

공공건설공사 설계변경에 따른 손실 추정에 관한 기초연구

A Study on the Estimation of Change Orders Impact for the Public Construction

이민재* · 박범진** · 임건순***

Lee, Min-Jae · Park, Bum-Jin · Im, Keon-Soon

Abstract

Change is inevitable and is a reality of construction projects. Change adjustment includes the cost associated with materials, labor, etc. However, the actions of a contractor can cause a loss of productivity and furthermore can result in disruption of the whole project because of a cumulative or ripple effect. Because of its complicated nature, it becomes a complex issue to determine the cumulative impact (ripple effect) caused by single or multiple change orders. Furthermore, owners and contractors do not always agree on the adjusted contract price for the cumulative impact of the changes. What is needed is a reliable method to identify and quantify the loss of productivity caused by cumulative impact of change orders. This study survey the change orders data in domestic area for public construction and analyze to quantify change order impact. This study developed concepts of “%CO”, “%Delta”, “%T” to capture change order effect on project and search the relationships between them. Finally, this study find strong relationship between change order and loss.

Keywords : change orders, productivity, public construction, claims

요 지

건설공사의 특성상 공사중 설계변경이 불가피한 경우가 많다. 문제는 설계변경의 양과 정도에 따라 작업생산성 저하를 초래할 수 있다는 것인데, 이를 설계변경의 파급효과(Ripple effect) 또는 누적영향(Cumulative impact)이라 한다. 미국과 달리 국내의 경우 설계변경의 영향에 대한 연구를 찾아보기 힘든 것이 사실이다. 본 연구는 공공공사 설계변경의 현황과 그 영향을 조사하기 위하여 1991년도부터 2004년도까지 수행된 14개 공공기관의 공사비 100억 이상 공사 1439건의 설계변경 데이터를 수집, 분석하였다. 국내 공공공사 설계변경의 특성을 파악하기 위하여 평균낙찰률, 설계변경규모, 설계변경횟수, 설계변경금액 등을 분석하였으며, 설계변경이 미치는 영향을 파악하기 위하여 변경률(%CO), 손실률(%Delta), 지연률(%T) 등의 개념을 정립하였다. 개발된 변경률, 손실률, 지연률 등의 개념을 수집된 설계변경 자료에 적용 사례조사를 하였으며, 이를 바탕으로 낙찰률과 설계변경량의 관계, 설계변경횟수와 공사지연간의 관계, 공기지연과 손실률간의 관계, 설계변경량과 손실률간의 관계를 도출하였다. 결과적으로 설계변경횟수가 많아질수록 공기가 더욱 지연될 수 있으며, 지연된 공기는 더 많은 손실을 발생시킬 수 있음이 증명 되었다. 또한 설계변경의 양이 많아질수록 손실량도 증가하며 서로간 강한 상관관계가 있음을 발견하였다. 본 연구에서 도출된 관계식들은 공사금액을 바탕으로 개발되었기에 프로젝트의 생산성손실 분석을 위한 직접적인 적용은 어렵다. 하지만 향후 국내 주요건설사들이 추진하고 있는 작업일보시스템에 작업시간(Man-hour)기반의 생산성 자료들이 축적되면 추후 그 데이터를 바탕으로 국내 환경에 적합한 생산성측정모델 구축이 가능하리라 판단된다. 아울러, 공사중 작업생산성 관련 자료의 관리를 선진화 하고, 그 신빙성을 높이는 일은 우리 건설계 모두의 노력이 필요하리라 사료된다.

핵심용어 : 설계변경, 생산성손실, 공공공사, 클레임

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설공사의 특성상 공사중 설계변경(Change Orders: 국내 외의 경우 설계변경의 범위가 다를 수 있음) 또는 계약변경(Contract change)이 불가피한 경우가 많다. 문제는 공사중

발생한 최초설계 또는 계약의 변경은 그 양과 정도에 따라 작업생산성 저하를 초래할 수 있다는 것인데, 이는 계획했던 작업공정의 혼동과 인력의 재배치등 예측하지 못했던 다양한 상황들(Dilution of supervision:작업지시의 혼선, Out-of-sequence work:체계적이지 못한 작업진행, Piece meal work:여기 저기 산발적인 일의 진행, Mobilization and

*정회원 · 교신저자 · 충남대학교 공과대학 토목환경공학부 조교수 · 공학박사 (E-mail : lmjcm@cnu.ac.kr)

**충남대학교 대학원 토목공학과 · 공학석사 (E-mail : parkbumjin@cnu.ac.kr)

***정회원 · 대림산업(주) 토목부장 (E-mail : ksim21c@hanmail.net)

demobilization:장비 재배치와 이동, Loss of learning:일의 학습효과 저하, Stacking of trades:다양한 공정(일)의 혼재, Change order/request for information processing time:설계 변경에 소요되는 추가시간, Material lead-time:변경된 자재 등의 준비시간, Rework:변경사항의 재시공)의 발생으로 인하여 생산성이 저하되는 것을 말한다. 또한 건설공사의 작업이 단계적으로 진행되는 특성상 설계변경된 작업이 뒤따라오는 변경 되지 않은 후속작업들에도 예상치 못했던 영향을 미치는 경우도 발생하게 된다. 이처럼 설계변경에 의해 생산성이 저하되어 손실이 발생하는 현상을 설계변경의 파급효과(Ripple effect) 또는 누적영향(Cumulative impact)이라 한다.

