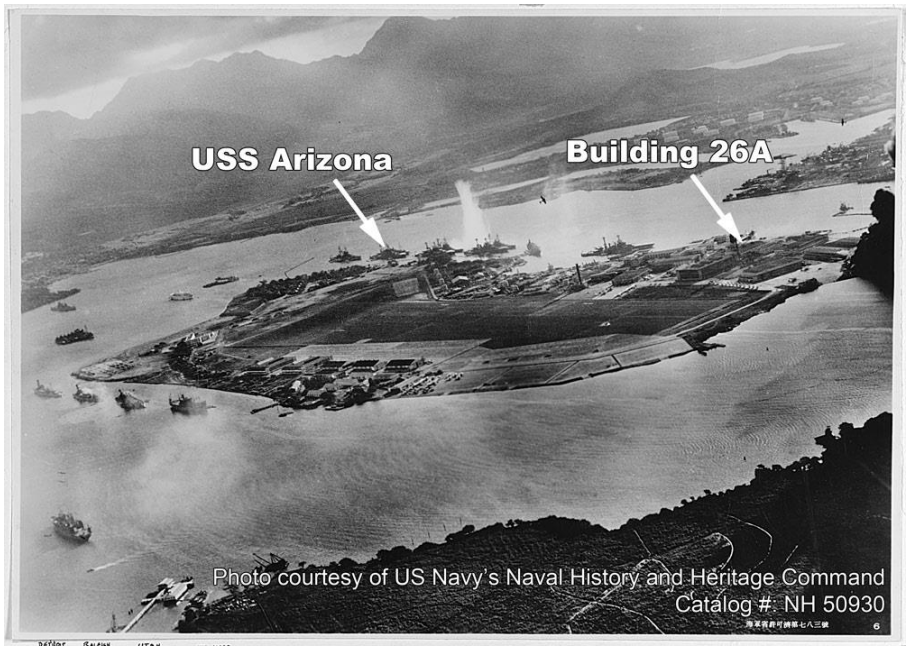
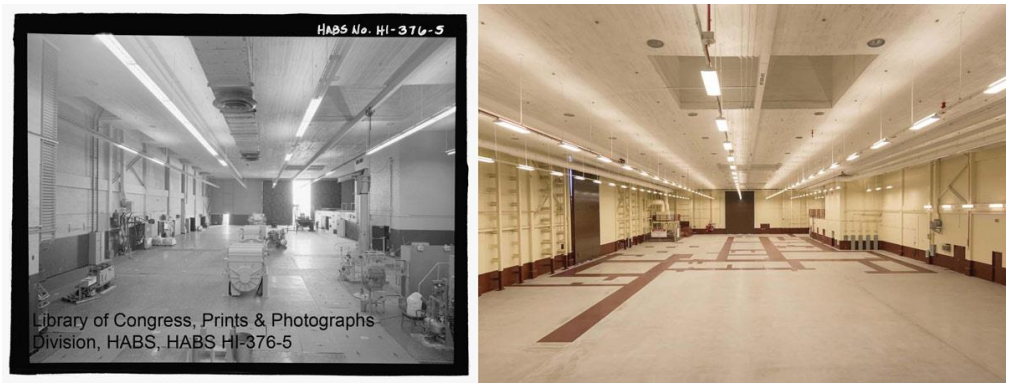
محافظت از تاریخچه نیروی دریایی با اجرای یک قرارداد طرح – ساخت

ساختمان *26A* در جزیره‌ی فورد و در سال ۱۹۳۵ به‌عنوان انبار نیروی هوایی و آشیانه هواپیما برای پایگاه هوایی نیروی دریایی ساخته شد. این ساختمان از حمله‌ی ۷ دسامبر ۱۹۴۱ به بندر پیرل (شکل ۱ و ۲) جان سالم به در برده و در ۷۵ سال گذشته تغییرات زیادی در کاربری آن ایجادشده است. در سال ۲۰۱۴، نیروی دریایی ساختمان *26A* را برای ایجاد مرکز آموزش جدید نیروهای مرکز امنیتی (*CENSECFOR*) انتخاب کرد.



