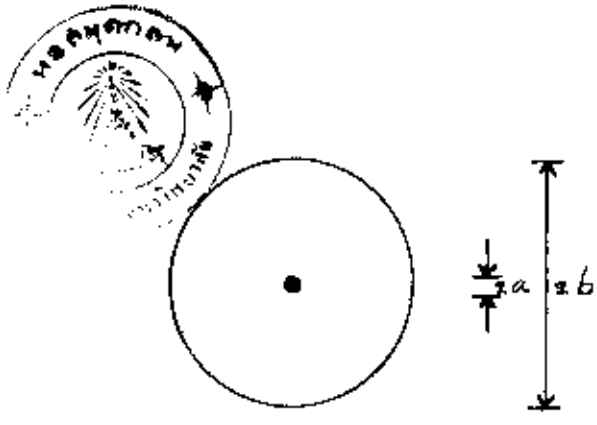
$$V_o = (30\ ab\delta + 9\sqrt{ab\delta})\ \ln\left(\frac{b}{a}\right) \qquad \text{กิโลโวลท์}$$

เมื่อ $\delta = \frac{T_o}{T} \cdot \frac{P}{P_o}$

T_o , P_o เป็นค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ของห้องและความดันปกติของห้องตามลำดับ

T , P เป็นค่าอุณหภูมิและความดันของการทดลองขณะที่เราต้องการหาค่า δ

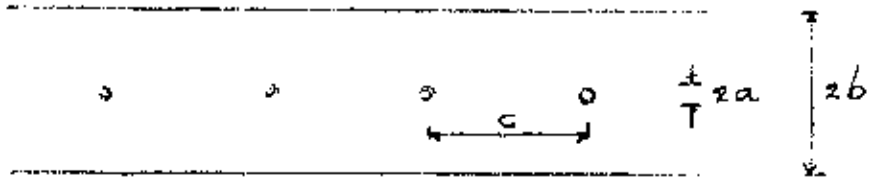
ดังนั้นในการทดลองของเรา $\delta = 1$

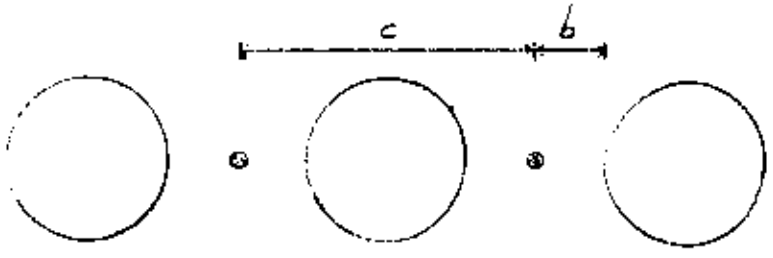


รูปตัดขวางของขั้วแบบทรงกระบอก

ภาพที่ 2.1

จากสมการของ คูเปอร์แมน (Cooperman) (9) เริ่มจากสมการของขั้วทรงกลม ดัดแปลงสมการใช้ลักษณะอย่างประมาณหาความสัมพันธ์ระหว่างขั้ว ในกรณีทั่ว ๆ ไป เช่น ขั้วเป็นเส้นลวดและแผ่นราบ ขั้วที่เป็นท่อกลวงกับเส้นลวด ดังภาพ





ภาพที่ 2.2

ภาพแสดงลักษณะการวางขั้ว, c เป็นระยะระหว่างลาด และ b ระยะห่างระหว่างขั้ว

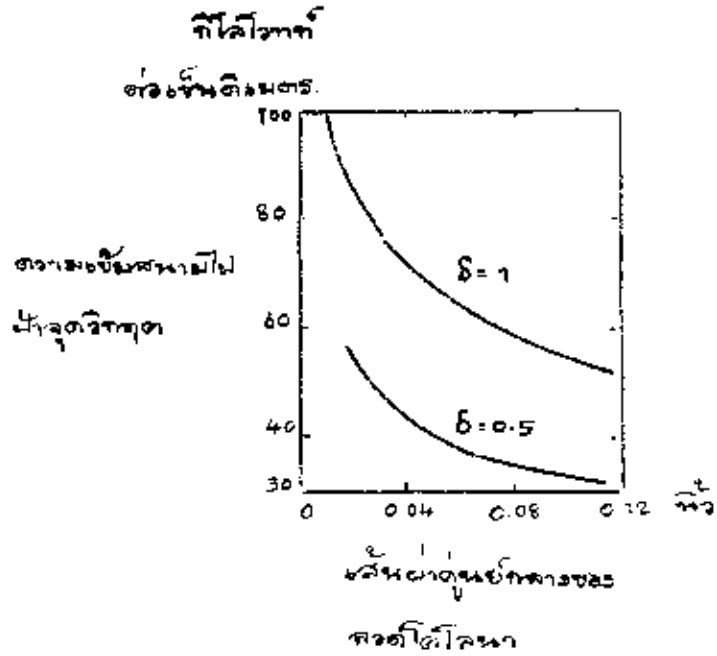
สมการของคูเปอร์แมน

$$i = \frac{K}{b^2 \ln\left(\frac{d}{a}\right)} V\left(V - V_o\right)$$

d เป็นค่าคงที่ จะมีค่า $= \frac{4b}{\pi}$ ถ้า $\frac{b}{c} \leqslant 1$

∴ สมการของพีก (Peek)

