

MODELING AND ANALYSIS OF SMART MANUFACTURING SYSTEM IMPLEMENTATION IN INDIAN SMES

MONICA SHUKLA



**DEPARTMENT OF MANAGEMENT STUDIES
INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY DELHI
HAUZ KHAS NEW DELHI-110016**

July 2023

MODELING AND ANALYSIS OF SMART MANUFACTURING SYSTEM IMPLEMENTATION IN INDIAN SMES

by

MONICA SHUKLA

Department of Management Studies

Submitted

In the fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy

to the



INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY DELHI

July 2023

CERTIFICATE

This is to certify that the thesis entitled “**Modeling and Analysis of Smart Manufacturing System Implementation in Indian SMEs**” being submitted by Monica Shukla to the Indian Institute of Technology Delhi for the award of the degree of **Doctor of Philosophy** (Ph.D.), is a record of bonafide research work carried out by her. She has worked under my guidance and supervision and has fulfilled the requirements for the submission of this thesis, which has attained the requisite standard required for Ph.D. degree from the Indian Institute of Technology Delhi. The results presented in this thesis have not been submitted elsewhere for the award of any degree or diploma.

(Prof. Ravi Shankar)

Research Supervisor

Department of Management Studies

Indian Institute of Technology Delhi

New Delhi- 110016

INDIA

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to express my deep gratitude to my supervisor Prof. Ravi Shankar (Sir), for his immense support and guidance. He has consistently kept me motivated from the inception of the research problem to writing the thesis. His mentorship efforts and learned guidance encouraged me to do better and let me work individually without any pressure. He has been always available for me for any discussion on the idea brought by me and at the same time, he enlightened me with many other ideas. I enjoyed the discussions with him throughout my research journey. The thesis could not have been so comprehensive without his deliberations, directions and presentation pattern covering all aspects of smart manufacturing system.

I am also deeply obliged to all the faculty members of the “Department of Management Studies IIT Delhi”, who motivated me to perform my research. I am especially grateful and sincerely thankful for the support and timely advices offered by all members of Student Research Committee, Dr. Shveta Singh (Chairman), Dr. Arpan Kumar Kar (Internal) and Dr. Abhijit Majumdar (External).

I would like to thank my siblings (Khushboo, Bulbul and Abhishek), and in-laws, who supported me all throughout this research journey and gave me enough time to conduct this research by taking care of everything at my home front.

I have no words to express my love and respect for my mother (Mrs. Vinita Shukla), father (Dr. N.P. Shukla), my husband Amit and my daughter Sia (came to our life as blessings during this thesis work), who have been the true pillars of strength and support to me. It would not have been possible for me to work on this thesis without their immense support. My PhD is my husband's

dream, and I would like to dedicate this work to him. I extend my thank to my best friend Vinay, Saumaya and Lucky for always being there for me. I am also thankful to the respondents to my study, for their time and support for this study. I also thank the office staff of Department of Management Studies, IIT Delhi for their assistance and cooperation.

Nevertheless, for the grace of God and good wishes of my family members and friends, it would not have been possible to complete the work.

Thank You.

MONICA SHUKLA

ABSTRACT

Smart Manufacturing (SM) system is facilitating new ways for humans and machines to work together, empowering businesses to achieve greater insights, reduce the risk of error and make better decisions. Complexity in manufacturing, increased global competition, radically changing the demands of the customer and need of higher system security requires some pervasive application of network and some real-time monitoring. SM System potentially addresses these issues through highly automated system and advance enabling technologies. SM system is believed to be one of the promising technologies that are associated with AI and real-time system making the manufacturing practice more efficient. SM is often associated with Industry 4.0, the term introduced in an exposition held in Germany, with an intension to promote 4th phase of industrial revolution. This revolution considers SM as its central element and generally the term is interchangeably used by most researchers. SM is set to take root across the manufacturing ecosystem. But only by understanding and harnessing the technologies driving Industry 4.0, will enable manufacturers stay on the cutting edge of this new digital era. Therefore, to benefit India with such revolutionary technological change, an attempt has been made through this study to implement SM system in Indian manufacturing industries especially in Small and Medium Enterprises (SMEs). The SMEs in India are emerging as potential entities boosting India economy, supporting employment and fostering innovation specially through manufacturing sector. Hence, the first objective of this research thesis is to understand the complexity of the SM implementation and related issues using SSM. A focused group of experts from relevant areas were asked to share opinions on SM implementation in Indian SMEs. Hence, with the help of the expert; issues were mapped, a rich picture, CATWOE for root definition, an initial conceptual model, final implementable model, and an implementation framework for SM system was created.