미국의 경우 설계변경 발생 시 물량변화에 의한 직접비 변동부분과 Office overhead(사무실경비)등의 간접비, 그리고 보험, 이자등 추가적으로 발생한 비용들의 청구가 가능하며, 아울러 설계변경에 기인한 생산성손실 등의 "Impact Costs"에 대한 청구도 가능한데 이를 옹호하는 법원의 대표적인 판결은 다음과 같다.

"다수의 설계변경은 그 누적된 영향으로 인하여 생산성손실을 초래하며 공사를 지연시키는데, 이 누적손실은 개별의 설계변경시 예측하기 힘들며 예측한다 해도 산정하기가 어렵다. 그러므로 공사 종료후 발주자와 시공자는 누적손실(Cumulative impact)의 적절한 보상(Compensation)에 합의하여야 한다(Pittman Construction vs. United States, 1983)."

위 판결이 있은 이후 1990년 초반부터 설계변경의 누적영향손실클레임(Cumulative Impact Claims)이 매우 활기를 띠기 시작했으며, 최근의 사례는 법정이 시공사 생산성손실의 배상을 강하게 옹호하고 있음을 보여준다. 그 예로, 아멜코 분쟁(Amelco Electric V. City of Thousand Oaks, 2000)의 경우, 법원은 \$6.2 Million 예술회관 공사에 \$3.2 Million 생산성손실(Productivity loss) 보상을 판결해, 시공자의 권리를 강하게 옹호하였으며, 또 다른 분쟁(Hensel Phelps Cons. Co., GSBICA, 2001)에서도 \$1,5 Million 이상의 생산성손실 보상을 판정한 판례들은 이런 종류의 분쟁에서 널리 인용되는 전례가 되었다. 이밖에 미국 건설산업계의 설계변경과 관련된 많은 판례들은 Lee(2002)에서 찾아볼 수 있다. 그러나 국내의 경우 민간부분에는 몇 예가 있으나 공공 건설부분에서 위와 같은 누적생산성손실에 대한 배상은 기대하기 힘든 것이 사실이다.

계약당사자간 설계변경에 기인한 생산성손실이 발생했음을 인정하고 보상에 합의하려 하여도 그 정확한 손실량을 산정한다는 것은 현실적으로 어려움이 많다. 대부분의 경우 손실 보상의 합의단계에서, 발주자와 시공사 간에 종종 이견을 보이고 있으며 보상합의는 종종 분쟁으로 발전하기도 한다. 이런 취약성을 개선하기 위해서는 손실산정을 위한 객관적인 도구(방법)의 개발이 필요한데 Leonard(1990)는 설계변경의 양과 생산성손실간의 관계를 증명하고 정량화 하려는 노력을 최초로 시도하였으며 이후 Hanna(1999)는 통계적 회귀분석모델을 통해 그리고 Lee(2002)는 인공지능을 이용한 AI모델의 개발을 통해 좀 더 정교한 생산성손실 정량화 모델을 만들려는 노력이 있었다. 그러나 국내에서는 아직 설계변경의 실태 파악조차 어려운 실정이다.

따라서 본 연구는 국내에서 실행된 100억 이상 공공공사

의 설계변경 실태를 분석하고 설계변경과 관련된 손실의 추정을 위한 기초연구를 목적으로 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구는 먼저 국내 공공건설공사의 설계변경 실태조사 및 분석을 위하여 최근 국내 14개 공공기관에서 최저가낙찰 방법에 의해 발주한 100억 이상 공공건설공사의 데이터(예정가, 낙찰가, 낙찰률, 설계변경횟수, 당초공사비, 변경공사비, 공사비변경액, 당초공기, 변경공기, 지연공기)를 수집 분석하며, 아울러 설계변경이 미치는 영향과 손실을 파악하기 위하여 설계변경량, 손실량, 그리고 공기의 지연 정도를 비교할 수 있는 개념과 지표들을 개발한다. 마지막으로 개발된 지표들을 활용해 수집된 사례들을 분석하며, 그 결과를 바탕으로 낙찰률과 설계변경간의 관계, 설계변경횟수와 공사지연간의 관계, 공기지연과 손실간의 관계, 설계변경량과 손실간의 관계 등을 도출한다.

생산성손실 분석을 위해서는 작업시간(Labor hours) 자료를 이용한 생산성 거시분석(Macro Analysis) 접근 방법을 이용하여야 하나, 본 연구에서는 손실분석을 위해 작업시간 데이터 대신 현실적으로 입수 가능한 공사비용 데이터를 이용 손실량을 추정하는 방법을 활용한다.

2. 이론적 고찰

2.1 설계변경에 기인한 생산성손실 산정에 관한 연구

Leonard(1990)의 연구 이후 설계변경의 누적영향에 기인한 생산성손실을 정량화 하려는 소수의 연구가 있었으나, 그 방법론이나 수집된 자료가 부족하여, 제시된 모델들을 실제에 적용하기에는 어려움이 많았다. 이후 미국건설산업연구원(CII: Construction Industry Institute)과 Hanna(1999)가 수행한 연구에서는 설계변경에 경험이 있는 450여개가 넘는 시공사에게 질문서를 보내 자료를 수집하였으며, 자료의 적합성 여부를 확인 후 최종 150여개 사례의 데이터를 분석해 생산성 손실을 정량화 하려는 시도를 하였는데, 예측 모델의 정확도를 높이기 위해서 통계적회귀분석모델링(Statistical Regression Modeling)에서 시작해 Machine Learning 을 이용한 최첨단 인공지능(Artificial Intelligence)모델링에 이르는 다양한 기법들이 이용되었다.

