

การออกแบบ และปรับปรุงไอออนไนเซชันแชมเบอร์

หัววัดไอออนไนเซชันแชมเบอร์ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นชนิดที่นำไปใช้วัดโคสระดับต่ำ (low dose) ซึ่งได้แก่ การวัดปริมาณโคสในบริเวณที่มีการนำรังสีนิวตรอนมาใช้งานเมื่อมีรังสีมาตกกระทบหัววัดจะทำปฏิกิริยากับก๊าซภายในหัววัดโดยตรง ดังนั้น หัววัดชนิดนี้จะมีขนาดใหญ่ ซึ่งมีปริมาตรอยู่ในเรือน 100 ซม.<sup>3</sup> ขึ้นไป ในการออกแบบสร้างหัววัดนั้นได้ปรับปรุงมาจากหัววัดที่ Dumronggit (1983) สร้างขึ้นมา ซึ่งเป็นแบบ Sealed Tube Air wall Equivalent Ionization chamber โดยออกแบบสร้างตามแบบของ Schulz (1978) ทั้งนี้ได้คำนึงถึงต้นทุนในการสร้างจะต้องมีราคาต่ำ วัสดุ และก๊าซสามารถหาได้ง่ายภายในประเทศ นอกจากนี้จะต้องไม่มีการรั่วไหลของก๊าซที่บรรจุอยู่ในแชมเบอร์อีกด้วย ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบ และการปรับปรุงหัววัดขึ้นมาใหม่

3.1 ความสามารถของก๊าซในการจำแนกองค์ประกอบโคสในสนามรังสีผสม

ในการวัดโคสถูกกลืนจากหัววัดไอออนไนเซชันแชมเบอร์ขนาดใหญ่ นั้นอาศัยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างรังสีแกมมา-นิวตรอนกับก๊าซที่บรรจุอยู่ในแชมเบอร์โดยตรง ซึ่งปกติจะเป็นก๊าซพวกไฮโดรคาร์บอนสำหรับหัววัดนิวตรอน และก๊าซที่ไม่มีส่วนผสมของไฮโดรเจนสำหรับหัววัดรังสีแกมมา อัตราการตอบสนองของก๊าซแต่ละชนิดต่อรังสีทั้งสองจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนั้น ในการเลือกใช้ก๊าซจึงจำเป็นต้องคำนวนหาสัดส่วนของความเข้มข้นของสนามรังสีแต่ละชนิดในสนามรังสีผสมที่หัววัดสามารถจำแนกองค์ประกอบโคสของรังสี แต่ละชนิดออกได้

ในการคำนวณเราอาศัยความสัมพันธ์ที่ว่า ประจุที่รวบรวมได้ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร จากการแตกตัวของก๊าซ,  $Q$  (คูอมบ์ ซม.<sup>-3</sup>) จะแปรผันกับปริมาณโคสของรังสี,  $D_g$  (แรด) ความหนาแน่นของก๊าซ,  $\rho$  (กรัม ซม.<sup>-3</sup>) และพลังงาน

ที่ใช้ในการแตกตัว,  $w$  (eV) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้ (Schulz, 1978)

$$Q = 10^{-8} D_g \left( \frac{g}{W} \right) \quad (3.1)$$

อัตราส่วนของโดสในก๊าซ ( $D_g$ ) ต่อโดสในเนื้อเยื่อ ( $D_m$ ) สำหรับรังสีแกมมาขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวล (mass absorption coefficient) (Attix, 1968)

$$\frac{D_g}{D_m} = \mu_{en}/\rho \Big|_m^g \quad (3.2)$$

สำหรับอัตราส่วนโดสในก๊าซ ( $D_g$ ) ต่อโดสในเนื้อเยื่อ ( $D_m$ ) ของรังสีนิวตรอนขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของค่าเคอร์มา ( $K$ , Kerma) ของก๊าซต่อเนื้อเยื่อ ทั้งนี้ Kerma =  $\Delta E_K / \Delta m$  คือ อัตราส่วนของการสูญเสียพลังงานจลน์ทั้งหมดของอนุภาคประจุทุติยภูมิที่เกิดจากอันตรกิริยาของรังสีนิวตรอนในก๊าซตัวกลางที่มีปริมาตรค่าหนึ่งต่อหน่วยมวลของก๊าซตัวกลางที่มีปริมาตรเท่ากัน (ICRU, 1977)

$$\frac{D_g}{D_m} = K \Big|_m^g \quad (3.3)$$

Dumronggit (1983) เลือกใช้ก๊าซไนโตรเจนกับอเซทีลีน แต่ในงานวิจัยครั้งนี้เลือกใช้ก๊าซคาร์บอนและโปรเปนตามแนวของ Schulz (1978) พร้อมทั้งตรวจสอบด้วยก๊าซไนโตรเจนและอเซทีลีนตามแนวของ Dumronggit (1983)

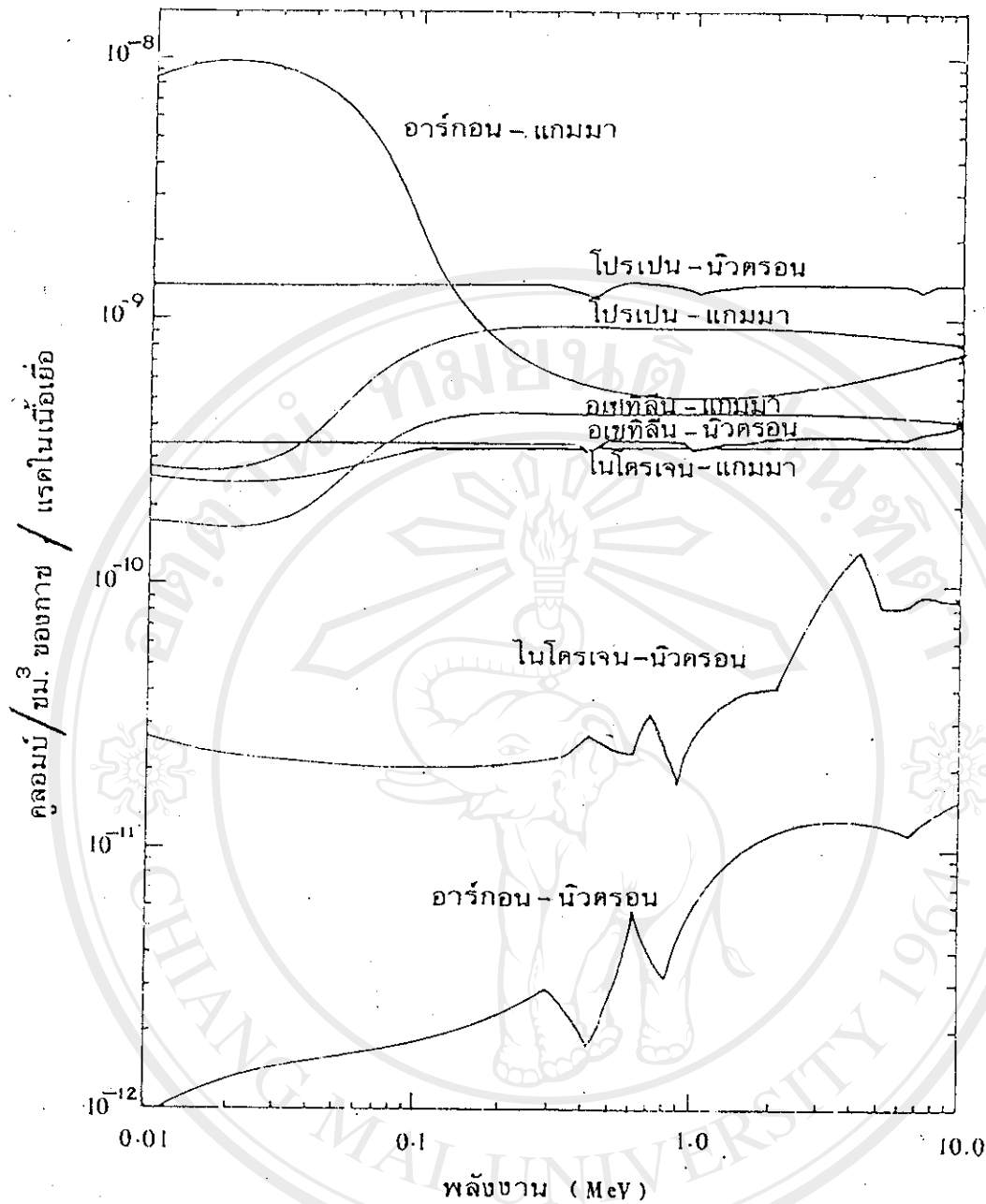
สมการ (3.1) - (3.3) เป็นสมการทั่วไปที่ใช้ในการคำนวณค่าการตอบสนองต่อรังสีนิวตรอนและรังสีแกมมาพลังงานต่าง ๆ ของก๊าซแต่ละชนิดที่ N.T.P. กล่าวคือ การตอบสนองของก๊าซต่อรังสีนิวตรอนและรังสีแกมมาขึ้นอยู่กับโอกาสการเกิดปฏิกิริยา (cross-section) ของการเกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสีกับตัวกลางในการคำนวณใช้ค่า  $\mu_{en}/\rho$ ,  $\rho$  และ  $w$  จาก Attix (1968) และ Schulz (1978)

