หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ลักษณะทั่วไปของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาญวิจัย-1/ปรับปรุงครั้งที่ 1

เครื่องปฏิกรณ์ปรมาญวิจัย-1/ปรับปรุงครั้งที่ 1 ของสำนักงานพลังงานปรมาญเพื่อสันติ เป็นเครื่องปฏิกรณ์แบบทริกามาร์ค III เครื่องปฏิกรณ์แบบนี้สามารถทำงานได้ 3 แบบด้วยกันคือ แบบให้กำลังสม่ำเสมอ แบบทวีกำลังชั่วขณะ แบบสแควร์เวฟ

เชื้อเพลิงของเครื่องปฏิกรณ์เครื่องนี้มีคุณสมบัติพิเศษในการลดกำลังของเครื่องปฏิกรณ์ลงได้โดยอัตโนมัติเมื่อแท่งเชื้อเพลิงมีอุณหภูมิสูง ทำให้มีความปลอดภัยมากในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิง และสามารถเพิ่มกำลังเครื่องปฏิกรณ์ได้มากอย่างฉับพลันโดยไม่เกิดความเสียหายแก่แท่งเชื้อเพลิง เชื้อเพลิงที่ใช้ในเครื่องปฏิกรณ์เครื่องนี้คือ ยูเรเนียมเซอร์โคเนียมไฮไดรด์ (Uranium Zirconium Hydride) มีอักษรย่อดังนี้ $UZrH_{1.6}$ ดังนั้นถ้าหากแท่งควบคุมถูกดึงขึ้นจากแกนของเครื่องปฏิกรณ์ในทันทีทันใด เครื่องปฏิกรณ์ก็จะให้กำลังเครื่องปฏิกรณ์ออกมาเป็น 1000 เท่า ของ 2,000 กิโลวัตต์ ซึ่งก็หมายความว่า เครื่องปฏิกรณ์จะให้พลังงานความร้อนออกมาอย่างมหาศาล แต่ขณะเดียวกันความร้อนนั้นจะทำให้ความสามารถในการเกิดปฏิกริยาลูกโซ่ของยูเรเนียม -235 สูญหายไปในทันทีเช่นกัน กำลังของเครื่องปฏิกรณ์ก็จะตกลงสู่ระดับต่ำในทันที ก่อนที่แท่งควบคุมจะตกลงไปในแกนเครื่องปฏิกรณ์ (1)

2.1 ลักษณะการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาญวิจัย-1/ปรับปรุงครั้งที่ 1

ลักษณะการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์เครื่องนี้แบ่งออกเป็น 3 แบบด้วยกัน ตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งในแต่ละแบบนั้นมีความเหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ต่าง ๆ กันไป

2.1.1 การทำงานแบบให้กำลังสม่ำเสมอ การทำงานแบบนี้ทำได้ทั้งแบบบังคับด้วยมือ (manual) และแบบอัตโนมัติ (automatic) ซึ่งก็เหมือนกับเครื่องปฏิกรณ์แบบทั่ว ๆ ไปคือ การเดินเครื่องเข้าขั้นวิกฤตหรือกำลังที่ต้องการ ซึ่งกระทำโดยเจ้าหน้าที่เดินเครื่องปฏิกรณ์ แล้วจึงปล่อยให้รักษาระดับกำลังของเครื่องปฏิกรณ์ด้วยระบบอัตโนมัติ (1)

2.1.2 <u>การทำงานแบบทวีกำลังชั่วขณะ</u> การทำงานแบบนี้หมายถึงการให้เครื่องปฏิกรณ์ทำงานด้วยกำลังสูงในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ เครื่องปฏิกรณ์เครื่องนี้สามารถทำงานได้กำลังสูงสุดถึง 2,000,000 กิโลวัตต์ ในช่วงระยะเวลาประมาณ 10×10^{-3} วินาที (ช่วงความกว้างของกำลังที่ถึงหนึ่งของกำลังสูงสุดของเครื่องปฏิกรณ์) มีค่าคงตัวเวลาของเครื่องปฏิกรณ์ (reactor period) ประมาณ 3×10^{-3} วินาที และให้พลังงานออกมาประมาณ 23,000 กิโลวัตต์-วินาที ประโยชน์ในการเดินเครื่องปฏิกรณ์แบบนี้ก็เพื่อที่จะทำการวิเคราะห์วิจัยและศึกษาสารที่มีค่าครึ่งชีวิตสั้น ๆ, การศึกษาทางด้านนิวเคลียร์ฟิสิกส์ (Nuclear Physics), การศึกษาทางด้านวิศวกรรมนิวเคลียร์ (Nuclear Engineering) และการใช้ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรม (1)

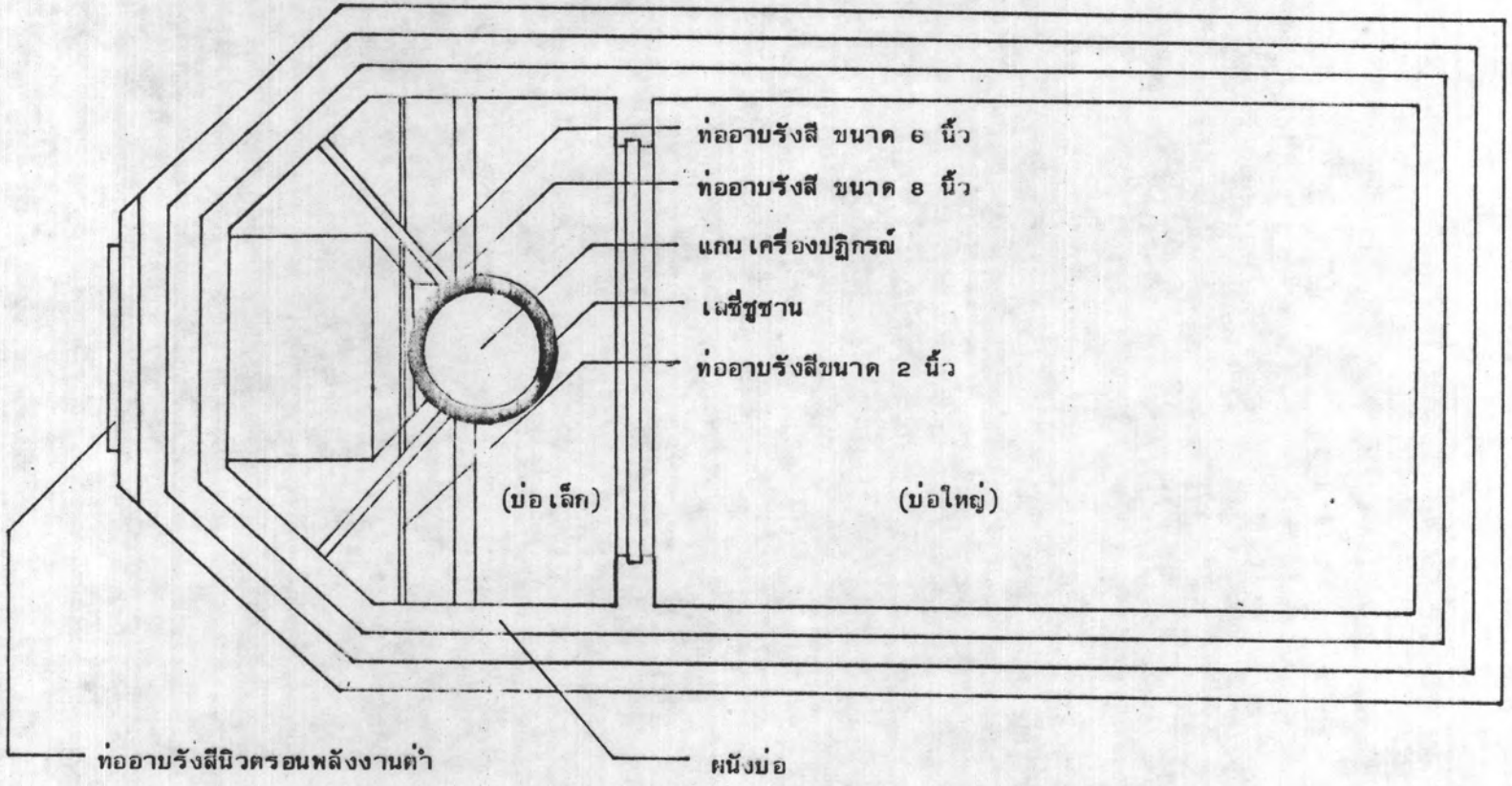
2.1.3 <u>การทำงานแบบสแควร์เวฟ</u> การทำงานแบบสแควร์เวฟ หมายถึงการเพิ่มกำลังของเครื่องปฏิกรณ์จากระดับต่ำเป็นระดับกำลังสูง (ไม่เกิน 2,000 กิโลวัตต์) ในระยะเวลาสั้น ๆ เช่น เพิ่มจาก 15 วัตต์เป็น 2,000 กิโลวัตต์ ภายใน 3 วินาที ซึ่งเหมาะสำหรับการทำงานวิเคราะห์วิจัยสารที่มีค่าครึ่งชีวิตสั้น ๆ (short half life) การที่เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูแบบนี้สามารถติดเครื่องปฏิกรณ์ นั่นคือ ทำให้ถึงระดับกำลังที่ต้องการและดับเครื่องได้รวดเร็วทำให้เครื่องปฏิกรณ์แบบนี้ใช้ประโยชน์ได้เต็มที่ (1)

