

NGHIÊN CỨU DỰ ĐOÁN CƯỜNG ĐỘ CHỊU NÉN CỦA BÊ TÔNG BỘT HOẠT TÍNH BẰNG CÁC PHƯƠNG PHÁP KHÔNG PHÁ HỦY

Lê Thị Thanh Tâm¹, Nguyễn Văn Dũng¹, Phạm Hữu Khải²

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu sử dụng các kết quả thí nghiệm không phá hủy để dự đoán cường độ chịu nén của bê tông bột hoạt tính. Các mẫu bê tông bột hoạt tính được tạo thành từ xi măng, silica fume, tro bay hoặc xỉ hạt lò cao nghiền mịn với cốt liệu là cát hạt rất mịn. Vận tốc truyền xung siêu âm và độ bật nảy của các mẫu bê tông được xác định bằng các phương pháp không phá hủy, sau đó cường độ chịu nén thực tế của bê tông được xác định thông qua thí nghiệm nén mẫu. Dựa vào mối liên hệ giữa vận tốc truyền xung siêu âm, trị số bật nảy và cường độ chịu nén thực tế của các mẫu bê tông, bảng tra cường độ chịu nén của bê tông bột hoạt tính được xây dựng. Kết quả nghiên cứu cho thấy, sử dụng kết hợp giá trị vận tốc truyền xung siêu âm và độ bật nảy cho kết quả dự đoán cường độ chịu nén của bê tông có độ chính xác cao hơn so với chỉ sử dụng một mình giá trị vận tốc truyền xung siêu âm hoặc độ bật nảy.

Từ khóa: Bê tông bột hoạt tính, cường độ chịu nén, vận tốc truyền xung siêu âm, sóng bật nảy, phương pháp không phá hủy.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bê tông bột hoạt tính là loại bê tông sử dụng các loại vật liệu có hạt mịn và có độ hoạt tính cao có thể tham gia các phản ứng hóa học trong quá trình thủy hóa. Vì vậy bê tông bột hoạt tính có cường độ chịu lực, khả năng chống cháy và chống lại các tác động xấu từ môi trường bên ngoài lớn hơn đáng kể so với bê tông thông thường [1][2][3]. Tuy nhiên, để sản xuất bê tông bột hoạt tính cần phải sử dụng hàm lượng lớn xi măng và silica fume, dẫn tới giá thành cao, lượng nhiệt sinh ra trong quá trình phản ứng thủy hóa lớn làm tăng độ co ngót của bê tông [4]. Để hạn chế các nhược điểm này, các nghiên cứu trước đã sử dụng tro bay, xỉ thép, hoặc kết hợp cả tro bay và xỉ thép nhằm giảm hàm lượng xi măng trong thành phần cấp phối của bê tông. Ở Việt Nam, Nguyễn Công Thắng và các cộng sự (2013) đã sử dụng kết hợp tro bay và silica fume để chế tạo bê tông với chất lượng siêu cao, kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng việc sử dụng tro bay và silica fume làm chất kết dính cải thiện đáng kể tính công tác và làm tăng cường độ nén của bê tông. Nghiên cứu của Peng và các cộng sự (2015) về bê tông bột hoạt tính sử dụng chất kết dính là xi măng, silica fume và bột xỉ thải phốt pho cho thấy cường độ chịu nén ở 7 ngày tuổi của tất cả các mẫu bê tông bột hoạt tính trong nghiên cứu đều lớn hơn 150 MPa, cao nhất đạt tới 190,3 MPa. Một nghiên cứu khác của Widodo và các cộng sự (2015) sử dụng xi măng, silica fume, bột thủy tinh tái chế và sợi thép trong thành phần của bê tông bột hoạt tính. Các mẫu bê tông bột hoạt tính trong nghiên cứu đều có cường độ chịu nén rất lớn, đạt tới 136 MPa.

