

ẢNH HƯỞNG CỦA HÀM LƯỢNG XI LÒ CAO NGHIÊN MỊN LÊN CÁC TÍNH CHẤT VẬT LÝ VÀ CƠ HỌC CỦA VỮA CƯỜNG ĐỘ CAO

Ngô Sĩ Huy¹

Tóm tắt: Trong khi một lượng lớn chất thải rắn được thải ra trong quá trình công nghiệp hóa, thì một lượng lớn vật liệu xây dựng được tiêu thụ trong quá trình đô thị hóa, làm hao mòn dần các nguồn tài nguyên. Chính vì vậy, việc tái sử dụng các chất thải công nghiệp để thay thế các vật liệu truyền thống cũng như tạo ra một loại vật liệu mới có tính năng ưu việt giúp sử dụng hiệu quả các nguồn tài nguyên là vấn đề cấp thiết. Nghiên cứu này sử dụng xi lò cao nghiên mịn, là chất thải rắn trong quá trình sản xuất thép, để thay thế một phần xi măng trong sản xuất vữa cường độ cao. Kết quả nghiên cứu cho thấy, độ lưu động của vữa tăng trong khi khối lượng thể tích của vữa tươi giảm khi tăng hàm lượng xi lò cao nghiên mịn. Cường độ chịu nén và chịu uốn của vữa tăng khi sử dụng 15%÷30% xi lò cao nghiên mịn thay thế xi măng, trong khi độ hút nước giảm. Hơn nữa, sử dụng xi lò cao nghiên mịn giúp giảm độ co khô của vữa. Tất cả các mẫu vữa trong nghiên cứu này có cường độ cao (cường độ chịu nén lớn hơn 85 MPa, cường độ chịu uốn lớn hơn 13 MPa), có thể sử dụng cho các công trình quan trọng có yêu cầu cao về mặt cường độ.

Từ khóa: Vữa cường độ cao, xi lò cao nghiên mịn, cường độ chịu nén, cường độ chịu uốn, độ co khô, độ hút nước.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngày nay, với tốc độ phát triển nhanh và mạnh mẽ của khoa học và công nghệ, quá trình đô thị hóa cũng diễn ra nhanh chóng trên khắp thế giới, vì vậy nhu cầu tiêu thụ vật liệu xây dựng cũng ngày một tăng. Ví dụ, bê tông được coi như là vật liệu tiêu thụ nhiều thứ hai trên thế giới, chỉ đứng sau tài nguyên nước (Opon and Henry, 2019). Một ví dụ khác là cát xây dựng, theo ước tính hiện nay trữ lượng cát sông sử dụng cho mục đích xây dựng của cả nước chỉ còn khoảng 2 triệu tấn, với tốc độ phát triển xây dựng như hiện nay, dự báo nguồn cát tự nhiên sẽ không còn đủ để cung cấp cho các hoạt động xây dựng trong những năm tới (Ngo and Huynh, 2022). Chính vì vậy, hoạt động khai thác cát trái phép diễn ra phổ biến những năm gần đây. Việc khai thác cát quá mức dẫn đến tình trạng sỏi lở bờ sông, ảnh hưởng nghiêm trọng đến

an toàn của các khu dân cư hai bên bờ sông và ảnh hưởng đến môi trường sinh sống của các loài thủy sinh (Farahani and Bayazidi, 2018; Sathiparan and De Zoysa, 2018). Việc khai thác và sử dụng hiệu quả các nguồn tài nguyên, cũng như việc sử dụng các loại vật liệu khác để thay thế các nguồn tài nguyên cũng như các vật liệu truyền thống được đặt ra và thu hút sự quan tâm của các nhà nghiên cứu trong và ngoài nước. Để sử dụng hiệu quả các nguồn tài nguyên, các vật liệu có cường độ cao và siêu cao được hướng đến để giảm kích thước của các kết cấu công trình, từ đó giảm nhu cầu sử dụng vật liệu. Một trong số những vật liệu đó là bê tông bột hoạt tính với cường độ chịu nén và chịu uốn tương ứng đạt trên 100 MPa và 17 MPa (Yazıcı et al., 2013).

Bên cạnh việc phát triển các loại vật liệu có cường độ cao, việc tìm kiếm các vật liệu khác để thay thế các vật liệu truyền thống như cát và xi măng cũng được nhiều nhà nghiên cứu quan tâm.

