

ثلاثة مراحل لبرنامج الطاقة النووية الهندي

إن الاحتياطات المحلية من اليورانيوم في الهند محدودة، بالرغم من أن تلك الاحتياطات من الثوريوم كبيرة إلى حد بعيد. من أجل استغلال هذه الموارد، قامت الهند بتبني برنامج طاقة نووية يتكون من ثلاثة مراحل، استنادا إلى دورة وقود مغلقة، تتطلب إعادة معالجة الوقود المستهلك من كل مفاعل ذري من أجل التمكن بشكل حكيم من استخدام المادة المتوفرة القابلة للانشطار لأغراض سلمية. في المرحلة الأولى من البرنامج الأهلي، فإن المفاعلات الذرية المبردة بالمياه الثقيلة والمزودة بوقود اليورانيوم (بي اتش دبليو آر اس)، والتي تنتج كهرباء بشكل فعال، تولد أيضا بلوتونيوم لإطلاق المرحلة الثانية.

إن المرحلة الثانية، استنادا إلى المفاعلات الذرية المولدة السريعة (اف بي آر اس)، التي تستخدم بشكل مبدئي البلوتونيوم المستخرج من الوقود المستهلك من مفاعلات المرحلة الأولى، تضاعف سعة المركبة عدة مرات عن طريق تحويل المادة المخصبة (اليورانيوم المعاد معالجته، وفي مرحلة لاحقة الثوريوم) إلى المادة القابلة للانشطار بينما يتم إنتاج الكهرباء. 3 المرحلة الثالثة تتصور استخدام الثوريوم لتوفير إمداد مستدام من الطاقة لتلبية احتياجات الدولة. إن أي مضاعفة لمخزون المادة القابلة للانشطار في الهند بحاجة أيضا إلى إنشاء قاعدة طاقة أعلى من أجل استخدام الثوريوم في المرحلة الثالثة من البرنامج.

النمو التاريخي و الوضع الحالي للطاقة النووية في الهند

قام الدكتور/ هومي جيهانجير بصياغة الإستراتيجية اللازمة لوضع برنامج أبحاث نووية في الهند حتى قبل أن تحصل الهند على الاستقلال. أراد أن تكون الهند معتمدة على ذاتها في هذا المجال الناشئ حديثا. بدأ برنامج الطاقة النووية الهندي في عام 1945 بإنشاء معهد تاتا للأبحاث الأساسية (تي آي اف آر).

البحث و التطور

مركز بهابها للأبحاث الذرية

في عام 1957، تم نقل عمل البحث والتطوير الذي يقتصر على الطاقة النووية إلى مؤسسة ترومباي للطاقة الذرية (ايه ئي ئي في) المنشأة حديثاً، والمعاد تسميتها بمركز بهابها للأبحاث الذرية (بي ايه آر سي) في عام 1967. طوال العقود العديدة الماضية، تم إقامة بنية تحتية متعددة التخصصات لإجراء البحث والتطوير في العلوم والهندسة النووية وذلك في مركز بهابها للأبحاث الذرية. تشتمل هذه على مفاعلات أبحاث عديدة، وعدد كبير من المختبرات ومرافق الأبحاث الأخرى التي تتعامل مع تطوير العلوم والهندسة الأساسية وكذلك التطبيقية. إن معظم الوحدات الأخرى التابعة للإدارة الهندية للطاقة الذرية (دي ايه ئي)، التي تتعامل مع مختلف جوانب برنامج الطاقة النووية، كان لديها أيضاً أصولها في مركز بهابها للأبحاث الذرية.