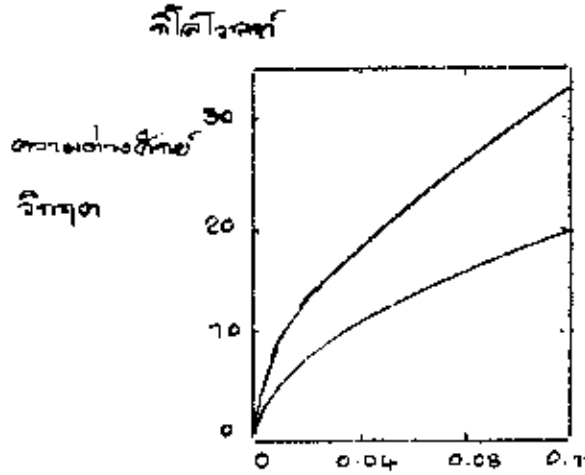
$$V_o = a\left(30\ 6 + 9\sqrt{\frac{a}{a}}\right) \ln\left(\frac{a}{2b}\right)$$ กิโลโวลท์



รูปที่ 2.5

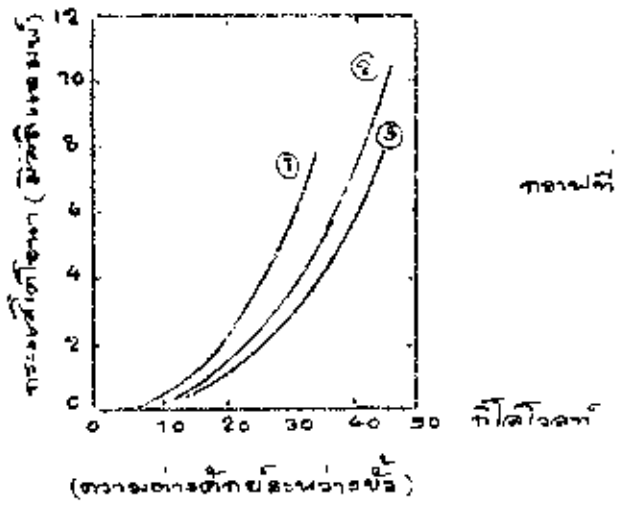
กราฟ แสดงความเข้มสนามไฟฟ้าวิกฤตของอากาศ (Peek's formular)

$$E_0 = 30\delta + 9\sqrt{\frac{\delta}{a}} \quad \text{กิโลโวลท์ / ซ.ม.}$$



รูปที่ 2.6

กราฟ แสดงความต่างศักย์วิกฤต โดยใช้กระบอกรัศมี 6 นิ้ว คำนวณจากสมการของพีก เช่นเดียวกัน



ภาพที่ 2.7

กราฟ แสดงการทดลอง ชั้วทรงกระบอก เส้นลวดขนาด 0.01 นิ้ว เป็นขั้วลบ กระบอกกลวง ขนาด 3 นิ้ว เป็นขั้วบวก ที่อุณหภูมิ 400° ฟ. ไอน้ำผสมกับอากาศ

กราฟเส้นที่ 1	100 %	อากาศ
กราฟเส้นที่ 2	40%	ไอน้ำ
กราฟเส้นที่ 3	100%	ไอน้ำ

หนังสืออ้างอิง

1, 2 J.J. Thomson " Conduction of Electricity ₩ Through Gases "
3rd ed.2 Vols. New York; Cambridge Univ. Press, 1928

3 E. Warburg, Wied Ann 67, 69 (1899)

4 V. Rontgen, Gohinger Nach. 390 (1878)

5 J.J. Townsend " Electricity in Gases " New York ,
Oxford Univ. Press, 1915

6 H.J. White. " Industrial Electrostatic Precipitation "
Addison - Wesley Pub. Co., Inc. (1963)

7 J.S. Townsend . Ref. 6 p. 375

8 F.W. Peek Jr; loc. cit, p. 7 .

9 K. Cooperman " A Theory for Spare Charge Limited Current with
Application to Electrical Precipitation " Trans. Am. Inds. Elect.
Engrs; 79 , 47 (1960)

- - - - - - -