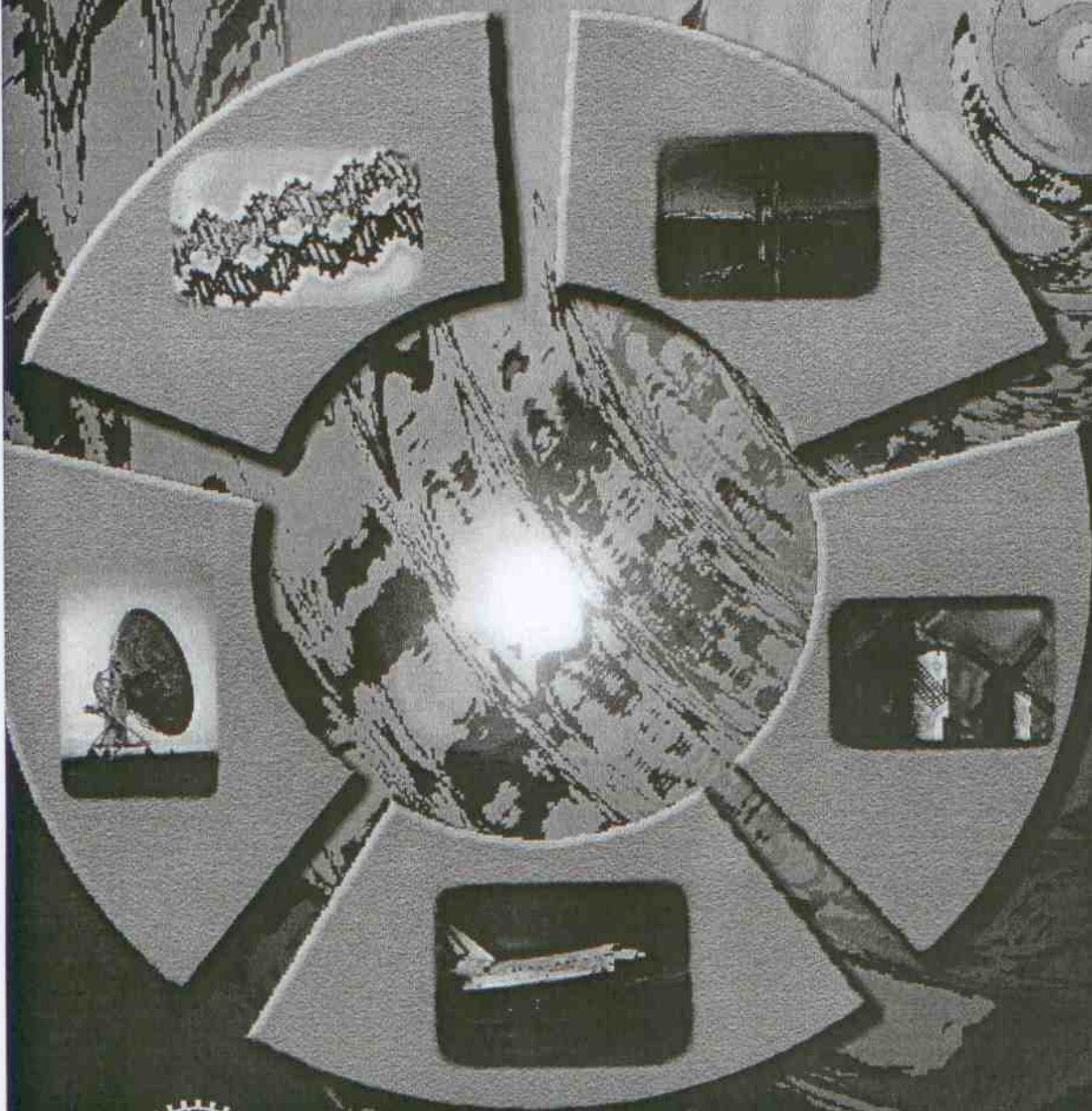


# मंथन

वर्ष 2007

अंक 5



भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान, रुड़की



## अब आग से बेअसर होंगे कपड़े एवं कपड़े के शामियानें

हरपाल सिंह  
वैज्ञानिक

### सारांश

इस लेख में कपड़े की ज्वलनशीलता तथा इसको अग्नि अवरोधी बनाने की विधि का वर्णन किया गया है। कपड़े के नमूनों का फॉसफोरस तथा बोरान पर आधारित अग्नि अवरोधी रसायनों की विभिन्न सान्द्रताओं के साथ उपचार किया गया। रासायनिक उपचारित एवं अनउपचारित नमूनों का बी.एस.-3119 तथा आई.एस.-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।

