

# 건설현장 품질관리 자동화 시스템의 생산성 분석에 관한 연구

최영준<sup>1</sup> · 오현철<sup>2</sup> · 백기현<sup>3</sup> · 김석<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>CJ대한통운 건설부문 선임 · <sup>2</sup>대우건설기술연구원 책임연구원 · <sup>3</sup>대우건설기술연구원 책임연구원 · <sup>4</sup>한국교통대학교 철도인프라시스템공학과 부교수

## A Study on Productivity Analysis of Quality Management System in Construction Site

Choi, Yeongjun<sup>1</sup>, Oh, Hyunchul<sup>2</sup>, Baek, Kihyun<sup>3</sup>, Kim, Seok<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Specialist, CJ Logistics E&C

<sup>2</sup>Senior Research Engineer, Daewoo Institute of Construction Technology

<sup>3</sup>Senior Research Engineer, Daewoo Institute of Construction Technology

<sup>4</sup>Associate Professor, Department of Railroad Infrastructure System Engineering, Korea National University of Transportation

**Abstract :** Quality management work at construction sites demands substantial time and effort, involving the preparation of documents in Excel, approval processes, and the execution of quality tests. These Excel-based tasks include printing quality test reports, performing quality tests, generating and approving test reports, and preparing management ledgers. This division of processes extends the duration of work and diminishes efficiency. Accordingly, a cloud-based construction site quality management system was developed to enhance the productivity of quality management work. The purpose of this study is to analyze the productivity of the construction site quality management system, which is in the early stages of implementation at construction sites. This study implemented the construction site quality management system at a road construction site and scrutinized subsequent alterations in the quality management workflow before and after the implementation. Additionally, a survey was conducted among quality control engineers to collect data on work time both before and after the introduction of the construction site quality management system. Based on the collected data, the Monte-Carlo simulation method was applied to analyze the productivity improvement effect of the construction site quality management system, and the results were presented. The results of this study can serve as foundational data for future research endeavors focused on the automation of quality management works.

**Keywords :** Construction Site, Quality Management System, Productivity Analysis, Monte-Carlo

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

현재 건설현장의 품질관리업무는 품질시험 진행 이외에도 관련 서류작성 및 결재에 많은 시간과 노력을 필요로 한다. 이러한 이유는 건설기술 진흥법 시행규칙(MOLIT, 2022a) 제50조(품질시험 및 검사의 실시) “품질검사자는 품질검사 대장에 품질검사의 결과를 적되, 전자적 처리가 불가능한 특별한 사유가 없으면 전자적 처리가 가능한 방법으로 작성·관리하여야 한다”에 의거하여 대부분의 건설현장에서

엑셀 S/W를 활용해 품질관리업무를 수행하고 있기 때문이다. 그러나 이러한 엑셀문서 중심의 품질관리업무는 양식 출력 후 현장 품질시험, 사무실 복귀 후 시험성적서 문서작성, 시험성적서 출력 후 결재 등으로 이원화되어 관련 업무를 수행하기 위해 많은 시간이 소요되고 효율성이 떨어지는 것으로 분석되고 있다.

이에 따라 건설현장 품질관리업무의 생산성 및 효율성을 높이기 위해 건설현장에 적용가능한 품질관리시스템(construction site quality management system)이 개발되었다. 품질관리시스템은 현장 시험 당시 스마트 기기에서 시험성적서를 즉시 작성하고, 전자서명을 통한 결재가 가능하며 관리대장을 자동 생성해주는 클라우드 기반의 품질검사 통합관리 시스템이다. 품질관리시스템은 기존 엑셀 중심의 품질관리업무에 대한 간소화 및 자동화를 중심으로 개발되어 Paperless, 결재시간의 단축 및 프로세스 간소화 등의 이점을 제공할 것으로 예상되고 있다. 따라서 몇몇 기업들이 품질관리시스템을 건설현장에 도입하고 품질관리업무를 자

\* **Corresponding author:** Kim, Seok, Department of Railroad Infrastructure System Engineering, Korea National University of Transportation, 157 Cheoldobangmulgwan-ro, Uiwang-si 16106, Gyeonggi-do, Korea

**E-mail:** kimseok@ut.ac.kr

**Received** September 12, 2023; **revised** November 17, 2023

**accepted** December 27, 2023

동화하여 프로젝트의 생산성 향상을 도모하고 있다. 그러나 품질관리시스템은 현장 도입 초기단계이므로, 실증적인 데이터를 기반으로 생산성 향상 효과를 정량적으로 분석해 볼 필요성이 있다.

현재까지 건설 관련 생산성 분석 연구들을 살펴보면, 먼저 Park (2006)은 문헌검토를 통해 건설 생산성 추정 방법론들을 정리하고 개략적인 생산성 추정 모델을 제시하였다. 또 다른 연구들은 주로 건설현장 투입 인력의 생산성 측정 및 분석 방법(Son et al., 2003; Lee et al., 2010), 공사 공종별 생산성 분석에 대한 연구(Song et al., 2010; Huh et al., 2009; Park & Kim, 2019), 활용성 높은 생산성 분석 시스템의 개발(Kim & Lee, 2008) 등의 주제로 수행되었다. 국내 품질관리 관련 연구들을 살펴보면, 주로 품질관리를 고객이 요구하는 제품을 생산하기 위해 필요한 작업을 바르게 수행하도록 관리하는 것(Hong et al., 2004)으로 정의하여 연구를 수행하는 것으로 판단된다. 시공가치를 이용한 시공단계에서의 품질관리 방법(Hong et al., 2004), PDCA Cycle을 이용한 시공단계에서의 품질관리 방법(Baik, 2008), 성공적인 품질관리를 위한 시공단계에서의 품질관리 주요 요인 분석(Kim & Im, 2007)등에 관한 연구가 수행되었으나, 자동화된 품질관리 시스템에 대한 연구는 미미한 실정이다. 국외에서도 문서 중심의 품질검사 프로세스를 비효율성을 개선하기 위한 디지털 기술 기반의 품질관리 방법론들이 제시되고 있다. 대표적으로 BIM 기반의 설계 리스크를 검토를 통해 재시공을 최소화하고 품질을 확보하는 연구(Hossain et al., 2018), 컴퓨터 비전과 딥러닝을 기반으로 콘크리트 결함을 자동 추출하여 품질관리를 효율화하는 연구(Wei et al., 2021) 등이 수행되어 왔다. 품질검사 자동화 및 생산성 분석에 관한 연구로는 BIM기반의 새로운 품질검사 API를 제시하고 시스템을 검증한 연구(Shin & Cha, 2023)가 있으나, 설문조사를 통해 시스템 활용성을 정성적으로 평가했으며 생산성 향상 효과에 대한 정량적 분석은 이루어지지 않았다. 이렇듯, 대부분의 디지털 기술 기반 품질관리 연구들은 BIM (Building Information Modeling), AR (Augmented Reality), IoT (Internet of Things), CV (Computer Vision), Blockchain와 같은 기술들을 활용하고 있다(Luo et al., 2022). 반면, 클라우드 기술을 활용한 자동화 시스템에 대한 연구들은 찾아보기 어렵다. 또한 기존 품질관리 연구들은 대부분 설계 세부 사항 검토, 결함 감지와 같은 주제에 초점을 맞추었으며(Luo et al., 2022), 건설재료 및 자재의 품질관리 자동화에 관한 연구는 여전히 부족하다. 따라서 건설현장 품질관리업무 자동화 시스템을 개발하고, 실제 현장에 도입하여 얻은 실무자들의 데이터를 기반으로 생산성을 분석하여 검증하는 실증적 관점에서의 연구가 필요하다.

