

Case Study Applying Six Sigma to Reduce Defects of DC Recessed LED Downlight

Chinh Le¹, Khắc Hiếu Nguyen^{1*}, Duc Sinh Hoang²

¹Ho Chi Minh City University of Technology and Engineering, Vietnam

²International University, VNU-HCM, Vietnam

*Corresponding author. Email: hieunk@hcmute.edu.vn

ARTICLE INFO

Received: 25/02/2026
Revised: 06/04/2026
Accepted: 05/06/2026
Online First: 03/07/2026
Published:

KEYWORDS

DMAIC;
LED downlight;
FMEA;
Six Sigma;
Defect rate.

ABSTRACT

This study applies the DMAIC process to improve the defect rate of DC recessed LED downlights at Company X. The author used quality management tools, including the fishbone diagram, the 5 Whys method, and FMEA analysis, to identify the root causes of major defects. The analysis is based on assessments of the R&D team leader, production team leader, and QA and QC staffs. Analysis results showed that no-light or flickering defects accounted for the highest proportion, 61.67% of the total defects. After analyzing root causes and implementing improvement solutions, such as standardizing welding techniques, adding voltage-testing stations, performing tensile testing, and improving wire-holding jigs, the no-light or flickering defect rate decreased from 9.87% to 3.00%. The Sigma level of the process increased from 3.6 to 4.0, resulting in a more stable and efficient operation. The study confirms the effectiveness of applying the DMAIC method in enhancing production capacity and competitiveness for businesses in the lighting equipment sector.

Nghiên cứu tình huống áp dụng Six Sigma để giảm lỗi của đèn LED Downlight âm trần DC

Lê Chính¹, Nguyễn Khắc Hiếu^{1*}, Hoàng Đức Sinh²

¹Trường Đại học Công nghệ Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

²Trường Đại học Quốc tế, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

*Tác giả liên hệ. Email: hieunk@hcmute.edu.vn

THÔNG TIN BÀI BÁO

Ngày nhận bài: 25/02/2026
Ngày hoàn thiện: 06/04/2026
Ngày chấp nhận đăng: 05/06/2026
Ngày đăng trực tuyến: 03/07/2026
Ngày đăng:

TỪ KHÓA

DMAIC;
Đèn LED;
FMEA;
6 Sigma;
Tỷ lệ lỗi.

TÓM TẮT

Nghiên cứu này tập trung vào việc áp dụng phương pháp DMAIC để cải thiện tỷ lệ lỗi của bộ đèn LED Downlight âm trần DC tại công ty X. Tác giả đã sử dụng các công cụ quản lý chất lượng như biểu đồ xương cá, phương pháp 5 Whys và phân tích FMEA để nhận diện các nguyên nhân gốc rễ gây ra các lỗi chính. Việc phân tích dựa trên ý kiến của trưởng nhóm R&D, tổ trưởng sản xuất và các nhân viên QA và QC. Kết quả phân tích cho thấy, lỗi không sáng hoặc chớp tắt chiếm tỷ trọng cao nhất, 61,67% tổng số lỗi. Sau khi phân tích các nguyên nhân gốc rễ và triển khai các giải pháp cải tiến như chuẩn hóa kỹ thuật hàn, bổ sung trạm kiểm tra điện áp, kiểm tra lực kéo và cải tiến Jig giữ dây, tỷ lệ lỗi không sáng hoặc chớp tắt giảm từ 9,87% xuống còn 3,00%. Chỉ số Sigma của quy trình tăng từ 3,6 lên 4,0, giúp quy trình vận hành ổn định và hiệu quả hơn. Nghiên cứu khẳng định hiệu quả của việc ứng dụng phương pháp DMAIC trong việc nâng cao năng lực sản xuất và tính cạnh tranh cho doanh nghiệp trong lĩnh vực thiết bị chiếu sáng.

Doi: <https://doi.org/10.54644/jte.2026.2105>

Copyright © JTE. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium for non-commercial purpose, provided the original work is properly cited.

1. Giới thiệu

Trong bối cảnh thị trường chiếu sáng dân dụng ngày càng cạnh tranh, chất lượng sản phẩm, chi phí sản xuất và định hướng phát triển bền vững trở thành những yếu tố then chốt quyết định năng lực cạnh tranh của doanh nghiệp [1], [2]. Đối với ngành sản xuất thiết bị chiếu sáng, đặc biệt là các sản phẩm đèn LED, yêu cầu về tuổi thọ, hiệu suất chiếu sáng và mức tiêu hao năng lượng ngày càng được khách hàng và thị trường quan tâm. Do đó, việc kiểm soát lỗi trong quá trình sản xuất không chỉ đảm bảo chất lượng đầu ra mà còn góp phần giảm chi phí vận hành, hạn chế lãng phí nguồn lực và nâng cao uy tín thương hiệu.

Công ty X là doanh nghiệp chuyên sản xuất bóng đèn dân dụng tại Việt Nam, trong đó bộ đèn LED Downlight âm trần DC là một trong những dòng sản phẩm chủ lực. Tuy nhiên, trong quá trình sản xuất, sản phẩm này vẫn phát sinh một số lỗi lặp lại như không sáng, chớp tắt, ánh sáng sai màu hoặc bong keo. Các lỗi này không chỉ làm gia tăng chi phí kiểm tra, sửa chữa và tái sản xuất, mà còn ảnh hưởng trực tiếp đến độ tin cậy của sản phẩm và sự hài lòng của khách hàng. Trong đó, lỗi không sáng thường dẫn đến việc sản phẩm bị loại hoặc trả về ngay tại công đoạn kiểm tra đầu ra. Lỗi chớp tắt có thể khó phát hiện trong điều kiện kiểm tra nhanh nhưng lại gây khó chịu cho người sử dụng và tiềm ẩn rủi ro về sức khỏe thị giác khi sản phẩm vận hành trong thời gian dài.

Việc cải thiện tỷ lệ lỗi có mối liên hệ trực tiếp với mục tiêu sản xuất bền vững. Khi tỷ lệ lỗi giảm, doanh nghiệp có thể hạn chế lượng phế phẩm, giảm tiêu hao nguyên vật liệu, tiết kiệm điện năng cho các công đoạn kiểm tra và tái gia công, đồng thời giảm phát sinh chất thải trong quá trình sản xuất. Bên cạnh đó, sản phẩm đạt chất lượng ổn định ngay từ đầu giúp kéo dài tuổi thọ sử dụng, giảm nhu cầu bảo hành, thay thế và thu hồi sản phẩm sau bán hàng. Vì vậy, cải tiến chất lượng không chỉ mang lại lợi ích kinh tế thông qua việc giảm chi phí sai lỗi, mà còn tạo ra giá trị môi trường và xã hội thông qua việc sử dụng hiệu quả hơn các nguồn lực sản xuất. Trong bối cảnh doanh nghiệp ngày càng chịu áp lực về việc đáp ứng các tiêu chuẩn xanh và yêu cầu phát triển bền vững, việc giảm tỷ lệ lỗi trong sản xuất đèn LED là một hướng tiếp cận quan trọng để đồng thời nâng cao năng suất, chất lượng và trách nhiệm môi trường.

