View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk
brought to you by CORE
provided by NOPR

भारतीय वैज्ञानिक एवं औद्योगिक अनुसंधान पत्रिका
वर्ष 27 अंक (1&2) जून एवं दिसम्बर 2019 पृ. 26-33

सोडियम शीतलक द्रुत रिएक्टर की सुरक्षा के लिए सोडियम वायुविलय की विशेषताओं का अध्ययन

अमित कुमार, पी एन सुजाता, पी उषा, वी सुब्रमनियन, सी वी श्रीनिवास, आर बास्करन एवं बी वेंकटरमन
रेडियोलॉजिकल और पर्यावरण सुरक्षा प्रभाग, इंदिरा गांधी परमाणु अनुसंधान केंद्र, कलपक्कम 603 102 (तमिलनाडु)

सारांश : तरल सोडियम को शीतलक के रूप में सोडियम शीतलक द्रुत रिएक्टर (एसएफआर) में प्रयोग किया जाता है। जब तरल सोडियम हवा के साथ प्रतिक्रिया करता है तब सोडियम दहन एयरोसॉल का उत्पादन होता है। ये एरोसॉल्स मानव के साथ-साथ उपकरणों के लिए भी बहुत संक्षारक (नुकसान पहुचने वाला) हैं। अतः एसएफआर की सुरक्षा के अध्ययन के संदर्भ में, सोडियम वायुविलय के भौतिक और रासायनिक विशेषताओं का अध्ययन बहुत ही महत्वपूर्ण है। इस रिपोर्ट में, सोडियम ऐरोसॉल्स के गुण और विशेषताओं का एसएफआर के सामान्य प्रचालन और आकस्मिक परिस्थितियों में उत्पन्न ऐरोसॉल्स का विस्तार से वर्णन किया गया है। कवर गैस क्षेत्र में सोडियम एयरोसॉलु, सोडियम के वाष्पीकरण और संघनन द्वारा उत्पादित होता है जबकि एसजीबी और आरसीबी में उत्पादित एयरोसॉलु, सोडियम दहन के परिणाम स्वरूप बनते हैं। कवर गैस क्षेत्र में सोडियम वायुविलय आकार वितरण (द्रव्यमान मध्य व्यास- एमएमडी) और एयरोसॉल की द्रव्यमान संकेन्द्रण 1.0 से 12 µm और 0.02 से 31.5 g/m^3 तक क्रमशः होती है जब सोडियम पूल का तापमान 250 से 550°C तक बढ़ाते हैं, दूसरी तरफ सोडियम दहन के एयरोसॉल का एमएमडी 1.0 से 4.0 µm तक है जब सापेक्षिक आर्द्रता 20 से 95% तक बढ़ाते हैं। आरसीबी और एसजीबी में सोडियम दहन एयरोसॉल की द्रव्यमान संकेन्द्रण 3 से 4 g/m^3 होता है। कवर गैस में सोडियम एयरोसॉल की रासायनिक प्रकृति शुद्ध सोडियम (Na) की तरह है जबकि एसजीबी और आरसीबी में सोडियम यौगिक (NaOH, Na_2CO_3, और $NaHCO_3$) के रूप में होते हैं।

Studies on sodium aerosol characteristics for safety studies of sodium cooled fast reactor

Amit Kumar, P N Sujatha, P Usha, V Subramanian, C V Srinivas, R Baskaran & B Venkatraman
Radiological and Enviornmental Safety Division, Indira Gandhi Center for Atomic Research
Kalpakkam, 603 102 (Tamilnadu)

Abstract

The liquid sodium is used as coolant in Sodium cooled Fast Reactors (SFR's). When liquid sodium reacts with air it produced sodium combustion aerosols. These aerosol are very hazardous to the human and corrosive for instruments. In this context, the studies on the physical and chemical characteristics of sodium aerosol are very important for safety of SFR. In this article, the sodium aerosol characteristics and properties produced under normal operation as well as reactor accident are presented. The sodium aerosol in the cover gas region is produced by evaporation and condensation of sodium while in SGB and RCB sodium aerosol are produced by sodium combustion process. The size distribution (Mass Median Diameter-MMD) and concentration of sodium aerosol in cover gas varies from 1.0 to 12 µm and 0.02 to 31.5 g/m^3 when temperature of the sodium pool increased from 250-550°C on other hand the MMD of sodium combustion aerosol is varies from 1.0 to 4.0 µm when relative humidity increased from 20 to 95%. The concentration of sodium combustion aerosol in RCB and SGB is 3-4 g/m^3. The chemical nature of sodium aerosol in cover gas is pure sodioum (Na) while in SGB and RCB are compounds of sodium (NaOH, Na_2CO_3 and $NaHCO_3$).

प्रस्तावना

भारत में परमाणु ऊर्जा कार्यक्रम को तीन चरणों में विकसित करने का प्रयास किया जा रहा है। इसमें दबाव वाले भारी पानी रिएक्टर (पीएचडब्ल्यूआर), द्रुत प्रजनक रिएक्टर (एफबीआर), तथा प्रगत भारी पानी रिएक्टर (एएचडब्ल्यूआर) शामिल हैं। द्वितीय चरण में, द्रुत प्रजनक परीक्षण रिएक्टर (एफबीटीआर) इंदिरा गाँधी परमाणु अनुसंधान केंद्र-कलपक्कम में कार्यरत है। आदि प्रारूप द्रुत प्रजनक रिएक्टर (पीएफबीआर) का निर्माण प्रगति पर है। दोनों प्रकार के रिएक्टर को सोडियम शीतलक द्रुत रिएक्टर (एसएफआर) कहते हैं। एसएफआर में उच्च ऊर्जा वाले न्यूट्रॉन को, विखण्डीय पदार्थ की शृंखला अभिक्रिया को बनाये रखने के लिये तथा उर्वर पदार्थ का प्रजनन करने के लिये प्रयोग में लिया जाता है। एसएफआर में तरल सोडियम को शीतलक के रूप में प्रयोग किया जाता है। तरल सोडियम को शीतलक के रूप में प्रयोग करने के प्रमुख निम्नलिखित लाभ हैं-

