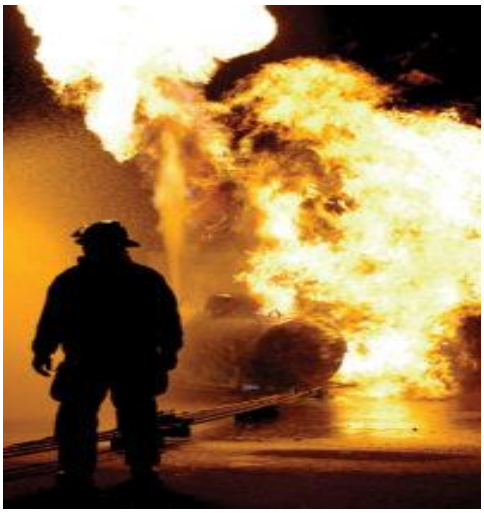
هنگامی که طراحی انفجاری سازه شامل طراحی مقاومت در برابر انفجار نمی‌شود



بسیاری از مراکز در صنایع شیمیایی، دارویی، آزمایشگاهی و صنایع عمومی؛ مقرراتی برای ذخیره مواد شیمیایی، گازها، سوخت‌ها، روان کننده‌ها و دیگر مواد خطرناک مورد استفاده در کارهای روزانه دارند. اگر این مصالح درست انبار شده و در معرض ضربه، نشت، شعله و منابع احتراق نباشند، سالم باقی می‌مانند. با این وجود تصادفات و وقایع می‌توانند باعث شوند که مصالح در معرض شعله، قوس الکتریکی یا دیگر منابع احتراق قرار بگیرند. بهترین حالت این است که این مصالح در دمای بالا به مرز سوختن برسند. در بدترین حالت با پیشروی شعله به سمت مصالح قابل اشتعال، حادثه سوختن به شعله‌ور شدن تبدیل می‌شود؛ شعله‌ور شدن، گسترش منطقه احتراق با سرعتی بیش از سرعت صوت در محیط غیرفعال (معمولاً هوا) است. شتاب گرفتن بیش‌تر این شعله‌ها می‌تواند به سرعت فراصوت برسد یا می‌تواند باعث انفجار شود و فشار را به شدت افزایش دهد تا جایی که باعث آسیب به سازه‌ها می‌شود.

به دلیل این که محاسبه ۱) مکانیسم‌های آزاد شدن (سوراخ شدن، پارگی و نشت)، ۲) پخش و ۳) اشتعال در این مصالح به سختی می‌تواند قابل بیان به صورت عددی باشد، روش‌هایی در صنعت ایجاد شده است که اثرات حالت بد انتشار و انفجار را محدود می‌کند که به آن‌ها دریچه گذاری شعله‌وری (یا حذف عامل هوا) می‌گویند. این روش به صورت نصب دریچه اطمینان در سازه‌ها است. این دریچه‌ها فشار ایجاد شده در داخل سازه را در یک سطح ایمن از پیش تعیین شده محدود می‌کنند. هنگام ریزش دیوارها و در شرایطی که دریچه‌های انفجاری در فشار از پیش تعیین شده تعبیه شده باشند، نیازی به طراحی سازه در بدترین حالت نیست.

روش‌های مشابه، اغلب در صنایع تجهیزات شیمیایی و هنگامی که فرآورده جانبی فرآیند ساخت با گرد و غبار همراه است، مورد استفاده قرار می‌گیرد. هنگامی که گرد و غبار (به صورت ذرات کوچکی باشد) در یک محیط با خطر آتش‌سوزی و یا در معرض اکسید شدن قرار بگیرد، ممکن است دارای قابلیت اشتعال شوند. گرد و غبار قابل اشتعال شامل گرد و غبار فلزهایی مانند آلومینیوم و منیزیم، گرد چوب، گرد پلاستیک و لاستیک، گرد زغال‌سنگ، گرد و غبار ارگانیک مانند آرد، شکر، کاغذ، صابون، خون خشک شده و گرد و غبار ناشی از نساجی‌های خاص، می‌شود.

دو رویکرد صنعتی که می‌تواند برای تعیین دریچه گذاری لازم برای انبار کردن ایمن مواد شیمیایی و گرد و غبار خطرناک در بعضی از انواع خاص سازه‌ها، استفاده شوند عبارت‌اند از رویکردهای سازمان ملی حفاظت در برابر آتش (NFPA ۶۸)، حفاظت

در برابر انفجار با دریچه گذاری (FM۱-۴۴) است. هر دوی این اسناد، روش‌ها و راهنمایی‌هایی برای دریچه گذاری به گونه‌ای که آسیب‌های سازه‌ای با کنترل افزایش فشار در انبار مصالح یا اتاق تجهیزات، کاهش پیدا کند را در بر می‌گیرند.

