

식스 시그마 품질경영활동이 기업의 재무적 성과지표에 미치는 영향연구: 경향점수매칭을 이용하여

박병화* · 박태영* · 박민재**†

* 연세대학교 응용통계학과

** 홍익대학교 경영학과

The Study on Relation between Implementation of Six Sigma Quality Management and Financial Performance using Propensity Score Matching

Byounghwa Park* · Taeyoung Park* · Minjae Park**†

* Department of Applied Statistics, Yonsei University

** College of Business Administration, Hongik University

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this paper is to study whether the adoption of Six Sigma quality management by a firm positively affects its financial performance. The correlation between the duration of Six Sigma implementation period and the financial status of the firm is investigated as well.

Methods: We conduct the analysis using data from Manufacturing Industry Productivity Panel Survey 2013 provided by Korea Productivity Center and Ministry of Trade, Industry and Energy. Propensity score matching is used to reduce sample selection bias of observational study. Furthermore, we use multiple linear regression in order to study the relationship between the implementation of Six Sigma quality management and financial performance. The return on assets and ratio of net income to net sales are considered as dependent variable and implementation of Six Sigma as independent variable.

● Received 14 March 2016, 1st revised 18 May 2016, accepted 19 May 2016

† Corresponding Author(mjpark@hongik.ac.kr)

© 2016, The Korean Society for Quality Management

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-Commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

* Minjae Park's work was supported by the National research Foundation of Korea Grant funded by Korea Government (NRF-2014S1A5A8012594). This research was also supported by Basic Science Research Program through the Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (NRF-2014R1A1A2053679).

Results: The indication of this analysis is that implementation of Six Sigma quality management does not significantly enhance financial status. The firms that adopted Six Sigma quality management were categorized into three groups according to the implementation period. Comparison of each group with the firms that do not adopt Six Sigma quality management does not show statistically significant enhancement of financial status.

Conclusion: In conclusion, both adoption and duration of six sigma quality management do not affect financial performance significantly.

Key Words: Financial performance, Propensity score matching, Quality management, Six Sigma

1. 서 론

식스 시그마는 1987년 모토로라(motorola)에서 시작된 품질경영기법이다. 이후 식스 시그마는 GE에 의해 발전되었고, 이를 도입한 기업들이 지속적으로 경영성과를 내면서 현재 가장 대표적인 품질경영기법으로 자리 잡게 되었다. 식스 시그마의 일차적인 목표는 품질과 작업능률을 향상시키는 것이나, 궁극적인 목표는 수익성 향상이다(Harry and Schroeder 2000; Yang 2007). 따라서 본 연구는 식스 시그마 품질경영의 도입이 기업의 재무적인 성과지표(총자산순이익률, 매출액순이익률)에 어떤 영향을 미치는지 실증적으로 분석하는 것을 목표로 한다. 물론 재무적 성과를 드러내는 재무지표가 기업의 존속여부를 설명하는 결정적인 요인은 아니다(Park et al. 2014). 하지만 재무적인 성과가 없다면 기업의 지속적인 발전 역시 있을 수 없다는 점에서 선정된 재무지표는 중요한 기준일 수밖에 없다. Harry(1998), Sohn(2009), Yang(2007)은 공통적으로 식스 시그마가 기업의 비용을 감소시켜 기업의 재무적 성과에 긍정적인 영향을 미친다고 분석하였다. 구체적으로, Harry(1998)는 식스 시그마를 성공적으로 이행할 경우 기업은 매년 20%의 수익증대, 12~18%의 생산력 증대, 12%의 종업원 감소, 10~30%의 자본지출 감소의 효과가 있다고 하였다. Sohn(2009)은 품질경영으로 인하여 내부프로세스의 효율성 향상과 고객 만족증진이 이루어져 재무성과가 개선된다고 하였다. Yang(2007)은 식스 시그마 경영은 품질활동을 통해 품질향상과 제조원가 감소라는 품질성과를 가져오며, 이러한 품질성과는 기업의 재무적, 비재무적인 경영성과에도 영향을 끼친다고 하였다. Jacobs et al.(2015)은 식스 시그마가 경영성과에 긍정적인 영향을 미친다는 것을 가정한 상태에서 식스 시그마 도입 시점에 관한 연구를 하였다. Jacobs et al.(2015)은 식스 시그마와 같은 혁신은 이를 처음 도입하는 기업일수록 시행착오 및 불확실성이 발생하므로 이른 도입보다 늦은 도입이 더 효과적일 것이라는 가설을 세웠다. 식스 시그마의 도입시점을 2001년을 기준으로 표본에 포함된 기업을 두 그룹으로 나누어 비교한 결과, 식스 시그마를 나중에 도입한 기업이 일찍 도입한 기업보다 더 큰 성과를 얻었다는 것을 밝혀냈다. 또한 식스 시그마를 2001년 이후에 도입한 기업의 경우 기업의 구조 및 여러가지 특성에 의해 분석결과가 달라진다는 것을 밝혀냈다. 다시 말하면, 늦은 시점의 도입은 변동이 적은 산업군에 속할수록, 기업 간 거래를 주로 할수록, 식스 시그마를 도입하기 전에 좋은 재무 상태를 보일수록, 기업의 규모가 클수록 더 좋은 결과를 이끌어낸다고 분석했다. 이외에도 식스 시그마 품질경영활동이 기업의 재무지표에 긍정적인 영향을 끼친다는 결론을 낸 연구가 여러 편이 있다. 그러나 연구결과와는 다르게 식스 시그마 품질경영활동을 도입한 기업이 실제로 항상 지속적인 경영성과를 내는 것은 아니다. 식스 시그마 품질경영활동을 시작한 모토로라의 경우 도입이후 경영위기에 빠졌고, IBM의 경우 1989년 모토로라를 벤치마킹하여 식스 시그마 품질경영활동을 도입했으나 실패로 끝났다(Bae 2002). 이처럼 식스 시그마 품질경영활동을 도입한 기업이 모두 성공