Để giải quyết các lỗi mang tính hệ thống và biến thiên theo quá trình này, nghiên cứu đã áp dụng phương pháp Six Sigma, sử dụng khung phân tích DMAIC (Define–Measure–Analyze–Improve–Control) để tìm ra nguyên nhân gốc rễ và đề xuất giải pháp giải quyết vấn đề. DMAIC là một phương pháp cải tiến định lượng, nhấn mạnh việc xác định vấn đề dựa trên dữ liệu, đo lường hiệu năng quá trình, phân tích nguyên nhân gốc rễ, triển khai cải tiến và kiểm soát quá trình sản xuất [3]. DMAIC được sử dụng phổ biến trong quá trình cải tiến chất lượng sản phẩm và quá trình sản xuất [4], [5]. Dựa trên khung phân tích DMAIC, nghiên cứu này đã sử dụng các công cụ quản lý chất lượng như biểu đồ Pareto, biểu đồ xương cá, phương pháp 5 Whys và phân tích FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) để nhận diện các nguyên nhân gốc rễ gây ra sai lỗi. Dựa trên nguyên nhân gốc rễ, tác giả đề xuất các giải pháp nhằm giảm lỗi không sáng và chớp tắt của sản phẩm.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Lý thuyết về Six Sigma

Six Sigma được định nghĩa là một hệ thống các phương pháp quản trị giúp giảm thiểu sai lỗi bằng cách tập trung vào việc giảm thiểu sự biến động trong các quy trình sản xuất dựa trên dữ liệu và thống kê chuyên sâu [5]. Về mặt phương pháp luận, Six Sigma không chỉ là một công cụ kiểm soát chất lượng mà còn là một chiến lược cải tiến đột phá giúp tổ chức đạt được hiệu quả hoạt động tối ưu bằng cách loại bỏ các biến số gây ra sự mất ổn định [6]. Mục tiêu cốt lõi của Six Sigma là đưa mức sai sót của quy trình xuống còn 3,4 lỗi trên mỗi triệu cơ hội (DPMO), một ngưỡng chất lượng tương đương với sự hoàn hảo gần như tuyệt đối [3], [4]. Trong bối cảnh sản xuất thiết bị điện tử có độ chính xác cao như bộ đèn LED Downlight, việc kiểm soát độ biến thiên của quy trình là yếu tố sống còn để đảm bảo tính đồng nhất về quang thông, công suất và tuổi thọ sản phẩm. Việc áp dụng Six Sigma giúp doanh nghiệp chuyển đổi từ cách quản lý dựa trên kinh nghiệm chủ quan sang quản lý dựa trên dữ liệu định lượng, từ đó nhận diện chính xác các "nút thắt" chất lượng và loại bỏ các lãng phí hữu hình như phế phẩm cũng như lãng phí vô hình như thời gian sửa chữa [7], [8].

2.2. Phương pháp DMAIC

Trong nghiên cứu cải tiến chất lượng, DMAIC (Define – Measure – Analyze – Improve – Control) được xem là phương pháp luận cốt lõi của Six Sigma, hỗ trợ tổ chức giải quyết vấn đề theo một trình tự logic và có hệ thống. Theo Wang và cộng sự (2025), DMAIC đóng vai trò như một khung phương pháp luận chuẩn hóa, cho phép doanh nghiệp thực hiện cải tiến một cách định lượng và bền vững [3].

Giai đoạn xác định (*Define*) là bước khởi đầu của mô hình DMAIC, đóng vai trò định hướng cho toàn bộ quá trình cải tiến. Mục tiêu của giai đoạn này là xác định rõ vấn đề cần giải quyết. Việc định nghĩa chính xác ngay từ đầu giúp đảm bảo các hoạt động cải tiến tập trung vào những vấn đề tạo ra giá trị thực sự và tránh lãng phí nguồn lực [7].

Giai đoạn đo lường (*Measure*) trong mô hình DMAIC đóng vai trò then chốt trong việc xác định hiện trạng của quy trình và thu thập dữ liệu định lượng làm cơ sở cho các bước phân tích tiếp theo. Theo Srinivasan và cộng sự (2016), mục tiêu chính của giai đoạn này là đo lường hiệu suất hiện tại của quy trình [9] thông qua các chỉ số đặc trưng, qua đó phản ánh mức độ ổn định và khả năng kiểm soát chất lượng của hệ thống sản xuất. Giai đoạn phân tích (*Analysis*) trong mô hình DMAIC giữ vai trò then chốt, vì đây là bước tập trung vào việc xác định các nguyên nhân gốc rễ gây ra sai lỗi trong quy trình. Trong khi hai giai đoạn Define và Measure chủ yếu nhằm xác định vấn đề và thu thập dữ liệu, thì ở giai đoạn Analysis, các dữ liệu này được xử lý và phân tích để làm rõ mối quan hệ giữa các yếu tố đầu vào và kết quả đầu ra của quá trình [10].

Giai đoạn cải tiến (*Improve*) trong mô hình DMAIC được xem là bước mang tính quyết định, nơi các nguyên nhân gốc rễ đã được xác định ở giai đoạn trước được xử lý thông qua những giải pháp cụ thể và có khả năng triển khai trong thực tế sản xuất. Mục tiêu của giai đoạn này không chỉ dừng lại ở việc khắc phục các lỗi đã xảy ra, mà còn hướng tới việc thiết lập các cải tiến mang tính bền vững nhằm giảm thiểu nguy cơ tái diễn sự cố trong tương lai [3]. Giai đoạn kiểm soát (*Control*) đóng vai trò là chốt chặn cuối cùng trong chu trình DMAIC, tập trung vào việc giám sát chặt chẽ và duy trì các thành quả cải tiến đã được triển khai nhằm ngăn ngừa sự tái diễn của các nguyên nhân gốc rễ, đồng thời bảo đảm quy trình vận hành ổn định trong dài hạn [6].

2.3. Một số phương pháp khác

Cùng với phương pháp DMAIC để giải quyết vấn đề tác giả có kết hợp sử dụng thêm các công cụ như biểu đồ Pareto, biểu đồ xương cá, phương pháp 5 Whys, và FMEA. Biểu đồ Pareto là công cụ trực quan được sử dụng để xác định và sắp xếp các dạng lỗi theo mức độ ảnh hưởng hoặc tần suất xuất hiện, từ đó giúp nhóm cải tiến tập trung nguồn lực vào những vấn đề trọng yếu nhất. Trong nghiên cứu cải tiến quy trình, biểu đồ Pareto thường được sử dụng ở giai đoạn Define hoặc Measure của DMAIC nhằm nhận diện lỗi ưu tiên cần xử lý. Biểu đồ Pareto là công cụ hữu ích trong các dự án cải tiến chất lượng vì hỗ trợ nhóm nghiên cứu xác định vấn đề trọng tâm và định hướng hành động cải tiến dựa trên dữ liệu [11].

