

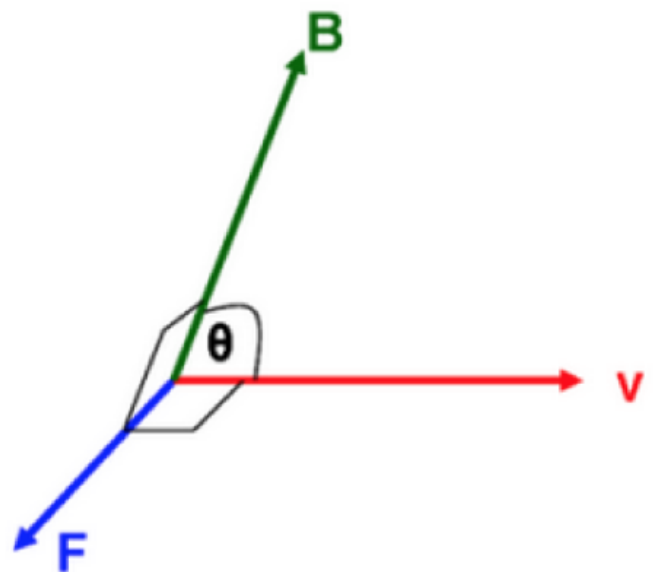
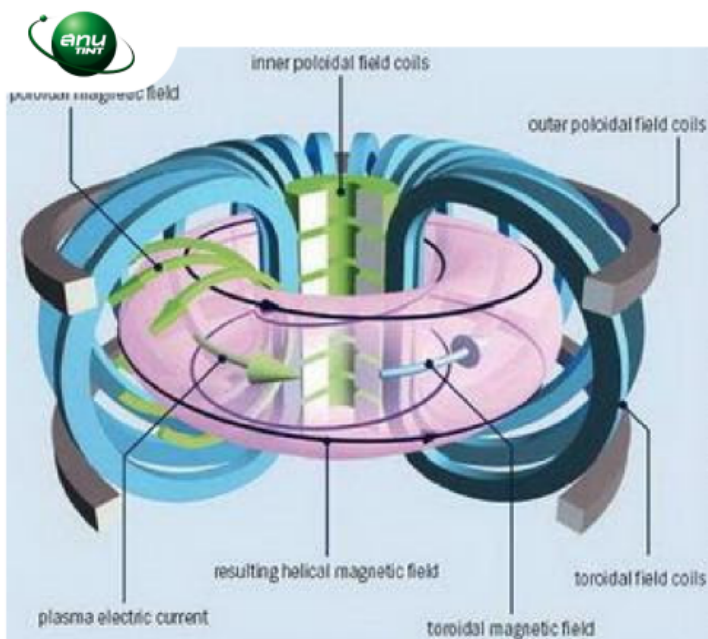
โทคาแมก (Tokamak)

ดร.รพพน พิช่า
กลุ่มวิจัยและพัฒนานิวเคลียร์
สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

เครื่องโทคาแมกเป็นอุปกรณ์กักเก็บพลาสมาพลังงานสูงโดยใช้สนามแม่เหล็ก และเป็นเครื่องมือหลักอย่างหนึ่งที่ใช้ควบคุมปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชัน มีการใช้มาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1975 ในสหภาพโซเวียต โดยเครื่องที่มีชื่อว่า T-10 สำหรับในปัจจุบันนั้น เครื่อง JET ในอังกฤษ [1] เป็นเครื่องโทคาแมกที่สร้างพลังงานจากฟิวชันได้สูงสุด (ที่ 30 MW) นอกจากนี้ประเทศสหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น ฝรั่งเศส โปรตุเกส เกาหลีใต้ และจีน ก็เป็นตัวอย่างของกลุ่มประเทศที่มีการศึกษาทดลองเกี่ยวกับโทคาแมกอย่างจริงจัง

