

## **ẢNH HƯỞNG CỦA HÀM LƯỢNG SỢI POLYPROPYLENE LÊN CÁC ĐẶC TÍNH KỸ THUẬT CỦA BÊ TÔNG BỌT**

**Nguyễn Thị Mùi<sup>1</sup>, Trịnh Thị Hà Phương<sup>1</sup>, Nguyễn Thị Thanh<sup>1</sup>, Lê Thị Thương<sup>1</sup>**

**Tóm tắt:** Để khuyến khích việc tái sử dụng các chất thải công nghiệp trong sản xuất vật liệu xây dựng cũng như tăng cường độ chịu uốn của bê tông bọt, nghiên cứu này sử dụng tro bay thay thế 40% xi măng làm chất kết dính kết hợp với các hàm lượng sợi polypropylene (PP) khác nhau trong sản xuất bê tông bọt. Bốn mẫu bê tông bọt được thiết kế với tỷ lệ nước/chất kết dính bằng 0,23 và hàm lượng sợi PP bằng 0; 0,3; 0,6; và 1,0% tổng khối lượng chất kết dính. Tất cả các mẫu bê tông trong nghiên cứu này có khối lượng thể tích khô trong khoảng  $1000 \pm 50 \text{ kg/m}^3$ . Kết quả nghiên cứu cho thấy, khi tăng hàm lượng sợi PP làm giảm khối lượng thể tích bê tông tươi và bê tông khô, hệ số truyền nhiệt, và vận tốc truyền xung siêu âm, tuy nhiên làm tăng độ hút nước, cường độ chịu nén và cường độ chịu uốn. Mẫu bê tông sử dụng 1% hàm lượng sợi PP cho cường độ chịu nén và chịu uốn cao nhất, và khối lượng thể tích cũng như hệ số truyền nhiệt nhỏ nhất. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi PP lên cường độ chịu uốn rõ rệt và đáng kể hơn lên cường độ chịu nén. Các sợi PP đóng vai trò như cốt thép trong bê tông thông thường làm tăng cường độ chịu nén và chịu uốn của bê tông bọt.

**Từ khóa:** Bê tông bọt, sợi polypropylene, tro bay, cường độ chịu nén, cường độ chịu uốn, hệ số truyền nhiệt.

### **1. ĐẶT VẤN ĐỀ**

Trong những năm gần đây, sự phát triển mạnh mẽ của khoa học kỹ thuật đã kéo theo quá trình đô thị hóa diễn ra nhanh chóng trên thế giới. Do đó, nhu cầu về bê tông cũng tăng nhanh chóng và trở thành vật liệu tiêu thụ nhiều thứ hai trên thế giới, chỉ đứng sau tài nguyên nước (Opon and Henry, 2019). Thực tế cho thấy hầu hết các cơ sở hạ tầng được xây dựng từ các vật liệu làm từ xi măng có hệ số dẫn nhiệt cao từ 1,3-2,9 W/mK (Cavalline et al., 2017). Các kết cấu bê tông hấp thụ bức xạ mặt trời vào ban ngày và tỏa nhiệt vào ban đêm làm tăng nhiệt độ môi trường vào ban đêm nhất là ở các thành phố. Với hơn một nửa dân số thế giới sống ở các đô thị (Juraschek et al., 2018), nhiệt độ tăng ở các khu vực đô thị sẽ làm trái đất nóng lên, ảnh hưởng đến khí hậu và cuộc sống của người dân đô thị. Vì vậy, việc tìm kiếm một loại vật liệu có hệ số truyền nhiệt thấp thay thế cho bê tông

thông thường là vấn đề cấp thiết. Trong bối cảnh đó, bê tông bọt được xem là một loại vật liệu tiềm năng cần xem xét.

Bê tông bọt được biết đến là một loại vật liệu mới với khối lượng thể tích tương đối thấp, tiêu thụ vật liệu thấp và có khả năng cách âm, cách nhiệt tốt (Ramamurthy et al., 2009; Juraschek et al., 2018). Việc sử dụng bê tông bọt góp phần giảm tải trọng bản thân của kết cấu công trình, giảm quy mô và kích thước phần nền móng, do vậy giảm chi phí xây dựng. Ngoài ra, bê tông bọt còn được sử dụng cho các kết cấu cách nhiệt vì hệ số dẫn nhiệt thấp. Bên cạnh đó, một số sản phẩm phụ trong quá trình sản xuất công nghiệp như tro bay (Kearsley and Wainwright, 2001), xỉ lò cao nghiền mịn (Wee et al., 2006) và muội silic (Bing et al., 2012) cũng được tận dụng trong thành phần của bê tông bọt. Tuy nhiên, một trở ngại lớn dẫn đến sự hạn chế khi sử dụng bê tông bọt trong các kết cấu chịu lực là cường độ chịu nén của nó thấp, do vậy chúng thường được sử dụng như là gạch không

---

<sup>1</sup>Trường Đại học Hồng Đức

nung để thay thế gạch đất sét nung truyền thống (Abd and Jarullah, 2016). Bên cạnh đó, Falliano cùng các cộng sự (Falliano et al., 2019) cũng chỉ ra rằng, cường độ chịu uốn của bê tông bọt rất thấp, trong khi ứng suất chịu uốn trong tường xây nằm trong khoảng từ trung bình đến cao. Do đó, việc tăng khả năng chịu uốn của bê tông bọt là cần thiết và sự kết hợp sợi polypropylene (PP) vào hỗn hợp bê tông bọt để tăng cường độ chịu uốn của bê tông bọt đã được một số nhà nghiên cứu trên thế giới sử dụng (Falliano et al., 2019; Xu et al., 2021).