2.2 <u>แกนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู</u> (4)

แกนเครื่องปฏิกรณ์แขวนอยู่ใต้สะพานเครื่องปฏิกรณ์ (reactor bridge) ที่เลื่อนไปมาได้ ทำให้เครื่องปฏิกรณ์สามารถทำงานได้ทุกตำแหน่งในบ่อปฏิกรณ์ดังได้แสดงแผนผังส่วนสำคัญของเครื่องปฏิกรณ์ในรูปที่ 2.2.1 แกนเครื่องปฏิกรณ์ประกอบด้วยส่วนสำคัญดังต่อไปนี้

2.2.1 <u>แผ่นตะแกรงตัวบน</u> (upper grid plate) แผ่นนี้อยู่ภายในเปลือกแกนเครื่องปฏิกรณ์ (core shroud) ห่างจากขอบบนประมาณ 1 เมตร มีลักษณะเป็นตะแกรงรูปหกเหลี่ยม หนา 2.54 ซม. หรือ 1 นิ้ว ทำจากแผ่นอลูมิเนียมเจาะเป็นช่องรูกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.81 ซม. หรือ 1.5 นิ้ว จำนวน 121 รู เรียงตัวกันเป็นรูปหกเหลี่ยม และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.27 ซม. หรือ 0.5 นิ้ว อีก 3 รู รูที่จุดศูนย์กลางใช้สำหรับใส่ท่ออาบรังสีเพื่อใช้สำหรับในการทดลองหรืออาบรังสีในตำแหน่งแกนกลางเครื่องปฏิกรณ์ที่มีค่านิวตรอน

รูปที่ 2.2.1 แผนผังส่วนสำคัญของเครื่องปฏิกรณ์

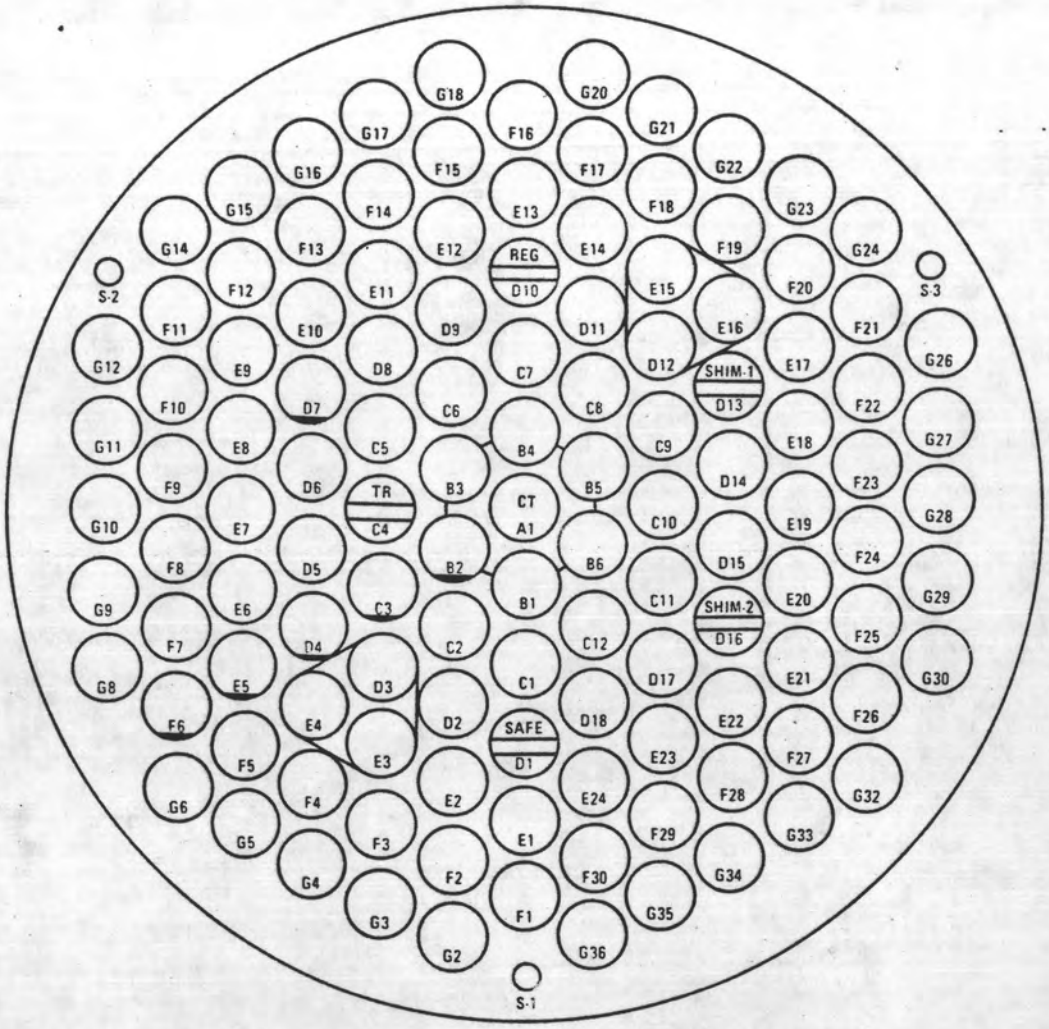


ฟลักซ์สูงสุด ตำแหน่งนี้เรียกว่า เซ็นทรัลทิมเบิล (central thimble) ใช้อักษรย่อ CT. หรือ A1 ดูในแผนผังแกนเครื่องปฏิกรณ์รูปที่ 2.2.2 และดูรูปแผ่นตะแกรงตัวบนรูปที่ 2.2.3 ประกอบกัน ส่วนรูที่เหลือจะจัดเรียงโดยรอบ CT เป็นรูปหกเหลี่ยมจำนวน 6 วง โดยให้สัญญลักษณ์ประจำวงตั้งแต่ A ถึง G และแต่ละช่องเรียกตามหมายเลขเพื่อบอกตำแหน่งที่แน่นอนเช่น B3, D4 เป็นต้น ช่องนี้มีไว้สำหรับเป็นที่สอดและประคองแท่งเชื้อเพลิง แท่งควบคุม หัววัด และท่ออาบรังสีต่าง ๆ ให้อยู่ในตำแหน่งอย่างมั่นคง ส่วนอีก 3 ช่องเล็กนั้นก็เพื่อไว้สอดต้นกำเนิดนิวตรอน (5)