(1) तरल सोडियम की न्यूट्रॉन अवशोषण और प्रकीरण क्षमता कम है,
(2) तरल सोडियम की तापीय और विद्युत चालकता उच्च है,
(3) यह कम चिपचिपा होता है।
(4) इसका क्वथनांक उच्च होता है।
(5) इसका अंतर्राष्ट्रीय अनुभव तथा परिपक्व प्रौद्योगिकी है।
(6) यह संरचनात्मक सामग्री के साथ अनुकूल भी है।

एसएफआर में, सोडियम को दो पाशों में चलाया जाता है। प्राथमिक पाश, कोर में उत्पन्न ऊष्मा को दूर ले जाता है और द्वितीय पाश, ऊष्मा को प्राथमिक पाश से लेकर वायलार परिपथ में ऊष्मा उत्पन्न करने के लिये ऊष्मा हस्तांतरण करता है। एसएफआर बुनियादी तौर पर दो प्रकार के होते हैं- (1) लूप प्रारूप सोडियम शीतलक द्रुत रिएक्टर, तथा (2) कुंड (पूल) प्रारूप सोडियम शीतलक द्रुत रिएक्टर। द्रुत प्रजनक परीक्षण रिएक्टर (एफबीटीआर), लूप प्रारूप सोडियम शीतलक द्रुत रिएक्टर है और आदि प्रारूप द्रुत प्रजनक रिएक्टर (पीएफबीआर), कुंड (पूल) प्रारूप सोडियम शीतलक द्रुत रिएक्टर है। एफबीटीआर, लूप प्रारूप और ठंड छत (रूफ) अवधारणा का एसएफआर है, जबकि पीएफबीआर, कुंड (पूल) प्रारूप और गर्म छत (रूफ) की अवधारणा का एसएफआर है[3,9]।

फायदे के अलावा तरल सोडियम को शीतलक के रूप में प्रयोग करने के कुछ नुकसान भी हैं। तरल सोडियम की रासायनिक प्रतिक्रिया वायुमंडलीय वायु और पानी के लिए बहुत प्रतिक्रियाशील है। जब तरल सोडियम हवा के साथ प्रतिक्रिया करता है तो यह सोडियम दहन वायुविलय का निर्माण होता है। ये एरोसॉल्स मानव के साथ-साथ उपकरणों के लिए भी बहुत संक्षारक प्रकृति के होते हैं। एसएफआर के संरक्षा में सोडियम एवं विखंडन उत्पाद वायुविलयों के रूप में अथवा इनके साथ सयुंक्त होकर वायु के साथ वातावरण में प्रवाहित होते हैं। ऐसा दुर्घटना/क्षरण के कारण होता है। वायु प्रवाह की निम्न/उच्च वेग क्षमता के कारण ये पास अथवा दूर परिवहित किये जा सकते हैं। किसी भी तरह के नाभिकीय रिएक्टर की संरक्षा/संचालन में प्रभावी भूमिका अदा करते हैं। वायुविलय प्राकृतिक रूप से अथवा मानव निर्मित प्रक्रियाओं से उत्पादित किये जा सकते हैं। वायुविलय की परिभाषा और वर्गीकरण का विस्तार से विवरण अनुलग्नक-1 में किया गया है[3]।

एसएफआर के सामान्य प्रचालन के दौरान और साथ ही साथ रिएक्टर की आकस्मिक परिस्थितियों में सोडियम, विखंडन पदार्थ और ईंधन ऐरोसॉल्स के गठन पर विस्तृत परिदृश्य को यहा वर्णित किया जा रहा है-

(1) एसएफआर के सामान्य प्रचालन में, तरल सोडियम की गर्म पूल सतह से सोडियम का वाष्पीकरण और कवर गैस क्षेत्र के भीतर तुरंत संक्षेपण ही सोडियम वायु विलय बनाने का कारक है। ये सोडियम वायुविलय कवर गैस क्षेत्र में ऊष्मा और द्रव्यमान के स्थानांतरण में एक महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। सोडियम वायुविलय, कुण्डलाकार घूर्णन शीर्ष प्लग के सूक्ष्म अंतराल में जमा हो सकते हैं और रिएक्टर परिचालन में बाधा डाल सकते हैं।

(2) रिएक्टर के द्वितीय पाश में, सोडियम को ले जाने वाले पाइप में दरार पड़ने से सोडियम का रिसाव होने लगता है। जैसे ही यह सोडियम, वातावरण के संपर्क में आता है, सोडियम का दहन होने लगता है और इस प्रकार सोडियम वायुविलय भाप उत्पन्न करने वाली इमारत में फैल जाते हैं। यह सोडियम वायुविलय, मानव और उपकरणों के लिए बहुत संक्षारक प्रकृति के होते हैं।

(3) कोर विघटनकारी दुर्घटना की संभावना में, सोडियम के साथ-साथ विघटन पदार्थ और ईंधन सामग्री, शीर्ष प्लग को भेद कर रिएक्टर रोकथाम इमारत में पहुंच सकता है। जैसे ही गर्म सोडियम वातावरण के संपर्क में आता है, सोडियम दहन करने लगता है जिससे सोडियम दहन वायुविलय उत्पन्न होते हैं तथा विखंडन पदार्थ और ईंधन सामग्री के वाष्प कणों का संक्षेपण ही वायुविलय बनने का कारक है। इस प्रकार रिएक्टर रोकथाम इमारत में सोडियम दहन वायुविलय के साथ-साथ विखंडन पदार्थ और ईंधन सामग्री के वायुविलय एक साथ मौजूद रहते हैं। ये एरोसॉल्स रासायनिक और रेडियोधर्मी प्रकृति के होते हैं तथा मानव और उपकरणों के लिए बहुत ही हानिकारक होते हैं।

