

실적자료 분석을 통한 공동주택공사 노무량 예측 회귀모델

A Manpower Forecasting Regression Model for Apartment House Construction Project based on the Historical Data

손용석* · 심인보** · 권재성*** · 전상훈**** · 현창택***** · 구교진*****

Son, Yong-Seok · Shim, In-Bo · Kwon, Jae-Sung · Jeon, Sang-Hoon · Hyun, Chang-Taek · Koo, Kyo-Jin

요 약

이 연구는 최근 건설 프로젝트의 불확실성이 증가하고, 국내 건설 산업이 다변화되는 상황에서 시작되었다. 프로젝트의 Pre-Design 단계와 Construction 단계에서 얻을 수 있는 변수들을 도출해냄으로써 적절한 노무량을 예측할 수 있는 모델을 제시하는 데에 이 연구의 목적이 있다. 표준품셈과 같은 기존의 방법으로는 퇴직공제금과 같은 비용을 정확하게 산출하는 데에 어려움이 있기 때문에 본 연구에서는 수도권 지역에서 2000년부터 현재까지공사가 완료된 공동주택 38곳의 실적 자료를 이용한 통계적 방법을 사용하여, 실제 공사에 투입되고 있는 노무량과 공사의 전체적인 개요와의 상관관계를 분석하고, 회귀모델을 제시하였다. 회귀모델의 검증에서는 몇몇의 현장을 제외하고는 결과값이 통계적으로 비교적 유의한 것으로 확인되었다. 이 회귀모델은 기존의 방법보다 퇴직공제금의 적절한 산정에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

키워드: 공동주택공사, 실적자료, 노무량 예측, 회귀모델, 퇴직 공제금

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 건설기술과 건설사업의 다변화로 인해 프로젝트의 불확실성이 증가하고 있으며, 공사계획 단계에서 공사기간 중 투입될 자원들에 대해 예측하고 판단하는 방법론들이 부각되고 있다.

프로젝트의 투입자원을 예상하고 더 많은 정보를 확보하려는 의지는 성공적인 사업수행을 위해 무엇보다도 중요한 요소로 고려될 수 있다. 많은 자원들 중 건설 생산 시스템 내부에 존재하는 노무관련 영향 요인은 통제 가능한 요인으로써 공기달성에 미치

는 영향이 가장 큰 요인 중의 하나라고 볼 수 있으며, 특히 노무량은 비용 면에서만 보더라도 순공사비의 40% 내외를 차지하고 있기 때문에 노무량의 예측은 매우 중요하다고 할 수 있다.

따라서, 프로젝트의 성공을 위해서는 프로젝트에 투입되는 노무량을 정확히 예측하여 정량화 할 필요가 있으며, 공사계획 단계에서 이를 적용하여 적절한 대안을 마련할 필요가 있다.

건설공사에서 투입노무량이 결정되면 개산전적 산정과 투입 인력 산정계획, 인력수급을 위한 공사 전반의 일정계획 수립이 가능하다. 또한 근로자 퇴직공제금의 금액을 사전에 예측 가능하게 되는 등의 이점을 확보할 수 있게 된다.

그러나 현행 주택공사의 퇴직공제금 산정은 '원가계산에의한 예정가격작성준칙 제18호제3항제25호'¹⁾에 의하여 일률적인 비율에 의해 도출됨으로 인하여 실제로 투입되는 노무량과의 차이에 의해 실제 지급된 퇴직공제금과의 격차가 나타나게 된다. 따라서 도급금액 산출내역서 공제금과 실제 납부한 공제부금과의 차이가 클 때에는 금액의 정산 및 감액 조치 시 문제가 생기게 된다.

* 일반회원, 서울시립대학교 건축학부 건축공학전공 학사과정, ootzaa@naver.com

**일반회원, 서울시립대학교 건축학부 건축공학전공 학사과정, shimsfan@naver.com

***일반회원, 서울시립대학교 대학원 건축공학과 석사과정, kwonjs1@paran.com

****일반회원, 서울시립대학교 대학원 건축공학과 박사과정 수료, jeonsh@empal.com

*****중신회원, 서울시립대학교 건축학부 교수, cthyun@uos.ac.kr

*****일반회원, 서울시립대학교 건축학부 교수, kook@uos.ac.kr

1) 대한주택공사 (2002). "주택공사비 분석자료", p.7

2) 산출방법 : 직접노무비 * 비율(%)

비율 : 건축(1.55%), 토목(1.47%),

* 설비, 전기공사는 건축공사비율 적용, 준설공사는 적용 제외

따라서 본 연구의 목적은 건설프로젝트 전반에 투입되는 노무량을 예측하기 위해 통계적 방법을 이용하여 회귀모델을 제시함으로써 공사계획 수립의 적정성을 확보할 수 있는 기초자료를 구축하는데 있다.

1.2 연구의 범위 및 방법

국내에서 투입 자원을 예측하는 방법으로는 표준품셈에 의한 산출법이 일반적이었으나, 표준품셈은 공사비 산출을 주요 목적으로 하고 있기 때문에 품셈에 있는 소요인력은 실제 소요되는 인력(현장)보다는 높게 산정되는 경우가 많다. 이는 정부노임단가가 실거래 단가보다 낮기 때문이다. 따라서 표준품셈에 의한 노무량 산정은 실제 현장의 투입노무량과 차이가 생기게 된다.

본 연구에서는 실적 자료를 이용한 통계적 방법을 사용하여, 실제 공사에 투입되고 있는 노무량과 공사의 전체적인 개요와의 상관관계를 분석하고, 회귀모델을 제시하고자 한다.

본 연구는 건축공사부문에서 가장 규격화되어 시공되어지는 공동주택에 대하여 발주방식 중 설계시공분리 발주공사에 한정하며, 건축물의 구조는 철근콘크리트 벽식 구조로 한정한다. 공사의 범위에 관해서는 공동주택분과 부대시설을 모두 포함한 노무량 예측을 범위로 한다.