Biểu đồ xương cá, hay còn gọi là biểu đồ nhân quả, là công cụ hỗ trợ phân tích các nguyên nhân tiềm ẩn dẫn đến một vấn đề chất lượng cụ thể. Công cụ này thường phân loại nguyên nhân theo các nhóm như con người, máy móc, phương pháp, nguyên vật liệu, đo lường và môi trường, giúp nhóm nghiên cứu nhìn nhận vấn đề một cách hệ thống thay vì chỉ tập trung vào biểu hiện bên ngoài. Trong khuôn khổ DMAIC, biểu đồ xương cá thường được sử dụng ở giai đoạn Analyze để hình thành danh sách nguyên nhân giả định trước khi kiểm chứng bằng dữ liệu hoặc phương pháp chuyên sâu hơn. Biểu đồ xương cá giúp tổ chức ý tưởng cải tiến và hỗ trợ nhóm phân tích tập trung vào nguyên nhân gốc rễ thay vì triệu chứng của vấn đề [12].

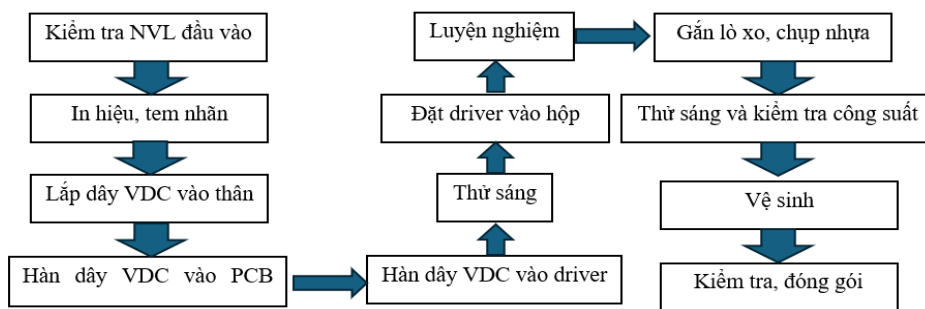
Phương pháp 5 Whys là kỹ thuật phân tích nguyên nhân gốc rễ bằng cách đặt liên tiếp câu hỏi “Tại sao?” đối với một sự cố hoặc lỗi chất lượng. Mục tiêu của phương pháp này là đi từ hiện tượng ban đầu đến nguyên nhân sâu xa có khả năng kiểm soát hoặc cải tiến được. Việc mở rộng kỹ thuật 5 Whys theo hướng có hệ thống giúp nâng cao hiệu quả phân tích nguyên nhân gốc rễ, nhất là khi xem xét đồng thời yếu tố con người, hệ thống và điều kiện phát sinh lỗi [13].

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) là phương pháp phân tích dạng lỗi và tác động của lỗi nhằm nhận diện, đánh giá và ưu tiên các rủi ro có thể xảy ra trong sản phẩm hoặc quy trình. Trong FMEA truyền thống, mức độ rủi ro thường được xác định thông qua chỉ số RPN, được tính từ ba yếu tố: mức độ nghiêm trọng của lỗi, tần suất xuất hiện và khả năng phát hiện lỗi. Công cụ này đặc biệt phù hợp với giai đoạn Analyze và Improve trong DMAIC vì giúp nhóm cải tiến lựa chọn các nguyên nhân cần xử lý trước, dựa trên mức độ rủi ro định lượng [14].

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Giai đoạn xác định

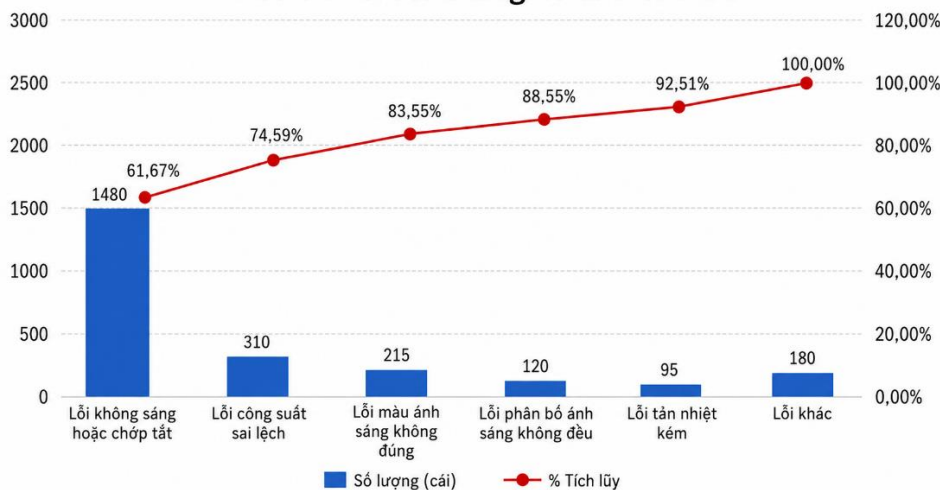
Các lỗi của đèn LED xảy ra trong Quy trình sản xuất. Đầu tiên, nguyên liệu đầu vào được kiểm tra, tiếp theo là in hiệu và dán tem, kế đến là lắp VDC vào thân, tiếp theo là hàn dây. Sản phẩm tiếp tục được đi qua các quy trình khác trước khi kết thúc tại khâu kiểm tra và đóng gói. Hình 1 trình bày chi tiết về quy trình sản xuất đèn LED.



Hình 1. Quy trình sản xuất đèn LED.

Để xác định các lỗi trọng yếu, tác giả đã sử dụng biểu đồ Pareto, phân tích dữ liệu lỗi của Quý II/2025. Từ biểu đồ Pareto (Hình 2), tác giả xác định được lỗi "không sáng hoặc chớp tắt" là lỗi có tần suất nhiều nhất, khi chiếm tới 61,67% tổng số lỗi. Đây là lỗi ảnh hưởng nghiêm trọng đến chất lượng sản phẩm so với 2 lỗi tiếp theo đó là lỗi sai công suất và lỗi màu ánh sáng không đúng. Ngoài ra, 2 lỗi tiếp theo mỗi lỗi chỉ chiếm khoảng 10% trong tổng số lỗi. Do đó nhóm nghiên cứu, lựa chọn lỗi không sáng hoặc chớp tắt là lỗi ưu tiên cần được giải quyết và cải tiến chất lượng sản phẩm.

Biểu đồ Pareto thống kê các lỗi chính



Hình 2. Biểu đồ Pareto số lỗi xảy ra tại trạm kiểm tra thông số kỹ thuật và thử sáng trong Quý II/2025.

Dựa trên kết quả đo lường hiện trạng, tỷ lệ sai lỗi phát sinh trong quy trình sản xuất bộ đèn LED Downlight âm trần DC ở mức 7,9%. Với tỷ lệ lỗi này, Công ty X đang phải đối mặt với những lãng phí không đáng có về cả thời gian sản xuất, chi phí nguyên vật liệu tiêu hao và nguồn lực nhân sự phục vụ

cho các công đoạn kiểm tra, chỉnh sửa lỗi nhằm đảm bảo chất lượng đầu ra đạt chuẩn trước khi đến tay người tiêu dùng. Do đó, nhóm nghiên cứu đã thực hiện dự án áp dụng Six Sigma với khung phân tích DMAIC để cải tiến giảm tỷ lệ lỗi không sáng hoặc chớp tắt.