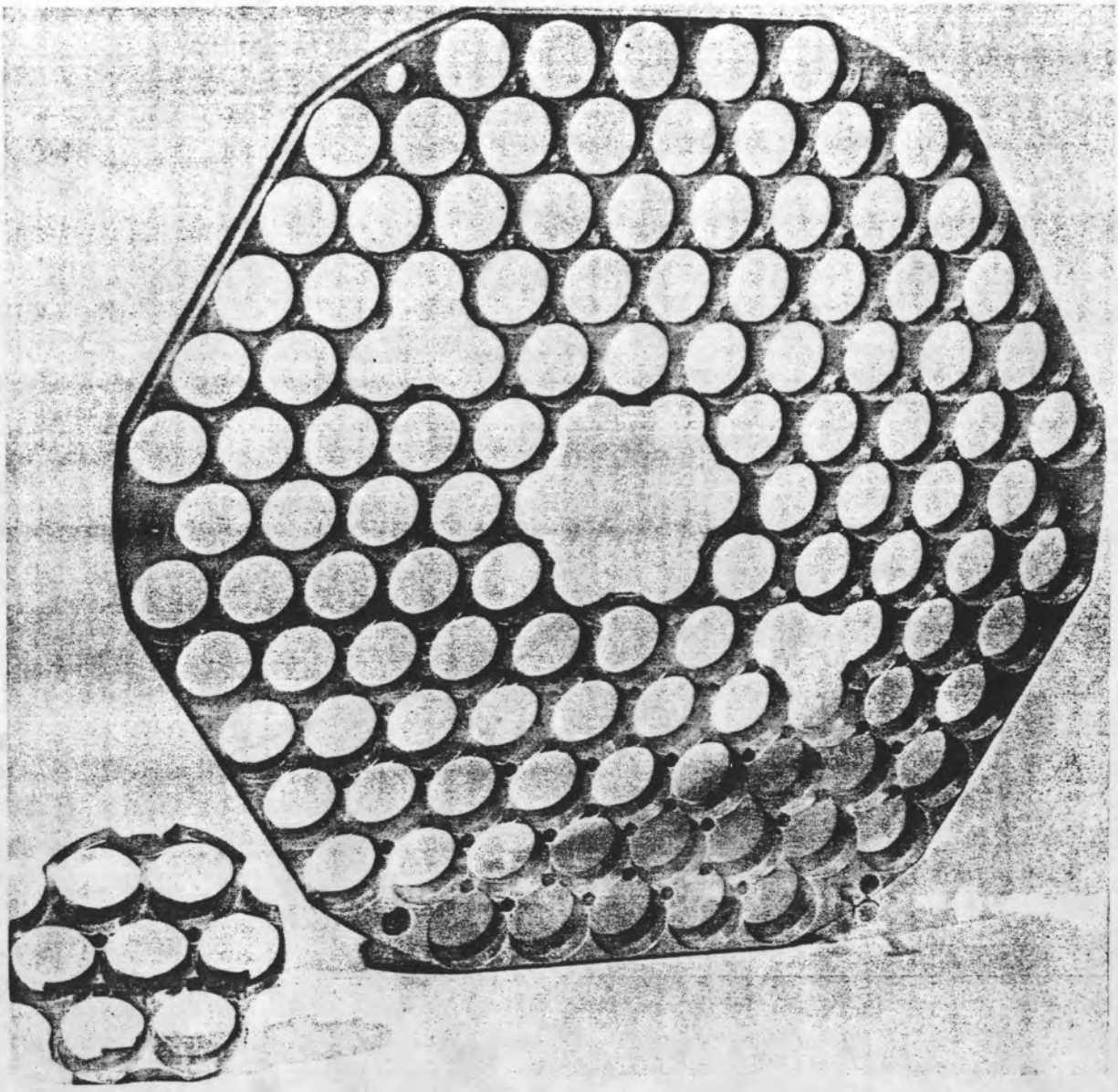
2.2.2 <u>แผ่นตะแกรงตัวล่าง</u> (lower grid plate) ลักษณะของแผ่นตะแกรงนี้เหมือนกับแผ่นตะแกรงตัวบน ประกอบอยู่ในเปลือกแกนเครื่องปฏิกรณ์เช่นเดียวกัน อยู่ใต้แผ่นตะแกรงตัวบนห่างกันประมาณ 63.5 ซม. หรือ 25 นิ้ว วัสดุที่ใช้ทำและลักษณะของรูคล้ายกันต่างกันตรงที่รูเจาะที่มีขนาดเล็กกว่า ดังรูปที่ 2.2.4 กล่าวคือ มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3.18 ซม. หรือ 1.25 นิ้ว (5) ยกเว้นบางรูที่เป็นตำแหน่งของแท่งควบคุมและท่ออาบรังสีเท่านั้นที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับรูของแผ่นตะแกรงบน ทั้งนี้เพื่อเป็นทางผ่านของแท่งควบคุมและท่ออาบรังสีให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ แผ่นตะแกรงล่างมีไว้เพื่อเป็นที่รองรับและยึดแท่งเชื้อเพลิงให้อยู่กับที่ในบางครั้งเมื่อเราไม่ใช้ช่องที่เจาะไว้สำหรับท่ออาบรังสี เราก็สามารถปลดออกและใส่แท่งเชื้อเพลิงเข้าไปแทนที่ แต่ก็ต้องมีหัวต่อ (fuel adapter) เพื่อช่วยมิให้หลุดลงไปใต้แผ่นตะแกรงตัวล่าง (1)

2.2.3 <u>แผ่นควบคุมความปลอดภัย</u> (safety plate) แผ่นนี้ประกอบอยู่ภายในขอบล่างของเปลือกแกนเครื่องปฏิกรณ์พอดี ใช้อลูมิเนียมเป็นวัสดุเช่นเดียวกันกับแผ่นตะแกรง แต่รูปร่างเป็นรูปดาวแผ่ออกไปในตำแหน่งตรงกับรูที่เจาะไว้สำหรับแท่งควบคุมและท่ออาบรังสี ทั้งนี้ก็เพื่อป้องกันไม่ให้แท่งควบคุมและท่ออาบรังสีหลุดออกจากแกนเครื่องปฏิกรณ์ (1)

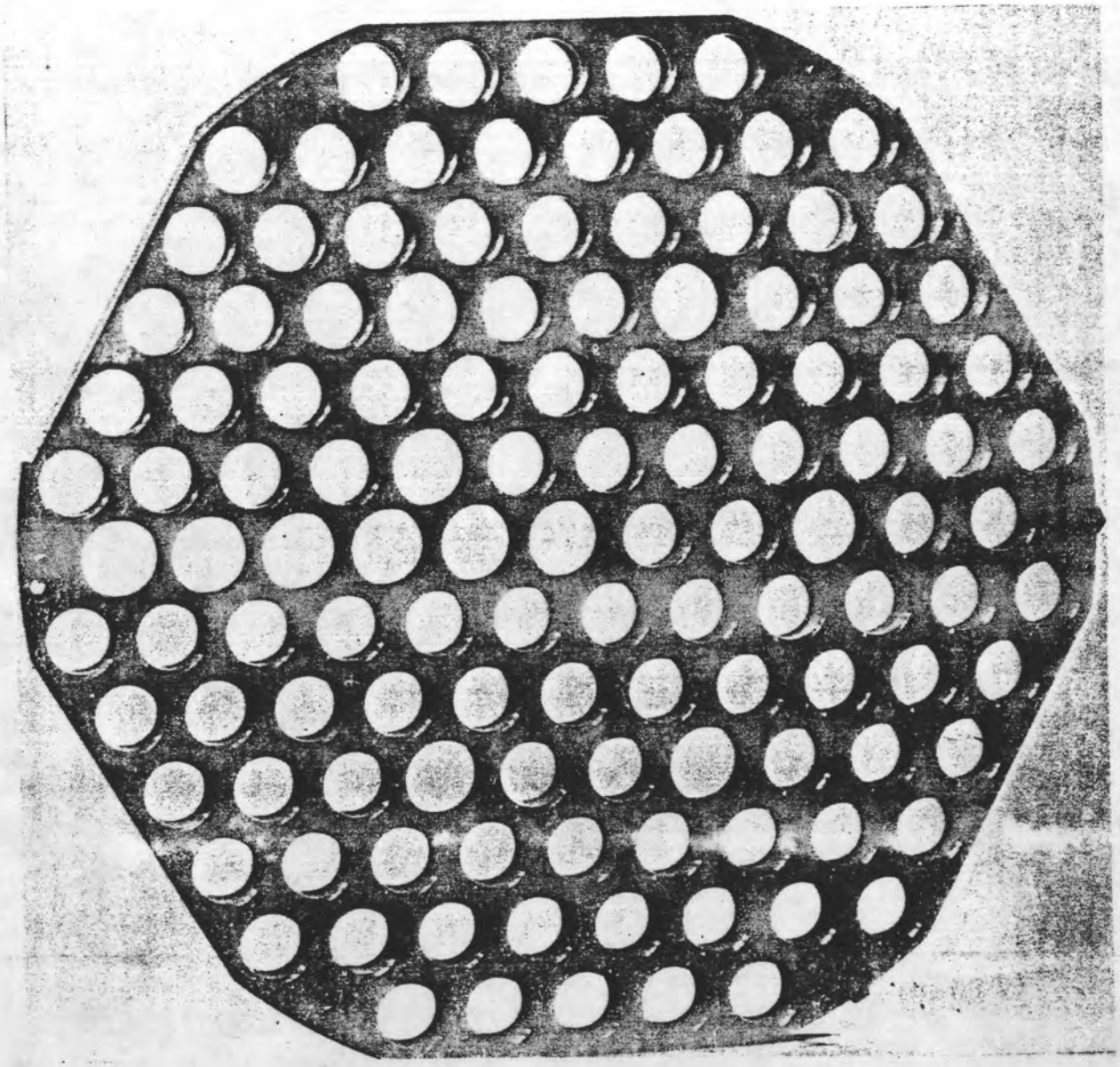
2.2.4 <u>เปลือกแกนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู</u> มีลักษณะเป็นถังอลูมิเนียมกลมเปิดทั้งฝาบนและล่างทำหน้าที่เป็นเปลือกของแกนเครื่องปฏิกรณ์และเป็นที่ยึดของแผ่นตะแกรง ตลอดจนกระทั่งแผ่นควบคุมความปลอดภัย ดังรูปที่ 2.2.5