특히, Hanna의 연구에서는 설계변경관련 분쟁의 발생 시 실무에서 쟁점이 되는 두 가지 이슈를 판단할 수 있는 모델을 제시하였는데, 이는 어떤 프로젝트가 설계변경들의 누적영향으로 뚜렷한 생산성 손실을 입었는가 아닌가를 판단할 수 있는 "Impact Model"과, 만약, 그 프로젝트가 뚜렷한 생산성 손실을 입었다면 얼마만큼의 손실을 보았는가를 산정할 수 있는 "Quantification Model"을 개발하는데 주력하였다. 개발된 모델들의 주요 특징은 다음과 같다:

Statistical Regression Method(통계적회귀분석모델)

위 연구에서 시도한 첫번째 모델링 기법으로 통계학적회귀 분석기법을 이용하였는데, 이는 70여개가 넘는 독립변수인자 중 설계변경의 영향에 의해 생산성손실을 입은 프로젝트들과 연관성이 있는 인자들을 찾아내고, 그를 이용 모델을 만

들어 내는 과정이다. 먼저 Impact Model을 위해 생산성 손실이 발생한 프로젝트와 그렇지 않은 프로젝트 사이에 다른 특성인자 8개를 찾아내고, 이를 이용 손실여부를 판정할 수 있는 Logistic Regression 모델을 개발하였다. 다음으로, 손실량을 산정할 수 있는 Quantification Model을 만들기 위해 6개의 주요 인자를 찾아 Multiple Regression 모델을 개발하였다. 상세한 모델개발 과정과 그 결과는 Hanna and Lee 2002에서 찾아볼 수 있다.

Statistical-Fuzzy Method(통계적-퍼지모델)

생산성손실과 연관 가능한 70여개 이상의 인자 중 다수의 인자들의 정성적이고 불규칙적인 특성으로 인하여, 기존의 정량적인 분석을 기본으로 하는 통계학적회기분석기법은 여러 면에서 한계를 보였다. 이런 문제점들을 보완하기 위하여 본 연구에서는 데이터 분석에 Fuzzy이론을 도입 하였으며 통계학적 회기분석 기법과 Fuzzy이론의 상호 보완적인 특성은 연구결과 모델들의 질적 향상을 도모하는데 큰 영향을 미침을 발견했다. 자세한 적용방법과 그 효과들은 Hanna and Lee(2002)에서 찾아볼 수 있으며, 제안된 회기분석-퍼지(Statistical-Fuzzy)기법은 복잡한 input-output관계를 가지는 데이터의 모델링에도 적용 가능하며, 특히 건설 데이터와 같이 복잡하고, Noise가 많은 데이터를 분석하는 분야에 적용하여 좋은 성과를 얻을 수 있음을 증명하였다.

Artificial Neural Network Method(인공지능모델)

설계변경에 의한 생산성손실 산정을 위한 여러 정량적(Quantitative)인 연구에도 불구하고, 기존의 수확笑諷完^o 접근은 데이터의 복잡한 비선형적 관계를 분석하는데 한계를 보인다. 특히 회기분석기법은 정성적(Qualitative)이며, 불안정한 데이터 분석에 매우 취약하다. 이런 경우 인공지능(Artificial Neural Network)모델링기법은 주어진 데이터로부터 어떠한 형태의 복잡한 관계도 분석, 모델링 할 수 있는 능력을 가지고 있는데, 이 연구(이민재, 2005)는 인공지능(Artificial Neural Network)기법을 이용 좋은 성과를 이루었다.

Decision Tree Method(의사결정트리모델)

Fuzzy이론과 ANN기법들을 이용하여 모델의 정확도를 높이고 데이터의 정성적인 특성을 고려할 수 있으나, Fuzzy기법은 일반적인 적용에 어려움이 있고 ANN기법은 그 모델내부가 블랙박스과 같아 결과에 대한 논리가 부족한 문제가 있다. 또한 모델링 연구에서 항상 중요한 편파적(Bias)이지 않은 인자(Factor)들의 선택이 항상 중요한 변수이나, 위 기법들은 모두 이에 취약점이 있다. Decision Tree 모델링기법은 이런 문제들을 해결하기 위한 차세대 모델링 기법이라 말할 수 있는데, 이는 통계학적인 이론과 인공지능(Machine Learning)기법을 접목해 모델 변수들 간의 상호관계를 분석하고, 이를 바탕으로 변수를 선택하며, Tree구조로 모델을 전개해 나가는 형태로 변수선택이 편파적(Bias)이지 않고 이런 종류의 모델링에 매우 적합한 방법론이다(Lee, 2004).

결론적으로 위에서 설명한 각기 다른 방법론(Methodology)

으로 개발된 모델들의 성능 비교를 통해 인공지능(AI) 기법들이 기존의 통계학적 모델보다 월등한 정확성을 보임을 확인하였으며, 이런 결과는 사용된 인공지능모델링 기법들이 복잡하게 얽혀있고, 불확실하며, 변동이 많은 건설생산성데이터 분석에 적용되어 더욱 개선된 결과를 얻을 수 있다는 가능성을 보여준다.