을 거둔 것은 아니기 때문에 식스 시그마 품질경영활동과 기업의 성과지표의 관계는 연구자들의 주된 관심사가 되었다. Park et al.(2014)은 식스 시그마 품질경영활동과 기업의 재무지표를 선형회귀모형을 이용하여 식스 시그마 품질경영의 도입기간 및 품질 관리를 위한 노력이 총자산순이익률(Return on asset: ROA), 자기자본이익률(Return on equity: ROE), 총자산회전율, 매출액 순이익률에 어떤 영향을 끼치는지 분석하였다. Sohn(2009)은 품질경영 활동이 기업의 재무적 성과에 해당하는 매출액 성장률, 영업이익률, 시장점유율, 총자산순이익률(Return on asset: ROA)에 미치는 영향에 대해 분석하였다. Kang and Park(2011)은 식스 시그마를 도입한 기업과 도입하지 않은 기업 간에 재무적 성과 차이를 분석하고 식스 시그마의 도입기간이 재무적 성과에 미치는 영향을 다중회귀분석을 통해 연구하였다. 그 결과 식스 시그마를 도입하지 않은 기업에서 매출총이익률이 더 높게 나타났다. 또한 식스 시그마의 도입기간이 매출액 성장률, 매출액 순이익률과 유의한 정의 관계를 보인다는 결론을 도출했다. 이와 비슷하게, Foster(2007)는 식스 시그마 도입과 기업의 재무적 성과를 회귀분석을 통해 분석하고, 식스 시그마의 도입이 기업의 현금흐름과 자산 회전에 긍정적인 영향을 미치지만 ROA, 투자자본수익률(Return on investment: ROI)와 회사의 성장률과는 무관하다는 결론을 제시했다. Jeong(2005)은 식스 시그마의 실행과 재무적, 비재무적 성과의 관계를 분석한 결과 식스 시그마의 실행은 재무적 성과에는 긍정적인 영향을 미치지만, 비재무적 성과에는 유의한 영향을 미치지 못한다는 결론을 얻었다. Ryu et al.(2016)는 선형회귀분석과 평활스플라인 함수를 이용하여 기업의 품질관리를 위한 노력이 재무적 성과(ROA, ROE, 영업비용, 매출원가)에 미치는 영향을 분석하였다. 그 결과, 품질관리를 위한 노력이 ROA, ROE에는 긍정적인 영향을 미치나 영업비용이나 매출원가에는 유의한 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 또한 식스 시그마의 도입기간과 성과지표를 분석한 결과 일부 구간에서는 성과가 정체되는 부분이 존재하고 심지어 부정적인 성과를 나타내는 부분도 있다고 하였다.

이처럼 식스 시그마와 재무적 성과 간 관계를 연구하기 위해 회귀분석을 이용한 논문이 다수 있었으나 표본선택편의(Sample selection bias)을 고려한 연구는 거의 없다. 식스 시그마에 관한 연구는 실험이 불가능한 관찰연구이다. 널리 알려진 대로, 관찰연구에서 처치변수(treatment variable)가 무작위할당(random assignment)되지 않은 경우, 처치를 받은 집단과 그렇지 않은 집단은 처치여부뿐만 아니라 내재된 다른 특성을 가지고 있을 수 있다. 이 경우 처치 여부가 관심변수에 영향을 미치더라도 이것이 처치 효과에 따른 것인지 내재된 특성에 의한 것인지 구별하는 것이 쉽지 않다. 예를 들어 식스 시그마를 도입한 기업이 도입하지 않은 경우보다 자산을 많이 보유한다면, 식스 시그마의 도입 여부와 재무적 성과 간에 정의 관계가 있다 할지라도 그것이 식스 시그마의 도입 때문인지, 아니면 더 많이 보유한 자산 때문인지 구별할 수 없게 된다. 따라서 본 논문에서는 선택편의를 줄이는 방법 중 하나인 경향점수매칭(Propensity Score Matching)을 사용하여 관찰연구에서 발생할 수 있는 선택편의를 줄임으로써 식스 시그마의 도입 여부가 재무적 성과에 어떠한 영향을 끼치는 지에 대하여 보다 정확한 분석을 할 수 있도록 한다.

본 논문은 식스 시그마를 도입하지 않은 기업을 추출하여 그들의 재무성과를 도입 기업의 재무성과와 비교분석한다는 점에서 Park et al.(2014), Ryu et al.(2016)와 구별된다. 또한 Kang and Park(2011), Park et al.(2014), Ryu et al.(2016)가 식스 시그마의 시행기간이 재무적 성과에 미치는 영향을 분석할 때 식스 시그마를 도입한 기업에 한정한 것과 달리, 식스 시그마 시행기간이 각각 1~5년, 6~10년, 11년 이상인 집단으로 나누어 미도입기업과의 재무적 성과를 비교하는 방법으로 식스 시그마 시행기간의 효과를 살펴볼 것이다.

본 연구에서는 산업통상자원부와 한국생산성본부에서 실시한 제조업 생산성 패널조사 2013을 사용한다. 제조업 생산성 패널조사 2013 자료를 이용하여 객관적인 기업성과를 사용하고 대규모 표본을 사용하여 회귀분석모형의 효율성을 높일 수 있었다(Park et al. 2014). Kim(2004), Jeong(2007), Sohn(2009) 등 이전의 여러 논문들이 실증분석을 하였으나 이는 소규모 표본에 대해 설문 조사로 얻은 데이터를 사용하였고 미응답 표본이 있었다. 그러나, 본 연구에서 사용한 제조업 생산성 패널조사는 정부기관인 산업통상자원부에서 관여하기 때문에 설문의 응답률이 높고

신뢰할 수 있다는 점에서 이전의 논문에서 사용한 표본과는 다르다고 할 수 있다.

앞으로 전개될 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 경향점수매칭과 관련된 내용을 서술하고, 3장에서는 이를 바탕으로 하여 연구모형 설계 및 가설을 설정할 것이다. 4장에서는 실증 분석한 결과를 평가하고 마지막으로 5장에서는 연구결과를 바탕으로 결론을 제시한다.

2. 경향점수매칭의 이론적 배경

인과관계를 판단할 때 발생하는 기본적인 문제는 처치집단에서의 관심변수와 통제집단에서의 관심변수를 동시에 관찰할 수 없다는 것이다(Holland 1986). T 를 처치여부에 대한 지시변수(Indicator variable)로 가정하고, $T=1$ 이면 처치집단에 할당되고 $T=0$ 이면 통제집단에 할당된다는 것을 의미한다고 하자. Y_{i1} 이 i 번째 개체가 처치집단에 속할 때 관심변수의 값이고, Y_{i0} 는 i 번째 개체가 통제집단에 속할 때의 값이라고 하자. 그렇다면 i 번째 개체의 처치 효과 τ_i 는 $\tau_i = Y_{i1} - Y_{i0}$ 로 정의될 수 있다. 비실험연구의 경우, 처치효과는 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}\tau|_{T=1} &= E(\tau_i|T_i = 1) \\ &= E(Y_{i1}|T_i = 1) - E(Y_{i0}|T_i = 1)\end{aligned}\quad (1)$$

문제는 위 식의 첫 번째 항은 추정할 수 있지만, 두 번째 항은 추정할 수 없다는 것이다. 하지만 관심변수의 값이 처치변수와 독립이라면, 즉 $Y_{i1}, Y_{i0} \perp T_i$ 가 성립한다면 처치효과의 추정이 가능하게 된다. 이는 다음의 식이 성립하기 때문이다.