이에 본 연구는 품질관리 시스템을 건설현장에 도입함으로써 발생하는 생산성 향상 효과를 분석하고자 한다. 이를 통해 품질관리시스템의 건설현장 도입 효과를 정량적으로 제시함으로써 시스템의 현장도입에 기여하고, 향후 건설현장 품질관리 자동화 시스템의 생산성 연구에 대한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서 다루는 품질관리업무는 건설기술 진흥법(MOLIT, 2022b) 제 55조 제2항, 제60조 제1항의 “건설공사의 품질관리를 위한 시험·검사” 및 관련된 문서 작업들을 의미한다. 본 연구는 국내 도로공사현장을 대상으로 하며, 품질관리업무의 시작인 품질시험 준비단계부터 마지막인 품질검사 관리대장 작성 및 실적보고자료 작성까지의 모든 프로세스에 품질관리시스템을 적용한다.

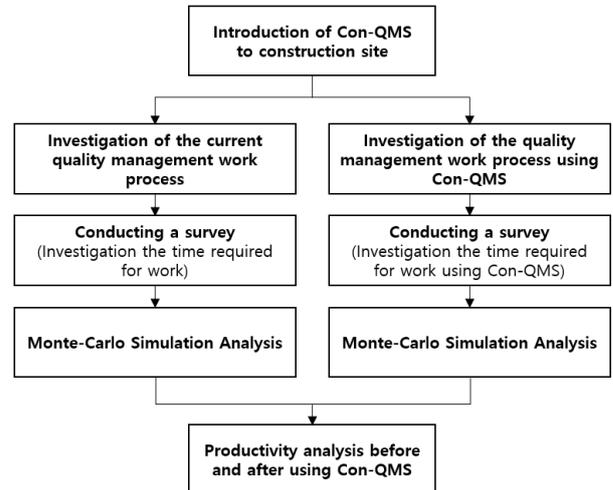


Fig. 1. Procedures of this study

본 연구는 <Fig. 1>과 같은 절차와 방법에 따라 수행되었다. 먼저 개발된 품질관리시스템을 실제 고속도로현장에 도입한다. 이어서 건설현장의 현행 품질관리업무 프로세스를 조사하고, 품질관리시스템을 도입함으로써 변화되는 품질관리업무 프로세스를 분석한다. 또한 실무자 설문조사를 통해 품질관리업무에 소요되는 시간을 품질관리시스템 도입 전·후로 나누어 조사한다. 현재 품질관리시스템의 건설현장 도입이 초기단계이므로 사용 유경험자 수가 적으며, 이에 따라 설문대상 모집단이 부족할 것을 고려하여 확률론적 해석의 형태로 접근하기 위해 몬테카를로 시뮬레이션(Rubinstein & Kroese, 2016) 방법론을 사용한다. 부족한 모집단으로 인한 불확실한 결과값을 시뮬레이션을 통해 수리적으로 근사함으로써 가장 합리적인 분석 결과를 도출할 수

있을 것이라 판단하였다. 설문조사 데이터를 기반으로 모집단의 확률분포를 가정하여 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하고, 품질관리시스템 도입 전·후의 생산성을 비교하여 품질관리시스템의 도입으로 인해 얻을 수 있는 생산성 향상 효과를 도출한다.

## 2. 건설현장 품질관리 프로세스 분석

본 연구는 건설현장에 품질관리시스템을 도입함으로써 발생하는 생산성 향상 효과를 분석하기 위해 품질관리시스템 도입 전·후의 품질관리업무 프로세스를 조사·분석하였다. 이를 통해 설문조사에서 품질업무 프로세스 별 소요시간과 프로세스 간소화 정도에 대한 정보를 체계적으로 수집할 수 있고, 도입 전·후의 차이를 비교할 수 있다. 품질관리업무 현행 프로세스는 실무자를 대상으로 수 차례의 자문회의를 진행하여 조사했으며, 품질관리시스템 도입 이후의 품질관리업무 프로세스는 개발자 및 품질관리시스템 사용 유경험자들을 대상으로 인터뷰를 통해 조사하였다.

### 2.1 품질관리업무 현행 프로세스 분석

현행 품질관리업무 프로세스는 현장 시험 진행, 시험성적서 작성 및 출력, 시험성적서 결재, 최종 결재 서류 확인, 품질검사 관리대장 작성, 품질검사 관리대장 보고까지 총 6개의 단계로 구성되어 있다. 현행 품질관리업무 프로세스와 각 단계별 상세 업무는 아래 <Table 1>과 같다.