After, having an idea about the rich picture of SM system, it was necessary to study some of case company which has undergone or seeking for transformation to aid SMEs for SM implementation. Thus, the second objective presents the status of SM system implementation in Indian SMEs and discusses the various initiatives undertaken by the Indian government and private players. In addition, five case studies are conducted that either is seeking or have already implemented SM system in their working environment. The case analysis was done using the SAP-LAP framework to provide a methodological approach in understanding the benefits and challenges faced by these companies in implementing the SM system. Furthermore, this objective discusses the various initiatives undertaken by the Indian government and private players. The study also comprehends a detail about challenges faced by SMEs in SM system implementation and finally elaborates on the future scope of SM system-based research.

The findings of the preceding objectives show that Indian SMEs need SM system in their production and SMEs and have the potential for Indian economic growth. However, it is important to understand how ready SMEs are for this technological transformation. To this effect, the third objective proposes a generic readiness assessment model with 5 stages, 6 building blocks and 22 dimensions. Additionally, the dimensions are ranked using “Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA)” to understand their influence on overall readiness attainment. The practical viability of the proposed readiness assessment model is tested on five Indian SMEs. Based on the readiness level of each organization, recommendations are made to further improve their preparedness for transformation. Other SMEs can utilize this tool as a self-assessment methodology to check their status and subsequently strategize their policies for future transformation.

Furthermore, to prepare more SMEs for transformation it is very necessary to investigate and analyse those success factors that can possible SM implementation. To cater this need, the investigation of 31 Critical Success Factors (CSFs) for SM system implementation in SMEs is done in the fourth objective. The work is benefited from six cases of Indian SMEs, surveyed by interviewing experts in the area of SM. The identified CSFs are categorized using an extended “Technology-Organization-Environment (TOE)” framework. The identified CSFs are modeled using an integrated TISM Fuzzy-DEMATEL (“Total Interpretive Structural Modelling Fuzzy-Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory”) approach which provides hierarchy and shows the intensity of interrelationship among the factors. Fuzzy-MICMAC analysis is also applied to understand the dependency/driving power and mutual influences among the identified CSFs. Theoretical contribution, justifications and managerial implications of this research are discussed elaborately which can provide valuable insights to researchers, academicians and decision-makers of the related organizations.

In addition to this, to have a holistic approach on SM system implementation in Indian SMEs this thesis also analyzed the impact of SM implementation, so that managers or policymakers can think wisely before the transformation. Hence, the last objective aims to analyze the impact of SM in SMEs considering the Indian context. A theory-based approach “The Theory of Change (ToC)” is applied to understand the intervention and impact of a complex system like an SM system in Indian SMEs. From the literature survey, eight impact aspects were identified with two moderators and utilized to structure the questionnaire. A sample of 452 responses was collected from 80 SMEs and the analysis was done in three phases: “Exploratory Factor Analysis (EFA), Confirmatory Factor Analysis (CFA), and Structure Equation Modelling (SEM)”. A total of 22 hypotheses were tested based on the association of the Implementation of SM (ISM) system and different aspects

of impact are presented, also the hypotheses related to the impact of these aspects on the Growth of the Indian Economy (GIE) are presented. Along with the impact analysis of the eight impact aspects, the moderating effect of two moderators i.e., Enabling technology and Government support was also analyzed. The result suggested that ISM shows a positive impact on aspects like Innovation, Organization resilience, Supply chain, Industry Ecosystem, and Sustainability. Only Urbanization showed a negative impact on the implementation of the SM system in Indian SMEs. Similar results are seen with the association of GIE and considered aspects, i.e., maximum aspects have shown a positive impact on GIE only Urbanization was found with a negative impact. The two moderators are seen as showing a significant moderating effect on relevant associations.

This research work contributes to the current literature on the SM implementation in Indian SMEs, gives management implications to practitioners and policy suggestions to the government and policymakers, and advances the field. The thesis could serve as a road map for practitioners seeking for SM implementation in Indian SMEs, allowing decision-makers to take wise decision on status, readiness, success factors and impact of SM implementation in Indian industries. The research study's shortcomings and potential future research paths are also discussed in this work.