$$\begin{aligned}E(Y_{i0}|T_i = 0) &= E(Y_{i0}|T_i = 1) = E(Y_i|T_i = 0) \\ \text{이 때, } Y_i &= T_i Y_{i1} + (1 - T_i) Y_{i0}\end{aligned}\quad (2)$$

그러나 이런 인과관계의 추론은 처치여부의 할당이 다른 변수들과 통계적으로 독립일 경우, 즉 무작위할당(Random assignment)인 경우에만 할 수 있다(Holland, 1986). 하지만 관찰연구는 기존에 존재하는 집단을 대상으로 연구가 수행되기 때문에 표본을 처치집단과 통제집단에 무작위할당하는 것이 불가능한 경우가 많다. 이처럼 무작위할당이 사용되지 않을 경우, 처치집단과 비교집단은 배경특성이 다를 수 있다. 이런 처치변수 외의 요인으로 인한 차이는 처치변수가 관심변수에 야기하는 차이보다 더 큰 영향을 미칠 수 있다(Adelson 2013). 즉 자료에 내재하는 선택편의로 인해 인과적 효과를 잘못 추론하게 될 수 있다. 따라서 관찰연구는 처치집단과 비교집단 사이에 존재하는 체계적인 차이를 조정할 수 있는 도구가 필요하다(Braitman and Rosenbaum, 2002).

경향점수(propensity score)는 처치집단과 비교집단 간 발생하는 배경특성의 차이를 줄여주는 방법이다. Rosenbaum and Rubin(1983)은 다수의 변인들을 동시에 고려하여 경향점수를 추정하고, 추정된 경향점수를 통해 표본을 구성하도록 하는 방법을 제안한 바 있다. 경향점수란 처치집단에 속할 가능성에 영향을 주는 변인들을 공변

량으로 하여 해당 표본이 처치집단에 속하게 되는 조건부 확률을 말한다(Rosenbaum and Rubin 1983). Z 는 처치여부에 대한 변수이고 $Z = 1$ 이면 처치집단에 할당되고 $Z = 0$ 이면 통제집단에 할당된다고 하자. 또한 X 가 실험처치에 영향을 미치는 공변량의 벡터(vector)일 때, 통계적으로 경향점수 $e(X)$ 는 관찰된 다른 변수 X 가 주어진 경우에 처치를 받을 조건부확률이며 다음과 같이 표현이 가능하다(Rosenbaum and Rubin 1983).

$$e(X) = \Pr(Z = 1|X)$$

이런 경향점수는 일반적으로 공변량을 독립변수로 놓고 처치여부를 종속변수로 하는 로지스틱 회귀분석을 통해 추정한다. 그리고 아래의 가정(strongly ignorable treatment assignment)을 수용할 때,

$$(Y_0, Y_1) \perp Z | X, 0 < \Pr(Z = 1|X) < 1$$

경향점수가 같은 개체는 관찰된 공변량의 분포가 비슷하게 된다(Rosenbaum and Rubin 1983). 자세한 증명은 Rosenbaum and Rubin(1983)을 참고하길 바란다. 물론 공변량이 처치효과에 미치는 영향을 보정하기 위한 방법이 경향점수를 사용하는 것만 있는 것은 아니다. 흔히 사용되는 공분산분석(ANCOVA) 역시 그 방법 중에 하나이다. 공분산분석은 처치집단과 비교집단의 공변량 분포가 비슷할 경우 효과적이다. 하지만 관찰연구에서와 같이 공변량 분포가 다른 경우 경향점수 방법이 더 선호된다(Dehejia and Wahba 1999, Rubin 1997).

경향점수를 사용하여 매칭을 하는 과정은 다음과 같다(Haus-vaughn and Onwuegbuzie 2006; Sang 2006). 첫째, 선행연구를 검토하여 실험집단에 속할 가능성에 영향을 주는 변인들을 공변량으로 설정하고, 실제로 분석하고자 하는 자료에서 실험집단과 통제집단 간 유의한 차이가 있는지 확인한다. 둘째, 처치여부를 종속변수로 하고 공변량을 독립변수로 하는 로지스틱 회귀분석을 실시하고 처치집단에 할당될 확률을 산출하여 경향점수로 활용한다. 셋째, 경향점수를 이용하여 결합표집을 실시하되, 실험집단과 통제집단에 속한 사례 중 경향점수가 동일하거나 유사한 사례들을 각각 추출하여 대응시킨다. 넷째, 결합표집 이후에는 공변량에 있어 실험집단과 통제집단이 동등한 특성을 가지게 되었는지 확인한다. 동등성이 확보되었다면, 경향점수를 활용한 분석을 하여 순수한 독립변수의 효과를 추정하게 된다(Rosenbaum and Rubin, 1984).본 연구에서는 공변량으로 연속형 자료를 많이 사용하기 때문에 경향점수가 완벽히 일치하지 않아 짝을 지을 수 없을 경우 가까운 이웃점수로 대체하는 Nearest Neighbor Matching(Caliendo and Kopeinig, 2008)을 사용한다. 그러면서도 가능한 한 많은 표본수를 유지하기 위해 처치집단에 속하는 표본과 비교집단에 속하는 표본의 개수의 비율은 공변량의 체계적인 차이가 발생하지 않는 선에서 가장 크게 유지한다.

3. 실증분석

3.1 표본 자료

제조업생산성패널조사 2013에서 조사에 참가한 기업은 총 601개이다. 이 중 독립변수 및 종속변수에 결측치가 없는 593개의 자료를 매칭 전 자료로 사용한다. 593개의 자료 중 식스 시그마를 도입한 기업은 158개, 도입하지

않은 기업은 435개이다. 이 자료를 기반으로 경향점수매칭을 이용하여 추출된 표본을 최종적으로 분석에 이용한다. 본 연구에서 선형회귀모형 분석을 위하여 고려한 대응변수 및 종속변수와 독립변수는 <Table 1>과 같다.

Table 1. Independent, matching and dependent variables

Variable	Reference
Dependent variable	Return on asset (= net profit/asset)
	Ratio of Net Income to Net Sales (= net profit/sales)
Independent variable	Implementation of Six Sigma
	Leverage ratio
	Degree of domestic market competition
	Degree of foreign market competition
	Possibility of new entrants
Matching variable	Forecast for sales increase
	Scale of the firm
	Total Assets
	Total Debts
	Age of firm