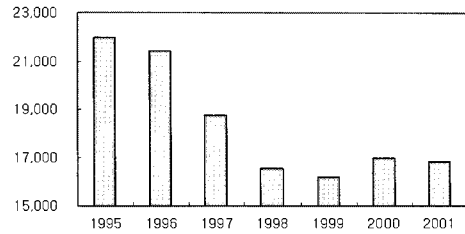
또한, 노무량에 영향을 미치는 모든 변수를 고려하기보다는 실적자료로서 입수가 가능한 변수만을 가지고 노무량을 예측하는 회귀모델을 제안하고자 한다.

연구의 내용 및 방법은 다음과 같다.

- (1) 대상 자료는 수도권 지역에서 2000년부터 현재까지공사가 완료된 공동주택 38곳의 현장자료를 활용한다.
- (2) 공사의 전체적인 공사개요 (공사기간, 부지면적, 건축면적, 연면적, 동수, 층수)와 소요된 전체 투입노무량에 대한 자료를 수집한다.
- (3) 기존 연구 및 면담조사를 통하여 노무량에 영향을 미치는 변수를 분석한다.
- (4) 수집된 자료를 바탕으로 회귀분석을 하여 전체 노무량에 영향을 미치는 변수들의 상관관계를 분석하여 회귀분석식을 도출한다.
- (5) 분석에 포함되지 않은 실적자료를 사용하여 예측모델의 적합도를 검증한다.

2. 예비적 고찰

2.1 공동주택 노무 투입현황



* (59㎡, 60세대, 15층 기준)

그림 1. 연도별 아파트 건설 동당 투입 노동력

대한주택공사의 주택공사비 분석자료 (2002)에 따르면 아파트 건설공사에는 실로 많은 근로자들이 40여 공종에 참여하고 있으며, 이러한 노동력 투입은 1997년 이후 크게 줄어들었음을 다음의 그림 1을 통해서 알 수 있다. 이러한 현상은 노임의 지속적인 상승에 따른 기계·장비의 대체, 고성능 자재 사용에 따른 소요인력의 감소 등에 기인한 것으로 판단된다. (권오현 2003)

한편, 공종별 투입인원은 18명 아파트의 경우, 건축이 1만 1천 명으로 70.9%를 차지하여 압도적인 비중을 차지하고 있고, 두 번째가 기계로 11.4%, 전기 7.6%, 토목 5.3% 등의 순으로 투입되고 있다. 또한 직종별로는 전체 20개 직종 중에서 보통 인부가 5,700명으로 36.4%로 가장

큰 비중을 차지하고 있으며, 그 다음이 형틀목공으로 2,800명 (17.8%), 내선전공 1,400명(8.8%), 철근공 900명 (5.8%)으로 이들 4개 직종이 전체 노동투입의 약 70%를 차지함으로써 주축을 이룬다.³⁾

2.2 노무량 예측의 필요성

건설공사에서는 인력, 장비, 자재, 재료 등의 여러 요소가 어우러져 공사를 수행하게 되지만 이러한 장비, 자재, 재료를 사용하는 당사자는 사람이다. 모든 작업의 수행 주체가 장비, 자재, 재료를 이용하는 사람, 즉 노무자이기 때문에 자원 관리상에 있어서 노무 관리는 공사의 성공여부와 매우 밀접한 관계가 있다. 또한 건설 산업은 노동집약적인 특성을 나타내고 있으며, 공사비의 40% 내외를 차지하고 있는 노무비를 산정하기 위해서는 발주자 및 시공자 모두 공사에 필요한 투입노무량을 정확히 산출해야 하며, 이는 곧 전체 공사비의 예측과도 직접적인 관련이 있다. 특히 앞서 밝힌 바와 같이 퇴직 공제금 산정에 있어서 전체 노무량의 정확한 산정은 그 활용도가 높다고 할 수 있다.

3) 대한주택공사 (2002). "주택공사비 분석자료", p.11

2.3 퇴직 공제금 제도

(1) 퇴직공제금 제도의 개요

건설현장의 일용노동자들은 생업으로서 건설현장업무를 수행하면서도 일용직의 특성상 퇴직금 등 근로기준법상의 보호를 제대로 받지 못하는 등 노동법의 사각지대에 놓이는 경우가 많다. 이에 건설산업기본법과 건설근로자의 고용개선 등에 관한 법률 등 관계법령에서는 건설노동자의 노후소득과 생활보장을 위하여 퇴직금제도를 대신하여 퇴직공제제도를 마련하고 있다.

퇴직공제제도는 건설업 사업주가 건설일용노동자를 피공제자로 하여 건설근로자공제회에 공제부금을 납부하고, 공제회는 당해 일용노동자가 건설업에서 퇴직 또는 사망하거나 60세에 이른 때에 사업주가 납부한 공제부금에 소정의 이자를 더하여 퇴직공제금을 지급하는 제도⁴⁾이다.

공제부금액의 기준이 되는 일용노동자의 근로일수는 근로기준법 제20조의 규정에 의한 소정근로시간을 근로하였을 때 1일을 근로한 것으로 하며, 이 경우 1일의 근로시간이 소정시간에 미달한 근로일의 경우에는 해당 근로시간을 합산하여 1일 소정근로시간에 달한 경우 근로일수 1일로 계산한다. 고용기간 중 실제 근로한 날을 근로일로 산정하되, 당사자 간에 약정한 유급휴일이 있는 경우에는 당사자간의 약정내용에 따라야 한다.

건설업에서 종사한 경력이 1년이상(근로일수 252일 이상)인 일용노동자가 자영업, 정규직 전환, 다른 업종 이직 등으로 건설업의 일용노동자로 더이상 종사하지 않고 퇴직하게 되는 때에는 퇴직공제금을 공제회 본부 또는 지부에 청구(방문, 우편) 하여 받을 수 있다.