Table 1. Current quality management work process

Phase	Process	Work details
1	On-site quality test	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conduct the quality test in a team of 2-3 engineer</li> <li>Generation of raw data for quality test</li> <li>Pass/fail delivery verbally</li> </ul>
2	Writing and printing quality test report	<ul style="list-style-type: none"> <li>Return to office after quality test</li> <li>Writing quality test report using Excel</li> <li>Printing quality test report</li> </ul>
3	Quality test report internal approval	<ul style="list-style-type: none"> <li>On-site internal approval of test report</li> <li>Request for final approval by collecting approved reports for a certain period</li> </ul>
4	Quality test report final approval	<ul style="list-style-type: none"> <li>Manager approval</li> <li>Storage of approved test reports</li> </ul>
5	Preparation of quality management ledger	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prepare management ledger using approved test reports and Excel</li> <li>Organize test numbers by test data</li> <li>Printing management ledger</li> </ul>
6	Report on quality management ledger	<ul style="list-style-type: none"> <li>Report on quality management ledger regularly</li> </ul>

### 2.2 품질관리시스템 도입 후 품질관리업무 프로세스 분석

품질관리시스템 도입 후 품질관리업무 프로세스는 현장 맞춤형 환경설정(최초 1회), 진행할 시험번호 생성, 현장 시험 진행 및 성적서 작성, 결재 보고, 품질검사 관리대장 자동 생성, 관리대장 출력 및 실적 관리까지 총 6단계로 구성되어 있다. 품질관리시스템 도입 후 품질관리업무 프로세스와 각 단계별 상세 업무는 아래 <Table 2>과 같다.

Table 2. The quality management work process following the implementation of the construction site quality management system

Phase	Process	Work details
1	Site-customized configuration setting	<ul style="list-style-type: none"> <li>Test system setup</li> <li>Register quality manager</li> <li>Register test form and test plan</li> </ul>
2	Generation of quality test number	<ul style="list-style-type: none"> <li>Automatically register the number and form when selecting the test item</li> </ul>
3	Conducting quality test and writing reports	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conduct the quality test</li> <li>Registration of test report during the test</li> </ul>
4	Approval request	<ul style="list-style-type: none"> <li>Select approval line</li> <li>Automatic push notification when requesting approval</li> <li>Manager's electronic signature after confirming the report</li> </ul>
5	Automatic generation of quality management ledger	<ul style="list-style-type: none"> <li>Approved reports are automatically registered in the management ledger</li> </ul>
6	Printing management ledger and managing performance	<ul style="list-style-type: none"> <li>Printing management ledger</li> <li>Analyze progress against test plan</li> </ul>

### 2.3 품질관리시스템 도입에 따른 품질관리업무 프로세스 변화

품질관리시스템 도입 전과 후의 품질관리업무 프로세스를 비교해 보면, 각 프로세스가 6단계로 구성되어 있다는 점은 동일하나, 품질관리시스템을 도입함으로써 현행 품질관리업무 프로세스가 간소화되기 때문에 업무 소요시간은 단축될 것으로 예상되고 있다. 대표적으로 현행 프로세스에서 시험성적서 작성의 경우, 양식을 사전 출력해 현장으로 간 후 품질시험 수행과 동시에 결과를 양식에 메모하고, 사무실에 복귀하여 시험성적서 엑셀 파일을 작성하는 것이 일반적이다. 반면에 품질관리시스템을 사용할 경우 태블릿PC를 통해 현장에서 곧바로 엑셀 파일을 작성할 수 있으며 사무실 복귀 후에는 곧바로 시험성적서 출력이 가능하다. 또한 품질관리시스템에 시험성적서 결재 요청 시 내부결재와 감독원 결재를 한 번에 수행 가능하며, 감독원이 부재일 경우에도 온라인 상에서 전자서명으로 결재가 가능하므로 많은 시간 단축이 가능하다. 또한 결재완료된 시험성적서는 자동으로 관리대장에 등록되므로 기존에 관리대장을 작성하던 인력 및 시간을 절감할 수 있다.

**Table 3. Classification of the quality management work process before and after implementing the construction site quality management system**

Phase	Major Category	Sub Category	
		Process before construction site quality management system implementation	Process after construction site quality management system implementation
1	On-site quality test and writing test report	Conduct the quality test	Generation of quality test number
		Writing and printing quality test report	Conduct the quality test and write the test report
2	Approval of quality test report	Internal approval	Approval request
		Final approval	-
3	Preparation of quality management ledger and reporting data	Writing management ledger	Automatic generation of quality management ledger
		Report on management ledger	Printing management ledger and managing performance

**Table 4. Classification of time-consuming tasks among quality management work process**

Phase	Major Category	Classification of time-consuming tasks			
		Process before construction site quality management system implementation	Work details	Process after construction site quality management system implementation	Work details
1	On-site quality test and writing test report	Quality test preparation	Preparation of test equipment Printing quality test form	Quality test preparation	Preparation of test equipment
		On-site quality test	Conduct the quality test Enter test results in the form	On-site quality test and writing test report	Enter test results into the construction site quality management system simultaneously with conducting the quality test.
		Writing quality test report	Writing and printing test reports after returning to the office	-	-
2	Approval of quality test report	Internal approval	Waiting for internal approval Internal approval completed	Approval request	Internal and final approval of test reports through construction site quality management system
		Final approval	Waiting for final approval final approval completed	-	-
3	Preparation of quality management ledger and reporting data	Management ledger preparation	Writing and printing of management ledger	-	-
		Report on management ledger	Preparation of reporting data	Report on management ledger	Prepare reporting data based on automatically generated management ledgers

이러한 프로세스 분석 내용을 기반으로, 본 연구에서는 품질관리업무 프로세스 전체를 3단계로 대분류하였다. 이는 설문조사를 통해 품질관리시스템 도입 전·후의 생산성 향상 효과를 쌍대비교하기 위함이다. 분류는 <Table 3>과 같이 (1) 현장 품질 시험 및 시험성적서 작성, (2) 시험성적서 결재, (3) 관리대장 및 실적보고자료 작성으로 분류하였다. 품질관리시스템의 현장 맞춤형 환경설정의 경우 최초 사용 시 1회 설정을 통해 지속적으로 사용 가능하며 향후 품질업무 프로세스 소요시간에 영향을 주지 않으므로 본 분류에서는 제외하였다.

위에서 분류한 프로세스를 통해 품질관리시스템 도입 전·후의 업무 소요시간을 단계별로 비교할 수 있으나, 업무에 소요되는 모든 시간을 상세하게 조사하기 위해서는 시간이

소요되는 모든 프로세스를 파악할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 대분류한 프로세스를 기반으로, 시간이 소요되는 상세 업무를 <Table 4>와 같이 분류하였다.

