บทที่ 2

การเกิดอาร์คพลาสมา

2.1 เทอร์มัลพลาสมา (Thermal Plasma)

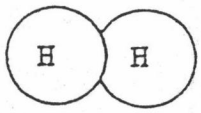
เทอร์มัลพลาสมาใช้เรียกก๊าซที่แยกตัวเป็นอะตอมอิสระ (ในกรณีของก๊าซไดอะตอมมิก) และก๊าซที่ถูกไอออไนซ์ ผู้ที่ใช้ชื่อพลาสมาเรียกก๊าซซึ่งอยู่ในสถานะดังกล่าวคือ แลงเมอร์ (Langmuir) และนับตั้งแต่นั้นมาพลาสมาใช้เรียกแทนสถานะที่สี่ของสสาร นอกเหนือจากสถานะที่เป็นของแข็ง ของเหลวและก๊าซ ซึ่งสสารในสถานะที่สี่จะให้แสงสว่างและเป็นตัวนำไฟฟ้าได้

ในก๊าซที่ร้อนจัดจะประกอบด้วยโมเลกุล อะตอม ไอออน และอิเล็กตรอนที่เคลื่อนไหวไปมาอย่างไม่มีระเบียบ ทั้งนี้ก็เพราะว่าเมื่อก๊าซถูกทำให้ร้อนโมเลกุลของก๊าซจะเคลื่อนไหวเร็วขึ้น และมีโอกาสที่จะชนกัน และแยกตัวออกเป็นอะตอมอิสระ ปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่า การแยกตัว (Dissociation) และเนื่องจากโมเลกุลของก๊าซมีความเร็วแตกต่างกัน การแยกตัวในก๊าซจะไม่เกิดที่อุณหภูมิที่แน่นอน แต่จะเกิดในช่วงอุณหภูมิหนึ่ง สำหรับก๊าซแต่ละชนิดจะมีอุณหภูมิหนึ่งซึ่งโมเลกุลของก๊าซมีพลังงานจลน์สูงพอที่เมื่อเกิดการชนระหว่างโมเลกุล จะทำให้โมเลกุลแยกตัวเป็นอะตอมอิสระ

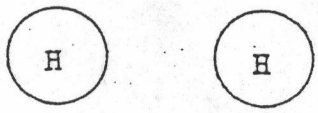
เมื่อก๊าซถูกทำให้ร้อนขึ้นไปอีก อิเล็กตรอนที่วิ่งรอบนิวเคลียสของอะตอมจะเปลี่ยนวงโคจรโดยจะอยู่ในวงโคจรที่มีพลังงานสูงขึ้น และเมื่อพลังงานที่ก๊าซได้รับสุดสิ้นลง อิเล็กตรอนที่กล่าวถึงมีโอกาสกลับสู่วงโคจรเดิมและปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออก

ในกรณีที่ก๊าซได้รับพลังงานสูงพอ อิเล็กตรอนที่วิ่งรอบนิวเคลียสของอะตอมอาจหลุดออกนอกวงโคจรได้ทำให้อะตอมมีประจุรวมเป็นบวก อะตอมในสภาพเช่นนี้จะถูกไอออไนซ์ และมีสภาพเป็นไอออน ในก๊าซที่ร้อนจัดดังกล่าวจะมีโมเลกุล อะตอมอิสระ ไอออนและอิเล็กตรอนเกิดขึ้นตลอดเวลา และขณะเดียวกันอะตอมอิสระ ไอออน และอิเล็กตรอน อาจรวมตัวกันเป็นโมเลกุลและอะตอม พร้อมทั้งปลดปล่อยพลังงานในรูปต่าง ๆ ออกมา ปรากฏการณ์ต่าง ๆ ดังกล่าวจะเกิดขึ้นจนกระทั่งเกิดความสมดุลในพลาสมา รูปที่ 2.1 แสดงการแยกตัวและการเกิดไอออนของก๊าซในพลาสมา

การแยกตัว

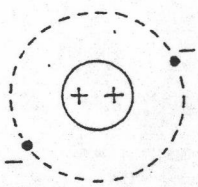


โมเลกุลของก๊าซไดอะตอมมิก เช่น ไฮโดรเจน และไนโตรเจน ประกอบด้วยอะตอม

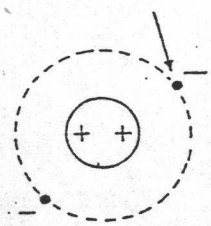


เมื่อก๊าซถูกทำให้ร้อน โมเลกุลของก๊าซจะชนกัน และแยกตัวออกเป็นอะตอมอิสระสองอะตอม ซึ่งขณะเดียวกันจะมีพลังงานสูง