Theo xu hướng chung trên thế giới, quá trình công nghiệp hóa tại Việt Nam cũng đang diễn ra nhanh chóng, nhu cầu tiêu thụ năng lượng cho công nghiệp và sinh hoạt tăng. Nhiều nhà máy nhiệt điện được xây dựng để đáp ứng nhu cầu về tiêu thụ năng lượng, tuy nhiên, hàng năm chúng cũng thải ra một lượng lớn tro bay và tro đáy (Ngo et al., 2020). Tại một số nhà máy, lượng chất thải này đã vượt quá sức chứa của các bãi chôn lấp và trở thành nguy cơ gây ô nhiễm nghiêm trọng tới môi trường và sức khỏe con người (Mohapatra and Rao, 2001). Vì vậy, sử dụng tro bay làm vật liệu xây dựng thay vì đem chôn lấp chúng là một vấn đề đã được Chính phủ khuyến khích nghiên cứu và áp dụng vào thực tế. Đã có một số nghiên cứu sử dụng tro bay thay thế một phần xi măng trong sản xuất bê tông bọt (Kearsley et al., 2001; Wee et al., 2006), tuy nhiên, cường độ chịu uốn của bê tông bọt chưa được đề cập đến. Hơn nữa, chất lượng của bê tông bọt phụ thuộc nhiều vào phẩm chất của vật liệu đầu vào (Falliano et al., 2018), vì vậy với tro bay được lấy từ các nhà máy nhiệt điện ở Việt Nam cần được nghiên cứu trước khi sử dụng.

Để khuyến khích việc tái sử dụng các chất thải công nghiệp trong sản xuất vật liệu xây dựng, đặc biệt là vật liệu địa phương, cũng như tăng cường khả năng chịu uốn cho bê tông bọt, nghiên cứu này sử dụng kết hợp sợi PP và tro bay trong sản xuất bê tông bọt. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi PP lên các đặc tính kỹ thuật của bê tông bọt được xem xét và đánh giá.

## 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Vật liệu

Vật liệu dùng để chế tạo bê tông bọt trong nghiên cứu gồm: xi măng PCB40 Nghi Sơn, tro bay nhà máy nhiệt điện Nghi Sơn 1. Tính chất vật lý, hóa học của xi măng và tro bay được trình bày ở Bảng 1. Cát là cát Thọ Xuân, Thanh Hóa có khối lượng riêng  $2,68\text{T/m}^3$ , độ hút nước 0,63%. Tương tự như nghiên cứu trước (Mai and Ngo, 2021), kích thước cỡ hạt chọn trong khoảng 0,14-0,63 mm để tránh cát có kích thước lớn sẽ lắng xuống đáy làm cho bê tông bọt bị phân tầng và mất ổn định thể tích. Phụ gia siêu dẻo THTSP-10 ở dạng bột mịn có khối lượng riêng  $1,07\text{T/m}^3$ , độ pH=6-8, hàm lượng clorua khoảng 0,02% và chất tạo bọt EABASSOC ở dạng lỏng, có tỷ trọng  $1,02\text{T/m}^3$ , độ pH=6-7 được cung cấp bởi Công ty Trách nhiệm hữu hạn Thương mại và Đầu tư Thăng Tiến. Phụ gia siêu dẻo được sử dụng để giảm lượng nước và tăng tính công tác của bê tông. Sợi PP cũng được cung cấp bởi công ty này và có các tính chất như Bảng 2. Các vật liệu sử dụng làm thí nghiệm Hình 1.



a. Xi măng



b. Cát



c. Tro bay



d. Sợi PP



e. Phụ gia siêu dẻo



f. Bọt

Hình 1. Vật liệu thí nghiệm

**Bảng 1. Các tính chất vật lý và hóa học của xi măng và tro bay**

Vật liệu	Khối lượng thể tích (T/m <sup>3</sup> )	Thành phần hóa học (%)									LMKN (%)
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	
Xi măng	3,12	22,30	6,68	4,73	55,45	2,40	1,28	0,56	0,74	0,65	0,5
Tro bay	2,16	55,73	21,67	6,58	1,06	2,17	0,01	0,22	2,07	0,68	6,9

LMKN: lượng mất khi nung

**Bảng 2. Các thông số kỹ thuật của sợi polypropylene**

Thông số kỹ thuật	Giá trị	Thông số kỹ thuật	Giá trị
Đường kính	0,03 mm	Nhiệt độ nóng chảy	160-170°C
Chiều dài	12 mm	Độ giãn dài	15-20%
Khối lượng thể tích	0,91 T/m <sup>3</sup>	Cường độ chịu kéo	>500 MPa

## 2.2. Thiết kế thành phần cấp phối

Bốn mẫu bê tông được thiết kế với tỷ lệ nước/chất kết dính (N/CKD) bằng 0,23 và với các hàm lượng sợi PP khác nhau. Lượng tro bay bằng 40% tổng hàm lượng chất kết dính nhằm tái sử dụng chất thải trong công nghiệp cũng như làm giảm khối lượng thể tích của bê tông bọt (do tro bay có khối lượng thể tích 2,16 T/m<sup>3</sup> nhẹ hơn so với xi măng 3,12 T/m<sup>3</sup>). Abdollahnejad và các cộng sự

