

Ảnh hưởng của loại và trạng thái ẩm của cốt liệu đến độ sụt và cường độ nén của bê tông sử dụng cốt liệu tái chế

Influence of Type and Moisture States of Recycled Concrete Aggregates on The Properties of Fresh and Hardened Concretes

Tổng Tôn Kiên

Ngày nhận bài: 15/12/2014

Ngày sửa bài: 5/01/2015

Ngày chấp nhận đăng: 10/02/2015

TÓM TẮT:

Bài báo này trình bày nghiên cứu ảnh hưởng của loại cốt liệu và trạng thái ẩm của cốt liệu bê tông tái chế (CLBTN) đến các tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông. Kết quả thí nghiệm cho thấy, độ sụt ban đầu của hỗn hợp bê tông phụ thuộc chủ yếu vào lượng nước tự do nhào trộn, còn tổn thất độ sụt phụ thuộc vào loại cốt liệu và trạng thái ẩm của cốt liệu. Tốc độ tổn thất độ sụt của bê tông sử dụng CLBTN ở trạng thái khô hoàn toàn là lớn nhất. Các mẫu bê tông sử dụng CLBTN có cường độ giảm từ 15% đến 33% so với mẫu bê tông ĐC. Bê tông sử dụng CLBTN ở trạng thái bán bão hòa khô bề mặt có thể cho cường độ nén cao nhất, còn khi sử dụng CLBTN ở trạng thái bão hòa khô bề mặt có thể làm giảm cường độ nén do tăng cao tỷ lệ nước tự do/ xi măng và sự tách nước của cốt liệu trong hỗn hợp bê tông.

Từ khóa: Cốt liệu bê tông tái chế (CLBTN), trạng thái ẩm, bê tông cốt liệu tái chế, phế thải phá dỡ công trình (PTXD).

ABSTRACT

This paper focuses on the influence of type and moisture states of recycled concrete aggregates on the properties of fresh and hardened concretes. The test results showed that the initial slump of concrete mixtures depends on the amount of initial free water, and the slump loss of the mixtures depends on the type and the moisture state of the aggregates. The most notable observation made was that the concrete mixture using 100% OD recycled aggregate displays the highest rate of slump loss. Compressive strength of the recycled aggregate concretes prepared decreases from 15% to 33% compared to that of normal concrete. The highest compressive strength of concrete is achieved with using 1/2SSD RCAs the values. However, the SSD recycled aggregates seemed to impose the largest negative effect on the concrete strength, which might be attributed to "bleeding" of excess water in the prewetted aggregates in the fresh concrete.

Key words: Recycled concrete aggregate (RCA); Moisture state; Recycled aggregate concrete (RAC), Construction and Demolition waste (CDW)

Th.S Tổng Tôn Kiên

Khoa Vật liệu xây dựng - Trường Đại học Xây dựng.

