ปีการศึกษา 2532

ชื่อ ปริญญานิพนธ์ เรื่อง คุณสมบัติแรงดันเบรคดาวน์ ใน อากาศแห้ง

โดย

นาย เกียรติชัย จับเรืองยศ เลขประจำตัว 301027

นาย พงษ์เทพ วิวะวุฒิพล เลขประจำตัว 301170

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. นิพนธ์ สุขุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2533

เรื่อง คุณสมบัติการเบรคดาวน์ในอากาศแห้ง

ผู้จัดทำ

1 นาย เกียรติชัย ชัยเรืองยศ

2 นาย พงษ์เทพ วีระวุฒิผล

.....นิพนธ์ สุขุม..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร นิพนธ์ สุขุม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

028810

ชื่อปริญญานิพนธ์ เรื่อง คุณสมบัติแรงดันเบรกดาวน์ ใน อากาศแห้ง

นาย เกียรติชัย ชัยเรืองยศ
นาย พงษ์เทพ วีระวุฒิพล

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร นิพนธ์ สุขุม

ปีการศึกษา 2532

บทคัดย่อ

การดิสชาร์จในอากาศ เป็นการอธิบายปรากฏการณ์การไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านอากาศ โดยอาศัยการเคลื่อนที่ของ อนุภาคประจุ คือ อิเลคตรอน ไอออน ที่เกิดจากการไอออไนเซชั่นด้วย วิธีใดวิธีหนึ่ง ไอออนไนเซชั่นจะเกิดขึ้นได้ จะต้องมีสนามไฟฟ้าเป็นต้นเหตุ ให้อนุภาคมีพลังงาน และ เคลื่อนที่ไปสู่ขั้วอิเลคโทรด และ ก่อให้เกิดการเบรคดาวน์ในอากาศ คือ จะมีกระแสไฟฟ้าไหลต่อไปได้ ระหว่างขั้วอิเลคโทรด

การศึกษาเกี่ยวกับเรื่องนี้ มักจะมุ่งใช้ประโยชน์ในด้านการวิจัยมาก เพราะการที่เป็นสนามที่ลักษณะหนึ่ง ซึ่งสภาพความเป็นจริงจะเกิดไป ถ้าเป็นการดิสชาร์จในอากาศโดยมีวัตถุตัวนำ เช่น หัวเข็มของเครื่องฟิสิกส์ เรื่อง การดิสชาร์จในสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอ และ แบบไม่สม่ำเสมอ เพื่อความง่ายต่อการศึกษา จึงกำหนดให้เป็นสนามไฟฟ้าแบบที่สม่ำเสมอ เพราะ ต้องการศึกษาหลักวัตถุประสงค์ ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันเบรกดาวน์กับ ค่าความดัน ดูดกับ ระยะ แกป ภายในอากาศ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญ คือ เป็นการตรวจสอบ ทฤษฎี พาสเชน ที่ว่า แรงดันเบรกดาวน์เป็นฟังก์ชั่นของ ผลคูณระหว่าง ความดันและระยะแกปเท่านั้น ว่าเป็นจริง ในสภาวะใด มีข้อยกเว้นหรือไม่ โดยให้อากาศที่บรรจุภายในเป็น อากาศแห้ง และ แชมเบอร์ ทรงรูปที่มีแกลงไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Breakdown voltage characteristics in dry air

Mr kittichai chairoangyuat

Mr Pongthep viravuttiphol

Dr nipon sukum

1990 DC

ABSTRACT

In the high-voltage engineering researches about the breakdown in insulators, gaseous discharges was interesting because its insulaion used in industrial engineering. It is the event tthe currents flow between electrodes by means of electrons or ions ionization. This makes the insulatted gas become conductivity and called breakedown in gas . So, the research is about its characters, gas discharge in elecric field, in dry air.

We assumed the uniform field for all mentioned electric fields because of easy understanding to obseve the relation of sparking voltage and Pd in dry air and assuring the Paschens's law, the sparking volage is function of the product of pressure and gap length electrodes only.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่ 1	บทนำ	1-2
บทที่ 2	ทฤษฎี และ หลักการ	
	เรื่องที่ 1 ทฤษฎีเบื้องต้น เรื่องการดูดซับในก๊าซ	3-7
	เรื่องที่ 2 การออกซิไดเซชั่น	8-24
	เรื่องที่ 3 กลไกการเบรคดาวน์ในก๊าซ	25-33
	เรื่องที่ 4 Paschen's law	34-47
บทที่ 3	หลักในการเตรียมการทดลอง	48-49
บทที่ 4	การทดลอง และ ผลการทดลอง	50-58
บทที่ 5	บทวิจารณ์และสรุป	59-62
กิตติกรรมประกาศ		63
หนังสืออ้างอิง		64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

บทนำ

แนวความคิดและเป้าหมายของ Project

จากความรู้เบื้องต้น ซึ่งผู้เขียนคิดว่า มีความเกี่ยวข้องกับ Project ทั้ง 4 บท ซึ่งในก่อนทำการทดสอบเราจะต้องทำการค้นคว้าเกี่ยวกับ ทฤษฎีต่าง ๆ เริ่มตั้งแต่การออสซิลโลสโคปแบบต่าง ๆ และ การเบรคดาวน์แบบต่าง ๆ ซึ่งที่ได้กล่าวมาแล้วเพื่อเป็นพื้นฐาน และ นำไปประยุกต์ใช้ และต่อไปก็ได้เสนอแนวความคิด และ ปัญหา ที่ได้ประสบมา และ แนวความคิดที่จะกระทำต่อไป

Project นี้มีชื่อว่า Breakdown voltage characteristic in dry air มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการพิสูจน์ กฎของ Paschen's law ซึ่งเราได้ศึกษามาแล้วในวิชาไฟฟ้าแรงสูง ในชั้นปีที่ 3

ในเรื่องของการเบรคดาวน์ในก๊าซนั้น มีแนวความคิดว่า เบรคดาวน์ voltage ที่ได้จะขึ้นอยู่กับ คุณสมบัติของตัวแปร 2 ตัว คือ ความดัน (P) และระยะแยกปิด (d) เท่านั้น โดยใช้อากาศเป็นตัวแทนของก๊าซในการทดสอบ

ซึ่งโดยเริ่มแรกอากาศที่ใช้ถูกกำหนดให้เป็นอากาศแห้ง (dry air) โดยวิธีการทำให้เป็นอากาศแห้ง คือ การผ่านอากาศเข้าไปในวัสดุดูดความชื้น ในที่นี้เราใช้ กำมะถันไดออกไซด์แป้ง แสม อะซิเทน ซึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะแก้ว ซึ่งภาชนะแก้วเราต้องทำการสั่งทำ โดยแก้วที่ใช้จะต้องเป็นแก้วที่มีความทนทานต่อความดันต่างกว่าบรรยากาศได้ ซึ่งภาชนะแก้วต้องเป็นระบบปิดด้วย

แต่การทำแก้วด้วยการเป่านั้น ทำได้ยาก และที่ทำได้ส่วนมากจะได้ความหนาไม่พอที่จะทนต่อแรงดัน เพราะเทคนิคการทำแก้วในห้องคลาดไม่มีเทคนิคที่เพียงพอ ดังนั้นจึงต้องเปลี่ยนแนวความคิดจากอากาศแห้ง มาเป็น อากาศที่ความชื้นปกติ

และในการทำการทดลองนั้น เครื่องมือที่ใช้คือ Ionization chamber นั้นเป็นเครื่องมือที่ค่อนข้างเก่า และ ใช้การทดลองมานานแล้ว จึงทำให้เกิดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

leakage ของอากาศ ซึ่งทำให้ยากต่อการควบคุมความดัน แต่เราก็พยามใช้ทุกวิธีทางเพื่อที่จะรักษาความดันให้คงที่ที่สุด เพื่อที่จะทำการทดลองให้ได้ตามแนวความคิดเดิม

ในการทำการทดลองนั้นเราต้องให้ ความดันในเครื่องมือ Ionization chamber อยู่ในช่วงความดันต่ำกว่าบรรยากาศ ดังนั้นเราจึงต้องการ เครื่องมือดูดอากาศ [illegible] แต่ในตอนเริ่มทำ project นี้ยังไม่มีเครื่องมือ ดังนั้น เนื่องจากความล้าช้าของเครื่องมือ ทำให้การทำการทดสอบล้าช้าไปด้วย

จากการที่กล่าวมาแล้วนั้น เนื่องจากอุปกรณ์เครื่องมือไม่พร้อมทำให้ การทดลองเปลี่ยนแปลงไปบ้าง แต่เรายังคงใช้แนวความคิดเดิม คือ ศึกษา และ ค้นคว้า หฤษฎี Paschen's law และทำการทดสอบในช่วงต่าง ๆ ตามความเป็นไปได้ที่เครื่องมือจะอำนวย และ ปรับปรุงเครื่องมือให้อยู่ในสภาพใช้งานได้ เพื่อให้ นักศึกษารุ่นต่อไป สามารถทำการทดสอบ และ ศึกษาค้นคว้าได้มากกว่านี้

ต่อไปเราจะได้กล่าวเกี่ยวกับหฤษฎีเบื้องต้น และ หฤษฎีต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำ Project ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่องที่ 1

ทฤษฎีเบื้องต้น

เรื่องการดิสชาร์จในก๊าซ

ในเรื่องนี้เราพูดถึงการดิสชาร์จในก๊าซ ซึ่งเราต้องรู้ถึงเทคนิคการเป็นฉนวนของก๊าซด้วย ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นเรื่องสำคัญในงานวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง โดยจุดที่สำคัญ คือ ช่วงที่เป็นจุดเปลี่ยนจากการแปรสภาพการเป็นฉนวนของก๊าซ เป็นสภาพการนำไฟฟ้าของก๊าซ ในการเปลี่ยนแปลงของสภาวะทั้งสองนี้ ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่าง กระแส กับ แรงดัน หรือ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า กับ ความเครียดสนามไฟฟ้าในสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอ

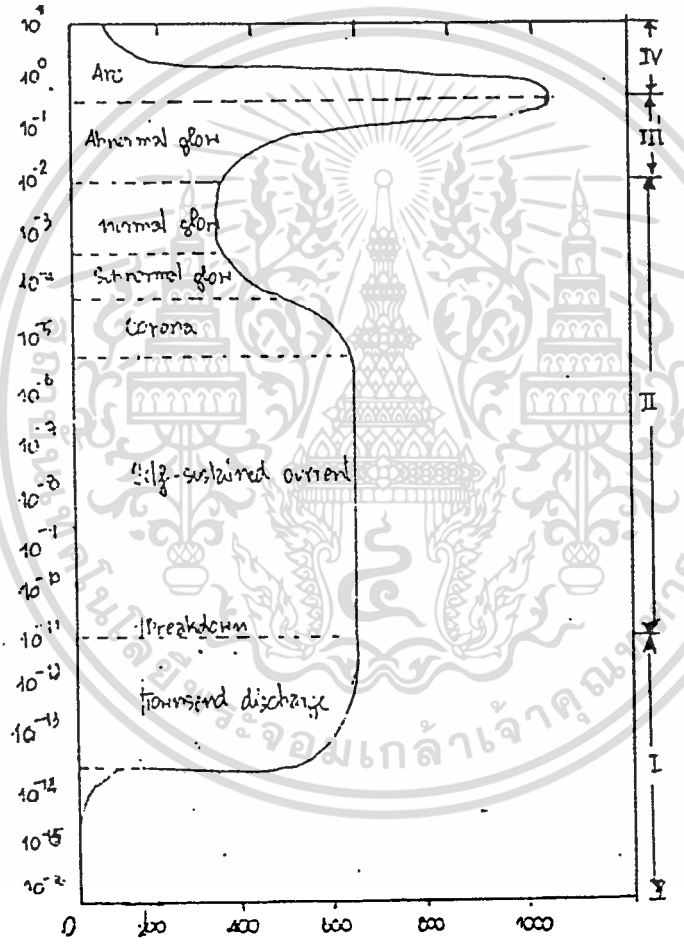
สภาพการเปลี่ยนสภาวะฉนวนของก๊าซ เกิดขึ้นเมื่อมีการดิสชาร์จในก๊าซ และในการดิสชาร์จของก๊าซ เกิดขึ้นจากการไหลของกระแสผ่านก๊าซ โดยอาศัยการเคลื่อนที่ของอนุภาค หรือ ประจุจำพวกอิเลคตรอน หรือ ไอออน ซึ่งเราเรียกว่า การเกิดไอออนไนเซชั่น ซึ่งจะเป็นไอออนไนเซชั่นแบบไหนก็ได้ ในการเกิดไอออนไนเซชั่นนั้นมีสนามไฟฟ้ากระทำให้ประจุ หรือ อนุภาคมีพลังงานพอ ที่จะเคลื่อนที่ไปชนโมเลกุลได้ การเคลื่อนที่ของประจุ หรือ อนุภาคนั้นก็คือการไหลของกระแสนั้นเอง กระแสที่ไหลระหว่างอิเลกโตรดเล็ก มีค่าตั้งแต่ต่ำน้อย เช่น 10^{-16} แอมป์ จนกระทั่งมีค่าเป็นแอมป์ก็ได้ (การดิสชาร์จเกิดขึ้นในช่วงกว้างของความดัน)

ในการใช้ประโยชน์จากก๊าซที่เป็นฉนวนแล้ว เราก็ใช้ประโยชน์จากการดิสชาร์จของก๊าซได้ด้วย เช่น หลอดไดโอด หลอดเรืองแสง หลอดไฟบรรจุก๊าซ หรือ การดิสชาร์จในก๊าซที่ละโมเลกุลเพื่อดูดฝุ่นละออง (การกรองด้วยไฟฟ้า) , ดิสชาร์จในก๊าซมีกระแสมาก ๆ คือ การอาร์กเพื่อเชื่อมกระแส (เวลดิ้งเออร์) เป็นต้น

ในเรื่องเทคนิคการเป็นฉนวนของก๊าซนั้นจุดสำคัญ คือ การเปลี่ยนสภาพของก๊าซจากการเป็นฉนวน ไปสู่สภาพการนำไฟฟ้า โดยทั้งหมดขึ้นอยู่กับ ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส กับ แรงดัน โดยได้มีการทดลองหาความสัมพันธ์ขึ้นเป็นกราฟดังรูป (1.1) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ไหลในก๊าซ กับ แรงดันที่ป้อนให้กับขั้วอิเลคโตรดที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กาซเป็นตัวคั่น ความสัมพันธ์อันนี้สามารถใช้เป็นหลักให้กับกาซอื่น ๆได้เช่นเดียวกัน ในความสัมพันธ์ที่ทำให้เกิดกระแสไหล คือ การดิสชาร์จในกาซ ซึ่งนำไปสู่การเบรคดาวน์ของฉนวน ในความสัมพันธ์ของกราฟตามรูปนั้นทำให้แบ่งการดิสชาร์จในกาซออกเป็น ช่วงได้ 4 ช่วงคือ



กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแส กับ แรงดัน เรื่อง เทคนิคการเป็นฉนวน

รูปที่ (1.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงที่1 <u>การดิสชาร์จแบบทาวน์เซนด์</u>

เป็นช่วงการดิสชาร์จที่ต้องใช้แรงดันเริ่มต้น (Threshold Voltage) โดยทำการฉายรังสีเข้าไปที่คะโถด ด้วยรังสีอุลตร้าไวโอเลต หรือ x-ray การดิสชาร์จในช่วงนี้เป็นการดิสชาร์จที่ไม่สามารถประทังตัวเองได้ คือ ไม่สามารถเกิดกระแสไหลได้โดยไม่ทำการใส่แรงดันเข้าไป

ในช่วงแรกกระแสจะเพิ่มขึ้นตามความดันที่เพิ่มขึ้น จนเริ่มมีการอิ่มตัวที่ค่าความดันค่าหนึ่ง ตามรูปเรียกว่า Saturation current สาเหตุที่ทำให้เกิดการอิ่มตัวเพราะ อิเลคตรอนที่ออกจากคะโถด ที่เกิดจากการฉายรังสีนั้นไปที่อะโนดจนหมด จึงทำให้ไม่มีกระแสเพิ่มขึ้นอีกตาม

