



## STUDY ON MECHANICAL PROPERTIES OF ROLLER-COMPACTED CONCRETE USING RECYCLED COARSE AGGREGATE FROM CONCRETE WASTE

Tran Thi Bich Thao, Nguyen Tien Dung\*

University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

### ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 18/11/2022

Revised: 11/12/2022

Accepted: 13/12/2022

Published online: 15/12/2022

<https://doi.org/10.47869/tcsj.73.9.4>

\* *Corresponding author*

Email: [nguyen.tiendung@utc.edu.vn](mailto:nguyen.tiendung@utc.edu.vn); Tel: +84983352985

**Abstract.** Recycled aggregate concrete is a “green”, environmentally friendly construction material and contributes to limiting the exploitation of natural resources. Roller-compacted concrete using recycled aggregate has been successfully applied in pavement structures in some countries around the world. This work aims to investigate the mechanical properties of roller-compacted concrete using recycled coarse aggregate (RCA) from concrete waste. In this work, influences of 30%, 50%, 75% and 100% substitution of natural coarse aggregate by RCA have been considered. The concrete mix was designed according to the principle of soil mechanics (optimum moisture content and maximum dry volume). When replacing natural coarse aggregate by 75% and 100% RCA, the compressive strength of concrete at 28 days of age decreased by about 25-35% while the splitting tensile strength and the modulus of elasticity decreased by about 20-25%. When using 100% RCA, roller-compacted concrete still retains the mechanical criteria for application in concrete pavement foundations. The research results are the scientific basis for the use of this material in civil construction in Vietnam.

**Keywords:** roller-compacted concrete (RCC), recycled aggregate, recycled aggregate concrete, compressive strength, splitting tensile strength, modulus of elasticity.

© 2022 University of Transport and Communications



# NGHIÊN CỨU MỘT SỐ ĐẶC TÍNH CƠ HỌC CỦA BÊ TÔNG ĐÀM LĂN SỬ DỤNG CỐT LIỆU LỚN TÁI CHẾ TỪ BÊ TÔNG PHẾ THẢI

Trần Thị Bích Thảo, Nguyễn Tiến Dũng\*

Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội.

## THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 18/11/2022

Ngày nhận bài sửa: 11/12/2022

Ngày chấp nhận đăng: 13/12/2022

Ngày xuất bản Online: 15/12/2022

<https://doi.org/10.47869/tcsj.73.9.4>

\* Tác giả liên hệ

Email: [nguyen.tiendung@utc.edu.vn](mailto:nguyen.tiendung@utc.edu.vn); Tel: +84983352985

**Tóm tắt.** Bê tông tái chế là một loại vật liệu xây dựng xanh, thân thiện với môi trường và góp phần hạn chế việc khai thác tài nguyên thiên nhiên. Bê tông đầm lăn (BTĐL) sử dụng cốt liệu tái chế đã được ứng dụng thành công trong kết cấu áo đường tại một số quốc gia trên thế giới. Nghiên cứu này trình bày một số đặc tính cơ học của BTĐL sử dụng cốt liệu lớn tái chế từ bê tông phế thải (CLLTC), ứng dụng làm lớp móng đường ô tô. CLLTC được thay thế cho cốt liệu lớn tự nhiên với các hàm lượng là 0%, 30%, 50%, 75% và 100%. Thành phần vật liệu của BTĐL được thiết kế theo nguyên lý cơ học đất (độ ẩm tối ưu và khối lượng thể tích khô lớn nhất). Khi sử dụng CLLTC với hàm lượng 75% và 100%, cường độ chịu nén ở 28 ngày tuổi giảm khoảng 25-35% trong khi cường độ ép chẻ và mô đun đàn hồi giảm khoảng 20-25%. Khi thay thế 100% cốt liệu lớn tự nhiên bằng CLLTC thì BTĐL vẫn đạt được các chỉ tiêu cơ học để làm lớp móng mặt đường bê tông xi măng. Kết quả nghiên cứu là cơ sở khoa học cho việc sử dụng loại vật liệu này trong xây dựng công trình giao thông tại Việt Nam.

**Từ khóa:** bê tông đầm lăn, cốt liệu tái chế, bê tông tái chế, cường độ chịu nén, cường độ ép chẻ, mô đun đàn hồi.

© 2022 Trường Đại học Giao thông vận tải

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bê tông đầm lăn (BTĐL) là loại bê tông không có độ sụt được tạo thành bởi hỗn hợp bao gồm cốt liệu lớn (đá dăm, sỏi), cốt liệu nhỏ (cát tự nhiên, cát nghiền), chất kết dính (xi măng, phụ gia khoáng hoạt tính), phụ gia khoáng trơ, nước, phụ gia hóa học. Sau khi được trộn đều, vận chuyển và san rải, hỗn hợp được đầm chặt theo yêu cầu của thiết kế bằng thiết bị đầm lăn.