Email. kient@nuce.edu.vn; Di động: 0977966357

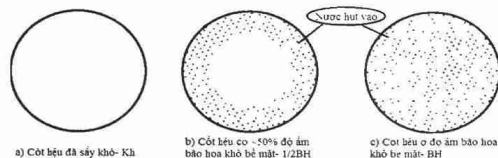
1. Giới thiệu

Theo báo cáo môi trường quốc gia, trong năm 2009 ngành công nghiệp xây dựng Việt Nam thải ra môi trường xấp xỉ 1,8 triệu tấn phế thải xây dựng (PTXD), chiếm khoảng 10-15% tổng lượng phế thải rắn [1]. Theo Nghị quyết 34 của Chính phủ, đến năm 2015 sẽ cơ bản hoàn thành việc phá dỡ, tái tạo các khu chung cư cũ tại các đô thị lớn trên cả nước, vì thế lượng PTXD sẽ còn tăng mạnh trong những năm tới. Dự kiến đến năm 2015, lượng PTXD sẽ tăng lên khoảng 2,9 triệu tấn và 4,3 triệu tấn vào năm 2020. Điều này dẫn đến thực trạng ngày càng thiếu diện tích các bãi chứa và chôn lấp phế thải trong những năm tới ở các đô thị và thành phố lớn trên cả nước. Vì thế, đòi hỏi phải tìm các giải pháp tận dụng nguồn vật liệu từ PTXD này. Theo định hướng chiến lược phát triển bền vững ở Việt Nam, Chính phủ sẽ ưu tiên đẩy mạnh việc áp dụng các công nghệ tái chế chất thải để tái sử dụng. Khuyến khích việc phân loại chất thải từ nguồn để phục vụ công nghệ tái chế, góp phần làm giảm diện tích các bãi chôn lấp rác thải và các hệ thống xử lý tồn kém. Trong lĩnh vực xây dựng, năm 2007, Bộ Xây dựng đã giao Viện Vật liệu xây dựng thực hiện đề tài nghiên cứu đầu tiên về sử dụng phế thải phá dỡ công trình làm bê tông và vữa xây dựng. Đến năm 2012, Bộ Xây dựng tiếp tục đầu tư dự án nghiên cứu hoàn thiện công nghệ tái chế phế thải phá dỡ công trình làm cốt liệu xây dựng. Để tái chế tạo được dây chuyền tái chế PTXD làm cốt liệu với công suất 40 tấn/ giờ đất tại Xi nghiệp gạch block- Công ty TNHH NN MTV Cơ điện và Xây dựng công trình Hà Nội [4]. Để nghiên cứu mở rộng các dạng sử dụng cốt liệu tái chế trong chế tạo bê tông ở Việt Nam, một số nghiên cứu khác cũng đã được thực hiện tại trường Đại học Xây dựng từ năm 2011 [2, 8, 9].

Trên thế giới đã và đang có nhiều nghiên cứu về tính chất của bê tông sử dụng cốt liệu tái chế từ phế thải bê tông (CLBTN) [3, 6, 7]. Tại hội thảo quốc tế về tái chế và tái sử dụng phế thải phá dỡ công trình được tổ chức tại Đan Mạch vào năm 1993, rất nhiều nghiên cứu cho rằng các yếu tố chủ yếu ảnh hưởng xấu đến các tính chất của bê tông sử dụng CLBTN như: cường độ, thành phần hạt, độ hút nước của CLBTN... [3]. Một số biện pháp cải thiện chất lượng bê tông sử dụng CLBTN cũng đã được đề xuất như làm ẩm cốt liệu tái chế trước khi trộn hỗn hợp bê tông khoảng 5-10 phút. Kết quả nghiên cứu cho thấy các tính chất cơ học của bê tông được cải thiện đáng kể. Tuy nhiên, Neville [5] lại cho rằng, việc làm ẩm cốt liệu trước là không cần thiết trong quá trình chế tạo hỗn hợp bê tông do trong quá trình thiết kế thành phần bê tông, các loại cốt liệu đã được tính ở trạng thái ẩm bão hòa khô bề mặt. Oliveira và Vazquez cũng đã nhận thấy cường độ nén của bê tông sử dụng CLBTN giảm không nhiều khi CLBTN ở trạng thái khô, nhưng cường độ nén lại giảm đáng kể khi sử dụng CLBTN ở trạng thái bão hòa khô bề mặt [6].

Bài báo này tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của trạng thái ẩm và loại CLBTN từ phế thải bê tông đến tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông nhằm nâng cao khả năng ứng dụng các sản phẩm bê tông sử dụng CLBTN trong xây dựng.