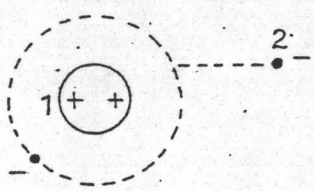
การเกิดไอออน



ในอะตอมที่เป็นกลางของก๊าซจะมีประจุบวกและประจุลบจำนวนเท่ากัน



อิเล็กตรอนที่อยู่วงนอกของอะตอมอาจถูกชนหลุดออกจากวงโคจรได้

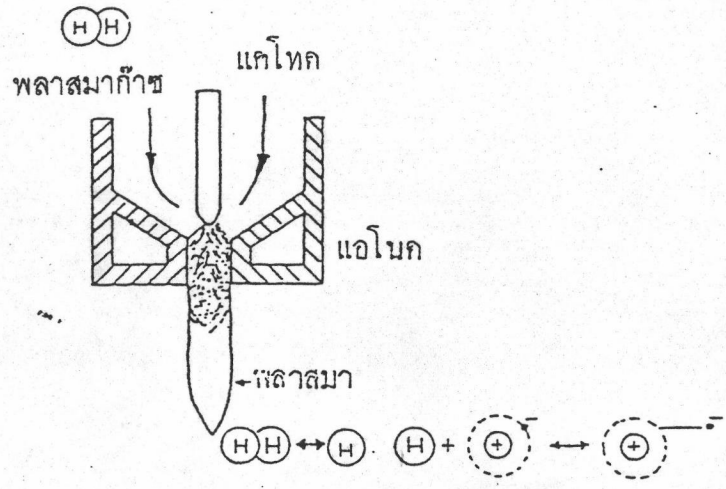


หลังจากสูญเสียอิเล็กตรอน อะตอมจะมีประจุสุทธิเป็นบวก และเป็นไอออน ซึ่งจะรับพลังงานเพิ่มขึ้นไปอีก ก๊าซที่บางส่วนถูกไอออไนซ์ในลักษณะดังกล่าว เรียกว่า "พลาสมา"

รูป 2.1 แสดงการแยกตัว และการเกิดไอออนของก๊าซในพลาสมา

2.2 อาร์คพลาสมา

อาร์คพลาสมา คือ พลาสมาที่ทำให้เกิดขึ้นโดยการให้ความร้อนกับก๊าซด้วยอาร์คไฟฟ้า เมื่อก๊าซผ่านอาร์คไฟฟ้าซึ่งอุณหภูมิสูงประมาณ 6000-11000 K แล้วแต่กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอาร์ค ก๊าซจะถูกทำให้ร้อน และโมเลกุลของก๊าซบางส่วนจะแยกตัวและถูกไอออนไนซ์ดังรูปที่ 2.2

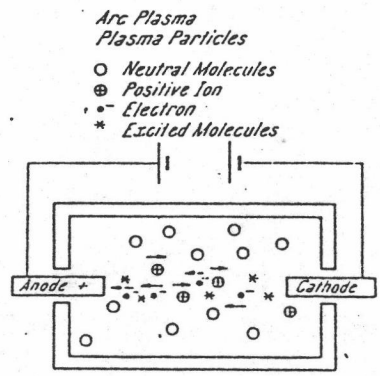


รูปที่ 2.2 แสดงการเกิดพลาสมาเมื่อก๊าซไฮโดรเจนผ่านอาร์ค

พลาสมาที่เกิดขึ้นจะมีอุณหภูมิสูงมาก อุณหภูมิในลำพลาสมา (Plasma Torch) ขึ้นอยู่กับรูปร่างของลำพลาสมา กระแสที่ไหลผ่านอาร์ค และความเร็วของก๊าซที่ไหลผ่านตามปรกติอุณหภูมิในลำพลาสมาจะอยู่ระหว่าง 7000 กับ 10,000 K (D.A. Gerdeman, 1972) โดยที่อุณหภูมิที่แกนกลางของลำพลาสมาอาจสูงถึง 20,000 - 30,000 K และอุณหภูมิรอบนอกลำพลาสมาอาจลดลงเหลือ 4,000 - 5,000 K

2.3 การเกิดอาร์คพลาสมา

พลาสมาเป็นกลุ่มก๊าซที่ประกอบด้วย อิเล็กตรอนอิสระ ไอออนประจุบวก อะตอม และโมเลกุลที่เป็นกลางอยู่รวมกัน มีคุณสมบัติเฉพาะตัวซึ่งเมื่อมีการถ่ายเทพลังงานให้ก๊าซ เป็นผลให้ก๊าซเกิดการแยกตัวและแตกตัวเป็นไอออนขึ้นบางส่วน พลาสมาที่เกิดขึ้นนี้จะสามารถรักษาสภาพให้ดำเนินต่อไปได้ที่อุณหภูมิ 20,000 องศาเคลวินขึ้นไป (วิรุฬห์ มังคละวิรัช, 2524)



รูปที่ 2.3 แสดงการเกิดพลาสมาในภาชนะปิด

ในรูปที่ 2.3 จะแสดงการเกิดอาร์คพลาสมาในภาชนะปิด ประกอบด้วยภาชนะปิดมีพลาสมาก๊าซบรรจุอยู่ภายใน และมีขั้วไฟฟ้าซึ่งมีความต่างศักย์ป้อนอยู่ที่ปลายทั้งสองด้าน จากรูปจะเห็นว่า อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจากขั้วไฟฟ้าลบ (Cathode) ในขณะที่วิ่งผ่านพลาสมาก๊าซไปยังขั้วไฟฟ้าบวก (anode) จะชนกับอะตอมและโมเลกุลต่าง ๆ ในก๊าซ เกิดการถ่ายเทพลังงานเป็นผลให้เกิดการแยกตัวและการแตกตัวเป็นไอออน หรือการแทนที่ของอิเล็กตรอนในวงโคจรรอบอะตอมหรือทำให้พลังงานจลน์ของอะตอมหรือโมเลกุลเพิ่มขึ้น อิเล็กตรอนเกิดขึ้นใหม่จะถูกเร่งให้วิ่งไปยังขั้วไฟฟ้าบวกเช่นกัน เป็นผลให้เกิดการชนกัน การถ่ายเทพลังงาน และเกิดเป็นไอออนเพิ่มขึ้นอีกเช่นนี้เรื่อย ๆ ไป ก๊าซจะอยู่ในสภาพที่เป็นตัวนำไฟฟ้าสามารถนำไฟฟ้าได้ในรูปของการเกิดสปาร์คขึ้นระหว่างขั้วไฟฟ้าในช่วงแรก และเกิดอาร์คหลักในช่วงเวลาต่อมา ปริมาณของกระแสไฟฟ้าจำนวนมากจะไหลผ่านก๊าซ ทำให้อิเล็กตรอนชนและถ่ายเทพลังงานให้กับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ได้มากขึ้นตามไปด้วย เป็นผลให้อุณหภูมิของก๊าซสูงขึ้นอีกเป็นพลาสมาที่ร้อนจัด เราสามารถทำให้อิเล็กตรอนมีอุณหภูมิสูง (พลังงานจลน์สูง) ได้ง่าย (สำหรับอิเล็กตรอนความต่างศักย์ 1 โวลต์จะสมนัยกับอุณหภูมิประมาณ 10,000 องศาเคลวิน) แต่การทำให้อุณหภูมิ (พลังงานจลน์) ของอนุภาคในก๊าซมีค่าใกล้เคียงกับอิเล็กตรอนทำได้ยาก เนื่องจากอนุภาคในก๊าซมีมวลสูงกว่าเป็นผลให้ต้องถูกชนมากครั้งจึงจะเกิดได้ การเพิ่มระดับพลังงานจลน์ของอนุภาคในก๊าซให้สูงขึ้น ทำได้