พอผ่านช่วงนี้ไป กระแสก็จะทำการเพิ่มขึ้นอีกในลักษณะกราฟเป็นรูป เอ็กซ์โปรเนลเชียล จนถึงจุดที่กระแสเพิ่มขึ้นมากมาย และ แรงดันคร่อมยอมให้กระทำการหดตัวในการเกิดกระแสเพิ่มขึ้นนั้นถูกควบคุมได้ด้วยวงจรภายนอก จุดที่ กระแสมากนี้เราเรียกว่า การเบรกดาวน์ (Breakdown) เมื่อถึงจุดการเกิดเบรกดาวน์ แล้วการดิสชาร์จจะประทังตัวเองได้ คือ มีกระแสไหลระหว่างแกปถึงแม้ว่า จะไม่มีการฉายรังสีเข้าไปที่คะโถด

ช่วงที่ 2 <u>การดิสชาร์จเรืองแสงปกติ</u> (Normal glow discharge)

ในช่วงการดิสชาร์จที่เกิดการเบรกดาวน์แล้ว กระแสจะเพิ่มมากขึ้น แล้วถ้าทำการศัดความต้านทานของวงจรภายนอก จะทำให้เกิดค่าแรงดันยุบตัวเหลือค่าที่ต่ำสุดเรียกว่า ดิสชาร์จเรืองแสงปกติ ถ้าจะทำให้เกิดการเรืองแสงของการดิสชาร์จในช่วงนี้แล้ว มักจะเกิดที่ความดันก๊าซต่ำ หรือในอากาศที่ความดันบรรยากาศก็ได้ แต่ต้องในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ช่วงที่ 3 <u>การคิสชาร์จเรืองแสงไม่ปกติ</u> (Abnormal glow discharge)

เป็นช่วงที่ต่อจากการคิสชาร์จเรืองแสงปกติ เมื่อเราทำการให้มีกระแสเพิ่มขึ้นไปอีก ลักษณะของความสัมพันธ์ ระหว่างกระแส กับ แรงดัน จะเป็นแบบเอ็กซ์โปรเนลเชียล เรียกว่า การคิสชาร์จเรืองแสงไม่ปกติ โดยเกิดจากการอิออนไนเซชั่นจากความร้อนในกาซ และ ซูเปอร์อีลาสติก

ช่วงที่ 4 <u>การคิสชาร์จแบบอาร์ค</u>

เป็นช่วงสุดท้ายโดยทำการปล่อยกระแสเพิ่มขึ้นไปอีก และปรากฏการณ์ที่เรียกว่า อาร์คคิสชาร์จ มีลักษณะคือ มีอิเลคตรอนหลุดจากคะโธดด้วยความร้อน และมีแสงจ้าจากคลาอาร์ค

จากการที่เราได้กล่าวถึงการคิสชาร์จแบ่งเป็นช่วงต่าง ๆ ให้เข้าใจ และมีความสัมพันธ์แตกต่างกันไป ในแต่ละช่วง มีความสัมพันธ์ต่อเทคนิคการเป็นฉนวนของกาซ ซึ่งเปลี่ยนเป็นสภาพการนำไฟฟ้า ซึ่งช่วงต่าง ๆ เป็นการบอกว่า ได้มีการเสียสภาพความคงทนของฉนวนกาซอย่างไร

ส่วนในการคิสชาร์จช่วงที่สำคัญ คือ การคิสชาร์นเบรคดาวน์ โดยเราได้ทำการแบ่งเป็น 2 แบบ คือ การเบรคดาวน์แบบสมบูรณ์ กับ เบรคดาวน์บางส่วน

<u>เบรคดาวน์สมบูรณ์</u> (Complete breakdown)

การที่จะดูที่เป็นฉนวนนั้นเสียสภาพการเป็นฉนวนหมดสิ้น โดยมีสาเหตุจากการเกิดเบรคดาวน์ตลอดทั้งแกป คือ ระหว่างอิเลคโตรด โดยที่มีกระแสไหลมากมายในแนวที่เกิดการเบรคดาวน์ โดยมีแรงดันลดลงจนเหลือน้อยมาก เราเรียกว่า การเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบรคดาวน์แบบสมบูรณ์ ในการกำจัดกระแสเบรคดาวน์นั้นทำได้ด้วยวงจรภายนอก คือ ความต้านทานภายในตัวจ่ายแรงดัน และในขณะที่เกิดการเบรคดาวน์แล้วจะมีการอาร์คเกิดขึ้นด้วย

เบรคดาวน์เพียงบางส่วน (Partial breakdown)

เกิดขึ้นกับสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงที่อยู่ในระบบการเป็นฉนวน (คือมีแฟคเตอร์สนามไฟฟ้าค่า ต่ำ) ซึ่งการเกิดเบรคดาวน์แบบนี้ อาจเกิดก่อนการเบรคดาวน์แบบสมบูรณ์ คือ การเกิดอิออนไนเซชั่นเพียงบางส่วนของแกป ซึ่งบางที่เราเรียกว่า partial discharge เช่นการเกิดคิลชาร์จแบบโคโรนา

ในการดิสชาร์จของก๊าซนั้น ซึ่งเป็นเรื่องที่เราศึกษาอยู่ ในการดิสชาร์จจนกระทั่งถึงการเบรคดาวน์เลยก็ตาม ต้องอาศัยหลักของการอิออนไนเซชั่น เรื่องที่จะกล่าวต่อไป คือ เรื่องของการอิออนไนเซชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่องที่ 2

อิออนไนเซชั่น (Ionization)

อิออนไนเซชั่น คือ การที่อะตอม หรือ โมเลกุลของกาซได้รับพลังงานเพียงพอที่จะทำให้อิเลคตรอน 1 ตัว หลุดออกจากสันธะที่ยึดกันไว้ในอะตอมหรือโมเลกุล ทำให้มีประจุเป็นบวก

ในการแตกตัวของอิเลคตรอนออกจากโมเลกุลทำให้มีอิออนบวก เรียกว่า การอิออนไนเซชั่น สำหรับ กรณีที่เกิดขึ้นกับของแข็งที่มีขบวนการทำให้อิเลคตรอนหลุดออกมา เรียกว่า การปล่อยอิเลคตรอน (electron emission) ส่วนในที่เราศึกษานั้น เราเน้นไปสู่การเปลี่ยนสภาวะกาซที่เป็นฉนวนสู่สภาวะการนำไฟฟ้า

สภาพการนำไฟฟ้าของกาซนั้น ขึ้นอยู่กับจำนวนอิเลคตรอน และ อิออนระหว่างแกปที่เป็นอิสระ โดยจำนวนยิ่งมากการนำไฟฟ้ายิ่งดี โดยใช้การพิจารณาเพิ่มอิเลคตรอนกับ อิออนได้ 2 วิธี คือ

- กระบวนการแตกตัวของอิเลคตรอนออกจากโมเลกุลกาซ โดยวิธีการชนของอนุภาคกับโมเลกุล คือ ใช้อิเลคตรอน อิออน โฟตอนชนกับโมเลกุล ทำให้เกิดการแตกตัว
- กระบวนการปล่อยอิเลคตรอนออกจากอิเลคโตรด เมื่อได้รับความเคลียดลนามไฟฟ้าสูง หรือ ได้รับพลังงานความร้อน รังสี หรือ อิออนบวกมากระทบกับผิวอิเลคโตรด

อิออนไนเซชั่นโดยการชน (Collision ionization)

ในการเกิดอิออนไนเซชั่นด้วยวิธีการชนนั้น เราต้องรู้ว่าการชนแบบไหนที่ทำให้ เกิดการอิออนไนเซชั่น ในการชนกันของอนุภาค (m) ที่มีความเร็ว (v) เข้าชน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับอนุภาค (m) ถ้าเป็นการชนแบบยืดหยุ่น (elastic collision) ทำให้อนุภาคที่ถูกชนไม่มีการกระตุ้นคือไม่ได้รับพลังงาน คือไม่มีการเกิดไอออนไนเซชั่น แต่ถ้าเป็นการชนแบบไม่ยืดหยุ่น (inelastic) แล้ว อนุภาคที่ถูกชนจะถูกกระตุ้นหรือได้พลังงาน คือการเกิดไอออนไนเซชั่นขึ้น การชนแบบไม่ยืดหยุ่นนี้ หรือ การอิออนไนเซชั่น เป็นการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ไปเป็นพลังงานศักย์

จากการที่กล่าวมาข้างบนนี้ เราจะใช้หลักการชนกันนั้น มาทำการวิเคราะห์ออกมาเพื่อหาความสมบัติของการชนที่ทำให้เกิดการอออนไนเซชั่น โดยอาศัยกฎของโมเมนตัม และ กฎการทรงพลังงาน จากเงื่อนไขที่ได้กล่าวมา เราจะแสดงได้ดังรูป ซึ่งแสดงถึง มวล ความเร็ว ทิศทางที่ชนกัน

รูปการชนกันของโมเลกุลในเรื่องโมเมนตัม

รูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ 022810
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเราคิดคำนวนทิศทางนั้นทั้งในแนวแกน x และ แกน y แต่จากรูปนั้น ความเร็วที่เวคเตอร์ นั้นไม่เปลี่ยนแปลงในทิศทางในแกน y เราจึงมิได้นำมาคิดด้วย

จากรูป มีมวล m เล็ก ซึ่งมีความเร็ว v มวล m ซึ่งความเร็ว v (v=0) เพราะอยู่นิ่ง แล้วให้ v_1 เป็นความเร็วสุดท้ายของมวล m เมื่อถูกชน จะได้สมการดังนี้

$$v_1 = (m-M)\ V\ /\ (m+M)$$

อิออนไนเซชั่นเกิดจากการที่ อิเลคตรอนที่ได้รับพลังงานค่าหนึ่งจากสนามไฟฟ้า วิ่งเข้าชน กับ โมเลกุล หรือ อะตอมของกาซ พลังงานที่อิเลคตรอนได้รับนั้นเป็นค่าของพลังงานจลน์ (Kinetic energy) ซึ่งถ้าค่าของพลังงานของอิเลคตรอนมีค่ามากกว่า พลังงานอิออนไนเซชั่น (Ionization energy) ของอะตอม หรือ โมเลกุล ซึ่งเป็นพลังงานศักย์ ก็จะทำให้ อะตอม หรือ โมเลกุล เกิดการแตกตัวให้อิเลคตรอน และกลายเป็น อิออน พลังงานอิออนไนเซชั่นของแต่ละโมเลกุลกาซ นั้นคือ W_i ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของกาซซึ่งมีค่าไม่เท่ากัน ดังตารางตัวอย่างต่อไปนี้

กาซ	W_e (eV)	W_i (eV)
H_2	7	15.4
H	10.16	13.59
N_2	6.3	15.6
N	10.33	14.54
O_2	7.9	12.5
O	9.15	13.61
Hg	4.9	10.4
He	19.3	24.5
N_2O	-	11
NO	5.4	9.5
H_2O	7.6	12.59
CO_2	10	14.4
SF_6	-	19.3
กาซเฉื่อย	-	10-24

ตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากหลักการที่กล่าวมา เราจะแสดงสมการเกี่ยวกับพลังงานอิออนไนเซชั่น กับ ค่าความเครียดของสนามไฟฟ้า ที่ทำให้กับอิเลคตรอนเพื่อทำการชนกับโมเลกุล เพื่อทำให้เกิด ขบวนการอิออนไนเซชั่น โดยให้ อิเลคตรอนเริ่มเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับศูนย์

ในทิศทางของสนามไฟฟ้า E(x) เป็นระยะทางเท่ากับ ระยะอิสระ ซึ่งจะได้รับพลังงานจากสนามไฟฟ้าดังนี้

$$W = e\int_0^{\lambda} E(x)dx = eU$$

การเกิดอิออนไนซ์เมื่อ

พลังงานจลน์ของอิเลคตรอน >= พลังงานอิออนไนเซชั่นของอะตอม หรือ โมเลกุล

$$W >= W_i \quad \text{เมื่อ (E คงที่)}$$

นั่นคือ

$$\lambda = \lambda_i$$

ค่าความเครียดสนามไฟฟ้า E คงที่

$$e\,E\,\lambda_i >= W_i = eU_i$$

เมื่อ

U_i คือ แรงดันอออนไนเซชั่น หน่วยเป็น V

eU_i คือ พลังงานที่มาให้เกิดอิออนไนเซชั่น หน่วยเป็น ev

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าพลังงานที่ได้จากสนามไฟฟ้าของอิเลคตรอน ไม่เพียงพอในการทำให้เกิดอิออนไนซ์ได้ ในการชนกับโมเลกุลกาซ ก็อาจทำให้โมเลกุลนั้นอยู่ในสภาพที่ถูกกระตุ้นได้ (excitation) โดยถ้าพลังงานที่ได้รับจากสนามไฟฟ้าเรียกว่า พลังงานดีนกระตุ้น W_e

และในการชนของอิเลคตรอน กับ โมเลกุล หรือ อะตอมของกาซที่เป็นแบบไม่ยืดหยุ่นนี้ เราสามารถหาพลังงานสูงสุดของ โมเลกุลกาซซึ่งอยู่นิ่งขณะก่อนชนได้รับดังนี้

จากกฎของโมเมนตัม

$$\text{โมเมนตัมก่อนชน} = \text{โมเมนตัมหลังชน}$$

$$mv + MV = mv_1 + MV_1$$

แต่ตอนก่อนชนมวล m อยู่นิ่ง ดังนั้น $v = 0$ (คือ ไม่มีความเร็ว) ได้

$$mv = mv_1 + MV_1$$

และจากกฎอนุรักษ์พลังงาน คือ

$$\text{พลังงานรวมก่อนชน} = \text{พลังงานรวมหลังชน}$$

$$1/2\, mv^2 = 1/2mv_1^2 + 1/2MV_1^2 + W_P$$

เมื่อ W_P คือ พลังงานศักย์ที่อนุภาค M (ที่อยู่นิ่ง) ได้รับ

จากความสัมพันธ์ลงการของโมเมนตัม กับ การอนุรักษ์พลังงานที่ได้จะขจัด V_1 ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$1/2mv^2 = 1/2mv_1^2 + m^2(v-v_1)^2/2m + W_P$$

จากสมการข้างบน ถ้าให้พลังงานศักย์ W_p มีค่าสูงสุด โดย สมมติว่าพลังงานจลน์ที่วิ่งเข้ามาชนมีค่าคงที่ และ ทำการดิฟเฟอเรนเชียล โดยเทียบกับ v_1 ให้เท่ากับศูนย์ เพราะฉะนั้น ค่า W_{pmax} คือ

$$dW_p/dv_1 = m(mv - (m+M)V_1)/M = 0$$

ได้

$$mv - (m+M)V_1 = 0$$

$$mv = (m+M)v_1$$

$$v_1/v = m/(m+M)$$

ถ้า m เป็นมวลของอิเลคตรอน ซึ่งเปรียบเทียบกับ มวลของโมเลกุลแล้วน้อยกว่ามาก ๆ ($m<<M$)ดังนั้น

$$v_1/v = m/M$$

$$v_1 = mv/M$$

จากสมการข้างบน แสดงให้เห็นว่าค่า v_1 มีค่าน้อยมาก เพราะ $M>>m$ ซึ่งหมายความว่า ความเร็วสุดท้ายของมวล m และ M นั้นน้อยมาก (ความเร็วของ m, M คือ v_1, V_1 มีค่าเท่ากันตามกฎอนุรักษ์พลังงาน) แสดงว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิเลคตรอนจะให้พลังงานจลน์เกือบทั้งหมด กับ โมเลกุล โดยถ่ายทอดเป็นพลังงานศักย์เกือบทั้งหมด เพื่อใช้ในกาวอิออนไนซ์ พลังงานถ่ายทอดสูงสุด ได้จากการแทนค่า v_1ที่ได้ลงในสมการของพลังงานศักย์สูงสุด

$$W_{p(max)} = dW_p/dv_1$$

$$= m(mv-(m+M)mv)/M^2$$

$$W_{p(max)} = M\ (mv^2)/2(m+M)$$

จากสมการกระทำให้รู้ว่า อิเลคตรอนถ่ายทอดพลังงานจลน์ให้ กับ โมเลกุลทั้งหมด ส่วนในกรณีของ อิออนหนัก (m=M) นั้นจะมีการถ่ายทอดพลังงานจลน์ครึ่งหนึ่งเป็นพลังงานศักย์ ตามสมการดังนี้

$$W_{p(max)} = M\ mv^2/\ 2\ (2M)$$

$$= mv^2\ /4$$

และถ่ายทอดพลังงานจลน์เพียง 25 % (V_1=V/2) นั่นคือ มีการถ่ายทอดพลังงานเพียง 75 % ของพลังงานเริ่มต้น สรุป แล้วการเกิดอิออนไนเซชั่น อิเลคตรอนต้องใช้พลังงานจลน์ มากกว่า หรือ เท่ากับพลังงานอิออนไนเซชั่น ของอะตอม หรือ โมเลกุล คือ

$$mv^2/2 >= W_i$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>สัมประสิทธิ์การอิออนไนเซชั่นในกาซ</u>