สสารในสภาวะปกติจะอยู่ในลักษณะของโมเลกุลซึ่งประกอบไปด้วยอะตอม อะตอมเหล่านี้มีประจุไฟฟ้าเป็นศูนย์เนื่องจากมีประจุบวกของโปรตอนและประจุลบของอิเล็กตรอนอยู่ด้วยกันในจำนวนที่เท่ากัน พลาสมาเป็นสถานะของสสารที่มีไอออนบวกกับอิเล็กตรอนที่แยกกันอยู่ส่วนหนึ่ง จึงมีประจุอยู่ทั่วพลาสมา

โทคาแมกมีลักษณะรูปทรงคล้ายโดนัท พลาสมาจะวิ่งเป็นทางไขว้แบบ helix (นึกภาพเส้นลวดของสปริง นั่นคือรูปร่างของ helix) หลักการในการควบคุมพลาสมาคือการให้แรงแม่เหล็กจากสมการลอว์เรนซ์ ($F = qvB \sin(t)$) โดยที่ F คือแรงแม่เหล็ก q คือประจุของอนุภาค v คือความเร็วของอนุภาคตัวนั้น B คือความแรงของสนามแม่เหล็กในโทคาแมก และ t คือมุมระหว่างทิศทางการเดินทางของอนุภาคกับทิศทางของสนามแม่เหล็ก โดยมีการควบคุมในสองแนว คือวงรอบยาวที่มีทรงคล้ายห่วงยาง (toroidal) และรอบขวาง (poloidal) รูปที่ 1 แสดงให้เห็นถึงแรงทางแม่เหล็ก และสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 1. ไดอะแกรมแสดงถึงทิศทางของแรงแม่เหล็ก และภาพสนามแม่เหล็กในเครื่องโทคาแมก ITER

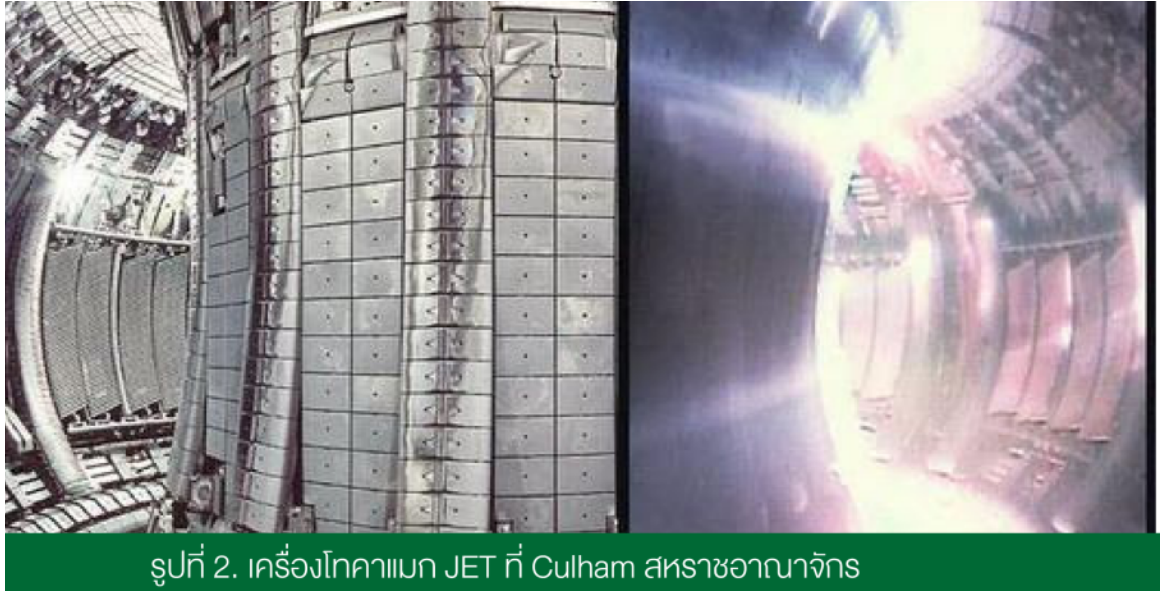
การจะสร้างฟิวชันให้เกิดในพลาสมาได้นั้น ต้องให้พลังงานที่สูง โดยมีวิธีการหลัก ๆ ในปัจจุบันคือ

