

Đánh giá hiệu quả kinh tế - kỹ thuật công hợp bê tông cốt thép lắp ghép cho công trình giao thông đường bộ tại Việt Nam

Evaluating the economic and technical efficiency of precast reinforced concrete box culverts for road transport works in Vietnam.

> TS NGÔ QUÝ TUẤN*, THS NGUYỄN THỊ THANH

Trường Đại học Nông Lâm, Đại học Huế

*Email: ngoquytuan@huaf.edu.vn

TÓM TẮT

Cống hợp bê tông cốt thép (BTCT) ngày càng được sử dụng phổ biến trong xây dựng công trình giao thông đường bộ tại Việt Nam. Việc lựa chọn giải pháp kết cấu phù hợp có ý nghĩa quan trọng đối với hiệu quả đầu tư, chất lượng và tiến độ thi công công trình. Nghiên cứu này tập trung đánh giá hiệu quả kinh tế - kỹ thuật của công hợp BTCT lắp ghép so với phương pháp thi công đổ tại chỗ truyền thống. Phương pháp nghiên cứu bao gồm phân tích lý thuyết, so sánh kỹ thuật và đánh giá chi phí - thời gian thi công. Kết quả cho thấy công hợp lắp ghép có khả năng đảm bảo yêu cầu chịu lực, đồng thời rút ngắn thời gian thi công trên 50% và nâng cao độ ổn định về chất lượng công trình. Mặc dù chi phí đầu tư ban đầu có thể cao hơn, nhưng xét trên vòng đời công trình, giải pháp này mang lại hiệu quả kinh tế rõ rệt. Nghiên cứu đề xuất định hướng áp dụng và hoàn thiện tiêu chuẩn thiết kế nhằm thúc đẩy triển khai rộng rãi tại Việt Nam.

Từ khóa: Công hợp bê tông cốt thép; lắp ghép; hiệu quả kinh tế - kỹ thuật; công trình đường bộ; bê tông đúc sẵn.

ABSTRACT

Reinforced concrete box culverts are becoming increasingly popular for use in road transport construction works in Vietnam. Selecting the right structural solution is crucial for enhancing investment efficiency, quality, and construction progress. This study focuses on evaluating the economic and technical efficiency of precast reinforced concrete box culverts compared to the cast-in-place construction method. The research methodology includes theoretical analysis, technical comparison, and cost-progress time evaluation. The results show that prefabricated box culverts are capable of meeting load-bearing requirements, while simultaneously shortening construction time by over 50% and improving the structural stability. Although the initial investment cost may be higher, considering the work's life cycle, this solution offers clear economic benefits. The study proposes directions for the application and refinement of design standards to promote widespread implementation in Vietnam. This study proposes application guidelines and improvements to design standards to promote widespread implementation in Vietnam.

Keywords: Reinforced concrete box culverts; prefabricated; economic and technical efficiency; road works; precast concrete.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh phát triển hạ tầng giao thông đường bộ tại Việt Nam hiện nay, việc đầu tư xây dựng mới hoặc nâng cấp và cải tạo các công trình cũ đang trở thành yêu cầu cấp bách nhằm đáp ứng nhu cầu giao thông ngày càng tăng. Một trong những giải pháp đang được chú ý là ứng dụng kết cấu công hợp BTCT đúc sẵn cho các công trình thoát nước ngang đường hoặc hầm chui dân sinh trên tuyến. Công nghệ này không chỉ rút ngắn thời gian thi công mà còn giảm thiểu chi phí, hạn chế gây ảnh hưởng đến lưu lượng giao thông trên các tuyến đường đang khai thác, tránh ảnh hưởng bất lợi của thời tiết trong quá trình thi công và

cải thiện chất lượng kết cấu so với phương pháp truyền thống.

Công nghệ bê tông đúc sẵn lắp ghép đang được áp dụng rộng rãi trên thế giới nhờ khả năng công nghiệp hóa xây dựng [1]. Một số nghiên cứu cho thấy kết cấu công hợp đúc sẵn có thể đảm bảo khả năng chịu lực tốt và nâng cao hiệu quả thi công [2], [3]. Ngoài những lợi thế của công hợp BTCT lắp ghép so với công nghệ thi công công hợp đổ tại chỗ truyền thống, công hợp BTCT lắp ghép cũng thể hiện ưu điểm so với công trình cầu nhịp nhỏ [1]. Tuy nhiên, tại Việt Nam, việc đánh giá toàn diện về hiệu quả kinh tế - kỹ thuật của loại kết cấu này vẫn còn hạn chế. Do đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm làm rõ tiềm năng ứng dụng

trong điều kiện thực tế thông qua kết quả phân tích so sánh khả năng chịu lực và chi phí đầu tư giữa giải pháp cống hộp đổ tại chỗ và lắp ghép. Kết quả nghiên cứu là cơ sở để các đơn vị thiết kế và thi công có thể tham khảo để lựa chọn phương pháp cống hộp phù hợp với các yêu cầu kinh tế - kỹ thuật đặt ra và điều kiện hiện trạng của công trình.

