विशेषांक

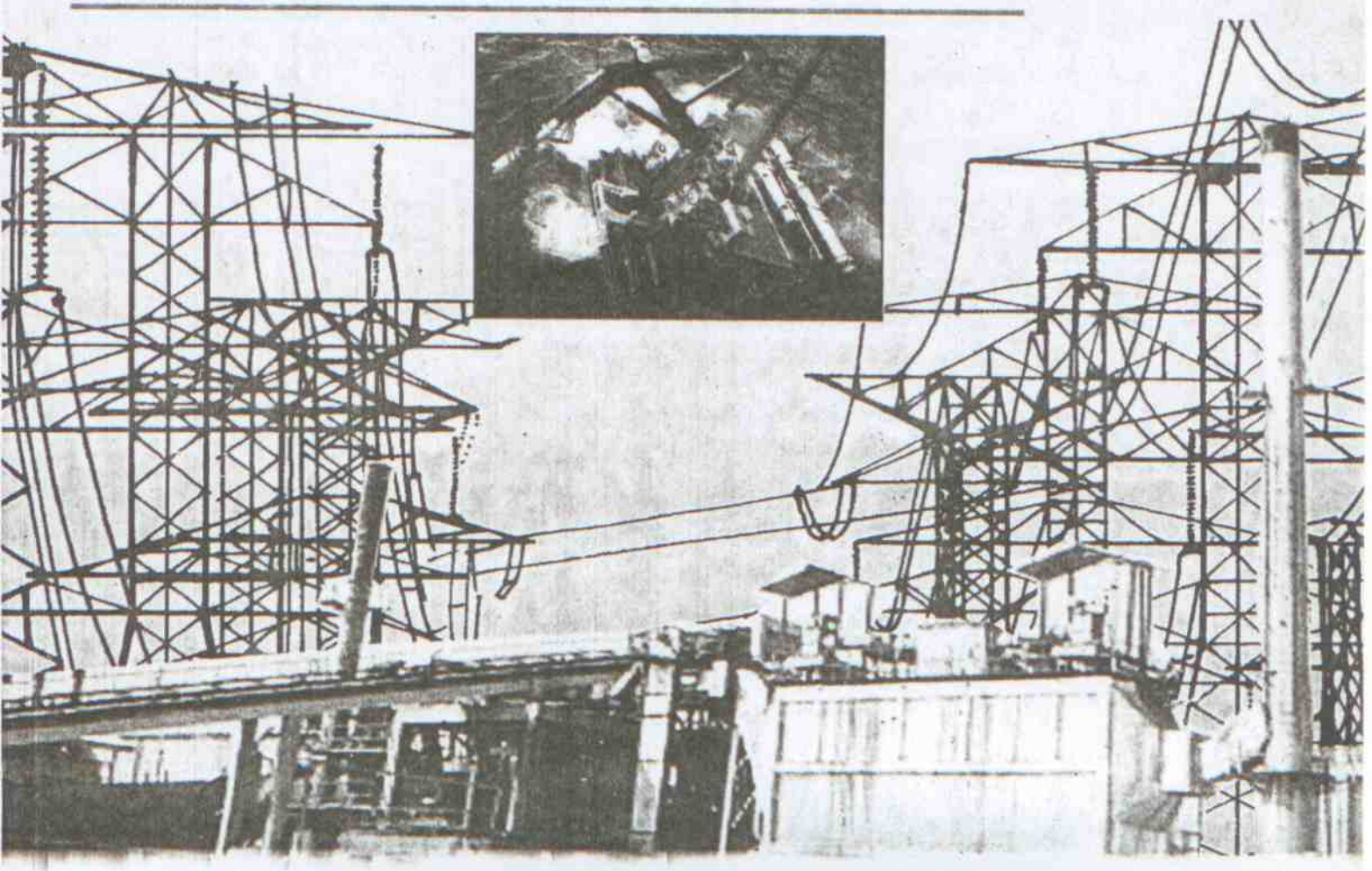
जून 2004
वर्ष 12 अंक 1 पृ. 1-180
ISSN: 0771-7706

भारतीय वैज्ञानिक एवं औद्योगिक अनुसंधान पत्रिका

C. B. R. I. Journal Library
Dated 12/7/04
Received

राष्ट्रीय विज्ञान संचार एवं सूचना स्रोत संस्थान
वैज्ञानिक तथा औद्योगिक अनुसंधान परिषद्
नई दिल्ली - 110 012

तृतीय अखिल भारतीय विज्ञान सम्मेलन पर आधारित



भारतीय वैज्ञानिक एवं औद्योगिक अनुसंधान पत्रिका
वर्ष 12 अंक 1 जून 2004 पृ. 26-33

कपड़ों की अग्नि अवरोधकता एवं उच्च तापक्रम पर व्यवहार

हरपाल सिंह एवं टी पी शर्मा

अग्नि अनुसंधान प्रयोगशाला, केन्द्रीय भवन अनुसंधान संस्थान, रुड़की 247 667

सारांशः इस लेख में कपड़ों को अग्नि अवरोधी बनाने की विधि तथा उच्च तापक्रम पर इनके व्यवहार का वर्णन किया गया है। कपड़े के नमूनों का फॉस्फोरस तथा बोरान पर आधारित अग्नि अवरोधी रसायनों की विभिन्न सान्द्रताओं के साथ उपचार किया गया। रासायनिक रूप से उपचारित एवं अनुपचारित नमूनों का BS-3119 तथा IS-11871 मानकों के अनुसार अग्नि निष्पादन मूल्यांकन किया गया जिसमें इसके अनेक गुणों जैसे ज्वाला काल, ज्वाला का माध्यम हटाने के पश्चात् कपड़े पर रहने वाली ज्वाला, दीप्ति, झुलसने वाली लम्बाई तथा क्षेत्र आदि का अध्ययन किया गया। उच्च तापक्रम पर वायु की उपस्थिति तथा अनुपस्थिति में रासायनिक उपचारित तथा अनुपचारित कपड़ों के दहन, अपघटन तथा ताप-अपघटन की प्रक्रियाओं को जानने के लिए इसका ताप भारात्मक विश्लेषण (thermogravimetric analysis), व्युत्पन्न ताप विश्लेषण (derivative thermogravimetry), विभेदक ताप विश्लेषण (differential thermal analysis) तथा विभेदक क्रमवीक्षण ऊष्मामिति (differential scanning calorimetry) का अध्ययन किया गया।