종전에는 복지수첩을 발급하여 증지를 첨부하는 방식으로 공제부금액을 확인하였으나, 2006년1월1일부터 전자문서(EDI)로 처리가 가능해져 복지수첩이나 증지형태는 폐지되었다.

(2) 퇴직공제금 산정방법

건설공사에서 퇴직 공제금을 산정하기 위해서는 전체 노무량을 정확히 예측하여야 할 필요가 있다. 퇴직공제금 산정식은 다음과 같다.

$$\text{퇴직공제금} = \text{사업주납부공제금} + \text{이자}$$

이자는 공제회에서 적립금의 운용수익 및 시중금리 등을 고려하여 매년 산정·고시한다.

퇴직공제금 산출식⁵⁾은 다음과 같다.

$$\text{산출방법} : \text{직접노무비} \times \text{요율}(\%)$$

* 요율 : 건축(1.55%), 토목(1.47%),

* 설비, 전기공사는 건축공사요율 적용, 준설공사는 적용 제외

2.4 기존연구 고찰

고종철(1991)⁶⁾의 연구에서는 공동주택 골조공사에서 프로젝트 기획단계에서 소요노무량을 예측하기 위해 월별로 실제 투입된 노무량의 관계를 노무비중인 큰 형틀, 철근 및 콘크리트 공종별 노무량을 회귀분석하여 공동주택 골조공사의 월별 소요노무량 예측식을 도출하였다. 김종경(2005)⁷⁾의 연구에서는 공동주택 전기공사의 소요노무량을 예측하여 노무비를 산출할 수 있는 회귀모형을 제시하였다.

표 1. 기존 노무량 예측에 관한 연구와 한계점

제목	저자	회귀식	한계점
우리나라 공동주택공사의 노무량 예측모델 개발에 관한 연구	고종철 (1991)	EX 형틀공 Y=1265.92 X3 + 1536.61 X2 + 0.36587 X1 X3 : 동수, X2 : 평균평수, X1 : 연면적	*골조공사에 한정 *적은 양의 표본 *10년 전 자료
공동주택공사 전기공사의 투입인력예측 회귀모델	김종경 (2005)	M,D1 = -582 + 0.11A MD2 = -997+5.77 Nh + 30.8Nf M,D : 투입인력, A : 연면적 Nh : 세대수, Nf : 전체층수	*전기공사에 한정 *도출회귀식의 보정 작업미비

그러나 고종철의 연구에서는 골조공사에만 한정되어 있고 10여년 전의 자료로서 현재 공동주택공사의 전체 노무량 예측에 적용하기에는 한계점이 있는 것으로 판단된다. 김종경의 연구 역시, 전기공사에만 적용 가능한 연구이므로 공동주택의 전체 노무량을 산정하기에는 어려움이 따르고 도출된 회귀식에 대한

5) 원가계산에의한예정가격작성준칙 제18호제3항제25호

6) 고종철 (1991). "우리나라 공동주택 공사의 노무량 예측모델 개발에 관한 연구", p.8

7) 김종경 (2005). "공동주택 전기공사의 투입인력예측 회귀모델", p.63

4) 건설산업기본법 (일부개정 2003.7.25 법률 6938호)

보정 작업이 더욱 필요하다. 이로 인하여 개략공사비 산정과 투입인력 산정계획, 노무자의 작업여건, 인력수급 등을 위한 공사 전반의 투입노무량 예측에 관한 연구가 필요하다.

3. 회귀모델 개발방향

3.1 회귀모델의 개요

건설공사는 공사종류, 연면적, 대지면적, 층수, 동수 등과 같은 수많은 변수들이 존재한다. 이 변수들은 상호간에 또는 어느 특정 변수와 상관관계를 가지고 있다. 물론 그것이 통계적으로 유효할 수도 또는 유효하지 않을 수도 있지만, 그 변수들은 나름대로의 의미를 가지고 있다. 이러한 두 변수 또는 둘 이상의 변수 간에 상관정도를 분석하는 것이 회귀분석이며, 이를 식으로 나타낸 것이 회귀식이다. 통계적 분석은 발생확률이 높은 것을 나타낸 것이기 때문에, 회귀식이 어느 특정한 변수에 대하여 100%의 신뢰도를 갖는다고 볼 수는 없다. 특히 건설공사의 경우, 상당히 많은 변수들을 포함하고 있기 때문에 예측하지 못한 결과가 나올 수도 있는 것이다. 따라서 반드시 의사결정을 해야 할 경우, 주관적인 판단과 함께 객관적인 자료로서 이를 활용한다면 좀 더 신뢰성 있는 의사결정을 할 수 있을 것이다.

3.2 회귀모델 개발 프로세스

본 절에서는 종속변수와 독립변수가 모두 연속변수일 때 사용 가능한 회귀분석을 이용한 모델을 개발하기로 하고 개발을 위한 프로세스를 정립하였다. 노무량 예측 회귀모델 구축을 위해 통계프로그램인 SPSS⁸⁾를 이용하였다.

3.3 투입노무량 영향인자 분석

건설공사의 많은 변수들 중에서 공동주택공사의 투입노무량에 직접적으로 영향을 끼치는 인자들을 분석하기 위하여 전문가와의 면담조사 및 기존연구 문헌⁹⁾들에 대한 분석이 이루어졌다. 면담조사는 공공발주자 1명, 일반 건설업체 공동주택 공사담당자 2명으로 진행 되었다. 면담조사대상자 3명은 실무경력 10

년 이상의 소유주로서 공동주택공사에 대해 직, 간접적인 경험을 가지고 있어 본 면담의 적절한 대상자로 판단되었다. 면담은 개별면담을 통해 이루어졌으며 면담조사와 더불어 기존 연구의 분석을 통해 영향인자를 정량적인 요인과 정성적인 요인으로 나누어 다음 표 2과 같이 분류하였다.