ส่วนค่า  $K$  ได้จาก ICRU (1977) ผลการคำนวณแสดงถึงการตอบสนองต่อรังสีนิวตรอนและรังสีแกมมาในหน่วย (คูมบ์/ทม.<sup>3</sup>-Rad) ของก๊าซแต่ละชนิดที่ระดับพลังงานต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.1

### 3.1.1 ขีดจำกัดของการแยกโคสในสนามรังสีผสม

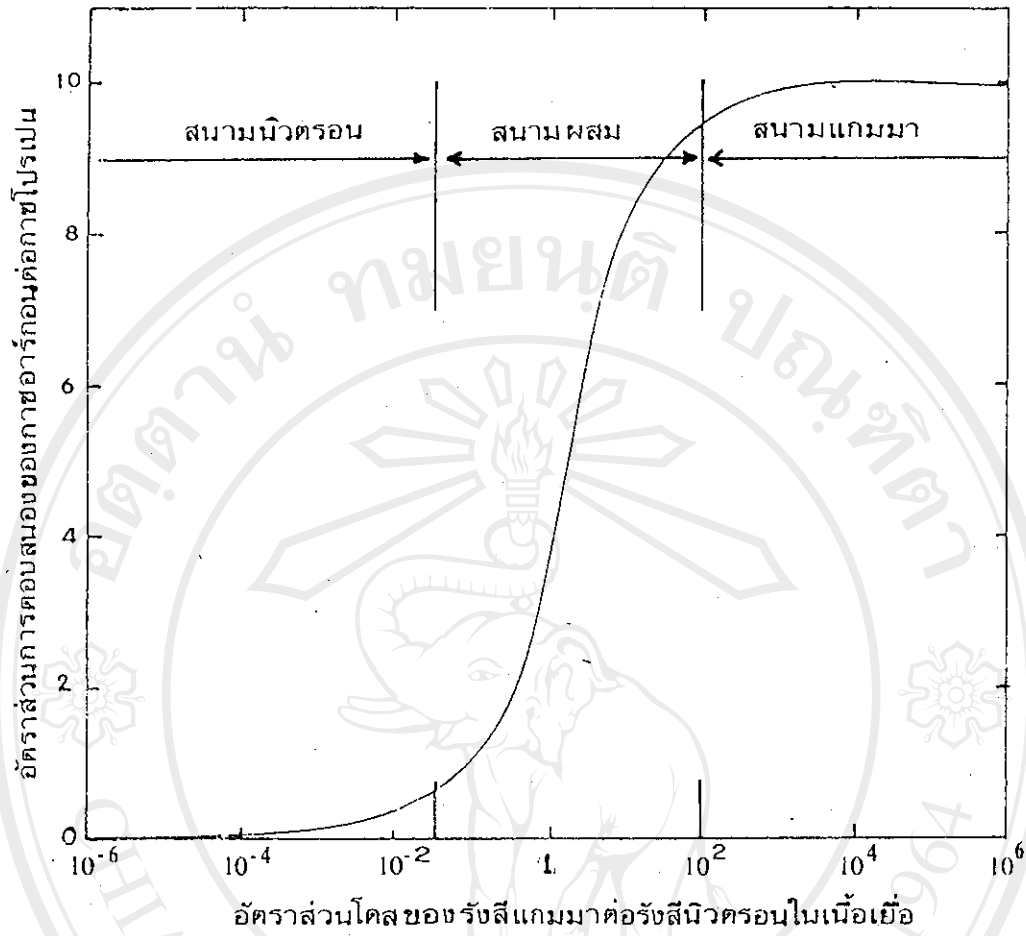
ขีดจำกัดของความสามารถในการแยกโคสของรังสีนิวตรอนและโคสของรังสีแกมมาในสนามรังสีผสม พิจารณาได้จากอัตราส่วนของการตอบสนองต่อรังสีผสม ในก๊าซ a และก๊าซ b เมื่อกำหนดอัตราส่วนของโคสแกมมาต่อโคสของนิวตรอน ในกรณีของก๊าซอาร์กอน-โปรเปน และก๊าซไนโตรเจน-อ.เซทิลีน ที่ทำการศึกษาโดยใช้สนามรังสีผสมแกมมา-นิวตรอนจากต้นกำเนิดรังสี Am-Be โดยให้นิวตรอนพลังงาน 0.5-11.5 MeV (Geiger and Zwan, 1970) ส่วนรังสีแกมมา 2 ระดับพลังงานคือ 0.06 MeV และ 4.43 MeV (Lederer and Shirley, 1978) สามารถอ่านค่าการตอบสนองของก๊าซอาร์กอน-โปรเปน และไนโตรเจน-อ.เซทิลีน ที่พลังงานดังกล่าวจากกราฟในรูปที่ 3.1 แล้วนำมาคำนวณหาการตอบสนองที่เปลี่ยนไปเมื่อโคสมีค่าเปลี่ยนไป ดังแสดงในกราฟรูปที่ 3.2 และรูปที่ 3.3 สำหรับรังสีแกมมาพลังงาน 0.06 MeV และรังสีนิวตรอนพลังงาน 0.5-11.5 MeV ส่วนรังสีแกมมาพลังงาน 4.43 MeV และรังสีนิวตรอนพลังงาน 0.5-11.5 MeV แสดงในกราฟรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5

