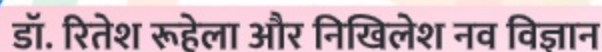


नए जमाने के नए विलायक



भाभा परमाणु अनुसंधान केंद्र, मुंबई

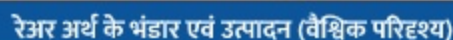
घटकों, नाभिकीय ऊर्जा हेतु आवश्यक पदार्थों (जैसे कि यूरेनियम) के संवर्धन, न्यूट्रॉन प्रवाह नियंत्रण, रेडियोभेषजों (रेडियोफार्मास्यूटिकल्स), परमाणु ऊर्जा संयंत्र संरक्षा (रिएक्टर सेफ्टी), इत्यादि में भी बहुतायत से किया जाता है। यह जानना रोचक है कि ये तत्व क्या हैं, इनके गुणधर्म क्या हैं और इन्हें विरल क्यों कहा गया है?

विरल मुद्रा तत्वों को ऐसा क्यों कहा जाता है?

अगर हम सोने (स्वर्ण) और चाँदी (रजत) की बात करें तो इनका शुद्धिकरण सरल है, क्योंकि ये स्वतः वातावरण में उपलब्ध ऑक्सीजन से अभिक्रिया नहीं करते हैं और इनके यौगिकों का धातु में अपचयन (रिडक्शन) भी आसानी से हो जाता है। लौह-ऑक्साइड (आयरन ऑक्साइड) को भी कोयले के साथ भट्टी में गरम करके अपचयित करने से शुद्ध तरल लोहा (लिक्विड आयरन) प्राप्त होता है। अल्युमिनियम की ऑक्सीजन के साथ अपेक्षाकृत अधिक अभिक्रियाशीलता के कारण इसका शुद्धिकरण कठिन है। अल्युमिनियम की प्राप्ति हेतु विद्युत-अपघटन (इलेक्ट्रोलाइसिस) आवश्यक है।

आधुनिक आवर्त सारणी में इंगित विरल मृदा तत्व (रेअर अर्थ एलिमेंट्स)

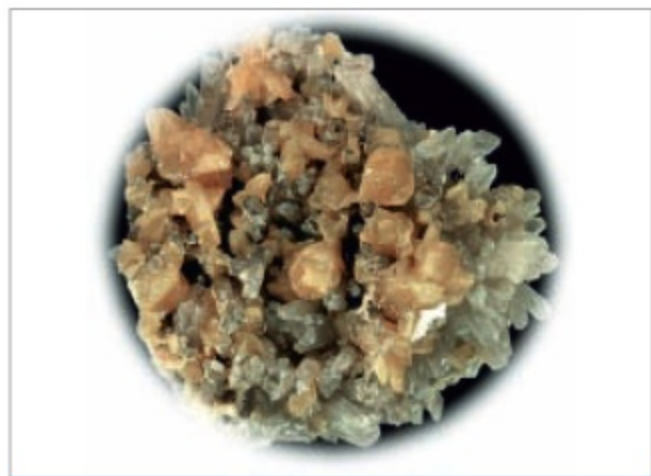
हमारी दिन-चर्या में, इन तत्वों के उपयोग की सूची बहुत विस्तृत है। स्मार्ट फोन, टेलीविजन (टीवी), कंप्यूटर, इलेक्ट्रॉनिक्स, स्पीकर्स जैसे घर-घर में उपयोगी वस्तुओं से लेकर विद्युत-संचालित मोटर, पवन ऊर्जा के टर्बाइन, ऑटोमोबाइल, इत्यादि में भी ये तत्व पाए जाते हैं। इनमें से कुछ तत्वों का उपयोग 'उत्प्रेरण' (कैटेलिसिस) अर्थात् रसायनिक अभिक्रियाओं की गति-परिवर्तन करने में होता है। कुछ विशेष विरल तत्वों (रेअर एलिमेंट्स) का उपयोग अनेक 'सामरिक अनुप्रयोगों' जैसे कि युद्धक विमानों के



