

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO BÊ TÔNG NHỰA RỖNG CƯỜNG ĐỘ CAO

Research on the Fabrication of High-Strength Porous Asphalt Concrete

Trần Hồng Lợi¹ và Phạm Văn Hùng²

¹Học viên cao học Trường Đại học Kinh tế Công nghiệp Long An, Tây Ninh, Việt Nam

²Phân Viện Khoa học Công nghệ Giao thông Vận tải Phía Nam, TP.HCM, Việt Nam

loitranngx@gmail.com

Tóm tắt — Việt Nam đang đẩy mạnh phát triển hệ thống đường cao tốc với 21 tuyến và tổng chiều dài 6.411 (km) dự kiến hoàn thành vào năm 2030 cho phép xe chạy với vận tốc lên tới 120 (km/h). Công nghệ tạo nhám VOT và Novachip đã được áp dụng rộng rãi để nâng cao ma sát và an toàn giao thông, tuy nhiên bê tông nhựa rỗng cường độ cao đang nổi lên như một giải pháp toàn diện hơn. Bê tông nhựa rỗng cường độ cao gia tăng độ nhám bề mặt và khả năng chống hằn lún vệt bánh xe, giúp giảm tiếng ồn và cải thiện tầm nhìn cho lái xe dưới trời mưa, cho phép nước mưa nhanh chóng thấm qua lớp phủ, trả lại độ ẩm cho nền đất phía dưới, giảm thiểu tình trạng ngập úng đô thị. Khi quá trình đô thị hóa dẫn đến suy giảm tài nguyên nước ngầm và gia tăng nguy cơ sụt lún, việc sử dụng bê tông nhựa rỗng còn hỗ trợ khôi phục vòng tuần hoàn tự nhiên của nước, giảm áp lực lên hệ thống thoát nước thành phố. Tác giả “nghiên cứu chế tạo bê tông nhựa rỗng cường độ cao” nhằm phát triển công nghệ sản xuất, thiết kế cấp phối và đánh giá hiệu năng của vật liệu này trong các công trình giao thông, vỉa hè và hạ tầng công cộng đáp ứng đồng thời mục tiêu khai thác bền vững và bảo vệ môi trường.

Abstract — Vietnam is accelerating the development of its expressway system with 21 routes and a total length of 6,411 (km), expected to be completed by 2030, allowing vehicles to travel at speeds of up to 120 (km/h). VOT and Novachip roughening technologies have been widely applied to improve friction and traffic safety, but high-strength hollow asphalt concrete is emerging as a more comprehensive solution. High-strength hollow asphalt concrete increases surface roughness and rutting resistance, helping to reduce noise and improve visibility for drivers in the rain, allowing rainwater to quickly permeate the coating, returning moisture to the ground below, minimizing urban flooding. As urbanization leads to a decline in groundwater resources and an increased risk of subsidence, the use of hollow asphalt concrete also helps restore the natural water cycle, reducing pressure on the city's drainage system. The author "researched on manufacturing high-strength hollow asphalt concrete" to develop production technology, mix design and evaluate the performance of this material in traffic works, sidewalks and public infrastructure, simultaneously meeting the goals of sustainable exploitation and environmental protection.

Từ khóa — Bê tông nhựa rỗng, cường độ cao, thoát nước, độ rỗng.

1. Giới thiệu

Việc bê tông hóa diện tích vỉa hè, lòng đường và nhà cửa khiến nước mưa không kịp thấm vào lòng đất mà nhanh chóng bay hơi hoặc chảy thẳng vào hệ thống cống làm cạn kiệt nguồn nước ngầm, gia tăng nhiệt độ đô thị và dễ gây quá tải ngập lụt cục bộ khi mưa lớn. Thay vì dùng các vật liệu bề mặt đặc chắc như bê tông thường hay gạch lát, giải pháp hiệu quả là sử dụng móng đá rỗng, bê tông xi măng rỗng và đặc biệt là bê tông nhựa rỗng (BTNR) cho phép nước mưa thấm qua bề mặt, ngấm vào tầng ngậm nước hoặc hồ điều hòa, duy trì mực nước ngầm và giảm áp lực cho hệ thống thoát nước công cộng.

Khác với bê tông nhựa chặt (BTNC) chỉ có độ rỗng 3-6% và các lớp phủ VTO mỏng dưới 3 cm chưa khắc phục triệt để hiện tượng màng nước (hydroplaning) và độ bền hạn chế, BTNR cường

độ cao dày 4-5 cm với độ rỗng khoảng 20% vừa ngăn chặn hydroplaning, tăng độ nhám và khả năng chống ồn, lại đảm bảo đủ cường độ cho thiết kế kết cấu. Được nghiên cứu từ những năm 1940 tại Mỹ và hiện phổ biến ở Mỹ, Châu Âu, Nhật Bản, Trung Quốc, BTNR ngày càng khẳng định hiệu quả trong các công trình đường đô thị, khu công nghiệp và đường cao tốc.

Hiện tại thế giới và trong nước đã có nghiên cứu quy trình về BTNR thoát nước cường độ thông thường để làm mặt đường cao tốc và các mặt đường cần thoát nước. Đã chế tạo được sản phẩm thương mại thông dụng nhưng chưa có cường độ cao, đủ lớn để tính toán vào các lớp liên kết cấu tạo mặt đường.

Đã chế tạo được sản phẩm thương mại không tính vào cường độ các lớp kết cấu, độ rỗng thoát nước, dựa vào nguyên lý cấp phối tối ưu của Fuller,

<https://doi.org/10.63783/dla.2025.053>

Ngày nộp bài: 30/07/2025; Ngày nhận bản chỉnh sửa: 06/09/2025; Ngày duyệt đăng: 24/09/2025

Talbot, Okhôtina để điều chỉnh độ rỗng khung chịu lực hạt to theo ý muốn thiết kế dựa vào điều chỉnh độ rỗng theo mật sàn cơ bản 4,75 và 2,36 trên đường công cấp phối.