Công nghệ này thích hợp cho các công trình bê tông khối lớn, không cốt thép và hình dáng không phức tạp như lõi đập, mặt đường. Công nghệ BTĐL ứng dụng cho thi công đường giao thông có nhiều ưu điểm so với công nghệ thi công bê tông truyền thống như: phương pháp thi công không phức tạp, tốc độ thi công nhanh hơn, lượng dùng xi măng thấp, có thể tận dụng một số sản phẩm phụ hoặc phế thải công nghiệp giúp hạ giá thành vật liệu so với bê tông xi măng thông thường [1], [2].

Ngày nay trong quá trình xây dựng chúng ta đang sử dụng một lượng lớn cốt liệu có nguồn gốc tự nhiên như cát, sỏi, đá dăm. Tuy nhiên, nguồn cốt liệu tự nhiên này đang có xu hướng cạn kiệt và việc khai thác quá mức đã và đang dẫn tới nhiều hệ lụy xấu về môi trường tự nhiên và xã hội. Bên cạnh đó, việc cải tạo nâng cấp và phá dỡ các công trình xây dựng đang thải ra một lượng lớn phế thải xây dựng trong đó có bê tông phế thải. Lượng phế thải này nếu không được tận dụng sẽ tác động rất lớn đến môi trường. Chính vì lý do này mà các nhà khoa học trong và ngoài nước đã nghiên cứu sử dụng cốt liệu nghiền từ phế thải xây dựng (CLTC) thay thế một phần hoặc hoàn toàn cho cốt liệu tự nhiên trong việc chế tạo bê tông xi măng và đã đạt được nhiều kết quả đáng khích lệ. Tuy nhiên, khi hàm lượng cốt liệu tái chế thay thế lớn (trên 50%) thì nhiều chỉ tiêu cơ học và độ bền của bê tông xi măng bị suy giảm đáng kể. Nguyên nhân chính dẫn đến hiện tượng này là do cốt liệu tái chế có một lớp vữa dính bám trên bề mặt, lớp vữa này thường có độ rỗng lớn, độ hút nước cao, cường độ cơ học thấp [3-9].

Một trong những ứng dụng phổ biến của BTĐL trong xây dựng công trình giao thông là làm lớp móng đường bê tông xi măng. Yêu cầu kỹ thuật về cường độ cơ học của loại kết cấu này thường thấp hơn so với các vị trí kết cấu khác như lớp mặt đường, kết cấu cầu,... Bởi vậy có thể hướng tới việc sử dụng cốt liệu tái chế thay thế cốt liệu tự nhiên trong BTĐL mặc dù biết rằng loại cốt liệu này có thể làm giảm cường độ của BTĐL.

Việc nghiên cứu, ứng dụng bê tông tái chế (BTTC) trong kết cấu áo đường đã phổ biến tại nhiều nước trên thế giới, tuy nhiên vấn đề này vẫn còn rất mới mẻ ở Việt Nam. Để có thể khai thác, sử dụng loại bê tông này trong kết cấu áo đường, việc nghiên cứu các đặc tính cơ học của BTTC là hết sức cần thiết. Tuy nhiên chất lượng của BTTC phụ thuộc không nhỏ vào hàm lượng CLTC sử dụng. Trong các nghiên cứu và ứng dụng hiện nay của CLTC, phần lớn CLTC được sử dụng dưới dạng cốt liệu lớn [3-9]. Cốt liệu nhỏ tái chế (cát tái chế) chưa được sử dụng rộng rãi do công nghệ nghiền phế thải xây dựng thành cát tái chế phức tạp và tốn nhiều năng lượng nghiền hơn cốt liệu lớn tái chế (CLLTC). Mặt khác, cát tái chế thường có độ hút nước cao hơn nhiều so với cát tự nhiên, điều này dẫn đến khó kiểm soát lượng nước nhào trộn và tỷ lệ Nước/Chất kết dính thực tế, kéo theo khó khăn trong vấn đề kiểm soát cường độ [9]. Bởi vậy nghiên cứu này chỉ sử dụng CLLTC ở cấp độ cốt liệu lớn.

Xuất phát từ những yếu tố trên, nghiên cứu này tập trung vào việc tính toán thành phần BTĐL sử dụng CLLTC và đánh giá ảnh hưởng của loại cốt liệu này đến một số đặc tính cơ học của BTĐL bao gồm cường độ chịu nén, cường độ ép chẻ và mô đun đàn hồi.

## **2. VẬT LIỆU CHẾ TẠO VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU**

### **2.1. Vật liệu chế tạo**

Các vật liệu sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm: Xi măng, tro bay, cốt liệu lớn tự nhiên, cốt liệu lớn tái chế, cốt liệu nhỏ và nước.

- **Xi măng:** Trong chế tạo BTĐL làm lớp móng đường, hàm lượng xi măng sử dụng tương đối ít do yêu cầu về cường độ của BTĐL thường ở mức tương đối thấp. Do đó nghiên cứu này sử dụng xi măng Xuân Thành PCB30 có các đặc trưng kỹ thuật phù hợp với các quy định tại TCVN 6260:2020 [10].

- **Tro bay** sử dụng trong nghiên cứu này là tro bay loại F của nhà máy nhiệt điện Phả Lại, có các đặc trưng kỹ thuật phù hợp tiêu chuẩn TCVN 10302:2014 [11].

