

การผลิตเชื้อเพลิงนิวเคลียร์

ชาวเลข ชยพัฒนางกูร
กลุ่มวิจัยและพัฒนานิวเคลียร์
สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

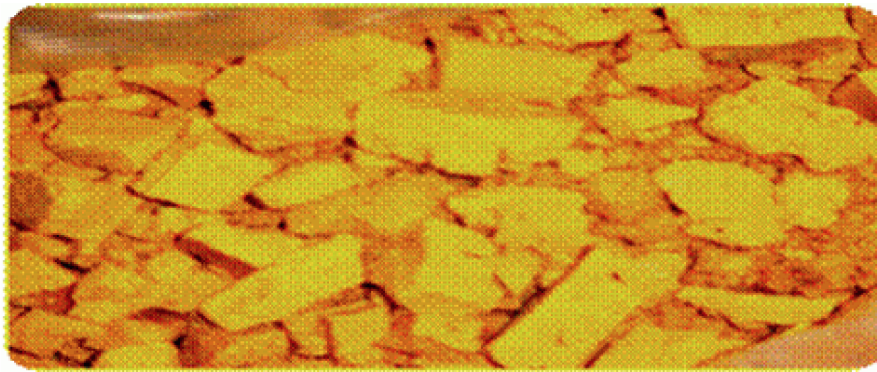
ขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงนิวเคลียร์จากยูเรเนียมแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน คือ การผลิตเค้กเหลือง (yellow cake) จากแร่ดิบ การทำยูเรเนียมเสริมสมรรถนะ (enriched uranium) การผลิตยูเรเนียมเกรดนิวเคลียร์ และการประกอบเป็นเชื้อเพลิง ปัจจุบันเชื้อเพลิงแบบออกไซด์เป็นเม็ด (oxide pellet) มีการใช้มากที่สุด

การผลิตเค้กเหลือง : เค้กเหลืองหรือ yellow cake คือสารประกอบประเภท diuranate ของโซเดียมหรือแอมโมเนียมที่มี U_3O_8 เป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 80 เมื่ออบแห้งแล้ว เป็นผลิตภัณฑ์เตรียมจากแร่ดิบ พร้อมทั้งจะจำหน่ายแก่โรงสกัดยูเรเนียม (uranium refineries) เพื่อผลิตยูเรเนียมที่มีความเข้มข้นทางเคมีสูงต่อไป ส่วนใหญ่โรงผลิตเค้กเหลืองจึงต้องตั้งอยู่ในบริเวณเหมืองทั้งบนดินและใต้ดิน เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายของการขนส่ง แหล่งแร่ยูเรเนียมที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจมียูเรเนียมเป็นองค์ประกอบอยู่เพียงร้อยละ 0.1-0.3

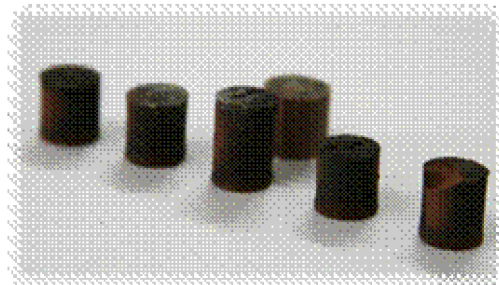
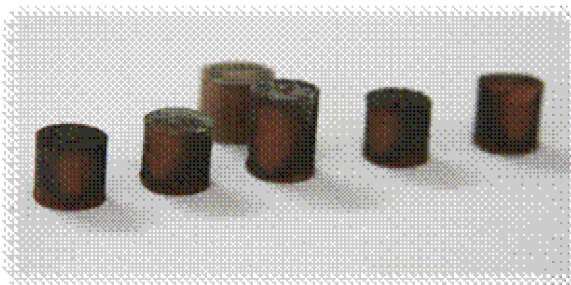
1. การผลิตเค้กเหลืองนั้นเริ่มต้นจากการบดแร่ให้ได้ขนาดแล้วชะละลาย (leaching) ยูเรเนียมออกจากแร่ โดยใช้กรดกำมะถันหรือด่างโซเดียมคาร์บอเนต เนื่องจากด่างคาร์บอเนตมีความเหมาะสมเฉพาะ (selective) สำหรับยูเรเนียมสูง จึงอาจตกตะกอนเค้กเหลืองจากสารละลายที่ใช้ชะละลายได้เลย เค้กเหลืองที่ได้จะมีความเข้มข้นของ U_3O_8 ประมาณร้อยละ 70 ข้อเสียของวิธีนี้ก็คือ ต้องทำการชะละลายที่อุณหภูมิค่อนข้างสูง ส่วนการชะละลายด้วยกรดนั้น ทำให้ความเข้มข้นของยูเรเนียมในเค้กเหลืองสูงขึ้น 85-90% ด้วยวิธี solvent extraction หรือวิธีแลกเปลี่ยนไอออน (ion-exchange)
2. การเสริมสมรรถนะยูเรเนียม (uranium enrichment) ขั้นตอนนี้จำเป็นต้องใช้เฉพาะสำหรับเครื่องปฏิกรณ์ ที่ใช้เชื้อเพลิงที่มีความเข้มข้นของยูเรเนียมที่สำคัญมี 3 วิธี คือ gaseous-diffusion gas-centrifuge และ laser-technique ก่อนที่จะเข้ากระบวนการเสริมสมรรถนะยูเรเนียมไม่ว่าจะด้วยวิธีใดก็ตาม จะต้องเปลี่ยนยูเรเนียมที่มีความบริสุทธิ์ทางเคมีได้มาตรฐาน แล้วให้อยู่ในรูปเฮกซะฟลูออไรด์ (UF_6) ซึ่งเป็นสถานะเป็นแก๊สก่อน การเสริมสมรรถนะยูเรเนียมต้องใช้เทคโนโลยีและการลงทุนสูง นอกจากนี้เนื่องจากยูเรเนียม-235 นำไปใช้ผลิตอาวุธนิวเคลียร์ได้ เทคโนโลยีด้านนี้จึงถูกปิดบังและกิจการของโรงงานเสริมสมรรถนะยูเรเนียมของประเทศ ต้องอยู่ภายใต้สนธิสัญญาไม่แพร่ขยายอาวุธนิวเคลียร์ และถูกควบคุมทางด้านพิทักษ์ความปลอดภัย (safeguards) โดยทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (International Atomic Energy Agency) เพื่อป้องกันไม่ให้นิวเคลียร์นี้ไปใช้ในการผลิตอาวุธนิวเคลียร์ นอกจากนี้แล้วยังมีพันธกรณีตามพิธีสารเพิ่มเติม เพื่อพิทักษ์ความปลอดภัยนิวเคลียร์ เพิ่มเติมอีกด้วย
3. การเตรียมสารประกอบยูเรเนียมเกรดนิวเคลียร์ (fuel preparation) ยูเรเนียมที่จะใช้ประกอบเชื้อเพลิงต้องมีความบริสุทธิ์ทางเคมีสูงมาก การที่จะให้ได้ยูเรเนียมที่มีความบริสุทธิ์ทางเคมีสูงเช่นนี้ต้องนำเค้กเหลืองมาสกัดโดยวิธี solvent extraction ใหม่หลายครั้ง นอกจากนี้ความบริสุทธิ์ทางเคมีแล้ว ผงยูเรเนียมที่จะนำไปประกอบเป็นเชื้อเพลิงยังต้องมีสภาพทางฟิสิกส์ ที่เหมาะสมอีกด้วย การอัดเม็ด

เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ต่างจากการอัดเม็ดยา ต้องใช้ความดันและอุณหภูมิสูงมาก รอยแตกเพียงเล็กน้อยก็อาจทำให้สมบัติของเม็ดเชื้อเพลิงผิดไป

4. การประกอบเชื้อเพลิง (fuel fabrication) เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ทุกประเภทต้องมีเปลือกห่อหุ้มติด เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดผลจากฟิชชัน (fission products) ซึมออกจากแท่งเชื้อเพลิงได้ วัสดุที่ใช้ประกอบเป็นท่อบรรจุเม็ดเชื้อเพลิงอาจเป็นแกรไฟต์ แมกนีเซียม เซอร์โคเนียม อะลูมิเนียม หรือเหล็กกล้าไร้สนิม ในการประกอบแท่งเชื้อเพลิง ยังต้องมีเทคนิคการเชื่อมปิดภาชนะเหล่านี้ด้วย โดยทั่วไปคือการเชื่อมด้วยอิเล็กทริก-อาร์ก โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิธีอาร์กอนอาร์ก ช่องว่างระหว่างเม็ดเชื้อเพลิง ปกติจะบรรจุแก๊สฮีเลียม หรืออาร์กอนไว้ เพื่อว่าการถ่ายเทความร้อนจากเม็ดเชื้อเพลิงจะได้ดีขึ้น และเพื่อสะดวกต่อการตรวจสอบรอยร้าวของการเชื่อมด้วย

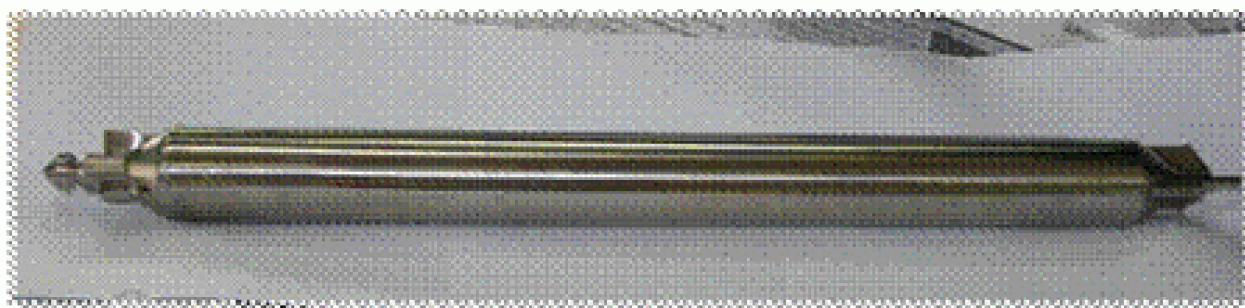


เค้กเหลือง (yellow cake)



เม็ดเชื้อเพลิงอัดเม็ด (จำลอง)





แท่งเชื่อมเพลิง (จำลอง)

