

BỘ XÂY DỰNG

TÀI LIỆU KỸ THUẬT
CHỈ DẪN THIẾT KẾ, THI CÔNG VÀ NGHIỆM THU
HỆ BAO CHE BẰNG BÊ TÔNG CỐT SỢI
THỦY TINH (GFRC)

*(Ban hành kèm theo Quyết định số 862/QĐ-BXD ngày 05 tháng 10 năm 2022 của
Bộ trưởng Bộ Xây dựng)*

Năm 2022

MỤC LỤC

LỜI NÓI ĐẦU.....	5
PHẦN 1: THIẾT KẾ KẾT CẤU HỆ BAO CHE BẰNG BÊ TÔNG CỐT SỢI THỦY TINH (GFRC).....	9
1.1. Đối tượng và phạm vi áp dụng	9
1.2. Vật liệu	10
1.3. Phân loại các tấm panen bê tông cốt sợi thủy tinh	25
1.4. Quy định chung	36
1.5. Thiết kế panen bê tông cốt sợi thủy tinh	38
1.6. Thiết kế liên kết	63
PHẦN 2: HƯỚNG DẪN THI CÔNG CHO HỆ BAO CHE BẰNG BÊ TÔNG CỐT SỢI THỦY TINH (GFRC)	73
2.1. Gia công chế tạo	73
2.2. Thi công lắp đặt	76
2.3. Nghiệm thu	86
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	92

LỜI NÓI ĐẦU

Tài liệu kỹ thuật này là sản phẩm của đề tài nghiên cứu khoa học do Viện Khoa học công nghệ xây dựng chủ trì thực hiện.

Tài liệu kỹ thuật gồm 02 mục:

1. Thiết kế kết cấu hệ bao che bằng bê tông cốt sợi thủy tinh (GFRC)
2. Hướng dẫn thi công cho hệ bao che bằng bê tông cốt sợi thủy tinh (GFRC)

Giới thiệu chung

Bê tông cốt sợi thủy tinh (Glassfibre Reinforced Concrete - GFRC) là vật liệu xây dựng mới, được sản xuất bằng phương pháp đúc khuôn hoặc phun bằng máy từ hỗn hợp cốt liệu mịn: xi măng, cát, nước, sợi thủy tinh kháng kiềm và các phụ gia hóa dẻo. Các sợi thủy tinh đóng vai trò như cốt thép trong bê tông, làm tăng khả năng chịu uốn và kéo của bê tông. Vật liệu GFRC có khả năng tạo hình tốt, tạo ra sự đa dạng trong thiết kế kiến trúc. GFRC là vật liệu lý tưởng trong việc ứng dụng các vật liệu nhẹ và các tấm bao che đúc sẵn cho các công trình xây dựng hiện đại. So với bê tông đúc sẵn có cùng khả năng chịu lực, GFRC tạo ra những sản phẩm có độ mỏng và nhẹ hơn rất nhiều, giúp tiết kiệm chi phí vận chuyển, dễ dàng thi công lắp dựng. Việc xét đến lợi thế này trong giai đoạn thiết kế có thể đem lại hiệu quả kinh tế đáng kể trong việc thiết kế móng và kết cấu thượng tầng cho các tòa nhà cao tầng.

Chỉ dẫn này bao gồm các nội dung dùng để tham khảo khi thiết kế hệ bao che bằng GFRC. Nội dung chủ yếu đưa ra các giải pháp kỹ thuật nhằm thiết kế kết cấu chính của các hệ bao che. Ngoài ra, để đảm bảo các yêu cầu về cách âm, cách nhiệt, thông gió, chiếu sáng, tiết kiệm năng lượng... thì cần tuân thủ các yêu cầu bổ sung của các tài liệu, tiêu chuẩn, quy chuẩn kỹ thuật tương ứng khác có liên quan.

PHẦN 1: THIẾT KẾ KẾT CẤU HỆ BAO CHE BẰNG BÊ TÔNG CỐT SỢI THỦY TINH (GFRC)

1.1. Đối tượng và phạm vi áp dụng

Phần 1 bao gồm các nội dung dùng để tham khảo khi thiết kế hệ bao che bằng GFRC. Nội dung chủ yếu đưa ra các giải pháp kỹ thuật nhằm thiết kế kết cấu chính của các hệ bao che. Ngoài ra, để đảm bảo các yêu cầu về cách âm, cách nhiệt, thông gió, chiếu sáng, tiết kiệm năng lượng... thì cần tuân thủ các yêu cầu bổ sung của các tài liệu, tiêu chuẩn, quy chuẩn kỹ thuật tương ứng khác có liên quan.

Bê tông cốt sợi thủy tinh (Glassfibre Reinforced Concrete - GFRC) là vật liệu xây dựng mới, được sản xuất bằng phương pháp đúc khuôn hoặc phun bằng máy từ hỗn hợp cốt liệu mịn: xi măng, cát, nước, sợi thủy tinh kháng kiềm và các phụ gia hóa dẻo. Các sợi thủy tinh đóng vai trò như cốt thép trong bê tông, làm tăng khả năng chịu uốn và kéo của bê tông. Vật liệu GFRC có khả năng tạo hình tốt, tạo ra sự đa dạng trong thiết kế kiến trúc. GFRC là vật liệu lý tưởng trong việc ứng dụng các vật liệu nhẹ và các tấm bao che đúc sẵn cho các công trình xây dựng hiện đại. So với bê tông đúc sẵn có cùng khả năng chịu lực, GFRC tạo ra những sản phẩm có độ mỏng và nhẹ hơn rất nhiều, giúp tiết kiệm chi phí vận chuyển, dễ dàng thi công lắp dựng. Việc xét đến lợi thế này trong giai đoạn thiết kế có thể đem lại hiệu quả kinh tế đáng kể trong việc thiết kế móng và kết cấu thượng tầng cho các tòa nhà cao tầng. Các ưu điểm của GFRC:

(1) Nhẹ hơn bê tông truyền thống

Bê tông GFRC có thể đạt được cường độ yêu cầu với độ dày chỉ bằng $\frac{1}{2}$ so với bê tông truyền thống. Bởi vì bê tông GFRC hoàn toàn không sử dụng đá, sử dụng ít cát hoặc chỉ sử dụng bột khoáng silica mịn. Đối với phương pháp truyền thống, các nghiên cứu chỉ ra rằng các sản phẩm bê tông đúc sẵn cần có độ dày tối thiểu là 40 mm còn bê tông GFRC hoàn toàn có thể đáp ứng yêu cầu với độ dày là 20 mm giúp tiết kiệm chi phí vận chuyển, dễ dàng thi công lắp dựng. Việc xét đến lợi thế này trong giai đoạn thiết kế có thể đem lại hiệu quả kinh tế đáng kể trong việc thiết kế móng và kết cấu thượng tầng cho các tòa nhà cao tầng.

(2) Mỏng hơn bê tông truyền thống có cùng cường độ

Bê tông truyền thống cần có độ dày tối thiểu là 40 mm còn bê tông GFRC chỉ cần 20 mm để đạt được cường độ tương tự. Việc sản phẩm đúc sẵn có khối lượng nhẹ hơn, mỏng hơn khiến cho công tác vận chuyển và thi công lắp đặt có giá thành rẻ hơn và nhanh hơn.

(3) Kiểm soát chất lượng đồng bộ

Việc kiểm soát phụ gia và cốt liệu tại nhà máy giúp cho chất lượng của các sản phẩm bê tông GFRC đồng đều hơn.

(4) Kháng nứt

Nhờ việc sử dụng cốt liệu có đường kính hạt nhỏ, sợi thủy tinh cắt ngắn đa hướng

tạo thành ma trận các lớp kết cấu gia cường. Do đó, bê tông GFRC không những có cường độ cao mà còn có khả năng kháng nứt lớn trong suốt quá trình diễn ra phản ứng thủy hóa của bê tông. Thậm chí, một số loại bê tông GFRC còn có thể uốn cong mà vẫn giữ nguyên được trạng thái bề mặt.

(5) Dễ dàng chế tạo các hình dạng 3D bề mặt phức tạp

Bê tông GFRC có độ dẻo cao, dễ dàng ăn khuôn. Thi công bằng phương pháp phun do đó có thể chế tạo các dạng bề mặt phức tạp phù hợp với các sản phẩm trang trí.

Những đặc tính ưu việt khác của hệ bao che bằng vật liệu GFRC có thể kể đến là độ bền cao; chịu được sự xâm thực, ăn mòn của thời tiết; không cháy; chống va đập và cách âm, cách nhiệt tốt.

Phần này bao gồm các nội dung dùng để tham khảo khi thiết kế hệ bao che bằng vật liệu cốt sợi thủy tinh GFRC.

1.2. Vật liệu

1.2.1. Bê tông cốt sợi thủy tinh

1.2.1.1. Tổng quát [1]

Bê tông cốt sợi thủy tinh GFRC là vật liệu composite bao gồm xi măng Portland, cát và nước, trộn với sợi thủy tinh kháng kiềm. Vào thời điểm ban đầu khi mới xuất hiện, tỷ lệ thành phần phổ biến nhất (theo trọng lượng) của vật liệu này như sau:

Xi măng Portland	40%
Nước	20%
Cát	40%
Sợi thủy tinh	5% (đối với bê tông phun) 3-4% (đối với bê tông tiền trộn)

Các công thức cải tiến hơn bao gồm 0-5% acrylic polymer.

Cường độ của bê tông cốt sợi thủy tinh phụ thuộc chủ yếu vào các sợi thủy tinh, sự sắp xếp của chúng, sự bảo dưỡng và độ bám dính của chúng với xi măng/cát.

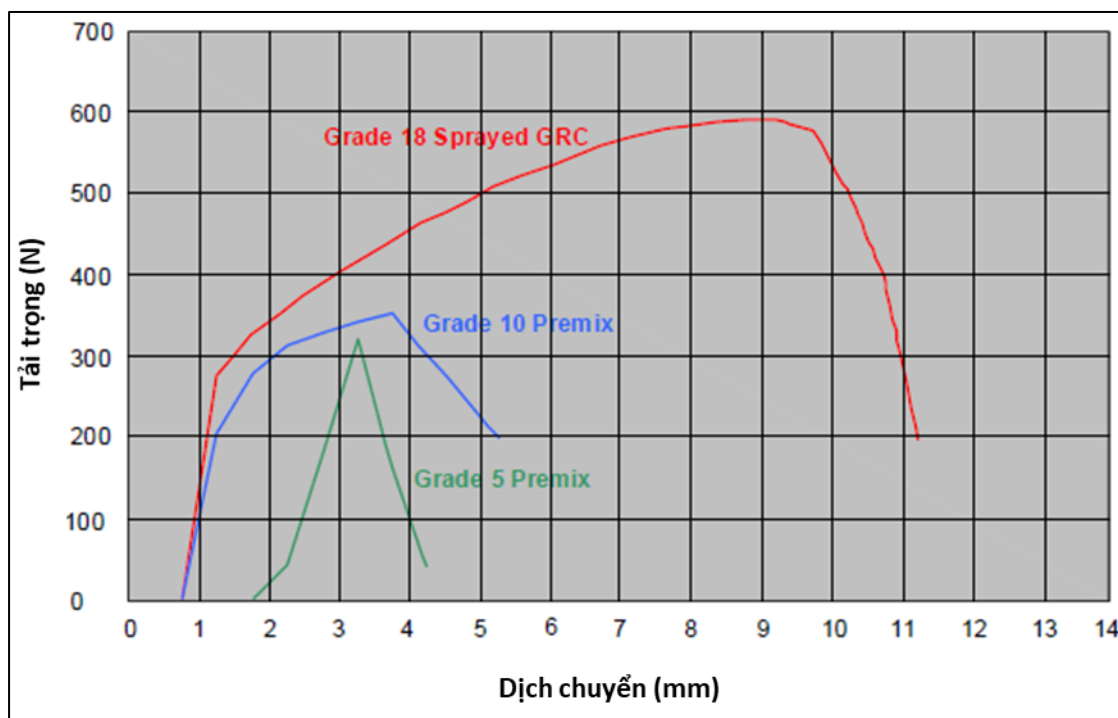
Sợi thủy tinh được đưa vào hỗn hợp xi măng để tăng khả năng chịu kéo cho xi măng, do đó khắc phục nhược điểm chính của xi măng đó là có cường độ chịu kéo tương đối thấp. Hàm lượng thủy tinh quyết định tải trọng tối đa mà vật liệu có thể chịu được, khả năng chống va đập và độ bền của vật liệu. Cát trong bê tông cốt sợi thủy tinh làm giảm co ngót trong quá trình bê tông khô và giảm sự dịch chuyển do độ ẩm trong quá trình sử dụng.

1.2.1.2. Tính chất của bê tông cốt sợi thủy tinh [2]

Các tính chất vật lý của bê tông GFRC phụ thuộc rất nhiều vào thành phần hỗn hợp vữa xi măng; hàm lượng sợi thủy tinh, chiều dài và sự phân bố của nó trong hỗn hợp; phương pháp sản xuất và bảo dưỡng.

Các đặc tính của bê tông GFRC tại 7 và 28 ngày tuổi thường được sử dụng để xác định các thông số thiết kế phù hợp cho vật liệu khi đã phát triển hết cường độ và để theo dõi việc kiểm soát chất lượng trong suốt quá trình sản xuất. Bê tông GFRC ở thời điểm 7 ngày và 28 ngày là một vật liệu tương đối dẻo, bền. Cần lưu ý rằng hầu hết bê tông GFRC sẽ giảm cường độ và biến dạng nhiều hơn khi tiếp xúc với môi trường ngoài trời (lão hóa tự nhiên). Tốc độ lão hóa tự nhiên của bê tông GFRC xảy ra phụ thuộc vào môi trường. Tuy nhiên, trong hầu hết các trường hợp, các sản phẩm bê tông GFRC tiếp xúc với môi trường ngoài trời sẽ đạt đến điều kiện lão hóa hoàn toàn trong vòng tuổi thọ thiết kế của nó. Cần lưu ý rằng một số công thức bê tông GFRC cải tiến duy trì được cường độ và khả năng biến dạng cao sau khi bị lão hóa và do đó, người thiết kế nên tính đến mất mát về cường độ đối với vật liệu bê tông GFRC được sử dụng. Các sản phẩm bê tông GFRC phải được thiết kế bởi kỹ sư để đảm bảo rằng các ứng suất trong quá trình vận chuyển, lắp dựng và làm việc được giữ trong giới hạn về cường độ và biến dạng.

Bê tông GFRC được chia thành 3 cấp dựa vào cường độ chịu kéo của nó khi được 28 ngày tuổi : cấp 18, cấp 10 và cấp 5.



Hình 1.1 – Biểu đồ biến dạng theo cấp bê tông GFRC [3]

1.2.1.2.1 Các yếu tố ảnh hưởng đến đặc tính của bê tông cốt sợi thủy tinh

Hàm lượng sợi thủy tinh, chiều dài và định hướng của chúng ảnh hưởng chủ yếu đến cường độ kéo và cường độ uốn của bê tông GFRC. Ngành công nghiệp bê tông GFRC thường hướng đến hàm lượng sợi thủy tinh là 5% - tính theo trọng lượng của tổng hỗn hợp. Kinh nghiệm cho thấy hàm lượng sợi này là tối ưu cho các thiết kế hỗn hợp được sử dụng trong ngành. Hàm lượng sợi thấp hơn 5% thường làm giảm cường độ của bê tông GFRC. Hàm lượng sợi lớn hơn 5% có thể làm cho việc đầm bê tông khó khăn hơn.

Chiều dài sợi thủy tinh cũng có thể ảnh hưởng đến cường độ, công tác đầm bê tông và sự cố kết của bê tông GFRC. Đối với bê tông GFRC sản xuất bằng phương pháp phun, chiều dài sợi tối ưu là 30 đến 50 mm. Sợi ngắn hơn, mặc dù dễ phun hơn, sẽ không mang lại hiệu quả gia cố tối đa. Sợi dài hơn có thể gây ra vấn đề liên quan đến sự phân tách sợi và vữa trong quá trình phun, cũng như các vấn đề về đầm và cố kết.

Sự định hướng của sợi thủy tinh có thể ảnh hưởng đến tính chất vật lý của vật liệu composite GFRC. Bê tông GFRC sản xuất bằng phương pháp phun có định hướng sợi ngẫu nhiên theo hai chiều. Tuy nhiên, nếu không cẩn thận trong quá trình sản xuất, các sợi thủy tinh có thể vô tình được xếp song song theo một hướng duy nhất, dẫn đến tính chất của vật liệu composite khác nhau rất nhiều theo các trục khác nhau (sự bất đẳng hướng của vật liệu).

Vật liệu GFRC cũng phải được đầm và cố kết để đạt được độ nhúng sợi (fibre embedment), tỉ trọng, cũng như độ dày thiết kế theo yêu cầu. Nếu bê tông GFRC không được đầm và cố kết thích hợp sẽ gây ảnh hưởng xấu đến cường độ bê tông.

Cường độ chịu uốn, cường độ chịu kéo và mô đun đàn hồi phụ thuộc trực tiếp vào độ chặt. Việc cố kết kém cũng có thể dẫn đến phá hoại do điều kiện đóng băng/tan băng.

Độ dày cần thiết (thiết kế) cho bê tông GFRC được xác định bởi kỹ sư thiết kế. Vì bê tông GFRC là một vật liệu tương đối mỏng, nên khi độ dày thay đổi dù rất nhỏ sẽ gây ảnh hưởng đáng kể đến ứng suất bề mặt. Do đó, độ dày của bê tông GFRC phải luôn nằm trong dung sai độ dày quy định (thường là +4 mm, -0 mm).

Khi bê tông được bảo dưỡng tốt, quá trình thủy hóa của xi măng diễn ra hợp lý. Việc bảo dưỡng tốt là rất cần thiết để đảm bảo các đặc tính phụ thuộc vào cốt sợi và hỗn hợp vữa. Thông thường, việc bảo dưỡng được đánh giá là tốt nếu có tối thiểu 7 ngày để bảo dưỡng ẩm đối với các sản phẩm sản xuất với xi măng portland, tối thiểu 2 ngày đối với bê tông GFRC polymer; hoặc theo chỉ định của nhà cung cấp.

1.2.1.2.2 Cường độ kéo và uốn

Cường độ chịu uốn là đặc tính quan trọng nhất của bê tông GFRC.

Giới hạn tỷ lệ 28 ngày (28-day Limit of Proportionality - LOP) và mô đun phá hoại (Modulus of Rupture - MOR) là các đặc tính chính của bê tông GFRC được sử dụng để xác định các ứng suất thiết kế. Ứng suất kéo thiết kế của bê tông GFRC được xác định dựa trên cường độ uốn cực đại giả định.

Mô đun phá hoại MOR được xác định từ mô đun uốn trung bình tại 28 ngày và cường độ cực hạn của 20 thí nghiệm lão hóa tăng tốc liên tiếp (6 mẫu thử mỗi lần phun) được thực hiện trước khi thiết kế.

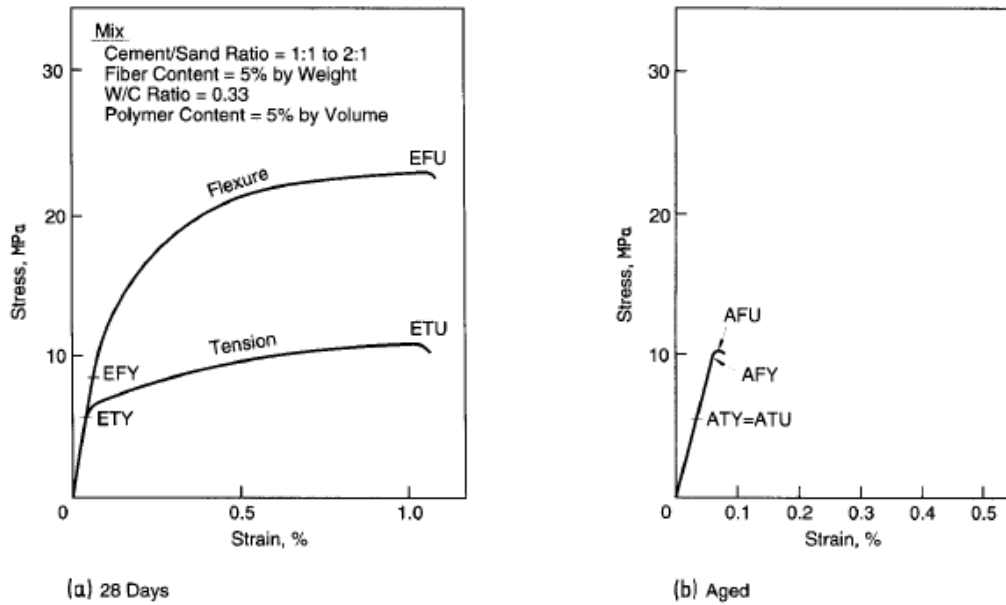
Bảng 1.1 - Giá trị thí nghiệm – Cường độ uốn

Loại bê tông GFRC	LOP (MPa)	MOR (MPa)
Phun	5-10	18-30
Tiền chế	5-10	5-14

Bảng 1.2 - Giá trị thí nghiệm – Cường độ kéo

Loại bê tông GFRC	BOP (MPa)	Cường độ kéo (MPa)
Phun	4-6	8-12
Tiền chế	3-5	3-6

CHÚ THÍCH: BOP (Bend Over Point (tensile)): Điểm mà tại đó, đường cong ứng suất – biến bị đổi hướng khi thí nghiệm kéo mẫu GFRC



Hình 1.2 - Đường ứng suất/biến dạng [2]

Mối quan hệ giữa ứng suất và biến dạng của vật liệu bê tông GFRC khi 28 ngày tuổi được thể hiện trong Hình 1.2 (a). Cường độ kéo sớm (ETY) và cường độ uốn sớm EFY chịu ảnh hưởng chủ yếu bởi thành phần hỗn hợp vữa, độ chặt, hàm lượng polymer và quá trình bảo dưỡng. Cường độ kéo sớm cực hạn (ETU) và cường độ uốn sớm cực hạn (EFU) bị ảnh hưởng chủ yếu bởi hàm lượng sợi thủy tinh, chiều dài và hướng sợi, hàm lượng polymer và độ chặt của hỗn hợp. Khi bê tông GFRC bị lão hóa, bê tông GFRC bị mất cường độ và biến dạng nhiều hơn, bê tông bị phá hủy trong khi mô đun đàn hồi tăng (Hình 1.2 (b)). Khi bê tông đã phát triển hết cường độ, các cường độ cực hạn ATU (hoặc AFU) xấp xỉ bằng cường độ ATY (hoặc AFY). Ngoài ra, cường độ cực hạn khi bê tông đã già cũng xấp xỉ bằng cường độ bê tông sớm, tuy nhiên cường độ cực hạn bị ảnh hưởng rất nhiều bởi môi trường và chỉ nên được sử dụng như một cận dưới trong trường hợp không có nhiều thông tin. Ví dụ, đối với hỗn hợp bê tông GFRC điển hình có cường độ 21 MPa, được xử lý bề mặt và kiểm soát biến dạng do độ ẩm, có cường độ uốn cực hạn AFU khoảng 13 MPa mặc dù giới hạn tỷ lệ 28 ngày LOP thường là 9 đến 11 MPa.

Một số công thức bê tông GFRC cải tiến có thể giảm hoặc loại bỏ được hiệu ứng lão hóa. Việc cải thiện độ bền của sản phẩm phụ thuộc vào đặc điểm kỹ thuật, chi phí

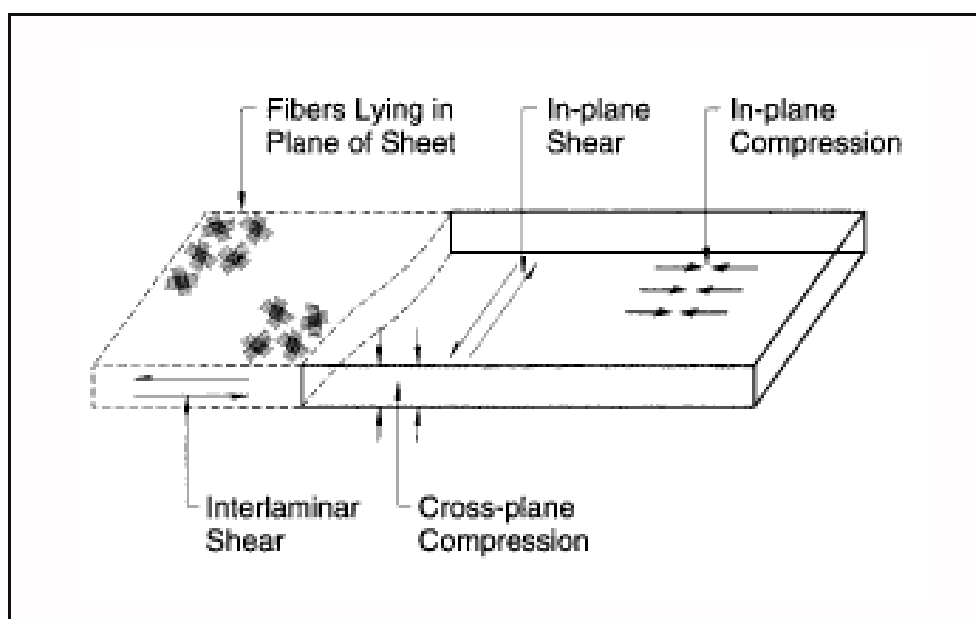
ban đầu và quá trình sản xuất.

1.2.1.2.3 Mô đun đàn hồi

Các đường cong ứng suất-biến dạng do uốn được sử dụng để xác định các giá trị của mô đun đàn hồi cho các mục đích thiết kế. Giá trị của mô đun đàn hồi uốn thay đổi theo tỷ lệ nước/xi măng, hàm lượng cát, hàm lượng polymer, tỉ trọng và công tác bảo dưỡng. Do đó, nhà sản xuất phải xác định chính xác mô đun đàn hồi dùng cho thiết kế thông qua thử nghiệm. Thông thường mô đun đàn hồi của bê tông GFRC đạt khoảng 20 MPa là hợp lý.

1.2.1.2.4 Cường độ nén

Cường độ nén trong mặt phẳng sẽ thấp hơn một chút so với cường độ nén trong mặt phẳng cắt ngang do các lớp sợi thủy tinh ảnh hưởng đến tính liên tục của vật liệu (Hình 1.3). Cường độ nén trong mặt phẳng cắt ngang không bị ảnh hưởng bởi sự có mặt của các sợi thủy tinh và giá trị của nó tương đương với cường độ nén của vữa đo được trong thí nghiệm hình trụ.



Hình 1.3 - Cường độ nén và cắt [2]

1.2.1.2.5 Khả năng chịu va đập

Khả năng chịu va đập của bê tông GFRC bị ảnh hưởng rất nhiều bởi các sợi gia cường. Khả năng chịu va đập tăng lên khi tăng chiều dài sợi, ví dụ từ 25 mm đến 50 mm, hoặc sử dụng sợi thủy tinh kháng kiềm AR (Alkali Resistant) có kích thước lớn hơn. Bê tông GFRC được bảo dưỡng sau 28 ngày có cường độ chịu va đập cao hơn so với hỗn hợp vữa xi măng không gia cố hoặc so với các sản phẩm xi măng cốt sợi khác.

Đặc tính chịu va đập liên quan đến vùng nằm dưới đường cong ứng suất-biến dạng. Khi các đường cong này thay đổi theo thời gian, khả năng chịu va đập của bê tông GFRC giảm. Thông thường, cường độ chịu va đập không phải là một thông số trong thiết kế.

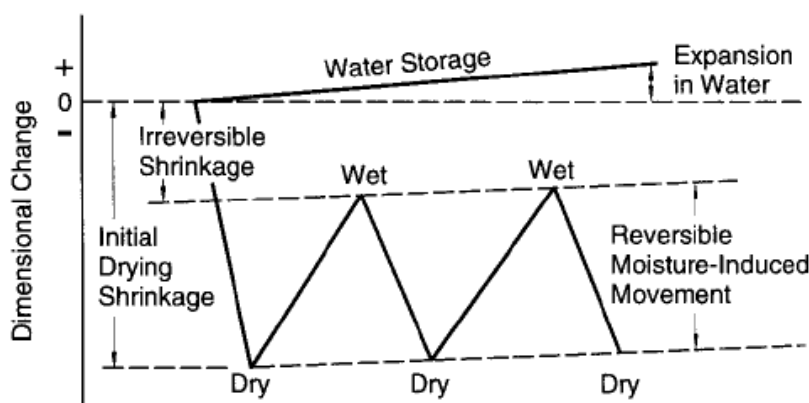
1.2.1.2.6 Cường độ chịu cắt

Các sợi thủy tinh trong các tấm panen được sản xuất bằng phương pháp phun, phân phối một cách ngẫu nhiên trong mặt phẳng của tiết diện. Do đó, cường độ chịu cắt (Hình 1.3) thay đổi theo hướng tác dụng của tải trọng:

- Cắt thành từng lớp (interlaminar shear): Cường độ chịu cắt của bê tông GFRC là cường độ chịu cắt của hỗn hợp vữa. Ứng suất cắt này xuất hiện khi uốn cong các mặt đơn và trong các miếng liên kết (bonding pads) chịu tải trọng trong mặt phẳng.
- Cắt trong mặt phẳng (in-plan shear). Thử nghiệm trên các mẫu bê tông GFRC có cấp phối khác nhau cho thấy cường độ cắt trong mặt phẳng và cường độ kéo cực hạn có giá trị giống nhau. Do đó, trong trường hợp không thực hiện thí nghiệm cắt trực tiếp trong mặt phẳng để xác định cường độ cắt, có thể lấy giá trị cường độ cắt bằng với cường độ kéo. Ứng suất cắt trong mặt phẳng có thể xuất hiện tại các liên kết bu lông gần mép của tấm panen.

1.2.1.2.7 Co ngót

Tất cả các vật liệu gốc xi măng dễ bị thay đổi kích thước (thể tích) khi chúng được làm ướt và làm khô. Sau khi sản xuất và bảo dưỡng, việc bê tông khô lại dẫn đến hiện tượng co ngót so với trạng thái ban đầu. Khi được làm ướt lại, bê tông giãn nở nhưng không đến mức có thể khôi phục lại kích thước ban đầu; do vậy bê tông có biến dạng không đàn hồi ban đầu do co ngót, sau khi có biến dạng đàn hồi, phụ thuộc vào độ ẩm của bê tông GFRC. Đối với bê tông GFRC, co ngót không đàn hồi chiếm một phần tư đến một phần ba của tổng độ co ngót có thể có; với hỗn hợp bê tông GFRC có tỉ lệ cát/xi măng 0,5 : 1, biến dạng do co ngót không đàn hồi là 0,05% và tổng biến dạng do co ngót khoảng 0,2%. Hình 1.4 biểu diễn cơ chế biến dạng do co ngót và do độ ẩm.

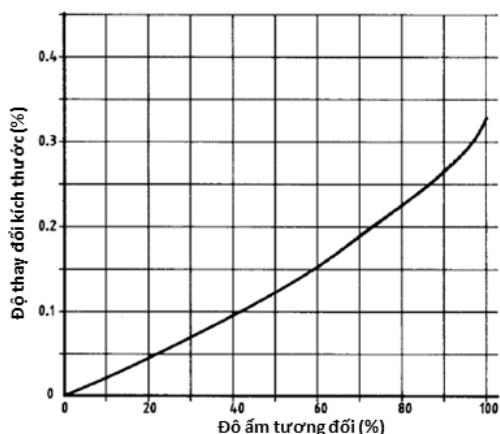


Hình 1.4 - Biến dạng do co ngót và do độ ẩm [2]

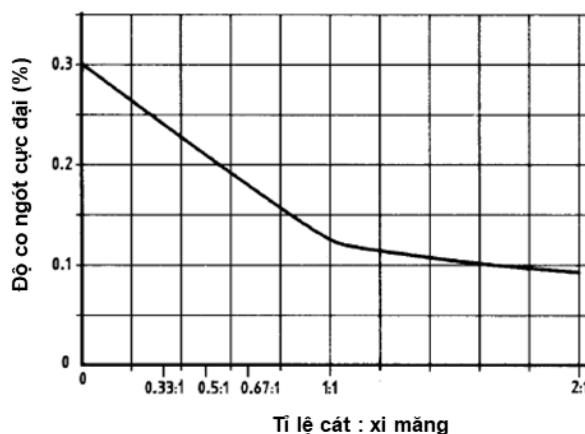
Biến dạng do co ngót của bê tông GFRC có thể giảm đáng kể bằng cách sử dụng hợp lý các cốt liệu. Các thử nghiệm thực hiện trên mẫu được làm từ hỗn hợp xi măng cùng với phụ gia polymer cho thấy độ co ngót đàn hồi có thể giảm xuống dưới 0,06% trong chu kỳ đầu tiên (trường hợp xấu nhất).

Cần lưu ý rằng độ lớn của biến dạng đàn hồi nêu trên đây xác định được trong các điều kiện khô hoàn toàn và ngâm hoàn toàn, như trong phòng thí nghiệm. Trong thực tế, trong điều kiện thời tiết bình thường, biến dạng đàn hồi không đạt được các giá trị cực trị này, mặc dù biến dạng có thể biến thiên theo chu kỳ xung quanh một giá trị trung bình.

Do độ ẩm của vật liệu ảnh hưởng bởi độ ẩm tương đối của môi trường xung quanh, nên rất thích hợp nếu biểu diễn sự thay đổi kích thước phụ thuộc vào độ ẩm tương đối. Hình 1.5 cho thấy có thể xác định được độ co ngót không đàn hồi bằng cách cân bằng với giá trị độ ẩm tương đối của môi trường xung quanh.



Hình 1.5 Sự thay đổi kích thước phụ thuộc vào độ ẩm tương đối [2]



Hình 1.6 Ảnh hưởng của việc bổ sung cát đến độ co ngót của bê tông [2]

Vật liệu gốc xi măng co ngót nhiều nhất khi hỗn hợp vữa chỉ có xi măng. Có thể giảm co ngót bằng cách pha loãng xi măng với cốt liệu không dễ bị biến dạng do độ ẩm; đây là cách áp dụng cho vữa và bê tông rất hiệu quả. Hỗn hợp vữa bê tông GFRC phát triển cường độ sớm chỉ gồm có xi măng nguyên chất, nhưng hiện nay thường thêm một tỷ lệ cốt liệu mịn vào hỗn hợp để giảm co ngót. Hình 1.6 cho thấy ảnh hưởng của việc bổ sung cát đến độ co ngót của bê tông GFRC.

Tổng độ co ngót bị ảnh hưởng chủ yếu bởi cấp phối hạt, loại hạt và tỷ lệ nước/xi măng.

Đối với bê tông thường, không thể khẳng định chắc chắn rằng việc bảo dưỡng ảnh hưởng đến sự co ngót của bê tông, nhưng đối với bê tông GFRC, thực nghiệm cho thấy rằng khi sấy khô bê tông GFRC nếu không được cấp đủ độ ẩm sẽ bị co ngót không đàn hồi nhiều hơn, lên tới 0,10% và tổng độ co ngót tăng lên đến 0,25%.