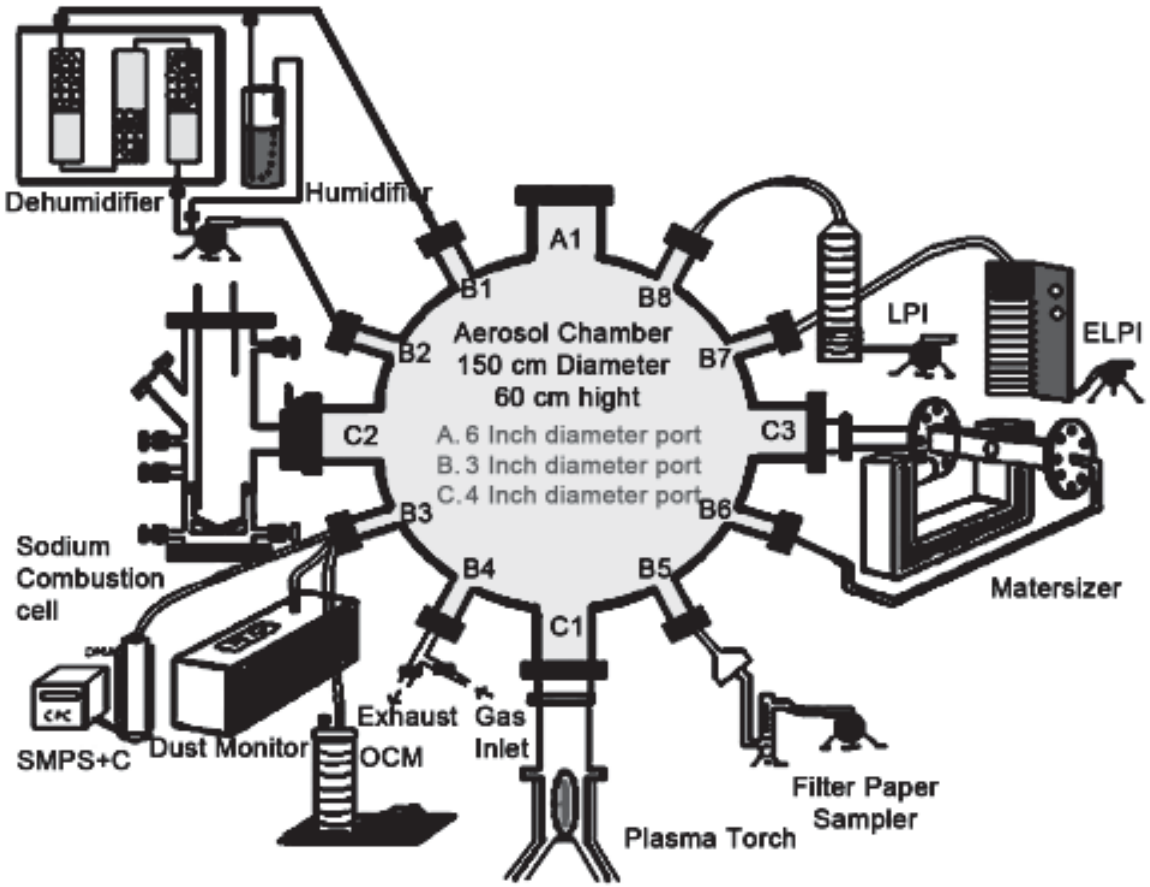
अतः सोडियम शीतलक द्रुत रिएक्टर की सुरक्षा के अध्ययन के संदर्भ में, सोडियम, विखंडन पदार्थ और ईंधन सामग्री एरोसॉल्स

के भौतिक और रासायनिक विशेषताओं का अध्ययन बहुत ही महत्वपूर्ण हैं। इस लेख में, सोडियम के एरोसॉल्स के गुण और विशेषताओं का एसएफआर के सामान्य प्रचालन और आकस्मिक परिस्थितियों में उत्पन्न एरोसॉल्स का विस्तार से वर्णन किया गया है।

सामग्री एवं विधि

सोडियम, विघटन पदार्थ और ईंधन सामग्री के ऐरोसॉल्स का अध्ययन एरोसॉल टेस्ट सुविधा (एटीएफ) में किया जाता है। एटीएफ, सोडियम शीतलक द्रुत रिएक्टर में वायुविलय की विशेषताओं का अध्ययन करने के लिए एक प्रायोगिक सुविधा है। एटीएफ की योजनाबद्ध आंकड़े को रेखाचित्र-1 में दर्शाया गया है। एटीएफ एक मीट्रिक घन बेलनाकार कक्ष, विखंडन उत्पादों और ईंधन सामग्री के समान एरोसॉल के उत्पादन के लिए एक प्लाज्मा मशाल और सोडियम एरोसॉल के लिए एक सोडियम दहन सेल से मिलकर बना है। एटीएफ में कई एयरोसॉल निदानिकी उपकरण, जैसे- फिल्टर पेपर नमूना, लेजर विवर्तन तकनीक (मास्टरसाइजर), लो दबाव इम्पेक्टर (एलपीआई), एरोसॉल स्पेक्ट्रोमीटर, अनुक्रमिक मोबिलिटी कण साइजर (एसएमपीएस) और इलेक्ट्रिकल लो दबाव इम्पैक्टर (ईएलपीआई) हैं। एटीएफ सुविधा में एक डेटा अधिग्रहण प्रणाली है, जो कि आर्द्रता नियंत्रक, दबाव ट्रांसड्यूसर और थर्मामीटरों के डेटा को एकीकृत रखता है। एटीएफ का विस्तृत विवरण शोध पत्र में पाया जा सकता है[1]।

सोडियम दहन एरोसॉल का निर्माण : सोडियम दहन कोशिका में ठोस सोडियम के कुछ ग्राम को एक क्रूसिबल में लेकर, तापक के ऊपर रखकर गरम करते हैं। सोडियम दहन कोशिका के वायुमंडल को आर्गन गैस के द्वारा 150 kPa अतिरिक्त दबाव पर संरक्षित रखते हैं। सोडियम को आवश्यक तापमान (550°C) तक तापक के द्वारा गरम किया जाता है। जब सोडियम का तापमान 550°C पहुंच जाए तब आर्गन गैस को बाहर निकलते हैं और वायुमंडलीय हवा को अंदर डालने पर गर्म सोडियम प्रज्वलित होने लगता है। सोडियम दहन से, दहन कक्ष में सोडियम ऑक्साइड एरोसॉल का गठन होता है। इस प्रकार सोडियम दहन एरोसॉल उत्पन्न होता



