



ปีการศึกษา 2534

เครื่องวัดศึกษาไฟฟ้าแรงสูง

โดย

นายคมสัน ชัยศรีวงศา

นายณรงค์ชัย ศรีจินไทย

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. นิพนธ์ สุขุม

ตบามาเขตโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฉันทนาพาณิช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

023108

-8.ลค. ๖532

ปริญญาโทปีการศึกษา 2532

เรื่อง เครื่องวัดศักดาไฟฟ้าแรงสูง

ผู้จัดทำ

1. นายคมสัน ชัยศรีทองศา
2. นายณรงค์ชัย ศรีจินไทย

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์ ดร. นิพนธ์ สุขุม)

## เครื่องวัดศักดาไฟฟ้าแรงสูง

คมสัน ชัยศรีพงศา

ณรงค์ชัย ศรีจินไทย

ดร. นิพนธ์ สุขุม อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2532

### บทคัดย่อ

เครื่องวัดศักดาไฟฟ้าแรงสูงเป็นเครื่องมือที่ใช้วัดศักดาไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เราต้องการทราบค่า โดยอาศัยหลักการของการเบรคความของกาซ ซึ่งมีศักดาไฟฟ้าเบรคความมาจากรูปร่างที่ใช้อย่างที่เราทราบค่าอยู่แล้ว โดยข้อกำหนดของเครื่องวัดศักดาไฟฟ้าแรงสูงนี้ก็คือ ชั่วคาโศกทำจากทองเหลืองชุบทองคำบริสุทธิ์ ชั่วคาโนคทำจากอลูมิเนียม และใช้กาซออกซิเจนที่ความดัน 300 ทอร์ เป็นฉนวนซึ่งระยะระหว่างชั่วคาโศกและชั่วคาโนคสามารถปรับค่าได้ เพราะฉะนั้นเมื่อความดันสูงที่เราก็สามารถทราบค่าศักดาไฟฟ้าของอุปกรณ์ที่ต้องการทราบค่าจากระยะแถบที่เปลี่ยนไป ซึ่งทำให้เกิดศักดาไฟฟ้าเบรคความที่ค่าต่าง ๆ ซึ่งมีช่วงที่จะทราบค่าที่แน่นอนได้อยู่ระหว่าง 12 กิโลโวลต์ถึง 33 กิโลโวลต์ ซึ่งเป็นข้อจำกัดของอุปกรณ์นี้ ส่วนทฤษฎีที่สามารถใช้อธิบายการเบรคความของกาซก็ได้แก่ทฤษฎีของTOWNSEND, ทฤษฎีของSTREAMER และ PASHEN'S LAW ซึ่งสามารถอธิบายถึงกลไกของการเกิดเบรคความของกาซได้เป็นอย่างดี.

## HIGH VOLTAGE METER

Komson            Chaisripongsa  
Narongchai Srijintai  
Associate Professor Niphon Sukhum Advisor  
1989

### Abstract

High voltage meter is a tool for measuring the voltage of various kind of appliances by using the principle of standard value of gas breakdown which we already knew and can be referred to. The high voltage meter compose of pure gold eletroplated bronze cathode pole and aluminium anode pole surround by oxygen under 300 torr pressure and the gap between two poles can be adjusted. So, if the pressure surround two poles is stable, we can measure the electricity voltage of appliance by the distance between two poles that is changed because the certain distance generate the certain value of electricity voltage breakdown. The reliable value is between 12 kilovolt and 33 kilovolt and this is the limitation of this kind of meter. The theory of gas breakdown can be explain clearly by Townsend, Streamer and Pashen's theory. These theory tell us how the gas breakdown mechanism works.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1	1
บทที่ 2	3
2.1	3
2.1.1	3
2.1.2	3
2.2	4
2.3	4
2.3.1	5
2.3.2	6
2.3.3	7
2.3.4	7
2.3.5	8
2.4	8
2.4.1	9
2.4.2	10
2.4.3	10
2.5	10
2.5.1	11
2.5.2	11
2.5.3	12
2.5.4	12
2.6	13

	หน้า
2.6.1.1 ขบวนการแอลฟา ( $\alpha$ -PROCESS )	14
2.6.1.2 ขบวนการแกมมา ( $\gamma$ -PROCESS )	17
2.6.1.3 กฎเกณฑ์ของทาวน์เซนค์สำหรับการเบรคคาวน์	19
2.6.1.4 การหาค่าแอลฟาและแกมมาจากการทดลอง	20
2.6.2 กลไกการเบรคคาวน์สตรีมเมอร์	21
2.7 กฎของพาสเชน ( PASCHEN'S LAW )	26
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างเครื่องวัดศักดาไฟฟ้าแรงสูง	29
บทที่ 4 การนำเครื่องวัดศักดาไฟฟ้าแรงสูงไปใช้งาน	32
บทที่ 5 บทสรุป	37
ภาคผนวก	38
กิจกรรมประกาศ	47
หนังสืออ้างอิง	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

		หน้า
รูปที่ 2.1	ไอออนในเซชันเนื่องจากการชนกันของอิเล็กตรอน ก) ในปรอท      ข) ในอากาศ	6
รูปที่ 2.2	สัมประสิทธิ์การรวมตัวกันของอากาศ	9
รูปที่ 2.3	วงจรกิจยการ เบรคควาน์	14
รูปที่ 2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างศักดาไฟฟ้าและกระแสก่อนเกิดการเบรคควาน์	14
รูปที่ 2.5	การแผ่กระจายของประจุใน AVALANCHE	15
รูปที่ 2.6	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของกระแสและช่องว่างของระนาบขนานกัน	20
รูปที่ 2.7	ความสัมพันธ์ระหว่าง $\alpha$ และ $E/P$	21
รูปที่ 2.8	ความสัมพันธ์ระหว่าง $\beta$ และ $E/P$ ในไฮโดรเจนสำหรับอิเล็กโตรดที่หาคั่วยหลายชนิดและโซเดียม	21
รูปที่ 2.9	สนามไฟฟ้าในช่องว่างเนื่องจากประจุอากาศ	22
รูปที่ 2.10	อ่าคัยการ เกิดสทริมเมอร์บวจากแอนโนคไปคาโทค	23
รูปที่ 2.11	การ เกิดสทริมเมอร์ลบจากคาโทคไปแอนโนค	25
รูปที่ 2.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักดาไฟฟ้าเบรคควาน์และผลคูณของความคั้นกาซและช่องว่าง	27
รูปในบทที่ 3	รูปถ่ายของเครื่องวัดศักดาไฟฟ้าแรงสูง	29
	รูปภาพแสดงส่วนประกอบของเครื่องวัดศักดาไฟฟ้าแรงสูง	30
รูปในบทที่ 4	รูปภาพแสดงการต่อวงจรอย่างง่ายในการนำเครื่องวัดศักดาไฟฟ้าแรงสูงไปใช้งาน	32
	รูปกราฟที่ใช่เป็นบรรทัดฐานในการอ้างอิง	34
	รูปแสดงที่มาของกราฟที่ใช่เป็นบรรทัดฐาน	35
รูปในภาคผนวก	รูปการหาสูตร $I = I_0 e^{\alpha d}$ เมื่อ $E/P$ คงที่และ $P$ คงที่	38
	โคอะแกรมการสร้างอิเล็กตรอนอิสระโดยบวนการแกมม่า	39

	หน้า
รูปเส้นโค้งของทาสเซน	41
รูปเส้นโค้งของทาสเซนของอากาศที่ 20°C	44
รูปเส้นโค้งของทาสเซนของไนโตรเจนที่ 25°C	45
รูปเส้นโค้งของทาสเซนของ SF <sub>6</sub> ที่ 25°C	46



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ศักดาไฟฟ้าค่าสุกของกาชชนิกต่าง ๆ	28
ตารางในบทที่ 3	ตารางเปรียบเทียบความดัน	31
ตารางในภาคผนวก	ตารางแสดงค่าคงตัว A และ B ของกาชต่าง ๆ	42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สัญลักษณ์

A	อังสตรอม ( $1\text{\AA} = 10^{-10}$ เมตร)
$ev_i$	พลังงานที่จะทำให้เกิดไอออนในเซชัน
$e^-$	อิเล็กตรอน
Ke	พลังงานจลน์
A	อะตอม
$A^*$	อะตอมที่มีระดับพลังงานสูงขึ้นไปเมื่อถูกชนด้วยอิเล็กตรอน
$h\nu$	พลังงานโฟตอน
h	ค่าคงที่ของพลังค์
$\nu$	ความถี่ของการแผ่รังสี
$U_i$	พลังงานไอออนในเซชัน
$A^m$	อะตอมที่ถูกเอกไซค์อยู่ในสภาพ METASTABLE
B	อะตอม
$B^*$	อะตอมที่มีระดับพลังงานสูงขึ้นไป
$B^+$	ไอออนบวก
$B^-$	ไอออนลบ
$\delta$	สัมประสิทธิ์การรวมตัวกัน
U	ความเร็วเฉลี่ยของไอออน
E	ความเข้มสนามไฟฟ้า
$h\nu_0$	พลังงานสมมูลย์ที่ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาพอดี
$U_k$	ศักดาไฟฟ้าที่เทียบเท่ากับพลังงานจลน์ของไอออน
$U_p$	ศักดาไฟฟ้าที่เทียบเท่ากับพลังงานศักย์ของไอออน
J	ความหนาแน่นของกระแส
m	มวลของอิเล็กตรอน
k	ค่าคงที่โบลท์แมนน์
T	อุณหภูมิสมบูรณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ซ สัมประสิทธิ์การไอออนในเข้ช่นตัวที่สองของทาวนเซนค์
- $I_0$  กระแสไฟ้โคอิลเอกทริก
- P ความค้ันของกาช
- $\lambda$  FREE PATH
- $\lambda_m$  FREE PATH เฉลี่ย
- $H_2$  ไฮโดรเจน
- $N_2$  ไนโตรเจน
- Pt ทลาค้ัน
- $\lambda$  เพอริมิททวี้ค้ของท้ว่าง(FREE PATH )
- r รัศมีทรงกลมของไอออน
- D สัมประสิทธิ์การแผ่กระจาย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

โครงการเรื่อง HIGH VOLTAGE METER เป็นโครงการที่ต่อเนื่องมาจาก THESIS ของอาจารย์ ดร. นิพนธ์ สุขุม ซึ่งโครงการนี้เป็นการสร้างหรือจำลองตัวอุปกรณ์ HIGH VOLTAGE METER จาก THESIS ของอาจารย์ ดร. นิพนธ์ สุขุม ที่เคยวิจัยและทดลองสมัยที่ยังศึกษาอยู่ โดยที่ HIGH VOLTAGE METER นี้สามารถจะวัดค่า VOLTAGE ที่แน่นอนได้ในช่วง 12 กิโลโวลต์ ถึง 33 กิโลโวลต์ โดยอาศัยหลักการเบรคความของกาซออกซิเจน เป็นตัวบอกให้ทราบที่ระยะแถบใด ๆ โดยที่สามารถจะปรับระยะแกซของอุปกรณ์ชิ้นนี้ได้ โดยให้ความดันคงที่ที่ 300 ทอร์ ซึ่งทฤษฎีที่สามารถใช้อธิบายการเบรคความของกาซได้แก่ ทฤษฎีของทาวน์-เซนค์ (TOWNSEND), ทฤษฎีของสตรีมเมอร์ (STREAMER) และ กฎของพาสเชน (PASHEN'S LAW) ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะแบ่งเป็นบทใหญ่ ๆ ได้ 5 บท คือ

บทที่ 1 บทนำ

บทที่ 2 กลไกการเบรคความในกาซ ซึ่งเป็นการกล่าวถึงขบวนการต่าง ๆ ในกาซ เริ่มตั้งแต่โครงสร้างของอะตอม , การกำเนิดอิออน , การสูญเสียอิออน , ขบวนการคาโทดจนถึงกลไกการเบรคความของทาวน์เซนค์และกลไกการเบรคความของสตรีมเมอร์และสุดท้ายก็คือกฎของพาสเชน ซึ่งได้กล่าวถึงความสัมพันธ์ของศักดาไฟฟ้าเบรคความกับผลคูณของความดันกับระยะแกซ ซึ่งสามารถที่จะนำไปใช้ในเรื่องของการเบรคความในสนามสม่ำเสมอได้เป็นอย่างดี.

บทที่ 3 การออกแบบเครื่องวัดศักดาไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งในบทนี้จะอธิบายถึงวิธีการสร้างเครื่องวัดศักดาไฟฟ้าแรงสูงรวมทั้งส่วนประกอบต่าง ๆ ของอุปกรณ์ชิ้นนี้ซึ่งจะมีรูปภาพประกอบแสดงไว้ด้วย.

บทที่ 4 การนำเครื่องวัดศักดาไฟฟ้าแรงสูงไปใช้งาน บทนี้จะอธิบายถึงวิธีการใช้งานของเครื่องวัดศักดาไฟฟ้าแรงสูงรวมทั้งข้อจำกัดของอุปกรณ์ชิ้นนี้และในตอนท้ายจะกล่าวถึงที่มาของกราฟที่ใช่เป็นบรรทัดฐานควยว่ามีที่มาอย่างไร

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป บทสุดท้ายนี้จะกล่าวถึงปัญหาในการทำงานรวมทั้งปัญหาต่าง ๆ ในการสร้างและออกแบบตัวเครื่องวัดศักดาไฟฟ้าแรงสูงชุดนี้ขึ้นมาและสรุปผลงานทั้งหมด.

หนึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังมีภาคผนวกซึ่งจะแสดงการพิสูจน์ที่มาของสูตรต่าง ๆ ในกลไกการเบรคควาน์ของทาว์นเซนต์ , กลไกการเบรคควาน์ของสตรีมเมอร์และกฎของพาสเสนอีกด้วย.

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ ดร.นิพนธ์ สุชุม อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำแนะนำในการทำโครงการนี้.



บทที่ 2

กลไกการเบรคคววนในกาซ

(MECHANISMS OF BREAKDOWN IN GASES)

ก่อนที่จะกล่าวถึงกลไกการเบรคคววนในกาซนั้นควรศึกษาเรื่องอะตอม, อิเล็กตรอน, ไอออนและรังสีต่าง ๆ เสียก่อน ขบวนการต่าง ๆ ที่จะกล่าวถึงซึ่งเกี่ยวข้องกับกลไกการเบรคคววนของกาซสามารถแยกออกได้เป็นสามขบวนการคือ ขบวนการกำเนิดไอออน, ขบวนการสูญเสียไอออนและขบวนการปล่อยอิเล็กตรอนออกจากคาโทด และ ทฤษฎีของกลไกการเบรคคววนในกาซที่จะกล่าวถึงมีสองแบบคือ กลไกการเบรคคววนของทาวนเซนต์ (TOWNSEND) และกลไกการเบรคคววนของสตรีมเมอร์ (STREAMER) ทฤษฎีทั้งสองได้เป็นที่ยอมรับในการใช้อธิบายการเบรคคววนในกาซ

2.1 อิเล็กตรอน, ไอออนและอะตอม

2.1.1 อิเล็กตรอน ถ้าวางขั้วว่างไว้ในหลอดสูญญากาศและจ่ายศักดาไฟฟ้าแรงสูงเข้าไประหว่างขั้วทั้งสองจะเกิดดิซชาร์จ (DISCHARGE) ที่มองเห็นได้ คือ เป็นลำแสงออกจากคาโทด (CATHODE) ลำแสงนี้เป็นลำตรงแต่อาจหักเหได้ด้วยอำนาจสนามแม่เหล็กหรือโคอิเล็กทริก J.J. THOMSON ได้แสดงให้เห็นว่าลำแสงนี้มีคุณสมบัติเสมือนกับประจุลบที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงมาก อนุภาคลบนี้เรียกว่าอิเล็กตรอน ขนาดของประจุอิเล็กตรอนมีค่า  $4.77 \times 10^{-10}$  e.s.u. (ELECTROSTATIC UNITS) หรือ  $1.602 \times 10^{-19}$  คูลอมบ์ (ประจุ 1 e.s.u. หรือ 1 STATCOULOMB หมายถึงประจุที่จะผลักประจุที่มีขนาดเดียวกันด้วยแรง 1 โคนเมื่อระยะห่างระหว่างประจุเท่ากับ 1 ซม.) น้ำหนักของอิเล็กตรอนมีค่าประมาณ  $1/3000$  ของอะตอมของไฮโดรเจนหรือประมาณ  $9.11 \times 10^{-28}$  กรัม เมื่อความเร็วต่ำกว่าความเร็วของแสง น้ำหนักของอิเล็กตรอนจะเปลี่ยนแปลงไปตามความเร็วและความเร็วของอิเล็กตรอนโดยทั่วไปอยู่ระหว่าง  $10^{-7}$  -  $10^9$  ซม./วินาทีซึ่งขึ้นอยู่กับศักดาไฟฟ้าที่ทำให้เกิดสนามไฟฟ้า

2.1.2 ไอออนและอะตอม โดยทั่วไปถึงแม้ว่า "ไอออน" ใช้อธิบายอะตอมหรือโมเลกุลที่มีประจุบวกหรือลบ, อิเล็กตรอนและอนุภาคที่มีประจุบวก แต่ปกติแล้วจะหมายถึงอะตอมหรือโมเลกุลที่มีประจุบวกหรือลบเท่านั้น การเอาอิเล็กตรอนออกหรือใส่อิเล็กตรอนเข้าไปในอะตอมหรือโมเลกุลที่เป็นกลางจะทำให้ได้ไอออนบวกและลบตามลำดับ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะตอมถูกสมมุติให้ประกอบด้วยนิวเคลียสที่มีประจุบวกล้อมรอบด้วยอิเล็กตรอนที่มีประจุลบมากเท่ากับประจุบวก อิเล็กตรอนที่วนรอบนิวเคลียสอยู่ในหลายวงโคจร (ORBIT) ซึ่งแต่ละวงโคจรมีระดับพลังงานต่างกัน แรงหนีศูนย์กลางของอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่นี้จะมีค่าพอค้ำกับแรงดึงดูดกันระหว่างอิเล็กตรอนและนิวเคลียสที่มีประจุบวก

คุณสมบัติของสารโดยมากขึ้นอยู่กับโครงสร้างของอะตอม น้ำหนักและความสามารถในการแผ่รังสีขึ้นอยู่กับนิวเคลียสเป็นส่วนมาก ในขณะที่คุณสมบัติทางเคมีขึ้นอยู่กับการกระจายของอิเล็กตรอน ถ้าโปรตอนและอิเล็กตรอนถูกเพิ่มเข้าไปที่นิวเคลียสด้วยประจุที่เท่า ๆ กัน ประจุรวมของอะตอมไม่เปลี่ยนแปลง คุณสมบัติทางเคมีของสารไม่เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นสารใด ๆ อาจมีน้ำหนักอะตอมที่แตกต่างกันออกไปแต่ยังมีคุณสมบัติของเคมีที่เหมือนกัน คือ ต่างกันที่นิวเคลียสเท่านั้นซึ่งเราเรียกว่า ไอโซโทป (ISOTOPE) ถ้าเอาอิเล็กตรอนออกจากอะตอมทำให้อะตอมมีประจุบวก ส่วนคุณสมบัติทางเคมีและน้ำหนักอะตอมของมันไม่เปลี่ยนแปลง

2.2 สารกัมมันตภาพรังสี

ในการแตกตัวของสารกัมมันตภาพรังสีจะมีรังสีแอลฟา, เบตา และแกมมาออกมา อัลฟาและเบตาออกมาก็คืออนุภาคที่มีประจุทั้งนี้เนื่องจากมันสามารถถูกกระตุ้นโดยสนามไฟฟ้า รังสีแกมมาก็เหมือนกับความร้อน, แสง และเอกซเรย์ คือ เป็นคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (ELECTROMAGNETIC WAVE) อนุภาคแอลฟาคือ อะตอมของฮีเลียม (HELIUM) ที่มีประจุบวกแต่มีพลังงานมากกว่าอนุภาคบวกธรรมดา RUTHERFORD ได้แสดงให้เห็นว่าอนุภาคแอลฟามีประจุประมาณสองเท่าของอิเล็กตรอน แต่การเบี่ยงเบนเนื่องจากสนามแม่เหล็กน้อยกว่าของอิเล็กตรอนมาก นั่นคืออนุภาคแอลฟามีมวลมากกว่าอิเล็กตรอนมาก อนุภาคเบตามีประจุเป็นลบและ THOMSON ได้พบว่าอนุภาคเบตานั้นมีอัตราส่วนของประจุมวลเหมือนกับอิเล็กตรอน ส่วนอนุภาคแกมมาไม่มีประจุ ดังนั้นจึงไม่อยู่ภายใต้อิทธิพลของสนามแม่เหล็ก พลังงานของมันอาจวัดได้โดยวัดจากพลังงานของโฟโตอิเล็กตรอน (PHOTO-ELECTRON) ที่ให้ออกมา ความยาวของคลื่นอนุภาคแกมมาอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 0.005 A ( 1 อังสตรอม =  $10^{-10}$  เมตร ) รังสีแกมมาคือรังสีคลื่นสั้นที่แผ่ออกมาจากนิวเคลียสของอะตอม