प्रस्तावना

कपड़ा प्राकृतिक कार्बनिक पॉलीमर (polymer) होता है तथा इसकी मूल संरचना सेलूलोस के अणुओं पर आधारित होती है। सेलूलोस के अणु कार्बन एवं हाइड्रोजन के परमाणुओं से मिलकर बनते हैं। सेलूलोस के अणुओं में हाइड्रोजन परमाणु की उपस्थिति के कारण आग बड़ी तेजी से फैलती है तथा कपड़े के सेलूलोस अणुओं में लगी आग और भी भयंकर रूप धारण कर लेती है क्योंकि वातावरण की वायु की उपस्थिति में कपड़े का दहन (combustion) बड़ी तेजी से होता है[1-2]। कपड़े पर आग पकड़ने एवं फैलने का खतरा तब और भी बढ़ जाता है, जब इसका प्रयोग परदे, सोफा कवर, गद्दों के कवर, कालीन, शामियानों, कनात, तम्बू तथा अस्थायी संरचनाओं को बनाने में किया जाता है। इन सभी वस्तुओं पर कवर व सजावट के तौर पर प्रयोग होने वाले कपड़े अत्यधिक ज्वलनशील होते हैं। आग से इनका सम्पर्क क्षण भर के लिए होने पर ही इनमें आग बड़ी तेजी से फैलती है तथा कुछ ही समय में सब कुछ जलकर राख हो जाता है[3]। इस तरह के अधिकतर अग्नि कांड मनुष्य की अज्ञानता, लापरवाही एवं गलती के कारण होते हैं। जैसे जलती बीड़ी, सिगरेट, माचिस की तीली, विद्युत प्रणाली पर बहुत अधिक विद्युत भार, घटिया विद्युत उपकरणों व सामान का प्रयोग, खाना बनाने वाली गैस के प्रयोग में आवश्यक सावधानियों की उपेक्षा आदि। अतः कपड़े में किसी भी प्रकार से आग लगने पर जान एवं माल की अत्यधिक हानि होती है। डबवाली (हरियाणा) के स्कूल में बच्चों का समारोह, बारिपाड़ा (उड़ीसा) का धार्मिक समारोह, मक्का (सऊदी अरब) का हज पर्यटक समारोह, कोलकाता (पश्चिम बंगाल) का पुस्तक मेला, दुर्गा पूजा समारोह एवं उपहार सिनेमा (दिल्ली) आदि इसके कुछ ज्वलन्त उदाहरण हैं। इनमें से डबवाली अग्नि कांड दिल दहला देने वाला था। इस अग्नि कांड में 23 दिसम्बर 1995 को लगभग 400 लोग, जिनमें अधिकतर बच्चे थे, हमेशा के लिए खामोश हो गये थे।

अतः भविष्य में इस तरह के अग्नि कांडों को रोकने के लिए कपड़ों का अग्नि अवरोधी होना अत्यधिक आवश्यक समझा जा सकता है। उपरोक्त वस्तुओं एवं संरचनाओं में प्रयोग होने वाले कपड़ों को अग्नि अवरोधी बनाने की तकनीक का विकास किया गया है। यह तकनीक बहुत ही साधारण एवं आसानी से प्रयोग में लायी जा सकती है। इस तकनीक में प्रयोग होने वाले रसायन सस्ते, विषैले प्रभाव से रहित (non-toxic) तथा देश में ही आसानी से उपलब्ध हैं। इस तकनीक द्वारा अग्नि अवरोधी कपड़े के रंग, स्वरूप एवं तनन सामर्थ्य (tensile strength) में कोई भी बदलाव नहीं आता है।

कपड़े की ज्वलनशीलता

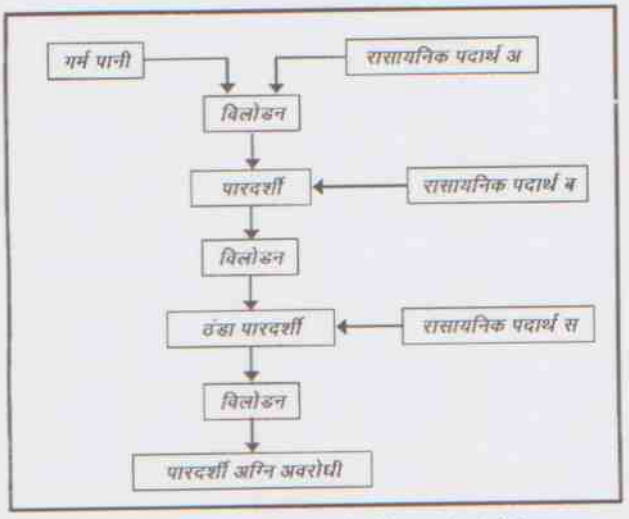
रासायनिक तौर पर कपड़ा सेलूलोस के अनेक अणुओं से मिलकर बना होता है। कपड़े के दहन की रासायनिक अभिक्रिया एवं क्रियाविधि अपने आप में बहुत ही जटिल तथा पूरी तरह से सुलझी हुई नहीं है। कपड़े पर अग्नि अवरोधी रसायनों की अभिक्रिया कराने पर इसके दहन की क्रियाविधि और अधिक जटिल हो जाती है। अग्नि के सम्पर्क में आने पर कपड़े का सेलूलोस अणु प्रत्यक्ष रूप से नहीं जलता है। कपड़े को उच्च तापमान पर अनावृत (exposed) करने पर प्रारम्भिक अभिक्रिया ताप-अपघटन (pyrolysis) की होती है जिसमें गैसें, वाष्प एवं कुहासा (mist) निकलता है जो कि वायु के साथ मिलकर ज्वलनशील (flammable) मिश्रण बनाता है। इस मिश्रण के दहन तथा जलने पर दहकती हुई ज्वाला निकलती है। जलने के उपरान्त ठोस अवशिष्ट के रूप में चारकोल बचता है। वातावरण की ऑक्सीजन इस अवशिष्ट का दहन कर देती है। इस दहन के दौरान अत्यधिक दीप्ति (glow) उत्पन्न होती है जिसका तापमान लगभग 800°C से भी ऊपर होता है। अतः कपड़े का जलना एवं दहन अनेक जटिल अभिक्रियाओं से होकर गुजरते हैं तथा इन जटिल अभिक्रियाओं को निम्न रूप में दर्शाया जा सकता है[4]।

अग्नि स्रोत $\longrightarrow H_1$

सेलूलोस $\longrightarrow$ अपघटन उत्पाद + ΔH_2

वाष्पशील अपघटक उत्पाद + $O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O + \Delta H_3$

ठोस अपघटक उत्पाद + $O_2 \longrightarrow CO + CO_2 + \Delta H_4$



चित्र 1 — अग्नि अवरोधी घोल तैयार करने की विधि

उपरोक्त अभिक्रियाओं से विदित होता है कि कपड़े के प्रारम्भिक ताप-अपघटन में वाष्पशील तथा ठोस दोनों प्रकार के उत्पाद निकलते हैं। इन अपघटन उत्पादों के ऑक्सीकरण से निकलने वाली ऊष्मा सबसे ज्यादा खतरनाक एवं हानिकारक होती है। अतः कपड़े के अग्नि अवरोधी उपचार के लिए प्रयोग होने वाले रसायन, अग्नि अवरोधी के साथ-साथ दीप्ति अवरोधी भी होने चाहिये।