¹ Khoa Kỹ thuật Công nghệ, Trường Đại học Hồng Đức, Email: lethithanhtam@hdu.edu.vn

² Học viên cao học K13A ngành Kỹ thuật xây dựng, Trường Đại học Hồng Đức

Trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu sử dụng vận tốc truyền xung siêu âm làm thước đo cường độ chịu nén của bê tông do những ưu điểm rõ ràng của phương pháp không phá hủy. Ramazan và các cộng sự (2004) tìm hiểu về mối quan hệ giữa vận tốc truyền xung siêu âm và cường độ chịu nén của bê tông sử dụng phụ gia khoáng khối lượng lớn. Nghiên cứu chỉ ra rằng mối quan hệ giữa vận tốc truyền xung siêu âm và cường độ chịu nén của bê tông là theo cấp số nhân, tuy nhiên các hằng số là khác nhau giữa các loại phụ gia khoáng và thay đổi theo hàm lượng phụ gia khoáng thay thế xi măng. Bogas và các cộng sự (2013) đã nghiên cứu mối quan hệ giữa cường độ chịu nén của bê tông nhẹ và vận tốc truyền xung siêu âm. Dựa trên sự phụ thuộc của vận tốc truyền xung siêu âm vào mật độ và độ đàn hồi của bê tông, một biểu thức được đề xuất để ước tính cường độ chịu nén của bê tông nhẹ dựa trên vận tốc truyền xung siêu âm xác định được. Một nghiên cứu khác của Saman và Daniel (2020) về quan hệ giữa cường độ chịu nén và vận tốc truyền xung siêu âm của bê tông cốt sợi với các loại cốt sợi khác nhau: sợi thép, sợi thủy tinh và sợi nylon. Nghiên cứu đã đưa ra được mối quan hệ giữa vận tốc truyền xung siêu âm với cường độ chịu nén của các mẫu bê tông cốt sợi bao gồm cả sự thay đổi trong tỷ lệ nước/chất kết dính.

Việc sử dụng mình phương pháp đo vận tốc truyền xung siêu âm để dự đoán cường độ chịu nén của bê tông cho kết quả sai lệch so với thực tế tương đối lớn. Chính vì vậy, Tiêu chuẩn quốc gia Việt Nam (TCVN 9335-2012) [11] đã sử dụng kết hợp phương pháp đo vận tốc truyền xung siêu âm và súng bật nảy để xác định cường độ chịu nén của bê tông. Tuy nhiên, tiêu chuẩn này chỉ áp dụng được cho bê tông thông thường với cường độ nhỏ hơn 35 MPa. Với bê tông bột hoạt tính, cường độ thường lớn hơn nhiều so với bê tông thông thường, do vậy việc sử dụng các phương pháp không phá hủy để dự đoán cường độ chịu nén của bê tông bột hoạt tính là cần thiết, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu sử dụng kết hợp phương pháp đo vận tốc truyền xung siêu âm và súng bật nảy để dự đoán cường độ chịu nén của bê tông bột hoạt tính.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Phương pháp xây dựng mối quan hệ giữa cường độ chịu nén với vận tốc truyền xung siêu âm và độ bật nảy

Sử dụng phương pháp quy hồi để xây dựng mối quan hệ giữa cường độ chịu nén với giá trị vận tốc truyền xung siêu âm và độ bật nảy. 26 mẫu bê tông bột hoạt tính được thiết kế với tỷ lệ nước/chất kết dính bằng 0,16÷0,24 và có kể đến sự thay đổi của hàm lượng tro bay và xỉ lò cao nghiền mịn. Tại 28 ngày tuổi, trước khi nén, các mẫu bê tông này được thí nghiệm để xác định giá trị vận tốc truyền xung siêu âm và độ bật nảy, sau đó đem nén mẫu để xác định giá trị cường độ chịu nén. Từ đó xây dựng các mối quan hệ giữa cường độ chịu nén với vận tốc truyền xung siêu âm, cường độ chịu nén với độ bật nảy, cường độ chịu nén với cả vận tốc truyền xung siêu âm và độ bật nảy. Cụ thể, các bước chuẩn bị vật liệu, thiết kế thành phần cấp phối, chuẩn bị mẫu và phương pháp thí nghiệm được trình bày ở các phần sau. Các mẫu vật liệu còn thừa sau khi đúc 26 mẫu thí nghiệm trên được sử dụng để đúc 12 mẫu ngẫu nhiên dùng để kiểm chứng phương pháp dự đoán cường độ chịu nén dựa trên sự kết hợp của vận tốc truyền xung siêu âm và độ bật nảy.