(2018) đã khuyến cáo không nên sử dụng cát vượt quá 50% khối lượng so với chất kết dính, vì nó sẽ dẫn đến sự suy giảm cường độ chịu nén của bê tông bọt. Nghiên cứu này lựa chọn hàm lượng cát bằng 25% so với hàm lượng chất kết dính. Bốn hỗn hợp mẫu thí nghiệm được ký hiệu là SP00; SP30; SP60 và SP100, trong đó mẫu SP00 không sử dụng sợi PP là mẫu đối chứng, ba mẫu còn lại có hàm lượng sợi PP tương ứng là 0,3; 0,6 và 1%

tổng khối lượng chất kết dính. Mục tiêu của thí nghiệm là tạo ra bê tông nhẹ có khối lượng thể tích khô khoảng  $1000 \pm 50 \text{ kg/m}^3$ . Bảng 3 trình bày thành phần cấp phối của các hỗn hợp bê tông bọt.

### 2.3. Tạo mẫu và phương pháp thí nghiệm

Hàm lượng các vật liệu thí nghiệm đầu vào được chuẩn bị như Bảng 3. Tiến hành tạo mẫu bằng cách cho xi măng, tro bay, cát vào máy trộn đều trong khoảng 3 phút, sau đó cho từ từ nước cùng phụ gia siêu dẻo vào trộn thêm khoảng 3 phút nữa. Tiếp tục cho sợi PP vào trộn cho đến khi đạt được hỗn hợp đồng nhất. Lúc này bọt cũng đã được tạo bằng cách cho hỗn hợp chất tạo bọt và nước theo tỷ lệ 1/40 chạy qua máy tạo bọt, và được cho ngay vào hỗn hợp bê tông, tiếp tục trộn cho đến khi bọt phân bố đồng đều trong hỗn hợp. Trình tự và cách trộn, tạo mẫu của bê tông bọt trong nghiên cứu này được thực hiện tương tự như nghiên cứu trước (Bing et al., 2012). Hỗn hợp bê tông sau khi trộn được rót vào các khuôn bằng thép có kích thước  $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$  để tiện cho việc thí nghiệm cường độ chịu uốn và chịu nén tương tự như nghiên cứu trước (Falliano et al., 2019). Khi mẫu đúc được 24 giờ, tiến hành tháo mẫu ra khỏi khuôn và để khô tự nhiên trong phòng thí nghiệm.

Các thông số kỹ thuật của bê tông bọt bao

gồm: Khối lượng thể tích của bê tông tươi, khối lượng thể tích của bê tông khô, cường độ chịu nén, cường độ chịu uốn, hệ số truyền nhiệt, độ hút nước và vận tốc truyền xung siêu âm được nghiên cứu và trình bày trong bài báo này. Trong đó khối lượng thể tích bê tông tươi, khối lượng thể tích khô, độ hút nước và cường độ chịu nén được xác định theo TCVN 9030:2017. Lưu ý rằng, tương tự như nghiên cứu của Falliano và các cộng sự (2019), cường độ chịu uốn được xác định trước dựa theo TCVN 3121:2003. Hai nửa mẫu bị gãy sau thí nghiệm uốn được đưa vào máy nén với tấm có tiết diện  $40 \times 40 \text{ mm}$  để xác định cường độ chịu nén. Hệ số truyền nhiệt và vận tốc truyền xung siêu âm được xác định bằng các thiết bị đo trực tiếp tương ứng ISOMET 2014 và MATEST-C369N. Khối lượng thể tích bê tông tươi được đo ngay sau khi trộn mẫu; khối lượng thể tích khô, độ hút nước và hệ số truyền nhiệt được xác định tại 28 ngày tuổi; trong khi cường độ chịu nén, cường độ chịu uốn và vận tốc truyền xung siêu âm được xác định tại 7, 14 và 28 ngày tuổi. Giá trị ghi trong bài báo này là giá trị trung bình của ít nhất 3 mẫu thử. Hình ảnh vi cấu trúc của các mẫu bê tông bọt trong nghiên cứu này cũng được quan sát và phân tích dưới kính hiển vi điện tử quét với độ phóng đại 300 lần.

**Bảng 3. Thành phần cấp phối của các mẫu bê tông bọt**

Tên mẫu	N/CKD	Thành phần cấp phối ( $\text{kg/m}^3$ )						Thể tích bọt ( $\text{m}^3$ )
		Xi măng	Tro bay	Cát	Nước	Phụ gia siêu dẻo	Sợi PP	
SP00	0,23	462,8	308,5	192,8	175,7	1,14	0	0,460
SP30		461,9	307,9	192,4	175,3	1,17	2,31	0,459
SP60		460,9	307,3	192,0	175,0	1,21	4,61	0,457
SP100		459,6	306,4	191,5	174,5	1,26	7,66	0,455

## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Khối lượng thể tích bê tông tươi và khối lượng thể tích khô

Bảng 4 trình bày khối lượng thể tích bê tông tươi và khối lượng thể tích khô. Kết quả cho thấy khối thể tích bê tông tươi biến đổi từ