अग्नि अवरोधी रसायन संयोजन

कपड़े को अग्नि अवरोधी बनाने के लिए अग्नि अवरोधी रसायनों की मात्रा एवं उनका संयोजन (composition) बहुत ही सावधानीपूर्वक निश्चित किया जाता है। कपड़े की रासायनिक संरचना अधिकतर सेलूलोस अणुओं पर आधारित होती है। अतः कपड़े को ऐसे रसायनों से उपचारित किया जाता है जो कपड़े के सेलूलोस अणुओं से अभिक्रिया करके इसको अग्नि अवरोधी, दीप्ति अवरोधी बना दें तथा किसी भी प्रकार से इसकी सतह पर आग न फैलने दें। कपड़े के सेलूलोस अणुओं तथा रसायनों के मध्य अभिक्रिया के आधार पर इसको निम्न रसायनों के साथ उपचारित किया जाता है।

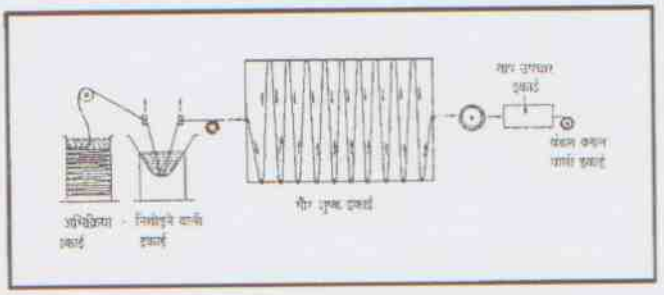
अग्नि अवरोधी रसायन (fire retardant)

दीप्ति अवरोधी रसायन (glow retardant)

निर्जलीकारक रसायन (dehydrating)

उपर्युक्त रसायनों से कपड़ों को उपचारित करने से पूर्व यह भी ध्यान रखा जाता है कि ये रसायन सस्ते तथा देश में ही आसानी से उपलब्ध हों, नमी से अप्रभावित (non-hygroscopic) हों, विषैले प्रभाव से रहित हों, जलन रहित (non-irritating) हों तथा उपचारित होने वाले कपड़े के रंग, स्वरूप एवं तनन सामर्थ्य में कोई बदलाव न आए।

दीप्ति अवरोधी, अग्नि अवरोधी तथा निर्जलीकारक रसायनों को एक निश्चित अनुपात में मिलाकर एक विशेष विधि द्वारा अग्नि अवरोधी घोल



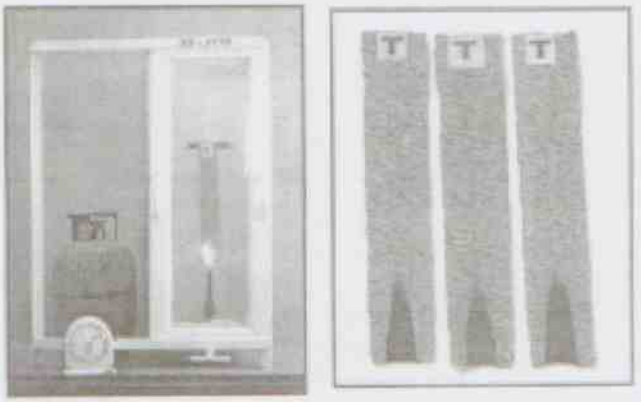
चित्र 2 — कपड़े को रसायन उपचारित करने के लिए अभिकल्पित संयंत्र

बनाया जाता है। अग्नि अवरोधी घोल को बनाने में निश्चित समय एवं तापक्रम का विशेष ध्यान रखा जाता है। सर्वप्रथम दीप्ति अवरोधी रसायनों की एक निश्चित मात्रा निश्चित तापक्रम पर पानी में घोल कर एक पारदर्शी घोल तैयार किया जाता है। इस पारदर्शी घोल में अग्नि अवरोधी रसायनों की एक निश्चित मात्रा डालकर तब तक हिलायी जाती है जब तक कि एक समांग घोल ने बन जाये। अब इस घोल को वायुमण्डलीय तापक्रम पर ठंडा किया जाता है। अंत में इस घोल में निर्जलीकारक रसायनों की एक निश्चित मात्रा मिलाकर तब तक हिलायी जाती है जब तक कि एक पारदर्शी घोल प्राप्त न हो जाये। अग्नि अवरोधी घोल बनाने की सम्पूर्ण विधि चित्र 1 में दर्शायी गयी है। इस पारदर्शी घोल की 10-15 % तक की सान्द्रता कपड़े को पूर्णरूप से अग्नि अवरोधी बनाने के लिए प्रर्याप्त होती है।

अग्नि अवरोधी रासायनिक उपचार

कपड़े को अग्नि अवरोधी बनाने के लिए इसका रासायनिक उपचार एक प्रायोगिक संयंत्र (pilot-plant) में किया जाता है[6] (चित्र 2)। इस प्रायोगिक संयंत्र कि अभिकल्पना एवं रचना पूर्णतया संस्थान द्वारा ही की गयी है तथा इसकी क्षमता 500 m कपड़ा प्रतिदिन उपचारित करने की है। इस प्रायोगिक संयंत्र में कपड़ा पूर्णतया रसायन उपचारित होने से पूर्व विभिन्न इकाईयों जैसे अभिक्रिया इकाई, निचोड़ने वाली इकाई, सौर शुष्कक इकाई, ताप उपचार इकाई तथा बंडल बनाने वाली इकाई आदि से होकर गुजरता है। सर्वप्रथम कपड़े को अभिक्रिया इकाई में डालने से पूर्व इसका भार कर लिया जाता है। अब कपड़े को अभिक्रिया इकाई में परतों के रूप में एक निश्चित समय तक डुबोकर रखा जाता है जिससे इसका सम्पूर्ण एवं एक समान रूप से रासायनिक उपचार हो सके। इसके पश्चात् निचोड़ने वाली इकाई में कपड़े पर अतिरिक्त मात्रा में लगे हुए रासायनिक घोल को सम्पूर्ण रूप से पृथक कर लिया जाता है। यहां से रसायन उपचारित कपड़ा सौर शुष्कक इकाई में पहुंचकर सम्पूर्ण रूप से शुष्क हो जाता है। तत्पश्चात् शुष्क कपड़ा ताप उपचार इकाई में पहुंचता है। रसायन उपचारित कपड़े को सम्पूर्ण रूप से अग्नि अवरोधी बनाने के लिए यह सबसे महत्वपूर्ण इकाई है। इस इकाई में उपचारित कपड़े के सेलूलोस अणुओं की अभिक्रिया अग्नि अवरोधी रसायनों से कराने के लिए इसको एक निश्चित तापक्रम पर निश्चित समय के लिए रखा जाता है। ताप उपचार के पश्चात् कपड़ा बंडल बनाने वाली इकाई में बंडल के रूप में इकट्ठा कर लिया जाता है। अन्त में एक विशेष रासायनिक समीकरण की सहायता से कपड़े द्वारा धारण की गयी अग्नि अवरोधी रसायनों की मात्रा की गणना कर ली जाती है[6]। इस विधि द्वारा सम्पूर्ण रूप से रसायन उपचारित कपड़ा लगभग 12-14 % अग्नि