표 2. 투입노무량 관련 영향인자

구분	영향인자
정량적 요인	숙련공과 비숙련공의 수, 연면적, 건축면적, 세대수, 층수, 동수, 공사기간, 공사비
정성적 요인	관리자의 능력, 발주방식, 현장의 위치, 각 공종의 공법, 민원 및 클레임 등

(1) 정량적 요인

본 연구에서는 공사계획단계에서 투입노무량 예측을 가능하게 하기 위한 모델을 통계적 분석방법으로 도출하였다. 따라서 변수 설정에서는 관련 영향인자 중, 통계적 분석에 제시될 수 있는 정량적 요인으로 한정한다. 정량적 요인 중 공사비는 노무량 산출 후 제시되는 부분이므로 본 연구에서는 제외하고, 숙련공과 비숙련공의 수는 공사계획단계에서 제시할 수 없는 요인이므로 각 현장이 동일한 비례를 가진다고 가정한다. 공사기간은 실제 진행된 공사기간이 영향인자로 판단되지만 계획단계에서 제시되는 예정공사기간과 거의 차이가 없고 오차가 미비하다고 가정한다.

(2) 정성적 요인

정성적 요인 중 노무량에 가장 많은 영향을 끼치는 각 공종의 공법 중 노무비중이 가장 많이 차지하는 구체공사 공법에서는 실제 유로폼, 합판공법을 100으로 할 때 완전조립식공법은 182, 대형거푸집·부분조립식공법은 90의 노동생산성을 갖는 것으로 분석되었다.¹⁰⁾

표3. 구체공사 노동생산성

공법	투입인원	연면적(m ²)	노동생산성		
			(인*일/m ²)	(m ² /인*일)	지수
유로폼,합판	9,275	30,671.74	0.3	3.31	100
대형거푸집, 부분PC	6,959	20,483.94	0.34	2.94	90
완전조립식	7,581	42,275.04	0.18	5.57	182

완전조립식공법의 경우 노동생산성의 차이가 크지만 공동주택공사의 경우 대부분이 유로폼, 합판공법을 사용하고 있고, 부분적으로 대형거푸집, 부분조립식공법을 사용 하며, 완전조립식공법은 거의 사용하지 않고 있다. 따라서 공동주택공사에서 구

8) SPSS - Statistical Package for the Social Sciences ; 통계분석용 소프트웨어

9) 고종철 (1991). 상계서, p.3

김중경 (2005). 상계서, p.38

유용환 (2004). "공동주택 실적공사비 산정시 공종별 변동요인에 관한 연구"

10) 박대원 (1994). "공법별 노무량 조사 분석", p.6

제공법은 노무량에 크게 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다. 그 밖에 큰 비중을 차지하는 미장공사, 조적공사, 철근공사 역시 실제 공동주택공사에서 사용되는 공법이 크게 다르지 않기 때문에 공법에 대한 영향요인은 미비하다고 할 수 있다. 관리자의 능력이나 민원 및 클레임은 계획단계에서 제시되기 어렵고 정량화 시키는데 한계가 있으므로 본 연구에서 제외한다. 발주방식과 현장위치의 영향인자는 연구의 범위에서 언급한 바와 같이 설계 시공분리 발주방식과 수도권으로 한정한다.

(3) 변수 설정

4장의 회귀모델 자료적용에서 제시할 변수를 위의 분석에서와 같이 정량적 요인, 정성적 요인을 고려하여 다음 표 4에서와 같이 설정하였다. 자료조사 또한 다음의 변수로 한정하여 조사할 것이다.

표 4. 회귀모델 작성을 위한 자료

구분	영향요인
변수	공사기간, 연면적, 건축면적, 동수, 세대수, 층수, 전체층수

4. 회귀모델 개발

4.1 자료수집

서울과 경기지방의 수도권지역에서 2000년 이후 완공된 공동주택공사 사례를 총 38개 수집하였다. 확보한 자료는 투입노무량 관련 변수인 연면적, 건축면적, 동수, 전체층수, 전체 공사기간을 중심으로 조사하였다. 총 38개의 자료 중 검증용을 위한 자료 5개를 제외한 33개의 자료를 회귀모델 작성에 이용하였다. 자료 수집 내용은 다음 표 5, 표 6과 같다.

표 5. 회귀모델 작성을 위한 자료

연번	공사명	공사기간 (개월)	건축면적 (㎡)	연면적 (㎡)	세대 수	층수	동수	전체 층수	전체투입 노무량
1	창신B	28	1,401.40	21,891.32	113	19	1	19	27,633
2	효창 두양A	24	1,535.54	22,813.19	171	18	4	72	26,038
3	정릉보현C	30	1,486.99	22,815.19	127	15	2	30	32,374
4	서초삼익D	22	1,722.85	23,550.00	66	10	2	20	36,997
5	방학B	29	1,279.23	24,199.84	174	23	3	69	30,142
6	방배동E	18	1,536.40	24,445.60	60	12	1	12	17,560
7	행당B	29	1,889.35	30,054.71	208	15	3	45	39,133
8	목수F	24	2,244.27	37,711.70	269	15	5	75	59,075
9	냉천G	35	3,166.59	39,462.13	313	17	4	68	86,277
10	인천검암A	20	2,353.41	39,462.13	320	20	5	100	43,941