شکل ۱. بندر پیرل تحت حمله‌ی ۷ دسامبر ۱۹۴۱ که توسط هواپیمای ژاپنی انجام شد

این تغییر شامل تعمیر خرابی‌های بیرونی و بهبود سازه برای مطابقت با معیارهای لرزه‌ای، گردباد و مقاوم در برابر حملات تروریستی فعلی، می‌شد. یک تیم طرح و ساخت به رهبری هانسل فلپس قراردادی ۱۵,۱ میلیون دلاری بستن تا ساختمان تاریخی را بهسازی کند.



شکل ۲. نمای داخلی اصلی ساختمان *26A* (سمت چپ) و نمای داخلی فعلی (سمت راست)

ساختمان *26A* از ۳۰۰۰۰ فوت مربع فضای باز با ارتفاع دو برابر طبقه معمول و ۱۵۰۰۰ فوت مربع فضای اداری دوطبقه و فضاهای حفاظتی در اطراف آن تشکیل‌شده است. سیستم سازه‌ای اولیه با دهانه‌های باز از خرپاهای فولادی با دهانه‌ی طولانی

تشکیل‌شده بود که لاپه‌های فولاد و صفحات زیرکار (غلاف) چندلایه‌ی کام و زبانه روی آن قرار گرفته‌اند. خرپاها در هر دو طرف روی ستون‌های فولادی قرار گرفته‌اند که در داخل بتن محبوس شده‌اند. سقفی به ضخامت سه اینچ با بتن بسیار سبک و دارای فولاد تعبیه شده به از لاپه‌های فولادی معلق شده است که وظیفه‌ی اولیه‌ی آن محافظت در برابر آتش است. در محیط اداری، سازه شامل تیرها و ستون‌های فولادی در غلاف بتن است که دال‌های سقف و دال‌های بتن درجا روی آن‌ها قرار گرفته‌اند. ساختمان را دیوارهای بنایی توخالی در برگرفته و فونداسیون از پی‌های گسترده‌ی سطحی تشکیل‌شده است.

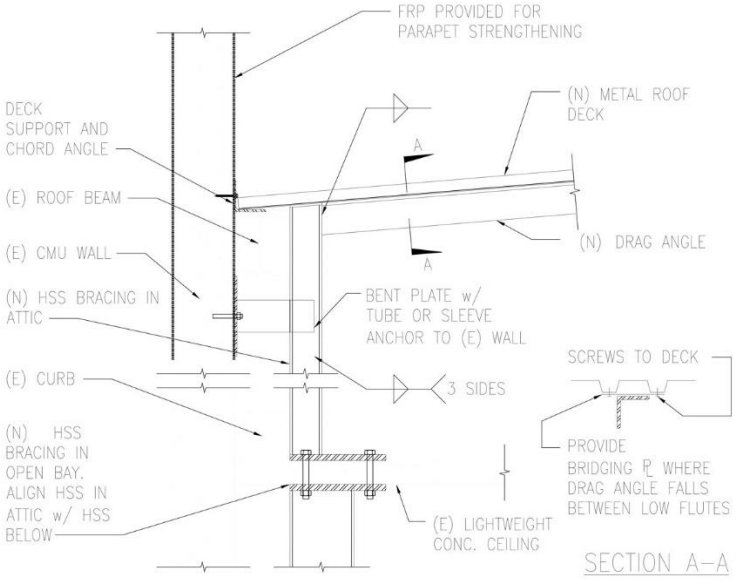
نوسازی این ساختمان چالش‌های سازه‌ای منحصربه‌فردی را در مقابل ما قرار می‌داد که عبارت‌اند از :

- تحلیل و مقاوم‌سازی دیوارهای بنایی خارجی توخالی و بدون آرماتور قدیمی برای مقاومت در برابر بارهای باد، لرزه‌ای و انفجار
- اطمینان از اینکه اصلاح سازه‌ای ویژگی‌های طراحی تاریخی شاخص ساختمان را حفظ خواهد کرد.
- تعیین شرایط موجود و مستندسازی اصلاحات انجام‌شده در طول چندین نوسازی انجام‌شده در ۷۵ سال گذشته
- برطرف کردن تخریب‌های سازه‌ای شایع مانند اعضای فولادی خورده شده، کف‌های پوسیده و دیوارها و بتن ترک‌خورده

این چالش‌ها به‌خوبی با استفاده از روش طرح و ساخت حل شد.