चित्र 3 — अनुपचारित कपड़े का अग्नि दहन



चित्र 4 — रसायन उपचारित कपड़े का अग्नि दहन

अवरोधी रसायनों की मात्रा को धारण करता है।

$$\text{कपड़े द्वारा धारण किये गये अग्नि अवरोधी रसायन (\%)} = \frac{\text{रासायनिक उपचारित कपड़े का भार} - \text{उपचार से पूर्व कपड़े का भार}}{\text{उपचार से पूर्व कपड़े का भार}} \times 100$$

अग्नि निष्पादन मूल्यांकन

रसायन उपचारित कपड़े का अग्नि निष्पादन मूल्यांकन (fire performance evaluation) राष्ट्रीय (IS-11871) एवं अन्तर्राष्ट्रीय (BS-3119) मानकों के अनुसार किया जाता है[7]। रसायन उपचारित कपड़े के अग्नि अवरोधी गुणों की तुलना अनुपचारित कपड़े से करने के लिए दोनों प्रकार के नमूनों का समान परिस्थितियों में अग्नि परीक्षण किया जाता है जिससे यह विदित हो सके कि रसायन उपचारित कपड़ा किस सीमा तक अग्नि अवरोधी हो गया है। दोनों प्रकार के नमूनों का अग्नि परीक्षण चित्र 3-4 में दर्शाया गया है।

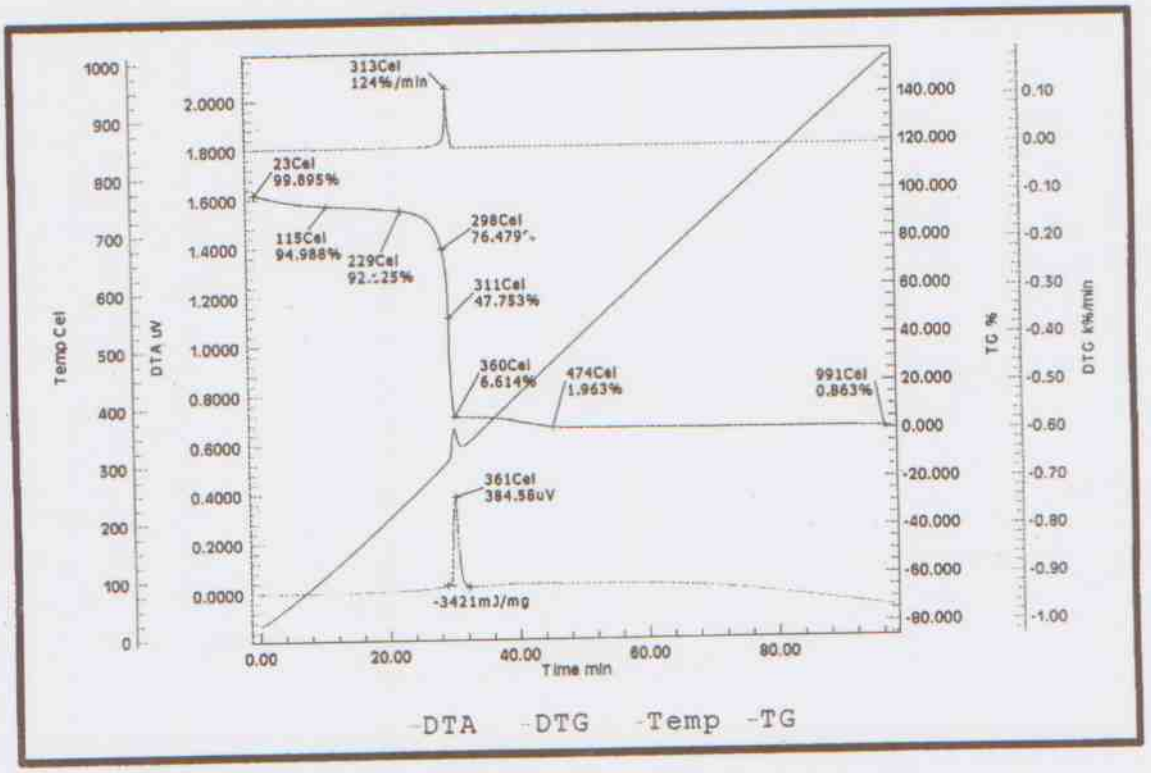
अग्नि परीक्षण के लिए रसायन उपचारित कपड़े के 318 mm लम्बाई तथा 51 mm चौड़ाई के छः नमूने तैयार किये जाते हैं इनमें से तीन नमूने तानक (warp) तथा तीन नमूने वानक (weft) दिशाओं में काटे जाते हैं। इन नमूनों का अग्नि परीक्षण करने से पूर्व इनको प्रानुकूलित (conditioned) करने के लिये 24 hrs तक 65 % सापेक्ष आर्द्रता (relative humidity) तथा 20°C तापमान पर रखा जाता है। अग्नि परीक्षण के लिए कपड़े के नमूनों को एक 305 x 305 x 760 mm आकार के अदहनशील डिब्बे के अन्दर ऊर्ध्वाधर स्थिति में लगाया जाता है। नमूनों को अग्नि से अनावृत करने के लिए 38 mm ऊंचाई की दीप्त ज्वाला देने वाले 10 mm व्यास वाले LPG बर्नर का प्रयोग किया जाता है। सभी नमूनों को दीप्त ज्वाला में 12 sec तक अनावृत करने के पश्चात् बर्नर को नीचे से हटा लिया जाता है। इसके पश्चात् कपड़े के नमूने पर ज्वाला, दीप्ति तथा जलने वाले क्षेत्र एवं लम्बाई का निरीक्षण किया जाता है। कपड़े के जले हुए क्षेत्र की लम्बाई निकालने के लिए इस किनारे पर एक विशेष भार की सहायता से इसको विदरित (tear) किया जाता है तथा जहां तक इसका आसानी से विदारण हो जाता है वही इसकी अग्नि से जलने वाली लम्बाई है। रसायन उपचारित तथा अनुपचारित कपड़ों से अग्नि परीक्षण के दौरान प्राप्त होने वाले आंकड़ों का तुलनात्मक विवरण सारणी 1 में दिया गया है।