종속변수는 총자산순이익률과 매출액순이익률이다. 총자산순이익률은 기업의 순이익을 자산총액으로 나누어 계산한 수치로, 기업이 자산을 얼마나 효율적으로 운용했는지를 나타낸다. 매출액순이익률은 매출액을 순이익으로 나누어 계산한 수치로, 기업 활동의 총체적인 능력을 판단하는 지표이며 기업의 최종 수익성을 판단하는 비율이다. 이에 반하여, 독립변수는 식스 시그마의 도입여부이다. 식스 시그마의 도입여부에 대한 판단은 “현재 회사에서 도입 운영 중인 생산체계화 기법의 도입현황은 어떻게 됩니까?”의 문항을 기준으로 하였다. 문항에 대한 응답에서 ‘Design For Six Sigma(DFSS)’, ‘LEAN/TPS’, ‘식스 시그마’, ‘품질혁신운동’ 중 하나라도 선택한 기업은 식스 시그마를 도입했다고 판단하였다. 식스 시그마 도입기간을 측정하는 변수는 위의 네 가지 기법의 도입연도를 기준으로 구성하였고 네 가지 기법 중 두 개 이상의 기법을 도입한 기업은 가장 최초에 도입한 기법을 기준으로 구성하였다. 부채비율은 기업이 자기자본에 비하여 얼마나 많은 부채를 보유하고 있는지를 나타내는 비율로 기업의 부채를 자기자본으로 나눈 값으로 계산한다. 하지만 주어진 자료의 경우 부채비율 값이 매우 넓은 범위에 걸쳐 나타나고 특이 값이 다수 존재하므로 기업의 부채를 자산으로 나눈 값을 대신 사용한다. 부채비율을 독립변수로 선택한 이유는 기업의 부채비율은 레버리지 효과로 인해 기업성장에 영향을 미치기 때문이다. 또한 개별 기업이 시장상황에 대해 어떤 판단을 하고 있는지를 반영하기 위해 국내 및 해외 시장의 경쟁정도에 대한 판단, 진입의 어려움 정도, 판매 상승에 대한 기대를 독립변수에 포함시켰다. 매칭변수로는 총자산, 총부채, 기업의 나이, 기업의 규모를 선정하였다. 자산의 경우, 자산이 많은 회사는 규모가 큰 회사일 가능성이 높고 규모의 경제로 인한 이득을 얻을 수 있는 가능성이 존재한다. 따라서 자산 규모가 식스 시그마의 도입 효과를 왜곡시킬 수 있다고 판단하여 이를 매칭변수로 설정하였다. 기업규모를 나타내는 자산, 부채는 자연로그 값을 이용하였는데, 그 이유는 각 변수를 그대로 사용하였을 경우 각 기업 간의 편차가 매우 크게 나타나기 때문이다. 다음으로 기업의 나이를 매칭변수로 설정하였다. 오래된 기업일수록 기업내부에 수익 창출에 있어서 안정적인 프로세스를 갖추고 있기 때문에 성과가 향상될 수 있기 때문이다(Camfferman and Cook 2002).

3.2 가설 설정

Harry and Schroeder(2000)와 Yang(2007)의 연구에서는 식스 시그마 품질경영활동이 제대로 이루어질 경우 재무적으로 긍정적인 성과를 낸다는 것을 밝혀냈다. 하지만 서론에서 언급한 것과 같이 식스 시그마를 도입한 모든 기업이 가시적인 성과를 내는 것은 아니다. 또한 기업이 발표하는 식스 시그마의 재무적 성과는 기업 내부적으로 식스 시그마의 효과를 선전하고 도입을 장려하기 위해, 그리고 식스 시그마 도입 프로젝트를 수행한 컨설팅 기업의 마케팅 효과를 위해 실제 성과보다 과대 포장되었던 부분이 있다(Kim et al., 2009). 이런 점에서 식스 시그마의 도입이 정말로 기업의 재무성과에 긍정적인 영향을 미치는지 살펴볼 필요가 있다. 따라서 식스 시그마의 도입이 기업의 수익률 지표인 ROA, 매출액순이익률에 어떤 영향을 미치는지 살펴보기 위하여 다음과 같이 가설1.1과 가설 1.2를 설정한다.

가설1 : 식스 시그마의 도입여부는 재무적 성과에 긍정적인 영향을 미친다.

가설1.1 : 식스 시그마의 도입여부는 총자산순이익률(ROA)에 긍정적인 영향을 미친다.

가설1.2 : 식스 시그마의 도입여부는 매출액순이익률에 긍정적인 영향을 미친다.

식스 시그마와 같은 경영 혁신은 조직 구성원이 일상적인 일을 하는 방식에 영향을 미친다(Sinha and Van de Ven 2005). 그리고 작업의 수행은 다양한 조직이 그들의 특정한 요구에 맞도록 적응하고 환경을 재설정하면서 개선된다(Robertson et al.1996; Rogers 2003; Strang and Kin 2004). 이러한 사실은 식스 시그마라는 경영혁신이 효과를 발휘하려면 전체적인 조직이 적응하는 시간이 필요하다는 것을 의미한다. 식스 시그마를 도입하기 위해서는 막대한 금액의 투자가 필요하고 교육과 훈련에 많은 시간과 노력이 요구된다. 통계에 의하면 식스 시그마를 적용해 어느 정도 성과를 달성하기까지 오랜 기간이 걸린다고 한다. 물론 이 또한 조직전체가 식스 시그마에 전념하였을 경우에 해당한다(Ahn 2002). 또한 Kim et al.(2007)의 연구는 식스 시그마의 적절한 수용만으로도 성과는 낼 수 있지만, 식스 시그마가 성숙단계까지 이른 경우 성과가 훨씬 크게 나타났기 때문에 식스 시그마를 성숙 발전시켜 사용할 것을 강조하였다. 이상의 논의를 통해, 식스 시그마도 시행기간이 길어짐에 따라 안정적인 시스템으로 정착되어 재무적 성과에 정(+)의 영향을 미칠 수 있으므로 다음과 같은 가설2를 설정한다.

가설2 : 식스 시그마의 도입기간이 길수록 식스 시그마의 도입여부가 재무적 성과에 긍정적인 영향을 미친다.

가설2.1 : 식스 시그마의 도입기간이 길수록 식스 시그마의 도입여부가 총자산순이익률(ROA)에 긍정적인 영향을 미친다.

가설2.2 : 식스 시그마의 도입기간이 길수록 식스 시그마의 도입여부가 매출액순이익률에 긍정적인 영향을 미친다.

본 논문이 Park et al.(2014), Ryu et al.(2016)과 다른 점은 식스 시그마 도입 기업뿐만 아니라 그에 대응되는 미도입 기업을 표본에 포함시켰다는 점이다. 기업이 식스 시그마를 도입하는 이유는 도입하지 않았을 경우보다 이윤 창출에 도움이 된다는 판단을 하기 때문이다. 이런 이유에서 식스 시그마 도입의 효과는 식스 시그마를 도입한 기업

과 도입하지 않은 기업을 비교함으로써 고려되어야 한다. 하지만 식스 시그마의 적용성과를 다룬 기존의 일부 연구들은 식스 시그마를 도입한 기업만을 대상으로 삼았다는 점에서 제한적일 수 있다. 본 논문은 식스 시그마 도입기업과 미도입 기업을 모두 표본에 포함시킴으로써 보다 현실에 맞는 실증분석을 목표로 한다.

