



ANKARA ÜNİVERSİTESİ
NÜKLEER BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

REAKTÖR MALZEMELERİNİN İNCELENMESİ

İLERİ NÖTRON VE REAKTÖR FİZİĞİ
PROF. DR. HALUK YÜCEL

1.GİRİŞ

200 MWe (698 MWth) gücünde, tabii UO_2 yakıtlı D_2O moderatörlü CANDU-tipi Hindistan'ın Rajastan Reaktöründe (RAPP) ait bilgiler esas alınarak reaktör fiziği ile ilgili bazı kavramlar ve hesaplamalar verilmiştir(Yücel,1990). İleri seviyede yapılacak çalışmalar için reaktör malzemeleri de genelde kalitatif bir değerlendirmeye gözden geçirilmiştir. Pratikteki reaktörlerin heterojen özelliği bazında (yakıt, moderatör ve soğutucunun karışmadığı durum) termal reaktörlerin kritiklik hesabı, yakıt ve moderatöründeki nötron akılarının belirlenmesi ile ilgili hususlar ilerleyen bölümlerde açıklanmıştır.

2. REAKTÖR MALZEMELERİ

Reaktörler de kullanılan başlıca malzemeler şunlardır:

1. Yakıt: iki ana malzemedden oluşur birincisi kolay parçalanabilir (fissible) izotoplar; ^{235}U , ^{233}U , ^{239}Pu veya ^{241}Pu 'dur. İkincisi de üretken (fertile) izotoplar: ^{238}U , ^{232}Th
2. Yakıt zarfı (cladding)
3. Nötron yavaşlatıcısı (moderatör)
4. Reaktör soğutucusu
5. Kontrol malzemeleri
6. Üretken malzeme

2.1. Reaktör Yakıtı (Fuel)

Reaktör yakıtı, gerçekte içerisinde fisyon reaksiyonu yapacak fissil malzemenin her zaman bulunduğu ve nötron yutarak fissil izotoplara dönüşebilecek karakterdeki üretken izotopların karıştırılmış olduğu malzemeye denir. Nükleer yakıtlardan: metal halindeki uranyum, plütonyum veya toryumun yüksek ısı iletim katsayıları olmasına rağmen, radyasyon altında kırılğan olmaları nedeniyle kullanılabilirlikleri sınırlıdır. Metal yakıtlar yerine seramik (UO_2 , PuO_2 , ThO_2) ve karbid (ThC_2 , UC_2) yakıtlar kullanılır.

2.1. Reaktör Yakıtı (Devamı)

Örnek olarak:

- a. Tabii UO_2 ; % 0.71 fissil ^{235}U izotopu içerir ve ağır su moderatör ile kritik olur. Ayrıca, metal halindeki tabii uranyum grafit moderatör ile kritik yapılabilmektedir. (örnek (MAGNOX Reaktörü
- b. Hafif zenginlikteki (% 2-4 ^{235}U) UO_2 yakıtlar hafif su ile kritik olur.
- c. % 15 Pu^{49}O_2 + tabii UO_2 karışık oksit yakıtlar, moderatörsüz olarak hızlı üretken reaktörlerde kullanılır.
- d. Yüksek zenginlikte (% 93 ^{235}U) yakıtlar bazı araştırma reaktörlerinde ve nükleer güç ile çalışan denizaltılarda kullanılır.
- e. ThC_2 ve / veya UC_2 karbid yakıtlar ^{235}U ve ^{233}U içerirler ve yüksek Sıcaklık Gaz Reaktörlerinde (HTGR) kullanılır.

2.2. Yakıt Zarfı (Cladding)

Zarf, yakıtı korozyona karşı koruyan ve fizyon sonucu açığa çıkan radyoaktif fizyon parçacıklarınının (fragment) soğurucuya veya moderatöre karışmasını engelleyen; yakıt peletlerini saran ince kalınlıkta bir malzemedir. Zarf malzemesi olarak kullanılan malzemelerin çoğunluğu aynı zamanda yapı (structure) malzemesi olarak da kullanılır. Reaktör korunda soğutucu akışınının düzenli sağlanması ve yakıt elemanlarınının titreşimini engelleyecek şekilde destek malzemesi görevini yapar.