- **Cốt liệu lớn tự nhiên (CLLTN)** sử dụng là đá dăm 4,75-19 mm có thành phần hạt thoả mãn tiêu chuẩn ASTM C33 [12]. Các đặc tính kỹ thuật của cốt liệu lớn được giới thiệu ở bảng 1.

- **Cốt liệu lớn tái chế (CLLTC):** Nghiên cứu này sử dụng CLLTC được lấy tại trạm nghiên cứu phế thải xây dựng của Công ty cổ phần Dịch vụ sản xuất Toàn Cầu, trên địa bàn Thanh Trì, Hà Nội. Tại đây bê tông phế thải được nghiền thành cốt liệu qua dây chuyền nghiền di động CTRXD RM70GO của CHLB Đức. Sau đó CLLTC được mang về phòng thí nghiệm để sàng, phân loại theo các cỡ hạt và được phối trộn lại. Để làm rõ ảnh hưởng của hàm lượng CLLTC đến tính năng cơ học của BTĐC, thành phần hạt của CLLTC được lựa chọn giống với CLLTN và thoả mãn tiêu chuẩn ASTM C33. Các đặc tính kỹ thuật của CLLTC được tổng hợp ở bảng 1.

- **Cốt liệu nhỏ (CLN)** sử dụng là cát tự nhiên có thành phần hạt thoả mãn tiêu chuẩn ASTM C33. Các đặc tính kỹ thuật của cát được giới thiệu ở bảng 1.

Bảng 1. Các tính chất kỹ thuật của cốt liệu.

Tên chỉ tiêu	CLLTN	CLLTC	CLN
Khối lượng riêng ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2,71	2,66	2,68
Khối lượng thể tích đầm chặt ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	1,65	1,59	1,6
Mô đun độ lớn	-	-	2,8
Độ hút nước (%)	0,4	3,6	1,2

- **Nước** dùng để chế tạo BTĐL là nước máy tại phòng thí nghiệm và phù hợp với TCVN 4506:2012 [14].

## 2.2. Tính toán thành phần

Trong công nghệ xây dựng đường, BTĐL có thể được sử dụng làm lớp mặt hoặc lớp móng đường. Tuy nhiên khi sử dụng cốt liệu tái chế thì các tính năng cơ học của bê tông có xu hướng giảm và mức độ suy giảm cường độ của bê tông tăng lên khi tăng hàm lượng CLLTC. Cường độ chịu nén của bê tông có thể giảm 10-30% khi sử dụng 25-50% CLLTC và có thể giảm tới 30-45% khi sử dụng 50-100% CLLTC [3-9]. Bởi vậy nghiên cứu này tập trung vào việc chế tạo BTĐL để ứng dụng làm tầng móng mặt đường bê tông xi măng. Các yêu cầu kỹ thuật về cường độ được xác định căn cứ theo Quyết định số 3230/QĐ-BGTVT [14] và TCCS 40:2022/TCĐBVN [15] về thiết kế và thi công, nghiệm thu mặt đường bê tông xi măng. Theo đó, cường độ chịu nén tối thiểu yêu cầu là 7 MPa ở 7 ngày tuổi và 10 MPa ở 28 ngày tuổi, cường độ kéo khi uốn tối thiểu là 2,5 MPa ở 28 ngày tuổi.

Thành phần BTĐL được tính toán theo chỉ dẫn của ACI 325.10R [16]. Theo đó, hàm lượng chất kết dính trong BTĐL thường lấy trong khoảng 10-17% theo khối lượng của hỗn hợp cốt liệu (khoảng 208-356  $\text{kg}/\text{m}^3$ ). Nghiên cứu này sử dụng hàm lượng chất kết dính (bao

gồm xi măng và tro bay) là 13% (theo tổng khối lượng của hỗn hợp cốt liệu). Tro bay được sử dụng với hàm lượng là 30% so với tổng khối lượng chất kết dính.

Nhằm phân tích ảnh hưởng của hàm lượng CLLTC đến các đặc tính cơ học của BTĐL, CLLTC đã được thay thế cho CLLTN với các hàm lượng là 0%, 30%, 50%, 75% và 100%. Các cấp phối này được ký hiệu lần lượt là BTĐC, 30% CLLTC, 50% CLLTC, 75% CLLTC, 100% CLLTC.

Độ ẩm đầm nén tốt nhất của các hỗn hợp BTĐL được xác định theo phương pháp Proctor cải tiến (sử dụng chày đầm 4,536 kg với chiều cao rơi là 457 mm để đầm mẫu theo ASTM D1557) [17]. Với mỗi hỗn hợp, 5 mẫu được tạo ẩm với 5 hàm lượng nước khác nhau, sau đó vẽ biểu đồ quan hệ giữa khối lượng thể tích khô của hỗn hợp và độ ẩm mẫu, từ đó tìm ra hàm hồi quy thực nghiệm  $y(W)$  như sau:

$$y(W) = \gamma_d = aW^2 + bW + c \quad (1)$$

Trong đó:

$\gamma_d$ : là khối lượng thể tích khô của hỗn hợp BTĐL,  $\text{kg/m}^3$  hoặc  $\text{g/cm}^3$ ;

W: là hàm lượng nước sử dụng (độ ẩm đầm nén), %.