2. Khái niệm và đặc điểm của bê tông nhựa rỗng

2.1. Khái niệm về bê tông nhựa rỗng

BTNR được thế giới gọi tên với những thuật ngữ khác nhau như: Porous Asphalt (PA), Porous Friction Course (PFC), Open Graded Asphalt Concrete (OGAC), Open Graded Friction Course (OGFC), Porous European Mix (PEM)].

BTNR thoát nước (Porous Asphalt) thường có độ rỗng dư cao 18 - 22 (%), là loại BTN có cấp phối cốt liệu gián đoạn, sử dụng nhựa đường cải thiện để sản xuất vật liệu bê tông nhựa có độ nhám cao, tăng sức kháng trượt, giảm ồn.

Về cấu tạo, lớp mặt bê tông nhựa rỗng rải trên lớp bê tông nhựa chặt được áp dụng khá phổ biến trên thế giới; do độ rỗng của lớp bê tông nhựa cấp phối hờ lớn nên nước mưa sẽ nhanh chóng thấm qua lớp bê tông nhựa cấp phối hờ xuống lớp bê tông nhựa chặt bên dưới và chảy ra hệ thống thoát nước hai bên mà không bị đọng thành màng nước.

2.2. Tính năng của bê tông nhựa rỗng

2.2.1. Giảm sự bắn nước và bụi nước sau bánh xe khi trời mưa to:

Nước mặt có thể dễ dàng chảy xuyên qua lớp mặt đường BTNR so với lớp BTNC thông thường do có hệ thống các lỗ rỗng liên thông trong cấu trúc BTNR. Khi chạy xe trên mặt đường sử dụng BTNR, khả năng quan sát của người lái xe trong điều kiện mưa tốt hơn, do đó ngăn ngừa tình trạng giảm tốc độ xe chạy, giảm tai nạn giao thông trong điều kiện thời tiết mưa gió.



Hình 1. Mặt đường bê tông nhựa thông thường và bê tông nhựa rỗng thoát nước khi trời mưa

Nhờ khả năng thoát nước nhanh nên mặt đường BTNR có thể giảm thiểu nguy cơ gây tai nạn do xe chạy với tốc độ cao trên một lớp đệm (màng) nước mỏng khi mưa.

2.2.2. Giảm sự phản chiếu ánh sáng và độ chói đèn pha:

BTNR đóng vai trò như là một lớp thoát nước, cho phép cho nước mưa thấm qua mặt đường do đó ánh sáng phản chiếu và độ chói đèn pha là những yếu tố gây nguy hiểm cho các lái xe, đặc biệt là vào ban đêm trên mặt đường BTNR giảm đáng kể so với mặt đường BTNC khi trời mưa. Ngoài ra, sơn phân làn đường được hiển thị rõ ràng trên các bề mặt đường BTNR khi trời mưa.

2.2.3. Giảm tiếng ồn do xe chạy:

Tiếng ồn phát sinh khi xe lưu thông trên đường chủ yếu đến từ hai nguồn do sự biến dạng của lốp xe tại điểm tiếp xúc với mặt đường và ma sát giữa bề mặt lốp với lớp phủ mặt đường.

Mặt đường BTNR với cấu trúc bề mặt có độ nhám vĩ mô cao giúp hấp thụ một phần đáng kể âm thanh phát ra từ sự tương tác giữa lốp xe và mặt đường, qua đó góp phần giảm thiểu tiếng ồn khi phương tiện di chuyển.

2.2.4. Tăng sức kháng trượt:

Sức kháng trượt phụ thuộc vào cả độ nhám vĩ mô và độ nhám vĩ mô của mặt đường, là một trong những ưu điểm chính của mặt đường BTNR là tăng sức kháng trượt trong điều kiện ẩm ướt. Kết quả các nghiên cứu cho thấy trong điều kiện mặt đường khô ráo thì hỗn hợp BTNR không cải thiện được nhiều về sức kháng trượt, tuy nhiên trong điều kiện ẩm ướt mưa nhiều thì hỗn hợp BTNR thể hiện rõ tính ưu việt về tăng khả năng kháng trượt của mặt đường.

2.2.5. Hạn chế hiện tượng vệt hằn bánh xe:

Việc tăng cường độ của hỗn hợp BTNR giúp cải thiện đáng kể khả năng đàn hồi. Điều này đạt được nhờ kiểm soát cấp phối tốt hơn theo nguyên lý cấp phối tối ưu, tạo ra cấu trúc khung cốt liệu chặt chẽ và ổn định. Bên cạnh đó, việc sử dụng nhựa đường polime có khả năng chịu nhiệt cao giúp hỗn hợp không bị suy giảm cường độ khi gặp nhiệt độ lớn. Loại nhựa này cũng có tính co giãn và đàn hồi tốt, nghĩa là vẫn giữ được khả năng phục hồi sau khi bị biến dạng nhiều lần. Quan trọng nhất là tăng cường độ liên kết giữa lớp nhựa bám dính với mặt cốt liệu khoáng vật và giữa các hạt cốt liệu khoáng vật với nhau, góp phần nâng cao cường độ chịu nén và mô đun đàn hồi của vật liệu.

2.2.6. Ngăn ngừa hiện tượng Hydroplaning hay Aquaplaning:

OGFC ngăn ngừa hiện tượng hydroplaning vì trong hầu hết các cơn bão nước mưa thấm qua hỗn

hợp, để lại màng nước không liên tục trên bề mặt đường. Thậm chí trong một thời gian dài của mưa lớn có thể thấm vào trong các OGFC, hydroplaning có thể không xảy ra vì áp lực dưới lốp xe bị tiêu tan qua cấu trúc rỗng của OGFC.