### प्रस्तावना

कपड़ा प्राकृतिक कार्बनिक पोलिमेर (organic polymer) होता है तथा इसकी मूल संरचना सेलूलोस (cellulose) के अणुओं पर आधारित होती हैं। 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<sup>1-2</sup>। 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<sup>3</sup>। इस तरह के अधिकतर अग्नि कांड मनुष्य के अज्ञान, लापरवाही एवं गलती के कारण होते हैं। जैसे जलती बीड़ी, सिगरेट, माचिस की तीली,

मंथन

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 अत्यधिक जान एवं माल की हानि होती है। डबवाली (हरियाणा) के स्कूल में बच्चों का समारोह, बारिपाड़ा (उड़ीसा) का धार्मिक समारोह, मक्का (सऊदी अरब) का हज पर्यटक समारोह, कलकत्ता (पश्चिमी 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 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 ओर 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 अनावरित (exposed) करने पर प्रारम्भिक अभिक्रिया ताप-अपघटन (pyrolysis) की होती है। जिसमें गैसों, 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 8000 सेन्टीग्रेड से भी ऊपर होता है। अतः कपड़े का जलना एवं दहन अनेक जटिल अभिक्रियाओं से होकर गुजरता है तथा इन जटिल अभिक्रियाओं को निम्न रूप में दर्शाया जा सकता है<sup>4</sup>।

अग्नि स्रोत → ऊर्जा  
सेलूलोस → अपघटन उत्पाद + ऊर्जा  
वाष्पशील अपघटक उत्पाद → आक्सीजन + कार्बन  
डाई आक्साइड + ऊर्जा  
ठोस अपघटक उत्पाद → कार्बन मोनो आक्साइड +  
कार्बन डाई आक्साइड + ऊर्जा

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 सावधानी पूर्वक 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 आये।

दीप्ति अवरोधी, अग्नि अवरोधी तथा निर्जलीकारक रसायनों को एक निश्चित अनुपात में मिलाकर एक विशेष विधि द्वारा अग्नि अवरोधी घोल 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 न 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 हिलाया जाता 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 प्रतिशत तक की सान्द्रता कपड़े को पूर्णरूप से अग्नि अवरोधी बनाने के लिए पर्याप्त होती है।

#### अग्नि अवरोधी, रासायनिक उपचार

कपड़े को अग्नि अवरोधी बनाने के लिए इसका रासायनिक उपचार एक प्रायोगिक संयंत्र (pilot-plant) (चित्र 2) में किया जाता है<sup>5</sup>। इस प्रायोगिक संयंत्र की अभिकल्पना एवं रचना पूर्णतया संस्थान द्वारा ही की गयी है तथा इसकी क्षमता 500 मीटर कपड़ा प्रतिदिन उपचारित करने की है। इस प्रायोगिक संयंत्र में कपड़ा पूर्णतया रासायनिक उपचारित होने से पूर्व विभिन्न इकाईयों जैसे अभिक्रिया



इकाई, निचोड़ने वाली इकाई, सौर शुष्क 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 डुबाकर 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। यहाँ से रासायनिक उपचारित कपड़ा सौर शुष्क इकाई में पहुँचकर सम्पूर्ण रूप से शुष्क हो जाता है। तत्पश्चात् शुष्क कपड़ा ताप उपचार इकाई में पहुँचता है। रासायनिक 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 इक्ट्टा 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<sup>6</sup>। इस विधि द्वारा सम्पूर्ण रूप से रासायनिक उपचारित कपड़ा लगभग 12-14 प्रतिशत अग्नि अवरोधी रसायनों की मात्रा को धारण करता है।