सार

स्मार्ट मैनुफैक्चरिंग (एसएम) प्रणाली मनुष्यों और मशीनों को एक साथ काम करने के नए तरीकों की सुविधा प्रदान कर रही है, व्यवसायों को अधिक अंतर्दृष्टि प्राप्त करने, त्रुटि के जोखिम को कम करने और बेहतर निर्णय लेने के लिए सशक्त बना रही है। निर्माण में जटिलता, वैश्विक प्रतिस्पर्धा में वृद्धि, ग्राहक की मांगों में आमूलचूल परिवर्तन और उच्च प्रणाली सुरक्षा की आवश्यकता के लिए नेटवर्क के कुछ व्यापक अनुप्रयोग और कुछ वास्तविक समय की निगरानी की आवश्यकता होती है। एसएम सिस्टम संभावित रूप से इन मुद्दों को अत्यधिक स्वचालित प्रणाली और उन्नत सक्षम तकनीकों के माध्यम से संबोधित करता है। माना जाता है कि एसएम सिस्टम उन होनहार तकनीकों में से एक है जो एआई और रियल-टाइम सिस्टम से जुड़ी हैं, जो निर्माण अभ्यास को और अधिक कुशल बनाती हैं। एसएम अक्सर उद्योग 4.0 से जुड़ा होता है, जर्मनी में आयोजित एक प्रदर्शनी में पेश किया गया शब्द, औद्योगिक क्रांति के चौथे चरण को बढ़ावा देने के इरादे से। यह क्रांति एसएम को अपना केंद्रीय तत्व मानती है और आम तौर पर इस शब्द का प्रयोग अधिकांश शोधकर्ता द्वारा एक दूसरे के लिए किया जाता है। एसएम मैनुफैक्चरिंग इकोसिस्टम में जड़ें जमाने के लिए तैयार है। लेकिन केवल उद्योग 4.0 को चलाने वाली तकनीकों को समझने और उनका उपयोग करने से, निर्माता इस नए डिजिटल युग के अत्याधुनिक बने रहने में सक्षम होंगे। इसलिए, इस तरह के क्रांतिकारी तकनीकी परिवर्तन से भारत को लाभान्वित करने के लिए, इस अध्ययन के माध्यम से भारतीय विनिर्माण उद्योगों में विशेष रूप से लघु और मध्यम उद्यमों (एसएमई) में एसएम प्रणाली को लागू करने का प्रयास किया गया है। भारत में एसएमई भारत की अर्थव्यवस्था को बढ़ावा देने वाली संभावित संस्थाओं के रूप में उभर रहे हैं, रोजगार का समर्थन कर रहे हैं और विशेष रूप से विनिर्माण क्षेत्र के माध्यम से नवाचार को बढ़ावा दे रहे हैं। इसलिए, इस शोध थीसिस का पहला उद्देश्य एसएसएम कार्यान्वयन की जटिलता और एसएसएम का

उपयोग करते हुए संबंधित मुद्दों को समझना है। प्रासंगिक क्षेत्र के विशेषज्ञों के एक केंद्रित समूह को भारतीय एसएमई में एसएम कार्यान्वयन पर राय साझा करने के लिए कहा गया था। इसलिए, विशेषज्ञ की मदद से; मुद्दों की मैपिंग की गई, एक समृद्ध तस्वीर, रूट डेफिनिशन के लिए CATWOE, एक प्रारंभिक वैचारिक मॉडल, अंतिम कार्यान्वयन योग्य मॉडल और एसएम सिस्टम के लिए कार्यान्वयन रूपरेखा तैयार की गई।

एसएम प्रणाली की समृद्ध तस्वीर के बारे में एक विचार होने के बाद, कुछ ऐसी केस कंपनी का अध्ययन करना आवश्यक था, जो एसएम कार्यान्वयन के लिए एसएमई की सहायता के लिए परिवर्तन से गुजरी है या मांग कर रही है। इस प्रकार, दूसरा उद्देश्य भारतीय एसएमई में एसएम प्रणाली कार्यान्वयन की स्थिति प्रस्तुत करता है और भारत सरकार और निजी खिलाड़ियों द्वारा की गई विभिन्न पहलों पर चर्चा करता है। इसके अलावा, पांच मामले का अध्ययन किया गया है जो या तो अपने काम के माहौल में एसएम प्रणाली की मांग कर रहे हैं या पहले ही लागू कर चुके हैं। एसएम सिस्टम को लागू करने में इन कंपनियों के सामने आने वाले लाभों और चुनौतियों को समझने में एक पद्धतिगत दृष्टिकोण प्रदान करने के लिए एसएपी-एलएपी ढांचे का उपयोग करके मामले का विश्लेषण किया गया था। इसके अलावा, यह उद्देश्य भारत सरकार और निजी खिलाड़ियों द्वारा की गई विभिन्न पहलों पर चर्चा करता है। अध्ययन में एसएम सिस्टम कार्यान्वयन में एसएमई द्वारा सामना की जाने वाली चुनौतियों के बारे में विस्तार से बताया गया है और अंत में एसएम सिस्टम-आधारित अनुसंधान के भविष्य के दायरे पर विस्तार से बताया गया है।