2.3 การกำเนิดไอออน (ION GENERATION)

ตามที่กล่าวมาแล้วนั้น ไอออนก็คืออะตอมที่มีประจุบวกหรือลบเนื่องจากการสูญเสียอิเล็กตรอนไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือการเพิ่มของอิเล็กตรอนตามลำดับ ไอออไนเซชัน (IONIZATION) โดยปกติหมายถึง การสร้างไอออนบวกโดยการเอาอิเล็กตรอนออกจากอะตอมที่เป็นกลาง

อิเล็กตรอนภายในอะตอมจะอยู่ในวงโคจรต่าง ๆ กันนั่นคือ มีระดับของพลังงานต่าง ๆ กันดังนั้นการรับพลังงานหรือให้พลังงานของอะตอมก็คือ การเปลี่ยนระดับวงโคจรของอิเล็กตรอนภายในอะตอม ถ้าหากจะเอาอิเล็กตรอนออกจากอะตอมจำเป็นต้องใส่พลังงานให้กับอะตอมซึ่งพลังงานนี้อาจอยู่ในรูปพลังงานกล, แสงหรือความร้อนเป็นต้น

สาเหตุของการกำเนิดไอออน หรือไอออไนเซชันอาจแบ่งออกได้ดังนี้

ก) การชนกันของอิเล็กตรอน (IONIZATION BY COLLISION หรือ ELECTRON COLLISION)

ข) โฟโตไอออไนเซชัน (PHOTOIONIZATION)

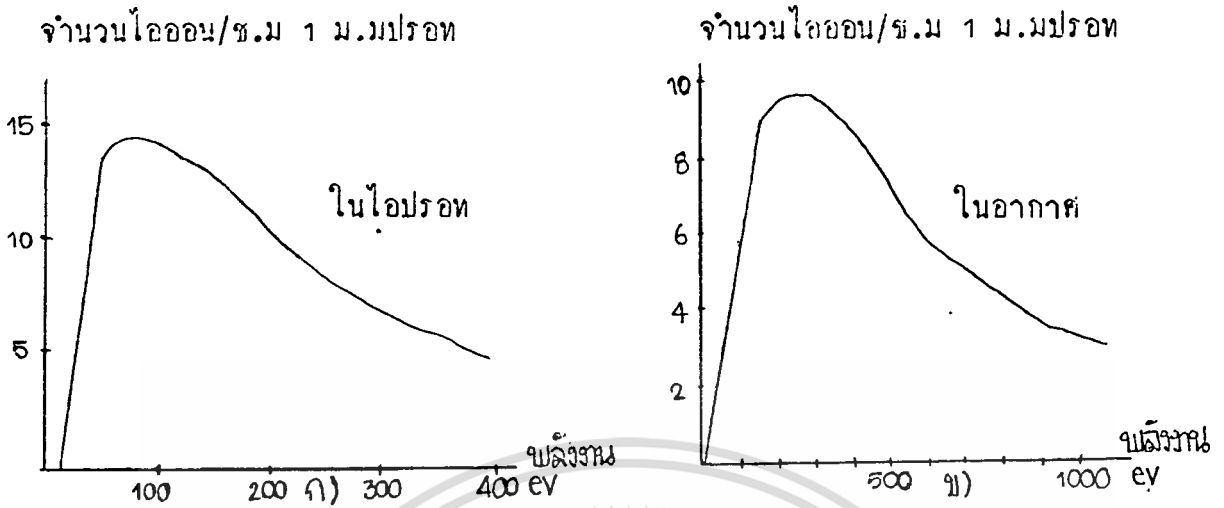
ค) ไอออไนเซชันเนื่องจากความร้อน (THERMAL IONIZATION)

ง) การชนกันของ METASTABLE กับอะตอม (IONIZATION BY INTERACTION OF METASTABLES WITH ATOM)

จ) การหลุดออกของอิเล็กตรอน (ELECTRON DETACHMENT)

### 2.3.1 การชนกันของอิเล็กตรอน (IONIZATION BY COLLISION หรือ ELECTRON COLLISION)

ไอออไนเซชันที่เกิดจากการชนของอิเล็กตรอนเป็นขบวนการที่สำคัญที่สุดในเรื่องการเบรคฟาวน์รองก๊าซ ไอออไนเซชันแบบนี้มีประสิทธิภาพมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพลังงานของอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนที่มีความเร็วเล็กน้อยเกินไปอาจไม่ทำให้เกิดไอออไนเซชัน ถ้าอิเล็กตรอนมีความเร็วพอประมาณและพลังงานของมันน้อยกว่าพลังงานที่ทำให้เกิดไอออไนเซชันเมื่อวิ่งไปชนอะตอมก็ทำให้อะตอมมีพลังงานสะสมภายในสูงขึ้นและอาจเกิดไอออไนเซชันได้ถ้าอะตอมนี้ถูกชนด้วยอิเล็กตรอนอื่นอีก ขบวนการไอออไนเซชันนี้มีความสำคัญมากเมื่อความหนาแน่นของอิเล็กตรอนมีค่าสูง อิเล็กตรอนที่มีความเร็วมากเกินไปอาจเป็นควิที่ช่วยให้ขบวนการไอออไนเซชันเจดลงเพราะมันอาจจะผ่านอะตอมไปเลยโดยไม่เกิดการชนกันก็ได้ สำหรับก๊าซแต่ละชนิดจะมีช่วงที่พลังงานของอิเล็กตรอนให้ขบวนการไอออไนเซชันที่ดีที่สุดดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ไอออนไนเซชันเนื่องจากการชนของอิเล็กตรอน ก) ในปรอท ข) ในอากาศ

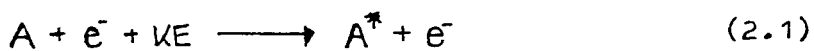
ความน่าจะเป็นของการไอออนไนเซชัน (DIFFERENTIAL IONIZATION COEFFICIENT) คือจำนวนของไอออนที่เกิดจากอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปเป็นระยะทาง 1 ซม.ที่ 1 ม.มของปรอท

ขบวนการไอออนไนเซชันนี้เกิดจากอิเล็กตรอนวิ่งชนอะตอมทำให้อิเล็กตรอนตัวใหม่หลุดออกจากอะตอมและวิ่งไปชนอะตอมอื่น ๆ อีก จำนวนไอออนที่เกิดเนื่องจากอิเล็กตรอนหลุดออกไปมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นเป็นแบบEXPONENTIAL สำหรับรายละเอียดและกลไกของไอออนไนเซชันแบบนี้จะกล่าวอีกครั้งในตอน 2.6

### 2.3.2 โฟโตไอออนไนเซชัน (PHOTOIONIZATION)

คอนเดนเซอร์อาจเก็บประจุได้เป็นเวลานานโดยมีการสูญเสียประจุหรือเกิดการรั่ว (LEAKAGE) น้อยแต่ถ้าอากาศรอบ ๆ คอนเดนเซอร์ถูกแสงอุลตราไวโอเล็ต (ULTRA-VIOLET LIGHT) การรั่วของประจุหรือการสูญเสียของประจุก็มีมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากก๊าซเริ่มเป็นตัวนำเนื่องจากโฟโตไอออนไนเซชัน หลักการของโฟโตไอออนไนเซชันหรือขบวนการในห้วงอวกาศเดียวกันจะกล่าวละเอียดต่อไป

อิเล็กตรอนที่มีพลังงานต่ำกว่าพลังงานที่จะทำให้เกิดไอออนไนเซชัน (eV<sub>i</sub>) เมื่อชนกับอะตอมก็ทำให้อะตอมมีระดับพลังงานสูงขึ้น ซึ่งปฏิกิริยาคงกล่าวเขียนได้ดังนี้

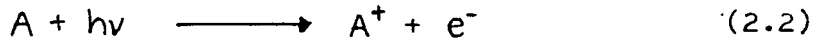


A - อะตอมที่ถูกอิเล็กตรอนที่มีความเร็วหรือพลังงานจลน์ KE ชน

A\* - อะตอมที่มีระดับพลังงาน (ENERGY LEVEL) สูงขึ้นเมื่อถูกชนด้วยอิเล็กตรอน

ในการที่อะตอม A\* จะกลับคืนสู่สภาวะเดิมภายในเวลา  $10^{-7}$  -  $10^{-10}$  วินาทีซึ่งอะตอม A\* จะคายพลังงานหรือให้คอนซึ่งอาจจะไอออนไนเซอะตอมอื่นซึ่งมีพลังงานไอออนไนเซชันต่ำกว่าไปใช้

พลังงานโฟตอนได้ ขบวนการดังกล่าวเรียกว่าโฟโตไอออไนเซชัน (PHOTOIONIZATION) และอาจเขียนแทนปฏิกิริยาได้ดังนี้



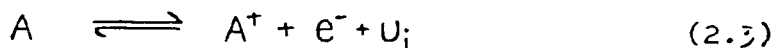
ซึ่ง A เป็นโมเลกุลที่เป็นกลาง,  $h\nu$  เป็นพลังงานโฟตอน ( $h$  คือค่าคงที่พลังค์-PLANCK'S CONSTANT มีค่าเท่ากับ  $(6.6253 \pm 0.0003) \times 10^{-34}$  จูล.วินาที,  $\nu$  คือความถี่ของการแผ่รังสี)

การที่จะให้เกิดไอออไนเซชันนั้นพลังงาน  $h\nu$  ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับพลังงานไอออไนเซชัน ( $ev_i$ ) ของอะตอมหรือโมเลกุล ถ้าพลังงาน  $h\nu$  มากกว่าพลังงานไอออไนเซชัน  $ev_i$  ส่วนเกินของพลังงานทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาด้วยความเร็วคือมีพลังงานจลน์ PROBABILITY OF IONIZATION เนื่องจากโฟตอนมีค่าสูงสุดเมื่อ  $(h\nu - ev_i)$  มีค่าอยู่ระหว่าง 0.1 - 1.0 eV ถ้าพลังงานโฟตอนมีค่าน้อยกว่าพลังงานไอออไนเซชัน  $ev_i$  ของอะตอมหรือโมเลกุล อะตอมอาจจะรับพลังงานและทำให้อะตอมเองมีระดับของพลังงานสูงขึ้น ขบวนการนี้เรียกว่า โฟโตเอ็กไซเทชัน (PHOTOEXCITATION)

ขบวนการโฟโตไอออไนเซชันเป็นขบวนการอันดับสอง (SECONDARY PROCESS) ที่อาจจะช่วยในการ เบรคควาน์และจำเป็นสำหรับกลไกการ เบรคควาน์แบบ STREAMER (STREAMER BREAKDOWN MECHANISM)

### 2.3.3 ไอออไนเซชันเนื่องจากความร้อน (THERMAL IONIZATION)

ถ้าให้ความร้อนกับก๊าซจนมีอุณหภูมิสูงมากพอ อะตอมที่เป็นกลางจำนวนมากจะได้รับพลังงานมากพอที่จะไอออไนเซชันอะตอมอื่นที่มันชน โดยทั่วไปไอออไนเซชันเนื่องจากความร้อนคือการชนกันของโมเลกุลและทำให้เกิดไอออไนเซชัน, การแผ่รังสีและการชนกันของอิเล็กตรอนซึ่งเกิดขึ้นในก๊าซที่อุณหภูมิสูง ๆ ขบวนการไอออไนเซชันเนื่องจากความร้อนอาจเขียนให้อยู่ในรูปของสมการดังนี้

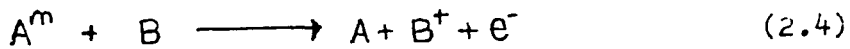


A เป็นอะตอมเป็นกลาง,  $A^+$  เป็นอะตอมที่ถูกไอออไนซ์,  $e^-$  เป็นอิเล็กตรอนที่หลุดออกจากอะตอม A และ  $U$ ; เป็นพลังงานไอออไนเซชัน

### 2.3.4 การชนกันของ METASTABLE กับอะตอม

ในสารบางอย่าง (ก๊าซเฉื่อยและสารในกลุ่มสองของ PERIODIC TABLE) อนุภาคของอะตอมที่ถูกเอ็กไซเทชันอาจจวนเป็นวินาที สถานะที่อะตอมเป็นแบบนี้เรียกว่าสถานะ - ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

METASTABLE และอะตอมที่อยู่ในสภาวะนี้เรียกว่า METASTABLE แทนด้วยสัญลักษณ์  $A^m$  ถ้าพลังงานของ METASTABLE  $ev^m$  มากกว่าพลังงานไอออไนเซชันของอะตอม B จะเกิดไอออไนเซชันเมื่อเกิดการชนกันขึ้นซึ่งสามารถเขียนปฏิกิริยาได้ดังนี้



สำหรับ METASTABLE  $A^m$  ที่มีพลังงานน้อยกว่าพลังงานไอออไนเซชันของอะตอม B ( $ev^m < ev_i$ ) เมื่อเกิดการชนกันทำให้อะตอม B ถูกเอ็กไซตให้มียะตังพลังงานสูงชันซึ่งสามารถเขียนสมการแทนปฏิกิริยาได้ดังนี้



การไอออไนเซชันเนื่องจากการชนกันของ METASTABLE อาจเป็นไปได้หลายทาง เมื่อ  $2V^m$  ของ METASTABLE มีค่ามากกว่า  $v_i$  ของอะตอม A ดังนั้นปฏิกิริยาอาจเขียนได้ดังนี้



หรือขบวนการไอออไนเซชันอาจเกิดขึ้นตามลำดับดังนี้



โฟตอนที่ถูกปล่อยออกมาในปฏิกิริยาสุดท้ายมีพลังงานต่ำมากเกินไปที่จะทำให้เกิดไอออไนเซชันในการแผ่พลังงานส่วนนี้อาจทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากคาโทด (CATHODE) ได้ การไอออไนเซชันของ METASTABLE กับอะตอมใช้เวลานานหลังจากการเอ็กไซตเรชัน (EXCITATION)

### 2.3.5 การหลุดออกของอิเล็กตรอน (ELECTRON DETACHMENT)

ภายใต้สภาวะการที่แน่นอนในสนามไฟฟ้าสูง ๆ อิเล็กตรอนอาจหลุดออกจากไอออนลบได้ขบวนการนี้จะคงมีความหนาแน่นของไอออนลบสูงมาก ขบวนการนี้มีความสำคัญมากในเรื่องโคโรนาคีสารจของปลายแหลมรั้วลบ (NEGATIVE POINT CORONA DISCHARGE)

### 2.4 การสูญเสียไอออน (ION LOSS)

ขบวนการสูญเสียไอออนตรงข้ามกับขบวนการการเกิดไอออนเพราะขบวนการสูญเสียไอออนหมายถึงการรวมตัวของอิเล็กตรอนหรือไอออนลบเข้ากับไอออนบวกเพื่อให้อะตอมเป็นกลางหรือการสูญเสียอิเล็กตรอนไปแทนที่จะเกิดไอออไนเซชัน ขบวนการนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก) การรวมตัวกัน (RECOMBINATION)

ข) การเกาะกันของอิเล็กตรอนกับอะตอม (ELECTRON ATTACHMENT)

ค) การแพร่กระจาย (DIFFUSION)

### 2.4.1 การรวมตัวกัน (RECOMBINATION)

เมื่อมีอนุภาคที่ประจุบวกและลบเกิดขึ้นก็เกิดขบวนการรวมตัวกัน ขบวนการนี้ตรงข้ามกับโฟโตไอออนไนเซชัน พลังงานของไอออนหรืออิเล็กตรอนหลังจากการรวมกันถูกปล่อยออกมาในรูปของ QUANTUM OF RADIATION (การแผ่รังสีไม่ต่อเนื่องออกมาด้วยจำนวนสม่ำเสมอแต่ออกมาในรูปไม่ต่อเนื่อง (DISCRETE) ซึ่งพลังงานแต่ละกลุ่มมีค่า  $h\nu$  กลุ่มของพลังงานที่ออกมาเรียกว่า QUANTA หรือ โฟตอน) ปฏิกิริยาของการรวมตัวกันเขียนได้ดัง



$A^+$  เป็นไอออนบวก,  $B^-$  เป็นอิเล็กตรอนหรือไอออนลบ และพลังงาน  $h\nu$  ที่ออกมาอาจจะไปทำให้อะตอมอื่นมีพลังงานสูงขึ้นอย่างในคอน 2.3.2

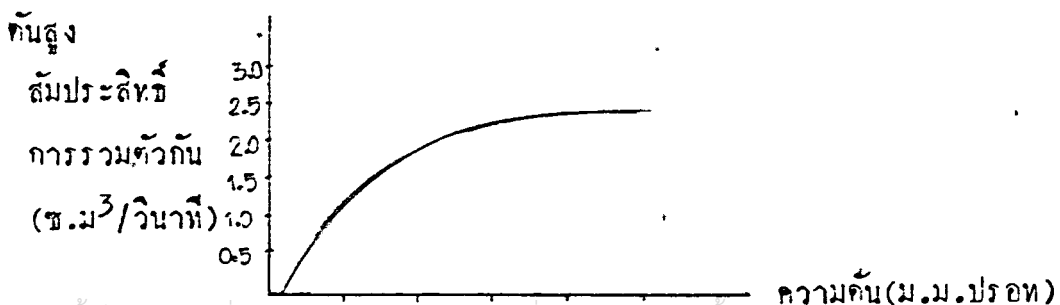
อัตราการรวมตัวกันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความหนาแน่นของไอออนบวกและลบหรืออิเล็กตรอน ถ้าให้  $\alpha$  เป็นสัมประสิทธิ์การรวมตัวกัน (RECOMBINATION COEFFICIENT) และให้  $n_+$  เป็นจำนวนไอออนบวก,  $n_-$  เป็นจำนวนไอออนลบหรืออิเล็กตรอน ดังนั้นสมการของการรวมตัวกันเขียนได้เป็น

$$\frac{dn_+}{dt} = \frac{dn_-}{dt} = -\alpha n_+ n_- \quad (2.10)$$

โดยทั่วไป  $n_+ = n_- = n$  ดังนั้น

$$\frac{dn}{dt} = -\alpha n^2 \quad (2.11)$$

สัมประสิทธิ์การรวมตัวกัน  $\alpha$  เปลี่ยนตามความดัน  $\alpha$  มีค่ามากขึ้นเมื่อความดันเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.2 ขบวนการการรวมตัวกันมีความสำคัญโดยเฉพาะเมื่อความ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 2.2 สัมประสิทธิ์การรวมตัวกันของอากาศ

หนึ่งซึ่งมีค่าเท่ากับพลังงานเนื่องจากแรงไฟฟ้าสถิตยันั้นศักย์ค่าไฟฟ้าที่ทำให้เกิดพลังงานนี้เรียกว่า WORK FUNCTION ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของสารที่มาทำอิเล็กโทรด ขบวนการที่จะทำให้เกิดพลังงานเพื่อทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากอิเล็กโทรดมีด้วยกันหลายวิธีดังนี้

- ก) การปล่อยออกเนื่องจากโฟตอน (PHOTOELECTRIC EMISSION)
- ข) การปล่อยออกเนื่องจากการชนของไอออนบวกและอะตอมที่ถูกเอ็กไซท์ (ELECTRON EMISSION BY POSITIVE ION AND EXCITED ATOM)
- ค) การปล่อยออกเนื่องจากความร้อน (THERMIONIC EMISSION)
- ง) การปล่อยออกเนื่องจากสนาม (FIELD EMISSION)

2.5.1 การปล่อยออกเนื่องจากโฟตอน (PHOTOELECTRIC EMISSION)

เมื่อโฟตอนที่มีพลังงานมากกว่าหรือเท่ากับWORKFUNCTION ( $h\nu \geq e\phi$ ) ของสารที่ทำอิเล็กโทรดตกกระทบกับผิวหน้าของคาโทดจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนหลุดออกจากผิวคาโทด ถ้าพลังงานโฟตอนมากกว่าWORK FUNCTION ( $h\nu > e\phi$ ) พลังงานส่วนที่เกินจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนที่หลุดออกมามีพลังงานจลน์คี่ซึ่งเขียนได้ดังสมการ

$$\frac{1}{2}mv_e^2 = h\nu - h\nu_0 \quad (2.17)$$

$m$  เป็นมวลของอิเล็กตรอน,  $v_e$  เป็นความเร็วของอิเล็กตรอน และ  $h\nu_0$  เป็นพลังงานสมมูลที่ทำให้เกิดอิเล็กตรอนหลุดออกมาพอดี ( $h\nu_0 = e\phi$ )

2.5.2 การปล่อยออกเนื่องจากการชนของไอออนบวกและอะตอมที่ถูกเอ็กไซท์

(ELECTRON EMISSION BY POSITIVE ION AND EXCITED ATOM IMPACT )