¹ Khoa Kỹ thuật công nghệ, Trường Đại học Hồng Đức

Một trong những vật liệu có thể sử dụng để thay thế một phần xi măng trong hỗn hợp bê tông hoặc vữa chính là xỉ lò cao nghiền mịn. Gần đây, ngành công nghiệp sản xuất thép ở Việt Nam phát triển mạnh với nhiều nhà máy thép được xây dựng. Theo ước tính của Hiệp hội thép Việt Nam, trong năm 2018 sản lượng thép đạt khoảng 23,3 triệu tấn, đồng thời cũng thải ra khoảng 5 triệu tấn xỉ gang và thép, dự kiến đến năm 2025 lượng xỉ này sẽ lên tới 10 triệu tấn. Một phần trong số đó là xỉ lò cao, khi được nghiền mịn, chúng được sử dụng để thay thế một phần xi măng trong sản xuất bê tông và vữa xây dựng (Kou et al., 2011; Ngo and Huynh, 2022; Yazıcı et al., 2010; Yun et al., 2020). Chất lượng của sản phẩm đầu ra phụ thuộc vào chất lượng của các vật liệu đầu vào. Chính vì vậy, mặc dù xỉ lò cao nghiền mịn đã được nghiên cứu nhiều trên thế giới, tuy nhiên với các xỉ lò cao nghiền mịn tại Việt Nam, chúng vẫn cần được nghiên cứu thận trọng trước khi được sử dụng. Theo ước tính năm 2021, lượng xỉ lò cao nghiền mịn (S95) trong nước khoảng 1,12 triệu tấn (Ngo and Huynh, 2022). Việc sử dụng chúng trong vữa cường độ cao còn hạn chế và chưa nhận được nhiều sự quan tâm từ các nhà nghiên cứu trong nước.

Xuất phát từ nhu cầu phát triển vật liệu có cường độ cao và tái sử dụng chất thải rắn trong công nghiệp, nghiên cứu này sử dụng xỉ lò cao nghiền mịn để thay thế một phần xi măng trong sản xuất vữa cường độ cao. Ảnh hưởng của hàm lượng xỉ lò cao nghiền mịn lên các tính chất vật lý và cơ học của vữa như độ lưu động, khối lượng thể tích, độ ẩm, độ co khô, cường độ chịu nén và cường độ chịu uốn được thực hiện trong nghiên cứu này. Nghiên cứu này góp phần sử dụng hiệu quả các nguồn tài nguyên, tái sử dụng chất thải rắn trong công nghiệp, cũng như phát triển một loại vật liệu có cường độ cao phục vụ cho sự phát triển bền vững.

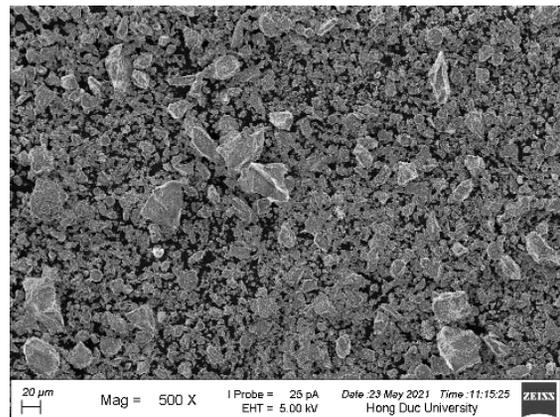
2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu

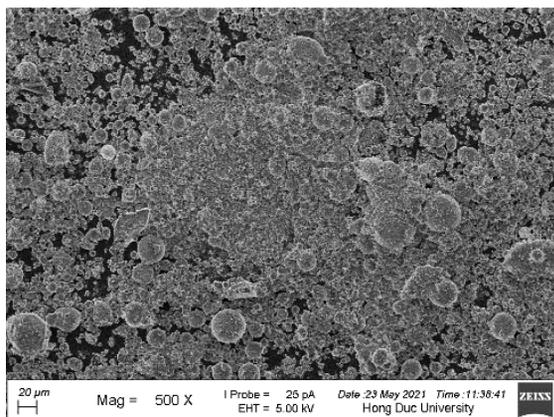
Trong nghiên cứu này, ngoài chất kết dính

truyền thống là xi măng, xỉ lò cao nghiền mịn và silicafume cũng được sử dụng làm chất kết dính. Xi măng loại PCB40 Nghi Sơn, xỉ lò cao nghiền mịn loại S95 được cung cấp bởi nhà máy thép Hòa Phát, silicafume có tên Promic được cung cấp bởi Công ty cổ phần IPRO. Để vừa đạt cường độ cao, tương tự như trong bê tông bột hoạt tính (Peng et al., 2015; Yazıcı et al., 2013), silicafume cũng được sử dụng như là một phần chất kết dính. Các tính chất vật lý và hóa học của xi măng, xỉ lò cao nghiền mịn và silicafume được trình bày trong Bảng 1. Cùng với thành phần hóa học, hình ảnh vi cấu trúc của các hạt xi măng, silicafume và xỉ lò cao nghiền mịn cũng được trình bày lần lượt như Hình 1, 2 và 3. Bên cạnh các hạt có kích thước tương tự như xi măng, xỉ lò cao nghiền mịn và silicafume có nhiều hạt có kích thước rất nhỏ được quan sát thấy trên Hình 2 và 3.