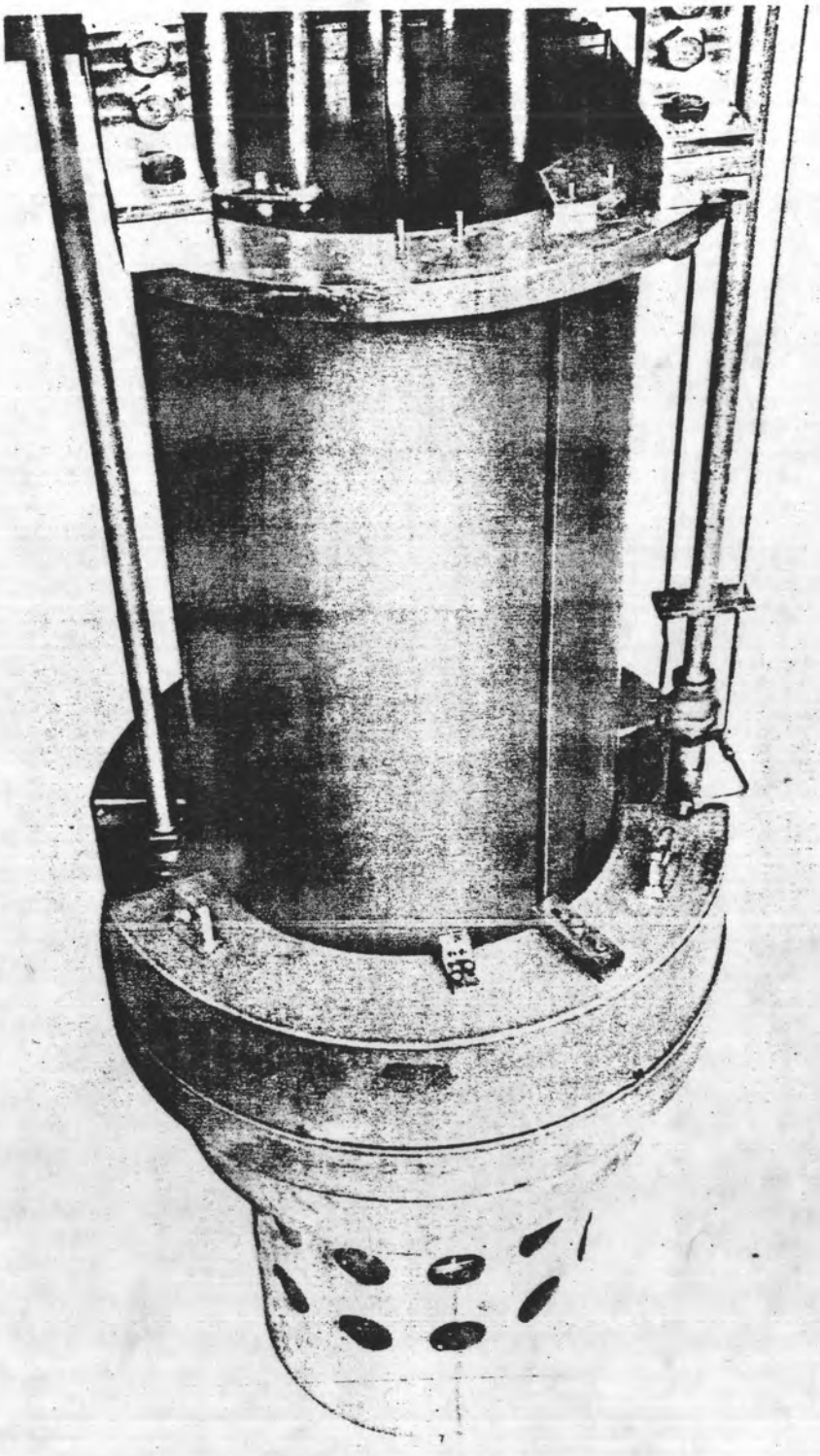
รูปที่ 2.2.2 แผนผังภายในแกนเครื่องปฏิกรณ์



รูปที่ 2.2.3 แผ่นตะแกรงตัวบน



รูปที่ 2.2.4 แผ่นตะแกรงตัวล่าง



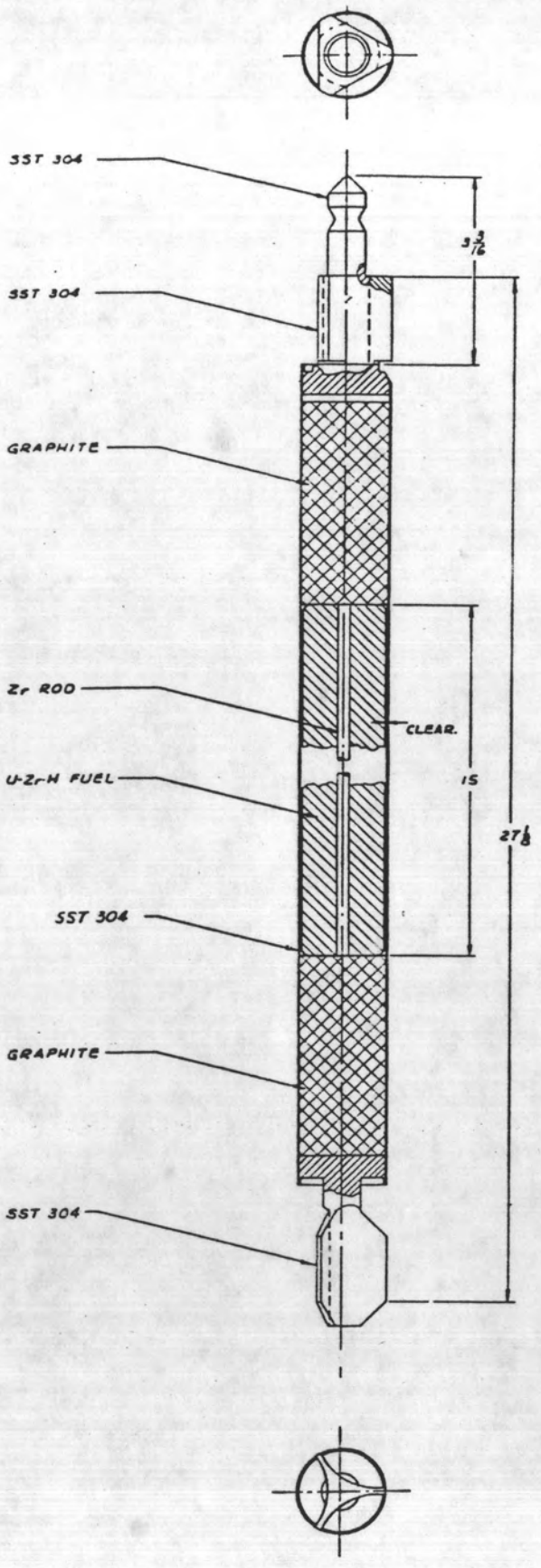
รูปที่ 2.2.5 เปลือกแกนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู

2.2.5 <u>แขนยึดเปลือกแกนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู (core support channel)</u> แขนยึดเปลือกแกนเครื่องปฏิกรณ์นี้มีลักษณะเป็นแท่งอลูมิเนียมรูปตัวยู 2 แท่ง ทำหน้าที่ยึดเปลือกแกนเครื่องปฏิกรณ์กับสะพานเครื่องปฏิกรณ์ในลักษณะที่ทำให้แกนเครื่องปฏิกรณ์อยู่ในแนวดิ่ง (1)

2.2.6 <u>แท่งเชื้อเพลิง (fuel rod)</u> แท่งเชื้อเพลิงของเครื่องปฏิกรณ์แบบทริกา มาร์ค III แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ แท่งเชื้อเพลิงแบบมาตรฐาน และแบบ LEU (Standard Fuel Element and Low Enriched Uranium) แท่งเชื้อเพลิงแบบมีเครื่องวัดอุณหภูมิภายใน (instrumented fuel element) (1)

ก) แท่งเชื้อเพลิงแบบมาตรฐานและแบบ LEU ในแกนเครื่องปฏิกรณ์ประกอบด้วยแท่งเชื้อเพลิงแบบมาตรฐานจำนวน 96 แท่ง แท่งควบคุมซึ่งมีเนื้อเชื้อเพลิงเช่นเดียวกับแท่งเชื้อเพลิงแบบมาตรฐานจำนวน 4 แท่ง และแท่งเชื้อเพลิงแบบ LEU จำนวน 14 แท่ง (2) แท่งเชื้อเพลิงดังกล่าว ทั้งสองแบบนี้มีลักษณะภายนอกเหมือนกัน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.2.6 ต่างกันเพียงแต่ส่วนของเนื้อเชื้อเพลิงภายในแท่ง กล่าวคือ เนื้อเชื้อเพลิงแบบมาตรฐานเป็นของผสมเนื้อเดียวกัน (homogeneous mixture) ระหว่างยูเรเนียมกับเซอร์โคเนียมไฮโดรด์อัลลอย (zirconium hydride alloy) ซึ่งมียูเรเนียมผสมอยู่ 8.5 % โดยน้ำหนัก และมีความเข้มข้นของยูเรเนียม-235 อยู่ 20% โดยน้ำหนัก อัตราส่วนจำนวนอะตอมของไฮโดรเจนต่อเซอร์โคเนียมเป็น 1.6 สำหรับแท่งเชื้อเพลิงแบบ LEU เนื้อเชื้อเพลิงเป็นของผสมชนิดเดียวกัน แต่มียูเรเนียมผสมอยู่ 20 % และเออร์เบียม (erbium) ซึ่งใช้สัญญลักษณ์ Er มีอยู่ 0.53 % โดยน้ำหนัก มีความเข้มข้นของยูเรเนียม-235 20 % โดยน้ำหนัก อัตราส่วนจำนวนอะตอมของไฮโดรเจนต่อเซอร์โคเนียมเป็น 1.5 (6)

แท่งเชื้อเพลิงแต่ละแท่งมีเนื้อเชื้อเพลิงยาว 38.1 ซม. หรือ 15 นิ้ว เส้นผ่าศูนย์กลาง 3.63 ซม. หรือ 1.43 นิ้ว บรรจุลงในเปลือกของแท่งเชื้อเพลิงเป็นรูปทรงกระบอกทำด้วยสเตนเลสสตีลหนา 0.051 ซม. หรือ 0.020 นิ้ว ตรงกลางใส่แท่งเซอร์โคเนียมเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 0.635 ซม. หรือ 0.25 นิ้ว (7) ประกบหัวท้ายเนื้อเชื้อเพลิงด้วยกราไฟต์ ซึ่งเป็นตัวสะท้อนนิวตรอน ความยาวของแท่งเชื้อเพลิงทั้งหมด 73.15 ซม. หรือ



รูปที่ 2.2.6 ลักษณะแท่งเชื้อเพลิงเครื่องปฏิกรณ์แบบมาตรฐานและแบบ LEU

28.8 นิ้ว มีน้ำหนัก 3.2 กิโลกรัม ข้อมูลทางเทคนิคของแท่งเชื้อเพลิง สรุปไว้ดังตาราง ที่ 2.2.1

ข) แท่งเชื้อเพลิงแบบมีเครื่องวัดอุณหภูมิอยู่ภายใน (4) มีจำนวน 2 แท่งคือ ที่ตำแหน่ง B1 มีลักษณะส่วนประกอบทั้งภายในและภายนอกเหมือนกับแท่งเชื้อเพลิงมาตรฐาน และที่ตำแหน่ง D8 เหมือนกับแท่งเชื้อเพลิงแบบ LEU ทุกประการ แท่งเชื้อเพลิงทั้ง 2 แท่ง มีความแตกต่างจากแท่งเชื้อเพลิงธรรมดา นั่นคือ มีเทอร์โมคัฟเปิล (thermocouple) จำนวน 3 ตัวฝังอยู่ในเนื้อเชื้อเพลิง โดยที่เทอร์โมคัฟเปิลตัวกลางอยู่ในระดับกึ่งกลางของเนื้อเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นระดับกึ่งกลางแกนเครื่องปฏิกรณ์ ส่วนอีก 2 ตัวที่เหลืออยู่ขึ้นไปและต่ำลงมา ตัวละ 2.54 ซม. หรือ 1 นิ้ว ดูในรูปที่ 2.2.7 สายสัญญาณจากเทอร์โมคัฟเปิล จะโผล่ขึ้นด้านบนของแท่งเชื้อเพลิงโดยมีท่อทำด้วยสเตนเลสสตีลหุ้มกันน้ำจากปลายของแท่งเชื้อเพลิงถึงสะพานของเครื่องปฏิกรณ์

2.2.7 <u>แท่งควบคุม</u> เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูแบบทริกามาร์ค III มีจำนวนแท่งควบคุมทั้งหมด 5 แท่ง แบ่งเป็นแท่งควบคุมชิม (shim) 2 แท่ง อยู่ที่ตำแหน่ง D13 และ D16 แท่งควบคุมเซฟตี (safety) ที่ตำแหน่ง D1 แท่งควบคุมเร็กกูเลติ่ง (regulating) อยู่ที่ตำแหน่ง D10 และแท่งควบคุมทรานเซียนท์ (transient) อยู่ที่ตำแหน่ง C4 ในแกนเครื่องปฏิกรณ์ (4)

