

روش های محافظت از سازه های فولادی در برابر آتش

محل ضرب مهرهای تحت کنترل- منسوخ							۰۳
							۰۲
							۰۱
				امیر ساعدی	وحید پاچیده	روش های محافظت از سازه های فولادی در برابر آتش	۰۰
	تاریخ انتشار	تصویب	تأیید	بررسی	تهیه	شرح	REV

روش‌های محافظت از سازه‌های فولادی در برابر آتش									
صفحه: ۲		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:
شهریور ۹۴								۰۱	



فهرست مطالب

- ۱- نوع عایق ۳
- ۱-۱- سیستم‌های تخته‌ای ۳
- ۱-۲- عایق اسپری ۳
- ۱-۳- رنگ‌های آماسی ۳
- ۱-۴- آجرکاری / بلوک کاری ۴
- ۱-۵- روکش بتن ۴
- ۱-۶- داده‌های مربوط به ساخت ۴
- ۲- اتصالات ۶
- ۳- پیری و کاهش جزئی عایق ۷
- ۳-۱- اثرات پیری ۸
- ۳-۲- کاهش جزئی عایق ۸

روش های محافظت از سازه های فولادی در برابر آتش									
صفحه: ۳		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
شهریور ۹۴								۰۱	

۱- نوع عایق

به طور کلی ۵ روش برای محافظت سازه های فولادی در برابر آتش وجود دارد؛ سیستم های تخته ای، سیستم های اسپری، رنگ های آماسی، آجرکاری/ بلوک کاری و روکش بتن.

۱-۱- سیستم های تخته ای

این سیستم ها معمول ترین سیستم عایق بندی در *UK* می باشند، چرا که نصب آن ها سریع و آسان است و نسبتاً کم دردسر می باشند و روند نصب آنها روندی خشک است. این تخته ها که یا از فیبرهای معدنی هستند و یا تخته های گچی، هم می تواند در کنار هم قرار بگیرند و یک سیستم جعبه ای در اطراف ستون و برای حفاظت از آن فراهم کنند و هم به تخته های چوبی که بین بال ها در سیستم های تیر قرار گرفته اند، متصل شوند. از دیگر مزایای سیستم های تخته ای این است که می توانند باعث اجرای مستقیم نازک کاری ساختمان شوند و در نتیجه به فرآیند اجرای سازه سرعت ببخشند.

۱-۲- عایق اسپری

در این روش، عایق به صورت مواد پاششی به طور خیس به روی عضو پاشیده می شود. این روش دردسرهای خاص خود را دارد (چون به صورت خیس انجام می شود) و به علاوه اگر روی فولاد کاری ها استفاده شود، روی آن باید از نازک کاری هایی مثل گچ کاری یا گچ برگ استفاده کرد تا استانداردهای دکوراسیونی لازم فراهم شود. به طور کلی از روش اسپری فقط برای تیرهایی استفاده می شود که سقف کاذب دارند.

۱-۳- رنگ های آماسی

در این روش از رنگ هایی استفاده می شود که وقتی در معرض حرارت قرار می گیرند، متورم می شوند و با تشکیل گاز کربن حالت عایق ایجاد می کنند، این مشابه همان لایه ی ذغالی است که در اطراف چوب ایجاد می شود. نکته ی مثبت سیستم رنگ های آماسی این است که می توان از آنها به عنوان نازک کاری نهایی روی کارهای فولادی استفاده کرد.

در اینجا اصول رنگ کاری بسیار حائز اهمیت می باشد، و بازدید مداوم جهت کنترل سلامت لایه ی رنگ امری ضروری است، به علاوه بعد از وقوع آتش سوزی، لایه ی رنگ باید تعویض شود. رنگ های آماسی همچنین در برابر اثرات آتش سوزی های هیدروکربنی و سوختن مقاوم هستند.