อิเล็กตรอนอาจถูกปล่อยออกจากผิวโลหะเนื่องจากการกระทบของไอออนบวกหรือMETASTABLE ในการที่จะทำให้เกิดการปล่อยอิเล็กตรอน ไอออนที่มากระทบต้องทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมา 2 ตัว ตัวหนึ่งสำหรับทำให้ไอออนเป็นกลาง พลังงานต่ำสุดที่จะทำให้เกิดการปล่อยอิเล็กตรอนมีค่าสองเท่าของWORK FUNCTION( $\phi$ )เนื่องจากอิเล็กตรอนตัวหนึ่งจะทำให้ไอออนเป็นกลาง ส่วนอิเล็กตรอนอีกตัวจะหลุดออกมาจากผิวโลหะ ปฏิกริยากังกล่าวสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$U_k + U_p \geq 2\phi \quad (2.18)$$

$U_k$  - ศักย์ไฟฟ้าที่เทียบกับ (CORRESPOND) พลังงานจลน์ของไอออน

$U_p$  - ศักย์ไฟฟ้าที่เทียบกับพลังงานศักย์ของไอออน

### 2.5.3 การปล่อยออกเนื่องจากความร้อน ( THERMIONIC EMISSION )

ในโลหะที่อุณหภูมิสูง ๆ อิเล็กตรอนที่อยู่ใกล้ผิวโลหะอาจมีพลังงานมากพอที่จะเอาชนะพลังงานที่กักกันอิเล็กตรอนไว้ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาจากผิวของโลหะได้ พลังงานกักกันอิเล็กตรอนไม่ให้หลุดจากผิวโลหะนี้คือ WORK FUNCTION ( $\phi$ ) อุณหภูมิที่ทำให้เกิดการปล่อยอิเล็กตรอนออกเนื่องจากความร้อนอยู่ในช่วง 1500-2500 °K กระแสที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ (T) ตามสมการของ RICHARDSON-DUSHMAN ความหนาแน่นของกระแส J มีค่าดังนี้

$$J = \frac{4\pi mek^2 T^2}{h^3} e^{-\frac{e\phi}{kT}} \quad (2.19)$$

e และ m เป็นค่าประจุและมวลของอิเล็กตรอนตามลำดับ, h เป็นค่าคงที่พลังค์ (PLANCK'S CONSTANT), k เป็นค่าคงที่โบลท์แมนน์ (BOLTZMANN'S CONSTANT =  $1.380 \times 10^{-23}$  จูล/°K), T เป็นอุณหภูมิสัมบูรณ์ (ABSOLUTE) และ  $\phi$  เป็น WORK FUNCTION

สมการที่ (2.19) แสดงให้เห็นว่ากระแสมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น หรือเมื่อ WORK FUNCTION มีค่าน้อยลง ที่อุณหภูมิปกติกระแสในสมการ (2.19) มีค่าน้อยมากและไม่มีความเข้มข้นมาก SCHOTTKY ได้แสดงให้เห็นว่า WORK FUNCTION มีค่าลดลงแต่กระแสนี้ยังมีค่าค่าน้อยจนการนี้จึงไม่ค่อยสำคัญสำหรับอิเล็กโทรนเรียบและสะอาดที่อุณหภูมิต่ำ

### 2.5.4 การปล่อยออกเนื่องจากสนาม ( FIELD EMISSION )

อิเล็กตรอนอาจถูกดึงออกจากผิวของโลหะโดยสนามไฟฟ้าสถิตย์สูง ๆ ได้ สนามที่จะทำให้เกิดกระแส 2 - 3 ไมโครแอมแปร์อยู่ระหว่าง  $10^7 - 10^8$  โวลต์/ซ.ม สำหรับโลหะที่มี WORK FUNCTION 4.5 eV. สนามไฟฟ้ที่ทำให้เกิดการปล่อยอิเล็กตรอนออกจากผิวหน้าโลหะอาจมีค่าได้ถึง 10 กิโลโวลต์/ซ.ม FOWLER AND NORDHIM ได้คิดสมการหาความหนาแน่นกระแสเนื่องจากสนามไฟฟ้าสูง ๆ โดยใช้ทฤษฎีของควันตัม (QUANTUM) ดังนี้

$$J = \frac{e}{2\pi h} \cdot \frac{\mu^{\frac{1}{2}}}{(\mu + \phi)^{\frac{1}{2}}} E^2 e^{-\frac{(4K\phi)^{\frac{3}{2}}}{3E}} \quad (2.20)$$

โดย  $\mu = \left(\frac{3\eta}{\pi}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{h^2}{8m}$  และ  $K = \frac{8\pi^2 m}{h^2}$  (2.21)  
ไม่ว่ากรณีใดๆที่  $\eta$  อีกที่  $\frac{h^2}{8m}$  มิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$e$  และ  $m$  เป็นประจุและมวลของอิเล็กตรอนตามลำดับ,  $h$  เป็นค่าคงที่พลังค์ ,  
 $\tau$  เป็นจำนวนของอิเล็กตรอนอิสระ/ซ.ม.<sup>3</sup> และ  $\phi$  เป็น WORK FUNCTION ของโลหะ สมการ-  
 (2.20) สามารถเขียนใหม่เป็น

$$J = AE^2 e^{-\frac{D}{E}} \quad (2.22)$$

จากสมการ (2.22) จะเห็นว่ากระแสมีค่ามากขึ้นเมื่อสนามไฟฟ้า  $E$  มีค่ามากขึ้น

## 2.6 กลไกของการเบรคความในกาซ (MECHANISMS OF BREAKDOWN IN GAS )

การคายประจุ (DISCHARGE) ในกาซแบ่งโดยทั่ว ๆ ไปได้เป็นสองแบบคือแบบ-  
 สนับสนุนตัวเองได้ (SELF-SUSTAINING) และแบบไม่สามารถสนับสนุนตัวเองได้ (NON-SELF  
 SUSTAINING) สำหรับแบบแรกหมายถึงการคายประจุ (DISCHARGE) ยังเกิดตามปกติแม้ว่าจะ  
 เอาแหล่งป้อนสนามไฟฟ้าออก ส่วนแบบหลังการคายประจุ (DISCHARGE) จะหยุดทันทีเมื่อเอา  
 แหล่งป้อนสนามไฟฟ้าออก กลไกของการเบรคความของกาซซึ่งเรียกว่า สปาร์ก (SPARK)  
 คือการเปลี่ยนจากการคายประจุ (DISCHARGE) แบบสนับสนุนตัวเองไม่ได้ไปเป็นแบบสนับสนุน  
 ตัวเองได้

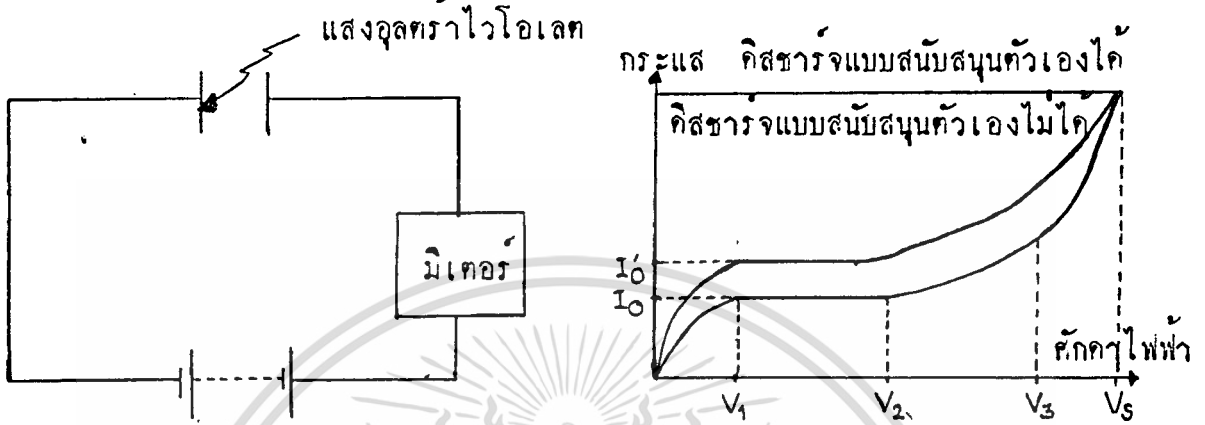
กลไกของการเบรคความที่ขอมริบกันโดยทั่วไปแล้วมี 2 อย่างคือ กลไกการเบรค  
 ความของ TOWNSEND และกลไกการเบรคความ STREAMER การเบรคความของกาซสามารถ  
 เป็นไปได้โดยกลไกดังที่กล่าวแล้วได้ทั้งสองแบบดังที่กล่าวจะกระนั้น

### 2.6.1 กลไกการเบรคความของ TOWNSEND

ในเรื่องการคายประจุ (DISCHARGE) ของกาซนั้นอิเล็กตรอนเริ่มกันอาจเกิดเนื่องมา  
 จากการแผ่รังสีคอสมิก ทำให้เกิดโฟตอนและไปไอออไนซ์อะตอมเป็นกลาง หรืออิเล็ก  
 ตรอนอาจหลุดจากคาโทดเนื่องจากการส่องแสงอุลตราไวโอเล็ตไปยังคาโทด เป็นต้น  
 ในกรณีที่ไม่สนามไฟฟ้าจะเกิดการสมดุลระหว่างอัตราการเกิดของอิเล็กตรอนและไอออน  
 ขวกับอัตราการสูญเสียของไอออน ( ION LOSS ) ในระบบอิเล็กโทรดที่สนามไฟฟ้า  
 เป็นแบบสม่ำเสมอ ( เช่นระนาบขนานกัน ) เมื่อสนามไฟฟ้ามีค่าสูงมากพอจะทำให้ความ  
 สมดุลระหว่างการเกิดและการสูญเสียของไอออนหมดไป TOWNSEND ได้ศึกษาการเปลี่ยน  
 แปลงของกระแสระหว่างอิเล็กโทรดแบบระนาบขนานกันเนื่องจากสนามไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป  
 ดังในรูปที่ 2.3 TOWNSEND พบว่ากระแสในช่องว่าง (GAP ) ตอนต้นเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วน

กับศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป ทั้งนี้เพราะอิเล็กตรอนที่ถูกปล่อยออกจากคาโทดเคลื่อนที่ผ่าน  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 การชวยความเร่งซึ่งชนอนุภาคกับสนามไฟฟ้าหรือศักย์ไฟฟ้า เมื่อศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้นกระแส  
 ไม่สามารถใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลเบื้องหน้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงขึ้นจนมีค่าเกือบคงที่เท่ากับ  $I_0$  ดังในรูปที่ 2.4 กระแส  $I_0$  ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของการแผ่รังสีของอุลตราไวโอเลต ถ้าระดับความเข้มข้นของแสงเพิ่มมากขึ้นระดับของกระแสที่คงที่ก็เพิ่มขึ้นเป็น  $I'_0$  ดังในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 วงจรศึกษาการเบรคความ

รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้า

และกระแสก่อนเกิดการ เบรคความ

เมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้าให้สูงขึ้นต่อไปอีกกระแสจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การเพิ่มขึ้นของกระแสอย่างรวดเร็ว TOWNSEND ได้ให้เหตุผลว่าเกิดจากไอออนในเซชั่นของก๊าซ - เนื่องจากการชนกันของอิเล็กตรอนทำให้กระแสเพิ่มขึ้นเป็นแบบเอกซ์โปเนนเชียล ขบวนการนี้เรียกว่า ขบวนการแอลฟา ( $\alpha$  PROCESS) แต่หลังจากศักย์ไฟฟ้ามากกว่า  $V_3$  การเพิ่มขึ้นของกระแสมากกว่าแบบเอกซ์โปเนนเชียลจนเบรคความที่  $V_5$  ซึ่ง TOWNSEND ได้ให้เหตุผลว่าการเพิ่มขึ้นของกระแสในช่วงหลังนี้ต้องมีกลไกอย่างอื่นอีกนอกจากการชนกันของอิเล็กตรอน ขบวนการที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ขบวนการแกมมา ( $\gamma$  PROCESS)

ศักย์ไฟฟ้า  $V_5$  ที่เกิดเบรคความไม่เปลี่ยนแปลงแม้ว่าความเข้มข้นของแสงอุลตราไวโอเลตเปลี่ยนไปถ้าหากไม่มีประจุอวกาศ (SPACE CHARGE) มาทำให้สนามไฟฟ้าเปลี่ยน.

### 2.6.1.1 ขบวนการแอลฟา ( $\alpha$ PROCESS)

ในช่วงของศักย์ไฟฟ้าระหว่าง  $V_2$  และ  $V_3$  ที่กระแสเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว นั่นก็ - เนื่องมาจากการชนกันของอิเล็กตรอน ถึงแม้ว่าขบวนการไอออนในเซชั่นเนื่องจากการชนกันของอิเล็กตรอนเป็นขบวนการที่สำคัญที่สุดในเรื่องการเบรคความของก๊าซ แต่ขบวนการนี้เพียงอย่างเดียวไม่ได้ทำให้เกิดการเบรคความขึ้นได้

เมื่อศักย์ไฟฟ้าถูกเพิ่มสูงขึ้นอิเล็กตรอนอาจจะหลุดจากคาโทดหรืออาจเกิดเนื่องมาจากการแผ่รังสีคอสมิก ทำให้เกิดโฟตอนและไปไอออนในช่อะทอมเป็นกลางทำให้อิเล็กตรอนไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลุดออกมา อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นมานี้อยู่ในสนามไฟฟ้าคังนั้นจึงมีความเร่งไปยังแอนโนด และมีพลังงานตามสมการ

$$U = eEx = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2.23)$$

e - ประจุของอิเล็กตรอน

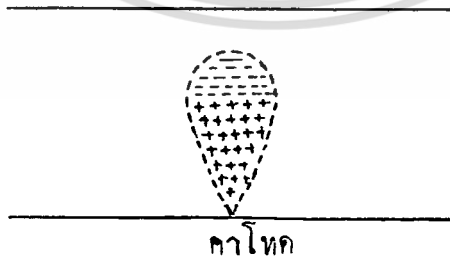
m - มวลของอิเล็กตรอน

v - ความเร็วของอิเล็กตรอนหลังจากเคลื่อนไปเป็นระยะทาง x

อิเล็กตรอนที่มีพลังงานนี้อาจแตกโซ่โมเลกุลของกาซใหม่มีระดับของพลังงานเพิ่มมากขึ้น ถ้าอิเล็กตรอนมีพลังงานมากกว่าพลังงานมากกว่าพลังงานไอออไนเซชันของโมเลกุลของกาซก็ทำให้อิเล็กตรอนอีกตัวหลุดออกจากโมเลกุลที่เป็นกลางและเหลือไอออนบวกทิ้งไว้ข้างหลัง อิเล็กตรอนตัวใหม่และอิเล็กตรอนตัวแรกก็จะวิ่งต่อไปและชนโมเลกุลอื่นของกาซอีกทำให้เกิดอิเล็กตรอนเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ กลุ่มก้อนหรือ AVALANCHE ของอิเล็กตรอนก็วิ่งไปหาแอนโนดในที่สุด

RATHER ได้ถ่ายรูป AVALANCHE ของอิเล็กตรอนไว้และการกระจายของประจุใน AVALANCHE ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.5 ในอากาศที่ความดันบรรยากาศความเร็วของอิเล็กตรอนใน AVALANCHE มีค่าประมาณ  $10^7$  ช.ม./วินาที และความเร็วของไอออนบวกประมาณ  $10^5$  ช.ม./วินาที ความเร็วของอิเล็กตรอนสูงกว่าของไอออนบวกหลายเท่าคังนั้นที่หัวของ AVALANCHE ในรูปที่ 2.5 จึงเป็นอิเล็กตรอน ส่วนปลายของ AVALANCHE เป็นไอออนบวกหัวของ AVALANCHE เป็นรูปกลมเนื่องจากการแผ่กระจายของอิเล็กตรอนเป็นไปทุกทิศทาง

แอนโนด



รูป 2.5 การแผ่กระจายของประจุใน AVALANCHE

อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อมีขบวนการชนกันของอิเล็กตรอนเกิดขึ้น กระแสที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงศักย์ไฟฟ้าระหว่าง  $V_2$  และ  $V_3$

ในรูป 2.4 สามารถอธิบายได้โดย TOWNSEND ได้สมมุติ  $\alpha$  หรือสัมประสิทธิ์ไอออไนเซชันไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวแรกของ TOWNSEND ซึ่งถูกนิยามว่าเป็นจำนวนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนหนึ่งตัวเคลื่อนไปเป็นระยะทาง 1 ซม. ในทิศทางของสนามไฟฟ้าให้  $n_0$  เป็นจำนวนอิเล็กตรอน/วินาทีที่ถูกปล่อยออกมาจากคาโทด,  $n_x$  เป็นจำนวนอิเล็กตรอนที่ระยะทาง  $x$  จากคาโทด จำนวนอิเล็กตรอน  $n_x$  ที่ระยะทาง  $x$  จากคาโทดจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนใหม่เพิ่มขึ้นเมื่อเคลื่อนไป  $dx$  มีค่า

$$dn_x = \alpha n_x dx \tag{2.24}$$

หรือ 
$$n_x = n_0 e^{\alpha x} \tag{2.25}$$

ดังนั้นจำนวนของอิเล็กตรอนที่เข้าไปหาแอโนดที่  $x=d$  มีค่า

$$n_d = n_0 e^{\alpha d} \tag{2.26}$$

สมการที่ (2.26) แสดงให้เห็นว่าถ้าเกิดอิเล็กตรอน  $n_0$  ตัวออกจากคาโทด จำนวนอิเล็กตรอนที่วิ่งไปหาแอโนดมีจำนวน  $n_d$  อิเล็กตรอน ดังนั้นอิเล็กตรอนหนึ่งตัวที่ออกจากคาโทดทำให้เกิดอิเล็กตรอนใหม่  $(e^{\alpha d} - 1)$  ตัวในระยะทางที่เคลื่อนที่ไป  $d$

เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนทำให้เกิดกระแส ดังนั้นในกรณีสเทตัสเตจ (STEADY STATE) จำนวนไอออนบวกที่วิ่งมายังคาโทดที่วินาทีเท่ากับจำนวนอิเล็กตรอนใหม่ที่วิ่งไปที่แอโนด สมการของกระแสสามารถเขียนได้เป็น

$$I = I_0 e^{\alpha d} \tag{2.27}$$

$I_0$  - กระแสไฟฟ้ไออิเล็กทริก

กระแสในสมการ (2.27) เป็นกระแสเนื่องมาจาก AVALANCHE ของอิเล็กตรอน และสมการนี้ก็ไม่ได้แทนที่สสารจลแบบสนับสนุนตัวเองได้ (SELF-SUSTAINED DISCHARGE) เนื่องจากว่ามันขึ้นอยู่กับค่า  $I_0$