3.2. Giai đoạn đo lường

3.2.1. Đo lường mức Sigma

Để đánh giá hiệu suất chất lượng hiện tại, tác giả sử dụng chỉ số lỗi trên triệu cơ hội (DPMO) và giá trị Sigma – thước đo tiêu chuẩn trong quản trị chất lượng hiện đại [15]. Dữ liệu được thu thập từ 15.000 sản phẩm trong lô sản xuất thực tế, với 5 cơ hội lỗi trọng yếu tại các công đoạn: hàn dây, gắn PCB, kiểm tra quang thông, đóng driver và lắp chụp nhựa. Áp dụng công thức tính DPMO:

$$DPMO = \frac{\text{Tổng số lỗi}}{\text{Tổng số đơn vị} \times \text{Số cơ hội lỗi mỗi đơn vị}} \times 1.000.000 \quad (1)$$

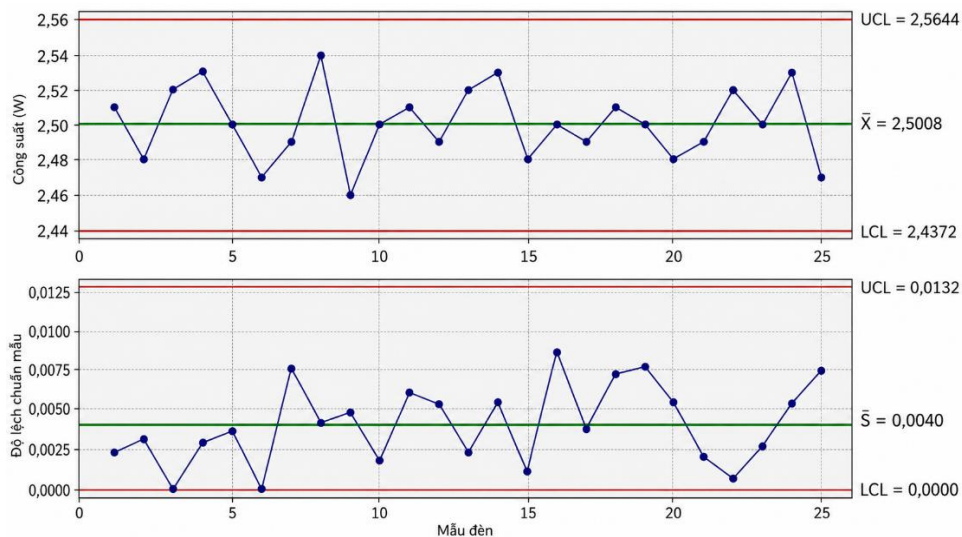
Với tổng số 1.480 lỗi ghi nhận trên 15.000 sản phẩm, kết quả DPMO là 19.733 lỗi. Dựa trên giá trị DPMO, mức Sigma của quy trình được xác định bằng công thức chuyển đổi.

$$\text{Sigma} = \text{NORMSINV} \left(1 - \frac{DPMO}{1.000.000} \right) + 1,5 = 3,56 \quad (2)$$

Với giá trị Sigma là 3,56, quy trình sản xuất đèn LED Downlight tại nhà máy hiện ở mức trung bình - khá. Tuy nhiên, với một sản phẩm thiết bị điện tử đòi hỏi độ tin cậy cao, tỷ lệ 19.733 lỗi trên mỗi triệu cơ hội vẫn là con số đáng báo động, đặc biệt khi các lỗi chức năng như không sáng hoặc chớp tắt chiếm tỷ trọng lớn nhất là 9,87%.

3.2.2. Đánh giá độ ổn định qua biểu đồ kiểm soát X-S

Để đánh giá khả năng duy trì chất lượng, nhóm cải tiến đã thiết lập biểu đồ kiểm soát X-S cho thông số công suất [16]. Công suất tiêu chuẩn là 2,5 W ± 10%. Hình 3 trình bày dữ liệu thu thập từ 25 mẫu được xử lý và phân tích bằng biểu đồ kiểm soát.



Hình 3. Biểu đồ kiểm soát công suất đèn LED Downlight âm trần DC.

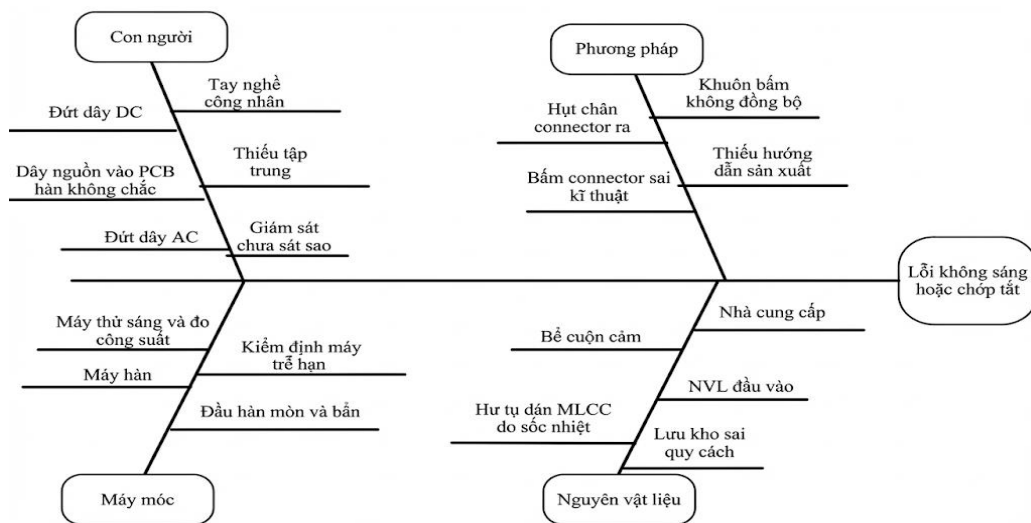
Với biểu đồ X, giá trị trung bình đạt 2,5008 W (nằm trong giới hạn kiểm soát LCL = 2,4372 W và UCL = 2,5644 W). Quy trình cho thấy sự ổn định về mặt giá trị trung bình. Với biểu đồ S, độ lệch chuẩn trung bình S đạt 0,0040. Tuy nhiên, xuất hiện sự dao động tại một số điểm dữ liệu, phản ánh sự không đồng nhất trong thao tác kỹ thuật của công nhân hoặc sự biến thiên của vật tư đầu vào. Kết quả phân tích biểu đồ kiểm soát S cho thấy không xuất hiện điểm dữ liệu vượt quá giới hạn kiểm soát trên hoặc dưới. Tuy nhiên, một số điểm có mức dao động tăng giảm rõ rệt so với đường trung tâm, cho thấy độ

phân tán của quá trình chưa thật sự ổn định. Xét theo các mẫu hình bất thường thường dùng trong phân tích biểu đồ kiểm soát, hiện tượng này phù hợp với mẫu hình “dao động bất thường” hoặc “biến động không ngẫu nhiên của độ phân tán”, thay vì mẫu hình vượt giới hạn kiểm soát. Điều này hàm ý rằng quá trình chưa mất kiểm soát nghiêm trọng, nhưng vẫn tồn tại các nguồn biến thiên đặc biệt ảnh hưởng đến độ ổn định của công suất đèn LED.