مفاعلات الأبحاث

أحد القرارات الأولى التي اتخذها الدكتور/ بهابها كان بناء مفاعلات أبحاث من مختلف الأنواع لتطوير فهم عميق للمسائل المعقدة المرتبطة بمراقبة التفاعل المتسلسل النووي. إن تصميم المفاعلات يقتضي ضمناً جعل علم الهندسة، تصميم الوقود، السلامة، اختيار المواد، سلوك تعرض الوقود للإشعاع والمواد الإنشائية أقرب ما يكون إلى الكمال. إن أول مفاعلات الأبحاث هذه كان عبارة عن مفاعل من نوع حمام سباحة (أنظر الشكل 9-2)، و المسمى بشكل ملائم بـ "أبسارا" - بعد عذراء المياه السماوية- من قبل أول رئيس وزراء للهند، بانديت جواهر لال نهرو. 4 مع وجود أبسارا، أصبحت الهند أول دولة آسيوية خارج الاتحاد السوفييتي السابق قامت بتصميم و بناء المفاعل النووي الخاص بها. من المفيد أن نتذكر

كيف كان تاريخ حرجية أبسارا (4 أغسطس 1956) قريباً لأول مفاعل لتوليد الكهرباء، إيه ام-1، وهو عبارة عن مفاعل 5 ميجاوات يهدأ بالـ غرافيت ومبرد بالمياه بدأ التشغيل في أوبنيسك في روسيا بتاريخ 27 يونيو 1954. الخطوة الحاسمة التالية المتحققة في عام 1960 مع بناء سيرس، وهو عبارة عن مفاعل أبحاث بطاقة كهربائية عالية (40 ميجاوات). إن هذا المفاعل المعروف آنذاك بمفاعل كندا الهند والآن معروف بـ سيرس، تم بناؤه بالتعاون مع كندا. إن التجارب التي تم القيام بها مع سيرس وأبسارا قد وفرت الثقة والخبرة اللازمتين لتصميم والتشغيل الآمن لكثير من مفاعلات الطاقة النووية الأخرى في الدولة. في أوائل عام 1961، تم بناء منشأة حرجة لطاقة صفر تسمى زيرلينا (مفاعل طاقة صفر للتحريات التشابكية والتركيبات الجديدة) وذلك لدراسة مختلف الجوانب الهندسية (المعايير التشابكية) لمفاعل مزود بوقود اليورانيوم الطبيعي ويهدأ بالمياه الثقيلة. الخطوة المنطقية التالية كانت بناء منشأة حرجة، استخدمت البلوتونيوم كوقود. تم بناء مثل ذلك مفاعل الاختبارات في عام 1972 وتم تسميته بـ بورنيم (مفاعل البلوتونيوم لاستقصاء النيوترون في التركيبات المضاعفة). تم إعداد هذا المفاعل لدراسة سلوك وقود البلوتونيوم في مفاعل سريع النبضية (والذي كان متوقعا أن يكون منشأة اختبارية لتجارب استطارة النيوترون ولكن لم يتم قبوله في نهاية المطاف للإنشاء). عقب هذا الأمر، تم أيضا تصميم منشأة حرجة تسمى بورنيم 2، مع محلول يحتوي على 400 غم من نيترات اليورانيوم (استنادا إلى يو -233) يخدم كوقود لهذه المنشأة. بلغت حرجية التفاعل في عام 1984. تم الشعور آنذاك بالحاجة إلى مفاعل أبحاث حتى بمقادير تدفق وإشعاع نيوترون أكبر من سيرس، وذلك لتلبية المتطلبات اللازمة للنظائر المشعة والبحث. توج هذا الأمر ببناء مفاعل أبحاث 100 ميجاوات أهلي بشكل كامل، محققاً أعلى تدفق في آسيا في ذلك الوقت. بلغت حرجية التفاعل في عام 1985 وتم تسميته بـ دهورفا.

مركز أنديرا غاندي للبحث الذري

تم بدء العمل الأولي للبحث والتطوير على المفاعلات السريعة، ويشمل ذلك على تكنولوجيا الصوديوم، في مركز بهابها للأبحاث الذرية. تم البدء في العمل على إقامة مركز أبحاث مفاعل في كالبكام في عام 1971، وذلك بشكل جوهري لمتابعة برنامج لتطوير تكنولوجيا المولد السريع. تم إعادة تسمية مركز أبحاث المفاعل بـ مركز أنديرا غاندي للبحث الذري (آي جي سي ايه آر) في ديسمبر 1985. لدى هذا المركز منشآت حديثة لتطوير واختبار مواد، مكونات وأنظمة مفاعل مولد سريع، بما في ذلك تلك المطلوبة للعمل مع صوديوم ذو درجة حرارة عالية.