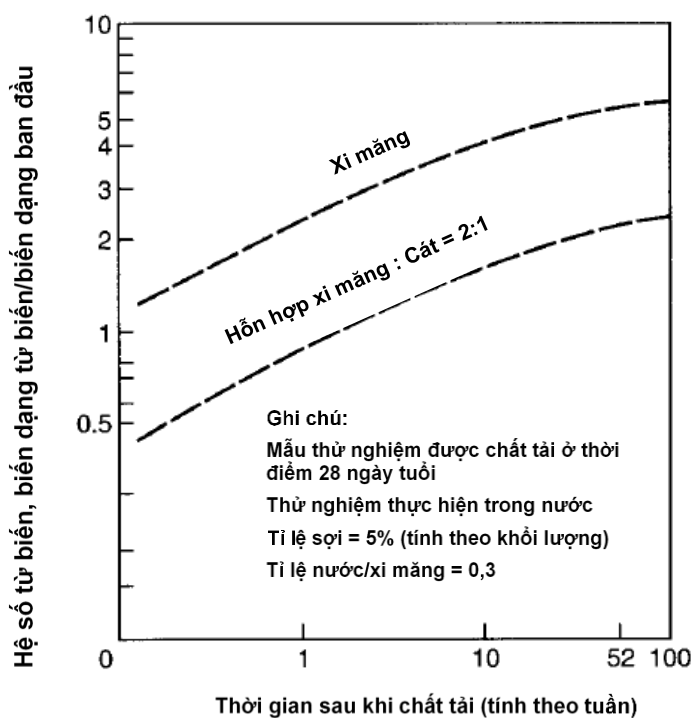
Do bê tông GFRC là một vật liệu tương đối không thấm nước nên khi độ ẩm bên ngoài thay đổi sẽ mất một khoảng thời gian đáng kể để ảnh hưởng đến độ ẩm của bê tông GFRC. Một tấm bê tông GFRC dày 10 mm sẽ cần khoảng 20 ngày để đạt đến trạng thái cân bằng với những thay đổi về độ ẩm của môi trường; bê tông càng dày càng mất nhiều thời gian hơn. Các tấm panen sandwich, đặc biệt là các tấm có lõi nhẹ, sẽ phản ứng chậm hơn nhiều, do nó được sấy khô sau khi được sản xuất, việc cân bằng với độ ẩm của môi trường có khả năng không đạt được trong nhiều tháng trong điều kiện khí hậu ôn đới. Điều này có ý nghĩa đối với việc thiết kế và lắp đặt các thành phần và các

liên kết cho phép dịch chuyển do co ngót, để tránh những ứng suất không mong muốn xuất hiện trong bê tông GFRC.

Khi bê tông GFRC được phủ các vật liệu trám bề mặt, cần tiến hành các thử nghiệm trên các vật liệu này để xác định độ co ngót và các đặc tính khác liên quan đến biến dạng do độ ẩm. Vật liệu trám bề mặt và bê tông GFRC cần có các đặc tính biến dạng do co ngót và do độ ẩm tương thích với nhau. Sự khác biệt đáng kể về đặc tính của các vật liệu có thể gây ra ứng suất bề mặt do có sự hạn chế dịch chuyển lẫn nhau giữa hai vật liệu.

1.2.1.2.8 Từ biến

Bê tông GFRC có khả năng chịu được tải trọng trong thời gian dài. Hiện tượng từ biến ở bê tông GFRC cũng tương tự như ở các vật liệu gốc xi măng khác. Biến dạng do từ biến diễn ra sau biến dạng đàn hồi, dưới tải trọng không đổi. Tốc độ từ biến giảm dần theo thời gian biểu diễn dưới dạng logarit, tức là biến dạng từ biến xuất hiện từ 100 đến 1000 giờ thường xấp xỉ với biến dạng xảy ra từ 10 đến 100 giờ. Tuy nhiên, khi tác dụng tải trọng lên mẫu bê tông GFRC bão hòa, quy tắc này không còn đúng nữa. Trong trường hợp này, biến dạng từ biến quan sát được trong giờ đầu tiên lớn hơn so với biến dạng tại các thời điểm (gia lượng loga) tiếp theo. Sau thời gian này, tốc độ từ biến ở bê tông GFRC tương đương với tốc độ từ biến ở vật liệu được chất tải trong các môi trường khác. Hình 1.7 biểu diễn đường cong từ biến điển hình, ứng với trường hợp ứng suất uốn nhỏ hơn ứng suất uốn cho phép (vật liệu nằm trong phạm vi làm việc bình thường) trong điều kiện bão hòa. Trong điều kiện khô ráo, từ biến ban đầu lớn hơn nhưng lại gần với biến dạng từ biến trong điều kiện bão hòa tại các thời điểm sau. Biến dạng từ biến khi uốn hoặc kéo trực tiếp tỷ lệ thuận với biến dạng ban đầu và biến dạng từ biến nhỏ hơn đáng kể so với biến dạng giãn nở/co lại do thay đổi độ ẩm.



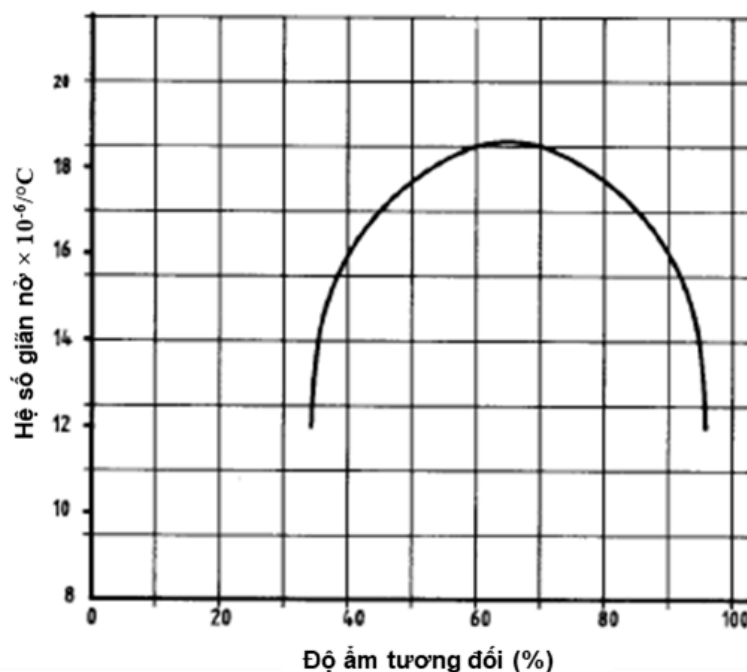
Hình 1.7 Đường từ biến điển hình [2]

Những nghiên cứu về hiện tượng từ biến ở vật liệu GFRC chỉ ra rằng tính từ biến ảnh hưởng bởi hỗn hợp vữa. Lượng sợi thủy tinh trong hỗn hợp rất nhỏ (thường là 5% trọng lượng) nên không ảnh hưởng đến tốc độ từ biến. Hàm lượng nước và hàm lượng cát đều có ảnh hưởng đáng kể đến tốc độ từ biến. Không có bằng chứng nào về ảnh hưởng của sự tương tác giữa vữa và sợi thủy tinh đến tính từ biến của vật liệu.

1.2.1.2.9 Giãn nở nhiệt

Hệ số giãn nở nhiệt thường được lấy là $20 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$.

Khác với các vật liệu khác, hệ số giãn nở nhiệt của bê tông GFRC thay đổi theo độ ẩm của vật liệu. Hệ số này có giá trị nhỏ nhất khi vật liệu khô hoàn toàn hoặc bão hòa hoàn toàn. Khi độ ẩm ở khoảng từ 50 đến 80%, hệ số giãn nở nhiệt đạt giá trị cực đại. Lý do giải thích cho tính chất này là hệ số giãn nở nhiệt được hình thành từ hai chuyển động: hệ số nhiệt động học và áp suất trương nở, đây là một hiện tượng phức tạp đến từ sự truyền độ ẩm trong cấu trúc vật liệu.



Hình 1.8 - Sự phụ thuộc của hệ số giãn nở nhiệt của vữa xi măng vào độ ẩm tương đối của môi trường [2]

Cũng giống như bê tông, việc bổ sung cốt liệu sẽ có ảnh hưởng đến độ lớn tuyệt đối của hệ số giãn nở nhiệt. Hệ số này phụ thuộc vào cấp phối và loại cốt liệu.

1.2.1.2.10 Khả năng chịu lửa

Bê tông GFRC là một loại vật liệu chống cháy. Nhiều thiết kế của hỗn hợp bê tông GFRC không chứa bất kỳ vật liệu hữu cơ nào ngoài một lượng rất nhỏ chất siêu dẻo và một lượng chất kết dính trên sợi thủy tinh. Các công thức này tuân thủ các tiêu chí không cháy đối với các tiêu chuẩn thử nghiệm hiện hành. Polymer acrylic được thêm vào bê tông GFRC nhằm mục đích bảo dưỡng cũng như đem lại công năng tốt, mặc dù thường không được phân loại là vật liệu không dễ cháy. Khi được kiểm tra về khả năng dễ cháy, lan truyền lửa và lan truyền bề mặt của ngọn lửa, bê tông GFRC đạt được xếp hạng cao

nhất và tuân thủ các yêu cầu đối với vật liệu Loại O trong Quy định xây dựng của Anh. Trong mọi trường hợp, khả năng phát thải khói của bê tông GFRC là rất thấp và khả năng phát thải khói độc là tối thiểu.

Khi vật liệu GFRC được sử dụng trong các tấm panen, khả năng chống cháy đạt được phụ thuộc vào toàn bộ các thành phần cấu tạo lên panen. Các tấm bê tông GFRC đơn không đảm bảo panen có thể toàn vẹn trong các thử nghiệm chống cháy thông thường, trừ khi thay đổi thành phần hỗn hợp bê tông GFRC để cho phép nó có thể thoát hơi ẩm dễ dàng trong phần đầu của quy trình thử nghiệm.

Các tấm panen sử dụng bê tông GFRC kết hợp với các vật liệu khác đã được thiết kế và thử nghiệm để cho khả năng chống cháy lên đến 4 giờ.

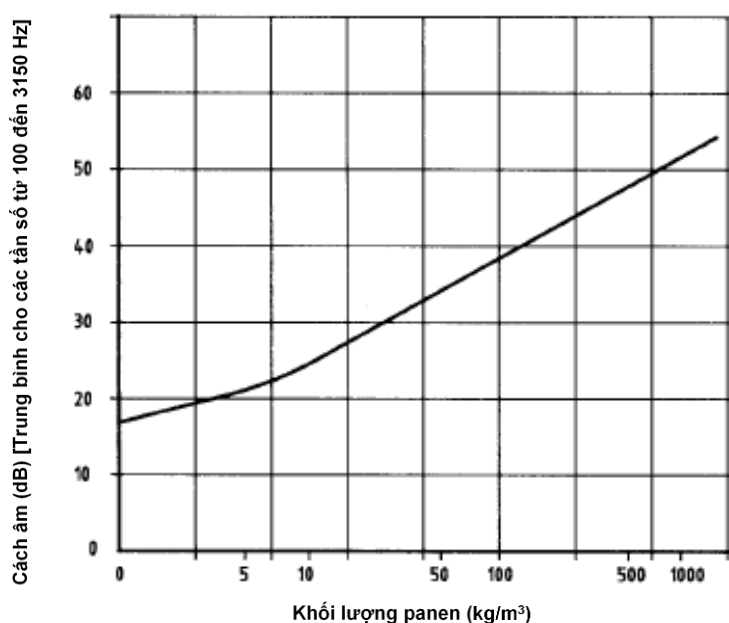
1.2.1.2.11 Cách âm

Khả năng cách âm của một vật liệu đồng nhất phụ thuộc vào:

- Mật độ diện tích (trọng lượng trên một đơn vị diện tích)
- Độ cứng (phụ thuộc vào kích thước hình học của panen)
- Giảm chấn (damping)

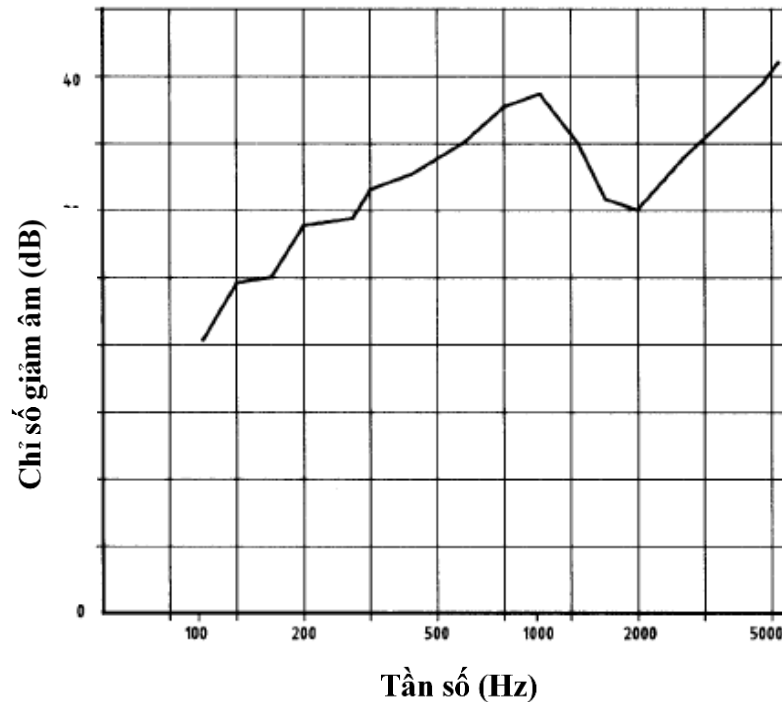
Trong số đó, mật độ diện tích là quan trọng nhất trong việc xác định cách âm ở các tần số thấp.

Mối quan hệ giữa mật độ diện tích của vật liệu và sự giảm âm được biểu diễn bởi một đường cong. Đường cong này (Hình 1.9) đúng với hầu hết các vật liệu đồng nhất. Các số liệu giảm âm trên Hình 1.9 được lấy trung bình cho các tần số từ 100 đến 3150 Hz. Với mỗi lần tăng gấp đôi mật độ diện tích, cường độ của âm giảm khoảng 5 dB. Do đó, mỗi tấm bê tông GFRC điển hình có độ dày 10 mm có mật độ diện tích 20 kg/m^2 sẽ có mức giảm âm trung bình khoảng 30 dB. Khi tăng độ dày lên 20 mm mức giảm âm sẽ tăng khoảng 35 dB. Việc giảm âm hơn nữa sẽ đòi hỏi tăng mật độ diện tích tổng thể lên nhiều, do đó, không kinh tế khi sử dụng một tấm bê tông GFRC đơn.



Hình 1.9 - Mối quan hệ của cách âm và khối lượng [2]

Mối quan hệ giữa chỉ số giảm âm và tần số tấm panen dày 9 mm (18 kg/m^2) được thể hiện trong Hình 1.10.

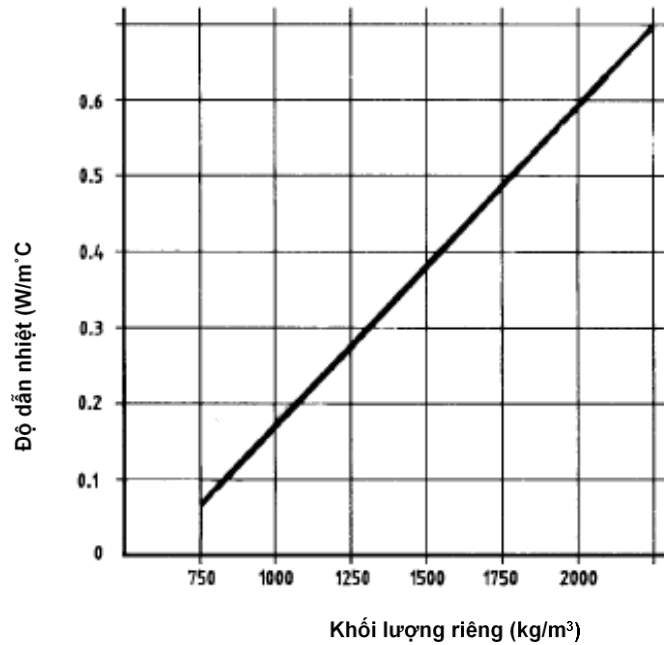


Hình 1.10 - Sự phụ thuộc của sự giảm âm vào tần số của tấm panen GFRC dày 9mm (18 kg/m^2) [2]

1.2.1.2.12 Cách nhiệt

Bê tông GFRC có tỉ trọng $1900\text{-}2100 \text{ kg/m}^3$ có độ dẫn nhiệt trong khoảng từ 0,5 đến $1 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ tùy thuộc vào độ ẩm. Điều này cho thấy bản thân bê tông GFRC không phải là vật liệu cách nhiệt tốt. Tuy nhiên, thiết kế của các tấm panen GFRC đơn hoặc panen khung cho phép kết hợp các vật liệu cách nhiệt mà không làm tăng độ dày tổng thể của panen.

Hình 1.11 biểu diễn sự thay đổi độ dẫn nhiệt phụ thuộc vào tỉ trọng, áp dụng cho những vật liệu không tiếp xúc với môi trường bên ngoài. Cùng một loại vật liệu, khi tiếp xúc với môi trường bên ngoài, độ dẫn nhiệt sẽ tăng lên so với khi không tiếp xúc với môi trường bên ngoài.



Hình 1.11 - Hệ số truyền nhiệt của bê tông GFRC [2]

1.2.1.2.13 Khả năng kháng Carbonat hóa

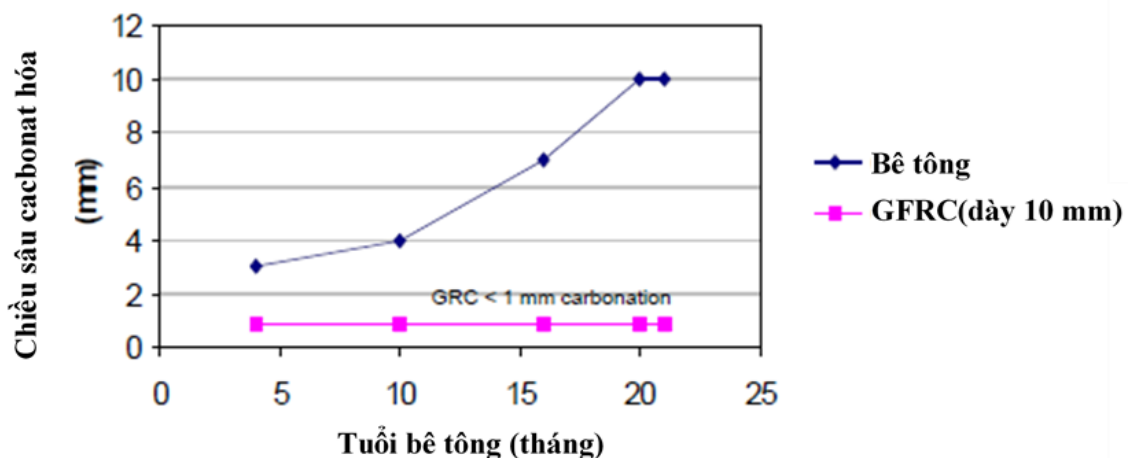
Lượng cacbonat trong bê tông GFRC không đáng kể. Các sản phẩm bê tông GFRC thường không được gia cường bởi thép, do đó, việc dùng bê tông GFRC để bao phủ thép không gây ra bất kì vấn đề nào.

Bê tông GFRC bị cacbonat hóa với tốc độ rất chậm so với bê tông thường và thậm chí một số nghiên cứu đã không tìm thấy bằng chứng nào về việc bê tông GFRC bị cacbonat hóa.

Sở dĩ tốc độ cacbonat hóa của bê tông GFRC thấp hơn so với bê tông thường là do hàm lượng xi măng trong bê tông GFRC tương đối cao và độ thấm nước của nó thấp.

Bê tông GFRC còn được ứng dụng trong việc bảo vệ cốt thép không bị ăn mòn.

THÍ NGHIỆM CACBONAT HÓA TĂNG TỐC



Hình 1.12 – Tốc độ cacbonat hóa của bê tông và GFRC

1.2.1.2.14 Tính chất phụ thuộc vào thời gian

Các tính chất của bê tông GFRC ổn định trong điều kiện khô ráo nhưng hầu hết lại mất một phần cường độ trong thời gian dài trong điều kiện ẩm ướt. Cường độ uốn, cường độ kéo và biến dạng cực đại giảm dần đến mức ổn định. Ứng suất thiết kế được sử dụng nhỏ hơn cường độ dài hạn và nhỏ hơn cường độ phá hoại của vữa (LOP).

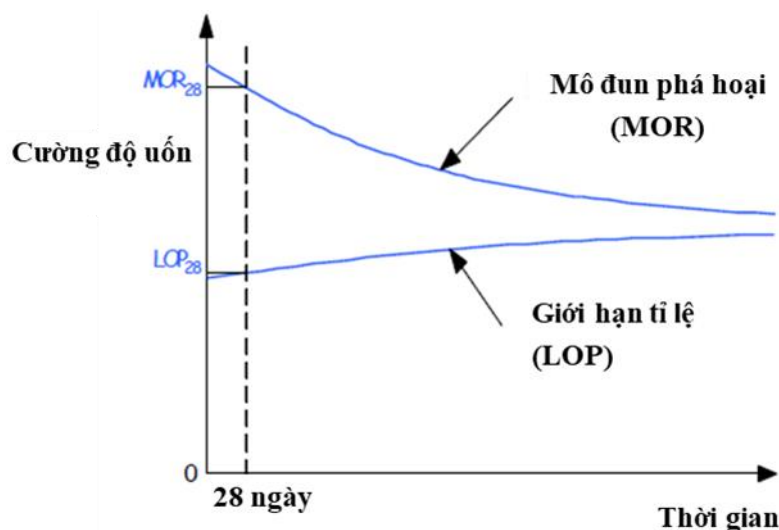
Giá trị LOP có xu hướng tăng nhẹ theo thời gian do quá trình thủy hóa xi măng diễn ra liên tục (Hình 1.13).

Khi các ứng suất nằm dưới giá trị LOP, bê tông GFRC không bị mỏi (fatigue).

Với các hỗn hợp bê tông GFRC đặc biệt, các đặc tính của chúng thay đổi rất ít theo thời gian.

Một điểm quan trọng trong thiết kế và lắp dựng là phải đảm bảo rằng hệ thống neo, gối đỡ cho phép co giãn do độ ẩm và do nhiệt trong quá trình sử dụng. Nếu những dịch chuyển nhỏ này bị hạn chế, ứng suất trong bê tông GFRC có thể tăng quá mức và có thể gây nứt bê tông.

Bề mặt của tấm panen GFRC hoặc khuôn đúc bê tông GFRC có thể được yêu cầu cần làm sạch tùy thuộc vào thiết kế và môi trường. Một số vật liệu hoàn thiện bề mặt có tuổi thọ giới hạn và có thể cần bảo trì.



Hình 1.13 Sự thay đổi cường độ của bê tông GFRC theo thời gian

1.2.1.2.15 Tỷ trọng

Tỷ trọng khô của vật liệu GFRC tiêu chuẩn thường khoảng 2,0 T/m³. Các cấu kiện bê tông GFRC được đánh giá là nhẹ do chúng có tiết diện mỏng.

Tỷ trọng là một chỉ số để đánh giá chất lượng vật liệu, một vật liệu có tỷ trọng lớn có nghĩa là phần khối lượng sợi lớn hơn, nhưng, đáng nói hơn, là nó cho thấy vật liệu được đầm chặt, tỷ lệ nước/xi măng hợp lý. Một vật liệu GFRC chất lượng tốt có các thông số về tỷ trọng như sau:

- GFRC sản xuất bằng phương pháp phun khử nước 2,02-2,05 T/m³

- GFRC sản xuất bằng phương pháp phun thủ công 1,9-2,1 T/m³
- GFRC sản xuất bằng phương pháp đúc 1,9-2,0 T/m³

1.2.1.2.16 Thẩm hút nước

Độ hút nước và độ rỗng biểu kiến của bê tông GFRC được xác định từ phép đo tỉ trọng khô và tỉ trọng ướt. Các giá trị điển hình của bê tông GFRC sản xuất bằng phương pháp phun thủ công với tỷ lệ cát/xi măng 0,5/1 là:

- Độ hút nước 12%
- Độ rỗng biểu kiến 24%

Cần lưu ý rằng những giá trị này lớn hơn so với những giá trị tương ứng của bê tông thường: độ hút nước của bê tông thường dưới 10%. Sở dĩ có sự khác biệt này là vì hàm lượng xi măng trong bê tông GFRC cao hơn trong bê tông thường. Tuy nhiên, khả năng thẩm nước của bê tông GFRC thấp hơn đáng kể so với bê tông thường.

1.2.1.2.17 Tia cực tím

Bê tông GFRC không dễ bị xuống cấp khi tiếp xúc với tia cực tím.

1.2.1.2.18 Bức xạ mặt trời

Các tính chất cơ học của các mẫu bê tông GFRC không bị biến đổi ngay cả khi chịu bức xạ gamma với liều lượng lên đến 1,2 mega rad/24 giờ trong khoảng thời gian 7 ngày.

1.2.2. Khung panen [2]

Khung panen có thể được chế tạo từ thép lá và/hoặc thép kết cấu (structural steel). Thép lá nên được sơn hoặc mạ kẽm để tránh ăn mòn. Việc mạ kẽm nhúng nóng khung sau khi chế tạo không được khuyến nghị do có thể xảy ra các vấn đề liên quan đến biến dạng trong quá trình mạ.

Thép lá cần phải phù hợp với tiêu chuẩn liên quan hiện hành và phải được sơn lót bằng sơn chống gỉ. Thép này nên được mạ phù hợp với tiêu chuẩn liên quan. Chiều dày và kích thước của thanh thép, ống thép và khung phải được thể hiện trên bản vẽ thi công.

Thép ống phải phù hợp với tiêu chuẩn liên quan hiện hành. Kích thước thép ống phải được thể hiện trên bản vẽ thi công. Tất cả các mối hàn phải phù hợp với tiêu chuẩn liên quan.

1.2.3. Neo [2]

1.2.3.1. Quy định chung

Thép sử dụng cho neo phải tuân thủ các yêu cầu của tiêu chuẩn liên quan hiện hành. Cường độ đàn hồi của thép phải phù hợp với cường độ thiết kế tối thiểu và tối đa.

Các neo gắn vào bề mặt tấm panen GFRC cần được chống ăn mòn bằng phương pháp phù hợp.

Neo phải tương thích hoặc cách điện với các vật liệu khác mà chúng sẽ tiếp xúc để

tránh các phản ứng hóa học hoặc điện hóa không mong muốn.

Không đặt các kim loại khác nhau tiếp xúc với nhau trừ khi kinh nghiệm cho thấy rằng sẽ không có tác động bất lợi nào do mạ điện có thể xảy ra. Cần bảo vệ vật liệu kim loại bằng cách sơn, mạ kẽm nhúng nóng hoặc mạ kẽm điện phân nếu lớp phủ bị hư hỏng. Nếu trong quá trình lắp dựng cần hàn, khu vực hàn nên được làm sạch và được phủ bởi lớp sơn lót nhiều kẽm.

Vật liệu dẻo/dễ uốn nên được sử dụng.

Tải trọng cho phép của neo đúc vào tấm bê tông GFRC phải được xác định bằng kết quả của các thử nghiệm với tải trọng gấp đôi so với tải trọng thực tế. Neo sử dụng trong panen bê tông GFRC cần được thử nghiệm lão hóa để xác định sự phù hợp của chúng.

Neo luôn luôn nằm trong môi trường ẩm ướt. Hầu hết các kim loại màu sẽ bị ăn mòn trong những điều kiện này và không chỉ ảnh hưởng đến tính thẩm mỹ mà còn gây hư hỏng kết cấu.

Thép dẹt (thép cacbon thấp) khi bị ăn mòn sẽ bị phân lớp và độ dày của nó tăng hơn bốn lần so với độ dày ban đầu, gây phá hoại các tấm panen GFRC.

Hai lý do phổ biến nhất khiến cho bất kỳ neo kim loại nào không có được khả năng chống ăn mòn như mong đợi là:

- Việc đánh giá không chính xác về môi trường hoặc tiếp xúc với các điều kiện không dự đoán trước được, ví dụ: ô nhiễm không lường trước được bởi các ion clorua.
- Cách liên kết các vật liệu với nhau, cách bảo dưỡng vật liệu cũng như cách ứng xử của vật liệu khi chịu lực có thể gây ra các điều kiện không được dự kiến trong đánh giá ban đầu.

Rõ là một dạng ăn mòn cục bộ có thể xảy ra do tiếp xúc với môi trường nào đó, đặc biệt là những môi trường có chứa clorua. Rõ có thể xuất hiện trên bề ngoài của kết cấu và làm giảm kích thước của tiết diện không đáng kể. Tuy nhiên, ăn mòn có thể làm mất tính thẩm mỹ của các chi tiết kiến trúc.

Độ bền là một tiêu chí đánh giá khả năng của neo chống lại các hư hỏng. Các tác nhân quan trọng nhất gây ra sự ăn mòn neo là các chất ô nhiễm dưới dạng khí/khí hòa tan, độ ẩm và sự thay đổi nhiệt độ. Trong điều kiện khô ráo, hiện tượng ăn mòn không xảy ra. Tuy nhiên, độ ẩm có mặt trong hầu hết các tình huống và do đó ăn mòn luôn là một rủi ro tiềm ẩn.

1.2.3.2. Neo mạ kẽm

Mạ kẽm nhúng nóng là hình thức mạ một lớp kẽm lên bề mặt kim loại bằng cách ngâm kim loại này trong kẽm nóng chảy ở nhiệt độ hơn 800 độ C. Việc mạ kẽm sẽ giúp tăng đáng kể tuổi thọ của neo. Tất cả các cấu kiện mạ kẽm có tuổi thọ hữu hạn, tỷ lệ thuận với độ dày của lớp mạ kẽm. Ăn mòn sớm có thể xảy ra nếu lớp phủ này bị hư hỏng trong quá trình gia công. Một số tòa nhà hiện đang được thiết kế với tuổi thọ tối

thiểu là 50 năm. Việc mạ kẽm đảm bảo các cấu kiện không bị ăn mòn trong suốt tuổi thọ thiết kế của công trình. Nên tránh việc hàn các neo mạ kẽm ngoài công trường.

1.2.3.3. Neo làm bằng thép không gỉ

Neo làm bằng thép không gỉ được sử dụng rộng rãi bởi độ bền và tuổi thọ dài mà nó đem lại. Chúng thường có khả năng chống ăn mòn rất cao và hoạt động tốt trong hầu hết các môi trường. Khả năng chống ăn mòn của thép không gỉ phụ thuộc vào các thành phần cấu thành nó. Do đó, mỗi loại thép không gỉ phản ứng khác nhau khi tiếp xúc với cùng một môi trường ăn mòn. Cần phải lựa chọn loại thép không gỉ thích hợp nhất với mục đích sử dụng. Nói chung, mức độ chống ăn mòn càng cao, chi phí vật liệu càng lớn.

1.2.4. Khung tạo sườn/gờ [2]

Các khung tạo sườn làm tăng độ cứng cho các tấm panen GFRC.

Xốp cách nhiệt polystyren và xốp polyurethane là những vật liệu phổ biến nhất được sử dụng. Cần thận trọng khi sử dụng các vật liệu này khi nhiệt độ môi trường xung quanh lớn hơn 60°C.

Các tiết diện rỗng có thể được tạo ra bằng cách sử dụng các hình bằng các-tông để tạo thành khoảng trống và sau đó phun bê tông GFRC.

1.2.5. Sơn, keo [2]

Lớp phủ sơn và keo thích hợp có thể được sử dụng cho các sản phẩm bê tông GFRC. Việc lựa chọn một sản phẩm sơn phù hợp là rất quan trọng: loại sơn được thiết kế để sử dụng trên bê tông thường sẽ phù hợp dùng cho bê tông GFRC. Quy tắc chung là sử dụng sơn không thấm hơi ẩm. Cần tuân thủ nghiêm ngặt những khuyến nghị của các nhà sản xuất về việc chuẩn bị bề mặt bê tông và các quy trình phủ sơn lót.

1.2.6. Vật liệu trám bề mặt [2]

Cốt liệu mịn và thô khi được sử dụng cho lớp trát mặt của panen GFRC cần phải sạch, cứng, chắc, bền, mất hoạt tính, không có phản ứng với xi măng và không gây ố màu.

Phương pháp được sử dụng để trát cốt liệu lên bề mặt có thể ảnh hưởng đến hình dạng bên ngoài của panen. Khả năng bị phong hóa của một số cốt liệu cũng có thể ảnh hưởng đến diện mạo của chúng theo thời gian.

Đá tự nhiên, gạch mỏng, gạch gốm hoặc đất nung cũng có thể được sử dụng làm vật liệu trám bề mặt. Tính tương thích của vật liệu trám bề mặt với bê tông GFRC nên được xem xét khi thiết kế. Có thể sử dụng chất ngăn sự kết dính (bond breaker) và các neo flex cùng với các mặt đá tự nhiên để giảm thiểu sự dịch chuyển/co giãn không đều có thể gây uốn cong panen và/hoặc gây ra ứng suất bề mặt lớn.

1.3. Phân loại các tấm panen bê tông cốt sợi thủy tinh

Việc phân loại panen bê tông cốt sợi thủy tinh GFRC dựa trên phương pháp gia

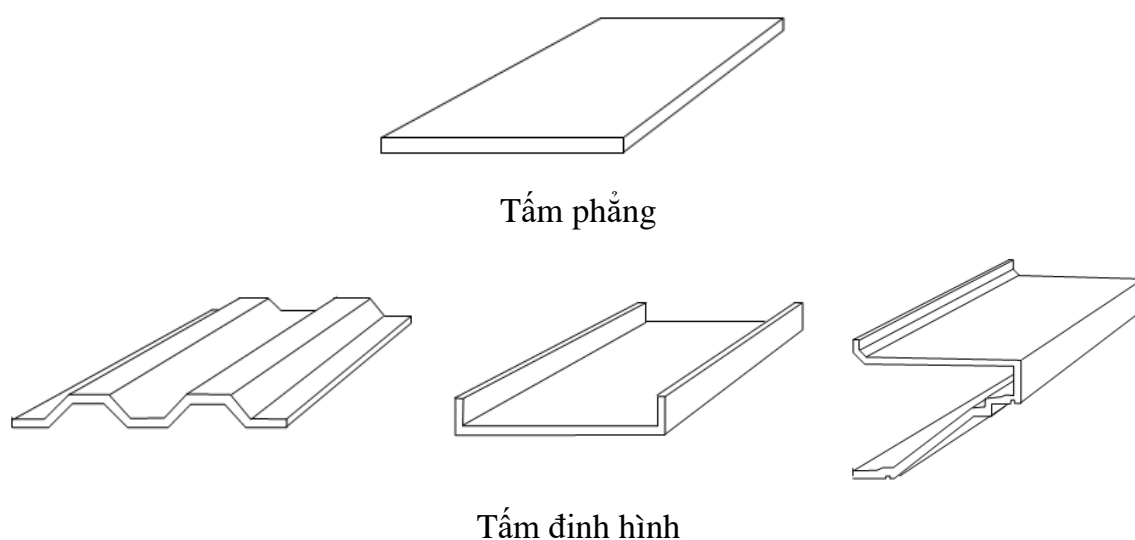
công chế tạo cũng như phương pháp lắp đặt.