ठीक इसी तरह, यदि अल्युमिनियम जैसी अभिक्रियाशीलता वाले 8 से 10 भिन्न तत्व गुणधर्मों में समान मिश्रधातु/अयस्क के रूप में उपलब्ध हों तो उनका शुद्धिकरण अत्यधिक कठिन होगा। सबसे पहली चुनौती तो यह होगी कि इन तत्वों को शुद्ध रूप में अलग-अलग (रेअर अर्थ सेपरेशन एंड प्यूरिफिकेशन) कैसे किया जाए। दूसरी चुनौती और भी बड़ी होगी जिसमें इन तत्वों के ऑक्साइडों को धातु में परिवर्तित (रेअर अर्थ ऑक्साइड टू मेटल कन्वर्जन) किया जा सके। इस प्रक्रिया, में धातु-शुद्धिकरण विशेष रूप से महत्वपूर्ण है। इन तत्वों के स्रोतों की विरलता एवं जटिलता, पृथक्करण की चुनौतियों, धातुकर्म एवं शुद्धिकरण से सम्बंधित कठिनाइयों, इत्यादि के कारण ही इन तत्वों को विरल मृदा तत्व कहा जाता है।

जलधातुकर्मीय (हाइड्रोमेटलर्जिकल) विधि द्वारा रेअर अर्थ का निष्कर्षण

अधिकांश धातु जैसे कि आभूषणों में प्रयुक्त चमकीले धातु (स्वर्ण, रजत, तांबा, इत्यादि) सामान्यतया पृथ्वी के गर्भ से अयस्कों के रूप में ही प्राप्त होते हैं। अयस्क से धातु / मिश्रधातु के रूपांतरण में खनिकों, वैज्ञानिकों और इंजीनियरों की विशेष भूमिका होती है। पृथ्वी में ये तत्व विशुद्ध रूप में नहीं, बल्कि यौगिकों, जैसे कि ऑक्साइड, फॉस्फेट, कार्बोनेट, इत्यादि के रूप में पाए जाते हैं। जिन



मोनाज़ाइट अयस्क

पदार्थों / स्रोतों से धातुओं का पृथक्करण एवं शुद्धिकरण आर्थिक रूप से अनुकूल तरीकों से किया जा सकता है, उन्हें अयस्क कहते हैं। उदाहरण के लिए, मोनाज़ाइट एक अयस्क है जो मुख्य रूप से रेअर अर्थ तत्वों एवं थोरियम (Th) की उपस्थिति के लिए जाना जाता है। यह सामान्यतः लाल-भूरे रंग का एक फॉस्फेट खनिज है और सीरियम (Ce), लैंथेनम (La), प्रेसियोडिमियम (Pr) और नियोडिमियम (Nd) तत्वों का एक महत्वपूर्ण स्रोत है।

मोनाज़ाइट समुद्र तटीय और अंतर-देशीय प्लेसर स्रोतों में पाया जाता है। भारत में, इसके निक्षेप (डिपॉजिट) मुख्यतः केरल, तमिल नाडु एवं ओडिशा में हैं। थोरियम (Th) और यूरेनियम (U) जैसे रेडियोधर्मी तत्वों की उपस्थिति के कारण भारत में मोनाज़ाइट का खनन एवं इनमें से यूरेनियम, थोरियम और रेअर अर्थ तत्वों का निष्कर्षण परमाणु उर्जा विभाग के अंतर्गत सार्वजनिक क्षेत्र के उपक्रम 'आईआरईएल (इंडिया) लिमिटेड' द्वारा ही किया जाता है। सर्वप्रथम, समुद्र तटीय इलाकों में पाई जाने वाली मोनाज़ाइट युक्त बालू में से अन्य महत्वपूर्ण खनिज जैसे इल्मेनाइट (टाइटेनियम युक्त), बालू-क्षेपण एवं गर्शन में अत्यधिक उपयोग होने वाले गार्नेट (गार्नेट फॉर सैंड ब्लास्टिंग एंड एब्रेशन), इत्यादि को निक्षालित करने के बाद फॉस्फेट रूपी मोनाज़ाइट को कॉस्टिक सोडा की मदद से हाइड्रॉक्साइड में परिवर्तित किया जाता है। इस प्रक्रिया के बाद भी इसमें यूरेनियम और थोरियम मौजूद होते हैं।