تم اختبار مفاعل اختبار مولد سريع (اف بي تي آر) في عام 1985، بوقود أهلي من الكريد المخلوط بالبلوتونيوم و اليورانيوم، والذي يوفر تصميمًا ذو قيمة وخبرة تشغيلية. استنادًا إلى التشغيل الناجح لـ مفاعل اختبار المولد السريع، تقرر مباشرة العمل على المرحلة التجارية لبرنامج المفاعل السريع، من حيث مفاعل مولد سريع بطاقة 500 ميجاوات في كالبكام، في عام 2003.

كجزء من الدراسات بوقود يو-233، تم تصميم وبناء مفاعل أبحاث حوضي (الشكل 9-4) كاميني (كالبكام ميني). 6 قبل هذا، تم بناء نموذج بالحجم الطبيعي لقلب هذا المفاعل وأصبح حرجيًا في أبريل 1992. أطلق عليه اسم بورنيما-3. أصبح كاميني قيد التشغيل في عام 1996. إن هذا المفاعل يستخدم بشكل مكثف كمصدر للنيوترون لتطبيقات البحث مثل الطب الإشعاعي بالنيوترون للوقود النووي المعالج بالأشعة والأجهزة الحرارية لبرنامج الفضاء الهندي.

محطات الطاقة النووية التجارية

شركة الطاقة النووية المحدودة في الهند (ان بي سي آي ال)

بشكل مبدئي، تم العمل على برنامج مفاعل نووي يبرد بالماء الثقيل المضغوط في مركز بهابها للأبحاث الذرية. في عام 1967، قامت إدارة الطاقة الذرية بإنشاء قسم هندسة مشاريع الطاقة (بي بي ئي دي) و الذي لديه المسؤولية عن تصميم، هندسة، تأمين، إنشاء، اختبار، تشغيل وصيانة محطات الطاقة الذرية. مع التوسعة المقترحة لبرنامج الطاقة النووية، تم تأسيس مجلس طاقة نووية في عام 1984 لتنفيذ البرنامج. تم تحويل مجلس الطاقة النووية إلى مؤسسة وتم تسجيل مؤسسة الطاقة النووية في الهند (ان بي سي آي ال) كشركة محدودة عامة في عام 1987.

إن إقامة مفاعلات نووية يبرد بالماء الثقيل المضغوط ومنشآت دورة الوقود المصاحبة لها هي فعلا في المجال الصناعي. تقوم مؤسسة الطاقة النووية المحدودة في الهند حاليا بتشغيل سبعة عشر وحدة طاقة نووية (بما في ذلك مفاعلين بي دبليو آر) في ستة مواقع، كما تقوم بتنفيذ إنشاء ست (بما في ذلك مفاعلين يبردان بالماء الثقيل المضغوط ومفاعل ذو طبقة مميعة واحد) مشاريع طاقة نووية جارية، و تتعامل مع أنشطة ذات علاقة أخرى. إن محطات الطاقة العاملة القائمة هي: وحدات محطة تارابور للطاقة الذرية (تابس) 1، 2، 3 و 4 في مهاراشترا، وحدات محطة راجاستان للطاقة الذرية (رابس) 1، 2، 3 و 4 في راجاستان، وحدات مدراس للطاقة الذرية (مابس) 1 و 2 في تاميل نادو، وحدات محطة نارورا للطاقة الذرية (نابس) 1 و 2 في اوتار براديش، وحدات محطة كاكرابار للطاقة الذرية (كابس) 1 و 2 في جوجارات، ووحدات محطة كيجا للطاقة الذرية (كيجا) 1، 2 و 3 في كاراتاكا.