마지막으로, 이 연구는 설계변경에 의한 생산성손실을 최소화 하는 방법을 제시하였으며, 건설주체들 간 분쟁 발생시 협의를 위해 이용할 수 있는 손실판정과 산정 모델들을 제안 하였다.

3. 국내여건을 고려한 설계변경손실의 정량화방법에 대한 고찰

건설현장에서의 노동생산성이란 단위작업당 노동시간(Man-hours per unit work)으로 표현되어지며 생산성 손실은 동일 단위작업당 작업시간이 늘어난 것을 말한다. 이런 설계변경으로 인한 생산성손실량을 산정하기 위해서는 공사의 작업시간(Labor hours) 자료를 이용한 생산성거시분석(Macro Analysis) 접근 방법을 이용하여야 하는데, 즉 공사 시작 전 산정된 노동시간(Estimated Labor hours)과 공사완료 후 계산된 노동시간(Actual Labor hours)과 설계변경시간(Change order hours)의 비교와 그 차이의 분석을 통해 손실을 산정하는 방법이다. 그러나 국내의 경우, 그동안 공사중 작업생산성 관련 자료의 관리가 부실하였고 작업일보의 낮은 신빙성을 고려할 때, 위 2절에서 언급한 연구모델들의 직접적인 적용은 어렵다. 하지만 국내 주요건설사들이 추진하고 있는 작업일보전산시스템에 생산성자료들이 축적되면 추후 그 데이터를 바탕으로 국내 환경에 적합한 모델 구축이 가능하리라 판단된다.

위와 같은 제한조건으로 인하여 본 연구에서는 손실분석을 위해 작업시간 데이터 대신 입수 가능한 공사비용 데이터를 이용 손실량을 추정하는 방법론을 제시하였다.

3.1 설계변경손실 산정방법 제안

본 연구에서는 노동생산성 정량값 대신 공사비용 데이터를 이용해 생산성 변화를 추정하는 다음과 같은 방법을 모색하였다. 그림 1과 같이 대부분의 공공공사는 수주경쟁 때문에 계획한 예정가격 보다 낮은 낙찰가(평균낙찰률: 60~70%)로부터 공사가 시작되며, 공사 중 설계변경 등의 사유로 인해 최종공사비가 변동되는 경우가 많다. 치열한 수주경쟁 하에서 형성된 낙찰가는 공사의 원만한 수행을 위해 적정하게 추정된 가격이라 보기 어려운 경우가 많으므로, 본 연구에서는 초기공사비 추정의 기준으로 낙찰률을 반영한 예정가격을 사용하였으며, 최종공사비와 예정가격 사이의 차이(최종공사비 - 예정가격)를 "Delta"라 정의 하였다. Delta는 양(+) 또는 음(-)의 값을 가질 수 있으며 설계변경이 없었다면 발생하지 않는 비용으로 볼 수 있다. 많은 경우 Delta가 양(+)의 값을 갖게 되므로, 본 연구에서는 Delta를 손실량으로 명명하였다. 아울러, 공사의 규모에 따라 달라지는 Delta의 값을 비교하기 위해 식 (1)과 같은 %Delta(손실률)의 개념을 도입하였다. %Delta는 손실량을 최종공사비로 나누어

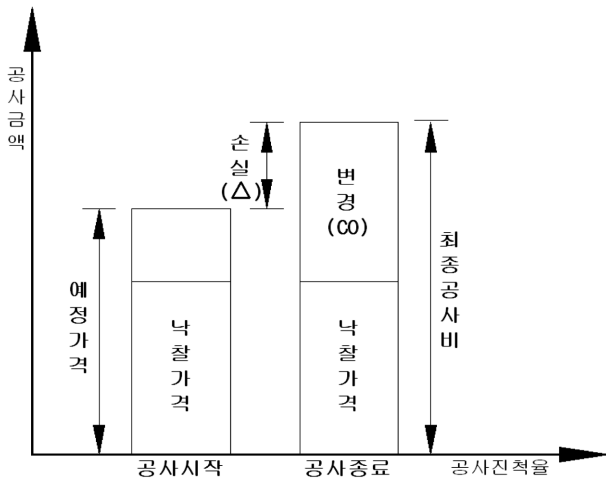


그림 1. 설계변경에 의한 손실 추정을 위한 개념

Scale한 값을 %로 나타낸 값이다. 즉 어떤 공사의 손실률이 10%라면 최종공사비가 예정가격 대비 10% 증가했다는 것을 의미한다. 아울러, 최종공사비에 물가상승 및 자재비 변동으로 인한 변경금액(ES, DS)도 포함되어 있으나 본 연구에서는 개별 공사의 자료수집상 한계로 인하여 이를 위한 별도의 분석은 하지 못하였다.

$$\% \Delta = \frac{\text{최종공사비} - \text{예정가격}}{\text{최종공사비}} \times 100 \quad (1)$$