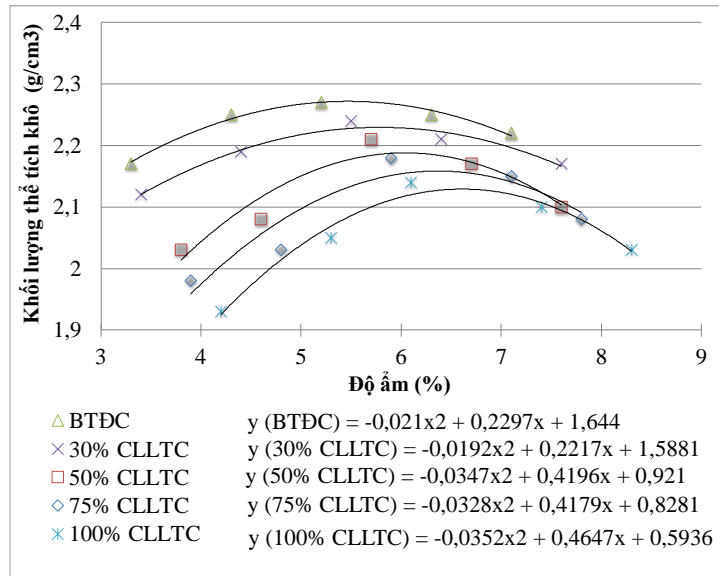
a, b, c: các hệ số của phương trình hồi quy thực nghiệm.

Từ phương trình này, độ ẩm tối ưu được xác định tương ứng với giá trị cực đại của hàm  $y(W)$ .

Quan hệ giữa khối lượng thể tích khô của các hỗn hợp BTĐL và độ ẩm của mẫu cũng như các hệ số của phương trình hồi quy thực nghiệm được thể hiện trên hình 2.



Hình 1. Thí nghiệm xác định độ ẩm tối ưu theo phương pháp Proctor cải tiến.



Hình 2. Quan hệ giữa khối lượng thể tích khô của BTĐL và độ ẩm của mẫu.

Từ độ ẩm tối ưu đã được xác định ở bước trên, các cấp phối BTĐL đã được chế tạo. Dựa trên khối lượng thể tích thực của từng hỗn hợp BTĐL, thành phần vật liệu cho  $1\text{m}^3$  của các cấp phối BTĐL được xác định như trong bảng 2.

Bảng 2. Thành phần vật liệu cho 1m<sup>3</sup> hỗn hợp BTĐL.

Vật liệu	BTĐC	30% CLLTC	50% CLLTC	75% CLLT C	100% CLLT C
Xi măng (kg)	183	179	176	172	171
Tro bay (kg)	78	77	76	74	73
CLLTN (kg)	1106	759	533	260	0
CLLTC (kg)	0	325	533	781	1035
CLN (kg)	905	887	872	852	847
Nước	125	129	131	135	140
Khối lượng thể tích hỗn hợp (kg/m <sup>3</sup> )	2397	2357	2321	2275	2268
Độ ẩm tối ưu (%)	5,5	5,8	6,0	6,3	6,6
Khối lượng thể tích khô lớn nhất (kg/m <sup>3</sup> )	2272	2228	2189	2140	2127

### 2.3. Phương pháp thí nghiệm

Cường độ chịu nén của BTĐL được xác định trên mẫu hình trụ kích thước 15x30 cm theo tiêu chuẩn ASTM C39 [18]. Mỗi mẫu được đầm thành 5 lớp bằng chày Proctor cải tiến với số chày đầm là 25 lượt/lớp. Cường độ ép chẻ của BTĐL được xác định trên mẫu hình trụ kích thước 15x30 cm theo tiêu chuẩn ASTM C496 [19]. Mô đun đàn hồi được xác định trên mẫu hình trụ kích thước 15x30 cm theo tiêu chuẩn ASTM C469 [20]. Sau 1 ngày tiến hành tháo mẫu và bảo dưỡng trong nước đến ngày tuổi thí nghiệm. Mỗi phép đo được thực hiện trên 6 mẫu thử đối với cường độ chịu nén và 3 mẫu thử đối với cường độ ép chẻ và mô đun đàn hồi. Kết quả thí nghiệm là trung bình số học của các mẫu sau khi đã loại bỏ sai số thô.



Hình 3. Thí nghiệm xác định cường độ chịu nén của BTĐL.