3. Phương pháp chế tạo bê tông nhựa rỗng cường độ cao (cao hơn BTN R thông thường)

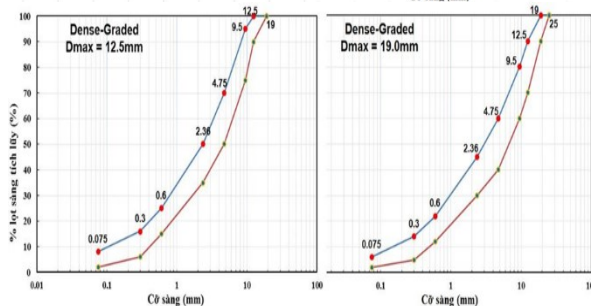
3.1. Lý thuyết cấp phối tối ưu

3.1.1. Cấp phối liên tục - Dense-graded:

Cấp phối liên tục là cấp phối có đầy đủ các thành phần cỡ hạt theo toàn bộ dãy các mắt sàng tiêu chuẩn từ to đến nhỏ một cách liên tục với độ dốc của đường cấp phối hay mối tương quan của hai mắt sàng kế cận tuân thủ theo lý thuyết cấp phối chặt của Fuller, Talbot, Ivanop. Nói cách khác, cấp phối liên tục là cấp phối có các cỡ hạt không gián đoạn trong dãy cấp phối hạt từ to đến nhỏ. Cấp phối liên tục, chặt là Dense graded là một dạng cấp phối cơ bản.

Bảng 1-1 Miền cấp phối Dense-Graded theo "Guide Specification for Open, Dense, and Gap-Graded Asphalt Concrete Pavements with Asphalt-Rubber Binder"

Cỡ sàng	Cỡ hạt lớn nhất danh định	9.5mm	12.5mm	19mm
25mm	100	100	100	100
19mm	100	100	100	90-100
12.5mm	100	90-100	70-90	70-90
9.5mm	90-100	75-95	60-80	60-80
4.75mm	60-80	50-70	40-60	40-60
2.36mm	40-60	35-50	30-45	30-45
0.60mm	18-30	15-25	12-22	12-22
0.30mm	8-18	6-16	5-14	5-14
0.075mm	2-8	2-8	2-6	2-6

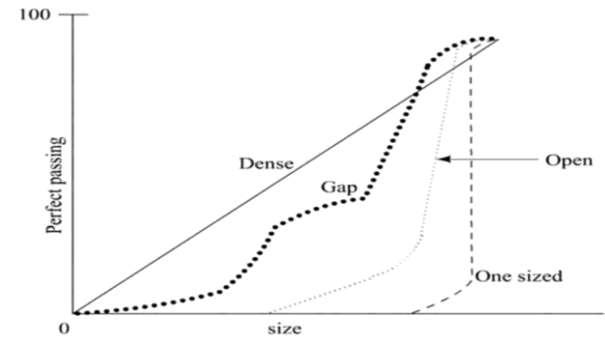


Hình 2. Miền cấp phối Dense graded

3.1.2. Cấp phối gián đoạn - Gap-graded:

Cấp phối gián đoạn là cấp phối không liên tục hay nói cách khác nó là cấp phối liên tục nhưng bị hở hay bị gián đoạn tại một đoạn cấp phối nào đó. Thường BTN R có cấp phối gián đoạn là một dãy cấp phối liên tục từ to đến nhỏ và bị gián đoạn ở đoạn cấp phối có cỡ hạt trung gian. Như vậy có nghĩa là cấp phối gián đoạn Gap-graded không yêu cầu cốt liệu hạt to có kích cỡ đồng đều hay đường cong cấp phối đoạn này gần như dựng đứng 90°, đường cấp phối của nó là một đường liên tục, có hàm lượng hạt to và hạt nhỏ nhiều, cấp phối đoạn hạt trung gian nằm ngang không xác định và nó cũng không yêu cầu tính chặt của cấp phối ở những

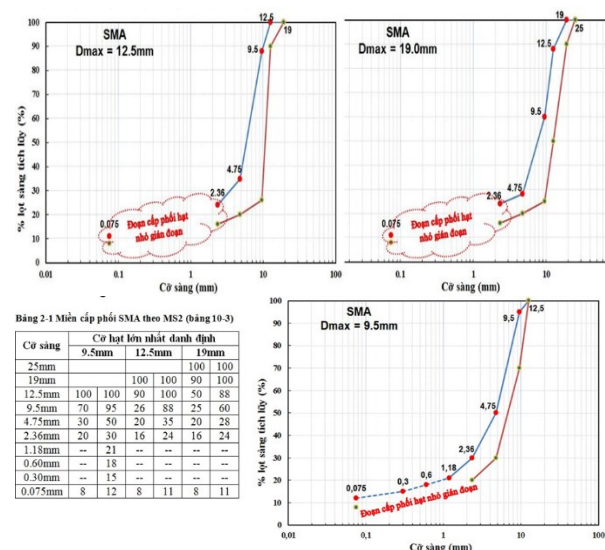
đoạn cấp phối không gián đoạn, nó chỉ cần liên tục là được. Như vậy tính năng ở những đoạn cấp phối không bị gián đoạn trong Gap-graded do người thiết kế muốn nó có tính năng gì để chọn loại tính năng của cấp phối và quyết định tùy theo làm lớp mặt trên hay mặt dưới, làm lớp tạo nhám hay rỗng để thoát nước sẽ có yêu cầu cường độ đá, dạng hình học viên đá, độ đồng đều kích cỡ hạt, cấp phối đá yêu cầu đạt được khi thiết kế.