3.3 연구 설계 모형

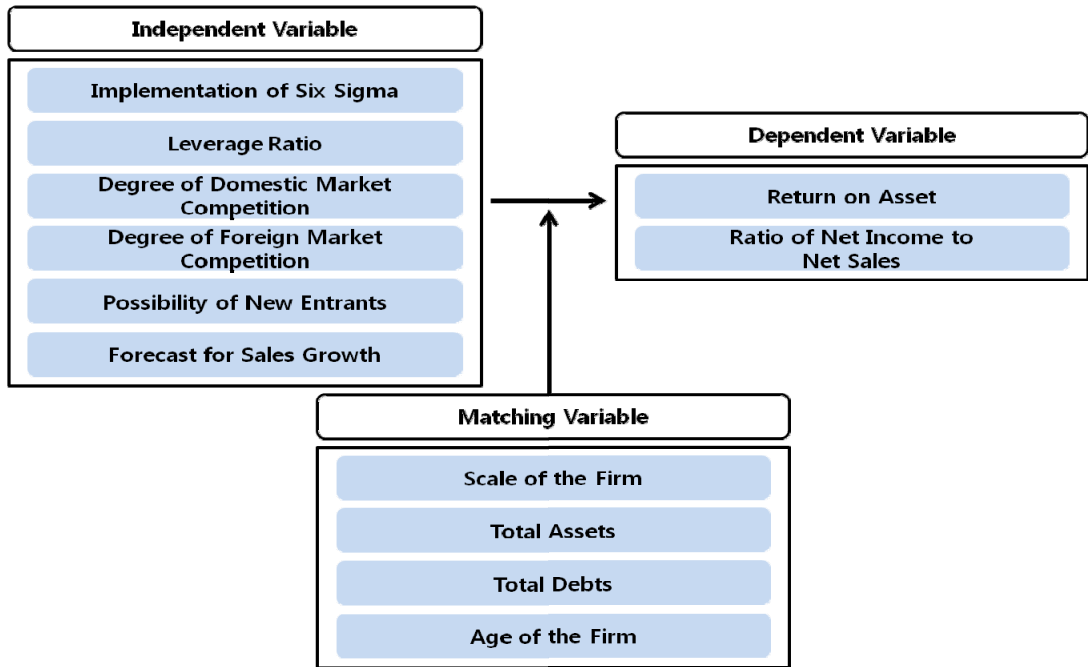


Figure 1. Design of research model

<Figure 1>은 가설을 검정하기 위한 기본적인 연구 설계이다. 가설1은 식스 시그마를 도입한 기업과 도입하지 않은 기업을 대상으로 경향점수매칭을 통해 표본을 추출하여 선택편의를 제거한 뒤에 회귀분석을 사용하여 분석한다. 회귀분석에 포함되는 독립변수는 직접적으로 식스 시그마 품질경영 기법을 반영하기 위해 식스 시그마 도입기간 외에도 기업의 시장 상황 및 기업의 특성을 반영한 독립변수를 고려한다. Kang and Park (2011)은 식스 시그마 도입 여부가 기업의 재무적 성과에 미치는 영향에 대해 연구하였다. 하지만 식스 시그마 도입 기업과 미도입 기업 사이에서는 재무적 성과의 차이가 없었으며 식스 시그마 도입 기간은 재무적 성과 중 매출액총이익률에는 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 Kang and Park (2011)과 달리 여러 대응변수를 설정해 선택편의의 가능성을 줄인 뒤에 회귀분석을 실시한다. 가설2의 검정 또한 <Figure 1>의 과정을 따른다. 다만 가설1을 검정하는 과정과의 차이는 식스 시그마 도입기간이 각각 1~5년, 6~10년, 11년 이상인 기업으로 나누어 해당 집단에 속하는 기업의 식스 시그마 도입 효과를 추정한다는 것이다. 이 역시 해당 범주에 속하는 기업과 식스 시그마 미도입 기업을 경향점수 매칭을 통해 표본을 추출한 뒤 회귀분석을 진행한다.

3.4 경향점수매칭(Propensity Score Matching: PSM)

가설1에 대해 경향점수 매칭 전과 후의 식스 시그마 도입기업과 미도입 기업 간 매칭변수의 차이를 <Table 2>에 제시한다.

Table 2. Differences of matching variables before and after Propensity Score Matching (PSM)

Matching variable	(A) Before PSM		(B) After PSM	
	<i>t</i> value	<i>p</i> value	<i>t</i> value	<i>p</i> value
Scale of the firm	4.0602	6.825e-05	0.3602	0.7189
Total Assets	-3.6098	0.0003664	-0.44088	0.6596
Total Debts	-3.0252	0.002745	-0.62257	0.534
Age of firm	-1.7561	0.08021	-0.65823	0.5109

가설1의 분석을 위해 기업의 나이, 총 자산, 총 부채, 기업규모를 기준으로 경향점수매칭을 진행하여 식스 시그마를 도입한 기업과 도입하지 않은 기업 간의 변수들에 유의한 차이가 나지 않도록 한다. 최종적으로 비슷한 경향점수를 가지는 표본을 1:1의 비율로 매칭했을때(식스 시그마를 도입한 기업 158개, 도입하지 않은 기업 158개를 추출하였을 때) 선정된 변수들 간 유의한 차이가 발생하지 않았다. 이는 선정된 변수들의 체계적인 차이로 인해 발생할 수 있는 선택편의의 위험성이 완화된 것을 의미한다. 가설2에 대해 경향점수매칭 전과 후의 식스 시그마 도입기업과 미도입 기업 간 통제변수의 차이를 <Table 3>, <Table 4>, <Table 5>에 제시한다.

Table 3. Differences of matching variables before and after Propensity Score Matching (PSM) in case of firms whose six sigma implementation period is 1~5 years

Control variable	(A) Before PSM		(B) After PSM	
	<i>t</i> value	<i>p</i> value	<i>t</i> value	<i>p</i> value
Scale of the firm	2.0459	0.04601	0.2691	0.7887
Total Assets	-0.2844	0.7772	-0.0456	0.9637
Total Debts	0.0082	0.9935	-0.2741	0.7848
Age of firm	1.0928	0.2792	0.5559	0.58

가설2의 분석을 위해 기업의 나이, 총 자산, 총 부채, 기업규모를 기준으로 경향점수매칭을 진행하여 식스 시그마를 도입한지 1~5년된 기업과 도입하지 않은 기업 간의 변수들에 유의한 차이가 나지 않도록 하고자 하였다. 최종적으로 비슷한 점수를 가지는 표본을 1:4의 비율로 경향점수매칭을 사용했을 때(식스 시그마를 도입한 기업 46개, 도입하지 않은 기업 184개를 추출하였을 때) 변수들 간 유의한 차이가 발생하지 않았다.