또한, 당해 공사에서 설계변경의 양을 측정하는 지표가 필요한데, 공사의 규모에 따라 달라지는 설계변경량(Change order)값을 비교하기 위해 식 (2)와 같은 %CO(설계변경률)의 개념을 도입하였다. 변경률은 최종공사비(공사낙찰가격) 대비 공사중 설계변경으로 인하여 얼마만큼의 비용이 증가되었는가를 %기준으로 말해주는 지표이다. 즉 어떤 공사의 변경률이 10%라면, 이 사업은 공사중 설계변경으로 인하여 최종공사비(낙찰가) 대비 10%의 비용이 증가되었다는 것을 의미한다.

$$\% CO = \frac{\text{설계변경비용}(CO)}{\text{낙찰가격}} \times 100 \quad (2)$$

아울러, 공사중 프로젝트의 공기가 얼마나 지연되었는가를 나타내는 지표가 필요한데, 공사의 규모에 따라 다른 공기지연(Delay)의 규모를 비교하기 위해 식 (3)과 같은 %T(지연율)의 개념을 도입하였다. 지연률은 최초공기(예정공기) 대비

공사중 설계변경으로 인하여 얼마만큼의 공기가 증가되었는가를 %기준으로 말해주는 지표이다. 즉 어떤 공사의 지연률이 10%라면, 이 사업은 공사중 설계변경으로 인하여 최초공기(예정공기) 대비 10%의 공기가 증가(지연)되었다는 것을 의미한다.

$$\% T = \frac{\text{지연공기}}{\text{예정공기}} \times 100 \quad (2)$$

마지막으로, 설계변경횟수는 해당 공사가 수행되는 동안 행해진 설계변경의 횟수로 정의하였다.

위에서 정의된 개념들을 활용하여 종료된 공사의 설계변경에 따른 손실비용을 추정할 수 있으며, 설계변경의 양과 손실량 간의 관계, 설계변경빈도와 손실량과의 관계, 그리고 낙찰률과 손실량 간의 관계 등을 알아볼 수 있는 기초 개념으로 활용될 수 있다.

4. 사례조사

본 연구는 국회에 제출된 공공기관 설계변경 자료 중 1991년도부터 2004년도까지 수행된 공사비 100억 이상 공공공사 1439건의 데이터를 조사하였다. 데이터 검토 결과 공사기간과 최종공사비가 정상적이라 보기 어려운 6건의 프로젝트 자료를 제외하고 총 1433건의 프로젝트 자료를 바탕으로 낙찰률과 설계변경량의 관계, 낙찰률과 손실률의 관계, 설계변경량과 손실률의 관계 등을 분석하였다.

4.1 공사종류별 설계변경특성 비교

표 1은 공사종류별 낙찰률, 공사당 설계변경횟수, 설계변경량, 공기지연률, 그리고 손실률을 비교한 결과이다. 공사종류중 도로관련공사는 지방국토관리청(서울, 부산, 대전, 원주, 익산, 제주)과 한국도로공사에서 발주한 지방도, 고속도로 공사가 주종을 이루며, 수자원관련 공사는 한국수자원공사에서 발주한 이수, 치수시설 공사가 주종을 이룬다. 토지는 주로 한국토지공사에서 발주한 택지개발 등의 사업, 그리고 주택은 대한주택공사에서 발주한 아파트 건축사업이 주종을 이룬다. 또한 철도관련공사는 철도시설관리공단에서 발주한 철도시설 관련 공사, 그리고 마지막으로 공항 관련 공사는 인천공항공사를 포함 서울지방항공청, 부산지방항공청에서 발주한 활주로, 신공항 사업이 주종을 이룬다.

평균낙찰률은 공사종류별로 70% 후반에서 80% 중반대로 최근 60%대의 평균낙찰률과 비교 상대적으로 높았던 것으

표 1. 공사종류별 설계변경특성 및 비교

공사종류	공사건수	낙찰률	설계변경 횟수	설계변경률(%CO)	지연률(%T)	손실률(%)
도로	559	79.68	4.38	17.71	30.98	-13.15
수자원	84	85.70	8.70	20.52	44.81	-2.66
토지	95	83.42	3.35	32.64	2.46	-4.56
주택	541	85.76	5.62	6.72	2.67	-12.44
철도	101	79.80	4.12	22.97	19.48	-10.85
공항	53	82.35	2.94	11.17	23.89	-13.54
평균	전체:1433	82.79	4.85	18.62	20.71	-9.53

표 2. 공사종류별 설계변경규모 비교

공사 종류	전체 건수	공사중 설계변경 없는 공사		공사중 설계변경을 경험한 공사	
		건수	%	건수	%
도로	559	65	11.63%	494	88.37%
		%		%	
수자원	84	11	13.1%	73	86.9%
		%		%	
토지	95	24	25.26%	71	74.7%
		%		%	
주택	541	112	20.7%	429	79.3%
		%		%	
철도	101	25	24.75%	76	75.25%
		%		%	
공항	53	12	22.64%	41	77.36%
		%		%	
평균	전체 :1433	41.5	17.38%	197.3	82.62%
		%		%	

로 보인다. 이는 최근 턴키, 대안입찰공사의 증가에 따른 일반공사 물량 감소와 업체 간 과다경쟁에 따른 결과로 사료된다.

설계변경횟수는 공사종류별로 차이는 있으나 공사당 평균 4.85회의 설계변경이 이루어지고 있는 것으로 조사되었다. 수자원관련 공사의 경우 다른 종류의 공사와 비교 상대적으로 공사규모나 공사기간이 길어 설계변경회수도 많은(8.7회) 것으로 사료된다.