จากกราฟในรูปที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าการใช้ไอออนไนเซชันแชมเบอร์ที่บรรจุก๊าซอาร์กอนและโปรเปนนั้น สามารถแยกองค์ประกอบของโคสนิวตรอนและโคสของแกมมาออกจากกันได้ เมื่ออัตราส่วนของปริมาณโคสแกมมาต่อโคสนิวตรอนในเนื้อเยื่อมีค่าอยู่ระหว่าง 0.05-100 ถ้าอัตราส่วนต่ำกว่า 0.05 จะวัดได้เฉพาะโคสของรังสีนิวตรอน แต่ถ้าอัตราส่วนมีค่าสูงกว่า 100 จะวัดได้เฉพาะ

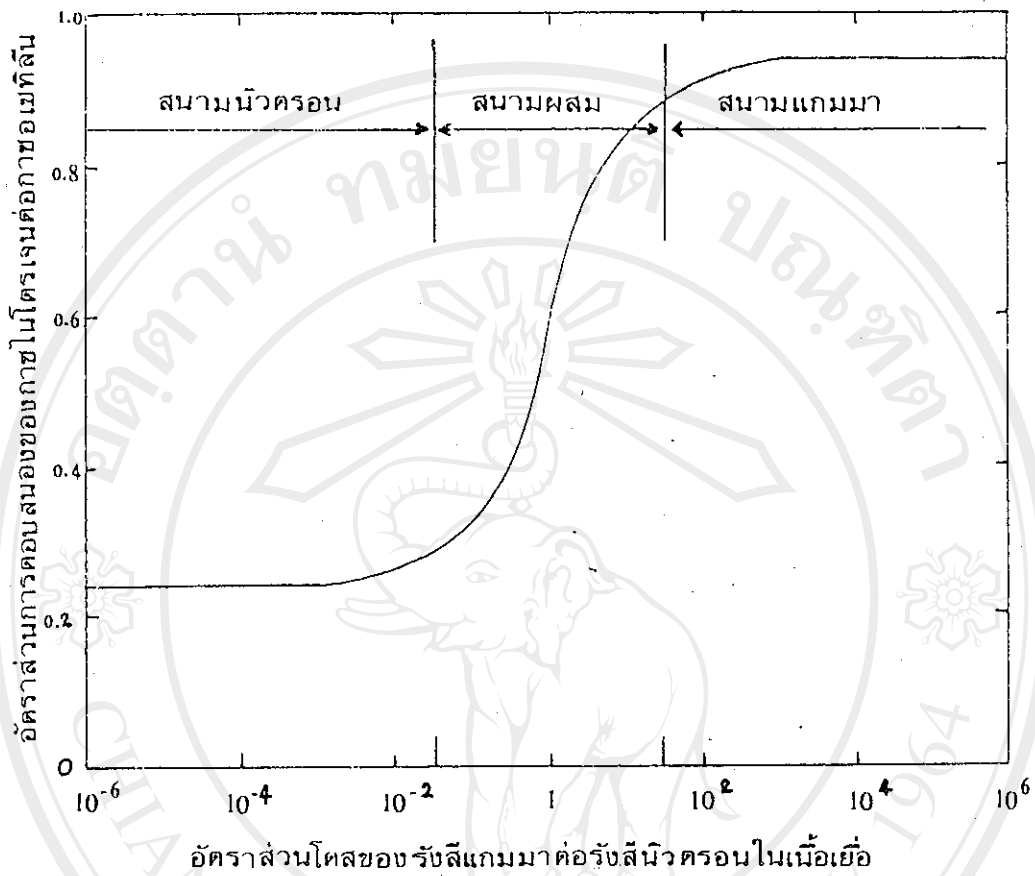


รูปที่ 3.1 แสดงการตอบสนองในเทอมของไอออนไนเซชันต่อหนึ่งหน่วย ลม.ซม.

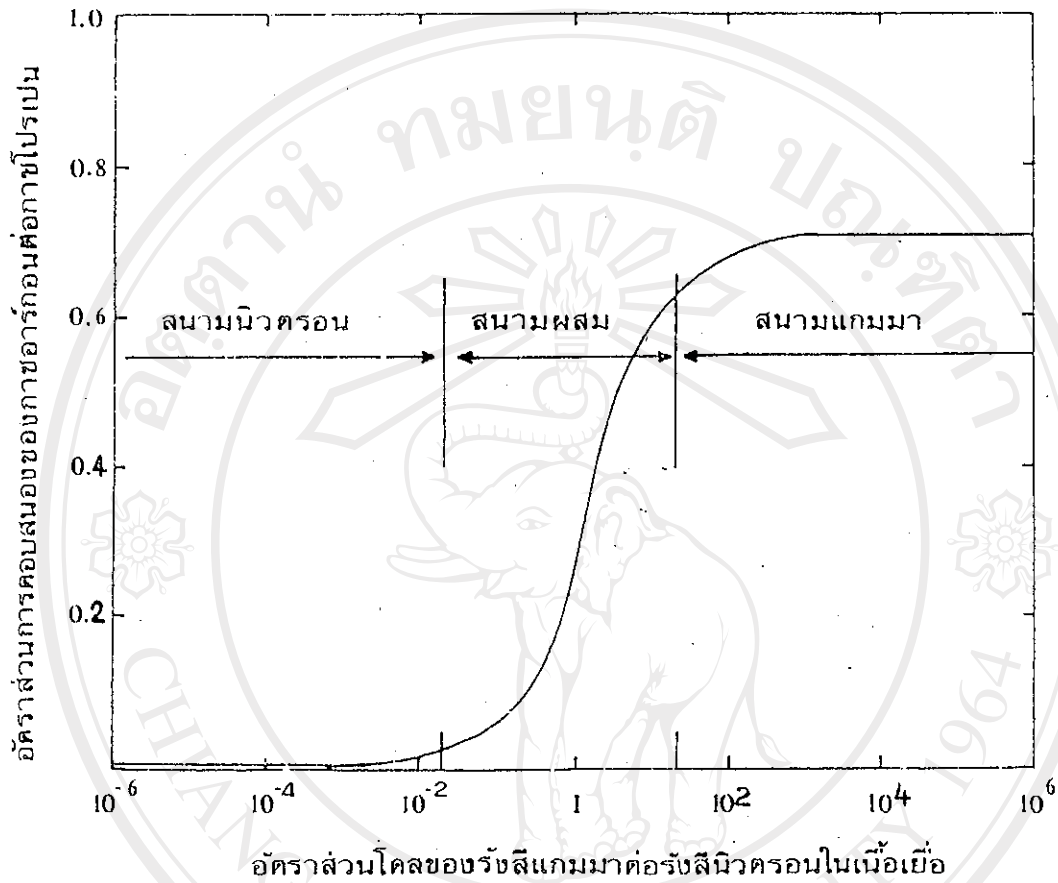
ต่อหนึ่งแระคของปริมาณรังสีที่เนื้อเยื่อได้รับที่เกิดจากกาซอาร์กอน, โปรเปน, ไนโตรเจนและอเซทิลีน เมื่อได้รับรังสีนิวตรอน หรือ แกมมาที่พลังงานต่าง ๆ



รูปที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนของการแตกตัวในแก๊ซอาร์กอน และแก๊ซโปรเปน เมื่อได้รับรังสีสนามผสมจากรังสีแกมมาพลังงาน 0.06 MeV และ นิวตรอนพลังงาน 0.5-11.5 MeV