연번	공사명	공사기간 (개월)	건축면적 (㎡)	연면적 (㎡)	세대 수	층수	동수	전체 층수	전체투입 노무량
11	용인신봉H	28	2,782.39	40,738.31	296	18	4	72	73,496
12	안양삼신H	25	2,404.41	46,448.06	375	22	6	132	83,086
13	강변북지G	37	2,798.01	53,804.02	309	25	4	100	117,900
14	용인동천D	28	3,646.03	56,928.26	334	18	3	54	31,258
15	정릉A	29	5,533.52	58,142.46	355	23	7	161	83,611
16	미아재건축H	32	3,444.38	63,154.72	384	17	8	136	119,037
17	동서변경A	20	5,522.86	63,212.95	469	13	8	104	79,060
18	용인수지D	29	4,665.80	79,165.97	404	19	5	95	69,916
19	의정부금오D	28	4,534.90	84,721.74	662	20	6	120	68,492
20	목동B	32	4,493.79	85,686.31	587	19	6	114	92,275
21	이민	26	4,286.44	92,687.62	648	20	9	180	163,591
22	쌍동리낙천J	24	8,069.26	97,580.28	816	15	12	180	81,083
23	마포K	30	4,133.00	105,206.00	534	22	10	220	88,233
24	강동K	29	5,543.00	116,114.00	596	20	12	240	142,852
25	신영동D	32	7,382.12	121,471.26	800	18	11	198	97,737
26	주안F	33	5,543.89	126,369.50	922	25	6	150	169,039
27	용인	29	8,916.81	191,987.06	837	20	12	240	39,133
28	하계F	30	11,924.37	209,833.38	1601	19	15	285	255,790
29	화곡동J	33	11,994.07	235,741.47	1164	19	21	399	126,545
30	미아F	30	11,817.31	240,128.85	2017	25	25	625	299,284
31	정릉F	25	17,934.69	309,813.43	2303	20	30	600	273,398
32	장안A	39	17,055.20	366,385.70	2,182	25	21	525	774,004
33	미아재개발L	37	31,942.00	634,934.00	5327	24	54	1296	1,113,117

표 6. 검증용을 위한 자료

연번	공사명	공사기간 (개월)	건축면적 (㎡)	연면적 (㎡)	세대 수	층수	동수	전체 층수	전체투입 노무량
1	내발산동A	21	981.79	15,399.96	102	15	2	30	25,228
2	협동D	24	1,279.23	24,187.98	174	23	3	69	39,279
3	서초	31	1,605.16	43,252.38	222	25	5	125	99,837
4	창동신도F	30	3,261.76	82,803.61	456	23	7	161	85,260
5	둔암B	36	8,850.05	157,228.90	1074	19	12	228	197,339

4.2 상관분석

회귀분석시 각 규모별 노무량에 영향을 미치는 각 변수들의 비중이 다를 수 있기 때문에 연면적 7만 ㎡, 500세대를 기준으로 소규모현장과 중·대규모 현장으로 나누어 상관분석을 하였다. 상관분석의 결과는 다음 표 7, 표 8와 같다.

표 7. 소규모현장의 상관관계수 분석

	공사기간	건축면적	연면적	세대수	층수	동수	전체층수	전체투입 노무량
전체투입	상관계수	0.527	0.588	0.767	0.733	0.373	0.728	0.748
노무량	유의확률	0.030	0.013	0.000	0.001	0.141	0.001	0.001

표 8. 중·대규모현장의 상관계수 분석

		공사기간	건축면적	연면적	세대수	층수	동수	전체층수	전체투입 노무량
전체투입	상관계수	0.671	0.893	0.926	0.921	0.585	0.841	0.885	1
노무량	유의확률	0.004	0.000	0.000	0.000	0.017	0.000	0.000	

표 7과 표 8에서 전체 종속변수들은 유의확률이 소규모현장과 중·대규모현장이 모두 0.05이하로 유의하며, Pearson 상관계수가 0.6이상¹¹⁾으로 유의한 것으로 볼 수 있는 변수로서 소규모현장에서는 연면적, 세대수, 동수, 전체층수로 나타났으며 중·대규모현장에서는 건축면적, 연면적, 세대수, 동수, 전체층수로 나타났다.

표 9. 소규모현장의 변수상호간 상관계수

상관계수	건축면적	연면적	세대수	동수	전체층수
건축면적	1	0.874	0.905	0.757	0.676
연면적	0.974	1	0.911	0.909	0.769
세대수	0.905	0.911	1	0.990	0.925
동수	0.757	0.909	0.990	1	0.909
전체층수	0.676	0.769	0.925	0.909	1

표 10. 중·대규모현장의 변수상호간 상관계수

상관계수	건축면적	연면적	세대수	동수	전체층수
건축면적	1	0.986	0.974	0.967	0.957
연면적	0.986	1	0.972	0.955	0.964
세대수	0.974	0.972	1	0.963	0.976
동수	0.967	0.955	0.963	1	0.989
전체층수	0.957	0.964	0.976	0.989	1

하지만 표 9과 표 10에서와 같이 상관관계가 있는 것으로 나타난 변수들 사이에서 0.9 이상의 강한 상관관계가 있는 것으로 나타나 다중회귀분석 시 이를 그대로 변수로 적용하여 입력식 회귀분석을 하게 되면 다중공선성(多重共線性: Multicollinearity, 통계학용어로 VIF : variance inflation factor)¹²⁾의 문제가 생길 것으로 의심된다.

회귀분석에 적용되는 중요한 전제조건 중의 하나는 독립변수들이 상호 밀접히 연관되어 있지 않다는 것이다. 독립변수들 간에 매우 강한 상관관계가 존재하는 경우 회귀계수의 통상적인 해석은 심각한 문제를 야기 시킨다. 따라서 다중회귀분석 시 공선성 진단을 통하여 수치가 10이상이거나 가장 높은 수치를 나타내는 변수를 삭제 시킨다.