Hệ bao che bằng vật liệu cốt sợi thủy tinh GFRC được chia làm 3 loại chính: panen sườn, panen khung và panen sandwich.

1.3.1. Panen tấm đơn

1.3.1.1. Panen tấm đơn giản

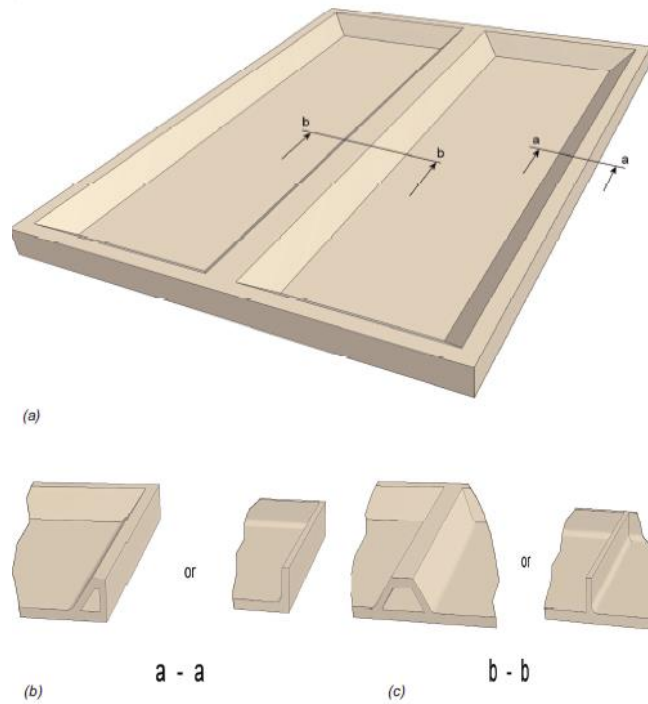
Đối với các tấm tương đối nhỏ, thường sử dụng một tấm bê tông GFRC đơn được làm dày ở xung quanh vị trí các neo. Những tấm panen này thường sẽ sử dụng các cạnh bê góc xung quanh chu vi của nó để hỗ trợ việc liên kết và cũng để gia cường cho tấm. Đây là một phương pháp thi công đơn giản và kinh tế cho các panen nhỏ hoặc panen định hình (xem Hình 1.14).



Hình 1.14 – Các loại panen tấm đơn giản [3]

1.3.1.2. Panen sườn (Ribbed panel)

Đối với các tấm panen có kích thước lớn, nếu không sử dụng khung thép, cần phải tạo sườn cho các tấm panen (Hình 1.15). Nguyên lý là đặt bê tông cốt liệu thủy tinh xa trục trung hòa của tấm panen, và trong vùng chịu kéo và nén. Tại trục trung hòa, bê tông cốt sợi thủy tinh chỉ có thể làm tăng cường độ và độ cứng cho panen không đáng kể, tuy nhiên tại vùng chịu kéo và nén, nó góp phần làm tăng cường độ và độ cứng của panen lên rất nhiều.



Hình 1.15 – Cấu tạo panen sườn [3]

Nguyên tắc này đạt được bằng cách phun bê tông cốt sợi thủy tinh lên các khung tạo sườn làm bằng polystyrene hoặc lên các phần đã được tạo hình sẵn. Các sườn này được thiết kế chạy dọc tất cả các cạnh ngoài của panen. Nhờ đó, tấm panen cũng có đủ độ sâu để cho phép các liên kết. Trong một số trường hợp, sườn cũng có thể chạy ngang tấm panen.

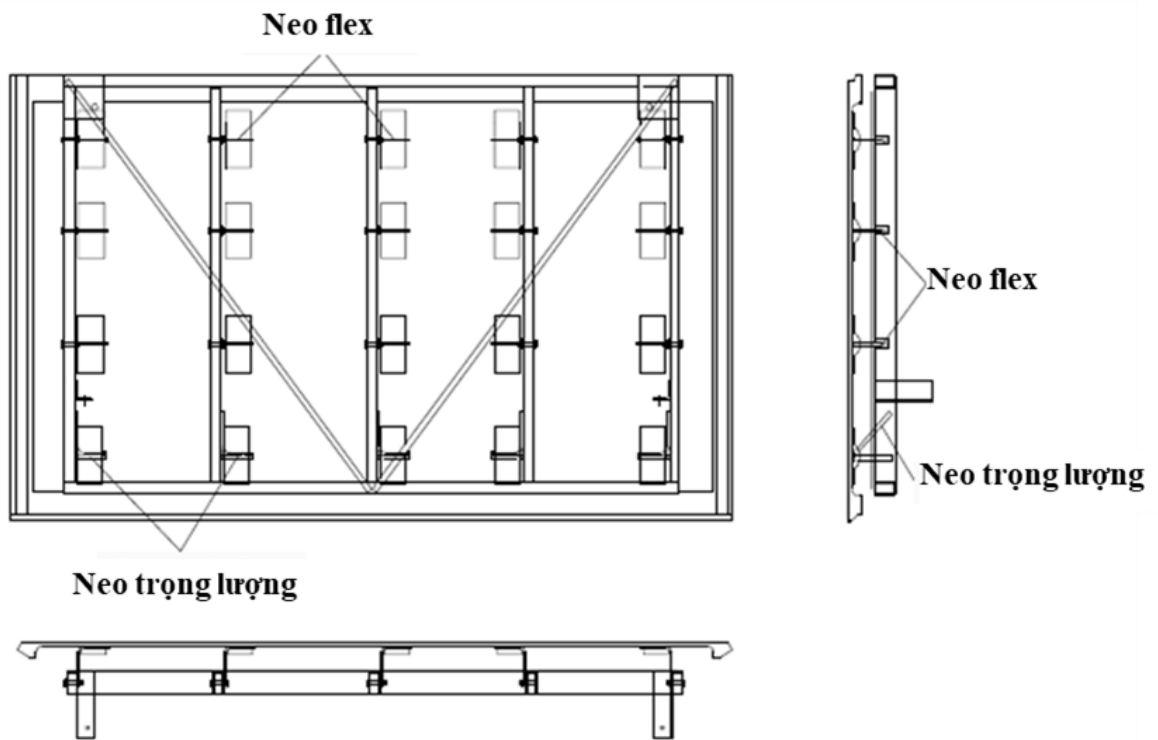
1.3.2. Panen khung

Thay vì sử dụng sườn bê tông cốt sợi thủy tinh và chất làm cứng, có thể sử dụng khung, phổ biến nhất là khung làm bằng thép. Khung đóng vai trò là khung đỡ tấm bê tông cốt sợi thủy tinh, cho phép biến dạng do nhiệt và do độ ẩm. Đặc biệt, các tấm panen có kích thước lớn và phẳng thường sử dụng khung. Một khung panen có kích thước từ 10m^2 lên đến 20m^2 .

Một panen khung bao gồm một tấm bê tông GFRC đơn được gắn vào khung đúc sẵn thường làm bằng kim loại, bằng các neo flex hình chữ L và neo đỡ (hay được gọi là neo trọng lực). Khoảng cách giữa các neo flex cần đảm bảo tải trọng gió được phân bố đều trên một khoảng rộng của tấm. Các neo flex có vai trò đỡ ngang cho tấm GFRC vì chúng cho phép xoay và biến dạng do co ngót/độ ẩm. Các neo trọng lực được phân bố dọc theo đáy của các tấm và đỡ trọng lượng bản thân của bê tông GFRC.

Cần phải xem xét đến vật liệu của khung để tránh nguy cơ ăn mòn và sử dụng thép không gỉ hoặc thép dẹt (thép cacbon thấp) đã được xử lý và bảo vệ một cách thích hợp. Việc lựa chọn sử dụng thép có thể phụ thuộc vào các quy định, tiêu chuẩn xây dựng hiện hành.

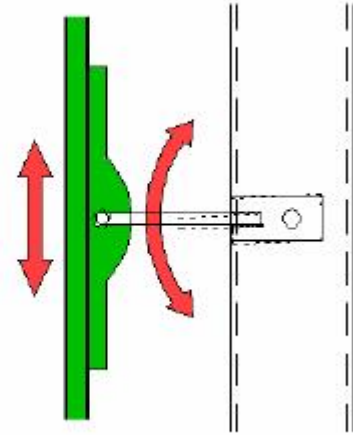
Hình 1.18 đến Hình 1.19 chỉ ra sơ đồ làm việc của neo flex và neo trọng lực. Tất cả các neo hướng đến tâm của panen để giảm bớt ứng suất co ngót bất lợi.



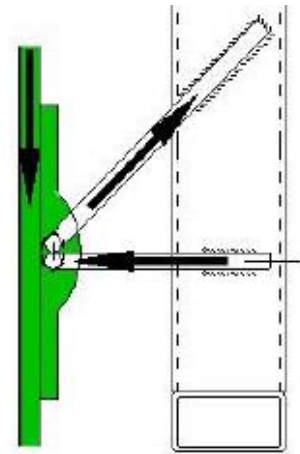
Hình 1.16 – Cấu tạo điển hình của khung GRFC [3]



Hình 1.17 – Khung gia công từ các thanh tiết diện hình chữ nhật rộng [3]



Hình 1.18 – Neo flex điển hình [3]



Hình 1.19 – Neo trọng lực [3]



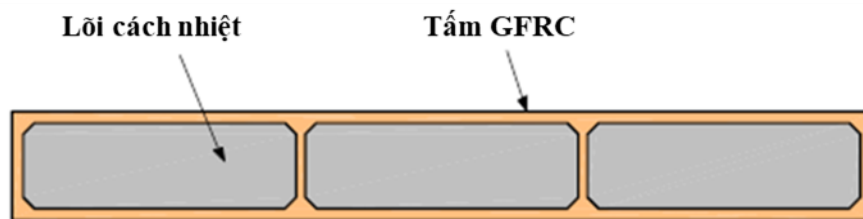
Hình 1.20 – Tấm panen trang trí bằng bê tông GFRC [3]

Mặc dù mỗi phương pháp gia cố đều có ưu điểm riêng, việc sử dụng khung thép là

phương pháp kinh tế nhất và phổ biến nhất. Ngoài ra, khung còn đóng vai trò hỗ trợ trong việc lắp đặt các thiết bị để hoàn thiện tường (ví dụ, lắp đặt hệ thống cách nhiệt, các tấm thạch cao và khung cửa sổ). Hơn nữa, hệ thống này cũng cung cấp một khoảng trống cho việc lắp đặt các dây dẫn điện, dây cáp điện thoại...

1.3.3. Panen sandwich

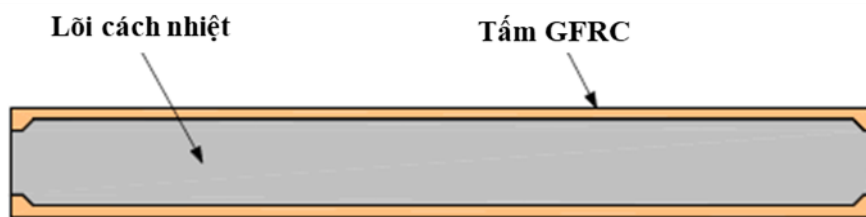
Panen sandwich cấu tạo bởi hai tấm bê tông GFRC đơn phân cách nhau bởi một lõi cách nhiệt nhẹ. Cấu tạo của panen sandwich dạng hộp được minh họa trên Hình 1.21. Cả hai tấm bê tông GFRC mặt trước và mặt sau của panen sandwich thường dày từ 10 đến 15 mm.



Hình 1.21 – Panen sandwich dạng hộp [3]

Vật liệu làm lõi có thể rất nhẹ với các đặc tính cách nhiệt rất tốt như polystyren, polyurethane hoặc xốp isocyanurat; hoặc các vật liệu nặng hơn, như bê tông cốt liệu hạt polystyrene đem lại khả năng chống cháy rất tốt.

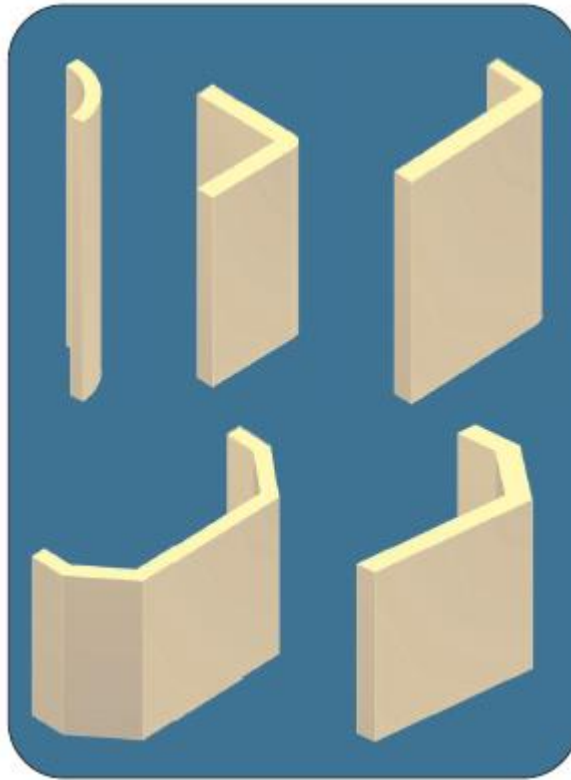
Ít phổ biến hơn là panen sandwich dạng “dính” (Hình 1.22). Với kiểu panen này, lõi (foam infill) cứng hơn nhiều và trở thành một cấu kiện đóng vai trò truyền ứng suất cắt giữa 2 tấm bê tông GFRC.



Hình 1.22 – Panen sandwich dạng “dính” [3]

Panen sandwich rất hiệu quả về khả năng chịu tải và về độ cứng, vì bê tông GFRC được đặt ở các vùng có ứng suất cực đại (ở mặt chịu kéo và nén). Tuy vậy nó không được sử dụng rộng rãi trong xây dựng hệ bao che. Sự chênh lệch về biến dạng do nhiệt và do ẩm của mặt ngoài và mặt trong của panen sandwich có thể làm gia tăng uốn, hoặc tăng cao ứng suất nếu hình dạng và neo định vị panen không cho phép sự dịch chuyển tự do.

Mặc dù các tấm panen sandwich cong vẫn được ứng dụng trong một số trường hợp, chỉ nên sản xuất panen sandwich phẳng để tránh các vấn đề liên quan đến thay đổi nhiệt độ, dịch chuyển do độ ẩm và các ứng suất do co ngót. Hình 1.23 đưa ra một số hình dạng không được sử dụng để sản xuất các tấm panen sandwich. Diện tích các tấm panen sandwich phẳng không lớn hơn 6,5 m² (ví dụ kích thước không vượt quá 3,6m x 1,8m).



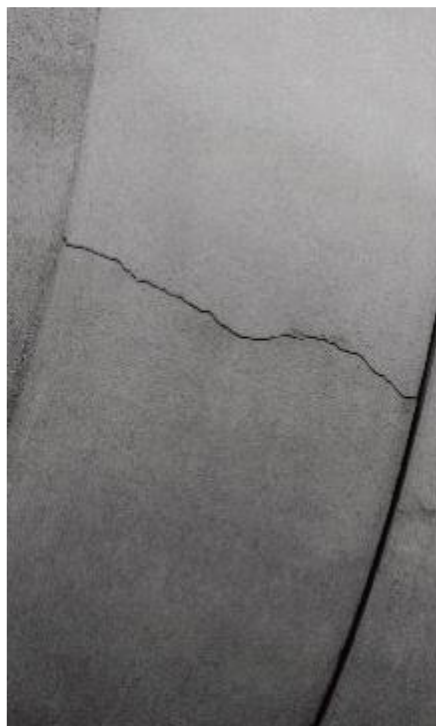
Hình 1.23 – Hình dạng không sử dụng cho các tấm panen sandwich [3]

1.3.4. Lựa chọn loại panen cho hệ bao che

Việc lựa chọn sử dụng đúng loại panen GFRC là rất quan trọng. Ngày nay, các panen sandwich không được sử dụng phổ biến lắm vì khả năng nó bị nứt do ảnh hưởng của chênh lệch nhiệt độ, do co ngót không đồng đều và do nó có xu hướng dễ bị uốn cong. Panen sườn hộp hoặc panen khung thường được cân nhắc sử dụng hơn. Một trong những loại này gần như luôn luôn có thể được sử dụng thay cho panen sandwich khi cần đáp ứng yêu cầu về cách nhiệt và về hình dạng.

Panen sandwich chỉ nên được sử dụng cho các tấm panen trơn và phẳng có diện tích dưới 6,5 m². Hình 1.24 minh họa những gì có thể xảy ra khi panen sandwich được sử dụng không hợp lý cho các thành phần cong.

Không chỉ do sử dụng không đúng loại panen, nguyên nhân nứt gãy cũng là do liên kết cứng giữa panen và kết cấu chính của tòa nhà, tại sáu vị trí: hai liên kết đặt tại mỗi đầu và thêm hai liên kết ở giữa. Các vết nứt xuất hiện gần hai liên kết ở giữa. Các tấm panen được dự đoán là đã bị hư hại trong quá trình sử dụng neo để cố định các panen. Việc siết chặt hai cặp neo bên ngoài có thể làm cho vết nứt bắt đầu ở mặt ngoài. Các vết nứt tương tự có thể quan sát được ở mặt bên trong gần với neo ở giữa. Hiển nhiên, các vết nứt hình thành do việc siết chặt quá mức neo để cố định panen. Sự xâm nhập của nước mưa vào các vết nứt và lõi polystyrene gây ra thêm các phá hủy khác. Trong trường hợp này, nên sử dụng panen khung để giảm thiểu vấn đề liên quan đến việc căn chỉnh và uốn cong.



Hình 1.24 – Panen sandwich bị nứt gãy [3]

Tòa nhà trong Hình 1.25 cho thấy việc sử dụng bê tông GFRC cho hệ bao che có thể khắc phục các tác động bất lợi do đất nền kém. Hệ bao che cho tòa nhà này được chỉ định sử dụng các tấm bê tông cốt thép thông thường (thường dày khoảng 75mm). Ngay sau khi một số tấm panen được cố định vào tòa nhà, các vết nứt chéo sâu bắt đầu xuất hiện trong các panen (Hình 1.25 (b)). Khi đã xác định chính xác được nguyên nhân gây ra hư hỏng (Hình 1.25 (a)), một số lượng lớn các thanh chống đã nhanh chóng được lắp đặt để đỡ tòa nhà và các tấm panen bị hư hại. Sau khi khảo sát địa chất tại hiện trường, nguyên nhân gây hư hỏng cho hệ bao che và các bộ phận kết cấu phía sau rõ ràng là do nền đất lún không đều.

Để sửa chữa hư hỏng, hệ bao che đã được đổi sang sử dụng bê tông GFRC để duy trì hình dạng của bê tông khi giảm được đáng kể tải trọng lên móng. Hình 1.25 (c) là hình ảnh của tòa nhà sau khi đã cải tạo. Mái che nắng sử dụng bê tông cốt sợi thủy tinh phun, trong khi panen sườn hộp và panen khung được sử dụng để sản xuất phần còn lại của hệ bao che.

Những vấn đề này cần được phát hiện và khắc phục tại giai đoạn thiết kế. Ví dụ này cũng cho thấy tầm quan trọng của việc lựa chọn (các) hình dạng phù hợp cho các panen bê tông GFRC sử dụng cho một tòa nhà đặt trên nền đất không đồng nhất.

Việc lựa chọn loại panen (đơn, định hình hoặc sandwich) được quyết định bởi một loạt các yêu cầu cần được thỏa mãn: yêu cầu về khả năng chịu lửa, yêu cầu về nhiệt, âm thanh, trọng lượng... **Error! Reference source not found.** cho thấy các yêu cầu về khả năng làm việc (performance requirements) (nhịp, khả năng chống cháy và trọng lượng (những yêu cầu thường được coi là quan trọng nhất) ứng với các loại panen khác nhau.



Công trình New Pearl (TP. Hồ Chí Minh)





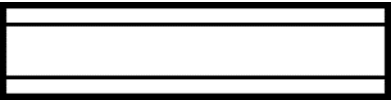
Hình 1.25 - Hệ bao che sử dụng vật liệu GRFC. Nguồn: internet

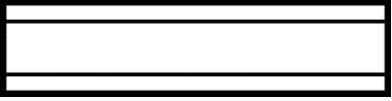
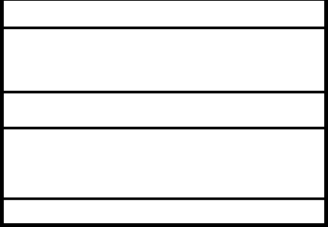
Có thể giảm tổng chiều dày hữu hiệu của các tấm panen có kích thước lớn bằng cách sử dụng các panen sandwich, vì các tấm đơn có kích thước lớn sẽ cần có các sườn tăng cứng dày để ngăn võng dưới tác dụng của tải trọng.

Trong kết cấu của một panen sandwich, thường sẽ lấy độ dày tổng thể lớn hơn so với độ dày tính toán theo độ bền để đáp ứng các đặc tính chịu lửa và nhiệt, đồng thời cũng giảm thiểu hiện tượng uốn cong. Hiện tượng này cũng có thể được giảm thiểu bằng cách giới hạn kích thước của panen, vì độ uốn tỷ lệ với bình phương của một trong hai kích thước của panen; tăng độ dày của panen cũng có tác dụng trực tiếp trong việc giảm uốn.

Để đảm bảo tấm panen sandwich làm việc đúng như sơ đồ làm việc của nó và để lõi có đủ độ bền cắt, cần phải tạo ra một liên kết dính tốt giữa bê tông GFRC và lõi để ngăn chặn lõi tách ra khỏi tấm bê tông khi bị uốn.

Bảng 1.3 – Các yêu cầu về khả năng làm việc ứng với các loại panen khác nhau [3]

Loại panen		Chiều dài nhịp tối đa khuyến nghị (ứng với áp lực gió 1,0 kN/m ²)	Độ bền chịu lửa (BS 476, phần 8)	Khối lượng (xấp xỉ)
Tấm đơn		m	Giờ	kg/m ²
	Tấm phẳng dày 8 mm	0,8	-	16
	Tấm phẳng dày 12 mm	1,1	-	24
	Tấm panen GFRC định hình hoặc panen sườn + 50 mm lớp cách nhiệt bằng sợi thủy tinh + tấm thạch cao	4	0,5	40
	Tấm panen GFRC định hình hoặc panen sườn + 50 mm lớp cách nhiệt bằng sợi thủy tinh + 100 mm bê tông thường	4	4,0	100
Panen sandwich				
	10 mm GFRC	3,0	2,0	60
	50 mm polystyrene			
	10 mm GFRC			
	10 mm GFRC	3,0	-	46

Loại panen	Chiều dài nhịp tối đa khuyến nghị (ứng với áp lực gió 1,0 kN/m ²)	Độ bền chịu lửa (BS 476, phần 8)	Khối lượng (xấp xỉ)
	60 mm polystyrene 10 mm GFRC		
	10 mm GFRC 50 mm PBAC 30 mm polystyrene 50 mm PBAC 10 mm GFRC	5,5 4,0	150

CHÚ THÍCH: PBAC – bê tông cốt liệu hạt polystyrene

Để cải thiện hiệu suất nhiệt của panen và đồng thời, cải thiện khả năng chống cháy và tăng độ cứng của nó, có thể sử dụng các panen sandwich GFRC và bọt polystyrene cứng như trong Bảng sau:

Bảng 1.4 – Độ truyền nhiệt U-value của các panen sandwich có chiều dày khác nhau [3]

Cấu tạo của panen sandwich GFRC		U-value (W/m ² °C)
30 mm	GFRC 20 mm	5,0
70 mm	GFRC 10 mm	2,0
	PBAC 50 mm	
	GFRC 10 mm	
120 mm	GFRC 10 mm	1,3
	PBAC 100 mm	
	GFRC 10 mm	
100 mm	GFRC 10 mm	0,9
	PBAC 30 mm	
	Polystyrene 20 mm	
	PBAC 30 mm	
150 mm	GFRC 10 mm	0,7
	PBAC 50 mm	
	Polystyrene 30 mm	
	PBAC 50 mm	
	GFRC 10 mm	

Ghi chú: PBAC – bê tông cốt liệu hạt polystyrene

1.4. Quy định chung

1.4.1. Yêu cầu về độ ổn định

Các thành phần của hệ bao che làm bằng bê tông GFRC phải được thiết kế để đảm bảo không bị lật, tóc và trượt dưới tác động của các tổ hợp tải trọng.

1.4.2. Trạng thái giới hạn cực hạn

Tất cả các thành phần của hệ bao che làm bằng bê tông GFRC phải được thiết kế để chịu được lực ở trạng thái giới hạn cực hạn, bao gồm cả tải trọng tạm thời trong

quá trình xây dựng.

1.4.3. Trạng thái giới hạn sử dụng

Cần xét đến sự rung động quá mức của bê tông GFRC khi có nguồn gây rung động tác động lên kết cấu bê tông GFRC.

1.4.4. Yêu cầu về độ bền

Các thành phần của hệ bao che làm bằng bê tông GFRC nên được thiết kế để:

- Có đủ độ bền để đảm bảo vật liệu luôn làm việc trong giới hạn mà không cần bảo trì quá nhiều trong suốt tuổi thọ thiết kế của kết cấu;
- Chống lại mọi tác động môi trường, gồm cả sự khắc nghiệt của thời tiết, điều kiện khí quyển, chất lỏng và đất.

Tiêu chí quan trọng nhất khi thiết kế bê tông GFRC là cần xét đến sự thay đổi nhiệt độ và sự dịch chuyển do độ ẩm. Để dự đoán được ứng xử của các tấm panel làm bằng bê tông GFRC, cần phải xét đến trình tự bảo dưỡng, độ ẩm của bê tông GFRC, lớp phủ bề mặt và điều kiện môi trường. Kỹ sư và nhà sản xuất cần phải thiết lập các đặc tính cơ ngót ban đầu của vật liệu và cả trong quá trình vận hành (biến dạng có thể nằm trong khoảng từ 0,75 đến 1,5 mm/m) và tổ hợp chúng với các yếu tố khác được đề cập ở trên.

1.4.5. Yêu cầu về môi

Nếu hệ bao che chịu tải trọng lặp đi lặp lại, cần xét đến tính mỏi của vật liệu khi thiết kế.

1.4.6. Ứng suất trong quá trình sản xuất

Kỹ sư nên tính ứng suất lý thuyết trong bê tông trong quá trình sản xuất. Việc tính các ứng suất trong quá trình sản xuất là một phần của việc tổ hợp tải trọng dài hạn.

Ngoài ra, khi việc sản xuất đã được chứng minh là đã tiến hành theo các phương pháp được chỉ định, thì nên đánh giá các giả định thiết kế ban đầu, ứng suất ban đầu cho phép (allowing for early stressing) trong điều kiện trạng thái giới hạn dài hạn chung.

1.4.7. Tải trọng và tổ hợp tải trọng

Các thành phần của hệ bao che làm bằng bê tông GFRC phải được thiết kế phù hợp với yêu cầu về tải trọng dưới đây. Hơn nữa, nên tiến hành các thử nghiệm nguyên mẫu để làm rõ các giả thiết thiết kế, đặc biệt khi các ứng suất gây ra do kéo và uốn đồng thời.

Khi thiết kế hệ bao che bằng GFRC, cần xét đến tất cả các trường hợp tổ hợp tải trọng bất lợi nhất.

Người thiết kế nên đặc biệt chú ý đến nhiệt độ bề mặt hơn là nhiệt độ môi trường do hệ bao che làm bằng vật liệu GFRC có thể được phủ bởi nhiều loại vật liệu với màu sắc khác nhau.

1.4.7.1. Tải trọng trong quá trình sản xuất

Việc tác dụng tải trọng quá mức lên bê tông GFRC khi nó chưa đủ cường độ có khả năng gây ra những vết nứt vi mô, cùng với sự mất cường độ/sự tăng tính từ biến trong thời gian dài tại mặt tiếp xúc của xi măng/cát. Tải trọng trong quá trình sản xuất nên được cung cấp cùng các hệ số tải trọng thích hợp cho tĩnh tải và hoạt tải, trừ khi kỹ sư có thể xác định rằng các ứng suất này không ảnh hưởng đến sự làm việc dài hạn.

1.4.7.2. Tải trọng do nhiệt và co ngót

Tiêu chí về nhiệt độ cực đại và độ co ngót cực đại nên được xác định riêng cho từng thiết kế nhất định với hệ số tải trọng được lấy bằng 1,0. Nếu nhiệt độ và độ co ngót ở trạng thái làm việc bình thường được thiết lập, con số này thường không vượt quá 0,66 lần trạng thái giới hạn cực hạn.

1.4.7.3. Tổ hợp tải trọng do nhiệt và co ngót với tải trọng gió

Trường hợp tải trọng cực đại và trường hợp ứng suất do nhiệt và co ngót cực đại không thể xảy ra cùng lúc. Cần xem xét và tìm ra tổ hợp tải trọng bất lợi nhất. Nếu không chắc chắn, nên lấy tải trọng gió cực đại + 50% tải trọng do nhiệt và co ngót, hoặc lấy tải trọng do nhiệt và co ngót cực đại + 50% tải trọng gió. Hệ số tải trọng bằng 1,25 được lấy cho tải trọng do thay đổi nhiệt độ và co ngót. Giá trị này tùy thuộc vào các điều kiện cực đại giả định khi phân tích. Nếu sử dụng tải trọng cực đại, sử dụng hệ số 1,0.

1.5. Thiết kế panen bê tông cốt sợi thủy tinh

1.5.1. Nguyên tắc thiết kế

Mặc dù những tấm panen bê tông GFRC của hệ bao che không đóng vai trò chịu lực chính, chúng vẫn phải được thiết kế chính xác để đảm bảo luôn được sử dụng tốt trong suốt tuổi thọ thiết kế. Cần tính đến những ảnh hưởng bất lợi có thể có đến từ việc tháo ván khuôn, gia công, vận chuyển và định vị. Ứng suất gây ra bởi sự co giãn do nhiệt, bởi tĩnh tải và hoạt tải phải được tính toán và tổ hợp lại để tạo nên các điều kiện bất lợi nhất dùng cho việc thiết kế.

Khi thiết kế cũng nên xét đến ảnh hưởng của độ dày tấm panen, sự khác biệt trong ứng xử uốn giữa mẫu thí nghiệm và tấm panen kích thước thực, cũng như kiểu phá hoại và hậu quả khi bị phá hoại. Việc áp dụng cách tiếp cận thiết kế theo trạng thái giới hạn để mỗi tác động này có thể được gán với một hệ số an toàn riêng là rất hợp lý. Người thiết kế nên phán đoán hợp lý và có cơ sở khi xác định giá trị của các hệ số từng phần để sử dụng trong thiết kế. Cách tiếp cận này cũng cho phép thực hiện các phân tích độ nhạy (nghiên cứu sự ảnh hưởng của các hệ số từng phần đến thiết kế) bằng cách sử dụng các giá trị khác nhau của hệ số từng phần, do đó việc thiết kế được kiểm soát nhiều hơn so với việc sử dụng cách tiếp cận theo ứng suất cho phép.

Thiết kế theo trạng thái giới hạn sử dụng phương pháp thống kê để xác định tải trọng

thiết kế và cường độ thiết kế từ các giá trị đặc trưng tương ứng nhằm giải thích cho sự thay đổi của các thông số thiết kế này trong suốt tuổi thọ thiết kế của bê tông GFRC.

1.5.2. Hệ số an toàn từng phần

Khi sử dụng lý thuyết về các trạng thái giới hạn để thiết kế các cấu kiện bê tông GFRC, người thiết kế cần phải kiểm tra việc tuân thủ trạng thái giới hạn phá hoại và trạng thái giới hạn làm việc. Nói cách khác, cấu kiện bê tông GFRC không được phép bị phá hủy hoặc trở nên không thể làm việc được trong suốt tuổi thọ thiết kế của nó. Các hệ số an toàn từng phần là khác nhau đối với từng trạng thái giới hạn.

1.5.3. Thiết kế theo trạng thái giới hạn cực hạn

Kiểm tra trạng thái giới hạn cực hạn (ULS) bao gồm:

- Tính tải trọng thiết kế F_d bằng cách nhân tải trọng tiêu chuẩn F_k với hệ số an toàn từng phần
- Tính cường độ thiết kế bằng cách chia cường độ tiêu chuẩn của bê tông GFRC f_k cho hệ số an toàn từng phần
- Phân tích ứng xử của các cấu kiện bê tông GFRC

Tải trọng thiết kế cực đại F_d được xác định theo công thức sau:

$$F_d = \gamma_f \times F_k \quad (1-1)$$

Hệ số an toàn từng phần γ_f cho bởi:

$$\gamma_f = \gamma'_f \times \gamma_{IV} \times \gamma_b \times \gamma_c \quad (1-2)$$

trong đó:

γ'_f là hệ số tải trọng cho trong bảng dưới đây (giá trị lấy từ Bảng 2.1 BS 8110):

Bảng 1.5 - Hệ số tải trọng (Trạng thái giới hạn cực hạn) [3]

Tổ hợp tải trọng	Loại tải trọng					
	Tĩnh tải (TT)		Hoạt tải (HT)		Áp lực nước và trọng lượng	Gió
	Bất lợi	Có lợi	Bất lợi	Có lợi		
TT + HT (và áp lực nước & trọng lượng)	1,4	1,0	1,6	0	1,4	-
TT + Gió (và áp lực nước & trọng lượng)	1,4	1,0	-	-	1,4	1,4
TT + HT + Gió (và áp lực nước & trọng lượng)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2

γ_{tv}	Hệ số ảnh hưởng của chiều dày bê tông GRFC
γ_b	Hệ số sai khác trong ứng xử uốn giữa mẫu thí nghiệm và kích thước thực
γ_c	Hệ số liên quan đến kiểu phá hoại và hậu quả khi bị phá hoại

Các giá trị γ_{tv} và γ_b cho trong bảng sau:

Bảng 1.6 – Giá trị điển hình của γ_{tv} dùng cho trạng thái giới hạn cực hạn (với điều kiện quản lý chất lượng tốt) [3]

Phương pháp sản xuất	Tấm đơn		Panen sandwich	
	Thường (plain)	Đổ khuôn	Thường	Đổ khuôn
Phun thủ công (dày tối thiểu 10mm)	1,05	1,1	1,1	1,2
Phun máy (dày tối thiểu 6mm)	1,0	1,05	1,05	1,1

Bảng 1.7 – Giá trị điển hình của γ_b dùng cho trạng thái giới hạn cực hạn (với điều kiện quản lý chất lượng tốt) [3]

Chiều dày tổng thể (mm)							
Tấm đơn				Panen sandwich ^(*)			
6 - 10	12 - 16	20	40	60	100	200	300
1,0	1,05	1,08	1,15	1,20	1,25	1,37	1,50
(*) đối với panen sandwich tiết diện dạng hộp, lấy $\gamma_b = 1,5$.							