Hình 3. Sơ họa các loại đường cong cấp phối thông thường

Nói theo nghĩa toán học khi khảo sát đồ thị của một hàm hay đường cong là tại 1 điểm hay 1 đoạn nào đó có giá trị hàm không xác định, không có giá trị của hàm trong đoạn đó, đồ thị của hàm trong đoạn đó không có, không xác định, không vẽ liên tục trong đoạn đó, phải để trống. “Không thể tùy tiện nội suy % thành phần hạt trong đoạn cấp phối bị gián đoạn hay bỏ mắt sàng này trong dãy các mắt sàng chuẩn của cấp phối”.

Tương ứng trong bảng cấp phối có quy định chung là dấu gạch ngang của mắt sàng đó, đường cong cấp phối không có, không liên tục trong đoạn này và vì như thế dãy cấp phối của nó thể hiện bằng các dấu chấm cho các tỷ lệ (%) của các mắt sàng có giá trị số liệu.



Bảng 2-1 Miền cấp phối SMA theo MS2 (bảng 10-3)

Cỡ sàng	Cỡ hạt lớn nhất danh định	9.5mm	12.5mm	19mm
25mm	100	100	100	100
19mm	100	100	100	90
12.5mm	100	90	100	50
9.5mm	70	95	88	25
4.75mm	30	50	35	20
2.36mm	20	30	16	16
1.18mm	--	21	--	--
0.60mm	--	18	--	--
0.30mm	--	15	--	--
0.075mm	8	12	8	11

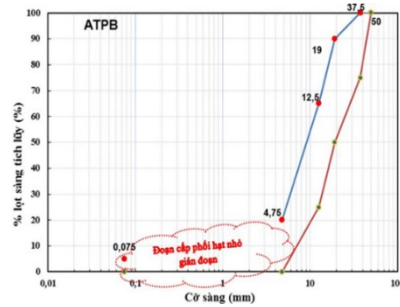
Hình 4. Miền cấp phối SMA

3.1.3. Cấp phối hở - Open-graded:

Cấp phối hở hay open hiểu theo nghĩa đen là mở có nghĩa nó là miền cấp phối nửa gián đoạn, có một đường bao liên tục và một đường bao còn lại hở hay gián đoạn và có đoạn cấp phối gần đúng đứng 900 ở đoạn cấp phối trung gian, hiểu theo nghĩa “one sided” cốt liệu đơn và tăng % tích lũy lọt sàng đột biến.

Bảng 3-1 Miền cấp phối hở Open-Graded cho hỗn hợp ATPB theo MS2 (bảng 12-1)

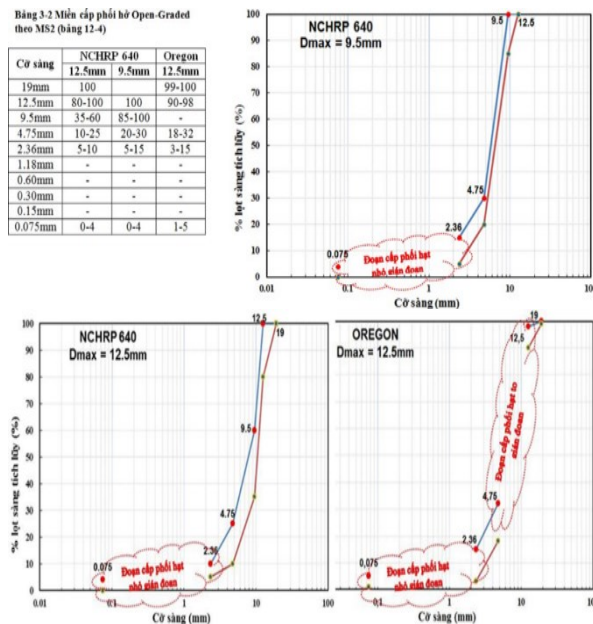
Cỡ sàng	ATPB
50mm	100
37.5mm	75-100
19mm	50-90
12.5mm	25-65
4.75mm	0-20
0.075mm	0-5



Hình 5. Miền cấp phối hở – Open - graded theo MS2

Bảng 3-2 Miền cấp phối hở Open-Graded theo MS2 (bảng 12-4)

Cỡ sàng	NCHRP 640	Oregon
19mm	100	99-100
12.5mm	80-100	100
9.5mm	35-60	85-100
4.75mm	10-25	20-30
2.36mm	5-10	5-15
1.18mm	-	-
0.60mm	-	-
0.30mm	-	-
0.15mm	-	-
0.075mm	0-4	0-4



Hình 6. Miền cấp phối hở – Open - graded theo MS2

Nói theo hình dạng đường cấp phối nó có đoạn nằm ngang ở hạt nhỏ, đoạn dựng thẳng đứng ở cấp phối hạt trung gian và đoạn gần nằm ngang ở xung quanh cỡ hạt lớn nhất danh định.

Như vậy, cấp phối hở open graded không phải hay không có tính chất của cấp phối liên tục chặt dense graded, nó có một nửa tính chất của cấp phối gián đoạn, yêu cầu cao về tính đồng đều một số cỡ hạt trung gian, một số đoạn hạt nhỏ có đường cấp phối nằm ngang, không xác định hoặc bằng không có hàm lượng hạt nhỏ rất ít, có cấp phối xung quanh cỡ sàng lớn nhất danh định cũng gần nằm ngang, bán hở để tạo ra một cấp phối có độ rỗng rất lớn, lớn hơn BTNRTN rỗng thông thường rất nhiều

(12% - 20% - 25% > 7% - 12%) và tạo độ nhám mặt BTNRTN rất nhám cũng như cho nước thấm qua lớp bê tông nhựa rất rỗng.