โดยการเพิ่มความดันของก๊าซให้สูงขึ้น เพื่อให้อนุภาคต่าง ๆ ในก๊าซนั้น มีพลังงานจลน์อยู่ในช่วงเดียวกับอิเล็กตรอน เป็นผลให้พลาสมาที่เกิดขึ้นมีเสถียรภาพที่ค่าพลังงานไฟฟ้าค่า ๆ หนึ่งที่ป้อนให้ อุณหภูมิของพลาสมาที่ได้จะอยู่ในช่วง 7,000 - 10,000 องศาเคลวิน โดยที่อุณหภูมิของอิเล็กตรอนจะอยู่ในช่วง 100,000 องศาเคลวิน และอนุภาคอื่น ๆ (ไอออนประจุบวก อะตอมและโมเลกุลของก๊าซ) จะมีอุณหภูมิในช่วง 10,000 องศาเคลวิน

ในการรักษาเสถียรภาพของพลาสมาให้คงอยู่ได้นั้น จะต้องมีพลังงานป้อนเข้าไปชดเชยพลังงานที่สูญเสียไป เนื่องจากการแผ่รังสี (infrared, visible light, ultra violet) และช่วยในการนำไฟฟ้าให้ยังคงเกิดอยู่ในระดับเดิมตลอดเวลา การเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขั้วไฟฟ้าจะมีผลให้แรงดันตกคร่อมระหว่างขั้วไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยแรงดันตกคร่อมจะลดลงในขณะที่กระแสไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น จนในที่สุดจะถึงสภาวะที่พลาสมาเกิดเสถียรภาพที่กระแสไฟสูง และแรงดันตกคร่อมต่ำที่ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าคงที่ค่า ๆ หนึ่ง

แม้ว่าพลาสมาในภาชนะปิดที่ควบคุมให้อยู่ในก๊าซที่มีความดันสูงจะเกิดได้ง่ายก็ตาม แต่เนื่องจากประโยชน์การใช้งานมีขอบเขตจำกัด จึงมีการออกแบบภาชนะรูปทรงกระบอกขนาดเล็กที่ทำด้วยแก้วหรือโลหะ ปลายด้านหนึ่งจะมีขั้วไฟฟ้ามีลักษณะที่เป็นแท่งเสียบทะลุเข้าไปในภาชนะนั้น และขั้วไฟฟ้าซึ่งอยู่อีกปลายหนึ่งจะมีรู (orifice) เจาะไว้เพื่อให้ลำพลาสมาพุ่งออกไปใช้ประโยชน์ได้ ที่ผนังภาชนะจะมีน้ำหรือก๊าซไหลผ่านด้านนอก เพื่อระบายความร้อนที่เกิดขึ้นบางส่วน และมีพลาสมาก๊าซพุ่งเข้าไปในภาชนะด้วยความดันสูง ลักษณะเป็นม่านคั่นอยู่ระหว่างผนังของภาชนะและอาร์คที่เกิดขึ้นภายใน เนื่องจากผิวด้านนอกของภาชนะมีการระบายความร้อนบริเวณด้านนอกของลำพลาสมาจะเย็นตัวกว่าภายใน และแตกตัวเป็นไอออนน้อยลง มีการนำไฟฟ้าต่ำ ทำให้บริเวณใจกลางของลำพลาสมามีความเข้ม (ความหนาแน่น) ของกระแสไฟฟ้าสูง อุณหภูมิและการนำไฟฟ้าของพลาสมาจะมีค่าสูงตามไปด้วย ซึ่งเราเรียกปรากฏการณ์เช่นนี้ว่า "Thermal pinch effect" เมื่อลำพลาสมาพุ่งผ่านรูที่เจาะไว้สู่ภายนอก จะถ่ายเทพลังงานจลน์สู่สภาวะรอบ ๆ ในรูปของความร้อน (โดยการนำ) และการแผ่รังสี ซึ่งรังสีส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นจะเกิดจากที่อิเล็กตรอนวิ่งชนกัน พลังงานจลน์นี้จะรวมถึงการเคลื่อนตัวของพลาสมา ซึ่งจะมีการถ่ายเทพลังงานในรูปของความร้อน นอกจากนี้ยังมีพลังงานที่ได้จากการที่ไอออนจับกับอิเล็กตรอนกลายเป็นอะตอม และอะตอมของก๊าซไดอะตอมมิกจับกันเป็นโมเลกุลอีกด้วย