روش های محافظت از سازه های فولادی در برابر آتش										
صفحه: ۴		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:	
شهریور ۹۴								۰۱		

۱-۴- آجرکاری/ بلوک کاری

این روش را می توان روشی آسان جهت ایجاد عایق حرارتی تلقی کرد، چرا که پایه های آزاد یا بخشی از پایه ها و یا تمام آنها می توانند در داخل دیوارهای بنایی ساخته شده باشند. مصالح بنایی غیر باربر به صورت یک پوشش حرارتی عمل می کنند و در نتیجه باعث ایجاد دماهای متوسط در فولاد می شوند. پایه های آزاد با پر کننده های غیر سازه ای در جان ها می توانند مقاومت ۶۰-۳۰ دقیقه ای در برابر آتش فراهم کنند. می توان از پر کننده سازه ای جهت شرکت در باربری استفاده کرد یعنی ستون فولادی با پر کننده به صورت مرکب عمل می کند.

۱-۵- روکش بتن

امروزه این روش تقریباً منسوخ شده است. علت این مسأله تا حدی به بار ثابت اضافی که به سازه وارد می شود و تا حدی نیز به روند کندی که اجرای این روش دارد مربوط می شود. از آنجایی که بتن نیازمند قالب بندی، آرماتور گذاری و همچنین گذشت مدت زمان لازم برای گرفتن می باشد، می توان گفت که اقتصادی تر این است که از سازه های بتنی کاملاً مسلح استفاده شود. با استفاده از عایق های بتنی پیش ساخته برخی از مشکلات تا حدی مرتفع می شوند اما همچنان در محل های اتصال تیر به ستون (یا تیر به تیر) باید بتن ریزی کرد.

۱-۶- داده های مربوط به ساخت

خلاصه ای از داده های ساخت را مؤسسه تخصصی حفاظت از حریق در U_k فراهم آورده است. رفتار گرمایی عایق به صورت قراردادی با در نظر گرفتن دمای خرابی 550°C برای ستون ها با مصالح عایق معمولی و 620°C برای تیرهای موجود در کف های بتنی که بزرگتر از اندازه های مشخص مقطع می باشند، تعیین می شود. بنابراین داده های طراحی و ساخت بر اساس این دماها می باشند. این روش، به عنوان روشی محافظه کارانه شناخته شده است و اعضای فولادی به هنگام خرابی دماهایی بالاتر از این دماها دارند. به منظور استفاده از داده های آزمایشگاهی برای مقاطع بزرگتر، روشی ایجاد شد که از رگرسیون خطی استفاده می کند. پریود مقاومت در برابر آتش استاندارد t_{fi} به صورت زیر تعریف می شود:

(۱)

$$t_{fi} = a_0 + a_1 \frac{V}{A_m} + a_2 d_p$$

روش های محافظت از سازه های فولادی در برابر آتش										
صفحه: ۵		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:	
شهریور ۹۴								۰۱		

که در آن a_2, a_1, a_0 پارامترهایی هستند که به مصالح عایق مورد نظر مربوط می شوند. معادله ی (۱) را می توان به صورت زیر بازنویسی کرد:

(۲)

$$d_p = \frac{t_{fi} - a_0 - a_1 \frac{V}{A_m}}{a_2}$$

بنابراین به جای استفاده از داده های آزمایشگاهی می توان از معادلات برای یافتن مقادیر d_p مقاطع استفاده کرد.

EN 13381-4 از روشی مشابه ولی پیچیده تر استفاده می کند؛ در این روش دمای فولاد نیز دخیل است و t_{fi} به صورت زیر ارائه می شود:

$$t_{fi} = a_0 + a_1 d_p + a_2 \frac{d_p}{\frac{A_m}{V}} + a_3 \theta + a_4 d_p \theta + a_5 d_p \frac{\theta}{\frac{A_m}{V}} + a_6 \frac{\theta}{\frac{A_m}{V}} + \frac{a_7}{\frac{A_m}{V}} \quad (۳)$$

که در آن $a_0 - a_7$ ضرایب رگرسیون و θ دمای فولاد می باشد.