$1201 \div 1141 \text{ kg/m}^3$ , còn khối lượng thể tích khô biến đổi từ  $1049 \div 999 \text{ kg/m}^3$ . Tất cả các mẫu bê tông bọt trong nghiên cứu này đều có khối lượng thể tích khô nằm trong phạm vi nghiên cứu ( $1000 \pm 50 \text{ kg/m}^3$ ). Khối lượng thể tích bê tông khô giảm khoảng 12-13% so với khối

lượng thể tích bê tông tươi. Kết quả này tương đồng với kết quả nghiên cứu trước của Mai Thị Hồng và các cộng sự (2022), với bê tông bọt có tỷ trọng từ 700-1500 kg/m<sup>3</sup>, khối lượng thể tích bê tông khô giảm 9-14% so với khối lượng thể tích bê tông tươi. Sự suy giảm khối lượng thể tích này là do lượng nước bị mất đi trong quá trình đóng rắn của xi măng, lượng nước thủy hóa còn dư và lượng nước tồn tại trong các bong bóng bọt bị bay hơi trong quá trình sấy khô mẫu. Khối lượng thể tích khô của bê tông bọt trong nghiên cứu này chỉ bằng khoảng 40-42% khối lượng thể tích khô của bê tông thông thường (2500 kg/m<sup>3</sup>). Có sự giảm khối lượng thể tích là do hàm lượng bọt chiếm chỗ trong bê tông, tạo ra các lỗ rỗng làm giảm khối lượng thể tích khô trong bê tông.

**Bảng 4. Khối lượng thể tích (kg/m<sup>3</sup>)**

Tên mẫu	Hàm lượng sợi PP (%)	Khối lượng thể tích tươi	Khối lượng thể tích khô
SP00	0,0	1201	1049
SP30	0,3	1185	1032
SP60	0,6	1165	1012
SP100	1,0	1141	999

Mặt khác, kết quả ở Bảng 4 cũng cho thấy khi tăng hàm lượng sợi PP thì khối lượng thể tích tươi và khô của bê tông giảm. Cụ thể, với hàm lượng sợi PP sử dụng tăng từ 0% đến 1%, khối lượng thể tích bê tông tươi và bê tông khô giảm lần lượt từ 1201-1141 kg/m<sup>3</sup> và 1049-999 kg/m<sup>3</sup>. Như vậy, so với mẫu bê tông không sử dụng sợi PP thì mẫu sử dụng 0,3; 0,6; và 1,0% hàm lượng sợi PP có khối lượng thể tích khô giảm tương ứng là 1,62; 3,52; và 4,77%. Điều này chứng tỏ khi hàm lượng sợi PP sử dụng càng cao trong bê tông bọt thì khối lượng thể tích tươi và khô trong bê tông càng giảm. Sự suy giảm này là do khối lượng thể tích của sợi PP (0,91 T/m<sup>3</sup>) nhỏ hơn nhiều so với khối lượng thể tích của xi măng (3,12 T/m<sup>3</sup>) và tro bay (2,16 T/m<sup>3</sup>). Kết quả nghiên cứu này cũng

tương đồng với kết quả của nghiên cứu trước (Wu et al., 2018).

### 3.2. Độ hút nước

Độ hút nước được dùng để đánh giá đặc tính độ bền của bê tông bọt (Nambiar and Ramamurthy, 2007). Kết quả độ hút nước của các mẫu nghiên cứu được thể hiện trong Bảng 5. Kết quả này cho thấy khi sử dụng hàm lượng sợi PP tăng thì độ hút nước tăng, cụ thể: các mẫu bê tông bọt sử dụng sợi PP 0,3; 0,6; 1% hấp thụ tương ứng 12,7; 12,8; 13,8% lượng nước. Như vậy, các mẫu bê tông bọt sử dụng sợi PP khả năng hấp thụ nước tăng 1,6; 2,4; 4,8% so với mẫu đối chứng (12,5%) không sử dụng sợi PP (SP00). Có sự biến đổi này là do sợi PP kỵ nước, có tác dụng giữ nước trong bê tông, khi bê tông đông cứng nước bốc hơi hết tạo thành các lỗ rỗng. Vì vậy, hàm lượng sợi PP sử dụng trong bê tông càng tăng thì thể tích lỗ rỗng càng nhiều dẫn đến khả năng hấp thụ nước cao, điều này cũng phù hợp với kết quả của các nghiên cứu trước (Wu et al., 2018; Jhatial et al., 2018). Đặc tính này được thấy rõ thông qua hình ảnh vi cấu trúc sẽ được trình bày ở phần sau.

**Bảng 5. Độ hút nước (%)**

Tên mẫu	Hàm lượng sợi PP (%)	Độ hút nước (%)
SP00	0,0	12,5
SP30	0,3	12,7
SP60	0,6	12,8
SP100	1,0	13,1

### 3.3. Hệ số truyền nhiệt

Tính dẫn nhiệt của vật liệu được đặc trưng bởi hệ số truyền nhiệt. Những vật liệu có khả năng truyền nhiệt thấp thường được sử dụng làm vật liệu cách nhiệt. Trong nghiên cứu này, hệ số truyền nhiệt được đo tại 28 ngày tuổi và được trình bày tại Bảng 6. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, khi hàm lượng sợi PP sử dụng 0,3; 0,6; 1,0% thì hệ số truyền nhiệt tương ứng là 0,384; 0,375; 0,362 W/m.K. Có nghĩa là, khi tăng hàm lượng sợi PP thì hệ số truyền nhiệt giảm và giảm tương ứng là 0,78; 3,1; 6,46% so với