2. TỔNG QUAN VỀ CỐNG HỘP BTCT LẮP GHÉP

Cống hộp BTCT có các ưu điểm là khả năng chịu lực lớn, ổn định lâu dài, phù hợp với nhiều điều kiện địa chất và địa hình từ đơn giản đến phức tạp. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng kết cấu cống hộp có độ cứng cao và phân bố tải trọng tốt, giúp giảm ứng suất nền [3], [4].

Cống hộp BTCT lắp ghép là dạng kết cấu được chế tạo sẵn thành từng đốt tại nhà máy, sau đó vận chuyển đến công trường để lắp dựng. Các đốt cống được liên kết với nhau thông qua mối nối cơ học hoặc mối nối ướt bằng bê tông. Khẩu độ mỗi khoang cống hộp từ 2,0 ÷ 4,0 m. Tùy theo lưu lượng thoát nước cần thiết, cống hộp có thể được thiết kế một hoặc nhiều khoang. So với cống hộp đổ tại chỗ, giải pháp này có mức độ công nghiệp hóa cao hơn, cho phép kiểm soát chất lượng tốt hơn, không phụ thuộc vào điều kiện thời tiết và giảm thiểu thời gian thi công tại hiện trường.



Hình 1. Các dạng kết cấu hộp lắp ghép

Cống hộp BTCT lắp ghép đang được sử dụng phổ biến ở nhiều quốc gia khác nhau trên thế giới. Việc lựa chọn chiều dài

phân đoạn (đốt cống) và phương pháp phân chia cấu tạo cống hộp lắp ghép là một bài toán tối ưu hóa giữa kỹ thuật, kinh tế và điều kiện thi công. Các dạng kết cấu hộp lắp ghép đang được sử dụng phổ biến hiện nay bao gồm hộp kín nguyên khối (Hình 1a), hộp hở (Hình 1b), hộp dạng vỏ sò (Hình 1c) và hộp dạng bản nắp (Hình 1d).

Ưu điểm nổi bật khi ứng dụng kết cấu cống hộp BTCT lắp ghép phải kể đến như: Rút ngắn từ 30 ÷ 50% thời gian thi công so với phương pháp đổ tại chỗ; nâng cao chất lượng công trình nhờ sản xuất trong điều kiện nhà máy; giảm phụ thuộc vào điều kiện thời tiết; giảm tác động đến môi trường và giao thông trên các tuyến đường đang khai thác; phù hợp với xu hướng công nghiệp hóa xây dựng.

Bên cạnh những ưu điểm, việc ứng dụng giải pháp lắp ghép vẫn còn tồn tại những khó khăn thách thức như: hạn chế về vận chuyển và logistics; yêu cầu thiết bị thi công chuyên dụng; thiếu tiêu chuẩn và hướng dẫn kỹ thuật; vấn đề về mối nối và độ kín nước; chi phí đầu tư ban đầu có thể cao hơn so với giải pháp cống hộp đổ tại chỗ.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Phân tích, so sánh về khả năng chịu lực

Việc so sánh được thực hiện trên 3 mẫu khẩu độ phổ biến: 3,0 × 3,0 m; 3,5 × 3,0 m; và 4,0 × 3,0 m với cùng điều kiện địa chất, kích thước tiết diện, loại vật liệu sử dụng và tải trọng thiết kế (HL-93). Hộp lắp ghép sử dụng hộp dạng vỏ sò (Hình 1c), vị trí mối nối đặt ngay giữa thành hộp. Chiều cao lớp đất đắp nền đường và kết cấu áo đường trên đỉnh hộp là 0,6m; bê tông sử dụng $f'_c = 30 \text{ MPa}$, cốt thép sử dụng loại CB400-V.