ในการเคลื่อนที่ของประจุระหว่างอิเลคโตวด ในกรณีของการชนกัน นั้น อาจเกิดขึ้นได้หลายครั้ง และ อาจเกิดอิออนไนเซชั่น ได้หลายครั้งด้วยกัน ซึ่งจากเหตุการณ์ดังกล่าวนี้ ทาวน์เซนด์ กล่าวว่า จำนวนการชนที่เกิดอิออนไนเซชั่นต่อหนึ่งหน่วยระยะที่อนุภาคประจุเคลื่อนที่ไปนั้น สามารถกำหนดด้วยแฟคเตอร์ได้ดังนี้ คือ

α : เป็นสัมประสิทธิ์การชนแตกตัวด้วยอิเลคตรอนวิ่งชนโมเลกุล

β : เป็นสัมประสิทธิ์การชนของอิออน

โดยมีคำจำกัดความดังนี้

α : สัมประสิทธิ์การชนไอออนไนเซชั่นที่หนึ่งของทาวเซนด์ จะเป็นค่าเฉลี่ยการชนของไอออนไนเซชั่นของอิเลคตรอน 1 ตัว ที่เคลื่อนที่ไปในแถบเป็นระยะ 1 เซนติเมตร มีหน่วย cm^{-1}

β : คือจำนวนการชนของไอออนบวกกับโมเลกุลกลาง ทำให้เกิดอิเลคตรอนอิสระและไอออนบวกต่อหนึ่งหน่วย ระยะทางในแถบตามแนวสนามไฟฟ้า

ในสัมประสิทธิ์ 2 ตัวนี้ นั้น อิออนมีมวลมาก ดังนั้นในการรับพลังงานไฟฟ้าจากสนามไฟฟ้าจึงมีค่าน้อย ดังนั้นการถ่ายเทพลังงานจึงมีค่าน้อยเมื่อเกิดการชน ดังนั้นทำให้การชนแตกตัวในกาซ จึงเกิดจากขบวนการ α มากกว่า คือ $\alpha >> \beta$

ในความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์ α นั้นขึ้นอยู่กับความเครียดสนามไฟฟ้า กับความหนาแน่นของกาซ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\alpha/p = f(E/p)$$

สมการข้างบนสามารถใช้แทนกันได้ในกาซต่าง ๆ จึงสามารถแปลงสมการได้

$$\alpha/p = Ae - \beta/(E/p)$$

จากสมการข้างบน เราให้ค่าของ A = A(T) และ B = A-U_i โดยให้ A และ B นั้นเป็นค่าคงตัว โดยขึ้นกับชนิดของกาซ โดยจากกัดย่านฟังก์ชั่นของ E/p ซึ่งความสัมพันธ์ของ A,B และ ย่านฟังก์ชั่น E/p นั้นเป็นไปตามตารางข้างล่าง

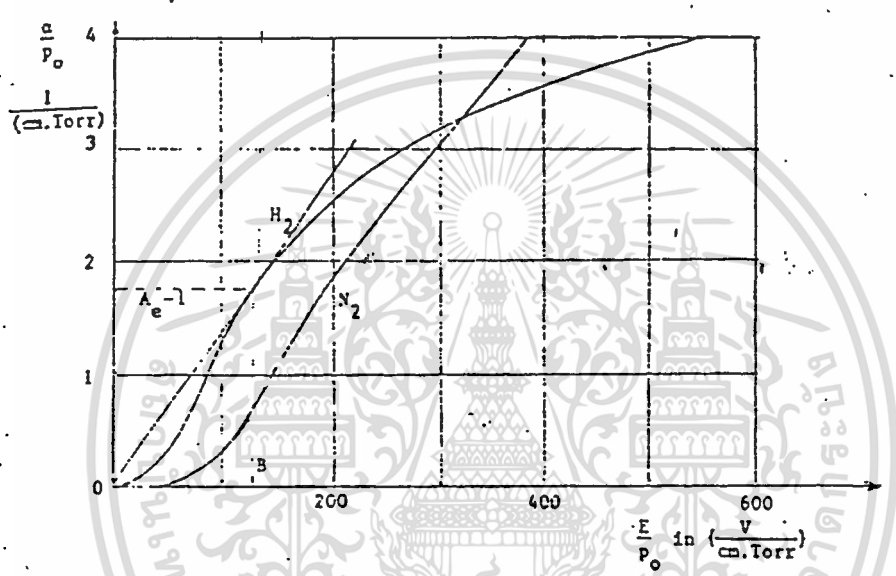
กาซ	A $(cm - Torr)^{-1}$	B $(cm - Torr)^{-1}$	ย่านที่ใช้ได้ $(\frac{V}{cm - Torr}, \frac{E}{p})$
Air	15	365	100 - 800
N_2	12	342	100 - 600
H_2	5.1	136.8	20 - 600
He	3	34	20 - 150
Ne	4	100	100 - 400
A	14	180	100 - 600
Kr	17	240	100 - 1000
Xe	26	350	200 - 800
CO_2	20	466	500 - 1000
H_2O	13.9	356	150 - 1000

กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าคงที่ A , B และ ย่านฟังก์ชั่น E/P

ตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการของ $\alpha/p = f(E/p)$ นั้นคือ แฟคเตอร์สำคัญที่กำหนดการเพิ่มทวีคูณของอนุภาค ซึ่งถ้ามีมากก็จะนำเข้าไปสู่การเกิดเบรคดาวน์ในก๊าซได้ เราจะยกตัวอย่างของความสัมพันธ์สัมประสิทธิ์การอิออนไนซ์ ในก๊าซ 2 ตัว คือ N_2 และ H_2 ดังกราฟข้างล่าง



กราฟความสัมพันธ์สัมประสิทธิ์อิออนไนซ์ในก๊าซ N2 และ H2

รูปที่ 2.4

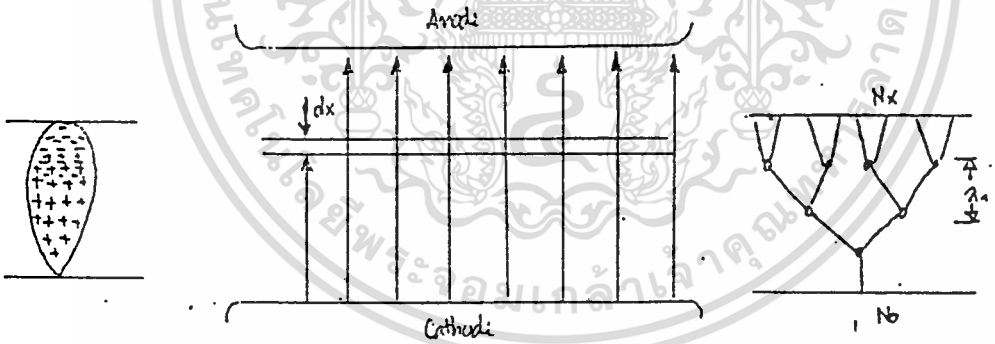
จากกราฟเราจะสังเกตได้ว่า ค่าของ α/p ไม่ได้เริ่มที่แกนศูนย์ แต่เริ่มที่ค่า E/p ค่าหนึ่งที่แสดงถึงค่าความคงทน ต่อแรงดันไฟฟ้าต่ำสุด E_b เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจากสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ โดยมีอิเลคโตรดวางห่างกันมาก ซึ่งทำให้ความเครียดสนามไฟฟ้าต่ำ ดังนั้น เมื่อเป็นเช่นนี้ การเดินทางของอิเลคตรอนที่ได้รับพลังงานน้อยก็จะถูกดูดเอาอิเลคตรอนจับยึดกลายเป็นอิออนลบ เกลื่อนที่ได้ช้าทำให้เกิดการอิออนไนเซชั่นได้ยาก วิธีการนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียกว่าการเหนี่ยวการเบรคดาวน์ (เกิดขึ้นชัดมากในอนุภาคประจุลบ Electronegative gas)

<u>อะวาลานช์ของอิเลคตรอน</u> (electron avanlanche)

ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอนั้น โดยมีแผ่นอิเลกโตรดระนาบวางขนาน อิเลคตรอนที่อยู่ในสนามไฟฟ้า จะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า ทำให้อิเลคตรอนมีพลังงานจลน์ โดยถ้า อิเลคตรอนมีพลังงานจลน์สูงมากพอที่จะทำให้เกิดการอิออนไนเซชั่นได้ ก็จะทำให้เกิดอิเลคตรอนอิสระขึ้นมา กับ อิออน ซึ่งอิเลคตรอนใหม่นี้ก็จะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าไปชนกับโมเลกุลอีก เป็นอย่างนี้ไปเรื่อย ๆ โดยเพิ่มขึ้นมาก จนกระทั่งเป็น อะวานลานช์อิเลคตรอน ในการหาความสัมพันธ์ในเรื่องนี้นั้น เราดูจากรูป (2.5) ได้ดังนี้



รูปความสัมพันธ์ในเรื่อง อะวาลานช์อิเล็กตรอน

รูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ช่วงแคบ dx ห่างจากคะโถดเป็นระยะ x มีจำนวนอิเลคตรอนดังนี้ (ใช้การคิฟเฟอเรนเชียล)

$$dn_x = \alpha N_x dx$$

โดยที่ x=0 คือ อยู่ที่คะโถด มีจำนวนอิเลคตรอนเริ่มต้น N_0

ส่วนที่ระยะ x นั้นมีอิเลคตรอนเป็น N_x

ส่วนในกรณีนี้นั้นเป็นแบบสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ คือ E มีค่าเท่ากันตลอดทั้งแกป ดังนั้น ค่า α มีค่าคงตัวที่ระยะ x มีอิเลคตรอนในอะวานลานช์เป็น N_x คือ

$$N_x = N_0 e^{\alpha x}$$

แต่ระยะระหว่างคะโถด กับ อะโนดมีระยะ d ดังนั้น จำนวนอิเลคตรอนที่วิ่งไปถึงอะโนด โดยจำนวนอิเลคตรอน กับ ไอออนบวก เพิ่มขึ้นตามสมการซึ่งเป็นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล ดังสมการนี้

$$N_x = N_0 e^{\alpha d}$$

เมื่อเราต้องการรู้กระแสที่อยู่ระหว่างอิเลคตรอน ก็จะได้โดยคูณค่าประจุของอิเลคตรอนเข้าไป ได้ดังนี้

$$I = I_0 e^{\alpha d}$$

โดยค่า I_0 คือ ค่าของกระแสเริ่มต้นเป็นผลมาจากอิเลคตรอนเริ่มต้นจากคะโถดเท่านั้นที่เกิดการไอออนไนซ์ เพราะ อิเลคตรอนมีพลังงานจลน์พอเพียง เรียกว่ากระแสโฟโต (photo current) แต่ในบางกรณี นั้น อิเลคตรอนที่คะโถดไม่สามารถที่จะทำการไอออนไนซ์ได้ เพราะ มีพลังงานจลน์ไม่เพียงพอ คือ น้อยกว่า W_i ส่วนมากเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีความดันก๊าซต่ำ โดยมีระยะจากผิวละโลดถึงระยะ ไม่มีการอิออนไนซ์ โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\eta = U_i/E$$

ในการหาสัมประสิทธิ์การชน α นั้น เกิดจากการวัดค่าของกระแส I และ I_0 ระหว่างอิเลคโตรดที่ระยะ d ซึ่งได้ค่าที่แตกต่างกันนั้น เราจะนำมาเขียนกราฟ log ระหว่าง อัตราส่วน I กับ I_0 (I/I_0) กับ ระยะแกป d จะได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง โดยได้จากสมการ

$$I = I_0 e^{\alpha d}$$

นำมาเขียนสมการใหม่ได้

$$I/I_0 = e^{\alpha d}$$

ทำการ take log ฐาน e

$$\ln I/I_0 = \alpha d$$

เพราะฉะนั้น

$$\alpha = (\ln I/I_0)/d$$

ที่ระยะแกป $d=d_1$ ได้

$$\alpha_1 = (\ln I_1/I_0)/d_1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ระยะแกป $d=d_2$ ได้

$$\alpha_2 = (\ln I_2/I_0)/d_2$$

ในการทำให้อัตราส่วนของ E/p ลงตัวได้

$$\alpha_1 = \alpha_2$$

ทำการหาค่าระนาบ I_0 ได้

$$\ln (I_1/I_0)/d_1 = \ln (I_2/I_0)/d_2$$

$$\ln I_0 = (d_2 \ln I_1 - d_1 \ln I_2)/(d_2-d_1)$$

ในกรณีของกระแส I_0 ที่เกิดขึ้นนั้นมักจะเกิดจากการฉายแสง UV บนกระโดด เราจึงเรียกว่า กระแสโฟโต ในการปฏิการใช้ความร้อนนั้นไม่นิยมเพราะว่า ทำให้อิเลคตรอนเริ่มต้น มีความผันผวนไม่สม่ำเสมอ

<u>โฟโตอิออนไนเซชั่น</u>

จากอะตอมไฮโดรเจนนั้น เมื่อมีการป้อนพลังงานเข้าไปนั้น อาจทำให้อิเลคตรอนของไฮโดรเจนหลุดออกมาได้ แต่ในกรณีนี้ อิเลคตรอนเพียงแค่แยกตัวออกห่างโดยมีแนวทางวิถีไม่แน่นอน หรือ วงโคจรที่ไม่แน่นอน ลักษณะคล้ายกลาว อะตอมของไฮโดรเจนเพียงแค่ถูกกระตุ้น มิได้เกิดการไอออนไนเซชั่น การเกิดการกระตุ้นนั้นใช้เวลาเพียง 10^{-8} ถึง 10^{-7} เท่านั้น

หลังจากเวลาช่วงที่ถูกกระตุ้นแล้ว อะตอมจะกลับสู่ภาวะปกติ แล้วจะทำการคายพลังงานออกมาค่าหนึ่ง โดยพลังงานที่ออกมาอยู่ในรูปโฟตอน พลังงานที่ออกมานี้จะสามารถออกไปกระทบกับอะตอมหรือโมเลกุล ซึ่งจะถ่ายเทพลังงานให้ซึ่งอาจทำให้ตื่นกระตุ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้เกิดการอิออนไนเซชั่นได้

ในการเกิดอิออนไนเซชั่น โดยมีสาเหตุจาก อะตอม หรือโมเลกุล จับพลังงานรังสีโฟตอน เราเรียกว่า โฟตอนอิออนไนเซชั่น (photon-ionization) พลังงานโฟตอนที่ทำให้เกิด อิออนไนเซชั่น ได้นั้นต้องมีค่าดังนี้

$$h\gamma \quad =< \quad W_e \text{ หรือ } W_i$$

โดยที่

h = ค่าคงตัวของ plank คือ $6.6257 \cdot 10^{-34}$ Joule-sec

γ = ความถี่ของรังสี

จำเป็นต้องให้แสงมีระยะอิสระ นั้นคือ

$$\lambda \quad <= \quad C_0 h/W_e \quad \text{หรือ} \quad \lambda <= C_0 h/W_i$$

<u>เทอร์มอลอิออนไนเซชั่น</u> (Thermal ionization)

ในกรณีที่อะตอม หรือ โมเลกุล เกิดการอิออนไนเซชั่น โดยพลังงานความร้อน โดยเกิดในกาซที่อุณหภูมิสูง ๆ เป็นการ เทอร์มอลอิออนไนเซชั่น โดยเกิดขึ้นจาก

1) ในกรณีที่อุณหภูมิสูงนั้น ทำให้อะตอม หรือ โมเลกุลมีพลังงานจลน์สูง ทำให้ความเร็วมาก ซึ่งอาจทำให้โมเลกุล หรือ อะตอมชนกันเองได้ จนเกิดการอิออนไนเซชั่น