2.2. Chuẩn bị mẫu và phương pháp thí nghiệm

Bê tông bột hoạt tính trong nghiên cứu được tạo thành từ xi măng Nghi Sơn PCB40, silica fume loại AC Micro SF90, tro bay lấy từ nhà máy nhiệt điện Nghi Sơn, xỉ hạt lò cao nghiền mịn S95 của tập đoàn Hòa Phát, cát mịn, nước và phụ gia siêu dẻo. Khối lượng riêng của xi măng, silica fume, tro bay và xỉ hạt lò cao nghiền mịn được sử dụng trong nghiên cứu lần lượt là: 3,12; 2,21; 2,19 và 2,82 tấn/m³. Thành phần hóa học của chúng được trình bày trong bảng 1. Cát mịn sử dụng để làm cốt liệu nhỏ trong nghiên cứu thu được bằng cách sàng cát vàng tự nhiên mua trên thị trường, loại bỏ các cỡ hạt nằm trên sàng 0,63mm và nằm dưới sàng 0,14 mm, chỉ sử dụng cát rất mịn có cỡ hạt nằm giữa hai cỡ sàng 0,14 mm và 0,63 mm. Các tính chất của nó bao gồm: khối lượng riêng 2,63 tấn/m³; độ ẩm 4,35%; và độ hút nước 0,28%.

Bảng 1. Thành phần hóa học của xi măng, silica fume, tro bay và xỉ hạt lò cao nghiền mịn

Thành phần (% theo khối lượng)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Lượng mất khi nung
Xi măng	22,30	6,68	4,73	55,45	2,40	1,28	0,74	0,56	0,45
Silica fume	70,1	21,98	1,02	0,44	1,86	0,07	3,19	0,3	0,12
Tro bay	55,73	21,67	6,58	1,06	2,17	0,01	2,07	0,22	6,9
Xi lò cao nghiền mịn	36,87	12,38	0	30,73	14,8	0,41	0,92	0,3	0,38

Thành phần các mẫu bê tông bột hoạt tính trong nghiên cứu này được trình bày trong bảng 2. Các mẫu bê tông được đánh số kí hiệu từ M1 đến M26 để kiểm soát chất lượng. Lưu ý rằng, vật liệu còn thừa sau khi đúc 26 mẫu trên được trộn lẫn để đúc thêm 12 mẫu khác dùng để kiểm chứng phương pháp đề xuất, 12 mẫu này được ký hiệu từ K1 đến K12.

Việc đúc các mẫu bê tông bột hoạt tính và thực hiện các thí nghiệm được tiến hành tại Xưởng thực hành, khoa Kỹ thuật Công nghệ, Trường Đại học Hồng Đức. Sử dụng máy trộn vữa để trộn hỗn hợp vật liệu dùng để đúc mẫu bê tông bột hoạt tính. Đầu tiên cho hỗn hợp chất kết dính gồm xi măng, silica fume, tro bay hoặc xỉ hạt lò cao nghiền mịn vào cối trộn, trộn đều với chế độ trung bình trong khoảng 1-2 phút, tiếp đó cho cát mịn vào trộn tiếp cùng với hỗn hợp chất kết dính trong 2 phút tiếp theo. Cuối cùng cho nước đã hòa phụ gia siêu dẻo vào trộn với tốc độ từ trung bình đến cao cho đến khi thu được hỗn hợp bê tông bột hoạt tính đồng nhất. Tiến hành đúc tạo mẫu bê tông bột hoạt tính bằng cách rót hỗn hợp bê tông vào khuôn hình trụ tròn có đường kính 100 mm, cao 200 mm. Các mẫu bê tông bột hoạt tính được lấy ra khỏi khuôn sau 24h kể từ khi đúc và được ngâm bảo dưỡng trong bể ngâm mẫu ở điều kiện thường cho đến khi tiến hành thí nghiệm (Hình 1). Đến ngày thí nghiệm (28 ngày tuổi), các mẫu sẽ được vớt ra, lau khô bề mặt và tiến hành các thí nghiệm cần thiết, bao gồm: thí nghiệm xác định vận tốc truyền xung siêu âm, thí nghiệm xác định trị số bật nảy và thí nghiệm nén xác định cường độ. Vận tốc truyền xung siêu âm của mẫu bê tông bột hoạt tính được thực hiện theo tiêu chuẩn ASTM C597 [12], bằng thiết bị chuyên dụng MATEST C369. Sử dụng súng bật nảy bê tông MATEST C380 để xác định trị số bật nảy của mẫu bê tông bột hoạt tính. Cuối cùng tiến hành nén mẫu bê tông bằng máy nén Control 300 tấn để xác định cường độ chịu nén.

