

CÔNG NGHỆ BÊ TÔNG BỀN VỮNG CHO THẾ KỶ 21

Tóm tắt:

Bê tông là vật liệu xây dựng được sử dụng rộng rãi nhất cho nhu cầu xây dựng hạ tầng ở châu Á cũng như trên thế giới. Tuy nhiên công nghiệp bê tông lại là một trong các ngành tiêu thụ lớn nhất tài nguyên thiên nhiên và năng lượng, cũng như chịu trách nhiệm về sự phát thải lớn khí CO₂, một trong các khí gây hiệu ứng nhà kính gây hiện tượng làm trái đất nóng lên. Điều đó cho thấy công nghiệp bê tông cần đóng vai trò tích cực hơn trong việc cân bằng nhu cầu hạ tầng và bảo vệ môi trường.

Để đáp ứng các thách thức mà ngành công nghiệp bê tông phải đối mặt, trong bài báo này lược trình công nghệ bê tông bền vững và thân thiện với môi trường, bao gồm hoàn thiện công nghệ chế tạo xi măng, sử dụng nguyên liệu thay thế, tái chế bê tông và các vật liệu khác, kéo dài tuổi thọ kết cấu bê tông. Trong bài cũng đề cập các công nghệ mới có tiềm năng thúc đẩy đáng kể đối với sự phát triển bền vững của công nghiệp bê tông. Các quy định gây cản trở sự phát triển công nghệ bê tông thân thiện môi trường được đề cập, bên cạnh đó cũng đề xuất vượt qua các rào cản này như thế nào.

Việc chia sẻ thông tin này cho phép hy vọng ngành công nghiệp xi măng châu Á sẽ được thúc đẩy phát triển bền vững thông qua việc áp dụng công nghệ bê tông bền vững nhằm tiết kiệm tài nguyên thiên nhiên, năng lượng và bảo vệ môi trường.

MỞ ĐẦU

Bê tông là một trong các vật liệu xây dựng được sử dụng rộng rãi nhất trong xây dựng mới hay sửa chữa cơ sở hạ tầng. Các số liệu dự báo cho thấy sản lượng bê tông trên toàn thế giới sẽ tăng từ khoảng 10 tỷ tấn trong năm 1995 lên 16 tỷ tấn trong năm 2010. Tuy nhiên công nghiệp bê tông lại là một trong các ngành tiêu thụ lớn nhất tài nguyên thiên nhiên và năng lượng, cũng như chịu trách nhiệm về sự phát thải lớn khí CO₂, một trong các khí gây hiệu ứng nhà kính gây hiện tượng làm trái đất nóng lên.

Sự phát triển bền vững thường được định nghĩa là “*Sự phát triển đáp ứng các nhu cầu của hiện tại mà không làm tổn hại khả năng của các thế hệ tương lai đáp ứng nhu cầu của mình*”. Theo định nghĩa này, sự phát triển bền vững sẽ bao gồm ba vấn đề lớn: *quản lý môi trường, trách nhiệm xã hội và thịnh vượng kinh tế*. Các thách thức mà công nghiệp bê tông đối mặt đáp ứng sự phát triển bền vững cho thế hệ hiện tại và các thế hệ tương lai bao gồm:

1. Dân số tiếp tục phát triển. Dân số thế giới trong năm 2008 khoảng 6,7 tỷ người và được dự báo là 10 tỷ người trong năm 2050. Châu Á chỉ chiếm 8,6% diện tích toàn bộ bề mặt trái đất nhưng chứa tới 60% dân số thế giới.
2. Nhu cầu phát triển cơ sở hạ tầng sẽ tăng để đáp ứng các nhu cầu cơ bản của việc tăng dân số.
3. Nguồn tài nguyên thiên nhiên hạn chế. Tài nguyên khoáng sản (đá vôi và cốt liệu) và nhiên liệu không tái tạo cần thiết cho sản xuất xi măng và bê tông trở nên khan hiếm hơn.
4. Xuất hiện nhu cầu cấp thiết giảm phát thải khí gây hiệu ứng nhà kính, đặc biệt là khí CO₂, nhằm chống lại việc nóng lên toàn cầu.

Để giúp công nghiệp bê tông phát triển bền vững khi đối mặt các thách thức phát triển kể trên, trong bài này trình bày một số công nghệ bê tông bền vững và thân thiện môi trường bao gồm hoàn thiện công nghệ chế tạo xi măng, sử dụng nguyên liệu thay thế, tái chế bê tông và các vật liệu khác, kéo dài tuổi thọ kết cấu bê tông. Ở đây cũng trình bày các công nghệ mới có tiềm năng đáng kể đối với việc phát triển công nghiệp bê tông bền vững.