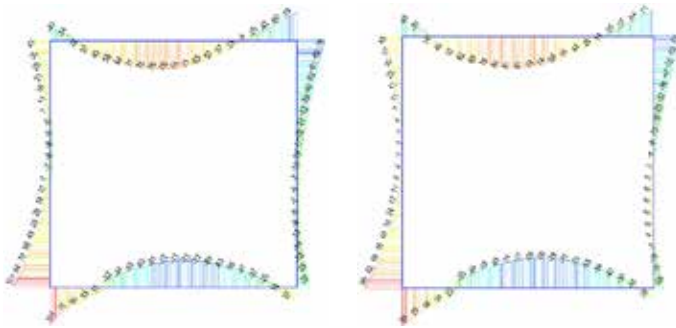
Giải thiết cống hộp được thiết kế trên đường giao thông có hai làn xe. Sơ đồ phân tích kết cấu tính cho 1m chiều dài hộp, sử dụng sơ đồ tính dạng khung dầm, tại vị trí mối nối hộp lắp ghép mô men uốn được giải phóng. Tải trọng tác dụng lên cống hộp được xác định theo Tiêu chuẩn thiết kế Cầu đường bộ - TCVN 11823 [5] và Tiêu chuẩn AASHTO LRFD Bridge design specifications 2020 [6] bao gồm: Trọng lượng bản thân hộp (DC); Áp lực đất theo phương đứng trên đỉnh hộp (EV); Áp lực ngang của đất tác dụng lên thân hộp (EH); Áp lực ngang do hoạt tải tác dụng lên thân hộp (LS); Tải trọng nước (WA); Hoạt tải xe thiết kế (LL); Tải trọng xung kích (IM). Kết quả xác định tải trọng tác dụng lên hộp ứng với từng khẩu độ được trình bày ở Bảng 1. Trong đó, trọng lượng bản thân hộp (DC) được xác định trực tiếp trên mô hình, hoạt tải xe bao gồm hai trường hợp là trường hợp xe trên hộp là xe tải và trường hợp xe trên hộp là xe hai trục theo tiêu chuẩn AASHTO LRFD. Quá trình phân tích nội lực kết cấu được thực hiện trên phần mềm Midas Civil 2019.

Bảng 1. Kết quả xác định tải trọng tác dụng lên hộp

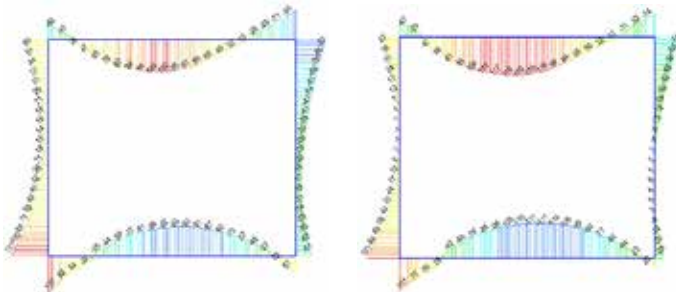
TT	Khẩu độ	EV	EH đỉnh	EH đáy	LS đỉnh	LS đáy	LL+IM xe tải	LL+IM xe 2 trục
	(m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)
1	3,0	11,94	5,78	40,43	11,55	7,51	83,76	63,54
2	3,5	11,88	5,78	41,39	11,55	7,41	81,97	62,19
3	4,0	11,84	5,78	42,35	11,55	7,32	80,27	60,89

Kết quả phân tích và so sánh giá trị mô men uốn ở trạng thái giới hạn cường độ của hộp khẩu độ 3,0 m được trình bày ở Hình 2, hộp khẩu

độ 3,5 m được trình bày ở Hình 3 và hộp khẩu độ 4,0 m được trình bày ở Hình 4, giá trị mô men trên biểu đồ sử dụng đơn vị $kN \cdot m$.



a) = Cống hộp đổ tại chỗ
Hình 2. Biểu đồ mô men hộp khẩu độ 3,0 m.



a) - Cống hộp đổ tại chỗ
Hình 3. Biểu đồ mô men hộp khẩu độ 3,5 m.

Bảng 2. So sánh kết quả bố trí cốt thép hộp khẩu độ 3,0 m.

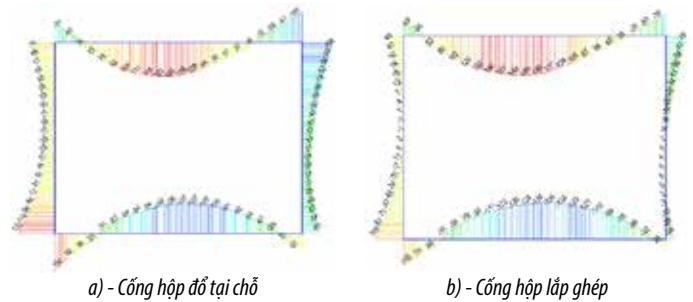
TT	Loại hộp	Thành phần	Bản trên		Bản dưới		Thành hộp	
			Giữa nhịp	Tại gối	Giữa nhịp	Tại gối	Đỉnh	Đáy
1	Đổ tại chỗ	Cốt thép chịu lực	4Ø18	4Ø18	4Ø18	5Ø18	4Ø18	5Ø18
		Diện tích cốt thép (mm ²)	1018	1018	1018	1272	1018	1272
2	Lắp ghép	Cốt thép chịu lực	4Ø18	4Ø18	4Ø18	4Ø20	4Ø18	4Ø20
		Diện tích cốt thép (mm ²)	1018	1018	1018	1257	1018	1257
3		Chênh lệch cốt thép	0%	0%	0%	-1,25%	0%	-1,25%

Bảng 3. So sánh kết quả bố trí cốt thép hộp khẩu độ 3,5 m.