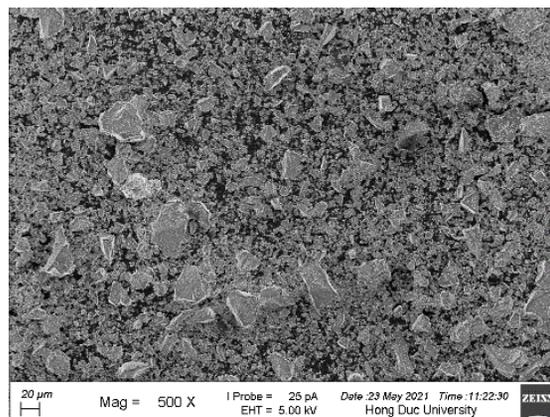
Cát sử dụng trong nghiên cứu này là cát sông có khối lượng riêng là $2,63 \text{ T/m}^3$, độ ẩm 3,5%, độ hút nước 0,42%, và kích thước hạt trong khoảng $0,14 \div 0,63 \text{ mm}$. Lưu ý rằng, kích thước hạt của cát trong nghiên cứu này được lấy tương tự như trong nghiên cứu trước (Peng et al., 2015). Việc sử dụng các cốt liệu mịn giúp vữa có thể đạt cường độ cao tương tự như đối với bê tông bột hoạt tính và cũng góp phần giúp chúng dễ thi công hơn. Phụ gia hóa dẻo Sikament R4 được sử dụng để giảm hàm lượng nước và vẫn đảm bảo được tính công tác của vữa. Nước máy được sử dụng để trộn mẫu trong quá trình thí nghiệm.



Hình 1. Hình ảnh vi cấu trúc của xi măng



Hình 2. Hình ảnh vi cấu trúc của silicafume



Hình 3. Hình ảnh vi cấu trúc của xỉ lò cao nghiền mịn

Bảng 1. Tính chất vật lý và thành phần hóa học của các chất kết dính

| Thông số | Xi măng | Silicafume | XLCNM* |
|------------------------------|--------------------------------|------------|--------|
| Khối lượng riêng (T/m^3) | 3,12 | 2,21 | 2,82 |
| Thành phần hóa học (%) | SiO ₂ | 22,30 | 90,10 |
| | Al ₂ O ₃ | 6,68 | 0,98 |
| | Fe ₂ O ₃ | 4,73 | 1,02 |
| | CaO | 55,45 | 0,44 |
| | MgO | 2,40 | 1,86 |
| | SO ₃ | 1,28 | 0,07 |
| | Na ₂ O | 0,56 | 0,30 |
| | K ₂ O | 0,74 | 3,19 |
| | TiO ₂ | 0,65 | 0,57 |
| | P ₂ O ₅ | 0,31 | 0,14 |
| Lượng mất khi nung | 0,45 | 1,12 | 0,38 |

* XLCNM: Xi lò cao nghiền mịn

2.2. Thiết kế thành phần hỗn hợp vữa

Thành phần của các hỗn hợp vữa được trình bày trong Bảng 2. Các hỗn hợp được thiết kế với cùng tỷ lệ nước/chất kết dính (N/CKD) bằng 0,16 và hàm lượng silicafume bằng 25% tổng hàm lượng chất kết dính (xi măng, silicafume, xỉ lò cao nghiền mịn). Để vữa đạt cường độ cao, các nghiên cứu trước cũng sử dụng tỷ lệ N/CKD thấp (0,16÷0,18) (Peng et al., 2015; Yazıcı et al., 2013) và hàm lượng silicafume trong khoảng 15÷25% (Cwirzen et al., 2008; Peng et al., 2015). Hàm lượng cát sử dụng bằng hàm lượng chất kết dính tính theo khối lượng (Peng et al., 2015). Hàm lượng phụ gia hóa dẻo bằng 4% so với hàm lượng chất kết dính. Bởi vì tỷ lệ N/CKD thấp

nên hàm lượng phụ gia hóa dẻo cần phải đủ lớn để các mẫu vữa có độ lưu động đạt theo yêu cầu. Theo TCVN 4314:2003, độ lưu động của vữa xác định bằng đường kính chảy xòe theo phương pháp bàn dần phải đạt trong khoảng 165÷205 mm. Với hàm lượng phụ gia hóa dẻo được sử dụng như trên, độ lưu động của vữa đạt trong phạm vi giới hạn này. Hỗn hợp dùng để đối chứng X00 (không có xỉ lò cao nghiền mịn) được thiết kế trước, sau đó lần lượt thay thế 15%, 30%, 45% và 60% xi măng trong mẫu X00 bằng xỉ lò cao nghiền mịn để được các hỗn hợp tương ứng X15, X30, X45 và X60. Các giá trị ghi trong Bảng 2 đã được quy đổi để đảm bảo tổng thể tích tuyệt đối của mỗi hỗn hợp là 1 m³.