चित्र 1 – ए.टी.एफ. का योजनाबद्ध आरेख

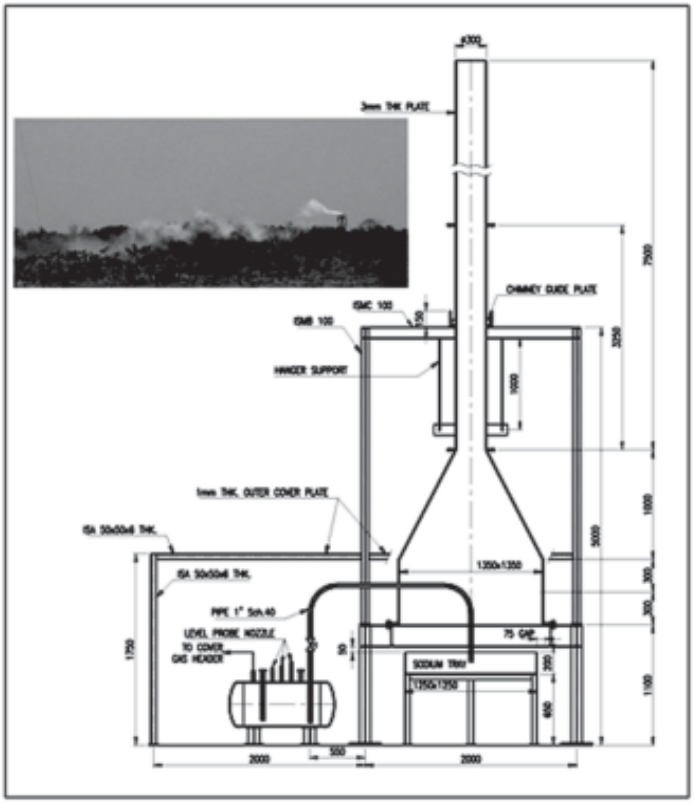
है। सोडियम दहन एरोसॉल, गेट वाल्व को पार करके एरोसॉल कक्ष में फ़ैल जाते हैं ।

वायुमंडल में सोडियम एरोसॉल प्रयोगात्मक सुविधा : सोडियम दहन एरोसॉल के पर्यावरणीय प्रभाव निर्धारण अध्ययन के लिए खुले वातावरण में सोडियम एरोसॉल विसर्जन की प्रायोगिक सुविधा के योजनाबद्ध आंकड़े चित्र-2 में दर्शाये गये हैं। यह सुविधा एक सोडियम टैंक, सोडियम जलने के लिए आयताकार ट्रे और सोडियम दहन एरोसॉल को वातावरण में छोड़ने के लिए 10 मीटर ऊँची चिमनी से मिलकर बनी है[2,8]। इस प्रायोगिक सुविधा का उपयोग भाप उत्पन्न करने वाली इमारत से निकलने वाले सोडियम एरोसॉल्स के गुण और विशेषताओं का अध्ययन करने के लिए उपयोग किया जाता है।

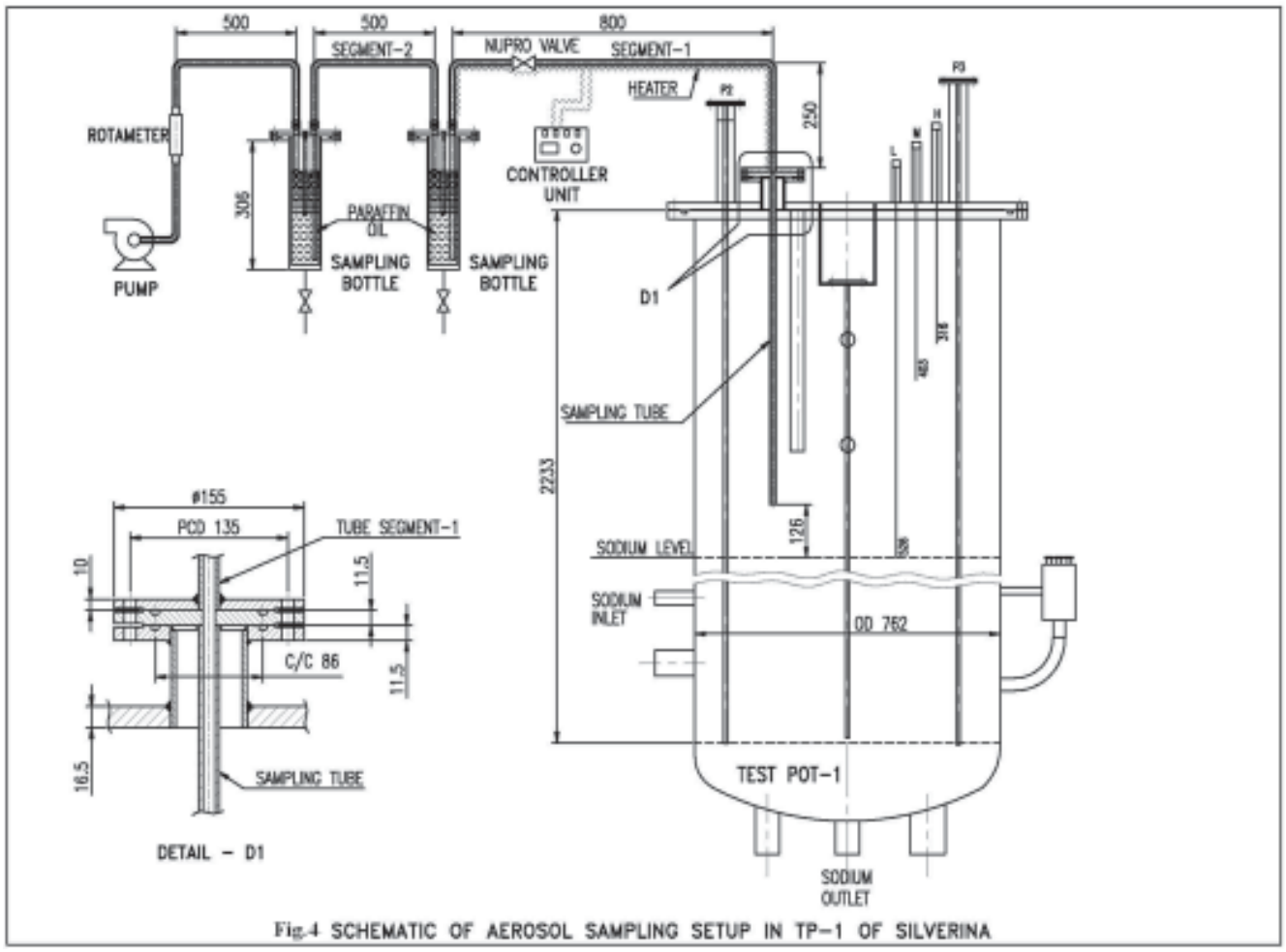
सोडियम धातु के एरोसॉल का कवर गैस क्षेत्र में निर्माण : कवर गैस क्षेत्र में उत्पन्न सोडियम धातु एरोसॉल के अध्ययन के लिए लिए नमूना प्रणाली के साथ सिल्वेरिना लूप सुविधा के (टीपी-1) पत्र का योजनाबद्ध रेखाचित्र चित्र-3 में दर्शाया गया है। यह सुविधा सोडियम को रखने के लिए एक टैंक, सोडियम एरोसॉल नमूना प्रणाली, सोडियम स्तर सेंसर, आर्गन गैस से भरा गैस क्षेत्र (0.8 m) और सोडियम पूल के तापमान की निगरानी के लिए तापमान सेंसर से मिलकर बनी है[4]।