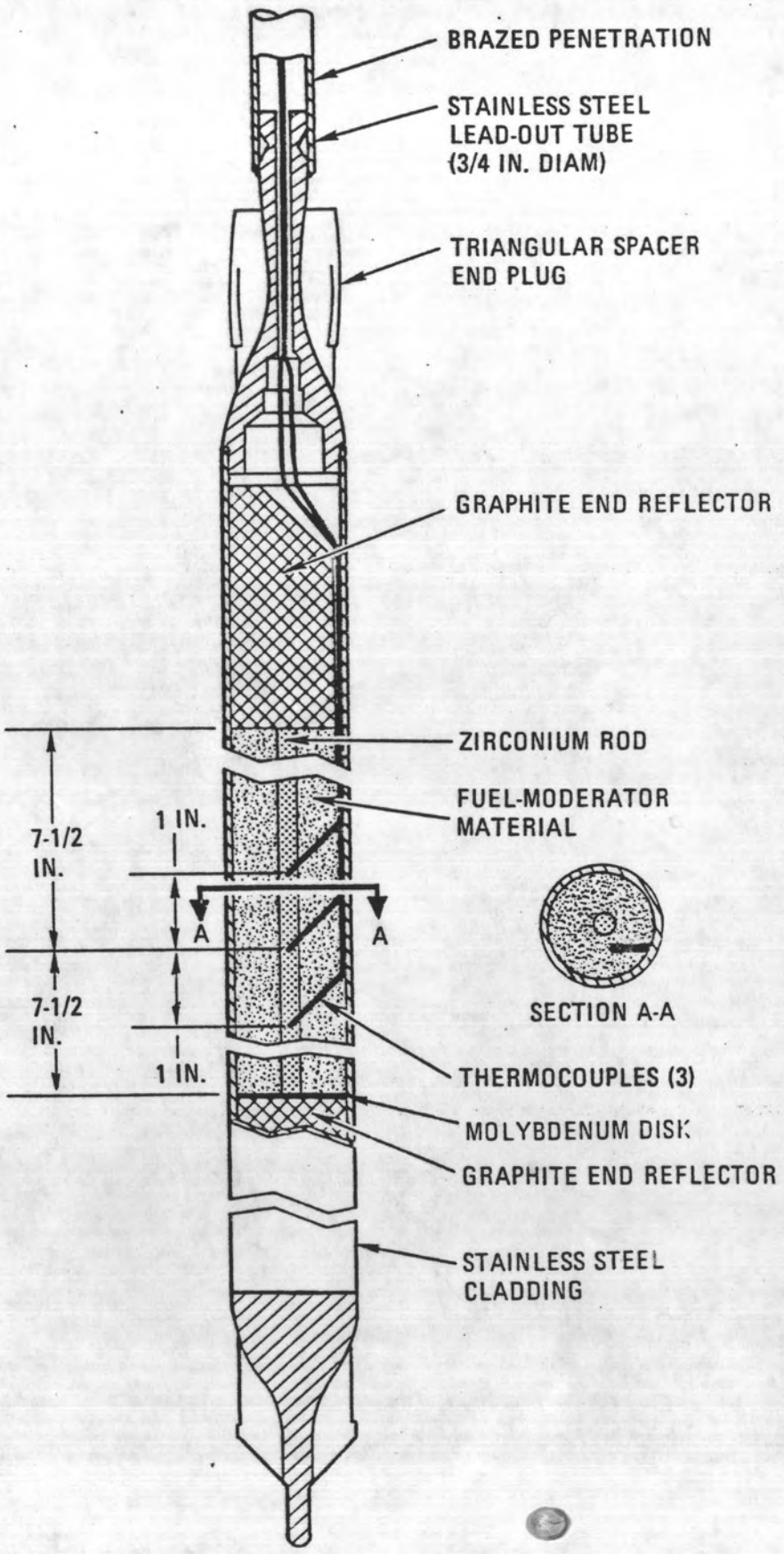
แท่งควบคุมชิม เซฟตี และเร็กกูเลติ่งเป็นสเตนเลสรูปทรงกระบอกยาว 109 ซม. หรือ 43 นิ้ว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.43 ซม. หรือ 1.34 นิ้ว ภายในแท่งควบคุมเหล่านี้ตอนบนเป็นช่องว่างของอากาศ (air void) ยาว 16.5 ซม. หรือ 6.5 นิ้ว ถัดลงมาบรรจุด้วยสารดูดกลืนนิวตรอนคือโบรอนคาร์ไบด์ (boron carbide) อยู่ในสภาพของแข็งยาว 38.1 ซม. หรือ 15 นิ้ว ใต้สารดูดกลืนนิวตรอนเป็นเนื้อเชื้อเพลิง ซึ่งมีส่วนประกอบเช่นเดียวกันกับเนื้อเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิงแบบมาตรฐานยาว 38.1 ซม. หรือ 15 นิ้ว ส่วนตอนล่างสุดเป็นช่องว่างของอากาศยาว 16.5 ซม. หรือ 6.5 นิ้ว การเคลื่อนที่ของแท่งควบคุมในแกนเครื่องปฏิกรณ์ดังได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.2.8

15432

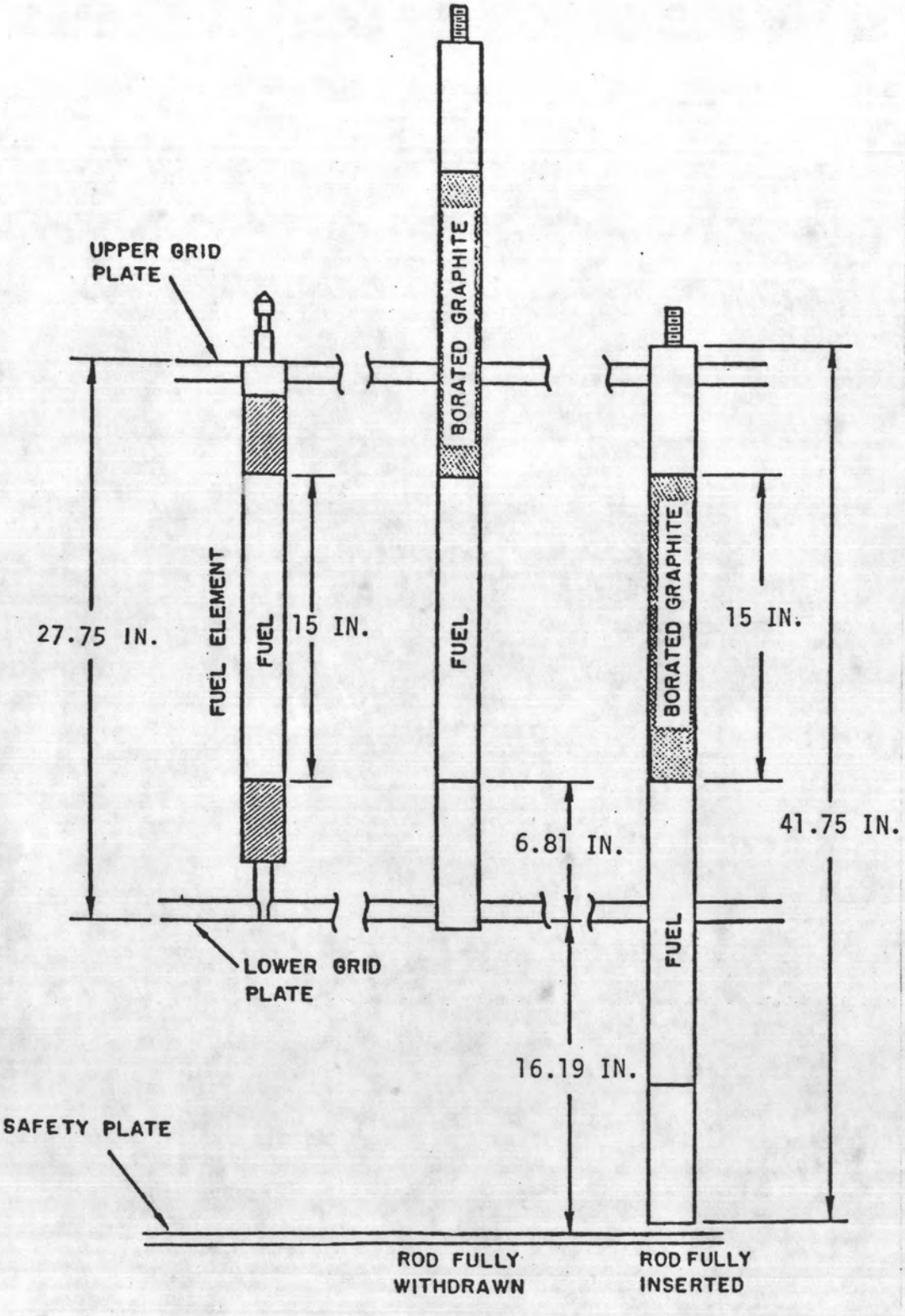
i 10304826

ตารางที่ 2.2.1 ข้อมูลทางเทคนิคของแท่งเชื้อเพลิงแบบมาตรฐานและแบบ LEU (4)

	แบบมาตรฐาน	แบบ LEU
Overall Length, in.	28.8	28.8
Overall Outside Diameter, in.	1.47	1.47
Fuel Outside Diameter, in.	1.43	1.43
Fuel Length, in.	15.0	15.0
Fuel Composition	$U\text{-}ZrH_{1.6}$	$U\text{-}ZrH_{1.5}$
Weight U^{235}, gm.	~38	~98
U Content, wt. %	8.5	20
U^{235} Enrichment, %	20	20
H/Zr Ratio	~1.6	~1.5
Graphite Reflector Length, in.	3.4	3.4
Graphite Reflector Dia, in.	1.3	1.3
Cladding Material	304-SS	304-SS
Cladding Thickness, in.	0.020	0.020
Erbium Content, wt. %	0	0.53
Weight, kg.	~3.2	~3.2