पूर्ववर्ती उद्देश्यों के निष्कर्ष बताते हैं कि भारतीय एसएमई को अपने उत्पादन और एसएमई में एसएम प्रणाली की आवश्यकता है और भारतीय आर्थिक विकास की क्षमता है। हालांकि, यह समझना महत्वपूर्ण है कि एसएमई इस तकनीकी बदलाव के लिए कितने तैयार हैं। इस आशय के लिए, तीसरा उद्देश्य ५ चरणों, ६ बिल्डिंग ब्लॉक्स और २२ आयामों के साथ एक सामान्य तैयारी

मूल्यांकन मॉडल का प्रस्ताव करता है। इसके अतिरिक्त, समग्र तत्परता प्राप्ति पर उनके प्रभाव को समझने के लिए आयामों को "स्टेपवाइज वेट असेसमेंट रेशियो एनालिसिस (SWARA)" का उपयोग करके रैंक किया गया है। प्रस्तावित तत्परता मूल्यांकन मॉडल की व्यावहारिक व्यवहार्यता का परीक्षण पांच भारतीय एसएमई पर किया गया है। प्रत्येक संगठन की तत्परता के स्तर के आधार पर, परिवर्तन के लिए उनकी तैयारियों को और बेहतर बनाने के लिए सिफारिशें की जाती हैं। अन्य एसएमई इस उपकरण का उपयोग अपनी स्थिति की जांच करने के लिए एक स्व-मूल्यांकन पद्धति के रूप में कर सकते हैं और बाद में भविष्य के परिवर्तन के लिए अपनी नीतियों को रणनीतिक बना सकते हैं।

इसके अलावा, अधिक एसएमई को परिवर्तन के लिए तैयार करने के लिए उन सफलता कारकों की जांच और विश्लेषण करना बहुत आवश्यक है जो एसएम कार्यान्वयन को संभव बना सकते हैं। इस जरूरत को पूरा करने के लिए, एसएमई में एसएम सिस्टम कार्यान्वयन के लिए ३१ क्रिटिकल सक्सेस फैक्टर्स (सीएसएफ) की जांच चौथे उद्देश्य में की जाती है। एसएम के क्षेत्र में विशेषज्ञों के साक्षात्कार द्वारा सर्वेक्षण किए गए भारतीय एसएमई के छह मामलों से यह कार्य लाभान्वित हुआ है। पहचाने गए सीएसएफ को एक विस्तारित "प्रौद्योगिकी-संगठन-पर्यावरण (टीओइ)" ढांचे का उपयोग करके वर्गीकृत किया गया है। पहचाने गए सीएसएफ को एक एकीकृत TISM Fuzzy-DEMATEL ("कुल व्याख्यात्मक संरचनात्मक मॉडलिंग फ़ज़ी-निर्णय-परीक्षण परीक्षण और मूल्यांकन प्रयोगशाला") दृष्टिकोण का उपयोग करके तैयार किया गया है जो पदानुक्रम प्रदान करता है और कारकों के बीच अंतर्संबंध की तीव्रता को दर्शाता है। पहचान किए गए सीएसएफ के बीच निर्भरता/प्रेरक शक्ति और पारस्परिक प्रभावों को समझने के लिए फ़ज़ी-एमआईसीएमएसी विश्लेषण भी लागू किया जाता है। इस शोध के सैद्धांतिक योगदान, औचित्य और प्रबंधकीय

निहितार्थों पर विस्तृत चर्चा की गई है जो संबंधित संगठनों के शोधकर्ताओं, शिक्षाविदों और निर्णयकर्ताओं को मूल्यवान अंतर्दृष्टि प्रदान कर सकते हैं।