Table 4. Differences of matching variables before and after Propensity Score Matching(PSM) in case of firms whose six sigma implementation period is 6~10 years

Control variable	(A) Before PSM		(B) After PSM	
	<i>t</i> value	<i>p</i> value	<i>t</i> value	<i>p</i> value
Scale of the firm	1.9697	0.05255	0.5529	0.5816
Total Assets	-2.1425	0.0352	0.2850	0.7763
Total Debts	-2.0488	0.0438	0.2737	0.785
Age of firm	-0.3436	0.7321	0.2519	0.8017

위와 동일한 과정을 거친 결과 최종적으로 비슷한 점수를 가지는 표본을 1:4의 비율로 경향점수매칭을 했을 때(식스 시그마를 도입한 기업 64개, 도입하지 않은 기업 256개를 추출하였을 때) 변수들에 유의한 차이가 발생하지 않았다.

Table 5. Differences of matching variables before and after Propensity Score Matching(PSM) in case of firms whose six sigma implementation period is over 10 years

Control variable	(A) Before PSM		(B) After PSM	
	<i>t</i> value	<i>p</i> value	<i>t</i> value	<i>p</i> value
Scale of the firm	3.3068	0.0018	1.2389	0.2202
Total Assets	-3.9819	0.0002	-0.8509	0.3983
Total Debts	-3.5997	0.0007	-0.7739	0.4421
Age of firm	-4.2515	8.933e-5	-0.6606	0.511

최종적으로 비슷한 점수를 가지는 표본을 1:4의 비율로 경향점수매칭을 했을 때(식스 시그마를 도입한 기업 48개, 도입하지 않은 기업 192개를 추출하였을 때) 매칭 변수들 간 유의한 차이가 발생하지 않았다.

3.5 가설 검증

가설1.1과 가설1.2에 대한 회귀분석을 실시한 결과는 <Table 6>에 제시한다.

Table 6. Regression analysis of ROA and Ratio of Net Income to Net Sales with data of both six sigma-implemented and unimplemented firms

Independent variable	(A) ROA			(B) Ratio of Net Income to Net Sales		
	Regression Coefficient	<i>t</i> value	<i>p</i> value	Regression Coefficient	<i>t</i> value	<i>p</i> value
Implementation of Six Sigma	0.0034	0.246	0.806	-0.0165	-1.190	0.235
Leverage ratio	-0.2927	-10.923	<0.0001	-0.2443	-9.037	<0.0001
Degree of domestic market competition	-0.0048	-0.646	0.519	-0.0096	-1.287	0.199

Degree of foreign market competition	-0.0091	-1.305	0.193	-0.0080	-1.132	0.258
Possibility of new firm	0.0070	1.211	0.227	0.0083	1.421	0.156
Forecast for sales increase	0.0061	1.138	0.256	-0.0026	-0.491	0.624
Adjusted R^2 : 0.2734, F-Value : 20.75, P Value : <0.001			Adjusted R^2 : 0.2149, F-Value : 15.32, P Value : <0.001			

ROA를 종속변수로 선형회귀분석을 실시한 결과, 부채비율의 회귀계수 값만이 통계적으로 유의하였다. 부채비율은 ROA와 음의 상관관계를 보이는데, 이는 부채비율이 높은 경우 부채에 대한 이자비용이 순이익을 감소시킨다는 점에서 타당한 결과라고 볼 수 있다. 식스 시그마의 도입에 대한 회귀계수의 값은 통계적으로 유의하지 않았다. 즉 식스 시그마의 도입 여부는 ROA에 유의한 영향을 미친다고 볼 수 없다. 또한 가설 1.2를 확인하기 위해 매출액순이익률을 종속변수로 회귀분석을 실시한 결과, 부채비율의 회귀계수 값만 통계적으로 유의하였다. 이 역시 부채로 인한 순이익의 감소가 영향을 미친 결과라고 볼 수 있다. 식스 시그마의 도입은 매출액 순이익률에도 유의한 영향을 미치지 못하였다. 이는 가설1과 배치되는 결과로 두 경우 모두 식스 시그마의 도입이 재무적인 성과에 긍정적인 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

가설2에서는 식스 시그마의 도입연수에 따라 나뉜 세 그룹이 각각 미도입 기업에 비해 어떠한 재무적 성과를 보이는지를 살펴본다. 가설2.1과 가설2.2에 대한 회귀분석을 실시한 결과는 <Table 7>, <Table 8>, <Table 9>에 제시한다.

Table 7. Regression analysis of ROA and Ratio of Net Income to Net Sales with data of both six sigma-implemented for 1~5 years and unimplemented firms

Independent variable	(A) ROA			(B) Ratio of Net Income to Net Sales		
	Regression Coefficient	t value	p value	Regression Coefficient	t value	p value
Implementation of Six Sigma	0.0103	0.618	0.537	-0.0194	-0.971	0.3325
Leverage ratio	-0.1493	-5.320	<0.0001	-0.1436	-4.253	<0.0001
Degree of domestic market competition	-0.0075	-1.031	0.303	-0.0063	-0.717	0.4742
Degree of foreign market competition	-0.0026	-0.388	0.699	-0.0052	-0.636	0.5257
Possibility of new firm	0.0051	0.916	0.361	0.0085	1.265	0.2071
Forecast for sales increase	0.0002	0.035	0.972	-0.0009	-0.150	0.8812
Adjusted R^2 : 0.1038, F-Value : 5.431, P Value : <0.001			Adjusted R^2 : 0.07018, F-Value : 3.868, P Value : 0.0011			

<Table 7>은 식스 시그마를 도입한 기간이 5년 이하인 집단과 식스 시그마를 도입하지 않는 기업 간의 비교를 나타낸 표이다. ROA를 종속변수로 선형회귀분석을 실시한 결과, 부채비율의 회귀계수 값만이 통계적으로 유의하였다. 식스 시그마의 도입에 대한 회귀계수의 값은 통계적으로 유의하지 않았다. 매출액순이익률을 종속변수로 회귀분

석을 실시한 결과, 역시 부채비율의 회귀계수 값만 통계적으로 유의하였다. 두 경우 모두 부채비율은 종속변수에 음의 영향을 미치는데, 이 역시 부채가 이자비용을 늘려 순이익을 줄이기 때문에 발생하는 결과라고 볼 수 있다. 또한 식스 시그마 도입의 회귀계수가 유의하지 않다는 것은 식스 시그마를 도입한지 6년이 되지 않은 기업과 식스 시그마를 도입하지 않은 기업 간에는 식스 시그마의 도입으로 인한 재무적 성과의 차이는 없다고 해석할 수 있다.