TT	Loại hộp	Thành phần	Bản trên		Bản dưới		Thành hộp	
			Giữa nhịp	Tại gối	Giữa nhịp	Tại gối	Đỉnh	Đáy
1	Đổ tại chỗ	Cốt thép chịu lực	4Ø18	4Ø18	4Ø18	4Ø20	4Ø18	4Ø20
		Diện tích cốt thép (mm ²)	1018	1018	1018	1257	1018	1257
2	Lắp ghép	Cốt thép chịu lực	4Ø20	4Ø18	4Ø20	4Ø18	4Ø18	4Ø18
		Diện tích cốt thép (mm ²)	1257	1018	1257	1018	1018	1018
3		Chênh lệch cốt thép	19%	%	19%	-23,46%	0%	-23,46%

Bảng 4. So sánh kết quả bố trí cốt thép hộp khẩu độ 4,0 m.

TT	Loại hộp	Thành phần	Bản trên		Bản dưới		Thành hộp	
			Giữa nhịp	Tại gối	Giữa nhịp	Tại gối	Đỉnh	Đáy
1	Đổ tại chỗ	Cốt thép chịu lực	4Ø18	4Ø18	4Ø18	4Ø20	4Ø18	4Ø20
		Diện tích cốt thép (mm ²)	1018	1018	1018	1257	1018	1257
2	Lắp ghép	Cốt thép chịu lực	4Ø20	4Ø18	4Ø20	4Ø18	4Ø18	4Ø18
		Diện tích cốt thép (mm ²)	1257	1018	1257	1018	1018	1018
3		Chênh lệch cốt thép	19%	0%	19%	-23,46%	0%	-23,46%



Hình 4. Biểu đồ mô men hộp khẩu độ 4,0 m.

Kết quả so sánh biểu đồ mô men giữa cống hộp đổ tại chỗ và cống hộp lắp cho thấy có sự khác biệt đáng kể giữa hai loại kết cấu. Sự khác biệt chủ yếu xuất phát từ đặc điểm liên kết tại vị trí mối nối lắp ghép dẫn đến có sự phân bố lại giá trị mô men tại gối và giữa nhịp ở hộp lắp ghép, cụ thể: giá trị mô men tại giữa nhịp ở bản trên và bản đáy của cống hộp lắp ghép tăng cao hơn so với cống hộp đổ tại chỗ với giá trị tăng tương ứng là 6,6% và 8,2% đối với hộp 3,0 m, tăng 19% và 19,4% đối với hộp 3,5m, tăng 24,2% và 27,1% với hộp 4,0 m. Ngược lại, giá trị mô men tại gối bản trên và gối bản dưới của hộp lắp ghép giảm hơn so với hộp đổ tại chỗ với giá trị giảm tương ứng là 9,0% và 2,0% đối với hộp 3,0 m, giảm 20,4% và 13,7% đối với hộp 3,5 m, giảm 29,6% và 20,5% với hộp 4,0 m. Dựa vào kết quả nội lực trên, kết quả so sánh bố trí cốt thép chịu lực giữa hai phương án được trình bày ở Bảng 2, Bảng 3 và Bảng 4.

Kết quả so sánh cốt thép cho khẩu độ 3,0 m cho thấy sự tương đồng cao về khả năng chịu lực giữa hai phương án, khi đã số các vị trí giữa nhịp và đỉnh thành hộp đều có diện tích cốt thép đồng nhất. Điểm khác biệt đáng chú ý nằm ở vị trí gối bản dưới và đáy thành hộp, nơi phương án lắp ghép chuyển đổi từ 5 ϕ 18 sang 4 ϕ 20, giúp giảm nhẹ diện tích cốt thép (-1,25%) nhưng lại tăng hiệu quả về mặt thi công. Việc sử dụng ít thanh thép với đường kính lớn hơn không chỉ giúp tối ưu hóa mật độ cốt thép tại các góc xung yếu, tạo điều kiện cho bê tông đúc sẵn dễ dàng lắp đặt khuôn khi rung ép, mà còn đảm bảo tính kinh tế và khả năng kiểm soát chất lượng vượt trội của công nghệ đúc sẵn so với đổ tại chỗ.