3.3. Giai đoạn phân tích

3.3.1. Nhận diện nguyên nhân tiềm ẩn qua Biểu đồ Xương cá

Nhóm nghiên cứu đã xây dựng biểu đồ xương cá để hệ thống hóa các tác nhân gây lỗi theo 4 nhóm yếu tố (4M) bao gồm: con người, máy móc, nguyên vật liệu và phương pháp [17]. Qua quá trình quan sát thực tế tại dây chuyền, các nguyên nhân tiềm năng của 4 nhóm này đã được xác định. Đối với yếu tố con người, tay nghề công nhân không đồng nhất, thiếu tập trung, thiếu giám sát là các nguyên nhân dẫn đến đứt dây AC, đứt dây DC, dây hàn không chắc từ đó dẫn đến lỗi không sáng hoặc chớp tắt. Hình 4 trình bày các nguyên nhân tìm ẩn dẫn đến lỗi chính này.



Hình 4. Biểu đồ xương cá nguyên nhân dẫn đến lỗi không sáng hoặc chớp tắt.

3.3.2. Định lượng rủi ro bằng phân tích FMEA

Để xếp hạng mức độ ưu tiên xử lý, phương pháp FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) được áp dụng. Chỉ số ưu tiên rủi ro (RPN) được tính toán theo công thức: $RPN = S \times O \times D$. Trong đó, S (Severity) là mức độ nghiêm trọng; O (Occurrence) là tần suất xảy ra; D (Detection) là khả năng phát hiện lỗi [18]. Bảng 1 trình bày kết quả phân tích FMEA của các lỗi tiềm năng.

Bảng 1. Phân tích FMEA cho lỗi không sáng hoặc chớp tắt.

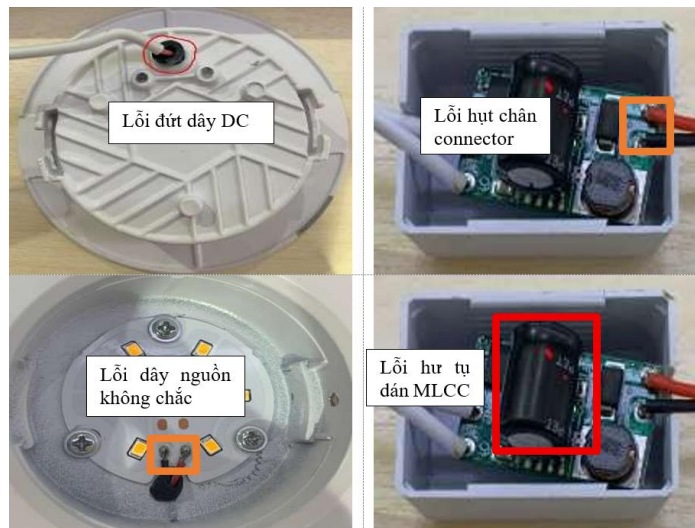
STT	Nguyên nhân ghi nhận	Nhóm nguyên nhân	Tác động của lỗi	S	O	Phương pháp kiểm tra	D	RPN = S × O × D
1	Đứt dây DC	Con người	Đèn không sáng, sản phẩm bị loại tại công đoạn thử sáng	7	5	Kiểm tra ngoại quan và thử sáng cuối chuyên	6	210
2	Hụt chân connector DC ra	Phương pháp	Kết nối điện không ổn định, làm đèn không sáng hoặc chớp tắt	8	4	Quan sát bằng mắt và thử sáng cuối chuyên	6	192
3	Dây nguồn vào PCB hàn không chắc	Con người	Mối nối điện chập chờn, gây lỗi chớp tắt hoặc không sáng	6	5	Kiểm tra ngoại quan và thử sáng, chưa kiểm tra kéo	5	150

4	Hư tụ dán MLCC (do sốc nhiệt khi hàn)	Nguyên vật liệu	Linh kiện suy giảm chức năng, ảnh hưởng đến mạch driver, gây mất ổn định dòng điện cấp cho LED	7	3	Thử sáng và kiểm tra công suất cuối chuyên	6	126
5	Bề cuộn cảm do va đập	Nguyên vật liệu	Mạch driver hoạt động không ổn định, có thể làm đèn không sáng hoặc giảm độ tin cậy	6	4	Kiểm tra ngoại quan linh kiện và thử sáng cuối chuyên	4	96
6	Đứt dây AC	Con người	Không cấp được nguồn đầu vào cho driver, làm đèn không sáng	6	3	Kiểm tra ngoại quan dây dẫn và thử sáng cuối chuyên	5	90
7	Dây nguồn vào bị bấm connector sai kỹ thuật	Phương pháp	Tiếp xúc điện kém, gây chập chờn nguồn điện đầu vào	5	3	Quan sát bằng mắt sau bấm connector	5	75
8	Lỗi IC không cấp điện ra LED	Nguyên vật liệu	Driver không cấp dòng ra LED, làm đèn không sáng	7	2	Thử sáng cuối chuyên	4	56
9	Đầu hàn mòn và bẩn	Máy móc	Truyền nhiệt không ổn định, làm mối hàn kém chất lượng	3	3	Quan sát ngoại quan đầu hàn trong quá trình thao tác	2	18

Kết quả FMEA chỉ ra 04 nguyên nhân trọng yếu có chỉ số RPN vượt trội (từ 126 đến 210). Đây là các mất xích yếu nhất trong quy trình, trực tiếp gây ra sự mất ổn định chất lượng và cần được đi sâu phân tích gốc rễ.

3.3.3. Xác định nguyên nhân gốc rễ bằng phương pháp 5 Whys

Vận dụng phương pháp "5 Whys" [13] được triển khai để đào sâu bản chất của 4 nguyên nhân hàng đầu. Hình 5 minh họa 4 nguyên nhân chính dẫn đến lỗi đèn không sáng hoặc chập tắt.



Hình 5. Các lỗi chính dẫn đến đèn không sáng hoặc chập tắt.

Đầu tiên là phân tích 5 Whys với lỗi đứt dây DC (RPN 210). Tại sao dây DC bị đứt sau khi đèn đã hoàn tất lắp ráp và đưa vào thử sáng? Vì đoạn dây DC sau khi hàn vào bảng mạch dễ bị tách rời khi có tác động cơ học nhẹ, cho thấy mối nối không đủ độ bền. Tại sao mối hàn không bền vững và dễ bong? Vì công nhân thao tác chưa đúng kỹ thuật, dẫn đến việc dây chỉ được hàn tiếp xúc bề mặt thay vì xuyên

qua lỗi hàn như yêu cầu. Tại sao công nhân không thực hiện đúng thao tác kỹ thuật? Vì chưa được đào tạo chuyên sâu về tiêu chuẩn kỹ thuật hàn dây DC hoặc thiếu sự giám sát chất lượng trong công đoạn hàn. Tại sao công đoạn hàn không được kiểm tra kỹ lưỡng sau thao tác? Vì hiện tại chưa có bước kiểm tra kéo thử hoặc kiểm tra bằng công cụ sau khi hàn dây DC, dẫn đến việc các lỗi hàn yếu không được phát hiện trước khi chuyển sang công đoạn tiếp theo. Tại sao không có bước kiểm tra độ bền mỗi hàn? Vì quy trình sản xuất chưa được chuẩn hóa đầy đủ, các biện pháp kiểm tra vật lý vẫn đang phụ thuộc nhiều vào kinh nghiệm công nhân và không có công cụ đo lường định lượng. Từ các phân tích trên ta có thể đi đến kết luận, đứt dây DC xuất phát từ thao tác hàn không đạt yêu cầu kỹ thuật và thiếu quy trình kiểm tra sau hàn là một trong những nguyên nhân chính gây ra lỗi đèn không sáng hoặc chớp tắt. Nguyên nhân này hoàn toàn có thể được cải thiện tại chuyên thông qua việc chuẩn hóa quy trình hàn và bổ sung bước kiểm tra sau thao tác nhằm đảm bảo độ tin cậy cho kết nối điện trong sản phẩm.