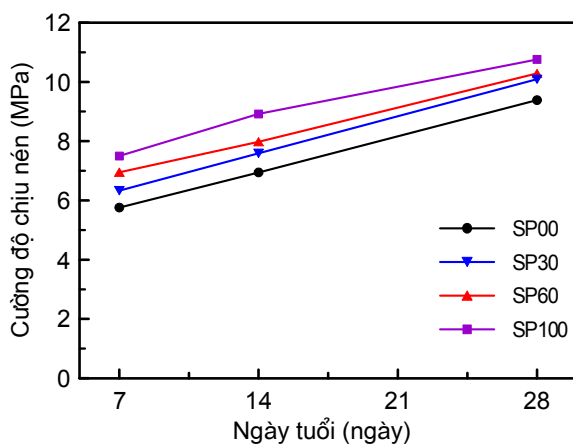
mẫu đối chứng không sử dụng sợi PP (0,387 W/m.K). Kết quả này liên quan đến độ đặc chắc trong bê tông và sự tạo thành các lỗ rỗng bên trong bê tông do sợi PP. Vì vậy, khi sử dụng hàm lượng sợi PP càng nhiều, khối lượng thể tích khô của bê tông giảm và các lỗ rỗng trong bê tông cao, dẫn đến hệ số truyền nhiệt giảm. Hệ số truyền nhiệt của các mẫu trong nghiên cứu này nhỏ hơn nhiều so với hệ số truyền nhiệt của bê tông thường (1,3-2,9 W/m.K) (Cavalline et al., 2017). Do vậy, các mẫu bê tông trong nghiên cứu này có thể được sử dụng làm vật liệu cách nhiệt.

**Bảng 6. Hệ số truyền nhiệt**

Tên mẫu	Hàm lượng sợi PP (%)	Hệ số truyền nhiệt (W/m.K)
SP00	0,0	0,387
SP30	0,3	0,384
SP60	0,6	0,375
SP100	1,0	0,362

### 3.4. Cường độ chịu nén

Cường độ chịu nén là thông số quan trọng dùng để đánh giá khả năng chịu lực của bê tông. Trong nghiên cứu này, cường độ chịu nén của bê tông bọt được xác định tại 7,14 và 28 ngày tuổi và được thể hiện ở Hình 2. Kết quả nghiên cứu cho thấy cường độ chịu nén của bê tông bọt tăng theo thời gian, nguyên nhân là do quá trình hydrat hóa của xi măng và các phản ứng pozzolaníc của tro bay cũng phát triển theo thời gian (Harith, 2018).

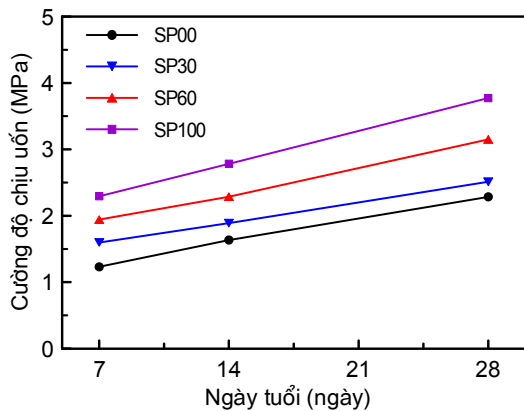


Hình 2. Cường độ chịu nén

Các mẫu bê tông bọt sử dụng 0; 0,3; 0,6; 1% hàm lượng sợi PP cho kết quả cường độ nén tại 28 ngày tuổi tương ứng là 9,4; 10,1; 10,3; 10,8 MPa, chứng tỏ cường độ nén tăng khi hàm lượng sợi PP tăng. So với mẫu đối chứng không sử dụng sợi PP (mẫu SP00) ở cùng 28 ngày tuổi, cường độ chịu nén của các mẫu bê tông sử dụng sợi PP tăng tương ứng là 7,5; 9,6; 14,6%. Sở dĩ có sự tăng này là do các sợi PP có cường độ chịu kéo cao (> 500 MPa), nên sự góp mặt của sợi PP có tác dụng tương tự như cốt thép trong bê tông thông thường. Hơn nữa, sợi PP có khả năng ngăn cản các vết nứt xuất hiện và chống lại sự lan truyền của các vết nứt trong bê tông. Kết quả nghiên cứu này phù hợp với các kết quả nghiên cứu trước (Wu et al., 2018; Jhatial, et al., 2020).