Đối với hộp khẩu độ 3,5 m và 4,0 m trong khảo sát, xu hướng phân bố cốt thép thể hiện sự khác biệt rõ rệt giữa hai công nghệ chế tạo. Phương án lắp ghép cho thấy nội lực gia tăng ở vùng giữa nhịp bản trên và bản dưới với mức tăng diện tích cốt thép lên đến 19% (4 ϕ 20 so với 4 ϕ 18 của đổ tại chỗ). Ngược lại, tại các vị trí gối và đáy thành hộp, lượng cốt thép được cắt giảm mạnh 23,46%. Kết quả này khẳng định rằng khi khẩu độ càng lớn, công lắp ghép càng thể hiện rõ đặc tính làm việc của hệ tĩnh định cục bộ trong từng đốt cống, nơi mô men tại giữa nhịp chiếm ưu thế so với mô men tại gối. Việc tập trung thép 4 ϕ 20 tại giữa nhịp là lựa chọn kỹ thuật tối ưu để kiểm soát độ võng và ứng suất kéo cho các bản có nhịp lớn, đồng thời việc giảm thép tại gối giúp đơn giản hóa cấu tạo nấc cống, tạo điều kiện thuận lợi cho việc kiểm soát chất lượng bê tông đúc sẵn trong điều kiện sản xuất công nghiệp.

3.2. Phân tích, so sánh hiệu quả kinh tế và tiến độ thi công giữa hai giải pháp

Việc phân tích hiệu quả kinh tế và tiến độ thi công giữa hai giải pháp cần tập trung vào sự tối ưu hóa giữa chi phí đầu tư và

tốc độ hoàn thành dự án. Về kinh tế, nghiên cứu sẽ tiến hành so sánh tổng chi phí bao gồm vật liệu, nhân công và máy móc; trong đó nhấn mạnh khả năng tiết kiệm ván khuôn và giảm hao hụt của công lắp ghép nhờ sản xuất công nghiệp, đối với chi phí vận chuyển, cầu lắp hạng nặng cho các khẩu độ lớn, nội dung so sánh này được thực hiện khi chế tạo 1 m chiều dài thân cống trên địa bàn thành phố Huế. Đối với các công tác khác, chi phí hai giải pháp này là tương đồng nhau. Về tiến độ, nghiên cứu tiến hành làm rõ ưu thế vượt trội của giải pháp lắp ghép nhờ khả năng sản xuất song song tại nhà máy và thi công lắp đặt nhanh chóng tại hiện trường, giúp rút ngắn chu kỳ dưỡng hộ bê tông và giảm thiểu rủi ro do thời tiết so với phương pháp đổ tại chỗ. Cuối cùng, phân tích sẽ mở rộng sang các giá trị gián tiếp như chất lượng sản phẩm đồng bộ, giảm thiểu tác động đến giao thông, môi trường đô thị và giảm chi phí quản lý dự án do rút ngắn thời gian thi công. Từ đó, nghiên cứu sẽ đưa ra cái nhìn toàn diện về tính khả thi của mỗi giải pháp.

Dự toán chi phí xây dựng tính cho 1m chiều dài thân cống hộp khẩu độ 3,0 $\times$ 3,0 m được xác định trên cơ sở định mức theo thông tư số 12/2021/TT-BXD ngày 31/8/2021 của Bộ Xây dựng về ban hành định mức xây dựng [7]; Quyết định số 4006/QĐ-UBND ngày 29/12/2025 của UBND TP Huế về việc công bố đơn giá nhân công xây dựng để lập và quản lý chi phí đầu tư xây dựng công trình trên địa bàn TP Huế [8]; Quyết định số 4054/QĐ-UBND ngày 30/12/2025 của UBND TP Huế về việc công bố Bảng giá ca máy và thiết bị thi công xây dựng công trình trên địa bàn TP Huế [9]. Kết quả so sánh chi phí được thực hiện ở 03 vị trí công trình cách khu vực trung tâm 15 km, 30 km, 60 km và trình bày ở Bảng 5, Bảng 6 và Bảng 7.