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

### अग्नि निष्पादन मूल्यांकन

रासायनिक उपचारित कपड़े का अग्नि निष्पादन मूल्यांकन (fire performance evaluation) राष्ट्रीय (आई. एस. - 11871) एवं अन्तर्राष्ट्रीय (बी. एस. - 3119) मानकों के अनुसार किया जाता है<sup>7</sup>। रासायनिक उपचारित कपड़े के अग्नि अवरोधी गुणों की तुलना अनउपचारित कपड़े से करने के लिए दोनों प्रकार के नमूनों का समान परिस्थितियों में अग्नि परीक्षण किया जाता है जिससे यह विदित हो सके कि रासायनिक उपचारित कपड़ा किस सीमा तक अग्नि अवरोधी हो गया है। दोनों प्रकार के

नमूनों का अग्नि परीक्षण चित्र 3 (अ) एवं (ब) में दर्शाया गया है। अग्नि परीक्षण के लिए रासायनिक उपचारित कपड़े के 318 मि.मी. लम्बाई तथा 51 मि.मी. 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 घंटों तक 65 प्रतिशत सापेक्ष आद्रता (relative humidity) तथा 20° सेंटीग्रेड तापमान पर रखा जाता है। अग्नि परीक्षण के लिए कपड़े के नमूनों को एक 305 x 305 x 760 मि.मी. आकार के अदहनशील डब्बे के अन्दर ऊर्ध्वाधर स्थिति में लगाया जाता है। नमूनों को अग्नि से अनावरित करने के लिए 38 मि.मी. ऊँचाई की दीप्त ज्वाला देने वाला 10 मि.मी. व्यास वाला एल.पी.जी. का बर्नर प्रयोग किया जाता है। सभी नमूनों को दीप्त ज्वाला में 12 सेकेण्ड तक अनावरित 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 इसका विदार (tear) किया जाता है तथा जहाँ तक इसका आसानी से विदारण हो जाता है वही इसकी अग्नि से जलने वाली लम्बाई है। रासायनिक उपचारित तथा अनउपचारित कपड़ों से अग्नि परीक्षण के दौरान प्राप्त होने वाले आंकड़ों का तुलनात्मक विवरण सारणी 1 में दिया गया है।

### परिणाम एवं चर्चा

अग्नि परीक्षण के दौरान रासायनिक उपचारित एवं अनउपचारित कपड़ों के व्यवहार से सम्बन्धित प्राप्त आंकड़ों के आधार पर दोनों प्रकार के कपड़े किस सीमा तक अग्नि अवरोधी हैं, के विषय में महत्वपूर्ण जानकारी मिलती है। सारणी -1 में दिये गये आंकड़ों से साफ पता चलता है कि रासायनिक उपचारित तथा अनउपचारित दोनों कपड़ों का अग्नि दहन 12 सेकेण्ड तक करने पर रासायनिक उपचारित कपड़ा लगभग 34 मि.मी. लम्बाई तक झुलसकर काला पड़ जाता है, जबकि अनउपचारित कपड़ा पूरी लम्बाई में जलकर राख हो जाता है। रासायनिक उपचारित कपड़े के नीचे से जैसे ही बर्नर हटाया जाता



है तुरन्त ही ज्वाला बुझ जाती है, जबकि अनउपचारित कपड़ा लगभग 67 सेंकेण्ड तक जलता रहता है जब तक की पूरा जलकर राख नहीं हो जाता है। इसी प्रकार से रासायनिक उपचारित कपड़े के नीचे से बर्नर हटाते ही दीप्ति अतिशीघ्र समाप्त हो जाती है, जबकि अनउपचारित कपड़े में यह लगभग 128 सेंकेण्ड तक चमकती रहती है। अग्नि दहन के पश्चात रासायनिक उपचारित कपड़े में भार क्षति लगभग 4 प्रतिशत तक ही होती है, जबकि अनउपचारित कपड़े में यह 96 प्रतिशत से भी ज्यादा होती है। रासायनिक उपचारित कपड़े की सतह पर आग का फैलाव बिल्कुल नहीं होता है, जबकि अनउपचारित कपड़े की पूरी की पूरी सतह पर आग बहुत ही तेजी से फैलती है। अग्नि परीक्षण के दौरान यह भी पाया गया कि रासायनिक उपचारित कपड़े से किसी भी प्रकार की हानिकारक गैसों नहीं निकलती हैं। अतः इससे वातावरण पर भी इसका कोई दुष्प्रभाव नहीं पड़ता है<sup>9</sup>।