2.4 <u>วัสดุที่ใช้เป็นขั้วไฟฟ้าในต้นกำเนิดอาร์คพลาสมา</u>

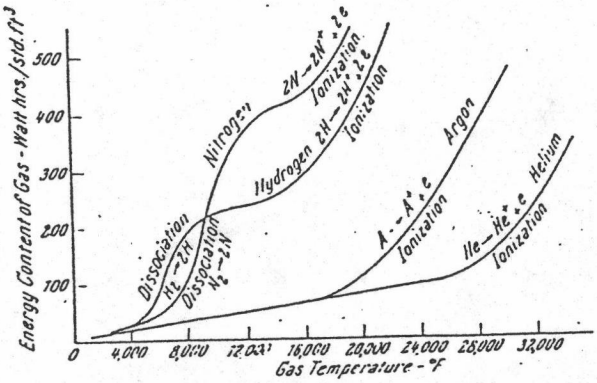
วัสดุที่นิยมใช้เป็นขั้วไฟฟ้าในต้นกำเนิดอาร์คพลาสมามี 3 ชนิด คือ ทังสเตน ทองแดง และแกรไฟต์ ตามปกติจะใช้ทังสเตนเป็นขั้วไฟฟ้าลบ และทองแดงเป็นขั้วไฟฟ้าบวก ทังสเตนที่

ใช้จะเป็นโลหะทังสเตนบริสุทธิ์ หรือจะมีทอเรียม (thorium) หรือเซอร์โคเนีย (Zirconia) ปนอยู่ก็ได้ เหตุที่นิยมใช้ทังสเตนเป็นขั้วไฟฟ้า เพราะทังสเตนมีคุณสมบัติให้อิเล็กตรอนได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน (thermionic emission) และมีจุดหลอมตัวสูง ส่วนทองแดงนั้นนิยมใช้เนื่องจากนำความร้อนและนำไฟฟ้าได้ดี ข้อเสียของทองแดงคือ มีจุดหลอมตัวต่ำ (1083 องศาเซลเซียส) การใช้ทองแดงเป็นขั้วไฟฟ้าจึงต้องมีการระบายความร้อนให้พอเพียง หรือมีกลไกมาหมุนตรงบริเวณที่รอรับอาร์คเพื่อกระจายความร้อนมิให้ได้รับมากเกินไปจนเกิดหลอมละลายได้ ถ้ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ไม่สูงนัก อาร์คก๊าซที่ใช้จะระบายความร้อนได้พอเพียงอยู่แล้ว เรานิยมใช้แกรไฟต์เป็นขั้วไฟฟ้า เนื่องจากนำไฟฟ้าได้ดี แต่งรูปเป็นเป้าได้สะดวก แต่มีข้อเสียคือ ที่อุณหภูมิสูงแกรไฟต์จะกลายเป็นไอได้ง่าย ในการใช้งานจะต้องมีการระบายความร้อนจากขั้วไฟฟ้า หรือหมุนขั้วไฟฟ้าตลอดเวลา และจะมีไอของแกรไฟต์ปน (contaminate) อยู่ในลำพลาสมาเสมอ

การออกแบบลักษณะขั้วไฟฟ้ามีความสำคัญมากในการใช้งานต้นกำเนิดพลาสมา เนื่องจากการออกแบบที่ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดอาร์คไม่ทั่วถึง เป็นผลให้พลาสมาที่เกิดขึ้นไม่มีเสถียรภาพ โดยปกติจะออกแบบให้ขั้วไฟฟ้าด้านหนึ่งมีลักษณะเป็นแท่ง และอีกด้านหนึ่งเป็นวงแหวนหรือรูปทรงกระบอก พลาสมาก๊าซจะผ่านเข้ามารอบ ๆ ขั้วไฟฟ้าผ่านอาร์คแล้วพุ่งผ่านรูของขั้วไฟฟ้าที่เจาะไว้ออกไปด้านนอก หรือผ่านอาร์คในบริเวณที่มีช่องว่างระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสอง (gap) น้อยที่สุด ในกรณีที่ขั้วไฟฟ้าอีกด้านหนึ่งเป็นรูปวงแหวนหรือรูปทรงกระบอกตามลำดับ คบพลาสมาทั่วไปจะใช้แท่งทังสเตนเป็นขั้วไฟฟ้าลบ และใช้ทรงกระบอกหรือวงแหวนทำด้วยทองแดงเป็นขั้วไฟฟ้าบวก แท่งกราฟไฟท์ถ้าใช้เป็นขั้วไฟฟ้าจะทำหน้าที่เป็นขั้วบวกเสมอ ในบางกรณีจะออกแบบให้ขั้วไฟฟ้ามีลักษณะเป็นรูปวงแหวนที่มีแนวจุดศูนย์กลางร่วมกัน หรือมีลักษณะเป็นวงแหวนที่ขนานกันก็ได้