รูปที่ 2.2.7 ลักษณะแท่งเชื้อเพลิงแบบมีเครื่องวัดอุณหภูมิอยู่ภายใน



รูปที่ 2.2.8 ลักษณะการเคลื่อนที่ของแท่งควบคุมในแกนเครื่องปฏิกรณ์

แท่งควบคุมทรานเซียนท์เป็นอลูมิเนียมรูปทรงกระบอกยาว 93.35 ซม. หรือ 36.75 นิ้ว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.18 ซม. หรือ 1.25 นิ้ว บรรจุด้วยโบรอน-คาร์ไบด์เป็นสารดูดกลืนนิวตรอนเช่นกัน ยาว 38.1 ซม. หรือ 15 นิ้ว จากนั้นตอนล่างเป็นช่องว่างของอากาศยาว 53.02 ซม. หรือ 20.88 นิ้ว แท่งควบคุมทรานเซียนท์เคลื่อนที่ภายในแกนเครื่องปฏิกรณ์ในลักษณะเป็นการเคลื่อนที่ภายในท่ออลูมิเนียมซึ่งสวมเข้ากับรูของแผ่นตะแกรงบนประมาณ 25.4 ซม. หรือ 10 นิ้ว ผนังของท่ออลูมิเนียมนี้เจาะไว้หลายรู เพื่อให้น้ำภายในท่อไหลเวียนได้อย่างสะดวก ทำให้แท่งควบคุมทรานเซียนท์เคลื่อนที่ขึ้นลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในส่วนของแท่งควบคุมทั้ง 5 แท่ง ต่อเข้ากับชุดควบคุมการเคลื่อนที่ (control rod drive assembly) บนสะพานเครื่องปฏิกรณ์ซึ่งมีชุดควบคุมแยกออกแต่ละแท่ง แท่งควบคุมฉิม เซฟตี และเร็กกูเลติง ควบคุมการเคลื่อนที่โดยใช้มอเตอร์และระบบจักรกล นอกจากนี้แท่งควบคุมเร็กกูเลติงยังมีระบบปรับระดับอัตโนมัติอีกด้วย ส่วนแท่งควบคุมทรานเซียนท์มีการควบคุมการเคลื่อนที่โดยอาศัยแรงลม (pneumatic) พร้อมทั้งตัวกำหนดซึ่งควบคุมด้วยมอเตอร์แท่งควบคุมแต่ละแท่งสามารถดึงขึ้นได้ประมาณ 38.1 ซม. หรือ 15 นิ้ว จากแกนเครื่องปฏิกรณ์ ตำแหน่งของแท่งควบคุมจะปรากฏบนแผงควบคุม เริ่มตั้งแต่ตำแหน่ง 100 ซึ่งเป็นระดับแท่งควบคุมอยู่ภายในแกนเครื่องปฏิกรณ์จนถึงตำแหน่งที่ 900 ซึ่งเป็นตำแหน่งเลื่อนสูงสุด

2.2.8 <u>หัววัด</u> หัววัดที่ใช้วัดกำลังของเครื่องปฏิกรณ์มีอยู่ 2 ชนิดคือ ฟิชชั่นแชมเบอร์ (fission chamber) และแกมมาเคาน์เตอร์ (gamma counter)

ก) ฟิชชั่นแชมเบอร์ ใช้เป็นตัววัดความเข้มข้นของนิวตรอนหรือกำลังของเครื่องปฏิกรณ์นั่นเอง ฟิชชั่นแชมเบอร์มีลักษณะเป็นท่อรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.905 ซม. หรือ 0.75 นิ้ว และยาวประมาณ 15.24 ซม. หรือ 6 นิ้ว สวมอยู่ในท่ออลูมิเนียม ซึ่งเชื่อมอยู่กับท่ออลูมิเนียมขนาดเล็กจากตัวท่อที่บรรจุหัววัดจนถึงสะพานเครื่องปฏิกรณ์ หัววัดที่เป็นท่อรูปทรงกระบอกนั้นมีผงยูเรเนียมที่มีความเข้มข้น 90 เปอร์เซนต์ฉาบอยู่ที่ผนังด้านใน มีแกสไนโตรเจน (Nitrogen) บรรจุอยู่ภายในและใช้ผนังและแกนกลางกระบอกเป็นอีเล็คโทรด

ข) แกมมาเคาน์เตอร์ แขวนอยู่ที่ผนังด้านในของเปลือกแกนเครื่องปฏิกรณ์เหนือแผ่นตะแกรงตัวบน มีหน้าที่วัดกำลังของเครื่องปฏิกรณ์ในระดับสูงมาก ๆ หรือขณะที่เดินเครื่องปฏิกรณ์แบบทวีกำลังชั่วขณะ (1)

2.2.9 ต้นกำเนิดนิวตรอน (neutron source) เป็นอุปกรณ์อันหนึ่งที่ให้นิวตรอนในขณะเริ่มเดินเครื่องปฏิกรณ์ ลักษณะของต้นกำเนิดนิวตรอนที่ทางสำนักงานพลังงานปรมาณูใช้กับเครื่องปฏิกรณ์ทริกามาร์ค III นี้ เราใช้ธาตุอะเมอร์ริเซียมเบอร์ริเลียม (Americium-Beryllium) ทำเป็นแท่งขนาดและรูปร่างประมาณว่าเท่ากับปากกาหมึกซึม บรรจุอยู่ภายในภาชนะที่ทำจากสเตนเลสสตีลและห่อหุ้มด้วยวัสดุจับยึด (source holder) อีกทีหนึ่ง วัสดุจับยึดนี้จะสอดอยู่ในช่องขนาดเล็กที่ด้านข้างขอบของแผ่นตะแกรง

2.3 <u>ระบบควบคุมระดับกำลัง</u> (1)

ในระบบของการควบคุมระดับกำลังพอที่จะแบ่งได้ 2 ระบบย่อย ๆ ดังนี้คือ ระบบเครื่องกล, ระบบไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยรายละเอียดดังนี้

2.3.1 <u>ระบบเครื่องกล</u> ในระบบนี้ประกอบไปด้วยกลไกต่าง ๆ ตามแต่เป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ของแท่งควบคุมชนิดนั้น ๆ ตำแหน่งของแท่งควบคุมจะปรากฏบนแผงควบคุมเริ่มตั้งแต่ 100 จนถึงตำแหน่ง 900

ก) ทรานเซียนท์ (transient) ซึ่งประกอบด้วย ท่อลม มีวาล์วปิดและเปิดให้ลมที่มีความดัน 73 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psig) ซึ่งอัดแน่นอยู่ในถังเก็บให้เข้าไปดันลูกสูบการที่ลูกสูบจะวิ่งขึ้นสูงต่ำขนาดใดนั้นขึ้นอยู่กับตัวควบคุมระดับของลูกสูบ ซึ่งอยู่ด้านบนของกระบอกสูบและตัวควบคุมระดับนี้จะขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า

ข) ฉิมและเซฟตี ประกอบด้วยก้านซึ่งเชื่อมติดกับแท่งควบคุมก้านนี้ยื่นขึ้นไปเหนือน้ำที่ปลายก้านเป็นอาร์เมเจอร์ (armature) การขับเคลื่อน ใช้ระบบแม่เหล็กไฟฟ้าและมอเตอร์ไฟฟ้า

ค) เร็กกูเลติง แบบนี้มีระบบขับเคลื่อนคล้ายกับแบบของฉิมและเซฟตี แต่สิ่งที่แตกต่างกันออกไปก็คือ มีระบบปรับระดับอัตโนมัติ ซึ่งจะปรับกำลังของเครื่องปฏิกรณ์

ให้ทำงานอยู่ในระดับกำลังต่าง ๆ ตามต้องการ อันจะเป็นการรักษาระดับกำลังของเครื่องเมื่อเข้าสู่การเดินเครื่องปฏิกรณ์แบบอัตโนมัติ