11) 상관계수 해석

- 0.2 이하 : 상관관계가 없거나 무시해도 좋은 수준
- 0.4 이하 : 약한 상관관계
- 0.6 이상 : 강한 상관관계

12) 김두섭 (2000). 회귀분석 기초와 응용, 남남출판, p.209~p.234

4.3 다중회귀분석 모델 개발

4.2에서 언급한 바와 같이 상관관계가 큰 모든 변수를 입력하는 입력식 다중회귀분석은 다중공선성의 문제와 독립변수의 수가 많아져 고려해야 할 모형의 수가 너무 많게 되어 이용하기에는 거의 불가능한 방법이 된다. 실제 상관관계가 높은 변수를 모두 입력한 입력식 다중회귀분석의 결과를 보면 다음 표 11와 같다.

표 11. 중·대규모현장의 입력식 다중회귀분석 결과

모형	비표준화 계수		표준화계수		t	유의 확률	공선성 통계량	
	B	표준오차	베타				공차 한계	VIF
(상수)	-17997.658	52016.134			-3.46	.737	.008	120.183
연면적	.709	1.776	.356	.399	.698	.008		120.183
세대수	91.693	157.938	.387	.581	.574	.015		66.902
동수	-50451.986	28655.926	-2.167	-1.760	.109	.004		228.569
전체층수	1640.334	1349.372	1.722	1.216	.252	.003		302.639
건축면적	24.218	46.400	.611	.522	.613	.005		206.928

분석결과 회귀식의 설명력을 말해주는 R제곱 값은 0.934로 설명력이 높았지만 다중공선성(VIF)의 값은 모든 변수가 10을 훨씬 넘는 66에서 302까지의 값을 보여 회귀분석 모델로는 적합하지 않았다.

위와 같은 문제점을 해결하기 위해 각 단계마다 주어진 독립변수들 중 가장 설명력이 높은 독립변수를 차례로 선택하여 최종적으로 가장 좋은 독립변수군을 찾아내는 방법으로서 가능한 모든 종류의 회귀방법보다 훨씬 적은 계산량을 필요로 하는 단계식 다중회귀분석을 실시하였다.

(1) 회귀계수

단계식 다중회귀분석 결과 다음과 같은 회귀계수를 도출하였다.

표 12. 소규모현장의 회귀계수

모형	비표준화 계수		표준화계수		t	유의 확률	공선성 통계량	
	B	표준오차	베타				공차 한계	VIF
(상수)	-69197.657	22121.802			-3.128	.008		
연면적	.552	.477	.259	1.158	.268	.307		3.257
공사기간	2776.157	815.116	.449	3.406	.005	.887		1.128
동수	7459.982	3248.813	.501	2.296	.039	.323		3.092

표 13. 중·대규모현장의 회귀계수

모형	비표준화 계수		표준화계수		t	유의 확률	공선성 통계량	
	B	표준오차	베타				공차 한계	VIF
(상수)	35235.618	20747.592			-1.698	.099		
연면적	1.594	.122	.920	13.047	.000	1.00		1.000

소규모현장과 중·대규모현장의 회귀분석결과 각 변수의 다중공선성(VIF)이 10이하로 공선성에 의한 문제는 없는 것으로 나타났다. 위의 표에서 도출한 식은 다음과 같다.

$$Y_1 = 0.552X_1 + 2776.16X_2 + 7459.98X_3 - 69197.6 \quad (1)$$

$$Y_2 = 1.594X_1 - 35235.618 \quad (2)$$

(Y : 투입노무량 X₁ : 연면적 X₂ : 공사기간 X₃ : 동수)

(2) R제곱(결정계수)

R제곱은 회귀식을 설명하는 설명력 또는 결정계수로서 독립변수에 의하여 설명되는 종속변수의 비율이다. R제곱은 0과 1사이의 값을 가지며 1에 가까울수록 완벽한 관계에 가까워지는 것을 의미한다.

표 14. 소규모현장 R제곱

모형	R	R제곱	수정된 R제곱	추정 값의 표준오차
1	.894a	.800	.754	16081.905

표 15. 중·대규모현장 R제곱

모형	R	R제곱	수정된 R제곱	추정 값의 표준오차
1	.820a	.846	.841	88249.011

표 14와 표 15에 따르면 소규모현장의 회귀모델은 R제곱이 0.80으로 연면적, 공사기간, 동수의 세 개의 독립변수들이 노무량을 80% 설명하고 있음을 알 수 있고 중·대규모현장의 회귀모델 경우 연면적의 독립변수가 노무량을 84.6% 설명하고 있음을 알 수 있다.

(3) 유의확률

유의확률이란 연구자나 조사자가 귀무가설이 참인데도 불구하고 의사결정시 잘못하여 대립가설을 채택하는 오류를 범할 확률을 의미한다. 통계적으로 유의확률이 0.05 (5%) 이하일 때 유의하다고 볼 수 있다.¹³⁾

위의 회귀분석에서는 유의확률이 0.00으로 0.05이하가 되므로 통계적으로 유의하다고 볼 수 있다. 즉 회귀식 설명력(R제곱)이 0이라는 귀무가설을 기각하게 되므로 회귀식이 종속변수를 설명하는데 유의하다고 할 수 있다. 본 회귀모델에 대한 귀무가

표 16. 소규모현장의 분산분석

모형	제곱합	자유도	평균제곱	F	유의확률
선형회귀분석	1.344E+10	3	4.481E+09	17.326	.000
잔차	3.362E+09	13	258627681		
합계	1.680E+10	16			

표 17. 중·대규모현장의 분산분석

모형	제곱합	자유도	평균제곱	F	유의확률
선형회귀분석	1.326E+12	1	1.326E+12	170.213	.000
잔차	2.414E+11	31	7.788E+09		
합계	1.567E+12	32			

설은 “이 회귀모델은 투입노무량을 예측하는데 적합하지 않다.” 라고 할 수 있다.