공사종류별 평균설계변경률(%CO)을 비교한 결과 토목공사는 일반적으로 낙찰가격의 11~33% 정도의 변경을 그리고 건축공사는 낙찰가격의 7% 정도의 변경이 이루어진 것으로 조사되었다. 특이한 점은 건축공사의 경우 공사당 설계변경 횟수는 5.62회로 높으나 변경금액은 6.72%(설계변경률)로 상대적으로 낮은 것으로 조사되었다. 전체적으로 공공공사의 경우 낙찰가격의 18.62%정도가 설계변경으로 인하여 증액된 것으로 조사되었다.

공사지연률의 경우 공기에 민감한 건축관련 공사가 예정공기 대비 평균 2~3% 정도의 지연률을 보이는 반면 토목공사 특히 공기가 긴 공사일수록 지연률이 높은(수자원:44.81%, 도로:30.98%) 것으로 조사되었다. 토목공사의 경우 장기계속 계약공사가 있는 것도 공기가 길어지는 이유중 하나라 할 수 있다.

손실률의 경우 공공공사 평균 -9.53%로 조사 되었으며, 특히 공항관련공사의 손실률(-13.54%)과 도로관련공사의 손실률(-13.15%)이 낮은 것으로 조사되었다. 총1433건의 공사 중 75%(1071건)가 음의 값을, 25%(362건)가 양의 값을 나타내었으며, 이는 조사기간중 시행된 전체 공사의 1/4 가량은 공사중 발생한 설계변경으로 인하여 최종공사비가 예정 가격보다도 높아진 경우라 해석할 수 있다.

표 2는 공사종류별 설계변경 규모를 나타낸다. 공사종류별로 차이는 있으나 국내 공공공사의 경우, 전체공사의 83% 정도가 공사중 설계변경이 발생하고 있는 것으로 조사되었다.

표 3은 공사종류별 한건 공사당 평균설계변경액수와 설계

표 3. 공사종류별 설계변경금액 비교

공사 종류	공사 건수	평균 공사비변경액	설계변경 1회당 공사비변경액
도로	559	11,034,135,947	2,519,641,337
수자원	84	11,961,595,238	1,374,519,836
토지	95	5,202,628,232	1,554,244,283
주택	541	1,451,402,697	258,037,745
철도	101	12,869,542,690	3,124,576,470
공항	53	2,065,716,981	701,814,103
평균	(총계1,433)	7,430,836,964	1,588,805,629

변경 1회당 변경액을 나타내고 있다. 조사기간 중 시행된 공공공사의 공사 한 건당 평균 74억원 정도의 설계변경이 발생하였으며, 설계변경 한 건당 평균 15억9천만원 정도의 변경이 이루어진 것으로 조사되었다. 전체액수는 공사규모가 큰 철도, 수자원, 도로공사가 높은 것으로 나타났으며, 설계변경 1회당 금액은 수자원, 철도공사가 높은 것으로 나타났다. 설계변경금액은 토목공사, 건축공사종류에 따라 그리고 공사규모에 따라 차이가 큰 것으로 나타났다.

4.2 낙찰률과 설계변경률의 관계

과거 국내 공사수주의 특성상 공사 중 의도적인 설계변경을 통한 공사비 증액을 시도하는 경우가 발생 가능한 점을 감안하여 낮은 낙찰률로 시작된 공사는 상대적으로 공사중 설계변경률이 많을 것이라고 예상했던 연구진의 예상과 다르게, 그림 2에서와 같이 낙찰률과 설계변경률 사이에 뚜렷한 상관관계는 없이 약한 음의관계가 있는 것으로 나타났다. 공사에 따라 차이는 있으나 낙찰률에 관계없이 평균적으로 최초공사비의 18.62% 정도의 설계변경이 발생한 것으로 조사되었다.

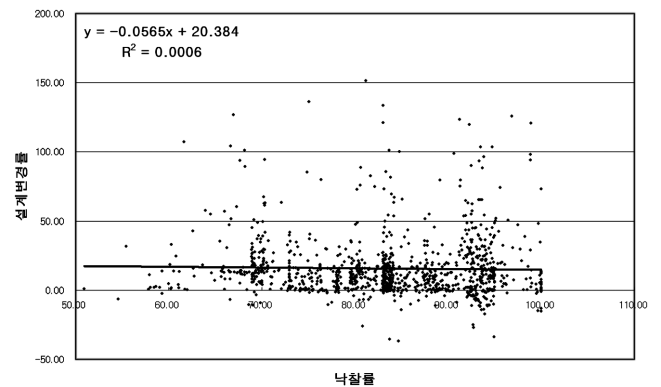


그림 2. 낙찰률과 설계변경률의 관계

4.3 설계변경횟수와 공사지연의 관계

그림 3과 같이 설계변경횟수와 공사지연률 사이에는 약한 상관관계가 있는 것으로 조사되었다. 즉, 설계변경횟수가 증가할수록 공기가 지연될 수 있다는 개연성을 보여주고 있다.