उच्च तापक्रम पर कपड़ों का व्यवहार

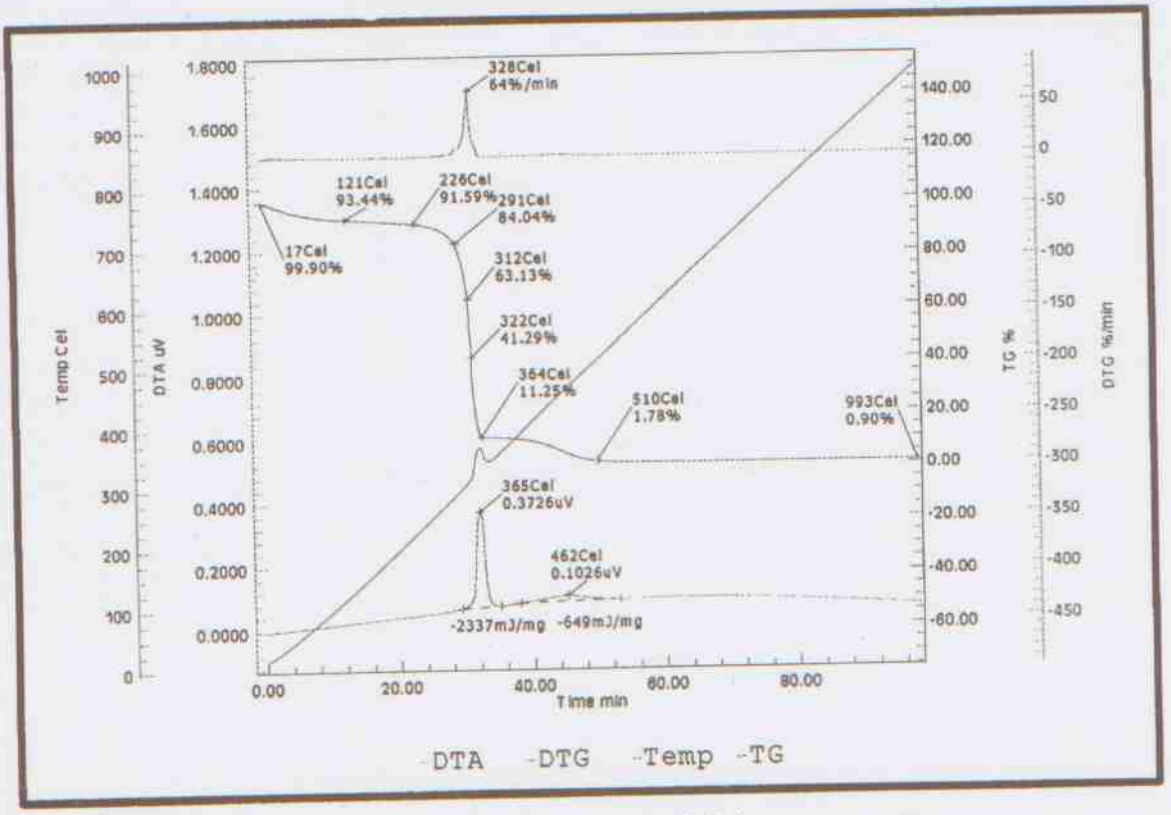
रसायन उपचारित तथा अनुपचारित कपड़ों का उच्च तापक्रम पर व्यवहार जानने के लिये इनका 1000°C तापमान पर एवं 10°C/min की गति से वायु की उपस्थिति में दहन तथा नाइट्रोजन की उपस्थिति में अपघटन (decomposition) किया गया। इस प्रक्रिया के द्वारा यह ज्ञात किया जाता है कि रसायन उपचारित कपड़े का दहन एवं अपघटन किस प्रकार से अनुपचारित कपड़े से भिन्न है। सर्वप्रथम इस प्रक्रिया में ताप भारात्मक विश्लेषण (thermogravimetric analysis) का ग्राफ प्राप्त होता है जिससे यह पता चलता है कि उपरोक्त सभी परिस्थितियों में कपड़ों का भार कितना घट रहा है। इसके साथ ही व्युत्पन्न ताप विश्लेषण (derivative thermogravimetry) का एक और ग्राफ प्राप्त होता है जिससे यह

सारणी 1 — कपड़ों का अग्नि अवरोधी परीक्षण

क्रमांक	नमूनों का विवरण	अनावरण का समय (second)	जलने वाली लम्बाई (mm)	जलने वाला क्षेत्र (mm)	तत्पश्चात् ज्वाला (second)	तत्पश्चात् दीप्ति (second)	भार में कमी (%)
1.	रासायनिक रूप से उपचारित कपड़ा 318 x 51 mm	12	34	388	00	00	4
2.	अनुपचारित कपड़ा 318 x 51 mm	12	पूरा जलकर राख	पूरा जलकर राख	67	128	96



चित्र 5 — अनुपचाग्नि कपड़े का वायु की उपस्थिति में उच्च तापक्रम पर दहन



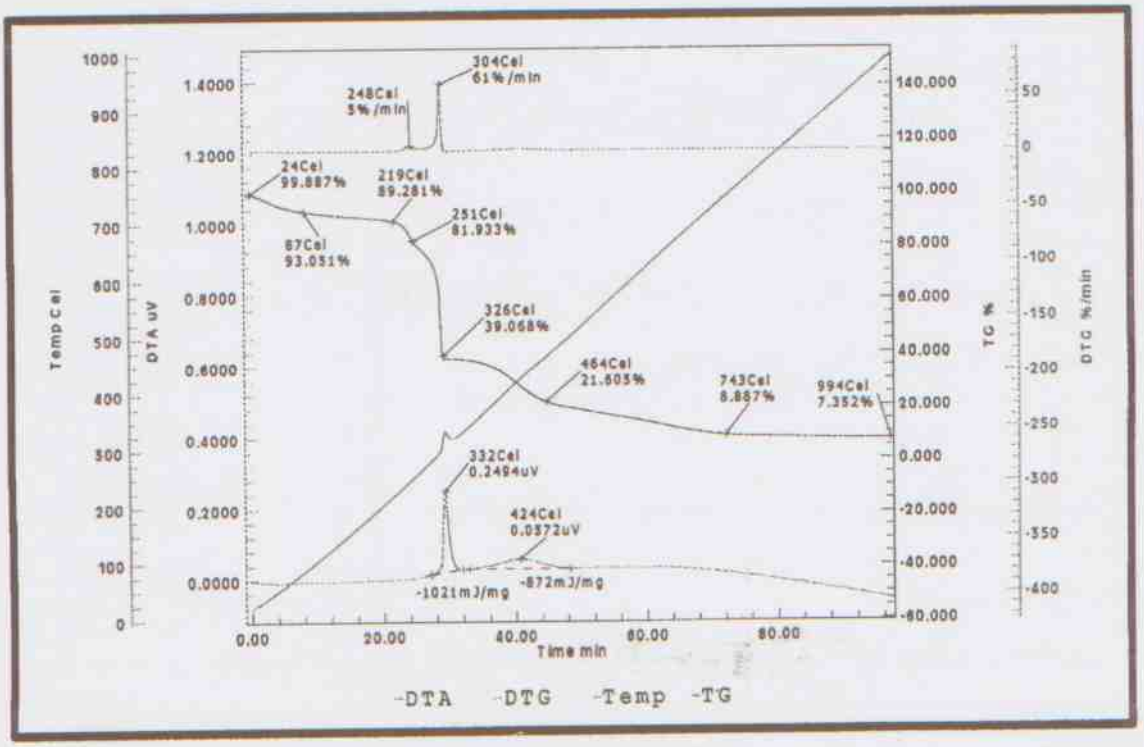
चित्र 6 — रसायन उपचारित कपड़े का वायु की उपस्थिति में उच्च तापक्रम पर दहन