परिणाम एवं विवेचना

सोडियम दहन एरोसॉल जोकि भाप उत्पन्न करने वाली इमारत तथा रिएक्टर रोकथाम इमारत में उत्पन्न हो सकते हैं। इन एरोसॉल का द्रव्यमान संकेन्द्रण 3-4 g/m^3 होता है। सोडियम एरोसॉल के द्रव्यमान का आकार वितरण आंकड़ा चित्र-4 में दिखाया गया है। चित्र-4 से देखा जा सकता है कि सोडियम एरोसॉल के द्रव्यमान आकार का वितरण एकल मोड और पॉलीडिस्पर्स है तथा द्रव्यमान माध्य व्यास (एमएमडी) 1.2 माइक्रोमीटर है। सोडियम एरोसॉल, सोडियम दहन के परिणामस्वरूप बनते हैं, इसलिए माइक्रोमीटर परिमाण के होते हैं। समय की प्रगति के साथ सोडियम एयरोसॉल के आकार वृद्धि आंकड़े को चित्र-5 में दिखाया गया है। चित्र-5 में देख सकते हैं कि सोडियम दहन एरोसॉल का द्रव्यमान माध्य व्यास समय के साथ बढ़ता जाता है



चित्र 2 – 10 मीटर ऊँची सोडियम एरोसॉल विसर्जन सुविधा



चित्र 3 – नमूना प्रणाली के साथ सिल्वेरिना लूप सुविधा का टीपी-1 पात्र

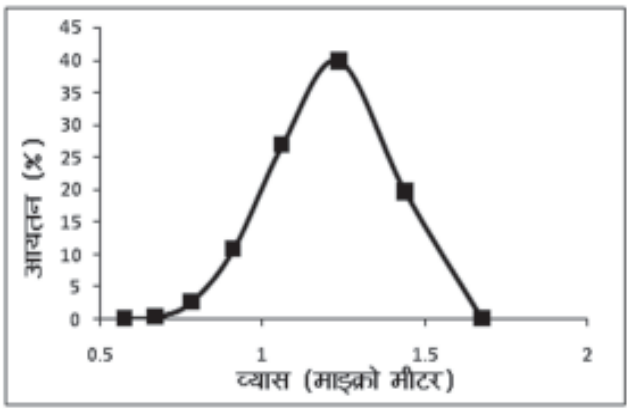
और कुछ समय के बाद स्थिर हो जाता है। सोडियम दहन एरोसॉल के द्रव्यमान माध्य व्यास का समय के साथ बढ़ना, एरोसॉल के स्कंदन और हाइग्रोस्कोपिक (hygroscopic) विकास के कारण होता है[6]। इसी तरह, सोडियम एयरोसॉल के द्रव्यमान संकेन्द्रण के समय के साथ परिवर्तन को चित्र-6 में दिखाया गया है।

चित्र-6 से देख सकते हैं कि सोडियम दहन एरोसॉल के द्रव्यमान संकेन्द्रण का वितरण समय के साथ घटता जाता है और कुछ समय के बाद स्थिर हो जाता है। सोडियम दहन एरोसॉल का द्रव्यमान संकेन्द्रण का समय के साथ घटना, एरोसॉल के गुरुत्वाकर्षण तलछट, प्रसार हानि और वायु-संचार के कारण होता है। इसके अलावा सोडियम दहन एरोसॉल का द्रव्यमान माध्य व्यास सापेक्षिक आर्द्रता बढ़ाने के साथ बढ़ता है। इस सन्दर्भ में, सोडियम दहन एयरोसॉल का द्रव्यमान माध्य व्यास और सापेक्षिक आर्द्रता के बीच एक अनुभवजन्य संबंध स्थापित किया गया है, जो कि नीचे दिया गया है।

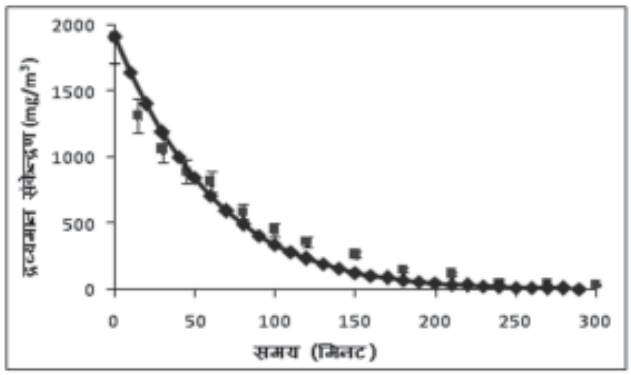
$$r = r_0 \times 0.97/(1 - RH)^{1/3} \quad \ldots (1)$$