- ใช้กระแสวิ่งผ่าน (ohmic heating) โดยใช้สมบัติการเป็นตัวนำไฟฟ้าของพลาสมา คล้ายกับการที่อิเล็กตรอนสร้างความร้อนในสายไฟ
- ใช้ลำอนุภาครั้ประจุ (neutral beam injection) ริงเข้าชนกับพลาสมาและให้ถ่ายเทพลังงานให้กับพลาสมา
- ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (radio frequency heating) โดยคลื่นนี้มีพลังงานในช่วงคลื่นวิทยุ โดยอนุภาคมีประจุในพลาสมา จะถูกเร่งและเข้าชนกับอนุภาคตัวอื่น ๆ

การควบคุมพลาสมาพลังงานสูงไม่ใช่สิ่งง่าย เนื่องจากมีความแปรปรวนที่อาจเกิดขึ้นได้ เช่นการเสียนิวเคลียสหรือพลังงานออกไปจากแกนกลาง (core) ของพลาสมา ซึ่งทำให้ความหนาแน่นของพลังงานของพลาสมาตกลง ทำให้การเกิดฟิวชันเกิดได้ไม่ต่อเนื่อง หรือไม่เกิดเลย ซึ่งการศึกษาปรากฏการณ์ crash เช่นนี้ รวมถึงตำแหน่งซึ่งการส่งถ่ายพลังงานออกไปยังขอบพลาสมา (boundary) ยังเป็นเรื่องที่ยังอยู่ในช่วงการวิจัยอย่างต่อเนื่องในหลายประเทศ [2-3] ผลที่ได้มาจะช่วยให้เราเข้าใจพลาสมามากขึ้น ทำให้เราทราบว่าต้องทำอะไรให้พลาสมามีความเสถียรสูงสุด เพื่อให้โทคาแมกควบคุมพลาสมาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เครื่องโทคาแมกเป็นความหวังของการสร้างฟิวชันให้เกิดขึ้นบนโลก เพื่อสร้างพลังงานสำหรับอนาคต เมื่อเชื้อเพลิงชนิดอื่นมีราคาแพงมากขึ้น หรือกระทั่งหมดไป โดยเครื่องโทคาแมกขนาดใหญ่ อย่างเช่น ITER [4] ที่กำลังก่อสร้างในประเทศฝรั่งเศส โดยใช้ความรู้และเทคโนโลยีจากเครื่องโทคาแมกรุ่นก่อนหน้านี้ เช่น JT-60 (ญี่ปุ่น) JET (สหราชอาณาจักร, แสดงในรูปที่ 2) และ TFTR (สหรัฐอเมริกา) สามารถสร้างพลาสมาที่มีความร้อนที่สูงมาก จากการนำดิวเทอเรียมและทริเทียม (ไฮโดรเจนที่มีนิวตรอน 1 และ 2 อนุภาค ตามลำดับ) มารวมกัน และมีพลังงานจากฟิวชันประมาณ 10 เท่าของพลังงานที่ป้อนเข้าไป โดยตามการคำนวณของ ITER พลังงานที่คน ๆ หนึ่งใช้ทั้งชีวิตนั้น สามารถนำมาจากเชื้อเพลิง

ดิวเทอเรียมเพียง 10 กรัม และทริเทียมเพียง 15 กรัม เท่านั้น ดังนั้นฟิวชันจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจที่สุดทางหนึ่งสำหรับพลังงานแห่งอนาคต และโทคาแมกก็น่าจะเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการนำพลังงานจากฟิวชันมาใช้ได้จริง



•

อ้างอิง (References):

1. JET
2. www.jet.efda.org
3. P. Zhu, G. Bateman, A. H. Kritz, and W. Horton, Predictive transport simulations of internal transport barriers using the Multi-Mode model, Phys. of Plasmas, Vol 7, Number 7, July 2000
4. W. Horton and P. Zhu, Transport barrier dynamics, Phys. of Plasmas, Vol 7, Number 11, November 2000
5. ITER www.iter.org