Phân tích 5 Whys tương tự cho các lỗi khác, đối với lỗi hụt chân connector (RPN 192), nguyên nhân chính là do thao tác bấm connector mang tính thủ công và thiếu thiết bị hỗ trợ kiểm tra lực nhấn tiêu chuẩn. Sai sót này thường bị bỏ qua vì quy trình thiếu bước đo điện áp đầu ra sau khi lắp đặt. Đối với lỗi hàn PCB kém bền (RPN 150), nguyên nhân chính xuất phát từ việc thiếu các jig cố định dây chuyên dụng. Trong quá trình hàn tay, việc rung lắc dây dẫn làm giảm độ bám của thiếc trên pad đồng, tạo ra các kết nối chập chờn. Cuối cùng, lỗi hư tụ MLCC (RPN 126) là do hiện tượng sốc nhiệt xảy ra do nhiệt độ mỏ hàn không được hiệu chuẩn định kỳ. Người vận hành thường điều chỉnh theo cảm quan, dẫn đến nhiệt lượng vượt ngưỡng chịu đựng của tụ gốm nhạy cảm.

3.3.4. Lựa chọn đối sách cải tiến (Mô hình Q-C-T)

Từ việc phân tích nguyên nhân gốc rễ nhóm nghiên cứu đã đề xuất các giải pháp cho các nguyên nhân gốc rễ. Việc lựa chọn giải pháp cho các nguyên nhân chính cần cân bằng giữa 3 yếu tố: Chất lượng (Quality - Q), Chi phí (Cost - C) và Thời gian (Time - T) [19]. Hiệu quả giải pháp được đánh giá bằng tích của 3 chỉ số trên. Việc đánh giá và cho điểm các phương án cải tiến được thực hiện bởi nhóm chuyên gia nội bộ gồm trưởng nhóm R&D sản phẩm đèn LED Downlight, tổ trưởng sản xuất, nhân viên QA/QC và đại diện kỹ thuật bảo trì. Đây là các nhân sự trực tiếp tham gia vào quá trình thiết kế sản phẩm, vận hành dây chuyền, kiểm soát chất lượng và xử lý lỗi tại hiện trường. Mỗi thành viên trong nhóm đánh giá cho điểm độc lập từng phương án theo thang điểm từ 1 đến 5 đối với ba tiêu chí Q, C và T. Điểm cuối cùng của từng tiêu chí được xác định bằng giá trị trung bình làm tròn của các thành viên đánh giá. Bảng 2 trình bày kết quả đánh giá của nhóm nghiên cứu đối với các giải pháp đề xuất.

Bảng 2. Đánh giá và lựa chọn đối sách cải tiến.

STT	Nguyên nhân chính	Đối sách khắc phục	Q	C	T	Hiệu quả (Q×C×T)
1	Đứt dây DC (Con người)	Đào tạo kỹ thuật hàn đúng chuẩn, kiểm tra bằng thao tác kéo nhẹ	5	5	3	75
		Tăng tần suất giám sát công đoạn hàn dây	3	3	2	18
		Thay đổi loại dây DC có lớp bảo vệ lõi dây tốt hơn	4	2	2	16
2	Hụt chân connector DC ra (Phương pháp)	Bổ sung bước test điện áp đầu ra, QC kiểm 100%	3	5	5	75
		Sửa lại thiết kế khuôn bấm để tăng độ chính xác	5	2	2	20
		Trang bị robot bấm tự động thay cho thao tác thủ công	5	1	1	5
3	Dây nguồn vào PCB hàn không chắc (Con người)	Cải tiến jig hàn, kiểm tra bằng phương pháp test kéo	5	3	5	75
		Bổ sung lớp phủ bảo vệ điểm hàn để tăng độ bền	4	2	2	16

		Lắp thêm đèn chiếu sáng hỗ trợ thao tác tại vị trí hàn	3	3	2	18
4	Hư tụ dán MLCC do sốc nhiệt (Nguyên vật liệu)	Kiểm soát nhiệt độ đầu hàn (không quá 350°C).	5	5	3	75
		Vệ sinh đầu hàn định kỳ để đảm bảo truyền nhiệt ổn định	4	2	2	16
		Tự động hóa công đoạn hàn tụ bằng máy thay cho hàn tay	5	1	2	10

Từ phân tích trên, nhóm nghiên cứu lựa chọn 4 giải pháp có điểm cao nhất của 4 nhóm nguyên nhân. Các giải pháp được lựa chọn đều đạt chỉ số hiệu quả cao (75 điểm), cho thấy tính khả thi về mặt tài chính và khả năng triển khai nhanh chóng tại nhà máy mà không cần đầu tư quá lớn vào tự động hóa ngay lập tức. Đối với lỗi đứt dây DC, cần đào tạo kỹ thuật hàn và sau khi hàn cần kiểm tra kéo nhẹ dây có mối hàn. Đối với lỗi hút chân connector, cần bổ sung trạm kiểm tra điện áp và kiểm tra 100% sản phẩm sau khi hàn. Đối với lỗi hàn PCB không chắc, cần cải tiến Jig hàn và kéo cơ học để kiểm tra. Đối với lỗi hư tụ MLCC, cần kiểm tra nhiệt độ đầu hàn không vượt quá 350°C.

3.4. Giai đoạn cải tiến

Nhằm khắc phục triệt để lỗi đứt dây DC và mối hàn PCB không chắc, nhóm nghiên cứu đã tiến hành thay đổi phương pháp hàn từ hàn tiếp xúc bề mặt sang kỹ thuật hàn xuyên tâm (Through-hole soldering). Về mặt kỹ thuật, dây dẫn phải được xỏ qua lỗ pad đồng trước khi châm thiếc, đảm bảo diện tích tiếp xúc tối đa và độ bám cơ học chắc chắn. Đối với quy chuẩn kiểm tra, cần bổ sung bước "kiểm tra lực kéo nhẹ" (Pull-test) ngay sau khi hàn. Công nhân được hướng dẫn dùng một lực khoảng 5N - 10N để xác nhận độ dính của mối hàn. Nếu mối hàn bị bong hoặc dây bị tuột, sản phẩm sẽ được xử lý lại ngay tại trạm, ngăn chặn lỗi chảy sang các công đoạn sau.

Để xử lý lỗi hút chân connector và lỗi hàn không đều, một hệ thống Jig chuyên dụng đã được thiết kế lại để giữ cố định PCB và dây dẫn trong suốt quá trình thao tác. Jig được bổ sung các rãnh định vị giúp cố định dây nguồn DC vuông góc với bảng mạch, loại bỏ hiện tượng rung lắc tay khi công nhân thực hiện hàn. Ngoài ra, cần thiết lập một trạm đo điện áp nhanh sau khi bấm connector và trước khi đóng nắp hộp driver. Việc kiểm tra 100% điện áp đầu ra tại bước này đảm bảo rằng các trường hợp hút chân hoặc lỏng connector được phát hiện và khắc phục ngay lập tức, thay vì đợi đến bước cuối cùng.