γ_c thường lấy bằng 1,0 nhưng trong nhiều trường hợp, γ_c có thể lấy từ 1,0 đến 1,5.

Cường độ thiết kế xác định bởi:

$$f_d = f_k / \gamma_m \quad (1-3)$$

trong đó:

f_k là cường độ tiêu chuẩn và γ_m hệ số an toàn từng phần.

Các giá trị γ_m được cho trong bảng 1.8.

1.5.4. Thiết kế theo trạng thái giới hạn làm việc

Kiểm tra trạng thái giới hạn làm việc bao gồm:

- Xác định tải trọng tiêu chuẩn F_k
- Xác định cường độ thiết kế giới hạn làm việc bằng cách chia cường độ tiêu

chuẩn của bê tông GFRC cho γ_m . Hệ số $\gamma_m = 1,8$ đối với trường hợp tải trọng dài hạn, hoặc $\gamma_m = 1,4$ đối với trường hợp tải trọng ngắn hạn

- Phân tích ứng xử của các cấu kiện bê tông GFRC, sử dụng các giá trị này
- Kiểm tra độ võng, sử dụng F_k , $\gamma_f = 1,0$ và mô đun đàn hồi E thích hợp. Độ võng tổng cộng bằng tổng của độ võng đàn hồi và độ võng do nhiệt và/hoặc do ẩm gây ra. Giới hạn độ võng dài hạn là $L/350$, và dưới tác dụng của tải trọng ngắn hạn, độ võng giới hạn bởi $L/625$.

Bảng 1.8 – Giá trị điển hình của γ_m dùng cho TTGH 1 [3]

Hỗn hợp	Điều kiện tiếp xúc (dài hạn)		Bê tông GFRC 28 đến 29 ngày (ngắn hạn)
	Ngoài trời	Trong nhà	
GFRC tiêu chuẩn với tỉ lệ (cát:xi măng) = (1:1)	3 đến 3,5	2,5 đến 3	1,7 đến 2,2

1.5.5. Cường độ của bê tông GFRC

1.5.5.1. Nguyên tắc thiết kế

Mặc dù bê tông GFRC là một hỗn hợp gia cố sợi, nhưng không cần thiết phải sử dụng các kỹ thuật phân tích hỗn hợp phức tạp như yêu cầu đối với nhựa gia cố sợi hiệu suất cao. GFRC có thể được coi là vật liệu đồng nhất đẳng hướng và các kỹ thuật được sử dụng để phân tích ứng suất của bê tông GFRC, biến dạng và độ võng giống như đối với các vật liệu đẳng hướng khác như kim loại, với điều kiện ứng suất nằm trong giới hạn đàn hồi của vật liệu.

Quá trình thiết kế bê tông GFRC có thể được chia thành ba phần cơ bản:

- Khả năng chịu lực. Thiết kế về cơ học là phần quan trọng nhất trong quá trình thiết kế, tuy nhiên các yếu tố khác cũng đáng để xem xét.
- Khả năng chống lại ảnh hưởng của môi trường. Trong thiết kế, thường bỏ qua khía cạnh thiết kế về mặt vật lý, tuy nhiên việc phân tích cách ẩm và cách nhiệt và khả năng chống cháy là rất cần thiết cho các cấu kiện xây dựng và đối với các cấu kiện bê tông GFRC, dịch chuyển do thay đổi nhiệt độ và độ ẩm có thể ảnh hưởng nhiều đến giải pháp cuối cùng hơn là tải trọng tác dụng.
- Lắp đặt. Các cấu kiện bê tông GFRC thường có yêu cầu tương tác với các kết cấu hoặc thành phần khác. Cần xem xét điều này ở giai đoạn thiết kế.

1.5.5.2. Thiết kế

Cường độ phù hợp với tải trọng quy định là yêu cầu đầu tiên trong khi thiết kế. Không được bỏ qua tải trọng có thể có trong quá trình tháo ván khuôn và vận chuyển.

Mục này bao gồm các khía cạnh thiết kế cơ học, để mang lại hiệu suất thỏa đáng liên quan đến các đặc tính cường độ ngắn hạn và dài hạn của bê tông GFRC.

Cũng như các vật liệu khác, thường được thiết kế ở các ứng suất dưới giới hạn đàn hồi. Các giới hạn đàn hồi của bê tông GFRC khi bị nén, uốn (LOP), kéo (BOP) và cắt không thay đổi nhiều trong hầu hết các môi trường, do đó, các giá trị ban đầu của các đặc tính của vật liệu có thể được sử dụng làm tham chiếu.

Ứng suất thiết kế cũng được lựa chọn dựa trên các giá trị cường độ dài hạn. Với một số loại bê tông GFRC khi cường độ cực đại giảm, các thử nghiệm lão hóa tăng tốc cho thấy cường độ giữ ở mức ổn định. Các ứng suất thiết kế nên dựa trên giá trị ổn định này và phải có hệ số an toàn phù hợp. Một số hỗn hợp bê tông GFRC cải tiến sử dụng metakaolin không bị giảm cường độ như các hỗn hợp bê tông GFRC phun truyền thống.

Xét về cường độ chịu uốn của bê tông GFRC phun thủ công có chất lượng tốt, giá trị điển hình cho ứng suất thiết kế cho phép là 6 MPa, đáp ứng cả hai yêu cầu này.

Các đặc tính của vật liệu trong thời gian đầu thường cao hơn (cường độ ngắn hạn lớn hơn cường độ dài hạn), cho phép sử dụng các ứng suất thiết kế cao hơn cho kết cấu như ván khuôn cố định, có thể chỉ cần cường độ cao trong thời gian đầu.

1.5.5.3. Phân loại cường độ bê tông GFRC

Vì bê tông GFRC được cấu thành không chỉ từ một vật liệu, mà từ một hỗn hợp các vật liệu liên quan chặt chẽ với nhau, ứng suất thiết kế được sử dụng sẽ phụ thuộc vào sự lựa chọn công thức bê tông và quy trình sản xuất. Hơn nữa, nó bị ảnh hưởng bởi môi trường xung quanh. Ngoài ra, mỗi vật liệu riêng lẻ sẽ có ứng suất thiết kế khác nhau vì các đặc tính vật liệu dẫn đến các cường độ khác nhau, phụ thuộc vào loại tải trọng và tiết diện chịu tải.

Ứng suất thiết kế được xác định cũng phụ thuộc vào chất lượng sản xuất.

Cường độ dài hạn của bê tông GFRC cần được xác định bằng thí nghiệm lão hóa tăng tốc. Cường độ bị ảnh hưởng bởi năm yếu tố cơ bản:

- Thiết kế hỗn hợp;
- Bảo dưỡng;
- Lớp phủ dài hạn;
- Môi trường;
- Kiểm soát chất lượng.

Trong trường hợp không có dữ liệu, kỹ sư nên sử dụng đường cong “cấp thấp” (low grade) (Hình 1.26). Tuy nhiên, kỹ sư nên xác định đường cong dữ liệu thiết kế phù hợp.

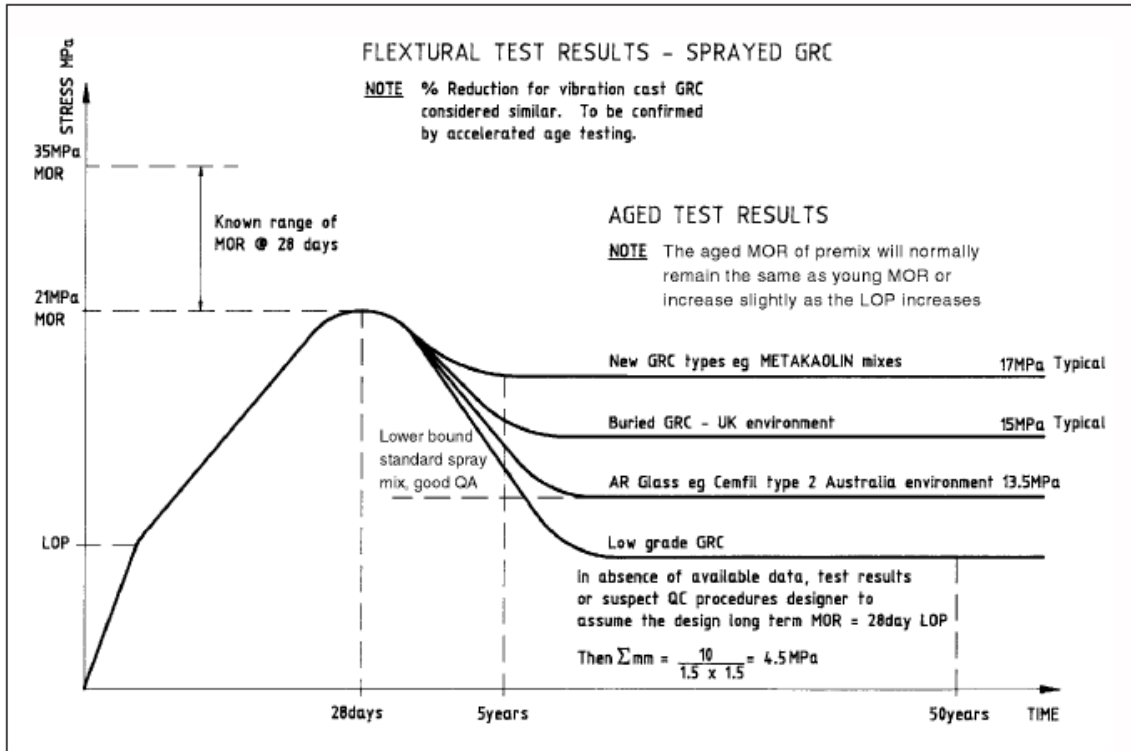
1.5.5.4. Hệ số vật liệu

Hệ số vật liệu nên lấy cho từng loại ứng suất là:

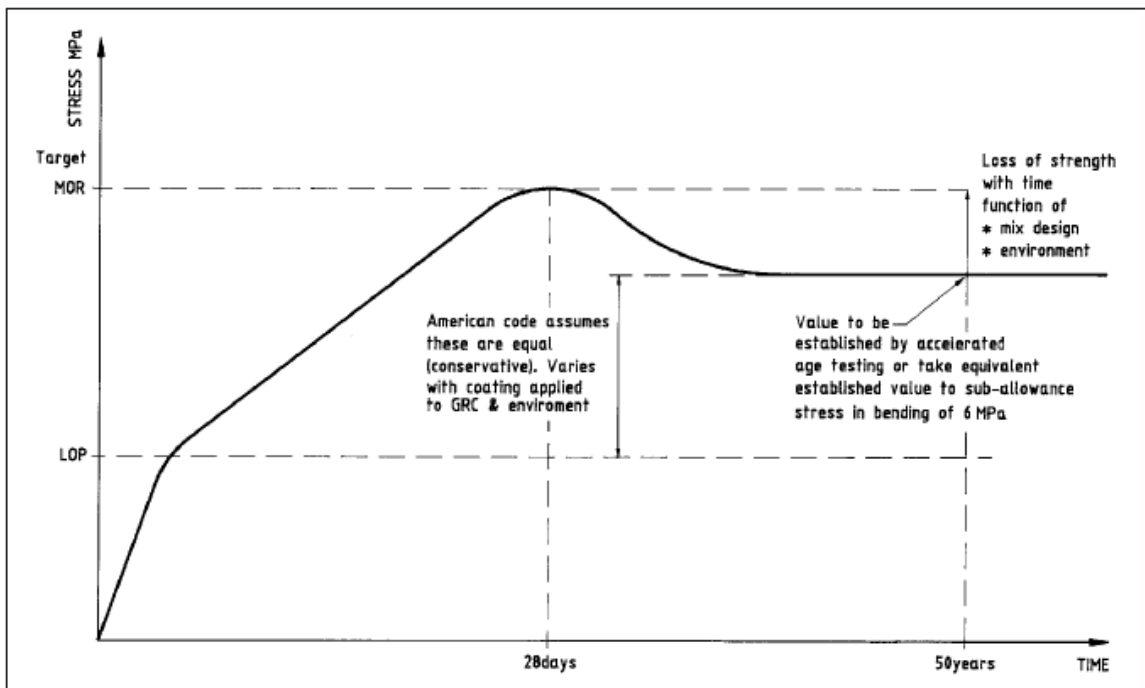
- Ứng suất uốn - 1,5
- Ứng suất nén – 1,0

- Ứng suất kéo – 3,0
- Cắt thành từng lớp - 8,0
- Cắt trong mặt phẳng - 8,0

tức là nếu bê tông GFRC có mô đun phá hoại MOR = 21 MPa, cường độ dài hạn quy ước (MOR chia cho 1,5) = 13,5 MPa (xem Hình 1.26 và Hình 1.27).



Hình 1.26 - Cường độ của bê tông GFRC theo thời gian [2]



Hình 1.27 - Sự giảm cường độ của bê tông GFRC theo thời gian [2]

Do đó,

Cường độ uốn = 9,0 MPa

Cường độ nén = 12,0 MPa

Cường độ kéo = 4,5 MPa

Cường độ cắt thành từng lớp = 1,5 MPa

Cường độ cắt trong mặt phẳng = 1,5 MPa

1.5.5.5. Điều kiện làm việc

Kiểm tra khả năng làm việc là một yêu cầu liên quan đến việc kiểm tra độ võng dưới tác dụng của tải trọng trong quá trình làm việc của kết cấu. Những vật liệu hoàn thiện bề mặt bê tông GFRC có thể có yêu cầu kiểm soát độ võng nghiêm ngặt hơn nhưng nhìn chung giới hạn võng bằng $L/350$ đã được chứng minh để đảm bảo kết cấu có thể làm việc bình thường.

1.5.5.6. Hệ số hình dạng (shape factor)

Cường độ uốn thuần túy thường gấp đôi cường độ kéo thuần túy. Kỹ sư phải xác định trường hợp ứng suất nào phù hợp với một phần cụ thể của điều kiện thiết kế này và cơ chế làm việc tương ứng.

1.5.6. Mô đun đàn hồi

Khi tính toán độ võng của các cấu kiện bê tông GFRC, có thể lấy mô đun đàn hồi E bằng 20 GPa cho bê tông GFRC sản xuất bằng phương pháp phun và 16 GPa cho bê tông GFRC trộn sẵn. Hệ số Poisson được lấy bằng 0,24.

1.5.7. Phương pháp đơn giản hóa cho tấm phẳng hai chiều

1.5.7.1. Tổng quát

Đối với các tấm hình chữ nhật đặt trên các gối đơn giản làm việc theo hai phương hoặc các tấm liên tục đặt trên bốn cạnh, mô men uốn thiết kế theo trạng thái giới hạn về cường độ có thể được xác định theo mục 1.5.7.2 với điều kiện:

- Các tấm có độ dày đồng đều trên toàn tấm;
- Tải trọng về cơ bản được phân bố đều.

1.5.7.2. Mô men uốn

Mô men uốn thiết kế lớn nhất trên mỗi đơn vị chiều rộng, M^* , được xác định như sau:

$$M^* = \alpha w L_x^2 \quad (1-4)$$

trong đó:

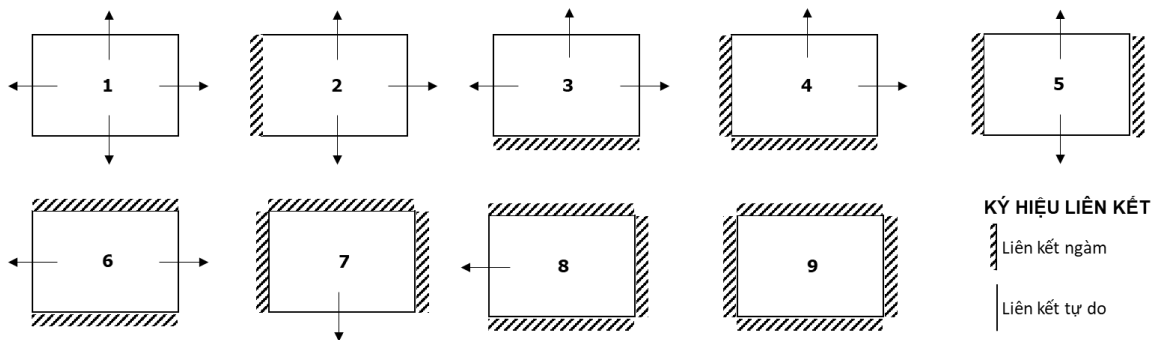
α được cho trong Bảng 1.9

w là tải trọng tính toán trên một đơn vị diện tích được tính cho trạng thái giới hạn cực hạn.

L_x là chiều dài cạnh ngắn của tấm

Bảng 1.9 - Hệ số moment uốn của panen hình chữ nhật, đỡ bốn cạnh [2]

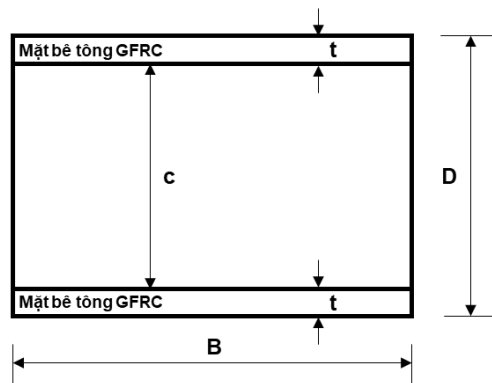
Số đồ tính toán	Hệ số α tương ứng với các giá trị của tỉ số cạnh dài/cạnh ngắn L_y/L_x							
	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,75	2,0
1	0,032	0,037	0,042	0,047	0,049	0,053	0,059	0,064
2	0,037	0,042	0,048	0,051	0,055	0,057	0,063	0,067
3	0,037	0,047	0,055	0,061	0,067	0,072	0,081	0,088
4	0,047	0,055	0,061	0,068	0,073	0,077	0,087	0,093
5	0,045	0,051	0,053	0,057	0,060	0,063	0,067	0,071
6	0,045	0,046	0,056	0,065	0,072	0,078	0,091	0,100
7	0,057	0,065	0,070	0,076	0,081	0,085	0,092	0,098
8	0,057	0,057	0,064	0,072	0,078	0,084	0,096	0,105
9	0,056	0,066	0,074	0,081	0,087	0,093	0,103	0,111



Hình 1.28 – Các sơ đồ tính toán tấm phẳng chịu lực hai phương [2]

1.5.8. Dầm sandwich (Sandwich beams)

Việc phân tích dầm sandwich tương đối phức tạp hơn so với các dầm thông thường, vì mô đun đàn hồi của vật liệu lõi tương đối thấp làm tăng thêm độ võng cho panen.



Hình 1.29 – Kích thước dầm sandwich [2]

Ứng suất :

$$\sigma = \frac{wL}{k_1 z} \quad (1-5)$$

Độ võng :

$$y = \frac{wL^3}{k_2 EI} + \frac{wLc}{k_1 BD^2 G} \quad (1-6)$$

trong đó :

$$z = Bct$$

$$I = \frac{BctD}{2}$$

G là Mô đun cắt của lõi (xem Bảng 1.11)

Giá trị k_1, k_2 lấy từ Bảng 1.10

Bảng 1.10 – Giá trị k_1 và k_2 sử dụng để tính ứng suất và độ võng của dầm sandwich [2]

Tải trọng	Điều kiện gối tựa	k_1	k_2
Tải trọng tập trung	Ngàm một đầu	1,0	3
Tải trọng phân bố đều	Ngàm một đầu	2,0	8
Tải trọng hình tam giác	Ngàm một đầu	3,0	15
Tải trọng tập trung	Hai gối đơn giản	4,0	48
Tải trọng phân bố đều	Hai gối đơn giản	8,0	77
Tải trọng hình tam giác	Hai gối đơn giản	7,8	77

Công thức xác định độ võng này không tính đến sự có mặt của các tấm bê tông GFRC trong kết cấu của panen. Do đó, giá trị độ võng tính toán theo công thức nêu trên sẽ thiên về an toàn. Một phương pháp tính toán khác giả định rằng dầm có chiều rộng B và chiều dài L, nhưng chỉ một phần của chiều rộng B là hữu hiệu. Tính một cách xấp xỉ, chiều rộng hữu hiệu B_e , được cho bởi:

$$\frac{B_e}{B} = 1 - \frac{0,6B}{L} \quad (1-7)$$

(giả sử $L \geq B$)

Từ đó, các dầm sandwich có thể được thiết kế như một tiết diện hộp có chiều rộng B_e và độ võng được tính toán tương ứng.

Đối với kết cấu dạng sandwich, nên kiểm tra lực cắt truyền qua vật liệu lõi. Lực cắt V, thường có thể được lấy bằng tải trọng (support load) lớn nhất (đơn vị Newton) và khi đó ứng suất cắt được tính bởi công thức:

$$\sigma_s = \frac{V}{Bc} \quad (1-8)$$

Giá trị này cần nhỏ hơn 40% cường độ cắt của lõi.

Bảng 1.11 - Mô đun cắt và cường độ cắt cho PBAC (Styropor) và xốp mật độ cao [2]

Vật liệu lõi	Mô đun cắt (MPa)	Cường độ cắt (MPa)
Bê tông hạt polystyrene (PBAC), 400 kg/m ³	230	0,34
Polystyrene mật độ cao, 25 kg/m ³	11	0,26
Bọt polyurethane, 40kg/m ³	2,3	0,32

Bảng 1.11 đưa ra mô đun cắt và cường độ cắt cho PBAC (Styropor) và xốp mật độ cao.

Việc lựa chọn xốp nhựa để làm vật liệu lõi phụ thuộc vào điều kiện vận hành và độ ổn định nhiệt độ của xốp. Xốp polystyrene hoạt động tốt với nhiệt độ bề mặt panen sandwich lên tới khoảng 80°C, và xốp polyurethane có khả năng chống chịu nhiệt độ cao hơn.

Việc thiết kế kết cấu dạng sandwich giả định rằng cường độ cắt của liên kết (keo) giữa các lớp của panen sandwich cũng lớn hơn ứng suất cắt. Nếu không, kết cấu sẽ không làm việc như dạng sandwich và có thể bị quá ứng suất (overstressed).

Kinh nghiệm đã chỉ ra rằng nên giới hạn diện tích tối đa của các tấm panen sandwich là 6,5 m² (khoảng 3,6 m x 1,8 m). Mặc dù không có minh chứng nào liên quan việc phân tích về mặt cơ học cho giá trị giới hạn này, nhưng rõ ràng khi sử dụng các tấm panen sandwich có diện tích lớn hơn 6,5 m², sẽ gặp phải nhiều vấn đề hơn trong quá trình sản xuất, gia công, lắp đặt và sử dụng, trừ khi quy trình sản xuất và lắp đặt được phát triển một cách cụ thể để khắc phục những vấn đề này.

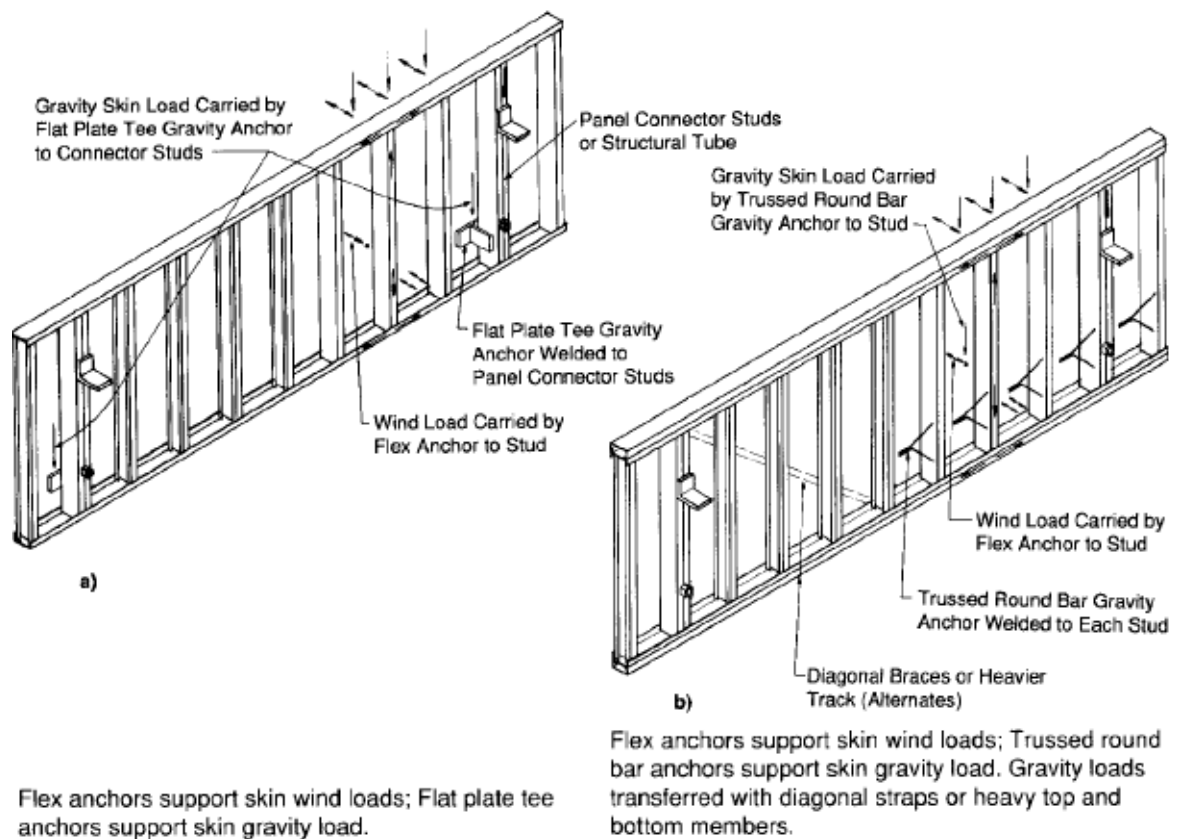
1.5.9. Hệ khung (Stud frame system)

Panen khung là loại panen được sử dụng phổ biến nhất hiện nay.

Hệ khung bao gồm bốn phần riêng biệt: tấm panen bê tông GFRC, neo liên kết panen bê tông vào khung, khung và các liên kết giữa khung vào kết cấu chính của tòa nhà. Các neo được thiết kế sao cho linh hoạt trong mặt phẳng của panen (trừ khi chịu tải trọng lực) để hạn chế tối thiểu sự thay đổi thể tích của panen bê tông. Neo cần phải truyền tải trọng gió vào khung. Khung phải tích lũy (tập hợp) tất cả các tải trọng và truyền chúng vào kết cấu thông qua các liên kết. Đối với hệ này, tấm bê tông GFRC không bao giờ được gắn trực tiếp vào kết cấu chính của tòa nhà.

Tải trọng gió được chuyển từ tấm bê tông đến thanh đứng (hoặc các thành phần khác của khung) bởi các neo flex; bởi các thanh đứng đến các thành ngang trên và

dưới. Hình 1.31 chỉ dành cho các tấm nhỏ, trong đó các neo flex đủ cứng để chịu được tải trọng lực nhưng lại không quá cứng đến mức ngăn cản sự dịch chuyển do thay đổi thể tích trong mặt phẳng của tấm. Ở Hình 1.30 và Hình 1.31, trọng lực phân bố đều dọc theo chiều dài của khung. Điều này đòi hỏi khung phải có đủ độ cứng trong mặt phẳng để tiếp nhận và truyền tải trọng đến các liên kết. Trong Hình 1.31, các neo trọng lực truyền trọng lượng của tấm bê tông vào khung tại hai điểm riêng biệt. Ngoài ra, tải trọng có thể được đỡ bởi hệ thống đa neo miễn là đường truyền tải được xác định rõ ràng. Không giả định là neo chịu tất cả các tải trọng. Nếu các điểm này nằm ở các thanh đứng liên kết, phần còn lại của khung ít tham gia vào sự truyền tải trọng lực.



Hình 1.30 – Hệ khung panen và neo trọng lực [2]

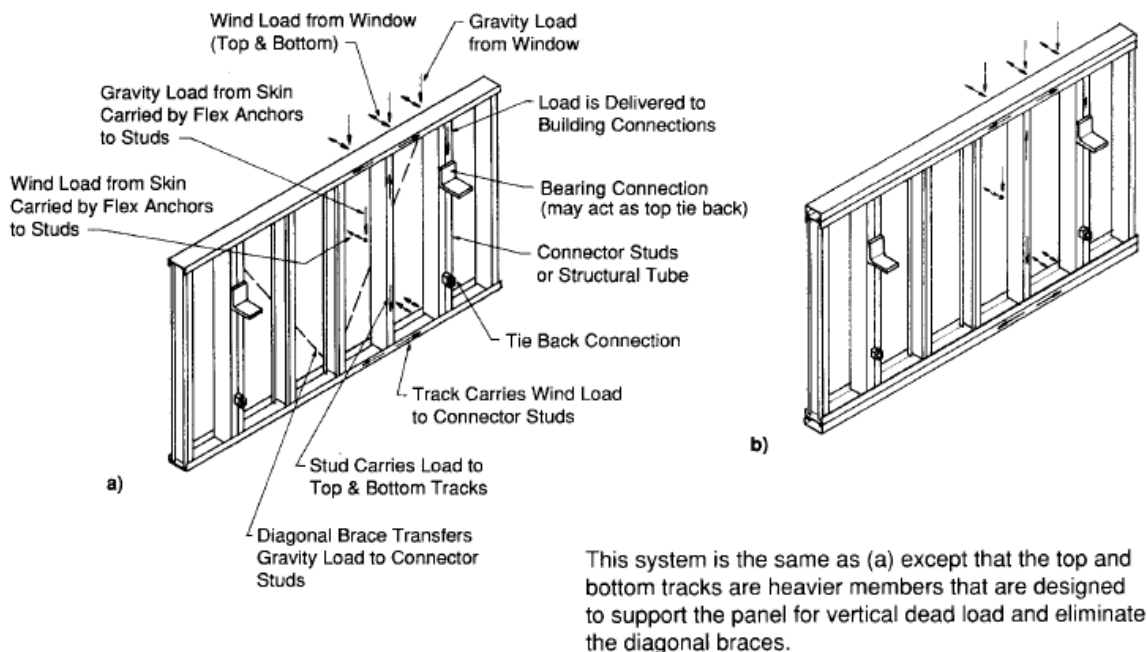
1.5.10. Thiết kế tấm bê tông GFRC

Cần phải đánh giá sự chênh lệch ứng suất của bê tông và ứng suất của vật liệu trám bề mặt nếu hai vật liệu này có đặc tính thay đổi thể tích khác nhau. Ứng suất chênh lệch có thể rất lớn.

Thông thường, bề mặt không được gia cố bằng sợi thủy tinh nên nó không góp phần tạo nên cường độ của của tấm bê tông.

Việc thiết kế tấm GFRC dưới tác dụng tải trọng gió khá đơn giản. Các panen đặt giữa các neo, có thể được mô hình hóa như một dầm đơn giản hoặc liên tục đặt trên một hàng neo flex, hoặc như một hệ sàn hai chiều, với các miếng đệm liên kết

làm việc tương tự như mũ cột.

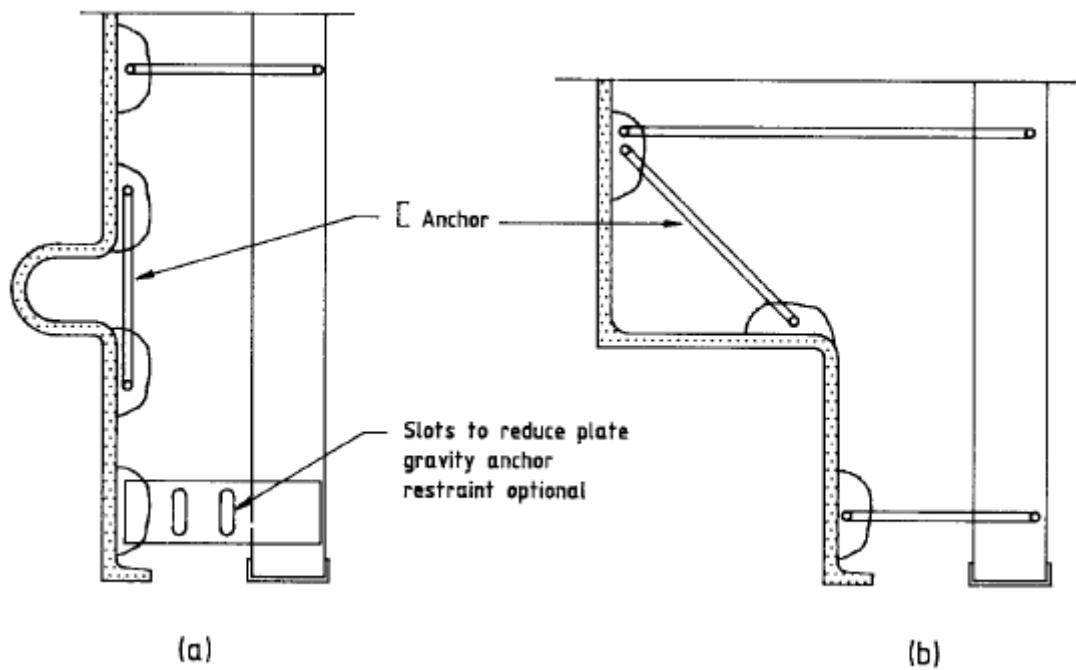


Hình 1.31 – Phương pháp lắp đặt khung cứng cho panen không có neo (chỉ với panen nhỏ) [2]

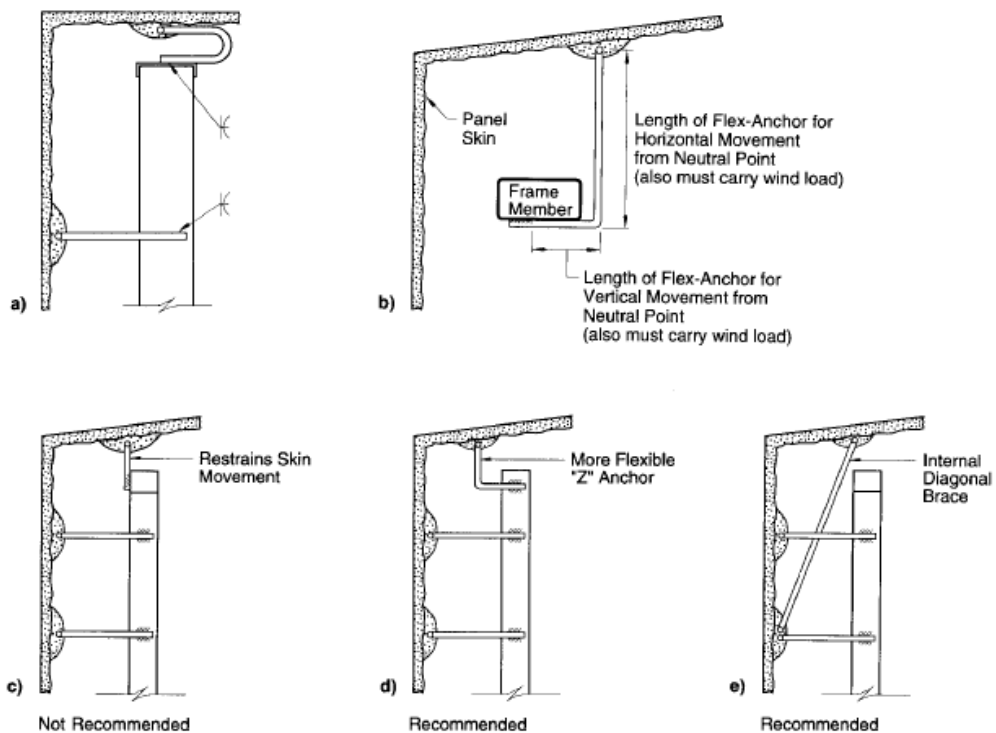
Cần xem xét đến khoảng cách không đều giữa các neo và đặc điểm của các cạnh (edge conditions), vì chúng sẽ ảnh hưởng đến khả năng chịu tải của tấm bê tông. Cũng cần xét đến sự khác nhau về độ cứng của các thành phần cấu tạo nên khung, vì nó có thể dẫn đến sự phân bố tải trọng (carrying load) không tỉ lệ với diện tích chịu tải (tributary area) của chúng, điều này có thể có ảnh hưởng đến thiết kế tấm. Tải trọng gió lớn nhất thường là gió hút. Ở các góc, các dòng gió xoáy có thể tạo ra áp lực âm lên một mặt trong khi mặt kia có áp lực dương.