Bảng 5. So sánh chi phí xây dựng hộp khẩu độ 3,0 m có vị trí cách trung tâm 15 km

STT	Tên công việc	Đơn vị	Khối lượng	Đơn giá	Tổng tiền
A	Cống hộp đổ tại chỗ:				20.756.317
1	Bê tông ống cống hình hộp M350, đá 1x2, PCB40	m ³	4,040	2.899.678	11.714.700
2	Gia công, lắp đặt cốt thép ống cống, ống buy, ĐK $\leq$ 18 mm	tấn	0,078	29.406.559	2.294.594
3	Gia công, lắp đặt cốt thép ống cống, ống buy, ĐK $>$ 18 mm	tấn	0,111	29.803.770	3.322.226
4	Ván khuôn thép	100 m ²	0,162	21.140.722	3.424.797
B	Cống hộp đúc sẵn:				22.737.322
5	Bê tông ống cống hình hộp M350, đá 1x2, PCB40	m ³	4,040	2.899.678	11.714.700
6	Gia công, lắp đặt cốt thép ống cống, ống buy, ĐK $\leq$ 18 mm	tấn	0,078	29.406.559	2.286.948
7	Gia công, lắp đặt cốt thép ống cống, ống buy, ĐK $>$ 18 mm	tấn	0,111	29.803.770	3.311.199
8	Ván khuôn thép	100 m ²	0,132	21.140.722	2.790.575
9	Vận chuyển ống cống bê tông bằng ô tô vận tải thùng 12 tấn - Cự ly vận chuyển trong phạm vi $\leq$ 1 km	10 tấn/1 km	1,010	38.787	39.175
10	Vận chuyển ống cống bê tông bằng ô tô vận tải thùng 12 tấn - Cự ly vận chuyển 9 km tiếp theo trong phạm vi $\leq$ 10 km	10 tấn/1 km	1,010	290.905	293.814
11	Vận chuyển ống cống bê tông bằng ô tô vận tải thùng 12 tấn - Cự ly vận chuyển 5 km tiếp theo trong phạm vi $\leq$ 60 km	10 tấn/1km	1,010	129.291	130.584
12	Lắp đặt cống hộp đơn, đoạn ống dài 1,0 m	1 đoạn cống	2,000	1.085.163	2.170.327
	Chênh lệch chi phí xây dựng giữa hai giải pháp				9,54%

Bảng 6. So sánh chi phí xây dựng hộp khẩu độ 3,0 m có vị trí cách trung tâm 30 km.

STT	Tên công việc	Đơn vị	Khối lượng	Đơn giá	Tổng tiền
A	Cống hộp đổ tại chỗ:				21.242.986
1	Bê tông ống cống hình hộp M350, đá 1x2, PCB40	m ³	4,040	2.971.491	12.004.824
2	Gia công, lắp đặt cốt thép ống cống, ống buy, ĐK ≤18 mm	tấn	0,078	30.389.303	2.371.277
3	Gia công, lắp đặt cốt thép ống cống, ống buy, ĐK >18 mm	tấn	0,111	30.879.046	3.442.087
4	Ván khuôn thép	100 m ²	0,162	21.140.722	3.424.797
B	Cống hộp đúc sẵn:				23.485.042
5	Bê tông ống cống hình hộp M350, đá 1x2, PCB40	m ³	4,040	2.939.301	11.874.778
6	Gia công, lắp đặt cốt thép ống cống, ống buy, ĐK ≤18 mm	tấn	0,078	30.389.303	2.363.376
7	Gia công, lắp đặt cốt thép ống cống, ống buy, ĐK >18 mm	tấn	0,111	30.879.046	3.430.662
8	Ván khuôn thép	100 m ²	0,132	21.140.722	2.790.575
9	Vận chuyển ống cống bê tông bằng ô tô vận tải thùng 12 tấn - Cự ly vận chuyển trong phạm vi ≤1 km	10 tấn/1km	1,010	38.787	39.175
10	Vận chuyển ống cống bê tông bằng ô tô vận tải thùng 12 tấn - Cự ly vận chuyển 9 km tiếp theo trong phạm vi ≤10 km	10 tấn/1 km	1,010	290.905	293.814
11	Vận chuyển ống cống bê tông bằng ô tô vận tải thùng 12 tấn - Cự ly vận chuyển 20 km tiếp theo trong phạm vi ≤60 km	10 tấn/1 km	1,010	517.164	522.335
12	Lắp đặt cống hộp đơn, đoạn ống dài 1,0 m	1 đoạn cống	2,000	1.085.163	2.170.327
Chênh lệch chi phí xây dựng giữa hai giải pháp					10,55%

Bảng 7. So sánh chi phí xây dựng hộp khẩu độ 3,0 m có vị trí cách trung tâm 60 km