برای گازها، گرد و غبارها یا مخلوط‌های ترکیبی قابل اشتعال، NFPA ۶۸ دستورالعملی ارائه می‌کند که در طول چند دهه که از ۱۹۴۵ شروع شد، توسعه یافته است. سپس به NFPA ۶۸T، استاندارد دریچه گذاری انفجاری نام‌گذاری شد و به طور پیوسته با جمع‌آوری تمام داده‌های موجود در مورد اصول و پارامترهای انفجارها، داده‌های آزمایشی پشتیبان، روش‌های طراحی و دستور استفاده از دریچه‌ها و بست‌های دریچه‌ها برای کاهش اثرات انفجارها، ارتقا داده شود. NFPA ۶۸ با دو روش کارایی محور و فرآیندهای توصیفی ارائه شده است و دایره مباحث گسترده آن شامل توصیفات اصول شعله‌وری، اندازه‌گیری و تخمین فرآیندهایی برای واکنش‌پذیری بخارها و سرعت سوختن مواد شیمیایی و جزئیات پیکربندی پانل‌های دریچه‌ها و محدودیت‌های پارامتری، می‌شود.

برای تعیین مساحت دریچه امن مورد نیاز، NFPA و FM روش‌هایی را برای کمی سازی و ارتباط مواد شیمیایی بحرانی، هندسه و پارامترهای سازه‌ای ارائه و تعریف کرده‌اند. پارامترهای احتراق شامل K_{st} ، د شعله‌وری گردوغبار ، S_u ، سرعت سوختن پایه یک مخلوط گاز و هوا ، ρ_u ، چگالی جرمی یک مخلوط نسوخته از گاز و هوا ، λ ، ضریب سرعت سوختن گاز و هوا (برای محاسبه در آشفتگی و ناپایداری) و P_{max} ، فشار ماکسیمم بهینه مورد انتظار برای یک مصالح مشخص (در یک شعله‌وری و حجم مشخص)، هستند. تأکید می‌کنیم که حجم مواد شیمیایی ذخیره شده عامل مهمی است، زیرا باید ترکیب سوخت و هوای قابل احتراق برای شروع احتراق محاسبه شود. با این وجود در بسیار از موارد، مواد کافی برای رسیدن به این تراکم در منابع موجود است. بنابراین پارامترهای بحرانی بر اساس مواد شیمیایی با بیشترین ترکیب S_u و P_{max} تعریف می‌شوند.

پارامترهای هندسی بحرانی شامل حجم، A_s سطح داخلی دیوارهای خارجی، کف، سقف و سطوح دریچه گذاری احتمالی، حجم داخلی جدا شده با پارتیشن‌ها و A_{obs} سطح موانع داخلی شامل مخازن، لوله‌ها و ماشین‌آلات هستند. A_{obs} بحرانی است زیرا به صورت مستقیم λ و شتاب پیشانی شعله را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

پارامترهای بحرانی سازه‌ای و دریچه‌ها شامل P_{es}، مقاومت باز شدن ، P_{stat} ، فشار فعال‌سازی استاتیک دریچه و A_v مساحت مورد نیاز دریچه است. مقاومت باز شدن دریچه P_{es} به صورت فشار استاتیک داخلی ماکسیمم یا نهایی است که در آن سازه می‌تواند مقاومت کند. P_{es} همچنین به صورت ظرفیت محدود کننده تمام دیوارها، سقف‌ها، درها یا پنجره‌ها یا ظرفیت محدود کننده هر ارتباطی بین این عناصر هم تعریف می‌شود.

پارامترهای بحرانی مصالح و مواد شیمیایی، هندسی و سازه‌ای توصیف شده فوق برای تعیین پارامترهایی در تعیین اندازه دریچه به کار می‌رود. یکی از این پارامترها P_{red} یا فشار مورد انتظار ماکسیمم در داخل محفظه یا سازه انبار است. P_{red} لزوماً همان فشاری است که سطح دریچه‌ها و روزنه‌ها برای آن طراحی می‌شوند. برای سازه‌های نسبتاً شکل‌پذیر که می‌توانند تغییر شکل‌های متوسط را تحمل کند (همانند بیشتر سیستم‌های بتن مسلح ، مصالح بنایی یا فولاد سازه‌ای) ، P_{red} به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$P_{red} = \frac{P_{es}}{DLF}$$