#### अग्नि अवरोधी अभिक्रिया क्रियाविधि

सैद्धान्तिक तौर पर कपड़े के जलने के प्रक्रम की जटिलता तथा प्रयोग होने 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 प्रभाविकता एवं अभिक्रिया का वर्णन करने के लिए अनेक क्रियाविधि 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<sup>9</sup>।
- (2) अग्नि अवरोधी रसायन कपड़े के रेशे के चारों तरफ एक परत बना देते हैं इस परत के कारण कपड़े को जलाने के लिए आवश्यक ऑक्सीजन नहीं मिल पाती है<sup>9</sup>।
- (3) अग्नि अवरोधी रसायन अपघटन पर अज्वलनशील गैसों निकालते हैं तथा ये गैसों ताप-अपघटन से निकलने वाले उत्पादों की सान्द्रता इतनी कम कर देती हैं जिससे कपड़े में आग ही न लग सके।

रासायनिक तौर पर कपड़ा सेलूलोस के अणु से मिलकर बना होता है जिसमें ग्लूकोज की इकाई  $\beta$ - ग्लूकोसिडिक बंधताओं (glucosidic linkages) से जुड़ी रहती हैं। कपड़े के सेलूलोस अणु में दो प्रकार हाइड्रोक्सील समूह होते हैं। सेलूलोस अणु के प्रत्येक डी-ग्लूकोपाइरानोसाइल इकाई (glucopyranosyl unit) के कार्बन परमाणु संख्या 2 एवं 3 पर द्वितीय हाइड्रोक्सील समूह तथा 6 पर प्राथमिक हाइड्रोक्सील समूह जुड़े रहते हैं। ये हाइड्रोक्सील समूह विभिन्न-विभिन्न गतियों द्वारा क्रॉस-लिंकिंग (cross-linking) अभिक्रियाएँ करते हैं तथा ये अभिक्रियाएँ ही निष्पादन गुणों के लिए जिम्मेदार होती हैं। फॉस्फोरस पर आधारित अग्नि अवरोधी रसायन कपड़े के सेलूलोस अणु के हाइड्रोक्सील समूह के संघनित प्रावस्था में अभिक्रिया करके ज्वलनशील गैसों का बनना रोकते हैं तथा ऐसी गैसों का निर्माण करते हैं जो जलने में सहायक नहीं होती है। सेलूलोस अणु दहन के तापमान पर अग्नि अवरोधी रसायनों से एक उत्प्रेरक निकलता है जिसकी उपस्थिति में सेलूलोस अणु उष्माशोषी ताप-अपघटन अपेक्षाकृत निम्न तापक्रम पर हो जाता है। इस अभिक्रिया में अवशोषित होने वाली ऊर्जा सेलूलोस अणु का अपघटन तथा फॉस्फोराइलेशन (phosphorylation) करने में एक उत्प्रेरक (catalyst) का कार्य करती है। अन्त में उत्प्रेरक की अनुपस्थिति में सेलूलोस अणु का कार्बन डाई ऑक्साइड तथा पानी में अपघटन हो जाता है<sup>10</sup>। कपड़े के सेलूलोस अणुओं में अग्नि अवरोधी होने की सम्भावित अभिक्रिया क्रियाविधि चित्र 4 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 ही नहीं जरूरी भी है। रासायनिक 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



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 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।