3.1.4. Bê tông nhựa rỗng thoát nước:

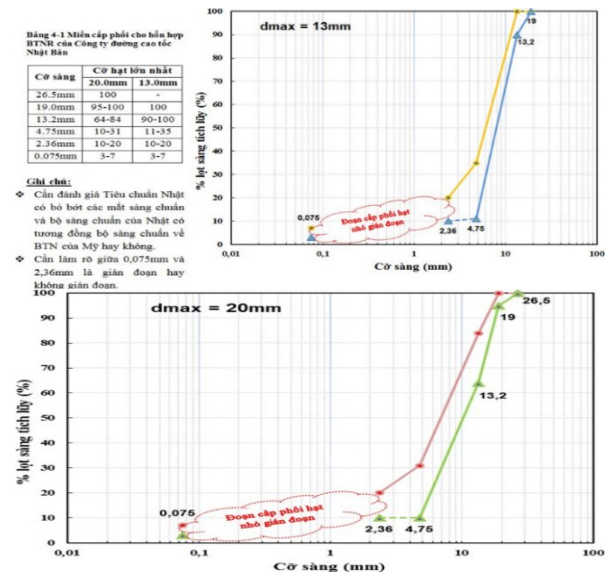
Như tên gọi BTNRTN, hay cấp phối rỗng đã thể hiện khái niệm rỗng của vật liệu. Để tạo tính rỗng của vật liệu người ta có thể sử dụng cấp phối gián đoạn Gap graded hay cấp phối hở open-graded và tùy theo yêu cầu về lớp mặt trên hay lớp mặt dưới, có yêu cầu về khả năng chịu tải, cường độ, chống biến dạng, tính thấm mà người ta chọn loại cấp phối cơ bản nào.

Bảng 4-1 Miền cấp phối cho hỗn hợp BTNRTN của Công ty đường cao tốc Nhật Bản

Cỡ sàng	Cỡ hạt lớn nhất	20.0mm	13.0mm
26.5mm	100	-	-
19.0mm	95-100	100	-
13.2mm	64-84	90-100	-
4.75mm	10-31	11-33	-
2.36mm	10-20	10-20	-
0.075mm	3-7	3-7	-

Chỉ chú:

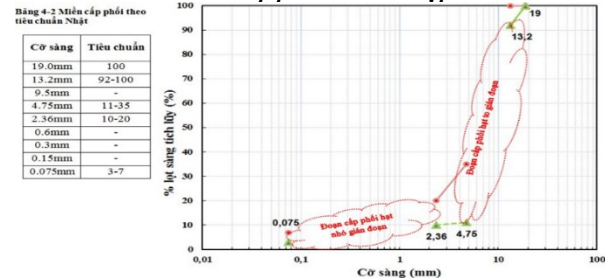
- ✦ Cần đánh giá Tiêu chuẩn Nhật có bỏ bớt các mắt sàng chuẩn và bộ sàng chuẩn của Nhật có tương đồng bộ sàng chuẩn về BTN của Mỹ hay không.
- ✦ Cần làm rõ giữa 0.075mm và 2.36mm là gián đoạn hay không gián đoạn.



Hình 7. Miền cấp phối cho hỗn hợp BTNRTN

Bảng 4-2 Miền cấp phối theo tiêu chuẩn Nhật

Cỡ sàng	Tiêu chuẩn
19.0mm	100
13.2mm	92-100
9.5mm	-
4.75mm	11-35
2.36mm	10-20
0.6mm	-
0.3mm	-
0.15mm	-
0.075mm	3-7



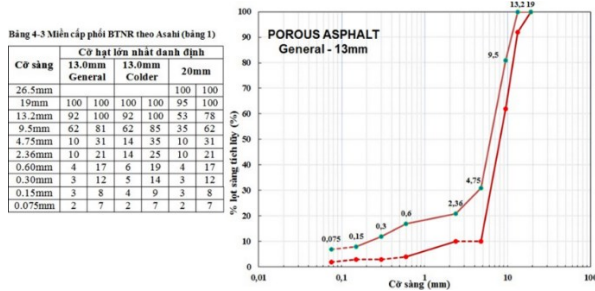
Hình 8. Miền cấp phối theo tiêu chuẩn Nhật

Với BTNRTN bản chất là BTN có độ rỗng lớn và cho phép nước thấm xuyên qua bề dày lớp BTNRTN xuống lớp chống thấm cách nước bên dưới chảy tràn ra hai bên vai đường. Tùy thuộc vào yêu cầu lớp mặt có chịu tải trọng, lưu lượng xe lớn, nhiệt độ cao mà người ta sẽ có yêu cầu về cường độ Marshall, khả năng chống hằn lún vệt bánh xe, hệ số thấm, Evl, Rn, cường độ Cantabro và cả bề dày ≥ 25 mm để quyết định có tính cường độ lớp này vào bề dày kết cấu.

Vì vậy tên gọi của loại vật liệu này thường gọi là BTNRTN có độ nhám cao, chứ không phải là loại BTNRTN thông thường hay lớp phủ siêu mỏng Novachip có độ nhám cao.

Các yêu cầu quan tâm khi thiết kế vật liệu loại này là cường độ đá cao, dạng hình học cốt liệu, độ dính bám đá, loại bột khoáng, cường độ dính bám xi măng và cốt liệu, chất lượng xi măng tốt, thành phần cấp phối cốt liệu, độ mài mòn, cấp phối đá, độ nén đập trong xy lạnh, hệ số thấm, cường độ và độ dẻo Marshall, khả năng chống hàn lún vệt bánh xe, độ ổn định động hàn lún vệt bánh xe, cường độ Cantabro của vật liệu BTNRTN.

Ví dụ về đường bao cấp phối cỡ hạt cho hỗn hợp bê tông xi măng rỗng trong hướng dẫn cho mặt đường của Công ty đường cao tốc Nhật Bản.