که در آن DLF ضریب بار دینامیکی یا اثر دینامیکی نرخ افزایش فشار است. DLF هم به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$DLF = \frac{X_m}{X_s}$$

که در آن X_m ماکسیمم جابه‌جایی دینامیکی و X_s جابه‌جایی ایجاد شده در سیستم هنگامی که بیشینه بار به صورت استاتیکی وارد شود، می‌باشند. در غیاب تحلیل جزئی با استفاده از نرخ افزایش فشار مورد انتظار ، می‌توان از DLF برابر با ۱,۵ به صورت محافظه‌کارانه استفاده کرد . همین‌طور اگر ساختمان دارای ظرفیت تغییر شکل محدود باشد (یعنی نبود انعطاف‌پذیری در برابر تغییر شکل کافی قبل از شکست) ، P_{red} به ۲/۳ مقاومت نهایی بازشوی دریچه محدود می‌شود . دیگر محاسبات سازه‌ای می‌تواند شامل اندرکنش‌های پانل دریچه و طراحی مناسب برای این اندرکنش‌ها باشد. در صورتی که $P_{stat} \geq ۰.۱\ Bar$ باشد ، محاسبات اندرکنش و طراحی لازم است .

دیگر پارامترها و تعدیل‌های به دست آمده می‌تواند شامل کاهش بیش‌تر P_{red} (و افزایش متناظر سطح دریچه) در صورتی که دریچه کانال داشته باشد است، یعنی راه دریچه‌ها به خارج مجزا باشد ، باشد. حداقل فاصله ورودی‌های هوا یا سازه‌های مجاور بر اساس قطر گلوله آتش دریچه گذاری شده، باید از معادلات داده شده محاسبه شود. پوشش‌های آکوستیک دیوار می‌توانند λ را کاهش دهند و فشار داخلی زیر فشار اتمسفر هم می‌تواند P_{max} و A_v را کاهش دهد. در صورتی که اندازه دریچه از آستانه بالایی که بر اساس P_{red} ، n (تعداد دریچه‌ها)، V ، S_u . λ محاسبه می‌شود، بیشتر شود؛ A_v افزایش پیدا می‌کند.

دریچه‌های مکانیکی و بازشوهای ساده را می‌توان برای ارضای مقررات دریچه گذاری به کار برد. دریچه‌های باز معمول (پنجره‌ای یا پناهگاهی) مانند پنل‌های بسته با بست‌های فشاری، پین یا بولت‌های برشی، چفت‌های اصطکاکی یا مغناطیسی و دیافراگم‌های شکست بسته می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. ممکن است برای حفاظت از تجهیزات مجاور یا پرسنل نزدیک به دریچه‌ها نیاز به مهار آن‌ها داشته باشیم. باید آزمایش کنیم که وسایل مهارشده در طول بهره‌برداری تغییر شکل ندهند و یا باز نشوند. P_{stat} و مساحت دریچه و وزن، توسط سازنده ارائه می‌شود. P_{red} معمولاً برای مشخص کردن دریچه‌ها به کار می‌رود. در فشارهای زیر ۰,۱ بار ، P_{stat} نباید بزرگ‌تر از ۷۵ درصد P_{red} باشد.

دو نمونه پروژه را می‌توان برای روشن کردن فرآیند و پارامترهای فوق استفاده کرد. اولین پروژه که با محفظه‌ای نسبتاً بزرگ هم هست (۴۰ فوت در ۲۰ فوت در ۱۲ فوت)، تجهیزات سازنده حامل هیدروژن سلول سوختی است که در آن متانول جزء اصلی در ساخت سلول‌های سوختی است . متانول حامل ایده آلی برای حمل هیدروژن است زیرا نسبت به هر مایع پایدار دیگری تعداد هیدروژن بیش‌تری را در هر گالن تحت شرایط نرمال دارا است. این فضای ذخیره، مخازن پروپانی هم برای عملیات گرمایش دارد . دیوارهای پیشنهاد شده برای اتاق انبار شامل CMU مسلح ۸ اینچی است که کاملاً با دوغاب پر شده است. سقف اتاق انبار شامل عرشه‌های فولادی دندانه دار و ۶ اینچ بتن در ۲۵۰ فوت مربع و دریچه‌هایی که کانال‌کشی نشده‌اند (از بیرون باز هستند) می‌باشد.