STT	Tính chất thí nghiệm	nhiên				Cát vàng	Cát BTN
		5-10mm	10-20mm	5-10mm	10-20mm		
1	Khối lượng riêng, g/cm ³	2,719	2,719	2,650	2,660	2,607	2,491
2	Khối lượng thể tích bảo hòa khô bề mặt, g/cm ³	2,621	2,609	2,472	2,468	2,588	2,223
3	Độ hút nước sau 24 giờ, %	0,62	0,62	6,64	5,52	0,82	8,43
4	Độ nén dấp trong xilanh, %	13,7	12,9	20,4	16,7		
5	Mô đun đàn hồi					2,34	2,89

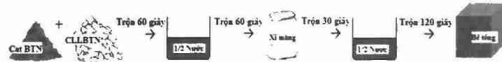


Hình 1. Mô phỏng các trạng thái ẩm của cốt liệu

Bảng 2. Độ ẩm thực tế của cốt liệu ở các trạng thái ẩm khác nhau

STT	Trạng thái ẩm của cốt liệu	Độ ẩm thực tế của cốt liệu, %					
		Đá dăm 5-10mm	Đá dăm 10-20mm	Đá BTN 5-10mm	Đá BTN 10-20mm	Cát vàng	Cát BTN
1	Sấy khô-Kh	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	Ban bảo hòa khô bề mặt-1/2BH ^{*)}	0,26	0,3	2,87	2,36	0,38	3,23
3	Bảo hòa khô bề mặt-BH	0,57	0,64	6,58	5,47	0,8	8,56

(^{*)} Giá trị độ ẩm được xác định sau 10 phút trộn cốt liệu với lượng nước tính bằng 50% độ ẩm bảo hòa khô bề mặt



Hình 2. Quy trình trộn hỗn hợp bê tông [7]

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu sử dụng

Xi măng sử dụng trong nghiên cứu là xi măng PC40 Bút Sơn. Cường độ nén tiêu chuẩn của xi măng ở 3 và 28 ngày tương ứng là 29,8 và 53,3 MPa; các tính chất cơ bản của xi măng thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật của TCVN 2682: 2009. Nước sử dụng là nước thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật của nước trộn trong bê tông theo TCVN 4506: 2012.

CLTN sử dụng trong nghiên cứu là đá dăm 1x2 Phụ Lý-Hà Nam và cát vàng Sông Lô, các tính chất cơ bản theo Bảng 1. Hỗn hợp đá dăm

sử dụng có hai cấp hạt 5-10mm và 10-20mm với tỷ lệ phối hợp 2 cấp hạt đảm bảo hỗn hợp cốt liệu lớn có khối lượng thể tích lên chặt lớn nhất là 30% đá 5-10mm và 70% đá 10-20mm.

CLBTN được nghiên cứu, sàng từ hỗn hợp phế thải bê tông, bằng máy chuyên tải chế công suất 40 tấn/giờ. Cốt liệu lớn tải chế (CLBTN) cũng có tỷ lệ phối hợp là 30% cấp hạt 5-10mm và 70% cấp hạt 10-20mm, cốt liệu nhỏ tải chế (cát BTN) có cỡ hạt 0,14-5mm. Các tính chất cơ lý của CLTN và CLBTN được xác định theo TCVN 7572: 2006, kết quả được nêu ở Bảng 1

Trong nghiên cứu này, trạng thái độ ẩm của

CLBTN và cốt liệu nhỏ khác biệt như sau (Bảng 1, Bảng 1). Cốt liệu ở trạng thái sấy khô được chuẩn bị bằng cách sấy cốt liệu trong tủ sấy ở nhiệt độ 105±50C sau 24 giờ, sau đó được lấy ra để nguội trong bình chống ẩm đến nhiệt độ phòng thí nghiệm. Trạng thái BH của cốt liệu được chuẩn bị bằng cách ngâm trong nước 24 giờ. Tất cả cốt liệu sau đó được cho vào túi ni lông, gói riêng biệt trước khi sử dụng. Cốt liệu ở trạng thái 1/2BH được chuẩn bị bằng cách trộn cốt liệu đã sấy khô với lượng nước tính bằng 50% độ ẩm bảo hòa khô bề mặt, trước khi trộn hồ hợp bê tông 10 phút. Giá trị độ ẩm thực tế của cốt liệu sử dụng cho các cấp phối bê tông này được nêu ở Bảng 2.