विदित होता है कि कपड़ों का भार किस गति (g/min) से कम हो रहा है। कपड़ों के नमूनों का उच्च तापक्रम पर भार कम होने का कारण इनके अन्दर होने वाली ऊष्माक्षेपी (exothermic) एवं ऊष्माशोषी (endothermic) अभिक्रियाएं हैं तथा इन होने वाली ऊष्माक्षेपी एवं ऊष्माशोषी अभिक्रियाओं की पुष्टि विभेदक ताप विश्लेषण (differential thermal analysis) द्वारा प्राप्त होने वाले ग्राफ से की जाती है। नमूनों में होने वाले इन सभी परिवर्तनों में निश्चित तौर पर कितनी ऊष्मा अवशोषित हो रही है या निकल रही है, इसका निर्धारण विभेदक क्रमवीक्षण ऊष्मामिति (differential scanning calorimetry) ग्राफ द्वारा किया जाता है[6]। कपड़ों के नमूनों में ये सभी प्रभाव इनके अन्दर होने वाले तापीय ऊर्जा में परिवर्तन के कारण होते हैं। रसायन उपचारित तथा अनुपचारित कपड़ों में होने वाले इन प्रभावों का अन्तर इस आशय की तरफ संकेत करता है कि रसायन उपचारित कपड़ा किस सीमा तक अग्नि अवरोधी हो गया है। उपरोक्त वर्णित प्रभावों को चित्र 5, 6, 7 एवं 8 में दिखाया गया है।

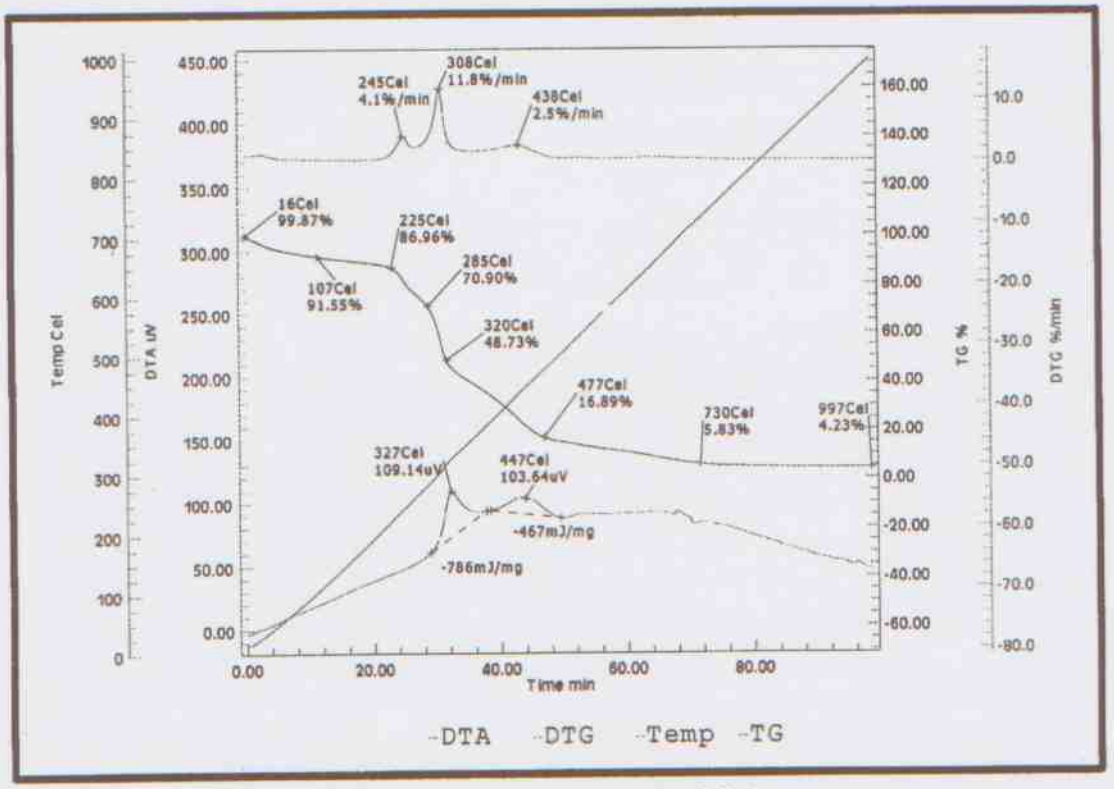
परिणाम एवं व्याख्या

अग्नि परीक्षण एवं उच्च तापक्रम पर रसायन उपचारित एवं अनुपचारित कपड़ों के व्यवहार से सम्बन्धित आंकड़ों के आधार पर दोनों प्रकार के कपड़ों का अग्नि तथा उच्च तापक्रम पर व्यवहार तथा कपड़ा किस सीमा तक अग्नि अवरोधी हो गया है, के विषय में महत्वपूर्ण जानकारी मिलती है। सारणी 1 में दिये गये आंकड़ों से साफ पता चलता है कि रसायन उपचारित तथा अनुपचारित दोनों कपड़ों का अग्नि दहन 12 सेकेण्ड तक करने पर रसायन उपचारित कपड़ा लगभग 34 mm लम्बाई तक झुलसकर काला पड़ जाता है, जबकि अनुपचारित कपड़ा पूरी लम्बाई में जलकर राख हो जाता है। रसायन उपचारित कपड़े के नीचे से जैसे ही बर्नर हटाया जाता है तुरन्त ही ज्वाला बुझ जाती है, जबकि अनुपचारित कपड़ा लगभग 67 सेकेण्ड तक जलता रहता है जब तक कि पूरा जलकर राख नहीं हो जाता है। इसी प्रकार से रसायन उपचारित कपड़े के नीचे से बर्नर हटाते ही दीप्ति अतिशीघ्र समाप्त हो जाती है, जबकि अनुपचारित कपड़े में यह लगभग 128 सेकेण्ड तक चमकती रहती है। अग्नि दहन के पश्चात् रसायन उपचारित कपड़े में भार क्षति लगभग 4 % तक ही होती है, जबकि अनुपचारित कपड़े में यह 96 % से भी ज्यादा होती है। रसायन उपचारित कपड़े की सतह पर आग का फैलाव बिल्कुल नहीं होता है, जबकि अनुपचारित कपड़े की पूरी की पूरी सतह पर आग बहुत ही तेजी से फैलती है। अग्नि परीक्षण के दौरान यह भी पाया गया कि रसायन उपचारित कपड़े से किसी भी प्रकार की हानिकारक गैसें नहीं निकलती हैं। अतः इससे वातावरण पर भी इसका कोई दुष्प्रभाव नहीं पड़ता है[6]।

तापीय परीक्षणों से पता चलता है कि रसायन उपचारित एवं अनुपचारित कपड़ों का दहन दो अवस्थाओं में होता है। ज्ळ। तथा क्ज्ळ ग्राफों से ज्ञात होता है कि भार हानि तथा भार हानि की गति रसायन उपचारित कपड़े की अपेक्षा अनुपचारित कपड़े में ज्यादा है। एक समान तापन गति 10°C/min पर रसायन उपचारित कपड़ा 7: भार हानि पर जलना शुरू करता है जबकि अनुपचारित कपड़ा 5: भारहानि पर ही जलना शुरू कर देता है। समान तापीय गति की परिस्थितियों में रसायन उपचारित कपड़े में अधिकतम भार हानि 92: तक होती है जबकि अनुपचारित कपड़े में यह 99: से भी ज्यादा है। अतः रसायन उपचारित कपड़े में 8: तथा