2.3.2 <u>ระบบไฟฟ้า</u> (8) ประกอบด้วยแท่งควบคุมหรือแผงควบคุม (reactor console) หน้าปัทม์แสดงตำแหน่งของแท่งควบคุมแต่ละแท่ง นอกจากนี้ยังมีส่วนที่สำคัญในการเดินเครื่องปฏิกรณ์ ตลอดจนระบบรักษาความปลอดภัย ดังรูปที่ 2.3.1 เพื่อให้สามารถเดินเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความปลอดภัย อุปกรณ์ดังกล่าวประกอบด้วย ปุ่มยกแท่งควบคุม ปุ่มลดระดับแท่งควบคุม ปุ่มปลดแท่งควบคุม มาตรวัดอุณหภูมิของน้ำและอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิง เป็นต้น สำหรับกำลังของเครื่องปฏิกรณ์ก็เช่นกันจะบันทึกลงบนแผ่นกราฟที่แผงควบคุม โดยบันทึกความสัมพันธ์ของระดับกำลังของเครื่องปฏิกรณ์ต่อเวลาออกเป็น 2 มาตราส่วนคือ มาตราส่วนกำลังของเครื่องปฏิกรณ์แบบเชิงเส้น (linear power scale) กับมาตราส่วนกำลังของเครื่องปฏิกรณ์เป็นล็อก (log power scale) เพื่อป้องกันการผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในการวัดกำลังของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู โดยเฉพาะมาตราส่วนกำลังเครื่องปฏิกรณ์เป็นล็อกสามารถแสดงกำลังของเครื่องปฏิกรณ์ในช่วงที่กว้าง ๆ การวัดกำลังของเครื่องปฏิกรณ์โดยวัดความหนาแน่นของนิวตรอนจากหัววัดฟิชชั่นแชมเบอร์ที่อยู่ในตำแหน่ง E8 ของแผนผังของแกนเครื่องปฏิกรณ์ สัญญาณจากหัววัดนี้จะถูกส่งมายังแผงควบคุมเพื่อปรับเทียบให้เป็นกำลังของเครื่องปฏิกรณ์และบันทึกระดับกำลังลงบนแผ่นกราฟด้วยหมึกสีน้ำเงิน แสดงถึงความสัมพันธ์ของระดับกำลังเครื่องปฏิกรณ์กับเวลา ในมาตราส่วนกำลังเครื่องปฏิกรณ์เชิงเส้น ซึ่งมีสวิทช์เพื่อเลือกบันทึกระดับกำลังเครื่องปฏิกรณ์ให้มีมาตราส่วนสูงสุดดังนี้ 0.003 วัตต์, 0.01 วัตต์, 0.03 วัตต์, 0.1 วัตต์, 0.3 วัตต์, 1 วัตต์, 3 วัตต์, 10 วัตต์, 30 วัตต์, 100 วัตต์, 300 วัตต์, 1 กิโลวัตต์, 3 กิโลวัตต์, 10 กิโลวัตต์, 30 กิโลวัตต์, 100 กิโลวัตต์, 300 กิโลวัตต์, 1 เมกกะวัตต์ และ 3 เมกกะวัตต์ ส่วนหมึกสีแดงแสดงความสัมพันธ์ของระดับกำลังเครื่องปฏิกรณ์กับเวลาในมาตราส่วนกำลังเครื่องปฏิกรณ์เป็นล็อก

2.4 <u>ระบบความปลอดภัย</u> (1)

ระบบนี้ประกอบด้วยวงจรไฟฟ้าและเครื่องกลต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

รูปที่ 2.3.1 แผงหน้าบัทม์และแผงควบคุมเครื่องปฏิกรณ์

2.4.1 <u>ระดับน้ำ</u> ระบบนี้จะเตือนเมื่อระดับน้ำต่ำกว่ากำหนด และถ้าระดับน้ำต่ำลงมาก ๆ ก็จะทำการปลดแท่งควบคุม ต่อจากนั้นก็จะทำการฉีดน้ำเข้ามาเลี้ยงแกนเครื่องปฏิกรณ์ทันที

2.4.2 <u>ระบบหน่วงไนโตรเจน-16</u> (N-16) การทำงานของระบบนี้ก็เพื่อหน่วงให้ไนโตรเจน-16 ที่เกิดขึ้นผุดขึ้นเหนือน้ำช้าลง ซึ่งจะทำให้ไนโตรเจน-16 สลายตัว (decay) ไปก่อนที่จะผุดขึ้นเหนือน้ำ ลักษณะของการทำให้ไนโตรเจน-16 ผุดขึ้นเหนือน้ำช้าลง ทำได้โดยใช้ปั๊มฉีดน้ำผ่านหัวฉีดปากแบนฉีดผ่านบริเวณเหนือแกนเครื่องปฏิกรณ์เล็กน้อย ซึ่งปั๊มชนิดนี้เราเรียกว่า "ดิฟฟิวเซอร์ปั๊ม" (diffuser pump)

2.4.3 <u>ระบบปลดแท่งควบคุมเนื่องจากอุณหภูมิ</u> ระบบนี้จะปลดแท่งควบคุมเมื่ออุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิงสูงเกินกำหนด

2.4.4 <u>ระบบปลดแท่งควบคุมเนื่องจากกำลัง</u> ระบบนี้จะปลดแท่งควบคุมก็ต่อเมื่อกำลังของเครื่องปฏิกรณ์สูงเกินกว่ากำหนดที่ตั้งไว้

2.4.5 <u>ระบบระงับความสามารถในการเพิ่มกำลังของเครื่องปฏิกรณ์ทันทีทันใด</u> ระบบนี้จะระงับการเพิ่มกำลังของเครื่องปฏิกรณ์ทันทีทันใดเมื่อกำลังของเครื่องปฏิกรณ์สูงกว่า 1 กิโลวัตต์

2.4.6 <u>ระบบยับยั้ง</u> ลักษณะนี้จะทำงานก็ต่อเมื่อระบบอื่น ๆ นอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้วไม่ทำงานตามปกติเกินกว่าที่กำหนด

2.5 <u>อุปกรณ์ปฏิบัติการทดลองและอาบรังสี</u> (1)

อุปกรณ์เหล่านี้ประกอบด้วยท่ออาบรังสีตรงจุดกึ่งกลางแกนเครื่องปฏิกรณ์และตำแหน่งอาบรังสีอีก 2 ตำแหน่งในแกนเครื่องปฏิกรณ์ นอกจากนั้นยังมีเลซี่ซูซาน (lazy susan) ที่สามารถลอยตัวสูงขึ้น หรือลดตัวลงได้ ซึ่งประกอบด้วยถังลมลักษณะคล้ายถังอับเฉา (floating tank) ในเรือดำน้ำนั่นเอง เลซี่ซูซานมีลักษณะเป็นตลับวงแหวนอยู่รอบเปลือกแกนเครื่องปฏิกรณ์กับน้ำได้ ภายในมีช่องสำหรับอาบรังสี 41 ช่อง และมีท่อทางที่จะนำเอาสารตัวอย่างที่จะอาบรังสีเข้าออกเพียงทางเดียว การที่จะนำช่องอาบรังสีใดไปตรงกับท่อทาง

เข้าออกทำได้โดยระบบมอเตอร์ไฟฟ้า และระบบหมุนด้วยมือ พร้อมกันนี้ยังมีหน้าปัทม์บอกว่าท่อ อาบรังสีหมายเลขเท่าใดตรงกับทางเข้าออกแล้วเวลานี้ ซึ่งสะดวกแก่ผู้ใช้งานเป็นอย่างมาก ท่อทางเข้าออกนี้จะยื่นขึ้นไปบนสะพานของเครื่องปฏิกรณ์

กระบอกสำหรับบรรจุสารอาบรังสีมีลักษณะพิเศษคือ ฝาปิด-เปิดจะมีโพรงอยู่ด้านบน พร้อมกับมีขอบที่งุ้มเข้า ทั้งนี้เพื่อที่จะได้จับด้วยจำปา ซึ่งเป็นเครื่องช่วยในการนำกระบอก บรรจุสารอาบรังสีเข้าออก การปลดกระบอกบรรจุสารอาบรังสีออกจากจำปากระทำได้โดย ระบบแม่เหล็กไฟฟ้า

นอกจากส่วนประกอบดังที่กล่าวมาแล้วเครื่องปฏิกรณ์นี้ยังมีส่วนประกอบอื่น ๆ ซึ่ง เป็นส่วนประกอบของเครื่องปฏิกรณ์เก่าเช่น เทอร์มอลคอลัมน์ (thermal column) บีมทิวส์ (beam tubes) ระบบอาบรังสีด้วยลม (pneumatic transfer system) เป็นต้น