2) ในกาซร้อนอาจมีการปล่อยพลังงานโฟตอนออกมา ซึ่งอาจเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิออนไนเซชั่น

3) เกิดการชนของอิเลคตรอนที่มาจากปรากฏการณ์ในข้อ 1 และ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสาร... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามทฤษฎีของความเร็วการกระจายแม็กเวลล์นั้น อะตอมของกาซซึ่งมีความเร็วแตกต่างกันนั้นขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิของระบบ ดังนั้น การเกิดอิออนไนเซชั่นของการชนโมเลกุลด้วยกัน เนื่องจาก มีพลังงานจลน์มากขึ้น เป็นไปได้ยากที่อุณหภูมิห้องเพราะโมเลกุลมีมวลใหญ่มาก และจากการคำนวนนั้นจะเกิดการอิออนไนเซชั่นจากโมเลกุลที่อุณหภูมิห้องนั้น เกิดขึ้นทุก ๆ 10^{500} ปี ฉะนั้นการเกิดอิออนไนเซชั่นของเกอร์มอลนั้นไม่นิยมเกิดขึ้น

saha ได้แสดงการคำนวนหาขีดคั่นการเกิดอิออนไนเซชั่นการชน ในเทอมของความดัน p และ อุณหภูมิสมบูรณ์ ดังนี้

$$a^2/(1-a^2) = (2.4 \cdot 10^{-4}\ 2.5\ e^{Wi/Kt})/p$$

เมื่อ

T = อุณหภูมิสมบูรณ์ หน่วยเป็น เคลวิน

p = ความดัน หน่วยเป็น ทอร์

W_i = พลังงานอิออนไนเซชั่น หน่วยเป็น ev

K = ค่าคงตัวโบลท์ซมันน์ หน่วยเป็น ev/k

และนิยาม

a : เป็นอัตราส่วนของจำนวนอนุภาคอิออนไนซ์ N_i ต่อ จำนวนอนุภาคทั้งหมด N คือ

$$a = N_i/N$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อุณหภูมิต่ำ ค่า a มีค่าน้อยกว่า 1 เช่น ไอปรอทอุณหภูมิ 6300 k และความดัน 760 ทอร์ จากสมการ saha จะได้

$$a = (2.4 \cdot 10^{-4} \ 2.5 \ e^{-Wi/kt})/p$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่องที่ 3

กลไกของการเบรคดาวน์ในกาซ (Mechanisms of breakdown in gas)

การดิสชาร์จในกาซแบ่งโดยทั่ว ๆ ไปได้เป็น 2 แบบ คือ

1 ลนับสนุนตัวเองได้ (self-sustaining) หมายถึง การดิสชาร์จยังเกิดตามปกติแม้ว่าจะเอาแหล่งป้อนสนามไฟฟ้าออก

2 ไม่สามารถลนับสนุนตัวเองได้ (non-selfsustaining) หมายถึง การดิสชาร์จจะหยุดทันทีเมื่อเอาแหล่งป้อนสนามไฟฟ้าออก

กลไกการเบรคดาวน์ของกาซซึ่งเรียกว่า สปาร์ค (spark) คือ การเปลี่ยนจากการดิสชาร์จแบบลนับสนุนตัวเองไม่ได้ เป็นแบบลนับสนุนตัวเองได้

กลไกของการเบรคดาวน์ที่ยอมรับกันโดยทั่วไปแล้วมี 2 อย่าง คือ กลไกการเบรคดาวน์ของ Townsend และ กลไกการเบรคดาวน์ Streamer การเบรคดาวน์ของกาซจะสามารถเป็นไปได้โดยกลไกสิ่งที่ได้กล่าวมาแล้วได้ทั้ง 2 แบบ แต่ต่างสภาวะกาวณ์เท่านั้น

กลไกเบรคดาวน์ของ Townsend

ในเรื่องดิสชาร์จของกาซนั้น อิเลคตรอนเริ่มต้นอาจเกิดเนื่องมาจาก การแผ่รังสีคอสมิก ทำให้เกิดโฟตอน และ ไปออนไนซ์อะตอมเป็นกลาง หรือ อิเลคตรอนอาจหลุดจากคะโธด เนื่องจากการส่องแสงอุลตร้าไวโอเลตไปยังคะโธด เป็นต้น

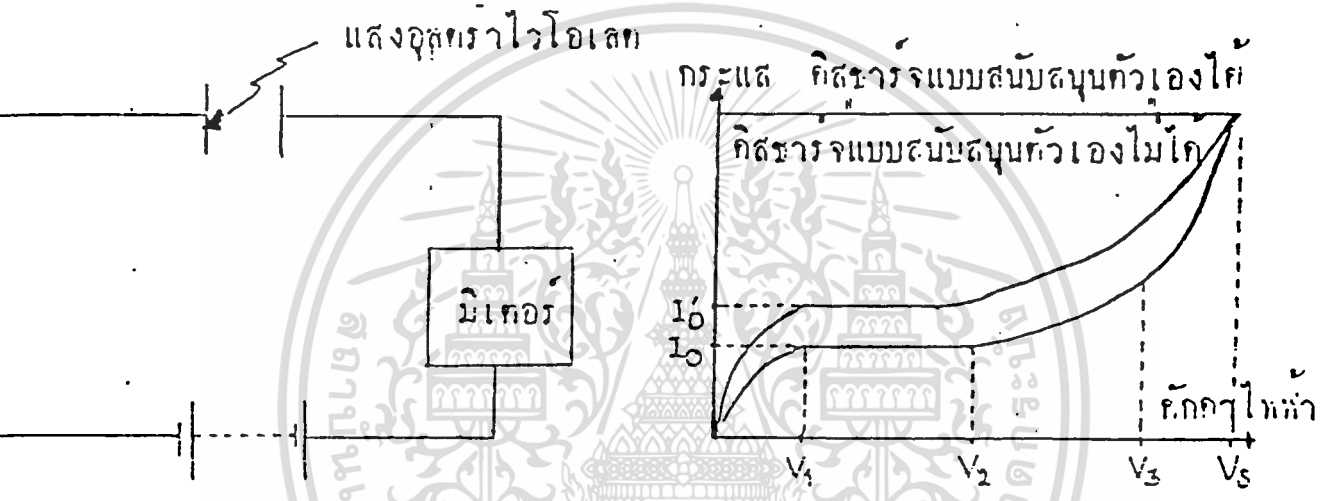
ในกรณีที่ไม่มีสนามไฟฟ้าจะเกิดการสมดุลย์ระหว่าง อัตราการเกิดของอิเลคตรอน และ อิออนบวก กับ อัตราการสูญเสียของอิออน ในระบบอิเลคโตรดที่สนามไฟฟ้าเป็นแบบสม่ำเสมอ (เช่นระนาบขนานกัน) เมื่อสนามไฟฟ้าที่มีค่าสูงมากพอจะทำให้ความสมดุลย์ระหว่างการเกิด และ การสูญเสียของอิออนหมดไป

Townsend ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของกระแสระหว่างอิเลคโตรดแบบระนาบขนานกัน เนื่องจากสนามไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปสรุปได้ 3.1 Townsend พบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสในช่องว่าง (gap) ตอนต้นเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วน กับ ศักดาไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป ทั้งนี้

เพราะอิเลคตรอนที่ถูกปล่อยจากกะโดด เคลื่อนที่ผ่านกาซด้วยความเร็ว ซึ่งขึ้นอยู่กับสนามไฟฟ้า หรือ ศักดาไฟฟ้า เมื่อศักดาไฟฟ้าสูงขึ้นกระแสก็สูงขึ้นจนมีค่าเกือบคงที่เท่ากับ I_0 ดังในรูปที่ 3.2 กระแส I_0 ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของการแผ่รังสีอุลตร้าไวโอเลต ถ้าระดับความเข้มข้นของแสงเพิ่มมากขึ้น ระดับของกระแสก่อคงก็ที่เพิ่มขึ้นไปเป็น I_0' ดังในรูปที่ 3.2



รูปของระดับกระแสในการดิสชาร์จ แบบต่าง ๆ

รูปที่ 3.1 และ 3.2

เมื่อเพิ่มศักดาไฟฟ้าให้สูงขึ้นต่อไปอีก กระแสจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การเพิ่มขึ้นของกระแสอย่างรวดเร็วนี้ Townsend ได้ให้เหตุผลว่าเกิดการไอออนไนเซชั่นของกาซเนื่องจากการชนกันของอิเลคตรอนทำให้กระแสเพิ่มขึ้นเป็น เอ็กซ์โปเนนเชียล ขบวนการนี้เรียกว่า ขบวนการแอลฟา (α process) แต่หลังจากศักดาไฟฟ้ามากกว่า V_S การเพิ่มขึ้นของกระแสมากกว่าแบบเอกซ์โปเนนเชียล จนเบรกดาวน์ที่ V_S ซึ่ง Townsend ได้ให้เหตุผลว่า การเพิ่มของกระแสในช่วงนี้ต้องมีกลไกอย่างอื่นนอกจากการชนกันเองของอิเลคตรอน ขบวนการที่เกิดเพิ่มขึ้นมานี้เราเรียกว่า ขบวนการแกมม่า (γ Process)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กักลาไฟฟ้า V_s ที่เกิดการเบรคดาวน์ไม่เปลี่ยนแปลง แม้ว่าความเข้มข้นของแสงอุลตร้าไวโอเลต เปลี่ยนไปถ้าหากไม่มีประจุอวกาศ (space charge) มาทำให้สนามไฟฟ้าเปลี่ยน

อิเลคตรอนตัวแรกของ townsend ซึ่งถูกนิยามว่าเป็นจำนวนอิเลคตรอนที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของอิเลคตรอน 1 ตัว เคลื่อนที่ไปเป็นระยะทาง 1 เซนติเมตร ในทิศทางของสนามไฟฟ้าให้

N_0 เป็นจำนวนอิเลคตรอน ต่อ วินาทีที่ถูกปล่อยออกมาจากคะโถด

N_x เป็นจำนวนอิเลคตรอนที่ระยะทาง x จากคะโถด

จำนวนอิเลคตรอน N_x ที่ระยะทาง x จากคะโถดจะทำให้เกิดอิเลคตรอนใหม่เพิ่มขึ้นเมื่อเคลื่อนที่ไปเป็นระยะทาง dx มีค่า

$$dN_x = \alpha N_x dx$$

หรือ

$$N_x = N_0 e^{\alpha x}$$

ดังนั้นจำนวนของอิเลคตรอนที่เข้าไปหาอะโนดต่อวินาที (x=d) มีค่า

$$N_d = N_0 e^{\alpha d}$$

สมการข้างบน แสดงให้เห็นว่าถ้าเกิดอิเลคตรอน N_0 ตัวจากคะโถด จำนวนอิเลคตรอนที่วิ่งไปหาอะโนดมีจำนวน N_d อิเลคตรอน ดังนั้น อิเลคตรอน 1 ตัวที่ออกจากคะโถดทำให้เกิด อิเลคตรอนใหม่ $(e^{\alpha d}-1)$ตัวในระยะทางที่เคลื่อนที่ไป d

เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเลคตรอนทำให้เกิดกระแส ดังนั้นในกรณี steady-state จำนวนอิออนบวกที่วิ่งมาชนคะโถด ต่อวินาที เท่ากับอิเลคตรอนใหม่ที่วิ่งไปชนอะโนด สมการของกระแสสามารถเขียนได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I = I_0 e^{\alpha d}$$

I_0 คือ กระแสโฟโตอิเลคตริก

กระแสในสมการข้างบน เป็นกระแสเนื่องมาจากการ avalanche ของอิเลคตรอน และ สมการก็ไม่ได้แทนลิสชาร์จแบบสนับสนุนตัวเองได้ เนื่องมาจากว่ามันขึ้นอยู่กับค่า I_0

จากการทดลอง และ จากทฤษฎีแสดงให้เห็นว่า α/p เป็นฟังก์ชั่น E/p ซึ่ง E คือ เกรเดียนท์ของสนาม และ P เป็นความดันกาซ ความสัมพันธ์ระหว่าง α และสนาม E และ ความดันของกาซ p ได้แสดงโดย townsend ไว้ดังต่อไปนี้ พลังจากอิเลคตรอนเคลื่อนที่ไปเป็นระยะทาง free path ในทิศทางของสนาม E พลังงานที่อิเลคตรอนได้รับมีค่า Ee ถ้าพลังงาน Ee มีค่ามากกว่า หรือ เท่ากับพลังงานอิออนไนเซชั่น eV_i ของกาซจะทำให้เกิดอิออนไนเซชั่นขึ้น โอกาสที่อิเลคตรอนจะอิออนไนซ์กาซขึ้นอยู่ กับ โอกาสที่จะเกิด $\lambda >= \lambda_i = V_i/E$ มีมากน้อยมาเพียงใด

จากทฤษฎี Kenetic จำนวนอิเลคตรอนที่จะมี free path ยาวกว่า มีค่า

$$N_0 = N_0 e^{-\lambda i/\lambda m}$$

$$= N_0 e^{-Vi/\lambda m E}$$

N_0 = จำนวนของอนุภาคที่เริ่มต้นของระยะ free path

λ_m = free path เฉลี่ย

จำนวนการชนกันที่ทำให้เกิดอิออนไนเซชั่น (α) ต่อระยะทาง 1 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับจำนวน free path มีค่ามากกว่าระยะทางอิออนไนเซชั่น เขียนได้เป็นสมการว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\alpha = e^{-Vi/\lambda mE}/\lambda m$$

แต่ $V/\lambda m = Ap$, A เป็นค่าคงที่ ดังนั้น

$$\alpha/p = Ae^{-(Avi-p)/E}$$

$$\alpha/p = Ae^{-Bp/E}$$

ดังนั้น

$$\alpha/p = f(E/p)$$

จากการทดลองก็ได้ว่า α/p มีความสัมพันธ์กับ E/p

<u>ขบวนการแกมม่า</u> (γ process)

ขบวนการ avalanche กลุ่มเดียวที่เกิดในขบวนการแอลฟ่าตามที่ได้กล่าวจะสมบูรณ์ก็ต่อเมื่ออิออนไล่เข้าไปที่ละโกดหมด แต่ขบวนการแอลฟ่าอย่างเดียวไม่ได้ทำให้เกิดการเบรคดาวน์ เมื่อพิจารณาจากรูป 2.4 ความต่างระหว่างศักดาไฟฟ้า V_3 และ V_s เขียนเป็นไปจากสมการ $I = I_0e^{\alpha d}$ ซึ่ง townsend ได้อธิบายไว้ว่าต้องมีขบวนการนอกจากขบวนการแอลฟ่า ที่จะทำให้เกิดการเบรคดาวน์ได้ นั่นคือ ขบวนการแกมม่า (γ process) สำหรับรายละเอียดของขบวนการแกมม่าจะได้พิจารณาดังต่อไปนี้

เมื่อเกิด avalanche เนื่องจากขบวนการแอลฟ่าแล้ว ถ้าหากการขยายตัวของ avalanche เพิ่มมากขึ้นโอกาสที่จะเกิดอิเลคตรอนขึ้นภายใน เนื่องจากกลไกแบบอื่นก็เพิ่มมากขึ้น และ อิเลคตรอนที่เกิดขึ้นใหม่นี้สามารถทำให้เกิด avalanche ใหม่ได้

ขบวนการที่ทำให้เกิดอิเลคตรอนใหม่ ในขบวนการแกมม่าที่สำคัญ สามารถอธิบายได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ขณะที่อิออนบวกที่เกิดเนื่องมาจาก avalanche กลุ่มแรกไม่สามารถรับพลังงานจลน์ ในสนามไฟฟ้าได้มากพอที่จะไปอิออนไนซ์โมเลกุล มันอาจมีพลังงานมากพอที่จะทำให้อิเลคตรอนหลุดออกมาเมื่ออิออนบวกนี้ไปกระทบ กับ คะโถด

2) โมเลกุลที่ถูกเร็กไซด์ใน avalanche อาจจะทำให้เกิดโฟตอนได้ และถ้าแผ่รังสีนี้อาจไปตกกระทบบนคะโถด ทำให้เกิดอิเลคตรอนหลุดออกมาได้เนื่องจากโฟตอนนี้ อิเลคตรอนที่เกิดขึ้นอาจทำให้เกิด avalanche ใหม่ของมันเอง