STT	Tên công việc	Đơn vị	Khối lượng	Đơn giá	Tổng tiền
A	Cống hộp đổ tại chỗ:				21.729.654
1	Bê tông ống cống hình hộp M350, đá 1x2, PCB40	m ³	4,040	3.043.304	12.294.948
2	Gia công, lắp đặt cốt thép ống cống, ống buy, ĐK ≤18 mm	tấn	0,078	31.372.048	2.447.961
3	Gia công, lắp đặt cốt thép ống cống, ống buy, ĐK >18 mm	tấn	0,111	31.954.321	3.561.948
4	Ván khuôn thép	100 m ²	0,162	21.140.722	3.424.797
B	Cống hộp đúc sẵn:				24.624.514
5	Bê tông ống cống hình hộp bê tông M350, đá 1x2, PCB40	m ³	4,040	2.978.925	12.034.856
6	Gia công, lắp đặt cốt thép ống cống, ống buy, ĐK ≤18 mm	tấn	0,078	31.372.048	2.439.804
7	Gia công, lắp đặt cốt thép ống cống, ống buy, ĐK >18 mm	tấn	0,111	31.954.321	3.550.125
8	Ván khuôn thép	100 m ²	0,132	21.140.722	2.790.575
9	Vận chuyển ống cống bê tông bằng ô tô vận tải thùng 12 tấn - Cự ly vận chuyển trong phạm vi ≤1km	10 tấn/1 km	1,010	38.787	39.175
10	Vận chuyển ống cống bê tông bằng ô tô vận tải thùng 12 tấn - Cự ly vận chuyển 9 km tiếp theo trong phạm vi ≤10 km	10 tấn/1 km	1,010	290.905	293.814
11	Vận chuyển ống cống bê tông bằng ô tô vận tải thùng 12 tấn - Cự ly vận chuyển 50 km tiếp theo trong phạm vi ≤60 km	10 tấn/1 km	1,010	1.292.909	1.305.838
12	Lắp đặt cống hộp đơn, đoạn ống dài 1,0 m	1 đoạn cống	2,000	1.085.163	2.170.327
Chênh lệch chi phí xây dựng giữa hai giải pháp					13,32%

Kết quả phân tích chi phí xây dựng cho 1 m dài cống hộp khẩu độ 3,0 m; 3,5 m; 4,0 m cho thấy giải pháp cống lắp ghép luôn có giá thành cao hơn so với giải pháp đổ tại chỗ, với mức chênh lệch tăng dần theo bán kính vận chuyển. Cụ thể, tại các khoảng

cách 15 km, 30 km và 60 km tính từ khu vực trung tâm (nguồn cung cấp cấu kiện đúc sẵn), chi phí cống lắp ghép cao hơn lần lượt là 9,54%, 10,55% và 13,32% so với cống đổ tại chỗ. Sự gia tăng biên độ chênh lệch này khẳng định tính nhạy cảm cao của giải pháp

đúc sẵn đối với chi phí logistics; đặc biệt khi cự ly tăng từ 30 km lên 60 km, mức chênh lệch chi phí tăng thêm tới 2,77%, cao hơn đáng kể so với mức tăng 1,01% trong phạm vi 15 km đến 30 km.

Ngoài so sánh về chi phí xây dựng, nghiên cứu cũng tiến hành so sánh thời gian thi công tại hiện trường công trình khi thi công hoàn thiện thân cống cho cống khẩu độ 3,0 m, chiều dài cống 10 m. Thời gian thi công cụ thể của mỗi giải pháp được trình bày ở Bảng 8.

Bảng 8. So sánh tiến độ thi công

STT	Công tác thi công	Thời gian thi công (ngày)
A	Giải pháp cống hộp đổ tại chỗ	51
1	Công tác đào đất thi công hố móng	7
2	Gia công, lắp đặt cốt thép, ván khuôn, đổ bê tông và bảo dưỡng bê tông bản đáy	7
3	Gia công, lắp đặt cốt thép, ván khuôn, đổ bê tông và bảo dưỡng bê tông thành bên	10
4	Gia công, lắp đặt cốt thép, ván khuôn, đổ bê tông bản trên	5
5	Bảo dưỡng bê tông bản mặt đạt cường độ	21
6	Tháo ván khuôn và hoàn thiện	1
B	Giải pháp cống hộp lắp ghép	21
1	Công tác đào đất thi công hố móng	7
2	Vận chuyển + cầu lắp	7
3	Thi công và bảo dưỡng mối nối	7
	Chênh lệch tiến độ thi công giữa hai giải pháp	58,82%