معادله ی (۳) را می توان به صورت زیر بازنویسی کرد:

(۴)

$$d_p = \frac{t_{fi} - a_0 - a_3 \theta - a_6 \frac{\theta}{\frac{A_m}{V}} - \frac{a_7}{\frac{A_m}{V}}}{a_1 + a_4 \theta + \frac{a_2}{\frac{A_m}{V}} + a_5 \frac{\theta}{\frac{A_m}{V}}}$$

به علاوه لازم به ذکر است که به طور کلی آزمایش ها به روی مقاطع I یا H است و برای مقاطع دیگر تحت شرایط خاص باید اصلاحاتی صورت گیرد.

مقاطع سازه ای تو خالی

ضخامت های d_p که از داده های ساخت بدست آمده اند باید به صورت زیر تا حد $d_{p,mod}$ افزایش یابند:

روش‌های محافظت از سازه‌های فولادی در برابر آتش										
صفحه: ۶		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:	
شهریور ۹۴								۰۱		

(۵)

$$A/V < 250$$

$$d_{p,mod} = d_p \left(1 + 0.001 \frac{A}{V} \right) \quad (۶)$$

$$250 \leq A/V \leq 310$$

$$d_{p,mod} = 1.25d_p$$

تیرهای لانه زنبوری و تیرهایی که حفره‌های دایره‌ای در جان آنها وجود دارد.

مسئله‌ای که در مورد این دو نوع تیر وجود دارد این است که احتمال دارد جان زودتر از بال پایینی گرم شود و در نتیجه این مسئله منجر به مشکلات مربوط به پایداری شود. در واقع ممکن است دمای جان باعث افزایش دمای بال پایینی شود.

در مورد تیرهای لانه زنبوری، داده‌های جدولی مربوط به ضخامت عایق‌هایی با مصالح معمولی و رنگ‌های آماسی باید تا حد ۲۰٪ افزایش یابند و مقدار A/V برای مقطع تیر مادر محاسبه شود.

برای تیرهایی که حفره‌های دایروی در جانشان دارند، قانون افزایش ۲۰ درصدی ضخامت فقط در مورد مصالح عایق قراردادی صدق می‌کند. (Newman, Dowling and Simms (2005) نشان دادند که داده‌های جدولی که در (SCI Advisory Desk note AD269 (SCI, 2003) وجود دارند، به مواردی محدود می‌شوند که قطر حفره ی دایروی موجود در جان از ۰.۸ عمق تیر تجاوز نکند، عرض تکیه‌گاه‌ها حداقل ۰.۳ قطر حفره‌ها باشد، فاصله ی بین حفره‌ها از ۰.۴ قطر حفره‌ها بزرگتر باشد و تیرها تحت بارگذاری معمول یک ساختمان اداری باشند. AD 269 نشان می‌دهد که نسبت $\frac{A_m}{V}$ برای گرمایش از سه طرف باید بر حسب نسبت $\frac{A_m}{V}$ پایین مقطع T شکل و در مرکز حفره ی دایروی جان باشد. در جدول ۱ از AD269 ضرایب افزایشی جهت افزایش ضخامت‌های عایق ارائه شده اند.

۲- اتصالات

مقاومت اتصالات را باید با استفاده از مقادیر طراحی کاهش یافته در اثر دما برای پیچ‌ها چه در برش و چه در کشش و همچنین برای جوش‌ها، کنترل کرد. ضرایب کاهش مقاومت مناسب در پیوست D از EN1993-1-2 موجود می‌باشند. دمای یک اتصال را می‌توان با استفاده از مقادیر محلی A/V مربوط به قسمت‌هایی که اتصال

روش‌های محافظت از سازه‌های فولادی در برابر آتش										
صفحه: ۷		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:	
شهریور ۹۴								۰۱		

را می‌سازند، بدست آورد. به عنوان یک حدس می‌توان از یک دمای یکنواخت که بر حسب مقدار ماکزیمم A/V مربوط به اعضایی که به اتصال می‌رسند بدست می‌آید، استفاده کرد. برای اتصالات تیر به تیر و تیر به ستون که در آنها تیرها در کف‌های بتنی قرار دارند می‌توان از دمای بال پایینی تیر در وسط دهانه جهت تعیین دما در اتصال استفاده کرد.