2.2. Thành phần cấp phối bê tông

Trên cơ sở cấp phối bê tông sử dụng cốt liệu tự nhiên có độ sụt 8-10cm và cường độ nén tiêu chuẩn đạt mức 30 MPa (ĐC), 3 cấp phối bê tông sử dụng các loại CLBTN (CLBTN, cát BTN) thay thế hoàn toàn CLTN (đá dăm-ĐĐ, cát vàng-CV) là đá dăm và cát BTN (ĐĐ-BTN), CLBTN và cát vàng (BTN_CV) và bê tông sử dụng 100%CLBTN (BTN) để đảm bảo khối lượng thể tích lên chặt của hỗn hợp CLTN lớn nhất, tỷ lệ khối lượng giữa cốt liệu nhỏ và tổng cốt liệu là 0,4. Các cấp phối bê tông được thiết kế theo nguyên tắc thể tích tuyệt đối, thành phần vật liệu cho các loại bê tông được nêu ở Bảng 3. Hỗn hợp bê tông được trộn bằng máy trộn tự do, trong khoảng 3 phút trộn theo sơ đồ được nêu ở Hình 2.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Độ sụt ban đầu của hỗn hợp bê tông được xác định theo TCVN 3106: 1993 trong khoảng 5 phút sau khi trộn, sau đó cứ 30 phút độ sụt được xác định lại đến khi độ sụt bằng 0. Hỗn hợp bê tông sau khi trộn, sẽ được đổ thành các mẫu lập phương 100x100x100mm để xác định cường độ nén của bê tông. Các mẫu được chế tạo, bảo dưỡng theo TCVN 3105: 1993. Cường độ nén của bê tông được xác định ở các tuổi 7, 28 và 91 ngày bảo dưỡng, theo TCVN 3118: 1993

3. Kết quả và thảo luận

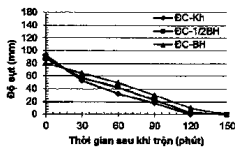
3.1. Độ sụt ban đầu

Độ sụt ban đầu của cả 3 hỗn hợp bê tông sử dụng 100% CLTN trong khoảng 80-100mm (Hình 3a). Các trạng thái độ ẩm khác nhau của CLTN, không làm thay đổi lớn đến độ sụt ban đầu của hỗn hợp bê tông. Điều này do lượng nước tự do ban đầu của hỗn hợp bê tông cao (Bảng 3), do khả năng hút nước của CLTN chỉ khoảng 0,7%, nên lượng nước điều chỉnh nhỏ

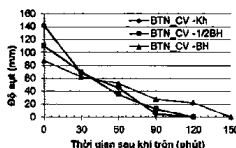
Qua Hình 3b và Hình 3c cho thấy ảnh hưởng của loại cốt liệu và trạng thái ẩm của CLTN đến độ sụt ban đầu rõ ràng hơn. Khi cốt liệu lớn sử dụng ở trạng thái Kh, lượng nước cần dùng trong hỗn hợp bê tông BTN_CV-Kh và ĐĐ-BTN-Kh lần lượt là 254 lít/m³ và 250 lít/m³, cao hơn nhiều so với lượng nước của hỗn hợp bê tông sử dụng ở trạng thái BH (Bảng 3). Độ sụt ban đầu của

Bảng 3. Thành phần cấp phối bê tông

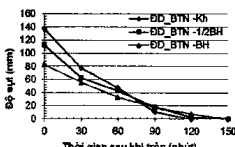
STT	Kí hiệu cấp phối	Khối lượng các vật liệu thành phần cho 1m ³ bê tông, kg							
		Nước	Xi măng	Đá dăm 5-10mm	Đá dăm 10-20mm	Đá BTN 5-10mm	Đá BTN 10-20mm	Cát vàng	Cát BTN
1	ĐC-Kh	198	325	333	776	0	0	739	0
2	ĐC-1/2BH	192	325	334	779	0	0	742	0
3	ĐC-BH	185	325	335	781	0	0	745	0
4	BTN_CV-Kh	254	325	0	0	322	750	715	0
5	BTN_CV-1/2BH	224	325	0	0	331	768	717	0
6	BTN_CV-BH	186	325	0	0	343	791	720	0
7	ĐD_BTN-Kh	250	325	312	728	0	0	0	694
8	ĐD_BTN-1/2BH	224	325	313	730	0	0	0	716
9	ĐD_BTN-BH	184	325	314	733	0	0	0	753
10	BTN-Kh	301	325	0	0	302	705	0	672
11	BTN-1/2BH	254	325	0	0	311	722	0	693
12	BTN-BH	185	325	0	0	322	744	0	729