Table 8. Regression analysis of ROA and Ratio of Net Income to Net Sales with data of both six sigma-implemented for 6~10 years and unimplemented firms

Independent variable	(A) ROA			(B) Ratio of Net Income to Net Sales		
	Regression Coefficient	t value	p value	Regression Coefficient	t value	p value
Implementation of Six Sigma	-0.0006	-0.052	0.9582	-0.0066	-0.471	0.6381
Leverage ratio	-0.1435	-6.498	<0.0001	-0.1461	-5.297	<0.0001
Degree of domestic market competition	-0.0070	-1.479	0.1400	-0.0102	-1.725	0.0856
Degree of foreign market competition	-0.0043	-0.926	0.3552	0.0009	0.155	0.8770
Possibility of new firm	0.0024	0.624	0.5329	0.0078	1.633	0.1035
Forecast for sales increase	0.0108	2.895	0.0041	0.0103	2.224	0.0269
Adjusted R^2 : 0.1243, F-Value : 8.43, P Value : <0.001			Adjusted R^2 : 0.0901, F-Value : 6.163, P Value : <0.001			

<Table 8>은 식스 시그마를 도입한 기간이 6~10년인 기업과 식스 시그마 미도입 기업 간의 비교를 나타낸 표이다. ROA를 종속변수로 선형회귀분석을 실시한 결과, 부채비율과 판매증가에 대한 기대의 회귀계수 값이 통계적으로 유의하였다. 식스 시그마의 도입에 대한 회귀계수의 값은 통계적으로 유의하지 않았다. 매출액순이익률을 종속변수로 회귀분석을 실시한 결과, 역시 부채비율과 판매증가에 대한 기대의 회귀계수 값이 통계적으로 유의하였다. 이 역시 부채가 이자비용을 늘려 순이익을 줄이기 때문에 발생하는 결과라고 볼 수 있다. 또한 식스 시그마 도입의 회귀계수가 유의하지 않다는 것은 식스 시그마를 도입한 기간이 6~10년인 기업과 식스 시그마를 도입하지 않은 기업 간에는 식스 시그마의 도입으로 인한 재무적 성과의 차이는 없다고 해석할 수 있다.

Table 9. Regression analysis of ROA and Ratio of Net Income to Net Sales with data of both six sigma-implemented over 10 years and unimplemented firms

Independent variable	(A) ROA			(B) Ratio of Net Income to Net Sales		
	Regression Coefficient	t value	p value	Regression Coefficient	t value	p value
Implementation of Six Sigma	0.0116	0.844	0.3998	0.0005	0.037	0.9705
Leverage ratio	-0.1351	-5.411	<0.0001	-0.1446	-5.768	<0.0001
Degree of domestic market competition	-0.0123	-2.171	0.0310	-0.0115	-2.027	0.0439

Degree of foreign market competition	-0.0086	-1.474	0.1421	-0.0054	-0.913	0.3622
Possibility of new firm	0.0050	1.144	0.2539	0.0056	1.273	0.2043
Forecast for sales increase	0.0078	1.760	0.0798	0.0005	0.116	0.9077
Adjusted R^2 : 0.1514, F-Value : 7.514, P Value : <0.001			Adjusted R^2 : 0.1512, F-Value : 7.474, P Value : <0.001			

<Table 9>은 식스 시그마를 도입한지 10년이 넘는 기업과 식스 시그마 미도입 기업 간의 비교를 나타낸 표이다. ROA를 종속변수로 선형회귀분석을 실시한 결과, 부채비율과 국내시장의 경쟁정도의 회귀계수 값이 통계적으로 유의하였다. 식스 시그마의 도입에 대한 회귀계수의 값은 통계적으로 유의하지 않았다. 매출액순이익률을 종속변수로 회귀분석을 실시한 결과, 동일한 결과가 나왔다. 따라서 식스 시그마를 도입한 기간이 11년 이상인 기업과 식스 시그마를 도입하지 않은 기업 간에는 식스 시그마의 도입으로 인한 재무적 성과의 차이는 없다고 해석할 수 있다.

가설2는 식스 시그마를 오랜 기간 동안 시행한 기업일수록 품질관리에 대한 경험 및 숙련도가 늘어나 제품의 불량률이 낮아지고 식스 시그마를 도입하면서 다른 기업 및 소비자에게 긍정적인 인상을 심어주어 더 나은 재무적 성과를 거둘 것이라는 생각을 기반으로 하고 있다. 하지만 <Table 7>, <Table 8>, <Table 9>의 결과는 식스 시그마의 도입기간에 따라 나눈 세 집단 중 어느 집단에서도 식스 시그마의 도입한 기업이 시그마를 도입하지 않은 기업에 비해 더 좋은 재무성과를 내지 못한다는 것을 알 수 있다. 식스 시그마를 시행한 기업이 식스 시그마를 시행하지 않은 기업과 재무적 성과에 있어서 통계적으로 유의한 차이를 보이지 못한다는 것은 식스 시그마를 도입하기 위해 투자한 비용을 생각할 때 옳은 투자였다고 보기는 힘들 것이다.

4. 결 론

본 연구는 제조업 생산성 패널조사를 사용하여 분석의 객관성을 더하였을 뿐 아니라 높은 응답률을 통해 자료의 효율성을 얻을 수 있었다. 기존의 선행연구와 다르게 선택편의에 의해 독립변수가 관심변수에 미치는 영향이 왜곡될 수 있다는 점을 고려하였고 이를 조정해주기 위해 경향점수매칭(Propensity score matching)이라는 통계적 방법을 사용하였다. 경향점수매칭을 통해 표본에서 선택편의의 가능성을 줄인 뒤에 식스 시그마 품질경영활동과 기업의 재무적 성과의 관계를 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

먼저, 식스 시그마 품질경영활동의 도입여부와 총자산순이익률(ROA), 매출액순이익률은 유의한 관계가 없었다. 이는 식스 시그마를 도입하는 것만으로 기업의 재무적 성과가 발생할 수 없다는 것을 뜻한다. 둘째, 식스 시그마 품질경영활동 도입기간을 3개의 범주로 나누고 각 범주에 해당하는 기업의 재무성과를 미도입기업의 재무성과와 비교한 결과, 어떤 경우에도 미도입기업과 유의한 차이를 보이지 않았다. 이는 식스 시그마의 수행기간이 길수록 재무적 성과가 좋아진다는 Kang and Park(2011), Park et al.(2014), Ryu et al.(2016)의 결과와 배치된다.

본 연구는 기존의 연구에서 고려하지 않았던 관찰연구에서의 선택편의의 문제를 인식하고 이를 조정하고자 했다는 점에서 의의가 있다. 앞서 분석한 것과 같이 식스 시그마의 도입만으로 재무적인 성과가 나타나지는 않았다. 또한 도입기간이 길다고 더 나은 재무적 성과를 얻은 것도 아니다. 이는 식스 시그마를 도입하는 것만으로 재무적 성과가 담보되지는 않는다는 것을 의미한다. 또한 분석과정 중 부채비율, 판매 증가에 대한 기대, 국내시장의 경쟁정도가 유

의한 변수였다는 것을 볼 때, 식스 시그마를 도입하는 것 못지않게 기업이 그들의 체질을 개선하고, 시장 경제상황에 맞는 대응법을 찾는 노력 또한 중요하다는 것을 의미한다.