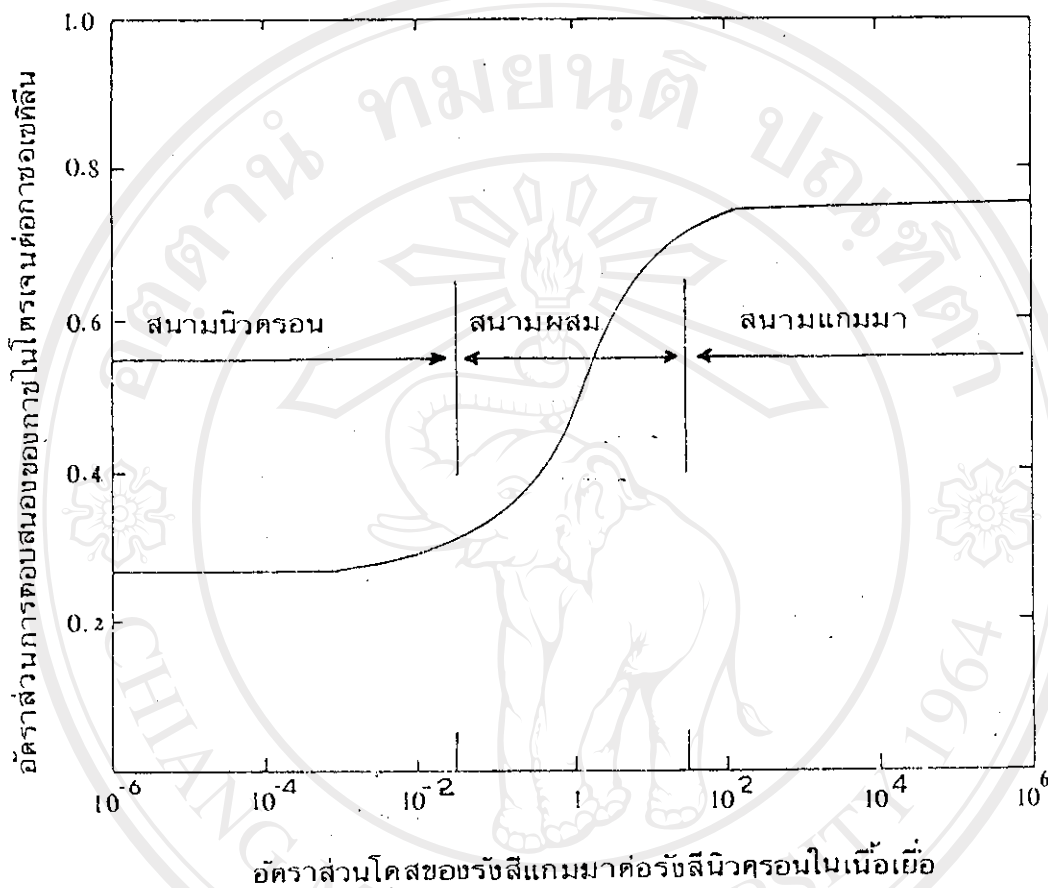


รูปที่ 3.3 แสดงอัตราส่วนของการแตกตัวในก๊าซไนโตรเจน และก๊าซออกซิเจน เมื่อได้รับรังสีสนามผสมจากรังสีแกมมาพลังงาน 0.06 MeV และ นิวตรอนพลังงาน 0.5-11.5 MeV



รูปที่ 3.4 แสดงอัตราส่วนของการแตกตัวในแกมมาอาร์กอนและแกมมาปรมาณ  
เมื่อได้รับรังสีสนามผสมจากรังสีแกมมาพลังงาน 4.43 MeV  
และนิวตรอนพลังงาน 0.5-11.5 MeV





รูปที่ 3.5 แสดงอัตราส่วนของกาเรกทัวในกาซไนโตรเจนและกาซออกซิเจน  
เมื่อได้รับรังสีสนามผสมจากรังสีแกมมาพลังงาน 4.43 MeV และ  
นิวตรอนพลังงาน 0.5-11.5 MeV



โคสของรังสีแกมมาเพียงอย่างเดียว สำหรับไอออนไนเซชันแชนเบอร์ที่บรรจุก๊าซไนโตรเจนและอ เซทิลีนนั้น สามารถแยกองค์ประกอบของโคสนิวตรอน และโคสของแกมมาออกจากกันได้ เมื่ออัตราส่วนของปริมาณโคสแกมมาต่อโคสนิวตรอนในเนื้อเยื่อมีค่าอยู่ระหว่าง 0.05-50 ถ้าอัตราส่วนมีค่าต่ำกว่า 0.05 จะวัดได้แต่เฉพาะโคสของรังสีนิวตรอน แต่ถ้าอัตราส่วนมีค่าสูงกว่า 50 จะวัดได้แต่เฉพาะโคสของรังสีแกมมา ดังกราฟรูปที่ 3.3

ในทำนองเดียวกันจากกราฟในรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5 สำหรับก๊าซอาร์กอน-โปร เป็นสามารถแยกองค์ประกอบของโคสนิวตรอนและโคสของแกมมาออกจากกันได้เมื่อ อัตราส่วนของปริมาณโคสแกมมาต่อโคสนิวตรอนในเนื้อเยื่อมีค่าอยู่ระหว่าง 0.03-30 ส่วนก๊าซไนโตรเจน-อ เซทิลีนสามารถแยกองค์ประกอบของโคสนิวตรอนและโคสของแกมมาออกจากกันได้เมื่ออัตราส่วนของปริมาณโคสแกมมาต่อโคสนิวตรอนในเนื้อเยื่อมีค่าอยู่ระหว่าง 0.05-50