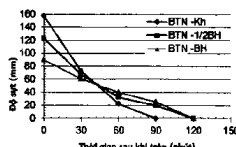
a) 100% Cốt liệu tự nhiên (ĐC)



b) 100% CLLBTN+ 100% cát vàng (BTN_CV)

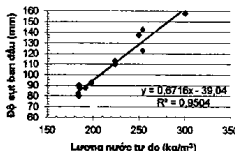


c) 100% đá dăm+ 100% cát BTN (ĐD_BTN)

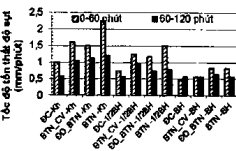


d) 100% CLBTN (BTN)

Hình 3. Sự thay đổi độ sụt của hỗn hợp bê tông sử dụng loại cốt liệu và trạng thái đầm của cốt liệu khác nhau



Hình 4. Ảnh hưởng của lượng nước trộn đến độ sụt ban đầu của hỗn hợp bê tông



Hình 5. Tốc độ tổn thất độ sụt của hỗn hợp bê tông

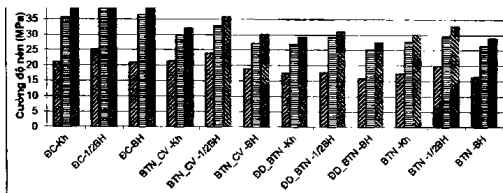
hỗn hợp bê tông sử dụng ở trạng thái Kh đạt 142,5mm (với BTN_CV-Kh) và 147,5mm (với ĐD_BTN-Kh), trong khi của hỗn hợp bê tông sử dụng cốt liệu ở trạng thái BH tương ứng là 87,5mm và 82,5mm.

Độ sụt ban đầu của hỗn hợp bê tông sử dụng 100% CLBTN luôn luôn đạt cao nhất so với tất cả các loại hỗn hợp bê tông, ở tất cả các trạng thái đầm của cốt liệu (Hình 3d). Trong khi đó, độ sụt ban đầu và lượng nước trộn của hỗn hợp bê tông sử dụng CLBTN ở trạng thái bão hòa (BTN-BH) thay đổi gần như không đáng kể so với các loại hỗn hợp bê tông sử dụng cốt liệu cùng trạng thái ẩm bão hòa. Điều này chứng tỏ độ sụt ban đầu của hỗn hợp bê tông chịu ảnh hưởng lớn bởi lượng nước tự do ban đầu trộn vào hỗn hợp bê tông (Hình 4).

3.2. Tổn thất độ sụt

Sự thay đổi độ sụt của hỗn hợp bê tông theo thời gian được trình bày ở Hình 3. Qua kết quả thí nghiệm cho thấy, khi sử dụng 100%CLTN ở trạng thái 1/2BH và BH, độ sụt của hỗn hợp bê tông giảm đến 0mm ở khoảng 120+150 phút sau khi trộn (Hình 3a). Bên cạnh đó, việc sử dụng 100%CLTN ở trạng thái Kh cũng dẫn đến tốc độ tổn thất độ sụt của hỗn hợp bê tông nhanh hơn so với cốt liệu ở các trạng thái ẩm khác, độ sụt của hỗn hợp bê tông này giảm đến 0mm ở 120 phút sau khi trộn. Quy luật này cũng đúng cho các hỗn hợp bê tông sử dụng các loại CLBTN thay thế CLTN khác nhau.