जहां r_o, सूखी सोडियम एरोसॉल कण की त्रिज्या (0.45 μm) और RH, सापेक्षिक आर्द्रता 20% < RH <95% है। सोडियम दहन एयरोसॉल वायुमंडलीय हवा के साथ रासायनिक प्रतिक्रिया करके सोडियम यौगिक एरोसॉल (NaOH, Na_2CO_3, और $NaHCO_3$) बन जाते हैं।

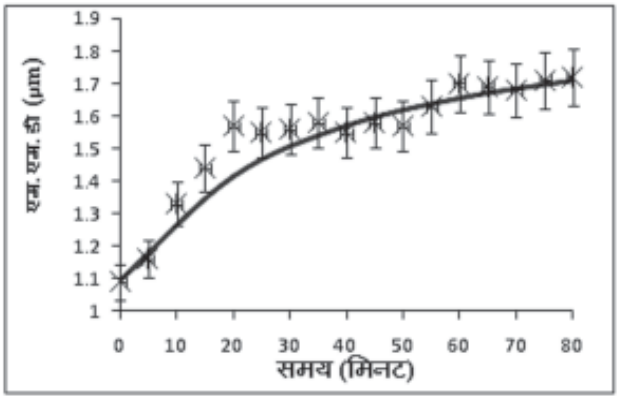
सोडियम दहन एरोसॉल के पर्यावरणीय प्रभाव निर्धारण अध्ययन के लिए खुले वातावरण में सोडियम एरोसॉल विसर्जन का प्रयोग सोडियम आग प्रयोगात्मक सुविधा में किया गया है। इसमें 50 kg सोडियम को आयताकार ट्रे में पूल आग के माध्यम से एरोसॉल को उत्पन्न किया गया और 10 मीटर ऊँची चिमनी



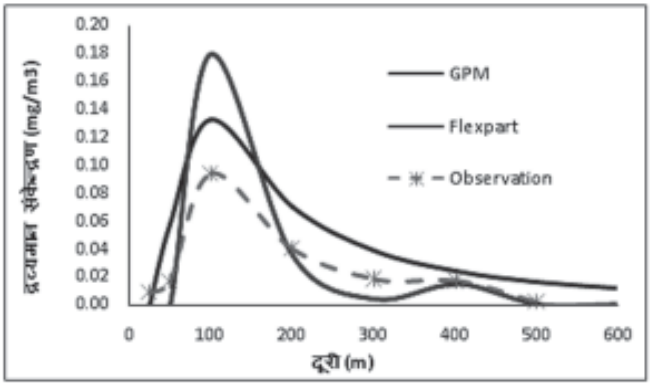
चित्र 4 – सोडियम एरोसॉल का आकार वितरण



चित्र 6 – सोडियम एरोसॉल के द्रव्यमान संकेन्द्रण का समय के साथ परिवर्तन



चित्र 5 – सोडियम एरोसॉल का द्रव्यमान माध्य व्यास की समय प्रगति के साथ आकार वृद्धि

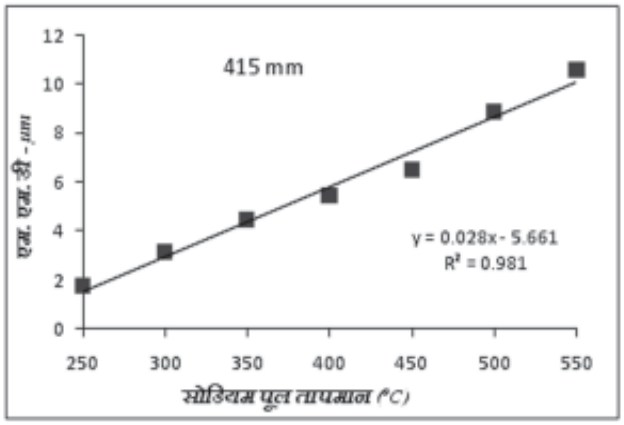


चित्र 7 – सोडियम एरोसॉल के द्रव्यमान संकेन्द्रण का दूरी के साथ परिवर्तन

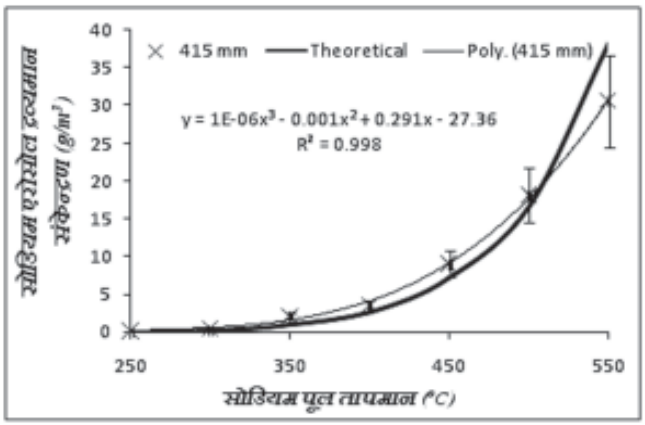
से वातावरण में विसर्जित किया गया। एरोसॉल विशेषताओं को रिलीज बिंदु से 700 मीटर की दूरी तक मापा गया। सोडियम एरोसॉल के द्रव्यमान संकेन्द्रण का दूरी के साथ परिवर्तन को चित्र-7 में दिखाया गया है। चित्र-7 से देख सकते हैं कि सोडियम दहन एरोसॉल के द्रव्यमान संकेन्द्रण का वितरण दूरी के साथ घटता जाता है तथा अधिकतम जमीनी स्तर की द्रव्यमान संकेन्द्रण रिहाई बिंदु से 100 मीटर दूरी पर 0.09 mg/m^3 है। गाऊशियन प्लूम मॉडल (जीपीएम) और लेक्सपार्ट से अनुमानित मान, मापे गए मान से अधिक है। सोडियम दहन एयरोसॉल की रासायनिक प्रजातियां रिलीज बिंदु से सभी दूरी में लिए सोडियम बाइकार्बोनेट ($NaHCO_3$) पाया गया हैं[2,8]।