จากการทดลองและจากทฤษฎีแสดงให้เห็นว่า  $\alpha$  เป็นฟังก์ชันของ  $\frac{E}{P}$  ซึ่ง  $E$  คือเกรเดียนท์ของสนามและ  $P$  เป็นความดันของก๊าซ ความสัมพันธ์ระหว่าง  $\alpha$  และสนาม  $E$  และความดันของก๊าซ  $P$  ได้แสดงโดย TOWNSEND ไว้ดังต่อไปนี้ หลังจากอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปเป็นระยะทางเท่ากับ free path  $\lambda$  ในทิศทางของสนาม  $E$  หลังจากนั้นอิเล็กตรอนได้รับมีค่า  $Ee\lambda$  ถ้าหลังจาก  $Ee\lambda$  มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับพลังงานไอออไนเซชัน  $ev_i$  ของก๊าซจะทำให้เกิดไอออไนเซชันขึ้น โอกาสที่อิเล็กตรอนจะไอออไนเซชันขึ้นอยู่กับโอกาสที่จะเกิด  $\lambda \gg \lambda_i = v_i / E$  มีมจน้อยเพียงใด

$$n = n_0 e^{-\lambda_i/\lambda_m} = n_0 e^{-V_i/\lambda_m E} \quad (2.28)$$

$n_0$  - จำนวนอนุภาคที่เริ่มต้นของระยะ FREE PATH

$\lambda_m$  - FREE PATH เฉลี่ย

จำนวนการชนกันที่ทำให้เกิดไอออนในเซชัน ( $\alpha$ ) ต่อระยะทาง 1 ซม. มีค่าเท่ากับจำนวน FREE PATH คูณกับโอกาสที่ FREE PATH มีค่ามากกว่าระยะทางไอออนในเซชัน (IONIZING PATH)  $\lambda_i$  เขียนได้เป็นสมการ

$$\alpha = \frac{1}{\lambda_m} e^{-V_i/\lambda_m E} \quad (2.29)$$

แต่  $1/\lambda_m = Ap$ ,  $A$  เป็นค่าคงที่, ดังนั้น

$$\frac{p}{\alpha} = A e^{-(AV_i P)/E} \quad (2.30)$$

$$\frac{p}{\alpha} = A e^{-BP/E} \quad (2.31)$$

ดังนั้น

$$\frac{p}{\alpha} = f\left(\frac{E}{P}\right) \quad (2.32)$$

จากการทดลองก็พบว่า  $\frac{p}{\alpha}$  มีความสัมพันธ์กับ  $\frac{E}{P}$

### 2.6.1.2 ขบวนการแกมมา ( $\gamma$ PROCESS )

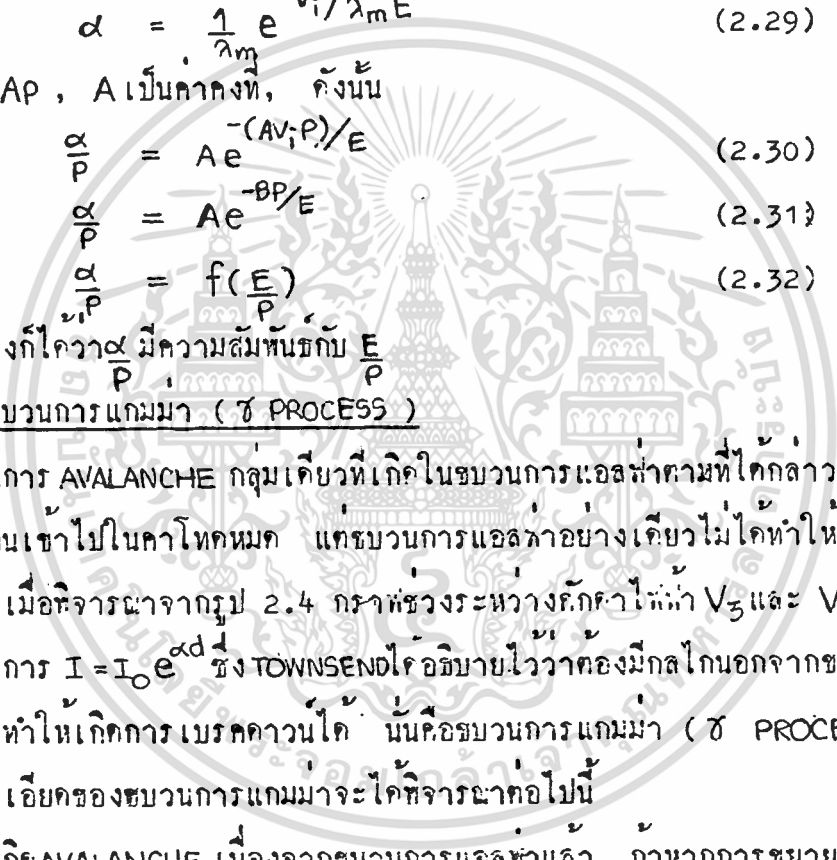
ขบวนการ AVALANCHE กลุ่มเดียวที่เกิดในขบวนการแอลฟาตามที่ไดกล่าวจะสมบูรณ์ก็ต่อเมื่อไอออนเข้าไปในคาโทดหมด แต่ขบวนการแอลฟาอย่างเดียวยังไม่ได้ทำให้เกิดการเบรคความ เมื่อพิจารณาจากรูป 2.4 กราฟช่วงระหว่างศักย์ไฟฟ้าให้ค่า  $V_3$  และ  $V_5$  เบี่ยงเบนไปจากสมการ  $I = I_0 e^{\alpha d}$  ซึ่ง TOWNSEND ใช้อธิบายไว้ว่าต้องมีกลไกนอกจากขบวนการแอลฟาอีกที่จะทำให้เกิดการเบรคความได้ นั่นคือขบวนการแกมมา (  $\gamma$  PROCESS ) สำหรับรายละเอียดของขบวนการแกมมาจะได้พิจารณาท่อไปนี้

เมื่อเกิด AVALANCHE เนื่องจากขบวนการแอลฟาแล้ว ถ้าหากการขยายตัวของ AVALANCHE เพิ่มมากขึ้นโอกาสที่จะเกิดอิเล็กตรอนร้อนภายในเนื่องมาจากกลไกแบบอื่นก็เพิ่มมากขึ้นและอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นใหม่นี้สามารถที่จะทำให้เกิด AVALANCHE ใหม่ได้

ขบวนการที่ทำให้เกิดอิเล็กตรอนใหม่ในขบวนการแกมมาที่สำคัญสามารถอธิบายได้ดังนี้

ก) ขณะที่ไอออนบวกที่เกิดเนื่องมาจาก AVALANCHE กลุ่มแรกไม่สามารถรับพลังงานจลน์ในสนามไฟฟ้ามากพอที่จะไปไอออนในซีโมเลกุล มันอาจมีพลังงานมากพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาเมื่อไอออนบวกนี้ไปกระทบกับคาโทด

ข) โมเลกุลที่ถูกแตกใน AVALANCHE อาจทำให้เกิดไอออนร้อน และการแยกไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดลแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รังสีนี้อาจไปตกกระทบบนคาโทดทำให้เกิดอิเล็กตรอนหลุดออกมาได้เนื่องจากโฟตอนนี้ อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นอาจทำให้เกิด AVALANCHE ใหม่ของมันเอง

ค) โมเลกุล METASTABLE อาจแย่งกระจายกลับไปยังคาโทดและทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาเมื่อโมเลกุลนี้ไปกระทบบนคาโทด

ขบวนการทั้งสามอย่างที่กล่าวมาแล้วนี้รวมเรียกว่า ขบวนการแกมมา TOWNSEND โคэффициент  $\gamma$  ให้เป็นสัมประสิทธิ์การไอออไนเซชันครั้งที่สอง (TOWNSEND'S SECOND IONIZATION COEFFICIENT) ซึ่งถูกนิยามว่าเป็นจำนวนเฉลี่ยของอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นที่คาโทดต่ออิเล็กตรอนหนึ่งตัวที่เกิดขึ้นในช่องว่าง (GAP) เนื่องจากขบวนการแอลฟา

$$\gamma = \gamma_i + \gamma_p + \gamma_m \quad (2.34)$$

$\gamma_i$  - สัมประสิทธิ์เนื่องจากไอออนบวกจากข้อ ก)

$\gamma_p$  - สัมประสิทธิ์เนื่องจากโฟตอนจากข้อ ข)

$\gamma_m$  - สัมประสิทธิ์เนื่องจาก METASTABLE จากข้อ ค)

ขบวนการแกมมาก็คล้ายกับขบวนการแอลฟา จำนวนอิเล็กตรอนใหม่ที่เกิดขึ้นในขบวนการแกมมาซึ่งมีค่าเท่ากับ  $\mu = \gamma(e^{\alpha d} - 1)$  ต่อ AVALANCHE นั้น ทำให้เกิดอิเล็กตรอนใหม่ขึ้นไป ถ้าหากจำนวนอิเล็กตรอนเริ่มแรกก่อนเริ่มขบวนการแอลฟามีจำนวน  $N_0$  อิเล็กตรอน จำนวนอิเล็กตรอนชุดสองก่อนเริ่มขบวนการแกมมามีจำนวน  $\mu N_0$  อิเล็กตรอน นอกจากนี้ขบวนการแกมมายังคล้ายคลึงกับขบวนการแอลฟาที่ว่า สัมประสิทธิ์แกมมา เป็นฟังก์ชันของสนามไฟฟ้าและความดันก๊าซดังนี้

$$\gamma = g\left(\frac{E}{p}\right) \quad (2.35)$$

กระแสที่เกิดขึ้นภายในช่วงศักย์ไฟฟ้าระหว่าง  $V_3$  และ  $V_5$  ในรูปที่ 2.4 ซึ่งประกอบด้วยขบวนการแอลฟาและขบวนการแกมมาสามารถหาได้ดังนี้

ให้  $\gamma$  - เป็นจำนวนอิเล็กตรอนที่เกิดที่คาโทดต่ออิเล็กตรอนหนึ่งตัวที่เกิดในขบวนการแอลฟาหรือต่อการชนกันของไอออไนเซชันหนึ่งครั้งในช่องว่าง (GAP)

$N_0$  - เป็นจำนวนของอิเล็กตรอนที่ออกจากคาโทดต่อวินาทีเนื่องจากโฟตอนเริ่มต้นของขบวนการแอลฟา

$N_0'$  - จำนวนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นที่คาโทดต่อวินาทีก่อนเริ่มต้นของขบวนการแกมมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น 
$$n''_0 = n_0 + n'_0 \tag{2.36}$$

อิเล็กตรอนแต่ละตัวที่ออกจากคาโทดทำให้เกิดการชนกันของไอออนในเซชัน ( $e^{\alpha d} - 1$ ) ครั้งในช่องว่าง ดังนั้นจำนวนการชนกันของไอออนในเซชันต่อวินาทีภายในช่องว่างเท่ากับ  $n''_0(e^{\alpha d} - 1)$  และจากนิยามของ  $\delta$  จะได้

$$n'_0 = \delta n''_0(e^{\alpha d} - 1) \tag{2.37}$$

$$n''_0 = n_0 + \delta n''_0(e^{\alpha d} - 1) \tag{2.38}$$

$$n''_0 = \frac{n_0}{1 - \delta(e^{\alpha d} - 1)} \tag{2.39}$$

จำนวนอิเล็กตรอนที่วิ่งไปที่แอนโนดมีค่า

$$n_d = n''_0 e^{\alpha d} \tag{2.40}$$

$$= \frac{n_0 e^{\alpha d}}{1 - \delta(e^{\alpha d} - 1)} \tag{2.41}$$

ในกรณีสเทคีสเตจ กระแสที่เกิดขึ้นเขียนได้ดังสมการ

$$I = \frac{I_0 e^{\alpha d}}{1 - \delta(e^{\alpha d} - 1)} \tag{2.42}$$

2.6.1.3 กฎเกณฑ์ของทาว์นเซนต์สำหรับการเบรคคาว์น

เมื่อศักดาไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไประหว่างช่องว่าง (GAP) ของอิเล็กโทดเพิ่มขึ้น - สนามไฟฟ้าในช่องว่างก็เพิ่มมากขึ้นและกระแสก็เพิ่มความสมการ (2.42) จนกระทั่งถึงจุดๆ หนึ่งที่เปลี่ยนจากการไหลของกระแสไฟฟ้าธรรมดาเป็นคัสคาไรจแบบสนับสนุนตัวเองได้ (SELF-SUSTAINING DISCHARGE) การเปลี่ยนแปลงแบบนี้ทำให้เกิดกระแสไหลแบบทันทีทันใดและขนาดของกระแสถูกจำกัดโดยความต้านทานของวงจรและกาชตัวนำ สภาพการณ์แบบนี้ถูกนิยามว่าคือ เบรคคาว์น เมื่อพิจารณาจากสมการ (2.42) ถ้าไม่มีความต้านทานของวงจรกระแสเมื่อตอนเบรคคาว์นมีค่าสูงมากเมื่อ  $\delta(e^{\alpha d} - 1) = 1$  หรือประมาณ  $\delta e^{\alpha d} = 1$  เนื่องจาก  $e^{\alpha d} \gg 1$  LOEB ได้อธิบายกฎเกณฑ์ของทาว์นเซนต์สำหรับการเบรคคาว์นไว้ดังนี้

ก) สำหรับ  $\delta e^{\alpha d} < 1$  กระแสคัสคาไรจไม่เป็นแบบสนับสนุนตัวเองได้ นั่นคือเมื่อเอาแหล่งป้อนไฟออกกระแสก็หยุดไหล

ข) สำหรับ  $\delta e^{\alpha d} = 1$  จำนวนไอออน  $e^{\alpha d}$  ที่เกิดภายในช่องว่างเนื่องจากอิเล็กตรอนหนึ่งตัวมีมากพอที่จะทำให้ไอออนบวกเมื่อกระทบกับคาโทดสามารถทำให้อิเล็กตรอนใหม่หลุดออกมาและเกิดขบวนการ AVALANCHE ซ้ำอีก คัสคาไรจแบบนี้เป็นแบบสนับสนุนตัวเองได้ - และขบวนการยังคงเกิดต่อไปได้ถึงแม้ว่าจะเอาแหล่งป้อนไฟออกและกรณีของ  $\delta e^{\alpha d} = 1$  ถือได้ว่าเป็นจุดวิกฤตของการเบรคคาว์น

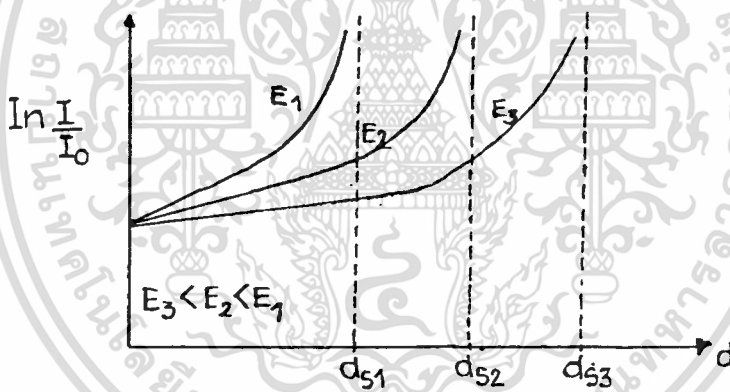
ค) สำหรับ  $\alpha e^{\alpha d} > 1$  ไอออนในเซชันที่เกิดเนื่องจาก AVALANCHE มากมายเป็นแบบสะสม (CUMULATIVE )

### 2.6.1.4 การหาค่าแอลฟาและแกมมาจากการทดลอง

แอลฟาและแกมมาในไอออนในเซชันของก๊าซขึ้นอยู่กับสนามไฟฟ้าและความดันคงที่ได้กล่าวมาแล้ว

$$\frac{d}{p} = f\left(\frac{E}{p}\right) \quad , \quad \alpha = g\left(\frac{E}{p}\right) \quad (2.43)$$

ในการหาค่าแอลฟาและแกมมาจากการทดลองทำได้โดยต่อแหล่งป้อนไฟเข้าที่ขั้วระนาบขนานกันดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยให้ความดันของก๊าซระหว่างระนาบขนานกันมีค่าคงที่ ปรับระยะระหว่างช่องว่าง (GAP ) และศักดาไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปให้มีค่าสนามไฟฟ้าคงที่ สำหรับค่าของสนามไฟฟ้าที่คงที่แต่ละค่าเขียนกราฟของ  $\ln \frac{I}{I_0}$  (หรือ  $\ln \frac{I}{I_0}$ ) และระยะช่องว่าง  $d$  จะได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 2.6



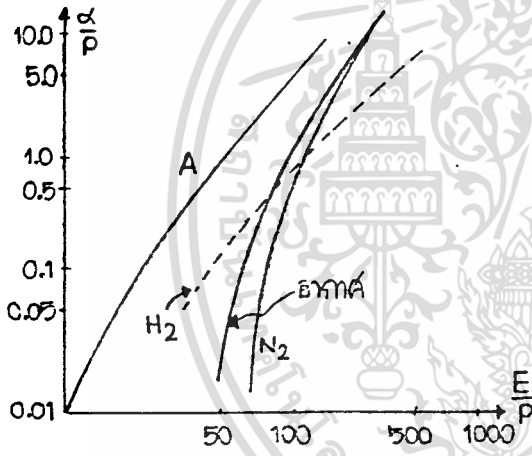
รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของกระแสและช่องว่างของระนาบขนานกัน

ที่ค่า  $d$  ค่า ๆ  $\alpha e^{\alpha d} \ll 1$  ดังนั้น  $I = I_0 e^{\alpha d}$  และกราฟเส้นตรงในช่วงค่า  $d$  ค่า ๆ มีความชัน (SLOPE) เท่ากับ  $\alpha$  เมื่อ  $d$  เพิ่มมากขึ้น  $\alpha e^{\alpha d}$  ก็เพิ่มมากขึ้นทำให้กราฟที่เห็นในรูปที่ 2.6 ไม่เป็นเส้นตรงและเมื่อเพิ่ม  $d$  ต่อไปอีกก็จะเกิดการเบรคควานที่  $d_s$  ศักดาไฟฟ้าเบรคควานสำหรับแต่ละค่าของสนามไฟฟ้ามีค่า  $V_{s1} = E_1 d_{s1}$  ,  $V_{s2} = E_2 d_{s2}$  เป็นต้น เมื่อรู้ค่า  $\alpha$  แล้วเราอาจหาค่า  $\alpha$  ได้จากสมการ (2.42) โดยใช้จุดต่าง ๆ บนกราฟที่ไม่ใช่เส้นตรงสำหรับค่าคงที่  $E$  ใด ๆ การทดลองอาจหาที่ความดันต่าง ๆ กัน และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\frac{d}{p}$  และ  $\frac{E}{p}$  สำหรับกาชนิดต่าง ๆ ได้แสดงไว้ใน

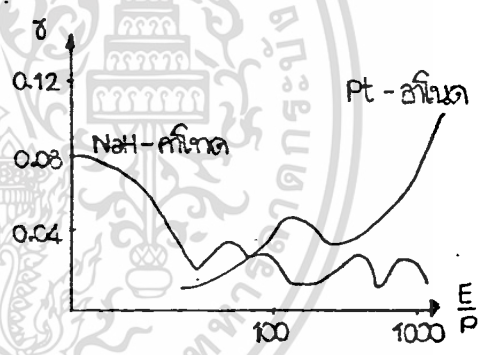
รูปที่ 2.7 ในการหาค่า  $\alpha$  ต้องให้ความหนาแน่นของกระแสมีค่า ๆ เพื่อหลีกเลี่ยงไม่

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้สนามไฟฟ้าถูกรบกวนเนื่องจากประจุอวกาศ (SPACE CHARGE) มิฉะนั้นจะได้ค่า  $\alpha$  นิด  
 พลาท ในรูปที่ 2.8 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์  $\gamma$  และ  $E/P$  โคئیใช้  
 ก๊าซไฮโดรเจนและอิเล็กโทรดใช้ทาลาคินัมและโซเดียม ค่า  $\gamma$  ขึ้นอยู่กับสภาพของอิเล็ก-  
 โทรดและนอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับอัตราการดูดซับ (ABSORPTION) ของโฟตอนในก๊าซด้วย นิวของ  
 สารที่มี WORK FUNCTIONต่ำจะมีจลนพลอยอิเล็กตรอนออก (EMISSION) มากกว่านิวของ  
 สารที่มี WORK FUNCTIONสูงภายใต้สภาพการทดลองที่เหมือนกัน  $\gamma$  มีค่าค่อนข้างน้อยที่ค่า  
 $E/P$  ต่ำ และเพิ่มมากขึ้นเมื่อ  $E/P$  มีค่ามากขึ้นทั้งนี้เนื่องจากที่ค่า  $E/P$  สูง ๆ จะมีจำนวน  
 ไอออนบวกมากและโฟตอนที่ผลิตงานสูงมากพอเมื่อตกกระทบกับคาโทดทำให้อิเล็กตรอน  
 หลุดออกมาได้ กราฟที่ได้ในรูปที่ 2.8 มียอด (PEAK) เกิดขึ้นค่าต่าง ๆ ของ  $E/P$   
 นั้นอาจเนื่องมาจากการปล่อยอิเล็กตรอนออกเนื่องจากโฟตอนที่มีความยาวคลื่นต่างกัน



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $\alpha/P$  และ  $E/P$



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $\gamma$  และ  $E/P$   
 ในไฮโดรเจนสำหรับอิเล็ก-  
 โทรดที่ทำด้วยทาลาคินัมและ -  
 โซเดียม

2.6.2 กลไกการเบรคควานของสตรีมเมอร์

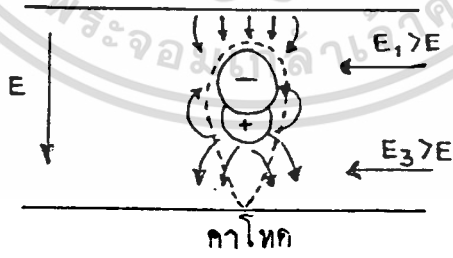
ในเรื่องกลไกการเบรคควานของหาวนเซนคั้นกระแด้ในช่องว่างเพิ่มมากขึ้นเนื่อง  
 จากไอออนในเซนที่ เกิดจากการชนกันของอิเล็กตรอนและโมเลกุลของก๊าซ(ขบวนการแอต-  
 ท้า) รวมทั้งการปล่อยอิเล็กตรอนออกจากคาโทดเนื่องจากโฟตอน, ไอออนบวกและMETASTABLE  
 (ขบวนการแกมม่า) จากทฤษฎีของทาวนเซนค้เวธาอ้างถึง FORMATIVE(เวลาที่ใช้ตั้งแต่อิ-  
 เลกตรอนเริ่มแรกเกิดขึ้นจนกระทั่งเบรคควาน) ควรมีค่าน้อยเท่ากับเวลาที่ไอออน  
 ใช้ในการเคลื่อนที่  $t_i$  (ION TRANSMIT TIME) แต่จากการทดลองที่ความดันบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
 ผู้ที่ฝ่าฝืนให้โทษตามกฎหมาย และต้องรับผิดชอบต่อความเสียหายที่เกิดขึ้น