Bảng 2. Thành phần hỗn hợp vữa

| Tên mẫu | N/CKD | Thành phần (kg/m ³) | | | | | |
|---------|-------|---------------------------------|------------|-------|------|-------|-----------------|
| | | Xi măng | Silicafume | XLCNM | Cát | Nước | Phụ gia hóa dẻo |
| X00 | 0,16 | 868 | 217 | 0 | 1085 | 173,6 | 43,4 |
| X15 | | 725 | 213 | 128 | 1066 | 170,5 | 42,6 |
| X30 | | 587 | 210 | 251 | 1048 | 167,6 | 41,9 |
| X45 | | 453 | 206 | 371 | 1030 | 164,8 | 41,2 |
| X60 | | 324 | 203 | 468 | 1013 | 162,1 | 40,5 |

2.3. Tạo mẫu và phương pháp thí nghiệm

Quá trình trộn mẫu được thực hiện theo hai bước, ban đầu các vật liệu khô (bao gồm: xi măng, silicafume, xỉ lò cao nghiền mịn) và cát được cho vào cối trộn trước trong thời gian khoảng 3 phút (Cwirzen et al., 2008; Peng et al., 2015). Phụ gia hóa dẻo và nước được hòa lẫn vào nhau, sau đó cho từ từ vào cối trộn và tiếp tục trộn trong khoảng 5-6 phút đến khi đạt được hỗn hợp vữa đồng nhất.

Độ lưu động của vữa được kiểm tra ngay sau khi trộn mẫu, thực hiện theo TCVN 312:2003, minh họa như Hình 4. Hỗn hợp vữa sau khi đo độ lưu động được tiến hành thí nghiệm xác định khối lượng thể tích vữa tươi (theo TCVN 3121:2003) và sau đó rót vào các khuôn bằng thép có kích thước khác nhau để tạo mẫu, sử dụng bàn dằn và bay để lèn chặt và tạo mặt nhẵn cho các mẫu vữa. Mẫu có kích thước 40×40×160 mm được sử dụng để kiểm tra cường độ uốn và cường độ chịu nén theo TCVN 3121:2003. Trong khi đó, mẫu có kích thước 25×25×285 mm được sử dụng để xác định độ co khô theo TCVN 8824:2011. Mẫu lập phương có kích thước 50×50×50 mm được sử dụng để đo độ hút nước theo TCVN 3121:2003. Tất cả các mẫu sau khi đúc được 24 giờ thì tiến hành tháo mẫu ra khỏi khuôn và bảo dưỡng ngâm trong nước đến ngày thí nghiệm. Riêng các mẫu xác định độ co ngót, sau khi tháo mẫu thì tiến hành đo chiều dài ban đầu, và đặt các mẫu này trong tủ bảo dưỡng ở nhiệt độ 27±2°C và độ ẩm 50±4% trong suốt quá trình thí nghiệm. Hình 5 minh họa các mẫu vữa dùng để xác định cường độ

chịu uốn, chịu nén và độ co khô. Cường độ chịu uốn và chịu nén được xác định tại 3, 7, 14 và 28 ngày tuổi. Các giá trị trình bày trong nghiên cứu này là giá trị trung bình của ít nhất 3 mẫu thử.



Hình 4. Kiểm tra độ lưu động của vữa



Hình 5. Chuẩn bị mẫu thí nghiệm

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Độ lưu động và khối lượng thể tích của vữa tươi

Độ lưu động và khối lượng thể tích của các

hỗn hợp vữa tươi được trình bày trong Bảng 3. Mẫu đối chứng X00 có đường kính chảy xòe đạt 165 mm, trong khi các mẫu có sử dụng xi-lô cao nghiền mịn có đường kính chảy xòe đạt từ 171 mm đến 195 mm. Có thể thấy rằng, với hàm lượng phụ gia hóa dẻo không đổi, khi tăng hàm lượng xi-lô cao nghiền mịn, độ lưu động của vữa tăng. Kết quả này tương đồng với kết quả từ các nghiên cứu trước (Oner and Akyuz, 2007; Tavasoli et al., 2018). Theo Siddique và Bennacer (2012) với cỡ hạt rất mịn, bề mặt của các hạt xi-lô cao nghiền mịn tương đối nhẵn, có tác dụng như chất bôi trơn,

vì vậy làm tăng độ lưu động của vữa (Siddique and Bennacer, 2012).

Theo Bảng 3, khối lượng thể tích của vữa tươi giảm dần khi tăng hàm lượng xi-lô cao nghiền mịn. Khi hàm lượng xi-lô cao nghiền mịn tăng từ 0% đến 60%, khối lượng thể tích vữa tươi giảm nhẹ từ 2265 kg/m³ xuống còn 2204 kg/m³. Sự giảm khối lượng thể tích này là do khối lượng riêng của xi-măng lớn hơn khối lượng riêng của xi-lô cao nghiền mịn (Bảng 1). Do vậy khi thay thế một phần xi-măng bởi xi-lô cao nghiền mịn dẫn đến giảm khối lượng thể tích vữa tươi. Tuy nhiên, sự thay đổi này không đáng kể.