3) โมเลกุล matastable อาจแผ่กระจายกลับไปยังคะโถด และ ทำให้อิเลคตรอนหลุดออกมาเมื่อ โมเลกุลนี้ไปกระทบคะโถด

ขบวนการทั้ง 3 อย่างนี้ ที่กล่าวมาแล้วนี้รวมเรียกว่า ขบวนการแกมม่า townsend ได้ สมมติ ให้เป็นสัมประสิทธิ์การอิออนไนเซชั่นตัวที่สอง (Townsend 's second ionization coefficient) ซึ่งถูกนิยามว่าเป็นจำนวนเฉลี่ยของอิเลคตรอนที่เกิดขึ้นที่คะโถด ต่อ อิเลคตรอนหนึ่งตัวที่เกิดในช่องแคบ เนื่องจากขบวนการแอลฟ่า

$$\gamma = \gamma_i + \gamma_p + \gamma_m$$

γ_i = สัมประสิทธิ์เนื่องจากอิออนบวกจากข้อ 1

γ_p = สัมประสิทธิ์เนื่องจากโฟตอนจากข้อ 2

γ_m = สัมประสิทธิ์เนื่องจาก metastable จากข้อ 3

ขบวนการแกมม่าก็คล้ายกับขบวนการแอลฟ่า จำนวนอิเลคตรอนใหม่ที่เกิดขึ้นในขบวนการแกมม่าซึ่งมีค่าเท่ากับ $\mu = \gamma (e^{\alpha d}-1)$ ต่อ avalanche นั้น ทำให้เกิดอิเลคตรอนใหม่วิ่งต่อไป ถ้าหากจำนวนอิเลคตรอนเริ่มแรกก่อนเริ่มขบวนการแกมม่ามีจำนวน N_0 อิเลคตรอน จำนวนอิเลคตรอนชุดสองก่อนเริ่มขบวนการแกมม่ามีจำนวน μN_0 อิเลคตรอน นอกจากนี้ขบวนการแกมม่ายังคล้ายคลึงกับ ขบวนการแอลฟ่าที่ว่า สัมประสิทธิ์แกมม่าเป็นฟังก์ชั่นของสนามไฟฟ้า และ ความดันก๊าซ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสที่เกิดภายในช่วงศักดาไฟฟ้าระหว่าง V_3 และ V_s ในรูปที่ 2.4 ซึ่งประกอบด้วย ขบวนการแอลฟา และ ขบวนการแกมม่า สามารถหาได้ดังนี้

ให้

$\bar{\alpha}$ = เป็นจำนวนอิเลคตรอนที่เกิดที่คะโถด ต่อ อิเลคตรอนหนึ่งตัว ที่เกิดในขบวนการแอลฟา หรือ ต่อการชนกันของอิออนไนเซชั่นหนึ่งครั้งในช่องว่าง

N_0 = เป็นจำนานของอิเลคตรอนที่ออกจากคะโถด ต่อ วินาที เนื่องจากโฟตอนตอนเริ่มต้นของขบวนการแอลฟา

N_0' = จำนวนอิเลคตรอนที่เกิดขึ้นที่คะโถด ต่อ วินาที ตอนเริ่มต้นของขบวนการแกมม่า

N_0'' = จำนวนอิเลคตรอนทั้งหมดที่ออกจากคะโถด ต่อ วินาที

ดังนั้น

$$N_0'' = N_0 + N_0'$$

อิเลคตรอนแต่ละตัวที่ออกจากคะโถด ทำให้เกิดการชนกันของอิออนไนเซชั่น $(e^{\bar{\alpha}d}-1)$ ครั้งในช่องว่าง ดังนั้นจำนวนการชนกันของอิออนไนเซชั่น ต่อ วินาที ภายในช่องว่างเท่ากับ $N_0''(e^{\bar{\alpha}d}-1)$ และจากนิยามของ $\bar{\alpha}$ จะได้

$$N_0' = N_0''(e^{\bar{\alpha}d}-1)$$

$$N_0'' = N_0 + N_0''(e^{\bar{\alpha}d}-1)$$

$$N_0'' = N_0 \,/\, 1-(e^{\bar{\alpha}d}-1)$$

จำนวนอิเลคตรอนที่ไหลในอะไนดเป็นค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N_d = N_0 // e^{\alpha d}$$

$$= N_0 e^{\alpha d} / 1-\gamma(e^{\alpha d}-1)$$

ในกรณี steady-state กระแสที่เกิดขึ้นเขียนได้เป็นสมการ

$$I = I_0 e^{\alpha d} / 1- (e^{\alpha d}-1) \quad -(3.1)$$

<u>กฎเกณฑ์ของทาวน์เซนด์สำหรับการเบรคดาวน์</u>

เมื่อศักดาไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไประหว่างช่องว่างเกต ของอิเลคโทรดเพิ่มขึ้น สนามไฟฟ้าในช่องว่างก็เพิ่มมากขึ้น และ กระแสก็เพิ่มตามสมการ (3.1) จนกระทั่งถึงจุดหนึ่งที่เปลี่ยนจากการไหล ของกระแสไฟฟ้าธรรมดาเป็นดิสชาร์จแบบสนับสนุนตัวเองได้ การเปลี่ยนแปลงแบบนี้ทำให้เกิดกระแสไหลแบบทันทีทันใด และ ขนาดของกระแสถูกกำหนดได้ด้วยความต้านทานของวงจร และ กาชตัวนำ สภาพการณ์แบบนี้ถูกนิยามว่า คือ เบรคดาวน์ เมื่อพิจารณาจากสมการ (3.1) ถ้าไม่มีความต้านทานของวงจรกระแสเมื่อถึงเบรคดาวน์มีค่าสูงมากเมื่อ $(e^{\alpha d}-1)$ หรือประมาณ $e^{\alpha d}-1$ เนื่องจาก $e^{\alpha d}>>1$ LOEB ได้อธิบายกฎเกณฑ์ของทาวน์เซนด์สำหรับการเบรคดาวน์ไว้ดังนี้

1)สำหรับ $e^{\alpha d}<1$ กระแสดิสชาร์จไม่เป็นแบบสนับสนุนตัวเองได้ นั่นคือ เมื่อเอาแหล่งป้อนไฟออกกระแสก็หยุดไหล

2)สำหรับ $e^{\alpha d}=1$ จำนวนของ $e^{\alpha d}$ ที่เกิดขึ้นภายในช่องว่างเนื่องจากอิเลคตรอนเพียงตัวเดียว มีมากพอที่จะทำให้มีอิออนบวก เมื่อกระทบกับคะโธดสามารถทำให้อิเลคตรอนในแผ่นโลหะออกมา และ เกิดขบวนการ avalanche ซ้ำอีก ดิสชาร์จแบบนี้เป็นแบบสนับสนุนตัวเองได้ และ ขบวนการยังคงเกิดต่อไปได้ ถึงแม้ว่า จะเอาแหล่งป้อนไฟออก และ กรณีของ $e^{\alpha d} = 1$ ถือ ได้ว่าเป็นจุดวิกฤตของการเบรคดาวน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3)สำหรับ $e^{\alpha d}>1$ อิออนไนเซชั่นที่เกิดเนื่องจาก avalanche มากมายเป็นแบบสะสม (cumulative)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่องที่ 4

Paschen's law

จากเงื่อนไขการเบรคดาวน์

$$\gamma(e^{\alpha d}-1) = 1$$

$$\gamma e^{\alpha d} = 1+\gamma$$

$$e^{\alpha d} = 1+\gamma/\gamma$$

$$e^{\alpha d} = 1+1/\gamma \quad \text{Tonsend criterion}$$

กาวิเคราะห์นี้มีข้อว่าสนามไฟฟ้าเป็นแบบ unioform field

เนื่องจาก

$$\alpha/p = f(E/P)$$

เพราะฉะนั้น

$$e^{f(E/p)pd} = 1+1/\gamma$$

$$f(E/P)pd = \ln(1+1/\gamma) = k$$

เนื่องจาก uniform field

เพราะฉะนั้น

$$V_b = E \cdot d$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

V_b คือ แรงดันเบรคดาวน์

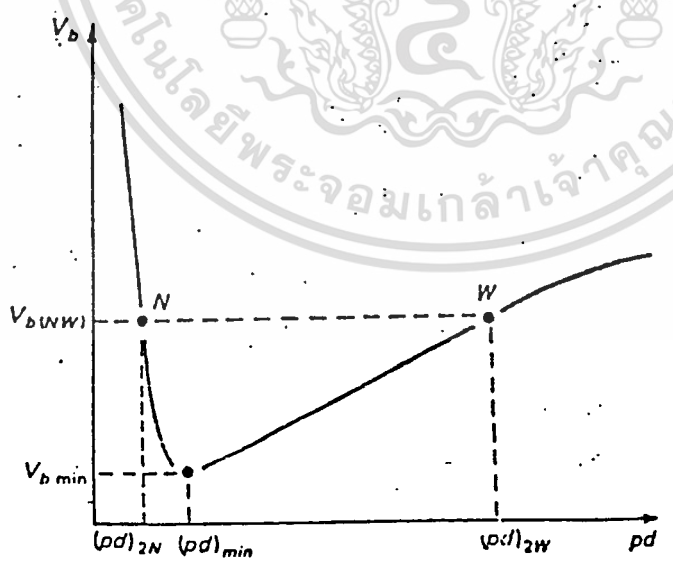
$$f(V_b/pd)pd = k \qquad \text{สมการที่ } 4.1$$

$$V_b = F(pd)$$

ซึ่งแสดงว่า แรงดันเบรคดาวน์ หรือ sparking voltage ของแก๊สใน Uniform เป็นฟังก์ชั่น ของ ผลคูณระหว่าง และ ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรดเท่านั้น

สมการที่ 4.1 นั้นเราเรียกว่า Paschen's law ค้นพบเมื่อ คศ 1889 แต่สมการนี้ ไม่อธิบายว่า sparking voltage เพิ่มขึ้นเป็น linear function กับผลคูณ pd และ จากการทดลอง ปรากฏว่า เป็นเส้นกราฟที่ค่อนข้าง linear ในบางช่วงเท่านั้น

กราฟสมการ sparking voltage กับ ผลคูณ pd อธิบายตามรูป 4.1

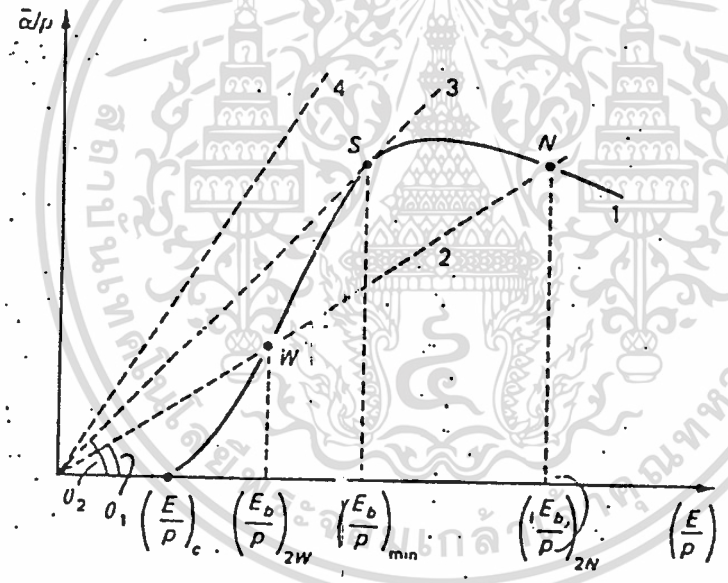


กราฟในเรื่องของ Paschen s law

รูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 พิจารณาความสัมพันธ์ Parchen's curve กับสมการ spark criterion และ จากสมการทดลองความสัมพันธ์ระหว่าง สัมประสิทธิ์ ionize และ ความเข้มสนามไฟฟ้า ($\alpha/p = f(E/p)$) ของกาซ เราจะสามารถสร้างกราฟตามรูปที่ 4.2 ได้ (curve 1)



กราฟความสัมพันธ์ Paschen curve กับสมการ Spark criterion

รูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จัดรูปสมการ townsend criterion และจากความสัมพันธ์ของ Voltage ความเข้มสนามไฟฟ้า กับ แกป ภายใน uniform field , $V_b=Ed$ จะได้ว่า

$$f(E/P)pd = k$$

$$\alpha/p\ pd = k$$

$$\alpha/p = k/pd = KE/V_bP$$

และ

$$\tan\theta = (\alpha/p)/(E/P) = K/V_b \quad \text{สมการที่ 4.2}$$

จากสมการที่ 4.2 จะเห็นว่าค่า K เป็นค่าคงที่ ฉะนั้น ความชันของเส้นตรง ($\tan\theta$) จึงขึ้นอยู่กับค่า V_b ดังแสดงในรูป (curve 2,3,4)

ที่ค่า V_b ค่า ๆ (curve 4) จะไม่ตัดกับ (curve $\alpha/p=f(E/P)$ ดังนั้นจะไม่เกิดการเบรคดาวน์ ที่ค่า Voltage ต่ำกว่า ค่า minimum voltage (V_{bmin}) ที่ค่า Voltage สูงกว่า V_{bmin} จะเกิดการเบรคดาวน์ ที่ค่า pd ต่างกัน 2 ค่า คือ ที่ความดันเดียวกัน จะเกิดการเบรคดาวน์ 2 ครั้ง ที่ระยะ แกปเล็ก (d_1) และ ระยะแกปใหญ่ (d_2) ที่จุด n และ w ในรูป

สวนจุด s แสดงว่า sparking voltage ที่ต่ำสุด จุด s,n และ w แสดงใน Paschen's curve รูปที่ 4.1

เราจะอธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง Voltage V_b กับระยะแกป โดยพิจารณาพลังงานการอิออนไนซ์ ของ อิเลคตรอนระหว่างแกป โดยไม่เกิดขบวนการแกมม่า

ที่ค่า $pd > pd_{(min)}$ จะปรากฏการชนกันของ อิเลคตรอนจำนวนครั้งมากกว่า pd_{min} แต่พลังงานการอิออนไนซ์ ที่เกิดจากการชนกันมีค่าน้อยกว่า ดังนั้น ไอกาศที่จะเกิด จะน้อยกว่า ถ้าไม่เพิ่ม Voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนค่า $pd < pd_{(min)}$ อิเลคตรอนภายในแกป จะไม่เกิดการชนกันมากนัก เพราะฉะนั้น การอิออนไนซ์ จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดที่ $pd_{(min)}$

จากความสัมพันธ์ วิเคราะห์สมการ

$$\alpha = AP \exp(-Bp/E)$$

$$= Ap \exp(-Bpd/V_b)$$

$$\alpha d = f(E/P)pd$$

$$= \ln(1+1/\gamma)$$

$$d = \ln(1+1/\gamma) / \alpha$$

$$d = e^{Bpd/V_b} \ln(1+1/\gamma)/ Ap$$

จัดรูปใหม่

$$V_b = (Bpd)/(\ln Apd/\ln(1+1/\gamma)) \quad ..4.3$$

ในอากาศแห้ง ค่า

$A = 12 \ (cm - Torr)^{-1}$

$B = 365 \ (cm - Torr)^{-1}$

$\gamma = 0.02$, $d = 0.1$ cm

ค่าความดันบรรยากาศ 1 atm แทนค่าสมการที่ 4.3 จะได้ V_b ประมาณ 5kv

จากสมการที่ 4.3 ถ้าเราดิฟเฟอเรนเชียล เทียบกับ pd และให้มีค่า = 0 จะได้ V_{bmin}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$dV_b/d(pd) = B/\ln(Apd/\ln(1+1/\gamma)-B[\ln(Apd/\ln(1+1/\gamma)]^2$$

$$= 0$$

ดังนั้น

$$\ln(Apd/\ln(1+1/\gamma) = 1$$

และ

$$pd_{min} = e \ln (1+1/\gamma) /A$$

แทนค่าลงในสมการที่ 4.3

$$V_{bmin} = 2.718 (B \ln(1+1/\gamma)/A) \quad \text{สมการที่ 4.4}$$

สมการนี้มีประโยชน์ในการคำนวนค่า minimum sparking ที่จุดที่ (V_{bmin}, pd_{min})

ในทางปฏิบัติ ค่า sparking constant (V_{bmin} , pd_{min}) เป็นค่าจุดที่ได้จากการทดลอง ซึ่งตัวอย่างของค่า sparking นี้ ในแก๊สต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 5.12
Minimum Sparking Constants for Various Gases[29]