และที่ความดันสูงกว่าบรรยากาศ เวลาที่ได้มีค่าน้อยกว่า  $t_p$  มาก นอกจากนี้ยังเป็นการยากที่จะใช้ทฤษฎีของทาวน์เซนด์ในการอธิบายขบวนการสำหรับช่องว่างแบบปลายแหลมกับระนาบ (POINT TO PLANE GAP) ที่มีระยะช่องว่างกว้างหรือสำหรับอธิบายขบวนการคิสราร์จของฟ้าผ่าโดยมีก้อนเมฆแทนคาโทด การแตกกิ่งก้านสาขและการเพิ่มพูนแบบไม่สม่ำเสมอ (IRREGULAR GROWTH) ของการสปาร์คในช่องว่างที่กว้างสามารถอธิบายโดยใช้ทฤษฎีของทาวน์เซนด์ได้ยาก ดังนั้นการทดลองทางด้านนี้ได้มีขึ้นมากมายและ MEEK, LOEB และ RAETHER ได้เสนอทฤษฎีกลไกการเบรคควานส์ตรีมเมอร์ขึ้น

กลไกการเบรคควานส์ตรีมเมอร์ได้อธิบายการพัฒนาของสปาร์คคิสราร์จ (SPARK DISCHARGE) จาก AVALANCHE กลุ่มเดียวโดยประจุอวกาศ (SPACE CHARGE) ที่เกิดเนื่องจาก AVALANCHE นี้เปลี่ยน AVALANCHE ไปเป็นลำ STREAMER ซึ่งจะได้อธิบายรายละเอียดของการเกิดลำ STREAMER นี้ต่อไป

หลักการของทฤษฎีเบรคควานส์ตรีมเมอร์ คือเมื่อเกิดไอออนเซชันเนื่องจากขบวนการแอลฟาแล้วจะเกิดขบวนการโทโตไอออนในเวรชันของโมเลกุลของอากาศที่หัวของ STREAMER สนามไฟฟ้าที่หัวของ STREAMER มีค่ามากขึ้นเนื่องจากประจุอวกาศ (SPACE CHARGE) ประจุอวกาศทำให้สนามไฟฟ้าในช่องว่างเปลี่ยนแปลงไป สนามไฟฟ้าที่ปลายและบริเวณข้างหน้าของ AVALANCHE มีค่ามากเนื่องจากประจุอวกาศก็แสดงในรูปที่ 2.9 ส่วนสนามไฟฟ้าระหว่างอิเล็กตรอนและกลุ่มมีค่าน้อย



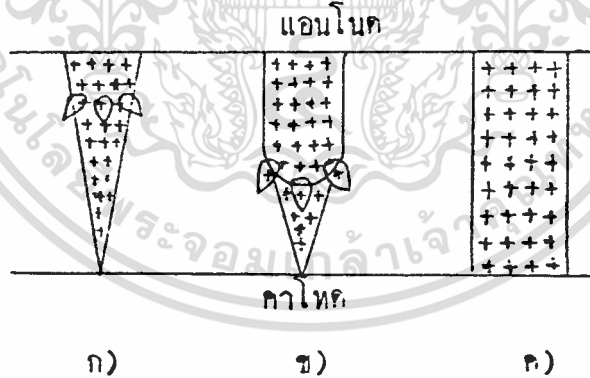
รูปที่ 2.9 สนามไฟฟ้าในช่องว่างเนื่องจากประจุอวกาศ

กลไกการเบรคควานส์ตรีมเมอร์ที่จะกล่าวต่อไปนี้แยกออกเป็นสองแบบคือ สตรีมเมอร์บวกและสตรีมเมอร์ลบ MEEK และ LOEB ได้ทดลองและเสนอกลไกการเบรคควานส์ตรีมเมอร์บวก ส่วน RAETHER ได้เสนอกลไกการเบรคควานส์ตรีมเมอร์ลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลไกการ เบรคควาน์สตรัมเมอร์บวกจากแอนโนดซึ่งได้เสนอโดย MEEK และ LOEB สำหรับสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอมีรายละเอียดดังนี้ เมื่อ AVALANCHE ได้ข้ามช่องว่าง (GAP) อิเล็กตรอนวิ่งเข้าไปแอนโนดและเหลือไอออนบวกอยู่ภายในช่องว่างและมีลักษณะเป็นกรวยดังในรูปที่ 2.10 ก) สนามไฟฟ้าที่บริเวณใกล้แอนโนดมีค่าสูงเนื่องจากประจุอวกาศ ส่วนบริเวณอื่น ๆ มีความหนาแน่นไอออนต่ำ ดังนั้นการมีกลุ่มไอออนบวกที่เกิดขึ้นอย่างเดียวดังในรูป ก) ไม่ได้ทำให้เกิดการเบรคควาน์สตรัมเมอร์ในช่องว่างได้ อย่างไรก็ตามโฟตอนที่เกิดจากบริเวณที่ความหนาแน่นไอออนสูงทำให้เกิดโฟโตไอออนในเซชันและทำให้เกิด AVALANCHE เล็ก ๆ ดังในรูป 2.10 ก) AVALANCHE เล็ก ๆ นี้จะเกิดบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าสูงและไอออนบวกที่ถูกปล่อยทิ้งไว้หลังจากไอออนในเซชันที่มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นเรียงเป็นลำของไอออนบวกดังในรูปที่ 2.10 ข) ขบวนการดังกล่าวจะนำไปสู่การทอร์มตัวของลำสตรัมเมอร์ดังในรูปที่ 2.10 ค) และเกิดการเบรคควาน์สตรัมเมอร์ในช่องว่างนั้นทันที

การเปลี่ยนจาก AVALANCHE กลุ่มหนึ่งไปเป็นลำสตรัมเมอร์นั้นเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อ - สนามไฟฟ้า  $E_r$  ที่เกิดเนื่องจากไอออนบวกที่หัวของ AVALANCHE มีค่าสูงมาก มิฉะนั้นจะไม่เกิดไอออนในเซชันที่บริเวณหัวของ AVALANCHE ดังในรูปที่ 2.10 ก)



รูปที่ 2.10 ลำดับการเกิดสตรัมเมอร์บวกจากแอนโนดไปคาโทด

ในการคำนวณสนามไฟฟ้าที่เกิดเนื่องจากประจุอวกาศ สมมติให้ไอออนบวกทั้งหมดมีประจุ  $Q$  เป็นรูปทรงกลมรัศมี  $r$  ที่หัวของ AVALANCHE สนามไฟฟ้า  $E_r$  ที่เกิดเนื่องจากประจุอวกาศที่รัศมี  $r$  สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$E_r = \frac{4/3 \pi r^3 N_e}{4 \pi K r^2} = \frac{10^2}{3K} r N_e \text{ VOLT/cm.} \quad (2.44)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- N - ความหนาแน่นไอออน , ไอออน/ซ.ม<sup>3</sup>
- e - ประจุอิเล็กตรอน , คูลอมป์
- K - เพอร์มิททิวิตีของที่ว่าง , (FREE PATH )
- r - รัศมีทรงกลมของไอออน , ซ.ม

ในระยะทาง dx ที่ปลายของ AVALANCHE ซึ่งมีระยะทาง x จากจุดเริ่มต้น จำนวนไอออนบวกที่เกิดขึ้นมีค่า  $\alpha e^{\alpha x}$  ดังนั้นความหนาแน่นของไอออนมีค่า

$$N = \frac{\alpha e^{\alpha x} dx}{4\pi r^2 dx} = \frac{\alpha e^{\alpha x}}{4\pi r^2} \quad (2.45)$$

$\alpha$  - สัมประสิทธิ์ไอออนในเซชันตัวแรกของทวาน์เซนต์

แทนค่า N ในสมการ (2.45) เข้าไปในสมการ (2.44) ได้

$$E_r = \frac{10^2 \alpha e^{\alpha x}}{3K\pi r} e \quad (2.46)$$

รัศมีหัวของ AVALANCHE หลังจากเคลื่อนที่ไปเป็นระยะ x สามารถหาได้จากการแพร่กระจาย (DIFFUSION) ทั้งสมการ

$$r = \sqrt{2Dt} \quad \text{ซึ่ง} \quad t = \frac{x}{V} \quad (2.47)$$

V - ความเร็วของ AVALANCHE

t - เวลาที่ AVALANCHE เคลื่อนที่

D - สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (DIFFUSION COEFFICIENT)

แทนค่า r ในสมการ (2.47) เข้าไปในสมการ (2.46) ได้

$$E_r = 5.27 \times 10^{-7} \frac{\alpha e^{\alpha x}}{(x/P)^{1/2}} \quad \text{โวลต์/ซ.ม} \quad (2.48)$$

P - ความดันก๊าซ , ม.ม.ปรอท

กฎเกณฑ์สำหรับการเกิด STREAMER ได้ก็คือเมื่อ  $E_r = E$  สักคาไฟฟ้าเบรคควาน์ทำสำหรับช่องว่างระยะ d ซ.ม. ที่ความดัน P สามารถคำนวณหาได้โดยการทดลอง - แทนค่าหา (TRIAL AND ERROR) เลือกค่าของ E ใดๆและหาค่า  $\alpha$  ที่ค่า E ที่เลือกขึ้นมา ทั้งนี้เนื่องจาก  $\frac{\alpha}{P}$  เป็นฟังก์ชันของ  $\frac{E}{P}$  แทนค่า  $\alpha$  ลงไปในสมการ (2.48) หา  $E_r$  ถ้า  $E_r$  ที่หาได้มีค่าน้อยกว่า E ก็ให้เลือกค่า E ใหม่ให้มากขึ้นกว่าเดิมและคำนวณใหม่จนกระทั่งได้  $E_r$  ใกล้เคียงกับค่า E ค่า E ที่ได้จะเป็นเกรเดียนท์เบรคควาน์ของช่องว่าง.

กฎเกณฑ์สำหรับการเบรคควาน์ STREAMER บวกคือจากแอนโนดไปคาโทดที่ได้ -

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

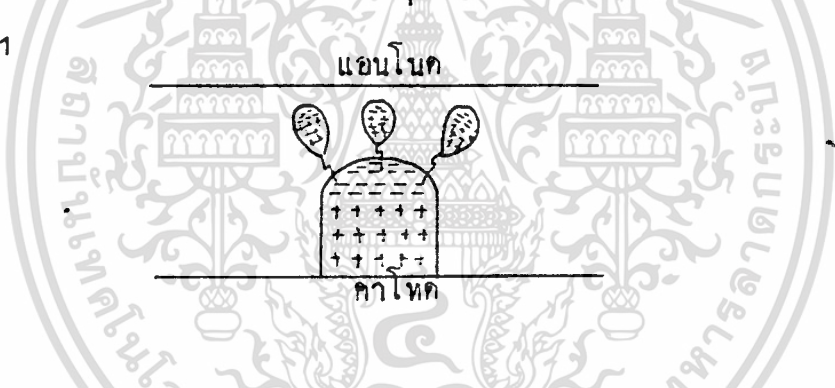
กล่าวมาแล้วข้างบนนี้ได้เสนอโดย MEEK และ LOEB สำหรับกฎเกณฑ์การเบรคความเข้มแบบ STREAMER ลมคือจากคาโทดไปแอนโนดได้เสนอโดย RAETHER ทั้งนี้ RAETHER ได้เสนอว่า STREAMER เกิดขึ้นเมื่อการเกิด AVALANCHE ทำให้เกิดจำนวนอิเล็กตรอนมากพอที่จะทำให้สนามไฟฟ้าเนื่องจากประจุอวกาศมีค่ามากพอ ๆ กับสนามไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปในช่องว่าง นั่นคือเกรเดียนท์เนื่องจากประจุอวกาศมีค่าเท่ากับเกรเดียนท์ที่ให้กับช่องว่างโดยประมาณถึงสมการ

$$\text{เกรเดียนท์ที่ป้อน (APPLIED GRADIENT)} = \frac{ee^{\alpha x}}{4\pi r^2 K} \quad (2.49)$$

$r$  - รัศมีของ AVALANCHE

$K$  - เพอร์มิททิวิตีของที่ว่าง (FREE SPACE)

สนามไฟฟ้าทั้งหมดอันเนื่องมาจากประจุอวกาศ (SPACE CHARGE) และสนามที่ป้อน (APPLIED FIELD) ทำให้เกิด AVALANCHE ชุดที่สองนำหน้า STREAMER ลมเดิมดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การเกิดสทรีมเมอร์ลมจากคาโทดไปแอนโนด

AVALANCHE ชุดที่สองนี้เกิดจากการพอร์มอิเล็กตรอนเนื่องจากโฟโตไอออไนเซชันภายในช่องว่างหน้าสทรีมเมอร์ (STREAMER)

RAETHER ได้พบว่าตัวประกอบทวีคูณของ AVALANCHE (AVALANCHE MULTIPLICATION FACTOR -  $e^{\alpha d}$ ) ที่จะทำให้เกิดสทรีมเมอร์ควรมีค่า  $\alpha d$  ประมาณ 20 หรือจำนวนอิเล็กตรอนประมาณ  $5 \times 10^6$  อิเล็กตรอนใน AVALANCHE

กลไกการเบรคความเข้มสทรีมเมอร์ใช้สำหรับอธิบายการเบรคความเข้มในสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอ (NON-UNIFORM FIELD) ได้ก็เช่น ช่องว่างแบบปลายแหลมกับระนาบ (POINT-TO-PLANE GAP), แบบปลายแหลมกับปลายแหลม (POINT-TO-POINT GAP) เป็นต้น

### 2.7 กฎของพาสเชน (PASHEN'S LAW)

กฎเกณฑ์การ เบรคความของทาว์นเซนต์สามารถใช้หาศักดาไฟฟ้าเบรคความของ - ช่องว่างโดยอาศัยกราฟแสดงความสัมพันธ์  $\alpha$ ,  $\gamma$  และ  $\frac{E}{P}$  ศักดาไฟฟ้าเบรคความที่ หาได้จากการทดลองใกล้เคียงกับทางทฤษฎีสำหรับช่องว่างแคบที่ความดันต่ำ นิพจน์ (EXPRESSION) สำหรับศักดาไฟฟ้าเบรคความในสนามสม่ำเสมออาจหาได้โดยใช้สมการการสปาร์ค (SPARK) ของทาว์นเซนต์ดังนี้

$$\gamma(e^{\alpha d} - 1) = 1 \tag{2.50}$$

หรือ 
$$\gamma e^{\alpha d} = 1 \quad (\because e^{\alpha d} \gg 1) \tag{2.51}$$

และจากความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์  $\alpha$ ,  $\gamma$  กับ  $\frac{E}{P}$  สามารถเขียนได้เป็น

$$\frac{\alpha}{P} = f\left(\frac{E}{P}\right) \tag{2.52}$$

$$\gamma = g\left(\frac{E}{P}\right) \tag{2.53}$$

ในสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอที่มีศักดาไฟฟ้า  $V$  และระยะช่องว่าง  $d$  เกรตเค้นท์ที่เกิดมีค่า

$$E = \frac{V}{d} \tag{2.54}$$

แทนค่า  $E$  เข้าไปในสมการ (2.52), (2.53) และแทน  $\alpha$  และ  $\gamma$  ที่หาได้เข้าไปในสมการ (2.51) ได้

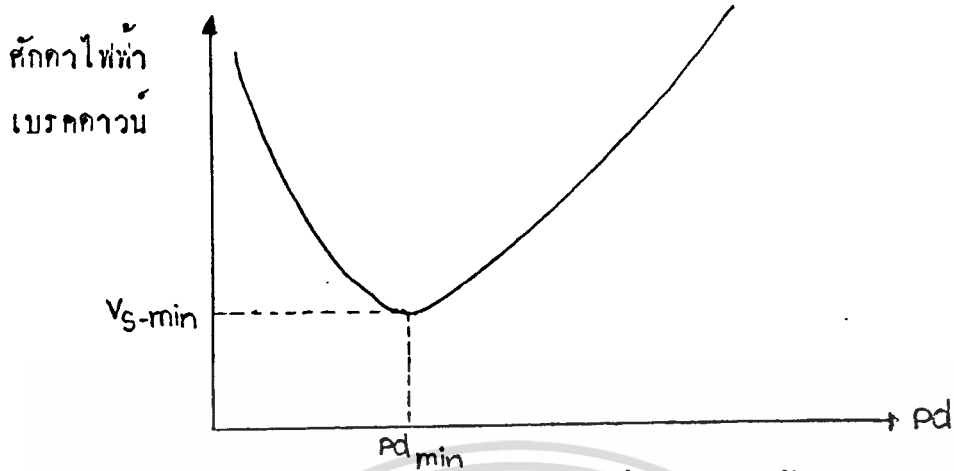
$$g\left(\frac{V}{Pd}\right) \exp\left(f\left(\frac{V}{Pd}\right) \cdot Pd\right) = 1 \tag{2.55}$$

สมการที่ (2.55) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักดาไฟฟ้าและผลคูณของความดัน  $P$  และ ระยะช่องว่าง  $d$  ดังนั้นศักดาไฟฟ้าเบรคความของช่องว่างแบบสม่ำเสมอเขียนได้เป็น

$$V_s = f(Pd) \tag{2.56}$$

ความสัมพันธ์ของศักดาไฟฟ้าเบรคความและผลคูณของความดัน  $P$  และระยะช่องว่าง  $d$  ในสมการ (2.56) เรียกว่า กฎของพาสเชน (PASHEN'S LAW)

ศักดาไฟฟ้าเบรคความสำหรับช่องว่างแบบสนามสม่ำเสมอในการที่ความดันต่าง ๆ กันอาจเขียนเป็นกราฟโดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักดาไฟฟ้าสปาร์ค (SPARKING VOLTAGE) กับผลคูณของความดันก๊าซและระยะช่องว่างดังในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าเบรคคาว์น และผลคูณของความดันก๊าซและช่องว่าง

ศักย์ไฟฟ้าเบรคคาว์นลดลงเมื่อเพิ่ม Pd จนกระทั่งได้ค่าต่ำสุด  $V_{s-min}$  ดังในรูปที่ 2.12 และศักย์ไฟฟ้ากลับเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่ม Pd มากขึ้นไปอีก ดังนั้นในก๊าซในสนามสม่ำเสมอเสมอแล้วจึงมีศักย์ไฟฟ้าเบรคคาว์นต่ำสุดค่าหนึ่งและไม่สามารถทำให้ศักย์ไฟฟ้าเบรคคาว์นมีค่าต่ำกว่านี้ได้อีกไม่ว่าจะเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ (ความดันหรือระยะแกป) ทั่วไก็ก็ตาม

การเกิดศักย์ไฟฟ้าต่ำสุดในสนามสม่ำเสมอแบบนี้สามารถอธิบายได้โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพของการไอออไนเซชันของอิเล็กตรอนที่วิ่งไปในช่วงว่างควยระดับพลังงานของอิเล็กตรอนต่าง ๆ กัน เมื่อไม่คิดผลเนื่องจากขบวนการแกมมา (X PROCESS) ที่ค่า  $Pd > Pd_{min}$  อิเล็กตรอนที่ข้ามช่องว่างอาจทำให้เกิดการชนกันกับโมเลกุลของก๊าซมากกว่าเมื่อเกิดที่  $Pd_{min}$  แต่พลังงานที่ได้รับระหว่างการชนกันน้อยกว่าเมื่อเกิดที่  $Pd_{min}$  ดังนั้นจึงต้องเพิ่มศักย์ไฟฟ้าให้สูงขึ้นถ้าต้องการให้เกิดไอออไนเซชันมากจนเกิดเบรคคาว์น สำหรับ  $Pd < Pd_{min}$  อิเล็กตรอนอาจข้ามช่องว่างโดยไม่เกิดการชนกันก็ได้ ดังนั้นที่จุด  $Pd_{min}$  จึงเป็นจุดที่มีประสิทธิภาพของการไอออไนเซชันสูงที่สุด

ตารางที่ 2.1 แสดงศักย์ไฟฟ้าเบรคคาว์นต่ำสุดสำหรับก๊าซชนิดต่าง ๆ กันที่ค่า  $Pd_{min}$  ศักย์ไฟฟ้าเบรคคาว์นต่ำสุดสำหรับก๊าซแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับ WORK FUNCTION ของสารที่มาทำคาโทด ศักย์ไฟฟ้าต่ำสุดถึง 26 โวลท์ทำได้ในนีออน (NEON) ระหว่างอิเล็กโทรดที่ฉาบด้วยซีเซียม (CAESIUM) ที่ความดันก๊าซ 26 ม.ม.ปรอท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ศักยภาพค่าสุกของก๊าซชนิดต่าง ๆ