इसके अलावा, भारतीय एसएमई में एसएम प्रणाली के कार्यान्वयन पर एक समग्र दृष्टिकोण रखने के लिए इस थीसिस ने एसएम कार्यान्वयन के प्रभाव का भी विश्लेषण किया, ताकि प्रबंधक या नीति निर्माता परिवर्तन से पहले बुद्धिमानी से सोच सकें। इसलिए, अंतिम उद्देश्य का उद्देश्य भारतीय संदर्भ को ध्यान में रखते हुए एसएमई में एसएम के प्रभाव का विश्लेषण करना है। भारतीय एसएमई में एसएम सिस्टम जैसी जटिल प्रणाली के हस्तक्षेप और प्रभाव को समझने के लिए एक सिद्धांत-आधारित दृष्टिकोण "परिवर्तन का सिद्धांत (टीओसी)" लागू किया जाता है। साहित्य सर्वेक्षण से, आठ प्रभाव पहलुओं को दो मध्यस्थों के साथ पहचाना गया और प्रश्नावली की संरचना के लिए उपयोग किया गया। ८० एसएमई से ४५२ प्रतिक्रियाओं का एक नमूना एकत्र किया गया था और विश्लेषण तीन चरणों में किया गया था: "खोज कारक विश्लेषण (ईएफए), पुष्टिकरण कारक विश्लेषण (सीएफए), और संरचना समीकरण मॉडलिंग (एसईएम)"। एसएम (आईएसएम) प्रणाली के कार्यान्वयन के संबंध के आधार पर कुल २२ परिकल्पनाओं का परीक्षण किया गया और प्रभाव के विभिन्न पहलुओं को प्रस्तुत किया गया, भारतीय अर्थव्यवस्था के विकास (जीआईई) पर इन पहलुओं के प्रभाव से संबंधित परिकल्पनाओं को भी प्रस्तुत किया गया। प्रभाव के आठ पहलुओं के प्रभाव विश्लेषण के साथ-साथ दो मॉडरेटर्स के मॉडरेटिंग प्रभाव यानी सक्षम प्रौद्योगिकी और सरकारी समर्थन का भी विश्लेषण किया गया। परिणाम ने सुझाव दिया कि आईएसएम नवोन्मेष, संगठन लचीलापन, आपूर्ति श्रृंखला, उद्योग पारिस्थितिकी तंत्र और स्थिरता जैसे पहलुओं पर सकारात्मक प्रभाव दिखाता है। केवल शहरीकरण ने भारतीय एसएमई में एसएम प्रणाली के कार्यान्वयन पर नकारात्मक प्रभाव दिखाया। इसी तरह के परिणाम जीआईई के सहयोग और विचारित पहलुओं के साथ देखे गए हैं, यानी अधिकतम पहलुओं ने जीआईई पर सकारात्मक

प्रभाव दिखाया है केवल शहरीकरण नकारात्मक प्रभाव के साथ पाया गया। दो मॉडरेटर्स को प्रासंगिक संघों पर एक महत्वपूर्ण मॉडरेटिंग प्रभाव दिखाते हुए देखा जाता है।

यह शोध कार्य भारतीय एसएमई में एसएम कार्यान्वयन पर वर्तमान साहित्य में योगदान देता है, चिकित्सकों और सरकार और नीति निर्माताओं को नीतिगत सुझावों के लिए प्रबंधन निहितार्थ देता है और क्षेत्र को आगे बढ़ाता है। थीसिस भारतीय एसएमई में एसएम कार्यान्वयन की मांग करने वाले चिकित्सकों के लिए एक रोड मैप के रूप में काम कर सकती है, जिससे निर्णय लेने वालों को स्थिति, तत्परता, सफलता के कारकों और भारतीय उद्योगों में एसएम कार्यान्वयन के प्रभाव पर बुद्धिमानी से निर्णय लेने की अनुमति मिलती है। इस कार्य में शोध अध्ययन की कमियों और भविष्य के संभावित शोध मार्गों पर भी चर्चा की गई है।

TABLE OF CONTENTS

CHAPTERS	CONTENTS	PAGE NO.
	CERTIFICATE	i
	ACKNOWLEDGEMENTS	ii
	ABSTRACT	iv
	संक्षेप	viii
	TABLE OF CONTENTS	xiii
	LIST OF FIGURES	xxi
	LIST OF TABLES	xxiii
	LIST OF ABBREVIATIONS	xxv
1.	INTRODUCTION	1
	1.1 Background of the study	1
	1.2 The characteristics of industrial revolution	2
	1.3 Definition of smart manufacturing	3
	<i>1.3.1 Definition of NIST</i>	3
	<i>1.3.2 Definition of MESA</i>	4
	<i>1.3.3 Definition of SMLC</i>	4
	1.4 Development stages of industrial revolution	4
	<i>1.4.1 First industrial revolution</i>	5
	<i>1.4.2 Second industrial revolution</i>	5
	<i>1.4.3 Third industrial revolution</i>	6
		xiii

