यूरेनियम की यात्रा - मिट्टी से भट्टी तक

विवेकानंद झा

भाभा परमाणु अनुसंधान केंद्र, मुंबई

चुटकी भर यूरेनियम ऊर्जा आवश्यकताओं की पूर्ति हेतु परमाणु ऊर्जा एक श्रेष्ठ विकल्प है। जहाँ तक ऊर्जा उत्पादकता का प्रश्न है, यूरेनियम किसी भी अन्य ऊर्जा स्रोत की तुलना में अधिक ऊर्जा प्रदान करने में सक्षम है। ऊर्जा उत्पादन की दृष्टि से, नाभिकीय ईंधन के रूप में प्रयुक्त 1 ग्राम यूरेनियम धातु (^{235}U) लगभग 2500 किलोग्राम कोयले, लगभग 2560 लीटर पेट्रोलियम और लगभग 2200 घन मीटर प्राकृतिक गैस के समतुल्य है। नाभिकीय ऊर्जा न केवल ऊर्जा आवश्यकताओं की पूर्ति और ग्रीनहाउस गैसों के उत्सर्जन को कम करने में सहायक है, अपितु अन्य क्षेत्रों एवं अनुप्रयोगों में भी महत्वपूर्ण भूमिका निभा सकती है, जैसे कि स्वास्थ्य सेवाएँ, कृषि, प्रदूषण नियंत्रण, जल-प्रबंधन, अपशिष्ट पुनर्चक्रण, इत्यादि।

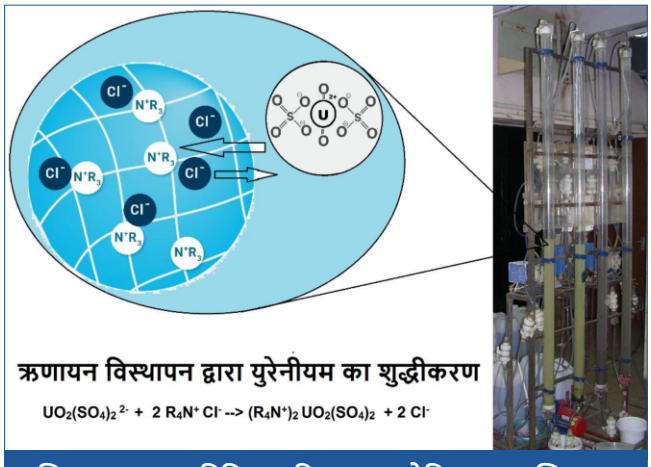
चित्र 1 - चुटकी भर यूरेनियम में निहित ऊर्जा हज़ारों किलोग्राम कोयले से प्राप्त ऊर्जा के समतुल्य है।

यूरेनियम उत्पादन प्रक्रिया - मूलतः भिन्न-भिन्न प्रकार के चट्टानों में निक्षेपित (डिपोज़िटेड) यूरेनियम, प्रकृति से निकाले जाने वाले यूरेनियम का मूल स्रोत है। यूरेनियम खनन का मूल प्रक्रिया अन्य धातुई अयस्कों की खनन प्रक्रिया के समरूप ही है। सामान्यतः खनन योग्य अयस्क को रेडियोधर्मिता (रेडियोसक्रियता) मापन द्वारा चिह्नित किया जाता है। अयस्क खंड का आकार, खदान में अयस्क खंड की अवस्थिति (लोकेशन), अभिविन्यास (ओरिएंटेशन), उपस्थित यूरेनियम एवं अन्य धातुओं की गुणवत्ता, स्थानीय परिस्थिति, इत्यादि महत्त्वपूर्ण मापदंड उपयुक्त खनन तकनीक के निर्धारण में सहायक होते हैं। वास्तविक प्रक्रिया अयस्क की भूगर्भीय स्थिति द्वारा निर्धारित की जाती है। यह मुख्यतः सतही (ओपन-पिट) या भूमिगत (अंडरग्राउंड) खनन हो सकता है। अयस्क में यूरेनियम की मात्रा (सांद्रता) कम होने की स्थिति में सतही खनन आर्थिक दृष्टि से अधिक लाभप्रद होता है। खनन द्वारा प्राप्त अयस्क को उपयुक्त तकनीक जैसे कि कंवेयर बेल्ट, इत्यादि द्वारा प्रसंस्करण इकाई तक पहुँचाया जाता है। अयस्क को यांत्रिक प्रक्रियाओं जिसमें क्रशिंग, ग्राइंडिंग, स्क्रीनिंग, इत्यादि शामिल हैं, द्वारा लघु आकार में रूपांतरित किया जाता है।