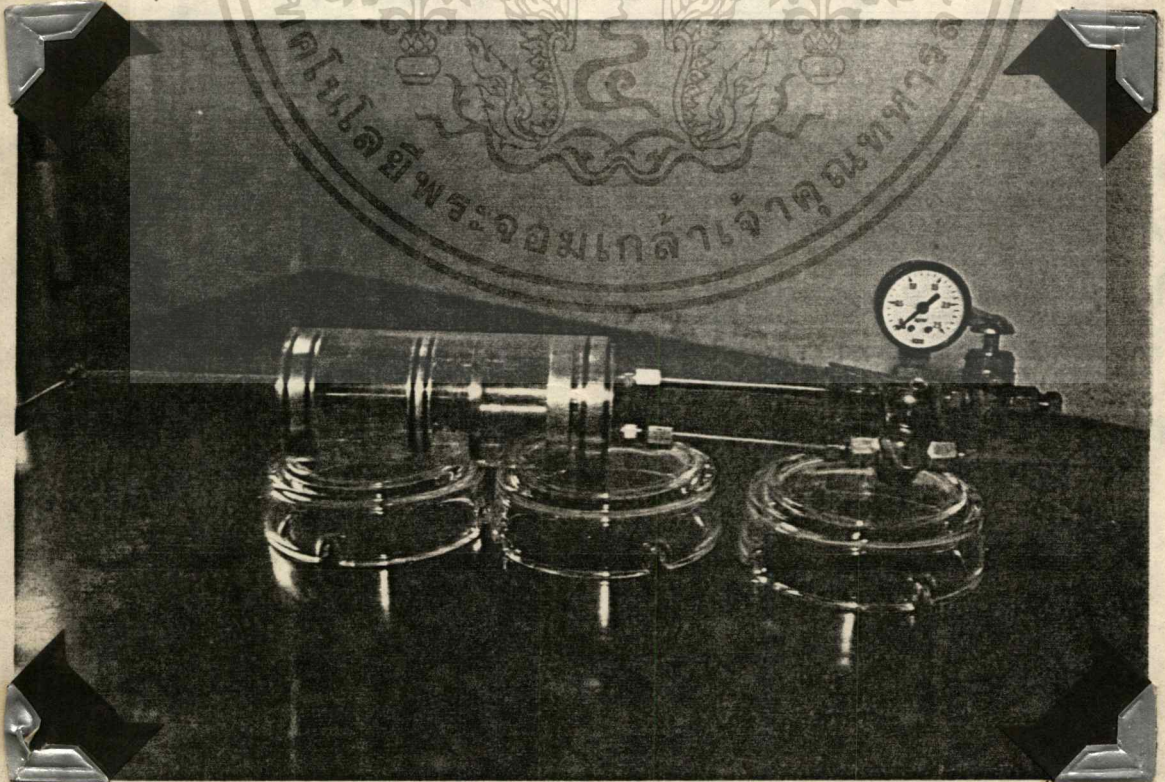
ก๊าซ	ศักยภาพค่าสุก $V_s$ (โวลท)	pd (ม.มปรอท*ซ.ม)
อากาศ	327	0.56
อาร์กอน (A)	137	0.9
ไฮโดรเจน ( $H_2$ )	273	1.15
ฮีเลียม (He)	156	4.0
คาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ )	420	0.51
ไนโตรเจน ( $N_2$ )	251	0.67
ไนโตรเจนออกไซด์ ( $N_2O$ )	410	0.6
ออกซิเจน ( $O_2$ )	450	0.7
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $SO_2$ )	457	0.8
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ )	414	0.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น. อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

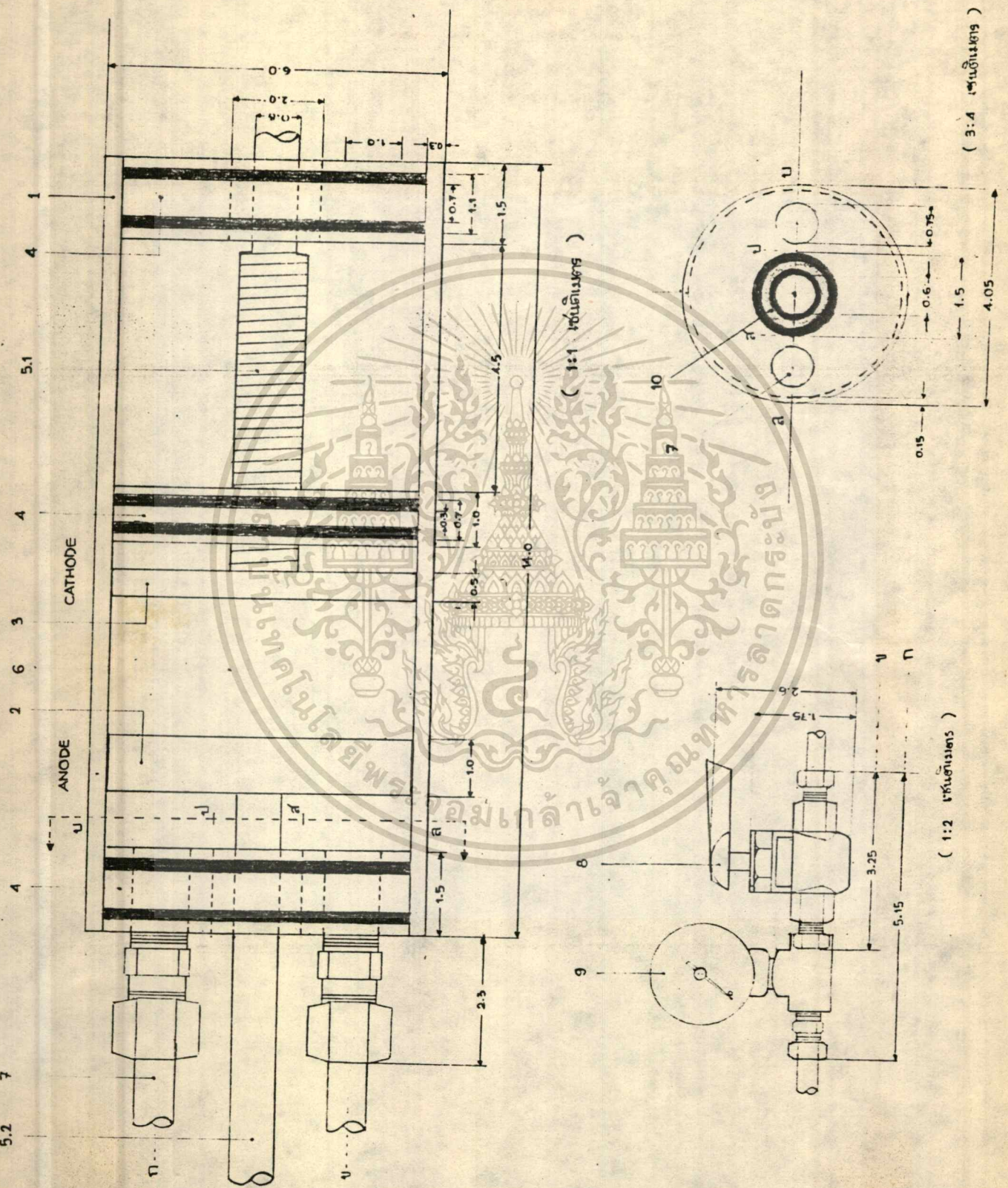
บทที่ 3

การ ออกแบบและการสร้างเครื่องวัดศักดาไฟฟ้าแรงสูง

เครื่องวัดศักดาไฟฟ้าแรงสูงชั้นนี้สร้างโดยจำลองแบบมาจากอุปกรณ์ IONIZATION CHAMBER ที่ใช้ทดลองใน THESIS ของอาจารย์คร.นิพนธ์ สุขุม ซึ่งส่วนประกอบต่างๆได้ - แสดงในรูปหน้าถัดไป ซึ่งเครื่องวัดศักดาไฟฟ้าแรงสูงชั้นนี้ชั่วคราวทำจากทองเหลืองชุบ ทองคำบริสุทธิ์ ขั้วอานาคทำจากอลูมิเนียม ภายในมีกาชออกซิเจนที่ความดัน 300 ทอร์ บรรจุนอยู่ ดังนั้นจึงต้องมีการ ออกแบบเพื่อป้องกันอากาศภายนอกเข้าไปปะปนกับกาชออกซิเจนภายในเครื่องวัดศักดาไฟฟ้าแรงสูง การ ออกแบบป้องกันทำได้โดยใช้โอริง(O-RING) เป็นวัสดุช่วยในการป้องกันโดยกึ่งอลูมิเนียมที่ใส่เป็นทวิปิดทวิท้ายเป็นร่องแล้วสวมโอริง ทับลงไป ซึ่งดูรูปประกอบโคข้างล่างและหน้าถัดไป ส่วนที่ค่อออกมาออกตัวเครื่องก็คือ เกจวัดความดันและมีวาล์วปิดเปิดซึ่งมีไว้ 2 ตัวดังรูป เมื่อนำไปอ็อกกาชออกซิเจนก็ทำได้ โดยเปิดวาล์วตัวแรกโดยที่วาล์วตัวที่สองปิดอยู่ จากนั้นก็ใช้ VACUUM PUMP ดูอากาศข้าง ในเครื่องออกจนหมดจนเป็นสูญญากาศจึงปิดวาล์วตัวแรก จากนั้นก็เปิดวาล์วตัวที่สอง โดยที่วาล์วตัวแรกก็ปิดอยู่ แล้วเติมกาชออกซิเจนจนได้ความดัน 300 ทอร์หรือประมาณ - 0.4 ก.ก./ซ.ม.<sup>2</sup> จากนั้นก็ปิดวาล์วเป็นอันเรียบร้อย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



( 3:4 เซนติเมตร )

( 1:2 เซนติเมตร )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบของเครื่องวัดศักดาไฟฟ้าแรงสูง

1. ท่อลวดคิกทรงกระบอก
2. ขั้วอาโนด (อคูมิเนียม)
3. ขั้วคาโทด (ทองเหลืองชุบทองคำบริสุทธิ์)
4. อคูมิเนียมมีโอรังป้องกันการรั่วของกาซ
5. ท้วนำทองแดง
  - 5.1 มีเกลียว
  - 5.2 ไม่มีเกลียว
6. กาซออกซิเจนที่ความดัน 300 ทอรั
7. ท่อส่งอากาศ
8. วาล์วปิดเปิดอากาศ
9. เกจวัดความดัน (ก.ก/ซ.ม<sup>2</sup>)
10. โอรังแบบสปริงกันอากาศ

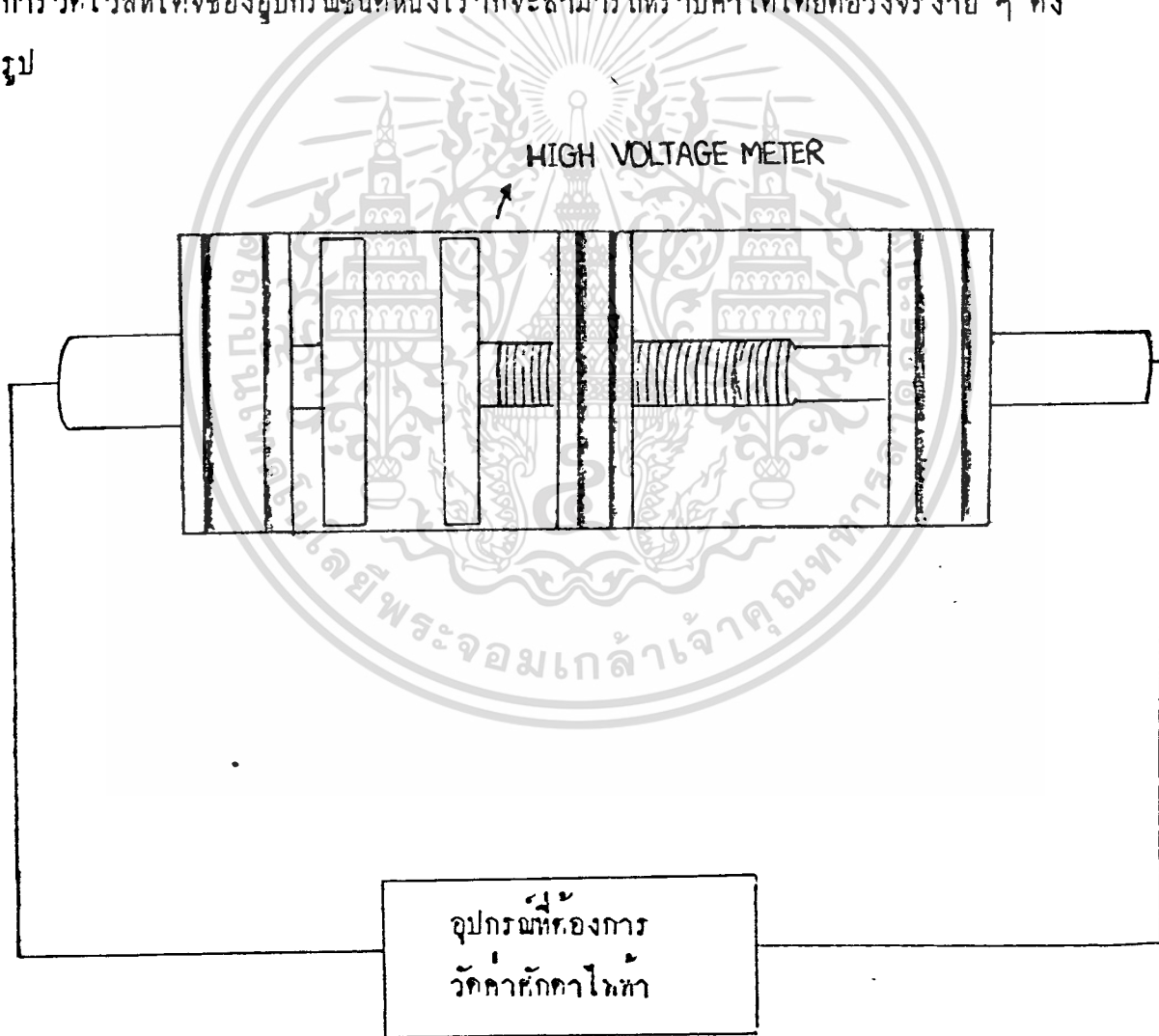
ตารางเปรียบเทียบความดัน

PSI	atms	Kg /cm <sup>2</sup>	mmHg ( torr)	bar	KPa
14.696	1	1.033	762.48	1.013	101.325

บทที่ 4

การนำเครื่องวัดศักดาไฟฟ้าแรงสูงไปใช้งาน

เมื่อเราได้ออกแบบและสร้างอุปกรณ์เครื่องวัดศักดาไฟฟ้าแรงสูงเสร็จเรียบร้อยแล้ว เราก็สามารถที่จะนำ HIGH VOLTAGE METER หรือเครื่องวัดศักดาไฟฟ้าแรงสูงนี้ไปวัดค่าแรงดันไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการทราบค่าจากค่าศักดาไฟฟ้าเบรคควานและระยะแกปที่เปลี่ยนไป โดยที่ให้ความดันของออกซิเจนในท่อทรงกระบอกที่มีค่าคงที่ที่ 300 ทอร์ ซึ่งจากกราฟที่ใช้เป็นบรรทัดฐานในหน้าถัดไป จะเห็นได้ว่าเครื่องวัดศักดาไฟฟ้าแรงสูงชนิดนี้สามารถวัดค่าได้ระหว่าง 12 กิโลโวลต์ถึง 33 กิโลโวลต์ ยกตัวอย่างเช่น เมื่อต้องการวัดโวลต์เตจของอุปกรณ์ชนิดหนึ่งเราก็จะสามารถทราบค่าได้โดยค่อนข้างง่าย ๆ ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

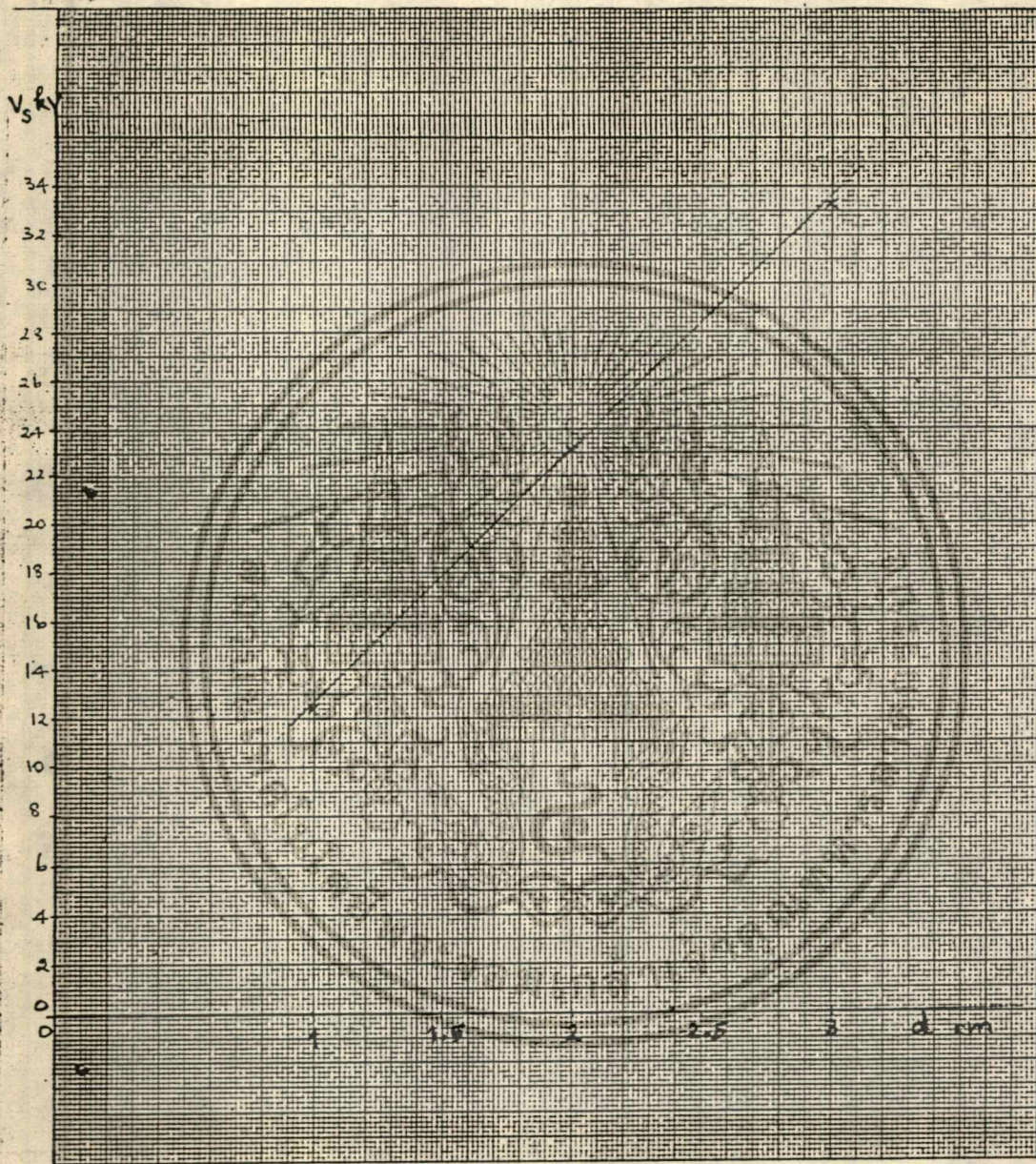
พิจารณาจากกราฟควบคู่ไปด้วย สมมติว่าเมื่อเราปรับระยะแกปไปที่ระยะห่างชั่วคราว 4 ซ.ม. มีการเบรคความถี่เกิดขึ้นทันทีหรือเบรคความถี่ในช่วงระยะแกปมากกว่า 3 ซ.ม.ขึ้นไปก็แสดงว่าอุปกรณ์ชิ้นนี้มีค่าโวลต์เตจสูงกว่า 33 กิโลโวลต์แน่นอน แต่เราไม่สามารถที่จะทราบค่าที่แน่นอนได้ว่า เป็นกี่กิโลโวลต์ซึ่งเป็นข้อจำกัดของอุปกรณ์ชิ้นนี้ ต่อไปสมมติว่าเมื่อปรับระยะแกปให้ลดลงเรื่อย ๆ โดยเริ่มจากระยะไกลสุดคือประมาณ 4 ซ.ม.จนกระทั่งเกิดการเบรคความถี่ที่ระยะแกป 2.5 ซ.ม. เพราะฉะนั้นเมื่อดูจากกราฟที่ใช้เป็นบรรทัดฐานก็แสดงว่าอุปกรณ์ชิ้นนี้มีค่าศักดาไฟฟ้าประมาณ 28.5 กิโลโวลต์เป็นต้น

อีกกรณีหนึ่งเมื่อปรับระยะแกปเริ่มต้นที่ 4 ซ.ม.ยังไม่มีการเบรคความถี่เกิดขึ้น แต่เมื่อปรับระยะแกปไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงระยะ 1 ซ.ม.แล้วก็ยังไม่เบรคความถี่เราก็ไม่สามารถที่จะวัดโวลต์เตจของอุปกรณ์ชิ้นนี้ได้อีก ซึ่งก็เป็นข้อจำกัดอีกข้อหนึ่งของเครื่องวัดศักดาไฟฟ้าแรงสูง เพราะฉะนั้นในการนำไปใช้งานเราจะพิจารณาเฉพาะช่วงระยะแกป 1 ซ.ม.ถึง 3 ซ.ม.เท่านั้นซึ่งรูปร่างกราฟจะเป็นเส้นตรง ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ (ขณะที่ปรับระยะแกปก็ยังต้องจ้องเหมือนเดิมคงรูปอยู่ตลอดเวลาจนกระทั่งเกิดการเบรคความถี่)