4.4 공기지연과 손실률간의 관계

앞에서 조사된바와 같이 설계변경횟수가 많은 공사는 공기를 지연시킬 가능성이 높다는 것을 알 수 있었다. 이에 연

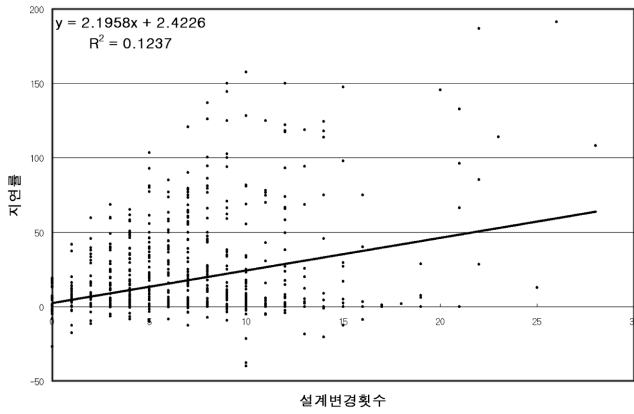


그림 3. 설계변경횟수와 공기지연률 사이의 관계

구진은 공기가 지연된 공사와 손실률 사이의 관계를 조사하였으며, 그림 4와 같이 두 지표간 약한 양의 상관관계가 있음을 알 수 있었다. 즉 공기가 지연된 공사일수록 손실이 커질 수 있다는 것을 보여준다.

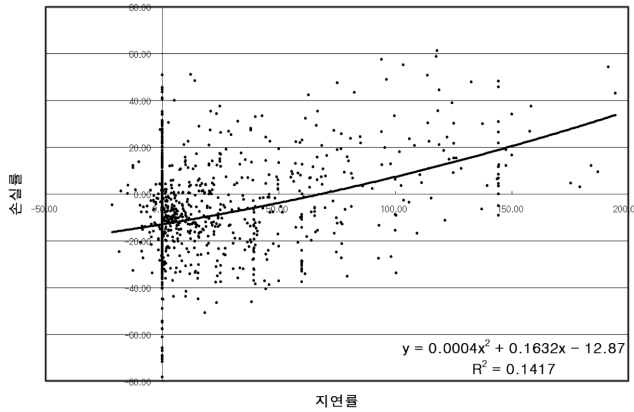


그림 4. 공기지연률과 손실률 사이의 관계

또한 실제적으로 양의 손실을 보인 공사들과 지연률간의 관계를 조사한 결과 그림5와 같이 좀 더 뚜렷한 양의 상관관계가 있음을 알 수 있다.

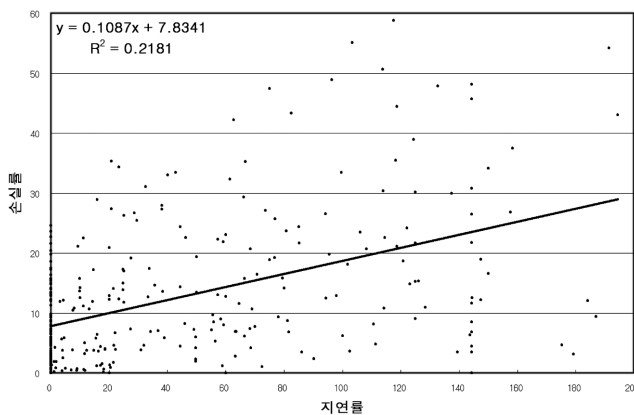


그림 5. 공기지연률과 손실률 사이의 관계(+손실의 경우)

4.5 설계변경량과 손실률간의 관계

본 연구의 가장 큰 목적 중에 하나는 설계변경량에 따른 손실률의 변화추이를 알아보는 것이다.

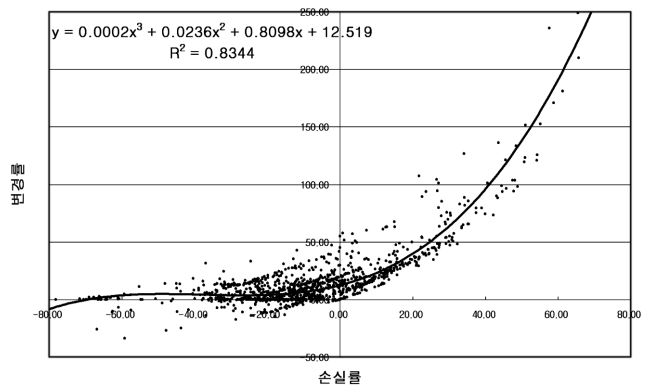


그림 6. 설계변경률과 손실률 사이의 관계(전체)

그림 6에서와 같이 설계변경률과 손실률 사이에 강한 상관관계가 있음을 알 수 있다. 즉 설계변경량이 증가할수록 손실 또한 증가한다는 것을 말하며, 특히 그림 7과 같이 양의 손실을 경험한 공사들의 경우 설계변경량과 손실간에 강한 상관관계가 있음을 알 수 있다. 추후 공사종류별로 설계변경률과 손실률 사이의 관계가 어떻게 다른지를 조사하는 연구도 필요하리라 사료된다.