चित्र 7 — अनुपचारित कपड़े का वायु की उपस्थिति में उच्च तापक्रम पर अपघटन



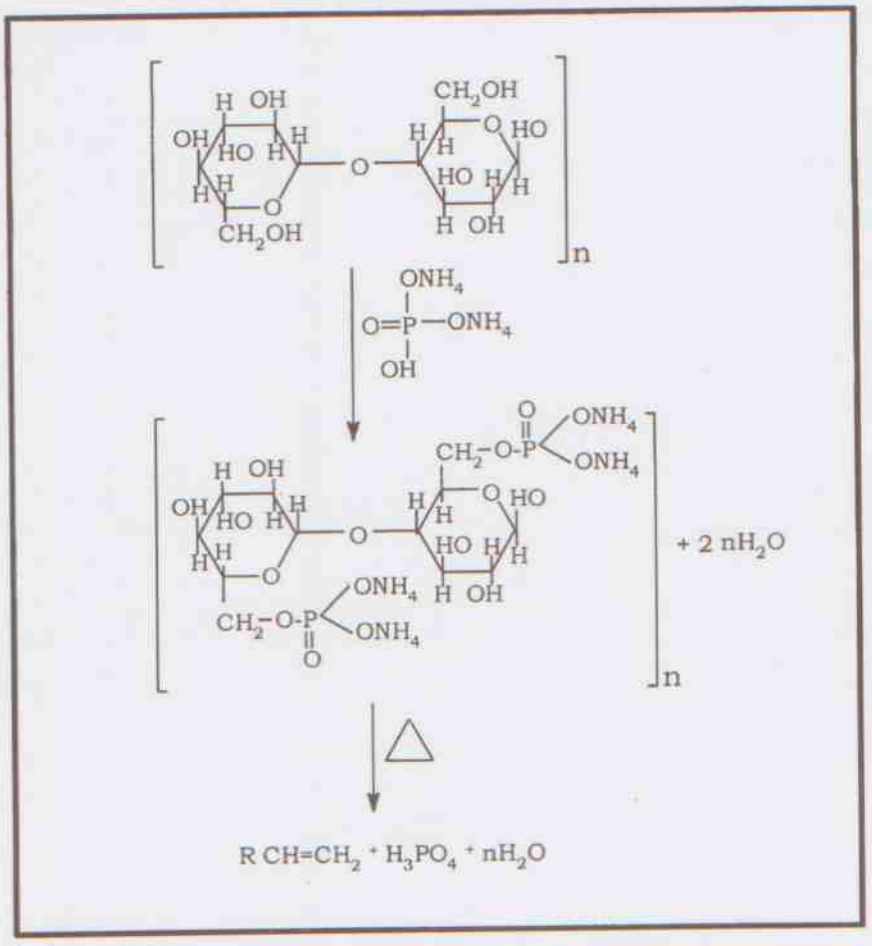
चित्र 8 — रसायन उपचारित कपड़े का वायु की उपस्थिति में उच्च तापक्रम पर अपघटन

अनुपचारित कपड़े में 1: से भी कम अवाष्पशील पदार्थ होते हैं। ये अवाष्पशील पदार्थ कपड़े के जलने के उपरान्त काले झुलसे हुए अवशिष्ट के रूप में बचते हैं[10]। रसायन उपचारित तथा अनुपचारित कपड़ों के क्र। ग्राफों से ज्ञात होता है कि तापीय प्रभाव में दोनों ही कपड़ों का ऊष्माक्षेपी अपघटन होता है जिसमें ऊष्मा का प्रसार होता है। क्रै ग्राफों से पता चलता है कि अनुपचारित कपड़े के अपघटन में रसायन उपचारित कपड़े के अपघटन की अपेक्षा अधिक ऊर्जा निकलती है। अतः अनुपचारित कपड़े में रसायन उपचारित कपड़े की अपेक्षा जलने पर अधिक भार हानि होती है। इस प्रकार चित्र 5, 6, 7 एवं 8 में दिये गये TGA, DTG, DTA तथा DSC ग्राफों से साफ पता चलता है कि कपड़े पर अग्नि अवरोधी रसायनों की अभिक्रिया से कपड़े की तापीय स्थिरता कम हो जाती है जिससे इसकी अग्नि अवरोधी क्षमता बढ़ जाती है तथा कपड़ा अग्नि अवरोधी हो जाता है।

अग्नि अवरोधी अभिक्रिया

सैद्धान्तिक तौर पर कपड़े के जलने के प्रक्रम की जटिलता तथा प्रयोग हाने वाले अग्नि अवरोधी रसायनों की विविध प्रकृति के कारण इसकी अग्नि अवरोधी क्रियाविधि बहुत ही जटिल है। दहनशील कपड़े को अग्नि अवरोधी बनाने तथा इसकी ज्वलनशीलता को घटाने वाले रसायनों की प्रभाविता एवं अभिक्रिया का वर्णन करने के लिए अनेक क्रियाविधियां प्रस्तुत की गयी हैं: (1) अग्नि अवरोधी रसायनों का प्रयोग कपड़े की ताप-अपघटन अभिक्रिया को परिवर्तित कर देता है जिससे कपड़े का ऑक्सीकरण करने वाली एवं इसको जलाने वाली ज्वलनशील गैसों की मात्रा बहुत ही कम हो जाती है[11]; (2) अग्नि अवरोधी रसायन कपड़े के रेशों के चारों तरफ एक परत बना देते हैं तथा इस परत के कारण कपड़े को जलाने के लिए आवश्यक ऑक्सीजन नहीं मिल पाती है[3]; (3) अग्नि अवरोधी रसायन अपघटन पर अज्वलनशील गैसें निकालते हैं तथा ये गैसें ताप-अपघटन से निकलने वाले उत्पादों की सान्द्रता इतनी कम कर देती हैं कि कपड़े में आग ही न लग सके।