Việc sử dụng CLBTN thay thế CLTN để làm tăng tốc độ tổn thất độ sụt của hỗn hợp bê tông (Hình 5). Hỗn hợp bê tông sử dụng 100% CLBTN ở trạng thái Kh có tốc độ tổn thất độ sụt khoảng 1,2-2,2mm/ phút, gấp tới 2,2 lần so với hỗn hợp bê tông sử dụng 100% CLTN (chỉ khoảng 0,6+1,0mm/phút), còn hỗn hợp bê tông sử dụng 100% CLLBTN hoặc 100% cát BTN cũng gấp khoảng 1.5 lần. Tuy nhiên khi sử dụng



Hình 6 Ảnh hưởng của loại cốt liệu đến cường độ nén của bê tông

CLBTN ở trạng thái 1/2BH và BH thì tốc độ tổn thất độ sụt của hỗn hợp bê tông giảm xuống nhưng vẫn cao hơn nhiều so với hỗn hợp bê tông sử dụng 100% CLTN.

3.3. Cường độ nén

Cường độ nén của các loại bê tông ở các tuổi được thể hiện ở Hình 6. Có thể thấy cường độ nén ở 28 ngày của các loại bê tông biến thiên trong khoảng từ 24-38 MPa (thấp hơn khoảng 15-30% so với bê tông sử dụng CLTN), và tùy thuộc vào loại cốt liệu sử dụng. Bê tông sử dụng CLBTN thay thế cốt liệu lớn tự nhiên (đá dăm) có cường độ giảm chỉ từ 15% đến 25%, còn bê tông sử dụng cát BTN thay thế cát tự nhiên có cường độ nén giảm mạnh nhất 23-33%. Khi chỉ sử dụng CLTN ở trạng thái 1/2BH và BH, cường độ nén của bê tông là tương đương nhau ở tất cả các tuổi, trong khi đó bê tông sử dụng cốt liệu ở trạng thái nhỏ có cường độ nén thấp hơn hẳn. Sự phát triển cường độ của bê tông sử dụng CLTN ở trạng thái Kh và BH có thể phụ thuộc chủ yếu vào sự phát triển cường độ lớp tiếp xúc do cường độ của CLTN và đá xi măng cao [5]. Wong và các cộng sự [10] cho rằng, cường độ lớp tiếp xúc giữa đá xi măng và hạt cốt liệu ở trạng thái BH tốt hơn so với cốt liệu ở trạng thái Kh do hiệu ứng xâm nhập tốt, tuy nhiên do tỷ lệ N/X tự do trong hỗn hợp bê tông sử dụng cốt liệu ở trạng thái nhỏ cao hơn lại có thể làm giảm cường độ đá xi măng mạnh hơn.

Trang thái ẩm của cốt liệu có sự ảnh hưởng rõ ràng hơn đến cường độ nén của bê tông khi sử dụng CLBTN thay thế CLTN. Các mẫu bê tông đối chứng (ĐC) sử dụng CLTN ở trạng thái nhỏ có cường độ nén thấp nhất trong đó của bê tông sử dụng CLTN ở trạng thái BH. Ngược lại, đối với các mẫu bê tông sử dụng CLBTN (BTN_CV; DD_BTN và BTN) thì cường độ nén của mẫu bê tông sử dụng CLBTN ở trạng thái nhỏ lại cao hơn so với các mẫu bê tông sử dụng CLBTN ở trạng thái BH (Hình 6). Điều này có thể do sự tách nước trong bê tông (được quan sát trong quá trình đúc mẫu), làm tỷ lệ N/X trong lớp đá xi măng xung quanh hạt cốt liệu cao, dẫn

đến làm giảm mạnh cường độ lớp liên kết tiếp xúc giữa đá xi măng với bề mặt hạt CLBTN. Tuy nhiên, cường độ nén của tất cả các mẫu bê tông sử dụng CLBTN ở trạng thái bán bão hòa khô bề mặt (BTN_CV-1/2BH, DD_BTN-1/2BH, BTN-1/2BH) đều có cường độ nén cao hơn so với cường độ của bê tông sử dụng cốt liệu ở trạng thái khô và BH. Điều này có thể do trong cấu trúc bê tông sử dụng cốt liệu ở trạng thái 1/2BH có cường độ lớp tiếp xúc cao nhờ hiệu ứng xâm nhập của đá xi măng vào bề mặt hạt CLBTN.