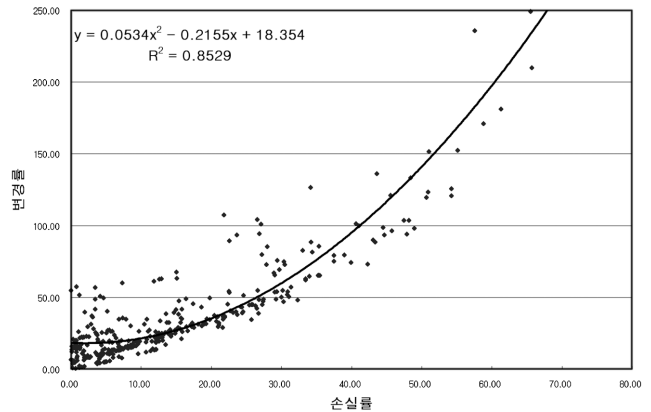


그림 7. 설계변경률과 손실률 사이의 관계(+손실의 경우)

5. 결론 및 향후 연구과제

국내 공공공사 설계변경의 특성을 파악하기 위하여 평균낙찰률, 설계변경횟수, 설계변경금액등을 분석하였으며, 설계변경이 미치는 영향을 파악하기 위하여 변경률(%CO), 손실률(%Delta), 지연률(%T)등의 개념을 정립하였다. 평균낙찰률은 공사종류별로 70% 후반에서 80% 중반대로 최근 60%대의 평균낙찰률과 비교 상대적으로 높았으며, 전체공사의 약 83% 정도가 공사에서 설계변경을 하며, 설계변경횟수는 공사당 평균 4.85회의 변경이 이루어지고 있는 것으로 조사되었다. 평균설계변경률(%CO)의 경우 토목공사는 11~33%, 건축공사는 7% 정도의 변경이 이루어진 것으로 조사되었으며 전체적으로 최초공사비의 18.62%정도가 설계변경으로 인하여 증액된 것으로 조사되었다. 공사 지연율의 경우 건축관련 공사가 평균 2.5%, 토목공사 특히 공기가 긴 공사일수록 지연률이 높은(수자원: 44.81%, 도로: 31%) 것으로 조사되었다. 손실률의 경우 공공공사 평균 -9.535%로 조사 되었다.

낙찰률과 설계변경량 사이에 뚜렷한 상관관계는 없으므로 나타났으며, 설계변경횟수와 공사지연률 사이에는 약한 상관관계가 있는 것으로 조사되었다. 또한 공기가 지연된 공사와 손실률 사이에 약한 상관관계가 있음을 알 수 있었다. 특히 설계변경률과 손실률 사이에 강한 상관관계가 있음을 알 수 있다.

본 연구에서 도출된 관계식들은 공사금액을 바탕으로 개발되었기에 프로젝트의 생산성손실의 분석을 위한 직접적인 적용은 어렵다. 하지만 향후 국내 주요건설사들이 추진하고 있는 작업일보시스템에 작업시간(Man-hour)기반의 생산성 자료들이 축적되면 추후 그 데이터를 바탕으로 국내 환경에 적합한 생산성 측정 모델 구축이 가능하리라 판단된다. 아울러, 공사중 작업생산성 관련 자료의 관리를 선진화 하고 그 신빙성을 높이는 일은 우리 건설계 모두의 노력이 필요하리라 사료된다.

향후 본 연구를 기초하여 설계변경이 미치는 영향에 대한 연구와 설계변경과 생산성손실간의 관계를 도출하고 손실량을 산정하는 모델을 개발하는 연구가 활성화되어 건설주체간 설계변경에 기인한 마찰이 있을 경우 분쟁해결을 위한 참고 자료로 활용될 수 있기를 기대한다.

감사의 글

본 연구는 2005년도 충남대학교 학술연구비 지원으로 수행된 연구이며, 이에 감사드립니다.

이민재(2005) Classify and quantify cumulative impact of change orders on productivity using ANN models. **한국건설관리학회논문집**, 한국건설관리학회, 제6권, 제5호, pp. 69-77.

이재섭(2002) 건설 클레임 비용산정에 대한 새로운 시각. **한국건설관리학회논문집**, 한국건설관리학회, 제3권, 제1호, pp. 14-18.

임철순, 이규철(2003) 설계변경에 의한 공사비의 증감에 관한 연구. **한국건설관리학회논문집**, 한국건설관리학회, 제4권, 제4호, pp. 106-113.

Hanna, A. S., Lotfallah, W. B., and Lee, M. J. (2002) Statistical-fuzzy approach to quantify cumulative impact of change orders. *Journal of Computing in Civil Engineering*, ASCE, Vol. 16, No. 4, pp. 252-258.

Hanna, A. S., Camlic, R., Peterson, P. A., and Lee, M. J. (2004) Cumulative effect of project changes for electrical and mechanical construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 130, No. 6, pp. 762-771.

Hanna, A. S. and Lee, M. J. (2002) Impact of change orders on labor efficiency for electrical construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 125, No. 4, pp. 224-232.

Lee, Min-Jae (2002) *Artificial Intelligence Approach to Classify and Quantify Cumulative Impact of Change Orders on Labor Productivity*, Ph.D. Dissertation, University of Wisconsin-Madison, Madison, WI.

Lee, M. J., Hanna, A. S., and Loh, W. Y. (2004) Decision tree approach to classify and quantify cumulative impact of change orders on productivity. *Journal of Computing in Civil Engineering*, ASCE, Vol. 18, No. 2, pp. 132-144.

(접수일: 2008.2.4/심사일: 2008.3.3/심사완료일: 2008.3.19)