1. Hoàn thiện công nghệ sản xuất xi măng

Xi măng được sản xuất bằng cách nung đá vôi và các nguyên liệu khác tới nhiệt độ 1400-1450 °C trong lò. Nhiên liệu như than đá và dầu thường được sử dụng để cấp nhiệt cho quá trình nung. Đá vôi (CaCO₃) trong quá trình nung phân tích thành oxyt canxi (CaO) và khí cacbonic (CO₂). CaO tiếp đó sẽ tương tác với các thành phần khác trong phối liệu để tạo thành clanke xi măng Poóc lăng. Clanhke tiếp đó được nghiền mịn với một lượng nhất định thạch cao để trở thành sản phẩm xi măng. Trong quá trình nghiền xi măng, một số phụ gia khoáng được bổ xung như đá vôi, xỉ lò cao, tro bay hay các phế thải công nghiệp khác.

Ảnh hưởng lớn nhất đối với môi trường trong quá trình sản xuất xi măng là sự sử dụng năng lượng (than, dầu, điện), phát thải khí CO₂ và sử dụng nguyên liệu thiên nhiên (chủ yếu là đá vôi). Việc sản xuất 1 tấn xi măng đòi hỏi 4 GJ nhiên liệu cho một tấn sản phẩm và khoảng 1 tấn khí CO₂ phát thải. Số liệu điều tra cho thấy việc sản xuất xi măng trên toàn thế giới chiếm khoảng 7% lượng phát thải CO₂ toàn cầu.

Kể từ những năm 90, công nghiệp xi măng đã có những bước cải quan trọng trong việc giảm tiêu thụ năng lượng, khoảng 20%. Việc này đạt được chủ yếu nhờ việc thay thế công nghệ ướt sang công nghệ khô hiện đại. Việc hiện đại hoá các nhà máy xi măng và các thiết bị trong sản xuất xi măng đã làm giảm tiêu thụ điện trong quá trình nghiền xi măng, kết quả là giảm lượng CO₂ phát thải tại các nhà máy nhiệt điện.

Việc sử dụng một số nhiên liệu thay thế trong lò nung xi măng đã làm giảm lượng các phế thải cần được thiêu hay chôn lấp. Vật liệu phế thải mà hiện công nghiệp xi măng đang sử dụng như nhiên liệu thay thế bao gồm petroleum coke, lốp xe cũ, cao su, giấy vụn, dầu thải, bùn cống, chất dẻo, dung môi đã qua sử dụng... Bên cạnh việc sử dụng năng lượng nhiệt từ phế thải, việc này còn dẫn đến làm giảm đáng kể phát thải khí CO₂. Số liệu nghiên cứu cho thấy, tới 20% tổng năng lượng mà ngành công nghiệp xi măng Niu Zilân sử dụng đã được thay thế bởi dầu đã qua sử dụng, làm giảm đáng kể việc tiêu thụ than- loại nhiên liệu không tái tạo.

Nguyên liệu thay thế trong sản xuất xi măng bao gồm phế thải công nghiệp như tro bay, xỉ lò... cũng được sử dụng khi nghiền chung với clanhke để sản xuất xi măng hỗn hợp. Việc tăng sử dụng các loại phế thải công nghiệp này làm giảm hàm lượng xi măng, là một cách đi đã được kiểm chứng nhằm giảm khí hiệu ứng nhà kính và phát thải ô nhiễm không khí. Phụ gia đá vôi được sử dụng ngày càng tăng tại châu Âu trong quá trình nghiền xi măng. Các phụ gia khoáng này khi sử dụng trong sản xuất xi măng đã tạo hiệu quả giảm năng lượng tiêu thụ, bên cạnh việc giảm lượng phế thải cần phải chôn lấp, tăng sản lượng của nhà máy xi măng mà không cần lắp đặt lò nung mới, hoàn thiện các tính năng của bê tông.

2. Sử dụng phụ gia khoáng trong sản xuất xi măng

Các phụ gia khoáng như tro bay, xỉ lò, silica fume là một trong các vật liệu đáp ứng phát triển bền vững do việc sử dụng chúng cho phép:

- Hoàn nguyên phế thải công nghiệp thông qua việc sử dụng hiệu quả trong bê tông,
- Tránh phải tồn chứa phế thải công nghiệp,
- Giảm hàm lượng xi măng trong bê tông, kết quả là giảm phát thải khí nhà kính và giảm sử dụng nguyên liệu tự nhiên,
- Tăng tuổi thọ kết cấu công trình do tăng độ bền của bê tông.