### 3. 설문조사

#### 3.1 설문조사 대상 품질시험 항목 선정

본 품질시험 항목 선정은 기존 현장에서 수행되고 있는 품질시험 항목 중 대표적인 항목을 도출하기 위한 목적으로 수행되었다. 항목 선정에 위해 전라남도 강진군 인근 고속도로현장의 품질관리 자료를 수집했다. 업무보고서와 품질시험 검사(준공) 총괄표, 품질시험 검사성과실적보고서, 2022년 품질시험계획서를 검토하여 현장에서 가장 많이 수행되

는 품질검사항목 9개를 도출하였으며, 도출한 항목에 대해 설문조사를 실시하였다. <Table 5>는 선정된 9개의 항목을 정리한 것이다.

Table 5. Quality test items subject to survey

Work	Test type		Test items
Common	Concrete mortar	Job mix	Job mix modification
			Slump
	Concrete mortar	Uncured concrete	Amount of air
			Chloride content
	Concrete mortar	Cured concrete	Water content per unit
Incidental construction	Reinforced soil retaining wall	Back filling materials	Compressive strength
			Density of soil
			Water content
			Plate bearing

Table 6. Survey contents for data collection before and after the implementation of the construction site quality management system

Classification	Number	Main survey contents before construction site quality management system implementation	Main survey contents after construction site quality management system application
Common survey	1	Age of respondents	
	2	Construction engineer grade of respondents	
	3	Career period of respondents	
Individual survey	4	Time required for quality test preparation	Time required for quality test preparation using construction site quality management system
	5	Time required for On-site quality test	Time required for On-site quality test using construction site quality management system
	6	Time required for writing a test report	-
	7	Waiting time for internal approval	Waiting time for internal approval through construction site quality management system
	8	Waiting time for final approval	-
	9	Time required for writing management ledger	-
	10	Time required to prepare report data using management ledger	Time required to prepare report data using the construction site quality management system's management ledger

### 3.2 설문조사 개요

본 연구에서 수행한 설문조사의 목적은 품질관리시스템의 건설현장 도입에 따른 품질관리업무 소요시간의 변화를 정량적 데이터로 수집하는 것이다. 즉, 건설현장에서 수행하는 품질관리 업무에 품질관리시스템이 적용됨으로써 절약 가능한 시간 데이터를 업무 프로세스에 따라 수집하는 것이

목적이다. 이를 위해 전라남도 강진군 인근의 고속도로현장 실무자들에게 비대면 설문조사를 실시하였다.

설문조사는 2022년 8월에 2주간 실시하였으며, 응답자가 온라인 상에서 즉시 설문 가능하도록 온라인 설문조사 플랫폼을 활용하였다. 품질관리시스템 도입 전 품질관리 현행에 대한 설문조사는 현장 품질관리 실무자 16인에게 실시하였다. 품질관리시스템 도입 후에 대한 설문조사는, 건설현장에 시범 적용 중에 있는 품질관리시스템을 직접 사용해 본 경험이 있는 실무자 4인을 대상으로 설문조사를 수행하였다.

설문지는 3.1장에서 선정된 9개의 품질시험 항목에 대해 품질관리업무 프로세스에 소요되는 시간을 개별 질문하도록 구성하였다. 또한 삼각분포 기반의 몬테카를로 시뮬레이션 분석 방법을 적용하기 위해 '업무 소요시간' 조사는 품질시험 항목 별 최소 소요시간, 평균 소요시간, 최대 소요시간을 설문하였다. <Table 6>은 본 설문지의 주요 내용을 정리한 것이다.

### 3.3 설문조사 결과

설문조사 응답자들의 연령, 건설기술자 기술등급, 실무경력을 <Fig. 2>에 정리하였다. 품질관리시스템 도입 전 설문

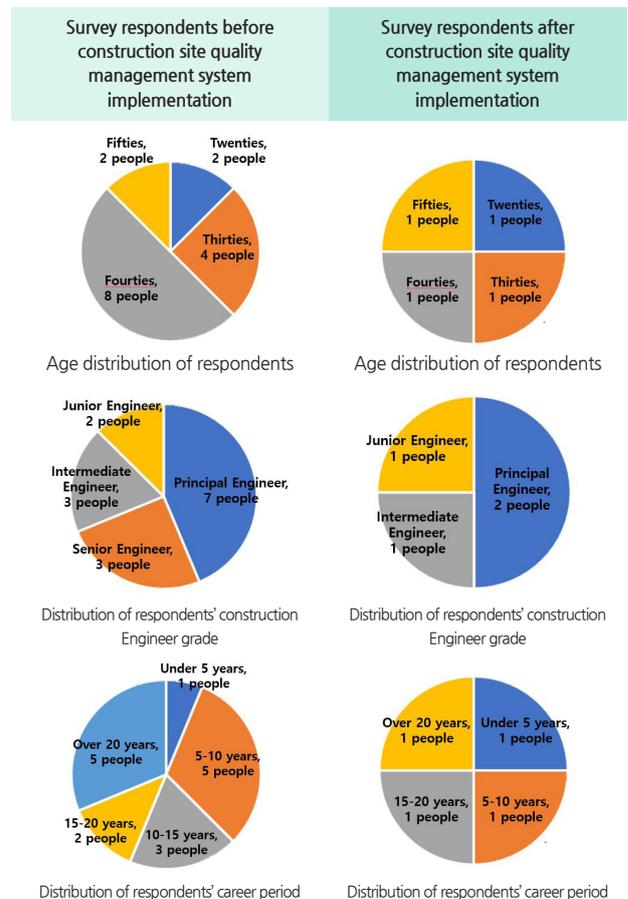


Fig. 2. Basic statistics on survey respondents

Table 7. Survey results before and after construction site quality management system implementation

[Unit: minute]