1.4.4	<i>Fourth industrial revolution</i>	6
1.5	Pillars of Industry 4.0	7
1.5.1	<i>Nine pillars of Industry 4.0</i>	7
1.5.2	<i>Six pillars of smart manufacturing</i>	9
1.6	Indian government initiatives	11
1.7	Manufacturing enterprises in India	14
1.8	Research motivation	15
1.9	Research questions	16
1.10	Research objectives	17
1.11	Research methodology used	17
1.12	Organization of the thesis	18
1.13	Chapter summary	22
2.	LITERATURE REVIEW	23
2.1	Overview	23
2.2	Introduction	23
2.3	Research methodology	24
2.4	Descriptive analysis of literature	31
2.4.1	<i>Technologies associated with smart manufacturing system implementation</i>	32
2.5	Category classification and material evaluation	37
2.5.1	<i>Readiness assessment</i>	37
2.5.2	<i>Critical success factors influencing the adoption of smart manufacturing system</i>	45

2.5.3	<i>Impact assessment of smart manufacturing implementation</i>	47
2.6	Research gaps	61
2.7	Chapter summary	62
3.	TO DEVELOP A CONCEPTUAL FRAMEWORK OF SMART MANUFACTURING SYSTEM IMPLEMENTATION IN INDIAN CONTEXT	63
3.1	Overview	63
3.2	Introduction	63
3.3	Application of SSM	64
3.3.1	<i>Development of symptom map</i>	65
3.3.2	<i>Developing rich picture</i>	67
3.3.3	<i>Developing root definition</i>	69
3.3.4	<i>CATWOE formulation</i>	70
3.3.5	<i>Development of conceptual model</i>	70
3.3.6	<i>Development of final implementation model</i>	72
3.4	Chapter summary	73
4.	STATUS OF SMART MANUFACTURING SYSTEM IMPLEMENTATION IN INDIAN SMEs: A MULTI-CASE APPROACH USING SAP-LAP	74
4.1	Overview	74
4.2	Introduction	74
4.3	Need of smart manufacturing in India	75
4.3.1	<i>Slow growth in GDP contribution</i>	77

4.3.2 <i>Steady growth rate in manufacturing sector</i>	77
4.3.3 <i>High employment generation</i>	77
4.3.4 <i>Fall in Network Readiness Index</i>	79
4.3.5 <i>High Global Innovation Index</i>	79
4.4 Significance of SMEs in Indian manufacturing sector	80
4.5 SMEs contribution in economic development	82
4.6 Challenges faced by SMEs	83
4.7 Initiatives taken by Indian Government for SM system and industrial revolution	83
4.7.1 <i>Make in India</i>	84
4.7.2 <i>Aatmanirbhar Bharat</i>	84
4.7.3 <i>SAMARTH</i>	85
4.7.4 <i>CII smart manufacturing platform</i>	87
4.8 Private and consortium initiatives	87
4.8.1 <i>Siemens/IBM/Red Hat launched hybrid cloud initiative</i>	87
4.8.2 <i>Wipro 3D</i>	88
4.9 Case study	89
4.9.1 <i>Case A</i>	89
4.9.2 <i>Case B</i>	91
4.9.3 <i>Case C</i>	93
4.9.4 <i>Case D</i>	96
4.9.5 <i>Case E</i>	98
4.10 Challenges of implementing SM system	100

4.11 Chapter summary	101
5. TO DEVELOP A MODEL FOR ANALYSING THE DEGREE OF READINESS OF INDIAN SMEs FOR SMART MANUFACTURING SYSTEM IMPLEMENTATION	103
5.1 Overview	103
5.2 Introduction	103
<i>5.2.1 Definition of maturity and maturity model in industries</i>	104
<i>5.2.2 Definition of readiness and readiness assessment in industries</i>	105
5.3 Research framework and model development	106
<i>5.3.1 Problem identification</i>	106
<i>5.3.2 Data collection</i>	107
5.4 Model development	109
5.5 Readiness assessment	112
5.6 Results and discussions	118
5.7 Managerial implications	122
5.8 Chapter summary	124
6. TO MODEL DRIVING POWER AND DEPENDENCE RELATIONSHIP FOR CRITICAL SUCCESS FACTORS FOR SMART MANUFACTURING SYSTEM IMPLEMENTATION IN INDIAN SMEs	125
6.1 Overview	125
6.2 Introduction	125