محطة تارابور للطاقة الذرية (تابس)

كانت محطة تارابور للطاقة الذرية (تابس)، استنادا إلى مفاعل يبرد بالماء المضغوط، بمثابة استثناء لبرنامج الطاقة النووية المكون من ثلاثة مراحل والمصوغ من قبل ايه ئي سي. إن هذا الانحراف كان أيضا استنادا إلى حقيقة أن نقص الطاقة في المنطقة الغربية يمكن خفضه بشكل أكثر اقتصاديا عن طريق بناء محطة طاقة نووية. إن هذه المحطة، المبنية

من قبل شركة جنرال الكتريك (جي ئي)، الولايات المتحدة الأمريكية على أساس تسليم مفتاح، بدأت التشغيل التجاري في عام 1969. إن إنشاء محطة تارابور للطاقة الذرية (تابس) كان مفيدا جدا في اكتساب خبرة أولية في إنشاء و تشغيل محطات طاقة نووية.

المفاعلات المبردة بالمياه الثقيلة المضغوطة (بي اتش دبليو آر اس)

بالتوازي مع إنشاء تابس-1 و -2، بدأ العمل في محطة طاقة نووية ثانية بالقرب من كوتا، راجاستان، كمشروع هندي - كندي مشترك. بدأت الوحدة الأولى من هذه المحطة التشغيل التجاري في عام 1972. تبع ذلك إنشاء مفاعل آخر واحد في راجاستان ومفاعلين آخرين في كالبام. كان التركيز في هذه المرحلة على زيادة المشاركة المحلية في التصميم، تصنيع المعدات والإنشاء. تم تصميم نسخة هندية موحدة القياس في هذه المرحلة، مع تحسينات هامة عديدة مثل نظامين إغلاق يعملان بشكل سريع، حقن بضغط مرتفع وكذلك منخفض لنظام التبريد المركزي (ئي سي سي اس) حصر مزدوج كامل، تصميم درع-طرفي معبأ بالكريات جديد، الخ. تم استخدام هذا النظام من نارورا فصاعدا. إن أي تقدير مرتب زمنيا لإنشاء محطات طاقة نووية هندية تعمل حاليا متوفر في أي مكان آخر.

لقد مرت الطاقة النووية في الهندية بمراحل مختلفة من التطور. خدمت محطات تابس -1 و -2، و رابس -1 للبرهنة على التكنولوجيا من خلال تعاون دولي. أدت الجهود اللاحقة إلى جعل التكنولوجيا هندية (رابس-2، مابس-1 و -2)، و تبع ذلك توحيد قياس وتوحيد قاعدة المعرفة (تشغيل نابس -1 و -2، كابس-1 و -2، رابس-3 و -4). لقد حققت الهند الآن بشكل ناجح تتجير تكنولوجيا المفاعلات المبردة بالمياه الثقيلة المضغوطة وهي منهكة في تصميم وتطوير المفاعلات المبردة بالمياه الثقيلة المضغوطة ذات القدرة والإمكانية المعززة.

على الطريق من راجاستان-1 إلى كاكرابار-2، تم تحسين مستوى المفاعلات المبردة بالمياه الثقيلة المضغوطة بشكل تصاعدي لتحسين المزيد من سلامتها، اقتصادياتها وعولها. في الوقت الحاضر، فإن هناك ثلاث وحدات من المفاعلات المبردة بالمياه الثقيلة المضغوطة بطاقة 220 ميجاوات في مرحلة متقدمة من الإنشاء في كيجا و راجاستان. بالرغم من أن

تابس 3- و 4- هما من المفاعلات المبردة بالمياه الثقيلة المضغوطة بطاقة 500 ميجاوات، إلا أن برنامج إنشاء مفاعلات إضافية مبردة بالمياه الثقيلة المضغوطة ذات طاقة 700 ميجاوات قد تم رسم الخطوط الكبرى له. إضافة إلى ذلك، فإن هناك مفاعلين من نوع في في ئي آر مبردان بالمياه الثقيلة المضغوطة، كل واحد منهما بطاقة 1.000 ميجاوات، يتم بناؤهما بالتعاون الروسي، في المراحل المتقدمة من الإنشاء في كودانكولام، تاميل نادو.