بهسازی لرزه‌ای

طراحی کلی مطابق با آیین‌نامه‌ی ساختمانی بین‌المللی ۲۰۱۲ (*IBC*) انجام و با معیارهای یکپارچه تجهیزات نیروی دریایی (*UFC*) اصلاح شد. ارزیابی لرزه‌ای و بهسازی‌های متعاقب آن با استفاده از *ASCE 41-13* (ارزیابی و بهسازی ساختمان‌های موجود)، برای سطح خطر لرزه‌ای *BSE − 1E* با شتاب‌های طیفی اندازه‌گیری شده $S_{xs} = 0.30g$ و $S = 0.13g$ و ایمنی عمر در سطح عملکردی ، انجام شد. ساختمان *26A* در سطح بالایی از لرزه‌خیزی تحت آیین‌نامه‌ی *ASCE 41 − 13* اختصاص داده شد که با سطح طراحی لرزه‌ای ساختمان‌های جدید در دسته *D* یکسان است.



شکل ۳. جزئیات اتصال عرشه و مهاربند

یکی از نقص‌های قابل‌ملاحظه‌ای که کشف شد، نبود دیافراگم سازه‌ای مناسب در سقف بود. نه مهاربندهای میله‌ای افقی موجود و نه ورق‌های کام و زبانه، هیچ‌کدام مقاومت و جزئیات کافی برای ایجاد دیافراگم را نداشتند. علاوه بر نداشتن ظرفیت برشی کافی، ورق‌های کام و زبانه‌ی موجود در شرایط ضعیفی هم بودند. ازآنجاکه پروژه نیازمند حذف و جایگزینی همه‌ی مصالح سقف و عایق‌بندی بود، تیم طرح و ساخت تصمیم گرفت که غلاف‌های چوبی را با عرشه‌ی فولادی جایگزین کند. این جابه‌جایی نه‌تنها نگرانی‌های سازه‌ای را برطرف می‌کرد، بلکه باعث بهبود عملکرد طولانی‌مدت می‌شد. انتقال نیروی برشی به دیوارهای بنایی خارجی با نبشی‌های فولادی پیوسته انجام می‌شد که نقش تقویتی هم دارند (شکل ۳). با توجه به طول قابل‌ملاحظه‌ی دیوارها، دیوار تقویت نشده و توخالی برای نیروهای لرزه‌ای داخل صفحه کافی ارزیابی شد.

مقاوم‌سازی دیوار

باوجود اینکه دیوارهای خارجی برای مقاومت در برابر برش داخل صفحه ظرفیت کافی داشتند اما مقاوم‌سازی برای مقاومت در برابر نیروهای خارج از صفحه موردنیاز بود. علاوه بر نیروهای لرزه‌ای، فشار باد بر اساس دسته‌ی خطر *2* و سرعت باد به‌اندازه ۱۳۰ مایل بر ساعت هم در نظر گرفته‌شده بود.

مطالعات برنامه‌ریزی مفهومی قبلی استفاده از نوارهای پلیمر تقویت‌شده با فیبر (*FRP*) را برای افزایش ظرفیت تمام دیوارهای خارجی پیشنهاد می‌کند. در ابتدا این گزینه کارآمدترین راه‌حل طراحی به نظر می‌رسد. اما وقتی قابلیت اجرا، شرایط موجود و حفظ ماهیت تاریخی را در نظر می‌گیریم، این گزینه چندین مانع عمده سر راه ما می‌گذارد. استفاده از *FRP* روی سطح بیرونی گام‌های متعددی شامل حذف گچ موجود، آماده‌سازی سطح مصالح بنایی، اجرای *FRP* و سپس اجرای مجدد گچ دارد. ارزیابی‌های اولیه‌ی میدانی نشان داده است که گچ موجود در شرایط خوبی قرار دارد، یعنی اگر گچ موجود را حذف نکنیم به نازک‌کاری خارجی کمی نیاز داریم. همچنین آزمایش‌های انجام‌شده توسط پیمانکار نشان داد که حذف گچ موجود بسیار سخت است و باعث افزایش هزینه‌های تخریب و همچنین طولانی شدن زمان اجرا می‌شود. به‌علاوه تطابق گچ جدید با گچ قدیمی و موجود هم نگرانی بزرگی بود.