Các panen có cạnh bẻ góc lớn (deep returns) sườn hoặc các panen sandwich nên được nghiên cứu về ảnh hưởng của nắng hoặc mưa trên một bề mặt. Tuy nhiên, kinh nghiệm cho thấy khi mô phỏng sự thay đổi thể tích do nhiệt hoặc độ ẩm bởi mô hình toán học thường có thể dẫn đến các ứng suất tính toán lớn hơn đáng kể so với ứng suất giới hạn của GFRC và các thiết kế theo kinh nghiệm thường được sử dụng. Trong một số trường hợp, việc giảm thiểu ứng suất tiềm tàng có thể dẫn đến tách rời cạnh bẻ góc (return) với các mối kiểm tra (control joint - mối nối được sử dụng để kiểm soát sự dịch chuyển giữa các vật liệu gắn vào đó).

Hình dạng panen được thiết kế sao cho trọng lượng bản thân ở trên hoặc dưới các neo trọng lực có thể tạo ra ứng suất uốn lớn. Thậm chí với ứng suất thấp, từ biến có thể kịp thời làm biến dạng panen. Hình 1.35 minh họa một số ví dụ trong đó điều này được điều khiển bằng các thanh hình 'C' tương tự như neo flex. Hình 1.36 chỉ ra phương pháp giảm hạn chế trong khi cạnh bẻ góc vẫn có khả năng chịu tải.



Hình 1.32 – Lắp ráp neo để giảm ứng suất bề mặt do tĩnh tải [2]



Hình 1.33 – Lắp ráp neo để giảm ứng suất bề mặt do rung động [2]

Khi phân tích tấm, cần phải xem xét tất cả các nguồn gây ra ứng suất. Các ứng suất xuất hiện trong tấm là ứng suất uốn và ứng suất dọc trục (kéo/nén). Do cường độ kéo nhỏ hơn cường độ uốn và do các tải khác nhau có hệ số tải trọng khác nhau, nên không thể cộng trực tiếp ứng suất.

1.5.11. Thiết kế khung (Stud frame design)

Khung thường được tạo thành từ các thanh thép tạo hình nguội và/hoặc ống thép kết cấu. Khung được chế tạo sẵn, thường gồm cả các neo để liên kết với tấm bê tông. Khung được lắp vào bê tông mới phun, với sự hỗ trợ của đồ gá (jigs) để định vị một cách chính xác. Khung cần được thiết kế để chịu tải trọng trong quá trình tháo ván khuôn, trong quá trình vận chuyển (handling) và trong quá trình làm việc/vận hành. Các mối hàn phải tuân thủ các tiêu chuẩn liên quan.

Tùy thuộc vào độ dày của các thanh trong khung, kích thước, các điều kiện về gối đỡ..., có thể cần đến các thanh giằng để tránh hiện tượng uốn dọc (buckling).

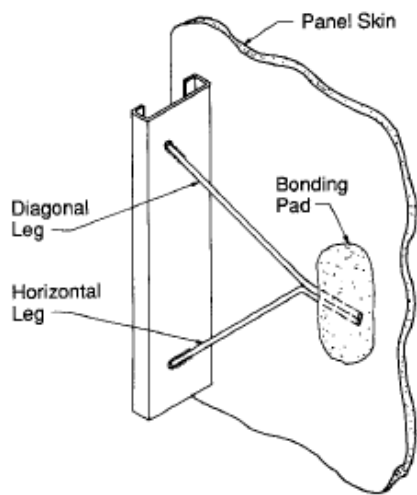
Với yêu cầu không được ngăn cản dịch chuyển của các neo gắn với tấm bê tông, tấm bê tông không góp phần làm tăng khả năng chịu lực của khung như trong một số ứng dụng kết hợp khung và nề. Do tấm bê tông và khung liên kết với nhau, khi tấm bê tông co ngót mà khung không co ngót, panen có thể có xu hướng bị uốn cong. Khung phải có đủ độ cứng theo phương vuông góc với mặt phẳng của nó để chống lại sự uốn này, cũng như bất kỳ sự uốn nào do sự khác biệt về đặc tính thay đổi thể tích của bê tông GFRC và vật liệu trám bề mặt. Khung được khuyến nghị cố định vào kết cấu chịu lực của tòa nhà bởi bốn gối (fixings); hai gối để chịu tải trọng thẳng đứng (một trượt, một cố định) và hai gối để ngăn cản dịch chuyển bên.

Tải trọng từ tấm bê tông được truyền qua neo trọng lực và neo flex đến các thanh đứng của khung. Từ các thanh đứng, tải trọng được truyền qua các thanh ngang và thanh liên kết đến các liên kết của kết cấu và sau đó đến kết cấu. Nếu các neo trọng lực của tấm bê tông có ở tất cả các thanh đứng hoặc ở các thanh đứng xen kẽ nhau thì có thể cần phải giằng chéo hoặc làm cứng rãnh ngang như minh họa trong Hình 1.35 (c) và Hình 1.30 để khung có đủ độ cứng trong mặt phẳng.

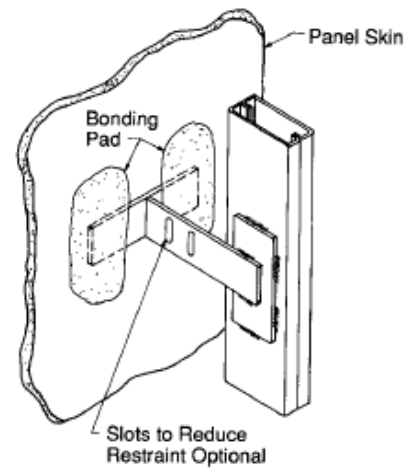
Các thanh liên kết với kết cấu cần phải có khả năng chịu lực lớn hơn vì chúng sẽ chịu tất cả các tải trọng dồn về các thanh ngang. Các thanh kép, thanh dạng hộp, các ống được sử dụng để làm tăng khả năng chịu lực của các thanh liên kết này (Hình 1.35).

Các thanh liên kết làm bằng thép lá (/tôn, light-gauge) được gia cố bằng cách hàn chúng với các tấm nặng hơn hoặc với các thép góc để có được sự phân bố tải trọng hợp lý hơn, như trong Hình 1.35. Có thể sử dụng thép hình cán nóng (thép góc, thép chữ T, ống...) thay cho các thanh thép như trong Hình 1.35. Không hàn thép có độ dày nhỏ hơn 2mm (nhỏ hơn 12 gauge) ngoài công trường.

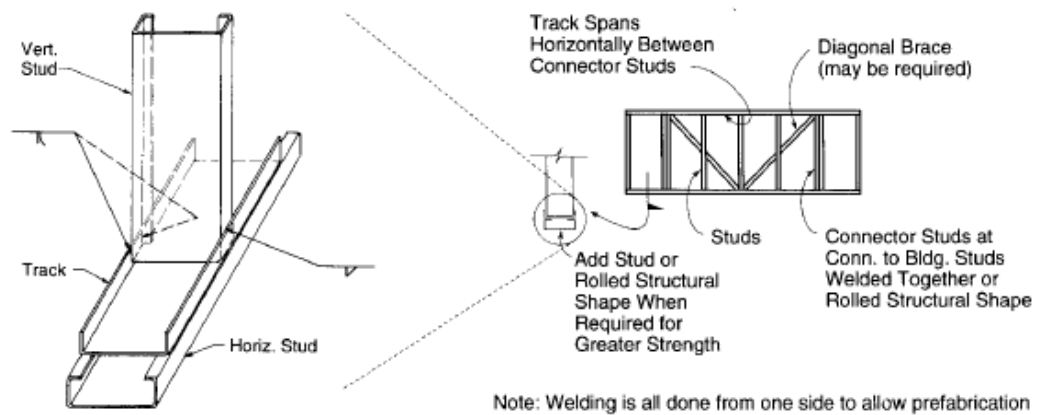
Liên kết các panen như trong Hình 1.36 thường có lợi. Các liên kết này được thêm vào mà không làm thay đổi sự làm việc của hệ liên kết các panen.



(a) TRUSSED ROD GRAVITY ANCHOR

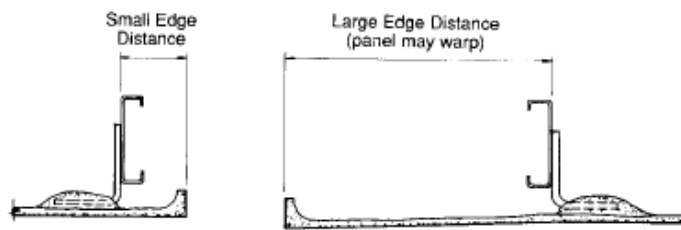


(b) PLATE GRAVITY ANCHOR



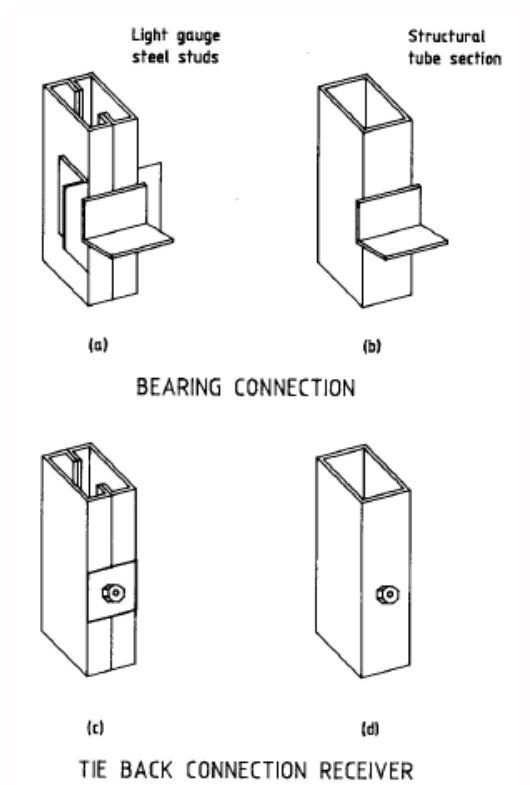
Note: Welding is all done from one side to allow prefabrication

(c) OPTIONAL METHODS OF VERTICALLY STIFFENING PANEL FRAMES

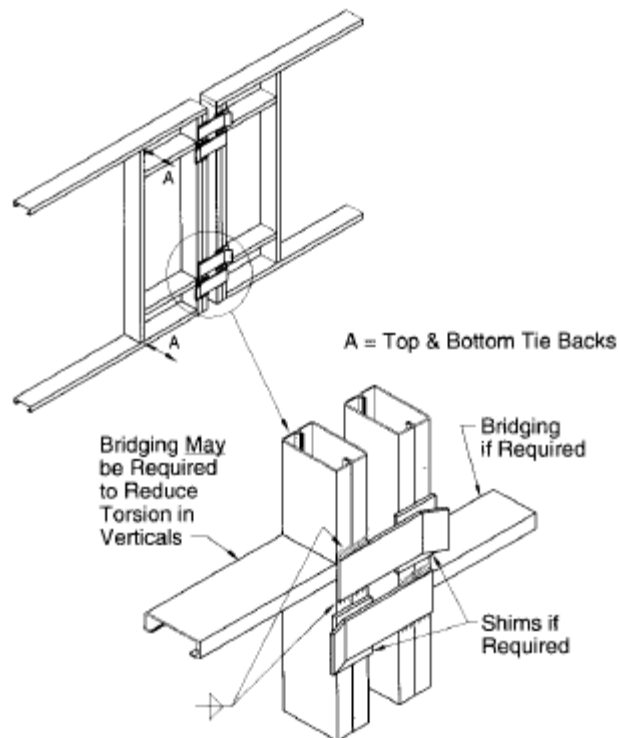


(d) UNEQUAL SKIN / FRAME EDGE DISTANCE

Hình 1.34 – Neo và chi tiết làm tăng cứng [2]



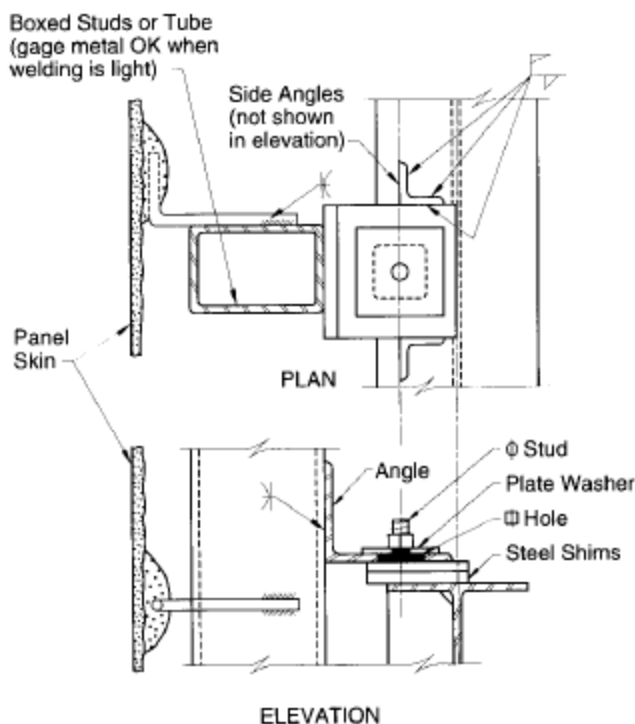
Hình 1.35 – Mối nối chịu lực và mối nối với kết cấu chính [2]



Hình 1.36 – Mối nối giữa các khung [2]

Chuyển vị theo phương vuông góc với mặt phẳng của panen cần được giới hạn để tránh làm hỏng lớp hoàn thiện bên trong hoặc các cửa sổ được gắn vào khung panen. Chuyển vị giới hạn này được đề xuất bằng $L/240$.

Khung panen phải có đủ độ cứng trong mặt phẳng để các lực trong giằng neo gây ra do dịch chuyển tương đối giữa các tầng không được truyền đến các neo.



Hình 1.37 – Liên kết chịu lực [2]

1.5.12. Độ võng

Các tấm panen phải có đủ độ cứng để hạn chế võng hoặc bất kỳ biến dạng nào có thể gây ra nứt hoặc gây ảnh hưởng đến việc gia công và khả năng làm việc.

Độ võng dưới tải trọng làm việc thường bị giới hạn bằng 1/240 nhịp, tuy nhiên giới hạn này có thể nhỏ hơn trong một số trường hợp.

1.5.13. Ứng suất do co ngót và nhiệt

Cần lưu ý rằng nếu co ngót và những dịch chuyển do nhiệt bị cản trở có thể gây ra ứng suất rất cao trong bê tông GFRC. Bê tông GFRC có tỉ lệ co ngót tương đối cao, một hỗn hợp bê tông GFRC “tiêu chuẩn” khi sấy khô hoàn toàn co ngót khoảng 0,15%. Khi tính ứng suất do co ngót gây ra nên xét đến điều kiện môi trường mà bê tông GFRC tiếp xúc. Điều kiện khô thường sẽ gây ra ứng suất do co ngót cao hơn so với điều kiện ẩm ướt. Việc sử dụng lớp phủ bề mặt có thể làm giảm các tác động bất lợi khi bê tông bị làm ướt và làm khô.

Các yếu tố ảnh hưởng đến ứng suất gây ra bởi sự thay đổi nhiệt là hệ số giãn nở, mô đun đàn hồi, biến dạng do chênh lệch nhiệt độ và hiện tượng từ biến/chùng ứng suất.

Để tính toán ứng suất do co ngót và nhiệt một cách đơn giản nhưng vẫn thiên về an toàn, Bảng 1.12 và Bảng 1.13 và đưa ra các giá trị gần đúng của ứng suất do co ngót (σ_{ss}) và ứng suất do nhiệt (σ_{ts}) có thể được sử dụng để thiết kế ở trạng thái giới hạn cực hạn và trạng thái giới hạn làm việc với việc sử dụng các hệ số an toàn từng

phần thích hợp.

Bảng 1.12 - Các giá trị ứng suất do co ngót σ_{ss} tham khảo (N/mm²) [3]

Ngăn cản dịch chuyển	Ngắt hạn	Ngắt hạn + dài hạn (full-term)
Nội (internal)	1,3 đến 1,8	0,7 đến 0,9
Ngoại (external)	1,0 đến 1,5	0,5 đến 0,8

Bảng 1.13 - Các giá trị ứng suất do nhiệt σ_{ts} tham khảo (N/mm²) [3]

Mùa	Bề mặt	Độ chênh nhiệt độ (°C)	σ_{ts}
Đông	Ấm	5	0,4 đến 0,8
		10	0,9 đến 1,7
		15	1,4 đến 2,5
Hè	Khô	5	0,2 đến 0,5
		10	0,4 đến 0,9
		15	0,6 đến 1,3
		20	0,8 đến 1,8

1.5.14. Giãn nở do nhiệt

Sự thay đổi kích thước do nhiệt trong bê tông GFRC có thể được xác định công thức:

$$\Delta L = \alpha \Delta T L \quad (1-9)$$

trong đó:

α là hệ số giãn nở nhiệt

ΔT là độ thay đổi nhiệt độ

L là chiều dài cấu kiện

ΔL là độ thay đổi kích thước

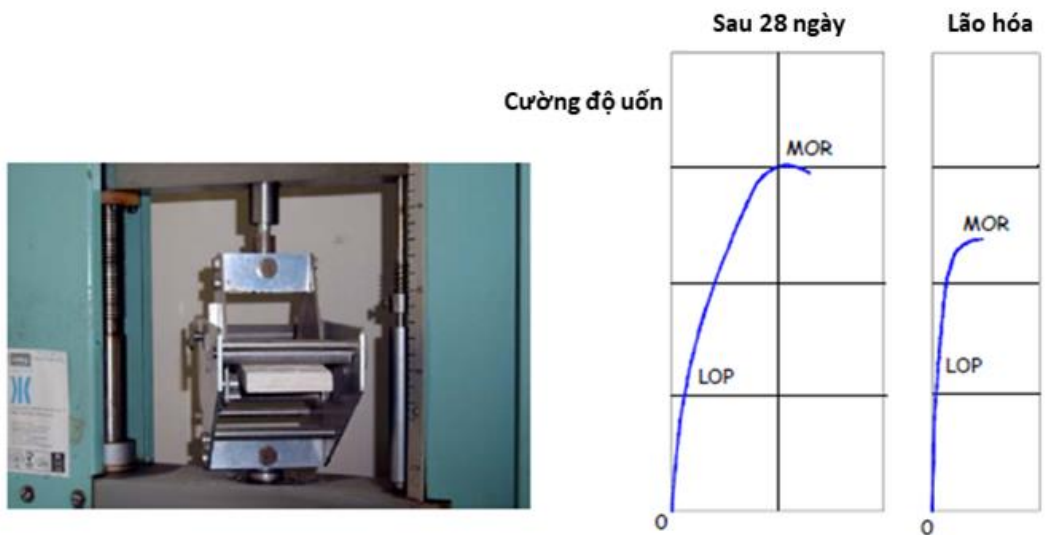
Do đó, đối với cấu kiện bê tông GFRC dài 2 m khi nhiệt độ tăng 30°C:

$$\Delta L = 20 \times 10^{-6} \times 30 \times 2000 = 1,2 \text{ mm}$$

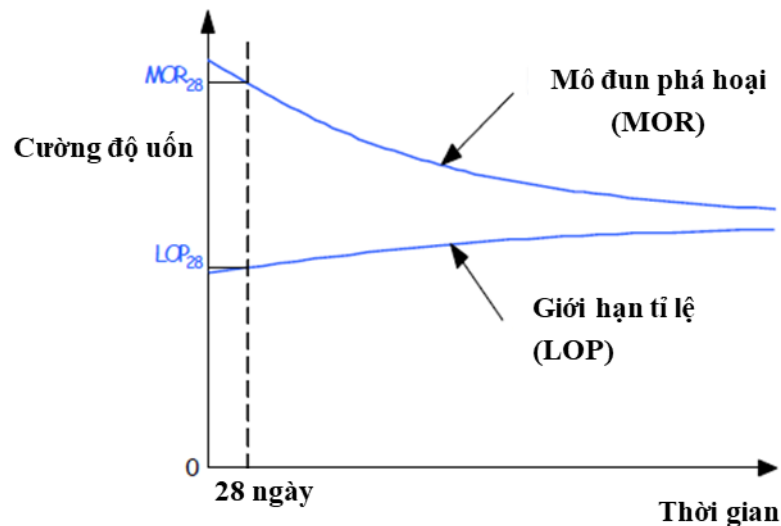
(giả sử hệ số giãn nở nhiệt của $20 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$)

Theo khảo sát ở Anh, đối với các bề mặt sáng màu, nhiệt độ bề mặt dao động từ 10-60°C, và lên đến 80°C đối với các bề mặt tối màu trong khoảng thời gian một năm. Sự giãn nở hoặc co lại đáng kể do sự thay đổi nhiệt độ hoàn toàn có thể xảy ra.

1.5.15. Uốn và cắt



Hình 1.38 - Thí nghiệm xác định cường độ uốn của bê tông GFRC [3]



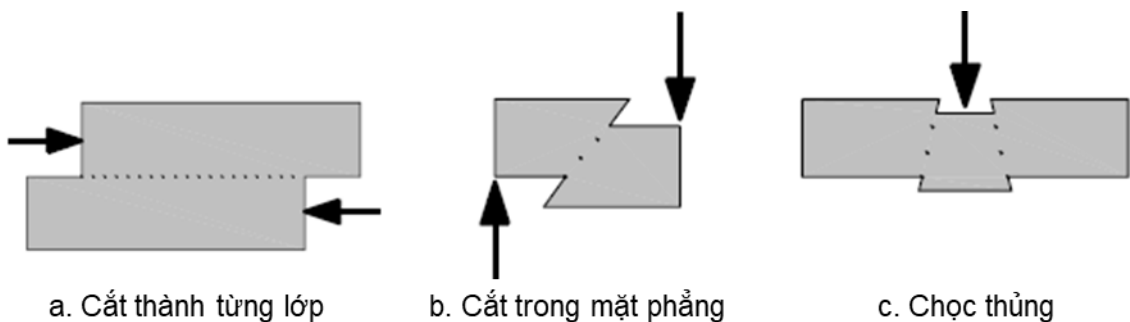
Hình 1.39 - Sự thay đổi cường độ của bê tông GFRC theo thời gian [3]

Các thí nghiệm uốn trên các mẫu bê tông GFRC được thực hiện bằng cách sử dụng thử nghiệm uốn bốn điểm. Các đường cong điển hình biểu diễn sự thay đổi của ứng suất vào biến dạng được thể hiện trong Hình 1.38. Giới hạn tỷ lệ (LOP) được xác định tại điểm kết thúc của biến đổi tuyến tính giữa ứng suất và biến dạng. Sau đó, biến dạng tăng nhanh hơn ứng suất dẫn đến phá hủy tại mô đun phá hoại (MOR-Modulus of rupture). Cả giới hạn tỷ lệ LOP và mô đun phá hoại MOR đều bị ảnh hưởng chủ yếu bởi hàm lượng sợi thủy tinh, chiều dài/hướng sợi, hàm lượng polymer và mật độ hỗn hợp. Khi bê tông GFRC lão hóa, giá trị LOP có thể tăng nhẹ trong khi MOR giảm. Trong một khoảng thời gian dài, hai giá trị hội tụ gần đến cùng một giá trị như được chỉ ra trong Hình 1.39.

Điều kiện về uốn thường là điều kiện quan trọng và chiếm ưu thế nhất được xem xét trong thiết kế các cấu kiện bê tông GFRC. Khi thiết kế các cấu kiện GFRC chịu uốn và cắt thuần túy, cường độ đặc trưng ở trạng thái giới hạn cực hạn được lấy bằng

giá trị MOR tại 28 ngày (MOR_{28}). Cường độ đặc trưng ở trạng thái giới hạn làm việc được lấy bằng giá trị LOP tại 28 ngày (LOP_{28}). Các ví dụ sau minh họa việc sử dụng các cường độ đặc trưng này khi thiết kế.

Hiểm khi lực cắt đóng vai trò quyết định đến thiết kế của các cấu kiện GFRC. Ba loại cắt cơ bản được minh họa trong Hình 1.40. Ứng suất kéo chính nên được giới hạn ở mức $0,4$ x cường độ uốn cực đại của bê tông GFRC. Cắt thành từng lớp thường là trường hợp nguy hiểm nhất trong tất cả các dạng cắt. Đối với bê tông GFRC chất lượng tốt, lấy cường độ kéo đặc trưng bằng $3,5 \text{ N/mm}^2$ dùng cho thiết kế. Giá trị của $\gamma_m = 1,7$ thường được sử dụng, do đó cường độ cắt xen kẽ cực đại $= 3,5/1,7 = 2 \text{ N/mm}^2$. Giá trị điển hình của f_k và γ_m được sử dụng để thiết kế chịu cắt trong mặt phẳng của các cấu kiện GFRC “tiêu chuẩn” là $f_k = 9 \text{ N/mm}^2$ và $\gamma_m = 2$, do đó cường độ cắt thiết kế trong mặt phẳng cực đại $= 9/2 = 4,5 \text{ N/mm}^2$.



Hình 1.40 – Các loại cắt cơ bản [3]

Giá trị cường độ chống chọc thủng cực đại nằm trong khoảng từ 20 N/mm^2 đến 45 N/mm^2 đối với vật liệu không khử nước. Do ảnh hưởng đáng kể của các phương pháp thử nghiệm, giá trị cường độ chống chọc thủng được đề xuất lấy bằng giá trị được sử dụng cho trường hợp cắt trong mặt phẳng.

Việc kiểm tra thiết kế các cấu kiện chịu uốn và cắt ở trạng thái giới hạn cực hạn và trạng thái giới hạn làm việc được thể hiện lần lượt dưới dạng sơ đồ như trong Hình 1.41 và Hình 1.42.

Quy trình thiết kế theo trạng thái giới hạn cho các cấu kiện chịu uốn & cắt có thể được tóm tắt ngắn gọn như sau:

Trạng thái giới hạn cực hạn (ULS)

Ứng suất uốn cực đại $= \sigma_{ub}$, ứng suất do co ngót $= \sigma_{ss}$ và ứng suất do nhiệt $= \sigma_{ts}$

do đó, $MOR_{28} \geq \gamma_m (\sigma_{ub} + \sigma_{ss} + \sigma_{ts})$

Ứng suất cắt xen kẽ cực đại $= v_u$, do vậy $\gamma_m \times v_u \leq 0,4 \times LOP_{28}$

Trạng thái giới hạn làm việc (SLS)

Ứng suất uốn $= \sigma_{sb}$, do đó $LOP_{28} \geq \gamma_g (\sigma_{sb} + \sigma_{ss} + \sigma_{ts})$

$\gamma_g = 1,8$ đối với tải trọng dài hạn

$\gamma_g = 1,4$ đối với tải trọng ngắn hạn

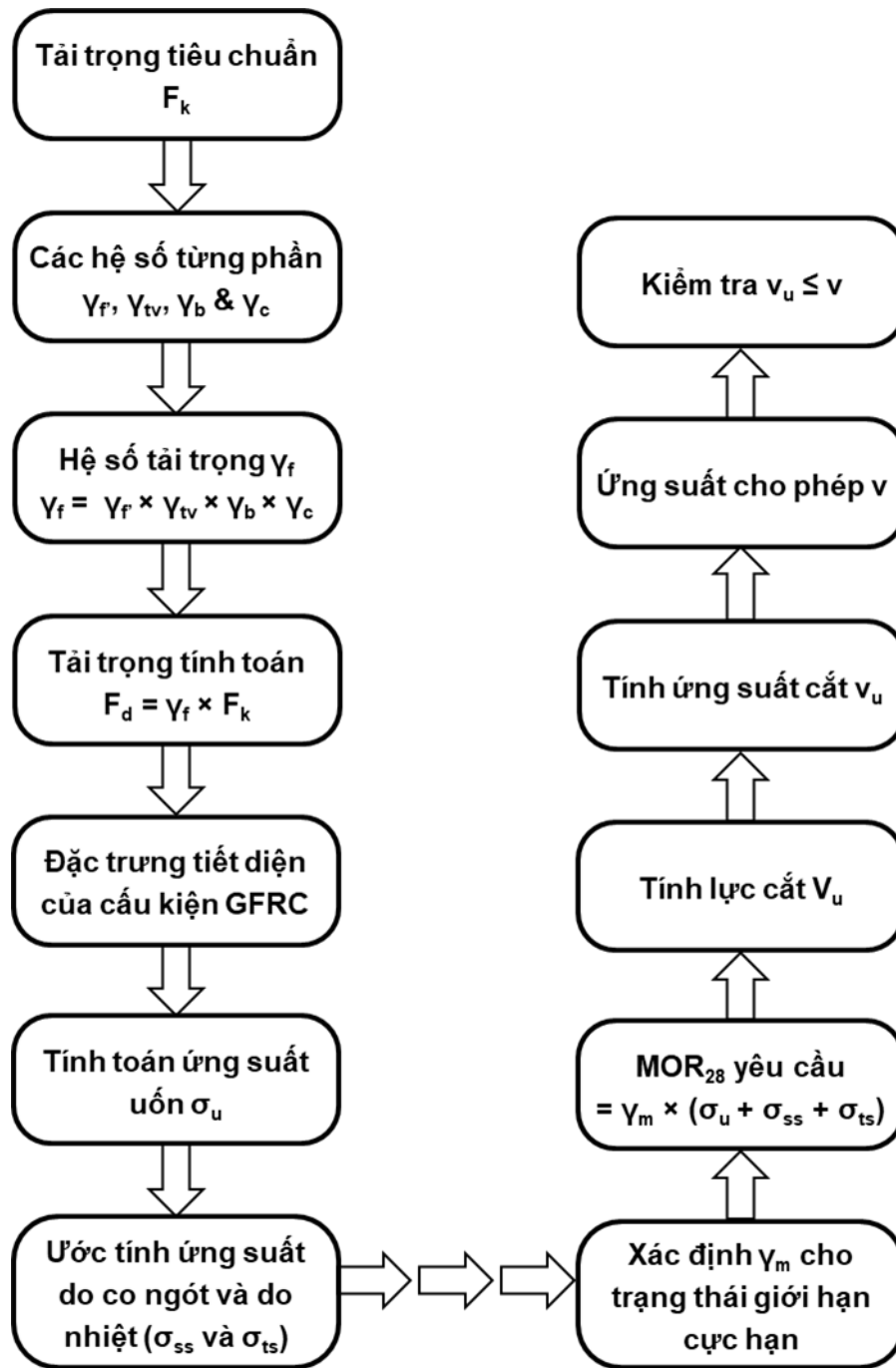
1.5.16. Kéo trực tiếp

Một cách logic, trạng thái giới hạn kéo cực hạn liên quan trực tiếp đến ứng suất kéo cực đại đặc trưng (UTS) ở 28 ngày. Kiểm tra trạng giới hạn thái làm việc liên quan tương ứng với ứng suất uốn (BOP) tại 28 ngày.

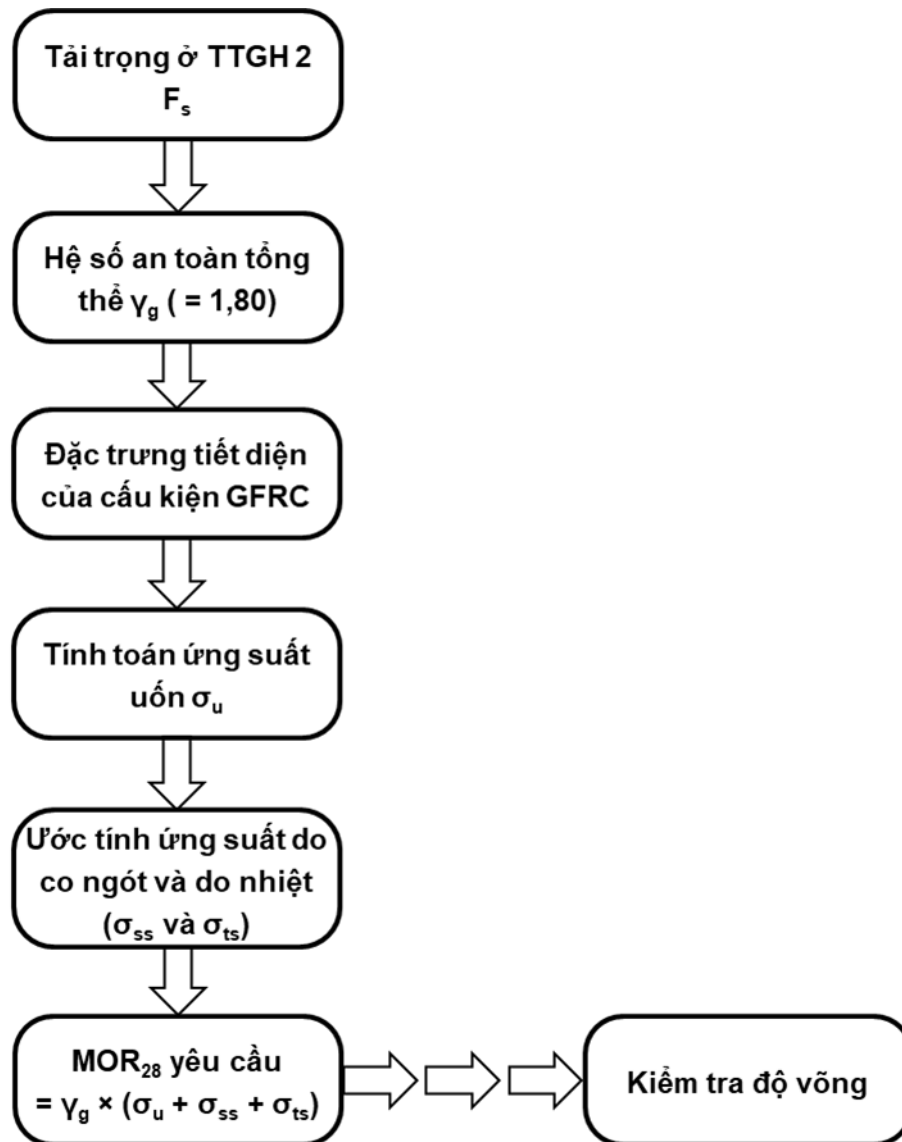
Do đó, cường độ kéo thiết kế theo trạng thái giới hạn cực hạn = UTS_{28}/γ_m và cường độ kéo thiết kế theo trạng thái giới hạn làm việc = $BOP_{28}/1,8$

UTS_{28} thường được giới hạn tại 40% của MOR_{28} trong khi BOP_{28} có thể được lấy bằng $LOP_{28}/1,5$.