2.5 พลาสมาก๊าซ

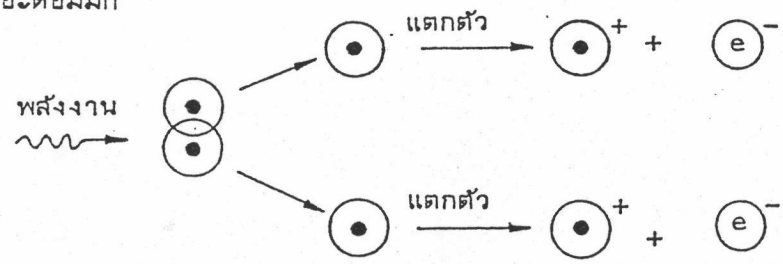
พลาสมาก๊าซที่ใช้ในต้นกำเนิดอาร์คพลาสมา จะทำหน้าที่ห่อหุ้มขั้วไฟฟ้าพร้อมกับพาความร้อนที่ได้จากพลาสมาไปใช้ประโยชน์ และในขณะเดียวกันจะรักษาสภาพของพลาสมาให้อยู่ในสภาวะสมดุลย์ (มีเสถียรภาพ) ด้วย ในการเลือกพลาสมาก๊าซจะพิจารณาถึง energy content ของก๊าซ ความไวในการเกิดปฏิกิริยา (reactivity) และราคาของก๊าซเป็นหลัก พลาสมาก๊าซที่นิยมใช้กันทั่วไปมีไฮโดรเจน (H_2) ไนโตรเจน (N_2) ฮีเลียม (He) อาร์กอน (Ar) และอากาศ (air) ความสัมพันธ์ระหว่างค่า energy content ของก๊าซกับอุณหภูมิของพลาสมาจะแสดงในรูปที่ 2.4



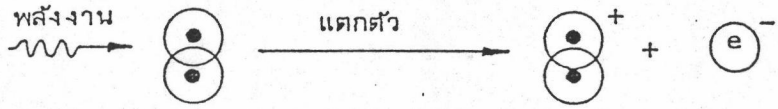
รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง energy content ของพลาสมาก๊าซ
กับอุณหภูมิของพลาสมาที่ความดันปรกติ

จากรูปจะพบว่าค่า energy content ในการเกิดพลาสมาของก๊าซไนโตรเจนและไฮโดรเจนมีค่าสูงกว่าของก๊าซอาร์กอนและฮีเลียม เนื่องจากก๊าซไนโตรเจนและไฮโดรเจนเป็นก๊าซไดอะตอมมิก (หนึ่งโมเลกุลประกอบด้วยสองอะตอม) จึงมีการดูดกลืนพลังงานเพื่อใช้ในการแยกตัวเปลี่ยนจากโมเลกุลเป็นอะตอมและดูดกลืนพลังงานเพิ่มขึ้นอีก เพื่อแตกตัวเกิดเป็นไอออนหรือโมเลกุลของก๊าซไดอะตอมมิกอาจจะแตกตัวเป็นไอออนกับอิเล็กตรอนเลย ซึ่งจะทำให้พลาสมาที่เกิดขึ้นมีค่า energy content สูงกว่าก๊าซอาร์กอน และฮีเลียมที่เป็นก๊าซเฉื่อย และอยู่ในสภาพเป็นอะตอมโดยปกติอยู่แล้ว และจะมีการดูดกลืนพลังงานเพื่อแตกตัวเกิดเป็นไอออนเพียงขั้นตอนเดียว ดูรูปจากรูปที่ 2.5 ประกอบ

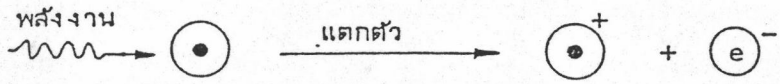
ก. ก๊าซไดอะตอมมิก



หรือ



ข. ก๊าซเฉื่อย

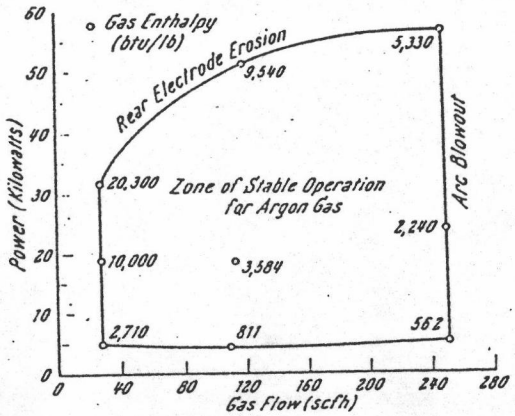


รูปที่ 2.5 แสดงการเกิดพลาสมาของก๊าซไดอะตอมมิก และก๊าซเฉื่อย

ก๊าซไนโตรเจนเป็นก๊าซที่หาได้ง่ายมีราคาถูก และมีค่า internal energy สูง จึงนิยมใช้เป็นพลาสมาก๊าซมากที่สุด ในเวลาที่ใช้จะผสมกับก๊าซไฮโดรเจนประมาณ 10% เพื่อเพิ่มค่า heat content และคุณสมบัติในการส่งผ่านความร้อนให้สูงขึ้น ในขณะเดียวกันก๊าซไฮโดรเจนที่ผสมลงไปนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ (reducing agent) ในพลาสมาด้วย ข้อเสียของการใช้ก๊าซไนโตรเจนก็คือ ไนโตรเจนจะเกิดปฏิกิริยาเคมีกับวัสดุที่รับความร้อนจากอาร์คพลาสมาเกิดเป็นสารประกอบไนไตรด์ขึ้น ทำให้ขอบเขตของการใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นพลาสมาก๊าซในงานต่าง ๆ ลดลง ในกรณีที่ต้องการควบคุมบรรยากาศของอาร์คพลาสมาให้เป็นก๊าซเฉื่อยอย่างสมบูรณ์ จะใช้อาร์กอนเป็นพลาสมาก๊าซ อากาศสามารถใช้เป็นพลาสมาก๊าซได้ แต่การใช้งานจะมีขอบเขตจำกัดมาก เนื่องจากจะเกิดออกซีเดชัน (oxidation) ขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสองขั้วอย่างรวดเร็ว