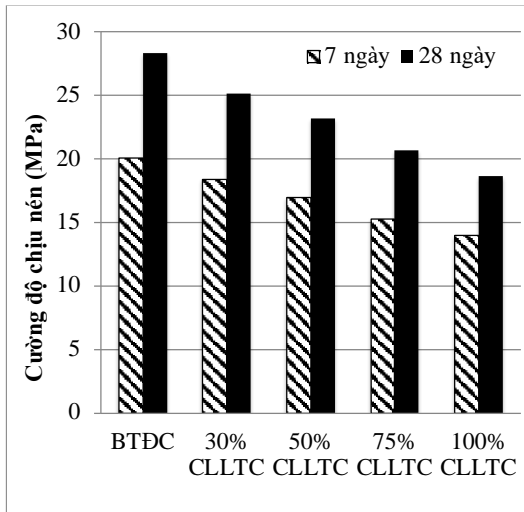


Hình 4. Thí nghiệm xác định cường độ ép chẻ của BTĐL.

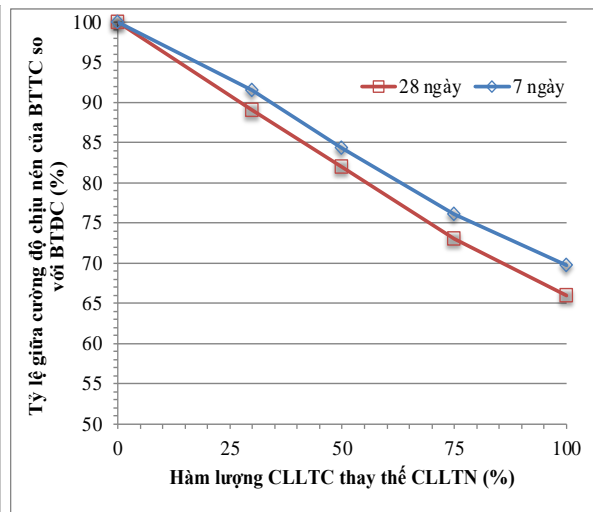
### 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Cường độ chịu nén của bê tông đầm lăn

Các kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén ở 7 và 28 ngày tuổi của các cấp phối BTĐL sử dụng các hàm lượng CLLTC là 0%, 30%, 50%, 75% và 100% được thể hiện ở hình 5.



Hình 5. Ảnh hưởng của hàm lượng CLLTC đến cường độ chịu nén của BTĐL.



Hình 6. Tương quan giữa cường độ chịu nén của BTĐC và BTĐL ở tuổi 7 và 28 ngày.

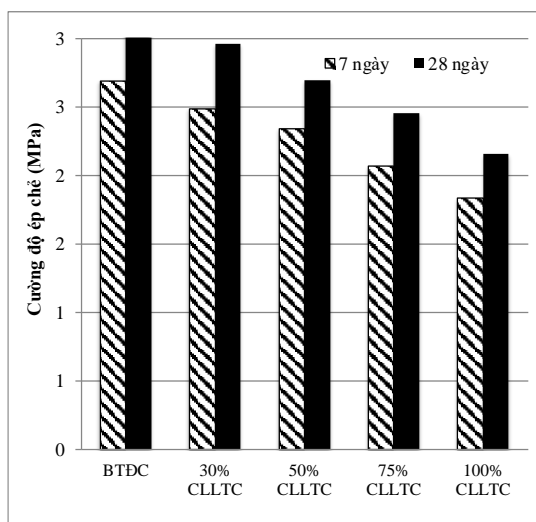
Các kết quả thu được cho thấy cường độ chịu nén của BTĐL giảm rõ rệt khi tăng hàm lượng CLLTC. Hiện tượng này được ghi nhận ở cả 7 và 28 ngày tuổi. Cụ thể, với cấp phối đối chứng (BTĐC), cường độ chịu nén của BTĐC đạt 20,1 MPa ở 7 ngày tuổi và 28,3 MPa ở 28 ngày tuổi. Khi sử dụng 30% CLLTC, cường độ chịu nén của BTĐL ở 7 và 28 ngày tuổi đạt lần lượt là 18,4 MPa và 25,2 MPa, tương ứng với mức giảm khoảng 10% so với mẫu đối chứng. Khi tăng hàm lượng CLLTC lên 50% thì cường độ chịu nén của BTĐL ở 7 và 28 ngày tuổi giảm lần lượt còn 16,9 MPa và 23,3 MPa, tương ứng với mức giảm 16-18% so với mẫu đối chứng. Ảnh hưởng của CLLTC đến cường độ chịu nén của BTĐL rất rõ rệt khi thay thế CLLTN với hàm lượng là 75% và 100%. Khi đó, cường độ chịu nén ở 7 ngày tuổi của BTĐL giảm xuống còn lần lượt là 15,3 MPa và 14 MPa, tương ứng với mức giảm 24-30% so với BTĐC. Tương tự, ở 28 ngày tuổi, cường độ chịu nén của BTĐL sử dụng 75% và 100% CLLTC đạt lần lượt là 20,7 MPa và 18,7 MPa, tương ứng với mức giảm lần lượt là 30% và 34% so với BTĐC (hình 6).