Các quy trình thiết kế để kiểm tra sự tuân thủ trạng thái giới hạn cực hạn và trạng thái giới hạn làm việc tuân theo logic tương tự được nêu trong Hình 1.41 và Hình 1.42 .



Hình 1.41 – Trạng thái giới hạn cực hạn (uốn và cắt) [3]



Hình 1.42 – Trạng thái giới hạn làm việc (uốn và cắt) [3]

1.5.17. Tải trọng gió

Bảng 1.14 xác định các đặc tính về nhịp ứng với các chiều dày khác nhau của tấm panen cũng như ứng với tải trọng gió tác dụng lên panen. Ví dụ, 1 tấm panen phẳng dày từ 10 đến 12 mm dưới áp lực gió tính toán là 1,0 kN/m² có thể có nhịp dài đến 1m, tuy nhiên một tấm có cùng độ dày có thể được định hình hoặc tạo sườn để cho phép mỗi nhịp lên đến 4,0 m dưới cùng một áp lực gió. Đối với các nhịp lớn hơn hoặc áp lực gió lớn hơn, có thể cần thiết kế bằng cách sử dụng panen sandwich, panen sườn hoặc phổ biến hơn hiện nay, là sử dụng khung.

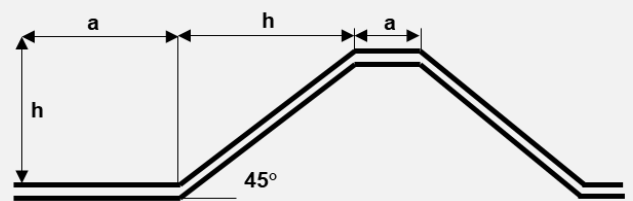
Bảng 1.14 - Lựa chọn kích thước panen

Tấm panen đơn phẳng			
Nhịp panen (m)	Chiều dày nhỏ nhất khuyến nghị cho panen (mm)		
	Áp lực gió 0,5 kN/m ²	Áp lực gió 1,0 kN/m ²	Áp lực gió 1,5 kN/m ²
0,5	4	6	7
1,0	8	11	14
1,5	12	17	*
2,0	16	*	*

**Sử dụng tấm panen định hình, panen sườn hoặc panen sandwich*

Tấm panen định hình (dày 10 mm)

Với tấm panen định hình, Bảng sau dùng để lựa chọn loại thiết kế của panen, dựa trên nhịp và áp lực gió.



Nhịp panen (m)	Áp lực gió 0,5 kN/m ²	Áp lực gió 1,0 kN/m ²	Áp lực gió 1,5 kN/m ²
	h (mm) × a (mm)	h (mm) × a (mm)	h (mm) × a (mm)
1,0	50 × 100	50 × 100	50 × 100
1,5	50 × 100	50 × 100	50 × 100
2,0	50 × 100	100 × 150	100 × 150
2,5	100 × 150	100 × 150	100 × 200
3,0	100 × 150	150 × 200	200 × 300
3,5	150 × 200	200 × 300	200 × 300
4,0	200 × 300	200 × 300	Sử dụng panen sandwich

Panen sandwich

Lưu ý rằng chiều dày panen dưới đây bao gồm 2 tấm GRFC dày 10 mm.

Nhịp panen (m)	Chiều dày tổng thể nhỏ nhất khuyến nghị cho panen (mm)		
	Áp lực gió 0,5 kN/m ²	Áp lực gió 1,0 kN/m ²	Áp lực gió 1,5 kN/m ²
*2,0	50	50	50
*2,5	65	65	65
*3,0	70	70	75
*3,5	80	80	95

*4,0	95	95	120
4,5	105	105	145
5,0	115	125	175
5,5	140	145	210
6,0	150	170	245

**Cũng có thể sử dụng tấm panen sườn hoặc tấm panen định hình*

1.5.18. Ngưng tụ (Condensation control)

Hệ số truyền nhiệt U-value của một hệ bao che cần phải được thiết kế sao cho nhiệt độ bề mặt bên trong sẽ không giảm xuống dưới nhiệt độ điểm sương để ngăn chặn sự ngưng tụ trên bề mặt bên trong hệ bao che. Trong nhiều thiết kế, mong muốn bảo tồn năng lượng sẽ quyết định việc sử dụng hệ số truyền nhiệt U-value thấp hơn so với hệ số truyền nhiệt U-value yêu cầu để tránh ngưng tụ.

Hơi nước trong không khí hoạt động như một chất khí, và sẽ khuếch tán qua vật liệu xây dựng với tốc độ phụ thuộc vào độ thấm hơi của vật liệu và chênh lệch áp suất hơi. Bê tông GFRC là một vật liệu làm chậm hơi tương đối tốt. Khả năng thấm thấu phụ thuộc vào tỷ lệ nước/xi măng và hàm lượng polymer của bê tông GFRC. Tỷ lệ nước/xi măng thấp (ví dụ như được sử dụng trong các tấm bê tông GFRC) dẫn đến độ thấm thấu thấp.

Nhiệt độ bên ngoài càng thấp, áp suất của hơi nước trong không khí nóng bên trong càng cao để có được không khí khô, mát mẻ hơn của bên ngoài. Sự rò rỉ không khí ẩm vào một môi nối thông qua các vết nứt nhỏ khi áp suất không khí ngoài trời thấp hơn áp suất bên trong có thể là một vấn đề lớn hơn so với sự khuếch tán hơi.

Trong trường hợp điều kiện khí hậu đòi hỏi cần phải cách nhiệt, có thể cần đến một màng ngăn hơi nước để ngăn chặn sự ngưng tụ, và cần xem xét đến việc thông gió cho hệ bao che. Hơi nước đi vào khoảng không của panen khung có nhiệt độ thấp có thể ngưng tụ, và trong một thời gian dài, có thể làm giảm hiệu quả của các sợi cách nhiệt. Các giọt nước được hình thành cũng có thể ăn mòn thép không được bảo vệ. Nếu hơi ngưng tụ tại các bề mặt ngoài hoặc gần các bề mặt ngoài, muối ở trong lớp bề mặt có thể xuất hiện lên trên bề mặt và lắng đọng, dưới dạng sỏi xốp.

Nếu sử dụng tấm cách nhiệt, nên đặt nó xa tấm bê tông để cho phép không khí lưu thông.

Việc phân tích một môi nối (assembly) với các vấn đề ngưng tụ tiềm ẩn cần xem xét:

- Sự chênh lệch nhiệt độ, áp suất hơi nước và độ ẩm tương đối giữa bên trong và bên ngoài;
- Gradient nhiệt độ khi qua liên kết, vị trí điểm sương dưới nhiệt độ thiết kế và độ ẩm tương đối;

- Khả năng ngăn sự truyền hơi của các bộ phận của liên kết;
- Sự thông hơi để cho hơi nước thoát ra.

1.6. Thiết kế liên kết

1.6.1. Tổng quan về liên kết

Liên kết dùng trong hệ bao che có các chức năng như sau:

- Định vị các tấm panen của hệ bao che vào tòa nhà trong suốt tuổi thọ thiết kế của các tấm panen và/hoặc của tòa nhà.
- Cho phép các chuyển động tịnh tiến và chuyển động xoay xảy ra giữa các panen riêng lẻ; giữa (các) panen và kết cấu đỡ nhằm duy trì chống thấm tại các mối nối.
- Điều chỉnh những sai sót về mặt kết cấu thường gặp, cùng với các dịch chuyển có thể có được đề cập trong mục (b) ở trên.
- Duy trì tính toàn vẹn của gờ đỡ và ngàm trong mọi điều kiện tiếp xúc (va chạm, rung, gió, lửa, v.v.) bằng cách giảm thiểu sự tập trung ứng suất cục bộ trong bê tông GFRC.
- Đảm bảo rằng các lực truyền qua liên kết được phân phối trên một bề mặt GFRC càng rộng càng tốt.
- Sử dụng khả năng làm việc tối đa (full strength properties) của bê tông GFRC bằng cách đặt các gờ ở đáy của các panen và ngăn cản chuyển vị theo phương ngang ở cả trên cùng và dưới cùng của các tấm.

Rất khó có thể định lượng các chuyển động đề cập trong mục (b). Tuy nhiên, có thể đưa ra các giá trị thiên về an toàn về cường độ và hướng của các chuyển động này cho việc thiết kế liên kết và thiết kế đường keo.

1.6.2. Nguyên tắc thiết kế

Để sản xuất một hệ thống liên kết an toàn, hiệu quả và kinh tế, cần phải hiểu các nguyên tắc và tiêu chí thiết kế cơ bản.

Trước tiên, người thiết kế nên xác định tất cả các hạn chế có thể gặp phải ngoài công trường. Nếu có những hạn chế như vậy, có thể ảnh hưởng đáng kể đến sự lựa chọn và thiết kế chi tiết của liên kết. Những hạn chế điển hình có thể kể đến là các vấn đề liên quan đến việc tiếp cận để lắp đặt, xung đột (conflict) giữa các cấu kiện khác với liên kết, sự sai lệch quá mức của gờ đỡ và sự phù hợp với tiến độ thi công.

Các tấm panen GFRC không được gắn chặt quá mức vào kết cấu vì điều này sẽ cản trở dịch chuyển do nhiệt, độ ẩm và có khả năng dẫn đến những vết nứt bất lợi cho các tấm panen. Liên kết thường được bố trí tại bốn góc của panen hình chữ nhật, panen sườn có tỉ lệ nhíp/chiều cao < 4 .

Cần kiểm tra cẩn thận khả năng chịu lực của các tấm panen GFRC dưới tác dụng của tải trọng. Nên tránh các panen có kích thước bề ngang lớn (với tỉ lệ nhíp/chiều cao > 4) vì chúng có thể bị uốn tại những vị trí gần với liên kết, tạo ra chuyển động

xoay và/hoặc chuyển động tịnh tiến.

Liên kết cũng cần phải được định vị để giảm thiểu mọi ứng suất có thể hình thành trong các tấm panen. Lực truyền qua liên kết nên được phân bố càng rộng càng tốt trên các tấm panen. Các gối đỡ cần thiết kể để có đủ khả năng chịu lực, đặt ở đáy của các tấm panen để tránh phá hoại.

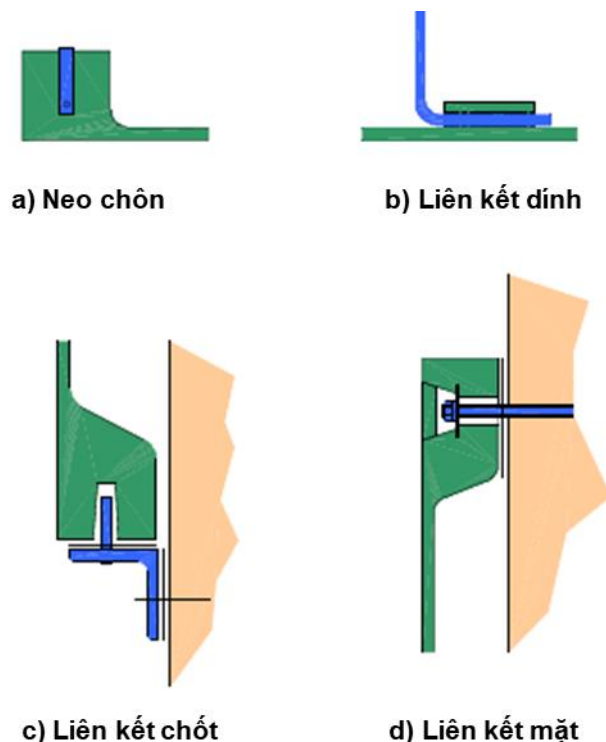
Các yêu cầu về dung sai được xem xét trong các tiêu chuẩn, quy chuẩn hiện hành áp dụng cho bê tông, hệ bao che và khung thép. Dung sai thích hợp phải được tích hợp vào hệ thống liên kết nếu nó thực hiện các chức năng (b) và (c) được liệt kê trong mục 1.6.1. Lý tưởng nhất là tất cả liên kết nên được bố trí sao cho dễ dàng tiếp cận để điều chỉnh khi cần, mặc dù không phải lúc nào cũng có thể khả thi.

Cần lưu ý là tuổi thọ của các liên kết mạ kẽm tỷ lệ thuận với độ dày của lớp mạ kẽm. Theo nguyên tắc chung, nên sử dụng liên kết làm bằng thép không gỉ nếu có thể vì chúng có khả năng chống ăn mòn cao, nhất là đối với các liên kết được đặt tại các vị trí không tiếp cận được (nằm ngoài tầm nhìn), bắt buộc phải sử dụng thép không gỉ.

Tổng chi phí liên kết được xác định bởi tổng chi phí vật liệu/sản xuất và chi phí lắp đặt. Chi phí giành cho vật liệu và sản xuất tăng lên, tương ứng với việc sử dụng liên kết có giá thành cao và tinh xảo, có thể cân bằng với việc giảm chi phí lắp đặt do tiết kiệm được thời gian ngoài công trường. Điều này cần được xét đến khi lựa chọn liên kết.

1.6.3. Phân loại liên kết

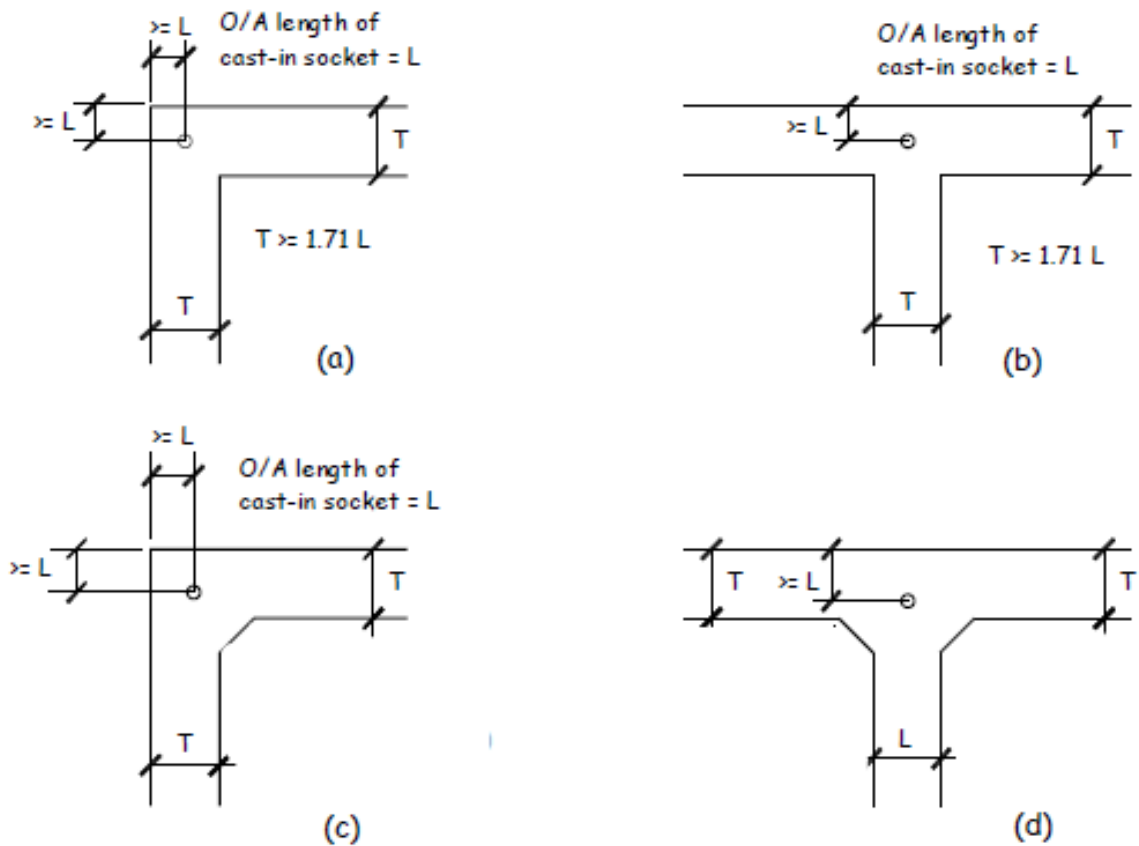
Hình 1.43 minh họa bốn loại liên kết thường được sử dụng:



Hình 1.43 Phân loại liên kết [3]

Cơ chế phá hủy của tất cả các loại liên kết này thường phức tạp và do đó các tính toán thường dựa trên kết quả của các thử nghiệm chất tải cực đại.

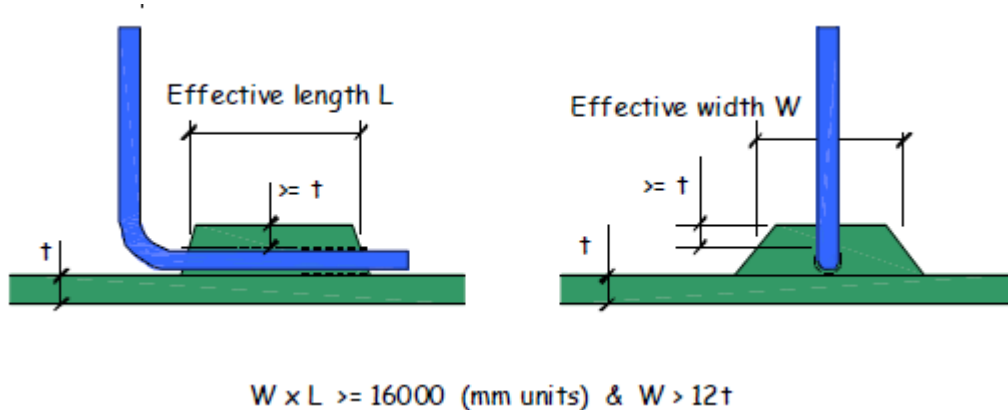
Sự phá hủy của neo chôn (cast-in socket) bị ảnh hưởng bởi khoảng cách các cạnh, chiều dài neo, loại neo (chốt chéo, đầu côn) và tính chất của tải (kéo/nén thuần túy; tải trọng tổ hợp, ví dụ như kéo và cắt đồng thời). Các neo chôn (cast-in socket) phải được bao bọc bởi một lượng đủ bê tông GFRC cùng với một lượng thích hợp các sợi thủy tinh được phân bố xung quanh chúng. Đầu của các neo này nên nhô ra một chút khỏi bê tông GFRC (nhỏ nhất 2mm) để tránh các tác động bất lợi có thể có khi siết chặt quá mức mặt bê tông GFRC trong quá trình thi công neo.



Hình 1.44 - Khoảng cách giữa neo và cạnh của panen bê tông [3]

Khả năng làm việc thực tế và khoảng cách giữa neo và cạnh tối thiểu của neo chôn (cast-in socket) sẽ được đưa ra bởi nhà sản xuất. Tuy nhiên, theo nguyên tắc chung, khoảng cách giữa các neo chôn và cạnh của panen bê tông GFRC không nhỏ hơn chiều dài tổng thể của neo chôn (Hình 1.44). Cần lưu ý rằng T là chiều rộng nhỏ nhất của sườn hộp (đối với panen sườn). Trong trường hợp cần lưu ý đến sự tập trung ứng suất trong panen GFRC, nên sử dụng các chi tiết vát cạnh như trong Hình 1.44 c và d.

Hình 1.45 đưa ra kích thước tối thiểu của các miếng ốp. Khả năng chịu lực của neo và miếng ốp nên được xác định từ các thử nghiệm phá hủy.



Hình 1.45 - Kích thước tối thiểu của các miếng ốp liên kết [3]

1.6.4. Thiết kế theo trạng thái giới hạn cực hạn

Sự phá hoại liên kết dạng chôn hoặc liên kết dính diễn ra đột ngột và không có bất kỳ cảnh báo nào, mặc dù có sự phân phối lại tải trọng cho một hoặc một số neo khác.

Để thiên về an toàn, các hệ số tải trọng từng phần sau đây được sử dụng cho bê tông GFRC phun cấp 18 để kiểm tra điều kiện về trạng thái giới hạn cực hạn:

$$\gamma_{st} = 1,1, \gamma_{tv} = 1,1 \text{ và } \gamma_c = 2,30$$

Hệ số vật liệu từng phần $\gamma_m = 2,20$ được coi là đủ để tính đến bất kỳ sự gián đoạn sợi nào trong bê tông GFRC.

1.6.5. Thiết kế theo trạng thái giới hạn làm việc

Tiêu chí cần thỏa mãn khi thiết kế liên kết ở trạng thái giới hạn làm việc là đảm bảo độ bền theo thời gian. Tấm panen GFRC thường có nguy cơ bị nứt tại các vị trí gần với các liên kết. Các miếng liên kết GFRC phải đủ dày và rộng để đảm bảo đáp ứng các quy định về chống cháy và ngăn chặn sự ăn mòn của các cấu kiện kim loại. Về cơ bản, nên sử dụng các loại kim loại sau: thép không gỉ, đồng phot-pho, đồng nhôm và đồng nhôm silic. Các bộ phận kim loại của liên kết neo phải được giữ khô ráo và được đặt cách nhau một khoảng nhất định để tránh hiện tượng điện hóa.

1.6.6. Neo liên kết tấm bê tông GFRC vào khung

Việc neo các tấm bê tông vào khung bắt buộc phải được thực hiện theo cách tối thiểu sự ngăn cản thay đổi thể tích trong mặt phẳng của tấm. Mỗi neo cần được kiểm tra sự làm việc của nó theo cả ba phương: vuông góc với tấm, trong mặt phẳng thẳng đứng và trong mặt phẳng ngang. Thông thường, tất cả các neo chịu tải trọng gió và tải trọng động đất, do đó độ cứng của neo trên trục vuông góc với tấm là lớn nhất. Neo trọng lực chịu tải trọng theo phương thẳng đứng, và cho phép dịch chuyển ngang. Neo địa chấn chịu lực ngang, nhưng nên tối thiểu sự ngăn cản dịch chuyển theo phương thẳng đứng.

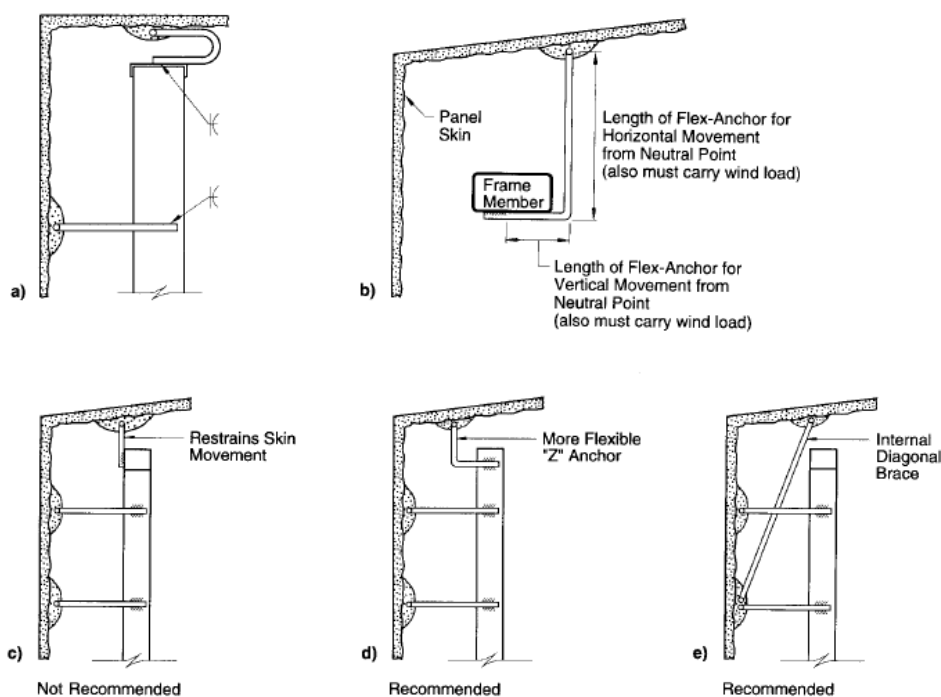
Dịch chuyển do thay đổi thể tích của tấm thường được coi bằng 0 tại tâm của nó và tăng tỷ lệ thuận với khoảng cách tính từ điểm “trung hòa” này.

1.6.6.1. Neo flex (Flex anchors)

Neo flex thường được thiết kế để chịu chủ yếu là tải trọng gió; nhưng đối với các tấm bê tông GFRC được trám bề mặt, nếu các đặc tính thay đổi thể tích của vật liệu trám bề mặt và bê tông GFRC khác nhau, sẽ có các lực tác dụng lên neo và miếng liên kết để hạn chế uốn. Với mọi loại bề mặt, các neo flex không ngăn cản quá mức sự thay đổi thể tích trong mặt phẳng.

Hình 1.31 minh họa một phương pháp gắn tấm panen vào khung, trọng lượng của tấm được truyền đến khung thông qua sự uốn cong của neo flex. Để đảm bảo tính toàn vẹn kết cấu, các neo phải có độ cứng và cường độ đủ để chịu được trọng lượng, cũng như tải trọng gió; mà vẫn cho phép dịch chuyển do thay đổi thể tích. Phương pháp này chỉ được khuyến nghị cho các panen có kích thước đủ nhỏ để ứng suất tại neo flex khi tổng hợp với các ứng suất khác nằm trong giới hạn cho phép.

Loại neo flex phổ biến nhất được cho trong Hình 1.47. Mặc dù loại neo này có nhiều hình dạng khác nhau (Hình 1.46), nhưng thường được cấu tạo bởi một thanh tròn tròn, có đường kính khoảng 6 đến 10 mm. Đường kính của neo được xác định bởi tải trọng gió, khoảng cách giữa các neo, khoảng cách từ tấm bê tông đến khung và bởi sự có mặt hay không của neo trọng lực. Neo được hàn ở đầu của chân neo để có được sự linh hoạt. Thanh có tiết diện vuông có thể được sử dụng để thuận tiện cho hàn phi lê. Một thanh phẳng hoặc một tấm kim loại đôi khi được sử dụng để tăng khả năng chịu lực theo phương song song với khung thép. Trong trường hợp này, neo có thể được liên kết với khung bằng đinh vít để có ít sự ngăn cản dịch chuyển. Một dải được hàn cũng có thể được sử dụng như một neo trọng lực.



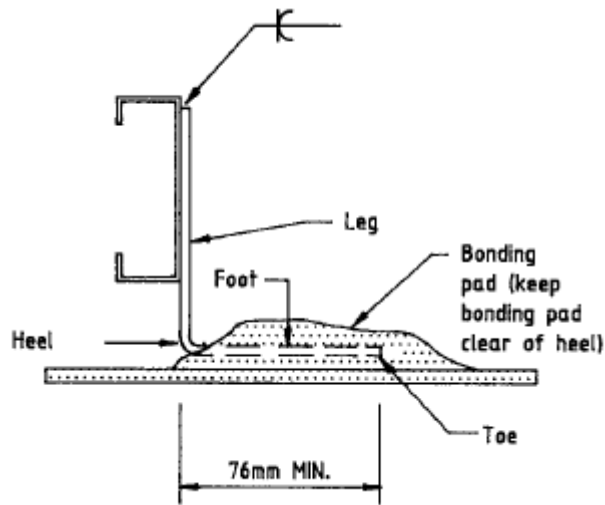
Hình 1.46 – Các dạng neo flex [2]

Đối với bất kể neo nào được sử dụng, nguyên tắc về cường độ cùng với việc tối

thiếu sự ngăn cản chuyển động trong mặt phẳng phải được xem xét chính. Điều này rất quan trọng trong cả thiết kế và thi công. Người thiết kế thường vô tình tạo ra sự ngăn cản chuyển động quá mức khi muốn đảm bảo khả năng chịu lực.

Nếu neo flex làm việc trong miền chảy dẻo, người thiết kế có thể cần xem xét độ mỏi chu kỳ thấp trong thiết kế của neo cho tải trọng gió và các chuyển động theo chu kỳ khác.

Các cạnh không được đỡ của panen GFRC có thể cong, vênh. Điều này đặt ra một vấn đề liên quan đến việc căn chỉnh panen, cũng như tính thẩm mỹ của liên kết. Khoảng cách từ các cạnh của tấm bê tông đến các neo phải nhỏ và đều nhau và để giảm thiểu cong vênh như trong Hình 1.34 (d).



Hình 1.47 – Neo flex điển hình [2]

1.6.6.2. Neo trọng lượng và neo động đất

Đối với các panen lớn hơn, nặng hơn, nếu tấm bê tông được gắn vào khung chỉ bởi neo flex, chúng có thể trở nên cứng đến mức hạn chế dịch chuyển (restraint) tạo ra sự quá ứng suất trong tấm bê tông. Nếu tải trọng được đỡ riêng bởi các neo trọng lực, các neo flex có thể nhỏ (đường kính 6 mm) để giảm đáng kể sự cản trở chuyển động trong mặt phẳng.

Độ cứng của tấm bê tông trong mặt phẳng của nó khá lớn. Nếu khung được gia cố bởi các thanh giằng chéo, hoặc các thanh ngang trên và/hoặc dưới cứng, như trong Hình 1.34 (c), tải trọng của tấm bê tông có thể được chịu bởi một loạt các neo trọng lực.

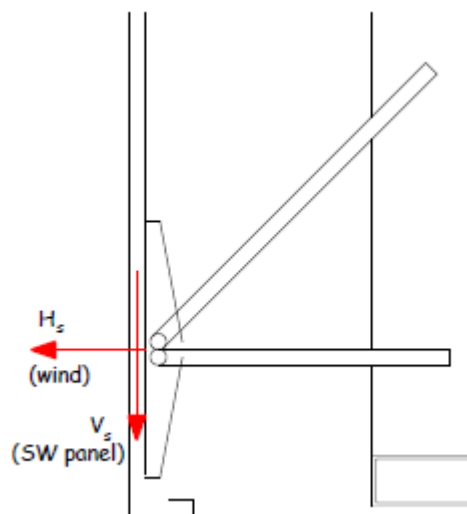
Nếu khung được đỡ tại hai đầu thanh thép hộp (hoặc ống), thường sẽ thuận lợi nếu đỡ trọng lượng bản thân của tấm bê tông bởi hai thanh (hoặc ống) giống nhau. Điều này cho phép độ cứng trong mặt phẳng của khung thấp hơn, vì trọng lượng của tấm bê tông được đỡ bởi các liên kết trực tiếp của khung với kết cấu chính của tòa nhà. Các thanh (hoặc ống) của khung có thể cần gia cường cục bộ hoặc toàn bộ. Neo trọng lực dạng tấm thường được sử dụng để truyền trọng lực qua hai điểm. Bằng cách điều chỉnh chiều cao và độ dày của tấm, khả năng chịu lực theo phương thẳng đứng

của neo đạt được mà không làm mất độ mềm theo phương ngang. Có thể tăng độ mềm bằng cách tạo lỗ cho tấm chân như trong Hình 1.32 (a). Khả năng chịu lực có thể được tăng lên bằng cách tạo các lỗ hoặc rãnh ở tấm chéo để tăng diện tích chịu lực của nó trong miếng liên kết.

Neo trọng lực nên được đặt trên một đường nằm ngang, vì chúng không cho phép dịch chuyển thẳng đứng (ví dụ như dịch chuyển do thay đổi nhiệt độ và độ ẩm). Các neo trọng lực phải được định vị sao cho các ứng suất uốn bề mặt của các tấm panen ba chiều (tức là có cạnh bẻ góc) được giảm thiểu. Tốt nhất là đặt neo trọng lực ở gần đáy tấm bê tông để tấm bê tông chịu nén dưới tác dụng của trọng lượng bản thân; tuy nhiên, các điều kiện khác có thể được yêu cầu.

Vì các neo trọng lực quyết định vị trí của điểm “trung hòa” theo phương thẳng đứng (điểm mà không có dịch chuyển), nên để thuận lợi nhất, thường đặt các neo trọng lực ở giữa chiều cao tấm bê tông.

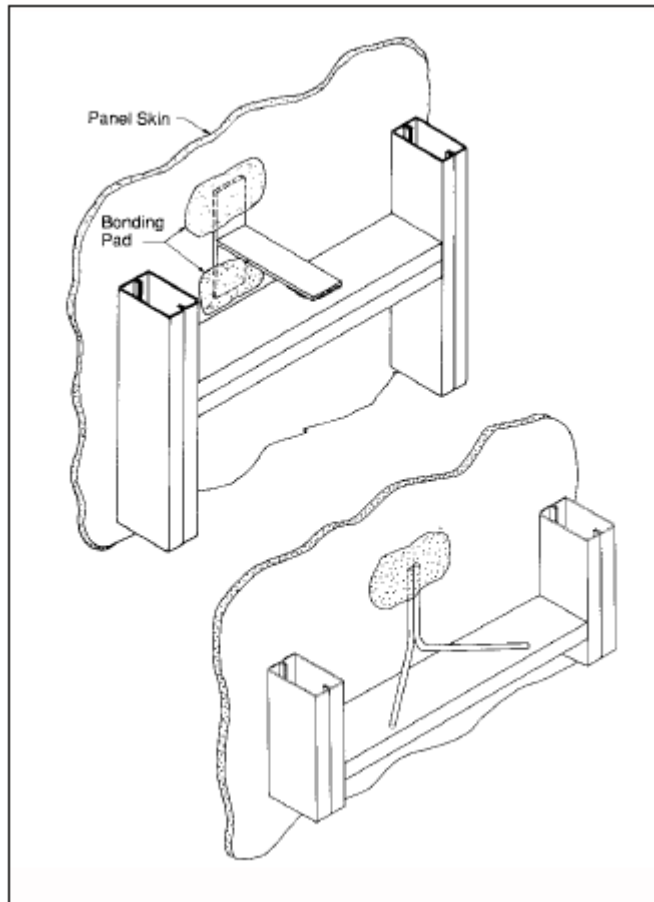
Thực chất, các neo trọng lực khó thiết kế hơn các neo flex vì cơ chế phá hủy của miếng ốp liên kết gây ra bởi tổ hợp bất lợi của tải trọng đứng và tải trọng ngang (Hình 1.48). Tải trọng thẳng đứng thường chỉ là một phần trọng lượng bản thân của tấm panen trong khi tải trọng ngang có thể là tải trọng gió và/hoặc tải trọng động đất.



Hình 1.48 – Neo trọng lực [2]

Trong các khu vực chịu ảnh hưởng của động đất, khả năng kháng tải trọng động đất trong mặt phẳng cần đạt được mà không làm hạn chế quá mức sự thay đổi thể tích. Nếu các thanh trong khung chịu tải trọng động đất, cần xét độ cứng theo trục yếu của chúng. Đối với một hệ thống neo trọng lực dạng tấm phẳng, có thể gia cường một trong các neo trọng lực để chịu tải trọng động đất. Một neo dạng tấm phẳng định hướng theo chiều ngang cũng có thể được sử dụng để truyền tải động đất theo phương dọc đến khung, như trong Hình 1.49. Neo động đất thường sẽ quyết định vị trí của điểm “trung hòa” theo phương ngang, vì vậy tốt nhất là nên đặt neo động đất ở giữa chiều rộng của tấm panen. Hệ neo sẽ phải chịu lực quay trong trường hợp các neo động đất và tải trọng của

tấm bê tông không nằm trên cùng một đường nằm ngang.