6.3	Research methodology	127
6.3.1	<i>Total interpretive structure modelling</i>	128
6.3.2	<i>Fuzzy-MICMAC</i>	131
6.3.3	<i>Fuzzy-DEMATEL</i>	132
6.4	Case study	134
6.5	TISM analysis	136
6.6	Fuzzy-MICMAC analysis	149
6.7	Fuzzy-DEMATEL analysis	151
6.8	Results and discussions	154
6.8.1	<i>The TISM results</i>	154
6.8.2	<i>Fuzzy-MICMAC results</i>	155
6.8.3	<i>Fuzzy-DEMATEL results</i>	157
6.9	Managerial implications of TISM, Fuzzy-MICMAC and Fuzzy-DEMATEL analysis	159
6.10	Chapter summary	159
7.	IMPACT ASSESSMENT OF SMART MANUFACTURING SYSTEM IMPLEMENTATION IN INDIAN SMEs USING STRUCTURAL EQUATION MODELLING	161
7.1	Overview	161
7.2	Introduction	161
7.3	Hypothesis and conceptual model development	165
7.3.1	<i>Impact of SM implementation on Indian SMEs</i>	168
7.3.2	<i>Impact on the growth of the Indian economy</i>	169

7.3.3	<i>Enabling technology as moderator</i>	170
7.3.4	<i>Government support as a moderator</i>	171
7.4	Research methodology	173
7.5	Research instruments	173
7.6	Data collection	174
7.7	Results	175
7.7.1	<i>EFA results</i>	175
7.7.2	<i>CFA results</i>	177
7.7.3	<i>The reliability and validity test</i>	178
7.7.4	<i>Common method variance (CMV)</i>	179
7.7.5	<i>SEM results</i>	180
7.8	Discussions	184
7.9	Implications of the study	187
7.10	Chapter summary	189
8.	SYNTHESIS AND CONCLUSION	191
8.1	Introduction	191
8.2	Summary of research findings	192
8.2.1	<i>Phase I: Study A</i>	192
8.2.2	<i>Phase I: Study B</i>	194
8.2.3	<i>Phase II: Study C</i>	195
8.2.4	<i>Phase II: Study D</i>	197
8.2.5	<i>Phase III: Study E</i>	198
8.3	Theoretical implications of the research	199

8.4 Managerial implications of the result	201
8.5 Limitations of the research	203
8.6 Scope for the future research	204
8.7 Major contribution of the research	205
References	207
Appendix – I	240
Appendix – II	245
Appendix – III	248
List of the publications based on thesis	252
Profile of the scholar	253

LIST OF FIGURES

Figure No.	Title	Page No.
Figure 1.1	Development phases of industrial revolution	5
Figure 1.2	Nine pillars of Industry 4.0	10
Figure 1.3	Six pillars of smart manufacturing	11
Figure 1.4	Work flow of the research	19
Figure 2.1	Literature review process	26
Figure 2.2	Year-wise trend of reviewed literature	29
Figure 2.3	Journal specific trend of reviewed literature	29
Figure 2.4	Countries specific production of reviewed literature (SCP – intra country and MCP – inter country)	30
Figure 2.5	Most globally cited articles	30
Figure 3.1	Conceptual model of Soft System Model	65
Figure 3.2	Symptom map	67
Figure 3.3	Rich picture	68
Figure 3.4	Conceptual model	71
Figure 3.5	Final implementation model	73
Figure 4.1	Manufacturing sector growth rate from 2018 to 2021	78
Figure 5.1	Research framework for the proposed readiness model	108
Figure 5.2	Proposed model of readiness assessment for SM implementation	111
Figure 5.3	Schematic representation of “Stages of Change”	112
Figure 5.4	Graphical representation of readiness status of 22 dimensions	121
Figure 5.5	Graphical representation of readiness status of case companies	121

Figure 6.1	Research framework of the study	129
Figure 6.2	TISM model of identified CSFs	148
Figure 6.3	Fuzzy-MICMAC Plot of identified CSFs	151
Figure 6.4	Influence relation diagram of identified CSFs	153
Figure 7.1	Schematic representation of process for impact assessment	163
Figure 7.2	Theory-based approach on impact evaluation in Indian SMEs	164
Figure 7.3	The conceptual model for the impact of SM on the Indian economy	167
Figure 7.4	Effect of ET on H13	182
Figure 7.5	Effect of ET on H14	182
Figure 7.6	Effect of ET on H15	183
Figure 7.7	Effect of ET on H16	183
Figure 7.8	Effect of ET on H17	183
Figure 7.9	Effect of ET on H18	183
Figure 7.10	Effect of GS on H19	183
Figure 7.11	Effect of GS on H20	183
Figure 7.12	Effect of GS on H21	184
Figure 7.13	Effect of GS on H22	184