### 3.2 การออกแบบและการปรับปรุงไอออนไนเซชันแชนเบอร์

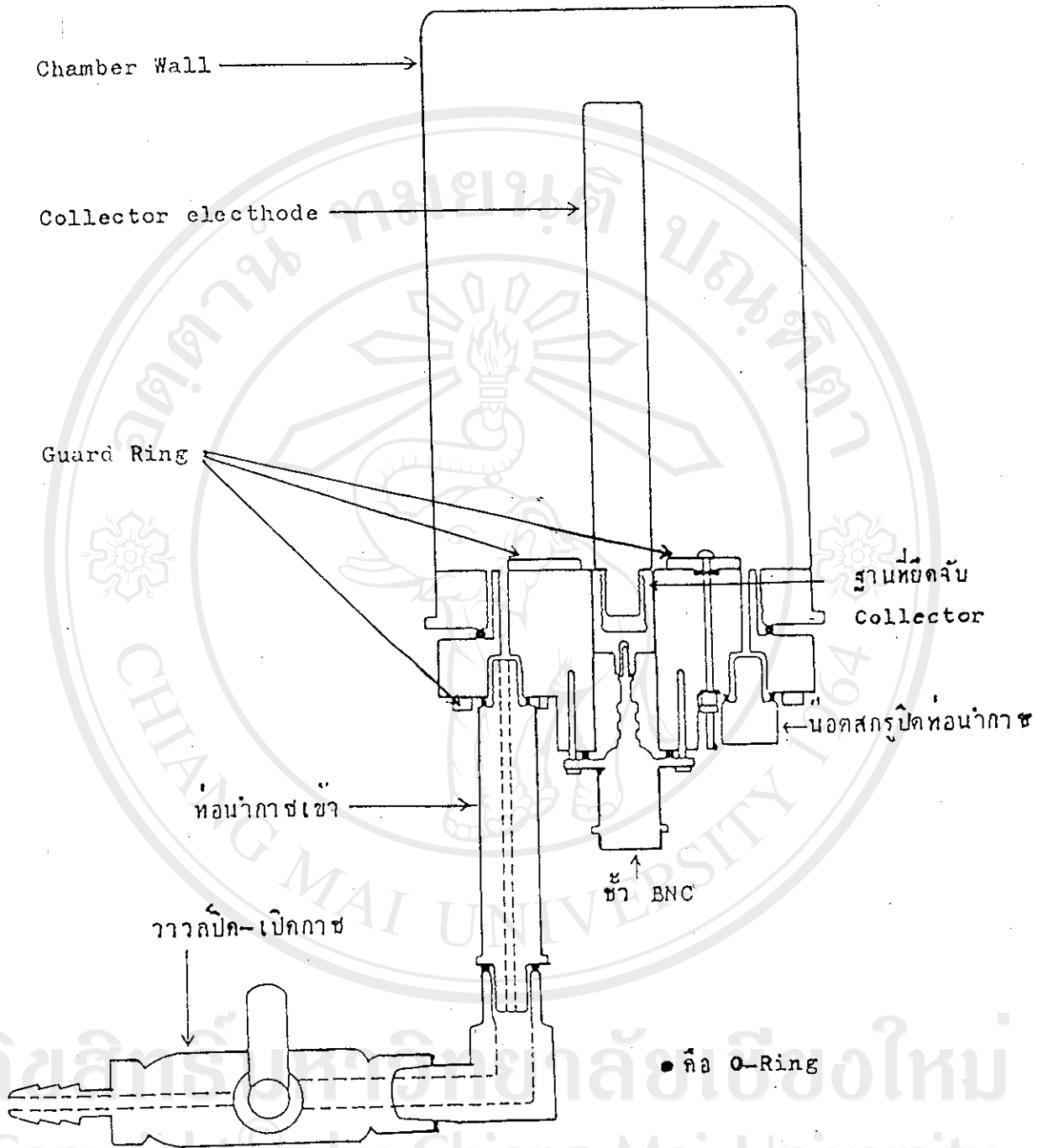
ไอออนไนเซชันแชนเบอร์ที่จะกล่าวถึงนี้เป็นแบบใช้ทราวจักโคสของรังสีนิวตรอนและแกมมาในสนามผสมแบบพื้นที่ มีลักษณะเป็นแบบปิด (Sealed Tube) ที่มีผนังสมมูลย์กับอากาศ ภายในแชนเบอร์บรรจุก๊าซไนโตรเจนและอ เซทิลีน โดยไม่มีการรั่วไหลของก๊าซออกมาภายนอก หลังจากใช้งานนานเข้าได้มีการรั่วไหลของก๊าซเกิดขึ้น ซึ่งอาจเนื่องมาจากเกลียวที่ฐานหลอด หรือแหวนยาง (O-Ring) รองรับเกิดการสึกกร่อน หรือปิดเบี้ยวไป ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ในช่วงแรกได้ทำการสร้างไอออนไนเซชันแชนเบอร์ขึ้นมาใหม่ โดยพยายามให้มีลักษณะและวัสดุที่ใช้เหมือนเดิมมากที่สุด และในขณะเดียวกันก็ได้ปรับปรุงขอบกพร่องที่ทำให้เกิดการรั่วไหลของก๊าซ

ภายในแชมเบอร์ควาย ลักษณะโครงสร้างของไอออนไนเซชันแชมเบอร์ ภายหลังจากการปรับปรุงแล้วได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.6 ซึ่งมีรายละเอียดของแต่ละส่วนดังต่อไปนี้

### 3.2.1 ผนังหลอด (Chamber Wall)

ไอออนไนเซชันแชมเบอร์ ที่ออกแบบสร้างขึ้นมานี้มีผนังของแชมเบอร์เป็นแบบสมมูลกับอากาศ (Air equivalent wall) จึงเลือกใช้ผนังที่ทำด้วยอะลูมิเนียม เนื่องจากมีมวลอะตอมใกล้เคียงกับค่ามวลเฉลี่ยของอากาศ นอกจากนี้ผนังของแชมเบอร์ยังทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าที่ดีได้โดยไม่ต้องเคลือบผิวคานในควายสารตัวนำไฟฟ้าอื่น ๆ ดังนั้นจึงใช้ผนังแชมเบอร์ที่ทำจากกระป๋องเบียร์ อะลูมิเนียม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.6 ซม. สูง 10.5 ซม. และหนา 0.017 ซม. ซึ่งความหนาของกระป๋องเบียร์นี้มีค่าน้อยกว่าพิสัยของอิเล็กตรอนทุติยภูมิที่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่างรังสีกับกาซภายใน และอากาศภายนอกแชมเบอร์ สำหรับอนุภาคหนักและโปรตอนที่มีพลังงานต่ำกว่า 3 MeV จะถูกผนังดูดกลืนไว้หมด (Schulz, 1978) ดังนั้น โอกาสที่กาซภายในแชมเบอร์จะเกิดการแตกตัวเนื่องจากอันตรกิริยาของนิวตรอนกับผนังหลอดจึงมีน้อยมาก จึงอาจกล่าวได้ว่าอยู่ในเงื่อนไขของสมดุลอนุภาคมีประจุ (Charged-Particle equilibrium)

ขบวนการสร้างไอน้ำเอากระป๋องเบียร์ที่จะทำผนังของแชมเบอร์ตัดฝาคานบนและปากของกระป๋องออก เพื่อให้ผิวของปากกระป๋องเรียบเสมอกัน ชัดฝาคานในและคานนอกให้สะอาด ใช้แผ่น perspex หนา 1.1 ซม. ทำเป็นรูปร่างแหวน เส้นผ่าศูนย์กลางภายในและภายนอกเท่ากับ 4.7 ซม. และ 6.6 ซม. ตามลำดับ ส่วนคานในของวงแหวนทำเป็นเกลียวเพื่อยึดกับฐานหลอด นำมาติดเข้ากับกระป๋องโดยใช้กาวที่ทนแรงอัดสูง ๆ จะได้ผนังหลอดดังแสดงในรูปที่ 3.7 ก. นอกจากนี้ยังได้สร้างเข็มฉีกรีดขอบกระป๋องขึ้นมา เพื่อช่วยให้แผ่น perspex และ



รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะของไอออนไนเซชันแชมเบอร์แบบ Sealed tube

กระป๋องยึดติดกันไดคีย์ขึ้น และยังเป็นขั้วไฟฟ้าต่อไปยังเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้าแรงสูง อีกด้วย