4.4 회귀식 보정

(1) 이상점분석 및 회귀식 보정

회귀모델에 사용한 자료 중 대부분의 개체들과 아주 멀리 떨어져 있는 개체를 이상점이라 부른다. 즉, 이상점이란 자료분석에서 문제가 될 소지를 지니고 있는 개체이다. 이상점에 해당하는 해당 자료의 잔차는 0보다 아주 큰 값, 또 아주 작은 값을 갖는다.¹⁴⁾

본 연구에서는 표준화 잔차 절대값이 2이상인 자료를 이상점으로 측정하였지만 소규모현장의 회귀모델과 중·대규모현장의 회귀모델 모두 이상점이 발견되지 않아 도출된 회귀식을 그대로 적용하고 오차가 발생하지 않을 범위 내에서 회귀계수를 반올림하여 회귀식을 자체보정을 하였다.

(2) 공사 진도에 따른 보정

위의 연구과정에서 도출한 회귀모델은 공사계획단계에서 노무량을 예측할 수 있는 회귀모델이었다. 공사 중 노무비 산정과 노무관리, 공정관리를 위한 노무량 예측 회귀식에 대한 보정으로 공사 진도에 따른 회귀모델을 도출하였다. 공사 진도에 따른 보정을 위하여 주요공종인 토공사, 골조공사의 진행에 따른 전체 공기의 25%, 50%, 75% 시점의 투입된 노무량을 변수로 추가하여 단계식 다중회귀분석을 실시하고 자체 회귀식 보정과 공사 진도에 따른 보정을 하여 다음 표 18과 같은 회귀식을 도출하였다.

13) 문명상 (1999). SPSS시리즈3 회귀분석, 민영사, p.19

14) 문상호 (1999). SPSS시리즈 3편 회귀분석, 민영사, p.55

표 18. 보정에 의한 최종회귀식

구분		회귀식	식	변수
소규모	계획단계	$Y=0.55X1+2776.16X2+7460X3-69198$	(3)	X1:연면적 X2:공사기간 X3:동수 X4:각시점의 노무량 X5:연면적
	25%시점	$Y=7.12X4+0.84X5-11443$	(4)	
	50%시점	$Y=2.9X4+3711$	(5)	
	75%시점	$Y=1.3X4+4139$	(6)	
중·대 규모	계획단계	$Y=1.6X1-35236$	(7)	노무량 X5:연면적
	25%시점	$Y=4.7X4+1.25X5-103645$	(8)	
	50%시점	$Y=2.3X4+0.71X5-74271$	(9)	
	75%시점	$Y=1.3X4+0.29X5-33634$	(10)	

소규모 현장의 경우 계획단계에서는 연면적, 공사기간, 동수가 독립변수로 노무량을 설명했지만 공사 진도에 따라 각 시점의 노무량만으로 설명되는 것을 알 수 있다. 이는 각 시점의 노무량을 새로운 변수로 추가됨에 따라 연면적, 공사기간, 동수의 변수가 각 시점의 노무량과 강한 상관관계를 보임에 따라 회귀모델의 변수에서 제외되었음을 알 수 있다.

반대로 중·대규모 현장에서는 연면적으로만 설명되던 것이 공사 진도에 따라 각 시점의 노무량이 연면적과 강한 상관관계를 보이지 않기 때문에 노무량 예측 회귀모델이 연면적과 각 시점의 노무량의 변수로 설명됨을 알 수 있다.

4.5 검증 및 평가

표 18의 (3)식~(10)식의 회귀식을 이용하여 회귀분석에 사용되지 않은 총 5개의 현장데이터를 가지고 검증을 실시하여 실제 투입노무량과 예측된 노무량과의 비교를 통해 오차율과 적합여부를 판단하였다. 7만 m² 이하, 500세대이하의 현장들은 소규모 현장의 회귀식을 적용하고 7만 m² 이상, 500세대 이상의 현장에는 중·대규모현장의 회귀식을 적용하여 계획단계에서 공사 진도 25%, 50%, 75%에 까지 각각의 회귀식을 이용해 검증을 실시하였다.

표 19. 계획단계의 회귀식을 적용한 검증

연번	공사명	공사기간 (월)	연면적(m ²)	동수	전체투입 노무량(명)	예측노무량 (명)	오차율
1	내발산동A	21	15,399.96	2	25,228	12,491	50%
2	협동D	24	24,187.93	3	39,279	33,113	16%
3	서초	31	43,252.38	5	99,837	77,952	22%
4	창동신동F	30	82,803.61	7	85,260	96,750	13%
5	둔암B	36	157,228.90	12	197,339	215,380	9%
					평균		22%

표 20. 공사 진도별 회귀식을 적용한 검증

연번	공사명	전체투입 노무량(명)	25% 예측 노무량(명)	오차율	50%예측 노무량(명)	오차율	75% 예측 노무량(명)	오차율
1	내발산동A	25,228	22,169	12%	32,406	28%	27,926	11%
2	협동D	39,279	39,990	2%	51,281	31%	43,317	8%
3	서초	99,837	55,456	44%	51,003	49%	94,616	5%
4	창동신동F	85,260	96,468	13%	78,387	8%	80,054	6%
5	둔암B	197,339	164,576	17%	181,011	8%	178,558	10%
			평균	18%	평균	25%	평균	8%

5개 현장의 자료가 검증자료로서 타당한지에 대한 검증은 없었지만 위의 검증에서 계획단계에서 노무량 예측 오차율은 최소 9%에서 최대 50%까지 평균 22%의 오차율을 보였고 몇몇 현장을 제외하고는 공사가 진행 될수록 오차율이 줄어들음을 알 수 있다. 공사가 진행될수록 오차율이 커졌던 현장의 경우, 노무관리에 문제가 있었으며, 실제 담당자 면담 및 자료 분석의 결과 협동D 현장의 경우, 토공사 이후 골조공사에 기후 등의 이유로 노무투입량이 많았음을 알 수 있었고, 서초 현장에서는 공사후반에 실제품질을 확보하지 못하고 재시공을 실시하는 등의 정성적인 요인이 많이 추가되어 오차율이 커졌음을 알 수 있었다.