अब इनमें से, रेअर अर्थ तत्वों को निकालने के लिए हाइड्रोक्लोरिक अम्ल से अभिक्रिया कराई जाती है जिससे रेअर अर्थ क्लोराइड के रूप में जलीय माध्यम में विलयन अवस्था में प्राप्त होते हैं जबकि यूरेनियम और थोरियम अविलयित ठोस अवस्था में बने रहते हैं। इसके आगे, सबसे बड़ी चुनौती यह है कि अनेकों रेअर अर्थ क्लोराइड युक्त जलीय विलयन (जिनके गुण-धर्म एक जैसे हैं) से अलग-अलग रेअर अर्थ तत्वों को कैसे पृथक् किया जाए? विलायक निष्कर्षण (सॉल्वेंट एक्स्ट्रैक्शन) पद्धति द्वारा रेअर अर्थ

क्लोराइड का पृथक्करण एवं शुद्धिकरण किया जाता है।

विलायक निष्कर्षण - एक चुनौतीपूर्ण प्रक्रिया

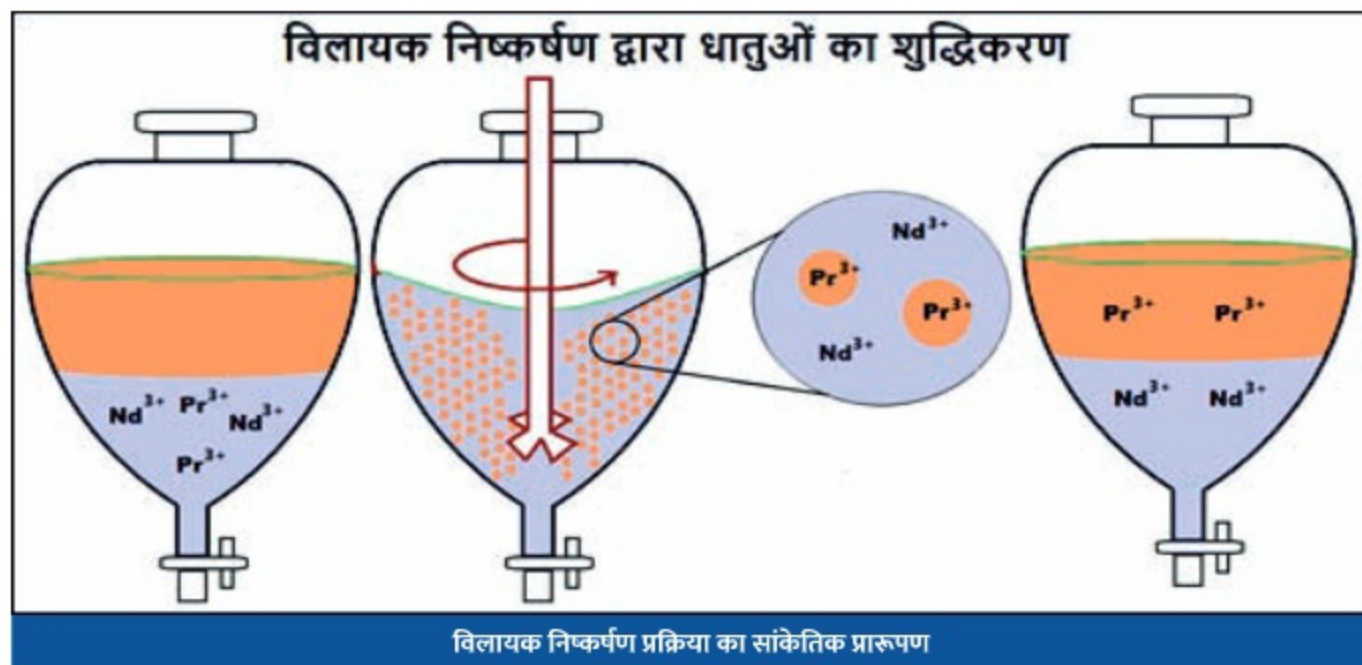
पानी और तेल, जो सामान्यतया आपस में समांगीय विलयन नहीं बनाते हैं। यदि इन दोनों को मिलकर मिक्सर में मिश्रित किया जाए तो तेल की छोटी-छोटी बूँदें पानी में तैरती दिखाई देंगी और मिक्सर को रोके जाने पर तेल और पानी पुनः पृथक् (अलग) हो जाएंगे। सामान्यतया तेल अपने कम घनत्व के कारण पानी के ऊपर एक पृथक् परत के रूप में रहेगा। इसी प्रक्रिया में, यदि कोई विशेष कार्बनिक विलायक (ऑर्गेनिक सॉल्वेंट) को तेल के साथ मिलाया जाए, जो पानी में विलयित धातु आयनों (मेटल आयन्स) को घेर ले तो वह विलायक इन धातुओं को जलीय माध्यम से तैलीय माध्यम में स्थानांतरित कर देगा। मिक्सर द्वारा मिश्रण (जलीय विलयन - तेल - कार्बनिक विलायक) को मिलाने से पानी और तेल के बीच की सतह का क्षेत्रफल बढ़ जाने से धातु आयनों का स्थानांतरण भी बढ़ जाता है। इस प्रकार, प्राप्त भिन्न तत्वों से युक्त कार्बनिक विलायक को जब पुनः सांद्र अम्लीय विलयन के संपर्क में लाकर मिश्रित किया जाए तो धातु आयनों के पुनः जलीय प्रावस्था में आने से हमें शुद्ध धातुओं की जलीय धारा प्राप्त हो जाती है। प्राप्त जलीय