Bảng 2. Thành phần bê tông bột hoạt tính thiết kế (kg/m³)

TT	Tên mẫu	Thành phần cấp phối (Kg/m ³)						
		Xi măng	Silica fume	Tro bay	Xi lò cao nghiền mịn	Cát mịn	Nước	Phụ gia siêu dẻo
1	M1	858	214	0	0	1072	171	55
2	M2	716	210	126	0	1053	168	55
3	M3	580	207	248	0	1036	165	54
4	M4	448	204	367	0	1019	163	52
5	M5	322	201	438	0	1006	161	47
6	M6	844	211	0	0	1055	212	24
7	M7	706	207	124	0	1039	207	22
8	M8	572	204	245	0	1021	204	22
9	M9	442	201	362	0	1006	201	20
10	M10	317	198	475	0	990	198	19
11	M11	815	204	0	0	1019	244	16
12	M12	858	214	0	0	1072	171	55
13	M13	716	210	0	126	1053	168	55
14	M14	580	207	0	248	1036	165	54
15	M15	446	203	0	365	1015	162	57
16	M16	319	199	0	478	997	159	57
17	M17	843	210	0	0	1054	210	26
18	M18	705	207	0	124	1037	207	24
19	M19	571	204	0	244	1019	204	24
20	M20	440	200	0	360	1001	200	26
21	M21	315	197	0	472	984	197	26
22	M22	817	204	0	0	1021	245	14
23	M23	683	201	0	120	1005	241	13
24	M24	553	197	0	237	988	237	14
25	M25	428	194	0	350	973	233	12
26	M26	307	192	0	460	959	230	11



Hình 1. Các mẫu bê tông bột hoạt tính

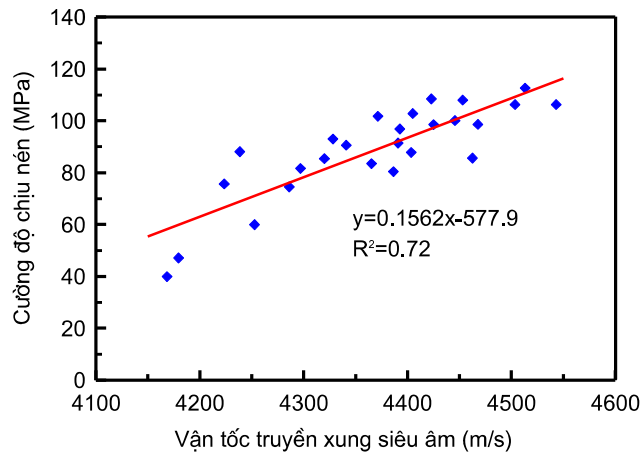
3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Xây dựng biểu đồ quan hệ giữa vận tốc truyền xung siêu âm (UPV) và cường độ chịu nén (R)

Giá trị UPV của các mẫu bê tông bột hoạt tính thay đổi từ 4168 đến 4543 m/s, trong khi cường độ chịu nén của các mẫu thay đổi từ 40 - 112,7 MPa. Biểu đồ quan hệ giữa vận tốc truyền xung siêu âm của mẫu bê tông bột hoạt tính với cường độ chịu nén được thể hiện ở hình 2. Sử dụng phần mềm hỗ trợ tính toán để xây dựng quan hệ giữa vận tốc truyền xung siêu âm và cường độ chịu nén của các mẫu bê tông bột hoạt tính. Mỗi quan hệ giữa cường độ chịu nén và vận tốc truyền xung siêu âm được thể hiện bởi phương trình tuyến tính (3.1). Có thể thấy cường độ chịu nén và vận tốc truyền xung siêu âm của mẫu tỉ lệ thuận với nhau, có nghĩa là vận tốc truyền xung siêu âm càng lớn thì cường độ chịu nén của bê tông càng cao và ngược lại.