Nguyên nhân chính dẫn đến sự suy giảm về cường độ chịu nén của BTĐL khi tăng hàm lượng CLLTC có thể được giải thích bởi sự gia tăng của hàm lượng vữa dính bám trên CLLTC. Lớp vữa dính bám này có cường độ thấp, chứa nhiều lỗ rỗng và làm ảnh hưởng đến khả năng gắn kết giữa pha cốt liệu và pha đá xi măng. Một phần của lớp vữa dính bám này chính là vùng chuyển tiếp cũ đã được hình thành giữa cốt liệu và đá xi măng (ITZ- Interfacial Transition Zone). Vùng này được đặc trưng bởi sự tập trung của các tinh thể ettringite, C-H và sự thiếu hụt các tinh thể C-S-H. Ngoài ra vùng này có độ rỗng lớn hơn so với phần còn lại của pha đá xi măng. Bởi vậy hàm lượng CLLTC tăng lên đồng nghĩa với việc gia tăng thể tích của vùng chuyển tiếp trong bê tông, kéo theo sự suy giảm các tính năng cơ học nói chung và cường độ chịu nén nói riêng [5-7]. Bởi vậy cường độ chịu nén của bê tông có xu hướng giảm khi tăng hàm lượng CLLTC.

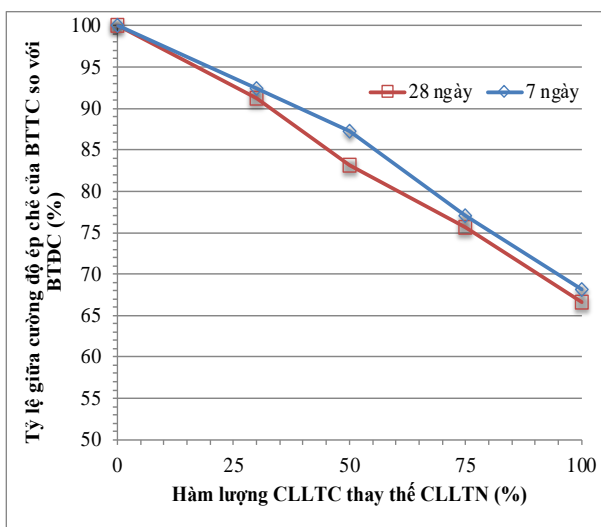
### 3.2. Cường độ ép chẻ của bê tông đầm lăn

Cường độ ép chẻ ở 7 và 28 ngày tuổi của các cấp phối BTĐL được thể hiện trên hình 7.

Nhận thấy rằng cường độ ép chẻ của BTĐL có xu hướng giảm khi tăng hàm lượng CLLTC. Ở 7 ngày tuổi, cường độ ép chẻ của BTĐL giảm từ 2,69 MPa xuống còn 2,49 MPa, 2,35 MPa, 2,07 MPa và 1,83 MPa tương ứng với hàm lượng CLLTC lần lượt là 0%, 30%, 50%, 75% và 100%. Ở 28 ngày tuổi, cường độ ép chẻ của BTĐC đạt 3,25 MPa trong khi cường độ ép chẻ của các cấp phối sử dụng 30%, 50%, 75% và 100% CLLTC đạt lần lượt là 2,96 MPa, 2,70 MPa, 2,45 MPa và 2,16 MPa. Như vậy cường độ ép chẻ của BTĐL giảm khoảng 10-20% khi sử dụng 30-50% CLLTC và giảm khoảng 25-35% khi sử dụng 75-100% CLLTC (hình 8). Theo tiêu chuẩn 22TCN 211-06 [21], có thể quy đổi cường độ ép chẻ ( $R_{ec}$ ) về cường độ kéo uốn ( $R_{ku}$ ) theo công thức  $R_{ku} = (1,6-2,0) \times R_{ec}$ . BTĐL sử dụng CLLTC là vật liệu có mức độ đồng nhất thấp hơn bê tông thông thường, vì vậy có thể chọn hệ số 1,6 để xác định cường độ kéo uốn. Khi đó cường độ kéo uốn ở 28 ngày tuổi của các cấp phối BTĐL dao động trong khoảng 3,46-5,2 MPa. Như vậy ngay cả khi dùng 100% CLLTC thì cường độ kéo uốn của BTĐL vẫn đạt trên 2,5 MPa, phù hợp làm lớp móng đường theo Quyết định số 3230/QĐ-BGTVT [14] và TCCS 40:2022/TCĐBVN [15].



Hình 7. Ảnh hưởng của hàm lượng CTTC đến cường độ ép chẻ của BTĐL.



Hình 8. Tương quan giữa cường độ ép chẻ của BTTC và BTĐC ở tuổi 7 và 28 ngày.