Sản lượng tro bay trên toàn thế giới ước khoảng 900 triệu tấn, với các nhà sản xuất chính là Trung quốc, Ấn độ và Mỹ, theo số liệu thống kê. Tỷ lệ và cách sử dụng trong bê tông của một số nước được nêu trong bảng dưới.

Sản lượng tro bay và sử dụng trong bê tông năm 2004:

Nước	Sản lượng, triệu tấn	Sử dụng trong bê tông, %
Trung quốc	> 600	>15
Ấn độ	>110	15
Mỹ	> 60	10
Nga	60	5
Đức	33	12
Anh	10	10

Một trong những hướng phát triển sử dụng tro bay trong bê tông là công nghệ bê tông cường độ cao giàu tro bay. Các nghiên cứu cho thấy khi tỷ lệ nước trên chất kết dính nhỏ hơn hoặc bằng 0,3 trong phối liệu bê tông có phụ gia siêu dẻo thì có thể thay thế tới 60% xi măng bởi tro bay chủng loại F hay C theo phân loại của ASTM với các tính năng tốt của bê tông.

Phụ gia – phế thải công nghiệp khác cũng có ảnh hưởng tốt đến các tính chất của xi măng đó là xỉ hạt lò cao. Mặc dầu sản lượng xỉ lò cao trên thế giới đạt khoảng 100 triệu tấn năm, tuy nhiên chỉ khoảng 25 triệu tấn xỉ được tạo hạt và có tính kết dính. Việc sử dụng xỉ lò cao tạo hạt trong bê tông

làm giảm đáng kể nguy cơ xấu của phản ứng kiềm-silica, tăng độ bền clo, giảm nguy cơ xâm thực cốt thép, tăng độ bền sulphat và hoá chất khác. Việc sử dụng xỉ lò cao tạo hạt có chiều hướng tăng trong sản xuất xi măng.

Khoảng 5 triệu tấn xỉ hạt lò cao được sử dụng hàng năm tại Đài loan trong chế tạo bê tông. Trong hỗn hợp bê tông bền sunphat cao tới 55% xi măng pooclang type V đã được thay thế bởi xỉ lò cao, còn trong các loại bê tông bền sunphat thường thì xỉ lò cao thay thế tới 45% xi măng type II. Bê tông chứa 45-55% xỉ hạt lò cao thường được sử dụng làm bê tông xây tường tại Đài loan.

Silica fume là phế thải khi sản xuất kim loại silicon hay hợp kim ferrosilicon. Silica fume nén chứa tới 85-98% SiO_2 và gồm các hạt pha thủy tinh dạng cầu rất mịn. Do độ mịn rất cao và hàm lượng SiO_2 cao nên silica fume là phụ gia pozzolan rất hiệu quả. Sản lượng thế giới của silica fume là khoảng 2 triệu tấn. Do nguồn hạn chế và giá khá cao so với xi măng nên silica fume được dùng như phụ gia gia cường tính năng. Trong vai trò này, silica fume được sử dụng trong bê tông nhằm tạo cường độ nén rất cao hay độ bền cao hoặc cả hai. Nó thường được sử dụng để chế tạo bê tông có độ thấm thấp cho các kết cấu bãi đỗ xe, bản cầu và để sửa chữa các kết cấu công trình thủy bị hỏng do mài mòn.

Một trong những rào cản đối với việc sử dụng các khối lượng lớn tro bay và các phụ gia khoáng thay thế xi măng khác trong bê tông là tính lạc hậu của các yêu cầu kỹ thuật và các quy chuẩn kỹ thuật. Tính lạc hậu của các yêu cầu kỹ thuật chủ yếu thể hiện ở giới hạn phần trăm thay thế xi măng khi sử dụng phụ gia. Ví dụ Quy chuẩn kỹ thuật xây dựng ACI 318 giới hạn tỷ lệ phần trăm tối đa của tro bay hay các phụ gia pozzolan không quá 25% tổng lượng xi măng sử dụng cho bê tông chịu tác động của các hoá chất làm tan băng. Tuy nhiên bê tông tính năng cao được chế tạo với hàm lượng tro bay cao cho thấy rằng các yêu cầu kỹ thuật lỗi thời đã cản trở việc sử dụng rộng rãi tro bay cũng như các loại phụ gia khoáng khác thay thế xi măng. Việc thay thế các yêu cầu kỹ thuật và quy chuẩn kỹ thuật lạc hậu bởi các yêu cầu kỹ thuật và quy chuẩn kỹ thuật mới hoàn thiện hơn sẽ thúc đẩy tỷ lệ sử dụng tro bay và các phụ gia khoáng thay thế xi măng và đem lại các lợi ích kinh tế và môi trường.