Gas	$(pd)_{min}$ Torr cm	V_{bmin} volts
Air	0.55	352
Nitrogen	0.65	240
Hydrogen	1.05	230
Oxygen	0.7	450
Sulphur hexafluoride	0.26	507
Carbon dioxide	0.57	420
Neon	4.0	245
Helium	4.0	155

ตารางค่า สปาร์ค ในรูปแบบของกาซต่าง ๆกัน

ตารางที่ 4.3

ถ้าเราแทนค่าสมการที่ 4.4 ด้วยค่าเหล่านี้ B = 365 , A =12 , = 0.02 ซึ่งเป็นค่าเฉพาะของอากาศ จะได้ V_{bmin} = 325 v ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าในตารางที่ได้จากการทดลอง

อย่างไรก็ดี เราจะสังเกตได้ว่า ค่าต่าง ๆ เหล่านี้ ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำคะโธด หรือ สภาพของคะโธด เนื่องจากค่า ที่ลอยู่ในสมการ ที่ 4.4

เบรกดาวน์ Voltage ของอากาศใน uniform field อาจคำนวณได้โดยใช้ Schumann's relation กับ criterion ดังนี้

(1) $dV/P = C[(E/p)-(E/P)_o]^2$ สมการที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า E และ E_c คือ ความเข้มสนามไฟฟ้า แต่ E_c เป็นค่า ความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อเริ่มการอิออนไนซ์

ค่า P คือ ความดัน และ C เป็นค่าคงที่

(2) จาก $f(E/p)\ pd = \ln(1+1/\gamma) = k$

$$f(E/p) = k/pd = \alpha/p$$

แทนค่าลงในสมการที่ 4.5

$$k/pd = C\left[(E/p)-(E/p)_c\right]^2$$

หรือ

$$E/p = (E/p)_c + \left[(k/c)/pd\right]^{1/2}$$

เพราะฉะนั้น

จะสามารถหาค่า V_b จาก

$$V_b = (E/p)_c pd + (k/c)^{1/2} \cdot (pd)^{1/2} \quad \text{สมการที่ 4.6}$$

ค่า E_c และ k/c ที่ p = 1 atm ; 20 c

$$E_c = 24.36\ (kv/cm)$$

$$k/c = 45.16\ (kv)^2/cm$$

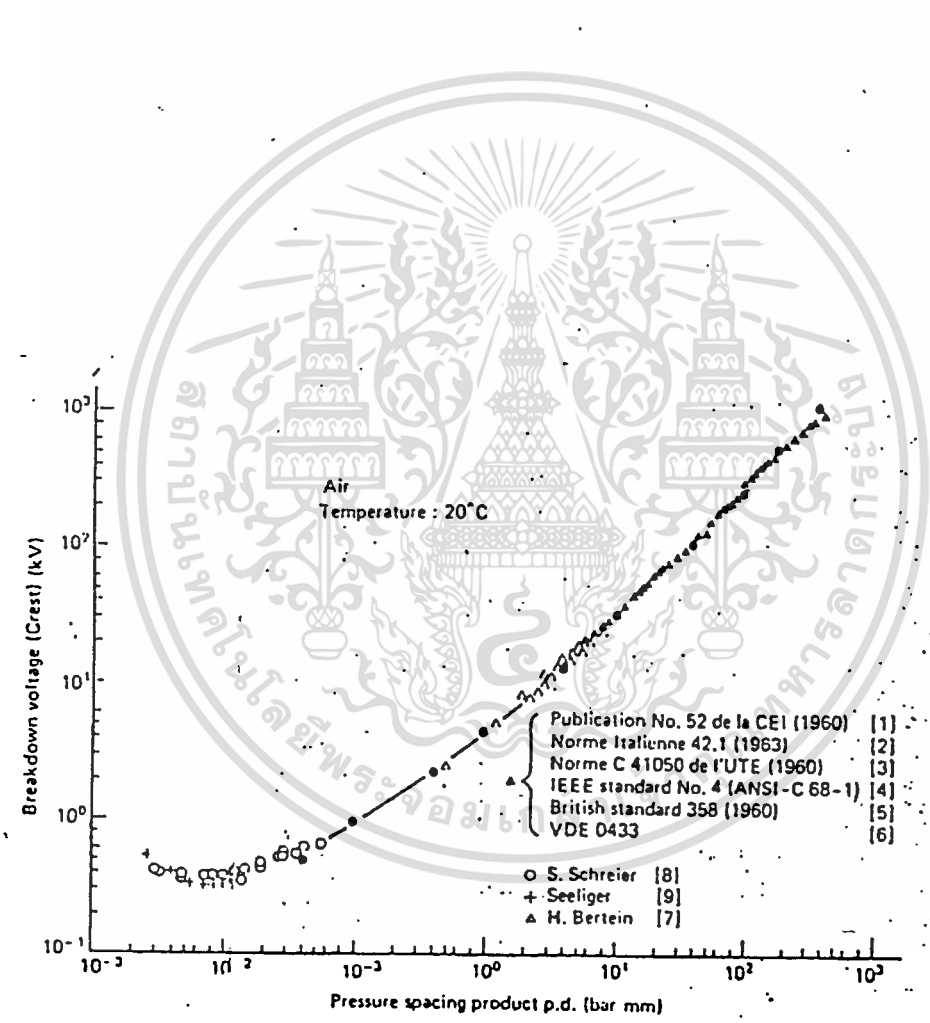
สมการที่ 4.6 จะกลายเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_b = 6.72\ (pd)^{1/2} + 24.36\ pd \quad Kv \quad \text{สมการที่ } 4.7$$

จากสมการที่ 4.7 ถ้ากำหนดระยะแกปที่ 0.1 cm ที่ความดันบรรยากาศ

จะได้ V_b = 4.56 kv ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่า V_b จากสมการที่ 4.3



กราฟการเบรคดาวน์ไวลเตจ กับค่า PD

รูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบค่า breakdown voltage ในอากาศ ที่หาได้จากการคำนวนโดยใช้สมการที่ 4.7 กับค่าจริงจากการทดลองดังรูปที่ 4.4 จะเห็นว่า ความผิดพลาดของ Schumann สมการที่ 4.6 เกิดขึ้นบริเวณ pd ต่ำ ๆ ซึ่งเป็นข้อจำกัดของสมการนี้ แต่อย่างไรก็ดีในช่วงความดันต่ำขนาดนี้มีความสำคัญน้อยมาก

การหาฉนวนในงานคิดตั้งทาง ไฟฟ้าแรงสูง เช่น Transmission line switchtards นั้น เนื่องจาก สภาพต่าง ๆ ในบรรยากาศ มีการเปลี่ยนแปลง ทั้งอุณหภูมิ และ ความดัน ขึ้นอยู่กับเวลา และ สถานที่ ทำให้คุณสมบัติการเบรคดาวน์ ของอุปกรณ์ต่าง ๆ เกิดความไม่แน่นอนในการกำหนดมาตรฐาน

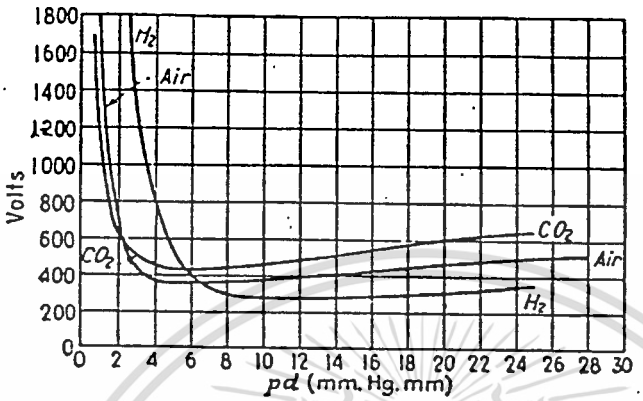
ดังนั้น จึงต้องกำหนดมาตราฐานต่าง ๆ เช่น P = 760 mmHg =760 Torr หรือ 1.01 bar และ t = 20 c = 293 k การแก้ไขในเรื่องนี้ ทำได้โดยใช้ค่า relative gas density แทนค่า ความดันในสมการของ Paschen

$$\delta = P/760 \cdot 293/273+t = 0.386\ p/273+t \qquad (4.8)$$

ค่า breakdown voltage ที่สภาพมาตราฐาน คูณด้วยแฟคเตอร์นี้ ก็จะได้ breakdown voltage ที่สภาวะที่ต้องการ

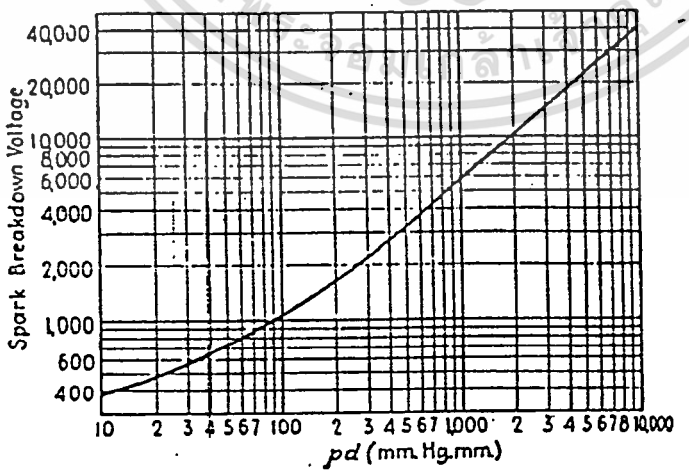
$$V_{b(\delta)} = \delta V_{b(\delta = 1)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟการเบรคดาวน์โวลเตจ กับค่า PD ของกาซต่าง ๆ

รูปที่ 4.5



กราฟ Sparking Breakdown Voltage

รูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่า breakdown voltage จะมีค่าอยู่หนึ่ง เป็นค่าน้อยที่สุด ที่ pd ค่าเดียวเท่านั้น ฉะนั้นเราอาจจะใช้ประโยชน์จากทฤษฎีนี้ในการเป็นฉนวน

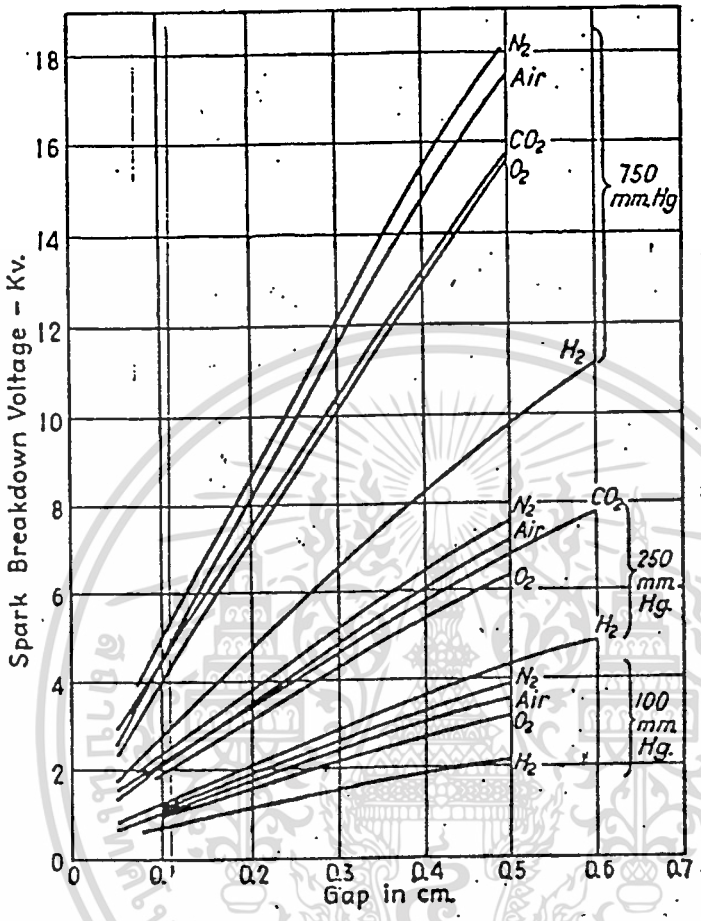
คือ จากรูปที่ 4.5 และ 4.6 ถ้าต้องการให้เกิดการเบรคดาวน์ ในอากาศที่ 1.6 kv ที่ความดันต่ำ จะมี 2 ค่า คือ 1 mmHg mm และ 160 mmHg mm ซึ่งเราสามารถเลือกระยะแกปที่น้อยกว่าได้

แต่อย่างไรก็ตาม ก็ต้องระวังการสะสมของประจุที่ผิวหน้า (surface charge) เมื่อนำชิ้นโลหะมาใกล้กัน มาให้เกด field emission ของอิเลคตรอน นอกจากนี้ที่ความดันสูงเกินไป จะทำให้การวัดระยะแกป เป็นไปได้ยาก เพราะมีขนาดเล็กมาก

Breadown voltage ของกาซอื่นเทียบกับอากาศ

จากรูปที่ 4.7 เป็นแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง breakdown voltage กับ แกป ที่ความดันต่าง ๆ ของกาซอื่น กับ อากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7

จะเห็นว่า จากรูป N_2 มีค่าความคงทนต่อ การเบรกดาวน์สูงสุด และ H_2 มีค่าความคงทนเบรกดาวน์ต่ำสุด ในขณะที่อากาศมีค่าใกล้เคียงกับ N_2 เราจึงสามารถกำหนดค่า relative spark breakdown strength ของกาซต่าง ๆ คือ ค่า V/V_{air} ดังตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Gas.....	N_2	Air	NH_3	CO_2	H_2S	O_2	Cl	H_2	SO_2
V/V_{air}.....	1.15	1	1	0.95	0.9	0.85	0.85	0.65	0.30

ตารางที่ 4.8

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 หลักในการเตรียมการทดลอง

เมื่อเราได้ศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีต่างๆ เป็นพื้นฐานในการทำการทดสอบแล้ว เราก็จำต้องทำการเตรียมอุปกรณ์ทั้งหมดที่จะใช้ทำการทดสอบ ในการเตรียมอุปกรณ์นี้เราจะแสดงให้เห็นว่า มีอุปกรณ์อะไรบ้าง

1) แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Generator) เป็นอุปกรณ์แหล่งจ่ายไฟให้กับการทดลอง โดยมีค่าที่ปรับได้ตั้งแต่ 0–600 KV เป็นอุปกรณ์ที่มีอยู่ในห้อง Lab ที่ใช้กับการทดลองในชั้นปีที่ 3 อยู่แล้ว

ในตัวแหล่งจ่ายนี้ มีตัววัดค่าต่าง ๆ อยู่แล้ว เช่น ค่า Voltage ที่เกิดคอนเบวคลาวน์ และตัววัดกระแส ใช้คอนเบวคลาวน์ เพราะจะเกินค่ากระแสเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

2) แชมเบอร์ (Ionization Chamber) เป็นอุปกรณ์ที่มีการเบวคลาวน์อยู่ข้างใน สามารถควบคุมความดันและระยะแกปของอิเลคโตรดได้ เป็นอุปกรณ์ที่มีอยู่เก่าแล้วในห้อง Lab โดยได้นำมาปรับปรุงใหม่ให้สามารถใช้งานได้อย่างเต็ม chamberที่มีปัญหาคือมีอากาศรั่วออกมา ที่ด้านหน้า (ที่เปิดปิดเป็นกระจก) เพราะ ประเก็นที่กันมิให้อากาศรั่วนั้นเสื่อมคุณภาพ ดังนั้นเราจึงได้ทำการเปลี่ยนจากประเก็นมาเป็น วงแหวนอีลาสโตเมอร์ ซึ่งได้ผลดีเพราะไม่มีอากาศรั่วจากทางด้านนี้

แต่ก็ยังมีอากาศรั่วมาจากทางด้านอื่น ๆ อีก ซึ่งมีสาเหตุจากการเสื่อมคุณภาพของ Chamber เองนั่นเอง แต่ไม่มากนักซึ่งก็ยังพอทำการทดลองได้ แต่ยังมีความคลาดเคลื่อนในการทดลองอยู่บ้างเหมือน