Để giải quyết lỗi hư tụ dán MLCC do sốc nhiệt, nhóm cải tiến đã áp dụng quy trình quản lý thiết bị hàn nghiêm ngặt. Đầu tiên cần giới hạn nhiệt độ hàn. Ban hành quy định nhiệt độ mỏ hàn không được vượt quá 350°C cho các công đoạn gắn linh kiện MLCC. Việc kiểm tra nhiệt độ đầu mỏ hàn được thực hiện định kỳ vào đầu mỗi ca sản xuất bằng máy đo nhiệt độ kỹ thuật số. Ngoài ra, cần xem xét việc sử dụng tụ MLCC có dải chịu nhiệt rộng hơn hoặc bổ sung lớp nhựa bảo vệ tại các điểm nhạy cảm để giảm thiểu tác động nhiệt trực tiếp từ mỏ hàn.

Tất cả các thay đổi về mặt kỹ thuật và quy trình trên đều được cụ thể hóa vào bảng Hướng dẫn công việc (Work Instruction - WI) mới. Bổ sung hình ảnh minh họa thực tế về "Mối hàn đạt" và "Mối hàn lỗi" ngay tại vị trí thao tác để công nhân dễ dàng đối chiếu. Công ty tổ chức các buổi huấn luyện ngắn tại chuyên (OJT) cho đội ngũ công nhân về kỹ thuật hàn xuyên tâm và cách sử dụng Jig hỗ trợ. Việc đào tạo này hướng đến việc giảm thiểu sự phụ thuộc vào kinh nghiệm cá nhân và hướng tới sự đồng nhất trong thao tác sản xuất.

3.5. Giai đoạn kiểm soát

3.5.1. Thiết lập kế hoạch kiểm soát

Để duy trì năng lực quy trình ở mức 4,0 sigma và đảm bảo tính bền vững của các giải pháp, nhóm dự án đã ban hành Kế hoạch kiểm soát chi tiết. Các thông số kỹ thuật được giám sát chặt chẽ tại từng công đoạn nhạy cảm nhất của dây chuyền lắp ráp đèn LED Downlight (Bảng 3).

Bảng 3. Kế hoạch kiểm soát quy trình sản xuất sau cải tiến.

Công đoạn	Đặc tính kiểm soát	Tiêu chuẩn kỹ thuật	Phương pháp kiểm tra	Tần suất	Người thực hiện	Hành động khắc phục
Chuẩn bị thiết bị	Nhiệt độ đầu mỏ hàn	Dưới 350 độ C	Máy đo nhiệt độ kỹ thuật số	Đầu mỗi ca & Sau giờ nghỉ	Kỹ thuật viên	Hiệu chỉnh lại trạm hàn hoặc thay đầu hàn
Hàn dây DC vào PCB	Độ bền mối nối (Pull-test)	Chịu được lực kéo nhẹ 5N - 10N	Thao tác kéo thử thủ công	10 mẫu/giờ	Công nhân vận hành	Hàn lại ngay tại trạm và báo cáo tổ trưởng
Bấm Connector	Độ sâu chân kim	Connector cắm lút, không hở chân	Quan sát bằng mắt/Dùng Jig định vị	100% sản phẩm	Công nhân vận hành	Loại bỏ và bấm lại đầu nối mới
Kiểm tra trung gian	Điện áp đầu ra Driver	Theo thông số thiết kế của từng lô	Máy đo vạn năng (Multimeter)	100% (Trạm test nhanh)	Nhân viên kiểm thử	Tách riêng Driver lỗi để bảo hành/sửa chữa
Thử sáng (Final)	Công suất tiêu thụ	2,5 W ± 10% (2,25 W – 2,75 W)	Máy đo công suất LED kỹ thuật số	100%	Nhân viên QC	Phân loại lỗi và chuyển về trạm Analyze
Bảo trì máy móc	Độ mòn đầu hàn	Đầu hàn sạch, không bám thiếc cháy	Kiểm tra ngoại quan	Mỗi 02 giờ	Công nhân vận hành	Vệ sinh bằng bọt biển hoặc thay đầu hàn

3.5.2. Kết quả đo lường sau cải tiến

Sau 03 tháng triển khai đồng bộ các giải pháp, nhóm dự án tiến hành thu thập dữ liệu đối chứng trên 15.000 sản phẩm tiếp theo. Kết quả ghi nhận sự sụt giảm đáng kể của các khiếm khuyết trọng yếu. Số lỗi ghi nhận giảm từ 1.480 lỗi xuống còn 450 lỗi. Tỷ lệ lỗi trung bình giảm từ 9,87% xuống còn 3,0%. Lỗi không sáng hoặc chớp tắt được cải thiện mạnh nhất, giảm hơn 70% so với hiện trạng ban đầu nhờ việc chuẩn hóa kỹ thuật hàn xuyên tâm và sử dụng Jig định vị. Áp dụng công thức (1) và (2), ta tính được mức Sigma bằng 4,0. Việc nâng cao mức Sigma lên 4,0 là tiền đề quan trọng để đơn vị tự tin mở rộng quy mô sản xuất và đáp ứng các tiêu chuẩn khắt khe từ thị trường xuất khẩu như Hoa Kỳ và Châu Âu. Bảng 4 trình bày tóm tắt các kết quả so sánh trước và sau khi cải tiến.

Bảng 4. So sánh các chỉ số năng lực quy trình trước và sau cải tiến.

Chỉ số	Trước cải tiến	Sau cải tiến	Thay đổi
Tỷ lệ lỗi không sáng hoặc chớp tắt	9,87%	3,00%	Giảm 6,87%
DPMO	19.733	6.000	Giảm 13.733
Mức Sigma	3,6	4,0	Tăng 0,4

Dựa trên bảng so sánh các chỉ số năng lực quy trình, có thể thấy dự án cải tiến đã mang lại những thay đổi mang tính bước ngoặt cho dây chuyền sản xuất đèn LED Downlight. Thành công của dự án đã khẳng định tính đúng đắn khi áp dụng phương pháp Six Sigma vào môi trường sản xuất có tỷ lệ thao tác thủ công cao.

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã áp dụng nguyên lý Six Sigma vào việc nâng cao chất lượng sản phẩm đèn LED Downlight âm trần DC tại công ty X. Nghiên cứu đã góp phần giảm tỷ lệ lỗi đèn không sáng hoặc chớp tắt từ 9,87% xuống còn 3%. Thành công của dự án là do có sự phối hợp liên phòng ban, giữa Phòng Sản xuất, Phòng Kỹ thuật và Phòng QC. Việc phối hợp giữa các phòng ban là nhân tố cốt lõi để nhận diện đúng nguyên nhân gốc rễ. Ngoài ra, việc chuẩn hóa hệ thống đo lường là điều kiện tiên quyết để đưa ra các quyết định cải tiến dựa trên dữ liệu thực chứng. Mặc dù đã đạt được mức chất lượng mục tiêu, nghiên cứu vẫn tồn tại hạn chế về thời gian theo dõi độ ổn định lâu dài của mức 4,0 sigma khi sản lượng biến

động lớn. Trong giai đoạn tới, mô hình cải tiến này sẽ được xem xét để mở rộng áp dụng cho các dòng sản phẩm LED thông minh và thiết bị điện tử phức tạp khác tại nhà máy. Đồng thời, doanh nghiệp cần hướng tới việc tích hợp các giải pháp tự động hóa tại các trạm hàn nhạy cảm nhiệt nhằm duy trì ngưỡng chất lượng tiệm cận mức Sigma hoàn hảo, góp phần củng cố lợi thế cạnh tranh trên thị trường xuất khẩu.