विलयन की उपयुक्त क्षार (एल्कली) जैसे सोडियम कार्बोनेट या कॉस्टिक सोडा से अभिक्रिया द्वारा धातु लवणों को अवक्षेपित (प्रेसीपिटेट) किया जा सकता है।

यद्यपि यह प्रक्रिया वर्णन में सरल लगती है, किंतु इनका वास्तविक कार्यान्वयन कठिन और चुनौतीपूर्ण होता है। प्रस्तुत चित्र में विलायक निष्कर्षण प्रक्रिया को सांकेतिक रूप में दिखाया गया है।

नए विलायकों पर शोध

एक महत्वपूर्ण चुनौती यह है की विलायक की धातु विशेष के साथ चयनात्मकता (सेलेक्टिविटी) होनी चाहिए, ताकि धातु विशेष को जटिल विलयनों / मिश्रणों से पृथक् किया जा सके। वैश्विक स्तर पर अधिकांशतः कार्बोफॉस्फोरस विलायकों (ऑर्गेनोफॉस्फोरस सॉल्वेंट्स) का उपयोग किया जाता है। इन विलायकों की चयनात्मकता कम होने के कारण, सौ (100) से भी अधिक बार जलीय-तैलीय प्रावस्था को संपर्क किए जाने की आवश्यकता (कान्टेक्ट स्टेजेस) पड़ती है, जिससे प्रक्रिया की लागत बढ़ जाती है। फॉस्फोरस युक्त विलायकों की एक और समस्या यह भी है कि उपयोग के बाद इसका निपटान कठिन एवं चुनौतीपूर्ण



12 चरण मिक्सर सेटलर



12 stage mixer settler

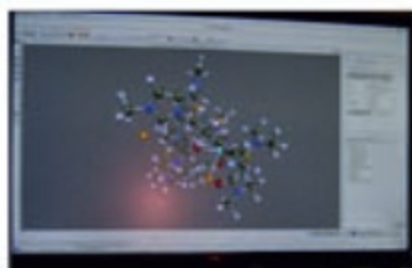
बारह (12)-चरणीय मिक्सर सेटलर संयंत्र

होता है। पर्यावरणीय प्रदूषण को नियंत्रण में रखने के लिए इनका संग्रह भी करना पड़ता है। नए विलायकों का विकास उक्त समस्या का एक प्रभावी समाधान है। संलग्न चित्र में एक बहु-चरणीय मिक्सर सेटलर संयंत्र दिखाया गया है।

नए विलायकों के विकास के लिए सहसंयोजन रसायनिकी (कोऑर्डिनेशन केमिस्ट्री), कार्बनिक संश्लेषण एवं क्वांटम रसायनिकी विषयों एवं तत्संबंधी अनुप्रयोगों में दक्षता आवश्यक है। चयनात्मक विलायक रेअर अर्थ तत्वों को