कवर गैस क्षेत्र में उत्पन्न सोडियम धातु (मेटल) एरोसॉल्स का अध्ययन सिल्वेरिना लूप सुविधा में किया गया है। इस संबंध में, कवर गैस क्षेत्र में सोडियम मेटल एरोसॉल्स के लक्षण के वर्णन के लिए डिजाइन, विकसित और मान्य नई पद्धति और तकनीक तैयार की है (बिना एरोसॉल के भौतिक-रासायनिक गुणों को बदलते हुए)[9]। कवर गैस क्षेत्र में सोडियम मेटल एरोसॉल अनुसन्धान का मूल्यांकन करने के लिए यह तकनीक उपयोग में लायी गयी है। सोडियम धातु एरोसॉल की विशेषता हेतु किया गया अध्ययन 250°C से 55°C तक सोडियम पूल तापमान बदलकर किया गया है। सोडियम मेटल एरोसॉल का द्रव्यमान माध्य व्यास और द्रव्यमान संकेन्द्रण का सोडियम पूल तापमान के साथ परिवर्तन को चित्र-8 और 9 में क्रमशः दिखाया गया है। चित्र-8 से देख सकते हैं कि सोडियम मेटल एरोसॉल का द्रव्यमान माध्य व्यास (2.0 µm से 11.5 µm) सोडियम पूल तापमान के साथ रैखिक बढ़ता जाता है।

इसी तरह, रेखाचित्र 9 से देख सकते हैं कि सोडियम मेटल एरोसॉल के द्रव्यमान संकेन्द्रण (0.02 g/m^3 से 31.5 g/m^3) सोडियम पूल तापमान के साथ सोडियम पूल तापमान के साथ घातीय (exponential) बढ़ता जाता है। इसके अलावा, कवर गैस



चित्र 8 – सोडियम मेटल एरोसॉल का एमएमडी का सोडियम पूल तापमान के साथ परिवर्तन



चित्र 9 – सोडियम मेटल एरोसॉल के द्रव्यमान संकेन्द्रण सोडियम पूल तापमान के साथ परिवर्तन

क्षेत्र में सोडियम मेटल एरोसॉल एमएमडी और द्रव्यमान संकेन्द्रण सोडियम पूल के पास, मध्य क्षेत्र और शीर्षछत की तुलना में अधिक है। कवर गैस क्षेत्र में सोडियम मेटल एरोसॉल एम.एम.डी. और द्रव्यमान संकेन्द्रण L/D (L - कवर गैस क्षेत्र की ऊंचाई और D - कवर गैस क्षेत्र का व्यास) अनुपात पर भी निर्भर करती है। सोडियम मेटल एरोसॉल के द्रव्यमान संकेन्द्रण, कवर गैस क्षेत्र के एल./डी. अनुपात में कमी के साथ बढ़ता है जबकि सोडियम मेटल एरोसॉल का द्रव्यमान माध्य व्यास, एल./डी. अनुपात में वृद्धि के साथ बढ़ता है [10]।

इन प्रयोगात्मक परिणामों का उपयोग करके, कवर गैस क्षेत्र में सोडियम मेटल एरोसॉल त्रिज्या और औसत कवर गैस तापमान का अनुमान लगाने के लिए अनुभवजन्य संबंध स्थापित किया है। सोडियम मेटल एरोसॉल त्रिज्या और औसत कवर गैस तापमान अनुभवजन्य संबंध समीकरण 2 और 3 में दिया गया है।

$$T_m=(T_p*A_p)+(T_r*T_r)+(T_w*T_w)/(A_p+A_r+A_w) \quad \text{--------(2)}$$

$$R=\left(\frac{R_0}{2}\right)*\left(0.5046*\frac{L}{D}+1.0634\right)*\left(\frac{T_p}{T_{pi}}\right)^{2.5} \quad \text{-------(3)}$$

जहां, T_p - सोडियम पूल का तापमान, T_r - शीर्षछत का तापमान, T_w - दीवार की सतह का तापमान, T_m - औसत कवर गैस का तापमान, A_p - पूल का क्षेत्र, A_r - शीर्षछत का क्षेत्र A_w - दीवार की सतह का क्षेत्र, R_o - 250°C सोडियम पूल तापमान के लिए एरोसॉल त्रिज्या, T_{pi} - 250°C और R - भविष्यवाणी एरोसॉल त्रिज्या। सोडियम पूल तापमान और ज्यामिति का उपयोग करके, औसत कवर गैस तापमान और एरोसॉल्स के त्रिज्या का अनुमान लगाने के लिए अनुभवजन्य संबंध स्थापित किया है। इन अनुभवजन्य संबंधों का उपयोग करके, आकृति अनुपात $0.55 < L/D < 4.52$ और सोडियम पूल तापमान $250°C < Tp < = 550°C$ के लिए कवर गैस क्षेत्र में सोडियम मेटल एरोसॉल विशेषताओं का अनुमान लगाने के लिए एक सैद्धांतिक मॉडल विकसित किया है। मुख्य पात्र से सोडियम के रिसाव की स्थिति में, पीएफबीआर के मुख्य पात्र और सुरक्षा पात्र के बीच के क्षेत्र में सोडियम एरोसॉल संकेन्द्रण का अनुमान लगाने के लिए मॉडल का भी उपयोग किया जा सकता है ।