### 3.5. Cường độ chịu uốn

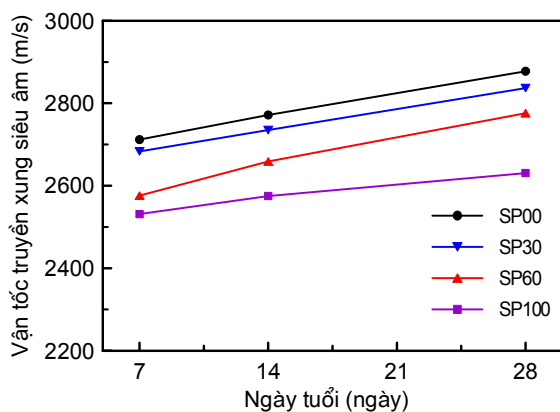
Cường độ chịu uốn là một trong những đặc tính cơ học của bê tông. Tuy nhiên, cường độ chịu uốn còn ít được đánh giá trong các nghiên cứu trước về bê tông bọt. Nghiên cứu này đã tiến hành đánh giá cường độ chịu uốn của bê tông bọt tại 7,14 và 28 ngày tuổi, kết quả được thể hiện ở Hình 3. Kết quả cho thấy, cường độ chịu uốn tăng theo ngày tuổi và đạt giá trị lớn nhất tại 28 ngày. Ngoài ra, khi hàm lượng sử dụng sợi PP tăng, cường độ chịu uốn của bê tông bọt tăng. Cụ thể, tại 28 ngày tuổi, các mẫu bê tông bọt sử dụng hàm lượng sợi PP 0,3; 0,6; 1,0% cho cường độ chịu uốn đạt được tương ứng là 2,51; 3,15; 3,77 MPa, tăng so với mẫu đối chứng không sử dụng sợi PP (2,29 MPa) tương ứng là 9,6; 37,6; 64,6%. Điều này là do cường độ chịu kéo của sợi PP lớn (> 500 MPa). Hơn nữa, như đã đề cập ở trên, sự có mặt của sợi PP có vai trò như cốt thép giúp ngăn cản sự xuất hiện và phát triển của vết nứt, làm cho cường độ chịu uốn tăng. Đặc tính này có ưu điểm lớn hơn nhiều so với sự xuất hiện các lỗ rỗng đã được đánh giá trong các tính chất trước. Các kết quả này tương đồng với các kết quả của các nghiên cứu trước (Wu et al., 2018; Awang et al., 2012).



Hình 3. Cường độ chịu uốn

### 3.6. Vận tốc truyền xung siêu âm

Vận tốc truyền xung siêu âm được sử dụng để đánh giá chất lượng tương đối của bê tông về tính đồng nhất, đặc chắc, sự xuất hiện các khuyết tật (vết nứt, lỗ rỗng...). Vận tốc truyền xung siêu âm được đo tại 7, 14, 28 ngày tuổi và được trình bày ở Hình 4.



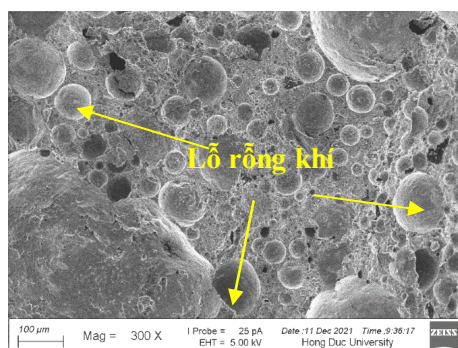
Hình 4. Vận tốc truyền xung siêu âm

Kết quả cho thấy, vận tốc truyền xung siêu âm tăng theo thời gian. Nguyên nhân là do các phản ứng thủy hóa và pozzolanic của xi măng và tro

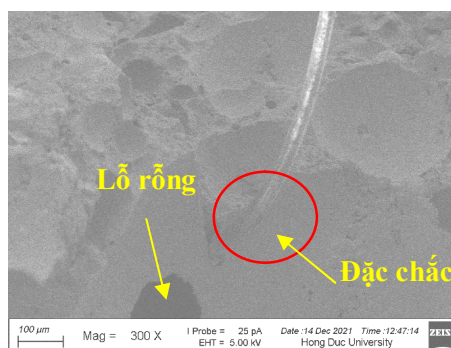
bay cũng phát triển theo thời gian làm tăng độ đặc chắc của bê tông. Khi hàm lượng sợi PP tăng, vận tốc truyền xung siêu âm giảm. Cụ thể tại 28 ngày tuổi khi hàm lượng sợi PP sử dụng là 0,3; 0,6; 1% thì vận tốc truyền xung siêu âm giảm tương ứng là 2837; 2776; 2631 m/s và giảm tương ứng so với mẫu đối chứng không sử dụng sợi PP (2878 m/s) là 1,42; 3,54; 8,56%. Điều này được giải thích là sự có mặt của các sợi PP sẽ hình thành các lỗ rỗng trong bê tông bọt làm kéo dài thời gian truyền xung siêu âm dẫn đến vận tốc truyền xung siêu âm giảm (Dawood et al., 2018]

### 3.7. Hình ảnh vi cấu trúc

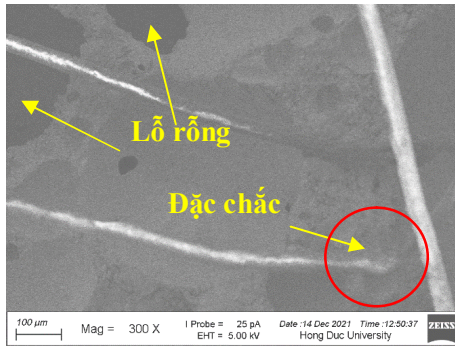
Đặc điểm cấu trúc vi mô của các mẫu bê tông bọt được quan sát qua kính hiển vi điện tử quét với độ phóng đại 300 lần như Hình 5. Đối với mẫu đối chứng không sử dụng sợi PP (mẫu SP00) các bọt khí chiếm chỗ hình thành các lỗ rỗng khí trong bê tông. Khi sử dụng sợi PP với các hàm lượng khác nhau thì sợi PP cũng tạo ra các lỗ rỗng (trừ các lỗ rỗng khí) như đã phân tích ở trên, số lượng lỗ rỗng tăng tỷ lệ thuận với hàm lượng sợi PP sử dụng. Các sợi PP được quan sát trên Hình 5 có vai trò tương tự như cốt thép trong các kết cấu bê tông thông thường. Hơn nữa, liên kết xung quanh sợi PP và bê tông tương đối đặc chắc, vì vậy sợi PP đóng vai trò quan trọng làm cầu nối các cốt liệu, tạo lực liên kết qua các vết nứt và làm giảm các vết nứt, điều này cũng đã được đề cập trong nghiên cứu trước (Hazlin et al., 2017). Hình ảnh vi cấu trúc Hình 5 là bằng chứng khẳng định các kết quả nghiên cứu như đã được trình bày ở trên.