रासायनिक तौर पर कपड़ा सेलूलोस के अणुओं से मिलकर बना होता है जिसमें ग्लूकोज की इकाइयां β-ग्लूकोसिडिक बंधताओं (glucosidic linkages) द्वारा जुड़ी रहती हैं। कपड़े के सेलूलोस अणु में दो प्रकार के हाइड्रॉक्सिल समूह होते हैं। सेलूलोस अणु की प्रत्येक डी-ग्लूकोपाइरेनोसाइल इकाई (glucopyranosyl unit) के कार्बन परमाणु संख्या 2 एवं 3 पर द्वितीय हाइड्रॉक्सिल समूह तथा 6 पर प्राथमिक हाइड्रॉक्सिल समूह जुड़े रहते हैं। ये हाइड्रॉक्सिल समूह भिन्न-भिन्न गतियों पर तिर्यक बंधन (cross-linking) अभिक्रियायें करते हैं तथा ये अभिक्रियाएं ही निष्पादन गुणों के लिए जिम्मेदार होती हैं। फॉस्फोरस पर आधारित अग्नि अवरोधी रसायन कपड़े के सेलूलोस अणु के हाइड्रॉक्सिल समूह के साथ संघनित प्रावस्था में अभिक्रिया करके ज्वलनशील गैसों का बनना रोकते हैं तथा ऐसी गैसों का निर्माण करते हैं जो जलने में सहायक नहीं होती हैं। सेलूलोस अणु के दहन के तापमान पर अग्नि अवरोधी रसायनों से एक उत्प्रेरक निकलता है जिसकी उपस्थिति में सेलूलोस का ऊष्माशोषी ताप-अपघटन अपेक्षाकृत निम्न तापक्रम पर हो जाता है। इस अभिक्रिया में अवशोषित होने वाली ऊर्जा सेलूलोस अणु का अपघटन तथा फास्फोराइलेशन (phosphorylation) करने में एक उत्प्रेरक (catalyst) का कार्य करती है। अन्त में उत्प्रेरक की



चित्र 9 — कपड़े के साथ अग्नि अवरोधी रसायन की अभिक्रिया क्रियाविधि

अनुपस्थिति में सेलूलोस अणु का कार्बन डाइऑक्साइड़ तथा पानी में अपघटन हो जाता है[12]। कपड़े के सेलूलोस अणुओं के अग्नि अवरोधी होने की सम्भावित अभिक्रिया की क्रियाविधि चित्र 9 में दर्शायी गयी है।

निष्कर्ष

साधारण कपड़ा अत्यन्त ज्वलनशील होता है तथा अग्नि के सम्पर्क में आने पर यह बहुत ही तेजी से जलता है। कपड़े की उपयोगिता तथा अग्नि के साथ इसके आकर्षण के कारण इसका अग्नि अवरोधी होना अत्यन्त आवश्यक है। रसायन उपचारित कपड़ा पूर्णरूपेण अग्नि अवरोधी हो जाता है तथा इसमें किसी भी प्रकार से आग न तो लगती है तथा न ही फैलती है। अग्नि अवरोधी उपचार किसी भी प्रकार से कपड़े के रंग, स्वरूप तथा तनन सामर्थ्य पर कोई प्रभाव नहीं डालता है। इस अग्नि अवरोधी उपचार में प्रयोग होने वाले रसायन सस्ते तथा देश में ही आसानी से उपलब्ध हैं। ये रसायन नमी से अप्रभावित, विषैले प्रभाव से रहित तथा जलन रहित प्रवृत्ति के होते हैं। ये रसायन अग्नि के सम्पर्क में आने पर वातावरण पर किसी प्रकार का दुष्प्रभाव नहीं डालते हैं। अतः कपड़े को अग्नि अवरोधी बनाकर तथा इसका प्रयोग करने पर आग से होने वाली जान एवं माल की हानि से बचा जा सकता है।

आभार

लेखक मुख्य रूप से निदेशक, केन्द्रीय भवन अनुसंधान संस्थान, रूड़की एवं श्री प्रकाश चन्द्र जोशी के प्रति आभारी हैं।

संदर्भ

1. थियेरी पी, टेक्सटाइल, फायर प्रूफिंग, कैमिस्ट्री टेक्नोलॉजी एंड एप्लीकेशन्स, एल्सेवियर पब्लिशिंग कम्पनी लि., न्यूयार्क, (1970) पृष्ठ 81-95.
2. ड्रेक जी एल, चानू एल एच (जूनियर) एवं रीव्स डब्ल्यू ए, ए लुक एट फ्लेम रिटार्डेन्ट्स बेस्ड ऑन फास्फोरस कम्पाउन्ड्स, फ्लेमेबिलिटी ऑफ सेलूलोसिक मैटीरियल्स, खंड 2, भाग 2, *फायर एंड रिवर्स फ्लेमेबिलिटी सिरीज*, (1976) 110-122.
3. कासिम एम ए एवं रोयटे एच के, फ्लेमेबिलिटी एंड फ्लेम रिटार्डेन्सी ऑफ फेब्रिक्स : ए रिव्यू", फ्लेमेबिलटी ऑफ सेलूलोसिक मैटीरियल, खंड 1, *फायर एंड फ्लेमेबिलिटी सिरीज*, (1973) 29-42.
4. सिडनी कोपिक, चर्च जेम्स एच एवं लिटिल रोबर्ट डब्ल्यू, थर्मल बिहेवियर ऑफ फेब्रिक्स एट फ्लेमिंग टेम्प्रेचर्स, 116 मीटिंग अमेरिकन केमिकल सोसाइटी, *एटलान्टिक सिटी*, सितम्बर 1949, 415-418.
5. हरपाल सिंह एवं जैन जे पी, अब आग से बचाये जा सकेंगे समारोह स्थल, *विज्ञान प्रगति*, **49** (12) (1999) 15-17.

6. हरपाल सिंह एवं जैन जे पी, फ्लेम रिटार्डेन्ट ऑफ कॉटन टेक्सटाइल, *जर्नल ऑफ इन्डियन बिल्डिंग कांग्रेस*, **3** (2) (1996) 96-102.
7. BS 3119, मेथड ऑफ टेस्ट फॉर फ्लेम प्रूफ मैटीरियल्स, ब्रिटिश स्टेंडर्ड इन्स्टीट्यूशन, ब्रिटिश स्टेंडर्ड्स हाउस, 2 पार्क एसटी, लंदन, डब्ल्यू आई, (1959).
8. चर्च जे एम, लिटिल आर डब्ल्यू एवं कोपिक एस, इवेलूएशन ऑफ फ्लेम रसिसटेंट फेब्रिक्स, *इन्डस्ट्रियल इंजीनियरिंग कैमिस्ट्री*, **42**, (3) (1950) 418-427.
9. गल्यूज एच सी एवं सिडल जी आर, ड्यूरेबल फ्लेम रिटार्डिंग सेलूलोसिक मैटीरियल्स, *इन्डस्ट्रियल इंजीनियरिंग केमिस्ट्री*, **42**, (3) (1950) 440-444.
10. कोपिक एस, चर्च जे एम एवं लिटिल आर डब्ल्यू, थर्मल बिहेवियर ऑफ फेब्रिक्स एट फ्लेमिंग टेम्प्रेचर्स, *इन्डस्ट्रियल इंजीनियरिंग केमिस्ट्री*, **42**, (3) (1950) 415-418.
11. बार्कर आर एच, मेकेनिज्म ऑफ फ्लेम रिटार्डेन्ट एक्शन इन टेक्सटाइल, एनवीएस, स्पेशल पब्लिकेशन 411, फायर सेफ्टी रिसर्च, 37-49, नवम्बर 1974.
12. मार्क एच एफ, फाइबर्स, फायर सेफ्टी आसपेक्ट्स ऑफ पॉलीमेरिक मैटीरियल्स, खंड 1, मैटीरियल्स : स्टेट ऑफ दी आर्ट, पब्लिकेशन एनएमएसी 318-1, वाशिंगटन, (1977) पृष्ठ 19-42.