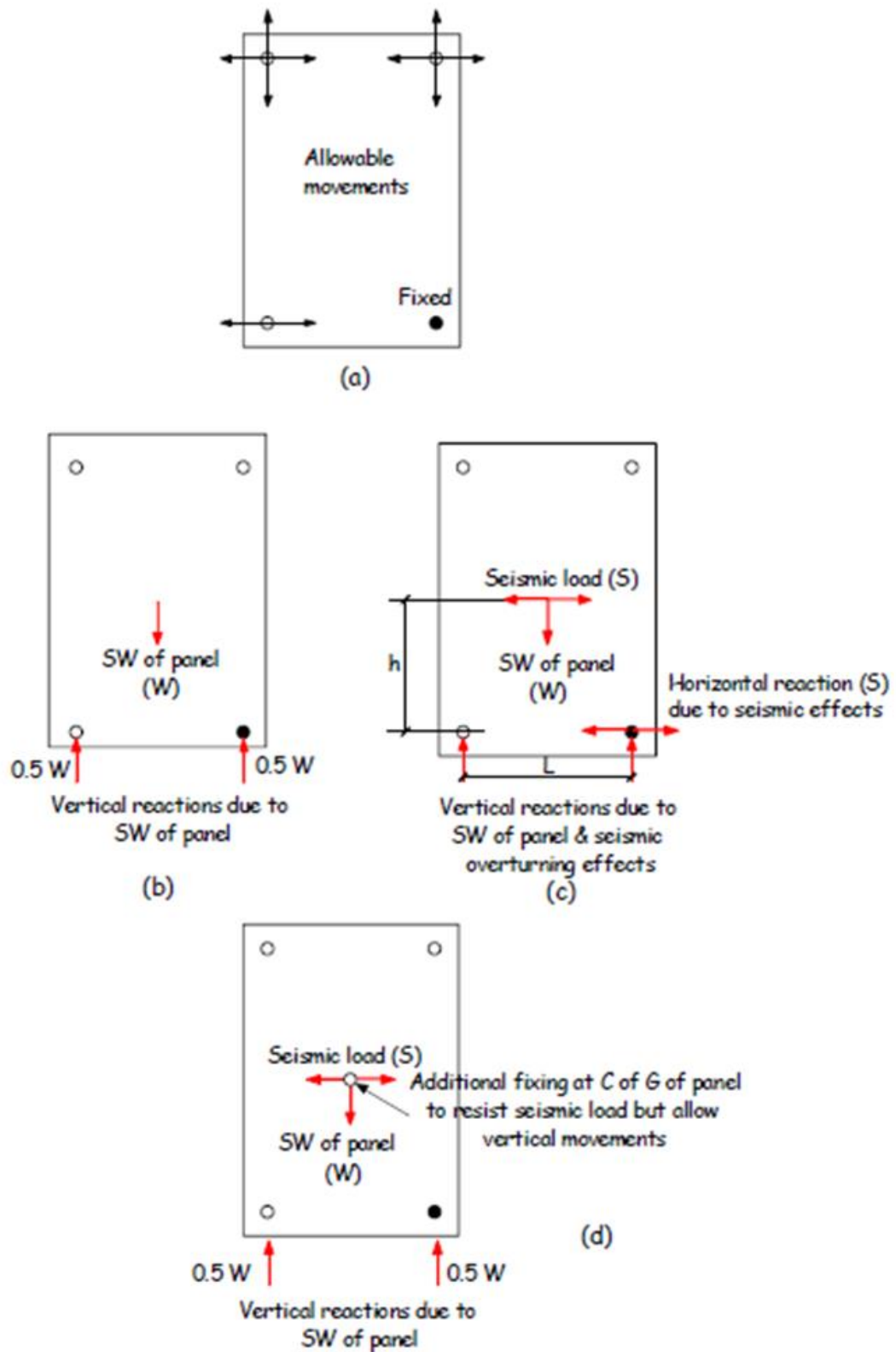
Hình 1.49 – Neo động đất [2]

Hình 1.50 (a) và (b) là những panen hình chữ nhật, phẳng được thiết kế không với mục đích chịu tải trọng động đất. Ba trong số bốn gối của panen cho phép những dịch chuyển do nhiệt và co ngót (Hình 1.50 (a)), do đó tránh gây bất lợi cho panen. Trọng lượng bản thân của panen (W) được đỡ bởi hai gối cố định ở đáy của panen (Hình 1.50 (b)). Tải trọng gió ngang, tác dụng vuông góc với panen, được đỡ bởi cả bốn gối.

Nói một cách đơn giản, do gia tốc ngang của đất nền, động đất gây ra một tải trọng ngang (S) tại trọng tâm của panen (Hình 1.50 (c)). Lực này có thể tác dụng trong mặt phẳng của panen hoặc vuông góc với panen.

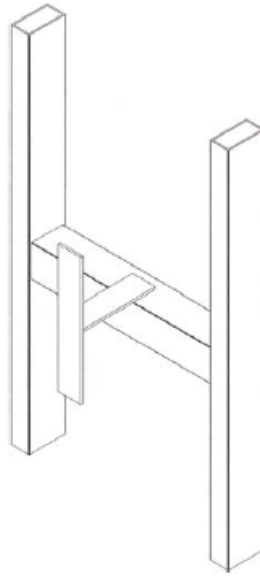
Giả sử hai neo phía trên cùng của tấm panen không thể kháng chấn, mô men lật ($= S \times h$) gây ra sự phân phối lại các phản lực dọc ở đáy của panen tương ứng bằng $0,5 W + (Sh/L)$ và $0,5 W - (Sh/L)$. Ngoài ra, tại gối cố định của panen có một phản lực ngang S (Hình 1.50 (c)).

Nếu có một neo chỉ cho phép dịch chuyển thẳng đứng được đặt thêm tại trọng tâm của tấm panen (như trong Hình 1.50 (d)), tải trọng động đất sẽ được chống lại hoàn toàn bởi neo này và do đó các neo được bố trí ở đáy tấm panen sẽ chỉ có nhiệm vụ đỡ trọng lượng bản thân của nó.



Hình 1.50 – Bộ trí neo kháng chấn [3]

Các nguyên tắc tương tự áp dụng cho việc thiết kế khung panen trong đó neo hình chữ T được chế tạo, giống như trong Hình 1.51, có thể được liên kết tại trọng tâm của panen.



Hình 1.51 – Neo chữ T [3]

1.6.7. Kiểm tra neo (Anchor evaluation)

Ngoài các thông số vật liệu, cường độ và khả năng làm việc của neo phụ thuộc rất nhiều vào kỹ thuật thi công miếng liên kết. Các đặc tính cơ học đạt được trong thực tế sẽ phụ thuộc vào loại neo được sử dụng, chất lượng vật liệu, độ đầm lèn, độ dày và diện tích của miếng liên kết, và việc bảo dưỡng phù hợp.

Mỗi nhà sản xuất cần tiến hành thử nghiệm đủ nhiều để xây dựng lên một cơ sở dữ liệu từ đó có thể xác định tải trọng giới hạn của neo, cho từng loại và từng kích thước của neo. Nếu các thử nghiệm không lão hóa được sử dụng để kiểm soát chất lượng sản xuất, thì thường cả mẫu thử neo đã lão hóa và neo không lão hóa phải được kiểm tra trước khi thiết kế; tất cả các mẫu thử phải giống hệt với các neo sản xuất.

Đối với thử nghiệm tiền thiết kế/sản xuất, cần tối thiểu hai mươi mẫu neo đã lão hóa và hai mươi mẫu không lão hóa cho từng loại neo và từng quy trình thử nghiệm. Tỷ lệ neo lão hóa/neo không lão hóa cho các trường hợp cụ thể nên được sử dụng cùng với các giá trị thử nghiệm sản xuất để xác định tải trọng giới hạn cho phép trên mỗi neo.

Việc so sánh kết quả thí nghiệm lão hóa và không lão hóa sẽ cho phép đánh giá phương pháp sản xuất dựa trên tính mới và lão hóa. Rõ ràng, mục đích là để tạo ra một chi tiết không có sự khác biệt lớn khi đã lão hóa và không lão hóa. Khi kỹ sư đồng ý sự khác biệt này, các thử nghiệm tại 7 ngày hoặc 28 ngày có thể được sử dụng để đảm bảo chất lượng.

Hệ số vật liệu cho các miếng liên kết lấy bằng 2,5.

Các thử nghiệm đã đưa ra phạm vi cường độ cực hạn của các loại neo khác nhau khi chưa lão hóa như sau:

Bảng 1.15 – Tải trọng cực hạn của neo [2]

	Loại neo và tải trọng	Tải trọng cực hạn (chưa lão hóa)
Kéo	Neo flex	2-5 kN
Cắt	Neo dạng thanh	4-8 kN
Cắt	Neo dạng tấm phẳng	8-16 kN

PHẦN 2: HƯỚNG DẪN THI CÔNG CHO HỆ BAO CHE BẰNG BÊ TÔNG CỐT SỢT THỦY TINH (GFRC)

2.1. Gia công chế tạo

2.1.1. Khung panen

2.1.1.1. Hầu hết các panen GFRC được chế tạo bằng cách sử dụng khung để có được độ cứng và để chịu lực. Khung thường được làm từ thép lá hoặc kết hợp thép kết cấu và thép lá.

2.1.1.2. Tải trọng truyền từ tấm panen bê tông GFRC đến khung panen qua neo flex, neo trọng lực và trong một số trường hợp, qua neo cách chân.

2.1.1.3. Khung panen đóng vai trò truyền tải trọng từ panen vào khung tòa nhà, chịu tải trọng của cửa sổ và hỗ trợ việc cách nhiệt bên trong, ngăn cháy và phủ lên bề mặt tường ngoài. Các thanh đứng và các neo được bố trí cách nhau khoảng 600 mm.

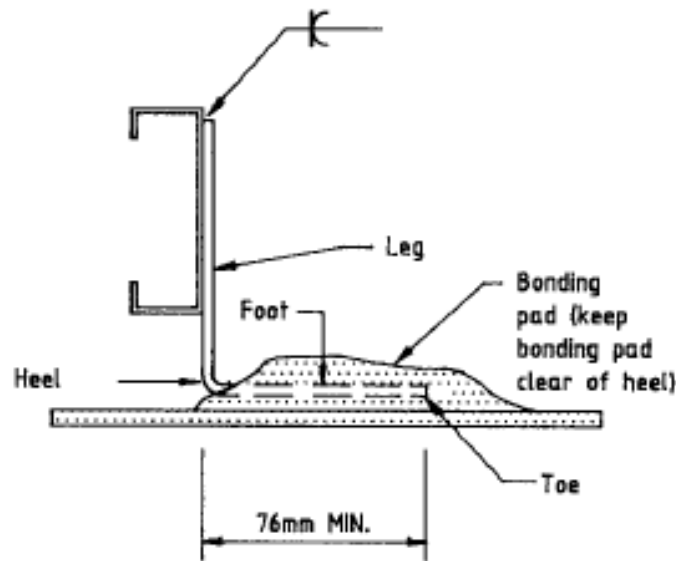
2.1.1.4. Trong quá trình gia công, lưu trữ, vận chuyển và lắp dựng, khung panen đúc sẵn sẽ được di chuyển nhiều lần. Do đó, liên kết hàn là phổ biến hơn liên kết vít, mặc dù cả hai phương pháp đều được sử dụng.

2.1.1.5. Khi hàn thép lá, cần lưu ý thép lá cần phải có độ dày tối thiểu 1,6 mm. Khi hàn các thép tấm và thép góc với thép lá cần tránh bị cháy, vì việc này có thể làm thay đổi đáng kể các đặc tính của tiết diện và cường độ của mối hàn. Tương tự, cũng cần phải cẩn thận khi hàn các thép tấm và thép góc với các thanh kim loại mỏng. Nếu bắt buộc phải hàn các tấm kim loại dày (chẳng hạn như thép tấm hoặc thép góc dùng làm liên kết chịu lực), trước tiên nên hàn thêm các tấm thép mỏng hoặc thép góc vào các thanh đứng để làm nền để hàn các thành phần kim loại khác dày vào khung. Hàn phải tuân thủ tiêu chuẩn TCVN 6115-1:2015 (ISO 6520-1:2007), TCVN 6115-2:2015 (ISO 6520-1:2013); các tiêu chuẩn từ TCVN 6834-1:2001 (ISO 9956-1:1995), TCVN 6834-2:2001 (ISO 9956-2:1995), TCVN 6834-3:2001 (ISO 9956-3:1995), TCVN 6834-4:2001 (ISO 9956-4:1995), TCVN 7296:2003, TCVN 7472:2005, TCVN 7474:2005, TCVN 7506-1:2011 (ISO 3834-1: 2005), TCVN 7506-2:2011 (ISO 3834-2: 2005), TCVN 7506-3:2011 (ISO 3834-3: 2005), TCVN 7506-4:2011 (ISO 3834-4: 2005), TCVN 7506-5:2011 (ISO 3834-5: 2005), TCVN 11244-1:2015 (ISO 15614-1:2004) và TCVN 11244-2:2015 (ISO 15614-2:2005), TCVN 11244-3:2015 (ISO 15614-3:2008), TCVN 11244-4:2015 (ISO 15614-4:2005), TCVN 11244-5:2015 (ISO 15614-5:2004), TCVN 11244-6:2015 (ISO 15614-6:2006), TCVN 11244-7:2015 (ISO 15614-7:2007), TCVN 11244-8:2015 (ISO 15614-8:2002), TCVN 11244-10:2015 (ISO 15614-10:2005), TCVN 11244-11:2015 (ISO 15614-11:2002), TCVN 11244-12:2018 (ISO 15614-12:2014), TCVN 11244-13:2018 (ISO 15614-13:2012), TCVN 11244-14:2018 (ISO 15614-14:2013) và các tiêu chuẩn liên quan khác.

2.1.1.6. Các mối hàn trên vật liệu được bảo vệ chống ăn mòn (mạ kẽm hoặc sơn) nên được loại bỏ xỉ và được bảo dưỡng sau khi hàn.

2.1.1.7. Sau khi chế tạo, khung panen có thể gắn luôn vào bê tông GFRC. Sau khi bê tông GFRC được phun và nén chặt tới độ dày thiết kế của nó, khung panen được định vị trên tấm bê tông bằng đồ gá (jigs) hoặc giá đỡ.

2.1.1.8. Trừ các trường hợp đặc biệt được thiết kế nằm ở mặt trong, các neo flex không được nhô vào bê tông GFRC mới đổ. Áp lực của neo lên bê tông GFRC và sự thay đổi khối lượng riêng cũng như tỷ lệ nước/xi măng của nó tại khu vực đó và có thể gây ra một vết trên bề mặt hoàn thiện bên ngoài.



Hình 2.1 – Neo flex điển hình [2]

Để thuận tiện cho việc chế tạo, các neo flex thường được đặt cách bề mặt sau của tấm bê tông GFRC từ 3 mm đến 10 mm.

2.1.1.9. Sự tiếp xúc giữa tấm bê tông và khung panen gây hạn chế sự dịch chuyển của tấm bê tông. Do đó, khoảng hở giữa tấm bê tông và khung panen tại tất cả các vị trí phải đủ để cho phép bê tông GFRC có thể dịch chuyển.

2.1.1.10. Ngay sau khi đặt khung, các miếng đệm liên kết (bonding pads) được đặt lên trên chân của mỗi neo và được gắn vào mặt sau của tấm bê tông GFRC. Độ dày của miếng đệm liên kết tối thiểu là 13 mm. Diện tích hiệu dụng của miếng đệm liên kết (chiều dài hiệu dụng x chiều rộng hiệu dụng) nên tối thiểu là 155 cm².

2.1.1.11. Khoảng thời gian giữa lần cuối cùng nén bê tông GFRC và việc đặt khung và miếng đệm liên kết nên được giữ ở mức tối thiểu. Việc này là hết sức cần thiết để đảm bảo liên kết của lớp phủ. Nếu khoảng thời gian này đáng kể, có thể ngăn lớp phủ bám dính tốt với tấm bê tông và có thể có sự phân tách. Cần phải cẩn thận không để các miếng đệm liên kết bịt kín neo vì có thể hạn chế thêm những dịch chuyển không đáng có cho tấm bê tông.

2.1.1.12. Các miếng liên kết được tạo ra bằng cách phun hỗn hợp bê tông GFRC vào một thùng chứa phù hợp hoặc trộn hỗn hợp. Vật liệu này sau đó được phủ lên chân của neo flex và phải được gia công tốt để lấp đầy khoảng trống giữa đáy neo flex và tấm bê tông GFRC.

2.1.1.13. Quy trình lắp đặt miếng liên kết trong quá trình sản xuất phải giống như những quy trình được sử dụng trong các thử nghiệm để xác định giá trị thiết kế.

2.1.1.14. Các miếng đệm liên kết khi bị hỏng cần phải được sửa chữa trong nhà máy hoặc trên công trường. Để sửa chữa một miếng đệm liên kết bị hỏng, bề mặt của tấm bê tông GFRC phải được làm nhám và để lộ ra các sợi thủy tinh. Khu vực này sau đó nên được làm sạch, không có bất kỳ mảnh vụn nào. Tiếp đó, một vật liệu liên kết (keo latex hoặc keo epoxy) được phủ lên khu vực này và một miếng đệm liên kết mới được gắn vào mặt tấm bê tông GFRC. Nhà sản xuất nên kiểm tra các quy trình sửa chữa tấm đệm liên kết để thiết lập dữ liệu sử dụng cho thiết kế. Do những cân nhắc liên quan đến từ biến, không sửa chữa vượt quá 10% tổng số neo trên một panen.

2.1.2. Panen sườn

2.1.2.1. Các sườn làm bằng bê tông GFRC được tạo hình sẵn được đúc vào sản phẩm sẽ tạo ra các ứng suất do dịch chuyển bị kìm hãm. Điều này phải được xem xét ở giai đoạn thiết kế. Sườn có thể gây bóng ở bề mặt của panen hoàn thiện và cũng làm cho bề mặt bị nhăn do dịch chuyển bị ngăn cản.

2.1.2.2. Trừ khi được chứng minh bằng các thử nghiệm, sườn tạo hình xung quanh các chất định hình polystyrene không có khả năng đạt được mức độ nén và cường độ như đạt được khi không có sườn. Điều này phải được đánh giá bởi các kỹ sư thiết kế. Việc sử dụng thảm AR (Alkali-Resistant, sợi thủy tinh kháng kiềm) liên tục trong sườn là một cách để tăng cường độ và bù đắp lại cường độ bị giảm do nén. Liên kết giữa sườn, dù được tạo hình sẵn hoặc tích hợp sau, và mặt panen là một vấn đề quan trọng khi thiết kế.

2.1.3. Panen sandwich

2.1.3.1. Việc phủ các hạt polystyrene trước khi trộn và sử dụng một hệ thống thông gió phù hợp là cần thiết để hạn chế việc sản sinh khí và hạn chế nhiệt sinh ra trong quá trình thủy hóa của lõi panen sandwich.

2.1.3.2. Xi măng tổng hợp hạt Polystyrene (Polystyrene bead aggregate cement - PBAC) sẽ gây ra một số ngăn cản dịch chuyển (restraint) trên các tấm panen sandwich. Xốp polystyren là vật liệu cốt lõi được ưa chuộng dùng trong các tấm panen sandwich. Cần phải có các hệ thống kiểm soát chất lượng trong nhà để đánh giá tỷ lệ hydrat hóa vào những ngày đặc biệt cho bề mặt và lõi. Các thử nghiệm nghiên cứu đơn giản trên các mẫu lõi hình trụ cho thấy cường độ chịu kéo được phát triển. Việc tháo ván khuôn bằng hút chân không được khuyến khích. Xoay khuôn là một phương pháp

khác nhưng thường khó thực hiện đối với các tấm panen có kích thước rất lớn. Cả hai phương pháp đều cần thực hiện cẩn thận trong quá trình gỡ ván khuôn để loại bỏ lực hút giữa khuôn và bề mặt tấm panen.

2.1.3.3. Cần đánh giá kỹ lưỡng mức độ nén đạt được trên mặt sau (backskin) của tấm panen sandwich. Việc có được mức độ nén như nhau là không thể và do đó, không chỉ cường độ mà ứng xử của nó đối với nhiệt độ và độ co ngót sẽ thay đổi theo bề mặt ván khuôn. Các tấm panen thử nghiệm có thể được làm ướt và làm khô xen kẽ để đạt được trạng thái dài hạn.

2.1.3.4. Thường thì nhiệt độ và co ngót được mô hình hóa bằng cách tạo ra một tải tương đương để có được biến dạng như dự đoán trong điều kiện co ngót và nhiệt độ. Điều này là hợp lý nhưng thiên về an toàn. Tốt nhất là mô hình hóa tấm bê tông và lõi, và xây dựng mô hình panen như một giàn (truss), tạo ra sự giãn nở hoặc co lại ở một mặt và sau đó tính toán các ứng suất. Đó là sự khác biệt giữa tải tác dụng bên ngoài và tải áp dụng bên trong (nội tại, intrinsic).

2.1.3.5. Đánh giá độ ẩm và dịch chuyển do nhiệt phụ thuộc vào tính không thấm nước của lớp phủ, độ ẩm ban đầu của lõi khi lắp dựng và hướng của panen đối với hướng mặt trời. Biến dạng đàn hồi và không đàn hồi được xác định như xác định cho bê tông thường.

2.2. Thi công lắp đặt

2.2.1. Tổng quan

2.2.1.1. Những dịch chuyển không dự đoán trước có thể gây ra những hư hỏng cho hệ mặt dựng. Những dịch chuyển này có thể đến từ việc tháo dỡ, xử lý trong quá trình bảo dưỡng, vận chuyển, lắp đặt và điều chỉnh trên tòa nhà trong quá trình hoàn thiện cuối cùng.

2.2.1.2. Các quy trình kiểm soát chất lượng bằng văn bản được yêu cầu cho từng công đoạn, được chứng nhận là phù hợp với yêu cầu thiết kế đã đưa ra bởi kỹ sư thiết kế.

2.2.1.3. Cần đảm bảo không xảy ra hiện tượng quá ứng suất (overstress) trong liên kết giữa sợi thủy tinh và hỗn hợp vữa khi bê tông còn mới. Hiện tượng quá ứng suất như vậy có thể tương đương với việc giảm tới 50% tuổi thọ thiết kế dự kiến theo thí nghiệm lão hóa tăng tốc.

2.2.2. Tháo dỡ

2.2.2.1. Có rất nhiều kỹ thuật tháo dỡ khác nhau. Trong đó, phổ biến nhất là nâng bằng cần cẩu. Kỹ sư cần phải xác định vị trí của điểm nâng và thời điểm nâng.

2.2.2.2. Cần có mẫu thí nghiệm cụ thể để thử nghiệm đánh giá cường độ khi nâng. Cường độ thay đổi theo từng ngày tùy thuộc vào điều kiện khí hậu. Khi tháo ván khuôn có thể tạo ra tải trọng lớn nếu lực dính giữa bê tông và ván khuôn không được giải phóng hợp lý.

2.2.2.3. Đối với các panen sandwich, cần thực hiện thử nghiệm cho tấm bê tông và cả thử nghiệm nén hình trụ cho lõi, trừ khi các điểm nâng gắn trực tiếp vào đáy của tấm bê tông. Ứng suất nên được duy trì ở mức không quá 50% LOP vào ngày thử nghiệm. Nếu các thử nghiệm như vậy không được thực hiện bởi nhà sản xuất, Kỹ sư nên đánh giá các ứng suất khi tháo dỡ và tìm ra các ứng suất này từ cường độ thiết kế dài hạn cho phép.

2.2.2.4. Việc tháo ván khuôn chân không (vacuum demoulding) được khuyến khích sử dụng cho các panen sandwich mặc dù cần phải chắc về liên kết của tấm bê tông với lõi và độ bền kéo của lõi. Có thể sử dụng mối tương quan giữa cường độ nén và cường độ kéo bê tông không được gia cố để theo dõi ứng suất. Khuôn quay cũng là một giải pháp được ưa chuộng vì chúng có thể đặt sản phẩm ngay lập tức trên trục phụ của nó. Giải pháp này không phải lúc nào cũng hiệu quả về mặt kinh tế đối với các tấm panen rất lớn.

2.2.3. Bảo dưỡng

2.2.3.1. Sau khi tháo dỡ ván khuôn, các tấm panen nên được đưa đến khu vực bảo dưỡng theo quy trình được phê duyệt bởi kỹ sư. Nếu kỹ sư thiết kế cảm thấy các tấm panen không được vận chuyển đúng cách, cần suy luận ra các ứng suất sinh ra trong quá trình vận chuyển từ ứng suất cho phép dài hạn tính toán được. Điều này đặc biệt quan trọng khi các tấm panen không có tính siêu tĩnh (design redundancy) khi có khung thép.

2.2.4. Vận chuyển

2.2.4.1. Các sản phẩm bê tông GFRC thường được vận chuyển trên máy kéo và sơ mi rơ moóc. Vận chuyển bằng đường sắt hoặc sà lan có thể khả thi trên một khoảng cách dài. Các giới hạn về trọng lượng và kích thước khi di chuyển trên đường bộ sẽ phải được tuân thủ. Do kết cấu mảnh của các tấm bê tông GFRC làm giảm trọng lượng bản thân, tấm GFRC có thể tiết kiệm đáng kể chi phí vận chuyển, bốc dỡ và tải trọng trong tính toán.

2.2.4.2. Nhà sản xuất nên đảm bảo rằng các tấm panen đã sẵn sàng để vận chuyển trước khi chất lên xe. Có thể cần một thời gian để kiểm tra lần cuối, làm sạch và sửa chữa nhỏ có thể được yêu cầu do hư hỏng hoặc tích tụ bụi bẩn khi lưu trữ trong kho. Các tấm panen không được chuyển đến các công trường trước khi chúng đã đạt đủ cường độ để chịu được các tác động khi vận chuyển và bốc dỡ.

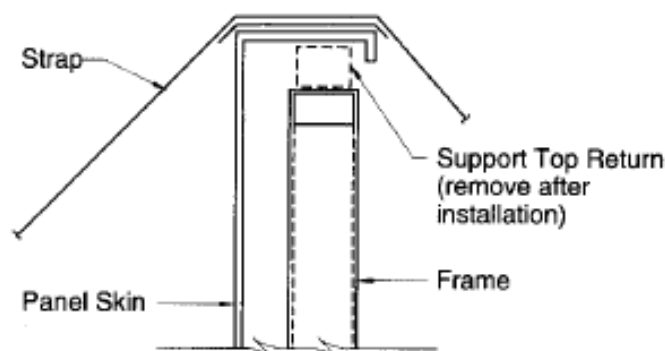
2.2.4.3. Các yếu tố như kích thước, hình dạng, phương thức vận chuyển, loại phương tiện, thời tiết, điều kiện đường xá và khoảng cách vận chuyển quyết định đến sự cần thiết hay không của việc bọc hoặc bảo vệ các tấm GFRC trong quá trình vận chuyển.

2.2.4.4. Các điểm chặn và hướng của các tấm panen trên thiết bị vận chuyển cần phải được chỉ định rõ ràng.

2.2.4.5. Các tấm panen GFRC nên được chất lên phương tiện vận chuyển sao cho tấm bê tông GFRC không chịu trọng lượng của khung thép. Theo nguyên tắc chung, không được xếp chồng quá 5 tấm panen lên nhau.

2.2.4.6. Tất cả các vật liệu chặn, đóng gói và bảo vệ phải là loại không gây hư hại, không gây nhuộm màu hoặc làm biến dạng các tấm panen.

2.2.4.7. Các vật liệu mềm, chẳng hạn như polymer mật độ cao, polystyrene hoặc vật liệu đàn hồi nên được sử dụng để bảo vệ các cạnh của tấm panen trong quá trình vận chuyển. Khi buộc các tấm GFRC vào rơ moóc, tốt nhất nên sử dụng dây đai nylon, không sử dụng xích. Cần bảo vệ các tấm panen tại các điểm liên kết của dây đai. Tránh siết chặt dây đai vì có thể dẫn đến nứt và biến dạng vĩnh viễn các tấm panen. Nếu các panen được xếp chồng hoặc xếp chồng lên nhau, nên xem xét đến việc truyền tải trọng thẳng đứng để ngăn chặn sự nghiền nát dần dần hoặc thiệt hại khác. Khung đỡ đặc biệt cũng có thể được sử dụng để ngăn chặn thiệt hại xảy ra. Cần chú ý đỡ các cạnh trên hoặc dưới tại các điểm tiếp xúc với đai để tránh nứt tấm bê tông GFRC (xem Hình 2.2).



Hình 2.2 – Quy trình khuyến nghị khi vận chuyển [2]

2.2.4.8. Người giám sát lắp dựng nên điều phối một cách an toàn và đúng cách việc đưa các tấm đến công trường để lắp dựng.

2.2.4.9. Tất cả các tấm panen GFRC phải được đánh dấu rõ ràng và riêng lẻ như được chỉ ra trên bản vẽ lắp dựng. Các tấm panen yêu cầu lắp dựng liên tiếp nên được đánh dấu. Trọng lượng của các tấm panen nên được thông báo cho nhân viên vận chuyển và lắp dựng.

2.2.4.10. Các góc và các tấm có chiều dài bề cạnh bất thường thường được vận chuyển với giằng các cạnh với nhau, không được gỡ bỏ cho đến khi ngay trước khi lắp dựng.

2.2.4.11. Có nhiều cách khác nhau để đưa một tấm panen vào vị trí cần lắp dựng. Loại thiết bị lắp dựng được xác định bởi trọng lượng của sản phẩm và khoảng cách tiếp cận để đặt tấm panen. Nếu có thể, các tấm panen nên được đỡ theo phương thẳng đứng. Tất cả các dây đai, giằng, vỏ bọc và thiết bị bảo vệ cạnh của tấm panen phải

được loại bỏ cẩn thận trước khi dỡ. Các tấm panen nên được nâng từ từ từ phương tiện vận chuyển, tránh vỡ và làm hỏng kết cấu. Nhóm các panen không được gỡ bỏ bằng một máy nâng trừ khi được thiết kế phù hợp.

2.2.4.12. Tấm panen nằm ở bên ngoài nên được dỡ trước tiên để giảm thiểu sụt mẻ và xước.

2.2.4.13. Các tấm panen không được trượt ra khỏi giữa một chồng các panen.

2.2.4.14. Công trường phải có đủ các điều kiện cho phép các thiết bị lắp đặt và các đơn vị vận chuyển tiếp cận được đến nơi các tấm GFRC có thể được bốc dỡ trực tiếp từ phương tiện vận chuyển.

2.2.4.15. Nếu cần lưu trữ tạm thời các tấm panen, khu vực lưu trữ phải tương đối bằng phẳng và chắc chắn, thoát nước tốt và nằm ở nơi có ít khả năng thiệt hại do hoạt động xây dựng khác.

2.2.4.16. Ngoài ra, cần xem xét các điều kiện trên công trường, mùa trong năm và thời gian lưu trữ tại công trường để xác định sự cần thiết hay không của việc bảo vệ các tấm panen khỏi sự tích tụ của bụi và các vật liệu gây nhuộm màu khác làm mất màu các tấm panen.

2.2.4.17. Nếu một xe rơ moóc chất tải đổ tại công trường, người gửi hàng nên chặn xe cẩn thận để tránh làm hỏng panen hoặc lật xe. Cần đặc biệt chú ý đến các khu vực lưu trữ có nền là nền đất lấp. Xe rơ moóc phải được đỗ trên mặt đất vững chắc.

2.2.4.18. Nếu được yêu cầu, việc quay các tấm panen phải được thực hiện khi được đỡ bởi cần trục và không được thực hiện bằng cách đặt các tấm trên xe tải hoặc mặt đất trừ khi các tấm panen được thiết kế đặc biệt cho các ứng suất như vậy.

2.2.4.19. Các tấm panen tương đối phẳng phải luôn luôn được vận chuyển theo cạnh của chúng. Đối với các tấm panen có hình dạng đặc biệt, các giàn lắp dựng đặc biệt, chẳng hạn như trục quay, dầm phân bố (spreader beam) hoặc khung nâng được thiết kế đặc biệt để tránh làm hỏng các tấm panen trong quá trình nâng và lắp đặt.

2.2.5. Lắp dựng

2.2.5.1. Việc giám sát lắp dựng đòi hỏi kiến thức về lắp đặt và định vị các tấm panen trên tòa nhà; việc lập kế hoạch trước sẽ đảm bảo không thiếu sót các công cụ, thiết bị cần thiết. Không thay đổi bố trí đã định trước để đảm bảo kiểm soát được theo phương ngang và dọc khi các panen được định vị.

2.2.5.2. Thông thường, các panen nên được di chuyển trực tiếp từ xe tải đến tòa nhà để giảm thiểu các mối nguy hiểm và chi phí vận chuyển phát sinh thêm. Người lắp dựng nên trao đổi với nhà sản xuất về các phương pháp lưu trữ thích hợp nếu các phương pháp này không được trình bày trên bản vẽ lắp dựng.

2.2.5.3. Trọng lượng nhẹ của tấm panen GFRC cho phép thiết bị vận chuyển, nâng

đỡ nhẹ hơn, ít tốn kém hơn. Một cần trục đơn giản, lắp trên mái hoặc một cần cẩu nhỏ có thể là đủ. Cần phải cẩn thận trong quá trình nâng vì các tấm bê tông GFRC nhẹ dễ bị ảnh hưởng bởi gió hơn các tấm bê tông nặng hơn.

2.2.5.4. Người lắp dựng nên hiểu chức năng và khả năng làm việc của từng chi tiết liên kết để đảm bảo rằng các panen được lắp đặt phù hợp với thiết kế; chỉ thực hiện những thay đổi liên quan đến khung thép hoặc hệ liên kết khi có sự chấp thuận của kỹ sư chịu trách nhiệm thiết kế. Nếu các liên kết cần phải có gói đỡ tạm thời, chẳng hạn như miếng chêm, các gói đỡ phải được tháo ra càng sớm càng tốt để hệ thống liên kết làm việc theo cách như thiết kế. Nên tránh hàn tại nhiệt độ dưới -7°C do khả năng mối hàn bị gãy.

2.2.5.5. Trong quá trình lắp đặt tấm panen, ưu tiên cho việc căn chỉnh mặt ngoài của các tấm panen vì lý do thẩm mỹ (xem Hình 2.3). Điều này có thể dẫn đến bề mặt bên trong của các thanh đứng không nằm trong một mặt phẳng chính xác. Các tấm panen thường được thiết kế sao cho ngăn cách các thanh đứng không được tiếp xúc với các mô-đun vách thạch cao bên trong. Do đó, khuyến nghị rằng, nếu các thanh đứng gắn với vách thạch cao bên trong hoặc tương tự, lớp hoàn thiện bên trong phải được gắn lên các thanh nẹp ngang thay vì gắn trực tiếp với các thanh đứng trừ khi có phối hợp khác.