Phase	Quality test items	Survey results before construction site quality management system implementation			Survey results after construction site quality management system implementation					
		Time required for quality test preparation			Time required for quality test preparation					
		Minimum	Average	Maximum	Minimum	Average	Maximum			
Quality test preparation	Job mix modification	14.7	19.9	26.6	4.5	7.8	9.8			
	Slump	7.5	11.2	16.4	2.5	4.3	6.8			
	Amount of air	7.7	11.4	16.6	2.5	4.3	7.0			
	Chloride content	6.8	9.8	13.3	2.5	4.0	6.0			
	Water content per unit	11.6	16.1	21.4	5.8	8.5	11.8			
	Compressive strength	10.1	14.6	19.5	2.5	3.5	4.8			
	Density of soil	13.4	19.3	27.8	7.3	11.0	17.5			
	Water content	11.1	16.6	22.8	5.0	7.8	12.0			
	Plate bearing	14.4	20.3	28.0	9.0	12.5	16.8			
Average	10.8	15.5	21.4	4.6	7.1	10.3				
Phase	Quality test items	Time required for On-site quality test			Time required for writing a test report			Time required for On-site quality test and writing test report		
		Minimum	Average	Maximum	최소	Average	Maximum	Minimum	Average	Maximum
On-site quality test and writing test report	Job mix modification	17.7	23.6	31.4	10.8	16.7	24.1	3.0	4.8	8.3
	Slump	5.9	9.7	14.1	6.8	10.4	14.4	2.5	3.8	5.8
	Amount of air	6.8	10.6	15.2	6.8	10.4	14.4	2.5	3.8	6.0
	Chloride content	6.4	9.7	14.3	6.6	9.9	13.6	2.5	3.5	5.3
	Water content per unit	11.0	17.1	25.0	8.3	12.1	16.9	9.8	14.3	20.8
	Compressive strength	9.9	14.3	19.7	6.6	9.9	13.9	6.3	8.5	11.0
	Density of soil	15.5	22.1	30.9	10.2	15.3	21.5	11.8	17.3	24.5
	Water content	9.1	14.1	24.6	7.0	10.9	15.8	7.5	10.5	14.5
	Plate bearing	18.1	25.0	35.0	11.9	17.0	23.9	16.3	22.5	30.0
Average	11.2	16.2	23.4	8.3	12.5	17.6	6.9	9.9	14.0	
Phase	Quality test items	Waiting time for internal approval			Waiting time for final approval			Waiting time for approval through construction site quality management system		
		Minimum	Average	Maximum	Minimum	Average	Maximum	Minimum	Average	Maximum
Approval of quality test report	Job mix modification	18.9	87.8	359.3	22.6	353.6	870.3	9.5	13.8	26.0
	Slump	18.9	87.9	358.8	22.4	353.3	779.7			
	Amount of air	18.9	88.3	359.4	22.4	353.4	779.8			
	Chloride content	18.7	88.1	359.2	22.7	291.1	779.8			
	Water content per unit	19.8	89.3	338.8	23.5	354.7	781.6			
	Compressive strength	19.1	88.1	359.1	22.9	353.9	780.3			
	Density of soil	19.8	88.9	360.3	23.5	358.4	781.6			
	Water content	19.3	88.3	359.4	23.1	354.1	608.1			
	Plate bearing	20.7	89.9	361.6	24.1	355.3	782.2			
Average	19.3	88.5	357.3	23.0	347.5	771.5				
Phase	Quality test items	Time required for writing management ledger			Time required for writing reporting data			Time required for writing management ledger and reporting data		
		Minimum	Average	Maximum	Minimum	Average	Maximum	Minimum	Average	Maximum
Preparation of management ledger and reporting data	Integration of 9 test items	25.0	52.8	94.4	46.1	97.1	211.3	5.5	8.8	12.8

조사 응답자 16인의 경우 40대 연령이 50%, 특급기술자가 43%로 가장 많았으며, 62%가 10년 이상의 실무경력을 가지고 있었다. 품질관리시스템 도입 후 설문조사 응답자 4인의 경우 20~50대 연령 각 1명, 특급기술자가 2명, 실무경력이 5년 미만부터 20년 이상까지 다양했다.

품질관리업무 소요시간은 선정된 9개의 품질시험 항목 각각에 소요되는 시간을 분 단위로 조사하여 <Table 7>에 정리하였다. 가장 먼저 품질시험 준비단계는 품질관리시스템 도입 전·후 모두 동일하게 수행하는 프로세스이며, 품질관리시스템 도입 전에 비해 도입 후 품질시험 준비시간이 약 1/2로 감소되는 것으로 조사되었다.

품질시험 및 시험성적서 작성 단계의 경우 품질관리시스템 도입 전에는 품질시험과 시험성적서 작성을 별개로 수행하기 때문에 각각 소요시간을 조사하였으나, 품질관리시스템 도입 후에는 품질시험과 동시에 시험성적서 작성이 가능하므로 통합하여 시험 항목별로 소요시간을 조사하였다. 도입 전·후를 비교한 결과, 품질관리시스템 도입 후 품질시험 및 시험성적서 작성시간이 기존 대비 약 1/3 수준으로 감소된 것으로 조사되었다.

시험성적서 결재대기 및 결재 단계 소요시간의 경우 품질관리시스템 도입 전에는 시험항목별 소요시간 차이가 존재하므로 항목별 조사하였으며, 품질관리시스템 도입 후에는 시험항목별 결재시간의 차이가 없다는 실무자의 의견을 반영하여 품질시험 항목 별 조사가 아닌 전체 항목에 대해 평균적으로 소요되는 시간을 조사하였다. 또한 품질관리시스템 도입 전에는 시험성적서 내부결재 승인 후 최종결재를 요청하므로 별개로 소요시간을 조사했으나, 품질관리시스템을 도입하면 내부, 최종결재가 일괄적으로 이루어지므로 통합 조사하였다. 조사 결과, 품질관리시스템 도입 전에는 품질시험 항목에 따른 결재시간의 차이가 미소했지만, 최소 소요시간과 최대 소요시간은 큰 편차를 보이는 것으로 나타났다. 그 이유는 감독원이 부재 상태인 경우 대기시간이 증가하기 때문이다. 반면에 품질관리시스템 도입 후에는 감독원 부재에 관계없이 연락을 통해 온라인 결재가 가능한 장점이 있다. 이에 따라 품질관리시스템 도입 전에는 평균 약 436분이 소요되었으나, 도입 후에는 13.8분으로, 약 96% 가량 감소된 것으로 조사되었다.