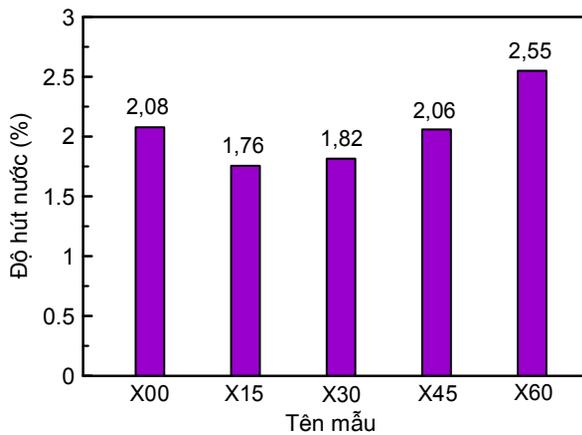
Bảng 3. Độ lưu động và khối lượng thể tích của vữa tươi

| Tên mẫu | Hàm lượng XLCNM (%) | Đường kính chảy xòe (mm) | Khối lượng thể tích (kg/m ³) |
|---------|---------------------|--------------------------|--|
| X00 | 0% | 165 | 2265 |
| X15 | 15% | 171 | 2249 |
| X30 | 30% | 179 | 2242 |
| X45 | 45% | 186 | 2212 |
| X60 | 60% | 195 | 2204 |

3.2. Độ hút nước

Độ hút nước của vữa thường liên quan đến độ đặc chắc và các lỗ rỗng bên trong vữa. Khả năng hút nước của vữa cũng phần nào phản ánh gián tiếp khả năng chống thấm và khả năng chống lại các tác nhân xâm thực của vữa (Zhang and Zong, 2014). Độ hút nước thấp đồng nghĩa với việc vữa có khả năng chống thấm và độ bền cao đối với các tác nhân ăn mòn hóa học. Độ hút nước của các mẫu vữa trong nghiên cứu này được trình bày trên Hình 6. Mẫu đối chứng X00 có độ hút nước là 2,08%. Mẫu X15 (với hàm lượng xi-lô cao nghiền mịn 15%) có giá trị độ hút nước thấp nhất trong số năm mẫu vữa trong nghiên cứu này. Khi hàm lượng xi-lô cao nghiền mịn tăng lên quá 15%, độ hút nước bắt đầu tăng theo. Hình 6 cho thấy, mẫu X15 và X30 có độ hút nước thấp hơn mẫu đối chứng, trong khi các mẫu X45 và X60 có độ hút

nước tương đương hoặc cao hơn mẫu đối chứng. Có nghĩa là thay thế 15÷30% xi-măng bởi xi-lô cao nghiền mịn là giá trị tối ưu đối với độ hút nước của vữa. Các nghiên cứu trước đã chỉ ra rằng, tác dụng điền đầy (các hạt xi-lô cao nghiền mịn giúp điền đầy vào các lỗ rỗng bên trong vữa) và các phản ứng pozzolanic của xi-lô cao nghiền mịn làm cho các kết cấu vữa trở nên đặc chắc, do vậy giảm khả năng hút nước (Kou et al., 2011; Yazıcı et al., 2010). Khi hàm lượng xi-lô cao nghiền mịn vượt quá giá trị tối ưu, độ hút nước của các mẫu vữa có xu hướng tăng lên. Tuy nhiên, cả 5 mẫu vữa trong nghiên cứu này có độ hút nước rất thấp (1,76÷2,55%). Điều này là do việc sử dụng các vật liệu mịn trong thành phần hỗn hợp vữa và tỷ lệ N/CKD thấp làm cho các mẫu vữa đặc chắc, hạn chế khả năng hút nước.



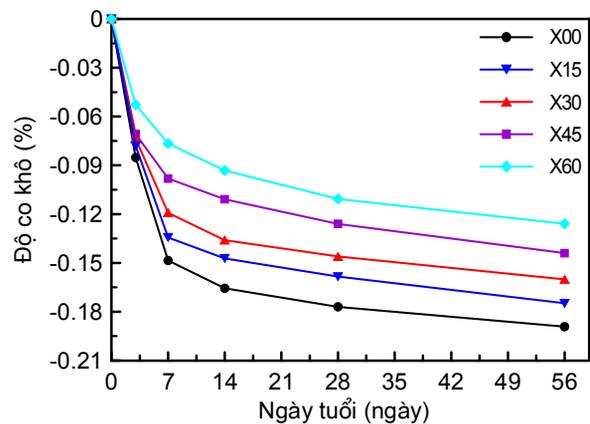
Hình 6. Độ hút nước của các mẫu vữa

3.3. Độ co khô

Một trong những vấn đề của vữa và bê tông khi sử dụng hàm lượng xi măng và silicafume cao là độ co khô (Zhang et al., 2003). Vì vậy, trong nghiên cứu này độ co khô của vữa được đo đến 56 ngày tuổi và kết quả được thể hiện trên Hình 7. Có thể thấy rằng độ co khô của các mẫu vữa phát triển nhanh ở các ngày tuổi ban đầu (dưới 7 ngày tuổi), sau đó nó phát triển chậm dần và có xu hướng ổn định ở các ngày tuổi sau. Theo Wong và các cộng sự (Wong et al., 2007) độ co khô là do sự giảm thể tích của vữa chủ yếu gây ra khi lượng ẩm trong bê tông đông cứng thoát ra ngoài. Chính vì vậy sự thay đổi này càng ngày càng ổn định theo thời gian khi lượng nước thoát ra gần hết và các phản ứng của các chất kết dính cũng làm cho mẫu đặc chắc, ngăn cản sự thay đổi thể tích của mẫu. Kết quả trên Hình 7 cho thấy, độ co khô giảm khi tăng hàm lượng xỉ lò cao nghiền mịn thay thế xi măng. Như đã đề cập trên, hiệu ứng điền đầy và các phản ứng pozzolanic của xỉ lò cao nghiền mịn đã giảm thiểu các lỗ rỗng bên trong vữa, làm giảm độ hút nước cũng như giảm độ co khô của vữa. Kết quả nghiên cứu trước cũng chỉ ra rằng sử dụng các phụ gia khoáng như tro bay, xỉ lò cao nghiền mịn có tác dụng làm giảm độ co khô (Kou et al., 2011).