3) เครื่องสูบอากาศ (Rotary pump) ในการทำให้ปริมาณอากาศใน Chamber มีความหนาแน่นต่ำกว่าบรรยากาศนั้น เราต้องทำการนำอากาศออกจาก Chamber เพื่อลดความดัน ให้ได้ตามที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราต้องการที่จะใช้ในการทดลอง ดังนั้น เราต้องใช้เครื่องดูดอากาศ ซึ่งเราได้ทำการสั่งซื้อมาใช้ในการทดลอง ซึ่งสามารถรักษาความดันได้ตามที่เราต้องการ

4) เครื่องมือวัดความดัน (Vaccuum bourdan gauge) เนื่องจากเราต้องรู้ค่าความดันต่าง ๆ ในขณะทำการทดลอง เราจึงต้องมีเครื่องมือในการวัดความดัน ซึ่งในห้อง Lab เราไม่มีเครื่องมือวัดความดันต่ำกว่าบรรยากาศ ดังนั้นเราจึงสั่งซื้อ และนำมาต่อกับ Chamber เพื่อทำการทดสอบต่อไปได้ (เครื่องมือวัดความดันนี้สามารถวัดตั้งแต่ ความดันบรรยากาศ จนถึงที่สูญญากาศ)

5) ขั้วอิเลคโตรด จะอยู่ใน Chamber โดยขั้วอิเลคโตรดมี 2 แบบ คือ ขั้วที่ 1ใช้เป็นขั้วอลูมิเนียม ขั้วที่ 2 ใช้เป็นขั้วทองเหลือง โดยให้ขั้วอลูมิเนียมอยู่ข้างบน และ ขั้วทองเหลือง อยู่ข้างล่าง ในการทำการทดสอบนั้นเราต้องทำการขัดขั้วอิเลคโตรดทั้งสองด้วย กระดาษทราย

จากที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น เป็นอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการทดสอบ ส่วนอุปกรณ์ย่อยอื่น ๆ นั้น จะมีอีกเช่น สายท่อลม และอย่างอื่นเป็นต้น

และเมื่อเราได้อุปกรณ์ครบแล้ว เราจะทำการทดลอง เพื่อที่จะหาแรงดันในดอนเบรคดาวน์ เมื่อทำการปรับระยะแกป กับ ความดัน โดยให้อย่างใดอย่างหนึ่งคงที่ ดังจะได้กล่าวต่อไปในตอนทำการทดลอง และ ผลการทดลอง

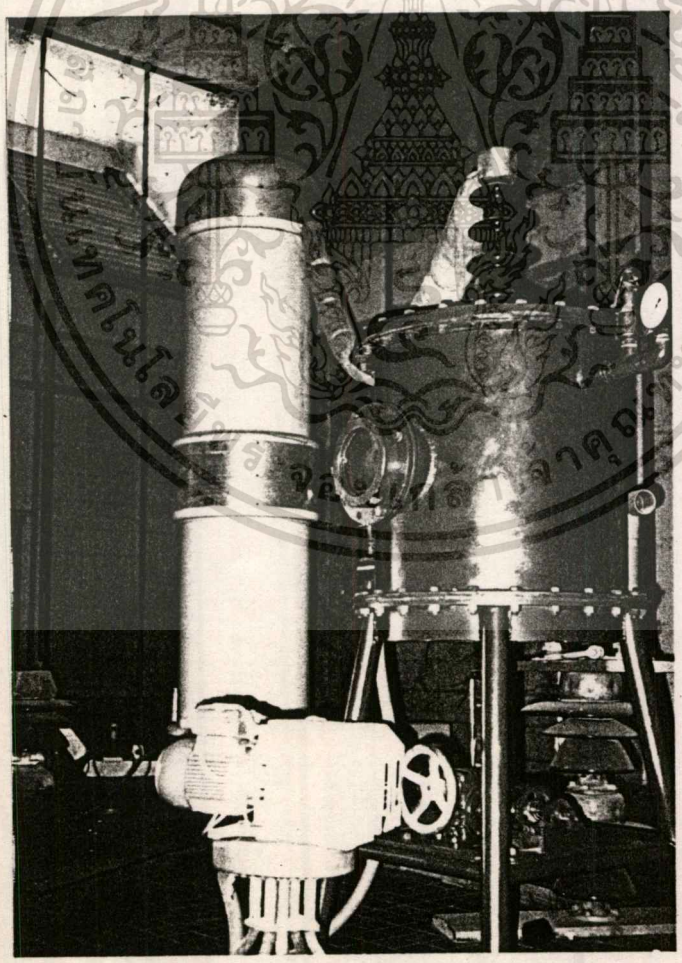
เมื่อได้ผลการทดลองแล้ว เราจะได้หลักในการกำหนดว่า ที่ Pd เท่ากันจะได้ผลของ Voltage ในดอนเบรคดาวน์ ใกล้เคียงกัน โดยที่ค่า ความดัน และ ระยะแกป ไม่เท่ากัน

จากที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ในบทต่อไปเราจะได้กล่าวถึงขั้นตอนในการทำการทดลอง และ ผลการทดลองที่ได้ และจะมาดูกันว่าจะเป็นไปตามทฤษฎี หรือ ใกล้เคียง หรือเปล่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>บทที่</u> 4 การทดลอง และ ผลการทดลอง.

การทดสอบภาคปฏิบัติจะกระทำที่ความดัน 100 - 500 mbar และ ระยะแกป (gap length) อยู่ในช่วง 0.5 - 4 cm ภายใน Ionization chamber โดยประกอบกับอุปกรณ์อื่น ๆ คือ Vaccuum bourdan qauge วัดได้ในย่าน 0 - 1000 mbar และ Rotary pump ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

1) ต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วย DC Generator , Ionization chamber , Rotary pump , Vaccum bourdan qauge ตามรูป

2) Pump อากาศภายใน Chamber ออกให้หมด ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง เพื่อหาอัตราการรั่วไหลของอากาศเข้า Chamber

3) Pump อากาศออกจนเหลือที่ความดัน 100 mbar ปรับระยะแกปที่ 0.5 cm แล้วป้อน voltage จาก DC Generator ที่ค่าต่ำ ๆ แล้วทำการเพิ่มค่าไปเรื่อย ๆ จนเกิดการเบรกดาวน์ จึงทำการบันทึกค่า Voltage breakdown โดยทำการทดสอบแบบนี้ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยออกมา

4) เปลี่ยนแกปเป็นที่ระยะ 1 cm ที่ความดันเท่าเดิม แต่ถ้าในช่วงทำการเปลี่ยนระยะแกปนั้น ความดันเกิดการเปลี่ยนแปลง เราต้องทำการรักษาความดันให้อยู่ในช่วงที่เราต้องการ โดยทำการ Pump อากาศออกให้ได้ความดันที่ต้องการ แล้วค่อยทำการทดลองได้

5) เปลี่ยนระยะแกปเป็นค่าต่าง ๆ ไปเรื่อยดังนี้ คือ 1.5 , 2 , 2.5 , 3 , 3.5 , 4 ตามลำดับ แล้วทำการทดลองซ้ำอย่างเดิม

6) เมื่อทำการทดลองที่ความดันที่ค่า 100 mbar แล้วทำการทดสอบครบทุกระยะแกปตามที่ได้กล่าวมาแล้ว เราก็ทำการเปลี่ยนค่าความดันไปเรื่อย ๆ ตามลำดับดังนี้ 200 mbar , 300 mbar , 400 mbar , 500 mbar แล้วทำการทดสอบเหมือนกับที่ทำกับที่ความดันที่ค่า 100 mbar เหมือนเดิมทุกอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) นำข้อมูลจากการทดสอบทั้งหมดมาสร้าง Paschen's curve ที่ความดันต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

100 MBAR

D	KV			
	NO. 1	NO. 2	NO. 3	MEAN
0.5 CM	0.4	0.4	0.5	0.43
1.0 CM	1.1	1.0	1.1	1.07
1.5 CM	1.3	1.5	1.5	1.43
2.0 CM	1.9	2.0	2.1	2.00
2.5 CM	2.6	2.7	2.6	2.63
3.0 CM	3.2	3.3	3.3	3.27
3.5 CM	3.4	3.5	3.5	3.47
4.0 CM	4.1	4.2	4.2	4.17

200 MBAR

D	KV			
	NO. 1	NO. 2	NO. 3	MEAN
0.5 CM	1.0	1.0	1.1	1.03
1.0 CM	2.1	2.1	2.2	2.13
1.5 CM	3.1	3.2	3.0	3.10
2.0 CM	4.1	4.1	4.1	4.10
2.5 CM	5.1	5.3	5.3	5.23
3.0 CM	5.7	5.8	6.0	5.83
3.5 CM	6.9	7.0	7.2	7.03
4.0 CM	8.2	8.2	8.4	8.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

300 MBAR

D	KV			
	NO. 1	NO. 2	NO. 3	MEAN
0.5 CM	1.6	1.7	1.7	1.67
1.0 CM	3.1	3.2	3.3	3.20
1.5 CM	4.5	4.6	4.6	4.57
2.0 CM	6.3	6.4	6.5	6.40
2.5 CM	7.2	7.4	7.5	7.37
3.0 CM	8.3	8.5	8.4	8.40
3.5 CM	10.2	10.5	10.4	10.37
4.0 CM	10.9	11.0	11.1	11.00

400 MBAR

D	KV			
	NO. 1	NO. 2	NO. 3	MEAN
0.5 CM	2.1	2.1	2.2	2.13
1.0 CM	4.2	4.1	4.2	4.16
1.5 CM	5.8	5.9	6.0	5.90
2.0 CM	7.5	7.6	7.5	7.53
2.5 CM	9.7	9.8	9.9	9.80
3.0 CM	11.8	12.0	12.0	11.93
3.5 CM	13.4	13.5	13.5	13.46
4.0 CM	14.2	14.5	14.5	14.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

300 MBAR

D	KV			
	NO. 1	NO. 2	NO. 3	MEAN
0.5 CM	1.6	1.7	1.7	1.67
1.0 CM	3.1	3.2	3.3	3.20
1.5 CM	4.5	4.6	4.6	4.57
2.0 CM	6.3	6.4	6.5	6.40
2.5 CM	7.2	7.4	7.5	7.37
3.0 CM	8.3	8.5	8.4	8.40
3.5 CM	10.2	10.5	10.4	10.37
4.0 CM	10.9	11.0	11.1	11.00

400 MBAR

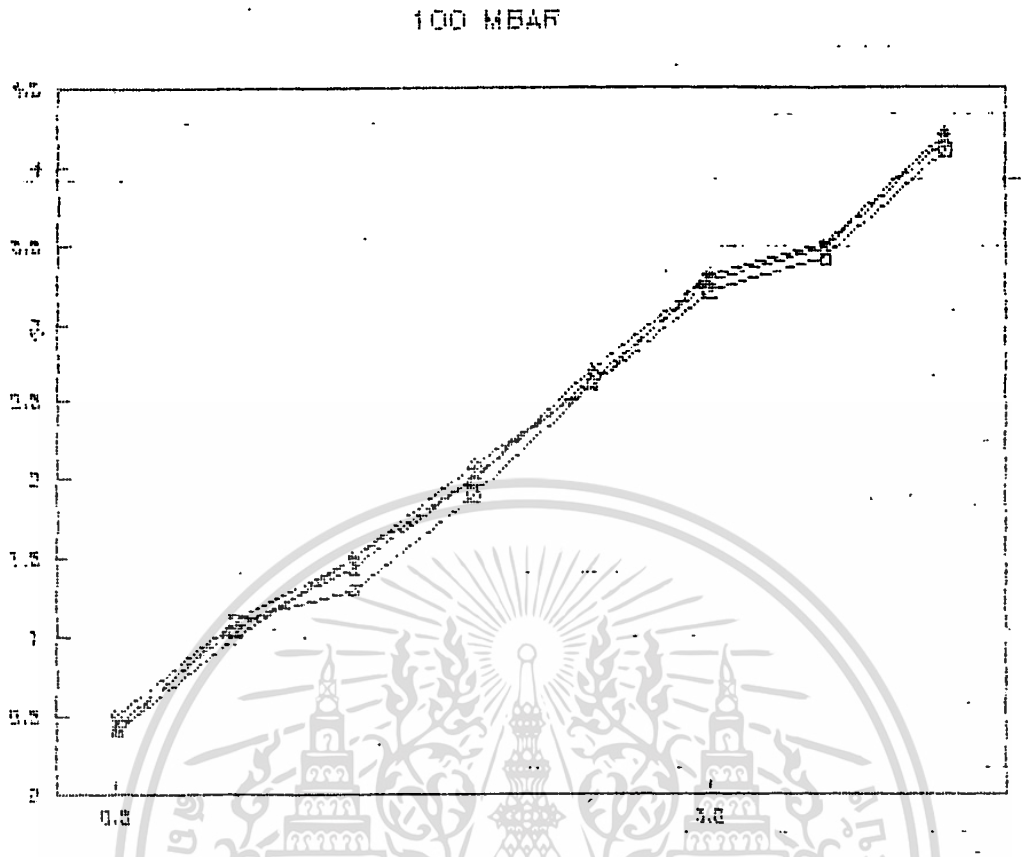
D	KV			
	NO. 1	NO. 2	NO. 3	MEAN
0.5 CM	2.1	2.1	2.2	2.13
1.0 CM	4.2	4.1	4.2	4.16
1.5 CM	5.8	5.9	6.0	5.90
2.0 CM	7.5	7.6	7.5	7.53
2.5 CM	9.7	9.8	9.9	9.80
3.0 CM	11.8	12.0	12.0	11.93
3.5 CM	13.4	13.5	13.5	13.46
4.0 CM	14.2	14.5	14.5	14.40

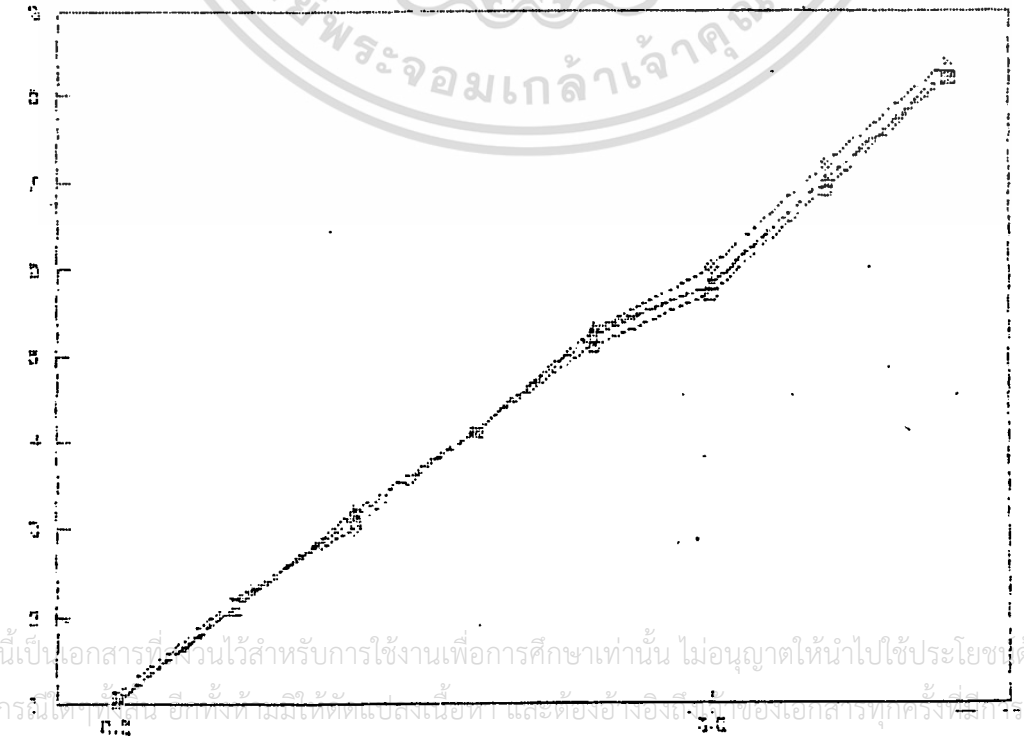
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

500 MBAR

D	KV			
	NO. 1	NO. 2	NO. 3	MEAN
0.5 CM	2.6	2.7	2.7	2.66
1.0 CM	5.2	5.4	5.3	5.30
1.5 CM	7.2	7.3	7.3	7.26
2.0 CM	9.5	9.6	9.5	9.53
2.5 CM	11.7	11.8	12.0	11.83
3.0 CM	13.9	14.0	14.1	14.00
3.5 CM	16.1	16.0	16.2	16.10
4.0 CM	17.8	18.0	17.9	17.90