توزیع دما θ_h در اتصالات را می‌توان بصورت زیر تعیین کرد:

(۷)

$$D < 400mm$$

$$\theta_h = 0.88\theta_0 \left[1 - 0.3 \frac{h}{D} \right]$$

(۸)

$$D > 400mm$$

$$h < D/2$$

$$\theta_h = 0.88\theta_0$$

(۹)

$$h > D/2$$

$$\theta_h = 0.88\theta_0 \left[1 + 0.2 \left(1 - \frac{2h}{D} \right) \right]$$

که در آن h ارتفاعی است که از پایین اندازه‌گیری شده است، D عمق تیر و θ_0 دمای بال پایینی دور از اتصال است.

۳- پیری و کاهش جزئی عایق

در تمامی روش‌های محاسباتی بالا فرض می‌شود که تمام مصالح عایق در محل باقی می‌ماند و با گذشت زمان هیچ تغییری در خواص آن ایجاد نمی‌شود، و در تمام مدت زمان لازم برای مقاومت در برابر آتش خواص خود را حفظ می‌کنند. واضح است که باید الزاماتی وجود داشته باشد که همان طور که از سلامت و استاندارد بودن اجزای عایق بندی اطمینان حاصل می‌شود، از ادامه‌ی کارایی آن‌ها نیز اطمینان حاصل شود.

روش‌های محافظت از سازه‌های فولادی در برابر آتش									
صفحه: ۸		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
شهریور ۹۴								۰۱	

۳-۱- اثرات پیری

سری آزمایش‌هایی که در طول ۶ سال توسط *Kruppa (1992)* صورت گرفت، نشان می‌دهند که در تمامی روش‌های معمول طراحی عایق حرارتی سازه‌های فولادی، با گذشت زمان زوال اندکی در خواص مصالح عایق به وجود می‌آید.

۳-۲- کاهش جزئی عایق

اثری که کاهش عایق در طول آتش سوزی به همراه دارد، کاهش قابل توجه عملکرد سازه در برابر آتش است. این مسأله در مواقعی که آتش سوزی در سازه‌های جزئی عایق بندی شده مثل *Broadgete (SCI, 1991)* *Phase 8* رخ می‌دهد و همچنین در مطالعات شبیه سازی *(Tomacek and Milke, 1993)* مشاهده شده است. این مطالعات شبیه سازی نشان دادند که گرچه با کاهش عایق، کاهش در عملکرد سازه در برابر آتش استاندارد وجود دارد، اما این اثر در پریودهای طولانی مقاومت در برابر آتش به مراتب بیشتر است. مرجع *Tomacek and Milke* تعیین می‌کند که برای یک پریود مقاومت در برابر آتش ۳ ساعته، ۱۸٪ کاهش عایق بال‌های ستون مقاومت در برابر آتش در ستون را چیزی حدود ۶۰-۴۰ دقیقه کاهش می‌دهد. به علاوه کاهش مقاومت، مستقل از اندازه ی ستون می‌باشد، برای طراحی مقاومت ۱ ساعته نیز اثر کاهش ۱۸ درصدی عایق چیزی حدود ۴۰-۳۰ دقیقه کاهش مقاومت در برابر آتش است.

اثر دیگر کاهش عایق، افزایش تغییر شکل‌های سازه‌ای در طول آتش سوزی می‌باشد چرا که با افزایش دمای فولاد، مدول یانگ کاهش می‌یابد. اثری که در فاز سرد شدن گذاشته می‌شود باقی ماندن تغییر شکل‌های اضافی است، حتی اگر اثر تنش‌های پسماند فولاد بسیار کم باشد، این تغییر شکل‌ها باقی می‌مانند.