Phương trình thể hiện mối quan hệ giữa vận tốc truyền xung siêu âm UPV và cường độ chịu nén R:

$$y = 0,1526x - 577,92 \quad (3.1)$$



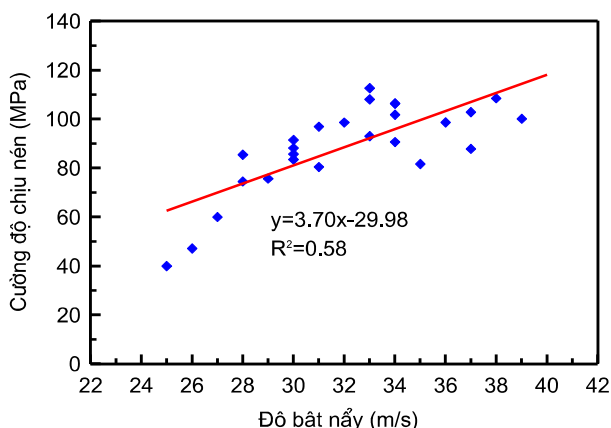
Hình 2. Biểu đồ quan hệ UPV - R

3.2. Xây dựng biểu đồ quan hệ giữa trị số bật nảy (n) và cường độ chịu nén (R)

Trị số bật nảy n của các mẫu bê tông bột hoạt tính xác định được từ thí nghiệm thay đổi từ 25 đến 39 vạch, trong khi cường độ chịu nén nhỏ nhất của các mẫu là 40 MPa, lớn nhất là 112,7 MPa. Biểu đồ quan hệ giữa trị số bật nảy của mẫu bê tông bột hoạt tính với cường độ chịu nén được thể hiện ở hình 3. Sử dụng phần mềm hỗ trợ tính toán để xây dựng quan hệ giữa trị số bật nảy và cường độ chịu nén của các mẫu bê tông bột hoạt tính. Mối quan hệ giữa cường độ chịu nén và trị số bật nảy được thể hiện bởi phương trình tuyến tính (3.2). Trị số bật nảy phản ánh độ cứng bề mặt của bê tông, bê tông càng đặc chắc thì trị số bật nảy xác định được càng cao. Chính vì vậy cường độ chịu nén và trị số bật nảy tỉ lệ thuận với nhau, có nghĩa là mẫu bê tông có trị số bật nảy càng cao tương ứng với cường độ chịu nén càng lớn.

Phương trình thể hiện mối quan hệ giữa trị số bật nảy n và cường độ nén R :

$$y = 3,7006x - 29,982 \quad (3.2)$$



Hình 3. Biểu đồ quan hệ $n - R$

3.3. Quan hệ giữa vận tốc truyền xung siêu âm (UPV), trị số bật nảy (n) và cường độ chịu nén (R)

Từ hai phương trình quan hệ giữa vận tốc truyền xung siêu âm và trị số bật nảy với cường độ chịu nén của bê tông bột hoạt tính (phương trình (3.1) và phương trình (3.2)), tiến hành xây dựng quan hệ giữa vận tốc truyền xung siêu âm UPV, trị số bật nảy n và cường độ chịu nén R như sau: Lần lượt cho giá trị vận tốc truyền xung siêu âm UPV thay đổi từ 4150 m/s đến 4600 m/s, bước thay đổi là 50 m/s; ứng với mỗi giá trị vận tốc truyền xung siêu âm UPV, cho trị số bật nảy n thay đổi từ 25 đến 40 vạch. Tiếp theo sử dụng phương trình (3.1) để tính cường độ chịu nén R_{UPV} của bê tông bột hoạt tính từ giá trị vận tốc truyền xung siêu âm UPV, đồng thời sử dụng phương trình (3.2) để tính cường độ chịu nén R_n của bê tông bột hoạt tính từ trị số bật nảy n . Lấy trung bình của 2 giá trị R_{UPV} và R_n sẽ có cường độ nén trung bình tính toán R_{tb} của bê tông bột hoạt tính ứng với một giá trị UPV nhất định. Tổng hợp các kết quả tính toán đã trình bày như trên, xây dựng được bảng tra xác định cường độ chịu nén R_{UPV-n} của bê tông bột hoạt tính từ các giá trị vận tốc truyền xung siêu âm UPV và trị số bật nảy n như trong bảng 3.