REFERENCES

- Ahn, Young-Jin. 2002. *Six Sigma and Total Quality Management*. Seoul: PAKYOUNGSA.
- Adelson, Jill L. 2013. "Educational Research with Real-World Data: Reducing Selection Bias with Propensity Score Analysis." *Practical Assessment, Research & Evaluation* 18(15). Available online: <http://pareonline.net/getvn.asp?v=18&n=15>.
- Bae, Young-Il. 2002. "Understanding and Practice of Six Sigma Management." *SERI CEO Information* 349.
- Braitman, L.E., and Rosenbaum, P.R. 2002. "Rare outcomes, common treatments: Analytic strategies using propensity scores." *Annals of Internal Medicine* 137:693–695.
- Caliendo, M., and Kopeinig, S. 2008. "Some practical guidance for the implementation of propensity score matching." *Journal of Economic Surveys* 22:31–72.
- Camfferman, K., and Cooke, T. 2002. "An Analysis of Disclosure in the Annual Reports of U.K. and Dutch Companies." *Journal of International Accounting Research* 28(1):3–30
- Dehejia, R. H., and Wahba, S. 1999. "Causal effects in nonexperimental studies: Reevaluating the evaluation of training programs." *Journal of The American Statistical Association* 94:1053–1062.
- Foster, S. 2007. "Does Six Sigma Improve Performance?." *Quality Management Journal* 14(4):7–20
- Holland, P. W. 1986. "Statistics and Causal inference." *Journal of the American Statistical Association* 81:945–960.
- Haus-vaughn, D.L., and Onwuegbuzie, A.J. 2006. "Estimating and Using Propensity Score Analysis With Complex Samples." *The Journal of the Experimental Education* 75(1):31–65.
- Harry, Mikel J. 1998. "Six Sigma: a Breakthrough Strategy for Profitability." *Quality progress* 31(5):60–64.
- Harry, Mikel J, and Schroeder, Richard. 2000. "Six Sigma: Prozesse optimieren, Null-Fehler-Qualität schaffen, Rendite radikal steigern:[das Erfolgsgeheimnis von Jack Welch]." Campus-Verlag.
- Jacobs, Brian, Swink, Morgan, Linderman, Kevin. 2015 "Performance effects of early and late Six Sigma adoptions." *Journal of Operational Management* 36:244–257.
- Jung, Soon-Yeo, Lee, Chang-Dae, and Im, Tae-Jong. 2005. "The Effect of the six sigma on Business Performance." *Korean Journal of Accounting Research* 10(1):191–223
- Kang, Ho Young, and Park, Hyun Il. 2011. "The Empirical Study that 6-Sigma has an Effect on Firms' Financial Performance." *Journal of Finance and Accounting Information* 11(1):147–168.
- Kim, Gye-Soo. 2004. "6-sigma Quality Management : Defining and Analyzing Causal Relationships 6-sigma Drivers, Action Competency, Management Performance - in the Manufacturing Sector." *Journal of the Korean Operations Research and Management Science Society* 29(3):129–144.
- Kim, Ho-in, Jeon, Jae-Ho, and Kim, Chan-Mo. 2009. "A method of an Accurate Six Sigma Financial Effect Measurement and Connecting the Financial Effect to the Corporate Income Performance." *Journal of Korea Society for Quality Management* 37(3):94–101.
- Kim, Hyejeong, Yu, Jisoo, and Kim, Juyoung. 2007. "Effects of Organization Maturity on the Six Sigma Performance." *The Korean Association For Survey Research* 8(1):1–30.
- Lee, Kun Chang, Choi, Bong, and Kwon, Soon-jae. 2004. "Empirical Analysis of the Influence of Six Sigma Management Activities on Corporate Competitiveness." *Korean Management Review* 33(6):1735–1756.

- Lee, Seung-hyeon, and Park, Kwangtae. 2007. "Literature Review of Six Sigma: Focused on Korean Research Papers." *Journal of Korea Society for Quality Management* 35(1):97-112.
- Lee, Pal Hoon, Lee, Seung Hyun, and Hong, Sun Young. 2004. "Management Innovation, Engine to Escape Depression." *SERI CEO Information* 461.
- Park, Jae-young, Ryu, Changheon, Park, Minjae, Kwon, Kyoung-min, and You, Gunjea. 2014. "The Study on Relation between Company's Efforts for Quality Management(Six Sigma) and Financial Performance." *Journal of Korea Society for Quality Management* 42(3):361-371.
- Robertson, M., Swan, J., and Newell, s. 1996. "The role of networks in the diffusion of technological innovation." *Journal of Management Studies* 33(3):333-359.
- Rogers, E.M. 2003. *Diffusion of Innovations*, fifth ed. New York, NY : Free Press.
- Rosenbaum, P., and Rubin, D. 1983. "The Central Role of the Propensity Score in Observational Studies for Causal Effects." *Biometrika* 70:41-55.
- Rosenbaum, P., and Rubin, D. 1984. "Reducing Bias in Observational Studies Using Subclassification on the Propensity Score." *Journal of the American Statistical Association* 79:516-524.
- Rubin, D.B. 1997. "Estimating causal effects from large data sets using propensity scores." *Annals of Internal Medicine* 127:757-763.
- Ryu, Changheon, Park, Minjae, Kwon, Kyoung-min, and Yu, Gun Jea. 2016. "The Study on Relation between Company's Efforts for Quality Management(Six Sigma) and Financial Performance : Via Smoothing Spline Function." Submitted to a journal.
- Sang, Kyong-Ah. 2006. "Analysis of the Effects of Private Tutoring Using Propensity Score Matching." *Journal of Educational Evaluation* 22(3):717-735.
- Sinha, K.K., Van de Ven, A.H. 2005. "Designing work within and between organizations." *Organization Science* 16(4):389-408.
- Sohn, Sungjin. 2009. "The Effects of Corporate Culture, TQM, and Six Sigma Quality Management on Non-Financial Performance and Financial Performance." *Korean Management Review* 38(6):1691-1719.
- Strang, D., and Kim, Y. 2004. "Diffusion and domestication of managerial innovations: the spread of scientific management, quality circles, and TQM between the United States and Japan". In: Ackroyd, S., Thompson, P., Tolbert, P., Batt, R., *The Oxford Handbook of Work and Organization*. Oxford University Press, Oxford, 177-199.
- Yang, Seung Kwon. 2007. "The Effects of Success Factors of Six Sigma on the Management Performance." *Journal of the Korea Safety Management & Science* 9(5):117-123.