อย่างไรก็ตามเครื่องวัดศักดาไฟฟ้าแรงสูงนี้สามารถที่จะนำไปใช้วัด EHT SUPPLY ในโทรทัศน์ได้เป็นอย่างดี ซึ่ง EHT SUPPLY นี้เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เร่งความเร็วของอิเล็กตรอนที่ยิงไปที่จอภาพของโทรทัศน์เพื่อให้เกิดภาพบนจอโทรทัศน์ที่ฉายด้วยสารฟอสฟอรัส (PHOSPHOR) ถ้าอิเล็กตรอนมีความเร็วไม่เพียงพอจะทำให้สารฟอสฟอรัสไม่เรืองแสงทำให้ไม่เกิดภาพขึ้นที่จอโทรทัศน์ ซึ่งค่าโวลต์เตจของ EHT SUPPLY ในโทรทัศน์ขาวดำมีค่าประมาณ 10-15 กิโลโวลต์และในโทรทัศน์สีทั่ว ๆ ไปมีค่าประมาณ 25-30 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าเครื่องวัดศักดาไฟฟ้าแรงสูงชิ้นนี้สามารถนำไปใช้วัดโวลต์เตจของ EHT SUPPLY ได้เป็นอย่างดี

การวัดโวลต์เตจของ EHT SUPPLY ก็เพื่อที่จะตรวจสอบดูว่า EHT SUPPLY นั้นชำรุดเสียหายหรือมีค่าโวลต์เตจต่ำกว่าปกติหรือไม่ ซึ่งค่าโวลต์เตจของ EHT SUPPLY สามารถที่จะหาได้จากคู่มือวงจรโทรทัศน์ ส่วนการจ้องจอร์เพื่อวัดโวลต์เตจของ EHT SUPPLY ในโทรทัศน์นั้นก็สามารถจะทำได้โดยที่ชั่วเวลาโหดต่อเข้ากับกราวด์ของโทรทัศน์และชั่วเวลาโหดต่อเข้ากับจุด EHT CONNECTION ของโทรทัศน์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

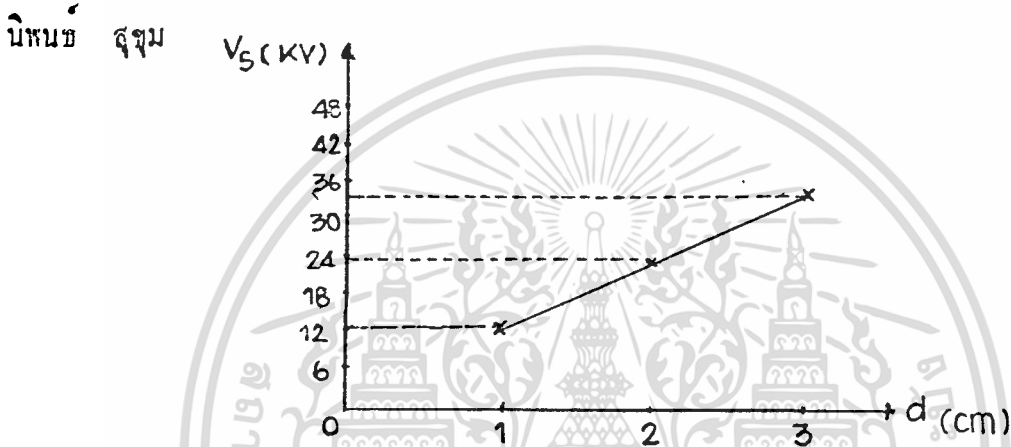


กราฟของสปาร์กโวลเตจ ( $V_s$ ) เป็นฟังก์ชันของระยะแกปสำหรับความดันคงที่ 300 ทอร์ของออกซิเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
แม้ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มาของกราฟที่ใช้เป็นบรรทัดฐาน

เนื่องจากโครงงานนี้เป็นโครงงานที่ต่อเนื่องมาจาก THESIS ปริญญาเอกของอาจารย์ ดร.นิพนธ์ สุชุม ดังนั้นจึงจะขออธิบายอย่างคร่าว ๆ เกี่ยวกับที่มาของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_0$  กับ  $d$  โดยที่ความดันคงที่ที่ 300 ทอร์หรือ 300ม.ม.ปรอท ซึ่งเราใช้กราฟนี้เป็นบรรทัดฐานและใช้คู่กับเครื่องวัดศักดาไฟฟ้าแรงสูง (HIGH VOLTAGE METER) นี้เสมอ โดยรายละเอียดที่ซับซ้อนสามารถที่จะศึกษาได้จากวิทยานิพนธ์ปริญญาเอกของอาจารย์ ดร.นิพนธ์ สุชุม



ที่มาของกราฟ  $V_0$  กับ  $d$  เมื่อความดันคงที่ จากการทดลองของอาจารย์ ดร.นิพนธ์ สุชุม โดยใช้เครื่อง HIGH VOLTAGE SUPPLY ที่สามารถปรับค่าได้ป้อนเข้ากับ IONIZATION CHAMBER ซึ่งมีขั้วคาโทดทำด้วยทองเหลืองชุบทองคำบริสุทธิ์ ขั้วแอโนดทำจากอลูมิเนียมภายในบรรจุก๊าซออกซิเจนที่ความดัน 300 ทอร์ โดยปรับระยะแก๊ประหว่างขั้วคาโทดกับขั้วแอโนดไปที่ระยะ 1 ซม. และใช้เครื่อง HIGH VOLTAGE SUPPLY ป้อนโวลต์เตจจากสูงลงมาทีละต่ำและกำหนดใช้ TIME DELAY ในการ เบรคความประมาณ 30 วินาที โดยเมื่อปรับระยะแก๊สไปที่ 1 ซม. ป้อนโวลต์เตจเข้าไป 50 กิโลโวลต์เกิดการ เบรคความในช่องว่างทันที แสดงว่ายังไม่ใช้จุดวิกฤตในการ เบรคความที่ระยะแก๊ส 1 ซม. ต่อไปปรับมาที่ 40 กิโลโวลต์ก็เกิดการ เบรคความขึ้นทันทีอีกโดยที่มี TIME DELAY ในการ เบรคความน้อยกว่า 30 วินาที ต่อไปปรับไปที่ 30 กิโลโวลต์ , 20 กิโลโวลต์ ก็เกิดการ เบรคความโดยที่มีค่า TIME DELAY ในการ เบรคความน้อยกว่า 30 วินาทีอีก ดังนั้นจึงปรับมาที่ 10 กิโลโวลต์ เมื่อเวลาผ่านไปเกิน 30 วินาทีหรืออาจเป็น 2-3 นาทีก็ยังไม่เบรคความ จึงปรับเลื่อนขึ้นเป็น 12 กิโลโวลต์ ปรากฏว่าเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 30 วินาทีเกิดการ เบรคความขึ้น แสดงว่าจุดนี้หรือค่าโวลต์เตจที่ป้อนเข้าป็นเป็นค่าต่ำสุดที่จะทำให้เกิดเบรคความได้

โดยที่มี TIME DELAY ในการ เบรคความ 30 วินาที ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ระยะแกปที่ 2 ซ.ม.ก็คล้าย ๆ กันกล่าวคือ เมื่อเริ่มป้อนโวลต์เตจเข้าไป 50 กิโลโวลต์, 40 กิโลโวลต์, 30 กิโลโวลต์ เกิดเบรคความถี่หรือมี TIME DELAY น้อยกว่า 30 วินาที จึงปรับมาที่ 20 กิโลโวลต์. แต่รอไปนานแล้วก็ไม่เกิดเบรคความถี่ ดังนั้นจึงเลื่อนโวลต์เตจขึ้นเป็นประมาณ 23 กิโลโวลต์ จึงเกิดเบรคความถี่ที่มีค่า TIME DELAY ประมาณ 30 วินาที ดังนั้นโวลต์เตจที่จุดนี้จึงเป็น BREAKDOWN VOLTAGE ที่ต่ำสุดที่จะทำให้เกิดเบรคความถี่ได้โดยมี TIME DELAY 30 วินาที

ส่วนที่ระยะแกป 3 ซ.ม.ก็คล้าย ๆ กันที่ระยะ 1 ซ.ม. , 2ซ.ม.ดังอธิบายมาแล้วข้างต้น

ดังนั้นจะเห็นว่าในการหา BREAKDOWN VOLTAGE ในแต่ละระยะแกปจะใช้เวลานานพอสมควรกว่าจะได้ค่าต่าง ๆ ดังกราฟที่ได้มา ซึ่งค่า TIME DELAY 30 วินาทีที่กำหนดขึ้นมานั้น ถ้ากำหนดให้มีค่ามากกว่านี้เช่น เป็น 1 นาที หรือ 2 นาที ก็จะได้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าต่ำสุดของ BREAKDOWN VOLTAGE ที่ระยะแกปนั้น ๆ มากยิ่งขึ้น แต่จะเห็นได้ว่าจะเสียเวลาอย่างมากมายในการหาค่าดังกล่าวนี้ ประกอบกับการทดลองของอาจารย์ศร. นิพนธ์ สุขุม นั้นไม่ได้ทำเฉพาะกาชออกซิเจนที่ความดัน 300 ทอร์ อย่างเดียว แต่ยังทำอีกหลาย ๆ ความดันและมีก๊าซออกซิเจนอย่างเกี่ยว แต่ยังมีก๊าซชนิดอื่น ๆ อีกด้วย โดยที่กาชแต่ละชนิดก็ทดลองที่หลาย ๆ ความดันด้วย ดังนั้นถึงแม้ว่าจะใช้ค่า TIME DELAY เท่ากับ 30 วินาทีอาจจะไม่ได้ค่า BREAKDOWN VOLTAGE ต่ำสุดที่ระยะแกปนั้น ๆ ถูกต้อง 100% จริง ๆ แต่ก็ยังเป็นค่าที่ยอมรับได้พอสมควร.

ส่วนที่ทำการทดลองแกระยะแกป 3 ซ.ม. ก็เพราะว่าเมื่อระยะแกประหว่างขั้วคาโทดกับอโนดมากขึ้นหรือว่างมากจะทำให้เกิด DISTORTION ของสนามไฟฟ้าได้ ทำให้สนามไฟฟ้าที่เกิดเป็นสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอ (NON-UNIFORM FIELD) ดังนั้นจึงทำไว้แกระยะแกป 3 ซ.ม. เท่านั้น.

บทที่ 5

บทสรุปและวิจารณ์

การดำเนินงานสำหรับโครงการ (PROJECT) นี้ได้แก่การออกแบบและการสร้างจำลองตัวเครื่องวัดศักดาไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งอุปสรรคในตอนแรกก็คือการออกแบบป้องกันเพื่อไม่ให้อากาศภายนอกรั่วเข้าไปปะปนกับกาซออกซิเจนในตัวเครื่องได้ ซึ่งก็ได้ออกแบบโดยใช้โอริง (O-RING) และซีล (SEAL) ที่มีสปริงเป็นตัวป้องกัน เมื่อได้ออกแบบแก้ปัญหาและทำการสร้างขึ้นมาแล้วก็เกิดปัญหาที่ตามมาคือ เมื่อนำไปอัดกาซออกซิเจนโดยการใ้ VACUUM PUMP ดูดอากาศข้างในออกให้หมดเสียก่อนปรากฏว่าส่วนอคูมิเนี่ยมปิดหัวท้ายถูกอากาศภายนอกดันเข้าไปข้างในทำให้ไม่สามารถใช้งานได้ ซึ่งเป็นผลมาจากตัวเครื่องในส่วนอคูมิเนี่ยมปิดหัวท้ายไม่สามารถทนแรงดันเนื่องจากอากาศภายนอกได้ ส่วนวิธีแก้ไขนั้นถ้าจะสร้างเครื่องวัดศักดาไฟฟ้าแรงสูงให้มีขนาดใหญ่ขึ้นก็คงไม่ได้ เพราะจะทำให้แรงดันมีค่ามากขึ้น (F=PA) แต่ถ้าจะสร้างเครื่องวัดศักดาไฟฟ้าแรงสูงให้มีขนาดเล็กลงก็คงไม่ได้ก็อีกเพราะข้อกำหนดของเส้นผ่าศูนย์กลางของขั้วอิเล็กโทรดต้องไม่น้อยกว่าระยะแถบที่จะปรับมีฉะนั้นจะทำให้สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเป็นสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอ (NON UNIFORM FIELD) ดังนั้นวิธีแก้ที่เป็นไปได้ก็คือการออกแบบสร้างส่วนประกอบเพิ่มเติมที่จะป้องกันไม่ให้อากาศภายนอกดันส่วนของอคูมิเนี่ยมที่ปิดหัวท้ายได้ ซึ่งสามารถแก้ปัญหาได้โดยการกลึงอคูมิเนี่ยมส่วนปิดหัวท้ายและส่วนภายในท่อพลาสติกทรงกระบอกให้เป็นเกลียวแล้วขันให้แน่นเพื่อให้สามารถรับแรงดันของอากาศภายนอกได้มากยิ่งขึ้น ซึ่งผลปรากฏว่าก็สามารถรับแรงดันจากอากาศภายนอกได้อย่างดีทีเดียว จากนั้นเมื่อนำมาทดสอบกับเครื่อง HIGH VOLTAGE DC GENERATOR เพื่อเปรียบเทียบกับกราฟที่ใช้เป็นบรรทัดฐานว่าจะได้ค่าตรงกันหรือไม่เช่นที่ระยะแถบ 1 ซม. จะได้อ่านเบรคควานโวลท์เตจเป็น 12 กิโลโวลท์หรือไม่ ผลปรากฏว่าเมื่อทดสอบแล้วค่าที่ได้มีค่าคลาดเคลื่อนไปจากกราฟที่ใช้เป็นบรรทัดฐานเล็กน้อย ซึ่งสาเหตุอาจจะเนื่องมาจากทองคำที่ใช้ชุบขั้วคาโทดอาจไม่เป็นทองคำที่บริสุทธิ์ 100% หรืออาจจะเกิดจากกาซออกซิเจนที่ใช้ไม่เป็นกาซออกซิเจนบริสุทธิ์ 100% ซึ่งทำให้ผลที่ได้มีค่าคลาดเคลื่อนไป ซึ่งทางคณะผู้จัดทำหวังว่าในอนาคตครั้งต่อไปจะสามารถพัฒนาโครงการ HIGH VOLTAGE METER นี้ให้สามารถวัดค่าได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากทางวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

การหาสมการกระแสในขบวนการแอลฟา (α-PROCESS) ในกลไกการเบรคควานของ-  
ทาวนเซนต์

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

พิสูจน์

จำนวนอิเล็กตรอน  $n_x$  ที่ระยะทาง  $x$  จากคาโทดจะทำให้เกิดอิเล็กตรอน  
ใหม่เมื่อเคลื่อนที่ไป  $dx$  มีค่า

$$dn_x = \alpha n_x dx$$

$$\int \frac{dn_x}{n_x} = \int \alpha dx$$

$$\ln n_x = \alpha x + \ln A$$

$$\ln \frac{n_x}{A} = \alpha x$$

$$\frac{n_x}{A} = e^{\alpha x}$$

เมื่อ  $x=0$ ,  $n_x = n_0 = A$

$$\therefore n_x = n_0 e^{\alpha x}$$

หรือ  $n_d = n_0 e^{\alpha d}$

จะได้  $I = I_0 e^{\alpha d}$

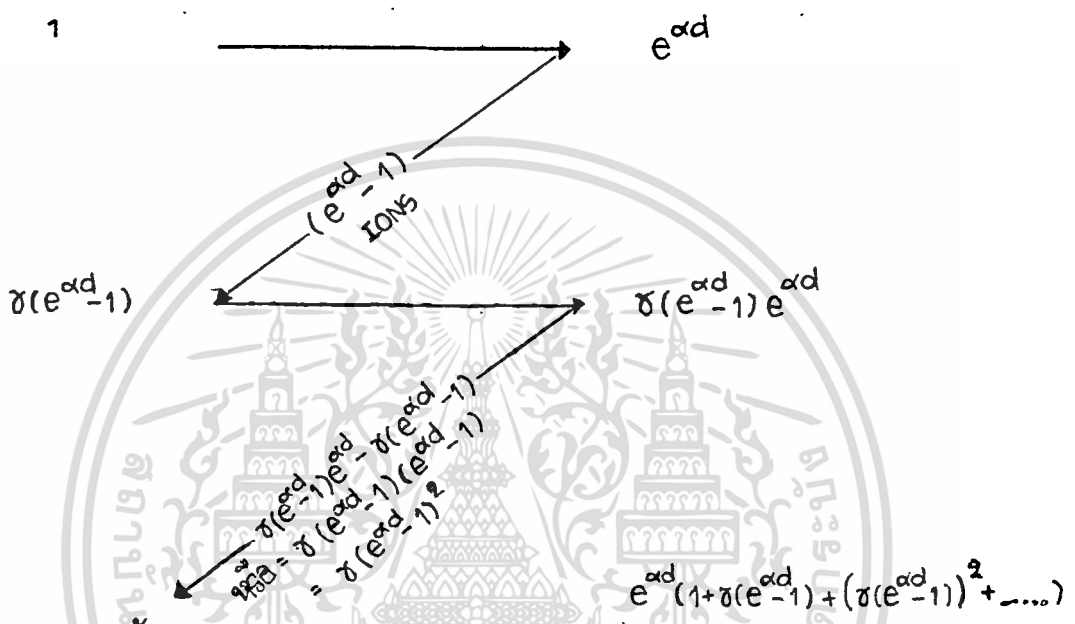
รูปการหาสูตร  $I = I_0 e^{\alpha d}$   
เมื่อ  $\frac{E}{P}$  คงที่และ  $P$  คงที่

$\alpha$  ถูกนิยามว่าเป็นจำนวนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของ  
อิเล็กตรอน 1 ตัวเคลื่อนที่ไป 1 ซม. ในทิศทางสนามไฟฟ้า

$I_0$  คือกระแสเริ่มต้นเป็นผลมาจากอิเล็กตรอนเริ่มต้นที่หลุดออกมาจากคาโทด  
เรียกว่า กระแสโฟโต (PHOTO CURRENT)

การหาสมการของกระแสในขบวนการแกมมา (γ-PROCESS) ในกลไกการเบรคควานของทาวนเซนต์

สมการกระแสในช่วงนี้คือ  $I = \frac{I_0 e^{\alpha d}}{1 - \gamma(e^{\alpha d} - 1)}$   
จำนวนอิเล็กตรอนที่คาโทด จำนวนอิเล็กตรอนที่มาถึงแอโนด



โคอะแกรมการสร้างอิเล็กตรอนอิสระโดยขบวนการแกมมา (γ-PROCESS)

จาก  $e^{\alpha d} (1 + \gamma(e^{\alpha d} - 1) + (\gamma(e^{\alpha d} - 1))^2 + \dots)$   
 ให้  $z = \gamma(e^{\alpha d} - 1)$   
 $\therefore$  จะได้  $e^{\alpha d} (1 + z + z^2 + \dots)$

จากการหาลิมิต (limit) ของอนุกรมอนันต์ได้  $= \frac{e^{\alpha d}}{1 - z}$   
 $= \frac{e^{\alpha d}}{1 - \gamma(e^{\alpha d} - 1)}$

ถ้ามีจำนวนอิเล็กตรอนที่ออกจากคาโทด จะมีจำนวนอิเล็กตรอนที่วิ่งไปถึง

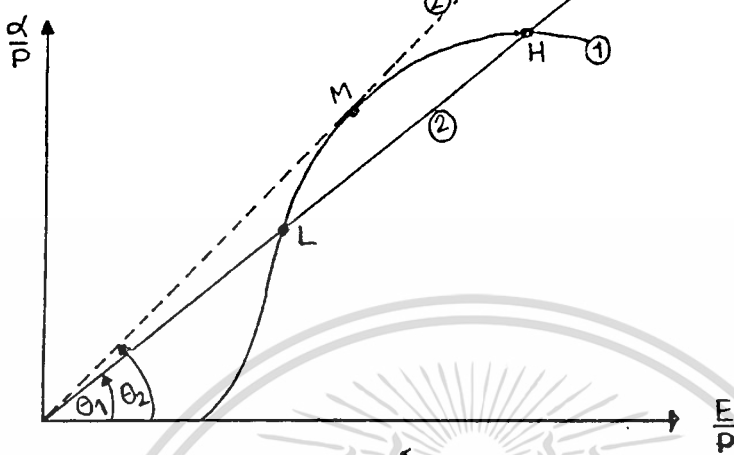
แอโนด  $N_d = \frac{n_0 e^{\alpha d}}{1 - \gamma(e^{\alpha d} - 1)}$   
 $\therefore \frac{N_d}{N_0} = \frac{I}{I_0} = \frac{e^{\alpha d}}{1 - \gamma(e^{\alpha d} - 1)}$