마지막은 관리대장 및 실적보고자료 작성 단계이다. 품질관리시스템 도입 전의 경우 관리대장 작성과 실적보고자료 작성이 별도로 이루어지므로 각각 소요시간을 조사했으나, 품질관리시스템 도입 후의 경우 자동으로 관리대장이 생성됨에 따라 실적보고자료 작성 시간만을 조사하였다. 조사 결과 품질관리시스템 도입 전에는 평균 약 150분이 소요되었으나, 도입 후에는 8.8분으로, 약 94% 감소된 것으로 조사되

었다. <Table 7>의 품질관리시스템 도입 전 설문결과와 경우 응답자 16명의 값을 평균하여 나타난 것이며, 품질관리시스템 도입 후 설문결과와 경우 응답자 4명의 값을 평균하여 나타난 것이다.

## 4. 시뮬레이션 기반 생산성 분석

### 4.1 생산성 분석 방법

본 연구는 설문조사를 통해 현장 품질시험 항목 및 업무 프로세스별 최소, 평균, 최대 소요시간을 조사하였다. 이를 기반으로 몬테카를로 시뮬레이션 방법론을 적용하여 현장 품질관리업무 전체에 소요되는 시간을 확률분포 기반으로 분석하고, 품질관리시스템을 도입함으로써 발생하는 업무 시간 절감효과를 도출하고자 한다.

몬테카를로 시뮬레이션이란 불확실한 사건에서 발생 가능한 결과를 추정하는 데에 사용되는 수학적 기법으로, 특정 확률 분포로부터 무작위 추출(Random Sampling)을 반복하여 불확실한 결과값을 수리적으로 근사하는 방법이다 (Kroese et al., 2014). 몬테카를로 시뮬레이션을 실시하기 위해서는 먼저 불확실한 변수가 어떤 분포 형태로 나타나는지에 대한 가정이 이루어져야 한다. 본 연구에서는 수집한 설문조사 데이터의 모집단이 부족하기 때문에 삼각분포 기반의 확률론적 해석 형태로 접근하여 품질업무 소요시간 총합을 근사하고자 하였다. 삼각분포는 데이터의 수에 크게 의존하지 않으며 계산이 용이하다는 장점이 있기 때문에 본 연구에서도 모집단이 삼각분포 형태를 따른다고 가정하여 시뮬레이션을 진행하는 것이 최적의 방법이라 판단하였다 (Back et al., 2000).

이를 위해 설문조사에서 응답된 품질업무 프로세스 별 소요시간의 값들을 삼각분포의 최대, 최빈, 최소값으로 설정하여 모든 프로세스마다 삼각분포를 모델링하였다. 삼각분포의 최대값은 설문조사한 '최대 소요시간'의 평균값을 적용하고, 최빈값은 '평균 소요시간'의 평균값을 적용했으며 최소값은 '최소 소요시간'의 평균값을 적용했다. 이러한 이유는 품질관리시스템의 생산성 분석 기초연구로서 가장 보수적인 분석을 수행하기 위함이며, 설문조사 데이터를 검토해 본 결과 상기의 값들을 삼각분포 모델링에 활용할 때 가장 편차가 작은 삼각분포가 생성되기 때문이다.

또한 시뮬레이션의 시작 단계에서 9개의 품질시험 항목이 1/9 확률로 선택되도록 설정하였다. 예를 들어 시뮬레이션에서 슬럼프 시험이 선택된 경우 해당 항목의 품질업무 프로세스 삼각분포만을 사용하게 된다. 시뮬레이션은 R 프로그래밍을 활용하여 실시했으며, 각 프로세스 별 삼각분포 내에서 기댓값을 무작위 추출하고, 이를 총합하는 과정을

10,000회 시행하여 ‘품질관리업무 총 소요시간’을 도출하도록 설정하였다.

## 4.2 생산성 분석 결과

### 4.2.1 시뮬레이션 I

품질관리시스템 도입 전 품질관리업무 총 소요시간을 시뮬레이션 한 결과, 데이터는 베타 분포의 형태를 띄며 평균 759.05분이 소요되는 것으로 예상되었다. 시험성적서 결재 단계에서 소요되는 시간이 감독원의 부재 여부에 따라 편차가 크기 때문에 표준편차는 180.82분으로 상당히 크게 나타났다. 품질관리시스템 도입 후 품질관리업무 총 소요시간을 시뮬레이션 한 결과, 데이터는 로그 정규 분포의 형태를 띄며 평균 47.41분이 소요되는 것으로 예상되었다. 표준편차는 10.95분, 최빈값은 39.88분으로 나타났다. 이 결과를 정리하면 <Table 8>과 같다.

Table 8. Summary of simulation I results

[Unit: minute]

Classification	Average	Data distribution	Standard deviation	Mode	The Time that can be reduced
Before construction site quality management system implementation	759.05	Beta distribution	180.82	734.71	711.64
After construction site quality management system implementation	47.41	Log-normal distribution	10.95	39.88	

품질관리시스템 도입 전·후를 비교해 보면, 현행 품질업무에 약 12.6시간이 소요되고 있으며 품질관리시스템을 도입한다면 약 0.8시간이 소요되므로 약 11.8시간의 업무시간 단축 효과를 기대해 볼 수 있을 것으로 예상된다.

### 4.2.2 시뮬레이션 II

시뮬레이션 I의 분석 결과는 <Table 4>에서 정리한 모든 업무 프로세스를 수행하기 위해 필요한 소요시간이다. 그러나 실제로 ‘시험성적서 결재대기 및 결재’ 단계는 감독원의 부재 여부에 따라 업무 소요시간의 가변성이 매우 크며, 실제적으로 결재 승인을 기다리는 동안 관련 품질관리업무를 수행할 수 있다. 이에 본 연구에서는 ‘시험성적서 결재대기 및 결재’ 단계의 소요시간을 포함한 시뮬레이션 결과가 과대 평가될 것을 고려하여, 본 단계를 제외하고 ‘품질시험 준비’, ‘품질시험 및 시험성적서 작성’, ‘관리대장 및 실적보고자료

작성’의 3개 프로세스에 대한 시뮬레이션 결과를 추가로 제시하고자 한다.

결재단계를 제외한 품질관리시스템 도입 전 품질관리업무 소요시간 시뮬레이션 결과, 데이터는 베타 분포의 형태를 띄며 평균 221.18분이 소요될 것으로 예상되었다. 표준편차는 39.09분, 최빈값은 213.5분으로 나타났으며, 이러한 결과는 ‘시험성적서 결재대기 및 결재’ 단계에서 약 537분이 소요되고 있었음을 알 수 있다. 품질관리시스템 도입 후 업무 소요시간 시뮬레이션 데이터는 로그노말 분포의 형태를 띄며 평균 31.35분이 소요될 것으로 예상되었다. 표준편차는 10.46분, 최빈값은 23.2분으로 나타났다. 이 결과를 정리하면 <Table 9>과 같다.