### 3.3. Mô đun đàn hồi của bê tông đầm lăn

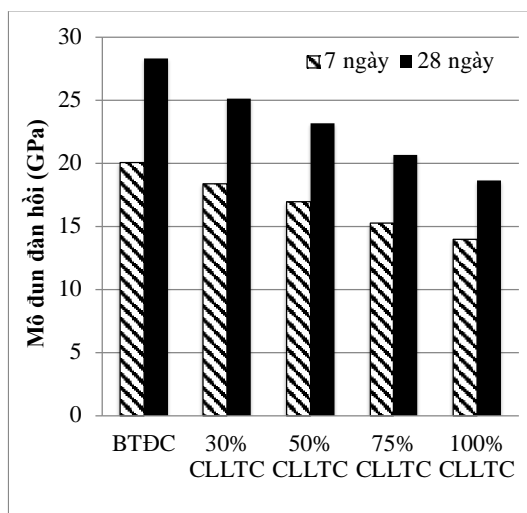
Mô đun đàn hồi ở 7 và 28 ngày tuổi của các cấp phối BTĐL sử dụng các hàm lượng CLLTC là 0%, 30%, 50% và 100% được thể hiện ở hình 9. Tương tự như cường độ chịu nén và cường độ ép chẻ, các kết quả nghiên cứu cũng cho thấy mô đun đàn hồi của bê tông giảm khi tăng hàm lượng CLLTC.

Ở 7 ngày tuổi, BTĐC có mô đun đàn hồi là 25,5 GPa. Khi thay thế CLTC với hàm lượng 30%, 50%, 75% và 100% thì mô đun đàn hồi của BTĐL giảm xuống còn lần lượt là 23,9 GPa, 23,9 GPa, 22,2 GPa, 20,5 GPa và 19,1 GPa ở 7 ngày tuổi. Ở 28 ngày tuổi, mô đun đàn hồi của BTĐL giảm từ 29,2 GPa xuống còn 27,1 GPa, 25,2 GPa, 23,3 GPa và 21,7 GPa, tương ứng với hàm lượng CLLTC sử dụng tăng từ 0% lên 30%, 50%, 75% và 100%. Có thể thấy mô đun đàn hồi của BTĐL giảm mạnh khi sử dụng 75-100% CLLTC. Khi đó, mô đun

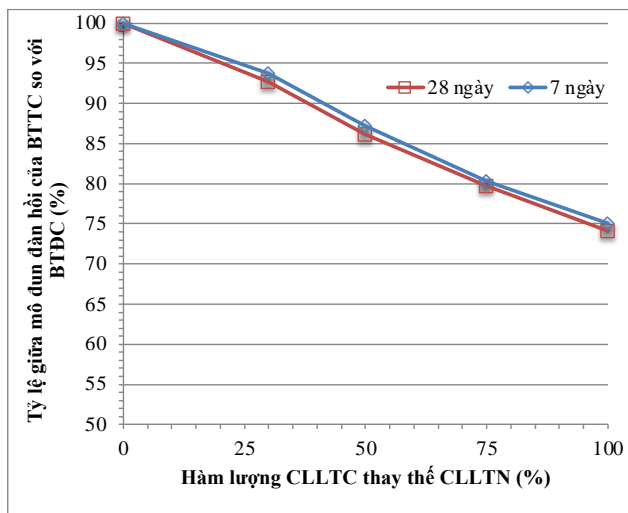


đàn hồi của BTĐL giảm khoảng 20-25% so với BTĐC (hình 10). Cũng có thể thấy mức độ suy giảm này là thấp hơn so với cường độ chịu nén, khi đó cường độ chịu nén của BTĐL giảm khoảng 30-35% so với BTĐC khi thay thế 75-100% CLLTN bởi CLLTC (hình 6).

Như vậy việc thay thế CLLTN bằng CLLTC có ảnh hưởng đáng kể đến mô đun đàn hồi của bê tông, đặc biệt khi hàm lượng thay thế lên đến 75% và 100%. Điều này có thể được giải thích bởi “hiệu ứng vữa”. Lớp vữa dính bám trên bề mặt CLLTC thường có mô đun đàn hồi thấp hơn nhiều so với CLLTN, vì vậy thể tích vữa dính bám sẽ tăng lên khi tăng hàm lượng CLLTC, kéo theo sự suy giảm về mô đun đàn hồi của bê tông [5-7].



Hình 9. Ảnh hưởng của hàm lượng CTTC đến mô đun đàn hồi của BTĐL.



Hình 10. Tương quan giữa mô đun đàn hồi của BTTC và BTĐC ở tuổi 7 và 28 ngày.

#### 4. KẾT LUẬN

Một số kết luận và kiến nghị có thể rút ra từ nghiên cứu này như sau:

- Với việc sử dụng hàm lượng chất kết dính thấp (khoảng 240-260 kg/m<sup>3</sup> bê tông), hàm lượng xi măng sử dụng trong khoảng 170-185 kg/m<sup>3</sup> bê tông, các cấp phối BTĐL sử dụng CLLTC với hàm lượng từ 30-100% có cường độ chịu nén đạt 18-25 MPa, cường độ ép chẻ từ 2,2-3 MPa và mô đun đàn hồi đạt 22-27 GPa.

- Các đặc tính cơ học của BTĐL có xu hướng giảm khi tăng hàm lượng CLLTC thay thế CLLTN. Cường độ chịu nén, cường độ chịu ép chẻ và mô đun đàn hồi của BTĐL giảm khoảng 15-35 % khi sử dụng hàm lượng CLLTC từ 50-100 %.