3. Bê tông và các vật liệu tái chế khác

Số liệu điều tra cho thấy có khoảng 1 tỷ tấn phế thải xây dựng được tạo ra hàng năm trên toàn thế giới. Các phế thải xây dựng này có nguồn gốc từ việc giải phóng mặt bằng sau các thảm họa thiên tai hay các hoạt động có kiểm soát như giải phóng mặt bằng xây dựng... Việc sử dụng các phế thải xây dựng này thông qua tái chế có thể đem lại lợi ích kinh tế và môi trường.

Trong những năm gần đây, việc tận dụng các phế thải xây dựng cho các công trình xây dựng mới thông qua việc tái chế và tái sử dụng đã được nhiều quan tâm nhiều trên toàn thế giới, đặc biệt tại các nước châu Âu, Nhật, Mỹ, Đài loan. Các kinh nghiệm thực tiễn và kinh tế tại Nhật và Đan Mạch cho thấy rằng phế thải xây dựng có thể sử dụng nhiều làm vật liệu lót và nền đường. Khi sử dụng vào các mục đích này, phế thải xây dựng (chủ yếu là bê tông, gạch và đá) có thể thay thế tới 20% lượng sử dụng cát, sỏi và đá dăm do vậy cho phép tiết kiệm tài nguyên thiên nhiên. Hiện tại hơn 95% phế thải xây dựng được tái chế và sử dụng chủ yếu làm vật liệu nền đường tại Nhật.

Bê tông tái chế cũng được sử dụng thay thế một phần cốt liệu thô trong các kết cấu bê tông và bê tông vữa hè, đường. Ví dụ 35% cốt liệu thô được thay thế bởi cốt liệu bê tông tái chế cho bê tông đổ tại chỗ đối với tất cả các móng và 50% tường chịu lực và cột tại trường trung học mới xây dựng tại Oslo, Thụy điển. Các thí nghiệm kiểm tra bê tông cho thấy rằng chúng hoàn toàn tương tự như đối với cốt liệu đá thiên nhiên. Việc sử dụng cốt liệu tái chế không thấy thể hiện các vấn đề tăng nứt hay các vấn đề về độ bền của kết cấu.

Kể từ những năm 1990, các phế thải công nghiệp khác cũng được sử dụng thành công trong bê tông như cát khuôn đúc, xỉ đúc, thủy tinh đã qua sử dụng, tro gỗ...

Mặc dù cốt liệu bê tông tái chế được sử dụng thành công làm vật liệu nền đường, gia cố và như cốt liệu trong bê tông mới nhưng phần lớn lượng phế thải xây dựng hiện vẫn đang bị chôn lấp. Tuy nhiên, viễn cảnh của việc tái sử dụng bê tông là sáng sủa do nguồn cốt liệu thiên nhiên và diện tích đất làm bãi tồn chứa phế thải công nghiệp ngày càng hạn hẹp. Hơn nữa, việc hoàn thiện các công nghệ phá dỡ, gia công, quản lý chất thải sẽ hoàn thiện chất lượng và giảm giá thành cốt liệu bê tông tái chế.

4. Kéo dài tuổi thọ kết cấu bê tông công trình

Sẽ là tiết kiệm lớn nguồn tài nguyên và năng lượng nếu kéo dài tuổi thọ công trình. Số liệu nghiên cứu cho thấy tính hiệu quả của công nghiệp bê tông sẽ tăng gấp 5 lần nếu tuổi thọ của phần lớn các công trình đã được xây hiện nay có tuổi thọ 250 năm thay cho 50 năm như hiện tại. Các nghiên cứu gần đây về sử dụng bê tông tính năng cao, bê tông có độ thấm thấp, sử dụng phụ gia cuốn khí, gia cường bằng keo epoxy, các lớp bảo vệ, phụ gia giảm xâm thực... làm tăng đáng kể tuổi thọ của bê tông.