Tại 56 ngày tuổi, độ co khô của các mẫu vữa giảm từ 0,19% xuống còn 0,13% tương ứng với hàm lượng xỉ lò cao nghiền mịn sử dụng tăng từ

0% đến 60%. So với yêu cầu kỹ thuật của vữa xi măng khô trộn sẵn không co theo TCVN 9204:2012, độ co khô giới hạn ở 28 ngày tuổi không được phép vượt quá 0,3%. Độ co khô của các mẫu vữa trong nghiên cứu này nhỏ hơn nhiều so với giá trị cho phép vừa nêu. Có nghĩa là, tất cả các mẫu vữa trong nghiên cứu này có độ co khô ở trong giới hạn cho phép và khi sử dụng xỉ lò cao nghiền mịn giúp giảm độ co khô của vữa.



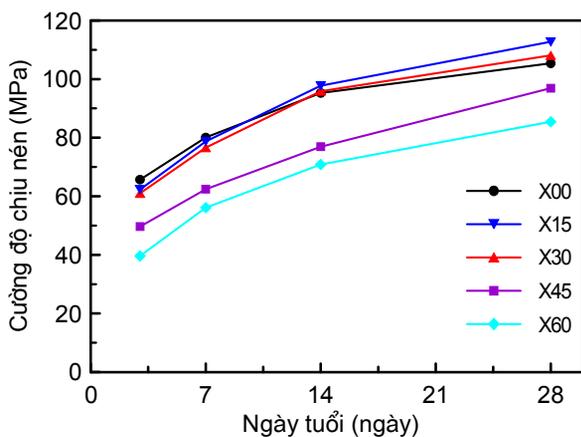
Hình 7. Độ co khô của các mẫu vữa

3.4. Cường độ chịu nén

Cường độ chịu nén là một trong những thông số quan trọng nhất của vữa, chính vì vậy nó thường được sử dụng để phân loại vữa. Theo TCVN 4314:2003, các mác vữa thông thường từ M1,0 đến M30, có nghĩa là cường độ chịu nén đạt từ 1,0 MPa đến 30 MPa. Tuy nhiên, các loại vữa dùng trong công trình thủy công được phân loại từ M5 đến M50 tương ứng với cường độ chịu nén phải đạt từ 7,4 MPa đến 59,9 MPa (14TCN 80:2001). Cường độ chịu nén của các mẫu vữa trong nghiên cứu này được trình bày như trên Hình 8. Tại những ngày tuổi ban đầu (dưới 7 ngày tuổi), cường độ chịu nén của các mẫu sử dụng xỉ lò cao nghiền mịn nhỏ hơn cường độ mẫu đối chứng (X00). Tuy nhiên, sau 7 ngày tuổi cường độ chịu nén của các mẫu vữa sử dụng xỉ lò cao nghiền mịn có xu hướng tăng lên rõ rệt. Đặc biệt các mẫu X15 và X30 có cường độ chịu nén tại 28 ngày tuổi lớn hơn

cường độ chịu nén của mẫu đối chứng (X00). Điều này được giải thích là do các phản ứng pozzolan của xi-lô cao nghiền mịn xảy ra chậm ở thời điểm ban đầu, tuy nhiên phát triển nhanh chóng ở các ngày tuổi sau. Việc các mẫu X15 và X30 có cường độ chịu nén lớn hơn mẫu đối chứng một lần nữa chứng tỏ hàm lượng xi-lô cao nghiền mịn tối ưu dùng để thay thế xi-măng trong nghiên cứu này trong khoảng 15÷30%. Tương tự như độ hút nước, hiệu ứng điền đầy và các phản ứng pozzolan của xi-lô cao nghiền mịn (Kou et al., 2011; Yazıcı et al., 2010) làm cho cường độ chịu nén ở 28 ngày tuổi của các mẫu X15 và X30 cao hơn so với mẫu đối chứng.

Tại 28 ngày tuổi, cường độ chịu nén của mẫu đối chứng (X00) đạt khoảng 105 MPa, các mẫu thay thế 15%, 30%, 45% và 60% xi-măng bởi xi-lô cao nghiền mịn đạt cường độ chịu nén lần lượt là 113 MPa, 108 MPa, 97 MPa và 85 MPa. Có nghĩa là sử dụng xi-lô cao nghiền mịn thay thế 15% hoặc 30% xi-măng làm tăng cường độ chịu nén tại 28 ngày tuổi của vữa tương ứng là 7% và 3%. Khi thay thế đến 60% xi-măng, cường độ chịu nén của vữa vẫn đạt 85 MPa, cao hơn nhiều so với vữa xi-măng thông thường.