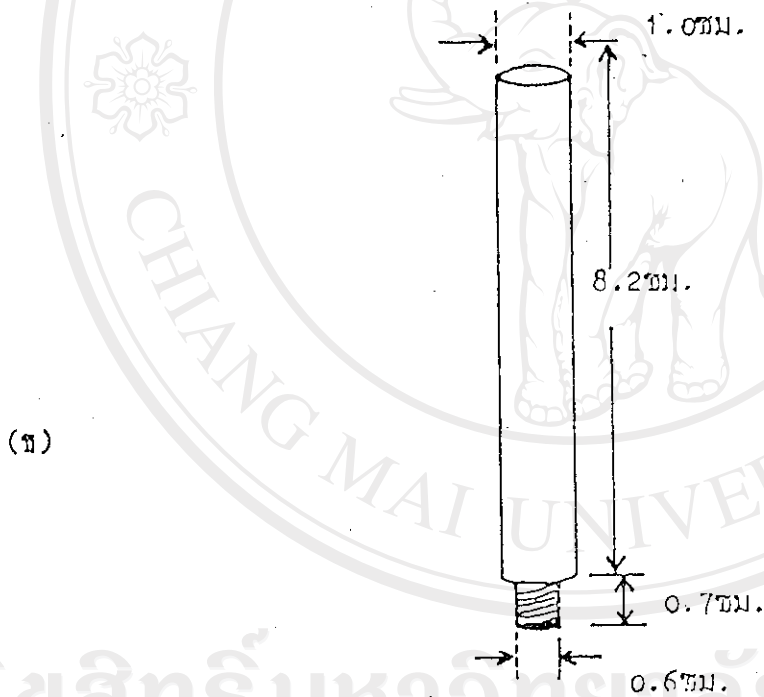
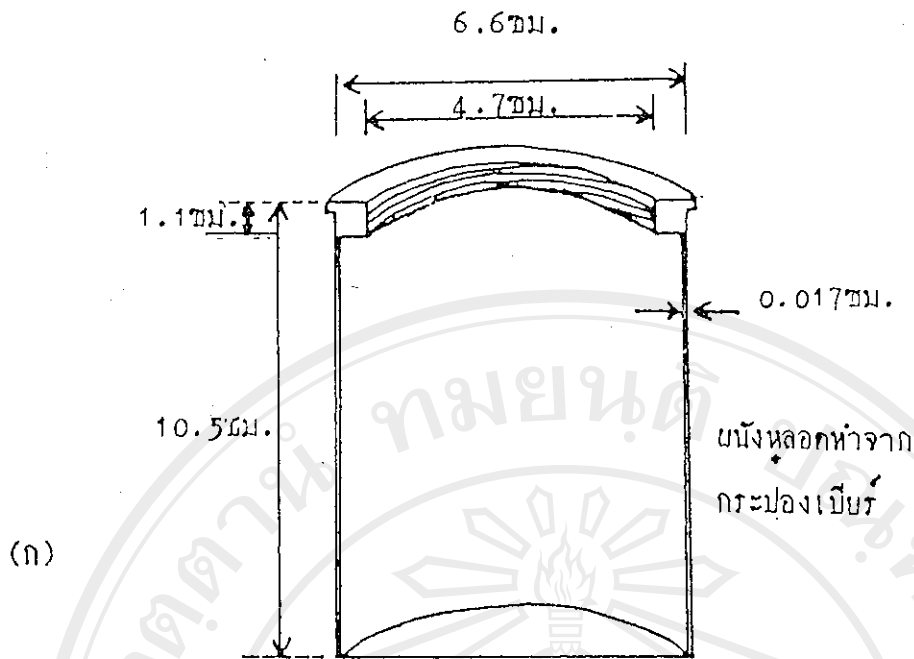
### 3.2.2 Collector electrode

Collector electrode เป็นขั้วไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่เกิดจากการแตกตัวของกาซภายในแชมเบอร์ ทำด้วยโลหะอะลูมิเนียม เพื่อให้มีสมบัติทางไฟฟ้าเช่นเดียวกับผนังหลอด และทำให้ไอออนในเซชันแชมเบอร์ที่สร้างขึ้นมามีน้ำหนักเบา มีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มม. ยาว 8.9 มม. ปลายข้างหนึ่งทำเป็นเกลียวเพื่อยึดติดกับฐานหลอด โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.6 มม. ยาว 0.7 มม. ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ข.

### 3.2.3 ฐานหลอดและ Guard Ring

ฐานหลอดทำด้วยวัสดุที่มีความต้านทานไฟฟ้าสูง เพื่อป้องกันการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้า ซึ่งมีค่าอยู่ในลำดับขนาดต่ำกว่า  $10^{-12}$  แอมแปร์ ด้วยเหตุนี้วัสดุที่ใช้จึงใช้แผ่น perspex กดมหนา 1.1 มม. (มีสภาพต้านทานไฟฟ้าในขนาด  $10^{11}$  โอห์ม-เซนติเมตร) จำนวน 3 แผ่น แต่ละแผ่นมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.8 ซม., 4.8 ซม. และ 6.9 ซม. ตามลำดับ ในขบวนการสร้างได้กระทำตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

perspex ทั้งสามแผ่นได้ทำความสะอาดโดยขัดผิวให้เรียบ และนำมาเชื่อมติดกันโดยให้แผ่นใหญ่อยู่ตรงกลาง ที่แผ่น perspex เส้นผ่าศูนย์กลาง 4.8 ซม. ทำเกลียวสกรูเพื่อสวมเข้ากับผนังหลอด หลังจากนั้นเจาะร่องขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 5.2 ซม., กว้าง 0.34 ซม., และลึก 0.26 ซม. ที่แผ่น perspex แผ่นใหญ่ตามใน เพื่อสำหรับใส่แหวนยาง (O-Ring) รองรับระหว่างแผ่น perspex จากผนังหลอดกับฐาน ซึ่งจะเป็นตัวป้องกันการรั่วไหลของกาซภายในแชมเบอร์ได้