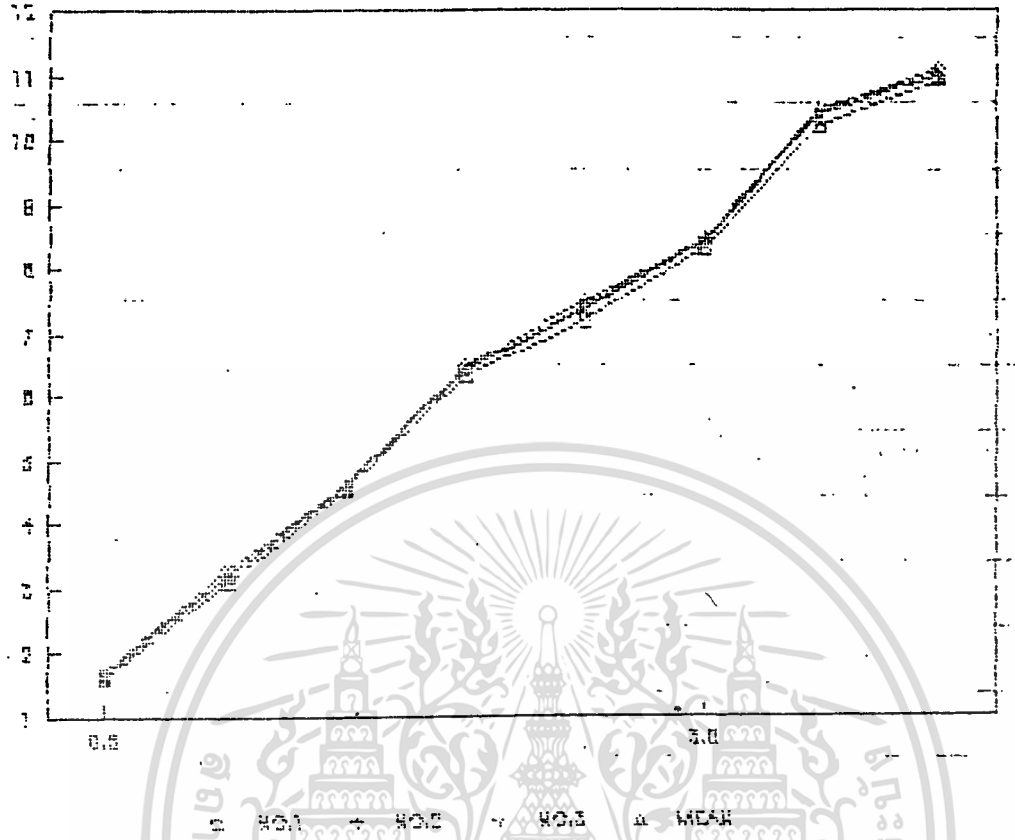
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



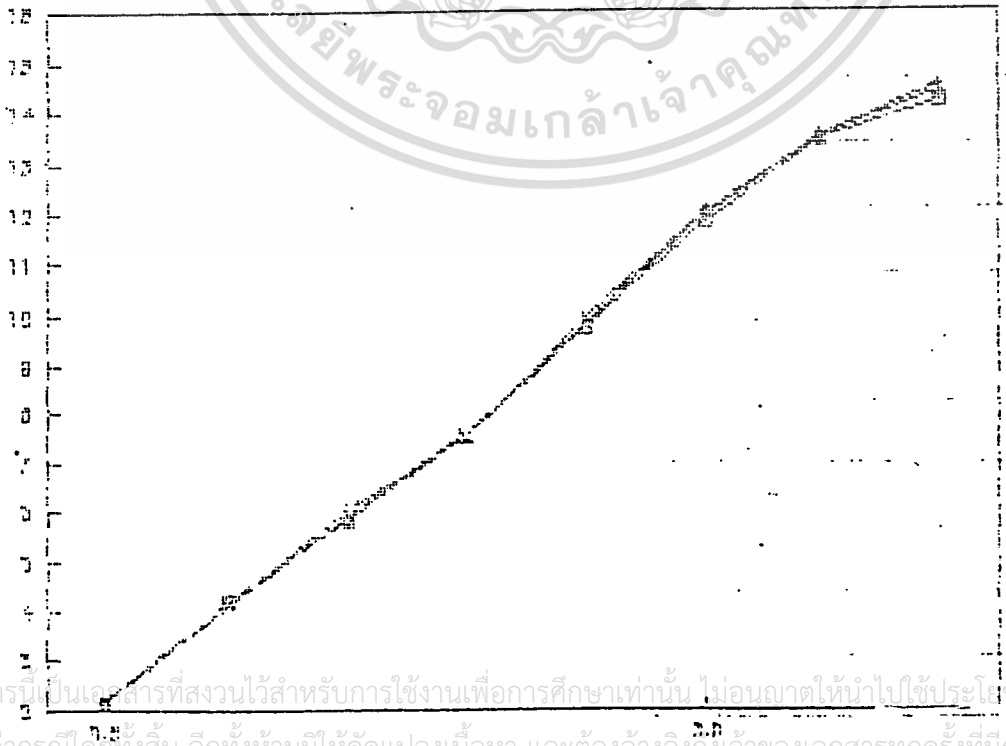


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

300 MBAR

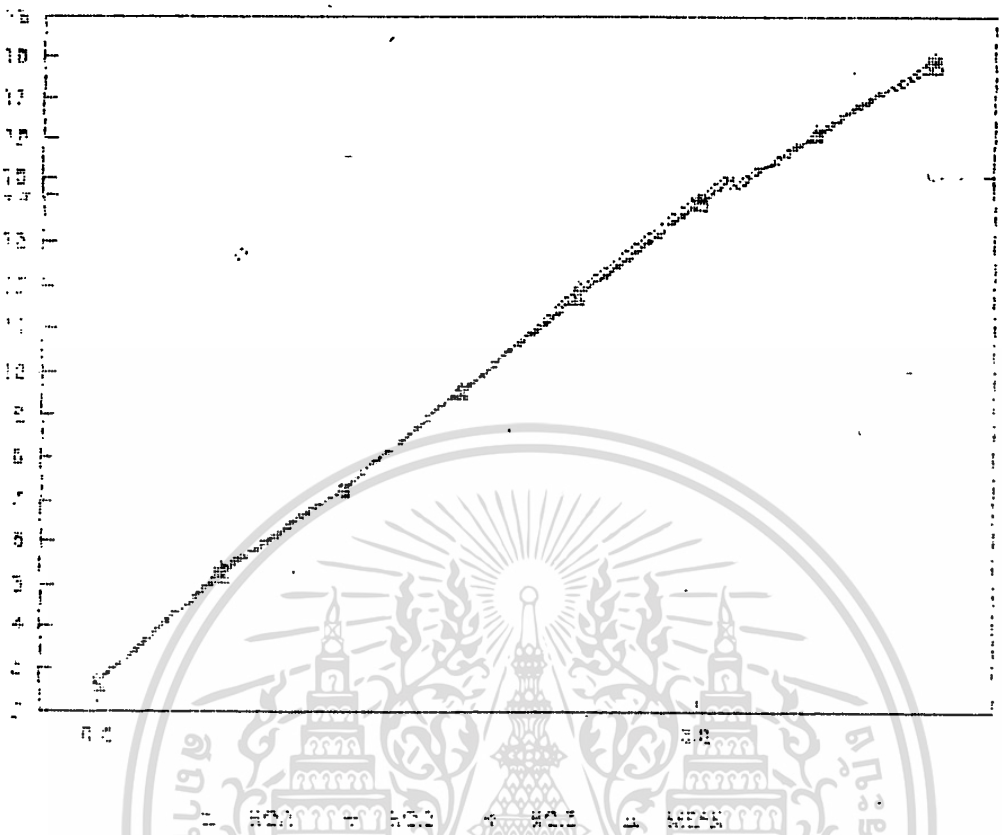


400 MBAR



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

500 MBAR



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5. บทวิจารณ์ และ สรุป

บทสรุป

จากแนวความคิดที่จะให้เป็นไปตามหฤษฎี คือ ต้องการให้เห็นว่าไม่ว่าจะที่ความดันเท่าไหร่ หรือ ที่ระยะแกปเท่าไหร่ก็ตาม ถ้าผลคูณของความดัน และ ระยะแกปมีค่าเท่ากัน จะได้ แรงดันไฟฟ้าสำหรับการเบรคดาวน์ ที่มีค่าใกล้เคียงกัน ดังผลการทดลองที่ได้แสดงไว้ โดยที่เราจะยกตัวอย่างให้เราพบดังนี้ เช่น

เช่น ที่ p = 100 mbar, d = 1cm เปรียบเทียบกับ ที่ p = 200 mbar, d = 0.5 cm

ที่ p = 100 mbar, d = 4cm เปรียบเทียบกับ ที่ p = 200 mbar, d = 2 cm

และ ที่ p = 400 mbar, d = 1cm เป็นต้น

จากข้างบนที่เปรียบเทียบกันนั้นจะได้ค่าแรงดันที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นไปตามหฤษฎีที่เราพบ แต่อาจจะมีการคลาดเคลื่อนจากหฤษฎี ด้วยสาเหตุหลายอย่างเช่น

1) การรั่วไหลของอากาศในขณะทำการทดลอง เพราะ Ionization chamber นั้นเป็นหลอดสูญญากาศที่รั่วอยู่ และ ไม่สามารถแก้ไขได้ เนื่องจากถ้าทำการแก้ไขก็ต้องทำการเปลี่ยนปะเก็นสำหรับซีลใหม่ ซึ่งเป็นไปได้ยาก ดังนั้นเมื่อมีการรั่วไหลจึงทำให้ความดันไม่คงที่ตามหฤษฎี จึงเกิดความคลาดเคลื่อนได้

2) ความคลาดเคลื่อนของสายตาของผู้ทำการทดลอง ที่ทำการวัดระยะแกป และในการดูค่าของแรงดันไฟฟ้าตอนเบรคดาวน์ ซึ่งไม่แน่นอน และ ไม่ละเอียดพอ ซึ่งทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนไปจากหฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ความบริสุทธิ์ของอากาศใน Ionization chamber อาจมีฝุ่นละอองความชื้น ซึ่งอาจทำให้เกิดการเบรคดาวน์ก่อนค่าแรงดันไฟฟ้าที่ถูกต้องได้

กฎของ Paschen เป็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเบรคดาวน์ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ กับ ผลคูณของความดัน P และ ระยะแกป d ระหว่างอิเลคโตรด อย่างไรก็ตาม การใช้กฎของ Paschen มีขีดจำกัด ซึ่งไม่เป็นจริงในบางกรณี เช่นที่ pd มีค่าสูงมาก หรือ ต่ำมาก ค่าแรงดันเบรคดาวน์จะแปรไปตาม P เมื่อให้ pd คงตัว และกฎของ Paschen ใช้กับกาซผสมไม่ได้ ด้วยเหตุนี้ บางทีเราอาจเรียก กฎของ Paschen เป็นเพียงความสัมพันธ์ก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทวิจารณ์

จากที่เราได้ทำการทดลองมานั้น ที่เราไม่ได้ทำตามแนวความคิดเดิมนั้น หรือ เมื่อได้ทำการทดสอบออกมาแล้วคลาดเคลื่อนจากทฤษฎีก็ตาม โดยหลักแล้วนั้นเกิดจากความผิดพลาดของผู้กระทำการทดลองเอง และความขาดความกระตือรือร้นในบางขณะบางช่วง ซึ่งจะขอให้ท่านผู้อ่านที่จะใช้การทดสอบนี้ไปในการพัฒนาต่อไป ได้ตระหนักว่า ซึ่งข้อผิดพลาดของพวกกระผมไว้เป็นบทเรียน และ อย่าได้กระทำตาม จงตั้งใจด้วยความกระตือรือร้น เพื่อที่จะได้ความรู้ความสำเร็จจากการทดลองในเรื่องนี้

และถ้าจะมีข้อปลีกย่อยที่พวกกระผมคาดว่าเป็นข้อผิดพลาดเพียงเล็กน้อย ก็จะขออนุญาตินกล่าวไว้ดังนี้

1) ความล่าช้าในขบวนการทางราชการ ที่ทำให้เสียเวลาในการรอคอยจนอาจทำให้การทำ Project ล่าช้าไปด้วย ซึ่งพวกกระผมก็คงคิดว่า คงเป็นอย่างนี้มานานแล้วของระบบราชการ ซึ่งจะขอเตือนผู้อ่านว่า ถ้าจะทำการอะไรการคิดถึงในกรณีนี้ด้วย

2) การเสื่อมสภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการทำ project ความไม่พร้อมของอุปกรณ์ ซึ่งถ้าเราไม่เหลียวแลกัน ทั้งๆที่กระผมเองก็ตาม แต่ก่อนก็ไม่ได้สนใจ แต่เมื่อได้เข้ามาใช้ และ เกี่ยวข้อง เมื่อได้รับผลกระทบจึงเกิดความรู้สึก ดังนั้นจึงอยากให้ทุกคนให้ความร่วมมือ รักษาสิ่งที่อยู่ในสภาพที่ใช้การได้ มิใช่ว่าต้องเข้ามาใช้ หรือ เป็นงานที่เกี่ยวข้องกับคน จึงจะดูแลกัน แต่ขอให้เป็นหน้าที่ของทุกคนที่อยู่ใน คณะวิศวกรรมศาสตร์

3) การเสนอความเห็นนี้เป็นความเห็นสุดท้ายที่อยากจะฝากไว้ คือ แนวความคิดในการทำ project นั้น จากการที่พวกกระผมได้ทำ project มาทั้งปี เรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้มองเห็นว่า การทำ project มิได้ทำเพียงแค่ทำให้เสร็จเป็นรุ่น ๆ ไป แต่ต้องมีการนำไปใช้ หรือ ไม่ก็ดูแลให้ project นั้นอยู่ในสภาพที่ใช้งานต่อไปได้ ไม่ใช่พอจะมีการทำ project ก็ค่อยมาหา แล้วก็ได้ project เก่าที่อยู่ในสภาพที่ใช้การไม่ค่อยได้

แต่ถ้าเรามีการดูแลที่ดี และ มีการบำรุงรักษา จะทำให้เป็นประโยชน์ต่อรุ่นต่อไป และที่สำคัญคือจะสามารถประหยัดงบประมาณได้ด้วย

แนวความคิดทั้งหมดของพวกกระผม นั้น ก็เป็นแค่ความคิดส่วนตัวเท่านั้นไม่ใช่จะเป็นความคิดที่ถูกต้อง แต่ก็เป็นการสะท้อนเพียงบางแง่มุม ของนักศึกษากลุ่มหนึ่งเท่านั้น ก็มิใช่ว่าจะเขียนไว้ให้เป็นสาระ เป็นหลักในการคิดแต่อย่างใด แต่ก็ขอให้คิดซะว่าถ้าข้อวิจารณ์ที่อ่านมาจะมีข้อที่เป็นประโยชน์บ้าง ก็ขอให้ใคร่ครวญด้วยความคิดของแต่ละท่านเอง และถ้าจะนำไปปฏิบัติให้เกิดประโยชน์แก่ส่วนรวม ทางผู้เขียนก็ขอกราบขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ ด้วย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

เนื่องจากทางกลุ่มข้าพเจ้าได้ทำ วิทยานิพนธ์ เรื่องคุณสมบัติการเบรคดาวน์ในอากาศแห้งโดยมี อาจารย์ นิพนธ์ สุขุม เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เป็นอันมาก ดังเช่น เรื่องการสั่งซื้ออุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น เครื่องมือปั๊มกาซ ซ้าเซมเบอร์ และ ในเรื่องการให้คำปรึกษาด้านความรู้ต่าง ๆ พร้อมทั้งได้เสียสละเวลาอันมีค่าให้แก่กางกลุ่มข้าพเจ้า

และในที่นี้ก็ต้องขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ ที่ได้ให้ความสะดวกในการทำการทดลองมาใน ณ ที่นี้ด้วย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง ดร. สำรวย สังข์สะอาด (วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. High Voltage Engineering " Fundamental " Pergamon Press Oxford 1984 By Kuffel . E
Zaengel .W.S

3. Gaseous Conductor ; Theory and Engineering Applications Newyork Dover 1958 By Cobine
James Dillon

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้