Table 9. Summary of simulation II results

[Unit: minute]

Classification	Average	Data distribution	Standard deviation	Mode	The Time that can be reduced
Before construction site quality management system implementation	221.18	Beta distribution	39.09	213.5	189.83
After construction site quality management system implementation	31.35	Log-normal distribution	10.46	23.2	

품질관리시스템 도입 전·후를 비교해 보면, 결재단계에 소요되는 시간을 제외하더라도 현행 품질업무에 약 3.7시간이 소요되고 있으며 품질관리시스템을 도입한다면 약 0.5시간이 소요되므로 약 3.2시간의 업무시간 단축 효과를 기대해 볼 수 있을 것으로 예상된다. 시뮬레이션 I과 II의 결과는 <Fig. 3>에 정리하였다. 품질관리시스템 도입 전·후 시뮬레이션 데이터 분포를 비교해 보면, 두 분포는 서로 중복되는 영역이 없으며 도입 전에 비해 품질관리시스템 도입 후 업무 소요시간이 명확하게 감소한 것을 확인할 수 있다.

## 5. 결론

본 연구는 건설현장 품질관리시스템의 생산성을 분석하여, 품질관리시스템을 도입함으로써 얻을 수 있는 생산성 향상 효과를 제시하기 위해 수행되었다. 이를 위해 고속도로현

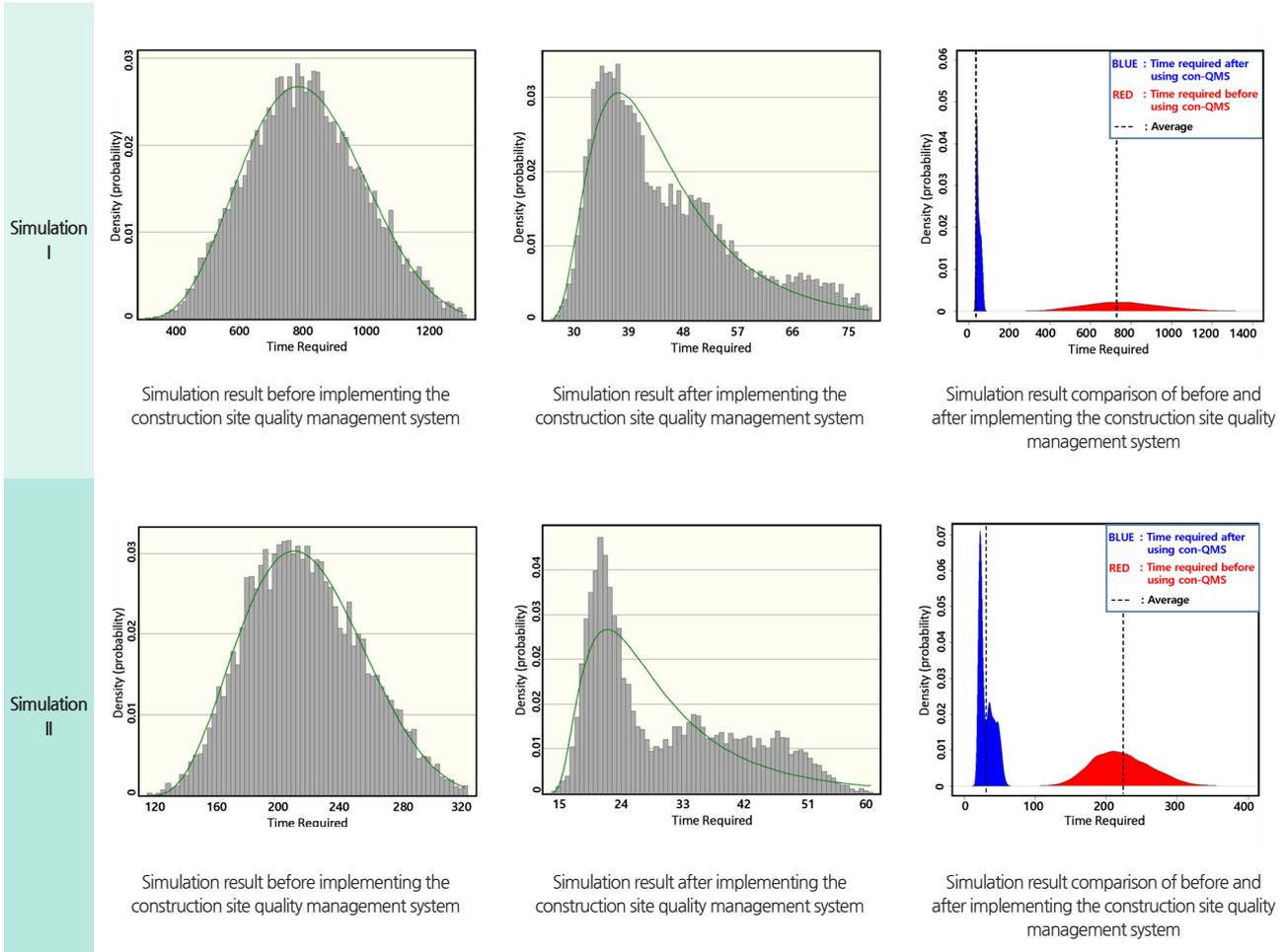


Fig. 3. Summary of simulation I and II results on the time required for quality management work

장에 품질관리시스템을 도입하고, 도입 전·후에 따른 품질 관리업무 프로세스의 변화를 분석하였다. 또한 품질관리 실무자들에게 설문조사를 실시하여 업무 소요시간에 대한 데이터를 수집하였다. 이를 기반으로 몬테카를로 시뮬레이션 방법론을 적용하여 생산성을 분석하고 결과를 제시하였다.