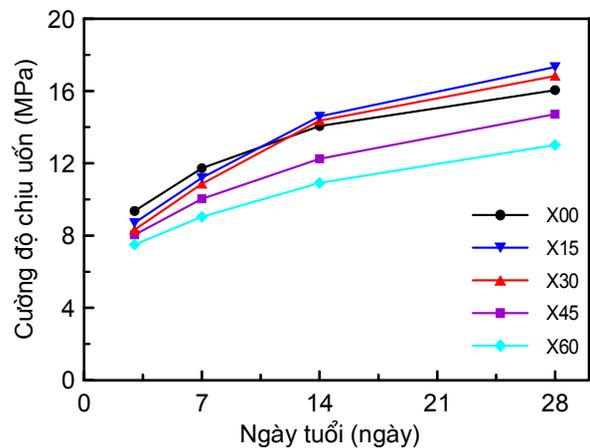


Hình 8. Cường độ chịu nén của các mẫu vữa

3.5. Cường độ chịu uốn

Hình 9 thể hiện biểu đồ phát triển cường độ chịu uốn của các mẫu vữa với các hàm lượng xi-lô cao nghiền mịn khác nhau theo thời gian. Tương tự như cường độ chịu nén, cường độ chịu uốn của

các mẫu vữa tăng theo thời gian. Các mẫu vữa sử dụng xi-lô cao nghiền mịn có cường độ chịu uốn thấp hơn mẫu đối chứng (không sử dụng xi-lô cao nghiền mịn) tại các ngày tuổi 3 và 7 ngày. Tuy nhiên, cường độ chịu uốn của các mẫu sử dụng 15% và 30% xi-lô cao nghiền mịn bắt đầu cao hơn mẫu đối chứng từ ngày tuổi thứ 14 trở đi. Đến 28 ngày tuổi, cường độ chịu uốn của mẫu đối chứng đạt khoảng 16,1 MPa trong khi các mẫu sử dụng 15% và 30% xi-lô cao nghiền mịn đạt 17,3 MPa và 16,8 MPa. Kết quả này cho thấy, sử dụng xi-lô cao nghiền mịn thay thế 15%÷30% xi-măng làm tăng cả cường độ chịu nén và chịu uốn của vữa, bên cạnh đó còn làm giảm độ hút nước. Nếu xét chung về các khía cạnh cường độ, độ hút nước, độ co khô, các mẫu sử dụng 15%÷30% cho kết quả tốt nhất về mặt cường độ và vẫn đảm bảo các thông số khác trong phạm vi cho phép, chúng hoàn toàn có thể được sử dụng trong thực tế như là một loại vữa có cường độ cao sử dụng cho các công trình quan trọng có yêu cầu cao về mặt cường độ.



Hình 9. Cường độ chịu uốn của các mẫu vữa

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này sử dụng xi-lô cao nghiền mịn để thay thế một phần xi-măng trong việc phát triển vữa cường độ cao và góp phần tái sử dụng một phần chất thải rắn trong sản xuất công nghiệp. Ảnh hưởng của hàm lượng xi-lô cao nghiền mịn lên các đặc tính vật lý và cơ học của vữa được

nghiên cứu, một số kết luận chính được rút ra từ thực nghiệm như sau:

- Độ lưu động của vữa tăng trong khi khối lượng thể tích của vữa tươi giảm nhẹ khi tăng hàm lượng xỉ lò cao nghiền mịn thay thế xi măng.

- Sử dụng 15%÷30% xỉ lò cao nghiền mịn thay thế xi măng làm tăng cường độ chịu uốn, cường độ chịu nén và giảm độ hút nước của các mẫu vữa.

- Sử dụng xỉ lò cao nghiền mịn có tác dụng làm giảm độ co khô của vữa.

- Tất cả các mẫu vữa trong nghiên cứu này có cường độ chịu nén và chịu uốn cao (lần lượt trên 85 MPa và 13 MPa), độ hút nước thấp (nhỏ hơn 2,6%), chúng có thể được sử dụng cho các công trình quan trọng.

LỜI CẢM ƠN

Tác giả chân thành cảm ơn các đồng nghiệp trong Bộ môn Kỹ thuật công trình, Khoa Kỹ thuật công nghệ, Trường Đại học Hồng Đức đã hỗ trợ tác giả trong quá trình thực hiện thí nghiệm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

14TCN 80:2001, *Vữa thủy công - Yêu cầu kỹ thuật và phương pháp thử*, Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn.

TCVN 3121:2003, *Vữa xây dựng - Phương pháp thử*, Bộ Khoa học và Công nghệ.

TCVN 4314:2003, *Vữa xây dựng - Yêu cầu kỹ thuật*, Bộ Khoa học và Công nghệ.

TCVN 8824:2011, *Xi măng - Phương pháp xác định độ co khô của vữa*, Bộ Khoa học và Công nghệ.