- Khi sử dụng CLLTC với hàm lượng thấp (30%) thì cường độ chịu nén, cường độ chịu ép chẻ và mô đun đàn hồi của BTĐL bằng khoảng 90% so với BTĐC. Do vậy có thể hạn chế ảnh hưởng của CLLTC đến các tính năng cơ học của BTĐL khi thay thế CLLTN bởi CLLTC với hàm lượng 30% hoặc thấp hơn.

- Có thể sử dụng 100% CLLTC để chế tạo BTĐL có cường độ chịu nén trên 7 MPa ở 7 ngày tuổi và trên 10 MPa ở 28 ngày tuổi, cường độ chịu kéo uốn trên 2,5 MPa, phù hợp làm tầng móng mặt đường BTXM theo TCCS 40:2022/TCĐBVN [15].

- Do các đặc tính cơ-lý của CLTC phụ thuộc nhiều vào nguồn gốc của bê tông phế thải nên cần có thêm các nghiên cứu về ảnh hưởng của loại CLTC đến các đặc tính cơ học và độ

bền của BTTC. Ngoài ra, việc cải thiện cường độ và độ bền của BTTC thông qua sử dụng kết hợp các loại phụ gia khoáng như tro bay, xỉ lò cao nghiền mịn là hết sức cần thiết.

## LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông Vận tải trong đề tài mã số T2022-CT-024.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Phạm Duy Hữu, Ngô Xuân Quảng, Mai Đình Lộc, Nguyễn Tiến Dũng, Lê Thanh Hà, Vật liệu xây dựng, Nhà xuất bản Giao thông Vận tải, 2017.
- [2]. Phạm Duy Hữu, Đào Văn Đông, Phạm Duy Anh, Nguyễn Tiến Dũng, Nguyễn Đình Hải, Vật liệu mới trong xây dựng công trình giao thông, Nhà xuất bản Giao thông Vận tải, 2018.
- [3]. A. Katz, Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete, Cement and concrete research, 33 (2003) 703-711. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)01033-5](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)01033-5)
- [4]. K. Eguchi, K. Teranishi, A. Nakagome, H. Kishimoto, K. Shinozaki, M. Narikawa, Application of recycled coarse aggregate by mixture to concrete construction, Construction and Building Materials, 21 (2007) 1542-1551. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.12.023>
- [5]. M. Etxeberria, A. Vanquez, A. Mari, M. Barra, Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled concrete, Cement and concrete research, 37 (2007) 735-742. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.02.002>
- [6]. C.S Poon, Z.H Shui, L. Lam, Effect of microstructure of ITZ on compressive strength of concrete prepared with recycled aggregates, Construction and Building Materials, 18 (2004) 461-468. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.03.005>
- [7]. MS. De Juan, P.A Gutiérrez, Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate, Construction and Building Materials, 23 (2009) 872-877. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.04.012>
- [8]. Nguyễn Tiến Dũng, Nghiên cứu ảnh hưởng của loại và hàm lượng cốt liệu nghiền từ bê tông phế thải đến tính năng cơ học của bê tông, Tạp chí Giao thông vận tải, 12(2017).
- [9]. Nguyễn Tiến Dũng, Hoàng Việt Hải, Nghiên cứu một số đặc tính của bê tông sử dụng cát nghiền từ phế thải xây dựng, Tạp chí Giao thông vận tải, 11 (2019).
- [10]. Bộ Xây dựng, TCVN 6260:2020: Xi măng Poóc Lãng hỗn hợp - Yêu cầu kỹ thuật, 2020.
- [11]. Bộ Xây dựng, TCVN 10302:2014: Phụ gia hoạt tính tro bay dùng cho bê tông và vữa xây dựng, 2014.
- [12]. ASTM C33-03, Standard Specification for Concrete Aggregates, ASTM International, 2003.
- [13]. Bộ Xây dựng, TCVN 4506:2012: Nước trộn bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật, 2012.
- [14]. Bộ Giao thông Vận tải, Số 3230/QĐ-BGTVT: Quy định tạm thời về thiết kế mặt đường bê tông xi măng thông thường có khe nối trong xây dựng công trình giao thông, 2012.
- [15]. Tổng cục đường bộ Việt Nam, TCCS 40:2022/TCĐBVN: Thi công và nghiệm thu mặt đường bê tông xi măng trong xây dựng công trình giao thông, 2022.
- [16]. ACI 325.10R-95 (R2001), Report on Roller CoMPacted Concrete Pavements, Reported by ACI Committee 325, 2001.
- [17]. ASTM D1557-12, Standard Test Methods for Laboratory CoMPaction Characteristics of Soil Using Modified Effort, ASTM International, 2012.
- [18]. ASTM C39/C39M-14, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete

Specimens, ASTM International, 2014.

[19]. ASTM C496/C496M, Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM International, 2019.

[20]. ASTM C 469-14, Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression, ASTM International, 2014.

[21]. Bộ Giao thông Vận tải, Tiêu chuẩn ngành 22TCN 211:2006: Áo đường mềm – Các yêu cầu và chỉ dẫn thiết kế, 2006.