شکل ۴. مهاربندهای دیوار فولادی

به خاطر این چالش‌ها، تیم طرح و ساخت یک سیستم مهاربندی فولادی سازه‌ای جایگزین ایجاد کرد که دیوارها تنها از داخل ساختمان به آن‌ها تکیه دارند (شکل ۴). مهاربند از اعضای *HSS* فولادی که از دال طبقه تا سقف بتنی سبک و از سقف بتنی سبک تا عرشه‌ی سقف امتداد دارد، تشکیل‌شده است. مهاربندها با نبشی‌هایی فولادی که به مقاطع *HSS* جوش داده شده‌اند و صفحاتی لوله‌ای شکل که با رول بولت به دیوارهای بنایی گروت ریزی نشده متصل هستند، به دیوارهای بنایی متصل شده‌اند. یک گوه از اپوکسی سخت یا غلاف فلزی منبسط‌شده که در نمای داخلی قرار گرفته است، ظرفیت بیرون کشیدگی رول بولت‌ها را تأمین می‌کند. تیم طرح و ساخت یک برنامه‌ی آزمایش میدانی ایجاد کرد تا مطمئن شود که مقاومت بیرون کشیدگی رول بولت‌های نصب شده کافی است تا هرگونه نگرانی در مورد ظرفیت مناسب آن‌ها در داخل دیوارهای قدیمی را برطرف کند. این برنامه‌ی آزمایش شامل کشیدن رول بولت‌ها به‌اندازه‌ی دو برابر ظرفیت موردنیاز و نگه‌داشتن بار روی آن‌ها به مدت دو دقیقه بود. ۷ رول بولت قبل از اینکه عملیات ساخت شروع شود آزمایش شدند، و در طول ساخت هم از هر ۷۵ رول بولت یک رول بولت مورد آزمایش قرار گرفت.

این گزینه مقاوم‌سازی هم خالی از چالش‌های طراحی نبود. به دلیل نوسازی‌های متعدد در طول سالیان، نقشه‌های چون ساخت با شرایط میدانی واقعی تطابق نداشت. پیمانکار یک اسکن لیزر سه‌بعدی از کل ساختمان انجام داد و آن را با تیم طراحی برای هماهنگی محل‌های مهاربندها و اتصالات با موانع موجود به اشتراک گذاشت. در محل اتصال مهاربندها به سقف باید توجه خاصی به جزئیات کرد تا از اعمال غیر عامدانه‌ی بارهای ثقلی به مقاطع *HSS* اجتناب شود. از *FRP* هم در جاهایی که امکان اجرای مهاربند فولادی وجود نداشت، استفاده شد. این محل‌ها شامل جان‌پناه‌های پشت‌بام و دیوارهای مجاور درهای کشویی ی آشیانه بود.

علیرغم این چالش‌ها، اجرای این روش مهاربندی موفقیت‌آمیز بود. با مهار کردن دیوارها از داخل، پیشنهاد *FRP* اولیه تا حدود زیادی حذف شد و گچ خارجی تاریخی تا حدود زیادی دست‌نخورده باقی ماند. این کاهش در کارهای ساختمانی بیش از یک میلیون دلار صرفه‌جویی ایجاد کرد، به پیمانکار این توانایی را داد که کار را یک ماه قبل از برنامه تمام کند و تخریب نمای تاریخی موجود را تا حد بسیار زیادی کاهش داد.