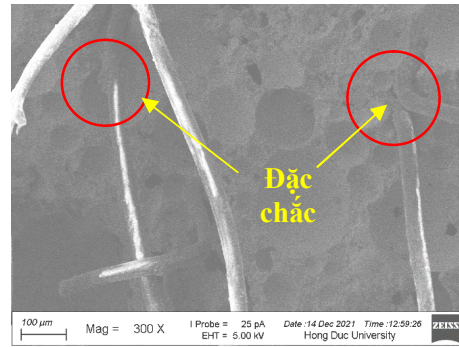
(a) SP00



(b) SP30



(c) SP60



(d) SP100

Hình 5. Hình ảnh vi cấu trúc

#### 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này sử dụng 40% tro bay của nhà máy nhiệt điện Nghi Sơn làm chất kết dính, đồng thời sử dụng sợi PP với các hàm lượng khác nhau để sản xuất bê tông bọt với mục đích tái sử dụng các chất thải trong công nghiệp và tăng cường độ chịu uốn cho bê tông bọt. Một số kết quả chính được rút ra như sau:

(i). Khi hàm lượng sợi PP tăng, khối lượng thể tích bê tông tươi và khô, hệ số truyền nhiệt và vận tốc truyền xung siêu âm giảm, tuy nhiên độ hút nước, cường độ chịu nén và cường độ chịu uốn tăng. Ở 28 ngày tuổi các mẫu bê tông bọt có độ hút nước 12,5-13,1%; hệ số truyền nhiệt 0,387-0,362 W/m.K và vận tốc truyền xung siêu âm 2837-2631 m/s.

(ii). Sử dụng sợi PP cải thiện đáng kể khả năng chịu lực của bê tông bọt. Ở 28 ngày tuổi, sử dụng

1% hàm lượng sợi PP làm tăng 14,6% cường độ chịu nén và 64,6% cường độ chịu uốn. Các mẫu bê tông trong nghiên cứu này có cường độ chịu nén và chịu uốn tại 28 ngày tuổi đạt trong khoảng tương ứng 10,1-10,8 MPa và 2,5-3,8 MPa.

(iii). Trong phạm vi của nghiên cứu này và căn cứ vào các kết quả thí nghiệm, mẫu bê tông bọt sử dụng 1% hàm lượng sợi PP cho cường độ chịu nén và chịu uốn cao nhất, còn khối lượng thể tích và hệ số truyền nhiệt thấp nhất.

(iv). Quan sát dưới kính hiển vi điện tử quét cho thấy sự tạo thành một số lỗ rỗng do sợi PP kỵ nước làm tăng độ hút nước và giảm vận tốc truyền xung siêu âm của bê tông. Tuy nhiên sự liên kết tốt giữa các sợi PP và bê tông xung quanh tạo nên cấu trúc đặc chắc tương tự như bê tông cốt thép làm tăng cường độ chịu nén và chịu uốn của bê tông.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Mai Thị Hồng, Trịnh Thị Hiền, Lưu Đình Thi. (2022), “Nghiên cứu sử dụng tro bay và xỉ lò cao nghiền mịn trong sản xuất bê tông bọt”. Tạp chí khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, 78 (3/2022), pp. 12-21
- Abd A.M., Jarullah D.D. (2016), “Producing lightweight foam concrete building units using local resources”, Civil and Environmental Research, 8(10), pp 54-63.
- Abdollahnejad, Z., Zhang, Z., Wang, H., Mastali, M. (2018), “Comparative study on the drying shrinkage and mechanical properties of geopolymer foam concrete incorporating different dosages of fiber, sand and foam agents”. High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet, (Cham: Springer International Publishing), pp 42–48.
- Awang, H., Mydin, M. A. O., Roslan, A. F. (2012), “Effects of fibre on drying shrinkage, compressive and flexural strength of lightweight foamed concrete”. Advanced Materials Research, 587, pp 144–149.