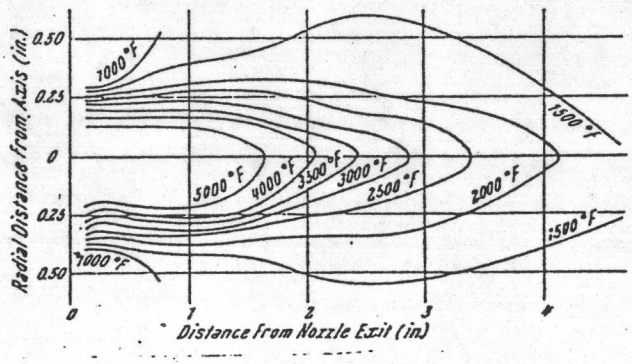
การควบคุมอัตราการไหลของพลาสมาก๊าซให้เหมาะสมกับกำลังไฟฟ้าของอาร์คพลาสมาเป็นสิ่งที่จำเป็นมาก โดยจะต้องควบคุมอย่างระมัดระวังในขณะที่กระแสไฟวิ่งผ่านอาร์คเพื่อไม่ให้อาร์คดับหรือเกิด thermal pinch effect ไม่พอที่จะบีบลำอาร์คพลาสมาวิ่งผ่านรู (nozzle) ที่เจาะไว้ได้ การปรับอัตราการไหลของพลาสมาก๊าซไม่เหมาะสม อาจทำให้คบพลาสมาที่ใช้เสียหายมาก การปรับอัตราการไหลของพลาสมาก๊าซให้เหมาะสมกับกำลังไฟฟ้าของอาร์ค

พลาสมาที่ใช้จะทำให้อาร์คที่เกิดขึ้นมามีเสถียรภาพและใช้งานได้ดี ในช่วงของการใช้งาน ซึ่งเราเรียกว่า "envelope" ช่วง envelope สำหรับพลาสมาก๊าซแต่ละชนิดจะไม่เหมือนกัน เช่น ก๊าซอาร์กอนจะมีช่วง envelope ดังในรูปที่ 2.6

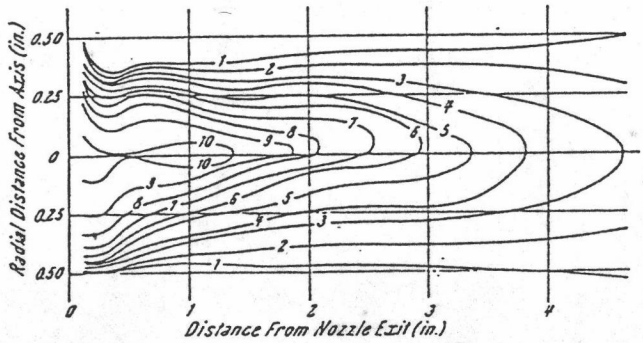


รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (flow rate) และกำลังไฟฟ้า (arc power) เมื่อใช้อาร์กอนเป็นพลาสมาก๊าซ

จากรูปที่ 2.7 และ 2.8 แสดงให้เห็นถึงการกระจายของอุณหภูมิ (temperature distribution) และการกระจายของ velocity pressure ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของเปลวพลาสมา (arc plasma discharge) ขนาด 18 กิโลวัตต์ (วิรุฬห์ มังคละวิรัช, 2524)



รูปที่ 2.7 แสดงการกระจายของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของเปลวพลาสมา



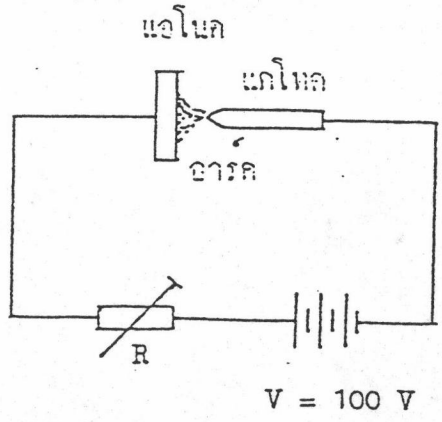
รูปที่ 2.8 แสดงการกระจายของ velocity pressure ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของเปลวพลาสมา

2.6 <u>การทำให้เกิดอาร์ค</u>

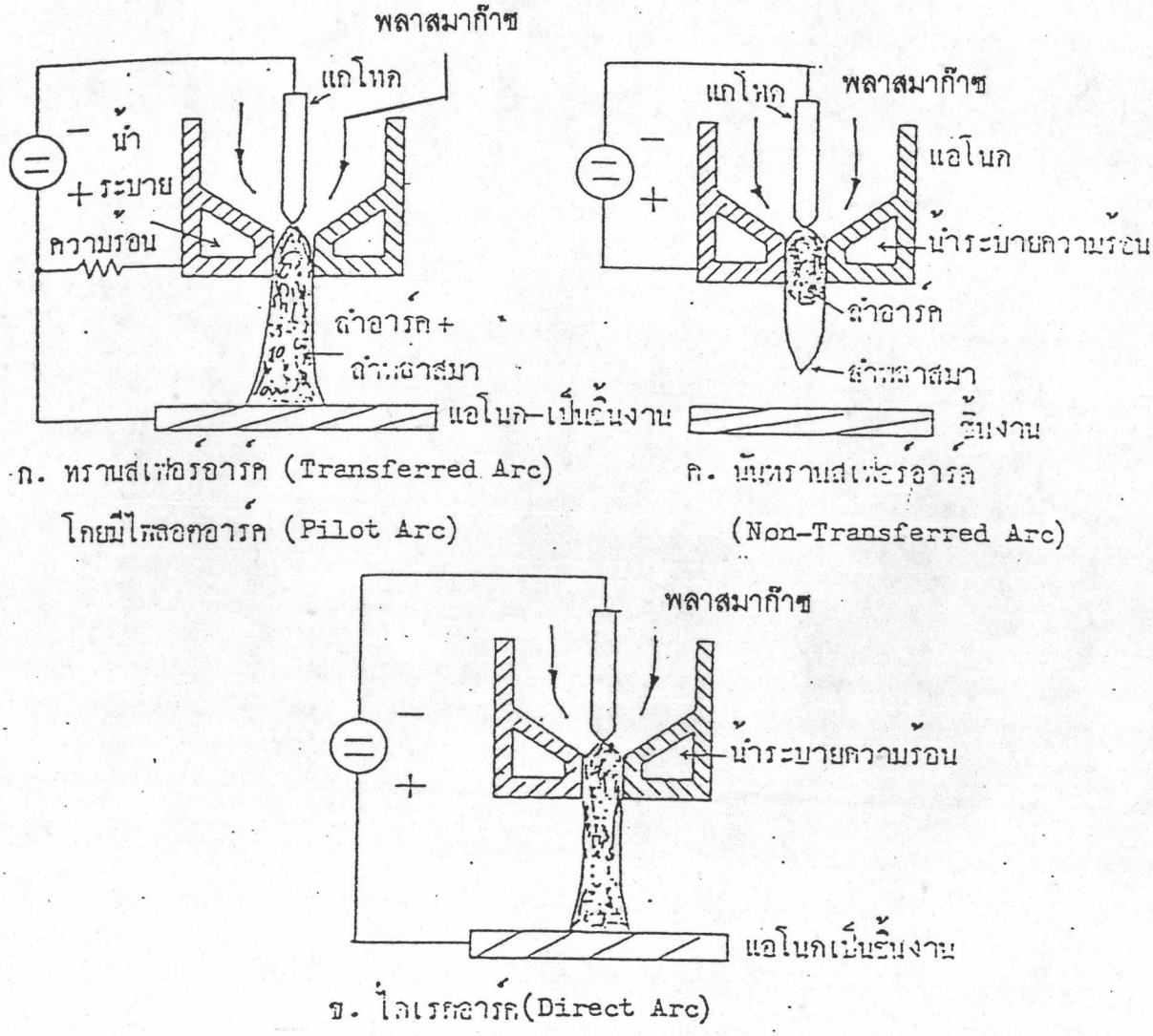
การทำให้เกิดอาร์คเป็นสิ่งสำคัญยิ่งในอาร์คพลาสมาเทคโนโลยี เพราะพลาสมาจะเกิดไม่ได้ถ้าไม่มีอาร์ค วิธีทำให้เกิดอาร์คสามารถทำได้สองวิธีคือ

2.6.1 วิธีลัดวงจร วิธีที่ง่ายที่สุดที่ทำให้เกิดอาร์คแต่มีที่ใช้ค่อนข้างจำกัด คือ วิธีลัดวงจร ดังแสดงในรูปที่ 2.9 แคโทดที่ทำด้วยโลหะทังสเตนที่มีทอเรียมปนประมาณ 3% ถูกฝนปลายให้แหลมแตะกับแท่งแอโนดทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าจากเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า V ไหลผ่านจุดสัมผัสระหว่างแอโนดและแคโทด ความต้านทาน R_C เป็นความต้านทาน ณ จุดสัมผัส และ I เป็นกระแสที่ไหลผ่าน กำลังงานที่สูญเสีย ณ จุดสัมผัสเท่ากับ

$$P_C = I^2 R_C \qquad (2.1)$$



รูปที่ 2.9 การทำให้เกิดอาร์คโดยวิธีลัดวงจร



รูปที่ 2.10 แบบของอาร์คพลาสมาที่ใช้ในกิจการโลหกรรมพลาสมา

กำลังงานที่สูญเสียนี้จะทำให้จุดสัมผัสร้อนจัดมาก และทำให้ปลายแหลมที่สัมผัสบางส่วนเป็นไอระเหยไป พร้อมกับมีอิเล็กตรอนถูกปล่อยออกจากปลายแหลมของแคโทด และเกิดความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าตามกฎของริชาร์ดสัน (Richardson)

$$J = AT^2 e^{-\frac{W}{kT}} \tag{2.2}$$

โดยมี W = เวอร์คฟังก์ชันของโลหะที่ทำแคโทด

K = ค่าคงตัวโบลซ์มันน์ (Boltzmann)

A = ค่าคงตัว

และ T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ที่ปลายแหลมของแคโทด

อิเล็กตรอนที่ถูกปล่อยออกจากปลายแหลมจะถูกเร่งไปยังแอโนดและระหว่างทางจะชนกับโมเลกุลของก๊าซ ทำให้เกิดการแยกตัวเป็นอะตอมอิสระ และไอออน และในที่สุดเกิดพลาสมาซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวนำระหว่างแอโนดและแคโทด ในกรณีถ้าแอโนดและแคโทดถูกดึงให้ห่างกันอาร์คที่เกิดแต่แรกจะยังคงเกิดเช่นเดิม เพราะพลาสมาที่เกิดขึ้นจะช่วยให้อาร์คเกิดง่ายขึ้น เนื่องจากพลาสมาที่เกิดขึ้นเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี ระยะห่างระหว่างแคโทดและแอโนดที่ยังคงทำให้เกิดพลาสมาได้ขึ้นอยู่กับศักดาของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า และความต้านทาง R

การทำให้เกิดอาร์คด้วยวิธีลัดวงจรใช้มากในการประยุกต์พลาสมาเทคโนโลยี ที่ไม่อาจใช้ศักดาไฟฟ้าแรงสูง ความถี่สูงทำให้เกิดอาร์ค เช่นในการเชื่อมหรือตัดด้วยพลาสมาใต้น้ำ (D. Hitzke Shiffbautcehnik, 1967) หรือในการสร้างเตาถลุงพลาสมา โดยใช้ไดเรคอาร์คดังรูป 2.10