2.2. Yakıt Zarfı (Devamı)

Yakıt zarfında bulunması gereken başlıca özellikler:

1. Düşük nötron soğurma tesir kesiti,
2. Yırtılmaya karşı yüksek mukavemetli,
3. Soğutucu ile korozyona karşı yüksek rezistanslı,
4. Isı iletim katsayısının iyi olması,
5. Ucuz olmalı.

2.2. Yakıt Zarfı (Devamı)

Pratikte kullanılan zarf malzemelerine örnek olarak;

i. Zirkonyum alaşımları

ii. Alüminyum alaşımları

iii. Magnezyum alaşımları

iv. Austenitic – Krom Nikel Paslanmaz çelik.

2.2. Yakıt Zarfı (Devamı)

Alüminyum alaşımlarının, 473 °K sıcaklığının üstünde korozyon rezistansı ve mukavemeti yetersizdir. Magnezyum, “MAGNOX” zarf alaşımı adı altında CO₂ soğutmalı grafit moderatörlü MAGNOX tipi reaktörlerde kullanılmıştır. Paslanmaz çelik, hızlı üretken reaktörlerde zarf malzemesi olarak kullanılmaktadır. En geniş uygulama alanı bulan zirkonyum alaşımlarıdır.

2.2. Yakıt Zarfı (Devamı)

Saf zirkonyum fiziksel ve mekanik özellikleri zayıf olmakla birlikte, Niobyum, Kalay, Demir, Nikel, Bakır ile üstün vasıflarda alaşımları (*Zirkaloy – 2* ve *Zirkaloy – 4*) reaktör yakıt elemanlarında elverişli olarak kullanılmaktadır.

Örnek: *Zirkaloy – 2*:

(Zr + Nb: %2,5; Ni: % 0,03 – 0,08; Cr: % 0,05 – 0,15; Fe: % 0,07 – 0,2; Sn: % 1,2 – 1,7)

2.3. Nötron Yavaşlatıcıları (Moderatör):

Reaktör fiziğinden bilindiği üzere ^{235}U , ^{233}U gibi parçalanabilir izotopların termal enerji bölgesinde nötronları yutma tesir kesitleri çok yüksektir ve bu nedenle bir fizyonda açığa çıkan yüksek enerjili nötronları termal bölgeye ulaştıracak yavaşlatıcı malzemeler kullanılması gerekmektedir. Nötronların termalize edilmesinde hafif kütleli çekirdekler (H, D, C, Be gibi) tercih edilir. Çünkü nötronlar enerjilerinin önemli bir kısmını saçılma reaksiyonlarıyla hafif kütleli çekirdeklere daha kolay transfer edebilirler. Bu durum hafif çekirdeklerin yüksek saçılma tesir kesitleri ve küçük soğurma tesir kesitlerine sahip olmaları gerçeğine dayanır.

2.3. Nötron Yavaşlatıcıları (Devamı):

Reaktör moderatör malzemelerinde bulunması gereken özellikler;

1. Düşük nötron soğurma tesir kesiti,
2. Yüksek nötron saçılma tesir kesiti,
3. Düşük atomik ağırlık,
4. Yeterli yoğunluk ve yüksek kaynama noktası,
5. Radyasyon altında kimyasal stabiliyeye sahip olması,
6. Ucuz ve kolay temin edilebilir olmalıdır.

2.3. Nötron Yavaşlatıcıları (Devamı):

Uygulamada yaygın olarak kullanılan moderatör malzemeleri:

1. Hafif Su (H_2O),
2. Ağır Su (D_2O),
3. Grafit,
4. Berilyum veya Berilyum Oksit.

Bunların dışında, organik bileşikler yüksek kaynama noktasına sahip olmalarına rağmen yüksek sıcaklıkta kimyasal stabilite (radyasyon altında) sorunları olduğu için bir reaktör moderatörü veya soğutucusu olup olamayacakları araştırılmaktadır. Fizyon reaksiyonlarında açığa çıkan nötronların yavaşlatılma mekanizmasını açıklayabilmek ve moderatörlerin bir mukayesesini yapabilmek için aşağıdaki reaktör fiziği kavramları kısaca izah edilmiştir.