- Bing, C., Zhen, W., Ning, L. (2012), “*Experimental research on properties of high-strength foamed concrete*”. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 24, pp 113–118.
- Cavalline, T. L., Castrodale, R. W., Freeman, C., Wall, J. (2017), “*Impact of lightweight aggregate on concrete thermal properties*”. *ACI Materials Journal*, 114, pp 945–956.
- Dawood, E. T., Mohammad, Y. Z., Abbas, W. A., Mannan, M. A. (2018), “*Toughness, elasticity and physical properties for the evaluation of foamed concrete with added polypropylene fibers*”. *Heliyon*, 4(12): e01103.
- Falliano, D., de Domenico, D., Ricciardi, G., Gugliandolo, E. (2018), “*Experimental investigation on the compressive strength of foamed concrete: Effect of curing conditions, cement type, foaming agent and dry density*”. *Construction and Building Materials*, 165, pp 735–749.
- Falliano, D., de Domenico, D., Ricciardi, G., Gugliandolo, E. (2019), “*Compressive and flexural strength of fiber-reinforced foamed concrete: Effect of fiber content, curing conditions and dry density*”. *Construction and Building Materials*, 198, pp 479–493.
- Harith, I. K. (2018), “*Study on polyurethane foamed concrete for use in structural applications*”. *Case Studies in Construction Materials*, 8, pp 79–86.
- Hazlin, A. R., Iman, A., Mohamad, N., Goh, W. I., Sia, L. M., Samad, A. A. A., Ali, N. (2017), “*Microstructure and tensile strength of foamed concrete with added polypropylene fibers*”. *MATEC Web of Conferences*, 103, pp 01-13.
- Kearsley E.P., and Wainwright P.J. (2001), “*The effect of high fly ash content on the compressive strength of foamed concrete*”. *Cement and Concrete Research*, 31(1), pp 105-112.
- Mai, T. H., and Ngo, S. H. (2021), “*Properties of foam concrete using ternary binders of fly ash, slag and cement*”. *Tạp chí Khoa học Công nghệ xây dựng*, 2/2021, pp 41-49.
- Mohapatra, R., and Rao, J. R. (2001), “*Some aspects of characterization, utilisation and environmental effects of fly ash*”. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 76(1), pp. 9-26.
- Nambiar, E. K. K., Ramamurthy, K (2007), “*Sorption characteristics of foam concrete*”. *Cement and Concrete Research*, 37, pp 1341–1347.
- Ngo, S. H., Huynh, T. P., Le, T. T. T. (2020), “*Effects of NaOH concentrations on properties of the thermal power plant ashes-bricks by alkaline activation*”. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Edit*, 35, pp131–139.
- Jhatal, A. A., Goh, W. I., Mohamad, N., Alengaram, U. J., Mo, K.H. (2018), “*Effect of polypropylene fibres on the thermal conductivity of lightweight foamed concrete*”. *MATEC Web of Conferences*, 150, 8 pages.
- Jhatal, A. A., Goh, W. I., Mohamad, N., Rind, T. A., Sandhu, A. R. (2020), “*Development of thermal insulating lightweight foamed concrete reinforced with polypropylene fibres*”. *Arabian Journal of Science and Engineering*, 45, pp 4067–4076.
- Juraschek, M., Bucherer, M., Schnabel, F., Hoffschröer, H., Vossen, B., Kreuz, F., Thiede, S., Herrmann, C. (2018), “*Urban factories and their potential contribution to the sustainable development of cities*”. *Procedia CIRP*, 69, pp 72–77.
- Ramamurthy K., Nambiar E.K.K., and Ranjani G.I.S. (2009), “*A classification of studies on properties of foam concrete*”, *Cement and Concrete Composites*, 31(6), pp. 388–396.
- 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.

- Xu, Y., Xing, G., Zhao, J., Zhang, Y. (2021), “The effect of polypropylene fiber with different length and dosage on the performance of alkali-activated slag mortar”. Construction and Building Materials, 307, 124978.
- Wee, T. H, Babu, D. S, Tamilselvan, T, Lim, H. S. (2006), “Air-void system of foamed concrete and its effect on mechanical properties”. Materials Journal, 103, pp45–52.
- Wu, F., Liu, C., Diao, Z., Feng, B., Sun, W., Li, X., Zhao, S. (2018), “Improvement of mechanical properties in polypropylene- and glass-fibre-reinforced peach shell lightweight concrete”. Advances in Materials Science and Engineering, Volume 2018, ID 6250941.

**Abstract:**

**THE EFFECT OF POLYPROPYLENE FIBER CONTENTS ON THE ENGINEERING PROPERTIES OF FOAMED CONCRETE**

*To encourage the recycling of the industrial waste in the production of construction materials and enhance the flexural strength of foamed concrete, this study used fly ash as a binder material to replace 40% cement incorporating various polypropylene (PP) fiber contents in producing lightweight foamed concrete. Four foamed concrete mixtures were designed with a water-to-binder ratio of 0.23 and PP fiber contents were 0, 0.3, 0.6, and 1.0 by the total mass of binder materials. All foamed concrete in this study had a dry density of  $1000 \pm 50 \text{ kg/m}^3$ . Test results showed that increasing PP fiber contents resulted in a reduction in the unit weight of fresh and hardened concrete, thermal conductivity, and ultrasonic pulse velocity, but an increment in water absorption, compressive strength, and flexural strength. The mixture with 1% PP fiber had the highest compressive strength, flexural strength; and the lowest unit weight and thermal conductivity. The effect of PP content on the flexural strength is more significant than that on the compressive strength. The PP fiber plays an important role as reinforcement to increase both compressive and flexural strength of foamed concrete.*

**Keywords:** Foamed concrete, polypropylene fiber, fly ash, compressive strength, flexural strength, thermal conductivity.

---

Ngày nhận bài: 04/5/2022

Ngày chấp nhận đăng: 06/6/2022