चिह्नित कर पृथक कर सकते हैं। उदाहरण के लिए, यदि किसी विलायक की चयनात्मकता 1.3 से बढ़ाकर 4 हो जाए तो संपर्क प्रावस्थाओं (कांटेक्ट स्टेजेस) की संख्या सीधे 100 से घटकर 20 तक हो सकती है। केवल इतना ही नहीं, इससे निकटवर्ती रेअर अर्थ तत्वों, जैसे नियोडायमियम (Nd)-प्रेसियोडायमियम (Pr), को पृथक करना भी सरल हो जाता है। भाभा परमाणु अनुसंधान केंद्र में नए विलायकों के विकास हेतु शोध कार्य किया जा रहा है। कुछ विलायकों के विषय में प्रयोगशाला-स्तर पर अब तक प्राप्त परिणाम आशाजनक हैं। नए चयनात्मक विलायकों के संश्लेषण एवं संबंधित अन्वेषण सहित अन्य सभी प्रकार के प्रयास इस दिशा में किए जा रहे हैं। तथापि, उत्कृष्ट चयनित विलायकों को बृहत स्तर पर तैयार कर पाना और उन्हें उपयोग में ले आना भी एक चुनौती है। इन नए विलायकों की एक विशेषता यह है कि ये केवल कार्बन, हाइड्रोजन, ऑक्सीजन और नाइट्रोजन युक्त हैं और फॉस्फोरस के अभाव के कारण सामान्य दहन (कम्बशन) द्वारा भी, पर्यावरणीय अनुकूल रूप से इनका निपटान किया जा सकता है। संलग्न चित्र में इन विलायकों के शोध एवं विकास कार्य हेतु प्रयोगशाला स्तर की गतिविधियों को प्रतीक के रूप में दिखाया गया है।

नये विलयकों पर शोध - विचार से वास्तविकता तक



Molecular design
Using DFT



Synthesis
100g per batch



Scale up
1 kg per batch

नए विलायकों हेतु प्रयोगशाला स्तर की गतिविधियां

विरल धातु और टाइटेनियम थीम पार्क

इंडियन रेअर अर्थ लिमिटेड (आईआरईएल) ने भोपाल, मध्य प्रदेश में 'रेअर अर्थ मेटल और टाइटेनियम थीम पार्क' का भविष्योन्मुखी संकल्पना शुरू की है। इस थीम पार्क में भाभा परमाणु अनुसंधान केंद्र, मुंबई द्वारा विकसित प्रयोगशाला-स्तर की तकनीकों पर आधारित एक प्रायोगिक संयंत्र (पायलट प्लांट) भी शामिल है। इन तकनीकों के प्रदर्शन का प्रमुख उद्देश्य उभरते उद्यमियों और स्टार्टअप्स में विश्वास जगाना है। इससे, देश में रेअर अर्थ के उत्पादन और खपत को प्रोत्साहन मिलेगा और रेअर अर्थ के क्षेत्र में वाणिज्यिक संयंत्र (कमर्शियल प्लांट) स्थापित करने में

सहायता मिलेगी। इस थीम पार्क में लैंथेनम, सीरियम और नियोडिमियम धातुओं के उत्पादन को प्रदर्शित करने के लिए लघु-संयंत्र (मिनी-प्लांट), उपयोग में लाए जा चुके चुंबक, एलईडी एवं लैंप फॉस्फोर से रेअर अर्थ प्रतिप्राप्ति की सुविधा और टाइटेनियम श्रृंखला से जुड़ी सुविधाएँ उपलब्ध हैं। जैसा कि हम जानते हैं कि चीन और अन्य देशों में प्राकृतिक रूप से उपलब्ध विरल तत्वों की प्रचुरता है। रेअर अर्थ की रेस में बने रहने के लिए हमारे लिए यह आवश्यक है कि हम वैज्ञानिक रूप से चयनात्मक विलायकों के शोध को प्रोत्साहित करें ताकि इस क्षेत्र में आत्म-निर्भरता प्राप्त की जा सके।

आभार

लेखकगण, इस लेख की संरचना में प्रत्यक्ष एवं परोक्ष रूप से सहयोग एवं मार्गदर्शन देने वाले सभी व्यक्तियों विशेषकर डॉ. आलोक अवस्थी, सह निदेशक, पदार्थ वर्ग से प्राप्त सतत समर्थन के लिए कृतज्ञतापूर्वक आभार व्यक्त करते हैं।



लेखकगण का परिचय



डॉ. रितेश रूहेला



श्री निखिलेश नव विज्ञान

डॉ. रितेश रूहेला, वैज्ञानिक अधिकारी -जी और श्री निखिलेश नव विज्ञान, वैज्ञानिक अधिकारी-एफ वर्तमान में, भाभा परमाणु अनुसंधान केंद्र, मुंबई स्थित पदार्थ प्रसंस्करण प्रभाग में कार्यरत हैं।