#### पावती (acknowledgement)

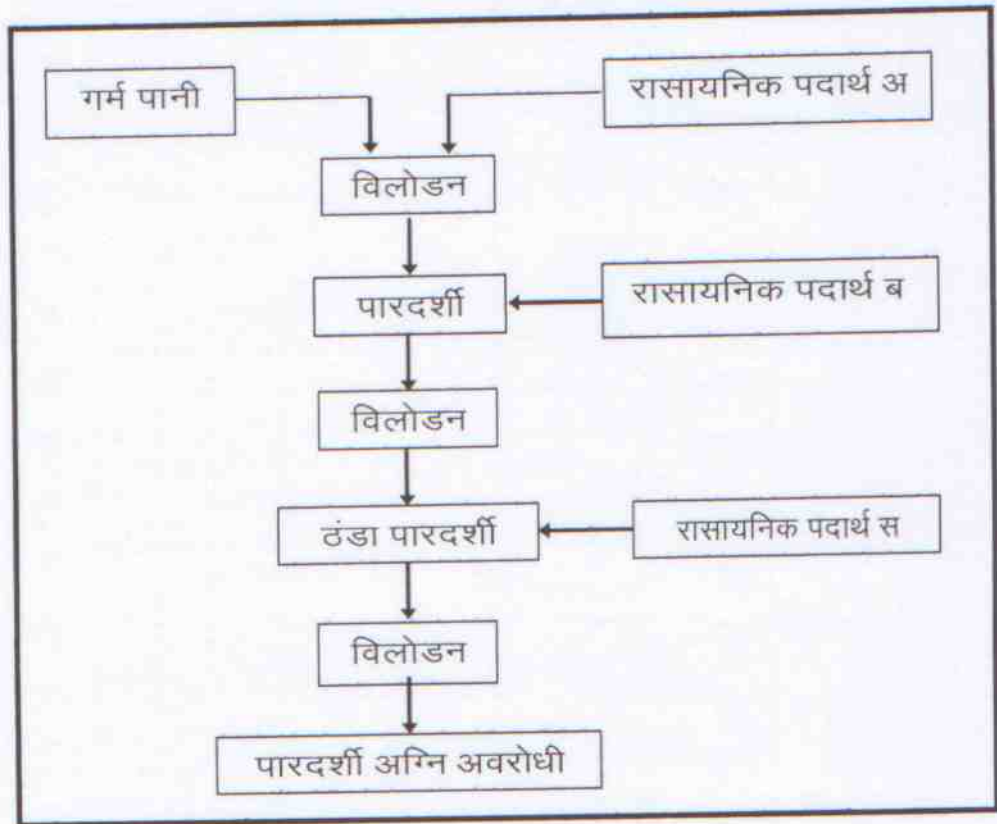
इस लेख का प्रकाशन निदेशक, केन्द्रीय भवन अनुसंधान संस्थान, रूडकी की अनुमति से किया जा रहा है।