Xung đột lợi ích

Các tác giả tuyên bố không có xung đột lợi ích trong bài báo này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] T. A. V. Nguyen, K. H. Nguyen, and T. M. H. Nguyen, "Quality 5.0: Sustainable quality management system for future," *J. Qual.*, vol. 32, no. 5, pp. 343–373, Oct. 2025, doi: 10.6220/joq.202510_32(5).0002.
- [2] C. N. Wang and T. T. M. Nguyen, "Integrated artificial immune system and Taguchi approach for production scheduling in the garment industry," *Int. J. Ind. Eng.: Theory Appl. Pract.*, vol. 31, no. 2, Apr. 2024, doi: 10.23055/ijietap.2024.31.2.9747.
- [3] C. N. Wang, T. D. Nguyen, T. T. T. Nguyen, and N. H. Do, "The performance analysis using Six Sigma DMAIC and integrated MCDM approach: A case study for microlens process in Vietnam," *J. Eng. Res.*, vol. 13, no. 2, pp. 538–550, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.jer.2024.04.013.
- [4] M. T. Le, H. K. Lu, and K. T. H. Nguyen, "Continuous improvement of productivity and quality with applying Lean Six Sigma: A case study," *J. Tech. Educ. Sci.*, vol. 19, Special Issue 03, pp. 90–101, Aug. 2024, doi: 10.54644/jte.2024.1586.
- [5] L. T. T. Thao, N. T. A. Van, and N. K. Hieu, "Apply Six Sigma to improve the defect rate at the fiber cable manufacturing company," *J. Dev. Integr.*, no. 84, pp. 93–103, Nov. 2025, doi: 10.61602/jdi.2025.84.12.
- [6] J. Antony, "Some pros and cons of Six Sigma: An academic perspective," *TQM Mag.*, vol. 16, no. 4, pp. 303–306, 2004, doi: 10.1108/09544780410541945.
- [7] N. K. Hieu, N. T. A. Van, D. Khuu, and T. M. H. Nguyen, "Applying Lean Six Sigma methodology to improve productivity: Case study at a mooncake production enterprise," *Manag. Prod. Eng. Rev.*, vol. 16, no. 2, pp. 1–10, Jun. 2025, doi: 10.24425/mper.2025.154933.
- [8] N. K. Hieu, H. T. M. Ngoc, and N. T. A. Van, "Applying DMAIC method in Six Sigma to improve productivity: A case study at a fabric manufacturing company," *J. Dev. Integr.*, no. 81, pp. 11–17, 2025, doi: 10.61602/jdi.2025.81.02.
- [9] K. Srinivasan, S. Muthu, S. R. Devadasan, and C. Sugumaran, "Six Sigma through DMAIC phases: A literature review," *Int. J. Prod. Qual. Manag.*, vol. 17, no. 2, pp. 236–257, 2016, doi: 10.1504/IJPM.2016.074462.
- [10] J. Antony, "Six Sigma for service processes," *Bus. Process Manag. J.*, vol. 12, no. 2, pp. 234–248, 2006, doi: 10.1108/14637150610657558.
- [11] M. Alkiyat, "A practical guide to creating a Pareto chart as a quality improvement tool," *Glob. J. Qual. Saf. Healthc.*, vol. 4, no. 2, pp. 83–84, 2021, doi: 10.36401/JQSH-21-X1.
- [12] A. Kumah, S. Nwogu, E. A. Osei, and C. A. Wurz, "Cause-and-effect (fishbone) diagram: A tool for generating and organizing quality improvement ideas," *Glob. J. Qual. Saf. Healthc.*, vol. 7, no. 2, pp. 85–87, 2024, doi: 10.36401/JQSH-23-42.
- [13] P. Gangidi, "A systematic approach to root cause analysis using 3 × 5 why's technique," *Int. J. Lean Six Sigma*, vol. 10, no. 1, pp. 295–310, 2019, doi: 10.1108/IJLSS-10-2017-0114.
- [14] J. Huang, M. Li, H. C. Liu, and L. Song, "Failure mode and effect analysis improvement: A systematic literature review and future research agenda," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 199, Art. no. 106885, 2020, doi: 10.1016/j.res.2020.106885.
- [15] D. Setijono, "The application of modified defect per million opportunities (DPMO) and sigma level to measure service effectiveness," *Int. J. Six Sigma Compet. Adv.*, vol. 5, no. 2, pp. 173–186, 2009, doi: 10.1504/IJSSCA.2009.025168.
- [16] X. S. Lu, "Control chart for multivariate attribute processes," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 36, no. 12, pp. 3477–3489, 1998, doi: 10.1080/002075498192166.
- [17] T. H. Varzakas and I. S. Arvanitoyannis, "Application of failure mode and effect analysis (FMEA), cause and effect analysis, and Pareto diagram in conjunction with HACCP to a corn curl manufacturing plant," *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, vol. 47, no. 4, pp. 363–387, 2007, doi: 10.1080/10408390600781316.
- [18] K. D. Sharma and S. Srivastava, "Failure mode and effect analysis (FMEA) implementation: A literature review," *J. Adv. Res. Aeronaut. Space Sci.*, vol. 5, no. 1–2, pp. 1–17, 2018.
- [19] T. Wang, M. Abdallah, C. Clevenger, and S. Monghasemi, "Time–cost–quality trade-off analysis for planning construction projects," *Eng. Constr. Archit. Manag.*, vol. 28, no. 1, pp. 82–100, 2020, doi: 10.1108/ECAM-12-2017-0271.

Chinh Le is an Industrial Management student at Faculty of Economics, Ho Chi Minh City University of Technology and Engineering, Vietnam, academic year 2022-2026.

Email: 22124033@student.hcmute.edu.vn. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1842-0275>.

Khac Hieu Nguyen is associate professor at Faculty of Economics, Ho Chi Minh City University of Technology and Engineering, Vietnam. He received his Ph.D in Economics in 2018. His research interests include: Development Economics, Business Performance, Digital Transformation, and Consumer Behavior.

Email: hieunk@hcmute.edu.vn. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5138-2032>. SĐT: 0903022650

Duc Sinh Hoang is lecturer at International University, Vietnam National University Ho Chi Minh City, Vietnam. He received his Ph.D in Economics and Management in 2023. His research interest is Consumer Behavior, Organizational Behavior, and the role of advanced technologies in shaping business practices. His work explores how individuals and organizations adapt to evolving digital environments and how technological innovations influence decision-making, strategy, and consumer engagement.

Email: hdsinh@hcmui.edu.vn. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6382-4056>