परिणाम एवं विवेचना

सोडियम शीतलक द्रुत रिएक्टर में, सोडियम दहन एरोसॉल्स भाप उत्पन्न करने वाली इमारत (एसजीबी) और रिएक्टर रोकथाम इमारत (आरसीबी) में सोडियम दहन के परिणाम स्वरूप बनते हैं। जबकि दूसरी तरफ कवर गैस क्षेत्र में सोडियम मेटल एरोसॉल, सोडियम के वाष्पीकरण और संघनन के परिणामस्वरूप बनते हैं। सोडियम दहन एरोसॉल और सोडियम मेटल एरोसॉल दोनों के द्रव्यमान आकार का वितरण एकल मोड और पॉलीडिस्पर्स होता है। कवर गैस क्षेत्र में सोडियम वायुविलय आकार वितरण (एमएमडी) और एयरोसॉल की द्रव्यमान संकेन्द्रण 1.0 से 12 µm और 0.02 से 31.5 g/m^3 तक क्रमशः होती है जब सोडियम पूल का तापमान 250 से 550°C तक बढ़ाते हैं, दूसरी तरफ सोडियम दहन के एरोसॉल का एमएमडी 1.0 से 4.0 µm तक होता है जबकि सापेक्ष आर्द्रता 20 से 95% तक बढ़ाते हैं। आरसीबी और एसजीबी में सोडियम दहन एयरोसॉल का द्रव्यमान संकेन्द्रण 3 से 4 g/m^3 होता है। कवर गैस क्षेत्र में सोडियम एरोसॉल की रासायनिक प्रकृति शुद्ध सोडियम की तरह है जबकि एसजीबी और आरसीबी में सोडियम यौगिक (NaOH, Na^2CO^3, और $NaHCO^3$) के रूप में होते हैं। मूलतः सोडियम एयरोसॉल के

द्रव्यमान संकेन्द्रण (एसजीबी और एसजीबी) का वितरण समय के साथ घटता जाता है। तथा एमएमडी समय के साथ बढ़ता जाता है। सोडियम दहन एरोसॉल के द्रव्यमान संकेन्द्रण का वितरण दूरी के साथ घटता जाता है तथा अधिकतम जमीनी स्तर की द्रव्यमान संकेन्द्रण, रिहाई बिंदु से 100 मीटर दूरी पर 0.09 mg/m^3 पाया गया है, जो की अन्तःश्वसन थ्रेशोल्ड सीमा से कम है। सोडियम दहन एयरोसॉल की रासायनिक प्रजातियां रिहाई बिंदु से सभी दूरी में लिए सोडियम बाइकार्बोनेट ($NaHCO_3$) पाया गया हैं। सोडियम हाइड्रॉक्साइड एयरोसॉल के लिए अन्तःश्वसन थ्रेशोल्ड सीमा 2 mg/m^3 है। जबकि सोडियम कार्बोनेट के लिए थ्रेशोल्ड सीमा 10 mg/m^3 तथा सोडियम बाइकार्बोनेट ($NaHCO_3$) के लिए थ्रेशोल्ड की कोई सीमा निर्धारित (धूल एक्सपोजर की तरह) नहीं है। आईजीसीएआर (इंडिया)-सीईए (फ्रांस) के बीच सहयोग के तहत यह परियोजना पूर्ण हुई है। इसी विषय पर, आईजीसीएआर (इंडिया)-सीईए (फ्रांस) के बीच नया प्रस्ताव प्रगति पर है। एसएफआर सुरक्षा से संबंधित कई और अध्ययन, जैसे दरार के माध्यम से एरोसॉल का रिसाव, सोडियम एरोसॉल के घनत्व और आकार, एरोसॉल पर गामा विकिरण का प्रभाव भी प्रगति पर हैं।

आभार

इस लेख को प्रकाशित करने की अनुमति प्रदान करने के लिए लेखकगण, संस्थान के निदेशक के बहुत आभारी हैं तथा एयरोसॉल का अध्ययन जारी रखने के लिए निरंतर प्रोत्साहन और समर्थन के लिए निदेशक को बहुत-बहुत धन्यवाद देते हैं।

संदर्भ

1. Baskaran R, Selvakumaran T S & Subramanian V, Aerosol Test Facility for Fast Reactor Safety Studies, *Indian Journal of Pure and Applied Physics*, **42** (2004) 873-878.
2. Baskaran R, Subramanian V, Kumar Amit, Gopalakrishnan V, Srinivas C V, Bhagwatsingh A, Pujala Usha, Sujatha P N, Krishnakumar S, Chandramauli SK, Ashokkumar A, Anathanarayanan R, Nashine B K & Venkataraman B, Sodium Aerosol Dispersion Experiment in Open Environment for Environmental Impact Assessment Studies, IGC (2017) 342.
3. Chetal S C, Balasubramanian V, Chelapandi P, Mohanakrishanan P., Puthiyavinayagam P, Pillai C P, Raghupati S, Shanmugham T K & Sivathanu Pillai C, The design of PFBR, *Nuclear Engineering and Design*, **236** (2006) 852-860.
4. Kumar Amit, Subramanian V, Baskaran R, Krishnakumar S, Chandramouli S & Venkatraman B, Characterization of sodium aerosol in cover gas region of SILVERINA loop, *Aerosol and Air Quality Research*, **15** (2015) 1813-1822.
5. Kumar Amit, Subramanian V, Baskaran R, Krishnakumar S., Chandramouli S. & Venkatraman B., Development and validation of methodology for characterization of sodium aerosols in cover gas region, *Aerosol and Air Quality Research*, **14** (2014) 1534-1541.
6. Kumar Amit, Subramanian V, Baskaran R, & Venkatraman B, Size Evolution of sodium combustion aerosol with various RH%, *Aerosol and Air Quality Research*, **15** (2015) 2270-2276.
7. Kumar Amit, Subramanian V, Baskaran R, Krishnakumar S, Chandramouli S & Venkatranan B, Studies on Geometrical effect on sodium aerosol characteristics in cover gas region, *Aerosol and Air Quality Research*, **16** (2016) 1832-1840.
8. Subramanian V, Kumar Amit, Pujala Usha, Sujatha N, Srinivas C V, Singh Bhagavat, Gopalakrishnan V, Anathanarayanan R, Krishnakumar S, Chandramouli S, Ashok Kumar A, Baskaran R, Nashine B K and Venkatraman B, Studies on sodium aerosol dispersion experiments in open environment for Fast Reactor Safety, *Annals of Nuclear Energy*, **125** (2019) 63-73.
9. Srinivasan G, Suresh Kumar K V, Rajendran B & Ramlingam P V, The Fast Breeder Test Reactor - Design and operating experiences, *Nuclear Engineering and Design*, **236** (2005) 796-811.
10. William C Hinds, Aerosol Technology, *John Wiley & Sons*, 1982.