مقاوم‌سازی انفجار

نمای خارجی ساختمان (شامل دیوارهای بنایی و درهای آشیانه) برای مقاومت در برابر فشارهای انفجاری طبق *UFC 4-010 – 01* حداقل استانداردهای ضد تروریستی برای ساختمان‌ها، تحلیل شد. ازآنجاکه ساختمان تاریخی پارامترهای ساخت‌وساز مرسوم کنونی ارتش را ندارد، تحلیل انفجار دینامیکی برای دیوار توخالی انجام شد. با انجام این تحلیل مشخص شد که نیازی به مقاوم‌سازی بیشتر دیوارهای بنایی برای مقابله با سناریوی خطر وجود ندارد.

علاوه بر دیوارها،سه درب کشویی آشیانه هم برای مقاومت در برابر بارگذاری انفجاری تحلیل و مقاوم‌سازی شدند. درها با استفاده از ورق‌های فولادی سنگین برای مقاومت در برابر فشارهای اضافی انفجار مقاوم‌سازی شدند و یک سیستم مهاری هم برای جلوگیری از افتادن درب‌ها به سمت داخل ساختمان در صورت شکست تکیه‌گاه‌های ریلی ایجاد شد. در هنگام طراحی این سیستم مهاری توجه زیادی معطوف به اضافه نکردن تنش اضافی به سقف بتنی و سبک موجود شد. اسکن سه‌بعدی پیمانکار و بررسی سایت ابزار باارزشی در هماهنگی مسیر بار برای سیستم مهاری بود.

تعمیر سازه

شکل ۵. تعمیر گسترده با نوارهای *FRP*

خراب شدن سازه‌ی موجود هم باعث ایجاد چالش‌هایی در ساختمان *26A* شده است. مثلاً ترک‌های بزرگ متعددی با جابه‌جایی و لغزش قابل‌ملاحظه در دیوارهای بنایی خارجی مجاورِ یکی از درهای بزرگ آشیانه مشاهده شده است. برای رسیدگی به این شرایط سلول‌های مصالح مجاور ترک با فوم منبسط شونده پر شدند، به‌گونه‌ای که سلول‌های ترک‌خورده دوغاب ریزی شده و کل سلول‌های دیوار با دوغاب پر نشود. این کار باعث می‌شود که جرم لرزه‌ای ساختمان تغییر زیادی نکند. همچنین از نوارهای *FRP* در جهت عمود بر ترک استفاده شد تا پیوستگی لازم برای انتقال نیروها از یک طرف ترک به‌طرف دیگر آن ایجاد شود (شکل ۵).

خرابی عمده در سقف موجود و خوردگی چندین عضو فولادی که در طول تخریب کشف شد هم باعث ایجاد چالش‌های قابل‌توجهی شد. بااین‌وجود ازآنجاکه طراحان و سازندگان در یک تیم بودند، به این شرایط پیش‌بینی‌نشده به‌سرعت شناسایی و به‌خوبی با راه‌حل‌های قابل‌اجرا مانند ایجاد ورق‌های تقویتی یا اتصالات اضافی که کمترین تأثیر را بر بودجه و برنامه‌ی پروژه داشتند، پاسخ داده شد.

به‌روزرسانی موفقیت‌آمیز ساختمان *26A*، جنبه‌های سودمند فرآیند طرح و ساخت را به‌خصوص هنگام مواجهه با بهسازی‌های تاریخی نشان می‌دهد. همکاری بین طراحان، سازندگان و کاربران نهایی، راه‌حل‌های نوآورانه‌ای ایجاد می‌کند که بسیاری از چالش‌های سخت را حل کرده و خطر کلی را با روشی جامع کاهش می‌دهد. حتی با مواجه‌شدن با شرایط پیش‌بینی‌نشده‌ی متعدد، ساختمان *26A* با بودجه‌ی مصوب و در زمانی کمتر، نوسازی شد.

مترجم : علی‌اکبر خلیلی

منبع :

http://www.structuremag.org/?p=۱۲۳۱۷