TCVN 9204:2012, *Vữa xi măng trộn sẵn không co*, Bộ Khoa học và Công nghệ.

Cwirzen, A., Penttala, V., Vornanen, C. (2008), "*Reactive powder based concretes: Mechanical properties, durability and hybrid use with OPC*", Cement and Concrete Research, 38, pp. 1217–1226.

Farahani, H., Bayazidi, S. (2018), "*Modeling the assessment of socio-economical and environmental impacts of sand mining on local communities: A case study of Villages Tatao River Bank in North-western part of Iran*", Resources Policy, 55, pp. 87–95.

Kou, S., Poon, C., Agrela, F. (2011), "*Comparisons of natural and recycled aggregate concretes prepared with the addition of different mineral admixtures*", Cement and Concrete Composites, 33, pp. 788–795.

Ngo, S. H., Huynh, T. P. (2022), "*Effect of paste content on long-term strength and durability performance of green mortars*", Journal of Science and Technology in Civil Engineering (STCE)-HUCE, 16, pp. 113–125.

Oner, A., Akyuz, S. (2007), "*An experimental study on optimum usage of GGBS for the compressive strength of concrete*", Cement and Concrete Composites, 29, pp. 505–514.

Opon, J., Henry, M. (2019), "*An indicator framework for quantifying the sustainability of concrete materials from the perspectives of global sustainable development*", Journal of Cleaner Production, 218, pp. 718–737.

Peng, Y., Zhang, J., Liu, J., Ke, J., Wang, F. (2015), "*Properties and microstructure of reactive powder concrete having a high content of phosphorous slag powder and silica fume*", Construction and Building Materials, 101, pp. 482–487.

Sathiparan, N., De Zoysa, H.T.S.M. (2018), "*The effects of using agricultural waste as partial substitute for sand in cement blocks*", Journal of Building Engineering, 19, pp. 216–227.

Siddique, R., Bennacer, R. (2012), "*Use of iron and steel industry by-product (GGBS) in cement paste and mortar*", Resources, Conservation and Recycling, 69, pp. 29–34.

Tavasoli, S., Nili, M., Serpoush, B. (2018), "*Effect of GGBS on the frost resistance of self-consolidating concrete*", Construction and Building Materials, 165, pp. 717–722.

- Wong, A.C.L., Childs, P.A., Berndt, R., Macken, T., Peng, G.-D., Gowripalan, N. (2007), "Simultaneous measurement of shrinkage and temperature of reactive powder concrete at early-age using fibre Bragg grating sensors", *Cement and Concrete Composites*, 29, pp. 490–497.
- Yazıcı, H., Deniz, E., Baradan, B. (2013), "The effect of autoclave pressure, temperature and duration time on mechanical properties of reactive powder concrete", *Construction and Building Materials*, 42, pp. 53–63.
- Yazıcı, H., Yardımcı, M.Y., Yiğiter, H., Aydın, S., Türkel, S. (2010), "Mechanical properties of reactive powder concrete containing high volumes of ground granulated blast furnace slag", *Cement and Concrete Composites*, 32, pp. 639–648.
- Yun, C.M., Rahman, M.R., Phing, C.Y.W., Chie, A.W.M., Bakri, M.K.B. (2020), "The curing times effect on the strength of ground granulated blast furnace slag (GGBFS) mortar", *Construction and Building Materials*, 260, 120622.
- Zhang, M.H., Tam, C.T., Leow, M.P. (2003), "Effect of water-to-cementitious materials ratio and silica fume on the autogenous shrinkage of concrete", *Cement and Concrete Research*, 33, pp. 1687–1694.
- Zhang, S.P., Zong, L. (2014), "Evaluation of relationship between water absorption and durability of concrete materials", *Advances in Materials Science and Engineering*, 2014, e650373.

Abstract:

EFFECT OF GROUND GRANULATED BLAST FURNACE SLAG CONTENT ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH-STRENGTH MORTAR

While a large amount of industrial wastes is released during industrialization, a huge quantity of construction materials is consumed for urbanization, depleting natural resources gradually. Thus, the recycling of industrial wastes to replace traditional construction materials as well as create a new kind of material with superior features for the efficient use of resources is an urgent issue. In this study, ground granulated blast furnace slag (GGBFS), the solid waste from steel production, is used to partially replace cement in the production of high-strength mortar. Test results indicate that the workability of mortar increased while the unit weight of fresh mortar reduced with increasing GGBFS content. The compressive strength and flexural strength of the mortars increased while the water absorption of mortars decreased when replacing 15%÷30% cement by GGBFS. Furthermore, the presence of GGBFS helped to reduce the drying shrinkage of the mortars. All mortars in this study showed high strengths (with compressive strength of above 85 MPa and flexural strength of above 13 MPa), which can be used for important projects with high requirements in terms of strength.

Keywords: High-strength mortar, Ground granulated blast furnace slag, Compressive strength, Flexural strength, Drying shrinkage, Water absorption.

Ngày nhận bài: 09/02/2022

Ngày chấp nhận đăng: 07/3/2022