اولین گام برای تعیین سریع مساحت دریچه انتخاب سوخت‌ها است . متانول با ۵۶ سانتی‌متر بر ثانیه (نسبت به پروپان با $S_u = ۴۶\ cm/sec$)، سرعت سوخت بالاتری دارد. در مرحله دوم باید P_{es} باید برای سازه و اجزای آن تعیین شود. R_u (در اینجا ظرفیت نهایی خمشی دیوارهای CMU) ۲,۱ psi تعیین شد، در حالی که ظرفیت نهایی بتن روی عرشه فولادی ۲,۴psi تعیین شد، بنابراین مقاومت دیوار تعیین کننده است. محاسبه P_{red} و پارامترهای مشتق شده از مراحل NFPA ۶۸ منجر به تولید عدد ۱۹۸فوت مربع برای مساحت لازم دریچه (A_v) ، یا ۴۸٪ مساحت دیوار می‌شود که یک مساحت زیاد و نامطلوب است. در اولین بازبینی برای کاهش این مساحت ، مقاومت دیوار با دوغاب ریزی و تقویت هر سلول به ظرفیت ۳,۶psi افزایش

پیدا کرد. بنابراین ظرفیت سقف با ۲,۴psi ثابت می‌شود. این P_{es} بالاتر باعث کاهش مساحت دریچه مورد نیاز به ۱۸۶ فوت مکعب می‌شود که باز هم ۳۹٪ مساحت دیوار است. در نهایت باید فضای ذخیره را (با تقسیم منبع به بیش از یک فضا) به ۱۵ در ۲۰ در ۱۲ فوت کاهش دهیم. با کاهش دهانه سقف (و افزایش ظرفیت آن) دوباره ظرفیت دیوار حاکم می‌شود و P_{red} جدید به سطح دریچه مورد نیاز ۷۹ فوت مربع یا ۳۳٪ مساحت دیوار منجر می‌شود که از لحاظ سازه‌ای و معماری قابل پذیرش است.

پروژه دوم در مورد مخزن اتیل استات در یک کارخانه داروسازی بود. اتیل استات برای صنعت داروسازی به عنوان یک حلال استخراج کننده کاربرد دارد. در این مورد یک کپر ساده برای انبار مطلوب بود . یک ساختمان مستطیلی با ابعاد ۳۰ فوت در ۱۰ فوت به ارتفاع ۸ فوت با دیوارهای CMU به قطر ۸ اینچ (که سلول‌های آن با آرماتور ۵ در فاصله ۳۲ اینچ در مرکز با دوغاب پر شده بود) و یک سقف با بتن سبک به قطر ۳ اینچ بر روی عرشه فولادی با تکیه‌گاه تیرهای فولادی زنبوری در فاصله‌های ۵ فوت، مطلوب بود. سطح بشکه‌های ذخیره کننده ، ۲۰۰ فوت مربع بود (A_{obs}) و دریچه‌های بدون کانال برای آن پیشنهاد شده بود. بر اساس S_u برابر با ۳۸ سانتی متر بر ثانیه برای اویل استات و یک دیوار و سقف با ظرفیت ۲,۵ psi و ۱,۶ psi ؛ مساحت دریچه برابر با ۴۱ فوت مربع تعیین شد. در حالی که این مساحت قابل قبول بود، یک اصلاح دوباره برای کاهش هزینه‌های سازه‌ای با جایگزینی بتن سبک توسط یک سقف اجرا شده در محل بر روی سیستم مشابه OWSJ در فاصله‌های ۴ فوتی انجام شد. این کاهش فاصله تیرها باعث افزایش ظرفیت سقف به اندازه ۲,۰ psi شد که در این صورت ظرفیت دیوارها تعیین کننده می‌شود. مساحت دریچه مورد نیاز جدید برابر با ۴۷ فوت مربع خواهد بود و در عین قابل قبول بودن، هزینه‌های سازه نیز کاهش پیدا خواهد کرد .

این مثال‌ها به تشریح تبادل بین حجم ، ظرفیت سازه و حتی ترکیبی از مواد خطرناک که می‌تواند برای یک طراحی کارآمد برای دریچه گذاری در ساخت‌وساز با هدف محدود کردن آسیب به کار رود، پرداختند. مفاهیم و روش‌های تعیین ظرفیت نهایی که به صورت معمول در طراحی مقاوم در برابر انفجار انجام می‌شود، می‌تواند برای بهینه‌سازی اندازه دریچه‌ها به کار برود. روش‌های NFPA ۶۸ و FM ابزارهایی هستند که مهندسان سازه باید در زمان لزوم به ایجاد فضای امن و سیستم سازه‌ای کارآمد در صنعت از آن آگاه باشند.

مترجم: علی اکبر خلیلی

منبع:

http://www.structuremag.org/?p=۱۰۵۴۶