Bảng 3. Cường độ chịu nén của bê tông bột hoạt tính xác định theo vận tốc truyền xung siêu âm UPV và trị số bật nảy n

UPV (m/s)	n (vạch)															
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
4150	58.9	60.8	62.6	64.5	66.3	68.2	70.0	71.9	73.7	75.6	77.4	79.3	81.1	83.0	84.8	86.7
4200	62.8	64.6	66.5	68.3	70.2	72.0	73.9	75.7	77.6	79.4	81.3	83.1	85.0	86.8	88.7	90.5
4250	66.6	68.4	70.3	72.1	74.0	75.8	77.7	79.5	81.4	83.2	85.1	86.9	88.8	90.6	92.5	94.3
4300	70.4	72.2	74.1	75.9	77.8	79.6	81.5	83.3	85.2	87.0	88.9	90.7	92.6	94.4	96.3	98.1
4350	74.2	76.1	77.9	79.8	81.6	83.5	85.3	87.2	89.0	90.9	92.7	94.6	96.4	98.3	100.1	102.0
4400	78.0	79.9	81.7	83.6	85.4	87.3	89.1	91.0	92.8	94.7	96.5	98.4	100.2	102.1	103.9	105.8
4450	81.8	83.7	85.5	87.4	89.2	91.1	92.9	94.8	96.6	98.5	100.3	102.2	104.0	105.9	107.7	109.6

4500	85.6	87.5	89.3	91.2	93.0	94.9	96.7	98.6	100.4	102.3	104.1	106.0	107.8	109.7	111.5	113.4
4550	89.5	91.3	93.2	95.0	96.9	98.7	100.6	102.4	104.3	106.1	108.0	109.8	111.7	113.5	115.4	117.2
4600	93.3	95.1	97.0	98.8	100.7	102.5	104.4	106.2	108.1	109.9	111.8	113.6	115.5	117.3	119.2	121.0

Bảng 3 được xây dựng tương tự như TCVN 9335 - 2012 [11], tuy nhiên TCVN 9335 - 2012 chỉ áp dụng cho bê tông nặng thông thường có cường độ từ 10 - 35 MPa, vận tốc truyền xung siêu âm từ 3500 - 4450 m/s. Việc áp dụng Bảng 3 để dự đoán cường độ chịu nén của bê tông tương đối đơn giản. Sử dụng thí nghiệm xác định vận tốc truyền xung siêu âm và súng bật nảy để xác định các giá trị UPV và n , sau đó tra Bảng 3 để xác định cường độ chịu nén tương ứng của bê tông. Cần lưu ý rằng bảng 3 chỉ áp dụng cho bê tông bột hoạt tính được bảo dưỡng ở điều kiện tiêu chuẩn với các giá trị vận tốc truyền xung siêu âm UPV trong phạm vi tương ứng từ 4150 - 4600 m/s và trị số bật nảy n từ 25 - 40 vạch. Đối với bê tông bột hoạt tính có các giá trị UPV và n ngoài phạm vi trên và các loại bê tông khác cần phải được nghiên cứu thêm.