รูปที่ 3.7 แสดงรูปร่างและลักษณะและขนาดภายในของแชนเบอร์ และ Collector electrode

(ก) ภาควัดกลางของผนังหลอก

(ข) รูปร่างลักษณะและขนาดของ Collector electrode

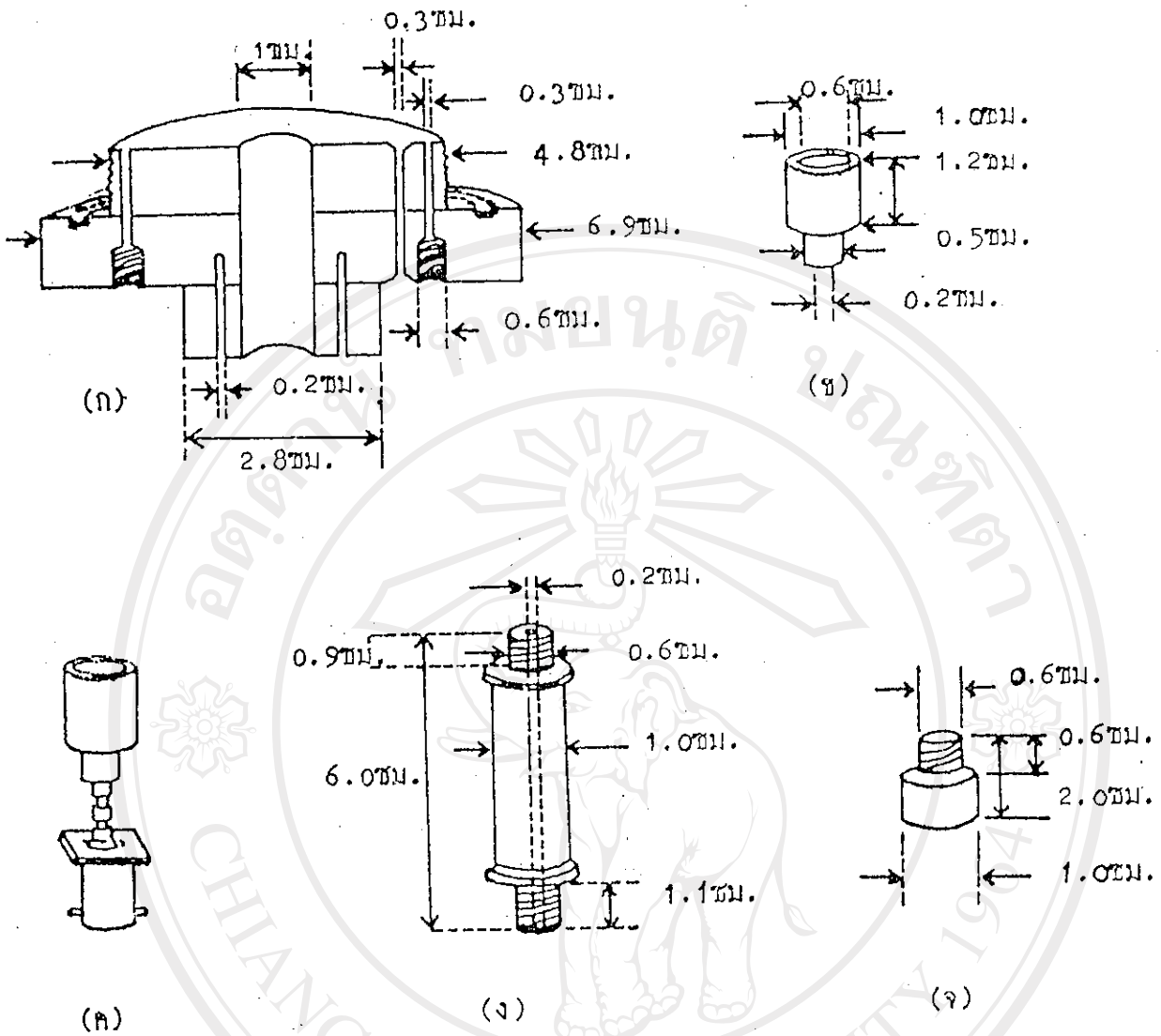
อยางดี เจาะรูตรงกลางให้มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มม. เพื่อใช้สวมฐานยึด Collector electrode เจาะรูทำท่อนำก๊าซเข้าและก๊าซออก โดยให้ผิวคานนอกมีรูโตกว่า เพื่อใช้ทำเกลียวสกรูสำหรับท่อนำก๊าซเข้าและนอตสกรูสำหรับปิดท่อนำก๊าซออก เจาะรูสำหรับสลอคสกรูยึด Guard Ring ให้ติดกับผิวภายในและภายนอกของฐานหลอด และเจาะรูที่ผิวคานนอกเพื่อใช้เป็นที่ยึดสกรูยึดขั้ว BNC ติดกับฐานหลอด (ที่รูท่อนำก๊าซเข้า, ท่อนำก๊าซออก และรูสลอคสกรูยึด Guard Ring ใดทำการเจาะรูสำหรับยึดแหวนยางทุกจุดเพื่อเป็นการป้องกันการรั่วของก๊าซภายในแชมเบอร์อีกครั้งหนึ่ง) สำหรับลักษณะและขนาดของฐานหลอดเมื่อสร้างเสร็จแล้วจะเป็นดังรูป 3.8 ก. ที่ยึด collector electrode สร้างด้วยทองเหลือง ปลายหนึ่งเชื่อมติดกับขั้ว BNC ส่วนอีกปลายหนึ่งทำเป็นเกลียวคานในให้มีขนาดเท่ากับเกลียวของ collector electrode ในหัวข้อ 3.2.2 มีขนาดและลักษณะดังแสดงในรูป 3.8 ข. และ 3.8 ค. และยังสร้างท่อนำก๊าซเข้าและนอตสกรูสำหรับปิดท่อนำก๊าซออกมีขนาดและลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.8 ง. และ 3.8 จ.

Guard Ring มีลักษณะเป็นวงแหวนทำด้วยอะลูมิเนียมหนา 0.1 มม. มีสองขนาดคือ วงแหวนอันใหญ่สำหรับติดผิวคานนอกมีเส้นผ่าศูนย์กลางขอบนอก 5.9 ซม. ขอบใน 2.8 ซม. ส่วนวงแหวนอันเล็กสำหรับติดผิวคานในมีเส้นผ่าศูนย์กลางขอบนอก 4.3 ซม. ขอบใน 1.43 ซม. วงแหวนอะลูมิเนียมทั้งสองจะทำหน้าที่ป้องกันการรั่วไหลของกระแสอันเนื่องมาจากความชื้นและความสกปรกของฐานหลอด

### 3.2.4 การประกอบไอออนไนเซชันแชมเบอร์

การประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ของไอออนไนเซชันแชมเบอร์ที่สร้างขึ้นมีขั้นตอนดังต่อไปนี้คือ





รูปที่ 3.8 แสดงรูปร่างลักษณะและส่วนประกอบของฐานหลอด

- (ก) ลักษณะและขนาดของฐานหลอด
- (ข) ลักษณะและขนาดที่ปิด Collector electrode
- (ค) ที่ปิด Collector หลังทอหัวไฟฟ้า BNC
- (ง) ลักษณะและขนาดของท่อนำก๊าซเข้า
- (จ) ลักษณะและขนาดของสกรูนอตปิดท่อนำก๊าซออก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
 Copyright © By Chiang Mai University  
 All rights reserved



นำชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ได้ออกแบบสร้างไว้ในหัวข้อ 3.2.2 และ 3.2.3 ประกอบเข้าด้วยกันจะได้ฐานหลอด และ collector electrode ดังแสดงในรูปที่ 3.9 ก. ในบริเวณที่จะเกิดการรั่วไหลของก๊าซออกมาภายนอกแชมเบอร์ เช่นที่ขั้ว BNC, ท่อนำก๊าซเข้า, สกรูยึดสำหรับปิดท่อนำก๊าซออก, สกรูยึด Guard Ring ทั้งผิวด้านนอก และด้านในฐานหลอดจะใช้แหวนยางรองรับไว้ทุกจุดเพื่อป้องกันการรั่วไหลของก๊าซ