LIST OF TABLES

Table No.	Title	Page No.
Table 2.1	Including and excluding criteria for selection of literature review	27
Table 2.2	Different bibliometric metrics of the reviewed articles	28
Table 2.3	Enabling technologies associated with SM	35
Table 2.4	Detailed listing of existing maturity and readiness model	41
Table 2.5	List of CSFs identified	48
Table 2.6	Description of impact assessment aspects	56
Table 3.1	The root cause of slow implementation of SM system	70
Table 3.2	CATWOE analysis	72
Table 4.1	Estimated changes in employment generation of few selected sector (in lakhs)	78
Table 4.2	The limit of investment for plant and machinery/equipment	81
Table 4.3	SAP-LAP analysis for case company A	89
Table 4.4	SAP-LAP analysis for case company B	91
Table 4.5	SAP-LAP analysis for case company C	93
Table 4.6	SAP-LAP analysis for case company D	96
Table 4.7	SAP-LAP analysis for case company E	98
Table 5.1	List of experts interviewed or consulted	109
Table 5.2	SM system implementation of stages readiness	113
Table 5.3	Computation of weights for each dimension	115
Table 5.4	Readiness status of five case companies	119

Table 6.1	Demographic profile of experts and their organization	135
Table 6.2	Final reachability matrix of identified CSFs	136
Table 6.3	Level partitioning	138
Table 6.4	Interpretation of interrelationship amongst the identified CSFs	141
Table 6.5	Stabilized matrix of identified CSFs	149
Table 6.6	Total influence matrix of identified CSFs	152
Table 7.1	Demographic details of the experts participated	174
Table 7.2	Measurement properties (convergent validity)	176
Table 7.3	List of required standard fits	177
Table 7.4	Discriminant validity	179
Table 7.5	Path coefficient and p -value for hypothesis H1 to H12	181
Table 7.6	Moderation analysis of moderator ET and GS	182

LIST OF ABBREVIATIONS

AHP	Analytical Hierarchy Process
AI	Artificial Intelligence
AVE	Average Variance Extracted
BDA	Big Data Analytics
BDRM	Binary Direct Reachability Matrix
BNP	Best Non-Fuzzy Performance
CATWOE	Customer, Actor, Transformation, Worldview, Owner and Environment
CC	Cloud Computing
CFA	Confirmatory Factor Analysis
CE	Circular Economy
CII	Confederation of Indian Industry
CMTI	Central Machine Tool Institute
CMV	Common Method Variance
CPS	Cyber Physical System
CR	Composite Reliability
CSF	Critical Success Factor
DEMATEL	Decision-Making Trial and Evaluation laboratory
DT	Digital Twin
DM	Digital Manufacturing
EFA	Exploratory Factor Analysis
ET	Enabling Technology

FDI	Foreign Direct Investment
FRM	Final Reachability Matrix
FST	Fuzzy Set Theory
GDP	Gross Domestic Product
GII	Global Innovation Index
GIE	Growth of Indian Economy
GS	Government Support
ICT	Information Communication Technology
IE	Industry Ecosystem
IoT	Internet of Things
IPR	Intellectual Property Rights
ISM	Implementation of Smart Manufacturing
IT	Information Technology
IV	Innovation
KMO	Kaiser-Meyer-Olkin
LADRM	Linguistic Assessment Direct Reachability Matrix
LF	Loading Factor
MICMAC	Matriced Impact Croises Multiplication Applique
MNC	Multi-National Company
MNE	Multi-National Enterprise
MSME	Micro, Small and Medium Enterprise
NCR	National Capital Region
NIST	National Institute of Standards and Technology

NITI	National Institute for Transforming India
OR	Organization Resilience
PLC	Programmable Logic Controller
PCA	Principal Component Analysis
PM	Project Management
RFID	Radio Frequency Identification
SAMARTH	Smart Advanced Manufacturing and Transformation Hub
SAP-LAP	Situation, Actor, Process, Learning, Action, Performance
SC	Supply Chain
SEM	Structural Equation Modelling
SM	Smart Manufacturing
SMEs	Small and Medium Enterprise
SMLC	Smart Manufacturing Leadership Consortium
SLR	Systematic Literature Review
SSM	Soft System Methodology
ST	Sustainability
SWARA	Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis
TIM	Total Influence Matrix
TISM	Total Interpretive Structural Modelling
TOE	Technology, Organization and Environment
ToC	Theory of Change
UB	Urbanization
WEF	World Economic Forum