3.4. Dự đoán cường độ chịu nén thông qua vận tốc truyền xung siêu âm và độ bật nảy

Sử dụng 12 mẫu từ K1 đến K12 để kiểm chứng các phương pháp dự đoán cường độ chịu nén của bê tông dựa trên giá trị vận tốc truyền xung siêu âm (R_{UPV}), dựa trên độ bật nảy (R_n), và dựa trên cả giá trị vận tốc truyền xung siêu âm và độ bật nảy (R_{UPV-n}). Chú ý rằng R_{UPV} và R_n được xác định dựa theo công thức (3.1) và (3.2), trong khi R_{UPV-n} được xác định dựa vào nội suy ở bảng 3. Kết quả so sánh giữa cường độ chịu nén thực tế (R) và cường độ chịu nén từ 3 phương pháp trên được thể hiện trong bảng 4. Kết quả cho thấy, phương pháp dự đoán cường độ chịu nén dựa trên độ bật nảy cho kết quả sai lệch lớn nhất (với sai số trung bình là 10,66% và sai số lớn nhất là 31,64%), tiếp theo là phương pháp dựa trên vận tốc truyền xung siêu âm (với sai số trung bình là 7,28% và sai số lớn nhất là 23,89%), phương pháp sử dụng kết hợp cả vận tốc truyền xung siêu âm và độ bật nảy cho kết quả gần sát với thực tế nhất (với sai số trung bình là 6,51% và sai số lớn nhất là 14,85%). Có thể thấy, khi dự đoán cường độ chịu nén của bê tông bột hoạt tính từ vận tốc truyền xung siêu âm UPV và trị số bật nảy n , chênh lệch giữa 2 giá trị cường độ nén dự đoán (R_{UPV-n}) và cường độ nén thực tế (R) hầu hết đều nằm trong khoảng giới hạn cho phép dưới 15%. Kết quả nghiên cứu cho thấy, có thể sử dụng kết hợp giữa giá trị vận tốc truyền xung siêu âm và độ bật nảy trong dự đoán cường độ chịu nén của bê tông bột hoạt tính.

Bảng 4. Đánh giá cường độ chịu nén dự đoán theo UPV và n với cường độ chịu nén thực tế của mẫu bê tông bột hoạt tính

Tên mẫu	UPV (m/s)	n (vạch)	R (MPa)	R_{UPV} (MPa)	Sai lệch (%)	R_n (MPa)	Sai lệch (%)	R_{UPV-n} (MPa)	Sai lệch (%)
K1	4570	35	117.3	119.4	1.84	99.5	15.12	109.5	6.64
K2	4511	36	108.0	110.5	2.27	103.2	4.46	106.9	1.10
K3	4465	33	101.2	103.5	2.27	92.1	8.96	97.8	3.34
K4	4543	40	109.7	115.4	5.21	118.0	7.58	116.7	6.40
K5	4499	38	113.7	108.6	4.45	110.6	2.68	109.7	3.49
K6	4391	35	105.4	92.2	12.53	99.5	5.58	95.9	9.05
K7	4277	37	98.1	74.7	23.89	106.9	8.96	90.8	7.47
K8	4493	30	98.1	107.8	9.90	81.0	17.37	94.4	3.73
K9	4429	36	109.6	97.9	10.73	103.2	5.86	99.5	9.29
K10	4402	33	104.0	93.8	9.79	92.1	11.40	92.8	10.74

K11	4363	40	89.7	87.9	1.94	118.0	31.64	103.0	14.85
K12	4309	32	81.7	79.6	2.54	88.4	8.29	83.3	2.02
		Sai số trung bình			7.28		10.66		6.51
		Sai số lớn nhất			23.89		31.64		14.85

4. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày các kết quả nghiên cứu dự đoán cường độ chịu nén của bê tông bột hoạt tính bằng các phương pháp không phá hủy. Quá trình xây dựng bảng tra cường độ chịu nén dựa trên các giá trị vận tốc truyền xung siêu âm và độ bật nảy được trình bày chi tiết trong bài báo. Kết quả nghiên cứu cho thấy, nếu dự đoán cường độ chịu nén chỉ dựa trên thí nghiệm xác định vận tốc truyền xung siêu âm hoặc độ bật nảy thì kết quả thu được sai khác nhiều so với cường độ chịu nén thực tế của mẫu. Khi sử dụng kết hợp giá trị vận tốc truyền xung siêu âm và độ bật nảy cho kết quả chính xác hơn với độ sai lệch nhỏ hơn 15%. Tuy nhiên kết quả nghiên cứu chỉ áp dụng cho các mẫu bê tông bột hoạt tính có vận tốc truyền xung siêu âm từ 4150 - 4600 m/s, độ bật nảy từ 25 - 40 vạch, ngoài phạm vi này cần được làm rõ hơn ở các nghiên cứu khác.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Zheng, W., Luo, B., Wang, Y. (2013), Compressive and tensile properties of reactive powder concrete with steel fibers at elevated temperatures, *Construction and Building Materials*, 41, 844-851.
- [2] Canbaz, M. (2014), The effect of temperature on reactive powder concrete, *Construction and Building Materials*, 70, 508-513.
- [3] Hiremath, P.N., Yaragal, S.C. (2018), Performance evaluation of reactive powder concrete with polypropylene fibers at elevated temperatures, *Construction and Building Materials*, 169, 499-512.
- [4] 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(10), 1687-1694.
- [5] Nguyễn Công Thắng, Nguyễn Văn Tuấn, Phạm Hữu Hanh, Nguyễn Ngọc Lâm (2013), Nghiên cứu chế tạo bê tông chất lượng siêu cao sử dụng hỗn hợp phụ gia khoáng silica fume và tro bay sẵn có ở Việt Nam, *Tạp chí Khoa học công nghệ xây dựng*, số 2/2013.
- [6] 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, 482-487.
- [7] Widodo, K., Ika, B., Budi, S. (2015), Mechanical behavior of reactive powder concrete with glass powder substitute, *Procedia Engineering*, 124, 617-622.

- [8] Ramazan, D., Ibrahim, T., Mehmet, B.K. (2004), Relationship between ultrasonic velocity and compressive strength for high-volume mineral-admixtured concrete, *Cement and Concrete Research*, 34, 2329-2336.
- [9] Bogas, J. A., Gomes, M. G., Gomes, A. (2013), Compressive strength evaluation of structural lightweight concrete by non-destructive ultrasonic pulse velocity method, *Ultrasonic*, 53(5), 962-972.
- [10] Saman, H., Daniel, C. (2020), Relationships among compressive strength and UPV of concrete reinforced with different types of fibers, *Heliyon*, 6, e03646.
- [11] Bộ xây dựng (2012), *Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 9335 - Bê tông nặng - Phương pháp thử không phá hủy - xác định cường độ nén sử dụng kết hợp máy đo siêu âm và súng bật nảy*.
- [12] ASTM C597 (2009), *Standard test method for pulse velocity through concrete spe, USA*.

THE STUDY ON PREDICTING THE COMPRESSIVE STRENGTH OF REACTIVE POWDER CONCRETE BY NON-DESTRUCTIVE METHODS

Le Thi Thanh Tam, Nguyen Van Dung, Pham Huu Khai

ABSTRACT

This paper investigates the use of non-destructive methods to estimate the compressive strength of reactive powder concrete. The reactive powder concrete samples were produced from cement, silica fume, fly ash or ground granulated blast furnace slag, and fine sand. The ultrasonic pulse velocity and bouncing values of concrete samples were determined using non-destructive methods, and their actual compressive strengths were determined using the compression test. Based on the relationship between ultrasonic pulse velocity, bouncing values, and the real compressive strength, the table was built to estimate the compressive strength of reactive powder concrete. The obtained results indicated that using the combination of ultrasonic pulse velocity and bouncing values brings about a higher level of accuracy in predicting the compressive strength of reactive powder concrete than using only ultrasonic pulse velocity or bouncing values.

Keywords: *Reactive powder concrete, compressive strength, ultrasonic pulse velocity, bouncing gun, non-destructive method.*

* Ngày nộp bài: 5/10/2022; Ngày gửi phản biện: 10/10/2022; Ngày duyệt đăng: 27/10/2022

* Bài báo này là kết quả nghiên cứu từ đề tài cấp cơ sở, Mã số đề tài ĐT-2021-23 của Trường Đại học Hồng Đức