#### संदर्भ

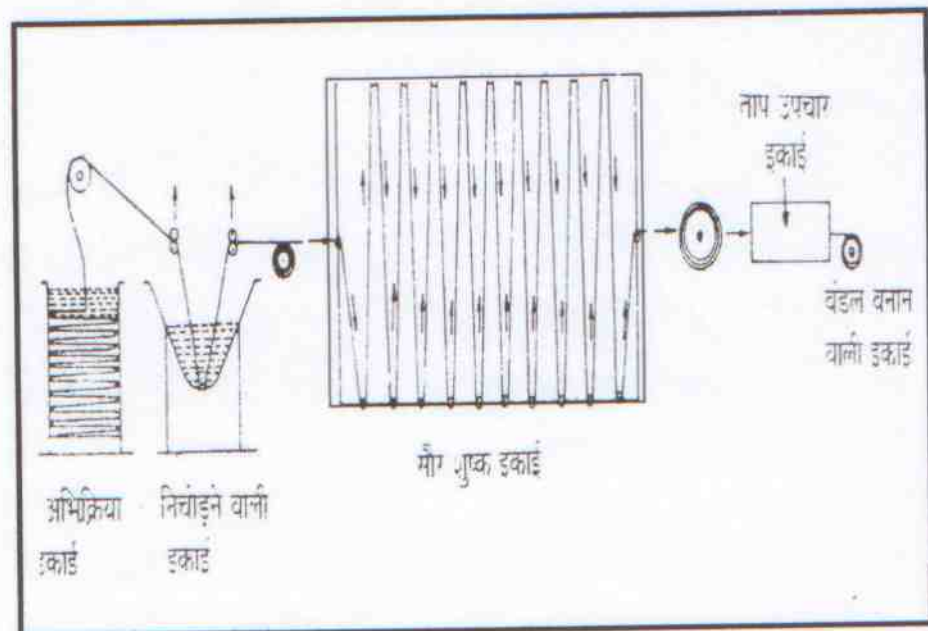
1. पी. थियेरी, "टेक्सटाइल", फायर प्रूफिंग, केमस्ट्री टेक्नॉलाजी एंड एप्लिकेशंस, एल्सवेयर पब्लिशिंग कम्पनी लि., न्यूयार्क, पेज 81-95, 1970
2. जी.एल. ड्रेक, जूनियर एल. एज. चानू एवं डब्ल्यू. ए. रीव्स, "ए लुक एट फ्लेम रिटार्डेन्ट्स बेस्ड ऑन फास्फोरस कमपाउन्ड्स", फ्लेमबिलिटी ऑफ सेलूलोसिक मेटीरियल्स, वाल्यूम 2, पार्ट 2, फायर एंड फ्लेमबिलिटी सीरिज, पेज 110-122, 1976
3. एम.ए. कासिम एवम् एच.के. रोयटे, "फ्लेमबिलिटी एंड फ्लेम रिटार्डेन्सी ऑफ फेब्रिक्स : ए रिव्यू", फ्लेमबिलिटी ऑफ सेलूलोसिक मेटीरियल, वाल्यूम 1, फायर एंड फ्लेमबिलिटी सीरिज, पेज 29-42, 1973
4. सिडनी कोपिक, जेम्स.एच. चर्च और रोबर्ट डब्ल्यू लिटिल, "थर्मल बिहेवियर ऑफ फेब्रिक्स एट फ्लेमिंग टेम्प्रेचर्स", 116 मीटिंग अमेरिकन केमिकल सोसाइटी, एटलान्टिक सिटी, पेज 415-418, सितम्बर 1949
5. हरपाल सिंह एवं जे.पी. जैन, "अब आग से बचाये जा सकेंगे समारोह स्थल", विज्ञान प्रगति, पेज 15-17, दिसम्बर 1999
6. हरपाल सिंह एवम् जे.पी. जैन, "फ्लेम रिटार्डेन्ट ऑफ कॉटन टेक्सटाइल", जनरल ऑफ इन्डियन बिल्डींग कांग्रेस, वाल्यूम 3, नम्बर 2, पेज 96-102, 1996
7. बी.एस. 3119, "मेथड ऑफ टेस्ट फार फ्लेम प्रूफ मेटीरियल्स", ब्रिटीश स्टैंडर्ड्स इन्स्टीट्यूशन, ब्रिटीश स्टैंडर्ड्स हाऊस, 2 पार्क एसटी, लंदन, डब्ल्यू आई, 1959
8. एच.सी. गल्यूज एंड जी.आर. सिडल, "डयूरेबल फ्लेम रिटार्डिंग सेलूलोसिक मेटीरियल्स", इन्डस्ट्रियल इंजीनियरिंग केमिस्ट्री, वाल्यूम 42, नं. 3, पेज 440-444, मार्च 1950
9. आर.एच. बार्कर, "मेकेनिज्म ऑफ फ्लेम रिटार्डेन्ट एक्सन इन टेक्सटाइल", एनबीएस, स्पेशल पब्लिकेशन 411, फायर सेफ्टी रिसर्च, पेज 37-49, नवम्बर 1974
10. एच.एफ. मार्क, 'फाइबर्स', "फायर सेफ्टी आसपेक्ट्स ऑफ पालिमरिक मेटीरियल्स", वाल्यूम 1, मेटीरियल्स : स्टेट ऑफ दी आर्ट, पब्लिकेशन एनएमएबी 318-1, वाशिंगटन, पेज 19-42, 1977

सारणी - 1 : कपड़ों का अग्नि अवरोधी परीक्षण

नमूनों का विवरण	अनावरण का समय (सेकेंड)	जलने वाली लम्बाई (मि.मी.)	जलने वाला क्षेत्र (मि.मी.)	तत्पश्चात ज्वाला (सेकेंड)	तत्पश्चात दीप्ति (सेकेंड)	भार में कमी (प्रतिशत)
रासायनिक उपचारित कपड़ा (318 x 51 मि.मी.)	12	34	388	00	00	4
अनउपचारित कपड़ा (318 x 51 मि.मी.)	12	पूरा जलकर राख	पूरा जलकर राख	67	128	96