Việc kéo dài tuổi thọ của các công trình hạ tầng hiện hữu thay vì phá đi và xây lại thông qua việc kiểm tra định kỳ, đánh giá, bảo dưỡng đúng cách, sửa chữa kịp thời không chỉ cần ít nguồn tài nguyên thiên nhiên và năng lượng hơn mà còn giảm thiểu các tác động đến môi trường. Thực tiễn cho thấy rằng bê tông chất lượng kém sẽ bị hư hỏng sớm và thường xuyên phải yêu cầu sửa chữa tốn kém dẫn đến hao tổn tài nguyên thiên nhiên, năng lượng và tiền của. Các số liệu nghiên cứu cho thấy trong thực tiễn xây dựng hiện nay chịu ảnh hưởng của yêu cầu phương pháp thi công nhanh và giá thành thấp, kết quả là làm giảm độ bền của kết cấu công trình. Vì vậy tiêu chí “giá thành sử dụng đời công trình (*life-cycle cost*)” nên được các nhà đầu tư xem xét để xây dựng kết cấu bê tông chất lượng tốt hơn và bền lâu hơn so với tiêu chí “giá thành ban đầu thấp hơn (*lower initial cost*)”.

5. Các công nghệ mới

Một số công nghệ mới có tiềm năng thúc đẩy công nghiệp bê tông phát triển bền vững được trình bày dưới đây:

Bê tông cường độ siêu cao

Các nghiên cứu phát triển gần đây về bê tông cường độ siêu cao có tổ hợp các tính năng cao về cường độ bền uốn và nén, độ dẻo và độ bền. Khi chịu tải, các cấu trúc bê tông cường độ siêu cao sẽ nhẹ hơn và bền hơn so với cấu trúc bê tông thông thường trong khi cần ít nguyên liệu, năng lượng hơn và tạo ra ít hơn phát thải CO₂ khi chế tạo.

Hấp phụ CO₂

Khi phơi nhiễm ngoài không khí, bê tông có khả năng hấp phụ khí CO₂ trong môi trường. Nghiên cứu mới đây cho thấy quá trình cacbonát hoá của bê tông là cơ chế hấp phụ nhiều lượng khí phát thải CO₂ sinh ra khi sản xuất xi măng. Các nghiên cứu tiếp cần được tiến hành để tính chính xác lượng cacbonát hoá của bê tông như là cơ chế giảm phát thải CO₂.

Công nghệ nano

Công nghệ nano là lĩnh vực nghiên cứu khá tích cực trên toàn thế giới. Các ứng dụng chủ yếu của công nghệ nano là trong các lĩnh vực điện tử, cơ-sinh học và chi tiết máy. Mới đây đã bắt đầu xuất hiện một loạt các nghiên cứu thăm dò ứng dụng công nghệ nano trong bê tông compôzit. Trong số các công nghệ mới nghiên cứu có thể thúc đẩy phát triển công nghệ bê tông bền vững như:

- Xúc tác nano: cho phép giảm nhiệt độ nung clanhke xi măng cho phép giảm năng lượng tiêu thụ và giảm phát thải CO₂.
- Các hạt SiO₂ nano (nano silica) dùng cho bê tông tính năng siêu cao.
- Các chất kết dính nano hay vật liệu xi măng nano với các phần tử kết dính kích thước nano.
- Trộn các ống nano cacbon vào bê tông có thể tạo các tính năng cường độ cao hơn, dẻo, hấp thụ năng lượng nhiều hơn, độ bền bê tông cao hơn...,
- Hệ thống các phụ gia siêu dẻo thế hệ mới kiểm soát tính công tác và giảm mạnh nước yêu cầu.

6. Kết luận

Công nghiệp bê tông có thể phát triển bền vững khi áp dụng các công nghệ bền vững sau đây để tiết kiệm các nguồn tài nguyên, năng lượng, giảm phát thải CO₂ và bảo vệ môi trường:

- Hoàn thiện công nghệ sản xuất xi măng.
- Sử dụng nhiều hơn phụ gia thay thế xi măng.
- Tái chế bê tông và các vật liệu khác.
- Kéo dài tuổi thọ kết cấu công trình.
- Nghiên cứu và sử dụng các công nghệ mới.
- Phát triển và sử dụng các yêu cầu kỹ thuật và quy chuẩn kỹ thuật tiên tiến.
- Nên sử dụng tiêu chí “giá thành đời sử dụng công trình (*life-cycle cost*)” thay cho tiêu chí “giá thành xây dựng công trình ban đầu thấp hơn (*lower initial cost*)” nhằm thúc đẩy việc xây dựng kết cấu bê tông bền và chất lượng tốt hơn.