$\therefore$  จะได้  $I = \frac{I_0 e^{\alpha d}}{1 - \gamma(e^{\alpha d} - 1)}$

$\gamma$  ถูกนิยามว่าเป็นจำนวนเฉลี่ยของอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นที่คาโทดต่ออิเล็กตรอนตัวที่เกิดขึ้นในช่องว่าง (GAP) เนื่องจากขบวนการแอลฟา (α-PROCESS) ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาฟังก์ชันของ  $V_s$  กับ  $Pd$  ในกฎของพาสเชน (PASCHE'S LAW)

จากสมการ  $p/\alpha = Ae^{-BP/E}$  จะได้กราฟเส้น 1 ดังรูป



รูป การหาความสัมพันธ์ของพาสเชนโดยวิธีกราฟ

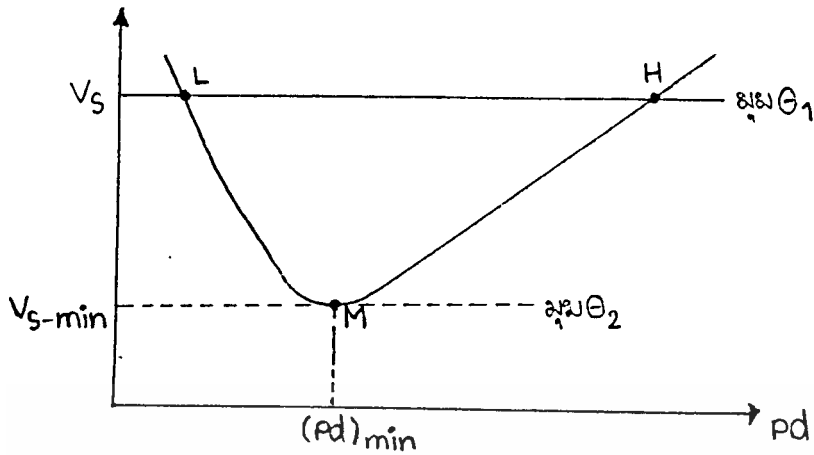
ถ้า  $V_s$  เป็นค่าแรงดันเบรคความ จะพบว่า  $V_s$  น้อยอยู่ในฟังก์ชันของ  $Pd$  เท่านั้น หรือ  $V_i$  เป็นค่าแรงดันเริ่มตนจะพบว่า  $V_i$  น้อยอยู่ในฟังก์ชันของ  $Pd$  เช่นกัน

จากรูปจะเห็นว่า  $\tan\theta = \frac{\alpha/P}{E/P}$   
แต่  $V = Ed$  (สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ)

ฉะนั้น  $\tan\theta = \frac{\alpha d}{V}$

จะได้เส้นตรงที่มีความชันเป็น  $\tan\theta$  (เส้น 2) จะชันมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าแรงดัน  $V$  ที่ค่าแรงดันค่า ๆ จะได้ความชันสูง  $\theta$  ที่โตนไม่ค้ดเส้นโค้งเลย ก็หมายความว่าไม่มีการเบรคความเกิดขึ้นและที่แรงดันสูง ๆ จะได้จุดค้ดสองจุดก็แสดงว่ามีค่าแรงดันเบรคความสองค่า

ที่จุด  $M$  เป็นจุดที่เส้นตรงสัมผัสเส้นโค้ง แสดงถึงค่าแรงดันต่ำสุดที่จะทำให้เกิดเบรคความได้ ที่จุดค้ด  $L$  เกิดเบรคความกรณีที่มีระยะช่องแคบกว้าง ๆ  $E/P$  มีค่าต่ำ ความดันคงที่และจุด  $H$  เกิดเบรคความกรณีที่มีช่องแคบ ๆ แต่  $E/P$  มีค่าสูง เมื่อหาหลาย ๆ จุดจะได้เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ ของ  $V_s$  และ  $Pd$  ดังรูป



รูปเส้นโค้งของหาสเซน

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

$\therefore \alpha d = \ln \frac{1}{\gamma}$

โดยที่  $\frac{\alpha}{P} = A e^{-\frac{BP}{E}}$   
 ที่เบรคดาวน  $E = \frac{V_s}{d}$

ดังนั้น  $pd A e^{-\frac{BP}{E}} = \ln \frac{1}{\gamma}$

$pd A e^{-\frac{BPd}{V_s}} = \ln \frac{1}{\gamma}$

จากการ take ln จะได้  $\ln e^{-\frac{BPd}{V_s}} = \ln \frac{\ln \frac{1}{\gamma}}{pdA}$

$\therefore -\frac{BPd}{V_s} = \ln \left( \frac{\ln \frac{1}{\gamma}}{pdA} \right)$

$\therefore V_s = \frac{-BPd}{\ln \left( \frac{\ln \frac{1}{\gamma}}{pdA} \right)} = \frac{BPd}{\ln \left( \frac{\ln \frac{1}{\gamma}}{pdA} \right)}$

ดังนั้นจะได้ว่า  $V_s = f(pd)$

โดยที่ A และ B เป็นค่าคงตัวขึ้นอยู่กับชนิดของการแะทั้งขึ้นอยู่กับค่าที่ใช้ในย่านจำกัดของ  $\frac{E}{P}$  ดังแสดงในตารางหน้าถัดไป

โดยที่  $B = A \cdot V_i$  และ  $A = A(T)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าคงตัว A และ B ของก๊าซต่าง ๆ

ก๊าซ	A (cm-torr) <sup>-1</sup>	B (cm - torr) <sup>-1</sup>	ย่านที่ใช้ได้ $\left(\frac{v}{\text{cm-torr}}\right)_{\text{opt}}$
AIR	15	365	100-800
N <sub>2</sub>	12	342	100-600
H <sub>2</sub>	5.1	138.8	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 <sub>2</sub>	20	466	500-1000
H <sub>2</sub> O	12.9	289	150-1000

จากกราฟรูปเส้นโค้งของพาสเซนจะเห็นได้ว่ามีค่าแรงดันต่ำสุด  $V_{S-\min}$  ซึ่งค่า  $V_{S-\min}$  นี้จะหาได้โดยอินทิเกรตสมการ  $V_S = \frac{Bpd}{\ln\left(\frac{pDA}{\ln\frac{1}{\theta}}\right)}$  เทียบกับ  $pd$  แล้วให้เท่ากับศูนย์

$$\frac{dv_S}{d(pd)} = \frac{B}{\ln\left(\frac{pDA}{\ln\frac{1}{\theta}}\right)} - \frac{B}{\ln\left(\frac{pDA}{\ln\frac{1}{\theta}}\right)^2} = 0$$

นั่นคือ  $\ln\left(\frac{pDA}{\ln\frac{1}{\theta}}\right) = 1$

$$\text{ฉะนั้น } (pd)_{\min} = \frac{e^1}{A} \ln\frac{1}{\theta} = \frac{2.718}{A} \ln\frac{1}{\theta}$$

แทนค่า  $(pd)_{\min}$  ในสมการ  $V_S = \frac{Bpd}{\ln\left(\frac{pDA}{\ln\frac{1}{\theta}}\right)}$  จะได้

$$V_{S-\min} = 2.718 \frac{B}{A} \ln\frac{1}{\theta}$$

แสดงว่าที่แรงดันต่ำกว่า  $V_{S-\min}$  ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอไม่สามารถทำให้เกิด

เบรคควอนโตไม่ว่าจะทำให้แก๊สแตกหรือความดันต่ำลงเพียงใด

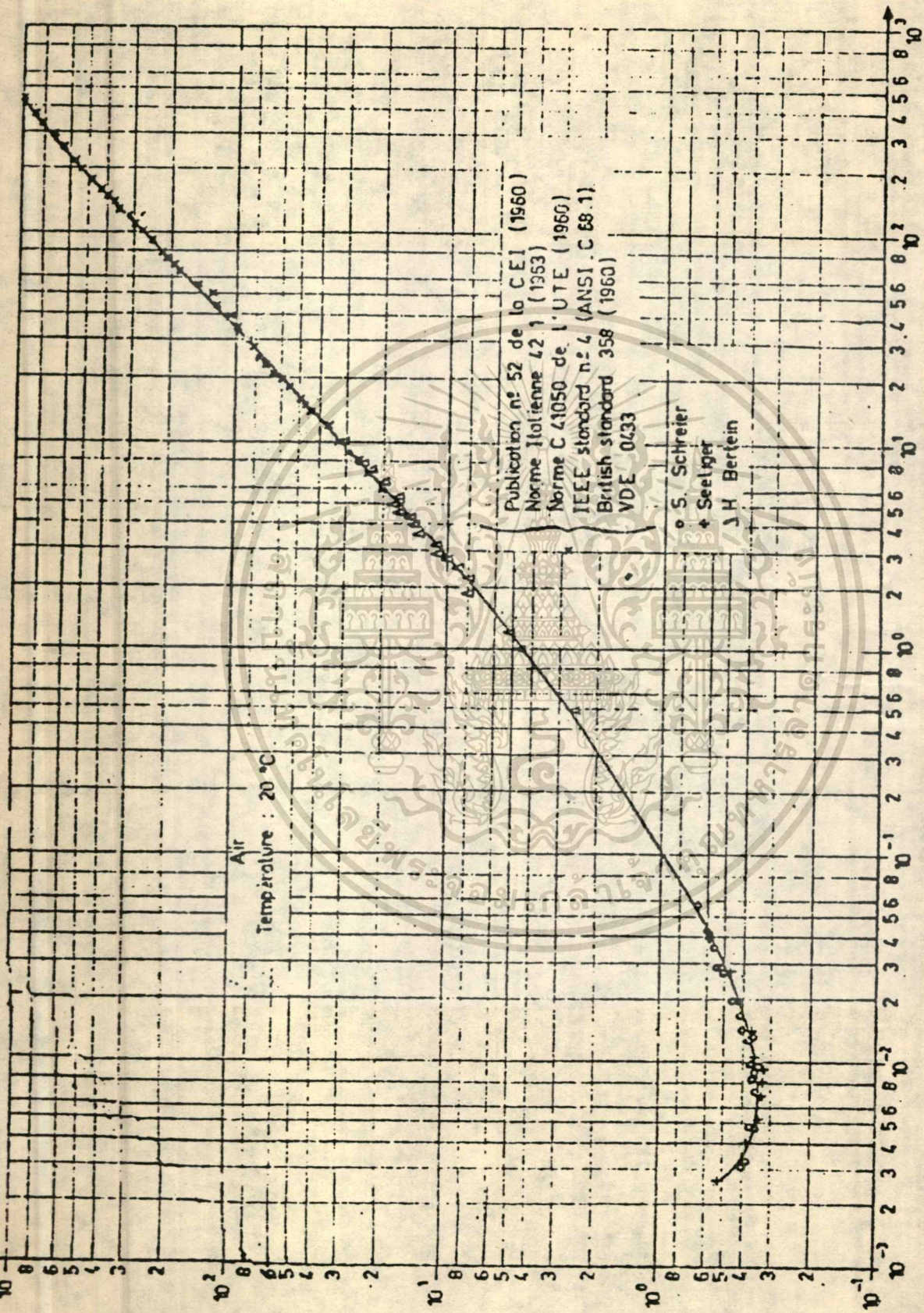
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ข้อจำกัดของการใช้กฎของพาสเชน

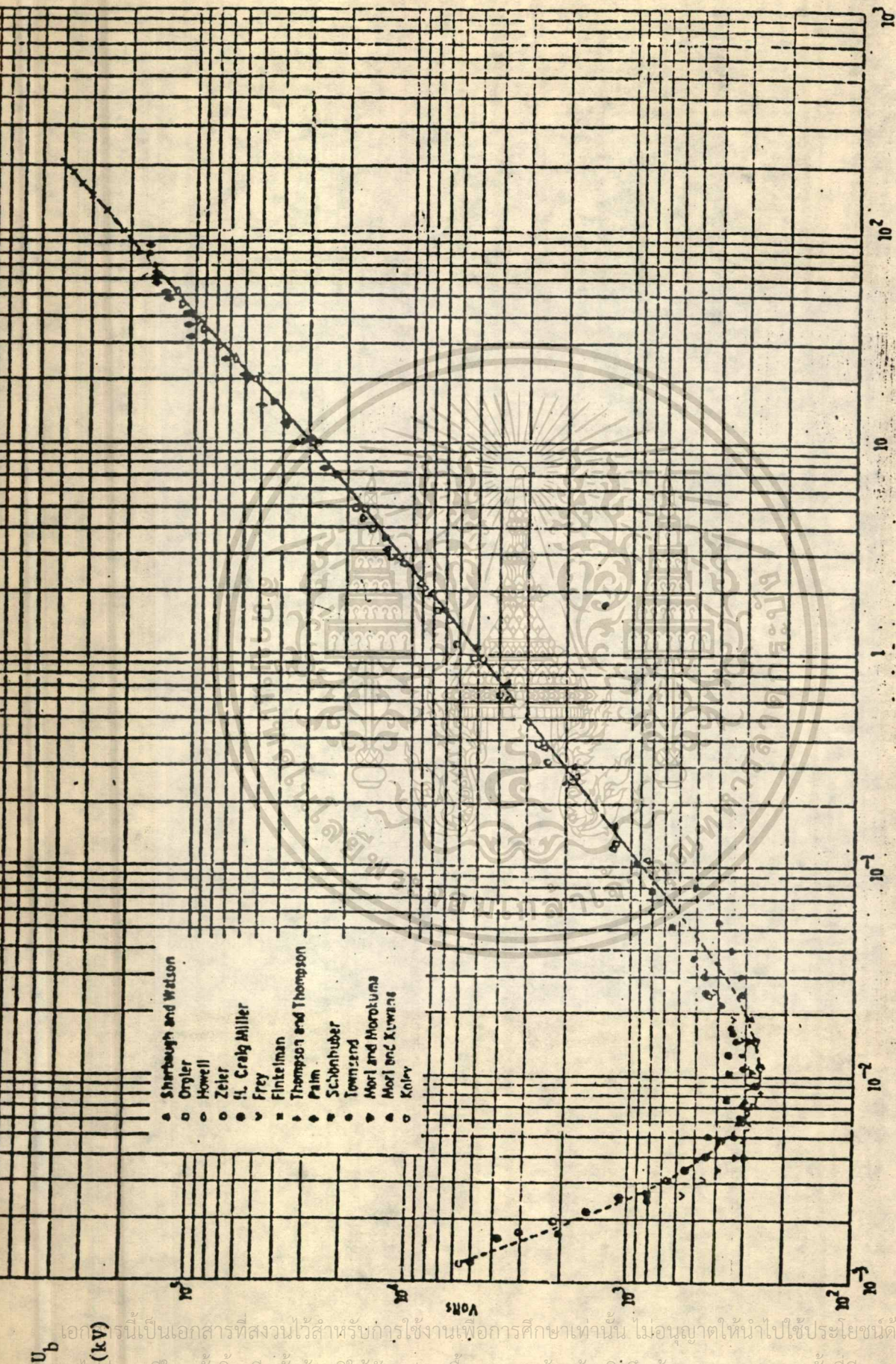
การใช้กฎของพาสเชนมีข้อจำกัด มีหลายกรณีที่ปรากฏการณ์ไม่เป็นไปตามกฎนี้ เช่นที่  $pd$  มีค่าสูงมากหรือต่ำมาก ค่าแรงดันเบรคควอนจะไม่เท่ากับแต่จะแปรไปตาม  $p$  เมื่อให้  $dp$  คงตัว ในช่องแคบกว้าง ๆ การเบรคควอนจะเป็นแบบสครีมเมอร์ ที่ความดันต่ำมาก ๆ เบรคควอนมักเริ่มต้นจากอิเล็กโทรดเช่น การเบรคควอนในสูญญากาศ เป็นต้น ยิ่งกว่านั้นกฎของพาสเชนใช้กับก๊าซผสมไม่ได้





รูปที่ 4.18 a เส้นโค้งพาสเชน (Paschen's curve) ของอากาศที่ 20°C

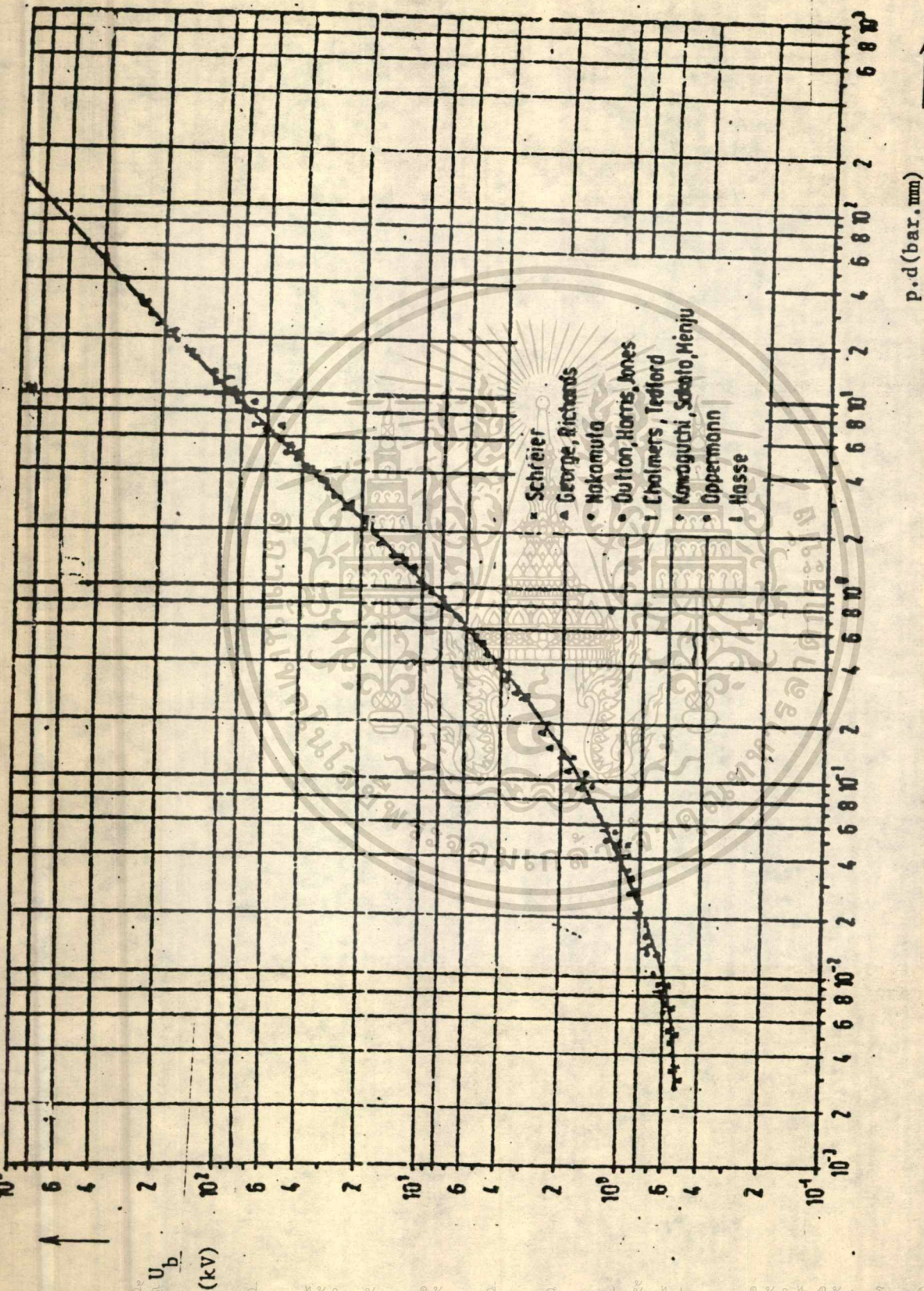
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขคัดลอก แล่นเผยแพร่ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



p.d (bar. mm)

รูปที่ 4.18 b เส้นโค้งทาสเชน (Paschen's curve) ของนีออนที่อุณหภูมิ 25°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ในทางธุรกิจใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 เส้นโค้งพาสเชน (Paschen's curve) ของ SF<sub>6</sub> ที่ 25°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กติการวมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.นิพนธ์ สุชุม อาจารย์ที่ปรึกษา  
ที่ให้รายละเอียดและคำแนะนำต่าง ๆ ในการทำโครงการชิ้นนี้และบริษัท ไทยอินทรีส  
เทรียลแกส จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการอัดก๊าซออกซิเจนไว้ ณ ที่นี้ด้วย.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. รศ.ดร. นิพนธ์ สุขุม , "KINETIC THEORY OF GASES AND GAS DISCHARGE " , คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 91 หน้า, 2529
2. ชำนาญ ห่อเกียรติ , "วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง" , คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 188 หน้า, 2522
3. ดร. สำรวัย สังข์สะอาด, "วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง" , คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 434 หน้า, 2528