2.6.2 วิธีศักดาไฟฟ้าสูงความถี่สูง (High Voltage-High Frequency Exciter)

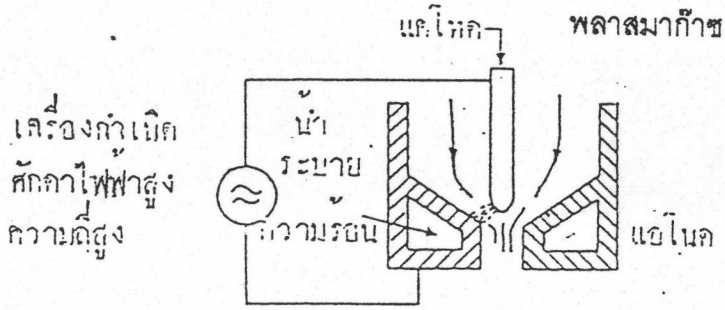
การทำให้เกิดอาร์คโดยวิธีศักดาไฟฟ้าสูงความถี่สูงใช้กันทั่วไปในเครื่องกำเนิดพลาสมา ในกรณีที่แอโนดและแคโทดไม่สามารถจะเคลื่อนเข้ามาแตะกันเพื่อให้เกิดอาร์คดังในกรณีที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.6.1 ในกรณีนี้จำเป็นต้องใช้เครื่องกำเนิดศักดาไฟฟ้าสูง ความถี่สูงเข้าช่วย เพื่อให้เกิดอาร์คความถี่สูง ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ของก๊าซโดยทั่วไปที่มีโอกาสจะเกิดอาร์คดิสชาร์จ (Discharge) ได้ง่ายเมื่อได้รับศักดาไฟฟ้าแรงสูง ความถี่สูงในช่วงของความถี่เป็นเมกกาเฮิรตซ์ขึ้นไป ซึ่งอาร์คความถี่สูงจะทำหน้าที่เป็นทางเดินให้เกิดอาร์คหลักที่ได้จากเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง นอกจากนี้การทำให้เกิดอาร์คโดยวิธีศักดาไฟฟ้าสูง ความถี่สูงนั้น ยัง

แบ่งออกเป็นอีกสองแบบ คือ

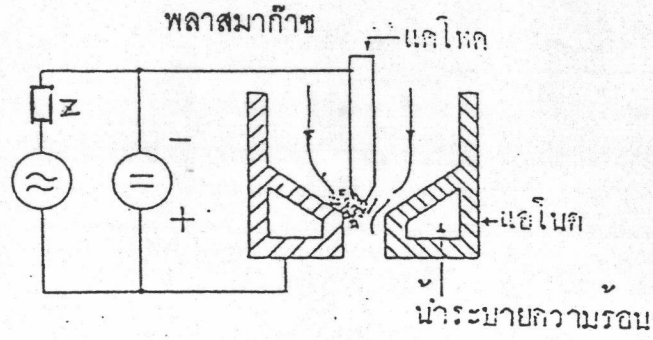
2.6.2.1 แบบ ทรานสเฟอร์ อาร์ค (Transferred Arc)

2.6.2.2 แบบ นันทรานสเฟอร์ อาร์ค (Non- Transferred Arc)

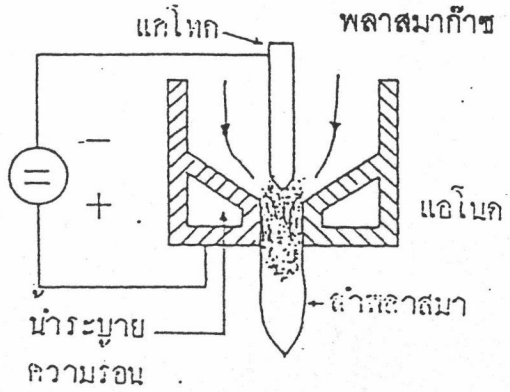
สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกที่จะทำการวิจัยและค้นคว้าวิธีการทำให้เกิดอาร์คพลาสมา ด้วยวิธีศักดาไฟฟ้าสูงความถี่สูง และเป็นแบบทรานสเฟอร์ อาร์ค (Transferred Arc) ดังแสดงในรูปที่ 2.10 โดยจะอาศัยชิ้นงานเป็นขั้วไฟฟ้า (แอโนด) ด้วย ส่วนแบบนันทรานสเฟอร์อาร์ค จะไม่อาศัยชิ้นงานเป็นขั้วไฟฟ้า



รูปที่ 2.11 อาร์คความถี่สูงเกิด



รูปที่ 2.12 อาร์คหลัก (Main Arc) เกิดตามแนวอาร์คความถี่สูง



รูปที่ 2.13 อาร์คหลักเกิดเต็มที่ถึงแม้อาร์คความถี่สูงจะดับไปแล้ว

อาร์คความถี่สูงที่เกิดขึ้น (ดูรูปที่ 2.11) จะทำหน้าที่เป็นทางเดินให้เกิดอาร์คหลักที่ได้จากเครื่องจ่ายพลังไฟฟ้ากระแสตรงดังในรูปที่ 2.12 เมื่อเกิดอาร์คหลักแล้วในช่วงเวลาอันสั้นพลาสมาที่เกิดขึ้นทำให้เกิดอาร์คหลักรอบช่องที่เป็นทางผ่านของพลาสมาก๊าซดังในรูปที่ 2.13 และในลักษณะเช่นนี้ได้ว่าเกิดอาร์คหลักคงที่พร้อมทั้งลำพลาสมา และไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องกำเนิดศักดาไฟฟ้าสูงความถี่สูงอีกต่อไป