품질관리시스템은 사용자가 품질시험과 동시에 결과를 입력하고 성적서를 작성할 수 있으며, 감독원 결재 이후 관리대장을 자동 작성 및 보관한다. 따라서 기존의 품질관리업무 프로세스 중 ‘품질 시험성적서 작성’ 및 ‘품질검사 관리대장 작성’ 프로세스를 생략 가능하며 내부·최종 결재 또한 통합하여 수행할 수 있다. 이러한 점에서 약 11.8시간의 품질 관리업무 소요시간 단축 효과가 발생 가능할 것으로 분석되었으며, ‘시험성적서 결재대기 및 결재’ 단계를 제외하여도 3.2시간의 업무시간 단축이 가능할 것으로 분석되었다.

본 연구는 품질관리시스템을 건설현장에 도입했을 때 얻을 수 있는 생산성 향상 효과를 건설산업 전반에 공유함으로써 향후 품질관리업무 생산성 향상에 기여하고, 자동화 시

스템 도입을 고려하는 현장 관리자들의 의사결정에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다. 반면, 본 연구의 대상인 품질관리시스템은 건설현장 도입 초기단계이기 때문에 사용 유경험자 모집단이 부족하다는 한계점이 있다. 향후에는 다양한 공사현장에 품질관리시스템을 도입하고, 시간 데이터 뿐 아니라 사용성 및 생산성 향상 효과에 대한 만족도 조사를 통해 추가적인 데이터를 수집함으로써 연구를 지속해 나갈 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 국가연구개발사업인 “스마트 건설기술 연구사업(RS-2020-KA157130)”의 지원으로 수행되었다.

## References

Back, W.E., Boles, W.W., and Fry, G.T. (2000). “Defining

- triangular probability distributions from historical cost data.” *Journal of Construction Engineering and Management*, 126(1), pp. 29-37.
- Baik, I.W. (2008). “A Case Study on the Quality Management of Construction Site through PDCA Cycle.” *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 8(1), pp. 49-56.
- Hong, Y.T., Lee, H.S., Chae, Y.T., and Lee, H.S. (2004). “Quality Control Based on Customer Need in Construction Phase.” *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, JAIK, 20(10), pp. 175-182.
- Hossain, M.A., Abbott, E.L., Chua, D.K., Nguyen, T.Q., and Goh, Y.M. (2018). “Design-for-safety knowledge library for BIM-integrated safety risk reviews.” *Automation in Construction*, 94, pp. 290-302.
- Huh, Y.K., Lee, J.Y., Yun, S.H., Tae, Y.H., and Ahn, B.R. (2009). “Productivity Measurement and Analysis on Factors in Steel Erection.” *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 9(2), pp. 31-38.
- Kim, S.B., and Lee, J.D. (2008). “A Study on the Development Strategies of Construction Productivity Analysis System based on Web & OLAP.” *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, JAIK, 24(5), pp. 173-184.
- Kim, S.H., and Im, C.S. (2007). “A Study on the Quality Control Effectiveness in the High-rise residential-commercial Complex Building Project.” *Journal of the Korean Association for Spatial Structures*, 7(4), pp. 79-87.
- Kroese, D.P., Brereton, T., Taimre, T., and Botev, Z.I. (2014). “Why the Monte Carlo method is so important today.” *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 6(6), pp. 386-392.
- Lee, H.M., Lee, D.H., ZHENG, Q., and Kim, S.K. (2010). “A Productivity Analysis for Management Manpower of Building Construction Projects.” *KIEAE Journal*, 10(1), pp. 45-55.
- Luo, H., Lin, L., Chen, K., Antwi-Afari, M.F., and Chen, L. (2022). “Digital technology for quality management in construction: A review and future research directions.” *Developments in the Built Environment*, 12, 100087.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT) (2022b). Construction technology promotion act.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT) (2022a). Enforcement rule of the construction technology promotion act.
- Park, H.S. (2006). “Conceptual Framework of Construction Productivity Estimation.” *KSCE Journal of Civil Engineering*, 10(5), pp. 311-317.
- Park, M.S., and Kim, S. (2019). “Productivity Analysis of the Site Installation Stage of Laminated Modular Multi-Family Housing.” *Journal of The Korean Society of Industry Convergence*, 22(5), pp. 519-527.
- Rubinstein, R.Y., and Kroese, D.P., (2016). “Simulation and the Monte Carlo method.” John Wiley & Sons.
- Shin, H.J., and Cha, H.S. (2023). “Proposing a Quality Inspection Process Model Using Advanced Technologies for the Transition to Smart Building Construction.” *Sustainability*, 15(1), p. 815.
- Son, J.W., Yoon, J.S., and Paek, J.H. (2003). “A Study on Construction Productivity Measurement Method.” *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, JAIK, 19(10), pp. 101-108.
- Song, C.Y., Lee, H.C., Park, S.H., Cho, K.M., and Hyun, C.T. (2010). “Productivity Analysis of Structural Work for Apartment Building Using AL-Form.” *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, JAIK, 26(4), pp. 113-121.
- Wei, W., Ding, L., Luo, H., Li, C., and Li, G. (2021). “Automated bughole detection and quality performance assessment of concrete using image processing and deep convolutional neural networks.” *Construction and Building Materials*, 281, 122576.

---

**요약** : 엑셀 기반의 서류 작성, 결재, 품질 시험을 수행하는 건설현장의 품질관리업무는 많은 시간과 노력이 소요된다. 엑셀 기반의 업무는 품질시험성적서 양식 인쇄, 품질시험 수행, 시험성적서 작성 및 결재, 관리대장 작성으로 구성된다. 이렇듯 분리된 품질관리 프로세스는 업무 소요시간과 효율성을 저하시킨다. 따라서, 품질관리업무의 생산성을 향상시키기 위해 클라우드 기반의 건설현장 품질관리 시스템이 개발되었다. 본 연구의 목적은 건설현장 도입 초기 단계인 품질관리시스템의 생산성을 분석하는 것이다. 본 연구는 건설현장 품질관리시스템을 도로 건설현장에 도입하고, 도입 전·후의 품질관리업무 프로세스 변화를 면밀히 분석했다. 또한 품질관리자들에게 설문조사를 실시하여 품질관리시스템 도입 전·후의 업무 시간 데이터를 수집했다. 수집한 데이터에 몬테카를로 시뮬레이션 방법론을 적용하여 건설현장 품질관리시스템의 생산성 향상 효과를 분석하고 결과를 제시하였다. 본 연구의 결과는 품질관리 업무 자동화를 위한 후속 연구들의 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

**키워드** : 건설현장, 품질관리시스템, 생산성 분석, 몬테카를로

---