본 연구에서 제시된 회귀모델을 통하여 계획단계에서의 개략적인 노무량 예측이 어느 정도 유의함을 알 수 있었고, 공사 진도에 따른 보정으로 퇴직공제금 산정 시 더욱 유의한 자료로서 활용될 수 있는 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 실적자료를 바탕으로 통계적 방법에 의해 노무량을 산출해 내는 회귀모델을 제안하였다. 먼저 문헌조사와 기존연구 분석을 통해 공사계획단계에서 투입인력 산정 시 관련도가 클 것으로 예상되는 변수를 도출하여 관련 데이터를 수집하였다. 이를 토대로 회귀모델을 구축하였다. 주요 연구내용은 다음과 같다.

(1) 건설 자원 중에서 노무량 예측의 중요성을 공사비 대비 노무비의 비중으로 설명하였고, 자원배분과 같은 관리상의 문제와 퇴직공제금 산정 문제 등의 이유로, 공사계획상에서의 투입노무량의 필요성을 제시하였다.

(2) 노무량에 영향을 주는 변수들을 문헌조사와 기존연구를 통하여 공사기간, 건축면적, 연면적, 세대수, 층수, 동수, 전체층수로 선정하였다.

(3) 자료 수집은 2000년 이후 수도권 공동주택 건설 현장 56 곳을 대상으로 하였으며, 변수 데이터의 누락이 없는 38곳의 현장을 선정해 33곳의 현장은 회귀모델 구축을 위한 자료로 활용

하였고 나머지 5곳의 현장은 회귀모델의 검증에 위한 자료로 활용하였다.

(4) 노무량 예측 모델을 구축하기 위하여 통계프로그램인 SPSS에서 수집된 변수를 입력한 후 상관분석을 통해 각각의 독립변수들이 노무량에 대한 상관관계를 소규모현장과 중·대규모현장 집단으로 나누어 측정하여 다중회귀분석시 다중공선성을 고려하였다.

(5) 단계식 다중회귀분석을 실시하여 회귀식을 제시하고 이상점분석과 공사 진도에 따른 보정을 하여 25%, 50% 75% 시점에서의 회귀식(표 18)을 도출하였다.

본 연구를 통해, 보다 현실적인 노무량 예측이 가능할 것으로 기대되며, 이로 인하여 공사계획단계에서의 퇴직공제금의 개략산정에 도움이 될 수 있을 것이다. 그러나 각각의 건설 현장은 노무관리 기법 등의 정성적 요인에 있어 다양한 차이를 보이므로, 본 연구에서 제시한 노무량 예측 회귀모델의 오차율이 발생할 수밖에 없으며, 지속적인 보정 및 실적 자료의 축적이 필요하다. 또한 건설 산업의 기계화·공업화와 앞으로 주 5일제의 노동시간 단축으로 노동 생산성의 큰 변화가 예상된다. 따라서 노무량 예측 회귀식 역시 여건 변화에 민감하게 재산정 되거나 보완되어야 할 것이다.

본 연구에서는 공사에 투입되는 전체 노무량을 공사가 끝난 후의 시점으로 산출하였다. 향후 월별 노무량을 산출할 수 있는 모델이 제시될 경우, 작업진도와 노무량을 동시에 알 수 있을 뿐 아니라, 월별 노무량 수급계획을 세우고, 노무자 부대시설의 규모나 작업도구 일체의 수량도 예측 가능할 것이며, 노무자 식량 준비의 조절도 가능할 것으로 기대되어 보다 정확하고 합리적인 공정관리를 위한 기틀이 될 것이다.

참고문헌

1. 고종철 (1991). "우리나라 공동주택공사의 노무량 예측모델 개발에 관한 연구", 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집(구조계)
2. 권오현 (2003). "주택 생산체계의 효율화 방안", 한국건설산업연구원
3. 김두섭 (2000). 회귀분석 기초와 응용, 남남출판
4. 김종경 (2005). "공동주택 전기공사의 투입인력예측 회귀모델", 서울시립대 석사학위논문
5. 김태황 (1998). "대형 공공공사 현장의 기능 인력의 수급 실태 조사", 한국건설산업연구원
6. 대한주택공사 (2002). "주택공사비 분석자료"
7. 박대원 (1994). "공법별 노무량 조사 분석"
8. 안용선 (2003). "건설사업 초기 단계에서 개산견적의 정확성 향상방안", 대한건축학회 논문집 (구조계)
9. 유용환 (2004). "공동주택 실적공사비 산정시 공종별 변동요인에 관한 연구", 한국건축시공학회 논문집 제14호
10. 원경연 (2004). "건설업 임금실태 조사를 통한 건설 인력의 취업구조에 관한 연구", 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집 제5회
11. 통계청 (2003). "통계조사보고서"
12. 한국건설기술연구원 (1995). "적산제도 개선방안 연구용역", 3단계최종보고서
13. SPSS아카데미 (1999). SPSS를 활용한 회귀분석, 민영사

논문제출일: 2005.09.01

심사완료일: 2006.08.29

Abstract

This study is started from a situation of Korean construction which has been undergoing diversity. And risk of construction project has been increased recently. The purpose of this study is to propose the model which is able to estimate the proper manpower by eliciting the variable which is offered in the pre-design and construction phase. The existing method of estimate has a problem with calculating exact costs. For this model, it was analyzed the existing manpower estimating model and used historical data of 38 apartment houses, constructed from 2000 to now. Based on these, the regression model of the construction manpower was built. And then the regression model was verified. The result of verification was relatively adequate in the statistics except for some cases. This regression model will help make it possible for constructor to estimate the deduction of retirement more accurate than existing method.

Keywords : Apartment House Construction, Historical Data, Manpower Forecasting, Regression Model, Deduction of Retirement