क्रशिंग एवं ग्राइंडिंग, इत्यादि प्रक्रियाओं द्वारा बड़े आकार

चित्र 2 - भूमिगत प्रक्रिया पर आधारित यूरेनियम खनन

के अयस्क पत्थरों / टुकड़ों को चूर्ण में परिवर्तित करने का उद्देश्य यही है कि अगले चरण अर्थात रसायनिक निक्षालन (लीचिंग) अभिक्रिया के लिए चूर्ण का पृष्ठीय क्षेत्र बढ़ जाए ताकि अयस्क (ठोस-अवस्था) में निहित यूरेनियम जलीय माध्यम में पूर्ण रूप से स्थानांतरित हो सके। खनन की अन्य प्रक्रियाओं में स्वस्थाने-निक्षालन (इन-सीटू लीचिंग), पुंज-निक्षालन (हीप-लीचिंग), अन्य धातुओं जैसे सोना, ताम्बा, इत्यादि के अतिरिक्त उत्पाद के रूप में यूरेनियम की प्राप्ति शामिल है। अयस्क की प्रकृति के हिसाब से निक्षालन (लीचिंग) प्रक्रिया अम्लीय (एसिडिक) या क्षारीय (ऐल्कलाइन) हो सकती है। प्रक्रिया के अगले चरणों में निस्यंदन (फिल्ट्रेशन), शुद्धिकरण, अवक्षेपण (प्रेसिपीटेशन), इत्यादि शामिल होते हैं। प्राप्त यूरेनियम का शुद्धिकरण आयन विनिमय (आयन एक्सचेंज) प्रक्रिया द्वारा किया जाता है।



चित्र 3 - ऋणायन विनिमय प्रक्रिया द्वारा यूरेनियम का शुद्धिकरण

इस प्रकार प्राप्त सांद्रित (कंसन्ट्रेटेड) यूरेनियम उत्पाद को विशेष रसायनिक यौगिक जैसे कि मैग्नीशियम डाईयुरेनेट, सोडियम डाईयुरेनेट, अमोनियम डाईयुरेनेट, यूरेनियम परऑक्साइड, आदि, जिन्हें सामान्यतः **'येलो केक'** कहा जाता है, के रूप में प्राप्त किया जाता है।

नाभिकीय ईंधन बनाने के लिए, 'येलो केक' उत्पाद को ईंधन संविचरन सुविधाओं, जैसे कि तेलंगाना राज्य के हैदराबाद स्थित नाभिकीय ईंधन सम्मिश्र (न्यूक्लियर फ्यूल कॉम्प्लेक्स), में सबसे पहले यूरेनियम ऑक्साइड के रूप में परिवर्तित किया जाता है। तत्पश्चात, चूर्ण धातुकी (पाउडर मेटलर्जी) प्रक्रिया से उसकी सघन गुटिकाएं (पेलेट) बनायी जाती हैं। मिट्टी से निकला यूरेनियम, इन ईंधन गुटिकाओं (फ्यूल पेलेट) के रूप में अब परमाणु भट्टी में विखंडन (फिशन) के द्वारा नाभिकीय ऊर्जा प्रदान करता है।

खदान से ईंधन तक यूरेनियम की यात्रा में कार्मिक संरक्षा - परमाणु ऊर्जा का उपयोग ऊर्जा उत्पादन से लेकर राष्ट्रीय सुरक्षा के लिए भी आवश्यक है। इस क्षेत्र में कार्यरत कर्मियों की स्वास्थ्य संरक्षा भी अत्यावश्यक है जिसका पूरा ध्यान रखा जाता है। मिट्टी (अयस्क) से भट्टी (परमाणु संयंत्र) तक की यूरेनियम की इस लंबी और जटिल यात्रा में हज़ारों मज़दूर, तकनीशियन, वैज्ञानिक, इंजिनियर (अभियंता), आदि कार्यरत रहते हैं। खदान से प्रारम्भ करके, ईंधन के उपयोग और तत्पश्चात ईंधन पुनर्संस्करण (फ्यूल रीप्रोसेसिंग) तक यूरेनियम की पूरी यात्रा में स्वास्थ्य भौतिकविदों (हेल्थ फ़िजिसिस्ट) की अति-महत्वपूर्ण और अनूठी भूमिका होती है। वे पर्यावरण और कार्यस्थल दोनों में ही विकिरण स्तरों की सतत निगरानी सुनिश्चित करते हैं और साथ ही साथ यूरेनियम एवं अन्य रेडियोधर्मी (रेडियोसक्रिय) पदार्थों के प्रहस्तन (हैंडलिंग) में लगे सभी कर्मियों एवं उपकरणों की समय-समय पर जांच / सर्वेक्षण करके सुरक्षित संचालन सुनिश्चित करते हैं। विभिन्न प्रकार के विकिरण संवेदकों (सेंसर्स) एवं संसूचकों (डिटेक्टर्स) की इस कार्य में महत्त्वपूर्ण भूमिका है।

चित्र 4 - 'येलो केक' के रूप में प्राप्त यूरेनियम उत्पाद

चित्र 5 - पर्यावरणीय विकिरण संसूचक

यूरेनियम और उसकी यात्रा के बारे में और अधिक जानकारी के लिए, पाठक मुंबई के 'नेहरू विज्ञान केंद्र' में प्रदर्शित 'परमाणु ऊर्जा हॉल (हॉल ऑफ न्यूक्लियर पावर)' अवश्य देखें।

लेखक का परिचय

विवेकानंद झा

डॉ. विवेकानंद झा, भाभा परमाणु अनुसंधान केंद्र, मुंबई के स्वास्थ्य भौतिकी प्रभाग (HPD) में वैज्ञानिक अधिकारी-एफ के पद पर कार्यरत हैं।

चित्र 6 - 'नेहरू विज्ञान केंद्र, मुंबई' का 'परमाणु ऊर्जा हॉल (हॉल ऑफ न्यूक्लियर पावर)'