Kết quả so sánh tiến độ thi công cho thấy giải pháp cống hộp lắp ghép có ưu thế vượt trội về thời gian so với phương pháp đổ tại chỗ, với tổng thời gian hoàn thành rút ngắn đến hơn 50%. Trong khi cống đổ tại chỗ đòi hỏi quy trình tuần tự phức tạp qua ba đợt thi công riêng biệt (bản đáy, thân và bản nắp) với tổng thời gian kéo dài lên đến 51 ngày do phải chờ đợi bê tông đạt cường độ và xử lý các mạch ngừng thi công, thì giải pháp lắp ghép chỉ mất từ 21 ngày để hoàn thiện tại hiện trường. Sự bứt phá về tiến độ này đạt được nhờ khả năng sản xuất song song các đốt cống tại nhà máy trong khi đang chuẩn bị mặt bằng, kết hợp với công nghệ dưỡng hộ hơi nước giúp bê tông nhanh chóng đạt cường độ cần lắp. Nhờ quy trình lắp dựng tức thì và không phụ thuộc vào thời gian chờ dưỡng hộ tại chỗ, giải pháp lắp ghép giúp giảm thiểu tối đa thời gian chiếm dụng mặt bằng, sớm hoàn trả hạ tầng giao thông và hạn chế rủi ro do điều kiện thời tiết gây ra.

Về mặt kinh tế kỹ thuật, mặc dù giải pháp cống lắp ghép sở hữu ưu thế về kiểm soát chất lượng tập trung và rút ngắn tiến độ thi công, nhưng phương án cống đổ tại chỗ vẫn là lựa chọn tối ưu hơn về mặt chi phí đầu tư trực tiếp. Xu hướng biến động chi phí trong nghiên cứu chỉ ra rằng, hiệu quả kinh tế của giải pháp cống hộp lắp ghép sẽ giảm dần khi công trình nằm xa các cơ sở sản xuất đúc sẵn. Do đó, việc lựa chọn phương án thi công cần dựa trên sự cân bằng giữa yêu cầu về tiến độ khẩn cấp, điều kiện mặt bằng và bán kính vận chuyển thực tế để đảm bảo tính kinh tế cho dự án.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã tập trung đánh giá hiệu quả về mặt kinh tế - kỹ thuật của cống hộp bê tông cốt thép lắp ghép so với phương pháp thi công đổ tại chỗ dựa trên kết quả tính toán lý thuyết, so sánh về mặt kỹ thuật cũng như sự đánh giá về mặt chi phí xây dựng và thời gian thi công. Kết quả cho thấy rằng cống hộp lắp ghép có khả năng

đảm bảo yêu cầu chịu lực, đồng thời rút ngắn thời gian thi công trên 50% và nâng cao độ ổn định về chất lượng công trình. Mặc dù, giải pháp cống lắp ghép luôn có giá thành cao hơn so với giải pháp đổ tại chỗ, với mức chênh lệch tăng dần theo bán kính vận chuyển cầu kiện đúc sẵn. Điều này khẳng định tính nhạy cảm cao của giải pháp đúc sẵn đối với chi phí logistics. Do đó, việc lựa chọn phương án thi công cần dựa trên sự cân bằng giữa yêu cầu về tiến độ khẩn cấp, điều kiện mặt bằng và bán kính vận chuyển thực tế để đảm bảo tính kinh tế cho dự án.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] M. Lutfi, H. T. Tjendani and E. Wulandari. Cost Analysis of Construction Between Pre-Tensioned Girder Beams and Box Culverts in the Design of the Kedungpeluk Bridge. Asian Journal of Engineering, Social and Health, vol. 4, no. 8, pp. 1346-1355, 2025.

[2] S. Philip, R. R and R. Lal. The impact of geofoam on the bending moment characteristics of reinforced concrete box culverts for road under bridge (RUB) design. Materials Today: Proceedings, vol. 52, pp. 2305-2314, 01/01/2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.342>.

[3] Q. Yang. Design and Construction Technology of Prefabricated Reinforced Concrete Slab Culverts. Journal of World Architecture, vol. 7, pp. 52-59, 11/08/2023, doi: 10.26689/jwa.v7i5.5439.

[4] J. Li and X. Chen. Design and mechanical properties of U-section precast concrete box culverts. Tunnelling and Underground Space Technology, vol. 127, p. 104572, 09/01/2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2022.104572>.

[5] Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 11823:2017 - Tiêu chuẩn thiết kế cầu đường bộ, Hà Nội, 2017.

[6] LRFD Bridge design specifications 9th Edition AASHTO, Washington, 2020.

[7] Bộ Xây dựng. Thông tư 12/2021/TT-BXD ngày 31/8/2021 về ban hành định mức xây dựng, 2021.

[8] UBND TP Huế. Quyết định số 4006/QĐ-UBND ngày 29/12/2025 về việc công bố đơn giá nhân công xây dựng để lập và quản lý chi phí đầu tư xây dựng công trình trên địa bàn thành phố Huế, 2025.

[9] UBND TP Huế. Quyết định số 4054/QĐ-UBND ngày 30/12/2025 về việc công bố Bảng giá ca máy và thiết bị thi công xây dựng công trình trên địa bàn thành phố Huế, 2025.