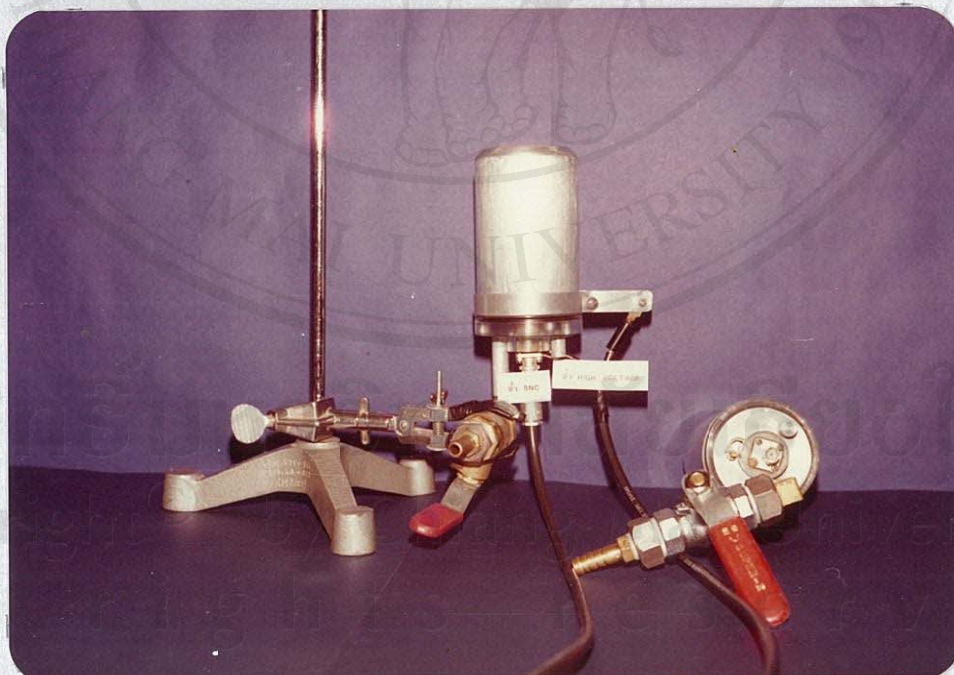
ผนังหลอดเมื่อประกอบเข้ากับฐานหลอดจะได้ลักษณะดังรูป 3.9 ข.

การทำงานของไอออนไนเซชันแชมเบอร์ได้ตรวจสอบโดยใช้อิเล็กทรอนิกส์ Keithley 614<sup>(i)</sup> ซึ่งเป็นเครื่องวัดกระแสไฟฟ้า หรือประจุไฟฟ้าซึ่งมีความไวสูง และเครื่องกำเนิดความต่าศักย์แบบ Low Current Power Supply ของ ORTEC 456 หรือ Keithley Interface 6169<sup>(i)</sup> โดยมีแผนภูมิของวงจรดังแสดงในรูปที่ 3.10 ทั้งนี้การต่อวงจรไฟฟ้าเชื่อมระหว่าง Guard Ring เข้ากับกราวด์ (Ground) ของขั้ว BNC จะทำให้การรั่วไหลของกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนผิวฉนวน (ฐานหลอด) เนื่องจากความชื้นและความสกปรกจะไม่ไปยังอิเล็กทรอนิกส์ แต่จะลงกราวด์แทน นั่นคือ การรบกวนต่อสัญญาณจริง ๆ เนื่องจากกระแสรั่วไหลจึงลดลงไปมาก แผนภาพชุดเครื่องมือการทดลองได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.11

(i) จำหน่ายโดย Keithley Instruments Inc., 1981, Cleveland, Ohio, U.S.A.



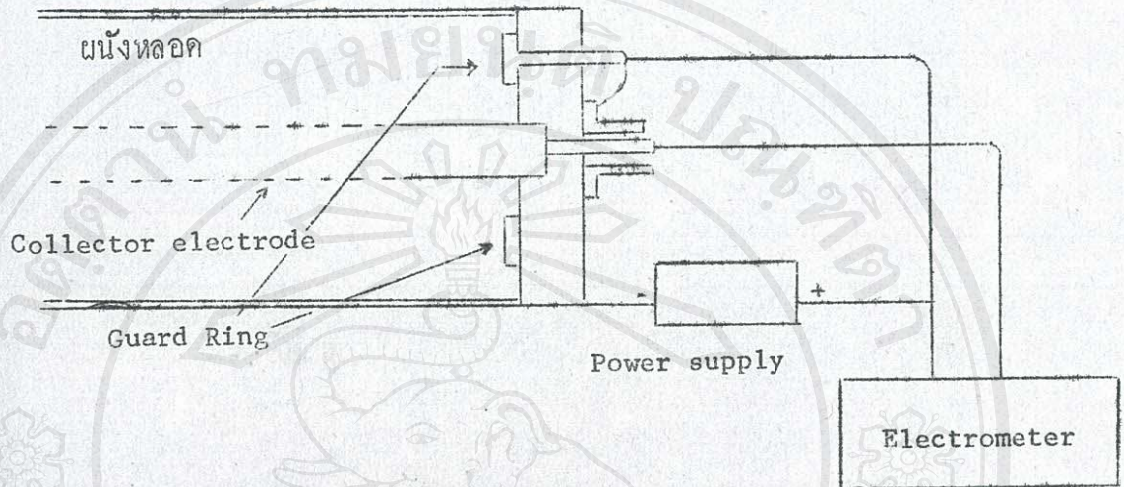
(ก)



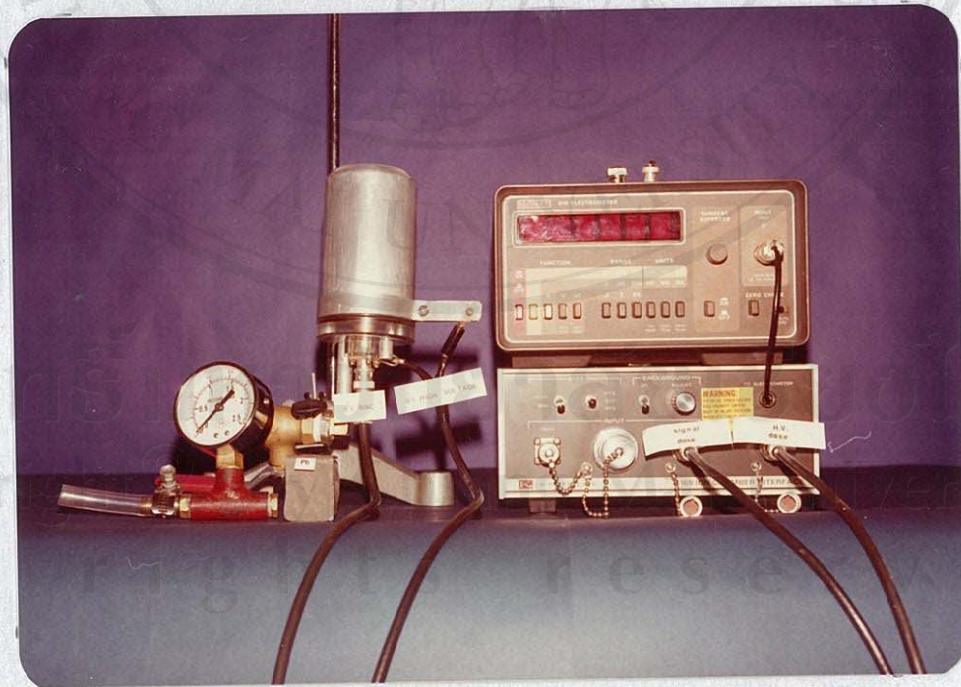
(ข)

รูปที่ 3.9 แสดงภาพถ่ายไอออนไนเซชันแอมเบอร์ที่ประกอบเรียบร้อยแล้ว  
 ก) ฐานหลอด, Collector electrode และผนังหลอด  
 ข) รูปร่างของไอออนไนเซชันแอมเบอร์





รูปที่ 3.10 แผนภูมิการต่อเครื่องมือขณะทำการทดลอง



รูปที่ 3.11 ภาพถ่ายแสดงชุดเครื่องมือการทดลอง