Hình 9. Miền cấp phối theo Asahi

4. Thiết kế cấp phối BTNRT cường độ cao hơn thông thường

Để thiết kế hỗn hợp BTNRT cường độ cao hơn thông thường dựa vào nguyên lý cấp phối tối ưu để nâng cao cường độ. Ngoài ra, còn dựa vào khung chịu lực cốt liệu hạt to, hình dáng đá, cường độ đá và tăng cường độ lớp mặt cốt liệu khoáng và nhựa bằng 3 biện pháp:

- Sử dụng cốt liệu đá có cường độ cao 1.000-1.200 (kg/cm²), với bề mặt có độ nhám nhỏ li ti giúp tăng khả năng hấp thụ nhựa, từ đó nâng cao độ liên kết giữa cốt liệu và nhựa.

- Áp dụng nhựa đường Polime PMB III-Petrolimex, có độ dẻo, tính đàn hồi và khả năng dính bám vượt trội so với nhựa thông thường.

- Sử dụng bột khoáng hoạt tính cao (đá vôi cường độ cao, độ mịn lớn và phụ gia polymer SBS) nhằm tạo ra các phản ứng hoạt hóa với nhựa cao nhất.

4.1. Phương án thiết kế cấp phối

Thiết kế cấp phối lớp phủ mỏng BTNRT thoát nước 12,5 có độ nhám cao sử dụng nhựa đường Polime PMB3 do Petrolimex cung cấp với các thông tin cấp phối thiết kế như sau:

4.1.1. Tỷ lệ phối trộn cốt liệu tại phễu nóng – Hotbin:

Bảng 1. Tỷ lệ phối trộn cốt liệu tại phễu nóng - Hotbin

Vật liệu	Cỡ hạt (mm)	Tỷ lệ phối trộn theo Cốt liệu (%)	Tỷ lệ phối trộn theo hỗn hợp (%)	Khối lượng cho 1 m ² trộn 1000 (kg)	Ghi chú
Hotbin3	10-13	22,0	20,9	209	
Hotbin2	6-10	54,0	51,4	514	
Hotbin1	0-3	19,0	18,1	181	
Bột khoáng		5,0	4,8	48	
Nhựa đường PM3		5,15	4,9	49	±0,2%
Tổng		105,5	100,0	100	

4.1.2. Cấp phối hỗn hợp cốt liệu:

Bảng 2. Cấp phối hỗn hợp Cốt liệu

Cỡ sản (mm)	12,5	9,5	6,3	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,075
Cấp phối hỗn hợp	100	86,5	41,9	25,9	22,1	17,0	13,3	11,3	6,9
% Lọt sản theo CDKTA	100÷100	80÷100	35÷60	22÷40	20÷36	12÷27	8÷17	6÷13	4÷8
Sai số cho phép	±0	±5		±4	±4	±3	±3	±3	±2
Dung sai cấp phối	100÷100	81,5÷91,5	35÷60	22,0÷29,9	20,0÷126,1	14÷20	10,3÷16,3	8,3÷13,0	4,9÷8,0

4.1.3. Nhiệt độ:

Nhiệt độ nhựa đường: 170°C đến 180°C

Trộn hỗn hợp BTN trong thùng trộn tại trạm trộn: 160°C đến 185°C.

Xả hỗn hợp BTN từ thùng trộn vào xe: 155°C đến 180°C.

Đổ hỗn hợp từ xe tải vào máy rải: 145°C đến 170°C.

Rải hỗn hợp: 145°C đến 165°C.

4.1.4. Thời gian cho một mẻ trộn:

Thời gian trộn khô: 5s.

Thời gian trộn ướt: 70s.

Tổng thời gian cho 1 mẻ trộn: 75s.

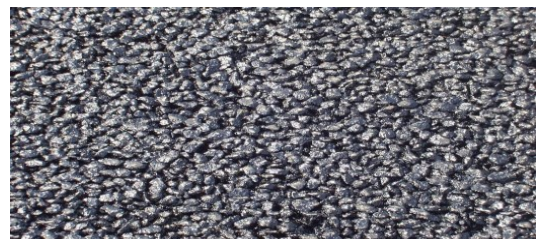
4.1.5. Trạm trộn bê tông nhựa 160T/h:

Kiểu: TSAp-2000FFW

Serial No-15A6019

Công suất: 160T/h

Xuất xứ/năm: Hàn Quốc



Hình 10. Mặt đường BTNRTN trước khi lu lèn



Hình 11. Mặt đường BTNRTN sau khi lu lèn

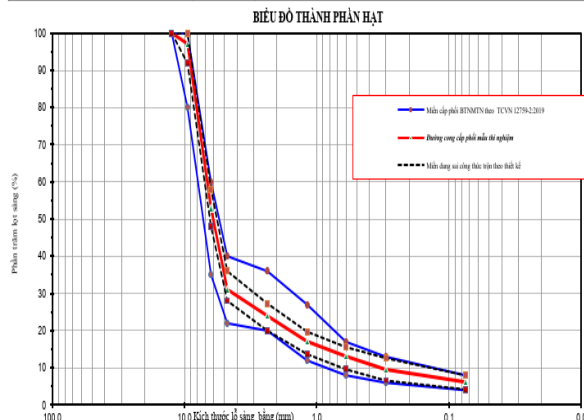
4.1. Tổng hợp một số kết quả thí nghiệm

Bảng 3. Kết quả thí nghiệm mẫu BTNR

Số TT	Danh mục thí nghiệm	Đơn vị	Phương pháp thí nghiệm	Kết quả thí nghiệm	Yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 12759-2: 2019
I	Mẫu theo phương pháp Marshall (đảm 50 chảy mật)				
1	- Khối lượng thể tích	(g/cm ³)	TCVN 8860-5:2011	2.187	-
2	- Độ bền Marshall	(kN)	TCVN 8860-1:2011	8.8	≥ 6.0
3	- Độ dẻo Marshall	(mm)	TCVN 8860-1:2011	3.69	2 ÷ 4
4	- Độ rỗng dư, Va	(%)	TCVN8860-9:2011	13.8	12 ÷ 16
5	- Tỷ trọng lớn nhất của BTN ở trạng thái rời		TCVN 8860-4:2011	2.546	-
	- Khối lượng riêng của BTN	(g/cm ³)		2.538	
II	- Hàm lượng nhựa đường theo hỗn hợp BTN	(%)	TCVN 8860-2:2011	5.15	5.3 ± 0.2
III	- Thành phần hạt:				
	- % lọt sàng (12.5mm)		TCVN 8860-3:2011	100.0	100÷100
	- % lọt sàng (9.5mm)		"	97.2	80÷100
	- % lọt sàng (6.3mm)		"	52.9	35÷60
	- % lọt sàng (4.75mm)		"	31.1	22÷40
	- % lọt sàng (2.36mm)		"	24.0	20÷36
	- % lọt sàng (1.18mm)		"	17.1	12÷27
	- % lọt sàng (0.600mm)		"	13.1	8÷17
	- % lọt sàng (0.300mm)		"	9.5	6÷13
	- % lọt sàng (0.075mm)		"	6.2	4÷8

Bảng 4. Thí nghiệm hàm lượng nhựa và thành phần hạt

Hàm lượng nhựa/TCVN 8860-2:2011		Thành phần hạt/TCVN 8860-3:2011							
A - K.L mẫu trước khi tách nhựa	(g)	1568.5	Kích cỡ mắt sàng (mm)	Khối lượng tích lũy trên sàng (g)	% Khối lượng		Miền cấp phối BTNTMTN Theo TCVN 12759-2:2019		Dung sai công thức trộn theo thiết kế
					tích lũy trên sàng	lọt sàng	Min	Max	
B - K.L mẫu sau khi tách nhựa	(g)	1452.2	12.5	0.0	0.0	100.0	100	100.0	100.0
			9.5	42.4	2.8	97.2	80	100	100.0
C - K.L cốt liệu mịn + giấy lọc	(g)	14.94	6.3	700.1	47.1	52.9	35	60	58.0
			4.75	1025.5	68.9	31.1	22	40	36.0
D - Khối lượng giấy lọc	(g)	12.18	2.36	1130.6	76.0	24.0	20	36	20.0
			1.18	1233.7	82.9	17.1	12	27	13.7
E - Khối lượng cốt liệu mịn C-D	(g)	2.76	0.600	1292.7	86.9	13.1	8	17	9.6
			0.300	1345.8	90.5	9.5	6	13	6.6
F - K.L cốt liệu mịn trong dung dịch	(g)	32.82	0.075	1395.5	93.8	6.2	4	8	4.2
			<0.075	1487.8					8.0
G - K.L tổng cộng của cốt liệu B+E+F	(g)	1487.8							
H - Khối lượng nhựa A-G	(g)	80.72	KHỐI LƯỢNG ĐÓT TRO						
			STT	B	Bi+Tổng d	Chén	Chén + d	Chén + d	Chén + d
- Hàm lượng nhựa theo cốt liệu Hx100/G	(%)	5.43	1	86.21	2864.80	100.56	231.25	102.11	
- Hàm lượng nhựa theo hh btr Hx100/A	(%)	5.15	2			96.56	226.65	98.09	



Hình 10. Biểu đồ thành phần hạt

Bảng 5. Thí nghiệm các chỉ tiêu Marshall

Ký hiệu mẫu	Chiều cao mẫu	Đường kính mẫu	Khối lượng mẫu khô hoàn toàn	Thể tích mẫu	Khối lượng thể tích của mẫu BTN đã đầm nén	Tỷ trọng khối của mẫu BTN ở trạng thái rời	Độ rỗng dư (Va)	Độ ổn định Marshall		
	(mm)	(mm)	(g)	(cm ³)	(g/cm ³)			Hệ số hiệu chỉnh	Lực nén phá hoại (kN)	Độ bền Marshall (kN)
MẪU THÍ NGHIỆM Ở NHIỆT ĐỘ 60°C NGÂM TRONG 40 PHÚT										
1.1	63.1	101.6	1120.1	511.6	2.190	2.196		1.010	9.15	9.2
1.2	63.2	101.6	1121.2	512.7	2.187	2.194		1.008	8.69	8.8
1.3	63.5	101.6	1124.5	514.5	2.185	2.192		1.003	8.31	8.3
Bình quân:					2.187	2.194	2.546	13.8		8.8

Bảng 6. Kết quả thí nghiệm tỷ trọng lớn nhất của BTN ở trạng thái rời, khối lượng riêng của bê tông nhựa (Phương pháp thí nghiệm: TCVN 8860-4 : 2011)

Mẫu thí nghiệm số			1	2	Bình quân
A	Khối lượng mẫu BTN khô	(g)	2010.1	2029.7	
D	Khối lượng bình không chứa mẫu đổ đầy nước ở 25°C	(g)	5501.9	5501.9	
E	Khối lượng bình có chứa mẫu đổ đầy nước ở 25°C	(g)	6722.2	6734.4	
	Tỷ trọng lớn nhất:	G _m = $\frac{A}{A+D-E}$	2.545	2.546	2.546
	Khối lượng riêng:	P _{mm} = $\frac{0.997 \cdot G_m}{m}$ (g/cm ³)	2.537	2.538	2.538

5. Kết luận

Chế tạo hỗn hợp BTNR có cường độ cao hơn thông thường, cần dựa vào nguyên lý cấp phối tối ưu nhằm nâng cao khả năng chịu lực của hỗn hợp. Bên cạnh đó, thiết kế còn phải xét đến khung chịu lực của cốt liệu hạt to, hình dáng và cường độ của đá, đồng thời tăng cường độ lớp mặt cốt liệu khoáng và nhựa bằng ba biện pháp chính.