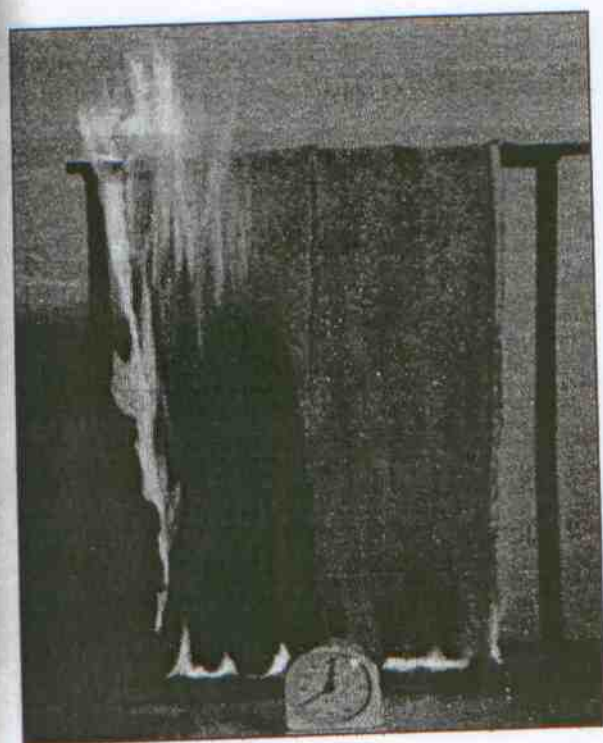


चित्र 1 : अग्नि अवरोधी घोल तैयार करने की विधि



चित्र 2 - कपड़े को रासायनिक उपचारित करने के लिए अभिकल्पित संयंत्र





अनउपचारित

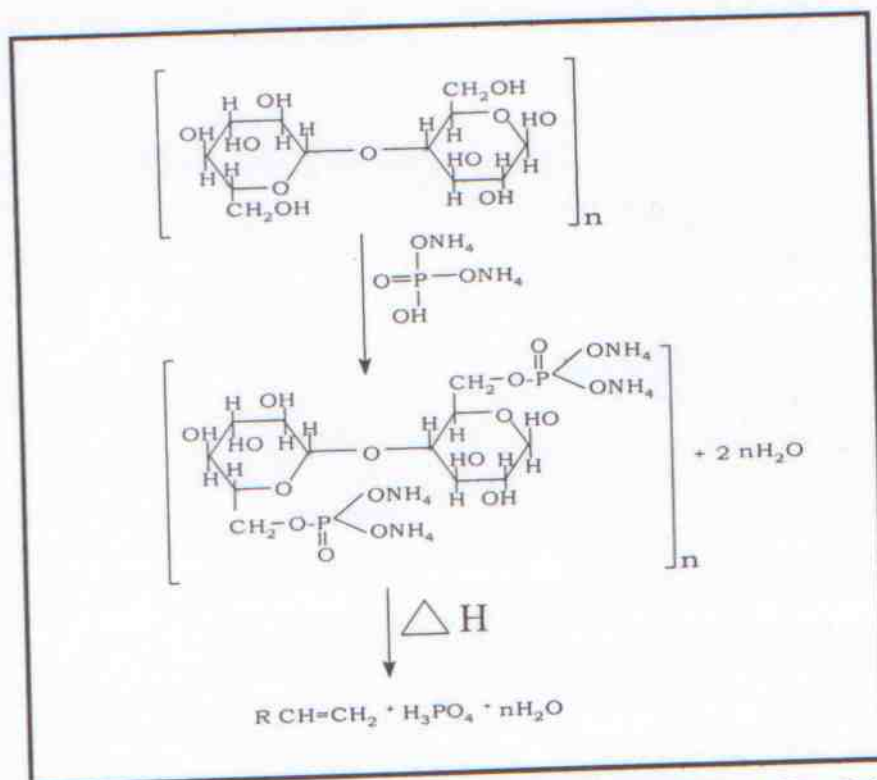
रासायनिक उपचारित



अनउपचारित

रासायनिक उपचारित

चित्र 3 - अग्नि दहन : (अ) परदों का कपड़ा एवं, (ब) शामियानों का कपड़ा



चित्र 4 - कपड़े के साथ अग्नि अवरोधी रसायन की अभिक्रिया क्रियाविधि