4. Kết luận

Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu thu được, có thể đưa ra một số kết luận như sau.

Khi sử dụng CLBTN ở trạng thái khô thì hỗn hợp bê tông có độ sụt ban đầu cao hơn so với hỗn hợp bê tông sử dụng CLBTN ở trạng thái 1/2BH và BH. Tuy nhiên tốc độ tổn thất độ sụt của hỗn hợp bê tông sử dụng CLBTN ở trạng thái khô lại cao hơn.

Bê tông sử dụng CLBTN ở trạng thái 1/2BH luôn có cường độ nén cao nhất, nhưng lại làm giảm cường độ nén của bê tông khi còn khi CLBTN bão hòa. Vì thế, trong quá trình chế tạo bê tông sử dụng CLBTN nên sử dụng cốt liệu ở trạng thái 1/2BH.

Khi sử dụng CLBTN thay thế CLTN làm tăng tốc độ tổn thất độ sụt của hỗn hợp bê tông từ 1,2-2,2 lần. Cường độ nén của bê tông sử dụng CLBTN giảm mạnh 15-33%, ở tất cả các trạng thái độ ẩm cốt liệu.

Lời cảm ơn

Các tác giả xin chân thành cảm ơn: Công ty Cổ phần Cơ điện và Xây dựng công trình đã gia công các loại cốt liệu tái chế cho nghiên cứu và các sinh viên K54 khoa vật liệu, đã tham gia thực hiện các thí nghiệm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bồ Tài Nguyên Và Môi Trường (2011), Báo cáo môi trường quốc gia năm 2011 - Chất thải rắn (Bồ Tài Nguyên và môi trường).
2. Kien Tong T., Thanh Le T & Lu Phung V (2013) Recycling construction demolition waste in the world and in Vietnam in The International Conference on Sustainable Built Environment

publishing house, Hanoi, Vietnam), pp 296-326.

3. Lauritzen Erik K. (1993) "Demolition and Reuse of Concrete and Masonry: Guidelines for Demolition and Reuse of Concrete and Masonry". Proceedings of the Third International RILEM Symposium. (E & FN Spon, London), p.627

4. Lê Việt Hùng (2012), Hoàn thiện công nghệ tái chế phế thải phế đồ công trình làm cốt liệu xây dựng. Báo cáo tổng kết đề tài cấp Bộ Xây dựng (Văn bản: Xây dựng), Hà Nội.

5. Neville A.M (1996) Properties of concrete (New York: Wiley) 4th edition Ed.

6. Oliveira M.B. De& Vazquez E. (1996) "The influence of retained moisture in aggregate from recycling on the properties of new hardened concrete". Waste Management Vol. 16:pp. 113-117.

7. Tam Vivian WY., Gao XF& Tam C.M. (2005) "Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach". Cement and Concrete Research, 35(2005):1195-1203.

8. Tống Tân Kiên (2011), Nghiên cứu khả năng sử dụng phế thải phế đồ công trình để sản xuất vật liệu xây dựng. (Báo cáo tổng kết đề tài NCKH cấp Trường Đại học Xây dựng).

9. Tống Tân Kiên (2012), Nghiên cứu sử dụng phế thải xây dựng cho lớp móng đường giao thông. Báo cáo tổng kết đề tài NCKH cấp Trường Đại học Xây dựng.

10. Wong YL, et al. (1999) "Properties of fly ash-modified cement mortar-aggregate interface". Cement and Concrete research Vol. 29(1999):Pp. 1905-1913.