Thứ nhất, sử dụng cốt liệu đá có cường độ cao 1.000-1.200 (kg/cm²) với bề mặt có độ rỗng nhỏ li ti giúp tăng khả năng hấp thụ nhựa, từ đó nâng cao độ dính kết giữa nhựa và cốt liệu.

Thứ hai, áp dụng nhựa đường Polime PMB III, loại nhựa này có đặc tính dẻo, tính đàn hồi và khả năng dính bám vượt trội so với nhựa thông thường, giúp tăng khả năng chống hằn lún và nâng cao tuổi thọ lớp mặt.

Thứ ba, sử dụng bột khoáng có hoạt tính cao, gồm đá vôi cường độ lớn, độ mịn cao kết hợp với phụ gia polymer SBS, nhằm tạo ra các phản ứng hoạt hóa mạnh với nhựa, giúp tăng độ bền liên kết trong hỗn hợp và đảm bảo tính ổn định lâu dài của kết cấu mặt đường. Nghiên cứu bề dày màng nhựa tối ưu ứng với điểm chảy nhựa tối ưu.

Tạo ra loại BTNR có độ ổn định lớn hơn 8 (kN) không chỉ góp phần nâng cao chất lượng, từ đó nâng cao độ chính xác và độ tin cậy trong thiết

kế cũng như thi công. Điều này không chỉ đáp ứng yêu cầu kỹ thuật ngày càng cao mà còn tạo tiền đề thuận lợi cho việc thương mại hóa sản phẩm, mở rộng ứng dụng trong thực tiễn với vai trò là vật liệu thông dụng trong xây dựng và nâng cấp kết cấu mặt đường.

Tiếp tục nghiên cứu chuyên sâu nhằm đánh giá hiệu quả chống hằn lún vết bánh xe và khả năng chống nứt do mỏi của lớp phủ BTNR.

Tiếp tục nghiên cứu khả năng chịu được điều kiện nhiệt độ môi trường cao mà vẫn giữ vững các đặc tính cơ lý, đồng thời đảm bảo tuổi thọ theo thời gian và khả năng chịu được tải trọng lớn cùng lưu lượng xe cao.

LỜI CẢM ƠN

Các tác giả xin trân trọng cảm ơn Trường Đại học Kinh tế Công nghiệp Long An đã hỗ trợ nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bộ Giao thông Vận tải, *Chỉ dẫn tạm thời về thiết kế, thi công và nghiệm thu mặt đường bê tông nhựa rỗng có sử dụng phụ gia TAFPAC-Super*, Ban hành kèm theo Quyết định số 431/QĐ Bộ Giao thông Vận tải ngày 04/02/2016, 2016.
- [2] H. T. T. Nhân và N. Q. Tuấn, nghiên cứu thực nghiệm đặc tính cơ lý và mô phỏng khả năng thoát nước của bê tông nhựa rỗng, *Tạp chí Khoa học Giao thông Vận tải*, tập 72, số 9 (12/2021), 1057-1068, 2021.
- [3] N. V. Thành, “Nghiên cứu các đặc tính chủ yếu của bê tông nhựa rỗng (Porous Asphalt) dùng làm lớp mặt cho đường ô tô cấp cao ở Việt Nam”, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Viện Khoa học và Công nghệ Giao thông Vận tải, 2017.
- [4] Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 13048:2020 về Lớp mặt bê tông nhựa rỗng thoát nước – Yêu cầu thi công và nghiệm thu.
- [5] Bộ Khoa học và Công nghệ, *Đất xây dựng công trình thủy lợi – phương pháp xác định hệ số thấm của đất trong phòng thí nghiệm*, Việt Nam: TCVN 8723:2012, 2012.
- [6] Bộ Giao thông Vận tải, *Tiêu chuẩn ngành 22TCN 345:2006: Quy trình công nghệ thi công và nghiệm thu mặt đường bê tông nhựa sử dụng nhựa đường Polime*, 2006.
- [7] Bộ Giao thông Vận tải, *Tiêu chuẩn ngành 22TCN319:2006: Yêu cầu kỹ thuật và phương pháp thí nghiệm vật liệu nhựa đường Polime*, 2006.
- [8] Bộ Giao thông Vận tải, *TCVN 8860-1:2011: Bê tông nhựa – Phương pháp thử - Phần 1 : xác định độ ổn định Marshall, độ dẻo Marshall*, 2011.
- [9] Hoạt động của Asphalt xấp trên đường cao tốc, Tổng công ty đường cao tốc Nhật Bản.
- [10] Cẩm nang của Viện Asphalt Hoa Kỳ MS-2.
- [11] BS EN 13108-7:2006, Bituminous mixtures - Material specifications - Part 7: Porous Asphalt.
- [12] I. John, M.R. Bangi and M. Lawrence, “Effect of Filler and Binder Contents on Air Voids in Hot-Mix Asphalt for Road Pavement Construction”, *Open Journal of Civil Engineering*, 11 (2021) 255-289, 2021. [Online] <https://doi.org/10.4236/ojce.2021.113016>
- [13] M. St-Jacques, Y. Brosseaud, Bilan des enrobés drainants en France et au Quebec, *Revue Via Bitume*, 12 (2017) 41-45, 2017.
- [14] American Society for Testing and Material, Standard test method for measurement of hydraulic conductivity of saturated porous material using a flexible wall permeameter, USA: ASTM D5084, 2010.
- [15] American Society for Testing and Material, Standard test method for permeability of granular soils, USA: ASTM D2434, 2000.
- [16] American Society for Testing and Material Standard test method for measurement of hydraulic conductivity of porous material using a rigid wall, compaction mold permeameter, USA:ASTM D5856, 1995.