فترة الحمل و الإنشاء

إن فترة إنشاء محطات الطاقة النووية الهندية تضاهي أفضل الممارسات في المحطات الأخرى في العالم (حوالي خمس سنوات). إن تكلفة إنجاز أي محطة طاقة نووية هندية أهلية (بي انتش دبليو آر) هي أقل بشكل فعلي من التكاليف الدولية.

برنامج المفاعل السريع

تم إجراء دراسات على محتوى برنامج المفاعل السريع (اف بي آر)، ونوع مفاعل الاختبار المراد بناؤه، وذلك في أوائل عام 1960. تم التوقيع على اتفاقية تعاون في عام 1969 مع فرنسا بشأن المعرفة الفنية لبناء مفاعل اختبار في الهند مماثل لمفاعل رابسودي الفرنسي. من أجل اكتساب خبرة في مولدات البخار ومحطات الطاقة في سياق المفاعلات المبردة بالمياه الثقيلة المضغوطة، تقرر إضافة تلك المرافق إلى مفاعل اف بي تي آر.

تم الانتهاء من إنشاء مفاعل اف بي تي آر في عام 1984. المكونات الحرجة لمفاعل اف بي تي آر، مثل وعاء المفاعل، السدادات الدوارة، آليات دفع - قضيب - التحكم، مضخات الصوديوم، مولدات البخار وماكنات التعامل مع المكونات تم تصنيعها في الهند بمعرفة فنية من فرنسا. فقط 20 بالمائة من إجمالي تكلفة المفاعل كان في تغيير العملة الأجنبية، والمدفوعة بشكل رئيسي مقابل المعرفة الفنية والمواد الخام. تم تأمين الصوديوم للمفاعل من موردين محليين وتم تنقيته في مركز أنديرا غاندي للبحث الذري (آي جي سي ايه آر). بعد اختبار مختلف الأنظمة في عامي 1984-1985، تم جعل مفاعل اف بي تي آر حرجيا

للتفاعل في عام 1985. أنتج المفاعل بخارا نوويا في شهر يناير 1993 ووصل إلى مرحلة مميزة عندما تم زيادة مستوى الطاقة إلى 10.5 ميجاوات في شهر ديسمبر 1993. تم تحقيق عملية تدوير التربين باستخدام بخار نووي في عام 1996 وتم توصيل المفاعل إلى الشبكة بتاريخ 11 يوليو 1997. إن تسليط الضوء على تشغيل المفاعل اف بي تي آر يعتبر بمثابة الأداء الممتاز لمضخات الصوديوم، مبادلات الحرارة المتوسطة ومولد البخار.

بعد الانتهاء من التصميم، البحث والتطوير المصاحب له وتطوير تكنولوجيا التصنيع لمفاعل مولد سريع من الطراز الأولي (بي اف بي آر) بطاقة 500 ميجاوات، والتي صفاته¹⁰ مبينة في الجدول 9-2، تم البدء بإنشاء محطة المفاعل بي اف بي آر في كالباكام في عام 2003 وهي الآن في مرحلة متقدمة. تم إقامة مؤسسة مستقلة تدعى بهافيني لهذا الغرض. إن هذه المجازفة الجديدة تضرب مثلا على التعاون بين مواطن القوة لأعمال البحث والتطوير لمركز أنديرا غاندي للبحث الذري وتخطيط المشاريع وخبرة الإنشاء لشركة الطاقة النووية المحدودة في الهند (ان بي سي آي إل).

ملاحظة المترجم: الكلمات التي تحتها خط مأخوذة من معجم المصطلحات العلمية والفنية الهندسية الجديد.