2.2.5.6. Khung cửa sổ phải được gắn trực tiếp vào đầu và ngưỡng của khung thép (head and sill tracks of the steel stud frame) (hoặc một hệ thống khung riêng). Khung chịu tải trọng tác dụng lên cửa sổ, bao gồm cả tĩnh tải và áp lực gió, và các tải trọng này được truyền qua khung tới các liên kết của tấm panen với kết cấu chính của tòa nhà.

2.2.5.7. Sự tiếp xúc duy nhất giữa khung cửa sổ và tấm bê tông GFRC là keo bịt, cho phép tấm bê tông di chuyển và ngăn chặn sự hạn chế không đáng có của tấm bê tông. Dưới tác động của độ ẩm và nhiệt, tấm bê tông GFRC có thể sẽ mở rộng và co lại tới 2 mm/m. Nếu bỏ qua vấn đề này, những cản trở dịch chuyển gây ra do việc lắp đặt khung cửa sổ không đúng cách có thể ngăn cản quá mức dịch chuyển của tấm bê tông GFRC, do đó tạo ra vấn đề nứt trong tương lai. Các khe bít keo giữa khung cửa sổ và tấm bê tông GFRC cũng giữ cho hệ thống mặt dựng chịu được các tác động của thời tiết.

2.2.5.8. Vật liệu cách nhiệt, chống cháy, ống dẫn điện và điện thoại có thể được đặt trong khoang tường được tạo bởi khung thép.

2.2.5.9. Làm sạch

2.2.5.9.1 Nhiều dự án mặt dựng bằng bê tông GFRC sẽ chỉ yêu cầu làm sạch tại chỗ bằng xà phòng và nước ở các khu vực bị cô lập trong khi các dự án khác có thể yêu cầu làm sạch chung.

2.2.5.9.2 Bụi bản cứng đầu hơn có thể yêu cầu sử dụng hợp chất tẩy rửa mạnh hơn hoặc dung dịch axit muriatic loãng.

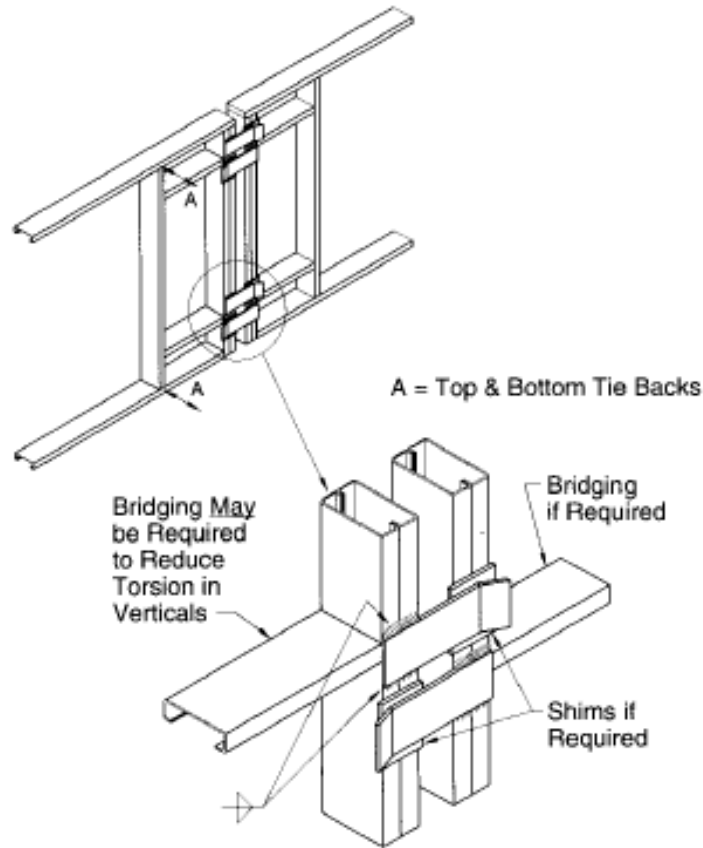
2.2.5.9.3 Bề mặt GFRC nên được làm ướt trước để ngăn chặn sự hấp thụ sâu bởi các

chất tẩy rửa mạnh.

2.2.5.9.4 Dung dịch axit photphoric 3%-5% có thể hiệu quả hơn trên bề mặt trắng và cũng giúp tránh vết ố vàng.

2.2.5.9.5 Khi sử dụng axit, cần đặc biệt cẩn thận trong việc bảo vệ các vật liệu lân cận để tránh thiệt hại.

2.2.5.9.6 Rửa kỹ bằng nước sau khi sử dụng chất tẩy mạnh để trung hòa bề mặt panen.



Hình 2.3 – Căn chỉnh liên kết [2]

2.2.5.10. Sửa chữa

Vì các tấm panen GFRC vốn đã có khả năng đàn hồi và dễ uốn, trọng lượng nhẹ và khả năng chống lan truyền nứt cao, nên sẽ có ít mảnh vụn và nứt mẻ gây ra trong quá trình lưu trữ, vận chuyển và tháo dỡ. Tuy nhiên, sửa chữa vẫn là một quy trình không thể thiếu. Khuyết tật do gia công phải được sửa chữa tại nhà máy. Do việc vá và sửa chữa bê tông GFRC là một hoạt động chuyên biệt, nên cần đến nhân viên bên phía nhà sản xuất cho công việc sửa chữa vì họ đã quen với việc sử dụng các chất liên kết và có các kỹ thuật tạo bóng. Thậm chí có thể cần phải chuẩn bị hỗn hợp vữa được gia cố bằng sợi thủy tinh. Nên thảo luận với kỹ sư thiết kế về những thiệt hại ảnh hưởng đến khả năng chịu lực của kết cấu. Nói chung, mức độ vá và sửa chữa cần thiết là nhỏ.

2.2.5.11. Bề rộng keo

2.2.5.11.1 Tuổi thọ và hiệu suất của keo bị ảnh hưởng rất lớn bởi bề rộng keo. Các mối nối giữa các tấm GFRC phải đủ rộng để đáp ứng được các dịch chuyển của mặt dựng như dự đoán. Dung sai khe nối phải được đánh giá cẩn thận và đảm bảo thỏa mãn dung sai quy định nếu hệ thống trám khe làm việc trong khả năng thiết kế của nó. Nếu các panen không thể được điều chỉnh trong quá trình lắp dựng để có được kích thước khe nối phù hợp, có thể cần phải cắt cưa. Khi các khe nối quá hẹp, chúng có thể bị phá hủy, và các panen cạnh nhau có thể tiếp xúc với nhau và phải chịu tải trọng không được dự tính trước, biến dạng, nứt và vỡ cục bộ (nứt vỡ).

2.2.5.11.2 Không chọn chiều rộng khe nối chỉ vì lý do thẩm mỹ, mà phải liên quan đến kích thước tấm panen, dịch chuyển tính toán, dung sai xây dựng, vật liệu khe nối. Độ rộng yêu cầu của khe nối được xác định bởi nhiệt độ cực đại dự báo tại vị trí của công trình, khả năng dịch chuyển của keo được sử dụng, nhiệt độ tại thời điểm bơm keo ban đầu, kích thước panen và sai số gia công của các panen GFRC. Tất cả các yếu tố này được ưu tiên hơn các yêu cầu về thẩm mỹ.

2.2.5.11.3 Nhiều yếu tố có thể ảnh hưởng đến sự dịch chuyển của tòa nhà trong thực tế, bao gồm: khối lượng vật liệu, màu sắc, cách nhiệt, độ lún của tòa nhà, thay đổi nhiệt độ, độ dẫn nhiệt, ứng suất do nhiệt (uốn), rung lắc và địa chấn. Sai số của vật liệu và thi công có thể tạo ra các khe nối nhỏ hơn dự đoán. Sai số như vậy nên được xem xét trong các tính toán và cân nhắc khi thiết kế.

2.2.5.11.4 Tấm panen càng lớn, khe nối càng rộng để phù hợp với dung sai thực tế về độ thẳng của cạnh panen, độ sắc nhọn của cạnh và chiều rộng của panen. Ví dụ, với tấm panen của một tầng điển hình rộng 1500 mm, chiều rộng khe nối 12 mm sẽ phù hợp. Với tấm panen 1800 mm, cần có khe nối rộng hơn.

2.2.5.11.5 Khe nối thường phải đáp ứng được các thay đổi về kích thước tòa nhà để đảm bảo dung sai cho chiều rộng khe nối. Ví dụ, khe nối 20 mm có thể được chỉ định với sai số ± 6 mm. Trong ví dụ trước, chiều rộng khe nối có thể dao động từ 12 đến 25 mm, nhưng nên được giữ ở mức chênh lệch 6 mm. Chiều rộng khe nối nên được chỉ định như sau: 20 mm với dung sai tối đa 5 mm.

2.2.5.11.6 Nếu chiều rộng khe nối được xác định là quá rộng, nên chọn keo khác có khả năng dịch chuyển lớn hơn. Ví dụ: nếu khả năng dịch chuyển là $\pm 50\%$, chiều rộng khe nối trong ví dụ trở thành 20 mm.

2.2.5.11.7 Để cung cấp chất lượng tối ưu cho việc bơm keo và hiệu suất của keo, kiến trúc sư nên chỉ định chiều rộng khe nối không nhỏ hơn 20 mm. Khe nối góc phải rộng 25 mm để phù hợp với dịch chuyển thêm và uốn thường xảy ra tại vị trí này.

2.2.5.11.8 Khe nối hẹp được coi là có nguy cơ rất cao đối với bất kỳ việc bơm keo nào.

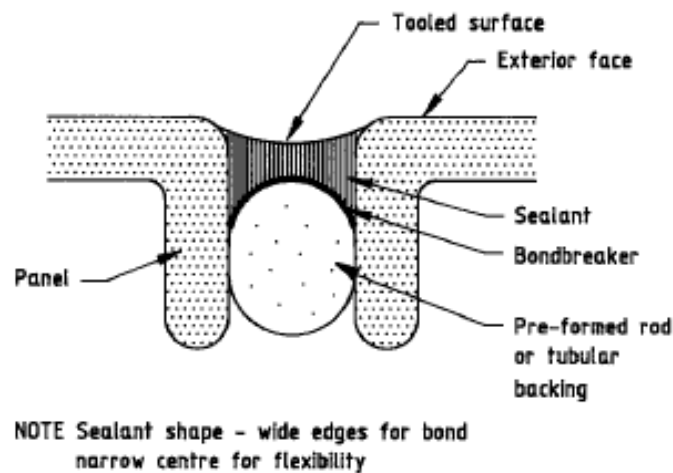
2.2.5.11.9 Độ sâu yêu cầu của keo phụ thuộc vào chiều rộng của keo tại thời điểm thi

công. Các mối quan hệ chiều rộng/chiều sâu của keo tối ưu được xác định tốt nhất bởi nhà sản xuất keo. Nếu các nhà sản xuất không đồng ý về tỷ lệ chiều rộng/chiều sâu keo lý tưởng, có thể chấp nhận các hướng dẫn sau:

– Đối với các mối nối có chiều rộng từ 12 đến 25 mm, độ sâu của keo phải là 12 mm. Keo nên có hình dạng lõm cho độ dày lớn hơn ở các mặt của panen.

– Đối với các khe nối vượt quá 25 mm, độ sâu của keo phải tối đa là 16 mm và tối thiểu 12 mm

2.2.5.11.10 Độ sâu của keo nên được kiểm soát bằng cách sử dụng tấm đệm đàn hồi phù hợp. Các tấm đệm đàn hồi cũng phải hoạt động như một chất ngăn kết dính (Xem Hình 2.4).



Hình 2.4 – Độ sâu của keo [2]

2.2.5.12. Vật liệu trám

2.2.5.12.1 Vật liệu phổ biến nhất là silicon với độ đàn hồi có thể đạt được 50% (tham khảo ASTM C962 hoặc các tiêu chuẩn tương đương khác).

2.2.5.12.2 Các keo được sử dụng cho các mục đích cụ thể thường được thi công bởi các nhà thầu phụ khác nhau. Ví dụ, nhà thầu phụ cửa sổ thường bơm keo xung quanh cửa sổ, trong khi đó, nhà thầu phụ thứ hai thường bơm keo xung quanh các tấm. Nhà thiết kế phải chọn và phối hợp tất cả các keo được sử dụng trong một dự án để tương thích hóa học và bám dính với nhau. Nói chung, nên tránh tiếp xúc giữa các loại keo khác nhau.

2.2.5.12.3 Các khuyến nghị của nhà sản xuất keo phải luôn được tuân thủ liên quan đến việc trộn, chuẩn bị bề mặt, sơn lót, tuổi thọ sử dụng và quy trình thi công. Tay nghề nhân công cao là yếu tố quan trọng nhất cần thiết để có được sự làm việc thỏa mãn.

2.2.5.12.4 Các cạnh của các tấm panen GFRC và các vật liệu liên kết phải mịn, sạch và khô. Chúng cũng phải không có sương, bụi, vữa lỏng hoặc các chất gây ô nhiễm khác có thể ảnh hưởng đến độ bám dính như chất làm chậm hoặc keo. Có thể sẽ kinh tế và hiệu

quả hơn khi chuẩn bị các bề mặt khe nối trước khi lắp dựng nếu một số lượng lớn các tấm panen yêu cầu chuẩn bị bề mặt. Nên tiến hành thử nghiệm độ bám dính hoặc bong tróc để xác định khả năng tương thích của keo với các bề mặt tiếp xúc.

2.2.5.12.5 Trước khi hàn, nên lau sạch khe nối bằng một miếng vải được tẩm dung môi không dầu như xylol. Đôi khi, GFRC mịn có một lớp trên bề mặt có thể bong ra để lại một khoảng giữa nó và GFRC sau khi dùng keo bịt khe nối. Có thể cần phải loại bỏ lớp bê tông bằng cách sử dụng bàn chải dây cứng, sau đó rửa sạch bằng nước áp lực cao.

2.2.5.12.6 Tấm đệm đàn hồi giúp định hình keo. Khi chọn tấm đệm đàn hồi và/hoặc chất ngăn kết dính, cần tuân thủ các khuyến nghị của nhà sản xuất keo để đảm bảo tính tương thích. Tấm đệm đàn hồi, phải có kích thước và hình dạng phù hợp để sau khi được lắp đặt, chúng được nén 30% - 50%. Cần lựa chọn và sử dụng đúng tấm đệm đàn hồi để khe nối kín nước.

2.2.6. Cố định panen vào kết cấu chính

2.2.6.1. Phương pháp cố định tấm panen phải được trình bày rõ ràng trong thiết kế; phương pháp thực tế được sử dụng tại hiện trường để kết nối các panen với tòa nhà phải phản ánh được các giả định thiết kế.

2.2.6.2. Bố trí (setting)

2.2.6.2.1 Các panen GFRC phải được nâng lên bằng các thiết bị nâng phù hợp tại các điểm do nhà sản xuất chỉ định.

2.2.6.2.2 Các panen GFRC phải được lắp đặt đúng cao trình, thẳng góc, vuông vắn và đúng trong phạm vi dung sai cho phép.

2.2.6.2.3 Các mối nối giữa panen với panen phải có kích thước tối thiểu là 1,5 cm.

2.2.6.3. Gối đỡ và giằng

2.2.6.3.1 Người lắp dựng phải cung cấp các gối đỡ và giằng tạm theo yêu cầu để giữ các panen ở đúng vị trí, ổn định và thẳng hàng khi chúng đang được lắp dựng.

2.2.6.4. Cố định panen vào kết cấu chính

2.2.6.4.1 Gắn các panen GFRC vào kết cấu chính bằng cách bắt vít hoặc hàn hoặc cả hai, như thể hiện trên bản vẽ lắp dựng đã được phê duyệt.

2.2.6.4.2 Việc hàn tại hiện trường phải được thực hiện bởi các thợ hàn có trình độ chuyên môn, sử dụng thiết bị và vật liệu tương thích với vật liệu cơ bản.

2.2.6.4.3 Việc cố định panen vào kết cấu chính hoàn toàn độc lập và không phụ thuộc vào các vật liệu liên kết.

2.2.7. Vá

2.2.7.1. Phương pháp: Trộn và đặt hỗn hợp vữa để phù hợp với màu sắc và kết cấu của

bê tông xung quanh. Nếu không thể vá hoặc nếu kiến trúc sư không chấp nhận, thì panen GFRC sẽ được thay thế.

2.2.7.2. Kết cấu phù hợp: Chỉ có thể vá với điều kiện là kết cấu của panen không bị suy giảm.

2.2.7.3. Thiệt hại: Thiệt hại gây ra do thi công các hạng mục khác yêu cầu cần phải thay thế hoặc vá panen sẽ do nhà sản xuất GFRC thực hiện.

2.2.8. Kiểm tra

2.2.8.1. Tất cả các nứt mẻ, khuyết tật hoặc thiệt hại khác xảy ra tại hiện trường phải được báo cáo cho người giám sát lắp dựng.

2.2.8.2. Panen có thể bị loại bỏ vì bất kỳ lỗi nào sau đây của sản phẩm hoặc những sai sót lắp đặt vẫn còn tồn tại sau khi đã sửa chữa và làm sạch.

Định nghĩa "có thể nhìn thấy" có nghĩa là một người có thị lực bình thường có thể nhìn thấy được khi nhìn từ khoảng cách 6 m trong điều kiện ánh sáng ban ngày.

1. Không thỏa mãn dung sai quy định
2. Khoảng trống không khí (lỗ hổng hoặc lỗ thối) có đường kính lớn hơn 10 mm
3. Khớp nối có thể nhìn thấy
4. Những bất thường có thể nhìn thấy
5. Vết bẩn có thể nhìn thấy trên bề mặt panen
6. Sự khác biệt có thể nhìn thấy giữa panen và mẫu được phê duyệt
7. Sự không đồng nhất có thể nhìn thấy của chất liệu (texture) hoặc màu sắc
8. Vật liệu lạ nhúng vào bề mặt panen có thể nhìn thấy
9. Những sửa chữa hoặc vết nứt có thể nhìn thấy
10. Đường bóng gia cố (reinforcement shadow lines) có thể nhìn thấy

2.2.9. Làm sạch

2.2.9.1. Bụi bẩn và vết bẩn xảy ra trong quá trình vận chuyển và lắp dựng cần được làm sạch bởi nhà sản xuất hoặc người lắp dựng, sử dụng bàn chải sợi và bọt biển.

2.2.9.2. Cần hết sức cẩn thận để tránh làm hỏng bề mặt GFRC và các vật liệu lân cận

2.2.9.3. Việc vệ sinh nên được thực hiện không sớm hơn ba ngày (hoặc theo yêu cầu được chỉ định để bảo dưỡng vật liệu sửa chữa) sau khi bất kỳ sửa chữa tấm bê tông GFRC nào được hoàn thành. Nên tham vấn nhà sản xuất về thủ tục làm sạch.

2.2.9.4. Trong trường hợp phải sử dụng chất tẩy, cần phải làm sạch và kiểm tra một khu vực nhỏ (0,8 m²) để xác định sự phù hợp của chất tẩy rửa và phương pháp tẩy rửa trước khi tiến hành quá trình làm sạch toàn bộ.

2.2.10. Lớp phủ bề mặt

2.2.10.1. Keo hoặc lớp phủ bề mặt phải được kiểm tra trên các mẫu có kích thước hợp lý ở độ tuổi khác nhau và hiệu suất của chúng được xác minh trong một khoảng thời gian phơi nhiễm hoặc sử dụng phù hợp dựa trên kinh nghiệm trước đó trong các điều kiện phơi nhiễm tương tự. Keo nên được bơm theo các khuyến nghị bằng văn bản của nhà sản xuất.

2.2.10.2. Nhà cung cấp hoặc người thi công phải đảm bảo bất kỳ loại keo nào được sử dụng không làm ó, bẩn, làm xỉn hoặc làm mất màu của lớp hoàn thiện.

2.2.10.3. Một số bơm keo có thể làm cho keo làm ó bề mặt panen hoặc ảnh hưởng đến liên kết của keo. Nên tham khảo ý kiến của nhà sản xuất keo và bơm keo trước khi sử dụng, các vật liệu đặc biệt cũng nên được thử nghiệm trước khi sử dụng.

2.3. Nghiệm thu

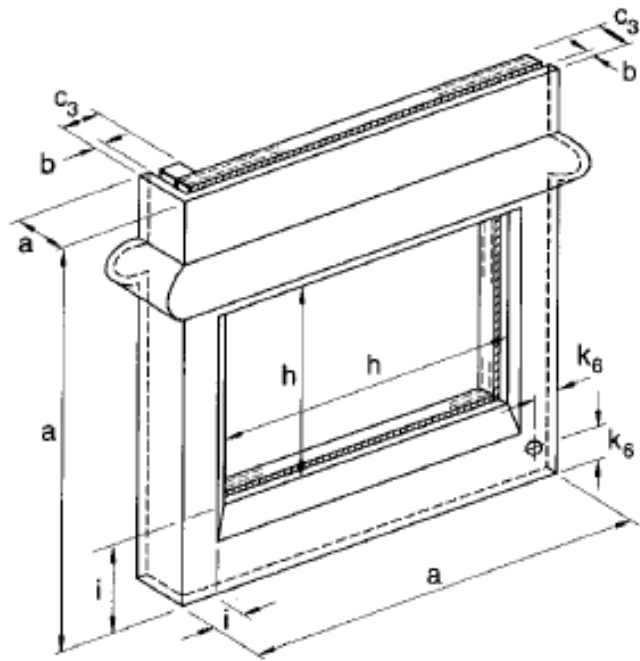
2.3.1. Sai số gia công

Dung sai sản phẩm thường được xác định dựa trên các xem xét về mặt kinh tế và sản xuất thực tế.

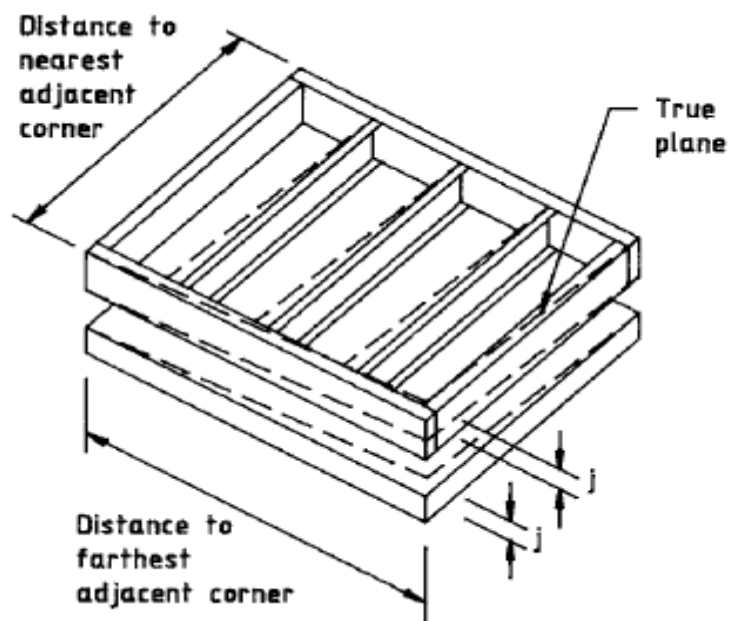
Dung sai không được yêu cầu chặt chẽ hơn mức cần thiết nếu không sẽ ảnh hưởng đến chi phí và tiến độ sản xuất.

Quy định dung sai sản phẩm cho tấm panen GFRC có ý nghĩa sau:

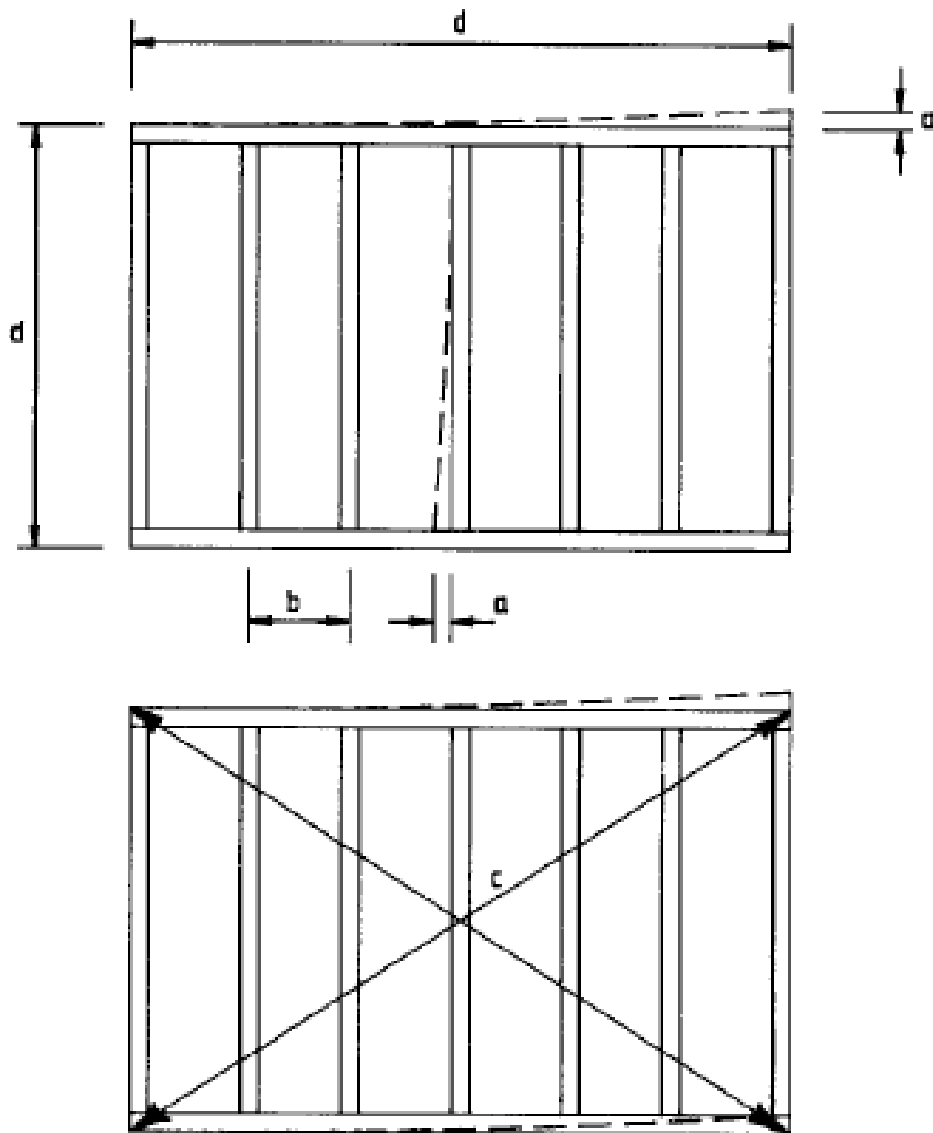
- Chiều dài hoặc chiều rộng và độ thẳng của mỗi tấm panen GFRC sẽ ảnh hưởng đến kích thước khe nối, kích thước mở giữa các panen và chiều dài tổng thể của kết cấu. Dung sai phụ thuộc vào kích thước của tấm panen, dung sai tăng khi kích thước tấm panen tăng.
- Sự thay đổi độ dày của các tấm panen GFRC cần phải sử dụng các thanh nẹp (furring channels) khi lớp hoàn thiện bên trong được gắn trực tiếp vào khung panen.



Hình 2.5 – Yêu cầu về dung sai cho panen [2]



Hình 2.6 – Xác định độ cong vênh [2]



Hình 2.7 – Sai số khung panen [2]

Lưu ý rằng dung sai uốn cong và cong vênh là 2 vấn đề quan tâm chính tại thời điểm lắp panen được dựng lên. Cần chú ý đến việc lưu trữ các tấm panen trước khi lắp đặt chúng, vì điều kiện lưu trữ có thể là một yếu tố quan trọng để đạt được và duy trì dung sai về uốn cong và cong vênh của panen.

Các tấm panen nên được gia công trong phạm vi dung sai thể hiện trong

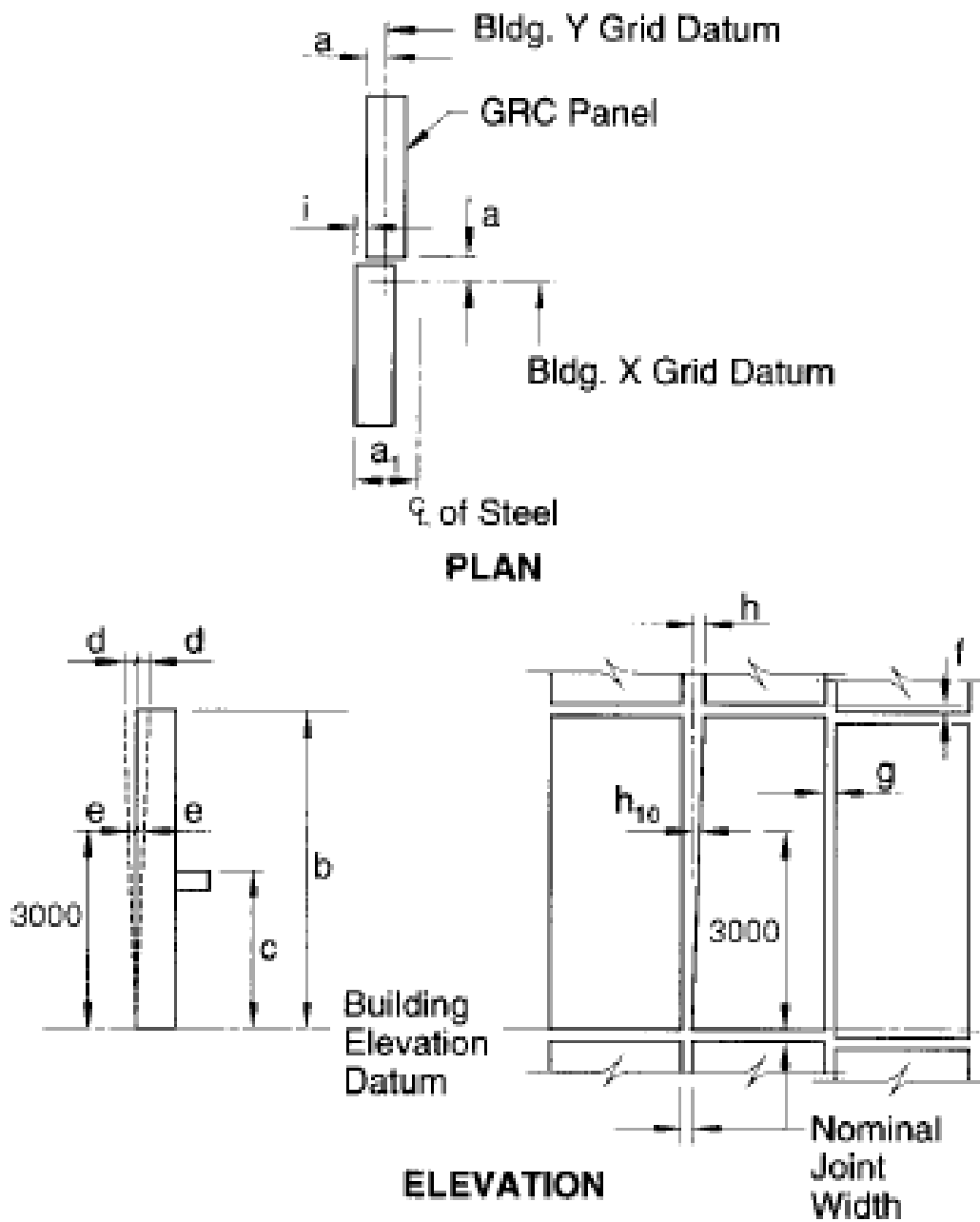
Bảng 2.1.

Bảng 2.1 - Sai số kích thước cho phép khi gia công [2]

Nội dung		Sai số cho phép
Xem Hình 2.5		
a = Chiều cao và chiều rộng của khung	$\leq 3m$	$\pm 3 \text{ mm}$
	$> 3m$	$\pm 3 \text{ mm}/3 \text{ m}$ (tối đa 6 mm)
b = Edge return		+ 3 mm, -0 mm
c = chiều dày:		
c ₁ bề mặt kiến trúc (architectural facing)		$\pm 3 \text{ mm}$
c ₂ mặt bê tông sau (GRC backing)		+ 6 mm, -0 mm
c ₃ chiều sâu panen tính từ mặt của bê tông đến phần phía sau của khung panen hoặc sườn		+ 10 mm, -6 mm
d = Biến thiên góc của mặt phẳng khuôn bên		1 mm/75 mm chiều sâu hoặc 1.5 mm, lấy giá trị lớn hơn
e = Sai lệch chiều dài đường chéo		3 mm/2 m hoặc 6 mm, lấy giá trị lớn hơn
f = độ phẳng cục bộ (local smoothness)		6 mm/3m
g = độ võng		Không vượt quá L/240
h = chiều dài và chiều rộng của lỗ hử trong một panen		$\pm 6 \text{ mm}$
i = vị trí của cửa sổ trong khung panen		$\pm 6 \text{ mm}$
Xem Hình 2.5		
k = vị trí của sườn		
k ₁ khung panen		$\pm 6 \text{ mm}$
k ₂ Thanh chèn tại cạnh		$\pm 3 \text{ mm}$
k ₃ Các chi tiết đệm		$\pm 12 \text{ mm}$
k ₄ Thiết bị bốc dỡ chuyên dụng		$\pm 75 \text{ mm}$
k ₅ Vị trí của thiết bị chịu lực		$\pm 6 \text{ mm}$
k ₆ Khoảng trống		$\pm 10 \text{ mm}$
Xem Hình 2.7		
Panen khung (stud frame)		
a =		6 mm/3 m
b =		$\pm 10 \text{ mm}$
c =		10 mm
d =		$\pm 10 \text{ mm}$

2.3.2. Sai số lắp đặt

Sai số lắp đặt được thể hiện trong Hình 2.8 và Bảng 2.2 dưới đây:



Hình 2.8 – Các sai số lắp đặt [2]

Bảng 2.2 – Sai số cho phép khi lắp đặt (xem Hình 2.8) [2]

a =	± 13 mm
a ₁ =	± 13 mm
b = Độ cao đỉnh so với độ cao đỉnh danh nghĩa g) Tấm riêng lộ ra h) Tấm riêng không lộ ra i) Tương đối tiếp xúc với tấm bên j) Không tương đối tiếp xúc với tấm bên	± 6 mm ± 13 mm ± 6 mm ± 13mm
c = độ cao từ độ cao danh nghĩa: k) Thấp lớn nhất l) Cao lớn nhất	13 mm 6 mm
d =	25 mm
e =	6 mm
f =	6 mm
g = chiều rộng khe nối m) Panen có kích thước ≤ 6 m n) Panen có kích thước > 6 m	± 6 mm ± 8 mm
h =	9 mm
h ₁₀ =	6 mm
i =	6 mm
j =	6 mm

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Cladding of Buildings.
- [2] GFRC Manual Edition 2.
- [3] Practical Design Guide for GFRC.